



เครื่องบันทึกสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
ELECTRIC CONSUMING RECORDER



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา เมื่อผู้นายได้เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารนี้ไปจำหน่ายหรือทำซ้ำอย่างอื่นอันอาจถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT REPORT

ELECTRIC CONSUMING RECORDER

BY

MR. KATANYU APIRAXVONGSRI

MR. PORNTAPE KONGKIATTISAK

MR. APIRAT PENNGERN

DEPARTMENT OF

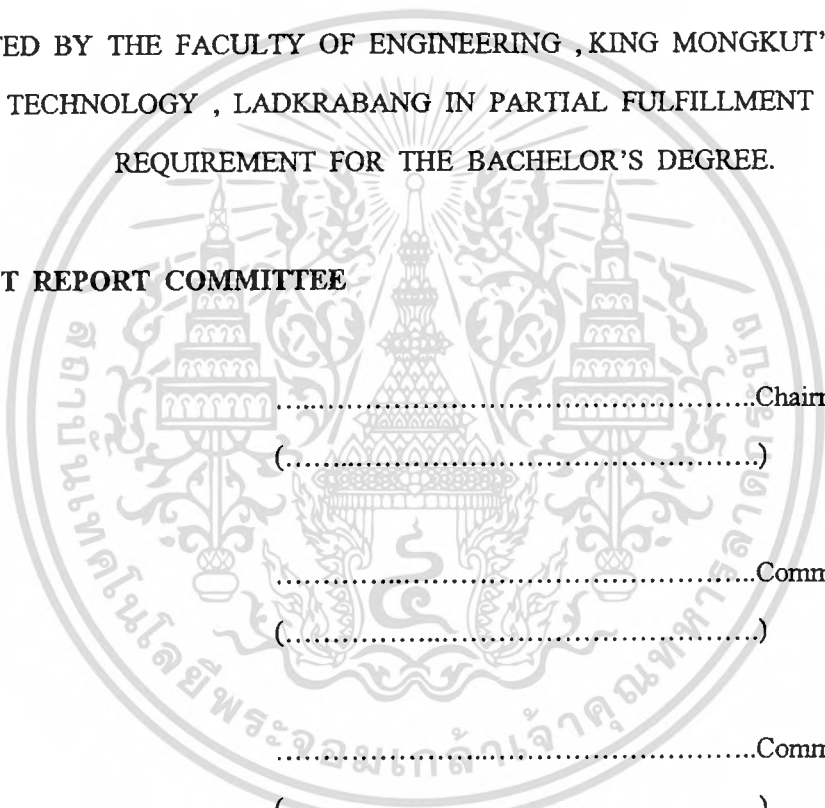
INDUSTRIAL TECHNOLOGY

ADVISOR

MR. PAISARN SITTIYOPASAKUL

ACCEPTED BY THE FACULTY OF ENGINEERING , KING MONGKUT'S INSTITUTE
OF TECHNOLOGY , LADKRABANG IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE BACHELOR'S DEGREE.

PROJECT REPORT COMMITTEE



.....Chairman

(.....)

.....Committee

(.....)

.....Committee

(.....)

.....Committee

(.....)

.....Committee

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

เครื่องบันทึกสถานะการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า

โดย

นาย กตัญญู อภิรักษ์วงศ์ศรี

นาย พรเทพ ก้องเกียรติศักดิ์

นาย อภิรัตน์ ปั่นเงิน

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ไพศาล สิทธิโยภาสกุล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเราเห็นได้ชัดว่า อัตราการใช้พลังงานได้เพิ่มขึ้นอย่างน่าเป็นห่วง โดยเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ส่วนสืบเนื่องมาจากการผลักดันการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ขณะเดียวกัน การเพิ่มจำนวนประชากรของประเทศก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้น ท่ามกลาง ภาวะในปัจจุบันและวิกฤตทางด้านพลังงานที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต หากไม่หันมาประหยัดพลังงานกันอย่างจริงจัง การใช้พลังงานไฟฟ้าให้คุ้มค่าที่สุดที่สุดนั้น เป็นปัจจัยตัวหนึ่งที่ทำให้เราสามารถใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ได้เต็มที่และสามารถทำได้หลายวิธี ดังนั้น ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอเครื่องบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องดังกล่าวสามารถวัดค่าของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นทำงานอยู่ โดย แสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของกราฟเชิงเส้นที่มีการเปลี่ยนแปลง ตามเวลา และสามารถบันทึกข้อมูลที่วัดได้ลงสู่ดิสก์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันหรือ ต่างชนิด แสดงให้เห็นว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดใดที่สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าที่สุด และสามารถตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นได้จากผลที่แสดง ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT REPORT

ELECTRIC CONSUMING RECORDER

BY

MR. KATANYU APIRAXVONGSRI

MR. PORNTAPE KONGKIATTISAK

MR. APIRAT PENNGERN

DEPARTMENT OF

INDUSTRIAL TECHNOLOGY

ADVISOR

MR. PAISARN SITTIYOPASAKUL

ABSTRACT

Nowadays we have realized that our country is consuming energy in an increasing rate every year especially the consumption of electric energy. The growth of populations every year and the country development by expedite the growth of economics and industries are the two main causes of such high consumption rate of energy that may lead to the problem of energy crisis in near future. The campaign of energy saving in the country is a hopeful way to deal with such terrible problem. Basing upon the concepts of energy saving. Our project has introduced an electric tool that can promote a remarkable contribution to electric energy saving. The "Electric Consuming Recorder" or ECR is equipment that we can use for measurement electric current consumption (ampere consumption), electromotive force (voltage consumption) and temperature of household appliances while using. The measured values of ampere consumption, voltage consumption and temperature are processed and display in the form of linear graphics that vary directly to times on the screen monitor of a personal computer (PC). The data can be kept in a floppy disk in order to compare among the measured values of the same type or even different type of the household appliances. It will show which one is the most electric saving and can detect the abnormal performance of the machine if any.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยการได้รับคำแนะนำ ตลอดจนความร่วมมือความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากทุก ๆ ท่าน

ขอขอบคุณ ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการให้เอกสารอ้างอิง ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ไพศาล สิริโยภาสกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสารอ้างอิง และเครื่องมือในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณ วุฒิชัย ชื่นดี ที่เอื้อเฟื้อ สถานที่ และ อุปกรณ์ ในการทำโครงการนี้
ท้ายสุดของกิติกรรมประกาศนี้ ขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ที่เป็นกำลังใจ
ตลอดมา



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท	1
1.2 ลำดับขั้นตอนและวิธีดำเนินการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์	3
2.1 ความคลาดเคลื่อน	3
2.2 ข้อจำกัดของความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด	4
2.3 สาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด	5
2.4 การสิ้นเปลืองกำลังของเครื่องวัด	6
2.5 ตำแหน่งที่จะต่อแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์	9
2.6 การวัดกระแสจำนวนมาก	11
2.7 การวัดค่ากระแสจำนวนน้อย	14
2.8 แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ	19
2.9 เครื่องวัดชนิดใช้เรกติไฟเออร์	23
2.10 แอมมิเตอร์ และ โวลต์มิเตอร์	24
บทที่ 3 การแปลงสัญญาณ	31
3.1 การแปลงค่าแรงดัน RMS เป็น DC	31
3.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	32
บทที่ 4 หลักการวัดอุณหภูมิ	44
4.1 อุณหภูมิและมาตราวัดอุณหภูมิ	44
4.2 อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐาน	45
4.3 หลักการวัดอุณหภูมิ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 หลักการและการออกแบบเครื่องบันทึกสถานะการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า	50
5.1 หลักการและการออกแบบฮาร์ดแวร์	50
5.2 การลกระดับแรงดัน	51
5.3 การแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	51
5.4 ภาคแปลงแรงดัน RMS เป็นแรงดัน DC	52
5.5 ภาควัดอุณหภูมิ	56
5.6 ภาคปรับแรงดัน	57
5.7 หลักการทำงานและการออกแบบการ์ดอินเตอร์เฟส	58
5.8 การปรับแต่ง	64
5.9 หลักการของซอฟต์แวร์	65
5.10 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม	70
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	72
6.1 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดแรงดันไฟฟ้า	72
6.2 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดกระแสไฟฟ้า	73
6.3 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดอุณหภูมิ	74
6.4 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาค A/D	75
6.5 ผลการทดสอบโปรแกรม	76
6.6 บทสรุปการทดลอง	78

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 a) กระแสในวงจรก่อนต่อแอมมิเตอร์	7
b) กระแสในวงจรก่อนที่วัดเปลี่ยนไปเนื่องจากการต่อแอมมิเตอร์	7
2.2 a) ความต่างศักย์ในวงจรก่อนต่อโวลต์มิเตอร์	9
b) ความต่างศักย์ในวงจรที่วัดเปลี่ยนไปเนื่องจากการต่อโวลต์มิเตอร์	9
2.3 a),b) วิธีต่อแอมมิเตอร์และ โวลต์มิเตอร์	10
2.4 a),b) วิธีต่อชั้นที่สำหรับการวัดกระแสปริมาณมาก	12
2.5 วิธีวัดกระแสในบัสบาร์	13
2.6 ตัวอย่างการวัดความต้านทาน	13
2.7 วิสโตมมิเตอร์	13
2.8 การหน่วงแรงดันในกัลวานอมิเตอร์ชนิดคอยล์หมุน	15
2.9 a) หลักการของกัลวานอมิเตอร์ชนิดสะท้อนแสงและการขยายการบ่งชี้	16
b) แสดงดวงไฟและสเกล	16
2.10 ชั้นที่ของกัลวานอมิเตอร์	18
2.11 ชั้นที่แบบยูนิเวอร์แซล	18
2.12 a),b),c) รูปคลื่นแบบต่างๆ ของกระแส	20
2.13 a)b) รูปคลื่นแสดงค่าของกำลังไฟฟ้าทุกขณะและค่าเฉลี่ย	21
2.14 วงจรเรกติฟายเออร์	23
2.15 การทำงานของ เรกติฟายเออร์	23
2.16 โวลต์มิเตอร์ชนิดใช้เรกติฟายเออร์	25
2.17 แสดงถึงผลของคาปาซิเตอร์ขนานของเรกติฟายเออร์	25
2.18 สเกลของเครื่องวัดชนิดเรอร์โมคัปเปิล	26
2.19 อิมพีแดนซ์ภายในของเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่	28
2.20 การชดเชยการสูญเสียคุณลักษณะทางความถี่ของเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่	29
2.21 ผลของอิทธิพลของเหล็ก	29
3.1 a) แสดงการต่อวงจร PARALLEL COMPARATOR A/D CONVERTER	33
b) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นอนาล็อกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอชดีแบบสโตน	
a) แสดงบล็อกไดอะแกรม	34
b) ความชันของสัญญาณเรมปี	35
3.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอชดีแบบสโตน	
a) แสดงบล็อกไดอะแกรม	37
b) เอาต์พุตของวงจรอินทีเกรเตอร์เมื่อเทียบกับแรงดัน	37
3.4 วงจรเปลี่ยนแบบเคลด้า - ซิกม่า	39
3.5 วงจรเอชดีแบบวงจรมัลติเพล็กซ์ที่สร้างขึ้นโดยวงจรมัลติเพล็กซ์และวงจรถูกเอ	40
3.6 วงจรเอชดีที่สร้างขึ้นจากวงจรมัลติเพล็กซ์/ลง และวงจรถูกเอ	41
3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอชดีแบบ SUCCESSION APPROXIMATION	42
4.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 มาตรการ	45
4.2 แบบของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้อยู่โดยทั่วไป	48
4.3 แสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบ กับ อาร์ทีดี และ เทอร์โมคัปเปิล	49
4.4 แสดงการต่อใช้งานของเทอร์มิสเตอร์	49
5.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของฮาร์ดแวร์	50
5.2 แสดงการลดระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลง STEP DOWN	51
5.3 แสดงการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยการใช้ CURRENT TRANSFORMER	52
5.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรภายในของ AD636JH	53
5.5 วงจรภาคแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็นแรงดันไฟตรง	55
5.6 วงจรภาคอุณหภูมิ และ โครงสร้างภายในไอซี LM3911	56
5.7 วงจรปรับระดับแรงดันโดยการใช้ NON-INVERTING AMP	57
5.8 วงจร BUFFER สำหรับ ภาควัดอุณหภูมิ	58
5.9 แสดงการ DECODE ADDRESS โดยใช้ IC 74138 ในเบื้องต้น	61
5.10 แสดงการสร้างสัญญาณ ENABLED BUFFER	62
5.11 แสดงการสร้างสัญญาณควบคุม ANALOG SWITCH	63
5.12 แสดงการปรับแต่งภาคแรงดัน	64
5.13 แสดงการปรับแต่งภาควัดกระแส	64
5.14 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลจาก PORT	65
5.15 แสดงค่า (X, Y) ที่จุดต่างๆ	67
5.16 แสดงการพล็อตกราฟด้วยคำสั่ง MOVETO (X, Y) และ LINETO (X, Y)	69

รูป	หน้า
5.17 FLOW CHART แสดงการทำงานของโปรแกรม	71
6.1 แสดงการเปรียบเทียบสถานะการทำงานระหว่างเตารีดกับกาต้มน้ำร้อนในช่วง เวลา 1 - 5 นาทีแรก	76
6.2 แสดงการเปรียบเทียบสถานะการทำงานระหว่างเตารีดกับกาต้มน้ำร้อนในช่วง เวลา 5 - 10 นาที ต่อมา	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ทำของการวางเครื่องวัดขณะใช้งาน	7
2.2 แบบอย่างของค่าความต้านทานในตัวของแอมมิเตอร์กระแสตรง	9
2.3 แบบอย่างของคุณสมบัติของกัลวานอมิเตอร์ ชนิดสะท้อนแสง แบบคอยล์หมุน	17
2.4 รูปคลื่น ไฟฟ้าแบบต่างๆ	22
3.1 ค่ากระแสดีแฟกเตอร์ของสัญญาณต่างๆ	31
3.2 ตารางเปรียบเทียบ A/D ชนิดต่างๆ	43
4.1 เปรียบเทียบเครื่องมือวัดแบบต่างๆ	47
5.1 แสดงตารางการทำงานของ IC 74138	60
6.1 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดแรงดัน	72
6.2 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดกระแส	73
6.3 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดอุณหภูมิ	74
6.4 ผลการทดลองวัดค่า TEST A/D	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพนั้น มีหลักอยู่ว่า เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าแล้ว ทำอย่างไรการใช้ไฟฟ้านั้นจึงจะเป็นการใช้ไฟฟ้าที่คุ้มค่าและเกิดผลประโยชน์สูงสุดและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด ดังนั้นการที่รู้สถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าว่าขณะนี้มีการใช้กระแสไฟฟ้าเท่าไร ที่แรงดันเท่าไร และ อุณหภูมิที่เท่าไร โดยเปรียบเทียบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เพื่อใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมของการใช้ไฟฟ้า ว่ามีความคุ้มค่ามากเพียงใดในสภาพแวดล้อม และ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความรู้ความเข้าใจในเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างถ่องแท้ ทำให้สามารถใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้จะเป็นการประหยัดพลังงานแล้วยังมีผลดีต่อ ส่วนรวมของประเทศในแง่ของการอนุรักษ์ธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เครื่องบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า จะสามารถแสดงค่าการใช้ แรงดัน กระแส ของเครื่องใช้ไฟฟ้า ณ. อุณหภูมิ แวดล้อมนั้น ๆ ได้ และ จะแสดงค่าต่าง ๆ ดังกล่าวเป็นกราฟทางจอคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ ยังสามารถเก็บค่าข้อมูลเหล่านั้นลงในคอมพิวเตอร์ได้ เพื่อประมวลผลออกมาเมื่อต้องการ และ ทำการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละช่วงเวลาได้อีกด้วย ดังนั้นเราสามารถที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้ไฟฟ้าได้ หรือ สามารถเปรียบเทียบการใช้ของไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันในแต่ละปีหือได้

1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ในการสร้างเครื่องบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ก็เพื่อที่จะนำเครื่อง ดังกล่าว ไปใช้วัดปริมาณการใช้ แรงดัน กระแส ณ. อุณหภูมิแวดล้อมนั้น ๆ ในบ้านเรือน อาคารสำนักงาน หรือ โรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทำการวัดค่าดังกล่าวของเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า ในแต่ละปีหือได้ว่ามีอัตราการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกันเท่าไร ทำให้สามารถเลือกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการประหยัดไฟฟ้าดีที่สุด และ ยังสามารถนำเครื่องบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า มาใช้ในบ้านเรือนเพื่อที่จะวัดการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้น ซึ่งจะทำได้สามารถประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้ และ สามารถเก็บค่าต่าง ๆ ไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลออกมาเมื่อต้องการ

1.2 ลำดับขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

- 1.2.1 ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า
- 1.2.2 ศึกษาการทำงานของวงจรที่จะวัดค่า แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า ของเครื่องใช้ไฟฟ้า
- 1.2.3 ศึกษาการทำงานของวงจรที่จะวัด อุณหภูมิ
- 1.2.4 ออกแบบวงจรทั้งหมดในการวัด และ แสดงผล
- 1.2.5 เขียนโปรแกรม ควบคุม ฮาร์ดแวร์ และ อินเทอร์เน็ต กับเครื่องคอมพิวเตอร์
- 1.2.6 ทดสอบการทำงานของเครื่องบันทึกสถานะการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถที่จะทราบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า ณ. อุณหภูมิ และ เวลานั้นทำให้เราสามารถที่จะประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้
- 1.3.2 สามารถที่จะทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันในแต่ละยี่ห้อ ได้เพื่อที่จะ ได้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดการใช้ไฟฟ้าที่ดีที่สุด
- 1.3.3 ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำเครื่องบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ไปใช้ในการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละรุ่นได้ เพื่อที่จะ ได้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมาตรฐานการใช้ไฟฟ้าในเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละรุ่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แอมมิเตอร์ และ โวลต์มิเตอร์

ในการวัดแรงดันทางออก (output voltage) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งจะต้องคิดถึงการใช้โวลต์มิเตอร์เพื่อการนี้เป็นเบื้องต้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากเรามีโวลต์มิเตอร์ให้เลือกใช้หลายแบบเมื่อถูกถามว่าจะใช้แบบไหนก็จะไม่สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องได้นอกจากเสียว่าจะทราบถึงคุณลักษณะของโวลต์มิเตอร์แบบต่างๆ มากพอ ในตอนนี้จึงจะกล่าวถึงคุณลักษณะของแอมมิเตอร์และ โวลต์มิเตอร์ชนิดคอยล์หมุน

2.1 ความคลาดเคลื่อน (ERROR)

การทราบถึงคุณลักษณะของเครื่องวัดเป็นมาตรการที่สำคัญจึงขอเอาเรื่องความคลาดเคลื่อนขึ้นมากล่าวถึงเสียก่อน

ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดกำหนดไว้ดังนี้

$$M - T = \epsilon$$

ในเมื่อ T เป็นค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ต้องการวัด M เป็นค่าที่วัดได้โดยเครื่องวัด และ ϵ เป็นความคลาดเคลื่อนต่อค่าที่แท้จริง ϵ/T เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (RELATIVE ERROR) หรืออัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนต่อค่าของมันเมื่อคิดเป็นร้อยละเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนร้อยละ (PERCENTAGE ERROR) หรือ โดยมากเรียกกันว่า ความคลาดเคลื่อนเฉยๆ การวัดที่ถือว่าเที่ยงตรงก็คือการวัดที่มีคลาดเคลื่อนน้อย

ผลลัพธ์ที่ค่าวัดได้ M ต่างไปจากค่าที่แท้จริง T คือ

$$T - M = \alpha$$

เรียกว่า การแก้ (CORRECTION) อัตราส่วนของการแก้ต่อค่าที่วัดได้ α / M เรียกว่า อัตราส่วนของการแก้ หรือ การแก้สัมพัทธ์ (RELATIVE CORRECTION) ซึ่งค่าของมันเมื่อคิดเป็นร้อยละเรียกว่า การแก้ร้อยละ (PERCENTAGE CORRECTION) หรือ โดยมากเรียกว่า การแก้เฉยๆ

2.2 ขีดจำกัดของความคลาดเคลื่อนของเครื่องของเครื่องวัด

มาตรฐาน IEC กำหนดไว้ว่า ความถูกต้อง (ACCURACIES) ของเครื่องบ่งชี้ปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งรวมถึงเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุนด้วย ควรแบ่งชั้นออกเป็นแปดชั้น คือ ชั้น 0.05 , 0.1 , 0.2 , 0.5 , 1 , 1.5 , 2.5 , 5 หมายความว่า ตามการแบ่งชั้นออกเป็นแปดชั้นดังกล่าวนี้ ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดในย่านที่สำคัญ (SEIGNIFICANT RANGE) ควรอยู่ภายใน บวกลบ 0.05% , 0.1% , 0.2% , 0.5% , 1% , 1.5% , 2.5% , 5% ตามลำดับ เมื่อกับสเกลสูงสุด

ย่านที่สำคัญหมายถึงส่วนของย่านชี้บ่ง (A PORTION OF THE INDICATION RANGE) ของเครื่องวัดที่ได้รับการรับรอง (GUARANTEED) ในความละเอียดถูกต้อง ย่านที่สำคัญนี้ขึ้นอยู่กับแบบของสเกล เช่น ถ้าหากเครื่องวัดมีสเกลแบบสม่ำเสมอ (UNIFORM SCALE) เช่น เครื่องวัดชนิดคอยล์หมุน หรือแบบเกือบสม่ำเสมอ เช่น เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ช่วงของสเกลทั้งหมดถือได้ว่าเป็นย่านที่สำคัญ อย่างไรก็ตามถ้าเครื่องวัดนั้นมีสเกลหดแคบเข้ามามากในระยะใกล้ศูนย์ เช่น เครื่องวัดชนิดเซอร์โวมอเตอร์ ย่านที่สำคัญคือส่วนของสเกลที่ไม่ถูกหดแคบ ซึ่งแสดงไว้โดยการทำเครื่องหมาย • ลงใต้ขีดแรกของย่านที่สำคัญ ในการเลือกเครื่องวัดเพื่อนำไปใช้วัดจริง ๆ หรือเพื่อใช้ประกอบในการออกแบบอุปกรณ์ หรือเครื่องมือต่าง ๆ การแบ่งชั้นของเครื่องวัดดังกล่าวข้างต้น ควรจัดเป็นสี่หมู่ตามลักษณะของการใช้งานหลักเพื่อความสะดวก ดังต่อไปนี้

เครื่องวัดชั้น 0.05 ชั้น 0.1 และชั้น 0.2

เครื่องวัดเหล่านี้ จัดเข้าในหมู่เครื่องวัดประเภทใช้งานละเอียดและเที่ยงตรง ตั้งอยู่กับที่ในห้องปฏิบัติการหรือห้องมาตรฐาน เพื่อใช้เป็นเครื่องวัดมาตรฐานชั้นรอง (sub-standard) ในการทำการทดลองที่ละเอียด หรือในการตรวจสอบเครื่องวัดอื่น ๆ

เครื่องวัดชั้น 0.5

เครื่องวัดนี้ มีความละเอียดและเที่ยงตรงรองลงมาจากชั้น 0.2 และใช้สำหรับการวัดที่ละเอียด เครื่องวัดที่นำติดตัวไปได้ (portable) แบบธรรมดาจัดอยู่ในหมู่นี้

เครื่องวัดชั้น 1.0

เครื่องวัดนี้มีความละเอียดและเที่ยงตรงรองลงมาจากชั้น 0.5 ใช้เป็นเครื่องวัดแบบนำติดตัวไปได้ขนาดเล็กหรือติดตั้งบนแผงสวิทช์ขนาดใหญ่ หรือติดตั้งบนแผงหน้าปัทม์

เครื่องวัดชั้น 1.5 ชั้น 2.5 และชั้น 5

เครื่องวัดหมู่นี้ใช้ติดตั้งบนแผงสวิทช์หรือแผงหน้าปัทม์ ซึ่งไม่ต้องการความละเอียดหรือความเที่ยงตรงของเครื่องวัดมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาถึงความละเอียดและความเที่ยงตรงของเครื่องวัด การคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ก็จัดว่ามีความสำคัญเช่นกัน เช่นตัวอย่างต่อไปนี้ สมมุติว่าแอมมิเตอร์กระแสตรงชั้น 1 ตัวหนึ่งมีค่าสเกลสูงสุด 3 A เมื่อใช้วัดกระแสตรงที่มีค่าแท้จริง 0.62 A อ่านได้ 0.6 A ซึ่งความคลาดเคลื่อนในกรณีนี้มีค่าเป็น -0.02 A ดังนั้น

$$\text{อัตราส่วนความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าสเกลสูงสุด} = -0.02/3 = -0.7\%$$

$$\text{อัตราส่วนความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าที่ชี้บ่ง} = -0.02/0.6 = -3.3\%$$

จะเห็นได้ว่าเครื่องวัดนี้ได้รับการรับรองว่าอยู่ในชั้น 1 แต่เมื่อใช้วัดจริง ๆ กลับมีความคลาดเคลื่อนถึง -3.3% จากตัวอย่างข้างต้นนี้จะเห็นได้ว่า ขีดจำกัดของความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดทางไฟฟ้าซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐานอันเหมาะสม ไม่ใช่เป็นเครื่องประกันว่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่ชี้บ่งในย่านที่มีความสำคัญจะต้องอยู่ภายใน $\pm 1.0\%$ ความจริงข้อนี้ไม่สามารถละเลยได้ จึงควรต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้เครื่องวัด และการใช้ค่าที่วัดได้

2.3 สาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด

แม้ว่า แอมป์มิเตอร์หรือโวลท์ซิมิตคอบล์หมุน ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะได้รับการประดิษฐ์ให้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในขีดที่ขอมให้ได้ตามชั้นที่มันสังกัดอยู่ก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อที่ควรคำนึงในการใช้อยู่หลายประการดังต่อไปนี้

2.3.1 สนามแม่เหล็กภายนอก

เมื่อใช้เครื่องวัด อยู่ในอาณาบริเวณที่มีสายไฟฟ้าที่มีกระแสจำนวนมากไหลผ่านหรือใกล้เคียงกับแม่เหล็กที่มีอำนาจสูง อาจมีผลกระทบกระเทือนถึงสนามแม่เหล็กในช่องอากาศที่อยู่ในวงจรมแม่เหล็กของเครื่องวัดได้

2.3.2 อุณหภูมิรอบตัว

แม้ว่าเครื่องวัดจะถูกประดิษฐ์ให้ไม่มีความไวต่ออุณหภูมิรอบตัว ดังที่ได้อธิบายมาแล้วก็ตาม แต่ถ้าอุณหภูมิรอบตัวเปลี่ยนไปจากอุณหภูมิอ้างอิงคือที่ 20°C มาก ๆ ความคลาดเคลื่อนก็มีมากจนมิอาจละเลยได้

2.3.3 ความร้อนในตัว

เมื่อมีกระแสไหลผ่านเครื่องวัดในตอนแรก ๆ อุณหภูมิของส่วนประกอบของเครื่องวัดจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้การชี้บ่งเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการชี้บ่งจะไม่คงที่ไปชั่วระยะเวลาหนึ่งจนกว่าอุณหภูมิในตัวจะถึงจุดคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การเคลื่อนของการชี้ค่าศูนย์

ตำแหน่งที่เข็มชี้ของเครื่องวัดชี้ขณะ ไม่มีกระแสไหลผ่าน เรียกว่าชี้ค่าศูนย์ (zero point) หลังจากที่ใช้เครื่องวัดไปแล้วนาน ๆ อาจจะเป็นได้ที่การชี้ค่าศูนย์เปลี่ยนไป เนื่องจากความล้า (fatigue) ของสปริงควบคุม การเคลื่อนของการชี้ค่าศูนย์จะสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนที่จุดรองรับ (Fulcrum) สปริงด้วยการเลื่อนที่ปรับเข็มให้ชี้ค่าศูนย์

2.3.5 ความผิด

การวัดซ้ำ ๆ กันหลายหนด้วยเครื่องวัดแบบมีเดือยและรองเดือยนั้น ถ้าหากมีระยะห่างเดือยและรองเดือยมีมากพอ อาจจะทำให้ค่าวัดได้ไม่ซ้ำกันแม้ว่ากระแสที่วัดจะมีค่าคงที่ก็ตาม

2.3.6 อายุ

หลังจากที่เครื่องวัดออกจากโรงงานผลิตมาเป็นเวลานานแล้ว ชิ้นส่วนประกอบของเครื่องวัดอาจเปลี่ยนคุณลักษณะไป ซึ่งจะยังผลให้เครื่องวัดมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เพื่อที่จะรักษาเครื่องวัดให้มีความเที่ยงตรงอยู่เสมอ จึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบเครื่องวัดนั้นทุก ๆ ระยะเวลาครึ่งปี หรือหนึ่งปีเป็นประจำ

2.3.7 ท่าของการตั้งเครื่องวัด

ส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัดได้ถูกประกอบขึ้นให้มีการเคลื่อนตัว (play) ได้เล็กน้อย ด้วยเหตุถ้าการตั้งเครื่องวัดเพื่อใช้งาน ไม่อยู่ในท่าที่กำหนดไว้ให้ ส่วนที่เคลื่อนไหวและเข็มชี้ของเครื่องวัดอาจจะเคลื่อนออกไปจากตำแหน่ง เดิมและยังผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น แต่เนื่องจากจุดศูนย์ถ่วงของส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัดสามารถจัดได้โดยการใช้น้ำหนักถ่วงดุลย์ (balancing weight) (ดูรูป 2.1) ดังนั้น แม้ว่าที่ของการตั้งเครื่องวัดจะผิดไปจากที่กำหนดให้บ้างเล็กน้อย ก็จะไม่เกิดความคลาดเคลื่อนที่สำคัญนัก อย่างไรก็ตามถ้าทำได้ก็ควรใช้เครื่องวัดในท่าที่กำหนดให้ ท่าของการตั้ง

เครื่องวัดเพื่อใช้งานแต่ละเครื่อง จะกำหนดไว้บนแผ่นสเกลของมัน โดยการใช้สัญลักษณ์ดังแสดงในตาราง 1.1

2.4 การสิ้นเปลืองกำลังของเครื่องวัด

ในตอนที่แล้วได้อธิบายถึงสาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนซึ่งมีประจำอยู่ในตัวเครื่องวัดมาแล้ว ในตอนนี้จะได้อธิบายถึงข้อควรคำนึงบางประการในการต่อเครื่องวัดเข้ากับวงจรที่ต้องการวัด ประการแรกจะแสดงตัวอย่างที่เป็นตัวเลขสองตัวอย่างถึงกรณีที่เมื่อต่อเครื่องวัดที่สิ้นเปลืองกำลังมากเข้ากับ

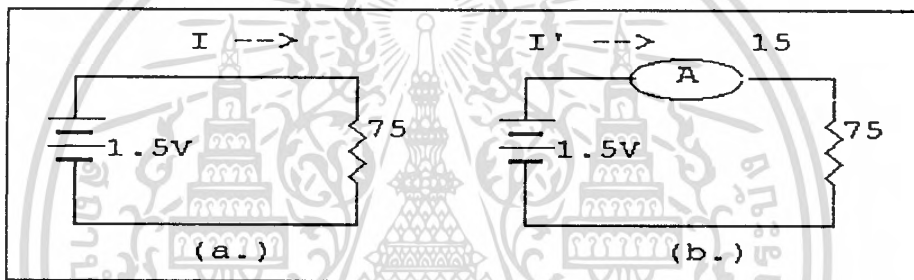
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ต้องการวัด สถานะของวงจรมันจะเปลี่ยนไปและผลวัดได้จะแตกต่างไปจากค่าที่ต้องการจะวัด เป็นอันมาก

ตัวอย่างที่ 1:

สมมติว่าในวงจรของรูป 2.1 (a) มีโหลดประมาณ 75Ω ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5 v และมีความต้านทานในตัวน้อยมากจนไม่คำนึงถึง ซึ่งทำให้มีกระแสไหลผ่านโหลด มีแอมมิเตอร์ชนิดคอยล์หมุนซึ่งมีค่าสเกลสูงสุด 30 mA และความต้านทานในตัว 15Ω ต่อเป็นอนุกรม อยู่กับโหลดดังในรูป 2.1 (b) เพื่อวัดกระแส I กระแสในโหลด I' ในขณะนี้จะเป็น

$$I' = 1.5 / (75 + 15) = 0.017\text{ A}$$



รูป 2.1 a) กระแสในวงจรก่อนต่อแอมมิเตอร์

รูป 2.1 b) กระแสในวงจรที่วัดเปลี่ยนไปเนื่องจากการต่อแอมมิเตอร์

ตาราง 2.1 ท่าของการวางเครื่องวัดขณะใช้งาน

ท่าของการวาง	สัญลักษณ์
วางตั้ง	⊥
วางนอน	┌
วางเอียง	∠60°
(ตัวอย่างเช่นวางเอียง 60 องศา)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นกระแสที่วัดได้จะมีค่าแตกต่างไปมากกว่า 10% จากค่าที่ควรจะเป็นก่อนที่จะทำการวัดตามรูป 2.1 (a) คือ $I = 20 \text{ mA}$ ข้อผิดพลาดอันนี้จะเห็นได้จากความจริงที่ว่า สภาพของวงจรที่ต้องการวัดได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการใช้แอมมิเตอร์ที่มีความต้านทานในตัวสูง จนไม่สามารถลงทะเบียนได้เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานของโหลด ซึ่งหมายถึงแอมมิเตอร์ที่ใช้สิ้นเปลืองกำลังมากจนมองข้ามเสียมิได้เมื่อเทียบกับกำลังในโหลด แต่ถ้าเรานำเอาแอมมิเตอร์ชนิดคอยล์หมุนที่มีค่าสเกลสูงสุด 30 mA แต่มีความต้านทานในตัวเพียง 1.1Ω มาใช้แทนที่แอมมิเตอร์ตัวก่อนกระแสในโหลด I'' ในตอนนี้จะเป็น

$$I'' = 1.5 / (75 + 1.1) = 0.0197 \text{ A}$$

ดังนั้นค่าที่วัดได้ในกรณีนี้ จะใกล้เคียงกับค่าของ I มากกว่าในตอนก่อน

ตัวอย่างที่ 2 :

สมมติว่าในวงจรของรูป 2.2 (a) มีความต่างศักย์ E อยู่ระหว่างขั้ว A และ B และมีโวลท์มิเตอร์กระแสตรงซึ่งมีค่าสเกลสูงสุด 1 V และความต้านทานในตัว $1 \text{ k}\Omega$ ต่อคร่อมขั้ว A และ B อยู่เพื่อวัดความต่างศักย์ E นั้น ดังในรูป 2.2 (b) ความต่างศักย์ E' ระหว่างขั้ว A และ B ในขณะนี้จะเป็น

$$\begin{aligned} E' &= 2 \times \left\{ \left\{ \frac{(9 \times 1)}{(9+1)} \right\} / \left\{ 10 + \left(\frac{9 \times 1}{9+1} \right) \right\} \right\} \\ &= 0.165 \text{ V} \end{aligned}$$

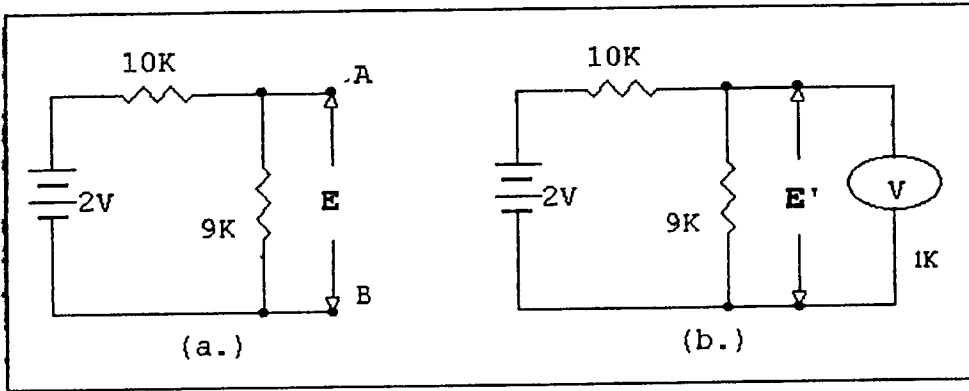
โดยที่

$$E = 2 \times \left(\frac{9}{10+9} \right) = 0.947 \text{ V}$$

ดังนั้น ค่าที่วัดได้จะผิดไปมากจนต้องใช้การแก้ที่มีค่าสูงถึง

$$\left\{ \frac{(0.947 - 0.165)}{0.165} \right\} \times 100 = 474\%$$

ข้อผิดพลาดอันนี้จะเห็นได้จากความจริงที่ว่าความต้านทานในตัวหรือ ความต้านทานทางเข้า (input resistance) ของโวลท์มิเตอร์ที่ใช้มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับความต้านทานของวงจรที่วัดซึ่งหมายถึงกำลังที่สิ้นเปลืองไปในโวลท์มิเตอร์มีค่ามากเมื่อเทียบกับกำลังที่ใช้ไปในวงจรที่วัด



2.2 a) ความต่างศักย์ในวงจรก่อนต่อ โวลท์มิเตอร์

2.2 b) ความต่างศักย์ในวงจรที่วัดเปลี่ยนไปเนื่องจากการต่อ โวลท์มิเตอร์

ในการวัดวงจรอิเล็กทรอนิกส์เราก็มักจะพบความผิดพลาดในการทำงานเหมือนกัน เมื่อเราต่อโวลท์มิเตอร์ เข้าไปแล้วหวังว่าเข็มชี้จะขึ้นสูงพอสมควรแต่การณ์กลับปรากฏว่า เข็มชี้ไม่ค่อยกระดิก ในกรณีอย่างนี้เราจำเป็นต้องใช้โวลท์มิเตอร์ที่มีความต้านทานทางเข้าค่อนข้างสูง อิเล็กทรอนิกส์ โวลท์มิเตอร์ (ในบทที่ 3) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายเมื่อเร็ว ๆ นี้โดยปกติมีความต้านทานทาง เข้าสูงมาก และสามารถใช้ได้อย่างต่อเกือบจะปลอดภัยจากความผิดพลาดที่ได้กล่าวถึงมาแล้วข้างต้น

2.5 ตำแหน่งที่จะต่อแอมมิเตอร์และโวลท์มิเตอร์

ในการใช้แอมมิเตอร์และ โวลท์มิเตอร์เพื่อวัดกระแสในโหลดและแรงดันคร่อมโหลดเราสามารถต่อวงจรได้เป็นสองแบบดังแสดงในรูป 2.3 (a) และ (b)

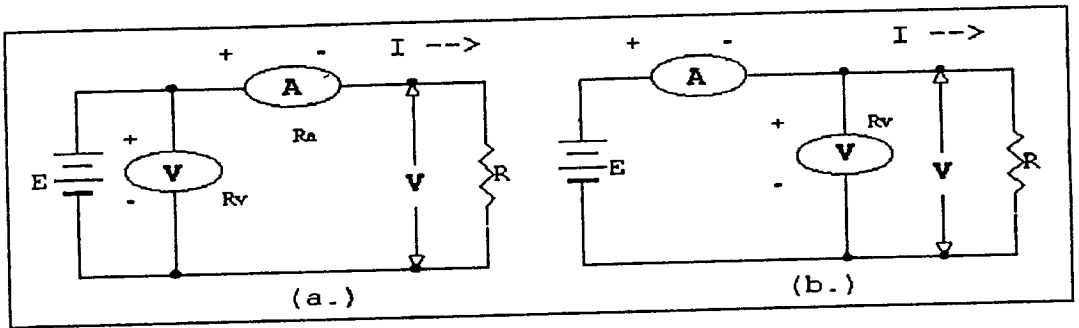
ในรูป 2.3 (a) แอมมิเตอร์จะรับค่าของกระแสในโหลด I ได้ถูกต้อง แต่โวลท์มิเตอร์จะรับค่ารวมของแรงดันคร่อมโหลด $V = IR$ กับ แรงดันคร่อมแอมมิเตอร์ IR_a

$$IR + IR_a = I(R + R_a)$$

ตาราง 2.2 แบบอย่างของค่าความต้านทานในตัวของแอมมิเตอร์กระแสตรง

สเกลอ่านสูงสุด	ความต้านทานในตัว (Ω)
10A	0.005
1A	0.05
100mA	0.4
10mA	0.72
1mA	380
100 μ A	8100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 a), b) วิธีต่อแอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์

โดยนัยตรงกันข้าม ในรูป 2.3 (b) โวลต์มิเตอร์ จะชี้บ่งค่าของแรงดันคร่อมโหลด V ได้ถูกต้อง แต่แอมมิเตอร์จะชี้บ่งค่ารวมของกระแสในโหลด $I = V/R$ กับกระแสที่ไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ V/R_v

$$(V/R) + (V/R_v) = V((1/R) + (1/R_v))$$

จากสมการบน จะเห็นได้ว่าเมื่อต้องการวัดกระแสในโหลดและแรงดันคร่อมโหลดให้ได้ค่าถูกต้องที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ควรยึดถือหลักดังต่อไปนี้

- 1) สำหรับการวัดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งกระแสมีค่าน้อย ควรต่อวงจรดังในรูป (a)
- 2) สำหรับการวัดในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งกระแสในโหลดมีค่ามาก ควรต่อวงจรดังในรูป (b)

แต่อย่างไรก็ตาม ความต้านทานในตัวของแอมมิเตอร์ย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสเกลสูงสุด ดังแสดงไว้โดยประมาณในตาราง 2.2 ในการต่อแอมมิเตอร์ตามวงจรในรูป (a) เราจะสามารถหาความคลาดเคลื่อนโดยประมาณในการวัดค่าแรงดันคร่อมโหลดอันเนื่องมาจากแรงดันตกคร่อมแอมมิเตอร์ได้โดยใช้ตารางนี้ อีกประการหนึ่งความต้านทานทางเข้าของโวลต์มิเตอร์จะมีค่าประมาณ $100\Omega / V$ ถึง $100\text{ k}\Omega / V$ ซึ่งโดยมากมักจะบอกไว้บนเครื่องวัด เราจะสามารถแก้ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่ากระแสในโหลดเมื่อต่อวงจรตามในรูป (b) ได้โดยการคำนวณตามสมการ

ตัวอย่างเช่น ในรูป 2.3 (b) สมมติว่าการชี้บ่งของโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์เป็น 10 V และ 1 mA ตามลำดับ และสมมติว่าค่าสเกลสูงสุดของโวลต์มิเตอร์เป็น 15 V และความต้านทานทางเข้าเป็น $10\text{ k}\Omega / V$ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านโวลต์มิเตอร์จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$10 / (10,000 \times 15) = 6.7 \times 10^{-5} \text{ A} = 0.067 \text{ mA}$$

เพราะฉะนั้นกระแสในโหลดขณะนี้จะ เป็น $1 - 0.067 = 0.933 \text{ mA}$

2.6 การวัดกระแสจำนวนมาก

ในโรงงานทางเคมีหรือโรงงานประเภทเดียวกัน บางครั้งก็จำเป็นต้องวัดกระแสที่มีค่ามาก เป็นสิบ ๆ หรือ ร้อย ๆ แอมแปร์ในกรณีเช่นนี้ก็อาจจะต้องใช้หม้อแปลงกระแสตรงเข้าช่วย แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีวัดอย่างง่าย ๆ สักสองวิธีก่อน

2.6.1 การใช้ขั้วที่ต่อภายนอก

ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.5 ว่ากระแสที่ต้องการวัดนั้นถูกปล่อยให้ไหลผ่านขั้วต่อกระแสของขั้วที่ต่ออยู่นอกตัวเครื่องวัด ส่วนเครื่องวัด (ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นมิลลิโวลต์มิเตอร์) ที่ใช้วัดกระแสนั้นต่อคร่อมขั้วต่อแรงดันของขั้วที่

คราวนี้สมมติว่า ความรูป 2.4 (a) ความต้านทาน R ของขั้วที่มีค่า 0.0005Ω ความต้านทานในตัว Y ของมิลลิโวลต์มิเตอร์เป็น 50Ω ความต้านทานของสายที่ใช้ต่อระหว่างมิลลิโวลต์มิเตอร์กับขั้วที่ละทิ้งเสียได้เมื่อเทียบกับ Y ถ้ามิลลิโวลต์มิเตอร์ชี้ 50 mV เมื่อมีกระแสที่ต้องการวัด I ไหลผ่านขั้ว เราจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

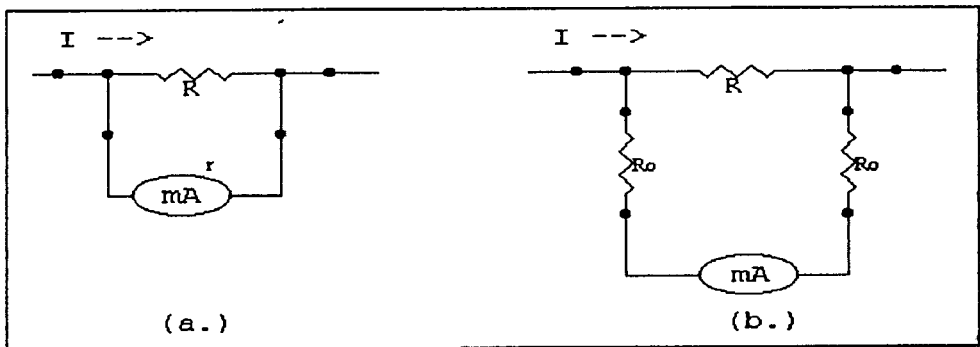
$$I / ((1/50) + (1/0.0005)) = 0.05$$

เพราะฉะนั้น

$$I = 100 \text{ A}$$

ดังนั้นกระแสที่ต้องการวัดในกรณีข้างต้นนี้ คือ 100 A และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ต้องการวัดกับการชี้ของมิลลิโวลต์มิเตอร์เป็นไปตามกฎภาคตรง

ขั้วสำหรับกระแสจำนวนมากแต่ละตัวได้รับการปรับแต่งให้เข้ากับมิลลิโวลต์มิเตอร์ที่ใช้ร่วมกัน ซึ่งค่าของมิลลิโวลต์ และค่าของกระแสที่เกี่ยวข้องกัน ดังเช่นในตัวอย่างข้างต้น จะถูกบ่งไว้บนแผ่นสเกลของมิลลิโวลต์มิเตอร์มีข้อควรสังวรออยู่ว่าในการใช้ขั้วกับมิลลิโวลต์มิเตอร์ร่วมกันนี้ถ้าขั้วที่ใช้ร่วมกัน หรือสายต่อระหว่างขั้วกับมิลลิโวลต์มิเตอร์หรือวิธีการต่อ ไม่เป็นไปตามที่กำหนดให้ไว้ ก็อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้นได้



รูป 2.4 a), b) วิธีต่อวงจรสำหรับการวัดกระแสปริมาณมาก

2.6.2 ผลที่เกิดจากสายต่อของมิลลิโวลต์มิเตอร์

ในทางปฏิบัติขั้นที่ภายนอกเครื่องวัดมักจะติดตั้งอยู่ในโรงงานในบริเวณที่ใช้กระแสเป็นจำนวนมาก ส่วนมิลลิโวลต์มิเตอร์มักติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องวัดซึ่งอยู่ห่างไกลออกไปจากขั้นที่ ในกรณีเช่นนี้ สายต่อระหว่างมิลลิโวลต์มิเตอร์กับขั้วต่อแรงดันของขั้นที่จะมีความยาวมาก สายต่อนี้จึงควรได้รับการปรับเทียบรวมไปกับมิลลิโวลต์มิเตอร์ซึ่งเหตุผลมีดังนี้ สมมติว่านำเอามิลลิโวลต์มิเตอร์กับขั้นที่ชุดเดียวกันกับที่ใช้ในรูป 2.4 (a) ไปใช้ดังในรูป 2.4 (b) โดยใช้สายต่อซึ่งมีความต้านทาน r_0 ของลวดแต่ละเส้นเป็น 0.5Ω และสมมติว่าการชั่งของมิลลิโวลต์มิเตอร์เป็น V เมื่อมีกระแสที่ต้องการวัด $I = 100 \text{ A}$ ค่าของ V จะเป็นดังนี้

$$V = 49 \text{ mV}$$

นั่นแสดงว่าเพราะไม่สามารถละทิ้งค่าความต้านทานของสายต่อเสียได้ในกรณีนี้ การชั่งของมิลลิโวลต์มิเตอร์จึงน้อยไปกว่าที่ชี้ในกรณีของรูป 2.4 (a) อยู่ประมาณ 2% โดยที่สถานะอื่น ๆ ก็ยังคงเป็นเช่นเดียวกัน ในกรณีเช่นนี้ แม้จะเป็นความต้านทานของลวดทองแดงหากละทิ้งไปโดยไม่คำนึงถึงก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอย่างมากขึ้นได้

2.6.3 วิธีวัดกระแสจำนวนมากโดยไม่ต้องตัดวงจร

สมมติว่าเราต้องการวัดกระแสตรงจำนวนมากที่ไหลผ่านตัวนำขนาดใหญ่ ที่เรียกว่าบัสบาร์ (bus bar) หรือบัสเลข ๆ ถ้าหากต้องตัดวงจรบัสออกเพื่อต่อขั้นที่ กำลังไฟฟ้าซึ่งจ่ายผ่านบัสก็จะต้องถูกตัดออกไปในขณะที่กำลังใช้งานอยู่ซึ่งไม่เป็นสิ่งที่พึงประสงค์ เราจึงอาจใช้วิธีดังแสดงในรูป 1.28 นี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

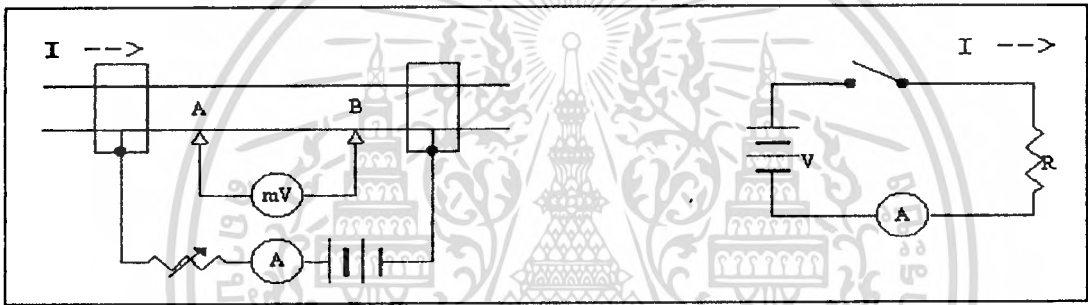
ต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ แบตเตอรี่ และความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ดังแสดงในรูป สมมติว่าโดยการปรับค่าความต้านทานซึ่งเปลี่ยนค่าได้ทำให้แอมมิเตอร์ชี้บ่งค่า I_1 และ I_2 ในขณะที่มิลลิโวลต์มิเตอร์ชี้บ่งค่า V_1 และ V_2 ตามลำดับ สมมติให้ความต้านทานของบัสระหว่างจุด A และ จุด B เป็น Y สำหรับกระแสในบัส I เราจะได้สมการสองสมการพร้อม ๆ กันดังนี้

$$(I + I_1) Y = V_1$$

$$(I + I_2) Y = V_2$$

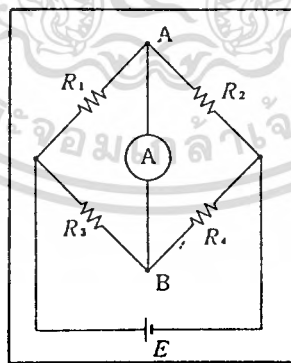
เพราะฉะนั้นค่าของ I จะคำนวณได้จาก

$$I = I_1 V_2 - I_2 V_1 / V_1 - V_2$$



รูป 2.5 วิธีวัดกระแสในบัสบาร์

รูป 2.6 ตัวอย่างการวัดความต้านทาน



รูป 2.7 วิตสโตนบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การวัดค่ากระแสจำนวนน้อย

เรามีวิธีที่จะหาความต้านทาน R ของชิ้นตัวอย่าง (specimen) โดยการวัดกระแสที่ไหลผ่านชิ้นตัวอย่างนั้นเมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V ต่อคร่อมชิ้นตัวอย่างนั้นอยู่ดังในรูป 2.6 แล้วคำนวณจากค่า V/I ตามกฎของโอห์ม ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วัดความต้านทานสูงยิ่งขนาด $1,000 \text{ M}\Omega$ ขึ้นไป เช่น ความต้านทานของวัสดุฉนวนเป็นต้น ดังจะอธิบายรายละเอียดในบทที่ 3 ในกรณีเช่นนี้ ถ้า R มีค่า $1,000 \text{ M}\Omega$ หรือประมาณนั้น แม้ว่า $V = 100 \text{ V}$ ค่าของ I ก็จะเป็นประมาณ $0.1 \mu\text{A}$ เท่านั้น ซึ่งค่าของกระแสน้อยขนาดนั้นไม่สามารถวัดได้โดยแอมมิเตอร์กระแสตรงชนิดที่ได้อธิบายมาแล้ว ซึ่งเป็นชนิดที่มีความไว (sensitivity) ต่ำ

นอกจากนั้นในวงจรของรูป 2.7 ถ้าหากไม่มีความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างจุด A และจุด B แล้ว สำหรับความต้านทาน R_1, R_2, R_3 และ R_4 เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้คือ $R_1/R_2 = R_3/R_4$ เราจะมีเครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานอยู่ชนิดหนึ่งที่ใช้หลักของความสัมพันธ์นี้ เรียกว่า *วิทสโตนบรีดจ์* ซึ่งรายละเอียดของมันจะกล่าวไว้ในบทที่ 3 ในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะวิธีที่จะคัดลึกลงไปว่ามีความต่างศักย์อยู่ระหว่างจุด A และ จุด B หรือไม่ ถ้าหากมีความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุดในวงจรไฟฟ้า ข้อมมิกระแสไหลผ่านแอมมิเตอร์ ที่ต่ออยู่ระหว่างจุดทั้งสองนั้น และทำให้เกิดแรงบิดขั้วขึ้น โดยปกติเราใช้วิธีนี้อยู่ในวิทสโตนบรีดจ์ อย่างไรก็ตามถ้าแอมมิเตอร์ที่ต่ออยู่มีความไวต่ำ เช่นอยู่ในเครื่องวัดชั้น 0.5 และมีค่าสเกลสูงสุด 1 A มันอาจจะไม่สามารถบอกได้เลยว่ามิกระแสจำนวนน้อยกว่า 0.001 A ไหลผ่านหรือไม่ ทำให้เกิดการที่กักเอาว่าได้รับความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว แอมมิเตอร์กระแสตรงมีความไวต่ำเกินไปที่จะใช้ในการปรับให้ได้ความสัมพันธ์นี้อย่างถูกต้องแน่นอน

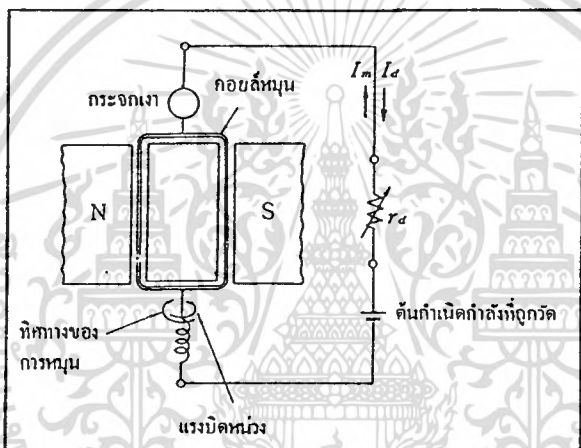
ในการวัดและการตรวจหากระแสจำนวนน้อย ๆ เราใช้เครื่องวัดที่เรียกว่า *กัลวานอมิเตอร์* มาแต่ครั้งโบราณ *กัลวานอมิเตอร์* มีทั้งชนิดกระแสตรง ชนิด (ballistic) และชนิดกระแสสลับ อย่างไรก็ตามสำหรับกัลวานอมิเตอร์ชนิดกระแสสลับเราได้เปลี่ยนมาใช้เครื่องตรวจหา หรือดีเทคเตอร์ (detector) ชนิดมีวงจรขยายประกอบแทนเสียเป็นส่วนใหญ่ และสำหรับกัลวานอมิเตอร์กระแสตรงแบบความไวปานกลางก็มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนเช่นเดียวกัน ในที่นี้จะอธิบายถึงกัลวานอมิเตอร์ชนิดกระแสตรง

2.7.1 กัลวานอมิเตอร์กระแสตรง

กัลวานอมิเตอร์กระแสตรงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนมากเป็นกัลวานอมิเตอร์ชนิดคอปล์หมุน หลักการของมันก็เป็นชนิดเดียวกันกับของแอมมิเตอร์ชนิดคอปล์หมุน แต่เพื่อที่จะลดความเลื้อยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของส่วนที่เคลื่อนไหว กรอบของคอล์ยหมุนซึ่งเป็นอุปกรณ์หนึ่งแรงจึงถูกขจัดทิ้งไป ในรูป 2.8 เมื่อกระแส I ที่ต้องการวัดไหลผ่านคอล์ย หมุน แรงเคลื่อนไฟฟ้าสวนทาง (counter electromotive force) จะเกิดขึ้นในคอล์ยขณะที่ยคอล์ยนั้นหมุนไปดังได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4 ทำให้เกิดกระแส I_d แรงบิดที่เกิดขึ้นในกัลวานอมิเตอร์เนื่องจากกระแส I_d นี้จะทำหน้าที่เป็นแรงบิดหน่วง

การเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_d จะทำให้กระแส I_d เปลี่ยนไปด้วย โดยวิธีนี้เราสามารถปรับอาการหน่วงแรงได้ ค่า R_d ในขณะที่กัลวานอมิเตอร์มีการหน่วงแรงพอดี เรียกว่าความต้านทานหน่วงพอดี ภายนอก (external critical damping resistance)



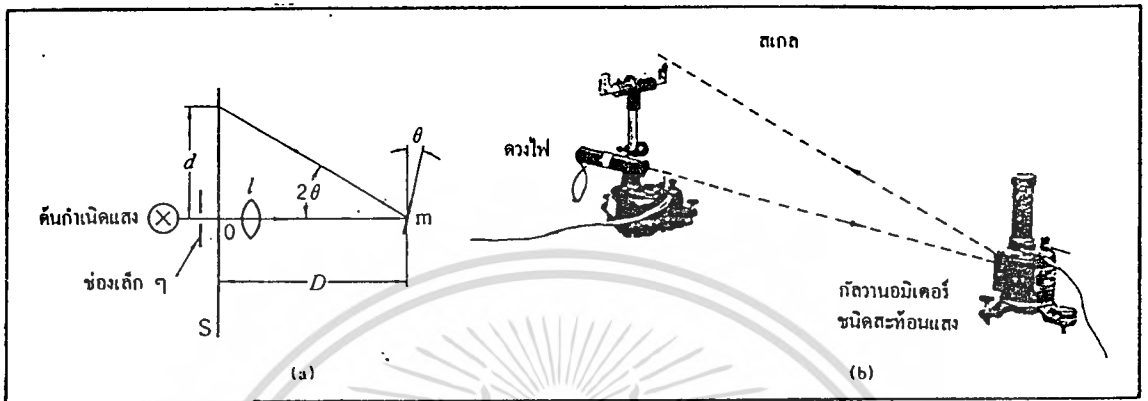
รูปที่ 2.8 การหน่วงแรงคณในกัลวานอมิเตอร์ชนิดคอล์ยหมุน

กัลวานอมิเตอร์กระแสตรงอาจถูกสร้างให้เป็นแบบเข็มชี้ก็ได้ แต่เพื่อให้มีความไวสูงจึงมักสร้างให้เป็นแบบสะท้อนแสงดังแสดงในรูป 2.9 ในแบบนี้จะติดกระจกสะท้อนแสง m ไว้แทนที่เข็มชี้บนส่วนที่เคลื่อนไหว แสงจากต้นกำเนิดแสงจะถูกสะท้อนด้วยกระจก m และส่องลงบนแผ่นกระจกฝ้า S ซึ่งมีขีดหมายของสเกลพิมพ์ติดอยู่ สมมติว่าในขณะที่ไม่มีกระแสไหลผ่าน กัลวานอมิเตอร์ กระจกสะท้อนแสง m อยู่ในแนวขนานกับแผ่นสเกล ฟลักซ์ของแสงจากต้นกำเนิดแสงถูกสะท้อนด้วยกระจก m และส่องโดยตั้งได้กับฉากกับแผ่นสเกลทำมุม 2θ กับแนวแสงตกกระทบ ถ้าตำแหน่งฝ้าแสงสะท้อนส่องลงบนสเกลอยู่ห่างจากจุด O เป็นระยะทาง d เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\tan 2\theta = d / D$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นกระจก m กับแผ่นสเกล S ถ้า $\theta \ll 1$ เราจะได้ว่า $\tan 2\theta = 2\theta$ ดังนั้นเราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูป 2.9 (a) หลักการของกัลวานอมิเตอร์ชนิดสะท้อนแสงและการขยายการบ่งชี้, (b) แสดงดวงไฟและสเกล

$$d = 2D\theta$$

ด้วยเหตุนี้การหมุนตัวของส่วนที่เคลื่อนไหวแต่เพียงเล็กน้อย จะถูกขยายให้กว้างพอที่จะสังเกตเห็นได้ ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่า $D = 1 \text{ m}$ เมื่อส่วนที่เคลื่อนไหวหมุนตัวไปเพียง 5×10^{-8} เรเดียน จุดที่แสงส่องลงบนสเกลจะเคลื่อนไป 1 mm ซึ่งเป็นระยะที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า กัลวานอมิเตอร์แบบนี้เรียกว่าแบบสะท้อนแสง ในการตรวจหาว่าจะมีความต่างศักย์อยู่ระหว่างจุดใดหรือไม่ เราควรทำให้กระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์เปลี่ยนทิศทางเพื่อที่จุดของแสงสะท้อนจะได้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวารอบ ๆ จุด 0

2.7.2 ความไวของกัลวานอมิเตอร์แบบสะท้อนแสง

ความไวของกัลวานอมิเตอร์แบบสะท้อนแสงอาจบ่งได้หลายวิธี สมมติว่าระยะทางจากกระจกสะท้อนถึงแผ่นสเกลเป็น 1 m ค่าของกระแส SI แอมแปร์/ม.ม. ที่ทำให้จุดของแสงสะท้อนเคลื่อนไป 1 mm บนแผ่นสเกลเรียกว่า ความไวกระแสต่ำสุด (minimum current sensitivity) และค่าแรงดัน S_v โวลต์/ม.ม. ที่ทำให้จุดของแสงสะท้อนเคลื่อนที่ไป โดยมีความต้านทานหน้าวงพอดีต่ออยู่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวแรงดันต่ำสุด (minimum voltage sensitivity) ตาราง 2.3 แสดงถึงแบบอย่างของคุณลักษณะของ กัลวานอมิเตอร์แบบเดียวกันนี้ แต่ว่ามีจำนวนรอบของคอยล์ต่างกัน ถ้าความไวกระแสต่ำสุดมีค่าต่ำ จำนวนรอบของคอยล์ก็สูง ซึ่งทำให้มีความต้านทานสูง ดังนั้นความไวแรงดันต่ำสุดจึงต้องสูงขึ้น

กัลวานอมิเตอร์ที่มีค่าความไวกระแสต่ำสุดน้อย ดังที่แสดงไว้ในตาราง ได้ถูกสร้างขึ้นอย่างละเอียดรอบอบบาง

ตาราง 2.3 แบบอย่างของคุณสมบัติของกัลวานอมิเตอร์ ชนิดสะท้อนแสงแบบคอยล์หมุน

ช่วงเวลา (S)	ความต้านทานของคอยล์ (Ω)	ค่าความต้านทานหน้าวงวิกฤตที่ต่อภายนอก (Ω)	ความไวต่อกระแสต่ำสุด (A/mm)	ความไวต่อแรงดันต่ำสุด (v/mm)
8	1100	150000	2×10	3.0×10^4
8	120	1000	7.1×10	8.0×10
8	57	60	2.5×10	2.9×10

ส่วนที่เคลื่อนไหวของมันย่อมจะสั้นเมื่อได้รับความกระทบกระเทือนจากภายนอก ดังนั้นกัลวานอมิเตอร์แบบนี้จึงควรใช้ในในที่ที่มีการสั่นน้อย หรือบนขาตั้งที่ป้องกันอาการสั่นได้

2.7.3 ชั้นที่สำหรับกัลวานอมิเตอร์

หากปล่อยให้กระแสที่ต้องการวัดซึ่งเรายังไม่ทราบขนาดของมันไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์โดยตรง อาจทำให้กัลวานอมิเตอร์เสียหายเนื่องจากกระแสมากเกินไปได้ ดังนั้น เมื่อใช้กัลวานอมิเตอร์จะต้องใช้ชั้นที่ประกอบด้วยเสมอเพื่อมิให้กระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ในขณะแรก แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มค่าของกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ให้มากขึ้น ชั้นที่ที่จะใช้เพื่อจุดประสงค์นี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า กัลวานอมิเตอร์ชั้นที่ แบบธรรมดาที่สุดของชั้นที่ชนิดนี้แสดงไว้ในรูป 2.10 เมื่อต่อชั้นที่ที่มีความต้านทาน R_s ขนานเข้ากับกัลวานอมิเตอร์ซึ่งมีความต้านทาน R_g ดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ต้องการวัด I กับกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ I_g จะเป็นดังนี้

$$I = m I_g$$

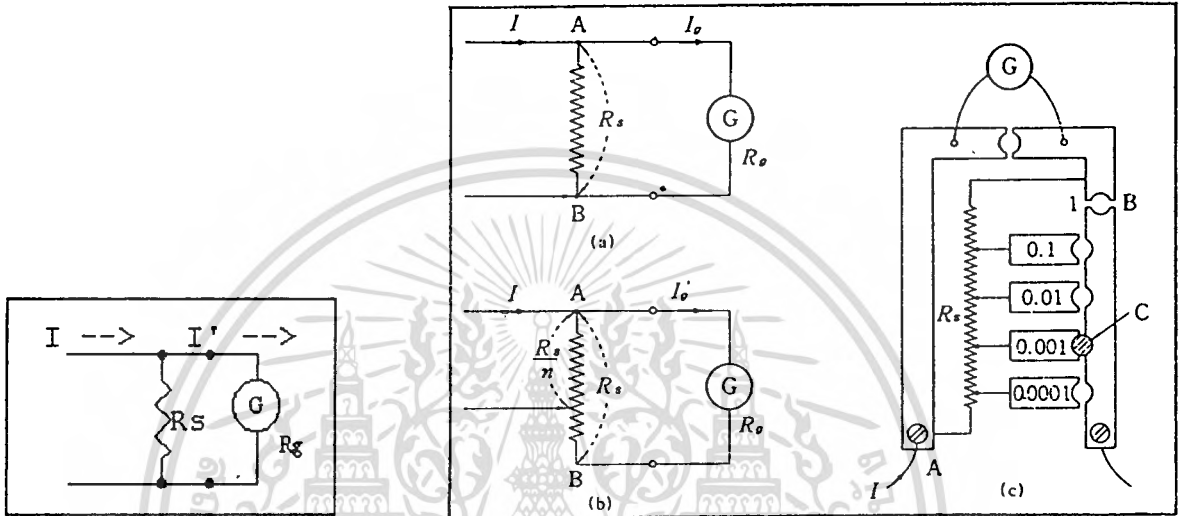
โดยที่

$$m = R_g + R_s / R_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m ในสมการ เรียกว่าตัวคูณขยายของชั้นท์

ชั้นท์ R_s ในรูป (2.10) จะก่อให้เกิดอาการหน่วงแรงขึ้นแก่กัลวานอมิเตอร์เช่นเดียวกับการใช้ความต้านทานหน่วงแรง R_d ต่อภายนอกดังในรูป 2.8 ถ้าเพิ่มค่า R_s ขึ้นเพื่อลดค่าตัวคูณขยาย อาการหน่วงแรงก็จะอ่อนลงไปจนอาจทำให้กัลวานอมิเตอร์เกิดอาการกวัดแกว่ง (oscillatory) ขึ้นได้แม้ว่าในตอนแรกมันจะอยู่ในสภาพของการหน่วงพอดีแล้วก็ตาม



รูป 2.10 ชั้นท์ของกัลวานอมิเตอร์

รูป 2.11 a), b), c) ชั้นท์แบบยูนิเวอร์แซล

เพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์นี้ เราจึงให้กระแสที่ต้องการวัด I ไหลผ่านวงจรแต่ละวงดังแสดงในรูปโดยให้ค่าของกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์เป็น I_g และ I_g' ตามลำดับ ค่าของกระแสสองจำนวนนั้นจะมีค่าเป็นดังนี้

$$I_g = \left\{ \frac{R_s}{R_g + R_s} \right\} I$$

$$I_g' = \left\{ \frac{R_s/n}{R_g + (R_s/n) + (R_s/n)} \right\} I$$

$$= \left\{ \frac{R_s/n}{R_g + R_s} \right\} I$$

เพราะฉะนั้น

$$I_g' : I_g = 1 : n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความสัมพันธ์ข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อความต้านทานทางออกของวงจรที่ใช้วัดมีค่าสูง เราจะสามารถเปลี่ยนค่าตัวคูณขยายได้โดยการเปลี่ยนค่าของ n ซึ่งจะทำให้สภาพการหน่วงแรงของกัลวานอมิเตอร์เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยและไม่ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของกัลวานอมิเตอร์ด้วย กัลวานอมิเตอร์ชนิดนี้เรียกว่า ชนิดแบบยูนิเวอร์แซล (universal shunt) รูป 2.11 (c) แสดงถึงตัวอย่างของรูปแบบของชนิดแบบยูนิเวอร์แซล โดยการใช้หมุดเสียบที่แสดงไว้ด้วยลายเส้นทะแยงในรูปเราสามารถเปลี่ยนค่าของ n ได้ถึง 5 ชั้น ในรูปนี้แสดงถึงตำแหน่งของหมุดเสียบสำหรับค่า $n = 0.001$

2.8 แอมมิเตอร์และโวลท์มิเตอร์กระแสลับ

เครื่องวัดชนิดคอยล์หมุนนั้นไม่สามารถใช้วัดไฟฟ้ากระแสลับได้ แต่เนื่องจากมันมีความไวสูงและสิ้นเปลืองกำลังน้อย จึงได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้เครื่องวัดชนิดคอยล์หมุนซึ่งบ่งได้ เครื่องวัดชนิดเรกติไฟเออร์ (rectifier type) ชนิดหลอดสุญญากาศ (vacuum-tube type) และชนิดเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric type) คือตัวอย่างของเครื่องวัดที่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้ นอกจากนี้ ยังมีแอมมิเตอร์และโวลท์มิเตอร์อีกหลายชนิดที่ให้แรงบิดจับด้วยหลักการที่แตกต่างออกไป จากหลักการของเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุน ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ (moving-iron type) ชนิดอิเล็กโทรไดนามมิเตอร์ (electrodynamometer type) ชนิดเหนี่ยวนำ (induction type) และชนิดไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic type) เป็นต้น ในหมู่เครื่องวัดเหล่านี้ ชนิดหลอดสุญญากาศเป็นเครื่องวัดที่ใช้ได้สะดวกมากที่สุดในระยะหลัง ๆ นี้ โดยการใช้สารกึ่งตัวนำ (semiconductors) แทนหลอดสุญญากาศร่วมกับวงจรขยายและอื่น ๆ ในบทนี้จะอธิบายถึงแต่แอมมิเตอร์และโวลท์มิเตอร์กระแสลับชนิดต่าง ๆ ซึ่งนอกเหนือไปจากชนิดหลอดสุญญากาศ เพื่อเป็นการเตรียมที่จะเข้าถึงรายละเอียดภายหลัง ในเบื้องต้นนี้จะกล่าวถึงวิธีที่จะบ่งให้ทราบถึงขนาดของกระแสและแรงดันไฟฟ้าสลับโดยเครื่องวัดชนิดนี้

2.8.1 การบ่งให้ทราบถึงขนาดของกระแส และ แรงดันไฟฟ้าสลับ

หัวข้อที่จะอธิบายในตอนนี้ ให้ความหมายรวมทั้งสำหรับกระแสและแรงดันได้แทบทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อความสะดวกจะใช้กระแสเป็นตัวอย่างในการอธิบาย เว้นไว้แต่จะบ่งไว้โดยเฉพาะจึงจะหมายถึงแรงดัน

กระแสไฟฟ้าสลับ หมายถึง กระแสที่ขนาดและทิศทางของมันเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงนั้น ต้องซ้ำค่าและทิศทางเดิมตามจังหวะเวลาที่กำหนด (periodically) ปรากฏการณ์แห่งการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือ ที่เรียกว่ารูปคลื่น (wave forms) มีได้หลายแบบ ดังเช่นที่แสดงตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไร้ในรูป 2.12 (a) , (b) และ (c) เป็นต้น ดังนั้นเราจึงไม่สามารถบ่งให้ทราบถึงขนาดของมันได้ โดยง่ายเหมือนกับของกระแสตรง เราจึงกำหนดค่าขึ้นสามชนิดเพื่อไว้ใช้แสดงให้ทราบถึงขนาดของกระแส ไฟฟ้าสลับ ดังต่อไปนี้

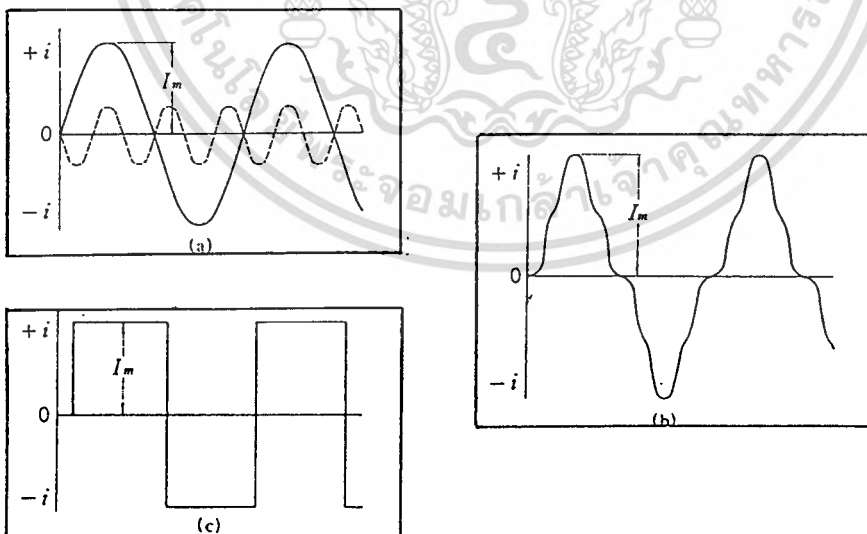
2.8.1.1 ค่ายอดคลื่น (Crest Value)

ค่ายอดคลื่น หมายถึง ค่าสูงสุดของขนาดของกระแสไฟฟ้าสลับ ซึ่งเป็นค่าที่ง่ายที่จะใช้บ่งให้ทราบ ดังแสดงด้วย I_m ในรูป 2.12 ความสามารถทนได้ของวัสดุฉนวนเมื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้าสลับขึ้นอยู่กับ ค่ายอดคลื่นของแรงดันที่ใช้

นอกจากนั้นค่ายอดคลื่นนี้มักใช้กันบ่อยในการแสดงถึงขนาดของสัญญาณ หรือสัญญาณรบกวน (noise) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

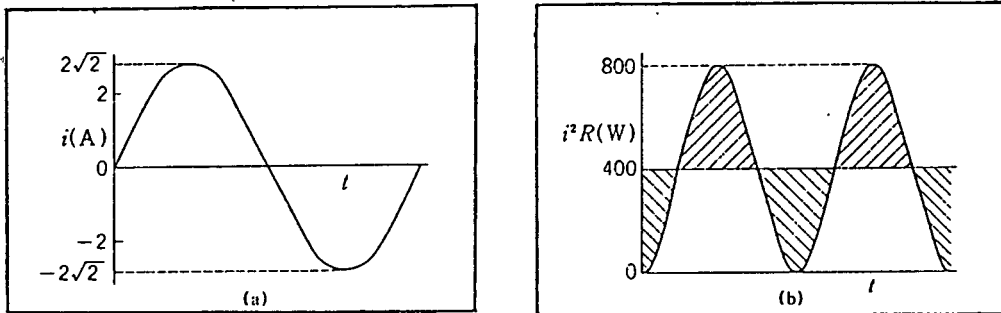
2.8.1.2 ค่าเฉลี่ย (Mean Value)

ค่าเฉลี่ย หมายความว่าถึง ค่าของความสูงที่เฉลี่ยภายในครึ่งช่วงเวลาครบรูป (half period) ของคลื่นกระแสสลับ เหตุผลที่ใช้ค่าเฉลี่ยเพียงครึ่งช่วงเวลาครบรูปก็เพราะถ้ากระแสมีรูปคลื่นเป็นอย่างเดียวกันทั้งทางด้านบวกและด้านลบ ดังในรูป 2.12 (b) แล้ว เมื่อเฉลี่ยค่าของความสูงของกระแสที่ออกไปเต็มช่วงเวลา ก็จะมีค่าเป็นศูนย์จากรูป 2.12 (c) จะเห็นได้ชัดว่าค่าเฉลี่ย I_a มีค่าเท่ากับ I_m แต่โดยทั่วไปแล้วค่าเฉลี่ยของกระแสสลับ จะ ได้มาจากการคำนวณซึ่งต้องใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูง



รูป 2.12 a), b), c) รูปคลื่นแบบต่างๆ ของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.13 a), b) รูปคลื่นแสดงค่าของกำลังไฟฟ้าทุกขณะและค่าเฉลี่ย

2.8.1.3 ค่าประสิทธิภาพผล (Effective หรือ RMS Value)

เมื่อไฟฟ้ากระแสตรง I ไหลผ่านความต้านทาน R จะเกิดการสิ้นเปลืองกำลังขึ้นในความต้านทานตัวนั้นมีค่าเท่ากับ $I^2 R$ ปรากฏการณ์เช่นนี้ ก็จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ นั่นคือ เมื่อมีกระแสสลับ i เป็นกระแสไฟฟ้าสลับที่มีคลื่นรูปไซน์ซึ่งมีค่ายอดคลื่น $I_m = 2\sqrt{2}$ A และ R มีค่าเท่ากับ 100Ω เมื่อคำนวณหาค่าทุกขณะ (instantaneous value) ของ $i^2 R$ แล้วนำไปเขียนกราฟจะได้รูปร่างดังแสดงในรูป 2.13 การสิ้นเปลืองกำลังจะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปไซน์ โดยมีช่วงเวลาครบรูปเป็นครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาครบรูปของกระแส และแตกต่างจากรูปคลื่นของกระแสที่มันมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นเมื่อเฉลี่ยค่า $i^2 R$ ออกไปภายในสองช่วงเวลาครบรูปของมัน หรือหนึ่งช่วงเวลาครบรูปของ i จะได้ค่าออกมา 400 วัตต์ ทั้งนี้เพราะพื้นที่ภายในเส้นโค้งทางด้านบนของเส้นตรง $i^2 R = 400$ W ซึ่งแรเงาด้วยลายเส้นทะแยงขึ้นทางขวา กับพื้นที่ภายในเส้นโค้งทางด้านล่าง ซึ่งแรเงาด้วยลายเส้นทะแยงลงทางขวามีค่าเท่ากันและหักล้างกันหมดไป ส่วนกระแสตรงที่จะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองกำลัง 400 วัตต์ เมื่อไหลผ่านความต้านทาน 100Ω ตัวเดียวกันนี้จะมีค่าเท่ากับ 2 A

จากตัวอย่างข้างบนนี้จะเห็นได้ว่า กระแสสลับรูปไซน์ที่มีค่ายอดคลื่น $2\sqrt{2}$ A เมื่อไหลผ่านความต้านทาน 100Ω จะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองกำลังโดยเฉลี่ยภายในหนึ่งช่วงเวลาครบรูปของกระแสเท่ากับกับกำลังที่สิ้นเปลืองกำลังที่เกิดขึ้นจากกระแสตรงไหลผ่านความต้านทานตัวเดียวกันนี้เราจึงกำหนดว่าค่าประสิทธิภาพผลของกระแสสลับในตัวอย่างนี้มีค่าเป็น 2 A อาจกล่าวสำหรับกรณีทั่ว ๆ ไปได้ว่า “เมื่อความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าที่เฉลี่ยภายในหนึ่งช่วงเวลาครบรูปของกระแสอันเกิดขึ้นเนื่องจากการสลับไฟฟ้าสลับ i ไหลผ่านความต้านทาน R มีค่าเท่ากับกำลังที่สิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าอันเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าตรง I ไหลผ่านความต้านทานตัวเดียวกันนั้นแล้ว ค่าประสิทธิผลของกระแสไฟฟ้าสลับ i จะมีค่าเท่ากับ I

ค่าสัมประสิทธิ์ผลของกระแสสลับที่มีรูปคลื่นต่าง ๆ ออกไป สามารถคำนวณหาได้โดยการ ใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูง เพื่อใช้ในการอ้างอิงได้รวบรวมค่าขอดคลื่น ค่าเฉลี่ย และค่าประสิทธิผลของ กระแสสลับที่มีรูปคลื่นต่าง ๆ

ตาราง 2.4 รูปคลื่นไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

รูปคลื่น	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าประสิทธิผล ผล
รูปไซน์	A	0.637 A	0.707 A
รูปสามเหลี่ยม	A	0.502 A	0.577A
รูปสี่เหลี่ยม	A	A	A

เอาไว้ในตาราง 2.4 ค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้าสลับ V คือค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยภายในหนึ่งช่วงเวลาครบรูปที่เกิดขึ้นที่ชั่วของความต้านทาน R เมื่อมีกระแสไฟฟ้าสลับ i ซึ่งมีค่าประสิทธิผล I ไหลผ่านความต้านทาน R ตัวนั้น

นอกเหนือไปจากค่าต่าง ๆ ที่กล่าวถึงมาแล้วบางครั้งเราก็ต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์รูปคลื่น (form factor) และสัมประสิทธิ์ขอดคลื่น (crest factor) ซึ่งให้ค่าจำกัดความไว้ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์รูปคลื่น} = \text{ค่าประสิทธิผล} / \text{ค่าเฉลี่ย} \quad (2.1)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ขอดคลื่น} = \text{ค่าขอดคลื่น} / \text{ค่าประสิทธิผล} \quad (2.2)$$

จากค่าจำกัดความดังกล่าวข้างต้น เราอาจแบ่งถึงรูปคลื่นกระแสสลับได้อย่างหยาบ ๆ โดยการ ใช้ค่าตัวเลขแทน เช่นในกรณีของคลื่นรูปไซน์

$$\text{สัมประสิทธิ์รูปคลื่น} = (I_m / \sqrt{2}) / ((2I_m) / 3.14)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ขอดคลื่น} = I_m / (I_m / \sqrt{2})$$

รูปคลื่นที่แสดงไว้ในรูป 2.12 (b) ได้มาจากการรวมคลื่นรูปไซน์ 2 คลื่น ที่แสดงไว้ด้วยเส้นเต็มและเส้นประในรูป (a) เรียกว่า คลื่นหลัก (fundamental wave) ของคลื่นบิดเบือน คลื่นรูปไซน์ที่นำมารวมเข้ากับคลื่นหลักและมีความถี่สูงกว่าความถี่ของคลื่นหลัก n เท่า ($n = 2, 3, 4,$

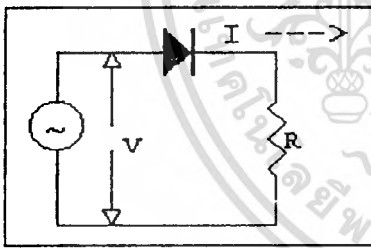
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.....) เรียกว่าคลื่นอันดับทวี (harmonic) ที่ n ตัวอย่างเช่นคลื่นที่แสดงได้ด้วยเส้นประในรูป (a) เป็นคลื่นอันดับทวีที่ 3 (third harmonic) ของคลื่นที่แสดงด้วยเส้นเต็ม เป็นต้น

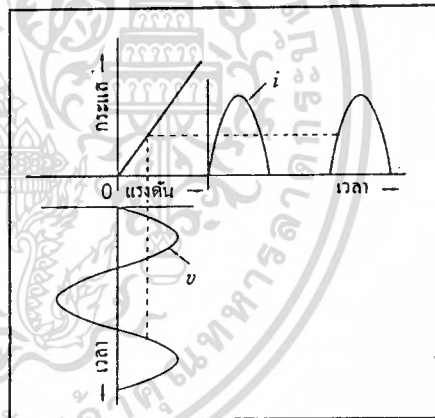
2.9 เครื่องวัดชนิดใช้เรกติฟายเออร์

เรกติฟายเออร์เป็นอุปกรณ์พิเศษชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อประยุคต์แรงดันไฟฟ้าเข้าไประหว่างขั้วของมันแล้วจะทำให้มีกระแสไหลผ่านไปทางเดียว การทำงานของเรกติฟายเออร์ดังนี้ เรียกว่าการเรียงกระแส (rectification) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนเรกติฟายเออร์เป็นดังที่แสดงไว้ในรูป 2.14 ซึ่งห้วงลูกศรหมายถึงทิศทางของแรงดันที่จะทำให้กระแสไหลได้โดยง่ายเรียกว่า และเรียกทิศทางนี้ว่า ทิศทางเดินหน้า (forward direction) ทิศทางที่กระแสไหลได้โดยยากเรียกว่าทิศทางสวนกลับ (reverse direction)

เรกติฟายเออร์ในอุดมคติ (ideal) จะต้องมีคุณลักษณะของกระแสกับแรงดันเป็นดังที่แสดงด้วยเส้นตรงหนักสองเส้นในรูป 2.15 เมื่อประยุคต์แรงดันไฟฟ้าสลับรูปไซน์ V เข้ากับเรกติฟายเออร์นี้ จะมีกระแส i ซึ่งเป็นปฏิภาคกับ V ไหลผ่านในระหว่างช่วงเวลาที่ค่าของ V เป็นบวก แต่จะไม่มีกระแสไหลในระหว่างช่วงเวลาที่ค่าของ V เป็นลบ



รูป 2.14 วงจรเรกติฟายเออร์



รูป 2.15 การทำงานของเรกติฟายเออร์ชนิดสมบูรณ์แบบ

เครื่องวัดที่อาศัยในการเรียงกระแสของเรกติฟายเออร์นี้ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการวัดให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน แล้วจึงชี้บ่งค่าด้วยเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุน เราเรียกว่า เครื่องวัดชนิดใช้เรกติฟายเออร์ (rectifier type instrument) เครื่องวัดชนิดใช้เรกติฟายเออร์เป็นเครื่องวัดที่มีความไวสูงที่สุดในหมู่เครื่องวัดกระแสสลับและกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปก็มีน้อย ดังนั้น จึงนำไปใช้เป็นหน่วยชี้บ่งในเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้ไม่รวมถึงเครื่องวัดประเภทนำติดตัวไปได้ (portable instrument)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 แอมมิเตอร์ และ โวลต์มิเตอร์

รูปแบบขั้นมูลฐานก็คงเป็นเช่นเดียวกันกับของเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุน รูป 2.16 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างวงจรของโวลต์มิเตอร์ชนิดนี้ และเครื่องวัดชนิดนี้แบบที่มีความไวสูงโดยมีค่าสเกลสูงสุด $50 \mu A$ สำหรับแอมมิเตอร์และประมาณ 3 V สำหรับโวลต์มิเตอร์ก็ยังมี

2.10.1 คุณลักษณะของการทำงาน

2.10.1.1 ผลเนื่องจากอุณหภูมิ

นอกเหนือไปจากคุณสมบัติทางอุณหภูมิของตัวเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุนเองแล้วอุณหภูมิ ของตัวเรกติฟายเออร์ซึ่งทำด้วยสารกึ่งตัวนำยังมีผลต่อเครื่องวัดยิ่งกว่า เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มันจะเพิ่มค่าของกระแสสวนกลับขึ้น และลดค่าความต้านทานในทิศทางเดินหน้าลง

แอมมิเตอร์หรือโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานอนุกรมสูง จะมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบต่อกระแสสวนกลับ อย่างไรก็ตามสำหรับโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานอนุกรมต่ำ ซึ่งใช้สำหรับวัดแรงดันต่ำจะได้รับผลกระทบกระเทือนจากความต้านทานในทิศทางเดินหน้าของเรกติฟายเออร์ยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากผลที่ได้รับนี้ทำหน้าที่ชดเชยผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสสวนกลับโวลต์มิเตอร์แบบนี้จึงมีคุณลักษณะทางอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

2.10.1.2 ผลเนื่องจากรูปคลื่น

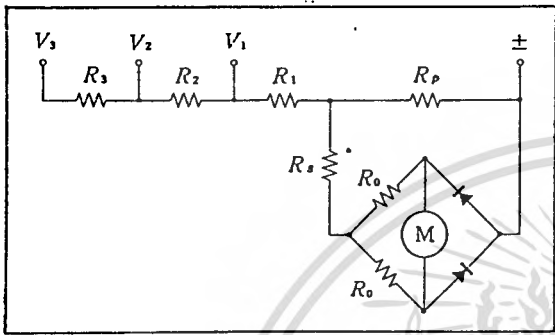
เครื่องวัดชนิดเรกติฟายเออร์เป็นเครื่องวัดที่ขึ้นตามค่าเฉลี่ย แต่ถูกปรับเทียบให้อ่านเป็นค่าประสิทธิผลของคลื่นรูปไซน์ ดังนั้นถ้านำไปใช้วัดกระแสสลับที่มีรูปคลื่นบิดเบือนหรือกระแสสลับที่มีกระแสตรงปนอยู่ด้วย หรือรูปคลื่นอื่น ๆ ที่ แตกต่างไปจากคลื่นรูปไซน์ ก็อาจจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้มากเกินคาด เช่นในกรณีที่คลื่นบิดเบือนมีความถี่อันดับทวีที่ 3 ประกอบอยู่ 10 % จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึง 3.3 % นี่จึงเป็นข้อที่ควรระมัดระวังในการใช้เครื่องวัดชนิดนี้

2.10.1.3 คุณลักษณะทางความถี่

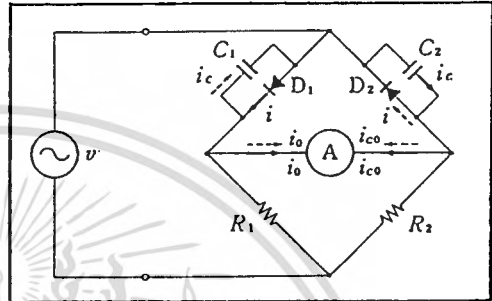
เครื่องวัดชนิดใช้เรกติฟายเออร์สามารถใช้ได้แม้กับความถี่ที่ค่อนข้างสูง โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ดี เรกติฟายเออร์ทุกตัวย่อมมีค่าคาปาซิแตนซ์ขนานอยู่ในตัวของมันเอง ดังแสดงในรูป 2.17 ที่ความถี่สูง ๆ ถ้ากระแสเดินหน้าไหลผ่านเรกติฟายเออร์ D1 ดังในรูป D2 จะได้รับแรงดันสวนกลับและจะมีกระแสสวนกลับ i_c ไหลผ่านคาปาซิแตนซ์ขนาน C2 ของ D2 ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์จะมีกระแส I_{c0} ไหลสวนทางกับกระแส i_0 ซึ่งผ่านมาจาก D1 ปรากฏการณ์ดังที่กล่าวข้างต้นนี้แสดงด้วยลูกศรที่เป็นเส้นเต็มในรูป 3.6 เมื่อเฟสของแรงดันที่ต้องการวัดเปลี่ยนกลับข้างกระแสเดินหน้า i จะไหลผ่าน D2 และมีกระแส i_c ไหลผ่านคาปาซิแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการ C_1 ของ D_1 ดังนั้นในแอมมิเตอร์จะมีกระแส i_{co} ไหลสวนทางกับกระแส i_o เช่นเดียวกันกับในตอนแรก ดังแสดงด้วยลูกศรเส้นประในรูป 2.17 ด้วยเหตุนี้การชั่งของแอมมิเตอร์ที่ความถี่สูงจึงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับการชั่งที่ความถี่ต่ำซึ่งกระแส i_c มีค่าน้อยจนละทิ้งเสียได้



รูป 2.16 วงจรที่มีมอเตอร์ชนิดใช้เรกติฟายเออร์



รูป 2.17 แสดงถึงผลของคาปาซิเตอร์บนจำนวนของเรกติฟายเออร์

เรกติฟายเออร์ชนิดออกไซด์ของทองแดง ซึ่งเป็นที่ใช้กันแพร่หลายมากกว่าเรกติฟายเออร์ชนิดเจอร์มาเนียม มีค่าคาปาซิแตนซ์ขบวนการค่อนข้างสูง ดังนั้นขีดจำกัดสูงสุดของความถี่ที่ใช้งานของเครื่องวัดแบบที่ใช้เรกติฟายเออร์ชนิดออกไซด์ของทองแดง จึงมีเพียงไม่กี่พันเฮิรตซ์ และที่ใช้เรกติฟายเออร์ชนิดเจอร์มาเนียมจะใช้ได้ถึงความถี่ประมาณ 1 เมกกะเฮิรตซ์

2.10.1.4 ผลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ

ในเครื่องวัดที่ใช้เรกติฟายเออร์ชนิดเจอร์มาเนียม จะต้องคำนึงถึงด้วยว่าถ้ามีวงจรรอสซิลเตอร์อยู่ในบริเวณใกล้เคียงแล้ว กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะถูกเรกติฟายไปด้วย และทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ หากเป็นเครื่องวัดที่ใช้วัดที่ความถี่ต่ำกว่าขอบเขตของความถี่เสียง (ประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์) เขาจะต่อคาปาซิเตอร์ขบวนการเข้าไปกับเรกติฟายเออร์โดยจงใจเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำโดยความถี่สูง จึงมีผลย้อนไปทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังแสดงในรูป 2.17 ขึ้น และทำให้คุณลักษณะทางความถี่ของเครื่องวัดนั้นเลวลง

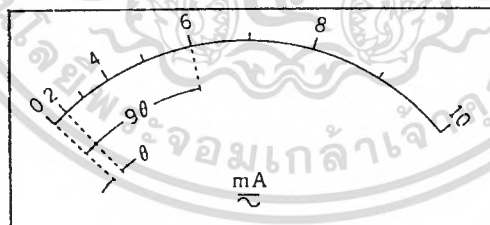
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ชนิดแอมมิเตอร์และโวลท์มิเตอร์

แอมมิเตอร์ชนิดเซอร์โมคัปเปิลที่มีใช้กันอยู่มีค่าสเกลสูงสุดตั้งแต่ 5 mA ถึง 1 A หรือประมาณนั้น ใช้ลวดให้ความร้อนเส้นเล็กมากและมีขนาดสั้นและทำด้วยลวดด้านทานจำเพาะสูง ไม่เปลี่ยนค่าความต้านทานมากนัก จึงชี้บ่งค่าเหมือนกันในย่านตั้งแต่กระแสตรงไปจนถึงความถี่วิทยุ ดังนั้นแอมมิเตอร์ชนิดนี้จึงสามารถใช้วัดได้ทั้งกระแสไฟฟ้าสลับ ตั้งแต่ ขึ้นไปจนถึง หรือประมาณนั้น

ส่วนโวลท์มิเตอร์ชนิดเซอร์โมคัปเปิลนั้นมีตัวต้านทานชนิดพิเศษทำด้วยฟิล์มของคาร์บอน (carbon film) ต่อเป็นอนุกรมอยู่กับเซอร์โมคัปเปิลแบบสูญญากาศซึ่งมีพิกัดของกระแสของลวดให้ความร้อนประมาณ 10mA มิเตอร์ชนิดนี้มีค่าสเกลสูงสุดระหว่าง 10 ถึง 15V และสามารถใช้วัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้าตรง และสลับตั้งแต่ 3Hz ถึง 100kHz หรือประมาณนั้น

ลวดให้ความร้อนของเซอร์โมคัปเปิลแบบสูญญากาศ ทั้งของแอมมิเตอร์และ โวลท์มิเตอร์ชนิดนี้มีจุดอ่อนต่อการใช้กระแสเกินขนาด ควรทราบไว้ด้วยว่าลวดให้ความร้อนอาจไหม้จนขาดได้ถ้าปล่อยให้กระแสผ่านประมาณสองเท่าของพิกัดของมัน สเกลของแอมมิเตอร์หรือโวลท์มิเตอร์ชนิดเซอร์โมคัปเปิลนี้ ถูกกำหนดช่วงแบ่งให้เป็นปฏิกากับกำลังสองของค่าของกระแสหรือแรงดันเพราะแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนของเซอร์โมคัปเปิลเป็นปฏิกากับกำลังสองของกระแสที่ไหลผ่านลวดให้ความร้อน สเกลแบบนี้เป็นดังที่เขียนไว้ในรูป 2.18 และเรียกว่าสเกลกำลังสอง (square scale)



รูป 2.18 สเกลของเครื่องวัดชนิดเซอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2.1 เครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

ในเครื่องวัดชนิดใช้เรกติฟายเออร์หรือชนิดเซอร์โวมัลทิเพล็กซ์ ดังที่ได้อธิบายมาแล้วกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าสลับที่ต้องการวัด ได้ถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าตรงเสียก่อนแล้วจึงวัดด้วยเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง แต่เครื่องวัดที่จะกล่าวถึงตั้งแต่หัวข้อ 2.8 นี้ไปจนถึงหัวข้อ 2.12 เป็นเครื่องวัดที่ได้รับแรงบิตซ์มาจากกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าสลับที่ต้องการวัดโดยตรง

ในเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ กระแสที่ต้องการวัดจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านคอยล์ซึ่งยึดติดอยู่กับที่ และทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น แผ่นเหล็กซึ่งวางเอาไว้ในสนามแม่เหล็กก็จะได้รับแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force) เครื่องวัดชนิดนี้จึงมีโครงสร้างแบบง่าย ๆ แข็งแรง และราคาถูก จึงเป็นที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการวัดแบบมุมกว้างได้

2.10.2.2 แอมมิเตอร์และโวลท์มิเตอร์ชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

เนื่องจากเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ ไม่ต้องการกระแสให้ไหลผ่านส่วนที่เคลื่อนไหวดังนั้นแอมมิเตอร์แบบนี้จึงอาจสร้างให้มีค่าสเกลสูงสุดได้ตั้งแต่ประมาณ 20mA ถึงประมาณ 100A ถ้าหากพยายามทำให้มีค่าสเกลสูงสุดต่ำกว่านี้ ก็จะต้องเพิ่มจำนวนรอบของคอยล์ขึ้นซึ่งจะทำให้ความต้านทานของ ขดลวดเพิ่มขึ้นจนอาจถึงขนาดที่ไม่เหมาะสมที่จะเป็นแอมมิเตอร์ได้

ส่วนโวลท์มิเตอร์นั้นทำขึ้นโดยการต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับคอยล์อยู่กับที่โวลท์มิเตอร์ชนิดนี้ส่วนมากมีค่าสเกลสูงสุดตั้งแต่ 15 จนถึง 600 โวลท์หรือประมาณนั้น

2.10.2.2.1 คุณลักษณะ

คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่มีดังต่อไปนี้

(ก) ผลเนื่องจากสนามแม่เหล็กภายนอก

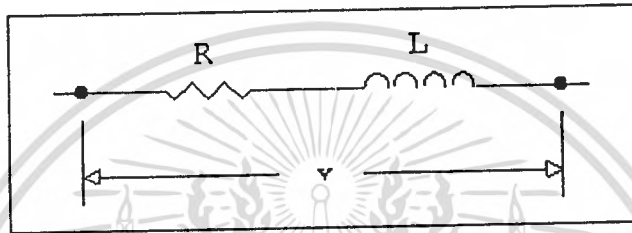
เนื่องจากคอยล์ไม่สามารถทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่แรงมากได้ สนามแม่เหล็กจากภายนอกจึงอาจเข้าไปทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ เพื่อเป็นการป้องกันผลอันนี้จึงต้องบรรจุคอยล์ทั้งอันไว้ในกล่องเหล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันสนามแม่เหล็กจากภายนอก

(ข) ผลเนื่องจากความถี่

ในกรณีของแอมมิเตอร์ ถ้าความถี่ของกระแสที่ต้องการวัดมีค่าสูง กระแสวนเวียนซึ่งเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นโลหะที่อยู่ใกล้ชิดกับคอยล์อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กของคอยล์จะมีปริมาณมาก

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสวนเวียนจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ขึ้นได้เพราะว่ามันจะทำให้สนามแม่เหล็กที่กระทำต่อแผ่นเหล็กของเครื่องวัดอ่อนกำลังลงกว่าในกรณีที่ไม่มีกระแสวนเวียน

ในกรณีของโวลท์มิเตอร์ ถ้าความถี่ของแรงดันที่ต้องการวัดนั้นสูง การเปลี่ยนค่าของกระแสในคอยล์อื่นเนื่องมาจากอินดักแตนซ์ของคอยล์จะมีผลมากยิ่งขึ้นกว่าผลจากกระแสวนเวียนเพื่อความง่ายในการอธิบายจึงขอสมมติว่า วงจรของโวลท์มิเตอร์ประกอบด้วยอินดักแตนซ์ L ของคอยล์และความต้านทานอนุกรม R ดังในรูป 2.19 ในกรณีที่แรงดันที่ต้องการวัดเป็นแรงดันสลับคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ f และค่าประสิทธิผล V อิมพีแดนซ์ Z ของวงจรนี้จะมีค่าเป็น*



รูป 2.19 อิมพีแดนซ์ภายในของเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

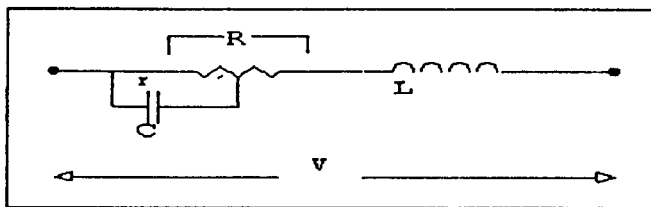
$$Z = R + j2\pi fL$$

$$= R \sqrt{1 + (2 \cdot 3.14 \cdot f \cdot L/R)^2} \angle \tan^{-1} 2 \cdot 3.14 \cdot f \cdot L/R$$

ค่าสัมประสิทธิ์ผลของกระแสที่ไหลผ่านคอยล์แทนด้วย I ดังนั้นขนาดของ I จะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$I = V/R \sqrt{1 + (2 \cdot 3.14 \cdot f \cdot L/R)^2}$$

ดังนั้นในกรณีนี้ค่าของ I จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากสมการ แนวโน้มเช่นนี้ทำให้สังเกตเห็นได้ว่าความถี่มีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ภายในของโวลท์มิเตอร์ คราวนี้ถ้าเราต่อกอนเดนเซอร์คร่อมบางส่วนของความต้านทานอนุกรม ดังในรูป 2.20 เพื่อที่จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ภายในของโวลท์มิเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ค่าอิมพีแดนซ์ภายในของโวลท์มิเตอร์ตามรูป 2.20 จะเขียนสมการได้ดังนี้



รูป 2.20 การหาค่าของอิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรม R-L ที่มีตัวเก็บประจุ C ต่อขนานกับตัวต้านทาน r

$$Z = R + r + j2\pi fL + 1/(1/r + j*2*3.14*f*C)$$

$$= R + r + j2\pi fL + r/(1/r + j*2*3.14*f*C)$$

ในที่นี้ถ้า $2\pi fCr \ll 1$ ค่าของ $(2\pi fCr)^2$ เล็กน้อยเมื่อเทียบกับ 1 เราจะได้

$$1 - j2\pi fCr$$

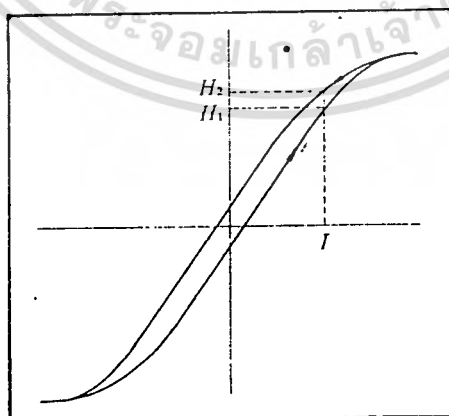
เพราะฉะนั้นค่าของ Z จะเขียนได้เป็น

$$Z = R + j2\pi f(L - Cr^2)$$

ดังนั้นถ้าเลือกใช้ค่าของ C ให้ได้ความสัมพันธ์ $L = Cr^2$ เราจะได้

$$Z = R$$

ซึ่งหมายความว่า Z และ I จะเปลี่ยนค่าเพียงเล็กน้อย เมื่อความถี่เปลี่ยนไป



รูป 2.21 ผลของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ผดเนื่องจากฮิสเทอรีซิสของแม่เหล็ก

โดยหลักการแล้วเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่สามารถใช้วัดได้ทั้งกระแสสลับและกระแสตรงเช่นเดียวกับเครื่องวัดชนิดเรอร์โมคัปเปิล แต่ในกรณีของการวัดกระแสตรงจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเพราะสภาพการเป็นแม่เหล็กของแผ่นเหล็กจะเปลี่ยนไปเนื่องจากการสูญเสียกำลังในฮิสเทอรีซิส (hysteresis loss) ของแผ่นเหล็ก เมื่อกระแสในคอยล์เพิ่มขึ้นและลดลงจึงแสดงในรูป 2.21 ด้วยเหตุนี้จึงมักไม่ใช้เครื่องวัดชนิดนี้ในการวัดกระแสตรงอย่างไรก็ตามในระยะหลัง ๆ นี้ เครื่องวัดบางเครื่องได้ใช้แผ่นเหล็กที่มีห้วงฮิสเทอรีซิสแคบ ๆ มาสร้างจึงสามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้มากพอที่จะนำไปใช้วัดไฟฟ้ากระแสตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การแปลงสัญญาณ

ค่า RMS นั้นคือค่าที่ถูกใช้ในการแสดงปริมาณของแรงดันกระแสสลับ ทั้งปริมาณกระแส และ แรงดัน ไม่ว่าสัญญาณนั้นจะมีรูปร่างแบบใด “ ค่า RMS นั้นก็คือค่าแรงดัน หรือกระแส ทางไฟตรง ซึ่งสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่โหลดที่เป็นค่าความต้านทานบริสุทธิ์ได้เท่ากับความร้อน ที่เกิดจากการป้อนสัญญาณนั้นๆ ให้แก่โหลดตัวเดียวหรือตัวที่เหมือนกัน” ยกตัวอย่างเช่น แรงดันไฟบ้านมีค่า 220 โวลท์RMS ก็หมายความว่าแรงดันเท่านี้สามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่โหลดได้เท่ากับ ความร้อนที่เกิดจากแรงดันไฟตรง 220 V

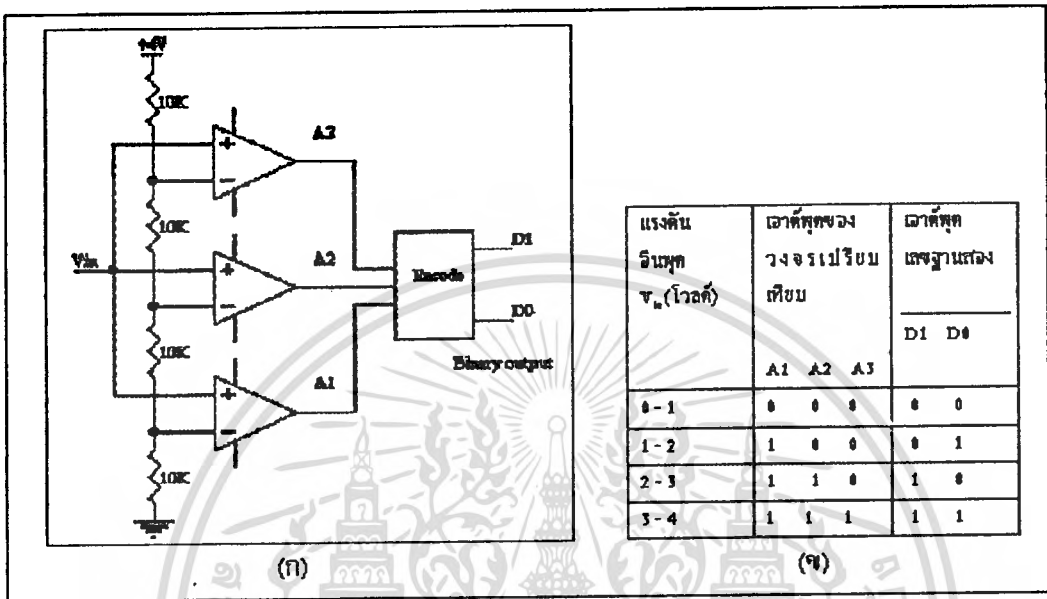
โดยทั่วไปเมื่อเราต้องการหาค่า RMS ของสัญญาณชานันบริสุทธิ์ ที่ความถี่ไม่มากนัก เช่น 50 เฮิรตซ์ ก็สามารถหาค่าได้ง่าย และมีความถูกต้องพอสมควร โดยใช้ะนาลอกหรือคิิจิตอล เอซีวัดเอาได้เลย แต่ถ้าสัญญาณมีลักษณะแตกต่างกันออกไปจากนี้ก็อาจมีปัญหาได้ เพราะมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (นอกจากจะระบุว่าสามารถวัดแบบ TRUE - RMS) จะได้รับการ “ปรับแต่ง” (CALIBRATE) ความถูกต้องไว้สำหรับคลื่นชานัน ซึ่งมี “ เครสต์แฟกเตอร์” (CREST FACTOR) เท่ากับ 2 เท่านั้น เครสต์แฟกเตอร์ คือ อัตราส่วนของค่าสูงสุด (PEAK VALUE) ต่อค่า RMS ของสัญญาณรายคาบนั้นๆ จึงเป็นไปได้ยาก ที่จะวัดค่าได้ถูกต้องเมื่อนำไปวัดสัญญาณรายคาบอื่นๆ ซึ่งมี เครสต์แฟกเตอร์ ที่แตกต่างกันออกไป ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 ค่าเครสต์แฟกเตอร์ของสัญญาณต่าง ๆ

Waveform	Peak factor	RMS value	Reading on	Error with
U _{peak} = 1V	U _{peak} / U _{rms}	(V) ,	Multimeter	Multimeter (%)
Sinusoidal	1.414	0.707	0.707	0
Triangular	1.73	0.508	0.555	-2
White noise	3	0.333	0.266	-20.2
Rectangular (d.f.t 1:1)	1	1.00	1.11	+11
Sawtooth (d.f.t 1:1)	2	0.495	0.354	-28

เอกสาร (d.f.t 1:1) ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วไปเมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับ (noninverting) มีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับ เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูง ดูได้จากตารางรูปที่ 3.1 ข. จะเข้าใจยิ่งขึ้นว่าที่แรงดันค่าต่างๆ มีผลต่อเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแต่ละตัวอย่างไร ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไป



รูป 3.1 (ก) แสดงการต่อวงจร parallel comparator A/D converter

(ข) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นอนาล็อกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล

จำนวนของวงจรเปรียบเทียบที่ต้องใช้ในวงจรขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอนาล็อกที่อินพุต

จากวงจรรูปที่ 3.1 ถ้าแรงดันอินพุตมีค่า 1 โวลต์ไม่เพียงพอที่จะทำให้วงจรเปรียบเทียบตัวใดให้ค่าเอาต์พุตเป็น "high"

ที่แรงดันระหว่าง 1 ถึง 2 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบที่มีระดับเทรชโฮลด์ (threshold) ต่ำสุด ก็จะให้เอาต์พุตเป็น "high"

แรงดัน 2-3 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบทั้ง A1 และ A2 ให้เอาต์พุตเป็น "high" ถ้าแรงดันอินพุตมากกว่า 3 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบก็จะให้เอาต์พุต "high" ทั้งหมด

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาจำนวนวงจรเปรียบเทียบได้จาก $2^N - 1$ เมื่อ N แทนจำนวนบิตหรือความละเอียดที่ต้องการจะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นของวงจรเอทุคิแบบนี้มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ เอาท์พุทที่ได้ไม่เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส

ข้อดีของวงจรเอทูดิแบบขนานนี้คือ ความเร็วสูง บางครั้งจึงเรียกววงจรเอทูดิแบบนี้ว่า "แฟลช" (flash type A/D converter) วงจรเอทูดิชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาทีทีเดียว

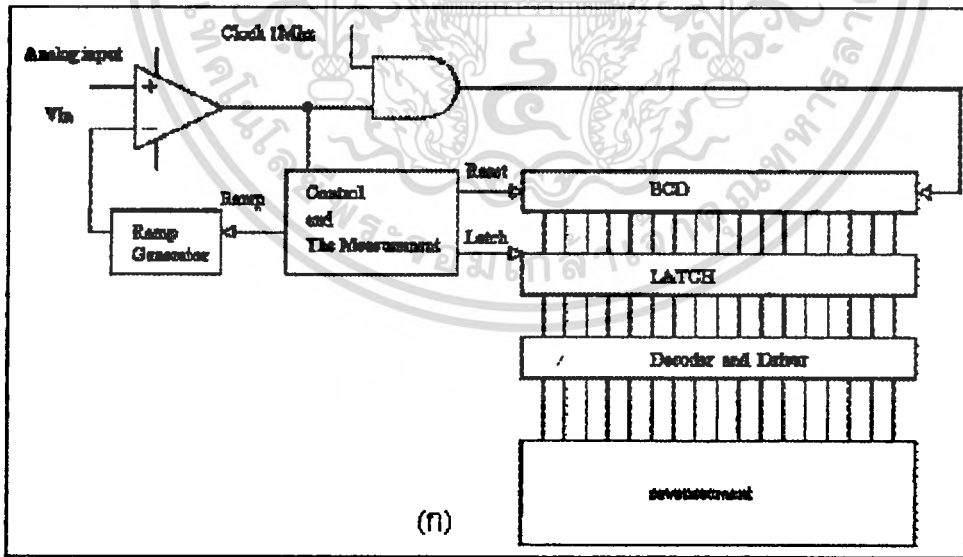
3.2.2 วงจรเอทูดิที่ใช้การอินทิเกรต

วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดิที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

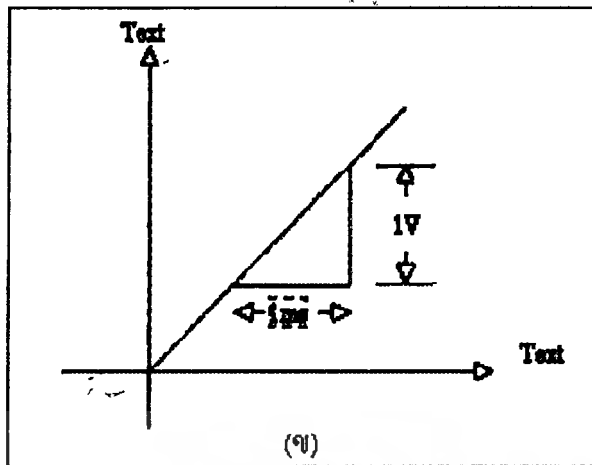
3.2.2.1 แบบสโตนปีเดียวหรือแบบแรมป์ (Single Ramp หรือ Single Slope A/D Converter)

วงจรเอทูดิแบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยวงจรถ้าเนคสัญญาณแรมป์ วงจรนับ BCD หรือนับเลขฐานสอง

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรมป์และวงจรถ้าเนคให้เป็น 0 แรงดันอนาล็อกถูกป้อนไปยังวงจรถ้าเนคที่ขาอินพุทแบบไม่กลับ เมื่อแรงดันอินพุทที่ขานี้เป็นบวกมากกว่าที่ขาอินพุทแบบกลับ วงจรถ้าเนคก็จะให้เอาต์พุทเป็นระดับ "high" ทำให้แอนด์เกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรถ้าเนคได้ และทำให้เริ่มเกิดสัญญาณแรมป์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกแบบสโตนไดโพลเดี่ยว
(ก) แสดงบิตออคโคอะแกรม (ข) ความชันของสัญญาณแรมป์

สัญญาณแรมป์มีแรงดันเป็นบวกขึ้นเรื่อย ๆ จนมากกว่า ระดับแรงดัน อินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับก็ตกลงมาเป็นระดับ “low” ปิดแอนด์เกตไม่มีสัญญาณผ่าน ไปให้วงจรนับ

วงจรมันจะหยุดนับและเก็บค่าไว้ที่วงจรแลตช์ จากนั้นจึงทำการรีเซ็ตวงจรมันและวงจรถูกกำเนิดสัญญาณแรมป์

สมมติให้สัญญาณนาฬิกามีความถี่ 1MHz วงจรมัน BCD 4 หลัก, แรงดันอินพุต V_{in} มีขนาด 2 โวลต์, สัญญาณแรมป์มีความชัน 1 V/ms ดังแสดงในรูป 3.2 ข.

จากจุดเริ่มต้นจนถึงแรงดันสูงสุด (2 โวลต์) สัญญาณแรมป์ใช้เวลา 2 ms หลังจากนั้นจึงปิดสัญญาณนาฬิกาที่ส่ง ไปให้วงจรมัน

ในช่วง 2 ms นี้ มีการส่งพัลส์ไปให้วงจรมันทำการนับถึง 200 ลูก เอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับมีระดับ “high” เป็นการส่งสัญญาณให้วงจรมันแลตช์ส่งค่าที่นับได้ไปยังภาคแสดงผลและเติมจุดทศนิยมที่ตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวแสดงผลได้เป็นค่า 2,000 ที่แรงดันอินพุต 2 โวลต์

วงจรมันลักษณะนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ ซึ่งถ้าใช้วงจรมันเลขฐานสองแทนแบบ BCD เอาท์พุตก็จะอ่านได้ค่าเลขฐานสองโดยตรง

วงจรมันลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณ (time to amplitude conversion) หรืออาจใช้ในดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณแรมป์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต ทำให้ไม่มีความถี่ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบสโตนไดโพลคู่ (dual-slope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังพิมพ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เชิงพาณิชย์หรือเพื่อการพาณิชย์ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 แบบสโลปคู่ (Dual-slope A/D converters)

รูปที่ 3.3 ก. แสดงบล็อกโคแอสแกรมของวงจรเอชดีแบบสโลปคู่ ซึ่งวงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโลปเดี่ยว แต่มีสวิตช์ที่อินพุตเพิ่มขึ้นเพื่อทำการเลือกกระแสด้านอินพุตกับแรงดันอ้างอิง (วงจรเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณอินพุตกลับกันกับแบบสโลปเดี่ยว)

ส่วนแรกของวงจรคือ วงจรกำเนิดสัญญาณแรมปีหรือวงจรอินทิเกรเตอร์นั่นเอง ที่อินพุตแบบกลับของออปแอมป์มีสภาพเป็นกราวด์เทียม (virtual ground) ถ้ามีแรงดันอินพุต 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 10 k เท่ากับ 0.2 mA ไปยังจุดรวม (summing point) เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุตของออปแอมป์นั้นสูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ

ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการชาร์จ (รับประจุ) แรงดันที่เอาต์พุตของออปแอมป์ก็จะยิ่งเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจึงได้เป็นสัญญาณแรมปีที่เป็นเชิงเส้น (linear ramp)

ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวก วงจรอินทิเกรเตอร์จะให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณแรมปีทางลบ ดังแสดงไว้ในช่วง t_1 รูปที่ 3.3 ข. หากแรงดันอินพุตเป็นลบก็จะทำให้เอาต์พุตได้แรมปีทางบวก

ความชันของสัญญาณแรมปี สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของประจุ $q = cv$ และ $q = It$ โดยจับสองสมการ

$$\Delta V / \Delta t = 1/C$$

เมื่อรู้ว่ากระแสเท่ากับ V_{in}/R เรารู้ว่า

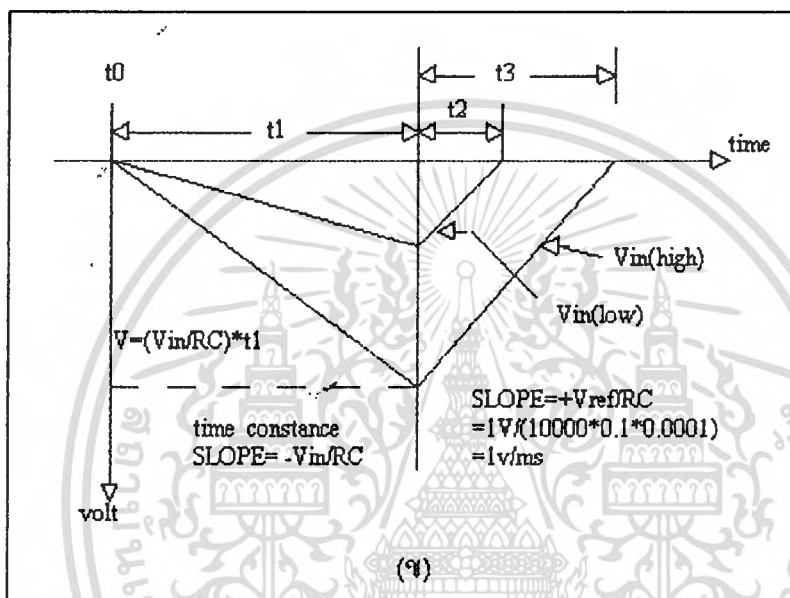
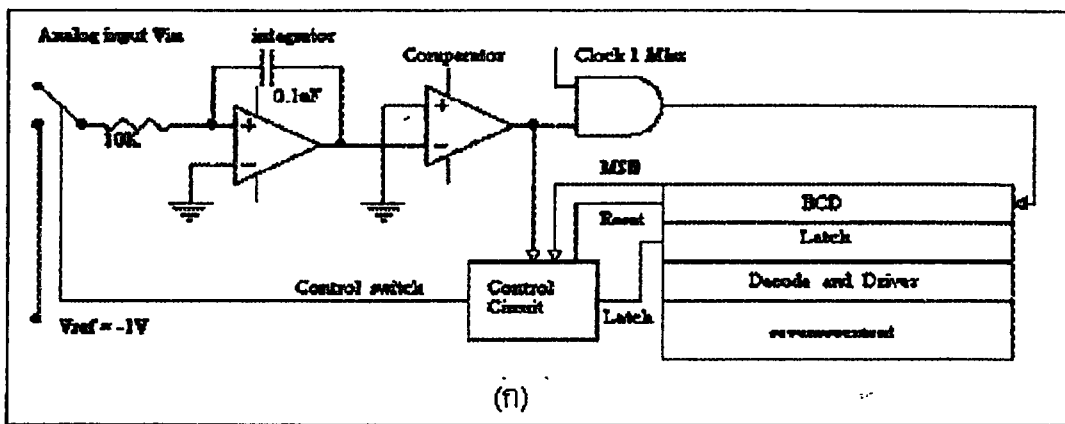
$$\Delta V / \Delta t = V_{in} / RC$$

จากรูปให้แรงดันอินพุต $+2$ โวลต์ ก็จะได้ความชันของสัญญาณแรมปีทางเอาต์พุต เท่ากับ -2 V/ms

จากวงจรในรูปที่ 3.3 อธิบายได้ว่า เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มีแรงดันบวกจากอินพุตป้อนเข้าสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ได้เอาต์พุตออกมาเป็นแรมปีทางลบ

วงจรเปรียบเทียบกับก็ได้แรงดันลบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ แล้วให้เอาต์พุตเป็นบวก ทำการเปิดแอนด์เกตให้สัญญาณนาฬิกาผ่านเข้าไปสู่วงจรมับ วงจรมับจะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คงที่ (t_2) แล้วทำการสับสวิตช์ต่อเข้ากันกับแรงดันอ้างอิง

ในช่วงที่วงจรมับด้วยค่าคงที่นั้น วงจรอินทิเกรตจะให้สัญญาณแรมปีทางลบที่มีค่าต่ำสุดตามแคระดับแรงดันอินพุต เมื่อทำการสวิตช์อินพุตของวงจรอินทิเกรตให้ไปที่แรงดันอ้างอิงค่าลบ เอาต์พุตของวงจรจึงได้เป็นแรมปีทางบวก คือ ช่วง t_2 รูปที่ 3.3 ข. พร้อมๆ กับรีเซ็ตค่าของวงจรมับลงเป็นศูนย์เพื่อเริ่มนับใหม่



รูป 3.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

(ก) แสดงบล็อกไดอะแกรม (ข) เวกเตอร์ของวงจรอินทิเกรเตอร์เมื่อเทียบกับเวลา

เมื่อเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงแรงดัน 0 อีกครั้ง เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับก็จะเป็นลบ (หรือเป็นศูนย์) วงจรควบคุมจัดการการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ส่งสัญญาณสไตรบให้วงจรนับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรแลตช์ จากนั้นจึงรีเซ็ตให้เป็นศูนย์แล้วทำการสวิตช์ให้อินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุต เป็นการเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณอีกรอบหนึ่งจำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ในวงจรแลตช์ก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต V_{in} สัญญาณเรมปีทางเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ในช่วงเวลาคงที่ จะลดลงสู่แรงดัน V ซึ่ง

$$V = (V_{in}/RC) * t_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้กลับไปสู่ระดับ 0 หน้าทีของวงจรมินิทีเกรเตอร์จึงต้องสร้างแรมป์ทั้งทางบวกและทางลบให้เพิ่มขึ้นเท่าๆ กันในช่วงเวลา t_2 (ที่เกิดจากแรงดันอินพุตอ้างอิง) แรงดัน V เท่ากับ

$$V = (V_{ref}/RC) * t_1$$

สูตรทั้งสอง สามารถจับมาเท่ากันได้เป็น

$$(V_{in}/RC) * t_1 = (V_{ref}/RC) * t_2$$

$$V_{in} * t_1 = V_{ref} * t_2$$

$$t_2 = V_{in} * (t_1 / V_{ref})$$

เห็นได้ว่า RC ปรากฏอยู่ทั้งสองข้างของสมการ จึงสามารถตัดทิ้งได้ หมายถึงว่า เมื่อช่วงเวลาอินทิเกรตอ้างอิงใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุค่าเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของทั้งสองนี้ก็จะไม่มีผลต่อความถูกต้องของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งเป็นข้อดีที่เหนือกว่าแบบสโลปเดียว (single slope) คือ ค่าที่ได้ไม่ขึ้นกับความถี่ของรอบการทำงานสมการท้ายสุดแสดงให้เห็นว่าเอาต์พุตของวงจรมินิทีในช่วงเวลา t_2 เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต V_{in} เมื่อ V_{REF} และ t_1 คงที่

จากวงจรในรูปที่ 3.3 ข t_1 เท่ากับ 1000 รอบ เมื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา 1 Mhz ($1 / 100 = 1$ ms) และ V_{REF} มีค่า -1 โวลต์

ถ้าสัญญาณอินพุตมีขนาด 2 โวลต์ จะได้ช่วงเวลา $t_2 = ((2V/1V) \times 1000) = 2000$ รอบ (รอบของการนับ) จุดทศนิยมที่อยู่ทางขวาทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ภาคแสดงผล 2.000

กราฟในรูป 3.3 ข. แสดงว่าเมื่อสัญญาณอินพุตน้อยกว่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง เช่น อินพุต 0.8 โวลต์ t_2 จะได้ $(0.8V/1V) \times 1000$ เท่ากับ 800 รอบ ก็จะอ่านค่าได้ 0.800 หลักการเช่นนี้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และเครื่องมืออื่นๆ อีกหลายชนิด

สรุปอีกครั้งได้ว่า แรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่าถูกป้อนเข้าไปในวงจรมินิทีเกรเตอร์เมื่อครบช่วงเวลา t_1 วงจรมินิทีเกรเตอร์ให้เป็น 0 อินพุตของวงจรมินิทีเกรเตอร์ก็จะถูกสวิตช์ต่อกลับมายังแรงดันอ้างอิง (ที่มีแรงดันคงที่) ให้ความชันของสัญญาณแรมป์คงที่เพิ่มค่าขึ้นไปจนถึงระดับ 0 ช่วงเวลา t_2 นี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณอินพุต ถ้าดูรูป 3.20 ข. อีกครั้ง พิจารณาช่วง t_1 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ t_1 และ t_2 ซึ่งความชันคงที่แล้วจะเข้าใจยิ่งขึ้น

ข้อดีของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบสโลปคู่นี้คือ ความถูกต้องสูง ราคาถูก เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ข้อเสียคือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนสัญญาณ 1 ครั้ง อาจใช้เวลาถึง 100 ms (ในขณะที่แบบ “แฟลช” ใช้เวลาประมาณ 30 ms)

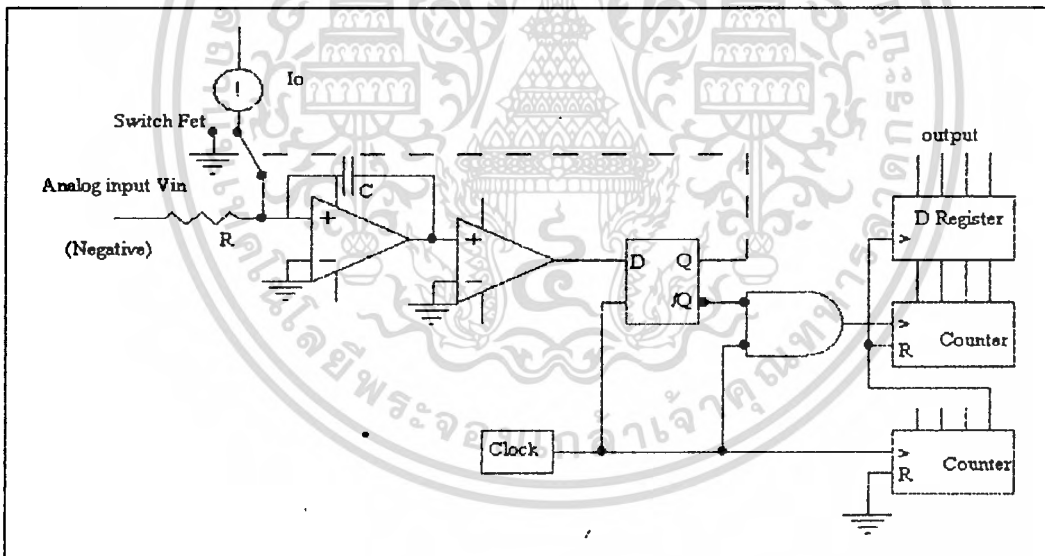
3.2.2.3 แบบซาร์จบาลานซ์ (Charge Balance A/D Converters)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซาร์จบาลานซ์ใช้วงจรสำคัญ คล้ายกับแบบสโโลปคู่ตนเอง แต่แทนที่จะให้อินพุตสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง ก็ทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาตรงๆ ที่จุดรวม (summing point) ของวงจรรินทีเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า

ประโยชน์ของเทคนิคนี้คือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรรินทีเกรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียง 0 V ดังนั้นจึงไม่เกิดความผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล เอชดีชนิดนี้ จึงมีความถูกต้องสูงกว่าแบบสโโลปคู่

3.2.2.4 แบบเดลต้า-ซิกม่า (Delta-Sigma A/D Converters)

จากวงจรรูปที่ 3.4 เมื่อแรงดันอินพุตป้อนเข้าไปที่วงจรรินทีเกรเตอร์ จะให้เอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เปรียบเทียบกับแรงดันคงที่ (จากรูป คือ กราวด์) พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำขึ้นจากเฟตจะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดรวมหรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรมันจะนับจำนวนพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน



รูป 3.4 วงจรเปลี่ยนแบบเดลต้า-ซิกม่า

3.2.2.5 ข้อสรุปของเอชดีแบบอินทีเกรตสัญญาณ

จุดสำคัญของอินทีเกรตติ้งเทคนิค คือ อินพุตที่ให้กับวงจรรินทีเกรเตอร์ต้องเป็นกระแส ไอซีคอนเวอร์เตอร์บางตัวอาจมีอินพุตให้สองขา แต่จะมีขาหนึ่งต่อตรงกับจุด summing point ใช้กับเอชดีแบบอินทีเกรตติ้งสัญญาณเพื่อการศึกษานี้ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้อินพุตเป็นกระแสก็ไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันออฟเซตของวงจรรีจิสเตอร์ แต่ถ้าหากใช้กับอินพุตที่เป็นแรงดัน (ที่ต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่เพื่อให้ได้เป็นกระแส) ต้องปรับออฟเซตของออปแอมป์เสียก่อน

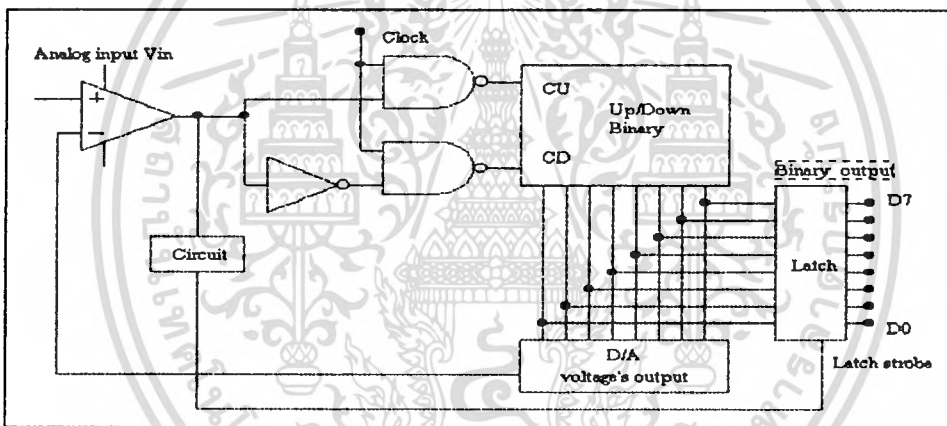
การใช้อินพุตเป็นกระแสทำให้ย่านการใช้งานทางไฟสลักกว้าง

ไอซีแบบชาร์จ-บาลานซ์ มักประกอบด้วยวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าหากต้องการเอาต์พุตเป็นความถี่ก็สามารถเลือกได้

3.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกที่ใช้วงจรรีจิสเตอร์และวงจรถูกูเอประกอบกัน

3.3.1 แบบวงจรรีจิสเตอร์เดี่ยว (Single-Counter)

แท่งที่จริงแล้วสัญญาณแรมป์เชิงเส้น (linear ramp) อาจประกอบขึ้นด้วยสัญญาณขั้นบันไดเล็กๆ จำนวนมากที่เกิดจากการต่อเอาต์พุตของวงจรรีจิสเตอร์เข้ากับวงจรถูกูเอ โดยขนาดของขั้นบันไดแต่ละขั้นขึ้นอยู่กับจำนวนบิตหรือความละเอียดของวงจรถูกูเอนั่นเอง



รูป 3.5 วงจรเอาต์พุตแบบวงจรรีจิสเตอร์เดี่ยวที่สร้างขึ้น โดยวงจรรีจิสเตอร์ และวงจรถูกูเอ

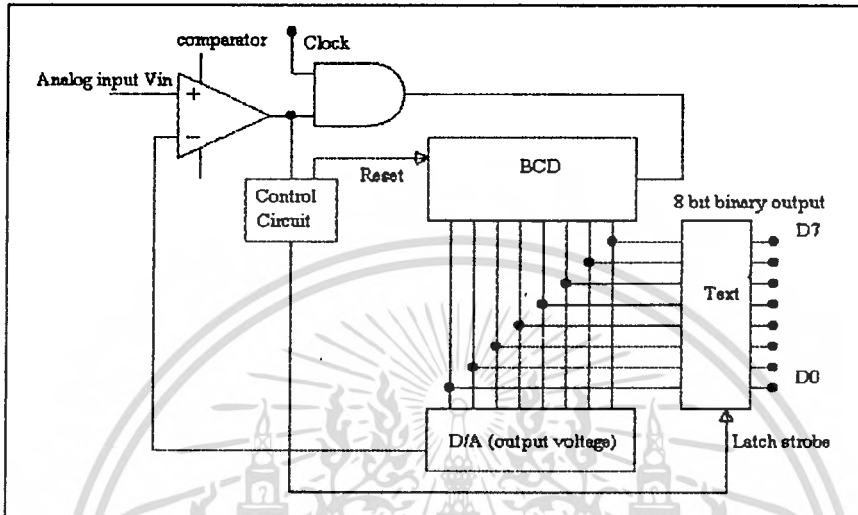
รูปที่ 3.5 แสดงการดำเนินสัญญาณแรมป์เดี่ยวด้วยวงจรรีจิสเตอร์ และวงจรถูกูเอ (แทนวงจรรีจิสเตอร์) เมื่อเริ่มแปลงสัญญาณวงจรรีจิสเตอร์จะถูกรีเซ็ต เอาต์พุตของวงจรถูกูเอมีระดับ 0 เมื่อแรงดันถูกป้อนเข้าไปยังอินพุตของวงจรถูกูเอเปรียบเทียบกับ เอาต์พุตก็จะขึ้นสู่ระดับ "high" และเปิดสัญญาณนาฬิกาไปสู่วงจรรีจิสเตอร์ แต่ละพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ทำให้เกิดการนับและเพิ่มแรงดันขึ้น 1 ขั้น

เมื่อเอาต์พุตของวงจรถูกูเอมีค่ามากกว่าอินพุต V_{in} เอาต์พุตของวงจรถูกูเอเปรียบเทียบกับก็จะกลายเป็น "low" ทำให้สัญญาณนาฬิกาไม่อาจผ่านไปยังวงจรรีจิสเตอร์ได้ ดังนั้นวงจรถูกูเอจะทำการแลตช์เอาต์พุตของวงจรรีจิสเตอร์และรีเซ็ตวงจรรีจิสเตอร์ให้เริ่มต้นรอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 แบบแทร็กกิ้ง (Tracking A/D Converter)

การทำงานจะคล้ายกับแบบใช้วงจรรนับเดียว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์ แต่จะทำการนับขึ้นหรือนับลงจากค่าล่าสุดไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ว่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่แล้ว ข้อดีของเอทูดิแบบแทร็กกิ้ง คือ ทำงานได้เร็ว



รูป 3.6 วงจรเอทูดิที่สร้างขึ้นจากวงจรรนับขึ้น/ลง และวงจรถิทูเอ

3.4 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดิแบบใช้การประมาณค่า (Successive Approximation A/D Converter)

วงจรเอทูดิแบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะความละเอียด n บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก ตัวอย่างเช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรรนับต้องใช้พัลส์ 256 ลูก วงจร SA (Successive-Approximation) นี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7 หัวใจของวงจรคือ successive approximation register (SAR) เช่น เบอร์ MC14549 ที่มีการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ พัลส์ลูกแรกจะทำการส่งบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไปยังดีทูดิเบอร์ MC1408 โดย SAR จะรอสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบ LM319 ซึ่งทำการตรวจสอบว่าเอาต์พุตของวงจรถิทูเอมากกว่าหรือน้อยกว่าแรงดันอินพุต V_{in} ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบมีระดับ "high" เอาต์พุตของดีทูดิจะต่ำกว่า V_{in} -SAR จะทำการเก็บบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้ ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ "low" เอาต์พุตของดีทูดิจะยิ่งมากกว่า V_{in} -SAR จะทำการรีเซตบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้น

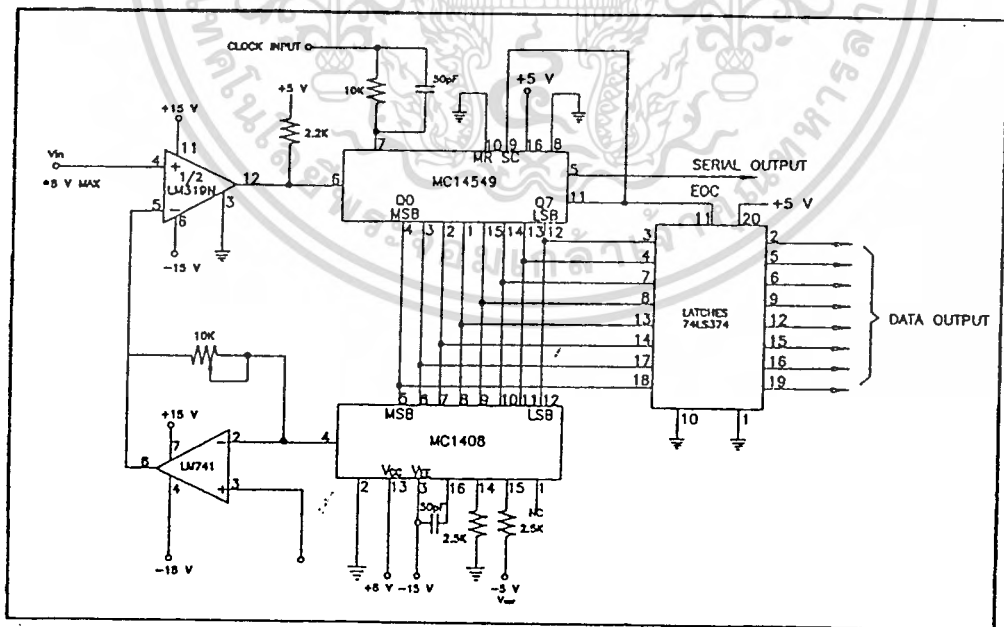
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ลูกต่อมาก็จะทำงานเช่นเดียวกัน โดยบิตที่ได้คือ บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา SAR ทำงานแบบนี้ไปจนถึงบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด แต่ละบิตใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวครบทุกบิตแล้ว SAR ก็ทำการส่งสัญญาณ EOC (end of conversion) ออกไป

สัญญาณ EOC เป็นตัวบอกว่าสายสัญญาณเอาท์พุตที่ขนานกันมาทุกเส้นมีข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอินพุตครบถ้วนแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังอินพุตที่เป็นจุดเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณ การเปลี่ยน สัญญาณก็จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง MC14549 ยังสามารถส่งเอาท์พุตดิจิทัลแบบอนุกรมได้อีกด้วย ขึ้นอยู่กับการควบคุม SAR

วงจรในรูปที่ 3.7 ใช้แรงดันอินพุตสูงสุด ± 5 โวลต์ อินพุตแบบ ไม่กลับของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (current to voltage converter) ต่อเข้ากับ -5 โวลต์ แทนที่จะต่อลงกราวด์เป็นการยกกระดับแรงดันอนาล็อกจาก -5 โวลต์ ถึง $+5$ โวลต์ แทน 0 ถึง 10 โวลต์ สัญญาณไฟสลักรูปขานจึงสามารถต่อโดยตรงเข้ากับอินพุตของเอชดีวีงจรนี้ได้

วงจรแปลงเอชดีวีงจรนี้มีความเร็วสูง และความละเอียดสูงจึงเป็นวงจรถิ่นนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย



รูป 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอชดีวีงจรแบบ successive approximation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 เปรียบเทียบ A/D ชนิดต่าง ๆ

ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
1. แบบใช้วงจร เปรียบเทียบ แบบขนาน หรือ "แฟลช"	* มีความเร็วสูง ใช้เวลาใน การแปลง A/D ในระดับนาโน วินาที	* มีความละเอียดในการแปลง A/D ต่ำ
2. แบบใช้การอินที เกรต ☆ แบบสโลปเดี่ยวน หรือแบบแรมปี	* นำไปใช้ในการเปลี่ยนเวลา เป็นขนาดของสัญญาณ หรือ ใช้ในดิจิทัล โวลท์มิเตอร์	* ไม่สามารถใช้กับงานที่ต้องการ ความถูกต้องสูง
☆ แบบสโลปคู่ (ICL 7109)	* ความถูกต้องสูง * ราคาถูก * เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ	* มีความเร็วต่ำ
☆ แบบชาร์จบา ลานซ์	* มีความถูกต้องสูงกว่าแบบ สโลปคู่ * ไม่เกิดความผิดพลาดจากผล ของกระแสรั่วไหล	
3. แบบใช้วงจรนับ และวงจรถูกเอ ประกอบกัน ☆ แบบแทร็กกิ้ง	* ทำงานได้เร็ว	
4. แบบใช้การ ประมาณค่า	* มีความละเอียดสูง * มีความเร็วสูง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการวัดอุณหภูมิ

4.1 อุณหภูมิและมาตราวัดอุณหภูมิ

หน่วยวัดและมาตราวัดอุณหภูมิ(TEMPERATURE UNITS AND TEMPERATURE SCALES)

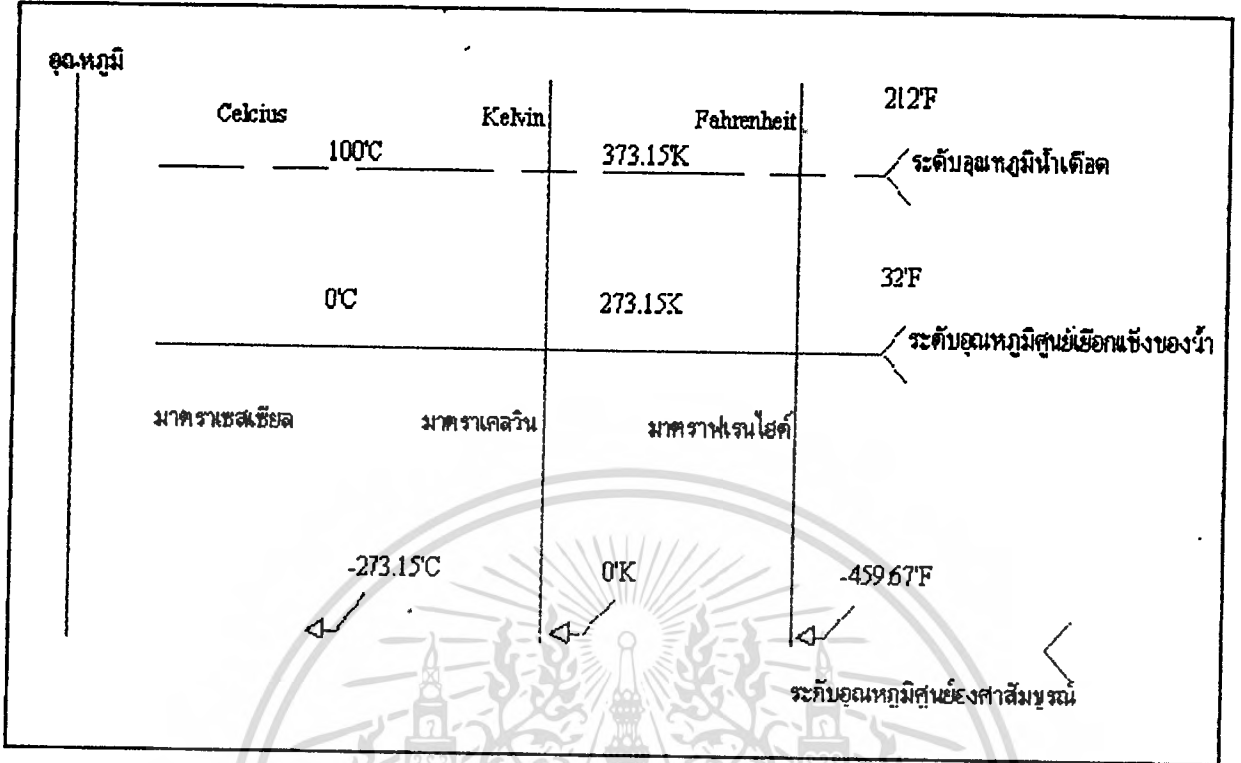
อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานที่สำคัญที่สุดหนึ่งค่าในอุตสาหกรรม หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยด้วยกันที่สำคัญคือ เซลเซียส (CELCIUS) เคลวิน (KELVIN) ฟาเรนไฮต์(FAHRENHEIT)

เซลเซียส เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ANDERS CELCIUS(1701-1744) โดยเซลเซียส พบว่า ณ ความดันบรรยากาศน้ำบริสุทธิ์จะมีจุดที่ทางอุณหภูมิอยู่สองอย่าง คือ จุดเยือกแข็งของน้ำ และ จุดที่น้ำเดือด เขาจึงกำหนดจุด 0 องศาที่จุดเยือกแข็งของน้ำและ 100 องศาที่จุดน้ำเดือด

ฟาเรนไฮต์ เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวคัทซ์ DANIEL GRABRIEL FAHRENHEIT(1686-1736) โดย ฟาเรนไฮต์ ได้พยายามหาจุดต่ำสุดของอุณหภูมิโดยการทดลองกับสารต่างๆ และพบว่าจุดเยือกแข็งของแอมโมเนียบกลอยไรด์ เป็นจุดต่ำสุดของอุณหภูมิเท่าที่เขาคงได้ จึงกำหนดจุดนี้เป็นจุด 0 องศา ส่วนจุดบนของสเกลนั้น เขาพบว่าอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ เป็นจุดที่อุณหภูมิคงที่ จึงกำหนดจุดนี้เป็น 98 องศา

ทั้งหน่วย เซลเซียส และ ฟาเรนไฮต์ ก็เป็นมาตราวัดอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองหาสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิของสาร ณ จุดต่างๆ ซึ่งอยู่บรรยากาศของพื้นโลกและแมงสเกล ให้เป็นไปตามความสะดวกเหมาะสมมติมิได้มีหลักเกณฑ์ตายตัวอะไร ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ลอร์ดเคลวินเป็นผู้ค้นคิดหน่วยของของอุณหภูมิทางวิทยาศาสตร์ขึ้นในปี 1851 เรียกว่ามาตราเคลวิน โดยกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์(ZERO ABSOLUTE TEMPERATURE) ขึ้น ณ จุดที่เป็น IDEL นี้ อิเล็กตรอนในอะตอมของสารต่างๆ จะหยุดโคจรรอบนิวเคลียสโดยไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลืออยู่ในสารนั้นๆ อีกต่อไป ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เย็นจัดถึงจุดนี้ได้ และ แมงช่วงของมาตราเซลเซียส ระบบหน่วยสากล ซึ่งเรียกย่อว่า SI ได้กำหนดหน่วยสากลของอุณหภูมิโมไคมิคเป็นมาตราเคลวิน และหน่วยของอุณหภูมิต่างๆ ไปเป็น เซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 มาตรฐาน

เปรียบเทียบจุดอ้างอิง(REFERENCE) ของมาตรฐานต่างๆ

จุดศูนย์สัมบูรณ์	= -273.15 C	= -459.67 F	= 0 K
จุดเยือกแข็งของน้ำ	= 0 C	= 32 F	= 273.15 K
จุดเดือดของน้ำ	= 100 C	= 212 F	= 373.15 K

สูตรการเปลี่ยนมาตรฐานเซลเซียสและฟาเรนไฮต์เป็นมาตรฐานเคลวิน

$$K = C + 273.15$$

$$K = 5(F - 32) / 9 + 273.15$$

4.2 อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐาน (REFERENCE TEMPERATURES)

มาตรฐานสากลของอุณหภูมิในทางปฏิบัติ (INTERNATIONAL PRACTICAL TEMPERATURES SCALE) ได้ถูกกำหนดขึ้นโดยที่ประชุมของกลุ่มประเทศผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมในปี 1968 และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปเรียกโดยย่อว่า IPTS 68 ได้กำหนดจุดอ้างอิงมาตรฐานอุณหภูมิ (REFERENCE TEMPERATURE) เพิ่มเติมขึ้นอีกหลายจุดโดยกำหนดจากจุดเยือกแข็ง (TRIPLE POINT) ซึ่งเป็นจุดที่มีสถานะคงที่ทางอุณหภูมิของสารต่างๆ เพราะ เมื่อวิทย์

การเจริญมากขึ้น ความต้องการ REFERENCE TEMPERATURE ณ จุดที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำก็มีมากขึ้น

IPTS 68 ได้กำหนดมาตราของอุณหภูมิขึ้นมา 2 มาตรา คือ เซลเซียส และ เคลวิน

IPTS 68 REFERENCE TEMPERATURE จุดอ้างอิงมาตรฐานอุณหภูมิ

EQUILIBRIUM POINT	K	C
(จุดที่มีสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิ)		
จุดไตรภาคของไฮโดรเจน	13.8	-259.34
จุดสมดุลในสภาวะก๊าซและของเหลวไฮโดรเจน ที่ความดัน 25 / 76 ของความดันบรรยากาศ	17.042	-256.108
จุดเดือดของไฮโดรเจน	20.28	-252.87
จุดเดือดของนีออน	27.102	-246.048
จุดไตรภาคของออกซิเจน	54.361	-218.789
จุดเดือดของออกซิเจน	90.188	-182.962
จุดไตรภาคของน้ำบริสุทธิ์	273.1	60.01
จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์	373.13	100
จุดแข็งตัวของสังกะสี	692.73	419.58
จุดแข็งตัวของเงิน	1235.08	961.93
จุดแข็งตัวของทอง	1337.58	1064.43
จุดแข็งตัวของดีบุก	505.1181	231.9681

อุณหภูมิของสาร ณ จุดต่างๆ ที่กล่าวมานี้ไว้เป็นมาตรฐานอุณหภูมิ REFERENCE ในการสอบเทียบค่าสากลของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

4.3 หลักการวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิมียุคหลายชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดอาศัยหลักการแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสารที่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิที่วัดเปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่แน่นอนและพิสูจน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบเครื่องมือวัดแบบต่าง ๆ

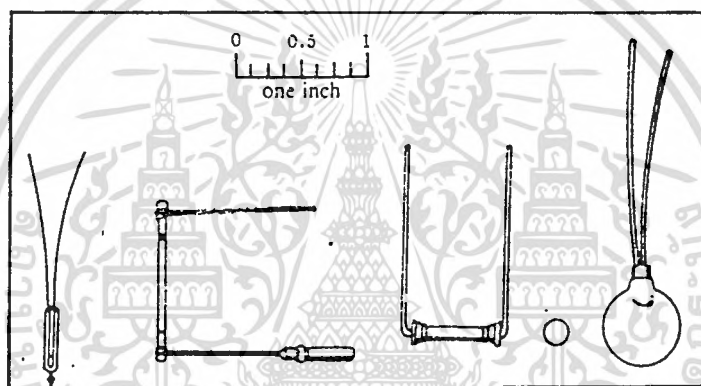
เทอร์โมมิเตอร์	หลักการ	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
ใช้ของเหลวบรรจุ ในหลอดแก้ว ปิด(thermometer)	อุณหภูมิตัว -เทอร์โมมิเตอร์-การขยายตัว ของของเหลว	ปรอท	-130ถึง315C
เปลี่ยนการขยาย ตัวเป็นความ ดัน(FILLED THERMAL)	อุณหภูมิตัว-FILLED THERMAL -ความดัน	ปรอท	185ถึง540C
แบบแถบ โลหะคู่	อุณหภูมิตัว-BIMETAL-ระยะทาง	INRNI	-60ถึง425 C
เทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิตัว-เทอร์โมคัปเปิล-แรงเคลื่อน ไฟฟ้า	TYPE-B	600ถึง1700C
RTD	อุณหภูมิตัว-RTD-ความต้านทาน	แพลตินัม นิกเกิล ทองแดง	-258ถึง900C -150ถึง300C -200ถึง120C
เทอร์มิสเตอร์	อุณหภูมิตัว-เทอร์มิสเตอร์-ความต้านทาน	เทอร์มิสเตอร์	-30ถึง300C

4.3.1 เทอร์มิสเตอร์(THERMISTERS)

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเหมือนอาร์ทีดีแต่เทอร์มิเตอร์ใช้คาร์บอน และ สารกึ่งตัวนำ เช่น พวกออกไซด์ของโลหะ โดยปกติทำจากออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดงและออกไซด์ของนิกเกิล กับ ทองแดงที่ให้สปส.การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูง เช่น เทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156Ω เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อมีการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 1 C แต่การเปลี่ยนค่าค่าความต้านทานจะกลับกับแบบ RTD คือจะลดค่าความต้านทานลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

การที่เทอร์มิสเตอร์มีสปส. การเปลี่ยนแปลงค่าค่าความต้านทานสูงทำให้ช่วงการวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปจะให้อยู่ในย่านต่ำกว่า 100 C แต่ก็ยังมีบางแบบที่สามารถวัดได้ถึง 450 C โดยเฉพาะในย่านอุณหภูมิต่ำๆ เทอร์มิสเตอร์ก็สามารถใช้งานได้ดี ในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้ต้องเลือกใช้งานในบางช่วงที่มีความสัมพันธ์อันค่อนข้างเป็นเส้นตรง จึงทำให้ CALIBRATION CURVE ของเทอร์มิสเตอร์ไม่มีมาตรฐานเหมือน อาร์ทีดี ต้องใช้ตามคู่มือที่ทางบริษัทให้มากับเทอร์มิสเตอร์ตัวนั้น ในวงจร REFERENCE สำหรับเทอร์โมคัปเปิล แบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



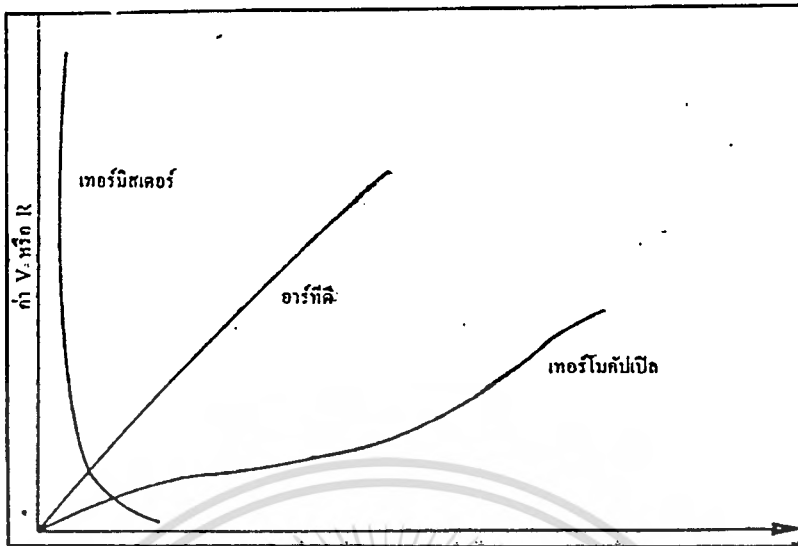
รูป 4.2 แบบของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้อยู่โดยทั่วไป

4.3.1.1 วงจรการใช้งานของเทอร์มิสเตอร์

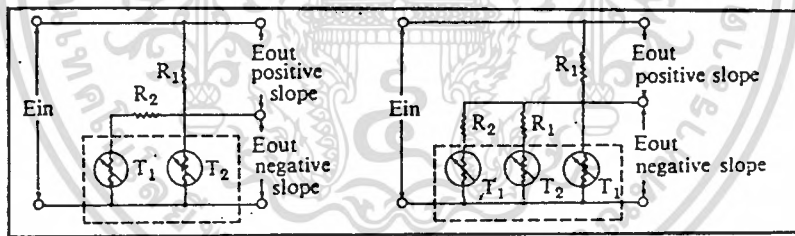
เนื่องจากสปส. การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเทอร์มิเตอร์สูง วงจรบริดจ์แบบอาร์ทีดี ทำให้สามารถอ่านค่าได้ละเอียดมากในช่วงอุณหภูมิแคบๆ สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแม้เพียง 0.0005 C เท่านั้น ดังนั้นวงจรการวัดทั่วไปจึงแบบวงจรแบ่งแรงดัน

นอกจากใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิโดยตรงแล้ว ยังสามารถใช้เป็นตัวเลขชดเชยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ใช้ทำงานได้ถูกต้องตลอด แม้ว่าอุณหภูมิบรรยากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลง ในวงจร REFERENCE สำหรับเทอร์โมคัปเปิล แบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.3 แสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับ อาร์ทีคิ และ เทอร์โมคัปเปิล



รูป 4.4 แสดงการใช้งานของเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

หลักการและการออกแบบ

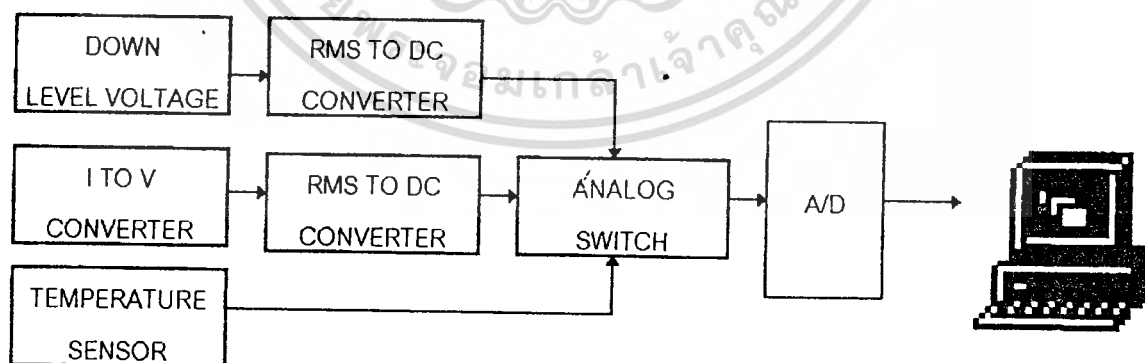
เครื่องบันทึกสถานะการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า

เครื่องบันทึกสถานะการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนของฮาร์ดแวร์
2. ส่วนของซอฟต์แวร์

5.1 หลักการและการออกแบบฮาร์ดแวร์

หลักการของฮาร์ดแวร์ก็คือการวัดค่าของ กระแส แรงดัน และอุณหภูมิ ในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นทำงานอยู่ ซึ่งจะเห็นว่าอยู่ในรูปแบบที่ต่างกัน ให้ออกมาเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบเหมือนกัน โดยการแปลงค่าของ กระแส แรงดัน และอุณหภูมิ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณ DC ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ตามค่าของ กระแส แรงดัน และอุณหภูมิ เมื่อได้สัญญาณ DC ทั้ง 3 ค่าแล้วก็จะทำการ Multiplex เพื่อส่งเอาท์พุท เข้าสู่การส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล โดยทำการส่งข้อมูล ผ่าน BUS ของคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผลโดย ซอฟต์แวร์ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมข้างล่างนี้

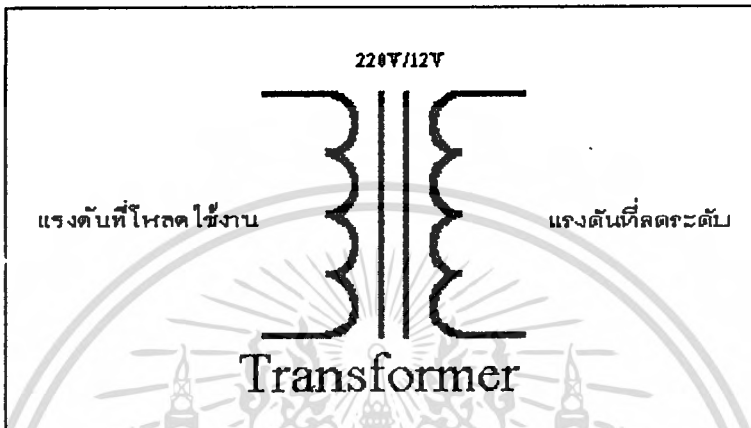


รูป 5.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ ฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การลดระดับแรงดัน AC (Down Level Voltage)

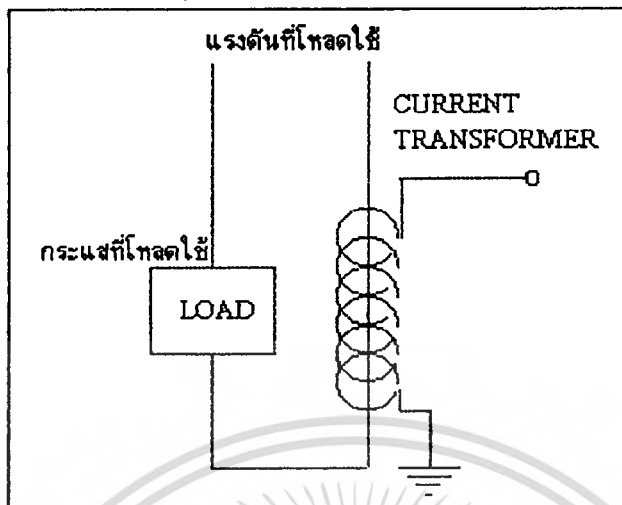
ในการที่จะนำแรงดัน AC 220V มาใช้ในการวัดนั้น จำเป็นที่จะต้องลดระดับแรงดันก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ภาควัดแรงดันเกิดการเสียหาย ดังนั้นการลดระดับแรงดัน AC แบบที่ใช้กันทั่วไปก็คือการใช้หม้อแปลง Step Down ซึ่งในโปรเจกต์นี้ใช้อัตราส่วน 220V-12V ในลดระดับแรงดันลงดังรูป 5.2



รูป 5.2 แสดงการลดระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลง Step Down

5.3 การแปลงกระแสไฟฟ้า เป็น แรงดันไฟฟ้า

ในการวัดกระแสไฟฟ้านั้นที่ภาควัดกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องทำการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเสียก่อน โดยการใช้ Current Transformer ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ภาควัดกระแสไฟฟ้าเกิดการเสียหายในกรณีที่ Load เกิดการลัดวงจร ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ภาควัดโดยตรง โดย Current Transformer ที่ใช้ในโปรเจกต์นี้มีอัตราส่วนเป็น 60A-5A คือจะเกิดกระแสที่เอาท์พุทสูงสุด 5A เมื่อมีการแสไหลผ่าน Current Transformer ที่ 60A โดยที่เอาท์พุทของ Current Transformer จะเกิดแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกระแสที่ไหลผ่าน Current Transformer ซึ่งแรงดันนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Load



รูป 5.3 แสดงการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยการใช้ Current Transformer

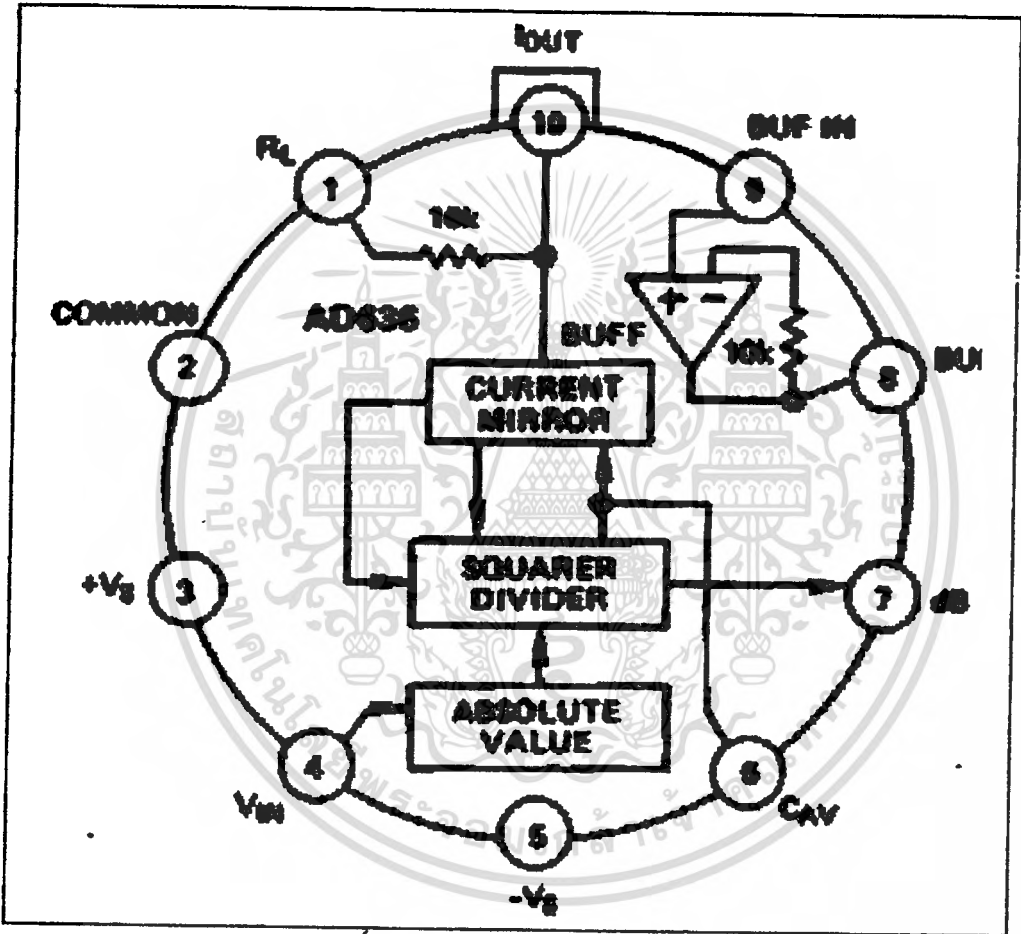
5.4 ภาคแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง (RMS. To DC. Converter)

ภาคแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็นแรงดันไฟตรงนี้จะนำค่าแรงดันเอาท์พุท จากภาคลดระดับแรงดัน (Down level Voltage) ที่ลดลงแล้ว มาทำการแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง โดยใช้ไอซี AD636JH แปลงค่า อาร์ เอ็ม เอส ของแรงดันไฟสลับ เป็นแรงดันไฟตรง เพราะว่าจะทำให้ชุดวัดแรงดันสามารถวัดแรงดันสัญญาณไฟสลับ ได้ทุกรูปคลื่นสัญญาณที่เข้ามา เนื่องจากค่าที่เราต้องการอ่าน คือ ค่า อาร์ เอ็ม เอส ของสัญญาณ ไฟสลับ แต่ค่า อาร์ เอ็ม เอส ของรูปคลื่นสัญญาณ ที่ต่างกันที่มีโวลต์พีค เท่ากันจะมีค่า อาร์ เอ็ม เอส เท่ากัน ฉะนั้นเราจะใช้วงจรเรกติไฟล์ แปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรงไม่ได้ เพราะมีค่าตัวคูณที่เข้ามานั้น ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์เสมอไป ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทการแปลงสัญญาณ

โดย ไอซี AD636JH ที่กล่าวถึงนี้เป็นอุปกรณ์ตัวสำคัญมากของ ภาค แปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็นแรงดันไฟตรง เพราะ เป็นตัวแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็นแรงดันไฟตรง ดังบล็อกไดอะแกรมวงจรภายในของ AD636JH ไว้ในรูป 5.4

จากรูป 5.4 ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือวงจร เรกติไฟล์ และ เปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสยกกำลังสอง และ หาร (Squarer / Driver) ที่ใช้พื้นฐานของวงจรขยายแบบ ลอการิทึม ควบคุมการทำงาน โดยการใช้การป้อนกลับทางกระแส วงจรแปลงกระแส (Current Mirror) โดยการทำงานของ AD636JH จะเอาเอาท์พุทจากวงจรแปลงค่าแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง จะทำการคำนวณ โดยการสุ่มสัญญาณทางอินพุตต่อเนื่องตลอดเวลา ค่าที่สุ่มวัดมาได้จะถูกนำมายกกำลังสอง

แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของค่ายกกำลังสองเหล่านั้นในช่วงเวลาที่แน่นอนหนึ่ง ๆ โดยการหาค่าเฉลี่ยในระยะเวลาที่นานพอเมื่อเทียบกับที่เรียกของรูปคลื่นที่วัควจรแปลงค่าในภาคนี้ใช้ไอซี AD636JH ที่มีความผิดพลาดสูงสุดเพียง 1% คือค่าผิดพลาดในการแปลงสัญญาณ นั้นจะมีค่าผิดพลาดคงที่เนื่องจากอุปกรณ์ ในภาคนี้ไอซี AD636JH แปลง อาร์ เอ็ม เอส เป็นแรงดันไฟตรงจะมีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 1 มิลลิโวลต์ หลังจากทำการแปลงแรงดันอาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง แล้วจากนั้นแรงดันไฟตรงจะเข้าไปยังภาคปรับระดับแรงดันต่อไป



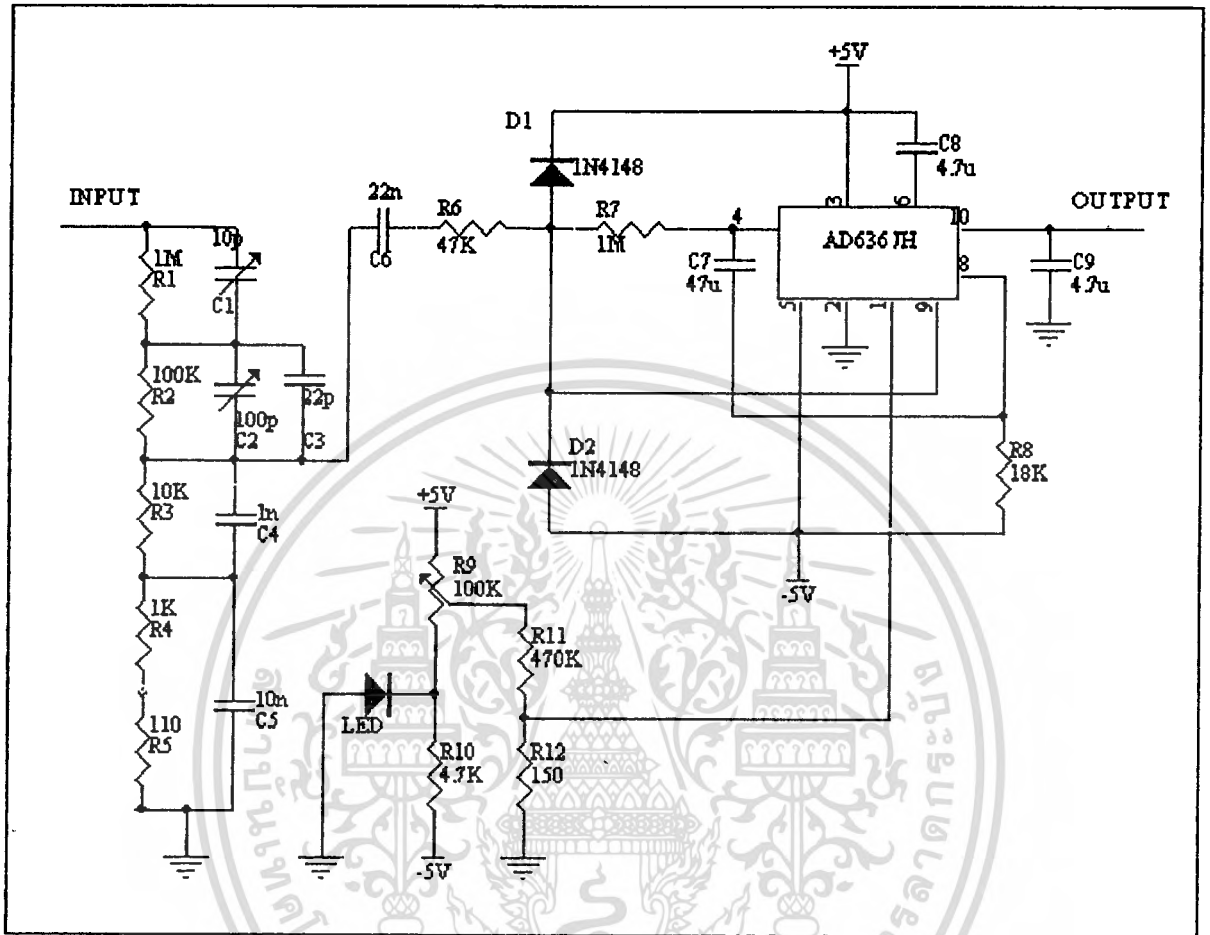
รูป 5.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรภายในของ AD636JH

5.4.1 อธิบายวงจรแปลงแรงดันอาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง

เมื่อป้อนแรงดันที่ผ่านมาจาก ภาคลดระดับแรงดันเข้าที่จุด input (ดูที่รูป 3.4) ภาคแบ่งผ่านแรงดันแบบชดเชยความถี่ประกอบด้วยอุปกรณ์ R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 และ C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 เพื่อช่วยให้ทำการแบ่งผ่านของแรงดันที่ป้อนเข้ามาจากภาคลดระดับแรงดันโดยจะออกจุดที่ช่วงวัด 20 โวลต์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแรงดันขาเข้าที่ผ่านการลดระดับแรงดันมาแล้วจะป้อนผ่าน C7 โดยเป็นตัวเก็บประจุคัปปลิงสัญญาณทางอินพุต เข้าสู่ IC1 โดยมีวงจรป้องกันสัญญาณแรงดันอินพุตของ IC1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ R6,D1,D2 ในการสร้างต้องใช้ค่า C7 ตามช่วงวัดในภาคนี้ควรใช้ค่าทนแรงดันมากกว่า 20 โวลต์ หากใช้ตัวที่ทนแรงดันได้น้อยกว่านี้อาจทำให้เสียหายได้ วงจรบัฟเฟอร์แอมป์ใน IC1 จะทำหน้าที่เป็นตัวแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งสัญญาณขาเข้าทั้งนี้ เพราะ ค่าความต้านทานต่ำที่ขาอินพุต (ขา4) มีค่าประมาณ $\pm 7K\Omega$ จึงอาจจะโหลดมากเกินไปต่อวงจรลดทอนสัญญาณเมื่อสัญญาณอินพุตผ่านต่อมายังวงจรเรกติไฟ์ล์ภายในต่อไอซี AD636JH และ เปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสแล้วจะถูกนำมาคำนวณด้วยตัววงจรยกกำลังสอง และ วงจรหารเพื่อหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะได้เอาต์พุตออกมาเป็นค่า อาร์ เอ็ม เอส แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ขา 7 ส่วนเอาต์พุตแบบเป็นเชิงเส้นจะได้จากการนำค่าที่ถูกยกกำลังสองแล้วมาหาค่าเฉลี่ยโดยวงจร RC โลว์พาสเน็ดเวอร์ โดยใช้ R8 และ C7 ซึ่งมีตัวเก็บประจุ C8 ที่ต่ออยู่ภายนอกเป็นส่วนประกอบ ค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสแล้วให้เอาต์พุตออกมาทางขา 10 มีตัวต้านทาน $10K\Omega$ ภายในไอซีทำหน้าที่ เปลี่ยนกระแสเอาต์พุตให้เป็นแรงดันเมื่อต่อขา 1 ลงกราวด์แต่วงจรได้ต่อชุดปรับแรงดันออฟเซตของแรงดันเอาต์พุตที่ขา 10 โดยการปรับ R9 ค่า C8 จะใช้ในการกำหนดค่าเฉลี่ย (Average) แรงดันใน IC1 และ C8 จะต้องทำงานในการจับพลังงานที่บรรจุอยู่ในฟิลส์ชั่วคราวนั้นและทำการเก็บรักษาประจุนั้นไว้รองจนกว่าวงจรส่วนประมวลผลจะดึงเอาแรงดันไปอ่านค่า และยังเป็นตัวกำหนดความถี่ต่ำสุดของสัญญาณอินพุตในวงจรแสดงผลได้ถูกต้อง ส่วน C9 เป็นตัวกรองแรงดันรีบเบิลต่าง ๆ ในเอาต์พุตของวงจรแปลงที่ขา 10 โดยตัวคาปาซิเตอร์ C7,C8,C9 จึงต้องใช้ชนิดคุณภาพสูง การรั่วไหลต่ำสุด ในที่นี้จึงใช้แบบแทนทาลัม สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ขา 10 จะเป็นแรงดันไฟตรง การปรับแต่งในภาคนี้ ถัดวงจรอินพุต แล้วทำการวัดเอาต์พุตให้ปรับ R9 จนที่เอาต์พุตมีค่า 0 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

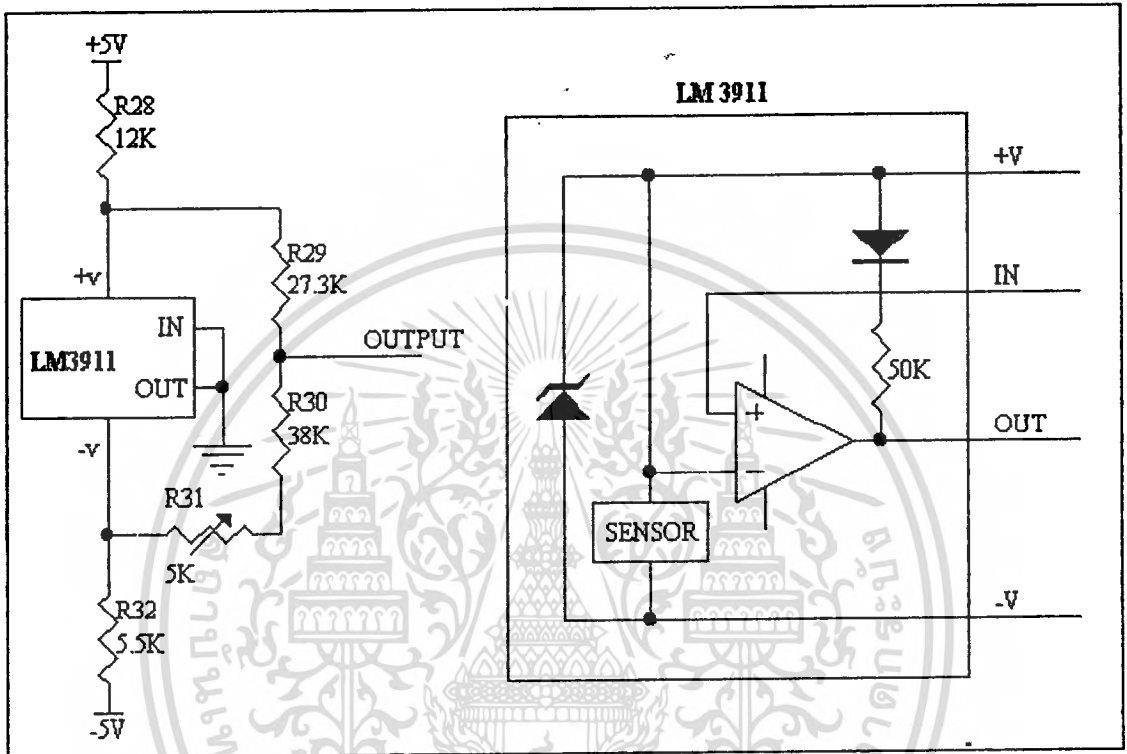


รูป 5.5 วงจรภาคแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ภาค วัดอุณหภูมิ

ในส่วนของภาควัดอุณหภูมินั้นใช้ ไอซี LM3911 ซึ่งทำหน้าที่ เป็นตัว เซ็นเซอร์ (Sensor) อุณหภูมิ โดยแรงดันจะเปลี่ยนไป 10 mV เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส โดยในการต่อใช้งานจะใช้วงจรดังรูป



รูป 5.6 วงจร ภาควัดอุณหภูมิ และ โครงสร้างภายในไอซี LM3911

โดยภายใน IC LM3911 จะประกอบด้วยตัว เซ็นเซอร์(SENSOR) อุณหภูมิ ,ซีเนอร์ไดโอด(Zener Diode) และ ออปแอมป์ ดังรูป โดยในการต่อวงจร เราจะ จั้ม ระหว่างขา IN และ OUT เข้าด้วยกันเพื่อให้ ออปแอมป์ มีอัตราขยายเท่ากับ 1 โดยที่เอาท์พุทของวงจรมันจะถูกต้องเป็นวงจรแบ่งแรงดัน โดยอาศัยแรงดันตกคร่อม ซีเนอร์ไดโอด โดยแรงดันจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป VR31 นั้นใช้สำหรับปรับแต่งแรงดันทางเอาท์พุท โดยสามารถปรับให้อยู่ในหน่วยของ องศาเซลเซียส หรือ องศาเคลวิน ก็ได้

เช่น ในหน่วยองศาเซลเซียสเมื่อมีอุณหภูมิ เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

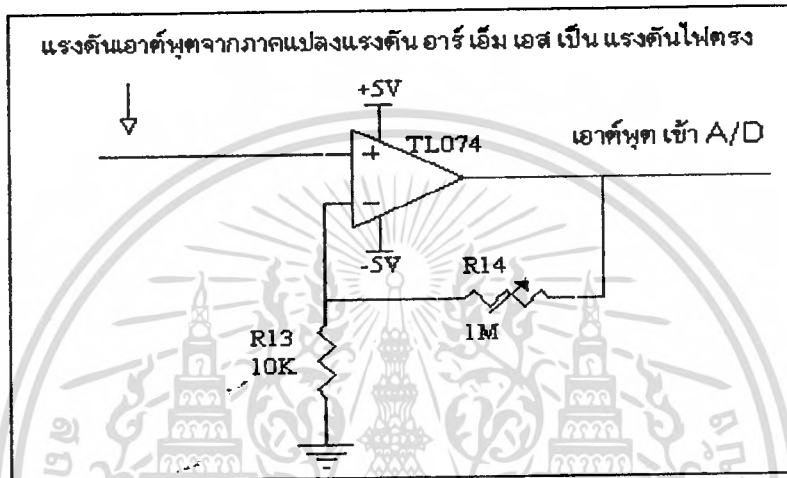
จะได้แรงดันเอาท์พุท เท่ากับ $25 * 10\text{mV} = 250\text{mV}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้นซึ่งอาจมีค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ค่าเท่ากับ 250 มิลลิโวลต์

5.6 ภาคปรับแรงดัน

ในการที่จะนำแรงดันจากภาควัดต่าง ๆ นั้น เข้า จุดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จะต้องมีการปรับระดับแรงดันให้อยู่ในย่านเดียวกัน ในส่วนของโครงการนี้ที่ จุดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จะสามารถรับแรงดันอินพุต ได้ในช่วง 0 ถึง 4 โวลต์ ซึ่งเราต้องทำการปรับให้แรงดันเอาต์พุตของแต่ละภาควัดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4 โวลต์ ด้วย

5.6.1 ภาควัดแรงดัน และ กระแส



รูป 5.7 จงจรปรับระดับแรงดันโดยการใช้ Non-Inverting Amp

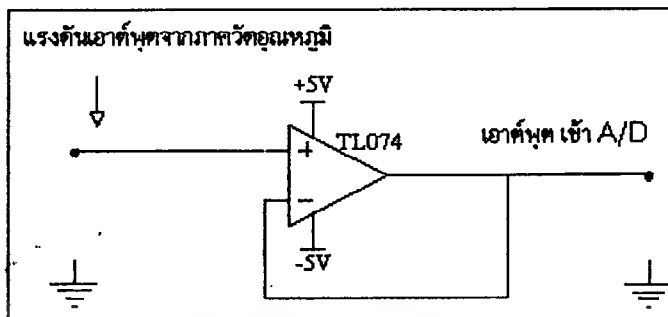
จากรูป 5.7 เป็นวงจร นอนอินเวอร์ตติ้งแอมป์ (Noninverting Amp) โดย แรงดันเอาต์พุต จากภาคแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง และ เอาต์พุต จะเป็นตามความสัมพันธ์ดัง สมการ

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{14}}{R_{13}}\right) * V_{in}$$

โดยแรงดันที่ออกจากภาคแปลงแรงดัน อาร์ เอ็ม เอส เป็น แรงดันไฟตรง นั้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้วงจร นอนอินเวอร์ตติ้ง แอมป์ เพื่อขยายแรงดันให้มีค่ามากขึ้น ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4 โวลต์ ได้

5.6.2 ภาควัดอุณหภูมิ

ในส่วนของภาควัดอุณหภูมิ นั้น ไม่จำเป็นต้องขยายแรงดัน เพราะให้แรงดันเอาต์พุตออกมาเพียงพอที่จะเข้า จุดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ได้จึงใช้ออปแอมป์ต่อเป็น บัฟเฟอร์(Buffer) ดังรูป 5.8 ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.8 วงจร Buffer สำหรับภาควัดอุณหภูมิ

5.7 หลักการทำงานและการออกแบบการ์ดอินเทอร์เฟซ

ในส่วนของการ์ดอินเทอร์เฟซประกอบด้วยวงจร Analog Switch, วงจร A/D, วงจร Buffer และวงจร Decode Address โดยทั้ง 4 วงจรนั้นต้องทำงานสัมพันธ์กัน โดยชุดวงจร Analog Switch นั้นใช้ IC 4066B ซึ่งทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ เปิด-ปิด โดยภายใน IC 4066B ประกอบด้วย Switch 4 ชุดด้วยกัน แต่ในโปรเจกต์นี้ใช้เพียง 3 ชุดคือ Switch แต่ละชุดจะรับสัญญาณ DC จากแต่ละชุดวัดเข้ามา โดยจะมีการควบคุมให้สัญญาณออกที่เอาต์พุตเป็นจังหวะด้วยการใช้สัญญาณจากการ Decode Address และเอาต์พุตที่ออกจาก IC 4066B จะถูกต่อรวมกัน และเพื่อไม่ให้สัญญาณเอาต์พุตรบกวนกันจึงได้ต่อ R30k และ C50p ขนานกันและบายพาสลงกราวด์ ด้วยวิธีนี้จึงทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเหลือเพียงเส้นเดียว แต่สัญญาณนี้ยังเป็นสัญญาณ Analog อยู่ จึงยังไม่สามารถนำสัญญาณนี้ไปใช้ได้ ดังนั้นจึงต้องผ่าน IC A/D (ICL7109) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Analog เป็น สัญญาณ Digital โดยเราสามารถควบคุมการป้อนแรงดันสูงสุดได้โดยการกำหนด Vref โดย Vin สูงสุดที่สามารถป้อนเข้าได้จะเท่ากับ 2 เท่าของ Vref ($V_{in(max)} = 2V_{ref}$) ซึ่งในโปรเจกต์นี้ใช้ $V_{ref} = 2V$ จึงทำให้สามารถป้อนแรงดัน $V_{in} = 4V$ ICL7109 นี้เป็น A/D ขนาด 12 bit ทำให้มีระดับการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2^{12} ซึ่งเท่ากับ 4096 ระดับและเมื่อคิดถึงการเปลี่ยนแปลง 1 ระดับ

$$\begin{aligned} \text{การเปลี่ยนแปลงสูงสุด } 4096 \text{ ระดับ} &= \frac{4V}{1 \text{ ระดับ}} \\ &= \frac{4V}{4096} \\ &= 0.97 \times 10^{-3} V \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนดอลด์ไปทำประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่เอาท์พุทของ A/D ระดับจะต้องป้อนแรงดัน I/P เท่ากับ 0.97×10^{-3} V หรือประมาณ 1 mV

โดยสัญญาณที่ออกจาก A/D นี้จะมีทั้งหมด 12 เส้นโดยในการที่จะต่อกับบัสข้อมูลนั้น จะไม่สามารถต่อกันโดยตรงได้เพราะอาจทำให้ IC ทำงานผิดพลาด หรือ เสียหายได้ ดังนั้นจึง ต้องผ่าน Buffer เสียก่อน โดยใช้ IC เบอร์ 74224 ซึ่งเป็น Buffer ทิศทางเดียว

5.9.1 การ Decode Address

ในส่วนของการ Decode Address นั้นจะต้องสัมพันธ์กับการเขียน ซอฟต์แวร์ โดยซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่กำหนด Address ในการติดต่อเพื่อรับส่งข้อมูล ดังนั้น อุปกรณ์ภายนอกที่จะติดต่อกับ Computer จึงมีหน้าที่ Decode Address ออกมาให้ได้ ซึ่งในโปรเจกต์นี้ ใช้ Address ที่ 300H, 302H, 304H โดย Address ที่ 300H จะเป็น Address ที่ใช้ในการติดต่อกับภาควัดแรงดัน Address ที่ 302H จะเป็น Address ที่ใช้ในการติดต่อกับภาควัดกระแส และ Address ที่ 304H จะเป็น Address ที่ใช้ในการติดต่อกับภาควัดอุณหภูมิ

โดยวิธีการออกแบบการ Decode สามารถทำได้ดังนี้

	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
Address ที่ 300H	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Address ที่ 302H	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Address ที่ 304H	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0

เมื่อสังเกตที่ Address ที่ A3-A9 จะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อ Address เปลี่ยนไป จึงใช้ A3-A9 เป็นสัญลักษณ์ในการ set สถานะการทำงานต่างๆ ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง และเมื่อสังเกตที่ A0-A2 จะเห็นว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงตาม Address ที่เปลี่ยนไป จึงใช้สัญญาณ A0-A2 ในการเลือก Address ที่ต้องการติดต่อ

ซึ่งในโปรเจกต์นี้เลือก IC 74138 ซึ่งเป็น IC ที่ทำหน้าที่ Decode สัญญาณ โดย IC 74138 มี INPUT ทั้งหมด 6 เส้น แต่สัญญาณ Address ที่ใช้ในการ Decode มีทั้งหมด 10 เส้น ดังนั้นจึงใช้ IC 74138 ทั้งหมด 2 ตัว โดย IC74138 มี OUTPUT ทั้งหมด 8 เส้น คือ Y0-Y7 โดย OUTPUT จะ ACTIVE ที่ Logic "0" ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตาม INPUT A, B และ C ซึ่งมีตารางการทำงานดังตารางที่ 5.1

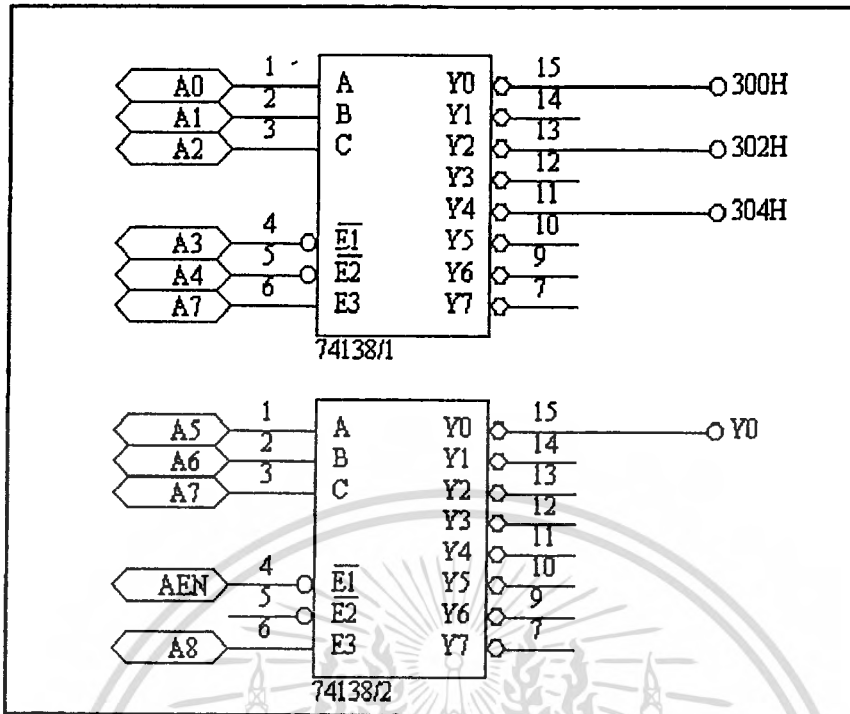
ตาราง 5.1 แสดงตารางการทำงานของ IC 74138

INPUT						OUTPUT							
G1	-G2 _A	-G2 _B	A	B	C	-Y0	-Y1	-Y2	-Y3	-Y4	-Y5	-Y6	-Y7
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	L	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

จากตาราง 5.1 เราให้ A0, A1 และ A2 ต้องเข้ากับขา A, B และ C ตามลำดับ เพื่อให้ในการเลือก Address ส่วน A3 และ A4 ต่อเข้ากับขา -G2_A และ -G2_B ซึ่งต้องการ Logic "0" ส่วนขา G1 นั้นต้องการ Logic "1" ดังนั้นจึงต่อเข้ากับ A8 เมื่อต่อวงจรตามลักษณะนี้แล้วจะได้ OUTPUT ทั้งหมด 3 เส้นด้วยกันคือ Y0, Y2 และ Y4 ตรงตาม Address ที่ 300H, 302H และ 304H ตามลำดับ ส่วน IC 74138 อีกตัวหนึ่งขา A, B และ C จะถูกต่อเข้าด้วยสัญญาณ A5, A6 และ A7 ตามลำดับ และ ขา G1 ต่อเข้ากับ A9 ส่วนขา -G2_A และ -G2_B ต่อเข้ากับสัญญาณ AEN ซึ่งสัญญาณ AEN นี้จะเป็น Logic "0" ขณะที่ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก และเมื่อต่อในลักษณะดังกล่าวแล้ว IC 74138 ตัวที่ 2 จะได้ออกพัลส์ 1 เส้น คือ Y0 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป

จาก IC 74138 ทั้ง 2 ตัวจะได้ เอาท์พุทมาทั้งหมด 4 เส้นซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณ Enable ได้อย่างสมบูรณ์ โดยในการ อ่านและเขียนข้อมูลจาก Port นั้นจะต้องนำสัญญาณ IOR และ IOW มาใช้ในการ Decode ด้วยเพื่อให้ Computer สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างถูกต้องโดย Address ของ I/O จะไม่ชนกับ Address ของ Memory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



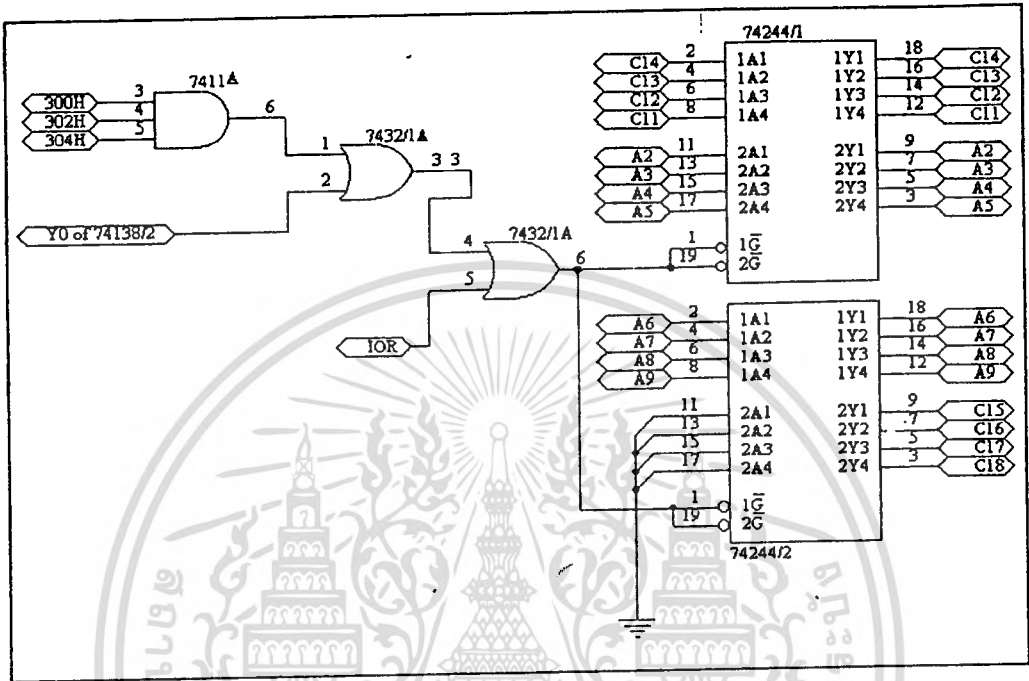
รูป 5.9 แสดงการ Decode Address โดยใช้ IC 74138 ในเบื้องต้น

5.9.2 การสร้างสัญญาณ Enabled ให้กับ Buffer

ในโปรเจกต์นี้ใช้ IC เบอร์ 74244 ซึ่งมี Buffer ทั้งหมด 8 ตัว แต่เนื่องจาก OUTPUT ของ A/D มีทั้งหมด 12 เส้น ดังนั้นจึงใช้ IC 74244 ทั้งหมด 2 ตัวเป็น Buffer ในการส่งสัญญาณสู่ Data Bus ซึ่งสัญญาณ Enable สามารถสร้างได้ดังรูป 5.10

เนื่องจาก Buffer จะต้องส่งข้อมูลเข้าสู่ Data Bus เมื่อมีการติดต่อกับ Address 300, 302, 304H ฉะนั้นจึงนำ OUTPUT Y0, Y2, และ Y4 ของ IC 74138 ตัวที่ 1 มาเข้า AND GATE 3 อินพุต (IC 7411) เอาท์พุทที่ออกมาจะเป็น Logic "0" เมื่อ Y0, Y2 และ Y4 มีขาใดขาหนึ่งเป็น "0" จากนั้นจึงนำสัญญาณ Y0 จาก 74138 ตัวที่ 2 มา OR กับเอาท์พุทจาก AND GATE โดยใช้ IC 7432 ซึ่งมี OR GATE ภายใน 4 ตัว เพื่อให้การ Decode สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จากนั้นเมื่อเราต้องการให้ Buffer ทำงานเมื่อมีการอ่านข้อมูลเข้าสู่ Data Bus จึงใช้สัญญาณ IOR มา OR กับ OUTPUT จาก OR GATE ตัวที่ 1 โดย OUTPUT จาก OR GATE ตัวที่ 2 จะเป็นสัญญาณ Enabled ของ IC 74244 ทั้ง 2 ตัว

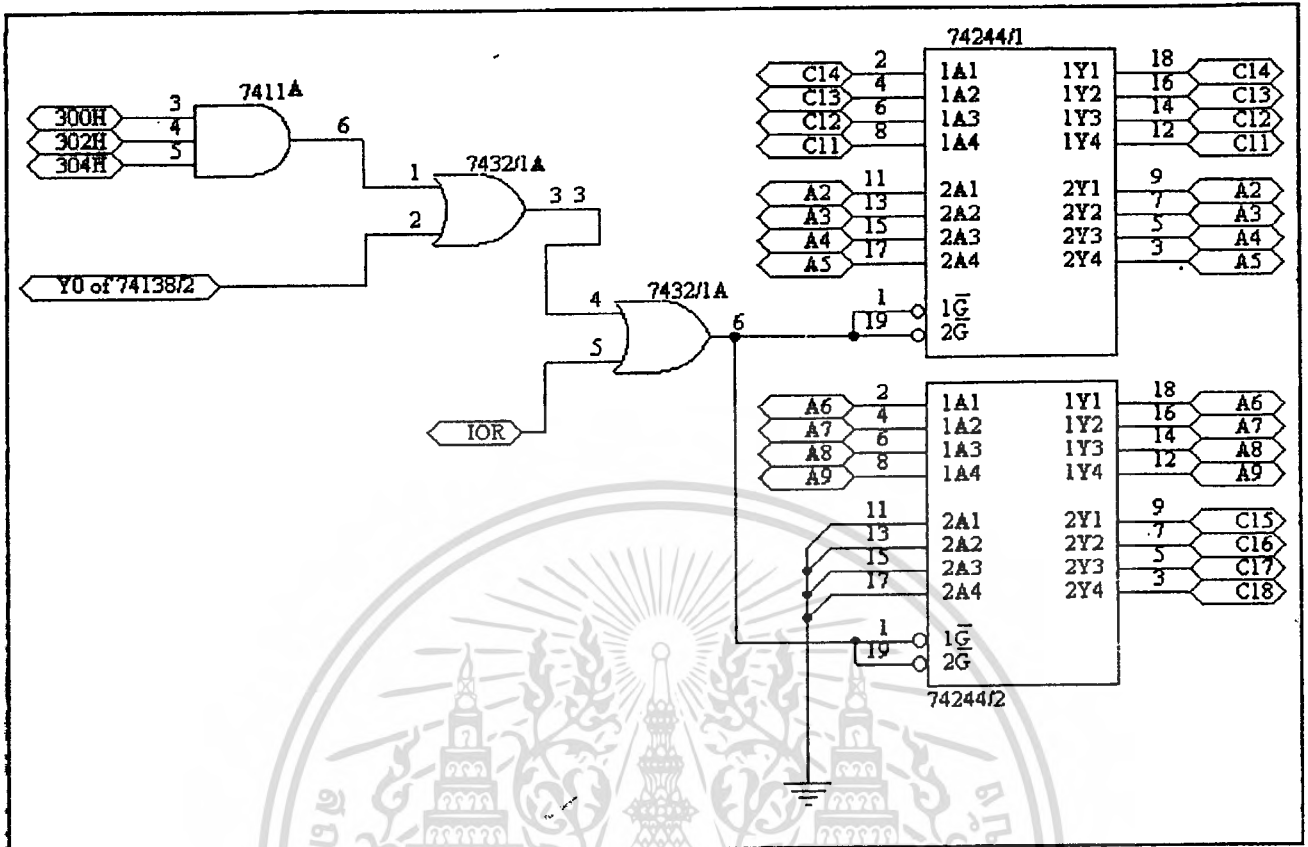
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.10 แสดงการสร้างสัญญาณ Enabled Buffer

5.9.3 การสร้างสัญญาณควบคุม Analog Switch

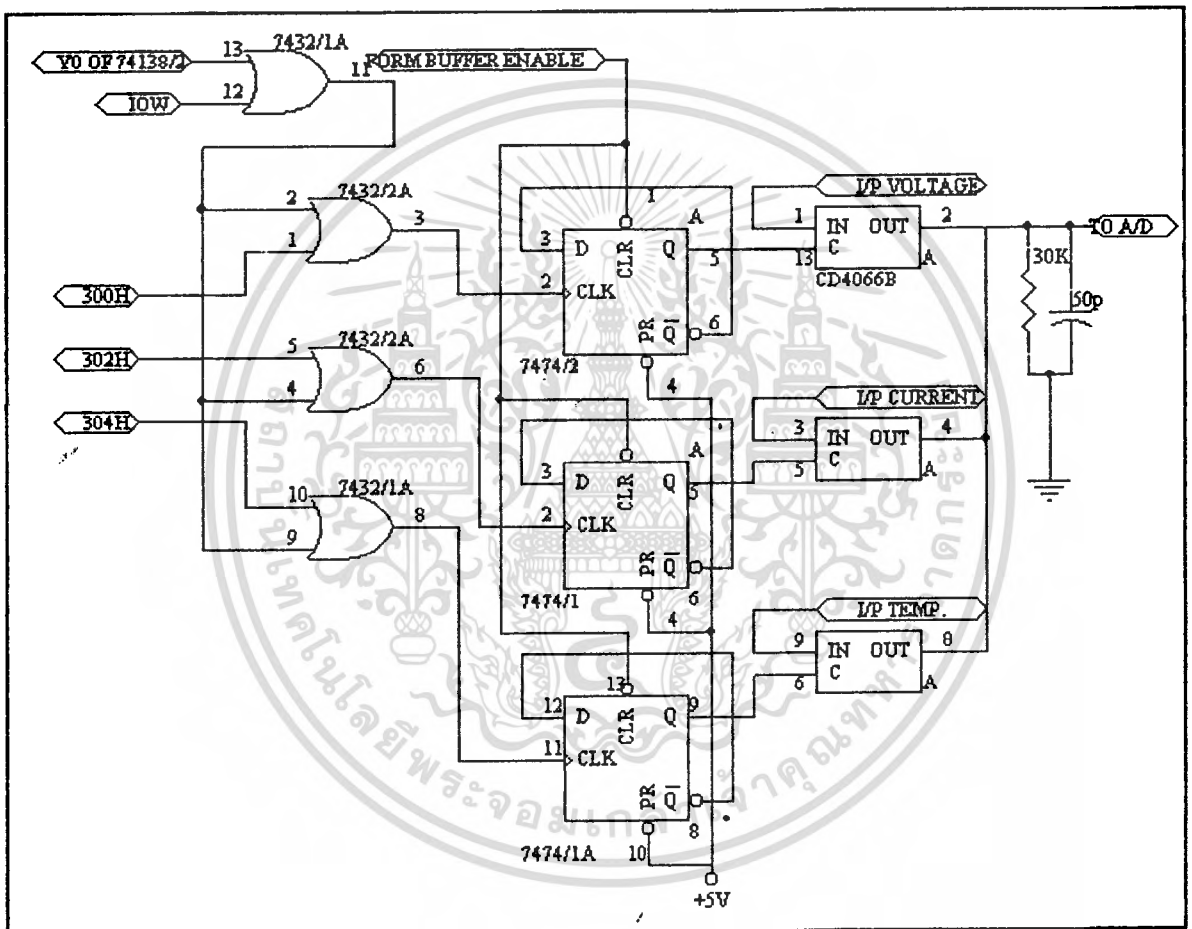
เนื่องจากว่าในการส่งข้อมูลระหว่าง Computer และอุปกรณ์ภายนอกนั้น ความเร็วที่ใช้ในการคิดค่านั้นมีความสำคัญมาก เพราะอุปกรณ์ภายนอกนั้นทำงานช้ากว่า Computer มาก จึงจำเป็นต้องกระตุ้นให้อุปกรณ์ภายนอกนั้นส่งข้อมูลออกไปรอที่ Buffer ก่อนที่ Computer จะอ่านข้อมูลเข้าไป ดังนั้นจึงสามารถทำได้โดยการใช้ซอฟต์แวร์ เข้าช่วยโดยการส่งข้อมูลออกจาก Port เพื่อให้สัญญาณ IOW Active ที่ Logic "0" โดยนำสัญญาณ IOW มา OR กับ Y0 ของ IC74138 ตัวที่ 2 จากนั้นสัญญาณที่ออกมาจะถูกแยกออกเป็น 3 ส่วน เพื่อควบคุมการ เปิด-ปิด สวิตช์ ของ Analog Switch โดยสัญญาณที่ถูกแยกออกจะ OR กับขา Y0, Y2 และ Y4 ของ IC74138 ตัวที่ 1 ทำให้ได้ OUTPUT ทั้งหมด 3 เส้น โดยเอาที่ทุกทั้ง 3 เส้นจะนำไปเข้า CLK ของ D-FF ทั้ง 3 ตัว โดย D-FF แต่ละตัวนั้นจะใช้ในการคงสถานะเอาท์พุทไว้ เมื่อมีการกระตุ้นที่ CLK 1 ครั้ง ก็จะทำข้อมูลที่อยู่ที่ขา D ออกสู่ขา Q และค้างสถานะอยู่อย่างนั้นจนไม่มีการนับใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโหมดแบบส่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.10 แสดงการสร้างสัญญาณ Enabled Buffer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าจะมีการกระตุ้นที่ CLK อีกครั้งหนึ่ง ซึ่ง OUTPUT ของ D-FF แต่ละตัวจะต่อเข้ากับขา Control ของ Analog Switch ทั้ง 3 ตัว เพื่อให้ Analog Switch สามารถส่งข้อมูลออกสู่ OUTPUT ได้ทัน โดยที่ตัว D-FF จะมีการต่อขา CLR เข้ากับสัญญาณ Enabled Buffer คือเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขา CLR ก็จะทำให้ D-FF ถูก RESET และ -Q จะเป็น 1 ซึ่งต่ออยู่กับขา D นั้น เมื่อมีการกระตุ้นที่ CLK ก็จะทำให้เอาท์พุทเป็น Logic "1" ไปควบคุมให้ Analog Switch ตัวนั้น ๆ ทำงาน



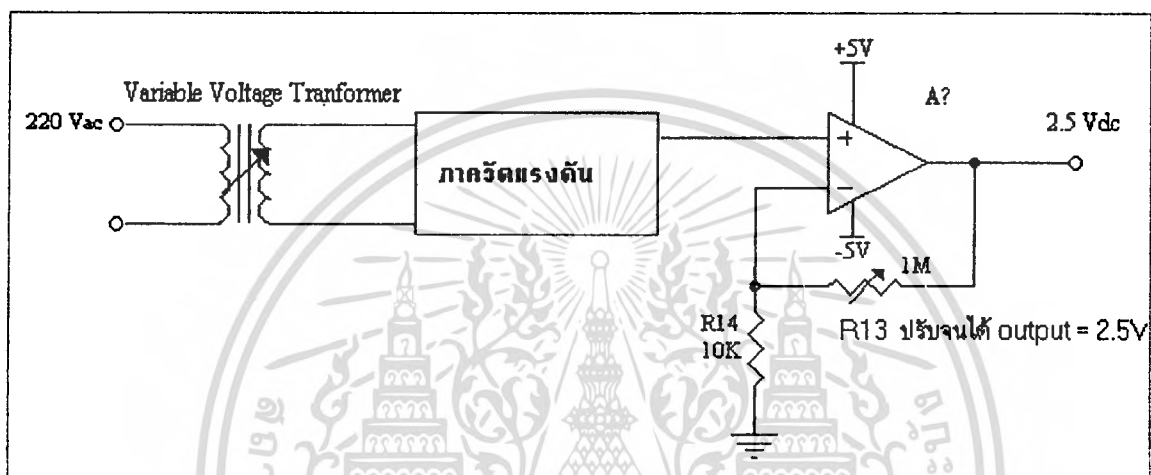
รูป 5.11 แสดงการสร้างสัญญาณควบคุม Analog Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 การปรับแต่ง

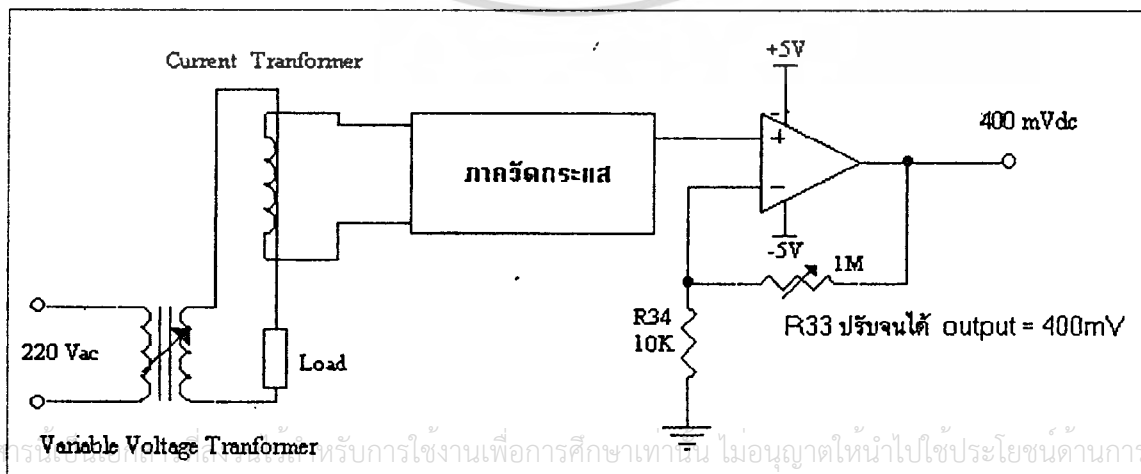
ในส่วนของการวัดนั้นต้องปรับแรงดันเอาต์พุต ก่อนที่จะเขภาค A/D ให้อยู่ในช่วง 0-4V ซึ่งทำได้โดยการปรับที่ภาคปรับแรงดัน

โดยที่ภาควัดแรงดัน เมื่อเราป้อนแรงดันอินพุตที่ 250Vac โดยการปรับที่ Variable Voltage Transformer แล้วทำการวัดแรงดันที่เอาต์พุตของวงจร Non-Inverting Amp จากนั้นทำการปรับค่าความต้านทานที่ R14 ให้แรงดันที่เอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 2.5Vdc ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป 5.12



รูป 5.12 แสดงการปรับแต่งภาควัดแรงดัน

ส่วนภาควัดกระแส นั้นทำได้โดยการต่อ Load เข้ากับ Variable Voltage Transformer แล้วทำการวัดกระแสที่ไหลผ่าน Load โดยทำการปรับ Variable Voltage Transformer แล้ววัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดให้ได้ 1 A จากนั้นทำการปรับค่าความต้านทาน R33 แล้วทำการวัดแรงดันที่ออกจาก วงจร Non-Inverting ให้ได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 400 mVdc

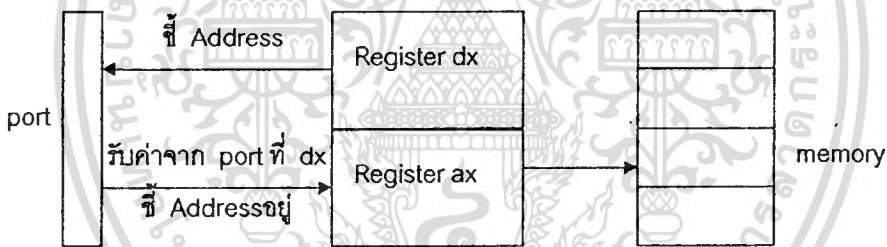


รูป 5.13 แสดงการปรับแต่งภาควัดกระแส

5.9 หลักการของซอฟต์แวร์

ในการควบคุมการทำงานของ ฮาร์ดแวร์ ให้เป็นไปอย่างถูกต้องนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบ ซอฟต์แวร์ ให้ทำงานสอดคล้องกับ ฮาร์ดแวร์นั้น ๆ โดย ซอฟต์แวร์ จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ ฮาร์ดแวร์ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งโครงการนี้ได้ใช้ โปรแกรม Delphi เวอร์ชัน 2 ในการออกแบบ ซอฟต์แวร์ โดย ซอฟต์แวร์ นี้จะส่งค่า ADDRESS อ้างอิงของแต่ละชุดวัดออกไป เพื่อที่รับค่าของ แรงดัน กระแส และอุณหภูมิซึ่งถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วเข้ามาเก็บไว้ใน MEMORY พร้อม ๆ กับการนำค่าต่าง ๆ นี้มาแสดงในรูปแบบของ กราฟเส้น โดย ซอฟต์แวร์จะทำการรับค่าต่าง ๆ เข้ามาทุก ๆ 1 วินาที และเมื่อสิ้นสุดการรับค่าแล้ว สามารถที่จะบันทึกลงสู่ ดิสก์ ได้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับการวัดครั้งต่อไป การทำงานของโปรแกรมแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

5.9.1 ส่วนรับข้อมูลจากพอร์ท



รูป 5.14 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลจาก Port

การที่จะสามารถรับข้อมูลจากพอร์ทที่ต้องการนั้น ต้องทำการกำหนดแอดเดรสให้กับ register ซึ่งในการรับส่งข้อมูลขนาด 16 bit จะใช้ register ขนาด 16 bit ซึ่ง register dx จะทำหน้าที่เก็บค่าพอร์ทในการติดต่อและ register ax จะทำหน้าที่รับข้อมูลที่พอร์ทนั้นๆ เมื่อมีการรับค่าจากพอร์ทเข้าสู่ register แล้ว ก็จะมีการย้ายจาก register เข้าสู่ memory ที่ได้จองไว้แล้ว เมื่อมีการเก็บข้อมูลเข้าสู่ memory แล้ว ก็สามารถที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการแสดงผลและเก็บข้อมูลลงสู่ดิสก์ได้ ซึ่งในคำสั่งได้ใช้ภาษาแอสเซมบลีเข้ามาช่วย โดยเขียนอยู่ใน function inport() ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

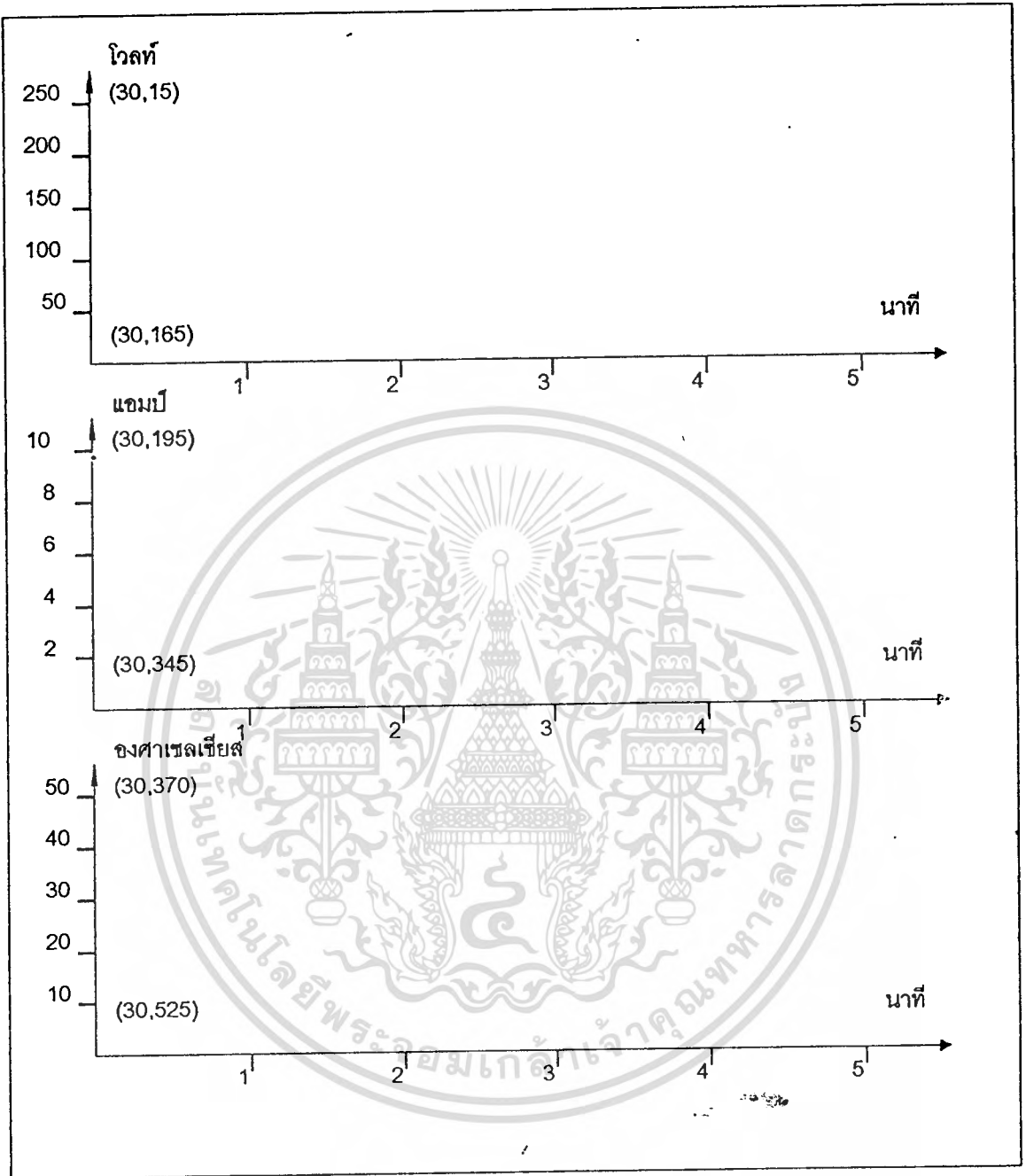
function TForm1.Inport(addport:word):word;
var p:word;
begin
    asm
        mov dx,addport
        in ax,dx
        mov p,ax
    end;
    Result:= p;
end;

```

ฟังก์ชันจะรับค่าแอดเดรสเข้ามา ซึ่งอยู่ในฐาน 10 เช่น ที่แอดเดรส 300H จะมีการส่งค่าแอดเดรสเข้าสู่ function เป็นค่า 768 จากนั้นจึงทำการย้ายค่าแอดเดรสที่ส่งเข้ามาสู่ register dx ด้วยคำสั่ง `mov dx, addport` และทำการรับค่าจากพอร์ทที่ register dx ซึ่งอยู่ด้วยคำสั่ง `in ax, dx` ซึ่งรับค่าเข้ามาใน register ax ส่วนคำสั่ง `mov p, ax` นั้นจะทำการย้ายข้อมูลจาก register ax เข้าสู่ memory ซึ่งมีการจองด้วยตัวแปร p จากนั้นก็จะทำการส่งค่ากลับด้วยคำสั่ง `result := p;` ซึ่งจะอยู่ในรูปของเลขฐาน 10 โดยค่าที่ส่งกลับไปนี้จะถูกนำไปแสดงผลและจัดเก็บลงสู่ดิสก์ต่อไป

5.9.2 การแสดงผลออกทางหน้าจอ

การแสดงผลออกทางหน้าจอ นั้น จะใช้การแสดงผลในรูปแบบของกราฟเชิงเส้น ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา โดยจะทำการแสดงผลไปพร้อมกับการรับค่าจากพอร์ทซึ่งจะทำการรับค่าเข้ามาทุกๆ 1 วินาที แต่เนื่องจากการที่จะพล็อตกราฟบนหน้าจอได้ข้อมูลที่นำมาพล็อตจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปของค่าแกน y ส่วนค่าแกน x มีค่าสูงสุดที่เวลา 5 นาที ส่วนแกน y จะแปลงตามข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า หรือ อุณหภูมิ ซึ่งสามารถทำการแปลงค่าได้ดังนี้



รูป 5.15 แสดงค่า (x,y) ที่จุดต่างๆ

- สมมติให้
- y1 เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันไฟฟ้า
 - y2 เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสไฟฟ้า
 - y3 เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปขณะที่ข้อมูลเป็น 0 ค่า y_1, y_2 และ y_3 จะมีค่าเท่ากับ 165, 345, 525 ตามลำดับ โดยเมื่อข้อมูลที่เข้ามาจากภาคแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิมีค่าสูงสุด จะทำให้ค่า y_1, y_2 และ y_3 ลดลง 150 step ดังนั้นสามารถหาค่าที่ทำให้ค่า y_1, y_2 และ y_3 ลดลง 1 step ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าที่ทำให้ } y_1 \text{ ลดลง 1 step} &= \frac{\text{ค่าที่รับเข้ามาเป็นแรงดันสูงสุดที่ 250 โวลท์}}{\text{จำนวนstepสูงสุด}} \\ &= \frac{2425}{150} = 16.166 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า y_1 ที่แรงดันค่าต่างๆ สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$y_1 = 165 - \left(\frac{\text{ค่าที่รับเข้ามาที่แรงดันค่าต่างๆ}}{16.166} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าที่ทำให้ } y_2 \text{ ลดลง 1 step} &= \frac{\text{ค่าที่รับเข้ามาเมื่อกระแสสูงสุด 10A}}{\text{จำนวนstepสูงสุด}} \\ &= \frac{4095}{150} = 27.3 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า y_2 ที่กระแสค่าต่างๆ สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$y_2 = 345 - \left(\frac{\text{ค่าที่รับเข้ามาที่กระแสค่าต่างๆ}}{27.3} \right)$$

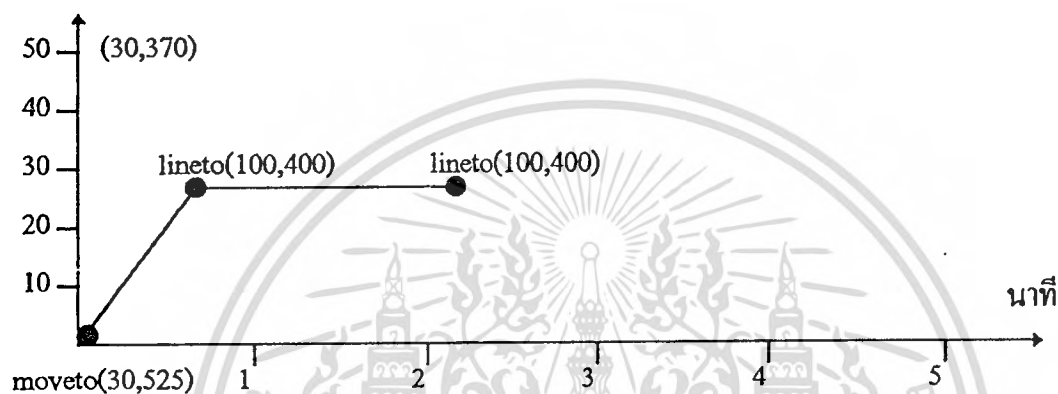
$$\begin{aligned} \text{ค่าที่ทำให้ } y_3 \text{ ลดลง 1 step} &= \frac{\text{ค่าที่รับเข้ามาเมื่ออุณหภูมิสูงสุด } 50^\circ\text{C}}{\text{จำนวนstepสูงสุด}} \\ &= \frac{485}{150} = 3.23 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า y_3 ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$y_3 = 525 - \left(\frac{\text{ค่าที่รับเข้ามาที่อุณหภูมิต่างๆ}}{3.23} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการแปลงค่าของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ อุณหภูมิ เป็นค่า y_1, y_2 และ y_3 แล้ว ก็สามารถทำการพล็อตกราฟได้โดยการใช้คำสั่ง `move to (x,y)` และ `line to (x,y)` ที่กำหนด ส่วนคำสั่ง `line to (x,y)` จะสั่งให้ทำการลากเส้นจากตำแหน่งปัจจุบันไปตำแหน่ง (x,y) ที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังรูป 5.16



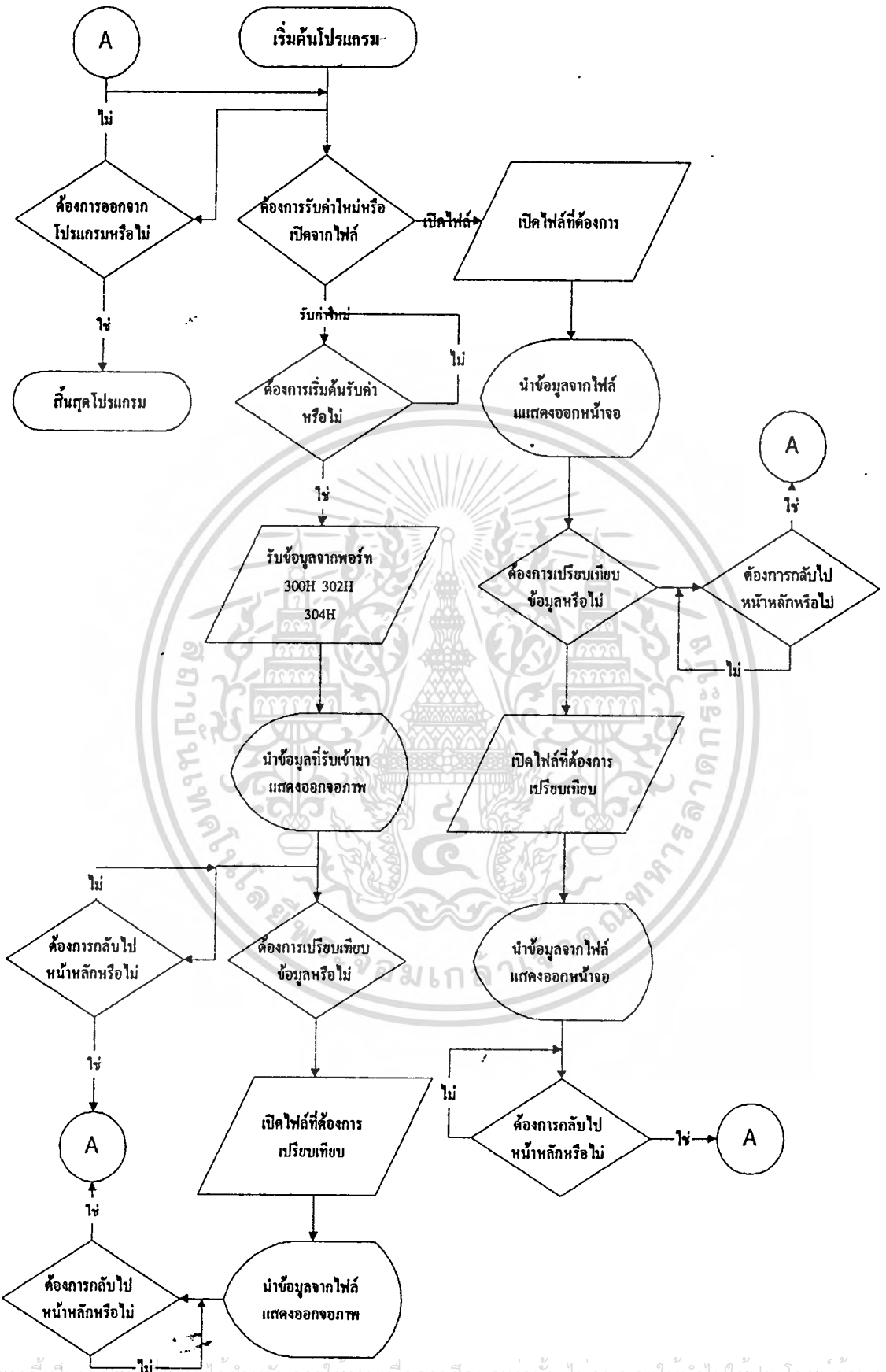
รูป 5.16 แสดงการพล็อตกราฟด้วยคำสั่ง `moveto(x,y)` และ `lineto(x,y)`

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม

เมื่อเริ่ม Run โปรแกรมจะเข้าโปรแกรมหลัก โดยจะมีตัวเลือกให้เลือก คือ เริ่มรับค่าใหม่, เปิดไฟล์ และออกจากโปรแกรม สมมุติเมื่อเลือกที่จะรับค่าใหม่ โปรแกรมจะแสดงฉากของกราฟแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิขึ้นมา ซึ่งจะรอการรับค่าจนกว่าจะเลือกที่จะเริ่มรับค่าเข้ามา เมื่อเลือกที่จะเริ่มรับค่าแล้ว โปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลจาก พอร์ท 300H, 302H และ 304H ตามลำดับโดยทำการอ่านข้อมูลเข้ามาที่ละพอร์ท โดยจะเรียงกันไป จากนั้นจะนำข้อมูลทีอ่านเข้ามาได้ แสดงออกสู่หน้าจอ โดยการพล็อตลงบนกราฟของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ และเมื่อทำการหยุดรับข้อมูลจากพอร์ทแล้ว เราสามารถที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่รับเข้ามากับข้อมูลที่ได้นบันทึกไว้ได้ ถ้าเราเลือกที่จะเปรียบเทียบ โปรแกรมจะทำการเปิดไฟล์ข้อมูลที่เราเลือกและแสดงผลออกมา ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ

ในกรณีที่เลือกเปิดไฟล์จากโปรแกรมหลัก โปรแกรมจะแสดงกราฟของ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ จากข้อมูลที่ได้นำการบันทึกไว้ จากนั้นเราสามารถที่จะทำการเปรียบเทียบเช่นเดียวกับกรณีของการรับค่าเข้ามาใหม่ ซึ่งเป็นการแสดงการเปรียบเทียบสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.17 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองนั้น ได้ทำการทดลองโดยแบ่งออกเป็นภาค ๆ ซึ่งผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

6.1 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดแรงดัน

ตาราง 6.1 แสดงผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดแรงดัน

แรงดันไฟสลับที่ป้อนให้ LOAD	แรงดันไฟสลับที่ออกจากหม้อแปลง	แรงดันไฟตรงที่ออกจากO/PของAD636JH	แรงดันไฟตรงที่จะเข้าA /D
170V	9.55V	88mV	1.7V
180V	10.10V	93mV	1.8V
190V	10.65V	99mV	1.9V
200V	11.35V	105mV	2.0V
210V	12.00V	111mV	2.1V
220V	12.7V	118mV	2.2V
230V	13.16V	123mV	2.3V
240V	13.73V	128mV	2.4V
250V	14.31V	133mV	2.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดกระแส

ตาราง 6.2 แสดงผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดกระแส

กระแสที่ไหลผ่าน LOAD	แรงดันไฟตรงที่ออกจากวงจรAD636JH	แรงดันไฟตรงที่เข้าภาค A /D
0.4A	54mV	0.16V
0.5A	69mV	0.20V
0.6A	85mV	0.24V
0.7A	101mV	0.28V
0.8A	118mV	0.32V
0.9A	136mV	0.36V
1.0A	153mV	0.40V
1.1A	167mV	0.44V
1.2A	185mV	0.48V
1.3A	200mV	0.52V
1.4A	218mV	0.56V
1.5A	237mV	0.60V
1.6A	252mV	0.64V
1.7A	271mV	0.68V
1.8A	290mV	0.72V
1.9A	308mV	0.76V
2.0A	323mV	0.80V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดอุณหภูมิ

ตาราง 6.3 แสดงผลการทดลองวัดค่าที่ภาควัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิ °C	แรงดันที่เอาต์พุตของวงจร	แรงดันที่เข้าภาค A/D
20	200mV	200mV
22	220mV	220mV
25	250mV	250mV
27	270mV	270mV
30	300mV	300mV
32	320mV	320mV
35	350mV	350mV
40	400mV	400mV

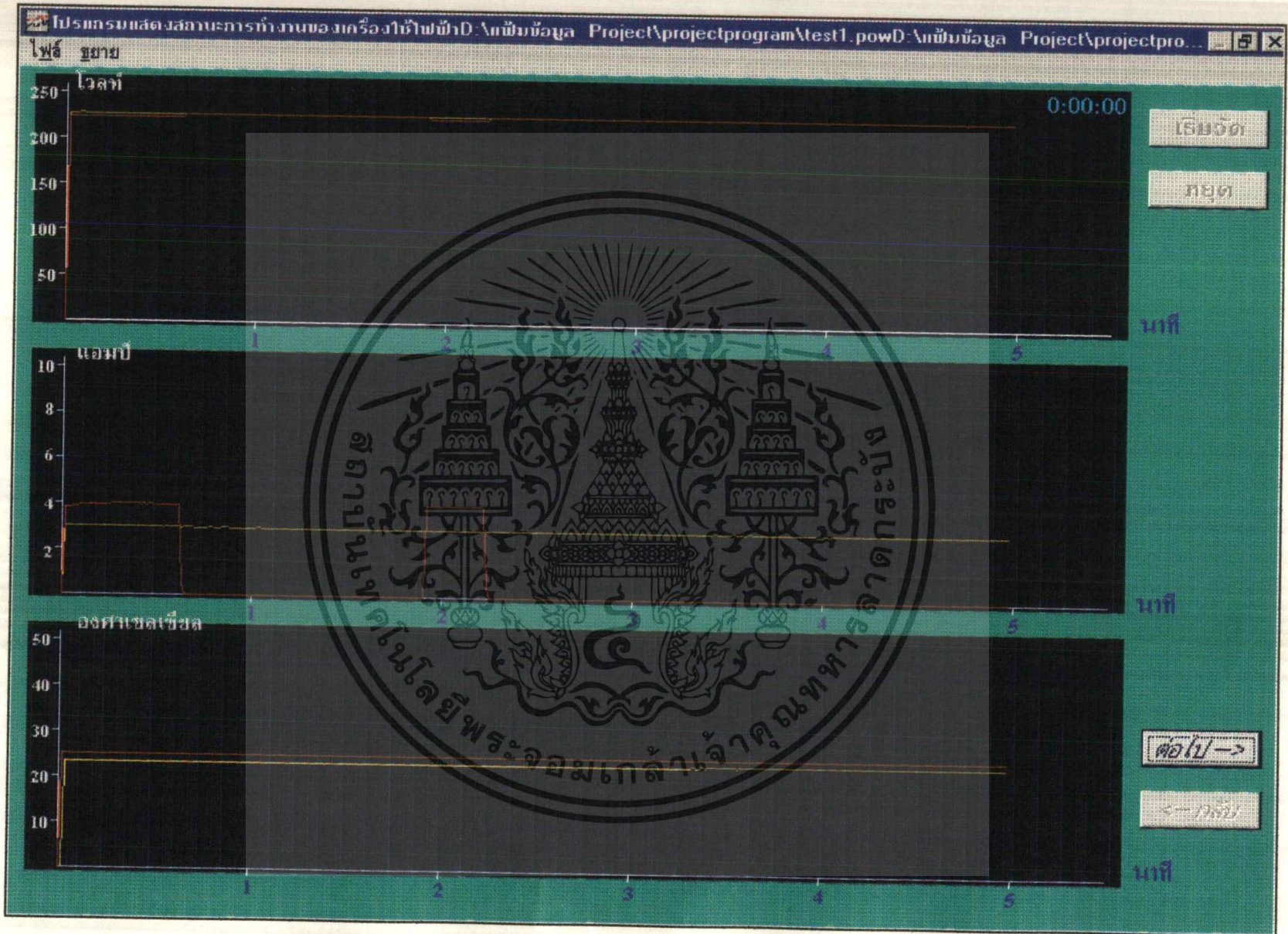
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาค TEST A / D

ตาราง 6.4 ผลการทดลองวัดค่าที่ภาค TEST A / D

แรงดันไฟตรงที่เข้า A / D	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
1.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2.6mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
6.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
7.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
15.5mV	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
16.5mV	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31.0mV	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
32.0mV	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
62.0mV	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
63.0mV	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
124.5mV	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
125.5mV	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
250mV	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
251mV	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
500mV	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
501mV	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.000V	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.001V	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.000V	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.000V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.1 แสดงการเปรียบเทียบสถานะการทำงานระหว่างเตารีด กับ กระจกคัมมำร้อนในช่วงเวลา 1-5 นาทีแรก



รูป 6.2 แสดงการเปรียบเทียบสถานะการทำงานระหว่างเตาเร็ว กับ ภาชนะต้มน้ำร้อนในช่วงเวลา 5-10 นาทีต่อมา

6.5 สรุปผลการทดลอง

ในลำดับขั้นการทดลองที่ภาควัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านั้นสิ่งที่เป็นปัญหาคือ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจาก ปัจจัยต่างๆ ทำให้การปรับค่า Offset เพื่อให้ค่าเป็น 0 ขณะที่ไม่มีแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ภาควัดทั้งสอง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวสามารถแก้ไขด้วยการต่อกราวด์ของวงจรลงแทนเหล็ก เพื่อเป็นการลดระดับของสัญญาณที่เข้ามารบกวน

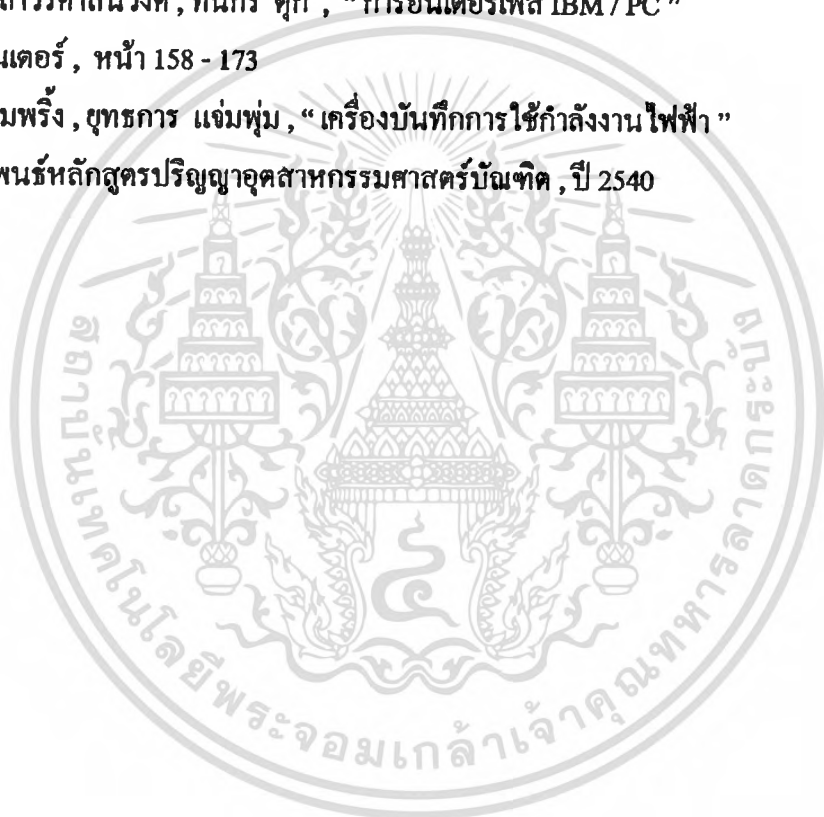
ในส่วนของภาค Analog Switch นั้นโดยปกติ IC ที่มีขายตามท้องตลาดนั้นจะทำงานช้ามากคือจะเกิดค่าเวลาในการหน่วงจากการส่งสัญญาณจาก Input สู่ Output ทำให้การส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์เกิดการผิดพลาด เพราะคอมพิวเตอร์มีความเร็วในการทำงานมากกว่า Analog Switch ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ได้หลายวิธี โดยใน Project นี้ใช้วิธีแก้ปัญหาโดยการใช้ซอฟต์แวร์ หน่วงเวลาในการทำงานของคอมพิวเตอร์ให้ช้าลง เพื่อให้ Analog Switch ทำงานได้ทันกับคอมพิวเตอร์

ในส่วนของภาคอินเตอร์เฟส การอ้าง Address เป็นสิ่งจำเป็นมากในการที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นถูกต้อง โดย Project นี้ใช้การอ้าง Address ที่ 300, 302, 304H ซึ่งเป็นการอ้าง Address แบบ Fix จึงอาจจะทำให้ Address ไปชนกับ Address ของการ์ดตัวอื่นบนคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงต้องทำการ Set Address ของการ์ดตัวอื่น ๆ ให้เป็นค่าอื่นไป คอมพิวเตอร์จึงจะสามารถรับข้อมูลจากการวัดได้อย่างถูกต้อง

ในส่วนของโปรแกรมนั้นใน Project นี้ใช้ Delphi ในการเขียนเป็นซอฟต์แวร์ควบคุมและแสดงผลจากการวัด ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานร่วมกับระบบ Windows โดยข้อดีของการเขียนโปรแกรมให้ทำงานร่วมกับระบบ Windows นั้นก็คือ ฉากของโปรแกรมจะสวยงามและน่าใช้งาน แต่ข้อเสียก็คือ เนื่องจากระบบ Windows สามารถทำงานได้หลายโปรแกรมพร้อมกันดังนั้นในการที่รับค่าจากการวัดซึ่งเป็นไปอย่างต่อเนื่องนั้น จะเกิดการหยุดโปรแกรมเมื่อมีการเรียกใช้โปรแกรมอื่น ทำให้การรับค่าเพื่อนำมาพล็อตกราฟเกิดการหยุดชะงักลง ดังนั้นในการที่จะ Run ซอฟต์แวร์นี้ จะต้องหยุดการใช้โปรแกรมอื่นเสียก่อน

บรรณานุกรม

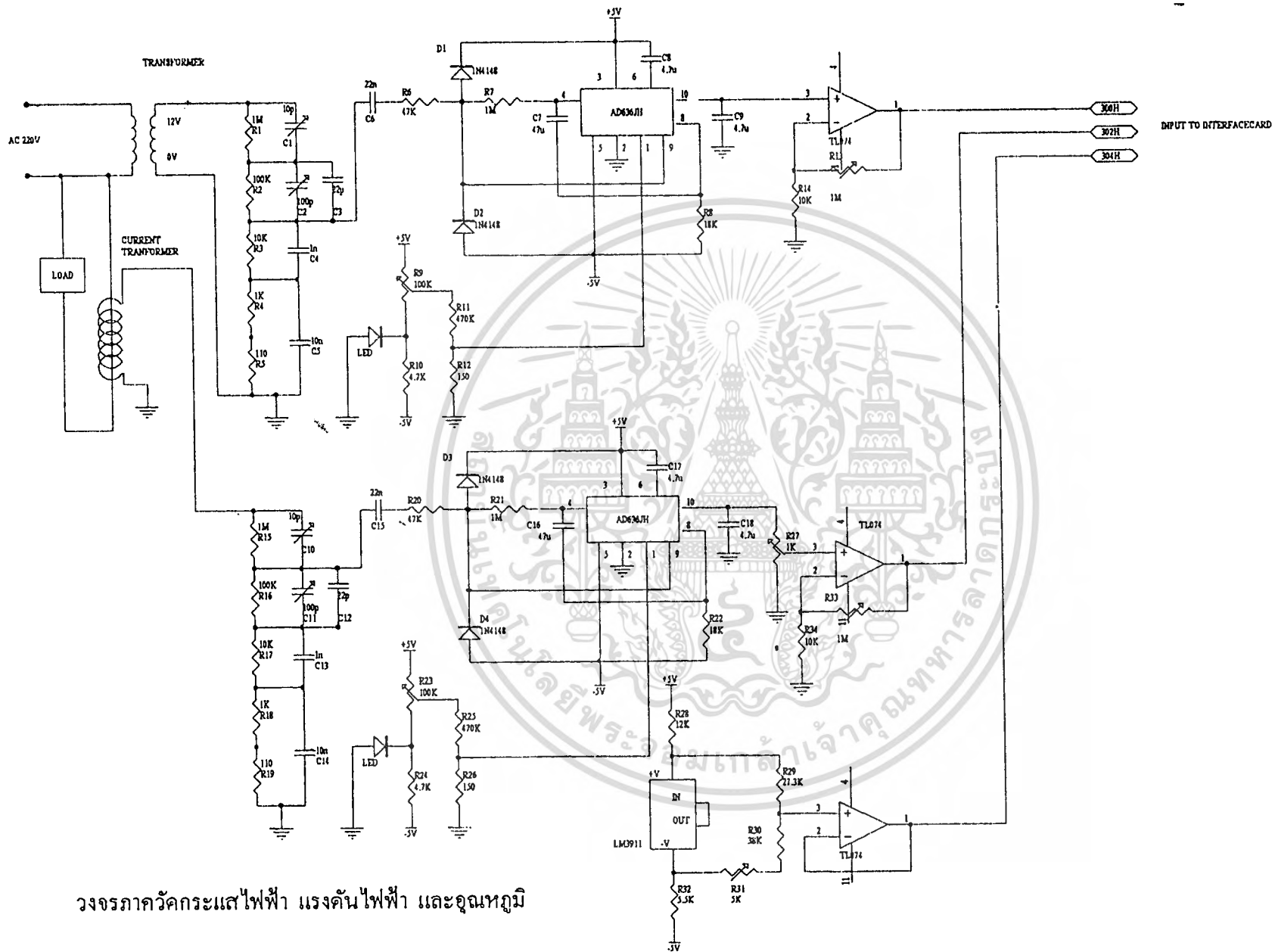
1. คู่มือไอซี TTL , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2534.
2. อากร เก่งผล , โอซามุ นิชิโนะ , “ เครื่องวัด และ การวัดทางไฟฟ้า ”
สมาคมส่งเสริมความรู้เทคนิคระหว่างประเทศ
3. ไพศาล เศรษฐินประเสริฐ , “ การ์คอินเตอร์เฟสเอนกประสงค์ ”
เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ , หน้า 207 - 308 ฉบับที่ 136
4. ชานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์ , ทินกร ตึก , “ การอินเตอร์เฟส IBM / PC ”
ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์ , หน้า 158 - 173
5. พิเชษฐ งามพริ้ง , ยุทธการ แจ่มพุ่ม , “ เครื่องบันทึกการใช้กำลังงานไฟฟ้า ”
ปริญญาานิพนธ์หลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต , ปี 2540



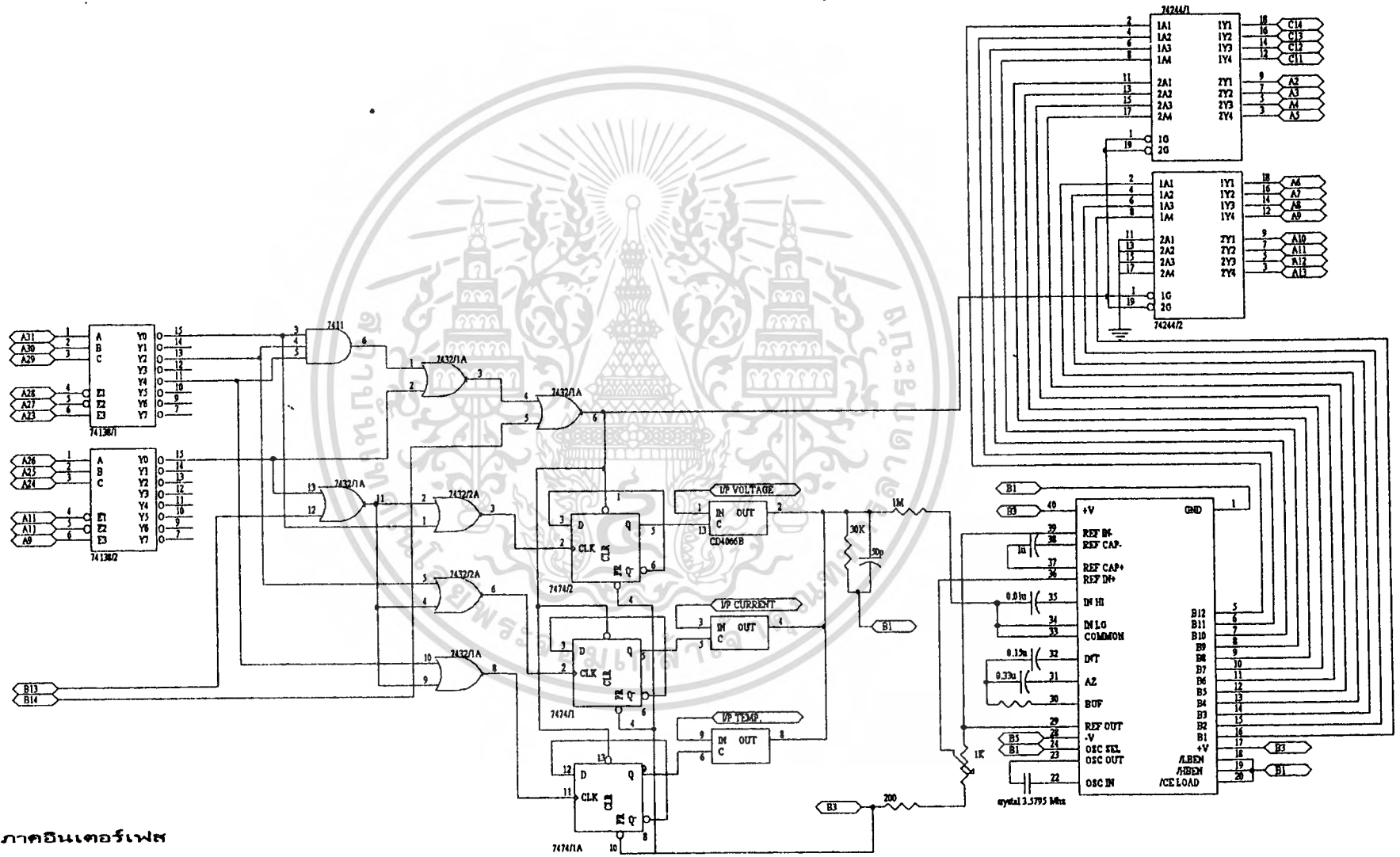
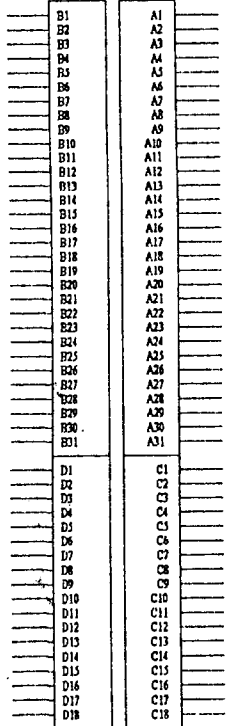
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



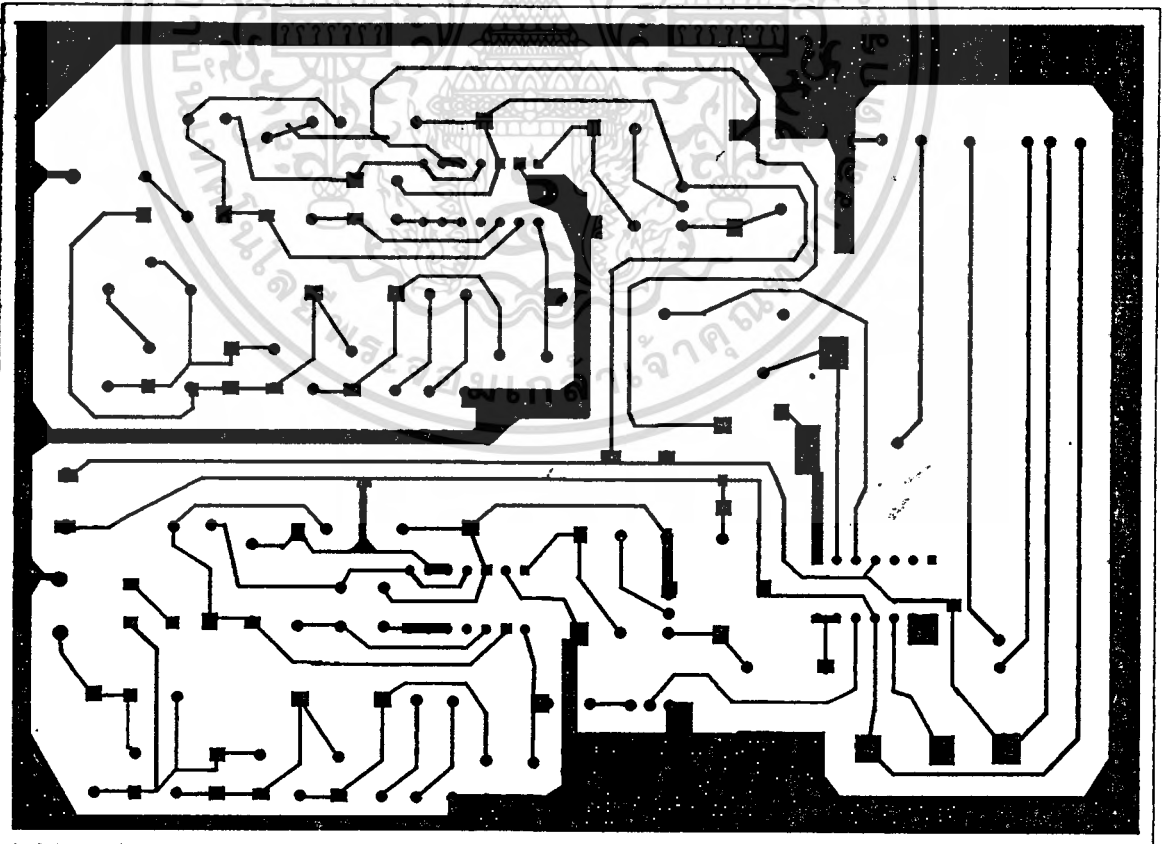
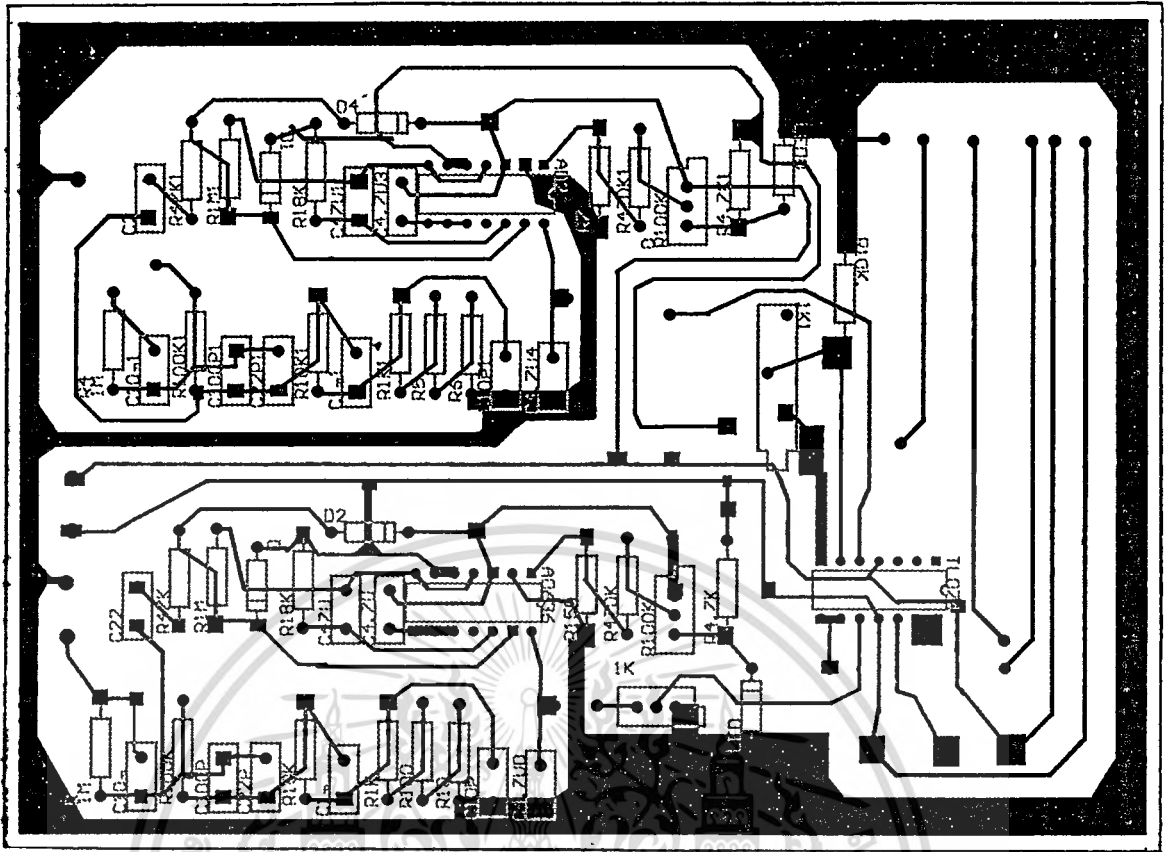
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



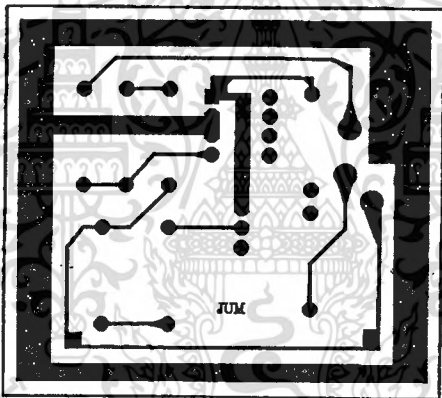
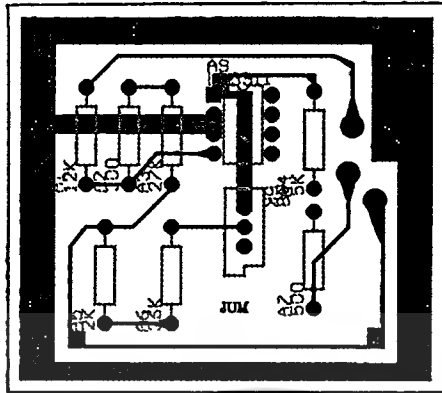
วงจรมหาวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิ



วงจรรภาคอินเตอร์เฟส

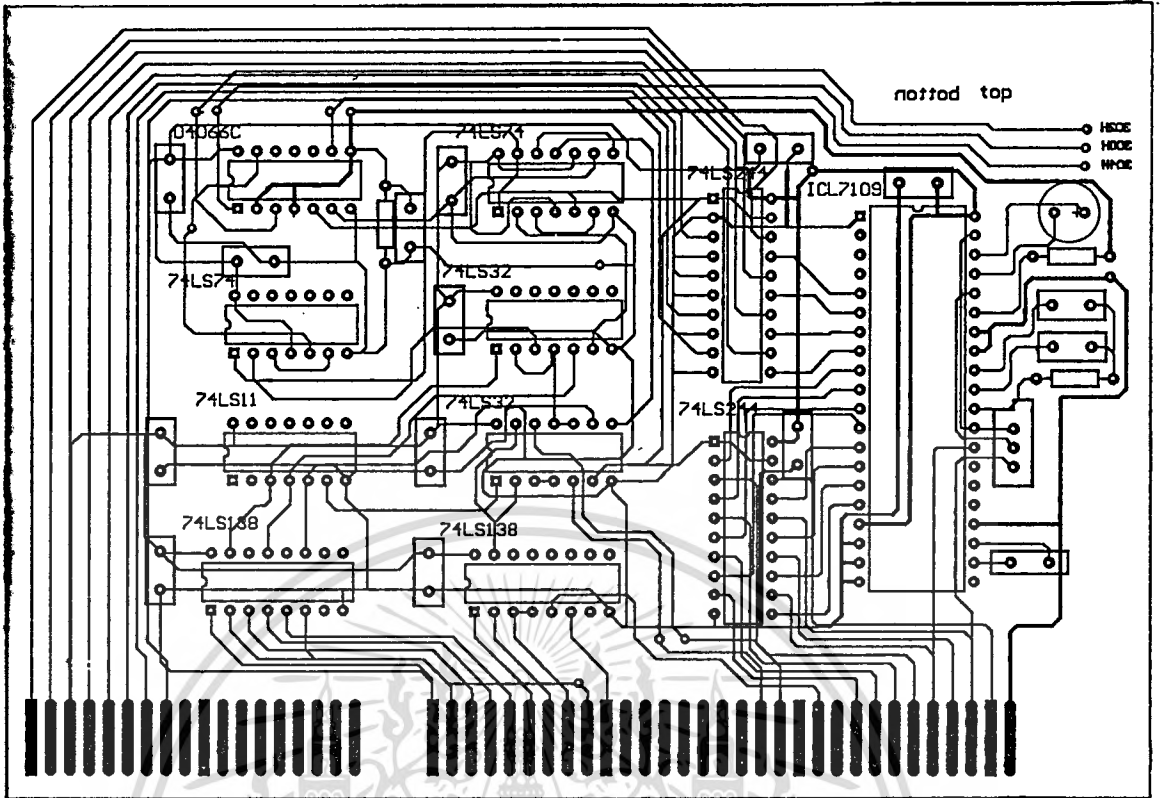


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีให้เห็นเปลี่ยนแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

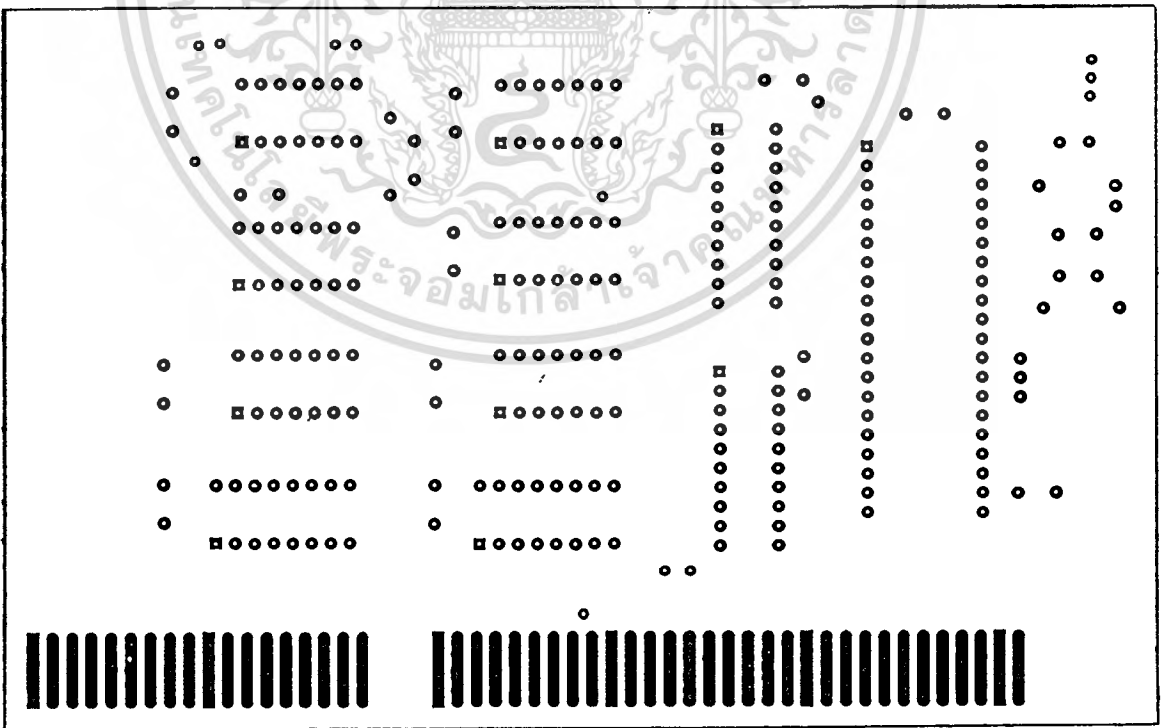


รูปลายวงจรพิมพ์ของภาควัดอุณหภูมิ

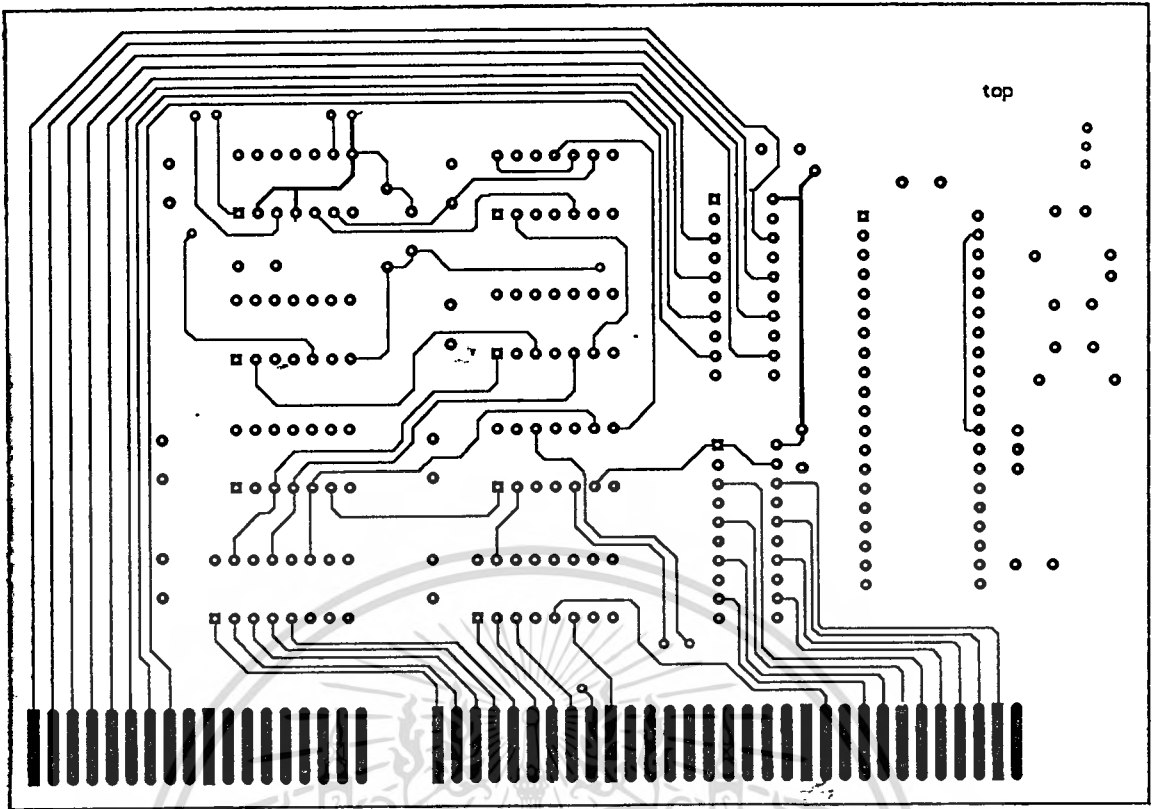
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



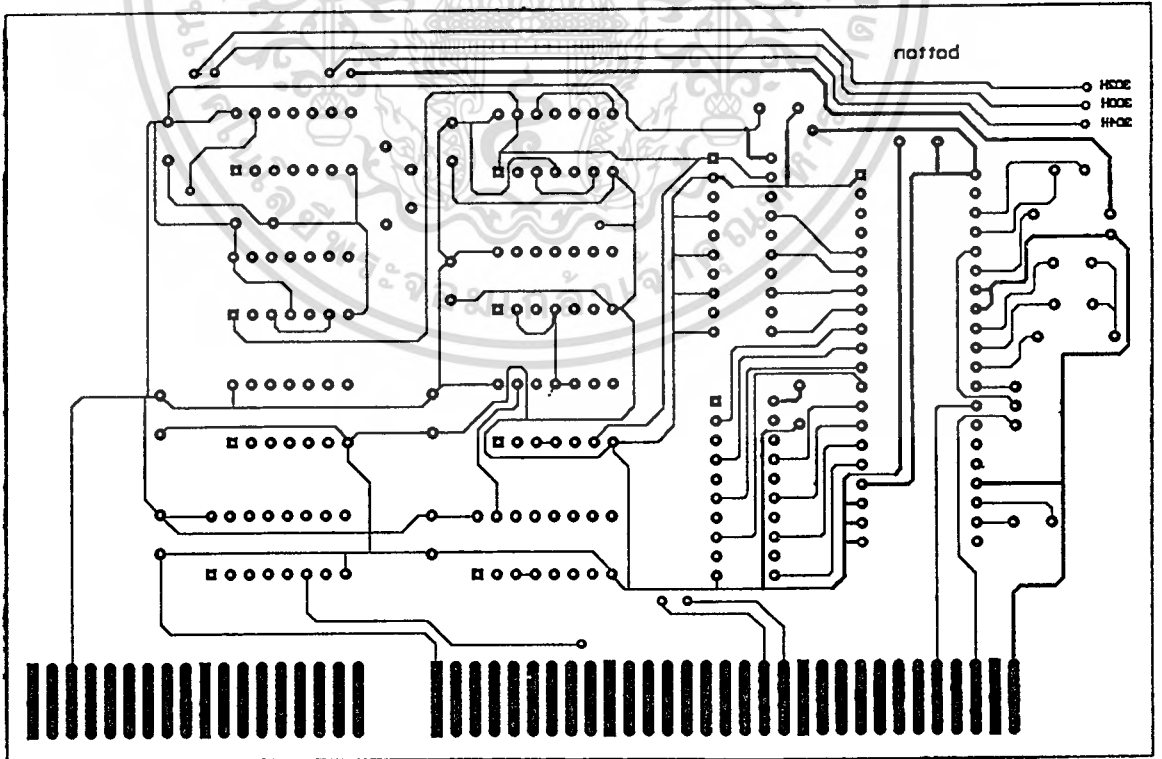
รูปถ่ายวงจรพิมพ์ของการ์ดอินเทอร์เฟส (รวม)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนการ์ดอินเทอร์เฟส
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปถ่ายวงจรพิมพ์ของการ์ดคอมพิวเตอร์เฟส (ด้านหน้า)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปถ่ายวงจรพิมพ์ของการ์ดคอมพิวเตอร์เฟส (ด้านหลัง)

รายการอุปกรณ์

ภาควัดแรงดัน

<i>R (resistor)</i>	<i>1/2w</i>	<i>1%</i>
R1	1	MΩ
R2	100	KΩ
R3	10	KΩ
R4	1	KΩ
R5	110	KΩ
R6	47	KΩ
R7	1	MΩ
R8	18	KΩ
R9 (ทริมพอร์ต)	100	KΩ
R10	4.7	KΩ
R11	470	KΩ
R12	150	KΩ
R13 (ทริมพอร์ต)	1	MΩ
R14	10	KΩ
<i>C (capacitor)</i>		
C1 (ทิมเมอร์)	10	pF
C2 (ทิมเมอร์)	100	pF
C3 (เซรามิก)	22	pF
C4 (เซรามิก)	1	nF
C5 (เซรามิก)	10	nF
C6 (เซรามิก)	22	nF
C7 (แทนทาลัม)	47	μF
C8 (แทนทาลัม)	4.7	μF
C9 (แทนทาลัม)	4.7	μF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D (diode)

D1 - D2 1N4148
LED1

IC (rms to dc)

IC1 AD 636JH

ภาควัดกระแส

R (resistor) 1/2w 1%

R15 1 MΩ
R16 100 KΩ
R17 10 KΩ
R18 1 KΩ
R19 110 Ω
R20 47 KΩ
R21 1 MΩ
R22 18 KΩ
R23 (ทริมพอร์ต) 100 KΩ
R24 4.7 KΩ
R25 470 KΩ
R26 150 Ω
R27 (ทริมพอร์ต) 1 MΩ

C (capacitor)

C10 (ทิมเมอร์) 10 pF
C11 (ทิมเมอร์) 100 pF
C12 (เซรามิก) 22 pF
C13 (เซรามิก) 1 nF
C14 (เซรามิก) 10 nF
C15 (เซรามิก) 22 nF
C16 (แทนทาลัม) 47 μF
C17 (แทนทาลัม) 4.7 μF
C18 (แทนทาลัม) 4.7 μF



D (diode)

D3 - D4 1N4148
LED1

IC (rms to dc)

IC2 AD 636JH

ภาควัดอุณหภูมิ

R (resistor) 1/4W 1%

R28 12 K Ω
R29 27.3K Ω
R30 38 K Ω
R31 (ทริมพอร์ค) 5 K Ω
R32 5.5 K Ω

IC (temperature sensor)

IC3 LM 3911

ภาคการ์ดอินเตอร์เฟซ (interface card)

R (resistor) 1/4 W 1%

R1 1 M Ω
R2 300 K Ω
R3 (ทริมพอร์ค) 1 K Ω
R4 4 K Ω

C (vaporitor)

C1 (แทนทาลัม) 1 μ F
C2 (วิม่า) 0.01 μ F
C3 (วิม่า) 0.15 μ F
C4 (วิม่า) 0.33 μ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
MISCELLANEOUS อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X-TAL 3.58MHz

IC

IC1 - IC2	74LS138
IC3 (A/D 12bit)	ICL7109
IC4 - IC5	74LS244
IC6	74LS11
IC7 - IC8	74LS32
IC9 - IC10	74LS74
IC11	D4066C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Code ของโปรแกรมแสดงสถานะการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า

```
unit original;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
Menus;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
MainMenu1: TMainMenu;
```

```
file1: TMenuItem;
```

```
zoom: TMenuItem;
```

```
new: TMenuItem;
```

```
open: TMenuItem;
```

```
save: TMenuItem;
```

```
zoomiv: TMenuItem;
```

```
zoomi: TMenuItem;
```

```
zoomt: TMenuItem;
```

```
compare: TMenuItem;
```

```
exit: TMenuItem;
```

```
OpenDialog: TOpenDialog;
```

```
procedure newClick(Sender: TObject);
```

```
procedure exitClick(Sender: TObject);
```

```
procedure openClick(Sender: TObject);
```

```
procedure setdefault(sender:Tobject);
```

```
function Inport(addport:word):word;
```

```
procedure Outport(addport:word);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
procedure delay(msec:LongInt);
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
end;

var

Form1: TForm1;

filelength:integer;

ij,stepx,t1,t2,t3,t4,t5:integer;

openfile:tstringlist;

implementation

uses original3, original4, original5, original6;

{SR *.DFM}

procedure TForm1.setdefault(sender:Tobject);

begin

sec:=0;

min:=0;

hr:=0;

canvas.pen.color:=c1teal;

d:=1;

c:=0;

temp:=0;

temp1:=6;

volt:=0;

volt1:=4;

t1:=1;t2:=2;t3:=3;t4:=4;t5:=5;

form3.next.enabled:=false;

form3.back.enabled:=false;

end;

procedure TForm1.newClick(Sender: Tobject);

begin

a:=0; //hide compare

b:=0;

c:=0;

เอกสาร d:=1; //error close form3ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ x:=30; //ไม่ให้แสดงกราฟเดิม มิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stepx:=10;

```
first:=0;
finish:=0;
t1:=1;t2:=2;t3:=3;t4:=4;t5:=5;
form3.save.enabled:=false;
form3.zoom.enabled:=false;
form3.start.enabled:=true;
form3.stop.enabled:=false;
form3.compare.enabled:=false;
form3.caption:='โปรแกรมแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า';
form3.show;
form3.label19.caption:='นาฬิกา';
form3.label2.caption:=inttostr(t1);
form3.label3.caption:=inttostr(t2);
form3.label4.caption:=inttostr(t3);
form3.label5.caption:=inttostr(t4);
form3.label6.caption:=inttostr(t5);
form3.label20.caption:='นาฬิกา';
form3.label8.caption:=inttostr(t1);
form3.label9.caption:=inttostr(t2);
form3.label10.caption:=inttostr(t3);
form3.label11.caption:=inttostr(t4);
form3.label12.caption:=inttostr(t5);
form3.label21.caption:='นาฬิกา';
form3.label14.caption:=inttostr(t1);
form3.label15.caption:=inttostr(t2);
form3.label16.caption:=inttostr(t3);
form3.label17.caption:=inttostr(t4);
form3.label18.caption:=inttostr(t5);
form4.label2.caption:=inttostr(t1);
form4.label3.caption:=inttostr(t2);
form4.label4.caption:=inttostr(t3);
form4.label5.caption:=inttostr(t4);
form4.label6.caption:=inttostr(t5);
form4.label7.caption:='นาฬิกา';
form5.label2.caption:=inttostr(t1);
form5.label3.caption:=inttostr(t2);
form5.label4.caption:=inttostr(t3);
```

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

form5.label5.caption:=inttostr(t4);
form5.label6.caption:=inttostr(t5);
form5.label7.caption:='นาที';
form6.label2.caption:=inttostr(t1);
form6.label3.caption:=inttostr(t2);
form6.label4.caption:=inttostr(t3);
form6.label5.caption:=inttostr(t4);
form6.label6.caption:=inttostr(t5);
form6.label7.caption:='นาที';
stepx:=2;
end;

```

```

procedure TForm1.exitClick(Sender: TObject);
begin
    form1.close;
end;

```

```

procedure TForm1.openClick(Sender: TObject);
begin

```

```

    a:=0; //hide compare
    d:=1; //error close form3
    c:=0;
    t1:=1;t2:=2;t3:=3;t4:=4;t5:=5;
    if opendialog.execute then

```

```

        begin

```

```

            sfilename:=opendialog.filename;
            form3.caption:='โปรแกรมแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า'+sfilename;
            openfile:=tstringlist.create;
            openfile.loadfromfile(sfilename);
            i:=1;
            j:=0;
            b:=1;

```

```

        end;

```

เอกสาร if (sfilename > '0') then สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าในกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

            filelength:=openfile.count;

```

```

repeat
index:=i;
keepv[i]:=strtoint(openfile[j]);
inc(j);
keepi[i]:=strtoint(openfile[j]);
inc(j);
keepf[i]:=strtoint(openfile[j]);
inc(j);
inc(i);
until j >= filelength-1 ;
if index <= 300 then
begin
finish:=index;
first:=0;
end
else
begin
finish:=300;
first:=0;
end;
if index >= 300 then form3.next.enabled:=true;
form3.label19.caption:='นาที';
form3.label2.caption:=inttostr(t1);
form3.label3.caption:=inttostr(t2);
form3.label4.caption:=inttostr(t3);
form3.label5.caption:=inttostr(t4);
form3.label6.caption:=inttostr(t5);
form3.label20.caption:='นาที';
form3.label8.caption:=inttostr(t1);
form3.label9.caption:=inttostr(t2);
form3.label10.caption:=inttostr(t3);
form3.label11.caption:=inttostr(t4);
form3.label12.caption:=inttostr(t5);
form3.label21.caption:='นาที';
form3.label14.caption:=inttostr(t1);
form3.label15.caption:=inttostr(t2);
form3.label16.caption:=inttostr(t3);

```

เอกสารนี้
 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่า
 ฟอร์ม
 ฟอร์ม

```

form3.label17.caption:=inttostr(t4);
form3.label18.caption:=inttostr(t5);
form4.label2.caption:=inttostr(t1);
form4.label3.caption:=inttostr(t2);
form4.label4.caption:=inttostr(t3);
form4.label5.caption:=inttostr(t4);
form4.label6.caption:=inttostr(t5);
form4.label7.caption:='นาฬิกา';
form5.label2.caption:=inttostr(t1);
form5.label3.caption:=inttostr(t2);
form5.label4.caption:=inttostr(t3);
form5.label5.caption:=inttostr(t4);
form5.label6.caption:=inttostr(t5);
form5.label7.caption:='นาฬิกา';
form6.label2.caption:=inttostr(t1);
form6.label3.caption:=inttostr(t2);
form6.label4.caption:=inttostr(t3);
form6.label5.caption:=inttostr(t4);
form6.label6.caption:=inttostr(t5);
form6.label7.caption:='นาฬิกา';
stepx:=2;
form3.show;
form3.start.enabled:=false;
form3.zoom.enabled:=true;
form3.compare.enabled:=true;
form3.save.enabled:=false;

```

end;

end;

```

procedure tform1.delay(msec:longint);

```

```

var stfTime : longint;

```

```

begin

```

```

stfTime := Gettickcount;

```

```

repeat

```

```

  application.processmessages;

```

```

  //form3.label140.caption:=timetostr(now);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่มีการเผยแพร่ ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง
 ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง ห้าสิ่ง

```

until Gettickcount > stTime + msec;
end;

function TForm1.Inport(addport:word):word;
var p:word;
begin
    asm
        mov dx,addport
        in ax,dx
        mov p,ax
    end;
    Result:= p;
end;

procedure TForm1.Outport(addport:word);
begin
    asm
        mov dx,addport
        out dx,ax
    end;
end;

end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit original3;

interface

uses

**Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Menus;**

type

TForm3 = class(TForm)

MainMenu1: TMainMenu;

file1: TMenuItem;

new: TMenuItem;

open: TMenuItem;

save: TMenuItem;

compare: TMenuItem;

exit: TMenuItem;

zoom: TMenuItem;

zoomrv: TMenuItem;

zoomi: TMenuItem;

zoomt: TMenuItem;

start: TButton;

stop: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;

Label22: TLabel;

Label23: TLabel;



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากผู้ใดฝ่าฝืนลิขสิทธิ์สงวนไว้ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
Label32: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
SaveDialog: TSaveDialog;
OpenDialog1: TOpenDialog;
Label41: TLabel;
next: TButton;
back: TButton;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Label40: TLabel;

procedure formpaint(Sender: TObject);
procedure exitClick(Sender: TObject);
procedure startClick(Sender: TObject);
procedure stopClick(Sender: TObject);
procedure zoommvClick(Sender: TObject);
procedure zoomiClick(Sender: TObject);
procedure zoomtClick(Sender: TObject);
procedure saveClick(Sender: TObject);
procedure compareClick(Sender: TObject);
procedure nextClick(Sender: TObject);
procedure backClick(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
var
```

```
Form3: TForm3;
```

```

datasave:tstringlist;
keepv :array [1..50000] of integer;
keepi :array [1..50000] of integer;
keepc :array [1..50000] of integer;
keepv1 :array [1..50000] of integer;
keepi1 :array [1..50000] of integer;
keepc1 :array [1..50000] of integer;
a,b,c,ccheck,first,finish,first1,finish1:integer;
d,e,x,y1,y2,y3,index,index1,sec,min,hr,temp,temp1:integer;
volt,volt1:integer;
sfilename,sfilename1:tfilename;
atime:tdatetime;
times:longint;
data,data1,data2:dword;

```

implementation

```
uses original1, original4, original5, original6, original7;
```

```
{SR *.DFM}
```

```
procedure TForm3.FormPaint(Sender: TObject);
```

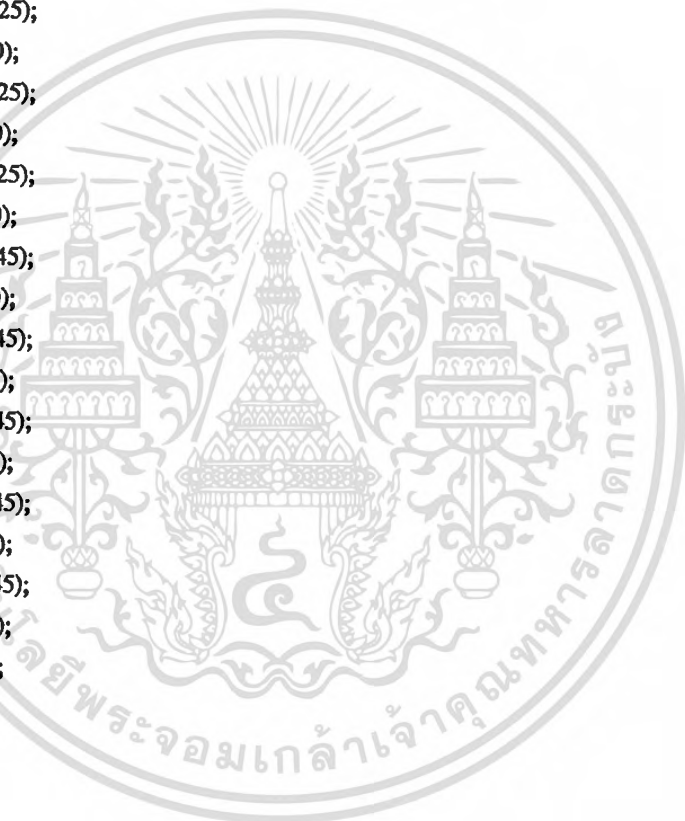
```
begin
```

```

//form3.label140.caption:=timetostr(now);
atime:=strtotime(inttostr(hr)+':'+inttostr(min)+':'+inttostr(sec));
form3.label141.caption:=timetostr(atime);
canvas.pen.color:=clblack;
canvas.brush.color := clblack;
canvas.rectangle(700,5,10,168);
canvas.rectangle(700,185,10,348);
canvas.rectangle(700,365,10,528);
canvas.pen.color := clwhite;
canvas.moveto(30,10);
canvas.lineto(30,165);
canvas.moveto(30,165);
canvas.lineto(690,165);
canvas.moveto(30,190);
canvas.lineto(30,345);
canvas.moveto(30,345);
canvas.lineto(690,345);
canvas.moveto(30,370);
canvas.lineto(30,525);
canvas.moveto(30,525);
canvas.lineto(690,525);
canvas.moveto(150,165);
canvas.lineto(150,170);

```

canvas.moveto(270,165);
canvas.lineto(270,170);
canvas.moveto(390,165);
canvas.lineto(390,170);
canvas.moveto(510,165);
canvas.lineto(510,170);
canvas.moveto(630,165);
canvas.lineto(630,170);
canvas.moveto(150,525);
canvas.lineto(150,530);
canvas.moveto(270,525);
canvas.lineto(270,530);
canvas.moveto(390,525);
canvas.lineto(390,530);
canvas.moveto(510,525);
canvas.lineto(510,530);
canvas.moveto(630,525);
canvas.lineto(630,530);
canvas.moveto(150,345);
canvas.lineto(150,350);
canvas.moveto(270,345);
canvas.lineto(270,350);
canvas.moveto(390,345);
canvas.lineto(390,350);
canvas.moveto(510,345);
canvas.lineto(510,350);
canvas.moveto(630,345);
canvas.lineto(630,350);
canvas.moveto(30,15);
anvas.lineto(25,15);
anvas.moveto(30,45);
anvas.lineto(25,45);
anvas.moveto(30,75);
anvas.lineto(25,75);
anvas.moveto(30,105);
anvas.lineto(25,105);
anvas.moveto(30,135);
anvas.lineto(25,135);
anvas.moveto(30,195);
anvas.lineto(25,195);
anvas.moveto(30,225);
anvas.lineto(25,225);
anvas.moveto(30,255);
anvas.lineto(25,255);
anvas.moveto(30,285);
anvas.lineto(25,285);



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

anvas.moveto(30,315);
anvas.lineto(25,315);
anvas.moveto(30,375);
anvas.lineto(25,375);
canvas.moveto(30,405);
canvas.lineto(25,405);
canvas.moveto(30,435);
canvas.lineto(25,435);
canvas.moveto(30,465);
canvas.lineto(25,465);
canvas.moveto(30,495);
canvas.lineto(25,495);
canvas.brush.color := clblack;
if (b=1) then
begin
    c:=first;
    x:=30;
    repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepv[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepv[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepi[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepi[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keep[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keep[c+1]);
    //form3.edit1.text:='c ='+inttostr(c)
    {form3.edit3.text:='finish =' +inttostr(finish);}
    until c=finish-1 ;
    b:=1;
    canvas.pen.color:=clblack;
end;

```

```

if (a=1) then //compare

```

```

begin

```

```

c:=first1;

```

```

x:=30;

```

```

repeat

```

เอกสารนี้ใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c:=c+1;
canvas.pen.color := cired;
canvas.moveto(x,keepv1[c]);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,keepv1[c+1]);
x:=x-stepx;
canvas.pen.color := cired;
canvas.moveto(x,keepi1[c]);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,keepi1[c+1]);
x:=x-stepx;
canvas.pen.color := cired;
canvas.moveto(x,keopt1[c]);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,keopt1[c+1]);
until c=finish1-1;
b:=1;
canvas.pen.color := clblack;
//form1.visible:=true;
end;
if (finish1-first1 >= 300) and (finish-first >= 300) then form3.next.enabled:=true;
end;

procedure TForm3.exitClick(Sender: TObject);
begin
form3.save.enabled:=false;
form3.zoom.enabled:=false;
form3.start.enabled:=true;
form3.stop.enabled:=false;
form3.close;
a:=0;
b:=0;
c:=0;
x:=30;
form1.show;
end;

```

```

procedure TForm3.startClick(Sender: TObject);

```

```

begin

```

```

form3.start.enabled:=false;

```

```

form3.file1.enabled:=false;

```

```

index:=0;

```

```

if a = 0 then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    b:=0;
    d:=0;
    x:=30;
    y1:=165;
    y2:=345;
    y3:=525;
    datasave:=tstringlist.create;
    //datasave.add(time);

end;
first:=index; //first point
repeat
    ccheck:=index;
    //form3.edit1.text:='index = '+inttostr(ccheck);
    index:=index+1;
    //y1:=y1; //adddata from port 300H 165-(data/27.3)
    form1.inport(768);
    form1.Outport(768);
    form1.dclay(300);
    data := form1.Inport(768);
    //form3.edit3.text:=inttostr(data);
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,y1);
    keepv[index]:=y1;
    datasave.add(inttostr(y1)); //adddata to string
    if (data > 2425) or (data < 48) then
    begin
        data:=0;
        volt:=1;
        volt1:=0;
    end;
    if volt = 1 then
    begin
        data:=0;
        inc(volt1);
    end;
    if volt > 3 then volt:=0;
    data2:=data;
    data:=data*1000;
    y1:= 165-(data div 16166);
    form3.label43.caption:='Volt = '+inttostr(data div (1616*6))+'!'
        +inttostr(((data mod (1616*6))*10) div (1616*6));
    //form3.edit3.text:=inttostr(y1);
    //form1.dclay (33);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,y1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะเผยแพร่ทางสื่อออนไลน์หรือทางอื่นใด หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x:=x-stepx;
//y2:=y2;           //adddata from port 302H 345-(data/27.3)
form1.inport(770);
form1.outport(770);
form1.delay(300);
data := form1.Inport(770);
canvas.pen.color := clyellow;
canvas.moveto(x,y2);
keepi[index]:=y2;
datasave.add(inttostr(y2)); //adddata to string
if data < 20 then data:=0;
data:=data*100;
form3.label40.caption:='Amp = '+inttostr(data div (273*15))
                                     +'.'+inttostr(((data mod (273*15))*10) div (273*15))
                                     +inttostr(((data mod (273*15))*100) div (273*15));

y2:=345-(data div 273);
//form1.delay (33);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,y2);
x:=x-stepx;
//y3:=y3;           //adddata from port 304H 525-(data/27.3)
form1.inport(772);
form1.Outport(772);
form1.delay(300);
data := form1.Inport(772);
//form1.delay (34);
canvas.pen.color := clyellow;
canvas.moveto(x,y3);
keepf[index]:=y3;
datasave.add(inttostr(y3)); //adddata to string
if (data -data1)>48 then
begin
    temp:=1;
    if data > 485 then
    begin
        data:=0;
        temp:=1;
        temp1:=0;
    end;
end;
data1:=data;
if temp = 1 then
begin
    data:=0;
    temp:=1;
    temp1:=0;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

```

if temp1 > 5 then temp:=0;
data:=data*100;
form3.label42.caption:='Temp = '+inttostr(data div (323*3))+!
+inttostr(((data mod (323*3))*10) div (323*3))
+inttostr(((data mod (323*3))*100) div (323*3));

y3:=525-(data div 323);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,y3);
inc(sec);
if sec = 60 then
begin
inc(min);
sec:=0;
end;
if min=60 then
begin
inc(hr);
min:=0;
end;
atime:=strtotime(inttostr(hr)+':'+inttostr(min)+':'+inttostr(sec));
form3.label41.caption:=timetost(atime);
if index=3 then form3.stop.enabled:=true ;
if x>=630 then
begin
{y1:=y1-5;
y2:=y2-5;
y3:=y3-5;}
x:=30;
first:=index;
canvas.pen.color:=clblack;
canvas.brush.color := clblack;
canvas.rectangle(635,15,31,165);
canvas.rectangle(635,195,31,345);
canvas.rectangle(635,375,31,525);
canvas.pen.color := clwhite;
canvas.moveto(30,10);
canvas.lineto(30,165);
canvas.moveto(30,165);
canvas.lineto(690,165);
canvas.moveto(30,190);
canvas.lineto(30,345);
canvas.moveto(30,345);
canvas.lineto(690,345);
canvas.moveto(30,370);
canvas.lineto(30,525);
canvas.moveto(30,525);

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากพบข้อผิดพลาด กรุณาแจ้งให้ติดต่อผู้ดูแลระบบเพื่อแก้ไขเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

canvas.lineto(690,525);
canvas.moveto(150,165);
canvas.lineto(150,170);
canvas.moveto(270,165);
canvas.lineto(270,170);
canvas.moveto(390,165);
canvas.lineto(390,170);
canvas.moveto(510,165);
canvas.lineto(510,170);
canvas.moveto(630,165);
canvas.lineto(630,170);
canvas.moveto(150,525);
canvas.lineto(150,530);
canvas.moveto(270,525);
canvas.lineto(270,530);
canvas.moveto(390,525);
canvas.lineto(390,530);
canvas .moveto(510,525);
canvas.lineto(510,530);
canvas.moveto(630,525);
canvas.lineto(630,530);
canvas.moveto(150,345);
canvas.lineto(150,350);
canvas.moveto(270,345);
canvas.lineto(270,350);
canvas.moveto(390,345);
canvas.lineto(390,350);
canvas.moveto(510,345);
canvas .lineto(510,350);
canvas.moveto(630,345);
canvas.lineto(630,350);
canvas.moveto(30,15);
canvas.lineto(25,15);
canvas.moveto(30,45);
canvas.lineto(25,45);
canvas.moveto(30,75);
canvas.lineto(25,75);
canvas.moveto(30,105);
canvas.lineto(25,105);
canvas.moveto(30,135);
canvas.lineto(25,135);
canvas.moveto(30,195);
canvas.lineto(25,195);
canvas.moveto(30,225);
canvas.lineto(25,225);
canvas.moveto(30,255);



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอให้อ่านเงื่อนไขการใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
canvas.lineto(25,255);
canvas.moveto(30,285);
canvas.lineto(25,285);
canvas.moveto(30,315);
canvas.lineto(25,315);
canvas.moveto(30,375);
canvas.lineto(25,375);
canvas.moveto(30,405);
canvas.lineto(25,405);
canvas.moveto(30,435);
canvas.lineto(25,435);
canvas.moveto(30,465);
canvas.lineto(25,465);
canvas.moveto(30,495);
canvas.lineto(25,495);
canvas.brush.color := cblack;
t1:=t1+5;
2:=t2+5;
3:=t3+5;
4:=t4+5;
5:=t5+5;
om3.label19.caption:="นพิตี";
form3.label2.caption:=inttostr(t1);
form3.label3.caption:=inttostr(t2);
form3.label4.caption:=inttostr(t3);
form3.label5.caption:=inttostr(t4);
form3.label6.caption:=inttostr(t5);
form3.label20.caption:="นพิตี";
form3.label8.caption:=inttostr(t1);
form3.label9.caption:=inttostr(t2);
form3.label10.caption:=inttostr(t3);
form3.label11.caption:=inttostr(t4);
form3.label12.caption:=inttostr(t5);
form3.label21.caption:="นพิตี";
form3.label14.caption:=inttostr(t1);
form3.label15.caption:=inttostr(t2);
form3.label16.caption:=inttostr(t3);
form3.label17.caption:=inttostr(t4);
form3.label18.caption:=inttostr(t5);
form4.label2.caption:=inttostr(t1);
form4.label3.caption:=inttostr(t2);
form4.label4.caption:=inttostr(t3);
form4.label5.caption:=inttostr(t4);
form4.label6.caption:=inttostr(t5);
form4.label7.caption:="นพิตี";
form5.label2.caption:=inttostr(t1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่เห็นแก่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

form5.label3.caption:=inttostr(t2);
form5.label4.caption:=inttostr(t3);
form5.label5.caption:=inttostr(t4);
form5.label6.caption:=inttostr(t5);
form5.label7.caption:='นพท';
form6.label2.caption:=inttostr(t1);
form6.label3.caption:=inttostr(t2);
form6.label4.caption:=inttostr(t3);
form6.label5.caption:=inttostr(t4);
form6.label6.caption:=inttostr(t5);
form6.label7.caption:='นพท';
end;
until (b=1) or (d=1) ;
canvas.pen.color := clblack;
end;

```

```

procedure TForm3.stopClick(Sender: TObject);
begin
form3.stop.enabled:=false;
b:=1;
form3.save.enabled:=true;
form3.zoom.enabled:=true;
form3.file1.enabled:=true;
form3.compare.enabled:=true;
if ccheck > 300 then form3.back.enabled:=true;
finish:=index;
//form3.cdif2.text:='finish = '+inttostr(finish);
end;

```

```

procedure TForm3.zoomvClick(Sender: TObject);
begin
form4.show;
end;

```

```

procedure TForm3.zoomiClick(Sender: TObject);
begin
form5.show;
end;

```

```

procedure TForm3.zoomtClick(Sender: TObject);
begin
form6.show;
end;

```

```

procedure TForm3.saveClick(Sender: TObject);
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรเผยแพร่ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if savedialog.execute then
begin
    sfilename:=savedialog.filename;
    datasave.savetofile(sfilename);
end;
form3.caption:='โปรแกรมแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า'+sfilename;
end;

```

```

procedure TForm3.compareClick(Sender: TObject);
begin

```

```

    canvas.pen.color:=clblack;
    canvas.brush.color := clblack;
    canvas.rectangle(635,15,31,165);
    canvas.rectangle(635,195,31,345);
    canvas.rectangle(635,375,31,525);
    x:=30;
    c:=0;
    first:=c;
    t1:=1;t2:=2;t3:=3;t4:=4;t5:=5;
    form3.label19.caption:='นาฬิกา';
    form3.label2.caption:=inttostr(t1);
    form3.label3.caption:=inttostr(t2);
    form3.label4.caption:=inttostr(t3);
    form3.label5.caption:=inttostr(t4);
    form3.label6.caption:=inttostr(t5);
    form3.label20.caption:='นาฬิกา';
    form3.label8.caption:=inttostr(t1);
    form3.label9.caption:=inttostr(t2);
    form3.label10.caption:=inttostr(t3);
    form3.label11.caption:=inttostr(t4);
    form3.label12.caption:=inttostr(t5);
    form3.label21.caption:='นาฬิกา';
    form3.label14.caption:=inttostr(t1);
    form3.label15.caption:=inttostr(t2);
    form3.label16.caption:=inttostr(t3);
    form3.label17.caption:=inttostr(t4);
    form3.label18.caption:=inttostr(t5);
    form4.label2.caption:=inttostr(t1);
    form4.label3.caption:=inttostr(t2);
    form4.label4.caption:=inttostr(t3);
    form4.label5.caption:=inttostr(t4);
    form4.label6.caption:=inttostr(t5);
    form4.label7.caption:='นาฬิกา';
    form5.label2.caption:=inttostr(t1);
    form5.label3.caption:=inttostr(t2);
    form5.label4.caption:=inttostr(t3);

```

```

form5.label5.caption:=inttostr(t4);
form5.label6.caption:=inttostr(t5);
form5.label7.caption:='นาฬิกา';
form6.label2.caption:=inttostr(t1);
form6.label3.caption:=inttostr(t2);
form6.label4.caption:=inttostr(t3);
form6.label5.caption:=inttostr(t4);
form6.label6.caption:=inttostr(t5);
form6.label7.caption:='นาฬิกา';
repeat
c:=c+1;
canvas.pen.color := clyellow;
canvas.moveto(x,keepv[c]);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,keepv[c+1]);
x:=x-stepx;
canvas.pen.color := clyellow;
canvas.moveto(x,keepi[c]);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,keepi[c+1]);
x:=x-stepx;
canvas.pen.color := clyellow;
canvas.moveto(x,keepf[c]);
x:=x+stepx;
canvas.lineto(x,keepf[c+1]);
form3.next.enabled:=true;
//form3.edit1.text:='c = '+inttostr(c);
until (x>=630) or (c>= index-1);
finish:=c;
if c<=300 then form3.back.enabled:=false;
if c>=index-1 then form3.next.enabled:=false;
//form3.edit3.text:='first = '+inttostr(first);
//form3.edit4.text:='finish = '+inttostr(finish);
form3.back.enabled:=false;
//form3.next.enabled:=true;
form3.save.enabled:=false;
if opendialog1.execute then
begin
sfilename1:=opendialog1.filename;
form3.caption:='โปรแกรมแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า'+sfilename+sfilename1;
openfile:=tstringlist.create;
openfile.loadfromfile(sfilename1);
i:=1;
j:=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

```

if (sfilename1 > '0') then
begin
  a:=1;
  filelength:=openfile.count;
  repeat
  index1:=i;
  keepv1[i]:=strtoint(openfile[j]);
  inc(j);
  keepi1[i]:=strtoint(openfile[j]);
  inc(j);
  kept1[i]:=strtoint(openfile[j]);
  inc(j);
  inc(i);
  until j >= filelength-1 ;
  if index1 <= 300 then
  begin
    finish1:=index1;
    first1:=0;
  end
  else
  begin
    finish1:=300;
    first1:=0;
  end;
  if (finish1-first1 >= 300) and (finish-first >= 300) then form3.next.enabled:=true;
  if (finish1-first1 >= 300) and (finish-first < 300) then form3.next.enabled:=false;
  if (finish-first >= 300) and (finish1-first1 < 300) then form3.next.enabled:=false;
  if finish1 = 0 then
  if index >= 300 then form3.next.enabled:=true;
  c:=first1;
  x:=30;
  repeat
  c:=c+1;
  canvas.pen.color := clred;
  canvas.moveto(x,keepv1[c]);
  x:=x+stepx;
  canvas.lineto(x,keepv1[c+1]);
  x:=x-stepx;
  canvas.pen.color := clred;
  canvas.moveto(x,keepi1[c]);
  x:=x+stepx;
  canvas.lineto(x,keepi1[c+1]);
  x:=x-stepx;
  canvas.pen.color := clred;
  canvas.moveto(x,kept1[c]);
  x:=x+stepx;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ canvas.moveto(x,kept1[c]); ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x:=x+stepx;

```

        canvas.lineto(x,kecept1[c+1]);
        until c=finish1-1 ;
        canvas.pen.color:=clblack;
        form3.compare.enabled:=false;
        // form3.edit5.text:='first1 = '+inttostr(first1);
        // form3.edit6.text:='finish1 = '+inttostr(finish1);
        //form3.edit1.text:='index1 = '+inttostr(index1);
    end
else
begin
        form3.enabled:=false;
        form7.show;
end;
end;

```

```

procedure TForm3.nextClick(Sender: TObject);
begin

```

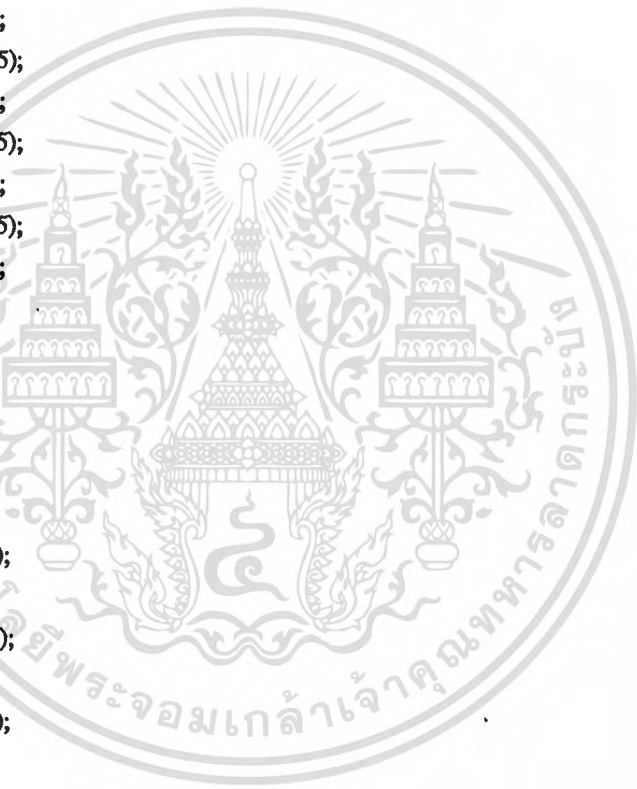
```

    x:=30;
    canvas.pen.color:=clblack;
    canvas.brush.color := clblack;
    canvas.rectangle(635,15,31,165);
    canvas.rectangle(635,195,31,345);
    canvas.rectangle(635,375,31,525);
    canvas.pen.color := clwhite;
    canvas.moveto(30,10);
    canvas.lineto(30,165);
    canvas.moveto(30,165);
    canvas.lineto(690,165);
    canvas.moveto(30,190);
    canvas.lineto(30,345);
    canvas.moveto(30,345);
    canvas.lineto(690,345);
    canvas.moveto(30,370);
    canvas.lineto(30,525);
    canvas.moveto(30,525);
    canvas.lineto(690,525);
    canvas.moveto(150,165);
    canvas.lineto(150,170);
    canvas.moveto(270,165);
    canvas.lineto(270,170);
    canvas.moveto(390,165);
    canvas.lineto(390,170);
    canvas.moveto(510,165);
    canvas.lineto(510,170);
    canvas.moveto(630,165);
    canvas.lineto(630,170);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

canvas.moveto(150,525);
canvas.lineto(150,530);
canvas.moveto(270,525);
canvas.lineto(270,530);
canvas.moveto(390,525);
canvas.lineto(390,530);
canvas.moveto(510,525);
canvas.lineto(510,530);
canvas.moveto(630,525);
canvas.lineto(630,530);
canvas.moveto(150,345);
canvas.lineto(150,350);
canvas.moveto(270,345);
canvas.lineto(270,350);
canvas.moveto(390,345);
canvas.lineto(390,350);
canvas.moveto(510,345);
canvas.lineto(510,350);
canvas.moveto(630,345);
canvas.lineto(630,350);
canvas.moveto(30,15);
canvas.lineto(25,15);
canvas.moveto(30,45);
canvas.lineto(25,45);
canvas.moveto(30,75);
canvas.lineto(25,75);
canvas.moveto(30,105);
canvas.lineto(25,105);
canvas.moveto(30,135);
canvas.lineto(25,135);
canvas.moveto(30,195);
canvas.lineto(25,195);
canvas.moveto(30,225);
canvas.lineto(25,225);
canvas.moveto(30,255);
canvas.lineto(25,255);
canvas.moveto(30,285);
canvas.lineto(25,285);
canvas.moveto(30,315);
canvas.lineto(25,315);
canvas.moveto(30,375);
canvas.lineto(25,375);
canvas.moveto(30,405);
canvas.lineto(25,405);
canvas.moveto(30,435);
canvas.lineto(25,435);



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
canvas.moveto(30,465);
canvas.lineto(25,465);
canvas.moveto(30,495);
canvas.lineto(25,495);
canvas.brush.color := clblack;
t1:=t1+5;
t2:=t2+5;
t3:=t3+5;
t4:=t4+5;
t5:=t5+5;
form3.label19.caption:='นาฬิกา';
form3.label2.caption:=inttostr(t1);
form3.label3.caption:=inttostr(t2);
form3.label4.caption:=inttostr(t3);
form3.label5.caption:=inttostr(t4);
form3.label6.caption:=inttostr(t5);
form3.label20.caption:='นาฬิกา';
form3.label8.caption:=inttostr(t1);
form3.label9.caption:=inttostr(t2);
form3.label10.caption:=inttostr(t3);
form3.label11.caption:=inttostr(t4);
form3.label12.caption:=inttostr(t5);
form3.label21.caption:='นาฬิกา';
form3.label14.caption:=inttostr(t1);
form3.label15.caption:=inttostr(t2);
form3.label16.caption:=inttostr(t3);
form3.label17.caption:=inttostr(t4);
form3.label18.caption:=inttostr(t5);
form4.label2.caption:=inttostr(t1);
form4.label3.caption:=inttostr(t2);
form4.label4.caption:=inttostr(t3);
form4.label5.caption:=inttostr(t4);
form4.label6.caption:=inttostr(t5);
form4.label7.caption:='นาฬิกา';
form5.label2.caption:=inttostr(t1);
form5.label3.caption:=inttostr(t2);
form5.label4.caption:=inttostr(t3);
form5.label5.caption:=inttostr(t4);
form5.label6.caption:=inttostr(t5);
form5.label7.caption:='นาฬิกา';
form6.label2.caption:=inttostr(t1);
form6.label3.caption:=inttostr(t2);
form6.label4.caption:=inttostr(t3);
form6.label5.caption:=inttostr(t4);
form6.label6.caption:=inttostr(t5);
form6.label7.caption:='นาฬิกา';
```



```

if b=1 then
begin
  c:=finish;
  first:=c;
  repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepv[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepv[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepi[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepi[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepf[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepf[c+1]);
    form3.back.enabled:=true;
    // form3.edit1.text:='c = '+inttostr(c);
    until (x>=630) or (c>= index-1);
    finish:=c;
    //ccomp:=finish-first;
    //form3.edit3.text:='first = '+inttostr(first);
    //form3.edit4.text:='finish = '+inttostr(finish);
    if c>=index-1 then form3.next.enabled:=false;
end;

```

```

if a=1 then
begin

```

```

  c:=finish1;
  first1:=c;
  x:=30;
  repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clred;
    canvas.moveto(x,keepv1[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepv1[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clred;
    canvas.moveto(x,keepi1[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepi1[c+1]);
    x:=x-stepx;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ canvas.lineto(x,keepi1[c+1]); เงื่อนไขและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        canvas.pen.color := cired;
        canvas.moveto(x,keep1[c]);
        x:=x+stepx;
        canvas.lineto(x,keep1[c+1]);
        form3.back.enabled:=true;
        // form3.edit1.text:=c = '+inttostr(c);
        until (x>=630) or (c>= index1-1);
        finish1:=c;
        //ccomp1:=finish1-first1;
        //form3.edit5.text:=first1 = '+inttostr(first1);
        //form3.edit6.text:=finish1 = '+inttostr(finish1);
        if c>=index1-1 then form3.next.enabled:=false;
        if (finish1-first1 >= 300) and (finish-first >= 300) then form3.next.enabled:=true;
    end;
end;

```

```

procedure TForm3.backClick(Sender: TObject);

```

```

begin

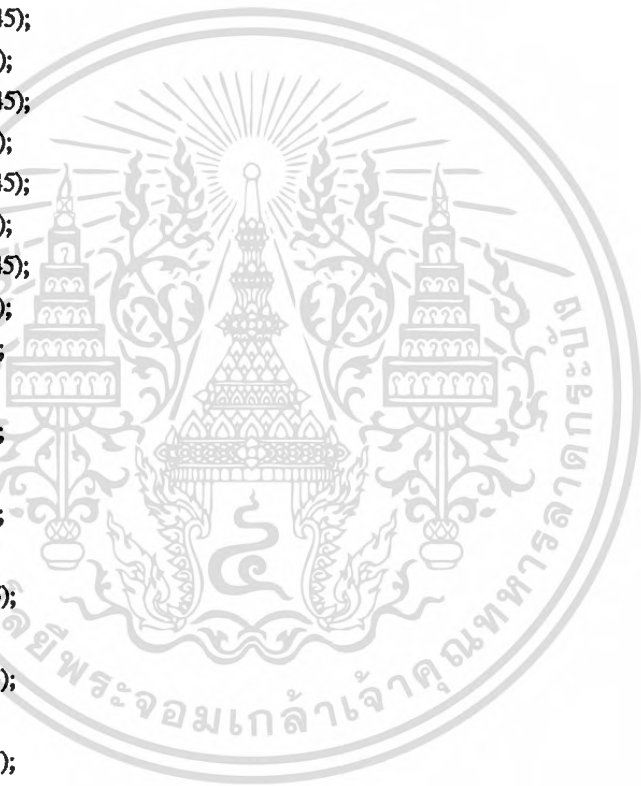
```

```

    x:=30;
    canvas.pen.color:=clblack;
    canvas.brush.color := clblack;
    canvas.rectangle(635,15,31,165);
    canvas.rectangle(635,195,31,345);
    canvas.rectangle(635,375,31,525);
    canvas.pen.color := clwhite;
    canvas.moveto(30,10);
    canvas.lineto(30,165);
    canvas.moveto(30,165);
    canvas.lineto(690,165);
    canvas.moveto(30,190);
    canvas.lineto(30,345);
    canvas.moveto(30,345);
    canvas.lineto(690,345);
    canvas.moveto(30,370);
    canvas.lineto(30,525);
    canvas.moveto(30,525);
    canvas.lineto(690,525);
    canvas.moveto(150,165);
    canvas.lineto(150,170);
    canvas.moveto(270,165);
    canvas.lineto(270,170);
    canvas.moveto(390,165);
    canvas.lineto(390,170);
    canvas.moveto(510,165);
    canvas.lineto(510,170);
    canvas.moveto(630,165);

```

canvas.lineto(630,170);
canvas.moveto(150,525);
canvas.lineto(150,530);
canvas.moveto(270,525);
canvas.lineto(270,530);
canvas.moveto(390,525);
canvas.lineto(390,530);
canvas.moveto(510,525);
canvas.lineto(510,530);
canvas.moveto(630,525);
canvas.lineto(630,530);
canvas.moveto(150,345);
canvas.lineto(150,350);
canvas.moveto(270,345);
canvas.lineto(270,350);
canvas.moveto(390,345);
canvas.lineto(390,350);
canvas.moveto(510,345);
canvas.lineto(510,350);
canvas.moveto(630,345);
canvas.lineto(630,350);
canvas.moveto(30,15);
canvas.lineto(25,15);
canvas.moveto(30,45);
canvas.lineto(25,45);
canvas.moveto(30,75);
canvas.lineto(25,75);
canvas.moveto(30,105);
canvas.lineto(25,105);
canvas.moveto(30,135);
canvas.lineto(25,135);
canvas.moveto(30,195);
canvas.lineto(25,195);
canvas.moveto(30,225);
canvas.lineto(25,225);
canvas.moveto(30,255);
canvas.lineto(25,255);
canvas.moveto(30,285);
canvas.lineto(25,285);
canvas.moveto(30,315);
canvas.lineto(25,315);
canvas.moveto(30,375);
canvas.lineto(25,375);
canvas.moveto(30,405);
canvas.lineto(25,405);
canvas.moveto(30,435);



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
canvas.lineto(25,435);
canvas.moveto(30,465);
canvas.lineto(25,465);
anvas.moveto(30,495);
anvas.lineto(25,495);
anvas.brush.color := clblack;
1:=t1-5;
2:=t2-5;
3:=t3-5;
4:=t4-5;
5:=t5-5;
form3.label19.caption:='นาฬิกา';
form3.label2.caption:=inttostr(t1);
form3.label3.caption:=inttostr(t2);
form3.label4.caption:=inttostr(t3);
form3.label5.caption:=inttostr(t4);
form3.label6.caption:=inttostr(t5);
form3.label20.caption:='นาฬิกา';
form3.label8.caption:=inttostr(t1);
form3.label9.caption:=inttostr(t2);
form3.label10.caption:=inttostr(t3);
form3.label11.caption:=inttostr(t4);
form3.label12.caption:=inttostr(t5);
form3.label21.caption:='นาฬิกา';
form3.label14.caption:=inttostr(t1);
form3.label15.caption:=inttostr(t2);
form3.label16.caption:=inttostr(t3);
form3.label17.caption:=inttostr(t4);
form3.label18.caption:=inttostr(t5);
form4.label2.caption:=inttostr(t1);
form4.label3.caption:=inttostr(t2);
form4.label4.caption:=inttostr(t3);
form4.label5.caption:=inttostr(t4);
form4.label6.caption:=inttostr(t5);
form4.label7.caption:='นาฬิกา';
form5.label2.caption:=inttostr(t1);
form5.label3.caption:=inttostr(t2);
form5.label4.caption:=inttostr(t3);
form5.label5.caption:=inttostr(t4);
form5.label6.caption:=inttostr(t5);
form5.label7.caption:='นาฬิกา';
form6.label2.caption:=inttostr(t1);
form6.label3.caption:=inttostr(t2);
form6.label4.caption:=inttostr(t3);
form6.label5.caption:=inttostr(t4);
form6.label6.caption:=inttostr(t5);
```



```

form6.label7.caption:='นาฬิกา';
if b=1 then
begin
    c:=first-300;
    first:=c;
    repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepv[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepv[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepi[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepi[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,keepf[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepf[c+1]);
    form3.next.enabled:=true;
    //ccomp:=60;
    //form3.edit1.text:='c = '+inttostr(c);
    until (x>=630) or (c>= index-1);
    finish:=c;
    if c<=300 then form3.back.enabled:=false;
    if c>=index-1 then form3.next.enabled:=false;
    //form3.edit3.text:='first = '+inttostr(first);
    //form3.edit4.text:='finish = '+inttostr(finish);
end;
if a=1 then
begin
    x:=30;
    c:=first1-300;
    first1:=c;
    repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clred;
    canvas.moveto(x,keepv1[c]);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,keepv1[c+1]);
    x:=x-stepx;
    canvas.pen.color := clred;
    canvas.moveto(x,keepi1[c]);
    x:=x+stepx;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ canvas.moveto(x,keepi1[c]); จะเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        canvas.lineto(x,keep1[c+1]);
        x:=x-stepx;
        canvas.pen.color := cired;
        canvas.moveto(x,keep1[c]);
        x:=x+stepx;
        canvas.lineto(x,keep1[c+1]);
        form3.next.enabled:=true;
        //ccomp1:=60;
        //form3.edit1.text:='c '+inttostr(c);
        until (x>=630) or (c>= index1-1);
    finish1:=c;
    //form3.edit5.text:='first1 = '+inttostr(first1);
    //form3.edit6.text:='finish1 = '+inttostr(finish1);
    if c<=300 then form3.back.enabled:=false;
    if c>=index1-1 then form3.next.enabled:=false;
end;
end;
end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit original4;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, original3, original1;

type

```
TForm4 = class(TForm)
closezoomv: TButton;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
procedure closezoomvClick(Sender: TObject);
procedure zoomvpaint(Sender: TObject);
```

private

```
{ Private declarations }
```

public

```
{ Public declarations }
```

end;

var

```
Form4: TForm4;
```

implementation

```
{SR *.DFM}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TForm4.zoomvpaint(Sender: TObject);
```

begin

```
canvas.brush.color := clblack;
canvas.rectangle(700,50,8,560);
//canvas.rectangle(700,185,20,355);
/canvas.rectangle(700,365,20,535);
canvas.pen.color := clwhite;
canvas.moveto(30,75);
canvas.linto(30,540);
canvas.moveto(30,540);
canvas.lineto(690,540);
canvas.moveto(150,540);
canvas.lineto(150,545);
canvas.moveto(270,540);
canvas.lineto(270,545);
canvas.moveto(390,540);
canvas.lineto(390,545);
canvas.moveto(510,540);
canvas.lineto(510,545);
canvas.moveto(630,540);
canvas.lineto(630,545);
canvas.moveto(30,495);
canvas.lineto(25,495);
canvas.moveto(30,450);
canvas.lineto(25,450);
canvas.moveto(30,405);
canvas.lineto(25,405);
canvas.moveto(30,360);
canvas.lineto(25,360);
canvas.moveto(30,315);
canvas.lineto(25,315);
canvas.moveto(30,270);
canvas.lineto(25,270);
canvas.moveto(30,225);
canvas.lineto(25,225);
canvas.moveto(30,180);
canvas.lineto(25,180);
canvas.moveto(30,135);
canvas.lineto(25,135);
canvas.moveto(30,90);
canvas.lineto(25,90);
if (b=1) then
begin
```

```
  c:=first;
```

```
  x:=30;
```

```
  repeat
```

```
  c:=c+1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        canvas.pen.color := clyellow;
        canvas.moveto(x,((keepv[c]-165)*3)+540);
        x:=x+stepx;
        canvas.lineto(x,((keepv[c+1]-165)*3)+540);
        until c=finish-1;
        canvas.pen.color:=cblack;
        if (a=1)then
        begin
            c:=first1;
            x:=30;
            repeat
            c:=c+1;
            canvas.pen.color := clred;
            canvas.moveto(x,((keepv1[c]-165)*3)+540);
            x:=x+stepx;
            canvas.lineto(x,((keepv1[c+1]-165)*3)+540);
            until c=finish1-1 ;
            b:=1;
            canvas.pen.color := cblack;
        end;
    end;
end;

procedure TForm4.closezoomvClick(Sender: TObject);
begin
    form4.close;
end;

end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit original5;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, original3, original1;

type

```
TForm5 = class(TForm)
  closezoomi: TButton;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Label5: TLabel;
  Label6: TLabel;
  Label7: TLabel;
  Label8: TLabel;
  Label9: TLabel;
  Label10: TLabel;
  Label11: TLabel;
  Label12: TLabel;
  Label13: TLabel;
  Label14: TLabel;
  Label15: TLabel;
  Label16: TLabel;
  Label17: TLabel;
  Label18: TLabel;
  procedure zoomipaint(Sender: TObject);
  procedure closezoomiClick(Sender: TObject);
```

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Form5: TForm5;

implementation

เอกสาร (SR *.DFM) สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TForm5.zoomipaint(Sender: TObject);
```

begin

```
canvas.brush.color := clblack;
canvas.rectangle(700,50,8,560);
//canvas.rectangle(700,185,20,355);
//canvas.rectangle(700,365,20,535);
canvas.pen.color := clwhite;
canvas.moveto(30,75);
canvas.lineto(30,540);
canvas.moveto(30,540);
canvas.lineto(690,540);
canvas.moveto(150,537);
canvas.lineto(150,543);
canvas.moveto(270,537);
canvas.lineto(270,543);
canvas.moveto(390,537);
canvas.lineto(390,543);
canvas.moveto(510,537);
canvas.lineto(510,543);
canvas.moveto(630,537);
canvas.lineto(630,543);
canvas.moveto(150,540);
canvas.lineto(150,545);
canvas.moveto(270,540);
canvas.lineto(270,545);
canvas.moveto(390,540);
canvas.lineto(390,545);
canvas.moveto(510,540);
canvas.lineto(510,545);
canvas.moveto(630,540);
canvas.lineto(630,545);
canvas.moveto(30,495);
canvas.lineto(25,495);
canvas.moveto(30,450);
canvas.lineto(25,450);
canvas.moveto(30,405);
canvas.lineto(25,405);
canvas.moveto(30,360);
canvas.lineto(25,360);
canvas.moveto(30,315);
canvas.lineto(25,315);
canvas.moveto(30,270);
canvas.lineto(25,270);
canvas.moveto(30,225);
canvas.lineto(25,225);
canvas.moveto(30,180);
canvas.lineto(25,180);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด. www.dhammadownload.com หักดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

canvas.moveto(30,135);
canvas.lineto(25,135);
canvas.moveto(30,90);
canvas.lineto(25,90);
if (b=1) or (x=630) then
begin
    c:=first;
    x:=30;
    repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,((keepi[c]-345)*3)+540);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,((keepi[c+1]-345)*3)+540);
    until c=finish-1 ;
    canvas.pen.color:=clblack;
    if (a=1) then
    begin
        c:=first1;
        x:=30;
        repeat
        c:=c+1;
        canvas.pen.color := clred;
        canvas.moveto(x,((keepi1[c]-345)*3)+540);
        x:=x+stepx;
        canvas.lineto(x,((keepi1[c+1]-345)*3)+540);
        until c=finish1-1 ;
        b:=1;
        canvas.pen.color := clblack;
    end;
    end;
end;

procedure TForm5.closezoomiClick(Sender: TObject);
begin
    form5.close;
end;
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit original6;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, original3, original1;

type

```
TForm6 = class(TForm)
.
closezoomt: TButton;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
procedure zoomtpaint(Sender: TObject);
procedure closezoomtClick(Sender: TObject);
```

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Form6: TForm6;

implementation

{SR *.DFM} ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```
procedure TForm6.zoompaint(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    canvas.brush.color := clblack;  
    canvas.rectangle(700,50,8,560);  
    //canvas.rectangle(700,185,20,355);  
    //canvas.rectangle(700,365,20,535);  
    canvas.pen.color := clwhite;  
    canvas.moveto(30,75);  
    canvas.lineto(30,540);  
    canvas.moveto(30,540);  
    canvas.lineto(690,540);  
    canvas.moveto(150,537);  
    canvas.lineto(150,543);  
    canvas.moveto(270,537);  
    canvas.lineto(270,543);  
    canvas.moveto(390,537);  
    canvas.lineto(390,543);  
    canvas.moveto(510,537);  
    canvas.lineto(510,543);  
    canvas.moveto(630,537);  
    canvas.lineto(630,543);  
    canvas.moveto(150,540);  
    canvas.lineto(150,545);  
    canvas.moveto(270,540);  
    canvas.lineto(270,545);  
    canvas.moveto(390,540);  
    canvas.lineto(390,545);  
    canvas.moveto(510,540);  
    canvas.lineto(510,545);  
    canvas.moveto(630,540);  
    canvas.lineto(630,545);  
    canvas.moveto(30,495);  
    canvas.lineto(25,495);  
    canvas.moveto(30,450);  
    canvas.lineto(25,450);  
    canvas.moveto(30,405);  
    canvas.lineto(25,405);  
    canvas.moveto(30,360);  
    canvas.lineto(25,360);  
    canvas.moveto(30,315);  
    canvas.lineto(25,315);  
    canvas.moveto(30,270);  
    canvas.lineto(25,270);  
    canvas.moveto(30,225);  
    canvas.lineto(25,225);  
    canvas.moveto(30,180);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งให้ทราบ กรุณาแจ้งไปยังเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

```

canvas.lineto(25,180);
canvas.moveto(30,135);
canvas.lineto(25,135);
canvas.moveto(30,90);
canvas.lineto(25,90);
if (b=1) or (x=630) then
begin
    c:=first;
    x:=30;
    repeat
    c:=c+1;
    canvas.pen.color := clyellow;
    canvas.moveto(x,((keopt[c]-525)*3)+540);
    x:=x+stepx;
    canvas.lineto(x,((keopt[c+1]-525)*3)+540);
    until c=finish-1 ;
    if (a=1)then
    begin
        c:=first1;
        x:=30;
        repeat
        c:=c+1;
        canvas.pen.color := clred;
        canvas.moveto(x,((keopt1[c]-525)*3)+540);
        x:=x+stepx;
        canvas.lineto(x,((keopt1[c+1]-525)*3)+540);
        until c=finish1-1 ;
        b:=1;
        canvas.pen.color := clblack;
    end;
end;
end;

procedure TForm6.closezoomtClick(Sender: TObject);
begin
    form6.close;
end;

end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unit original7;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls;
```

```
type
```

```
TForm7 = class(TForm)  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Button1: TButton;  
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
Form7: TForm7;
```

```
implementation
```

```
uses original3, original1;
```

```
{SR *.DFM}
```

```
procedure TForm7.Button1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
form3.enabled:=true;
```

```
//form1.visible:=false;
```

```
form3.visible:=true;
```

```
form7.close;
```

```
end;
```

```
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

True RMS-to-DC Conversion
200 mV Full Scale
Laser-Trimmed to High Accuracy
 0.5% max Error (AD636K)
 1.0% max Error (AD636J)
Wide Response Capability:
Computes RMS of AC and DC Signals
1 MHz -3 dB Bandwidth: $V_{RMS} > 100$ mV
Signal Crest Factor of 6 for 0.5% Error
dB Output with 50 dB Range
Low Power: 800 μ A Quiescent Current
Single or Dual Supply Operation
Monolithic Integrated Circuit
Low Cost
Available in Chip Form

PRODUCT DESCRIPTION

The AD636 is a low power monolithic IC which performs true rms-to-dc conversion on low level signals. It offers performance which is comparable or superior to that of hybrid and modular converters costing much more. The AD636 is specified for a signal range of 0 mV to 200 mV rms. Crest factors up to 6 can be accommodated with less than 0.5% additional error, allowing accurate measurement of complex input waveforms.

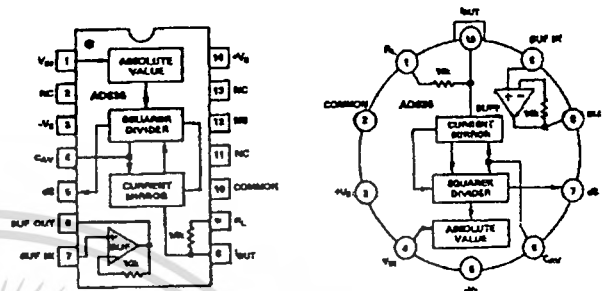
The low power supply current requirement of the AD636, typically 800 μ A, allows it to be used in battery-powered portable instruments. A wide range of power supplies can be used, from ± 2.5 V to ± 16.5 V or a single +5 V to +24 V supply. The input and output terminals are fully protected; the input signal can exceed the power supply with no damage to the device (allowing the presence of input signals in the absence of supply voltage) and the output buffer amplifier is short-circuit protected.

The AD636 includes an auxiliary dB output. This signal is derived from an internal circuit point which represents the logarithm of the rms output. The 0 dB reference level is set by an externally supplied current and can be selected by the user to correspond to any input level from 0 dBm (774.6 mV) to -20 dBm (77.46 mV). Frequency response ranges from 1.2 MHz at a 0 dBm level to over 10 kHz at -50 dBm.

The AD636 is designed for ease of use. The device is factory-trimmed at the wafer level for input and output offset, positive and negative waveform symmetry (dc reversal error), and full-scale accuracy at 200 mV rms. Thus no external trims are required to achieve full-rated accuracy.

AD636 is available in two accuracy grades; the AD636J total error of ± 0.5 mV $\pm 0.06\%$ of reading, and the AD636K

**PIN CONNECTIONS &
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM**
 "D" Package (TO-116) "H" Package (TO-100)



is accurate within ± 0.2 mV to $\pm 0.3\%$ of reading. Both versions are specified for the 0°C to $+70^\circ\text{C}$ temperature range, and are offered in either a hermetically sealed 14-pin DIP or a 10-pin TO-100 metal can. Chips are also available.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD636 computes the true root-mean-square of a complex ac (or ac plus dc) input signal and gives an equivalent dc output level. The true rms value of a waveform is a more useful quantity than the average rectified value since it is a measure of the power in the signal. The rms value of an ac-coupled signal is also its standard deviation.
2. The 200 millivolt full-scale range of the AD636 is compatible with many popular display-oriented analog-to-digital converters. The low power supply current requirement permits use in battery powered hand-held instruments.
3. The only external component required to perform measurements to the fully specified accuracy is the averaging capacitor. The value of this capacitor can be selected for the desired trade-off of low frequency accuracy, ripple, and settling time.
4. The on-chip buffer amplifier can be used to buffer either the input or the output. Used as an input buffer, it provides accurate performance from standard 10 M Ω input attenuators. As an output buffer, it can supply up to 5 milliamps of output current.
5. The AD636 will operate over a wide range of power supply voltages, including single +5 V to +24 V or split ± 2.5 V to ± 16.5 V sources. A standard 9 V battery will provide several hundred hours of continuous operation.

REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD636—SPECIFICATIONS (@ +25°C, and +V_S = +3 V, -V_S = -5 V, unless otherwise noted)

Model	AD636J			AD636K			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
TRANSFER FUNCTION	$V_{OUT} = \gamma_{avg} (V_{IN})^2$			$V_{OUT} = \gamma_{avg} (V_{IN})^2$			
CONVERSION ACCURACY Total Error, Internal Trim ^{1,2} vs. Temperature, 0°C to +70°C vs. Supply Voltage dc Reversal Error at 200 mV Total Error, External Trim ¹			$\pm 0.5 \pm 1.0$ $\pm 0.1 \pm 0.01$			$\pm 0.2 \pm 0.5$ $\pm 0.1 \pm 0.005$	mV \pm % of Reading mV \pm % of Reading/°C mV \pm % of Reading/V % of Reading mV \pm % of Reading
ERROR VS. CREST FACTOR³ Crest Factor 1 to 2 Crest Factor = 3 Crest Factor = 6	Specified Accuracy -0.2 -0.5			Specified Accuracy -0.2 -0.5			% of Reading % of Reading
AVERAGING TIME CONSTANT	25			25			ms/ μ F CAV
INPUT CHARACTERISTICS Signal Range, All Supplies Continuous rms Level Peak Transient Inputs +3 V, -5 V Supply ± 2.5 V Supply ± 5 V Supply Maximum Continuous Nondestructive Input Level (All Supply Voltages) Input Resistance Input Offset Voltage		0 to 200		0 to 200			mV rms V pk V pk V pk V pk k Ω mV
FREQUENCY RESPONSE^{2,4} Bandwidth for 1% Additional Error (0.09 dB) V _{IN} = 10 mV V _{IN} = 100 mV V _{IN} = 200 mV ± 3 dB Bandwidth V _{IN} = 10 mV V _{IN} = 100 mV V _{IN} = 200 mV		14 90 130		14 90 130			kHz kHz kHz kHz MHz MHz
OUTPUT CHARACTERISTICS^{2,5} Offset Voltage, V _{IN} = COM vs. Temperature vs. Supply Voltage Swing +3 V, -5 V Supply ± 5 V to ± 16.5 V Supply Output Impedance			± 0.5			± 0.2	mV μ V/°C mV/V V V k Ω
dB OUTPUT Error, V _{IN} = 7 mV to 300 mV rms Scale Factor Scale Factor Temperature Coefficient I _{REF} for 0 dB = 0.1 V rms I _{REF} Range		± 0.3 -3.0 +0.33 -0.033	± 0.5	± 0.1 -3.0 +0.33 -0.033		± 0.2	dB mV/dB % of Reading/°C dB/°C μ A μ A
INPUT TERMINAL I _{OUT} Scale Factor I _{OUT} Scale Factor Tolerance Output Resistance Voltage Compliance		100 ± 10 10	+20 12	100 ± 10 10		+20 12	μ A/V rms % k Ω V
BUFFER AMPLIFIER Input and Output Voltage Range Input Offset Voltage, R _S = 10k Input Bias Current Input Resistance Output Current Short Circuit Current Small Signal Bandwidth Slew Rate ⁵	-V _S to (+V _S -2 V)	± 0.8 100 10 ⁸	± 2 300	-V _S to (+V _S -2 V)	± 0.5 100 10 ⁸	± 1 300	V mV nA Ω mA MHz V/ μ s
POWER SUPPLY Voltage, Rated Performance Dual Supply Single Supply Quiescent Current ⁶		+3, -5	± 16.5 +24	+3, -5	± 16.5 +24	1.00	V V V mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model	AD636J			AD636K			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
TEMPERATURE RANGE Rated Performance Storage	0		+70	0		+70	°C
	-55		+150	-55		+150	°C
TRANSISTOR COUNT	62			62			

NOTES

¹Accuracy specified for 0 mV to 200 mV rms, dc or 1 kHz sine wave input. Accuracy is degraded at higher rms signal levels.

²Measured at Pin 6 of DIP (1.007), with Pin 9 tied to common.

³Error vs. crest factor is specified as additional error for a 200 mV rms rectangular pulse train, pulse width = 200 μ s.

⁴Input voltages are expressed in volts rms.

⁵With 10 k Ω pull down resistor from Pin 6 (BUP OUT) to V_{cc} .

⁶With BUP input tied to Common.

Specifications subject to change without notice.

All min and max specifications are guaranteed. Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test and are used to calculate outgoing quality levels.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage

Dual Supply ± 16.5 V
Single Supply +24 V

Internal Power Dissipation² 500 mW

Maximum Input Voltage ± 12 V Peak

Storage Temperature Range N, R -55°C to +150°C

Operating Temperature Range

AD636J/K 0°C to +70°C

Lead Temperature Range (Soldering 60 sec) +300°C

ESD Rating 1000 V

NOTES

¹Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

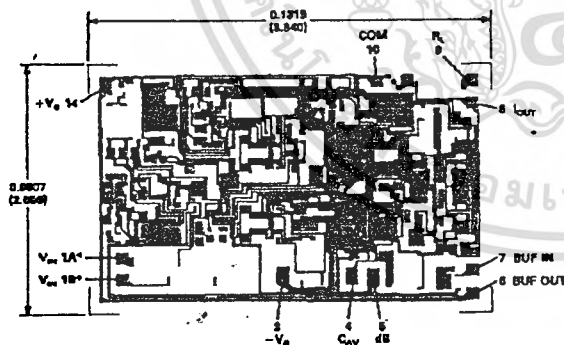
²10-Pin Header: $\theta_{JA} = 150^\circ\text{C/Watt}$.

14-Pin Side Brazed Ceramic DIP: $\theta_{JA} = 95^\circ\text{C/Watt}$.

METALIZATION PHOTOGRAPH

Contact factory for latest dimensions.

Dimensions shown in inches and (mm).



PAD NUMBERS CORRESPOND TO PIN NUMBERS FOR THE TO-18 14-PIN CERAMIC DIP PACKAGE.

NOTE
¹BOTH PADS SHOWN MUST BE CONNECTED TO V_{cc} .

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option
AD636JD	0°C to +70°C	Side Brazed Ceramic DIP	D-14
AD636KD	0°C to +70°C	Side Brazed Ceramic DIP	D-14
AD636JH	0°C to +70°C	Header	H-10A
AD636KH	0°C to +70°C	Header	H-10A
AD636J Chip	0°C to +70°C	Chip	
AD636K Chip	0°C to +70°C	Chip	

STANDARD CONNECTION

The AD636 is simple to connect for the majority of high accuracy rms measurements, requiring only an external capacitor to set the averaging time constant. The standard connection is shown in Figure 1. In this configuration, the AD636 will measure the rms of the ac and dc level present at the input, but will show an error for low frequency inputs as a function of the filter capacitor, C_{AV} , as shown in Figure 5. Thus, if a 4 μ F capacitor is used, the additional average error at 10 Hz will be 0.1%, at 3 Hz it will be 1%. The accuracy at higher frequencies will be according to specification. If it is desired to reject the dc input, a capacitor is added in series with the input, as shown in Figure 3; the capacitor must be nonpolar. If the AD636 is driven with power supplies with a considerable amount of high frequency ripple, it is advisable to bypass both supplies to ground with 0.1 μ F ceramic discs as near the device as possible. C_F is an optional output ripple filter, as discussed elsewhere in this data sheet.

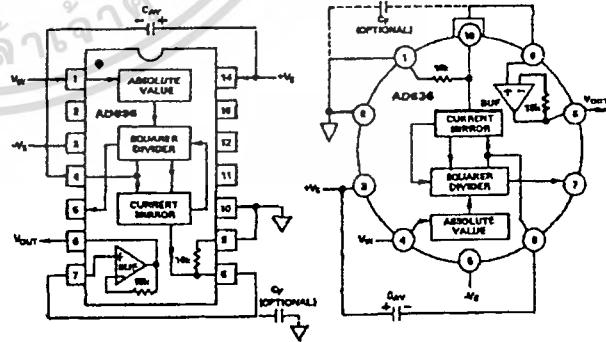


Figure 1. Standard RMS Connection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applying the AD636

The input and output signal ranges are a function of the supply voltages as detailed in the specifications. The AD636 can also be used in an unbuffered voltage output mode by disconnecting the input to the buffer. The output then appears unbuffered across the 10k resistor. The buffer amplifier can then be used for other purposes. Further, the AD636 can be used in a current output mode by disconnecting the 10k resistor from the ground. The output current is available at Pin 8 (Pin 10 on the "H" package) with a nominal scale of 100 μ A per volt rms input, positive out.

OPTIONAL TRIMS FOR HIGH ACCURACY

If it is desired to improve the accuracy of the AD636, the external trims shown in Figure 2 can be added. R4 is used to trim the offset. The scale factor is trimmed by using R1 as shown. The insertion of R2 allows R1 to either increase or decrease the scale factor by $\pm 1.5\%$.

The trimming procedure is as follows:

1. Ground the input signal, V_{IN} , and adjust R4 to give zero volts output from Pin 6. Alternatively, R4 can be adjusted to give the correct output with the lowest expected value of V_{IN} .
2. Connect the desired full-scale input level to V_{IN} , either dc or a calibrated ac signal (1 kHz is the optimum frequency); then trim R1 to give the correct output from Pin 6, i.e., 200 mV dc input should give 200 mV dc output. Of course, a ± 200 mV peak-to-peak sine wave should give a 141.4 mV dc output. The remaining errors, as given in the specifications, are due to the nonlinearity.

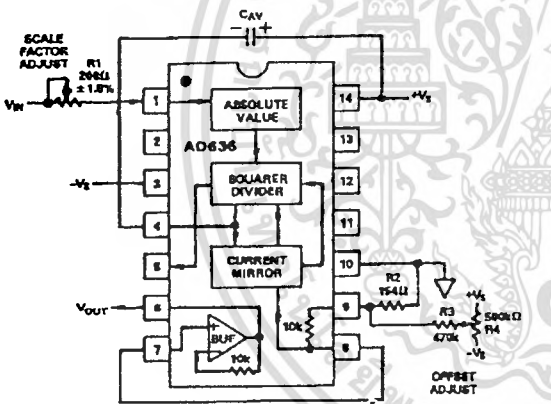


Figure 2. Optional External Gain and Output Offset Trims

SINGLE SUPPLY CONNECTION

The applications in Figures 1 and 2 assume the use of dual power supplies. The AD636 can also be used with only a single positive supply down to +5 volts, as shown in Figure 3. Figure 3 is optimized for use with a 9 volt battery. The major limitation of this connection is that only ac signals can be measured since the input stage must be biased off ground for proper operation. This biasing is done at Pin 10; thus it is critical that no extraneous signals be coupled into this point. Biasing can be accomplished by using a resistive divider between + V_3 and ground. The values of the resistors can be increased in the interest of lowered power consumption, since only 1 microamp of current flows into Pin 10 (Pin 2 on the "H" package). Alternately, the

COM pin of some CMOS ADCs provides a suitable artificial ground for the AD636. AC input coupling requires only capacitor C2 as shown; a dc return is not necessary as it is provided internally. C2 is selected for the proper low frequency break point with the input resistance of 6.7 k Ω ; for a cut-off at 10 Hz, C2 should be 3.3 μ F. The signal ranges in this connection are slightly more restricted than in the dual supply connection. The load resistor, R_L , is necessary to provide current sinking capability.

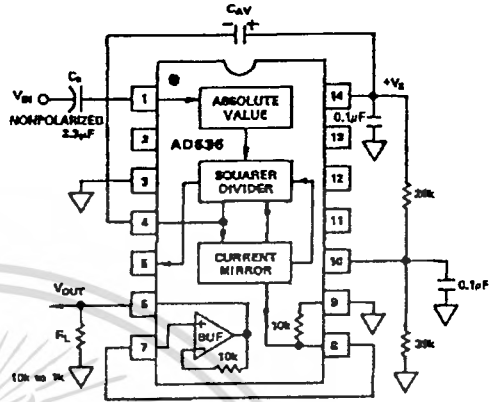


Figure 3. Single Supply Connection

CHOOSING THE AVERAGING TIME CONSTANT

The AD636 will compute the rms of both ac and dc signals. If the input is a slowly-varying dc voltage, the output of the AD636 will track the input exactly. At higher frequencies, the average output of the AD636 will approach the rms value of the input signal. The actual output of the AD636 will differ from the ideal output by a dc (or average) error and some amount of ripple, as demonstrated in Figure 4.

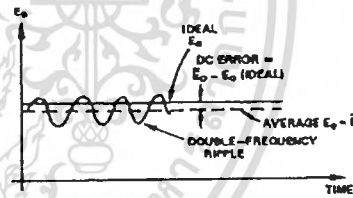


Figure 4. Typical Output Waveform for Sinusoidal Input

The dc error is dependent on the input signal frequency and the value of C_{AV} . Figure 5 can be used to determine the minimum value of C_{AV} which will yield a given % dc error above a given frequency using the standard rms connection.

The ac component of the output signal is the ripple. There are two ways to reduce the ripple. The first method involves using a large value of C_{AV} . Since the ripple is inversely proportional to C_{AV} , a tenfold increase in this capacitance will effect a tenfold reduction in ripple. When measuring waveforms with high crest factors, (such as low duty cycle pulse trains), the averaging time constant should be at least ten times the signal period. For example, a 100 Hz pulse rate requires a 100 ms time constant, which corresponds to a 4 μ F capacitor (time constant = 25 ms per μ F).

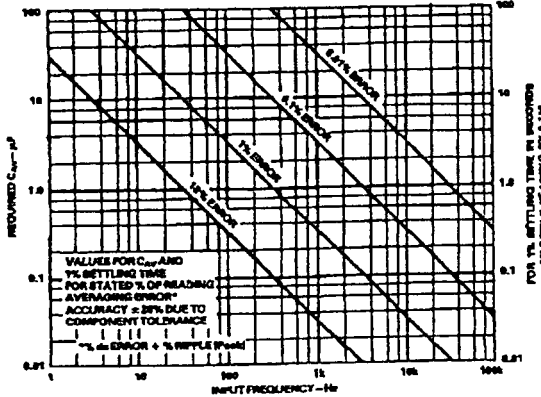


Figure 5. Error/Settling Time Graph for Use with the Standard rms Connection

The primary disadvantage in using a large C_{AV} to remove ripple is that the settling time for a step change in input level is increased proportionately. Figure 5 shows the relationship between C_{AV} and 1% settling time is 115 milliseconds for each microfarad of C_{AV} . The settling time is twice as great for decreasing signals as for increasing signals (the values in Figure 5 are for decreasing signals). Settling time also increases for low signal levels, as shown in Figure 6.

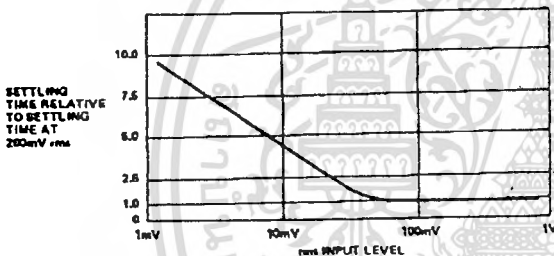


Figure 6. Settling Time vs. Input Level

A better method for reducing output ripple is the use of a "post-filter." Figure 7 shows a suggested circuit. If a single pole filter is used (C_3 removed, R_X shorted), and C_2 is approximately 5 times the value of C_{AV} , the ripple is reduced as shown in Figure 8, and settling time is increased. For example, with $C_{AV} = 1 \mu F$ and $C_2 = 4.7 \mu F$, the ripple for a 60 Hz input is reduced from 10% of reading to approximately 0.3% of reading. The settling time, however, is increased by approximately a factor of 3. The values of C_{AV} and C_2 can therefore be reduced to permit faster settling times while still providing substantial ripple reduction.

The two-pole post-filter uses an active filter stage to provide even greater ripple reduction without substantially increasing the settling times over a circuit with a one-pole filter. The values of C_{AV} , C_2 , and C_3 can then be reduced to allow extremely fast settling times for a constant amount of ripple. Caution should be exercised in choosing the value of C_{AV} , since the dc error is dependent upon this value and is independent of the post filter.

For a more detailed explanation of these topics refer to the *RMS-to-DC Conversion Application Guide, 2nd Edition*, available from Analog Devices.

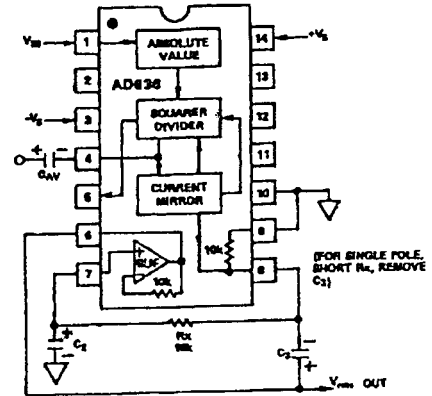


Figure 7. 2 Pole "Post" Filter

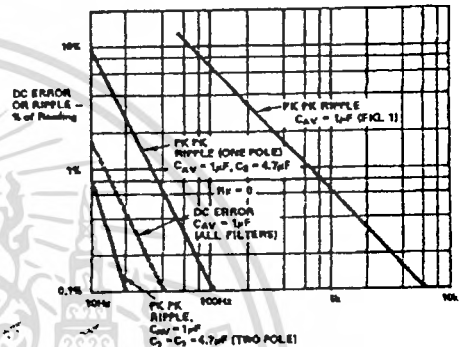


Figure 8. Performance Features of Various Filter Types

RMS MEASUREMENTS
AD636 PRINCIPLE OF OPERATION

The AD636 embodies an implicit solution of the rms equation that overcomes the dynamic range as well as other limitations inherent in a straightforward computation of rms. The actual computation performed by the AD636 follows the equation:

$$V_{rms} = Avg. \left[\frac{V_{IN}^2}{V_{rms}} \right]$$

Figure 9 is a simplified schematic of the AD636; it is subdivided into four major sections: absolute value circuit (active rectifier), squarer/divider, current mirror, and buffer amplifier. The input voltage, V_{IN} , which can be ac or dc, is converted to a unipolar current I_1 , by the active rectifier A_1, A_2 . I_1 drives one input of the squarer/divider, which has the transfer function:

$$I_4 = \frac{I_1^2}{I_3}$$

The output current, I_4 , of the squarer/divider drives the current mirror through a low-pass filter formed by R_1 and the externally connected capacitor, C_{AV} . If the R_1, C_{AV} time constant is much greater than the longest period of the input signal, then I_4 is effectively averaged. The current mirror returns a current I_3 , which equals $Avg. [I_4]$, back to the squarer/divider to complete the implicit rms computation. Thus:

$$I_4 = Avg. \left[\frac{I_1^2}{I_4} \right] = I_1 rms$$

AD636

The current mirror also produces the output current, I_{OUT} , which equals $2I_4$. I_{OUT} can be used directly or converted to a voltage with R_2 and buffered by A_4 to provide a low impedance voltage output. The transfer function of the AD636 thus results:

$$V_{OUT} = 2 R_2 I_{rms} = V_{EN} I_{rms}$$

The dB output is derived from the emitter of Q_3 , since the voltage at this point is proportional to $-\log V_{IN}$. Emitter follower, Q_5 , buffers and level shifts this voltage, so that the dB output voltage is zero when the externally supplied emitter current (I_{EXT}) to Q_3 approximates I_3 .

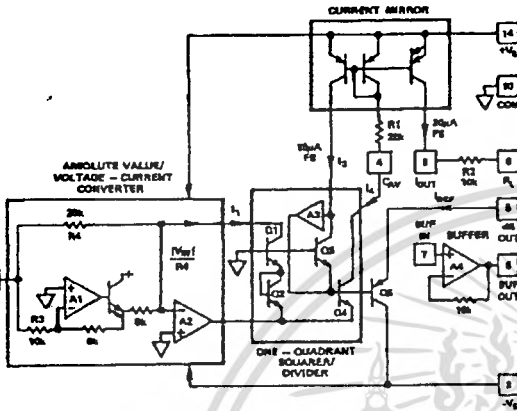


Figure 9. Simplified Schematic

THE AD636 BUFFER AMPLIFIER

The buffer amplifier included in the AD636 offers the user additional application flexibility. It is important to understand some of the characteristics of this amplifier to obtain optimum performance. Figure 10 shows a simplified schematic of the buffer.

Since the output of an rms-to-dc converter is always positive, it is not necessary to use a traditional complementary Class AB output stage. In the AD636 buffer, a Class A emitter follower is used instead. In addition to excellent positive output voltage swing, this configuration allows the output to swing fully down to ground in single-supply applications without the problems associated with most IC operational amplifiers.

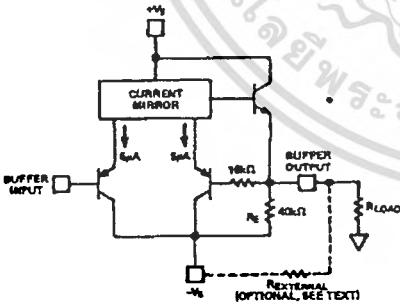


Figure 10. AD636 Buffer Amplifier Simplified Schematic

When this amplifier is used in dual-supply applications as an input buffer amplifier driving a load resistance referred to ground, steps must be taken to insure an adequate negative voltage swing. For negative outputs, current will flow from the load resistor through the 40 kΩ emitter resistor, setting up a voltage divider between $-V_S$ and ground. This reduced effective $-V_S$, will

limit the available negative output swing of the buffer. Addition of an external resistor in parallel with R_E alters this voltage divider such that increased negative swing is possible.

Figure 11 shows the value of $R_{EXTERNAL}$ for a particular ratio of V_{PEAK} to $-V_S$ for several values of R_{LOAD} . Addition, of $R_{EXTERNAL}$ increases the quiescent current of the buffer amplifier by an amount equal to $R_{EXTERNAL}/-V_S$. Nominal buffer quiescent current with no $R_{EXTERNAL}$ is 30 μA at $-V_S = -5 V$.

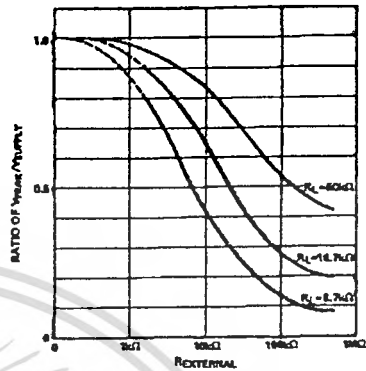


Figure 11. Ratio of Peak Negative Swing to $-V_S$ vs. $R_{EXTERNAL}$ for Several/Load Resistances

FREQUENCY RESPONSE

The AD636 utilizes a logarithmic circuit in performing the implicit rms computation. As with any log circuit, bandwidth is proportional to signal level. The solid lines in the graph below represent the frequency response of the AD636 at input levels from 1 millivolt to 1 volt rms. The dashed lines indicate the upper frequency limits for 1%, 10%, and ± 3 dB of reading additional error. For example, note that a 1 volt rms signal will produce less than 1% of reading additional error up to 220 kHz. A 10 millivolt signal can be measured with 1% of reading additional error (100 μV) up to 14 kHz.

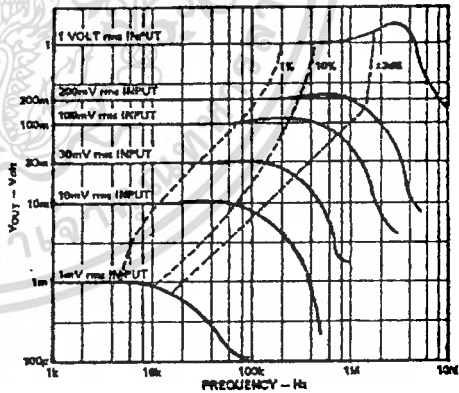


Figure 12. AD636 Frequency Response

AC MEASUREMENT ACCURACY AND CREST FACTOR

Crest factor is often overlooked in determining the accuracy of an ac measurement. Crest factor is defined as the ratio of the peak signal amplitude to the rms value of the signal ($C.F. = V_P/V_{rms}$). Most common waveforms, such as sine and triangle waves, have relatively low crest factors (< 2). Waveforms which

resemble low duty cycle pulse trains, such as those occurring in switching power supplies and SCR circuits, have high crest factors. For example, a rectangular pulse train with a 1% duty cycle has a crest factor of 10 (C.F. = $1/\sqrt{\eta}$).

Figure 13 is a curve of reading error for the AD636 for a 200 mV rms input signal with crest factors from 1 to 7. A rectangular pulse train (pulse width 200 μ s) was used for this test since it is the worst-case waveform for rms measurement (all the energy is contained in the peaks). The duty cycle and peak amplitude were varied to produce crest factors from 1 to 7 while maintaining a constant 200 mV rms input amplitude.

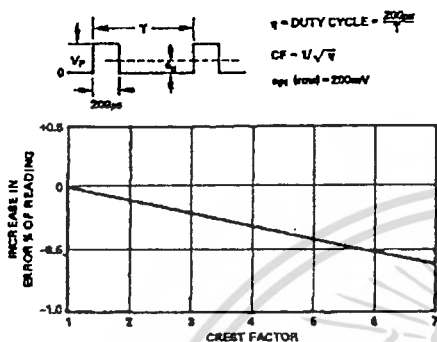


Figure 13. Error vs. Crest Factor

A COMPLETE AC DIGITAL VOLTMETER

Figure 14 shows a design for a complete low power ac digital voltmeter circuit based on the AD636. The 10 M Ω input attenuator allows full-scale ranges of 200 mV, 2 V, 20 V and 200 V rms. Signals are capacitively coupled to the AD636 buffer amplifier, which is connected in an ac bootstrapped configuration to minimize loading. The buffer then drives the 6.7 k Ω input impedance of the AD636. The COM terminal of the ADC chip provides the false ground required by the AD636 for single supply operation. An AD589 1.2 volt reference diode is used to provide a stable 100 millivolt reference for the ADC in the linear rms mode; in the dB mode, a 1N4148 diode is inserted in series to provide correction for the temperature coefficient of the dB scale factor. Calibration of the meter is done by first adjusting offset pot R17 for a proper zero reading, then adjusting the R13 for an accurate readout at full scale.

Calibration of the dB range is accomplished by adjusting R9 for the desired 0 dB reference point, then adjusting R14 for the desired dB scale factor (a scale of 10 counts per dB is convenient).

Total power supply current for this circuit is typically 2.8 mA using a 7106-type ADC.

A LOW POWER, HIGH INPUT IMPEDANCE dB METER

Introduction

The portable dB meter circuit featured here combines the functions of the AD636 rms converter, the AD589 voltage reference, and a μ A776 low power operational amplifier. This meter offers excellent bandwidth and superior high and low level accuracy while consuming minimal power from a standard 9 volt transistor radio battery.

In this circuit, the built-in buffer amplifier of the AD636 is used as a "bootstrapped" input stage increasing the normal 6.7 k Ω input Z to an input impedance of approximately 10¹⁰ Ω .

Circuit Description

The input voltage, V_{IN} , is ac coupled by C4 while resistor R8, together with diodes D1, and D2, provide high input voltage protection.

The buffer's output, Pin 6, is ac coupled to the rms converter's input (Pin 1) by capacitor C2. Resistor, R9, is connected between the buffer's output, a Class A output stage, and the negative output swing. Resistor R1, is the amplifier's "bootstrapping" resistor.

With this circuit, single supply operation is made possible by setting "ground" at a point between the positive and negative sides of the battery. This is accomplished by sending 250 μ A from the positive battery terminal through resistor R2, then through the 1.2 volt AD589 bandgap reference, and finally back to the negative side of the battery via resistor R10. This sets ground at 1.2 volts +3.18 volts (250 μ A \times 12.7 k Ω) = 4.4 volts below the positive battery terminal and 5.0 volts (250 μ A \times 20 k Ω) above the negative battery terminal. Bypass capacitors C3 and C5 keep both sides of the battery at a low ac impedance to ground. The AD589 bandgap reference establishes the 1.2 volt regulated reference voltage which together with resistor R3 and trimming potentiometer R4 set the zero dB reference current I_{REF} .

Performance Data

0 dB Reference Range = 0 dBm (770 mV) to -20 dBm (77 mV) rms

0 dBm = 1 milliwatt in 600 Ω

Input Range (at I_{REF} = 770 mV) = 50 dBm

Input Impedance = approximately 10¹⁰ Ω

V_{SUPPLY} Operating Range +5 V dc to +20 V dc

$I_{QUIESCENT}$ = 1.8 mA typical

Accuracy with 1 kHz sine wave and 9 volt dc supply:

0 dB to -40 dBm \pm 0.1 dBm

0 dBm to -50 dBm \pm 0.15 dBm

+10 dBm to -50 dBm \pm 0.5 dBm

Frequency Response \pm 3 dBm:

Input

0 dBm = 5 Hz to 380 kHz

-10 dBm = 5 Hz to 370 kHz

-20 dBm = 5 Hz to 240 kHz

-30 dBm = 5 Hz to 100 kHz

-40 dBm = 5 Hz to 45 kHz

-50 dBm = 5 Hz to 17 kHz

Calibration

1. First calibrate the zero dB reference level by applying a 1 kHz sine wave from an audio oscillator at the desired zero dB amplitude. This may be anywhere from zero dBm (770 mV rms - 2.2 volts p-p) to -20 dBm (77 mV rms 220 mV - p-p). Adjust the I_{REF} cal trimmer for a zero indication on the analog meter.

2. The final step is to calibrate the meter scale factor or gain. Apply an input signal -40 dB below the set zero dB reference and adjust the scale factor calibration trimmer for a 40 μ A reading on the analog meter.

The temperature compensation resistors for this circuit may be purchased from: *Tel Labs Inc.*, 154 Harvey Road, P.O. Box 375, Londonderry, NH 03053, Part #Q332A 2 k Ω 1% +3500 ppm/ $^{\circ}$ C or from *Precision Resistor Company*, 109 U.S. Highway 22, Hillside, NJ 07205, Part #PT146 2 k Ω 1% +3500 ppm/ $^{\circ}$ C.

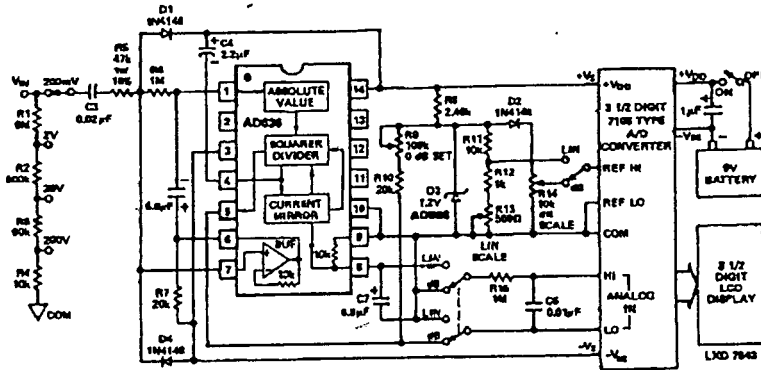
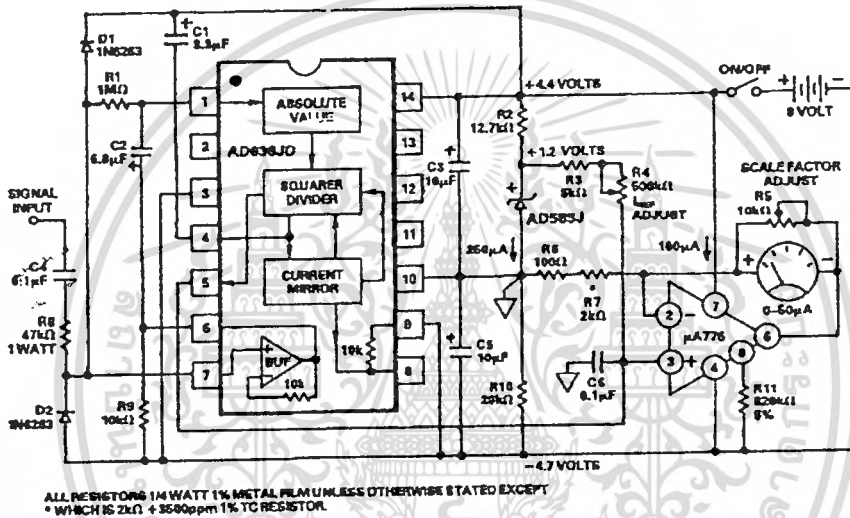


Figure 14. A Portable, High Z Input, RMS DPM and dB Meter Circuit



ALL RESISTORS 1/4 WATT 1% METAL FILM UNLESS OTHERWISE STATED EXCEPT
 * WHICH IS 2kΩ ± 50ppm 1% TC RESISTOR.

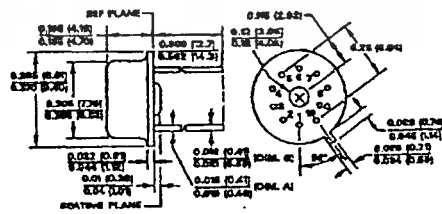
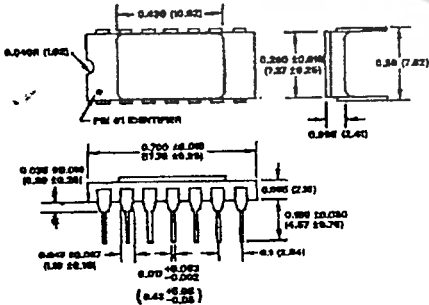
Figure 15. A Low Power, High Input Impedance dB Meter

OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

D Package (TO-116)

H Package (TO-100)

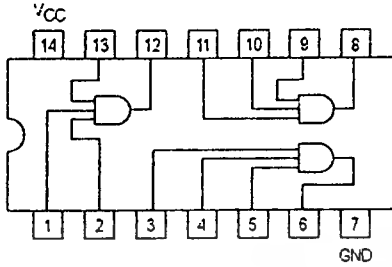


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

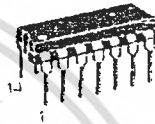
TRIPLE 3-INPUT AND GATE

SN54/74LS11

TRIPLE 3-INPUT AND GATE
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06



D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic
SN74LSXXN Plastic
SN74LSXXD SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
VCC	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

FAST AND LS TTL DATA

5-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS11

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
		74	2.7	3.5	V	
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA, V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74	0.35	0.5	V	I _{OL} = 8.0 mA
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			3.6	mA	V _{CC} = MAX
				6.6		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		8.0	15	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	20	ns	

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

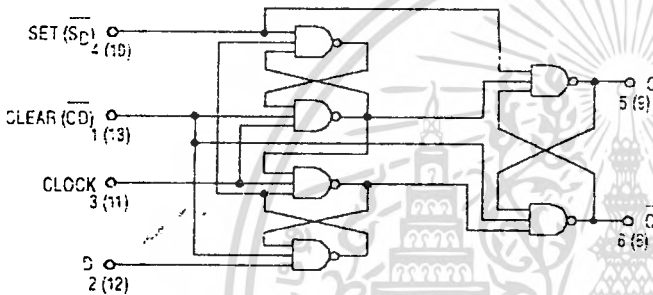


DUAL D-TYPE POSITIVE EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOP

The SN54/74LS74A dual edge-triggered flip-flop utilizes Schottky TTL circuitry to produce high speed D-type flip-flops. Each flip-flop has individual clear and set inputs, and also complementary Q and Q outputs.

Information at input D is transferred to the Q output on the positive-going edge of the clock pulse. Clock triggering occurs at a voltage level of the clock pulse and is not directly related to the transition time of the positive-going pulse. When the clock input is at either the HIGH or the LOW level, the D input signal has no effect.

LOGIC DIAGRAM (Each Flip-Flop)



MODE SELECT — TRUTH TABLE

OPERATING MODE	INPUTS			OUTPUTS	
	S _D	S _D	D	Q	Q
Set	L	H	X	H	L
Reset (Clear)	H	L	X	L	H
Undetermined	L	L	X	H	H
Load "1" (Set)	H	H	h	H	L
Load "0" (Reset)	H	H	l	L	H

* Both outputs will be HIGH while both S_D and C_D are LOW, but the output states are unpredictable if S_D and C_D go HIGH simultaneously. If the levels at the set and clear are near V_{IL} maximum then we cannot guarantee to meet the minimum level for V_{OH}.

H, h = HIGH Voltage Level

L, l = LOW Voltage Level

X = Don't Care

1, h (q) = Lower case letters indicate the state of the referenced input (or output) one set-up time prior to the HIGH to LOW clock transition.

SN54/74LS74A

DUAL D-TYPE POSITIVE
EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOP
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 652-08



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06

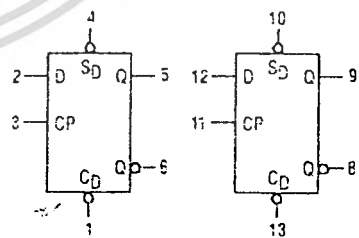


D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic
SN74LSXXN Plastic
SN74LSXXD SOIC

LOGIC SYMBOL



V_{CC} = PIN 14
GND = PIN 7

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานใน 5-1 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS74A

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			6.0	

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -16 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
		74	2.7	3.5	V	
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA
		74	0.35	0.5	V	I _{OL} = 8.0 mA
I _{IH}	Input High Current Data, Clock Set, Clear			20 40	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
	Data, Clock Set, Clear			0.1 0.2	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current Data, Clock Set, Clear			-0.4 -0.8	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current			8.0	mA	V _{CC} = MAX

Note 1. Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C, V_{CC} = 5.0 V)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
f _{MAX}	Maximum Clock Frequency	25	33		MHz	Figure 1
t _{PLH} t _{PHL}	Clock, Clear, Set to Output		13 25	25 40	ns	Figure 1
						V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF

AC SETUP REQUIREMENTS (T_A = 25°C)

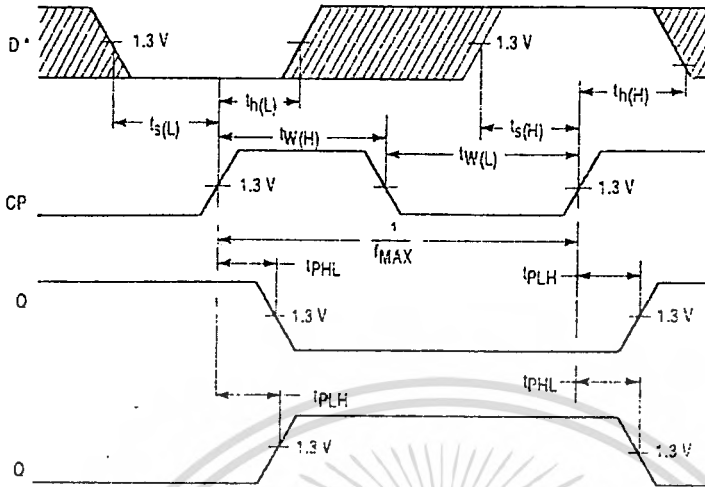
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{W(H)}	Clock	25			ns	Figure 1
t _{W(L)}	Clear, Set	25			ns	Figure 2
t _s	Data Setup Time — HIGH — LOW	20			ns	Figure 1
		20			ns	
t _h	Hold Time	5.0			ns	Figure 1
						V _{CC} = 5.0 V

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 5-2 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS74A

AC WAVEFORMS



*The shaded areas indicate when the input is permitted to change for predictable output performance.

Figure 1. Clock to Output Delays, Data Set-Up and Hold Times, Clock Pulse Width

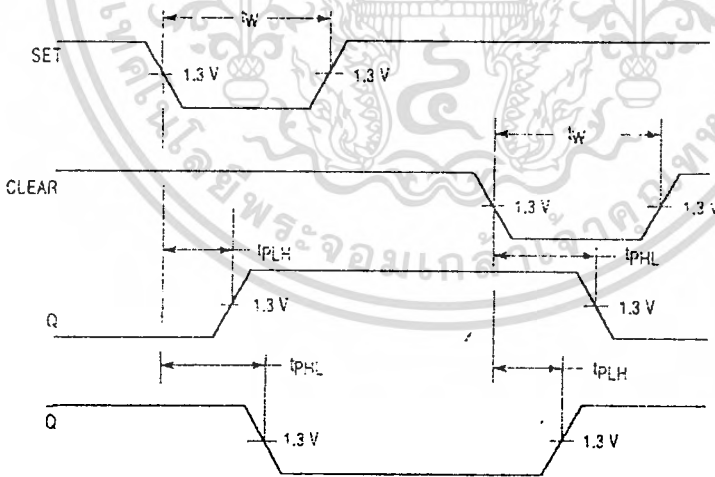


Figure 2. Set and Clear to Output Delays, Set and Clear Pulse Widths

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 5-3 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



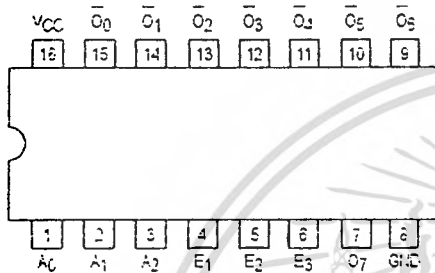
MOTOROLA

1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

The LSTTL/MSI SN54/74LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer. This device is ideally suited for high speed bipolar memory chip select address decoding. The multiple input enables allow parallel expansion to a 1-of-24 decoder using just three LS138 devices or to a 1-of-32 decoder using four LS138s and one inverter. The LS138 is fabricated with the Schottky barrier diode process for high speed and is completely compatible with all Motorola TTL families.

- Demultiplexing Capability
- Multiple Input Enable for Easy Expansion
- Typical Power Dissipation of 32 mW
- Active Low Mutually Exclusive Outputs
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package

PIN NAMES

A₀-A₂ Address Inputs
E₁, E₂ Enable (Active LOW) Inputs
E₃ Enable (Active HIGH) Input
O₀-O₇ Active LOW Outputs (Note b)

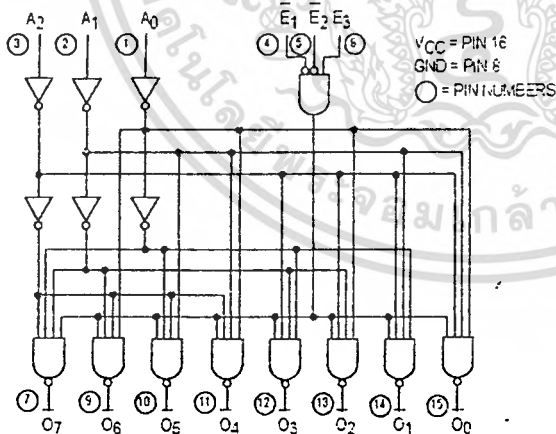
LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
A ₀ -A ₂	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E ₁ , E ₂	0.5 U.L.	0.25 U.L.
E ₃	0.5 U.L.	0.25 U.L.
O ₀ -O ₇	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

NOTES

- a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40 μA HIGH/1.6 mA LOW
b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges

LOGIC DIAGRAM



FAST AND LS TTL DATA

5-1

SN54/74LS138

1-OF-8 DECODER/ DEMULTIPLEXER

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

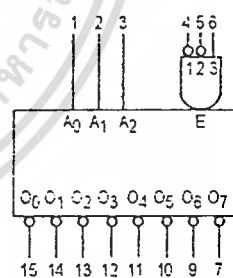


D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

LOGIC SYMBOL



VCC = PIN 16
GND = PIN 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS138

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS138 is a high speed 1-of-8 Decoder/Demultiplexer fabricated with the low power Schottky barrier diode process. The decoder accepts three binary weighted inputs (A₀, A₁, A₂) and when enabled provides eight mutually exclusive active LOW Outputs (O₀–O₇). The LS138 features three Enable inputs, two active LOW (E₁, E₂) and one active HIGH (E₃). All outputs will be HIGH unless E₁ and E₂ are LOW and E₃ is HIGH. This multiple enable function allows easy parallel ex-

pansion of the device to a 1-of-32 (5 lines to 32 lines) decoder with just four LS138s and one inverter. (See Figure a.)

The LS138 can be used as an 8-output demultiplexer by using one of the active LOW Enable inputs as the data input and the other Enable inputs as strobes. The Enable inputs which are not used must be permanently tied to their appropriate active HIGH or active LOW state.

TRUTH TABLE

INPUTS						OUTPUTS							
E ₁	E ₂	E ₃	A ₀	A ₁	A ₂	O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Don't Care

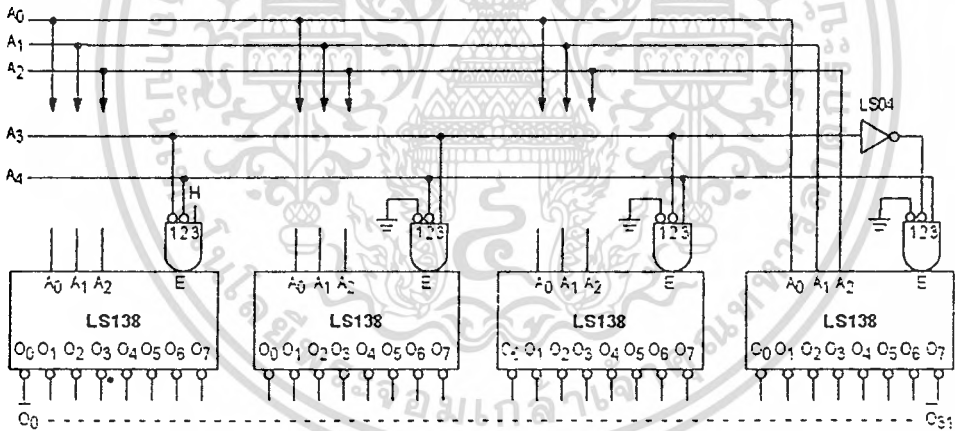


Figure a

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA	
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5	V		
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	
I _{IH}	Input HIGH Current			20	µA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V	
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V	
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)		-20	-100	mA	V _{CC} = MAX	
I _{CC}	Power Supply Current			10	mA	V _{CC} = MAX	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, not for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Levels of Delay	Limits			Unit	Test Conditions
			Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Propagation Delay Address to Output	2		13	20	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Propagation Delay Address to Output	2		27	41		
t _{PLH}	Propagation Delay Enable to Output	3		18	27	ns	
t _{PHL}	Propagation Delay Enable to Output	3		26	39		
t _{PLH}	Propagation Delay E ₁ or E ₂ Enable to Output	2		12	18	ns	
t _{PHL}	Propagation Delay E ₁ or E ₂ Enable to Output	2		21	32		
t _{PLH}	Propagation Delay E ₃ Enable to Output	3		17	26	ns	
t _{PHL}	Propagation Delay E ₃ Enable to Output	3		25	38		

AC WAVEFORMS

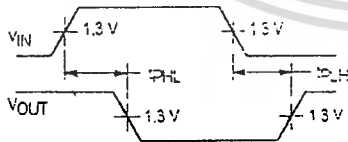


Figure 1

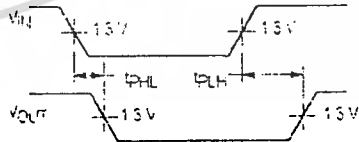


Figure 2

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS

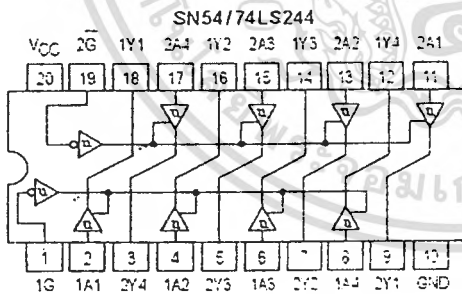
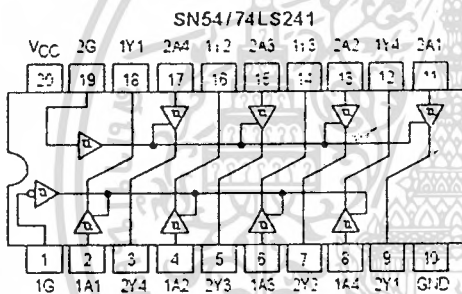
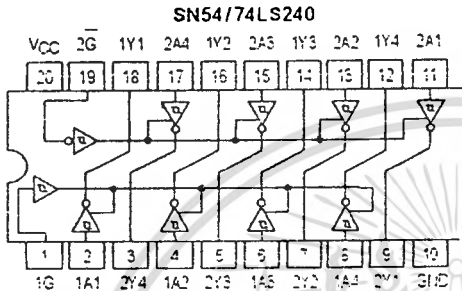
The SN54/74LS240, 241 and 244 are Octal Buffers and Line Drivers designed to be employed as memory address drivers, clock drivers and bus-oriented transmitters/receivers which provide improved PC board density.

- Hysteresis at Inputs to Improve Noise Margins
- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- Input Clamp Diodes Limit High-Speed Termination Effects

SN54/74LS240
SN54/74LS241
SN54/74LS244

**OCTAL BUFFER/LINE DRIVER
WITH 3-STATE OUTPUTS**
LOW POWER SCHOTTKY

LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)



**J SUFFIX
CERAMIC
CASE 732-03**



**N SUFFIX
PLASTIC
CASE 738-03**



**DW SUFFIX
SOIC
CASE 751D-03**

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXDW SOIC

FAST AND LS TTL DATA

5-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRUTH TABLES

SN54/74LS240

INPUTS		OUTPUT
1G, 2G	D	
L	L	H
L	H	L
H	X	(Z)

SN54/74LS244

INPUTS		OUTPUT
1G, 2G	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

SN54/74LS241

INPUTS		OUTPUT	INPUTS		OUTPUT
1G	D		2G	D	
L	L	L	H	L	L
L	H	H	H	H	H
H	X	(Z)	L	X	(Z)

H = HIGH Voltage Level
 L = LOW Voltage Level
 X = Immaterial
 Z = HIGH Impedance

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-3.0	mA
		54, 74			-12 -15	
I _{OL}	Output Current — Low	54			12	mA
		74			24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{T+} -V _{T-}	Hysteresis	0.2	0.4		V	V _{CC} = MIN
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.4	3.4	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = -3.0 mA
		54, 74	2.0		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	V	I _{OL} = 12 mA
		74		0.35	V	I _{OL} = 24 mA
						V _{CC} = V _{CC} MIN. V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
I _{OZH}	Output Off Current HIGH			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 2.7 V
I _{OZL}	Output Off Current LOW			-20	μA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 0.4 V
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.2	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 1)	-40		-225	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			27	mA	V _{CC} = MAX
	Total, Output LOW	LS240		44		
		LS241/244		46		
	Total at HIGH Z	LS240		50		
		LS241/244		54		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time; not for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C, V_{CC} = 5.0 V)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Propagation Delay, Data to Output LS240		9.0	14	ns	C _L = 45 pF, R _L = 667 Ω
t _{PHL}			12	18		
t _{PLH}	Propagation Delay, Data to Output LS241/244		12	18	ns	
t _{PHL}			12	18		
t _{pZH}	Output Enable Time to HIGH Level		15	23	ns	
t _{pZL}	Output Enable Time to LOW Level		20	30	ns	
t _{pZ}	Output Disable Time from LOW Level		15	25	ns	
t _{pHZ}	Output Disable Time from HIGH Level		10	18	ns	C _L = 5.0 pF, R _L = 667 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC WAVEFORMS

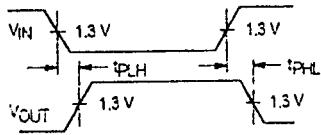


Figure 1

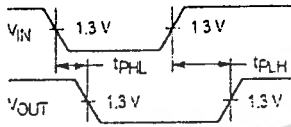


Figure 2

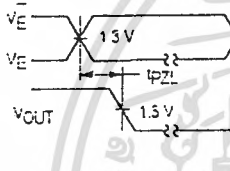


Figure 3

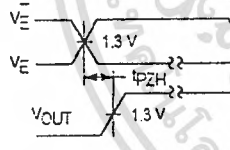
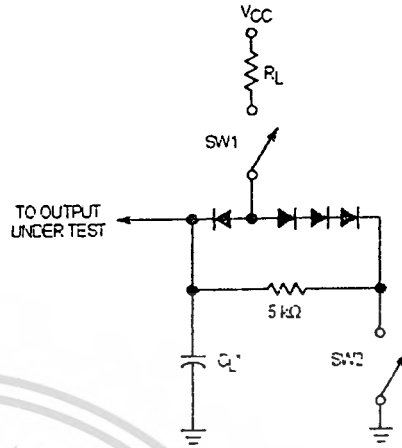


Figure 4



SWITCH POSITIONS

SYMBOL	SW1	SW2
t_{PZH}	Open	Closed
t_{PZL}	Closed	Open
t_{PLZ}	Closed	Closed
t_{PHZ}	Closed	Closed

Figure 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12-Bit, Microprocessor- Compatible A/D Converter

August 1997

Features

- 12-Bit Binary (Plus Polarity and Over-Range) Dual Slope Integrating Analog-to-Digital Converter
- Byte-Organized, TTL Compatible Three-State Outputs and UART Handshake Mode for Simple Parallel or Serial Interfacing to Microprocessor Systems
- $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ Input and STATUS Output Can Be Used to Monitor and Control Conversion Timing
- True Differential Input and Differential Reference
- Low Noise (Typ) $15\mu\text{V}_{\text{p-p}}$
- Input Current (Typ) 1pA
- Operates At Up to 30 Conversions/s
- On-Chip Oscillator Operates with Inexpensive 3.58MHz TV Crystal Giving 7.5 Conversions/s for 60Hz Rejection. May Also Be Used with An RC Network Oscillator for Other Clock Frequencies

Description

The ICL7109 is a high performance, CMOS, low power integrating A/D converter designed to easily interface with microprocessors.

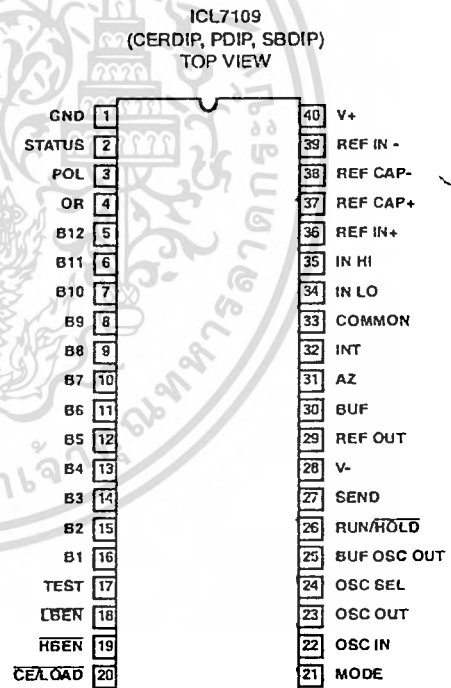
The output data (12 bits, polarity and over-range) may be directly accessed under control of two byte enable inputs and a chip select input for a single parallel bus interface. A UART handshake mode is provided to allow the ICL7109 to work with industry-standard UARTs in providing serial data transmission. The $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ input and STATUS output allow monitoring and control of conversion timing.

The ICL7109 provides the user with the high accuracy, low noise, low drift versatility and economy of the dual-slope integrating A/D converter. Features like true differential input and reference, drift of less than $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, maximum input bias current of 10pA, and typical power consumption of 20mW make the ICL7109 an attractive per-channel alternative to analog multiplexing for many data acquisition applications.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7109MDL	-55 to 125	40 Ld SBDIP	D40.6
ICL7109IDL	-25 to 85	40 Ld SBDIP	D40.6
ICL7109JL	-25 to 85	40 Ld CERDIP	F40.6
ICL7109CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7109MDL/883B	-55 to 125	40 Ld SBDIP	D40.6
ICL7109IPL	-25 to 85	40 Ld PDIP	E40.6

Pinout



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.
Copyright © Harris Corporation 1997

File Number 3092.1

ICL7109

Absolute Maximum Ratings

Positive Supply Voltage (GND to V+)	+6.0V
Negative Supply Voltage (GND to V-)	-9V
Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input) (Note 1)	V+ to V-
Digital Input Voltage	(V+) +0.3V
Pins 2-27 (Note 2)	GND -0.3V

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
SBDIP Package	60	20
CERDIP Package	55	18
PDIP Package	50	N/A
Maximum Junction Temperature (PDIP Package)	150°C	
Maximum Junction Temperature (CERDIP Package)	175°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s Max)	300°C	

Operating Conditions

Temperature Range	
M Suffix	-55°C to 125°C
I Suffix	-25°C to 85°C
C Suffix	0°C to 75°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Analog Electrical Specifications $V_+ = +5V, V_- = -5V, GND = 0V, T_A = 25^\circ C, f_{CLK} = 3.58MHz$.

Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PERFORMANCE					
Oscillator Output Current					
High, O_{OH}	$V_{OUT} = 2.5V$	-	1	-	mA
Low, O_{OL}	$V_{OUT} = 2.5V$	-	1.5	-	mA
Buffered Oscillator Output Current					
High, BO_{OH}	$V_{OUT} = 2.5V$	-	2	-	mA
Low, BO_{OL}	$V_{OUT} = 2.5V$	-	5	-	mA
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0000V, V_{REF} = 204.8mV$	-0000	±0000	+0000	Counts
Ratiometric Error	$V_{IN} = V_{REF}, V_{REF} = 204.8mV$ (Note 7)	-3	-	0	Counts
Non-Linearity	Full Scale = 409.6mV to 2.048mV Maximum Deviation from Best Straight Line Fit, Over Full Operating Temperature Range (Notes 4 and 6)	-1	±0.2	+1	Counts
Rollover Error	Full Scale = 409.6mV to 2.048V Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full Scale (Notes 5 and 6), $R_1 = 0\Omega$	-1	±0.2	+1	Counts
Linearity	Full-Scale = 200mV or Full Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 4)	-	±0.2	±1	Counts
Common Mode Rejection Ratio, CMRR	$V_{CM} = \pm 1V, V_{IN} = 0V$, Full Scale = 409.6mV	-	50	-	$\mu V/V$
Input Common Mode Range, V_{CMR}	Input HI, Input LO, Common (Note 4)	(V-) +2.0	-	(V+) -2.0	V
Noise, eN	$V_{IN} = 0V$, Full-Scale = 409.6mV (Peak-to-Peak Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	μV
Leakage Current Input, I_{ILK}	$V_{IN} = 0V$, All Devices at 25°C (Note 4)	-	1	10	μA
ICL7109CPL	0°C to 70°C (Note 4)	-	20	100	μA
ICL7109IDL	-25°C to 85°C (Note 4)	-	100	250	μA
ICL7109MDL	-55°C to 125°C	-	2	100	nA
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0V, R_1 = 0\Omega$ (Note 4)	-	0.2	1	$\mu V/^\circ C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7109

Analog Electrical Specifications $V_+ = +5V, V_- = -5V, GND = 0V, T_A = 25^\circ C, f_{CLK} = 3.58MHz$.
Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 408.9mV = > 7770g$ Reading Ext. Ref. $0ppm/^\circ C$ (Note 4)	-	1	5	$ppm/^\circ C$
REFERENCE VOLTAGE					
Ref Out Voltage, V_{REF}	Referred to V_+ , $25k\Omega$ Between V_+ and REF OUT	-2.4	-2.8	-3.2	V
Ref Out Temperature Coefficient	$25k\Omega$ Between V_+ and REF OUT (Note 4)	-	80	-	$ppm/^\circ C$
POWER SUPPLY CHARACTERISTICS					
Supply Current V_+ to GND, I_+	$V_{IN} = 0V$, Crystal Osc 3.58MHz Test Circuit	-	700	1500	μA
Supply Current V_+ to V_- , I_{SUPP}	Pins 2 - 21, 25, 26, 27, 29; Open	-	700	1500	μA

Digital Electrical Specifications $V_+ = +5V, V_- = -5V, GND = 0V, T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
DIGITAL OUTPUTS					
Output High Voltage, V_{OH}	$I_{OUT} = 100\mu A$ Pins 2 - 16, 18, 19, 20	3.5	4.3	-	V
Output Low Voltage, V_{OL}	$I_{OUT} = 1.6mA$ Pins 2 - 16, 18, 19, 20	-	± 0.20	± 0.40	V
Output Leakage Current	Pins 3 - 16 High Impedance	-	± 0.01	± 1	μA
Control I/O Pullup Current	Pins 18, 19, 20 $V_{OUT} = V_+ - 3V$ MODE Input at GND (Note 4)	-	5	-	μA
Control I/O Loading	\overline{RBEN} Pin 19 \overline{LBEN} Pin 18 (Note 4)	-	-	50	pF
DIGITAL INPUTS					
Input High Voltage, V_{IH}	Pins 18 - 21, 26, 27 Referred to GND	3.0	-	-	V
Input Low Voltage, V_{IL}	Pins 18 - 21, 26, 27 Referred to GND	-	-	1	V
Input Pull-Up Current	Pins 26, 27 $V_{OUT} = (V_+) - 3V$	-	5	-	μA
Input Pull-Up Current	Pins 17, 24 $V_{OUT} = (V_+) - 3V$	-	25	-	μA
Input Pull-Down Current	Pin 21 $V_{OUT} = GND + 3V$	-	5	-	μA
TIMING CHARACTERISTICS					
MODE Input Pulse Width, t_{WV}	(Note 4)	50	-	-	ns

NOTES:

1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu A$.
2. Due to the SCR structure inherent in the process used to fabricate these devices, connecting any digital inputs or outputs to voltages greater than V_+ or less than GND may cause destructive device latchup. For this reason it is recommended that no inputs from sources other than the same power supply be applied to the ICL7109 before its power supply is established, and that in multiple supply systems the supply to the ICL7109 be activated first.
3. This limit refers to that of the package and will not be obtained during normal operation.
4. This parameter is not production tested, but is guaranteed by design.
5. Roll-over error for $T_A = -55^\circ C$ to $125^\circ C$ is ± 10 counts (Max).
6. A full scale voltage of 2.048V is used because a full scale voltage of 4.096V exceeds the devices Common Mode Voltage Range.
7. For CERDIP package the Ratioetric error can be -4 (Min).

Pin Descriptions

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION		
1	GND	Digital Ground, 0V. Ground return for all digital logic.		
2	STATUS	Output High during integrate and deintegrate until data is latched. Output Low when analog section is in Auto-Zero configuration.		
3	POL	Polarity - HI for positive input.	Three-State Output Data Bits	
4	OR	Overrange - HI if overranged.	Three-State Output Data Bits	
5	B12	Bit 12	(Most Significant Bit)	Three-State Output Data Bits
6	B11	Bit 11	High = True	Three-State Output Data Bits
7	B10	Bit 10	High = True	Three-State Output Data Bits
8	B9	Bit 9	High = True	Three-State Output Data Bits
9	B8	Bit 8	High = True	Three-State Output Data Bits
10	B7	Bit 7	High = True	Three-State Output Data Bits
11	B6	Bit 6	High = True	Three-State Output Data Bits
12	B5	Bit 5	High = True	Three-State Output Data Bits
13	B4	Bit 4	High = True	Three-State Output Data Bits
14	B3	Bit 3	High = True	Three-State Output Data Bits
15	B2	Bit 2	High = True	Three-State Output Data Bits
16	B1	Bit 1	(Least Significant Bit)	Three-State Output Data Bits
17	TEST	Input High - Normal Operation. Input Low - Forces all bit outputs high. Note: This input is used for test purposes only. Tie high if not used.		
18	LBEN	Low Byte Enable - With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates low order byte outputs B1 through B8. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a low byte flag output used in handshake mode. See Figures 7, 8, 9.		
19	HBEN	High Byte Enable - With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates high order byte outputs B9 through B12, POL, OR. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a high byte flag output used in handshake mode. See Figures 7, 8, 9.		
20	CE/LOAD	Chip Enable Load - With Mode (Pin 21) low, CE/LOAD serves as a master output enable. When high, B1 through B12, POL, OR outputs are disabled. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a load strobe used in handshake mode. See Figures 7, 8, 9.		
21	MODE	Input Low - Direct output mode where CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19) and LBEN (Pin 18) act as inputs directly controlling byte outputs. Input Pulsed High - Causes immediate entry into handshake mode and output of data as in Figure 9. Input High - Enables CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19), and LBEN (Pin 18) as outputs, handshake mode will be entered and data output as in Figures 7 and 8 at conversion completion.		
22	OSC IN	Oscillator Input		
23	OSC OUT	Oscillator Output		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Descriptions (Continued)

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
24	OSC SEL	Oscillator Select - Input high configures OSC IN, OSC OUT, BUF OSC OUT as RC oscillator - clock will be same phase and duty cycle as BUF OSC OUT. Input low configures OSC IN, OSC OUT for crystal oscillator - clock frequency will be 1/58 of frequency at BUF OSC OUT.
25	BUF OSC OUT	Buffered Oscillator Output
26	RUN/HOLD	Input High - Conversions continuously performed every 8192 clock pulses. Input Low - Conversion in progress completed, converter will stop in Auto-Zero 7 counts before integrate.
27	SEND	Input - Used in handshake mode to indicate ability of an external device to accept data. Connect to +5V if not used.
28	V-	Analog Negative Supply - Nominally -5V with respect to GND (Pin 1).
29	REF OUT	Reference Voltage Output - Nominally 2.5V down from V+ (Pin 40).
30	BUFFER	Buffer Amplifier Output.
31	AUTO-ZERO	Auto-Zero Node - Inside foil of C _{AZ} .
32	INTEGRATOR	Integrator Output - Outside foil of C _{INT} .
33	COMMON	Analog Common - System is Auto-Zeroed to COMMON.
34	INPUT LO	Differential Input Low Side.
35	INPUT HI	Differential Input High Side.
36	REF IN +	Differential Reference Input Positive.
37	REF CAP +	Reference Capacitor Positive.
38	REF CAP-	Reference Capacitor Negative.
39	REF IN-	Differential Reference Input Negative.
40	V+	Positive Supply Voltage - Nominally +5V with respect to GND (Pin 1).

NOTE: All digital levels are positive true.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Information Summary Sheet

• **OSCILLATOR FREQUENCY**

$f_{OSC} = 0.45/RC$
 $C_{OSC} > 50pF; R_{OSC} > 50k\Omega$
 $f_{OSC} (Typ) = 60kHz$
 or
 $f_{OSC} (Typ) = 3.58MHz$ Crystal

• **OSCILLATOR PERIOD**

$t_{OSC} = RC/0.45$
 $t_{OSC} = 1/3.58MHz$ (Crystal)

• **INTEGRATION CLOCK FREQUENCY**

$f_{CLOCK} = f_{OSC}$ (RC Mode)
 $f_{CLOCK} = f_{OSC}/58$ (Crystal)
 $t_{CLOCK} = 1/f_{CLOCK}$

• **INTEGRATION PERIOD**

$t_{INT} = 2048 \times t_{CLOCK}$

• **60/50Hz REJECTION CRITERION**

$t_{INT}/160Hz$ or $t_{INT}/50Hz = \text{Integer}$

• **OPTIMUM INTEGRATION CURRENT**

$I_{INT} = 20\mu A$

• **FULL-SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE**

V_{INFS} Typically = 200mV or 2V

• **INTEGRATE RESISTOR**

$$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$$

• **INTEGRATE CAPACITOR**

$$C_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{V_{INT}}$$

• **INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING**

$$V_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{C_{INT}}$$

• **V_{INT} MAXIMUM SWING**

$(V+ - 0.5V) < V_{INT} < (V+ - 0.5V)$
 $V_{INT} (Typ) = 2V$

• **DISPLAY COUNT**

$$COUNT = 2048 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

• **CONVERSION CYCLE**

$t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 8192$
 (In Free Run Mode, Run/HOLD = 1)
 when $f_{CLOCK} = 60kHz$, $t_{CYC} = 133ms$

• **COMMON MODE INPUT VOLTAGE**

$(V+ - 2.0V) < V_{IN} < (V+ - 2V)$

• **AUTO-ZERO CAPACITOR**

$0.01\mu F < C_{AZ} < 1\mu F$

• **REFERENCE CAPACITOR**

$0.1\mu F < C_{REF} < 1\mu F$

• **V_{REF}**

Biased between $V+$ and $V-$
 $V_{REF} \approx V+ - 2.8V$
 Regulation lost when $V+$ to $V- \leq 6.4V$.
 If V_{REF} is not used, float output pin.

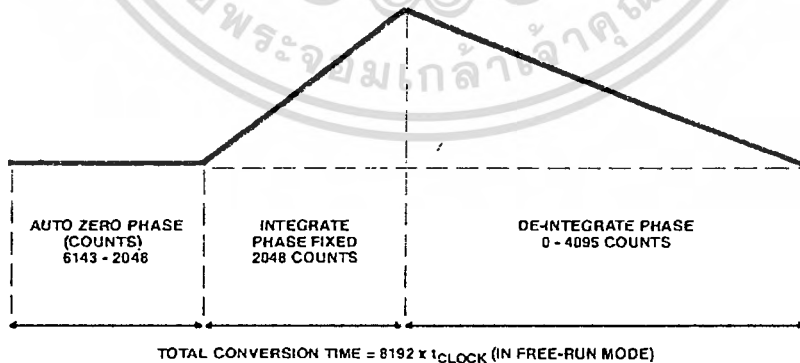
• **POWER SUPPLY: DUAL $\pm 5.0V$**

$V+ = +5V$ to GND
 $V- = -5V$ to GND

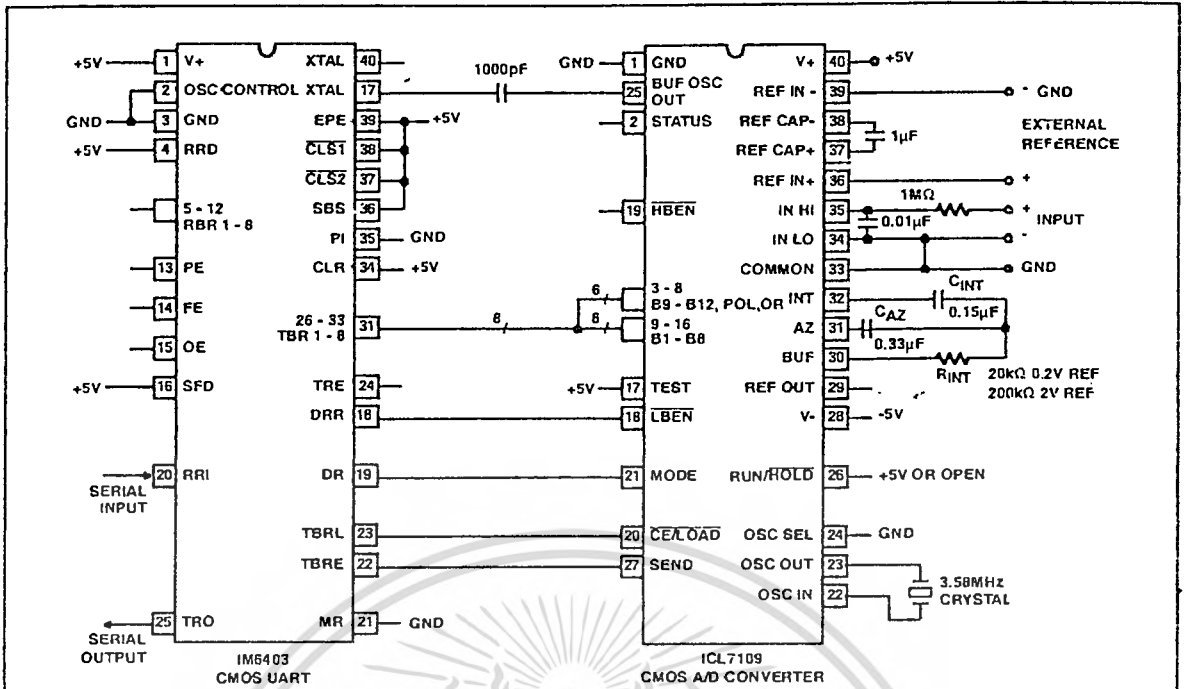
• **OUTPUT TYPE**

Binary Amplitude with Polarity and Overrange Bits
 Tips: Always tie TEST pin HIGH.
 Don't leave any inputs floating.

Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)



ICL7109



FOR LOWEST POWER CONSUMPTION
TBR1 - TBR8 INPUTS SHOULD HAVE 100kΩ
PULLUP RESISTORS TO +5V

FIGURE 1A. TYPICAL CONNECTION DIAGRAM UART INTERFACE-TO TRANSMIT LATEST RESULT, SEND ANY WORD TO UART

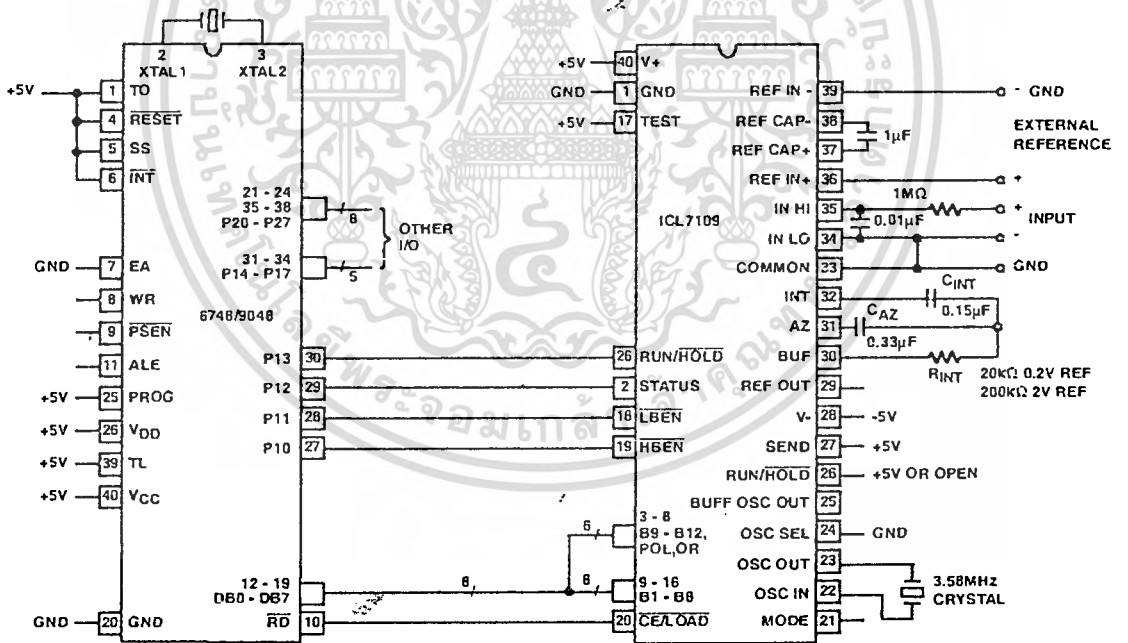


FIGURE 1B. TYPICAL CONNECTION DIAGRAM PARALLEL INTERFACE WITH 8048 MICROCOMPUTER

FIGURE 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Description

Analog Section

Figure 2 shows the equivalent circuit of the Analog Section for the ICL7109. When the RUN/HOLD input is left open or connected to V+, the circuit will perform conversions at a rate determined by the clock frequency (8192 clock periods per cycle). Each measurement cycle is divided into three phases as shown in Figure 3. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

Auto-Zero Phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C_{AZ} to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than $10\mu V$.

Signal Integrate Phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range of the inputs. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

De-Integrate Phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged (during auto-zero) reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero crossing (established in Auto-Zero) with a fixed slope. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal.

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 1V below the positive supply to 1.5V above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86dB typical. However, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator output swing can be reduced to less than the recommended 4V full scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

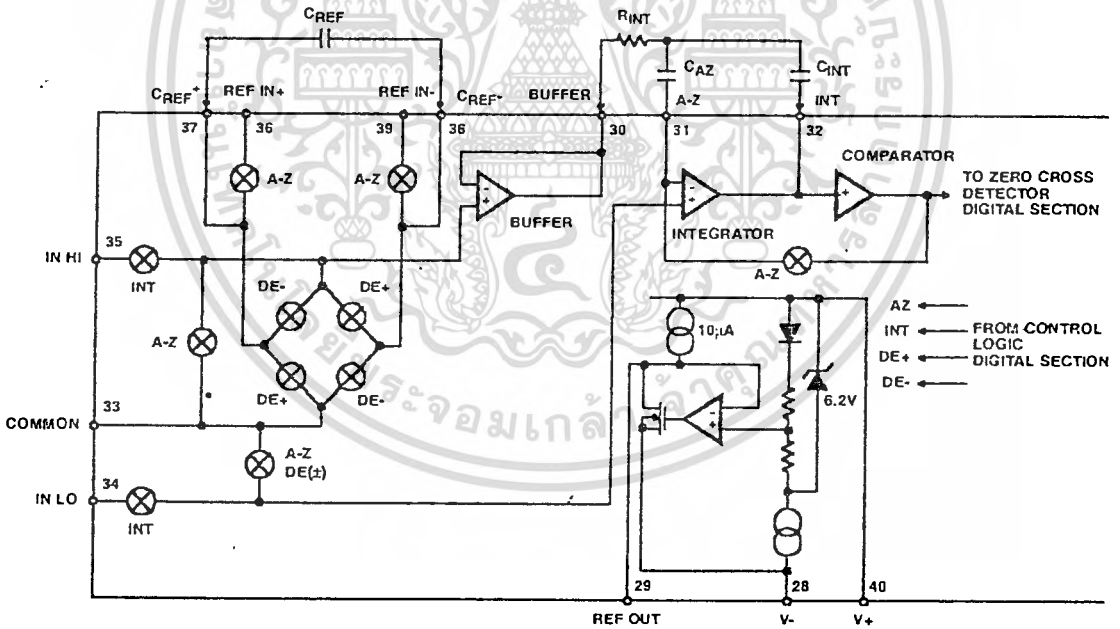


FIGURE 2. ANALOG SECTION OF ICL7109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The ICL7109 has, however, been optimized for operation with analog common near digital ground. With power supplies of +5V and -5V, this allows a 4V full scale integrator swing positive or negative thus maximizing the performance of the analog section.

Differential Reference

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to deintegrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to deintegrate a negative input signal. This difference in reference for positive or negative input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count worst case. (See Component Value Selection.)

The roll-over error from these sources is minimized by having the reference common mode voltage near or at analog COMMON.

Component Value Selection

For optimum performance of the analog section, care must be taken in the selection of values for the integrator capacitor and resistor, auto-zero capacitor, reference voltage, and conversion rate. These values must be chosen to suit the particular application.

The most important consideration is that the integrator output swing (for full-scale input) be as large as possible. For example, with $\pm 5V$ supplies and COMMON connected to GND, the normal integrator output swing at full scale is $\pm 4V$. Since the integrator output can go to 0.3V from either supply without significantly affecting linearity, a 4V integrator output swing allows 0.7V for variations in output swing due to component value and oscillator tolerances. With $\pm 5V$ supplies and a common mode range of $\pm 1V$ required, the component values should be selected to provide $\pm 3V$ integrator output swing. Noise and roll-over will be slightly worse than in the $\pm 4V$ case. For larger common mode voltage ranges, the integrator output swing must be reduced further. This will increase both noise and roll-over errors. To improve the performance, supplies of $\pm 6V$ may be used.

Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with $100\mu A$ of quiescent current. They supply $20\mu A$ of drive current with negligible nonlinearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 409.6mV full-scale, $200k\Omega$ is near optimum and similarly a $20k\Omega$ for a 409.6mV scale. For other values of full scale voltage, R_{INT} should be chosen by the relation :

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu A}$$

Integrating Capacitor

The integrating capacitor C_{INT} should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance build-up will not saturate the integrator swing (approximately, 0.3V from either supply). For the ICL7109 with $\pm 5V$ supplies and analog common connected to GND, a $\pm 3.5V$ to $\pm 4V$ integrator output swing is nominal. For $7\frac{1}{2}$ conversions per second (61.72kHz clock frequency) as provided by the crystal oscillator, nominal values for C_{INT} and C_{AZ} are $0.15\mu F$ and $0.33\mu F$, respectively. If different clock frequencies are used, these values should be changed to maintain the integrator output swing. In general, the value C_{INT} is given by:

$$C_{INT} = \frac{(2048 \times \text{clock period})(20\mu A)}{\text{integrator output voltage swing}}$$

An additional requirement of the integrating capacitor is that it have low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at The integrating capacitor should have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types may be adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost up to $85^{\circ}C$. Teflon™ capacitors are recommended for the military temperature range. While their dielectric absorption characteristics vary somewhat from unit to unit, selected devices should give less than 0.5 count of error due to dielectric absorption.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system: a smaller physical size and a larger capacitance value lower the overall system noise. However, C_{AZ} cannot be increased without limits since it, in parallel with the integrating capacitor forms an R-C time constant that determines the speed of recovery from overloads and the error that exists at the end of an auto-zero cycle. For 409.6mV full scale where noise is very important and the integrating resistor small, a value of C_{AZ} twice C_{INT} is optimum. Similarly for 4.096V full scale where recovery is more important than noise, a value of C_{AZ} equal to half of C_{INT} is recommended.

For optimal rejection of stray pickup, the outer foil of C_{AZ} should be connected to the R-C summing junction and the inner foil to pin 31. Similarly the outer foil of C_{INT} should be connected to pin 32 and the inner foil to the R-C summing junction. Teflon, or equivalent, capacitors are recommended above $85^{\circ}C$ for their low leakage characteristics.

Reference Capacitor

A $1\mu F$ capacitor gives good results in most applications. However, where a large reference common mode voltage exists (i.e., the reference low is not at analog common) and a 409.6mV scale is used, a large value is required to prevent roll-over error. Generally $10\mu F$ will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance. Again, Teflon, or equivalent capacitors should be used for temperatures above $85^{\circ}C$ for their low leakage characteristics.

Teflon™ is a trademark of DuPont Corporation

Reference Voltage

The analog input required to generate a full scale output of 4096 counts is $V_{IN} = 2V_{REF}$. For normalized scale, a reference of 2.048V should be used for a 4.096V full scale, and 204.8mV should be used for a 0.4096V full scale. However, in many applications where the A/D is sensing the output of a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the absolute output voltage to be measured and a desired digital output. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.682V. Instead of driving the input down to 409.6mV, the input voltage should be measured directly and a reference voltage of 0.341V should be used. Suitable values for integrating resistor and capacitor are 33k Ω and 0.15 μ F. This avoids a divider on the input. Another advantage of this system occurs when a zero reading is desired for non-zero input. Temperature and weight measurements with an offset or tare are examples. The offset may be introduced by connecting the voltage output of the transducer between common and analog high, and the offset voltage between common and analog low, observing polarities carefully. However, in processor-based systems using the ICL7109, it may be more efficient to perform this type of scaling or tare subtraction digitally using software.

Reference Sources

The stability of the reference voltage is a major factor in the overall absolute accuracy of the converter. The resolution of the ICL7109 at 12 bits is one part in 4096, or 244ppm. Thus if the reference has a temperature coefficient of 80ppm/ $^{\circ}$ C (onboard reference) a temperature difference of 3 $^{\circ}$ C will introduce a one-bit absolute error.

For this reason, it is recommended that an external high-quality reference be used where the ambient temperature is not controlled or where high-accuracy absolute measurements are being made.

The ICL7109 provides a REFERENCE OUTPUT (Pin 29) which may be used with a resistive divider to generate a suitable reference voltage. This output will sink up to about 20mA without significant variation in output voltage, and is provided with a pullup bias device which sources about 10 μ A. The output voltage is nominally 2.8V below $V+$, and has a temperature coefficient of ± 80 ppm/ $^{\circ}$ C (Typ). When using the onboard reference, REF OUT (Pin 29) should be connected to REF- (Pin 39), and REF+ should be connected to the wiper of a precision potentiometer between REF OUT and $V+$. The circuit for a 204.8mV reference is shown in the test circuit. For a 2.048mV reference, the fixed resistor should be removed, and a 25k Ω precision potentiometer between REF OUT and $V+$ should be used.

Note that if Pins 29 and 39 are tied together and Pins 39 and 40 accidentally shorted (e.g., during testing), the reference supply will sink enough current to destroy the device. This can be avoided by placing a 1k Ω resistor in series with Pin 39.

Detailed Description

Digital Section

The digital section includes the clock oscillator and scaling circuit, a 12-bit binary counter with output latches and TTL-compatible three-state output drivers, polarity, over-range and control logic, and UART handshake logic, as shown in Figure 4.

Throughout this description, logic levels will be referred to as "low" or "high". The actual logic levels are defined in the Electrical Specifications Table. For minimum power consumption, all inputs should swing from GND (low) to $V+$ (high). Inputs driven from TTL gates should have 3-5k Ω pullup resistors added for maximum noise immunity.

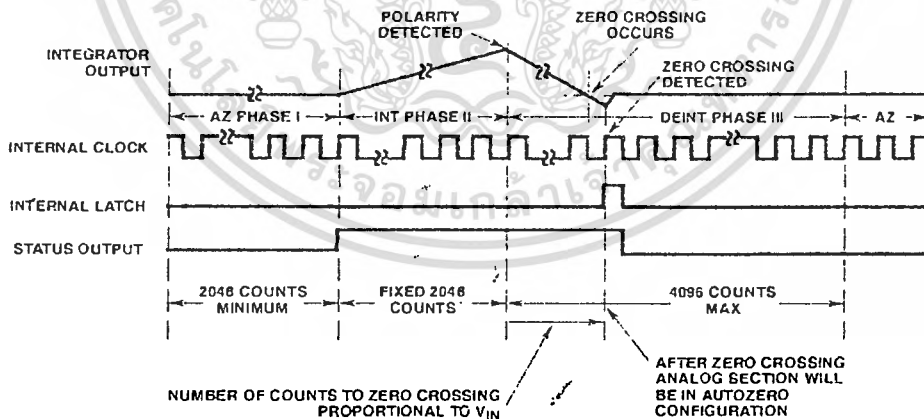


FIGURE 3. CONVERSION TIMING (RUN/HOLD PIN HIGH)

MODE Input

The MODE input is used to control the output mode of the converter. When the MODE pin is low or left open (this input is provided with a pulldown resistor to ensure a low level when the pin is left open), the converter is in its "Direct" output mode, where the output data is directly accessible under the control of the chip and byte enable inputs. When the MODE input is pulsed high, the converter enters the UART handshake mode and outputs the data in two bytes, then returns to "direct" mode. When the MODE input is left high, the converter will output data in the handshake mode at the end of every conversion cycle. (See section entitled "Handshake Mode" for further details).

STATUS Output

During a conversion cycle, the STATUS output goes high at the beginning of Signal Integrate (Phase II), and goes low one-half clock period after new data from the conversion has been stored in the output latches. See Figure 3 for of this timing. This signal may be used as a "data valid" flag (data never changes while STATUS is low) to drive interrupts, or for monitoring the status of the converter.

RUN/HOLD Input

When the RUN/HOLD input is high, or left open, the circuit will continuously perform conversion cycles, updating the output latches after zero crossing during the Deintegrate (Phase II) portion of the conversion cycle (See Figure 3). In this mode of operation, the conversion cycle will be performed in 8192 clock periods, regardless of the resulting value.

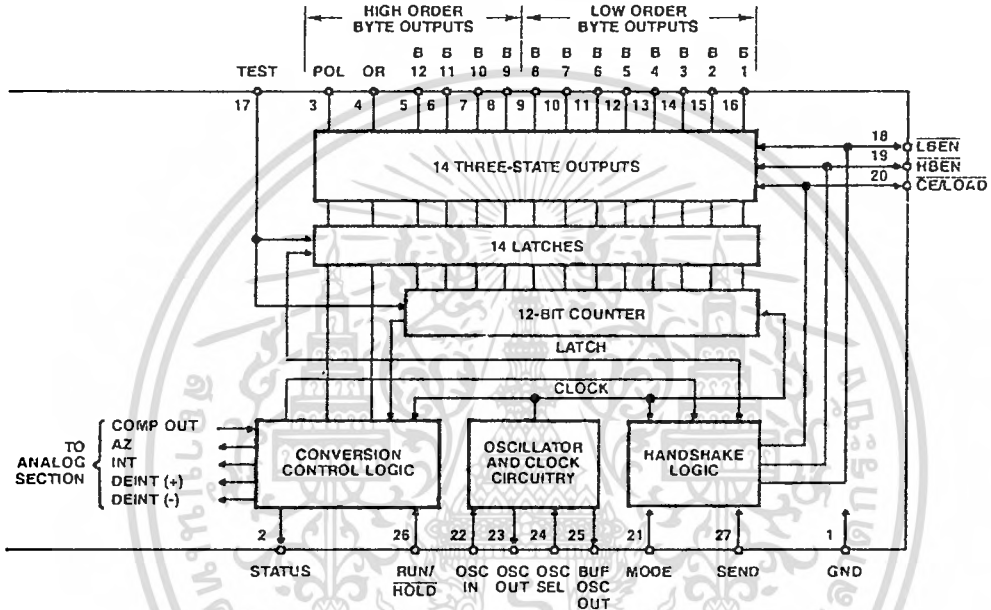


FIGURE 4. DIGITAL SECTION

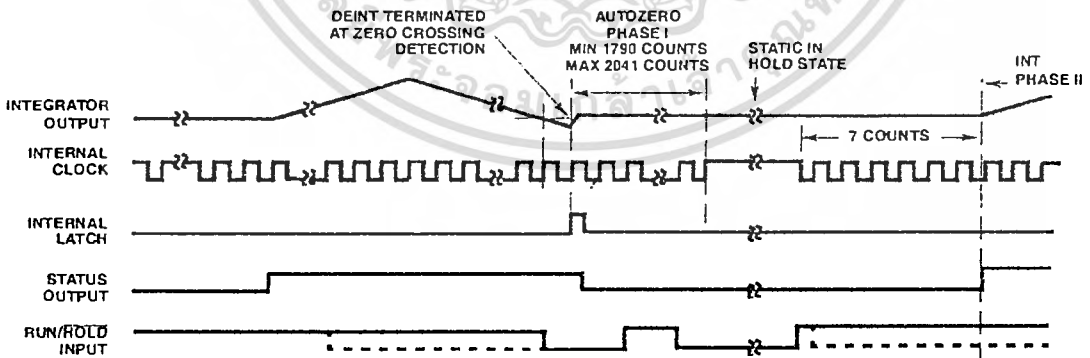


FIGURE 5. RUN/HOLD OPERATION

If $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ goes low at any time during Deintegrate (Phase III) after the zero crossing has occurred, the circuit will immediately terminate Deintegrate and jump to Auto-Zero. This feature can be used to eliminate the time spent in Deintegrate after the zero-crossing. If $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ stays or goes low, the converter will ensure minimum Auto-Zero time, and then wait in Auto-Zero until the $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ input goes high. The converter will begin the Integrate (Phase II) portion of the next conversion (and the STATUS output will go high) seven clock periods after the high level is detected at $\overline{\text{RUN/HOLD}}$. See Figure 5 for details.

Using the $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ input in this manner allows an easy "convert on demand" interface to be used. The converter may be held at idle in auto-zero with $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ low. When $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ goes high the conversion is started, and when the STATUS output goes low the new data is valid (or transferred to the UART; see Handshake Mode). $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ may now be taken low which terminates deintegrate and ensures a minimum Auto-Zero time before the next conversion.

Alternately, $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ can be used to minimize conversion time by ensuring that it goes low during Deintegrate, after zero crossing, and goes high after the hold point is reached. The required activity on the $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ input can be provided by connecting it to the Buffered Oscillator Output. In this mode the conversion time is dependent on the input value measured. Also refer to Harris Application Note AN032 for a discussion of the effects this will have on Auto-Zero performance.

If the $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ input goes low and stays low during Auto-Zero (Phase I), the converter will simply stop at the end of Auto-Zero and wait for $\overline{\text{RUN/HOLD}}$ to go high. As above, Integrate (Phase II) begins seven clock periods after the high level is detected.

Direct Mode

When the MODE pin is left at a low level, the data outputs (bits 1 through 8 low order byte, bits 9 through 12, polarity and over-range high order byte) are accessible under control of the byte and chip enable terminals as inputs. These three inputs are all active low, and are provided with pullup resistors to ensure an inactive high level when left open. When the chip enable input is low, taking a byte enable input low will allow the outputs of that byte to become active (three-stated on). This allows a variety of parallel data accessing techniques to be used, as shown in the section entitled "Interfacing." The timing requirements for these outputs are shown in Figure 6 and Table 1.

It should be noted that these control inputs are asynchronous with respect to the converter clock - the data may be accessed at any time. Thus it is possible to access the latches while they are being updated, which could lead to erroneous data. Synchronizing the access of the latches with the conversion cycle by monitoring the STATUS output will prevent this. Data is never updated while STATUS is low.

TABLE 1. DIRECT MODE TIMING REQUIREMENTS
(See Note 4 of Electrical Specifications)

DESCRIPTION	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
Byte Enable Width	t_{BEA}	350	220	-	ns
Data Access Time from Byte Enable	t_{DAB}	-	210	350	ns
Data Hold Time from Byte Enable	t_{DHB}	-	150	300	ns
Chip Enable Width	t_{CEA}	400	260	-	ns
Data Access Time from Chip Enable	t_{DAC}	-	260	400	ns
Data Hold Time from Chip Enable	t_{DHC}	-	240	400	ns

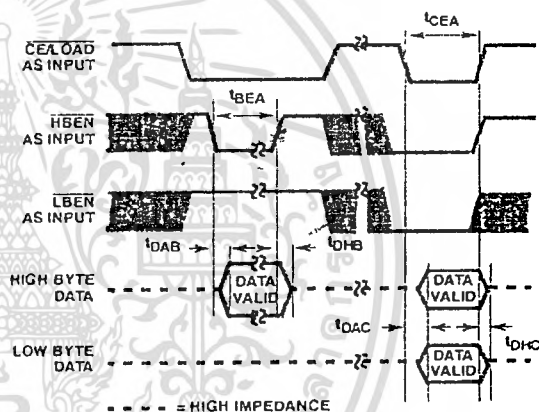


FIGURE 6. DIRECT MODE OUTPUT TIMING

Handshake Mode

The handshake output mode is provided as an alternative means of interfacing the ICL7109 to digital systems where the A/D converter becomes active in controlling the flow of data instead of passively responding to chip and byte enable inputs. This mode is specifically designed to allow a direct interface between the ICL7109 and industry-standard UARTs (such as the Harris IM6402/3) with no external logic required. When triggered into the handshake mode, the ICL7109 provides all the control and flag signals necessary to sequentially transfer two bytes of data into the UART and initiate their transmission in serial form. This greatly eases the task and reduces the cost of designing remote data acquisition stations using serial data transmission.

Entry into the handshake mode is controlled by the MODE pin. When the MODE terminal is held high, the ICL7109 will enter the handshake mode after new data has been stored in the output latches at the end of a conversion (See Figures 7 and 8). The MODE terminal may also be used to trigger entry into the handshake mode on demand. At any time during the conversion cycle, the low to high transition of a short pulse at the MODE input will cause immediate entry into the handshake mode. If this pulse occurs while new data is being stored, the entry into handshake mode is delayed until the data is stable. While the converter is in the handshake mode, the MODE input is ignored, and although conversions will still be performed, data updating will be inhibited (See Figure 9) until the converter completes the output cycle and clears the handshake mode.

When the converter enters the handshake mode, or when the MODE input is high, the chip and byte enable terminals become TTL-compatible outputs which provide the control signals for the output cycle (See Figures 7, 8, and 9).

In handshake mode, the SEND input is used by the converter as an indication of the ability of the receiving device (such as a UART) to accept data.

Figure 7 shows the sequence of the output cycle with SEND held high. The handshake mode (Internal MODE high) is entered after the data latch pulse, and since MODE remains high the CE/LOAD, LBEN and HBEN terminals are active as

outputs. The high level at the SEND input is sensed on the same high to low internal clock edge that terminates the data latch pulse. On the next low to high internal clock edge the CE/LOAD and the RBEN outputs assume a low level, and the high-order byte (Bits 9 through 12, POL, and OR) outputs are enabled. The CE/LOAD output remains low for one full internal clock period only, the data outputs remain active for 1½ internal clock periods, and the high byte enable remains low for two clock periods. Thus the CE/LOAD output low level or low to high edge may be used as a synchronizing signal to ensure valid data, and the byte enable may be used as a byte identification flag. With SEND remaining high the converter completes the output cycle using CE/LOAD and LBEN while the low order byte outputs (bits 1 through 8) are activated. The handshake mode is terminated when both bytes are sent.

Figure 8 shows an output sequence where the SEND input is used to delay portions of the sequence, or handshake to ensure correct data transfer. This timing diagram shows the relationships that occur using an industry-standard IM6402/3 CMOS UART to interface to serial data channels. In this interface, the SEND input to the ICL7109 is driven by the TBRE (Transmitter Buffer Register Empty) output of the UART, and the CE/LOAD terminal of the ICL7109 drives the TBRL (Transmitter Buffer Register Load) input to the UART. The data outputs are paralleled into the eight Transmitter Buffer Register inputs.

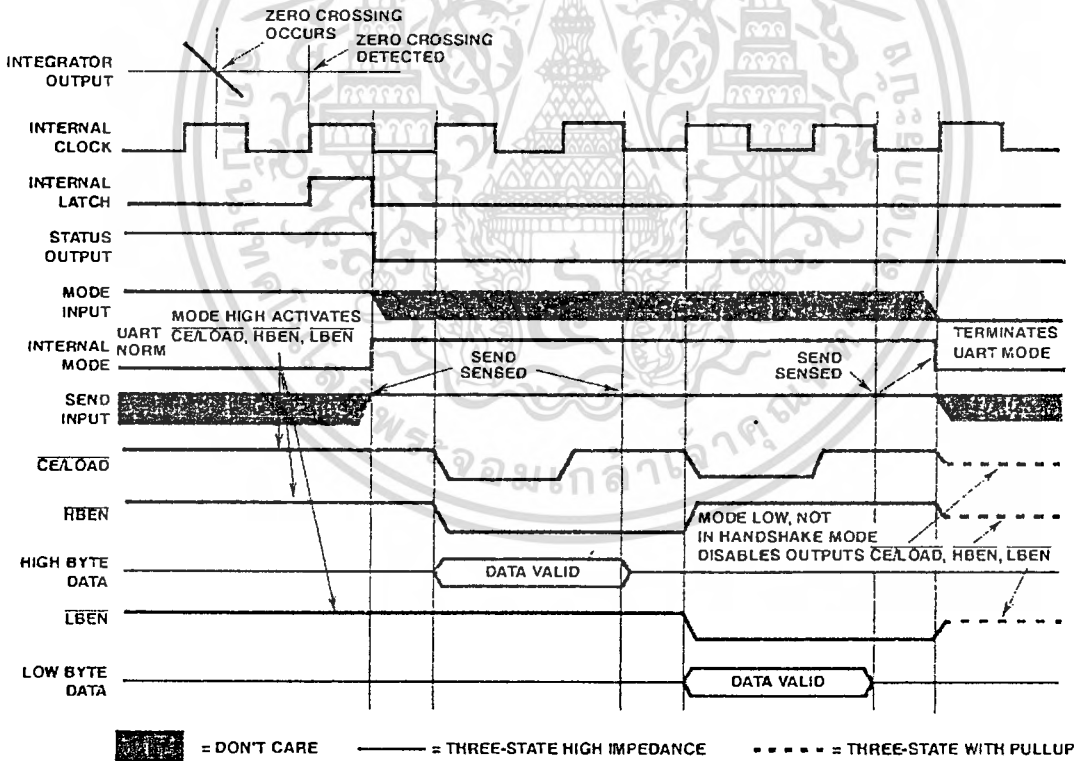


FIGURE 7. HANDSHAKE WITH SEND HELD HIGH

Assuming the UART Transmitter Buffer Register is empty, the SEND input will be high when the handshake mode is entered after new data is stored. The CE/LOAD and HBEN terminals will go low after SEND is sensed, and the high order byte outputs become active. When CE/LOAD goes high at the end of one clock period, the high order byte data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register. The UART TBRE output will now go low, which halts the output cycle with the HBEN output low, and the high order byte outputs active. When the UART has transferred that data to the Transmitter Register and cleared the Transmitter Buffer Register, the TBRE returns high. On the next ICL7109 internal clock high to low edge, the high order byte outputs are disabled, and one-half internal clock later, the HBEN output returns high. At the same time, the CE/LOAD and LBEN outputs go low, and the low order byte outputs become active. Similarly, when the CE/LOAD returns high at the end of one clock period, the low order data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register, and TBRE again goes low. When TBRE returns to a high it will be sensed on the next ICL7109 internal clock high to low edge, disabling the data outputs. One-half internal clock later, the handshake mode will be cleared, and the CE/LOAD, HBEN and LBEN terminals return high and stay inactive (as long as MODE stays high).

With the MODE input remaining high as in these examples, the converter will output the results of every conversion except those completed during a handshake operation. By triggering the converter into handshake mode with a low to high edge on the MODE input, handshake output sequences may be performed on demand. Figure 9 shows

a handshake output sequence triggered by such an edge. In addition, the SEND input is shown as being low when the converter enters handshake mode. In this case, the whole output sequence for the first (high order) byte is similar to the sequence for the second byte. This diagram also shows the output sequence taking longer than a conversion cycle. Note that the converter still makes conversions, with the STATUS output and RUN/HOLD input functioning normally. The only difference is that new data will not be latched when in handshake mode, and is therefore lost.

Oscillator

The ICL7109 is provided with a versatile three terminal oscillator to generate the internal clock. The oscillator may be overdriven, or may be operated with an RC network or crystal. The OSCILLATOR SELECT input changes the internal configuration of the oscillator to optimize it for RC or crystal operation.

When the OSCILLATOR SELECT input is high or left open (the input is provided with a pullup resistor), the oscillator is configured for RC operation, and the internal clock will be of the same frequency and phase as the signal at the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT. The resistor and capacitor should be connected as in Figure 10. The circuit will oscillate at a frequency given by $f = 0.45/RC$. A 100kΩ resistor is recommended for useful ranges of frequency. For optimum 60Hz line rejection, the capacitor value should be chosen such that 2048 clock periods is close to an integral multiple of the 60Hz period (but should not be less than 50pF).

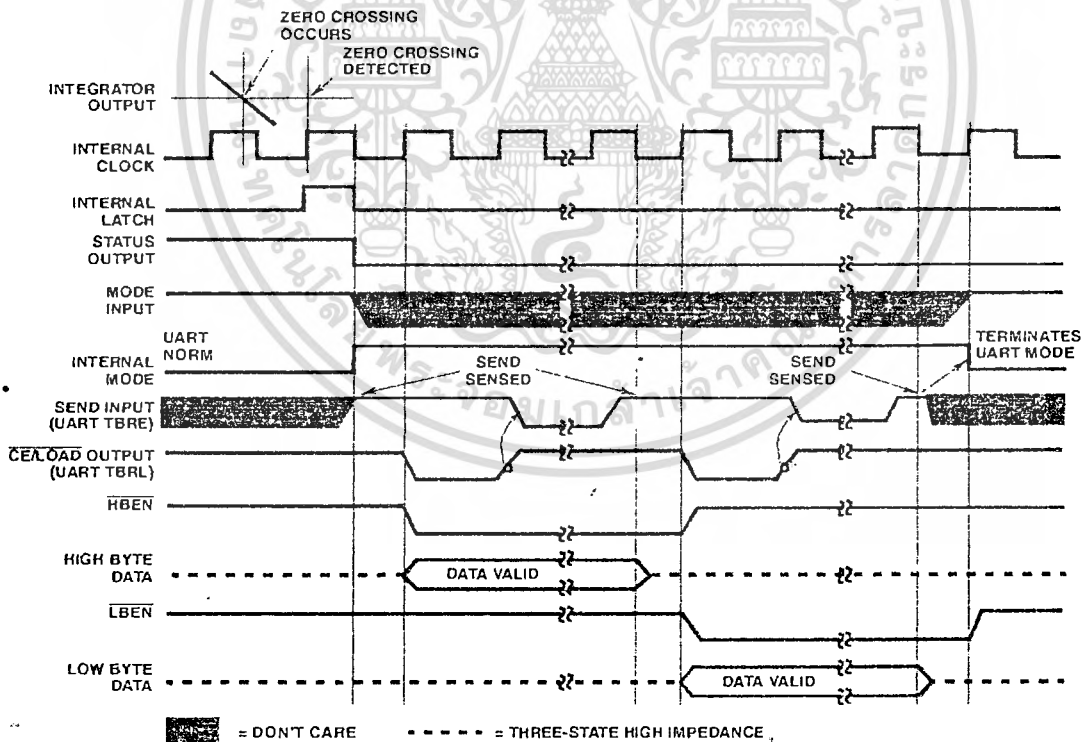


FIGURE 8. HANDSHAKE - TYPICAL UART INTERFACE TIMING

When the OSCILLATOR SELECT input is low a feedback device and output and input capacitors are added to the oscillator. In this configuration, as shown in Figure 11, the oscillator will operate with most crystals in the 1MHz to 5MHz range with no external components. Taking the OSCILLATOR SELECT input low also inserts a fixed +58 divider circuit between the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT and the internal clock. Using an inexpensive 3.58MHz TV crystal, this division ratio provides an integration time given by:

$$t_{INT} = (2048 \text{ clock periods}) \times (t_{CLOCK}) = 33.18\text{ms where:}$$

$$t_{CLOCK} = \frac{58}{3.58\text{MHz}}$$

This time is very close to two 60Hz periods or 33ms. The error is less than one percent, which will give better than 40dB 60Hz rejection. The converter will operate reliably at conversion rates of up to 30 per second, which corresponds to a clock frequency of 245.8kHz.

If at any time the oscillator is to be overdriven, the overdriving signal should be applied at the OSCILLATOR INPUT, and the OSCILLATOR OUTPUT should be left open. The internal clock will be of the same frequency, duty cycle, and phase as the input signal when OSCILLATOR SELECT is

left open. When OSCILLATOR SELECT is at GND, the clock will be a factor of 58 below the input frequency.

When using the ICL7109 with the IM6403 UART, it is possible to use one 3.58MHz crystal for both devices. The BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT of the ICL7109 may be used to drive the OSCILLATOR INPUT of the UART, saving the need for a second crystal. However, the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT does not have a great deal of drive capability, and when driving more than one slave device external buffering should be used.

Test Input

When the TEST input is taken to a level halfway between V+ and GND, the counter output latches are enabled, allowing the counter contents to be examined anytime.

When the RUN/HOLD is low and the TEST input is connected to GND, the counter outputs are all forced into the high state, and the internal clock is disabled. When the RUN/HOLD returns high and the TEST input returns to the 1/2 (V+ - GND) voltage (or to V+) and one clock is applied, all the counter outputs will be clocked to the low state. This allows easy testing of the counter and its outputs.

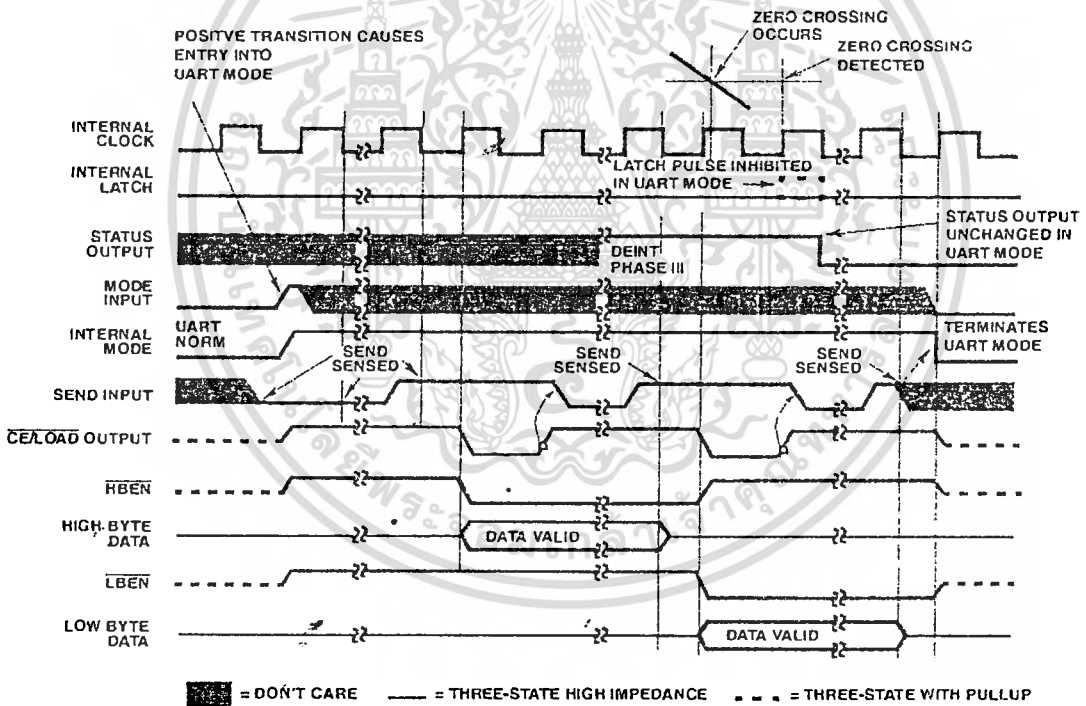
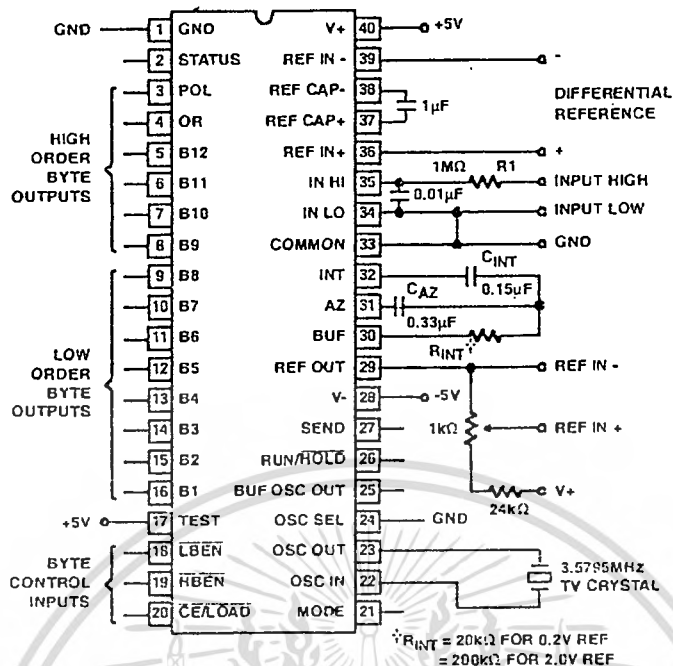


FIGURE 9. HANDSHAKE TRIGGERED BY MODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuit



Typical Applications

Direct Mode Interfacing

Figure 12 shows some of the combinations of chip enable and byte enable control signals which may be used when interfacing the ICL7109 to parallel data lines. The CE/LOAD input may be tied low, allowing either byte to be controlled by its own enable as in Figure 12A. Figure 12B shows a configuration where the two byte enables are connected together. In this configuration, the CE/LOAD serves as a chip enable, and the HBEN and LBEN may be connected to GND or serve as a second chip enable. The 14 data outputs will all be enabled simultaneously. Figure 12C shows the HBEN and LBEN as flag inputs, and CE/LOAD as a master enable, which could be the READ strobe available from most microprocessors.

Figure 13 shows an approach to interfacing several ICL7109s to a bus, connecting the HBEN and LBEN signals of several converters together, and using the CE/LOAD inputs (perhaps decode from an address) to select the desired converter.

Some practical circuits utilizing the parallel three-state output capabilities of the ICL7109 are shown in Figures 14 through 19. Figure 14 shows a straightforward application to the Intel 8048/80/85 microprocessors via an 8255PPI, where the ICL7109 data outputs are active at all times. The I/O ports of an 8155 may be used in the same way. This interface can be used in a read-anytime mode, although a read performed while the data latches are being updated will lead to scrambled data. This will occur very rarely, in the proportion of

set-up skew times to conversion time. One way to overcome this is to read the STATUS output as well, and if it is high, reac the data again after a delay of more than 1/2 converter clock period. If STATUS is now low, the second reading is correct, and if it is still high, the first reading is correct. Alternatively, this timing problem is completely avoided by using a read-after-update sequence, as shown in Figure 15. Here the high to low transition of the STATUS output drives an interrupt to the microprocessor causing it to access the data latches. This application also shows the RUN/HOLD input being used to initiate conversions under software control.

A similar interface to Motorola MC6800 or Rockwell R650X systems is shown in Figure 16. The high to low transition of the STATUS output generates an interrupt via the Control Register B CB1 line. Note that CB2 controls the RUN/HOLD pin through Control Register B, allowing software-controlled initiation of conversions in this system as well.

The three-state output capability of the ICL7109 allows direct interfacing to most microprocessor busses. Examples of this are shown in Figures 17 and 18. It is necessary to carefully consider the system in this type of interface, to be sure that requirements for setup and hold times, and minimum pulse widths are met. Note also the drive limitations on long buses. Generally this type of interface is only favored if the memory peripheral address density is low so that simple address decoding can be used. Interrupt handling can also require many additional components, and using an interface device will usually simplify the system in this case.