

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า
BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2536

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

โดย

นาย นาวิน วิชัยโชติยากานต์ 34190015

นาย พิพัฒน์ ไชยนา 34190020

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเศษจำเริญ

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า (BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLES)

ผู้จัดทำ

1. นาย นาวิน วิชัยโชติยานนท์ 34.190015

2. นาย พิพัฒน์ ไชยนา 34.190020

 อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเศษจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLES

โดย นาย นาวิน วิชัยโชติยาภานต์
นาย พิพัฒน์ ไชยนา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วิริยะ พิเศษจำเริญ

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้กล่าวถึงหลักการทำงาน และการออกแบบ เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า โดยมีวงจรหลักคือ วงจรเรียงกระแส ซึ่งจะถูกทริกโดยวงจร ทริกเกท ที่มี TCA 785 เป็นหัวใจสำคัญ โดย TCA 785 จะตรวจสอบสถานะ วงจรเรียงกระแสเฟสเดียว ซึ่งวงจรตรวจสอบที่ทำงานโดยใช้ Op-Amp ต่อเป็นวงจรขยายความแตกต่าง และวงจรหลักนี้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเก็บสะสมที่แบตเตอรี่โดยวิธี Equalized Charge โดยมีการอัดประจุแบบกระแสคงที่ทำให้เอาต์พุตของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จะมีค่าคงที่ ทำได้โดยใช้วงจรการควบคุมเฟสควบคุมมุมทริกที่มุมต่าง ๆ

ABSTRACT

THIS ARTICLE HAS DESCRIBED PERFORMANCE AND DESIGNING OF BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLES. MAIN CIRCUIT IS SINGLE PHASE FULL WAVE CONTROLLED RECTIFIER. IT IS ENERGIZED BY TRIGGERING CIRCUIT, TCA 785 IS PRINCIPLE HEART TCA 785 WILL DETECT CONDITION OF SINGLE PHASE FULLWAVE CONTROLLED RECTIFIER. SENSOR'S PERFORMANCE DEPENDS ON OP-AMP WHICH IS CONNECTED BY DIFFERENTIAL AMPLIFIER. THE MAIN CIRCUIT CAN DELIVER ELECTRICAL POWER OF DIRECT CURRENT TO CHARGE BATTERY BY EQUALIZED CHARGE METHOD WHICH CHARGES FIXED CURRENT AND VOLTAGE. OUTPUT VOLTAGE OF BATTERY CHARGER IS CONTROLLED BY PHASE CONTROL. IT WILL ALWAYS CONTROL TRIG ANGLES TO THE REQUIRED OUTPUT VOLTAGE. SO THIS IS NECESSARY FOR ELECTRIC VEHICLES.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
<u>บทที่ 1</u>	บทนำ	1
<u>บทที่ 2</u>	เบตเตอร์และการทำงาน	2
	- เบตเตอร์ตะกั่ว-กรด	2
	- เบตเตอร์ต่าง	20
	- ทฤษฎีและหลักการอัดประจุเบตเตอร์	29
	- การเลือกเบตเตอร์	32
<u>บทที่ 3</u>	ทฤษฎีการทำงาน	35
	- วงจรเรียงกระแสที่ควบคุมโดย TCA 785 (Rectifier Converter Using Thyristors and the TCA 785 Integrated Phase Control) และเทคนิคการใช้งาน TCA 785	35
	- หลักและการออกแบบหม้อแปลง	46
	- วงจรเรียงกระแส (Main Control Rectifier)	58
<u>บทที่ 4</u>	ส่วนประกอบของเครื่องอัดประจุ	65
	- วงจรเรียงกระแสเฟสเดียว (Single-Phase Fullwave Controller Rectifier)	65
	- วงจรตรวจจับและควบคุม (Sensor & Controller Circuit)	68
	- วงจรทริกเกท (Gate Trigger Circuit)	72
	- วงจรจ่ายไฟคงที่ (Regulator)	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและการดำเนินงาน	77
	-กิตติกรรมประกาศ	78
	-หนังสืออ้างอิง	79
	-ภาคผนวก	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เครื่องอัดประจุ แบตเตอรี่ สำหรับ รถไฟฟ้า นี้ทำหน้าที่ ที่จ่ายกระแสตรงให้กับ วงจรแบตเตอรี่ ที่ ใช้เวลาในรถไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งมีลักษณะการอัดประจุให้กับวงจรแบตเตอรี่ แบบ Equalize Charge ซึ่งจะทำให้ แบตเตอรี่กลับสู่สภาวะทางเคมี ในลักษณะประจุเต็มอีกครั้ง ในกรณี แบตเตอรี่นั้นถูกจ่ายกระแส (Discharge) ออกไป

ในขั้นแรกจะกล่าวถึงการทำงาน ของ ส่วนประกอบต่างๆ ของ เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในส่วนใหญ่อารวมกัน

โดยที่แบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียม(Ni-Cd) = 1.00 - 1.60 V/cell

แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด (Lead-Acid) = 1.75 - 2.40 V/cell

สำหรับโครงการนี้ จะเป็นการศึกษาและออกแบบ ที่ระดับแรงดัน 42 Vdc และจ่าย โหลดที่พิกัดกระแส 12 A.

แบตเตอรี่และการใช้งาน

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งทางด้านไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า จ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานเคมี แล้วค่อย ๆ ปลดปล่อยพลังงานออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

โครงสร้างของแบตเตอรี่

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลว หรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า "อิเล็กโทรไลต์" เซลล์อาจมีการปิดสนิท หรือมีช่องให้สารระเหยได้ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่ง ๆ อาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบหลาย ๆ ชุด วางขนานกันเป็นคู่ ๆ เพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณขนาดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่น ค่าความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Amperehour; Ah) การวัดความจุโดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว เช่น แบตเตอรี่ลูกหนึ่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 A ในเวลา 8 ชม. จะมีความจุ 160 Ah เป็นต้น

ประเภทของแบตเตอรี่

วัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุบวก (แผ่น Anode) มีหลายชนิดเช่นตะกั่ว แคดเมียม แมงกานีส และสังกะสี ซึ่งเป็นสารที่ปล่อยอิเล็กตรอนได้ง่าย จากคุณสมบัติที่วัสดุต่างกันเราจึงแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจาก สังกะสี-คาร์บอน พรอท และลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งไปไม่สามารถอัดไฟกลับเข้าไปใช้งานได้อีก

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่นแบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่ว-กรด นิเกิลแคดเมียม และประเภทต่างๆ แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถอัดไฟเข้าไปใหม่เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นานแบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกันมาก คือ ชนิดที่ทำจากตะกั่ว-กรด และแบบ นิเกิล-แคดเมียมซึ่งมีราคาแพงแต่อายุการใช้งานได้ยาวนานกว่า แบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว-กรด และอีกชนิดคือ แบบเงิน-สังกะสีราคาแพงมาก แต่จ่ายไฟได้มากที่สุด

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

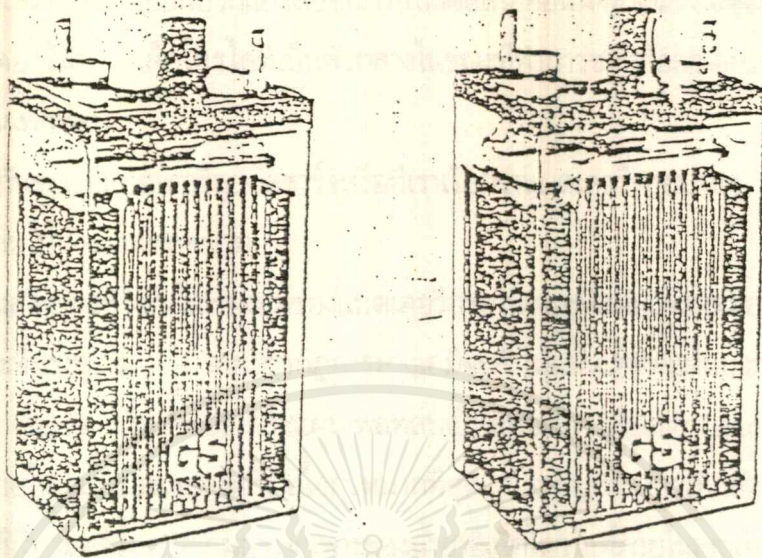
การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่กรด

แบตเตอรี่กรด(Lead-Acid) สามารถที่จะแบ่งตามลักษณะการใช้งาน อายุของแบตเตอรี่ ตลอดจนค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.แบตเตอรี่แบบเพาเวอร์ดี (POWER-D) ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบบที่ผลิตขึ้นเองภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ เช่น ขององค์การแบตเตอรี่ กระทรวงกลาโหม เป็นต้น แบตเตอรี่ประเภทนี้เราเรียกกันว่า 1 ชุดหรือ 1 หม้อ ภายในของแบตเตอรี่ 1 หม้อ จะประกอบไปด้วยช่องของกรุปเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งมีขนาดต่างๆดังนี้คือ ขนาด 3 ช่องและขนาด 6 ช่อง ใน 1 ช่องแบตเตอรี่ ชนิดนี้ประกอบด้วยกรุปของแผ่นเพลทบวก และกรุปของแผ่นเพลทลบ บรรจุลงอยู่ในช่องเซลล์ และในหนึ่งช่องเซลล์มีแรงเคลื่อนเท่ากับ 6 และ 12 โวลท์ ตามลำดับ การบรรจุเซลล์ ลงในชุดแบตเตอรี่ ทำได้โดยการนำกรุปของเซลล์มาวางลงในหม้อเซลล์แล้วนำกรุปของเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม (Series) กันแล้ว เทียงมะตอยสีดัดบิดด้านบน แต่จะมีขั้วบวกของเซลล์แรก และขั้วลบของเซลล์สุดท้ายโผล่ออกมาเพื่อเป็นจุดนำพลังงานของแบตเตอรี่ ไปใช้งาน ส่วนน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ใช้ส่วนผสมระหว่างกรดกับน้ำที่ผสมกันอย่างเจือจางโดยมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.220 ซึ่งนับว่าเป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงมากหรือที่เราเรียกว่า เข้มข้นมาก แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้กันเป็นส่วนมากในระบบที่ต้องการใช้กระแสสูงๆในระยะเวลานานสั้นเช่น ในงานสตาร์ทเครื่องยนต์ในรถยนต์ เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีอายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 2-3 ปี เท่านั้น ทั้งนี้เพราะแบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่เข้มข้นมาก ตลอดจนวัสดุที่นำมาทำแผ่นเพลท เป็นวัสดุที่ไม่ดีเท่าที่ควรดังนั้น เราจึงสรุปได้ว่า แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่เหมาะสมที่จะเป็นแหล่งจ่ายพลังงานที่ได้มาตรฐาน เช่นในระบบควบคุมกลไกต่างๆ และในระบบสื่อสาร เป็นต้น

2.แบตเตอรี่ชนิดเสถียรนิ่งแบตเตอรี่(STATIONARY BATTERY) เป็นแบตเตอรี่กรดเต็มชนิดที่ 1 ทั้งสูตรของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์แต่ แบตเตอรี่แบบนี้ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ระหว่าง 1.200 เท่านั้น แบตเตอรี่ชนิดนี้นำมาในหนึ่งชุดประกอบไปด้วยกรุปของแผ่นเพลทบวก และ ลบ ที่บรรจุอยู่ในกล่องใส่เซลล์ เมื่อประกอบกันแล้วเราเรียกว่า 1 เซลล์ ในหนึ่งเซลล์มีค่าแรงเคลื่อนเท่ากับ 2 โวลท์ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีอายุการใช้งานยาวนานมาก อยู่ระหว่าง 15-20 ปี ดังนั้น แบตเตอรี่ชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานที่มาตรฐาน ทั้งในระบบควบคุมห้องกลไก และระบบสื่อสาร ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดที่ 2 นี้มีการใช้งานกันมากในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพื่อที่จะให้แบตเตอรี่ชนิดนี้มี

อายุการใช้งานอย่างยาวนานและคุ้มค่าต่อราคาของแบตเตอรี่ เพราะแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคา แพงมาก ถ้าหากผู้ใช้งานมีการบำรุงรักษาไม่ถูกต้องตามหลักการ จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายก่อนกำหนด ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดเสถียรนิ่งแบตเตอรี่เท่านั้น

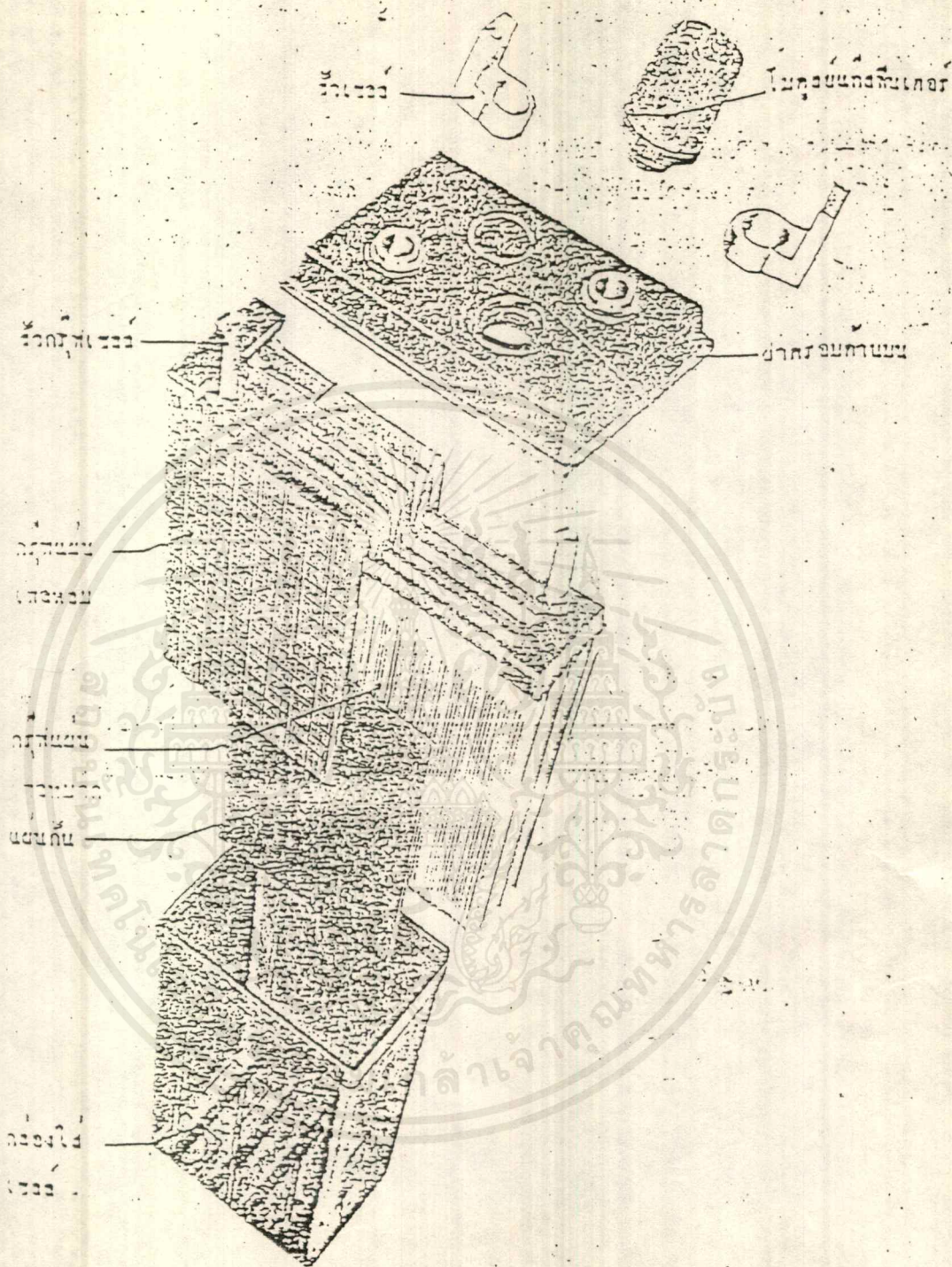


รูปที่ 1 แสดงเซลล์แบตเตอรี่ชนิดสเตชันนารีแบตเตอรี่แบบกรด

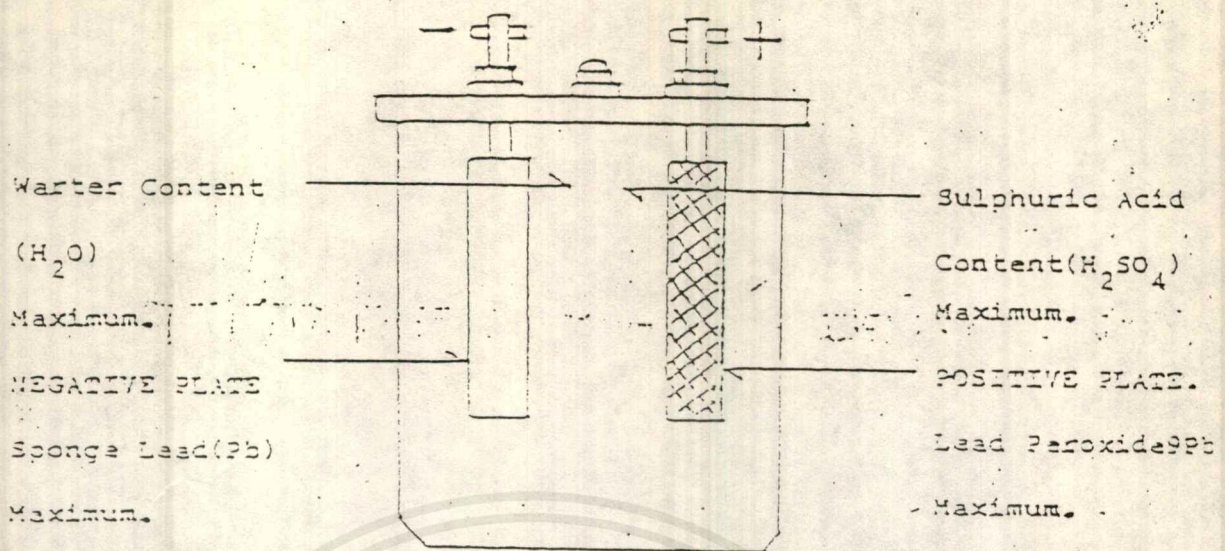
หลักการทำงานของแบตเตอรี่กรด

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เป็นโครงสร้างของแบตเตอรี่กรด ชนิด สเตชันนารีแบตเตอรี่ ต่อไปนี้เราจะได้ทำความเข้าใจการทำงานของแบตเตอรี่ในทางเคมีในการทำปฏิกิริยาทางเคมีจนเกิดพลังงานไฟฟ้าใช้งาน เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ อันเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่ได้อย่างถูกต้องต่อไป

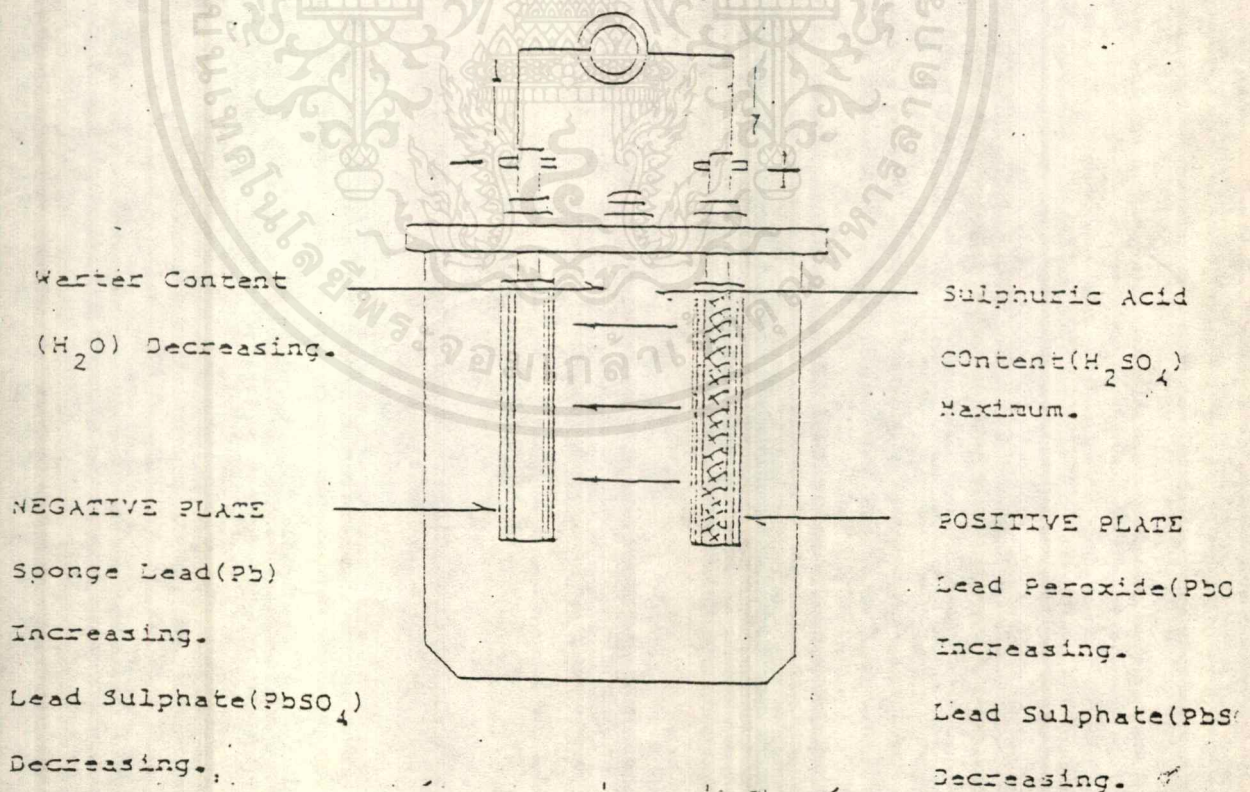
การเกิดพลังงานของแบตเตอรี่ในทางเคมีจนเกิดกระแสไฟฟ้านั้น เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างวัสดุ (Active Material) หรือที่เรียกกันว่า แผ่นเพลทลบและบวกที่จุ่มอยู่ในกรดซัลฟิวริกเอซิด หรือที่เราเรียกกันว่า น้ำยาอิเล็กโตรไลต์ เมื่อจุ่มแผ่นเพลทลงในน้ำยาอิเล็กโตรไลต์จะเกิดการแยกตัวหรือ



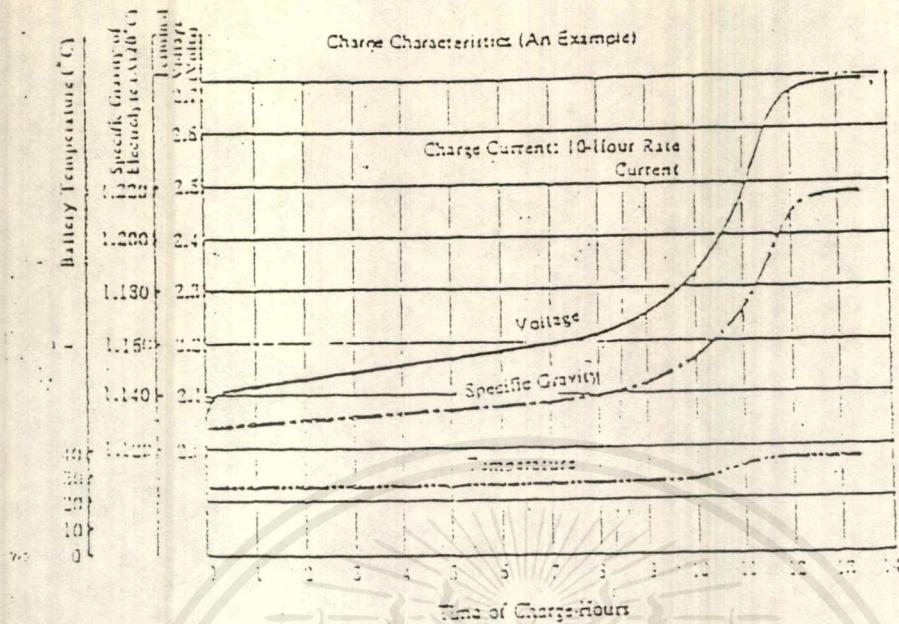
รูปที่ 2 แสดงชิ้นส่วนประกอบของแบตเตอรี่กรด



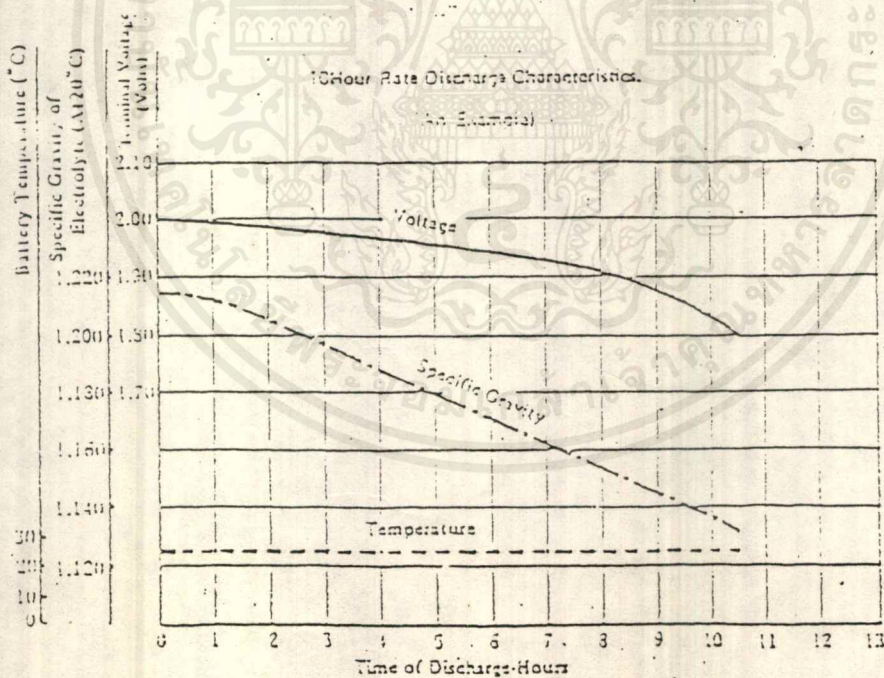
รูปที่ 3 แสดงเซลล์ของแบตเตอรี่ที่มีประจุเต็ม (Full Charge)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4 แสดงถึงเซลล์แบตเตอรี่ในขณะที่มีการชาร์จ (Charge) ข้อควรระวังในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

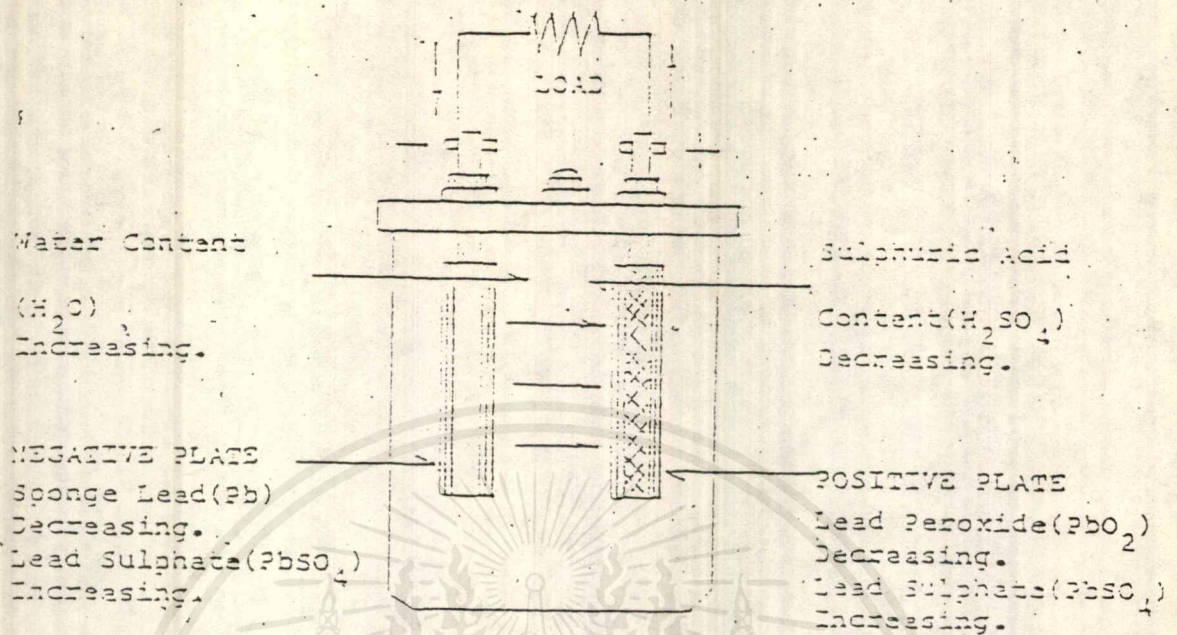


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของโวลต์เตจและค่าความถ่วงจำเพาะ
ของแบตเตอรี่ระหว่างที่มีประจุเต็ม



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของโวลต์เตจและค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์
ในเซลล์แบตเตอรี่ในสภาวะที่แบตเตอรี่ถูกดิสชาร์จจนหมดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

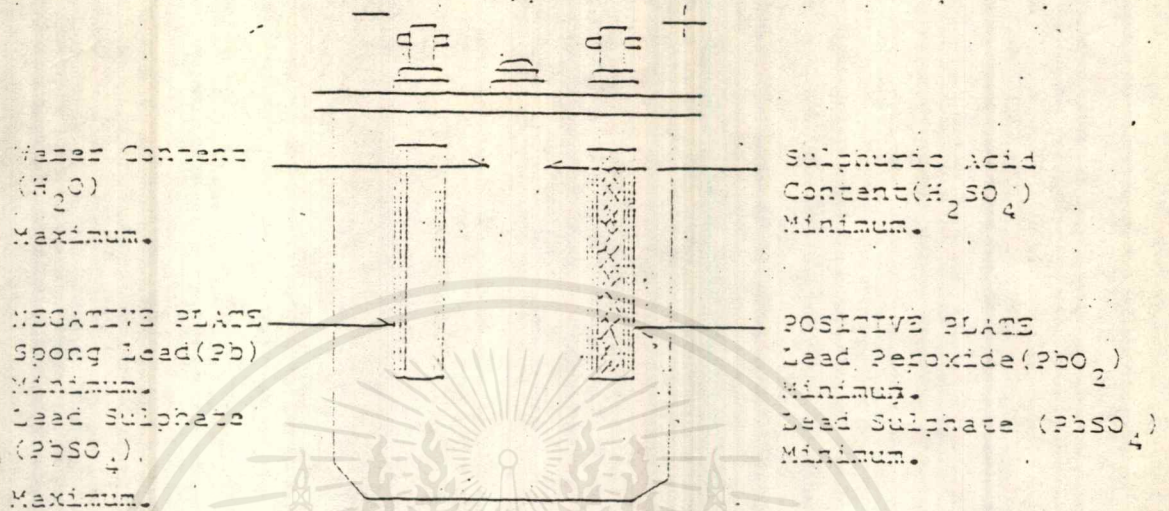


รูปที่ 7 แสดงการดิสชาร์จของเซลล์แบตเตอรี่

จากรูปที่ 7 แสดงถึงเซลล์แบตเตอรี่ที่ถูกดิสชาร์จหรือการที่ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่ ไหลจากแผ่นเพลทลบไปยังแผ่นเพลทบวก ซึ่งจะทำให้ น้ำยาอิเล็กโตรไลต์แตกตัวออกไปเป็น ไฮโดรเจนและซัลเฟต (Sulphate) หรือ (SO_4) ไฮโดรเจนที่แตกตัวออกมาจะไปทำปฏิกิริยากับแผ่นเพลททั้งสองเช่นกัน ทำให้แผ่นเพลทลบเป็น ลีดซัลเฟต (Lead Sulphate) หรือ ($PbSO_4$) และแผ่นเพลทบวกเป็นลีดซัลเฟตเช่นกัน หรือนั่นคือมีซัลเฟตเกาะจับที่แผ่นเพลททั้งสอง ปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นลำดับตราบเท่าที่แบตเตอรี่มีการดิสชาร์จอยู่ การดิสชาร์จแบตเตอรี่จะไม่เกิดผลก็ต่อเมื่อซัลเฟตที่เกาะจับแผ่นเพลทลบ และบวกมีปริมาณที่เท่ากัน นั่นคือการทำปฏิกิริยาระหว่างแผ่นเพลทกับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ จะหยุดทันทีในสภาวะเช่นนี้ น้ำยาอิเล็กโตรไลต์จะมีสภาพกลายเป็นน้ำ

ในขณะที่เราทำการชาร์จแบตเตอรี่อยู่นั้นจะพบว่าโวลต์เตจภายในเซลล์แบตเตอรี่จะค่อยๆ ลดลง มาเรื่อยๆ ในขณะเดียวกันค่าความถ่วงจําเพาะของแบตเตอรี่จะลดลงมาเช่นกัน ดังนั้นเราจึงพอที่จะสรุป

ได้ว่าขณะที่แบตเตอรี่ถูกดิสชาร์จจนหมดตัว (Full Discharge) ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโตรไลต์จะมีค่าต่ำสุดหรือจะมีค่าเป็นนัยันเอง



รูปที่ 8 แสดงถึงเซลล์แบตเตอรี่ที่ถูกดิสชาร์จจนหมดพลังงาน

ในการดิสชาร์จเซลล์แบตเตอรี่ในแต่ละครั้งจงพยายามให้โวลต์เตจตกคร่อมภายในเซลล์แบตเตอรี่โดยเฉลี่ยแล้วต่ำกว่า 1.75 โวลต์ ต่อเซลล์ ทั้งนี้เพราะจะทำให้ซัลเฟตที่เกาะจับแผ่นเพลทมีปริมาณมากซึ่งจะทำให้เป็นการยุ่งยาก ในเวลาที่เราจะทำการชาร์จ หรือใช้เวลาในการชาร์จนานนั้นเอง และอีกประการหนึ่งถ้าการดิสชาร์จแบตเตอรี่ต่ำกว่า 1.75 โวลต์บ่อยครั้งจะส่งผลทำให้กระทบกระเทือน ต่ออายุของแบตเตอรี่ในอนาคต

ขนาดโวลต์เตจของเซลล์แบตเตอรี่

ขนาดโวลต์เตจสำหรับเซลล์แบตเตอรี่กรดที่มาตรฐาน ไม่ว่าจะเป็นบริษัทใดๆสร้างก็ตามจะมีค่าแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าหรือโวลต์เตจปกติเท่ากับ 2 โวลต์ต่อเซลล์ เมื่อวงจรปิด

เราจะเห็นว่าโวลต์เตจขนาด 2 โวลต์นับว่าเป็นขนาดโวลต์เตจที่น้อยมากไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ดังนั้นการที่เราจะนำแบตเตอรี่ไปใช้งานทำได้โดย การนำแบตเตอรี่หลายๆเซลล์มาต่ออนุกรม (Series) โดยการต่อขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 ต่อเข้ากับขั้วลบของเซลล์ที่ 2 และต่อกันไปในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ จนมีขนาดของโวลต์เตจพอกับความต้องการ ผลสุดท้ายจะเหลือขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 และขั้ว

ลบของเซลล์สุดท้าย ขั้วทั้งสองที่กล่าวมานี้เป็นจุดต่อที่จะนำเอาพลังงานของแบตเตอรี่ไปใช้งาน ขนาดของเซลล์และปริมาณของโวลต์เตจให้ดูจากตารางข้างล่างนี้เป็นหลัก

จำนวนเซลล์	ขนาดของโวลต์เตจ
3	6
6	12
12	24
24	48
30	60
60	120
120	240

ตารางขนาดของเซลล์แบตเตอรี่และขนาดของโวลต์เตจ

การนำเซลล์และแบตเตอรี่ไปใช้งาน

เซลล์แบตเตอรี่กรดไม่ว่าเป็นบริษัทใดๆผลิตขึ้นก็ตาม มีค่าแรงเคลื่อนเท่ากับ 2 โวลต์ต่อเซลล์ ดังนั้นการนำเซลล์แบตเตอรี่ไปใช้งานทำได้ดังนี้

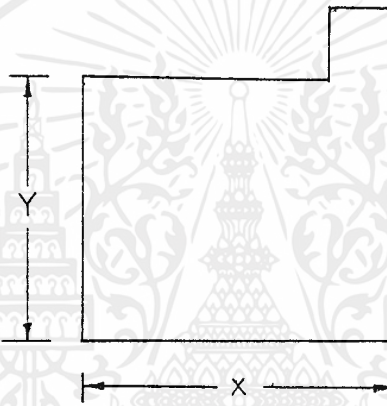
1. ในกรณีที่เรต้องการเพิ่มค่าโวลต์เตจทางไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำได้โดยการเอาเซลล์แบตเตอรี่หลายๆเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรม ค่าโวลต์เตจทางไฟฟ้าที่ได้คือผลรวมของแรงดันหรือโวลต์เตจของทุกๆเซลล์รวมกัน ในการต่อแบบนี้จะใช้ขั้วบวกของเซลล์ที่ 1 ต่อเข้ากับขั้วลบของเซลล์ที่ 2 ต่อกันไปเรื่อยๆ จนได้โวลต์เตจพอกับความต้องการ ผลสุดท้ายจะเหลือขั้วลบของเซลล์ที่ 1 และขั้วบวกของเซลล์สุดท้าย ขั้วทั้งสองนี้เป็นจุดต่อที่จะนำเอาพลังงานของแบตเตอรี่ไปใช้งาน

2. ในกรณีที่ต้องการค่ากระแสไฟฟ้าสูงๆทำได้โดยการนำเอาเซลล์แบตเตอรี่หลายๆเซลล์มาต่อกันในลักษณะขนานกัน ค่าของกระแสรวมที่ได้คือ ค่าผลรวมของกระแสในแต่ละเซลล์รวมกัน

ค่าความจุของแบตเตอรี่กรด

ค่าความจุของแบตเตอรี่กรดหรือ Capacity หมายถึงอัตราการจ่ายกระแสสูงสุดจนแบตเตอรี่ไม่สามารถที่จะจ่ายกระแสได้อีกต่อไป ค่าความจุของแบตเตอรี่ที่มีหน่วยเป็น แอมแปร์ต่อชั่วโมง (Ampere per Hours; AH) ค่าความจุของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆดังนี้

1. ปริมาตรของแผ่นเพลท หรือความกว้างและยาวของแผ่นเพลท โดยเฉพาะแผ่นเพลทที่มีความกว้างและยาวมากค่าความจุของแบตเตอรี่จะยิ่งสูงมาก



X : ความกว้างของแผ่นเพลท

Y : ความยาวของแผ่นเพลท

2. จำนวนแผ่นเพลท ที่นำมารวมกันเป็นเพลทกรุปของเซลล์แบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ที่มีแผ่นเพลทบวกและลบรวมกันเท่ากับ 15 แผ่น แต่จำนวนแผ่นเพลทลบจะมากกว่าแผ่นเพลทบวกอยู่หนึ่งแผ่นเสมอ ดังนั้นเมื่อแยกกรุปของแผ่นเพลททั้งสองจึงได้จำนวนแผ่นเพลทลบเท่ากับ 8 แผ่น และแผ่นเพลทบวกเท่ากับ 7 แผ่น ดังนั้นเราสมมุติว่าแผ่นเพลทบวกแผ่นหนึ่งมี Capacity เท่ากับ 40 แอมแปร์ต่อชั่วโมง ฉะนั้นเมื่อเอาแผ่นเพลทบวกมารวมกันค่าความจุของแบตเตอรี่จะเป็น 7 เท่าหรือเท่ากับ 7 คูณด้วย 40 เท่ากับ 240 แอมแปร์ต่อชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามค่าความจุของแบตเตอรี่ บริษัทผู้ผลิตจะมีบอกไว้ที่เซลล์ของแบตเตอรี่นั้นๆ

3. น้ำหนักของตะกั่วกรด ที่นำมาทำแผ่นเพลท ฉะนั้นแผ่นเพลทของแบตเตอรี่ยิ่งมีน้ำหนักมาก แสดงว่าปริมาณเนื้อตะกั่วกรดที่นำมาทำแผ่นเพลทมากกว่าโลหะที่นำมาทำแผ่นเพลท ดังนั้นน้ำหนักแผ่นเพลทยิ่งมาก ค่าความจุแบตเตอรี่ยิ่งสูง

การชาร์จแบตเตอรี่กรด

การชาร์จแบตเตอรี่ คือ การนำไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอกมาประจุให้แบตเตอรี่ เพื่อที่จะเปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้ามาเป็นพลังงานทางเคมี กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามานี้จะขับเนื้อกรดในแผ่นเพลททั้งลบและบวกให้หลุดออกมา ซึ่งส่งผลทำให้แผ่นเพลททั้งสองมีสภาพความเป็นโลหะที่แตกต่างกัน กรดที่ถูกขับออกมานี้จะกลับไปรวมตัวกับน้ำ ทำให้สภาพของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์มีสภาพเป็นน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ดังเดิม ในสภาพของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์เช่นนี้แบตเตอรี่จะมีประจุเต็มและพร้อมที่จะจ่ายพลังงานออกมาในเวลาที่เรากำลังต้องการใช้งาน

ระบบการชาร์จแบตเตอรี่กรด เราจะใช้การชาร์จแบบโวลต์เตจคงที่การชาร์จแบบนี้คือการทำให้โวลต์เตจหรือแรงดันของเครื่องชาร์จคงที่อยู่ตลอดเวลาของการชาร์จ ส่วนปริมาณของกระแสในการชาร์จเข้าวงจรแบตเตอรี่ จะเริ่มต้นจากปริมาณกระแสสูงสุดในช่วงแรกของการชาร์จแล้วลดลงมาสู่กระแสต่ำๆในภายหลัง ในสภาวะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มกระแสของเครื่องชาร์จที่ป้อนเข้าวงจรแบตเตอรี่จะต่ำสุด

ระดับโวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่กรด

ระดับโวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่กรดโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ

1. ระดับโวลต์เตจปกติ (Float Charge)
2. ระดับโวลต์เตจรุนแรง (Equalize Charge)

1.ระดับโวลต์เตจปกติ (Float Charge) คือการชาร์จในสภาวะปกติเป็นประจำในทุกๆวันในขณะที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่โดยตั้งระดับโวลต์เตจของเครื่องชาร์จให้จ่ายโวลต์เตจที่พอดี ให้กับแบตเตอรี่ ในขณะที่เดียวกันจะต้องมีกระแสส่วนหนึ่งของเครื่องชาร์จ จะต้องจ่ายกระแสไปยังโพลดที่ต่ออยู่ในวงจรแบตเตอรี่ตลอดเวลา การชาร์จในระดับนี้นับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่ออายุของแบตเตอรี่เช่น ถ้าเราใช้โวลต์เตจในการชาร์จสูงเกินไปจะไม่เป็นผลดีต่อแบตเตอรี่เลยแต่กลับเป็นผลเสียต่อแบตเตอรี่ ซึ่งจะส่งผลทำให้แผ่นเพลทของแบตเตอรี่โป่งบวมและคดงอในภายหลังตลอดจนการเกิดตะกอนร่วนหล่นที่ก้นเซลล์จะมีปริมาณมากกว่าปกติ จนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสียเร็วกว่าที่ควรเป็น ในทำนอง

ทำนองเดียวกันถ้าเราตั้งระดับโวลต์เตจในการชาร์จต่ำกว่ากำหนดจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับโวลต์เตจในการชาร์จไม่พอเพียง ไม่สามารถจะชดเชยกระแสที่สูญเสียที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ กระแสที่สูญเสียนี้เราเรียกว่า Self Discharge และ Local Action ดังนั้นถ้าเราปล่อยให้แบตเตอรี่ได้รับโวลต์เตจในระดับนี้นานๆจะทำให้แผ่นเพลททั้งสองของแบตเตอรี่เกิดซัลเฟตเกาะจับ จนเป็นเหตุทำให้แบตเตอรี่เกิด

Under Charge ขึ้นได้ การเกิด Self Discharge หรือ Local Action มีในแบตเตอรี่ทุกๆชนิด อันเนื่องมาจากสารโลหะที่เป็นส่วนผสมของแผ่นเพลทและความชื้นของอากาศ ดังนั้นการ Charge ในระดับนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับระดับโวลต์เตจในการชาร์จ ให้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่ การปรับระดับโวลต์เตจที่ Float Charge ของแบตเตอรี่ควรจะให้โวลต์เตจระหว่าง 2.15-2.20 โวลต์ต่อเซลล์ เช่นแบตเตอรี่ขนาด 24 เซลล์ โวลต์เตจในการชาร์จจะเป็น 2.15 คูณ 24 เท่ากับ 51.6 โวลต์ หรือ 2.20 คูณ 24 เท่ากับ 52.8 โวลต์การหาโวลต์เตจในระดับ Float Charge ในแต่ละชุดของแบตเตอรี่จะเท่ากับระดับโวลต์เตจในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ในชุดนั้นๆ

2.ระดับโวลต์เตจรูนแรง (Equalize Charge) การที่เราชาร์จแบตเตอรี่ในระบบ Float Charge อย่างเดียวเป็นระยะเวลานาน ๆ ยังไม่เป็นการเพียงพอที่จะรักษาแบตเตอรี่ ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งพอที่จะสรุปเหตุผลย่อ ๆ ได้ดังนี้

ในระดับโวลต์เตจการชาร์จที่ Float Charge ไม่สามารถที่จะแก้ Self Discharge และ Local Action ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โวลต์เตจคร่อมเซลล์เกิดการแตกต่างกัน

เซลล์บางเซลล์ของแบตเตอรี่ได้รับความร้อน และเย็นจากอุณหภูมิโดยรอบเซลล์แบตเตอรี่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ทุก ๆ ตารางนิ้วไม่เท่ากัน ขั้วแบตเตอรี่บางส่วนได้รับโวลต์เตจที่ตกคร่อมไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากการชันความตึงแน่นของขั้วแบตเตอรี่ไม่เท่ากัน

การทำ equalize charge คือการเพิ่มระดับโวลต์เตจในการชาร์จให้สูงกว่าระดับ float charge ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่มีการไหลของกระแสสูงขึ้น เพื่อแก้การสูญเสียกระแสภายในวงจรแบตเตอรี่ทั้งหมด และจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มพร้อมที่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานในเวลาที่เรากำลังจะใช้งานระดับโวลต์เตจในการทำ equalize charge ใช้โวลต์เตจที่ 2.33 โวลต์ต่อเซลล์ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์ จะใช้โวลต์เตจในการชาร์จเท่ากับ 24 คูณ 2.33 เท่ากับ 55.9 โวลต์

ตารางระดับโวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่กรด

เพื่อให้มีการปรับระดับโวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่รูดเกิดการผิดพลาด และเกิดปัญหาขึ้น กับแบตเตอรี่ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ขอให้ดูตารางโวลต์เตจในการชาร์จนี้เป็นหลักปรับเครื่องชาร์จดังต่อไปนี้

จำนวนเซลล์	ระดับโวลต์เตจ	
	Float	Equalize
6	12.90	13.98
12	25.80	27.97
24	51.60	55.92
48	103.20	111.84
60	129.00	139.80
120	258.00	279.60

หมายเหตุ ระดับโวลต์เตจ Float charge ใช้โวลต์เตจเท่ากับ 2.15 โวลต์ต่อเซลล์
ระดับโวลต์เตจ Equalize charge ใช้โวลต์เตจเท่ากับ 2.33 โวลต์ต่อเซลล์

สภาวะการทำ Equalize charge

- ทุก ๆ วันสิ้นเดือน ๆ ละหนึ่งครั้ง
- หลังจากไฟ AC Line ที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ดับนานกว่า 3 ชั่วโมง เพราะระหว่างไฟ AC ดับแบตเตอรี่จะถูกจ่ายกระแสให้กับโหลดทั้งหมดที่แบตเตอรี่ต่ออยู่ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสียพลังงานที่สะสมไว้ ฉะนั้นหลังจากไฟ AC เข้าสู่สภาวะปกติจะต้องทำ Equalize Charge ทันที
- เมื่อตรวจพบว่าในชุดเซลล์แบตเตอรี่มีความแตกต่างในระดับโวลต์เตจเกินกว่า 0.05 โวลต์ หรือมากกว่านี้
- เมื่อตรวจพบว่าค่าความถ่วงจเฉพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในชุดแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันมากกว่า 0.02 โวลต์

ระยะเวลาในการทำ Equalize Charge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระยะเวลาในการทำ Equalize Charge ในแต่ละครั้งและทำให้แบตเตอรี่มีประจุสมบูรณ์ที่สุด จะใช้เวลาระหว่าง 8-12 ชั่วโมง ซึ่งนับว่าเป็นการเพียงพอที่จะแก้ปัญหาต่าง ๆ

2. การทำ Equalize Charge ในทุก ๆ ครั้งควรตั้งเวลาในการชาร์จให้ถูกต้องโดยระดับควรง อย่ให้การทำ Equalize เกินกว่าที่กำหนดไว้เพราะการทำ Equalize นานเกินไปจะทำให้แผ่นเพล ทของแบตเตอรี่เกิดการคองง ตลอดจนเป็นการเปลืองน้ำโดยเปล่าประโยชน์ด้วย ระบบ electrolysis หรือการแยกน้ำออกเป็นแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน

ระดับโวลต์เตจที่เหมาะสมกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่

การปรับระดับโวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่นับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับ โวลต์เตจในการชาร์จไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการชาร์จปกติประจำทุก ๆ วันแบตเตอรี่จะได้รับโวลต์เตจใน การชาร์จโดยตรงจากแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายขึ้นสองลักษณะคือ

1. Under Charge

2. Over Charge

1. Under Charge คือ การใช้โวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่ ในระดับ Float charge ต่ำกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ถ้าหากใช้โวลต์เตจในการชาร์จระดับนี้ไปนาน ๆ จะทำให้เกิดซัลเฟตเกาะจับที่แผ่น เพลททั้งบวกและลบ หากทิ้งไว้นานวันปริมาณซัลเฟตนี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นสาเหตุให้การทำ ปฏิกริยาระหว่างแผ่นเพลทบวกและลบกับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ ทั้งการชาร์จและดิสชาร์จเป็นไปด้วย ความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ capacity ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผล กระทบกระเทือนต่ออายุของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากตรวจพบว่าแบตเตอรี่เกิด Under Charge ขึ้นจะ ต้องรีบแก้ไข การเกิด Under Charge สังเกตได้ดังนี้

- มีการปรับระดับน้ำยาอิเล็กโตรไลต์น้อยครั้งที่สุด ในระยะเวลาอันยาวนานหรือไม่มีการเติมน้ำ กลั่นเลยตลอดเวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่

- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของแผ่นเพลทแบตเตอรี่ที่แผ่นเพลทลบมีสีขาวเกาะจับ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.180
- วัดโวลต์เตจตกคล่อมในแต่ละเซลล์ต่ำกว่า 2.15 โวลต์
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

2. Over Charge คือการใช้โวลต์เตจในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับ Float Charge- สูงกว่า 2.15 โวลต์ต่อเซลล์ ซึ่งเป็นระดับโวลต์เตจที่สูงกว่าปกติ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรแบตเตอรี่สูงทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำยาอิเล็กโทรไลต์กับแผ่นเพลทเป็นไปอย่างรุนแรงและรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้แผ่นเพลททั้งสองเกิดการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วเช่นกัน

การชาร์จแบตเตอรี่กรด

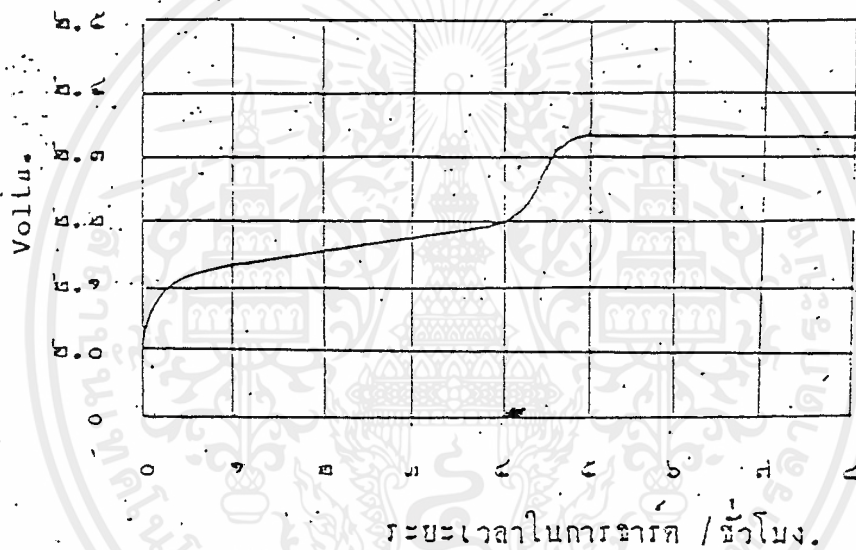
การชาร์จประจุแบตเตอรี่คือการนำแหล่งจ่ายไฟ DC จากแหล่งภายนอก เช่น เครื่องชาร์จ DC Generator เป็นต้น มาจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ การชาร์จแบตเตอรี่มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1. การชาร์จแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charge)
2. การชาร์จแบบโวลต์เตจคงที่ (Constant Voltage Charge)

1. การชาร์จแบบกระแสคงที่ การชาร์จแบบกระแสคงที่นี้เป็นการชาร์จที่มีประสิทธิภาพกว่าการชาร์จแบบโวลต์เตจคงที่ แต่การชาร์จแบบกระแสคงที่นี้ จะใช้ระยะเวลาในการชาร์จนานกว่าการชาร์จแบบโวลต์เตจคงที่ ทั้งนี้เพราะการชาร์จแบบกระแสคงที่นี้ จะถูกจำกัดปริมาณการชาร์จของกระแสในการชาร์จจากเครื่องชาร์จ เข้าวจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับกระแสในการชาร์จเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อเป็นเช่นนี้บางท่านอาจตั้งปัญหาถามว่าทำไมไม่ตั้งกระแสในการชาร์จให้สูงขึ้น จะทำให้เวลาในการชาร์จน้อยลง ปัญหานี้ตอบได้ดังนี้คือถ้าเราใช้กระแสในการชาร์จสูงขึ้นถึงแม้แบตเตอรี่จะได้รับกระแสมากก็จริงอยู่แต่ผลเสียหลายจะเกิดขึ้นแบตเตอรี่ในทันที ซึ่งความเสียหายนั้น คือความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้น ตามปริมาณของกระแสที่ทำการชาร์จ และในที่สุดแผ่นเพลทของแบตเตอรี่ที่เป็น Active Material ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคุดงอ แตก หรือเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ แต่อย่าลืมนะ ถ้าในเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมาก ๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนด จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่นั้น ๆ เกิดระเบิดขึ้นได้ ส่วนการชาร์จกระแสคงที่มีข้อดีที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ คือจะทำให้เซลล์ทุก ๆ เซลล์ในชุดของแบตเตอรี่ ได้รับในการประจุกระแสในการชาร์จที่มีสัดส่วนเท่า ๆ กันทุก ๆ เซลล์ตลอดชุดของแบตเตอรี่ ซึ่งในการชาร์จด้วยกระแสคงที่นี้ทำให้การคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ง่ายและสะดวก เช่น เรานับแบตเตอรี่ที่มีความจุขนาด 34 แอมแปร์ หากเราจะใช้ระยะเวลาในการชาร์จ 5 ชั่วโมงเต็ม เราจะต้องใช้กระแสในการชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 6.5 แอมแปร์ต่อชั่วโมง ดังนั้นค่าความจุของแบตเตอรี่จะเท่ากับ 5 คูณด้วย 6.8 เท่ากับ 34 แอมแปร์ ดังนั้นเราจึงพอที่จะสรุปได้ว่า เหตุผลที่ทำให้การชาร์จแบบกระแสคงที่ใช้เวลานานหรือช้าด้วยเหตุผลดังนี้

1. ขึ้นอยู่กับค่าความจุหรือขนาดของแบตเตอรี่ที่นำมาทำการชาร์จ
2. ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสที่ทำการชาร์จ
3. ขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำมาชาร์จ

จากการชาร์จแบบกระแสคงที่ เราไม่ได้กล่าวถึงโวลต์เตจที่ชาร์จแบตเตอรี่เลย อย่างไรก็ตามในขณะที่เราทำการชาร์จแบตเตอรี่อยู่นั้น ระดับโวลต์เตจที่เซลล์ของแบตเตอรี่ จะเริ่มจาก 2.00 โวลต์ต่อเซลล์ จนถึง 2.33 โวลต์ต่อเซลล์ ดังนั้นโวลต์เตจในการชาร์จดังในรูปที่ 9



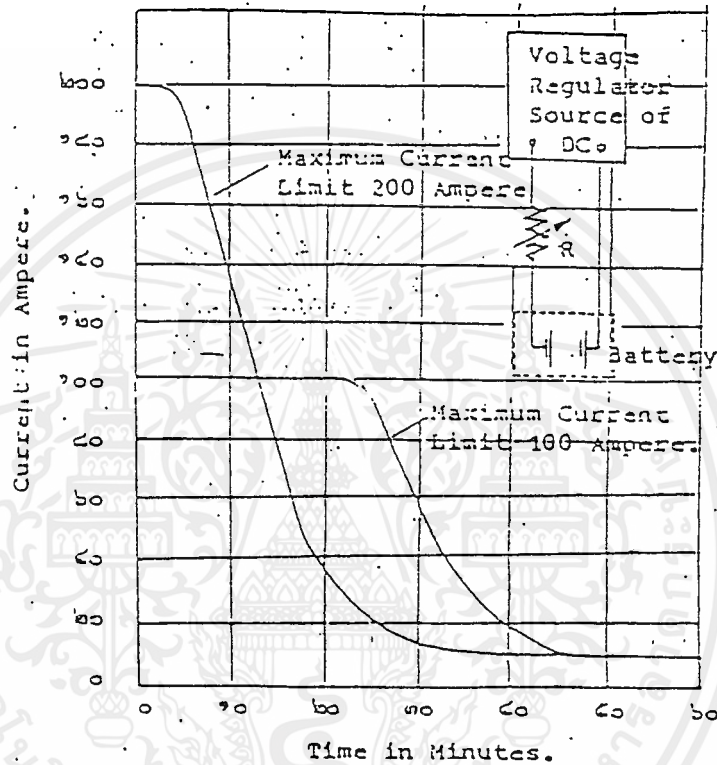
รูปที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของโวลต์เตจในการชาร์จแบบกระแสคงที่

ดังนั้นการชาร์จด้วยกระแสคงที่พอที่จะสรุปได้ดังนี้ การชาร์จจะทำได้รวดเร็วไม่ได้เพราะจะต้องถูกจำกัดปริมาณของกระแสในการชาร์จจนที่ตายตัว ตามที่หนังสือคู่มือของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆกำหนดมา และอีกประการหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ตลอดจนค่าความจุของแบตเตอรี่

2. การชาร์จแบบโวลต์เตจคงที่ จากที่เราได้ทราบมาแล้วว่าการชาร์จแบบกระแสคงที่ เราจะทำการชาร์จอย่างรวดเร็วยังไม่ได้ ต่อไปนี้เราจะได้ศึกษาถึงการชาร์จแบบโวลต์เตจคงที่ในการชาร์จแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จในแบบแรก หรือทำการชาร์จได้อย่างรวดเร็วกว่านั่นเอง ระยะเวลาในการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จในแบบแรก หรือทำการชาร์จได้อย่างรวดเร็วกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการชาร์จน้อยกว่าการชาร์จในแบบแรก หรือทำการชาร์จได้อย่างรวดเร็วกว่านั่นเอง ระยะเวลาในการชาร์จจะเร็วเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องชาร์จจ่ายกระแสออกมาอย่างวงจรแบตเตอรี่ได้มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องชาร์จจะต้องจ่ายกระแสออกมาได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าความจุของแบตเตอรี่ที่จะนำมาทำการชาร์จ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ต่อชั่วโมงจะใช้เวลาในการชาร์จเท่ากับ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาในการชาร์จ
แบตเตอรี่กรดแบบโวลต์เตจคงที่

การชาร์จแบตเตอรี่เกิดจากเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำพลังงานออกไปใช้งานจะต้องมีการชาร์จหรือประจุไฟให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มดังเดิม การชาร์จแบตเตอรี่โดยระบบโวลต์เตจคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องชาร์จหรือ Generator เป็นตัวกำเนิดโวลต์เตจขึ้นมาแล้วป้อนเข้าแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดโวลต์เตจจากเครื่องชาร์จหรือ Generator นั้น อาจจะมีโวลต์เตจที่ไม่คงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีความควบคุมโวลต์เตจที่จะนำเข้าชาร์จแบตเตอรี่ ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาของการชาร์จซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า วงจรโวลต์เตจเรกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ดังนั้นวงจรเรกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการชาร์จที่คงที่ และนับว่าเป็นวงจรที่สำคัญยิ่งสำหรับการชาร์จแบบโวลต์เตจ

จคงที่ และในทำนองเดียวกันถ้าหากวงจรเรกติฟายเออร์นี้เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับโวลต์เตจในการชาร์จที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับโวลต์เตจในการชาร์จมากเกินไป ซึ่งระดับโวลต์เตจทั้งสองที่กล่าวมานี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของระดับโวลต์เตจในการชาร์จโดยทั่ว ๆ ไปนั้นการตั้งวงจรเรกติฟายเออร์ จะมีค่าโวลต์เตจเท่าไรนั้นให้ดูคู่มือของแบตเตอรี่นั้น ๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือคู่มือให้ใช้หลักการดังนี้ ให้ใช้จำนวนโวลต์เตจในการชาร์จต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่จะทำการชาร์จ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับแต่งโวลต์เตจของเครื่องชาร์จเท่ากับ 2.15 คูณด้วย 24 เท่ากับ 51.6 โวลต์ ขณะที่ทำการชาร์จปกติ

แบตเตอรี่ต่าง นิกเกิล-แคดเมียม

(Nickle-Cadmium)

แบตเตอรี่ที่นิยมใช้โดยทั่ว ๆ ไปมี 2 ชนิดคือ แบตเตอรี่กรดและแบตเตอรี่ต่าง นิกเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่ต่าง นิกเกิล-แคดเมียมมีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่กรดแต่การบำรุงรักษาง่ายกว่าแบตเตอรี่กรด และมีอายุการใช้งานได้ยาวนานกว่า

ในที่นี้จะกล่าวถึงแบตเตอรี่ต่างชนิด นิกเกิล-แคดเมียม (Nickle-Cadmium Alkaline Storage Battery) เท่านั้น

แบตเตอรี่ต่างชนิดนิกเกิล-แคดเมียม เป็นแผ่นปฏิกิริยาทางไฟฟ้าได้ ออกแบบสร้างไว้หลายแบบ โดยใช้ลักษณะของการใช้งานเป็นหลักคือ

- ใช้งานปกติ แต่บางครั้งใช้กระแสสูง
- ใช้งานที่กระแสสูง
- ใช้งานที่กระแสปานกลาง
- ใช้งานที่กระแสต่ำ

ในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ ประกอบด้วยแผ่นบวกและแผ่นลบวางสลับกันแต่ละแผ่น มีขนาดเท่ากัน ผิดกันที่สารประกอบคือแผ่นบวกใช้นิกเกิลออกไซด์ (Nickle-oxide) และ กราไฟท์ส่วนแผ่นลบใช้แคดเมียมออกไซด์ (Cadmium or Cadmium Hydroxide) สารกราฟท์ ส่วนแผ่นลบใช้แคดเมียมหรือแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (Cadmium or Cadmium Hydroxide) สารประกอบของขั้วบวกและขั้วลบนี้ ผสมกัวยูนิทของแผ่นนิกเกิลและเรียงสลับกัน โดยมีช่องว่างระหว่างแผ่น แผ่นบวกต่อรวมกันกับอิเล็กโตรดของขั้วบวกและแผ่นลบต่อรวมกับอิเล็กโตรดของขั้วลบ และบรรจุลงในแต่ละเซลล์

น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ น้ำยาที่บรรจุในแบตเตอรี่ เป็นสารละลายของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) หรือคัสติกโปแตส (Caustic Potash) ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ผสมกับลิเทียมไฮดรอกไซด์ (Lithium Hydroxide) อีกเล็กน้อยละลายในน้ำกลั่น (โดยผสมทีละน้อย ทุกระยะ อัตราส่วนของน้ำหนักให้เป็น 1 : 4 ระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับน้ำกลั่น) จนมีความถ่วงจำเพาะ 1.2 ที่ 20 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์นี้เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิคือ เพิ่มขึ้น 0.0005 ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 1 องศาเซลเซียสจาก 20 องศาเซลเซียส และลดลง 0.0005 ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จาก 20 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะนี้ยอมให้สูงสุดไม่เกิน 1.23 ที่ 20 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมอายุ และยอมให้ต่ำได้ไม่เกิน 1.16 ที่ 20 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้แบตเตอรี่มีความจุต่ำกว่าค่าที่กำหนด

ข้อควรระวัง

1. น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่ผสมแล้วไม่ควรทิ้งไว้ในที่ที่มีลมพัดแรง เพราะจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) ในอากาศถูกดูดซึมลงในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะเป็นเหตุให้แบตเตอรี่มีกำลังคายไฟ (Power output) ต่ำ
2. ระวังอย่าให้น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ถูกผ้าหรือผิวหนัง เพราะจะทำให้ผ้าเปียกและถ้าถูกผิวหนัง จะทำให้เกิดระคายเคือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอย่าให้กระเด็นเข้าตาจะเป็นอันตรายมากกว่าน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกรด อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นด่างจะเป็นกลางต่อสารที่เป็นกรดอ่อน ๆ เช่น กรดน้ำส้ม หรือ กรดบอริก 3 %

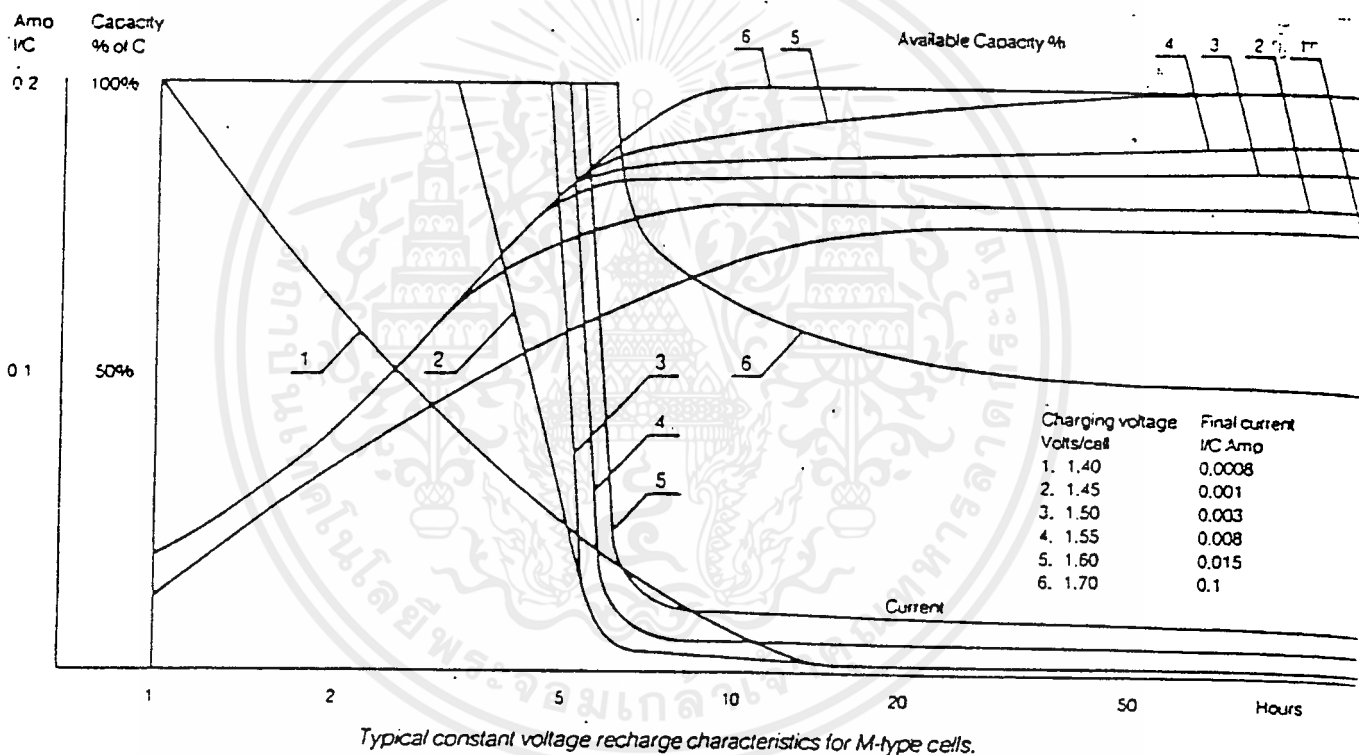
ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการประจุและคายไฟ (Charge & Discharge) ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการประจุและการคายไฟ (Electro chemical) เกิดขึ้นในรูปของการให้และการรับอิเล็กตรอน (redox reaction) ของตัวทำปฏิกิริยาของแผ่นบวกและแผ่นลบ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์นี้มีผลทางตรงน้อยมากในการประจุและการคายไฟของแบตเตอรี่ แต่จะทำหน้าที่เป็นสื่อไฟฟ้าเท่านั้น เพราะฉะนั้นในการประจุและการคายไฟ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์จะไม่เปลี่ยนแปลงแสดงได้ในรูปแบบสมการเคมีดังนี้

ภาวะการประจุ	ภาวะการคายไฟ
$2\text{NiOOH} + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O}$ (Pos. Plate) (Neg. Plate)	$2\text{Ni(OH)}_2 + \text{Cd(OH)}_2$ (Pos. Plate) (Neg. Plate)

คุณลักษณะของแบตเตอรี่

ความจุ (Capacity) ความจุของแบตเตอรี่ คือ ค่าคงที่ของกระแสที่ได้จากการคายไฟจากแบตเตอรี่ที่ประจุไว้เต็มที่ โดยปกติมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ซึ่งได้จากการคายไฟที่กระแส 1/5 ของค่าความจุ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงหรืออาจใช้หน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมง (Wh) โดยใช้ค่าแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) คูณด้วยแรงดันเฉลี่ยขณะคายไฟ

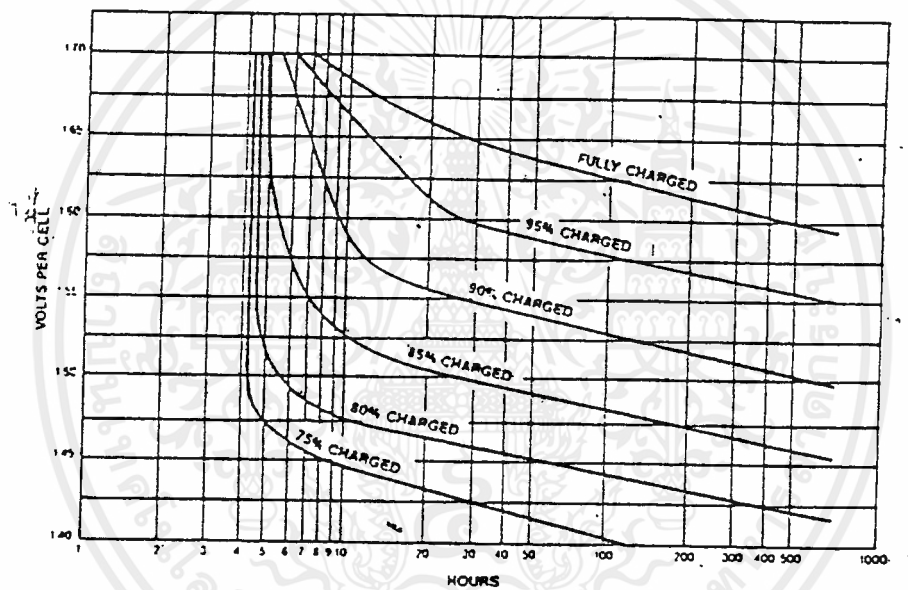
แรงดัน โดยปกติแรงดันแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ไม่ใช้งาน จะมีค่าประมาณ 1.3-1.5 โวลต์ แต่ระยะเวลาของแบตเตอรี่ที่ทิ้งไว้หลังการประจุเต็มที่ สภาพการประจุกระแสที่ใช้คายไฟ อุณหภูมิ และความต้านทานภายในของแต่ละแบบที่ต่างกัน อาจทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงไปจากค่าดังกล่าวได้ และค่าแรงดันขณะใช้งานปานกลางตามปกติ จะประมาณ 1.2 โวลต์ต่อเซลล์



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์แรงดัน , กระแส , เวลา ของการอัดประจุ

จากรูปที่ 11 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงคุณสมบัติ เมื่ออัดประจุของแบตเตอรี่ แบบนิเกิล-แคดเมียม จะเห็นว่าเราจะทำการอัดประจุเพื่อให้ได้แรงดันเต็ม ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง และเมื่อแรงดันเต็มแล้ว ค่ากระแสจะลดมามาก

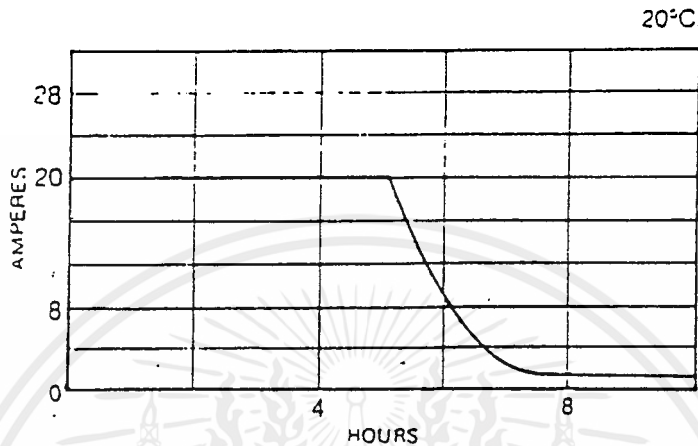
Time to reach state of charge at charging voltages for fully discharged general purpose ranges. Modified constant potential charging with charge limited to C/5 rate at 25°C



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และเวลา เมื่อมีการจ่ายกระแสให้ไหลด (Discharge) โดยที่แบตเตอรี่แต่ละลูกมีการอัดประจุที่มีค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสและเวลา

จากรูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสและเวลา ของแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม ขนาด 100 Ah C/5 จะเห็นได้ว่ากระแสน้ำยออกไปมีค่าคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในการออกแบบการปรับแต่งค่าต่าง ๆ ในการอัดประจุแบตเตอรี่ เราจะต้องศึกษาถึงคุณลักษณะของแบตเตอรี่ที่ใช้ เพื่อให้เราทราบว่าเมื่อเกิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าขัดข้องหรือเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ขัดข้อง เราจะสามารถใช้แบตเตอรี่จ่ายไหลได้เป็นเวลาเท่าไร

การอัดประจุแบตเตอรี่ใหม่และการเก็บรักษา

ก่อนทำการอัดประจุแบตเตอรี่ควรตรวจสอบแบตเตอรี่ให้พร้อมและถูกต้อง ตรวจสอบระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ วัดความถ่วงจำเพาะ ตรวจสอบเครื่องประจุ (Charger) และระบบไฟฟ้าที่ใช้ต่อกับเครื่องประจุให้ถูกต้องด้วย วัดแรงดันรวมและแรงดันแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ แล้วจึงทำการอัดประจุโดยให้ช้าลงต่อกับช้าลง และช้าลงต่อกับช้าลง ด้วยกระแสที่ใช้ประจุตามที่กำหนดและวิธีการดังนี้

1. ใช้กระแสประจุคงที่ 1/10 ของค่าความจุที่กำหนด (20 แอมแปร์ สำหรับแบตเตอรี่ที่มีความจุ 200 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ประจุติดต่อกันเป็นเวลา 20 ชั่วโมง)
2. แรงดันแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น กระแสที่ใช้ประจุจะค่อย ๆ ลดลงให้แรงดันของเครื่องประจุ เพื่อรักษากระแสประจุให้คงที่อยู่เสมอ
3. การประจุแบตเตอรี่ จะทำให้อุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ระวังอย่าให้เกิน 45 องศาเซลเซียส เพราะจะเป็นอันตรายต่อแบตเตอรี่(ถ้าเกิน 45 องศาเซลเซียส ให้หยุดพัก เพื่อให้อุณหภูมิลดลงแล้วประจุต่อ)
4. บันทึกข้อมูลต่างๆลงในตาราง ตลอดระยะเวลาที่ทำการประจุ
5. แรงดันของแต่ละเซลล์ จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น 1.5 โวลต์หรือมากกว่าในเวลา 10 ชั่วโมง แล้วให้ประจุต่อไปจนครบ 20 ชั่วโมง

หลังจากการประจุครั้งแรก ถ้าหากมีการใช้งานแบตเตอรี่ไปบ้าง หากจะนำมาใช้งานอีกจะต้องทำการประจุอีกครั้ง ตามวิธีที่กล่าวมาแล้วเป็นเวลา 14 ชั่วโมง หลังการประจุทุกครั้งต้องตรวจสอบระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ให้ได้ระดับอยู่เสมอ ถ้าต่ำกว่าให้เติมน้ำกลั่นจนได้ระดับ

การเก็บรักษาแบตเตอรี่

ห้องที่ใช้เก็บแบตเตอรี่ควรเป็นห้องที่มีอากาศแห้งและเย็น แบตเตอรี่ที่คายไฟหมดและเอาน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ออก สามารถเก็บไว้ได้นานไม่มีกำหนด โดยการปิดให้สนิทจนไม่มีอากาศเข้าได้ ถ้านำมาใช้ให้ทำการประจุลักษณะเดียวกับแบตเตอรี่ใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ถูกประจุจนเต็มแล้วนำมาเก็บโดยไม่เอาน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ออก จะเก็บไว้ได้นาน 1 ปี โดยในระหว่างการเก็บไม่จำเป็นต้องนำมาประจุใหม่อีก จนกว่าจะนำมาใช้งานใหม่ก็จำเป็นต้องทำการประจุอีกครั้งเช่นเดียวกัน

การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ขณะใช้งาน

โดยปกติแบตเตอรี่ จะต้องผ่านการประจุมาแล้วเป็นจำนวน 140 % ของค่าความจุที่กำหนด เพราะประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ต่างจะใช้งานได้เพียง 71.5 % ของการประจุเท่านั้น จึงจำเป็นต้องประจุถึง 140 % เพื่อให้แบตเตอรี่ใช้งานได้ 100 % ถึงแม้ว่าการประจุเต็มที่จะได้แรงดัน 1.6-1.8 โวลต์ก็ตาม ควรจะประจุต่อไปอีกอย่างน้อย 2.5-3 ชั่วโมง

การอัดประจุแบบปกติ หรือ ฟลอยติงชาร์จ (Floating charge)

เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้าใช้งาน และต่อขนานเข้ากับเครื่องทำการประจุแบตเตอรี่แล้ว ก็จำเป็นต้องมีการประจุไว้ตลอดไป ด้วยกระแสจำนวนน้อยและคงที่เพื่อให้แบตเตอรี่ถูกประจุเต็มอยู่ตลอดเวลา การประจุนี้เรียกว่า Floating charge โดยปกติแรงดันของ Floating charge จะอยู่ประมาณ 1.35-

1.45 โวลต์ กระแสประมาณ 1/40 ของอัตรากระแสที่ 5 ชั่วโมง หรือ 1/200 ของค่าความจุ ค่าเหล่านี้อาจปรับไปได้ตามความจำเป็นของสภาพที่ใช้งาน สังเกตได้จากปริมาณของแก๊สและน้ำที่ระเหยออก ถ้ามากเกินไปแสดงว่าแรงดันในการ Floating charge สูงเกินไป และค่าความจุของแบตเตอรี่ลดลงเรื่อย ๆ ก็แสดงว่าแรงดันในการประจุต่ำเกินไป แรงดันที่เหมาะสมจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละแบบของแบตเตอรี่ต่าง

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นข้อหนึ่งที่มีผลต่อการทำประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส โดยปกติอุณหภูมิของน้ำยาจะค่อย ๆ สูงขึ้นในขณะที่ทำการประจุต้องระวังอย่าให้เกิน 45 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลงและจะชำรุดได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ถ้าอุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส

ระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์

ระดับของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ต้องระวังให้อยู่ในระดับที่กำหนดเสมอ ถ้ามีการจดบันทึกและมีการสังเกตจะทำให้ทราบระยะเวลาที่ควรเติมน้ำกลั่นในแต่ละครั้ง อาจเป็น 1 เดือนต่อครั้งหรือมากกว่า

และในการเติมแต่ละครั้งไม่ควรเติมน้ำกลั่นให้ล้น เพราะจะทำให้ต่างข้างลง

การเปลี่ยนน้ำยาอิเล็กโทรไลต์

ความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์จะค่อย ๆ ลดลง เป็นเพราะแก๊สเข้าไปผสมจากการเติมน้ำกลั่นมากเกินไปทำให้ล้นออกมา หรืออาจเกิดจากสิ่งสกปรก ผุ่นละอองเข้าไปผสมอยู่ก็ได้ ในการใช้งานจึงต้องมีการเปลี่ยนน้ำยาอิเล็กโทรไลต์เป็นครั้งคราวทุก ๆ 5-6 ปีต่อครั้ง เหตุที่ทำให้กำลังคายประจุของแบตเตอรี่ต่ำส่วนมากเป็นเพราะกรดโพตัสเซียมคาร์บอเนตเข้าไปปนอยู่ในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (ซึ่งยอมให้มีอยู่ได้ไม่เกิน 75 กรัมต่อลิตร) กรดบางชนิดเช่นจำพวกซิลิเฟต จะทำให้เกิดผลเสียต่อแผ่นบวก และสิ่งสกปรกที่เป็นจำพวกโลหะที่มีประจุไฟฟ้าบวกมากกว่าทองแดงจะเกิดสะสมที่แผ่นลบจนเป็นเหตุให้เกิดการคายไฟขึ้นภายในแบตเตอรี่เอง เมื่อความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ต่ำลงถึงขีดต่ำสุด หรือสิ่งสกปรกเข้าไปสะสมอยู่มากจนถึงขีดที่จะยอมรับได้ต้องเปลี่ยนน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ทันที และก่อนที่จะเปลี่ยนน้ำยาต้องทำการคายประจุให้แบตเตอรี่มีแรงดันเหลือเพียง 0.6-0.8 โวลต์ต่อเซลล์ ด้วยกระแสคายประจุ 5 ชั่วโมงของอัตรากระแส (C/5) หลังจากคายไฟดังกล่าวเรียบร้อยแล้วให้ดูคน้ำยาอิเล็กโทรไลต์เก่าออกให้หมด และอย่าทิ้งไว้นานหรือใช้น้ำล้าง รับประทานน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมไว้ทันที

การเปลี่ยนน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ไตรโลห์ใหม่เมื่อ

1. ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1.16
2. แบตเตอรี่ทำงานได้ต่ำกว่าค่าความจุที่กำหนด
3. มีสิ่งเจือปนในน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ไตรโลห์เกินค่าที่กำหนด

แบตเตอรี่ที่เปลี่ยนน้ำยาใหม่จะมีค่าความจุเท่าที่กำหนดได้ก็ต่อเมื่อได้ทำการประจุและคายไฟก่อนต่อเข้าใช้งานดังนี้

1. ประจุแบตเตอรี่เป็นเวลา 10 ชั่วโมงที่ 5 hour-rate หรือ 20 ชั่วโมงที่ 10 hour-rate (200 % ของค่าความจุที่กำหนด)
2. คายไฟแบตเตอรี่ที่ 5 ชั่วโมงของอัตราการกระแสน้ำไหลแรงดัน 1 โวลต์ต่อเซลล์
3. ประจุแบตเตอรี่ตามข้อ 1 เสร็จเรียบร้อยแล้วตรวจสอบความถ่วงจำเพาะและระดับของน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ไตรโลห์ก่อนนำไปใช้งาน

การทำความสะอาด

แบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานได้นาน ถ้าหากได้ดูแลรักษาและทำความสะอาดอยู่เสมอ สิ่งสกปรกและความชื้นที่อยู่บนขั้วของแบตเตอรี่ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วหรือลัดวงจร ที่ขั้วแบตเตอรี่ควรเช็ดให้สะอาดและแห้ง ห้ามใช้กระดาษทรายขัดส่วนที่เป็นนิเกิลของแบตเตอรี่ การดูแลรักษาควรทำดังนี้

1. ทำความสะอาดภายนอก โดยเฉพาะส่วนบนและขั้วของแบตเตอรี่อย่างน้อยเดือนละครั้งแล้วใช้น้ำมันกันสนิม หรือวาสลีนทาส่วนที่เป็นนิเกิล
2. ขั้วแบตเตอรี่และรอยต่อต้องขันให้แน่นตลอดเวลา
3. ไม่ควรบัดกรีหรือใช้โลหะที่คล้ายกันในการซ่อมแบตเตอรี่

แบตเตอรี่สามารถเก็บไว้ได้นานไม่มีกำหนดเวลาโดยที่แบตเตอรี่ไม่เสื่อมสภาพ แต่ก่อนเอาเข้าเก็บต้องทำการคายไฟ 5 ชม. ของอัตราการกระแสน้ำไหลแรงดันเหลือ 0.6-0.8 โวลต์ต่อเซลล์ เติมน้ำกลั่นให้อยู่ขีดที่กำหนด เก็บไว้ในที่แห้งและเย็นไปเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ก่อนที่จะนำมาใช้ต้องนำมาประจุอีกครั้งหนึ่งตามวิธีเดียวกันกับการเปลี่ยนน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ไตรโลห์

การปรับแรงดัน (Equalize Charge)

แบตเตอรี่ที่ถูก Floating charge ในขณะที่ใช้งานและไม่มีมีการคายไฟเป็นเวลานาน ควรทำการปรับแรงดันในแต่ละเซลล์ให้เท่า ๆ กันทุก ๆ 6 เดือน โดยการทำการ Quick Charge 24 ชม. แล้วทำ

การ Floating Charge ต่อไป ถ้าแรงดันของแต่ละเซลล์ยังต่ำกว่าค่าที่กำหนด หลังจากการปรับค่าแรงดันแล้วควรเพิ่มแรงดันของ Floating Charge ขึ้นอีก

ข้อควรระวัง

1. ห้ามนำเปลวไฟเข้าใกล้แบตเตอรี่
2. ห้ามนำแบตเตอรี่ไปไว้ที่ ๆ มีความร้อนสูง และในที่ ๆ มีสารเคมี
3. ตั้งในที่ ๆ มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

อุปกรณ์ที่ห้ามมาใช้น้ำยาอิเล็กโทรไลต์คือ ทองแดง ทองเหลือง ตะกั่ว สังกะสี อลูมิเนียม ดินบุก เซลลูโลยด์ ไม้ไผ่ ไม้

การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ชนิดต่าง

วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ (Methode of charging) โดยทั่ว ๆ ไปมี 4 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 การอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่ (Constant current charge)

วิธีที่ 2 การอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่ (Constant voltage charge)

วิธีที่ 3 การอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันคงที่จำกัดกระแส (Constant voltage current charge)

วิธีที่ 4 การอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันเพิ่มกระแสลด (Taper charge)

โดยทั่ว ๆ ไปจะเลือกใช้วิธีหนึ่งจากข้างบนตามความเหมาะสมและลักษณะงาน โดยจะพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ ค่าความแตกต่างของแรงดัน คือค่าแรงดันระหว่างแรงดันสูงสุดที่อัดประจุเต็มและค่าแรงดันต่ำสุดที่ถูกดิสชาร์จ หรือเราสามารถทำการอัดประจุแบบอัตโนมัติโดยจะพิจารณาถึงความเหมาะสมของสิ่งเหล่านี้คือ แรงดัน กระแส เวลา ปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ชนิดของการอัดประจุ (Type of charge) มี 3 วิธี

1. การอัดประจุเพื่อนำไปใช้งาน (Commissioning Charge) เป็นการอัดประจุครั้งแรกหลังจากนำออกจากโรงงาน โดยคำนึงถึงระยะเวลาที่เก็บไว้ก่อนนำออกมา โดยพิจารณา

ก. ถ้าเก็บแบตเตอรี่ไว้เป็นเวลากว่า 6 เดือน จะพิจารณาดังนี้

ถ้าอัดประจุด้วยวิธีที่ 1 ใช้เวลาในการอัดประจุ 12-15 ชม. ที่ 0.2C5 A

ถ้าอัดประจุด้วยวิธีที่ 2 ใช้เวลาในการอัดประจุ 20-30 ชม. ที่ 1.65 โวลต์ต่อเซลล์

ถ้าอัดประจุด้วยวิธีที่ 3 ใช้เวลาในการอัดประจุ 20-30 ชม. ที่ 1.65 โวลต์ต่อเซลล์

ถ้าอัดประจุด้วยวิธีที่ 4 เริ่มต้นอัดประจุที่แรงดัน 1.35 โวลต์ต่อเซลล์ ที่ 0.25C5 A

และอัด ประจุที่แรงดัน 1.65 โวลต์ต่อเซลล์ ที่ 0.15C5 A

ข. ถ้าเก็บแบตเตอรี่มากกว่า 6 เดือนทำดังนี้

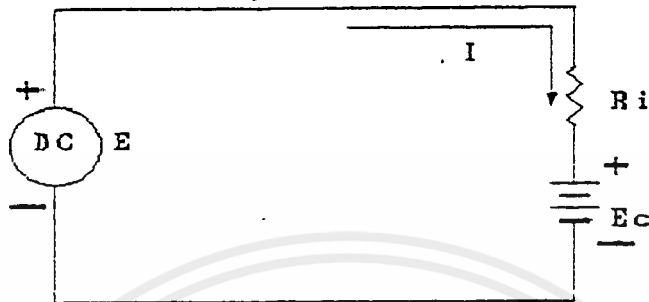
1. การอัดประจุใช้เวลา 15-20 ชั่วโมง ที่กระแสปกติ 0.2C5 A
2. ดิสชาร์จถึง 0 โวลต์ต่อเซลล์ ที่ 0.5C5A
3. ทำซ้ำข้อ 1,2
4. การอัดประจุใช้เวลา 15 ชั่วโมง ที่ 0.2C5 A

2. การอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็ว (Fast Charge or Equalize Charge or Quick Charge or Boost Charge) เป็นการอัดประจุแบบเร็วเพื่อให้แบตเตอรี่มีการอัดประจุให้ได้แรงดันปกติ โดยจะทำการอัดประจุในกรณีไฟแหล่งจ่ายเกิดดับขึ้นมาเป็นเวลานาน โดยที่แบตเตอรี่ที่สำรองไว้ถูกดิสชาร์จเพื่อจ่ายโหลดมาก เมื่อไฟแหล่งจ่ายกลับมาจึงต้องมีการอัดประจุแบตเตอรี่อย่างรวดเร็วเพื่อให้แบตเตอรี่มีค่าความจุเป็นปกติโดยเร็ว เพื่อจะทำให้เพียงพอที่จะจ่ายโหลดในกรณีไฟแหล่งจ่ายเกิดดับขึ้นมาอีก

3. การอัดประจุแบบปกติ Float Charge เป็นการอัดประจุแบบปกติในอัตราที่ต่ำ เพื่อพุงให้แบตเตอรี่มีสถานะเต็มอยู่ตลอดเวลา ซึ่งถ้าไม่ทำการอัดประจุในลักษณะนี้ตลอด . ค่าความจุของแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเนื่องจากการสูญเสียขึ้นภายใน โดยทั่ว ๆ ไปเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จะเป็นระบบอัตโนมัติ โดยเครื่องจะทำงานอยู่ลักษณะใดจะเอาความสัมพันธ์กระแส เวลา หรือค่าความจุของแบตเตอรี่มาพิจารณา

ทฤษฎีและหลักการอัดประจุแบตเตอรี่

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการอัดประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการชาร์จประจุแบตเตอรี่ จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงทิศทางการไหลของกระแสอัดประจุแบตเตอรี่

โดยที่ E : แรงดันที่ทำการอัดประจุ
 E_c : แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่
 R_i : ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
 I : กระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่

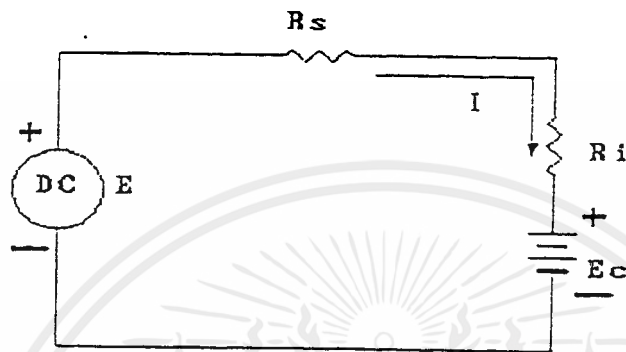
จากรูปที่ 14 จะได้สมการ

$$E = E_c + I R_i \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{จะได้ } I = (E - E_c) / R_i \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่ (E_c) มีค่าเท่ากับแรงดันที่อัดประจุ (E) จะไม่มีกระแส (I) ไหลในวงจร ถ้าแรงดัน E_c ต่ำกว่าแรงดัน E จะทำให้มีกระแสไหล เพื่อเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ แต่ได้แรงดัน E_c สูงกว่าแรงดัน E กระแสจะถูกดิสรูจออกจากแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายใน (R_i) ของแบตเตอรี่ส่วนมากจะมีค่าน้อย ซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยจะมีผลต่อปริมาณกระแสที่อัดประจุแบตเตอรี่ว่าจะมากหรือน้อย ถ้ากระแสในการอัดประจุมีปริมาณมากเกินไปเกินกว่าที่แบตเตอรี่จะทนได้ อาจจะทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้ การจะลด

การจะลดปริมาณกระแสการประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลงทำได้โดยเอาความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลได้ตามต้องการ ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงวงจรที่ความต้านทานต่ออนุกรมเพื่อจำกัดกระแส (R_s)
จากรูปที่ 15 เราจะหาค่า R_s ได้ดังนี้

$$I = (E - E_c) / (R_s + R_i) \quad (3)$$

$$R_s = ((E - E_c) / I) - R_i \quad (4)$$

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ อัตราการอัดประจุหรือดิสชาร์จจะขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ พิกัดของกระแสอัดประจุแบตเตอรี่จะบอกไว้เป็นชั่วโมง ฉะนั้นค่าของกระแสจะหาได้จากค่าความจุซึ่งมีหน่วยเป็นแอมป์-ชั่วโมง (Ah) ทหารด้วยจำนวนชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าเรารู้กระแส จำนวนชั่วโมงจะหาได้จากความจุ (Ah) ทหารด้วยกระแสจะได้จำนวนชั่วโมง แต่ทั้งนี้และทั้งนั้น ค่าความสัมพันธ์ของกระแสและชั่วโมงในการดิสชาร์จนี้จะไม่แปรผันตามกันตลอด เช่น แบตเตอรี่ 100 Ah ดิสชาร์จกระแส 5 แอมป์ ในเวลา 20 ชั่วโมง แต่ถ้าจ่าย 10 แอมป์ อาจจ่ายได้ในเวลาเพียง 7 ชั่วโมง หรืออาจจ่าย 20 แอมป์ ได้ในเวลาเพียง 3 ชั่วโมง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าถ้าจ่ายกระแสในปริมาณมาก ค่าพิกัดแอมป์-ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ อาจมีค่าน้อยลงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ (Rate of discharge) ซึ่งราคาของแบตเตอรี่ก็จะต่างกันไปด้วย

อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงว่าค่าของกระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่ควรมีค่าเท่าใด นั่นก็คือค่ากำลังสูญเสียในแบตเตอรี่ ซึ่งอาจเขียนในรูปสมการได้ดังนี้คือ

$$P = I^2 \cdot R_i$$

เมื่อ P = กำลังสูญเสียในแบตเตอรี่

I = กระแสในการอัดประจุแบตเตอรี่

R_i = ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อค่ากระแสในการอัดประจุมีค่าสูง จะทำให้มีค่าสูญเสียมาก ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นในแบตเตอรี่ ถ้ามีค่าสูงมากจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานน้อยลง หรืออาจทำให้เสียหายเลยก็ได้ ฉะนั้นในการอัดประจุแบตเตอรี่ต้องพิจารณาข้อจำกัดดังกล่าวนี้ด้วย

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องรู้ ซึ่งประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. A-H Efficiency ซึ่งค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ โดยปกติมีค่าประมาณ 90 % หาได้จาก

$$\begin{aligned} \% \text{ A-H Eff.} &= \text{ประจุที่จ่ายออกมา} / \text{ประจุที่จ่ายเข้าไป} \\ &= 90 \% \end{aligned}$$

2. Watt-hour efficiency ซึ่งหน้าที่ผู้ใช้จะต้องคำนึงถึง หาได้โดย

$$\% \text{ Watt-hour} = \% \text{ A-H eff.} \cdot (V_{\text{discharge}} / V_{\text{charge}})$$

V_{charge} สำหรับเซลล์ Lead-Acid เท่ากับ 2.15 V/cell ที่ 25 องศาเซลเซียส

V_{charge} สำหรับเซลล์ Ni-Cd เท่ากับ 1.35-1.45 v/cell

$V_{\text{discharge}}$ จะอยู่ที่ผู้ใช้งานต้องการ ถ้ามีค่าต่ำมากจะทำให้ % Watt-hour มีค่าต่ำ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องให้ระดับ $V_{\text{discharge}}$ มีค่าลดลงต่ำไม่มากนักเพื่อให้ค่าประสิทธิภาพสูง

การเลือกแบตเตอรี่

ในการเลือกแบตเตอรี่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือว่า โหลดที่ใช้เป็นอะไรก็ได้มีขนาดเท่าไร และเราต้องการสำรองไฟจ่ายกี่ชั่วโมง ซึ่งการพิจารณาส่งเหล่านี้จะมีประโยชน์มากคือ จะช่วยให้ลดต้นทุนใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด และต้องคำนึงถึงเสถียรภาพด้วย

ตัวอย่างเช่นต้องการเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้กับโทรศัพท์ 20,000 คู่สาย คู่สายละ 2 วัตต์ มีระบบแรงดัน 48 โวลต์ และต้องการสำรองไฟจ่าย 5 ชั่วโมง เราจะเลือกขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$\text{จาก } P = EI$$

$$\text{จะได้ } I = P/V$$

$$P = 20,000 * 2$$

$$= 40,000 \quad \text{วัตต์}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } I = 40,000 / 48$$

$$= 833.33 \quad \text{แอมป์}$$

ต้องการสำรองไฟจ่าย 5 ชั่วโมง ดังนั้นจะได้

$$\text{ความจุของแบตเตอรี่ (Ah)} = 833.33 * 5$$

$$= 4166.65$$

เมื่อได้ค่า Ah แล้วนำไปเปิดหาขนาดของแบตเตอรี่ในภาคผนวก โดยจะให้แรงดันสุดท้ายที่ 1.05 โวลต์ต่อเซลล์เลือกชนิด M432 ซึ่งมีขนาดความจุ 880 Ah (หาจากการจ่ายกระแส 176 A ที่ 5 ชม. เท่ากับ 176 คูณ 5 เท่ากับ 880 Ah) โดยนิมิตต่อขนาดกัน 5 เซลล์ เพื่อให้มีขนาดเท่ากับ 880 คูณ 5 เท่ากับ 4,400 Ah ซึ่งมีค่ามากกว่า 4,166.65 Ah ซึ่งเซลล์ที่ใช้เป็นเซลล์ชนิดนิเกิล-แคดเมียม ที่มีแรงดันเท่ากับ 1.2 โวลต์ต่อเซลล์ เพราะฉะนั้นเมื่อเราใช้ 48 โวลต์ต้องใช้เซลล์มาอนุกรมเท่ากับ 40 เซลล์จำนวน 5 ชุด.

การเลือก Battery Charger

สิ่งที่เราจะต้องมีเมื่อเราเลือกขนาดของ Battery Charger คือต้องรู้ว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายได้กี่ชั่วโมง รู้ว่าต้องจ่ายโหลดเท่าใดเพื่อที่จะนำมาเลือกขนาดของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง เช่น ขนาด 100 Ah เราต้องการจะอัดประจุให้เต็มภายใน 10 ชม. จะใช้กระแสในการอัดประจุกี่แอมป์ ถ้ากระแสที่จ่ายโหลดมีค่าเท่ากับ 10 แอมป์

จากสมการ

$$\% \text{ Watt-hours eff} = \% \text{ Ah eff} * (V_{\text{discharge}} / V_{\text{charge}})$$

โดย % Ah eff มีค่า 90 % กำหนดจากโรงงาน

$V_{\text{discharge}}$ มีค่าเท่ากับ 1.8 โวลต์ต่อเซลล์ สำหรับเซลล์แบบตะกั่ว-กรด

V_{charge} มีค่าเท่ากับ 2.25 โวลต์ต่อเซลล์ สำหรับเซลล์แบบตะกั่ว-กรด

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}\% \text{ Watt-Hours eff} &= 90 * (1.8 / 2.25) \\ &= 72 \%\end{aligned}$$

จะเห็นว่าแบตเตอรี่ขนาดความจุ 100 Ah เมื่อเราทำการอัดประจุด้วยกระแส 10 แอมป์ (เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 20 แอมป์ โดยจ่ายชาร์จให้แบตเตอรี่ 10 แอมป์และจ่ายโหลด 10 แอมป์) เป็นเวลา 10 ชม. ค่าความจะได้เพียง 72 Ah ค่าที่หายไปจะเป็นค่าสูญเสีย ดังนั้นเมื่อจะต้องการที่จะอัดประจุแบตเตอรี่ เพื่อให้ได้ขนาดความจุ 100 Ah ต้องใช้ขนาดเครื่องชาร์จเจอร์ $100 / 72 = 1.38$ เท่า

$$\begin{aligned}\text{เพราะฉะนั้นกระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่} &= 1.38 * 10 \\ &= 13.8 \text{ แอมป์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นจะได้ขนาดของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่} &= 13.8 + 10 \\ &= 23.8 \text{ แอมป์}\end{aligned}$$

เลือกใช้เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ขนาด 25 แอมป์

Rectifier Converter Using Thyristors

and the TCA 785 Integrated Phase Control

Part 1: Basic circuits

Phase control ที่ถูกควบคุมโดยไทรสเตอร์โดยทั่วไปจะทำการเปลี่ยนไฟ ac แบบ Single และ/หรือ three - phase กลายเป็น dc ทั้งยังทำการควบคุมกำลังในเวลาเดียวกันด้วย ในการควบคุม high - power ไทรสเตอร์ ต้องการอุปกรณ์ชนิดพิเศษ
 เพื่อการนี้ TCA 785 เป็นวงจรรวมที่ใช้ในการควบคุม phase โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์นี้เท่านั้น

โดยการเลือกหรือกำหนดจุดที่จะทริกไทรสเตอร์ด้วยอุปกรณ์ภายนอก มันได้ทำการรวมหน้าที่ต่าง ๆ มากมายที่จะต้องใส่ไว้ในตัวมัน ซึ่งถ้าเราใช้อุปกรณ์เสริมคอนดัคเตอร์อื่นที่ไม่ใช่ TCA 785 จะต้องสิ้นเปลืองอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ามาก

ส่วนแรกของบทความนี้จะอธิบายถึง TCA 785 และการควบคุม ไทรสเตอร์ในส่วนที่ 2 จะตามมาด้วยการพูดถึง line commutated rectifier converter circuits และ ac current controllers ที่เกี่ยวข้องด้วย

TCA 785 integrated phase control นั้นเหมาะสมอย่างมากกับวงจรชนิดต่าง ๆ เช่น

line commutated rectifier converter circuits ได้แก่

half และ fully controlled single phase และ three phase bridge circuit ที่ดีเหมือนกันกับวงจร star และ double star

non - commutating current converter circuit ได้แก่

single หรือ three phase current controllers และวงจรสวิตช์ ซึ่งการใช้งานเหล่านี้ต้องการอุปกรณ์ควบคุมที่แตกต่างกัน อาจเป็น 2, 3, 4, หรือ 6 พัลส์ ในการควบคุมแต่ละเซต

ฉะนั้น ข้อกำหนดของ IC ที่จะควบคุมอุปกรณ์กำลังคือ ICs สำหรับ Power electronics จะต้องสามารถทำการ ทริกไทรสเตอร์ 2 ตัวที่ต่อกันในแบบ อนุกรมแบบต่าง ๆ หรือ ต่อแบบ back to back

ในการทำงานแบบ three phase IC จะต้องสามารถปรับมุมหน่วงเวลาการ ทริกได้พร้อมกันทั้ง 3 เฟส R,S,T โดยใช้ Potentiometer

Trigger pulse จะต้องสามารถทำการเลื่อนมุมทริกได้ตั้งแต่ 0 - 180 องศา

สามารถออกแบบพัลส์แบบต่าง ๆ ได้ (long, short, continous pulses) แล้วทำการกำเนิดเพื่อไปทริก ไทรสเตอร์

การใช้งานอื่น ๆ ของ TCA785 จะเป็นเช่น Zero crossing switch ในการควบคุมไตรแอกแบบ พูลเวฟและ voltage pulses width จะถูกเปลี่ยนด้วยความถี่ภายนอกที่คงค่าไว้ ($f=10$ ถึง 500 Hz)

ลักษณะเฉพาะของ TCA 785 มีดังต่อไปนี้

ใช้งานได้อย่างกว้างขวางเพราะว่าสามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 8 - 18 v.

อุณหภูมิใช้งานได้ในย่าน 25 ถึง 185 องศาเซลเซียส

กินกระแสเพียง 4.5 - 10 mA

Lsi compatible ดังนั้นจึงสามารถควบคุมโดย slow - speed ปลอดจากสัญญาณรบกวนด้วย ระดับโลจิกสัญญาณถึง 15 v.

มี 2 เอาต์พุต กระแสทรานซิสเตอร์ได้ถึง 250 ma

อีก 2 เอาต์พุต ที่มีสัญญาณกลับกันกับ 2 เอาต์พุตแรก

ฟังก์ชันในการหยุด: เป็นการหยุดสัญญาณทริกไม่ให้มีเอาต์พุตออกไปโดยปราศจากการ arc

ปรับความกว้างของ pulse โดย capacitor ภายนอก

Zero crossing เป็นที่ยอมรับไว้ใจได้

ป้องกันการหยุด ๆ หาย ๆ ของสัญญาณทริก ซึ่งทั้ง 3 วงจร โดยเฉพาะสำหรับการทำงานแบบ six pulse ซึ่งใช้ Zero crossing switch และ voltage pulse width converter

หน้าที่การทำงานต่าง ๆ ของ TCA 785

block และ pulse diagrams ดังรูปที่ 16 และ 17 แสดงหน้าที่หลักของ IC ตัวนี้ส่วนหลักของ IC คือ supply ที่ถูกจ่ายโดยการควบคุมแรงดันภายใน U_{ref} ประมาณ 3.1 v. ดังนั้น Parameter หลักนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับการ dc supply voltage U_s และสามารถปรับแรงดันได้กว้างถึง $U_s = 8$ ถึง 18 v.

ขั้วบวกถูกต่ออยู่ที่ขา 16 และขั้วลบต่ออยู่ที่ขา 1 (หมายถึง กราวด์) กินกระแส 10 mA (ขณะไม่มีโหลด)

เอาต์พุตของแรงดันควบคุม U_{ref} ประมาณ 3.1 v. ที่ขา 8 โดยผ่านตัวต้านทานภายในสามารถเพิ่มการกำจัด noise มากขึ้นด้วย C8 โดยต่อกับ ground (หมายถึง แรงดันอ้างอิง) ในวงจรแปลงกระแสที่ต้องการ TCA 785 หลาย ๆ ตัว (ตามแบบอย่างของ three phase current circuits)

สิ่งเหล่านี้จะถูกควบคุมการทำงานในสถานะเดียวกันทุกเฟส และควบคุมการแปลงกระแสขาต่าง ๆ ด้เป็นอย่างดี

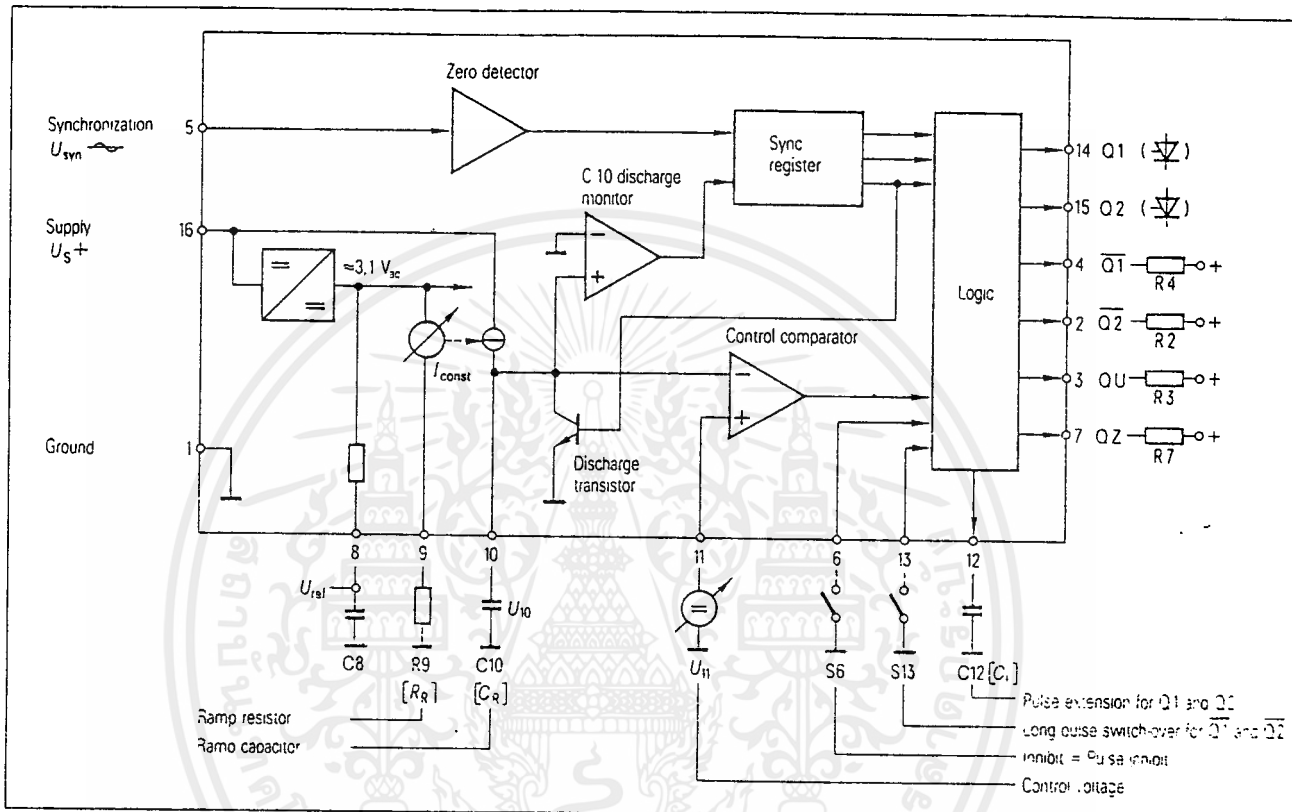


Fig. 1 Block diagram of the TCA 785 integrated phase control

สัญญาณ synchronization U_{syn} ได้รับจาก line voltage ผ่านตัวต้านทานค่าสูง ๆ U_{syn} ต่ออยู่ระหว่างขา 5 กับ ground ที่ขา 1

มีความไวสูงในการตรวจจับ Zero crossing เพื่อทำการ synchronization และถูกส่งต่อไปยัง synchronization register ซึ่งควบคุมตัวกำเนิดสัญญาณ ramp (sawtooth) ส่วนประกอบสำคัญของ constant current source I_{const} ซึ่งจะถูก Charge ด้วย Capacitor ภายนอก C10 หรือ CR เป็นสัดส่วนกับเวลาผ่านขา 10 ซึ่ง C10 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 500 pF ถึง 1 uF เสมอ สิ่งที่ต้องจดจำก็คือว่า sawtooth flyback times จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับค่าของ C10 ดูรูปที่ 18 และค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ I_{10} จะไม่เกินไปกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

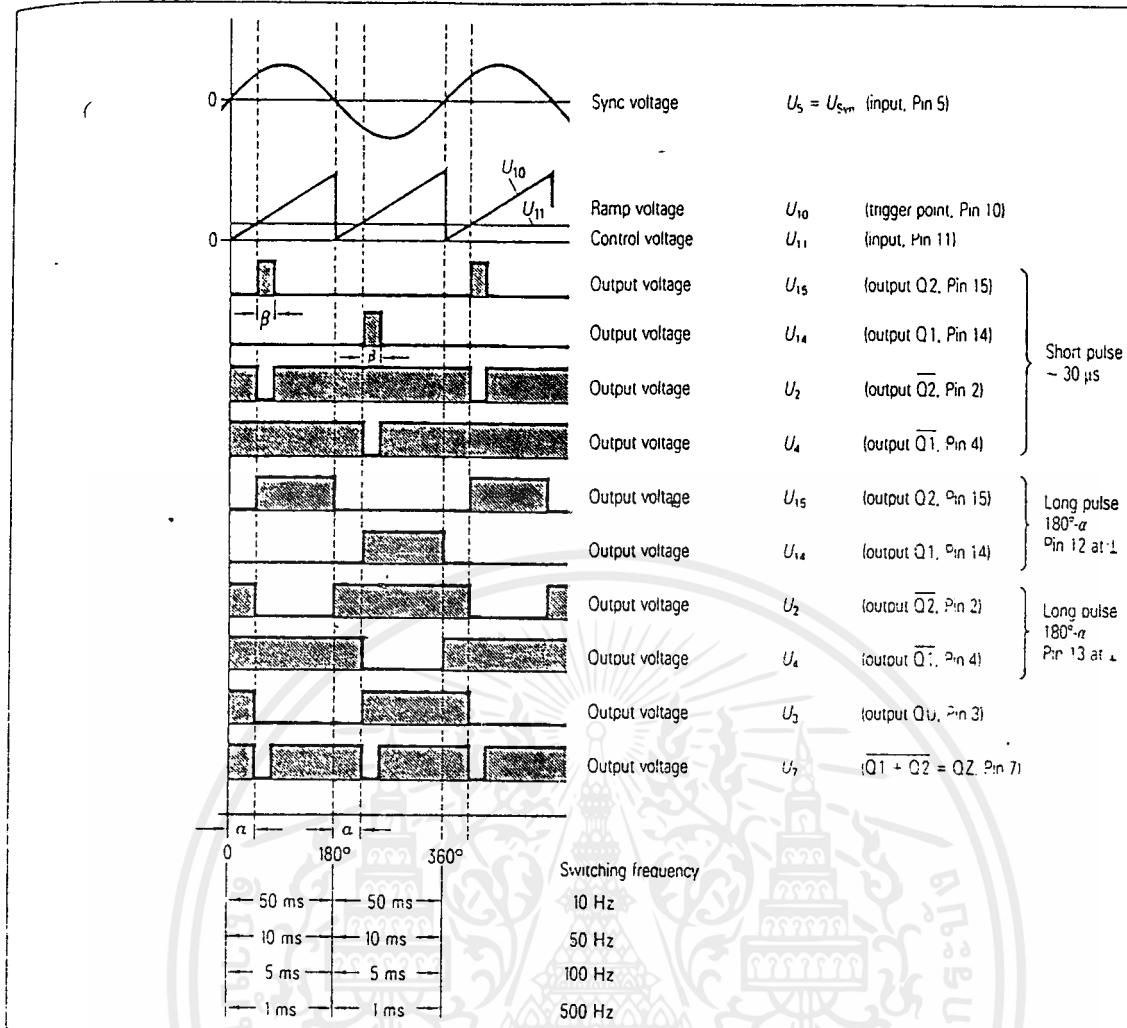


Fig. 2 TCA 785 waveforms

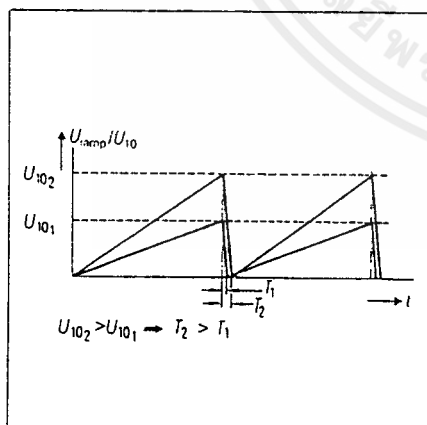


Fig. 3 Sawtooth flyback time. The sawtooth flyback time depends also on the value of the ramp resistor R9 which, together with the ramp capacitor C10 determines the ramp voltage. Thus with large ramp voltages, flyback times are always long because more energy has to be discharged

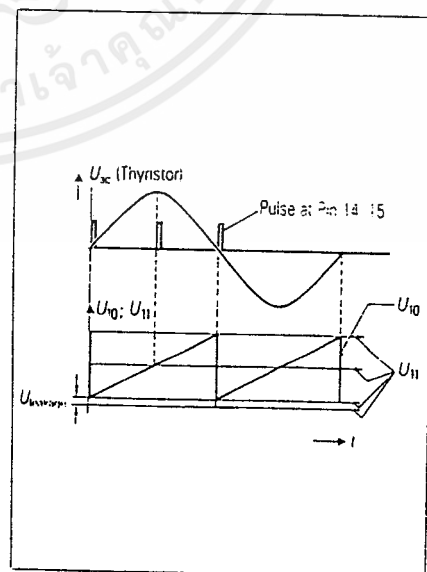


Fig. 4 Leakage voltage at capacitor C10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส I_{const} จะถูกปรับได้โดยตัวต้านทานภายนอก R_a หรือ $R_r = 3$ ถึง 300 kilo-ohms ผ่านขา 9 Rc network R9,c10 นั้นจะเป็นตัวกำหนดความชันในการขึ้นของ Ramp voltage U10 จากสถานะปิด แรมป์แต่ละลูกจะถูกกำหนดและจัดการด้วย sync voltage ของ Zero crossing และสัญญาณแรมป์จะตกลงจากยอดด้วยการ discharge จากแรมป์ คาปาซิเตอร์ C10 ผ่าน discharge transistor ภายใน

วงจร syn registar จะทำการส่งข้อมูลการตรวจพบแรงดัน 0 ไปวงจรต่อไปเพียงอย่างเดียว หลังจาก discharge monitor แสดงว่า C10 ได้ทำการ discharge ออกไปอย่างสมบูรณ์แล้ว

สิ่งเหล่านี้เป็นหลักฐานสำคัญเมื่อเราใช้ TCA 785 กับวงจร Zero crossing switch และ pulse width converter ซึ่ง leakage voltage ที่ C10 ไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมของ TCA 785 และวิธีการในการควบคุมแรงดันที่ง่าย

ในกรณีนี้ op - amp ได้ถูกดัดแปลงให้ปลอดภัยจากการรบกวนเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยในทันทีที่ Control voltage ได้ควบคุม leakage voltage ถึงค่าสูงสุดก็จะได้รับ phase control ที่มุม 180 องศา รูปที่ 19 และจะยังคงรักษาไว้ (full wave) แม้ว่า control voltage อาจจะทำต่ำกว่า leakage voltage หรือปรากฏออกมาเป็น 0v.

dc control voltage U11 ได้ต่อกับขา 11 (กับ ground ที่ขา 1) ซึ่ง control comparator จะทำการเปรียบเทียบ control dc voltage กับ ramp voltage U10 ต่อมาถ้า U10 เกินกว่าแรงดันควบคุม U11 ก็จะมีการปรากฏพัลส์ขึ้นที่เอาต์พุตโดยเริ่มต้นที่ control angle ในลำดับต่อมาที่วงจร ลอจิก จะเป็นตัวกำหนดชนิดและความกว้างของพัลส์ต่าง ๆ ที่เอาต์พุต(ชั่วคราวกับ ground) โดยมีความมุ่งหมายเพื่อการเชื่อมต่อหลายรูปแบบ(ดูรูป wave form ในรูปที่ 2)

ที่เอาต์พุตหลัก Q1(ขา 14) และ Q2(ขา 15) ทำการต่อแบบ emitter follower ซึ่งสามารถให้กระแสได้สูงถึง 250 mA และจะทำงานกันคนละครึ่งคลื่นโดยที่เอาต์พุตออกมาชั่วคราวเดียวกัน Q1 จะทำการปล่อยพัลส์ออกมาในครึ่งคลื่นลบเพียงอย่างเดียวและ Q2 จะปล่อยพัลส์ในครึ่งคลื่นบวกของ Sync voltage

ความกว้างของพัลส์อยู่ที่ประมาณ 30 us (short pulse เมื่อปราศจากการต่อใด ๆ ที่ขา 12) และมันจะง่ายและอิสระต่อการขยายความกว้างของพัลส์โดยต่อคาปาซิเตอร์ภายนอกเข้ามา C12 หรือ Ci (ดูตารางที่ 1 สำหรับค่าของพัลส์ที่เพิ่มเข้ามา)

ถ้าทริกเกอร์อินพุตที่ขา 12 ถูกลัดวงจรลงดิน จะได้ความกว้างของพัลส์คือ $= 180^\circ$ (long

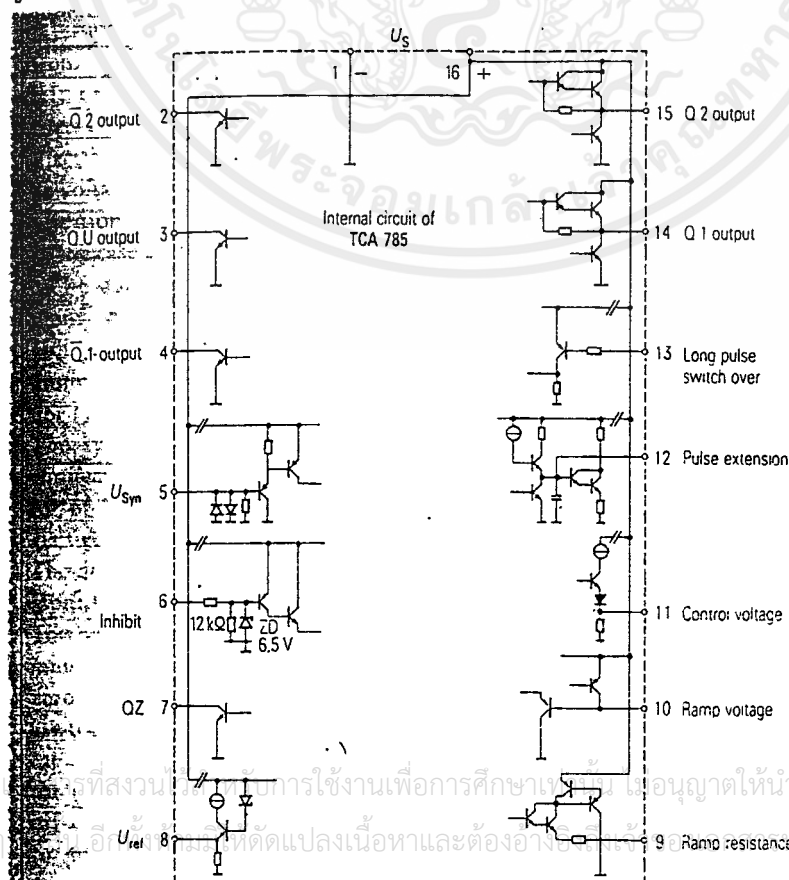
pulse) เอาท์พุทรองคือ Q1 (ขา 4) และ Q2 (ขา 2) เป็น open collectors สามารถจ่ายกระแสสูงสุด 10 mA สัญญาณสามารถออกแต่ละ output ได้โดยเพียงแต่ต่อตัวต้านทาน R4 และ R2 (ประมาณ 15 kilo-ohms) ระหว่าง output กับขั้วบวก สัญญาณจะให้การตอบสนองแบบเดียวกับ Q1 และ Q2 แต่จะกลับเฟสกัน ความกว้างของพัลส์ (output ต่อผ่านกับขั้วบวก) ประมาณ = 30 us และถ้า trigger point ที่ขา 13 ถูกต่อกับ ground ความกว้างของพัลส์ (ระหว่าง output กับขั้วบวก) คือ 180- (long pulse switching) จะเกิดขึ้นที่นี่

Both auxiliary output QU (ขา 3), QZ (ขา 7) ถูกจัดให้เป็น open collectors และถูกใช้กับงานเฉพาะด้าน (ตัวอย่างเช่น การควบคุม ลอจิก ภายนอก)

สัญญาณที่ได้รับจาก collector resistor R3 และ R7 อยู่ระหว่าง output กับขั้วบวก สัญญาณ output ของ QU จะคล้ายกับ Q1 แต่จะมีความกว้าง pulse = 180 คงที่ โดยสัญญาณ output ของ QZ จะได้มาจากการ NOR-link ระหว่าง Q1 กับ Q2 นั่นคือ $Q1+Q2$ ในการใช้งานต่อไปนี้ถ้า output รองไม่ถูกใช้ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มการป้องกันสัญญาณรบกวนควรต่อ output QZ (ขา 7) เข้ากับ ground

Pulse inhibit (ขา 6) สามารถกักจัดสัญญาณที่ output ทุก ๆ output ได้ในเวลาเดียวกัน (Q1, Q2, Q1, Q2, QU) Trigger point ที่ขา 6 ทำการต่อกับ ground ได้โดย switch, relay contact หรือ npn Transistor

รูปที่ 20 แสดงถึงวงจรภายในของ TCA 785 IC output stages



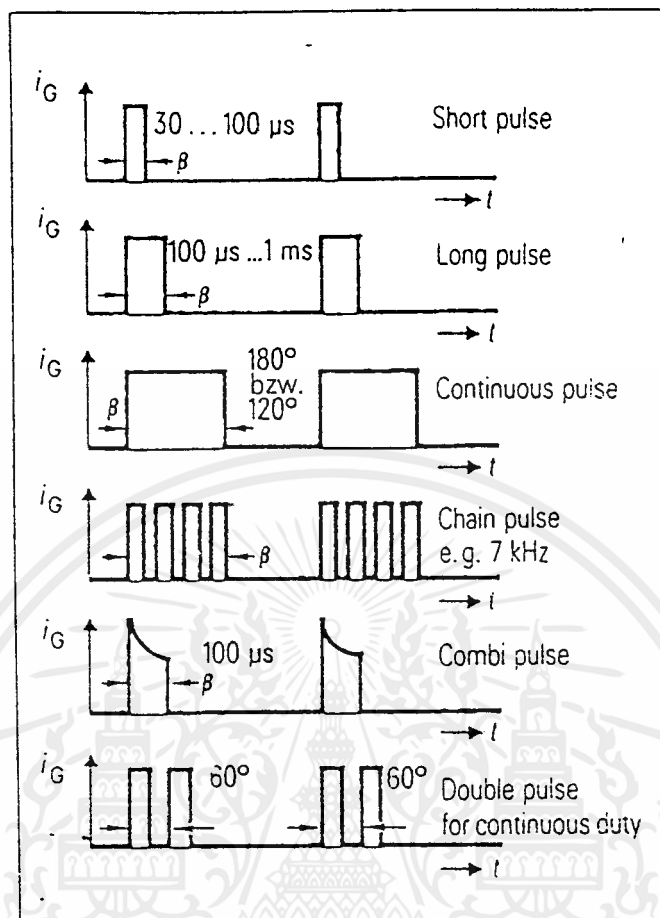


Fig. 6 Pulse waveforms for thyristor triggering.

Short pulse $\beta = 30$ to $100 \mu\text{s}$, for resistive loads in the rated current range.

Long pulse $\beta = 100 \mu\text{s}$ to 1 ms , for slightly inductive loads or small resistive loads and partial load range.

Continuous pulse $\beta = 180^\circ - \alpha$, for highly inductive loads, no trigger pulse transformer with large voltage-time range is required.

Pulse train with 5 to 7 kHz clock frequency, to allow operation with small trigger pulse transformer, i. e. small voltage time range (mVs).

Combined pulse for high rates of trigger current: $di_G/dt = 1$ to $3 \text{ A}/\mu\text{s}$ to trigger series connected thyristors.

Double pulse to control fully controlled three-phase bridges

ไทรสเตอร์ทริกเกอร์โมดูล

การควบคุมไทรสเตอร์ใน line - commuted หรือ non-commutating current converters ต้องการรูปแบบการทริกเป็นเฉพาะรูปแบบ

ไทรสเตอร์ถูกทริกโดยกระแสพัลส์บวกระหว่างเกท และ คาโอด โดยทำการควบคุม พัลส์ให้คงอยู่จนกว่ากระแสจะถูกลือคอยู่ (กระแสแลทซิง) และไทรสเตอร์จะถูกเป็นสวิตช์ปิด โดยการลดลงของกระแสหลักที่ไหลระหว่างแอนโนด และคาโอดที่ต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง ซึ่งการเปลี่ยนความกว้างพัลส์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทริกไทรสเตอร์จะขึ้นอยู่กับโหลด และการออกแบบวงจร

พัลส์เหล่านี้แสดงภาพและหมายเหตุในรูปที่ 21 ทริกเกอร์พัลส์ ทั้งหมดยกเว้น พัลส์แบบลูกโซ่ สามารถกำเนิดได้โดย TCA 785 ซึ่งต้องการ อุปกรณ์ Cmos ประกอบ ด้วย สำหรับกำเนิด พัลส์แบบลูกโซ่

Directly controlling low power thyristor with line voltage

ในรูปที่ 22 แสดงเฟสควบคุม ที่ใช้ TCA 785 สำหรับ directly controlling BStC 1040 low - power thyristor โดยที่ มุมเฟส สามารถปรับได้ระหว่าง 0 องศา ถึง 180 องศา และ กำลัง ที่ โหลด ระหว่าง 0 ถึง 400 W.

IC จะได้รับแรงดันที่ (ขา 16) ลากผ่านตัวต้านทานอนุกรม R_1 ทำการ เรคตีฟายโดย ไดโอด D_1 และทำการรักษาระดับแรงดันไว้ที่ 15 v. โดย ซีเนอร์ไดโอด D_2

คาปาซิเตอร์แบบอิเล็กโตไลต์ C_1 ทำหน้าที่กรองแรงดันกระแสตรง ที่ได้มาจากการเรคตีฟายแบบ ครึ่งคลื่นให้ราบเรียบขึ้น

ในกรณีของแหล่งจ่ายของวงจรได้มีการระบุค่าสูงสุดที่เหมาะสมในการกินกระแส (เมื่อไม่มีโหลด) เท่ากับ 10 mA และแรงดันของแหล่งจ่าย ต่ำสุด V_D คือ 8 V. (จะต้องไม่ต่ำกว่านี้)ซึ่งโครโมเซชั่น อินพุท (ขา 5) จะต่ออยู่กับ เฟส R ผ่านตัวต้านทานที่ต่ออนุกรม

220 กิโล-โอห์ม และต่อเทียบศักย์กับกราวด์ back-to-back diode (D_2, D_3)

ซึ่ง ไดโอด จะทำการจำกัดแรงดันที่ ซิงค์ อินพุท ประมาณ ± 0.6 V.

ตัวกำเนิดความถี่สัญญาณจะถูกกำหนดโดยการตรวจจับค่าศูนย์นั่นคือ ทุก ๆ ครั้งที่มีค่าแรงดันศูนย์ ตกคร่อมใน line (หมายถึง ซีโร ครอสซิง) แรงดันผันเลื้อย ก็จะเริ่มเกิดขึ้น ณ จุดนั้น แรมพ์ คาปาซิเตอร์ ($C_R = 47$ nF) และ แรมพ์ รีซิสเตอร์

($R_R = 100$ กิโล-โอห์ม) จะเป็นตัวปรับระดับของแรงดันในสภาวะหยุดนำกระแส ในวงจรนี้สัญญาณพ่นเลื่อยมีขนาด 7 V. โดยโพเทนชิโอมิเตอร์ P_1 U_{11}

จะต้องไม่เกินกว่า (ค่าแรงดัน แรมพ์ สูงสุด) U_{10} (ดูได้จาก คาต่าบุค) ดังนั้นมุมในการนำกระแสจะสามารถเลือกได้ระหว่าง 0 - 180 องศา ซึ่งในการควบคุมวงจรแบบ ครึ่งคลื่น เราจะใช้เพียงเอาท์พุท Q_2 ขา 15 ที่จะต่อกับเกทของไทรสเตอร์ โดยจะทริกเป็นพัลส์บวกให้กับครึ่งคลื่นลบแต่ไม่ได้มีในวงจรนี้และความกว้างของพัลส์ขึ้นอยู่กับ คาพาซิเตอร์ C_i ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 โดยความกว้างของพัลส์ของ TCA 785 (พัลส์ วิตซ์ คาพาซิเตอร์ C_i) คือ 620 $\mu s / nF$ เป็นต้น

ไทรสเตอร์ในวงจรแสดงในรูปที่ 7 ถูกทริกโดยพัลส์ความกว้าง 205 μs กับกระแสทริก 47 mA การสวิตช์เปิดและปิดด้วยสัญญาณอินฮิบิท

พัลส์บวกที่ใช้ในการทริกไทรสเตอร์จะกำเนิดอยู่ในช่วงระหว่างครึ่งบวกเพียงอย่างเดียวเมื่อแรงดันที่อินฮิบิท อินพุท ขา 6 เกินกว่าบวก 4 v. ดังนั้นตัวต้านทาน 10 กิโล-โอห์ม ถูกต่ออยู่กับขา 16 ที่เป็นแหล่งจ่าย เพื่อให้มันทำงาน ถ้าแรงดันที่ขา อินฮิบิท อินพุท ตกลงต่ำกว่าบวก 2.5 v. ก็จะไม่มีการพัลส์ปรากฏที่เอาท์พุทใด ๆ

การเปิดวงจรที่ขา 6 กับกวาร์ด หรือ M_p อาจทำได้โดยการใช้สวิตช์หรือไดจิจเซอร์กิต ซึ่งการ Off ของโหลดไม่เกี่ยวกับสถานะของสัญญาณของ TCA 785

เนื่องจากระดับสัญญาณ อินฮิบิท ไม่ให้มีพัลส์ (U_{6L} น้อยกว่าบวก 2.5 V.) หรือให้มีพัลส์ที่เอาท์พุท (U_{6H} มากกว่าบวก 4 v.) ต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษเมื่อทำการกำเนิดพัลส์ให้ ไทรสเตอร์เพราะว่าพวกมันต้องการพลังงานมากและเนื่องจากว่าความสูญเสียในตัวต้านทานที่อนุกรมอยู่ R_1 จะมากขึ้นด้วยทำให้กำลังงานไม่เพียงพอได้ซึ่งอาจจะทำให้ IC หยุดการทำงานและเป็นที่เหตุให้เกิดการรบกวนในวงจร การทริกโดยตรงของไทรสเตอร์กำลังสูง ณ แหล่งจ่ายแรงดันคงที่

TCA 785 เป็นวงจรรวมควบคุมเฟสด้วยกระแสเอาท์พุทถึง 250 mA ทำให้สามารถควบคุม ไทรสเตอร์กำลังสูง ได้โดยตรง นอกจากนั้นตลอดย่านอุณหภูมิที่สูงขึ้นกระแสทริกก็ยังสามารถจ่ายได้ 250 mA

แหล่งจ่ายกระแสในวงจรใช้เพียง หม้อแปลง และ เรคติฟายเออร์ทั่วไป และ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่โหลดทำการควบคุมด้วย โพเทนทิโอมิเตอร์ P

วงจรควบคุมการแยกแรงดันสำหรับไทรสเตอร์

Line-Commutated Current Converter ส่วนมากจะมีไทรสเตอร์ หลายตัว ในวงจรแบบ กระแสเฟสเดียว หรือสามเฟส ในการเชื่อมต่อระหว่างวงจร ทริก และวงจรจ่ายกระแสหลักของ วงจร

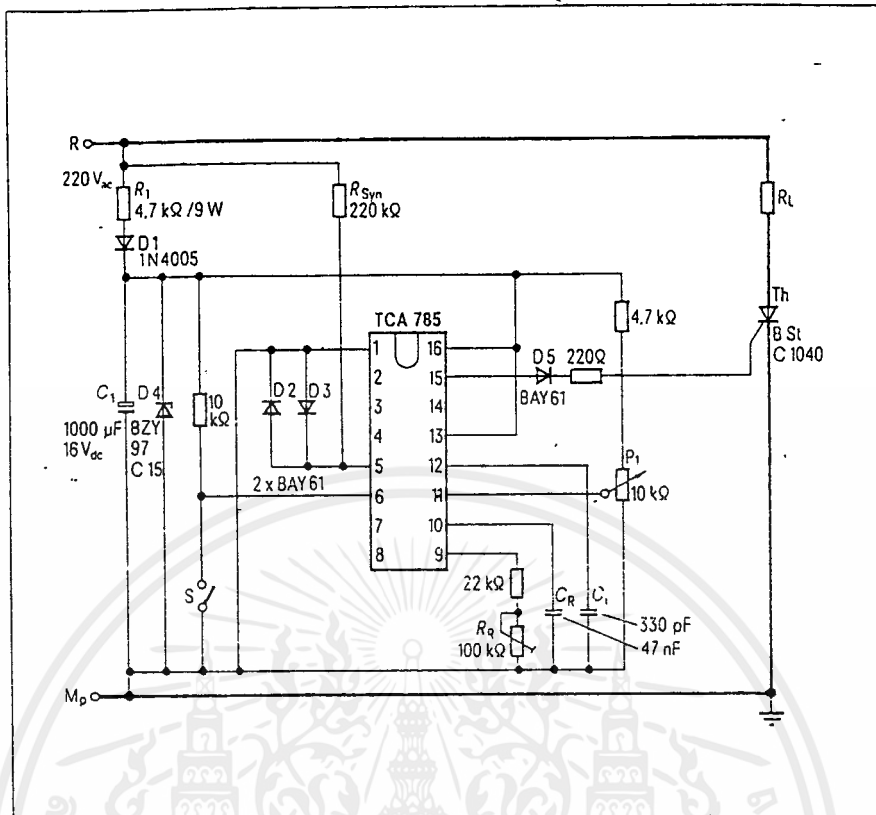


Fig. 7 Phase control with direct triggered BSt C1040 thyristor

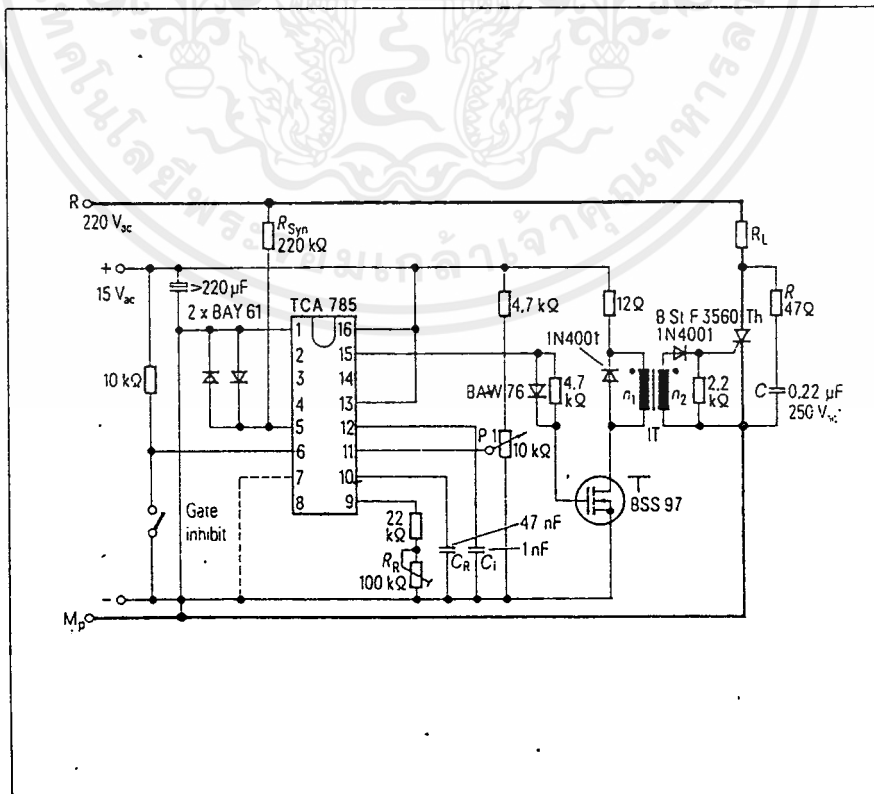


Fig. 8 Thyristor phase control with transistor trigger pulse amplifier and trigger pulse transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์การสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงกระแส การแยกกันทางแรงดันจะเป็นปัญหาสำคัญพัลส์ ทรานฟอร์ม จะใช้ได้กับพัลส์แบบสั้น, ยาว, รวม หรือ สองเท่า โดยเป็นตัวป้องกันให้กับเกทของไทรสเตอร์

รูปที่ 23 แสดงการควบคุมเฟสด้วย ทรานซิสเตอร์ และ วงจรรขยาย ทริกเกอร์ พัลส์ กับ ทรานฟอร์มเมอร์ ดังนั้น การควบคุมวงจรทั้งหมดจะถูกแยกจากกันทางไฟฟ้าจาก Line โดยที่ ทริกเกอร์ พัลส์ จะถูกกำเนิดขึ้นใน IC และทำการขยายขนาดขึ้นในวงจรต่อไป โดยใช้ BSS 97 SIPMOS เป็นตัวขับ TCA 785 จะทำการผลิตกระแส (กระแสพัลส์เอาท์พุท) 2mA ที่ขา 15 ปรับคาบเวลา ทริกได้ในช่วง 20ms

กระแสควบคุม 1A ถูกป้องกันเข้าชุดปฏิกิริยาของหม้อแปลงทริกโดยทาง โดยทางส่วนขยายพัลส์ทริกเกอร์ (ทรานซิสเตอร์ T)

ขาเกทของไทรสเตอร์ ได้รับกระแสทริก 1 แอมแปร์ พร้อมกับความกว้างของพัลส์ 550 us และ แรงดัน เกท คาโอด 2 โวลต์ จากขดลวดปฏิกิริยาของพัลส์ทรานฟอร์มเมอร์ IT (อัตราส่วน 1:1) ไทรสเตอร์ตัวใหญ่มีกระแสทริกน้อย I_{GT} 250 มิลลิแอมแปร์ จากค่า $F(I_{TAV} > 25 \text{ แอมแปร์})$ ตามคู่มือข้อมูล (ณ สภาวะที่เลวร้ายที่สุดหรือ ณ อุณหภูมิต่ำสุด) กระแสเกท 1 แอมแปร์ถูกจ่ายออกมาจากชุดควบคุมเพื่อให้ ไทรสเตอร์เป็นสวิตช์เปิดแบบรวดเร็ว และสูญเสียน้อยที่สุดเมื่อสวิตช์ปิดพัลส์จำเป็นที่จะต้องแน่ใจว่าแรงดันของหม้อแปลงที่สร้างพัลส์ทริกถูกดิสชาร์จ ออกโดยปราศจากการกำเนิดของค่าพีค ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อชุดขับทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ลดอัตราการเสี่ยงนี้ ให้ใช้ไดโอดในชุดวงจรควบคุมต่อแบบขนานกับขดลวดของหม้อแปลง n_1

ตัวอย่างมีกระแสไหลที่ +15 โวลต์ ผ่านหม้อแปลงและทรานซิสเตอร์ตัวขับ ถูกทำให้หยุดนำกระแสที่ 0 โวลต์ โดยทรานซิสเตอร์แรงดันที่เพิ่มสูงขึ้น ณ ขาเดรน ของทรานซิสเตอร์ ณ กระแสทันทีทันใดที่ไหลผ่าน ไดโอดนี้ทำให้แรงดันถูกดิสชาร์จออก

ชุดควบคุมทำงานที่แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ +15 โวลต์ จากแหล่งจ่ายกำลังความถี่ต่ำทั่ว ๆ ไป

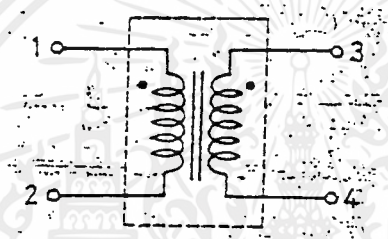
Table 1 Output pulse width depending on capacitors C_1 or $C12$.

Capacitance C_1 for pulse extension	0	150 pF	220 pF	330 pF	680 pF	1000 pF
Trigger pulse width	30 μ s	93 μ s	137 μ s	205 μ s	422 μ s	620 μ s

หลักการและการออกแบบหม้อแปลง

ทฤษฎีหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟสลับ จากแรงดันหนึ่งไปเป็นแรงดันไฟสลับขนาดที่ต้องการ โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด สัญญลักษณ์ของหม้อแปลงเป็นดังนี้



รูปที่ 24 แสดงสัญลักษณ์หม้อแปลง

ขดลวดทางด้านไฟจ่ายเข้าหม้อแปลงตามรูป คือขั้ว 1 และ 2 เรียกว่าขดปฐมภูมิ แรงดันไฟออกทางขั้ว 3 กับ 4 เรียกว่าขดทุติยภูมิ

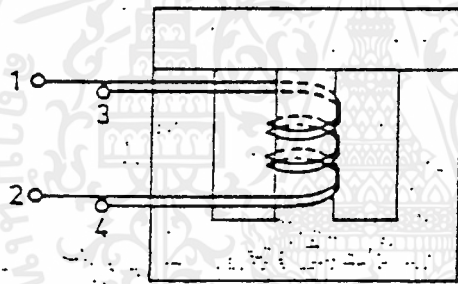
หม้อแปลงตัวหนึ่งอาจมีขดทุติยภูมิหลาย ๆ ขดก็ได้เครื่องหมายจุด (.) ที่ปลายขดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟที่ขดปฐมภูมิกับขั้วทุติยภูมิคือ ขั้วที่ 1 กับขั้วที่ 3 จะมีเฟสตรงกันคือในขณะที่ยกคาไฟฟ้าขั้ว 1 สูงกว่าขั้ว 2 ยกคาที่ขั้วออกที่ 3 จะสูงกว่าขั้วที่ 4 และในทำนองเดียวกันขณะที่ขั้ว 1 มีศักดาไฟฟ้าต่ำกว่าขั้วที่ 2 ขั้วที่ 3 ก็จะมีศักดาต่ำกว่าขั้วที่ 4 ด้วย

โดยสรุปแล้วหม้อแปลงจะรับพลังงานไฟฟ้าเข้าทางขดปฐมภูมิ สูญเสียเป็นพลังงานความร้อนไปบางส่วน และที่เหลือก็เป็นพลังงานไฟฟ้าออกที่ขดทุติยภูมิ หม้อแปลงจึงถูกบอกขนาดเป็นหน่วยกิโลวัตต์ที่มันถ่ายเทได้ ซึ่งก็คือ va (ซึ่งคือกำลังไฟฟ้าได้จากแรงดันไฟฟ้าสลับคูณกับกระแสสลับ)

การทำงานของหม้อแปลง

แรงดันไฟสลับที่จ่ายให้ที่ขดปฐมภูมิ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ขดปฐมภูมิ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา กล่าวคือ จากไม่มีสนามแม่เหล็กเลย ค่อย ๆ มีมากขึ้นในทิศ

ทางหนึ่งจนสูงสุดแล้วค่อย ๆ ยุบตัวลดขนาดลงจนเป็นศูนย์ แล้วก็ค่อย ๆ เพิ่มมีมากขึ้นอีกแต่ในทิศทางตรงข้ามจนสูงสุดแล้วก็ยุบตัวจนลงเป็นศูนย์ แล้วก็เพิ่มขึ้นอีกในทิศทางเหมือนกับครั้งแรกเป็นเช่นนี้สลับไปมาตามความถี่ของไฟสลับที่ป้อนเข้ามา ถ้ามีขดลวดอีกขดหนึ่งมาวางใกล้ ๆ สนามแม่เหล็กนี้สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลานี้จะตัดขดลวดนั้นเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวดนี้ได้ แรงดันนี้จะมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่มาวางไว้ใกล้และสนามแม่เหล็กไปตัดขดลวดนั้นได้มากน้อยเพียงใด เพื่อให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดปฐมภูมิตัดขดทุติยภูมิมาก ๆ จึงให้ทั้งขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กอันเดียวกันโดยแกนเหล็กนี้จะต่อกันอยู่อย่างครบวงจร คือมีเนื้อเหล็กตลอดวงจึงทำแกนขึ้นโดยแผ่นเหล็กรูปตัว E และ I แล้วพันขดลวดทั้งสองไว้ตรงกลางดังในรูปที่ 25



รูปที่ 25 แสดง ตัว E และ I เป็นแกน

ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟเข้าที่ขดปฐมภูมิกับแรงดันไฟออกที่ขดทุติยภูมิคือ

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

เมื่อ E_1 = แรงดันไฟสลับเข้าที่ขดปฐมภูมิ

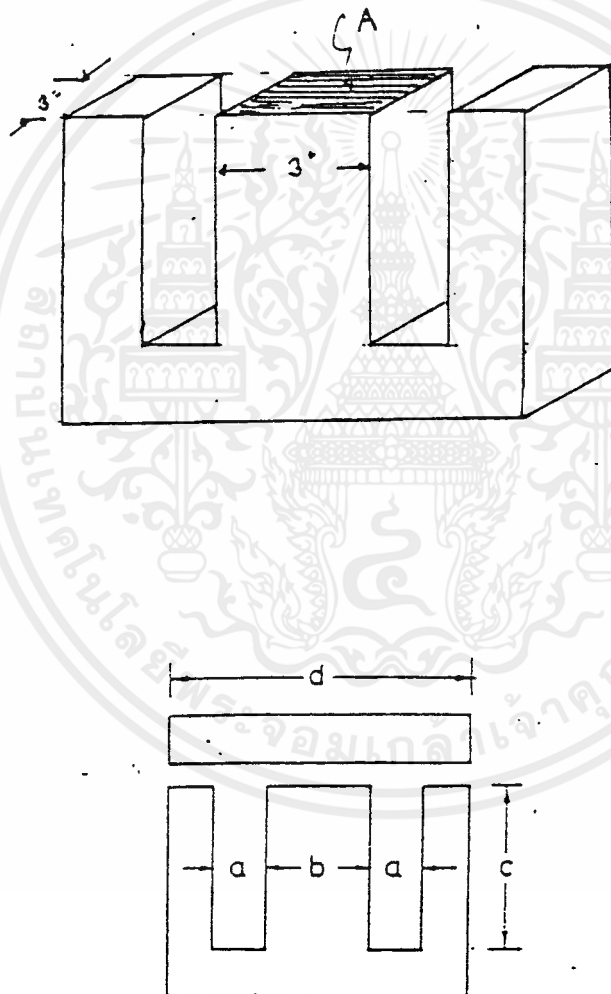
E_2 = แรงดันไฟสลับเข้าที่ขดทุติยภูมิ

N_1 = จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ

N_2 = จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ

การออกแบบหม้อแปลง

1. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของแกนกลาง จะหาขนาดพื้นที่ที่หน้าตัดเราต้องรู้อีกสิ่งหนึ่งคือกำลังของหม้อแปลงเท่าใด ซึ่งกำลังหม้อแปลงคือผลคูณของกระแสและแรงดันที่หม้อแปลงตัวนี้ จะจ่ายได้นั้นคือเท่ากับ $V \cdot A$ เมื่อ V คือ แรงดันเอาต์พุต และ A คือกระแสเอาต์พุต แต่จากการออกแบบในโครงการนี้เนื่องจากต้องการประหยัดค่าใช้จ่าย จึงใช้แกนเหล็กเดิมที่มีอยู่แล้วซึ่งสภาพยังปกติอยู่คือ แกนเหล็กแบบ E, I โดยเลือกให้มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 3×3 นิ้วดังแสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 แสดง โครงสร้างพื้นที่หน้าตัดแกนกลาง

โดยขนาดของแกนเหล็ก E1 มีอัตราส่วนของ a:b:c:d = 1:2:3:6 ซึ่งจากที่ใช้แกนมีขนาดเท่ากับ 1.5":3":4.5":9" เมื่อใช้แกนเหล็กขนาดดังกล่าวทำให้เมื่อพันหม้อแปลงแล้ว ได้พิกัดดังนี้

$$\text{พื้นที่หน้าตัด (A)} = \sqrt{VA / 5.58}$$

เมื่อ VA คือ พิกัดของหม้อแปลง (โวลต์-แอมป์)

A คือ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก (ตารางนิ้ว)

$$\text{จะได้ } VA = (5.58 \times 3 \times 3)^2 = 2552 \text{ VA}$$

จะเห็นว่าค่าพิกัดที่ได้มีค่ามากเพียงพอซึ่งพิกัดที่ใช้ในโครงการใช้ไม่เกิน 1600 VA

2. หาจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมินำเอาพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากข้อ 1 มาคำนวณ
หาจำนวนรอบของขดปฐมภูมิจะได้ดังนี้

จากสมการ

$$E1 \times 10^8 = 4.44 \times f \times N_1 \times B \times A \times \text{stacking factor} \quad (1)$$

เมื่อ E₁ : ค่าแรงดันทางไฟฟ้าเข้าคือ 220 V.

f : ความถี่ เท่ากับ 50 Hz

N₁ : จำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิ (รอบ)

B : ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กมีค่าประมาณ 64500 เส้น/ตารางนิ้ว

A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางนิ้ว)

Stacking factor มีค่าประมาณ 0.95

จากสมการ (1) แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} 220 \times 10^8 &= 4.44 \times 50 \times N_1 \times 64500 \times 9 \times 0.95 \\ &= 190 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

3. หาจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ โดยใช้แรงดันด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 80 โวลต์ ดังนั้นจะหาจำนวนรอบของขดลวดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} N_2 &= (V_2/V_1) \times N_1 \quad (2) \\ &= (80/220) \times 190 \\ &= 69 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ในการคิดจะชดเชยโดยคิดว่าในระบบมีการเรีกูลเลท = 2% ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบด้านขดทุติยภูมิ} &= N_2 \times 1.02 \\ &= 55 \times 1.02 \end{aligned}$$

= 70 รอบ

4. ทำขนาดของขดลวดที่พัน

จากสมการ

$$I_1 = P/V_2 \text{ _____ (3)}$$

$$\text{และ } I_2 = P/V_2 \text{ _____ (4)}$$

แทนค่าจะได้

$$I_1 = 2522/220 = 11.46 \text{ A}$$

$$I_2 = 2522/80 = 31.52 \text{ A}$$

และจากสมการ

$$a_1 = I_1/J$$

$$a_2 = I_2/J$$

ถ้ากำหนดให้ a_1, a_2 คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทางด้านขดปฐมภูมิและทุติยภูมิตามลำดับมีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (sq.mm) และให้ J คือ ความหนาแน่นของกระแสที่ไหลในขดลวดมีหน่วยเป็นแอมป์ต่อตารางมิลลิเมตร (A/sq.mm) ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 2A/sq.mm

$$\text{แทนค่าจะได้ } a_1 = 11.46/2 = 5.73 \text{ sq.mm}$$

$$a_2 = 31.52/2 = 15.76 \text{ sq.mm}$$

เมื่อนำไปเปิดตารางในภาคผนวกจะเห็นว่า

a_1 มีค่าอยู่ระหว่างเบอร์ -SWG 12 ซึ่งมีขนาด 5.58 sq.mm และ $\varnothing = 2.64 \text{ mm}$.

-SWG 11 ซึ่งมีขนาด 6.91 sq.mm และ $\varnothing = 2.94 \text{ mm}$.

-SWG 8 ซึ่งมีขนาด 13.02 sq.mm และ $\varnothing = 4.06 \text{ mm}$.

-SWG 7 ซึ่งมีขนาด 5.58 sq.mm และ $\varnothing = 4.46 \text{ mm}$.

ในการพันขดลวด เราจะเอาขดลวดที่มีขนาดเล็กกว่าพันลงก่อน และขดลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าพันไว้นอก และจากขนาดของขดลวดที่ได้คือ a_1 และ a_2 จะเห็นว่ามียู่ 2 ค่า ซึ่งเรามีเทคนิคในการเลือกว่าจะใช้ขดลวดเบอร์อะไรในการพันเราเลือกดังนี้คือ ขดลวดที่พันไว้ในเราจะเลือกขดลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าและขดลวดที่พันไว้นอกเราเลือกขดลวดที่มีขนาดเล็กเพราะฉะนั้นเราเลือกขดลวดในการพันมีขนาดดังนี้คือ

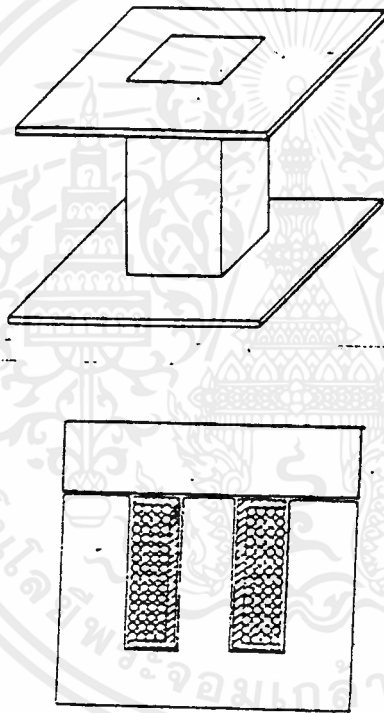
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ

a₁ เลือกลวด SWG.11

a₂ เลือกลวด SWG.8

เมื่อเราหาทุกอย่างครบแล้ว ก็จัดหีบอบบิ้นก่อนอื่น เราสามารถจะตรวจสอบได้ว่าเราใช้ลวดลวดเบอร์ดังกล่าว เมื่อพันไปแล้วจะสามารถลงขดลวดได้พอดีหรือไม่ ซึ่งการลงขดลวดกับบิ้นบิ้นแสดงดังรูปที่ 27 ซึ่งการตรวจจะไม่บอกกล่าว ณ ที่นี้



รูปที่ 27 แสดง การลงขดลวดกับบิ้นบิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหม้อแปลงในการใช้งานจริง

หม้อแปลง 220V, ทุติยภูมิ 80V, 1,600VA

$$1. \text{ ทาพื้นที่หน้าตัด} = \sqrt{VA} / 5.58$$

$$= 9 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$2. \text{ ทารอบปฐมภูมิ} = E \cdot 10^8 / (4 \cdot F \cdot B \cdot A)$$

$$= 220 \cdot 10^8 / (4 \cdot 50 \cdot 64,500 \cdot 9)$$

$$\sim 190 \text{ รอบ}$$

$$3. \text{ เลือกขนาดบ๊อบบี้ประมาณ } 3'' \times 3''$$

$$4. \text{ เลือกขนาดขดลวด ใช้ตัวเลข } 450 \text{ CM}^2/\text{Amp}$$

$$\text{กระแสอินพุตปฐมภูมิ} = VA/V$$

$$= 7.27 \text{ Amp}$$

$$\text{ต้องใช้ลวดขนาด} = 450 \cdot 7.27$$

$$= 3271.5$$

ตามตารางที่ 1 เลือกใช้ลวดเบอร์ 17 SWG

$$\text{หาจำนวนรอบขดทุติยภูมิ} = \frac{E_2}{E_1}$$

$$= 190 \cdot 80 / 220$$

$$\sim 69 \text{ รอบ}$$

$$\text{หาขนาดขดลวดทุติยภูมิ} = 15A \cdot 500$$

$$= 7,500$$

ตามตารางที่ 1 ต้องใช้ขดลวดเบอร์ 14 SWG

$$5. \text{ ตรวจสอบว่าพื้นที่ขดลวดลงในบ๊อบบี้และตัว E ได้หรือไม่}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดปฐมภูมิ} = 190 / 277 \text{ (ค่า 277 และ 150 ได้มาจากตารางมีค่า เป็นจำนวนรอบต่อพื้นที่หน้าตัด ขดลวด 1 ตารางนิ้ว)}$$

$$= 0.69 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดทุติยภูมิ} = 69 / 150$$

$$= 0.667 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$\text{รวมพื้นที่หน้าตัด} = 1.66 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$b = 2''$$

$$a = 2/2$$

$$= 1''$$

$$c = 2''(3/2)$$

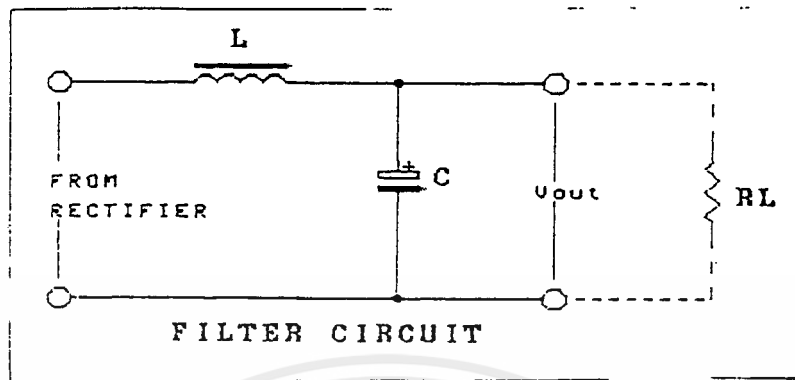
$$= 3''$$

$$\text{พื้นที่ช่องว่าง} = a \cdot c$$

$$= 3 \text{ ตารางนิ้ว}$$

วงจรกรองแรงดัน (Filter Circuit)

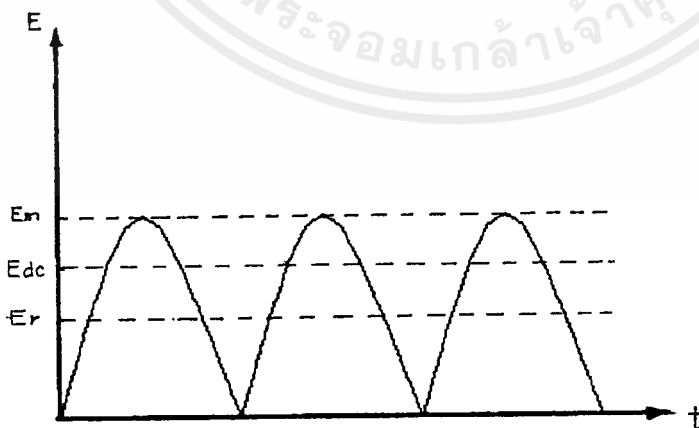
เนื่องจากเอาต์พุตชุดเรกติไฟเออร์ จะมีทั้งส่วนที่เป็น AC และ DC ปะปนกันอยู่ และส่วนที่มี AC ปะปนอยู่ เราเรียกว่า ริปเปิ้ลแฟกเตอร์ ซึ่งค่าริปเปิ้ลส่วนที่ปะปนมานี้เราไม่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเพื่อกำจัดส่วนนี้ออกไป เรียกว่า วงจรกรองแรงดัน ซึ่งจะมีอุปกรณ์สองชนิดมาต่อเข้าด้านหลัง จากชุดเรกติไฟเออร์ คืออินดักแตนซ์(L) โดยต่ออนุกรมเข้าไปกับวงจร และค่าคาปาซิแตนซ์(C) จะต่อขนานเข้าไปกับวงจร ดังแสดงในรูปที่28



รูปที่ 28 แสดงวงจรฟิลเตอร์

วงจรฟิลเตอร์นี้เราอาจใช้ค่าคาปาซิเตอร์หรืออินดักเตนซ์แต่เพียงอย่างเดียวก็ได้แต่ค่าเอาต์พุตที่ได้จะดีไม่เท่ากับใช้คาปาซิเตอร์กับอินดักเตนซ์มาผสมกัน โดยคาปาซิเตอร์จะช่วยให้ค่าริปเปิ้ลมีค่าต่ำลงที่มีโวลต์น้อย ส่วนอินดักเตนซ์จะช่วยให้ค่าริปเปิ้ลมีค่าต่ำลงที่มีโวลต์มากดังนั้นเราจึงนำคุณสมบัติของอุปกรณ์ทั้งสองมาต่อรวมกัน

จากรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ ก่อนที่เราจะยังไม่มีการใส่วงจรฟิลเตอร์ เราสามารถรักษาค่าริปเปิ้ลเฟลคเตอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 29 แสดงรูปคลื่นสัญญาณริปเปิ้ลเฟลคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ r = Ripple Factor

E_r = rms Ripple Voltage

E_{dc} = DC Output Voltage

จากสมการ

$$(E_{rms})^2 = (E_{dc})^2 + (E_{ac})^2 \quad ; E_{ac} = E_r$$

$$(E_r)^2 = (E_{rms})^2 - (E_{dc})^2$$

$$E_r = \sqrt{(E_{rms})^2 - (E_{dc})^2}$$

โดยที่ $E_{rms} = (E_m / \sqrt{2}) = 0.707E_m$

$$E_{dc} = (2E_m / \pi) = 0.636E_m$$

เพราะฉะนั้น $E_r = \sqrt{(0.707E_m)^2 - (0.636E_m)^2}$
 $= 0.307E_m$

ดังนั้น $r = E_r / E_{dc}$
 $= 0.307E_m / 0.636E_m$
 $= 0.48$

จะเห็นว่าวงจรเรกติไฟเออร์แบบฟูลเวฟที่ยังไม่ฟิลเตอร์ จะมีค่าริปเปิลแฟคเตอร์ถึง 48% ดังนั้นเราจึงมีความจำเป็นที่จะลดค่าดังกล่าวนี้ให้เหลือน้อยที่สุด โดยปกติจะให้มีความต่ำกว่า 5% ซึ่งจะทำให้โดยการนำเอาคาปาซิเตอร์และอินดักเตนซ์ มาต่อกันด้วยวงจรข้างต้น โดยหาค่าที่เหมาะสมมาใส่เข้าไป ก็จะทำให้ค่าริปเปิลแฟคเตอร์มีค่าต่ำลง ซึ่งเรามีวิธีการหาคาปาซิเตอร์และอินดักเตนซ์ได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

R_L = ค่าความต้านทานของโหลด เมื่อโหลดสูงสุด (โอห์ม)

R_B = ค่าความต้านทานของโหลด เมื่อโหลดต่ำสุด (โอห์ม)

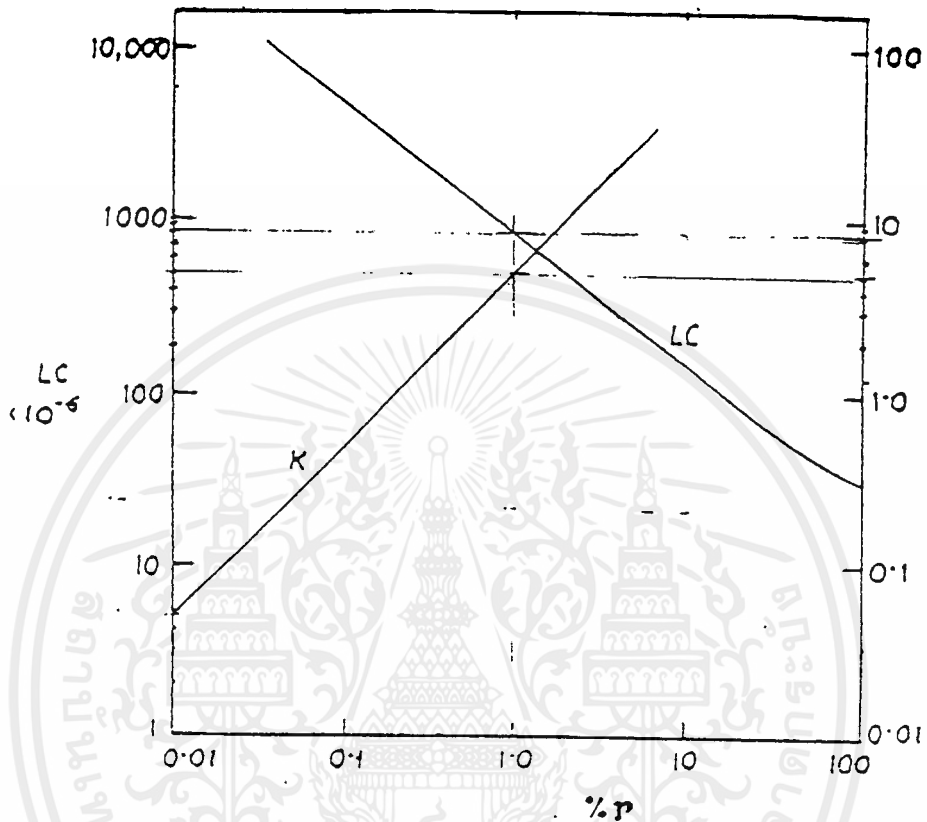
C = ค่าคาปาซิเตนซ์ของวงจรฟิลเตอร์ (ฟาราด)

L = ค่าอินดักเตนซ์ของวงจรฟิลเตอร์ (เฮนรี)

$$K = 1/(R_B * C)$$

และให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $\%r$, คาปาซิเตนซ์, อินดักเตนซ์ และ K สำหรับวงจรฟิลเตอร์แบบหนึ่งขั้น (SINGLE STAGE FILTER) ดังแสดงในรูปที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า r , คาปาซิแตนซ์, อินดักแตนซ์ และ K

ตัวอย่าง ต้องการออกแบบวงจรฟิลเตอร์แบบหนึ่งชั้น โยให้ค่าริปเปิ้ลแฟคเตอร์ 1% ของวงจรหนึ่งเฟสรีกติไฟเออร์แบบฟูลเวฟ โดยวงจรจ่ายกระแสสูงสุด 20A 48VDC และต่ำสุด 5A 48VDC

วิธีทำ

จากรูปที่ 30 ที่ $\%r = 1\%$

$$LC = 800 \cdot 10^{-6}$$

และ $K = 5$

$$\text{จะได้ } R_L = 48/20$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 2.4 \text{ โอห์ม}$$

$$R_B = 48/5$$

$$= 9.6 \text{ โอห์ม}$$

จาก $K = 1/(R_B * C)$

$$C = 1/(R_B * K)$$

จะได้ $= 1/(9.6 * 5)$

$$= 20833 \text{ uF}$$

ดังนั้นใช้คาปาซิเตอร์เท่ากับ 13,000 uF จำนวน 2 ตัวขนานกันได้ค่าคาปาซิเตอร์เท่ากับ

$$C = 26,000 \text{ uF}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ค่าอินดักเตอร์เท่ากับ

$$L = (800 * 10^{-6}) / (26,000 * 10^{-6})$$

$$= 30 \text{ mH}$$

เมื่อได้ค่าดังกล่าวแล้วก็ทำการออกแบบอินดักเตอร์ และหาคาปาซิเตอร์ เพื่อนำมาใช้ต่อไป

เมนคอนโทรลเรกติฟายเออร์

เมนคอนโทรล เรกติฟายเออร์ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้แก่โหลดโดยใช้วงจรเรกติฟายเออร์รูปแบบต่าง ๆ กันอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเรกติฟายเออร์นั้น จะเป็นอุปกรณ์จำพวกเพาเวอร์ เซมิคอนดักเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมากจะเป็นลักษณะการต่อแบบบริดจ์ ซึ่งการต่อแบบบริดจ์นี้ก็ยังคงแบ่งแยกการต่อได้เป็นหลายรูปแบบดังนี้

1. การต่อโดยใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 22(a)
2. การต่อโดยใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัวร่วมกับฟริววลิ่งไดโอดอีก 1 ตัว ดังแสดง

ในรูปที่ 22(b)

3. การต่อโดยใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 22(c)
4. การต่อโดยใช้เอสซีอาร์ 1 ตัวและไดโอด 5 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 22(d)
5. การต่อโดยใช้เอสซีอาร์ 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 22(e)

ในการที่เราจะเลือกวงจรไปใช้งานนั้น เราต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานโดยมีข้อควรพิจารณาเลือกวงจรดังนี้

1. ต้องการควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงแรงดันได้หรือไม่ เมื่อไม่ต้องการควบคุมแรงดัน หรือกระแสเอาต์พุตจึงสามารถใช้ไดโอด การเปลี่ยนแปลงแรงดันสามารถทำได้เพียงแต่เปลี่ยนแปลงแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการเปลี่ยนแปลงรอบทางขดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า แต่เมื่อต้องการควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จะต้องใช้ไดโอดต่อร่วมกับเอสซีอาร์ที่เรียกกันว่า

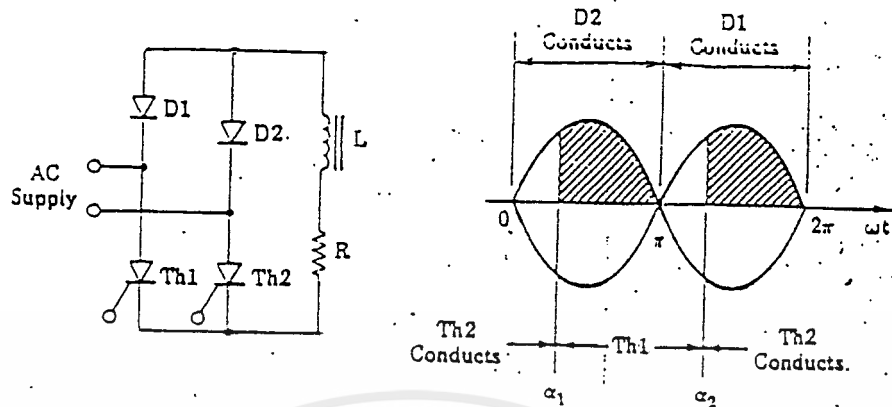
วงจรควบคุมเพียงครั้งเดียว คือ ใช้ไดโอดและเอสซีอาร์ต่อร่วมกันหรือวงจรควบคุมทั้งหมด จะใช้เอสซีอาร์ในวงจรอย่างเดียว

2. ต้องการแรงดันเอาต์พุตเรียบหรือไม่ ในการที่จะได้แรงดันเอาต์พุตเรียบ จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็น 3 เฟสหรือมากกว่า 3 เฟส เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเรียบหรือมีริปเปิ้ลน้อยมาก

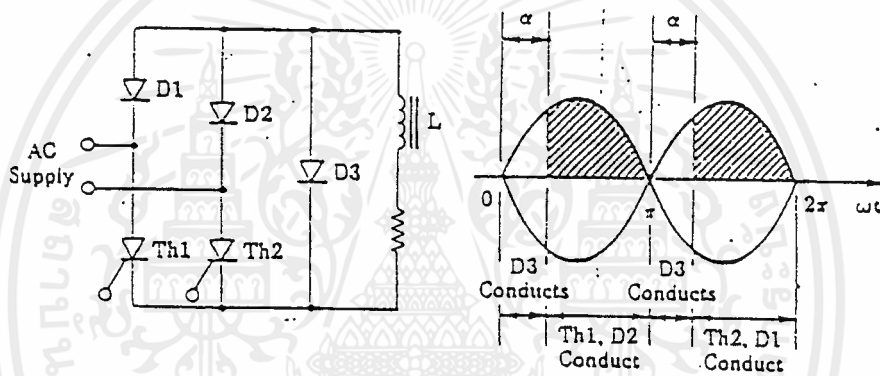
3. แรงดันไฟฟ้า สำหรับแรงดันเอาต์พุตที่สูง ๆ ในระดับเป็นกิโลโวลต์ ถ้ามีไดโอดและเอสซีอาร์ที่มีขีดจำกัดของแรงดันต่ำกว่าแรงดันที่ต้องการ จะต้องนำมาต่ออนุกรมกัน

4. จำนวนแผ่นระบายความร้อน ไดโอดชนิดทนกระแสไฟได้สูง ๆ มีด้วยกัน 2 ชนิดคือ อาโนดจะ

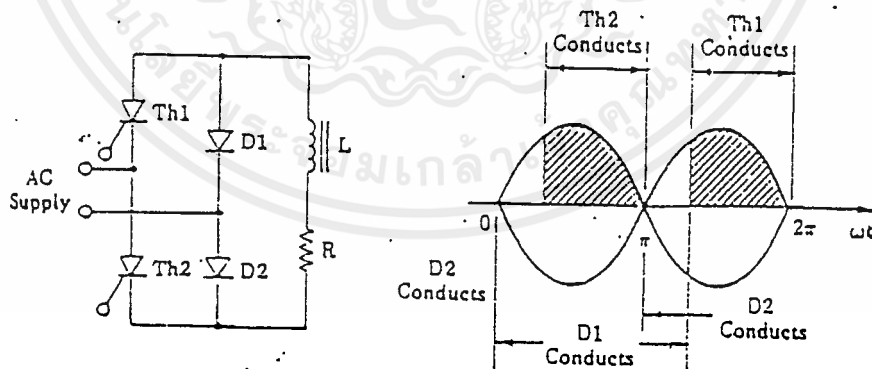
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



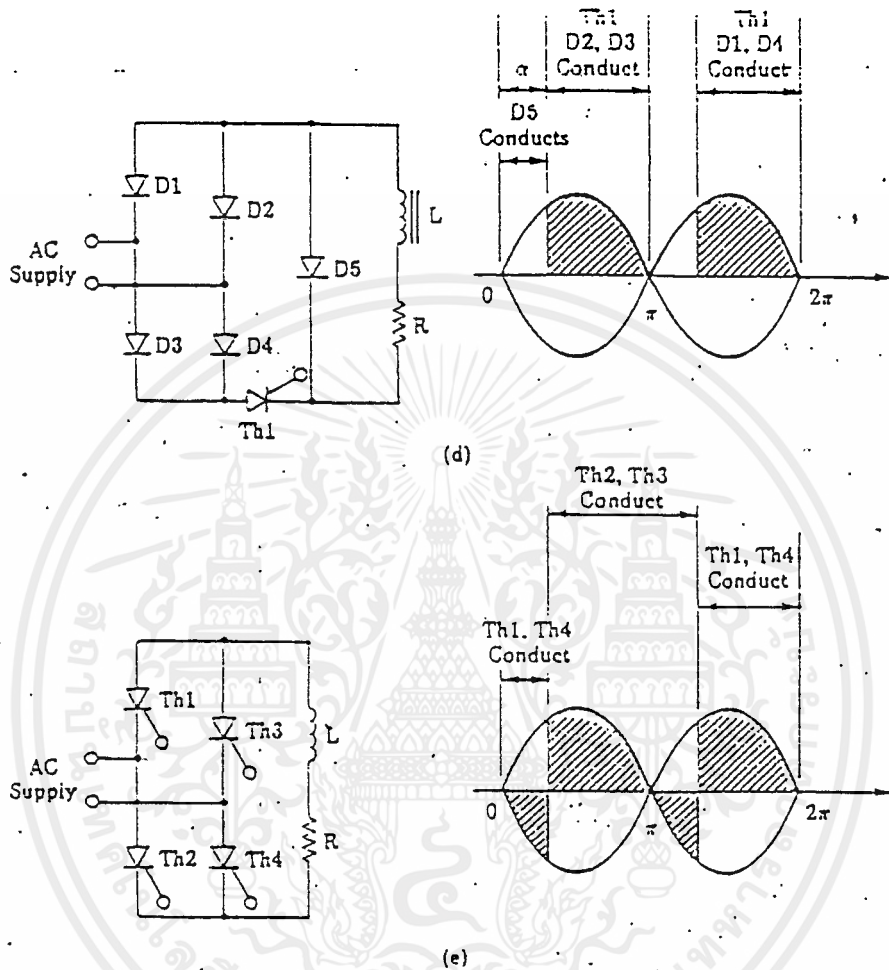
(b)



(c)

รูปที่ 31 แสดงวงจรการเรกติฟายเออร์แบบบริดจ์ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 32 แสดงวงจรการเรกติไฟร์แบบบริดจ์ชนิดต่างๆ

เป็นน็อต สามารถติดกับแผ่นระบายความร้อน และชนิดคาโอดเป็นน็อตสามารถติดกับแผ่นระบายความร้อน แต่เอสซีอาร์ชนิด Stud Type อาจจะเป็นน็อตที่สามารถที่จะติดกับแผ่นระบายความร้อน ถ้าเลือกวงจรให้เหมาะสมจะลดจำนวนของแผ่นระบายความร้อนลงได้ ในกรณีที่ใช้วงจรที่ต่อคาโอดของเอสซีอาร์ร่วมกัน เอสซีอาร์ชนิด Presspack จะใช้แผ่นระบายความร้อนน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

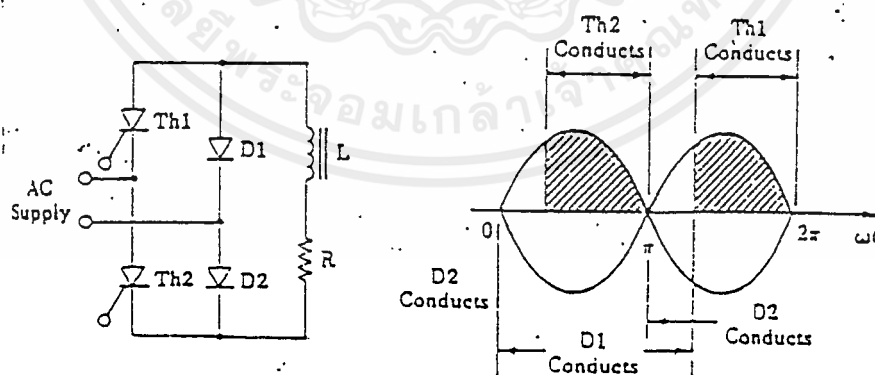
5. เอาท์พุทต้องการกระแสสูงแรงดันต่ำไดโอดและเอสซีอาร์ที่ทนกระแสได้สูง ๆ มีขายมากมาย แต่ในวงจรที่ต้องการเอาท์พุทกระแสสูง ๆ แต่แรงดันต่ำ เช่น เครื่องชุบโลหะจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดและเอสซีอาร์ที่ทำให้ประสิทธิภาพต่ำจึงต้องเลือกวงจรที่ใช้หม้อแปลงที่มี Center Tap หรือวงจรไดโอดเพียงตัวเดียวนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น

6. ผลกระทบต่อระบบจ่ายไฟฟ้า วงจรที่ใช้เอสซีอาร์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงในกรณีที่มีกำลังสูง ๆ จะเกิดฮาร์โมนิกส์ในระบบจ่ายไฟฟ้าถ้ามีฮาร์โมนิกส์สูงจะรบกวนวิทยุและโทรทัศน์ และถ้ามีฮาร์โมนิกส์ต่ำจะรบกวนระบบโทรศัพท์

7. เพาเวอร์แฟกเตอร์ การควบคุมแรงดันเอาท์พุทอย่างต่อเนื่องโดยใช้เอสซีอาร์จะทำให้เกิดเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

8. ความสามารถในการจ่ายพลังงานคืน ในวงจรการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หรือโหลดที่มีอินดักเตอร์สูง บางครั้งต้องการให้พลังงานไฟฟ้ากลับสู่แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ซึ่งวงจรแบบ Fully - controlled สามารถทำการจ่ายพลังงานคืนได้

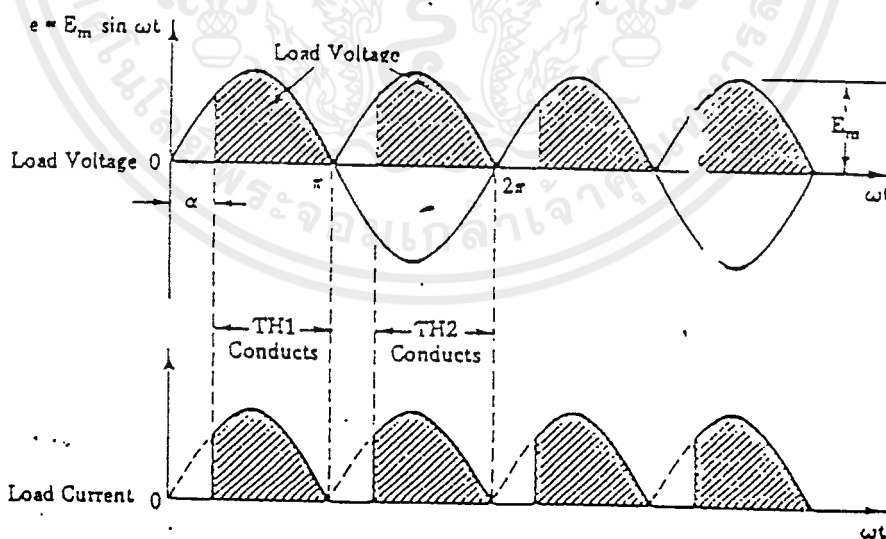
สำหรับในโครงการนี้เราต้องการวงจรที่สามารถควบคุมแรงดันได้เราจึงเลือกใช่วงจรบริดจ์แบบใช้เอสซีอาร์ 2 ตัว และไดโอด 2 ตัว โดยที่ไดโอดทั้ง 2 ตัวนั้นจะทำหน้าที่เป็นฟรีวิลลิงไดโอดด้วยดังแสดงได้ด้วยวงจรในรูปที่ 33



รูปที่ 33 แสดงการต่อวงจรบริดจ์โดยใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว

ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุตเราจะใช้การควบคุมมุมทริกของสัญญาณทริกเกอร์พัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขาเกตของเอสซีอาร์ โดยสัญญาณทริกเกอร์พัลส์นี้จะได้มาจากวงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์และจะต้องมีความถี่เดียวกันกับ DC Unfilter voltage ดังนั้นถ้าแหล่งจ่ายไฟ AC ของเรามีความถี่ 50 Hz พัลส์ที่เราสร้างขึ้นมาจะต้องมีความถี่เท่ากับ 100 Hz เป็นต้น โดยทั่ว ๆ ไป เอสซีอาร์จะ Turn on เมื่อมีสัญญาณทริกเกอร์พัลส์ไปป้อนเข้าที่ขาเกตของเอสซีอาร์ในลักษณะ Forward bias และจะ Turn off ในทันทีที่เกิดการกลับขั้วของที่แรงดันที่ป้อนเข้า หรือในกรณีที่เรลดกระแสอาโนดให้ต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง

จากวงจรเมื่อมีแรงดันในครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาที่จุด A และสัญญาณทริกเกอร์พัลส์ถูกป้อนเข้าที่ขาเกตของเอสซีอาร์แล้ว จะทำให้เอสซีอาร์ 2 และไดโอด D1 ได้รับ Forward bias และจะเกิดการนำกระแสในช่วงครึ่งไซเคิลบวก และเมื่อแรงดันในครึ่งไซเคิลลบเข้ามาที่จุด A จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่จุด B สูงกว่าที่จุด A ทำให้เอสซีอาร์ 1 และไดโอด D2 ได้รับฟอร์เวิร์ดไบแอส และเกิดการนำกระแสและเมื่อแรงดันในครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาที่จุด A อีกครั้ง เอสซีอาร์ 2 และไดโอด D1 จะได้รับฟอร์เวิร์ดไบแอส และเกิดการนำกระแสอีกครั้ง เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้นจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีลักษณะดังในรูปที่ 34



รูปที่ 34 แสดงแรงดันเอาต์พุต Full Wave Centertap Phase Control Thyristor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสัญญาณ แรงดันเอาต์พุตที่ได้เราสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยที่โหลดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_O &= 1/\pi * \int V_m \sin wt \, d(wt) ; \alpha \leq \omega \leq \pi \quad V. \\ &= (1/\pi) * V_m [-\cos wt] \\ &= (V_m / \pi) * (1 + \cos \alpha) \quad V. \end{aligned}$$

จากสมการที่ได้จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุต V_O จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมุมในการทริก α เปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถแสดงให้เห็นได้จากการคำนวณดังนี้

1. เมื่อมุม $\alpha = 0$ องศา จะได้แรงดันที่เอาต์พุตสูงสุด

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_O &= (V_m / \pi) * (1 + \cos \alpha) \\ &= (V_m / \pi) * (1 + \cos 0) \\ &= (V_m / \pi) * (1 + 1) \\ &= 2V_m / \pi \quad V. \end{aligned}$$

2. เมื่อมุม $\alpha = 45$ องศา

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_O &= (V_m / \pi) * (1 + \cos \alpha) \\ &= (V_m / \pi) * (1 + \cos 45) \\ &= (V_m / \pi) * (1 + 0.707) \\ &= 1.707V_m / \pi \quad V. \end{aligned}$$

3. เมื่อมุม $\alpha = 90$ องศา

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_O &= (V_m / \pi) * (1 + \cos \alpha) \\ &= (V_m / \pi) * (1 + \cos 90) \\ &= (V_m / \pi) * (1 + 0) \\ &= V_m / \pi \quad V. \end{aligned}$$

ในการควบคุมระดับแรงดันในเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ที่ได้โดยอาศัยหลักการควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของ เอสซีอาร์ ในแต่ละช่วงไซเคิลของไฟกระสลับที่ป้อน เอสซีอาร์ ให้กระแสไหลขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นหรือลดลง การควบคุมช่วงเวลาในการนักระแสนของ เอสซีอาร์นั้น ที่ได้โดยการเอาสัญญาณทริกเกอร์มาควบคุมกระแสที่เกทของ เอสซีอาร์ โดยใช้กระแสทริกเกทเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งใน เอสซีอาร์ บางเบอร์จะใช้กระแสในการทริกเกทเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพียงเป็นมิลลิแอมป์เท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Single-Phase Fullwave

Controller Rectifier

อุปกรณ์การทดลอง

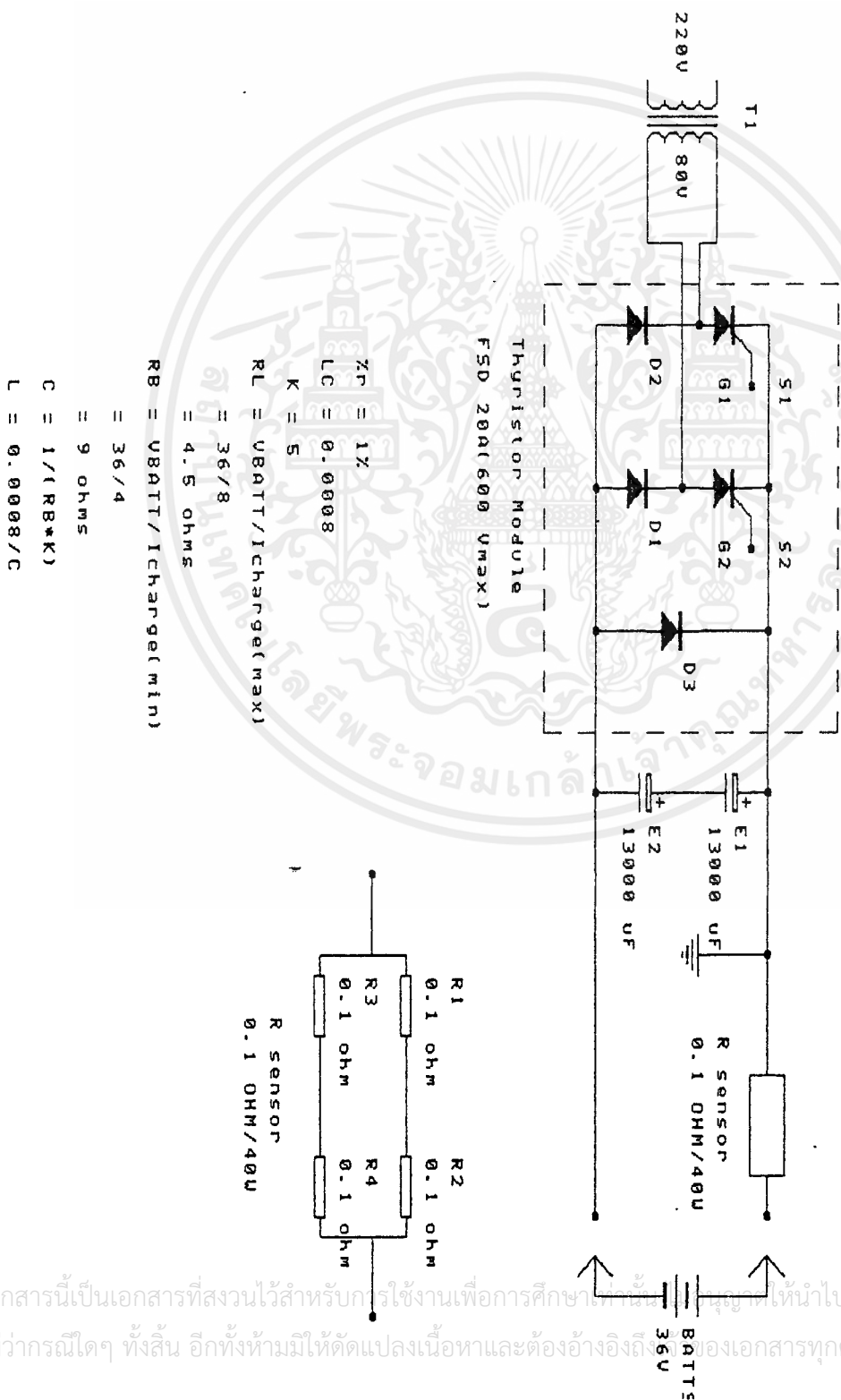
1. Thyristor Module FSD 204(600 V_{rms})
2. Capacitor 13,000 F * 2
3. Inductor 10 mH * 2
4. Resistor 0.1 ohm 20 w * 4
5. Triac
6. Scope & Probe Line

หลักการทำงาน

หลักการทำงานของวงจร คือ เราจะใช้หม้อแปลงจ่ายกระแสและแรงดันให้แก่วงจร ซึ่งในช่วงบวกถ้ามีสัญญาณทริกจากวงจร sensor & trigger จะทำให้ SCR1 และไดโอด D1 นำกระแส และครบวงจรส่วนในช่วงที่เป็นลบของอินพุต ถ้ามีสัญญาณทริกตัว SCR2 และไดโอด D2 ก็จะนำกระแส เพราะฉะนั้นจึงมีเอาทพุททั้งในช่วงที่เป็นบวกและเป็นลบของอินพุต โดยมีตัวเก็บประจุ C_{f1}, C_{f2} เป็นตัวฟิเตอร์คอยกรองกระแสให้เรียบ มีลักษณะสัญญาณไฟตรงมากขึ้น ถ้าสัญญาณทริกมีมุนน้อย SCR ก็จะมีเวลาในการออนมากขึ้น ค่าระดับสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ก็จะมีค่ามากขึ้น ส่วนถ้าสัญญาณทริกมีมุนทริกมากขึ้นช่วงเวลาในการออนของ SCR ก็จะน้อยลง ค่าระดับสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ก็จะมีค่าน้อยลงด้วย ส่วน D3 เป็นฟรี-วิลลิงไดโอด ป้องกันแรงดันลบที่จะปรากฏออกเอาทพุท L_f ก็จะเป็นขดลวดเหนี่ยวนำที่จะทำงานร่วมกับ C_{f1}, C_{f2} ในการฟิเตอร์ โดย L_f จะช่วยให้รับเบิ้ลมีค่าต่ำในขณะที่มีโหลดมาก

R_{sensor} จะใช้ในการตรวจจับปริมาณกระแสเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับสัรวัวงจร Sensor ต่อไป

SINGLE PHASE FULL WAVE CONTROLLER RECTIFIER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

การทดลองจะทำได้โดยการใช้อะไร 220 V ป้อนให้กับวงจรโดยป้อนที่แรงดันต่ำๆ ก่อนประมาณ 50 V โดยต่อโหนดให้กับวงจรด้วยตามรูป หลังจากนั้นทำการทริกวงจรด้วยแรงดัน DC เข้าที่ขา Gate ของวงจรที่ระชาสลับกัน จากนั้นเอาสโคป จับที่ โหนดเพื่อวัดแรงดันและรูปคลื่นที่ได้ ซึ่งจากการทดลองวงจรทำงานด้วยดี คือเมื่อขณะยังไม่มีทริกก็จะมีกระแสไหลไปที่โหนดและเมื่อทำการทริกก็จะมีกระแสไหลไปที่โหนดตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ข้างต้น

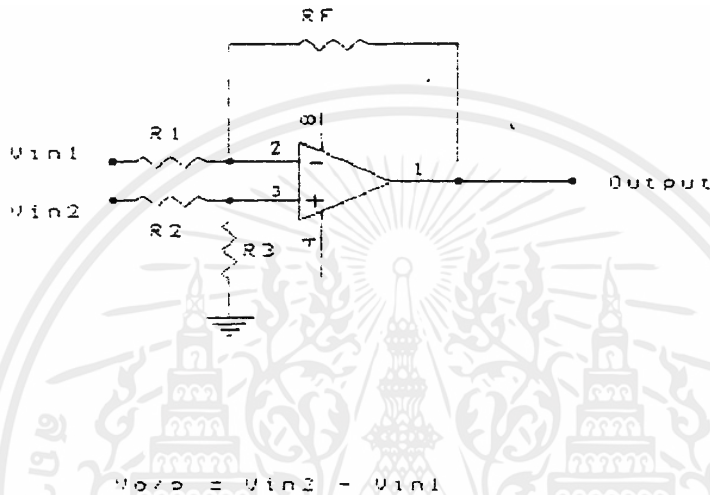
ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

ปัญหาในการทดลองขณะนี้คือเมื่อทำการต่อวงจรทริกซ์ซึ่งทดสอบแล้วว่าทำงานได้จริง ตามต้องการแต่เมื่อต่อเข้ากับวงจร Full-wave Control Rectifier นี้กลับไม่ยอมทำงานซึ่งได้ตรวจพบว่าเป็นปัญหาเกิดจากกราวด์ที่มีการเทียบเคียงผิดไปจึงทำการแก้ปัญหาโดยใช้วงจรขับและทรานฟอเมอร์ เป็นตัวช่วยแยกกราวด์ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นการทดลองอยู่

Sensor & Controller Circuit

หลักการทำงาน

วงจรนี้จะทำการตรวจจับแรงดันและกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรแล้วจึงไปควบคุมที่ขา 11 ของ TCA 785 อีกที โดยมีรายละเอียดการทำงานดังนี้คือ
จากรูปจะเห็นว่าเราจะต่อ Op-Amp1 เป็น Diff-Amp ซึ่งจะมีการทำงานคือ



เมื่อทำการป้อนอินพุต V_{in1} และ V_{in2} จะได้ เอาท์พุทเท่ากับ $V_{in2} - V_{in1}$ ฉะนั้นถ้าเราตั้งแรงดัน $V_{in1} = -7\text{ V}$ แล้วใช้วงจร Voltage Divider ที่ต่อขึ้นจาก R ทำการแบ่งแรงดันเป็น $1/4$ ป้อนเข้าที่ขา V_{in2} ซึ่งเป็นขา Non-Inverting

และเราจะได้แรงดันจากการตรวจจับที่แบตเตอรี่ที่เราทำการ Charge จะมีค่าที่เป็นไปได้ตั้งแต่ $0-40.5\text{ V}$ (เนื่องจากการหาจนแบตเตอรี่ลูกละประมาณ 13.5 V มี 3 ลูก ต่ออนุกรมกัน $= 40.5\text{ V}$) เพราะฉะนั้นเมื่อทำการแบ่งแรงดันด้วยวงจรดังกล่าวข้างต้นเป็น $1/4$ จะได้แรงดันป้อนเข้า $V_{in2} = 0-10.125\text{ V}$ แต่ในการใช้งานจริงปกติแล้วเราจะไม่ให้แรงดันแบตเตอรี่ตกต่ำกว่าเซลล์ละ 1.8 V หรือลูกละ 10.8 V ดังนั้นเมื่อมี 3 ลูก $= 32.4\text{ V}$

ฉะนั้นแรงดันจึงควรอยู่ในช่วง $32.4-40.5\text{ V}$ เมื่อทำการแบ่งแรงดันแล้ว $= 8.1-10.125\text{ V}$ (V_{in2}) แต่แรงดันที่ แบตเตอรี่นี้เราตรวจจับที่แรงดันลบจึงได้ $= -8.1$ ถึง -10.125 V

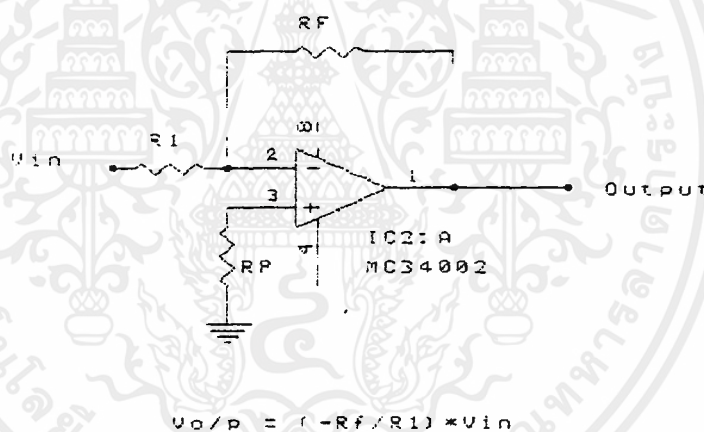
จากสูตรที่เอาท์พุท ของ Op-Amp1 ให้เป็น $V_{op1} = V_{in2} - V_{in1}$ เมื่อ $V_{in1} = -7\text{ V}$ จะได้ $V_{op1} = -1.1$ ถึง -3.125 V จากนั้นจะนำผ่านวงจร Inverting Amp อีกที ทำให้มีแรงดันเป็นบวกคือ $V_{op1} = 1.1-3.125\text{ V}$ (แต่ถ้าในกรณีที่ V_{in2} ต่ำกว่า -7 V จะทำให้มีแรงดันลบออกมานั้นจะทำการกำจัดด้วยไดโอดที่เอาท์พุทของ Op-Amp)

ที่นี้เรามาดูส่วนการทำงานของในส่วนตัวตรวจจับสนะซึ่งเราจะทำการตรวจจับสนะโดยใช้ R_{sensor} เป็นตัวตรวจจับสนะโดยให้กระแส Charge ไหลผ่าน R_{sensor} ตัวนี้ โดยปกติเราจะ Charge Battery ที่ประมาณ 10 % ของ แอมป์-ชั่วโมงรวมของแบตเตอรี่ ทั้งหมดในโครงการนี้ใช้แบตเตอรี่ลูกละ 60 Ah ต่ออนุกรมกัน 3

ลูก ก็จะได้ แอมป์-ชั่วโมงรวมเท่ากับ 60 Ah ขนาดกัน 2 ชุด เท่ากับ 120 Ah ฉะนั้น 10 % ของทั้งหมดจึงเท่ากับ 12 A

ในการวิเคราะห์นี้เราจะถือว่าเมื่อไรก็ตามที่กระแส Charge ตกลงมาเหลือประมาณ 4 A เนื่องจากแรงดันแบตเตอรี่มากขึ้นเราจะถือว่าแบตเตอรี่เต็มแล้ว เมื่อไหลผ่าน R_{sensor} ที่มีค่า = 0.1 ohm ก็จะทำให้มีแรงดันตกสุด = 0.4 v และในการนี้เมื่อทำการ Charge ในตอนแรกจะมีแรงดัน Charge ต่ำแต่กระแสสูง เราจะยอมให้กระแสขึ้นสูงได้ไม่เกิน 15 A ดังนั้นจะมีแรงดันตกคร่อม R_{sensor} สูงสุด = 1.5 V

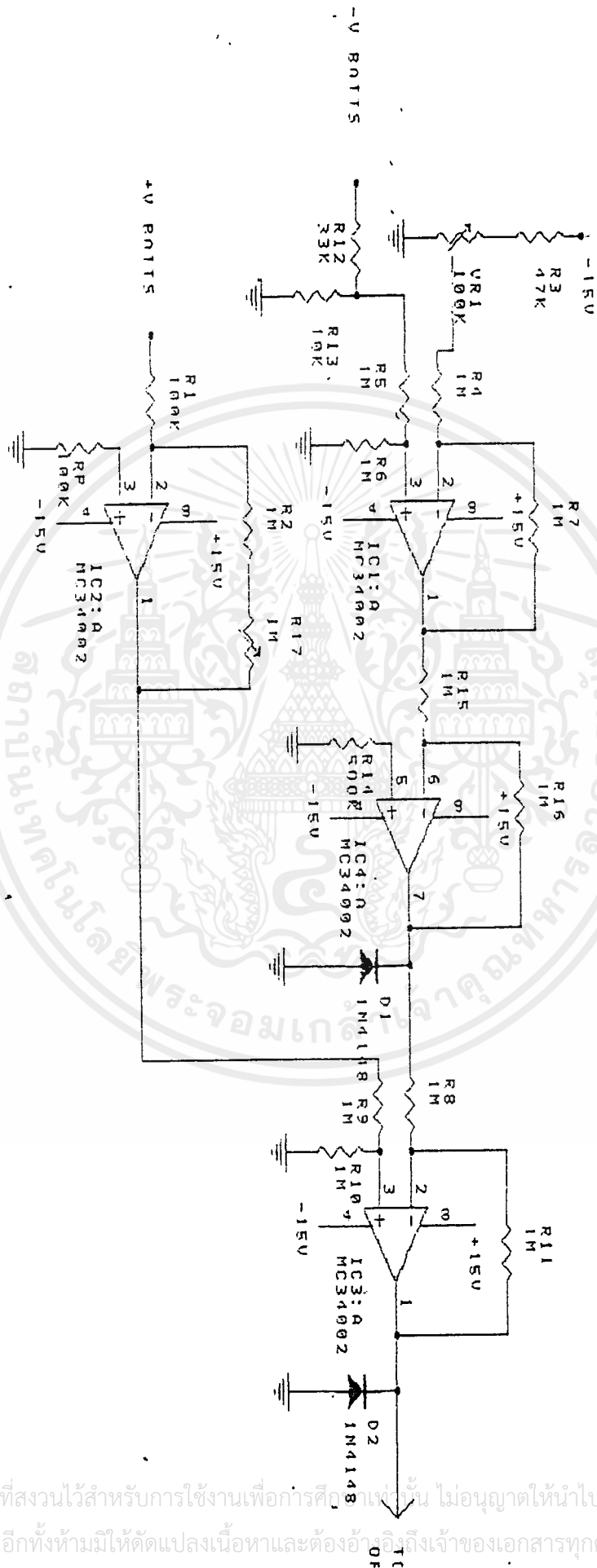
นำเอาแรงดันนี้ป้อนเข้า Inverting-Amp จะมีการทำงานดังนี้คือ



จะเห็นได้ว่าวงจร Inverting-Amp เป็นวงจรขยายแบบกลับขั้วดังนั้น เราจึงทำการตรวจจับสนะที่ R_{sensor} แบบกลับขั้วเนื่องจากต้องการแรงดันที่เอาท์พุทเป็นแรงดันบวก ฉะนั้นจะได้แรงดันตกคร่อม R_{sensor} = (-0.4V) ถึง (-1.5V) และเมื่อผ่านวงจร Inverting-Amp แล้ว จะได้ V_{op2} = 4V ถึง 15 V

ตอนนี้เราจะเห็นว่าแรงดัน V_{op1} = 1.1-3.125 V และแรงดัน V_{op2} = 4-15 V เมื่อทำการป้อนใส่วงจร Diff-Amp op3 อีก ก็จะทำให้มีการหักล้างกันขึ้นอีกโดยป้อน V_{op2} เข้า Non-Inverting และ V_{op1} เข้าที่ Inverting ฉะนั้น

SENSOR & CONTROLLER CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{op3} = V_{op2} - v_{op1}$$

จึงมีแรงดัน V_{op3} ที่เป็นไปได้คือ 0.875-13.9 V นำไปควบคุมวงจรทรินกซ์

อุปกรณ์การทดลอง

1.Oscilloscope	1	ตัว
2.ProtoBoard	1	ตัว
3.สายจัมป์ต่างๆ,สายโทรศัพท์	1	ชุด
4.Multimeter	2	ตัว
5.ไขควงปากแบนขนาดเล็กสำหรับปรับแต่งค่า	1	ชุด
6.DC Power Supply	2	ชุด
7.Op-Amp #MC 34002P * 3		
8.Resistor 1 Mohm * 10		
9.Resistor 100 Kohm * 5		
10.Diode #1N4148 * 6		
11.Trimpot 100 Kohm * 5		

การทดลอง

ทำการต่อวงจรตามรูป หลังจากนั้นก็ทำการป้อนแรงดันเข้าขาลบของ op1 โดยใช้ R แบ่งแรงดันให้คงที่ไว้ที่ -7 V ที่ขาบวกของ op1 ก็ป้อนแรงดันให้เหมือนกับตรวจจับได้ที่เบตเตอรี = 8.1-10.125 V ส่วนที่ขาลบของ op2 ก็ให้ป้อนเหมือนกับตรวจจับกระแสได้เช่นกัน คือ ตั้งแต่ -0.4 V ถึง -1.5 V หลังจากนั้นก็วัดเอาต์พุตของ Op-Amp แต่ละตัวเมื่อได้ตามต้องการแล้วก็ไปวัดที่ Op-Amp3 ว่าได้เอาต์พุตตามต้องการหรือไม่

ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

การทดลองวงจรนี้จะมีปัญหาในเรื่องของการแมทซ์และแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดที่ใช้ในการกักแรงดันลบทำให้แรงดันออกมาต่ำกว่าที่ต้องการจึงทำให้ต้องมีการชดเชยแรงดันโดยการปรับที่ R ของแรงดันคงที่ต่างๆในวงจรให้เป็นไปตามที่ต้องการเช่นที่ ขาลบของ op1 และที่ R_f ของ op2 เพื่อปรับอัตราขยาย

Gate Trigger Circuit

อุปกรณ์การทดลอง

1.Power Supply	1 ชุด
2.ProtoBoard	1 แผ่น
3.Oscilloscope	1 เครื่อง
4.แหล่งจ่ายไฟที่ได้จากวงจร Regulator	1 ชุด
5.IC TCA 785	1 ตัว
6.Diode 1N4148	6 ตัว
7.Resistor	
8.Transformer 220/18-0-18 Vac	1 ตัว
9.Mosfet #BSS97	2 ตัว
10.Trimpot 100 K ohm	5 ตัว
11.Capacitor	ขนาดต่างๆ

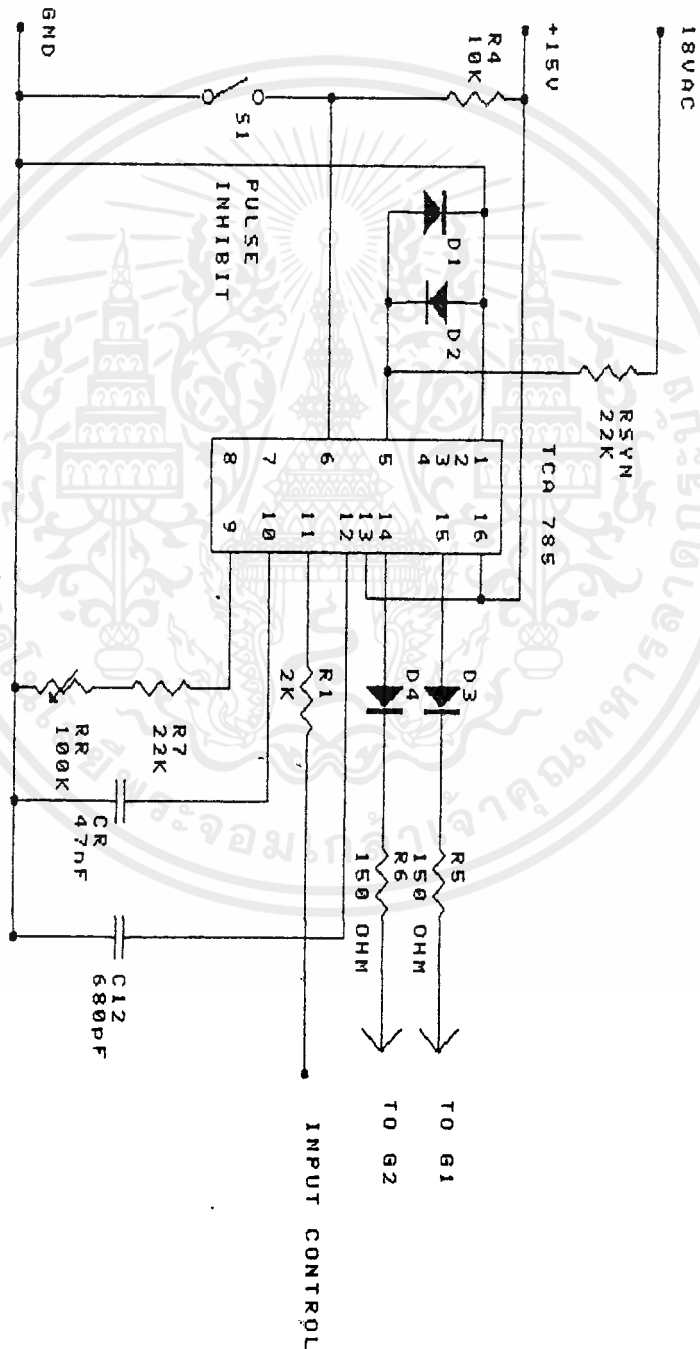
การทดลอง

เมื่อทำการต่อวงจรตามรูปแล้ว โดยแหล่งจ่ายไฟได้มาจากวงจร Regulator สัญญาณ Sync ได้มาจากด้าน Secondary ของหม้อแปลงที่จ่ายให้กับวงจร Fullwave-Controll-Rectifier จึงทำการวัดสัญญาณที่ออกจากขา 14,15 ตามรูป โดยความกว้างของทริกซ์พัลส์จะถูกกำหนดด้วย C_{12} ในที่นี้ใช้ค่า 680 pF จะได้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 422S ส่วนจุดทริกซ์นั้นสามารถปรับแต่งได้ นอกเหนือจากการปรับแรงดันที่ขา 11 แล้วยังสามารถปรับได้จาก R_g และ C_{10} จากสูตร

$$\text{Triggering Point } t_{Tr} = (V_{11} * R_g * C_{10}) / (V_{ref} * K)$$

$$\text{เมื่อ } V_{ref} = 3.1 \text{ V , } K = 1.10 \pm 20 \%$$

GATE TRIGGER CIRCUIT



RAMP CAPACITOR C10 = 500 pF TO 1 uF
 TRIGGERING POINT = $V_{I1} * R_9 * C_{10} / (V_{REF} * K)$
 CHARGE CURRENT I10 = $V_{REF} * K / (R_9)$
 RAMP VOLTAGE = $V_S - 2V$

$$V_{I0} = \frac{V_{REF} * K * t}{(R_9 * C_{10})}$$

$$K = 1.10 (+/-) 20\%$$

ผลการทดลองวงจร Triggate

ผลการทดลองที่ได้ออกมาน่าพอใจมากตรงตามทฤษฎี และคุณสมบัติของตัว IC TCA 785 คือได้รูปพัลส์ที่สวยงาม สามารถควบคุมจุดทริกได้ตามต้องการถ้าคำนวณค่า R_g และ C_{10} มีค่าที่เหมาะสมจึงไม่ค่อยมีอุปสรรคเท่าใดนักสำหรับวงจรนี้

วงจร Regulator

วงจรนี้ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจร Triggering และ วงจร Sensor

อุปกรณ์การทดลอง

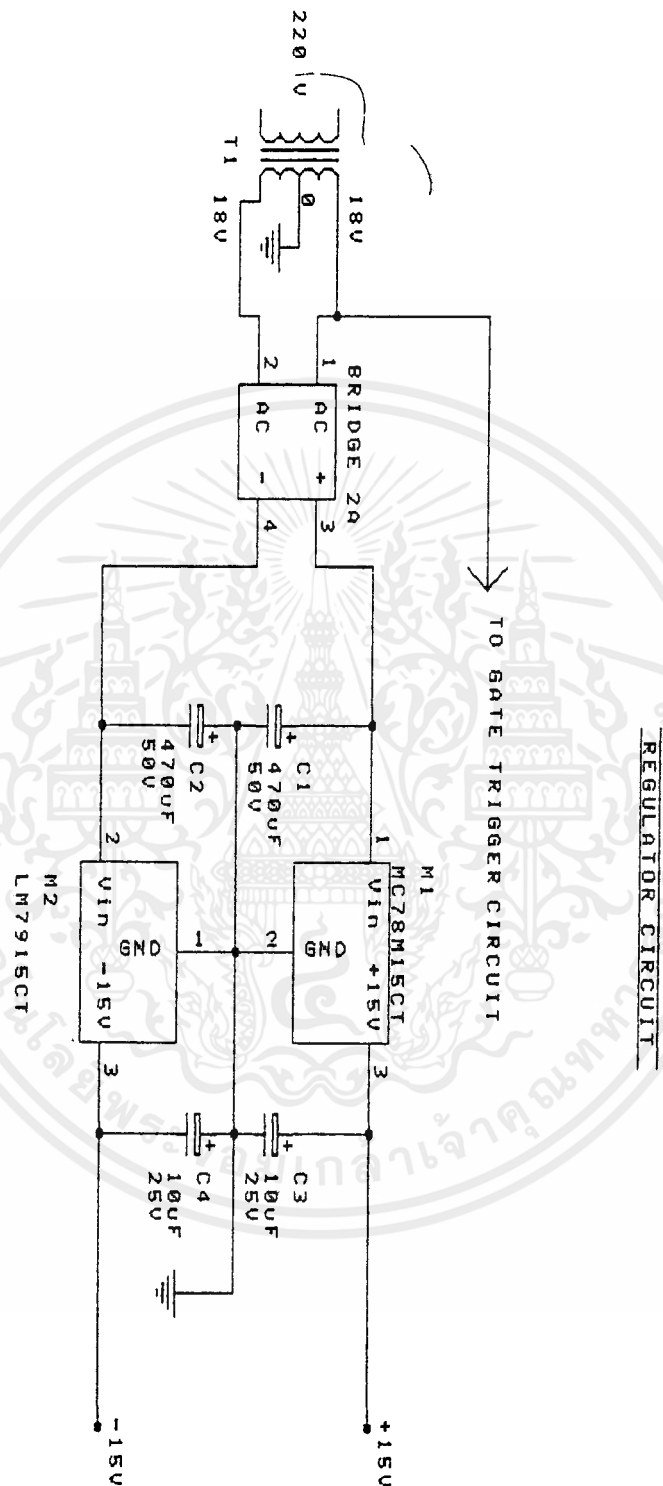
1. oscilloscope 1 ตัว
2. bridge diode 2A. 1 ตัว
3. IC 7815 1 ตัว
4. IC 7915 1 ตัว
5. คาปาซิเตอร์ 470uF 50v 2 ตัว
6. คาปาซิเตอร์ 10uF 25v 2 ตัว
7. หม้อแปลง 220/18-0-18 1A 1 ตัว

หลักการทำงาน

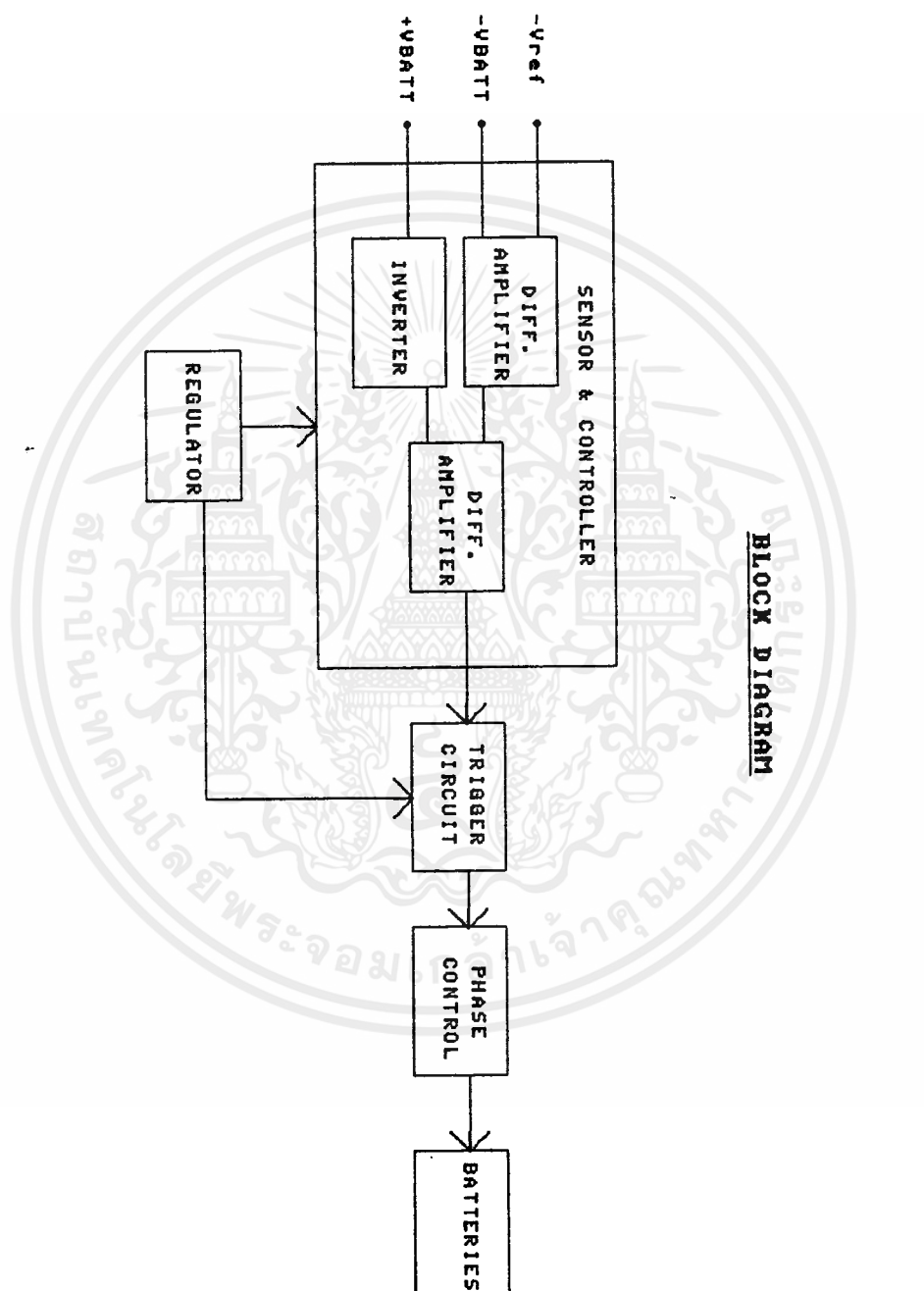
เมื่อทำการป้อนแรงดันจาก transformer ขนาด 1A 220v/18-0-18 Vac เข้าไปที่ Diode bridge แบบ Module ทำการ Rectifier ออกมาเป็นแรงดัน Dc ประมาณ 24v. จากนั้นจะถูก IC 7815, IC7915 ทำการควบคุมแรงดันให้ราบเรียบและมีขนาดสม่ำเสมอคือ 15v. และ -15v. ตามลำดับโดยใช้ C เป็นตัวช่วย filter มี Ground ร่วมกัน

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองวงจรนี้ไม่ยุ่งยากเนื่องจากเป็นวงจรที่ค่อนข้างง่ายลงตัว เพราะเมื่อทำการต่อวงจรได้ถูกต้องและเช็คความเรียบร้อยแล้ว ก็จะได้ผลออกมาตามที่ต้องการ ซึ่งตอนทำการทดลองมีการต่อผิดพลาดบ้างทำให้ IC7915 เสียหาย ฉะนั้นจึงควรระมัดระวังในการต่อตรงจุดกราวด์กับไฟให้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการทำงานโดยรวม

การทำงานจะมีดังนี้ คือ เมื่อเกิดสภาวะเริ่มต้นทำการ charge ขณะนั้นจะมีแรงดันที่ Battery ต่ำจึงทำให้มีผลต่างระหว่างแรงดัน charge กับแรงดัน Battery มากทำให้กระแสสูงมากจนวงจร Sensor เมื่อทำการตรวจจับได้ก็จะส่งแรงดันที่มีค่าสูงไปที่วงจรทรานซิสเตอร์ ทำการผลิตพัลส์ที่ถี่มากขึ้น ผลที่ได้คือที่ OVP น้อยลงเท่ากับเป็นการควบคุมระดับกระแสไม่ให้สูงเกินไป หลังจากนั้นเมื่อแรงดัน charge ไปเรื่อยๆ แรงดันที่ Battery เริ่มเพิ่มมากขึ้นผลต่าง ๆ ทางแรงดันน้อยลง ทำให้กระแสน้อยลง มุมที่ทรานซิสเตอร์ก็เพิ่มขึ้นจากหลักการทำงานของวงจร Sensor และ trigger ที่กล่าวไว้ แล้วข้างต้น วงจร Single - Phase Fullwave Controlled Rectifier ก็จะจ่ายกำลังไปที่เบตเตอร์มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเมื่อแรงดันเบตเตอร์ขึ้นสูงมาก ๆ ก็จะทำให้กระแสเริ่มน้อยลงมากขึ้นจะมีแรงดันไปกำหนดมุมที่ทรานซิสเตอร์ให้น้อยลงอีกครั้งจนกระทั่งเกือบไม่จ่ายกำลังงาน Battery ก็จะเต็มพอดี

สรุปผลการทดลองและการดำเนินงาน

ผลการทดลองเมื่อทำการคายประจุให้แบตเตอรี่โดยให้หลอดไฟ

เมื่อขณะทำการคายประจุด้วยหลอดไฟไปนานๆจะทำให้หลอดไฟซึ่งเป็นหลอดไส้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากคุณสมบัติของมันเองจะพบว่า เมื่อไส้หลอดมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้นเป็นผลทำให้กระแสการคายประจุน้อยลงจึงต้องใช้พัลลวมช่วยเป่าเพื่อลดอุณหภูมิ

ผลการทดลองในส่วนของการเก็บประจุ

ในส่วนของการเก็บประจุด้วยเครื่องชาร์จที่มีการควบคุมกระแสและแรงดันโดยได้ทำการทดลองให้หลอดไฟเป็นโหลด ก็จะประสบปัญหาเช่นเดียวกันกับการคายประจุคือ เมื่ออุณหภูมิของไส้หลอดสูงขึ้นค่าความต้านทานก็จะสูงขึ้นด้วย ทำให้ไม่สามารถควบคุมได้ดีนัก ไม่เหมือนกันแบตเตอรี่กล่าวคือเมื่อทำการชาร์จหลอดไฟไปเรื่อยๆค่าความต้านทานจะสูงขึ้นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ก็จะทำให้กระแสลดลงเป็นผลให้เครื่องพยายามจะรักษาระดับกระแสให้คงที่จึงได้ทำการเพิ่มแรงดันการชาร์จให้กับโหลด เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าค่าความต้านทานของไส้หลอดจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจะผิดกับแบตเตอรี่คือเมื่อทำการชาร์จในตอนแรกค่าความต้านทานของแบตเตอรี่จะต่ำและมีกระแสสูง เครื่องก็จะทำการควบคุมให้แรงดันต่ำลง เพื่อลดปริมาณของกระแสจากนั้น เมื่อทำการชาร์จไปเรื่อยๆแรงดันของตัวแบตเตอรี่เองจะสูงขึ้นแต่ปริมาณกระแสจะลดลงเนื่องมาจากผลต่างของแรงดันชาร์จและแรงดันของแบตเตอรี่น้อยลง เครื่องก็จะทำการเพิ่มแรงดันในการชาร์จเพื่อให้ปริมาณกระแสคงเดิม

แบตเตอรี่ก่อนการชาร์จ = 35 V

เมื่อทำการชาร์จ

เวลา(นาที)	30	45	60	75	90	105	120
กระแส	8	8	8	8	8	7.8	7.5
แรงดัน	37.8	38.0	38.1	38.2	38.4	38.5	38.6

ซึ่งโดยการทำงานในลักษณะนี้ จากการทดลองจริงเมื่อทำการชาร์จจะมีลักษณะได้ดังตารางในสภาวะที่กำหนด กล่าวคือ แรงดันจะค่อยๆสูงขึ้นในขณะที่กระแสจะลดลงทีละน้อยแสดงว่าแรงดันเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มของค่าความต้านทานแบตเตอรี่เป็นไปตามการออกแบบที่ต้องการจะให้กระแสคงที่ขณะทำการชาร์จและลดลงเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็ม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิริยะ พิเศษจำเริญ และอาจารย์ทุกท่านอย่างสูงยิ่ง ที่ท่านให้คำแนะนำ ประสิทธิ์ประสาทความรู้, ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมไฟฟ้า และพี่ๆเพื่อนๆ ที่ให้ความสะดวก เรื่องสถานที่ และอุปกรณ์ และคอมพิวเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทำงานในโครงการนี้มาด้วยดีโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. S.K.Data, "Power Electronics and Controls", Reston Publishing Company Inc, 196P, 1984
2. P.C. Sen, "Power Electronics"
3. David A.Bell, "Solid State Pulse Circuit", Reston Book, 495P,1988
4. Charles L.mantell, "Battery and Energy System"
5. Motorola, "Linear/Switch Mode Voltage Regulator Handbook"
6. ESDL KMITL, "Instruction Manual for Battery Charger"
7. Technical Handbook "ALCAD Nickel Cadmium Battery", 14P
8. Technical Data, Block Battery Type, "NIFE Nickel Cadmium", 18P
9. บัวเกต บัตตริงซีม, "Battery Charger" การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- 10.พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ, ประภาส ไพรสุวรรณา, "การประชุมวิชาการเรื่อง Electrical Power 87-Quality and Standard", ตุลาคม 30
- 11."Siemens Components" 23(1985).Issue 4 Pages 158 to 163 .Issue 5 Pages 193 to 201
Author: Werner Schott
- 12.อุดมศักดิ์ ยั่งยืน, "Power Electronics" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 13.ณรงค์ อยู่สกุล, "เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์", ซีเอ็ดยูเคชั่น, ฉบับ 124 มกราคม 2536



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THYRISTOR MODULE (SINGLE PHASE BRIDGE TYPE)

FSD20A

FSD20A is a single phase bridge module consist of thyristors and diodes

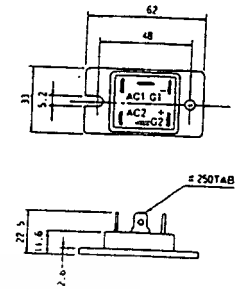
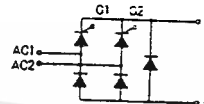
- $I_o = 20A$, $V_{RRM} = 600V$
- Easy Construction
- Highly reliable glass passivated chips

(Applicatgions)

Rectification (Bridge)

Motor Drive

UL:E76102(K)



Unit : mm

Maximum Ratings

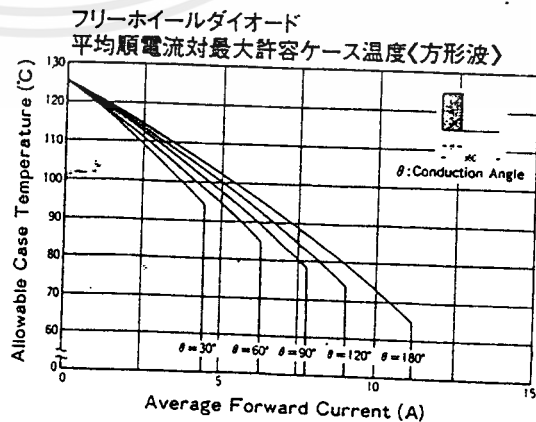
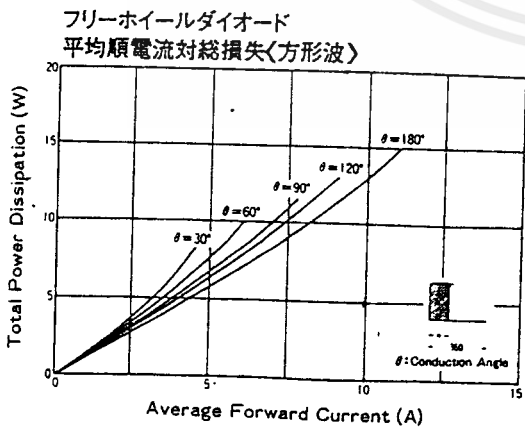
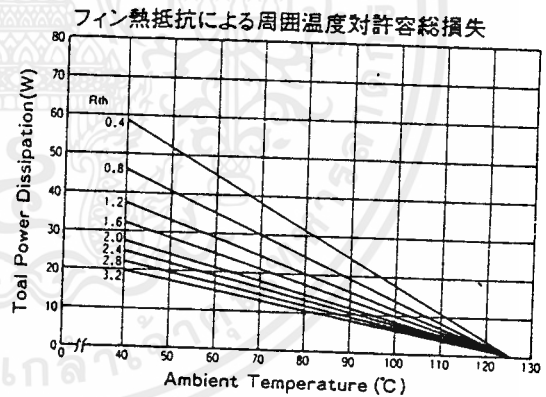
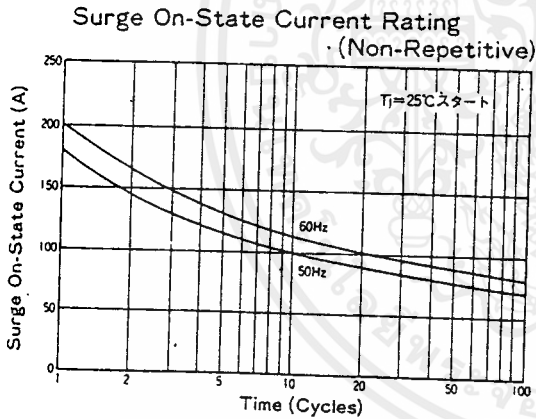
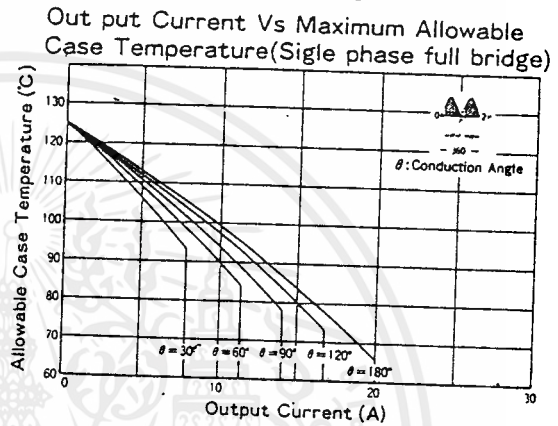
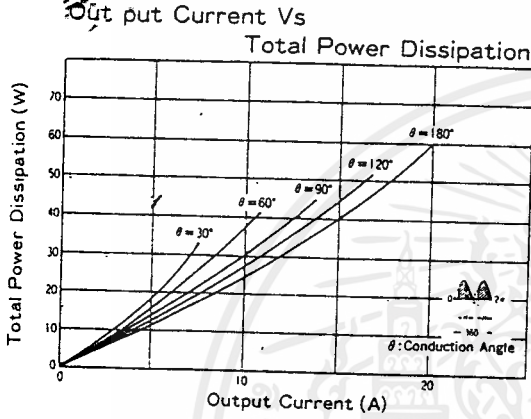
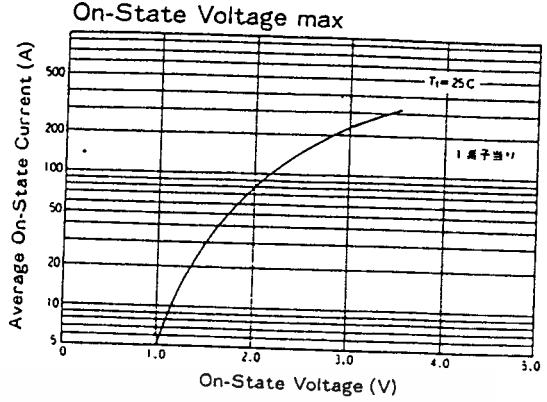
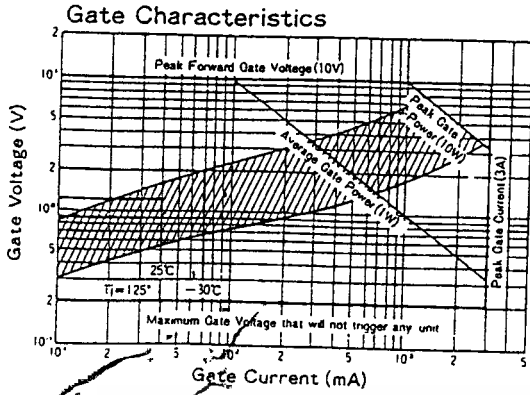
Symbol	Item	FSD20A30	FSD20A60	Unit
V_{RRM}	Repetitive Peak Reverse Voltage	300	600	V
V_{ORM}	Repetitive Peak Off-State Voltage	300	600	V

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
$I_T(AV)$	Average On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c = 65^\circ C$	20	A
I_{TSM}	Surge On-State Current	$1/2$ cycle, 50Hz/60Hz, peak value, non-repetitive	180/200	A
I_{GT}	Peak Gate Current		165	A ² S
P_{GM}	Peak Gate Power Dissipation		10	W
$P_{G(AV)}$	Average Gate Power Dissipation		1	W
V_{FGM}	Peak Gate Voltage(Forward)		3	V
V_{RGM}	Peak Gate Voltage(Reverse)		10	V
di/dt	Critical Rate of Rise of On-State Current	$I_G = 100mA$, $T_j = 25^\circ C$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$, $dI_G/dt = 1A/\mu s$	5	V
V_{ISO}	Isolation Breakdown Voltage(R.M.S)	A.C. 1minute.	100	A/ μs
T_j	Operating Junction Temperature		2500	V
T_{stg}	Storage Temperature		-30 ~ +125	°C
	Mounting Torque (M5)	Recommended Value 25kgf·cm	-30 ~ +125	°C
	Mass		22~28	kgf·cm
			66	g

Electrical Characteristics

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
I_{ORM}	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 30A, $T_j = 25^\circ C$ Inst. measurement	1.5	V
I_{GT}/V_{GT}	Gate Trigger Current/Voltage, max.	$T_j = 25^\circ C$, $I_T = 1A$, $V_0 = 6V$	40/1.2	mA/V
V_{GD}	Non-Trigger Gate, Voltage, min.	$T_j = 125^\circ C$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$	0.2	V
t_{gt}	Turn On Time, max	$I_T = 10A$, $I_G = 100mA$, $T_j = 25^\circ C$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$, $dI_G/dt = 1A/\mu s$	10	μs
dv/dt	Critical Rate of Rise of On-State Voltage, min.	$T_j = 125^\circ C$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$, Exponential wave.	50	V/ μs
I_H	Holding Current, typ.	$T_j = 25^\circ C$	30	mA
$R_{th}(j-c)$	Thermal Impedance, max.	Junction to case	1.0	°C/W

* mark : Thyristor and Diode part No mark : Thyristor part



Control ICs for Thyristors and Triacs

Selector Guide

Type	Package	Function	Technical data	
TCA 785	P-DIP-16	Phase control for thyristors, triacs, transistors, 250 mA output current	Supply voltage V_S (V_{CE0}) V	Temperature range T_A °C
TLE 3101 TLE 3102 TLE 3103 TLE 3104	P-DIP-18 P-DIP-14 P-DIP-14 P-DIP-8	Phase control for design of control ICs. Typical applications: motor control for kitchen appliances, brightness and temperature control	8 to 18 $V_S = 10$ to 30 V $I_S = \text{typ. } 2.4 \text{ mA}$	–25 to 85
SLB 0586	P-DIP-8	Electronic CMOS brightness control	$V_S = -4.8$ to -5.8 V	

Bipolar IC

Type	Ordering Code	Package
STCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

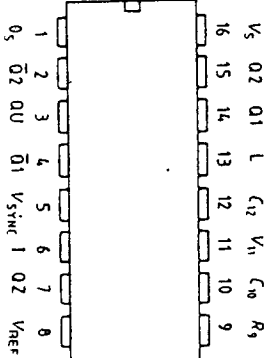
This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.

Features

- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range

Pin Configuration

top view



Pin Description

Pin	Symbol	Function
1	Q_S	Ground
2	$\overline{Q}2$	Output 2 inverted
3	Q_U	Output U
4	$\overline{Q}1$	Output 1 inverted
5	V_{sync}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q_Z	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	$Q1$	Output 1
15	$Q2$	Output 2
16	V_S	Supply voltage

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_S). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor C_{10} of which is charged by a constant current (determined by R_9). If the ramp voltage V_{10} exceeds the control voltage V_{11} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180°.

For every half wave, a positive pulse of approx. 30 μs duration appears at the outputs $Q1$ and $Q2$. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor C_{12} . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

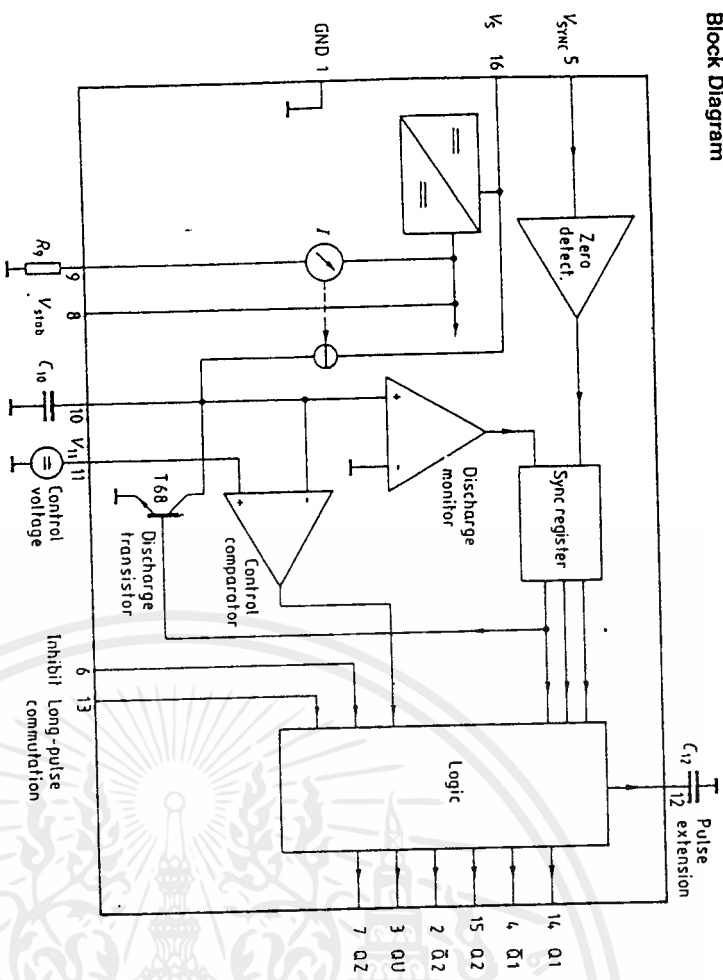
Outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ supply the inverse signals of $Q1$ and $Q2$.

A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3. A signal which corresponds to the NOR link of $Q1$ and $Q2$ is available at output Q_Z (pin 7).

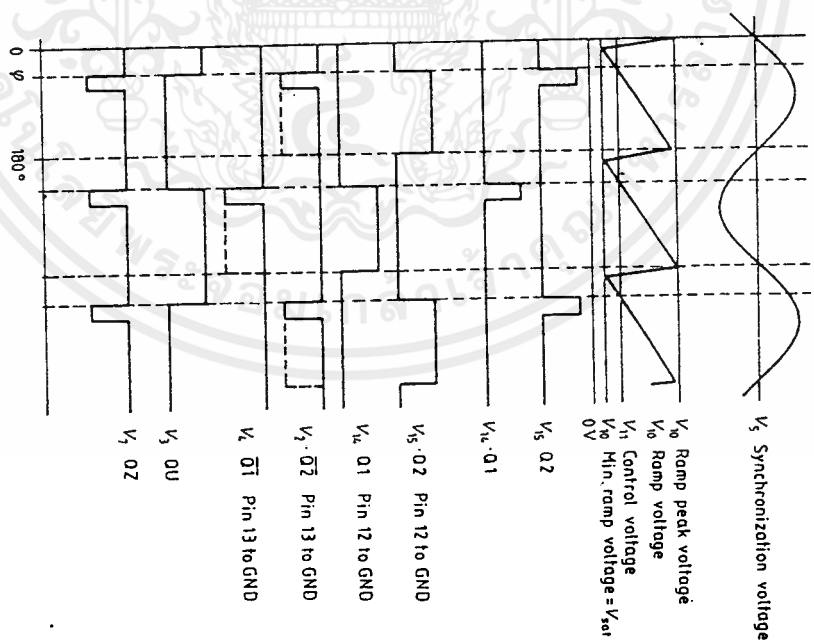
The inhibit input can be used to disable outputs $Q1$, $Q2$ and $\overline{Q}1$, $\overline{Q}2$.

pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ to full pulse length (180° - φ).

Block Diagram



Pulse Diagram



Maximum Ratings

Description	Symbol	min	max	Unit
Supply voltage	V_S	-0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_O	-10	400	mA
Inhibit voltage	V_6	-0.5	V_S	V
Control voltage	V_{11}	-0.5	V_S	V
Voltage short-pulse circuit	V_3	-0.5	V_S	V
Synchronization input current	I_S	-200	± 200	μA
Output voltage at pin 14, 15	V_O		V_S	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_O		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_O		V_S	V
Junction temperature	T_j		125	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{sig}	-55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

Operating Range

Supply voltage	V_S	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	-25	85	$^{\circ}C$

Characteristics

 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C; f = 50 \text{ Hz}$

Description	Symbol	Test circuit	min	$f = 50 \text{ Hz}$ $V_S = 15 \text{ V}$ typ	max	Unit
Supply current consumption S1...S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_g = 100 \text{ k}\Omega$	I_S	1	4.5	6.5	10	mA
Synchronization pin 5 input current R_2 varied Offset voltage	$I_{S, rms}$ ΔV_5	1 4	30		200 75	μA mV
Control input pin 11 Control voltage range input resistance	V_{11} R_{11}	1 5	0.2	15	$V_{10 \text{ peak}}$	V k Ω
Ramp generator Charge current Max. ramp voltage Saturation voltage at capacitor Ramp resistance Sawtooth return time	I_{10} V_{10} V_{10} R_g t_r	1 1 16 1 1	10 100 100 3	225 80	1000 $V_2 - 2$ 350 300	μA V mV k Ω μs
Inhibit pin 6 switch-over of pin 7 Outputs disabled Signal transition time input current $V_6 = 8 \text{ V}$ input current $V_6 = 1.7 \text{ V}$	V_{6L} V_{6H} t_r I_{6H} V_6 $-I_{6L}$	1 1 1 1 1 1	4 1 1 80	3.3 3.3 500 150	2.5 5 800 200	V V μs μA μA
Deviation of I_{10} $R_g = \text{const.}$ $V_S = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$ Deviation of I_{10} $R_g = \text{const.}$ $V_S = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$ Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_S = \text{const.}$	I_{10} I_{10}	1 1	-5 -20		5 20	% %
	$\Delta V_{10 \text{ max}}$			± 1		%

Characteristics

 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

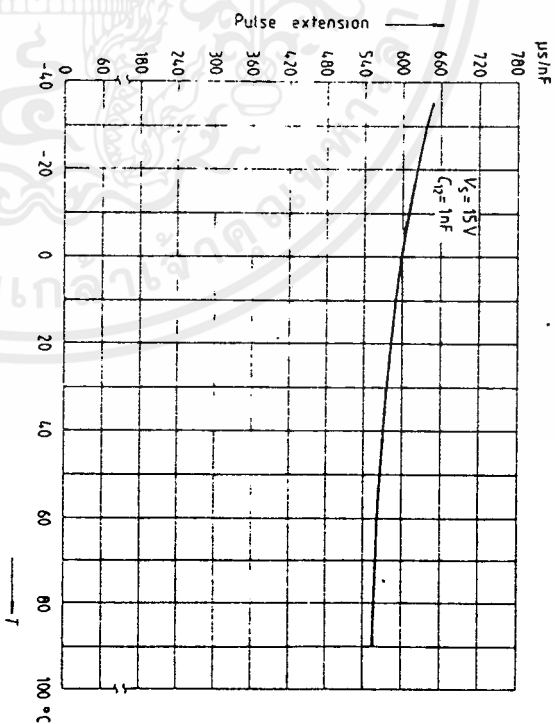
Description	Symbol	Test circuit	min	typ	max	Unit
Long pulse switch-over pin 13						
Short pulse at output	V_{3H}	1	3.5	2.5	2	V
Long pulse at output	V_{3L}	1		2.5	10	V
Input current	I_{3H}	1			100	μA
$V_3 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{3L}$	1	45	65		μA
$V_3 = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CE0}	2.6			10	μA
$V_0 = V_S$					2	V
Saturation voltage	V_{sat}	2.6	0.1	0.4		V
$I_0 = 2 \text{ mA}$						
Outputs pin 14, 15						
H output voltage	$V_{4/15H}$	3.6	$V_S - 3$	$V_S - 2.5$	$V_S - 1.0$	V
$-I_0 = 250 \text{ mA}$						
L output voltage	$V_{4/15L}$	2.6	0.3	0.8	2	V
$I_0 = 2 \text{ mA}$						
Pulse width (short pulse)	t_p	1	20	30	40	μs
S 9 open						
Pulse width (short pulse) with C_{12}	t_p	1	530	620	760	$\mu\text{s/nF}$
Internal voltage control						
Reference voltage	V_{REF}	1	2.8	3.1	3.4	V
Parallel connection of 10 ICs possible						
TC of reference voltage	α_{REF}	1		2×10^{-4}	5×10^{-4}	1/K

Application Hints for External Components

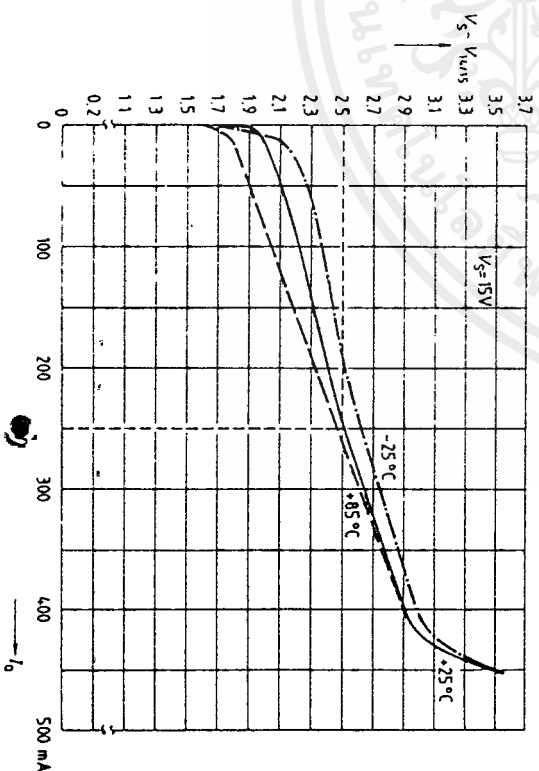
Ramp capacitance C_{10}	min 500 pF	max 1 μF ¹⁾	The minimum and maximum values of I_{10} are to be observed	
Triggering point	$t_{Tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$	2)		
Charge current	$I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_9}$	2)	Ramp voltage $V_{10 \text{ max}} = V_S - 2 \text{ V}$	$V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$

1) Attention to flyback times
2) $K = 1.10 \pm 20\%$

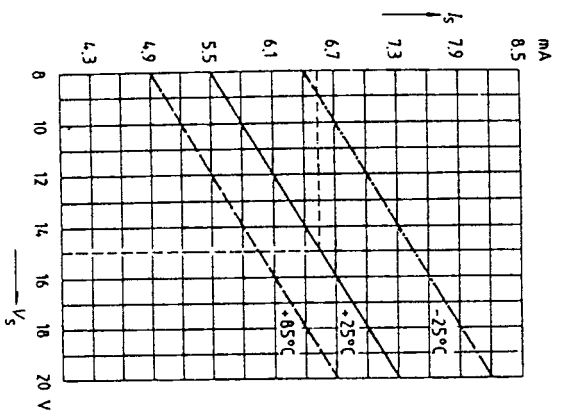
Pulse extension versus temperature



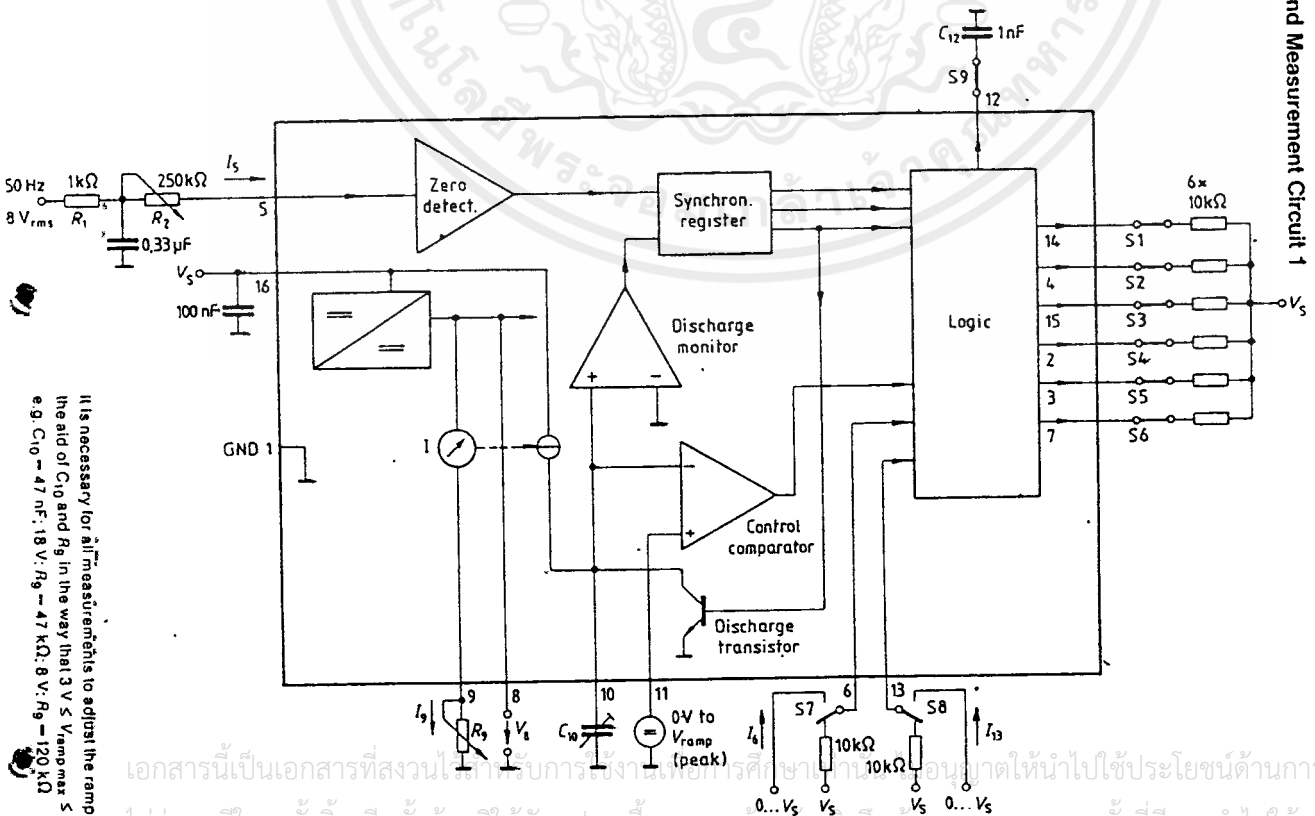
Output voltage measured to +V_S



Supply current versus supply voltage

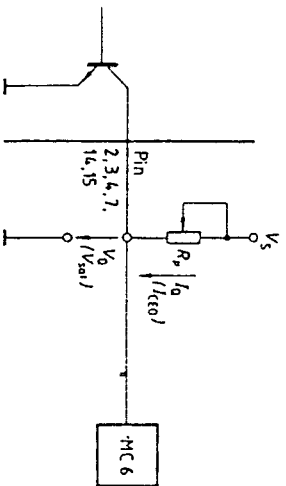


Test and Measurement Circuit 1



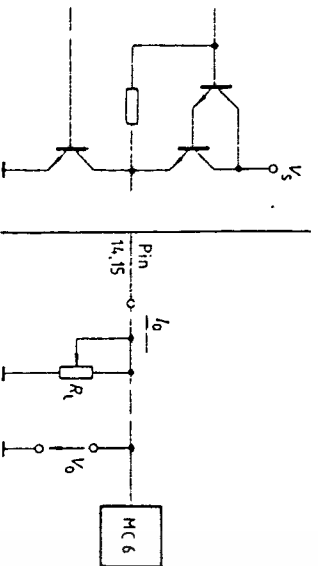
Test and Measurement Circuits

Measurement circuit 2



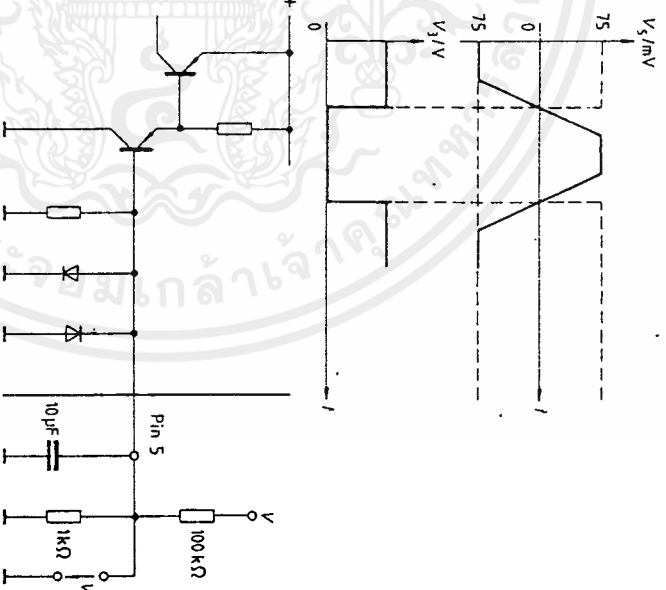
The remaining pins are connected as in measurement circuit 1

Measurement circuit 3



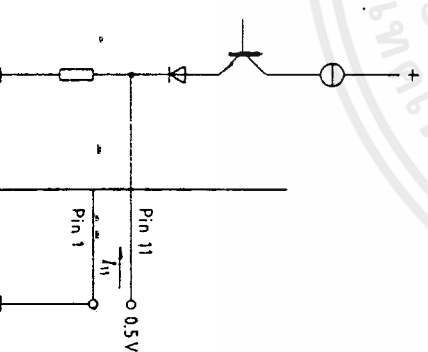
The remaining pins are connected as in measurement circuit 1

Measurement circuit 4

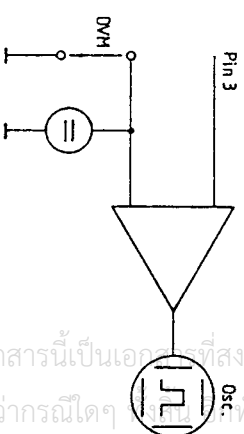


Remaining pins are connected as in measurement circuit 1
The 10 μF capacitor at pin 5 serves only for test purposes

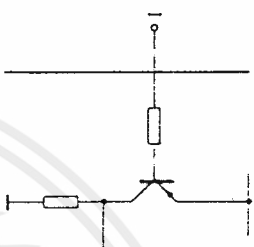
Measurement circuit 5



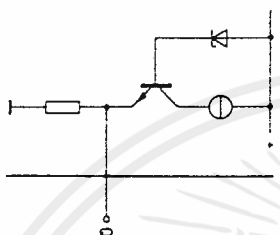
Measurement circuit 6



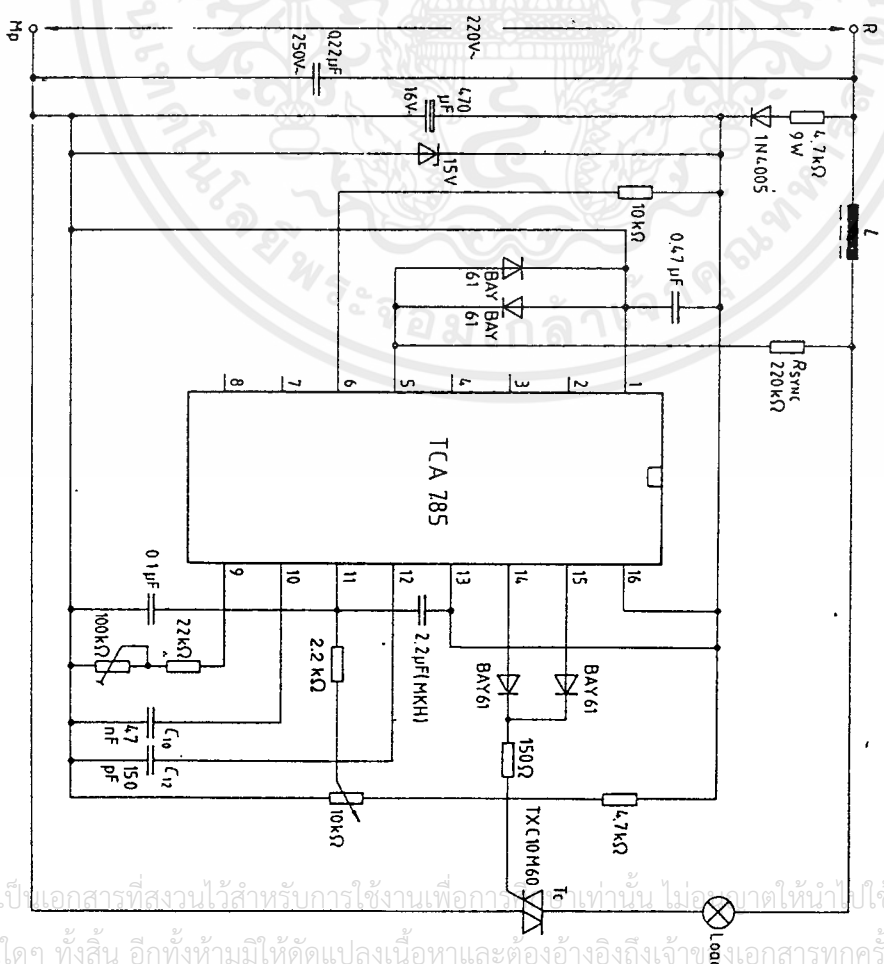
Long pulse 13



Reference voltage 8

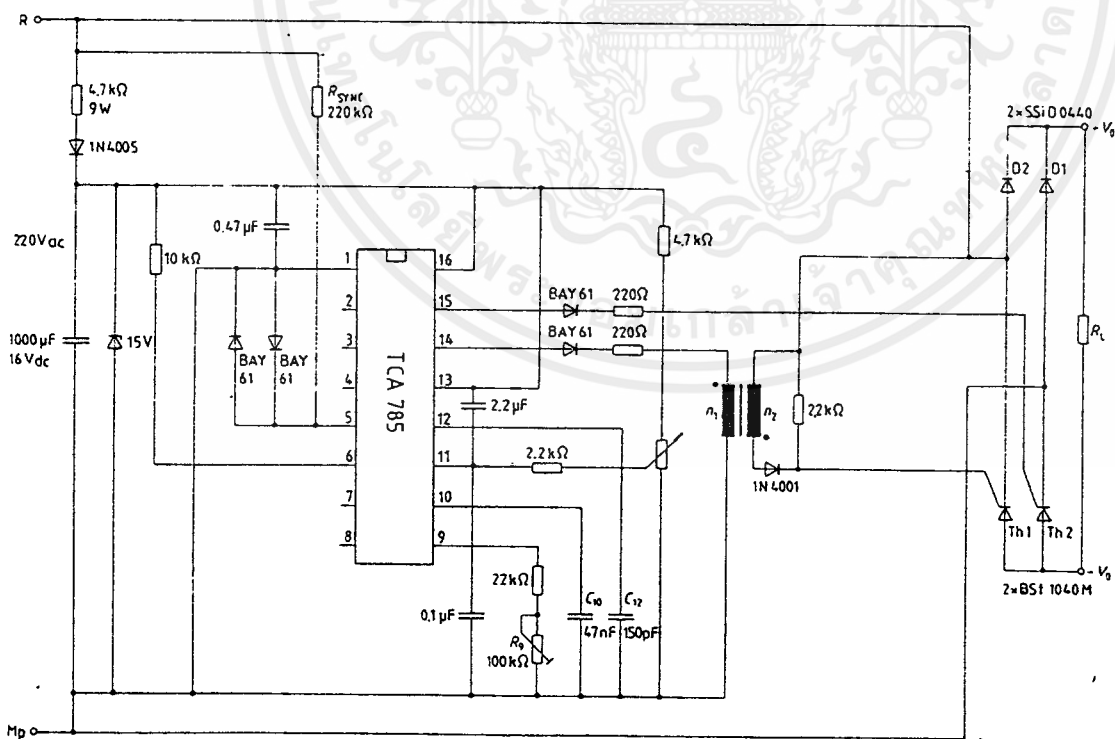


Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current



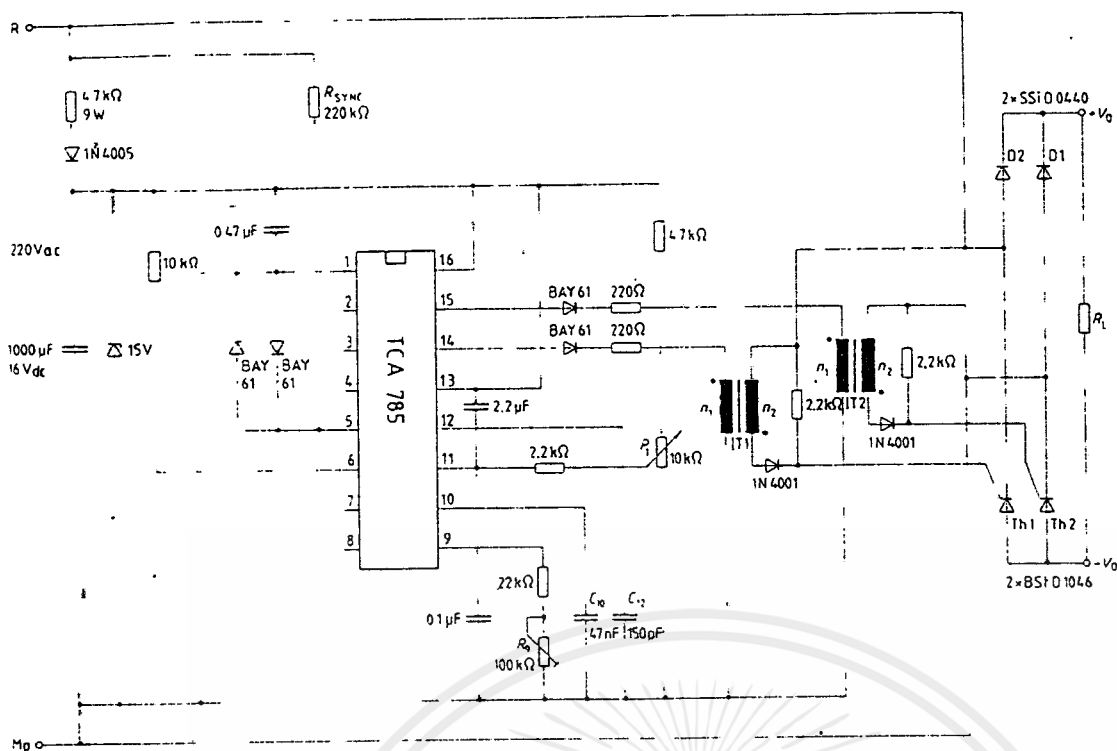
A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. Triac pulse width is approx. 100 μ s.

Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Trigger Pulse Transformer and Direct Control for Low-Power Thyristors.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors



Phase Control IC

Type	Ordering Code	Package
☒ TLE 3101	Q67000-A2337	P-DIP-18
☒ TLE 3102	Q67000-A2338	P-DIP-14
☒ TLE 3103	Q67000-A2339	
☒ TLE 3104	Q67000-A2340	P-DIP-8

These bipolar phase control ICs require, for most applications, only a minimum number of external components. Typical applications are motor control, brightness control, temperature control, cos ϕ optimization for squirrel-cage motors, and starting current limitation. Thanks to their high efficiency, the TLE 310x ICs are particularly suitable for consumer goods, such as kitchen appliances and washing machines, vacuum cleaners, electric irons and hobbyist appliances.

A special feature is the soft start which requires only straightforward wiring, and is e.g. used in portable drills for center punching.

Features

- Direct supply from ac line possible
- Low power consumption, typically 2.4 mA
- Only one capacitor for trigger pulse width and phase angle
- Highly stabilized reference voltage
- Negative triac gate trigger current, 100 mA max.
- No triac drive pulses during supply undervoltage
- Optional voltage or current synchronization
- TLE 3101 with independent on-chip op amp OP and comparator K3

The following versions were produced from that basic IC:

- TLE 3102 without comparator K3
- TLE 3103 without op amp
- TLE 3104 without K3, enable input E/A, control input V_{control}, and without Z diode output.

These simplified versions are provided for less complex low cost applications.



MOTOROLA

SEMICONDUCTORS

P.O. BOX 20912 • PHOENIX, ARIZONA 85036

JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

These low cost JFET-Input operational amplifiers combine two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

The Motorola BIFET family offers single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar devices. The MC35001/35002/35004 series are specified over the military operating temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ and the MC34001/34002/34004 series are specified from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

- Input Offset Voltage Options of 2.0, 5.0, and 10 mV Maximum
- Low Input Bias Current — 40 pA
- Low Input Offset Current — 10 pA
- Wide Gain Bandwidth — 4.0 MHz
- High Slew Rate — 13 V/ μs
- Low Supply Current — 1.8 mA per Amplifier
- High Input Impedance — $10^{12} \Omega$
- High Common-Mode and Supply Voltage Rejection Ratios — 100 dB
- Industry Standard Pinouts

ORDERING INFORMATION

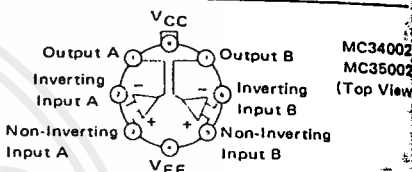
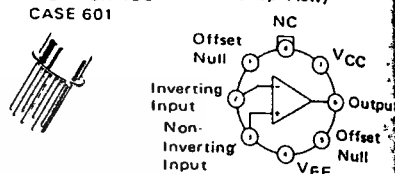
Op Amp Function	Device	Temperature Range	Package
Single	MC34001AG,BG,G	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Metal Can
	MC34001AP,BP,P	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Plastic DIP
	MC34001AU,BU,U	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
	MC35001AG,BG,G	-55 to $+125^{\circ}\text{C}$	Metal Can
	MC35001AU,BU,U	-55 to $+125^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
Dual	MC34002AG,BG,G	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Metal Can
	MC34002AP,BP,P	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Plastic DIP
	MC34002AU,BU,U	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
	MC35002AG,BG,G	-55 to $+125^{\circ}\text{C}$	Metal Can
	MC35002AU,BU,U	-55 to $+125^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
Quad	MC34004BL,L	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP
	MC34004BP,P	0 to $+70^{\circ}\text{C}$	Plastic DIP
	MC35004BL,L	-55 to $+125^{\circ}\text{C}$	Ceramic DIP

MC34001, MC35001
MC34002, MC35002
MC34004, MC35004

JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

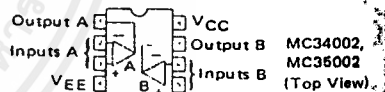
G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 601

MC34001, MC35001
(Top View)



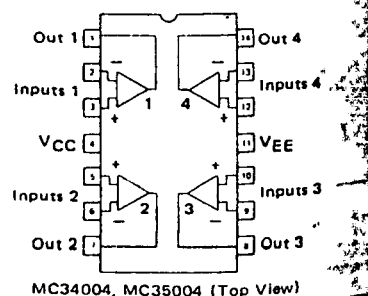
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626
(MC34001, MC34002 only)

U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632
TO-116

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646
(MC34004 only)



© MOTOROLA INC 1983

DS9845B

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MC35001 MC35002 MC35004	MC34001 MC34002 MC34004	Unit
Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+22 -22	+18 -18	V
Differential Input Voltage	V_{ID}	± 40	± 30	V
Input Voltage Range	V_{IDR}	± 20	± 16	V
Output Short-Circuit Duration	t_S	Continuous		
Operating Ambient Temperature Range	T_A	-55 to +125	0 to +70	$^{\circ}\text{C}$
Operating Junction Temperature Metal and Ceramic Packages Plastic Packages	T_J	150 —	115 115	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range Metal and Ceramic Packages Plastic Packages	T_{stg}	-65 to +150 —	-65 to +150 -55 to +125	$^{\circ}\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^{\circ}$ unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	MC35001/35002/35004			MC34001/34002/34004			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}$) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	V_{IO}	—	1.0 3.0 5.0	2.0 5.0 10	—	1.0 3.0 5.0	2.0 5.0 10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $R_S \leq 10\text{ k}$, $T_A = T_{\text{low}}$ to T_{high} (Note 1)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	—	10	—	—	10	—	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$) (Note 2) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	I_{IO}	—	10 10 25	25 50 100	—	25 25 25	50 100 100	pA
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$) (Note 2) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	I_{IB}	—	40 40 50	75 100 200	—	50 50 50	100 200 200	pA
Input Resistance	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 11	+15 -12	—	± 11	+15 -12	—	V
Large Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}$) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	A_{VOL}	50 50 25	150 150 100	— — —	50 50 25	150 150 100	— — —	V/mV
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10\text{ k}$) ($R_L \geq 2.0\text{ k}$)	V_O	± 12 ± 10	± 14 ± 13	— —	± 12 ± 10	± 14 ± 13	— —	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	CMRR	80 80 —	100 100 —	— — —	80 80 70	100 100 100	— — —	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$) (Note 3) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	PSRR	80 80 70	100 100 100	— — —	80 80 70	100 100 100	— — —	dB
Supply Current (Each Amplifier) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	I_D	— — —	1.4 1.4 1.4	2.5 2.5 2.7	— — —	1.4 1.4 1.4	2.5 2.5 2.7	mA
Slew Rate ($A_v = 1$)	SR	—	13	—	—	13	—	V/ μs
Gain-Bandwidth Product	GBW	—	4.0	—	—	4.0	—	MHz
Equivalent Input Noise Voltage ($R_S = 100\text{ }\Omega$, $f = 1000\text{ Hz}$)	e_n	—	25	—	—	25	—	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Equivalent Input Noise Current ($f = 1000\text{ Hz}$)	i_n	—	0.01	—	—	0.01	—	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = T_{\text{low}}$ to T_{high} [Note 1]).

Characteristic	Symbol	MC35001/35002/35004			MC34001/34002/34004			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}$) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	V_{IO}	—	—	4.0	—	—	4.0	mV
		—	—	7.0	—	—	7.0	
		—	—	14	—	—	13	
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$) (Note 2) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	I_{IO}	—	—	20	—	—	2.0	nA
		—	—	40	—	—	4.0	
		—	—	40	—	—	4.0	
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$) (Note 2) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	I_{IB}	—	—	50	—	—	4.0	nA
		—	—	50	—	—	8.0	
		—	—	50	—	—	8.0	
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 11	—	—	± 11	—	—	V
Large Signal ($V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}$) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	A_{VOL}	25	—	—	25	—	—	V/mV
		25	—	—	25	—	—	
		15	—	—	15	—	—	
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10\text{ k}$) ($R_L \geq 2.0\text{ k}$)	V_O	± 12	—	—	± 12	—	—	V
		± 10	—	—	± 10	—	—	
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	CMRR	80	—	—	80	—	—	dB
		80	—	—	80	—	—	
		70	—	—	70	—	—	
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$) (Note 3) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	PSRR	80	—	—	80	—	—	dB
		80	—	—	80	—	—	
		70	—	—	70	—	—	
Supply Current (Each Amplifier) MC3500XA, MC3400XA MC3500XB, MC3400XB MC3500X, MC3400X	I_D	—	—	2.8	—	—	2.8	mA
		—	—	2.8	—	—	2.8	
		—	—	3.0	—	—	3.0	

NOTES: (1) $T_{\text{low}} = -55^\circ\text{C}$ for MC35001/MC35001A/35001B
MC35002/MC35002A/35002B
MC35004/35004B
= 0°C for MC34001/34001A/34001B
MC34002/34002A/34002B
MC34004/34004B
 $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$ for MC35001/MC35001A/35001B
MC35002/MC35002A/35002B
MC35004/35004B
= $+70^\circ\text{C}$ for MC34001/34001A/34001B
MC34002/34002A/34002B
MC34004/34004B

- (2) The input bias currents approximately double for every 10°C rise in junction temperature, T_J . Due to limited test time, the input bias currents are correlated to junction temperature. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.
- (3) Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.
- (4) Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply.

Motorola reserves the right to make changes to any products herein to improve reliability, function or design. Motorola does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein, neither does it convey any license under its patent rights nor the rights of others.



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

FIGURE 1 — INPUT BIAS CURRENT
versus TEMPERATURE

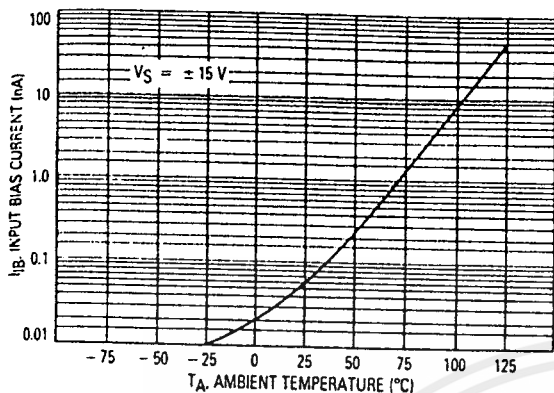


FIGURE 2 — OUTPUT VOLTAGE SWING
versus FREQUENCY

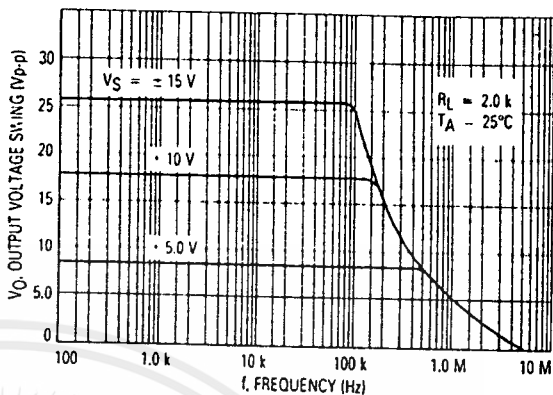


FIGURE 3 — OUTPUT VOLTAGE SWING
versus LOAD RESISTANCE

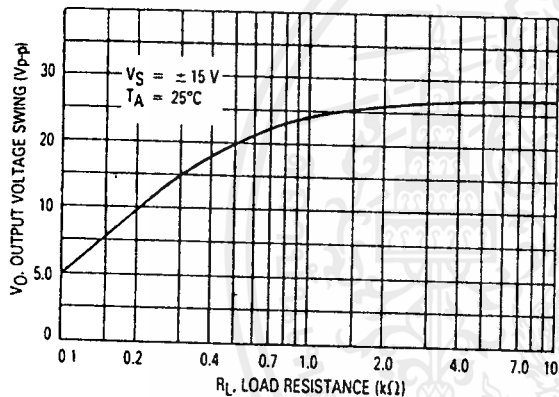


FIGURE 4 — OUTPUT VOLTAGE SWING
versus SUPPLY VOLTAGE

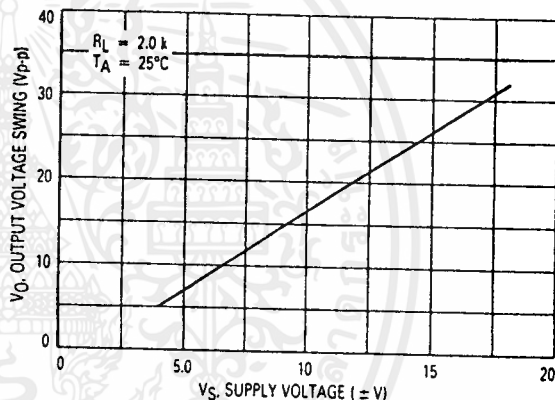


FIGURE 5 — OUTPUT VOLTAGE SWING
versus TEMPERATURE

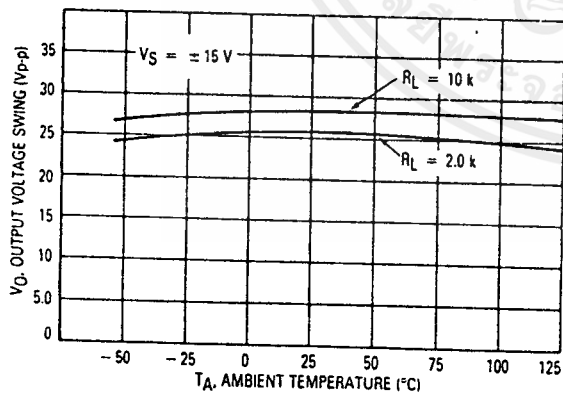
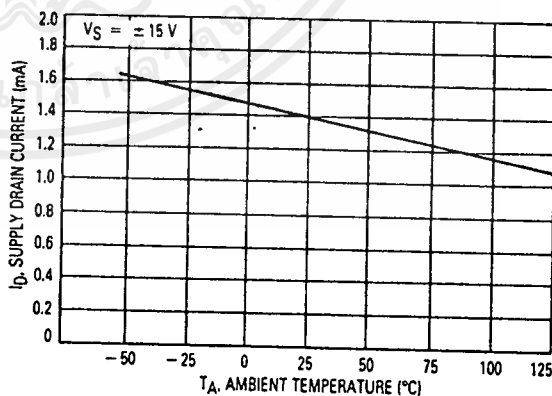


FIGURE 6 — SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER
versus TEMPERATURE



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

FIGURE 7 — LARGE-SIGNAL VOLTAGE GAIN AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY

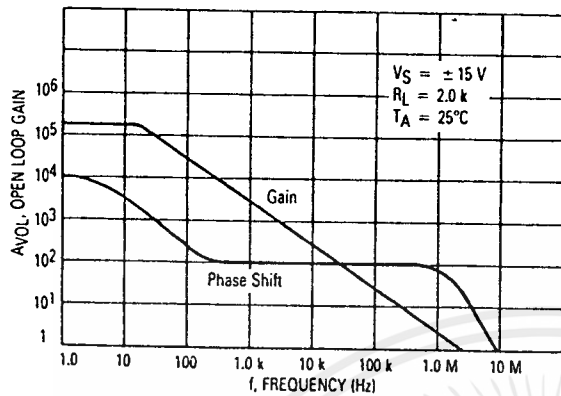


FIGURE 8 — LARGE-SIGNAL VOLTAGE GAIN versus TEMPERATURE

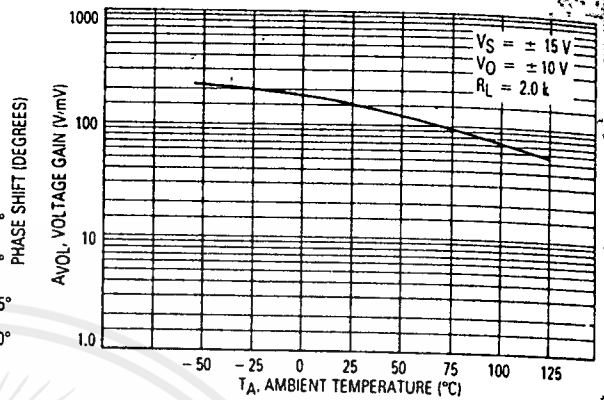


FIGURE 9 — NORMALIZED SLEW RATE versus TEMPERATURE

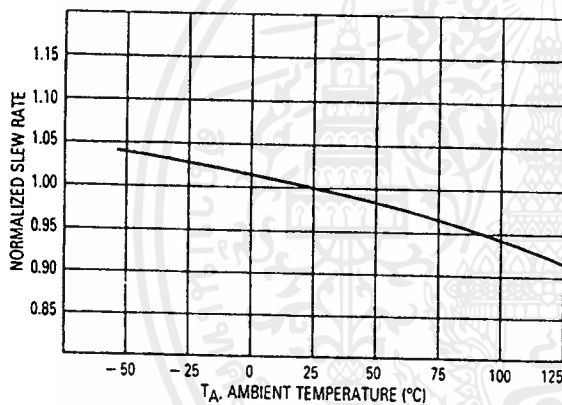


FIGURE 10 — EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY

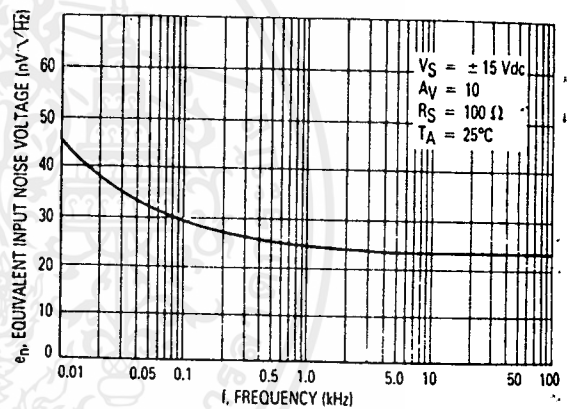
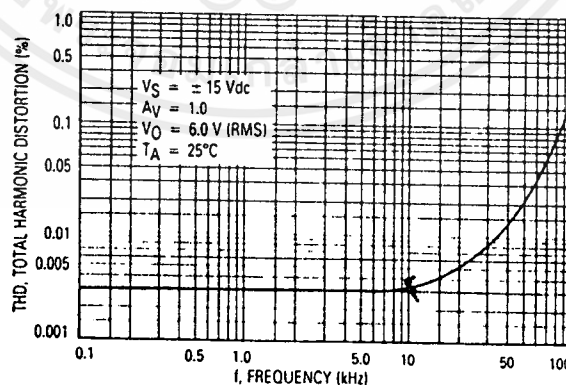
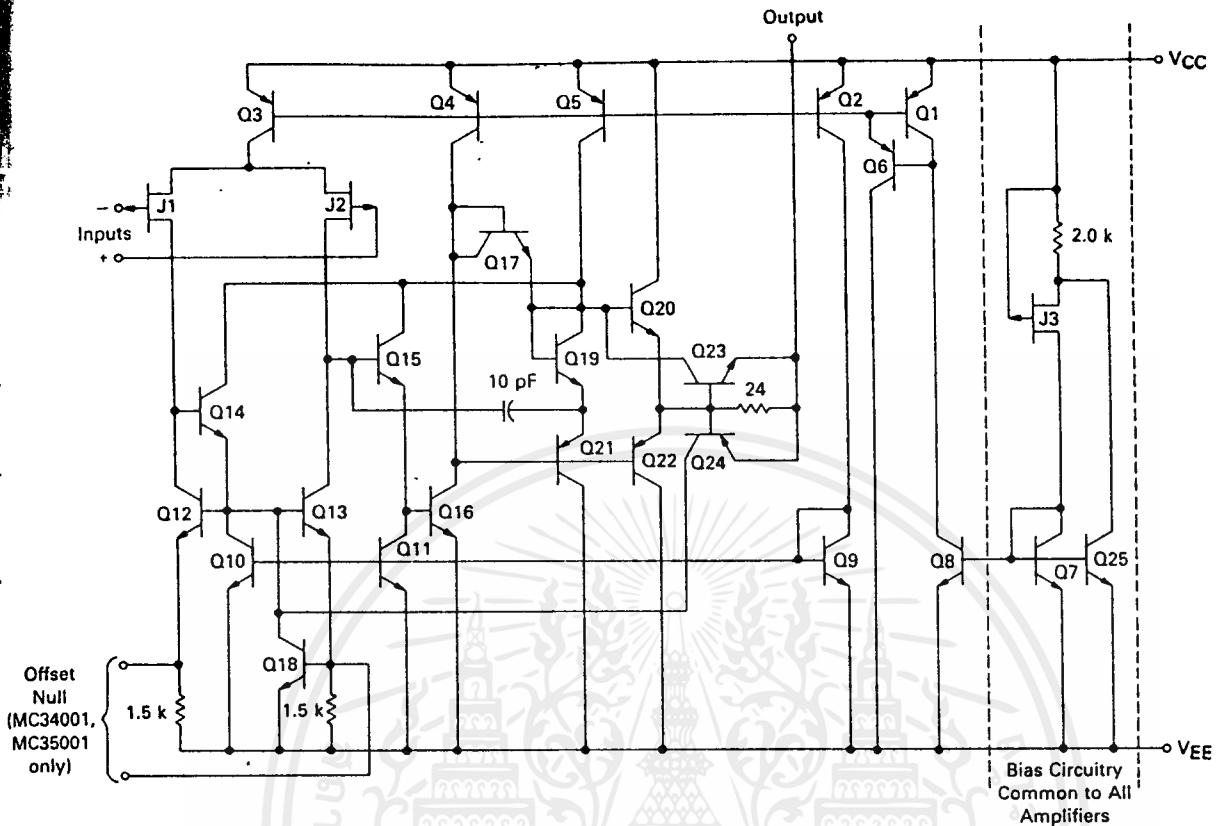


FIGURE 11 — TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



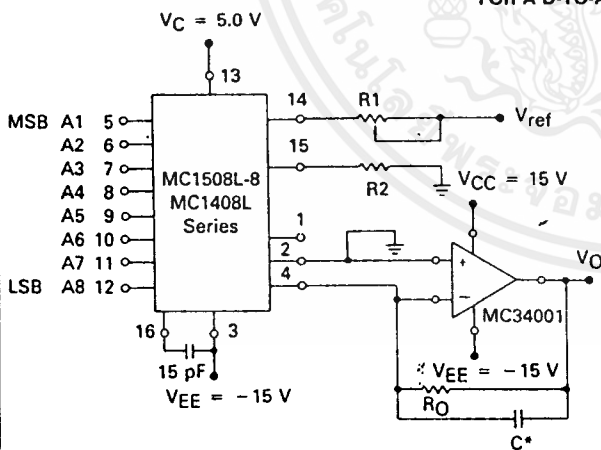
MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

REPRESENTATIVE CIRCUIT SCHEMATIC (Each Amplifier)



TYPICAL APPLICATIONS

FIGURE 12 — OUTPUT CURRENT TO VOLTAGE TRANSFORMATION FOR A D-TO-A CONVERTER



Settling time to within 1/2 LSB (≈ 19.5 mV) is approximately 4.0 μ s from the time all bits are switched.

*The value of C may be selected to minimize overshoot and ringing (C ≈ 68 pF).

Theoretical V_O

$$V_O = \frac{V_{ref}}{R_1} (R_O) \left[\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right]$$

Adjust V_{ref} , R_1 or R_O so that V_O with all digital inputs at high level is equal to 9.961 volts.

$$\begin{aligned} V_{ref} &= 2.0 \text{ Vdc} \\ R_1 &= R_2 \approx 1.0 \text{ k}\Omega \\ R_O &= 5.0 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_O &= \frac{2 \text{ V}}{1 \text{ k}} (5 \text{ k}) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right] \\ &= 10 \text{ V} \left[\frac{255}{256} \right] = 9.961 \text{ V} \end{aligned}$$



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

FIGURE 13 — POSITIVE PEAK DETECTOR

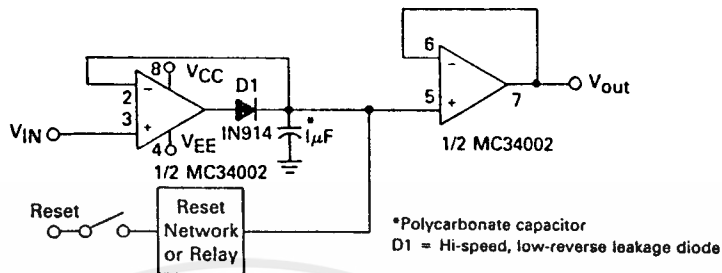
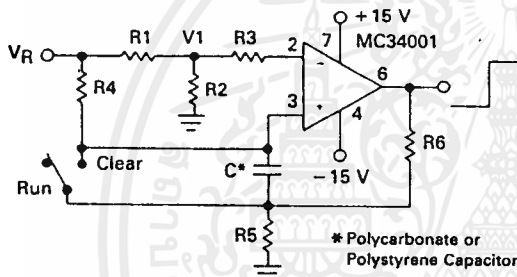


FIGURE 14 — LONG INTERVAL RC TIMER

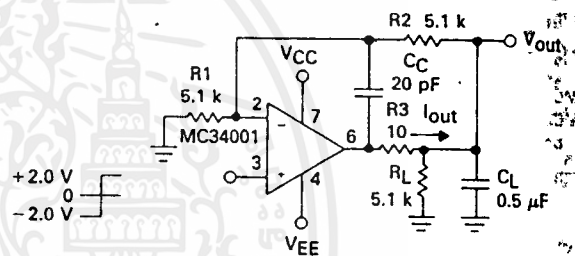


Time (t) = $R_4 C \ln(V_R/V_R - V_i)$, $R_3 = R_4$, $R_5 = 0.1 R_6$
If $R_1 = R_2$: $t = 0.693 R_4 C$

Design Example: 100 Second Timer

$V_R = 10 \text{ V}$ $C = 1.0 \mu\text{F}$ $R_3 = R_4 = 144 \text{ M}$
 $R_6 = 20 \text{ k}$ $R_5 = 2.0 \text{ k}$ $R_1 = R_2 = 1.0 \text{ k}$

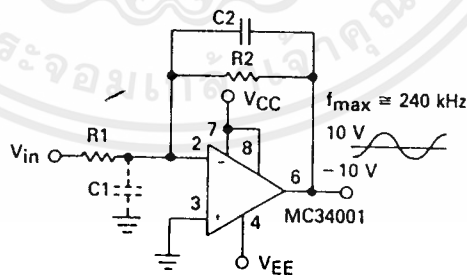
FIGURE 15 — ISOLATING LARGE CAPACITIVE LOADS



- Overshoot < 10%
- $t_s = 10 \mu\text{s}$
- When driving large C_L , the V_{out} slew rate is determined by C_L and $I_{out(max)}$:

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = \frac{I_{out}}{C_L} = \frac{0.02}{0.5} \text{ V}/\mu\text{s} = 0.04 \text{ V}/\mu\text{s} \text{ (with } C_L \text{ shown)}$$

FIGURE 16 — WIDE BW, LOW NOISE, LOW DRIFT AMPLIFIER



• Power BW: $f_{max} = \frac{S_r}{2\pi V_p} \approx 240 \text{ kHz}$

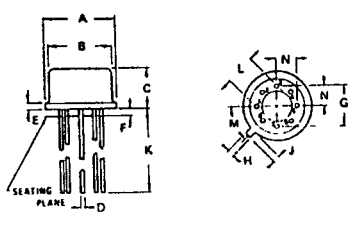
- Parasitic input capacitance ($C_1 \approx 3 \text{ pF}$ plus any additional layout capacitance) interacts with feedback elements and creates undesirable high-frequency pole. To compensate add C_2 such that: $R_2 C_2 \approx R_1 C_1$.



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

OUTLINE DIMENSIONS

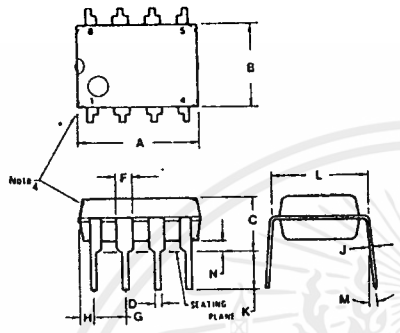
CASE 601-04
G SUFFIX
METAL PACKAGE



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.51	9.40	0.335	0.370
B	7.75	8.51	0.305	0.335
C	4.19	4.70	0.165	0.185
D	0.41	0.48	0.016	0.019
E	0.25	1.02	0.010	0.040
F	0.25	1.02	0.010	0.040
G	5.08 BSC		0.200 BSC	
H	0.71	0.86	0.028	0.034
J	0.74	1.14	0.029	0.045
K	12.70	-	0.500	-
L	3.05	4.06	0.120	0.160
M	45° BSC		45° BSC	
N	2.41	2.67	0.095	0.105

NOTES:
1. LEADS WITHIN 0.25 mm (0.010) DIA OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

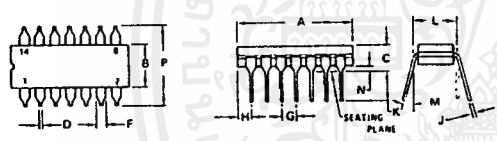
CASE 626-04
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.84	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
E	1.02	1.52	0.040	0.060
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	0.76	1.27	0.030	0.050
H	0.70	0.90	0.028	0.035
J	2.67	3.43	0.105	0.135
K	7.62 BSC		0.300 BSC	
L	-	10°	-	10°
M	0.51	0.76	0.020	0.030
N	0.51	0.76	0.020	0.030

NOTES:
1. LEAD POSITIONAL TOLERANCE: $\pm 0.13 (0.005) \text{ DIA } \textcircled{A} \text{ (M)} \text{ (L)}$
2. DIMENSION "L" TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
4. DIMENSIONS A AND B ARE DATUMS.
5. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1973.

CASE 632-02
L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE

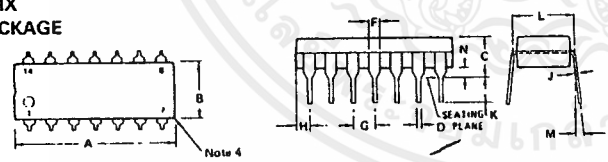


DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	16.8	19.9	0.660	0.785
B	5.59	7.11	0.220	0.280
C	-	5.08	-	0.200
D	0.381	0.584	0.015	0.023
E	0.77	1.27	0.030	0.050
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	0.203	0.381	0.008	0.015
H	2.54		0.100	
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	-	15°	-	15°
L	0.51	0.76	0.020	0.030
M	-	8.25	-	0.325

NOTES:
1. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH MDO 001 AA OUTLINE SHALL APPLY.
2. DIMENSION "L" TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. LEADS WITHIN 0.25mm (0.010) DIA OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AND MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

ALL JEDEC dimensions and notes apply.

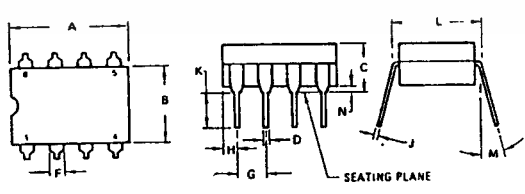
CASE 646-05
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	18.16	19.56	0.715	0.770
B	6.10	6.80	0.240	0.260
C	4.06	5.08	0.160	0.200
D	0.38	0.53	0.015	0.021
E	1.02	1.78	0.040	0.070
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	1.37	2.41	0.054	0.095
H	0.70	0.90	0.028	0.035
J	2.92	3.43	0.115	0.135
K	7.62 BSC		0.300 BSC	
L	-	10°	-	10°
M	0.51	1.02	0.020	0.040
N	0.51	1.02	0.020	0.040

NOTES:
1. LEADS WITHIN 0.13 mm (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
2. DIMENSION "L" TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION "B" DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
4. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

CASE 693-02
U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.91	10.92	0.390	0.430
B	6.22	6.93	0.245	0.275
C	4.32	5.08	0.170	0.200
D	0.41	0.51	0.016	0.020
E	1.40	1.65	0.055	0.065
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	1.14	1.55	0.045	0.065
H	0.20	0.30	0.008	0.012
J	3.18	4.06	0.125	0.160
K	7.37	7.87	0.290	0.310
L	-	15°	-	15°
M	0.51	1.02	0.020	0.040
N	0.51	1.02	0.020	0.040

NOTES:
1. LEADS WITHIN 0.13 mm (0.005) RAD OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
2. DIMENSION "L" TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

BOX 20912 • PHOENIX, ARIZONA 85036 • A SUBSIDIARY OF MOTOROLA INC.

11011-2 PRINTED IN USA M-63 IMPROVED EDITION 11/79 17-000

DD94351

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้