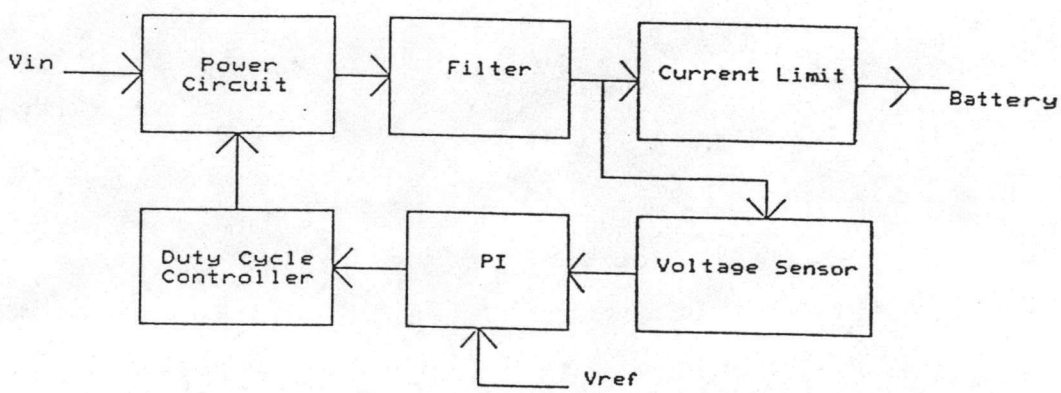
บทที่ 5

วงจรประจุแบตเตอรี่

วงจรประจุแบตเตอรี่ที่นำมาใช้กับแหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่องในที่นี้ ในสภาวะที่วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงยังทำงานปกติ วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดัน 450 โวลต์ จากวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดันประมาณ 27 โวลต์ เพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่ และในขณะที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระสแตรงหยุดทำงาน หรืออยู่ในช่วงเวลาจ่ายกำลังสำรอง วงจรประจุแบตเตอรี่นี้จะหยุดทำงาน จะเห็นว่าการทอนระดับแรงดันไฟตรงจาก 450 โวลต์ ไปเป็นแรงดันไฟตรงแรงดัน 27 โวลต์ ไม่สามารถทำได้โดยใช้วงจรทอนระดับธรรมดา ที่อาศัยเฉพาะวัฏจักรงานเพียงอย่างเดียวได้ จึงเลือกใช้วงจรบริดจ์อสมมาตรในการแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจาก 450 โวลต์ ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 27 โวลต์ เพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่และกระแสในการประจุแบตเตอรี่จะถูกจำกัดด้วยวงจรจำกัดกระแส ซึ่งแผนภาพบล็อกของวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 5.1

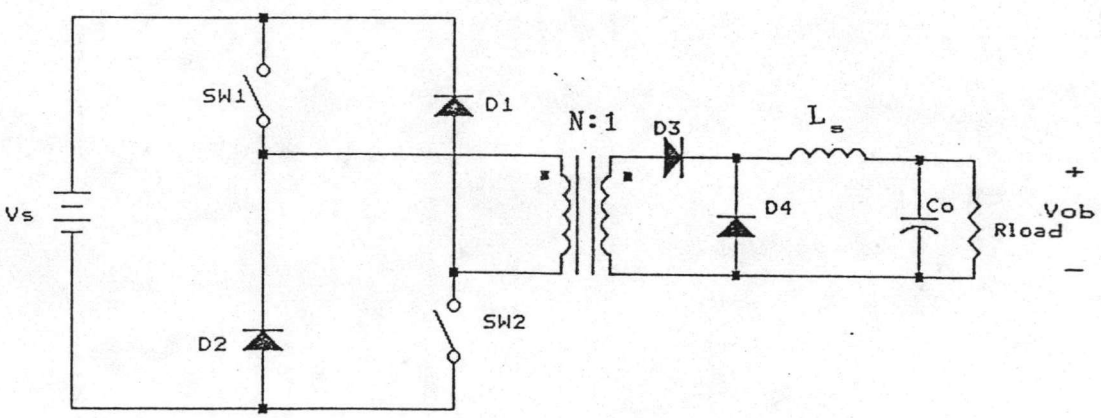


รูปที่ 5.1 แผนภาพบล็อกของวงจรประจุแบตเตอรี่

วงจรบริดจ์อสมมาตรนี้ มีลักษณะการทำงานคล้ายกับวงจรทอนระดับ แต่มีหม้อแปลงในวงจรจึงทำให้สามารถทอนระดับไฟฟ้ากระแสตรงจาก 450โวลต์ ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดัน 27 โวลต์ได้โดยการเลือกค่าอัตราส่วนของรอบหม้อแปลงที่เหมาะสม และวงจรมีข้อดีคือ ไม่มีแรงดันยอดแหลม (spike) เกิดขึ้นที่สวิตช์ในช่วงตัดวงจร ส่วนข้อเสียคือ หม้อแปลงของวงจรบริดจ์อสมมาตรนี้จะถูกใช้ไม่เต็มที่ คือ มีฟลักซ์แม่เหล็กไหลในทิศทางเดียวเท่านั้น แต่เนื่องจากกำลังของวงจรประจุแบตเตอรี่ ในที่นี้มีค่าค่อนข้างต่ำ จึงไม่ทำให้ขนาดของหม้อแปลงและวงจรประจุแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่เกินไป

5.1 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

วงจรบริดจ์อสมมาตรที่ใช้ในวงจรประจุแบตเตอรี่นี้มีลักษณะดังรูปที่ 5.2 และมีลักษณะการทำงานดังนี้



รูปที่ 5.2 วงจรบริดจ์อสมมาตร

ในช่วงเวลา $0<t<DT$ สวิตช์ S1 และ S2 ต่อวงจรทำให้แรงดันที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงมีค่าเท่ากับ V_s และทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ V_s/N ไดโอด D_3 จะนำกระแสส่วนไดโอด D_4 จะหยุดนำกระแส กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_s จะเพิ่มขึ้นด้วยความชัน $[(V_s/N)-V_{ob}]/L_s$ และกระแสทำแม่เหล็กจะเพิ่มด้วยความชัน V_s/L_m

ในช่วงเวลา DT<t<T กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลง จะบังคับให้ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแสทำให้มีแรงดัน $-V_s$ ที่ขดปฐมภูมิ ทำให้กระแสทำแม่เหล็กลดลงด้วยความชัน $-V_s/L_m$ ดังนั้นกระแสค่านี้จะลดลงเป็นศูนย์ภายในเวลา D´T ในช่วงนี้ไดโอด D_4 จะนำกระแส ส่วนไดโอด D_3 จะหยุดนำกระแสกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลงด้วยความชัน $-V_{ob}/Ls$

เนื่องจากกระแสแม่เหล็กของหม้อแปลง จะต้องลดลงเป็นศูนย์ทุกครั้งก่อนที่สวิตช์ S1 และ S2 จะทำงานในรอบต่อไป เพื่อจะทำให้กระแสทำแม่เหล็กนี้ไม่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนแกนแม่เหล็กอิ่มตัวได้ ดังนั้นวัฏจักรงานของวงจรบริดจ์อสมมาตรจะต้องไม่เกิน 0.5 ถ้าคิดสมดุล แรงดัน-เวลาที่ตัวเหนี่ยวนำ L_s จะได้

$$[(V_s/N)-V_{ob}]DT = V_{ob}(1-D)T$$

$$V_{ob} = DV_s/N \qquad (5.1)$$

ระลอกของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_s เท่ากับ

$$\Delta I = [(V_s/N)-V_{ob}]DT/L_s$$

$$= V_{ob}(1-D)T/L_s \qquad (5.2)$$

โดยที่ $T = 1/f$, เมื่อ f คือความถี่ในการสวิตช์

ระลอกแรงดันออก (ΔVob)

$$\Delta Vob = Q/C$$

โดยที่ Q คือพื้นที่ใต้กราฟของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของมันในหนึ่งคาบ ซึ่งกระแสเฉลี่ยประมาณว่าเป็นกระแสที่จ่ายโหลดดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta Q = \Delta IT/8$$

$$\Delta V = \Delta I/8Cf \qquad (5.3)$$

ข้อกำหนดในการออกแบบ

แรงดันขาออก V_{ob} = 27 โวลต์

ความถี่ในการสวิตช์ = 40 กิโลเฮิรตซ์

เลือกวัฏจักรงาน D = 0.4

ระลอกของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ = 2 แอมแปร์ (เพื่อไม่ให้ตัวเหนี่ยวนำร้อนเกินไป เนื่องจากระลอกกระแสที่มีค่าสูง)

ระลอกของแรงดันออก = 0.5 โวลต์

จากสมการที่ (5.2)

$$L_s = V_{ob}(1-D)/(\Delta If) \qquad (5.4)$$

$$= 27(1-0.4)/(2x40K)$$

$$= 0.20 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

จากสมการที่ (5.3)

$$C = \Delta I/(8f\Delta V_o) \qquad (5.5)$$

$$= 2/(8x40Kx0.5)$$

$$= 12.5 \text{ ไมโครฟารัด}$$

อัตราส่วนรอบของหม้อแปลง (turn ratio) คิดในกรณีที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า ที่มาจากวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีค่า 410 โวลต์ (เผื่อค่าระลอกของแรงดันด้านที่มาจากวงจร SMR) และให้วัฏจักรงานขณะนี้เท่ากับ 0.45 เพื่อให้ต่ำกว่าลิมิต 0.5 อยู่เล็กน้อย และประมาณแรงดันลดในหม้อแปลงเท่ากับ 2 โวลต์และแรงดันตกคร่อมไดโอดด้านออกเท่ากับ 1 โวลต์

แรงดันทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง = 27+2+1 = 30 โวลต์

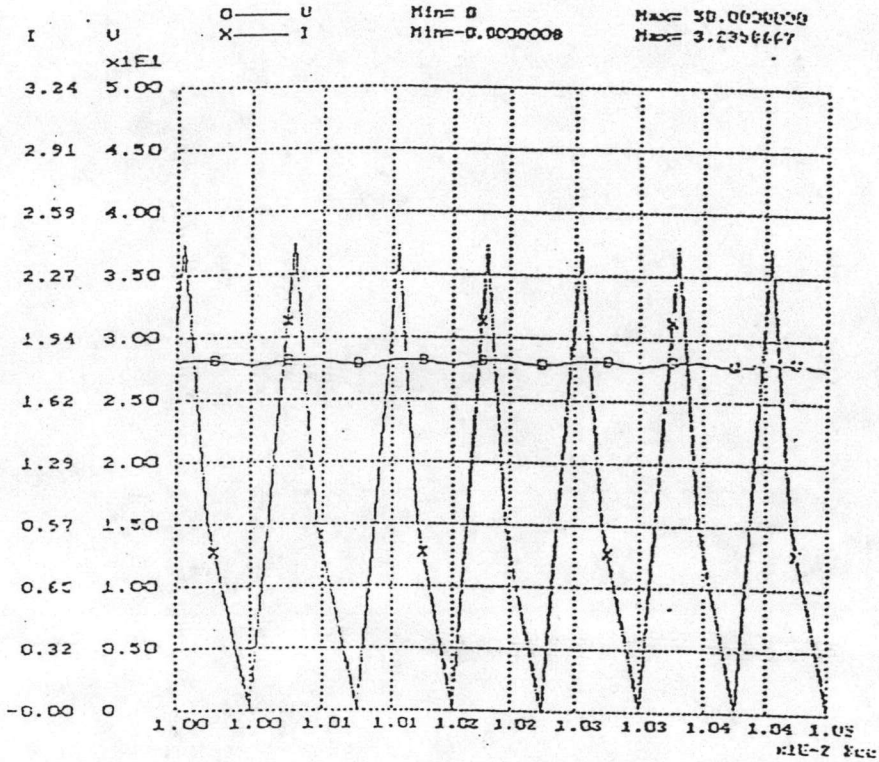
จากสมการที่ (5.1)

$$N = DV_s/V_o \qquad (5.6)$$

$$= (0.45x410/30)$$

$$N = 6.15$$

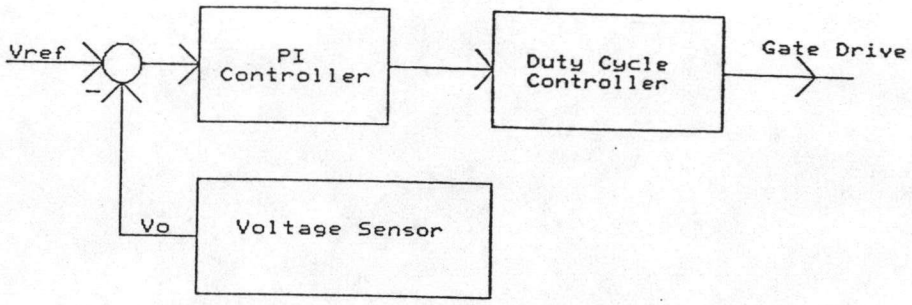
องค์ประกอบวงจรบริดจ์อสมมาตรที่ได้ออกแบบมาแล้วนั้นนำไปซีมูเลต โดยใช้โปรแกรม LEK (เอกชัย ลีลารัศมี,2535) ซึ่งได้ผลดังในรูปที่ 5.3



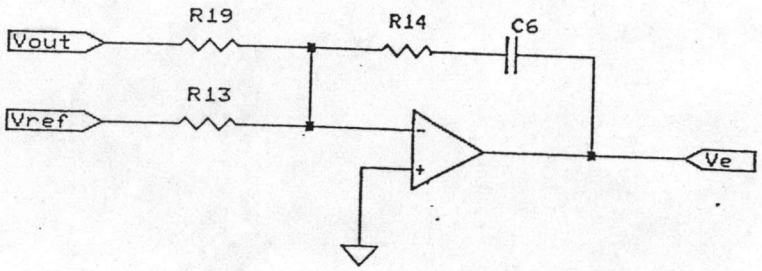
รูปที่ 5.3 แรงดันออกและกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ซีมูเลต)

5.2 การออกแบบวงจรภาคควบคุม

การควบคุมแรงดันออกของวงจรบริดจ์อสมมาตร ทำได้โดยการสุ่มแรงดันทางด้านออกมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งการเปรียบเทียบจะผ่านวงจรคุมค่าแบบ PI ซึ่งจะได้ค่าความผิดพลาดออกมาเพื่อนำไปกำหนดค่าวัฏจักรงาน เพื่อนำไปควบคุมสวิตช์ทางด้านภาคกำลังให้ได้แรงดันออกตามต้องการ

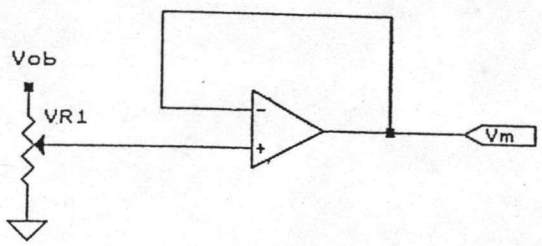


รูปที่ 5.4 แผนภาพบล็อกของวงจรภาคควบคุม



รูปที่ 5.5 วงจรภาคควบคุม

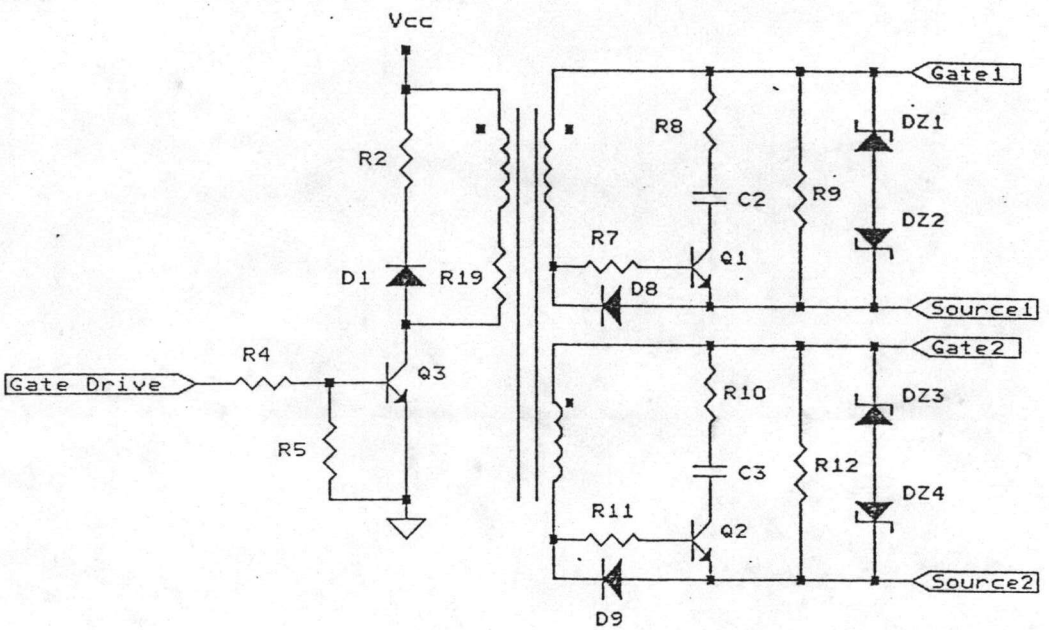
การสุ่มแรงดันด้านออก เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงผ่านวงจรคุมค่าแบบ PI นั้น ใช้ความต้านทานแบ่งแรงดัน แล้วนำไปผ่านวงจรตามแรงดัน (Voltage follower) เพื่อใช้เป็นกันชน (buffer) เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่สุ่มมามีความถูกต้องแน่นอน และวงจรวัดแรงดันด้านออก มีลักษณะดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.6 วงจรสุ่มแรงดันด้านออก

5.3 วงจรขับนำสวิตช์

เนื่องจากสวิตช์ S1 และ S2 ของวงจรภาคกำลัง จะนำกระแส และหยุดนำกระแสพร้อมกันดังนั้นสัญญาณขับนำสวิตช์ที่มาจากวงจรภาคควบคุม จะต้องมีการแยกโดดเพื่อนำไปขับนำสวิตช์ S1 และ S2 ซึ่งสัญญาณขับนำสวิตช์ทั้งสองแยกโดดจากกันโดยใช้หม้อแปลงดังวงจรในรูปที่ 5.7

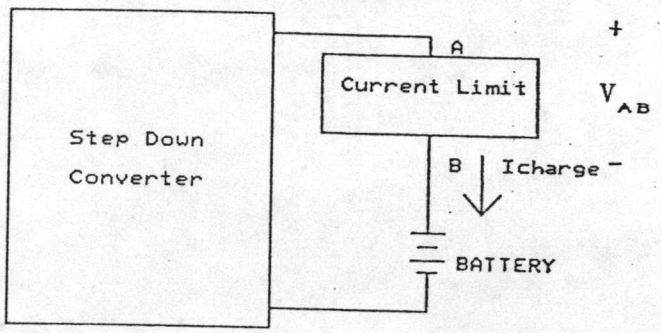


รูปที่ 5.7 วงจรขับนำสวิตช์

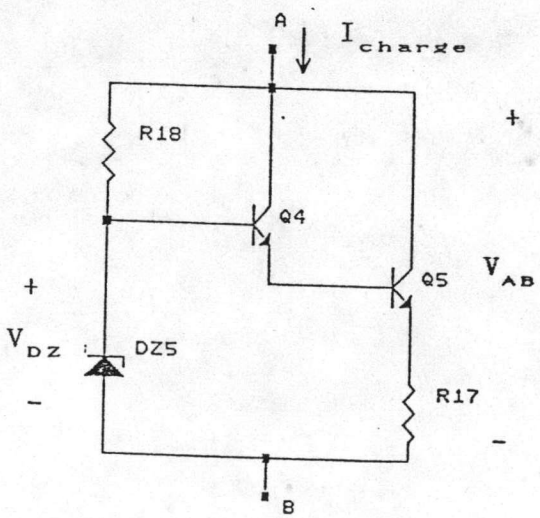
5.4 วงจรจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่

ในการประจุแบตเตอรี่นั้น จะต้องมีการจำกัดกระแสที่ใช้ในการประจุให้มีค่าที่เหมาะสมเพื่อทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานนั้น เนื่องจากเมื่อกระแสในการประจุแบตเตอรี่มีค่ามากเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำต้องใช้พลังงานในการประจุแบตเตอรี่มากกว่าการประจุแบตเตอรี่ที่กระแสต่ำ และยังทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอีกด้วย แต่ในทางกลับกันในการประจุแบตเตอรี่มีต่ำเกินไปทำให้ต้องใช้เวลาในการประจุนาน โดยปกติในการประจุแบตเตอรี่ กระแสในการประจุแบตเตอรี่ควรมีค่าประมาณ 5-10%

ของขนาด A-hr ของแบตเตอรี่ (เจิดกุล โสภาวนิตย์, 2530) ซึ่งถือว่าเป็นค่ากระแสประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม การกำจัดกระแสประจุแบตเตอรี่ในที่นี้มีแผนภาพบล็อกดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แผนภาพบล็อกของวงจรจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 5.9 วงจรจำกัดกระแสประจุแบตเตอรี่

จากวงจรในรูปที่ 5.9 เราสามารถหาค่ากระแสในการประจุแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$I_{charge}R_{17} \simeq (V_{Dz} - 2V_{be})$$

$$I_{charge} \simeq (V_{Dz} - 2V_{be})/R_{17} \qquad (5.7)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า เราสามารถจำกัดกระแสในการประจุแบตเตอรี่โดยเลือกค่าซีเนอร์ไดโอด (DZ) และค่าความต้านทาน(R_{17})ที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่นั้นๆ

จากบทที่ 4 เราเลือกแบตเตอรี่ที่มีขนาด 10 A-hr

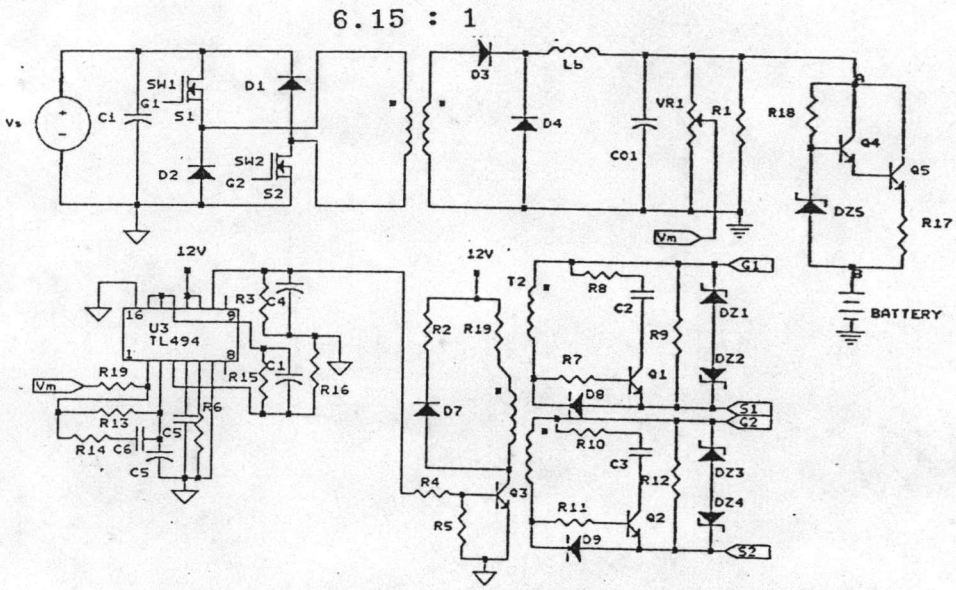
ดังนั้นค่า I_{charge} = 1 แอมแปร์ (10%ของ 10 A-hr)

ความต้านทานจำกัดกระแส $R_{17} = (V_{Dz}-2V_{be})/I_{charge}$

$= (3.9-1.4)/1$

$=$ 2.5 โอห์ม

ในสภาวะที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าปกติจะทำให้แบตเตอรี่ถูกประจุด้วยแรงดันคงที่เท่ากับแรงดันอัดประจุลอยตัว (float charge Vobltage) ของแบตเตอรี่ โดยมีกระแสประจุแบตเตอรี่เพียงเล็กน้อย แต่ภายหลังการใช้งานแบตเตอรี่ แรงดันของแบตเตอรี่จะมีค่าต่ำ และแบตเตอรี่จะถูกประจุด้วยแรงดันที่เท่ากับแรงดันอัดประจุลอยตัวของแบตเตอรี่ และมีปริมาณกระแสในการประจุแบตเตอรี่ที่มีค่าสูง แต่ไม่เกินค่ากระแสในการประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดเอาไว้แล้วนั้น เพื่อทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนาน และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรประจุแบตเตอรี่ที่ต้องจ่ายกำลังในการประจุมากเกินไป โดยลักษณะการประจุแบตเตอรี่เป็นดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 5.10 วงจรรวมของวงจรประจุแบตเตอรี่