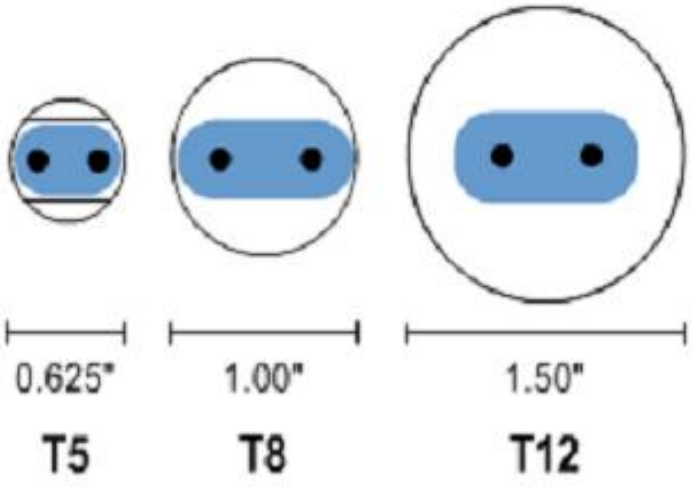
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 และชนิด T8

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่คนไทยรู้จักเป็นอย่างดีคือ หลอดอ้วนในอดีตขนาด 20 วัตต์และ 40 วัตต์หรือทางเทคนิคคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T12 ต่อมาเมื่อประมาณสิบปีที่แล้วมีการเปลี่ยนมาใช้หลอดผอมขนาด 18 วัตต์และ 36 วัตต์โดยทางเทคนิคคือหลอด ฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตให้ชื่อว่าหลอดผอมใหม่ขนาด 14 วัตต์และ 28 วัตต์ ที่จริงแล้วคำว่า T5 T8 T12 นั่นหมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดว่ามีขนาดกี่หุ่น เช่น T8 หมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หุนหรือ 26 มม. ดังภาพที่ 2.1

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T12 กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 นั้นมีความยาวเท่ากันสำหรับขนาดวัตต์ที่ใช้แทนกัน จึงทำให้สามารถเปลี่ยนหลอดทดแทนกันได้ โดยใช้บัลลาสต์เดิม ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 มีขนาดความยาวที่สั้นกว่าและต้องใช้บัลลาสต์เฉพาะของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ซึ่งต้องเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แต่ก็มีการคิดค้นอุปกรณ์ชุดที่ช่วยประยุกต์ให้นำหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 มาใส่กับโคมเดิมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ซึ่งควรต้องพิจารณาให้ดีเพราะยังไม่มีมาตรฐานสากลที่ชัดเจนของอุปกรณ์ที่ว่านี้ ดังนั้นในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ถ้าเป็นการติดตั้งใหม่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำมาสำหรับใช้หลอด ฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 จะเหมาะสมกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการได้ประสิทธิภาพของแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ไปใช้งานให้คุ้มกับเงินที่จ่าย



ภาพที่ 2.1ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแสงของหลอดชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งในโคมตามชนิดของหลอด

สีคูลไวท์	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm.)	ขนาดวัตต์ (W)	ปริมาณแสง (Lumen)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (Lumen/W)
หลอด 36 วัตต์ แบบธรรมดา	26	36	2850	79
หลอด 36 วัตต์ แบบซุปเปอร์	26	36	3350	93
หลอด T5 28 วัตต์	16	28	2900	104

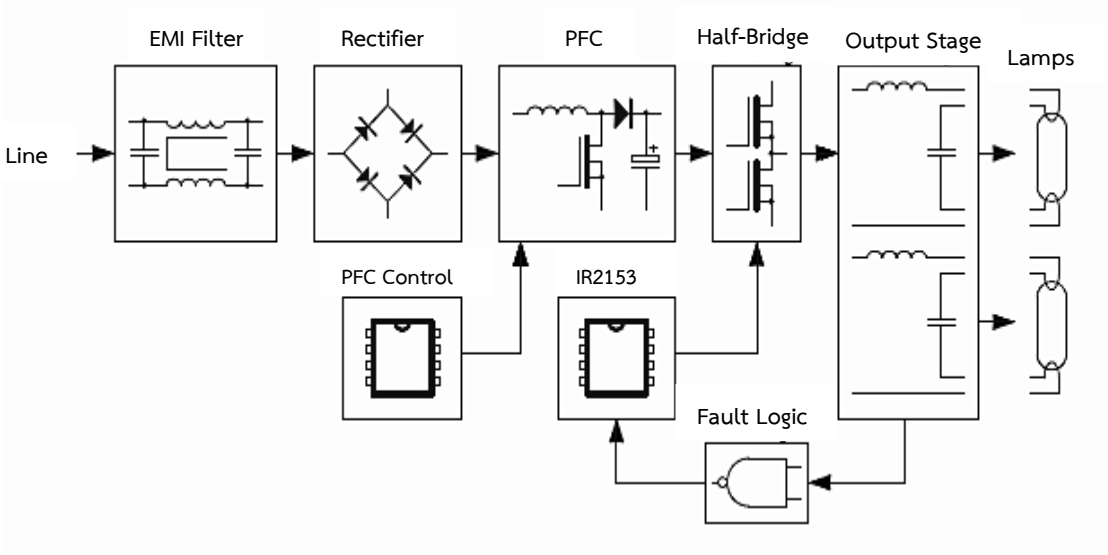
จากตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ กล่าวคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ที่ติดตั้งในโคมขนาด 36 วัตต์แบบธรรมดา และแบบซุปเปอร์จะให้ ลูเมนต่อวัตต์ที่น้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ติดตั้งในโคมขนาด 28 วัตต์

2.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) [4]

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องใช้ ต้องมีอยู่ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์ ประเภทหลอดคายประจุความดันสูง โดยมีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในขั้วหลอดให้มีค่าเหมาะสมสม่ำเสมอตามแต่ละประเภท หลอดแต่ละชนิด แต่ละรุ่น แต่ละขนาด บัลลาสต์ประหยัดพลังงานที่นิยมใช้กันมาก คือ บัลลาสต์โลว์ลอส (Low Loss Ballast) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พียงอย่างเดียว ในการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อลดการสูญเสียของบัลลาสต์แบบแกนเหล็กและเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะพบว่าในบัลลาสต์แกนเหล็กนั้นพลังงานที่สูญเสียไปจะเกิดจากค่าตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในบัลลาสต์ เนื่องจากค่าตัวต้านทานที่อยู่ในบัลลาสต์ควรจะมีค่าสูง จึงทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากด้วยเพราะว่าบัลลาสต์แกนเหล็กทำงานที่ความถี่ต่ำ (50 Hz) ค่าตัวเหนี่ยวนำจึงจำเป็นต้องมีค่าสูง แต่ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง จึงทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กลงได้ (ค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$) ดังนั้นเมื่อใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำลดลงได้ ส่งผลให้ความสูญเสียลดลงด้วย นอกจากนี้การทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดสูงขึ้นอีกด้วย

ในการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความถี่สูง ถึงแม้ว่าจะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้จริง แต่ก็จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง เนื่องจากว่าแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz จึงจำเป็นต้องใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับ (AC to AC Convertor) ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งในการทำงานจะเกิดกำลังสูญเสียของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับเอง และเพื่อให้สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัววงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับนี้ต้องมีประสิทธิภาพสูง (กำลังสูญเสียที่เกิดต้องน้อยกว่ากำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำของ

บัลลาสต์แกนเหล็ก) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถลดความสูญเสียประมาณ 10-12 วัตต์ต่อหลอด เมื่อเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กแต่จะมีราคาแพงกว่า สำหรับระยะเวลาการคืนทุนและผลประหยัดที่จะได้รับนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดไฟ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากภาพที่ 2.2 วงจรต่าง ๆ ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบไปด้วย

1) วงจรกรองด้านเข้าและวงจรป้องกัน (Input filter and Protection Circuit) มีหน้าที่ ลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI (Electromagnetic interference) จากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนบัลลาสต์และจากบัลลาสต์ที่จะออกไปยังสายส่ง และช่วยป้องกันกระแสกระชาก (Surge current) แรงดันเกินชั่วขณะ ในตอนเปิดไฟอีกด้วย
2) วงจรเรียงกระแส (Rectifier) มีหน้าที่ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง
3) วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction Circuit ; PFC) มีหน้าที่ ปรับรูปคลื่นของกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะใกล้เคียงแรงดันด้านเข้า ซึ่งเป็นสัญญาณรูปไซน์เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกส์ และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง
4) วงจรกรองผ่านต่ำ (Low pass filter) มีหน้าที่ ลดแรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์
5) วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency inverter) มีหน้าที่ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ส่วนใหญ่นิยมใช้วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้าแบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter) เนื่องจากใช้อุปกรณ์สวิตช์เพียง 2 ชุด และแรงดันตกคร่อมบนตัวสวิตช์จะมีค่าสูงสุดไม่เกินแรงดันขาเข้า ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาถูก
6) วงจรเรโซแนนซ์ (Resonance Filter) วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมแบบโหลดต่อขนานกับตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับวงจรบัลลาสต์

อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่สุด เนื่องจากสามารถสร้างแรงดันสูงเพื่อจุดหลอดในตอนแรก และลดแรงดันลงเพื่อควบคุมกระแสเมื่อหลอดติดแล้วได้

เมื่อ “การประหยัดพลังงาน” หมายถึง การลดต้นทุนที่สามารถเอาชนะคู่แข่งขันได้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการถูกเลือกให้เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน เพราะนอกเหนือจากการประหยัดพลังงานได้ถึง 30% แล้ว ยังคืนกำไรให้กับผู้ลงทุนได้ในอัตราผลตอบแทนที่สูงเพราะหากใช้งานมากเท่าไรยิ่งกำไรเร็วขึ้นเท่านั้น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่เช่นเดียวกับบัลลาสต์แกนเหล็ก แต่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ปกติ 50 เฮิรตซ์ (Hz) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมีค่าระหว่าง 25 ถึง 50 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) เพื่อป้อนให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ กระแสไฟฟ้าสลับจากแหล่งจ่ายจะถูกเรียงกระแสและกรองเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับวงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวกำเนิดความถี่จะผลิตสัญญาณความถี่สูงซึ่งจะขับตัวทรานซิสเตอร์ให้ทำงานสลับกัน โดยมีตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรท์ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าและตัวเก็บประจุคร่อมหลอดทำหน้าที่กำหนดความถี่ และการสตาร์ทบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรมีความถี่ด้านออกอยู่ในช่วง 25 ถึง 50 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อป้องกันการรบกวนต่อความถี่เสียงและความถี่วิทยุ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยสามารถลดกำลังสูญเสียที่หลอดลงมาได้ 10 เปอร์เซ็นต์ และยังคงความสว่างเท่ากันเมื่อขับหลอดที่ความถี่ปกติ 50 เฮิรตซ์ และเนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบกันเป็นวงจร เพื่อทำงานในย่านความถี่สูง ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถที่จะลดกำลังการสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาที่แสงสว่างออกมาเท่ากัน

2.3 ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ Switching Power Supply

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไฟสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเลคทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอน แรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อ แปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย ในปัจจุบันสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตอย่างมาก เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูงแต่มี ขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรสาร และ โทรทัศน์ จำเป็นจะต้องใช้สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย แนวโน้มการนำสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ใน

ข้อได้เปรียบของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่ง จ่ายไฟเชิงเส้น คือ ประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบากว่าแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก ขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงจึงมีค่าสูง การคงค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นส่วนมากจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อเพาเวอร์ซัพพลายต้องจ่ายกำลังงานสูงๆ จะทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ปกติแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะมี

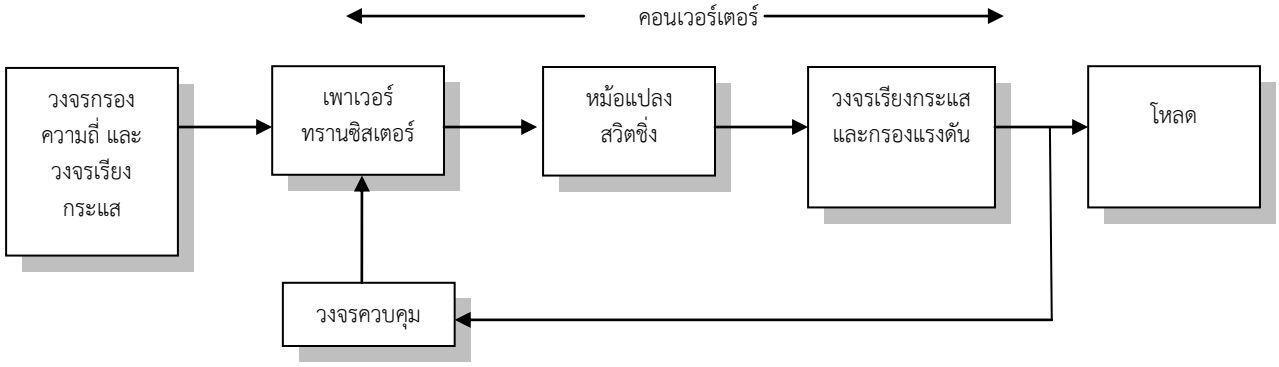
ประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ในบางกรณี ซึ่งนับได้ว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งมีประสิทธิภาพในช่วง 65%-80%

อย่างไรก็ตาม แหล่งแรงจ่ายแรงดันคงที่จะมีเสถียรภาพในการทำ งานที่ต่ำกว่า และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น รวมทั้งแหล่งแรงจ่ายแรงดันคงที่ยังมีความซับ ซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง ที่กำลังงานต่ำๆ แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะประหยัดกว่าและให้ผลดีเท่าเทียมกัน ดังนั้นแหล่งแรงจ่ายแรงดันคงที่จึงมักนิยมใช้กันในงานที่ต้องการ กำลังงานตั้งแต่ 20 วัตต์ขึ้นไป เท่านั้น

ภาพที่ 2.3 ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ Switching Power Supply

2.3.1 หลักการทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (แหล่งจ่ายไฟตรง)

หัวใจสำคัญของ สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุต



ภาพที่ 2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

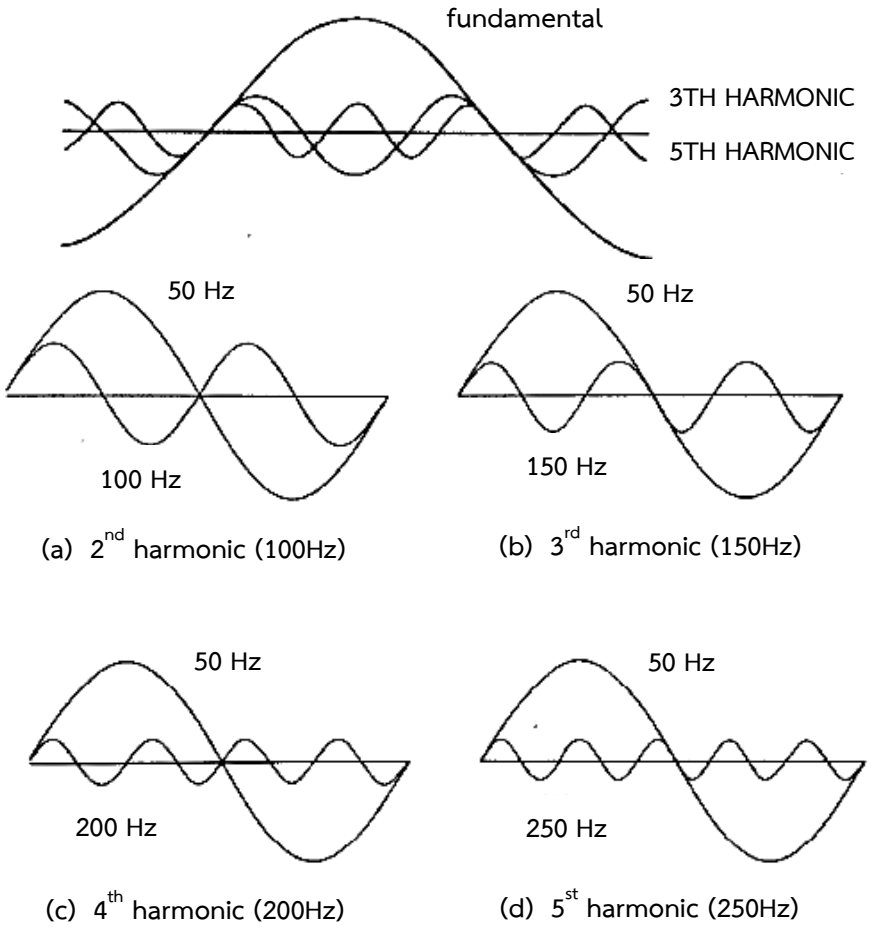
คอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมี

ข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

- ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเคอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
- การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

2.4 ฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า (Harmonics in Power System) [3]

ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใด ๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์) เช่น ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150 เฮิรตซ์ และฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250 เฮิรตซ์ เป็นต้น ดังแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ฮาร์มอนิกส์ที่ความถี่ลำดับต่าง ๆ

2.4.1 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม

มาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ : %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกส์ กับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกเป็นค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์รวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกส์รวม

ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์รวม (Tatal Harmonic current Distortion: THD_i)

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{h(rms)}^2}}{I_{1\,(rms)}} \times 100\% \qquad (2.1)$$

ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกส์รวม (Tatal Harmonic voltage Distortion: THD_v)

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_{h(rms)}^2}}{V_{1(rms)}} \times 100\% \qquad (2.2)$$

$V_{h\ (rms)}$: ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h
$I_{h\ (rms)}$: ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h
$V_{1\ (rms)}$: ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันที่ความถี่หลักมูล
$I_{1\ (rms)}$: ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสที่ความถี่หลักมูล

สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ ตามคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ได้ดังต่อไปนี้

- อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทั่วไปในบ้านพัก สำนักงาน ส่วนใหญ่เป็นชนิด 1 เฟส
- อุปกรณ์ที่มีการใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง (SWITCHING MODE POWER SUPPLY : SMPS เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์)

ปัญหาฮาร์มอนิกส์ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลัก ๆ คือ

1. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีขนาด และรูปคลื่น สัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป
2. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่า เฉลี่ยกำลังสอง (rms) ของแรงดันหรือ กระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์มอนิกส์

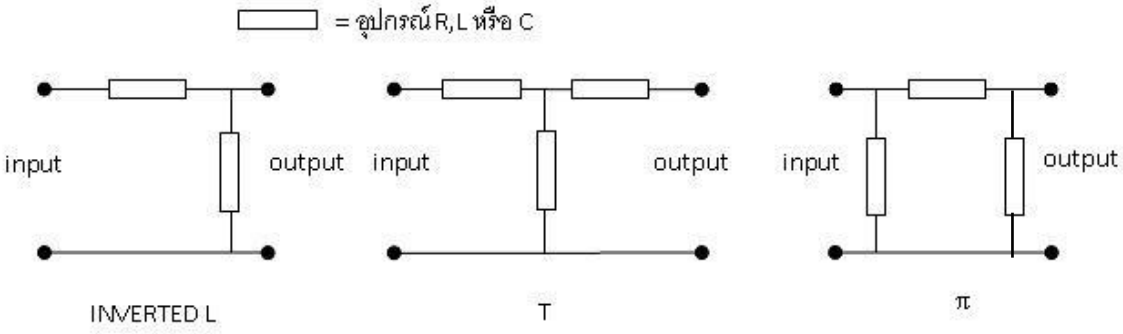
2.5 ฟิลเตอร์ (Filter) [12]

วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่สามารถทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออก อาจจะเป็น เฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งหรือช่วงกว้าง ๆ ก็ได้ การใช้งานวงจรกรองความถี่สามารถใช้กรองสัญญาณรบกวน ซึ่งวงจรจะประกอบขึ้นด้วยตัวต้านทาน (resistor), ตัวเหนี่ยวนำ (inductors) และ

ตัวเก็บประจุ (capacitors) โดยเอาคุณสมบัติประจำตัวของอุปกรณ์แต่ละชนิด คือ ตัวเหนี่ยวนำจะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านได้ง่าย ความถี่สูงผ่านยาก ส่วนตัวเก็บประจุความถี่ต่ำผ่านยาก ความถี่สูงผ่านง่าย ส่วนตัวต้านทานจะต้านทานทุกความถี่ให้มีระดับสัญญาณลดลง ซึ่งวงจรกรองความถี่เมื่อแบ่งตามอุปกรณ์ที่สร้างจะแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบ พาสซีฟ(Passive Filter)
2. วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบแอคทีฟ (Active Filter)

ในที่นี้จะกล่าวถึงวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบพาสซีฟ (Passive Filter) คำว่าพาสซีพนั้นหมายถึงวงจรฟิลเตอร์ที่ ไม่มีการขยาย (Unpowered Components (R,L,C)) มีแต่การลดทอนสัญญาณลง การลดทอนนี้จะเรียกว่า ค่าการสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก (Insertion Loss) ส่วนวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟนั้นจะมีวงจรขยายสัญญาณอยู่ภายใน จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น ในวงจรเครื่องขยายเสียง ซึ่งมักจะใช้กันที่ความถี่ต่ำ ๆ โดยจะใช้ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำการขยายสัญญาณ เช่น ออปแอมป์ ฟิลเตอร์ชนิดต่างๆ จะมีรูปแบบการต่อวงจรที่ค่อนข้างจะแน่นอน และแบ่งแยกได้เป็น 3 แบบ หลักๆคือ แบบ L (หรืออาจเป็นแบบ Inverted L) แบบ T และแบบ π (อ่านว่า pi) ซึ่งแต่ละแบบเหล่านี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.6

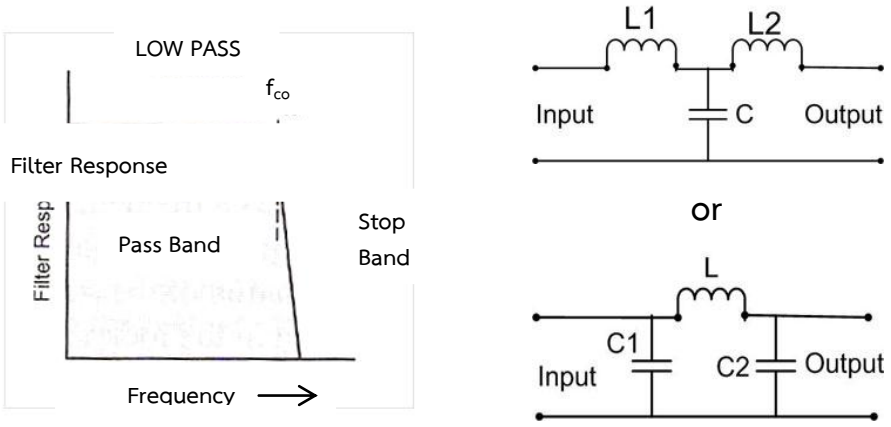


ภาพที่ 2.6 แสดงรูปแบบการต่อวงจรฟิลเตอร์

วงจรฟิลเตอร์พื้นฐานนั้นสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 4 แบบ ตามลักษณะของการตอบสนองต่อความถี่ดังนี้

1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter ,LPF)

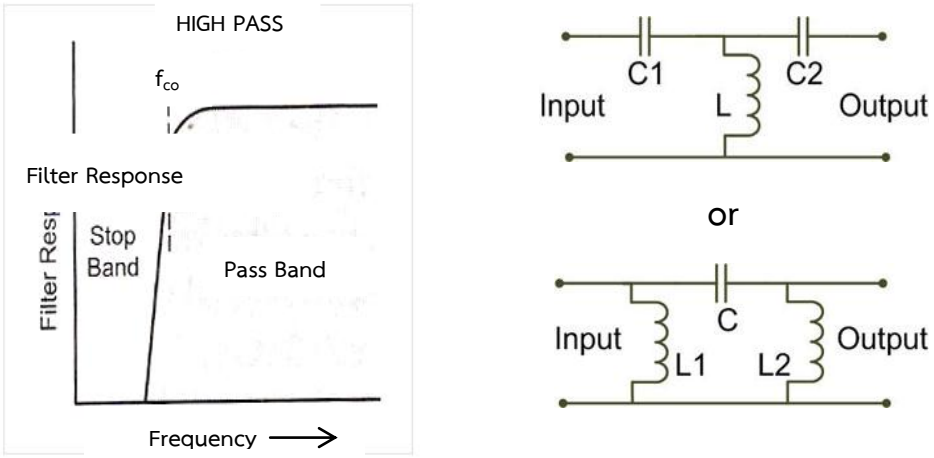
เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านไปได้ดี และทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่สูงออกไป วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมีลักษณะการต่อคือ ใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L) อนุกรมกับวงจร และตัวเก็บประจุ (C) ขนานกับวงจร คุณสมบัติของวงจรก็คือ เมื่อเราป้อนความถี่ต่ำเข้ามาในวงจร ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำต่ำและตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานตัวเก็บประจุสูง ทำให้ความถี่ต่ำผ่านตัวเหนี่ยวนำได้สะดวก ระดับสัญญาณขาออกจึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนดค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำจะมากขึ้นและค่าความต้านทานตัวเก็บประจุจะลดลง ทำให้ความถี่ผ่านขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูกตัวเก็บประจุดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณขาออกจึงผ่านได้น้อยมาก



ภาพที่ 2.7 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High-Pass Filter ,HPF)

เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่สูงผ่านไปได้ดี และทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ต่ำออกไป วงจรนี้จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่ากำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าจะโดนจับลงกราวด์ จากรูปจะเห็นว่าตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับวงจร ส่วนตัวเหนี่ยวนำต่อขนานกับวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำเข้ามา ตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานตัวเก็บประจุสูงทำให้สัญญาณผ่านไปได้น้อย ส่วนตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำต่ำ ทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจากตัวเก็บประจุลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้นตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานตัวเก็บประจุลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น ส่วนตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำมากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลง สัญญาณที่ออกไปยังด้านออกก็มากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7 % ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เรียกว่า ช่วงจุดตัดความถี่ เมื่อความถี่สูงกว่าความถี่นี้ตัวเก็บประจุจะยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกและค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำจะต้านสัญญาณไม่ให้ลงกราวด์ ความถี่จึงผ่านไปทางขาออกได้ทั้งหมด

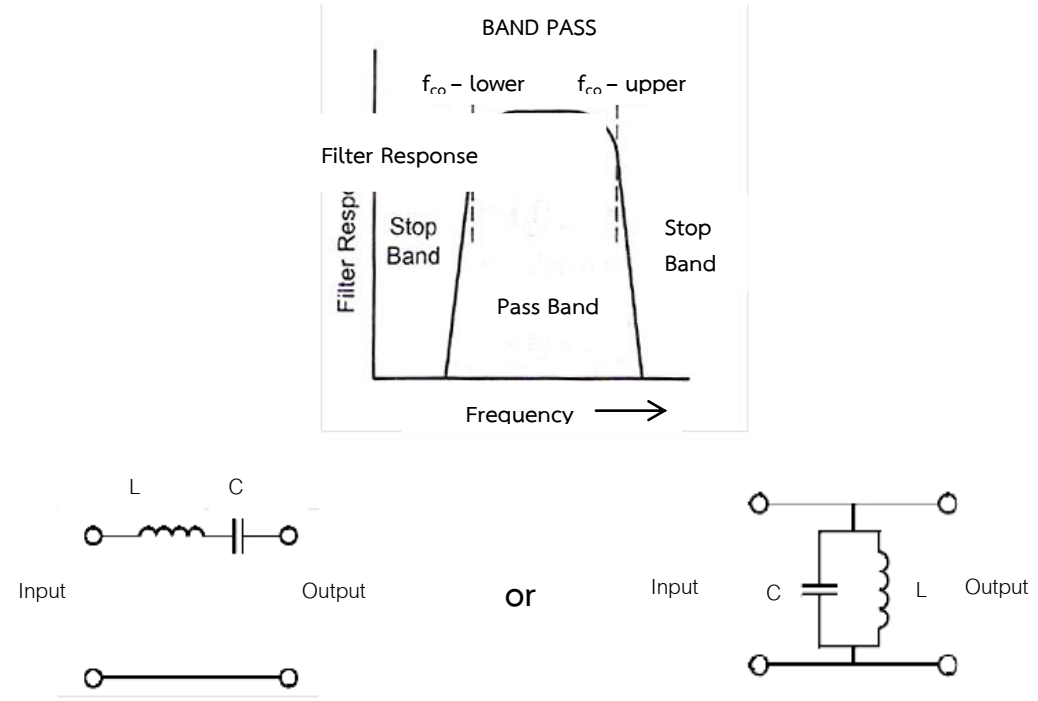


ภาพที่ 2.8 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

3. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-Pass Filter ,BPF)

เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่บางช่วงผ่านไปได้ และทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าออกไป วงจรกรองความถี่แบบแถบความถี่ผ่านจะยอมให้ความถี่เฉพาะช่วงที่กำหนดให้ผ่านได้ ความถี่ที่นอกเหนือจากช่วงที่กำหนดจะโดนตัดลงกราวด์ ซึ่งเราสามารถสร้างวงจรกรองแถบความถี่ผ่านได้โดยการใช้วงจรเรโซแนนซ์ เป็นต้น

- ในรูปวงจรด้านซ้ายเป็นวงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรม คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานต่ำที่ความถี่เรโซแนนท์ ทำให้สัญญาณผ่านไปได้ง่าย แต่สำหรับความถี่อื่น ๆ ทั้งที่สูงกว่าและที่ต่ำกว่าจะไหลผ่านได้ยาก
- ในรูปวงจรด้านขวาเป็นวงจรเรโซแนนท์แบบขนาน ต่อสัญญาณลงกราวด์ คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนท์ ความถี่อื่น ๆ จะถูกดึงลงกราวด์ (เพราะมีความต้านทานต่ำ) ส่วนความถี่เรโซแนนซ์จะผ่านไปได้ (ไม่ถูกดึงลงกราวด์ เพราะความต้านทานสูง)



ภาพที่ 2.9 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน

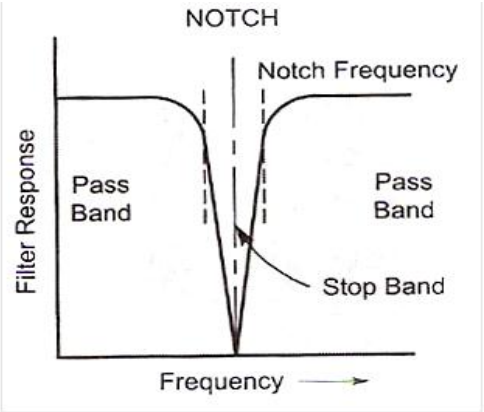
4. วงจรกำจัดแถบความถี่ (Band-Reject Filter ,BRF)

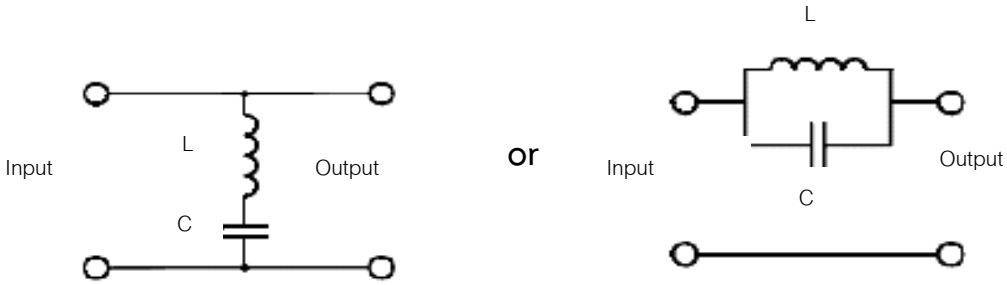
เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าผ่านออกไปได้ วงจรกรองความถี่แบบกำจัดความถี่จะยอมให้ความถี่อื่น ๆ ผ่านไปได้สะดวก แต่สำหรับความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่ที่จะกำจัด) จะโดนดึงลงกราวด์

- ในรูปวงจรด้านซ้ายเป็นวงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรมต่อลงกราวด์ คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานต่ำที่ความถี่เรโซแนนท์ ทำให้สัญญาณผ่านลงกราวด์ได้ง่ายจึงไม่มีสัญญาณ

ออกทางขาออก แต่สำหรับความถี่อื่น ๆ ทั้งที่สูงกว่าและที่ต่ำกว่าวงจรจะมีความต้านทานสูง สัญญาณจะไม่ถูกดึงลงกราวด์ สามารถผ่านวงจรนี้ไปได้

- ในรูปวงจรด้านขวาเป็นวงจรเรโซแนนท์แบบขนาน แต่มาต่ออนุกรมกับวงจร คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนท์ สัญญาณจึงไม่สามารถผ่านไปได้ แต่พอความถี่อื่น ๆ จะมีความต้านทานต่ำสัญญาณสามารถผ่านไปได้





ภาพที่ 2.10 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกำจัดแถบความถี่