



ปีการศึกษา 2531

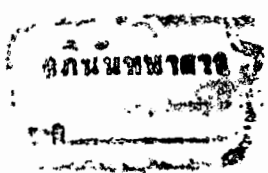
เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแสดงผลในระบบดิจิทัล

โดย

นายไกรศักดิ์ ศรีทองวัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประกาสกร สุวรรณะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเลขที่เอกสารนี้ทุกครั้งที่มีคนรับใช้

023230

10.สค.2532

ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2531

เรื่อง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแสดงผลในระบบดิจิทัล

ผู้จัดทำ

1. นายไกรศักดิ์ ศรีทองวัฒน์

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้คัดลอก 023230 ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	1
บทนำ	2
บทที่ 1 กาลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟคเตอร์	3
1.1 กาลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	3
1.2 กาลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	3
1.2.1 การบ่งให้ทราบถึงขนาดของกระแสและแรงดันไฟฟ้าสลับ	3
1.2.2 กาลังไฟฟ้ากระแสสลับ	8
บทที่ 2 เครื่องวัดกาลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์)	12
2.1 วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์	12
2.1.1 หลักการ	12
2.1.2 คุณลักษณะ	13
2.2 วัตต์มิเตอร์ชนิดใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์	14
2.2.1 วิธีการสร้างและออกแบบวงจรคุณ	14
2.2.1.1 วงจรคุณที่ใช้อปแอมป์ชนิดพิเศษ	14
2.2.1.2 วงจรคุณที่ใช้วงจรรวม	16
2.2.1.3 วงจรคุณที่ใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์	16
บทที่ 3 วิธีการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดกาลังไฟฟ้า	17
3.0 หลักการทำงานของเครื่องวัดกาลังไฟฟ้า	18
3.1 วงจรแยกกระแสและแรงดัน	19
3.2 วงจรคุณ	20
3.2.1 หลักการทำงาน	20
3.3 วงจรเรคตีไฟเออร์	21
3.4 วงจรแยกกราวด์	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5	วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า	24
3.6	วงจรภาคแสดงผล	27
บทที่ 4	การสร้างและปรับแต่งวงจร	28
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง	31
5.1	วงจรคูล	31
5.2	วงจรแยกกราวด์	33
บทที่ 6	บทวิจารณ์และสรุป	35
ภาคผนวก		36
กิตติกรรมประกาศ		
หน้าสื่ออ้างอิง		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ปริญญาพนธ์ฉบับนี้เสนอเรื่อง เครื่องวัดไฟฟ้าแสดงผลในระบบดิจิทัลซึ่งเป็น เครื่องมือที่ช่วยวัดกำลังไฟฟ้าโดยมีหน่วยเป็นวัตต์ และมีช่วงกว้างในการวัดตั้งแต่ 0.1 วัตต์ จนถึง 2000 วัตต์ โดยจะสามารถวัดกำลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟสลับ 220 โวลต์ ผลที่ได้จากการวัดจะแสดงออกในระบบดิจิทัล ประโยชน์ในการวัดจะทำให้สามารถ ตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ว่ามากน้อยเหมาะสมอย่างไร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis is presented about Watt Meter to show the item of digital which is the tool to measure the power of 220 volt electrical objects. The measurement is in the watt unit and have the range from 0.1 - 2000 Watt . The rest of the measurement will show in digital system. The use of this tool is that can be inspected how appropriate of electrical power.

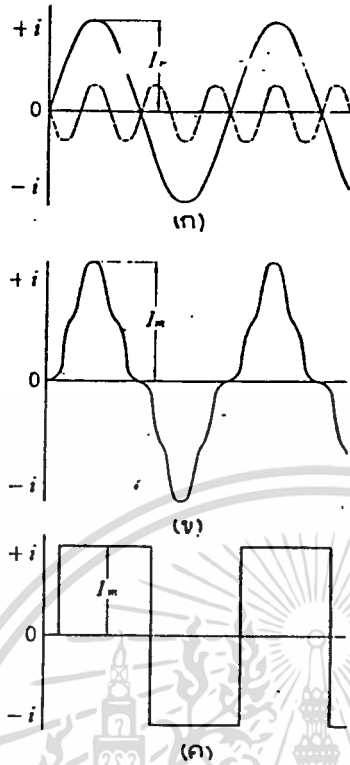


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เนื่องจากเราจะไม่สามารถทราบถึงปริมาณของกระแส แรงดัน และกำลังทางไฟฟ้าได้เพียงแต่จากประสาทมัลต์โดยตรงของเรา เราจึงต้องอาศัยปรากฏการณ์ทางกายภาพ เพื่อเปลี่ยนปริมาณทางไฟฟ้าเหล่านั้นให้เป็นปริมาณที่เราสามารถรับทราบได้โดยประสาทมัลต์ เช่น เปลี่ยนให้แสดงออกเป็นตัวเลข เป็นต้น ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของวิธีการที่ใช้ในการวัดปริมาณทางไฟฟ้า เครื่องมือที่ใช้เพื่อจุดประสงค์นี้เรียกว่า เครื่องวัดทางไฟฟ้าแสดงผลในระบบดิจิทัล

ในขณะที่แนวโน้มของค่าไฟฟ้ายังคงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนแม้ในอนาคตโรงงานผลิตหรือศูนย์การค้าและหน่วยงานต่างๆ รวมทั้งบ้านเรือนทั่วไป จึงควรตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ยู่ตลอดเวลา เพื่อจะหาแนวทางในการที่จะประหยัดค่าไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด ในขั้นแรกในการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าคือ การวัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ในอุปกรณ์แต่ละชนิด ปริมาณพิกัดที่เสนอนี้จะแสดงถึง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ในบ้าน (ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์) ตัวอย่าง เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น พัดลม เตารีด โทรทัศน์ เป็นต้น



รูป 1.1 รูปคลื่นแบบต่างๆของกระแส

(1) ค่ายอดคลื่น (Crest Value)

ค่ายอดคลื่น หมายถึง ค่าสูงสุดของขนาดของกระแสไฟฟ้าสลับ ซึ่งเป็นค่าที่ง่ายที่สุดที่จะใช้บังคับให้ทราบ ทั้งแสดงด้วย I_m ในรูป 1.1 ความสามารถทนได้ของวัสดุฉนวนเมื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้าสลับขึ้นอยู่กับค่ายอดคลื่นของแรงดันที่ใช้

นอกจากนี้ค่ายอดคลื่นนี้มักใช้กันบ่อยในการแสดงถึงขนาดของสัญญาณรบกวน

(Noise) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

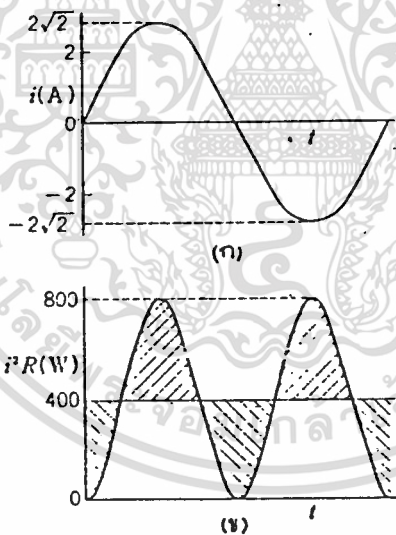
(2) ค่าเฉลี่ย (Mean Value)

ค่าเฉลี่ย หมายความว่าถึง ค่าของความสูงที่เฉลี่ยภายในครึ่งช่วงเวลาครบรูป (half period) ของคลื่นกระแสสลับ เหตุผลที่ใช้ค่าเฉลี่ยเพียงครึ่งช่วงเวลาครบรูปก็เพราะถ้ากระแสมีรูปคลื่นเป็นอย่างไรเหมือนกันทั้งทางค่านบวกและค่านลบดังในรูป 1.1 แล้ว เมื่อค่าเฉลี่ยของความสูงของกระแสที่ออกไปเต็มช่วงเวลา ก็จะมีค่าเป็น

ศูนย์ จากรูป 1.1 (ค) จะเห็นได้ชัดว่าค่าเฉลี่ย I_a มีค่าเท่ากับ I_m แต่โดยทั่วไปแล้วค่าเฉลี่ยของกระแสสลับจะได้อาจมาจากการคำนวณซึ่งต้องใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูง

(3) ค่าประสิทธิผล (Effective หรือ RMS value)

เมื่อไฟฟ้ากระแสตรง I ไหลผ่านความต้านทาน R จะเกิดการสิ้นเปลืองกำลังขึ้นในความต้านทานตัวนั้น มีค่าเท่ากับ I^2R ปปรากฏการณ์เช่นนี้ก็จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกันในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ นั่นคือ เมื่อมีกระแสสลับ i ไหลผ่านความต้านทาน R ก็จะมีกำลังเปลืองเกิดขึ้นในความต้านทานตัวนั้นเท่ากับ i^2R เช่นกัน ตัวอย่างเช่น สมมติว่า i เป็นกระแสไฟฟ้าสลับที่มีคลื่นรูปไซน์ ซึ่งมีค่ายอดคลื่น $I_m = 2\sqrt{2}$ แอมแปร์ และ R มีค่าเท่ากับ 100 โอห์ม เมื่อคำนวณหาค่าทุกขณะ (Instantaneous value) ของ i^2R แล้ว นำไปเขียนกราฟจะได้รูปร่างดังแสดงในรูป 1.2 (ข)



รูป 1.2 รูปคลื่นแสดงค่าของกำลังไฟฟ้าทุกขณะและค่าเฉลี่ย




การสิ้นเปลืองกำลังจะเปลี่ยนแปลงไปตามคลื่นรูปไซน์ โดยมีช่วงเวลาลาครูปเป็นครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาคาบรูปของกระแส และแตกต่างจากรูปคลื่นของกระแสที่มีค่าเป็นขวกเสมอ ดังนั้นเมื่อเฉลี่ยค่า i^2R ออกไปภายในสองช่วงเวลาคาบรูป

ของมัน หรือหนึ่งช่วงเวลาครบรูปของ i จะได้ออกมา 400 วัตต์ ทั้งนี้ เพราะพื้นที่ภายในเส้นโค้งทางด้านบนของเส้นตรง $i^2 R = 400$ วัตต์ ซึ่ง แรเงา ทั่วหลายเส้นทะแยงชันทางขวา กับพื้นที่ภายในเส้นโค้งทางด้านล่าง ซึ่งแรเงาทั่วหลาย เส้นทะแยงลงทางขวามีค่าเท่ากันและหักล้างกันหมดไป ส่วนกระแสตรงที่จะทำให้เกิด ความสิ้นเปลืองกำลัง 400 วัตต์ เมื่อไหลผ่านความต้านทาน 100 โอห์ม ตัวเดียวกันนี้จะมีค่าเท่ากับ 2 แอมแปร์

จากตัวอย่างข้างบนจะเห็นได้ว่า กระแสสลับรูปไซน์ที่มีค่ายอดคลื่น $2\sqrt{2}$ แอมแปร์ เมื่อไหลผ่านความต้านทาน 100 โอห์ม จะทำให้เกิด ความสิ้นเปลืองกำลังโดยเฉลี่ยภายในหนึ่งช่วงเวลาครบรูปของกระแสนั้นเท่ากับ ความ สิ้นเปลืองกำลังที่เกิดขึ้นจากกระแสตรงไหลผ่านความต้านทานตัวเดียวกันนี้ เราจึง กำหนดว่าค่าประสิทธิผลของกระแสสลับในตัวอย่างนี้มีค่าเป็น 2 แอมแปร์ อาจ กล่าวสำหรับกรณีทั่วไปได้ว่า "เมื่อความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าที่เฉลี่ยภายในหนึ่งช่วง- เวลาครบรูปของกระแสันเกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสลับ i ไหลผ่านความต้านทาน R มีค่าเท่ากับ ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าอันเกิดจากกระแสไฟฟ้าตรง I ไหล ผ่านความต้านทานตัวเดียวกันนั้นแล้ว ค่าประสิทธิผลของกระแสไฟฟ้าสลับ i จะมี ค่าเท่ากับ I "

ค่าประสิทธิผลของกระแสสลับที่มีรูปคลื่นต่างๆกันออกไปสามารถคำนวณหา- ได้โดยการใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูง เพื่อใช้ในการอ้างอิงได้รวบรวมค่ายอดคลื่น ค่าเฉลี่ย และค่าประสิทธิผลของกระแสสลับที่มีรูปคลื่นต่างๆเอาไว้ในตารางที่ 1

ตาราง 1 รูปคลื่นไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้าสลับ คือค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยภายใน-
 หนึ่งช่วง เวลาครบรูปที่เกิดขึ้นที่ชั่วของความต้านทาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าสลับ
 ซึ่งมีค่าประสิทธิผล ไหลผ่านความต้านทาน ตัวนั้น

นอกเหนือไปจากค่าต่างๆที่กล่าวถึงมาแล้ว บางครั้งเราต้องใช้ค่าสัมประ-
 สัตว์รูปคลื่น (form factor) และสัมประสิทธิ์ยอดคลื่น (crest factor)
 ซึ่งให้ค่าจำกัดความไวคังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์รูปคลื่น} = \frac{\text{ค่าประสิทธิผล}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \quad (1.2)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ยอดคลื่น} = \frac{\text{ค่ายอดคลื่น}}{\text{ค่าประสิทธิผล}} \quad (1.3)$$

จากค่าจำกัดความข้างต้น เราอาจบ่งถึงรูปคลื่นกระแสสลับได้อย่าง
 หมายๆ โดยการใช่ว่าตัวเลขแทน เช่นในกรณีของรูปคลื่นไซน์

$$\text{สัมประสิทธิ์รูปคลื่น} = \frac{I_m / \sqrt{2}}{(2I_m / \pi)} = 1.11$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ยอดคลื่น} = \frac{I_m}{(I_m / \sqrt{2})} = 1.41$$

รูปคลื่นที่แสดงในรูป 1.2 (ข) ได้มาจากการรวมคลื่นรูปไซน์ 2 คลื่น
 ที่แสดงได้ด้วยเส้นเต็มและเส้นประ ในรูป (ก) เข้าด้วยกัน รูปคลื่นแบบนี้เรียกว่ารูป
 คลื่นบิดเบือน (distorted wave form) รูปคลื่นไซน์ที่แสดงด้วยเส้นเต็ม
 (ก) เรียกว่า คลื่นหลัก (fundamental wave) ของคลื่นบิดเบือน คลื่นรูป
 ไส้นที่นำมารวมเข้ากับคลื่นหลักและมีความถี่สูงกว่าความถี่ของคลื่นหลัก n เท่า ($n = 2, 3, 4, \dots$) เรียกว่า คลื่นฮาร์โมนิก (harmonic) ที่ n ตัวอย่างเช่น
 คลื่นที่แสดงด้วยเส้นประในรูป (ก) เป็นคลื่นฮาร์โมนิกที่ 3 (third harmonic)
 ของคลื่นที่แสดงด้วยเส้นเต็ม เป็นต้น

1.2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในโหลด ขณะที่แรงดันคร่อมโหลดเท่ากับ V และกระแสในโหลดเท่ากับ i เป็นกำลังไฟฟ้าแต่ละขณะ (instantaneous power) p ซึ่งมีค่าเป็น

$$p = vi \tag{1.4}$$

โดยที่แรงดันคร่อมโหลดเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับรูปไซน์ ที่มีสมการเป็น $V = V_m \sin \omega t$ ถ้าโหลดมีความต้านทานเป็น R กระแสที่ไหลผ่านโหลด จะเขียนได้เป็น

$$i = I_m \sin \omega t \tag{1.5}$$

เพราะฉะนั้น

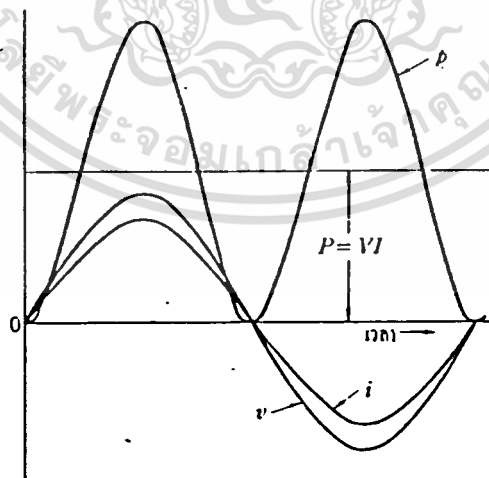
จึงเขียนได้เป็น
$$p = V_m I_m \sin^2 \omega t \tag{1.6}$$

และจาก

$$\sin^2 \omega t = (1/2)[1 - \cos 2\omega t] \tag{1.7}$$

จะได้

$$p = V_m I_m (1 - \cos 2\omega t) / 2 \tag{1.8}$$



รูป 1.3

สมการข้างบนนี้ได้เขียนรูปไว้แสดงให้ดูในรูป 1.3 เช่นเดียวกับค่าจำกัดความของค่าประสิทธิภาพ ค่าเฉลี่ยของ p ในหนึ่งช่วงเวลาครบรูป ซึ่งก็คือเอกกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย p ไว้สำหรับจะมีค่าเป็นานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$P = V_m I_m / 2 = I^2 R = V^2 / R \tag{1.9}$$

โดยให้ V และ I เป็นค่าประสิทธิผลของ V และ i ตามลำดับ
สมการนี้มีรูปแบบเดียวกับสมการ 1.1 ซึ่งเป็นสมการสำหรับกระแส
ตรง P ในสมการนี้เรียกว่า กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ
ถ้าโหลดเป็นตัวรีแอคทีฟ (reactive element) เป็นอินดักแทนซ์
เป็นต้น

$$i = (V_m / \omega L) [\sin(\omega t - \pi/2)] \tag{1.10}$$

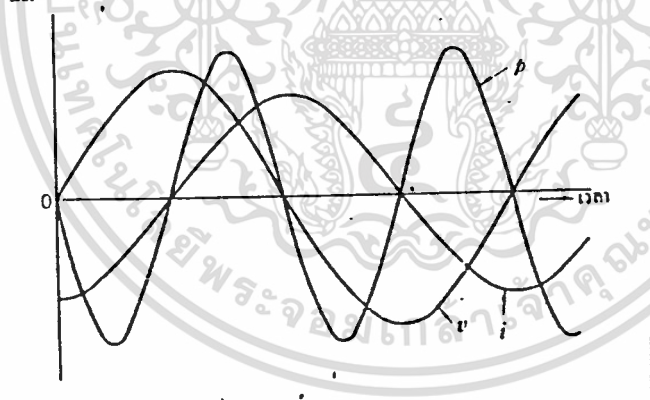
$$= I_m \sin(\omega t - \pi/2) \tag{1.11}$$

ดังนั้นเราจะได้

$$P = V_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \pi/2) \tag{1.12}$$

$$= (V_m I_m / 2) (\sin 2\omega t) \tag{1.13}$$

สมการนี้เขียนรูปแสดงไว้ใหญ่ในรูป 1.4



รูป 1.4

จากรูป 1.4 นี้หมายความว่า เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากต้นกำเนิดให้
แก่อินดักแทนซ์ ในครึ่งช่วงแรกมันจะเก็บพลังงานไว้ในรูปของแม่เหล็กไฟ-
ฟ้า และจะจ่ายคืนกลับให้แก่ต้นกำเนิดในช่วงเวลาครึ่งต่อไป นั่นคือโดยเฉลี่ยแล้ว
อินดักแทนซ์จะไม่ใช้กำลังไฟฟ้าเลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์

$$\text{ต่อไปสมมุติว่าโหลดคือ } Z = R + jX \tag{1.14}$$

ซึ่ง R เป็นความต้านทาน
 และ X เป็นค่ารีแอกแตนซ์
 เราจะได้

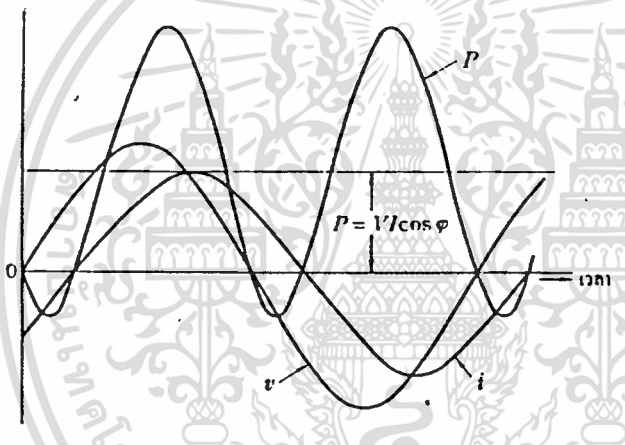
$$i = I_m \sin \omega t \quad (1.14)$$

$$p = (V_m I_m \sin \omega t) [\sin(\omega t - \phi)] \quad (1.15)$$

โดย $\tan \phi = X/R$ และเราจะได้

$$p = VI \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \phi \sin 2\omega t \quad (1.16)$$

ความสัมพันธ์นี้แสดงไว้ในรูป 1.5



รูป 1.5

และในกรณีนี้กำลังเฉลี่ย p จะมีค่าเป็นดังนี้

$$p = VI \cos \phi \quad (1.17)$$

โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่ว่า $\cos \phi = R / \sqrt{R^2 + X^2}$

เราจะหาต่อไปได้ว่า

$$p = I^2 R = V^2 / R \quad (1.18)$$

ดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปแล้ว กำลังเฉลี่ยในกรณีของ
 ไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงได้โดยผลคูณของแรงดันประสิทธิผลคร่อมโหลด ถ้ากระแส
 ประสิทธิผลที่ไหลผ่านโหลด กับค่า cosine ของมุมระหว่างเฟสกับแรงดันกับกระแส

แต่ กำลังเฉลี่ยนี้จะมีค่าเท่ากับกำลังที่ใช้ไปในความต้านทานของโหลด กำลังนี้จึงเรียกว่ากำลังประสิทธิผล ส่วนกำลังแต่ละขณะซึ่งมีค่าเท่ากับ $V_I \sin \varphi$ อันเป็นกำลังที่ถ่ายเทไปมาระหว่างต้นกำเนิดกำลัง กับรีแอกแตนซ์ของโหลด โดยไม่มีการสิ้นเปลืองไป เรียกว่ากำลังรีแอกทีฟ ค่า V_I เรียกว่ากำลังที่ปรากฏ (apparent power) และค่าของ $\cos \varphi$ เรียกว่า เพาเวอร์ แฟกเตอร์ (power factor)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์)

กำลังไฟฟ้าแสดงได้โดยผลคูณของแรงดันกับกระแส สำหรับกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง และโดยผลคูณของแรงดันประสิทธิผลกับกระแสประสิทธิผล กับค่าเพาเวอร์ แฟคเตอร์ของโหลด ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ

ดังนั้นในการวัดกำลังไฟฟ้า การคูณดังกล่าวจะต้องกระทำโดยใช้เครื่องมือที่สามารถใช้เป็นเครื่องวัดที่ให้ผลคูณได้ เครื่องวัดที่ปัจจุบันนิยมใช้กันจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

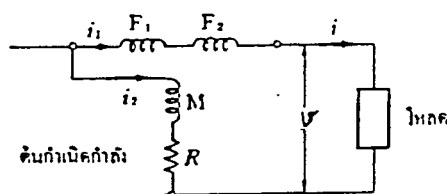
1. วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์
2. วัตต์มิเตอร์ชนิดใช้วงจรรีเลคทรอนิกส์

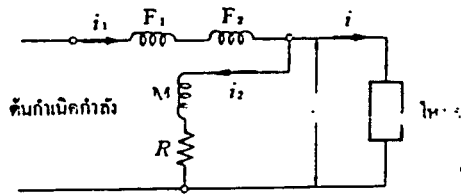
2.1 วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์

จนในปัจจุบัน เครื่องวัดชนิดนี้ยังคงเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเพียงชนิดเดียวที่สามารถวัดกำลังงานทางไฟฟ้าได้อย่างละเอียด ไม่ว่าจะเป็นโหลดชนิดใดและในระบบไฟฟ้าแบบใดๆ

2.1.1 หลักการ

เครื่องวัดชนิดอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์มีคอยล์อยู่คู่หนึ่ง คือ คอยล์ที่อยู่กับที่ และคอยล์ที่หมุนได้ และเข็มจะชี้ไปเป็นปฏิภาคกับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านคอยล์ทั้งสองนั้น คราวนี้นำเอาเครื่องวัดมาต่อให้เป็นวงจร ดังแสดงในรูป 2.1 (ก) หรือ (ข) โดยให้กระแส i_1 ที่ไหลผ่านคอยล์อยู่กับที่ เป็นปฏิภาคกับกระแส i ที่ไหลผ่านโหลด และให้กระแส i_2 ที่ไหลผ่านคอยล์หมุน เป็นปฏิภาคกับแรงดัน V ที่คร่อมโหลด





รูป 2.1 (ข)

แรงบิดที่เกิดขึ้นในเครื่องวัดนี้ จะมีค่าเป็นปฏิภาคกับ $i_1 i_2 = kvi$ โดย k เป็นค่าคงที่ และเป็นปฏิภาคกับกำลังของโหลด v_i ในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ

$$i_1 i_2 = kvi$$

$$= kVI [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

ซึ่งหามาได้จากการสมมุติให้ $v = V_m \sin \omega t$
 $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$

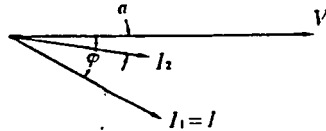
และ i_2 มีเฟสเดียวกันกับ v ถ้าความถี่ของ v และ i มีค่าสูง ส่วนที่เคลื่อนไหวก็จะหมุนไปตามผลคูณที่มีแต่เฉพาะค่า $VI \cos$ ที่อยู่ทางขวามือของสมการ 3.1 เท่านั้น ค่า $VI \cos$ นี้จึงแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในโหลด

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ไม่ว่าในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ การบ่งชี้ของวัตต์มิเตอร์ ชนิดอิเล็กทรอนิกส์นาโมมิเตอร์ ย่อมเป็นปฏิภาคกับกำลังที่ใช้ไปในโหลด

2.1.2 คุณลักษณะ

เนื่องจากเครื่องวัดชนิดนี้ เป็นเครื่องวัดที่ใช้ได้ทั่วไป (universal type) จึงใช้วัดกระแสสลับได้วย หลังจากที่ได้รับ การเปรียบเทียบกับกระแสตรง ในกรณีนี้ ค่าอินดักแตนซ์ของคอยล์หมุน จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในการวัด โดยทำให้กระแส i_2 มีมุมของเฟสล่าช้าเกินไป เมื่อเทียบกับ v ซึ่งการล่าช้านี้ได้รับการยกเว้นไม่กล่าวถึงในคำอธิบายตอนต้น นั่นคือค่ามุมต่างของเฟส

ระหว่าง v กับ i_2 เป็น ∞ ดังแสดงในรูป 2.2



รูป 2.2

เราจะเขียนได้ว่า $i_2 = K' V_m \sin(\omega t - \infty)$ และจะได้สมการดังต่อไปนี้ ในทำนองเดียวกันกับ สมการ 2.1 คือ

$$i_1 i_2 = KVI (\varphi - \infty) - \cos(2\omega t - \varphi - \infty)$$

โดยมีข้อแม้ว่า $K' = K$

ดังนั้น วัตต์มิเตอร์จะชี้บ่งค่าที่เป็นปฏิภาคกับ $vI \cos(\varphi - \infty)$ เนื่องจากมุมมีขนาดเล็ก ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก ∞ จึงมีน้อย เมื่อ $\varphi = 0$ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพาเวอร์ แฟคเตอร์ ของโหลดมีค่าใกล้ 1 อย่างไม่ก็ตาม เมื่อมุม φ โค้ขึ้น หรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ลดลง ความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก ∞ จะมีมากขึ้น จนไม่สามารถละทิ้งได้ ดังนั้นในการวัดกำลังไฟฟ้า ที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ จึงควรต้องใช้วัตต์มิเตอร์ที่มีมุม ∞ น้อย ซึ่งจะบ่งไว้โดยเฉพาะว่าใช้ในการวัดเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ

2.2 วัตต์มิเตอร์ชนิดใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์

เราจะหันมาใช้มาใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์แทนการใช้โอเลคโตรไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำลองการทำงานของอุปกรณ์ไดนาโมมิเตอร์ คือ วงจรผลคูณ (multiplier) วงจรผลคูณเชิงอิเล็กทรอนิกส์มีวิธีการสร้างและออกแบบหลายวิธี ซึ่งจะกล่าวอย่างคร่าวๆ สักสามวิธี ดังนี้

2.2.1 วิธีการสร้างและออกแบบวงจรคูณ

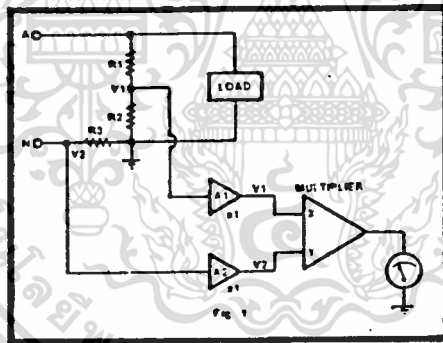
2.2.1.1 ใช้อุปกรณ์ออปแอมป์ชนิดพิเศษ ซึ่งเรียกว่า ออปแอมป์แบบเอาท์

พุท ทรานสดอนคักแตนซ์ (output transconductance amplifier) ย่อว่า ota

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปแอมป์ ota จะมีอินพุทแบบเดียวกับออปแอมป์ธรรมดา คือตรวจสอบค่าแรงดันความแตกต่างทางอินพุท แต่จะให้เอาท์พุทเป็นรูปของกระแส ดังนั้นอัตราขยายในกรณีนี้ จึงไม่ใช่อัตราขยายเชิงแรงดัน แต่เรียกชื่อใหม่ว่า ค่าฟอร์เวิร์ททรานส์คอนดัคแตนซ์ ซึ่งมีหน่วยเป็น mA/V หรือ mho อันเป็นส่วนกลับของโอห์ม กระแสเอาท์พุทจากออปแอมป์แบบ ota สามารถแปลงกลับมาเป็นแรงดันได้ โดยการต่อความต้านทานไว้ภายในภาคเอาท์พุท

ค่าฟอร์เวิร์ททรานส์คอนดัคแตนซ์ (forward transconductance) ย่อว่า g_m สามารถเปลี่ยนค่าได้โดย การปรับกระแสไฟตรงในการไบอัส กระแสไบอัสนี้ อาจได้จากการต่อแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสลับผ่านความต้านทาน ทำให้ออปแอมป์แบบ ota ทำงานเป็นวงจรคูณค่าแรงดันทางอินพุททั้งสองได้



ผังวงจร แสดงหลักการทำงานเป็นวัตต์มิเตอร์

การนำออปแอมป์ ota ไปทำงานเป็นอิเล็กทรอนิกส์วัตต์มิเตอร์ มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยจะต่อโหนดระหว่างสายขอต (hot : A) กับสายนิวทรัล (neutral : N) ของไฟฟ้าสลับ แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏคร่อมโหนดจะถูกตรวจวัดโดยออปแอมป์ A_1 ผ่านตัวแบ่งแรงดัน R_1 และ R_2 A_1 ทำงานเป็นบัฟเฟอร์ คือมีอัตราขยายเป็น 1 แล้วส่งเข้าอินพุทอันหนึ่งของออปแอมป์แบบ ota อินพุทนี้คือ อินพุท X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน แรงดันที่แปรไปตามค่ากระแสในโหลดจะเกิดขึ้นคร่อมความต้านทาน R_3 แล้วป้อนเข้าอินพุต Y ของวงจรรkundผ่านออปแอมป์ A_2 ซึ่งทำงานเป็นบัฟเฟอร์เช่นกัน

เอาต์พุตจาก ota จึงเป็นค่ากระแสที่แปรโดยตรง กับผลคูณของแรงดันทางอินพุตทั้งสอง (ซึ่งมาจากออปแอมป์ A_1 และ A_2) จากนั้นให้กระแสนี้ไหลผ่านมิเตอร์ เพื่อปรับค่าอ่านเป็นค่าวัตต์มิเตอร์ต่อไป

2.2.1.2 ใช้วงจรรวม (integrated circuit : IC)

ไอซีที่ใช้คือ $mc\ 1594\ L$ หรือ $mc\ 1494\ L$ ซึ่งเป็นไอซีผลคูณ ที่เป็นลิเนียร์ โพลีออกแรนท์ (linear four quadrant) เป็นไอซีที่มี 16 ขา ทำงานได้ กว้างไฟเลี้ยง 15 โวลต์ ซึ่งมีสองอินพุตคือ X และ Y และหนึ่งเอาต์พุต อินพุต ทั้ง X และ Y จะเป็นค่าแรงดัน ค่าสเกลแฟคเตอร์ ค่าอินพุต เอาต์พุต ออฟเซต สามารถปรับค่าได้ โดยตัวความต้านทานปรับค่าได้ (potentiometer)

ไอซีเบอร์ $mc\ 1494\ L$ และ $mc\ 1594\ L$ นี้ มีคุณสมบัติในการนำไปใช้ ได้หลายรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วย วงจรคูณ วงจรหาร วงจรลอการิทึมการ วงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronics gain control) และอื่นๆ

2.2.1.3 โดยการใช่วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งรายละเอียดจะได้อีกกล่าว ในบทต่อไป ในส่วนของวงจรผลคูณ

บทที่ 3

วิธีการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

หากท่านต้องการตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไม่ว่าจะเป็นภายในบ้าน ภายในอาคาร ในเครื่องมือ วงการค่า และอุตสาหกรรม โครงการนี้จะช่วยท่านได้มาก โดยมีช่วงกว้างใบการวัดกำลังไฟฟ้ากว้าง จาก 2 วัตต์ จนถึง 2 กิโลวัตต์ สามารถวัดกำลังงานได้ต่ำสุดถึง 0.1 วัตต์ โดยมีความผิดพลาดภายในช่วง 2% (ที่อุณหภูมิ $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$) สามารถใช้วัดกำลังงานที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ ที่กินไฟสลับ 220 โวลต์ ตั้งแต่เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กจนถึงขนาดที่ใช้ในโรงงาน

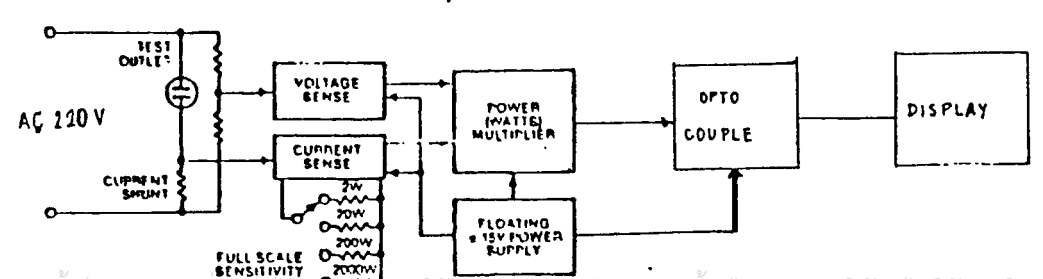
และเพื่อให้เหมาะกับงานวัดกำลังงานในลักษณะต่างๆ อุปกรณ์วัดชุดนี้ จึงให้เอาต์พุตเชิงดิจิทัล

เราจะแบ่งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าตามลักษณะของการทำงานออกเป็นแต่ส่วนต่างๆ ดังนี้

- 3.1 วงจรส่วนแยกกระแสและแรงดัน
- 3.2 วงจรคูณ
- 3.3 วงจรเรกติไฟเออร์
- 3.4 วงจรแยกกราวด์
- 3.5 วงจรแสดงผลระบบดิจิทัล
- 3.6 วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ในรูปที่ 3.1 เป็นรูปที่แสดงผังการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะแบ่งเป็นส่วนๆ ตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

รูป 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.0 จากรูปแสดงผังการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ต้องการวัดจะนำมาเสียบปลั๊กที่ตึกไว้บนหน้าปัดเครื่องมือนี้ เพื่อจ่ายไฟสลับให้ (220 โวลต์) ลักษณะการทำงานจะอธิบายได้ดังนี้

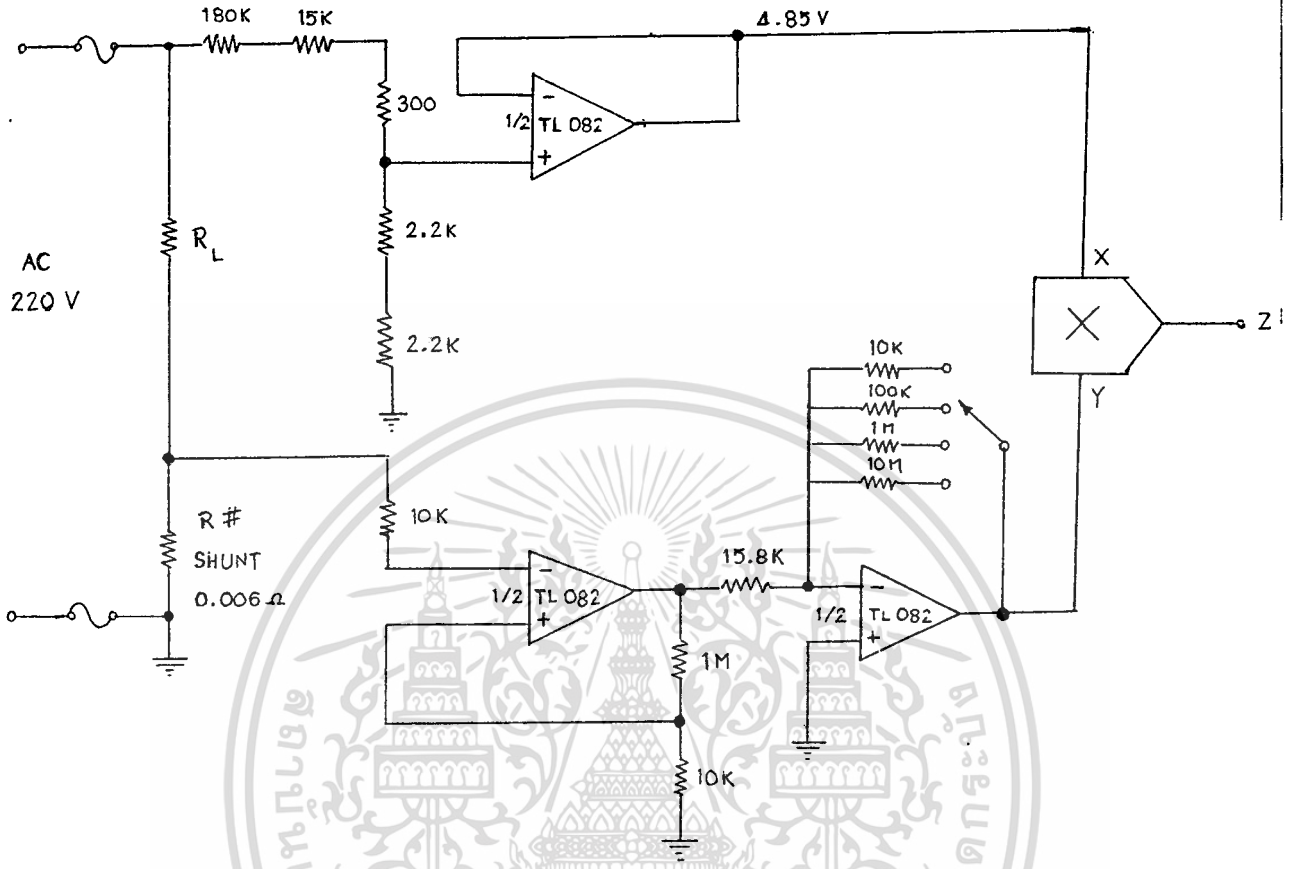
เมื่อจ่ายไฟสลับเข้าอุปกรณ์ที่ต้องการวัด แรงดันไฟสลับจะปรากฏคร่อมโวลต์ทดสอบในวงจรแบ่งแรงดัน จากนั้นก็ป้อนผ่านออปแอมป์ไปยังวงจรคูณ

ส่วนแรงดันที่ปรากฏคร่อมเซ็นท์ (อันมีค่าความต้านทานค่าๆ) จะสอดคล้องกับปริมาณกระแสที่ผ่านโวลต์ โดยเซ็นท์รับกระแสได้สูงสุด 20 แอมป์ ในขณะที่ให้แรงดันค่าเพียง 0.2 โวลต์

การที่ไม่ใช้เซ็นท์ที่มีความต้านทานสูง เพราะความแม่นยำในการวัดไม่ดี นอกจากนี้ยังมีวงจรขยายค่านอกเพื่อแบ่งช่วงการวัดเป็น 4 ช่วงคือ 2, 20, 200 และ 2000 วัตต์

เทคนิคการวัดอยู่ที่การจัดวงจรสุ่มกระแส โดยมีสวิทช์เลือกอัตราขยายความไวแบ่งเป็น 4 ช่วง การวัดวงจรคูณเป็นแบบ 4 ควอดแรนต์ เพื่อสร้างเอาต์พุตที่แสดงถึงผลคูณขณะใดๆของกำลังงานที่ใช้ โดยไม่ขึ้นกับเฟสของแรงดันและกระแส ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะของโวลต์

3.1 วงจรแยกกระแสและแรงดัน



รูป 3.2

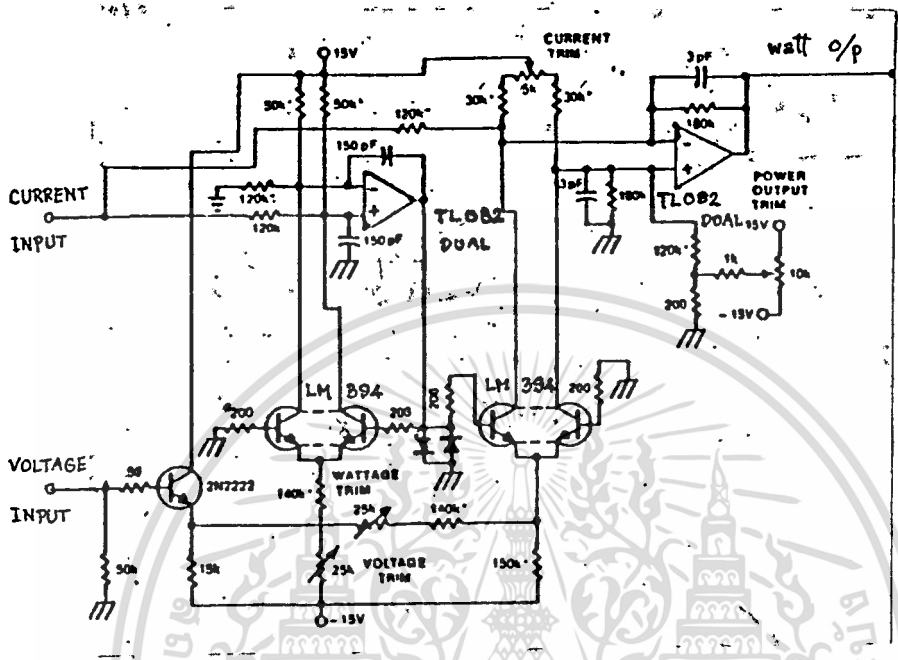
ส่วนแบ่งแรงดันประกอบด้วยค่าของตัวความต้านทาน 180K, 15K, 300Ω, 2.2K ที่เลือกและการต่อเป็นแบบแบ่งแรงดัน (divider) จาก 220 โวลต์ไปเหลือ 4.85 โวลต์โดยผ่านออปแอมป์ TL 082 ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์

ส่วนแบ่งแยกกระแสใช้ความต้านทานชั้นที่หมีขนาดเล็ก ๆ ที่ใช้คือ 6.66 mΩ ต่ออนุกรมกับ 220 โวลต์ ก็ค่าที่คลอกรวมจะผ่านเข้าออปแอมป์ TL 082 และผ่านชุดความต้านทาน 1M และ 10K โดยต่อเป็นแบบ noninverting amplifier

อัตราขยายของออปแอมป์ จากมันค่าที่หน้าการขยายไว้เป็น 100 เท่า จะผ่านเข้าออปแอมป์ TL 082 และทำการสเกลลิงโวลทจกระแสที่อยู่ในรูปสัปดาห์เพื่อผ่านเข้าวงจรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

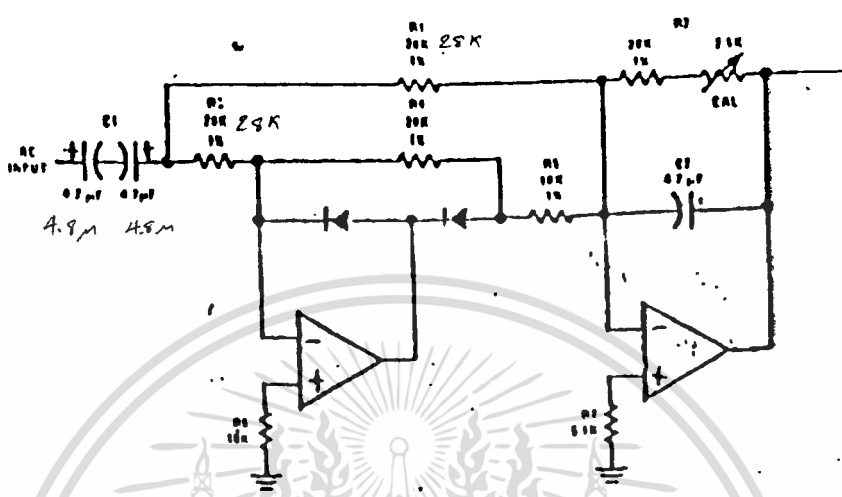
3.2 วงจรคูณ



วงจรมคูณประกอบด้วยออปแอมป์ TL 082 กับ LM 394 (ทรานซิสเตอร์) 2 ชุด เพื่อทำหน้าที่แปรปริมาณการนำกระแส ทรานซิสเตอร์ 2N 2222 จะรับปริมาณแรงดันเพื่อแปรค่าอัตราขยายได้อาพุทออกเป็นกำลังขณะใด ๆ ที่ใช้โหลด

3.3 วงเรกติไฟเออร์

ในรูปที่ 3.4 เป็นรูปที่แสดงการทำงานของวงจรเรกติไฟเออร์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า เป็นดังนี้

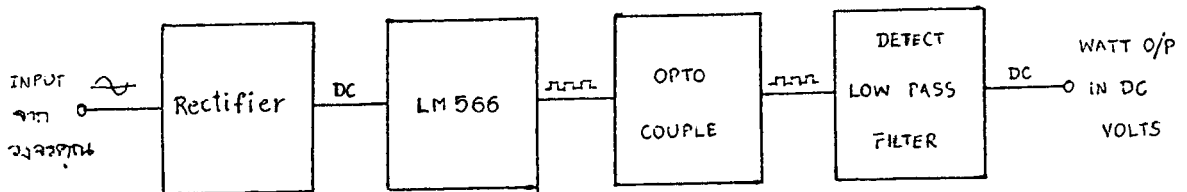


รูป 3.4

เนื่องจากเราต้องการไฟตรง เนื้อที่จะไปป้อนเข้าวงจรแยกกราวนด์ออกไป เพราะอุปกรณ์ในวงจรแยกกราวนด์จะทำงานด้วยไฟตรง ดังนั้นเราจึงลองเปลี่ยนเอาที่พ่วงของวงจรผลคูณ ซึ่งเดิมเป็นโวลต์เป็นโวลต์ตรงเสียก่อน โดยให้วงจรเรกติไฟเออร์ช่วยในการแปลงโวลต์เป็นโวลต์ตรง

3.4 วงจรแยกกราวนด์

รูปที่ 3.5 เป็นรูปที่แสดงการทำงานของวงจรแยกกราวนด์ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า เป็นดังนี้



รูป 3.5

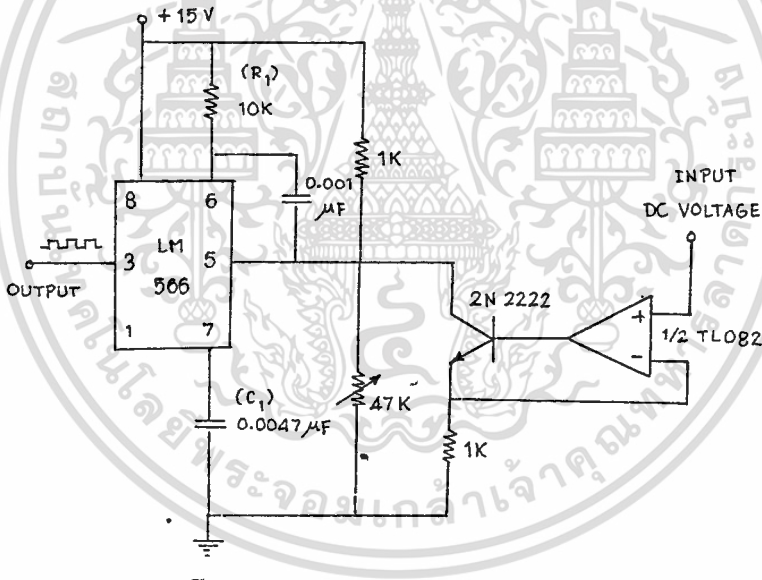
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

เพราะว่ากราวนของวงจรถูกเป็นกราวนลอย เพื่อความปลอดภัยในการที่จะนำไปต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ จึงต้องมีการแยกกราวนของวงจรออกจากระบบแสดงผล วงจรแยกกราวนที่ใช้คือ LM 566 ทำหน้าที่เช่น voltage control oscillator ซึ่งทำงานด้วยไฟตรง และจะสร้างควมถี่ออกมาแปรตามสับการดังนี้

$$f_o = 2[(v^+) - (v^-)] / R_1 C_1 v^+ \text{ Hz}$$

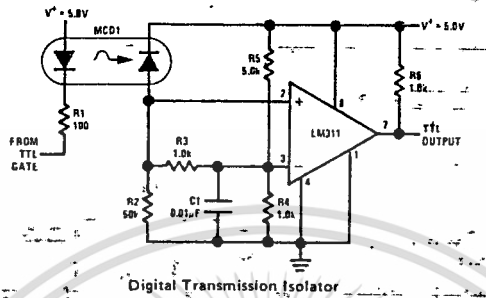
เอาทพุทที่ได้จาก LM 566 จะเป็นความถี่สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม แล้วนำไปผ่าน OPTO COUPLE และใช้วงจร Low Pass Filter มาตรฐานจับสัญญาณจึงได้ค่าที่ถาวรออกมาเป็นไฟตรง ซึ่งเป็นคนละกราวนกับวงจรเดิม

รูป 3.5 (ก) แสดงวงจรการทำงานของ LM 566



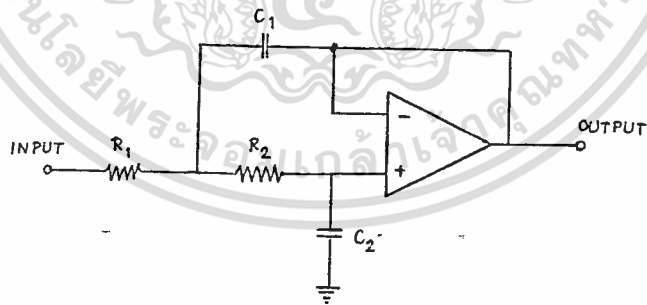
รูป 3.5 (ก)

รูป 3.5 (ข) แสดงวงจรการทำงานของ OPTO COUPLE



รูป 3.5 (ข)

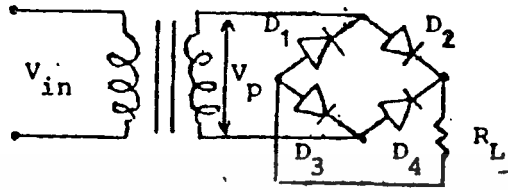
รูป 3.5 (ค) แสดงวงจรการทำงาน LOW PASS FILTER



รูป 3.5 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า



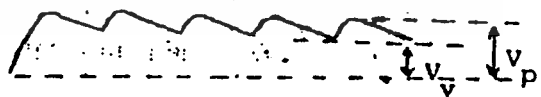
รูป 3.6

รูป 3.6 เป็นวงจรที่แปลงสัญญาณเต็มลูกคลื่นแบบบริดจ์ (Full - wave bridge rectifier) ขณะที่สัญญาณอินพุตคลื่นรูปไซน์เป็นช่วงบวก ไดโอด D_2 และ D_3 จะถูกไบอัสตรง ส่วนไดโอด D_1 และ D_4 จะถูกไบอัสย้อนกลับ แต่ในช่วงลบ D_1 และ D_4 จะถูกไบอัสตรง ส่วน D_2 และ D_3 จะถูกไบอัสย้อนกลับแทน แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเรกติไฟเออร์นั้น จะเป็นแรงดันไฟตรงที่ไม่เรียบ มีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulsating direct current) ดังรูป 3.7 (ก) ในการใช้งานจริงส่วนใหญ่ เราต้องการกระแสไฟตรงที่เรียบคือไม่แรงดันเอาต์พุตที่คลอจิ่งจำเป็นคือมีวงจรฟิลเตอร์ เพื่อกรองพัลส์ความถี่ออกจากวงจรเรกติไฟเออร์ ดังรูป 3.7 (ข)



full - wave rectifier

รูป 3.7 (ก)



full - wave rectifier

รูป 3.7 (ข)

อธิบายการทำงานได้จากรูป 3.7 (ข) เมื่อมีแรงดันพัลส์เข้ามา C_o จะถูกชาร์จให้มีระดับแรงดันเท่ากับแรงดันพัลส์ จนกระทั่งถึงจุดสูงสุด แรงดันพัลส์ที่เข้ามาเริ่มมีค่าลดลง ในช่วงนี้ C_o จะคายประจุที่เก็บเอาไว้ออกมาจ่ายให้แก่โหลด ทำให้ระดับแรงดันเอาท์พุทคงที่จนกระทั่งแรงดันพัลส์ที่เข้ามาเริ่มมีค่าสูงขึ้นอีก C_o ก็จะถูกชาร์จจนเต็มอีกครั้งหนึ่งเพราะฉะนั้นระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรฟิลเตอร์นี้จะมีค่าเท่ากับ V_p โดยอาจมีการกระเพื่อม (ripper) ได้ ขึ้นอยู่กับขนาด C_o และกระแสไหล

$$V_p = \text{peak voltage}$$

$$V_r = \text{ripper valley voltage}$$

$$V_o = \text{peak-to-peak ripper voltage}$$

$$V_o = V_p - V_r$$

โหลดของ C_o ที่ใช้สามารถได้จากสมการ

$$C_o = (I_o / V_o) * T/2$$

ขณะที่ V_o สูงสุดที่ยอมรับให้เกิดขึ้นจะไม่เกิน 10 % ของ V_p และคาบเวลาที่ C ถูกชาร์จในแต่ละครั้งคือ $T/2$ ($T =$ คาบเวลาหนึ่งคาบของกระแสไฟสลับ) ดังนั้นช่วงเวลา C_o สามารถจ่ายกระแสให้แก่โหลดด้วยการคายประจุที่สะสมไว้อย่างน้อยควรเท่ากับ $T/2$ สำหรับความถี่กระแสสลับในประเทศไทยคือ 50 เฮิร์ตซ์ดังนั้น

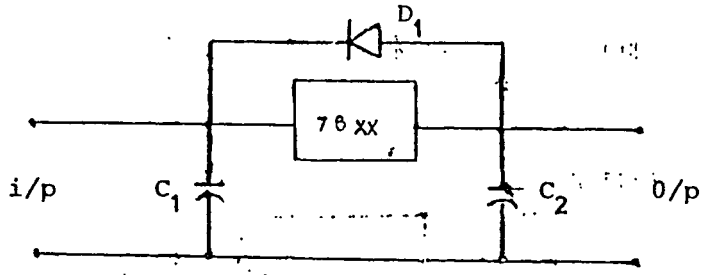
$$C_o = (I_o / V_o) * 10^2$$

$I_o =$ กระแสสูงสุดที่หน่วยเป็นแอมป์แปร์

$PIV =$ แรงดันป้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมเรกติฟายเออร์ไดโอดในขณะทำงานปกติสำหรับวงจรเรกติฟายเออร์ที่มีตัวเก็บประจุ C_o ต่อฟิลเตอร์ จะมีค่า PIV ป้อนไดโอดในกรณีสุดเว็บบริคจะมีค่าเท่ากับ V_p

ในการใช้งานจริงเพื่อความปลอดภัย PIV ไม่ควรเกิน 0.6-0.7 ของอัตราทนสูงสุดของไดโอด ที่ทางบริษัทผู้ผลิตกำหนดมา

จากที่กล่าวมาแรงดันเอาท์พุทที่ได้ยังไม่คงที่พอจะไปใช้งานในบางวงจรที่ต้องการระดับแรงดันไฟตรงที่คงที่มาก ๆ การใช้เรกติฟายเออร์กับฟิลเตอร์ยังไม่เสถียรภาพเพียงพอ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการรักษาระดับแรงดัน (voltage regulator) ต่อรวมด้วย ซึ่งจะรักษาระดับแรงดันเอาท์พุทที่ไหลลงที่ โดยไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดและแรงดันอินพุทในช่วงที่กำหนด



รูป 3.8

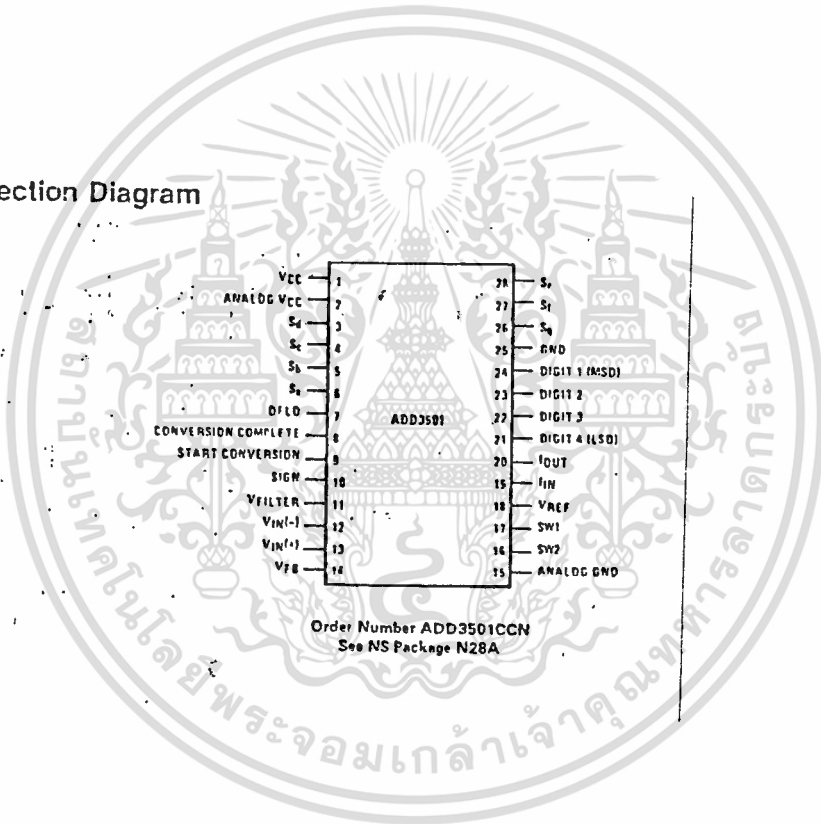
จากรูปวงจร 3.8 ใช้ไอซีเบอร์ 7815 และ 7915 เป็นตัวช่วยรักษาระดับแรงดัน ให้ได้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่ +15 โวลต์และ -15 โวลต์ ไอซีเบอร์นี้วงจรจำกัดกระแสภายในตัวเพื่อป้องกันกระแสไหลล้นมากเกินไปจนช็อคจำกัด ซึ่งทำให้ไอซีหรืออุปกรณ์ในวงจรเสียหายได้ การใช้งานไอซีเบอร์นี้ทำได้ง่ายเพราะต้องการอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ น้อยมาก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ แรงดันอินพุต เพราะจะมีแรงดันส่วนหนึ่งตกเข้ามาคร่อมไอซี ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดไว้เรียกว่า แรงดันครอปเอาต์ (dropout voltage) สำหรับไอซีตระกูล 78xx และ 79xx มีแรงดันครอปเอาต์ประมาณ 2 โวลต์ ดังนั้นแรงดันอินพุตต่ำสุดจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันเอาต์พุต 2 โวลต์ และแรงดันอินพุตสูงสุดก็ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในควาต้า ชีท (data sheet) เพราะจะทำให้ไอซีเสียหายได้

วงจรแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบจะต้องมีรีปเปิลน้อยมากและเพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จึงต้องทำการแยกวงจรนี้ออกเป็น 2 ชุด

3.6 ภาคนแสดงผล

ในส่วนของภาคนแสดงผลนี้ใช้ IC เบอร์ ADD 3501 1/2 - DIGIT DVM with Multiplex 7 - Segment ซึ่งทำงานที่ค่าศักดาไฟ +5 โวลต์โดยจะเปลี่ยนจากสัญญาณแอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วไปขับ 7 - Segment multiplexed LED display โดยตรง

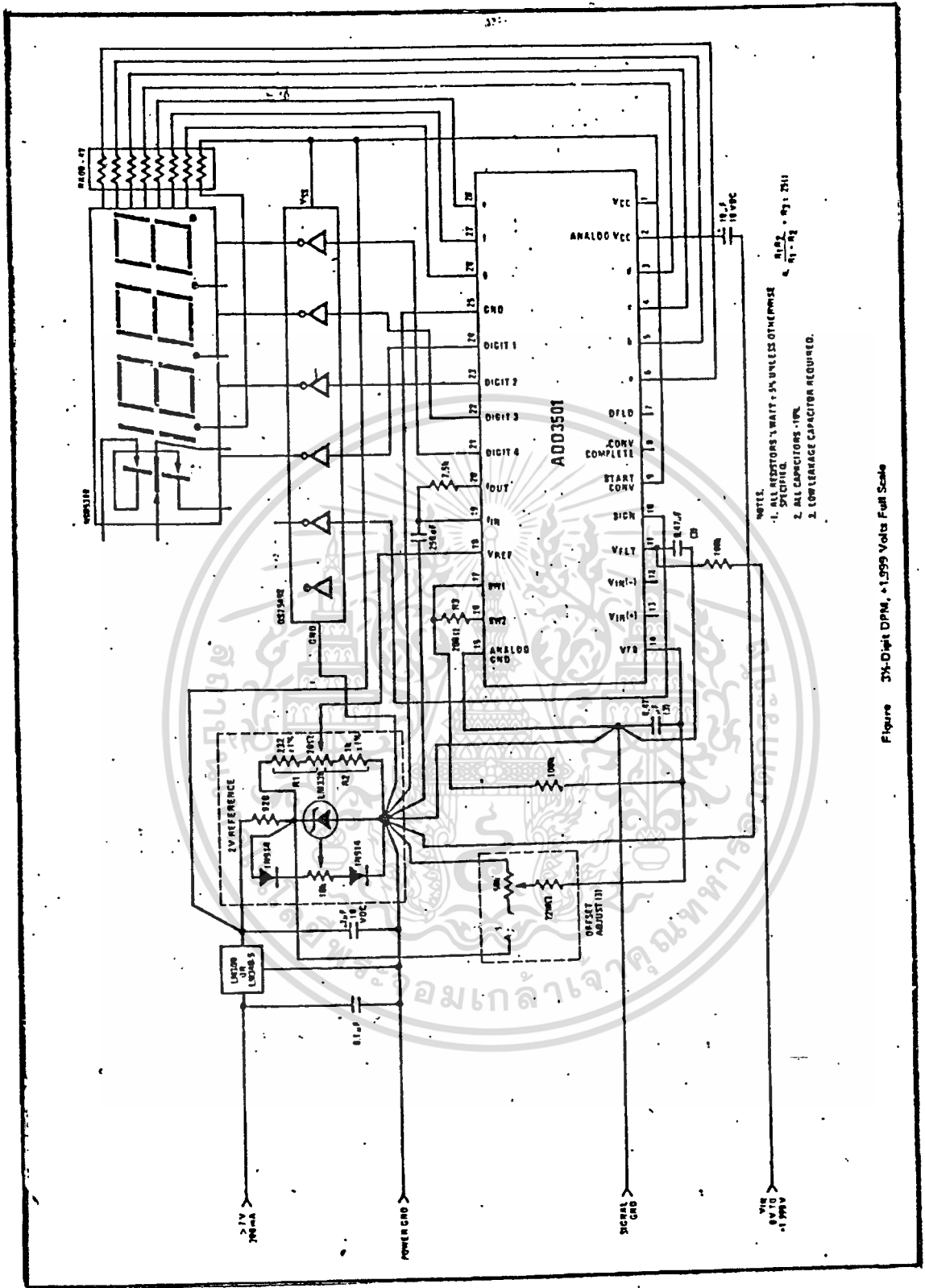
Connection Diagram



ภาพแสดงลักษณะการต่อขาของอุปกรณ์

อินพุทของสัญญาณจะมีค่าระหว่างศักดาไฟตรง 0-1.999 โวลต์โดยจะแสดงออกเป็นค่าตัวเลขที่ภาคนแสดงผล การต่อวงจรทำได้ตามรูปวงจร 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 25
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้างและปรับแต่งวงจร

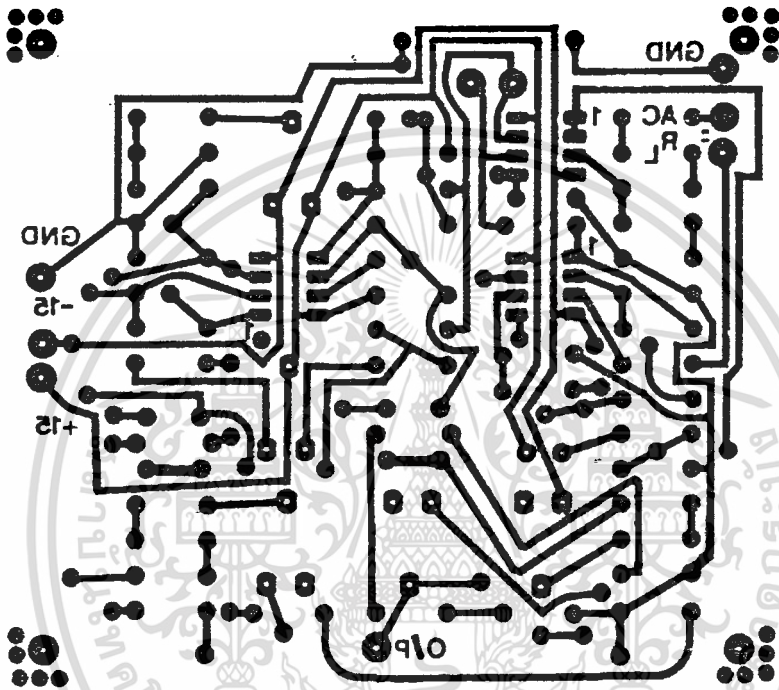
ในการสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้านี้ ก่อนลงมือสร้างผู้สร้างควรศึกษารายละเอียดและหลักการทํางานของวงจรให้เข้าใจเสียก่อนแล้วจึงลงมือสร้างตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ออกแบบลายวงจรพิมพ์ของทุก ๆ วงจร
2. ก็ปรินต์ตามลายวงจรพิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว
3. ลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์และทำการบัดกรี
4. ทดสอบวงจรทุก ๆ ส่วนใหม่ประสพผลสำเร็จ
5. ต่อสายไฟให้ครบทุกเส้นและทำการลงกล่อง
6. ทดปลั๊ก สวิตช์ ฟิวส์ ความต้านทานปรับค่าได้ และ ตัวเลขแสดงผลลงบน

กล่อง

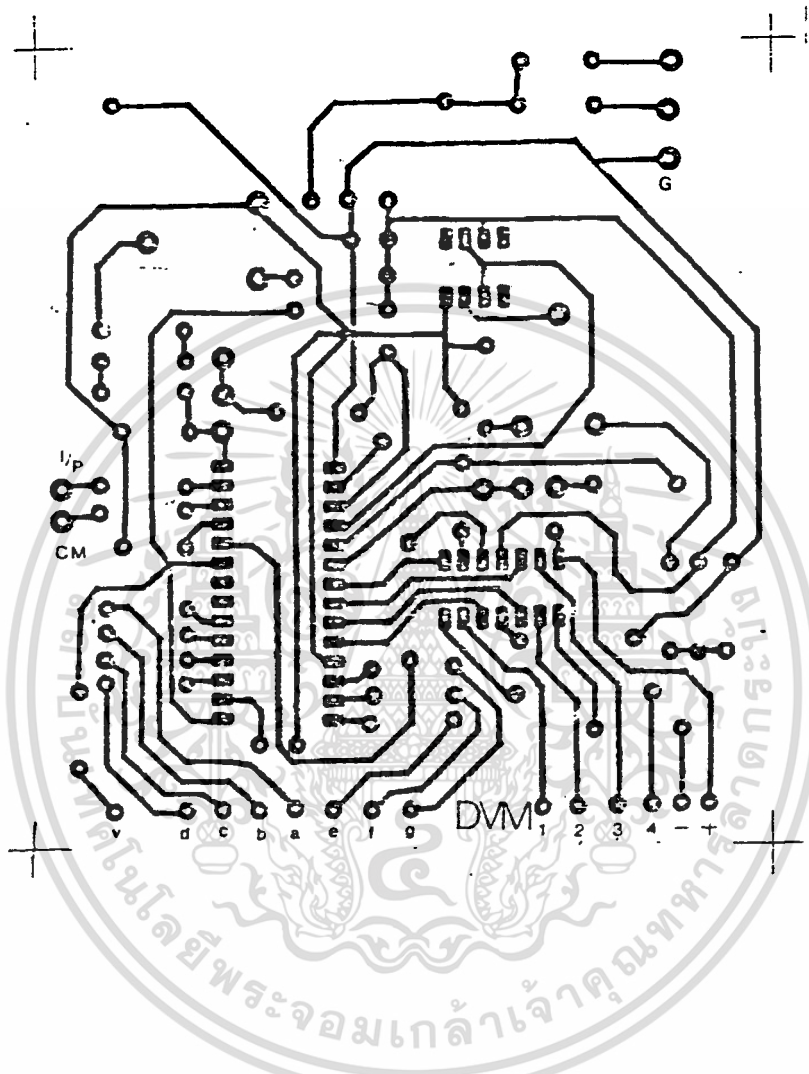
ในการออกแบบลายวงจรพิมพ์ ได้ออกแบบวงจรบางส่วนให้ดูเป็นตัวอย่างดัง

รูป 4.1 เป็นลายวงจรพิมพ์ของวงจรแยกกระแสและแรงดันกับวงจรคูต และรูป 4.2 เป็นลายวงจรพิมพ์ของวงจรภาคแสดงผล



รูป 4.1 ลายวงจรมพิมพ์ขนาดเท่าของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.2 ลายวงจรพิมพ์ขนาดเท่าของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 วงจรคูณ

ต่อวงจรดังรูป 3.3 ซึ่งเป็นวงจรมคูณได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 3.2

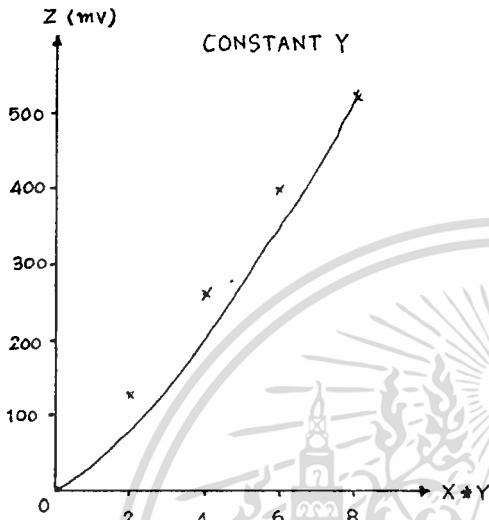
	CONSTANT Y				CONSTANT X			
INPUT X (V)	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
INPUT Y (V)	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	3.00	4.00
OUTPUT Z (mV)	197	262	391	532	267	532	802	1054
X * Y	2	4	6	8	4	8	12	16
(X * Y) / Z (V)	14.63	15.26	15.34	15.55	14.98	15.03	14.96	15.18

5.2 วงจรแยกกราวน

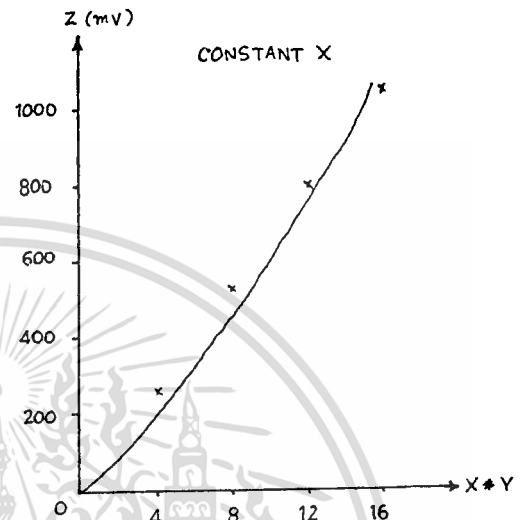
ในวงจรแยกกราวนนี้นี้เราใช้ LM 566 ทำหน้าที่เป็น Voltage control Oscillator ซึ่งทำงานด้วยไฟตรง และจะสร้างควมถี่ออกมาแปรตามสมการดังนี้

$$f_o = 2[(V^+ - (V^-)] / R_1 C_1 V^+ \text{ Hz}$$

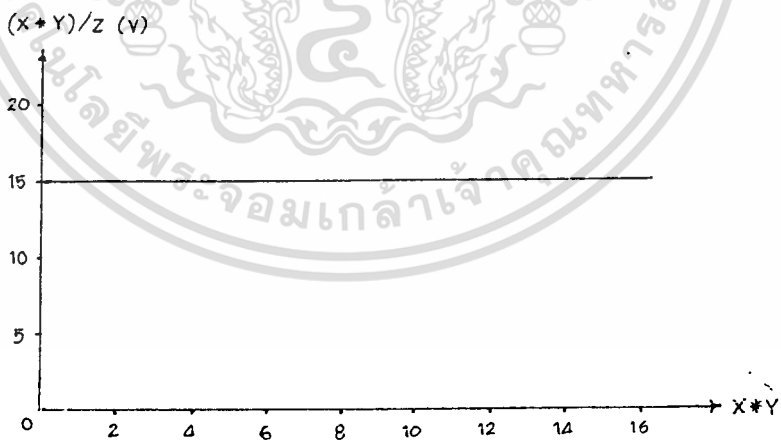
จากผลการทดลองที่ได้ทำการวัดค่าต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ จากตารางผลการทดลองของวงจรคูลอมบ์จะได้กราฟดังรูป 5.1 (ก), 5.1 (ข) และ 5.1 (ค)



รูป 5.1 (ก)



รูป 5.1 (ข)



รูป 5.1 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูป 5.1 (ด) จะเห็นได้ว่า มีตัวคงที่ค่าหนึ่งมาหารค่าเอาท์พุท
ที่ออกจากวงจรรวม จะได้กราฟเป็นเส้นตรงขนานแกน ตัดแกน ที่ประมาณ 15
โวลต์ ซึ่งก็คือตัวคงที่ที่มาหารนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อวงจรตามรูป 3.5b และทำการวัดสัปดาห์ของวงจร โดยเปลี่ยนค่า และ ไปเรื่อย ๆ ตามตารางและวัดความถี่ของแต่ละกรณี จะเห็นได้ว่าสัปดาห์ของวงจรจะคงที่แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามสมการข้างต้น

R_1 (Ω)	$C_1 = 0.001 \mu F$			$C_1 = 0.0047 \mu F$			$C_1 = 0.01 \mu F$		
	V_1 (v)	V_0 (v)	f_0 (Hz)	V_1 (v)	V_0 (v)	f_0 (Hz)	V_1 (v)	V_0 (v)	f_0 (Hz)
1K	1.5	7.4	690	1.5	7.4	435	1.5	7.4	294
	2.0	7.4	667	2.0	7.4	417	2.0	7.4	286
	2.5	7.4	645	2.5	7.4	400	2.5	7.4	278
	3.0	7.4	625	3.0	7.4	385	3.0	7.4	270
10K	1.5	7.4	172	1.5	7.4	86	1.5	7.4	50
	2.0	7.4	167	2.0	7.4	83	2.0	7.4	48
	2.5	7.4	161	2.5	7.4	81	2.5	7.4	46
	3.0	7.4	156	3.0	7.4	78	3.0	7.4	44
20K	1.5	7.4	98	1.5	7.4	48	1.5	7.4	27
	2.0	7.4	94	2.0	7.4	46	2.0	7.4	26
	2.5	7.4	91	2.5	7.4	44	2.5	7.4	25
	3.0	7.4	88	3.0	7.4	42	3.0	7.4	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและวิจารณ์

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแสดงผลในระบบดิจิทัลที่เสนอในปฏิญานพจนธฉบับนี้สามารถที่จะนำไปวัดค่ากำลังไฟฟ้าในการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าตั้งแต่ 0.1-2000 วัตต์ จากที่ได้ทำการสร้างเครื่องนี้ ได้พยายามที่จะนำเอาความรู้พื้นฐานทางด้านไฟฟ้ามาประยุกต์ เพื่อก่อให้เกิดแนวทางและความคิด ในการที่จะสร้างเครื่องวัดประเภทอื่น ๆ ขึ้นมา โดยใช้วิชาความรู้และอุปกรณ์เท่าที่สามารถหาได้ภายในประเทศนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนาและสร้างเครื่องวัดของประเภทงานต่าง ๆ ขึ้นมาใช้ให้เหมาะสมสำหรับภูมิภาคของเรา เป็นแนวทางของความคิดทางสาขาวิศวกรรมศาสตร์ที่จะก่อประโยชน์ให้แก่สังคมให้ตรงแนวทางของการศึกษา ส่วนรับการสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้านี้ผู้สร้างถือว่าเป็นการเริ่มต้น ดังนั้นผลที่ได้นี้อาจจะยังไม่เหมาะสมกับการที่จะนำไปใช้งานและยังมีปัญหารวมถึงข้อผิดพลาดที่ค่อนข้างถึง

ในการทดลองสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแสดงผลในระบบดิจิทัลขึ้นนั้น ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ สัญญาณรบกวนทั้งจากภายนอกและภายในแผงวงจรที่นี้เพราะภาคอินพุทของทุก ๆ ส่วนจะเป็น ไฮอินเพดิมพีแดนซ์ ดังนั้นจึงรับรบกวนได้ดีและไวมาก จากสัญญาณรบกวนนี้จะมีผลเมื่อทำการวัดแล้วตัวเลขแสดงผลจะเอนการกระหริบขึ้นลงโดยเอนหาอย่างฉับตัวเลขในหลักท้าย ๆ จะมีการกระหริบมาก นอกจากนั้นสัญญาณรบกวนนี้จะมีผลต่อความแม่นยำ และความถูกต้องของการวัดอีกด้วย

ในการแก้ปัญหาเนื่องจากสัญญาณรบกวนนี้อาจสามารถทำได้คือ

1. ทำการคอมเพนเสทความถี่สัญญาณรบกวน
2. ทำการแยกกราวด์ของระบยอนาโลกและดิจิทัลออกจากกันและการต่อสายกราวด์และไฟเลี้ยงต้องเป็นแบบรวมจุดเดียว
3. ทำการชิลด์ทั้งระบบเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก
4. แ่ถ่วงจ่ายไฟที่จ่ายให้กับระบบจะต้องมีรีโ้เปิดน้อยมากโดยการทำเป็น 2 ชุดแยกกัน เพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณความถี่ 50 เฮิรท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

BULLETIN NO. DL-S 12484, FEBRUARY 1977—REVISED OCTOBER 1979

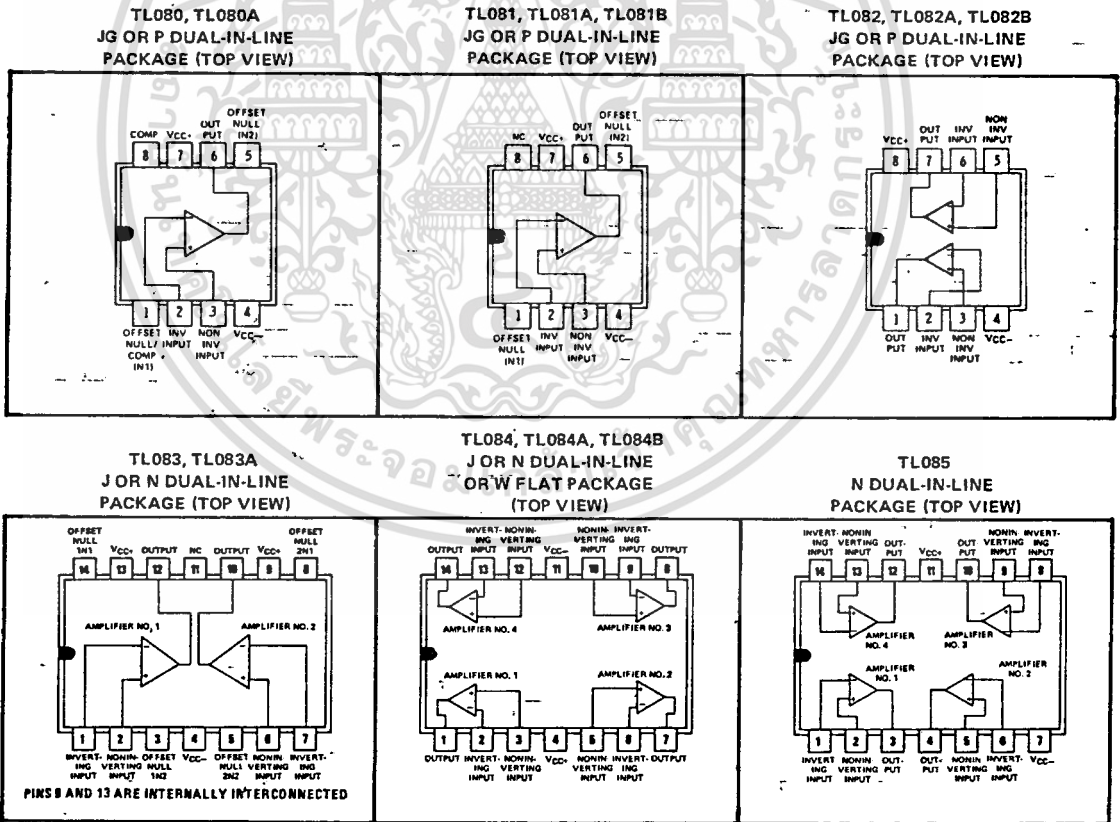
24 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation (Except TL080, TL080A)
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ μ s Typ

description

The TL081 JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL081 Family.

Device types with an "M" suffix are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C , those with an "I" suffix are characterized for operation from -25°C to 85°C , and those with a "C" suffix are characterized for operation from 0°C to 70°C .



NC—No internal connection

Copyright © 1979 by Texas Instruments Incorporated

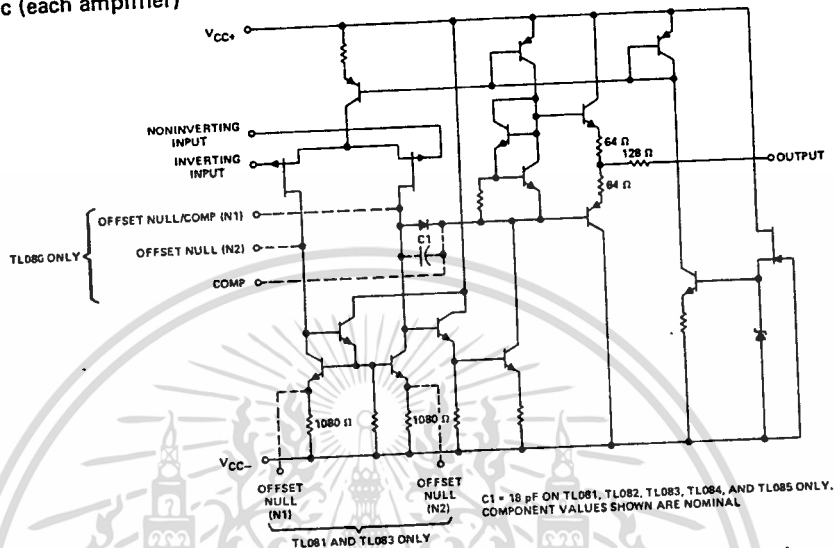
TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

schematic (each amplifier)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	TL08_M	TL08_I	TL08_C TL08_AC TL08_BC	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	18	18	V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-18	-18	-18	V
Differential input voltage (see Note 2)	± 30	± 30	± 30	V
Input voltage (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	± 15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	Unlimited	Unlimited	Unlimited	
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (See Note 5)	680	680	680	mW
Operating free-air temperature range	-55 to 125	-25 to 85	0 to 70	°C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 60 seconds	300	300	300	°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 10 seconds	J, JG, or W package N or P package	260	260	°C

- NOTES:
- All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 - Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 - The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 - The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
 - For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Table. In the J and JG packages, TL08_M chips are alloy-mounted; TL08_I, TL08_C, TL08_AC, and TL08_BC chips are glass-mounted.

DISSIPATION DERATING TABLE

PACKAGE	POWER RATING	DERATING FACTOR	ABOVE T_A
J (Alloy-Mounted Chip)	680 mW	.11.0 mW/°C	88°C
J (Glass-Mounted Chip)	680 mW	8.2 mW/°C	67°C
JG (Alloy-Mounted Chip)	680 mW	8.4 mW/°C	69°C
JG (Glass-Mounted Chip)	680 mW	6.6 mW/°C	47°C
N	680 mW	9.2 mW/°C	76°C
P	680 mW	8.0 mW/°C	65°C
W	680 mW	8.0 mW/°C	65°C

Also see Dissipation Derating Curves, Section 2.

DEVICE TYPES, SUFFIX VERSIONS, AND PACKAGES

	TL080	TL081	TL082	TL083	TL084	TL085
TL08_M	JG	JG	JG	J	J, W	*
TL08_I	JG, P	JG, P	JG, P	J, N	J, N	*
TL08_C	JG, P	JG, P	JG, P	J, N	J, N	N
TL08_AC	JG, P	JG, P	JG, P	J, N	J, N	*
TL08_BC	*	JG, P	JG, P	*	J, N	*

*These combinations are not defined by this data sheet.

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL08_M		TL08_I		TL08_C TL08_AC TL08_BC		UNIT		
		MIN	TYP MAX	MIN	TYP MAX	MIN	TYP MAX			
V_{IO} Input offset voltage	$R_S = 50 \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'80,'81,'82,'83,'85‡	3	6	3	6	5	15	mV	
		TL084	3	9	3	6	5	15		
		TL08_A					3	6		
	$R_S = 50 \Omega$, $T_A = \text{full range}$	'81B,'82B,'84B					2	3		
		'80,'81,'82,'83,'85‡		9		9		20		
		TL084		15		9		20		
αV_{IO} Temperature coefficient of input offset voltage	$R_S = 50 \Omega$, $T_A = \text{full range}$	TL08_A					7.5			
		'81B,'82B,'84B					5			
I_{IO} Input offset current §	$T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_‡	5	100	5	100	5	200	pA	
		TL08_A					5	100		
	$T_A = \text{full range}$	'81B,'82B,'84B					5	100		
		TL08_‡		20		10		5	nA	
I_{IB} Input bias current §	$T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_A					3	3		
		'81B,'82B,'84B					30	200		
	$T_A = \text{full range}$	TL08_‡	30	200	30	200	30	400	pA	
		TL08_A					30	200		
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$	'81B,'82B,'84B					30	200		
		TL08_‡		50		20		10	nA	
V_{OPP} Maximum peak-to-peak output voltage swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_A					7	7		
		'81B,'82B,'84B								
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_‡	±11	±12	±11	±12	±10	±11	V	
		TL08_A					±11	±12		
	$T_A = \text{full range}$	'81B,'82B,'84B					±11	±12		
		TL08_‡								
	B_1 Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$R_L > 2 \text{ k}\Omega$, $V_O = \pm 10 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	24	27	24	27	24	27	V
			$R_L > 10 \text{ k}\Omega$	24		24		24		
$R_L > 2 \text{ k}\Omega$			20	24	20	24	20	24		
TL08_‡			25	200	50	200	25	200		
k_{SVR} Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_A					50	200		
		'81B,'82B,'84B					50	200		
		TL08_‡	15		25		15			
		TL08_A					25			
I_{CC} Supply current (per amplifier)	No load, No signal, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'81B,'82B,'84B					25			
		TL08_‡								
V_{O1}/V_{O2} Channel separation	$A_{VD} = 100$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_‡	3		3		3			
		TL08_A								
r_i Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	'81B,'82B,'84B								
		TL08_‡								
		TL08_A								
$CMRR$ Common-mode rejection ratio	$R_S > 10 \text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_‡	80	86	80	86	70	76	dB	
		TL08_A					80	86		
		'81B,'82B,'84B					80	86		
I_{CC} Supply current (per amplifier)	$R_S > 10 \text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_‡	80	86	80	86	70	76	dB	
		TL08_A					80	86		
		'81B,'82B,'84B					80	86		
I_{CC} Supply current (per amplifier)	No load, No signal, $T_A = 25^\circ\text{C}$	TL08_‡	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	mA	
		TL08_A								
V_{O1}/V_{O2} Channel separation	$A_{VD} = 100$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'81B,'82B,'84B								
		TL08_‡	120		120		120			

† All characteristics are specified under open-loop conditions unless otherwise noted. Full range for T_A is -55°C to 125°C for TL08_M; -25°C to 85°C for TL08_I; and 0°C to 70°C for TL08_C, TL08_AC, and TL08_BC.

‡ Types TL085I and TL085M are not defined by this data sheet.

§ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 18. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as is possible.

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B

JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL08_M			ALL OTHERS			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1	8	13			13		$\text{V}/\mu\text{s}$
t_r Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, See Figure 1		0.1			0.1		μs
Overshoot factor	$C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		10%			10%		
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 100\ \Omega$, $f = 1\text{ kHz}$		25			25		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

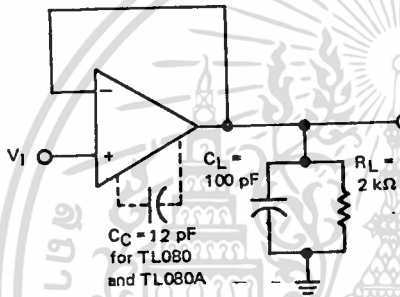


FIGURE 1—UNITY-GAIN AMPLIFIER

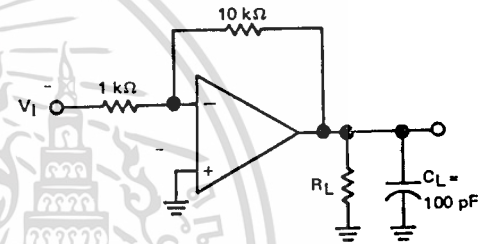


FIGURE 2—GAIN-OF-10 INVERTING AMPLIFIER

INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS

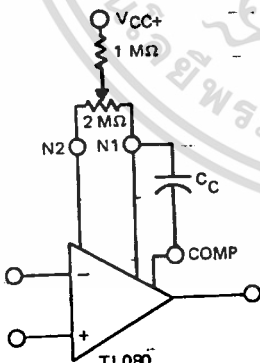


FIGURE 3

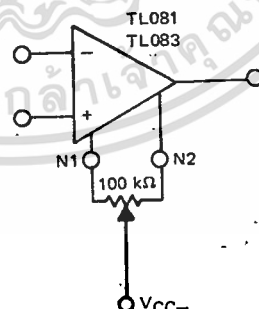


FIGURE 4

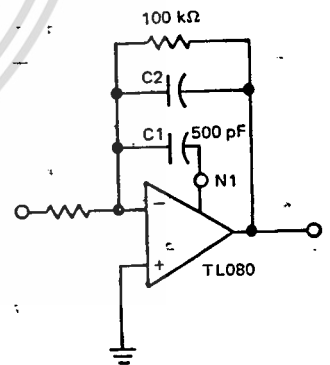


FIGURE 5

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

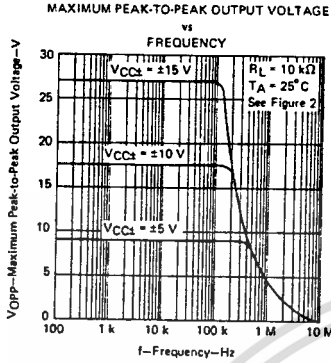


FIGURE 6

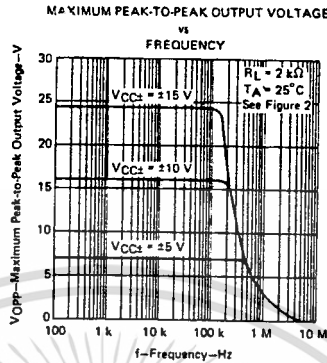


FIGURE 7

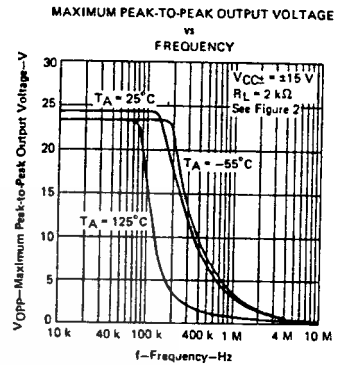


FIGURE 8

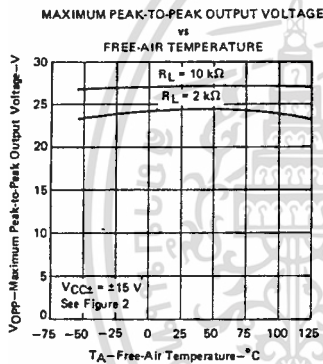


FIGURE 9

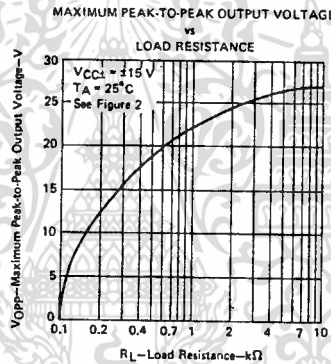


FIGURE 10

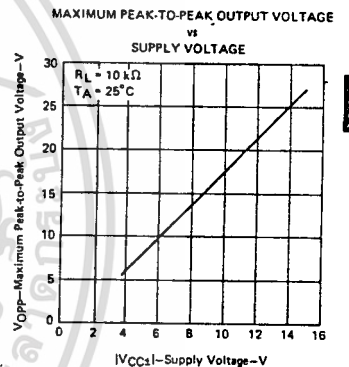


FIGURE 11

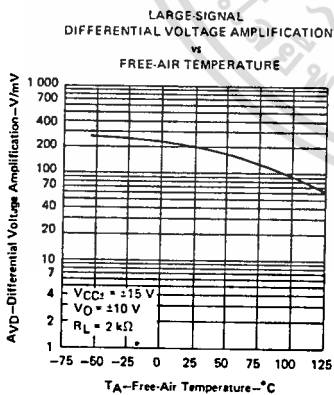


FIGURE 12

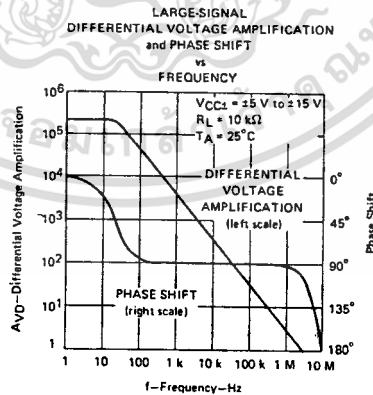


FIGURE 13

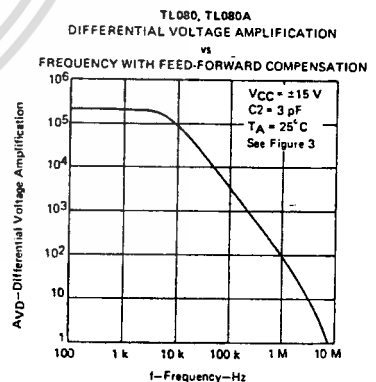


FIGURE 14

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

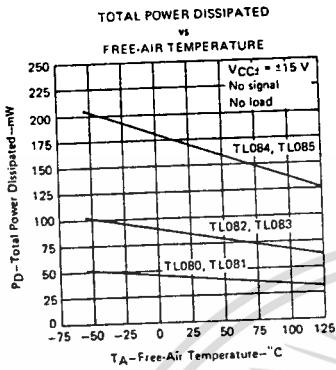


FIGURE 15

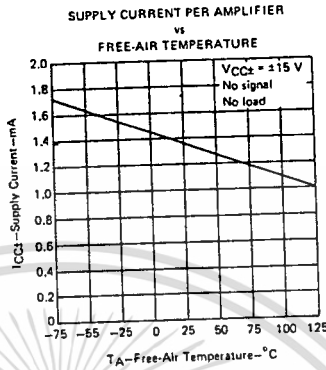


FIGURE 16

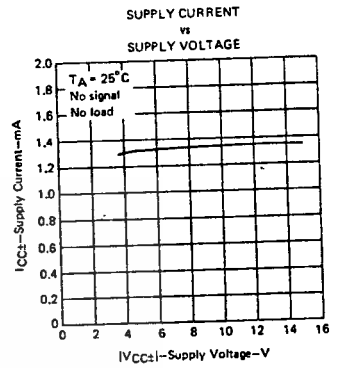


FIGURE 17

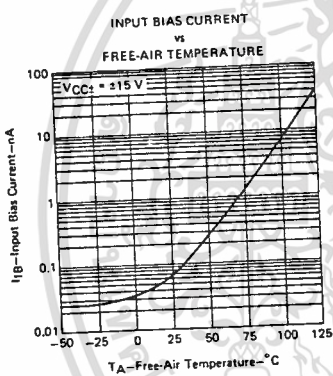


FIGURE 18

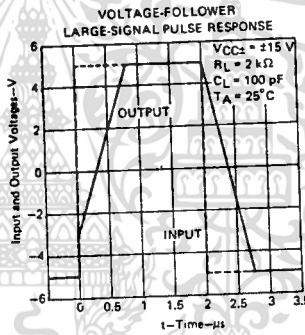


FIGURE 19

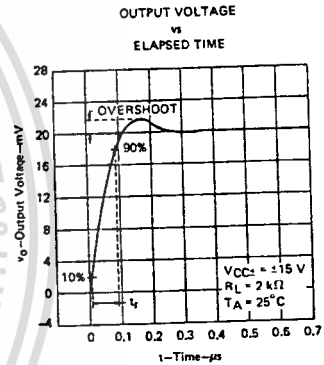


FIGURE 20

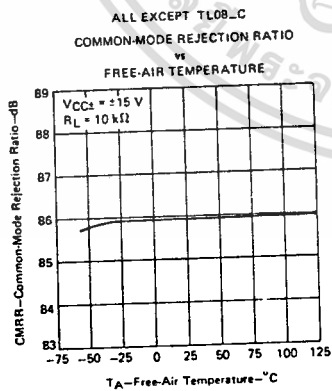


FIGURE 21

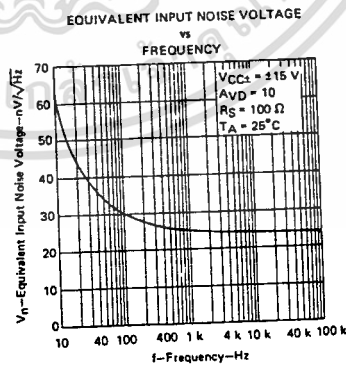


FIGURE 22

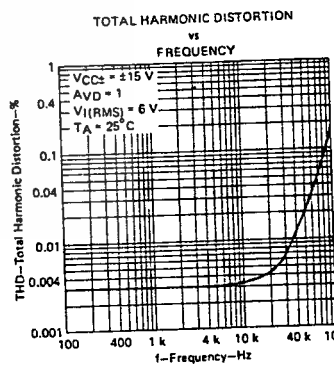


FIGURE 23

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

TYPES TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A, TL081B, TL082B, TL084B JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL APPLICATION DATA

0.5-Hz SQUARE-WAVE OSCILLATOR

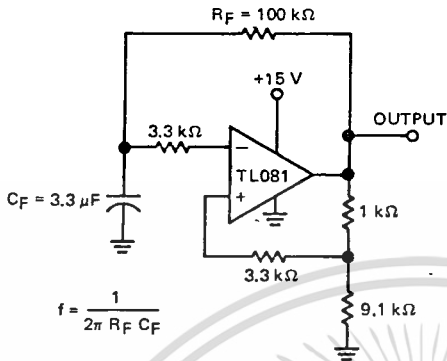


FIGURE 24—0.5-Hz SQUARE-WAVE OSCILLATOR

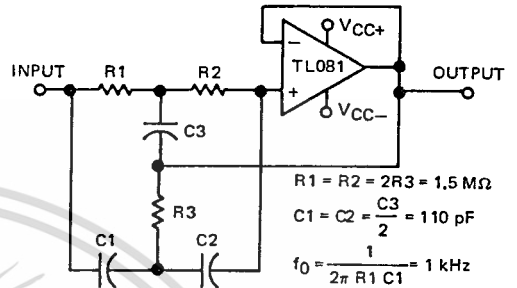
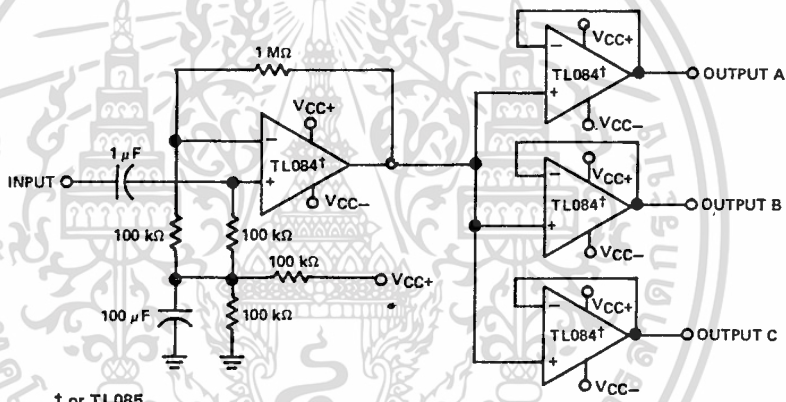
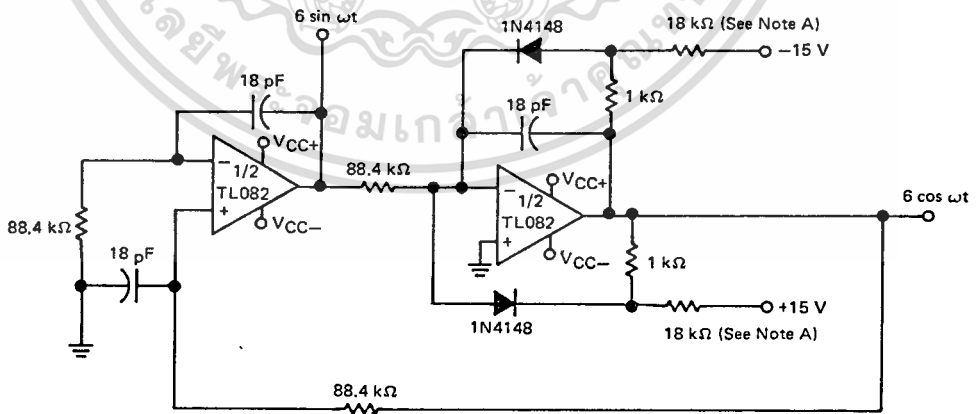


FIGURE 25—HIGH-Q NOTCH FILTER



† or TL085

FIGURE 26—AUDIO DISTRIBUTION AMPLIFIER



Note A: These resistor values may be adjusted for a symmetrical output.

FIGURE 27—100-kHz QUADRATURE OSCILLATOR

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265



LM194/LM394 supermatch pair

general description

The LM194 and LM394 are junction isolated ultra well-matched monolithic NPN transistor pairs with an order of magnitude improvement in matching over conventional transistor pairs. This was accomplished by advanced linear processing and a unique new device structure.

Electrical characteristics of these devices such as drift versus initial offset voltage, noise, and the exponential relationship of base-emitter voltage to collector current closely approach those of a theoretical transistor. Extrinsic emitter and base resistances are much lower than presently available pairs, either monolithic or discrete, giving extremely low noise and theoretical operation over a wide current range. Most parameters are guaranteed over a current range of 1µA to 1 mA and 0V up to 40V collector-base voltage, ensuring superior performance in nearly all applications.

To guarantee long term stability of matching parameters, internal clamp diodes have been added across the emitter-base junction of each transistor. These prevent degradation due to reverse biased emitter current—the most common cause of field failures in matched devices. The parasitic isolation junction formed by the diodes also clamps the substrate region to the most negative emitter to ensure complete isolation between devices.

The LM194 and LM394 will provide a considerable improvement in performance in most applications requiring a closely matched transistor pair. In many cases, trimming can be eliminated entirely, improving reliability and decreasing costs. Additionally, the low noise and high gain make this device attractive even where matching is not critical.

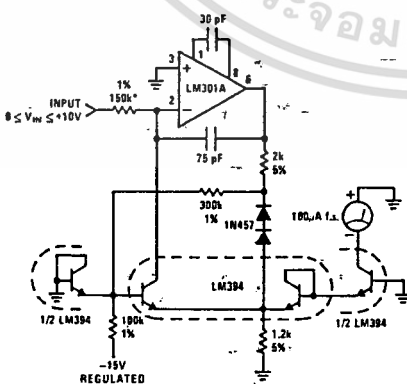
The LM194/LM194C and LM394/LM394B/LM394C are available in an isolated header 6-lead TO-5 metal can package. The LM194 is identical to the LM394 except for tighter electrical specifications and wider temperature range.

features

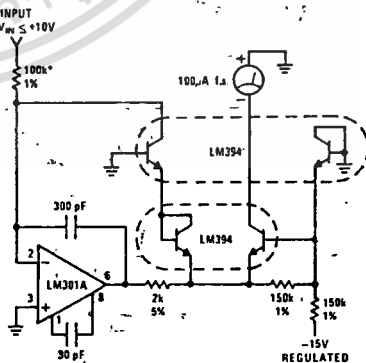
- Emitter-base voltage matched to 50µV
- Offset voltage drift less than 0.1µV/°C
- Current gain (h_{FE}) matched to 2%
- Common-mode rejection ratio greater than 120 dB
- Parameters guaranteed over 1µA to 1 mA collector current
- Extremely low noise
- Superior logging characteristics compared to conventional pairs
- Plug-in replacement for presently available devices

typical applications

Low Cost Accurate Square Root Circuit
 $I_{OUT} = 10^{-6} \cdot \sqrt{10 V_{IN}}$



Low Cost Accurate Squaring Circuit
 $I_{OUT} = 10^{-6} (V_{IN})^2$



*Trim for full scale accuracy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings

Collector Current	20 mA	Collector-Collector Voltage	40V
Collector-Emitter Voltage	V _{MAX}	LM194C/LM394C	20V
Collector-Emitter Voltage	40V	Base-Emitter Current	±10 mA
LM194C/LM394C	20V	Power Dissipation	500 mW
Collector-Base Voltage	40V	Junction Temperature	
LM194C/LM394C	20V	LM194/LM194C	-55°C to +125°C
Collector-Substrate Voltage	40V	LM394/LM394B/LM394C	-25°C to +85°C
LM194C/LM394C	20V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
		Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

electrical characteristics (T_J = 25°C)

PARAMETER	CONDITIONS	LM194/LM194C			LM394			LM394B/LM394C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Current Gain (h _{FE})	V _{CB} = 0V to V _{MAX} (Note 1)										
	I _C = 1 mA	500	700		300	700		225	500		
	I _C = 100μA	400	550		250	550		200	400		
	I _C = 10μA	300	450		200	450		150	300		
Current Gain Match (h _{FE} Match)	V _{CB} = 0V to V _{MAX}										
	I _C = 10μA to 1 mA	0.5	2		0.5	4		1.0	5		%
Emitter-Base Offset Voltage	V _{CB} = 0V	25	50		25	150		50	200		μV
	I _C = 1μA to 1 mA										
Change in Emitter-Base Offset Voltage vs Collector-Base Voltage (CMRR)	(Note 1)	10	25		10	50		10	100		μV
	I _C = 1μA to 1 mA, V _{CB} = 0V to V _{MAX}										
Change in Emitter-Base Offset Voltage vs Collector Current	V _{CB} = 0V, I _C = 1μA to 0.3 mA	5	25		5	50		5	50		μV
	I _C = 10μA to 1 mA (Note 2)										
Emitter-Base Offset Voltage Temperature Drift	I _{C1} = I _{C2}	0.08	0.3		0.08	1.0		0.2	1.5		μV/°C
	V _{OS} Trimmed to 0 at 25°C	0.03	0.1		0.03	0.3		0.03	0.5		μV/°C
Logging Conformity	I _C = 3 nA to 300μA, V _{CB} = 0, (Note 3)	150			150		150				μV
Collector-Base Leakage	V _{CB} = V _{MAX}	0.05	0.25		0.05	0.5	0.05	0.5		nA	
Collector-Collector Leakage	V _{CC} = V _{MAX}	0.1	2.0		0.1	5.0	0.1	5.0		nA	
Input Voltage Noise	I _C = 100μA, V _{CB} = 0V, f = 100 Hz to 100 kHz	1.8			1.8		1.8				nV/√Hz
Collector to Emitter Saturation Voltage	I _C = 1 mA, I _B = 10μA	0.2			0.2		0.2				V
	I _C = 1 mA, I _B = 100μA	0.1			0.1		0.1				V

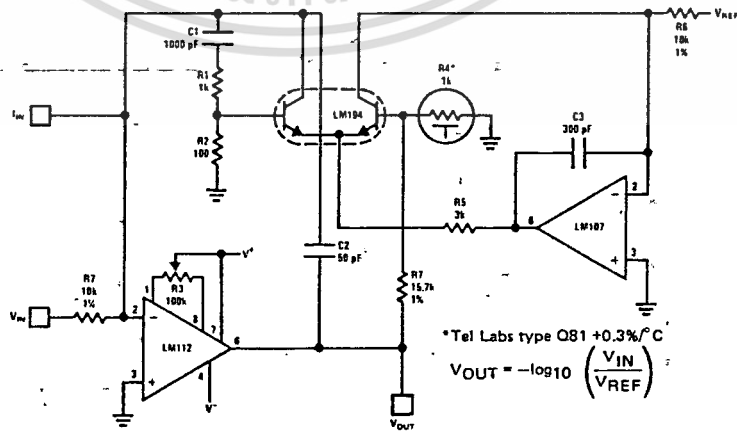
Note 1: Collector-base voltage is swept from 0 to V_{MAX} at a collector current of 1μA, 10μA, 100μA, and 1 mA.

Note 2: Offset voltage drift with V_{OS} = 0 at T_A = 25°C is valid only when the ratio of I_{C1} to I_{C2} is adjusted to give the initial zero offset. This ratio must be held to within 0.003% over the entire temperature range. Measurements taken at 125°C and temperature extremes.

Note 3: Logging conformity is measured by computing the best fit to a true exponential and expressing the error as a base-emitter voltage deviation.

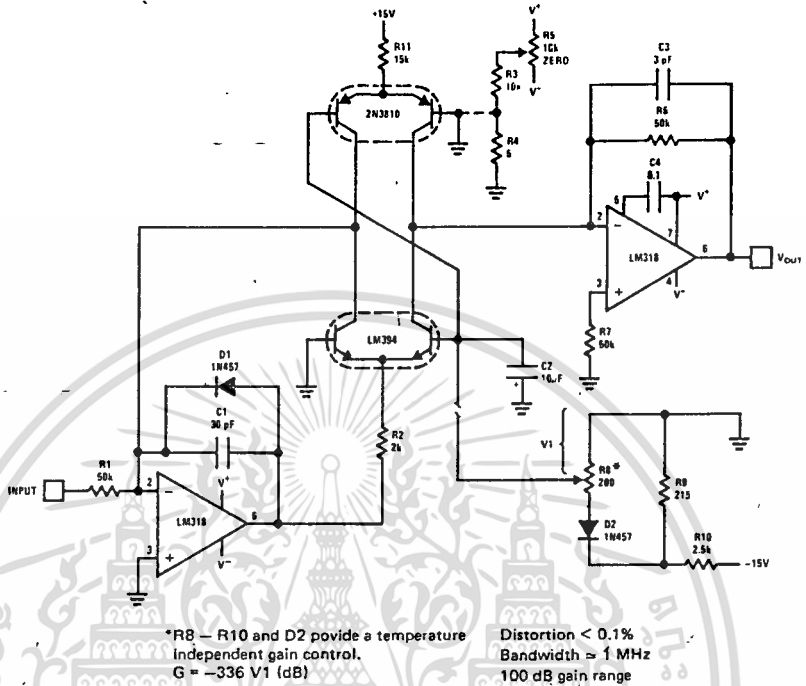
typical applications (con't)

Fast, Accurate Logging Amplifier, V_{IN} = 10V to 0.1 mV or I_{IN} = 1 mA to 10 nA

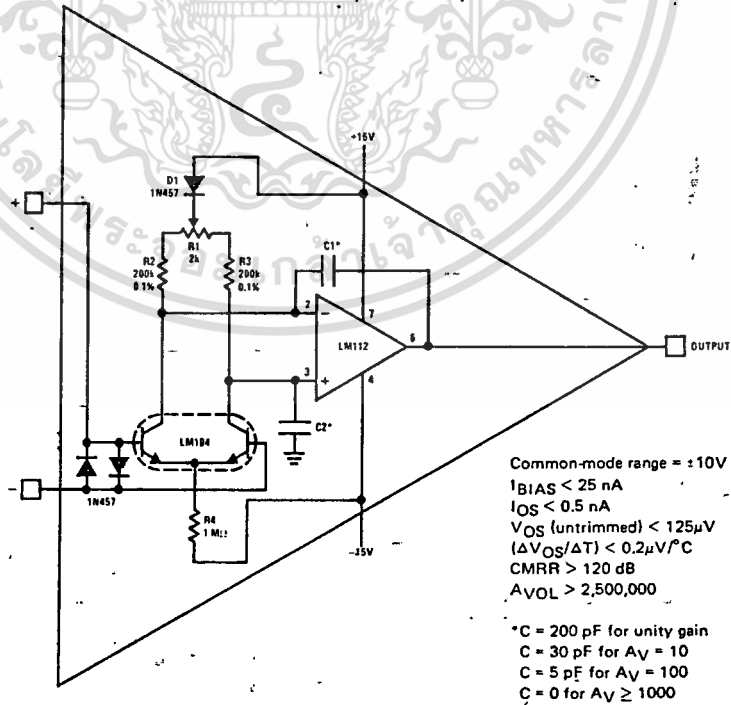


typical applications (con't)

Voltage Controlled Variable Gain Amplifier

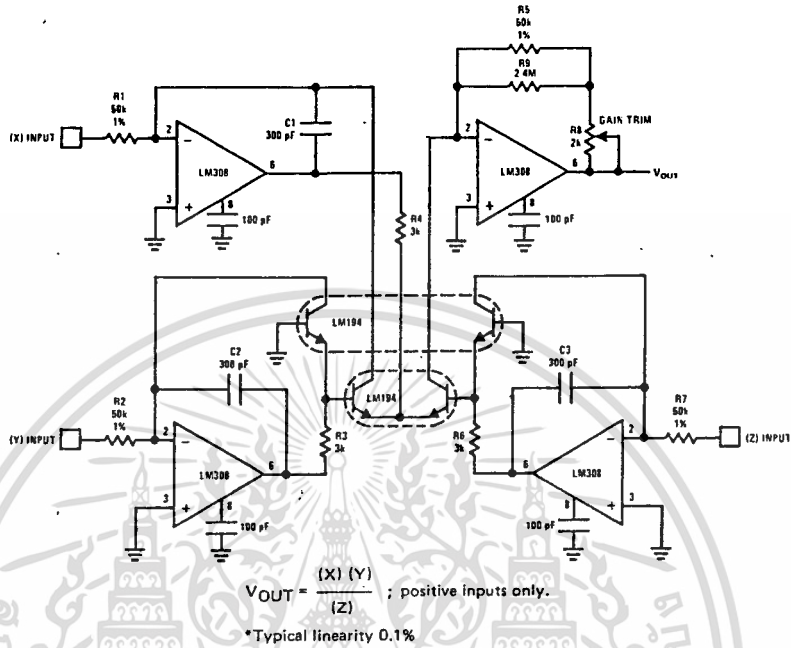


Precision Low Drift Operational Amplifier

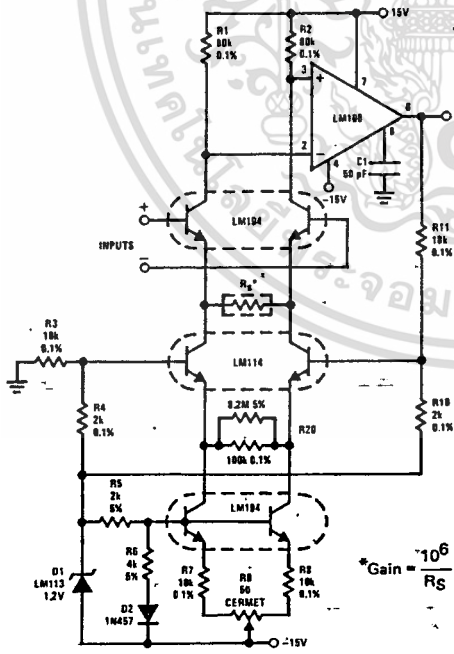


typical applications (con't)

High Accuracy One Quadrant Multiplier/Divider



High Performance Instrumentation Amplifier



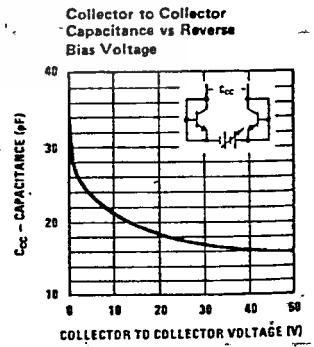
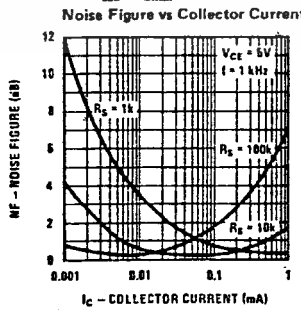
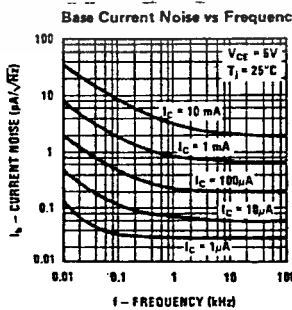
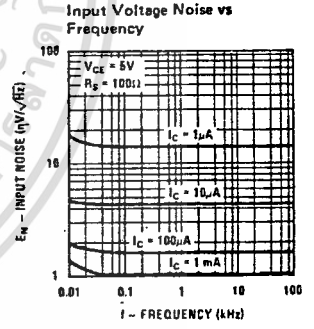
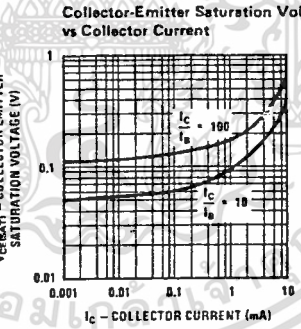
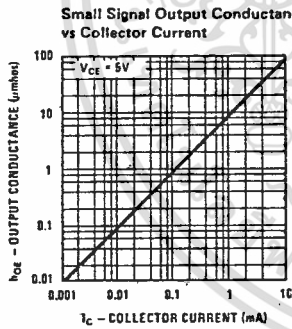
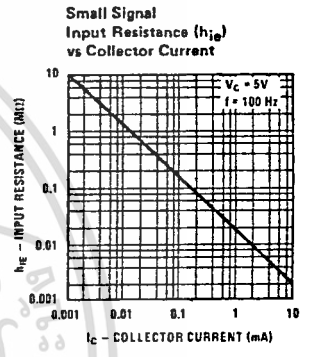
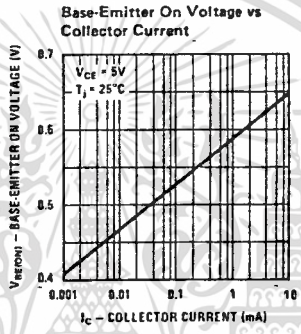
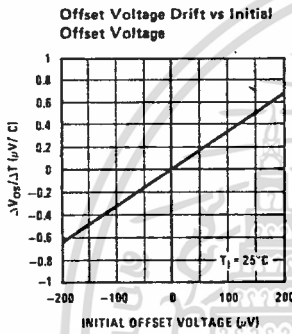
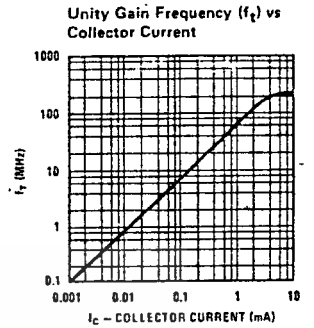
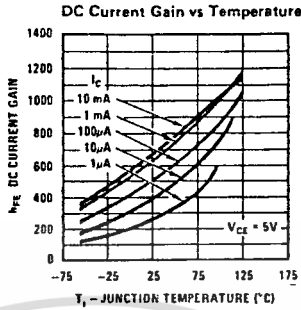
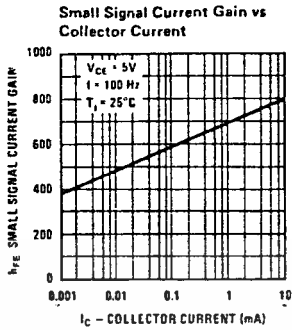
Performance Characteristics

	G = 10,000	G = 1,000	G = 100	G = 10	
Linearity of Gain (±10V Output)	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.02	≤ 0.05	%
Common-Mode Rejection Ratio (60 Hz)	≥ 120	≥ 120	≥ 110	≥ 90	dB
Common-Mode Rejection Ratio (1 kHz)	≥ 110	≥ 110	≥ 90	≥ 70	dB
Power Supply Rejection Ratio					
+ Supply	> 110	> 110	> 110	> 110	dB
- Supply	> 110	> 110	> 90	> 70	dB
Bandwidth (-3 dB)	50	50	50	50	kHz
Slew Rate	0.3	0.3	0.3	0.3	V/μs
Offset Voltage Drift**	≤ 0.25	≤ 0.4	≤ 2	≤ 10	μV/°C
Common-Mode Input Resistance	> 10 ⁹	> 10 ⁹	> 10 ⁹	> 10 ⁹	Ω
Differential Input Resistance	> 3 × 10 ⁸	> 3 × 10 ⁸	> 3 × 10 ⁸	> 3 × 10 ⁸	Ω
Input Referred Noise (100 Hz ≤ f ≤ 10 kHz)	5	6	12	70	$\frac{\mu V}{\sqrt{Hz}}$
Input Bias Current	75	75	75	75	nA
Input Offset Current	1.5	1.5	1.5	1.5	nA
Common-Mode Range	± 11	± 11	± 11	± 10	V
Output Swing (R _L = 10 kΩ)	± 13	± 13	± 13	± 13	V

** Assumes ≤ 5 ppm/°C tracking of resistors

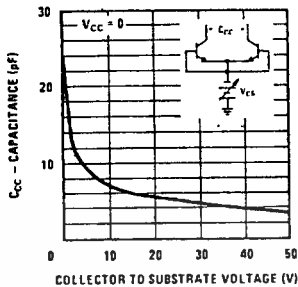
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

typical performance characteristics

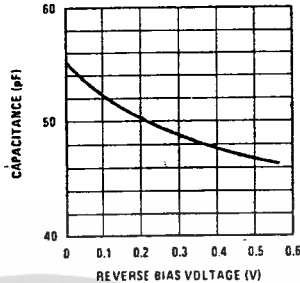


typical performance characteristics (con't)

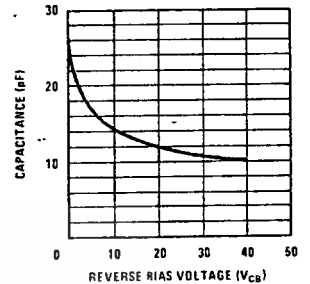
Collector to Collector Capacitance vs Collector-Substrate Voltage



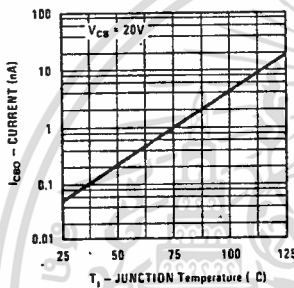
Emitter-Base Capacitance vs Reverse Bias Voltage



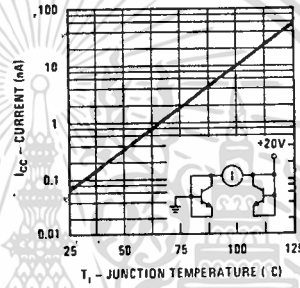
Collector-Base Capacitance vs Reverse Bias Voltage



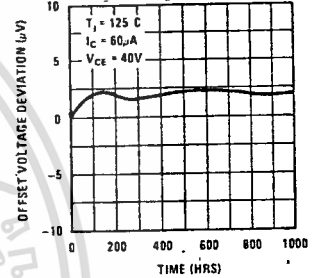
Collector-Base Leakage vs Temperature



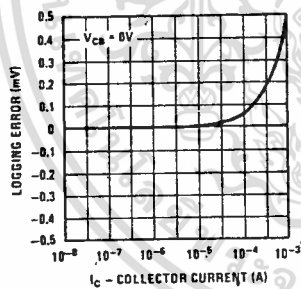
Collector to Collector Leakage vs Temperature



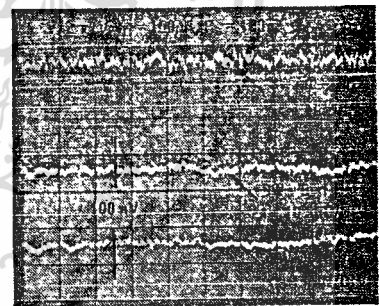
Offset Voltage Long Term Stability at High Temperature



Emitter-Base Log Conformity



Low Frequency Noise of Differential Pair*

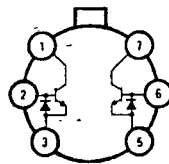


TIME (SEE GRAPH)

*Unit must be in still air environment so that differential lead temperature is held to less than 0.0003°C.

connection diagram

Metal Can Package



TOP VIEW

Order Number LM194H, LM194CH, LM394H
LM394BH or LM394CH
See NS Package H06C



National Semiconductor Industrial/Automotive/Functional Blocks/ Telecommunications

LM566/LM566C voltage controlled oscillator
general description

The LM566/LM566C are general purpose voltage controlled oscillators which may be used to generate square and triangular waves, the frequency of which is a very linear function of a control voltage. The frequency is also a function of an external resistor and capacitor.

- High temperature stability
- Excellent supply voltage rejection
- 10 to 1 frequency range with fixed capacitor
- Frequency programmable by means of current, voltage, resistor or capacitor.

The LM566 is specified for operation over the -55°C to +125°C military temperature range. The LM566C is specified for operation over the 0°C to +70°C temperature range.

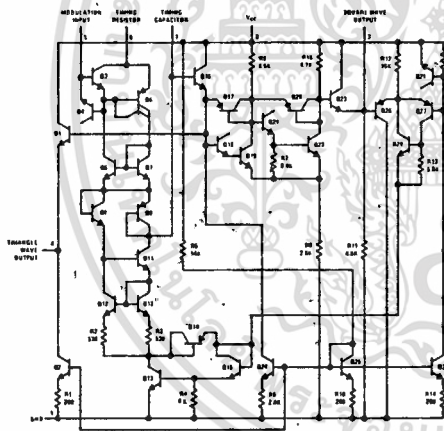
features

- Wide supply voltage range: 10 to 24 volts
- Very linear modulation characteristics

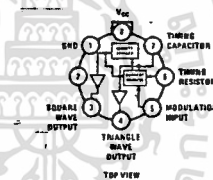
applications

- FM modulation
- Signal generation
- Function generation
- Frequency shift keying
- Tone generation

schematic and connection diagrams

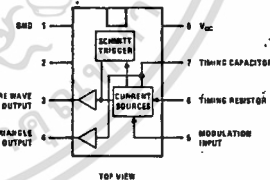


Metal Can Package



Order Number LM566H or LM566CH
 See NS Package H08C

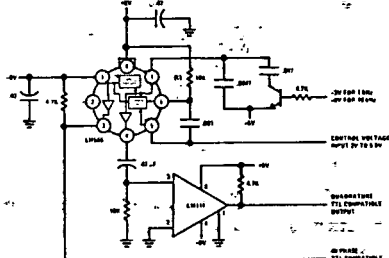
Dual-In-Line Package



Order Number LM566CN
 See NS Package N08B

typical application

1 kHz and 10 kHz TTL Compatible Voltage Controlled Oscillator



applications information

The LM566 may be operated from either a single supply as shown in this test circuit, or from a split (±) power supply. When operating from a split supply, the square wave output (pin 4) is TTL compatible (2 mA current sink) with the addition of a 4.7 kΩ resistor from pin 3 to ground.

A .001 μF capacitor is connected between pins 5 and 6 to prevent parasitic oscillations that may occur during VCO switching.

$$f_o = \frac{2(V^+ - V_B)}{R_1 C_1 V^+}$$

where

$$2K < R_1 < 20K$$

and V_B is voltage between pin 5 and pin 1

absolute maximum ratings

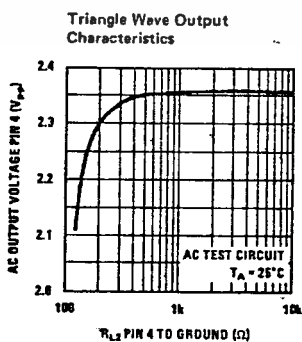
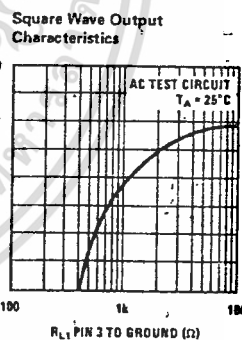
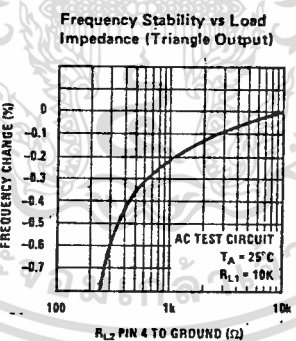
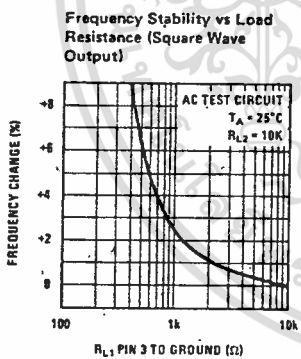
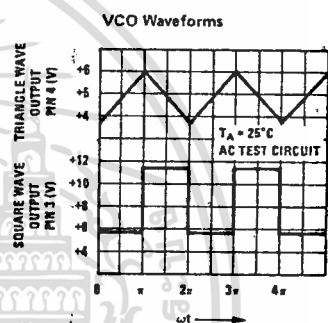
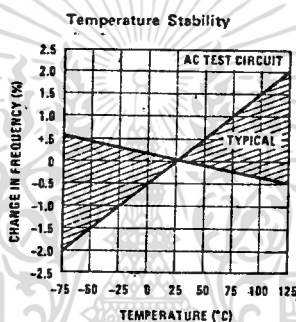
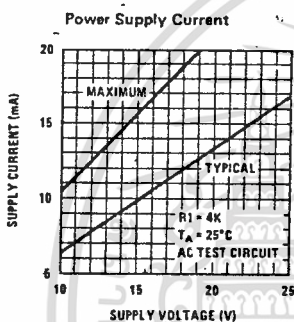
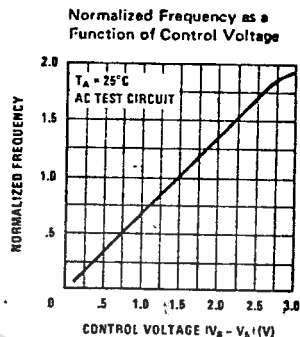
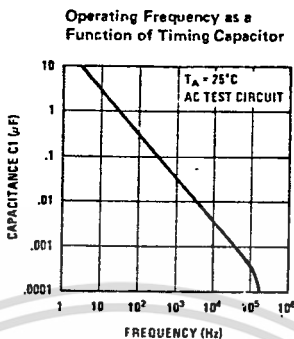
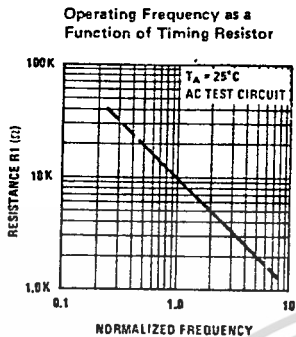
Power Supply Voltage		26V
Power Dissipation (Note 1)		300 mW
Operating Temperature Range	LM566	-55°C to +125°C
	LM566C	0°C to 70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		300°C

electrical characteristics $V_{CC} = 12V, T_A = 25^\circ C, AC$ Test Circuit

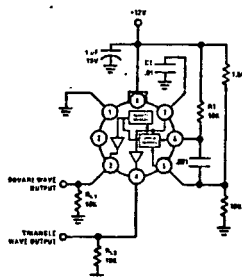
PARAMETER	CONDITIONS	LM566			LM566C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Maximum Operating Frequency	$R_0 = 2k$ $C_0 = 2.7 pF$		1		1			MHz
Input Voltage Range Pin 5		$3/4 V_{CC}$		V_{CC}	$3/4 V_{CC}$		V_{CC}	
Average Temperature Coefficient of Operating Frequency			100		200			ppm/°C
Supply Voltage Rejection	10-20V		0.1	1	0.1	2		%/V
Input Impedance Pin 5		0.5	1		0.5	1		MΩ
VCO Sensitivity	For Pin 5, From 8-10V, $f_0 = 10 kHz$	6.4	6.6	6.8	6.0	6.6	7.2	kHz/V
FM Distortion	±10% Deviation		0.2	0.75	0.2	1.5		%
Maximum Sweep Rate		800	1		500	1		MHz
Sweep Range			10:1		10:1			
Output Impedance								
Pin 3			50		50			Ω
Pin 4			50		50			Ω
Square Wave Output Level	$R_{L1} = 10k$	5.0	5.4		5.0	5.4		Vp-p
Triangle Wave Output Level	$R_{L2} = 10k$	2.0	2.4		2.0	2.4		Vp-p
Square Wave Duty Cycle		45	50	55	40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20		20			ns
Square Wave Fall Time			50		50			ns
Triangle Wave Linearity	+1V Segment at $1/2 V_{CC}$		0.2	0.75	0.5	1		%

Note 1: The maximum junction temperature of the LM566 is 150°C, while that of the LM566C is 100°C. For operating at elevated junction temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W.

typical performance characteristics



ac test circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings

Total Supply Voltage (V_{B4})	36V
Output to Negative Supply Voltage (V_{74})	40V
Ground to Negative Supply Voltage (V_{14})	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 1)	$\pm 15V$
Power Dissipation (Note 2)	500 mW
Output Short Circuit Duration	10 sec
Operating Temperature Range	$0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $150^{\circ}C$
Lead Temperature (soldering, 10 sec)	$300^{\circ}C$
Voltage at Strobe Pin	$V^+ - 5V$

electrical characteristics (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage (Note 4)	$T_A = 25^{\circ}C, R_S \leq 50k$		2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 4)	$T_A = 25^{\circ}C$		6.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^{\circ}C$		100	250	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^{\circ}C$	40	200		V/mV
Response Time (Note 5)	$T_A = 25^{\circ}C$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -10 mV, I_{OUT} = 50 mA$ $T_A = 25^{\circ}C$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current	$T_A = 25^{\circ}C$		3.0		mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 10 mV, V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^{\circ}C, I_{STROBE} = 3 mA$		0.2	50	nA
Input Offset Voltage (Note 4)	$R_S \leq 50k$			10	mV
Input Offset Current (Note 4)				70	nA
Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V, V^- = 0$ $V_{IN} \leq -10 mV, I_{SINK} \leq 8 mA$		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^{\circ}C$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^{\circ}C$		4.1	5.0	mA

Note 1: This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 2: The maximum junction temperature of the LM311 is $110^{\circ}C$. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of $150^{\circ}C/W$, junction to ambient, or $45^{\circ}C/W$, junction to case. For the flat package, the derating is based on a thermal resistance of $185^{\circ}C/W$ when mounted on a 1/16-inch-thick epoxy glass board with ten, 0.03-inch-wide, .2-ounce copper conductors. The thermal resistance of the dual-in-line package is $100^{\circ}C/W$, junction to ambient.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and the Ground pin at ground, and $0^{\circ}C < T_A < +70^{\circ}C$, unless otherwise specified. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to $\pm 15V$ supplies.

Note 4: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and input impedance.

Note 5: The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Note 6: Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

TYPES LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

switching characteristics, $V_{CC+} = 15\text{ V}$, $V_{CC-} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Response time, low-to-high-level output	$R_C = 500\ \Omega$ to 5 V , $C_L = 5\text{ pF}$, See Note 7		115		ns
Response time, high-to-low-level output			165		ns

NOTE 7: The response time specified is for a 100-mV input step with 5-mV overdrive and is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.

TYPICAL CHARACTERISTICS

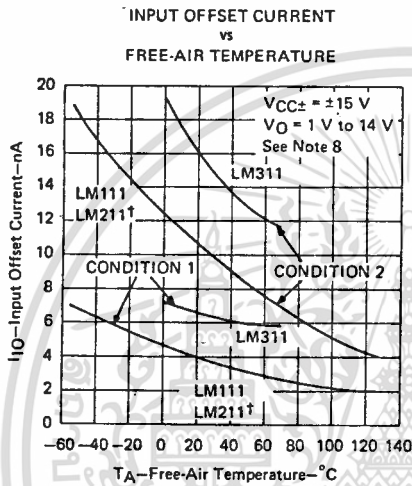


FIGURE 1

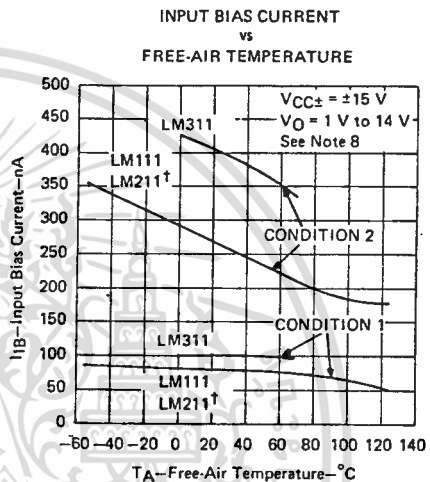


FIGURE 2

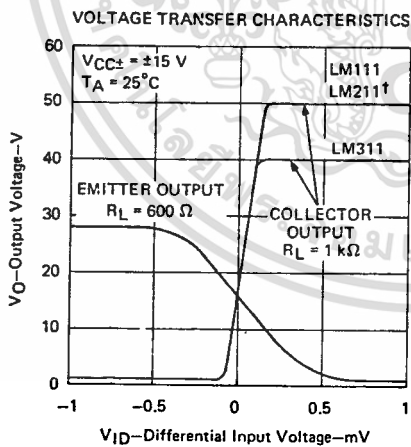
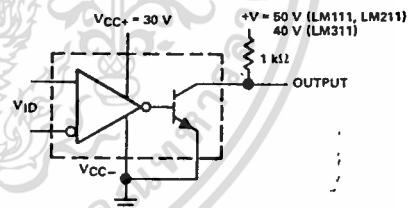
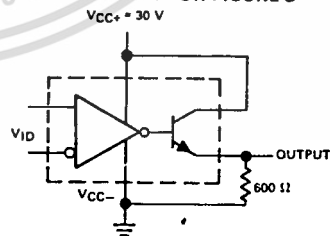


FIGURE 3



COLLECTOR OUTPUT TRANSFER CHARACTERISTIC TEST CIRCUIT FOR FIGURE 3



EMITTER OUTPUT TRANSFER CHARACTERISTIC TEST CIRCUIT FOR FIGURE 3

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

NOTE 8: Condition 1 is with the balance and balance/strobe terminals open. Condition 2 is with the balance and balance/strobe terminals connected to V_{CC+} .

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

TYPICAL CHARACTERISTICS

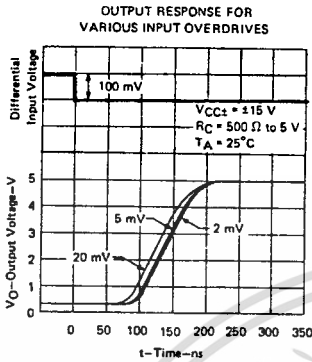
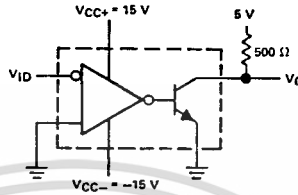


FIGURE 4



TEST CIRCUIT FOR FIGURES 4 AND 5

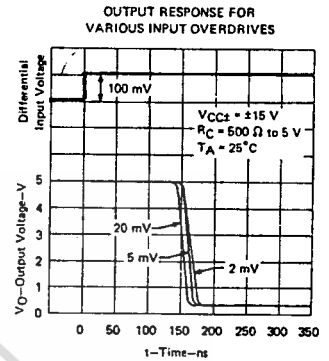


FIGURE 5

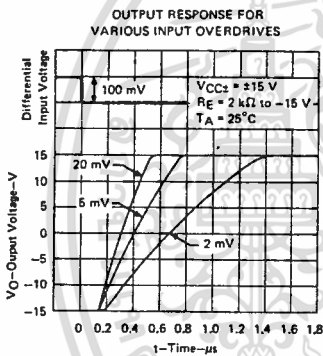
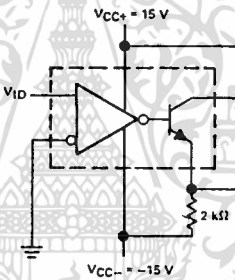


FIGURE 6



TEST CIRCUIT FOR FIGURES 6 AND 7

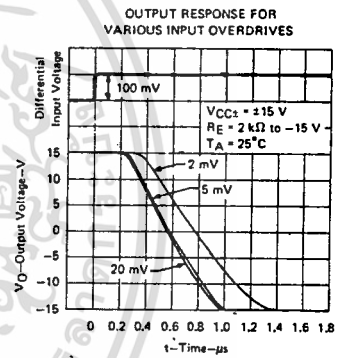


FIGURE 7

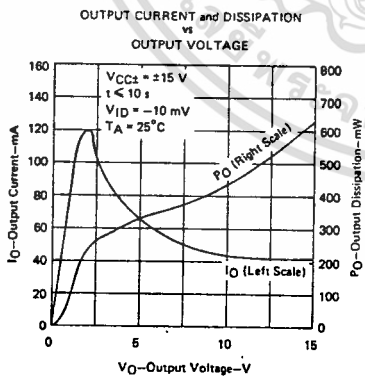


FIGURE 8

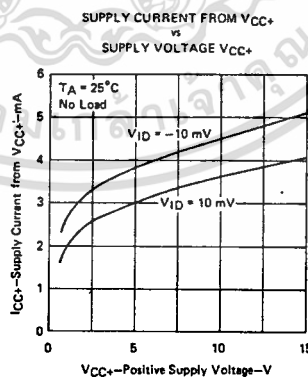


FIGURE 9

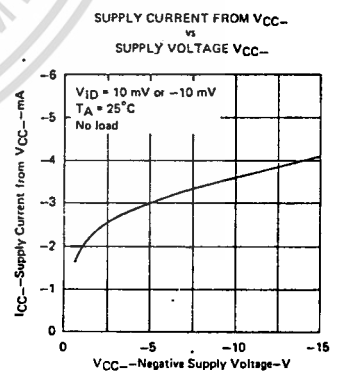


FIGURE 10

TYPES LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

TYPICAL APPLICATION DATA

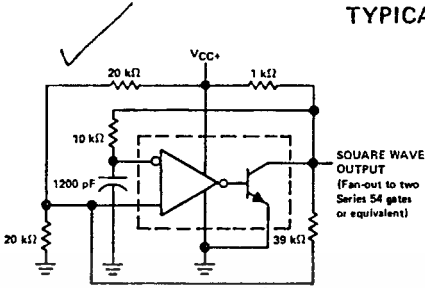


FIGURE 11—100-kHz
FREE-RUNNING MULTIVIBRATOR

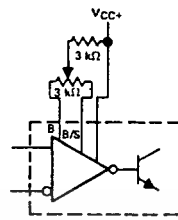


FIGURE 12
OFFSET BALANCING

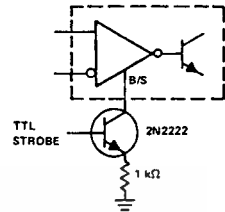


FIGURE 13—STROBING

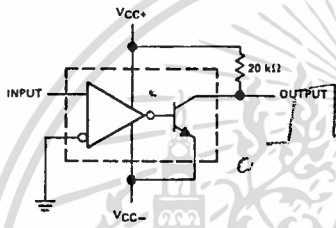
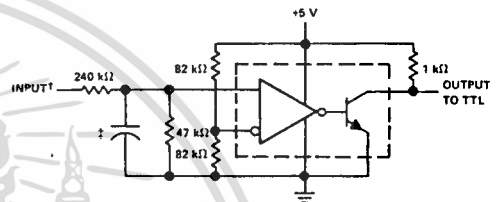


FIGURE 14—ZERO-CROSSING DETECTOR



† Resistor values shown are for a 0-to-30-V logic swing and a 15-V threshold.

‡ May be added to control speed and reduce susceptibility to noise spikes.

FIGURE 15—TTL INTERFACE WITH HIGH-LEVEL LOGIC

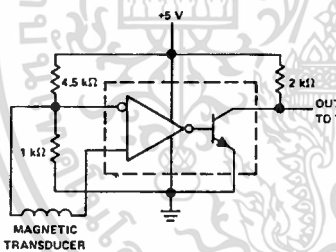


FIGURE 16—DETECTOR FOR MAGNETIC TRANSDUCER

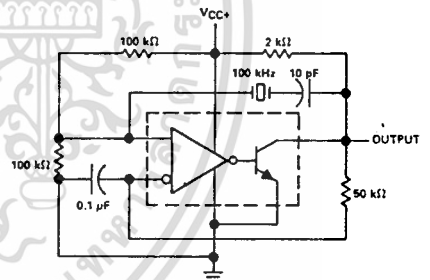


FIGURE 17—100-kHz CRYSTAL OSCILLATOR

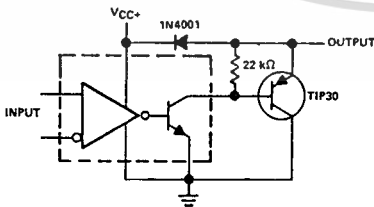
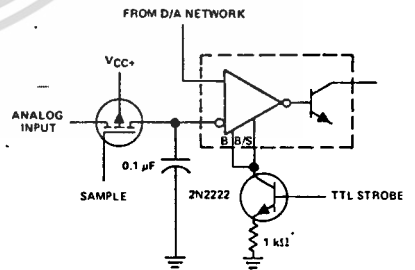


FIGURE 18—COMPARATOR AND SOLENOID DRIVER



Typical Input current is 50 pA with inputs strobed off.

FIGURE 19—STROBING BOTH INPUT AND
OUTPUT STAGES SIMULTANEOUSLY

TYPES LM111, LM211, LM311 DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

TYPICAL APPLICATION DATA

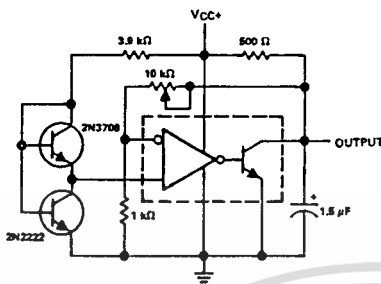


FIGURE 20—LOW-VOLTAGE
ADJUSTABLE REFERENCE SUPPLY

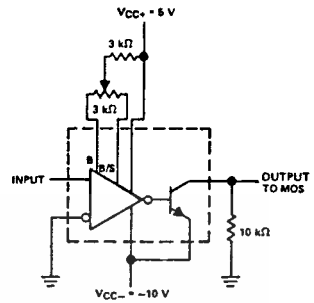
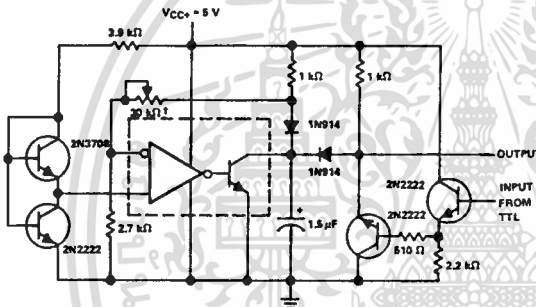


FIGURE 21—ZERO-CROSSING
DETECTOR DRIVING MOS LOGIC



† Adjust to set clamp level.

FIGURE 22—PRECISION SQUARER

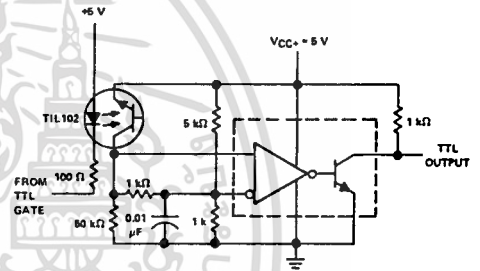


FIGURE 23—DIGITAL TRANSMISSION ISOLATOR

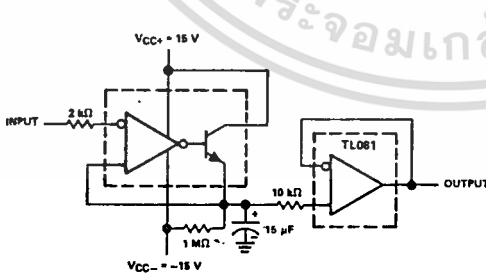


FIGURE 24—POSITIVE-PEAK DETECTOR

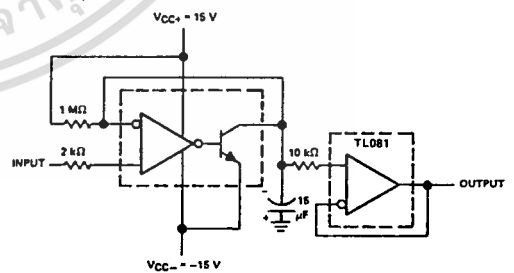


FIGURE 25—NEGATIVE-PEAK DETECTOR

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณ อาจารย์ประกาภกร สุวรรณะ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขสิ่งบกพร่องต่าง ๆ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. นภา จิตต์ธีรภาพ และ นพเก้า นิพัทธ์เจริญ, "เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า แสดงผลในระบวมิจิตอล, ปริมาณิพนธ์", 2530
2. อารมภ์ เก่งผล และ โอชามุ นิธิโนะ, "เครื่องวัดและการวัดทาง ไฟฟ้า", สมาคมส่งเสริมความรู้ทางค้่นเทคนิคระหว่างประเทศ, 2519
3. อีเสดกรณ 79, "สร้างวัดค้มีเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์", 2529
4. "National Semiconductor Linear Data Book", 1978
5. "National Semiconductor application", 1986
6. "The Linear control Circuits Data Book", Texas Instrument



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้