บทที่4
วงจรประจุแบตเตอรี่
(Charger)

วงจรนี้มีหน้าที่ประจุแบตเตอรี่ให้มีแรงดันคงที่อยู่ที่ 27 โวลต์ (แรงดันอัดประจุลอยตัว) โดยวงจรนี้จะต้องทำการแปลงระดับแรงดันจากด้านออกของวงจรเรียงกระแสที่มีระดับแรงดันที่ 400 โวลต์ ให้เป็นระดับแรงดัน 27 โวลต์ จะต้องมีการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์มาใช้ ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half – Bridge Converter) มาเป็นวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยที่ไม่ทำให้แบตเตอรี่เสียหายและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานนั้น จะต้องทำความเข้าใจถึงการทำงานของแบตเตอรี่เสียก่อน

4.1 แบตเตอรี่ (Battery)

ในปัจจุบันมีแบตเตอรี่มากมายหลายชนิดให้เลือกใช้งาน ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีความเหมาะสมในการเลือกใช้งานต่างกัน แบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรด เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบ UPS ทั้งนี้เป็นเพราะแบตเตอรี่ชนิดนี้ราคาถูก แต่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ต่ำ และยังมีแบตเตอรี่อีกชนิดหนึ่งซึ่งก็มีการใช้ในระบบ UPS บ้าง นั่นก็คือแบตเตอรี่นิเกิล – แคดเมี่ยม ซึ่งมีอัตราการอัดประจุ – คายประจุ ดีกว่าชนิดตะกั่ว – กรด ทั้งยังง่ายในการบำรุงรักษา แต่มีราคาแพง แต่ด้วยเทคโนโลยีในการผลิตแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล - แคดเมี่ยม ในปัจจุบันทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาถูกลง และเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น

ในสภาวะปกติเมื่อแรงดันจากการไฟฟ้ายังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ก็จะถูกอัดประจุ โดยได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแส เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่จนเต็ม (27 โวลต์)

ในสภาวะที่แรงดันด้านเข้าจากการไฟฟ้าขาดหายไป อาจจะเป็นเพียงชั่วขณะหรือเป็นระยะเวลานานก็แล้วแต่ ซึ่งแบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดแทน ค่าความจุของแบตเตอรี่จะแสดงในหน่วยแอมแปร์ – ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลคูณของกระแสคายประจุที่คงที่ของแบตเตอรี่ และระยะเวลาที่แรงดันของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่าระดับแรงดันที่เรียกว่าค่าแรงดันคายประจุสุดท้าย (final discharge voltage)

แรงดันของแบตเตอรี่ไม่ควรจะต่ำกว่าระดับแรงดันคายประจุขั้นสุดท้ายนี้ ไม่เช่นนั้นแล้วอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลงอย่างรวดเร็ว

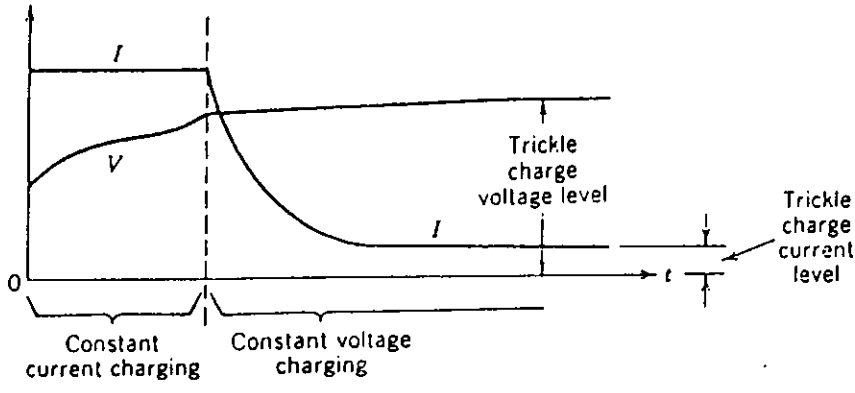
ส่วนการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นโดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ 3 แบบ ด้วยกัน คือ

1.อัดด้วยแรงดันคงที่

2. อัดด้วยกระแสคงที่

3. อัดด้วยจังหวะขึ้นอยู่กับการออกแบบ

หลักการที่ถูกต้องสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ก็คือ การทำให้กระแสอัดประจุมีค่าคงที่ในช่วงแรกนี้ เพราะในช่วงแรกนี้แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าต่ำมาก ถ้าเราทำการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่ จะทำให้มีกระแสอัดประจุไหลเข้าสู่แบตเตอรี่สูงมากและส่งผลให้แบตเตอรี่ได้รับความเสียหายได้ ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง เมื่อทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ในช่วงแรกจนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มมีค่าคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่งดังภาพประกอบ 4.1 ค่ากระแสอัดประจุก็มีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าคงที่เช่นเดียวกันและก็จะคงสภาวะนี้ตลอดช่วงของการอัดประจุแบตเตอรี่



ภาพประกอบ 4.1 แสดงหลักการอัดประจุแบตเตอรี่

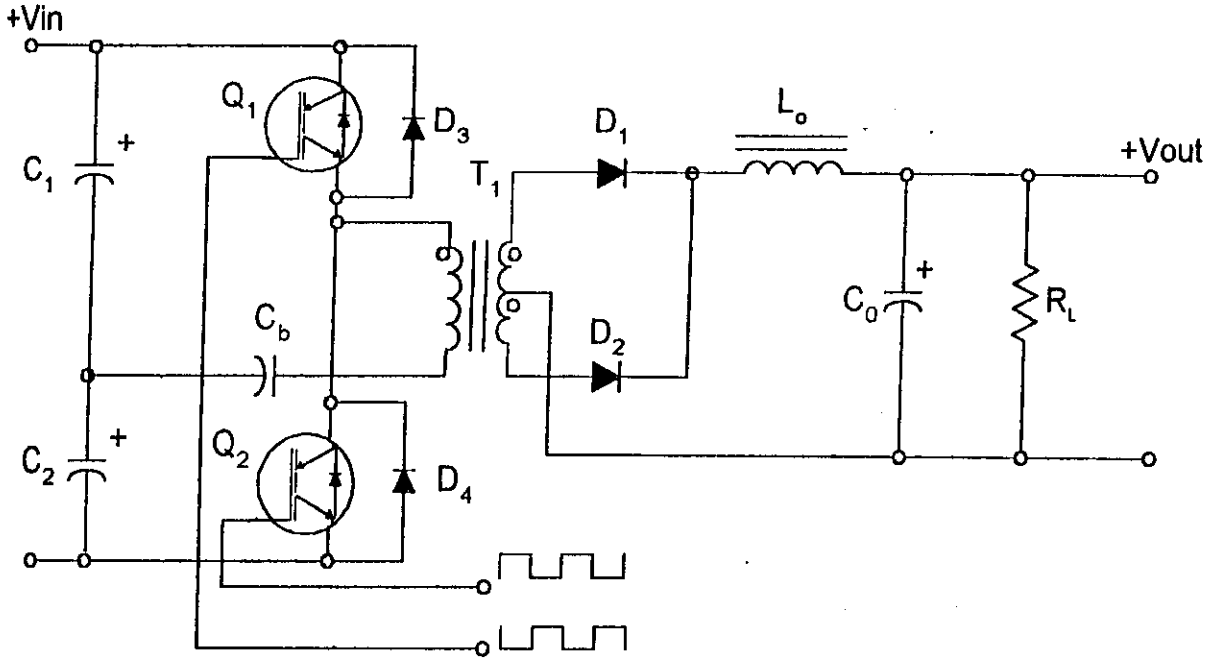
เราจะต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการควบคุมคุณลักษณะของการอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อที่จะนำไปสู่การอัดประจุแบตเตอรี่ให้เข้าสู่สภาวะประจุเต็มได้อย่างรวดเร็วที่สุด และทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานด้วย

4.2 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half Bridge Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดลวดไพรมารี่ของหม้อแปลงเท่ากับแรงดันด้านเข้า แต่แรงดันตกคร่อม IGBT มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันด้านเข้าเท่านั้น

4.2.1 พื้นฐานการทำงานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์[10]

วงจรพื้นฐานการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ดังภาพประกอบ 4.2 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้

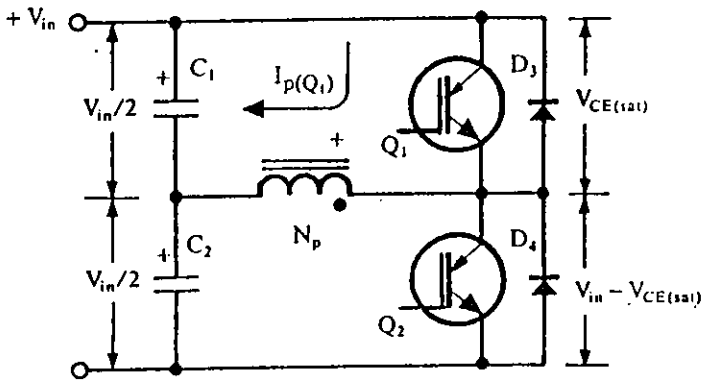


ภาพประกอบ 4.2 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

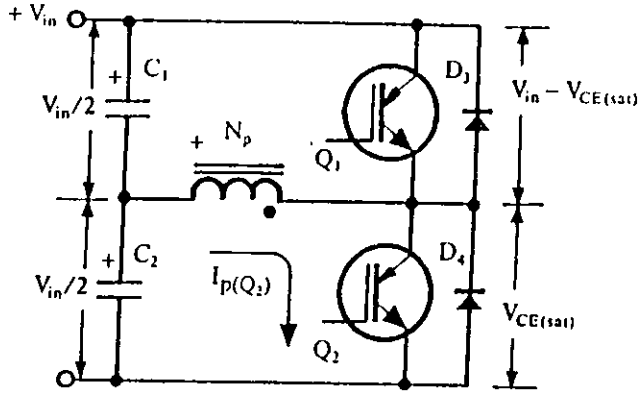
เนื่องจากตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 กำหนดให้มีค่าเท่ากันต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านเข้าเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันด้านเข้า IGBT Q_1 และ Q_2 จะสลับการทำงานกันคนละครึ่งคาบเวลาและเพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_b ต่ออยู่ในวงจรเสียก่อน โดยให้ปลายของขดลวดไพรมารี่ Np ที่ต่ออยู่กับ C_b นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ดังภาพประกอบ 4.3

เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแส และ Q_2 ไม่นำกระแส ในช่วงนี้แรงกันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ ส่วนแรงดันตกคร่อมขดลวดไพรมารี่ Np จะมีค่าเท่ากับ $V_{C1} - V_{CE(sat)}$ หรือมีค่าเท่ากับ $V_{in} / V_{CE(sat)}$ นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแส และ Q_1 ไม่นำกระแส

ค่าแรงดันตกคร่อม Q_1 จะมีค่าเท่ากับ เช่นเดียวกัน $V_{in} - V_{CE(sat)}$ แรงดันตกคร่อมที่ขดลวดไพรมารี่ Np ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ $V_{in/2} - V_{CE(sat)}$ เนื่องจาก $V_{CE(sat)}$ มีค่าประมาณ 0.5 – 1 โวลต์ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันด้านเข้าเท่านั้น



ภาพประกอบ 4.3 (ก) ขณะที่ Q_1 นำกระแส Q_2 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ และแรงดันตกคร่อม Np เท่ากับ $V_{in/2} - V_{CE(sat)}$



ภาพประกอบ 4.3(ข) ขณะที่ Q_1 นำกระแส Q_2 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ และเช่นเดียวกันแรงดันตกคร่อม N_p เท่ากับ $V_{in/2} - V_{CE(sat)}$

4.2.2 ค่าเวลาเผื่อ t_D สำหรับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [10]

การกำหนดค่าเวลาเผื่อ (dead – time) ไว้เพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์ มีช่วงเวลานำกระแสมากเกินไป มีเหตุผลหลักคือ เพื่อเป็นการป้องกันการนำกระแสพร้อมกันของทรานซิสเตอร์จะพังเสียหายได้ ซึ่งในการทำงานจริง ๆ แล้ว ถึงแม้จะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งทรานซิสเตอร์ ให้หยุด

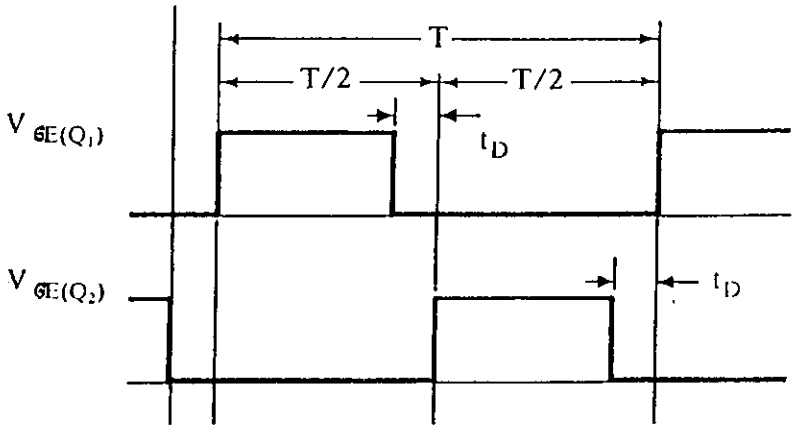
นำกระแสแล้วก็ตามทรานซิสเตอร์ก็ยังไม่ปลอดภัยเพียงพอ เพราะการตอบสนองของทรานซิสเตอร์อาจเป็นไปได้ช้าเนื่องจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในตัวทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส เมื่อหยุดจ่ายแรงดันไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ที่เวลา t = T/2 (T คือคาบของการสวิตช์)ประจุสะสมจะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสต่อไปได้อีกชั่วระยะเวลาหนึ่งก่อนที่กระแสจะลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะเดียวกันทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งเริ่มได้รับแรงดันไบแอสที่เวลา t = T/2 เช่นเดียวกัน ทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองคู่เกิดนำกระแสพร้อมกัน ในกรณีนี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะเท่ากับค่าของแรงดันด้านเข้า และมีกระแสลัดวงจรค่าสูงไหลผ่านทรานซิสเตอร์ทำให้เกิดการพังเสียหายอย่างรวดเร็ว

การกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_D สำหรับช่วงเวลานำกระแสให้กับ Q_1 และ Q_2 ดังภาพประกอบ 4.4 จะช่วยป้องกันปัญหาที่กล่าวมาแล้วได้ ค่าเวลาเผื่อโดยทั่วไปจะกำหนดไว้ประมาณ 20 % ของครึ่งคาบเวลา ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของ Q_1 และ Q_2 จึงไม่ควรมีค่าเกิน

$$t_{on(max)} = 0.8\left(\frac{T}{2}\right) = 0.4T$$

และค่าเวลาเผื่อ $t_D = 0.1T$

โดยที่ T คือ คาบเวลาการทำงานของ Q_1 และ Q_2



ภาพประกอบ 4.4 แสดงการกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_D ให้กับทรานซิสเตอร์

4.2.3วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น

วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 400 โวลต์ ไปเป็นระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 27 โวลต์ เพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ 24 โวลต์ โดยที่แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ได้มาจากการนำแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน ทำให้ได้ขนาดของแบตเตอรี่ที่ต้องการคือ 24 โวลต์ สามารถอธิบายการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวดังนี้

C_1 และ C_2 ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแรงดันให้มีค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองตัวละครึ่งหนึ่งของแรงดันด้านเข้า คือจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า 400 โวลต์ จะมีแรงดันตกคร่อม C_1และ C_2 ตัวละ 200 โวลต์

Q_1 และ Q_2 ต่อกันอยู่ในลักษณะของฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานที่ความถี่ประมาณ 20 KHz เพื่อทำให้ได้แรงดันตกคร่อมขดลวดไพรมารี่ของหม้อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีขนาดสูงสุดและต่ำสุดเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าคือ $\pm$200โวลต์

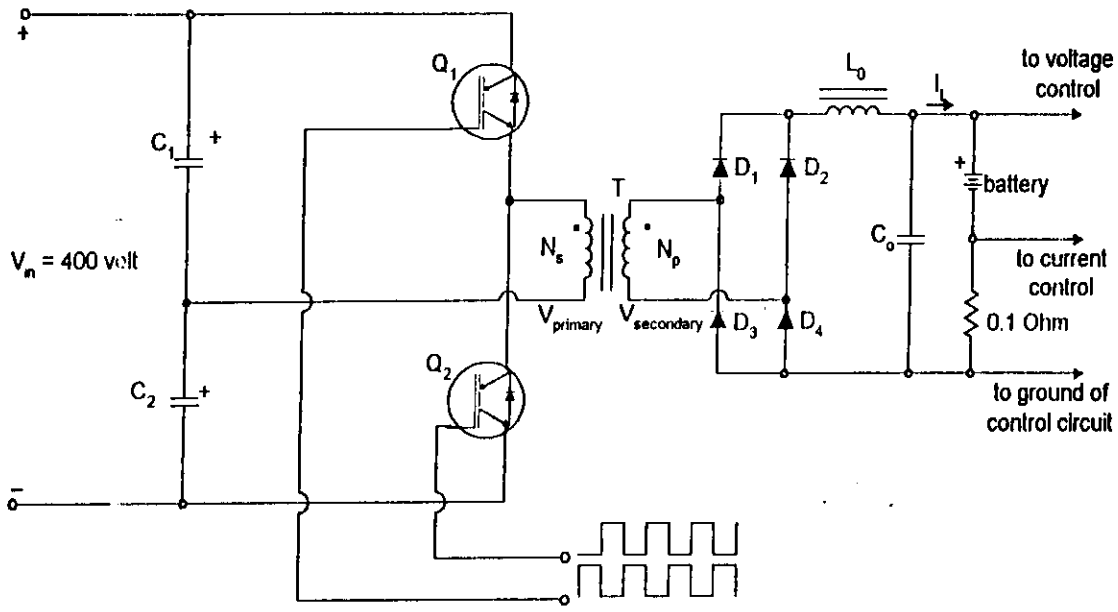
หม้อแปลงทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านไพรมารี่ $\pm$ 200 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านเซคั่นดารี่ขนาดประมาณ $\pm$ 29 โวลต์ (เผื่อแรงดันตกคร่อมไดโอดประมาณ 2 โวลต์)

ไดโอด $D_1 - D_4$ ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด $\pm$ 29 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาดประมาณ 27 โวลต์

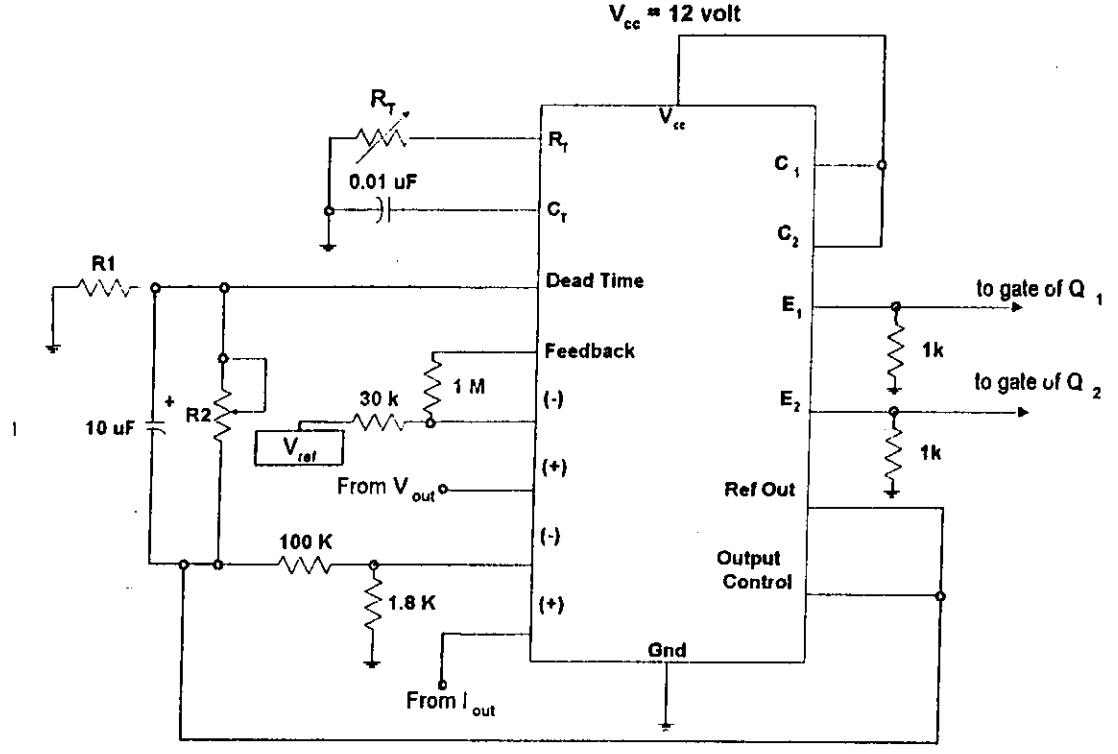
L_0 ,C_0 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันและกระแสทางด้านออกให้เรียบมากยิ่งขึ้น ช่วยลดริปเปิ้ลของแรงดันและกระแสเพื่อจะได้นำไปประจุแบตเตอรี่ต่อไป

การทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่นี้เราจะใช้ IC เบอร์ TL494 มาควบคุมการทำงานโดยใช้หลักการของ pulse width modulation control

การควบคุมการทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่นี้ จะต้องทำการควบคุมทั้งระดับแรงดันและกระแสทางด้านออก คือจะต้องทำการจำกัดค่าแรงดันด้านออกเอาไว้ที่ 27 โวลต์ และจำกัดค่ากระแสประจุแบตเตอรี่เอาไว้ที่ค่าประมาณ 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแอมป์ – ชั่วโมง ของแบตเตอรี่ (9 แอมป์ – ชั่วโมง) เพื่อทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังนั้นต้องจำกัดค่ากระแสประจุแบตเตอรี่เอาไว้ที่ค่าประมาณ 0.45 – 0.9 แอมป์ ในโครงงานนี้จำกัดค่ากระแสประจุแบตเตอรี่เอาไว้ที่ค่าประมาณ 0.85 แอมป์



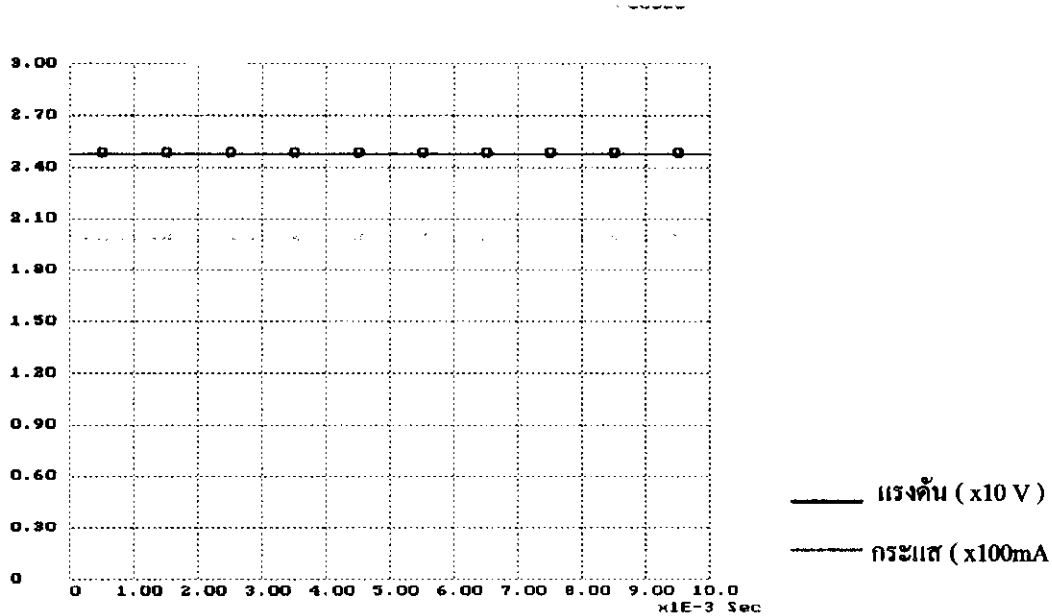
ภาพประกอบ 4.5 วงจรประจุแบตเตอรี่



ภาพประกอบ 4.6 วงจรควบคุมวงจรประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ IC เบอร์ TL 494

4.3 การจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกม Tlek

เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานของวงจรที่ได้ออกแบบไว้ จะใช้การจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Tlek ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรไฟฟ้า จากการจำลองการทำงานในสภาวะโหลดค่าต่างๆแสดงในภาพประกอบ 4.7 จะเห็นได้ว่าวงจรสามารถทำงานได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้



ภาพประกอบ 4.7 แสดงแรงดันและกระแสอัดประจุของวงจรประจุแบตเตอรี่ (จำลองด้วยโปรแกรม Tlek)