

เครื่องควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์
POWER FACTOR CONTROLLER



เลขหมู่
เลขทะเบียน 42234
วัน, เดือน, ปี 15 พ.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์

POWER FACTOR CONTROLLER

ชื่อนักศึกษา

นายจามร ชมภักดิ์

นายสุธีร์ หนองพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์บุญชัยชนะ ภูระหงษ์

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรม
ศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
()
..... กรรมการ
()
..... กรรมการ
()
..... กรรมการ
()

ลิขสิทธิ์ © คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์

โดย 1. นายจามร ชมภักดิ์ รหัส 41013327
2. นายสุธีร์ หนองพงษ์ รหัส 41013355

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์บุญยัชชนะ ภูระหงษ์
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ ก็เพื่อที่จะออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ สำหรับใช้กับไฟ AC 220 V 1 เฟส เพื่อใช้ควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในบ้านพักอาศัย กิจการใดๆ หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ได้ไปโหลดรีซิสตีฟเพียงอย่างเดียว ส่วนใหญ่จะเป็นอินดักทีฟโหลดซึ่งมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำลง เราจึงต้องนำคาปาซิทีฟโหลดมาแก้ให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์มีข้อดีหลายประการ เช่น ลดกระแสที่ไหลอยู่ในวงจร ลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าลง ฯลฯ

ซึ่งปัจจุบันอาจจะไม่มีผู้ผลิตมาขายในเชิงพาณิชย์ แต่ในวันข้างหน้าทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้าอาจหายากและค่าไฟฟ้าอาจมีราคาแพง ในวันข้างหน้าเครื่องลดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อาจจะต้องนำมาใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER FACTOR CONTROLLER

BY MR.JAMORN CHOMPUK
MR.SUTEE NONGPONG

ADVISER MR.BOONCHANA PHURAHONG

YEAR 2000

ABSTRACT

In this project, The power factor controller has been designed and experimented. It used for AC 220 volt single phase system. The project can be developed power factor from inductive load to power factor wich conversed to value 1. From the result, The power factor controller can be decrease current in circuit and loss power in systems that it has been succrsed in power system application.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ปรึกษา ที่ให้แนวคิดและคำปรึกษา เจ้าหน้าที่ชุดซ่อม ปทท.1 กรมการสื่อสารทหาร และเจ้าหน้าที่แผนกเครื่องมือพิเศษ ศูนย์รักษาความปลอดภัย ที่ให้คำแนะนำพร้อมทั้งเอื้อเฟื้อเครื่องมือต่างๆ และเป็นกำลังใจให้เสมอมา สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ข้าพเจ้ามีโอกาสดำเนินงานจนสำเร็จการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะสมบูรณ์ไม่ได้หากมิได้รับการอบรมเลี้ยงดูอย่างอบอุ่น อีกทั้งสนับสนุนทางการศึกษาจนประสบผลสำเร็จจาก คุณพ่อ คุณแม่

ขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีของเพาเวอร์แฟกเตอร์	
2.1 เพาเวอร์แฟกเตอร์	2
2.2 เพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยสามเหลี่ยมกำลัง	3
2.3 การปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ในวงจรอินดักทีฟโหลด	5
2.4 การแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	6
2.5 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น	7
2.6 pf ของโรงงานอุตสาหกรรม	8
2.7 ข้อดีในการปรับปรุง pf	13
2.8 การคำนวณหาค่าปาซีเตอร์	21
2.9 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์	22
บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ	
3.1 LOW PASS FILTER	25
3.2 วงจรแสดงผลตัวเลขแบบ LCD 3 หลักครึ่ง	26
3.3 หม้อแปลงสำหรับเครื่องวัด	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบวงจรโดยไม่ต่อตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ POWER FACTOR	39
4.2 การทดสอบวงจรโดยต่อตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ POWER FACTOR	41
4.3 การทดสอบวงจรโดยต่อชุด CONTROLLER และตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ POWER FACTOR	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	47

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก

- ก. Block Diagram และวงจร
- ข. โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง
- ค. DATA SHEET



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีของเพาเวอร์แฟกเตอร์	
รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมกำลังของอินดักทีฟโหลด	3
รูปที่ 2.2 สามเหลี่ยมกำลังของคาปาซิทีฟโหลด	3
รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมกำลังของรีซิติฟโหลด	4
รูปที่ 2.4 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของโหลด	6
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของกระแสและค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	13
รูปที่ 2.6 เส้นโค้งสำหรับหาวาระบบไฟฟ้าจะสามารถรับโหลดเพิ่มขึ้นได้มากน้อยเท่าใด	14
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของขนาดคาปาซิเตอร์และขนาดของโหลดที่เพิ่มขึ้น	15
รูปที่ 2.8 การลดของกำลังงานสูญเสียในสายเมื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้สูงขึ้น	16
รูปที่ 2.9 ความสามารถของสายส่งในการส่งกำลังไฟฟ้าที่ pf ระหว่าง 0.5-1	17
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหม้อแปลงและกำลังสูญเสีย	19
รูปที่ 2.11 การใช้ C ช่วยจ่ายกำลังรีแอกทีฟ ณ จุดที่ต้องการทำให้กระแสรวมลดลง	21
รูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์	22
บทที่ 3 การออกแบบวงจรและคำนวณ	
รูปที่ 3.1 วงจร LOW PASS FILTER	25
รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นการจัดตำแหน่งขาของ 7106	30
รูปที่ 3.3 แสดง analog section และ digital section ของ IC 7106	31
รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นการจัดตำแหน่งขาของจอ LCD	34
รูปที่ 3.5 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า	35
รูปที่ 3.6 หม้อแปลงกระแส	37
รูปที่ 3.7 แบบอย่างของหม้อแปลงกระแส	37
รูปที่ 3.8 หม้อแปลงศักดา	38
รูปที่ 3.9 แบบอย่างของหม้อแปลงศักดา	38
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
รูปที่ 4.1 วงจรการเลื่อนเฟส	39
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อป้อนสัญญาณที่มีเฟสตรงกัน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อยังไม่เปิดใช้งานพัลลวมตั้งพื้น	42
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อเปิดใช้งานพัลลวมตั้งพื้น	43
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อเปิดใช้งานพัลลวมตั้งพื้น และต่อตัวเก็บประจุขนาด 150 nF ขนานกับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีของเพาเวอร์แฟกเตอร์	
ตารางที่ 2.1 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.2 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ	10
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่วัดได้	41
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า POWER FACTOR แรงดันไฟฟ้าที่ IC 7106 ขณะต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า	45
ตารางที่ 4.3 แสดงภาวะการทำงานของ CONTROLLER	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

สิ่งหนึ่งที่ผู้ศึกษาค้นคว้าทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต้องรู้จักเป็นอย่างดีก็คือคำว่า เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor ; pf) หรือตัวประกอบของกำลังไฟฟ้า ที่มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนแปลงไป ในทุก ๆ วงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมีตัวประกอบของกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในวงจรนั้น ๆ ด้วย ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของวงจรหรือระบบไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เท่านั้น เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าต้องได้รับการแก้ไขคือ ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ในการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์นั้นจำเป็นต้องทราบค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดนั้นก่อนแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอุปกรณ์ที่มีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาต่อขนานกับโหลด ซึ่งจะทำให้เกิดผลดีหลายประการ ซึ่งได้กล่าวไว้ในรายงานนี้ด้วยแล้ว

1.2 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของการสร้างเครื่องควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 VAC ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป แสดงผลออกทางจอ LCD ชนิด 3 หลักครึ่ง เป็นเพาเวอร์แฟกเตอร์ 4 Step โดยมี Capacitor ต่อไว้กับ Relay ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของ Capacitor ตามโหลดที่นำมาต่อใช้งานมี LCD แสดงสถานะการทำงานของ Relay แต่ละตัว ใช้งานโดยการจ่ายไฟ 220 VAC ให้กับ Power Factor Controller แล้วนำเครื่องใช้ไฟฟ้ามาต่อใช้งานกับเครื่อง Power Factor Controller แล้วค่าของ Capacitor ที่ใช้แก้ Power Factor จะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ ตามโหลดที่นำมาต่อใช้งาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำเครื่องควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์นี้ ทำให้ทราบค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นประจำว่ามีค่าเท่าไร แล้วจึงหาทางแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ จะทำให้ได้ผลประโยชน์ตามมาหลายประการ ซึ่งเป็นผลมาจากการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ เช่น ลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรทำให้เสียค่าไฟฟ้าลดลง เพิ่มขีดความสามารถในการรับโหลดได้มากขึ้น ลดแรงดันไฟฟ้าในระบบลง และลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าลง เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีของเพาเวอร์แฟกเตอร์

2.1 เพาเวอร์แฟกเตอร์

เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor ; pf) หมายถึง ตัวประกอบของกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนแปลงไป ในทุก ๆ วงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมีตัวประกอบของกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในวงจรนั้นด้วย

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์หรือค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 และจะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดว่ามีมุม ϕ ต่างเฟสกับแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหลดน้อยหรือมากเพียงไรซึ่งค่านี้นับได้จากสูตร

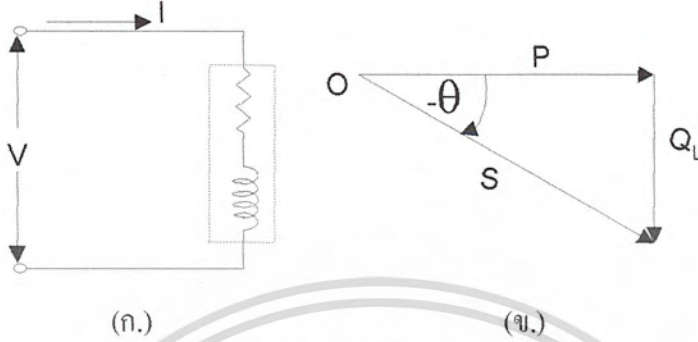
$$\cos \phi = P/VI = P/S = I_R/I$$

ชนิดของเพาเวอร์แฟกเตอร์อาจแบ่งได้ตามชนิดของโหลดดังนี้

1. โหลดชนิดที่ประกอบด้วยตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว เช่น หลอดไฟ (Incandescent Lamp) เตารีดไฟฟ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เตาหลอมเหล็กชนิดใช้ลวดความต้านทาน เป็นต้น โหลดจำพวกนี้เราเรียกว่า โหลดรีซิสทีฟ (Resistive Load) ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดประเภทนี้เป็นชนิด ยูนิตี (Unity Power Factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1
2. โหลดชนิดที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำร่วมกัน เช่น ปั๊มน้ำ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า พัดลม เป็นต้น เราเรียกชนิดของโหลดเหล่านี้ว่า โหลดอินดักทีฟ (Inductive Load) ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดประเภทนี้เป็นชนิดล่าหลัง (Lagging Power Factor) มีค่าน้อยกว่า 1
3. โหลดชนิดที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เช่น ชุดตัวเก็บประจุสำหรับแก้เพาเวอร์เตอร์ของระบบไฟฟ้า ซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นต้น เราเรียกโหลดเหล่านี้ว่า โหลดชนิดคาปาซิทีฟ (Capacitive Load) ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดประเภทนี้เป็นชนิดนำหน้า (Leading Power Factor) มีค่าน้อยกว่า 1

2.2 เพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดชนิดต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยสามเหลี่ยมกำลัง

1. อินдукทีฟโหลด จากสมการ $S = P - jQ_L$



รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมกำลังของอินдукทีฟโหลด

$$\begin{aligned} \text{pf} &= \cos \theta \\ &= P/S \\ &= P/EI \quad \text{ล้าหลัง} \end{aligned}$$

2. คาปาซิทีฟโหลด จากสมการ $S = P + jQ_C$

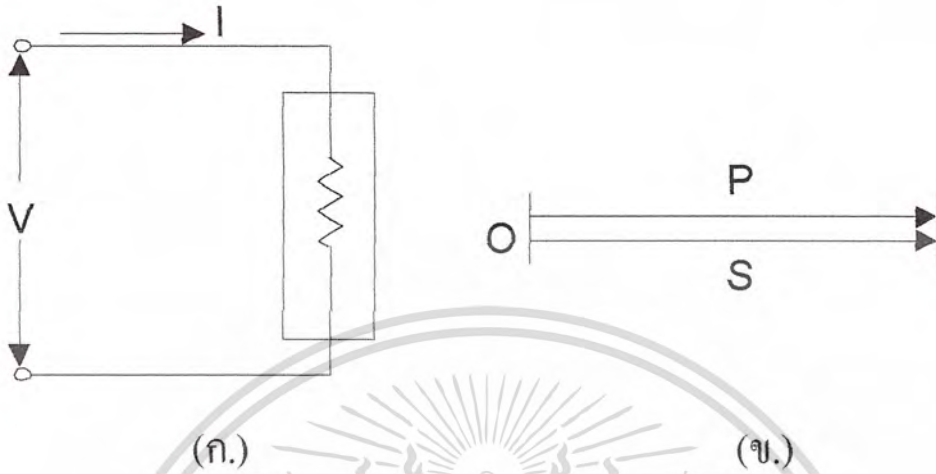


รูปที่ 2.2 สามเหลี่ยมกำลังของคาปาซิทีฟโหลด

$$\begin{aligned} \text{pf} &= \cos \theta \\ &= P/S \\ &= P/EI \quad \text{นำหน้า} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รีซีสทีฟโหลด จากสมการ $S = P + Jq = P$



รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมกำลังของรีซีสทีฟโหลด

$$\begin{aligned} \text{pf} &= \cos \theta \\ &= P / S \\ &= 1 \text{ (unity pf)} \end{aligned}$$

พิจารณาสามเหลี่ยมกำลังของโหลดทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่ารีซีสทีฟโหลดมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นหนึ่ง (unity power factor) จึงไม่ต้องปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์แต่อย่างใด

สำหรับอินดักทีฟโหลดและคาปาซิทีฟโหลดมีเพาเวอร์แฟกเตอร์ถ่าหลังและนำหน้าตามลำดับ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้สูงขึ้น (เข้าใกล้ 1) ฉะนั้นมุม θ จึงแคบลงเมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าด้านกลับและกำลังไฟฟ้ารวมลดลง ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงจะคงที่ แต่ถ้ามองให้ละเอียดไปถึงแรงดันแล้วจะต้องมีค่าคงที่ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง เพราะมี ฉะนั้นแล้วจะมีผลต่อการทำงานของโหลดได้ ยิ่งเหลืออีกค่าหนึ่งที่สำคัญมากคือค่ากระแส จะเป็นอย่างไรบ้างให้พิจารณาจากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P &= EI \cos \theta \\ &= EI \text{pf} \\ \text{pf} &= P / EI \end{aligned}$$

เมื่อ P และ E เป็นค่าคงที่ของวงจรที่พิจารณา และให้ $P/E = K$

$$\begin{aligned} \text{pf} &= K / I \\ \text{pf} &\propto 1 / I \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าสูง (มุม θ แคบลง) ทำให้ค่ากระแสลดลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อก่อนการปรับปรุงค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าต่ำ (มุม θ กว้าง) กระแสในวงจรมีค่าสูง จึงสรุปเป็นหลักการของการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ดังต่อไปนี้

- เป็นการทำให้กระแสในวงจรลดลงอันเป็นเป้าหมายหลัก ซึ่งจะส่งผลดีในหลาย ๆ ด้าน กล่าวคือ ลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งหรือสายจำหน่าย ประหยัดค่าไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าโดยรวมสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น เป็นต้น

- กำลังไฟฟ้าจริงต้องคงที่ เพราะกำลังไฟฟ้าชนิดนี้จะมีผลอย่างมากต่อการทำงานของวงจรไฟฟ้าชนิดนั้น ๆ เนื่องจากให้ประสิทธิภาพของพลังงานความร้อนและแสงสว่างออกมา

- มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแส หรือมุมของกำลังไฟฟารวม หรือมุม θ ต้องแคบลง อันจะส่งผลให้เพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าสูงขึ้น

- กำลังไฟฟ้าด้านกลับของวงจรต้องลดลง

แต่ในสภาพโดยทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลังแล้ว จะพบว่าเป็นโหลดชนิดอินดักทีฟเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งค่าเพาเวอร์อยู่ในสภาวะล่าช้า หรือกล่าวได้ว่ามีกำลังไฟฟ้าด้านกลับชนิด Q_c นั้นเองจึงต้องจัดการหาตัวเก็บประจุมาต่อร่วมในวงจร จึงจะเกิดกำลังไฟฟ้าด้านกลับชนิด Q_c มาหักล้าง Q_L ตามที่ต้องการ ในที่สุดแล้วมุม θ จะแคบลงส่งผลให้เพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าสูงขึ้น

ส่วนโหลดชนิดคาปาซิทีฟพบเห็นได้น้อยมาก นอกเสียจากจะเป็นระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้นที่มีกำลังไฟฟ้าด้านกลับชนิด Q_c อันเนื่องจากการเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างสายต่อสาย และสายต่อนิวทรัล แต่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสามารถลด Q_c ได้โดยใช้รีแอกเตอร์แบบขนาน (shunt reactor) ต่อเข้าไปในวงจรเป็นระยะ ๆ สภาพเช่นนี้จะเกิดขึ้นในขณะที่โหลดในระบบเหลือน้อย หรือขณะเกิด energize line

2.3 การปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ในวงจรอินดักทีฟโหลด

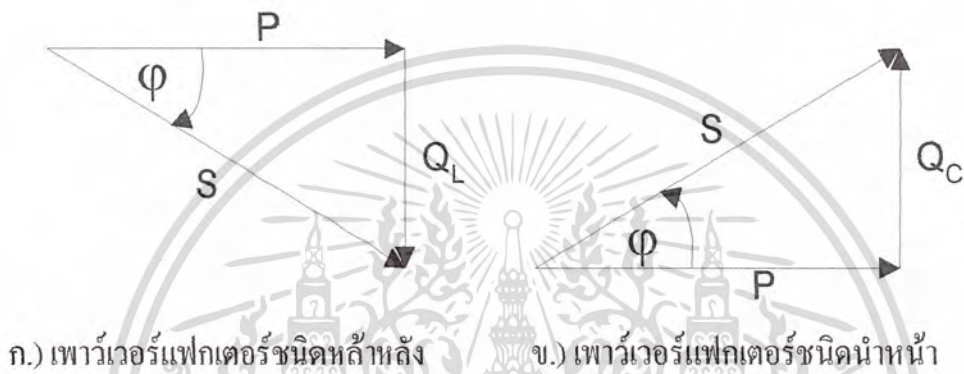
เป็นที่ทราบกันแล้วว่าจะต้องนำตัวเก็บประจุมาต่อร่วมกับวงจรอินดักทีฟโหลดในลักษณะที่ขนานกับโหลด จึงจะเป็นการหักล้างกำลังไฟฟ้าด้านกลับที่ถูกต้องกำลังไฟฟ้าจริงจะคงที่เท่าเดิม และกระแสรวมของวงจรจะลดลง ทั้งนี้เป็นไปตามหลักการการปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์

การคำนวณขนาดของตัวเก็บประจุที่นำมาปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ของวงจรไม่ว่าจะเป็นหน่วยไมโครฟารัด (μF) หรือ Var สามารถหาได้จากวิธีการของสามเหลี่ยมกำลัง สามเหลี่ยมกระแสและสามเหลี่ยมแอดมิตแตนซ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของ โจทย์ปัญหาและเทคนิคการประยุกต์ใช้ที่สะดวกและรวดเร็วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้พาวเวอร์แฟกเตอร์

จุดมุ่งหมายในการแก้พาวเวอร์แฟกเตอร์ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าในสายที่ต่อไปยังโหลดลดลงซึ่งโดยปกติแล้วโหลดที่ใช้กันอยู่ในงานทั่ว ๆ ไปมักเป็นโหลดชนิดอินดักทีฟ มีพาวเวอร์แฟกเตอร์เป็นชนิดล้าหลัง ดังนั้นในการแก้พาวเวอร์แฟกเตอร์จำเป็นต้องนำเอาตัวเก็บประจุหรือคาปาซิเตอร์มาต่อขนานกับ โหลดเพื่อให้ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับ 1 เสมอ



รูปที่ 2.4 แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของโหลด

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของโหลดชนิดอินดักทีฟ (Q_L) และชนิดคาปาซิทีฟ (Q_C) ซึ่งค่าทั้งสองนี้มีค่าตรงกันข้ามกัน ดังนั้นหากนำเอา Q_C ไปหักล้างจาก Q_L ก็จะทำให้ค่ามุม ϕ ลดลง นั่นหมายถึงทำให้ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ ($\cos \phi$) ค่ามากขึ้น การทำลักษณะนี้เรียกว่าการแก้พาวเวอร์แฟกเตอร์นั่นเอง ซึ่งรายละเอียดของการแก้พาวเวอร์แฟกเตอร์จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

2.4 การแก้ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์

กำลังงานในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วยกันคือ กำลังงานจริง (real power หรือ active power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (KW) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือกำลังงานกลและอีกส่วนหนึ่งคือ กำลังงานรีแอกทีฟ (reactive power) มีหน่วยวัตต์เป็น วาร์ (VAR) หรือกิโลวาร์ (kVAR) เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ ต้องใช้กำลังงานรีแอกทีฟนี้สร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็ก ผลรวมของกำลังงานทั้งสองนี้ เรียกว่า กำลังงานปรากฏ (apparent power) มีหน่วยเป็น โวลต์ แอมแปร์ (VA) หรือ เควีเอ (KVA) เป็นกำลังงานที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆและมีขนาด เท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าในวงจรกับแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า อัตราส่วนของกำลังงานจริงต่อกำลังงานปรากฏเราเรียกว่า เพาเวอร์แฟกเตอร์ (power factor: pf) ซึ่งเป็นตัวบอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ใช้กำลังงานจริงเป็นสัดส่วนเท่าไรเมื่อเทียบกับกำลังงานปรากฏ ดังนั้นกำลังงานไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงจะมีความสามารถหรือประสิทธิภาพ ในการทำงานดีกว่าระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์ต่ำกว่า

อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนที่ใช้งานอยู่ในกิจการต่างๆ จะเป็นชนิดที่ต้องการกำลังงานรีแอกตีฟจากแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า มีเพียงเครื่องจักรกลซิงโครนัส (synchronous machines) และคาปาซิเตอร์กำลัง (power capacitor) เท่านั้นที่สามารถจ่ายกำลังงานรีแอกตีฟให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกำลังงานรีแอกตีฟได้ ดังนั้นการติดตั้งคาปาซิเตอร์กำลัง ไม่ว่าจะเป็คาปาซิเตอร์กำลังที่ใช้กับระบบแรงดันต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์) หรือระบบแรงดันสูง เพิ่มเติมเข้าไปในระบบไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ประหยัดที่สุดในการปรับปรุง ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบ ไฟฟ้าที่กำลังใช้งานอยู่และมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

ตัวคาปาซิเตอร์กำลังมีคุณสมบัติที่อยู่หลายอย่าง คือนอกจากจะมีราคาถูกกว่าเครื่องจักรกลซิงโครนัสมากแล้ว ยังติดตั้งใช้งานได้ง่ายในทางปฏิบัติแทบจะ ไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลย เพราะไม่มีส่วนที่มีการเคลื่อนไหว และประการสำคัญคือ มีกำลังงานสูญเสียในตัวเองต่ำมาก ในปัจจุบันสามารถผลิตคาปาซิเตอร์กำลังให้มีกำลังงานสูญเสียได้ต่ำกว่า 0.5 วัตต์ต่อกิโลวาร์ และมีให้เลือกใช้งานหลายขนาดเพื่อให้เหมาะกับการติดตั้งใช้งานในแต่ละแห่ง สำหรับขนาดใหญ่ๆ (กิโลวาร์สูงๆ) จะได้จากการนำเอาคาปาซิเตอร์ตัวเล็กๆมาต่อรวมกันเป็นกลุ่มแล้วบรรจุลงในภาชนะรองรับ สาเหตุที่ไม่ผลิตเป็นตัวใหญ่ๆเลย เพราะเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม

2.5 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น จะมีผลดีต่อระบบไฟฟ้าหลายประการ เช่น

1. ลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรตั้งแต่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จนถึงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์กำลัง
2. ลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าลง ซึ่งจะมีผลดีต่ออุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิล สวิตช์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลดแรงดันไฟฟ้าตกในระบบไฟฟ้าลง ทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้ามีความมั่นคงมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งปลายสุดของสายป้อนไม่ตกมาก ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

4. เพิ่มขีดความสามารถในการรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำให้สามารถขยายการใช้ไฟฟ้า หรือเพิ่ม โหลดได้โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์รับจ่ายกำลังไฟฟ้า

5. ผลพลอยได้อีกอย่าง คือ ลดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับกรไฟฟ้าฯ อยู่ทุกเดือน ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ด้วยกัน คือ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (demand charge) ค่าพลังงานไฟฟ้า (energy charge) เฉพาะส่วนที่เป็นพลังงานสูญเสียที่ลดลง และค่าปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์ เมื่อมีค่าต่ำกว่า 0.85

อย่างไรก็ตามการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์กำลังเข้าไปในระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะมีผลดีแล้ว ก็อาจจะเกิดผลเสียได้ ถ้าไม่ได้ทำการพิจารณากันอย่างรอบคอบ เช่น อาจเกิดฮาร์โมนิกขึ้นในระบบไฟฟ้า เกิดแรงดันเกินพิกัด (over voltage) เป็นต้น ดังนั้นการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์กำลังเข้ากับระบบไฟฟ้า เพื่อการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดที่ใช้ ตำแหน่งที่ติดตั้ง ตลอดจนการต่อวงจรและขนาดของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ

สำหรับข้อดีต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว จะได้ผลมากที่สุดก็คือเมื่อตำแหน่งที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์ อยู่ติดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำๆ เท่านั้น เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำ กระแสสลับ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

2.6 pf ของโรงงานอุตสาหกรรม

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์รวมของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆไป โดยปกติแล้วจะมีค่าต่ำกว่า 1 เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบและเงื่อนไขการทำงาน ของอุปกรณ์และเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานอยู่ ดังนั้น จึงเป็นการยากที่จะทำนายได้อย่างถูกต้องแม่นยำว่าโรงงานที่จะสร้างมาใหม่นั้น จะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นเท่าใด อย่างไรก็ตามจากข้อมูลเก่าๆที่ผ่านมา ก็พอจะประมาณได้ว่า ควรจะมีค่าเป็นเท่าใดโดยอาศัยตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ช่วยค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในตารางที่ 2.1 อาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้ามีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าจำพวกเครื่องแปลงผันชนิดโซลิดสเตต (solid – state converters) และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในตารางที่ 2.2 จะมีค่าต่ำกว่านี้ได้ถ้าเครื่องจักรกลไฟฟ้าทำงานที่โหลดต่ำๆ เช่น มอเตอร์หมุนควงเปล่า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรม	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (%)
ชิ้นส่วนรถยนต์	75-80
โรงเบียร์	78-80
ซีเมนต์	80-85
เคมี	65-75
เหมืองถ่าน	65-80
เสื้อผ้า	35-60
ซูบ หรือเคลือบ โลหะด้วยไฟฟ้า	65-70
หล่อโลหะ	75-80
ตี หรือเผาเหล็ก	70-80
โรงพยาบาล	75-80
เครื่องจักรกล	60-65
โลหะการ	65-70
อาคารพาณิชย์	80-85
สี	55-65
พลาสติก	55-70
จึ้นรูปโลหะ	60-70
เหล็กกล้า	65-80
ทอผ้า	65-75

ตารางที่ 2.1 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องใช้ไฟฟ้า	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์(%)
คอมเพรสเซอร์	50-80
เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก	35-60
เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน	40-60
เครื่องกลึง	40-65
เตาหลอมโลหะแบบอาร์ก	65-75
เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ	30-70
เครื่องปั๊มโลหะแบบธรรมดา	60-70
เครื่องปั๊มโลหะแบบความเร็วสูง	45-60
เครื่องฟั่นลม หรือฟั่นสี	60-65
เครื่องจักรทอผ้าแบบเครื่องเดียว	60
เครื่องจักรทอผ้าแบบหลายเครื่อง	70
หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด HID	50-70

ตารางที่ 2.2 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ทั่วไป มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ค้างต่อไปนี้

มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานที่โหลดต่ำๆ หรือหมุนตัวเปล่าจะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำมาก คือ ลดลงจากมากกว่า 80% ที่โหลดเต็มที่ลงเหลือเพียงประมาณ 20% ตอนหมุนตัวเปล่าจึงแสดงในรูปที่ 1 ในรูปที่ 1 นี้ยังแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบโดยใช้คาปาซิเตอร์ต่อขนานกับมอเตอร์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์รวมมีค่าใกล้เคียง 100% ตลอดทุกค่าของโหลด นอกจากนี้มอเตอร์แบบปิดแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ (hermetic) และแบบโรเตอร์ขดลวดพัน (wound rotor) ยังมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบอื่นที่มีขนาดพิกัดกำลัง และความเร็วเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเรียงกระแส (rectifiers)

- ตัวเรียงกระแสชนิดไดโอดไม่มีการควบคุมเฟส แบบเฟสเดียวขนาดเล็กมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ๆประมาณ 50% ที่โหลดเต็มที่ ส่วนแบบหลายเฟสขนาดใหญ่จะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ประมาณ 95-98%
- ชุดขับเคลื่อนด้วยทรินสเตอร์ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ประมาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของ แรงดันกระแสตรงขาออกต่อแรงดันพิกัดขาเข้า และที่โหลดต่ำๆ จะให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

เตาหลอมโลหะด้วยไฟฟ้า

เตาหลอมโลหะแบบอาร์คมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำประมาณ 65-75% การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มักจะมีปัญหา มาก เพราะเวลาทำงานจะมีฮาร์โมนิกปนอยู่ในรูปคลื่นของกระแส มาก เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ (induction furnace) มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำประมาณ 30-70% แต่สามารถทำให้มีค่าใกล้เคียง 100% ได้โดยใช้ตัวคาปาซิเตอร์ที่มีค่าเหมาะสม

หลอดไฟฟ้า

หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดไส้มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 100% ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดก๊าซชนิดต่างๆทั้งหลายที่ต้องใช้ควบคู่กับบัลลาสต์ธรรมดา จะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงถึง 90% แบบตามหลังถึงแบบนำหน้าเล็กน้อย

หม้อแปลง

ถึงแม้ว่าหม้อแปลงจะไม่ได้เป็นโหลดทางไฟฟ้าโดยตรงก็ตาม แต่ก็เป็นตัวที่ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบมีค่าต่ำลงได้ กระแสกระตุ้น (exciting current) ใช้สร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงโดยปกติจะมีค่าประมาณ 1-2% ของขนาดพิกัดเควีเอชของหม้อแปลงและไม่ขึ้นกับโหลด นอกจากกระแสกระตุ้นแล้วลิกเกจรีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงยังดึงกำลังงานรีแอกตีฟนี้แปรตามค่ากระแส โหลดยกกำลังสองเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดเต็มพิกัดกำลังงานรีแอกตีฟจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของขนาดพิกัดเควีเอชของหม้อแปลงกับค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงที่คิดต่อหน่วย

หลักเบื้องต้นเกี่ยวกับ pf

อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ต้องการกระแสสองส่วนด้วยกัน คือ

1. กระแสส่วนที่ทำให้เกิดการทำงาน (power – producing , working or active current) เป็นกระแสส่วนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็นงานซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของความร้อน แสงสว่างหรือกำลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่างๆ มีหน่วยที่ใช้วัดเป็นกำลังงานเป็นวัตต์หรือกิโลวัตต์

2. กระแสส่วนที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก (magnetizing , wattless, reactive or nonworking current) เป็นกระแสที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งมีความจำเป็นมากในอุปกรณ์ที่ต้องทำงานโดยอาศัยแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงมอเตอร์ ฯลฯ ถ้าไม่มีสนามแม่เหล็ก อุปกรณ์ดังกล่าว จะทำงานไม่ได้เลย เราเรียกกำลังงานที่ต้องใช้ส่วนนี้ว่ากำลังงานรีแอกตีฟและมีหน่วยวัดเป็นวาร์ หรือกิโลวาร์ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ

คำจำกัดความของ pf

เพาเวอร์แฟกเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังงานปรากฏในวงจรไฟฟ้าใดๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่โดยปกติมักจะพูดกันเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{เพาเวอร์แฟกเตอร์} = \frac{\text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน}}{\text{กำลังงานปรากฏ}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$$

หรือจะได้

$$\text{เพาเวอร์แฟกเตอร์} = \cos \phi$$

เพาเวอร์แฟกเตอร์อาจเป็นแบบตามหลังหรือแบบนำหน้าก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอกตีฟ ถ้ากำลังงานทั้งสองส่วนนี้ไหลไปในทิศทางเดียวกัน ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบตามหลัง แต่ถ้าไหลไปคนละทิศทางแล้วค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า เนื่องจากตัวคอปิซิเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานรีแอกตีฟเพียงอย่างเดียวมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นแบบนำหน้าเสมอ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นแบบตามหลัง เพราะมันต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงาน

รีแอกตีฟ (โหลดเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับซึ่ง โครงน้สมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นเกินขนาด (overexcited) นั้นสามารถจ่ายกำลังงานรีแอกตีฟเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ แต่กำลังงานที่ทำให้เกิดงานต้องโหลดเข้ามอเตอร์เสมอ ดังนั้น มันจึงมีค่าพาวเวอร์เป็นแบบนำหน้าได้

2.7 ข้อดีในการปรับปรุง pf

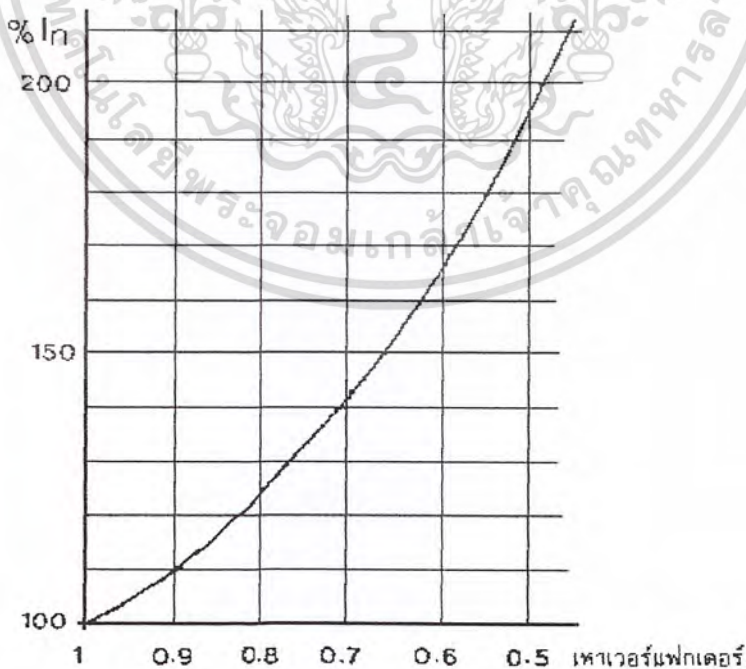
เมื่อทำการปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น จะเกิดผลดีหลายอย่าง คือ

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรไฟฟ้าจะลดลง

สมมุติว่ามีมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 โวลต์ ขนาด 10 กิโลวัตต์ มีประสิทธิภาพ 90% และพาวเวอร์แฟกเตอร์ 85% เมื่อทำงานเต็มที่ กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ดึงจากแหล่งจ่ายไฟขณะทำงานเต็มพิกัดจะมีค่าเท่ากับ 19.86 แอมแปร์

ถ้าใช้คาปาซิเตอร์ปรับค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 100% กระแสที่มอเตอร์ไฟฟ้าและคาปาซิเตอร์ดึงจากระบบไฟฟ้าจะลดลงเหลือเพียง 16.88 แอมแปร์

ซึ่งเป็นกระแสที่ต่ำที่สุดที่จะเป็นไปได้ กระแสที่มอเตอร์ดึงจากแหล่งจ่ายไฟก่อนติดคาปาซิเตอร์จะเป็น $19.86/16.88 = 117.6\%$ ความสัมพันธ์ของกระแสและค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่า ถ้าเพิ่มค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์จากค่าต่ำๆ ให้มีค่าสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างมาก



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของกระแสและค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์

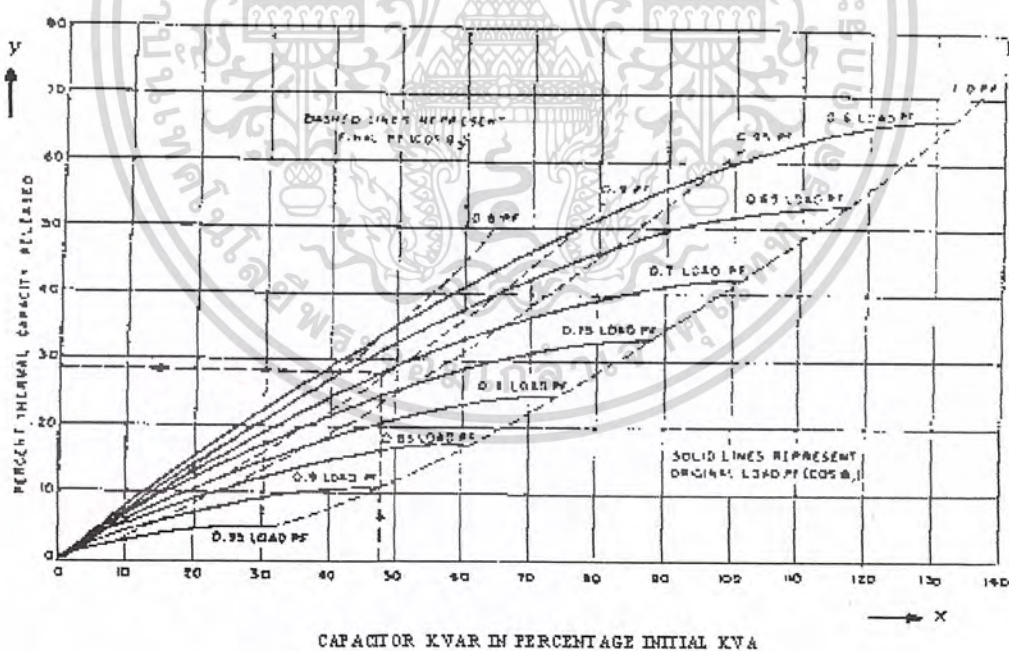
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้มากขึ้น

เมื่อปรับปรุงให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าสูงขึ้น กระแสที่ไหลอยู่ในระบบระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับจุดที่มีการปรับปรุงจะมีค่าลดลง ทำให้สามารถเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบได้โดยไม่ทำให้ระบบรับโหลดเกินพิกัดอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิล และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดขนาดพิกัดไว้ด้วยค่ากำลังงานปรากฏ (kVA) แต่ตามปกติแล้วเครื่องจักรต้นกำลัง (prime mover) ที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีขนาดพิกัดของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน (kW) เท่ากับหรือมากกว่ากำลังงานปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงจะสามารถทำงานอยู่ได้ ดังนั้นในการทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบสูงขึ้นจะทำให้เครื่องจักรต้นกำลังใช้กำลังงานน้อยลง หรือสามารถรับโหลดได้มากขึ้น ในการที่จะหาว่าระบบไฟฟ้าจะสามารถรับโหลดเพิ่มขึ้นได้มากน้อยเท่าใดจะหาได้จากรูปที่ 2.6 ซึ่งสร้างมาจากสมการ

$$y^2 + (200 - 2x \sin\phi_1)y + (x^2 - 20x \sin\phi_2) = 0$$

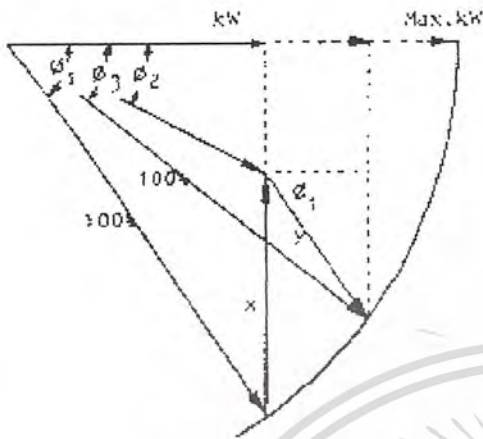
$$\cos\phi_2 = (1 + y/100)\cos\phi_1$$



รูปที่ 2.6 เส้นโค้งสำหรับหาว่าระบบไฟฟ้าจะสามารถรับโหลดเพิ่มขึ้นได้มากน้อยเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของตัวแปรต่างๆแสดงอยู่ในรูปที่ 2.7



- x = ขนาดกำลังรีแอกทีฟคาปาซิเตอร์ (คิดเป็น % ของกำลังงานปรากฏ)
- y = ขนาดกำลังงานปรากฏของโหลดใหม่ที่สามารถเพิ่มได้ เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์ (คิดเป็น % ของกำลังงานปรากฏ)
- $\cos\phi_1$ = ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เดิม
- $\cos\phi_2$ = ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ใหม่ ถ้าไม่เพิ่มโหลด
- $\cos\phi_3$ = ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ใหม่ ถ้าเพิ่มโหลด

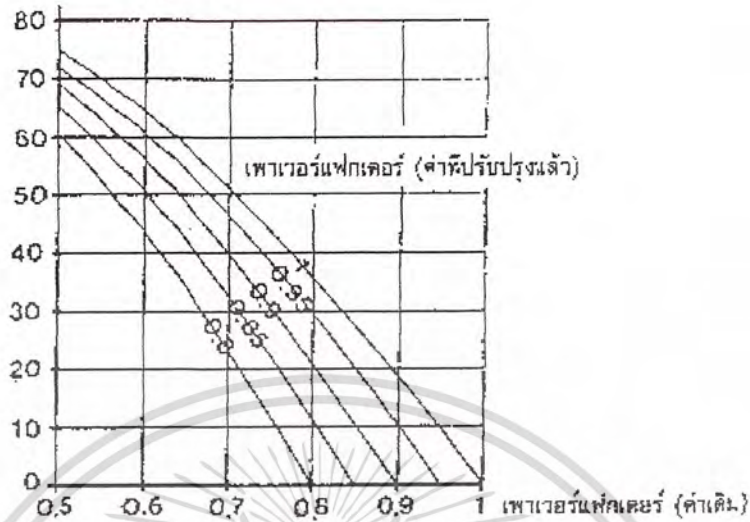
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของขนาดคาปาซิเตอร์ และขนาดของโหลดที่เพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง ระบบไฟฟ้าของโรงงานแห่งหนึ่งจ่ายโหลดขนาด 1000 kVA ที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 70% เมื่อทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 480 kVAR เข้าไปจะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบเปลี่ยนไปเป็นประมาณ 95% ในขณะเดียวกันจากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าในโรงงานนี้สามารถรับโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 70% เพิ่มได้อีกถึง 28.5% โดยไม่ทำให้กำลังงานปรากฏของระบบมีค่าเกิน 1000 kVA และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์รวมของโหลดเดิมและโหลดที่เพิ่มเข้าไปใหม่มีค่าเป็น 90%

3. ลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟ

ถึงแม้ว่าการคืนทุนจากการลงทุนติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เพื่อลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟจะเป็นไปได้ค่อนข้างยากก็ตาม แต่การลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟก็เป็นแฟกเตอร์หนึ่งที่สามารถนำมาประกอบการพิจารณาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งมานานแล้วและมีสายป้อนยาวมากหรือในระบบไฟฟ้าเพื่อการเกษตรและการสูบน้ำ ในท้องถิ่นกันดารที่ต้องเดินสายป้อนมีระยะทางไกลๆ กำลังงานสูญเสียในสายไฟต่างๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากระแสยกกำลังสอง แต่เนื่องจากกระแสจะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในสายไฟต่างๆ จึงเป็นสัดส่วนกลับกับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

การลดลงของกำลังงานสูญเสีย (%)



รูปที่ 2.8 การลดลงของกำลังงานสูญเสียในสายไฟเมื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น

จากรูปที่ 2.8 เราจะเห็นว่าการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จาก 0.6 เป็น 0.8 จะลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟได้ถึง 44% และถ้าเปลี่ยนจาก 0.6 เป็น 1.0 จะลดกำลังงานสูญเสียได้ถึง 64% ถึงแม้ว่าแฟกเตอร์นี้จะเป็นที่รู้จักกันอยู่ทั่วไปก็ตาม แต่ก็ไม่ค่อยมีใครพิจารณาอย่างจริงจังมากนัก ทั้งๆที่การคำนวณก็ไม่ยุ่งยากอะไรเลย จึงขอยกตัวอย่างการคำนวณให้ดูเป็นตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง สมมติว่ามีระบบไฟฟ้าจ่ายให้กับเครื่องสูบน้ำมอเตอร์มีขนาดพิกัด 37 kW ที่ 380 โวลต์ ประสิทธิภาพ 88% และมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.72 สายไฟที่ใช้มีขนาด 35 mm² จึงบนยอดเสามีความยาว 180 เมตร เครื่องสูบน้ำทำงาน 600 ชั่วโมงต่อเดือน ค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 1.17 บาท ตามอัตราของการไฟฟ้าฯ ในเดือนหนึ่งๆ จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่าใด ถ้าปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จาก 0.72 เป็น 0.95 (คิดเฉพาะค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียไปเนื่องจากการสูญเสียในสายไฟเท่านั้น)

1. คำนวณหาค่ากระแสในสายไฟ ที่ pf = 0.72 ได้เท่ากับ 88.7 แอมแปร์ และที่ pf = 0.95 ได้เท่ากับ 67.2 แอมแปร์

2. คำนวณความต้านทานของสายไฟ

จากตารางคุณสมบัติของสายไฟพบว่าสายขนาด 35 mm² มีความต้านทานประมาณ 0.0005 โอห์มต่อความยาว 1 เมตร ดังนั้นสาย 1 เส้นยาว 180 เมตร จะมีความต้านทาน เท่ากับ 0.09 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จำนวนหากำลังงานสูญเสีย ที่ $pf = 0.72$ ได้เท่ากับ 2124 W และที่ $pf = 0.95$ ได้เท่ากับ 1219 W

4. จำนวนค่าไฟฟ้า

ในแต่ละเดือนจะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ $1.17 \times 905 \times 600/1000 = 635$ บาท

4. ลดแรงดันตกและเพิ่มความสามารถของสายส่งไฟฟ้า

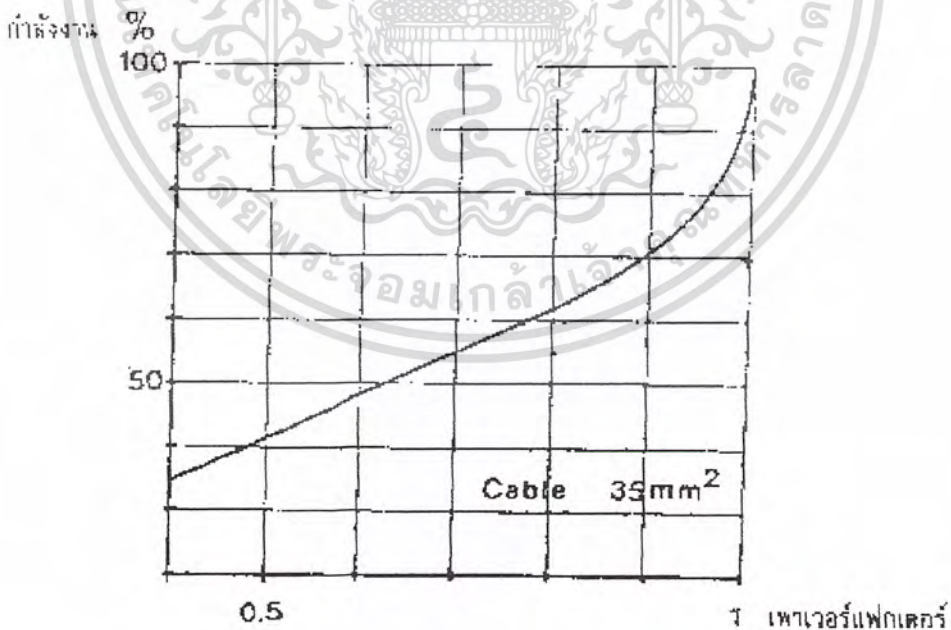
สายส่งไฟฟ้าโดยทั่วไป ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีคุณสมบัติซึ่งแทนได้ด้วย ความต้านทานต่ออนุกรมอยู่กับความเหนี่ยวนำ (inductance) โดยปกติมีค่าประมาณ 0.4 ถึง 0.9 uH/m

แรงดันตกในสายส่งดังกล่าวเมื่อมีกระแสที่มีมุมเฟส ϕ ไหลผ่านจะประมาณได้ดังนี้

$$\Delta V = I(R\cos\phi + \omega L\sin\phi)$$

สำหรับวงจรสายส่ง 3 เฟส เมื่อกำหนดให้แรงดันตกสูงสุดมีค่าไม่เกิน $n\%$ จะได้แรงดันตกสูงสุดมีค่า และกำลังงานสูงสุดที่สายส่งสามารถส่งได้มีค่าดังนี้

ในทางปฏิบัติ n จะมีค่าประมาณ 5 ถึง 10%



รูปที่ 2.9 ความสามารถของสายส่งในการส่งกำลังไฟฟ้าที่ pf ระหว่าง 0.5 ถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

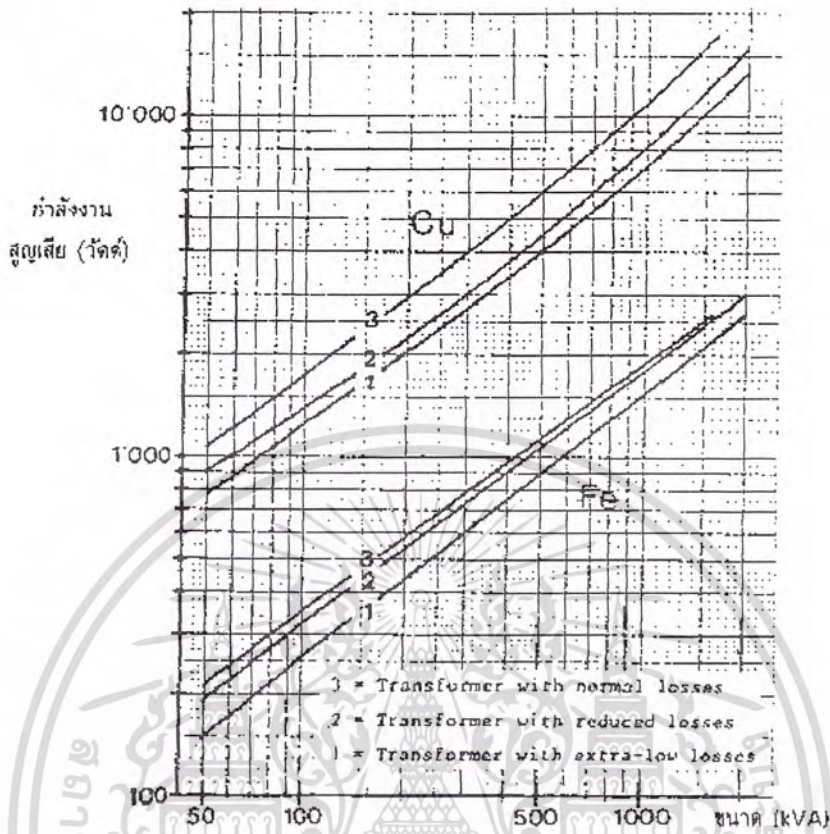
จากรูปที่ 2.9 สายส่งจะส่งกำลังงานไฟฟ้าได้โดยเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นจากค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.4 ถึงประมาณ 0.8 เมื่อเลข 0.8 แล้ว จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่แรงดันตกสูงสุดใดๆ ที่กำหนดไว้สายส่งจะส่งกำลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ถึงเท่าตัว ถ้าเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จาก 0.65 เป็น 1.0

5. ลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลง

กำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วยกันคือ กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กและกำลังงานสูญเสียในขดลวด กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กประมาณเท่ากับกำลังงานที่หม้อแปลงดึงจากแหล่งจ่ายไฟตอนไม่มีโหลด ส่วนกำลังงานสูญเสียในขดลวดจะแปรโดยตรงกับค่ากระแสโหลดยกกำลังสองจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดค่าใดๆ จะแปรตามกำลังงานปรากฏยกกำลังสอง กำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดค่าใดๆ จะแปรตามกำลังงานปรากฏยกกำลังสอง กำลังงานสูญเสียรวมทั้งหมดในหม้อแปลงจะเท่ากับผลรวมของกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กกับกำลังงานสูญเสียรวมทั้งหมดในหม้อแปลงจะเท่ากับผลรวมของกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กกับกำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดค่าใดๆ

ตัวอย่าง สมมติหม้อแปลงขนาด 500 kVA จ่ายโหลดขนาด 300 kVA ที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.65 จะประหยัดไฟฟ้าได้เดือนละเท่าไร ถ้าปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จาก 0.65 เป็น 0.9 เมื่อหม้อแปลงทำงานที่โหลดค่านี้นวันละ 8 ชั่วโมง เดือนละ 25 วัน ค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 1.50 บาท

จากรูปที่ 2.10 พบว่าหม้อแปลงขนาด 500 kVA มีกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กเท่ากับ 1150 วัตต์ กำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดเต็มที่มีค่าเท่ากับ 6000 วัตต์ (ใช้เส้นโค้งหมายเลข 3 กับหม้อแปลงที่มีกำลังงานสูญเสียตามปกติ) ดังนั้นกำลังงานสูญเสียทั้งหมดในหม้อแปลงที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.65 มีค่าเท่ากับ $1150 + 6000 \times [300 / (0.65 \times 500)]^2 = 6262$ วัตต์ และกำลังงานสูญเสียเมื่อค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 0.9 มีค่าเท่ากับ $1150 + 6000 \times [300 / (0.9 \times 500)]^2 = 3817$ วัตต์ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียจะลดลง 2445 วัตต์ คิดเป็นค่าไฟฟ้าใน 1 เดือนได้เท่ากับ $2.445 \times 8 \times 25 \times 1.50$ เท่ากับ 733.50 บาท (ปีละ 8,820 บาท)



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหม้อแปลงและกำลังสูญเสีย

6. ลดค่าไฟฟ้า

สำหรับผู้ใช้งานไฟฟ้ารายที่ใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง คือมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป การไฟฟ้านครหลวงจะเรียกเก็บค่าไฟฟ้าเป็นรายเดือน โดยคิดจาก

1. ค่าพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง
2. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า หมายถึง ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ในรอบเดือนนั้น

3. ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ สำหรับผู้ใช้งานไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์เล็ก (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้งานไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์

(kVAR) ละ 15.00 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคินข้อนี้ เป็นเพียงผลพลอยได้เท่านั้น เพราะค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ต้องเสียนั้นเป็นเงินเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับค่าไฟที่ต้องเสียทั้งหมด

ตัวอย่าง โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งมีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าดังต่อไปนี้

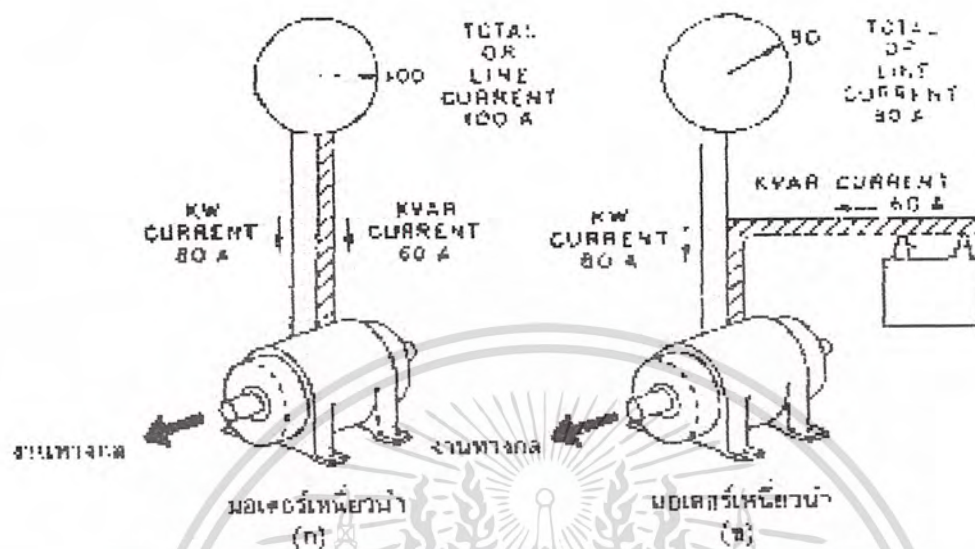
- ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 1,600 วัตต์
- ความต้องการกำลังงานรีแอกทีฟสูงสุด 1,370 วัตต์ (เพาเวอร์แฟกเตอร์รวมแบบตามหลัง 0.76)
- กำลังงานรีแอกทีฟที่การไฟฟ้ายอมให้ใช้โดยไม่ต้องเสียเงิน มีค่าเท่ากับ $0.63 \times 1,600 = 1008$ กิโลวาร์
- ดังนั้นใช้กำลังงานรีแอกทีฟเกินอยู่ $= 1,370 - 1,008 = 362$ กิโลวาร์ คิดเป็นเงินค่าปรับ $= 362 \times 15 = 5,430$ บาท
- ถ้าปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าสูงกว่า 85% ก็จะไม่ต้องเสียเงินค่าปรับส่วนนี้

เราจะเพิ่ม pf ได้อย่างไร

เมื่อกำลังงานรีแอกทีฟในวงจรไฟฟ้าถูกทำให้ลดลง กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรจะมีค่าลดลงด้วย ถ้าส่วนชองกำลังงานที่ทำให้เกิดงานไม่เปลี่ยนแปลงแล้วค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในวงจรจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อกำลังงานรีแอกทีฟมีค่าเป็นศูนย์ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะเป็น 1 หรือ 100%

จากรูปที่ 2.11 มอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการกระแสเพื่อเอาไปทำให้เกิดการทำงาน 80 แอมแปร์ แต่มอเตอร์ยังต้องการกระแสแอกทีฟอีก 60 แอมแปร์ เพื่อใช้สร้างสนามแม่เหล็ก แหล่งจ่ายไฟจึงต้องจ่ายกระแสขนาด 100 แอมแปร์ ให้แก่มอเตอร์ตัวนี้ ถ้าเราติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดพอเหมาะที่จะจ่ายกระแสรีแอกทีฟ 60 แอมแปร์ให้ติดกับมอเตอร์ตัวนี้ แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายกระแสให้กับชุดมอเตอร์และคาปาซิเตอร์เพียง 80 แอมแปร์เท่านั้น ในขณะที่ยังทำงานได้เท่าเดิม ทำให้แหล่งจ่ายไฟสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่นได้อีก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไป การเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จึงทำได้โดยการลดกำลังงานรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้าลง โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้ากับจุดที่ต้องการกำลังงานรีแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การใช้ C ช่วยจ่ายกำลังรีแอกทีฟ ณ จุดที่ต้องการ ทำให้กระแสรวมลดลง

2.8 คำนวณหาคาปาซิเตอร์

ตามปกติแล้วถ้าโหลดไม่เปลี่ยนแปลง ค่ากำลังงานที่ทำให้เกิดงาน (active power) จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่ากำลังงานปรากฏและ กำลังงานรีแอกทีฟจะเปลี่ยนไปตามค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณจะจัดให้อยู่ในรูปของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน คือ

$$\text{กำลังงานรีแอกทีฟ} = \text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน} \times \tan\phi$$

$$\text{kVAR} = \text{kW} \times \tan\phi$$

ถ้าจะคำนวณหาขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ต้องใช้ในการเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะหาได้ ดังนี้

$$\text{กำลังงานรีแอกทีฟที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เดิม} = \text{kW} \times \tan\phi_1$$

$$\text{กำลังงานรีแอกทีฟที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ใหม่} = \text{kW} \times \tan\phi_2$$

เมื่อ ϕ_1 เป็นมุมของค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เดิม

ϕ_2 เป็นมุมของค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ใหม่

ดังนั้นขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ คือ

$$\text{กำลังงานรีแอกทีฟของตัวคาปาซิเตอร์} = \text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน} \times (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

$$\text{kVAR}_C = \text{kW} \times (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

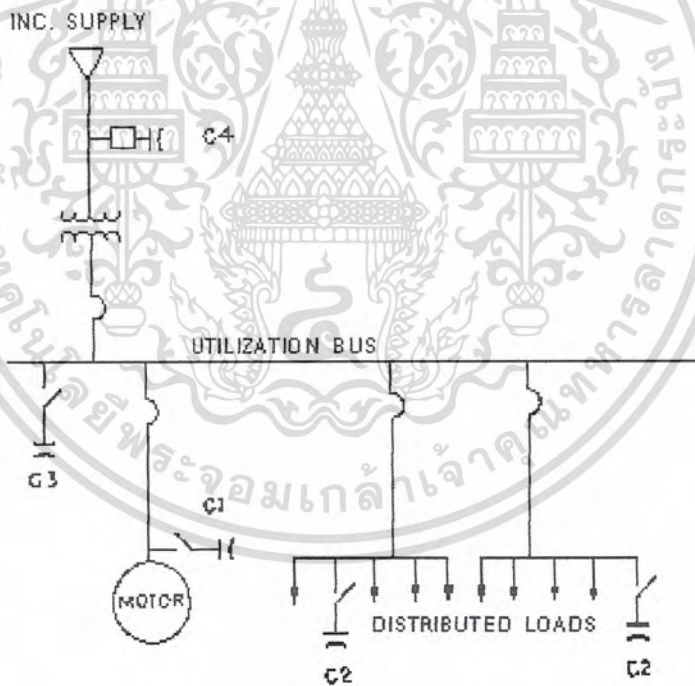
ตัวอย่าง ต้องการเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จากเดิมให้เป็น 0.95 จะต้องใช้คาปาซิเตอร์ขนาดเท่าใด เมื่อเดิมมีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 1,800 กิโลวัตต์ และความต้องการพลังไฟฟฟาริแอกตีฟสูงสุด 1,700 กิโลแวลร์

$$\text{จะได้ } kVAR_c = 1,108 \text{ kVAR}$$

ใช้คาปาซิเตอร์ขนาดตัวละ 100 กิโลแวลร์ จำนวน 12 ตัว ควบคุมการใช้งานด้วยตัวควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบอัตโนมัติ

2.9 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์

โดยปกติทั่วไปแล้วจะติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์ทางด้านแรงต่ำเพราะมีราคาถูก ควบคุมได้ง่าย และอยู่ใกล้โหลดหรืออุปกรณ์ที่ต้องการกำลังงานริแอกตีฟมากกว่าด้วย การติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์แบ่งตามตำแหน่งที่ติดตั้งได้ 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์

- การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบใช้คาปาซิเตอร์แต่ละชุดติดตั้งที่มอเตอร์แต่ละตัว ตำแหน่งที่เหมาะสมหรือดีที่สุดสำหรับการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบไฟฟ้าคือตำแหน่ง C_1 แบบนี้สามารถจะรักษาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้คงที่ได้ในขณะที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ตัวใดที่ไม่ได้ใช้งาน คาปาซิเตอร์ชุดที่ต่ออยู่จะถูกปลดออกจากวงจรไปด้วยการติดตั้งแบบนี้ตัดปัญหาในการติดตั้งสวิตช์ตัดคอนสำหรับตัวคาปาซิเตอร์ไปด้วย เพราะใช้เครื่องควบคุมมอเตอร์เป็นตัวปลดวงจรคาปาซิเตอร์ด้วย เหมาะสำหรับโรงงานที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ๆ แต่มีจำนวนน้อยตัว และจะทำให้กระแสในสายจากแหล่งจ่ายไฟถึงตัวมอเตอร์ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามการติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ตำแหน่งนี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้างคือ ราคาของตัวคาปาซิเตอร์ขนาดเล็กหลายๆตัวรวมกันจะแพงกว่าราคาของตัวคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เพียงตัวเดียวที่มีขนาดเท่ากัน และการใช้ประโยชน์ของตัวคาปาซิเตอร์บางตัวจะน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวที่ต่ออยู่กับโหลดที่ไม่ค่อยได้ใช้งานมากนัก

- การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบใช้ชุดเดียวที่แผงสวิตช์ย่อยหรือแผงสวิตช์ใหญ่ ตำแหน่งของการติดตั้งแบบนี้คือ ตำแหน่ง C₂ และ C₃ การติดตั้งแบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ถ้าต้องการรักษาค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาที่โหลดเปลี่ยนแปลงไป เช่น หยุคมอเตอร์บางตัวที่ไม่ได้ใช้งาน มอเตอร์บางตัวหมุนตัวเปล่า จะต้องทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาดเล็กหลายชุด และมีเครื่องปลดและต่อคาปาซิเตอร์แต่ละชุดเข้าไปในวงจรได้อย่างอัตโนมัติ การติดตั้งแบบนี้ค่อนข้างสะดวกเพราะใช้สถานที่ในการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมที่เดียวไม่เกะกะ แต่จะให้ผลในการลดกระแสในสายเมนเท่านั้น เหมาะสำหรับโรงงานที่โหลดทำงานคงที่ สายเมนยาวแต่สายป้อนและสายวงจรย่อยสั้น มีอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กถึงขนาดปานกลางจำนวนมาก
- การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบผสม โดยแบ่งออกเป็น
 1. การติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ไว้ที่มอเตอร์ตัวใหญ่ๆ ที่มีเวลาทำงานยาวนานกว่ามอเตอร์ตัวอื่นๆ โดยให้คาปาซิเตอร์มีขนาดใหญ่กว่าความต้องการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์ตัวนั้น โดยเพื่อสำหรับมอเตอร์ตัวอื่นด้วย อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงกระแสหลายประจุของคาปาซิเตอร์ด้วยเพราะมันอาจจะหลายประจุผ่านขดลวดของมอเตอร์เมื่อปลดมอเตอร์ออกจากวงจรแล้วทำให้มอเตอร์ชำรุดเสียหายได้หากคาปาซิเตอร์มีขนาดใหญ่มากเกินไป
 2. ติดตั้งคาปาซิเตอร์บางชุดไว้ที่มอเตอร์ และบางส่วนไว้ที่สายป้อนหรือแผงสวิตช์ตัดคอนรวม การติดตั้งแบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่และขนาดเล็กปนกันอยู่เป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การติดตั้งคาปาซิเตอร์ทางด้านแรงสูง การติดตั้งแบบนี้จะติดตั้งที่ตำแหน่ง C_4 เป็นแบบที่ให้ผลดีน้อยที่สุดเหมาะสำหรับการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เพื่อไม่ให้เกิดการไฟฟ้าฯ ปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่านั้น ไม่ได้ช่วยลดกำลังงานสูญเสียในระบบ หม้อแปลงไม่สามารถจ่ายโหลดเพิ่มได้ แต่มีข้อดีตรงที่มีราคาถูก

ดังนั้นในการพิจารณาว่าจะติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ตำแหน่งใด แบบไหน จึงจะเหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และจำนวนของมอเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้า ลักษณะของวงจรไฟฟ้าขนาด และความยาวของสายช่วงต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

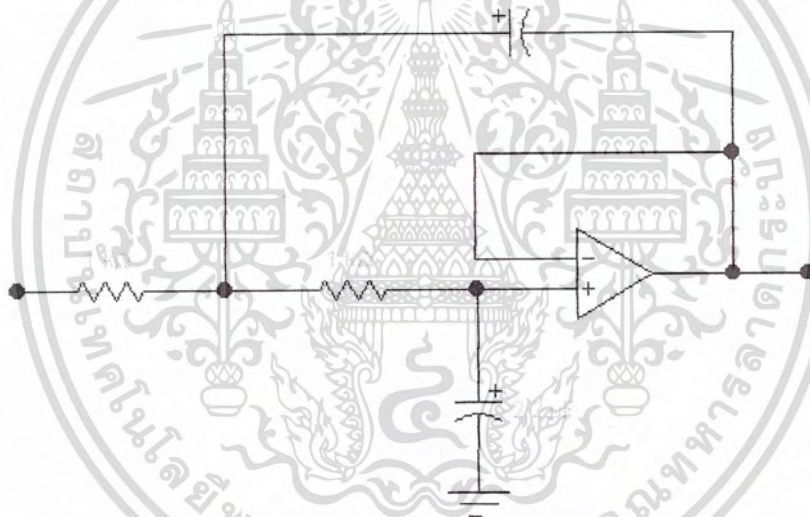
บทที่ 3

การออกแบบวงจรและคำนวณ

ในการออกแบบวงจร POWER FACTOR CONTROLLER นั้น จะเห็นได้ว่าวงจรจะประกอบด้วยภาคต่าง ๆ ดังนี้

3.1 LOW PASS FILTER

POWER FACTOR CONTROLLER ใช้ร่วมกับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Volts 50 Hz เพราะฉะนั้นความถี่ที่ใช้งานในวงจรคือ สัญญาณ SINE 50 Hz จำเป็นต้องใช้วงจร LOW PASS FILTER มากรองเอาความถี่ 50 Hz มาใช้งาน ซึ่งมีวงจรและการคำนวณดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจร LOW PASS FILTER

สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

โดยที่ $R = R_1 = R_2$

$$C = C_1 = C_2$$

$$F_0 = \text{ความถี่ที่ต้องการ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการคำนวณ

1. กำหนดความถี่ที่ต้องการคือ $f_0 = 50 \text{ Hz}$
2. เลือกค่าตัวเก็บประจุที่มีใช้งาน $C = 2.2 \mu\text{F}$
3. แทนค่าลงในสูตรเพื่อหาค่าความต้านทาน (R) จะได้ค่าความต้านทานเท่ากับ 1446Ω
4. ซึ่งเป็นค่าที่หาได้ยากให้เลือกใช้ค่าความต้านทานที่ใกล้เคียงมีในท้องตลาดเช่น $1.4 \text{ K}\Omega$

3.2 วงจรแสดงผลตัวเลขแบบ LCD 3 หลักครึ่ง

จากวงจร ANALOG TO DIGITAL CONVERTER จะแสดงผลด้วยตัวเลขแบบ LCD 3 หลักครึ่งโดยใช้ IC 7106

ลักษณะทั่วไปของ IC 7106

IC 7106 เป็น ไอ.ซี. ที่มีความสามารถสูง, กินกำลัง ไฟฟ้าต่ำ, มีวงจร converter ชนิด A/D แสดงผล 3 หลักครึ่ง active device ทุกตัวประกอบด้วย IC CMOS ชนิดเดียวกันหมดเช่นเดียวกับ decoder ที่ใช้กับ seven segment, วงจร display, วงจรสรี clock IC 7106 ได้รับการออกแบบให้สามารถ interface กับ LCD ได้ และรวมทั้งมีขา blackplane ที่จะทำหน้าที่ขับ LCD ให้ทำงาน

IC 7106 ไม่ต้องมีเงื่อนไข เมื่อนำมาใช้งานสามารถให้ ความแม่นยำสูง, ใช้งานได้คล่องตัว และ ประหยัด ความแม่นยำสูงคล้ายการ auto-zero น้อยกว่า $10 \mu\text{A}$, zero drift น้อยกว่า $10 \mu\text{V}/\text{C}$ สัญญาณที่จะป้อนเข้า input ต้องการใช้กระแสสูงสุดเพียง 10 pA เท่านั้น differential input และ reference voltage ใช้งานได้สะดวก แต่ผู้ออกแบบกำหนดข้อดีไว้เพื่อให้วัด load cells, strain gauges และ transducer ที่ใช้ bridge แบบอื่นๆ

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS IC 7106

Supply voltage (v^+ to v^-)	15 v
Analog input voltage (either input) v^+ to v^-	
Reference input voltage(either input) v^+ to v^-	
Clock input	test to v^+
Power Dissipation	
Ceramic Package	1000 mW
Plastic Package	800 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร แบ่งออกเป็น 2 section คือ

1. Analog section
2. Digital section

1. Analog section

รูปภาพแสดง block diagram ของ Analog section ของ IC 7106 การวัดผลการทำงาน แต่ละ รอบการทำงาน แบ่งออกเป็น 3 phase คือ

- 1.1 auto - zero
- 1.2 signal integrate (INT)
- 1.3 deintegrate (DE)

1.1 auto - zero

ในระหว่างเกิด auto-zero ได้จะต้องอาศัย 3 ขั้นตอนคือ

1. ขา input high, input low ของ IC ไม่ต้องต่อวงจร และภายในตัว IC จะมีการ short ขา analog common ไว้
2. ต่อ C_{ref} เข้ากับ ref voltage
3. loop feedback ที่ต่อไว้ในระบบของวงจร analog จะ charge ให้เกิด auto-zero ด้วย CAZ ซึ่งจะทำหน้าที่ชดเชยการ offset voltage ให้กับ buffer amplifier, วงจร integrator, วงจร comparator เนื่องจากการวงจร comparator อยู่ใน loop feedback, auto-zero จึงมีขีดจำกัดในการให้ความแม่นยำ เพราะมี noise ของระบบวงจร Analog section ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ก็ตาม voltage offset จะต้องมีน้อยกว่า 10 μA

1.2 signal integrate

ในระหว่างการเกิด signal integrate ต้องทำให้ loop ของ auto-zero เปิดก่อนด้วยการถอดปลั๊ก short กันภายใน IC ออก ขา input high และขา input low ที่ต่ออยู่กับขา external (ขาภายนอก) ตัว converter จะ integrate แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ระหว่าง ขา input high และ input low เพื่อให้ช่วงเวลาที่ยาวนานที่ แรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันนี้จะอยู่ในช่วงกว้างของ common mode และภายใน 1 volt ของไฟเลี้ยงอย่างใดอย่างหนึ่ง ถ้า input signal ไม่มีการป้อนกลับคืน เมื่อเทียบกับไฟเลี้ยงที่ converter input low ที่ต่อไว้แล้วกับ analog common จะเป็นตัวกำหนด voltage ที่ถูกต้องของ CMRR ให้ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ จะให้ กระแสไฟฟ้าของ integrate signal

1.3 De - integrate phase

ขั้นตอนสุดท้ายของ analog section คือ de-integrate หรือ ที่เรียกว่า reference integrate input low ที่ต่อภายในอยู่กับ analog common อยู่แล้ว ส่วน input high ก็ต่อคร่อมอยู่กับ Cref การต่อวงจรภายในตัว IC ต้องกำหนดค่า capacitor ที่ใช้ต่อให้ถูกต้อง เพราะจะเป็นเหตุให้ output ของ integrator กลับสู่ศูนย์ Timing ที่ต้องการใช้เพื่อให้ output กลับสู่ศูนย์ คือสัดส่วนของ input signal โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การอ่านตัวเลขที่แสดงต้อง เท่ากับ 1000 (V_{in}/V_{out})

Differential input

Input ของ IC จะรับแรงดันที่แตกต่างกันใด ๆ ก็ได้ ภายในช่วง common mode ของ input amplifier หรือโดยเฉพาะอย่างยิ่ง จาก ไฟเลี้ยงบวก ที่ต่ำกว่า 0.5 v ถึง ไฟเลี้ยงลบที่เกิน 1 v range ของระบบนี้ต้องมี CMRR 86 dB อย่างไรก็ตามเนื่องจาก integrator, มีการ swing ใน voltage ที่ common mode ต้องเลือกจนทำให้ output ของ integrator เกิด unsaturate

ในกรณีที่อยู่ในภาวะไม่ทำงาน จะมีแรงดันไฟ common mode บาท กับแรงดันไฟลบที่ input ต่างกันเกือบเต็มสเกลแรงดันไฟลบที่ input signal จะขับให้เกิดแรงดันไฟบวกของ integrator เมื่อเกิดแรงดันไปบวกของ common mode จะทำให้เกิดการ swing สูงสุด สำหรับการวิเคราะห์การใช้น่าไปงานเหล่านี้ ได้แก่ การ swing ของ integrator ที่สามารถลดลงได้ ให้ swing เต็มที่ 2 V เพื่อให้มีความแม่นยำมาก output ของ integrator ควร swing อยู่ในช่วง 3 volt ไม่ว่าจะใช้ไฟเลี้ยงอย่างไรอย่างหนึ่งก็ตาม ถือว่า Linear

Differential Reference

Reference voltage ที่ใช้กับตัว IC จะต้องอยู่ในช่วงแหล่งจ่ายไฟของ converter เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลัก เกิดแรงดันที่ผิดพลาด คือ มีแรงดันที่ทำให้ slope สูงเกินเป็นทำให้เกิดการสูญเสียของ Cref หรือ เกิดการขยายการเก็บประจุคือ stray capacitance ในรอยต่อถ้าเกิดแรงดัน common mode มาก Cref ก็จะอัตราการเก็บประจุมาก (มีแรงดันมากขึ้น) เมื่อต้องการเรียก positive signal ของวงจร de-integrate ออกมาแต่ถ้าเกิดการสูญเสียการเก็บประจุ (แรงดันต่ำลง) จะมีผลเป็นการเรียก negative input signal จากวงจร de-integrate

แรงดัน ref (+) หรือ (-) ที่แตกต่างกันนี้จะทำให้แรงดัน input มี Vref ภายในสูงเกินอย่างไร การเลือก Cref ที่ใดพอจะเปรียบเหมือน stray capacitance ค่าผิดพลาดนี้ที่ยึดถือ คือ 0.5 (ถือว่าไม่ดี)

ANALOG COMMON

ขานี้เป็นการรวมเอาการ set แรงดัน common mode (แรงดันของสัญญาณที่เหมือนกันเข้า มาได้) สำหรับให้แมตเตอร์ที่ใช้กับ 7106 หรือให้แก่ระบบใด ๆ ที่ input signal มีการลอยเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบกับ power supply ขาร่วมนี้จะปรับแรงดันที่ประมาณ 2.8 volt เป็นไฟเลี้ยงทาง -มากกว่า การเลือกนี้เพื่อให้อายุของแบตเตอรี่ มีการใช้งานนาน มีแรงดันต่ำสุดประมาณ 6 โวลต์ อย่างไรก็ตาม analog common บางขา จะมีป้ายติดบอก V_{ref} ไว้ เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงรวมมีค่ามากพอ จะส่งผลทำให้ Zener diode ทำการ regulate ($>7 V$) แรงดัน common จะมีค่า ส.ป.ส แรงดันค่า (0.0001%), มี impedance ที่ output ต่ำ ประมาณ 80 ppm/องศาเซนเซียส

ไอ ซี 7106 ไม่มีการสูญเสียเลย ไม่ว่าในกรณีใดก็ตาม ให้ reference voltage จากภายนอกตัว IC ได้ สามารถต่อ วงจรเพิ่มเติม ตามที่ 4 (การใช้ external ref) analog common จะทำให้ input voltage ย้อนกลับในระหว่าง auto - zero และ de-integrate ถ้ามีสัญญาณค่าต่างจาก analog common จะมีแรงดันไฟฟ้าใน common mode และ converter จะมี CMRR มาก อย่างไรก็ตาม การใช้งาน input ในบางอันต่างๆ จะ set ค่าแรงดัน ทั่วไปคงที่ (ทันที) ในการใช้งานนี้ analog common ควรต่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นการถอดแรงดัน common mode จากแรงดัน common mode จากแรงดัน converter ภายในตัว IC analog common จะต่ออยู่กับ N - channel FET ซึ่งจะมีกระแส sink 30 mA หรือมากกว่า เพื่อกำหนดแรงดัน 2.8 volts ต่ำกว่าไฟบวกที่เลี้ยง อย่างไรก็ตามจะมีแหล่งกำเนิดกระแส 10 μA ดังนั้น common จะเชื่อมต่อกับแรงดันไฟลบ จะเกิด over riding V_{ref}

การทดสอบ

ขา test ใน IC ใช้งาน 2 หน้าที คือ

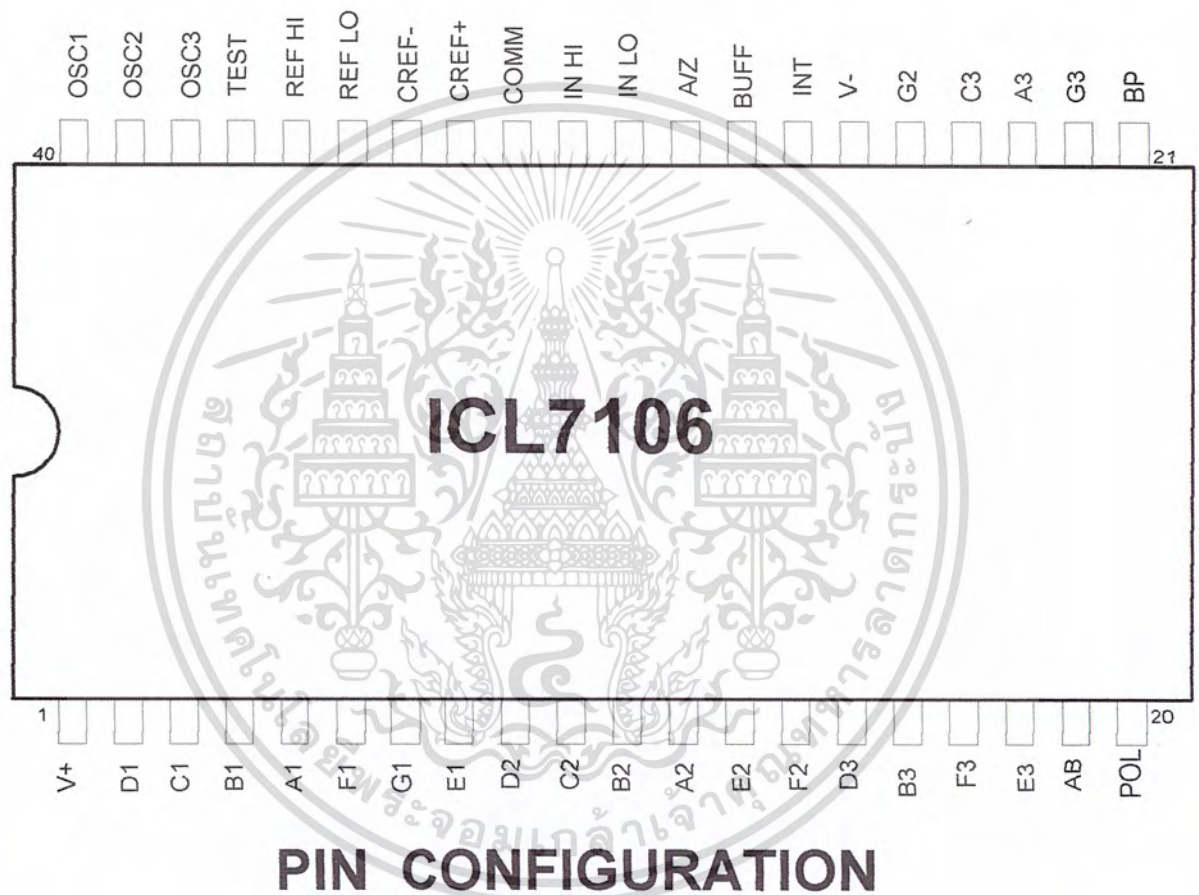
1. ใน IC 7106 ขา test นี้จะต่อกับไฟเลี้ยงภายในผ่าน R 500 โอห์ม เพื่อป้อนให้ตัวเลขใน LCD คิดนั่นคือขา Test นี้สามารถใช้ไฟเลี้ยงไฟลบจากภายนอกตัว IC ผ่านตัวขับให้ segment ของตัวเลขใน LCD คิดเช่นจุดทศนิยม หรือ จุด segment อื่นๆ แทนการที่ผู้ใช้จะต้องไปรวมบนการใช้ LCD แสดงผล
2. หน้าทีอันที่ 2 คือการทดสอบ segment ทุก segment ให้สว่างเมื่อขา test ถูกดึงให้มีแรงดัน high (ถึงไปเลี้ยง) ทุก segment จะทำงานและแสดงการอ่านค่าตัวเลข - 1888 ข้อควรระวัง จะได้รับใน IC 7106 ที่ใช้ mode lamp test ทุก segment จะได้รับ V_{dc} คงที่ (ไม่เป็น square wave และถ้าป้อนไฟฟ้าให้ mode นี้ นานหลายนาที จะทำให้จอที่แสดง LCD ใหม่ได้

DIGITAL SECTION

ใน IC 7106 จะใช้ 6 V โดยอาศัย zener diode และ p- channel source follower (FET) supply นี้แรงต่อการดูคลื่น สัมพันธ์กับกระแสที่ผ่าน capacitive ที่มาก เมื่อ black plane มีแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการ switch ความถี่ของ BP ได้จากการเอาความถี่ออกมาหารจน ได้ความถี่ clock (200Hz) สำหรับการอ่านค่า 3 ครั้ง/ครั้งที่ 2 คือค่าของสัญญาณ square wave 60 Hz, Amplitude 5 volts segmentn ทุกตัวจะถูกขับด้วยความถี่ และ volt เดียวกัน ให้เกิด inphase กับ BP เมื่อเกิด out of phase กับ BP เมื่อ ON ระบบ **Timing**



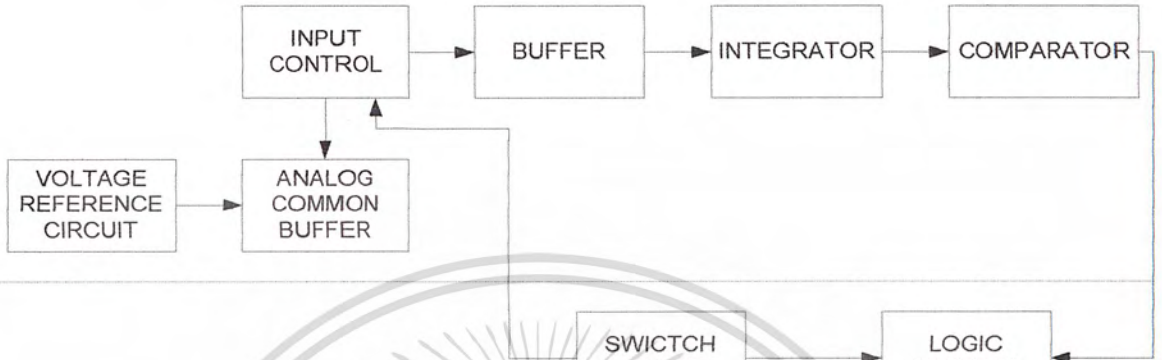
รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นการจัดตำแหน่งขาของ 7106

มีพื้นฐานการจัดสร้าง clock 3 ส่วน คือ

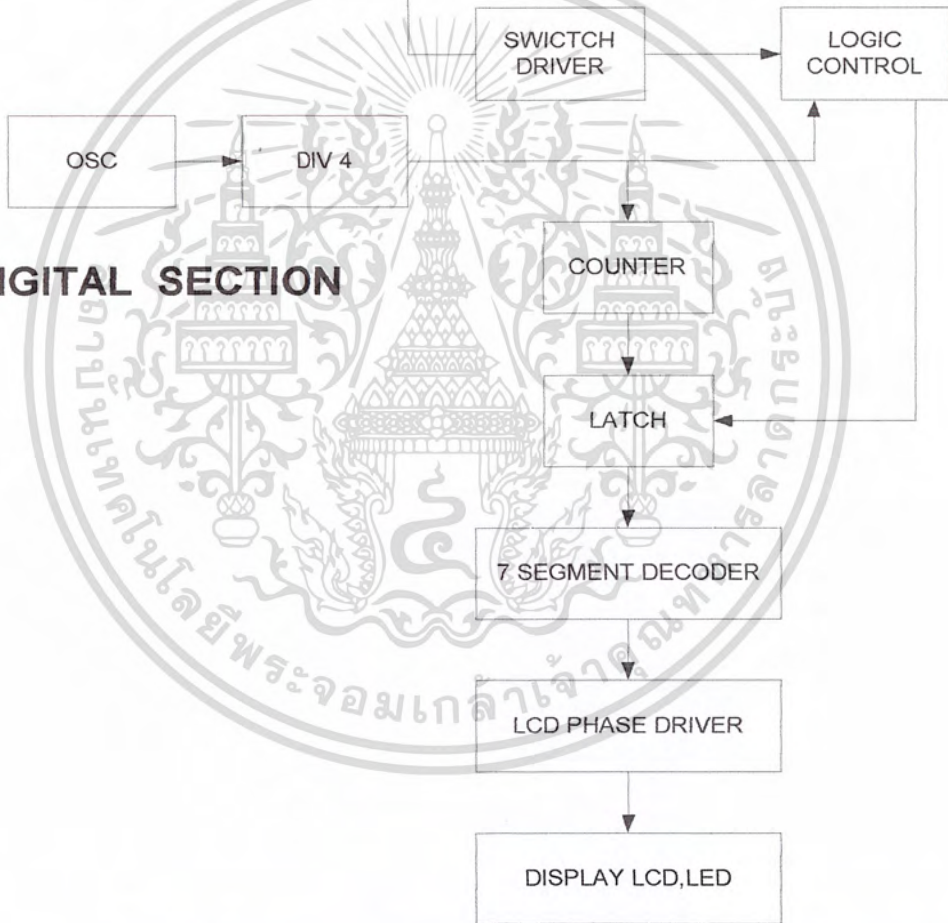
1. โดยการต่อวงจรออสซิลเลเตอร์ภายนอก IC ต่อเข้าขา 40
2. โดยต่อ crystal ระหว่าง ขา 39 และ 40
3. โดยการใช้ R-C oscillator ต่อกับขา ทั้ง 3 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALOG SECTION



DIGITAL SECTION



BLOCK DIAGRAM OF ICL7106

รูปที่ 3.3 แสดง analog section และ digital section ของ IC 7106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของ oscillator จะถูกหารความถี่ ด้วย หาร 4 ก่อนที่สัญญาณ clock จะป้อนเข้า decadecounter ต่อไปก็นำไปหารในรูป three convert cycles phase สัญญาณเหล่านี้ ได้แก่ single integrate (1000 count) , reference de- integrat (1000 ถึง 3000 count) สำหรับสัญญาณที่น้อยกว่า Full scale การ auto-zero จะไม่ในส่วนของ reference de-integrate ในส่วนนี้ทำการวัด cycle ได้ สมบูรณ์ ประมาณ 4000 (16000 clock pluses) ขึ้นอยู่กับ แรงดัน input สำหรับการอ่านค่า 3 อย่าง / ค่าที่ 2 จะใช้ความถี่ของ OSC ประมาณ 48 kHz ที่ได้ผลลัพธ์ออกมา คือ จะเลือก reject ค่าของ ความถี่ 60 Hz cycle ของสัญญาณ integrate ควรจะซ้อนอยู่กับ ความถี่ 60 Hz ความถี่ของ oscillator ที่ควรที่จะเลือกใช้คือ 240 kHz, 80 KHz, 80KHz, 60 KHz ,48KHz , 40 KHz ,33 1N2 KHz ,100 KHz, 66 2/3 KHz, 50 KHz, 40 KHz เป็นต้น สังเกตได้ว่า ที่ความถี่ของ oscillator 40 KHz จะ reject ทั้ง 50 และ 60 Hz

การเลือกค่า component

1. Integrating Resistor

ทั้ง buffer amplifier และ วงจร integrator เป็นวงจร class A ที่จะให้ output ที่มีกระแส 100 uA กระแสที่ใช้ในการขับไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของวงจร 20 uA โดยมี Linearity ด้วยความต้านทาน ของ integrator ควรมีค่ามากพอเพื่อให้ความ Linear มากเกินช่วง input voltage แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า มาก การรบกวนของกระแสที่ไม่ต้องการจะไม่เกิดขึ้นบน pc bord เมื่อมีแรงดัน ไฟฟ้า เต็มที่ 2 V ค่าที่เหมาะสม คือ 470 กิโลโอห์ม สำหรับ แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับเต็มที่ 200 mV

2. Integrating Capacitor

Integrating Capacitor ควรต้องทำการเลือกใช้ช่วง voltage ที่ swing ได้สูงสุดซึ่งจะต้องมั่นใจ ในค่า tolerance ที่จะสร้างขึ้นจะไม่อึดตัวในการ swing ของ integrator (ประมาณ .3 volt) จาก supply ใด ๆ ก็ตาม ใน IC 7106 เมื่อใช้ analog common เป็น reference ปกติ ถ้า integrator swing เล็กน้อย จะให้แรงดัน เต็มสเกล 2 volt ตามปกติ จะเกิดการ swing +/- 3.5 ถึง +/- 4 volt ในการ อ่าน 3 แบบ ๆ ที่ 2 (48 KHz) ค่าปกติของ Cint คือ .22 และ .10 uF ตามลำดับ ถ้าความถี่ของ oscillator ที่ใช้แตกต่างกัน ค่าตัวต่าง ๆ เหล่านี้ควรจะต้องทำการเปลี่ยนตามด้วยใน ปฏิภาณผกผัน กัน เพื่อให้ output ที่ swing คงที่

นอกจากนี้ยังต้องการ integrating capacitor ที่มีค่า dielectric absorption ค่าเพื่อป้องกันความ ผิดพลาดของ sploe ในขณะที่ capacitor ชนิดอื่น ๆ ก็พอที่จะนำมาใช้งานได้ capacitor ชนิด polypropylene ไม่สามารถทำหน้าที่ในการตรวจรับความผิดพลาดได้

3. Auto – Zero capacitor

ขนาดของ capacitor ที่ใช้ทำ auto – zero มีบางชนิดมีอิทธิพลต่อระบบการรบกวน ถ้าได้รับแรงดันเต็มที 200 mV จะเกิด noise มาก แนะนำให้ใช้ capacitor 0.47 uF ถ้ารับแรงดันเต็มที 2 volt แล้วใช้ capacitor 0.47 uF จะเกิดการเพิ่มขึ้น ของอัตราเร็วของ recovery จากการ overlode และจะมีการรบกวนในสเกลพอดี

4. Reference Capacitor

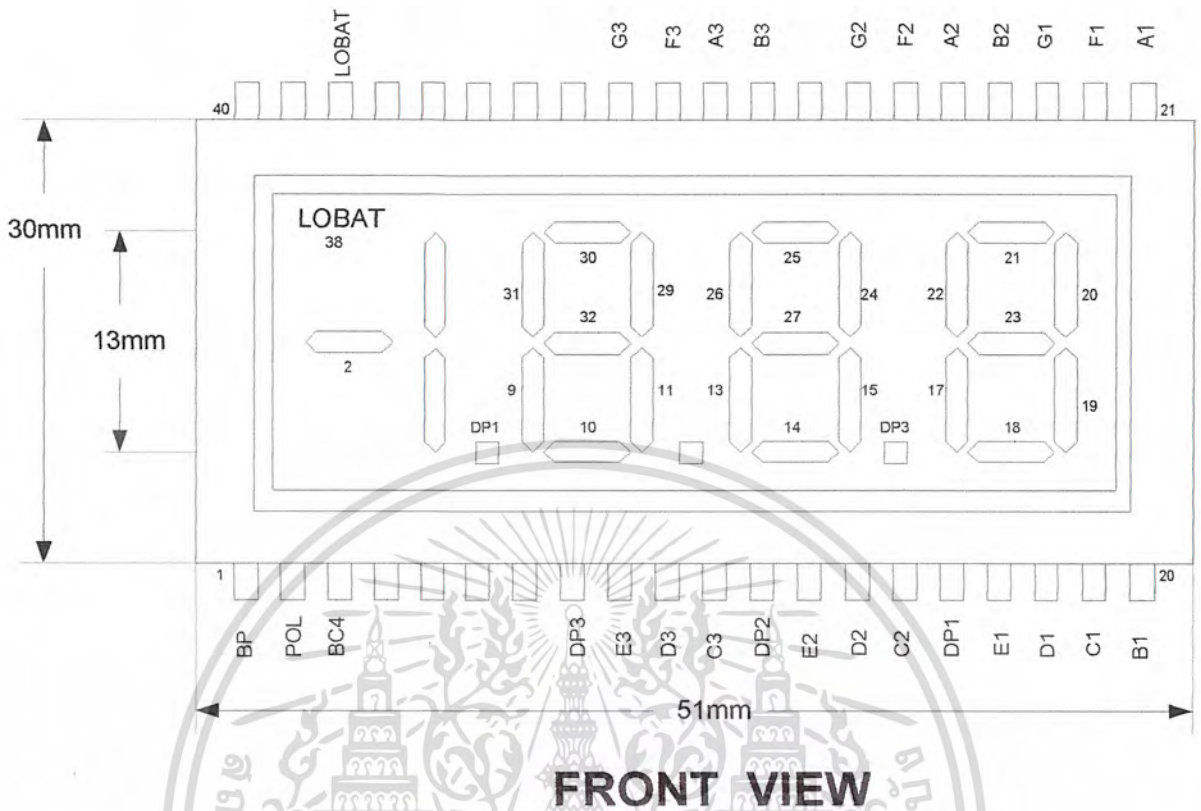
Capacitor ค่า 0.1 uF เป็นค่าที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้งานในการ ทำ reference capacitor อย่างไรก็ตาม ถ้าแรงดันของ common mode มีค่ามาก ยกตัวอย่าง เช่น ไม่เกิด V ref ค่า ที่ analog common และถ้ามีการรับแรงดัน 200 mV จะต้องใช้ capacitor 1 uF เพื่อเป็นการป้องกันการคลาดเคลื่อนของ slope

5. Oscillator components

การกำหนดช่วงความถี่ใช้งาน ได้จาก การกำหนดค่า R เท่ากับ 100 K และใช้การหาค่า capacitor จากสมการ $F = 45/RC$ เช่น ถ้าสำหรับสัญญาณ clock 48 KHz จะใช้ค่า $C = 100p$

6. Reference voltage

สัญญาณที่จะเข้าทาง analog input จะต้องให้ สัญญาณ output เต็มที (2000 count) คือ $V_{in} = 2V_{ref}$ และ 2,000 volt V_{ref} ควรจะเท่ากับ 100.00 mV และ 1.000 volt ตามลำดับอย่างไรก็ตาม ในการใช้งานหลายอย่าง เช่นการต่อ transducer เข้ากับ A/D converter จะมี scale factor มากกว่า 1 ระหว่าง input voltage กับการอ่านค่าตัวเลข ทันทีที่ระบบมีการทำงาน ผู้ออกแบบ chip จะให้มีการอ่านค่าตัวเลขได้เต็มสเกล เมื่อ transducer ให้แรงดัน 0.682 V แทนที่จะหาร input ลงให้เหลือ 200.0 mv ผู้ออกแบบ input voltage โดยตรง และเลือก $V_{ref} = .341$ volt ส่วนค่าของ integrating resistor และ capacitor ที่เหมาะสมควรมีค่า ดังนี้ 120 K และแรงดันที่ได้ในช่วง +/- 4 V ข้อดีที่เกิดขึ้นของระบบนี้ คือ เมื่ออ่านค่าตัวเลข zero V_{in} ต้องไม่เท่ากับ 0 การอ่าน offset โดยทั่วไปจะอาศัยการต่อ voltage ของ transducer ระหว่างขา analog high กับขา common และการเปลี่ยนแปลงค่า หรือ fix ค่า แรงดัน offset ระหว่างขา common และ ขา analog low



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นการจัดตำแหน่งขาของจอ LCD

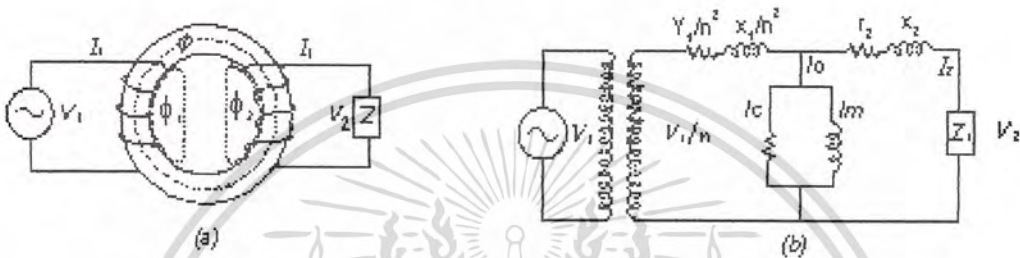
3.3 หม้อแปลงสำหรับเครื่องวัด

ในเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงเราใช้เซ็นเซอร์หรือตัวต้านทานอนุกรมต่อเข้ากับเครื่องวัดเพื่อขยายช่วงของการวัดของมันเป็นออกไป แต่ในเครื่องวัดกระแสสลับเราใช้หม้อแปลงสำหรับเครื่องวัด (Instrument Transformer) ทำหน้าที่นั้นแทน โดยหลักการแล้วหม้อแปลงสำหรับเครื่องวัดก็เช่นเดียวกันกับหม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) เพียงแต่ว่าข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึงไม่ใช่เรื่องกำลังไฟฟ้าที่สูงเสียไปแต่เป็นเรื่องความปลอดภัย ข้อดีของหม้อแปลงสำหรับเครื่องวัดก็คือมันทำหน้าที่แยก (Isolate) เครื่องวัดออกจากวงจรที่ต้องการวัด หม้อแปลงสำหรับกระแสของเครื่องวัดเรียกว่าหม้อแปลงกระแส [Current Transformer (CT)] และหม้อแปลงสำหรับแรงดันของเครื่องวัดเรียกว่าหม้อแปลงศักดาหรือหม้อแปลงแรงดัน [Potential Transformer (PT)] การใช้งานมักใช้ที่ความถี่ไฟฟ้ากำลังแต่ที่ใช้ความถี่เสียงก็มีบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการ

สมมติว่าขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) ของหม้อแปลงมีจำนวน N_1 รอบ และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) มีจำนวน N_2 รอบ จะมีอัตราส่วนจำนวนรอบ (turn ratio) $n=N_1/N_2$ ขดลวดปฐมภูมิต่ออยู่กับต้นกำเนิดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ และมีโหลด Z ต่ออยู่กับขดลวดทุติยภูมิดังในรูป 4.4 สมมติให้แรงดันทางด้านปฐมภูมิเป็น V_1 ทางด้าน V_2 กระแสทางด้านปฐมภูมิเป็น I_1 และทางด้านทุติยภูมิเป็น I_2



รูปที่ 3.5 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงที่สมบูรณ์แบบตามจินตนาการ (Ideal) จะต้องเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$V_1 = -nV_2 \quad \dots (4.1)$$

และ

$$I_1 = \frac{-I_2}{n} \quad \dots (4.2)$$

คือความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางด้านปฐมภูมิ กับแรงดันทางด้านทุติยภูมิ และระหว่างกระแสทางด้านปฐมภูมิ กับกระแสทางด้านทุติยภูมิจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนจำนวนรอบ n เท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ส่วนหนึ่งของกระแส I_1 จะถูกใช้ไปในการทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ ขึ้นในแกนเหล็ก สมมติว่ากระแสส่วนนั้นมีค่าเป็น I_0 ดังนั้น

$$nI_1 = -I_2 + I_0 \quad \dots (4.3)$$

นอกจากนั้นกระแส I_1 ยังก่อให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ ขึ้น ซึ่งตัดแต่เฉพาะขดลวดปฐมภูมิเท่านั้น ทำให้เกิดผลเหมือนกับว่ามีรีแอกแตนซ์ x_1 ต่อเป็นอนุกรมอยู่กับขดลวดปฐมภูมิอีกประการหนึ่งขดลวดปฐมภูมิก็มีความต้านทาน r_1 อยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อรวมทั้ง x_1 และ r_1 แล้ว เราอาจคิดได้ว่าขดลวดปฐมภูมินั้นประกอบด้วยขดลวดที่สมบูรณ์แบบตามจินตนาการต่ออนุกรมอยู่กับอิมพีแดนซ์ $(r_1 + jx_1)$ อิมพีแดนซ์จำนวนนี้เรียกว่า leakage impedance ทางปฐมภูมิ ในทำนองเดียวกันสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดทุติยภูมิก็อาจคิดได้ว่าประกอบด้วยขดลวดที่สมบูรณ์ต่ออนุกรมกับ leakage impedance ทางทุติยภูมิ ($r_2 + jx_2$) ดังนั้นเขียนแทนได้ด้วยวงจรในรูป 4.4 (b) ด้วยเหตุนี้สมการ (4.1) และ (4.2) จึงไม่อาจถือเป็นจริงได้ เราเรียกว่า I_0 ว่ากระแสกระตุ้น(exciting current) และ Y_0 ว่า แอดมิตแตนซ์ กระตุ้น(exciting admittance)

$$\text{อัตราส่วน} \quad \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = Kn \quad \dots(4.4)$$

$$\text{และ} \quad \text{อัตราส่วน} \quad \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = Kn \quad \dots(4.5)$$

ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนการแปลง หรือเรียกสั้นๆ ว่า ความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วน ε สามารถเขียนได้เป็น

$$\varepsilon = \frac{(Kn - K)}{K} = \frac{(KnV_2 - V_1)}{V_1}$$

หรือ

$$\varepsilon = \frac{(KnV_2 - V_1)}{V_1} * 100\% \quad \dots(4.6)$$

ในทำนองเดียวกันความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส เขียนได้เป็น

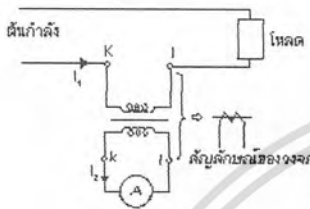
$$\varepsilon = \frac{(KnI_2 - I_1)}{I_1} * 100\% \quad \dots(4.7)$$

ในการวัดค่าทางไฟฟ้ากำลังที่ต้องใช้หม้อแปลงสำหรับเครื่องวัด ความสัมพันธ์ระหว่างเฟส V_1 กับ V_2 หรือ I_1 กับ I_2 มักก่อให้เกิดปัญหา เมื่อค่า $-V_2$ หรือ $-I_2$ ซึ่งได้จากการเปลี่ยนเฟสไป 180° ทางด้านทุติยภูมิเกิดด้านหน้า V_1 หรือ I_1 ขึ้นมาตามลำดับ เรากล่าวว่าการเลื่อนของเฟส (Phase Displacement) ของหม้อแปลงเป็นไปในทางบวกและมีขนาดวัดเป็นลิปดา(minutes)

โหลดของหม้อแปลงสำหรับเครื่องวัดเราเรียกว่า ภาระ(burden) ขนาดของมันมีหน่วยเป็นค่าของกำลังที่ปรากฏ(apparent power) คือเป็น โวลท์-แอมแปร์(VA) ที่พิกัดของแรงดันหรือกระแสทางด้านทุติยภูมิ

3.3.1 หม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแสถูกนำไปใช้โดยการต่อขดลวดปฐมภูมิให้เป็นอนุกรมกับโหลด และต่อขดลวดทุติยภูมิเข้ากับวงจรกระแสของแอมมิเตอร์ หรือวัตต์มิเตอร์ ดังแสดงในรูป 3.6



รูปที่ 3.6 หม้อแปลงกระแส



(a) แบบหุ้มด้วยอเนก



(b) แบบแช่น้ำมัน

รูปที่ 3.7 แบบอย่างของหม้อแปลงกระแส

ในหม้อแปลงกระแสส่วนใหญ่ของความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเพราะส่วนหนึ่งของกระแสปฐมภูมิต้องถูกใช้ไปเป็นกระแสกระตุ้น เพื่อทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นในแกนเหล็ก เพื่อที่จะทำให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำ แกนเหล็กที่ใช้ต้องเป็นเหล็กที่ความนำแม่เหล็ก(permeability) สูง และจำนวนรอบที่พันก็จะต้องมากขึ้น นอกจากนั้น ส่วนมากจะต้องลดจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิลงประมาณ 1% จากค่าที่คำนวณได้จากอัตราส่วนการแปลงแต่เพียงนาม การทำเช่นนี้เรียกว่าการถอยรอบ(back turn)

การพันหม้อแปลงกระแสมีแบบต่างๆ ดังนี้ แบบขดลวดพัน(wound type) คือ ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็นขดลวดพันอยู่บนแกนเหล็ก แบบแห้งตัวนำ(dry type) คือ แทนที่จะใช้ขดลวดปฐมภูมิก็ใช้แท่งตัวนำแท่งเดียวสอดทะลุช่องหน้าต่างแกนเหล็กแทน แบบร้อยทะลุ(through type) หรือแบบช่องหน้าต่าง(window type) เป็นแบบที่ไม่มีขดลวดปฐมภูมิ แต่ผู้ใช้สามารถพันขึ้นเองได้ตามความเหมาะสมในขณะที่ใช้งานแบบขดลวดพัน ใช้งานที่กระแสทางด้านปฐมภูมิต่ำกว่า 1,000A ในกรณีที่กระแสทางด้านปฐมภูมิสูงกว่านี้ก็มักใช้แบบอื่นๆ

การหุ้มฉนวนแบบต่างๆ ดังนี้ แบบแห้ง(dry type) คือแบบที่ขดลวดถูกหุ้มด้วยน้ำมันวานิช(varnish) แบบหล่อหุ้ม(molded type) คือ แบบที่ขดลวดถูกหล่อหุ้มด้วยเรซินสังเคราะห์(synthetic resin) หรือยางสังเคราะห์ และแบบแช่น้ำมันคือแบบที่มีขดลวดแช่อยู่ในน้ำมันฉนวน การที่จะเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งขึ้นอยู่กับสถานที่ใช้ หรือแรงดันของวงจรที่หม้อแปลงนั้นต่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในการสร้างเครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER มีขั้นตอนการทดสอบวงจรและการปรับเทียบเป็นดังนี้

4.1 การทดสอบวงจรโดยไม่ต่อตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ POWER FACTOR

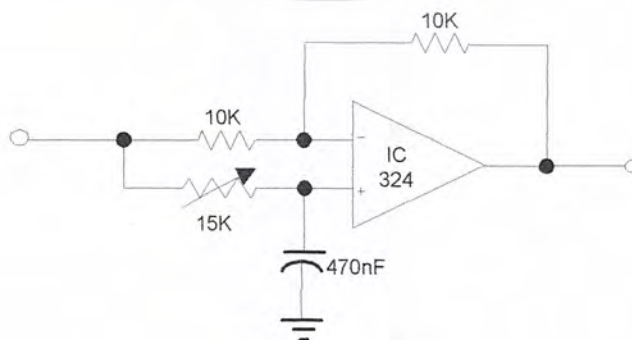
อุปกรณ์การทดลอง

- เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ
- ออสซิลโลสโคป
- มัลติมิเตอร์
- วงจรเลื่อนเฟส

ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มจากทดลองโดยไม่ต่อตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ค่า POWER FACTOR หลักการเบื้องต้นแล้วเราจะนำเอาเฟสของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้โหลดมาเปรียบเทียบกับกัน ซึ่งในขั้นตอนแรกเราจะใช้วงจรเลื่อนเฟสป้อนให้กับวงจรแทนที่จะเหนี่ยวนำมาโดยใช้หม้อแปลงจริงๆ ว่าวงจรทำงานตามทฤษฎีหรือไม่

ในการทดลองถ้านำอินพุตที่มีเฟสเดียวกัน มาป้อนให้วงจรจะได้ค่า POWER FACTOR แสดงออกที่จอ LCD เป็น 1.00 ซึ่งก็คือ แสดงว่าไม่มีการสูญเสียในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด ถ้าผลที่ออกมาไม่เท่ากับ 1.00 ในกรณีที่ป้อนสัญญาณที่มีเฟสตรงกันให้ปรับแต่งที่ VR 1 และ VR 2 ในทำนองเดียวกันถ้าป้อนสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน ค่า POWER FACTOR ที่แสดงบนจอ LCD จะมีค่าน้อยกว่า 1.00 ซึ่งวงจรเลื่อนเฟสได้ออกแบบโดยใช้ Op- Amp ตามวงจรข้างล่างนี้



รูปที่ 4.1 วงจรเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคำนวณหาค่า R_{VAR} , C ที่ความถี่ 50 Hz จาก

$$C = 10 / f_H \text{ (uF)}$$

$$= 10 / 50$$

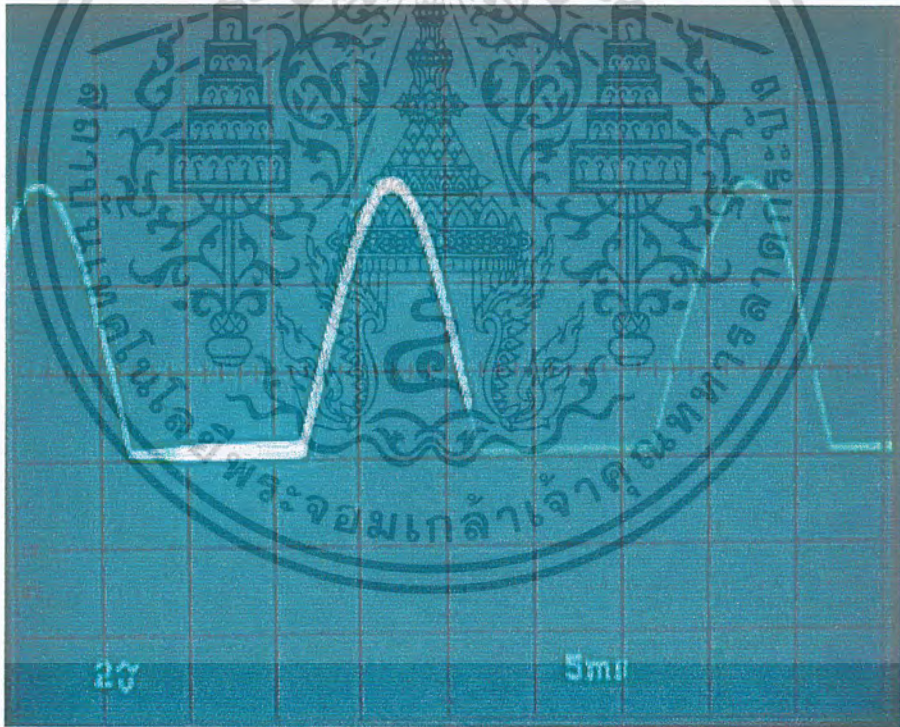
$$= 200 \text{ nF}$$

ใช้ค่าประมาณ 470 nF และ

$$R = 1 / (2 * 3.14 f_c)$$

$$= 15.9 \text{ K}$$

โดยการนำเอาพุทของวงจรมาคู่เข้ากับวงจรเปรียบเทียบเฟส จะสังเกตตัวเลขที่จอ LCD มีค่าน้อยกว่า 1.00 จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับค่าการปรับค่าของ R ปรับค่า 15K ถ้าเฟสเลื่อนออกไปที่ 90° ตัวเลขที่จอ LCD จะเป็น 0.00 เนื่องจาก $\cos 90 = 0$ นั่นเอง



OSCILLOSCOPE : TEKTRONIX รุ่น 2465B

SCALE : 2 V / DIV

: 5 mS / DIV

รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อป้อนสัญญาณที่มีเฟสตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

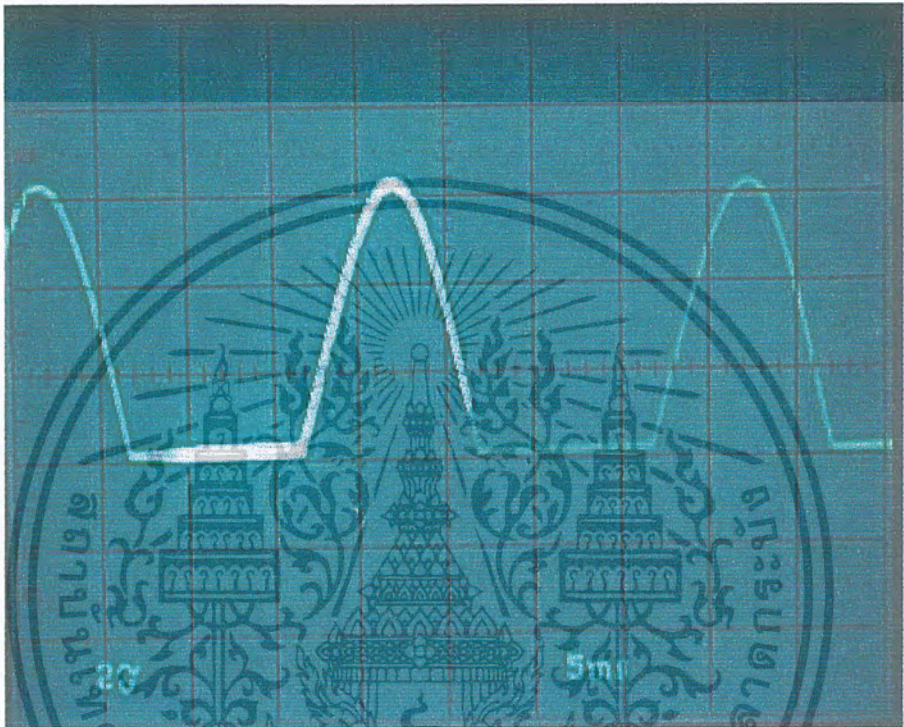
จากนั้นเปลี่ยนเป็นการทดลองโดยใช้หม้อแปลงจริง ๆ โดยเมื่อใช้หม้อแปลงจริง ๆ ค่า POWER FACTOR ที่แสดงบนจอ LCD จะมีค่าไม่เท่ากับ 1.00 ขณะที่ยังไม่มีการต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้ปรับแต่งที่ VR1 และ VR2

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์
หัวแรง 40 W	0.96
กาต้มน้ำไฟฟ้า	0.86
เครื่องคอมพิวเตอร์	0.78
พัดลมตั้งพื้น	0.85
ทีวีสี 25 นิ้ว	0.80
เครื่องเสียงมินิคอมโป	0.82
คอมไฟ	0.86
เครื่องแฟกซ์	0.84
เครื่องเล่นวีดีโอ	0.82
กระทะไฟฟ้า	0.86

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่วัดได้

4.2 การทดสอบวงจรโดยต่อตัวเก็บประจุที่ใช้กับ POWER FACTOR

เริ่มจากต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับ POWER FACTOR CONTROLLER แล้วนำตัวเก็บประจุค่า 150 nF จำนวน 1 ตัว มาต่อขนานกับ ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VOLTS จากการทดลองขณะเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าจะทำให้แรงดันที่ขา 31 (IN HI) ของ IC 7106 ซึ่งเป็นอินพุทของวงจร ANALOG TO DIGITAL CONVERTER มีค่าลดลง ทำให้ค่า POWER FACTOR ที่แสดงบนจอ LCD มีค่าลดลง เมื่อต่อตัวเก็บประจุค่า 150 nF ขนานกับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VOLTS จะทำให้ให้แรงดันที่ขา 31 (IN HI) ของ IC 7106 ซึ่งเป็นอินพุทของวงจร ANALOG TO DIGITAL CONVERTER มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า POWER FACTOR ที่แสดงบนจอ LCD มีค่าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2



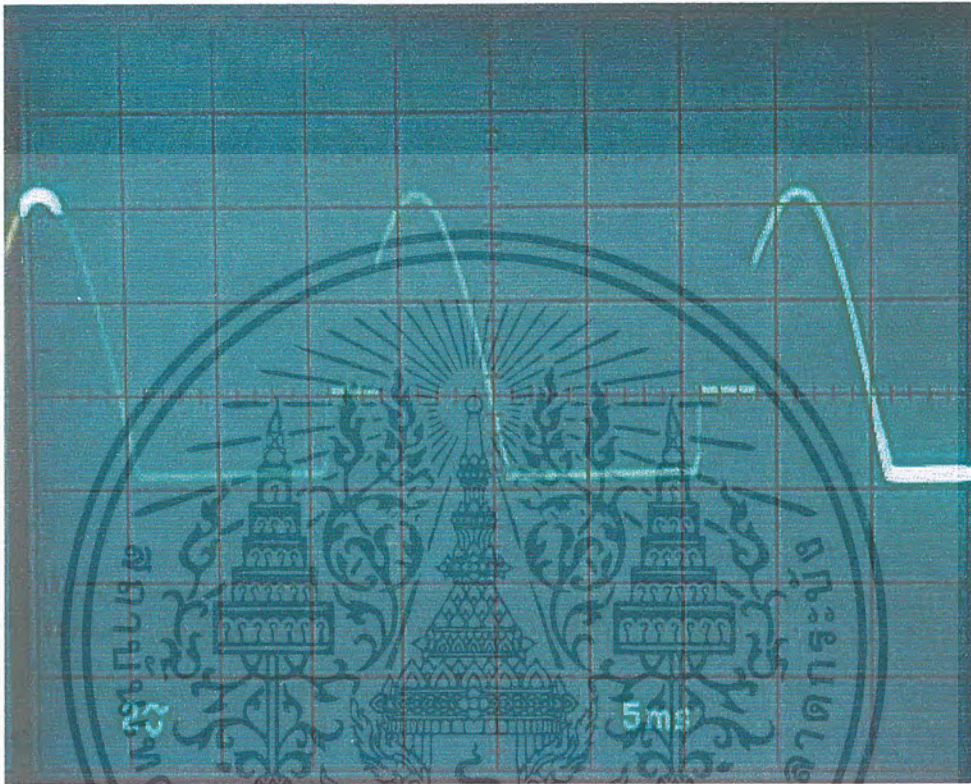
OSCILLOSCOPE : TEKTRONIX รุ่น 2465B

SCALE : 2 V / DIV

TIME : 5 mS / DIV

รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อยังไม่เปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



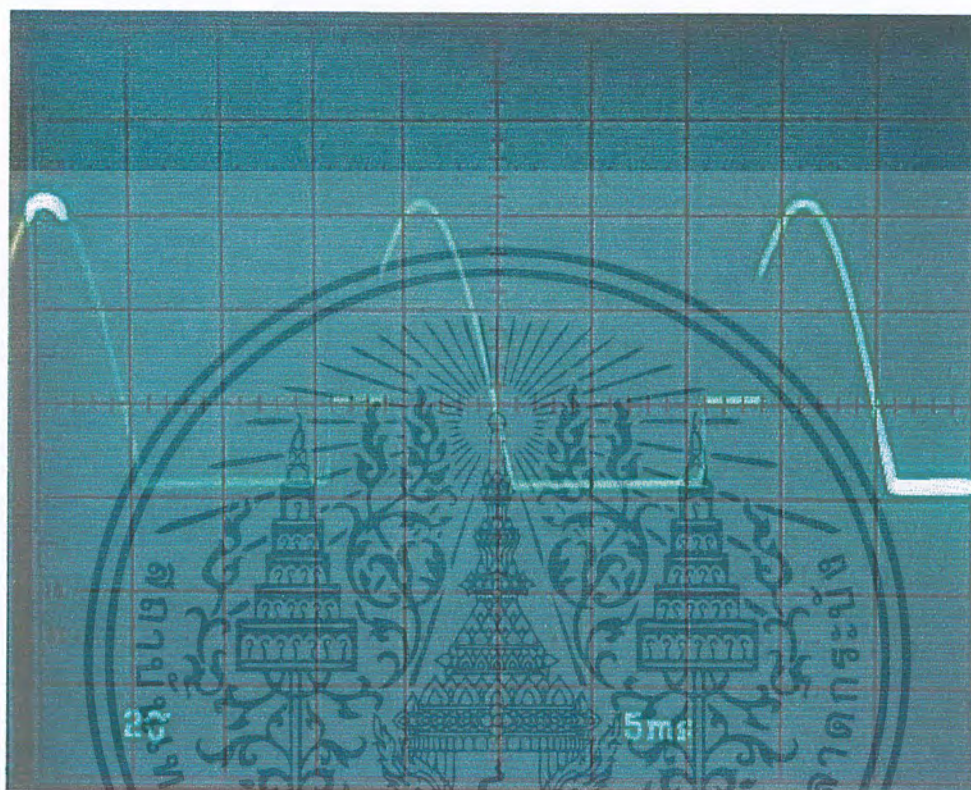
OSCILLOSCOPE : TEKTRONIX รุ่น 2465B

SCALE : 2 V / DIV

: 5 mS / DIV

รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อเปิดใช้งานพัลสมตั้งพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OSCILLOSCOPE : TEKTRONIX รุ่น 2465B

SCALE : 2 V / DIV

: 5 mS / DIV

รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ขา 8 ของ IC 4016 เมื่อเปิดใช้งานพัลคมตั้งพื้น
และต่อตัวเก็บประจุขนาด 150 nF ขนานกับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VOLTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องใช้ไฟฟ้า	ค่า POWER FACTOR ที่จอ LCD	แรงดันที่ขา 31 ของ IC 7106 (VOLT)	แรงดันที่ขา 36 ของ IC 7106 (VOLT)
พัดลมตั้งพื้น			
ขณะยังไม่ต่อ C 150 nF	0.871	0.85	1.02
ขณะต่อ C 150 nF	0.925	0.94	1.00
โคมไฟ			
ขณะยังไม่ต่อ C 150 nF	0.887	0.87	1.05
ขณะต่อ C 150 nF	0.933	0.95	1.02
เครื่องเล่นวีดีโอ			
ขณะยังไม่ต่อ C 150 nF	0.843	0.82	1.00
ขณะต่อ C 150 nF	0.899	0.87	0.98
กาต้มน้ำไฟฟ้า			
ขณะยังไม่ต่อ C 150 nF	0.820	0.79	1.03
ขณะต่อ C 150 nF	0.891	0.88	1.01
ตู้เย็น			
ขณะยังไม่ต่อ C 150 nF	0.652	0.60	0.98
ขณะต่อ C 150 nF	0.653	0.60	0.98

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า POWER FACTOR แรงดันไฟฟ้า ที่ IC 7106 ขณะต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า

4.3 การทดสอบวงจรโดยต่อชุด CONTROLLER และตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ POWER FACTOR

เมื่อติดตั้งชุด POWER FACTOR CONTROLL และตัวเก็บประจุที่พร้อมใช้งานเรียบร้อยแล้ว นำเครื่องใช้ไฟฟ้ามาต่อใช้งานโดยมี พัดลมตั้งพื้น , กาต้มน้ำไฟฟ้า และ โทรทัศน์สี 25 นิ้ว เมื่อเปิดใช้งานเครื่องไฟฟ้าจะทำให้ค่า POWER FACTOR ลดลงทำให้ชุด CONTROLLER ต่อ RELAY1 เพิ่มตัวเก็บประจุเพื่อแก้ค่า POWER FACTOR ให้อยู่ในระดับที่ต้องการคือ 0.85 – 0.99 และเมื่อเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกเครื่องก็จะทำให้ค่า ค่า POWER FACTOR ลดลงต่ำกว่าค่าที่ต้องการทำให้ชุด CONTROLLER ต่อ RELAY2 เพิ่มตัวเก็บประจุเพื่อแก้ค่า POWER FACTOR โดยที่ RELAY1 ยังคงต่ออยู่ เมื่อปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า 1 เครื่องก็จะทำให้ค่า POWER FACTOR สูงขึ้นทำให้ชุด CONTROLLER ตัด RELAY2 ตัดตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ค่า POWER FACTOR ให้อยู่ในระดับที่ต้องการคือ 0.85 – 0.99 ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	พัดลม	กาต้มน้ำ	โทรทัศน์	RELAY1	RELAY2	RELAY3	RELAY4
1.	ปิด	ปิด	ปิด	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ
2.	เปิด	ปิด	ปิด	ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ
3.	เปิด	เปิด	ปิด	ต่อ	ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ
4.	ปิด	เปิด	ปิด	ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ
5.	ปิด	เปิด	เปิด	ต่อ	ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ
6.	เปิด	เปิด	เปิด	ต่อ	ต่อ	ต่อ	ต่อ
7.	เปิด	ปิด	เปิด	ต่อ	ต่อ	ไม่ต่อ	ไม่ต่อ

ตารางที่ 4.3 แสดงสถานะการทำงานของ CONTROLLER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเหมาะที่จะใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารบ้านเรือนทั่วไป ผลจากการปรับปรุงค่า POWER FACTOR จะทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพสูงสุดทำให้ประหยัดเงินค่าไฟฟ้าได้บ้างเล็กน้อย แต่ถ้ามีการใช้เครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER ปรับปรุงค่า POWER FACTOR หลาย ๆ บ้าน หรือใช้ทั้งประเทศจะทำให้ประเทศไทยประหยัดเงินค่าไฟฟ้าได้เป็นจำนวนหลายล้านบาท

เครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER ในโครงงานนี้วงจรส่วนใหญ่สร้างขึ้นจาก ทฤษฎีที่ได้ศึกษา และได้ทดลองในห้องทดลองตามหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของ เครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER ยังไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งในด้านความประหยัดไฟของเครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER เอง หรือค่า POWER FACTOR ที่วัดได้ยังไม่ได้มาตรฐานเนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบ หากต้องการนำไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีการพัฒนาเครื่อง POWER FACTOR CONTROLLER เพื่อใช้งานต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

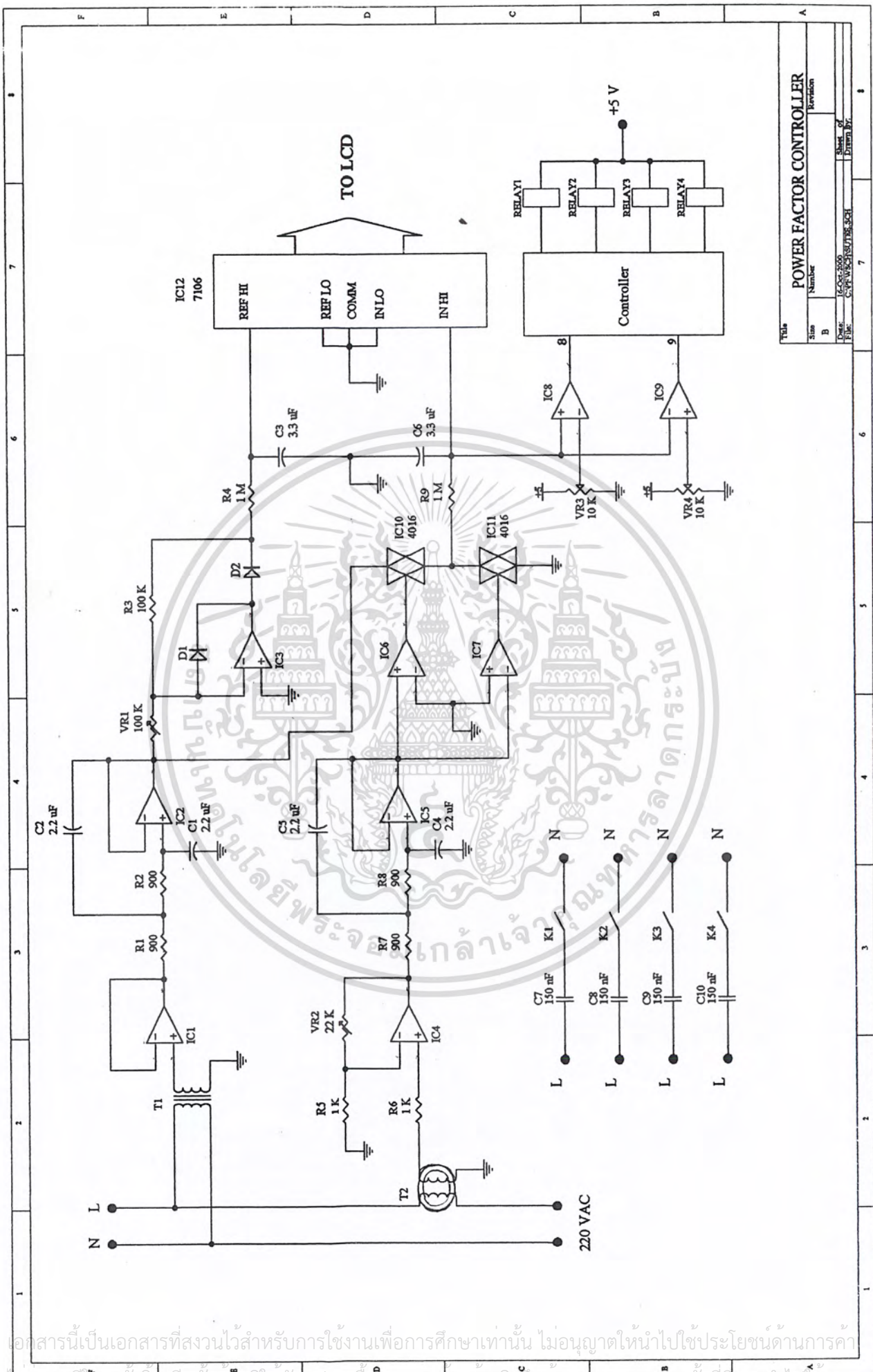
1. ธนัท ชัยยุทธ, “วงจรไฟฟ้า”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, หน้า 288 – 303
2. อารมณ์ เก่งพล, ดร.โอชามุ นิธิโนะ, “เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า”, สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, พ.ศ.2519, หน้า 65 – 68
3. 49 เรื่องหน้ารู้เทคนิคไฟฟ้า รวบรวมบทความเกี่ยวกับไฟฟ้า จากวารสารเทคนิคชุดที่ 3 , บริษัท เอ็ม แอนด์อี จำกัด, พ.ศ.2521, หน้า 270 - 281
4. J. Davadoss and KRS Sarma, “3 -digit DVM IC measures power factor”, EDN, April 28, p 68,1994.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

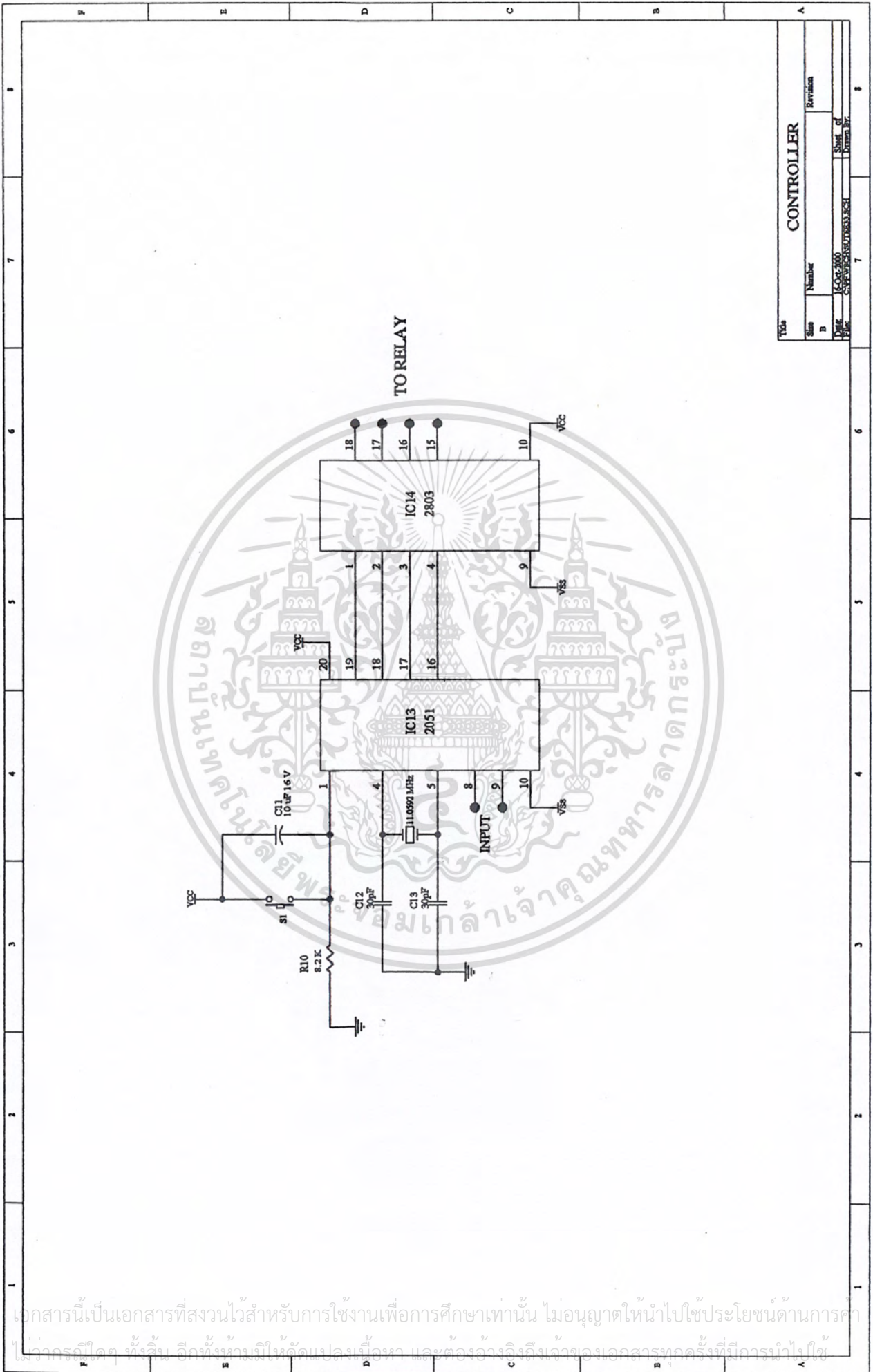


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



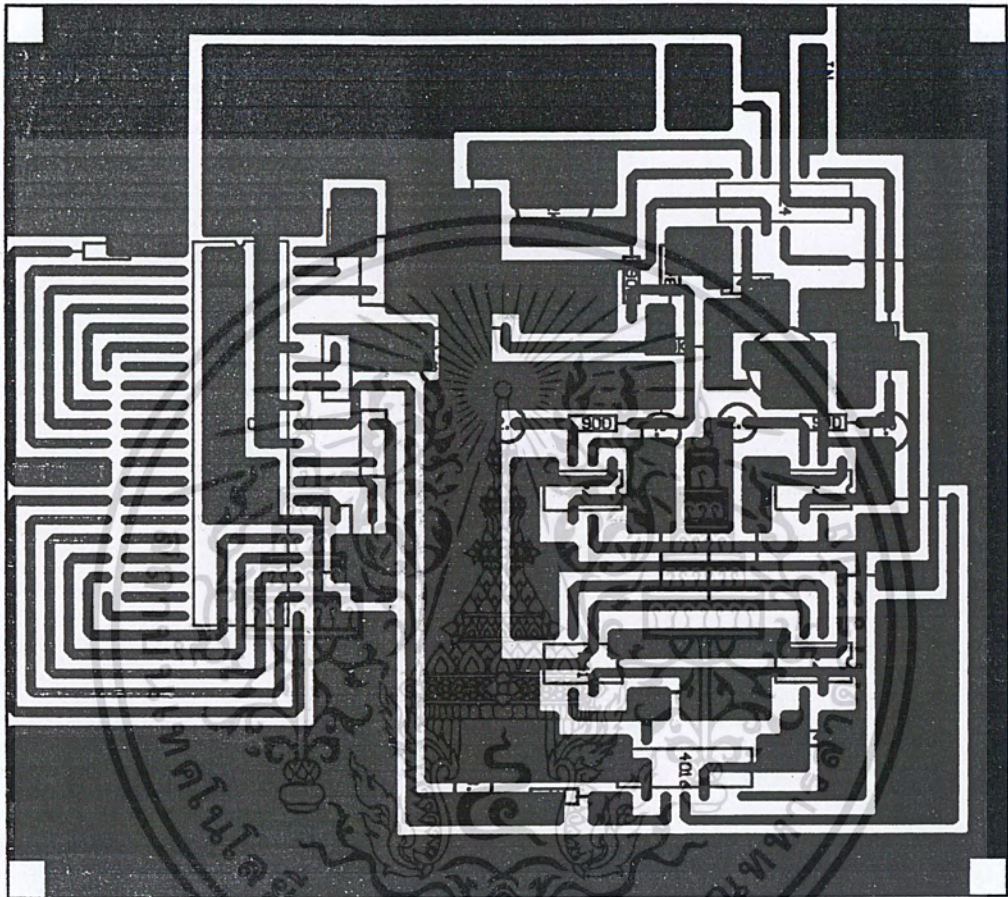
Title		POWER FACTOR CONTROLLER	
Size	Number	Revision	
B			
Drawn	Checked	Approved	
File	Doc	Sheet of	
C:\P\W\SCH\OUT\98\SCH	000	1	Drawn By

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิศวกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่แสดงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		CONTROLLER	
Size	Number	Revision	
B			
Date	14 Oct 2000	Sheet of	1
File	C:\PROG2\2550\T0833.KCH	Drawn By	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
 ในวงกว้างใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

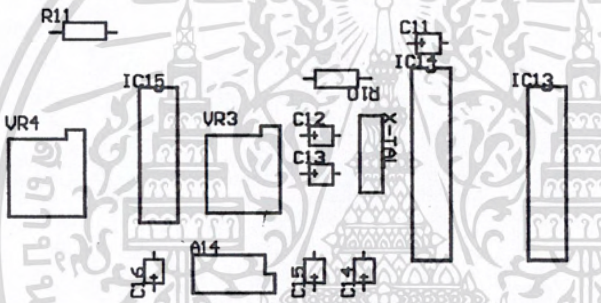


ลายวงจร ชุดเพาเวอร์เฟกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบวางอุปกรณ์ ชุด CONTROLLER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

ความต้านทาน

R 1, R 2 , R 7, R 8	900 Ω $\frac{1}{4}$ W
R 3	100 K Ω $\frac{1}{4}$ W
R 4, R 9	1 M Ω $\frac{1}{4}$ W
R 5, R 6	1 K Ω $\frac{1}{4}$ W
R 10	82 K Ω $\frac{1}{4}$ W
VR 1	100 K Ω
VR 2	22 K Ω
VR 3, VR4	10 K Ω

ไดโอด

D 1, D 2	1 N 4148
----------	----------

ตัวเก็บประจุ

C 1, C 2, C 4, C 5	2.2 μ F 16 V
C 3, C 6	3.3 μ F 16 V
C 7, C 8, C 9, C 10	150 μ F 250 VAC
C 11	10 μ F 16 V
C 12, C 13	30 Pf

ไอซี

IC 1, IC 3, IC 4, IC 8, IC 8, IC 9	LM 324
IC 2, IC 5, IC 6, IC 7	741 TC
IC 10, IC 11	HEF 4016
IC 12	ICL 7106
IC 13	AT 89 C 2051
IC 14	ULN 2803 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ (ต่อ)

รีเลย์

RELAY 1,2,3,4

6 VDC

หม้อแปลง

T 1

6 V.

T 2

แกนเทอร์ลอยด์

CRYSTAL

CRYSTAL

11.0592 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมวงจร CONTROLLER

00B0	1	p3 equ 0b0h
0090	2	p1 equ 090h
0000	3	org 0000h
	4	
0000 75BOFF	5	mov p3 ,#0ffh
0003 759000	6	mov p3 ,#00h
	7	
0006 75B0FF	8	main : mov p3 ,# 0ffh
0009 120062	9	call delay_ls
000C 30B52A	10	jnb p3 . 4 , aal
000F 30B52A	11	jnb p3 . 5 , bbl
0012 1162	12	acall delay_ly
0014 80F0	13	sjmp main
	14	
0016 20B4ED	15	aal : jb p3 . 4 , main
0019 D297	16	setb pl . 7
001B 1162	17	acall delay_ls
001D 1162	18	acall delay_ls
001F 20B4E4	19	jb p3 . 4 , main
0022 D296	20	setb pl.6
0024 1162	21	acall delay_1s
0026 1162	22	acall delay_1s
0028 20B4DB	23	jb p3 . 4 , main
002B D295	24	setb pl . 5
002D 1162	25	acall delay_1s
002F 1162	26	acall delay_1s
0031 20B4D2	27	jb p3 . 4 , main
0034 D294	28	setb pl . 4
0036 1162	29	acall delay_1s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0038	1162	30		acall delay_1s
003A	80CA	31		sjmp main
		32		
003C	20B5C7	33	bb1 :	jb p3 . 5 , main
003F	C294	34		clr p1 . 4
0041	1162	35		acall delay_1s
0043	1162	36		acall delay_1s
0045	20B5BE	37		jb p3 . 5 , main
0048	C295	38		clr p1 . 5
004A	1162	39		acall delay_1s
004C	1162	40		acall delay_1s
004E	20B5B5	41		jb p3 . 5 , main
0051	C296	42		clr p1 . 6
0053	1162	43		acall delay_1s
0053	1162	44		acall delay_1s
0057	20B5AC	45		jb p3 . 5 , main
005A	C297	46		clr p1 . 7
005C	1162	47		acall delay_1s
005E	1162	48		acall delay_1s
0060	80A4	49		sjmp main
		50		
0062	7B07	51	delay_1s :	mov r3 , #07h
0064	7CFF	52	d2 :	mov r4 , #ffh
0066	7D00	53	d1 :	mov r5 , #00h
0068	DDFE	54	d0 :	djnz r5 , d0
006A	DCFA	55		djnz r4 , d1
006A	DBF6	56		djnz r3 , d2
006E	22	57		ret
		58		end

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AA1. C ADDR 0016H
BB1. C ADDR 003CH
DO C ADDR 0068H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

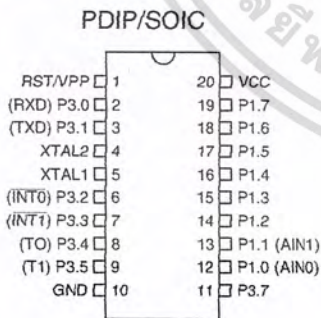
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration



8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

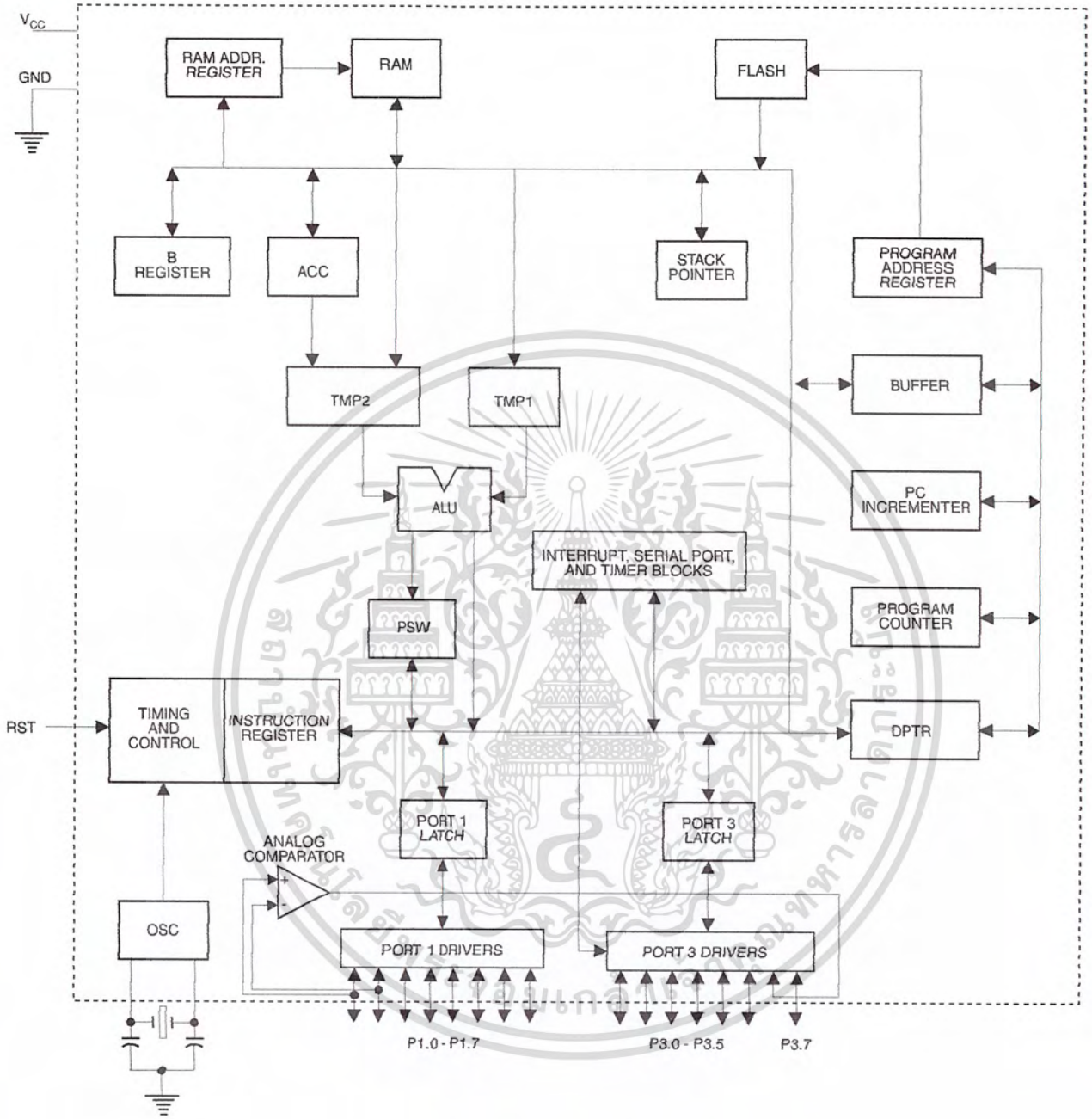
AT89C2051

Rev. 0368E-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bi-directional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

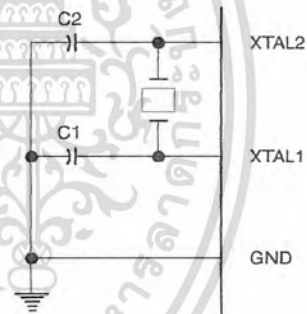
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

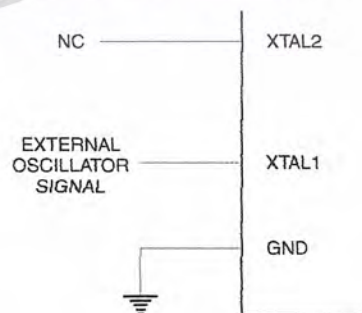
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return

random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000								0D7H
0C8H									0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XXX00000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0XX00000								0AFH
0A0H									0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111								97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000				PCON 0XXX0000	87H

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 and is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power-down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.



Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
2. Set pin RST to "H"
Set pin P3.2 to "H"
3. Apply the appropriate combination of "H" or "L" logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.

To Program and Verify the Array:

4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic "H" level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:
set XTAL1 to "L"
set RST to "L"
Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features $\overline{\text{Data}}$ Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and

the next cycle may begin. $\overline{\text{Data}}$ Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from "L" to "H".
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(001H) = 21H indicates 89C2051

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

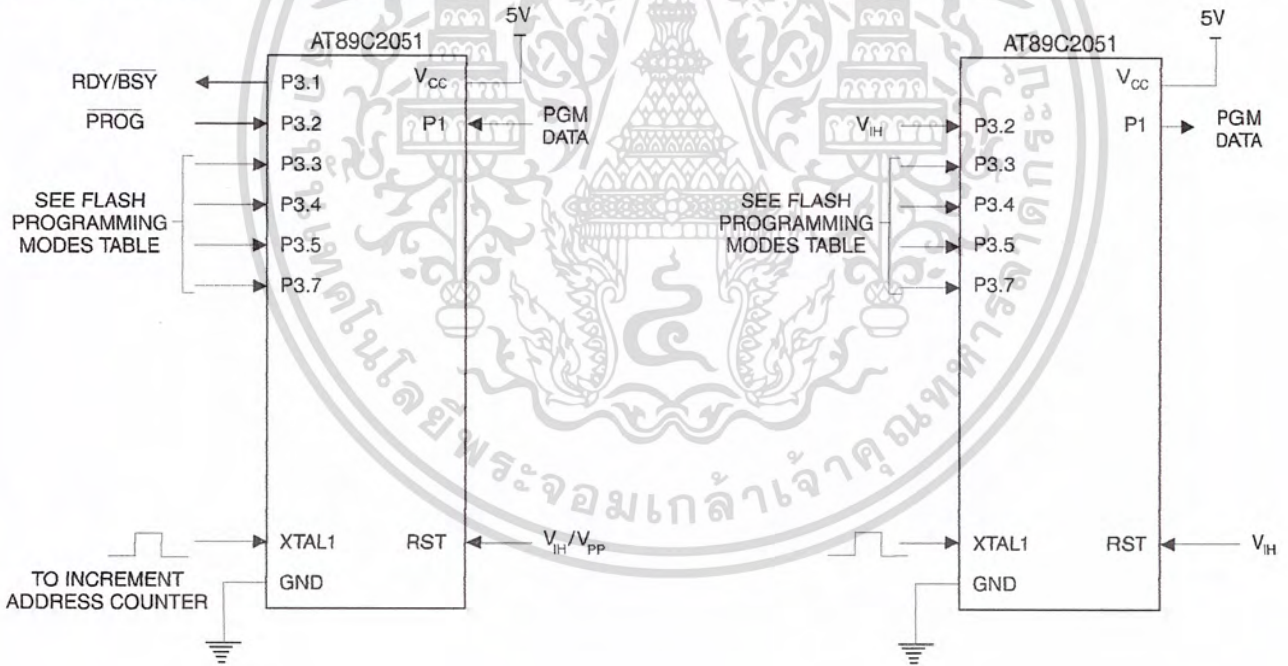
Flash Programming Modes

Mode		RST/VPP	P3.2/ $\overline{\text{PROG}}$	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ⁽¹⁾⁽³⁾		12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾		H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	12V		H	H	H	H
	Bit - 2	12V		H	H	L	L
Chip Erase		12V		H	L	L	L
Read Signature Byte		H	H	L	L	L	L

- Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
 2. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.
 3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

Figure 3. Programming the Flash Memory

Figure 4. Verifying the Flash Memory



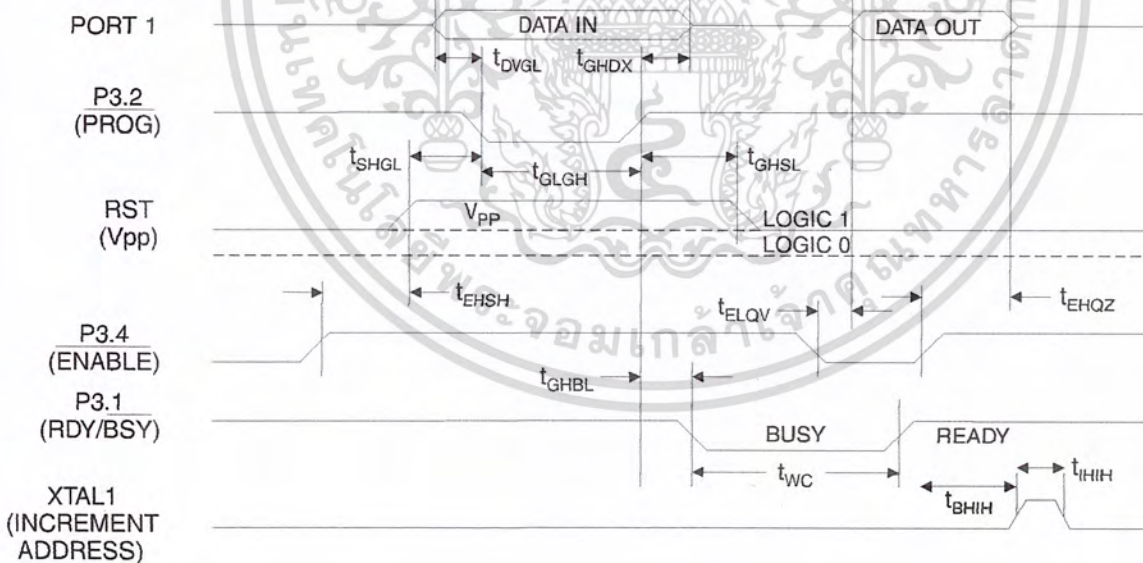
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}	Programming Enable Current		250	μA
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{EHS}	P3.4 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHQZ}	Data Float after $\overline{\text{ENABLE}}$	0	1.0	μs
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{BHIH}	$\overline{\text{RDY/BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{HIL}	Increment Clock High	200		ns

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current.....	25.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond 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 beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 2.0V to 6.0V (unless otherwise noted)

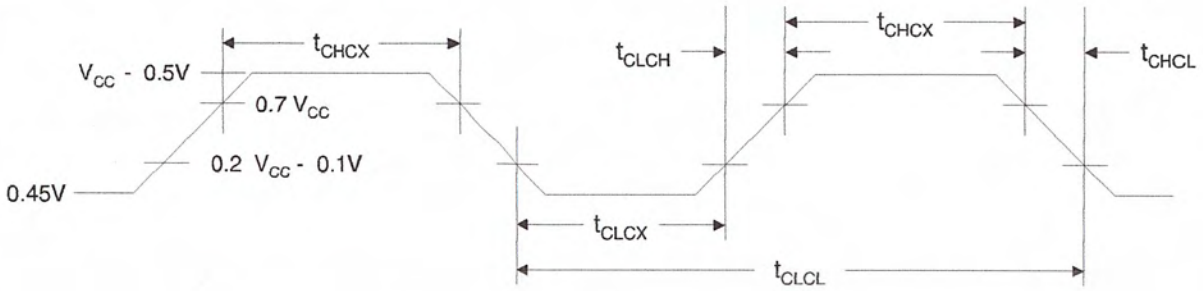
Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V _{IL}	Input Low-voltage		-0.5	0.2 V _{CC} - 0.1	V
V _{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V
V _{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V
V _{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	I _{OL} = 20 mA, V _{CC} = 5V I _{OL} = 10 mA, V _{CC} = 2.7V		0.5	V
V _{OH}	Output High-voltage (Ports 1, 3)	I _{OH} = -80 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -30 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -12 μA	0.9 V _{CC}		V
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	V _{IN} = 0.45V		-50	μA
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	V _{IN} = 2V, V _{CC} = 5V ± 10%		-750	μA
I _{LI}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	0 < V _{IN} < V _{CC}		±10	μA
V _{OS}	Comparator Input Offset Voltage	V _{CC} = 5V		20	mV
V _{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V _{CC}	V
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	KΩ
C _{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T _A = 25°C		10	pF
I _{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, V _{CC} = 6V/3V		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, V _{CC} = 6V/3V P1.0 & P1.1 = 0V or V _{CC}		5/1	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	V _{CC} = 6V P1.0 & P1.1 = 0V or V _{CC}		100	μA
		V _{CC} = 3V P1.0 & P1.1 = 0V or V _{CC}		20	μA

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

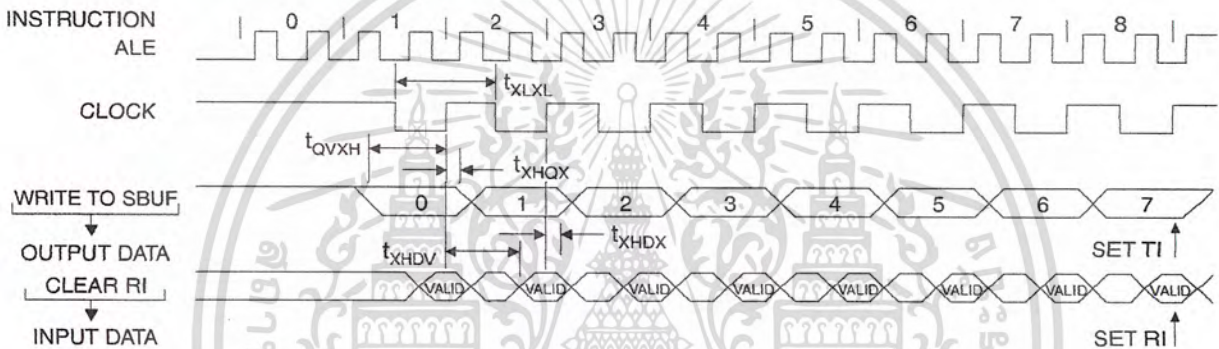
Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 6.0V$		$V_{CC} = 4.0V \text{ to } 6.0V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	30		15		ns
t_{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

$V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾ Float Waveforms⁽¹⁾



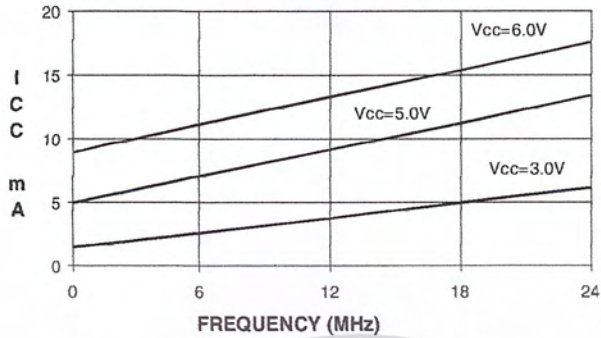
Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

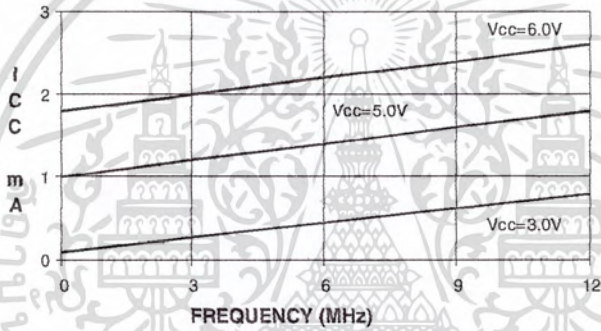




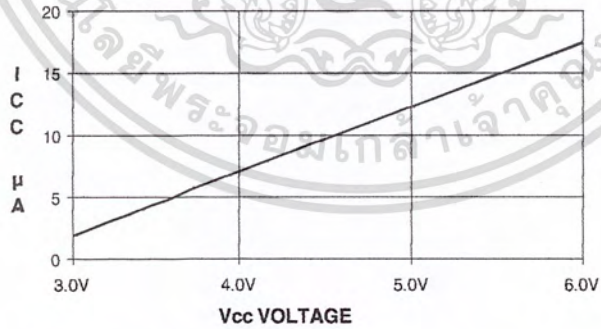
AT89C2051
TYPICAL I_{CC} - ACTIVE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL I_{CC} - IDLE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL I_{CC} vs. VOLTAGE - POWER DOWN (85°C)



- Notes:
1. XTAL1 tied to GND for I_{CC} (power-down)
 2. P1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND
 3. Lock bits programmed

AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12SC	20S	
		AT89C2051-12PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SI	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24SC	20S	
		AT89C2051-24PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SI	20S	



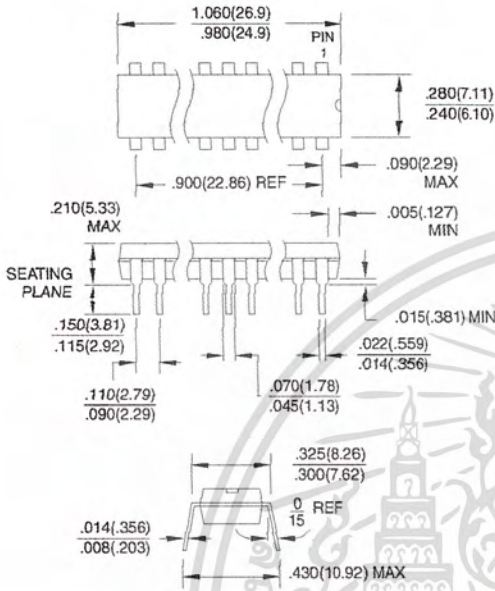
Package Type	
20P3	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)



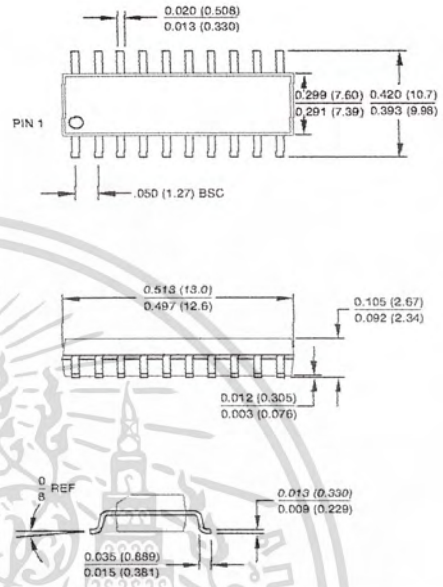
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packaging Information

20P3, 20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-001 AD



20S, 20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)





Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe

Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand

North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
<http://www.atmel.com>

BBS
1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0368E-02/00/XM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

3¹/₂ Digit,

LCD/LED Display, A/D Converters

January 1998

Features

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive
 - LCD ICL7106, LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15μV_{p.p}
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- Enhanced Display Stability (ICL7106S, ICL7107S)

Description

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3¹/₂ digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10μV, zero drift of less than 1μV/°C, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

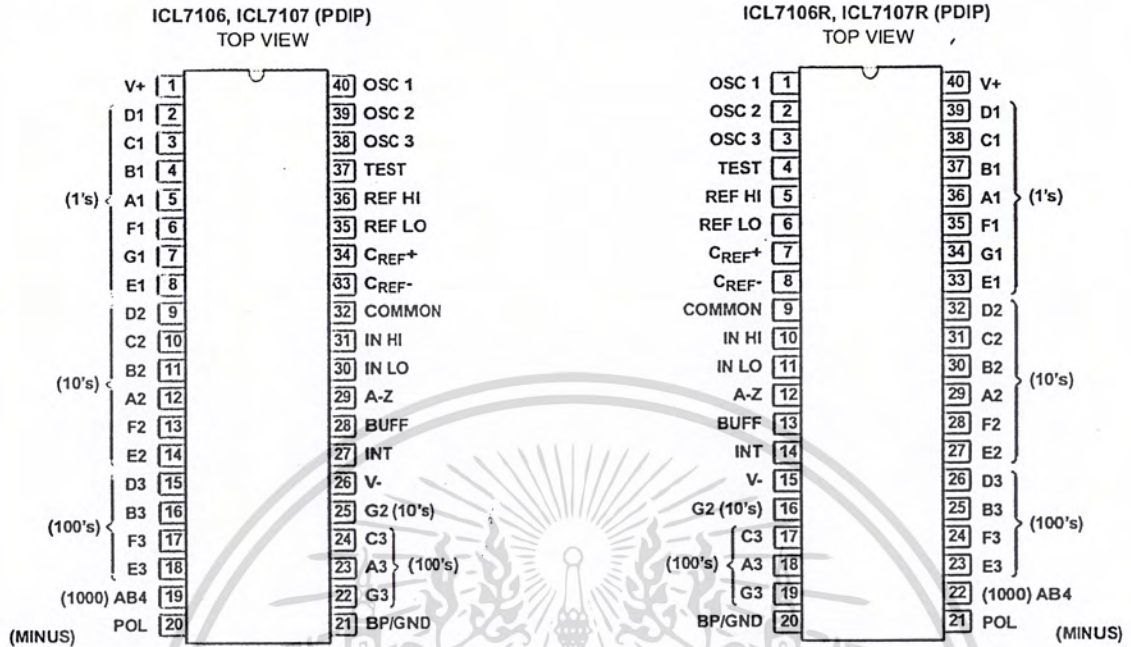
Ordering Information

PART NO.	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7106CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7106RCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note)	E40.6
ICL7106CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10
ICL7106SCPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107SCPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107RCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note)	E40.6
ICL7107CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10

NOTE: "R" indicates device with reversed leads for mounting to PC board underside. "S" indicates enhanced stability.

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Pinouts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
ICL7106, V+ to V-	15V
ICL7107, V+ to GND	6V
ICL7107, V- to GND	-9V
Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input)	V+ to V-
Clock Input	
ICL7106	TEST to V+
ICL7107	GND to V+

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 2)	θ_{JA} (°C/W)
PDIP Package	50
MQFP Package	80
Maximum Junction Temperature	150°C
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C
(MQFP - Lead Tips Only)	

Operating Conditions

Temperature Range 0°C to 70°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.

NOTES:

1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu\text{A}$.
2. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PERFORMANCE					
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0\text{V}$, Full Scale = 200mV	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Stability (Last Digit) (ICL7106S, ICL7107S Only)	Fixed Input Voltage (Note 7)	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$, $V_{REF} = 100\text{mV}$	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} \cong 200\text{mV}$ Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full Scale	-	± 0.2	± 1	Counts
Linearity	Full Scale = 200mV or Full Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 6)	-	± 0.2	± 1	Counts
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 1\text{V}$, $V_{IN} = 0\text{V}$, Full Scale = 200mV (Note 6)	-	50	-	$\mu\text{V/V}$
Noise	$V_{IN} = 0\text{V}$, Full Scale = 200mV (Peak-To-Peak Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	μV
Leakage Current Input	$V_{IN} = 0$ (Note 6)	-	1	10	pA
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$, 0°C To 70°C (Note 6)	-	0.2	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199\text{mV}$, 0°C To 70°C, (Ext. Ref. 0ppm/°C) (Note 6)	-	1	5	ppm/°C
End Power Supply Character V+ Supply Current	$V_{IN} = 0$ (Does Not Include LED Current for ICL7107)	-	1.0	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.8	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25k Ω Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	3.0	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25k Ω Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY					
Peak-To-Peak Segment Drive Voltage	V+ = to V- = 9V (Note 5)	4	5.5	6	V
Peak-To-Peak Backplane Drive Voltage					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

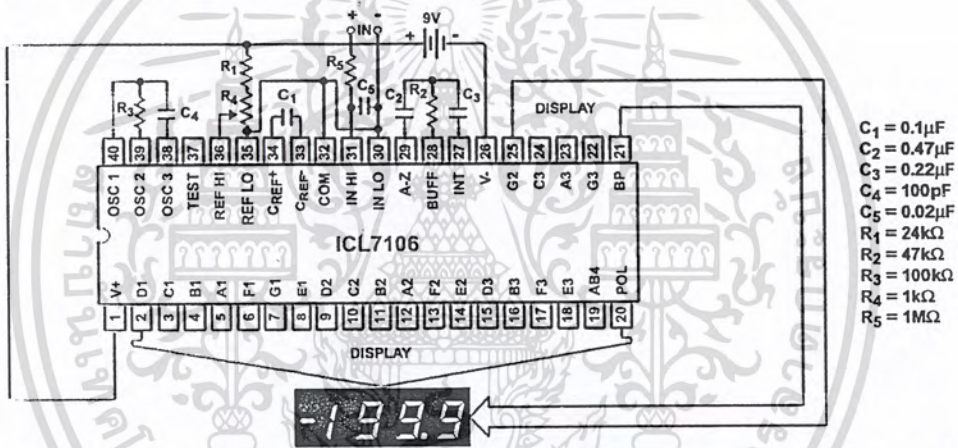
Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
DISPLAY DRIVER ICL7107 ONLY					
Segment Sinking Current (Except Pins 19 and 20)	V+ = 5V, Segment Voltage = 3V	5	8	-	mA
Pin 19 Only		10	16	-	mA
Pin 20 Only		4	7	-	mA

NOTES:

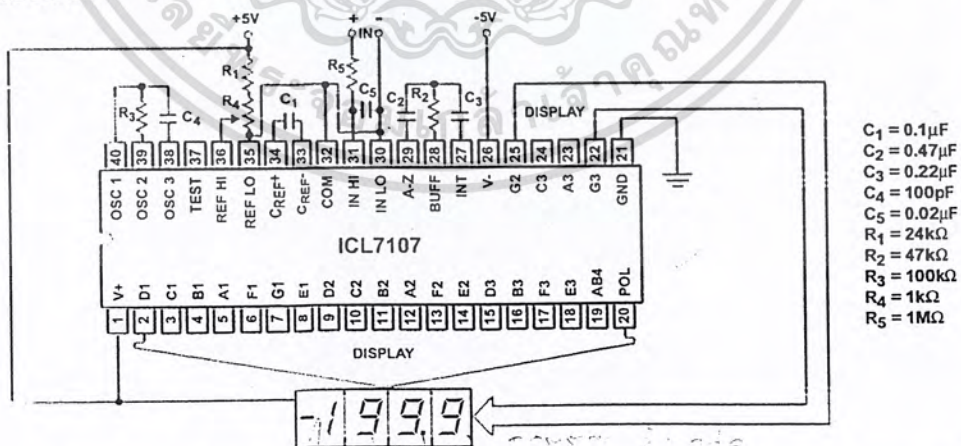
3. Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.
4. Unless otherwise noted, specifications apply to both the ICL7106 and ICL7107 at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $f_{\text{CLOCK}} = 48\text{kHz}$. ICL7106 is tested in the circuit of Figure 1. ICL7107 is tested in the circuit of Figure 2.
5. Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180 degrees out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.
6. Not tested, guaranteed by design.
7. Sample Tested.

Typical Applications and Test Circuits



- C₁ = 0.1μF
- C₂ = 0.47μF
- C₃ = 0.22μF
- C₄ = 100pF
- C₅ = 0.02μF
- R₁ = 24kΩ
- R₂ = 47kΩ
- R₃ = 100kΩ
- R₄ = 1kΩ
- R₅ = 1MΩ

FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE



- C₁ = 0.1μF
- C₂ = 0.47μF
- C₃ = 0.22μF
- C₄ = 100pF
- C₅ = 0.02μF
- R₁ = 24kΩ
- R₂ = 47kΩ
- R₃ = 100kΩ
- R₄ = 1kΩ
- R₅ = 1MΩ

FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Design Information Summary Sheet

• **OSCILLATOR FREQUENCY**

$$f_{OSC} = 0.45/RC$$

$$C_{OSC} > 50pF; R_{OSC} > 50k\Omega$$

$$f_{OSC} (Typ) = 48kHz$$

• **OSCILLATOR PERIOD**

$$t_{OSC} = RC/0.45$$

• **INTEGRATION CLOCK FREQUENCY**

$$f_{CLOCK} = f_{OSC}/4$$

• **INTEGRATION PERIOD**

$$t_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC})$$

• **60/50Hz REJECTION CRITERION**

$$t_{INT}/t_{60Hz} \text{ or } t_{INT}/t_{50Hz} = \text{Integer}$$

• **OPTIMUM INTEGRATION CURRENT**

$$I_{INT} = 4\mu A$$

• **FULL SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE**

$$V_{INFS} (Typ) = 200mV \text{ or } 2V$$

• **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**

$$COUNT = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

• **CONVERSION CYCLE**

$$t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$$

$$t_{CYC} = t_{OSC} \times 16,000$$

when $f_{OSC} = 48kHz$; $t_{CYC} = 333ms$

• **COMMON MODE INPUT VOLTAGE**

$$(V+ + 1V) < V_{IN} < (V+ - 0.5V)$$

• **AUTO-ZERO CAPACITOR**

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

• **REFERENCE CAPACITOR**

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

• **V_{COM}**

Biased between V_i and V_- .

• **V_{COM} \equiv V₊ - 2.8V**

Regulation lost when V_+ to $V_- < \approx 6.8V$
If V_{COM} is externally pulled down to $(V_+ \text{ to } V_-)/2$,
the V_{COM} circuit will turn off.

• **ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V**

$V_+ - V_- = 9V$
Digital supply is generated internally
 $V_{GND} \equiv V_+ - 4.5V$

• **ICL7106 DISPLAY: LCD**

Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.

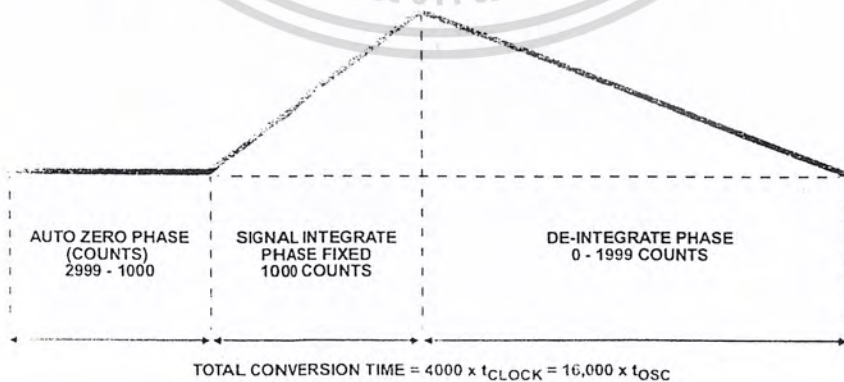
• **ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL $\pm 5.0V$**

$V_+ = +5V$ to GND
 $V_- = -5V$ to GND
Digital Logic and LED driver supply V_+ to GND

• **ICL7107 DISPLAY: LED**

Type: Non-Multiplexed Common Anode

Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)



Detailed Description

Analog Section

Figure 3 shows the Analog Section for the ICL7106 and ICL7107. Each measurement cycle is divided into three phases. 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 $10\mu\text{V}$.

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: up to 1V from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common mode voltage. 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 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. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is:

$$\text{DISPLAY COUNT} = 1000 \left(\frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{REF}}} \right)$$

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5V below the positive supply to 1V 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 2V full scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

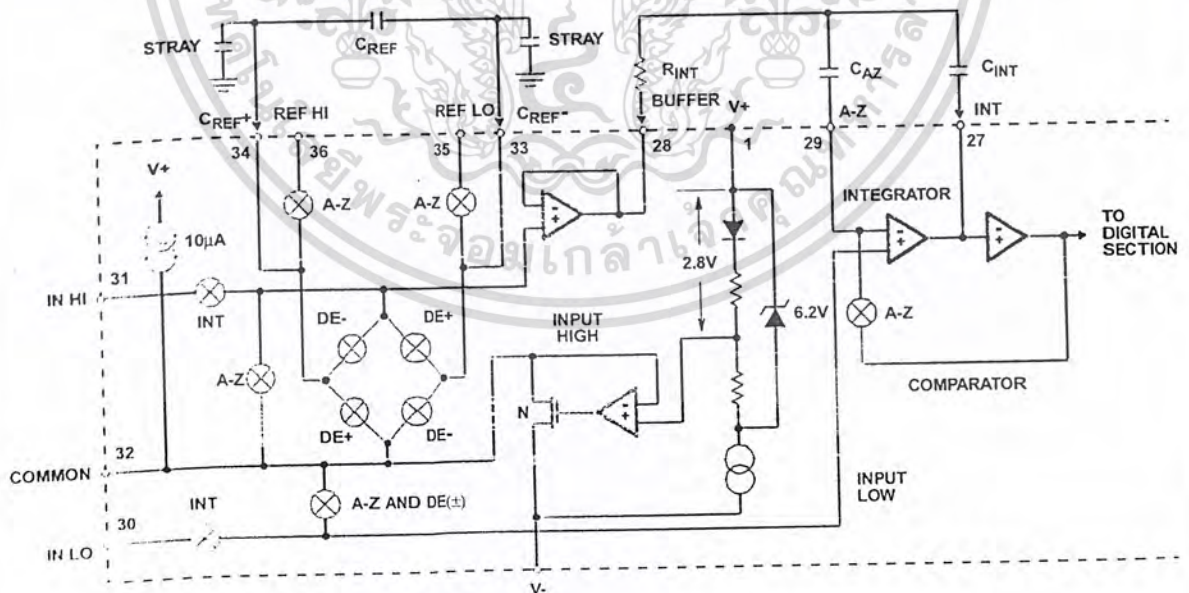


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

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 de-integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to de-integrate 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 such that it is 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.)

Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (ICL7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8V more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate ($>7V$), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance ($\approx 15\Omega$), and a temperature coefficient typically less than 80ppm/°C.

The limitations of the on chip reference should also be recognized, however. With the ICL7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full scale from 25 μV to 80 μV p.p. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111 (8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The ICL7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 4.

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it

should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N-Channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8V below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10 μA of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

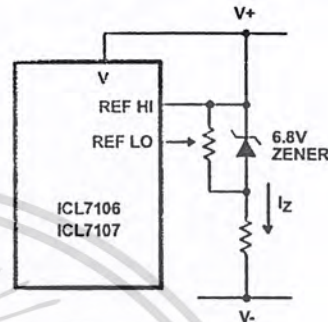


FIGURE 4A.

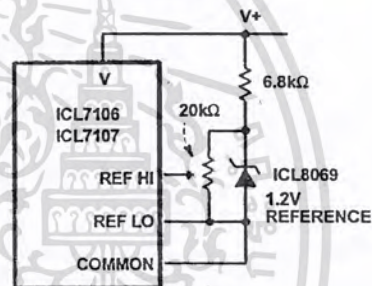


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

The TEST pin serves two functions. On the ICL7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500 Ω resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

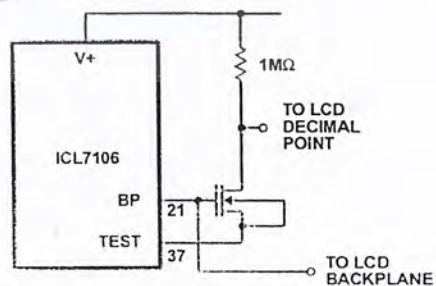


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to V+) all segments will be turned on and the display should read "1888". The TEST pin will sink about 15mA under these conditions.

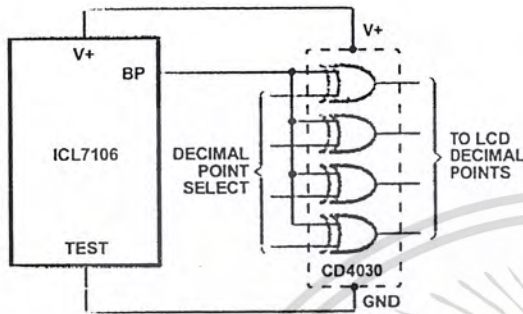
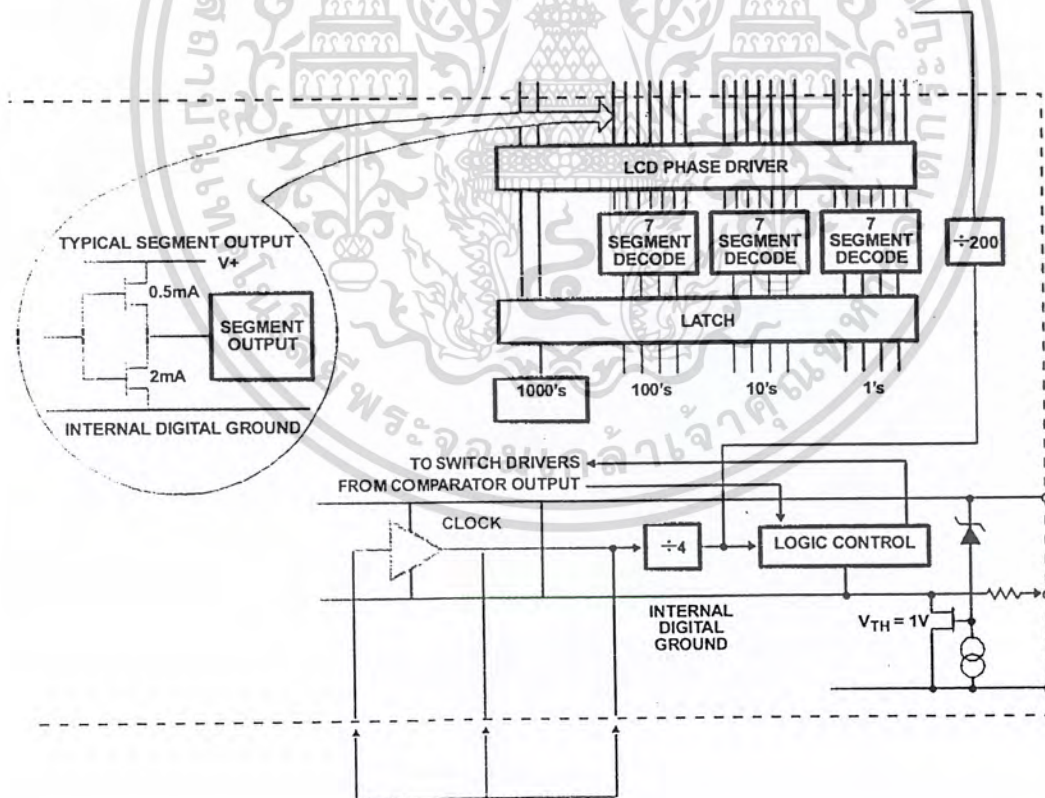


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-Channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/sec., this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

Figure 8 is the Digital Section of the ICL7107. It is identical to the ICL7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2mA to 8mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.



ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Detailed Description

Analog Section

Figure 3 shows the Analog Section for the ICL7106 and ICL7107. Each measurement cycle is divided into three phases. 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 $10\mu\text{V}$.

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: up to 1V from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common mode voltage. 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 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. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is:

$$\text{DISPLAY COUNT} = 1000 \left(\frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{REF}}} \right)$$

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5V below the positive supply to 1V 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 2V full scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

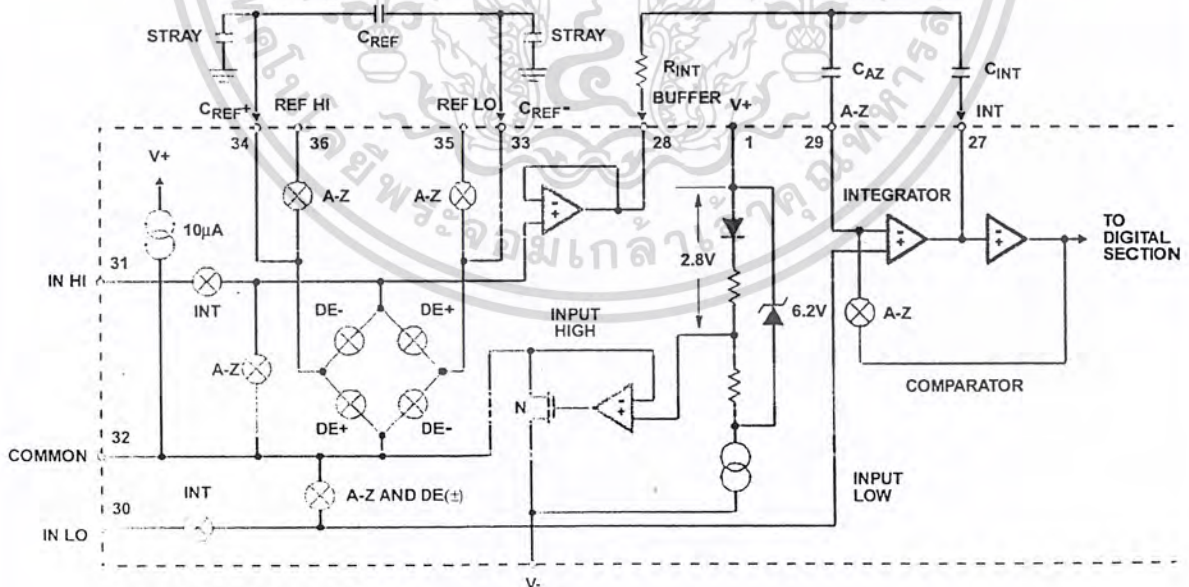


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

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 de-integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to de-integrate 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 such that it is 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.)

Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (ICL7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8V more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate ($>7V$), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient ($0.001\%/V$), low output impedance ($\approx 15\Omega$), and a temperature coefficient typically less than $80\text{ppm}/^\circ\text{C}$.

The limitations of the on chip reference should also be recognized, however. With the ICL7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full scale from $25\mu\text{V}$ to $80\mu\text{V}_{\text{p.p}}$. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111 (8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The ICL7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 4.

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it

should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N-Channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8V below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only $10\mu\text{A}$ of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

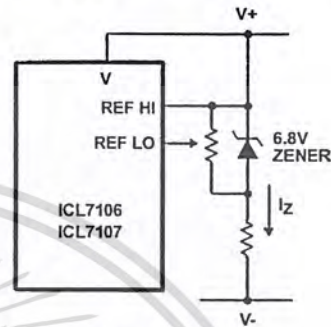


FIGURE 4A.

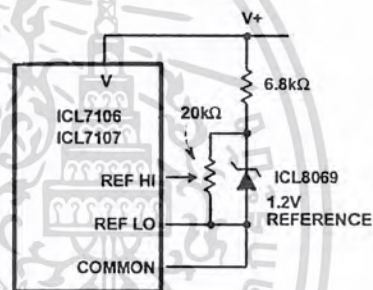


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

The TEST pin serves two functions. On the ICL7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500Ω resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

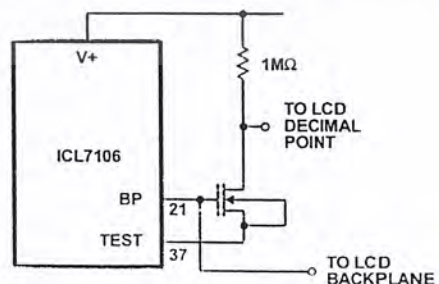


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to V+) all segments will be turned on and the display should read "1888". The TEST pin will sink about 15mA under these conditions.

CAUTION: In the lamp test mode, the segments have a constant DC voltage (no square-wave). This may burn the LCD display if maintained for extended periods.

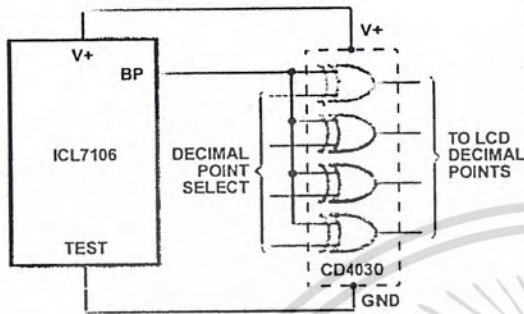


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

Digital Section

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-Channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/sec., this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

Figure 8 is the Digital Section of the ICL7107. It is identical to the ICL7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2mA to 8mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

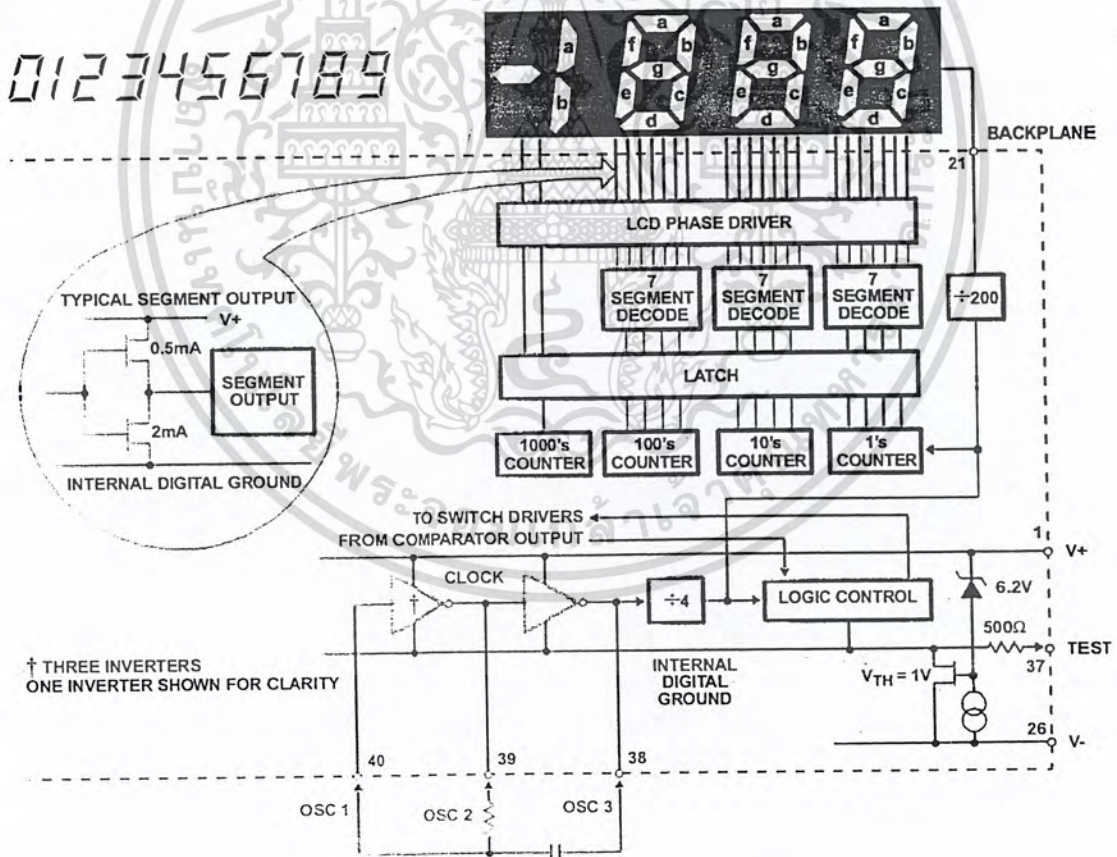


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

Component Value Selection

Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100µA of quiescent current. They can supply 4µA 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 2V full scale, 470kΩ is near optimum and similarly a 47kΩ for a 200mV scale.

Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance buildup will not saturate the integrator swing (approximately 0.3V from either supply). In the ICL7106 or the ICL7107, when the analog COMMON is used as a reference, a nominal +2V full-scale integrator swing is fine. For the ICL7107 with +5V supplies and analog COMMON tied to supply ground, a ±3.5V to +4V swing is nominal. For three readings/second (48kHz clock) nominal values for C_{INT} are 0.22µF and 0.10µF, respectively. Of course, if different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the same output swing.

An additional requirement of the integrating capacitor is that it must have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200mV full scale where noise is very important, a 0.47µF capacitor is recommended. On the 2V scale, a 0.047µF capacitor increases the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

Reference Capacitor

A 0.1µF capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e., the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 1µF will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

Oscillator Components

For all ranges of frequency a 100kΩ resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation:

$$f = \frac{0.45}{RC} \text{ For 48kHz Clock (3 Readings/sec),}$$

$$C = 100\text{pF.}$$

Reference Voltage

The analog input required to generate full scale output (2000 counts) is: $V_{IN} = 2V_{REF}$. Thus, for the 200mV and 2V scale, V_{REF} should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select $V_{REF} = 0.341V$. Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 1 20kΩ and 0.22µF. This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with ±5V supplies can accept input signals up to ±4V. Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for $V_{IN} \neq 0$. Temperature and weighing systems with a variable fare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

ICL7107 Power Supplies

The ICL7107 is designed to work from ±5V supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive IC. Figure 10 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

In fact, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than ±1.5V.
3. An external reference is used.

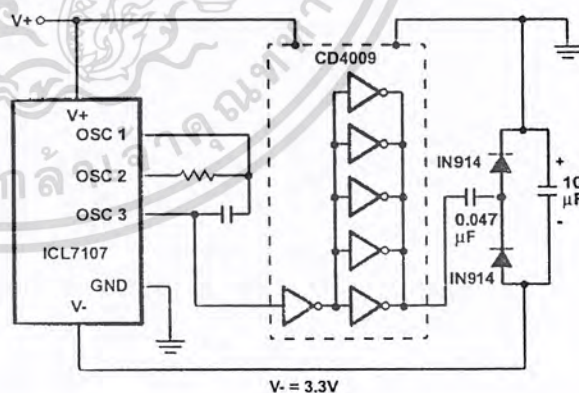


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Typical Applications

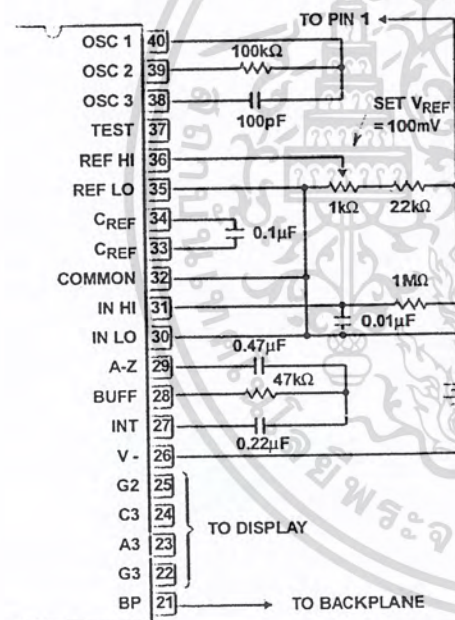
The ICL7106 and ICL7107 may be used in a wide variety of configurations. The circuits which follow show some of the possibilities, and serve to illustrate the exceptional versatility of these A/D converters.

The following application notes contain very useful information on understanding and applying this part and are available from Intersil Corporation.

Application Notes

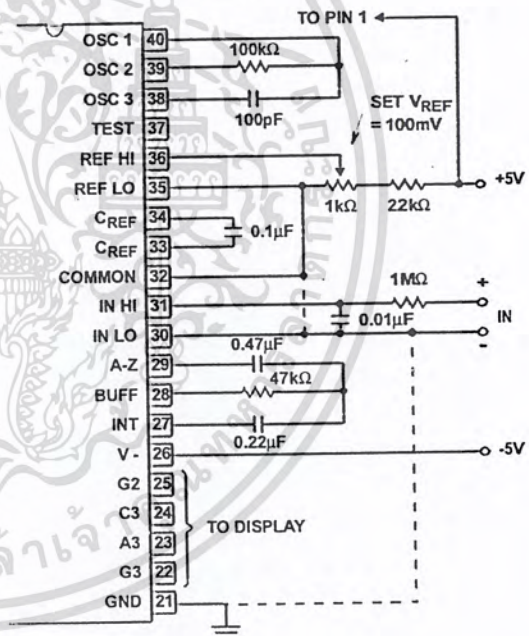
NOTE #	DESCRIPTION	AnswerFAX DOC. #
AN016	"Selecting A/D Converters"	9016
AN017	"The Integrating A/D Converter"	9017
AN018	"Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"	9018
AN023	"Low Cost Digital Panel Meter Designs"	9023
AN032	"Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7136/7/9 Family"	9032
AN046	"Building a Battery-Operated Auto Ranging DVM with the ICL7106"	9046
AN052	"Tips for Using Single Chip 3 ¹ / ₂ Digit A/D Converters"	9052

Typical Applications



Values shown are for 200mV full scale, 3 readings/sec., floating supply voltage (9V battery).

FIGURE 11. ICL7106 USING THE INTERNAL REFERENCE

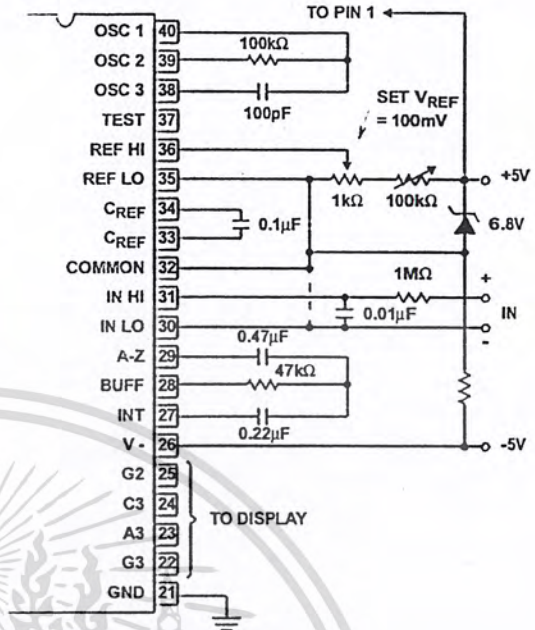
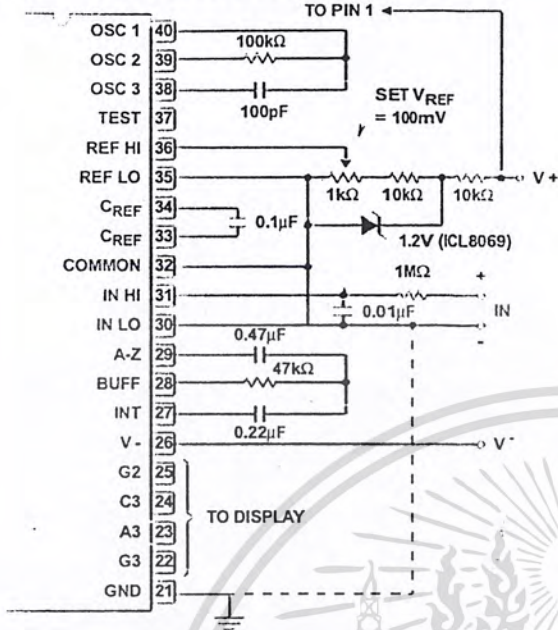


Values shown are for 200mV full scale, 3 readings/sec. IN LO may be tied to either COMMON for inputs floating with respect to supplies, or GND for single ended inputs. (See discussion under Analog COMMON.)

FIGURE 12. ICL7107 USING THE INTERNAL REFERENCE

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Typical Applications (Continued)



IN LO is tied to supply COMMON establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply GND) and the pre-regulator is overridden.

Since low TC zeners have breakdown voltages ~ 6.8V, diode must be placed across the total supply (10V). As in the case of Figure 14, IN LO may be tied to either COMMON or GND.

FIGURE 13. ICL7107 WITH AN EXTERNAL BAND-GAP REFERENCE (1.2V TYPE)

FIGURE 14. ICL7107 WITH ZENER DIODE REFERENCE

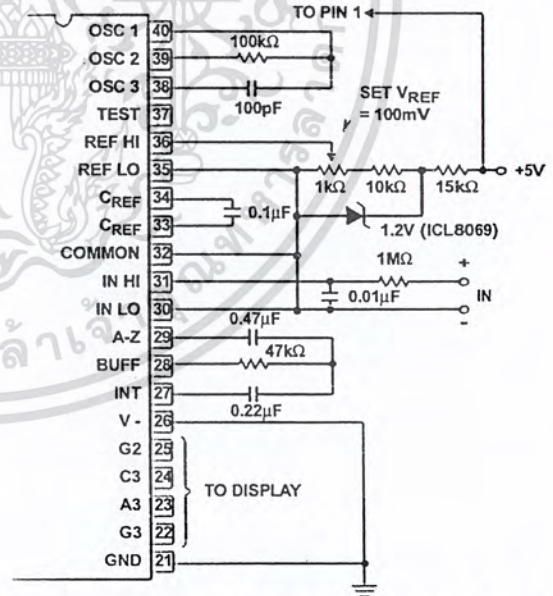
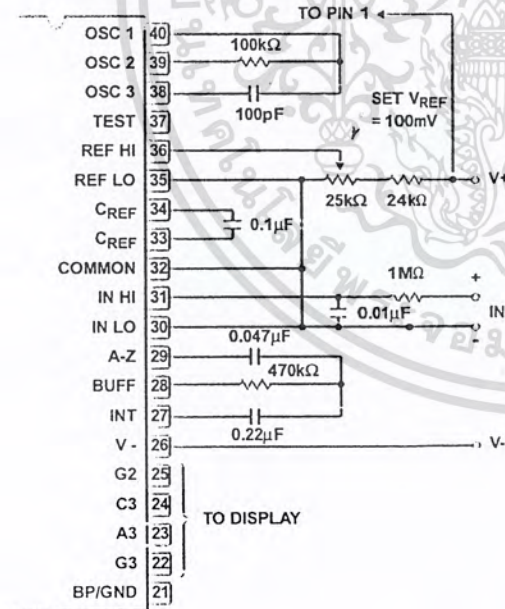


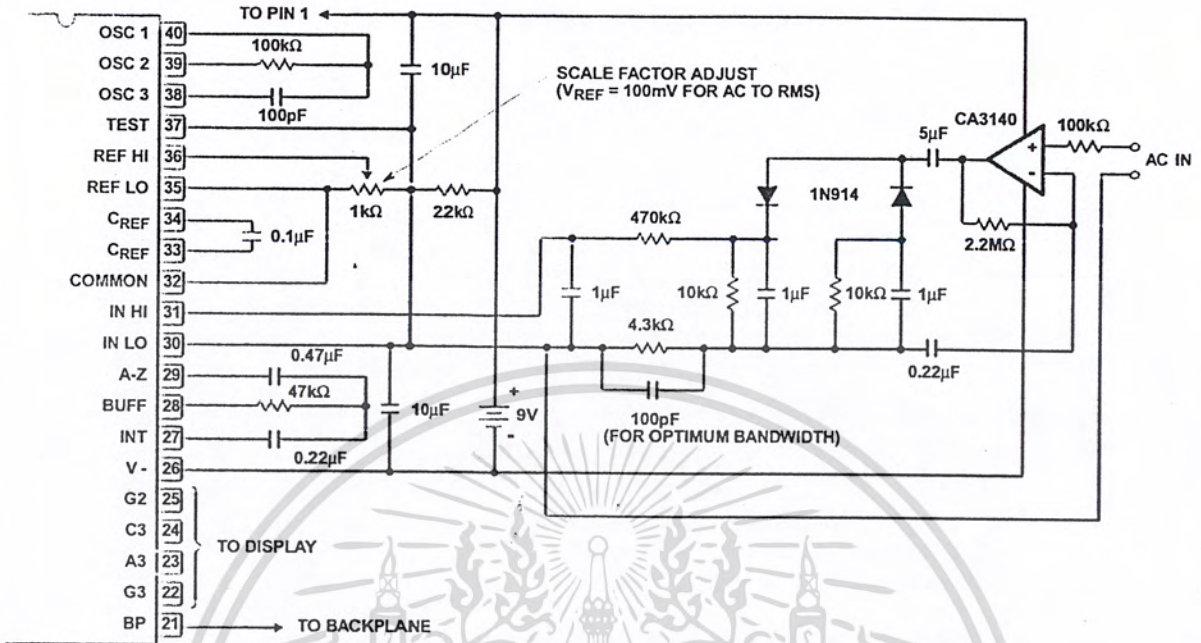
FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2V FULL SCALE

An external reference must be used in this application, since the voltage between V+ and V- is insufficient for correct operation of the internal reference.

FIGURE 16. ICL7107 OPERATED FROM SINGLE +5V

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Typical Applications (Continued)



Test is used as a common-mode reference level to ensure compatibility with most op amps.

FIGURE 21. AC TO DC CONVERTER WITH ICL7106

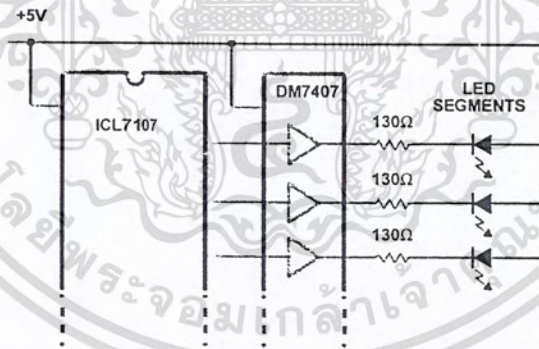
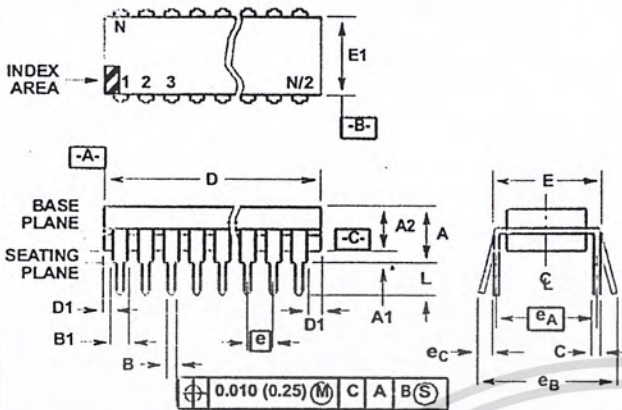


FIGURE 22. DISPLAY BUFFERING FOR INCREASED DRIVE CURRENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



E40.6 (JEDEC MS-011-AC ISSUE B)
40 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.250	-	6.35	4
A1	0.015	-	0.39	-	4
A2	0.125	0.195	3.18	4.95	-
B	0.014	0.022	0.356	0.558	-
B1	0.030	0.070	0.77	1.77	8
C	0.008	0.015	0.204	0.381	-
D	1.980	2.095	50.3	53.2	5
D1	0.005	-	0.13	-	5
E	0.600	0.625	15.24	15.87	6
E1	0.485	0.580	12.32	14.73	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
eA	0.600 BSC		15.24 BSC		6
eB	-	0.700	-	17.78	7
L	0.115	0.200	2.93	5.08	4
N	40		40		9

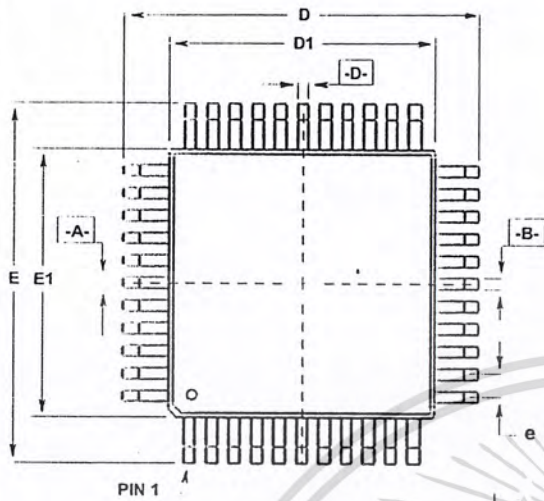
NOTES:

- Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
- Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
- Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
- Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
- D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
- E and eA are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum -C-.
- eB and eC are measured at the lead tips with the leads unconstrained. eC must be zero or greater.
- B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
- N is the maximum number of terminal positions.
- Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

Rev. 0 12/93

ICL7106, ICL7107, ICL7106S, ICL7107S

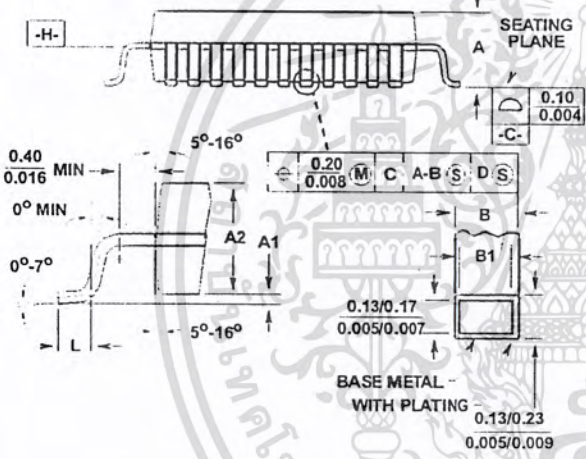
Metric Plastic Quad Flatpack Packages (MQFP/PQFP)



Q44.10x10 (JEDEC MO-108AA-2 ISSUE A)
44 LEAD METRIC PLASTIC QUAD FLATPACK PACKAGE

SYM-BOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.093	-	2.35	-
A1	0.004	0.010	0.10	0.25	-
A2	0.077	0.083	1.95	2.10	-
B	0.012	0.018	0.30	0.45	6
B1	0.012	0.016	0.30	0.40	-
D	0.510	0.530	12.95	13.45	3
D1	0.390	0.398	9.90	10.10	4, 5
E	0.510	0.530	12.95	13.45	3
E1	0.390	0.398	9.90	10.10	4, 5
L	0.026	0.037	0.65	0.95	-
N	44		44		7
e	0.032 BSC		0.80 BSC		-

Rev. 1 1/94



NOTES:

- Controlling dimension: MILLIMETER. Converted inch dimensions are not necessarily exact.
- All dimensions and tolerances per ANSI Y14.5M-1982.
- Dimensions D and E to be determined at seating plane [-C-].
- Dimensions D1 and E1 to be determined at datum plane [-H-].
- Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25mm (0.010 inch) per side.
- Dimension B does not include dambar protrusion. Allowable dambar protrusion shall be 0.08mm (0.003 inch) total.
- "N" is the number of terminal positions.

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries 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 Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

Sales Office Headquarters

NORTH AMERICA
Intersil Corporation
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204
Melbourne, FL 32902
TEL: (407) 724-7000
FAX: (407) 724-7240

EUROPE
Intersil SA
Mercure Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA
Intersil (Taiwan) Ltd.
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road
Taipei, Taiwan
Republic of China
TEL: (886) 2 2716 9310
FAX: (886) 2 2715 3029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้