

any (B)



นาย เขมรัฐ พิทักษ์ 34131103
 นาย ชัยพฤกษ์ เอี่ยมติลวงค์ 34131106
 นาย ประม ชัยสงคราม 34131114

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
 ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
 ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032703

ใบรับรองปริญญาโท

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Power Electric Safety Cut

โดย

นาย เขมรัฐ พัทธกิจ 34131103

นาย ชัยพฤกษ์ เอี่ยมติลวงค์ 34131106

นาย ปฐม ชัยสงคราม 34131114

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

_____ ประธานกรรมการ

(_____)

_____ กรรมการ

(_____)

_____ กรรมการ

(_____)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032703

ชื่อโครงการ เครื่องตัดไฟฟ้าเนื่องจากไฟรั่ว ไฟเกินหรือไฟตก
ชื่อนักศึกษา นาย เขมรัฐ พัทธ์ 34131103
นาย ชัยพฤกษ์ เอี่ยมดิลกวงศ์ 34131106
นาย ปฐม ชัยสงคราม 34131114
อาจารย์ที่ปรึกษา -อ. ชวลิต เบนุจางคประเสริฐ
อ. ไผศาล สิทธิโยภาสกุล
ชื่อปริญญา อดสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ระบบควบคุมต่าง ๆ นั้น มีประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามาก เพราะให้ความสะดวกและความปลอดภัยต่อผู้ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประกอบด้วย drive motor เช่น ตู้เย็น แอร์ จำเป็นต้องมีเสถียรภาพทางด้าน voltage และ phase มาก เพราะถ้าเกิด error ขึ้นที่ line ก็จะทำให้เครื่องใช้เสียหายได้ ในทำนองเดียวกัน ถ้าเกิดไฟตกข้อมุลินคอมพิวเตอร์อาจสูญหายได้ ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงได้รวบรวมวงจรป้องกันไฟเกินและป้องกันไฟตกเข้าไว้ในเครื่องตัดไฟด้วย และพัฒนาเครื่องตัดไฟให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่ง Automatic Safety Unit จะทำงานเมื่อมีไฟตกหรือไฟเกิน 15 %

สารบัญ

บทคัดย่อ

Abstract

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 สาเหตุของไฟรั่ว/ไฟดูด	1
1.4 ระบบการทำงาน	2
1.5 การทำงานของวงจร	3
บทที่ 2 การออกแบบและการคำนวณ	6
2.1 Transformer	6
2.2 Voltage comparator	13
2.3 LM 3900 (Norton's Amp)	14
2.4 LM 339 (Monolithic comparator)	27
2.5 Regulate	35
2.6 Switch transistor	36
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง	42
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	50
กิตติกรรมประกาศ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	

บทที่ 1 บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ให้มีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น และขยายขอบเขตการใช้งานให้กว้างขึ้น

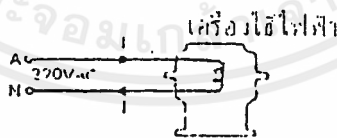
1.2 ขอบเขตของโครงการ

เมื่อเกิดไฟรั่ว เครื่องจะตัดไฟที่ประมาณ 2.6 mA (ใช้ current meter วัด) สำหรับวงจรป้องกันไฟเกินนั้นจะทำงานเมื่อไฟเกิน 245 v. และวงจรป้องกันไฟตกจะทำงานที่ประมาณ 186 v. (วัดโดยใช้ variac)

1.3 สาเหตุของไฟรั่ว/ไฟดูด

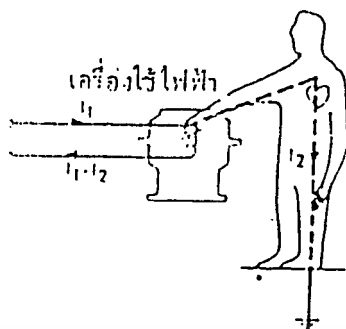
ระบบไฟฟ้าในเมืองไทยเป็นระบบไฟฟ้าสลับ 220 V 50 Hz โดยทางการไฟฟ้าจะเดินสายมาให้ 2 เส้น เส้นหนึ่งมีไฟเรียกว่า HOT (H) หรือ Active (A) อีกเส้นหนึ่งไม่มีไฟเรียกว่า Neutron (N)

เมื่อเปิดไฟฟ้าหรือเดินไฟฟ้าเข้าอุปกรณ์เครื่องใช้ กระแสจะไหลจากสาย A ผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าออกมายังสาย N ดังรูป



อย่างไรก็ดีในกรณีที่ฉนวนหุ้มสายไฟเสื่อม สายไฟ A อาจเปื่อยและไปแตะกับตัวถังโลหะบางส่วนของเครื่องไฟฟ้านั้น ซึ่งเมื่อส่วนนี้ไปแตะถูกท่อประปาหรือสายดินอื่นๆ กระแสหนึ่งจะรั่วลงดินเรียกว่าเกิดไฟรั่ว หรือหากมีคนมาแตะถูกเข้าขณะยืนบนดินที่เปียกชื้น กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะผ่านคนผู้นั้นลงสู่ดิน เรียกว่าไฟดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สังเกตว่าหากเกิดไฟรั่ว/ไฟดูดขึ้น กระแสจะไหลไม่เท่ากัน หลักการนี้เองที่ใช้ในการตรวจสอบว่าเกิดไฟรั่ว/ไฟดูดหรือไม่

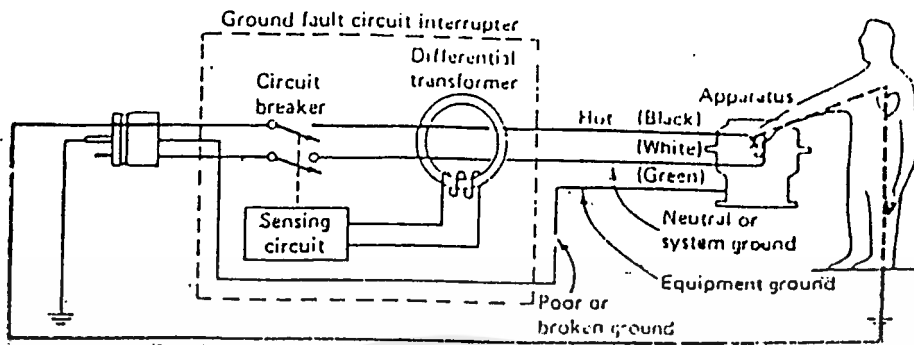
อันตรายจากกระแสไฟฟ้าเมื่อไหลผ่านร่างกายคน
ขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

1. ปริมาณกระแสไฟฟ้า
2. ชนิดหรือทิศทางที่ไหลผ่าน ปกติกระแสไฟตรงจะอันตรายน้อยกว่ากระแสสลับ
3. เวลาที่ไหลผ่าน
4. สภาพร่างกายขณะนั้น (รูปร่าง เหนือ ความชื้น) ปกติคนเราทั่วไปมีความต้านทานระหว่าง 1 k - 100 k

1.4 ระบบการทำงานของ automatic safety unit เมื่อมีไฟรั่ว/ไฟดูด

หัวใจของระบบนี้คือหม้อแปลง ซึ่งมักใช้แกนรูปวงแหวนเพราะมีขนาดเล็กและเพื่อมิให้เส้นแรงแม่เหล็กรั่ว จากนั้นกระแส AC จะไหลผ่านแกนชนิดนี้ ดังนั้นกรณีไม่มีไฟรั่ว/ไฟดูดเกิดขึ้น กระแสในสาย A กับ N จึงเท่ากัน เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจึงหักล้างกันหมดไป เพราะทิศทางกระแสไหลตรงข้ามกัน

หากเกิดไฟรั่ว/ไฟดูดขึ้น กระแสส่วนหนึ่งจะรั่วลงดิน ดังนั้นกระแสในสายทั้งสองจึงไม่เท่ากัน จึงเกิดเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งขึ้นและไป induce ให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในอีกขดลวดหนึ่ง และไปสั่งงาน relay เพื่อปลดไฟออกติดตั้งรูป



1.5 การทำงานของวงจร

แบ่งเป็น 3 ภาค

1. วงจรตรวจสอบระดับกระแสรั่ว
2. วงจรสั่งงาน relay
3. วงจรทดสอบการทำงาน

วงจรตรวจสอบระดับกระแสรั่ว

หัวใจของภาคนี้ได้แก่หม้อแปลง terroid พิจารณาทางด้าน primary ซึ่งมีอยู่ 2 ขดคือ L_1 และ L_2 พันขดลวดอย่างขนานกันเรียกว่าพันแบบไบฟีลาร์ ขด L_1 จะต่อกับสาย A ในช่วงก่อนต่อเข้ากับโหนดคือระหว่างสายไฟด้านเข้า กับสายที่ต่อไปยัง main และขด L_2 ต่ออนุกรมกับสาย N และต่อไฟเข้ากับโหนดเช่นกัน การต่อขดลวดแบบนี้ทำให้ทิศทางกระแสที่ไหลผ่าน L_1 มีทิศตรงข้ามกับที่ไหลใน L_2 หากไม่มีไฟรั่ว/ไฟดูดเกิดขึ้น กระแสในขดลวดทั้งสองจะสร้างสนามแม่เหล็กหักล้างกันไปในแกน terroid ในขด secondary L_3 จะไม่มีแรงดันใดๆ เกิดขึ้น

หากเกิดไฟรั่ว/ไฟดูด กระแสในสายไฟทั้งสองจะไม่เท่ากันจึงเกิดแรงดันขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่าจำนวนหนึ่งในขดที่ L_2 จะให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสั่งงาน relay

ในวงจรนี้คณะผู้จัดทำใช้ IC เบอร์ LM 3900 ซึ่งภายในมีออปแอมป์อยู่ 4 ตัว โดยตัวที่ 4 จะใช้ทำงานในภาคจ่ายไฟตรง

เมื่อเปิดไฟเข้าวงจร C_5 และ C_6 จะมี impedance ต่ำชั่วขณะหนึ่งทำให้ C_5 ต่อขา inverting input (ขา 8) ของออปแอมป์ตัวที่ 3 ลงกราวด์ เช่นเดียวกัน C_6 จะเป็นทางเดินโดยสะดวกแก่กระแสที่ไหลผ่าน R_{15} ไปยัง input ขา 13 ของออปแอมป์ตัวที่ 3 เงื่อนไขช่วงเริ่มต้นเช่นนี้ ทำให้ output ของออปแอมป์ตัวที่ 3 (ขา 9) ให้แรงดันไฟตรงสูงเท่ากับระดับไฟบวกจากแหล่งจ่ายพอดิ โดยมี R_{17} เป็นตัวป้องกันทำให้ออปแอมป์ตัวที่ 3 ทำงานเป็นวงจร Latch คือ output จะให้ไฟบวกคงที่ เปรียบเสมือนสภาวะโลจิก 1 ป้อนเข้าขา input ของ and gate

ทันทีที่ relay ทำงานหน้า contact สองชุดในตัว relay จะปิดวงจรไฟจาก main จึงไหลจาก main ไปยังโหนดที่ต่อไว้ จากนั้น C_6 จะได้รับประจุเต็ม จึงเกิดแรงดันป้อนกลับผ่าน R_{17} output ที่ขา 9 ของออปแอมป์ตัวที่ 3 จึงคงที่ที่ระดับไฟบวก

หากเกิดไฟรั่ว/ไฟดูด output จาก L_2 จะถูกขยายโดยออปแอมป์ตัวที่ 1 output ขา 5 ของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะส่งสัญญาณแรงดันนี้เข้าวงจร Active Lowpass Filter (ออปแอมป์ตัวที่ 2) โดยผ่าน RV_1, R_{11}, C_9 ตามลำดับ RV_1 ต่ออนุกรมกับ input ของออปแอมป์ตัวที่ 2 อัตราขยายในวงจรขยายในออปแอมป์ตัวที่ 2 ขึ้นกับ $R_{12}/(RV_1 + R_{11})$

ออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำงานที่ความถี่ cut off เท่ากับ 100 Hz เพื่อมิให้คลื่นรบกวนความถี่สูงผ่านไปรบกวนการทำงานในภาคถัดไป

pulse บวกลูกแรกที่ได้จาก output ขา 4 ของออปแอมป์ตัวที่ 2 อันเนื่องมาจากเกิดไฟรั่ว/ไฟดูดลงดินจะป้อนเข้าขา input ของออปแอมป์ตัวที่ 3 ผ่านทาง R_{14} ออปแอมป์ตัวที่ 3 จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะแรงดันเป็น 0V ทันที และเป็น

เช่นนั้นตลอดไป Q_2 เปิด relay ปลดไฟออก หลอด LED₁ดับ

Network $R_{1,4}/C_5$ ใช้ป้องกันคลื่นรบกวนเพื่อไม่ให้ relay ทำงานใดๆ ขณะเดียวกันก็หน่วงเวลาไว้ 10 มิลลิวินาที ส่วน relay ที่ใช้ปกติ สามารถปลดตัวเองได้ภายใน 25 มิลลิวินาที นั่นคือวงจรนี้สามารถปลดไฟออกได้ภายในเวลา 40 มิลลิวินาที ซึ่งดีกว่ามาตรฐาน

T_1 เป็นหม้อแปลง terroid โดยแปลงไฟจาก 270 โวลต์เป็น 28 โวลต์ โดยใช้ขนาด 14 VA ทำงานร่วมกับ diode rectify D_1-D_4 และ C_1, C_2, R_2 เป็น filter เพื่อกรองไฟให้เรียบ แรงดันคร่อม C_1 ขณะนี้จะมีไฟตรงประมาณ 31 โวลต์ เพื่อใช้กับ relay ต่อไป

ออปแอมป์ตัวที่ 4 ทำงานเป็นวงจร regulator ทำงานร่วมกับทรานซิสเตอร์ Q_1 และมี zener diode 12 โวลต์ ควบคุมแรงดันที่ input ของออปแอมป์ ทำให้ได้ของ output เป็น 18 โวลต์

วงจรทดสอบการทำงาน

ใช้ R เท่ากับ 82 k 10 W ต่อกับสวิตช์แบบกดติด-ปล่อยดับ ซึ่งต่อจากสายไฟของปลั๊กไปยังสาย A การกดสวิตช์นี้ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R ตัวนี้ ประมาณ 2.6 มิลลิแอมป์ โดยจะไหลภายในสายไฟที่ผ่าน L_2 แต่ไม่มีกระแสไหลใน L_1 จึงเป็นการจำลองเสมือนหนึ่งเกิดไฟรั่ว/ไฟดูดขึ้น เพื่อปรับแต่งและทดสอบการทำงาน

บทที่ 2

การออกแบบและการคำนวณ

จากหลักการของเครื่องรักษาแรงดันไฟฟ้าพอยท์ออกเป็นส่วนนี้ได้ดังนี้

1. ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer)
2. วงจรเรกกูเลเตอร์ (Regulator) และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเสถียร (Dc. Supply)
3. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)
4. วงจรควบคุมสวิทช์ควบคุมการตัดการทำงาน (Switch Control)

2.1. ทรานส์ฟอร์มเมอร์

ทรานส์ฟอร์มเมอร์ คือ อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ



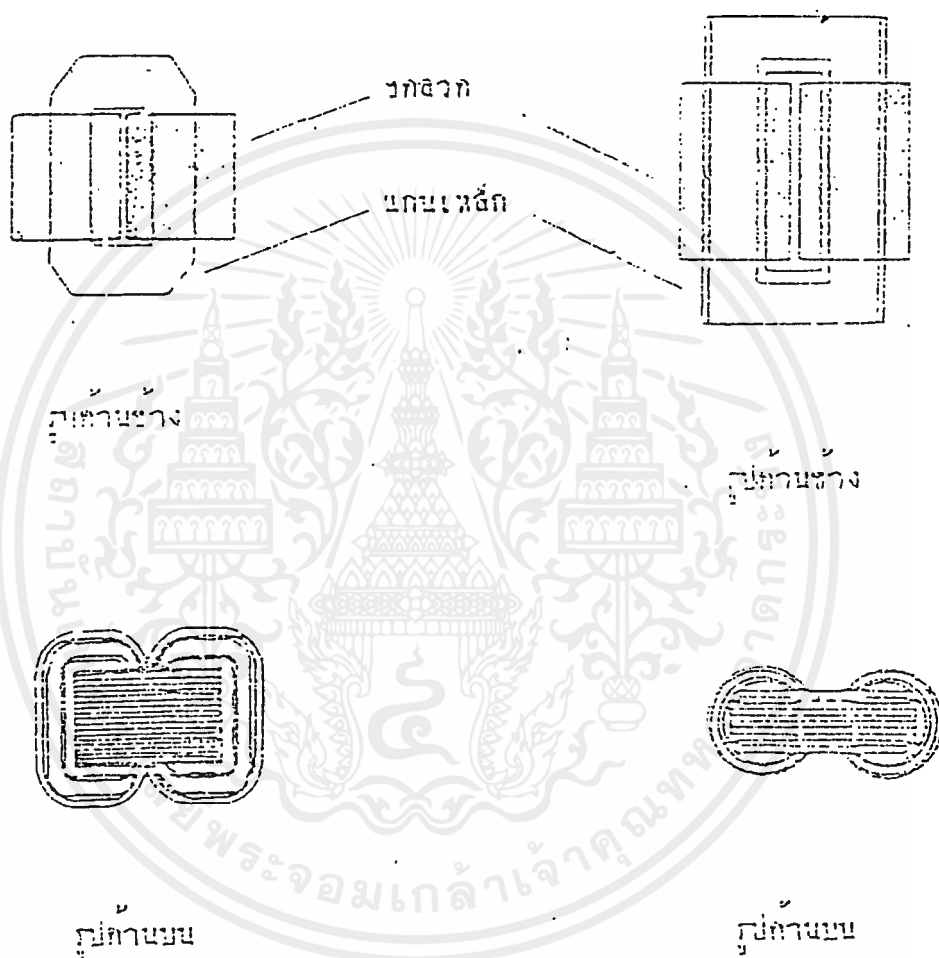
ภาพ 2. แสดงสัญลักษณ์ของทรานส์ฟอร์มเมอร์

เครื่องหมายจุด (.) ที่ปลายขดลวดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่เข้าขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ คือขั้ว 1 กับขั้ว 3 จะมีศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน

โครงสร้างของทรานส์ฟอร์เมอร์ (ชนิด .1 เฟส)

ทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการวางขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) รอบ เหล็กแผ่นที่อัดเป็นแกน (Laminated Steel core)

1.1 ทรานส์ฟอร์เมอร์แบบ core

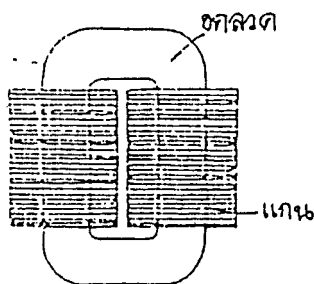


ภาพที่ 3.

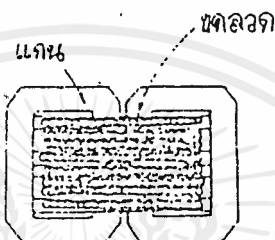
ชนิดนี้ขดลวดจะล้อมรอบส่วนใหญ่ของวงจรมแม่เหล็ก (Magnetic Circuit) จะเห็นว่าขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะห่อหุ้มรอบแกนทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ทรานส์ฟอร์เมอร์แบบ Shell



รูปถ่ายข้าง



รูปถ่ายบน

ภาพที่ 4.

ทรานส์ฟอร์เมอร์ชนิดที่วงจรมแม่เหล็กจะล้อมรอบขดลวดเสียส่วนมาก รัศยขดลวดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิจะอยู่รอบแกนกลางของทรานส์ฟอร์เมอร์ และแกนกลางที่จะมีความกว้างเป็น 2 เท่าของแกนข้างทั้ง 2 ทรานส์ฟอร์เมอร์ชนิดนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดวิ่งผ่านแกนกลางและที่แกนข้างทั้ง 2 จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเพียงครึ่งเดียววิ่งผ่าน

ส่วนประกอบของทรานส์ฟอร์เมอร์

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

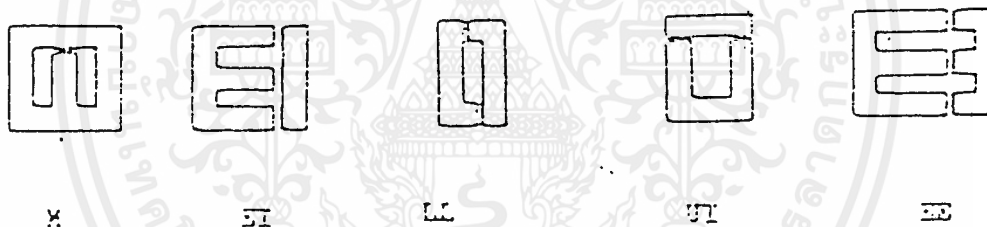
- (ก) แกนเหล็ก
- (ข) ขดลวดตัวนำ



(ก) แกนของทรานส์ฟอร์มเมอร์

เหล็กแผ่นที่จะนำมาอัดเป็นแกนของทรานส์ฟอร์มเมอร์ จะต้องมีความต้านทานต่อเส้นแรงแม่เหล็กต่ำ (Low Reluctance) ซึ่งทำขึ้นจากเหล็กผสมด้วยซิลิกอน หรือเหล็กกล้า แผ่นที่เคลือบด้วยฉนวนพวกวานิช หรือ ออกไซด์ของเหล็กจึงทำให้เกิด Eday current Losses ในแกนเหล็กน้อยที่สุด

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเส้นแรงแม่เหล็กมีอยู่ 2 อย่าง คือ Eday Current Losses และ Hysteresis Losses ซึ่งรวมเรียกว่า "Eron Losses" ค่าของ Hysteresis Losses จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับการใส่ซิลิกอนลงงานเหล็กและอบให้ร้อนและปล่อยให้เป็นลงในเตา เพื่อให้อ่อนตัวส่วนมากจะใส่ซิลิกอนถึง 4% จะได้แผ่นเหล็กที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดี แต่มันจะเปราะมาก รโลหะแผ่นที่ใช้ทำแกนทั่วไปจะมีรูปร่างดังนี้



ภาพที่ 5. รูปร่างแกนทรานส์ฟอร์มเมอร์แบบต่าง ๆ

แกนรูป LL และ UE เป็นแกนเหล็กชนิด Core Type นิยมใช้มากในการพันหม้อแปลงแบบแรงเคลื่อนสูง (High Voltage) เพราะสะดวกในการพันขดลวด เนื่องจากมีช่องหน้าต่างกว้าง แต่มีค่าReluctance สูง เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กวิ่งได้ทางเดียว

แกนรูป M EI และ EE เป็นแกนเหล็ก. Shele มีคุณสมบัติดีกว่าแบบอื่น ๆ เพราะเส้นแรงแม่เหล็กสามารถเดินแยกออกไปตามแกนทั้ง 2 ข้าง แต่ปัจจุบันนี้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเทอร์โรบ (Toroidal Transformer) ซึ่งมีข้อพิเศษกว่าชนิดอื่น คือ

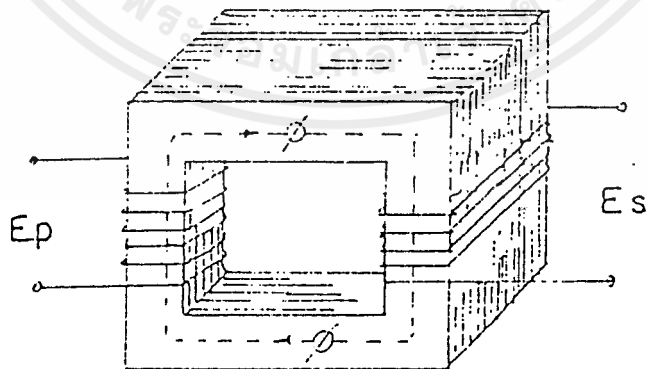
- มีขนาดเล็กและเบากว่าธรรมดาเท่าตัว
- มีความสูญเสียในตัวเองขณะให้ไม่มีโหลดน้อยกว่าแบบธรรมดา 80%
- มีสนามรบกวนออกจากตัวน้อยกว่าแบบธรรมดา 7-8 เท่าตัว
- มีคุณสมบัติต้านตัวในการป้องกันตัวเองจากสนามรบกวนจากภายนอก
- ทั่วๆไปมีขนาดตั้งแต่ 15 VA. ถึง 1,500 VA.

(ข) ขดลวดตัวนำ

โดยปกติเป็นลวดทองแดงอาบฉนวนประเภทแลคเกอร์ ผ้าฝ้ายหรือสารประกอบจากเคมี (Synthetics) แบ่งออกเป็น 2 ชุด

- ชุดปฐมภูมิ คือ ด้านที่ใส่ Supply Voltage เข้าไป
- ชุดทุติยภูมิ คือ ด้านที่ต้องการจ่ายให้กับ Load

ขนาดของพื้นที่ตัดของขดลวดที่ขึ้นอยู่กับขนาดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดนั้น ถ้ามีกระแสไหลผ่านมาก พื้นที่หน้าตัดก็ต้องการมากตามด้วยทั้งนี้ต้องพิจารณาจากการที่จะนำไปใช้งาน



ภาพที่ 6.

ตามภาพที่ 6 จะเห็นว่า Flux มีความสัมพันธ์กับขดลวดทั้ง 2 ชุด ทั้งนี้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (Induce Voltage) จึงขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด ซึ่งจะได้สูตรคือ

$$\frac{EP}{ES} = \frac{NP}{NS} \dots\dots\dots (1)$$

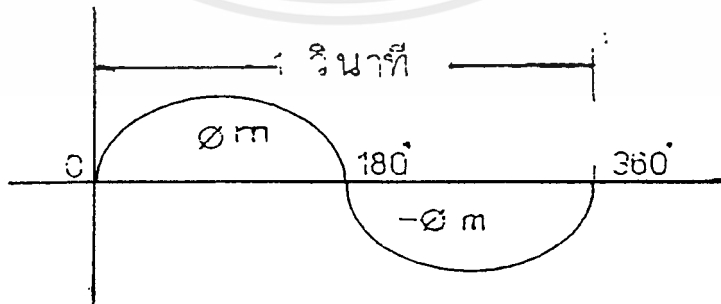
- เมื่อ
- EP = แรงดันไฟฟ้าทางขดปฐมภูมิ
 - ES = แรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิ
 - NP = จำนวนรอบทางขดปฐมภูมิ
 - NS = จำนวนรอบทางขดทุติยภูมิ

สูตรเบื้องต้นทางทรานส์ฟอร์เมอร์

ค่าแรงดันเฉลี่ยของ Induce Voltage มีค่าดังนี้

$$E_{av} = \frac{N \cdot \omega_m}{10^8 t} \dots\dots\dots (2)$$

- เมื่อ
- E_{av} = ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า
 - N = จำนวนรอบของขดลวด
 - ω_m = Maximum Flux ซึ่งขึ้นกับขดลวดทั้ง 2
 - t = เวลาที่ Flux เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 7.

ถ้า Flux เป็นรูป Sine Wave และหมุนครบ 1 รอบในเวลา 1 วินาที จะเห็นว่า Flux จะเปลี่ยนแปลง 4 ครั้ง คือ จากศูนย์ไปหาสูงสุดและสูงสุดไปหาศูนย์ จากศูนย์ไปหาสูงสุด ทางด้านลบ และสูงสุดทางด้านลบไปหาศูนย์ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงใช้เวลา $1/4$ วินาที ดังนั้นจึงเอา $1/4$ ไปแทนค่า t ในสมการ (2)

$$\text{ดังนั้นจึงได้ } E_{\text{avg}} = \frac{4 N \phi_m t}{10^8}$$

แต่ค่าที่วัดได้ของแรงดัน rms = $\frac{0.707}{0.637} = 1.11 E_{\text{avg}}$

จะได้ $E_{\text{rms}} = \frac{1.11 \cdot 4 N \phi_m t}{10^8} = 4.44 N \phi_m t / 10^8$

ค่า ϕ_m คิดเป็นค่าความหนาแน่นของ Flux ต่อพื้นที่ตั้งนั่นเอง

$$E_{\text{rms}} = \frac{4.44 f B_m N A}{10^8} \dots \dots \dots (3)$$

- เมื่อ B_m = ค่า Flux ที่สูงสุดต่อตารางนิ้ว
- f = ความถี่
- A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

2.2 voltage comparator

พิจารณาการทำงานของ op-amp ในขณะที่ไม่มีการป้อนกลับแบบลบ ซึ่งป้อน input เข้าที่ขา non-inverting และ inverting , op-amp นี้ก็จะทำงานเป็น differential amplifier ถ้าให้ A_o เป็นอัตราขยายของ op-amp ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับแบบลบ (open loop gain) จะได้ output ดังสมการ

$$V_o = A_o (V_1 - V_2)$$

ถ้าสามารถทำให้ $V_1 = V_2$ ก็จะทำให้ output เป็น 0 แต่เป็นสิ่งที่ยากมาก สมมติว่า V_1 และ V_2 ต่างกันเพียง 1 mV แต่ค่า gain ของ op-amp นั้นมีค่าสูงมาก คือมากกว่า 50000 เท่า ดังนั้น output ของ op-amp จึงสูงมาก โดยปกติ แรงดันที่จ่ายให้ op-amp มักไม่เกิน +18 volt ถ้าเราให้ V_1 หรือ V_2 มีค่าคงที่ แล้วป้อนสัญญาณเข้าขาที่เหลือ output จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ระดับ คือ อิมพัลส์ทางด้านลบ และบวก ตามเงื่อนไขทางด้าน input (inverting หรือ non-inverting) นั่นคือขณะที่ op-amp กำลังทำงานเป็น voltage comparator โดยจะทำการเปรียบเทียบศักดาของสัญญาณ input กับ สัญญาณอ้างอิง (reference voltage) ก็จะได้วงจรรขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงมาก ซึ่ง op-amp โดยทั่วไป สามารถนำมาใช้เป็น voltage comparator ได้ โดยต่อวงจรแบบ open loop gain

ไอซีโวลต์เตจคอมพาราเตอร์

ถึงแม้ว่าเราอาจจะสามารถใช้ออปแอมป์มาทำหน้าที่เป็นโวลต์เตจคอมพาราเตอร์ได้ก็ตาม แต่เมื่อเทียบราคาของออปแอมป์ กับ ไอซีโวลต์เตจ

เอกสารนี้ห้ามมิเผยแพร่แล้วสีในราคาที่ไม่ใกล้เคียงกัน ไอซีโวลต์เตจคอมพาราเตอร์สามารถทำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองได้เร็วกว่าไอซีออปแอมป์มาก และระดับคัทที่เอาท์พุทของไอซี
โวลต์เตจคอมพาราเตอร์จะสามารถสวิงได้ใกล้เคียงกับกราวด์ และ V_{cc}
ได้มากกว่าออปแอมป์

คุณสมบัติโดยทั่วไปของไอซีเปรียบเทียบแรงดัน หรือโวลต์เตจคอมพาราเตอร์
นั้น มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คล้ายกับของออปแอมป์ ลักษณะวงจรภายในโดยทั่วไป
ของไอซีโวลต์เตจคอมพาราเตอร์ประกอบด้วย ภาคอินพุทเป็นวงจรขยายความ
แตกต่าง หรือดิฟเฟอเรนเชียล แอมป์ (Differential Amplifier)
ภาคขยายที่สองถัดออกมามักจะเป็นวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ และภาคเอาท์พุทมักเป็น
วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ โดยขาคอลเล็กเตอร์เปิดวงจร (Open Collector)
และระหว่างภาคเอาท์พุทกับภาคขยายอาจจะมีวงจรแคลมป์ (clamp) เพื่อเปลี่ยน
ระดับคัทที่ระหว่างภาคขยายกับภาคเอาท์พุทให้มีขนาดพอเหมาะกับลักษณะของ
วงจรคัทที่ต่ออยู่ที่เอาท์พุทของไอซีโวลต์เตจคอมพาราเตอร์ใช้วงจรโอเพ่น
คอลเล็กเตอร์ (Open Collector) เพื่อให้คัทที่เอาท์พุทสามารถเปลี่ยนแปลง
ได้ตามความเหมาะสม ซึ่งมักจะพิจารณาจากลักษณะของวงจรหรือโหลดที่ต่ออยู่ทาง
เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบนั้น เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจถึงลักษณะการทำงาน
ภายในของไอซีโวลต์เตจคอมพาราเตอร์ได้ดี ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการนำไปประยุกต์
ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ต่อไปนี้จะเป็นการนำไอซีโวลต์เตจคอมพาราเตอร์ล๊ิก 2 เบอร์มา
อธิบายถึงการทำงานภายใน และการนำไปประยุกต์ใช้งาน ได้แก่เบอร์ LM 339
และ LM 3900 ซึ่งเป็นเบอร์ที่ค่อนข้างหาง่ายและรู้จักกันแพร่หลายในประเทศไทย

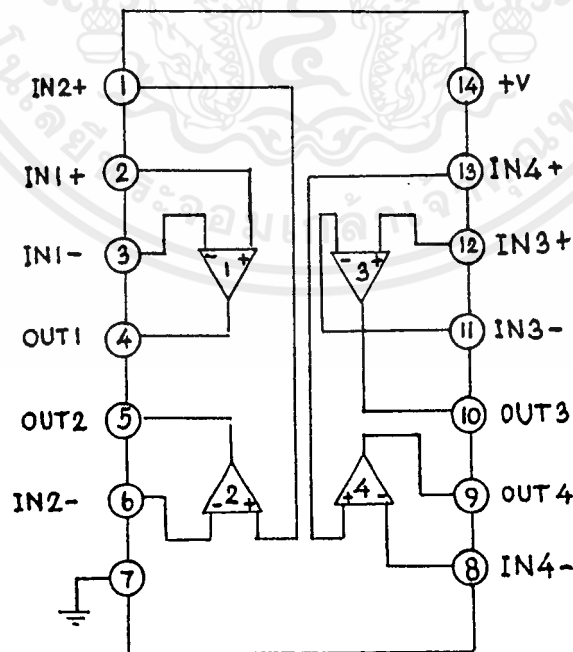
2.3 นอร์ตัน ออปแอมป์ (LM 3900)

ออปแอมป์ส่วนใหญ่จะเป็นวงจรขยายความแตกต่างของแรงดัน (Voltage
Differencing Amplifier) หรือ VDA ซึ่งจะมีเอาท์พุทเปลี่ยนไปตามความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของแรงดันที่ใช้ทางอินพุตทั้งสองขา แต่ไอซีออปแอมป์ LM 3900 นี้เป็น วงจรขยายความแตกต่างของกระแส (Current Differencing Amplifier) หรือ CDA และเป็นที่ยอมรับในนามของ "นอร์ตันออปแอมป์" ซึ่งเอาท์พุทจะเปลี่ยนค่าไปตามความแตกต่างของอินพุตทั้งสอง

ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM3900 นี้ถูกผลิตขึ้นในช่วงต้นปี 1970 โดยออกแบบเป็นพิเศษให้มีราคาถูกมีคุณสมบัติในการใช้งานได้ปานกลาง ซึ่งสามารถใช้แหล่งจ่ายแบบ single-ended (แหล่งจ่ายที่ใช้เฉพาะขั้วบวกกับกราวด์) และให้การสวิงแรงดันทางเอาท์พุทได้สูง เป็นไอซีขยายสัญญาณชนิด CDA ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเบอร์หนึ่ง ภายในบรรจุไปด้วยวงจรออปแอมป์ที่เหมือนกันถึง 4 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถใช้งานโดยให้ไฟตรงตั้งแต่ 4-46 โวลต์ มีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ (bandwidth) ถึง 2.5 MHz และมีอัตราขยายขณะเปิดวงจรเท่ากับ 70 dB

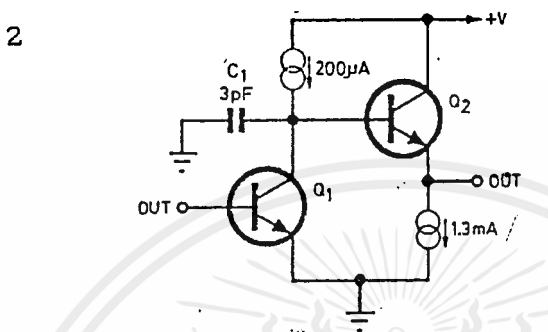


LM 3900

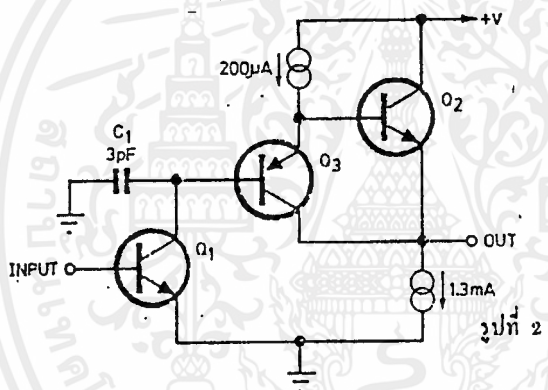
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการพื้นฐานของนอร์ตันออปแอมป์

เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการนี้ จะขอแบ่งรูปในการอธิบายออกเป็น 4 ชุด ดังรูปที่ 2

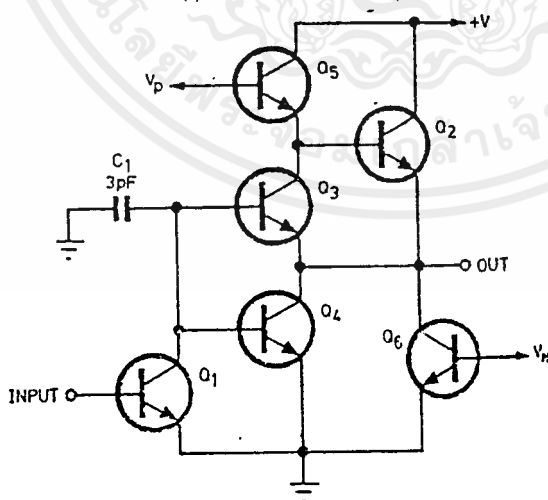


(1) วงจรขยายชนิดกึ่งเฟสแบบพื้นฐาน

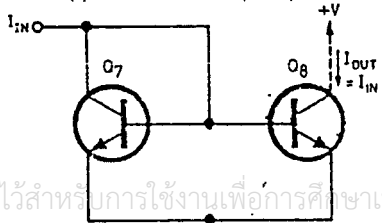


(2) วงจรขยายที่ใช้มีนอร์ตันออปแอมป์

รูปที่ 2 ตัวอย่างของหลักการนอร์ตันออปแอมป์พื้นฐาน



(3) วงจรขยายที่มีการควบคุมกระแสให้คงที่



(4) วงจรก๊อปปี้กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มรูป 2.1 เป็นวงจรขยายชนิดกลับเฟสพื้นฐาน Q_1 จะจัดวงจรอยู่ในรูปของ วงจรอิมิตเตอร์ร่วม ในลักษณะที่มีกระแสไหลที่คอลเล็กเตอร์คงที่ ซึ่งจะให้อัตราขยายในลักษณะกลับเฟสสัญญาณได้สูง ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งจัดวงจรแบบอิมิตเตอร์ตาม (มีอัตราขยายเท่ากับ 1) และไม่กลับเฟสสัญญาณ จะมีกระแสไหลที่ขาอิมิตเตอร์คงที่ สามารถตอบสนองความถี่ได้สูง เนื่องจากอัตราขยายกับกราวด์ มีไว้เพื่อเสริมเสถียรภาพให้แก่วงจร แรงดันทางเข้าที่พหุสามารถสวิงสัญญาณได้หลายร้อยมิลลิโวลต์เมื่อเทียบกับกราวด์ เนื่องจากทรานซิสเตอร์ ทั้งสองที่ใช้ในวงจรมีอัตราขยายกระแสไม่เพียงพอกับการใช้งาน เราก็สามารถที่จะเพิ่มอัตราขยายได้โดยการเพิ่ม Q_3 เข้าไปในวงจรดังรูปที่ 2.2 อัตราการขยายของวงจรทั้งหมดก็จะมีค่าสูงขึ้น แต่จะเป็นผลให้การสวิงสัญญาณทางเข้าที่พหุลดลงเล็กน้อย วงจรในรูป 2.2 สามารถใช้กับแหล่งจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ แต่จะมีกระแสเข้าที่พหุออกมาเพียง 1.3 มิลลิแอมป์เท่านั้น (เนื่องจากทรานซิสเตอร์ Q_2 จะจำกัดกระแสไหลที่คงที่ตลอดเวลา) เราสามารถที่จะเพิ่มกระแสเข้าที่พหุได้โดยใส่ Q_4 เข้าไปในวงจรดังรูป 2.3

เมื่อวงจรอยู่ในสภาวะขับโหลดเกิน (over-drive) มันจะถูกจัดให้การทำงานอยู่ในช่วงคลาสิค ส่วน Q_3 และ Q_4 ใช้เป็นตัวควบคุมกระแสให้คงที่ ซึ่งลักษณะการไบแอสจะถูกจัดโดยอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน LM3900

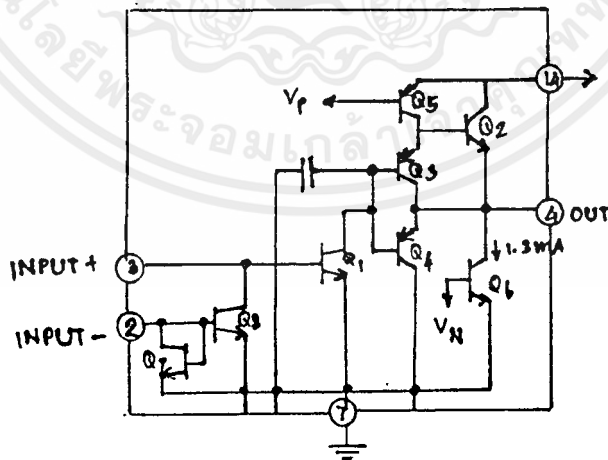
ในรูป 2.3 จะให้การขยายในลักษณะกลับเฟสของสัญญาณ การที่จะทำให่วงจรนี้มีลักษณะการขยายแบบไม่กลับเฟสได้นั้น จะต้องเพิ่มวงจรกลับทิศกระแส (current-mirror circuit) ดังที่แสดงอยู่ในรูป 2.4 วงจรกลับทิศทางกระแส นี้จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการและวงจรต้องให้กระแสเข้าที่พหุมีค่าเท่ากับกระแสทางอินพุตด้วย

ถ้าสมมติให้กระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 มีค่า 5 ไมโคร

แอมป์ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองมีอัตราขยายเท่ากับ 100 เท่ากันทั้งสองตัว เราไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพิจารณาที่ทรานซิสเตอร์ Q_7 กันก่อน เมื่อ Q_7 นำกระแส ทิศทางกระแสของ Q_7 จะไหลจากอินพุตไปยังกราวด์ ดังนั้นกระแสส่วนใหญ่จากอินพุตจะไหลลงกราวด์ จะมีกระแสส่วนน้อยประมาณ 0.1 ไมโครแอมป์เท่านั้น ที่ไหลเข้าสู่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_8 จากอัตราขยายทำให้ Q_8 นำกระแสได้ถึง 10 ไมโครแอมป์ ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสทางอินพุต และลักษณะของกระแสทางเข้าที่พุกนั้นจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสทางอินพุต สรุปแล้ววงจรกลับทิศทางกระแสนี้จะให้กระแสทางอินพุตและเข้าที่พุกเท่ากัน เพียงแต่ทิศทางของกระแสเข้าที่พุกจะไหลตรงกันข้ามกับกระแสอินพุตเท่านั้น

สุดท้ายเราก็จะต่อวงจรกลับทิศทางกระแสนี้เข้ากับวงจรในรูปที่ 2.3 เราก็จะได้วงจรภายในของออปแอมป์ดังรูปที่ 3 ซึ่งวงจรกลับทิศทางกระแสนี้จะถูกขับโดยกระแสจากขานอนอินเวอร์ตตั้งอินพุต ส่วนขาอินเวอร์ตตั้งนั้นจะต่อเข้ากับวงจรถยายโดยตรง ที่ขาเบสของ Q_1 กระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ขาอินเวอร์ตตั้งลบด้วยกระแสที่ขานอนอินเวอร์ตตั้ง หรือเท่ากับความแตกต่างของกระแสที่ขาอินพุตทั้งสองนั่นเอง



รูปที่ 3 เป็นวงจรภายในของออปแอมป์แต่ละตัวใน LM3900

หลักการขยายทั้งหมดที่กล่าวมาก็คือ การขยายความแตกต่างของกระแส

เอกสารนี้หรือ Norton's differential amplifier นั้นเอง ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถทำให้วงจรทำงานเป็นวงจรขยายความแตกต่างของแรงดันแบบธรรม-
ดาได้ โดยใส่ความต้านทานค่าสูงๆ อนุกรมเข้ากับขาอินพุทของออปแอมป์ทั้งสองข้าง
เมื่อมีแรงดันอินพุทเข้ามาก็จะเกิดกระแสไหลผ่านความต้านทานตามค่าของแรงดัน
กระแสนั้นก็คือ กระแสอินพุทที่ใช้กับนอร์ตันออปแอมป์นั่นเอง

เมื่อกระแสอินพุทที่ i_i มีค่ามากกว่า 30 นาโนแอมป์ขึ้นไป เอ้าท์พุทของ
ออปแอมป์ LM3900 จะเริ่มสวิตช์สัญญาณในช่วงลบ ซึ่งมีค่าแรงดันประมาณครึ่งหนึ่ง
ของแหล่งจ่าย กระแสไบแอสทางอินพุทจะมีค่าเท่ากับความแตกต่างของกระแส-
หว่างขาอินพุททั้งสอง ซึ่งในออปแอมป์ทั่วไปกระแสไบแอสนี้จะถูกจำกัดให้อยู่ในช่วง
0.85 ถึง 500 ไมโครแอมป์ สำหรับกระแสอินพุทไบแอสของออปแอมป์ LM3900
จะมีค่าประมาณ 10 ไมโครแอมป์

การประยุกต์ใช้งานนอร์ตันออปแอมป์

วงจขยายแบบเชิงเส้น

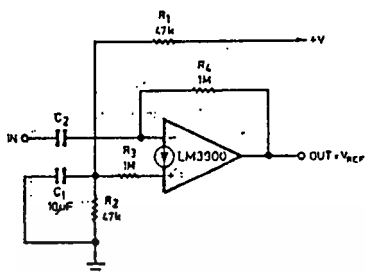
การใชงานออปแอมป์ในลักษณะเชิงเส้น ออปแอมป์จะถูกไบแอสแบบธรรมดา ดังนั้น
เอ้าท์พุทจะให้ค่าแรงดันเป็นครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายอย่างสม่ำเสมอโดยจัดวงจรให้
สามารถสวิตช์สัญญาณได้สูงสุดโดยไม่ผิดเพี้ยน เมื่อออปแอมป์ถูกไบแอสในลักษณะที่
เป็นเชิงเส้น จะจัดวงจรให้กระแสทางเอ้าท์พุทป้อนกลับมายังขาอินเวอร์ตติ้งอินพุท
โดยผ่าน R_4 ทำให้เกิดอัตราการขยายแบบวงจรปิดขึ้น ในรูปที่ 4
 R_1, R_2 และ C_1 จะจัดแบ่งแรงดันครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิง
ให้ R_3 ซึ่งจะใช้กระแสที่ไหลผ่าน R_3 นี้เป็นกระแสอ้างอิงหรือกระแสที่ใช้เปรียบ
เทียบกับกระแสอินพุท

ในรูปที่ 5 R_2 และ R_3 จะไบแอสให้เอ้าท์พุทมีค่าแรงดันเป็นครึ่งหนึ่งของ
แหล่งจ่ายสัญญาณ input ใช้เข้าที่ขา inverting โดยผ่าน R_1 และอัตราขยาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

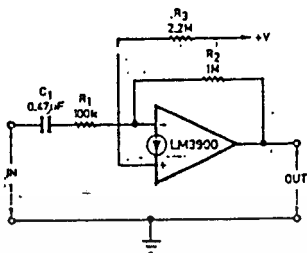
แรงดันจะถูกกำหนดโดยอัตราส่วน R_2/R_1 ดังนั้น จะเห็นได้ว่า วงจรนี้ถูกให้อัตราขยายแรงดันแบบกลับเฟสมีค่าเท่ากับ 10 เท่า

วงจรรอปแอมป์ของ LM3900 มี SLEW RATES เพียง 0.5 volt/ms จึงมีย่านการใช้งานที่จำกัดมาก รูป 6 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มย่านการใช้งาน โดยต่อทรานซิสเตอร์ Q1 เข้าที่ output และจัดอุปกรณ์ทางด้าน input ใหม่ให้เป็น วงจรมาตรฐานที่มีอัตราขยายแรงดันเป็น 100 เท่า ใช้ในย่านความถี่ 200 KHZ เนื่องจากวงจรที่จัดใหม่มีอัตราขยายสูง เสถียรภาพของวงจรจึงต่ำ ถ้าใส่ R_7 และ C_2 เข้าไปในวงจร ย่านความถี่ที่ใช้งานจะลดลงเล็กน้อยแต่สามารถแก้ไข เสถียรภาพของวงจรให้ดีขึ้นได้จากรูปที่ 6 สามารถแก้วงจรให้มีการสวิงแรงดัน เข้าที่พุกได้ถึง 150 V_{pp} โดยการจ่ายไฟ DC ขนาด 150 โวลต์ ให้ Q₁ ต่างหาก สมมติให้เอาท์พุทมีแรงดันประมาณ 75 โวลต์ก็จะเกิดกระแสขนาด 7.5 ไมโครแอมป์ ไหลผ่าน R_2 ไปยังขานอนอินเวอร์ตตั้งซึ่งในความเป็นจริงการไบแอสที่ถูกต่อในวงจร ขยายชนิดไม่กลับเฟสนี้ค่ากระแส 7.5 ไมโครแอมป์ จะต้องถูกป้อนไปยังขา อินเวอร์ตตั้ง LM3900 ถ้าเราต่อความต้านทานขนาด 1 เมกกะโอห์ม อนุกรม ระหว่างเอาท์พุทกับขาอินเวอร์ตตั้ง และให้สัญญาณอินพุทที่ขานอนอินเวอร์ตตั้งโดย ผ่านตัวต้านทานขนาด 1 เมกกะโอห์ม ตามรูป 7 ก็จะได้วงจรบัฟเฟอร์แบบไม่กลับ เฟสสัญญาณมีอัตราขยายเท่ากับ 1

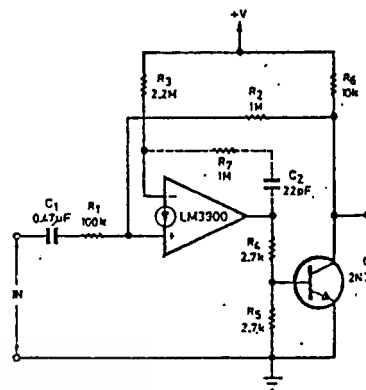
การประยุกต์ใช้วงจร เปรียบเทียบ



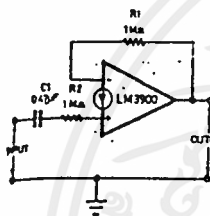
รูปที่ 4 วงจรขยายแบบเชิงเส้น ที่ใช้ค่าเอาต์พุตที่เท่ากัน แรงดันอ้างอิง (V_{ref})



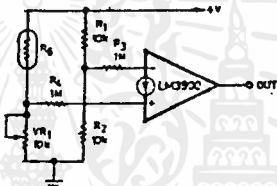
รูปที่ 5 วงจรขยายโวลต์กลับชนิดกลับเฟส ที่ถูกไบแอสโดยแหล่งจ่าย



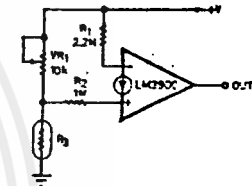
รูปที่ 6 วงจรขยายที่ได้รับผลกระทบป้อนกลับความถี่ที่ใช้



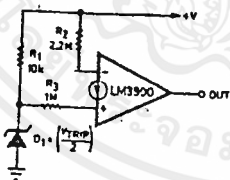
รูปที่ 7 วงจรเปรียบเทียบ ชนิดไม่กลับเฟสอัสซิมมาตร



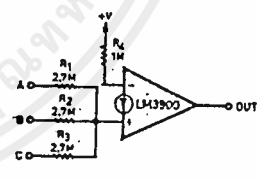
รูปที่ 10 วงจรตรวจสอบอุณหภูมิที่อิงกับ T_{ref}



รูปที่ 11 วงจรตรวจสอบอุณหภูมิที่ตัดทอนกำหนด



รูปที่ 12 วงจรตรวจสอบไฟตก



รูปที่ 13 วงจรแอนดเกท 3 อินพุต

รูปที่ 10-13 แสดงการนำวงจรเปรียบเทียบแรงดันไปประยุกต์ใช้ รูป 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่ในวงกว้าง (over-temperature switch) เอาท์พุทจะให้ลอจิก 1 เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้ง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้มาตรฐาน วงจรจะให้แรงดันอ้างอิงที่มีค่าครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายเป็นกระแสอ้างอิงที่ขาอินเวอร์ตตั้งโดยผ่านความต้านทาน R_2 ขนาด 1 เมกกะโอห์มและกระแสที่ปรับได้ป้อนที่ขาอนอินเวอร์ตตั้งโดย R_4 และ R_5 เป็นเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC (Negative Temperature-Coefficient) ดังนั้นแรงดันที่จุดต่อของ VR_1 และ R_5 จะสูงตามอุณหภูมิออปแอมป์จะให้เอ้าท์พุทเป็นลอจิก 1 เมื่อแรงดันที่จุดต่อนั้นสูงกว่าครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายโดยที่ VR_1 เป็นตัวปรับอุณหภูมิมาตรฐาน

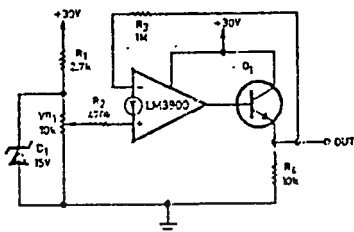
รูป 11 คือวงจร under-temperature switch กระแสอ้างอิงจะมาจากแหล่งจ่ายผ่าน R_1 มาที่ขาอินเวอร์ตตั้ง และกระแสที่ปรับตั้งจะถูกป้อนจากจุดต่อของ VR_1 และ R_4 ($R_1 = 2R_2$) กระแสที่ใช้จะขึ้นกับแหล่งจ่ายว่ามีแรงดันมากน้อยเพียงใด ดังนั้นอุณหภูมิก็จะแปรผันกับแหล่งจ่าย

วงจรตรวจสอบไฟตกในรูป 12 จะให้เอ้าท์พุทเป็นลอจิก 1 เมื่อแหล่งจ่ายไฟตกลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด (Zener diode) ถ้าให้ D_1 มีแรงดันซีเนอร์เท่ากับ 5.6 โวลต์ จะได้เอ้าท์พุทเป็น 1 เมื่อแรงดันที่แหล่งจ่ายตกเหลือ 11 โวลต์ จุด V_{ref} ที่คงที่นี้สามารถปรับโดยใส่ R_2 (820 K) เข้าไปใหม่ อนุกรมกับ VR (470 K) นอกจากนี้ยังใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันในด้านลอจิกได้อีก

วงจรควบคุมแรงดัน

เราสามารถที่ใช้ LM3900 เป็นเรกูลเลเตอร์ได้ดังรูป 14 ขาอนอินเวอร์ตตั้งของออปแอมป์ต่อลงกราวด์ วงจรใช้แรงดันที่ขาอินเวอร์ตตั้งเป็นตัวควบคุม อัตราขยายแรงดันคือ VR_1/R_1 วงจรนี้จะให้การควบคุมที่ดีสามารถจ่ายกระแสได้หลายมิลลิแอมป์ให้เอ้าท์พุทได้สม่ำเสมอ และไม่ต้องมีการชดเชยอุณหภูมิ

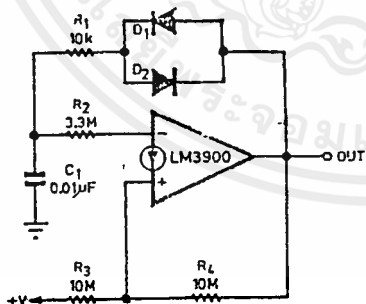
รูป 15 คือวงจรปรับแรงดันที่ใช้โอปแอมป์มีอัตราขยายเท่ากับ 2 (R_2/R_1)



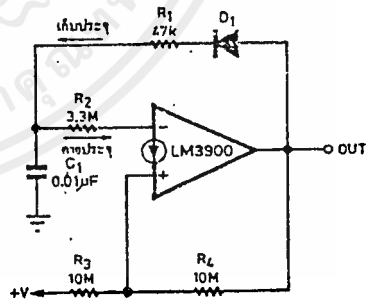
รูปที่ 15 วงจรควบคุมแรงดัน ที่ใช้การปรับแรงดันในอัตราที่ทุก

แรงดันอินพุทปรับได้ระหว่าง 0-15 โวลต์ โดย VR₁ ส่วนทางเข้าที่พุทมีค่าระหว่าง 0.5-30 โวลต์ และยังสามารเพิ่มกระแสได้อีกโดยต่อทรานซิสเตอร์ขยายอีกทีหนึ่ง

วงจรกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 20 วงจรกำเนิดสัญญาณที่สามารถปรับค่าความถี่ได้



รูปที่ 21 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่มีค่าที่ถี่เท่ากับ 1800

รูป 19 คือวงจรถ่ายสัญญาณสี่เหลี่ยมขนาด 1 KHz เมื่อเข้าพุทเป็น 1

เอกสารนี้ R₃ และ R₄ ก็มีอันต่อขนานกัน การศึกษาจะเก็บประจุผ่าน R₃ ประจันกระทั้งกระแสไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่าน R_2 เท่ากับกระแสที่ขานอนอินเวอร์ตติ่ง และแรงดันที่ C_1 เป็น 2 ใน 3 ของแหล่งจ่าย เอ้าท์พุทของวงจรถะสลับการทำงานโดยให้สถานะลอจิก 0 จากนั้น C_1 จะคายประจุผ่าน R_2 และ R_4 เสมือนถูกตัดออกจากวงจร กระแสที่ขานอนอินเวอร์ตติ่งกำหนดโดย R_2 เมื่อ C_1 คายประจุจนกระแสที่ R_2 ต่ำกว่ากระแสที่ R_4 เล็กน้อย ช่วงนี้แรงดันคร่อม C_1 มีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของแหล่งจ่าย เป็นจุดที่วงจรถะสลับการทำงานและให้เอ้าท์พุทเป็น 1 อีกครั้ง จากรูป 19 วงจรใช้กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่น้อยเพราะมีค่า slew rates เพียง 0.5 v/us output waveform ที่ได้จะใช้เวลาขึ้น-ลงของขอบซ้ำ จากรูป 20 C_1 จะเก็บประจุผ่าน R_1-D_1 และ VR_1 ช่วงที่มีค่ามาก และคายประจุผ่าน R_1-D_2 และ VR_1 ช่วงที่มีค่าน้อย ค่า duty cycle สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในช่วง 1:10 ถึง 10:1 โดยการปรับ VR_1

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่มีมอเตอร์ไฟฟ้าประกอบอยู่ เช่น เครื่องสูบน้ำ ตู้เย็น เป็นต้น โดยธรรมชาติของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น อินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor) ที่ใช้กับไฟอซีเฟลเดียว หรือมอเตอร์ที่ใช้กับไฟดีซีก็ตาม จะเกิดความเสียหายขึ้นได้ถ้าหากได้รับแรงไฟเลี้ยงผิดปกติ ไม่ว่าจะ เป็นกรณีที่ไฟเกินหรือไฟตกก็ตาม ในประเทศไทยโดยเฉพาะในชนบทจะพบอยู่บ่อยครั้งว่าค่าของแรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ผิดปกติ วงจรต่อไปนี้จะทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นเสียหายอันเนื่องมาจากภาวะที่แรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ผิดปกติ ในกรณีที่ไฟเกินก็จะมีกระแสไหลเข้าขดลวดของมอเตอร์จำนวนมากขึ้น ทำให้เกิดความร้อนสูง ฉนวนที่หุ้มลวดทองแดงที่พันอยู่อาจจะละลายทำให้เกิดการลัดวงจร ในกรณีของมอเตอร์ที่ใช้ไฟตรงก็อาจทำให้แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ชำรุดได้ ในกรณีของไฟตกจะทำให้แรงบิด (Torque) ลดลงทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงซึ่งจะมีผลทำให้แรงเคลื่อนไฟเหนี่ยวนำต้านมีค่าลดลง (Back-

เอกสารนี้ (emf) ทำให้กระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์มากขึ้นนั้น ไม่โดยเฉพาะมอเตอร์ที่จุดไหลคดหนักๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น เครื่องปรับอากาศ กระแสที่ไหลเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดความร้อนจนอาจทำให้เกิดการลัดวงจรได้เช่นเดียวกัน

ทฤษฎีการทำงานของวงจรป้องกัน

ในรูปที่ 1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบป้องกันความเสียหายเนื่องจากแรงดันของไฟเพาเวอร์ไลน์ผิดปกติ วงจรโอเวอร์โวลเตจเซ็นเซอร์ (over-voltage sensor) และวงจร Under Voltage Sensor จะทำการตรวจเช็คค่าแรงดันของไฟเพาเวอร์ไลน์ผิดปกติหรือไม่

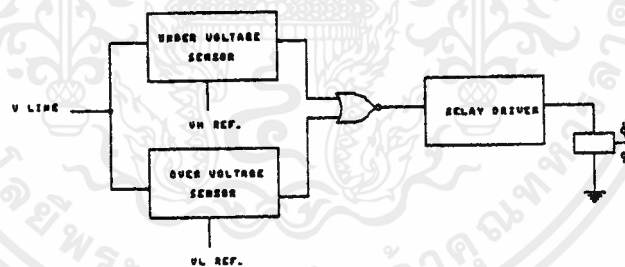


FIG. 1

ในสภาวะปกติ แรงดันของไฟเพาเวอร์ไลน์จะมีค่าต่ำกว่า V_H Ref (over Voltage Reference) และมีค่าสูงกว่า V_L Ref (Under Voltage Reference) เอาท์พุทของวงจรโอเวอร์โวลต์เตจเซ็นเซอร์ X และ เอาท์พุทของวงจรอันเดอร์เซ็นเซอร์ Y จะเป็น "ศูนย์" ทั้งคู่ เมื่อนำเอาท์พุท X และ Y มาผ่าน NOR เกท เอาท์พุทของ NOR เกทก็จะเป็น "หนึ่ง" วงจรขับรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยไม่หวังผลตอบแทนใด ๆ ในนามของสถาบันฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะจ่ายกระแสให้คอยล์ของรีเลย์ หน้าสัมผัสของรีเลย์ก็จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าปิดวงจร สามารถทำงานได้ (ส่วนของหน้าสัมผัสของรีเลย์ไม่ได้แสดงไว้)

สมมติว่าแรงดันของไฟเพาเวอร์ไลน์เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ จนมีค่ามากกว่า V_{H_Ref} เอ้าท์พุทของโอเวอร์โวลท์เดเจเช็นเซอร์ก็จะเป็น "หนึ่ง" ซึ่งจะทำให้เอ้าท์พุทของ NOR เกทเป็น "ศูนย์" วงจรขั้วรีเลย์จะไม่ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเปิดวงจรตัดอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นออกจากเพาเวอร์ไลน์ ในทางตรงข้ามถ้าแรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ลดลงต่ำกว่า V_{L_Ref} เอ้าท์พุทของอันเดอร์โวลท์เดเจเช็นเซอร์ก็จะเป็น "หนึ่ง" ซึ่งก็จะทำให้เอ้าท์พุทของ NOR เกทเป็น "ศูนย์" วงจรขั้วรีเลย์ก็จะไม่ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์ก็จะตัดอุปกรณ์นั้นออกจากเพาเวอร์ไลน์ นั่นคือ อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นจะทำงานเฉพาะในขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดของมันเท่านั้น คือไม่เกิน V_{L_Ref} และไม่ต่ำกว่า V_{H_Ref} ดังในรูปที่ 2 ซึ่งค่าของ V_{H_Ref} และ V_{L_Ref} เราสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการ

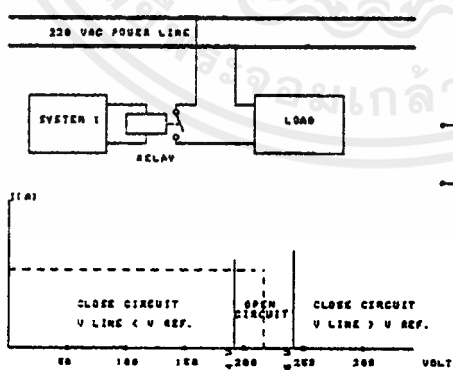


FIG. 2

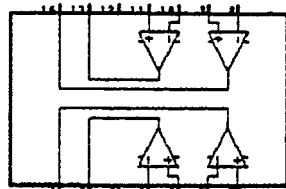
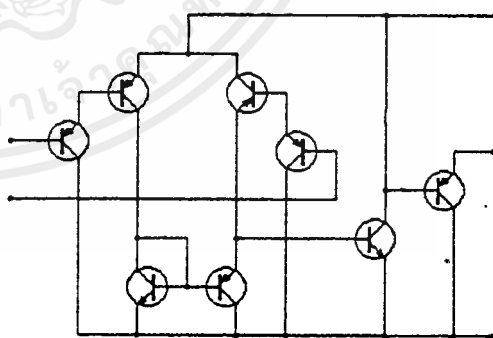


FIG. 3

2.4 Monolithics Comparator

LM 339 เป็นไอซีโมโนลิธิคส์ (Monolithics) ภายในประกอบด้วย วงจรเปรียบเทียบแรงดันจำนวน 4 ชุด แต่ละชุดแยกกันทำงานได้อย่าง อิสระ วงจรทางด้านอินพุทเป็นวงจรขยายความแตกต่างซึ่งใช้ PNP ทรานซิสเตอร์ ซึ่งทำให้สามารถใช้คัทคาอ์อิง V_{cc} ค่าต่ำๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงชุดเดียวได้ วงจรทางด้านเอาท์พุทเป็นแบบโอเพ่นคอลเล็คเตอร์ ดังในรูปที่ 5

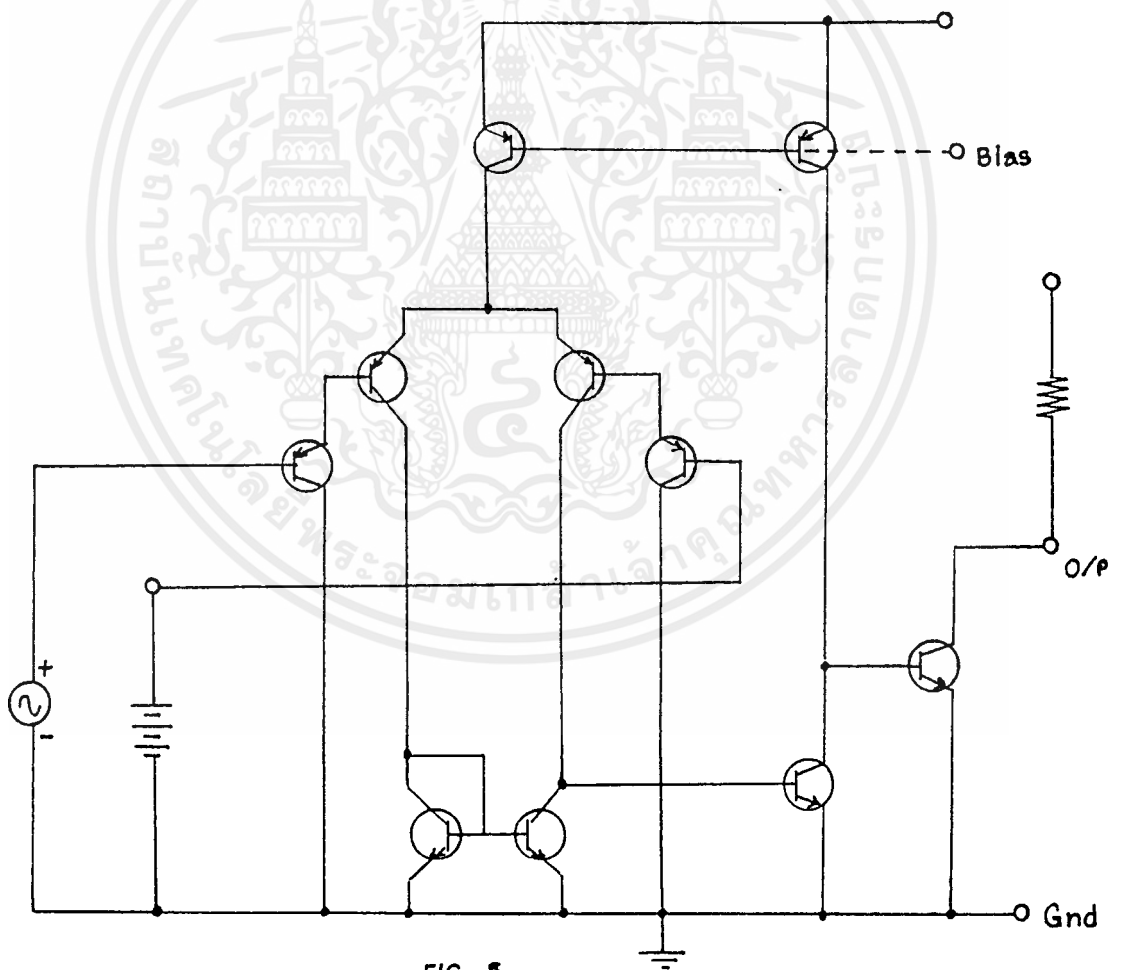


FIG. 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการ ทำงานของ LM 339 ประมาณ 200 นาโนวินาที (Response time) รูปที่ 5 เป็นวงจรเปรียบเทียบแต่ละชุดภายในไอซี LM 339 ภาค input ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q-W ประกอบกันเป็นวงจรขยายความแตกต่าง Q_5 ซึ่งต่ออยู่ที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_2 และ Q_4 ทำหน้าที่เป็นวงจรจ่ายกระแสคงที่ให้กับภาคอินพุตทั้งหมด Q_5 และ Q_7 ทำหน้าที่เป็น Active load ให้กับวงจรขยายความแตกต่าง เพื่อให้ได้อัตราขยายที่สูง ภาคขยายที่สองคือ Q_6 ซึ่งเป็น วงจรขยายคอมมอนอิมิตเตอร์โดยมี Q_5 ทำหน้าที่เป็นแอกทีฟโหลดให้กับ Q_6 เพื่อให้ได้อัตราขยายที่สูง วงจรจ่ายกระแสคงที่ Q_5 และ Q_6 ได้รับไบอัสร่วมกันมาจากวงจรไบอัส ซึ่งจ่ายไบอัสให้กับวงจรเปรียบเทียบส่วนที่เหลืออีก 3 วงจรด้วย Q_{10} ทำหน้าที่เป็นแอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นแบบโอเพ่นคอลเล็คเตอร์ ซึ่งทนกระแสได้ประมาณ 15 มิลลิแอมป์

สมมุติว่าเรานำมาใช้งานเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบไม่กลับเฟส ดังในรูปที่ 4 เมื่ออินพุต v_{in} มีคักตมากกว่าคักตาอ้างอิง $v_{reference}$ (น้อยกว่า v_{in}) จะทำให้กระแส I_{B1} ไหลได้มากกว่า I_{B2} จะทำให้ Q_4 นำกระแสได้มากกว่า Q_2 แต่เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน Q_6 และ Q_7 จะมีค่าเกือบเท่ากัน (วงจร current mirror) การที่ Q_4 นำกระแสได้มากกว่า Q_2 ทำให้มีกระแสส่วนเกินไหลเข้าสู่เบสของ Q_6 จะทำให้ Q_6 นำกระแสได้ กระแสที่ Q_6 จ่ายลงมาจะถูก Q_8 ชอร์ตลงกราวด์ไปหมด Q_{10} จะไม่นำกระแสเพราะไม่มีกระแสเบส การที่ Q_{10} ไม่นำกระแสก็จะทำให้คักตาที่แอ้าท์พุทมีค่าเกือบเท่ากับ $+v_{B1}$ (กระแสที่ไหลผ่าน Q_{10} เป็นศูนย์ ทำให้คักตาตกคร่อม R_1 เป็นศูนย์ คักตาที่ขาคอลเล็คเตอร์ของ Q_{10} จะมีค่าเท่ากับ $+v_{B1}$) ในทางตรงข้ามถ้าอินพุต v_{in} มีคักตาน้อยกว่าคักตาอ้างอิง $v_{reference}$ ก็จะทำให้กระแส I_{B1} ไหลได้มากกว่า I_{B2} ทรานซิสเตอร์ Q_2 จะนำกระแสมากกว่า Q_4 กระแสที่ไหลผ่าน Q_4 จะไหลผ่าน Q_7 ลงกราวด์ไปหมด จะไม่มีกระแสส่วนเกินไหลไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารของ Q_6 ใช้ได้ในขณะนี้นักกระแสไหลผ่าน Q_6 นั้นมากกว่า Q_4 ไปทำให้ Q_6 ไม่ทำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน กระแสที่ Q_2 จ่ายลงมาก็จะไหลเข้าสู่เบสของ Q_{10} ทำให้ Q_{10} นำกระแส คัดดาที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q_{10} หรือที่เอ้าท์พุทก็จะมีคัดดาเกือบเท่ากราวด์ นั่นคือ จะได้ว่า เทื่ออินพุท v_{in} มีคิตตามากกว่าคิตดาอ้างอิง v_{ref} เอ้าท์พุทก็จะมี คิตดา $+v_H$ หรือโลจิกหนึ่ง ($Q_{10} \text{ OFF}$) และเมื่อ v_{in} มีคิตดา น้อยกว่า คิตดาอ้างอิง v_{ref} เอ้าท์พุทจะมีคิตดากราวด์หรือโลจิกศูนย์ ($Q_2 = \text{saturated}$) ถ้าเราสลับขาอินพุท v_{in} กับคิตดาอ้างอิง v_{ref} ก็จะได้การทำงานลักษณะตรง ข้าม คือเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส

LM 339 โวลท์เตจคอมพาราเตอร์

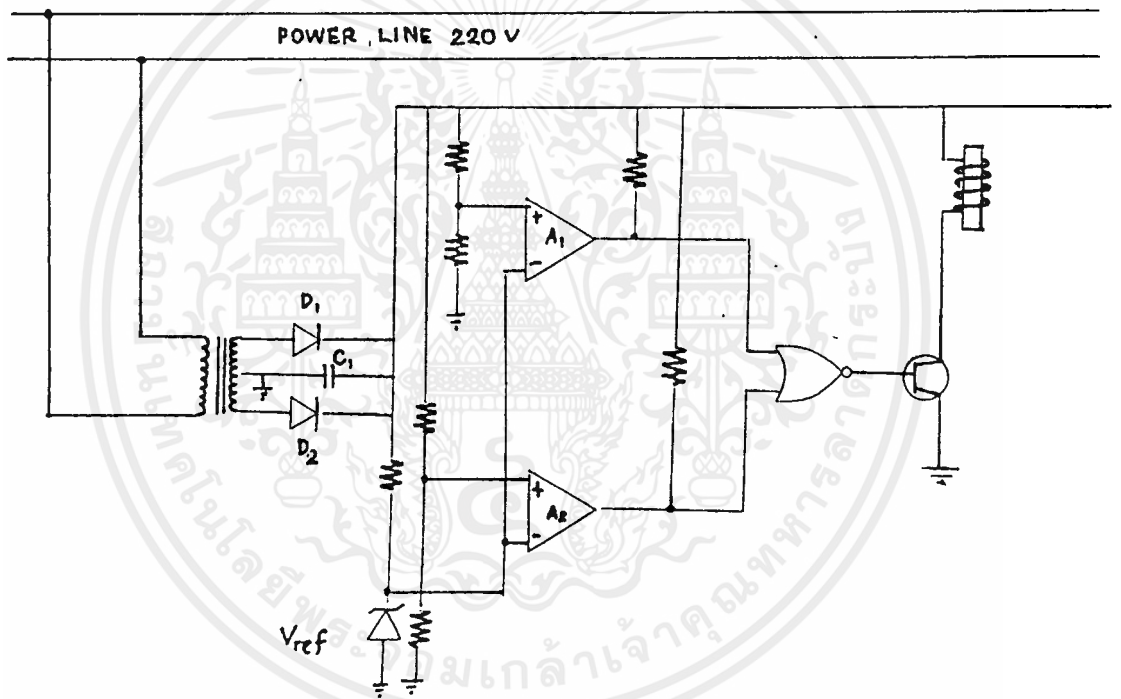
LM 339 เป็นวงจรรวมโมโนลิธิค (Monolithic) ได้ รับการออกแบบเพื่อนำ มาใช้งานเป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) มีความเร็ว ในการทำงานปานกลางประมาณ 200 นาโนวินาที (ns) ภายใน LM 339 1 แพคเกจ (Package) ประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดันจำนวน 4 ชุด ซึ่ง แต่ละชุด แยกกันทำงานได้อย่างอิสระ วงจรทางด้านเอ้าท์พุทเป็นแบบโอเพ่นคอล- เล็คเตอร์ (Open Collector) ดังในรูปที่ 3 ดังนั้นในการใช้งานโดยทั่วไปมักจะ ต้องมี R ต่ออยู่ระหว่างเอ้าท์พุทกับแหล่งจ่ายไฟ V_{cc} เสมอ

วงจรตามแนวความคิดจากรูปที่ 1

จากหลักการต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 จะได้ วงจรขึ้นมาดังในรูปที่ 7.1 จะทำหน้าที่เป็นโอเวอร์โวลท์เตจเซ็นเซอร์ และ A_2 จะทำหน้าที่เป็นอันเดอร์โวลท์เตจเซ็นเซอร์ชึเนอร์ไดโอด D_2 ใช้เป็นตัวสร้าง แรงไฟฟ้าอ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบทั้งสอง เมื่อแรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์

เอกสารมีค่าใกล้เคียงกับปกติรับ เอ้าท์พุทของวงจรเปรียบเทียบทั้งที่ X และ Y ก็จะเป็น 0 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"ศูนย์" ทั้งคู่ เอ้าท์พุท Z และ NOR เกทก็จะเป็น"หนึ่ง" Q_1 ก็จะนำกระแสรีเลย์ก็
 จะทำงาน เมื่อใดก็ตามที่แรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ผิดปกติ ในกรณีที่ไฟเกินที่จุด
 X ก็จะเป็น"หนึ่ง" หรือในกรณีของไฟตกที่จุด Y ก็จะเป็น "หนึ่ง" ไม่ว่า X หรือ Y
 จะเป็น"หนึ่ง" ก็จะทำให้เอ้าท์พุท Z เป็น"ศูนย์" Q_1 จะไม่ทำงาน รีเลย์ก็จะ
 ตัดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เราป้องกันออกจากเพาเวอร์ไลน์ ส่วนของ NOR เกท เราสามารถ
 ทำขึ้นมาได้จากไดโอดร่วมกับไอซีเปรียบเทียบแรงดัน LM 339



รูปที่ 7 วงจรป้องกันจากแนวความผิดปกติของภาคแรงดัน รูปที่ 7

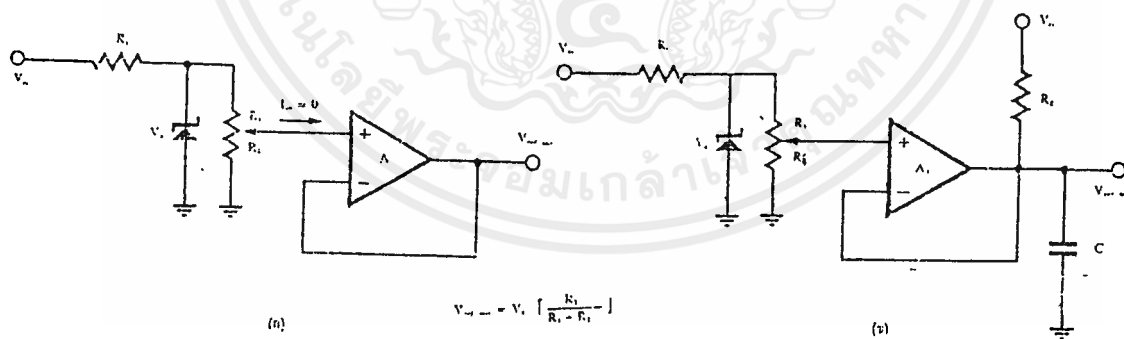
ในทางปฏิบัติการทำงานของวงจรในรูปที่ 7 จะไม่เป็นไปตามที่เราคาดคิด
 ไว้ ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผล 2 ประการ ประการแรก จุดที่วงจรเปรียบเทียบ
 เริ่มทำงานอาจไม่ตรงกับค่าที่เราต้องการเนื่องจากเราใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัว
 สร้างแรงดันอ้างอิง โดยปกติค่าเบรคความไวของซีเนอร์ไดโอดมักจะมี

เอกสารนี้ค่าผิดไปจากที่ระบุไว้ประมาณ 10% สำหรับซีเนอร์ไดโอดที่อยู่ในสเป็คแค่อุปกรณ์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีขายกันอยู่ในตลาดอิเล็กทรอนิกส์บ้านเรามักจะเป็นอุปกรณ์ที่ไม่อยู่ในสเปคค่าเบรค
 ดาวน์โวลต์เตจของซีเนอร์ไดโอดอาจจะคลาดเคลื่อนไปได้ถึง +30 % หรือมากกว่า

ประการที่สอง วงจรเปรียบเทียบอาจจะออสซิลเลท อันเนื่องจากอิมพีแดนซ์
 ของทรานส์ฟอร์มเมอร์ T_1 อิมพีแดนซ์ของทรานส์ฟอร์มเมอร์นี้เกิดจากความต้าน-
 ทานของลวดทองแดงที่นำมาใช้พันและรีแอคแทนซ์ที่เกิดจากขดลวดนั้น (X_L) ปัญหา
 การออสซิลเลทนี้จะเกิดขึ้นกับวงจรแอนเดอร์โวลต์เตจเซ็นเซอร์ (A_1) กล่าวคือใน
 ขณะที่ไฟเพาเวอร์ไลน์มีค่าปกติ รีเลย์ก็จะทำงาน สมมุติว่า คอยล์ของรีเลย์ใช้กระแส
 100 มิลลิแอมป์อิมพีแดนซ์ของทรานส์ฟอร์มเมอร์มีค่า 1 โอห์ม และส่วนของ
 วงจรเปรียบเทียบกินกระแส 10 มิลลิแอมป์

วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้



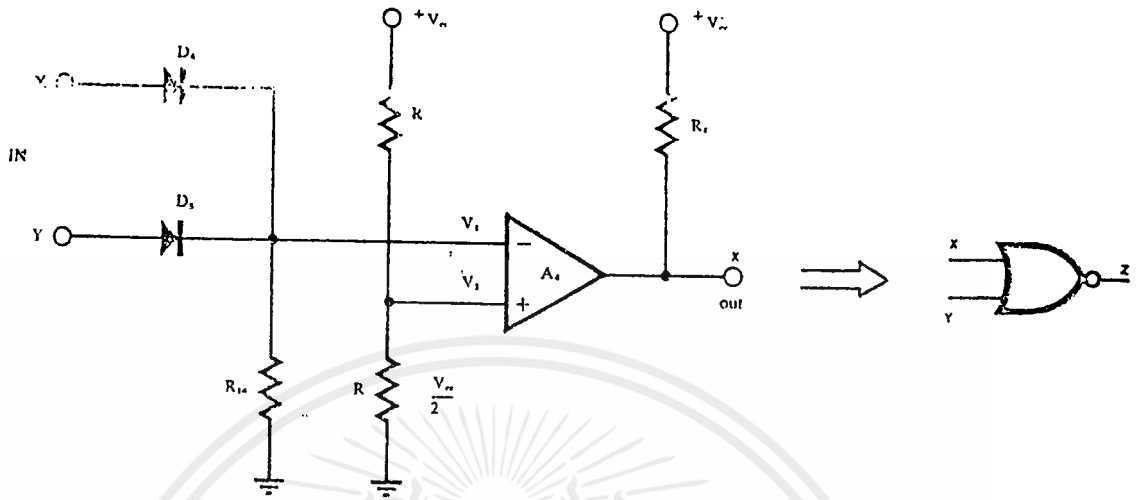
รูปที่ 10 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้

ในรูปที่ 10 ก. เป็นวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้ซึ่งใช้ออปแอมป์ ซึ่งต่อวงจรลักษณะเป็นบัฟเฟอร์หรือโวลท์เตจฟอลโลเออร์ คักดาที่เข้าที่พหุจะมีค่าเท่ากับคักดาที่ขาอนอินเวิร์ทติงอินพุทเนื่องจากเข้าที่พหุอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าต่ำมาก ค่าของคักดา ที่เข้าที่พหุจะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามโหลด (โหลดของแรงดันอ้างอิง คือ วงจรเปรียบเทียบกับนั่นเอง)

พิจารณาการทำงานของวงจรเปรียบเทียบกับจะพบว่า แท้ที่จริงวงจรเปรียบเทียบกับนี้คือการนำออปแอมป์มาทำงานโดยใช้โอเพ่นลูปเกนของมัน ดังนั้นถ้าเราจัดวงจรโดยให้มีการป้อนกลับแบบลบและเพิ่มอุปกรณ์บางตัวเข้าไปเพื่อชดเชยเฟส เราก็สามารถนำวงจรเปรียบเทียบกับมาทำงานแทนออปแอมป์ได้ ดังในรูปที่ 10(ข) คาปาซิเตอร์ C ที่ต่ออยู่ที่ขาเข้าที่พหุของ A_u ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวชดเชยเฟสในออปแอมป์

วงจร NOR เกท

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 เราต้องการ 2 อินพุท NOR เกทอีก 1 ตัว ถึงแม้ว่าจะมีดีจิจิตอลไอซีที่ทำหน้าที่เป็น NOR เกทโดยตรง (เช่น 7402 ในตระกูล ที ที แอล และ 4001 ในตระกูลซิมอส) แต่ไอซีเหล่านี้ 1 ตัว จะประกอบด้วย NOR เกท ถึง 4 ชุด ซึ่งเรามีความต้องการใช้เพียงชุดเดียว ดังนั้นการนำดีจิจิตอลไอซีที่เป็น NOR เกทมาใช้จึงเป็นการไม่ประหยัด ในขณะที่เราได้ใช้วงจรเปรียบเทียบกับไปแล้ว 3 ตัว ซึ่งยังคงมีเหลืออีก 1 ตัว ที่ยังมีได้นำมาใช้งาน โดยการใส่ไดโอดทำงานร่วมกับวงจรเปรียบเทียบกับแรงดัน เราก็จะสามารถสังเคราะห์ NOR เกทขึ้นมาได้ดังในรูปที่ 11



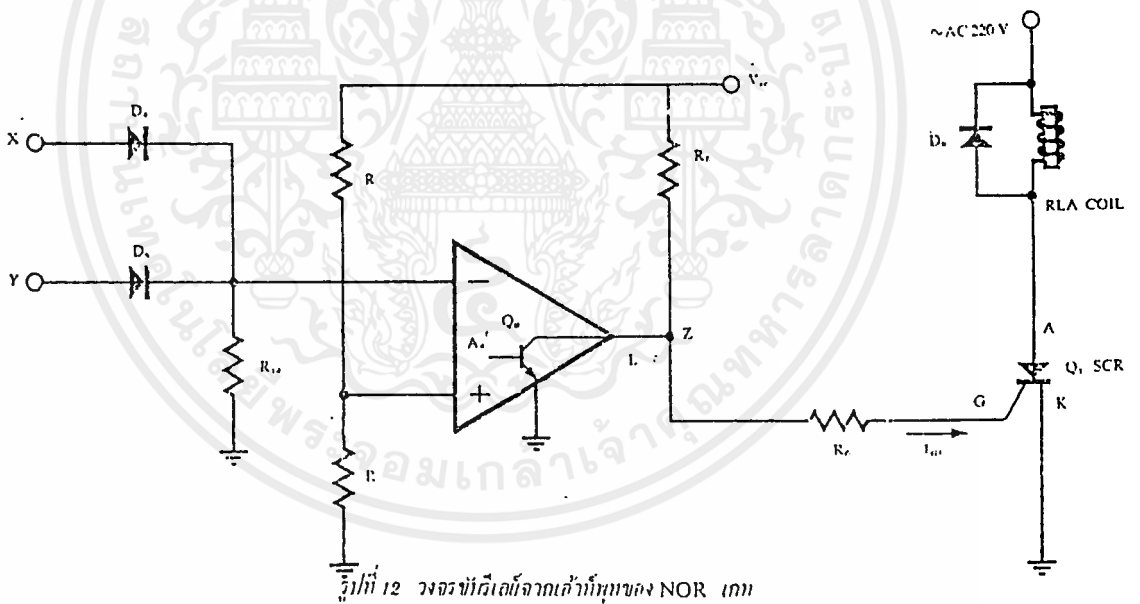
รูปที่ 11 วงจร NOR เกท สร้างขึ้นจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากรูปที่ 11 คัดค่า V_2 ที่ขานอนอินเวอร์ทตั้งอินพุทของออปแอมป์ A_1 จะมีคัดค่าไฟฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่เลี้ยงวงจร V_{cc} ถ้าที่ V_1 ได้รับคัดค่ามากกว่า $V_{cc}/2$ ที่เอาท์พุทก็จะมีคัดค่าใกล้เคียงกับกราวด์ หรือโลจิก "ศูนย์" ถ้าที่ V_1 ได้รับคัดค่าน้อยกว่า $V_{cc}/2$ ที่เอาท์พุทก็จะมีคัดค่าเท่ากับ V_{cc} หรือโลจิก "หนึ่ง" ซึ่งจะเห็นได้ว่า A_1 นี้ทำงานเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบอินเวอร์ทตั้ง โดยมีคัดค่าอ้างอิงเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่เลี้ยงวงจร V_{cc} หรือวงจรดิจิตอลอินเวอร์ทตั้งนั่นเอง ไดโอด D_1, D_2, R_1 ทำหน้าที่เป็น OR เกทเมื่อนำมาต่อเข้ากับอินเวอร์ทเตอร์ก็จะได้คุณสมบัติของ NOR เกทตามต้องการกล่าวคือ ไม่ว่าอินพุท X หรือ Y หรือทั้ง X และ Y ได้รับโลจิก "หนึ่ง" หรือคัดค่า V_{cc} V_1 ก็จะมีมากกว่า V_2 เอาท์พุท Z ก็จะมีคัดค่ากราวด์ หรือโลจิก "ศูนย์" หรือ คัดค่า "กราวด์" V_1 ก็จะน้อยกว่า V_2 เอาท์พุท Z ก็จะมีคัดค่า V_{cc} หรือโลจิก "หนึ่ง"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขั้วรีเลย์

เราสามารถที่จะนำเอาที่พุกของ NOR เกทในรูปที่ 11 มาขับ SCR (Silicon Controlled Rectifier) ได้โดยตรงดังในรูปที่ 12 ส่วนคอยล์ของรีเลย์จะใช้กระแสอย่างมากที่สุดไม่เกิน 300 มิลลิแอมป์ เราสามารถที่จะใช้ SCR ขนาด 0.8 แอมป์ มาทำหน้าที่ขับรีเลย์ได้อย่างสบาย สำหรับ SCR ขนาดเล็ก (ไม่เกิน 4 แอมป์) กระแสเกทที่ใช้ในการกระตุ้น (Trigger) เพื่อให้ SCR นำกระแสโดยทั่วไปประมาณ 500 ไมโครแอมป์ ซึ่งเราสามารถที่จะใช้การกระตุ้นแบบดิซีได้



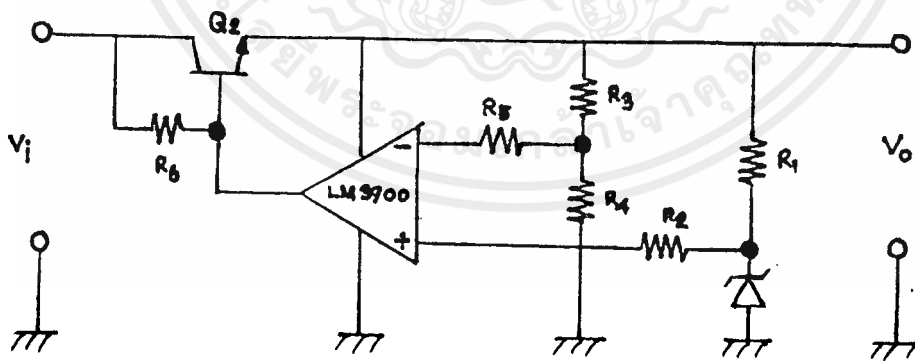
จากรูปที่ 12 Q_0 คือเอาต์พุททรานซิสเตอร์ของวงจรเปรียบเทียบ A_0 ในขณะที่เอาต์พุทของ NOR เกทเป็นลอจิกชนิดหนึ่ง (แรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ปกติ) ทรานซิสเตอร์ Q_0 จะไม่นำกระแสแล้วกระแสก็จะไหลจาก V_{cc} ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้เผยแพร่ได้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ และเมื่อเอ้าท์พุทของ NOR เกทเป็นโลจิกศูนย์ (แรงดันไฟฟ้าของเพาเวอร์ไลน์ ผิดปกติ) ทรานซิสเตอร์ Q_2 จะนำกระแส กระแสที่ไหลผ่าน R_2 ลงมาจะไหลผ่าน Q_2 ลงกราวด์ไปหมด จะไม่มีกระแสไหลไปยังเกทของ SCR ทำให้ SCR ไม่นำกระแส คอยล์ของรีเลย์ก็จะไม่ทำงาน รีเลย์ที่ใช้เป็นรีเลย์ที่ใช้กับไฟเอซี 220 โวลต์ ซึ่งจะมีขดลวดพันอยู่จำนวนมากมาย ทำให้คอยล์ของรีเลย์นี้มีค่าอินดักแทนซ์ (Inductance) สูงมาก ไดโอด D_2 ที่ต่อคร่อมคอยล์ของรีเลย์นั้นทำหน้าที่ป้องกันแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับอันเนื่องจากอินดักแทนซ์ของคอยล์รีเลย์

2.5 การออกแบบวงจร Regulator

ให้ $V_{in} = 20$ ถึง 50 v , $I_L = 180$ A , $I_C = 60$ mA
 $V_o = 18$ V , $I_{R1} = 1$ mA , $H_{FE} = 500$ min



zener = 12 V , $I_{R1} = 1$ mA

$R_1 = 18 - 12 / 1 \text{ mA} = 6 \text{ k}$ ใช้ 5.1 k

$P_{R1} = 1 \text{ mA} \times (18 - 12 \text{ v}) = 6 \text{ mw}$ ใช้ 1/4 w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อที่ 12 v / 180 A ลงเป็น 66.66 k จึงถึง ใช้ 68 k การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ให้ } R_4 = 12 \text{ k}$$

$$V_{R4} = 18 \times R_4 / R_3 + R_4 = 12 \text{ v}$$

$$R_3 = [(18 \times 12 \text{ k}) - (12 \times 12 \text{ k})] / 12 = 6 \text{ k} \text{ ใช้ } 5.1 \text{ k}$$

$$I_B > 60 \text{ mA} / 500 > 0.12 \text{ mA} \quad 0.3 \text{ mA}$$

$$R_E = (V_{I_{B, \min}} - 18) / 0.3 \text{ mA} = (20 - 18) / 0.3 \text{ mA} = 6.2 \text{ k} \text{ ใช้ } 5$$

Q_2 ใช้ เบอร์ D1278 มี spec ดังนี้

$$BV_{CE0} = 80 \text{ v}, I_C = 3 \text{ A}, P_O = 30 \text{ w}, h_{FE} = 500_{\min}, t_o = 220$$

2.6 Switch Transistor

เมื่อทรานซิสเตอร์เข้าสู่ภาวะอิ่มตัว แรงดัน V_{CE} ที่เกิดขึ้นยังไม่มีค่าเป็นศูนย์ จะมีค่าประมาณเท่ากับ $V_{CE, \text{sat}}$ (ประมาณ 0.2 โวลต์)

เงื่อนไขของการทำให้ทรานซิสเตอร์อ่อนหรืออิ่มตัว เมื่อ

1. ค่า $I_B > I_C / h_{FE}$ จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว
2. ทรานซิสเตอร์จะอิ่มตัวเมื่อทำการไบแอสแรงดันระหว่างเบสอิมิตเตอร์ชนิดไบแอสตรง

เงื่อนไขของการทำให้ทรานซิสเตอร์ออฟหรือคัทออฟ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นรอยต่อระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ที่จะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับหรือ V_{BE} มีค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ก็เป็นศูนย์ ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระแสเบสมีค่าเท่ากับศูนย์

สิ่งแรกในการออกแบบทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ คือ ทราบค่า $\beta_{FE, min}$ หรือค่า β_{FE} ที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ ทรานซิสเตอร์จะอิ่มตัวเมื่อ $I_C/I_B = \beta_{FE, min}$ เช่นเมื่อต้องการออกแบบวงจรโดยที่ $I_B = 0.2 \text{ mA}$ ค่า $\beta_{FE, min}$ จะสามารถหาได้จาก

$$\text{สมมติ } I_C = V_{CC}/RL = 10 \text{ mA}$$

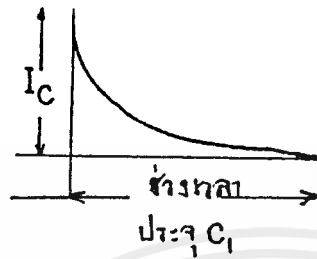
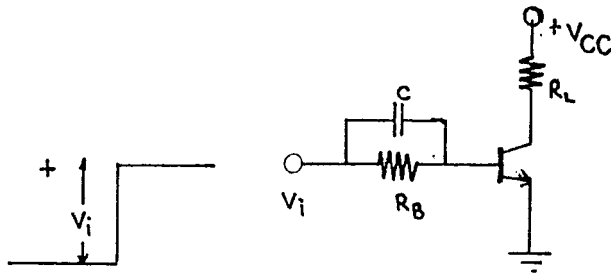
$$\text{และ } \beta_{FE, min} = I_C / 0.2 \text{ mA} = 10 \text{ mA} / 0.2 \text{ mA} = 50$$

นั่นหมายความว่าเราใช้ทรานซิสเตอร์อะไรก็ได้ที่มีอัตราขยาย $\beta_{FE} > 50$ จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัวได้

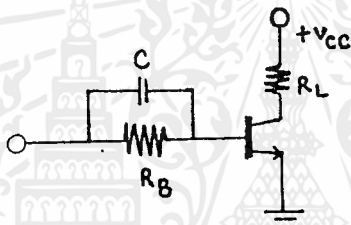
การเพิ่มความเร็วในการสวิตช์

ถ้าต้องการให้ช่วงเวลาการสวิตช์เร็วขึ้น แรงดัน V_{BE} ควรจะมีค่าเป็นศูนย์ หรือไบแอสกลับให้น้อยที่สุด และในการลดช่วงเวลาขาขึ้น กระแส I_B ควรจะป้อนให้มีค่ามากกว่าปกติที่พอเพียงทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว การกระทำดังกล่าวจะเป็นการลดช่วงเวลาออนได้

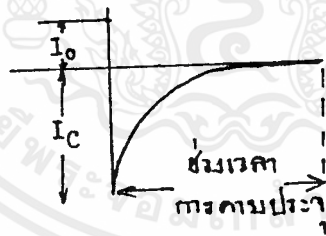
วิธีทางหนึ่งที่จะทำให้ช่วงเวลาออนสั้นลงก็คือ การให้แรงดันไบแอสที่เบส เป็นการไบแอสกลับด้วยค่ามากกว่าปกติเพื่อเร่งการออฟให้เร็วขึ้น ซึ่งจะเป็นผลต่อช่วงเวลาขานะออนด้วย การกระทำตามนี้สามารถทำได้โดย การเพิ่มตัวเก็บประจุขนานกับตัวทางดำน R_B ตัวเก็บประจุนี้เรียกว่า ตัวเก็บประจุเพิ่มความเร็วกว (Speed up Capacitor) ดังรูป



ก) ผลของ C_i ต่อการสวิตช์ออน

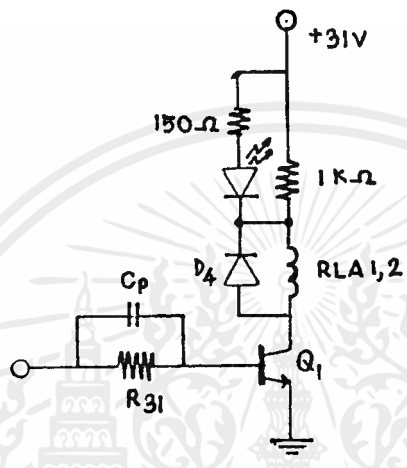


ข) ผลของ C_i ต่อการสวิตช์ออน



โดยปกติคาปาซิเตอร์จะมีค่าในช่วงประมาณ 30-100 pF ทิศทางการคายประจุจะช่วยดึงกระแสเบสทำให้ TR อยู่ในสภาวะไบแอสกลับได้เร็วขึ้น และหลังจากการคายสิ้นสุดลงแล้ว แรงดันเบส-อิมิตเตอร์ของ TR ก็จะมีค่าเป็นศูนย์โวลต์

ตัวอย่างการออกแบบทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์



ใช้ Q เบอร์ C689 มี spec ตาม Data sheet ดังนี้

$BV_{CBO} = 180\text{ V}$, $BV_{CEO} = 160\text{ V}$, $BV_{EBO} = 4\text{ V}$
 $I_{C,max} = 0.6\text{ A}$, $P_o = 0.35\text{ W}$, $h_{FE} = 100(\text{typ})$

Sol

$$I_{C,max} = V_{CC} / R_L$$

$$R_{DC,RLA\ 1,2} = 650$$

$$R_L = 650 + (1k \times 150) / (1k + 150) = 780$$

$$I_{C,max} < 31 / 780 = 39.8\text{ mA}$$

$$I_B > I_C / h_{FE} = 39.8\text{ mA} / 100 = 0.39\text{ mA}$$

$$R_{B,max} = (V_{in} - V_{BE}) / 0.39\text{ mA} = (9.1 - 0.7) / 0.39\text{ mA}$$

$$= 21.79\text{ k} \quad 22\text{ k}$$

ใช้ $R_B = 22\text{ k}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทาน 1/4w 5%คาปาซิเตอร์

R_1	30k	C_1	1000	63V	อิเล็กทรอนิกส์
R_2, R_6	18k	C_{10}	22	50V	"
R_3, R_{16}	10k	C_2	10	16V	"
R_4	180k	C_4, C_F	1	50V	"
R_5	25k	C_T	2200	16V	"
R_7, R_{30}	39k	C_5	47	16V	"
R_8	330k	C_9	1	25V	แทนทาลัม
R_9, R_{10}, R_{12}	1k5	C_3, C_6	0.1	50V	ไบลาร์, WIMA
R_{11}	270k	C_8	100pp		เซรามิค
R_{14}, R_{15}	100k	C_7	0.0047	R 50V	ไบลาร์
R_{17}	2k	C_8	0.01	F	ไบลาร์
R_{29}, R_{31}	22k				

ความต้านทาน 1/2w 1%เซมิคอนดักเตอร์

R_{18}, R_{19}	1k	D_1, D_2, D_3	IN 4148
R_{20}, R_{37}, R_{39}	68k	D_4	IN 4004
R_{21}, R_{28}	180k	ZD_1	6.8V 1/2W
R_{23}	10k	ZD_2	12V 1/2W
R_{24}	270k	LED_1	สีแดง
R_{25}, R_{27}	2M2	LED_2	สีส้ม, เหลือง
R_{26}	390k	LED_3	สีเขียว
R_{34}	5k	Q_1	C 869

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 5.1k การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 R_{35} 12k IC_1 LM 3900

IC ₂	LM 339
IC ₃	CD 4081
IC ₄	78L12

ความต้านทาน 1w 5%

R ₃₂	1k
R ₃₃	150
R ₁₃	100k เกือกม้า
R ₂₂	VR100k(B)

อื่นๆ

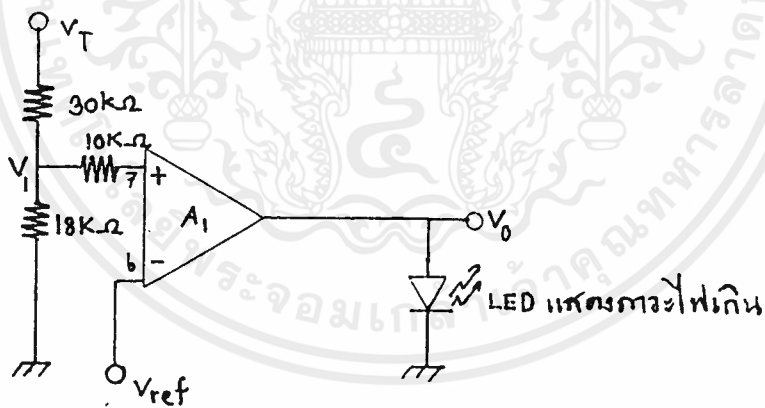
1. ทรานส์ฟอร์มเมอร์ 500mA แกนเทอร์รอย
PR1 270V
SEC 28V , 11V
2. ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (SERSOR) แกนเทอร์รอย ; ดูรายละเอียดในเนื้อหา
3. รีเลย์ 24V 15A 2 คอนแทค
4. หลอดไฟ 220V 3 หลอด 3 สี
5. สวิตช์ ON-OFF 2 ทาง 2 ตัว
6. สวิตช์กดดับปล่อยติด 1 ตัว
7. สวิตช์ปล่อยติดกดดับ 1 ตัว
8. TERMINAL ขนาดใหญ่ 4 ช่อง
9. เต้าเสียบไฟฉุกเฉิน 1 ตัว
10. ฝาครอบ Volume 1 ตัว
11. ตู้ Control ขนาด 8"x12" 1 ตัว
12. TERMINAL ขนาดเล็ก 12 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 13. FUSE 500 mA พร้อมฐาน 1 ตัว
- 14. R(TEST) 40k 10w 1 ตัว
- 15. ไล้ไก่รอบสายเมน 30 ซม.1 คู่

บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง

1) การทดลองการทำงานของเครื่องป้อนไฟเกิน



- ที่สภาวะปกติ $v_o = 0.26V$

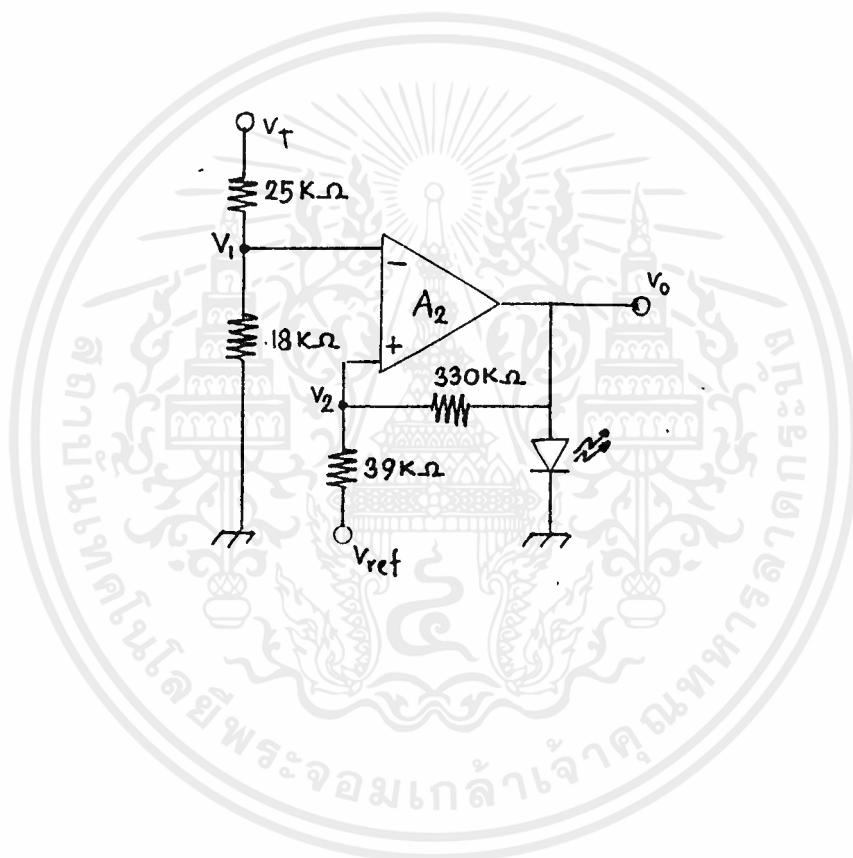
- ที่ 10% ของไฟปกติ (220) = 242V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการดำเนินงานเพื่อการค้า ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด V_{T+} ตั้งขึ้น = อีกที่ $13.1V_{Dc}$ แปลงเนื้อหา V_i และ $4.7V_{Dc}$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = \frac{2}{5} V_{DC} \quad \text{LED} = \text{ติดสว่าง}$$

$$V_{ref} = \frac{5}{10} V_{DC}$$

2) การทดลองการทำงานของเครื่องป้องกันไฟตก



- ที่สภาวะปกติ $V_o = 0.4V$

- ที่ 15% ของไฟปกติ (220) = $242V$ วัตต์ค่าได้ = $186V$

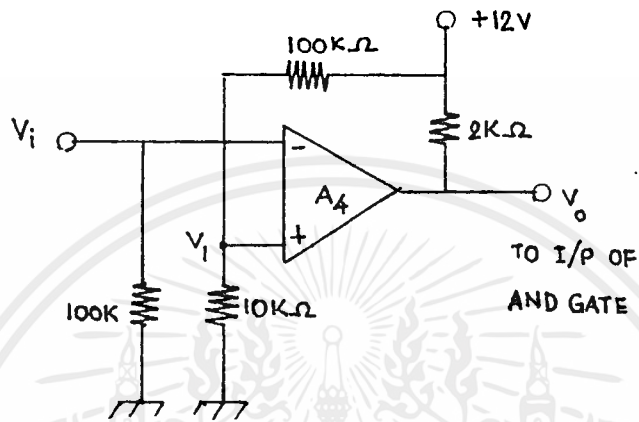
$$V_T = \frac{9.8}{10} V_{DC} \quad V_1 = \frac{3.94}{10} V_{DC}$$

$$V_o = \frac{2}{5} V_{DC} \quad V_2 = \frac{4}{10} V_{DC}$$

$$V_{ref} = \frac{5}{10} V_{DC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทดสอบการทำงานของวงจร NOR GATE



V_{in} : Voltage o/p ของภาคตรวจสอบไฟตกหรือไฟเกิน

$$V_1 = \underline{0.8 \text{ VDC}}$$

- ที่สภาวะปกติ [Voltage Line อยู่ระหว่างระดับ protect]

$$V_{in} = \underline{0.08 \text{ V}}$$

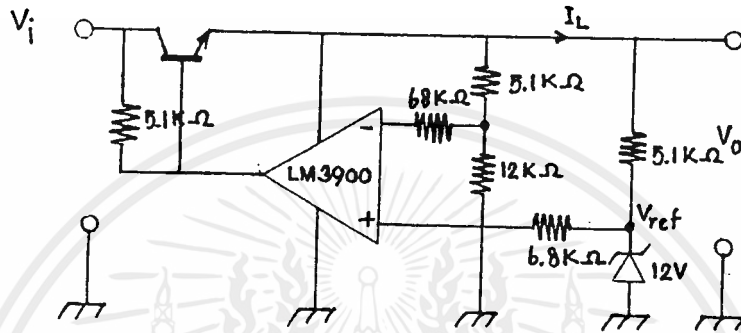
$$V_o = \underline{0.25 \text{ V}}$$

- ที่สภาวะผิดปกติ [Voltage Line สูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับ protect]

$$V_{in} = \underline{1.55 \text{ V}}$$

$$V_o = \underline{11.5 \text{ V}}$$

4) ทดสอบการทำงานของวงจร Regulator



- เมื่อ

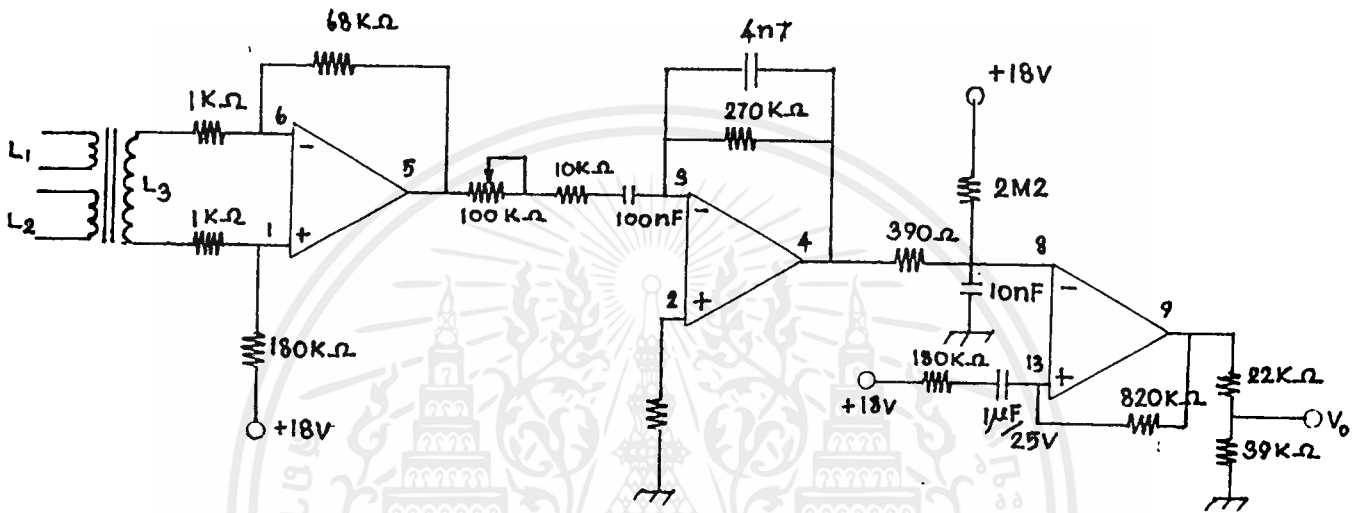
$$\begin{aligned}
 V_{in} &= \underline{20V} \\
 V_o &= \underline{15V} \\
 V_{ref} &= \underline{11.1V} \\
 I_L &= \underline{50\text{ mA}}
 \end{aligned}$$

- เมื่อ

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= \underline{50V} \\
 V_o &= \underline{22V} \\
 V_{ref} &= \underline{12.3V} \\
 I_L &= \underline{50\text{ mA}}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การทดสอบวงจรป้องกันไฟดูด



- $L_1 = L_2 = 2$ รอบ , $L_3 = 250$ รอบ
- เมื่อผ่านกระแส 2.2 mA โดยการกด SW TEST เครื่องจะตัดไฟออก จาก MAIN ที่ต่อเข้าบ้าน (กรณีปรับ Sensitivity ไวสูงสุด)
- ความไวต่ำสุดเมื่อกด SW TEST ที่ 10 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนกดสวิตช์ test

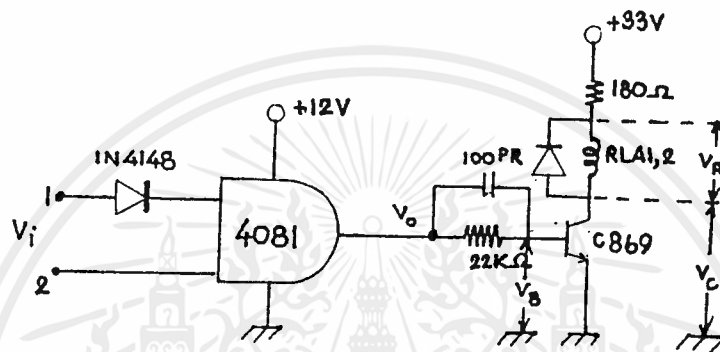
ขา	ค่าที่วัดได้ (DC)	ขา	ค่าที่วัดได้ (DC)	หมายเหตุ
1	0.6 V	4	0.5 V	o/pของวงจร ทรานซิสเตอร์ให้ตัด.ต่อได้
6	0.5 V	2	0 V	
5	6.5 V	9	16 V	
3	0.5 V	13	0.17 V	
		8	0.17 V	

หลังกดสวิตช์ TEST

ขา	ค่าที่วัดได้ (DC)	ขา	ค่าที่วัดได้ (DC)	หมายเหตุ
1	0.6 V	4	0.5 V	o/p ของวงจร
6	0.5 V	2	0 V	
5	6.5 V	9	0.1 V	
3	0.5 V	13	0 V	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ทดสอบการทำงานภาคเอาต์พุต



- สภาวะปกติ

$$\begin{aligned}
 R_{DC} \text{ ของ } R_{LA\ 1,2} &= 650 & V_C &= 0.3 \text{ V} ; \text{ภาวะตัด } V_C = 31 \text{ V} \\
 V_{in2} &= 9.1 \text{ V} & V_B &= 1 \text{ V} \\
 V_{in1} &= 7 \text{ V} & V_R &= 25 \text{ V} \\
 V_o &= 9.1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานของปุ่มต่างๆ

1. หลอดไฟสีแดงแสดงสถานะเมื่อเครื่องกำลังทำงาน [ON-OFF]
2. หลอดไฟสีเขียวแสดงสถานะเมื่อเครื่องทำการตัดไฟออกจาก MAIN
3. หลอดไฟสีน้ำเงินแสดงสถานะเมื่อต้องการต่อไฟโดยตรง ไม่ผ่านเครื่องป้องกัน โดยการกดสวิตช์ DIRECT
4. หลอดไฟ LED แสดงเมื่อเครื่องทำงานปกติ
5. หลอดไฟ LED แสดงเมื่อเกิดสถานะไฟเกิน 10 % ของ 220 V
6. หลอดไฟ LED แสดงเมื่อเกิดสถานะไฟตกมากกว่า 15 % ของ 220 V
7. VOLUME ปรับความไวในการตัด ของการเกิดไฟดูด, ไฟรั่ว
8. สวิตช์ ON/OFF เมื่อต้องการปลดไฟออกจากเครื่องเพื่อให้เครื่องหยุดการทำงาน ในกรณีนี้ จะทำให้เครื่องตัดไฟจาก MAIN ที่ต่อเข้าบ้านด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการต่อไฟเข้าบ้านโดยไม่ผ่านเครื่องป้องกันจะต้องกดสวิตช์ DIRECT ด้วย
9. สวิตช์ DIRECT ON/OFF เมื่อต้องการต่อไฟโดยตรงเข้าบ้านโดยไม่ผ่านการป้องกันจากเครื่อง
10. สวิตช์ RESET เป็นสวิตช์กดดับปล่อยติด ใช้เมื่อเครื่องทำการตัดไฟขณะเกิดไฟดูดแล้วต้องการให้เครื่องเริ่มทำงานใหม่อีก
11. สวิตช์ TEST เป็นสวิตช์กดติดปล่อยดับ ใช้เมื่อต้องการทดสอบการทำงานของเครื่องป้องกันไฟดูด โดยเครื่องจะทำการตัดไฟออกเพื่อกดสวิตช์
12. ปุ่มเปิดหน้าเครื่องเพื่อดูอุปกรณ์ภายในเครื่อง

บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการริเริ่มแนวความคิดเพื่อสร้างเครื่องนี้ เพื่อเป็นเครื่องที่ใช้ในการป้องกันที่นอกเหนือ จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งเดิมโดยทั่วไป เช่น เบรกเกอร์ คาร์ทริกฟิวส์ เป็นต้น การทดลองในส่วนของเครื่องป้องกันไฟดูด ในเริ่มแรกก็เดี่ยวได้ใช้แกนชนิด port core ทดลอง ซึ่งไม่ได้ผลเท่าที่ควร ต่อมาได้ทดลองโดยใช้แกนเทอร์รอยด์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่ โดยใช้ลวดเบอร์ SWG 18 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.15 มม. พันเป็นขด L_s ปรากฏว่าเครื่องทำการตัดเมื่อกด SW TEST ที่กระแสต่ำสุดประมาณ 7 mA แต่เมื่อมาใช้แกนเทอร์รอยด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 20 มม. และพันขด SECONDARY ด้วยสายขดลวดทองแดง เส้นเล็กทีเกลียวขนาดพื้นที่หน้าตัด 6 มม.² พัน 2 รอบ ปรากฏว่าได้ผลที่ดีกว่า คือ สามารถตัดที่กระแสต่ำสุดที่ 2.2mA และสูงสุดที่ 10 mA ซึ่งเร็วกว่าแบบแรกๆ ที่ใช้ ฉะนั้นใน PROJECT นี้ จึงใช้ตัว SENSOR แบบหลังนี้

การทดลองในส่วนของเครื่องป้องกันไฟเกินหรือไฟตก ได้ออกแบบค่าป้องกันที่ไฟเกินไม่เกิน 10 % , ไฟตกไม่เกิน 15 % และในส่วนของตัว SENSOR ใช้แบบแกนเทอร์รอยด์ ซึ่งพันแกนเดียวกับหม้อแปลงของ supply ซึ่งระดับของไฟที่คำนวณได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย โดยขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานที่ใช้ และการแก้ไขไม่ให้หน้าคอนแทก RELAY สั่นในช่วงก่อนตัดเพียงเสี้ยววินาที โดยการออกแบบให้ขดจ่ายไฟของวงจร เป็นคนละชุดกับขด SENSOR ฉะนั้นจึงทำให้การตัดมีเสถียรภาพ

กิติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ชวลิตเบญจางคประเสริฐ และ อาจารย์ ไพศาล สิทธิโยภาสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และ ขอบคุณผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือผู้จัดทำในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Electronic Fundamentals And Applications

5th Edition., Ryder

Electronic Instrumentation And Measurement Techniques

2nd Edition., William D.Cooper

วารสารอิเล็กทรอนิกส์

Semiconductor Electronic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

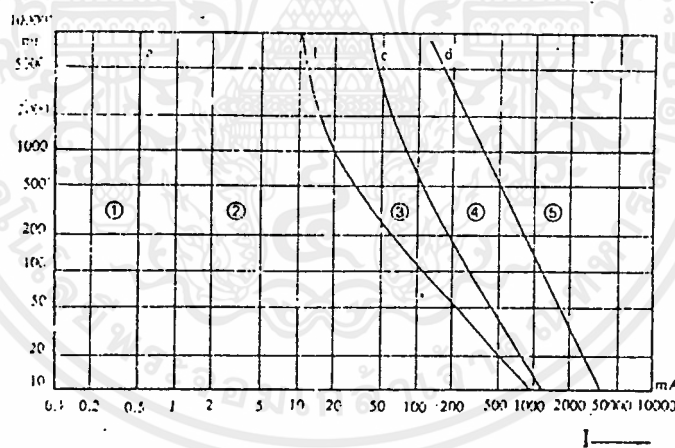


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

อันตรายทางไฟฟ้าถึงชีวิตของมนุษย์ เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น กระแสไฟฟ้าไหลผ่านผิวหนังของมนุษย์ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น และที่อันตรายที่สุดคือ กระแสไฟฟ้าผ่านอวัยวะภายในร่างกาย เช่น หัวใจ ซึ่งทำให้การทำงานของหัวใจเต้นผิดจังหวะ หรือหยุดเต้น

ขนาดกระแสไฟฟ้าสลับที่จะสามารถทำอันตรายต่ออวัยวะภายในของมนุษย์ และเกิดการเผาไหม้ที่ผิวหนังได้นั้น ตามมาตรฐาน IEC-Publication 479 "effect of current passing through the human body" ได้แสดงกราฟขนาดกระแสไฟฟ้าสลับที่ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz และระยะเวลาที่จะมีผลต่อร่างกายมนุษย์ไว้ ดังแสดงในรูป

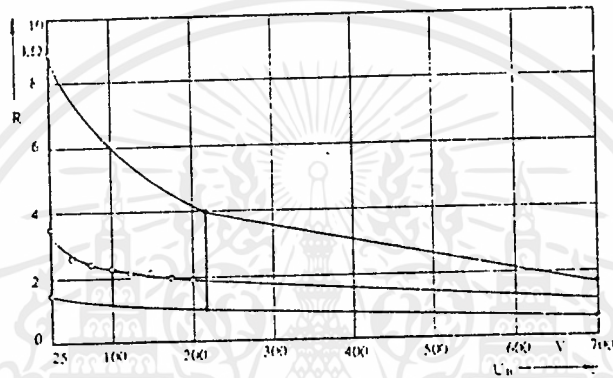


ผลของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ไหลผ่านร่างกายจากมือถึงมือ และระยะเวลาที่จะเป็นอันตราย

- ย่านที่ 1 : ปลอดภัยจะไม่เกิดความรู้สึกใด ๆ (เส้น a นอกช่วงที่เริ่มเกิดความรู้สึก)
- ย่านที่ 2 : ไม่มีผลที่จะเป็นอันตรายต่ออวัยวะของร่างกาย
- ย่านที่ 3 : ไม่เป็นอันตรายต่อการเปิดปิดของลิ้นหัวใจ แต่จะมีผลให้การหายใจติดขัด
- ย่านที่ 4 : อาจทำให้หัวใจเต้นช้าลง (ความเป็นไปได้ถึง 50% ที่ใกล้เคียงกับเส้น d)
- ย่านที่ 5 : อันตรายจากการทำงานของหัวใจผิดปกติ (ความเป็นไปได้มากกว่า 50%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านร่างกายของมนุษย์ได้นั้น ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานภายในของร่างกายซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันไฟฟ้า ทิศทางของกระแสไฟฟ้าผ่านร่างกาย และระยะเวลา กระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านอวัยวะภายในร่างกายได้นั้นจะต้องไหลผ่านทะเลผิวหนังเสียก่อน ซึ่งค่าความต้านทานของผิวหนังมนุษย์ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า ระยะเวลา พื้นผิวสัมผัส แรงกด อุณหภูมิ ความชื้น และค่าความนำเฉพาะของผิวหนัง ค่าความต้านทานของผิวหนังมนุษย์อาจจะสูงถึง 10 k Ω ได้



กราฟแสดงช่วงความต้านทานของร่างกายมนุษย์จากมือถึงมือ ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าสัมผัส U_B (ไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz)

○ วัดจากมนุษย์ที่มีชีวิตอยู่ (ภายในเวลา 10 ms)

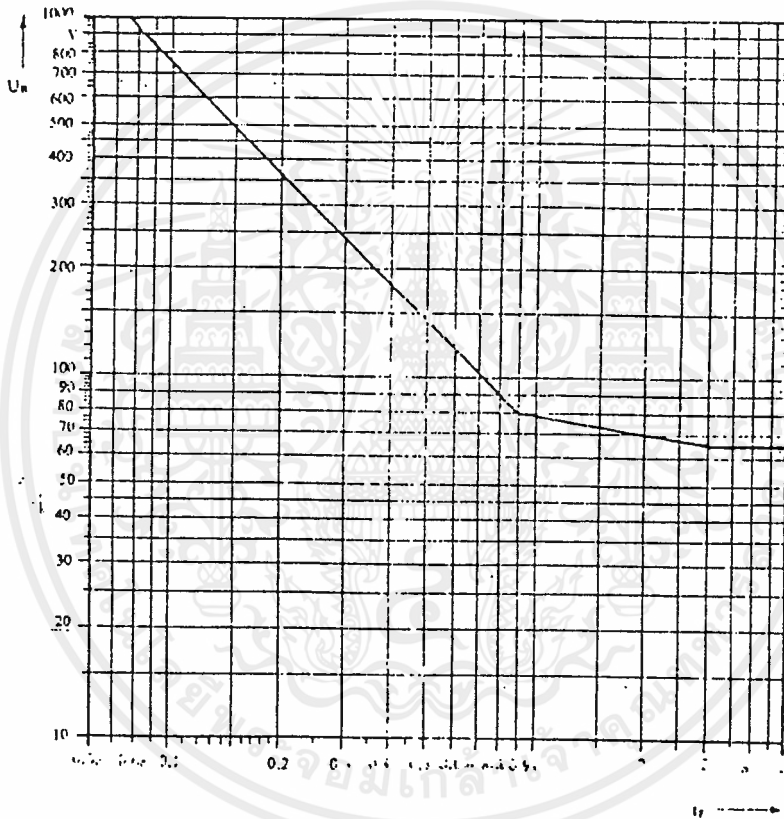
○ วัดจากร่างกายที่ไม่มีชีวิต (ภายในเวลา 3 s)

จากรูป ได้แสดงค่าความต้านทานของมนุษย์วัดจากมือถึงมือขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าสัมผัส U_B และค่าความต้านทานของมนุษย์ในส่วนอื่น ๆ ของร่างกายคิดเป็นร้อยละของค่าความต้านทานจากมือถึงมือ ดังแสดงในรูป

ขนาดแรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมนุษย์จนเป็นอันตรายได้นั้น ตามมาตรฐาน VDE 0141 ได้กำหนดขนาดแรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่ยอมรับได้ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาสัมผัส ดังแสดงในรูป ที่แรงดันไฟฟ้าสัมผัสไม่เกิน 65 V ร่างกายมนุษย์สามารถต้านทานได้ตลอดเวลา (มาตรฐานของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่จะไม่เป็นอันตรายไว้ไม่เกิน 50 V)

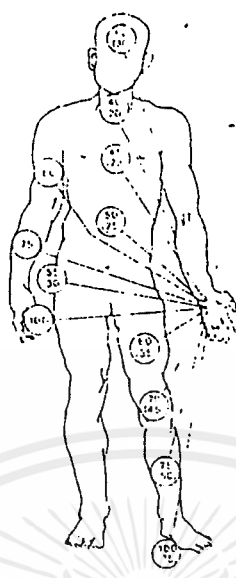
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดแรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่สูงกว่า 65 V หรือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายเกินกว่า 50 mA สามารถทำอันตรายถึงชีวิตของมนุษย์ได้ ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และวงจรไฟฟ้าจะต้องมีการป้องกันไม่
 ให้มีแรงดันไฟฟ้าสัมผัสเกินกว่า 65 V ได้ ซึ่งวิธีการป้องกันมีอยู่หลายวิธีด้วยกันคือ



ค่าความต้านทานในร่างกายมนุษย์คิดเป็นร้อยละของค่าความต้านทานระหว่างมือถึงมือ
 ภายใต้วงเล็บเป็นค่าความต้านทานจากมือทั้งสอง ถึงตำแหน่งของร่างกายที่แสดงไว้ (ค่าความต้านทาน
 จากมือถึงมือ โดยเฉลี่ย 1300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันไฟฟ้าสัมผัสที่ยอมได้ U_B ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย t_F (จาก DIN 57 141/ VDE 0141/7.76)

ขนาดแรงดันไฟฟ้าสัมผัสจะมีค่าสูงเท่าไร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานแผ่กระจายของแท่งสายดิน R_E สำหรับต่อเข้ากับสายป้องกันของอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้น ถ้าต้องการจำกัดแรงดันไฟฟ้าสัมผัสไว้ไม่ให้เกินกว่าที่ต้องการ เช่น 50 V จึงสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานแผ่กระจายของแท่งสายดินได้ จากที่กักกระแสไฟฟ้าผิดปกติของสวิตช์ตัดตอนกระแสไฟฟ้ารั่วได้ เช่น

พิกัดกระแสไฟฟ้าผิดปกติของสวิตช์ตัดตอนกระแสไฟฟ้ารั่ว I_N	ค่าความต้านทานแผ่กระจายของแท่งสายดิน R_E เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าสัมผัสไม่เกิน 50 V
0.03 A	1600
0.3 A	160
0.5 A	100
1.0 A	50
3.0 A	16

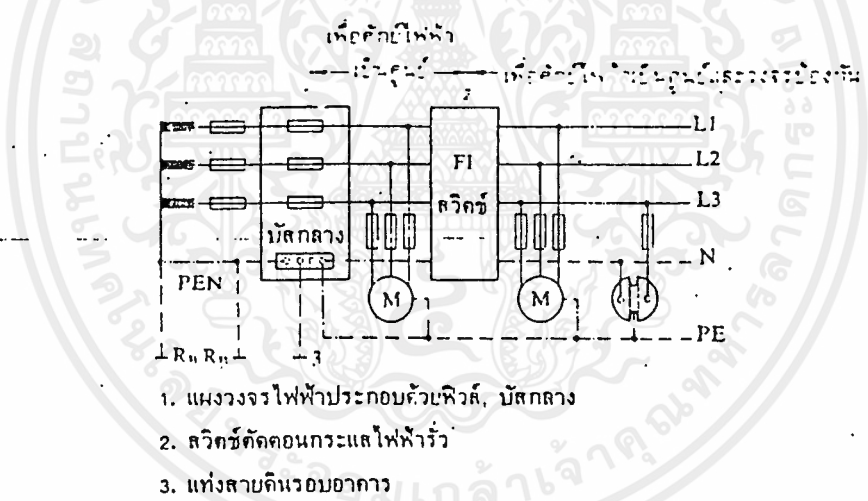
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุปกรณ์การแพทย์ และอุปกรณ์ เครื่องใช้ภายในอาคารที่ติดตั้งตามมาตรฐานที่กำหนดค่าที่ แรงดันไฟฟ้าสัมผัสไม่เกิน 24 V ดังนั้นค่าความต้านทานแผ่กระจายของแต่ละสายดินจะต้องไม่เกิน

$$R_E = \frac{24 \text{ V}}{I_N}$$

ขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าผิดปกติของสวิตช์ตัดตอนกระแสไฟฟ้ารั่ว I_N สำหรับติดตั้งในเขตงานก่อสร้างและงานแปศสัตว์ ใช้นขนาดไม่เกิน 0.5 A และสำหรับห้องปฏิบัติการแพทย์ใช้นขนาดไม่เกิน 0.03 A

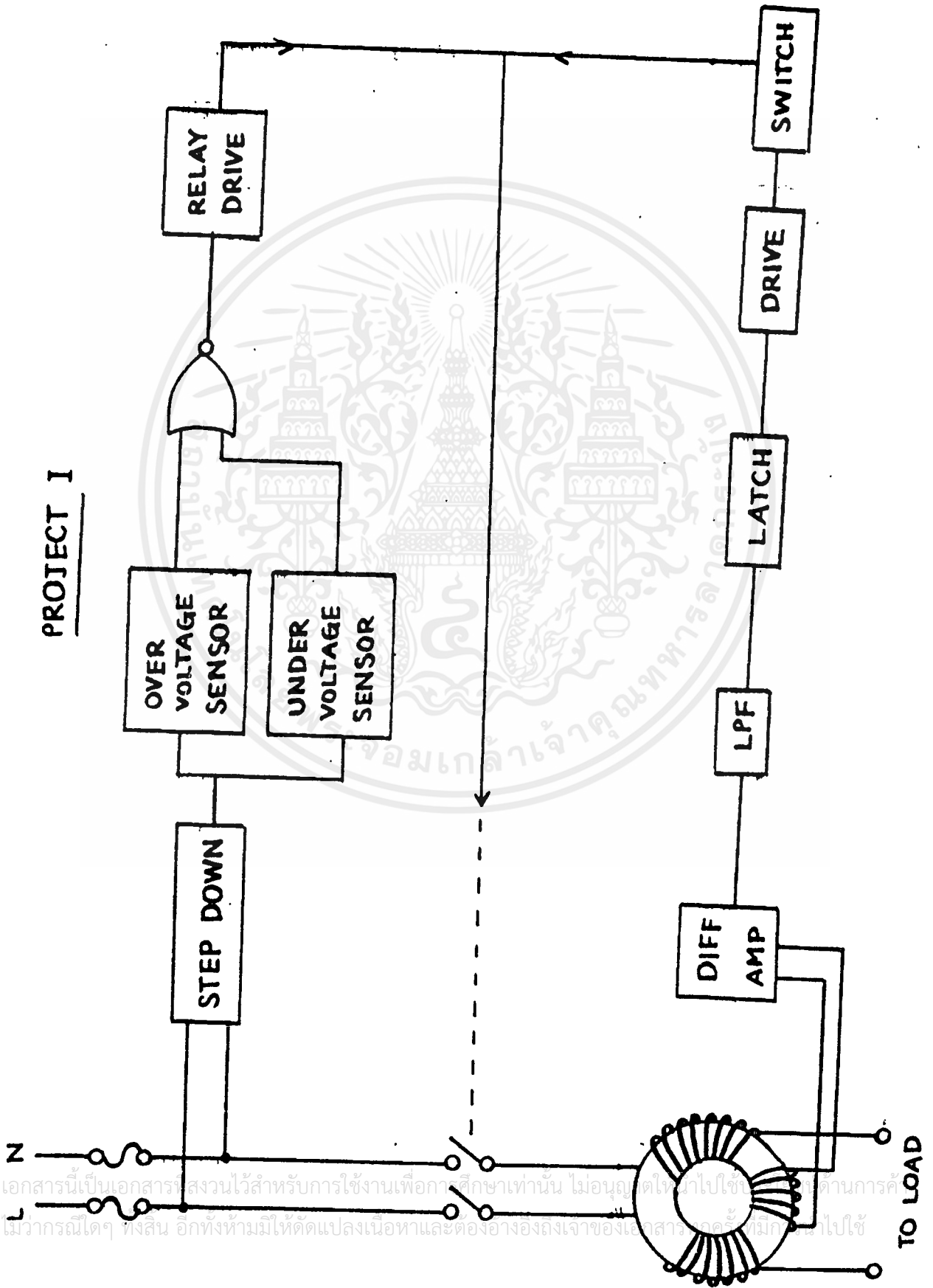
ในระบบไฟฟ้าที่ใช้หลักการป้องกันด้วยการทำให้ศักย์ที่สามารถใช้การป้องกันอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าสัมผัสด้วยการต่อสวิตช์ตัดตอนกระแสไฟฟ้ารั่วได้ ดังแสดงในรูป ข้อสำคัญคือ จะต้องไม่ต่อสายกลางของระบบทางด้าน เครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินอีกเป็นอันขาด



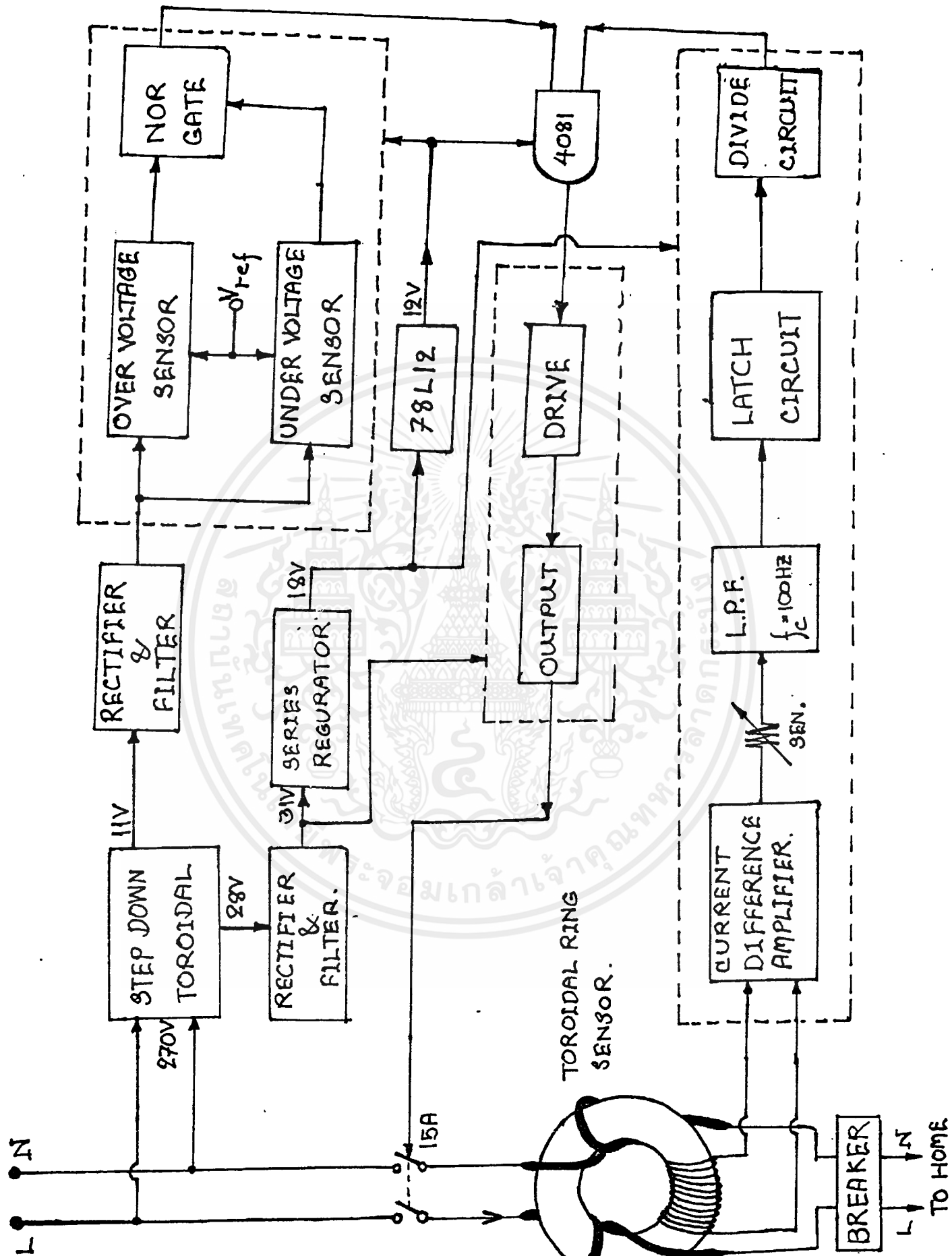
ระบบไฟฟ้าใช้การป้องกันอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าสัมผัสด้วยการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเป็น ศูนย์ และการใช้สวิตช์ตัดตอนกระแสไฟฟ้ารั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

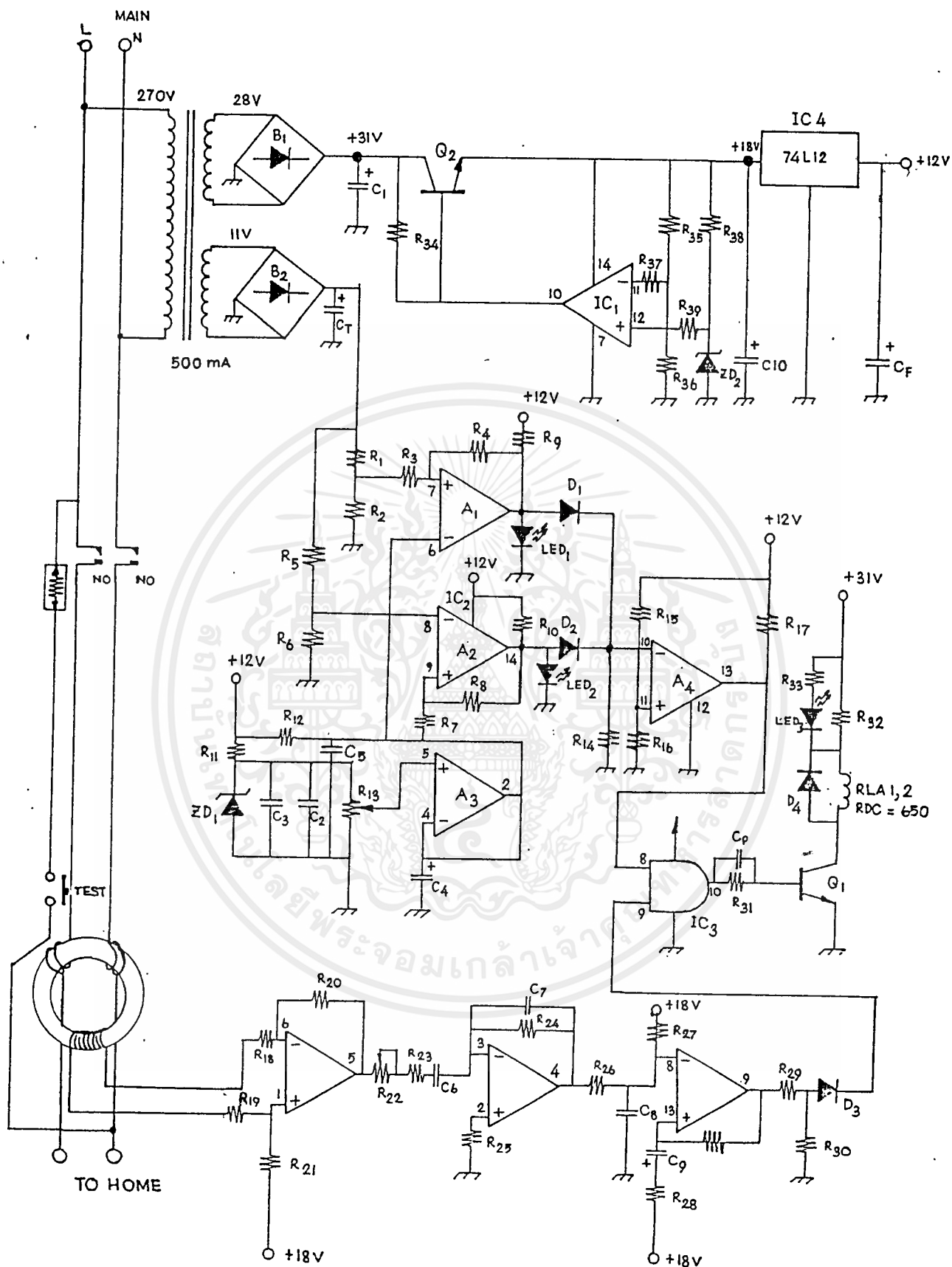
PROJECT I



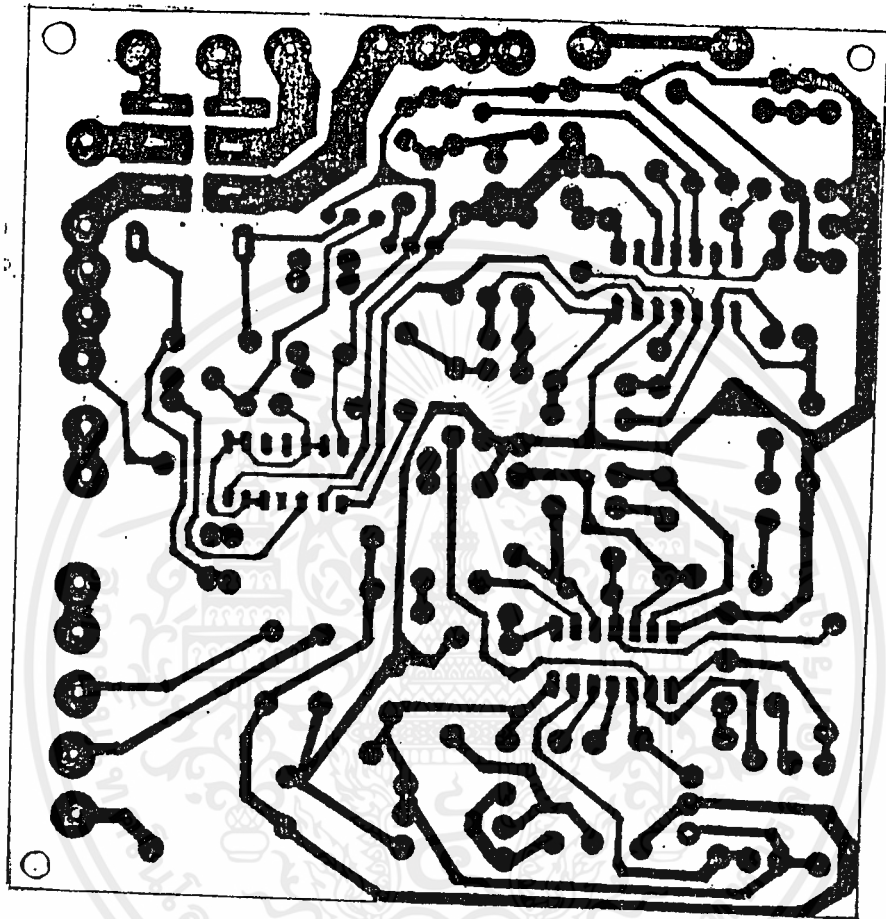
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารด้วย



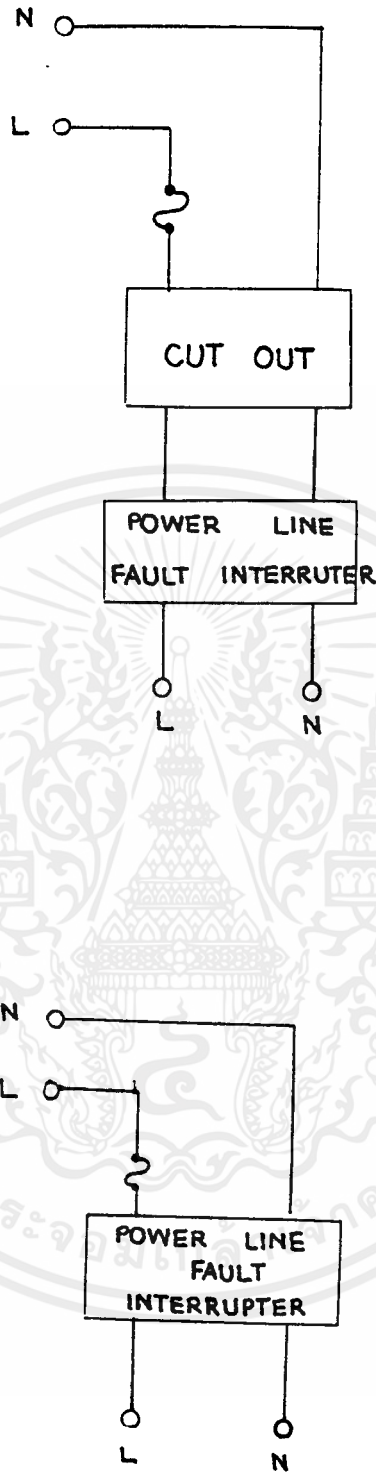
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



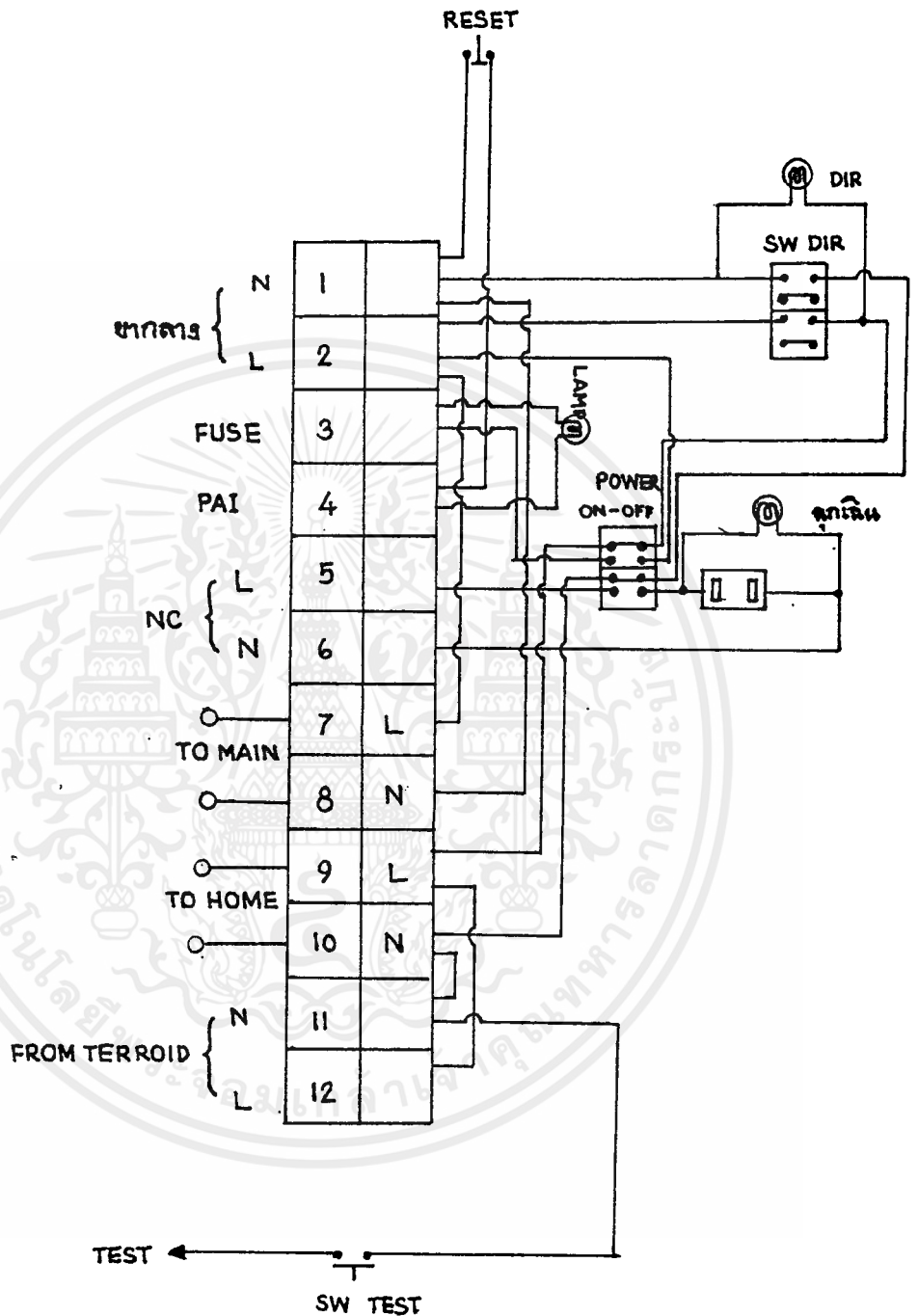
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

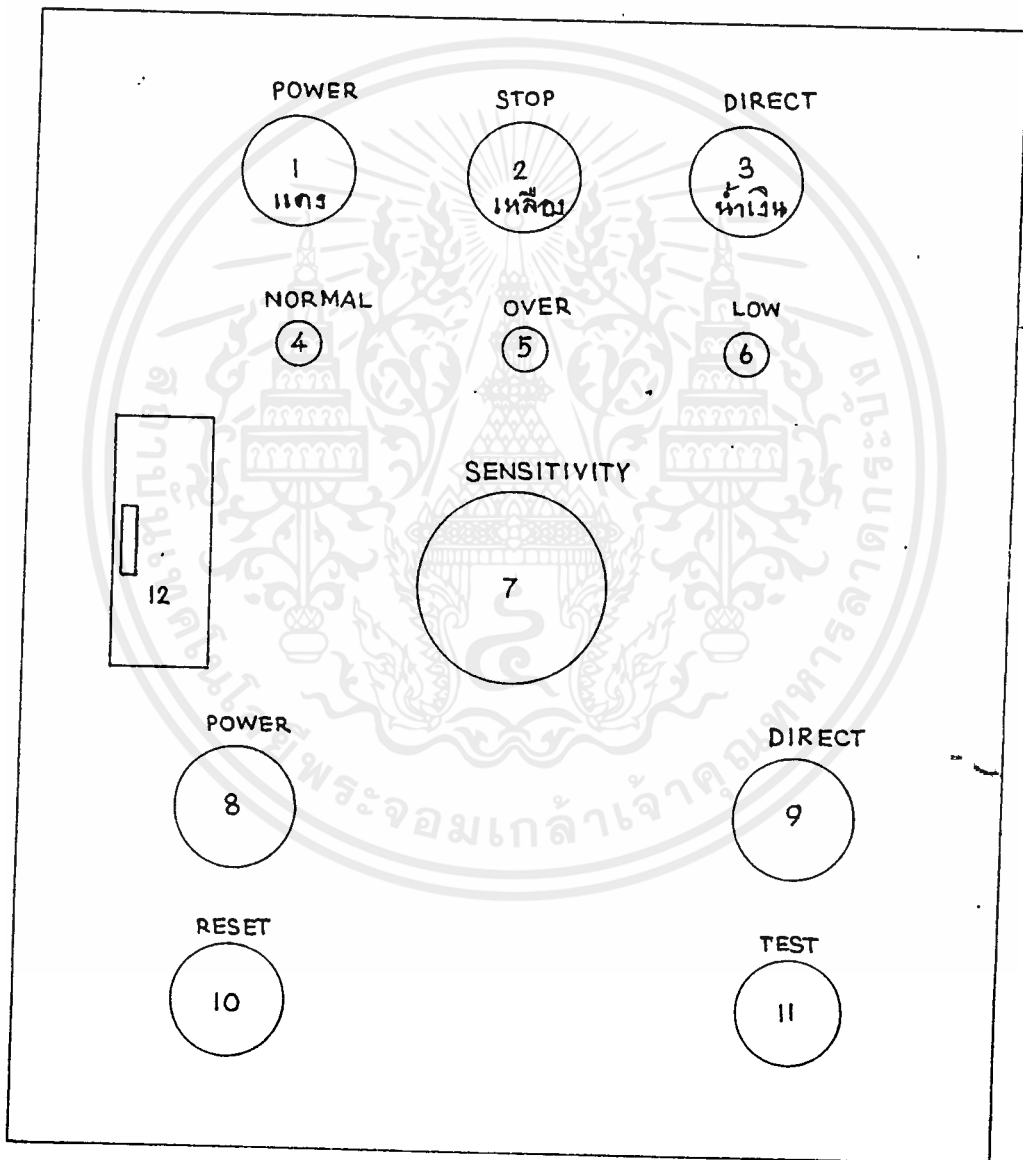


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

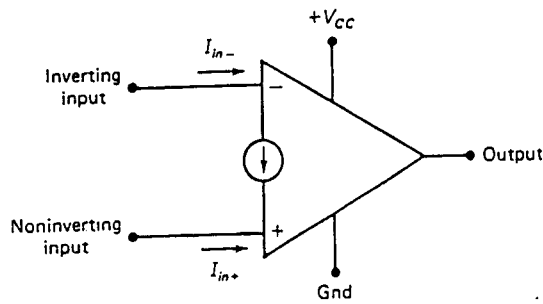


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดและอุปกรณ์ติดตั้งหน้าตู้

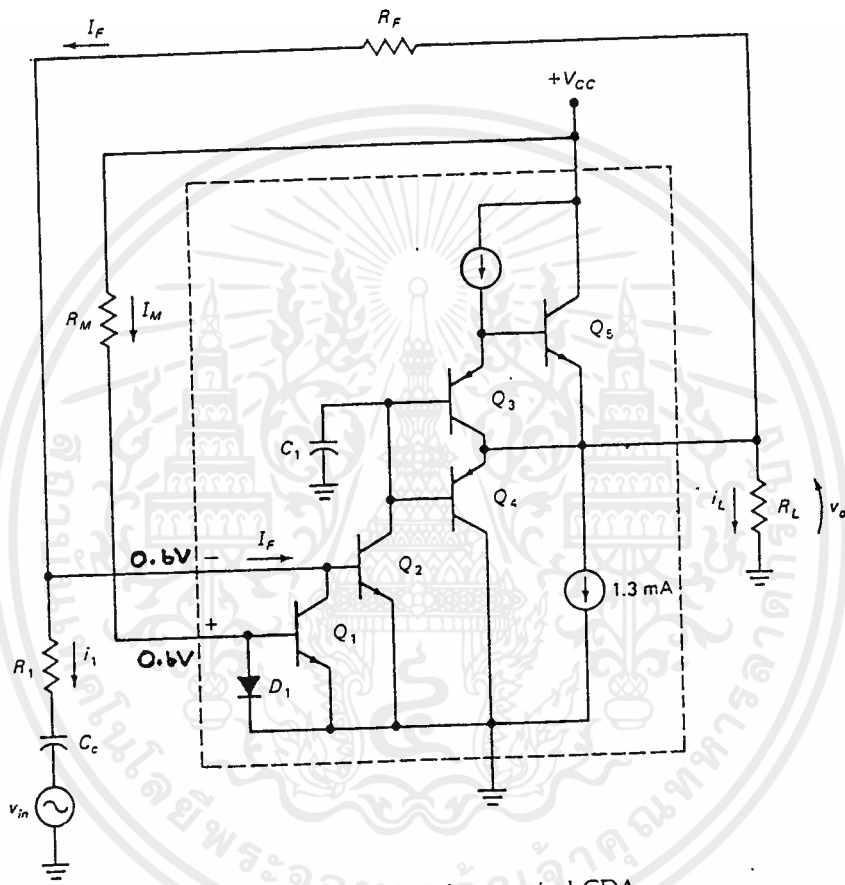


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A current difference amplifier (CDA).

IC # LM 3900 $\approx A_{oh} = 70 \text{ dB}$, $I_{M, \max} = 500 \mu\text{A}$

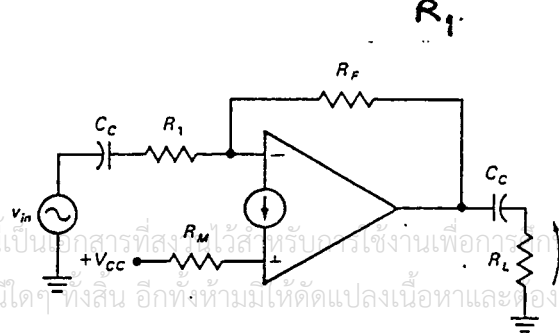


Equivalent internal circuitry for a typical CDA.

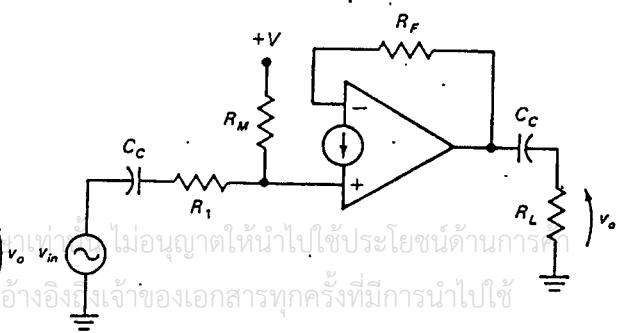
$$I_M = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_M} ; \text{ทางปฏิบัติให้ } I_M \approx 5 \sim 100 \mu\text{A}$$

$$V_{OQ} = I_F R_F + V_{BE}$$

$$V_o = V_{OQ} - \frac{V_{in} R_F}{R_1}$$



CDA in the inverting configuration.



CDA in the noninverting configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูช่างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่า A_L , คุณสมบัติต่างๆ และขนาดของแกน

Ferrite Toroids— A_L Chart (mH per 1000 turns) Enameled Wire

Core Size	63/67-MHz $\mu = 40$	81-MHz $\mu = 125$	43-MHz $\mu = 850$	77 (72) MHz $\mu = 2000$	J (75) MHz $\mu = 5000$
FT-23	7.9	24.8	188.0	396	980
FT-37	19.7	53.3	420.0	884	2196
FT-50	22.4	68.0	523.0	1100	2715
FT-82	22.4	73.3	557.0	1170	NA
FT-114	25.4	79.3	603.0	1270	3170

Number turns = $1000 \sqrt{\text{desired } L \text{ (mH)} + A_L \text{ value (above)}}$

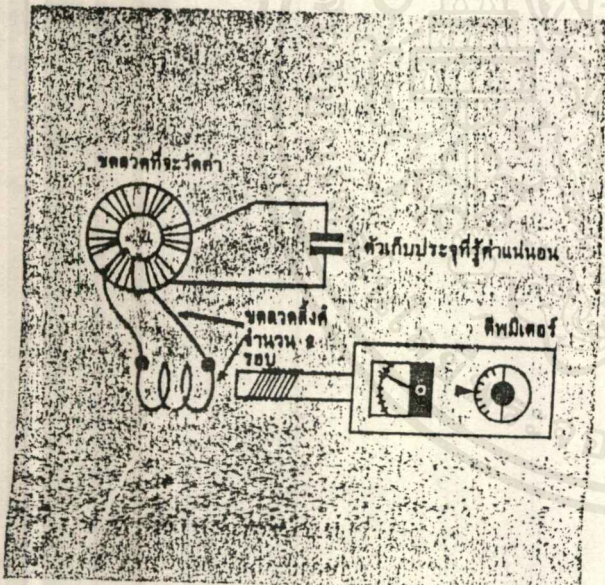
Ferrite Magnetic Properties

Property	Unit	63/67-MHz	81-MHz	43-MHz	77 (72) MHz	J (75)-MHz
Initial perm (μ_i)		40	125	850	2000	5000
Maximum perm.		125	450	3000	6000	8000
Saturation flux density @ 10 oer	Gauss	1850	2350	2750	4600	3900
Residual flux density	Gauss	750	1200	1200	1150	1250
Cure temp.	$^{\circ}\text{C}$	450	350	130	200	140
Vol. resistivity	ohm-cm	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^2	5×10^2
Resonant circuit frequency	MHz	15-25	0.2-10	0.01-1	0.001-1	0.001-1
Specific gravity		4.7	4.7	4.5	4.8	4.8
Loss	$1/\text{Q}$	110×10^{-4}	32×10^{-4}	120×10^{-4}	4.5×10^{-4}	15×10^{-4}
Factor	Oer	@25 MHz	@2.5 MHz	@1 MHz	@0.1 MHz	@0.1 MHz
Coercive force	Oer	2.40	1.60	0.30	0.22	0.16
Temp. Coef. of initial perm.	%/ $^{\circ}\text{C}$	0.10	0.15	1.0	0.60	0.90

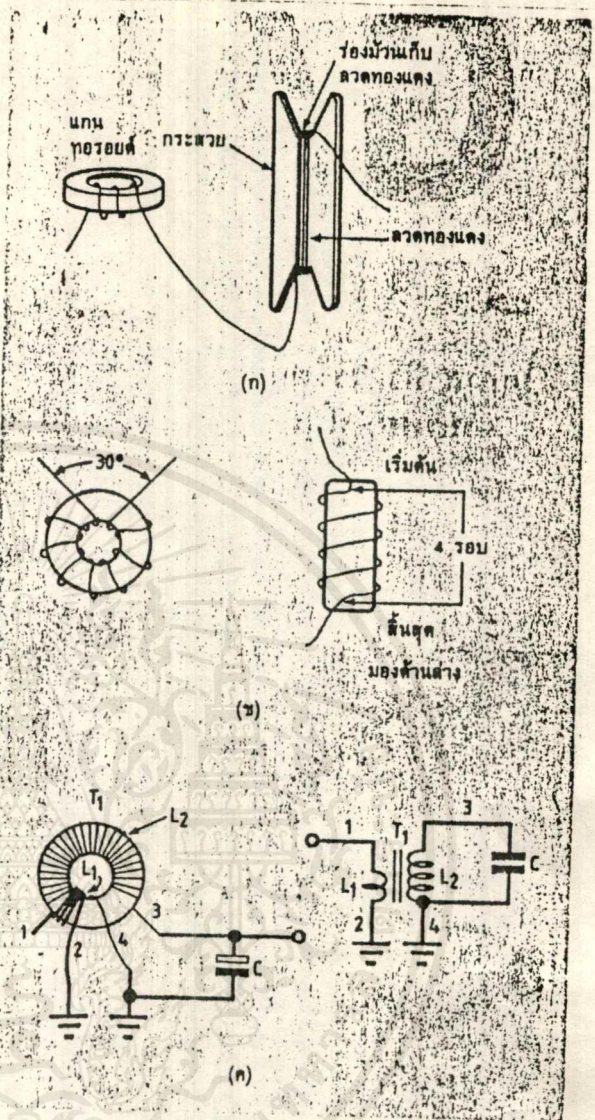
Ferrite Toroids—Physical Properties

Core Size	OD	ID	Height	A_L	l_e	V_e	A_w	A_w
FT-23	0.230	0.120	0.060	0.00330	0.529	0.00174	0.1264	0.01121
FT-37	0.375	0.187	0.125	0.01175	0.846	0.00994	0.3860	0.02750
FT-50	0.500	0.281	0.188	0.02060	1.190	0.02450	0.7300	0.06200
FT-82	0.825	0.520	0.250	0.03810	2.070	0.07890	1.7000	0.21200
FT-114	1.142	0.750	0.295	0.05810	2.920	0.16950	2.9200	0.43900

OD—Outer diameter (inches)
ID—Inner diameter (inches)
Hgt—Height (inches)
 A_w —Total window area (in²)
 A_e —Effective magnetic cross-sectional area (in²)
 l_e —Effective magnetic path length (inches)
 V_e —Effective magnetic volume (in³)
 A_s —Surface area exposed for cooling (in²)



รูปที่ 7 วิธีการวัดค่าความเหนี่ยวนำที่เพิ่มขึ้นมา โดยใช้คัทมิเตอร์

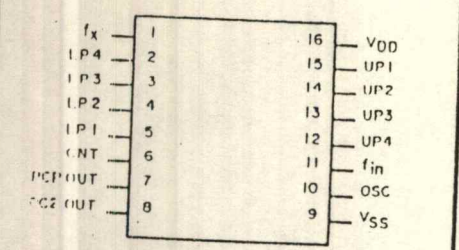


รูปที่ 8 (ก) แสดงการพันลวดบนแกนทอรอยด์โดยใช้กระดุม
(ข) มุมห่างระหว่างจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดการพันเป็น 30° จะมีความจุแฝงค่าสุด
(ค) ตัวอย่างการตั้งเกดทิศทางการพันขดลวด เพื่อใช้ในการกลับปลิง
(ง) การพันขดลวดเพิ่มเข้าไปในแกนทอรอยด์ เพื่อกลับปลิงสัญญาณออกมา

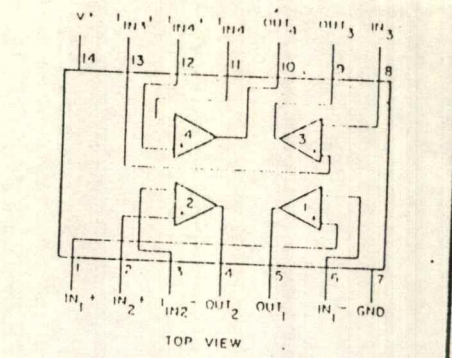
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear IC and Module Circuits (cont'd)

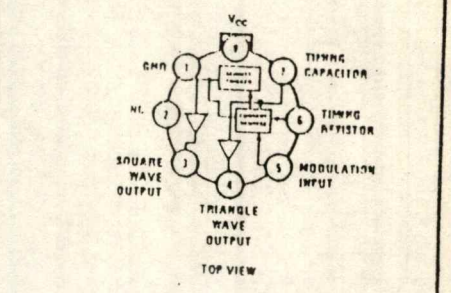
ECG991 16-Pin DIP See Fig. L112
 CB FLL, Freq Synthesizer



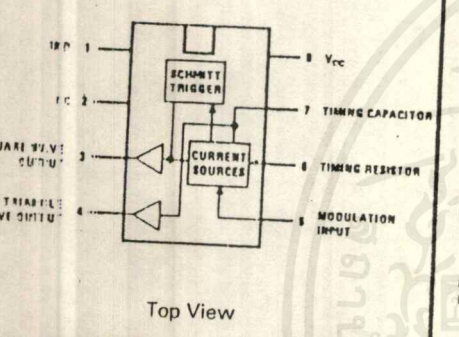
ECG992 14-Pin DIP See Fig. L104
 4 Independent Amps



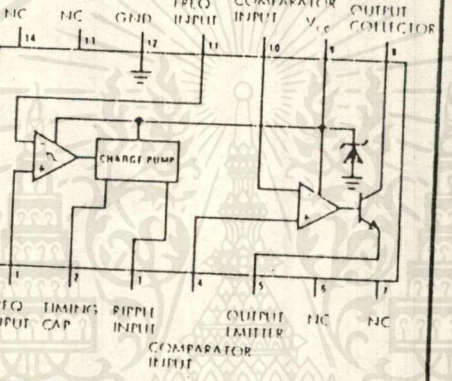
ECG994 8 Pin Can See Fig. L3
 General Purpose Voltage Controlled Oscillator, Function Generator



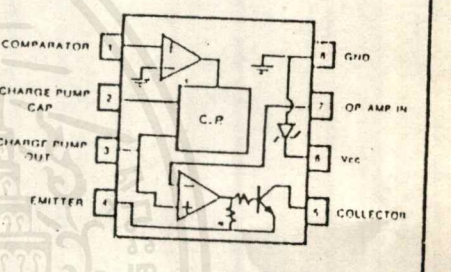
ECG991M 8-Pin DIP See Fig. L97
 General Purpose Voltage Controlled Oscillator, Function Generator



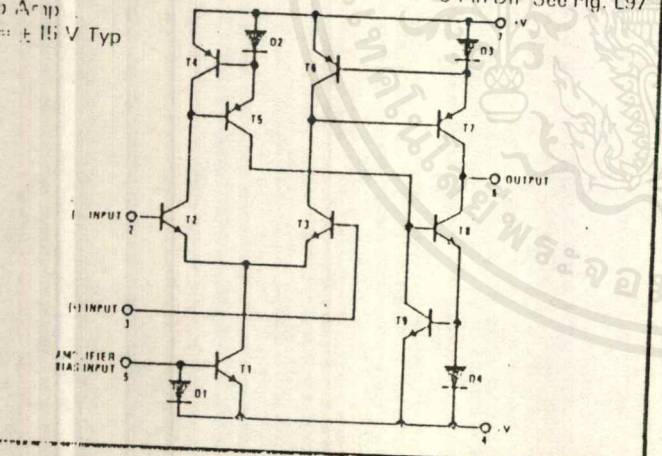
ECG995 14-Pin DIP See Fig. L104
 Frequency to Voltage Converter



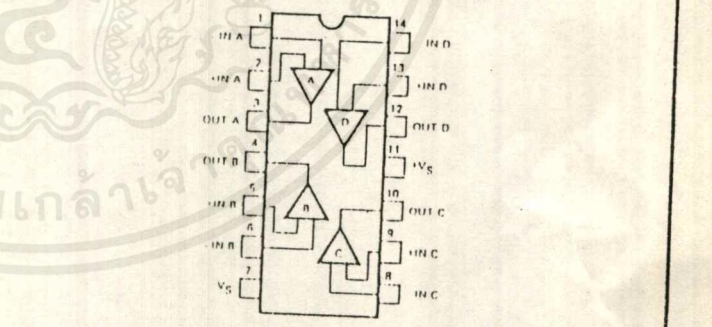
ECG995M 8 Pin DIP See Fig. L97
 Frequency to Voltage Converter, V_{cc} = 12 V Typ



ECG996 8-Pin DIP See Fig. L97
 Op Amp V_{cc} = ±15 V Typ



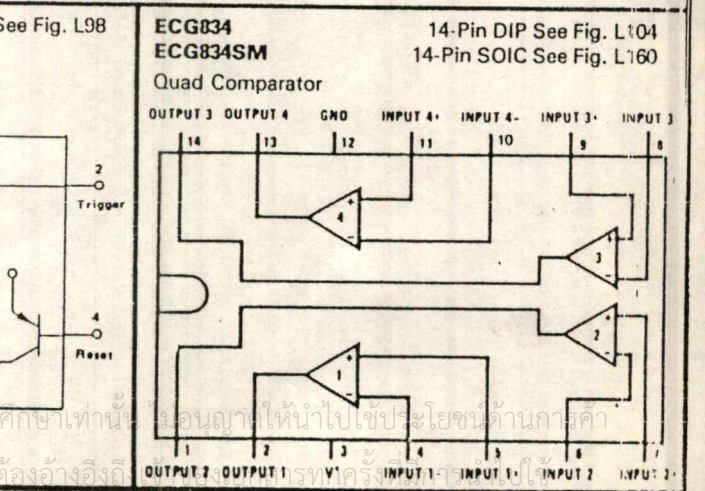
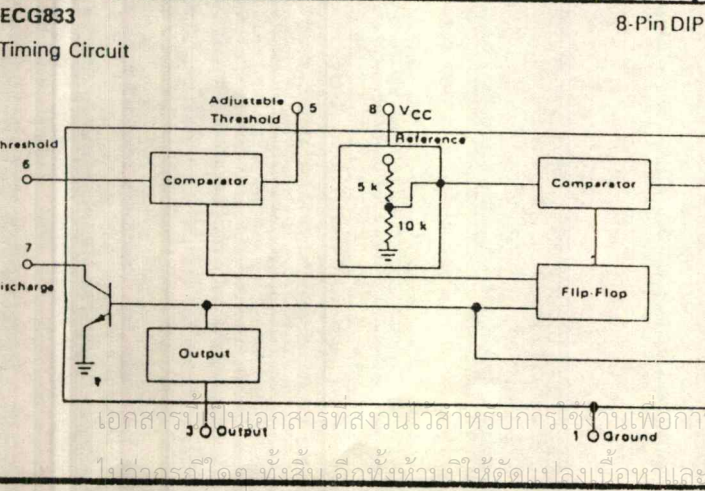
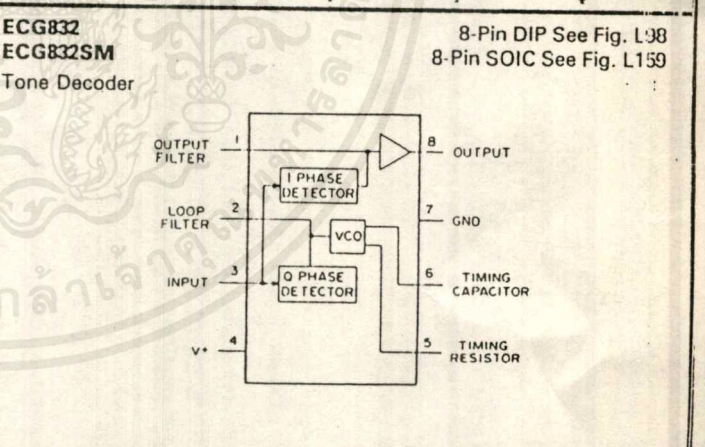
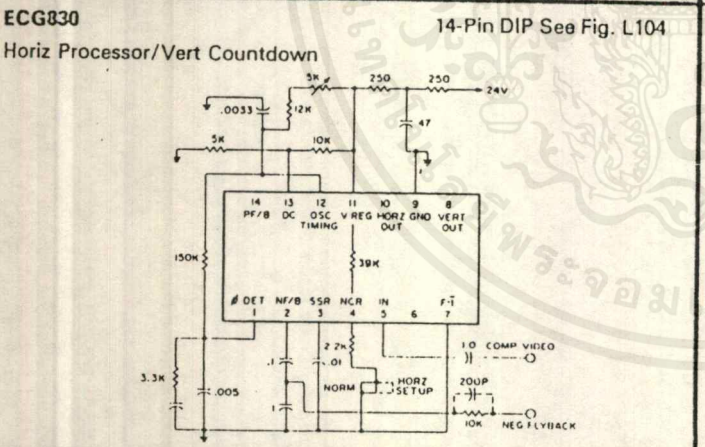
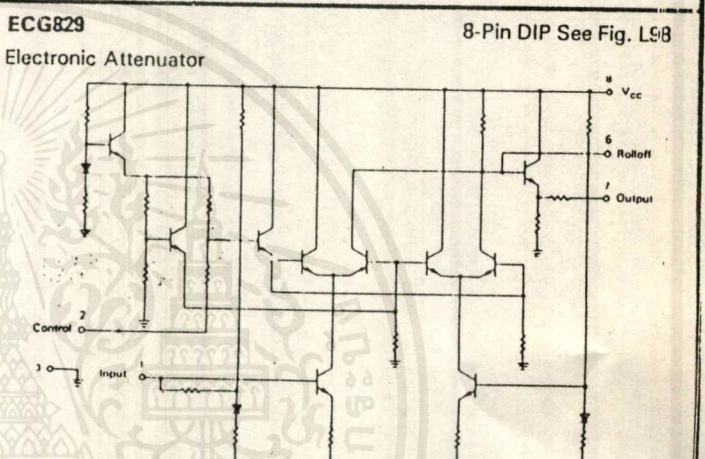
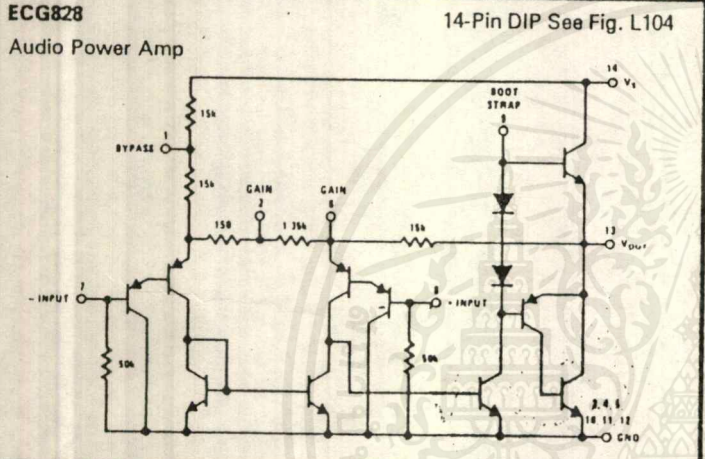
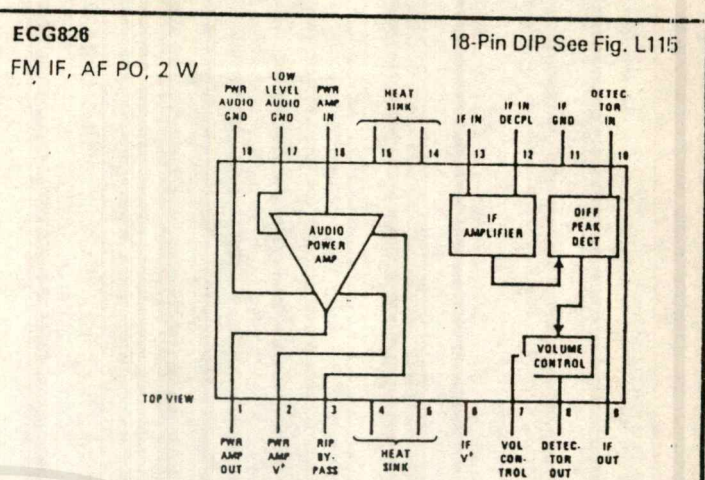
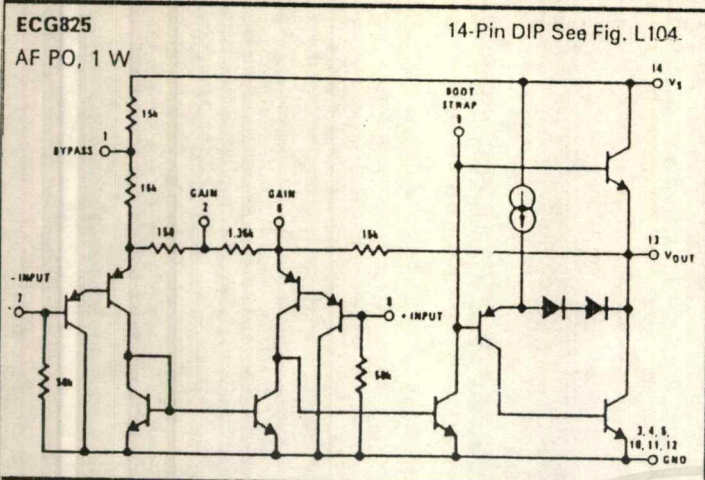
ECG997 14-Pin DIP See Fig. L104
 Quad Op Amp V_S = ±15 V Typ



Package Outlines - See Page 1-297

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear IC and Module Circuits (cont'd)



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

Linear IC and Module Circuits (cont'd)

ECG950
Pos VR, 12 V, 100 mA

ECG951
Pos VR, 15 V, 100 mA

ECG977
Pos VR, 5 V, 100 mA

ECG901
Pos VR, 8 V, 100 mA

ECG988
Pos VR, 6.2 V, 100 mA

TO-92 See Fig. L16

ECG952
Precision 2.5 V Voltage Reference

TO-92 See Fig. L16

BOTTOM VIEW

ECG953
Pos VR, Adjustable 5 to 30 V, 1 A

TO-202, 4-Pin See Fig. L18

$V_{OUT} = \left(\frac{R1 + R2}{R2} \right) V_{CONTROL}$
 $V_{CONTROL} \text{ Nominal} = 5 \text{ V}$

NOTES: Heat sink tabs connected to common through device substrate. Not recommended for direct electrical connection. Recommended R2 current $\approx 1 \text{ mA}$.

ECG954
Neg VR, Adjustable -2.2 to -30 V

TO-202, 4 Pin See Fig. L18

$V_{OUT} = \left(\frac{R1 + R2}{R2} \right) V_{CONTROL}$
 $V_{CONTROL} \text{ Nominal} = -2.23 \text{ V}$

NOTES: Heat sink tabs connected to input through device substrate. Not recommended for direct electrical connection. Recommended R2 current $\approx 1 \text{ mA}$.

ECG955M
8-Pin DIP See Fig. L98

ECG955S
8-Pin SIP See Fig. L35

ECG955SM
8-Pin SOIC See Fig. L159

Timer/Oscillator

ECG955MC
8-Pin DIP See Fig. L97

Low Power Timer/Oscillator, CMOS Output

ECG956
Pos VR, 1.2 to 37 V, 1.5 A

TO-220 See Fig. L17

$V_{OUT} = 1.25 \text{ V} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$

MAX INPUT VOLTAGE = 40V
MAX Pd = 15W

ECG957
Neg VR, 1.2 to 37 V, 1.5 A

TO-220 See Fig. L17

$-V_{OUT} = -1.25 \text{ V} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$

MAX INPUT VOLTAGE = 40V
MAX Pd = 15W

ECG958
Pos VR, 18 V, 1 A

ECG960
Pos VR, 5 V, 1 A

ECG982
Pos VR, 6 V, 1 A

ECG964
Pos VR, 8 V, 1 A

ECG966
Pos VR, 12 V, 1 A

ECG968
Pos VR, 15 V, 1 A

ECG972
Pos VR, 24 V, 1 A

ECG1932
Pos VR, 10 V, 1 A

TO-220 See Fig. L17

ECG959
Neg VR, 18 V, 1 A

ECG961
Neg VR, 5 V, 1 A

ECG963
Neg VR, 6 V, 1 A

ECG965
Neg VR, 8 V, 1 A

ECG967
Neg VR, 12 V, 1 A

ECG969
Neg VR, 15 V, 1 A

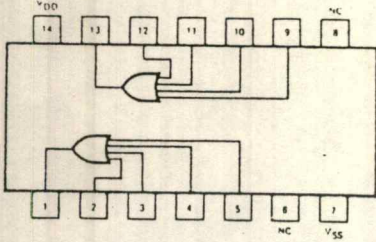
ECG971
Neg VR, 24 V, 1 A

TO-220 See Fig. L17

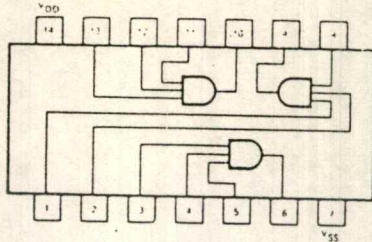
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS (cont'd)

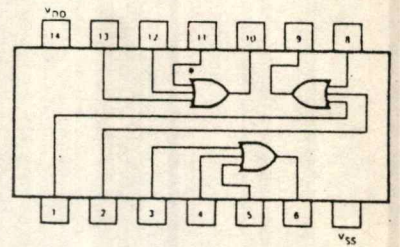
ECG4072B 14-Pin DIP See Fig. D6
Dual 4-Input OR Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



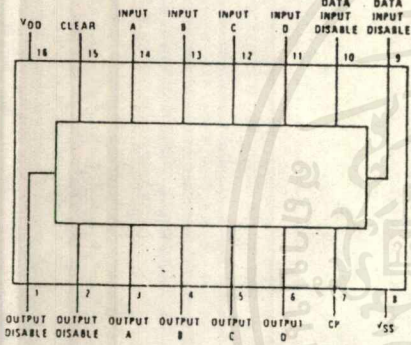
ECG4073B 14-Pin DIP See Fig. D6
Triple 3-Input AND Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



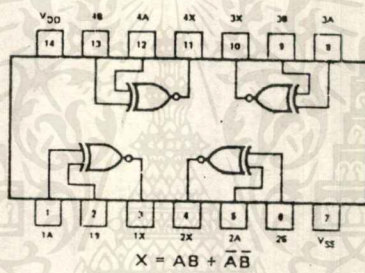
ECG4075B 14-Pin DIP See Fig. D6
Triple 3-Input OR Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



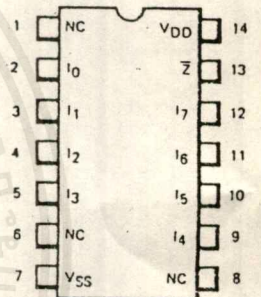
ECG4076B 16-Pin DIP See Fig. D8
4-Bit "D" Type Register (Tri-State Output),
 $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



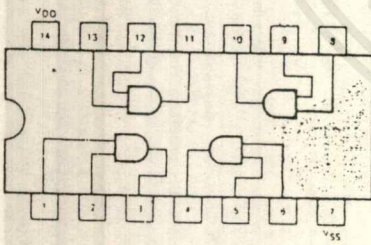
ECG4077B 14-Pin DIP See Fig. D6
Quad Exclusive NOR Gate,
 $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



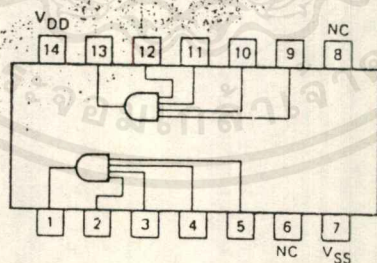
ECG4078B 14-Pin DIP See Fig. D6
8-Input NOR Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



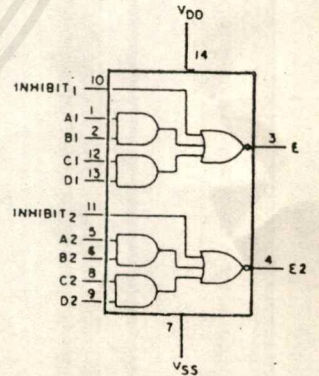
ECG4081B 14-Pin DIP See Fig. D6
Quad 2-Input AND Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



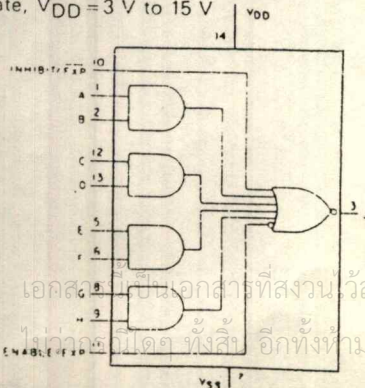
ECG4082B 14-Pin DIP See Fig. D6
Dual 4-Input AND Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



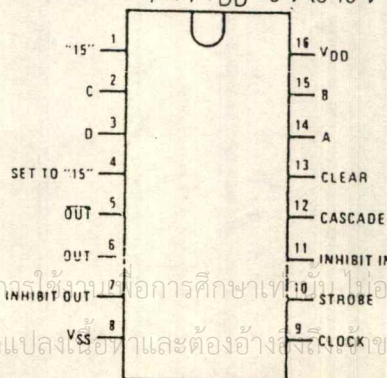
ECG4085B 14-Pin DIP See Fig. D6
Dual 2-Wide 2-Input AND/OR Invert Gate,
 $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



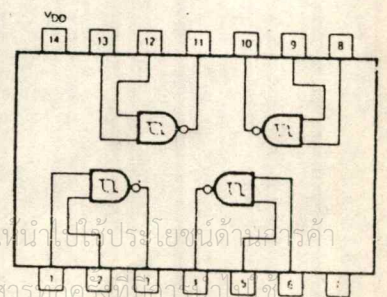
ECG4086B 14-Pin DIP See Fig. D6
Expandable 4-Wide 2-Input AND/OR Invert
Gate, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



ECG4089B 16-Pin DIP See Fig. D8
Binary Rate Multiplier, $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



ECG4093B 14-Pin DIP See Fig. D6
Quad 2-Input NAND Schmitt Trigger,
 $V_{DD}=3\text{ V to }15\text{ V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้า บอญญัตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องแจ้งให้ทราบโดยด่วน

ตารางที่ 1 แสดงค่า A_L จำนวนรอบของขดลวดที่พันแก้มแกนและขนาดของแกนที่เป็นผงเหล็กอัด

Powdered-Iron Toroidal Cores— A_L Values (μH per 100 turns)

Core Size	41-MHz Green $\mu = 75$	3-MHz Grey $\mu = 34$ 0.05-8 MHz	15-MHz Red & White $\mu = 25$ 0.1-2 MHz	1-MHz Blue $\mu = 20$ 0.5-8 MHz	2-MHz Pink $\mu = 10$ 2-30 MHz	8-MHz Yellow $\mu = 8$ 10-80 MHz	10-MHz Black $\mu = 6$ 30-100 MHz	12-MHz Green & White $\mu = 3$ 80-300 MHz	0-MHz Tan $\mu = 1$ 100-300 MHz
T-200	755	425	NA	250	120	100	NA	NA	NA
T-184	1640	720	NA	500	240	195	NA	NA	NA
T-157	970	420	360	320	140	115	NA	NA	NA
T-130	785	350	250	200	110	99	NA	NA	NA
T-106	900	450	345	200	110	99	NA	NA	15.0
T-94	590	248	200	180	84	70	58	32	19.0
T-80	450	180	170	115	55	45	32	22	10.6
T-68	420	195	180	115	57	45	32	22	8.5
T-50	320	175	135	100	49	47	32	21	7.5
T-44	229	180	160	105	52	42	33	18.5	6.4
T-37	306	120	90	80	40	30	25	15	6.5
T-30	375	140	93	85	43	36	25	16	4.9
T-25	225	100	85	70	34	27	19	12	6.0
T-20	175	76	65	52	25	22	18	10	4.5
T-16	130	61	55	44	22	19	16	10	3.5
T-12	112	60	50	46	20	17	13	8	3.0

NA—Not available in that size.

Turns = $100 \sqrt{L/H + A_L}$ value (above)

All frequency figures optimum

Number of Turns vs. Wire Size and Core Size

Approximate maximum of turns—single-layer-wound enameled wire

Wire Size	T-200	T-130	T-106	T-94	T-80	T-68	T-50	T-37	T-25	T-12
10	31	17	10	10	8	7	5	1	1	0
12	41	23	14	14	12	9	6	3	1	0
14	53	30	20	20	17	12	8	4	1	0
16	68	40	27	27	23	16	10	5	1	0
18	86	51	36	36	30	21	13	6	1	1
20	109	66	46	46	39	26	16	7	1	1
22	139	83	58	58	51	36	20	8	1	1
24	176	107	75	75	66	47	23	10	2	2
26	223	137	96	96	84	61	29	13	4	4
28	282	173	123	123	108	79	37	17	6	6
30	357	220	158	158	137	101	47	22	8	8
32	445	275	195	195	172	127	61	30	11	11
34	562	348	248	248	219	162	81	41	16	16
36	707	439	313	313	276	205	103	53	21	21
38	888	550	393	393	347	257	131	67	29	29
40	1116	693	496	496	436	325	168	87	37	37

Physical Dimensions

Core Size	Outer Dia (in)	Inner Dia (in)	Height (in)	Cross Sect. Area (cm ²)	Mean Length (cm)	Core Size	Outer Dia (in)	Inner Dia (in)	Height (in)	Cross Sect. Area (cm ²)	Mean Length (cm)
T-200	2.000	1.250	0.550	1.330	12.97	T-50	0.500	0.303	0.180	0.121	3.20
T-184	1.840	0.950	0.710	2.040	11.12	T-44	0.440	0.229	0.159	0.107	2.67
T-157	1.570	0.950	0.570	1.140	10.05	T-37	0.375	0.205	0.128	0.070	2.32
T-130	1.300	0.760	0.437	0.733	8.29	T-30	0.307	0.151	0.126	0.065	1.83
T-106	1.060	0.570	0.437	0.690	6.50	T-25	0.255	0.120	0.096	0.042	1.50
T-94	0.942	0.590	0.312	0.395	6.00	T-20	0.200	0.088	0.070	0.025	1.15
T-80	0.795	0.493	0.250	0.242	5.15	T-16	0.160	0.076	0.060	0.016	0.95
T-68	0.690	0.370	0.190	0.196	4.24	T-12	0.125	0.062	0.060	0.010	0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324, LM124A/LM224A/LM324A, LM2902 low power quad operational amplifiers

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 ± 15 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.

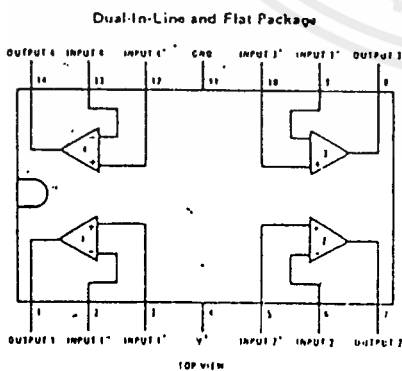
advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{CC1} 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 30 V_{DC}
 - or dual supplies ± 1.5 V_{DC} to ± 15 V_{DC}
- Very low supply current (drain) (800 μ A) essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at 15 V_{DC})
- Low input biasing current 45 nA_{DC} (temperature compensated)
- Low input offset voltage and offset current 2 mV_{DC} 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



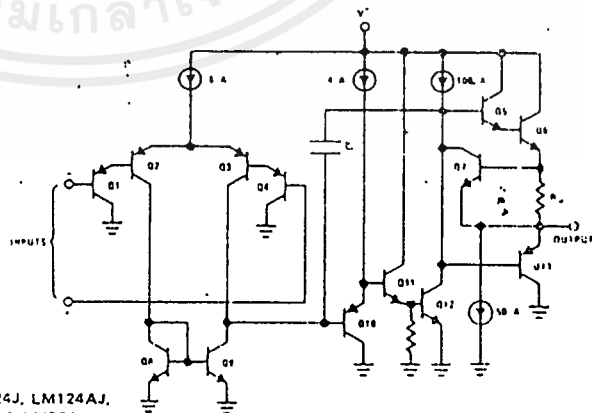
Order Number LM124D, LM124AD, LM224D or LM224AD
See Package 1

Order Number LM124F, LM124AF, LM224F or LM224AF
See Package 4

Order Number LM124J, LM124AJ, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324AJ or LM2902J
See Package 16

Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N
See Package 22

schematic diagram (Each Amplifier)



electrical characteristics (con't)

PARAMETER	CONDITIONS	LM124A	LM224A	LM324A	LM124/LM224	LM324	LM2902	UNITS
Input Offset Voltage	(Note 5) $R_S = 0\Omega$	7	7	7	7	7	7	mVDC
Input Offset Voltage Drift								$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(1)} = I_{IN(2)}$	30	30	75	±100	±150	45	nADC
Input Offset Current Drift							10	nADC/°C
Input Bias Current	$I_{IN(1)}$ or $I_{IN(2)}$	40	40	100	40	40	40	nADC
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30$ VDC	$V^+ - 2$	$V^+ - 2$	$V^+ - 2$	$V^+ - 2$	$V^+ - 2$	$V^+ - 2$	VDC
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15$ VDC (For Large V_O Swing) $R_L \geq 2$ k Ω	25	25	15	25	15	15	V/mV
Output Voltage Swing								
V _{OH}	$V^+ = +30$ VDC; $R_L = 2$ k Ω $R_L \geq 10$ k Ω	26	26	26	26	26	22	VDC
V _{OL}	$V^+ = -5$ VDC; $R_L \leq 10$ k Ω	27	27	28	27	28	23	VDC
Output Current		5	5	20	5	20	5	mVDC
Source	$V_{IN}^+ = +1$ VDC; $V_{IN}^- = 0$ VDC; $V^+ = 15$ VDC	10	10	20	10	20	10	mA
Sink	$V_{IN}^+ = -1$ VDC; $V_{IN}^- = 0$ VDC; $V^+ = 15$ VDC	10	15	5	5	8	5	mA
Differential Input Voltage	(Note 7)	V^+	V^+	V^+	V^+	V^+	V^+	VDC

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A, LM2902 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $175^\circ C/W$ 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 $+150^\circ C$ maximum junction temperature. The derating 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. The maximum output current is approximately 40 mA independent of V^+ . At values of supply voltage in excess of +15 VDC, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers. 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 transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also internal NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltage of the op amp to go to the V^+ voltage level 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 VDC.

Note 3: These specifications apply for $V^+ = +5$ VDC and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise stated. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$; the LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 4: $V_O \geq 1.4$ VDC; $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5 VDC to 30 VDC; and over the full input common-mode range 10 VDC to $V^+ - 1.5$ VDC.

Note 5: The direction of the input current is out of the IC due to the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the level of the input; no loading change exists on the input lines. The output can go to +37 VDC without damage (±26 VDC for LM2902).

Note 6: Due to proximity of external components, inductance that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitive increases at higher frequencies.