

หน่วยที่ 11

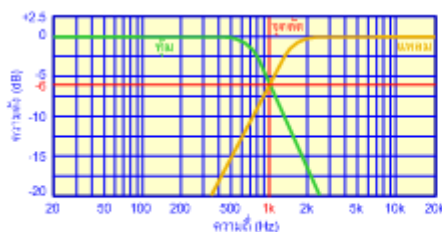
การแยกเสียงทุ้มแหลมและการป้องกันลำโพง

11.1 การแยกเสียงทุ้มแหลมให้ลำโพง

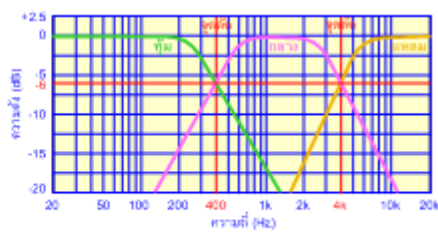
สัญญาณเสียงที่กำเนิดขึ้นมามีย่านความถี่ประมาณ 20 – 20,000 Hz เป็นความถี่ที่แบ่งออกได้เป็น 3 ย่านสัญญาณเสียง คือ ความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้ม ความถี่กลางหรือเสียงกลาง และความถี่สูงหรือเสียงแหลม การแบ่งย่านความถี่ออกมาเช่นนี้เพื่อนำไปใช้ในการขับลำโพงแต่ละชนิดให้เกิดเสียงออกมาตามคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ของชนิดลำโพงนั้น เพราะด้วยชนิดลำโพงที่ผลิตออกมาใช้งานจะสามารถให้การตอบสนองต่อย่านความถี่สัญญาณเสียงแตกต่างกัน เมื่อนำลำโพงแต่ละชนิดไปใช้ในการรับสัญญาณเสียงทุกความถี่เหมือนกัน จะเกิดปัญหาคือคุณภาพสัญญาณเสียงที่เปล่งออกมาของลำโพงแต่ละชนิด ทำให้เสียงที่รับฟังได้บางช่วงความถี่ขาดหายไปหรือบางช่วงความถี่ดังแรงขึ้นมามากกว่าปกติ เกิดปัญหาสัญญาณเสียงที่ได้ออกมาไม่เป็นไฮไฟ ได้เสียงที่ขับออกมาจากลำโพงไม่ครบทุกย่านความถี่

การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น สามารถทำได้โดยการกำหนดย่านความถี่สัญญาณเสียงที่ป้อนไปให้ลำโพงแต่ละชนิด มีความถี่ถูกต้องตามการตอบสนองความถี่เสียงของลำโพงชนิดนั้น เพื่อจำกัดย่านความถี่สัญญาณเสียงที่ลำโพงต้องทำงานให้แคบลงอยู่ในย่านความถี่ที่เหมาะสม วงจรที่ถูกนำมาใช้งานแยกย่านความถี่สัญญาณเสียงให้ลำโพงเรียกว่า วงจรแยกเสียงทุ้มแหลม หรือ คrossover network (Crossover Network) มาช่วยกำหนดย่านความถี่สัญญาณเสียงที่เหมาะสมให้ลำโพงแต่ละชนิดส่งเสียงออกมา

วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมี 2 ชนิด คือ ชนิดแรกใช้แยกความถี่สัญญาณเสียงออก 2 ช่วงความถี่ แยกออกเป็นย่านความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้ม และย่านความถี่สูงหรือเสียงแหลม ชนิดที่สองใช้แยกความถี่สัญญาณเสียงออก 3 ช่วงความถี่ แยกออกเป็นย่านความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้ม ย่านความถี่กลางหรือเสียงกลาง และย่านความถี่สูงหรือเสียงแหลม โดยกำหนดจุดความถี่ตัดข้าม (Crossover Frequency) ของวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมตามค่าความถี่เหมาะสมที่ถูกกำหนดไว้ นำมาต่อคั่นกลางระหว่างเอาต์พุตเครื่องขยายเสียงกับลำโพง การต่อวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมแต่ละชุดเข้าลำโพงจะต้องต่อให้ถูกต้องเหมาะสม กราฟแสดงย่านความถี่สัญญาณเสียงของเสียงทุ้ม เสียงกลาง เสียงแหลม และจุดตัดความถี่ แสดงดังรูปที่ 11.1



(ก) แยกเสียง 2 ช่วงความถี่



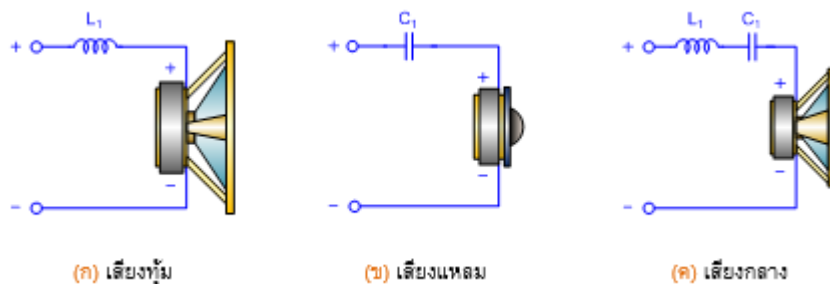
(ข) แยกเสียง 3 ช่วงความถี่

รูปที่ 11.1 กราฟแสดงย่านความถี่สัญญาณเสียงของเสียงทุ้ม เสียงกลาง เสียงแหลม และจุดตัดความถี่

11.2 วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมให้ลำโพง

วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมแบบกรองผ่านอย่างเดียว หรือพาสซีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค (Passive Crossover Network) เป็นอุปกรณ์ชนิดแยกกรองผ่านสัญญาณเสียงอย่างเดียวที่ส่งมาจากเครื่องขยายเสียงไปให้ลำโพง โดยวงจรไม่มีการขยายเสียง ใช้หลักการของวงจรกรองความถี่เสียง ที่ประกอบขึ้นมาจากตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) โดยอาศัยคุณสมบัติในการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองชนิด คือ ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่กรองความถี่เสียงย่านความถี่ต่ำผ่านได้ และต้านความถี่เสียงย่านความถี่สูงไม่ให้นำผ่าน ส่วนตัวเก็บประจุ (C) ทำหน้าที่กรองความถี่เสียงย่านความถี่สูงผ่านได้ และต้านความถี่เสียงย่านความถี่ต่ำไม่ให้นำผ่าน นำมาประกอบเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดต่างๆ คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter ; LPF) ใช้กับเสียงทุ้ม วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter ; HPF) ใช้กับเสียงแหลม และวงจรกรองย่านความถี่ผ่าน (Band Pass Filter ; BPF) ใช้กับเสียงกลาง นำมาสร้างเป็นวงจรแยกเสียงลำโพงได้หลายชนิด หลายรูปแบบ โดยจัดวงจรออกมาตามการกำหนดค่าความลาดเอียงของเส้นกราฟที่จุดตัดความถี่เสียงทุ้ม เสียงกลาง และเสียงแหลม ออกมาตามลำดับ หรือออร์เดอร์ (Order) ดังนี้

1. ลำดับที่ 1 (Order 1) ใช้จุดตัดความลาดเอียงของเส้นกราฟที่ 6 dB / ออกเทพ เป็นวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมแบบเบื้องต้นจัดวงจรแบบง่าย โดยใช้คุณสมบัติในการทำงานของตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) กำหนดความถี่ผ่านลำโพง ในการกำหนดย่านความถี่ให้ผ่านลำโพงอยู่ที่ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุที่นำมาต่อใช้งาน วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 1 แสดงดังรูปที่ 11.2



รูปที่ 11.2 วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 1

2. ลำดับที่ 2 (Order 2) ใช้จุดตัดความลาดเอียงของเส้นกราฟที่ 12 dB / ออกเทพ เป็นแบบที่นิยมใช้งานทั่วไป ใช้คุณสมบัติในการทำงานของตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) กำหนดความถี่ผ่านลำโพง เช่นเดียวกัน โดยเพิ่มตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ให้ลำโพงแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ในการกำหนดย่านความถี่ให้ผ่านลำโพงอยู่ที่ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุที่นำมาต่อใช้งาน และจัดวงจรให้ถูกต้อง วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 2 แสดงดังรูปที่ 11.3

สูตรหาค่าความเหนี่ยวนำ L_1 $L_1 \text{ (mH)} = \frac{1000 \times \text{อิมพีแดนซ์ลำโพง}}{6.283 \times \text{ความถี่ตัดข้าม}}$ (11-1)

สูตรหาค่าความเหนี่ยวนำ L_2 (mH) = $L_1 \times 1.414$ (11-2)

สูตรหาค่าความเหนี่ยวนำ L_3 (mH) = $L_1 \times 1.5$ (11-3)

L_2, L_3, L_4 และ L_5 L_4 (mH) = $L_1 \times 0.5$ (11-4)

L_5 (mH) = $L_1 \times 0.75$ (11-5)

สูตรหาค่าความจุ C_1 $C_1 \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{1,000,000}{6.283 \times \text{อิมพีแดนซ์ลำโพง} \times \text{ความถี่ตัดข้าม}}$ (11-6)

สูตรหาค่าความจุ C_2 (μF) = $C_1 \times 0.707$ (11-7)

สูตรหาค่าความจุ C_3 (μF) = $C_1 \times 1.33$ (11-8)

สูตรหาค่าความจุ C_4 (μF) = $C_1 \times 0.667$ (11-9)

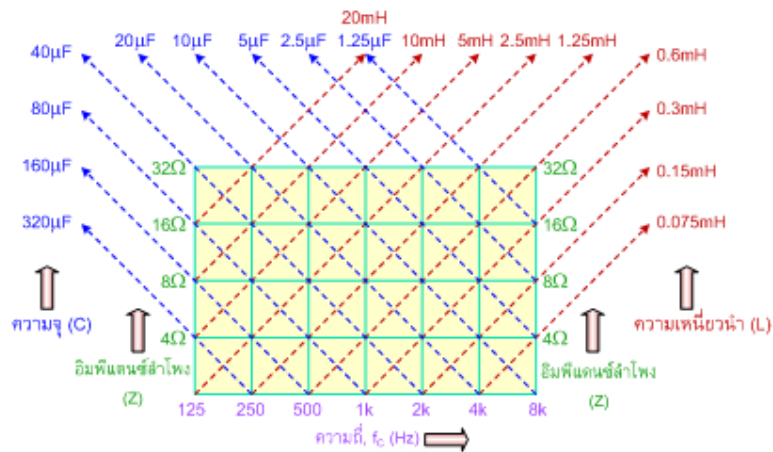
สูตรหาค่าความจุ C_5 (μF) = $C_1 \times 2$ (11-10)

กำหนดค่าจุดความถี่ตัดข้าม (fC) พิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำโพงเสียงทุ้มที่ใช้งาน ค่าจุดความถี่ตัดข้ามที่เหมาะสมตามขนาดของลำโพง แสดงดังตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 ค่าจุดความถี่ตัดข้ามที่เหมาะสมตามขนาดของลำโพงเสียงทุ้ม

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำโพงเสียงทุ้ม	จุดความถี่ตัดข้าม
8 นิ้ว	2 kHz
10 นิ้ว	1.5 kHz
12 นิ้ว	1.2 kHz
15 นิ้ว	1 kHz

การหาค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความจุ (C) ใช้ในวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมลำดับที่ 1 นอกจากใช้วิธีคำนวณดังสมการที่ (11-1) และสมการที่ (11-6) แล้ว ยังมีอีกวิธีหนึ่งทำได้โดยใช้ตารางกราฟสำเร็จรูป เลือกค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความจุ (C) หาค่า L_1 และ C_1 ได้ ตารางกราฟเลือกค่าความเหนี่ยวนำ L_1 และค่าความจุ C_1 ของวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมลำดับที่ 1 แสดงดังรูปที่ 11.5



รูปที่ 11.5 ตารางกราฟบอกค่า L และ C นำไปใช้สร้างวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 1

จากรูปที่ 11.5 แสดงตารางกราฟบอกค่า L และ C นำไปใช้สร้างวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมให้ลำโพงในลำดับที่ 1 การอ่านค่าตารางกราฟเพื่อเลือกค่า L และ C ค่าที่เหมาะสมนำมาใช้งานทำได้ดังนี้

1. เลือกค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของลำโพงเสียงทุ้ม และลำโพงเสียงแหลม ให้มีค่าเท่ากัน เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ 4 W หรือ 8 W ($X_L = X_C = Z$) เป็นต้น
2. กำหนดค่าจุดความถี่ตัดข้าม (f_c) พิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำโพงเสียงทุ้มที่ใช้งาน และค่าจุดตัดความถี่ที่เหมาะสมตามขนาดของลำโพง ใช้ค่าตามตารางที่ 11.1
3. ตัวอย่างเช่น เลือกลำโพงเสียงทุ้มขนาด 15 นิ้ว ใช้จุดความถี่ตัดข้าม (f_c) ที่ 1 kHz นำไปใช้พิจารณาตามกราฟรูปที่ 11.5 ที่เส้นแนวดิ่งจากตารางกราฟเลือกค่าความถี่ (f_c) ที่ 1 kHz และที่เส้นแนวนอนจากตารางกราฟเลือกค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ที่ 8 W เกิดจุดตัดของค่าทั้งสอง
4. จากจุดตัดของค่าทั้งสอง จะพบเส้นประทแยงไปทางซ้ายหนึ่งเส้น แสดงค่าความจุ (C) ที่ต้องการใช้งาน และพบเส้นประทแยงไปทางขวาหนึ่งเส้น แสดงค่าความเหนี่ยวนำ (L) นำที่ต้องการใช้งาน
5. อ่านค่าความเหนี่ยวนำ (L) ออกมาได้ 1.25 mH และค่าความจุ (C) ออกมาได้ 20 mF เป็นค่าที่นำไปใช้งานในวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 1 (6 dB / ออกเทพ)
6. กรณีที่ต้องการใช้งานในวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 2 (12 dB / ออกเทพ) ทำได้โดยนำค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความจุ (C) จากวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมที่หาค่าได้ในลำดับที่ 1 (6 dB / ออกเทพ) มาคำนวณหาค่าด้วยสมการที่ (11-2) และ (11-7) จะได้ค่า L2, C2 ของวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมในลำดับที่ 2 (12 dB / ออกเทพ) ออกมา คำนวณค่าได้ดังนี้

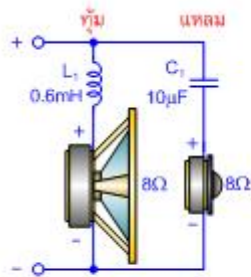
$$L_2 = 1.25 \text{ mH} \times 1.414 = 1.77 \text{ mH}$$

$$C_2 = 20 \text{ mF} \times 0.707 = 14.14 \text{ mF}$$

ตัวเก็บประจุ (C) ที่นำมาใช้ต่อวงจรจะต้องเป็นชนิดอิเล็กโทรไลติก แบบไม่มีขั้ว (Non - Polar) หรือแบบ 2 ขั้ว (Bi - Polar) และต้องมีค่าทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง เช่น 50 V หรือ 100 V เป็นต้น

11.4 โครงสร้างวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิด 2 ทางและ 3 ทาง

วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมที่ผลิตมาใช้งานมีมากมายหลายลักษณะ หลายรูปแบบ และหลายโครงสร้าง มีทั้งชนิดแยกเสียง 2 ทาง คือ เสียงทุ้ม เสียงแหลม และชนิดแยกเสียง 3 ทาง คือ เสียงทุ้ม เสียงกลาง เสียงแหลม จัดโครงสร้างวงจรทั้งในลำดับที่ 1 หรือออร์เดอร์ที่ 1 และในลำดับที่ 2 หรือออร์เดอร์ที่ 2 วงจรสร้างด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ต่อวงจรร่วมกัน โดยวงจรถูกสร้างรวมไว้ในแผ่นวงจรพิมพ์ชุดเดียวกัน มีขั้วต่อเพื่อใช้ต่อเข้าลำโพงแต่ละชนิด เกิดความสะดวกในการต่อวงจรใช้งาน ค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความจุ (C) มีค่าแตกต่างกันตามค่าการออกแบบวงจร วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิด 2 ทาง และ 3 ทาง แสดงดังรูปที่ 11.6 ถึงรูปที่ 11.9

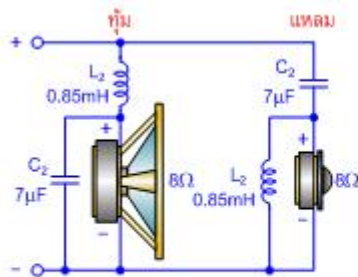


(ก) วงจร



(ข) อุปกรณ์

รูปที่ 11.6 วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิดแยกเสียง 2 ทางในลำดับที่ 1

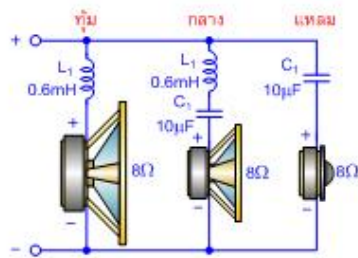


(ก) วงจร



(ข) อุปกรณ์

รูปที่ 11.7 วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิดแยกเสียง 2 ทางในลำดับที่ 2

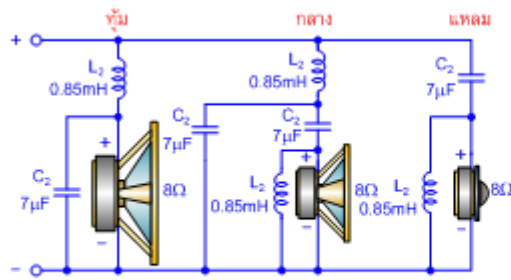


(ก) วงจร



(ข) อุปกรณ์

รูปที่ 11.8 วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิดแยกเสียง 3 ทางในลำดับที่ 1



(ก) วงจร



(ข) อุปกรณ์

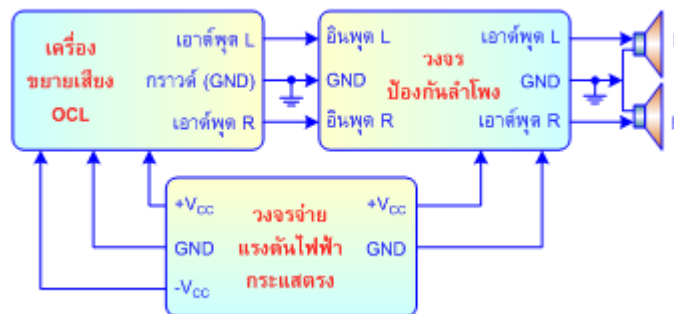
รูปที่ 11.9 วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิดแยกเสียง 3 ทางในลำดับที่ 2

วงจรแยกเสียงทุ้มแหลมชนิด 2 ทาง และ 3 ทางที่ผลิตขึ้นมาใช้งาน มีหลายชนิด หลายยี่ห้อ และหลายบริษัทผู้ผลิต ทำให้โครงสร้างของวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมมีความแตกต่างกันไป ค่าความถี่ตัดข้ามที่กำหนดมาใช้งานแตกต่างกัน รวมถึงลำดับของการออกแบบที่แตกต่าง การเลือกวงจรแยกเสียงทุ้มแหลมมาใช้งาน ต้องเลือกค่าให้เหมาะสมกับเครื่องขยายเสียงและขนาดของลำโพงที่ใช้งาน

11.5 วงจรป้องกันลำโพงชำรุดเสียหาย

วงจรป้องกันลำโพง (Loudspeaker Protection Circuit) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ป้องกันการชำรุดเสียหายของลำโพง ที่เกิดจากการทำงานผิดปกติของเครื่องขยายเสียงแบบคอมพลีเมนตารีชนิดไม่มีตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต (OCL)

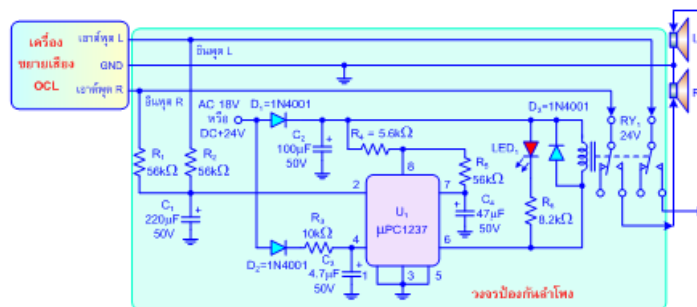
ในกรณีที่เครื่องขยายเสียงคอมพลีเมนตารีชนิด OCL ทำงานผิดปกติไป เกิดจากการชำรุดเสียหายของภาคขยายกำลัง โดยมีผลทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในภาคขยายกำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์ เฟต หรือไอซี เกิดการลัดวงจร ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจำนวนมากจ่ายมาให้ลำโพง เกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านลำโพงลงกราวด์ ลำโพงเกิดการชำรุดเสียหายทันที เพื่อเป็นการป้องกันการชำรุดเสียหายของลำโพง ในเครื่องขยายเสียงแบบคอมพลีเมนตารีชนิด OCL จำเป็นต้องต่อเพิ่มวงจรป้องกันลำโพงร่วมใช้งานให้กับลำโพง โดยต่อคั่นกลางระหว่างเอาต์พุตเครื่องขยายเสียงชนิด OCL และลำโพง ลักษณะการต่อวงจรป้องกันลำโพงเข้ากับเครื่องขยายเสียงแบบคอมพลีเมนตารีชนิด OCL แสดงดังรูปที่ 11.10



รูปที่ 11.10 การต่อวงจรป้องกันลำโพงเข้ากับเครื่องขยายเสียงคอมพลีเมนตารีชนิด OCL

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องขยายเสียงคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL จะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้วงจรทั้งระบบ ในกรณีที่เครื่องขยายเสียงชนิด OCL ทำงานปกติ ที่เอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงทั้งสองด้านมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกมา 0 V หรือมีค่าน้อยมากไม่พอไปควบคุมให้วงจรป้องกันลำโพงตัดวงจรเครื่องขยายเสียงออกจากลำโพง วงจรป้องกันลำโพงในช่วงเวลานี้ทำหน้าที่เป็นวงจรหน่วงเวลาการต่อลำโพงเข้ากับเครื่องขยายเสียงเท่านั้น เพื่อป้องกันเสียงป๊อบ (Popping Sound) ในขณะที่เปิดสวิตช์เครื่องขยายเสียงดังออกลำโพง โดยการหน่วงเวลาประมาณ 2 – 5 วินาทีก่อนต่อลำโพงเข้ากับเอาต์พุตของเครื่องขยายเสียง เครื่องขยายเสียงและลำโพงต่อทำงานเป็นปกติ

เมื่อเกิดการชำรุดของเครื่องขยายเสียงคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL จะเกิดการลัดวงจรกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำภาคขยายกำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง หรือมอสเฟตกำลัง เป็นต้น ของเอาต์พุตเครื่องขยายเสียงด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน จะเกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกมาที่เอาต์พุตเครื่องขยายเสียงสูงมากเกินกว่า ± 2 ถึง 3 V ขึ้นไป ถูกส่งไปควบคุมให้วงจรป้องกันลำโพงทำงาน ตัดเอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงออกจากลำโพงทันที ช่วยป้องกันไม่ให้ลำโพงเกิดการชำรุดเสียหาย ลักษณะวงจรป้องกันลำโพง แสดงดังรูปที่ 11.11



รูปที่ 11.11 วงจรป้องกันลำโพง

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วงจรทั้งระบบ ถ้าเครื่องขยายเสียงคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL ทำงานปกติ ที่เอาต์พุตของเครื่องขยายเสียงทั้งด้านซ้าย (L) และด้านขวา (R) จะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกมา 0 V หรือมีค่าน้อยมากไม่พอไปควบคุมที่ขา 2 ของ IC U1 ตัว IC U1 หน่วงเวลาประมาณ 3 – 4 วินาที ก่อนควบคุมให้ขา 6 ของ IC U1 ต่อกับกราวด์ มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้รีเลย์ RY1 หน้าสัมผัสรีเลย์ RY1 ต่อลำโพงเข้ากับเครื่องขยายเสียง เครื่องขยายเสียงและลำโพงทำงานปกติ ในเวลาเดียวกันตัว LED1 ติดสว่าง แสดงให้ทราบว่ารีเลย์ RY1 ทำงาน

เมื่อเครื่องขยายเสียงคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL เกิดการชำรุด มีการลัดวงจรที่อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำภาคขยายกำลัง ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน จะเกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกมาที่เอาต์พุตเครื่องขยายเสียงสูงมากเกินกว่า ± 2 V ขึ้นไป ถูกส่งไปควบคุมที่ขา 2 ของ IC U1 ทำให้ IC U1 เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงาน ควบคุมให้ขา 6 ของ IC U1 ไม่ต่อกับกราวด์ ไม่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้รีเลย์ RY1 หน้าสัมผัสรีเลย์ RY1 ตัดลำโพงออกจากเครื่องขยายเสียงทันที ในเวลาเดียวกันตัว LED1 ดับมืด แสดงให้ทราบว่ารีเลย์ RY1 หยุดการทำงาน