

Automatic Voltage Stabilizer



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2536

ใบรับรองปริญญาโท
ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Automatic Voltage Stabilizer



โดย
นายทวีศักดิ์ แซ่เตียว 34162154
นายมนัสสุภรณ์ นิริยะลathi 34131125

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

----- ประธานกรรมการ
()
----- กรรมการ
()
----- กรรมการ
()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ	เครื่องรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ		
ชื่อนักศึกษา	นายทวีศักดิ์	แซ่เตียว	34162154
	นายมนัสสฤษฏ์	พิริยะสุทธิ	34131125
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.อูทัย ศิริธีระวิโรจน์		
ชื่อปริญญา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2536		

บทคัดย่อ

เครื่องรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ จะเป็นเครื่องที่ใช้สำหรับรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่ตลอด ในที่นี้แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะเป็น 220 โวลต์แรงดันไฟสลับ อีกทั้งยังสามารถกำหนดปริมาณการป้อนกระแสแก่โหลดได้ มีระบบป้องกันความถี่รบกวน, ไฟตกหรือเกินกว่ากำหนด และมีระบบแสดงผลให้รู้ถึงแรงดันที่ได้มาจากแรงดันไฟฟ้าบ้านด้วย สำหรับการดำเนินงานของระบบจะเป็นแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Name Automatic Voltage Stabilizer
Student Name Thaveesak Saeteo 34162154
Manutsalid Piriyasut 34131125
Advisor Mr. Uthai Sritheerawirod
Bachelor Degree in Industrial Technology (Electronics)
Year 1993

Abstract

This Automatic Voltage Stabilizer will be used to stabilize and control the 220 V_{Ac} output voltage. It can specify the load current. The noise, over voltage and under voltage protection and LED displays to show the controlled levels are combined. It is controlled automatically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาของปัญหา	3
	1.2 วัตถุประสงค์	4
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	4
	1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ	
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	5
	2.1 คำนำ	5
	2.2 Auto-Transformer	11
	2.3 วงจร Differential Amplifier	13
	2.4 วงจร Voltage-Level Detector	18
	2.5 วงจร Power On Delay	19
	2.6 วงจร Astable	21
	2.7 LM3914, Opto และ Triac	
บทที่ 3	การออกแบบและสร้างโครงการ	22
	3.1 คำนำ	22
	3.2 ส่วนการทำงานของระบบ	36
	3.3 สรุป	
บทที่ 4	ผลการทดลอง	37
	4.1 คำนำ	37
	4.2 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์	
บทที่ 5	สรุปผลของโครงการและข้อเสนอแนะ	39
	5.1 คำนำ	39
	5.2 สรุปผลการทดลอง	39
	5.3 ข้อเสนอแนะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษตามกฎหมายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก วรรณกรรมทั้งหมด	41
ภาคผนวก ก LM324	48
ภาคผนวก ค LM3914	62
ภาคผนวก ง MOC3041 (OPTO)	78
ภาคผนวก จ MAC210A (TRIAC)	83
กิตติกรรมประกาศ	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ ในปัจจุบัน อาจจะสามารถกล่าวได้ว่าส่วนหนึ่งเกิดจากไฟฟ้า ซึ่งได้ถูกนำไปแปรรูปในลักษณะต่าง ๆ อาทิเช่น แสงสว่าง ความร้อน พลังงานกล วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอื่น ๆ อีกมากมาย อีกทั้งเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์จำพวกเครื่องมือทางการแพทย์ คอมพิวเตอร์ การสื่อสาร เป็นต้น เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านอุตสาหกรรม ธุรกิจ การสื่อสาร การแพทย์ และอื่น ๆ มักจะมีอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาแทรกอยู่ในแทบทุกระบบงานทุกสาขา ซึ่งก็อาจจะหมายถึงระบบคอมพิวเตอร์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

เมื่อมีการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ร่วมกับเครื่องมือเครื่องจักร ก็จะทำให้มีการใช้ระบบประมวลผลและส่งผ่านข้อมูลเข้ามาพร้อมด้วย อันหมายถึงว่ามันจะได้รับผลกระทบอย่างรวดเร็วต่อความเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาให้แก่ระบบจะต้องมีมากขึ้น (ซึ่งได้สรุปไว้ในข้อ 1.1.1 - 1.1.6) ความผิดปกติต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ในอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรต่าง ๆ ทำงานผิดพลาดไปด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้มีการคิดประดิษฐ์อุปกรณ์ที่มีชื่อว่า เครื่องรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าให้คงที่แบบอัตโนมัติ (Automatic Voltage Stabilizer) ซึ่งจะทำหน้าที่แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นการกระแสไฟฟ้า และจะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่บริสุทธิ์ให้แก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

ปัจจุบันปัญหาทางไฟฟ้าที่สามารถจะสร้างความเสียหายของระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประมวลผล 80 เปอร์เซ็นต์ อันเกิดจากปัญหาทางไฟฟ้า เช่น

1.1.1 ไฟตกชั่วขณะ (Sag Voltage)

จะเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะ อันอาจจะเกิดจากการใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินไปของสายหรือหม้อแปลงไฟฟ้าจะจ่ายให้ได้ เช่น การเดินเครื่องจักรใหญ่ ๆ ช่วงที่เริ่มเปิดไม่ทำงานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปรับอากาศ หรือเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ขนาดใหญ่ จะทำให้ไฟตกชั่วขณะ

1.1.2 ไฟเกินชั่วขณะ (Surge Voltage)

มักจะเกิดจากการปิด/เปิดสวิตช์ของโหลดขนาดใหญ่ หรือการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เนื่องจากเกิดฟ้าผ่าลงที่สายส่งไฟฟ้า จะทำให้เกิดไฟฟ้าสูงชั่วขณะ อันเป็นปัญหาที่รุนแรงพอสมควรที่จะทำให้ระบบคอมพิวเตอร์เสียหายได้ แม้จะมีอุปกรณ์ป้องกันระบบ เช่น ฟิวส์ (Fuse) หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) อยู่ก็ตาม แต่ก็ยังมีช่วงเวลาการทริป (Trip) ของตัวอุปกรณ์เอง ซึ่งอาจจะทำให้ระบบเกิดขัดข้องเสียหายก่อนจะตัดวงจรก่อน อันจะส่งผลให้เกิดความเสียหายหรืออายุการใช้งานของระบบเสื่อมลงเร็วขึ้น

1.1.3 สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า (Noise and Transient)

คลื่นรบกวนในระบบไฟฟ้าที่มักจะพบเห็นเสมอก็คือ Noise และ Transient Voltage สำหรับ Noise นั้นหมายถึง คลื่นรบกวน โดยทั่วไปแล้วจะมีขนาดไม่ใหญ่นัก แต่มีความถี่สูงมาก ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือเป็นระยะ ๆ ปกติ Noise จะเข้าสู่ระบบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ส่วน Transient Voltage จะหมายถึงพวก Surge Voltage และ Spike Voltage โดยมาก Transient Voltage อาจจะมีเกิดขึ้นได้จากฟ้าผ่า การตัด/ต่อโหลดบางชนิด เช่น การเปิด/ปิดสวิตช์เครื่องใช้ไฟฟ้า, เครื่องเชื่อมโลหะ, มอเตอร์, สถานีวิทยุกระจายเสียง และอื่น ๆ

1.1.4 ไฟดับหรือไฟกะพริบ (Interruption)

ลักษณะของไฟดับ (Power Failure) มีอยู่ 2 ลักษณะ อันที่จะมีผลกับระบบคอมพิวเตอร์ คือ ไฟกะพริบ ทำให้เกิดการขาดหายไปของไฟฟ้าระยะสั้น เช่น การทริปของระบบบริเลจ ในการจ่ายไฟฟ้าของสถานีจ่ายไฟ ซึ่งแม้จะเกิดเพียงระยะสั้นมากอาจเพียง 1/2-1 Cycle แต่ความจำเป็นในระบบก็จะถูกลบไปเมื่อไม่มีพลังงาน และการหยุดจ่ายไฟฟ้าอันเนื่องมาจากระบบจ่ายไฟเสียหาย หรือเกิดการลัดวงจร แม้ว่า การหยุดจ่ายไฟ จะไม่มีผลต่อความเสียหายของเครื่อง นอกจากเครื่องจะหยุดทำงานและความจำลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือน แต่จากสถิติพบว่า การมาใหม่ของไฟฟ้าอาจจะมีระดับแรงดันสูงกว่าปกติที่กำหนดไว้ (220 โวลต์เอซี) ในช่วงที่เข้ามาใหม่ ซึ่งจะทำให้เกิดไฟกระชอก อันจะเป็นผลให้ระบบคอมพิวเตอร์มีอายุการใช้งานสั้นลง

1.1.5 ไฟตกไฟเกินอย่างต่อเนื่อง (Under and Over Voltage)

มักจะเกิดขึ้นได้ทั้งในเมืองและชนบทที่ห่างไกล สาเหตุอาจจะมาจากการใช้กำลังไฟฟ้าไม่เหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟในสายเดียวกัน บางเวลาผู้ใช้กำลังไฟฟ้ามาก แรงดันไฟฟ้าจะลดลงและบางเวลาในวันเดียวกันนั้น ผู้ใช้อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น สำหรับปัญหาไฟตกมักจะเกิดจากการที่มีการใช้พลังงานมาก และแหล่งจ่ายพลังงานจำเป็นต้องลดแรงดันลงหรือ Brown out ซึ่งอาจจะเกิดจากมีโหลดมากเกินไปหรือสายไฟเล็กไป โดยไฟจะตกประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ปัญหาอีกจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องมือ อันเนื่องจากการจ่ายไฟผิดปกติหรือโหลดมีน้อยเกินไป

1.1.6 ความถี่ผิดพลาด (Frequency Error)

โดยส่วนใหญ่ความถี่จะผิดพลาดมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก นอกจากระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความถี่ไม่คงที่ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กไม่เหมาะสมกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป และระบบมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ความถี่ไม่ถูกต้อง แต่อาจมีสาเหตุมาจากการปิด/เปิดเครื่องจักรขนาดใหญ่ในสายเดียวกัน ซึ่งเครื่องจักรขนาดใหญ่กินกำลังไฟฟ้ามากจะทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก Transient Variation หรืออาจทำให้ระบบที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วเกิด Oscillate ซึ่งอาจมีผลต่อคอมพิวเตอร์ในแง่ข้อมูลผิดพลาดเนื่องจากความถี่ไม่คงที่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการศึกษา และสร้างเครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าทางออกให้คงที่คือ ให้แรงดันไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ที่สม่ำเสมอแบบอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้าทางเข้า (Input Voltage) จะเปลี่ยนแปลงไปก็จะทำการปรับให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เมื่อแรงดันไฟฟ้าทางเข้ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 190-219 V_{ac} และ 221-244 V_{ac} จะปรากฏระดับแรงดันไฟฟ้าทางออกของเครื่องเป็น 220 โวลต์ ผิดพลาดประมาณ 6 โวลต์ในแต่ละระดับ

1.3.2 มีระดับแรงดันที่ควบคุมได้ 10 ระดับ ๆ ละ 6 โวลต์ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 190-244 V_{ac}

1.3.3 เครื่องจะสามารถจ่ายโหลด (Load) ได้ประมาณ 500 VA.

1.3.4 มีระบบเตือนและหยุดการทำงานของเครื่องเอง (Alarm and Turn-off System) เมื่อพบว่าระดับแรงดันทางเข้าต่ำกว่า 184 โวลต์ลงมา หรือสูงกว่า 250 V_{ac} ขึ้นไป เนื่องจากผลการผิดพลาด 6 โวลต์จากข้อ 1.3.1

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ

1.4.1 ได้รับความรู้และเข้าใจในเทคโนโลยีการวัด, ควบคุม และป้องกันความเสียหายของระบบในโครงการนี้

1.4.2 ทำให้ยึดอายุการใช้งานและป้องกันอันตรายให้กับอุปกรณ์ที่ต่อใช้งานกับโครงการนี้ร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คำนำ

จำพวกเครื่อง Stabilizer ที่มีใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้นเป็นเครื่องรักษาหรือควบคุมให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของเครื่องมีระดับ 220 โวลต์ ผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ มักจะอยู่ในช่วง 160 - 260 โวลต์ที่ใช้ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก จำนวนของระดับการควบคุมจะแล้วแต่ผู้ผลิตจะกำหนดขึ้นมา

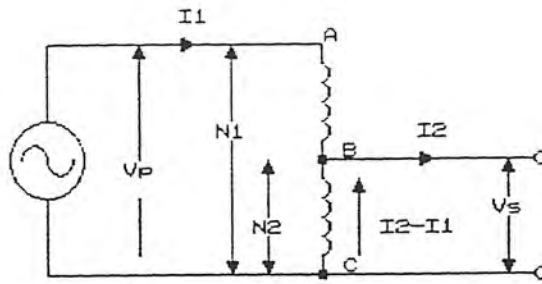
สำหรับในโครงงานนี้จะเริ่มควบคุมแรงดันตั้งแต่ 190 - 244 โวลต์ โดยจะแบ่งเป็น 10 ระดับคือ 190, 196, 202, 208, 214, 220, 226, 232, 238 และ 244 V แต่ละระดับจะแตกต่างกันอยู่ 6 โวลต์ และจะจ่ายโหลดได้ 500 VA. โดยใช้ Auto-Transformer เป็นสื่อในการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทางออกให้คงที่ ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

2.2 Auto-Transformer

หม้อแปลงชนิดนี้เป็นแบบที่มีขดลวดชุดเดียวเป็นทั้งด้านทาง Primary และ Secondary อยู่ในตัว จึงเป็นการประหยัดขดลวดและราคาถูกลง ในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติจะมีหลักการเช่นเดียวกับหม้อแปลงธรรมดาทั่วไป ปกติ Auto-Transformer มักจะนำไปใช้ในงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่มี Transformation Ratio ที่ผิดปกติไปจากหนึ่งเพียงเล็กน้อย

จากรูปที่ 2.1 เป็นรูปแบบของ Auto-Transformer ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าที่ระหว่างจุด AC เป็นจำนวนขดลวดด้าน Primary และจุด BC เป็นจำนวนขดลวดที่ด้าน Secondary ซึ่งจะแทนด้วย N_1 และ N_2 ตามลำดับ โดยการตัดค่าของ Iron Loss และไม่มี Load จึงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบทเรียนวิชา $V_p/V_s = N_1/N_2$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1

= a
= Transformation Ratio

กระแสที่ไหลใน BC นั่นก็คือ ผลต่างของ Vector I_1 และ I_2 ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว กระแสทั้งสองมี Phase ตรงกันข้ามกัน จึงได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น $I_2 - I_1$ โดยที่ $I_2 > I_1$ หม้อแปลงแบบนี้ใช้มากในการเพิ่ม และลด Power-Line Voltage ที่เรารู้จักทั่ว ๆ ไป เช่น Variac และ Power stat เป็นต้น

เนื่องจาก Auto-Transformer มีขดลวดเพียงขดเดียว ฉะนั้นจึงทำให้ ประหยัดลวดทองแดงที่จะใช้ ทั้งนี้เพราะปริมาตรของลวดทองแดงนั้นจะขึ้นอยู่กับ พื้นที่ หน้าตัดและความยาวของลวดที่ใช้ จำนวนรอบของขดลวดก็ขึ้นอยู่กับความยาว ส่วน กระแสนั้นก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด ฉะนั้น น.น. ของลวดทองแดงที่ใช้ทั้งหมด จึงเป็น สัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของกระแสและจำนวนรอบของขดลวด

จากรูปที่ 2.1 จะได้ว่า น.น. ของทองแดงสำหรับส่วนของ

$$AB = \alpha(N_1 - N_2) I_1$$

$$BC = \alpha(I_2 - I_1) N_2$$

ฉะนั้น น.น. ทั้งหมดของทองแดงใน Auto-Transformer เท่ากับ

$$\alpha[(N_1 - N_2) I_1 + (I_2 - I_1) N_2]$$

ในกรณีที่เรานำ Auto-Transformer แบบที่ต้องใช้ขดลวด 2 ขด โดยให้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์หรือใช้ในการค้า ทำหน้าที่เหมือน ๆ กัน จะได้ว่า น.น. ของทองแดงที่ใช้คือ ไม่ว่างานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น.น. ของทองแดงทางด้าน Primary = $\alpha N_1 I_1$

น.น. ของทองแดงทางด้าน Secondary = $\alpha N_2 I_2$

น.น. ของทองแดงทั้งหมด = $\alpha(N_1 I_1 + N_2 I_2)$

ดังนั้น น.น. ของทองแดงใน Auto-Transformer / น.น. ของทองแดงในหม้อแปลง
ธรรมดาจะแตกต่างกัน

$$\begin{aligned} &= [(N_1 - N_2) I_1 + (I_2 - I_1) N_2] / (N_1 I_1 + N_2 I_2) \text{ หรือ } = W_u / W_o \\ &= (N_1 I_1 - 2N_2 I_1 + N_2 I_2) / (N_1 I_1 + N_2 I_2) \\ &= 1 - (2N_2 I_1) / (N_1 I_1 + N_2 I_2) \\ &= 1 - 2a / (1+a) \\ &= 1 - 1/a \end{aligned}$$

เมื่อ น.น. ของทองแดงใน Auto-Transformer แทนด้วย W_u ส่วน Transformer
ทั่วไปจะแทนด้วย W_o ฉะนั้นจะได้

$$W_u = (1 - 1/a) \cdot W_o$$

ยังประหยัดทองแดงได้เท่ากับ

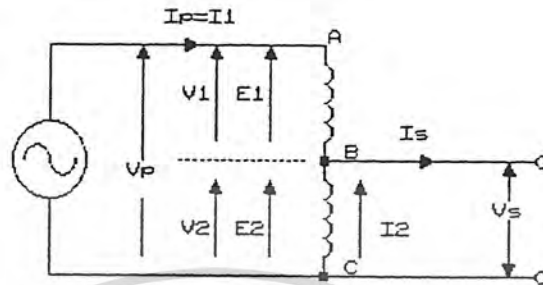
$$\begin{aligned} &= W_o - W_u \\ &= W_o - W_o (1 - 1/a) \\ &= W_o / a \end{aligned}$$

ดังนั้นการประหยัดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ a มีค่าเข้าใกล้ 1

2.1.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแส

(Voltage and Current Relation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากรูปที่ 2.2 ขดลวดชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ต่ออนุกรมกัน ชุดที่ 1 เรียกว่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2

Series Winding ชุด 2 เรียกว่า Common Winding หม้อแปลงแบบนี้ไปเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากสูงไปต่ำ หรือต่ำไปสูงได้ โดยที่กำลังไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจากรูปที่ 2.2 จะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$V_1 = V_2 \quad \dots (2.1)$$

$$V_p = V_1 + V_2 \quad \dots (2.2)$$

สำหรับ V_1 และ V_2 มีค่าแตกต่างจาก E_1 และ E_2 ซึ่งอันเนื่องมาจาก Impedance Drop ใน Winding ของแต่ละชุด แต่ Induced e.m.f. E_1 และ E_2 อยู่ใน Phase เดียวกัน (Inphase) ในขณะที่ V_1 และ V_2 นั้นมี Phase ต่างกันเล็กน้อย (Out of Phase) ฉะนั้น $V_1 + V_2$ เมื่อรวมกันตาม Vector จึงมีค่าเกือบเท่ากับเมื่อรวมกันโดยตัวเลข ในที่นี้จะมาทำการพิจารณา Induced e.m.f. ของขดลวดทั้งสอง เพื่อหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ และเพื่อความสะดวก นั่นคือ

ให้
$$E_1 = E_2 \quad \dots (2.3)$$

และ
$$E_p = E_1 + E_2 \quad \dots (2.4)$$

แต่
$$E_1 / E_2 = N_1 / N_2 \quad \dots (2.5)$$

จาก (2.3), (2.4) และ (2.5) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$E_p = E_2 (N_1 / N_2 + 1)$$

$$= [(N_1 + N_2) / N_2] E_s \dots (2.6)$$

เมื่อ E_p และ E_s เป็น Induced e.m.f. ที่เกิดขึ้นทาง Primary และ Secondary ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเรารู้ว่า

$$V_p / V_s \approx E_p / E_s = (N_1 + N_2) / N_2 \dots (2.7)$$

จากรูปที่ 2.2 จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสดังนี้

$$I_p = I_1 \dots (2.8)$$

$$I_s = I_1 + I_2 \dots (2.9)$$

เมื่อไม่คิด Exciting Current ได้

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots (2.10)$$

จาก (2.8), (2.9) และ (2.10) ได้

$$I_s = I_1 (1 + N_1 / N_2)$$

$$= [(N_1 + N_2) / N_2] \cdot I_p \dots (2.11)$$

หรือ $I_p / I_s = N_2 / (N_1 + N_2) \dots (2.12)$

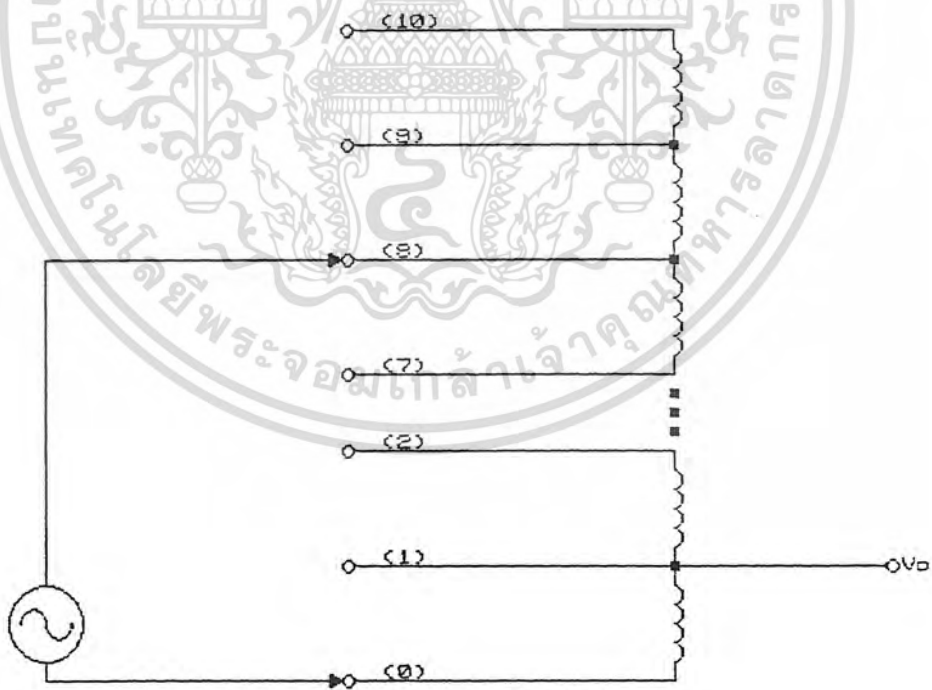
จากสมการต่าง ๆ ข้างบนจะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า และ กระแสก็มีหลักการเช่นเดียวกับหม้อแปลงธรรมดานั่นเอง

2.2.2 การใช้งาน Auto-Transformer

สำหรับการใช้ Auto-Transformer มักใช้เมื่อค่าของ a เกือบเท่ากับ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์เห็นนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อชดเชย Voltage Drop ของสาย Cable ที่จ่ายไปยังพวก Load ต่าง ๆ โดยการใช้ Auto-Transformer ต่อเสริมเข้าไปใน Cable นั้น ๆ
2. ใช้เป็นตัว Start ของ Induction Motor ในระหว่างการ Start โดยใช้ค่า Voltage ของตัวมันเองได้สูงถึง 50% - 60% ของ Full Load ของ Motor
3. ใช้เป็น Furnace Transformer เพื่อให้ได้ Supply ที่เหมาะสม เพื่อจ่ายให้กับ Furnace Winding ได้อย่างสะดวก โดยที่ได้จาก Supply 230 V.

ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ของ Auto-Transformer จึงทำให้ผู้จัดทำโครงการนี้ นำมาใช้ในการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตผลาดก่อนจะจ่ายเข้า Load ผ่านเข้าสู่ทาง Input อันใดอันหนึ่งที่จ่ายผ่านทาง Output ของ Transformer โดยหม้อแปลงจะ สิ้นพันธ์ตามลักษณะในรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.3
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.3 สมมติว่าเราต้องการให้ Output ของหม้อแปลงเป็น 220 V. เมื่อมีแรงดันขนาด 232 V. ผ่านเข้ามาก็ให้ทำการสวิตช์เข้าที่ Input 232 V. อันจะทำให้ Output ที่ออกมานั้นเป็น 220 V. ได้ตามที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการต่อในวงจรที่ทำงานจริงในบทต่อไป

2.3 วงจร Differential Amplifier

วงจร Differential Amplifier ที่จะใช้กัน จะทำขึ้นด้วยวงจร Op-amp ซึ่งมักจะใช้ในการวัดความแตกต่างของสัญญาณสองสัญญาณ (Small Signal) โดยที่ผลของความแตกต่างสามารถจะทำการขยายได้เหมือนวงจรขยายทั่วไป ดังรูปที่ 2.4



จากรูปจะพบว่าวงจรนี้ใช้ทั้ง 2 Inputs ของ Op-amp คือขา Inverting (-) และ Non-inverting (+) เพื่อใช้วัดความแตกต่างระหว่างแรงดันที่ป้อนเข้าทั้ง 2 ขา ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าถ้า E_1 ถูกลัดวงจรลงกราวด์ (Ground) แล้วจะเหลือแต่ E_2 ที่จะป้อนเข้าวงจร จึงกลายเป็นวงจร Inverting Amplifier ที่มีอัตราการขยาย (Gain = m) เป็นลบ ซึ่งจะทำให้แรงดันที่ปรากฏที่ Output ของ Op-amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางวิชาการ
เป็นแรงดันลบที่มีอัตราการขยายเป็น $-mE_2$ แล้วถ้า E_2 ถูกลัดวงจรลงกราวด์ ซึ่ง
ไม่ปรากฏใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลายเป็นวงจร Non-inverting Amplifier ที่มีอัตราขยายเป็นบวก แล้ว E_1 ที่ป้อนเข้าวงจรจะถูกแบ่งอยู่ระหว่าง R และ mR จึงทำให้ที่ขา (+) ของ Op-amp มีค่าเป็น $E_1 m / (1+m)$ ซึ่งมีอัตราขยายเป็น m+1 ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณใหม่ให้อัตราขยายถูกต้อง ดังนี้

สูตรอัตราขยายของวงจร Non-inverting Amplifier

$$V_o / E_1 = (1 + m)$$

แทน $E_1 = E_1 m / (1+m)$:

$$V_o / [E_1 m / (1 + m)] = (1 + m)$$

$$V_o (1 + m) / E_1 m = (1 + m)$$

$$V_o = mE_1$$

เมื่อมีการป้อนทั้ง E_1 และ E_2 เข้ามาในวงจร V_o ก็จะเป็น $mE_1 - mE_2$

หรือ

$$V_o = mE_1 - mE_2 = m(E_1 - E_2) \quad \dots(2.13)$$

ซึ่งสมการที่ 2.13 นี้จะถูกเรียกว่าเป็น อัตราการขยายความแตกต่าง (Differential Gain) ที่ถูกจัดขึ้นด้วย อัตราส่วนของความต้านทาน (Resistor Ratio) ในวงจร สมมติว่าในวงจรนี้มีค่า $R = 1 \text{ Kohms}$ และ $mR = 100 \text{ Kohms}$ แล้วจะได้

$$m = mR/R = 100 \text{ Kohms}/1 \text{ Kohms} = 100$$

จงหาค่าของ E_o และ $E_1 = 10 \text{ mV}$ เมื่อ (1) $E_2 = 10 \text{ mV}$

$$(2) E_2 = -20 \text{ mV}$$

$$(3) E_2 = 0 \text{ mV}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) วิธีทำ จากสมการที่ 2.13 จะได้

$$\begin{aligned} V_o &= 100(10 - 10) \text{ mV} \\ &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

(2)
$$\begin{aligned} V_o &= 100(10 - (-20)) \text{ mV} \\ &= 3 \text{ V} \end{aligned}$$

(3)
$$\begin{aligned} V_o &= 100(10 - 0) \text{ mV} \\ &= 1 \text{ V} \end{aligned}$$

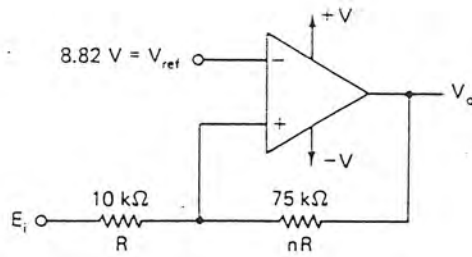
สำหรับวงจร Differential Amplifier นี้ จะนำมาใช้ประกอบอยู่ใน
 ครงงานเป็นตัววัดความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Voltage)
 ซึ่งจะได้จาก Regulator เข้ามาที่ Input ขาหนึ่ง ส่วนที่จะวัดกันจริง ๆ จะมาจาก
 วงจร Rectifier ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน 220 V. ที่จ่ายเข้าหม้อแปลงที่ใช้
 จ่ายไฟแก่วงจร (ไม่ใช่ Auto-Transformer) หลังจากสัญญาณ Input ทั้งสองเข้า
 มาแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะมีการขยายแล้วป้อนโวลต์จอร์เปรียบเทียบ (LM3914) ต่อไป

2.4 วงจร Voltage-Level Detector

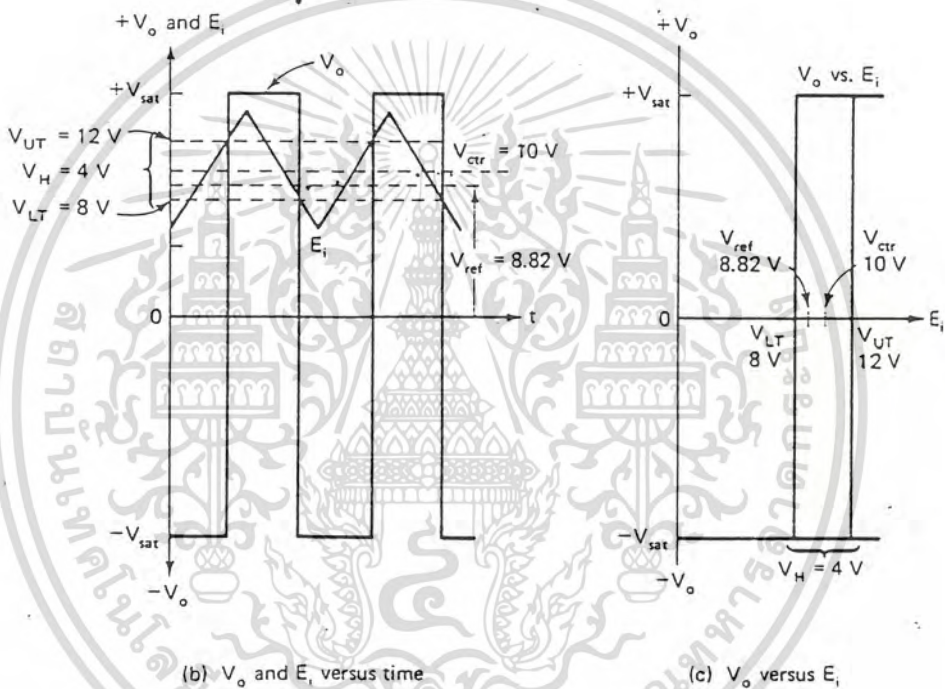
เป็นอีกวงจรหนึ่งที่ใช้ในครงงานนี้ ซึ่งจะใช้ Op-amp เหมือนกัน วงจร
 ลักษณะนี้จะคล้ายวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) โดยที่จะเปรียบเทียบแรงดันที่
 Input ทั้งขา (+) และขา (-) ถ้าที่ขา (+) มีแรงดันมากกว่าขา (-) จะทำให้
 V_o มีค่าเป็นบวก ถ้าให้ที่ขา (-) มีแรงดันมากกว่าขา (+) ก็จะทำให้ V_o เป็นค่าลบ
 ในทางกลับกันถ้ายังคงป้อนแรงดันเหมือนเดิม แต่อาจจะทำให้ V_o มีคีย์ตรงข้ามกับที่
 กล่าวมาแล้วก็ได้ ซึ่งจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ

2.4.1 วงจร Non-Inverting Voltage-Level Detector

จากรูปที่ 2.5 จะสังเกตเห็นว่า ตัวต้านทานป้อนกลับแบบบวก (Positive
 feedback Resistor) จากที่ Output ของ Op-amp มาที่ขา (+) ซึ่งจะเป็นตัว
 ไม่วางกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งเงอหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) The ratio of nR to R or n and V_{ref} determine V_{UT} , V_{LT} , V_H , and V_{ctr}



รูปที่ 2.5

บ่งว่าเป็น Hysteresis ในวงจร เมื่อ V_i ถูกป้อนเข้าสู่วงจรผ่านทาง R ลู่ขา (+) กลายเป็นวงจร Non-Inverting ส่วนแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) จะถูกป้อนเข้าที่ขา (-)

สำหรับแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนด้านบนและต่ำ (Upper and Lower-Threshold Voltage) สามารถจะทำการคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_{UT} = V_{ref} (1 + (1/n)) - (-V_{sat} / n) \quad \dots (2.14)$$

$$V_{LT} = V_{ref} (1 + (1/n)) - (+V_{sat} / n) \quad \dots (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน แรงดันฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Voltage) หาได้จาก

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = [(+V_{sat}) - (-V_{sat})]/n \quad \dots (2.16)$$

ที่จริง V_H จะได้อยู่ตรงกลางที่ V_{ref} แต่เป็นเพียงความสมมาตร (Symmetrical) ที่เกี่ยวกับค่าเฉลี่ย (Average Value) ของ V_{UT} และ V_{LT} สำหรับค่าเฉลี่ยจะถูกเรียกว่า แรงดันค่ากลาง (Center Voltage) หรือ V_{ctr} ซึ่งจะคำนวณหาได้จาก

$$V_{ctr} = (V_{UT} + V_{LT})/2 = V_{ref} (1 + (1/n)) \quad \dots (2.17)$$

ถ้าจะสังเกตดูในสมการที่ 2.16 และ 2.17 จะพบว่า มี n ร่วมอยู่ที่สองสมการ ซึ่งจะปรับเปลี่ยนได้ใน nR อันมีผลกระทบต่อทั้ง V_{ctr} และ V_H

จากโจทย์ตัวอย่าง จากรูปที่ 2.5 ให้ออกแบบค่า R และ nR เมื่อให้ $V_{UT} = 12 \text{ V.}$ และ $V_{LT} = 8 \text{ V.}$ ให้ $+V_{sat} = +15 \text{ V.}$

วิธีทำ

จากสมการ 2.16 และ 2.17 ใ้คำนวณหาค่า V_H และ V_{ctr}

$$V_H = 12 - 8 \text{ V.} = 4 \text{ V.}$$

$$V_{ctr} = (12 + 8)/2 = 10 \text{ V.}$$

คำนวณหา n จากสมการ 2.16

$$\begin{aligned} n &= [(+V_{sat}) - (-V_{sat})]/V_H \\ &= [+15 \text{ V.} - (-15 \text{ V.})]/4 \\ &= 7.5 \end{aligned}$$

หาค่า V_{ref} จากสมการ 2.17

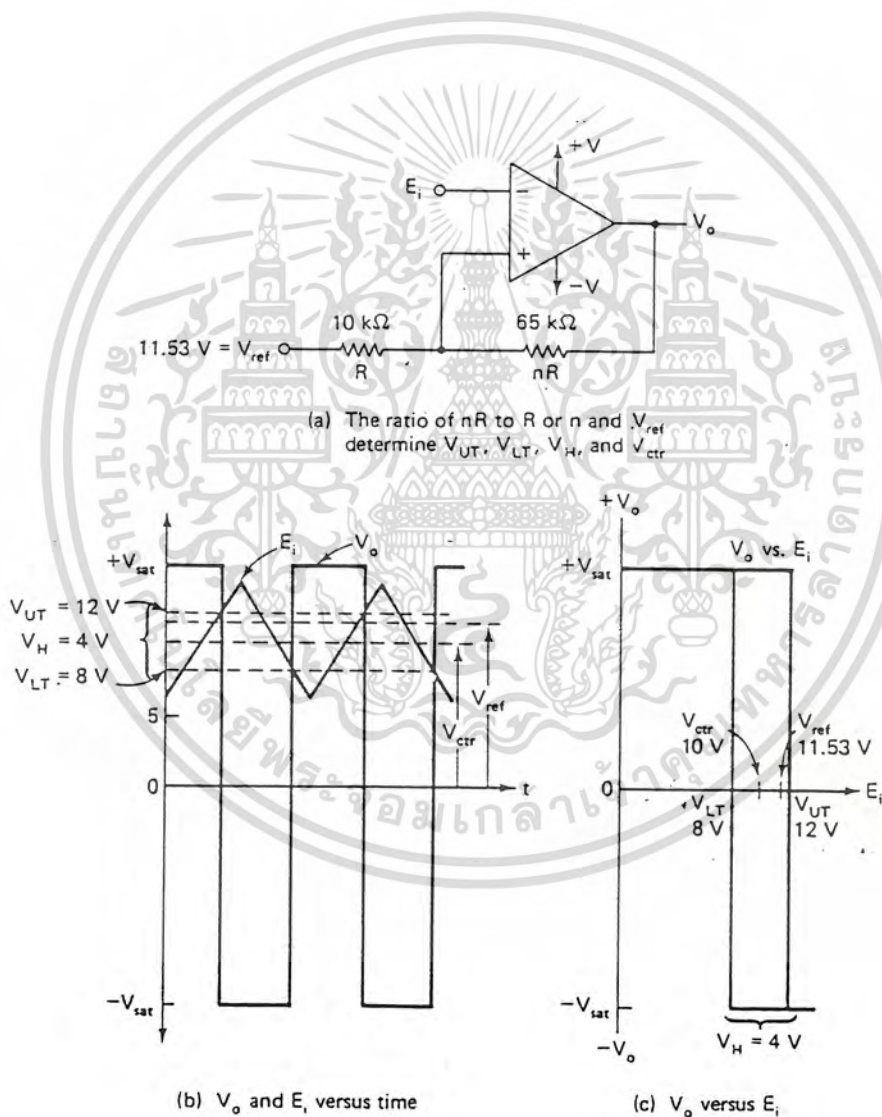
$$\begin{aligned} V_{ref} &= V_{ctr}/(1 + (1/n)) \\ &= 10 \text{ V.}/(1 + (1/7.5)) \\ &= 8.82 \text{ V.} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ถ้าให้ $R = 10 \text{ Kohms}$ แล้ว $nR = 7.5 \times 10 \text{ Kohms} = 75 \text{ Kohms}$ ซึ่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำใช้

จะนำมาใช้ในวงจร

สำหรับวงจรนี้จะนำมาใช้ในโครงการเป็น วงจรตรวจแรงดันเกิน (Over Voltage Detector) ซึ่งจะมีการอธิบายรายละเอียดในการใช้งานในโครงการต่อไป

2.4.2 วงจร Inverting Voltage-Level Detector



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6

จากรูปที่ 2.6 สามารถคำนวณ แรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนด้านสูงและต่ำ (Upper and Lower-Threshold Voltage) จากสมการต่อไปนี้

$$V_{UT} = (n/(n + 1))V_{ref} + (+V_{sat}/(n + 1)) \quad \dots (2.18)$$

$$V_{LT} = (n/(n + 1))V_{ref} + (-V_{sat}/(n + 1)) \quad \dots (2.19)$$

ส่วน V_H และ V_{ctr} ซึ่งจะคำนวณหาได้จาก

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = [(+V_{sat}) - (-V_{sat})]/(n + 1) \quad \dots (2.20)$$

$$V_{ctr} = (V_{UT} + V_{LT})/2 = V_{ref} (n/(n + 1)) \quad \dots (2.21)$$

จากโจทย์ตัวอย่าง จากรูปที่ 2.6 ให้เอาแบคค่า R และ nR เมื่อให้ $V_{UT} = 12 \text{ V.}$ และ $V_{LT} = 8 \text{ V.}$ ให้ $+V_{sat} = +15 \text{ V.}$

วิธีทำ

จากสมการ 2.20 และ 2.21 ใช้คำนวณหาค่า V_H และ V_{ctr}

$$V_H = 12 - 8 \text{ V.} = 4 \text{ V.}$$

$$V_{ctr} = (12 + 8)/2 = 10 \text{ V.}$$

คำนวณหา n จากสมการ 2.20

$$\begin{aligned} n &= [[(+V_{sat}) - (-V_{sat})] / V_H] - 1 \\ &= [[+15 \text{ V.} - (-15 \text{ V.})] / 4] - 1 \\ &= 6.5 \end{aligned}$$

หาค่า V_{ref} จากสมการ 2.21

$$\begin{aligned} V_{ref} &= V_{ctr} (n + 1)/n \\ &= 10 (6.5 + 1)/6.5 \\ &= 11.53 \text{ V.} \end{aligned}$$

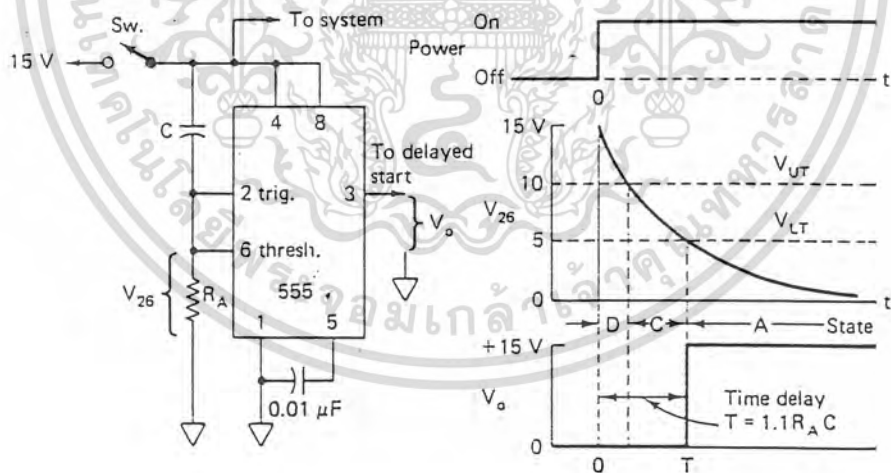
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ $R = 10 \text{ Kohms}$ แล้ว $nR = 6.5 \times 10 \text{ Kohms} = 65 \text{ Kohms}$ ซึ่งจะนำมาใช้ในวงจร

สำหรับวงจรมีจะนำไปใช้ในโครงงานเพื่อเป็น วงจรตรวจแรงดันตกเกิน (Under Voltage Detector) ซึ่งจะมีการอธิบายรายละเอียดในการใช้งานในโครงงานต่อไป

2.5 วงจร Power On Delay

สำหรับวงจรมีจะใช้ไอซีชนิดนิยมเบอร์ 555 ซึ่งจะมีรายละเอียดอยู่ในหมวดอ้างอิงอีกที่ท้ายเอกสารนี้ วงจร Power On Delay คือ วงจรที่จะทำงานอยู่ในช่วงเวลาที่มีการจ่ายไฟเข้ามาที่วงจร ซึ่งก็จะขึ้นกับการตั้งเวลาไว้เท่าใด เมื่อหมดเวลาที่ตั้งไว้แล้วก็จะหยุดทำงาน แม้ว่าจะมีการจ่ายไฟให้แก่วงจรอื่น ๆ ในระบบอยู่ก็ตาม ซึ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน



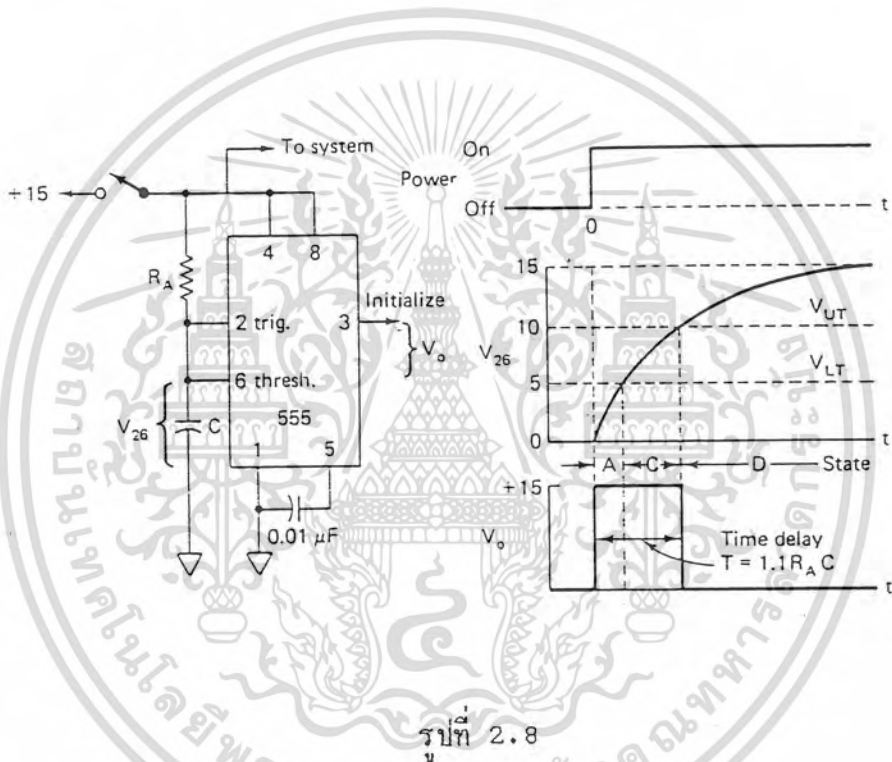
รูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7 จะเป็นแบบแรกที่จะกล่าวถึง ในกราฟของ Power ที่เวลา $t = 0$ ก็จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็น 0 เช่นเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาเปเซประเษขนดานการค้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ V_{out} ของ 555 เป็น 0 หรือไม่ทำงาน ไม่วากรณ์เตๆ ทังสน อักทังทามมเหตุดแบลงเนือหาและตองอั้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากปิดสวิทช์ให้มีการจ่ายไฟเข้าวงจรที่เวลา $t = 0$ แล้ว จะมีการ
 หนึ่งช่วงเวลาไปเท่ากับสมการ

$$T = 1.1R_A C \quad \dots (2.22)$$

ดังนั้นช่วงเวลาที่หนึ่งจะขึ้นกับค่าของ R_A และ C ที่อยู่ในวงจรเป็นสำคัญ

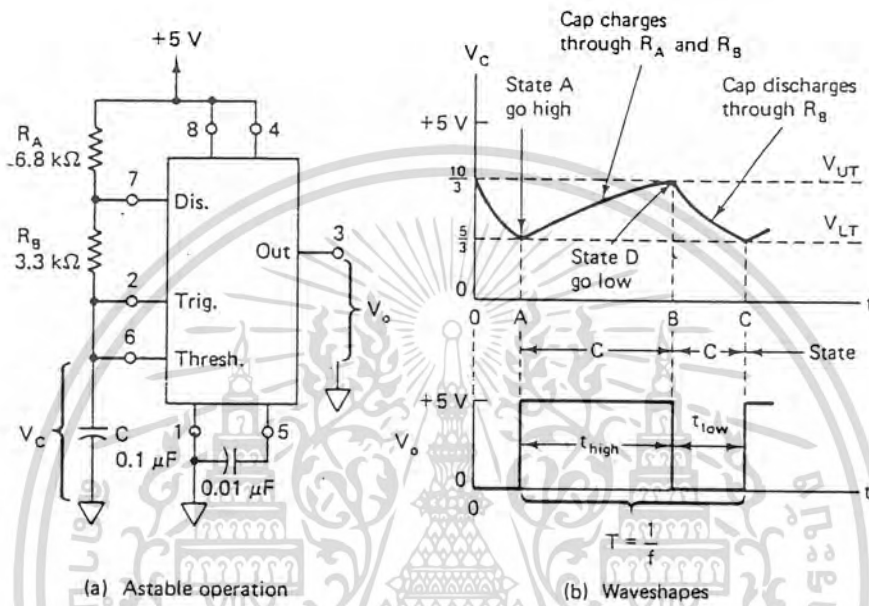


สำหรับวงจรในแบบที่สองนั้นจะเป็นไปตามรูปที่ 2.8 จะสังเกตเห็นว่าต่าง
 กันที่แรงดัน V_0 ซึ่งจะเกิดจากการสลับตำแหน่งของ R_A และ C เท่านั้น แต่การ
 คำนวณช่วงเวลาที่หนึ่งก็ยังคงใช้สมการที่ 2.22 อยู่เหมือนเดิม
 ส่วนวงจรที่เราจะเลือกใช้ในโครงงานนี้จะเป็นไปตามรูปที่ 2.8

2.6 วงจร Astable

ในวงจรนี้จะใช้ไอซีเบอร์ 555 เช่นกัน เพราะให้ความสะดวกกว่าที่จะใช้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 วงจรอื่น ๆ วงจร Astable นี้อีกชื่อว่า Free Running Multivibrator ซึ่ง
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่า วงจรนี้ไม่จำเป็นต้องมีการกระตุ้นจากภายนอกกระทำต่อวงจรซ้ำ ๆ กัน แต่วงจรก็ยังทำงานได้อย่างต่อเนื่องไปตลอด จนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเข้าวงจร วงจร Astable จะเป็นวงจรที่ผลิตความถี่ที่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.9

จากรูปที่ 2.9 ที่ช่วงเวลา A นั้นทั้งขา 2 และ 6 จะต่ำกว่าค่า $V_{LT} = (1/3)V_{CC}$ และ V_o ที่ขา 3 จะเป็น High (State A) ซึ่งที่ขา 7 จะกลายเป็นเปิดวงจรอยู่ แต่ที่ C จะมีกระแสไหลเข้ามาอยู่ตลอดโดยผ่านทาง $R_A + R_B$ เมื่อ V_o ยังเป็น High อยู่จนถึงช่วงเวลา A ถึง B เมื่อ C เก็บประจุไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง V_c มีค่าเท่ากับ $V_{UT} = (2/3)V_{CC}$ ก็คือถึงจุด B พอดี ซึ่ง 555 จะอยู่ในช่วง D (State D) และจะทำให้ V_o เป็น Low แต่ที่ขา 7 จะเป็น Low และ C ก็ จะเริ่มคลายประจุ (Discharge) ผ่านทาง R_B ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง V_c มีค่าเท่ากับ V_{LT} อีกครั้งก็จะทำให้ V_o เป็น High ซึ่งจะเป็นเช่นนี้ไปตลอดจนทำให้เกิดเป็นความถี่ขึ้นมา

เมื่อ C เก็บประจุจากช่วงแรงดัน $(1/3)V_{CC}$ และ $(2/3)V_{CC}$ แล้วจะหาค่าของเวลาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_{high} = 0.695(R_A + R_B)C \quad \dots(2.23)$$

และเมื่อ C คลายประจุจากช่วงแรงดัน $(2/3)V_{cc}$ และ $(1/3)V_{cc}$ แล้วจะหาค่าของเวลาได้ดังนี้

$$t_{low} = 0.695R_B C \quad \dots(2.24)$$

ดังนั้นคาบเวลารวมและความถี่ จึงเป็น

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695(R_A + 2R_B)C \quad \dots(2.25)$$

$$f = 1/T = 1.44/((R_A + 2R_B)C) \quad \dots(2.26)$$

สำหรับวงจร Astable นี้จะใช้ในโครงงานเป็นวงจรกำหนด Data ให้ออกที่ Output เป็นห่วง ๆ ตามความถี่ของ Astable

2.7 LM3914, Opto and Triac

สำหรับหัวข้อนี้จะได้รายละเอียดจากหมวดอ้างอิงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างโครงงาน

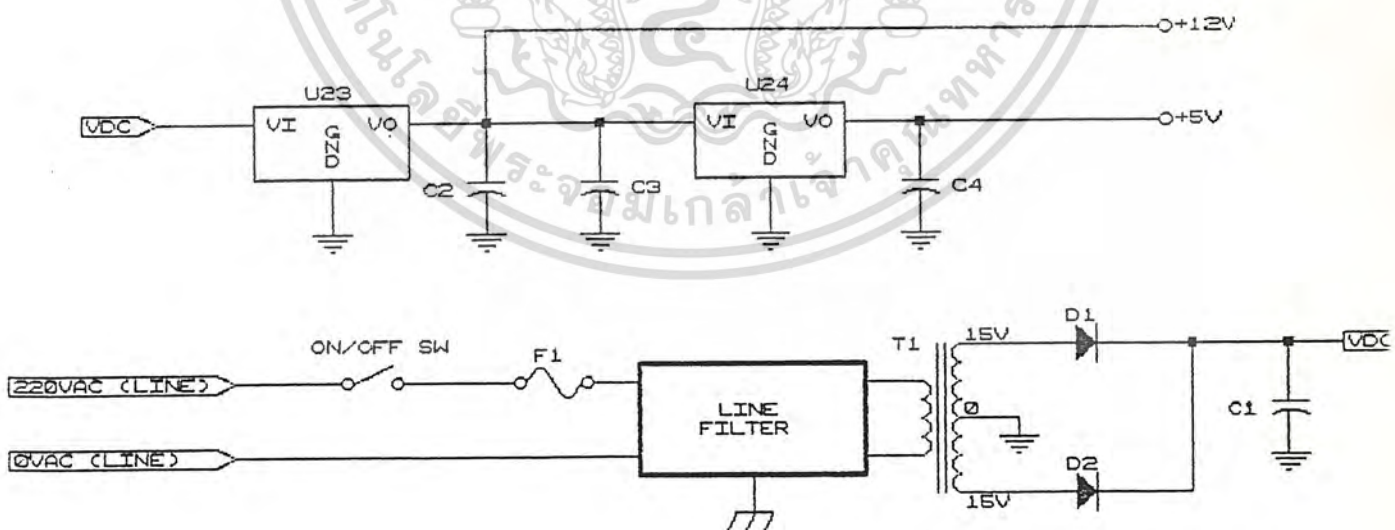
3.1 คำนำ

สำหรับโครงงาน Automatic Voltage Stabilizer นี้จะถูกรวมด้วยระบบอะนาล็อกและดิจิทัลพื้นฐานเท่านั้น ซึ่งไม่มีระบบคอมพิวเตอร์มาเกี่ยวข้องด้วย โครงงานนี้แบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ 1. ส่วนทำงานของระบบ (Operating System) 2. ส่วนป้องกัน (Protection System)

3.2 ส่วนทำงานของระบบ (Operating System)

เป็นส่วนที่จะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ Output ให้คงที่ตลอดเวลา โดยจะเริ่มอธิบายจากส่วน Supply ก่อนจนถึง Output ของระบบ

3.2.1 Supply Circuit



รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 220 V ไฟบ้าน เมื่อเปิดสวิตช์แล้ว กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน Fuse และ Line-Filter ซึ่งจะช่วยกรองความถี่ที่ไม่ต้องการถูกลบออกเข้าสู่ระบบ ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้า (T1) ขนาด 2 A. ซึ่ง Output ของหม้อแปลงจะเป็นแบบ 15 0 15 Center Tap หลังจากไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงแล้วจะผ่านวงจร Rectifier แบบ Full Wave (D1 + D2) เข้าสู่ วงจร Filter C1 จากจุดนี้จะได้ V_{dc} เป็น $15 \times \sqrt{2} = 21.213 \text{ V}$ และจะจ่ายออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดแรกจะจ่ายให้กับวงจร Differential และ Detector ส่วนอีกชุดจะจ่ายแก่ วงจร Regulator ทั้ง +12 V. (7812) และ +5 V. (7805)

การที่เรานำเอาแรงดันจากชุด Rectifier และ Filter มาแล้ว ไปใช้ในการวัดความแตกต่างอันเนื่องมาจากแรงดันที่จ่ายให้กับชุด Primary ของ T1 ถ้าแรงดันที่เข้า Primary เป็น 190 V. $V_{dc} = 18.32 \text{ V}$. และถ้าเข้ามาเป็น 244 V. แล้ว $V_{dc} = 23.52 \text{ V}$. จากจุดนี้จึงได้นำมาป้อนแก่ วงจรวัดต่อไป

3.2.2 วงจร Differential and Separation

เมื่อมี V_{dc} จากหัวขั้วที่แล้วก็ป้อนเข้า วงจร Differential โดยจะเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงจาก +12 V. (รายละเอียดดูในบทที่ 2)

$R1 = 10 \text{ K}$ และ $VR2 = 20 \text{ K}$ ให้เอามิเตอร์วัดระหว่าง $R1$ และ $VR2$ ว่าเท่ากับ 6 V. หรือไม่ ถ้าไม่ก็ให้ปรับ $VR2$ จนได้ 6 V. ส่วนที่ $R4 = 20 \text{ K}$ และ $VR1 = 10 \text{ K}$ ให้เอา Variac ต่อเข้ากับวงจร แล้วปรับให้ได้ Output = 190 V_{ac} จากนั้นให้เอามิเตอร์วัดที่จุดต่อของ $R4$ และ $VR1$ ว่าเท่ากับ 6 V. หรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ปรับที่ $VR1$ จนได้แรงดันเท่าที่ต้องการ

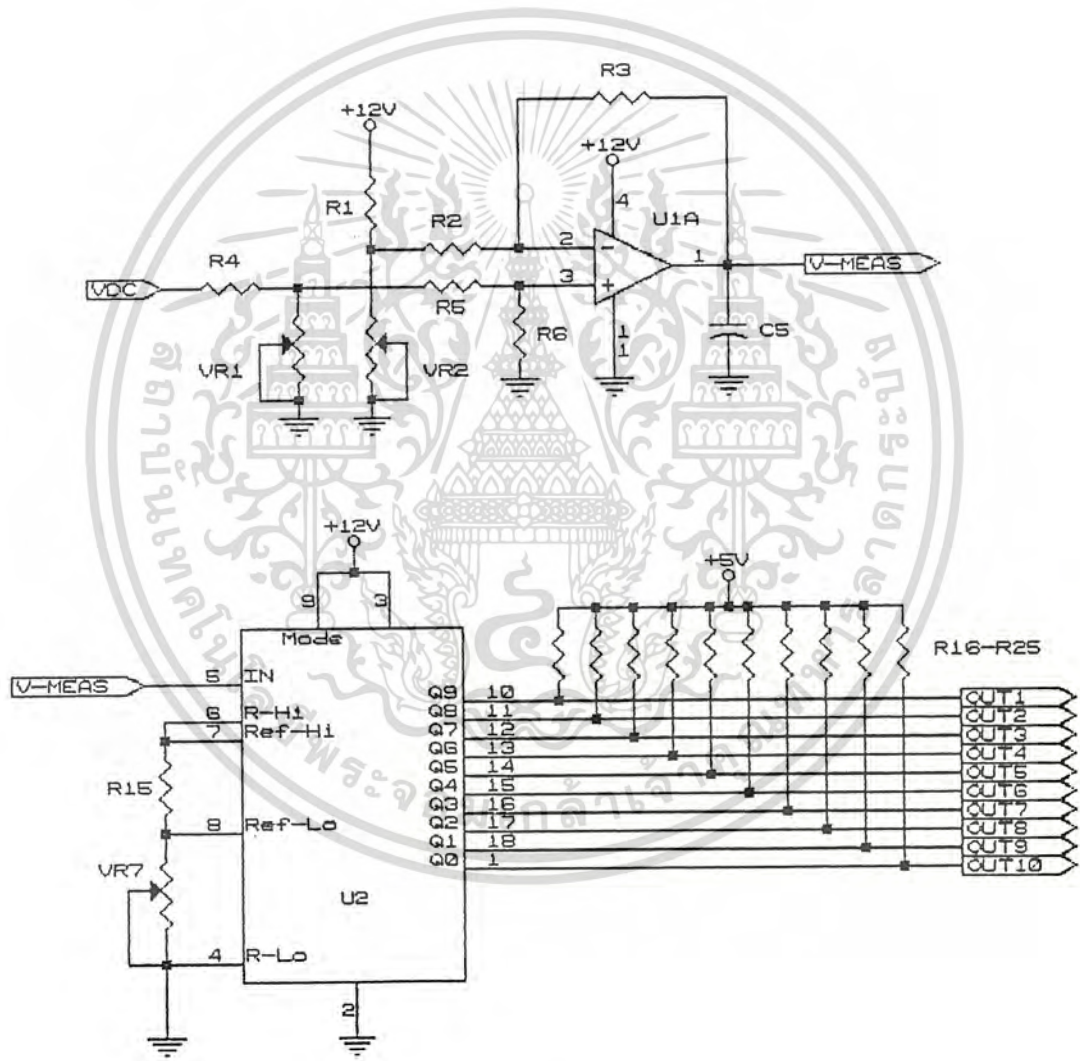
จากหัวขั้วที่ผ่านมาเมื่อ $V_{ac} = 190 \text{ V}$ แล้ว $V_{dc} = 18.32 \text{ V}$. หรือ $V_{ac} = 244 \text{ V}$ แล้ว $V_{dc} = 23.52 \text{ V}$. เมื่อผ่านวงจร Differential แล้วจะทำให้มี V_o อยู่ระหว่าง 0 V. ถึง 7.7 V. ดังนั้นอัตราการขยายจึงไม่จำเป็นต้องมากกว่า 1 หรือเท่ากับ 1 จึงทำให้ $R2, R3, R5$ และ $R6 = 10 \text{ K}$. ส่วน $C5 = 10 \mu\text{F}$. ส่วน V_o ของวงจรจะต่อเข้ากับ LM3914 ที่ขา 5

สำหรับวงจร Separation ข้อมูลว่าควรจะอยู่ลำดับใดใน 10 ระดับที่ตั้งไว้ แล้วหลังจากได้รับข้อมูลเข้ามาจากวงจร Differential ตัวที่ทำหน้าที่นี้จะเป็น IC

เอกส. ขอร์ LM3914 ซึ่งจะมีรายละเอียดอยู่ในหมวดอ้างอิง LM3914 จะเป็นตัวที่คอยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตแรงดันที่เข้ามาที่ขา 5 ว่าเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร สำหรับแรงดันที่เข้ามาจะถูก
จัดลำดับโดยวงจร Comparator ในตัวมันเอง ซึ่งจะใช้วิธีวัดเปรียบเทียบกับแรงดัน
อ้างอิงจากขา 6 (High Level) และ 4 (Low Level) ของตัวมัน

แรงดันอ้างอิงจะถูกสร้างด้วยวงจร Regulator ในตัวมัน โดยที่ขา 8 จะ
มี VR7 เพื่อใช้ปรับให้เกิดแรงดันที่ขา 7 แล้วป้อนให้กับขา 6 อีกทีเพื่อใช้ทำเป็นแรงดัน
อ้างอิงเทียบกับขา 4



รูปที่ 3.2

Output ที่แสดงออกมาจะเป็นบิต (Bit) ซึ่งขาที่ใช้แสดงผลก็จะเป็นขาที่
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์การค่า
ขา 1, 10 ถึง 18 และให้แสดงแบบ Bar ด้วย สำหรับแรงดันที่เข้าจะถูกเปรียบเทียบ
ไม่จากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งที่ ไม่มีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเชิงของเอกสารทุกเรื่องที่มีในแบบใช้

กับแรงดันอ้างอิงที่ขา 6 เทียบกับขา 4 (ปกติจะลงกราวด์อยู่เสมอ ซึ่งก็แล้วแต่การจัดแรงดันอ้างอิง)

ต่อไปนี้จะอธิบายถึงการตั้งค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ รอบข้าง โดยที่ให้ $R_{15} = 1.2 \text{ K}$ และ $VR_7 = 10 \text{ K}$ ใช้มิเตอร์วัดที่ขา 7 ของ LM3914 แล้วปรับ VR7 จนมีแรงดันเท่ากับ 7.7 V. ก็ถือว่าเป็นอันใช้ได้

ส่วน $R_{16}-R_{25}$ ที่ต่ออยู่กับ Output ของ IC นั้น เนื่องจากวงจรของ Output ของ IC เป็นแบบ Open Collector อีกทั้งต้องการให้ Output เป็น +5V ด้วย จึงต่อ R ทั้ง 10 ตัวเข้ากับ +5 V.

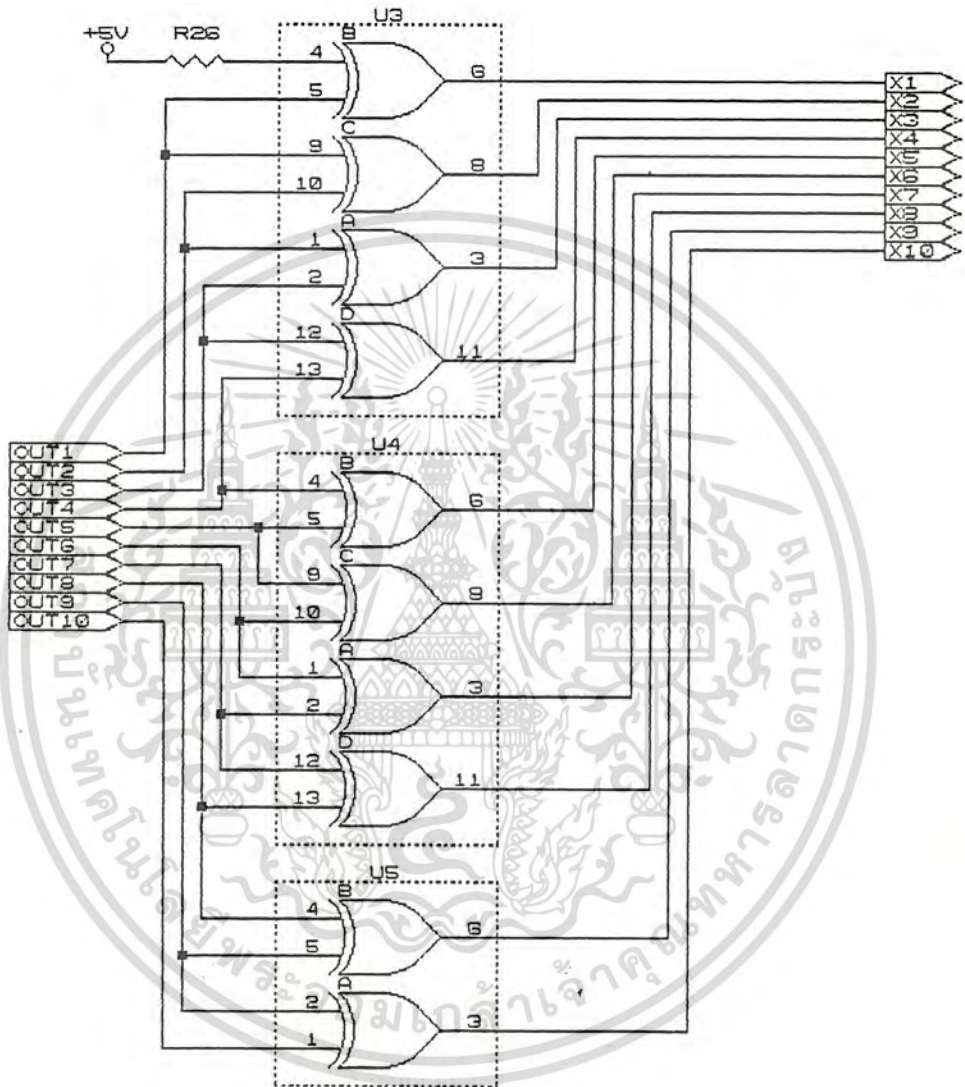
เหตุผลที่ $R_{15} = 1.2 \text{ K}$ ก็เพราะมันจะเป็นตัวจำกัดกระแสที่ผ่านชุด Open Collector ทั้ง 10 ตัวลงสู่กราวด์

Output ทั้ง 10 ของ LM3914 จะแสดงผลเป็น Low เมื่อมันถูกเลือกให้ทำการแสดงผล ส่วนที่แสดงผลเป็น High นั่นคือ ไม่ได้ถูกเลือก จากนั้นต่อไป Output ทั้งหมดของ LM3914 จะถูกนำไปต่อกับวงจร Only One Selector

3.2.3 วงจร Only One Selector และ Buffer

Input A	Input B	Output Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.3
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4

วงจร Only One Selector จะเป็นตัวตัดสินใจในการเลือกเพียงบิตเดียว ในการไปควบคุมพวก Opto อีกทีหนึ่ง สาเหตุที่ต้องมีวงจรนี้ก็เพราะ

1. สำหรับ Auto-Transformer แล้ว เมื่อเรามี Tap ให้เลือกถึง 10 แยกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นอกัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา Tap และจะทำการเลือกมากกว่า 1 Tap ไม่ได้ เพราะจะทำให้ Transformer เกิดไม่ความร้อนใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเบเซ

การ Short ขดกันเองและไหม้ในที่สุด จึงต้องเลือกเพียง Tap เดียวต่อการเลือกใช้ แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปแต่ละลำดับ

2. เนื่องมาจากการจัดวงจร LM3914 ให้แสดงผลแบบ Bar ซึ่งจะแสดงที เดียวเป็นแถบ (บางครั้งอาจจะมากกว่า 1 บิท) ด้วยเหตุผลจากข้อ 1 ข้างต้น

สำหรับวงจร Only One Selector นี้จะใช้ Exclusive-OR (74LS86) ซึ่งจะ เป็น Logic Gate มาตรฐานตัวหนึ่ง ส่วนสัญลักษณ์และตารางความจริงของ Exclusive-OR จะเป็นตามรูปที่ 3.3

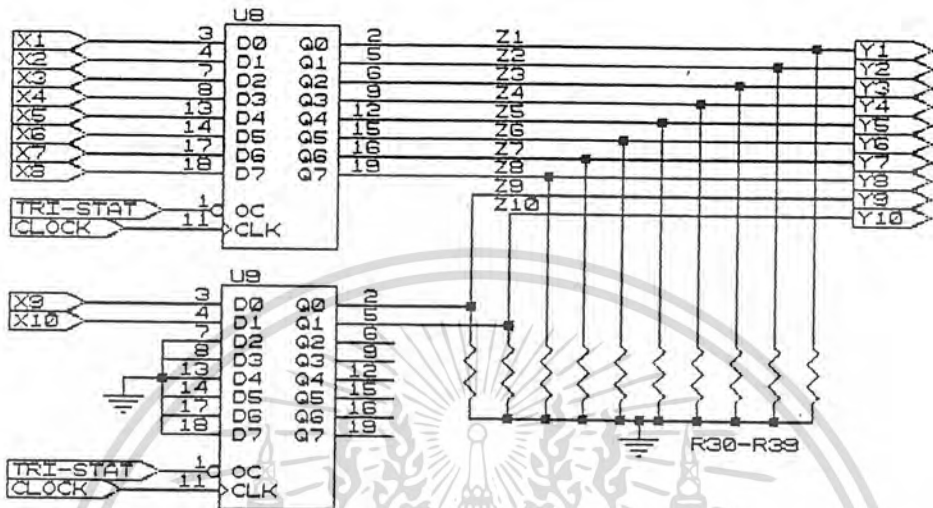
สำหรับที่เราจะใช้ นั้น จะเป็นช่วงที่ Output Q = 1 เท่านั้น สมมติว่าขณะ นี้ LM3914 แสดงผลที่ขา 1, 18, 17, 16 และ 15 เป็น Low ส่วนขาอื่น ๆ ที่เป็น Output ยังคงเป็น High อยู่ Output ของ Exclusive-OR ที่ U4c จะติดเป็น 1 (ตัวที่ 5) แต่ Gate ตัวอื่น ๆ ที่เหลือก็ยังคงแสดงเป็น 0 จากนั้นไป Output ของ Exclusive-OR ทั้งหมดที่ต่ออยู่กับ LM3914 จะถูกต่อไปที่วงจร Buffer (74LS374)

ความเป็นจริงแล้วจาก Exclusive-OR ก็สามารถจะไปควบคุม Opto ได้ แล้ว แต่เนื่องจากว่าช่วงเวลาที่แรงดันที่เข้ามาที่ขา 5 ของ LM3914 กำลังอยู่ในระดับ ที่กำลังจะเปลี่ยนแปลงไปสู่อีกระดับหนึ่ง จะทำให้เกิดความถี่ขึ้นมาประมาณ 50-100 Hz. จนถึงช่วงระดับที่แน่นอนของแต่ละช่วงที่ตั้งค่าไว้แล้วก็จะไม่มีปัญหา สำหรับเหตุผลก็คือว่า ความถี่ที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้การตัดสินใจของ Ex-OR เกิดความผิดพลาดได้คือ เป็น 1 มากกว่า 1 บิทที่มองเห็นได้

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงได้มี Buffer อีกตัวหนึ่งมาใช้เลือกข้อมูล (Data) ในช่วง เวลาใดเวลาหนึ่งตาม Clock ที่จ่ายให้แก่ Buffer เบอร์ 74LS374 จากรูปที่ 3.5 สำหรับ Buffer ตัวนี้ยังมีข้อมูลเพิ่มเติมอีกในหมวดอ้างอิง

การแก้ปัญหาจะเป็น การลดความเร็วของการนำข้อมูลออกไปควบคุม Opto โดยที่จะให้ผ่านเพียง Ex-OR ชั้นเดียว แต่เราจะให้ผ่าน Buffer อีกชั้นหนึ่ง โดยจะ ใช้ Clock จาก 555 (Astable อ่านจากบทที่ 2 เพิ่มเติม) จัดเป็นแบบวงจร Free Running Multivibrator ที่ความถี่ประมาณ 2 Hz ซึ่งจะมีการอธิบายในหัวข้อต่อไป Clock จะถูกป้อนเข้าที่ขา 11 ของ 74LS374 จึงทำให้ข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว จาก Ex-OR เมื่อมี Output ออกที่ 74LS374 มีความแน่นอน และไม่มีโอกาสจะเป็น 1 ได้เลย (ผลนี้ได้จากการทดลองแล้ว)

ส่วนที่ขา 1 นั้นจะเป็นตัวบังคับ Tri-State Output เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง ใหม่ภายใน 3 วินาทีแรก เครื่องจะไม่ทำงานทันทีเพื่อป้องกันไฟกระชากเข้าสู่โหลด แต่ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5

หลังจาก 3 วินาทีไปแล้วเครื่องจะทำงานปกติโดยที่บังคับที่ขา 1 ตัวที่ใช้ทำงานนี้ได้คือ 555 (Timer) จัดให้เป็นวงจร Power On Delay (ข้อมูลอยู่ในบทที่ 2 รูปที่ 2.8) ก่อนเปิดสวิทช์ของเครื่อง ที่ Output ของ 555 จะเป็น 0 แต่เมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ครั้งแรก กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าที่วงจร Power On Delay ทันที ซึ่งทำให้ Output ได้กลายเป็น 1 และได้ต่อไปที่ขา 1 ของ 74LS374 ด้วย จึงทำให้ 74LS374 ช่วงนี้ไม่ทำงานเพราะ Output ของ 74LS374 อยู่ในสภาวะ High-Impedance (ไม่เป็นทั้ง 1 และ 0) จนเวลาผ่านไปประมาณ 3 วินาทีแล้ว Output ของ 555 ก็จะกลายเป็น 0 จากนั้นไป 74LS374 จะทำงานได้ตามปกติ ซึ่งก็ทำให้ 555 ตัวนี้หมดหน้าที่ได้ด้วย ส่วนขาที่เหลืออยู่ก็เป็น Input, Output, +Vcc และ Gnd

3.2.4 วงจร Clock และ Power On Delay

สำหรับวงจร Clock นี้ได้อธิบายถึงการใช้งานไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา แต่ในที่นี้จะอธิบายถึงการคำนวณหาเวลาที่ใช้งานจริง โดยจะอ้างจากสมการในบทที่ 2 ข้อ 2.6 ดังนี้ เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.25 เมื่อ $R_A = R_B = 20K$ และ $C = 10\mu F$ T และ $F=?$

$$\begin{aligned} T &= t_{high} + t_{low} \\ &= 0.695(R_A + 2R_B)C \\ &= 0.695(20K + 2(20K))10\mu F \\ &= 417 \text{ ms.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 1/T \\ &= 1/417\text{ms} \\ &= 2.4 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้น Clock ที่เราใช้มีความถี่เท่ากับ 2.4 Hz ซึ่งก็ช้าพอสมควรอีกมั้ง
แน่นอนด้วยว่าข้อมูลจะไม่ผิดพลาด สำหรับรูปวงจรให้ดูรูปที่ 2.9

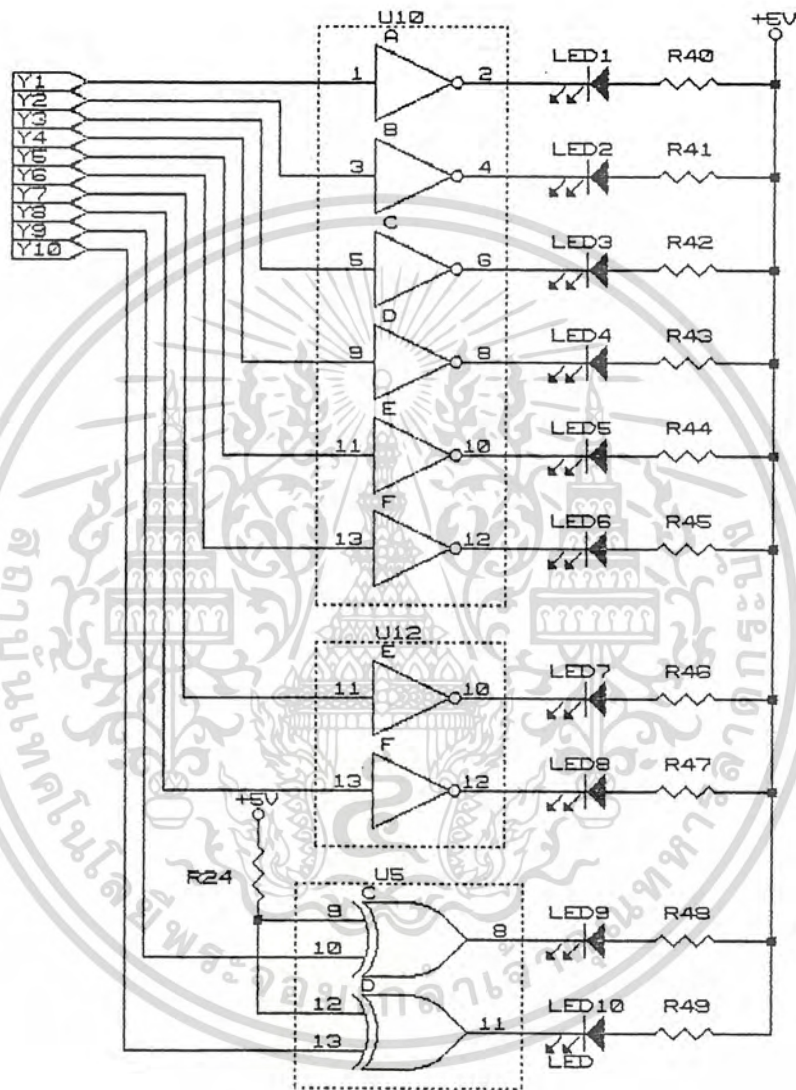
ต่อมาวงจร Power On Delay ซึ่งได้อธิบายวิธีการใช้งานไปแล้วเช่นกันใน
หัวข้อที่แล้ว ในที่นี้ก็แสดงวิธีการคำนวณอีกเช่นกัน โดยจะยกสมการจากหัวข้อที่ 2.5
สมการที่ 2.22 เมื่อ $R_A = 7.5K$ และ $C = 470 \mu F$

$$\begin{aligned} T &= 1.1R_A C \\ &= 1.1(7.5K)(470\mu F) \\ &= 3.8775 \text{ s.} \end{aligned}$$

ดังนั้นถ้าเราจัดค่าของอุปกรณ์เป็นอย่างข้างต้น เราก็จะได้เวลาที่หน่วงออก
ไปประมาณ 3.8775 s. ซึ่งก็มากพอที่จะหน่วงระบบไม่ให้ทำงานทันที เพื่อป้องกันความ
เสียหายอันเกิดแก่ระบบ สำหรับรูปวงจรให้ดูรูปที่ 2.8

3.2.5 วงจร Display

วงจรมีเพียง Not Gate ที่จะช่วยขับ LED อีกทอดหนึ่ง ดังรูปที่ 3.6
จากวงจรจะเห็นว่าส่วน 2 บิตสุดท้ายใช้ EX-OR ก็เพราะมันใช้แทนได้โดยจัดให้ขาไดขา
หนึ่งเป็น 1 ไว้เสมอจากรูปที่ 3.4 เมื่ออีกขาป้อน 1 เข้าไปที่ขาอีกข้าง Output ก็จะ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



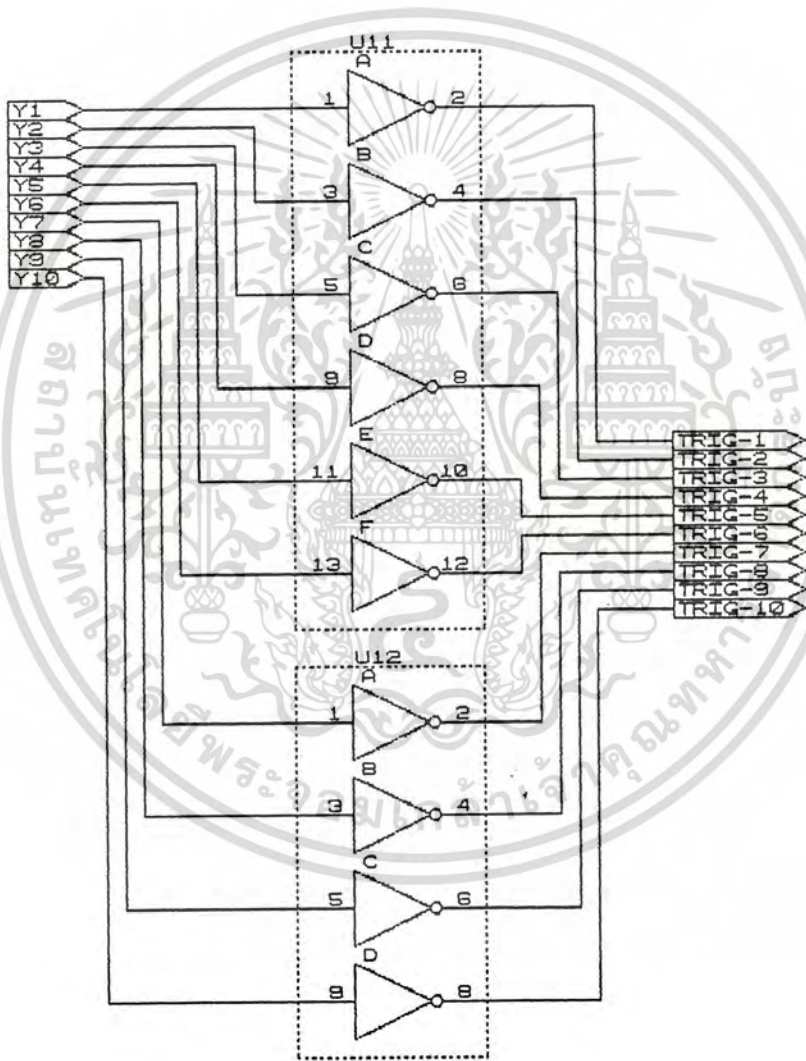
รูปที่ 3.6

เป็น 0 ตามตารางบรรทัดสุดท้าย แต่ถ้าข้อน 0 เข้าไปที่ขานี้ อีก Output ก็จะเป็น 1 ตามตารางบรรทัด 2 และ 3 ดังนั้นมันก็ใช้แทน Not Gate ได้

สำหรับการแสดงผลจะแสดงตามลำดับจากต่ำสุดถึงสูงสุด 10 ลำดับ โดยแต่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ละลำดับจะใช้ Resistor ทำการ Pull Up แรงดันไฟฟ้าผ่าน LED ลงกราวด์ เมื่อมี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

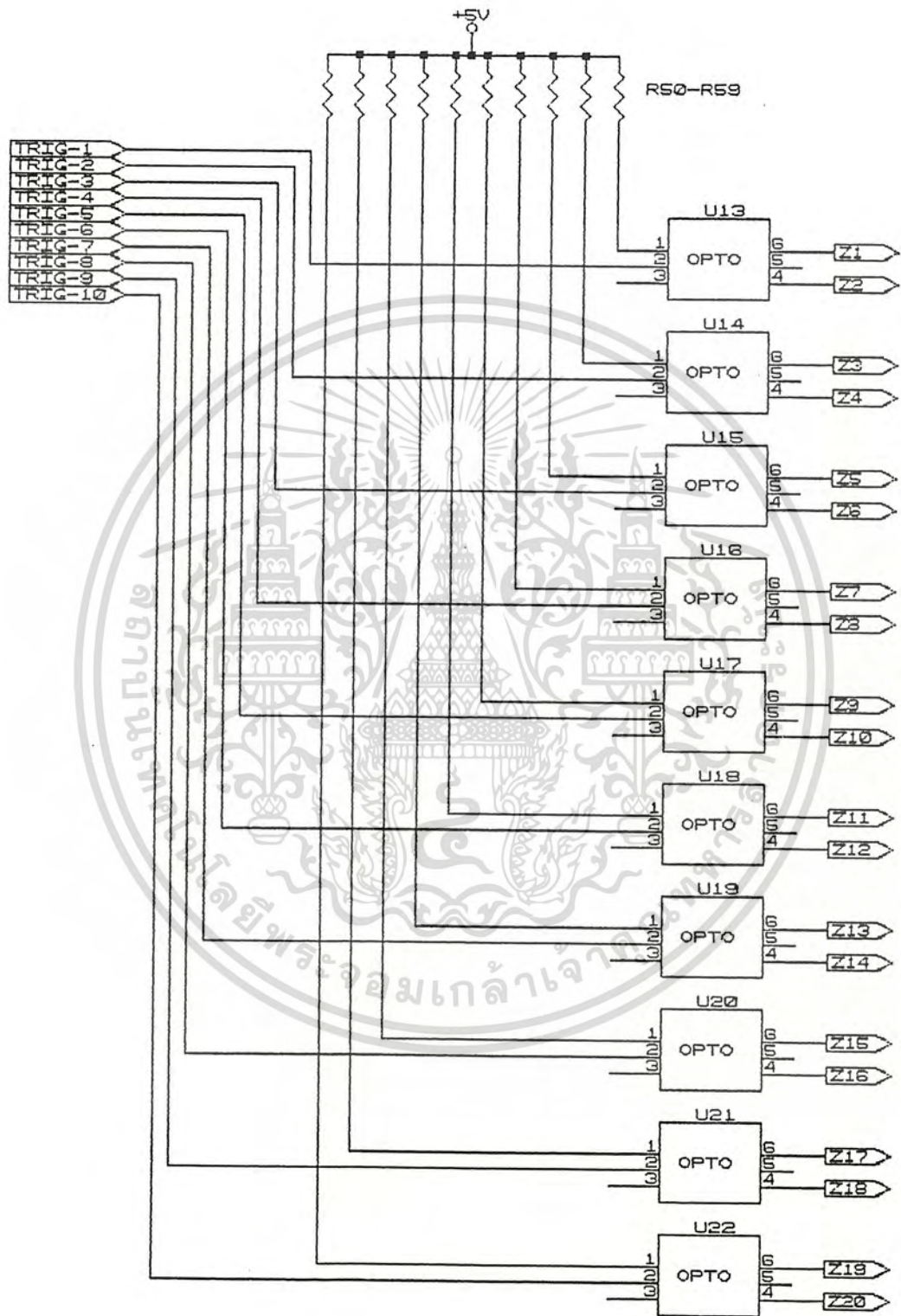
การป้อนแรงดันที่ Input ของ Not Gate เป็น 1 ซึ่งจะทำให้ Output เป็น Low อันจะทำให้น้ำกระแสผ่าน LED ลงกรรاندได้เช่นกัน

3.2.6 วงจรควบคุม Opto Couple



รูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.8
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราจะสังเกตให้ดีจะพบว่า การจัดวงจรจะคล้าย ๆ กับวงจร Display ในหัวข้อที่ผ่านมา ต่างกันเพียงแค่ว่าในหัวข้อที่แล้วเราใช้ LED แต่ครั้งนี้เราจะใช้ Opto ซึ่งก็มี LED ที่อยู่ทางด้าน Input แทนก็สามารถจะใช้งานได้เหมือนกัน

3.2.7 วงจร Opto

ในรูปนี้เราเลือกใช้ Opto เบอร์ MOC3031 ใช้งานในโครงงานนี้ หากจะดูในหมวดอ้างอิงของหัวข้อของ Opto แล้ว รายละเอียดของ LED ทาง Input ของ Opto จะคล้าย ๆ กับ LED ทั่วไป จึงไม่เป็นการยากสำหรับการจัดวงจร Bias ให้กับมัน สำหรับ Output ของ Opto จะเป็น Triac ที่มีวงจร Zero-Crossing ต่ออยู่ เพื่อให้ Triac ที่ต่ออยู่ภายนอก Opto เริ่มต้นทำงาน ณ จะ 0 องศาของสัญญาณ Sine ทำให้ไม่เกิดความผิดปกติในการทำงาน วงจรจึงเป็นไปตามรูปที่ 3.8

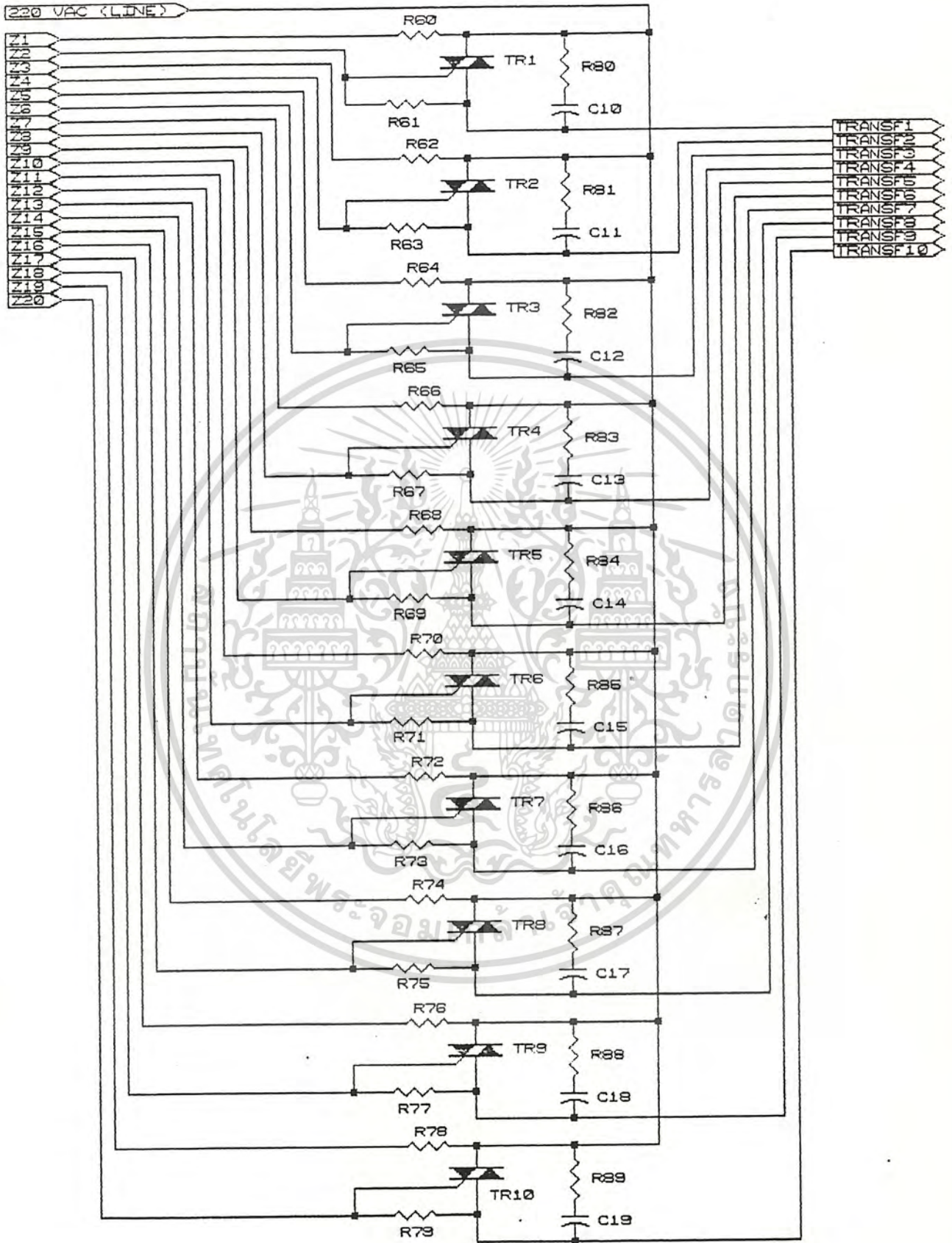
3.2.8 Triac และ Auto-transformer

สำหรับ Triac ที่ใช้จะเป็นเบอร์ MAC210-6 ซึ่งจะมีคุณสมบัติตามรายละเอียดในหมวดอ้างอิง ตัว Triac ในวงจรจะเป็นเพียง Switch เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่าน Tap ของ Transformer เท่านั้น จึงทำให้เลือกคุณสมบัติของ Triac ที่จะใช้ในงานนี้ได้ง่าย ซึ่ง Triac ก็จะมี 10 ตัวเท่ากับจำนวน Tap ของ Transformer พอดี ตามรูปที่ 3.9

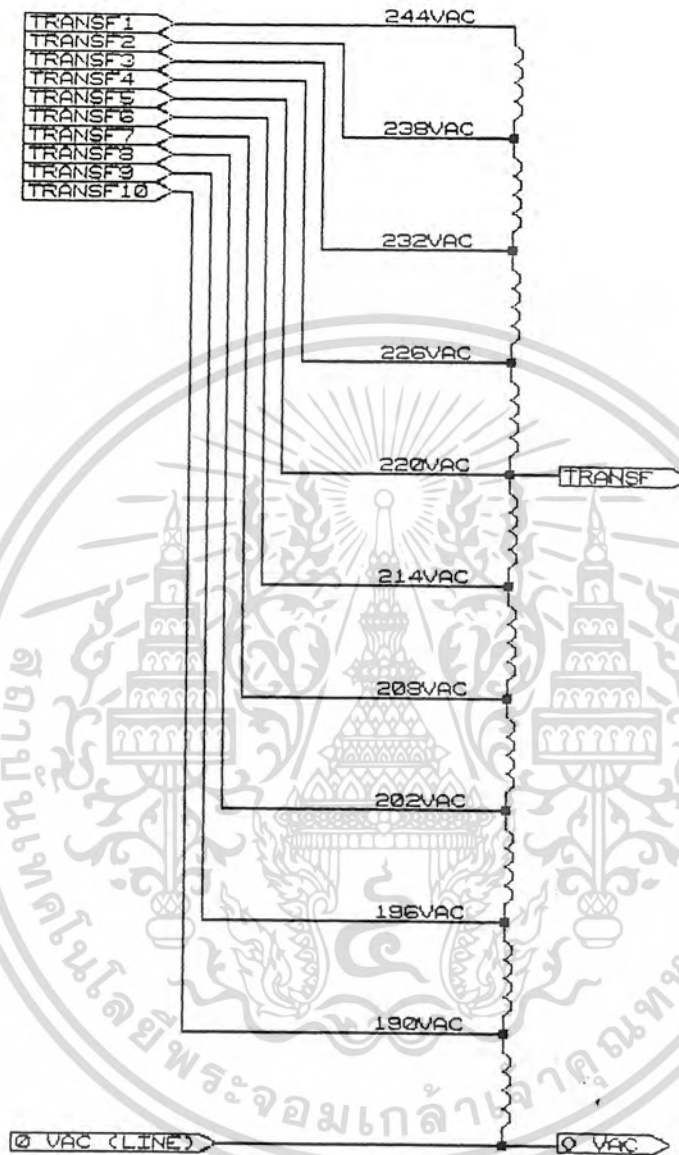
ตัว Auto-transformer ที่ใช้งานอยู่จะเป็น 10 Tap ตามรูปที่ 3.10 ที่แต่ละ Tap ดังในรูปนั้น จะเป็นจุดผ่านแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติให้เกิดการเหนี่ยวนำให้ออกเป็นแรงดัน 220 โวลท์ที่ขดที่ 5

3.2.8 วงจร Protection

จะเป็นวงจรที่ใช้สำหรับวัดความผิดปกติทั้งด้านสูงและด้านต่ำ ส่วนคำอธิบายในแต่ละแบบให้ดูที่บทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4 สำหรับรูปที่ 3.11 ก็จะเป็นวงจรใช้งานจริง TR12 จะเป็นตัวที่คอยป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่กระชากเข้ามาในตอนเปิดเครื่องใหม่ ๆ ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จะทำให้ TR11 เกิดการทำงาน (ON) ให้แก่ Relay ทำงานตัดวงจรในระบบ Output ไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



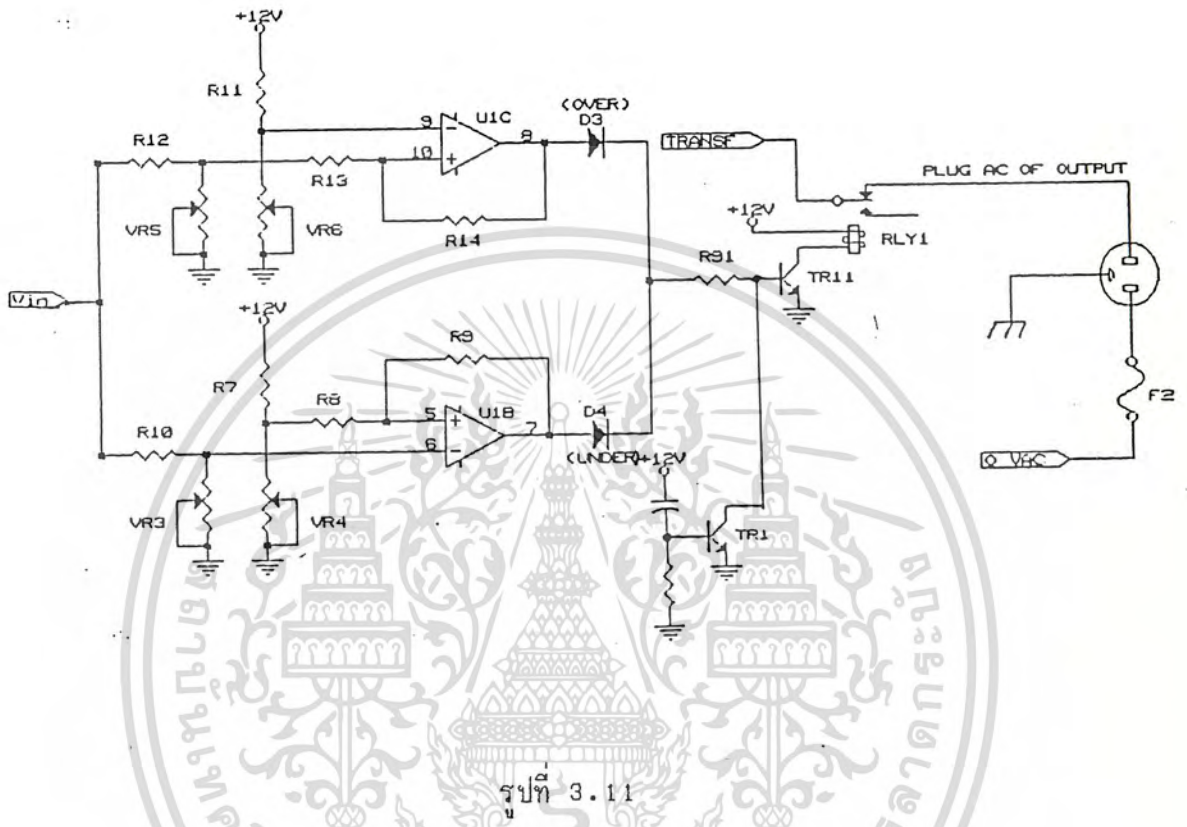
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.9
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10

ออก จึงต้องมี TR12 เข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อเวลาปกติ Op-amp U1B และ U1C จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ Output เป็น 0 โวลต์ แต่เมื่อเกิดแรงดันที่เข้ามาผิดปกติ Op-amp ทั้งสองตัวนั้นจะทำงาน (ทำงานเพียงตัวใดตัวหนึ่ง) ให้แรงดัน Output เป็น 12 โวลต์ (ความเป็นจริงแรงดัน Output ประมาณ 10.5 ถึง 11.7 โวลต์) ซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ภายนอก
 ที่เพียงพอที่จะทำให้ TR11 ทำงานได้
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11

3.3 สรุป

สำหรับวงจรที่ใช้งานจริงทั้งหมดและค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์นั้น ได้ถูกรวมไว้ในหมวดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน ด้วยเหตุผลข้างต้น เมื่อ Op-amp ทำงาน Saturation ที่ $V_o = 12 \text{ V}$. แล้วก็จะส่งผลให้ Transistor ทำงาน แต่เมื่อตัว Op-amp ทำให้ $V_o = 0 \text{ V}$. ไปแล้ว ซึ่งอันที่จริงในขณะนี้ $V_o = 1.4 \text{ V}$. ก็พอที่จะทำให้ Transistor ทำงานต่อไปได้ จึงส่งผลให้ไม่ Off อีก จนกว่าจะ Reset ระบบอีกครั้งหนึ่งเครื่องก็จะทำงานเป็นปกติ

4.2.6 อีกกรณีหนึ่งที่พบก็คือว่า ในขณะที่เริ่มเปิดเครื่องใหม่ ๆ บ่อยครั้งที่ทำให้ตัว TR11 และ Relay เกิดการทำงานก่อน ซึ่งอันเกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่กระชากเข้ามา จึงทำให้ต้องใช้ TR12 เข้ามาแก้ปัญหา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลของโครงการและข้อเสนอแนะ

5.1 คำนำ

จากผลการทดลองในบทที่ 4 อาจพบปัญหาและมีข้อเสนอแนะต่อไป

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเครื่องรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าแบบอัตโนมัติพบว่า ตัวเครื่องและระบบทำงานได้เป็นอย่างดี และเป็นไปตามจุดประสงค์ทุกประการ

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับโครงการนี้มีข้อเสนอแนะอยู่หลายประการด้วยกัน ดังนี้

5.3.1 ในช่วง 190-244 โวลต์ที่อยู่ในโครงการนี้ เราอาจเปลี่ยนให้กว้างขึ้นอีกเป็น 160-260 โวลต์ เพราะที่บ้านเราจะมีปัญหาไฟตกมากกว่าไฟเกิน สำหรับวิธีการปรับเปลี่ยนก็เพียงแต่ตั้งระดับแรงดันที่ใช้ในการวัดใหม่ที่วงจร Differential และ LM3914 อีกทั้งเปลี่ยน Auto-transformer ให้มีระดับความแตกต่างจาก 6 โวลต์ ให้เป็น 10 โวลต์

5.3.2 ในระบบป้องกันเราอาจจะเพิ่มวงจรเสียงเตือน เพื่อให้ทำงานพร้อมกับ Relay เป็นการเตือนให้ผู้ใช้ทราบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

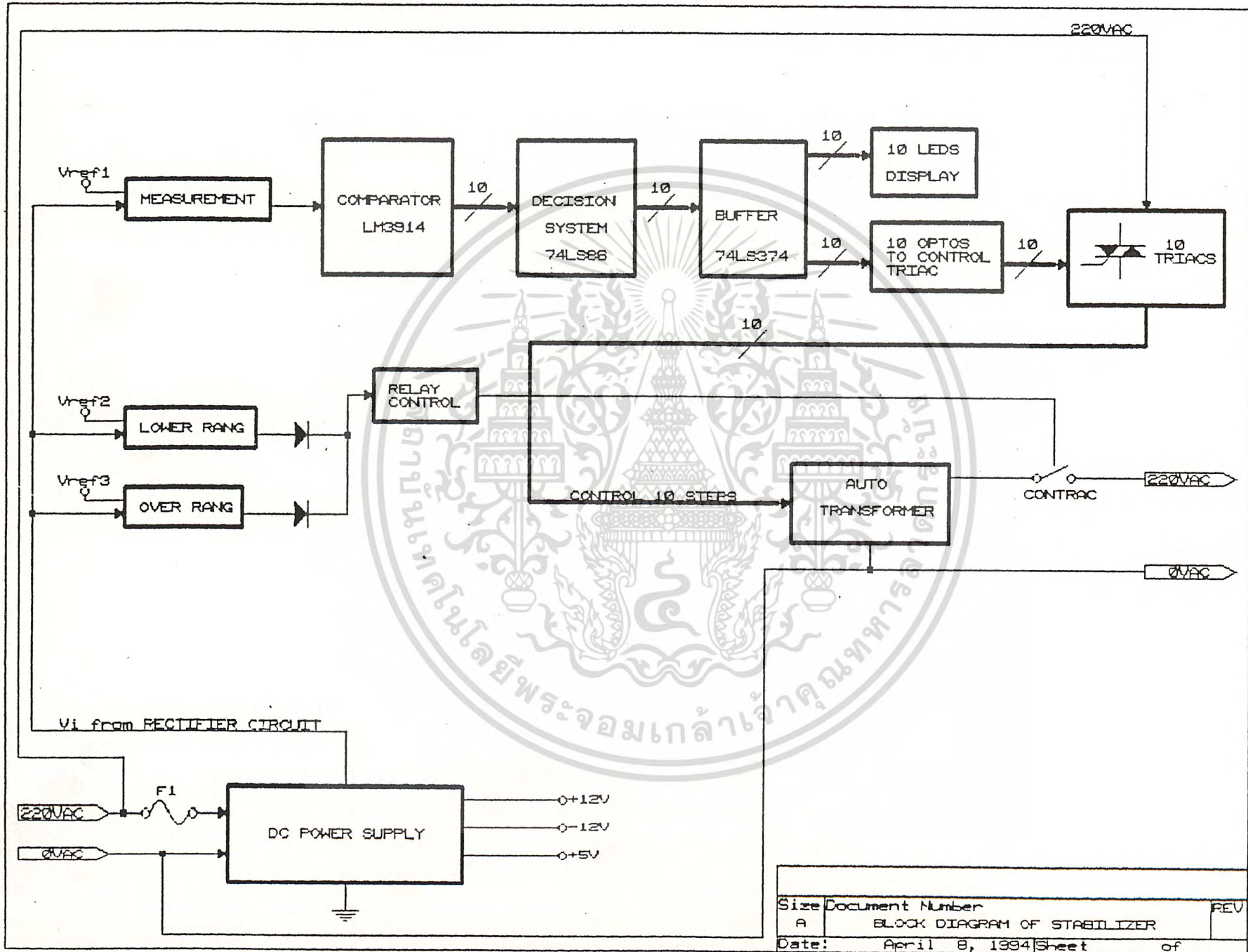
เอกสารอ้างอิง

1. Robert F. Coughlin. Frederick F. Driscoll. Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits . Prentice/Hall International Inc. , 1987
2. NS. General Purpose Linear Devices. National Semiconductor , 1989
3. TI. TTL Logic. Standard TTL, Schottky, Low-Power Schottky . Texas Instruments , 1988
4. Motorola. Motorola Optoelectronics Device Data . Motorola , 1988
5. Motorola. Motorola Thyristor Device Data . Motorola , 1988

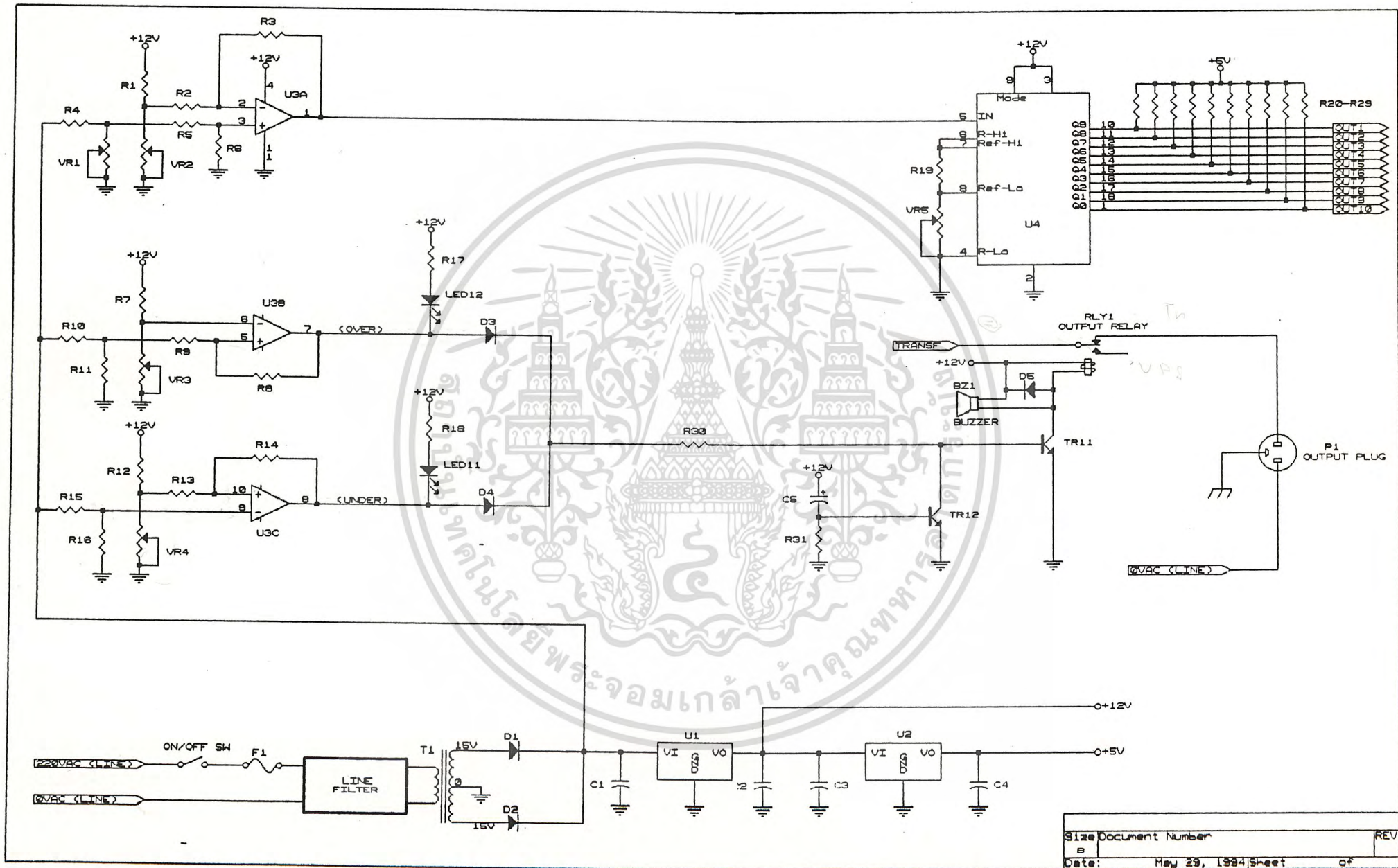
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

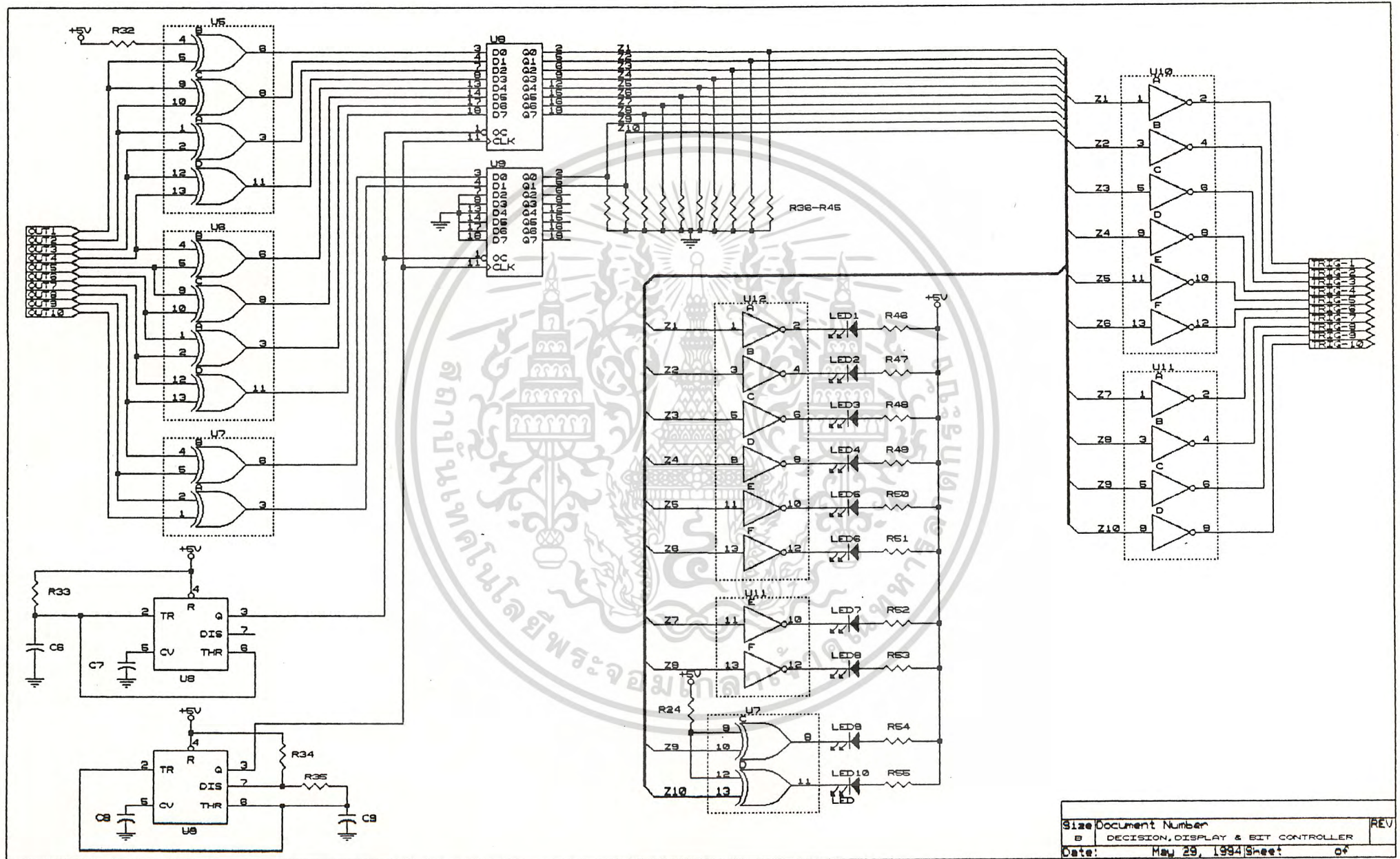


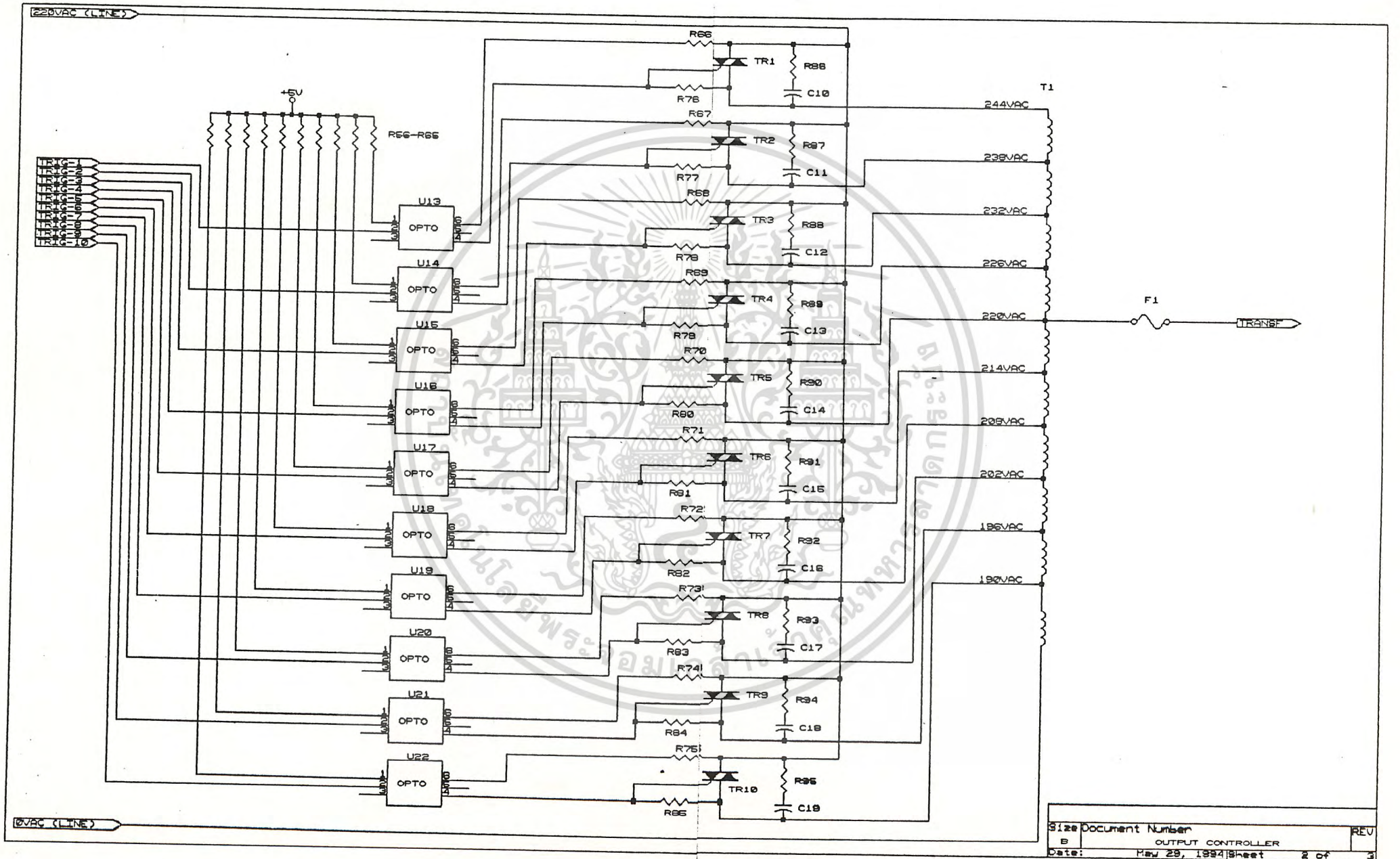
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Size	Document Number	REV
A	BLOCK DIAGRAM OF STABILIZER	
Date:	April 8, 1994	Sheet of







รายการอุปกรณ์ (1)

R1, R2, R4, R5, R7, R10-R12	= 5 K
R3, R6, R8, R13	= 10 K
R9	= 75 K
R14	= 65 K
R15	= 1.2 K
R16-R25	= 1 K
R92	= 180 OHM
C1	= 4700 uF
C2, C4	= 0.1 uF
C3, C5	= 10 uF
D1, D2	= 1N4006
D3, D4	= 1N916
F1	= 5 A
LED11, LED12	= Red
T1	= 220/15-0-15 1 A
U1	= LM324
U2	= LM3914
U23	= 7812
U24	= 7805
VR1-VR7	= 10 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

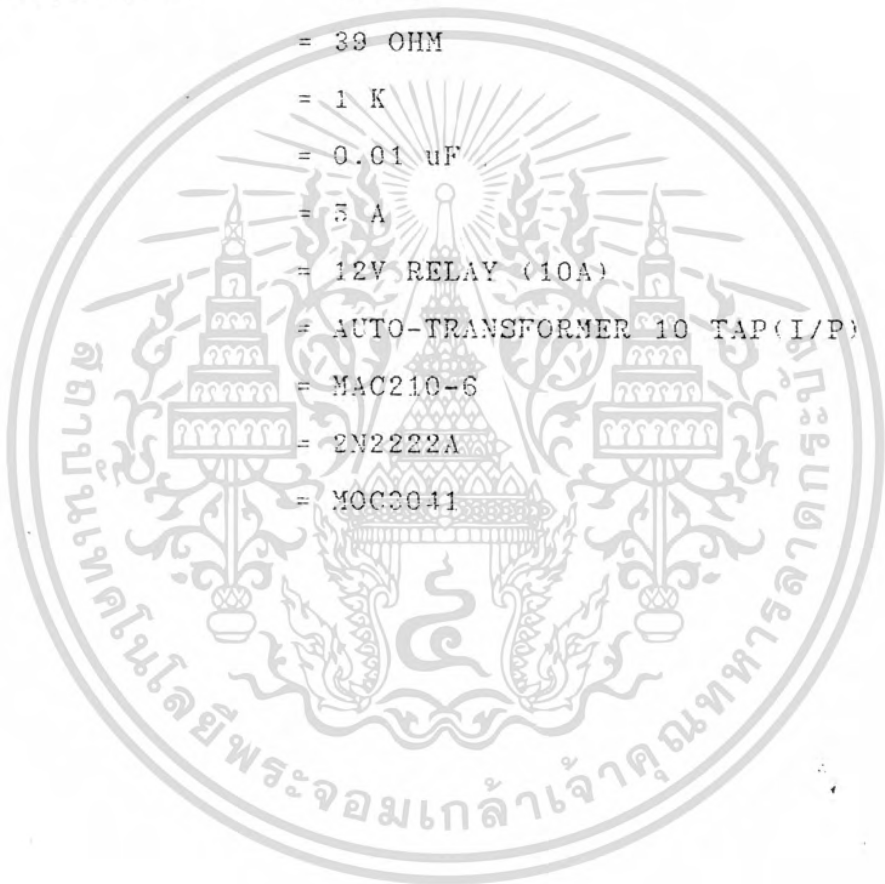
รายการอุปกรณ์ (2)

R26	= 1 K
R27	= 7.5 K
R28	= 20 K
R29	= 20 K
R30-R39	= 4.7 K
R40-R49	= 1 K
C6	= 470 uF
C7	= 0.01 uF
C8	= 0.01 uF
C9	= 10 uF
LED1-LED10	= 4 Red, 3 Green & 3 Yellow
U2-U5	= 74LS96
U6-U7	= 555
U8-U9	= 74LS374
U10-U12	= 74LS04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ (3)

R50-R59	= 1 K
R60, R62, R64, R66, R68, R70, R72, R74, R76, R78	= 360 OHM
R61, R63, R65, R67, R69, R71, R73, R75, R77, R79	= 330 OHM
R80-R89	= 39 OHM
R90	= 1 K
C10-C19	= 0.01 uF
F2	= 5 A
RLY1	= 12V RELAY (10A)
T2	= AUTO-TRANSFORMER 10 TAP(I/P)
TR1-TR10	= MAC210-6
TR11	= 2N2222A
U13-U22	= MOC3041



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM124/LM224/LM324, LM124A/LM224A/LM324A, LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5 V_{DC} power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional +15 V_{DC} power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

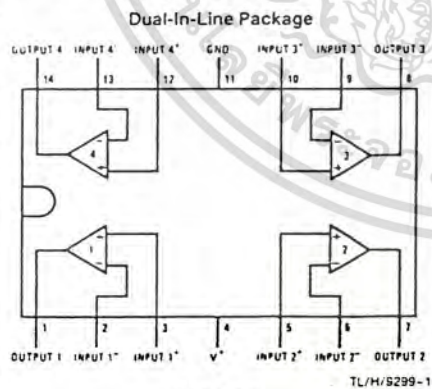
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

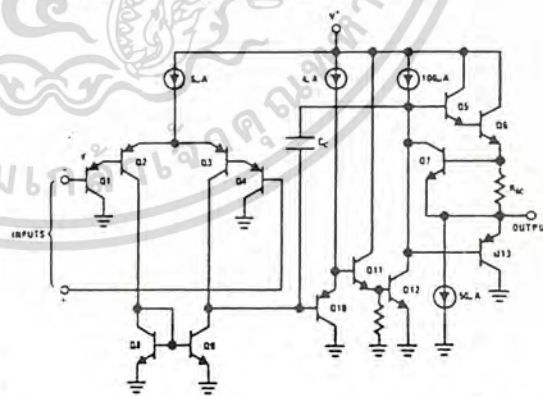
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3 V_{DC} to 32 V_{DC}
 - or dual supplies ±1.5 V_{DC} to ±16 V_{DC}
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA_{DC} (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV_{DC} and offset current 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to V⁺ - 1.5 V_{DC}

Connection Diagram



Top View

Schematic Diagram (Each Amplifier)



Order Number LM124J, LM124AJ, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324AJ, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^+	32 V_{DC} or $\pm 16 V_{DC}$	26 V_{DC} or $\pm 13 V_{DC}$	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Differential Input Voltage	32 V_{DC}	26 V_{DC}	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C
Input Voltage	-0.3 V_{DC} to +32 V_{DC}	-0.3 V_{DC} to +26 V_{DC}	Soldering Information	260°C
Input Current			Dual-In-Line Package	
($V_{IN} < -0.3 V_{DC}$) (Note 3)	50 mA	50 mA	Soldering (10 seconds)	260°C
Power Dissipation (Note 1)			Small Outline Package	
Molded DIP	1130 mW	1130 mW	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW	Infrared (15 seconds)	220°C
Small Outline Package	800 mW	800 mW	See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)			ESD Tolerance (Note 10)	250V
$V^+ \leq 15 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous		250V
Operating Temperature Range		-40°C to +85°C		
LM324/LM324A	0°C to +70°C			
LM224/LM224A	-25°C to +85°C			
LM124/LM124A	-55°C to +125°C			

Electrical Characteristics $V^+ = \pm 5.0 V_{DC}$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25^\circ C$	±1	±2	±1	±3	±2	±3	±2	±5	±2	±7	±2	±7	mV _{DC}
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V, T_A = 25^\circ C$	20	50	40	80	45	100	45	150	45	250	45	250	nA _{DC}
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V, T_A = 25^\circ C$	±2	±10	±2	±15	±5	±30	±3	±30	±5	±50	±5	±50	nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30 V_{DC}$, (LM2902, $V^+ = 26 V_{DC}$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V _{DC}
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	mA _{DC}
		0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15 V_{DC}, R_L \geq 2 k\Omega, (V_O = 1 V_{DC} \text{ to } 11 V_{DC}), T_A = 25^\circ C$	50	100	50	100	25	100	50	100	25	100	25	100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V \text{ to } V^+ - 1.5 V_{DC}, T_A = 25^\circ C$	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	50	70	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC, $V^+ = 5 V_{DC} \text{ to } 30 V_{DC}$ (LM2902, $V^+ = 5 V_{DC} \text{ to } 26 V_{DC}$), $T_A = 25^\circ C$	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB

Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	$f = 1 \text{ kHz to } 20 \text{ kHz}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred)	-120		-120		-120		-120		-120		-120		dB
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1 V_{DC}, V_{IN}^- = 0 V_{DC},$ $V^+ = 15 V_{DC}, V_O = 2 V_{DC}, T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	mA _{DC}
	Sink $V_{IN}^- = 1 V_{DC}, V_{IN}^+ = 0 V_{DC},$ $V^+ = 15 V_{DC}, V_O = 2 V_{DC}, T_A = 25^\circ\text{C}$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	
	$V_{IN}^- = 1 V_{DC}, V_{IN}^+ = 0 V_{DC},$ $V^+ = 15 V_{DC}, V_O = 200 \text{ mV}_{DC}, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	μA _{DC}
Short Circuit to Ground	(Note 2) $V^+ = 15 V_{DC}, T_A = 25^\circ\text{C}$	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	mA _{DC}
Input Offset Voltage	(Note 5)	±4		±4		±5		±7		±9		±10		mV _{DC}
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	±7	±20	±7	±20	±7	±30	±7	±30	±7	±30	±7	±30	μV/°C
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	±30		±30		±75		±100		±150		±145 ±200		nA _{DC}
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	±10 ±200		±10 ±200		±10 ±200		±10		±10		±10		pA _{DC} /°C
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40	100	40	100	40	200	40	300	40	500	40	500	nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30 V_{DC}$ (LM2902, $V^+ = 26 V_{DC}$)	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V _{DC}
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15 V_{DC}$ (V_O Swing = $1 V_{DC}$ to $11 V_{DC}$) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	25		25		15		25		15		15		V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^+ = +30 V_{DC}, R_L = 2 \text{ k}\Omega$	26		26		26		26		26		22		V _{DC}
	$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$ (LM2902, $V^+ = 26 V_{DC}$)	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	23	24	
	V_{OL} $V^+ = 5 V_{DC}, R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	100	mV _{DC}

LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

Electrical Characteristics $V^+ = \pm 5.0 V_{DC}$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter		Conditions		LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source	$V_O = 2 V_{DC}$	$V_{IN}^+ = +1 V_{DC}$ $V_{IN}^- = 0 V_{DC}, V^+ = 15 V_{DC}$	10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		10	20	mA _{DC}	
	Sink		$V_{IN}^- = +1 V_{DC}$ $V_{IN}^+ = 0 V_{DC}, V^+ = 15 V_{DC}$	10	15		5	8		5	8		5	8		5	8		5	8		

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A, LM2902 must be derated based on a $\pm 125^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $88^\circ\text{C}/\text{W}$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a $\pm 150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of $\pm 15 V_{DC}$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3 V_{DC}$ (at 25°C).

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ\text{C} < T_A < +125^\circ\text{C}$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$, the LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} < T_A < +70^\circ\text{C}$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$.

Note 5: $V_O \approx 1.4 V_{DC}$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from $5 V_{DC}$ to $30 V_{DC}$; and over the full input common-mode range ($0 V_{DC}$ to $V^+ - 1.5 V_{DC}$) at 25°C , for LM2902, V^+ from $5 V_{DC}$ to $26 V_{DC}$.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

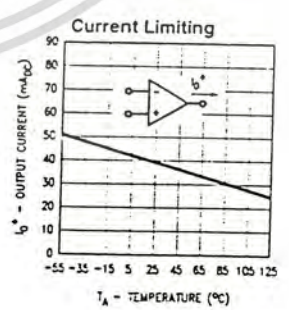
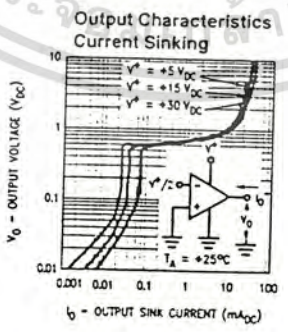
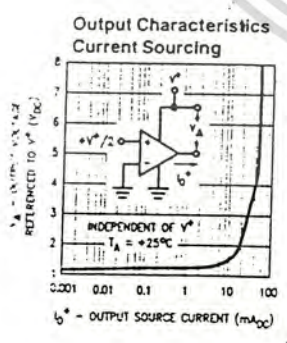
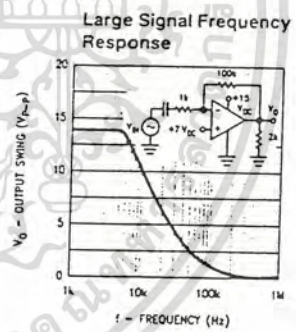
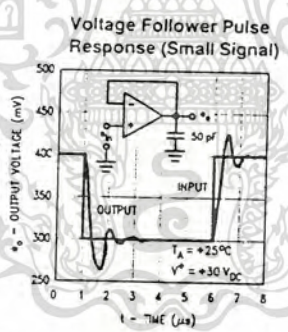
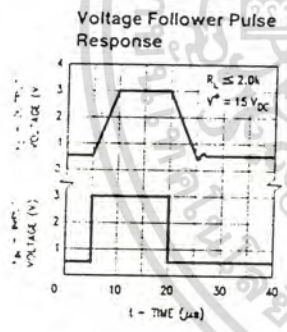
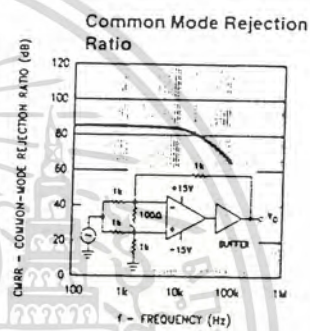
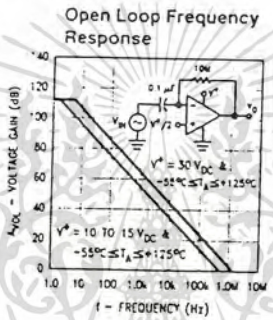
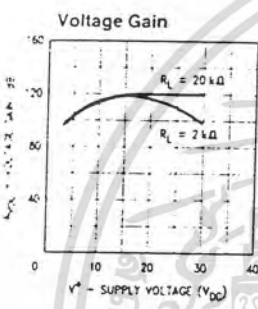
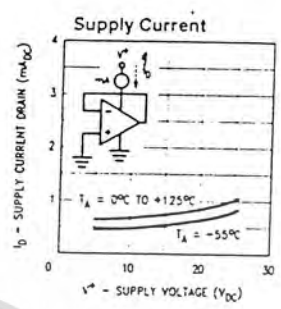
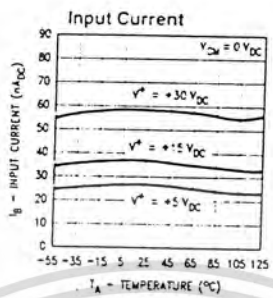
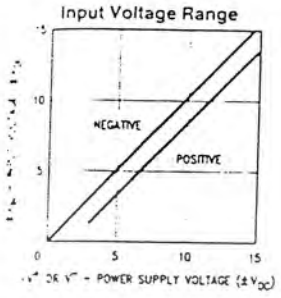
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than $0.3V$ (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at 25°C), but either or both inputs can go to $+32 V_{DC}$, without damage ($+26 V_{DC}$ for LM2902), independent of the magnitude of V^+ .

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 9: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

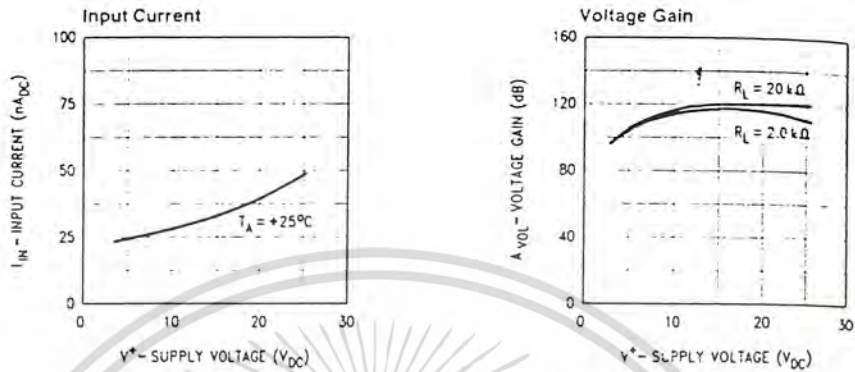
Note 10: Human body model, $1.5 \text{ k}\Omega$ in series with 100 pF .

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (LM2902 only)



Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V⁺ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than -0.3 V_{DC} (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values up to 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains and resistive isolation should be used if larger load capacitances must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 3 V_{DC} to 30 V_{DC}.

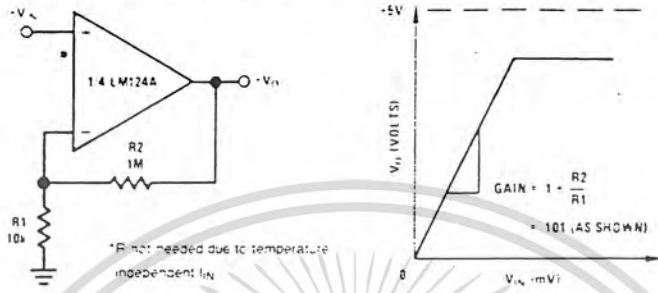
Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperature (see typical performance characteristics) than a standard op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of V⁺/2) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

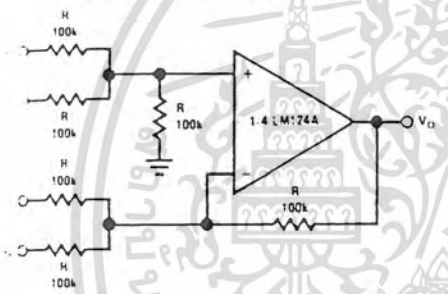
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$)

Non-Inverting DC Gain (0V Input = 0V Output)

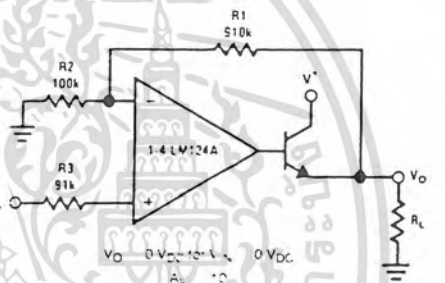


DC Summing Amplifier ($V_{IN's} = 0 V_{DC}$ and $V_O = V_{DC}$)

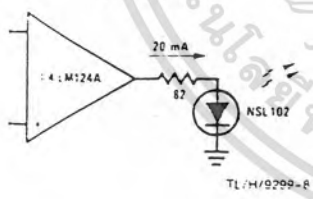


Where $V_O = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{(V_1 + V_2) / (V_3 + V_4)}$ to keep $V_O = 0 V_{DC}$

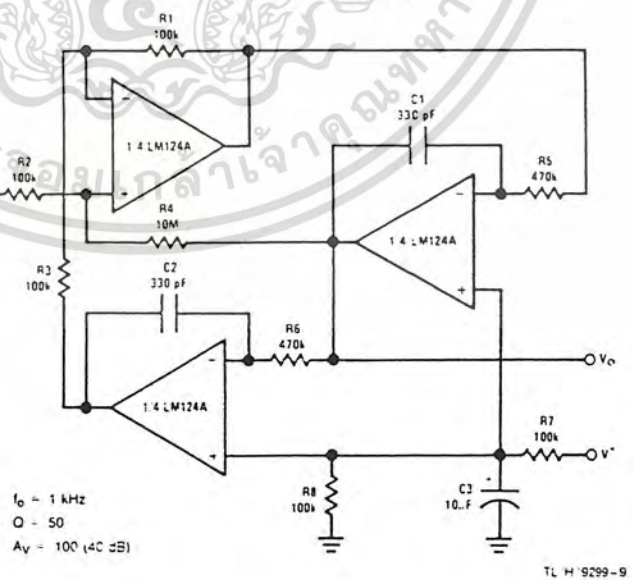
Power Amplifier



LED Driver

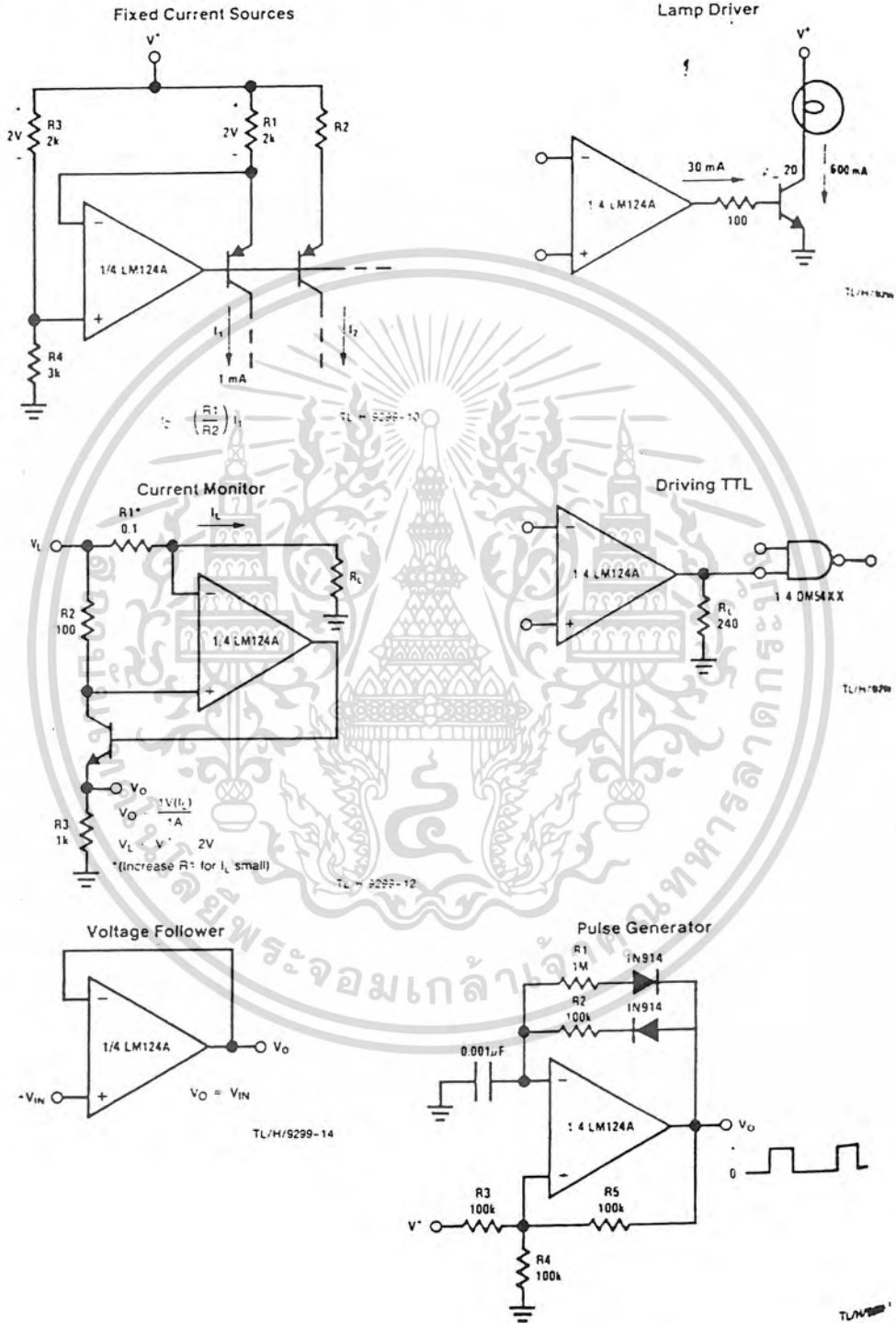


"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

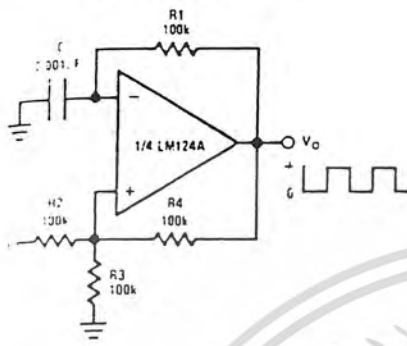
Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$) (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

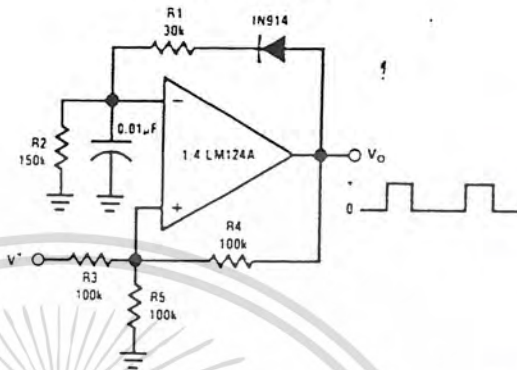
Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



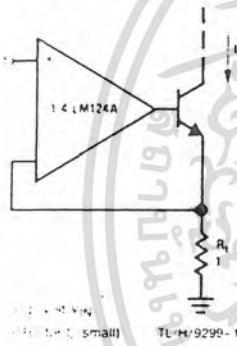
TL/H 9299-16

Pulse Generator



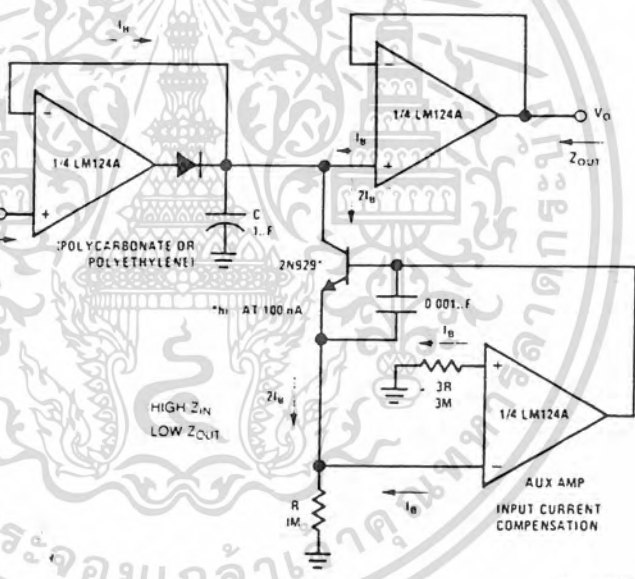
TL/H 9299-17

High Compliance Current Sink



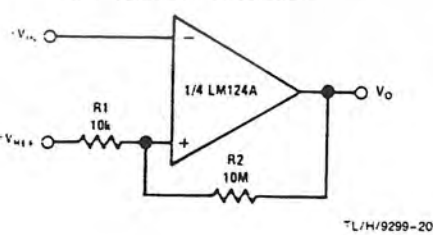
TL/H 9299-18

Low Drift Peak Detector



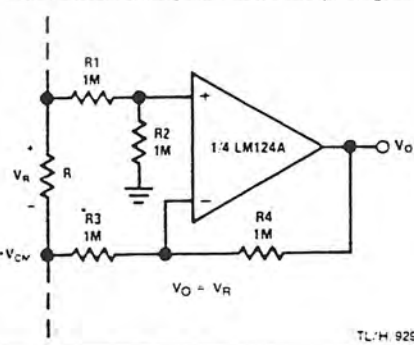
TL/H 9299-19

Comparator with Hysteresis



TL/H 9299-20

Ground Referencing a Differential Input Signal



TL/H 9299-21

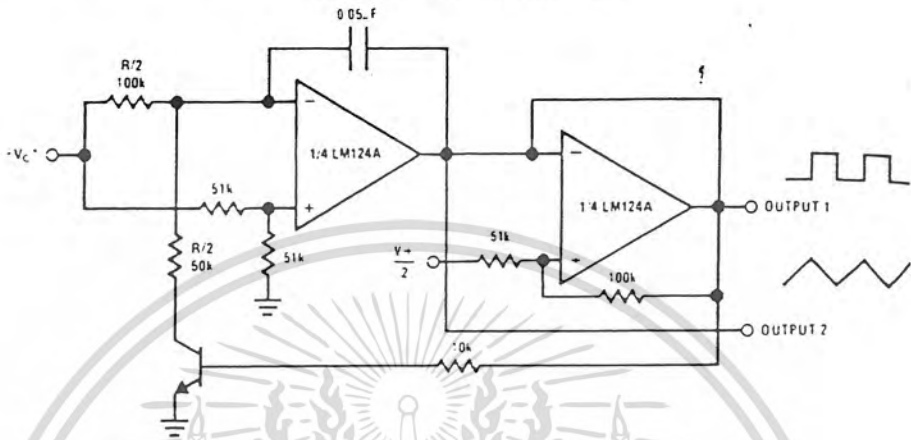
LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

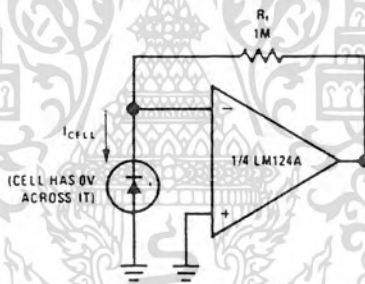
Voltage Controlled Oscillator Circuit



*Wide control voltage range: $0 V_{DC} \leq V_c \leq 2 (V^+ - 1.5 V_{DC})$

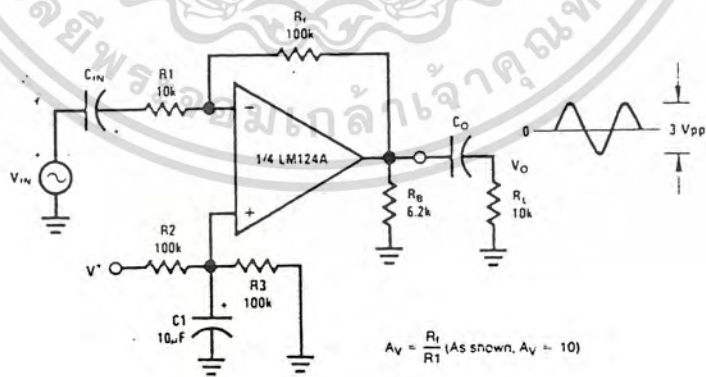
TL/H/9226

Photo Voltaic-Cell Amplifier



TL/H/9295-23

AC Coupled Inverting Amplifier

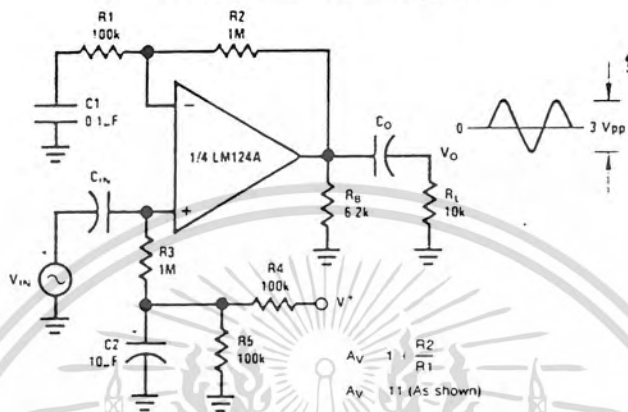


TL/H/9299-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

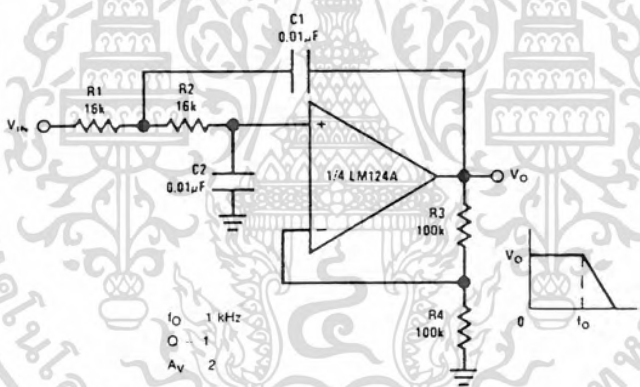
Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier



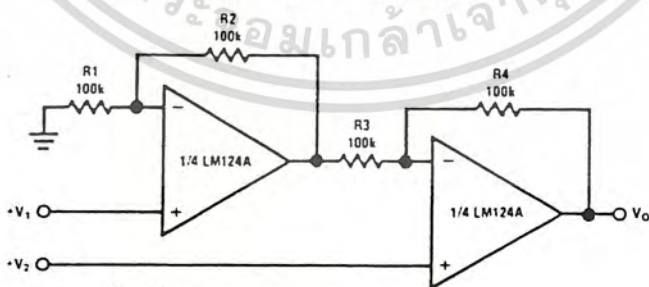
TL/H:9299-25

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



TL/H:5299-26

High Input Z, DC Differential Amplifier



For $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$ (CMRR depends on this resistor ratio match)

$V_O = 1 - \frac{R4}{R3}(V_2 - V_1)$

As shown, $V_O = 2(V_2 - V_1)$

TL/H:9299-27

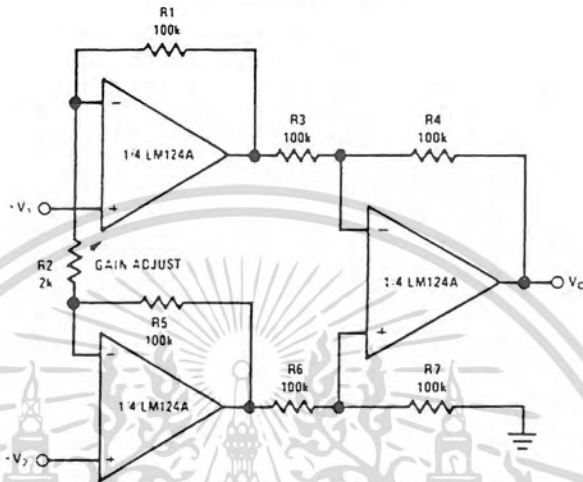
LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

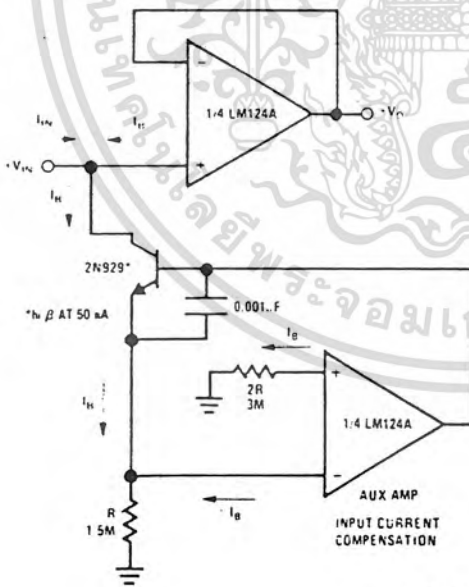
High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



$R_1 = R_5 \text{ \& } R_3 = R_4 = R_6 = R_7$ (CMRR depends on match)
 $V_o = 1 + \frac{2R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$
 As shown $V_o = 101 (V_2 - V_1)$

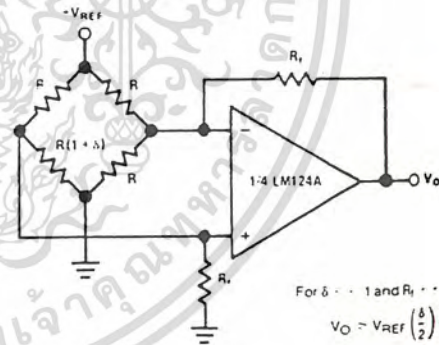
TL/H 9299-28

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



TL/H 9299-29

Bridge Current Amplifier

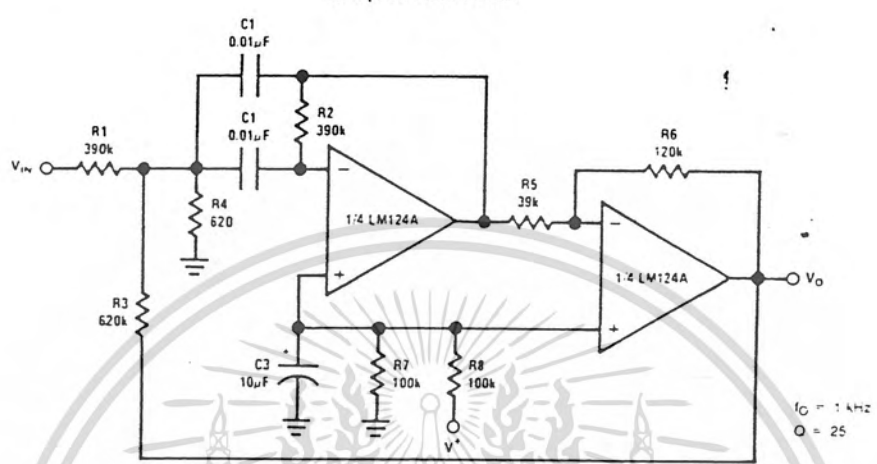


For $\delta \ll 1$ and $R_i \ll R$
 $V_o \approx V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R}{R_i}$
 TL/H 9299-30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

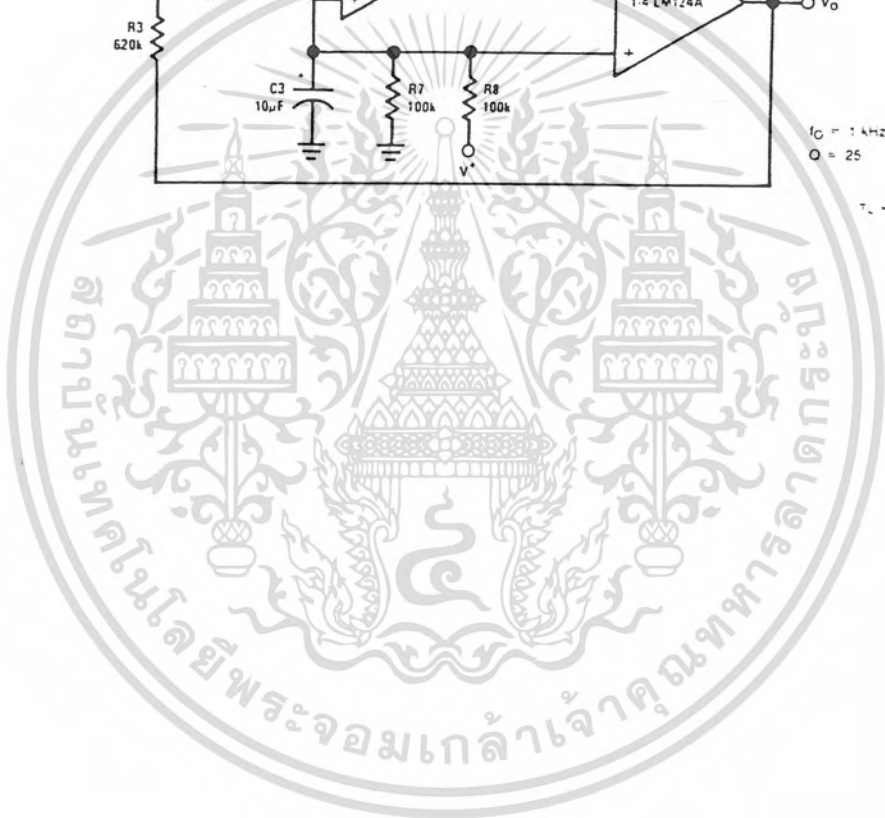
Bandpass Active Filter



$f_C = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 25$

T. - 5299-31

LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM3914 Dot/Bar Display Driver

General Description

The LM3914 is a monolithic integrated circuit that senses analog voltage levels and drives 10 LEDs, providing a linear analog display. A single pin changes the display from a moving dot to a bar graph. Current drive to the LEDs is regulated and programmable, eliminating the need for resistors. This feature is one that allows operation of the whole system from less than 3V.

The circuit contains its own adjustable reference and accurate 10-step voltage divider. The low-bias-current input buffer accepts signals down to ground, or V^- , yet needs no protection against inputs of 35V above or below ground. The buffer drives 10 individual comparators referenced to the precision divider. Indication non-linearity can thus be held typically to 1/2%, even over a wide temperature range.

Versatility was designed into the LM3914 so that controller, visual alarm, and expanded scale functions are easily added on to the display system. The circuit can drive LEDs of many colors, or low-current incandescent lamps. Many LM3914s can be "chained" to form displays of 20 to over 100 segments. Both ends of the voltage divider are externally available so that 2 drivers can be made into a zero-center meter.

The LM3914 is very easy to apply as an analog meter circuit. A 1.2V full-scale meter requires only 1 resistor and a single 3V to 15V supply in addition to the 10 display LEDs. If the 1 resistor is a pot, it becomes the LED brightness control. The simplified block diagram illustrates this extremely simple external circuitry.

When in the dot mode, there is a small amount of overlap or "fade" (about 1 mV) between segments. This assures that at no time will all LEDs be "OFF", and thus any ambiguous display is avoided. Various novel displays are possible.

Much of the display flexibility derives from the fact that all outputs are individual, DC regulated currents. Various effects can be achieved by modulating these currents. The individual outputs can drive a transistor as well as a LED at the same time, so controller functions including "staging" control can be performed. The LM3914 can also act as a programmer, or sequencer.

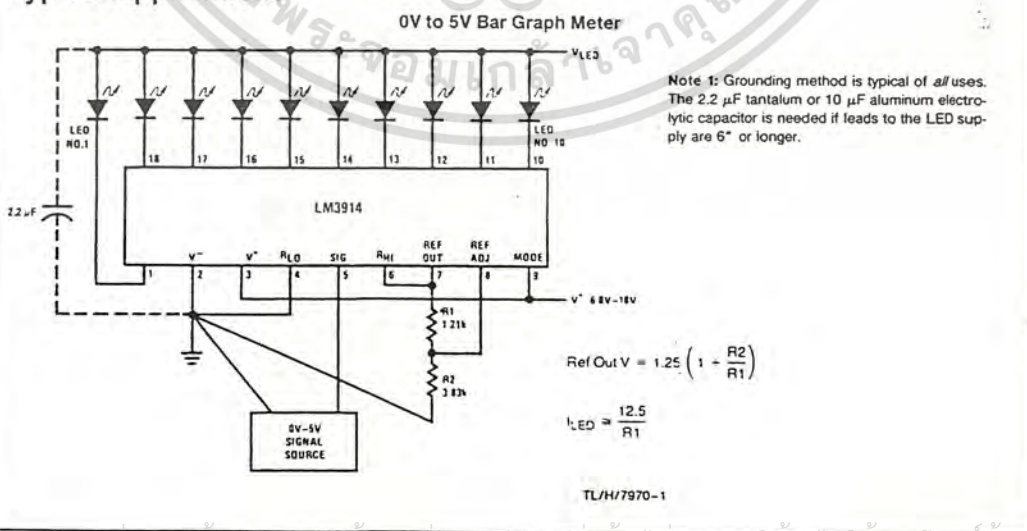
The LM3914 is rated for operation from 0°C to +70°C. The LM3914N is available in an 18-lead molded (N) package.

The following typical application illustrates adjusting of the reference to a desired value, and proper grounding for accurate operation, and avoiding oscillations.

Features

- Drives LEDs, LCDs or vacuum fluorescents
- Bar or dot display mode externally selectable by user
- Expandable to displays of 100 steps
- Internal voltage reference from 1.2V to 12V
- Operates with single supply of less than 3V
- Inputs operate down to ground
- Output current programmable from 2 mA to 30 mA
- No multiplex switching or interaction between outputs
- Input withstands $\pm 35V$ without damage or false outputs
- LED driver outputs are current regulated, open-collector
- Outputs can interface with TTL or CMOS logic
- The internal 10-step divider is floating and can be referenced to a wide range of voltages

Typical Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation (Note 5)	
Molded DIP (N)	1365 mW
Supply Voltage	25V
Voltage on Output Drivers	25V
Input Signal Overvoltage (Note 3)	±35V
Divider Voltage	-100 mV to V+
Reference Load Current	10 mA

Storage Temperature Range -55°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Plastic Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1 and 3)

Parameter	Conditions (Note 1)	Min	Typ	Max	Units
COMPARATOR					
Offset Voltage, Buffer and First Comparator	$0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$, $I_{LED} = 1 \text{ mA}$		3	10	mV
Offset Voltage, Buffer and Any Other Comparator	$0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$, $I_{LED} = 1 \text{ mA}$		3	15	mV
Gain ($\Delta I_{LED}/\Delta V_{IN}$)	$I_{L(REF)} = 2 \text{ mA}$, $I_{LED} = 10 \text{ mA}$	3	8		mA/mV
Input Bias Current (at Pin 5)	$0V \leq V_{IN} \leq V^+ - 1.5V$		25	100	nA
Input Signal Overvoltage	No Change in Display	-35		35	V
VOLTAGE-DIVIDER					
Divider Resistance	Total, Pin 6 to 4	8	12	17	k Ω
Accuracy	(Note 2)		0.5	2	%
VOLTAGE REFERENCE					
Output Voltage	$0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$, $V^+ = V_{LED} = 5V$	1.2	1.28	1.34	V
Line Regulation	$3V \leq V^+ \leq 18V$		0.01	0.03	%/V
Load Regulation	$0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$, $V^+ = V_{LED} = 5V$		0.4	2	%
Output Voltage Change with Temperature	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$, $V^+ = 5V$		1		%
Adjust Pin Current			75	120	μA
OUTPUT DRIVERS					
LED Current	$V^+ = V_{LED} = 5V$, $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$	7	10	13	mA
LED Current Difference (Between Largest and Smallest LED Currents)	$V_{LED} = 5V$	$I_{LED} = 2 \text{ mA}$	0.12	0.4	mA
		$I_{LED} = 20 \text{ mA}$	1.2	3	
LED Current Regulation	$2V \leq V_{LED} \leq 17V$	$I_{LED} = 2 \text{ mA}$	0.1	0.25	mA
		$I_{LED} = 20 \text{ mA}$	1	3	
Dropout Voltage	$I_{LED(ON)} = 20 \text{ mA}$, $V_{LED} = 5V$, $\Delta I_{LED} = 2 \text{ mA}$			1.5	V
Saturation Voltage	$I_{LED} = 2.0 \text{ mA}$, $I_{L(REF)} = 0.4 \text{ mA}$		0.15	0.4	V
Output Leakage, Each Collector	(Bar Mode) (Note 4)		0.1	10	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Parameter	Conditions (Note 1)	Min	Typ	Max	Units	
OUTPUT DRIVERS (Continued)						
Output Leakage	(Dot Mode) (Note 4)	Pins 10–18		0.1	10	μA
		Pin 1	60	150	450	μA
SUPPLY CURRENT						
Standby Supply Current (All Outputs Off)	$V^+ = 5\text{V}$, $I_{L(\text{REF})} = 0.2\text{ mA}$		2.4	4.2	mA	
	$V^+ = 20\text{V}$, $I_{L(\text{REF})} = 1.0\text{ mA}$		6.1	9.2	mA	

Note 1: Unless otherwise stated, all specifications apply with the following conditions:

$$3 V_{\text{DC}} \leq V^+ \leq 20 V_{\text{DC}} \quad V_{\text{REF}}, V_{\text{RH1}}, V_{\text{RLO}} \leq (V^+ - 1.5\text{V})$$

$$3 V_{\text{DC}} \leq V_{\text{LED}} \leq V^+ \quad 0\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq V^+ - 1.5\text{V}$$

$$-0.015\text{V} \leq V_{\text{RLO}} \leq 12 V_{\text{DC}} \quad T_{\text{A}} = +25^\circ\text{C}, I_{L(\text{REF})} = 0.2\text{ mA}, V_{\text{LED}} = 3.0\text{V}, \text{pin 9 connected to pin 3 (Bar Mode)}$$

$$-0.015\text{V} \leq V_{\text{RH1}} \leq 12 V_{\text{DC}}$$

For higher power dissipations, pulse testing is used.

Note 2: Accuracy is measured referred to $+10,000 V_{\text{DC}}$ at pin 6, with $0,000 V_{\text{DC}}$ at pin 4. At lower full-scale voltages, buffer and comparator offset voltage may add significant error.

Note 3: Pin 5 input current must be limited to $\pm 3\text{ mA}$. The addition of a $39\text{k}\Omega$ resistor in series with pin 5 allows $\pm 100\text{V}$ signals without damage.

Note 4: Bar mode results when pin 9 is within 20 mV of V^+ . Dot mode results when pin 9 is pulled at least 200 mV below V^+ or left open circuit. LED No. 10 (pin 10 output current) is disabled if pin 9 is pulled 0.9V or more below V_{LED} .

Note 5: The maximum junction temperature of the LM3914 is 100°C . Devices must be derated for operation at elevated temperatures. Junction to ambient thermal resistance is $55^\circ\text{C}/\text{W}$ for the molded DIP (N package).

Definition of Terms

Accuracy: The difference between the observed threshold voltage and the ideal threshold voltage for each comparator. Specified and tested with 10V across the internal voltage divider so that resistor ratio matching error predominates over comparator offset voltage.

Adjust Pin Current: Current flowing out of the reference adjust pin when the reference amplifier is in the linear region.

Comparator Gain: The ratio of the change in output current (I_{LED}) to the change in input voltage (V_{IN}) required to produce it for a comparator in the linear region.

Dropout Voltage: The voltage measured at the current source outputs required to make the output current fall by 10% .

Input Bias Current: Current flowing out of the signal input when the input buffer is in the linear region.

LED Current Regulation: The change in output current over the specified range of LED supply voltage (V_{LED}) as measured at the current source outputs. As the forward voltage of an LED does not change significantly with a small change in forward current, this is equivalent to changing the voltage at the LED anodes by the same amount.

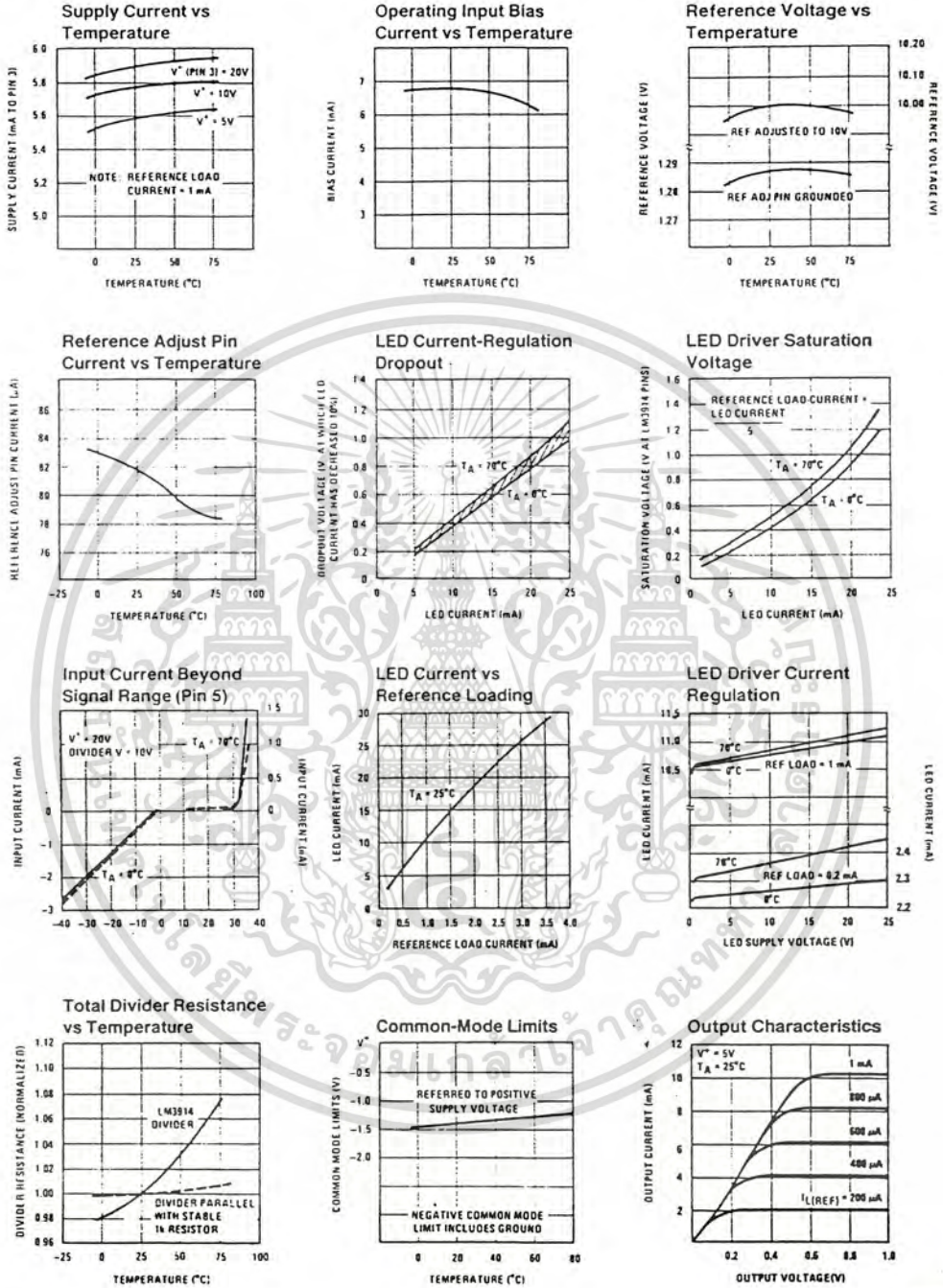
Line Regulation: The average change in reference output voltage over the specified range of supply voltage (V^+).

Load Regulation: The change in reference output voltage (V_{REF}) over the specified range of load current ($I_{L(\text{REF})}$).

Offset Voltage: The differential input voltage which must be applied to each comparator to bias the output in the linear region. Most significant error when the voltage across the internal voltage divider is small. Specified and tested with pin 6 voltage (V_{RH1}) equal to pin 4 voltage (V_{RLO}).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



TL/H/7970-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

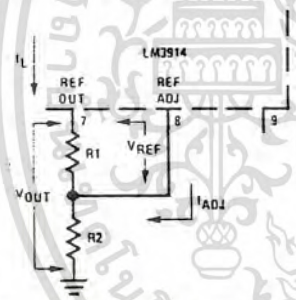
The simplified LM3914 block diagram is to give the general idea of the circuit's operation. A high input impedance buffer operates with signals from ground to 12V, and is protected against reverse and overvoltage signals. The signal is then applied to a series of 10 comparators; each of which is biased to a different comparison level by the resistor string.

In the example illustrated, the resistor string is connected to the internal 1.25V reference voltage. In this case, for each 125 mV that the input signal increases, a comparator will switch on another indicating LED. This resistor divider can be connected between any 2 voltages, providing that they are 1.5V below V+ and no less than V-. If an expanded scale meter display is desired, the total divider voltage can be as little as 200 mV. Expanded-scale meter displays are more accurate and the segments light uniformly only if bar mode is used. At 50 mV or more per step, dot mode is usable.

INTERNAL VOLTAGE REFERENCE

The reference is designed to be adjustable and develops a nominal 1.25V between the REF OUT (pin 7) and REF ADJ (pin 8) terminals. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current I1 then flows through the output set resistor R2 giving an output voltage of:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} R2$$



TL/H/7970-4

Since the 120 μA current (max) from the adjust terminal represents an error term, the reference was designed to minimize changes of this current with V+ and load changes.

CURRENT PROGRAMMING:

A feature not completely illustrated by the block diagram is the LED brightness control. The current drawn out of the reference voltage pin (pin 7) determines LED current. Approximately 10 times this current will be drawn through each lighted LED, and this current will be relatively constant de-

spite supply voltage and temperature changes. Current drawn by the internal 10-resistor divider, as well as by the external current and voltage-setting divider should be included in calculating LED drive current. The ability to modulate LED brightness with time, or in proportion to input voltage and other signals can lead to a number of novel displays or ways of indicating input overvoltages, alarms, etc.

MODE PIN USE

Pin 9, the Mode Select input controls chaining of multiple LM3914s, and controls bar or dot mode operation. The following tabulation shows the basic ways of using this input. Other more complex uses will be illustrated in the applications.

Bar Graph Display: Wire Mode Select (pin 9) directly to pin 3 (V+ pin).

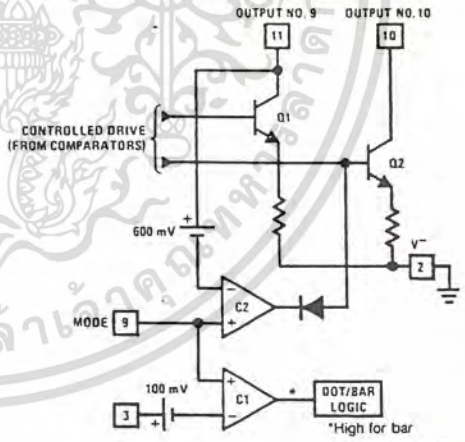
Dot Display, Single LM3914 Driver: Leave the Mode Select pin open circuit.

Dot Display, 20 or More LEDs: Connect pin 9 of the first driver in the series (i.e., the one with the lowest input voltage comparison points) to pin 1 of the next higher LM3914 driver. Continue connecting pin 9 of lower input drivers to pin 1 of higher input drivers for 30, 40, or more LED displays. The last LM3914 driver in the chain will have pin 9 wired to pin 11. All previous drivers should have a 20k resistor in parallel with LED No. 9 (pin 11 to VLED).

Mode Pin Functional Description

This pin actually performs two functions. Refer to the simplified block diagram below.

Block Diagram of Mode Pin Function



*High for bar

TL/H/7970-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode Pin Functional Description (Continued)

DOT OR BAR MODE SELECTION

The voltage at pin 9 is sensed by comparator C1, nominally referenced to ($V^+ - 100$ mV). The chip is in bar mode when pin 9 is above this level; otherwise it's in dot mode. The comparator is designed so that pin 9 can be left open circuit for dot mode.

Taking into account comparator gain and variation in the 100 mV reference level, pin 9 should be no more than 20 mV below V^+ for bar mode and more than 200 mV below V^+ (or open circuit) for dot mode. In most applications, pin 9 is either open (dot mode) or tied to V^+ (bar mode). In bar mode, pin 9 should be connected directly to pin 3. Large currents drawn from the power supply (LED current, for example) should not share this path so that large IR drops are avoided.

DOT MODE CARRY

In order for the display to make sense when multiple LM3914s are cascaded in dot mode, special circuitry has been included to shut off LED No. 10 of the first device when LED No. 1 of the second device comes on. The connection for cascading in dot mode has already been described and is depicted below.

As long as the input signal voltage is below the threshold of the second LM3914, LED No. 11 is off. Pin 9 of LM3914 No. 1 thus sees effectively an open circuit so the chip is in dot mode. As soon as the input voltage reaches the threshold of LED No. 11, pin 9 of LM3914 No. 1 is pulled an LED drop (1.5V or more) below V_{LED} . This condition is sensed by comparator C2, referenced 600 mV below V_{LED} . This forces the output of C2 low, which shuts off output transistor Q2, extinguishing LED No. 10.

V_{LED} is sensed via the 20k resistor connected to pin 11. The very small current (less than 100 μ A) that is diverted from LED No. 9 does not noticeably affect its intensity.

An auxiliary current source at pin 1 keeps at least 100 μ A flowing through LED No. 11 even if the input voltage rises high enough to extinguish the LED. This ensures that pin 9 of LM3914 No. 1 is held low enough to force LED No. 10 off when any higher LED is illuminated. While 100 μ A does not normally produce significant LED illumination, it may be noticeable when using high-efficiency LEDs in a dark environment.

If this is bothersome, the simple cure is to shunt LED No. 11 with a 10k resistor. The 1V IR drop is more than the 900 mV worst case required to hold off LED No. 10 yet small enough that LED No. 11 does not conduct significantly.

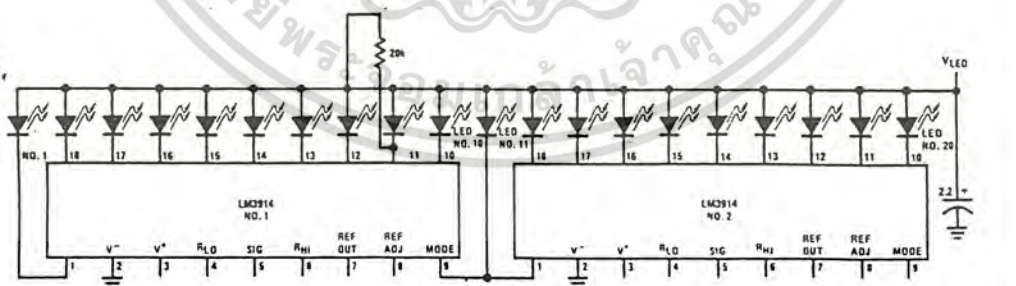
OTHER DEVICE CHARACTERISTICS

The LM3914 is relatively low-powered itself, and since any number of LEDs can be powered from about 3V, it is a very efficient display driver. Typical standby supply current (all LEDs OFF) is 1.6 mA (2.5 mA max). However, any reference loading adds 4 times that current drain to the V^+ (pin 3) supply input. For example, an LM3914 with a 1 mA reference pin load (1.3k), would supply almost 10 mA to every LED while drawing only 10 mA from its V^+ pin supply. At full-scale, the IC is typically drawing less than 10% of the current supplied to the display.

The display driver does not have built-in hysteresis so that the display does not jump instantly from one LED to the next. Under rapidly changing signal conditions, this cuts down high frequency noise and often an annoying flicker. An "overlap" is built in so that at no time between segments are all LEDs completely OFF in the dot mode. Generally 1 LED fades in while the other fades out over a mV or more of range (Note 2). The change may be much more rapid between LED No. 10 of one device and LED No. 1 of a second device "chained" to the first.

The LM3914 features individually current regulated LED driver transistors. Further internal circuitry detects when any driver transistor goes into saturation, and prevents other circuitry from drawing excess current. This results in the ability of the LM3914 to drive and regulate LEDs powered from a pulsating DC power source, i.e., largely unfiltered. (Due to possible oscillations at low voltages a nominal bypass capacitor consisting of a 2.2 μ F solid tantalum connected from the pulsating LED supply to pin 2 of the LM3914 is recommended.) This ability to operate with low or fluctuating voltages also allows the display driver to interface with logic circuitry, opto-coupled solid-state relays, and low-current incandescent lamps.

Cascading LM3914s in Dot Mode

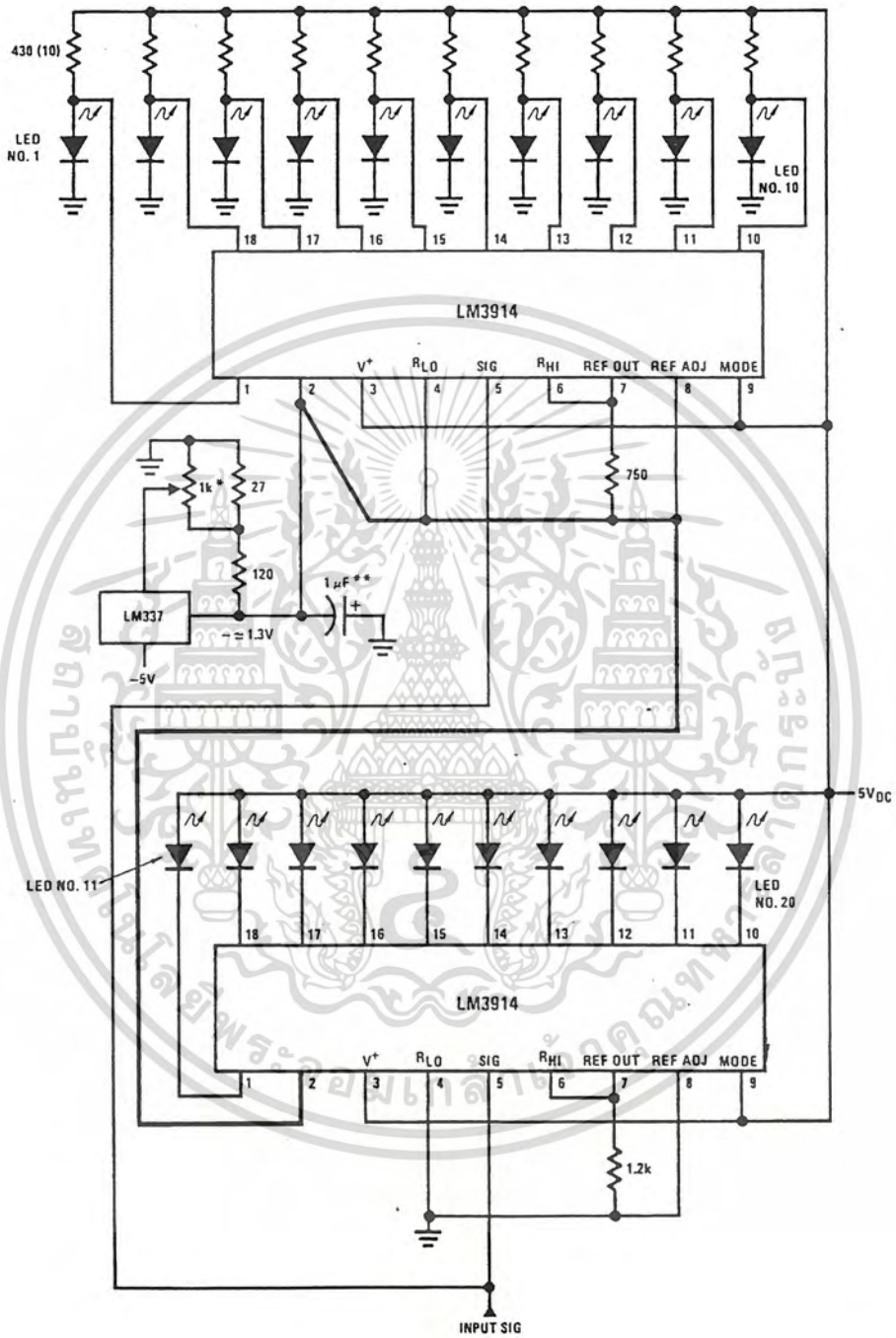


TL/H/7970-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Zero-Center Meter, 20-Segment

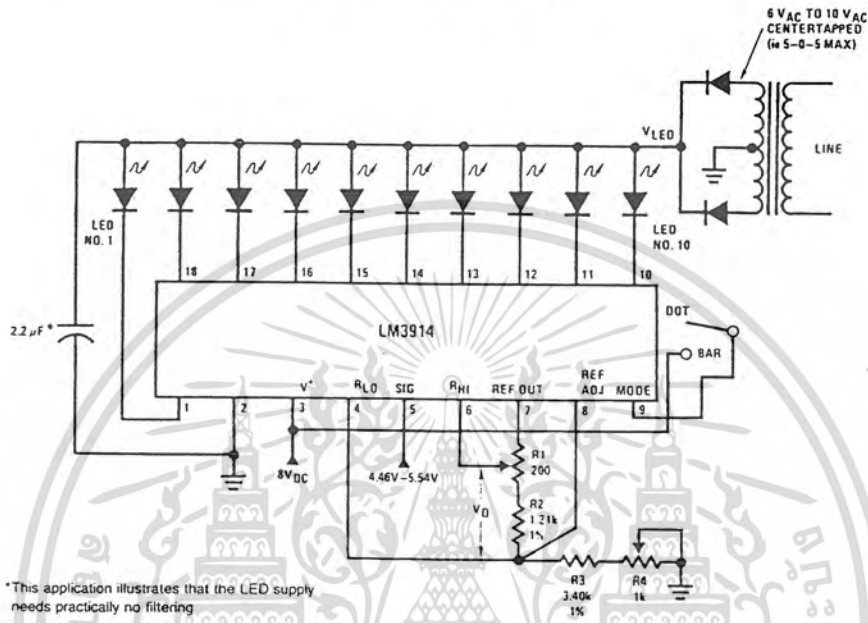


TL/H/7970-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Expanded Scale Meter, Dot or Bar



*This application illustrates that the LED supply needs practically no filtering
 Calibration: With a precision meter between pins 4 and 6 adjust R1 for voltage V_D of 1.20V. Apply 4.94V to pin 5, and adjust R4 until LED No. 5 just lights. The adjustments are non-interacting.

Application Example:
 Grading 5V Regulators

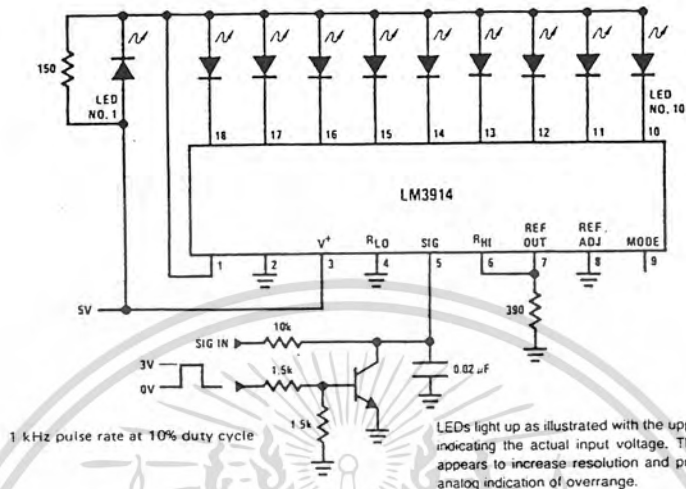
TL/H/7970-8

Highest No. LED on	Color	$V_{OUT(MIN)}$
10	Red	5.54
9	Red	5.42
8	Yellow	5.30
7	Green	5.18
6	Green	5.06
5V		
5	Green	4.94
4	Green	4.82
3	Yellow	4.7
2	Red	4.58
1	Red	4.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

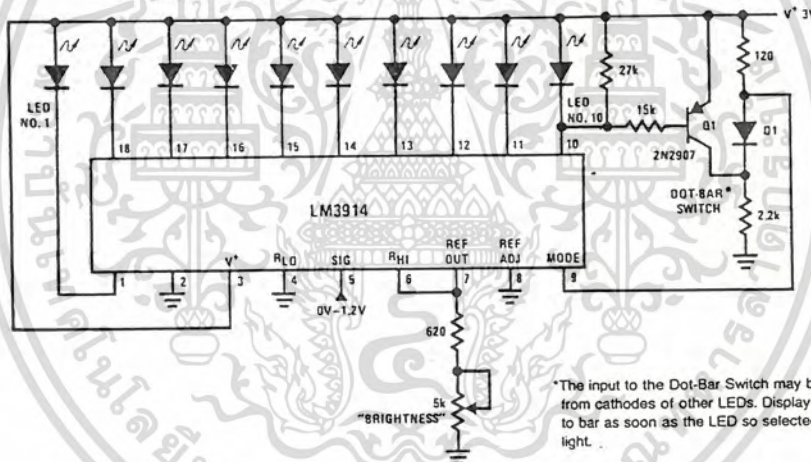
Typical Applications (Continued)

"Exclamation Point" Display



TL/H/7970-9

Indicator and Alarm, Full-Scale Changes Display from Dot to Bar

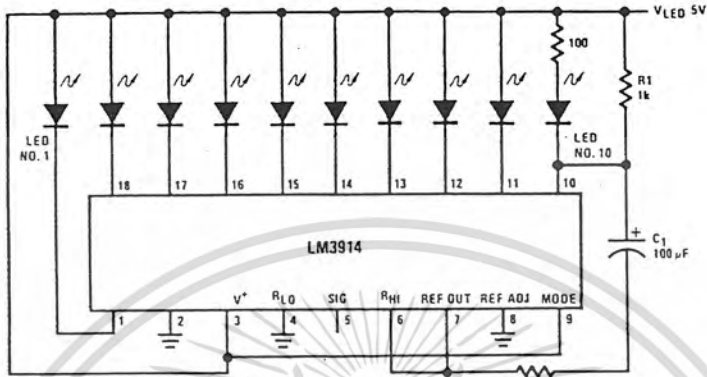


TL/H/7970-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

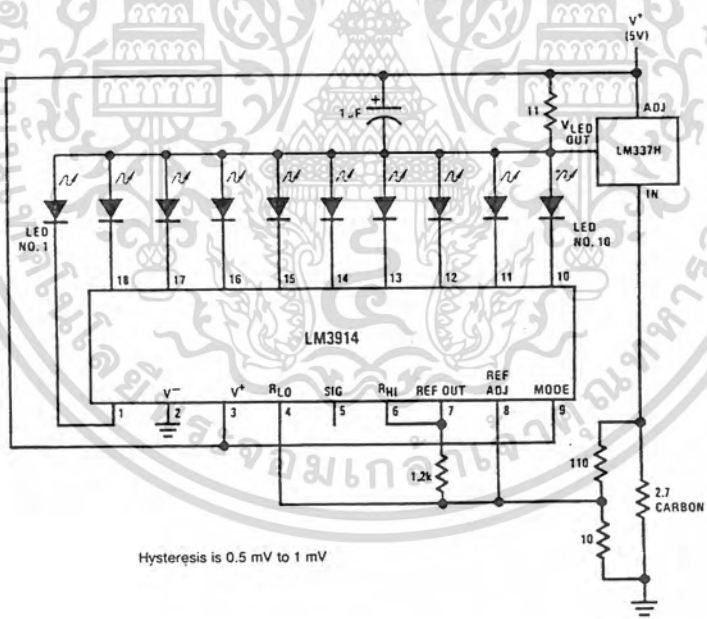
Bar Display with Alarm Flasher



Full-scale causes the full bar display to flash; if the junction of R1 and C1 is connected to a different LED cathode, the display will flash when that LED lights, and at any higher input signal.

TL/H/7970-11

Adding Hysteresis (Single Supply, Bar Mode Only)



Hysteresis is 0.5 mV to 1 mV

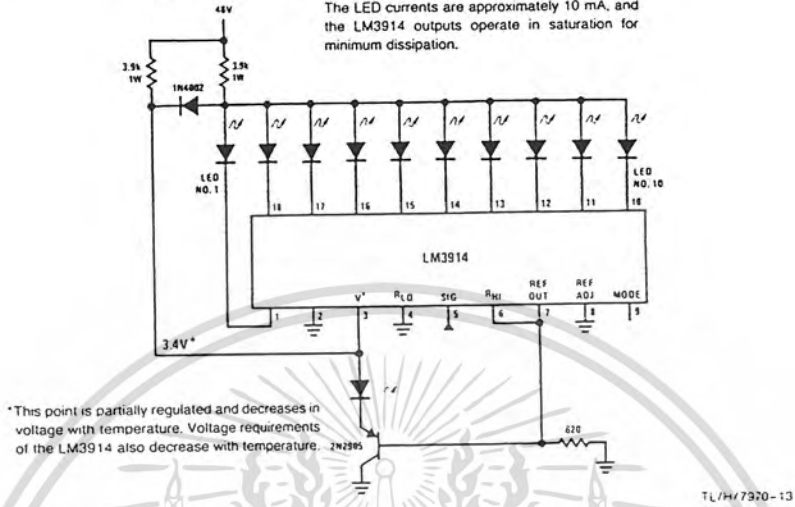
TL/H/7970-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Application (Continued)

Operating with a High Voltage Supply (Dot Mode Only)

The LED currents are approximately 10 mA, and the LM3914 outputs operate in saturation for minimum dissipation.

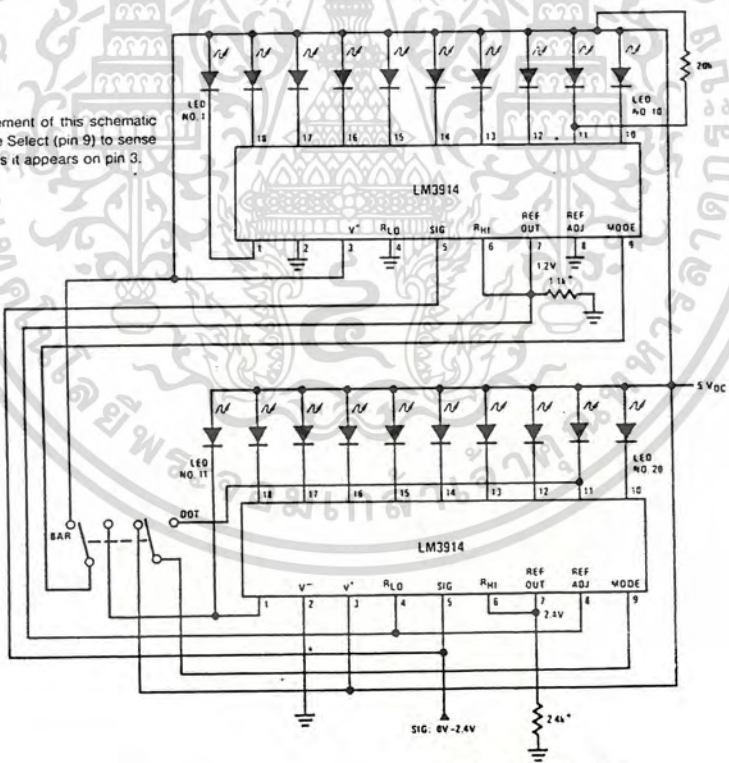


*This point is partially regulated and decreases in voltage with temperature. Voltage requirements of the LM3914 also decrease with temperature.

TL/H/7970-13

20-Segment Meter with Mode Switch

*The exact wiring arrangement of this schematic shows the need for Mode Select (pin 9) to sense the V+ voltage exactly as it appears on pin 3.



*Programs LEDs to 10 mA

TL/H/7970-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints

Three of the most commonly needed precautions for using the LM3914 are shown in the first typical application drawing (see page 9-108) showing a 0V-5V bar graph meter. The most difficult problem occurs when large LED currents are being drawn, especially in bar graph mode. These currents flowing out of the ground pin cause voltage drops in external wiring, and thus errors and oscillations. Bringing the return wires from signal sources, reference ground and bottom of the resistor string (as illustrated) to a single point very near pin 2 is the best solution.

Long wires from V_{LED} to LED anode common can cause oscillations. Depending on the severity of the problem 0.05 μF to 2.2 μF decoupling capacitors from LED anode common to pin 2 will damp the circuit. If LED anode line wiring is inaccessible, often similar decoupling from pin 1 to pin 2 will be sufficient.

If LED turn ON seems slow (bar mode) or several LEDs light (dot mode), oscillation or excessive noise is usually the problem. In cases where proper wiring and bypassing fail to stop oscillations, V^+ voltage at pin 3 is usually below suggested limits (see Note 2, page 9-108). Expanded scale meter applications may have one or both ends of the internal voltage divider terminated at relatively high value resistors. These high-impedance ends should be bypassed to pin 2 with at least a 0.001 μF capacitor, or up to 0.1 μF in noisy environments.

Power dissipation, especially in bar mode should be given consideration. For example, with a 5V supply and all LEDs programmed to 20 mA the driver will dissipate over 600 mW. In this case a 7.5 Ω resistor in series with the LED supply will cut device heating in half. The negative end of the resistor should be bypassed with a 2.2 μF solid tantalum capacitor to pin 2 of the LM3914.

Turning OFF of most of the internal current sources is accomplished by pulling positive on the reference with a current source or resistance supplying 100 μA or so. Alternatively, the input signal can be gated OFF with a transistor switch.

Other special features and applications characteristics will be illustrated in the following applications schematics. Notes have been added in many cases, attempting to cover any special procedures or unusual characteristics of these applications. A special section called "Application Tips for the LM3914 Adjustable Reference" has been included with these schematics.

APPLICATION TIPS FOR THE LM3914 ADJUSTABLE REFERENCE

GREATLY EXPANDED SCALE (BAR MODE ONLY)

Placing the LM3914 internal resistor divider in parallel with a section ($\approx 230\Omega$) of a stable, low resistance divider greatly reduces voltage changes due to IC resistor value changes with temperature. Voltage V_1 should be trimmed to 1.1V first by use of R2. Then the voltage V_2 across the IC divider string can be adjusted to 200 mV, using R5 without affecting V_1 . LED current will be approximately 10 mA.

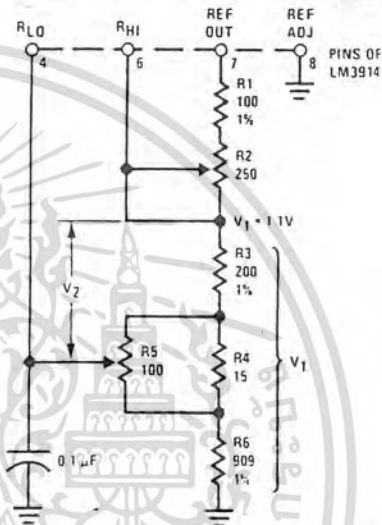
NON-INTERACTING ADJUSTMENTS FOR EXPANDED SCALE METER (4.5V to 5V, Bar or Dot Mode)

This arrangement allows independent adjustment of LED brightness regardless of meter span and zero adjustments.

First, V_1 is adjusted to 5V, using R2. Then the span (voltage across R4) can be adjusted to exactly 0.5V using R6 without affecting the previous adjustment.

R9 programs LED currents within a range of 2.2 mA to 20 mA after the above settings are made.

Greatly Expanded Scale (Bar Mode Only)



TL477970-15

ADJUSTING LINEARITY OF SEVERAL STACKED DIVIDERS

Three internal voltage dividers are shown connected in series to provide a 30-step display. If the resulting analog meter is to be accurate and linear the voltage on each divider must be adjusted, preferably without affecting any other adjustments. To do this, adjust R2 first, so that the voltage across R5 is exactly 1V. Then the voltages across R3 and R4 can be independently adjusted by shunting each with selected resistors of 6 k Ω or higher resistance. This is possible because the reference of LM3914 No. 3 is acting as a constant current source.

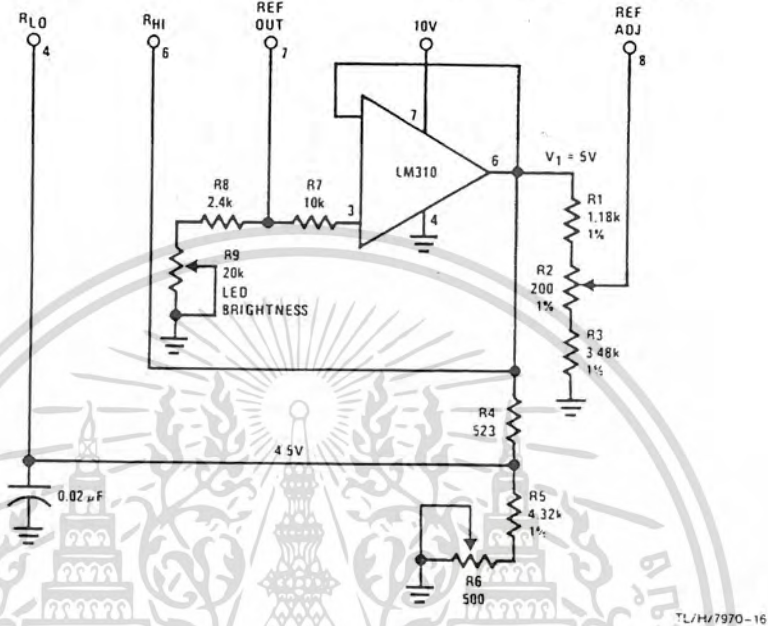
The references associated with LM3914s No. 1 and No. 2 should have their Ref Adj pins (pin 8) wired to ground, and their Ref Outputs loaded by a 620 Ω resistor to ground. This makes available similar 20 mA current outputs to all the LEDs in the system.

If an independent LED brightness control is desired (as in the previous application), a unity gain buffer, such as the LM310, should be placed between pin 7 and R1, similar to the previous application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

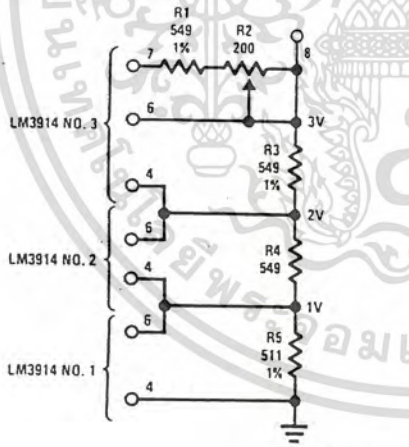
Application Hints (Continued)

Non-Interacting Adjustments for Expanded Scale Meter (4.5V to 5V, Bar or Dot Mode)



TL/H/7970-16

Adjusting Linearity of Several Stacked Dividers



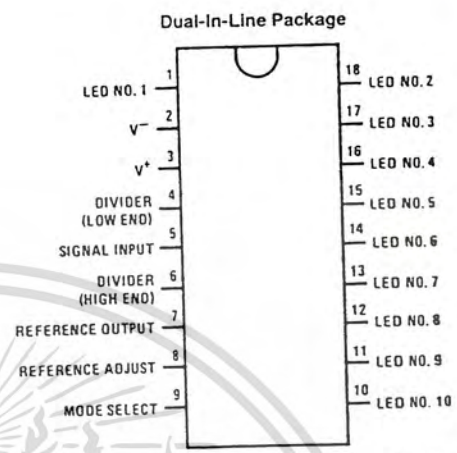
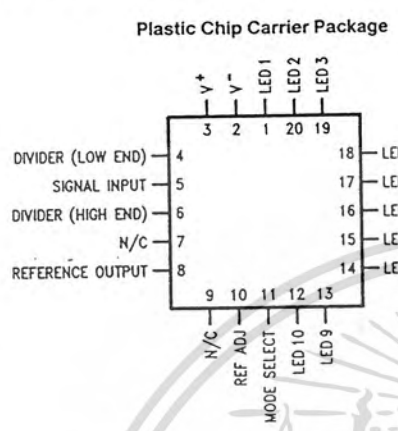
TL/H/7970-17

Other Applications

- "Slow"—fade bar or dot display (doubles resolution)
- 20-step meter with single pot brightness control
- 10-step (or multiples) programmer
- Multi-step or "staging" controller
- Combined controller and process deviation meter
- Direction and rate indicator (to add to DVMs)
- Exclamation point display for power saving
- Graduations can be added to dot displays. Dimly light every other LED using a resistor to ground
- Electronic "meter-relay"—display could be circle or semi-circle
- Moving "hole": display—indicator LED is dark, rest of bar lit
- Drives vacuum-fluorescent and LCDs using added passive parts

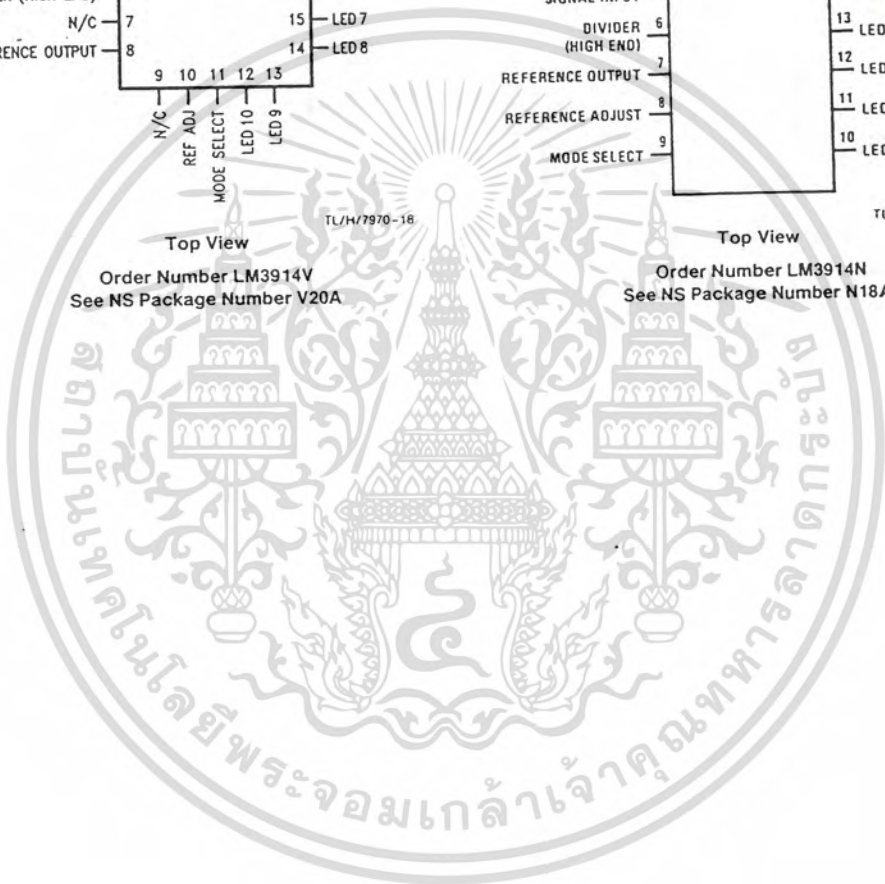
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams



Top View TL/H/7970-18 Top View TL/H/7970-19

Order Number LM3914V Order Number LM3914N
 See NS Package Number V20A See NS Package Number N18A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

6-Pin DIP Optoisolators Triac Driver Output

These devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a Zero Voltage Crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 240 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 240 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- High Breakdown Voltage: $V_{DRM} = 400$ V Min
- High Isolation Voltage: $V_{ISO} = 7500$ V Guaranteed
- Small, Economical, 6-Pin DIP Package
- dv/dt of 2000 V/ μ s Typ, 1000 V/ μ s Guaranteed
- UL Recognized, File No. E54915
- VDE approved per standard 0883 6.80 (Certificate number 47853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435 VDE0805, IEC65 VDE0860, VDE0110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204 VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

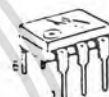
MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation $\mu T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120 1.41	mW mW/°C
OUTPUT DRIVER			
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current ($PW = 100 \mu\text{s}$, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation $\mu T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 1.76	mW mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac
Total Power Dissipation $\mu T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	—	260	°C

(1) Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

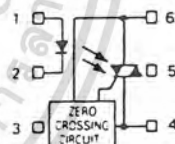
MOC3041
MOC3042
MOC3043

6-PIN DIP
OPTOISOLATORS
TRIAC DRIVER OUTPUT
400 VOLTS



CASE 730A-02
PLASTIC

COUPLER SCHEMATIC



- 1 ANODE
- 2 CATHODE
- 3 NC
- 4 MAIN TERMINAL
- 5 SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
- 6 MAIN TERMINAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3041, MOC3042, MOC3043

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED					
Reverse Leakage Current ($V_R = 6\text{ V}$)	I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 30\text{ mA}$)	V_F	—	1.3	1.5	Volts
OUTPUT DETECTOR ($I_F = 0$ unless otherwise noted)					
Leakage with LED Off, Either Direction (Rated V_{DRM} , Note 1)	I_{DRM1}	—	2	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction ($I_{TM} = 100\text{ mA Peak}$)	V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off State Voltage (Note 3)	dv/dt	1000	2000	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
COUPLED					
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V, Note 2)	I_{FT}	—	—	15 10 5	mA
					MOC3041 MOC3042 MOC3043
Holding Current, Either Direction	I_H	—	100	—	μA
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$)	V_{ISO}	7500	—	—	Vacipl
ZERO CROSSING					
Inhibit Voltage ($I_F = \text{Rated } I_{FT}$, MT1 MT2 Voltage above which device will not trigger.)	V_{IH}	—	5	20	Volts
Leakage in Inhibited State ($I_F = \text{Rated } I_{FT}$, Rated V_{DRM} , Off State)	I_{DRM2}	—	—	500	μA

Notes: 1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
 2. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to $\max I_{FT}$. Therefore, recommended operating I_F lies between $\max I_{FT} - 15\text{ mA}$ for MOC3041, 10 mA for MOC3042, 5 mA for MOC3043 and absolute $\max I_F = 160\text{ mA}$.
 3. This is static dv/dt . See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

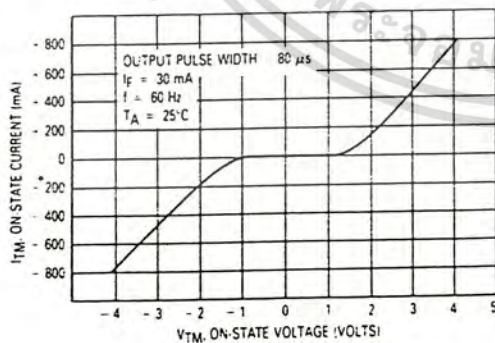


Figure 1. On-State Characteristics

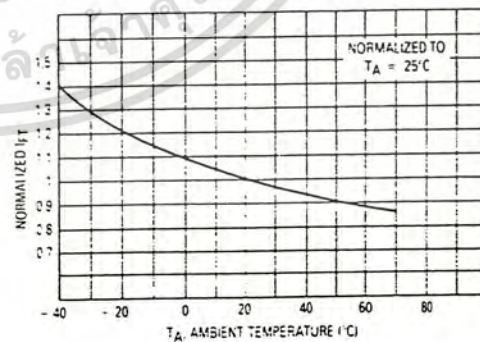


Figure 2. Trigger Current versus Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3041, MOC3042, MOC3043

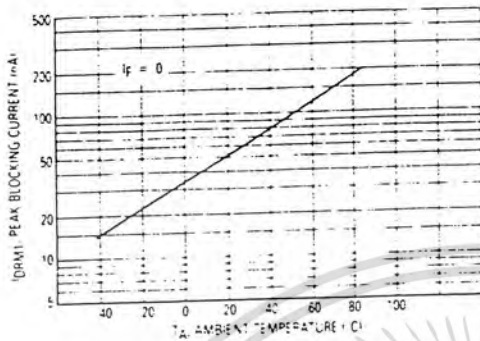


Figure 3. I_{DRM1} Peak Blocking Current versus Temperature

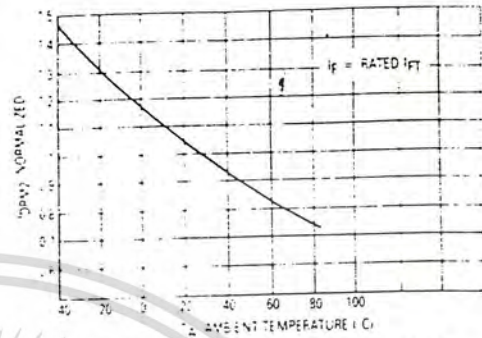


Figure 4. I_{DRM2} Leakage in Inhibit State versus Temperature

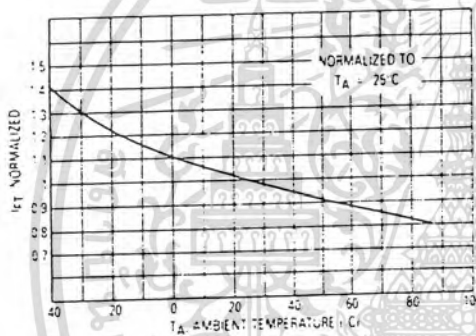


Figure 5. Trigger Current versus Temperature

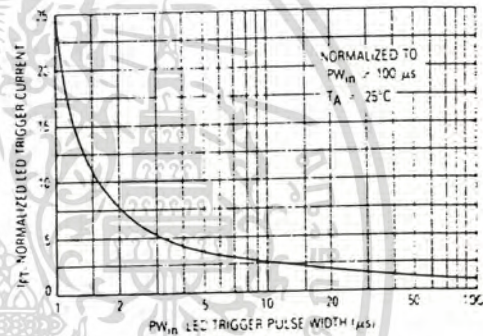


Figure 6. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

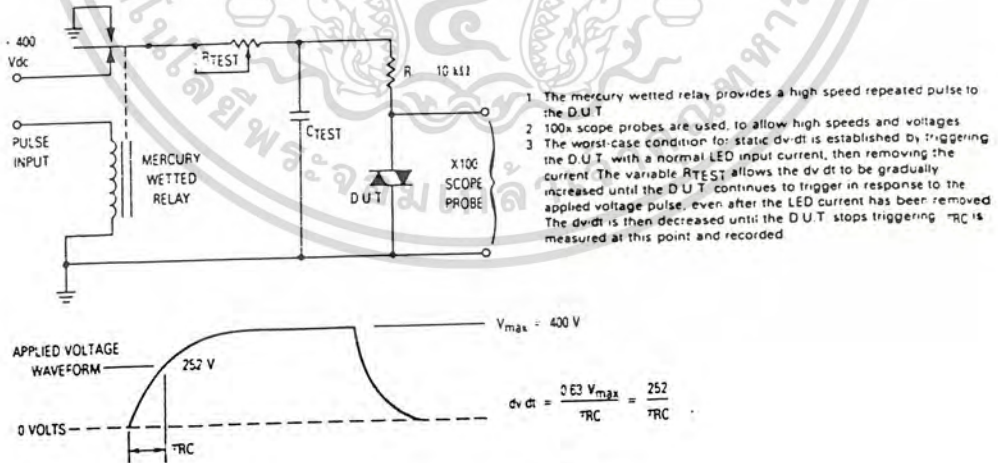
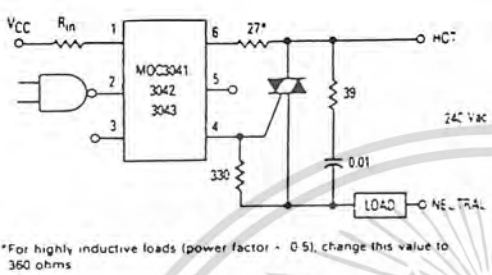


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

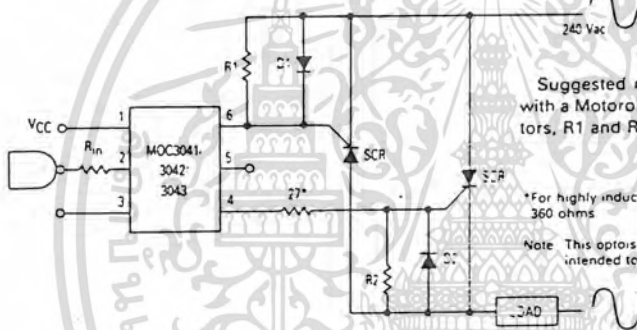
MOC3041, MOC3042, MOC3043



Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.
 R_{in} is calculated so that I_f is equal to the rated I_{FT} of the part, 5 mA for the MOC3043, 10 mA for the MOC3042, or 15 mA for the MOC3041. The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

*For highly inductive loads (power factor = 0.5), change this value to 360 ohms

Figure 8. Hot-Line Switching Application Circuit



Suggested method of firing two, back-to-back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms.

*For highly inductive loads (power factor = 0.5), change this value to 360 ohms

Note: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Figure 9. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

OUTLINE DIMENSIONS

NOTES:
 1 DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANS
 **1 5M 1982
 2 CONTROLLING DIMENSION INCH
 3 DIM L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL

STYLE 8
 PIN 1 ANODE
 2 CATHODE
 3 NC
 4 MAIN TERMINAL
 5 SUBSTRATE
 6 MAIN TERMINAL

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.13	8.25	0.320	0.325
B	6.10	6.80	0.240	0.290
C	2.93	5.08	0.115	0.200
D	0.81	0.50	0.016	0.020
E	1.02	1.77	0.040	0.070
G	1.54 BSC		0.100 BSC	
J	0.21	0.30	0.008	0.012
K	0.38	2.54	0.015	0.100
L	2.62 BSC		0.100 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	2.54	3.81	0.100	0.150

CASE 730A-02
 PLASTIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Triacs

Silicon Bidirectional Thyristors

... designed primarily for full-wave ac control applications, such as light dimmers, motor controls, heating controls and power supplies; or wherever full-wave silicon gate controlled solid-state devices are needed. Triac type thyristors switch from a blocking to a conducting state for either polarity of applied anode voltage with positive or negative gate triggering.

- Blocking Voltage to 800 Volts
- All Diffused and Glass Passivated Junctions for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Small, Rugged, Thermowatt Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Gate Triggering Guaranteed in Three Modes (MAC210 Series) or Four Modes (MAC210A Series)

MAC210 Series
MAC210A Series

TRIACs
10 AMPERES RMS
200 thru 800 VOLTS



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Repetitive Peak Off-State Voltage, Note 1 ($T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$) 1/2 Sine Wave 50 to 60 Hz, Gate Open	V_{DRM}	200 400 600 800	Volts
On-State Current RMS ($T_C = -70^\circ\text{C}$) Full Cycle Sine Wave 50 to 60 Hz	$I_T(\text{RMS})$	10	Amps
Peak Non-Repetitive Surge Current (One Full Cycle, 60 Hz, $T_C = -70^\circ\text{C}$) Preceded and followed by Rated Current	I_{TSM}	100	Amps
Circuit Fusing Considerations ($t = 8.3$ ms)	i^2t	40	A^2s
Peak Gate Power ($T_C = +70^\circ\text{C}$, Pulse Width = 10 μs)	PGM	20	Watts
Average Gate Power ($T_C = -70^\circ\text{C}$, $t = 8.3$ ms)	$P_{G(AV)}$	0.35	Watt
Peak Gate Current ($T_C = +70^\circ\text{C}$, Pulse Width = 10 μs)	I_{GM}	2	Amps
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to -125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to -125	$^\circ\text{C}$

Note 1. Ratings apply for open gate conditions. Thyristor devices shall not be tested with a constant current source for blocking capability such that the voltage applied exceeds the rated blocking voltage.

MOTOROLA THYRISTOR DEVICE DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAC210 Series • MAC210A Series

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	2.2	$^{\circ}\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Forward or Reverse Blocking Current (Rated V_{DRM} or V_{RRM} , gate open) $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ $T_J = +125^{\circ}\text{C}$	I_{DRM} , I_{RRM}	— —	— —	10 2	μA mA
Peak On-State Voltage (Either Direction) ($I_{TM} = 14$ A Peak; Pulse Width = 1 to 2 ms, Duty Cycle $\leq 2\%$)	V_{TM}	—	1.2	1.65	Volts
Gate Trigger Current (Continuous dc) (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, $R_L = 100$ Ohms)	I_{GT}				mA
MT2(+), G(+)		—	12	50	
MT2(+), G(-)		—	12	50	
MT2(-), G(-)		—	20	50	
MT2(-), G(+)"A" SUFFIX ONLY		—	35	75	
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, $R_L = 100$ Ohms)	V_{GT}				volts
MT2(+), G(+)		—	0.9	2	
MT2(+), G(-)		—	0.9	2	
MT2(-), G(-)		—	1.1	2	
MT2(-), G(+)"A" SUFFIX ONLY		—	1.4	2.5	
(Main Terminal Voltage = Rated V_{DRM} , $R_L = 10$ k ohms, $T_J = +125^{\circ}\text{C}$)					
MT2(+), G(+); MT2(-), G(-); MT2(+), G(-)		0.2	—	—	
MT2(-), G(+)"A" SUFFIX ONLY		0.2	—	—	
Holding Current (Either Direction) (Main Terminal Voltage = 12 Vdc, Gate Open, Initiating Current = 500 mA, $T_C = +25^{\circ}\text{C}$)	I_H	—	6	50	mA
Turn-On Time (Rated V_{DRM} , $I_{TM} = 14$ A) ($I_{GT} = 120$ mA, Rise Time = 0.1 μs , Pulse Width = 2 μs)	t_{gt}	—	1.5	—	μs
Critical Rate of Rise of Commutation Voltage (Rated V_{DRM} , $I_{TM} = 14$ A, Commutating $di/dt = 4.3$ A/ms, Gate Unenergized, $T_C = 70^{\circ}\text{C}$)	$dv/dt(c)$	—	5	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage ($V_D = V_{DRM}$, Exponential Voltage Rise, Gate Open, $T_C = +70^{\circ}\text{C}$)	dv/dt	—	100	—	$\text{V}/\mu\text{s}$

MOTOROLA THYRISTOR DEVICE DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAC210 Series • MAC210A Series

FIGURE 1 — CURRENT DERATING

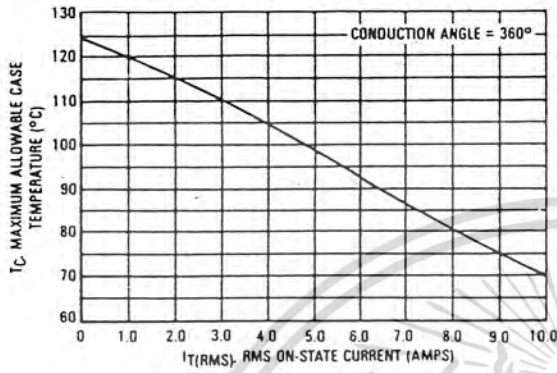


FIGURE 2 — POWER DISSIPATION

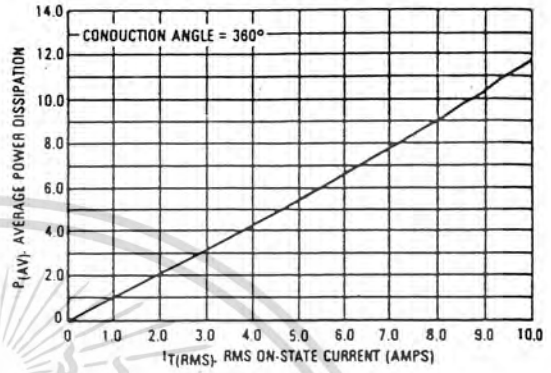


FIGURE 3 — MAXIMUM ON-STATE CHARACTERISTICS

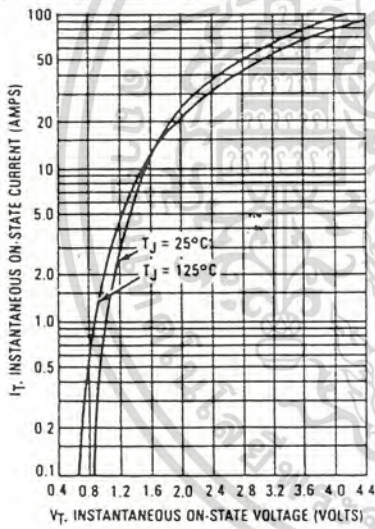


FIGURE 4 — MAXIMUM NON-REPETITIVE SURGE CURRENT

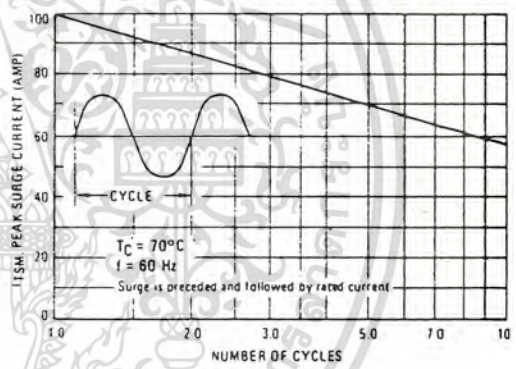
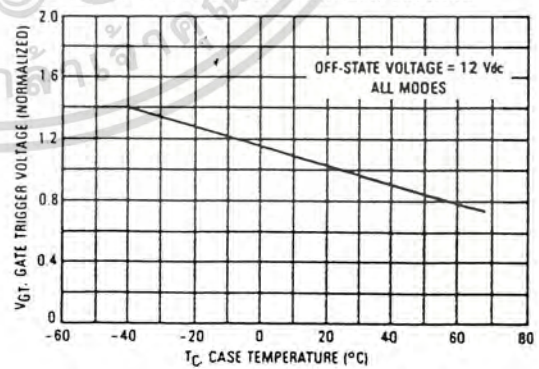


FIGURE 5 — TYPICAL GATE TRIGGER VOLTAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ MOTOROLA THYRISTOR DEVICE DATA ภาตหนาไปไซประโยชน์ขณดานการคํา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAC210 Series • MAC210A Series

FIGURE 6 – TYPICAL GATE TRIGGER CURRENT

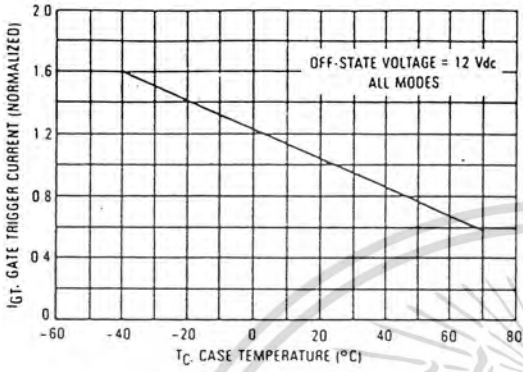


FIGURE 7 – TYPICAL HOLDING CURRENT

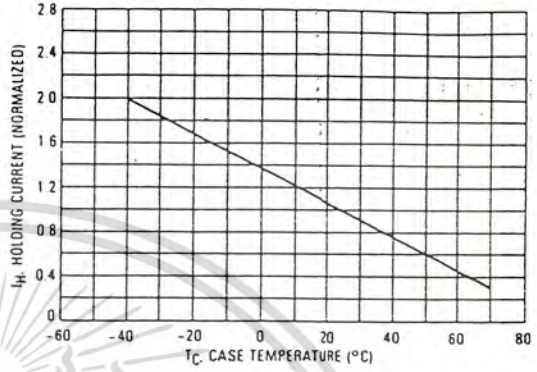
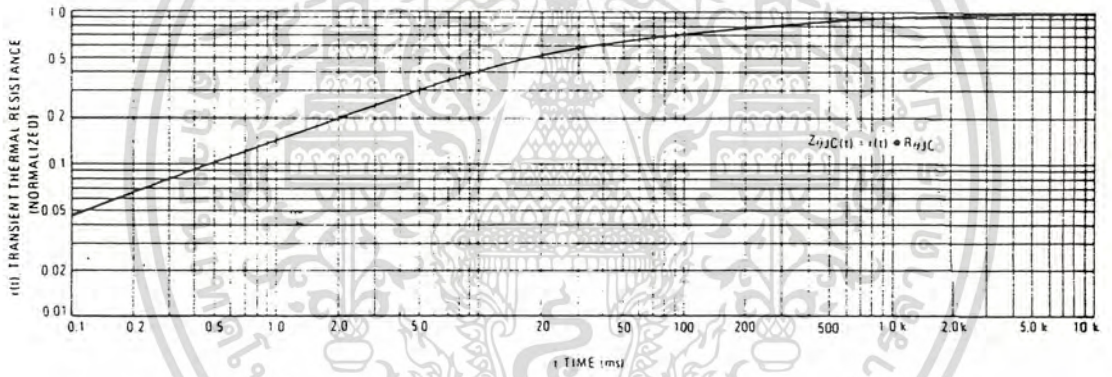


FIGURE 8 – THERMAL RESPONSE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ MOTOROLA THYRISTOR DEVICE DATA โปรดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

1. ประิณญาณิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาให้คำแนะนำและสนับสนุนในเอกสารต่าง ๆ จากท่านอาจารย์ อุกฤษ ศรีธีระวีโรจน์ ซึ่งได้รับเป็นที่ปรึกษาในโครงการจนแล้วเสร็จ

2. ขอขอบคุณอาจารย์ ลิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ ที่ให้ความกรุณาใช้ห้องวิจัยในภาควิชาวัด-คัมภีร์ และนาย ธีรศักดิ์ วัชรนากร (เจ้าหน้าที่ในห้องวิจัย) ที่ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาของโครงการ และสนับสนุนในอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัยโครงการนี้จนเสร็จสิ้น

3. ตลอดทั้งอาจารย์ (ภาคเทคนิค ๆ และภาควิชาวัด-คัมภีร์ ๆ), เพื่อน ๆ , เจ้าหน้าที่ในห้องเบ็กอุปกรณ์ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้โครงการสำเร็จเสร็จสิ้นลงได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำ (โครงการ) ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้