

แบบจำลองเครื่องตรวจจับการอาร์ค

ARC MONITOR



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรรมสิทธิ์

033341

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

เรื่อง แบบจำลองเครื่องตรวจจับการอาร์ค

คณะผู้จัดทำ

1. นาย จิรชาติ ฉินะวิจารณ์

2. นาย ชัยโรจน์ ทิมเสนีย์

3. นาย ยศพร เพ็ญคุณาพร

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# แบบจำลองเครื่องตรวจจับการอาร์ค

## ARC MONITOR

โดย นาย จิรชาติ จินะวิจารณ์ 33100055

นาย ชัยโรจน์ ทิมเสนีย์ 33100082

นาย ยศพร เพ็ญคุณาพร 33100309

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.จรงค์ บุญเส็ง

### บทคัดย่อ

อาร์คมอนิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับการอาร์คที่เกิดขึ้นในสวิตช์เกียร์ โดยต้องสามารถตรวจจับและตัดตอนได้ในเวลาอันสั้นที่จะไม่ทำให้เกิดอันตราย แก่มนุษย์และปริกณฑ์ ในส่วนของวงจรจะมีวงจรตรวจจับแสงจากการอาร์ค และหม้อแปลงตรวจจับกระแสเกินทำงานร่วมกับวงจรลอจิกทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ตัดตอนได้

### ABSTRACT

Arc monitor is used for detecting any arc that could happen in the main part of switchgear. An arc occurs due to a fault in an electrical installation. When an arc occurs, the part affected has to be disconnected instantly. A delay of just 100 ms is enough to put harm life and equipment at stake. If an arc monitor is fitted, damage will be less severe and repair time are shorter.

This research make a simulated circuit from the original model of the arc monitor that practically used.

Combined with both power electronics and logic circuit, this simulated circuit is quite satisfied

with the response that we need.

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

โครงการนี้เป็นโครงการที่ศึกษาถึงขั้นตอนในการเกิดอาร์คและวงจรถูก  
ใช้จะประกอบด้วย วงจรตรวจสอบการเกิดแสงจากอาร์คและตรวจสอบกระแส  
ในสาย line ของระบบแล้วจึงนำสัญญาณทั้งสองมาเป็นตัวควบคุมในการตัด  
วงจรถูก โดยตัวตัดวงจรถูกในโครงการนี้ใช้ SCR ต่อขนานกัน ซึ่งจะมี  
response time เร็วกว่า ตัวตัดวงจรถูกแบบแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในส่วน  
วงจรถูกได้อธิบายไว้ละเอียดพอสมควร

ผู้จัดทำหวังว่าปริิญาานิพนธ์เล่มนี้คงจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านพอสมควร  
หากมีความผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

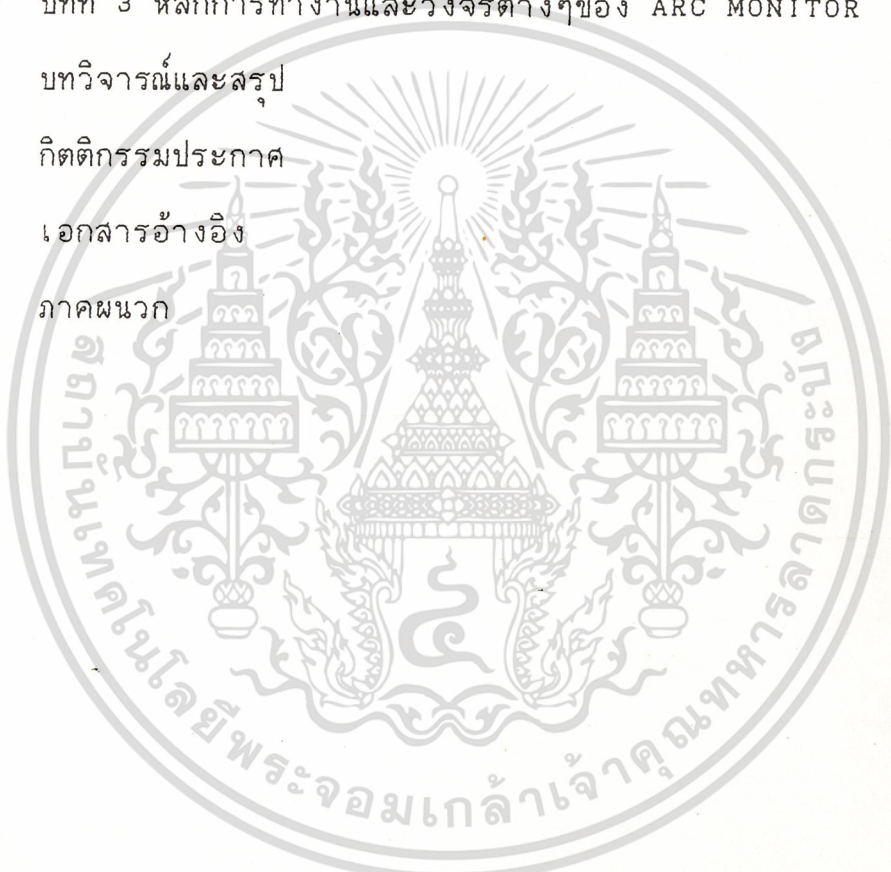
จัดทำโดย

นาย จิรชาติ	จีนะวิจารณ์	33100055
นาย ชัยโรจน์	ทิมเสนีย์	33100082
นาย ชศพร	เพ็ญคุณาพร	33100309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
- วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ	1
- บทที่ 1 การอาร์คทางไฟฟ้า	2
- บทที่ 2 ทฤษฎีและอุปกรณ์ที่ใช้	11
- บทที่ 3 หลักการทำงานและวงจรต่างๆของ ARC MONITOR	50
- บทวิจารณ์และสรุป	58
- กิตติกรรมประกาศ	64
- เอกสารอ้างอิง	65
- ภาคผนวก	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ

เนื่องจากในตู้สวิตช์เกียร์ในระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญ ซึ่งมีโวลเตจและกระแสสูง ซึ่งเมื่อเกิด fault ขึ้น จะเกิด fault อย่างรุนแรง ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ตู้สวิตช์เกียร์และเป็นอันตรายต่อชีวิตคนได้ ถ้าเราไม่มีระบบการป้องกันที่ดีพอ ในโครงการนี้ได้ศึกษาถึงขั้นตอนการเกิดอาร์ครวมทั้งออกแบบวงจรป้องกัน โดยมีการตรวจสอบแสงที่เกิดจากการอาร์คและตรวจสอบกระแสในระบบ เมื่อมีสัญญาณจากการตรวจสอบทั้งสองส่วนก็จะมี การตัดวงจร โดยการตัดวงจรมันเราใช้ SCR เพื่อความรวดเร็วในการตัดวงจร ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นจะตัดวงจรได้รวดเร็วกว่าตัวตัดวงจรที่ใช้การตัดวงจรของแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการที่เริ่มต้นในปีนี้เป็นปีแรกจึงอาจมีข้อบกพร่องที่ควรจะได้รับการพัฒนาต่อไป

## บทที่ 1 การอาร์คทางไฟฟ้า

### อาร์คไฟฟ้า

อาร์คไฟฟ้า เป็นลักษณะหนึ่งของการเกิดดิสชาร์จในก๊าซ อันเกิดจากการแยกห่างของหน้าสัมผัสของตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ เช่น หน้าสัมผัสของสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือเกิดจากการดิสชาร์จ เช่น เบรกดาว์นหรือลัดวงจรของตัวนำไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเกิดจากการที่ฉนวนของตัวนำแรงสูงนั้นทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าไม่ได้ อาร์คไฟฟ้าจัดเป็นดิสชาร์จแบบประทุตัวเองอยู่ได้ ในขณะที่เกิดอาร์คจะมีกระแสไหลในแกนสูงมากและมีแสงจ้าแรงดันตกคร่อมอาร์คมีน้อย โดยทั่วไปลักษณะความลัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันในช่วงอาร์คดิสชาร์จนี้ จะมีความชันเป็นลบ ที่ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่า อาร์คไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นลำแสงจ้าเล็กๆแต่มีอุณหภูมิสูงมากและทำให้เกิดการแตกตัวทางเทอร์มัลของก๊าซ ก๊าซที่อยู่รอบลำอาร์คจะมีอุณหภูมิเย็นกว่ามีลักษณะเป็นเปลวและมักจะเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ อุณหภูมิของอาร์คไฟฟ้าในก๊าซที่ความดันต่ำและความดันสูงมีค่าต่างกันที่ลำอาร์คบวก ที่ความดันสูงอุณหภูมิอาจขึ้นไปสูงถึง 5000 - 6000 K ที่ความดันก๊าซต่ำอุณหภูมิอาร์คอยู่ในช่วงไม่กี่ร้อยองศาเซลเซียส

เมื่อเกิด fault ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าคือเกิดการอาร์คขึ้น เราจำเป็นต้องตัดระบบอย่างทันที ความล่าช้าไปเพียง 100 ms ย่อมหมายถึงความเสียหายต่อชีวิตและอุปกรณ์ ถ้าติดต่ออาร์คมอนิเตอร์ จะช่วยลดความเสียหายได้อย่างมาก arc monitor ของ ABB มีความเชื่อถือได้อย่างมากเนื่องจาก

ใช้ไฟเบอร์ออปติกเป็นสายส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งจากแหล่งทรัพยากรทั่วโลกที่ถูกละเมิดลิขสิทธิ์และเชื่อถือได้มากขึ้นใน

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง อุบัติเหตุจากอาร์คในสวิตช์เกียร์และแผงควบคุมเกิด  
ได้มากถึงหนึ่งในสามของอุบัติเหตุที่เกิดในอุตสาหกรรม ความบาดเจ็บ  
ของมนุษย์และความเสียหายของอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับเวลาในการเกิดอาร์คและค่า  
กระแส short circuit กระบวนการเกิดอาร์คจะคล้ายกับการปะทุระเบิดขึ้น  
และทางที่ระงับได้คือการตัดระบบทั้งหมดออกในทันทีทันใดให้เร็วที่สุด

ความยาวนานในการเกิดอาร์คจะขึ้นกับเซอร์กิต เบรกเกอร์และการติดตั้ง  
การป้องกันอุปกรณ์รวมทั้งเวลาที่ตั้งไว้ของรีเลย์ ดังนั้นปัจจัยสำคัญคือการทริปที่  
เป็นลำดับและการจัดการกับกระแสเกิน

อาร์คจาก fault บนสายพีดเตอร์ของ LV สวิตช์เกียร์ซึ่งปกติจะป้องกัน  
โดย LVHRC ฟิวส์ สามารถจำกัดได้ภายในเวลาไม่กึ่งมิลลิวินาทีโดยไม่มีผลกับ  
selectivity พีดเตอร์ที่ป้อนเข้าและบัลบาร์ปกติจะมีเมนเซอร์กิต เบรกเกอร์  
พร้อมกับทริปปรับเวลาเพื่อป้องกันการ short circuit บ่อยครั้งที่ไม่มี  
การป้องกันในเซอร์กิตเบรกเกอร์บนฝั่ง HV ของพีดเตอร์หม้อแปลงซึ่งจะขึ้นกับ  
การทริป เวลาทริปปรับได้ถึง 200 ms ในบางกรณีเนื่องจากการแบ่ง short  
circuit ในการติดตั้งคือเวลาที่ติดตั้ง

arc monitor ที่มีประสิทธิภาพทำงานได้เร็วได้แก้ปัญหาเหล่านี้เวลาใน  
การตัดระบบใช้เพียง 30 - 40 ms แม้ว่าการใช้จะมีผลต่อ selectivity  
plan แต่จะเกิดขึ้นเมื่อ fault นั้นเกิดขึ้นเมื่อ fault นั้นเป็นสาเหตุให้ระ  
บบขัดจังหวะไป

ก๊าซความร้อนสามารถทำให้ส่วนหุ้มสวิตช์เกียร์ระเบิดได้

มีปริมาณความร้อนและการแผ่ความร้อนสูงโดยพลอยจากการอาร์คดัง

กล่าวไว้แล้วนั้น ในสวิตช์เกียร์ในร่มซึ่งมีช่องว่างที่จำกัด พลังงานเหล่านี้จะกัก  
เอกสารนี้เป็นเอกสารพลังงานไว้สำหรับการใช้งานในอนาคต ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีให้ความมั่นคงสูงขึ้น ความดันที่เพิ่มขึ้นอาจจะสูงถึงขั้นทำให้ส่วนหุ้มระเบิดได้ ถ้า

ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน ในกรณีรุนแรง ความเสียหายของอุปกรณ์อาจรุนแรงถึงขนาดการติดตั้งไม่สามารถปฏิบัติการได้เป็นเวลานาน บุคคลที่ยืนใกล้กับสวิทช์ เกียร์ เมื่อเกิดอาร์คอาจเป็นอันตรายได้ง่าย

สิ่งที่ต้องคำนึงอย่างมากคือต้องป้องกันอาร์คเกิดขึ้นเป็นอย่างแรกควบคุมความร้อนสูงและแสงจ้าเกิดในเวลาชั่วพริบตา

ในแกนกลางของการอาร์ค อุณหภูมิจะสูงถึง 20,000 C ก่อให้เกิดแสงไฟร้อนกว่าปกติถึง 2,000 เท่า ความร้อนนี้จะขึ้นไปอย่างรวดเร็วทำให้เหล็กและทองแดงในส่วนที่ไม่เกิดการหลอมแต่จะระเหยเป็นไอไปเลย ถ้าไม่ดับอาร์คในระยะเริ่มแรกจะเป็นอันตรายอย่างยิ่งในระยะต่อไป

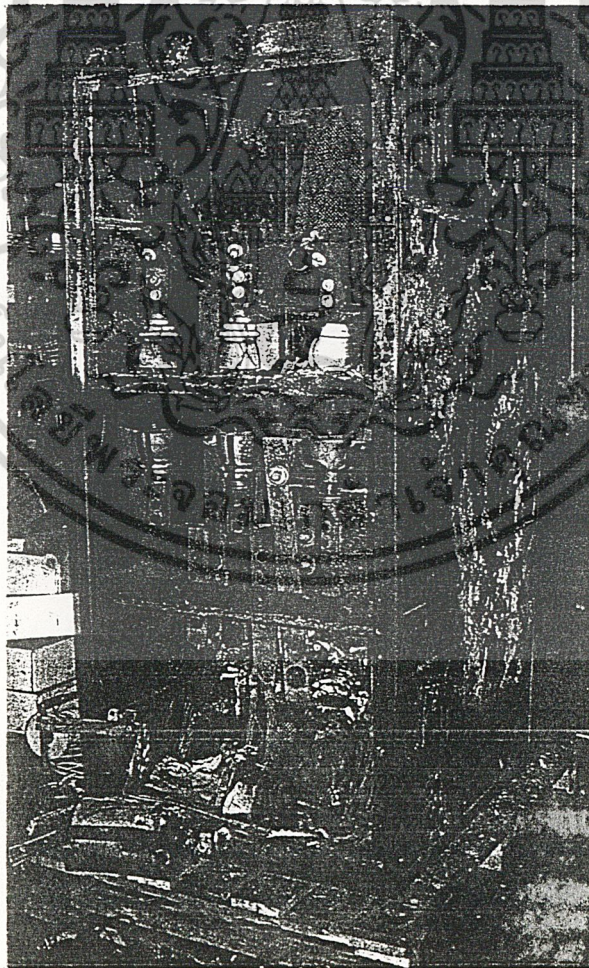
การอาร์คจะมีผลเป็นอันตรายมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม ความร้อนสูงและการแผ่ของอาร์คที่นอกเหนือจากการจุดติดไฟของวัสดุอาจก่อให้เกิดการไหม้ ตาบอดและช็อคอย่างรุนแรงในบุคคลนั้นๆอุณหภูมิอาจสูงถึงขั้นฉนวนพอลิเอทิลีนหลอมและกลายเป็นไอได้ นอกจากนั้นอากาศในบริเวณอาร์คจะแผ่อย่างรวดเร็วและอาจก่อให้เกิดความดันสูงฉับพลันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายในทางอ้อม อากาศนั้นจะยังมีสารพิษอีกด้วย

พลังงานสูงจากอาร์คทำให้วัสดุเผาไหม้

การอาร์คก่อให้เกิดพลังงานซึ่งเท่ากันไม่ว่าบัสบาร์นั้นจะทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียมก็ตาม ด้วยวิธีการทดสอบอาร์ค (660 V , SHORT CIRCUIT CURRENT 500 KA, เวลาอาร์ค 300 MS ) เป็นที่ยืนยันกันว่าพลังงานสูงจากอาร์คจะทำให้เนื้อวัสดุลดลงไปอย่างมาก 0.3 กก. สำหรับทองแดงและ 0.27 กก. สำหรับอลูมิเนียมในบัสบาร์ จะพบฝุ่นและตะกอนที่มีโลหะและออกไซด์ของโลหะบนผนังของตู้สวิทช์ เกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การอาร์คจะก่อให้เกิดความเสียหายเป็นบางส่วนต่อเนื่องกัน ถ้าปล่อยไม่ทำการแก้ไข ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มีการกระจายต่อไปในลิวทซ์เกียร์หรือในแผงควบคุม ความเร็วในการแพร่  
ในอัตรา 20 - 50 m/s พบในลิวทซ์เกียร์แบบ open - type ใน  
การทดสอบพบว่า การจำกัดกระแสจะลดลงสำหรับการแพร่ของการอาร์คซึ่งขึ้น  
กับลักษณะของการติดตั้ง เป็นส่วนใหญ่ไปกับการจำกัดอันตรายที่เกิดขึ้นกับมนุษย์  
ความเสียหายในอุปกรณ์และเวลาที่เกิดขึ้น เป็นเวลานาน ความรุนแรงของ  
การบาดเจ็บและความเสียหายจะลดลงอย่างอัตโนมัติ เมื่อพลังงานที่เกิดน้อยลง  
อย่างไรก็ตาม เป็นการไม่เพียงพอที่จะวัดเพียงพลังงานที่ปล่อยออกมาโดยอาร์ค  
จากการควบคุมโดยการเสริมส่วนต่างๆของการหุ้มและโดยการรักษาความดัน  
โดยการระบายของท่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 1.1 ลักษณะตู้ลิวทซ์เกียร์แบบที่ไม่มีตัวจับอาร์คและมีการอาร์คเกิดขึ้นการนำไปใช้

เวลาในการตัดระบบภายในเวลา 35 ms จะป้องกันความเสียหายได้

เวลาในการตัดระบบที่เร็ว เป็นวิธีป้องกันที่ดีที่สุดในการลดและจำกัดอันตรายที่ความเสียหายเกิดขึ้นได้ การรวมเอา arc monitor และเซอร์กิตเบรกเกอร์ความเร็วสูงได้ช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยทำให้เวลาลดลงซึ่งช่วยให้การติดตั้งลัมพูทธิผลมากขึ้น

จากการทดลองในห้องแล็บแสดงให้เห็นว่ามนุษย์และอุปกรณ์จะมีทางรอดได้ถ้าตัดระบบภายใน 35 ms arc monitor ชนิด TVOC จาก ABB มีเวลาในการตอบสนองเพียง 2 ms สามารถทริปได้หลังจากเกิดขึ้นแรกของการอาร์ค ซึ่งจะช่วยให้การทำความสะอาดและการตรวจสอบเป็นไปอย่างรวดเร็ว

บริษัทประกันทั้งหลายได้รับรอง arc monitor จาก ABB จากการที่มีความเสี่ยงน้อยในการติดตั้งกับระบบซึ่งทำให้ค่าเบี้ยประกันของการติดตั้งลดลง การคำนวณพลังงานที่เกิดจากการอาร์ค

พลังงาน E ปลดปล่อยโดยอาร์คฟอลต์เป็นฟังก์ชันของ N ซึ่งเกิดอย่างทันที โวลเตจครอป  $e_n$  กระแสไหล  $i_n$  เวลาเกิดอาร์ค  $T_n$  ทำให้ได้สูตร

$$E = \sum_{n=1}^N \int_0^{T_n} e_n \cdot i_n dt$$

อาร์คโวลเตจ  $e_n$  ที่กระแสสูงแทบจะไม่ขึ้นกับกระแสเลยและเพิ่มขึ้นอย่างแปรผันตรงกับความยาวนานอาร์ค  $i_n$  ตามความสัมพันธ์

$u_1$  มีค่า 15 - 20 v/cm ทั้ง 2 ค่านี้เป็นค่าคงที่ ความยาวนานอาร์คจะพิจารณาจากช่องว่างอากาศระหว่างเฟสต่อเฟสและเฟสต่อพื้นดิน กระแส  $i_{ph}$  ส่วนมากพิจารณาจากพิกัดกำลังและโวลเตจวงจรลัดของหม้อแปลง มีอยู่บ้างที่ กระแส  $i_{ph}$  เป็นผลจากอาร์คโวลเตจและจำนวนอาร์คที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ทั้งอาร์คโวลเตจและกระแสอาร์คจึงพิจารณาว่าไม่มีผลในการคิด

จำนวนครั้งการอาร์คอาจผันแปรได้ขึ้นกับว่า 3 เฟสได้ถูกแบ่งแยกไปหรือไม่ ถ้าไม่มีการแบ่งแยกการอาร์คจะเริ่มในเฟสหนึ่งซึ่งจะจุดติดอาร์คในเฟสอื่น เนื่องจากการไอออไนเซชันในอากาศ จากการทดลองในห้องแล็บแสดงให้เห็นว่าจะมีอาร์คเกิดขึ้น 2 ที่พร้อมๆกันในกรณีข้างต้น

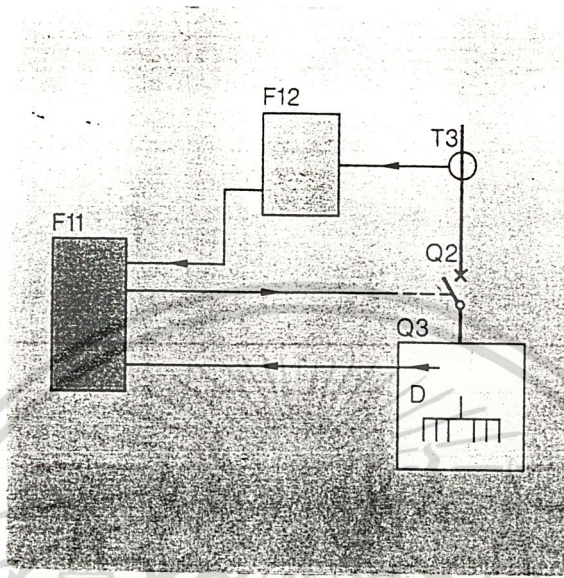
พลังงานจากการอาร์คมีค่าถึง 7.5 MW

อาร์คแบบขนานไม่สามารถเผาไหม้ได้นานเนื่องจากคุณลักษณะอัตราส่วนของกระแสกับโวลเตจของการอาร์คจะมีตัวหนึ่งที่จะถูกดับหรือเผาไหม้เป็นพักๆไป การแยกกันของเฟสจะได้ผลดีในการจำกัดการลามของอาร์คไปสู่อีกอัน อย่างไรก็ตาม กระทั่งกรณีเป็นพักๆ อาร์คเผาไหม้ก็อาจเกิดขึ้น

ในกรณี 3 เฟสลัดวงจรซึ่งเราพบมากที่สุด ฟอลต์อาร์คที่เกิดขึ้นพร้อมกับกระแสในเฟสและโวลเตจจะทำให้เกิดพลังงานถาวรล้มพัทธ์หลังจากการช็อตเรียกว่า ทรานเซียนท์แรกเริ่ม

ในการทดสอบการอาร์คกับโวลเตจ 660 v และกระแสลัดวงจร 50 KA (rms) อาร์คฟอลต์จะแรกเริ่มเกิดทั้งใน 3 เฟสพร้อมๆกันและคงอยู่นาน 300 ms จากที่กำลังแปรเปลี่ยนมาจากกระแสไม่สมมาตรในเวลาสั้นๆ หลังจากกลิ้งหยุดจ่ายไปในช่วงไซเคิลแรกของการทดสอบทำให้กำลังสูงสุดถึง 31

MW และลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 24 MW ซึ่งจะยังคงที่ตรวบเท่าเวลาลัด  
เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงในลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ซึ่งวัดพลังงานอาร์คได้ประมาณ 7.5 MW เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดง block diagram ของ arc monitor  
แบบมี current sensing unit

F11 Arc monitor

F12 Load current sensing unit

T3 Current transformer

D Detector

Q2 Circuit-breaker

Q3 Switchgear or distribution board

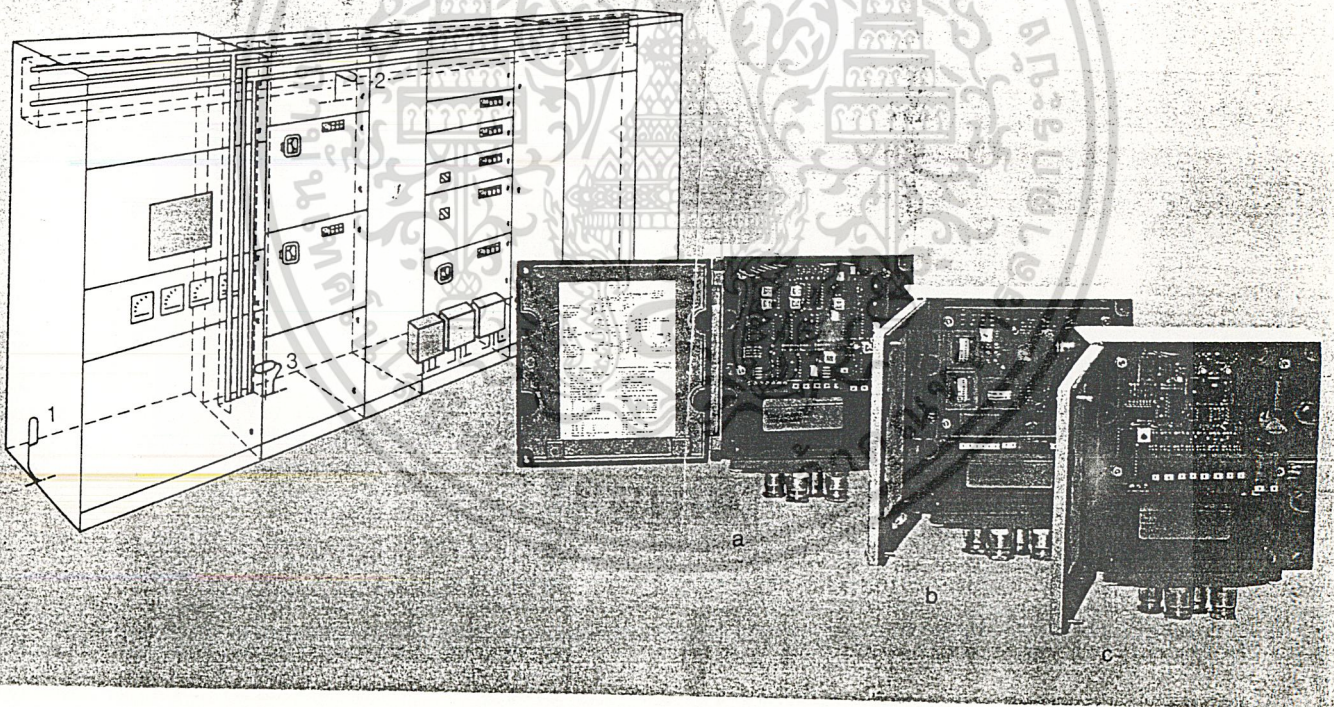
แฟคเตอร์ที่สำคัญคือรวดเร็วและตอบสนองได้ดี

arc monitor รวดเร็วมากพอที่จะทำงานก่อนที่การอาร์คจะเกิดขึ้น

อย่างสมบูรณ์ ข้อได้เปรียบอย่างมากคือมันตอบสนองได้รวดเร็วอย่างเท่าเทียม  
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ จะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในขณะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์มักจะเซตกับรีเลย์เพื่อให้

แน่ใจว่ามันไม่ทรยศโดยที่ยังไม่ถูกเลือก ถ้า arc monitor จะใช้ได้อย่างได้ผลในสวิตช์เกียร์ในร่มเพื่อป้องกันวงจรลัด มันจะต้องไม่มีข้อบกพร่องเลย การทรยศอย่างไม่ตั้งใจอาจเกิดจาก

- การรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดจากโวลเตจในสวิตช์สูงเกินไปหรือสนามแม่เหล็ก AC ที่เกิดจากกระแสฟลัดในวงจรติดกัน
- ฟ้าผ่าในบริเวณนั้นที่แสงผ่านมาจากตู้ที่เปิดประตูไว้หรือแสงจากสวิตช์ไฟในตู้
- อาร์คจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ติดกันในระหว่างการทำงานปกติ



รูปที่ 1.3 แสดงตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง arc monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.Switch gear panel
- 2.Horizontal busbar
- 3.Vertical busbar



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและอุปกรณ์ที่ใช้

### 2.1 ไทริสเตอร์คืออะไร

ไทริสเตอร์เป็นชื่อของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ on และ off ได้ โดยปกติโครงสร้างของไทริสเตอร์จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อ P-N-P-N ไทริสเตอร์อาจจะมีขาต่อได้ตั้งแต่ 2 ขา 3 ขาหรือ 4 ขาและอาจเป็นชนิดนำกระแสในทิศทางเดียวหรือสองทิศทางก็ได้

ในบรรดาอุปกรณ์ที่อยู่ในจำพวกของไทริสเตอร์นั้น แอสซิวาร์ออกจะเป็นอุปกรณ์ที่มีผู้รู้จักกันดีมากที่สุดและแอสซิวาร์ก็เป็นอุปกรณ์ที่นำกระแสได้ทางเดียว เหมือนกับไดโอดแต่มีสามขา ขาที่เพิ่มมาจึงเป็นขาควควบคุมอีกขาหนึ่ง นอกจากนี้ไตรแอกค์ก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของไทริสเตอร์เช่นกัน แต่มีลักษณะการทำงานและการใช้งานที่แตกต่างจากแอสซิวาร์คือสามารถนำกระแสได้สองทาง

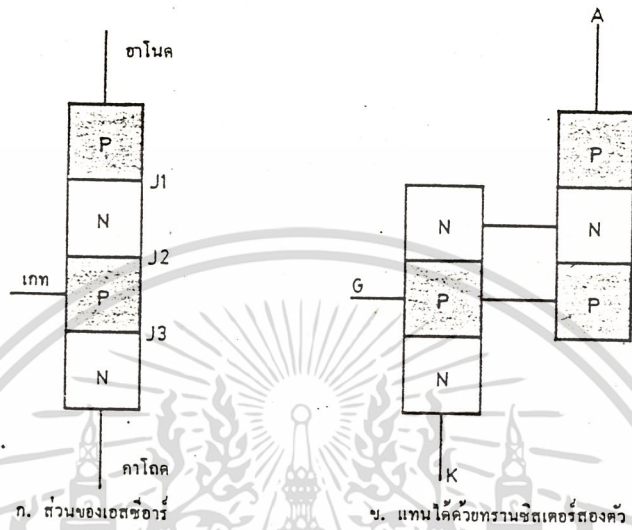
ไทริสเตอร์ยังประกอบด้วยอุปกรณ์อย่างอื่นอีกหลายอย่าง เช่น เกท เทรินอนสวิตซ์ (GTO)

#### ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของแอสซิวาร์

แอสซิวาร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้นแต่ต่อเป็นขั้วออกมาได้ 3 ขั้วคือ ขาแอนโอด คาโทดและเกท ดังแสดงในรูปที่ 2.1.1 การทำงานของแอสซิวาร์มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับไดโอดที่มี 2 สถานะคือสถานะการนำกระแสและไม่นำกระแส

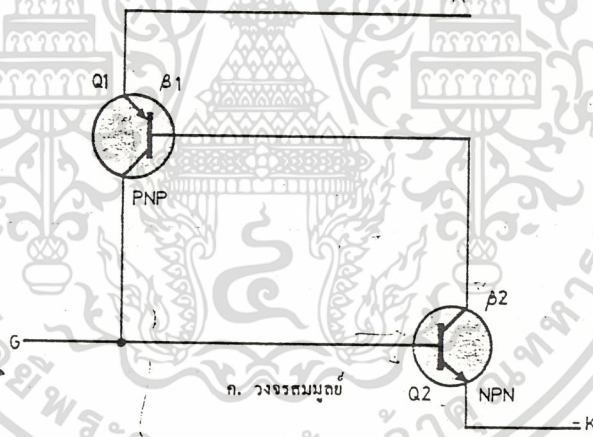
เมื่อพิจารณาโครงสร้างของแอสซิวาร์เราจะเห็นว่าจากลักษณะโครงสร้าง PNPN เราสามารถแยกแอสซิวาร์ออกเป็นทรานซิสเตอร์สองตัวได้

โดยทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งจะเป็นชนิด NPN อีกชนิดหนึ่งจะเป็น PNP ดังรูปที่ ๒.๑.๑  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำไปใช้  
 ไม่ถูกต้องและถ้าใช้ขั้ววงจรทรานซิสเตอร์ทั้งสองที่ประกออบกันก็จะได้ดังรูปที่ ๒.๑.๑



ก. ส่วนของเฮลซอร์

ข. แทนได้ด้วยทรานซิสเตอร์สองตัว



ก. วงจรสมมูล

รูปที่ 2.1.1 โครงสร้างของเฮลซอร์และสัญลักษณ์

ขั้วคาโนดของเฮลซอร์จะต่อกับสารชนิด P ที่อยู่ชั้นนอกสุด ขาคาโทดจะต่อกับสารชนิด N ที่อยู่ชั้นนอกสุดเช่นกัน ส่วนขาเกตต่อกับสารชนิด p ชั้นใน

ถ้าดูกันตามวงจรมมูลแล้วขาคาโนดก็คือขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ยากซึ่งต่ออยู่กับขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ลักษณะการต่อ เช่นนี้

เป็นการป้อนกลับแบบบวก ถ้าหากเราให้ผลคูณของอัตราขยายกระแส  $\rho_1$  และ  $\rho_2$  ซึ่งเป็นอัตราขยายกระแสของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  มีค่ามากกว่า 1 แล้วจะทำให้การป้อนกลับอยู่ในลักษณะที่จะเพิ่มกระแสให้ทำงานมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะเป็นการป้อนกลับแบบบวก แต่ถ้าหากให้  $\rho_1 \rho_2$  มีค่าน้อยกว่า 1 วงจรจะมีเสถียรภาพไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

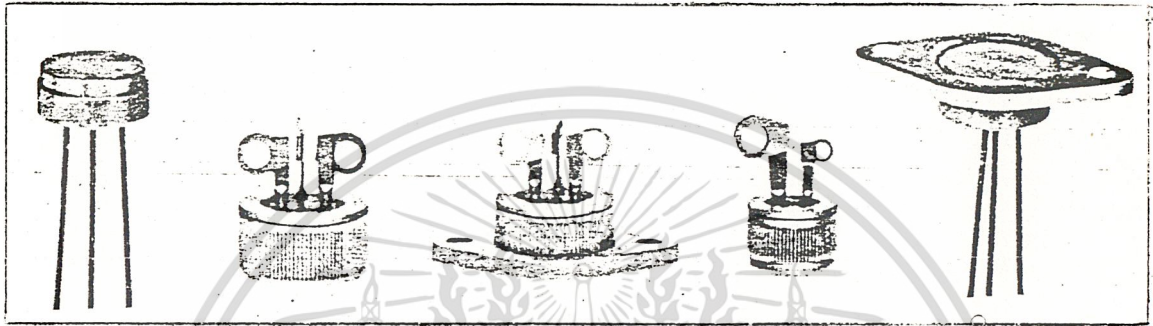
ถ้าหากเราให้แรงดันที่เอาโนด A เป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโอด K และถ้าแรงดันที่เกต G มีค่าเป็นลบจะทำให้เกิดการไบแอสกลับรอยต่อทรานซิสเตอร์  $Q_2$  อยู่ในสภาวะไม่นำกระแสคือไม่มีกระแสไหลเข้าทางคอลเลคเตอร์ นอกจากกระแสรั่วไหลเท่านั้น ดังนั้นเอสซีอาร์ก็จะไม่มีกระแสไหลจากเอาโนดไปยังคาโอดได้ ความต้านทานระหว่าง A กับ K จึงมีค่าสูงมาก

ครั้งถ้าให้แรงดันที่เกตมีค่าเป็นบวกหรือให้กระแสไหลเข้าทางขาเกตจกให้ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  นำกระแสเป็นเหตุให้กระแสคอลเลคเตอร์มีค่ากระแสสูงและเนื่องจากค่ากระแสคอลเลคเตอร์ของ  $Q_2$  เป็นกระแสเบสของ  $Q_1$  จึงเท่ากับว่าเป็นการทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  นำกระแสด้วย เป็นผลทำให้กระแสที่ไหลมาจากเอาโนดยังมีค่ามากขึ้น จึงทำให้กระแสเบสของ  $Q_2$  ก็เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งก็เป็นการป้อนกลับแบบบวกทำให้กระแสไหลผ่านจากเอาโนดมายังคาโอดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะถูกจำกัดค่าโดยวงจรภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานระหว่างเอาโนดกับคาโอดมีค่าต่ำมาก

จากหลักการข้างบนเราจะเห็นว่าเอสซีอาร์จะทำงานเมื่อมีกระแสทริกให้กับทรานซิสเตอร์  $Q_2$  หลังจากทริกแล้วกระแสจะไหลระหว่างเอาโนดกับคาโอดตลอดเวลาและไม่จำเป็นต้องคงกระแสทริกไว้เพราะกระแสเบสของ

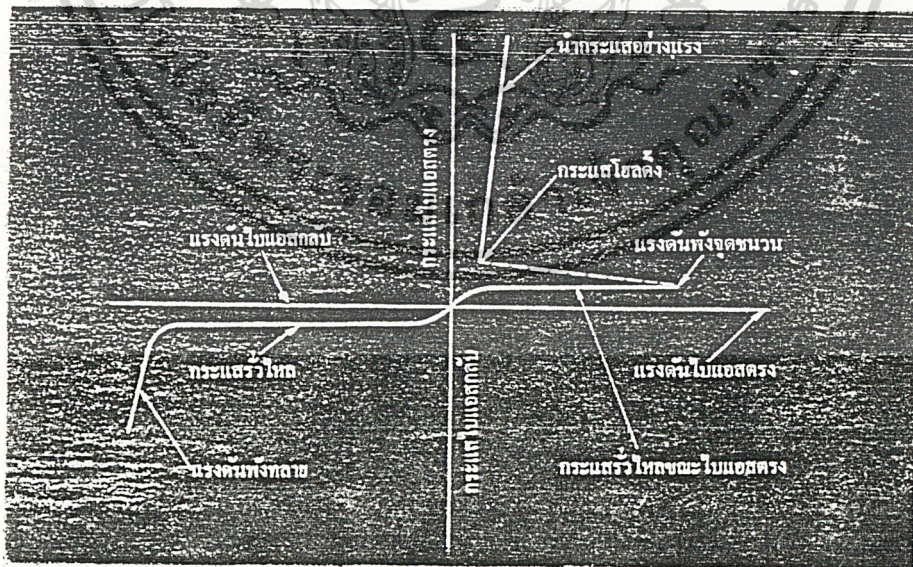
$Q_2$  สามารถมาจากกระแสคอลเลคเตอร์ของ  $Q_1$  ได้ การที่เอสซีอาร์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรรมสิทธิ์ในสิ่งนี้ ยกเว้นแต่เพียงผู้เดียว

แรงดันไบแอสตรงที่ขาอินพุตและคาโอด แรงดันที่ให้กับเอลซีอาร์จะต้องมีอินพุตเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาคาโอดเท่านั้นที่จะทำให้เอลซีอาร์นำกระแสได้



รูปที่ 2.1.2 ลักษณะของเอลซีอาร์แบบต่างๆ

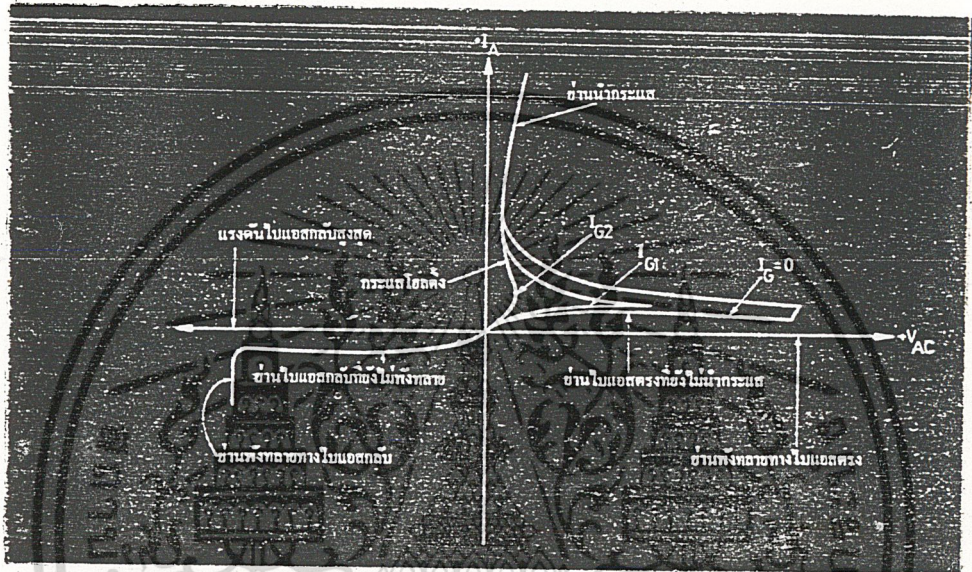
ลักษณะสมบัติของเอลซีอาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการรูปที่ 2.1.1 หรือที่กราฟลักษณะสมบัติของเอลซีอาร์ เมื่อยังไม่ทริกด้วยกรีสี่แวลท์ก็ใช้



### กระแสโวลต้ง



รูปที่ 2.1.4 ลักษณะของเอสซีอาร์ขณะที่มีการทริกเกิดขึ้น

### รายละเอียดชนิดจำกัดของเอสซีอาร์

รายละเอียดของชนิดจำกัดก็คือสเปคของเอสซีอาร์ โดยปกติการออกแบบวงจรเอสซีอาร์จะต้องคำนึงถึงชนิดจำกัดเหล่านี้เพราะชนิดจำกัดเหล่านี้จะบอกถึงช่วงที่เอสซีอาร์ทำงานได้โดยไม่เกิดการเสียหาย โดยปกติชนิดจำกัดของเอสซีอาร์จะยังคงเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมได้อีกเล็กน้อย ดังนั้น

ผู้ผลิตจึงกำหนดชนิดจำกัดไว้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิประมาณ 25° c เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ชนิดจำกัดของ เอสซีอาร์ที่ล้าคณมีดังนี้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แรงดันไบแอสตรงจุดชนวนหรือแรงดันพังขณะไบแอสตรง (Forward breaker voltage)** แรงดันพังขณะไบแอสตรงคือแรงดันที่ป้อนชั่วคราวให้กับอาโนดและลบให้กับคาโทดแล้ว เอลซีอาร์จะนำกระแสได้และถ้าไม่มีตัวจำกัดกระแสจากภายนอกเอลซีอาร์ก็จะพังทันที การนำกระแสของเอลซีอาร์นี้ไม่ต้องมีการทริก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันพังนี้ใช้  $BV_F$  หรือ  $V_{B_0}$  ในการใช้งานเอลซีอาร์ เรามักจะไม่ให้เอลซีอาร์นำกระแสด้วยการป้อนแรงดันนี้ เพราะจะเป็นการเสี่ยงต่อการเสียหายของเอลซีอาร์อยู่มาก ดังนั้นเมื่อใช้งานที่แหล่งจ่ายไฟสูงสุด 400 โวลต์ เราจะต้องให้แรงดันค่านี้มีค่ามากกว่า 400 โวลต์

**แรงดันบล็อกรั้งขณะไบแอสตรง (Forward blocking voltage)** แรงดันบล็อกรั้งขณะไบแอสตรงนี้คือค่าแรงดันสูงสุดที่คร่อมเอลซีอาร์ซึ่งไม่ทำให้มันนำกระแส ผู้ผลิตบางบริษัทก็ใช้ค่าแรงดันไบแอสตรงจุดชนวนเพราะความหมายใกล้เคียงกันมาก เอลซีอาร์ที่มีแรงดันบล็อกรั้งขณะไบแอสตรง 400 โวลต์แต่สูงกว่า 400 โวลต์ก็ไม่ได้ แต่ถ้าเอลซีอาร์มีค่าแรงดันไบแอสตรงจุดชนวน 400 โวลต์จะใช้กับแรงดันไฟสูงสุด 400 โวลต์ไม่ได้ สัญลักษณ์ที่ใช้จะชื่อว่า  $V_{EOM}$ ,  $V_{F(OFF)}$ ,  $V_{FX}$

**กระแสไบแอสตรงสูงสุด (Maximum forward current)** กระแสที่ไหลผ่านเอลซีอาร์ขณะที่มันนำกระแสจะแปรตามอุณหภูมิที่ขั้วต่อของเอลซีอาร์ โดยปกติกระแสนี้จะเป็นกระแสที่ทำให้รอยต่อเกิดความร้อนจนมันพังได้ ดังนั้นในขณะที่ใช้งานจึงต้องเลือกค่ากระแสไบแอสตรงสูงสุดให้พอเหมาะ จากข้อแนะนำของผู้ผลิตได้กล่าวว่า ถ้าให้กระแสใช้งานมีค่าเฉลี่ย 1 แอมแปร์จะต้องเลือก

เอลซีอาร์ที่มีกระแสไบแอสตรงสูงสุดอย่างน้อย 1.57 แอมแปร์ และจะต้องมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะแพร่หรืขายความรู้ร้อนด้วยค่ากระแสนี้ ใช้สัญลักษณ์ว่า  $I_{FMAX}$  ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กระแสจุดชนวนเกต (gate trigger current)** เป็นกระแสที่ใช้ในการทริกหรือจุดชนวนให้เอสซีอาร์ทำงาน โดยใช้สัญลักษณ์ย่อว่า  $I_{GT(MIN)}$  ค่ากระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิได้บ้าง

**แรงดันจุดชนวนเกต (Gate trigger voltage)** เป็นค่าแรงดันที่ใส่เข้าทางเกตเมื่อเทียบกับขาคาโอด แรงดันที่ให้ที่เกตนี้อาจมีค่าเท่ากับแรงดันจุดชนวนแล้วจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแส ค่าแรงดันนี้ใช้สัญลักษณ์  $V_{GT}$

**กระแสโฮลดิ้ง (Holding current)** เป็นค่ากระแสที่ไหลระหว่างอาโนดและคาโอดที่ต่ำที่สุดที่ยังทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ หลังจากที่ได้ทำการจุดชนวนเกต กระแสโฮลดิ้งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงสัญลักษณ์คือ  $I_H$

**แรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak verse voltage)** โดยปกติถ้าทำการไบแอสกลับระหว่างอาโนดกับคาโอดจะทำให้เอสซีอาร์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดตัวหนึ่ง ดังนั้นถ้าหากให้แรงดันไบแอสกลับนี้สูงมากจนเกินไปแล้ว เอสซีอาร์ก็จะพังเสียหายได้ เอสซีอาร์ทั่วไปจะให้แรงดันไบแอสกลับ ในขณะที่เกิดขึ้นกันบ่อยๆหรือถี่มากตามลูกคลื่นที่ใช้ได้ต่ำกว่าแรงดันไบแอสกลับขณะที่มีพัลส์ของแรงดันชั่วขณะ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดคือ  $V_R$

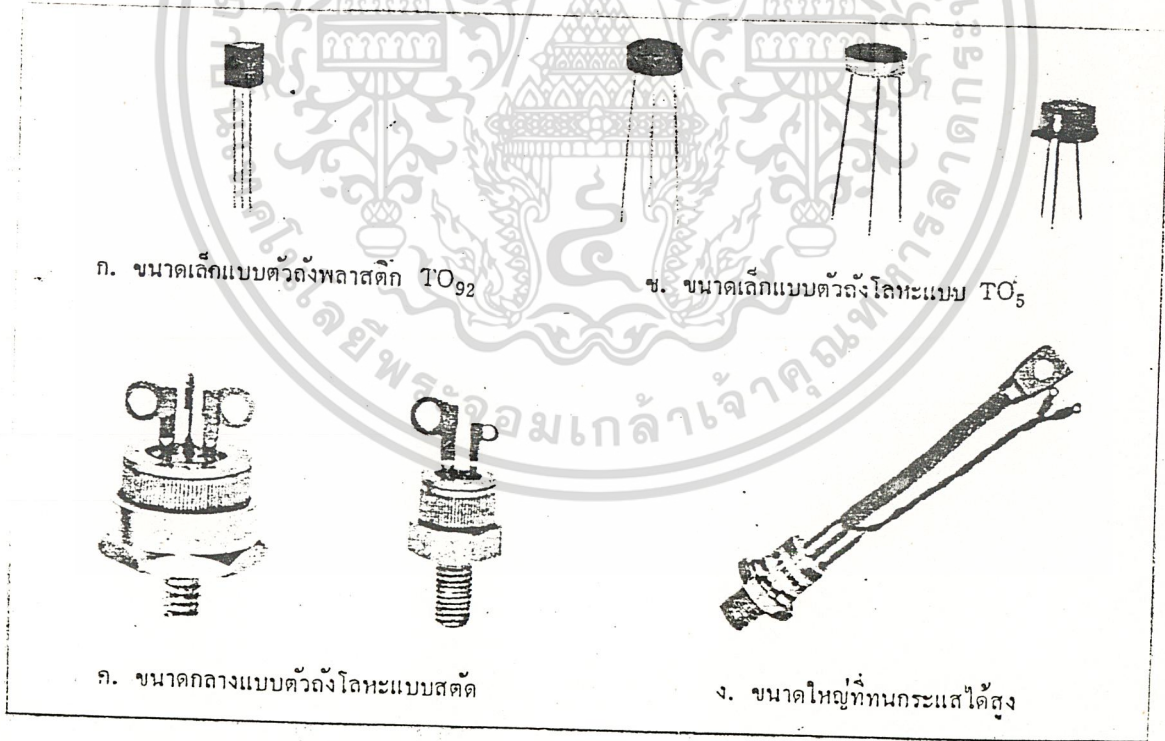
**แรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกต (Peak reverse gate voltage)** ในภาวะที่เอสซีอาร์ได้รับการไบแอสกลับจะทำให้มันไม่นำกระแส การที่มันไม่นำกระแสนั้นก็หมายความว่าเรายังไม่มีการทริกที่เกตของเอสซีอาร์แต่ถ้าเราให้เกตกับคาโอดมีแรงดันไบแอสกลับมันจะมีค่าแรงดันสูงสุดค่าหนึ่งที่ทำให้รอยต่อเกตพัง ค่าแรงดันนี้เรียกว่าแรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกต ใช้สัญลักษณ์  $V_{RGM}$

**กระแสเกตสูงสุด (maximum gate current)** ในการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแส นั้นเราทำได้โดยการให้กระแสกับเกตของมัน ค่ากระแสเกตนี้จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มีขอบเขตจำกัดทางด้านค่าสูงสุดนั้นคือค่ากระแสสูงสุดที่ทำให้ตัวเอสซีอาร์พังได้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของเอกสารทุกครั้งที่มีกรีนไปใช้

ดังนั้นในการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสจะต้องให้ค่ากระแสมีค่าน้อยกว่าค่ากระแส  
แล เกทสูงสุด สัญลักษณ์ที่ใช้คือ  $V_{GMAX}$

ชนิดต่างๆของเอสซีอาร์

ในปัจจุบันผู้ผลิตได้ผลิตเอสซีอาร์ออกมามีรูปแบบแตกต่างกันออกไปมาก  
อีกทั้งข้อกำหนดหรือสเปคของเอสซีอาร์ก็มีเขตจำกัดการใช้งานต่างๆได้มาก  
เช่น ข้อจำกัดทางด้านกระแสสูงสุดของเอสซีอาร์สามารถทนกระแสได้ตั้งแต่  
0.8 - 200 แอมแปร์ และข้อจำกัดทางด้านแรงดันก็ทนได้สูงถึงเป็นพันโวลต์ ซึ่ง  
รูปร่างของเอสซีอาร์ก็มีหลายแบบดังรูปที่ 2.1.5



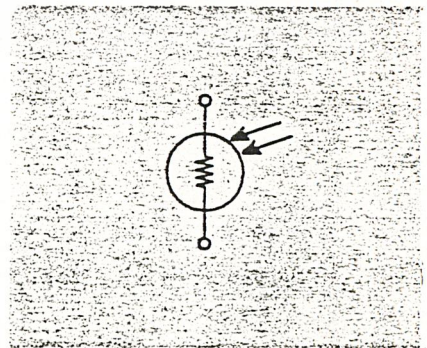
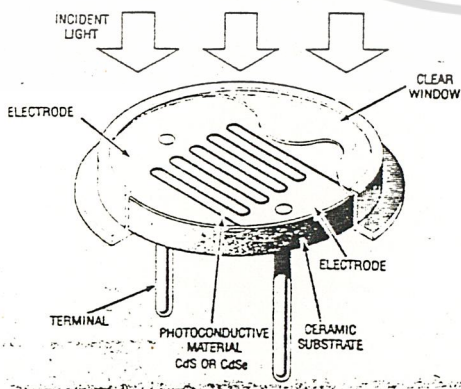
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.1.5 รูปร่างของเอสซีอาร์แบบต่างๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสงวนลิขสิทธิ์และต้องอยู่ใต้อำนาจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

โฟโตเซลล์โฟโตเซลล์เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ตกกระทบโดยจะแปรผกผันกับปริมาณแสงที่ตกกระทบ เช่นเมื่ออยู่ในที่มืดโฟโตเซลล์จะมีความต้านทานสูงมากแต่เมื่ออยู่ในที่มีแสงสว่างความต้านทานจะมีค่าต่ำ

รูปที่ 2.2.1 เป็นภาคตัดของโฟโตเซลล์ซึ่งช่องที่ขุดไปขุดมานั้นเป็นแนวการบรรจุสารโฟโตคอนดักทีฟ ช่องที่ขุดไปมานั้นนอกจากจะเป็นช่องบรรจุสารโฟโตคอนดักทีฟแล้วยังเป็นแนวแยกขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองออกจากกัน ขั้วทั้งสองและสารโฟโตคอนดักทีฟจะวางอยู่บนชั้นสเตรทเซรามิกส์อีกทีหนึ่ง การบรรจุสารโฟโตคอนดักทีฟลักษณะนี้จะทำให้สารโฟโตคอนดักทีฟสัมผัสกับขั้วโลหะทั้งสองมากที่สุด

สารที่ใช้เป็นโฟโตคอนดักทีฟนี้ นิยมใช้แคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมเซเลไนด์ ชนิดของสาร, ความหนาและความกว้างของช่องระหว่างขั้วเป็นแฟคเตอร์ในการกำหนดค่าความต้านทานและอัตราการทนกำลังของอุปกรณ์ ขั้วทั้งสองจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังโลหะหรือพลาสติกที่บดแสงแต่ด้านบนซึ่งเป็นช่องรับแสงจะเป็นกระจกใส รูปที่ 2.2.2 เป็นสัญลักษณ์ของโฟโตเซลล์



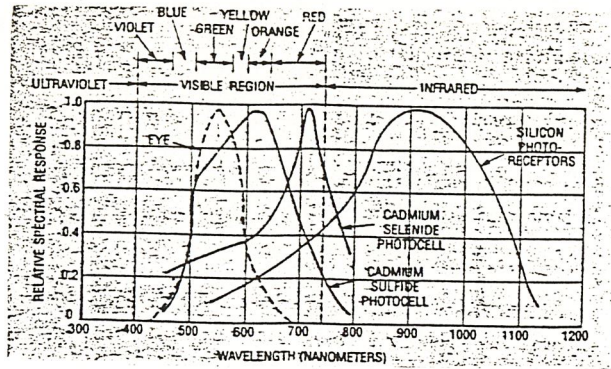
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีรูป 2.2.1 ลักษณะของโฟโตเซลล์จะต้องใช้รูป 2.2.2 สัญลักษณ์ของโฟโตเซลล์

โฟโตเซลล์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่  $1/8$  นิ้วไปจนถึง 1 นิ้ว แต่ขนาดที่นิยมใช้ที่สุดเป็นขนาด  $3/9$  นิ้ว สำหรับตัวขนาดเล็กกว่านี้ก็เหมาะกับงานที่มีพื้นที่จำกัดแต่มีข้อจำกัดเรื่องพลังงานสูญเสียที่ต่ำลงเช่นเดียวกัน โฟโตเซลล์แบบมีการซีลเพื่อป้องกันอากาศเข้าเพื่อให้ทนกับสภาพแวดล้อมที่ต้องใช้งานได้ รูปที่

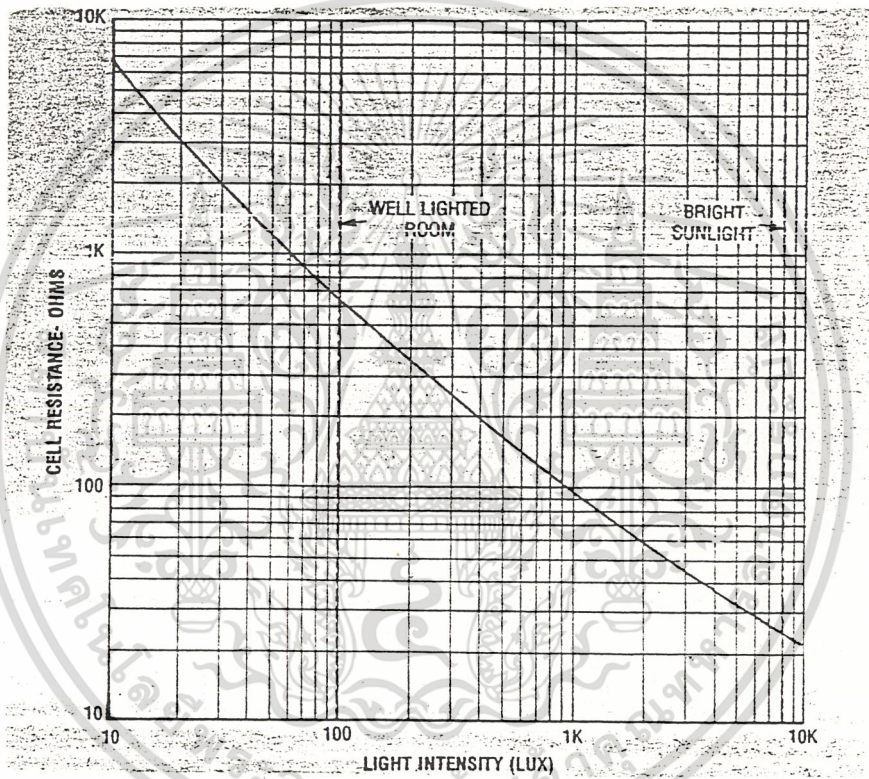
2.2.3 เป็นกราฟเปรียบเทียบการตอบสนองต่อแสงความยาวคลื่นต่างๆของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงกับตาของมนุษย์ ตาของมนุษย์มีการตอบสนองเป็นรูประฆังคว่ำ(ตามเส้นประ) และมีช่วงแคบประมาณ 400 - 750 นาโนเมตร เท่านั้น จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟจะขึ้นสูงสุดที่ช่วงของแสงสีเขียวซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร ส่วนในย่านของสีม่วงและแดงกราฟจะลดต่ำลง จากรูปที่ 2.2.3 แสดงให้เห็นว่าทำไมโฟโตเซลล์แบบแคดเมียมซัลไฟด์จึงนิยมใช้ในวงจรที่ควบคุมด้วยแสงนั้นก็เพราะว่าการตอบสนองของโฟโตเซลล์แบบนี้จะขึ้นสูงสุดที่จุดใกล้เคียงกับ 600 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้เป็นอย่างดี แต่การตอบสนองของโฟโตเซลล์แบบแคดเมียมซัลไฟด์จะดีที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 720 นาโนเมตรแต่โฟโตเซลล์แบบนี้สามารถใช้กับแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าได้เกือบตลอดย่าน

รูปที่ 2.2.4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง ถ้าในที่มืดเห็นความเข้มแสงต่ำมากๆ ค่าความต้านทานของโฟโตเซลล์นี้จะสูงถึงประมาณ 5 เมกกะโอห์ม ในห้องที่มีความเข้มแสงเพียงพอ(ประมาณ 100 ลักซ์) ความต้านทานจะเหลือประมาณ 600 โอห์มที่ความเข้มแสงประมาณ 8000 ลักซ์ เช่นแสงอาทิตย์ความต้านทานจะเหลือประมาณ 30 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2.3 กราฟผลตอบสนองต่อความยาวคลื่นค่าต่างๆ



รูปที่ 2.2.4 กราฟของความต้านทานต่อความเข้มแสงของโฟโตเซลล์

การทำงานของ LDR เพราะว่ามันเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไป ก็จะทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่ง การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่านั้นที่ใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ในช่วงประมาณ 4,000 - 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ เป็นช่วงคลื่นเพียงแคบๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหรือถ้าจะคิดถึง ความยาวคลื่นที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้วก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลืองสำหรับบางตัว แล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

### ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับในขณะที่มีแสง อาจเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า, 1000 เท่าแล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 M ขึ้นไป ในที่มืดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 M และในขณะที่มีแสงจะประมาณ 10 - 20 K ลงไป อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์มหรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และทนกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50mv นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้ว ยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.2.5 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น ก. ความต้านทานจะมีค่าต่ำ และในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิงความต้านทานก็

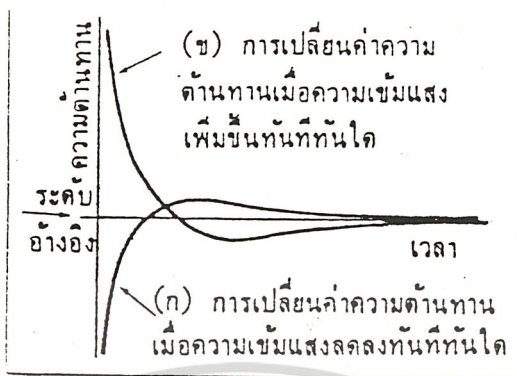
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จะคอยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่มันควรจะ เป็น ในระดับอ้างอิงแต่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหาก ไรนาไปใช้

แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ที่ระดับอ้างอิง เหมือนกับว่า เบรกมันไม่ค่อยดีและในทำนองเดียวกันถ้าเก็บไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆแล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันทีดังในรูป ข. ความต้านทานก็จะลดเลเยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงแตกต่างกันมากเท่าไร เราก็จะเห็นมันวิ่งเลเยออกไปมากเท่านั้น ที่ความแตกต่างของความเข้มแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซัลไฟด์จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟด์แต่จะวิ่งไปเลยไกลกว่าด้วย

โฟโตเซลล์ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปมีอัตราการทนกำลังสูญเสียและแรงดันที่ดี อัตราทนการสูญเสียอยู่ในช่วง 50 - 500 มิลลิวัตต์ ขึ้นอยู่กับขนาดและวัสดุที่ใช้ ข้อพิจารณาอย่างหนึ่งในการเลือกใช้โฟโตเซลล์ก็คือ โฟโตเซลล์ที่มีผลตอบสนองที่ค่อนข้างเร็ว โดยโฟโตเซลล์แบบ cdse มีความเร็วในการตอบสนองต่อแสงสูงกว่าแบบ cds คือมีผลตอบสนองประมาณ 10 ms รวมทั้งมีความต้านทานต่ำกว่า ความไวสูงกว่า และ สัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิของความต้านทานสูงกว่า

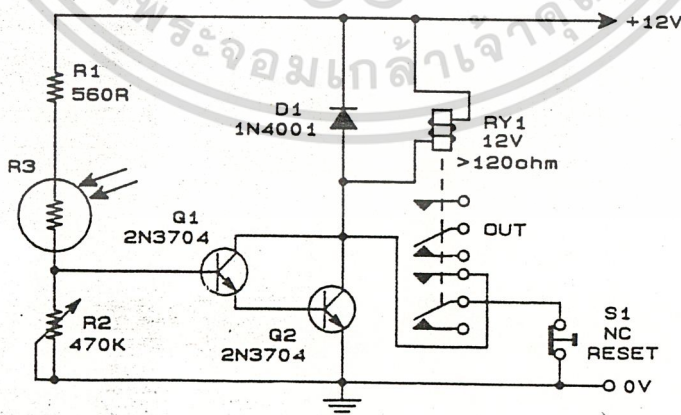
โฟโตเซลล์ยังมีใช้ในอุปกรณ์วัดแสงของงานด้านการถ่ายภาพ , ใช้เป็นส่วนประกอบของสวิทช์ที่ทำงานด้วยแสงทั้งแบบทำงานเมื่อมีแสงและทำงานเมื่อปราศจากแสงเพื่อใช้ควบคุมระบบไฟฉุกเฉินและระบบสัญญาณเตือนเมื่อมีผู้บุกรุก ระบบแจ้งเตือนที่ใช้แสงบางแบบอาศัยการขาดหายของแสง เช่นมีสิ่งทึบแสงไปบังแสงเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.5 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

ในรูปที่ 2.2.6 จะแสดงให้เห็นวงจรที่ใช้โฟโตเซลล์เป็นตัวตรวจสอบแสงที่มันตรวจจับได้ และจะยังคงค้างสถานะเดิมอยู่ได้ โดยที่วงจรจะมีเอาต์พุตซึ่งสามารถนำไปขับรีเลย์ให้ทำงานได้ และ ยังมีปุ่มรีเซตซึ่งจะสามารถรีเซ็ตให้เข้าสู่สถานะเดิมได้

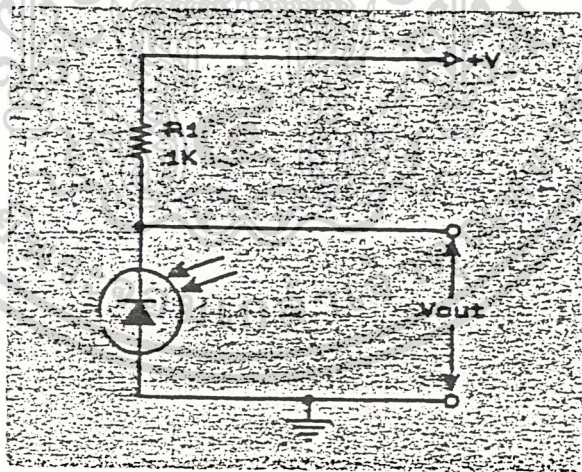


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.2.6 สวิตช์แสงแบบแลทซ์ซึ่ง (ค้างสถานะเดิมได้) และปรับความไวได้

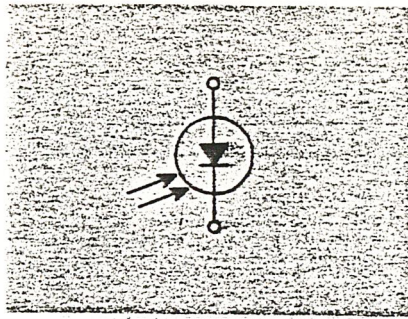
### การใช้งานโฟโตไดโอด

ถ้าเราต่อซีลิกอนไดโอดธรรมดาแบบรีเวอร์สไบอัสดังรูปที่ 2.2.7 จะมีกระแสรั่วไหลเล็กน้อยผ่านไดโอด ทำให้สามารถคิดได้ว่าไม่มีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R1 ถ้าเราถอดตัวถังของไดโอดธรรมดาออก แล้วให้รอยต่อ PN รับแสงโดยตรง เราก็จะสามารถศึกษาคุณสมบัติต่อแสงของไดโอดได้ โดยเมื่อรอยต่อ PN ได้รับความเข้มแสงรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1 มิลลิแอมป์ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R1 ขึ้น รอยต่อ PN ของไดโอดจะมีความไวต่อแสง แต่สำหรับโฟโตไดโอดจะต่างกับไดโอดธรรมดาตรงที่วัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวถังจะมีลักษณะโปร่งใสเพื่อให้แสงสามารถเข้าถึงรอยต่อได้



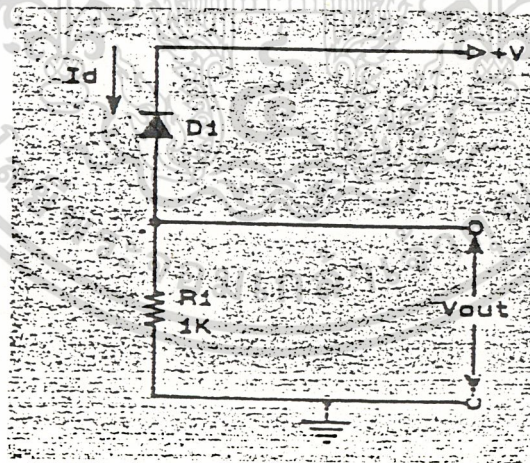
รูปที่ 2.2.7 วงจรไดโอดรีเวอร์สไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.8 สัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด

รูปที่ 2.2.8 เป็นการต่อโฟโตไดโอดแบบรีเวอร์สไบอัส โดยใช้ตัวต้านทาน  $R_1$  ซึ่งต่ออนุกรมอยู่เป็นโหนด ตัวต้านทานนี้สามารถต่ออนุกรมระหว่างโฟโตไดโอดกับกราวด์ แบบรูปที่ 2.2.7 ก็ได้ โฟโตไดโอดแต่ละแบบแต่ละรุ่นก็มีคุณสมบัติการตอบสนองต่อแสงต่างๆกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการได้ปัสารถึงตัวนำ



รูปที่ 2.2.9 โฟโตไดโอดและตัวต้านทานต่อระหว่างไดโอดกับแหล่งจ่าย

โฟโตไดโอดแบบซิลิกอนมีความไวต่อแสงในย่านที่ตามองเห็นต่ำกว่าโฟ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยเว็บไซต์นี้เป็นการค้า  
 ไม่ว่าการใด เซลล์ทั้งแบบ pcds และ pcdse ดังนั้นถ้าต้องการใช้งานวงจรกับแสงใน

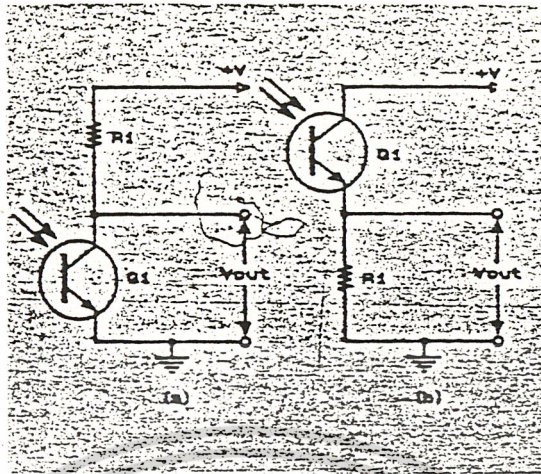
ย่านที่ตาเปล่ามองเห็นและไม่ต้องการความเร็วที่สูงมากนัก โฟโตเซลล์ทั้งสองแบบก็มีความเหมาะสมมากกว่า ในทางกลับกันโฟโตไดโอดจะเหมาะกับงานที่ใช้กับแสงอินฟราเรด และ ยังมีความสามารถมากพอที่จะใช้สัญญาณเอซีและงานที่ต้องการความเร็วสูงๆได้ โฟโตไดโอดมักจะใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเป็นรีโมทคอนโทรลอินฟราเรด , สวิตช์และสัญญาณแจ้งเตือนแบบอาศัยการตัดทางเดินแสงของวัตถุ เป็นต้น โฟโตเซลล์อีกแบบหนึ่งคือแบบเลดซัลไฟด์ จะมึกราฟคุณลักษณะคล้ายกับโฟโตเซลล์ที่กล่าวมาแล้วทั้งสองแบบเพียงแต่โฟโตเซลล์แบบนี้จะใช้งานได้ในช่วงแสงอินฟราเรด

**โฟโตทรานซิสเตอร์**



รูปที่ 2.2.10 เป็นสัญลักษณ์มาตรฐานของโฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์จะเป็นไบโพลาร์ซิลิกอนทรานซิสเตอร์แบบ NPN โดยตัวถังจะเป็นวัสดุโปร่งใสเพื่อให้แสงสามารถส่องถึงรอยต่อ PN ในการใช้งานปกติมักจะปล่อยขาเบสลอยไว้ดังรูปที่ 2.2.11 ทั้งสองส่วน ในรูป a รอยต่อเบส-คอลเลคเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับริเวอร์สไบอัส ดังนั้นจึงมีลักษณะเป็นโฟโตไดโอด กระแสที่เกิดจากการที่แสงตกกระทบรอยต่อเบส-คอลเลคเตอร์จะเป็นกระแสที่ไหลเข้าขาเบสของโฟโตทรานซิสเตอร์โดยตรง กระแสนี้ก็คือกระแสเบสนั่นเอง โฟโตทรานซิสเตอร์จะทำการขยายกระแสแบบเดียวกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปและะแรงดันเอาท์พุทที่ได้ก็จะได้จากกระแสคอลเลคเตอร์ที่ไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของหน่วยงานที่ควรใช้งานเพื่อประโยชน์ของหน่วยงานนั้น ไม่ควรแจกจ่ายให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.11 วงจรโฟโตทรานซิสเตอร์แบบต่างๆ

กระแสคอลเลคเตอร์และกระแสอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

โดยปกติแล้วจะมีค่าเท่ากันเพราะขาเบสถูกปล่อยลอยไว้และโฟโตทรานซิส

เตอร์มักจะถูกต่อแบบไม่มีการป้อนกลับลบ ดังนั้นเราจึงสามารถต่อตัวต้านทาน

R1 ไว้ที่ขาอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์แล้วได้ผลที่เหมือนกันกับรูป

2.2.11a ดังในรูปที่ 2.2.11b โดยเอาที่พุกที่ได้จะได้จากแรงดันตกคร่อมตัว

ต้านทาน R1 ซึ่งต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับกราวนด์

โดยทั่วไปความไวของโฟโตทรานซิสเตอร์จะสูงกว่าโฟโตไดโอดถึง

100 เท่าแต่โฟโตทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงเพียงไม่กี่ร้อยกิโล

เฮิรตซ์แต่โฟโตไดโอดสามารถทำงานได้ดีแม้ในความถี่หลายสิบล้านเฮิรตซ์

ที่เราสามารถต่อโฟโตทรานซิสเตอร์ให้เป็นโฟโตไดโอดก็ได้ดังรูปที่ 2.2.12

รูปที่ 2.2.13 เป็นวิธีการปรับความไวและความเร็วการทำงานของโฟ

โตทรานซิสเตอร์ โดยต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ R2 เข้าไประหว่างของเบส

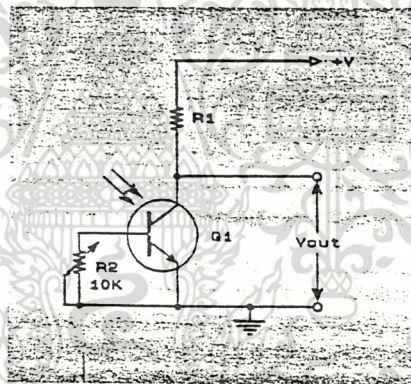
และอิมิตเตอร์เมื่อ R2 เปิดวงจร โฟโตทรานซิสเตอร์ก็จะทำงานในลักษณะ

ของโฟโตทรานซิสเตอร์และเมื่อ R2 ลัดวงจร โฟโตทรานซิสเตอร์ก็จะทำงาน

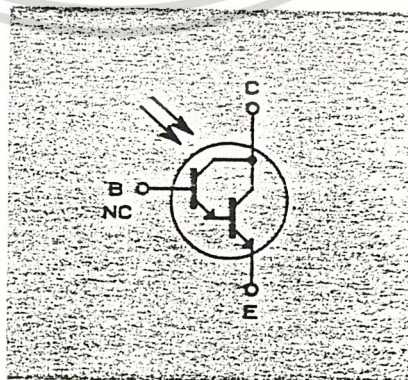
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่าการเปิดในลักษณะของโฟโตไดโอด ในการใช้งานวงจรรูปที่ 2.2.11 และรูปที่

2.2.13 ค่า R1 ซึ่งเป็นโหนดมักจะให้เป็นค่ากลางๆเพราะว่า R1 จะมีผลต่ออัตราขยายแรงดันและแบนวิทซ์ ถ้าอัตราขยายแรงดันมากช่วงแบนด์วิทซ์ที่ใช้งานได้ก็จะแคบ ดังนั้นในหลายๆวงจรจึงมักเลือกใช้ค่า R1 ที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานอยู่ในช่วงลิเนียร์

รูปที่ 2.2.14 เป็นตัวลิ่งตันโฟโตทรานซิสเตอร์ซึ่งประกอบด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์ตัวต่อกันดังรูป ความไวของโฟโตตัวลิ่งตันนี้จะสูงกว่าโฟโตทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐานอยู่ประมาณ 10 เท่า แต่ความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ตกลงมาอยู่แค่ที่ไม่กี่สิบกิโลเฮิรตซ์



รูป 2.2.13 การต่อวงจรโฟโตทรานซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูป 2.2.14 ตัวลิ่งตันโฟโตทรานซิสเตอร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 ตัวเชื่อมโยงทางแสง (optocoupler)

การเชื่อมโยงทางแสง(optocoupler) สามารถใช้ในงานที่ต้องการ แยกระบบไฟฟ้าของทั้งสองวงจรออกจากกัน เช่น เมื่อใช้เอาต์พุตที่เป็นแรงดันต่ำของวงจรดิจิตอลไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟสลับ ทั้งนี้เนื่อง จากวงจรทางด้านดิจิตอลไม่สามารถส่งเอาต์พุตออกเป็นแรงดันไฟสลับได้ นอกจากนี้กระแสไฟสลับที่เหนี่ยวนำขึ้นในวงจรทางด้านดิจิตอลนั้น สามารถทำ ให้เกิดข้อยุ่งยากต่างๆได้ ดังนั้นมอเตอร์และวงจรทางด้านดิจิตอลจึงต้องแยก จากกันทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของตัวเชื่อมโยงทางแสงที่สำคัญ

ตัวเชื่อมโยงทางแสง อาจจะถูกนำไปใช้ในงานซึ่งเอาต์พุตที่มีแรงดัน สูงของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดถูกบ่อน้ำเข้าสู่วงจรควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ในจุดที่ต้องการอย่างอัตโนมัติ

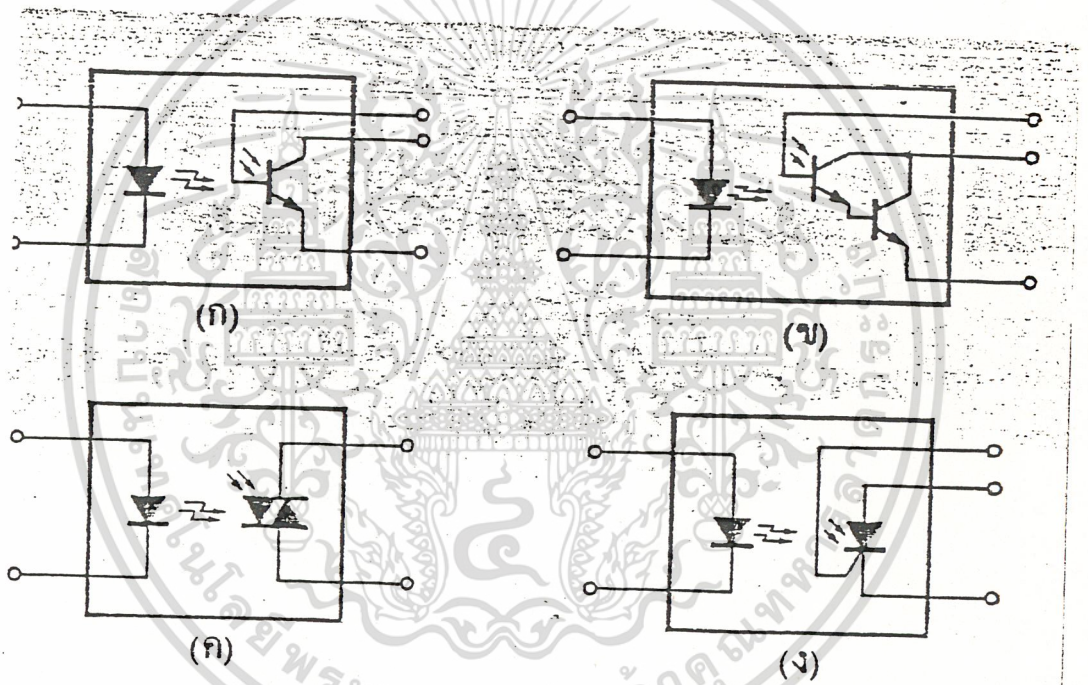
#### พื้นฐานตัวเชื่อมโยงทางแสง

ตัวเชื่อมโยงทางแสงบางครั้งเรียกว่าตัวแยกโดยใช่แสง (optoisolator) เป็นอุปกรณ์เดี่ยวที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัว ตรวจรับแสง โดยที่ทั้งสองชิ้นส่วนนี้แยกจากกันและกันโดยมีฉนวนที่โปร่งใสคั่น กลาง และ ชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังทึบแสง

แหล่งกำเนิดแสงสำหรับตัวเชื่อมโยงทางแสงส่วนมากแล้วจะใช้ไดโอด เปล่งแสงอินฟราเรด (infrared emitting diode) ที่ทำจากสารแกล เลียม อาร์เซไนด์ (gallium arsenide : GaAs) ส่วนตัวตรวจรับหรือ

อุปกรณ์ภาคเอาต์พุตนั้น อาจจะเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์, โฟโตดาร์ลิงตัน, หรือ ทรานซิสเตอร์ชนิดอื่นก็ได้ นอกจากนี้ยังมีตัวเชื่อมโยงทางแสงที่ใช้หลอดสุญญากาศ ซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้น และ เซลล์ซีอาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วย

แสง ในรูปที่ 2.3.1 ได้แสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์ของวงจรชนิดต่างๆที่กล่าวมาแล้ว  
สัญญาณจะถูกส่งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นที่แยกจากกันทางไฟฟ้า โดยอยู่ใน  
ในรูปของสัญญาณแสง โดยที่ชิ้นส่วนทั้งสองนี้ไม่สามารถสลับหน้าที่กันได้และไม่มี  
การเชื่อมโยงทางไฟฟ้าระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้ สัญญาณที่ถูกส่งผ่านจึงมีได้ในทวิ  
ทิศทางเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.3.1 ตัวเชื่อมโยงทางแสงแบบทั่วไป

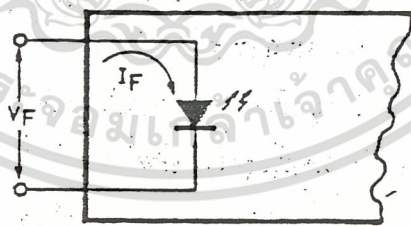
รูป ก มีเอาต์พุทเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์      รูป ข เอาต์พุทเป็นโฟโตดาร์ลิ่งตัน  
รูป ค เอาต์พุทเป็นลวิตซ์สองทิศทาง      รูป ง เอาต์พุทเป็นเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติต่างๆที่น่าสนใจ

อัตราส่วนของการส่งผ่านกระแส หรือ CTR นั้นเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสอินพุตต่อกระแสเอาต์พุตของตัวเชื่อมโยงทางแสง (หรือเรียกกันว่าไบแอส) ส่วนใหญ่จะแทนด้วยตัวอักษรกรีก คือ อีต้า ( $\eta$ ) ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด และ ช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทางอินพุตและเอาต์พุต โดยที่พื้นที่ , ความไว (sensitivity) , และอัตราขยายของตัวตรวจรับก็มีบทบาทที่สำคัญเช่นเดียวกัน

ตัวแปรอินพุตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นตัวกำหนดตัวแปรทางด้านไฟฟ้าของตัวไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดได้แก่ กระแสของไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรง ( $I_F$ ) แรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรง ( $V_F$ ) และแรงดันสูงสุดที่ทนได้ เมื่อได้รับไบแอสกลับ ( $V_R$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.3.2



รูปที่ 2.3.2 เป็นชิ้นส่วนอินพุตของตัวเชื่อมโยงทางแสงโดยส่วนใหญ่ซึ่งเป็นไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดทำมาจากสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs)

เนื่องจากตัวแปรเอาต์พุตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงและตัวแปรส่งถ่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่าการ (transfer parameter) นั้นจะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นส่วนที่เป็น

ตัวตรวจรับที่ใช้ในตัวเชื่อมโยงทางแสง ในที่นี้จะแจกแจงรายละเอียดและกำหนดความหมายของมันต่างหากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวตรวจรับนั้นๆ ตัวเชื่อมโยงทางแสงที่ใช้ไฟโพรทธานซิลิเตอร์และไฟโตนาร์ลิ่งตันนั้นมีหลักการทำงานเหมือนกัน รรอยต่อระหว่างขาคอลเลคเตอร์กับขาเบสถูกทำให้กว้างขึ้น แสงที่ตกกระทบบรอยต่อจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลขึ้นมา เกิดการนำกระแสได้ ตัวแปรสำหรับตัวเชื่อมโยงทางแสงชนิดไฟโตนาร์ลิ่งตันและไฟโพรทธานซิลิเตอร์มีดังนี้

- $I_C$  เป็นกระแสสูงสุดที่ไหลต่อเนื่องผ่านขาคอลเลคเตอร์ (เอาท์พุท)
- $V_{(BR)CBO}$  เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาคอลเลคเตอร์ไปยังขาเบส
- $V_{(BR)CEO}$  เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาคอลเลคเตอร์ไปยังขาอิมิตเตอร์
- $V_{(BR)ECO}$  เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาอิมิตเตอร์ไปยังขาคอลเลคเตอร์

ตัวเชื่อมโยงทางแสงที่ใช้สวิทช์สองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระดับหนึ่งเป็นภาคเอาท์พุทนั้นถูกออกแบบมาสำหรับใช้ในงานซึ่งต้องการแยกการทริกหรือกระตุ้นตัวไทรแอด การแยกการสวิทช์ทางด้านไฟกระแสสลับที่มีขนาดกระแสต่ำและการแยกกันทางไฟฟ้ามีค่าสูง สำหรับอุปกรณ์ชนิดนี้มีตัวแปรที่สำคัญดังนี้คือ

- $L_{T(RMS)}$  เป็นค่ากระแส RMS สูงสุด ขณะอยู่ในสถานะที่ทำงาน
- $V_{DRM}$  เป็นค่าแรงดันซ้ำๆระหว่างขั้วเอาท์พุท เมื่ออยู่ในสถานะหยุดทำงาน (repetitive off-state output terminal voltage)
- $V_{TM}$  เป็นแรงดันยอดสูงสุด (peak voltage) เมื่ออยู่ในสถานะที่ทำงาน

ตัวเชื่อมโยงทางแสงที่ใช้ SCR ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงนั้น ถูกออกแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่ได้อยู่ที่หนึ่งใช้ปรอทออกแบบไว้ใช้ไม่ว่ากรณีสำหรับใช้ในงานที่ต้องการการแยกกันทางไฟฟ้าที่มีค่าสูงระหว่างวงจรด้านใช้

แรงดันต่ำ (ซึ่งใช้ไอซี) และทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ตัวแปรที่สำคัญสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ SCR ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงมีดังนี้

- $I_{T(RMS)}$  เป็นค่ากระแส RMS สูงสุดเมื่ออยู่ในสถานะที่ทำงาน
- $V_{DRM}$  เป็นค่าแรงดันซ้ำๆระหว่างขั้วเอาต์พุต เมื่ออยู่ในสถานะหยุดทำงาน
- $V_{RM}$  เป็นค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุด

ตัวแปรของการส่งผ่านของตัวเชื่อมต่อทางแสงนั้นเป็นการวัดอัตราส่วนของการส่งกระแสระหว่างชิ้นส่วนอินพุตและเอาต์พุตสำหรับตัวเชื่อมต่อทางแสงที่ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์และโฟโตคาร์ลิงตันนั้นมีความสำคัญคือ

-  $CTR_{(min)}$  เป็นอัตราส่วนต่ำสุดระหว่างกระแสเอาต์พุตของคอลเลคเตอร์สูงสุดต่อกระแสไดโอดที่ค่า  $V_{CE}$  และ  $I_F$  ที่กำหนด

-  $V_{CE(sat)}$  เป็นแรงดันอิ่มตัวระหว่างขาคอลเลคเตอร์และขาอิมิตเตอร์สำหรับตัวเชื่อมต่อทางแสงที่ใช้สวิทช์สองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้นและแบบที่ใช้ SCR นั้นมีตัวแปรที่สำคัญดังนี้

-  $I_{FT}$  เป็นค่ากระแสกระตุ้นไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดสูงสุดซึ่งต้องการใช้เพื่อคงสถานะให้เอาต์พุตค้างไว้

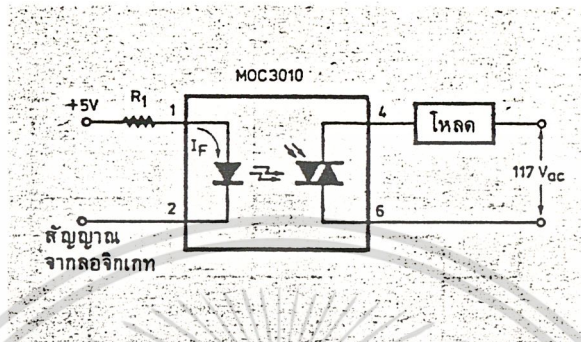
-  $I_H$  เป็นค่ากระแสยึด (holding current) ซึ่งต้องการสำหรับเอาต์พุตเพื่อที่จะยังคงสถานะค้างเอาไว้ได้

การนำไปใช้ควบคุมไหลด

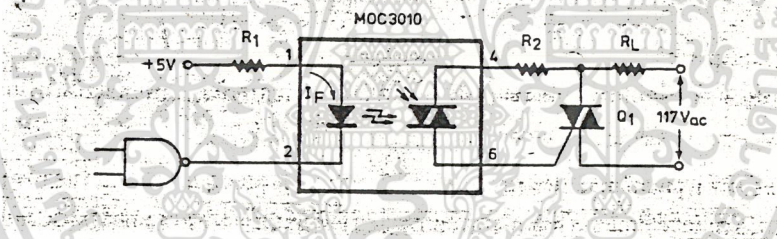
เมื่อทำการเชื่อมต่อวงจรลอจิกเข้ากับอุปกรณ์ภายนอก เอาต์พุตของลอจิกเกตต้องนำไปใช้ควบคุมไหลดที่เป็นไฟสลับอยู่บ่อยๆ การออกแบบโดยใช้ตัวเชื่อมต่อทางแสงแสดงในรูปที่ 2.3.3 และ 2.3.4 ซึ่งมีการแยก

จากกันทางไฟฟ้าแลการควบคุมโดยปราศจากข้อยุ่งยากเหมือนวงจรที่ออกแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาต  
แม้ว่าการโดยใช้รีเลย์ทั้งวงจรควบคุมในรูปที่ 2.3.3 สามารถใช้ขับไหลดที่ต้องการกำลัง

กำลังงานจากไฟสลับเพียงเล็กน้อย วงจรนี้ใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสงเบอร์ MOC 3010 โดยตัวแปรต่างๆแสดงให้เห็นดังตารางที่ 1



2.3.3 เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมกำลังงานของไฟกระแสสลับที่ค่าไม่สูงนัก



รูปที่ 2.3.4 ตัวเชื่อมโยงทางใช้ในการกระตุ้นไทรแอดเพื่อใช้ควบคุมโหลด ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเบอร์ MOC 3010

		ค่าต่ำสุด	ค่าปกติ	ค่าสูงสุด	หน่วย
อินพุท	$I_F$			50	mA
	$V_F (I_F = 10 \text{ mA})$		1.2	1.5	V
	$V_R$			3	V
เอาต์พุท	$I_T \text{ (RMS)}$			100	mA
	$V_{DRM}$			250	V
	$V_{TM} (I_T = 100 \text{ mA})$		2.5	3.0	V
ตัวแปร เชื่อมโยง	$I_F$		8.0	15	mA
	$I_H$		100		$\mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่าวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเอาที่พุกจากลอจิกเกตมีค่าเป็นลอจิก 0 กระแสจะไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดที่อยู่ภายในตัวเชื่อมต่อโยงทางแสง ถ้าค่า  $I_F$  มีค่าเท่ากับ  $I_{FT}$  เอาที่พุกของสวิตช์สองทิศทางจะถูกกระตุ้นให้นำกระแส เนื่องจากจากสวิตช์สองทิศทางจะนำกระแสทั้งสองทิศทางกำลังงานจะถูกป้อนเข้าสู่โหลดทั้งในระหว่างครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบและเมื่อเอาที่พุกของลอจิกเกตซึ่งป้อนเข้าสู่ตัวเชื่อมต่อโยงทางแสงมีค่าลอจิก 1  $I_F$  จะลดลงต่ำกว่ากระแสยึด ( $I_H$ ) ของเบอร์ MOC 3010 และจะทำให้สวิตช์สองทิศทางหยุดนำกระแส

ค่าที่มากที่สุดของ R1 หาได้จาก

$$R1 \text{ น้อยกว่าหรือเท่ากับ } (V_{F(max)} - (V_{F(max)} - V_{OL}) / I_{FT}$$

โดยที่  $V_F$  และ  $I_{FT}$  เป็นตัวแปรของตัวเชื่อมต่อโยงทางแสงที่ใช้ และ  $V_{OL}$  เป็นแรงดันเอาที่พุกลอจิก 0 ของลอจิกเกต ให้เลือกค่า R1 ที่มีค่าหาซื้อได้ตามท้องตลาด ซึ่งต้องน้อยกว่าและใกล้เคียงมากที่สุดของค่าที่คำนวณได้ ข้อสำคัญลอจิกเกตจะต้องสามารถทนค่ากระแสซิงค์  $I_{FT}$  ได้โดยมีค่าเพื่อไว้เพื่อความปลอดภัย สำหรับโหลดที่มากที่สุดที่เบอร์ MOC3010 จะทนได้เท่ากับ 12 วัตต์

วงจรในรูปที่ 2.3.4 ได้แก้ไขในเรื่องข้อจำกัดของกำลังวัตต์ในการสวิตช์ของเบอร์ MOC3010 จะเห็นว่าเอาที่พุกจากตัวเชื่อมต่อโยงทางแสงเบอร์ MOC3010 ป้อนเข้าสู่เกตของไทรแอดกำลังงานสูงค่าของ R1 สามารถคำนวณได้ โดยใช้วิธีเดียวกับการคำนวณหาค่าของ R1 ในรูปที่ 2.3.3

ค่ากระแสที่น้อยที่สุดที่ต้องการในการกระตุ้นให้ไทรแอดทำงาน จะเป็น

ตัวกำหนดค่าสูงสุดของ R2 ในขณะที่กำลังงานสูญเสียของเกตของตัวไทรแอดจะต่ำกว่ากรณีอื่นคือค่าที่น้อยที่สุดของ R2 ค่าของ R2 ที่มากที่สุดหาได้จาก

$$R_2 = (2V_s - V_{TM} - R_L) / I_{GM}$$

โดยที่  $V_{TM}$  เป็นตัวแปรในช่องเอาต์พุตในตารางของตัวเชื่อมต่อ  
 โยงทางแสง  $I_{GM}$  เป็นกระแสเกทสูงสุดที่ใช้กระตุ้นการทำงานของไตรแอก  
 และ  $V_s$  เป็นแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 หลักการตรวจสอบแรงดัน

การใช้งานง่าย ๆ แบบหนึ่งของออปแอมป์ก็คือ การทำเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันอย่างง่าย เรารู้ว่าแรงดันเอาต์พุทของออปแอมป์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_o = (V^+ - V^-) A_{vo}$$

เมื่อ  $V^+$  คือ แรงดันที่ขาอินพุทไม่อินเวอร์ต

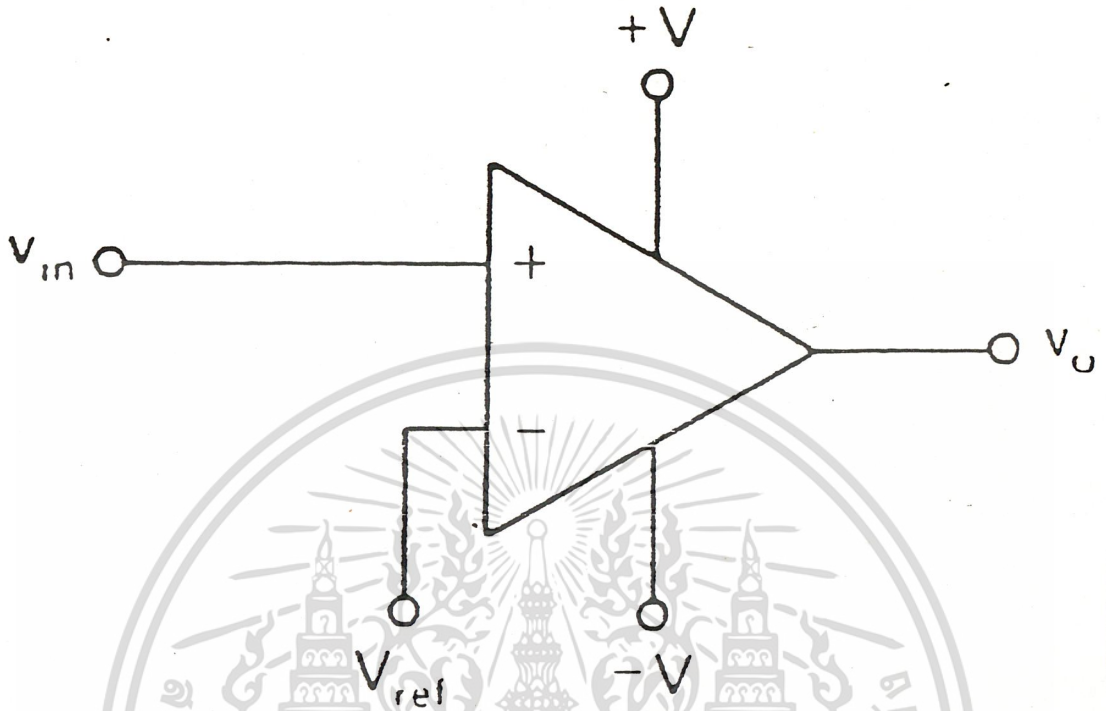
$V^-$  คือ แรงดันที่ขาอินพุทอินเวอร์ต

$A_{vo}$  คือ อัตราการขยายลบเปิดของออปแอมป์

ถ้าหากว่าไม่มีการป้อนกลับใดๆ เลย แม้ว่า  $V^+$  กับ  $V^-$  จะต่างกันเล็กน้อยก็ตามแต่เนื่องจาก  $A_{vo}$  มีค่าสูงมาก จึงทำให้แรงดัน  $V_o$  อิ่มตัวไปทางใดทางหนึ่ง อาจเป็น  $+V_{cc}$  หรือ  $-V_{cc}$  ก็แล้วแต่ว่าจะมากกว่า  $V^+$  หรือ  $V^-$  จะมากกว่า  $V^-$  หรือ  $V^+$

ในทางปฏิบัติแล้ววงจรคอมพาราเตอร์มักจะทำให้แรงดันที่ขาใดขาหนึ่งของออปแอมป์เป็นแรงดันที่มีค่าคงที่ เรียกว่าแรงดันอ้างอิง (reference voltage) แรงดันที่ต้องการจะตรวจสอบจะป้อนเข้าทางขาอินพุทอีกขาหนึ่งของออปแอมป์ แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากระดับแรงดันที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์จะถูกควบคุมระดับไว้แน่นอน ดังนั้นเราจึงใช้แรงดันจ่ายไฟเพื่อสร้างแรงดันอ้างอิงได้ตามรูปที่ 2.4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เนื่องจากอิมพีแดนซ์จุดสัญญาณเข้ามีค่าสูง ดังนั้นกระแส  $I$  ซึ่งไหลเข้าสู่  
 ขาสัญญาณเข้า (+) ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นระดับแรงดันเปรียบเทียบจะมีค่า  
 ใกล้เคียงกับ

$$V_{ref} = VR1/R1+R2$$

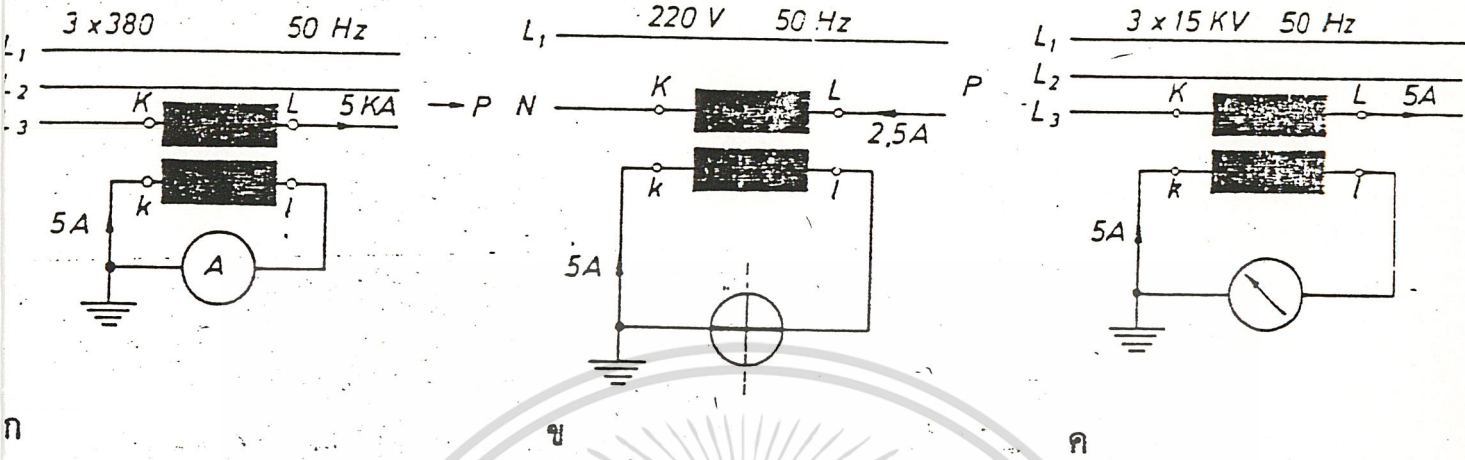
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (current transformer)

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ประกอบการวัดกระแสไฟฟ้า โดยต่อร่วมกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และ เครื่องวัดเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งตัวหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงๆ ให้ลดต่ำลง หรืออาจจะแปลงกระแสไฟฟ้าต่ำให้สูงขึ้นก็ได้

### โครงสร้างและวงจรการต่อหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

ทางด้านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าขั้ว K-L ให้ต่ออนุกรมกับ line ของระบบไฟฟ้าหรือภาระไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมินี้เป็นกระแสไฟฟ้าตามภาระไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับวงจรการวัดทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า พิกัดกระแสไฟฟ้าทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า จะถูกกำหนดให้เหมาะสมกับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและเครื่องวัดเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งมักจะให้พิกัดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดกระแสไฟฟ้า (current coil) ของเครื่องวัดเหล่านั้นเท่ากับ 5A นอกจากนั้นหม้อแปลงกระแสไฟฟ้ายังได้กำหนดให้มีพิกัดกระแสไฟฟ้า 1A ทางขดลวดทุติยภูมิด้วย



รูป 2.5.1 การต่อหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

- ก) ต่อขดลวดทุติยภูมิเข้ากับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
- ข) ต่อขดลวดทุติยภูมิเข้ากับขดลวดกระแสไฟฟ้าของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า
- ค) ต่อเพื่อแยกวงจรแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงๆออกจากวงจรเครื่องวัด

หลักการทำงาน

เมื่อให้ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าต่อลัดวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วลัดวงจรมีค่าเท่ากับศูนย์ และ เมื่อไม่ค่านึงถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมภายในขดลวดนี้รวมทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีค่าต่ำมาก จึงสามารถบอกได้ว่าที่แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามีเส้นแรงแม่เหล็ก ดังนั้นผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magneto motive force)  $\oint$  ในวงจร

แม่เหล็กจึงเท่ากับศูนย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

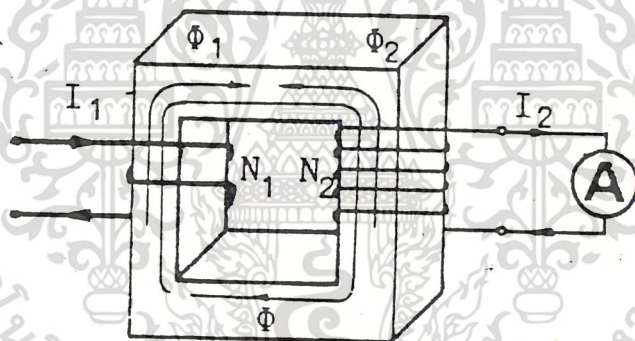
$$\theta_1 - \theta_2 = 0$$

$\theta_1$  : แรงเคลื่อนแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิ  $I_1 N_1$

$\theta_2$  : แรงเคลื่อนแม่เหล็กจากขดลวดทุติยภูมิ  $I_2 N_2$

$$I_1 N_1 - I_2 N_2 = 0$$

ดังนั้น  $(I_1 / I_2) = (N_2 / N_1) = a_1$  ratio ของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.5.2 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

**ผลของการเปิดวงจรขดลวดทุติยภูมิ**

การใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าร่วมกับเครื่องมือวัดไฟฟ้า จะต้องคอยระวังไม่ให้เปิดวงจรทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าโดยเด็ดขาด ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายหรือเกิดผลเสียในการวัดได้ดังนี้

**ผลของการเปิดวงจรตลอดเวลา**

ถ้าให้วงจรทางด้านขดลวดทุติยภูมิเปิดออก โดยทางด้านขดลวดปฐมภูมิต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สองในลวดหรือการใช้งานโดยปรกติ เมื่อผู้ให้เห็นใบเขียนจะเขียนว่า ไม่ว่าการอยู่ภายใต้การระไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าทงด้านขดลวดทุติยภูมิ  $I_2 = 0$  จะทำ

ให้ค่าของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก  $\theta_N$  สูงขึ้นมาจาก :

$$\theta_1 - \theta_2 = \theta_N$$

เมื่อ  $I_2 = 0$

$$\theta_2 = 0$$

$$\theta_N = \theta_1$$

จากสมการ  $\theta_N$  จะมีค่าประมาณ 20 เท่าของการใช้งานปกติ และทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงมากจนถึงจุดอิ่มตัวของแกนเหล็ก เป็นผลให้ค่าสูญเสียของแกนเหล็กจากกระแสไหลวนสูงขึ้นมากทำให้ฉนวนเคลือบระหว่างแผ่นเหล็กใหม่ได้และจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลวนเพิ่มขนาดสูงขึ้นอีก จนทำให้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเสียหาย

ผลของการเปิดวงจรชั่วขณะ

การตัดวงจรการวัดของขดลวดทุติยภูมิออกชั่วขณะ ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างที่แกนเหล็ก เนื่องจากฮิสเทอรีซิส (hysteresis) และเมื่อต่อวงจรการวัดเข้าไปใหม่ ทำให้การเทียบกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้านี้ได้ค่าไม่ถูกต้อง เนื่องจากแมกเนไตซิงส์เคิร์ฟเลื่อนตำแหน่งไปแล้ว

นอกจากนั้นขดลวดทุติยภูมิซึ่งมีจำนวนรอบสูงมาก เมื่อ  $\theta_N = \theta_1$  มีค่าประมาณ 20 เท่าของการใช้งานปกติ ซึ่งทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำปรากฏทางด้านขดลวดทุติยภูมิสูงมากในขณะที่เปิดวงจรไว้ แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้สามารถทำอันตรายต่อบุคลากรได้นอกจากนั้นขดลวดปฐมภูมิจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกับแรงเคลื่อนของระบบ ทำให้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่เหมือน choke ซึ่งต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะสามารถสรุปได้ว่า ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าห้ามเปิดวงจรไว้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

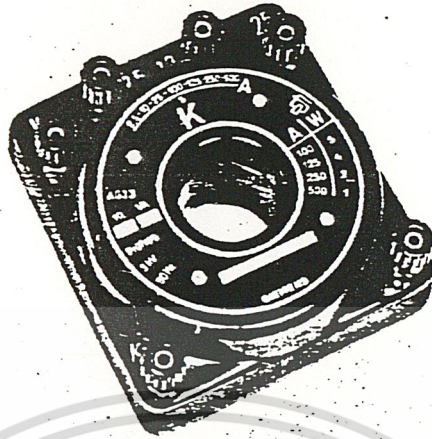
### เบอร์ดัน (Burden)

เบอร์ดัน หมายถึง กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ถ้าอุปกรณ์ของเครื่องวัดทุกตัวที่ต่ออนุกรมกับขดลวดทุติยภูมิ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในเครื่องวัดรวมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายวัดมีค่าภายในใต้เบอร์ดันของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแล้ว ผลการวัดจากความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า จะเป็นตามคลาสิกของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้านั้น

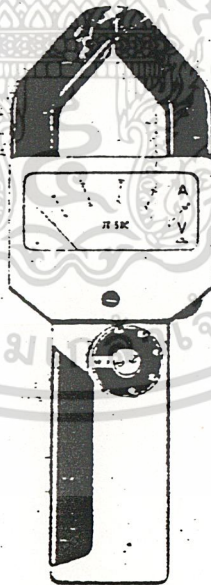
### ชนิดของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอยู่ในตัวเดียวกัน ที่ขดลวดปฐมภูมิถูกทำให้สามารถเลือกย่านของกระแสไฟฟ้าได้ สำหรับขนาดกระแสไฟฟ้าสูงนั้น หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าจะใช้แกนเหล็กเป็นแบบวงแหวนและให้สายตัวนำของกระแสไฟฟ้าสอดผ่านวงในของแกนเหล็กทำหน้าที่เป็นขดลวดปฐมภูมิสามารถเลือกนิกัดกระแสไฟฟ้าได้

ชนิดของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้เห็นโดยทั่วไปตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ร่วมกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าในตัวเดียวกันซึ่งเรียกว่า อุกแอมมิเตอร์ หรือ คลิบออนมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าในสายโดยใช้ก้านหนีบทำเป็นวงจรมแม่เหล็กหนีบสายที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้าให้อยู่ทางด้านในของก้านหนีบนี้



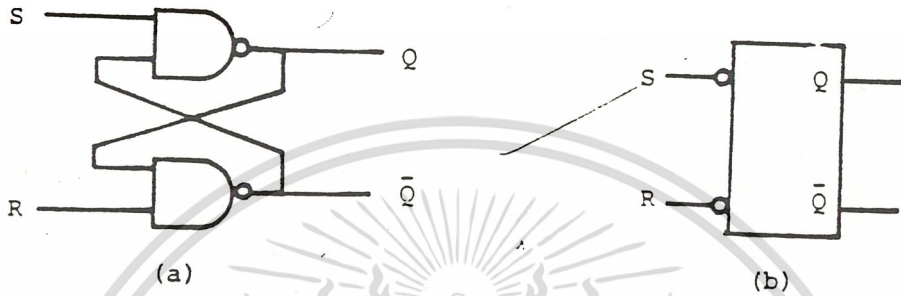
รูป 2.5.3 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแกนกลม



รูป 2.5.4 คลิปออนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ฟลิปฟลอป RS จากแชนด์เกต



รูป 2.6.1 ฟลิปฟลอป RS จากแชนด์เกต

a) วงจร b) สัญลักษณ์ทางตรรก

วงจرفลิปฟลอป แบบนี้บางทีเรียกว่า แลช (latch) เนื่องจากการทำงานของฟลิปฟลอปขึ้นกับการทำงานของแชนด์เกต จากค่าความจริงของแชนด์เกตเราสามารถสร้างตารางค่าความจริงของฟลิปฟลอปแบบ RS ที่ใช้แชนด์เกตได้ดังตาราง 2.6.1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) ถ้า  $R = 0$  และ  $S = 1$  ค่า  $R=0$  ทำให้  $Q$  มีค่า 1 คือบรรทัดแรกของตาราง
- 2)  $Q = 1$  และ  $S = 1$  ทำให้  $Q = 0$  คือบรรทัดแรกของตาราง
- 3)  $Q$  และ  $R$  ทั้งสองมีค่า 0 ทำให้  $Q = 1$
- 4)  $R = 0$  คือการรีเซตวงจร ซึ่งทำให้ฟลิปฟลอปเข้าสู่สถานะ  $Q = 0$  และ  $Q=1$  คือบรรทัด 1 ของตาราง

5) ถ้า  $R$  เปลี่ยนค่ากลับไปเป็น 1 ( $S$  ยังมีค่า 1)  $Q = 0$  และ  $Q = 1$  เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ และ  $S=1$  ทำให้ค่า  $Q$  คงที่ 0 จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณนี้อีกต่อไป

S	R	Q	$\bar{Q}$	
1	0	0	1	← 1 เซ็ต
0	1	1	0	← เซ็ต
1	1	No Change : NC		← รักษาสถานะเดิม
0	0	Not Allowed : NA		← $Q = \bar{Q} = 1$

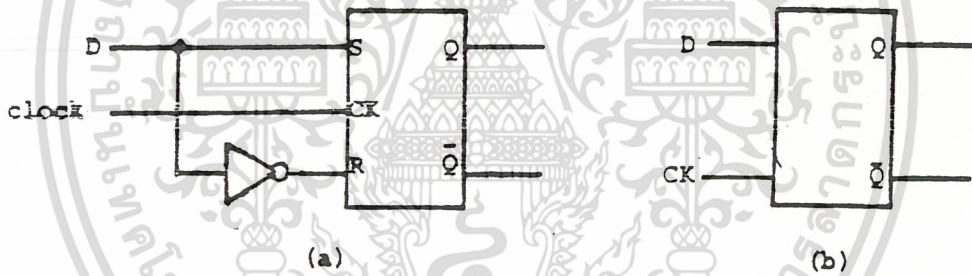
ตาราง 2.6.1 การทำงานของ RS ฟลิปฟลอปจากแอนด์เกต

- 6) เนื่องจากฟลิปฟลอปเป็นแบบสมมาตร ถ้าเราทำให้  $S = 0$  และ  $R = 1$  ค่า  $S = 0$  ทำให้ Q มีค่า 1 และ  $R = 1$  ทำให้  $\bar{Q}$  มีค่า 0 กรณีนี้เป็นการเซตฟลิปฟลอป ทำให้ฟลิปฟลอปเข้าสู่สถานะ  $Q = 1$  และ  $\bar{Q} = 0$  คือบรรทัดที่สองของตาราง
- 7) ถ้าทั้ง S และ R มีค่า 0 ติดต่อกัน  $Q = 1$  และ  $\bar{Q} = 0$  เป็นกรณีต้องห้ามของฟลิปฟลอป RS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ฟลิปฟลอป D

ในวงจรฟลิปฟลอป RS ที่ใช้แชนด์เกทนั้น มีอินพุตคือ S และ R กรณี S และ R มีค่า 1 ทั้งสองตัวนั้นเป็นกรณีต้องห้ามของฟลิปฟลอปแบบนี้ กรณีเช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้ แต่ถ้าหากเราใช้อินเวอร์เตอร์ 1 ตัวต่อเข้าระหว่างขา S และ R ดังรูป 2.7.1 ก็จะทำให้เราประกันได้ว่า กรณีที่  $S = 1$  และ  $R = 1$  จะไม่เกิดขึ้นเพราะ R และ S จะต้องตรงกันข้ามเสมอ อินพุตที่เข้ามาจะลดเหลืออินพุตเดียว วงจรฟลิปฟลอปในลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่าฟลิปฟลอป D หรือ บางทีเรียกว่า ฟลิปฟลอปข้อมูล



รูป 2.7.1 สัญลักษณ์ของ D flipflop

เวลา $t_n$		เวลา $t_{n+1}$
D	$Q_n$	$Q_{n+1}$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกตำราที่ 2.7.1 ตารางค่าความจริงของ D flipflop

### บทที่ 3 หลักการทำงานและส่วนวงจรต่างๆของ ARC MONITOR

#### หลักการทำงาน

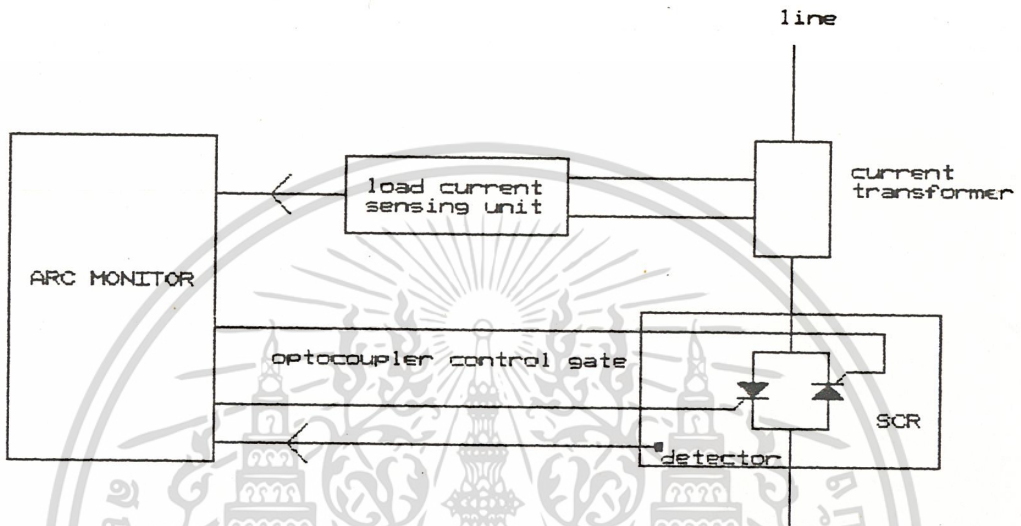
การทำงานของ arc monitor นั้นจะใช้ LDR ซึ่งจะมีความต้านทานสูงเมื่ออยู่ในที่มืด และมีความต้านทานต่ำเมื่อตัวมันได้รับแสง เป็นตัวตรวจจับแสงที่เกิดจากการอาร์คในสวิทช์เกียร์ ในส่วนของตัวตัดวงจรนั้นเราจะใช้ SCR ต่อขานกลับหัวกันสองตัวทำหน้าที่เป็นตัวตัดวงจรแทนการใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ เนื่องจากมันทำงานได้เร็วกว่า โดยเราจะควบคุมที่ขาเกตของเอสซีอาร์

แต่เนื่องจากการตรวจสอบเพียงแสงที่เกิดจากการอาร์คในสวิทช์เกียร์เพียงอย่างเดียว อาจทำให้การทำงานของ arc monitor ผิดพลาดได้เนื่องจากแสงอาร์คจากการปิดเปิดเซอร์กิตเบรคเกอร์เราจึงต้องมีการตรวจสอบกระแสในสาย line ประกอบกันด้วย โดยใช้ current transformer เป็นตัวตรวจสอบกระแสจริงในสาย line ด้วย แล้วจึงนำเอาสัญญาณจากการตรวจจับแสง และสัญญาณตรวจสอบกระแสจาก current transformer มาผ่าน AND เกทแล้วจึงนำ output จาก AND เกทไปยัง optoisolator ซึ่งจะเป็นตัวทริกเกตอีกทีหนึ่ง โดยการใช้ optoisolator จะมีผลดีคือการไม่มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุม และ วงจรกำลัง ทำให้ไม่มีการรบกวนกันจาก block diagram ข้างล่างจะเห็นได้ว่า วงจรจะมีการทำงานก็ต่อเมื่อมีทั้งสัญญาณจากการตรวจจับแสงและตัวตรวจจับกระแส จะมีเพียงสัญญาณเดียวไม่ได้

เอสซีอาร์จะใช้เวลาในการตัดวงจรได้เร็วกว่าเมื่อเทียบกับ เซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยจะใช้เวลาไม่เกิน 10ms ซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 35ms ซึ่งเป็นเวลามากที่สุดในการตัดวงจรที่ยังปลอดภัยอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดที่อธิบายข้างต้นสามารถแสดงด้วย block diagram ข้างล่าง

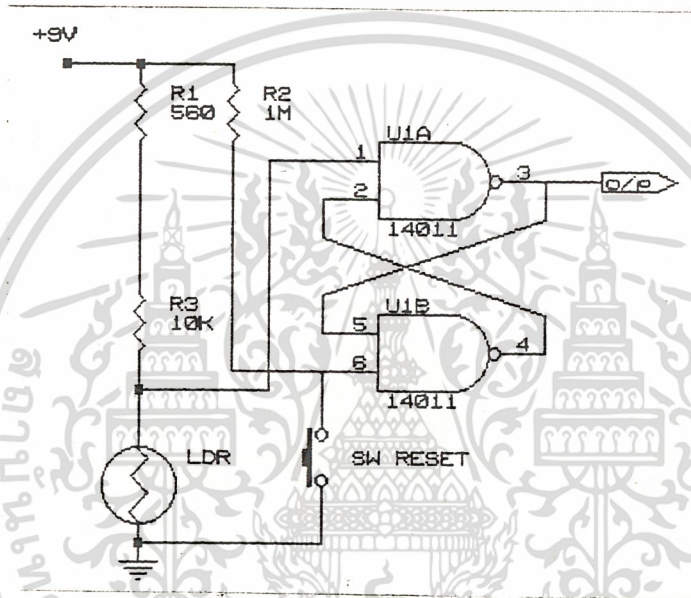


รูปที่ 3.1 แสดง block diagram ของ arc monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรต่างๆที่ใช้

1) วงจรตรวจจับแสง (light sensor)



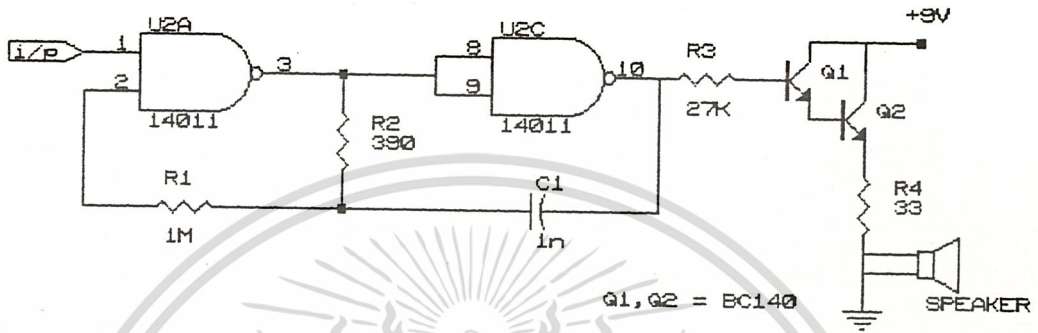
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรตรวจจับแสง (light detector)

ในที่มืดความต้านทานของ LDR จะมีค่าสูงมาก ทำให้ voltage ที่ตกคร่อม LDR จะมีค่าสูงมากทำให้ขา input ของ  $N_1$  เป็น high ทำให้เอาท์พุทของ Q เป็น low แต่เมื่อ LDR ได้รับแสงความต้านทานของมันจะต่ำลงมากทำให้ voltage ตกคร่อมตัวมันมีค่าต่ำ ทำให้ขา input ของ  $N_1$  เปลี่ยนเป็น low ซึ่งจะเป็นการเชตพลิกฟลอปทำให้ output ของ Q มีค่า high และมันจะยังคงเป็น high อยู่ถึงแม้ว่าแสงจะหายไปแล้ว

เอกสารนเป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อกรศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ภาคใดมีใช้เชิงธุรกิจอื่นหากกรก

ไ้แต่เมื่อเรากดปุ่ม reset ด้ ก็จะเป็นการรีเชตพลิกฟลอป ซึ่งจะทำให้ output เป็น 0

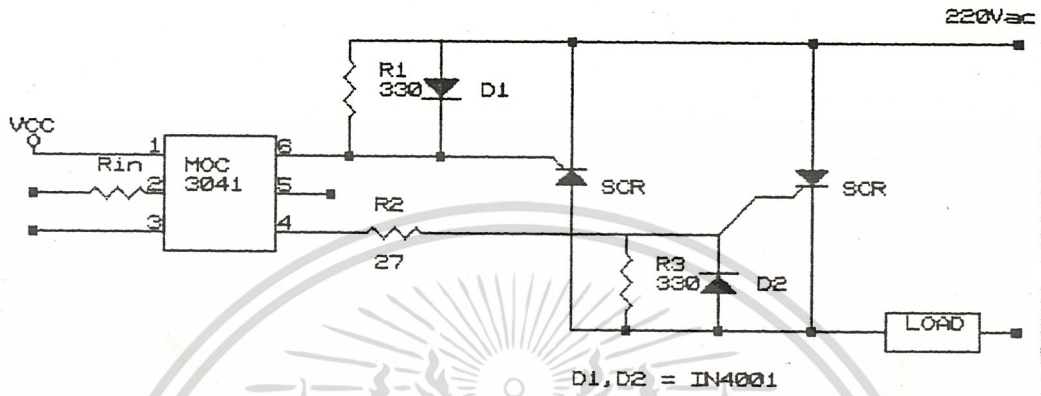
2) วงจร oscillator และ alarm



รูปที่ 3.3 แสดงวงจร oscillator และ alarm

เมื่อ input มีค่าเป็น 1 จะทำให้วงจรนี้ซึ่งเป็นวงจรออสซิลเลต ทำงาน โดยทรานซิสเตอร์ที่ต่อกันสองตัว ที่ต่อกันแบบ darlington เพื่อเพิ่มกำลังในการขับลำโพงให้มีเสียงดังเมื่อเกิด fault โดยเราจะสามารถทำให้วงจรนี้หยุดส่งเสียงออกทางลำโพงด้วยการกดปุ่ม reset ในวงจร sensor

3) ส่วน optoisolator

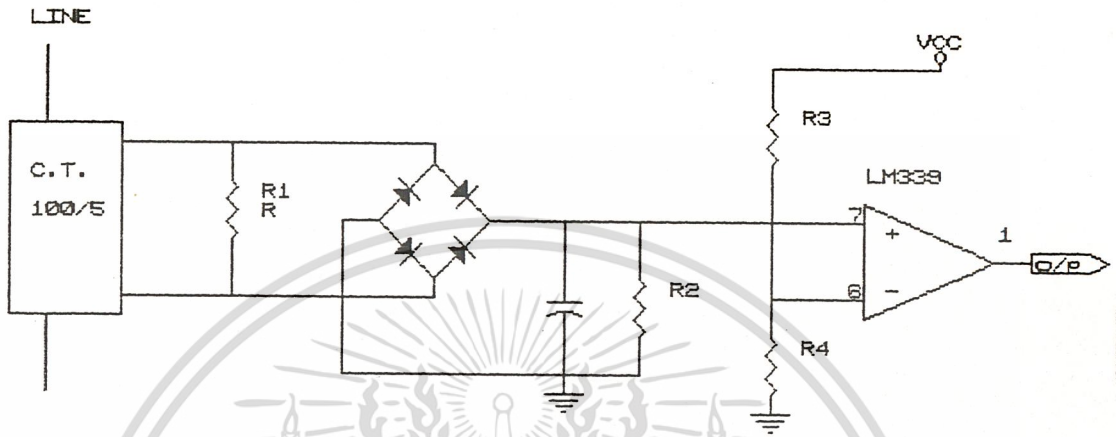


รูปที่ 3.4 แสดงวงจร optoisolator

เมื่อตัว optoisolator ได้รับสัญญาณ low ที่ขา 2 มันจะมีการtriggerของ  
 เอสซีอาร์โดยเอสซีอาร์จะสามารถปิดหรือเปิดวงจรได้เนื่องจากเราใช้กับไฟกระแสสลับ  
 โดยเรามีการต่อเอสซีอาร์ขนานแต่กลับหัวกันซึ่งมันจะผลิตกันนำกระแสคนละ cycle แต่ถ้า  
 เราไม่มีการtriggerให้มันเรื่อยๆมันก็จะหยุดนำกระแสซึ่งก็คือการตัดวงจร สำหรับไดโอด  
 และตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับที่ขาเก่านั้นจะทำหน้าที่ป้องกันขาเกตจากการกระชากทางไฟฟ้าที่จะ  
 เข้ามาทางขาเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ส่วนตรวจสอบกระแสด้วยหม้อแปลงกระแส



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจสอบกระแสด้วยหม้อแปลงกระแส

หลักการตรวจสอบแรงดัน

เราสามารถใช้ออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันอย่างง่ายได้ โดยเรารู้ว่าแรงดันเอาต์พุทของออปแอมป์ จะเป็นไปตามสมการ

$$V_o = ( V^- - V^+ ) A_{v_o}$$

$V^+$  : แรงดันที่ขาอินพุทไม่อินเวอร์ต

$V^-$  : แรงดันที่ขาอินพุทอินเวอร์ต

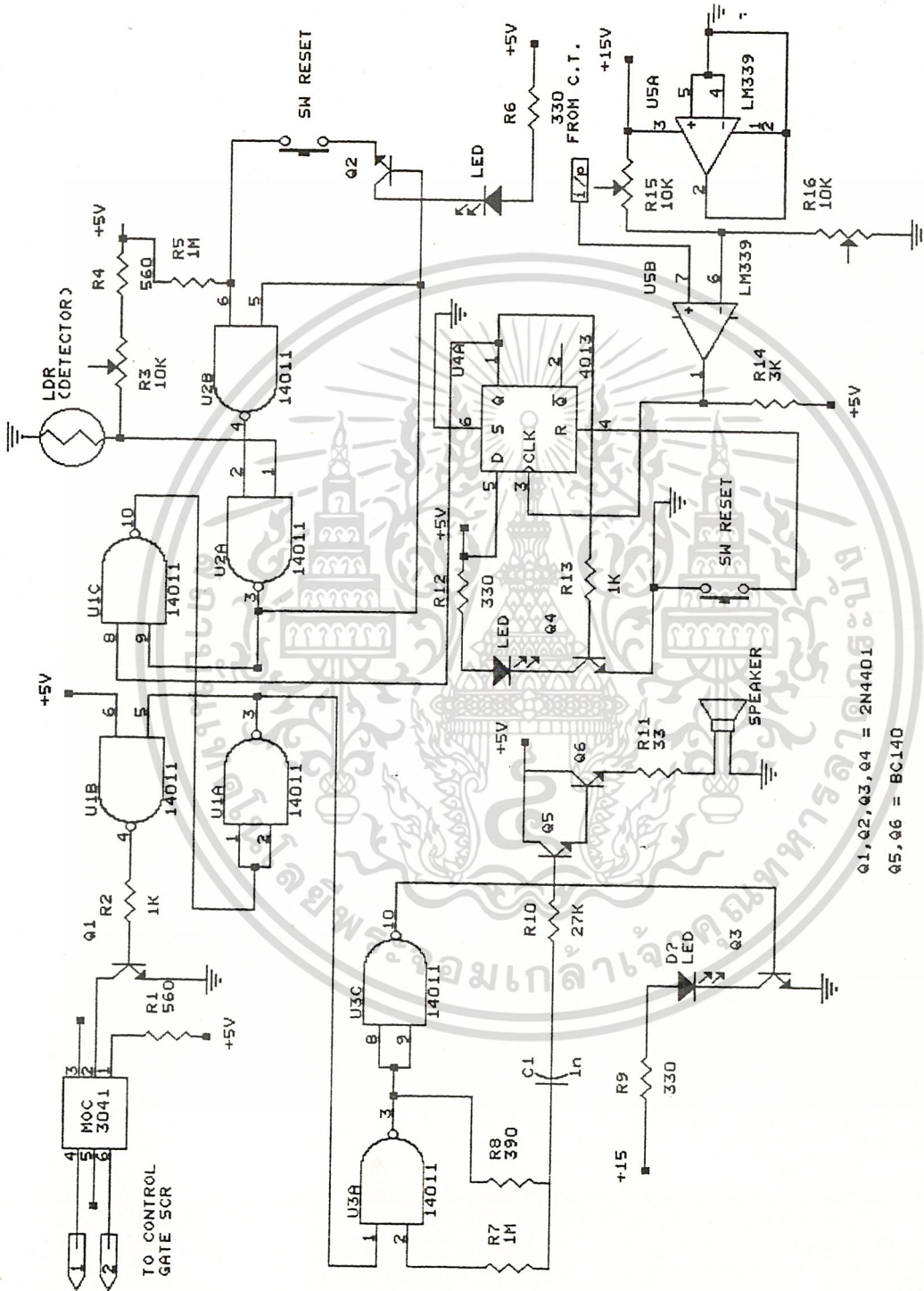
$A_{v_o}$  : อัตราการขยายแบบเปิดของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากว่าไม่มีการป้อนกลับแบบใดๆเลย แม้ว่า  $v^+$  ,  $v^-$  จะต่างกันเล็กน้อยก็ตามแต่เนื่องจาก  $A_{v_o}$  มีค่าสูงมาก จึงทำให้แรงดันเอาต์พุตอ้อมตัวไปทางใดทางหนึ่ง อาจเป็น  $+V_{cc}$  หรือ  $-V_{cc}$

ในการตรวจสอบกระแสเกินเราใช้ current transformer แปลงกระแสใน line ที่เราต้องการใช้เพื่อให้มีค่าลดลง เพื่อนำมาใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยค่ากระแสที่ได้เราจะนำมาผ่านคอนามต้านทานซึ่งจะทำให้เกิดเป็นโวลเตจตกคร่อมขึ้น แต่เนื่องจากโวลเตจเป็นโวลเตจจากกระแสสลับ เราจึงต้องผ่านวงจรบริดจ์เรกติฟายเออร์เพื่อให้ง่ายในการเปรียบเทียบ โดยในวงจรเราสามารถเลือกค่ากระแสที่ต้องการป้องกัน โดยคำนวณค่า R และ zener diode ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง โดยเมื่อแรงดันทางด้านอินพุตมีค่าสูงกว่า ค่าแรงดันอ้างอิงที่เราตั้งไว้ก็จะมีเอาต์พุตออกมา โดยค่าแรงดันอ้างอิงเราสามารถตั้งค่าที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.6 รูปวงจรของโครงการ

## สรุปผลและวิจารณ์

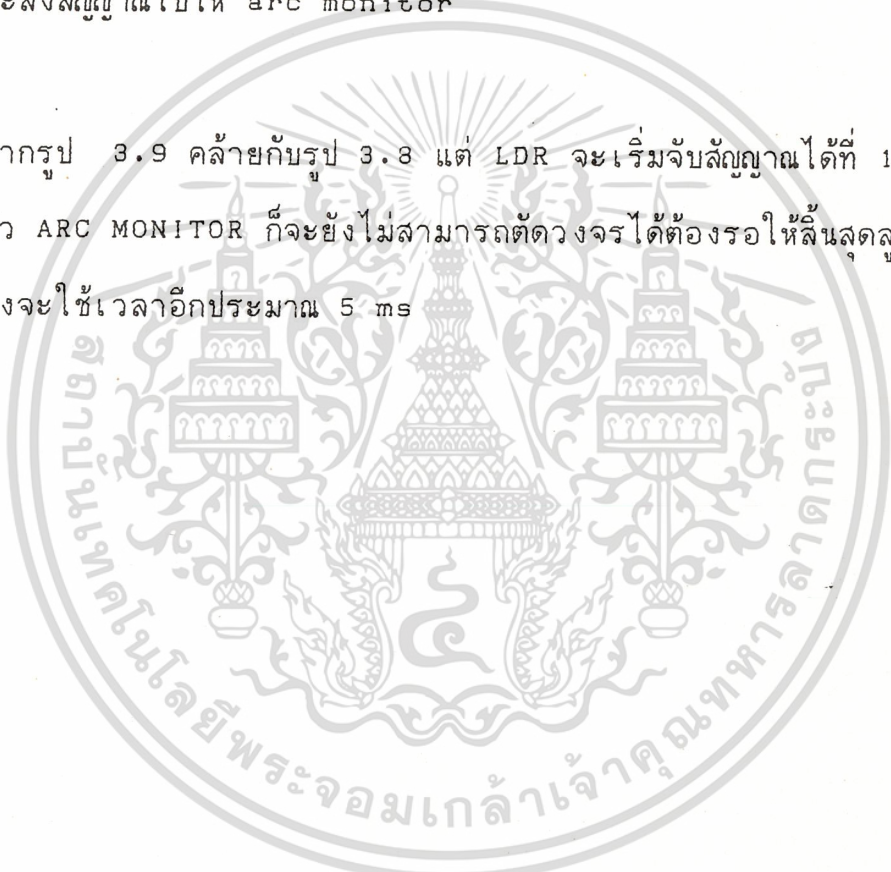
จากการทดลองวงจรสามารถทำงานได้ดี โดยในการทดลองได้เช็คค่ากระแสของไหลดไว้ที่ 20 A โดยใช้ไหลดหลอดไฟ เมื่อเราเปิดให้ LDR รับแสงและเปิดไหลดเกิน 20 A เอลซีอาร์จะตัดวงจรทันทีทันใด และ เมื่อเราปิดไม่ให้ LDR รับแสงมันก็จะยังคงตัดวงจรอยู่เนื่องจากมัน latch เอาไว้จนกว่าเราจะกดปุ่ม reset ไหลดก็จะกลับมา on อีกครั้ง เมื่อมีกระแสเกินเพียงอย่างเดียวเข้ามาหรือ LDRรับแสงเพียงอย่างเดียวมันก็จะไม่มีการตัดวงจรซึ่งก็ตรงตามจุดประสงค์ที่จะให้มันทำงานเมื่อมีทั้งสัญญาณจากการตรวจสอบแสงและกระแส ในวงจรนั้นเมื่อมีการตัดวงจรไปแล้ว จะต้องไปกดปุ่ม reset เท่านั้น Load จึงจะสามารถกลับมา on ได้อีก สำหรับความเร็วในการตัดวงจรนั้น อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างเร็วหากเทียบกับ circuit breaker เนื่องจากตัวตัดวงจรเราใช้ SCR

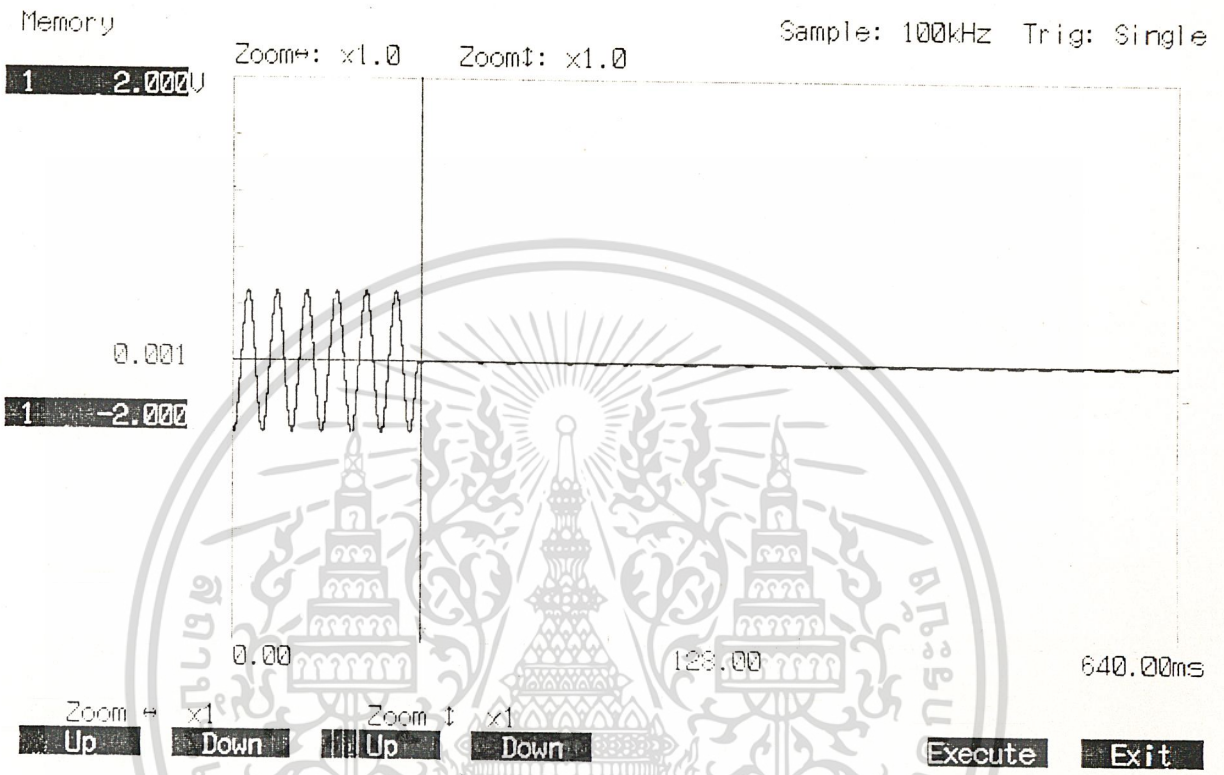
สำหรับการจับเวลาในการตัดไหลดด้วย LDR ในที่นี้เราใช้เครื่อง analyzing recorder ของ YOKOGAWA รุ่น AR 1100A ทำการวัดเวลาจะ  
ได้ดังรูป

จากรูปที่ 3.7 เส้นแนวแกนตั้งจะเป็นเส้นที่แสดงการเริ่มต้นรับสัญญาณได้ของ LDR ซึ่ง arc monitor โดยหยุดการ trig gate ของ SCR

จากรูป 3.8 เป็นรูปเดียวกันกับรูปที่ 3.7 แต่ได้ขยายให้เด่นชัดขึ้น จะพบว่า เส้นแนวตั้งเส้นแรกเป็นเส้นที่ LDR จับสัญญาณแสงได้ หลังจากนั้นอีก 2 ms ก็ จะส่งสัญญาณไปให้ arc monitor

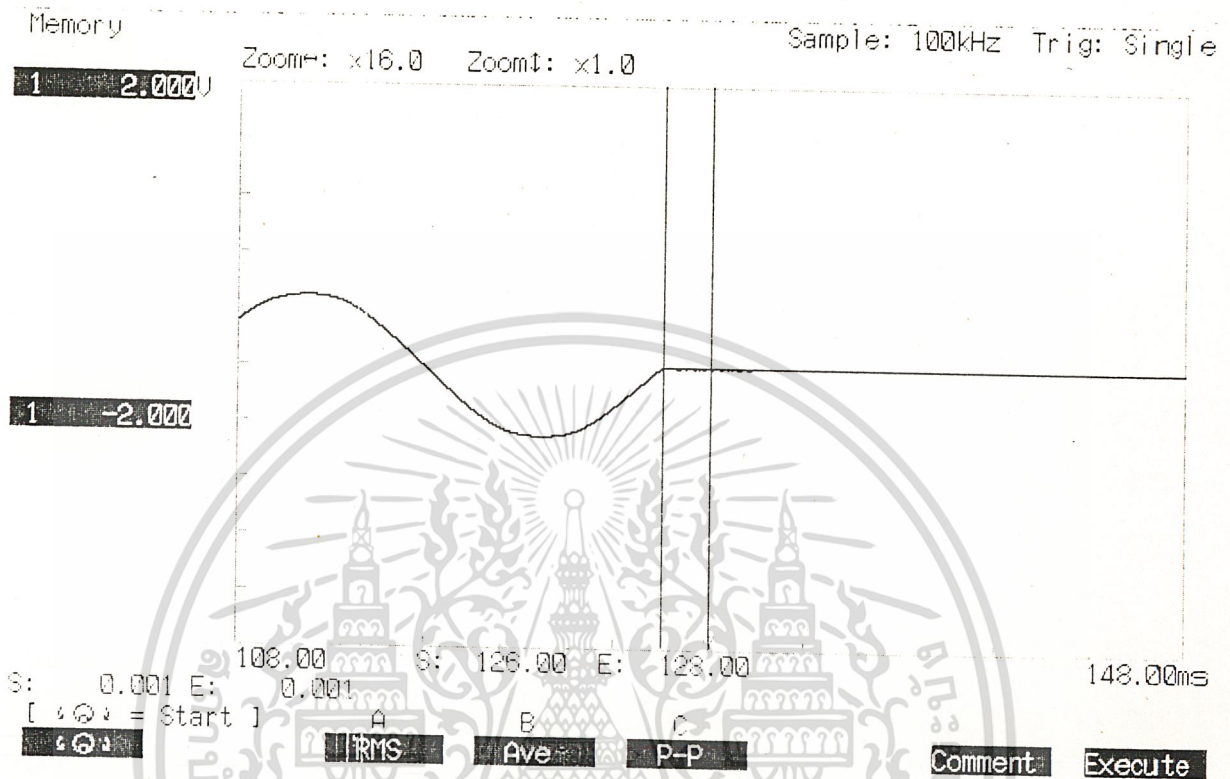
จากรูป 3.9 คล้ายกับรูป 3.8 แต่ LDR จะเริ่มจับสัญญาณได้ที่ 1/4 cycle ตัว ARC MONITOR ก็จะไม่สามารถตรวจจับได้ต้องรอให้สิ้นสุดลูกคลื่นเสียก่อน ซึ่งจะใช้เวลาอีกประมาณ 5 ms





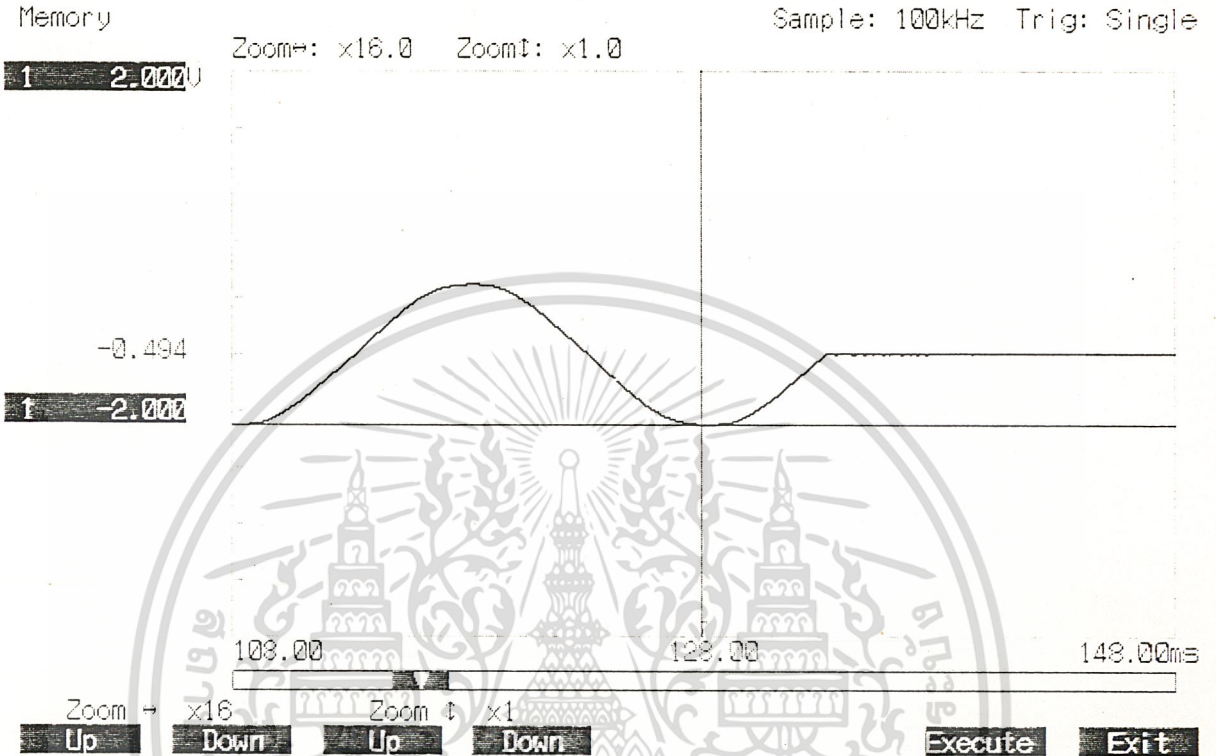
รูป 3.7 แสดง waveform จากเครื่อง analyzing recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8 แสดง waveform แบบขยายจากรูป 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



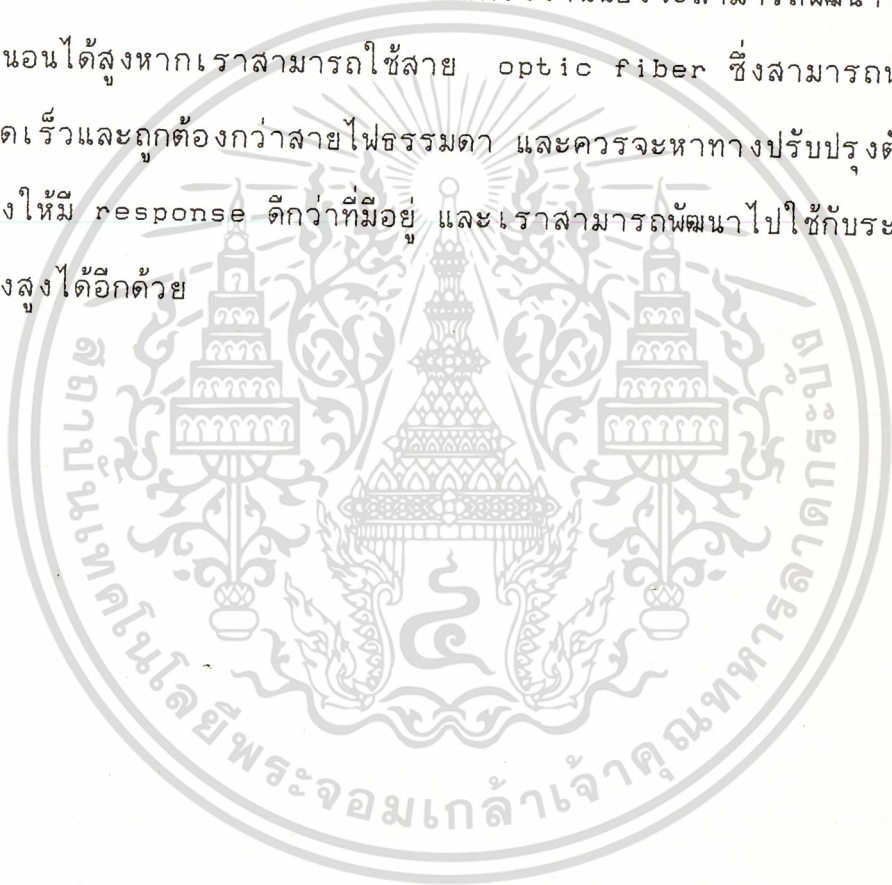
รูป 3.9 แสดง waveform ในช่วงเวลาที่ต่างกับรูป 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาและข้อเสอแนะ

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นประกอบด้วย ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คุณสมบัติของตัว sensor แสง และ คุณภาพของอุปกรณ์ตรวจสอบ กระแส ซึ่งก็คือ หม้อแปลงกระแส ซึ่งให้รูปสัญญาณที่ยังผิดเพี้ยนอยู่

สำหรับข้อเสอแนะ สำหรับโครงการนี้ยังสามารถพัฒนาให้มีความแน่นอนได้สูงหากเราสามารถใส่สาย optic fiber ซึ่งสามารถนำสัญญาณได้รวดเร็วและถูกต้องกว่าสายไฟธรรมดา และควรจะหาทางปรับปรุงตัวตรวจสอบแสงให้มี response ดีกว่าที่มีอยู่ และเราสามารถพัฒนาไปใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูงได้อีกด้วย



กิตติกรรมประกาศ

Project นี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลยหากขาดความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้

- อ.จรงค์ บุญเลี้ยง Adviser ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำด้วยดีตลอดมา
- อ.สมภพ ผลไม้ ช่วยแก้ไขวงจร
- อ.พิชิต ล้ำยอง ที่กรุณาให้ยืม Analyzing Recorder
- พี่นพนธ์ workshop ให้ยืมอุปกรณ์
- เพื่อนๆภาค power และ ภาค elec ที่ให้ยืมอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ดร. สำรวย สังข์สะอาด
- ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2 , ยืน ภู่วรรณ
- ทฤษฎีและการใช้งานดิจิทัล, ประทีป บัญญัตินพรัตน์
- ไอซีดิจิทัล, กฤษดา วิศวธีรานนท์
- เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 116, 129 ปี 2536
- อิเล็กทรอนิกส์เวิร์ลด์ ฉบับ 141 ปี 2536
- POWER ELECTRONICS, MARVIN J. FISHER
- PRINCIPLE OF INDUSTRIAL ELECTRONICS, BEN ZEINES
- INTRODUCTION TO POWER ELECTRONICS, EICHI OSNO
- ABB REVIEW 5/90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

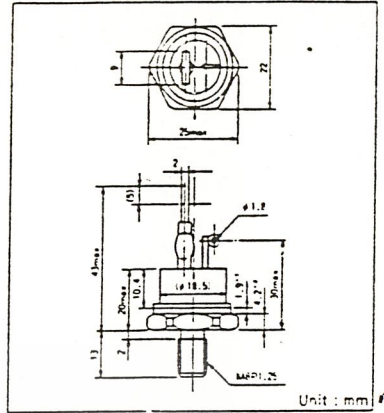


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THYRISTOR SC50C

For general phase control applications such as speed controls, light controls and welders etc.

- General power use
- $I_T = 50A$ ,  $I_T(RMS) = 78A$
- High voltage up to 1200V
- High surge current of 1000A
- Stud type



## Maximum Ratings

Symbol	Item	SC50C-40	SC50C-60	SC50C-80	SC50C-10C	SC50C-120	Unit
$V_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Voltage	400	600	800	1000	1200	V
$V_{RSM}$	Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	480	720	960	1100	1300	V
$V_{ORM}$	Repetitive Peak Off-State Voltage	400	600	800	1000	1200	V

Symbol	Item	Conditions		Rating	Unit
$I_T(AV)$	Average On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c = 65.5^\circ C$		50	A
$I_T(RMS)$	R.M.S On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c = 65.5^\circ C$		78	A
$I_{TSM}$	Surge On-State Current	$\frac{1}{2}$ cycle, 50Hz/60Hz, peak value, non-repetitive		900/1,000	A
$I^2t$	$I^2t$	Value for one cycle of surge current		4,160	A <sup>2</sup> S
$P_{GM}$	Peak Gate Power Dissipation			10	W
$P_{C(AV)}$	Average Gate Power Dissipation			1	W
$I_{GM}$	Peak Gate Current			3	A
$V_{FGM}$	Peak Gate Voltage(Forward)			10	V
$V_{RGM}$	Peak Gate Voltage(Reverse)			5	V
$di/dt$	Critical Rate of Rise of On-State Current	SC50C-40-60	$I_G = 100mA$ , $T_J = 25^\circ C$ ,	50	A/ $\mu s$
		SC50C-80-120	$V_G = \frac{1}{2} V_{ORM}$ , $di_G/dt = 0.1A/\mu s$	200	
$T_J$	Operating Junction Temperature			-30 ~ +125	$^\circ C$
$T_{stg}$	Storage Temperature			-30 ~ +125	$^\circ C$
	Mounting Torque			70	kgf cm
	Mass	Excluding nut, washer 2.6g and wrapping material 0.1g		43	g

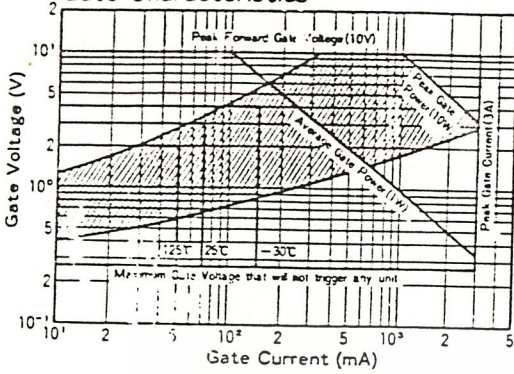
## Electrical Characteristics

Symbol	Item	Conditions	Rating	Unit
$I_{OR}$	Repetitive Peak Off-State Current, max.	at $V_{ORM}$ , single phase, half wave, $T_J = 125^\circ C$	5	mA
$I_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Current, max.	at $V_{ORM}$ , single phase, half wave, $T_J = 125^\circ C$	5	mA
$V_{TM}$	Peak On-State Voltage, max.	On-State Current 150A, $T_J = 25^\circ C$ Inst. measurement	1.95	V
$I_G/V_{GT}$	Gate Trigger Current/Voltage, max.	$T_J = 25^\circ C$ , $I_T = 1A$ , $V_G = 6V$	70/3	mA/V
$V_{GD}$	Non-Trigger Gate, Voltage, min.	$T_J = 125^\circ C$ , $V_G = \frac{1}{2} V_{ORM}$	0.25	V
$t_{GT}$	Turn On Time, max.	$I_T = 50A$ , $I_G = 100mA$ , $T_J = 25^\circ C$ , $V_G = \frac{1}{2} V_{ORM}$ , $di_G/dt = 0.1A/\mu s$	10	$\mu s$
$dv/dt$	Critical Rate of Rise of On-State Voltage, min.	SC50C-40-60 $T_J = 125^\circ C$ , $V_G = \frac{2}{3} V_{ORM}$	100	V/ $\mu s$
		SC50C-80-120 $T_J = 125^\circ C$ , $V_G = \frac{2}{3} V_{ORM}$	200	
$I_H$	Holding Current, typ.	$T_J = 25^\circ C$	30	mA
$R_{th(j-c)}$	Thermal Impedance, max.	Junction to case	0.6	$^\circ C/W$

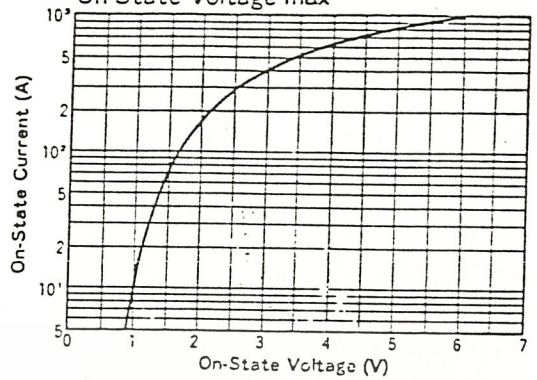
\* mark : Thyristor and Diode part N. mark : Thyristor part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้า  
 ในการผลิตใดๆ ที่สิ้น ออกทั้งที่ให้มีเหตุเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการใช้งานอย่างองค  
 SanRex

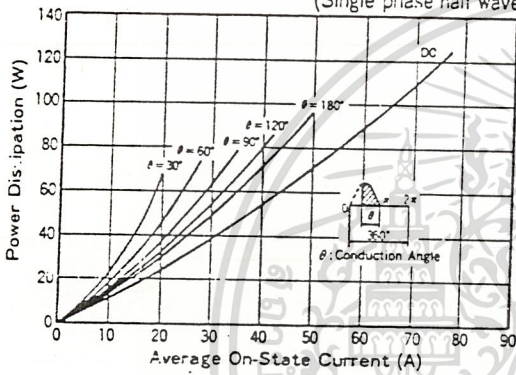
Gate Characteristics



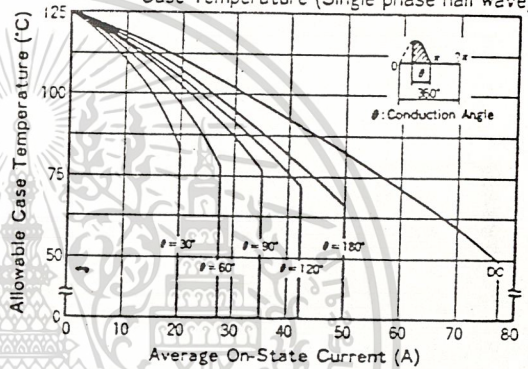
On-State Voltage max



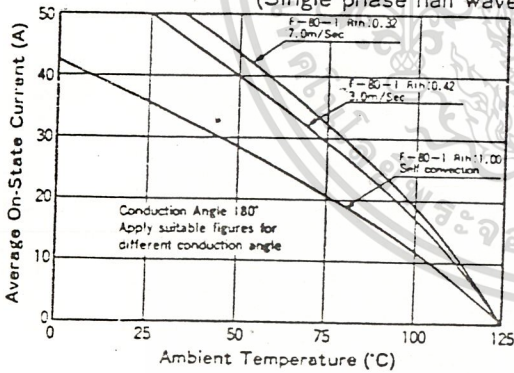
Average On-State Current Vs Power Dissipation (Single phase half wave)



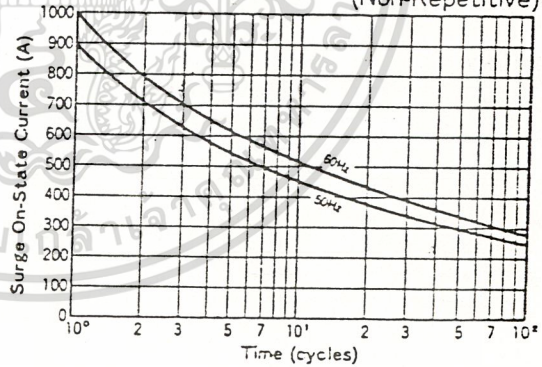
Average On-State Current Vs Maximum Allowable Case Temperature (Single phase half wave)



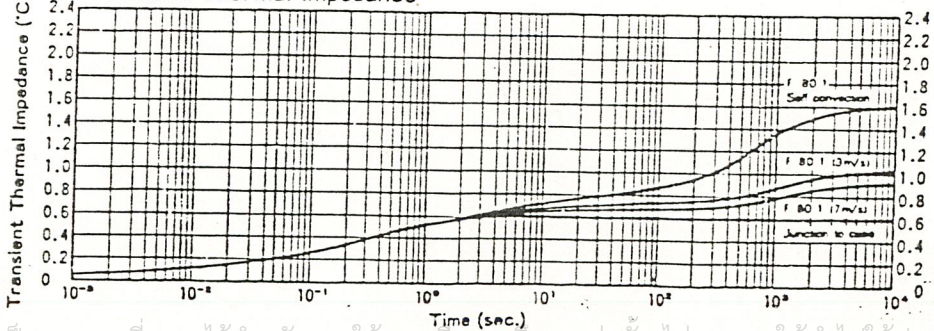
Ambient Temperature Average On-State (Single phase half wave)



Surge On-State Current Rating (Non-Repetitive)



Transient Thermal Impedance



THYRISTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ



FEATURES

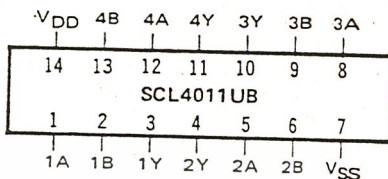
- ◆ Unbuffered Outputs for Quasi-Linear Applications
- ◆ Quad 2-Input NAND Configuration
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Output Drive Current Compatible with "B" Series
- ◆ Pin Compatible with Buffered SCL4011B
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4011UB consists of four positive-logic NAND gates. The outputs are unbuffered, making the device suitable for quasi-linear applications, such as gated oscillators, multivibrators, and pulse shaping circuits.

For digital applications, the buffered SCL4011B is recommended for its higher gain and input pattern insensitivity.

CONNECTION DIAGRAM  
(all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

TRUTH TABLE

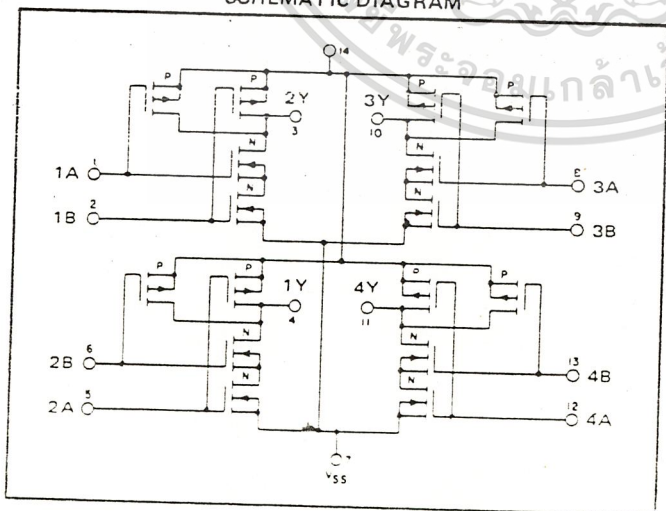
Inputs		Output
1	1	0
All other combinations		1

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

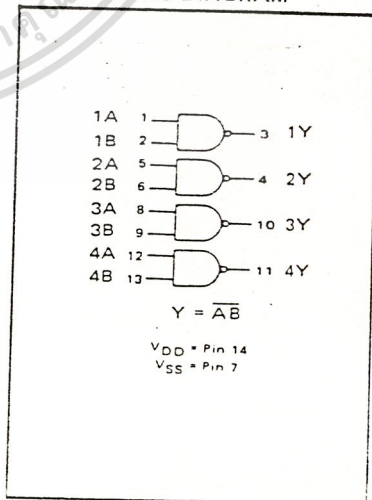
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V <sub>DD</sub> - V <sub>SS</sub>	3 to 15	V <sub>dc</sub>
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

SCHEMATIC DIAGRAM



LOGIC DIAGRAM



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

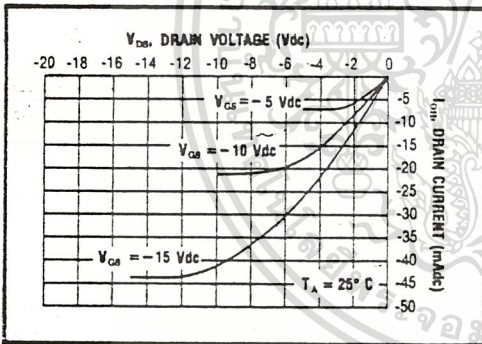
### STATIC CHARACTERISTICS 1.3

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT I <sub>DD</sub>	5	V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	—	0.05	—	0.0005	0.05	—	1.5	μA <sub>dc</sub>
	10		—	0.10	—	0.001	0.10	—	3.0	
	15		—	0.20	—	0.002	0.20	—	6.0	

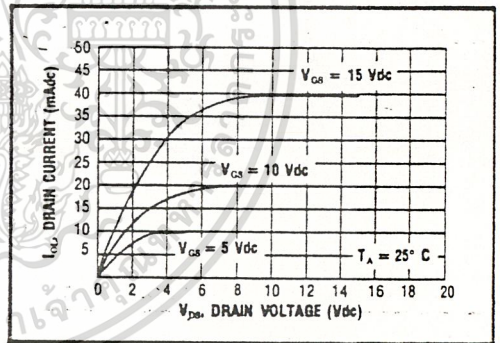
- NOTES:
- <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
  - <sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.  
= -40°C for E device.
  - T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.  
= + 85°C for E device.
  - <sup>3</sup> This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

### DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	—	75	150	ns
	10	—	35	70	
	15	—	25	50	
OUTPUT TRANSITION TIME t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	5	—	100	200	ns
	10	—	50	100	
	15	—	40	80	

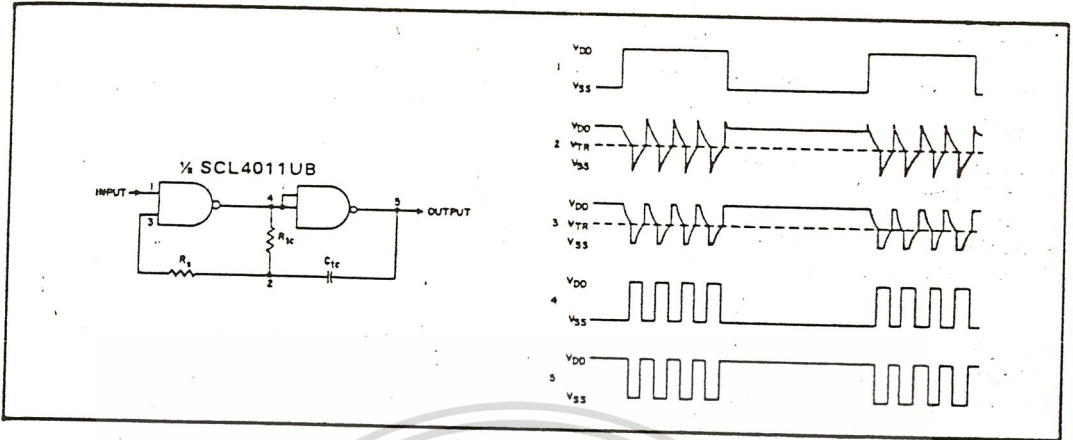


Typical P-Channel  
Source Current Characteristics

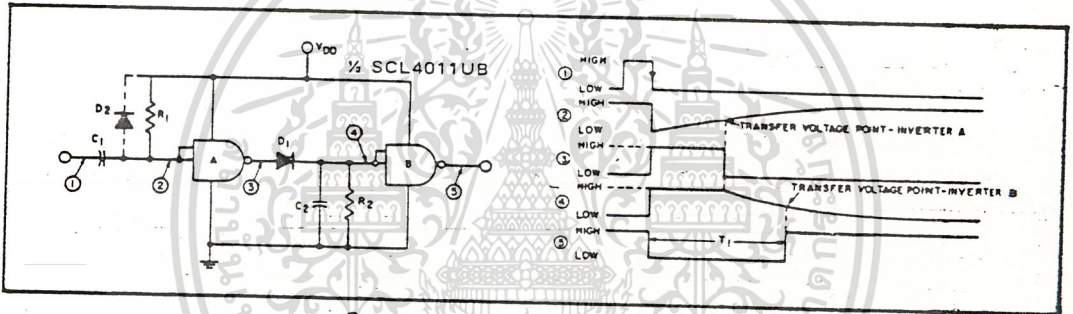


Typical N-Channel  
Sink Current Characteristics

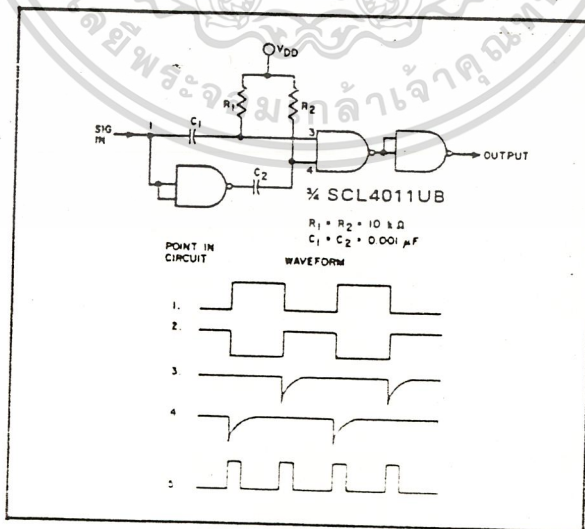
APPLICATIONS INFORMATION



Gated Oscillator



Compensated Monostable Multivibrator  
(Independent of Transfer Voltage)



Frequency Doubler

## 6-Pin DIP Optoisolators Triac Driver Output

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

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

- Simplifies Logic Control of 240 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- High Breakdown Voltage:  $V_{DRM} = 400$  V Min
- High Isolation Voltage:  $V_{ISO} = 7500$  V Guaranteed
- Small, Economical, 6-Pin DIP Package
- $dI/dt$  of 2000 V/ $\mu$ s Typ, 1000 V/ $\mu$ s Guaranteed
- UL Recognized, File No. E54915
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE0110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

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

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

#### INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	$V_R$	6	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Total Power Dissipation (@ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

#### OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current ( $PW = 100 \mu\text{s}$ , 120 ops)	$I_{TSM}$	1	A
Total Power Dissipation (@ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

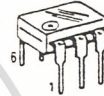
#### TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	$V_{ISO}$	7500	Vac
Total Power Dissipation (@ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	—	260	$^\circ\text{C}$

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

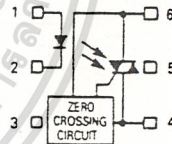
**MOC3041**  
**MOC3042**  
**MOC3043**

**6-PIN DIP**  
**OPTOISOLATORS**  
**TRIAC DRIVER OUTPUT**  
**400 VOLTS**



CASE 730A-02  
 PLASTIC

#### COUPLER SCHEMATIC



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

# MOC3041, MOC3042, MOC3043

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

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

- Notes:
- Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.
  - All devices are guaranteed to trigger at an  $I_C$  value less than or equal to  $\text{max } I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between  $\text{max } I_{FT}$  (15 mA for MOC3041, 10 mA for MOC3042, 5 mA for MOC3043) and absolute  $\text{max } I_F$  (60 mA).
  - This is static  $dv/dt$ . See Figure 7 for test circuit. Commutating  $dv/dt$  is a function of the load-driving thyristor(s) only.

## TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

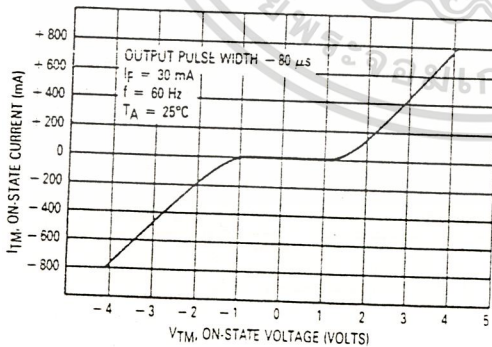


Figure 1. On-State Characteristics

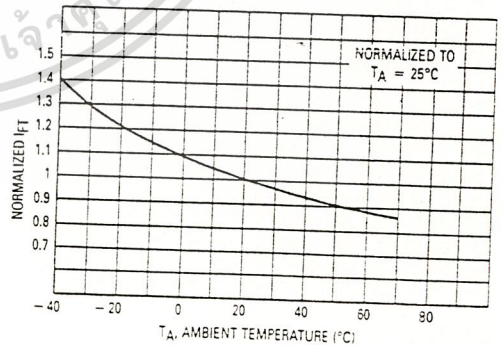


Figure 2. Trigger Current versus Temperature

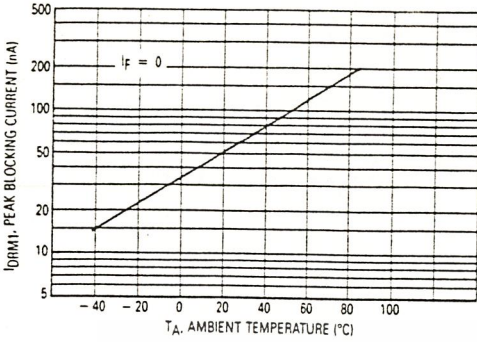


Figure 3. IDRM1, Peak Blocking Current versus Temperature

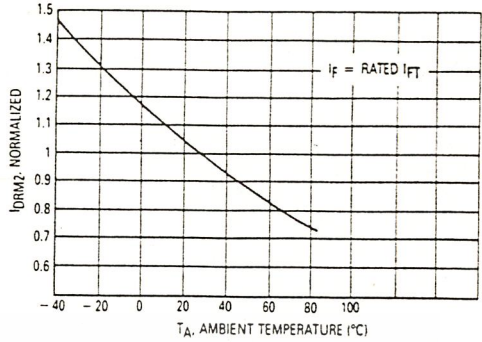


Figure 4. IDRM2, Leakage in Inhibit State versus Temperature

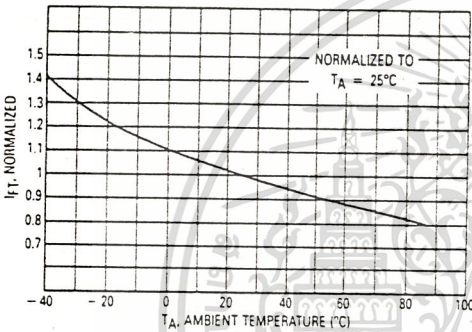


Figure 5. Trigger Current versus Temperature

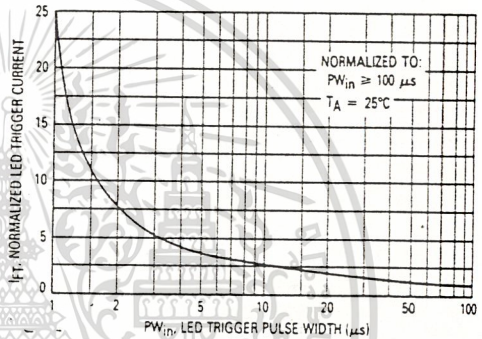
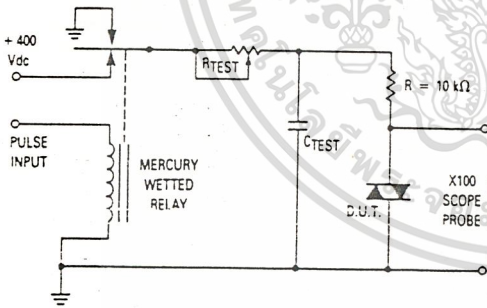


Figure 6. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable RTEST allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τRC is measured at this point and recorded.

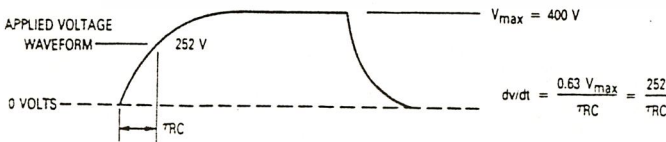
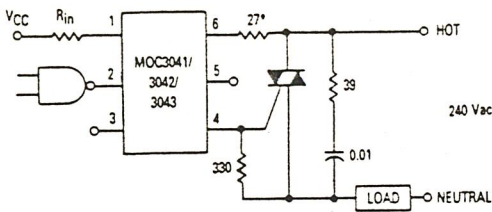


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

# MOC3041, MOC3042, MOC3043

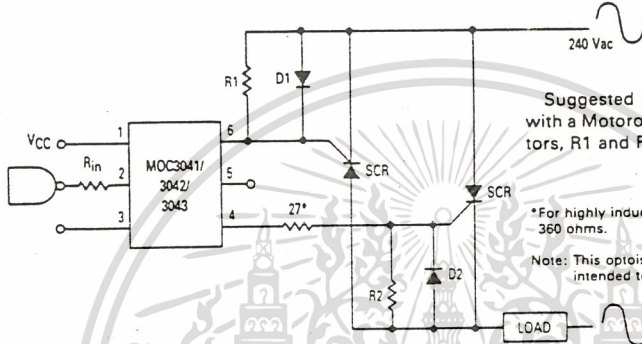


\*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 8. Hot-Line Switching Application Circuit

Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

$R_{in}$  is calculated so that  $I_F$  is equal to the rated  $I_{FT}$  of the part, 5 mA for the MOC3043, 10 mA for the MOC3042, or 15 mA for the MOC3041. The 39 ohm resistor and 0.01  $\mu$ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.



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

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

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

Figure 9. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

## OUTLINE DIMENSIONS

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIM L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.12	8.89	0.320	0.350
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	2.53	5.08	0.115	0.200
D	0.41	0.50	0.016	0.020
E	1.02	1.77	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
J	0.21	0.30	0.008	0.012
K	0.38	2.54	0.015	0.100
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	0"	15"	0"	15"
N	2.54	3.81	0.100	0.150

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

CASE 730A-02  
 PLASTIC



# Voltage Comparators

## LM139/239/339, LM139A/239A/339A, LM2901, LM3302 Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

### General Description

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2 mV max for all four comparators. These 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. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO, MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, they will directly interface with MOS logic—where the low power drain of the LM339 is a distinct advantage over standard comparators.

### Advantages

- High precision comparators
- Reduced  $V_{OS}$  drift over temperature

- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near gnd
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

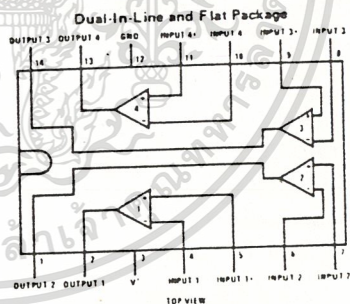
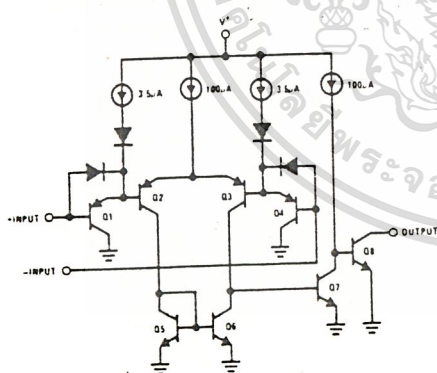
### Features

- Wide single supply voltage range or dual supplies
  - LM139 series, 2 V<sub>DC</sub> to 36 V<sub>DC</sub> or
  - LM139A series, LM2901  $\pm 1$  V<sub>DC</sub> to  $\pm 18$  V<sub>DC</sub>
  - LM3302 2 V<sub>DC</sub> to 28 V<sub>DC</sub> or  $\pm 1$  V<sub>DC</sub> to  $\pm 14$  V<sub>DC</sub>
- Very low supply current drain (0.8 mA) – independent of supply voltage (2 mW/comparator at +5 V<sub>DC</sub>)
- Low input biasing current 25 nA
- Low input offset current and offset voltage  $\leq 5$  nA  $\pm 3$  mV
- Input common-mode voltage range includes gnd
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

LM139/LM239/LM339, LM139A/LM239A/LM339A, LM2901, LM3302

5

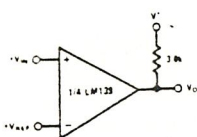
### Schematic and Connection Diagrams



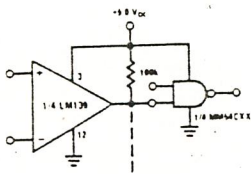
Order Number LM139J, LM139AJ, LM239J, LM239AJ, LM339J, LM339AJ, LM2901J or LM3302J  
See NS Package J14A

Order Number LM339N, LM339AN, LM2901N or LM3302N  
See NS Package N14A

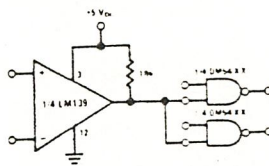
### Typical Applications (V<sup>+</sup> = 5.0 V<sub>DC</sub>)



Basic Comparator



Driving CMOS



Driving TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM139/LM239/LM339, LM139A/LM239A/LM339A, LM2901, LM3302

## Absolute Maximum Ratings

	LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901	LM3302
Supply Voltage, $V^+$	36 VDC or $\pm 18$ VDC	28 VDC or $\pm 14$ VDC
Differential Input Voltage	36 VDC	28 VDC
Input Voltage	-0.3 VDC to +36 VDC	-0.3 VDC to +28 VDC
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	570 mW	570 mW
Cavity DIP	900 mW	
Flat Pack	800 mW	
Output Short Circuit to GND, (Note 2)	Continuous	Continuous
Input Current ( $V_{IN} < -0.3$ VDC), (Note 3)	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM339A	0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM239A	-25°C to +85°C	
LM2901	-40°C to +85°C	
LM139A	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C

## Electrical Characteristics ( $V^+ = 5$ VDC, Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	LM139A			LM239A, LM339A			LM139			LM239, LM339			LM2901			LM3302			UNITS		
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , (Note 9)	$\pm 1.0$	$\pm 2.0$		$\pm 1.0$	$\pm 2.0$		$\pm 2.0$	$\pm 5.0$		$\pm 2.0$	$\pm 5.0$		$\pm 2.0$	$\pm 7.0$		13	120		mVDC		
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , (Note 5)		25	100		25	250		25	100		25	250		25	250		25	500		nADC	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 3.0$	$\pm 25$		$\pm 5.0$	150		$\pm 3.0$	$\pm 25$		$\pm 5.0$	$\pm 50$		$\pm 5$	$\pm 50$		13	$\pm 100$		nADC		
Input Common-Mode Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , (Note 6)	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$		VDC	
Supply Current	$R_L = \infty$ on all Comparators, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L = \infty$ , $V^+ = 30\text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.8	2.0		0.8	2.0		0.8	2.0		0.8	2.0		0.8	2.0		0.8	2		mADC	
Voltage Gain	$R_L \geq 15$ k $\Omega$ , $V^+ = 15$ VDC (To Support Large $V_O$ Swing), $T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		50	200		200		200		200		25	100		2	30		2	mADC	
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}$ , $V_{REF} = 1.4$ VDC, $V_{RL} = 5$ VDC, $R_L = 5.1$ k $\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		300			300			300			300			300				300			ns
Response Time	$V_{RL} = 5$ VDC, $R_L = 5.1$ k $\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , (Note 7)		1.3			1.3			1.3			1.3			1.3				1.3			$\mu\text{s}$
Output Sink Current	$V_{IN(-)} \geq 1$ VDC, $V_{IN(+)} = 0$ , $V_O \leq 1.5$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	6.0	16		6.0	16		6.0	16		6.0	16		6.0	16		6.0	16		6.0	16	mADC
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} \geq 1$ VDC, $V_{IN(+)} = 0$ , $I_{SINK} \leq 4$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$		250	400		250	400		250	400		250	400			400			250	500		mVDC
Output Leakage Current	$V_{IN(+)} \geq 1$ VDC, $V_{IN(-)} = 0$ , $V_O = 5$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.1			0.1			0.1			0.1			0.1				0.1			nADC

# Electrical Characteristics (Continued)

PARAMETER	CONDITIONS	LM139A			LM239A, LM339A			LM139			LM239, LM339			LM2901			LM3302			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	(Note 9)			4.0			4.0			9.0			9.0	9	15			40	mV <sub>DC</sub>	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			±100			±150			±100			±150	50	200			300	nADC	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range			300			400			300			400	200	500			1000	nADC	
Input Common Mode Voltage Range		0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	V <sub>DC</sub>
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} \geq 1 V_{DC}$ ; $V_{IN(+)} = 0$ , $I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$			700			700			700			700	400	700			700	mV <sub>DC</sub>	
Output Leakage Current	$V_{IN(+)} \geq 1 V_{DC}$ ; $V_{IN(-)} = 0$ , $V_O = 30 V_{DC}$			1.0			1.0			1.0			1.0					1.0	µADC	
Differential Input Voltage	Keep all $V_{IN}$ 's $\geq 0 V_{DC}$ (or $V^-$ , if used), (Note 8)			36			36			36			36	0	36			28	V <sub>DC</sub>	

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM339/LM339A, LM2901, LM3302 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 175°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM239 and LM139 must be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ( $P_D \leq 100 \text{ mW}$ ), provided the output transistors are allowed to saturate.

**Note 2:** Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of  $V^+$ .

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

**Note 4:** These specifications apply for  $V^+ = 5 V_{DC}$  and  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ , unless otherwise stated. With the LM239/LM239A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ , the LM339/LM339A temperature specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ , and the LM2901, LM3302 temperature range is  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ .

**Note 5:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.

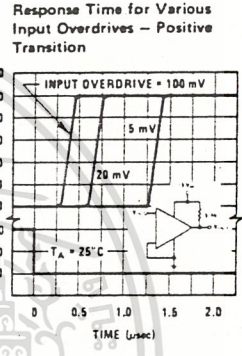
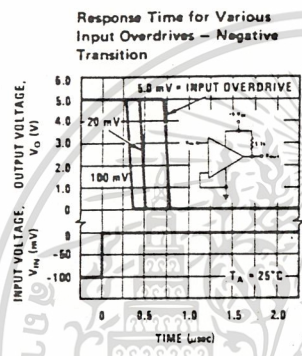
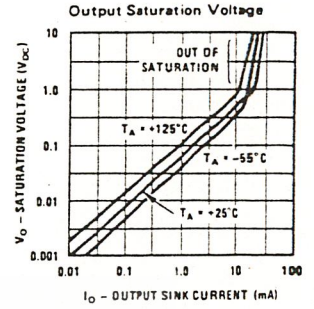
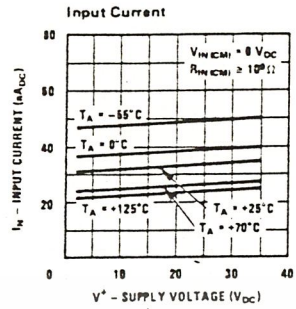
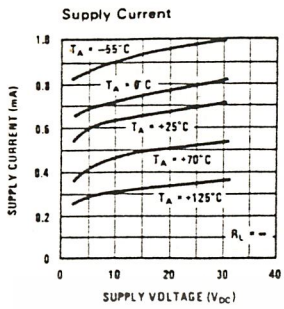
**Note 6:** The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$ , but either or both inputs can go to  $+30 V_{DC}$  without damage (25V for LM3302).

**Note 7:** The response time specified is a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see typical performance characteristics section.

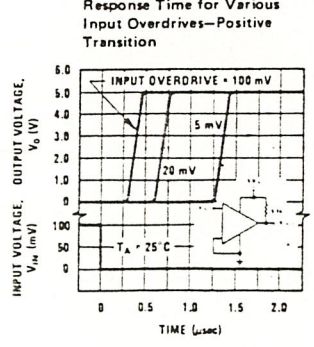
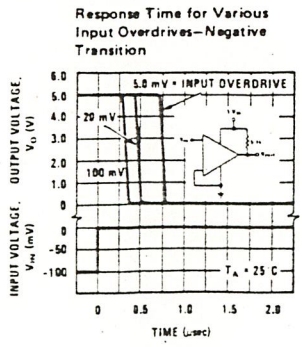
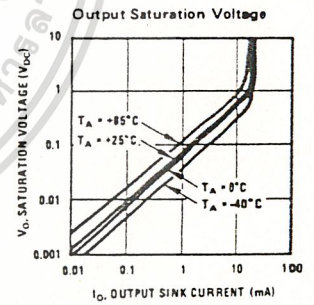
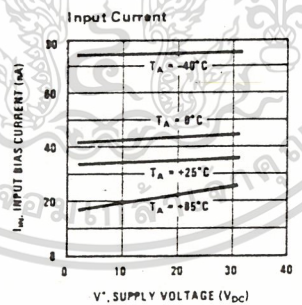
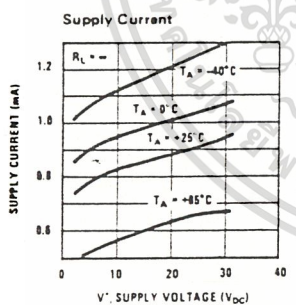
**Note 8:** Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than  $-0.3 V_{DC}$  (or  $0.3 V_{DC}$  below the magnitude of the negative power supply, if used) (at 25°C).

**Note 9:** At output switch point,  $V_O \approx 1.4 V_{DC}$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from  $5 V_{DC}$ ; and over the full input common-mode range ( $0 V_{DC}$  to  $V^+ - 1.5 V_{DC}$ ).

Typical Performance Characteristics LM139/LM239/LM339, LM139A/LM239A/LM339A, LM3302



Typical Performance Characteristics LM2901



## Application Hints

The LM139 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator changes states. Power supply bypassing is not required to solve this problem. Standard PC board layout is helpful as it reduces stray input-output coupling. Reducing the input resistors to  $< 10\text{ k}\Omega$  reduces the feedback signal levels and finally, adding even a small amount (1 to 10 mV) of positive feedback (hysteresis) causes such a rapid transition that oscillations due to stray feedback are not possible. Simply socketing the IC and attaching resistors to the pins will cause input-output oscillations during the small transition intervals unless hysteresis is used. If the input signal is a pulse waveform, with relatively fast rise and fall times, hysteresis is not required.

All pins of any unused comparators should be grounded.

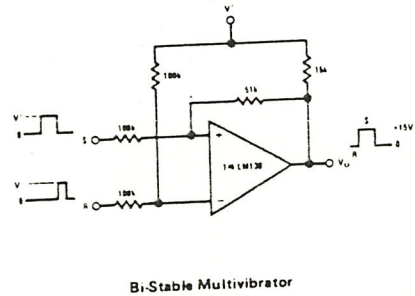
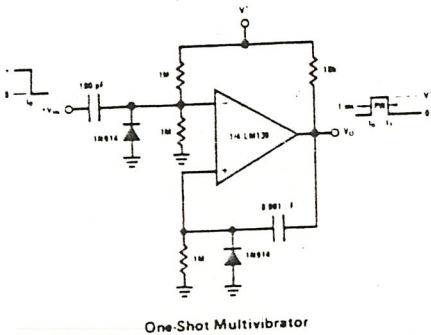
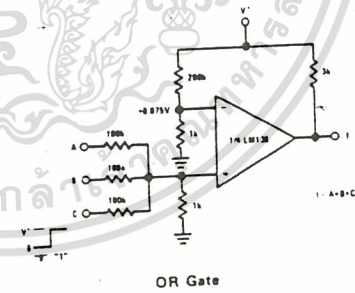
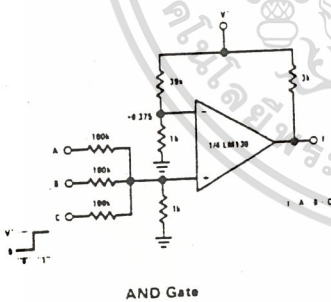
The bias network of the LM139 series establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from  $2\text{ V}_{\text{DC}}$  to  $30\text{ V}_{\text{DC}}$ .

It is usually unnecessary to use a bypass capacitor across the power supply line.

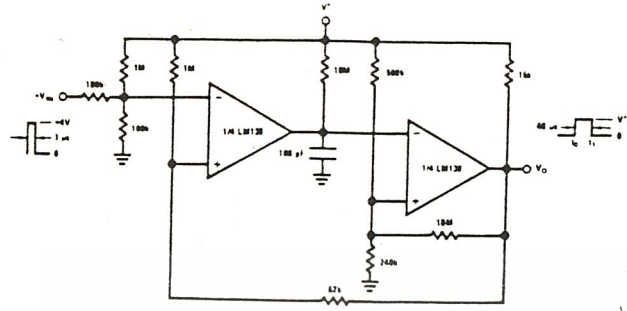
The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3\text{ V}_{\text{DC}}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode can be used as shown in the applications section.

The output of the LM139 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pull-up resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range and there is no restriction on this voltage due to the magnitude of the voltage which is applied to the  $V^+$  terminal of the LM139A package. The output can also be used as a simple SPST switch to ground (when a pull-up resistor is not used). The amount of current which the output device can sink is limited by the drive available (which is independent of  $V^+$ ) and the  $\beta$  of this device. When the maximum current limit is reached (approximately 16 mA), the output transistor will come out of saturation and the output voltage will rise very rapidly. The output saturation voltage is limited by the approximately  $60\Omega\text{ }r_{\text{sat}}$  of the output transistor. The low offset voltage of the output transistor (1 mV) allows the output to clamp essentially to ground level for small load currents.

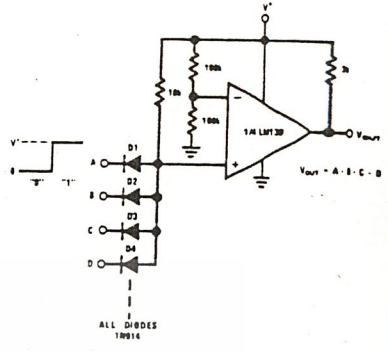
## Typical Applications ( $V^+ = 15\text{ V}_{\text{DC}}$ )



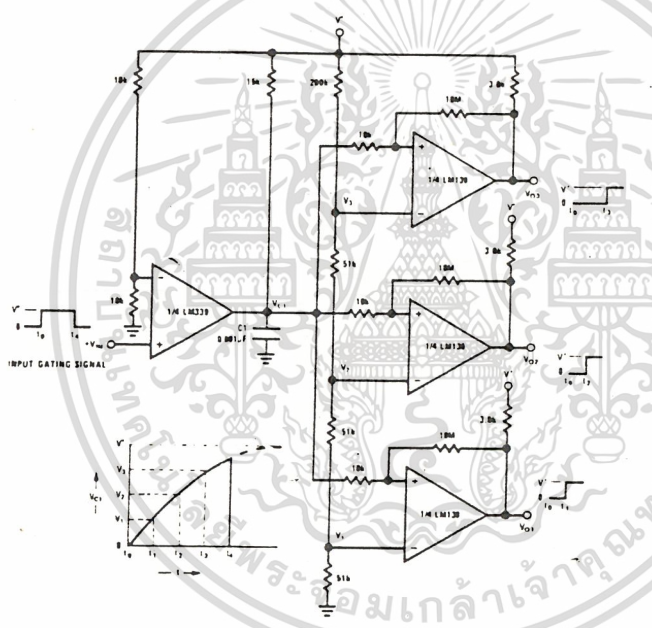
Typical Applications (Continued) ( $V^+ = 15\text{ V}_{DC}$ )



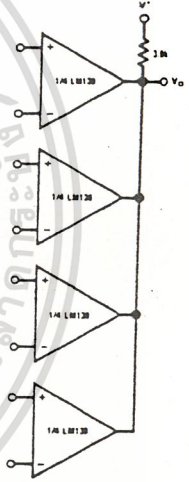
One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



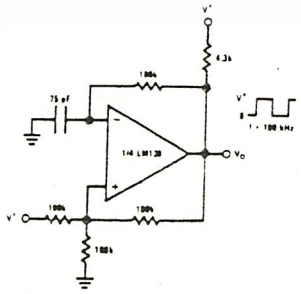
Large Fan-in AND Gate



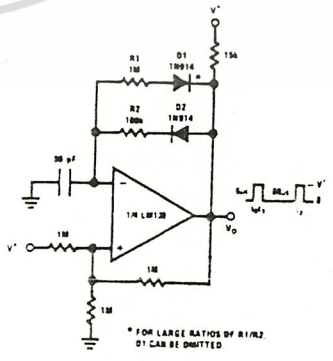
Time Delay Generator



ORing the Outputs



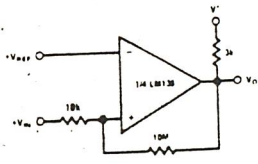
Squarewave Oscillator



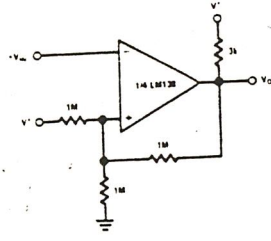
Pulse Generator

\* FOR LARGE RATIOS OF R1/R2, D1 CAN BE OMITTED

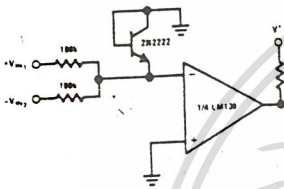
Typical Applications (Continued) ( $V^+ = 5 V_{DC}$ )



Non-Inverting Comparator with Hysteresis



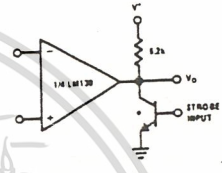
Inverting Comparator with Hysteresis



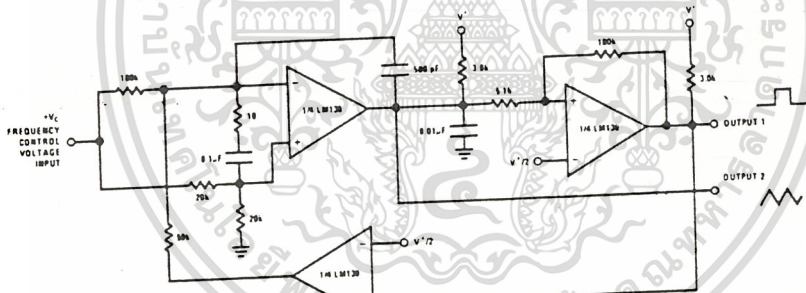
Comparing Input Voltages of Opposite Polarity



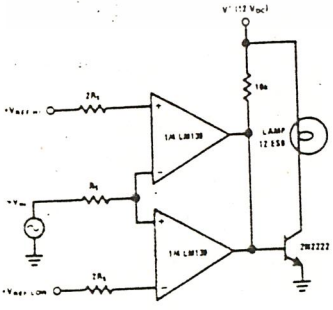
Basic Comparator



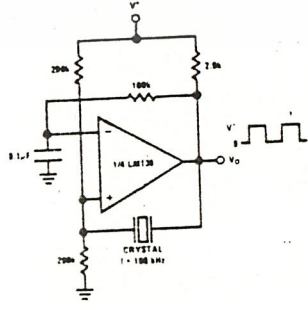
Output Strobing



Two-Decade High-Frequency VCO

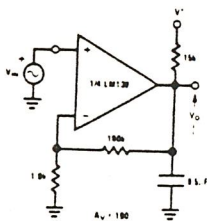


Limit Comparator

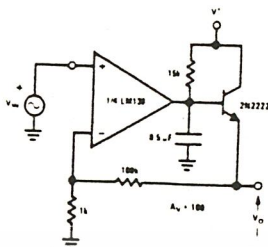


Crystal Controlled Oscillator

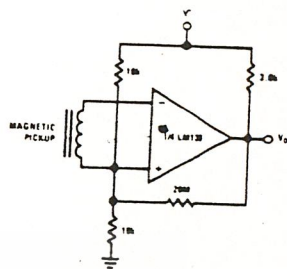
# Typical Applications (Continued) ( $V^+ = 5 V_{DC}$ )



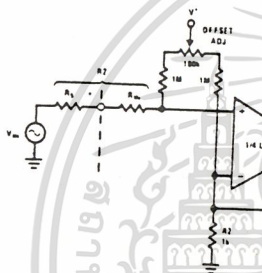
Low Frequency Op Amp



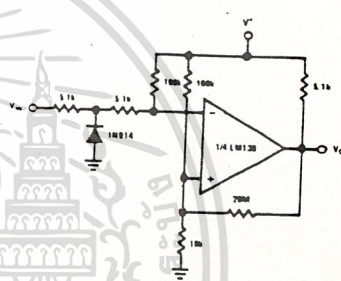
Low Frequency Op Amp  
( $V_0 = 0V$  for  $V_{IN} = 0V$ )



Transducer Amplifier

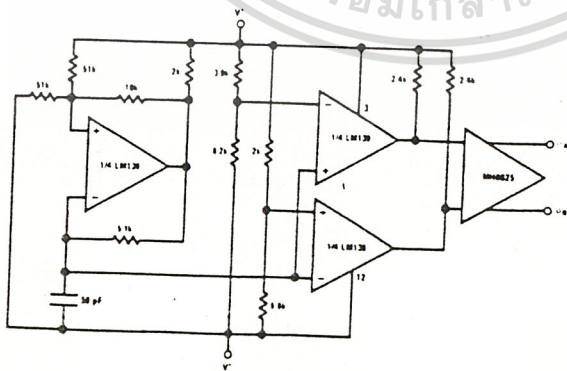


Low Frequency Op Amp with Offset Adjust

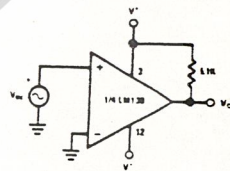


Zero Crossing Detector (Single Power Supply)

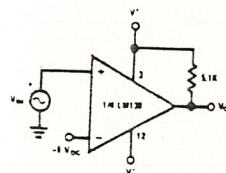
## Split-Supply Applications ( $V^+ = +15 V_{DC}$ and $V^- = -15 V_{DC}$ )



MOS Clock Driver



Zero Crossing Detector



Comparator With a Negative Reference

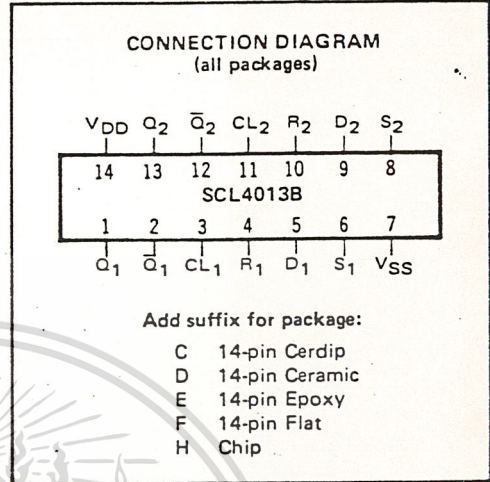


FEATURES

- ◆ Independent Set and Reset Controls
- ◆ Static Operation
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 16MHz Toggle Rate @ 10Vdc
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4013B consists of two identical, independent D-type Flip-Flops. These devices can be used for shift register applications, and, by connecting the  $\bar{Q}$  output to the Data input, for counter and toggle applications. The logic level present at the D input is transferred to the Q output during the positive-going transition of the Clock pulse. Setting or resetting is independent of the Clock and is accomplished by a high level on the Set or Reset line, respectively.



TRUTH TABLE

CL $\Delta$	D	R	S	Q	$\bar{Q}$
	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	0
	x	0	0	0	$\bar{Q}$
	x	1	0	0	1
	x	0	1	1	0
	x	1	1	1	1

NO CHANGE

$\Delta$  = Level Change  
x = Don't Care

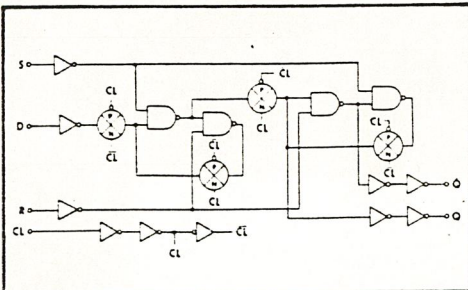
RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

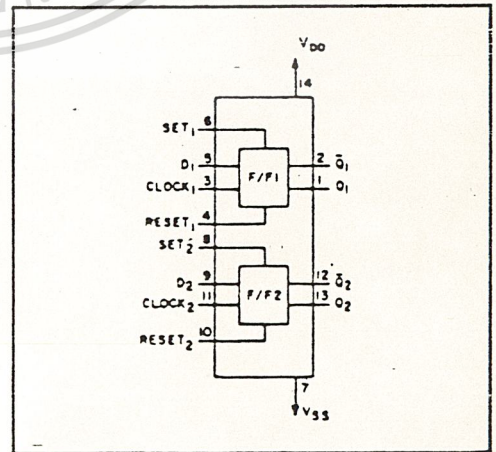
DC Supply Voltage  $V_{DD} - V_{SS}$  3 to 15 Vdc

Operating Temperature  $T_A$  -55 to +125 °C  
C, D, F, H Device  
-40 to +85 °C  
E Device

LOGIC DIAGRAM



BLOCK DIAGRAM



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### STATIC CHARACTERISTICS <sup>1,3</sup>

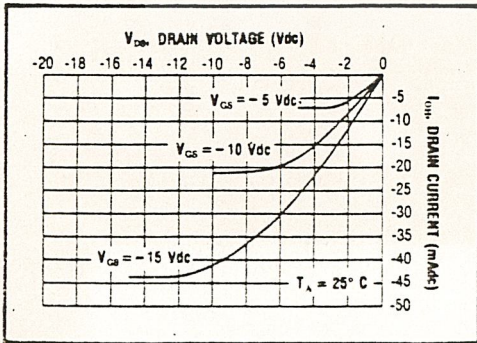
PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>1</sup>		+25°C		T <sub>HIGH</sub> <sup>1</sup>		Units	
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
QUIESCENT DEVICE CURRENT	V <sub>DD</sub>	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	-	1.0	-	0.005	1.0	-	30	μA <sub>DC</sub>
			-	2.0	-	0.01	2.0	-	60	
			-	4.0	-	0.02	4.0	-	120	

- NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".  
<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.  
 = -40°C for E device.  
 T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.  
 = + 85°C for E device.  
<sup>3</sup> This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

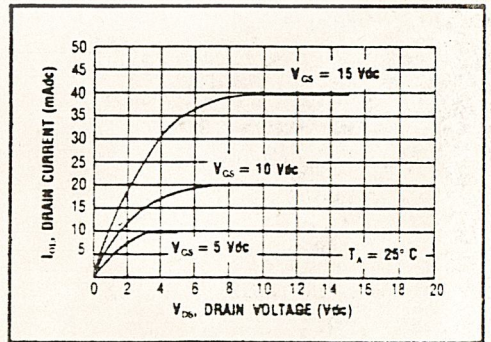
### DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>CLOCKED OPERATION</b>					
PROPAGATION DELAY TIME	t <sub>PLH, tPHL</sub>	5	125	250	ns
		10	65	130	
		15	45	90	
OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH, tTHL</sub>	5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW <sub>CL</sub>	5	70	140	ns
		10	30	60	
		15	20	40	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f <sub>CL</sub>	5	7.0	-	MHz
		10	8.0	-	
		15	12.5	-	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME <sup>1</sup>	t <sub>rCL, t<sub>l</sub>CL</sub>	5	15	-	μs
		10	10	-	
		15	5	-	
MINIMUM SETUP TIME	t <sub>setup</sub>	5	25	50	ns
		10	10	20	
		15	7.5	15	
MINIMUM HOLD TIME	t <sub>hold</sub>	5	-25	0	ns
		10	-10	0	
		15	-5	0	
<b>SET AND RESET OPERATIONS</b>					
PROPAGATION DELAY TIME S to Q, R to Q	t <sub>PLH</sub>	5	125	250	ns
		10	65	130	
		15	45	90	
MINIMUM SET AND RESET PULSE WIDTH	PW <sub>S, PW<sub>R</sub></sub>	5	65	130	ns
		10	30	60	
		15	25	50	
SET AND RESET REMOVAL TIME	t <sub>rem</sub>	5	0	25	ns
		10	0	10	
		15	0	5	

<sup>1</sup>When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.



Typical P-Channel  
Source Current Characteristics



Typical N-Channel  
Sink Current Characteristics