	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

บทนำ

เพาเวอร์ซัพพลายหรือแหล่งจ่ายไฟ โดยทั่วไปหมายถึงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Power Supply) แบ่งออกเป็น แหล่งจ่ายไฟสลับ (AC Supply) และแหล่งจ่ายไฟตรง (DC Supply) แหล่งจ่ายไฟที่ใช้เลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงานได้มักเป็นแหล่งจ่ายไฟตรง และแหล่งจ่ายไฟที่ใช้สำหรับเลี้ยงวงจรเครื่องเสียงก็เป็นแหล่งจ่ายไฟตรง หน่วยการเรียนรู้นี้จึงเน้นเฉพาะแหล่งจ่ายไฟตรง

2.1 ชนิดของเพาเวอร์ซัพพลาย

1. เพาเวอร์ซัพพลายไฟสลับแบบไม่มีระบบรักษาแรงดันให้คงที่ (Unregulated AC Voltage Supply) หรือหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)
2. เพาเวอร์ซัพพลายไฟสลับแบบรักษาแรงดันคงที่ (Regulated/Stabilized AC Voltage Supply) หรือไลน์สเตบิไลเซอร์ (AC voltage/Line Stabilizer)
3. เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบไม่มีตัวกรอง (Unfiltered DC Voltage Supply)
4. เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรอง (Capacitor Filtered DC Voltage Supply) และไม่มีเร็กกูเลต (Unregulated DC Supply)
5. เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรอง (Capacitor Filtered DC Voltage Supply) พร้อมเร็กกูเลต (Unregulated DC Supply)

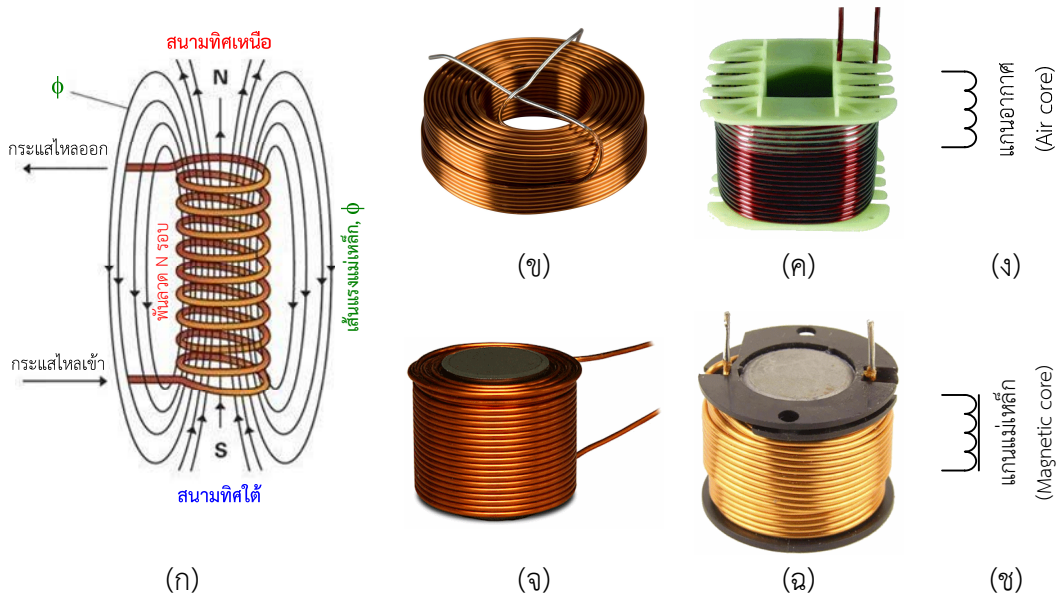
2.2 หม้อแปลง (Transformer)

หม้อแปลงมีหน้าที่แปลงแรงดันเอซีให้สูงขึ้นหรือต่ำลง (Step Up หรือ Step Down) ตามที่ต้องการ และโดยทั่วไปจะทำหน้าที่แยกไฟ (Isolation) โดยแยกด้านไฟอันตรายกับด้านปลอดภัย (ด้านไฟฟ้าสาธารณะกับด้านผู้ใช้งาน) ออกจากกันทางไฟฟ้าไปในตัวด้วย การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเกิดจากผลสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำซึ่งกัน (Mutual coupling effect) และระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary coil) ใช้งานเป็นด้านอินพุท กับขดลวดทุติยภูมิ (Secondary coil) ใช้งานเป็นด้านเอาท์พุท โดยปกติภายในแหล่งจ่ายไฟตรงของวงจรเครื่องเสียงจะใช้หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์หลัก ทำหน้าที่แปลงแรงดันเอซีให้ต่ำลงตามที่ต้องการ และทำหน้าที่แยกไฟ (Isolation) อีกด้วย

2.2.1 โครงสร้างหม้อแปลง

หม้อแปลงสร้างจากขดลวดตัวนำอาบน้ำยาฉนวน จำนวน 2 ขด ขึ้นไปพันอยู่บนแกนวัสดุแม่เหล็กเดียวกัน หากมีขดลวดเดียวจะเป็นตัวเหนี่ยวนำ / อินดักเตอร์ / คอยล์ (Inductor / Coil)

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง



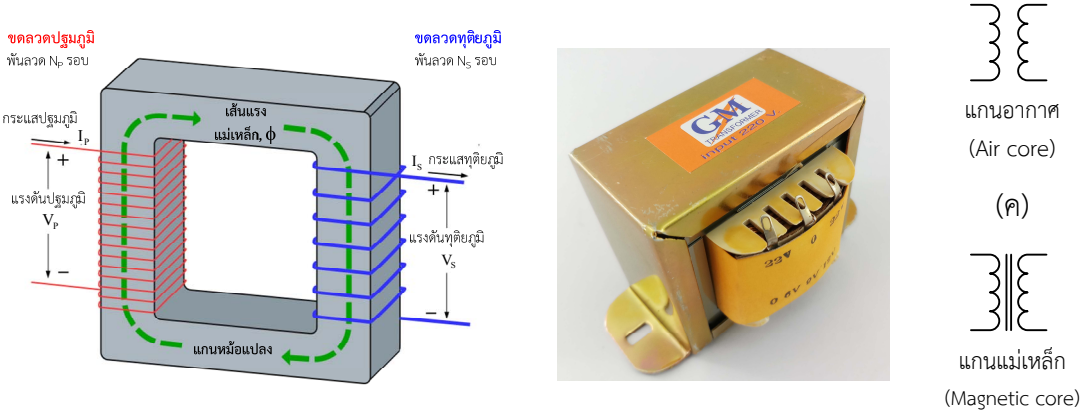
(ก) (ข) (ค) (ง)

(จ) (ฉ) (ช)

ที่มา: www.pinterest.com/ pin/63261569737776585

ที่มา: www.audio.nl

รูปที่ 2.1 ตัวเหนี่ยวนำ (ก) หลักการของตัวเหนี่ยวนำ (ข) และ (ค) ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ (ง) สัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ (จ) และ (ฉ) ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนแม่เหล็ก (ช) สัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนแม่เหล็ก



(ก) (ข) (ค) (ง)

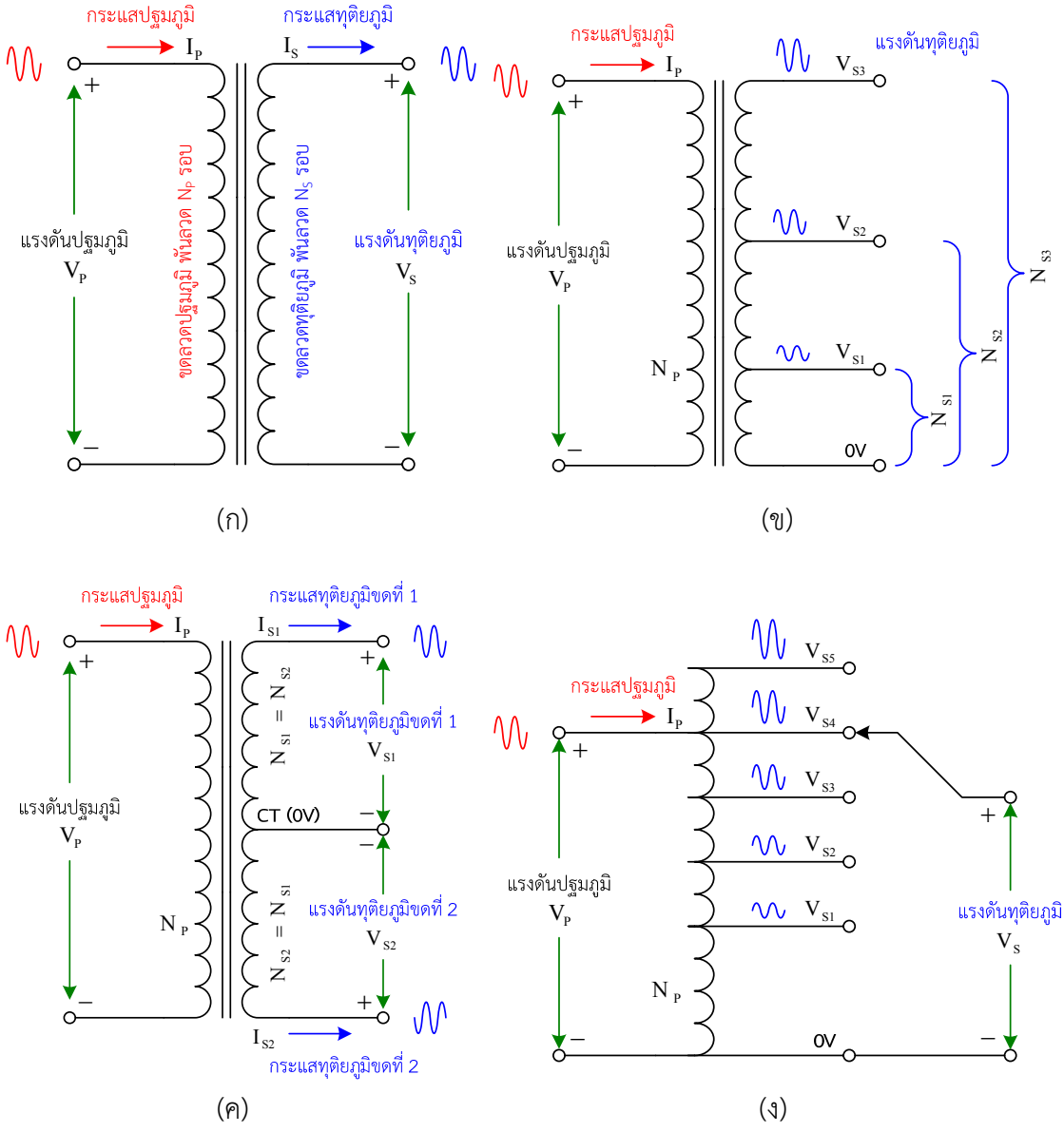
ที่มา: en.wikipedia.org/ wiki/Transformer

รูปที่ 2.2 หม้อแปลง (ก) หลักการของหม้อแปลง (ข) หม้อแปลง (ใช้ในใบงาน วิชาเครื่องเสียง) (ค) สัญลักษณ์หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ (ง) สัญลักษณ์หม้อแปลงชนิดแกนแม่เหล็ก

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

2.2.2 หม้อแปลงอุดมคติและการคำนวณ

หม้อแปลงแรงดัน มีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ อัตราส่วนของแรงดันแต่ละขดเท่ากับอัตราส่วนของจำนวนรอบพันลวดของขดนั้น



รูปที่ 2.3 หม้อแปลงอุดมคติ (ก) หม้อแปลง 2 ขดลวด แบบแยกไฟ (Isolation) ทั่วไป
(ข) หม้อแปลงแบบมีแทป (Tapped Transformer) ตัวอย่างเช่น 0 – 6 – 9 – 12 V
(ค) หม้อแปลงแบบมีเซ็นเตอร์แทป (Centre Tapped Transformer) เช่น 12–0–12 V
(ง) หม้อแปลงแบบออโต (Autotransformer) เช่น ปรับแรงดันได้ 40% – 115%

สูตร อัตราส่วนแรงดัน; $$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} \quad (2.1)$$

ตัวอย่าง เช่น $$\frac{V_{S3}}{V_P} = \frac{N_{S3}}{N_P} \quad (2.2)$$

หรืออีกตัวอย่าง เช่น $$\frac{V_{n1} + V_{n2} + V_{n3}}{V_{np}} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{n_p} \quad (2.3)$$

<u>การเขียนข้อมูลหม้อแปลงเพื่อสั่งผลิต</u>

PRI: 0 – 110 – 220 – 240 V 50Hz / 60Hz

SEC: 22 – 0 – 22 V 4A

15 – 0 – 15 V 200mA

0 – 12V 500mA

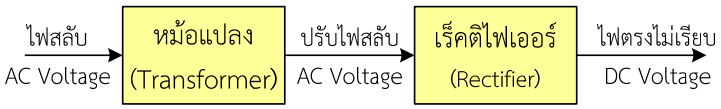
จากตัวอย่างข้อมูล จะเห็นว่าด้านปฐมภูมิมีแทปให้เลือกแรงดัน 110V, 220V, 240V และด้านทุติยภูมิ 2 ชุดแรกมีเซ็นเตอร์แทปคือ 22 – 0 – 22 V 4A, 15 – 0 – 15 V 200mA ชุดสุดท้ายไม่มีเซ็นเตอร์แทป 0 – 12V 500mA ขนาดหม้อแปลงระบุเป็น VA หาได้จากผลรวม VA ที่ขดทุติยภูมิ ขนาดหม้อแปลงตามตัวอย่างนี้ คือ (44 x 4) + (30 x 0.2) + (12 x 0.5) = 188 VA

นอกจากนี้ยังมีคำสั่งเพิ่มเติมอื่นๆ เช่น เป็นหม้อแปลงชนิด EI / UI / C – Core ใช้ขั้วสายหรือสายต่อ มีหุ้มชีลด์สนามแม่เหล็กหรือไม่ และมีชีลด์สนามไฟฟ้าหรือไม่ หรือเป็นหม้อแปลงแบบแกนทอรอยด์ (Toroidal transformer) หรือเป็นแบบขาลงปริ๊น (PCB Transformer) เป็นต้น

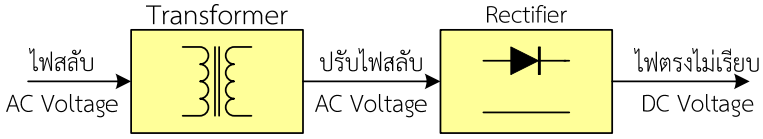
2.3 เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรง (DC Supply)

2.3.1 เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบไม่มีตัวกรอง

ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรง โดยใช้หม้อแปลง (Transformer) ปรับค่าแรงดันให้ได้ตามต้องการ และใช้วงจรวงจรเร็คติไฟเออร์ (Rectifier) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับให้เป็นไฟตรง คุณสมบัติของวงจร คือได้แรงดันดีซีที่เอาท์พุทไม่เรียบหรือมีแรงดันริปเปิลสูง แต่แรงดันค่อนข้างคงที่แปรค่าไปตามโหลดน้อย



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบไม่มีตัวกรอง

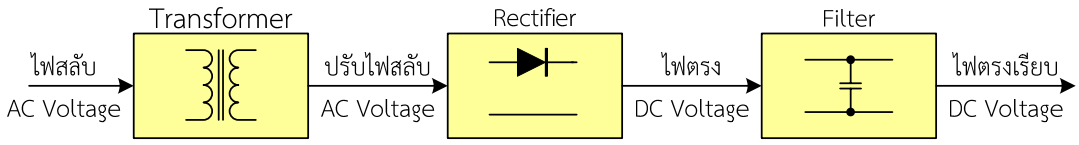


รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบไม่มีตัวกรองพร้อมสัญลักษณ์

2.3.2 เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองและไม่มีเร็กกูเลต

ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรง โดยใช้หม้อแปลง (Transformer) ปรับค่าแรงดันให้ได้ตามต้องการ และใช้วงจรวงจรเร็คติไฟเออร์ (Rectifier) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับให้เป็นไฟตรง และมีตัวคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันให้เรียบ คุณสมบัติของวงจร คือได้แรงดันดีซีที่เอาท์พุทค่อนข้างเรียบหรือมีแรงดันริปเปิลต่ำ แต่แรงดันดีซีจะเปลี่ยนแปลงค่าไปตามโหลดด้วย

รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรอง

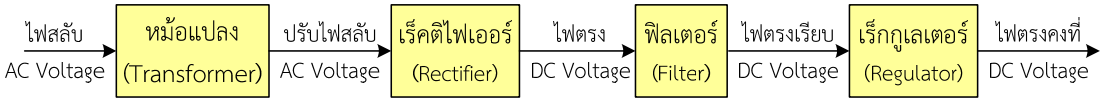


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมแหล่งจ่ายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองพร้อมสัญลักษณ์

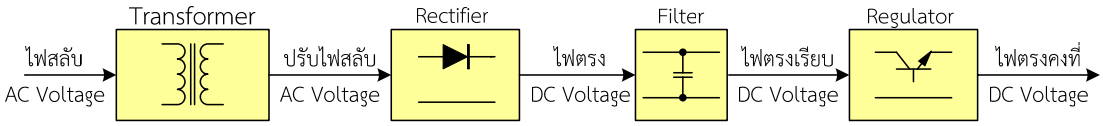
2.3.3 เพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองพร้อมเร็กกูเลต

ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรง โดยใช้หม้อแปลง (Transformer) ปรับค่าแรงดันให้ได้ตามต้องการ และใช้วงจรวงจรเร็คติไฟเออร์ (Rectifier) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟสลับให้เป็นไฟตรง และมีตัวคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันให้เรียบ และเพิ่มเติมต่อท้ายด้วยวงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดัน คุณสมบัติของวงจร คือได้แรงดันดีซีที่เอาท์พุทที่เรียบสนิทหรือมีแรงดันริปเปิลต่ำที่สุด และแรงดันดีซีมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงค่าไปตามแรงดันอินพุทและ/หรือตามโหลดอีกด้วย

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองพร้อมเร็กกูเลต



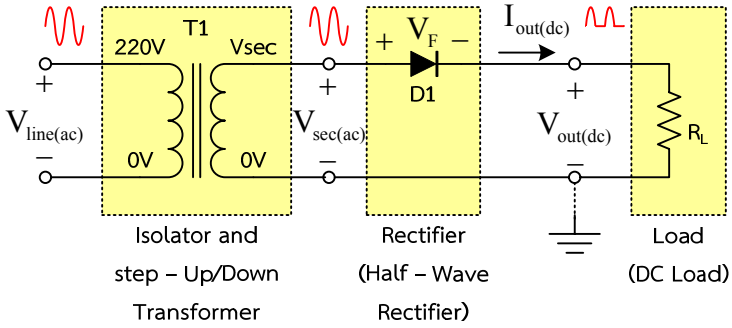
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรอง พร้อมเร็กกูเลท และสัญลักษณ์

2.4 ชนิดของวงจรเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรง

2.4.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบไม่มีตัวกรอง

1) วงจรเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น (Half – Wave Rectifier)

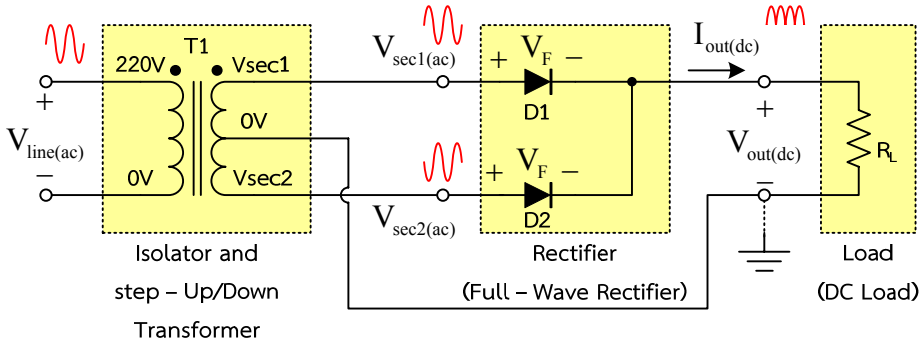
หม้อแปลง T1 ทำหน้าที่แยกไฟ และแปลงแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ วงจรเร็คติไฟเออร์ ไดโอด D1 ทำงานทุกครึ่งซีกบวกของ $V_{sec(ac)}$ หรือทุกครึ่งซีกบวกของ $V_{line(ac)}$ ไม่มีการนำกระแสซีกที่เหลือมาใช้งาน สรุปได้เป็น “วงจรเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น” วงจรนี้มีไดโอดนำกระแสครั้งละ 1 ตัว แรงดันดรอป: n = 1, จากเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่นจึงได้ความถี่เอาท์พุทเท่ากับความถี่อินพุท; $f_{out} = f_{in}$



รูปที่ 2.10 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น

2) วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีเซ็นเตอร์แทป
(Full – Wave Rectifier with Center – Tapped Transformer)

หม้อแปลง T1 ทำหน้าที่แยกไฟ และแปลงแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ และทำงานเป็นตัวแยกเฟส (Phase splitter) แรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง $V_{sec2(ac)}$ จะกลับเฟสกับ $V_{sec1(ac)}$ (±180°) เมื่อเทียบกับขั้วเซ็นเตอร์แทป (GND) วงจรเร็คติไฟเออร์ ไดโอด D1 ทำงานทุกครึ่งซีกบวกของ $V_{sec1(ac)}$ และไดโอด D2 ทำงานทุกครึ่งซีกบวกของ $V_{sec2(ac)}$ ดังนั้น ไดโอด D1 ทำงานทุกครึ่งซีกบวกของ $V_{line(ac)}$ และไดโอด D2 ทำงานทุกครึ่งซีกลบของ $V_{line(ac)}$ นั่นคือกระแสเอาท์พุทเกิดจากกระแสอินพุทของหม้อแปลงทั้งครึ่งซีกบวกและครึ่งซีกลบ สรุปได้เป็น “วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น” วงจรนี้มีไดโอดนำกระแสครั้งละ 1 ตัว แรงดันดรอป: n = 1, จากเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จึงได้ความถี่เอาท์พุทเป็นสองเท่าของความถี่อินพุท; $f_{out} = 2 \times f_{in}$

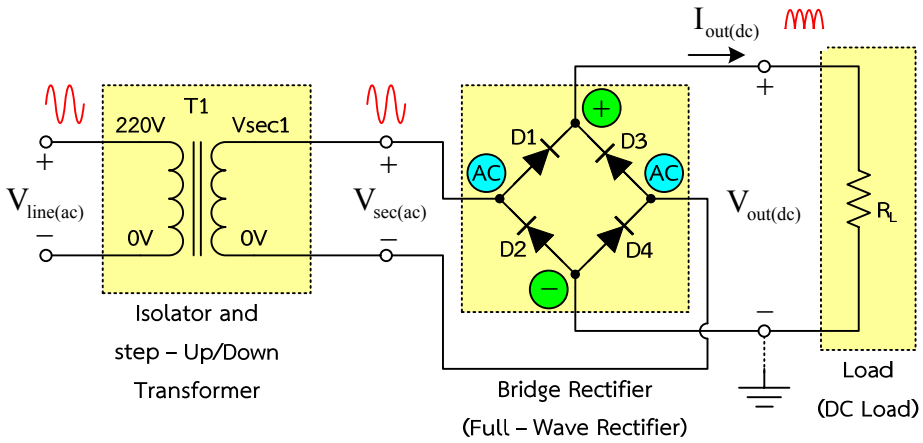


รูปที่ 2.11 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีเซ็นเตอร์แทป

3) วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้ไดโอดบริดจ์
(Full – Wave Rectifier with Bridge rectifier)

หม้อแปลง T1 ทำหน้าที่แยกไฟ และแปลงแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ โดยช่วงครึ่งบวกของไฟ AC แรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง $V_{sec(ac)}$ หรือ $V_{line(ac)}$ จะเป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้ว 0V และช่วงครึ่งลบของไฟ AC แรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง $V_{sec(ac)}$ จะเป็นลบเมื่อเทียบกับขั้ว 0V ของหม้อแปลง การทำงานของวงจรเร็คติไฟเออร์ ช่วงครึ่งบวกของไฟ AC ไดโอด D1 และ D4 จะทำงานนำกระแสพร้อมกัน และช่วงครึ่งลบของไฟ AC ไดโอด D2 และ D3 จะทำงานนำกระแสพร้อมกัน นั่นคือกระแสเอาท์พุทเกิดจากกระแสอินพุทของหม้อแปลงทั้งครึ่งซีกบวกและครึ่งซีกลบของ $V_{line(ac)}$ สรุป ได้เป็น “วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น” วงจรนี้มีไดโอดนำกระแสครั้งละ

2 ตัว แรงดันดรอป: n = 2, จากเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จึงได้ความถี่เอาท์พุทเป็นสองเท่าของความถี่อินพุท; $f_{out} = 2 \times f_{in}$



รูปที่ 2.12 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้ไดโอดบริดจ์

<u>สูตรคำนวณ</u> วงจรเร็คติไฟเออร์แบบไม่ใช้ฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

แรงดันเอาท์พุทพีค; $$V_{out(pk)} = \sqrt{2} \times V_{sec} - n \times V_F \qquad (2.4)$$

แรงดันเอาท์พุทดีซี; $$V_{out(dc)} = \frac{1}{\pi} \times \left(\sqrt{2} \times V_{sec} - n \times V_F \right) \qquad (2.5)$$

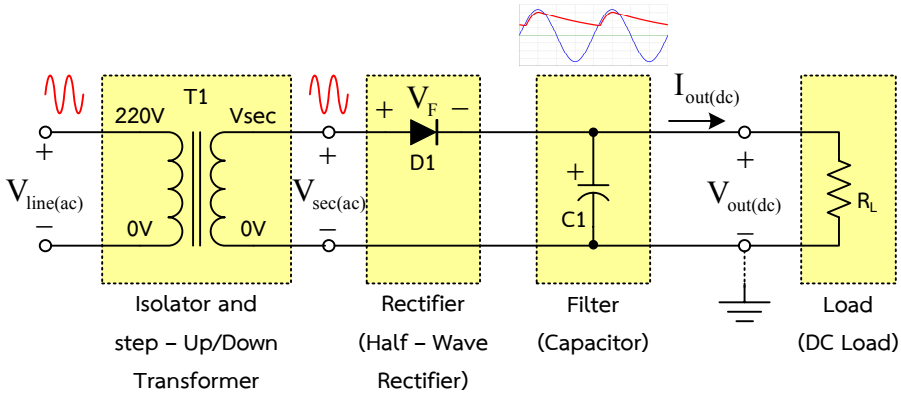
โดยทั่วไปในการคำนวณจะกำหนดให้ V_{sec} คงที่ และแรงดันดรอปของไดโอด $V_F = 0.7\ V$

2.4.2 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายไฟตรงแบบใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองและไม่มีเร็กกูเลต

1) วงจรเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่นพร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

(Half – Wave Rectifier with Filter Capacitor)

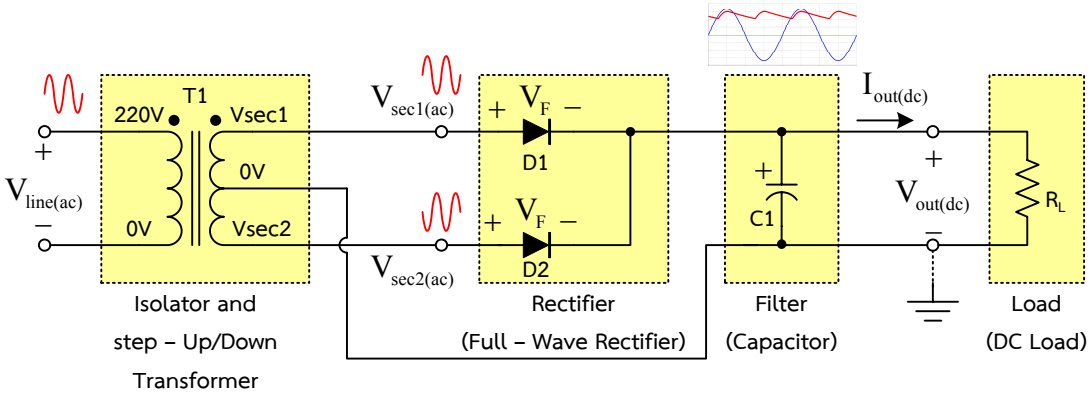
ฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ C1 จะชาร์จทุกครั้งที่วงจรเร็คติไฟเออร์ไบอัสตรงไดโอด D1 นำกระแสและจะดิสชาร์จตลอดช่วงเวลาที่ไดโอด D1 ไม่ได้นำกระแส วงจรนี้มีไดโอดนำกระแสครั้งละ 1 ตัว แรงดันดรอป: n = 1, จากเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่นจึงได้ความถี่เอาท์พุทเท่ากับความถี่อินพุท; $f_{out} = f_{in}$



รูปที่ 2.13 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่นพร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

2) วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีเซ็นเตอร์แทปพร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ (Full – Wave Rectifier with Center – Tapped Transformer and Filter Capacitor)

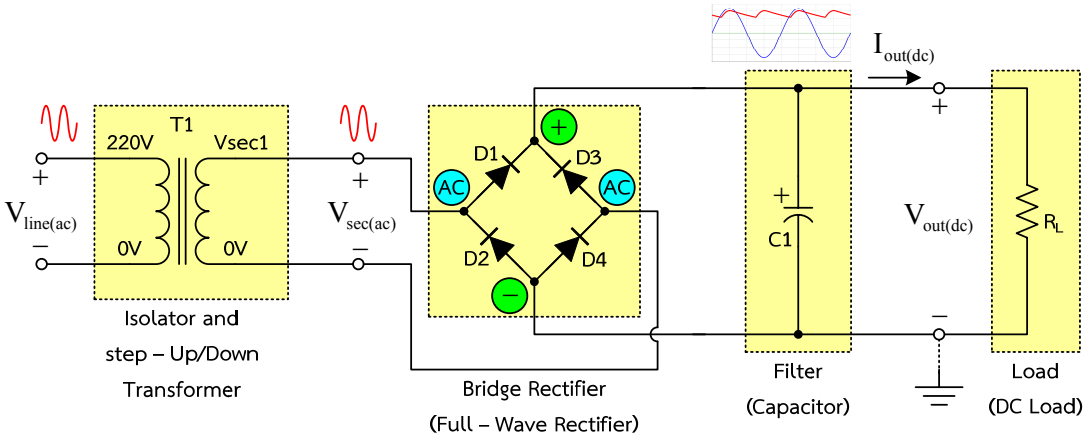
ฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ C1 จะชาร์จทุกครั้งที่วงจรเร็คติไฟเออร์ไบอัสตรงไดโอด D1 หรือ D2 นำกระแส และจะดิสชาร์จตลอดช่วงเวลาที่ไม่มีไดโอดตัวใดนำกระแส วงจรนี้มีไดโอดนำกระแสครั้งละ 1 ตัว แรงดันดรอป: n = 1, จากเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จึงได้ความถี่เอาท์พุทเป็นสองเท่าของความถี่อินพุท; $f_{out} = 2 \times f_{in}$



รูปที่ 2.14 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีเซ็นเตอร์แทปพร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

2.4.3 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้ไดโอดบริดจ์พร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ (Full – Wave Rectifier with Bridge rectifier and Filter Capacitor)

ฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ C1 จะชาร์จทุกครั้งที่วงจรเร็คติไฟเออร์ไบอัสตรงคู่ไดโอด D1 และ D4 หรือ คู่ไดโอด D2 และ D3 นำกระแส และจะดิสชาร์จตลอดช่วงเวลาที่ไม่มีไดโอดตัวใดนำกระแส วงจรนี้มีไดโอดนำกระครั้งละ 2 ตัว แรงดันดรอป: n = 2, จากเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จึงได้ความถี่เอาท์พุทเป็นสองเท่าของความถี่อินพุท; $f_{out} = 2 \times f_{in}$ วงจรนี้มีไดโอดนำกระแสครั้งละ 2 ตัว แรงดันดรอป: n = 2, จากเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จึงได้ความถี่เอาท์พุทเป็นสองเท่าของความถี่อินพุท; $f_{out} = 2 \times f_{in}$



รูปที่ 2.15 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้ไดโอดบริดจ์พร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

<u>สูตรคำนวณ</u> วงจรเร็คติไฟเออร์แบบมีฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

แรงดันเอาท์พุทพีค; $$V_{out(pk)} = \sqrt{2} \times V_{sec} - n \times V_F \quad (2.6)$$

แรงดันเอาท์พุทดีซี; $$\boxed{V_{out(dc)} = \sqrt{2} \times V_{sec} - n \times V_F - \frac{V_{r(p-p)}}{2}} \quad (2.7)$$

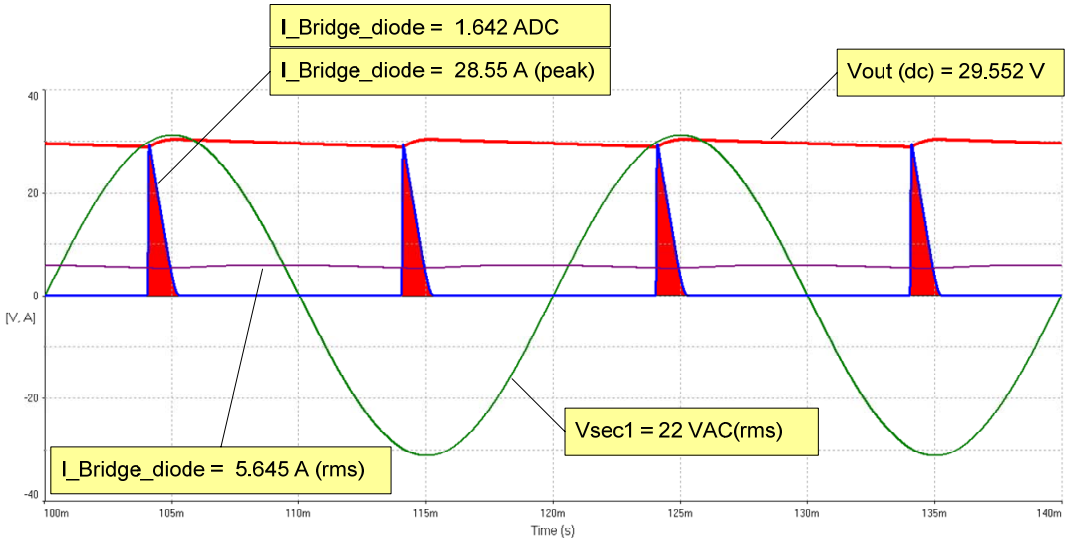
แรงดันเอาท์พุทดีซี; $$\boxed{V_{out(dc)} = \sqrt{2} \times V_{sec} - n \times V_F - \frac{I_{out(dc)}}{2 \times C \times f_{out}}} \quad (2.8)$$

เมื่อแรงดันริปเปิล; $$\boxed{V_{r(p-p)} = \frac{I_{out(dc)}}{C \times f_{out}}} \quad (2.9)$$

โดยทั่วไปในการคำนวณจะกำหนดให้ V_{sec} คงที่ และแรงดันดรอปของไดโอด $V_F = 0.7$ V คงที่

2.5 ไดโอดเร็กติไฟเออร์ (Rectifier Diode)

ศึกษาผลการทำงานของไดโอด จากวงจรตาม รูปที่ 2.15 วงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นแบบใช้ไดโอดบริดจ์พร้อมฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ หรือรูปที่ 2.27 วงจรแหล่งจ่ายไฟคู่ (มีฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์) ซึ่งเป็นวงจรที่เป็นโครงสร้างและค่าใช้งานของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย ที่จะใช้งานจริงสำหรับงานตามใบงานวิชาเตรื่องเสียงนี้ ผลการจำลองการทำงานของไดโอดในวงจร ที่เงื่อนไข $V_{sec} = 22\ V$, $V_{out(dc)} = 29.552\ V$, $I_{out(dc)} = 1.642\ A$ หรือ $P_{out} = 48.524\ W$ เป็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กระแสของเร็คติไฟเออร์ไดโอดในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

<u>ผลการทำงานของเร็คติไฟเออร์ไดโอด</u>

1. กระแสเฉลี่ย/กระแสไฟตรง ของไดโอด; $I_{F(AV)} = 1.642\ A$
2. กระแสอาร์เอ็มเอส (RMS) ของไดโอด; $I_{F(RMS)} = 5.645\ A$
3. แรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage)
   - 3.1 บริดจ์ไดโอด หรือ ครึ่งคลื่น PIV; $V_{PIV} = \sqrt{2} \times V_{sec} = 31.11\ V$
   - 3.2. แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว/คู่ เซ็นเตอร์แทป PIV; $V_{PIV} = 2 \times \sqrt{2} \times V_{sec} = 62.22\ V$

<u>ผลการเลือกใช้เร็คติไฟเออร์ไดโอด</u> เบอร์ BY550-100 (5A 100V Diode) มีค่าพิกัดดังนี้

1. กระแสเฉลี่ย/กระแสไฟตรง ของไดโอด; $I_{F(AV)} = 5\ A$
2. กระแสอาร์เอ็มเอส (RMS) ของไดโอด; $I_{F(RMS)} = -\ A$ (ไม่ระบุค่า ดู $I_{F(AV)}$)
3. แรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage: PIV); $V_{RRM} = 100\ V$

หมายเหตุ

ไดโอดกำลัง เบอร์ KD208D (8A 1200V Diode) ยี่ห้อ Littefuse มีค่าพิกัดไว้ครบถ้วนดังนี้

1. กระแสเฉลี่ย/กระแสไฟตรง ของไดโอด; $I_{F(AV)} = 8\ A$
2. กระแสอาร์เอ็มเอส (RMS) ของไดโอด; $I_{F(RMS)} = 12.6\ A$ (มีค่าสูงกว่าค่ากระแสเฉลี่ย)

ไดโอดกำลัง เบอร์ 25F(10) (25A 100V Diode) ยี่ห้อ IR มีค่าพิกัดไว้ครบถ้วนดังนี้

1. กระแสเฉลี่ย/กระแสไฟตรง ของไดโอด; $I_{F(AV)} = 25\ A$
2. กระแสอาร์เอ็มเอส (RMS) ของไดโอด; $I_{F(RMS)} = 40\ A$ (มีค่าสูงกว่าค่ากระแสเฉลี่ย)

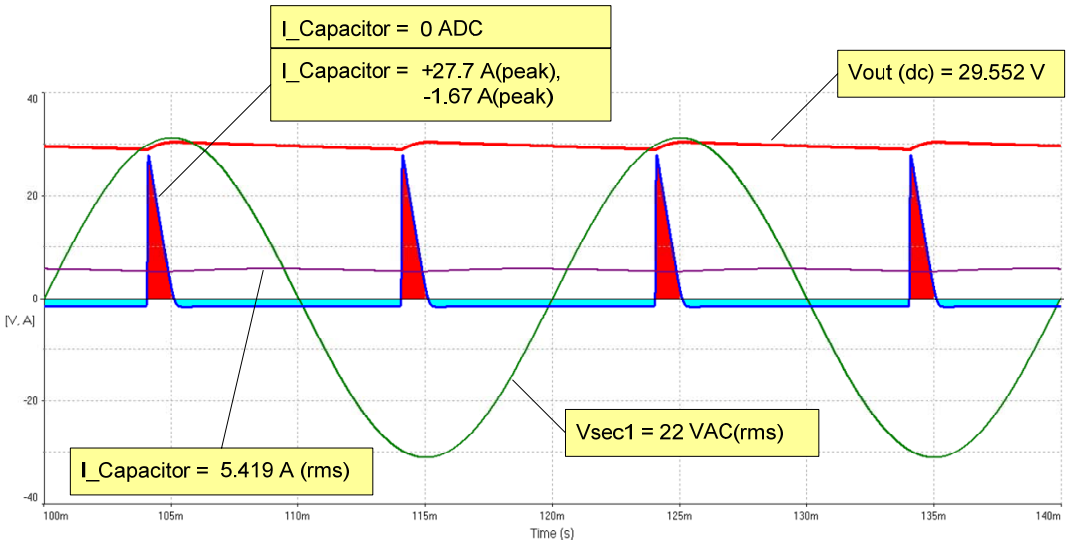
2.6 คาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ (Filter Capacitor)

คาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ในวงจรเพาเวอร์ซัพพลายต่อคล่อมกับเอาท์พุท จึงได้รับแรงดันเท่ากับแรงดันที่เอาท์พุท แรงดันเอาท์พุทสูงสุดจะเกิดขณะที่สภาวะไม่มีโหลด (No Load) ดังนั้นต้องเลือกค่าแรงดันทำงาน (Working Voltage: WV) ให้สูงกว่าหรือเท่ากับค่านี้ ขณะที่ทำงานมีกระแสไหลเข้า (พื้นที่สีแดง) และไหลออก (พื้นที่สีฟ้า) ผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ตลอดเวลา เป็นกระแสริปเปิล RMS

สูตรคำนวณ ค่าแรงดันทำงาน (Working Voltage: WV) ของคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์

แรงดัน No Load สูงสุด; $$V_{out(No\text{-}Load)} = \sqrt{2} \times V_{sec} \qquad (2.10)$$

Working Voltage ของคาปาซิเตอร์; $$\boxed{WV = V_{out(No\text{-}Load)} = \sqrt{2} \times V_{sec}} \qquad (2.11)$$



รูปที่ 2.17 แรงดันและกระแสของคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

ผลการทำงานของคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย เมื่อ $V_{sec} = 22\ V$

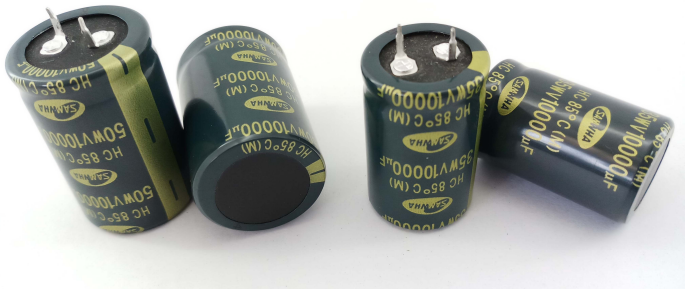
1. แรงดันทำงาน (Working Voltage); $WV = \sqrt{2} \times V_{sec} = 31.11\ V$
2. กระแสริปเปิลอาร์เอ็มเอส (RMS) ของคาปาซิเตอร์; $I_{Cap,\,Ripple(RMS)} = 5.419\,A$

ผลการเลือกใช้คาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ ความจุ 10,000 uF ชนิด Electrolytic Capacitor มีค่าพิกัดดังนี้

1. ยี่ห้อ Nichicon รุ่น LGU1V103MELA ขนาดตัวถัง DxL = 25x45 (mm), 10,000uF, WV = 35V, Rated ripple = 3050 mA (rms)
2. ยี่ห้อ Nichicon รุ่น LGU1V103MELB ขนาดตัวถัง DxL = 30x35 (mm), 10,000uF, WV = 35V, Rated ripple = 3050 mA (rms)
3. ยี่ห้อ Nichicon รุ่น LGU1H103MELB ขนาดตัวถัง DxL = 30x50 (mm), 10,000uF, WV = 50V, Rated ripple = 4090 mA (rms)
4. ยี่ห้อ Nichicon รุ่น LGU1H103MELC ขนาดตัวถัง DxL = 35x40 (mm), 10,000uF, WV = 50V, Rated ripple = 4070 mA (rms)
5. ยี่ห้อ Nichicon รุ่น LGU1H103MELB ขนาดตัวถัง DxL = 35x50 (mm), 10,000uF, WV = 63V, Rated ripple = 4690 mA (rms)

หมายเหตุ

ข้อสังเกต คาปาซิเตอร์ที่ค่าความจุเดียวกัน หากค่า WV เพิ่มขึ้น ขนาดตัวถังมักใหญ่ขึ้น และจะให้ค่ากระแสริปเปิลพิกัด (Rated ripple current) เพิ่มขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ที่ใช้ในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

2.7 เร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้า

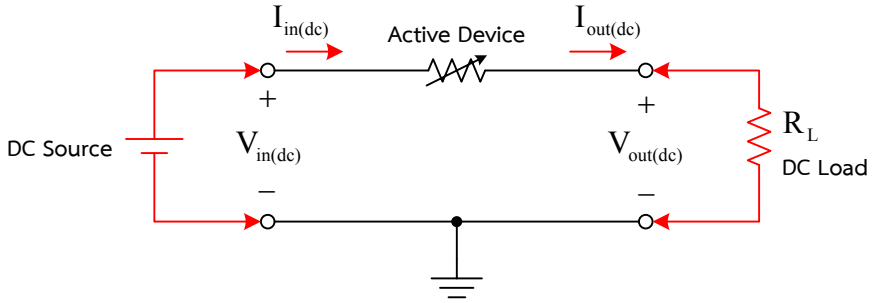
ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ มีสัญญาณรบกวนต่ำ รวมทั้งอาจจะมีระบบป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับโหลดและ/หรือวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย เมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้น

2.7.1 เร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบอนุกรม

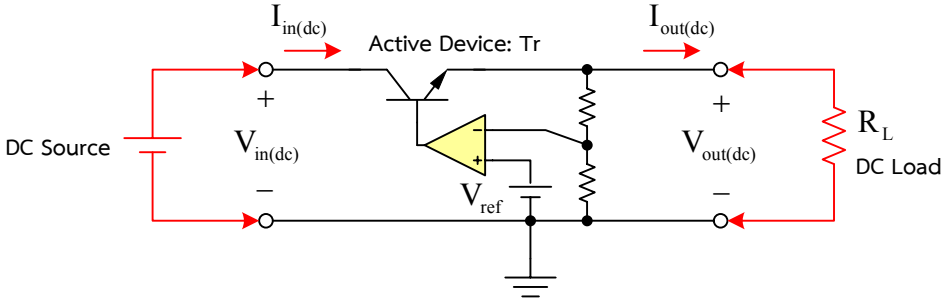
อุปกรณ์แอ็กทีป (Active Device) ภาคกำลัง ทำงานเพื่อควบคุมแรงดันเอาท์พุทต่ออนุกรมอยู่ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท ดังรูปที่ 2.19 การทำงานเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าอาศัยหลักการของวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) โดยอุปกรณ์แอ็กทีปจะคอยปรับค่าเพื่อรักษาค่าแรงดันเอาท์พุท $V_{out(dc)}$ ให้คงที่ตามที่ต้องการ แม้ว่าค่าแรงดันอินพุท $V_{in(dc)}$ หรือค่าความต้านทานโหลด R_L จะมีค่าเปลี่ยนแปลง ตามสมการที่ (2.12) ข้อจำกัดแรกของวงจรแบบนี้คือ พิกัดค่าความต้านทานโหลดสูงสุดหรือกระแสโหลดต่ำสุดที่วงจรจะทำงานเร็กกูเลทรักษาแรงดันที่เอาท์พุทให้คงที่ได้

แรงดันเอาท์พุท;

$$V_{out(dc)} = \left(\frac{R_L}{R_S + R_L} \right) \times V_{in(dc)} \qquad (2.12)$$



รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบอนุกรม



รูปที่ 2.20 วงจรหลักการเบื้องต้นของเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบอนุกรม

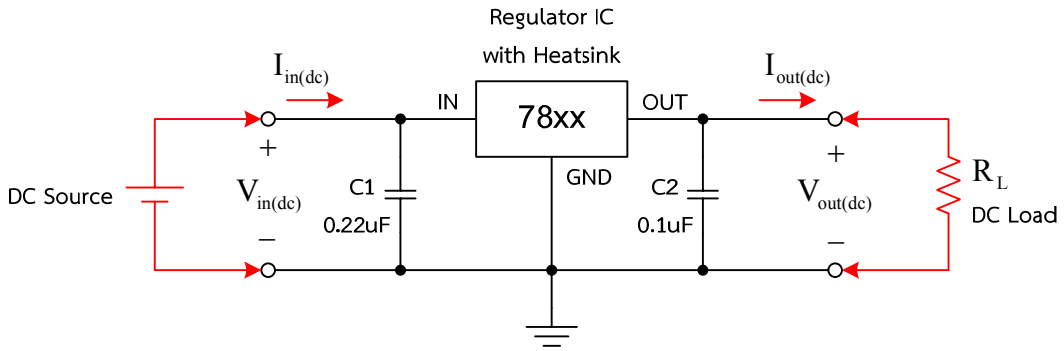
จากรูปที่ 2.20 วงจรหลักการเบื้องต้นของเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบอนุกรม การทำงานของวงจรเร็กกูเลทแรงดันไฟฟ้าอาศัยวงจรขยายความคลาดเคลื่อน (Error amplifier) ขยายสัญญาณผลต่างของ $V_{out(dc)}$ ที่ผ่านวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) มาเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} แล้ว

นำสัญญาณผลต่างนี้มาขยายสำหรับใช้ขับอุปกรณ์แอ็กทีปทรานซิสเตอร์ (Power transistor) เพื่อให้ได้แรงดันความคลาดเคลื่อน (Error voltage) ของวงจรขยายความคลาดเคลื่อน เป็นศูนย์

ไอซีเร็กกูเลเตอร์แรงดันคงที่ ชนิดเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม ไอซียอดนิยมที่จ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมป์ สำหรับจ่ายไฟซีกบวกคือตระกูล 78xx โดยที่เลข “xx” เป็นค่าแรงดันเอาท์พุทบวก และสำหรับจ่ายไฟซีกลบคือตระกูล 79xx โดยที่เลข “xx” เป็นค่าแรงดันเอาท์พุทลบ โดยค่าแรงดันที่มีผู้ผลิตโดยทั่วไป ดังตารางที่ 2.1

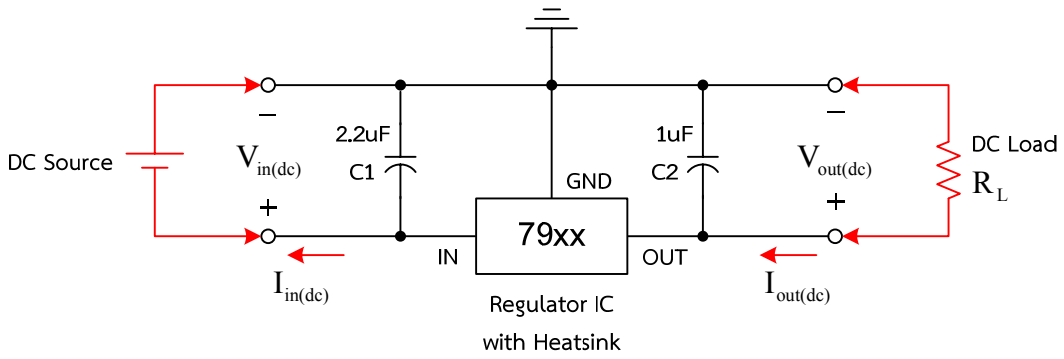
ตารางที่ 2.1 ไอซีเร็กกูเลเตอร์ตระกูล 78xx และ 79xx ค่าแรงดันที่มีผู้ผลิตโดยทั่วไป

ตระกูล 78xx		ตระกูล 79xx	
เบอร์ไอซีเร็กกูเลเตอร์	แรงดันเอาท์พุท	เบอร์ไอซีเร็กกูเลเตอร์	แรงดันเอาท์พุท
7805	5V	7905	-5V
7806	6V	7906	-6V
7808	8V	7908	-8V
7809	9V	7909	-9V
7810	10V	7910	-10V
7812	12V	7912	-12V
7815	15V	7915	-15V
7818	18V	7918	-18V
7824	24V	7924	-24V



รูปที่ 2.21 วงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดันคงที่ สำหรับจ่ายไฟซีกบวก ตระกูล 78xx

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง



รูปที่ 2.22 วงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดันคงที่ สำหรับจ่ายไฟซีกลบ ตระกูล 79xx

ทั้งสองตระกูลนี้ หากไอซีเร็กกูเลเตอร์อยู่ห่างจากฟิลเตอร์คาซิเตอร์ตัวใหญ่ระยะเกิน 3 นิ้ว ต้องต้องมี C1 เพื่อเสถียรภาพทางความถี่ (Frequency stability) และทางด้านเอาท์พุทมี C2 ตระกูล 78xx จะไม่มีก็ได้ แต่หากต้องการผลตอบสนองทรานเซี้ยนที่ดีให้ใส่ C2 ส่วนตระกูล 79xx ต้องใส่ C2 เนื่องจากมีความจำเป็นสำหรับเสถียรภาพทางความถี่

(ก) เรียงขา IN – GND – OUT (ข) เรียงขา GND – IN – OUT

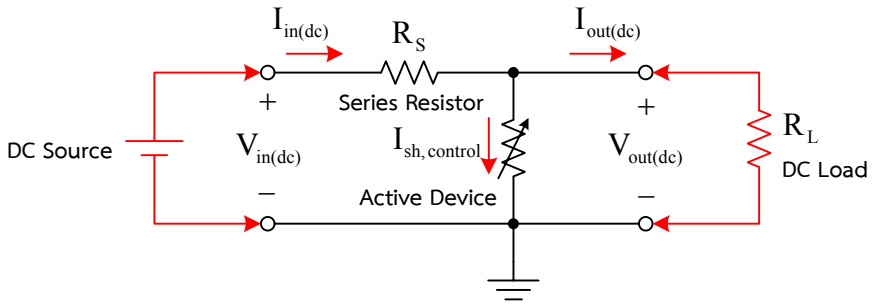
รูปที่ 2.23 ตัวถังและการจัดขาเร็กกูเลเตอร์แรงดันคงที่ (ก) ตระกูล 78xx (ข) ตระกูล 79xx

2.7.2 เร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบขนาน

อุปกรณ์แอ็กทีป (Active Device) ภาคกำลัง ทำงานเพื่อควบคุมแรงดันเอาท์พุทต่อคร่อม (ขนาน) กับเอาท์พุทหรือโหลด และมีตัวต้านทานหรือแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ต่ออนุกรมอยู่ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทดังรูปที่ 2.24 การทำงานเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าอาศัยหลักการของวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ระหว่างตัวต้านทานอนุกรม R_S กับโหลดที่ต่อขนานอยู่กับอุปกรณ์แอ็กทีปควบคุม โดยอุปกรณ์แอ็กทีปจะทำงานแบบวงจรแบ่งกระแสกับโหลดที่มาจาก R_S ด้วยวิธีการ

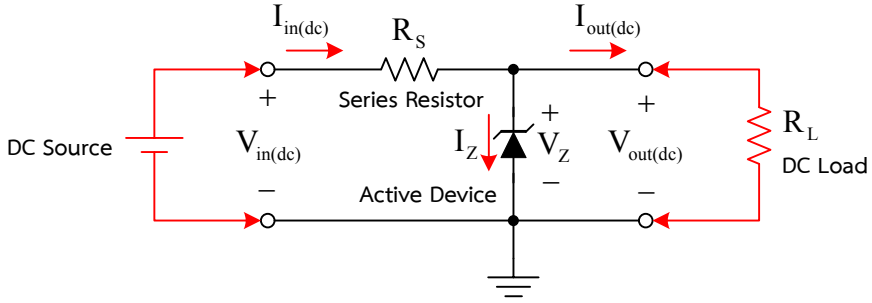
	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

ปรับค่าปริมาณกระแสไหลผ่านอุปกรณ์แอ็กทีปเพื่อรักษาค่าแรงดันเอาท์พุท $V_{out(dc)}$ ให้คงที่ตามที่ต้องการ โดยหากกระแสโหลดเพิ่มขึ้นกระแสอุปกรณ์แอ็กทีปควบคุมจะลดลง และในทางกลับกันหากกระแสโหลดลดลงกระแสอุปกรณ์แอ็กทีปควบคุมจะเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยพอดี หรือกรณีที่แรงดันอินพุท $V_{in(dc)}$ เปลี่ยนแปลง ทำให้กระแสไหลผ่าน R_S เปลี่ยนแปลง โดยที่หากค่าแรงดันอินพุท $V_{in(dc)}$ เพิ่มขึ้นทำให้กระแสไหลผ่าน R_S เพิ่มขึ้น กระแสอุปกรณ์แอ็กทีปควบคุมจะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาค่าแรงดันเอาท์พุท $V_{out(dc)}$ ให้คงที่ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.24 หลักการทำงานของเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบขนาน

จากรูปที่ 2.1.2 วงจรเบื้องต้นของเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบขนาน ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์แอ็กทีป ทำงานรักษาค่าแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ โดยที่แรงดันเอาท์พุทเท่ากับแรงดันซีเนอร์ $V_{out(dc)} = V_Z$ และกระแสควบคุมคือกระแสซีเนอร์ I_Z ตามสมการที่ (2.13) และ (2.14)



รูปที่ 2.25 วงจรเบื้องต้นของเร็กกูเลเตอร์แรงดันไฟฟ้าแบบขนาน

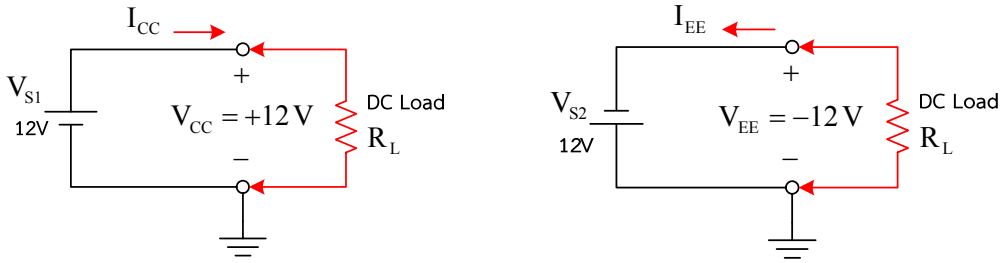
ผลการแบ่งกระแส; $$I_{in(dc)} = I_Z + I_{out(dc)} \qquad (2.13)$$

แรงดันเอาท์พุท; $$\boxed{V_{out(dc)} = V_{in(dc)} - R_S \times \left(I_Z + I_{out(dc)}\right)} \qquad (2.14)$$

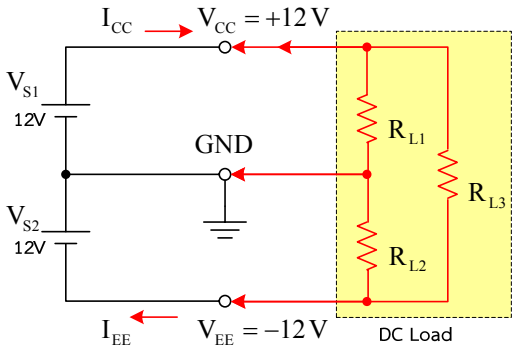
	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

2.8 แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว แหล่งจ่ายไฟคู่ (Single and Dual Power Supply)

แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว (Single Power Supply) จ่ายแรงดันบวกหรือลบเพียงซีกเดียว ส่วนแหล่งจ่ายไฟคู่ (Dual Power Supply) จ่ายแรงดันซีกบวกและลบพร้อมกัน โดยแรงดันซีกบวกและลบปกติทั่วไปมักจะมีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 2.27 เป็นแหล่งจ่ายไฟคู่ที่ใช้สำหรับการปฏิบัติงานในวิชาเครื่องเสียงนี้ ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟคู่แบบไม่เร็กกูเลท $\pm 29\,V$ และแบบเร็กกูเลท $\pm 15\,V$

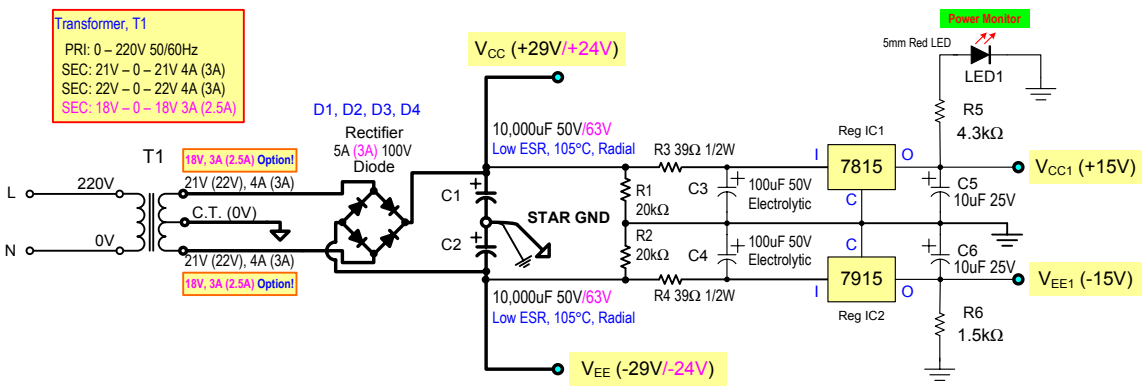


(ก) แหล่งจ่ายไฟเดี่ยวบวก (ข) แหล่งจ่ายไฟเดี่ยวลบ



(ค) แหล่งจ่ายไฟคู่

รูปที่ 2.26 โครงสร้างวงจรเสมือนของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.27 วงจรแหล่งจ่ายไฟคู่ แบบไม่เร็กกูเลท $\pm 29\,V$ และแบบเร็กกูเลท $\pm 15\,V$

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

ความรู้เชิงปฏิบัติการ

แผ่นปริ๊นท์หรือแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า (Printed circuit board: PCB) คือแผ่นฉนวนเคลือบทองแดง (Copper Clad Laminate) ใช้แผ่นฉนวนไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นฐานรอง ยึดติดด้วยแผ่นตัวนำทองแดงด้านเดียวหรือทั้งสองด้าน

ลายวงจรบนแผ่นปริ๊นท์หรือแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า ส่วนที่เป็นทองแดงหรือโลหะตัวนำอื่น ๆ ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้ขา (Pin) ที่ต้องการของอุปกรณ์ต่อเข้าด้วยกัน และแผ่นฉนวนไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นฐานรองยึดลายวงจรตัวนำไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่าง ๆ บน PCB เข้าด้วยกัน

ความหนาของแผ่นทองแดงบน PCB วัดเทียบน้ำหนักหน่วยเป็นออนซ์ (oz) ที่ถูกกดให้แบนและกระจายลงในพื้นที่ 1 ตารางฟุต และน้ำหนัก 1 ออนซ์ เทียบเท่ากับแผ่นทองแดงหนา 1.37 mils (หรือเท่ากับ 0.00137 inch, 0.0347 mm, 34.79 µm) ผลความกว้างของลายวงจรดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลความกว้างของลายวงจรจากแผ่นทองแดงบน PCB น้ำหนัก 1 และ 2 ออนซ์

ความกว้างของแทร็ก (เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 10°C) ความกว้างของแทร็กใช้หน่วย 1 ในพันนิ้ว (mils)			
กระแส (แอมป์)	หนัก 1 ออนซ์ (oz)	หนัก 2 ออนซ์ (oz)	ค.ต.ท. มิลลิโอห์ม/นิ้ว
1	10 mils	5 mils	52
2	30 mils	15 mils	17.2
3	50 mils	25 mils	10.3
4	80 mils	40 mils	6.4
5	110 mils	55 mils	4.7
6	150 mils	75 mils	3.4
7	180 mils	90 mils	2.9
8	220 mils	130 mils	2.3
9	260 mils	130 mils	2.0
10	300 mils	150 mils	1.7

ที่มา: PCB Design Tutorial by David L. Jones (Revision A - June 29th 2004) Page 7

ระยะห่างของเส้นลายวงจรตามมาตราฐาน IPC สำหรับไม่ใช่ไฟเมนส์ กรณีเส้นลายวงจรอยู่ภายใน (internal layers) และด้านนอก (external surface) ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลน้อยกว่าและมากกว่า 3050m ดังตาราง

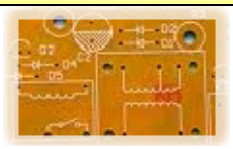
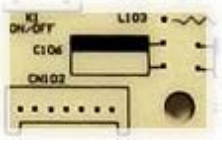
ตารางที่ 2.3 ระยะห่างของเส้นลายวงจรตามมาตราฐาน IPC สำหรับไม่ใช่ไฟเมนส์

ระยะห่าง (Clearances) ระหว่างตัวนำไฟฟ้า (เส้นลายวงจร)			
Voltage (DC or Peak AC)	Internal	External (<3050m)	External (>3050m)
0 – 15 V	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm
16 – 30 V	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm
31 – 50 V	0.1 mm	0.6 mm	0.6 mm
51 – 100 V	0.1 mm	0.6 mm	1.5 mm
101 – 150 V	0.2 mm	0.6 mm	3.2 mm
151 – 170 V	0.2 mm	1.25 mm	3.2 mm
171 – 250 V	0.2 mm	1.25 mm	6.4 mm
251 – 300 V	0.2 mm	1.25 mm	12.5 mm
301 – 500 V	0.25 mm	2.5 mm	12,5 mm

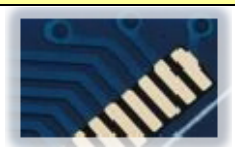
ที่มา: PCB Design Tutorial by David L. Jones (Revision A - June 29th 2004) Page 9

แผ่นปริ๊นท์แบ่งตามชนิดของฉนวนได้คร่าวๆ คือ ชนิดฟินอลิค (Phenolic) และชนิดอีพ็อกซี่ (Epoxy) และแผ่นปริ๊นท์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.4 แผ่นปริ๊นท์ชนิดที่นิยมใช้งานกันโดยทั่วไป

ชนิด PCB	รูปประกอบ	โครงสร้าง	คุณสมบัติและการใช้งาน
FR-1 PCB (Phenolic)		ฉนวนกระดาษพอลิเมอร์ฟีนอล สีน้ำตาล ทองแดงหน้าเดียว	ใช้งานทั่วไป อุณหภูมิ 265 °C ในเวลา 15 นาที ทนความชื้นได้ไม่ดี ความต้านทานต่ำ ราคาถูก
CEM-1 PCB (Epoxy)		ฉนวนใยแก้วทอยึดด้วยอีพอกซี่เรซิน สีขาวและสีเหลือง ทองแดงหน้าเดียว	ตัดเจาะได้ง่าย อุณหภูมิ 288 °C ในเวลา 30 นาที ทนความชื้นได้ต่ำกว่า FR-4 ราคาแพงกว่า FR-1

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 2
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

ชนิด PCB	รูปประกอบ	โครงสร้าง	คุณสมบัติและการใช้งาน
FR-4 PCB (FR4 PCB) (Epoxy)		ฉนวนผ้าทอใยแก้วยึดด้วยอีพอกซี่เรซิน สีฟ้าอ่อนและสีเหลือง ทองแดงหน้าเดียวและสองหน้า	ทนเปลวไฟ (ดับเพลิง) แข็งแรง เหนียว ทนต่อความชื้น ทนความร้อนได้สูง และทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง อุณหภูมิ 288 °C ในเวลา 30 นาที ใช้ในงานคุณภาพสูงกว่า
Flexible FPC		แผ่นทองแดงอ่อน บนฉนวนวัสดุประเภท Kapton	อ่อนตัวได้สูง ใช้แทนสายแพรในงานเคลื่อนที่ต่าง ๆ เช่นหน้าจอ LCD พับได้ จุดหมุนของแขนกล สายแพรหัวพริ้นเตอร์อิงค์เจ็ท
Aluminium Base PCB (AL CCL)		โครงสร้าง 3 ชั้น คือ แผ่นทองแดงหน้าเดียว วางบนแผ่นอลูมิเนียม โดยมีฉนวนไดอิเล็กตริกคั่นอยู่ตรงกลาง	อลูมิเนียม PCB ระบายความร้อนได้ดี และมีฉนวนไดอิเล็กตริกคั่นอยู่ตรงกลางทำให้ไม่นำไฟฟ้า นิยมใช้ในงานโคมไฟ LED และอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังสูง

ที่มา: MMC GLOBAL, http://www.mmc-glob.com/finishing-th.html

ตะกั่วบัดกรีเส้น (Solder wire) แบบมีฟลักซ์ในตัวสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ ปกติใช้ชนิด 60/40 (โลหะส่วนผสมของดีบุก 60% และตะกั่ว 40%) ไส้ฟลักซ์ชนิดไม่กัดกร่อนอยู่ภายในเส้นตะกั่วบัดกรีเสร็จไม่ต้องล้างออก เกิดเป็นฟิล์มปิดผิวงาน ป้องกันออกไซด์และช่วยให้งานบัดกรีเป็นเงาสวยงาม ไม่ต้องใช้ฟลักซ์เสริมในงานบัดกรี ตะกั่วบัดกรีเส้นที่นิยมใช้กันมีขนาด 0.4mm, 0.6mm, 0.8mm, 1.0mm และ 1.2mm งานบัดกรีเครื่องเสียงขนาดพอเหมาะคือ 0.8mm หรือ 1.0mm

ตัวประสานหรือฟลักซ์ (Soldering Flux) หรือยางสน (Rosin) เป็นตัวประสานสำหรับงานบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยตะกั่ว ตัวประสานแบ่งเป็นชนิดไม่กัดกร่อน ชนิดกัดกร่อนอย่างอ่อน และชนิดกัดกร่อนอย่างสูง ในงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้เฉพาะชนิดไม่กัดกร่อนโดยไม่ต้องล้างออกเมื่อใช้งานเสร็จหรือล้างออกได้ด้วยน้ำ และชนิดกัดกร่อนอย่างอ่อนเมื่อใช้งานเสร็จล้างออกด้วยน้ำ ล้างออกด้วยน้ำยาล้างฟลักซ์หรือแอลกอฮอล์ มีทั้งชนิดเหลว (Liquid Flux) และชนิดครีมทา (Rosin flux paste) ฟลักซ์ชนิดเหลวมีบรรจุ แบบปากกา แบบหลอดฉีดยา และแบบกระป๋อง ส่วนชนิดครีมทามีบรรจุ แบบหลอดฉีดยา แบบตลับ และแบบกระป๋อง