



# แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง แบบใช้ตัวเก็บประจุในการลดแรงดัน\*

มงคล เดชนครินทร์

ราชบัณฑิต สำนักวิทยาศาสตร์

ราชภัฏบึงขันธ์

ผู้พนธ์ได้เสนอแนวทางในการออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดันต่ำๆ โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลงกำลังไฟฟ้าในการลดขนาดแรงดัน แต่ใช้วงจรที่ประกอบด้วยชุดของตัวเก็บประจุและไดโอดจำนวนหนึ่งมาทำหน้าที่แทน. ผู้พนธ์ได้ยกตัวอย่างการออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังขนาดแรงดัน ๑๕ โวลต์ และกระแส ๑ แอมแปร์ ที่ใช้แรงดันกระแสสลับด้านเข้าขนาด ๒๒๐ โวลต์ มาเสนอด้วย.

คำสำคัญ : กำลังไฟฟ้ากระแสตรง, การลดแรงดัน

## บทนำ

ในการออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดันต่ำๆ ที่อาศัยแรงดันกระแสสลับค่าสูงๆ ที่ค่าความถี่ไฟฟ้ากำลังขนาด ๕๐-๖๐ เฮิรตซ์ จากแหล่งกำลังต้นทางนั้น วิธีการแบบดั้งเดิมที่ตรงไปตรงมาที่สุดและใช้กันอยู่โดยทั่วไปวิธีหนึ่งก็คือการลดแรงดันกระแสสลับลงมาเสียก่อนโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า. จากนั้นจึงแปลงผันแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่สร้างขึ้นจากไดโอด (diode rectifier) ร่วมกับวงจรกรองที่สร้าง

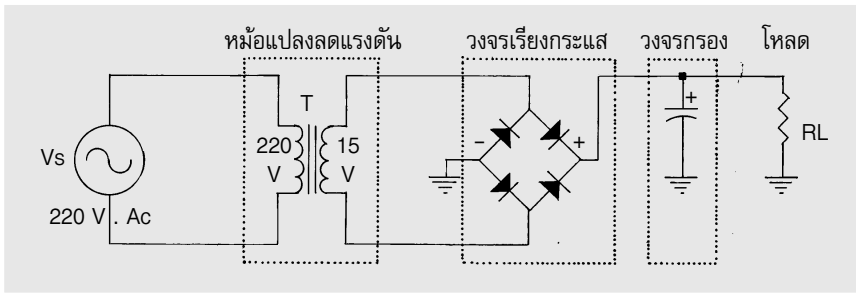
ขึ้นจากตัวเก็บประจุ (capacitor filter) ดังแสดงด้วยแผนภาพวงจร(รูปที่ ๑). แหล่งจ่ายกำลังแบบนี้มีชื่อว่า “แหล่งจ่ายกำลังแบบเชิงเส้น (linear power supply)”.

วิธีการแบบดั้งเดิมนี้มีข้อดีที่เป็นวงจรแบบง่ายๆ ไม่ซับซ้อน, แต่มีข้อเสียที่หม้อแปลงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรมีน้ำหนักมาก ทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก. วิธีแก้ข้อเสียเกี่ยวกับน้ำหนักของแหล่งจ่ายกำลังวิธีหนึ่ง ก็คือการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันใหม่ที่มีความถี่สูงขนาด ๒๐ กิโลเฮิรตซ์ หรือสูงกว่านี้ ขึ้นมาจากแหล่งจ่าย

ความถี่ต่ำ, แล้วจึงนำหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงซึ่งมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา มาลดแรงดันกระแสสลับลงสู่ค่าต่ำๆ ก่อนที่แปลงผันเป็นแรงดันกระแสตรงโดยอาศัยวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองต่อไป. การสร้างแหล่งแรงดันความถี่สูงดังกล่าว ทำได้โดยใช้สวิตซ์สารกึ่งตัวนำขนาดกำลังสูงมาตัดต่อวงจรไฟฟ้าด้วยความถี่สูง. แหล่งจ่ายกำลังแบบนี้มีชื่อเรียกว่า “แหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์” (switched-mode power supply) หรือ “แหล่งจ่ายกำลังแบบใช้การสวิตซ์” (switching power supply). แผนภาพของแหล่งจ่ายกำลังแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ ๒.

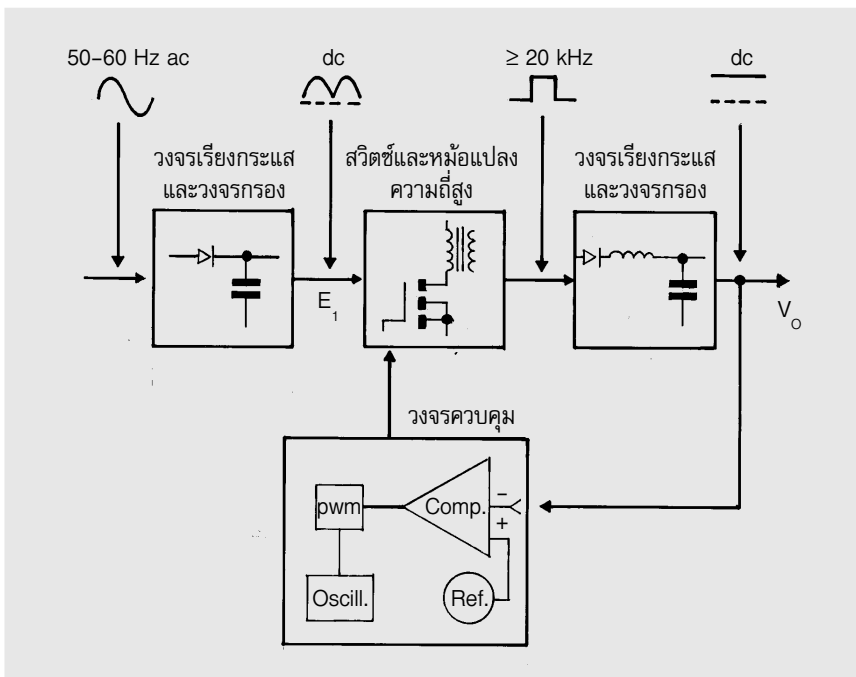
การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังแบบเชิงเส้นและแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตซ์นั้นเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วในวงการอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ผู้อ่านจะศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง ๑-๓). บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอวงจรแหล่งจ่ายกำลังแบบเชิงเส้นแนวใหม่ ซึ่งไม่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการลดแรงดันไฟฟ้า แต่จะใช้วงจรของตัวเก็บประจุกับไดโอดจำนวนหนึ่งมาทำ

\*บรรยายในการประชุมสำนักวิทยาศาสตร์ ราชภัฏบึงขันธ์ เมื่อวันที่ ๕ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๕.



รูปที่ ๑

แผนภาพวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้นขนาดแรงดันต่ำ



รูปที่ ๒

แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายกำลังแบบวิธีสวิตช์

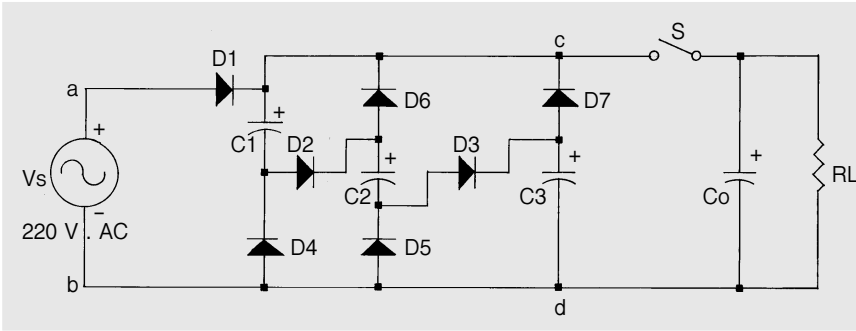
หน้าที่ลดแรงดันแทนหม้อแปลง. ข้อดีของวงจรแนวใหม่ก็คือการที่น้ำหนักโดยรวมของแหล่งจ่ายลดลง. ส่วนข้อเสียก็คือวงจรมีความซับซ้อนมากขึ้น และขาดการแยกโดดเดี่ยว (isolation) ระหว่างด้านเข้ากับด้านออกของวงจร, ซึ่งหม้อแปลงแบบแยกชุดขดลวดสามารถทำได้.

หลักการการทำงานของวงจรแนวใหม่ ก็คือการต่อตัวเก็บประจุและได-

โอดจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันอย่างอนุกรม แล้วนำไปต่อกับแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านเข้าโดยตรง ทำให้ตัวเก็บประจุถูกอัดประจุด้วยกระแสทิศทางเดียวจนถึงค่าสูงสุดของแรงดันด้านเข้า โดยที่แรงดันนี้จะเฉลี่ยกันไปอยู่ในตัวเก็บประจุแต่ละตัว. นั่นคือแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะเท่ากับเศษส่วนค่าหนึ่งของแรงดันด้านเข้าโดยรวม. ต่อจากนี้ เมื่อ

เปลี่ยนแปลงวิธีต่อตัวเก็บประจุทั้งหมดจากแบบอนุกรมมาเป็นแบบขนาน โดยผ่านทางวงจรไดโอดอีกจำนวนหนึ่ง ก็จะได้แรงดันที่พร้อมจะจ่ายออกจากตัวเก็บประจุเป็นแรงดันค่าต่ำ ในขณะที่ตัวเก็บประจุทั้งหมดสามารถจ่ายกระแสให้แก่โหลดได้สูงกว่ากระแสอัดประจุในตอนแรกหลายเท่า, ซึ่งก็รับกับหลักการทำงานของหม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้านั้นเอง. วิธีการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายแนวใหม่สามารถเข้าใจได้ไม่ยากนักเมื่อพิจารณาจากตัวอย่างวงจรของตัวเก็บประจุและไดโอดในรูปที่ ๓ ซึ่งจะให้แรงดันด้านออกที่มีค่าเพียง  $1/3$  ของแรงดันด้านเข้า.

ในรูปที่ ๓ แรงดันกระแสสลับด้านเข้ากำลังอยู่ในช่วงครึ่งรอบการแปรผันที่ตกที่ไฟฟ้า ณ จุด a สูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด b. ดังนั้นไดโอด  $D_1, D_2$  และ  $D_3$  ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับตัวเก็บประจุ  $C_1, C_2$  และ  $C_3$  จะได้รับไบแอสไปข้างหน้า (forward bias) และมีกระแสไหลผ่านไดโอดทั้ง ๓ ตัวไปอัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุทั้ง ๓ ตัว จนแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ  $1/3$  ของค่าสูงสุด (ประมาณ ๓๑๐ โวลต์) ของแรงดันด้านเข้า, นั่นคือแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าประมาณ ๑๐๓ โวลต์. ในระหว่างนี้ ไดโอดอีก ๔ ตัว คือ  $D_4 - D_7$  จะได้รับไบแอสกลับทาง (reverse bias) ทำให้พวกมันไม่นำกระแส และเป็นเสมือนวงจรเปิด. อย่างไรก็ตามแรงดันด้านออก  $V_0$  ที่วัดได้ระหว่างจุด c กับ d ในช่วงนี้จะมีความโดยประมาณ



รูปที่ ๓

ตัวอย่างวงจรของตัวเก็บประจุและไดโอดที่ใช้ลดแรงดันให้เหลือเพียง ๑/๓ ของแรงดันด้านเข้า

เท่ากับค่าสูงสุดของแรงดันด้านเข้าคือประมาณ ๓๑๐ โวลต์ จึงยังไม่จ่ายแรงดันให้แก่ตัวต้านทานโหลด  $R_L$  (สวิตช์  $S$  ยังคงเปิดอยู่). ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงตอนเริ่มช่วงครึ่งรอบการแปรผัน ที่แรงดันกระแสสลับด้านเข้าทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่จุด  $a$  ต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด  $b$  (เครื่องหมาย  $\pm$  ที่แหล่งจ่ายกระแสสลับในรูปที่ ๓ กลับเป็นตรงข้าม) ไดโอด  $D_1 - D_3$  จะได้รับไบแอสกลับทาง ทำให้ไม่นำกระแส และเป็นเสมือนวงจรเปิด. ในขณะเดียวกัน ไดโอด  $D_4 - D_7$  จะได้รับไบแอสไปหน้า. ดังนั้น ถ้าปิดวงจรที่สวิตช์  $S$  ไดโอด ๔ ตัวหลังนี้จะนำกระแส ทำให้ตัวเก็บประจุ  $C_1 - C_3$  ต่อกันอย่างขนานและส่งกระแสไปผ่าน  $R_L$  ด้วยกัน. ในตอนนี้แรงดันด้านออกจะเป็น  $V_0$  ที่มีค่าเท่ากับแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว คือประมาณ ๑๐๓ โวลต์ ในรอบการเปลี่ยนแปลงรอบใหม่เหตุการณ์จะซ้ำกับที่เกิดขึ้นในรอบที่ผ่านมา. ข้อควรสังเกตก็คือว่าการเปิดวงจรที่สวิตช์  $S$  ในช่วงครึ่งรอบที่แรงดันกระแสสลับด้านเข้าทำหน้าที่อัดประจุตัวเก็บประจุ และจะ

ปิดวงจรที่  $S$  ในช่วงครึ่งรอบที่แรงดันด้านเข้าไม่ได้อัดประจุตัวเก็บประจุ. สำหรับตัวเก็บประจุที่ต่อขนาน อยู่กับตัวต้านทานโหลด  $R_L$  นั้น มีจุดประสงค์เพื่อช่วยคงค่าแรงดันคร่อม  $R_L$  ในระหว่างที่สวิตช์  $S$  เปิดวงจร.

### ประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎีของวงจรลดแรงดันด้วยตัวเก็บประจุและไดโอด

หลักการของวงจรตัวเก็บประจุและไดโอดดังกล่าวข้างต้น สามารถใช้สร้างแรงดันด้านออกที่มีค่าเพียง  $1/n$  เท่าของแรงดันด้านเข้าได้ ( $n$  เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ ตั้งแต่ ๒ ขึ้นไป). ทั้งนี้โดยเลือกใช้ตัวเก็บประจุและไดโอดให้มีจำนวนที่เหมาะสม คือใช้ตัวเก็บประจุ  $n$  ตัวกับไดโอด  $n$  ตัวสำหรับช่วงอัดประจุ และใช้ตัวเก็บประจุ  $n$  ตัวเดียวกับไดโอดชุดใหม่อีก  $2n-2$  ตัวสำหรับช่วงคายประจุ. อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไดโอดแต่ละตัวจะมีแรงดันตกคร่อม ( $V_D$ ) ประมาณ ๐.๗ โวลต์ในขณะที่มีไบแอสไปหน้า และมีกระแสไหลผ่าน ดังนั้นค่าของ  $n$  จึงไม่ควรสูงเกินไป (เช่น ไม่ควรสูงเกิน

๒๐) เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของวงจรโดยรวมต่ำเกินไป.

วิธีคำนวณค่าประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎีของวงจรลดแรงดันไฟฟ้าในที่นี้ สำหรับกรณีที่อัตราส่วนของแรงดันด้านออก ( $V_0$ ) ต่อแรงดันด้านเข้า ( $V_{in,max}$ ) เท่ากับ  $1/n$  (โดยประมาณ) ทำได้ดังนี้

๑) ขณะที่แหล่งจ่ายแรงดันด้านเข้าอัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุผ่านไดโอด

ตัวเก็บประจุ  $n$  ตัวต่อแบบอนุกรมอยู่กับไดโอด  $n$  ตัว ดังนั้น

$$V_{in,max} = n (V_C + V_D) \quad (๑)$$

โดยที่  $V_C$  เป็นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว.

เนื่องจากกระแสจากแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุและไดโอดแต่ละตัว ดังนั้นประสิทธิภาพขณะอัดประจุ =  $\eta_1 = nV_C/V_{in,max}$  ซึ่งเมื่อใช้ผลจากสมการ (๑) จะให้

$$\eta_1 = 1 - nV_D/V_{in,max} \quad (๒)$$

๒) ขณะที่ตัวเก็บประจุจ่ายกระแสให้แก่โหลด

โดยทั่วไป ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะต่อแบบอนุกรมอยู่กับไดโอด ๒ ตัว ดังนั้น

$$V_C = V_0 + 2V_D \quad (๓)$$

เนื่องจากกระแสที่ออกจากตัวเก็บประจุแต่ละตัว มีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านไดโอดแต่ละตัว ดังนั้นประสิทธิภาพขณะคายประจุ =  $\eta_2 = V_0/V_C$  ซึ่งเมื่อใช้ผลจากสมการ (๓) และ (๑) จะให้



$$\eta_2 = 1 - 2V_D/V_C = 1 - 2nV_D/(V_{in,max} - nV_D) \quad (๔)$$

เมื่อรวมผลจากสมการ (๒) และ (๔) เข้าด้วยกัน จะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดทางทฤษฎีของวงจรลดแรงดันในที่นี้เป็น

$$\eta = \eta_1 \eta_2 = [1 - 3nV_D/V_{in,max}] \quad (๕)$$

ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีค่าลดลงเมื่อค่า  $n$  เพิ่มขึ้น.

ในทางปฏิบัติ วงจรลดแรงดันในที่นี้จะต่อกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สวิตช์สารกึ่งตัวนำและวงจรคุมค่าแรงดันเพื่อให้ครบเป็นวงจรแหล่งจ่ายกระแสตรงที่บริบูรณ์. ดังนั้นจะมีการสูญเสียกำลังเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรต่ำลงไปอีก.

### วงจรลดแรงดันไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น

วงจรลดแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ ๓ เป็นวงจรแบบครึ่งคลื่น เพราะใช้แรงดันกระแสสลับด้านเข้าในครึ่งรอบ

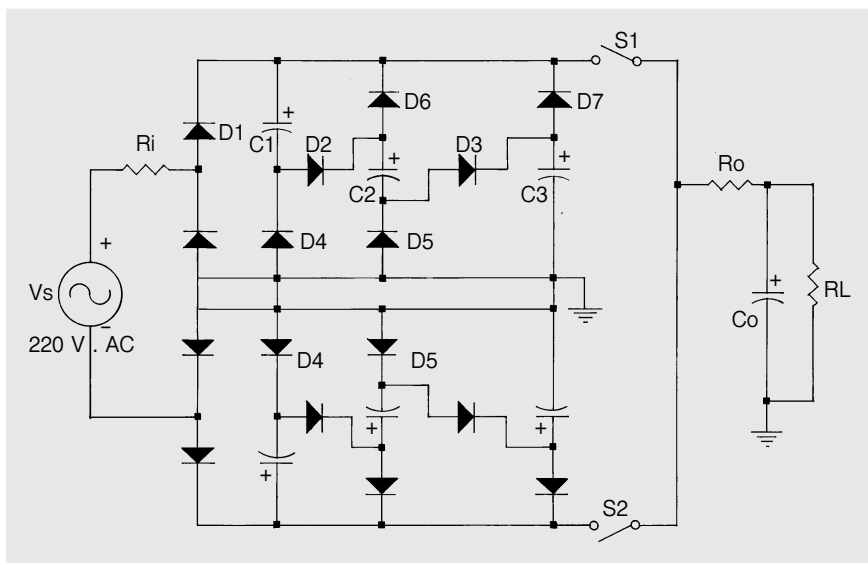
บวกเท่านั้น. ถ้าจะใช้ประโยชน์แรงดันด้านเข้าให้ครบทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบ จะต้องใช้วงจรแบบเต็มคลื่นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๔ (สำหรับการลดแรงดันลงเหลือเพียง  $๑/m$ ) ซึ่งประกอบด้วยวงจรแบบครึ่งคลื่นจากรูปที่ ๓ จำนวน ๒ ชุดที่ผลัดกันทำงานชุดละครึ่งรอบนั่นเอง. ข้อดีของวงจรแบบเต็มคลื่นอย่างหนึ่งก็คือทำให้กระแสสลับด้านเข้ามีสมมาตรดีขึ้น และเป็นการกำจัดส่วนประกอบกระแสตรงและฮาร์โมนิกบางอันดับออกไปจากรูปคลื่นกระแสด้านเข้า.

ในรูปที่ ๔ นี้มีการต่อตัวต้านทาน  $R_i$  (ราว ๑๐ โอห์ม) และ  $R_o$  (ราว ๑

โอห์ม) อย่างอนุกรมไว้กับวงจรทางด้านเข้าและวงจรทางด้านออกตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อลดค่าสูงสุดของกระแสที่ไหลกระโชกเข้าสู่ตัวเก็บประจุ. สวิตช์ (ในทางปฏิบัติใช้ทรานซิสเตอร์หรือเอสซีอาร์)  $S_1$  จะปิดวงจรเฉพาะเมื่อแรงดันด้านเข้า  $V_s$  มีค่าเป็นลบ ส่วนสวิตช์  $S_2$  นั้นจะปิดวงจรเฉพาะเมื่อแรงดันด้านเข้า  $V_s$  มีค่าเป็นบวกเท่านั้น, และเพื่อป้องกันไม่ให้สวิตช์ทั้งสองปิดวงจรพร้อมกัน จะกำหนดให้  $S_1$  ปิดวงจรหลังจากที่  $S_2$  ได้เปิดวงจรไปก่อนแล้วระยะหนึ่ง. ในทางกลับกัน  $S_2$  จะปิดวงจรได้ก็ต่อเมื่อ  $S_1$  ได้เปิดวงจรไปก่อนแล้วระยะหนึ่ง, ซึ่งก็หมายถึงว่ามีช่วงเวลาช่วงหนึ่งที่  $S_1$  และ  $S_2$  เปิดวงจรอยู่ด้วยกันในแต่ละครั้งที่ครบครึ่งของรอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันกระแสสลับด้านเข้า.

### การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

เมื่อพิจารณาอย่างคร่าวๆ การทำงานของวงจรจ่ายกำลังแบบใช้ตัวเก็บประจุลดแรงดันในที่นี้ก็คล้ายกับการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier) แบบที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองนั่นเอง, คือในแต่ละครึ่งของรอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสสลับด้านเข้านั้น พวกตัวเก็บประจุหลัก (ที่ต่อกันอย่างอนุกรม) จะถูกอัดประจุในช่วงสั้นๆ โดยแรงดันจากแหล่งจ่าย, แล้วก็ร่วมกันจ่ายกระแส (โดยที่ต่อกันอย่างขนาน) ให้แก่โหลด ทำให้รูปคลื่นแรงดันที่ปรากฏคร่อมโหลด (และ



รูปที่ ๔  
วงจรลดแรงดันแบบเต็มคลื่นที่สร้างจากรวมวงจรแบบครึ่งคลื่น ในรูปที่ ๓

ตัวเก็บประจุที่เป็นตัวกรอง) เป็นแบบ พันเลื่อย ดังแสดงไว้ในรูปที่ ๕ (ดูรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง๑). ผล ก็คือทำให้สามารถกำหนดค่าความจุรวมของตัวเก็บประจุให้สอดคล้องกับ กระแสที่จ่ายให้แก่โหลดและความพลิว (ripple) ของแรงดันคร่อมโหลดได้.

สำหรับการวิเคราะห์รูปคลื่นแรง-ดันด้านออกในรายละเอียดนั้น จะแบ่ง ช่วงการทำงานของวงจรลดแรงดันใน ที่นี้ ในแต่ละรอบของการเปลี่ยนแปลง แรงดันคร่อมโหลด (ซึ่งนานเท่ากับ ครึ่งรอบของแรงดันกระแสสลับด้าน เข้า) ออกเป็น ๓ ช่วง คือ (๑) ช่วงสั้นๆ ระหว่างที่สวิตช์  $S_1$  หรือ  $S_2$  ในรูปที่ ๔ ตัวใดตัวหนึ่งปิดวงจร. ช่วงนี้ตัวเก็บ ประจุหลักทั้งหมดจะต่อขนานกัน และ ร่วมกันอัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ  $C_O$  (พร้อมทั้งจ่ายกระแสให้แก่ตัวต้านทานโหลด คือ  $R_L$  ไปด้วย); (๒) ช่วงที่ ตัวเก็บประจุหลักต่อขนานกันเองและ ขนานกับตัวเก็บประจุ  $C_O$  ทุกตัวช่วย กันจ่ายกระแสให้แก่  $R_L$ ; (๓) ช่วงที่ สวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  เปิดวงจรอยู่ด้วยกัน ทำให้  $C_O$  ถูกตัดออกจากพวกตัวเก็บ ประจุหลัก. ในช่วงนี้มี  $C_O$  เท่านั้นที่ทำ หน้าที่จ่ายกระแสให้แก่  $R_L$ . ช่วงเวลา ทั้งสามนี้เป็นดังแสดงในรูปที่ ๖

**ช่วงการทำงาน (๑)**

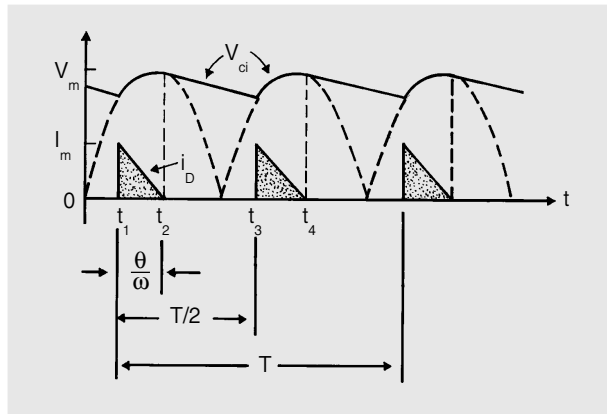
ถ้าให้ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บ ประจุหลักแต่ละตัวมีค่าเป็น  $C_1$  จะได้ ค่าความจุไฟฟ้าผลรวมของตัวเก็บ ประจุหลักจำนวน  $n$  ตัวที่ต่อกันอย่าง ขนาน เป็น  $C_{1T} = nC_1$  และวงจรสมมูล สำหรับอธิบายการทำงานของวงจร จ่ายกำลังในที่นี้จะเป็นตามรูปที่ ๗,

ซึ่งถือว่า  $R_O \ll R_L$  และทำให้สามารถ ตัด  $R_L$  ออกไปจากวงจรสมมูลได้.

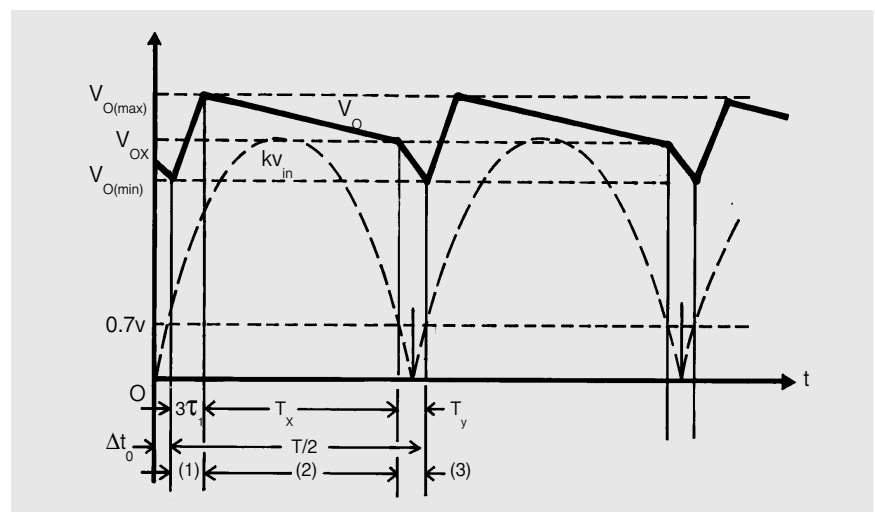
ในตอนเริ่มต้นของช่วงเวลานี้  $C_O$  ได้คายประจุออกไปส่วนหนึ่ง และ แรงดันคร่อม  $C_O$  หรือ  $V_O$  มีค่าต่ำสุด เท่ากับ  $V_{O(min)}$  ในขณะที่  $C_{1T}$  ได้รับ ประจุเต็มที่ทำให้แรงดันคร่อม  $C_{1T}$  คือ  $V_1$  มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $V_{1(max)}$ . เมื่อเวลา ผ่านไป  $C_{1T}$  จะคายประจุให้แก่  $C_O$  ผ่าน ทางสวิตช์  $S$  (คือ สวิตช์  $S_1$  หรือ  $S_2$  ในรูปที่ ๔ แล้วแต่กรณี) ทำให้แรงดัน

$V_O$  เพิ่มขึ้นจาก  $V_{O(min)}$  ไปเป็น  $V_{O(max)}$  ในตอนสิ้นสุดช่วงเวลา (๑), พร้อมกันนี้ แรงดัน  $V_1$  จะลดลงจาก  $V_{1(max)}$  ไปเป็น  $V_{O(max)}$  โดยใช้เวลาเท่ากัน คือประมาณ ๓ เท่าของค่าคงตัวเวลาของวงจรสมมูล ในรูปที่ ๗.

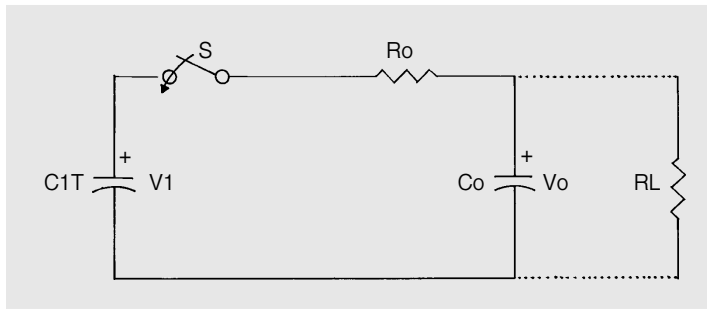
เมื่อใช้หลักของการอนุรักษ์ ประจุไฟฟ้า คือให้ประจุไฟฟ้าผลรวม ในตอนเริ่มต้นของช่วงเวลา (๑) เท่ากับประจุไฟฟ้าผลรวมในตอนสิ้น สุดของช่วงเวลานี้ จะได้



รูปที่ ๕ รูปคลื่นแรงดันคร่อม โหลดของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรอง



รูปที่ ๖ รูปคลื่นแรงดันคร่อม โหลดของวงจรลดแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ



รูปที่ ๗  
วงจรสมมูลสำหรับการทำงานในช่วงเวลา (๑)

$$C_{1T} V_{1(max)} + C_O V_{O(min)} = (C_{1T} + C_O) V_{O(max)}$$

และได้

$$V_{O(max)} = \left( \frac{C_{1T}}{C_{1T} + C_O} \right) V_{1(max)} + \left( \frac{C_O}{C_{1T} + C_O} \right) V_{O(min)} \quad (๖)$$

เนื่องจาก  $C_{1T}$  กับ  $C_O$  ต่อกัน  
อย่างอนุกรมในช่วงเวลา (๑) นี้. ดังนั้นค่าความจุสมมูลในวงจรตามรูปที่ ๗  
จะเป็น  $C_{1E} = C_{1T} C_O / (C_{1T} + C_O)$  ค่า  
คงตัวเวลาในการถ่ายเทประจุในวงจร  
นี้จะเป็น

$$\pi_1 = R_O C_{1E} \quad (๗)$$

และช่วงการทำงาน (๑) จะกิน  
เวลา  $3\tau_1$  โดยประมาณ.

**ช่วงการทำงาน (๒)**

ช่วงการทำงานช่วงนี้เริ่มขึ้นเมื่อ

ช่วงการทำงาน (๑) สิ้นสุดลงด้วยการ  
ที่  $C_{1T}$  และ  $C_O$  มีแรงดันตกคร่อมเท่า  
กัน. จากนั้นทั้งคู่จะช่วยกันจ่าย  
กระแสให้แก่ตัวต้านทาน  $R_L$ . เนื่อง  
จาก  $R_O \ll R_L$  ดังนั้นจึงถือว่า  $R_L$  มี  
ค่าเท่ากับศูนย์ และถือว่า  $C_{1T}$  และ  $C_O$   
ต่อกันอย่างขนาน, ทำให้วงจรสมมูล  
สำหรับการทำงานในช่วงนี้เป็นดังที่  
แสดงไว้ในรูปที่ ๘.

จากวงจรในรูปที่ ๘ จะพิสูจน์ได้  
ว่าแรงดัน  $V_O$  ลดลงจากค่า  $V_{O(max)}$

ตามแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล  
ของเวลา คือ

$$V_O(t) = V_{O(max)} \exp(-t/\tau_2) \quad (๘)$$

โดยที่

$$\tau_2 = R_L (C_{1T} + C_O) \quad (๙)$$

เป็นค่าคงตัวทางเวลาของวงจรในช่วง  
นี้

การทำงานของวงจรตามรูปที่ ๘  
จะสิ้นสุดลงเมื่อสวิตช์ S เปิดวงจร  
เพื่อให้  $C_{1T}$  ได้รับการอัดประจุจากแรง  
ดันของแหล่งจ่ายกระแสสลับอีกครั้ง  
หนึ่ง. ถ้าให้ช่วงการทำงาน (๒) นี้  
กินเวลา  $T_X$  และแรงดันคร่อม  $C_O$  ใน  
ตอนสิ้นสุดช่วงการทำงานนี้เป็น  $V_{OX}$   
จะได้

$$V_{OX} = V_{O(max)} \exp(-T_X/\tau_2) \quad (๑๐)$$

**ช่วงการทำงาน (๓)**

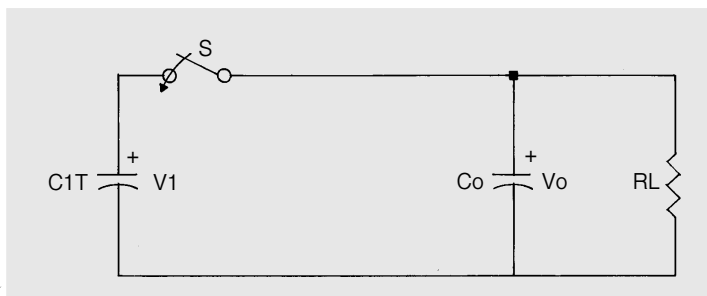
ช่วงการทำงานช่วงนี้จะเริ่มขึ้น  
เมื่อสวิตช์ S ในวงจรตามรูปที่ ๘ เปิด  
วงจร ทำให้ตัวเก็บประจุ  $C_O$  เท่านั้น  
จ่ายกระแสให้แก่  $R_L$  และแรงดัน  $V_O$   
จะลดลงจากค่า  $V_{OX}$  อย่างฟังก์ชัน  
เอกซ์โพเนนเชียลของเวลาจนเหลือ  
เพียง  $V_{O(min)}$ . วงจรสมมูลสำหรับช่วง  
นี้จะเป็นดังแสดงในรูปที่ ๙ และถ้าให้  
ระยะเวลาของช่วงการทำงาน (๓) นี้  
เป็น  $T_y$  จะได้

$$V_{O(min)} = V_{OX} \exp(-T_y/\tau_3) \quad (๑๑)$$

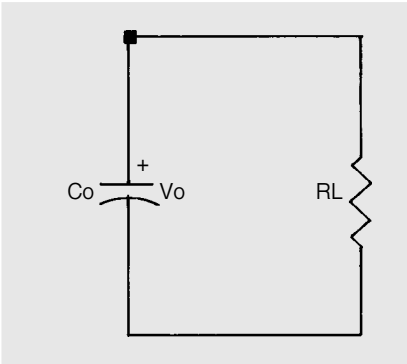
โดยที่

$$\tau_3 = R_L C_O \quad (๑๒)$$

หลังจากจบช่วงการทำงาน (๓)  
แล้ว วงจรจะกลับไปตั้งต้นที่ช่วงการ  
ทำงาน (๑) ของรอบใหม่ และจะวน  
อยู่เช่นนี้ตราบเท่าที่ยังไม่มีการตัด  
แรงดันจากแหล่งจ่ายกระแสสลับ.



รูปที่ ๘  
วงจรสมมูลสำหรับการทำงานในช่วงเวลา (๒)



รูปที่ ๔

วงจรสมมูลสำหรับการทำงานในช่วงเวลา (๓)

### ตัวอย่างการออกแบบ

ในตอนนี ผู้วิจัยจะแสดงตัวอย่างการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้วิเคราะห์การทำงานไว้ข้างบนนี้, โดยกำหนดให้แรงดันกระแสสลับด้านเข้ามีค่าประสิทธิภาพเป็น ๒๒๐ โวลต์, ความถี่ ๕๐ เฮิรตซ์. ส่วนแรงดันกระแสตรงด้านออกมีค่า ๑๕ โวลต์ เมื่อจ่ายกระแสตรงสูงสุด ๑ แอมแปร์.

เพื่อคิดประมาณอย่างหยาบๆ ในตอนเริ่มต้น จะให้แรงดันออกค่าต่ำสุดเป็น  $V_{O(min)} = ๑๖$  โวลต์ และแรงดันออกค่าสูงสุดเป็น  $V_{O(max)} = ๒๐$  โวลต์, ซึ่งทำให้ค่าความพลิวของแรงดันด้านออกมีค่าสูงสุดเป็น  $\Delta V_O = ๒๐ - ๑๖ = ๔$  โวลต์. ค่าความพลิวขนาดที่ค่อนข้างใหญ่นี้จะทำให้ตัวเก็บประจุในวงจรมีค่าไม่สูงเกินไป และเมื่อมีการต่อวงจรคุมค่าแรงดัน (voltage regulator) ไว้ที่ด้านออกด้วย ค่าความพลิวของแรงดันด้านออกในตอนสุดท้ายจะลดลงต่ำกว่าที่กำหนดไว้เป็นอย่างมาก.

โดยการใช้สมการ (๑) และ (๓) โดยที่  $V_O = V_{O(max)} = ๒๐$  โวลต์ และ  $V_D = ๐.๗$  โวลต์ จะได้

$$V_{in,max} = n (V_O + 3V_D) = n(20 + 2.1) = 22.1n$$

ซึ่งเมื่อแทนค่า  $V_{in,max} = \sqrt{2}(220) = ๓๑๐$  โวลต์ จะให้  $n = ๑๔$  โดยประมาณ. นั่นคือวงจรแหล่งจ่ายในที่นี่จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันด้านออกที่ ๑/๑๔ เท่าของแรงดันสูงสุดด้านเข้า. ในขณะเดียวกัน กระแสด้านเข้าที่ใช้อัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุหลักทั้งหมดก็จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ ๑/๑๔ เท่าของกระแสด้านออก. จากนี้ จะสามารถประมาณค่าความจุไฟฟ้าสมมูล  $C_1$  ของตัวเก็บประจุหลักทั้งหมด ได้จากสมการ

$$I_i = C_1 (\Delta V_i / \Delta t_i) \quad (๑๓)$$

โดยที่  $I_i = I_o/n = 1/14 = ๐.๐๗๑๔$  แอมแปร์  $\Delta V_2 = n\Delta V_O = ๑๔(๔) = ๕๖$  โวลต์ และ  $\Delta t_i$  ช่วงเวลาครึ่งคาบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสสลับด้านเข้า = (๑/๒) (๑/๕๐) = ๐.๐๑ วินาที.

เมื่อแทนค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องลงในสมการ (๑๓) จะได้  $C_1 = ๑๓ \times ๑๐^{-๖}$  ฟารัด = ๑๓ ไมโครฟารัด. แต่ความจุไฟฟ้าสมมูลค่านี้ได้มาจากตัวเก็บประจุหลักจำนวน ๑๔ ตัวต่ออนุกรมกัน ดังนั้นตัวเก็บประจุหลักแต่ละตัวจะมีค่าความจุไฟฟ้าเป็น  $C_1 = nC = ๑๔ \times ๑๓$  ไมโครฟารัด  $\approx ๑๘๐$  ไมโครฟารัด และเพื่อให้หาตัวเก็บประจุได้ง่าย จะใช้ตัวเก็บประจุแบบอีเล็กโทรลิติกที่มีขนาดความจุ ๒๒๐ ไมโครฟารัดและทนแรงดันได้ ๓๐

โวลต์เป็นอย่างน้อย เป็นตัวเก็บประจุหลักแต่ละตัว.

ในการคำนวณหาค่าโดยประมาณที่ถูกต้องดีกว่าเดิมของค่าแรงดันด้านออกตามรูปที่ ๖ จะใช้วงจรตามรูปที่ ๗-๙. โดยที่  $C_{1T} = nC_1 = ๑๔ \times ๒๒๐$  ไมโครฟารัด = ๓,๐๘๐ ไมโครฟารัด และเพื่อความสะดวกจะเลือกค่า  $C_O$  ขนาดใกล้เคียงกับ  $C_{1T}$  คือ  $C_O = ๔,๗๐๐$  ไมโครฟารัด (ตัวเก็บประจุอีเล็กโทรลิติก ทนแรงดันได้ ๓๐ โวลต์เป็นอย่างน้อย) และเลือกค่า  $R_O = ๐.๕$  โอห์ม ซึ่งก็ต่ำกว่า  $R_L = ๑๖$  โอห์ม อย่างมาก ( $R_O \ll R_L$ ) ตามเงื่อนไขที่ใช้ในหัวข้อการวิเคราะห์การทำงานของวงจร.

สำหรับช่วงการทำงาน (๑) เมื่อคำนวณค่า  $C_{1E}$  (ได้ ๑,๘๖๑ ไมโครฟารัด) แล้วแทนลงในสมการ (๗) พร้อมกับค่า  $R_O = ๐.๕$  โอห์ม จะได้  $\tau_1 = ๐.๙๓$  มิลลิวินาที. ในช่วงการทำงาน (๒) สมการ (๙) จะให้  $\tau_2 = ๑๒๔$  มิลลิวินาที และในช่วงการทำงาน (๓) สมการ (๑๒) จะให้  $\tau_3 = ๗๕.๒$  มิลลิวินาที.

ระยะเวลา  $T_y$  ของช่วงการทำงาน (๓) ก็คือระยะเวลาที่สวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  ในวงจรตามรูปที่ ๔ ต่างก็เปิดวงจรอยู่พร้อมกัน. ในการออกแบบในที่นี้ จะใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ( $Q_1$  และ  $Q_2$ ) เบอร์ C2792 (ทนแรงดันได้



๘๐๐ โวลต์ และรับกระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดได้ ๖ แอมป์) จำนวน ๒ ตัว ทำหน้าที่ของสวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  และป้อนแรงดันกระแสสลับขนาด ๖ โวลต์ อาร์เอ็มเอส จากหม้อแปลงขนาดเล็กผ่านตัวต้านทาน ( $R_1$  และ  $R_2$ ) ซึ่งมีความต้านทานตัวละ ๒๒ โอห์ม ผลิตกันชนนำเบสของทรานซิสเตอร์ทั้งสอง ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๑๐ (ถ้าไม่ใช้ทรานซิสเตอร์ ก็อาจใช้เอสซีอาร์แทน อย่างเช่น เอสซีอาร์เบอร์ BT151500R ซึ่งทนแรงดันได้ ๕๐๐ โวลต์ และรับกระแสไปหน้าได้ ๑๒ แอมป์ (ดูเอกสารอ้างอิง#๔ เป็นตัวอย่าง).

เนื่องจากแรงดันไปหน้าคร่อมขาเบสกับขาคีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์

ชนิดพีเอ็นพี คือ  $V_{BE}$  มีค่าประมาณ ๐.๗ โวลต์ขณะที่ทรานซิสเตอร์เริ่มนำกระแส. ดังนั้น ช่วงเวลาขณะที่ทรานซิสเตอร์จะเริ่มนำกระแส เทียบกับตำแหน่งเริ่มต้นที่ศูนย์ของคลื่นไซน์  $6\sqrt{2}\sin(\omega t)$  ที่ออกจากหม้อแปลงขับนำเบส จะหาได้จากค่าของ  $\Delta t_0$  ตามสมการ

$$6\sqrt{2}\sin(\omega\Delta t_0) = 0.7 \quad (๑๔)$$

โดยที่  $\omega = 2\pi$  (๕๐) เรเดียน/วินาที สำหรับแรงดันกระแสสลับความถี่ ๕๐ เฮิรตซ์.

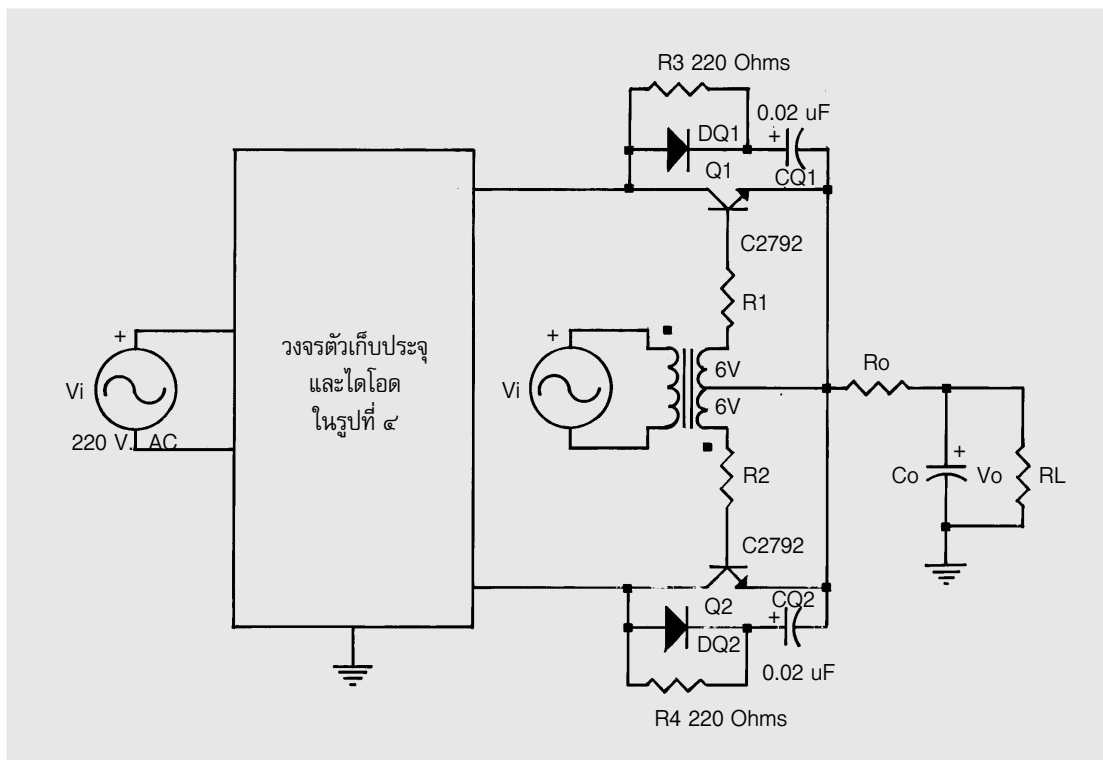
เมื่อแก้สมการ (๑๔) จะได้  $\Delta t_0 = 0.๒๖๓$  มิลลิวินาที ดังนั้น  $T_y = 2\Delta t_0 = 0.๕๒๖$  มิลลิวินาที และจากรูปที่ ๖

$$T_x \approx (T/2) - 3\tau_1 - T_y \quad (๑๕)$$

โดยที่  $T$  เป็นระยะเวลา ๑ คาบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสสลับความถี่ ๕๐ เฮิรตซ์ นั่นคือ  $T = 1/50$  วินาที สมการ (๑๕). เมื่อแทนค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จะได้  $T_x = ๖.๖๗$  มิลลิวินาที.

จากสมการ (๑๐) เมื่อแทนค่า  $T_x$  และ  $\tau_2$  จะได้  $V_{ox} = 0.946V_{O(max)}$  ซึ่งเมื่อแทนลงในสมการ (๑๑) โดยใช้ค่า  $T_y = 0.๕๒๖$  วินาที และใช้ค่า  $\tau_3 = R_L C_o = ๑๖$  ( $๔๗๐๐ \times 10^{-6}$ ) วินาที = ๗๕.๒ มิลลิวินาที จะให้  $V_{O(min)} = 0.๘๓๙V_{O(max)}$ .

ในสมการ (๖) จะกำหนดค่าของ  $V_{1(max)}$  ให้เท่ากับ  $V_o$  ในสมการ (๓) ซึ่งก็จะสามารถหาค่าได้จากสมการ (๑) นั่นคือ



รูปที่ ๑๐

วงจรถานซิสเตอร์ที่ใช้ทำหน้าที่ของสวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  ในรูปที่ ๔



$$V_{O} = (1/n)V_{in, max} - 3V_{D} = (1/14) (310) - 3 (0.7) = ๒๐.๐๔ \text{ โวลต์}$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่า  $V_{1(max)} = ๒๐.๐๔$  โวลต์ และแทนค่า  $V_{O(min)} = 0.939V_{O(max)}$  ลงไปในสมการ (๖) จะได้ค่าที่ปรับใหม่เป็น  $V_{O(max)} = ๑๘.๓$  โวลต์ และ  $V_{O(min)} = ๑๗.๒$  โวลต์, ซึ่งก็ต่างกับค่าเดิมที่เป็นค่าคร่าวๆ คือ ๒๐ โวลต์ และ ๑๖ โวลต์ ตามลำดับ. ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่าได้ใช้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุใหญ่กว่าที่คำนวณไว้อย่างคร่าวๆ ในตอนแรก.

### วงจรมุมค่าแรงดันด้านออก

เพื่อให้ได้แรงดันออกในขั้นสุดท้ายที่มีค่าใกล้เคียง ๑๕ โวลต์ และมีความพลวัตต่ำกว่า  $\Delta V_{O} = V_{O(max)} - V_{O(min)} = ๑.๑$  โวลต์ อันเป็นผลจากการออกแบบข้างบนนี้ จึงใช้วงจรมุมค่าแรงดันดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ๑๑ มาช่วยอีกชั้นหนึ่ง.

ในวงจรตามรูปที่ ๑๑ วงจรรวม

เบอร์ ๗๘๑๕ เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่คุมค่าแรงดันด้านออกให้คงตัวอยู่ที่ ๑๕ โวลต์. แต่เนื่องจากอุปกรณ์นี้สามารถจ่ายกระแสได้ไม่เกิน ๑ แอมแปร์ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงได้ใส่ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นพีเอ็นตัวหนึ่ง (เช่นทรานซิสเตอร์เบอร์ C๑๐๖๑ ซึ่งทนแรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอีมิเตอร์ได้ ๖๐ โวลต์ และรับกระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุดได้ ๗ แอมแปร์) ไว้ช่วยจ่ายกระแสด้วย, โดยมีตัวเก็บประจุขนาด ๔๗๐ ไมโครฟารัด ต่ออยู่กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ไปลงกราวด์ และมีตัวต้านทานขนาด ๒๐๐ โอห์ม ต่อจากขากลางของวงจรรวม ๗๘๐๕ ไปลงกราวด์ด้วย. อุปกรณ์ตัวหลังสุดนี้ใส่ไว้เพื่อชดเชยแรงดันตก (ประมาณ ๐.๗ โวลต์) คร่อมขาเบสกับขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์.

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นสวิทซ์ใน

วงจรมุมค่าแรงดันตามในรูปที่ ๑๑ มีแผ่นระบายความร้อนติดไว้ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินไป.

### ผลการทดสอบวงจร

ผู้นิพนธ์ได้สร้างต้นแบบของวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้ออกแบบไว้ตามขั้นตอนข้างบนนี้ และได้ทดลองวัดปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของวงจรโดยรวม เมื่อให้วงจรจ่ายกำลังใกล้เคียงค่าสูงสุดที่ออกแบบไว้. ปริมาณดังกล่าวก็คือประสิทธิภาพผลรวมของวงจร, รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุทางด้านออกของวงจรมุมค่าแรงดัน และรูปคลื่นแรงดันด้านออกของวงจรมุมค่าแรงดัน. ข้อมูลที่เป็นค่าตัวเลขมีดังนี้

แรงดันกระแสสลับด้านเข้า ๒๒๐ V (rms) กระแสสลับด้านเข้า ๐.๑๘๕ A (rms).

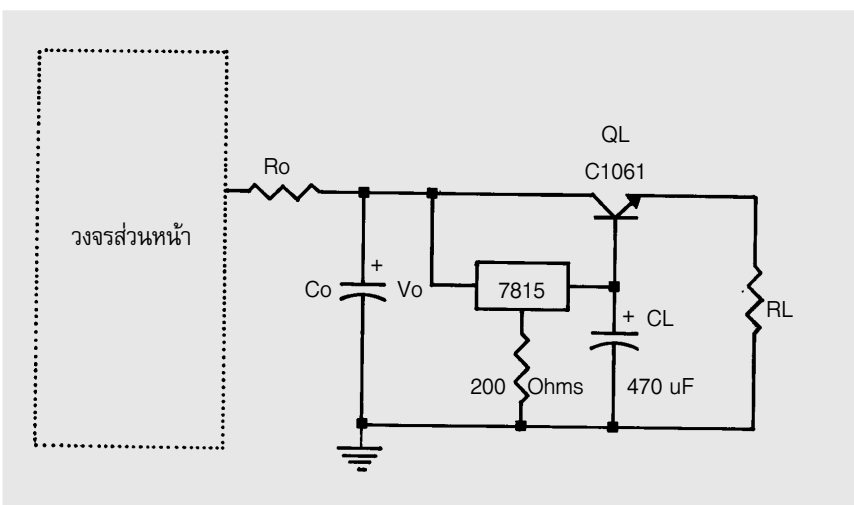
กำลังงานกระแสสลับด้านเข้า ๒๘ วัตต์ ตัวประกอบกำลัง ๐.๖๙ (กระแสล้าหลังแรงดัน).

แรงดันกระแสตรงด้านออก ๑๕ โวลต์กระแสตรงด้านออก ๐.๙๓ แอมแปร์.

กำลังงานกระแสตรงด้านออก ๑๔ วัตต์ ประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ ๕๐.

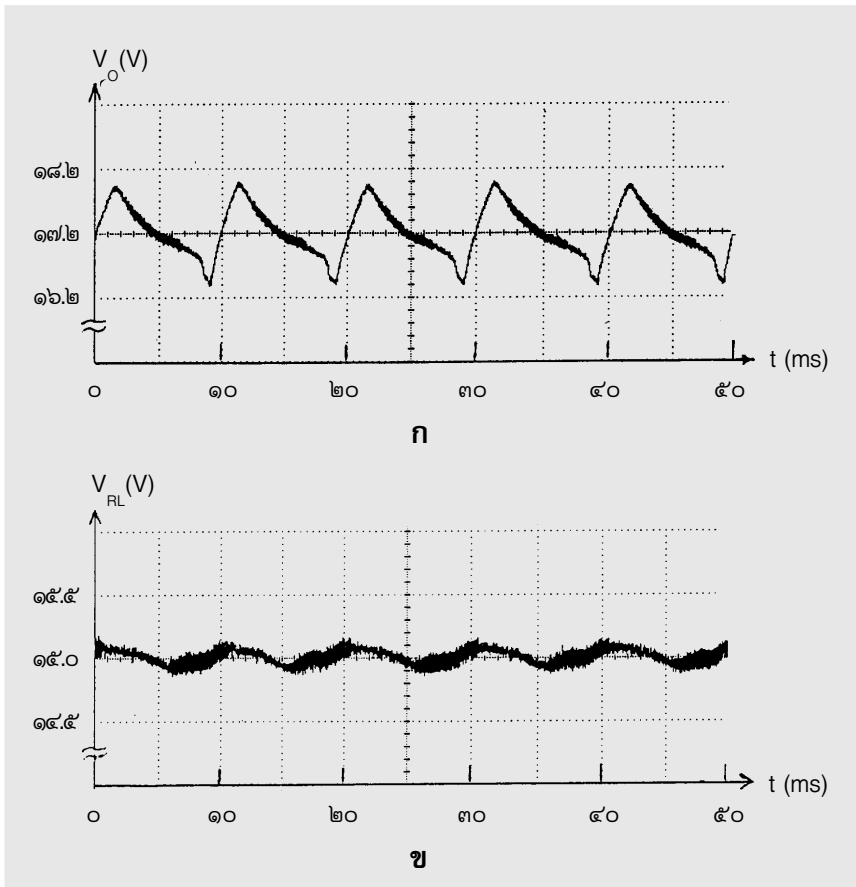
รูปคลื่นที่วัดได้จากวงจรจ่ายกำลังต้นแบบที่สร้างขึ้นเป็นดังรูปที่ ๑๒.

รูปที่ ๑๒ (ก) แสดงรูปคลื่นแรง



รูปที่ ๑๑

วงจรมุมค่าแรงดันด้านออกให้ได้ ๑๕ โวลต์ ที่ค่ากระแส ๑ แอมแปร์



รูปที่ ๑๒  
รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ  $C_O$  และแรงดันด้านออกของวงจรคูล์ค่าแรงดัน

ดินคร่อมตัวเก็บประจุ ( $C_O$ ) ทางด้าน  
ออกของวงจรลดค่าแรงดัน. แรงดัน  
สูงสุดในรูปที่ ๑๒ (ก) วัดได้ ๑๕.๐ โวลต์  
ใกล้เคียงกับค่า  $V_{O(max)}$  คือ ๑๕.๓ โวลต์  
ที่คำนวณไว้. ส่วนแรงดันต่ำสุดในรูป  
ที่ ๑๒ (ก) วัดค่าได้ ๑๖.๔ โวลต์ ซึ่งก็  
ใกล้เคียงกับค่า  $V_{O(min)}$  คือ ๑๗.๒ โวลต์  
ที่คำนวณไว้เช่นเดียวกัน. ค่าผลต่าง  
ของค่าแรงดันทั้งสองที่วัดได้ก็คือ ๑๕.๐  
- ๑๖.๔ = ๑.๖ โวลต์.

รูปที่ ๑๒ (ข) แสดงรูปคลื่นแรง  
ดันด้านออกของวงจรคูล์ค่าแรงดัน  
ของแหล่งจ่ายกำลังที่ทดลอง. แรงดัน  
นี้แปรค่าอยู่ระหว่าง ๑๔.๙ โวลต์ กับ

๑๕.๑ โวลต์ โดยประมาณ. ผลต่าง  
ของค่าแรงดันทั้งสองในที่นี้คือ ๐.๒  
โวลต์ ซึ่งก็ค่าเพียง ๑/๘ ของผลต่าง  
ระหว่างแรงดันสูงสุดกับต่ำสุดที่ด้าน  
ออกของวงจรลดแรงดัน.

### วิจารณ์และเสนอแนะ

ประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่าย  
กำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบใช้ตัวเก็บ  
ประจุลดแรงดันในที่นี้ มีค่าร้อยละ ๕๐  
ในขณะที่ประสิทธิภาพของวงจรแหล่ง  
จ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิง  
เส้นธรรมชาติที่ใช้หม้อแปลงลดแรงดัน

และให้กำลังออกสูงสุดได้ใกล้เคียงกัน  
มีค่าประมาณร้อยละ ๕๕. การที่วงจร  
แบบใช้ตัวเก็บ ประจุลดแรงดันมี  
ประสิทธิภาพต่ำกว่าวงจรแบบหลังนี้  
ก็เป็นเพราะมีการสูญเสียกำลังส่วนหนึ่ง  
(ราว ๓ วัตต์) ไปเป็นความร้อนใน  
วงจรเบสของทรานซิสเตอร์ทั้ง ๒ ตัว  
ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ อีกทั้งมีการสูญเสีย  
กำลังเป็นความร้อนในตัวทราน-  
ซิสเตอร์เองด้วย. กำลังสูญเสียทั้ง ๒  
ส่วนนี้มีค่ามากกว่าร้อยละ ๑๐ ของ  
กำลังด้านเข้าทั้งหมด (๒๘ วัตต์)  
ทั้งนี้เนื่องจากกำลังด้านเข้าและกำลัง  
ด้านออกของแหล่งจ่ายกำลังในที่นี้ยัง  
ต่ำอยู่. ถ้าออกแบบให้แหล่งจ่าย  
กำลังสามารถจ่ายกำลังสูงสุดได้มากขึ้น  
เช่นจ่ายได้ถึง ๑๐๐ วัตต์ อย่งใน  
เอกสารอ้างอิง#๔ แล้ว กำลังสูญเสีย  
ในวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็น  
สวิตช์จะเป็นสัดส่วนที่ต่ำลงเมื่อเทียบ  
กับกำลังด้านเข้า. ดังนั้น ประสิทธิภาพ  
ของวงจรแบบใช้ตัวเก็บประจุลด  
แรงดันจะสามารถเพิ่มขึ้นได้ จนอาจ  
เท่ากับหรือสูงกว่าประสิทธิภาพของ  
วงจรแบบดั้งเดิมที่ใช้หม้อแปลงลด  
แรงดัน (ในเอกสารอ้างอิง#๔ ประ-  
สิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายกำลัง  
โดยรวมเมื่อกำลังด้านออกมีค่า ๑๐๔  
วัตต์ วัดได้สูงถึงราวร้อยละ ๘๐).

วิธีเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร  
แหล่งจ่ายกำลังในบทความนี้อีกวิธี  
หนึ่งที่ทำได้ ก็คือการเปลี่ยนวงจร  
คูล์ค่าแรงดันด้านออก จากแบบเชิง  
เส้นไปเป็นแบบสวิตช์ โดยตัดวงจร  
รวมเบอร์ ๗๘๑๕ และทรานซิสเตอร์  
เบอร์ C1061 ในรูปที่ ๑๑ ออกไป,



แล้วให้ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  กับ  $Q_2$  ผลัดกันทำหน้าที่ตัดต่อวงจรด้วยความถี่สูงราว ๒๐ กิโลเฮิร์ตซ์ ในเครื่องรอบที่เหมาะสมของรอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสสลับด้านเข้า.

## กิตติกรรมประกาศ

คุณสุรพงษ์ สุวรรณกวิน นิสิต  
หลักสูตรปริญญาเอก ห้องปฏิบัติการ

วิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ช่วยเหลือในการวัดสมรรถนะของวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในงานนี้.

## เอกสารอ้างอิง

๑. มงคล เดชกรินทร์, ชาตรี ศรีไพพรรณ. อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน. กทม: ซีเอ็ดยูเคชั่น; ๒๕๒๗, หน้า ๑๔๕-๖๓.

๒. Spencer JD, Pippenger DE. The voltage regulator handbook. Dallas, Texas: Texas Instruments; 1977. p. 63-76.
๓. Williams BW. Power electronics devices, drivers and applications. New York: John Wiley & Sons; 1987. p. 309-29.
๔. นัทรชัย สืบอินทร์. การออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ตัวเก็บประจุลดแรงดัน. รายงานโครงการ วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม.; ๒๕๔๒.

### Abstract

#### A Switched-capacitor, Direct-current Power Supply Mongkol Dejnakintra

Fellow, the Academy of Science, the Royal Institute, Thailand

A guideline for designing and constructing a low voltage direct current power supply without using a power transformer was presented. The power supply circuit uses one or more sets of capacitors and diodes to substitute for the transformer. The author also gives a demonstrative example in designing and constructing a 15-volt, 1-ampere DC power supply with an AC input voltage of 220 volts.

**Key words :** direct current power supply, switched-capacitor