พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

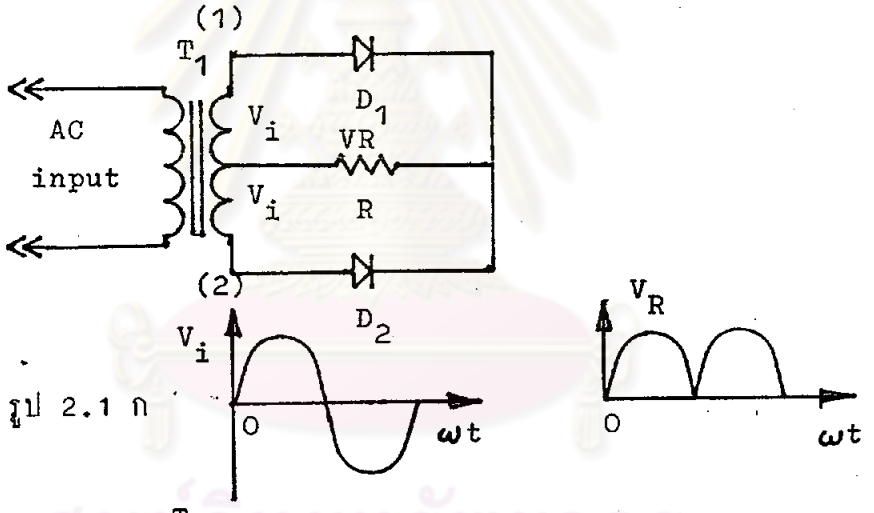
บทที่ 2

ชนิดของเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

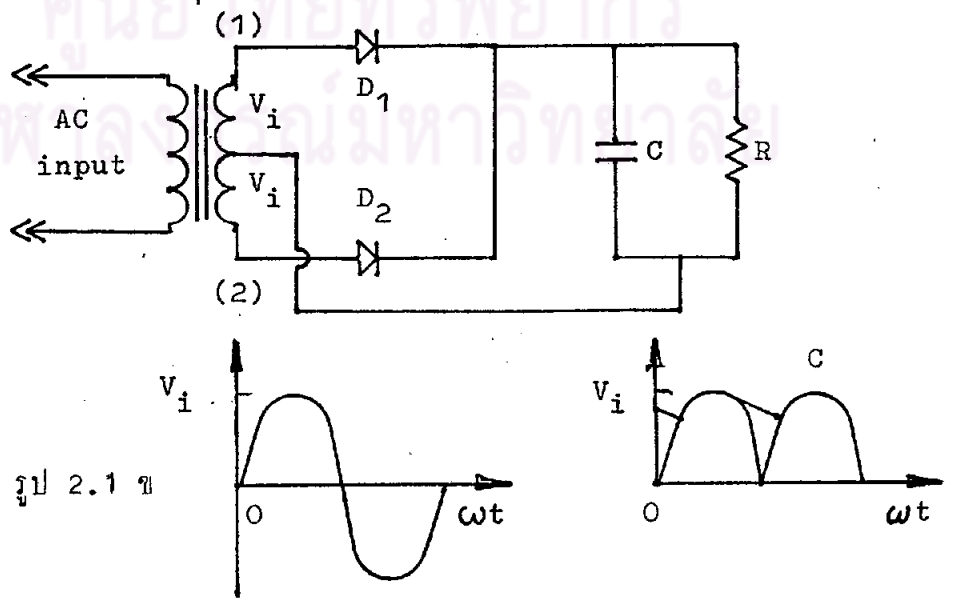
เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงอาจแบ่งออกตามลักษณะการทำงานดังนี้

2.1 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงพื้นฐาน (3,4)

เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงพื้นฐานประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส และ ฟิลเตอร์ (rectifier and filter) ดังที่แสดงในรูป 2.1 ก และ 2.1 ข



รูป 2.1 ก



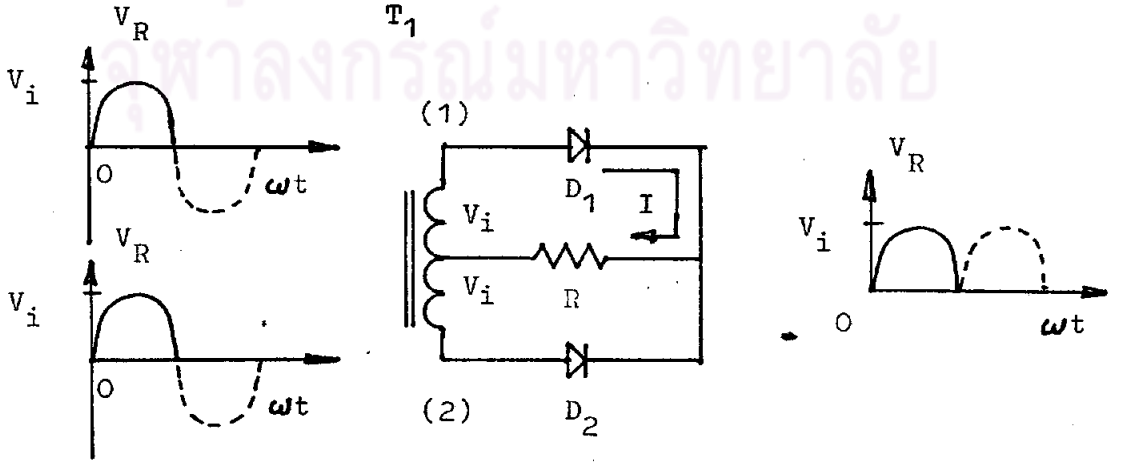
รูป 2.1 ข

รูปที่ 2.1 ก แสดงวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

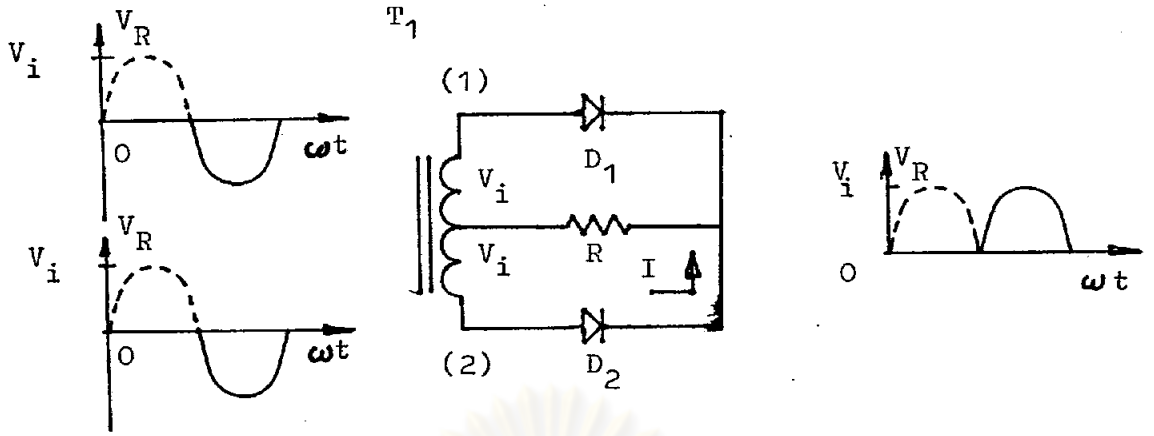
2.1 ข แสดงวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเรียงกระแสเต็มคลื่น

<u>การทำงานของวงจรรูปที่ 2.1 ก</u>

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 ซึ่งหม้อแปลง T_1 เป็นแบบแยกจุดกึ่งกลางขดลวดที่ขดลวดทุติยภูมิให้แรงดันไฟฟ้าปรากฏที่ขดลวดทุติยภูมิคือ V_i และ มีคาบ 0 ถึง 2π สมมุติให้ที่จุด 1 ของขดลวดทุติยภูมิเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิซึ่งเป็นลบ ไดโอด D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตามไดโอด D_1 จะนำกระแส กระแส I จะไหลผ่านตัวไดโอด D_1 ผ่านตัวต้านทาน R และครบวงจรที่จุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิ กระแสที่ไหลผ่านวงจรจะไหลตลอดคาบ 0 ถึง π ซึ่งเป็นช่วงคาบที่ไดโอด D_1 นำกระแส สมมุติให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอด D_1 เป็นศูนย์ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R จะเท่ากับแรงดันไฟฟ้า V_i ที่ขดลวดทุติยภูมิทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าแสดงโดยทิศทางลูกศร ขณะเดียวกันที่จุด 1 ของขดลวดทุติยภูมิเป็นบวกที่จุด 2 ของขดลวดทุติยภูมิจะเป็นลบเมื่อเทียบกับจุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิซึ่งเป็นบวก ดังนั้นไดโอด D_2 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทางทำไดโอด D_2 ไม่นำกระแสแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเมื่อไดโอด D_1 นำกระแสแสดงดังรูปที่ 2.2 ก และที่คาบ π ถึง 2π เมื่อไดโอด D_2 นำกระแสแสดงดังรูปที่ 2.2 ข



รูปที่ 2.2 ก



รูปที่ 2.2 ข

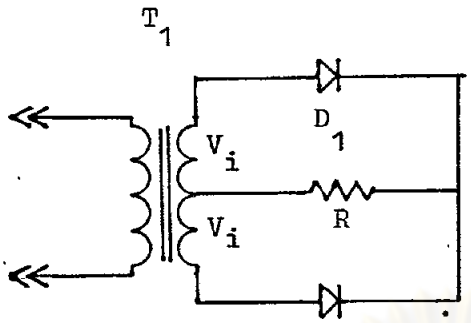
รูปที่ 2.2 ก แสดงการเรียงกระแสครึ่งรอบบวก

2.2 ข แสดงการเรียงกระแสครึ่งรอบลบ

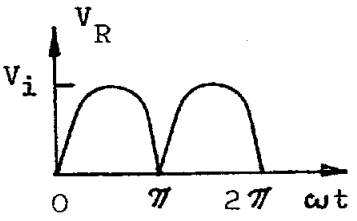
<u>การทำงานของวงจรรูปที่ 2.2 ข</u>

ที่จุด 1 ของขดลวดทุติยภูมิจะเป็นลบเมื่อเทียบกับจุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิไดโอด D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทางซึ่งทำให้ไดโอด D_1 ไม่นำกระแสขณะเดียวกันที่จุด 2 ของขดลวดทุติยภูมิจะเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิทำให้ไดโอด D_2 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตามไดโอด D_2 จะนำกระแส กระแส I จะไหลผ่านตัวไดโอด D_2 ผ่านตัวต้านทาน R โดยมีทิศทางการไหลของกระแส I แสดงดังทิศทางลูกศรเช่นเดียวกับช่วงคาบที่ไดโอด D_1 นำกระแส กระแสที่ไหลผ่านในวงจรขณะไดโอด D_2 นำกระแสซึ่งไดโอด D_2 จะนำกระแสช่วงคาบ π ถึง 2π จะครบวงจรที่จุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิเช่นกัน สมมุติให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอด D_2 เป็นศูนย์ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R คือ V_R จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้า V_i ที่ขดลวดทุติยภูมิ

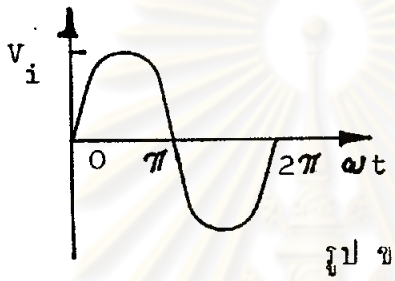
แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสในช่วงคาบ 0 ถึง 2π จะหาได้จากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้รูปคลื่นแบบไซน์ (sinusoidal wave) แสดงดังในรูปที่ 2.3 ค



รูป ก



รูป ค



รูป ข

รูปที่ 2.3 ก แสดงวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

ข แสดงคลื่นแบบไซน์ก่อนผ่านวงจรเรียงกระแส

ค แสดงรูปคลื่นที่ทางออกที่ได้จากคลื่นแบบไซน์หลังการผ่านวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

ตามปกติการหาค่าเฉลี่ยหรือค่ากระแสตรงหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T V\,dt \qquad \ldots\ldots (2.1)$$

โดยที่ T คือ คาบของสัญญาณที่กำลังหาค่าเฉลี่ย

สำหรับการเรียงกระแสเต็มคลื่นคาบ T มีค่าเท่ากับ 2π

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_i\,d\theta$$

ให้

$$V_i = V_m \sin\theta\,d\theta$$

ดังนั้น

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\pi} V_m \sin\theta\, d\theta + \frac{1}{2\pi}\int_{2\pi}^{\pi} V_m \sin\theta\, d\theta$$

$$= \frac{2}{\pi} V_m$$

$$= 0.636\ V_m \qquad \text{..... (2.2)}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสจะประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และ แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น (ripple) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นจะหาได้จาก

$$\text{แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น} = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \qquad \text{.... (2.3)}$$

เมื่อ

$V_{r(rms)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นสำหรับการเรียงกระแสเต็มคลื่น $= 0.305\ V_m$

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออก และ V_{dc} สำหรับการเรียงกระแสเต็มคลื่น $= 0.636\ V_m$

ดังนั้น

$$\text{แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น} = \frac{0.305\ V_m}{0.636\ V_m} \times 100$$

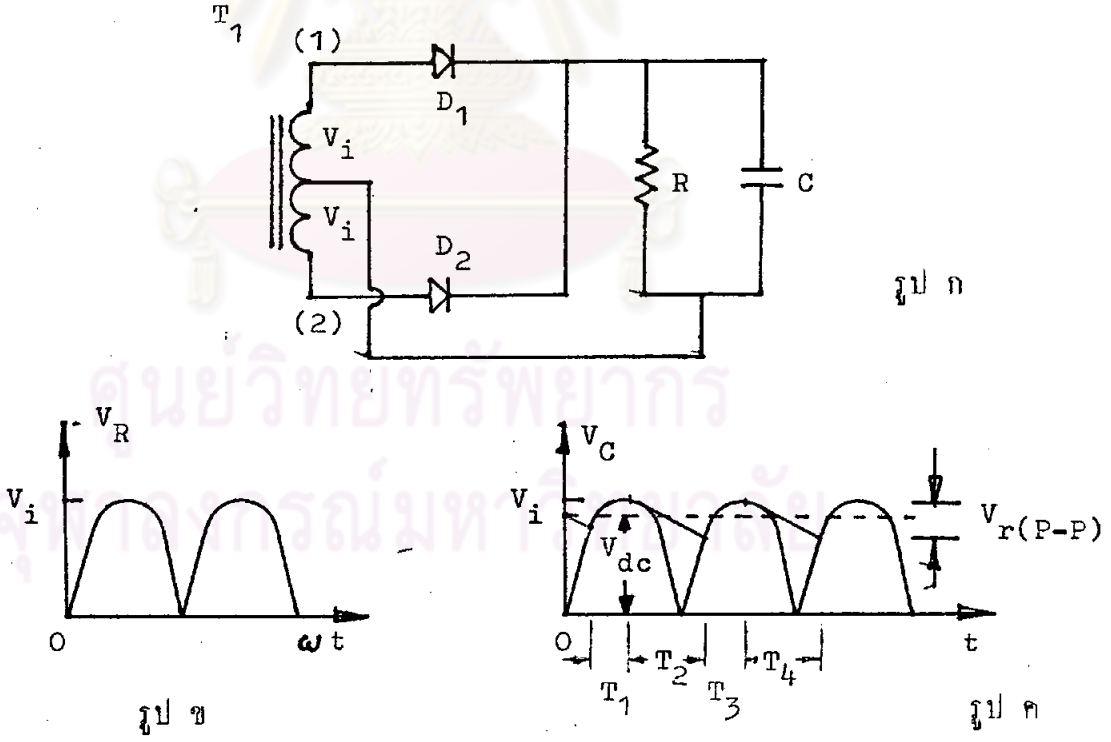
$$= 48\ \%$$

แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นในสมการ (2.3) เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ระลอกคลื่นสำหรับการเรียงกระแสเต็มคลื่น ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ตามแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเช่นเดียวกัน

<u>จากวงจรเรียงกระแสรูป 2.1 ก</u>

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกที่ตัวต้านทาน R จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีลักษณะเป็นพัลส์ (pulse) ไม่เหมาะกับการใช้งานในวงจรอิเล็กตรอนิกส์

โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กตรอนิกส์จะต้องมีความราบเรียบ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะราบเรียบได้โดยการต่อตัวเก็บประจุ C คร่อมที่จุดทางออกของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยตัวเก็บประจุ C จะเป็นตัวเก็บประจุ และคายประจุจากรูปที่ 2.1 ข ขณะที่ไดโอด D_1 นำกระแสตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแส และจะยังคงมีกระแสบางส่วนไหลผ่านตัวต้านทาน R ตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแสจนถึงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า V_i เมื่อไดโอด D_1 เริ่มหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะคายประจุกระแสที่ประจุไว้ออกผ่านทางตัวต้านทาน R และ ตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแสอีกเมื่อไดโอด D_2 นำกระแส และจะประจุกระแสจนถึงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า V_i เมื่อไดโอด D_2 เริ่มหยุดนำกระแสตัวเก็บประจุ C จะคายประจุกระแสที่ประจุไว้ออกทางตัวต้านทาน R ซึ่งการทำงานของวงจรจะทำต่อเนื่องตลอดไปทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกมีความราบเรียบมากขึ้น การทำงานของวงจรรูปที่ 2.1 ข ที่กล่าวถึงข้างต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



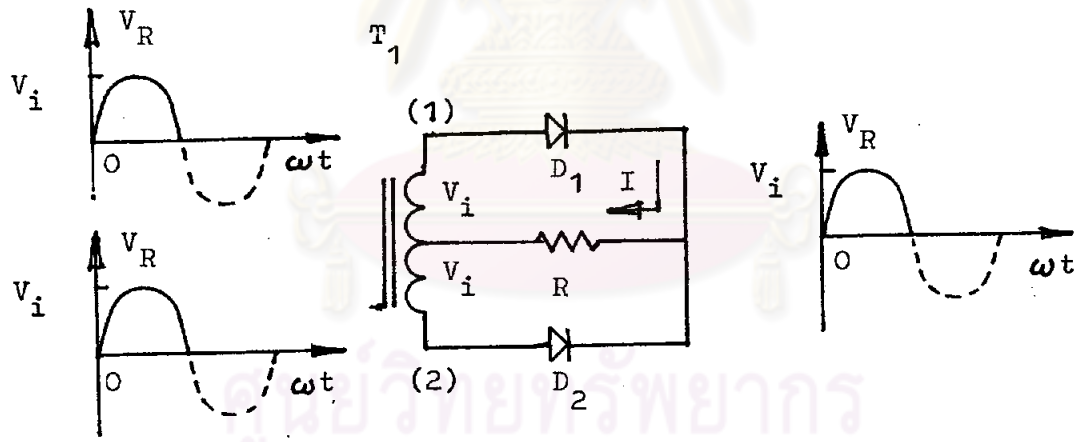
รูปที่ 2.4 ก วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นประกอบด้วยตัวเก็บประจุ C

ข รูปคลื่นที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C

ค รูปคลื่นที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่มีตัวเก็บประจุ C

จากรูปที่ 2.4 ก

เมื่อปลายหมายเลข (1) ของขดลวดทุติยภูมิเป็นบวก และยังไม่ต่อตัวเก็บประจุ C ไดโอด D_1 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตามทำให้ไดโอด D_1 นำกระแส กระแส I จะไหลผ่านตัวไดโอด D_1 ผ่านตัวต้านทาน R ครบวงจรที่จุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิ ขณะที่ไดโอด D_1 นำกระแสไดโอด D_2 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทางซึ่งทำให้ไดโอด D_2 ไม่นำกระแส โดยที่ไดโอด D_1 จะนำกระแสในช่วงครึ่งรอบที่เป็นบวก แสดงดังรูปที่ 2.5

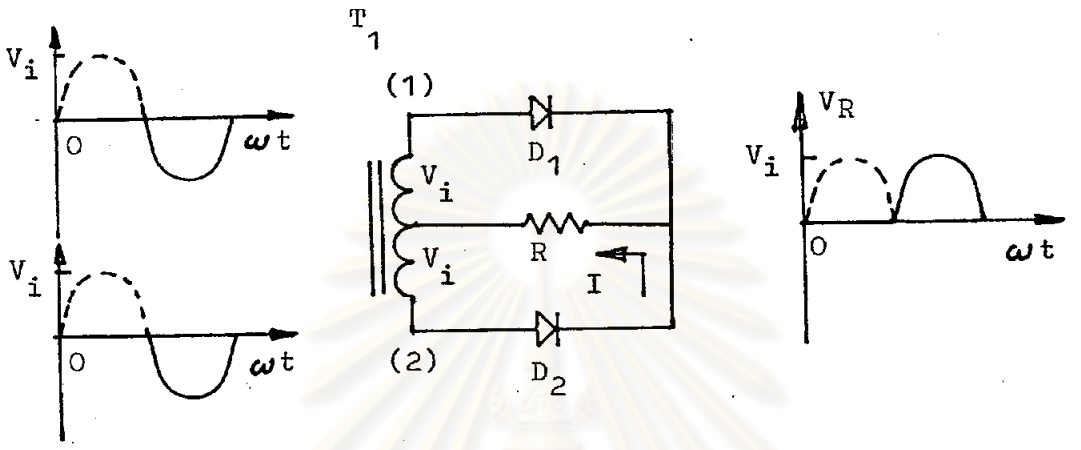


รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเมื่อไดโอด D_1 นำกระแส

จากรูปที่ 2.4 ก

เมื่อปลายหมายเลข (2) ของขดลวดทุติยภูมิเป็นบวก และยังไม่ต่อตัวเก็บประจุ C ไดโอด D_2 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตามให้นำกระแส ไดโอด D_2 จะ

นำกระแส กระแสไฟฟ้า I จะไหลผ่านตัวไดโอด D_2 ผ่านตัวต้านทาน R และครบวงจรที่จุดแยกกึ่งกลางขดลวดทุติยภูมิ ขณะที่ไดโอด D_2 นำกระแส ไดโอด D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทางซึ่งทำให้ไดโอด D_1 ไม่นำกระแส โดยที่ไดโอด D_2 จะนำกระแสในครึ่งรอบที่เป็นลบ แสดงดังรูปที่ 2.6



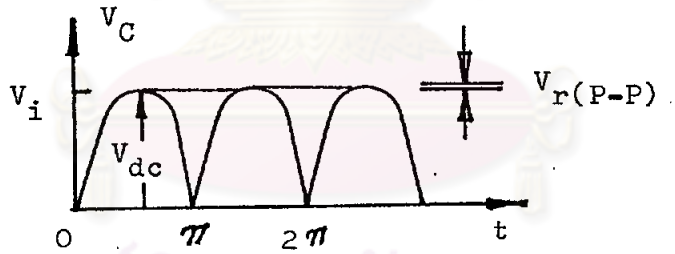
รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเมื่อไดโอด D_2 นำกระแส

<u>จากรูปที่ 2.4 ก</u>

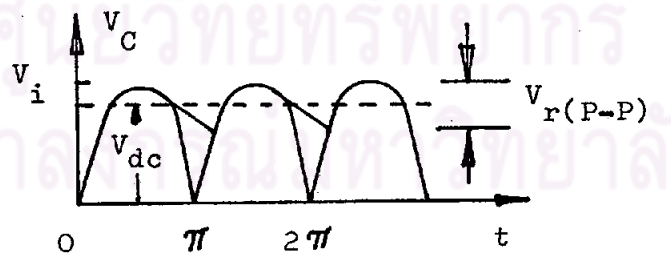
เมื่อต่อตัวเก็บประจุ C ที่จุดทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น ให้ไดโอด D_1 นำกระแสช่วงเวลา T_1 ตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแสจนถึงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า V_i ซึ่งขณะที่ตัวเก็บประจุ C ประจุกระแสจะยังมีกระแสส่วนหนึ่งไหลผ่านตัวต้านทาน R และขณะที่ไดโอด D_1 เริ่มหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะคายประจุกระแสที่ประจุไว้ออกทางตัวต้านทาน R ตามเวลา T_2 เมื่อไดโอด D_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_2 จะนำกระแสเนื่องจากเป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแสที่เวลา T_3 จนถึงค่าแรงดันไฟฟ้า V_i ขณะที่ตัวเก็บประจุ C ประจุกระแสอยู่จะมีกระแสส่วนหนึ่งไหลผ่านตัวต้านทาน R และเมื่อไดโอด D_2 เริ่มหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะคายประจุกระแสที่ประจุไว้ออกทางตัวต้านทาน R แสดงดังเวลา T_4 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น และตัวเก็บประจุ C โดยที่ตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแส และคายประจุกระแสตลอดเวลา ค่าเฉลี่ยที่ระดับความสูงของการประจุกระแส และคายประจุกระแสของตัวเก็บประจุ C จะได้เป็น

ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{dc} ที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุ C ต่ออยู่

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่มีตัวเก็บประจุ C ต่ออยู่ และแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R ซึ่งเป็นโหลด (load) อยู่ที่ทางออกของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าค่าความต้านทานของโหลดสูงจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นต่ำ ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะมีค่าใกล้กับแรงดันไฟฟ้า V_i ที่ขดลวดทุติยภูมิ และถ้าค่าความต้านทานโหลดต่ำลงกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานโหลดจะสูงการคายประจุของตัวเก็บประจุ C จะมากขึ้นซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นสูงเป็นผลทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสต่ำลงโดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้า V_i ที่ขดลวดทุติยภูมิจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานโหลด R ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ก



รูปที่ 2.7 ข

รูปที่ 2.7 ก แสดงแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นที่โหลด R มีค่าความต้านทานสูง

ข แสดงแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นที่โหลด R มีค่าความต้าน

ทานต่ำ

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_{r(P-P)}}{2} \quad \text{..... (2.4)}$$

แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น $V_{r(rms)} = \frac{V_{r(P-P)}}{2\sqrt{3}}$ ....(2.5)

และ

$$V_{r(rms)} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}\, fC} \times \frac{V_{dc}}{V_m} \quad \text{..... (2.6)}$$

เมื่อ

I_{dc} คือ กระแสไฟฟ้าตรง

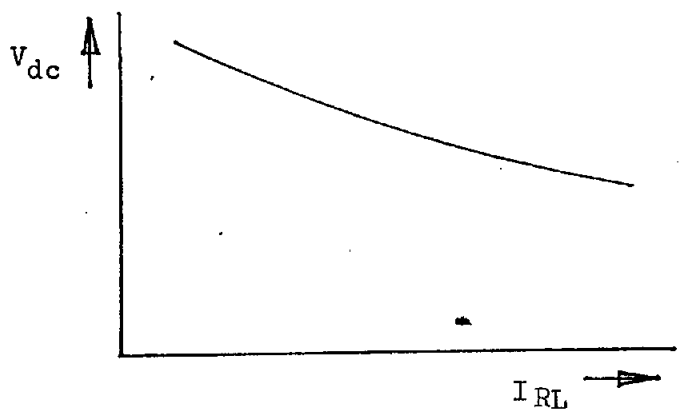
f คือ ความถี่

C คือ ตัวเก็บประจุ

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

V_m คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด

จากสมการ (2.4) ที่จุดทางออกของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีตัวต้านทาน R ต่อเป็นโหลดอยู่ซึ่งถ้าค่าความต้านทาน R ที่ต่อเป็นโหลดอยู่ต่ำลงจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R ซึ่งต่อเป็นโหลดอยู่สูงขึ้น และยังเป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นสูงขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นสูงขึ้นเป็นผลทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{dc} เฉลี่ยต่ำลง แสดงดังรูปที่ 2.8

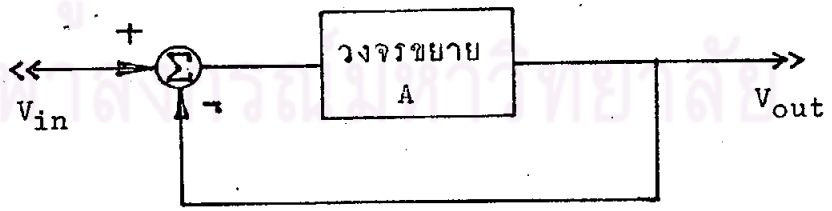


รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

<u>จากผลที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.8</u>

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะไม่คงที่เมื่อค่าความต้านทาน R ซึ่งต่อเป็นโหลดอยู่เปลี่ยนแปลงไปทำให้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบนี้ไม่เหมาะที่จะใช้กับวงจรอิเล็กตรอนิกส์ที่ต้องการกระแสไฟฟ้าที่โหลดสูง นอกจากนั้นยังมีสัญญาณรบกวนสูงเพราะแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นที่ทางออกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะสูงด้วย

วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์อิเล็กตรอนิกส์การทำงานของวงจรอุปกรณ์อิเล็กตรอนิกส์จะต้องการกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้กับวงจร และเพื่อให้วงจรอิเล็กตรอนิกส์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องมีการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับวงจรอิเล็กตรอนิกส์คงที่ตลอดเวลาไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกให้คงที่จะใช้วงจรเรกุเลเตอร์ที่มีการป้อนกลับ (feedback) ภายในวงจรเป็นแบบลบ เพื่อป้องกันไม่ให้วงจรเรกุเลเตอร์เกิดการออสซิลเลต (oscillate) ขึ้น ซึ่งจะเป็นผลทำให้วงจรเรกุเลเตอร์ไม่มีเสถียรภาพในการใช้งาน หลักการของการป้อนกลับแบบลบ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรป้อนกลับแบบลบ

การทำงานของวงจรป้อนกลับแบบลบรูปที่ 2.9

ให้

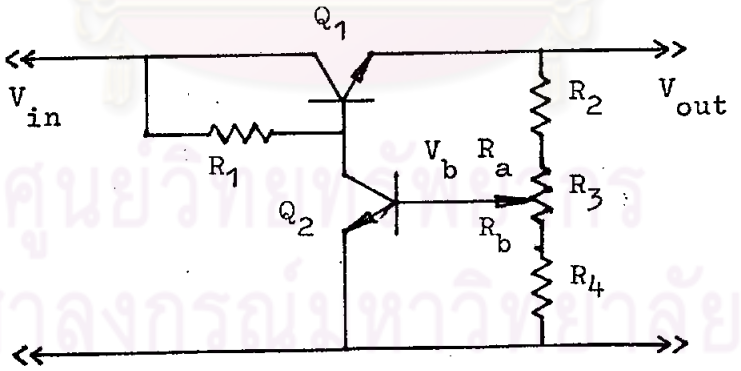
$$V_{out} = V_{in} - V_{out} A \quad .....(2.7)$$

$$V_{out} + V_{out} A = V_{in}$$

$$V_{out} (1+A) = V_{in}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + A} \quad .....(2.8)$$

จากสมการ (2.8) A คือ กำลังขยาย และ เมื่อกำลังขยาย A สูงขึ้น อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกต่อแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าต่ำลง ผลที่ได้จากสมการ (2.8) จะแสดงให้เห็นว่าวงจรป้อนกลับแบบลบจะไม่เกิดการออสซิลเลตขึ้นแม้ว่าจะใช้อัตราขยายของวงจรขยายสูงเพียงไร การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกให้คงที่สามารถกระทำได้ด้วยวงจรเรกกูเลเตอร์แบบอนุกรม ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรเรกกูเลเตอร์แบบอนุกรม

การทำงานของรูปที่ 2.10

ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เป็นทรานซิสเตอร์แบบ N-P-N ทำงานเป็นเรกกูเลเตอร์แบบอนุกรมโดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_2 ตัวต้านทาน R_2 , R_3 และ R_4 เป็นวงจรป้อนกลับแบบลบ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_2 , R_3 และ

R_4 ได้รับจากแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก และแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบจะได้รับจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน R_3 และ R_4

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางเข้า และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกเป็นแรงดันไฟฟ้าบวก แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะถูกรักษาให้ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ด้วยการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับเบสทรานซิสเตอร์ Q_1 โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง และเป็นทางผ่านของกระแสของวงจรโดยทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้ ความต้านทาน R ในทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเปลี่ยนแปลงไปโดยทรานซิสเตอร์ Q_2 การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะรักษาให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกคงที่ตลอดเวลาใช้งาน และตัวต้านทาน R_3 จะเป็นแบบปรับค่าได้เพื่อปรับค่าให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกได้ค่าตามความต้องการ

แรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบในวงจรรูปที่ 2.10 คือ

$$V_b = \frac{V_{out} (R_4 + R_b)}{R_2 + R_3 + R_4} \quad \ldots\ldots (2.9)$$

และตัวต้านทาน R_1 จะทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับทรานซิสเตอร์ Q_2 ซึ่งค่าความต้านทาน R_1 จะหาได้จาก

$$R_1 = \frac{V_{in} - (V_{out} + V_{BE(Q1)})}{I_{C(Q2)} + I_{B(Q1)}} \quad ..(2.10)$$

เรกกุเลเตอร์ในรูปที่ 2.10 จะรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่ตลอดเวลาแม้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดจะมีค่าจากต่ำสุดจนถึงค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดสูงสุด เรกกุเลชั่น (regulation) ของวงจรเรกกุเลเตอร์อาจนิยามได้ดังนี้

$$\text{เรกกุเลชั่น} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด} - \text{แรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดสูงสุด}}{\text{แรงดันไฟฟ้าที่โหลดสูงสุด}} \quad \ldots\ldots (2.11)$$

และเมื่อคิดเป็นส่วนร้อยจะได้

013518

$$VR = \frac{VNL - VFL}{VFL} \times 100 \qquad \text{..... (2.12)}$$

โดยที่ VNL คือ แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

VFL คือ แรงดันไฟฟ้าที่โหลดสูงสุด

จากสมการ (2.11) วงจรเรกกุเลเตอร์ที่ดีแท้จริง (ideal) เรกกุเลชั่นจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในเรกกุเลเตอร์แบบอนุกรมดังรูปที่ 2.10 จะเกิดการสูญเสียสูงที่ตัวทรานซิสเตอร์กำลังซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางเข้ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะมีความแตกต่างกันมากที่ตัวทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของวงจรเรกกุเลเตอร์ต่ำลง ประสิทธิภาพของวงจรเรกกุเลเตอร์มีนิยามดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของวงจรเรกกุเลเตอร์} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าที่ทางออก}}{\text{แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า}} \times 100$$

..... (2.13)

ตามปกติจะกำหนดให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางเข้าต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกมีสัดส่วนประมาณ 3 : 2 เพื่อต้องการให้ได้เรกกุเลชั่นที่ดี ดังนั้นจากสมการ (2.13) จะพบว่าประสิทธิภาพของวงจรเรกกุเลเตอร์แบบอนุกรมจะเท่ากับ 67 เปอร์เซ็นต์

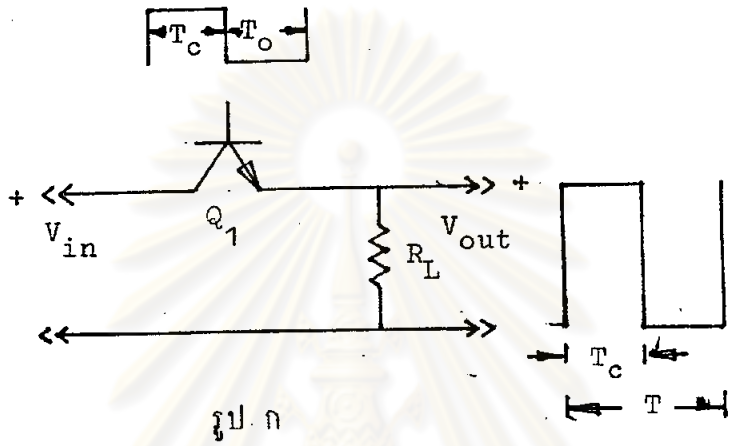
<u>ผลเสียจากการใช้เรกกุเลเตอร์แบบอนุกรม</u>

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่โดยใช้เรกกุเลเตอร์แบบอนุกรมจะเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในทรานซิสเตอร์กำลังตลอดเวลา กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียดังกล่าวจะสูงขึ้นตามโหลดทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้เป็นเรกกุเลเตอร์ร้อนจัดจนต้องมีการระบายความร้อนจากตัวทรานซิสเตอร์ ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ ในกรณีที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังสูงให้กับโหลด กระแสที่ทางออกจะสูงมาก กระแสดังกล่าวจะผ่านทรานซิสเตอร์กำลังที่ต่อแบบอนุกรมและเกินขนาดกระแสสูงสุดที่ตัวทรานซิสเตอร์กำลังจะให้ผ่านได้ ในกรณีดังกล่าวจะต้องใช้ทรานซิสเตอร์กำลังต่อกันแบบขนานหลาย ๆ ตัวทำให้เกิดความสิ้น

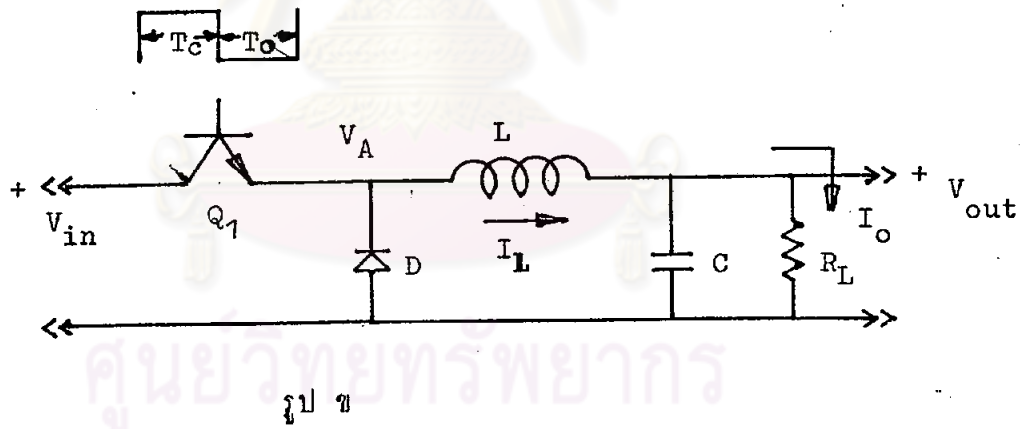
เปลือง และวงจรที่ใช้ค่อนข้างซับซ้อน คุณภาพในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าจะต่ำลง
ด้วย

(1,2,5,6,10)

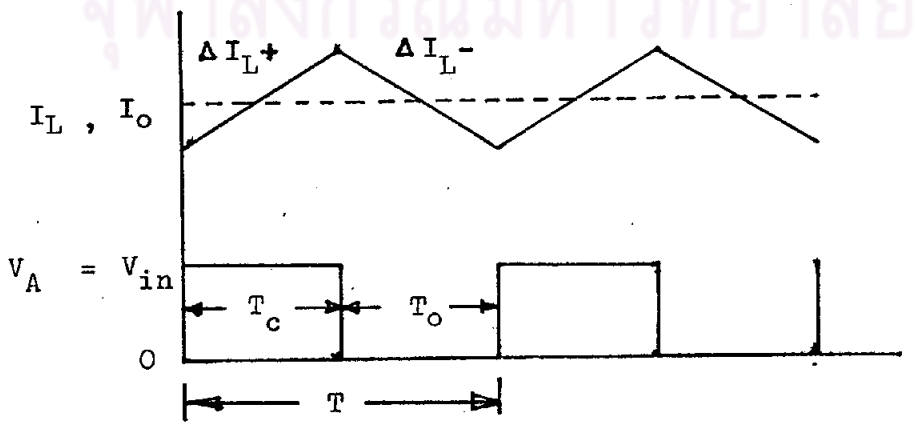
2.2 <u>แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง</u>



รูป ก



รูป ข



รูป ค

รูปที่ 2.11 ก แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง

ข แสดงวงจรสวิตชิ่งที่มีวงจรฟิลเตอร์

ค แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่จุด V_A และ รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ L

<u>การทำงานของรูปที่ 2.11 ก</u>

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะถูกควบคุมโดยการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งเป็นแบบ N-P-N ถึงแม้ว่าทรานซิสเตอร์ Q_1 จะต่ออนุกรมกับวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้า I_L ที่ไหลจากทางเข้าไปยังทางออกเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดก็ตาม การสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 จะต่ำเนื่องจากทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานเป็นแบบสวิตช์คือ ปิด (close) กับเปิด (open) การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 ถูกควบคุมโดยสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม (rectangular) ที่ขับเบสทรานซิสเตอร์ Q_1 ให้นำกระแสในช่วงเวลาสั้นคือ T_C ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์เท่ากับศูนย์ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางเข้าจะปรากฏตกคร่อมตัวต้านทาน R_L สูงสุด นั่นคือแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะใกล้กับแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า และเมื่อช่วงเวลา T_O ของพัลส์สี่เหลี่ยมปรากฏที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะไม่นำกระแส แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_L จะเป็นศูนย์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรากฏที่ทางออกจะมีเฟส (phase) เช่นเดียวกับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ขับเบสทรานซิสเตอร์ Q_1 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกถูกกำหนดโดย

$$\text{แรงดันไฟฟ้าที่ทางออก } (V_{out}) = \frac{V_{in}\ T_C}{T} \quad \ldots(2.14)$$

เมื่อ

T คือ คาบเวลาของพัลส์สี่เหลี่ยมในการสวิตช์ ปิด - เปิด

V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า

T_C คือ เวลาที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส

จากสมการ (2.14) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกถูกกำหนดได้

โดยการปรับความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ช่วงเวลา T_C นั่นคือ ถ้าช่วงเวลา T_C กว้างมากขึ้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะสูงขึ้น เนื่องจากทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแสนานขึ้นขณะที่นำกระแสแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 ต่ำคือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะตัวของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะเป็นพัลส์ซึ่งยังไม่สามารถจ่ายให้กับวงจรอิเล็กตรอนิกส์ได้เนื่องจากความไม่ราบเรียบยังคงมีค่าสูงเกินไป

<u>การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.11 ข</u>

ทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นแบบ N -P- N ทำงานเป็นแบบสวิตช์ ปิด กับ เปิด การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 ถูกควบคุมได้โดยสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่เข้าขับเบสคือ ช่วงเวลา T_C และ ที่ช่วงเวลา T_O เมื่อช่วงเวลา T_C ปรากฏที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะนำกระแส กระแส I_L จะไหลจากทางเข้าสู่ทางออกโดยผ่านตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L และประจุกระแสที่ตัวเก็บประจุ C ซึ่งตัวเก็บประจุ C จะประจุกระแสจนถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ปรากฏที่ทางออกของวงจรคือ จุด V_A ซึ่งถ้าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวทรานซิสเตอร์ระหว่างคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์ต่ำคือ ให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเท่ากับศูนย์ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าของวงจร และจะมีกระแสส่วนหนึ่งไหลผ่านตัวต้านทาน R_Lซึ่งต่อเป็นโหลดอยู่ ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแส ไดโอด D จะได้รับแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ ซึ่งทำให้ไดโอด D ไม่นำกระแส เมื่อเวลา T_O ปรากฏที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะหยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ตัวเหนี่ยวนำ L จะยุบตัวลงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นที่ตัวเหนี่ยวนำ L แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของ L นี้จะทำให้ไดโอด D ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตามไดโอด D นำกระแส กระแสที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ L จะประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C ต่อไปทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จุด V_A ราบเรียบโดยตัวเหนี่ยวนำ L และตัวเก็บประจุ C ทำหน้าที่คล้ายวงจรฟิลเตอร์ทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกราบเรียบยิ่งขึ้น

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกสามารถลดลงต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้ากระ

แสดงที่ทางเข้าได้โดยการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ที่ขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะกำหนดได้ดังสมการ (2.14) และจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งทำงานเป็นแบบสวิตช์ ปิด - เปิด การสูญเสียในตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 จะต่ำเนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวทรานซิสเตอร์จะเกิดในช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแสเท่านั้น

ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ทางเข้า I_n เฉลี่ยคือ $I_o (T_c / T)$ เมื่อ I_o คือ กระแสไฟฟ้าที่ทางออก กำลังไฟฟ้าที่ทางเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระตรงคือ

$$P_{in} = \frac{V_{in} I_o T_c}{T} \quad \text{..... (2.15)}$$

และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะได้ดังสมการ (2.14) คือ

$$V_o = \frac{V_{in} T_c}{T}$$

และกำลังไฟฟ้าที่ทางออกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงคือ

$$P_{out} = \frac{V_{in} T_c I_o}{T} \quad \text{..... (2.16)}$$

เพราะฉนั้น ประสิทธิภาพของวงจร $= \frac{P_{out}}{P_{in}}$

$$\text{.....(2.17)}$$

$$= \frac{V_{in} T_c I_o / T}{V_{in} T_c I_o / T}$$

$$= 1$$

ผลจากสมการ (2.17) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางเข้ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออก

จากสมการ (2.14) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะถูกกำหนดได้โดยการเลือกอัตราส่วนของ T_C / T และถึงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าแตกต่างไปจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางเข้าก็ตาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสูญเสียที่เกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์ Q_1 ที่ต่ออนุกรมกับวงจรเพื่อเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าจะเกิดการสูญเสียขึ้นในขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแสเท่านั้น การสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 ขณะนำกระแสไฟฟ้าคือ

$$P_Q \text{ Loss} = V_{CE} \times I \quad \text{..... (2.18)}$$

เมื่อ

P_Q Loss คือ กำลังที่สูญเสียในทรานซิสเตอร์

V_{CE} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส

I คือ กระแสไฟฟ้าตรง

และขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 ไม่นำกระแส ไดโอด D จะนำกระแส ซึ่งกำลังที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวไดโอด D ขณะนำกระแสคือ

$$P_D \text{ Loss} = I_D V_D \quad \text{..... (2.19)}$$

เมื่อ

P_D Loss คือ กำลังสูญเสียที่ตัวไดโอด

I_D คือ กระแสไฟฟ้าตรงที่ไหลผ่านตัวไดโอด

V_D คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอดขณะนำกระแส

ดังนั้นประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งคือ

จากสมการ (2.17)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

เมื่อ

$$P_{in} = P_{out} + P_{Loss}$$

ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Loss}}$$

$$= \frac{V_o I_o}{V_o I_o + V_{CE} I_o + V_D I_D}$$

.....(2.20)

จากสมการ (2.20)

ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งจะตกลงตามการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 และ ในตัวไดโอด D ดังที่ได้กล่าวแล้ว การสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเกิดขึ้นในขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแส ซึ่งการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเกิดขึ้นในสภาพของการอิ่มตัว (Saturation) และจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ประมาณ 0.1 โวลต์ และการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวไดโอด D จะเกิดขึ้นในขณะที่ไดโอด D นำกระแสโดยที่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอดขณะนำกระแสประมาณ 0.6 โวลต์ เมื่อไดโอด D เป็นแบบซิลิคอน (silicon) ดังนั้นการสูญเสียในเรกกูเลเตอร์แบบสวิตชิ่งจึงน้อยกว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในเรกกูเลเตอร์แบบอนุกรมขณะที่เรกกูเลเตอร์แบบสวิตชิ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่ามาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย