	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

สาระสำคัญประจำหน่วย

ลำดับขั้นการเรียนรู้วิชาเครื่องเสียงเริ่มจากการมองเครื่องขยายเสียงจากภายนอก หน้าที่หลักของเครื่องขยายเสียง ศึกษาหน้าที่ของปุ่มปรับต่าง ๆ ขั้วต่ออินพุทและเอาท์พุท การต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ประกอบ เช่น ลำโพง เครื่องเล่น CD DVD TUNER TV เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ฯลฯ เป็นต้น แล้วศึกษาลงลึกลงไปสู่ส่วนประกอบหลักที่อยู่ภายในเครื่องขยายเสียง หน้าที่การทำงานของประกอบเหล่านั้น ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากการกระทำ โดยฝึกปฏิบัติ สร้างส่วนประกอบหลักที่อยู่ภายในเครื่องขยายเสียง เช่น วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (แหล่งจ่ายไฟ) วงจรเพาเวอร์แอมป์ วงจรโทนคอนโทรล และวงจรปรีแอมปลิฟายเออร์ สร้างแท่นเครื่องเสียงและประกอบลงแท่นเครื่องเสียง ประกอบตู้ลำโพง และท้ายที่สุดประเมินค่าโดยสรุปและประเมินผลงาน/ผลผลิตที่ได้

จุดประสงค์การสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1. สามารถสร้าง PCB วงจรเพาเวอร์แอมป์ได้ถูกต้อง (ด้านทักษะพิสัย)
2. สามารถประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ (ด้านทักษะพิสัย)
3. สามารถวัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ (ด้านทักษะพิสัย)
4. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีในการจัดเตรียม ใช้งาน รักษาความสะอาด และจัดเก็บ เครื่องขยายเสียงและอุปกรณ์ประกอบเครื่องขยายเสียง การใช้งานห้องปฏิบัติการ (ด้านจิตพิสัย)

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถสร้าง PCB วงจรเพาเวอร์แอมป์ (ด้านทักษะพิสัย)
2. สามารถประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุท (ด้านทักษะพิสัย)
3. วัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุท (ด้านทักษะพิสัย)
4. อธิบายการประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุทได้ถูกต้อง
5. อธิบายการวัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุทได้ถูกต้อง
6. ประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุทได้ถูกต้องตามแบบและใช้งานได้
7. วัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุทได้ถูกต้องตามแบบและตัดสินสภาพการทำงานได้
8. สามารถประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดัน (ด้านทักษะพิสัย)
9. วัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดัน (ด้านทักษะพิสัย)
10. สามารถประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุท (ด้านทักษะพิสัย)

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

11. วัดและปรับแต่งการทำงานวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุท (ด้านทักษะพิสัย)
12. สามารถวัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์ (ด้านทักษะพิสัย)
13. มีเจตคติที่ดีในการจัดเตรียม ใช้งาน รักษาความสะอาด และจัดเก็บ เครื่องขยายเสียง และอุปกรณ์ประกอบเครื่องขยายเสียง อย่างถูกต้อง เหมาะสม รอบครอบและปลอดภัย (ด้านจิตพิสัย)
14. แต่งกายในการปฏิบัติงานและใช้เครื่องมืออย่างถูกต้อง ปลอดภัย รักษาบรรยากาศที่ดีในการปฏิบัติงาน และรักษาความสะอาดพื้นที่ปฏิบัติงาน ถูกต้องตามกฎระเบียบการใช้ห้องปฏิบัติการได้ (ด้านจิตพิสัย)

สมรรถนะประจำหน่วย

1. อธิบายการสร้าง PCB วงจรเพาเวอร์แอมป์ได้ถูกต้อง
2. สร้าง PCB วงจรเพาเวอร์แอมป์ (จำนวน 2 ชุด) ได้ถูกต้องตามแบบและใช้งานได้
3. อธิบายการประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดันได้ถูกต้อง
4. อธิบายการวัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดันได้ถูกต้อง
5. ประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดันได้ถูกต้องตามแบบและใช้งานได้
6. วัดและทดสอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดันได้ถูกต้องตามแบบและตัดสินสภาพการทำงานได้
7. อธิบายการประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุทได้ถูกต้อง
8. อธิบายการวัดและปรับแต่งการทำงานวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุทได้ถูกต้อง
9. ประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุทได้ถูกต้องตามแบบและใช้งานได้
10. วัดและปรับแต่งการทำงานวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุทได้ถูกต้องตามแบบและตัดสินสภาพการทำงานได้
11. อธิบายการวัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์ได้ถูกต้อง
12. วัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์ได้

หัวข้อเรื่องและงาน

<u>ทฤษฎี</u>

หัวข้อเรื่อง หน่วยที่ 3	สอนครั้งที่
1. วงจรขยายกำลัง OT, OTL, OCL	5
2. วงจรขยายเสียงคลาส A, AB, B, C และ D	6

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

3. วงจรขยายแบบไดเร็กคัปปลิง	6
4. วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าและวงจรกลับเฟส	7
5. อัตราการขยายแรงดันและวงจรป้อนกลับ	8
6. บล็อกไดอะแกรมวงจรเพาเวอร์แอมป์	8
7. วงจรเพาเวอร์แอมป์ การทำงาน และการปรับแต่งวงจร	8
8. การประกอบวงจรวงจรเพาเวอร์แอมป์	9
9. เสถียรภาพเชิงความถี่และการชดเชยความถี่	9
10. วงจรป้องกันลำโพง	9
11. การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์	9

<u>ปฏิบัติ</u>

ใบงาน หน่วยที่ 3	สอนครั้งที่
1. สร้าง PCB วงจรเพาเวอร์แอมป์	5
2. ประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคอินพุทและวัดการทำงาน	6
3. ประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคขยายแรงดัน วัดและทดสอบการทำงาน	7
4. ประกอบวงจรเพาเวอร์แอมป์ภาคเอาท์พุทวัดและปรับแต่งการทำงาน	8
5. วัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์	9

<u>จิตพิสัย</u>

คุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม คุณลักษณะอันพึงประสงค์ และหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

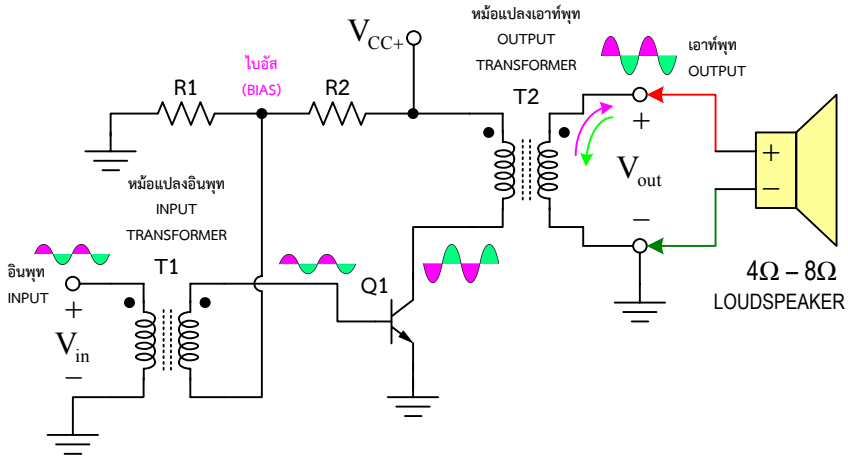
	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

บทนำ

วงจรเพาเวอร์แอมป์ เป็นส่วนหนึ่งของอินทริเกรตแอมปลิไฟเออร์ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากเอาท์พุทของวงจรปรีโทน แล้วนำมาขยายระดับของสัญญาณให้แรงขึ้นและขยายกำลังให้เพียงพอสำหรับขับลำโพง กำลังที่เอาท์พุทของเพาเวอร์แอมป์มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

3.1 วงจรขยายกำลัง OT, OTL, OCL

วงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิดเอาท์พุทแบบ Output Transformer (OT) ใช้ทรานสฟอร์เมอร์เอาท์พุทเป็นส่วนหนึ่งของวงจรเอาท์พุทของวงจรขยายกำลัง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบ Single Ended Class - A และแบบพุช - พูล (Push - Pull) ทำงานได้ทั้งแบบ Class A, B, AB ข้อดี คือ ประสิทธิภาพในการขยายสัญญาณดีเนื่องจากใช้หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ทำอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง แต่ในปัจจุบันความจำเป็นในเรื่องนี้น้อยมาก เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีราคาถูกลงอย่างมาก แต่ในทางตรงกันข้ามหม้อแปลงกลับมีราคาสูงขึ้น อีกทั้งยังสร้างให้มีคุณภาพเสียงได้ดีนั้นค่อนข้างยาก หม้อแปลงมีน้ำหนักมากต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมากอีกด้วย

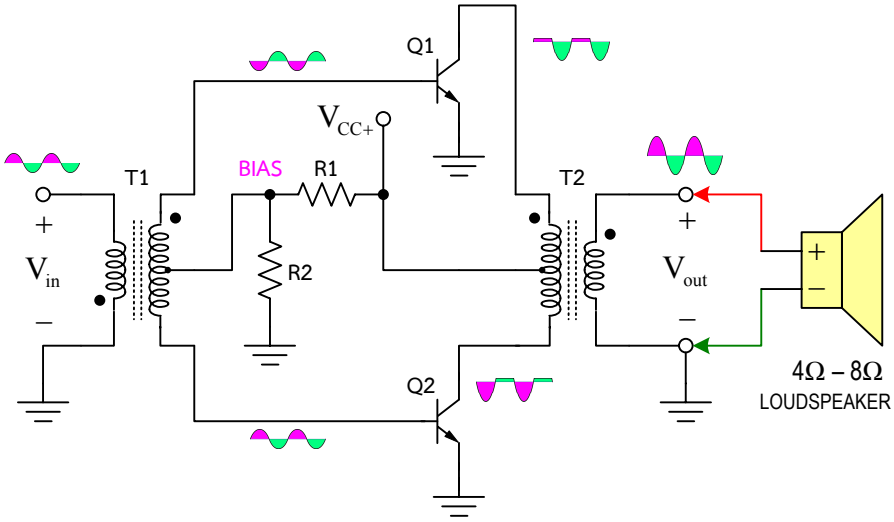


รูปที่ 3.1 วงจรขยายกำลังแบบ OT แบบ Single Ended Class - A

แบบแบบ Single Ended Class – A นั้นมีประสิทธิภาพกำลังงานไฟฟ้าต่ำมาก ส่วนแบบพุช - พูล (Push - Pull) เป็นแบบที่สามารถเลือกประสิทธิภาพกำลังงานได้โดยเลือกจากการไบอัสวงจรเป็น Class A, B, AB ตามที่ต้องการ วงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิด OT นี้ใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟเดี่ยว

วงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิด OT ใช้ทรานสฟอร์เมอร์เอาท์พุททำหน้าที่อิมพีแดนซ์แมทชิ่งดังนั้นทางอุดมคติสามารถเลือกออกแบบกำลังสูงสุดของวงจรเพาเวอร์แอมป์ได้ทุกขนาดแหล่งจ่ายและโหลด

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

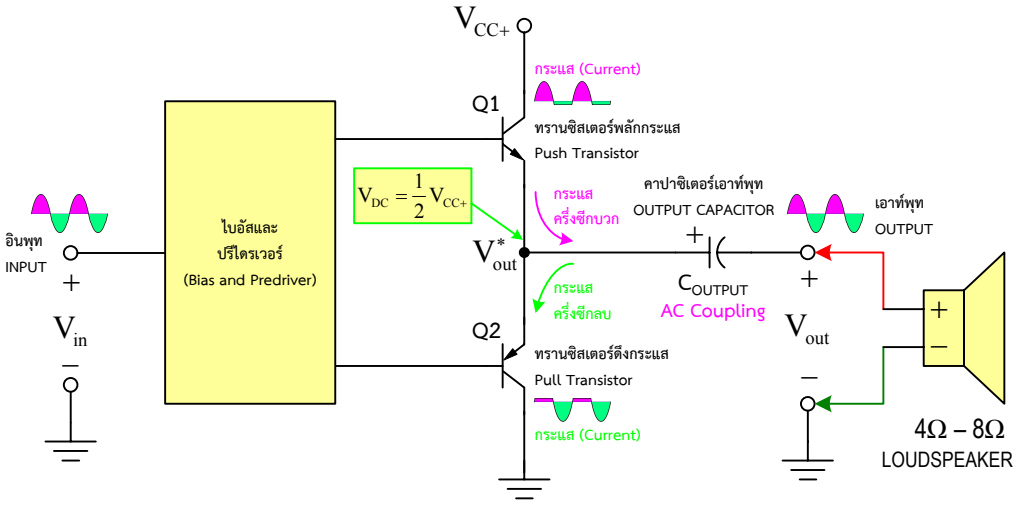


รูปที่ 3.2 วงจรขยายกำลังแบบ แบบพุช - พูล (Push - Pull)

วงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิดเอาท์พุทแบบ Output Transformerless (OTL) เป็นแบบไม่ใช้ทรานสฟอร์เมอร์เอาท์พุทเป็นส่วนหนึ่งของวงจรเอาท์พุทของวงจรขยายกำลัง มีเฉพาะแบบพุช - พูล (Push - Pull) เท่านั้น สามารออกแบบให้วงจรไบอัสให้ทำงานได้ทั้งแบบ Class A, B, AB แต่ต้องมีคาปาซิเตอร์เอาท์พุท (Output Capacitor) ต่ออนุกรมกับเอาท์พุทภายในกับเอาท์พุทภายนอกออกลำโพง วงจรทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟเดี่ยว และที่จุดเอาท์พุทภายใน (ก่อนผ่าน C) ขณะไม่มีการขยายสัญญาณมีแรงดันดีซีเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่ายไฟ ข้อดีคือไม่ต้องใช้หม้อแปลงเอาท์พุททำให้มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาขึ้น มีราคาลดลง ข้อเสียคาปาซิเตอร์เอาท์พุทจะเป็นลดทอนสัญญาณที่ความถี่ต่ำ ดังนั้นหากต้องการให้ได้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านออกไปสู่เอาท์พุทลำโพงได้ดีขึ้นต้องใช้คาปาซิเตอร์ที่มีค่าความจุสูงขึ้น การมีคาปาซิเตอร์เอาท์พุทมีข้อดีอีกข้อคือหากวงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิด OTL นี้เสียหาย ก็จะไม่มีไฟตรงออกที่เอาท์พุทลำโพง ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีวงจรป้องกันลำโพง

วงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิดเอาท์พุทแบบ Output Capacitorless (OCL) เป็นแบบไม่ใช้คาปาซิเตอร์เอาท์พุทเป็นส่วนหนึ่งของวงจรเอาท์พุทของวงจรขยายกำลัง นั่นคือเอาท์พุทภายในต่อตรงเป็นเอาท์พุทลำโพง มีเฉพาะแบบพุช - พูล (Push - Pull) เท่านั้น สามารออกแบบให้วงจรไบอัสให้ทำงานได้ทั้งแบบ Class A, B, AB วงจรต้องทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟคู่เท่านั้น โดยปกติจะใช้แหล่งจ่ายไฟซีกบวก – ซีกลบ ด้วยขนาดที่เท่ากัน ข้อดีจากการที่เอาท์พุทลำโพงต่อตรงหรือเป็นแบบไดเร็กคัปปลิงทำให้ทำงานได้ในย่านความถี่กว้างกว่า ผ่านเสียงความถี่ต่ำได้ดีที่สุด และน่าจะให้เสียงดีที่สุด ข้อเสียเนื่องจากเป็นไดเร็กคัปปลิง หากวงจรเพาเวอร์แอมป์ชนิด OCL นี้เสียหาย ก็จะไม่มีไฟตรงออกที่เอาท์พุทลำโพง ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีวงจรป้องกันลำโพง

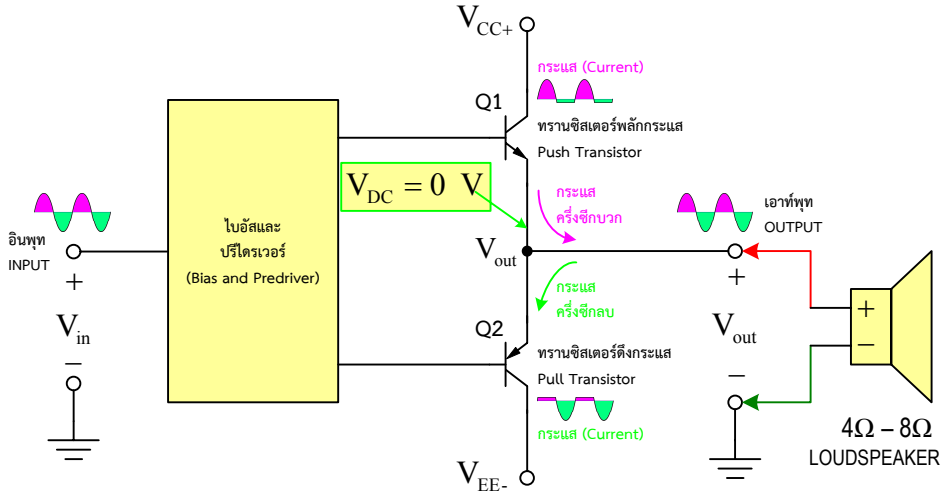
	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง



รูปที่ 3.3 วงจรขยายกำลังแบบ OTL

กำลังสูงสุดของวงจรเพาเวอร์แอมป์ขึ้นอยู่กับแบบของภาคเอาท์พุท (OTL หรือ OCL) และขนาดของแรงดันเพาเวอร์ซัพพลาย โดยที่แบบ OTL จะมีกำลังสูงสุดเป็นหนึ่งในสี่ของแบบ OCL

กำลังวัตต์สูงสุดทางด้านเอาท์พุท OTL; $$P_{OUT,OTL(max)} = \left(\frac{1}{4}\right) \times \frac{V_{CC}^2}{2 \times R_L} \qquad (3.1)$$



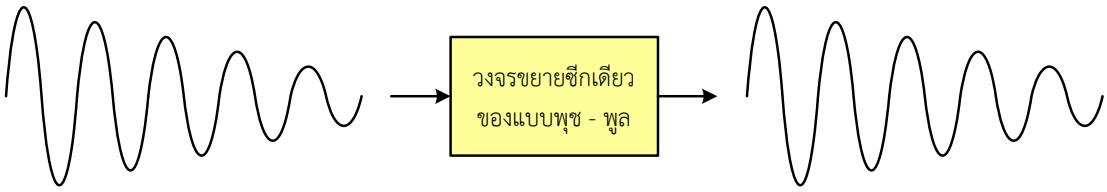
รูปที่ 3.4 วงจรขยายกำลังแบบ OCL

กำลังวัตต์สูงสุดทางด้านเอาท์พุท OCL; $$P_{OUT,OCL(max)} = \frac{V_{CC}^2}{2 \times R_L} \qquad (3.2)$$

การทำงานพุช – พูล (Push - Pull) คือการทำงานแบบมีอุปกรณ์แอกทีปสองชุด ชุดแรกทำงานกับสัญญาณซีกบวกเป็นหลัก อีกชุดหนึ่งทำงานกับสัญญาณซีกลบเป็นหลัก แล้วสลับกันทำงาน กรณีเป็นไบอัสแบบ Class B แต่หากสลับกันทำงานโดยมีช่วงทำงานไปด้วยกันบางช่วงเป็นไบอัสแบบ Class AB แต่หากทำงานไปด้วยกันตลอดเวลาเป็น Class A พูดได้ว่าเป็นวงจรแบบผลักกระแสออกไปสู่เอาท์พุท์และดึงกระแสจากเอาท์พุทเข้ามา หรือวงจรแบบ “ผลัก - ดึง” กระแส

3.2 วงจรขยายเสียงคลาส A, AB, B, C และ D

วงจรเพาเวอร์แอมป์คลาส A, B, AB และ C ทำได้โดยจัดการไบอัสให้อุปกรณ์แอกทีปทำงานด้วยกระสภาวะ Idle เป็นค่าต่าง ๆ กัน หากให้กระแส Idle = ครึ่งหนึ่งของกระแสโหลดสูงสุด เป็นวงจรเพาเวอร์แอมป์คลาส A และจะเห็นว่าที่เอาท์พุทขยายสัญญาณได้ครบทั้งสองซีก ดังรูปที่ 3.5

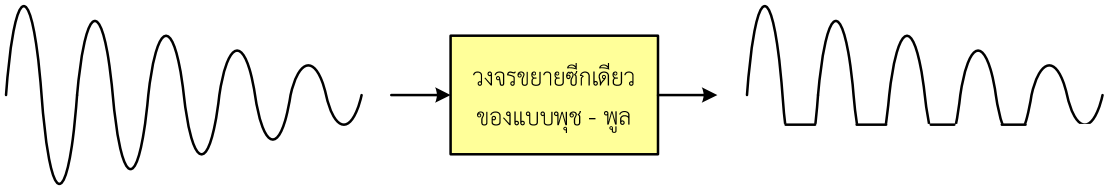


รูปที่ 3.5 วงจรขยายเสียง Class - A

หากให้กระแส Idle = 0 เป็นอุดมคติของ วงจรเพาเวอร์แอมป์คลาส B จะเห็นว่าขยายสัญญาณเพียงซีกเดียว ดังนั้นหากต้องการให้ครบทั้งสองซีกจะต้องเป็นวงจรแบบพุช-พูล ดังรูปที่ 3.6

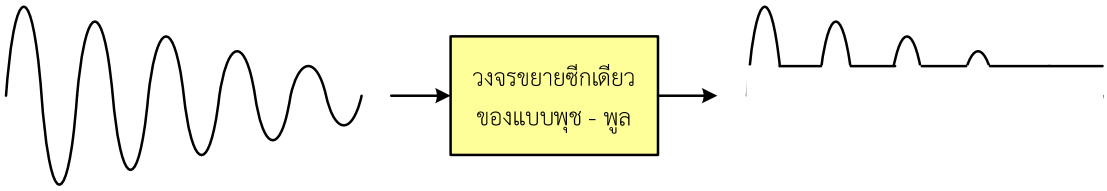
รูปที่ 3.6 วงจรขยายเสียง Class - B

หากให้กระแส Idle = 2% ถึง 5% ของกระแสโหลดสูงสุด เป็นวงจรเพาเวอร์แอมป์คลาส AB จะเห็นว่าขยายสัญญาณซีกหนึ่งครบอีกซีกหนึ่งมีระดับต่ำ แต่หากระดับสัญญาณที่ใช้งานอยู่ในระดับต่ำเพียงพอจะได้เอาท์พุทขยายสัญญาณได้ครบทั้งสองซีกเช่นเดียวกับกับแบบ Class แต่หากระดับสัญญาณแรงพอจะให้สัญญาณเอาท์พุทคล้ายกับแบบ Class – B ดังนั้นหากต้องการให้ครบทั้งสองซีกจะต้องเป็นวงจรแบบพุช-พูล และการจัดไบอัสแบบ Class - AB นี้จะช่วยลดความเพี้ยนที่รอยต่อสัญญาณแต่ละซีกลง หรือเรียกว่าลดครอสโอเวอร์ดิสทอร์ทชั่น (Cross – over distortion) ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรขยายเสียง Class - AB

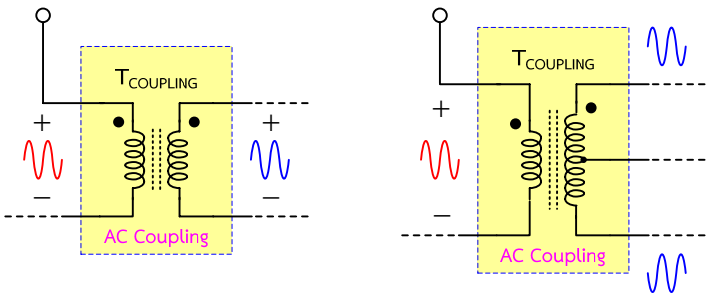
หากให้ไบอัสรีเวอร์ส (Reverse bias) กับอุปกรณ์แอกทีป จะทำให้อุปกรณ์แอกทีปยังไม่พร้อมที่จะทำงาน และให้กระแส Idle = 0 อีกด้วย และอุปกรณ์แอกทีปจะถึงระดับทำงานได้ต้องป้อนสัญญาณที่อินพุทให้แรงเพียงพอจนถึงระดับจุดทำงาน จึงจะขยายสัญญาณออกไปที่เอาท์พุทได้ ดังนั้นที่ระดับสัญญาณอินพุทเบา ๆ จะไม่มีสัญญาณปรากฏที่เอาท์พุท และหากสัญญาณอินพุทแรงพอจะได้สัญญาณบางส่วนของซีกหนึ่งขยายไปปรากฏที่เอาท์พุท ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขยายเสียง Class - C

3.3 วงจรขยายแบบไดเร็กคัปปลิง

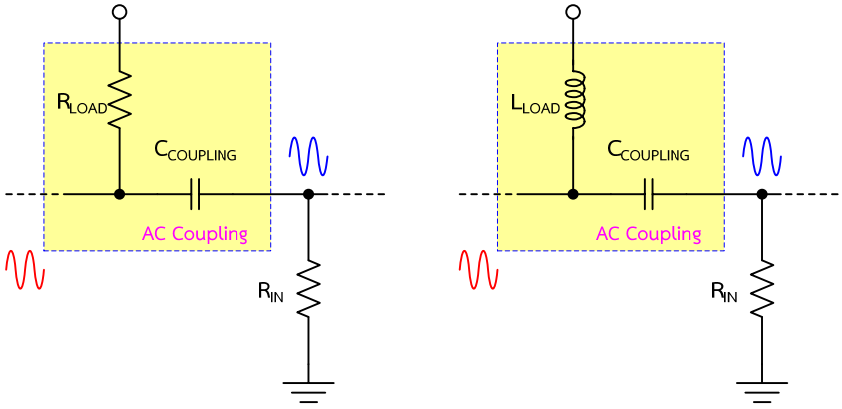
การต่อเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างวงจรย่อยหรือวงจรใด ๆ มีดังต่อไปนี้ แบบใช้หม้อแปลงใช้เป็นแมชชิงไปในตัว ไม่มีผลกระทบต่อการไบอัสกับวงจรทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 3.9



(ก) (ข)

รูปที่ 3.9 การคัปปลิงสัญญาณด้วยหม้อแปลง (ก) แบบไม่มีแท็ป (ข) แบบมีเซ็นเตอร์แท็ป

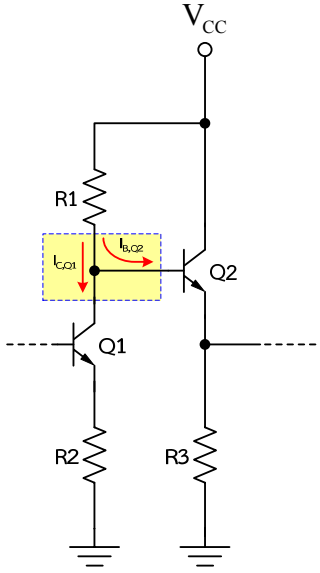
แบบใช้การคัปปลิงด้วยคาปาซิเตอร์ มีทั้งแบบ RC และแบบ LC ไม่มีผลกระทบต่อการไบอัสกับวงจรทั้งสองด้าน เนื่องจากคาปาซิเตอร์ทำงานกั้นไฟตรง (DC Block) และเชื่อโยงทางเอซี (AC Coupling) ดังรูปที่ 3.10



(ก) (ข)

รูปที่ 3.10 การคัปปลิงด้วยคาปาซิเตอร์ (ก) แบบ RC (ข) แบบ LC

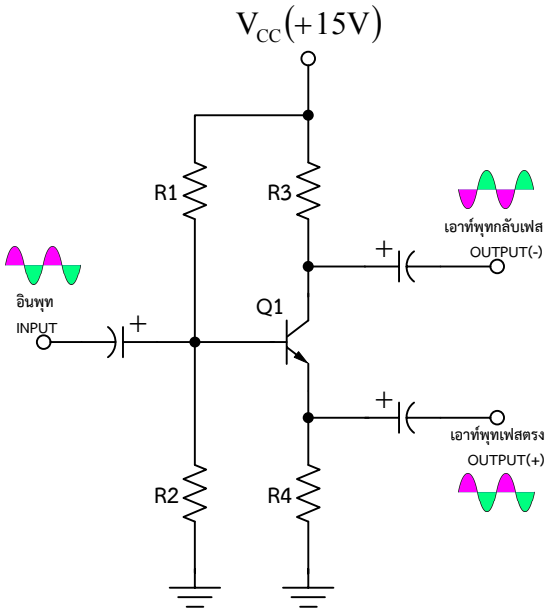
แบบใช้ไดเร็กคัปปลิงหรือแบบต่อตรง ทำให้มีผลกระทบต่อการไบอัสกับวงจรทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 3.11



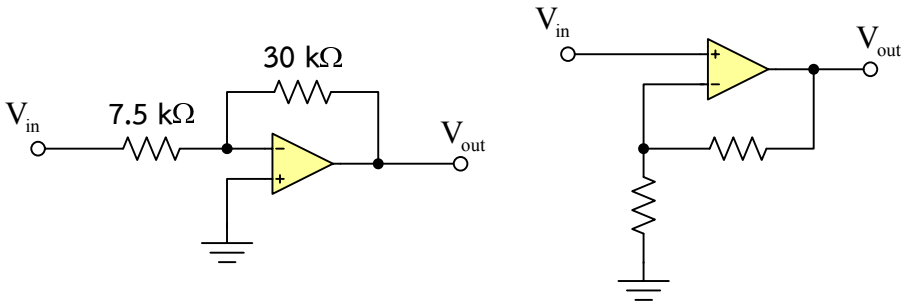
รูปที่ 3.11 การคัปปลิงสัญญาณแบบไดเร็กการคัปปลิง

3.4 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าและวงจรกลับเฟส

วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าแบบไม่กลับและแบบกลับเฟส หมายถึงเฟสของสัญญาณแรงดันเอาท์เทียบกับแรงดันอินพุท หากเฟสของสัญญาณเอาท์ตรงกับอินพุทเรียกว่าแบบไม่กลับเฟส และหากมีเฟสกลับกันกลับอินพุทเรียกว่าแบบกลับเฟส บางวงจรจะให้เอาท์ออกมาทั้งแบบกลับเฟสและไม่กลับเฟสในตัว เรียกวงจรแบบนี้ว่าวงจรแยกเฟส (Phase splitter) ดังรูปที่ 3.12 และแยกวงจรขยายสัญญาณทำงาน โดยใช้ออปแอมป์ ดังรูปที่ 3.13 (ก) แบบกลับเฟส (ข) แบบไม่กลับเฟส



รูปที่ 3.12 วงจรแยกเฟส (Phase splitter)

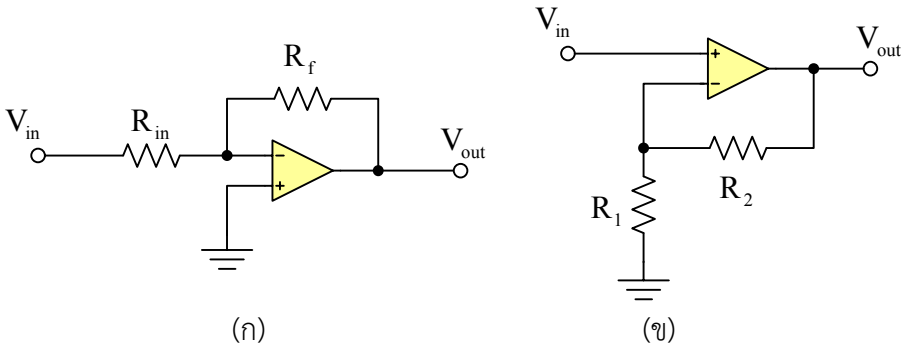


(ก) (ข)

รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณใช้ออปแอมป์ (ก) แบบกลับเฟส (ข) แบบไม่กลับเฟส

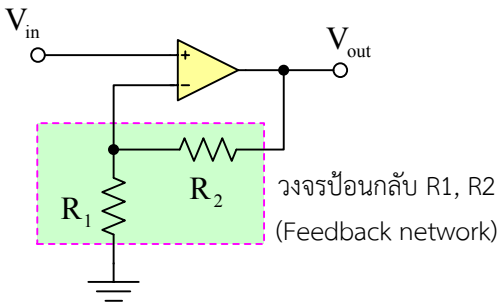
3.5 อัตราการขยายแรงดันและวงจรป้อนกลับ

วงจรขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสร้างจากอุปกรณ์แอกทีปร่วมกับอุปกรณ์พาสซีพสำหรับจัดวงจรแบบต่าง ๆ การออกแบบวงจรขยายแบบลูปเปิด (Open loop) ให้มีอัตราการขยายแรงดันสูงนั้น ในปัจจุบันอุปกรณ์แอกทีปหาได้ง่ายและราคาถูก จึงไม่เป็นปัญญาหาในการออกแบบ แต่ปัญหาในการออกแบบที่ยังคงมีอยู่คือ การออกแบบวงจรขยายหลายภาค (Multi stage) ให้มีอัตราการขยายแรงดันตรงตามที่ต้องการใช้งานนั้นออกแบบได้ยากกว่าและเสียเวลามากกว่า



รูปที่ 3.14 วงจรศึกษาอัตราขยายแรงดัน (ก) แบบกลับเฟส (ข) แบบไม่กลับเฟส

จึงเลือกออกแบบวงจร ขยายแบบลูปเปิด (Open loop) ให้มีอัตราการขยายแรงดันสูงแล้วใช้เทคนิคของการป้อนกลับเพื่อลดอัตราการขยาย ให้มีค่าตามที่ต้องการได้โดยใช้รีซิสเตอร์เพียงสองตัวเป็นหลักเท่านั้น มาเป็นตัว กำหนดอัตราการของวงจรป้อนกลับที่ได้ ข้อดีของวงจรป้อนกลับคือ ได้อัตราขยายคงที่โดยขึ้นกับวงจรป้อนกลับ ลดน๊อยส์ ลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รอยต่อสองซีก (Cross over distortion) เพิ่มแบนวิดท์ ดังรูปที่ 3.14 และ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรศึกษาอัตราขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟสและแสดงให้เห็นส่วนของวงจรป้อนกลับ

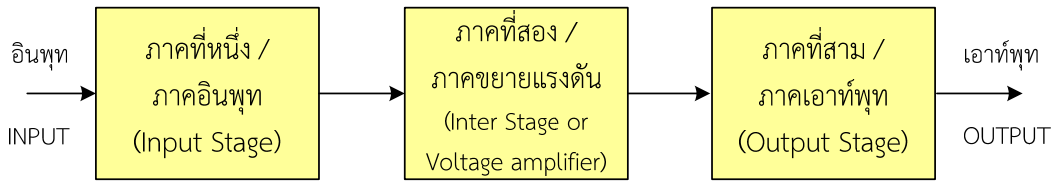
อัตราขยายแรงดันของวงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส และแบบไม่กลับเฟส ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานควบคุมอัตราการป้อนกลับให้กับวงจรขยายพื้นฐาน ดังสูตรหาอัตราการขยายแรงดัน

อัตราขยายแรงดันวงจรขยายกลับเฟส; $$A_V = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3.3)$$

อัตราขยายแรงดันวงจรขยายไม่กลับเฟส; $$A_V = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \quad (3.4)$$

3.6 บล็อกไดอะแกรมวงจรเพาเวอร์แอมป์

วงจรเพาเวอร์แอมป์ แบ่งการทำงานออกได้เป็น 3 ภาค หลัก ๆ ดังนี้ ภาคที่หนึ่ง / ภาคอินพุท ทำหน้าที่ขยายขยายสัญญาณผลต่างของสัญญาณอินพุทกับสัญญาณป้อนกลับ ภาคที่สอง / ภาคขยายแรงดัน ทำหน้าที่ให้อัตราการขยายแรงดันสูงและแรงดันเอาท์พุทสวิงสูงถึงพิกัดแหล่งจ่ายไฟ ภาคที่สาม / ภาคเอาท์พุท ทำหน้าที่ให้อัตราการขยายแรงดันประมาณหนึ่งเท่าและอัตราการขยายกระแสสูง สำหรับใช้ขับโหลดลำโพง ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องขยายเสียง

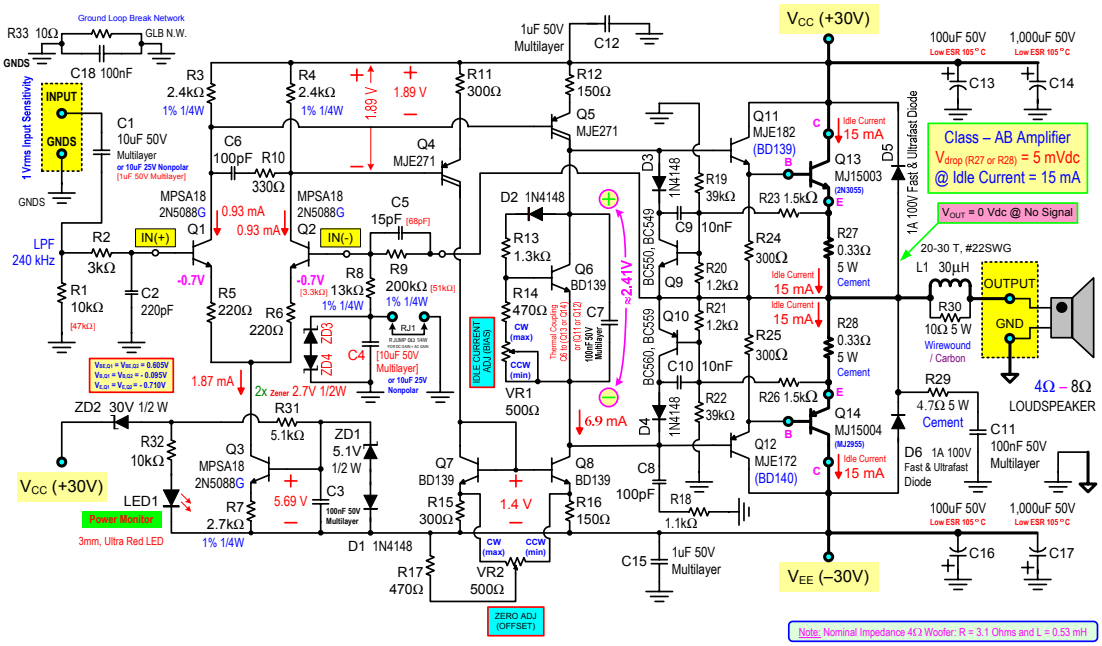
3.7 วงจรเพาเวอร์แอมป์ การทำงาน และการปรับแต่งวงจร

วงจรที่ใช้เรียนรู้เป็นวงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แบ่งออกเป็น 3 ภาค คือ (1) ภาคที่หนึ่ง/ภาคอินพุท (2) ภาคที่สอง/ภาคขยายแรงดัน และ (3) ภาคที่สาม/ภาคเอาท์พุท

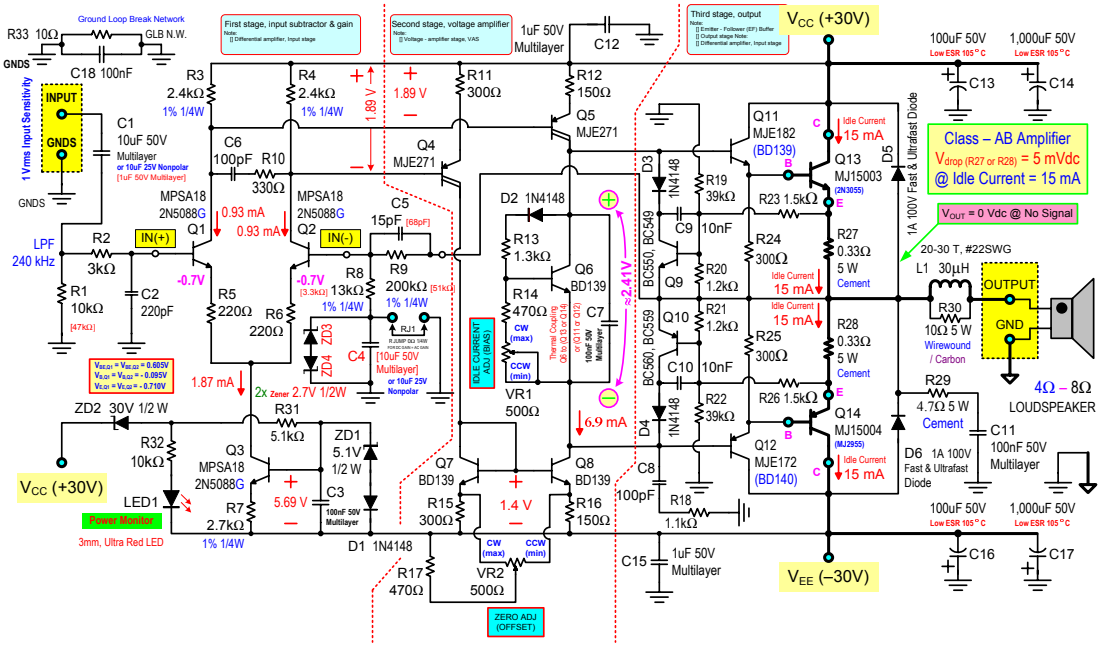
3.7.1 ภาคที่หนึ่ง / ภาคอินพุท

ภาคอินพุทเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ Q1 และ Q2 ทำงานขยายสัญญาณผลต่าง ทำงานร่วมกับ Q3 ทำหน้าที่จ่ายกระแสคงที่ (Constant Current Source) โดยได้รับแรงดันคงที่จากเรกูเลเตอร์แบบขนาน (Shunt regulator) จาก ZD1 และ D1 ร่วมกับตัวต้านทานอนุกรม R31 โดยมี ZD2 ทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันถึงระดับทำงาน ช่วยลดเสียงตุ๊บ (“Pop” noise) ออกลำโพงเมื่อเปิด – ปิด ไฟ

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

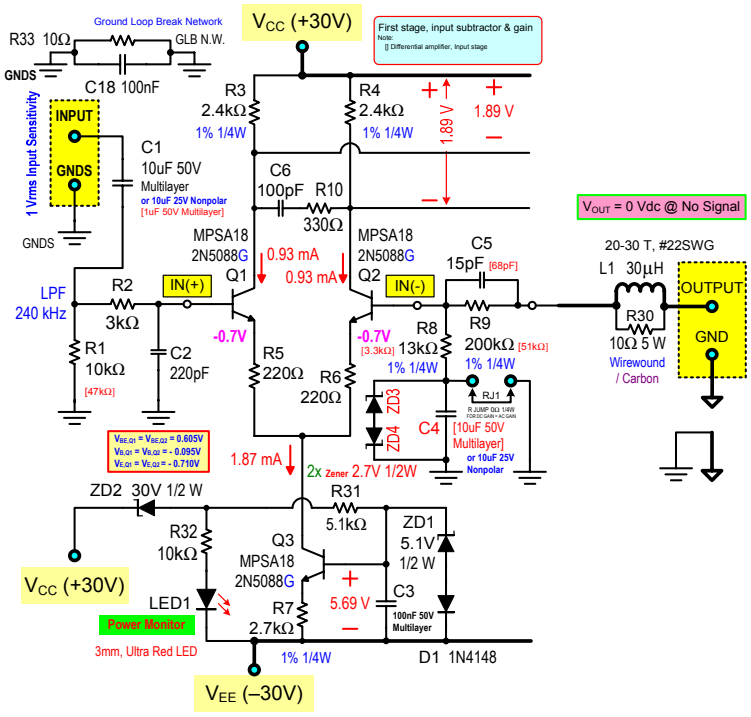


รูปที่ 3.17 วงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แสดงวงจรครบสมบูรณ์

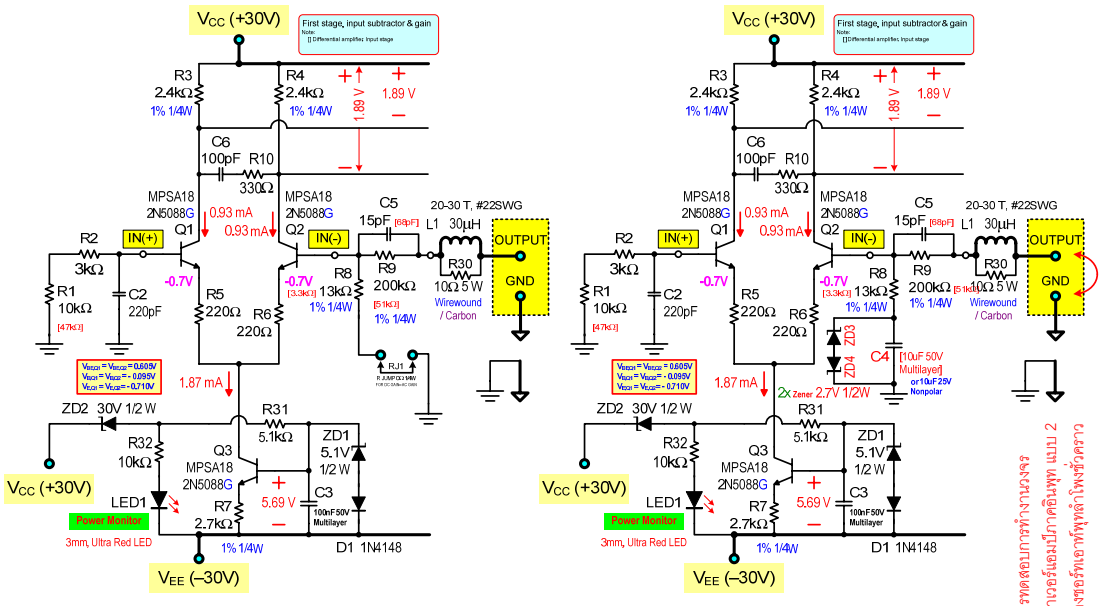


รูปที่ 3.18 วงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แสดงวงจรแบ่งเป็น 3 ภาค (Stage)

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง



รูปที่ 3.19 วงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แสดงวงจรภาคที่หนึ่ง / ภาคอินพุท

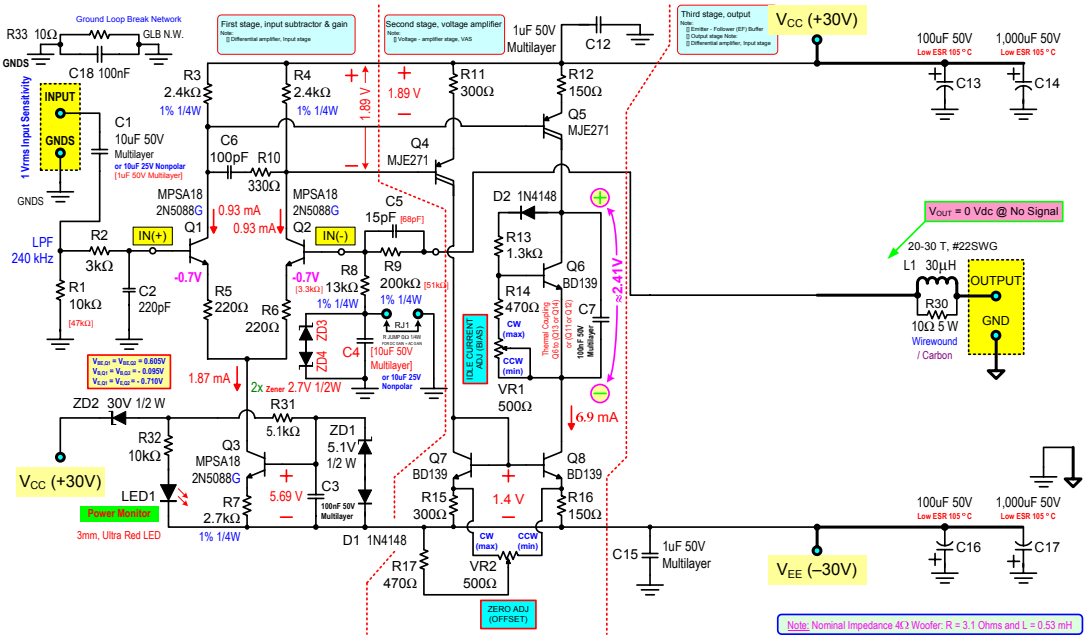


รูปที่ 3.20 วงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แสดงวงจรภาคที่หนึ่ง / ภาคอินพุท แบบที่ 1 และแบบที่ 2

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

3.7.2 ภาคที่สอง / ภาคขยายแรงดัน

ภาคขยายแรงดันทำหน้าที่ขยายแรงดัน โดยมีอัตราการขยายแรงดันสูงและแรงดันเอาท์พุทสวิงสูงถึงพิกัดแหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ขับแรงดันภาคเอาท์พุท ประกอบด้วย Q4 ถึง Q8 โดยที่ Q6 ทำงานร่วมกับอุปกรณ์รอบข้างและ VR1 ทำงานเสมือนเป็น Zener Diode แบบปรับค่าแรงดันได้ ใช้ปรับแรงดันไบอัสประมาณ 2.41 V เพื่อปรับกระแส Idle ของภาคเอาท์พุทให้ไหลประมาณ 15mA พร้อมทั้งวงจรขยาย Class - A Push – Pull จาก Q5 กับ Q8 โดยมีตัวปรับการขับสมมาตร VR2 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันเอาท์พุทดีซี (Zero Adj) ออกลำโพงให้ได้ 0 V (ในขณะไม่ป้อนสัญญาณอินพุท และไม่ต่อลำโพง)



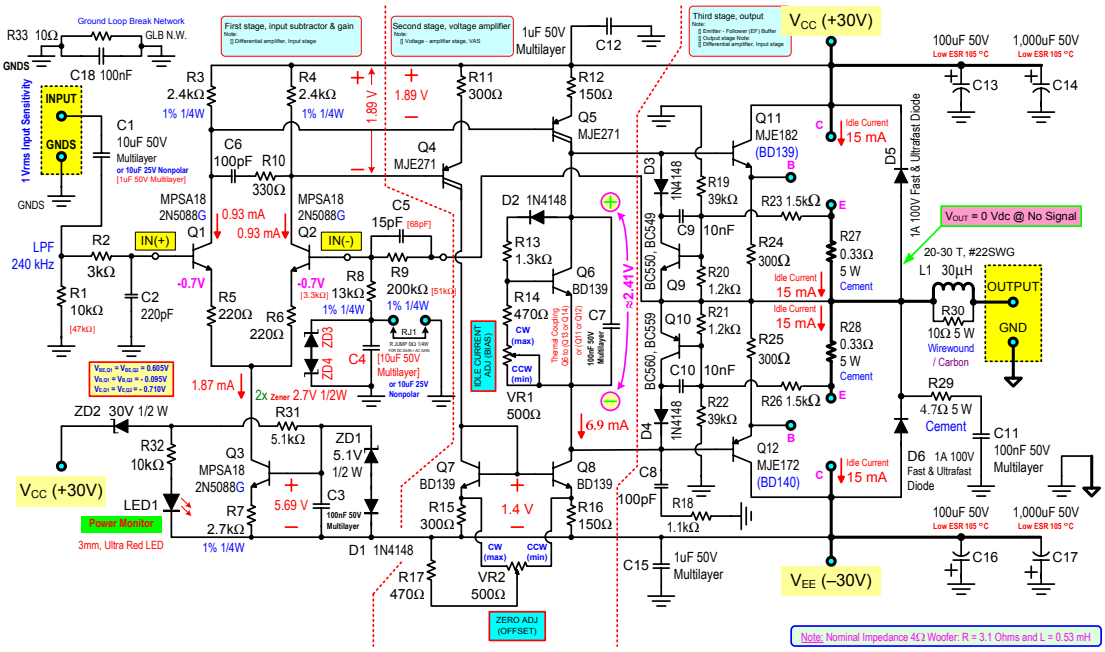
รูปที่ 3.21 วงจรวงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แสดงวงจรภาคที่หนึ่ง/ภาคอินพุท และภาคที่สอง / ภาคขยายแรงดัน

3.7.3 ภาคที่สาม / ภาคเอาท์พุท

ภาคเอาท์พุททำหน้าที่ขยายกระแส และทำให้ได้อัตราการขยายกำลังสำหรับขับโหลดลำโพง โดยมี Q9 และ Q10 ทำหน้าที่เป็นวงจรป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มิให้เสียหายจากการถูกชอร์ทเอาท์พุทขับลำโพง Q11 และ Q12 เป็นปรีไดรเวอร์สำหรับขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q13 และ Q14 ตามลำดับ โดยคู่ Q11 ขับ Q13 และ คู่ Q12 ขับ Q14 เรียกว่าวงจรแบบทรานซิสเตอร์ดาร์ลิงตัน จะได้อัตราการขยายกระแสรวมประมาณ $\beta_T \cong \beta_1 \times \beta_2$ และการทำงานแบบเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ดาร์ลิงตันชนิด NPN คู่กับชนิด PNP นี้เรียกว่าวงจรขยายคอมพลีเมนทารี่ซิมเมตรี่หรือวงจรแบบคู่

	เอกสารประกอบการเรียนการสอน	หน่วยที่ 3
	เรื่อง วงจรเพาเวอร์แอมป์	รหัสวิชา 2105-2008
	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556	ชื่อวิชา เครื่องเสียง

ประกอบสมมาตร [Complementary symmetry (push-pull) amplifier] แต่หากใช้กับภาคเอาท์พุทที่ได้จากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกัน นั่นคือจะมีซีกหนึ่งเป็นเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ดาร์ลิงตัน และอีกซีกหนึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ฟีดแบคแพร์ ซิสเตอร์ฟีดแบคแพร์ได้จากทรานซิสเตอร์ต่างชนิดกันมาขับกัน (NPN ขับ PNP ได้ NPN และ PNP ขับ NPN ได้ PNP) ได้อัตราการขยายกระแสรวมประมาณ $\beta_T \cong \beta_1 \times \beta_2$ ภาคเอาท์พุทที่ใช้ซีกหนึ่งเป็นเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ดาร์ลิงตันทำงานคู่กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ฟีดแบคแพร์ เรียกว่าวงจรขยายกำลังแบบควอซี่คอมพลีเมนทารี่หรือวงจรแบบคู่ประกอบกึ่งสมมาตร (Quasi-complementary symmetry amplifier)



รูปที่ 3.22 วงจรเพาเวอร์แอมป์ รุ่น 2016-L3 ขนาด 30 วัตต์ แสดงวงจรทั้ง 3 ภาค แต่ยังไม่ได้ประกอบเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

ปรับกระแส Idle ของภาคเอาท์พุทให้ไหลประมาณ 15mA ด้วย VR1 โดยที่ในทางปฏิบัตินิยมวัดกระแสในรูปของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรม วัดแรงดันดีซีตกคร่อม R27 และ/หรือ R28 .ได้ประมาณ 5mV และใช้ VR2 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันเอาท์พุทดีซี (Zero Adj) ออกลำโพงให้ได้ 0 V (ในขณะไม่ป้อนสัญญาณอินพุท และไม่ต่อลำโพง)

3.8 การประกอบวงจรวงจรเพาเวอร์แอมป์

ในทางปฏิบัติ ให้ประกอบวงจรให้ลงแผ่น PCB ให้สมบูรณ์ทั้งหมด เพียงแต่เว้นยังไม่ประกอบเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เข้ากับ PCB ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ปรับกระแส Idle ในทิศทางที่จะทำให้ได้กระแสต่ำสุด และใช้ VR2 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันเอาท์พุทดีซี (Zero Adj) ออกลำโพงให้ได้ 0 V (ในขณะไม่ป้อนสัญญาณอินพุท และไม่ต่อลำโพง)

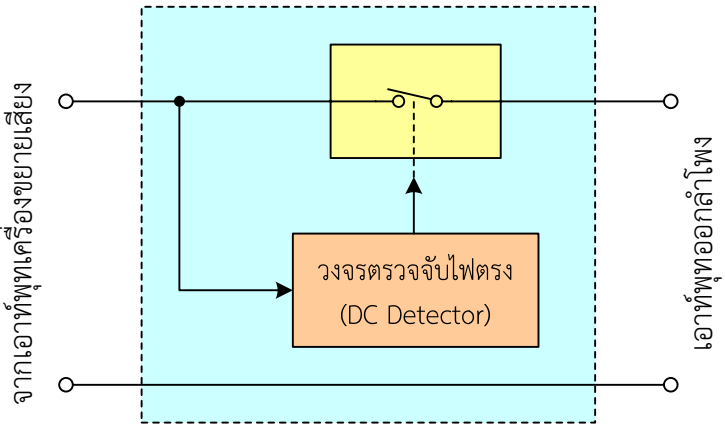
จากนั้นประกอบประกอบเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เข้ากับ PCB ดังแสดงในรูปที่ 3.17 หรือ 3.18 ปรับกระแส Idle ของภาคเอาท์พุทให้ไหลประมาณ 15mA ด้วย VR1 โดยที่ในทางปฏิบัตินิยมวัดกระแสในรูปของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรม วัดแรงดันดีซีตกคร่อม R27 และ/หรือ R28 .ได้ประมาณ 5mV และใช้ VR2 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันเอาท์พุทดีซี (Zero Adj) ออกลำโพงให้ได้ 0 V (ในขณะไม่ป้อนสัญญาณอินพุท และไม่ต่อลำโพง) แล้วทดสอบเสียง

3.9 เสถียรภาพเชิงความถี่และการชดเชยความถี่

จากความนิยมออกแบบวงจร ขยายแบบลูปเปิด (Open loop) ให้มีอัตราการขยายแรงดันสูง แล้วใช้เทคนิคของการป้อนกลับเพื่อลดอัตราการขยาย ให้มีค่าตามที่ต้องการได้โดยใช้รีซิสเตอร์เพียงสองตัวเป็นหลักเท่านั้น มาเป็นตัว กำหนดอัตราการของวงจรป้อนกลับที่ได้ ข้อดีของวงจรป้อนกลับคือ ได้อัตราขยายคงที่โดยขึ้นกับวงจรป้อนกลับ ลดน๊อยส์ ลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รอยต่อสองซีก (Cross over distortion) เพิ่มแบนวิดท์ ซึ่งเป็นข้อดีของวงจรขยายแบบป้อนกลับ ส่วนข้อเสียการป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) คือหากป้อนกลับปริมาณมากถึงจุดหนึ่งวงจรขยายจะไม่มีเสถียรภาพเชิงความถี่เกิดออสซิเลทต่อเนื่องได้เอง นั่นคือวงจรขยายจะกลายเป็นวงจรออสซิสเลเตอร์ แต่หากปริมาณการป้อนกลับลงอีกหน่อยวงจรจะหยุดการออสซิเลทต่อเนื่องลง แต่ในการขยายสัญญาณวงจรจะไม่ราบเรียบ โดยวงจรจะให้อัตราขยายที่ความถี่สูง ๆ มากกว่าที่ความถี่ปานกลางเรียกว่าวงจรมีเสถียรภาพไม่ค่อยดี จะต้องลดปริมาณการป้อนกลับลงอีกจึงจะมีเสถียรภาพดี แต่หากมีความต้องการที่จะต้องป้อนกลับปริมาณมากๆ เราสามารถแก้ปัญหาการขาดเถียรภาพ/การมีเสถียรภาพน้อยได้โดย “การชดเชยความถี่” ซึ่งคือวิธีการ ลดอัตราขยายที่ความถี่สูงลง หรือการเลื่อนเฟสที่ความถี่สูงให้ล้ำหน้ามากขึ้น หรือทำทั้งสองอย่างพร้อม ๆ กัน วงจรในรูปที่ 3.17 หรือ 3.18 มี R8 และ R9 ทำหน้าที่เป็นวงจรป้อนกลับเพื่อกำหนดอัตราขยายที่ต้องการ โดยมี C15 ทำงานร่วมกับ R8 และ R9 ทำงานเป็นวงเชยเชยความถี่แบบเฟสล้ำหน้า (Phase lead compensation)

3.10 วงจรป้องกันลำโพง

วงจรป้องกันลำโพงทำหน้าที่ตัดไฟตรงที่ออกจากเอาท์พุทของวงจรเพาเวอร์แอมป์ มิให้ออกไปที่ลำโพง จากความผิดปกติ/เสียหายของวงจรเพาเวอร์แอมป์ เพื่อป้องกันมิให้ลำโพงเสียหายจากไฟตรงนี้ หลักการทำงานของวงจรป้องกันลำโพงคือมีวงจรตรวจจับไฟตรงหากมีระดับถึงขีดที่กำหนดในระยะเวลาหนึ่ง วงจรจะส่งสัญญาณตัดรีเลย์ที่ทำหน้าที่ต่อเอาท์พุทของวงจรเพาเวอร์แอมป์ไปยังลำโพงออกทันที นอกจากนั้นยังมีหน้าที่เสริมใช้ป้องกันเสียงตุ๊บ (“Pop” noise) ออกลำโพง โดยหน่วงเวลาต่อลำโพงเมื่อเปิดเครื่อง และตัดลำโพงทันทีเมื่อปิดเครื่องอีกด้วย



รูปที่ 3.23 ไดอะแกรมการทำงานชุดป้องกันลำโพง

3.11 การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรเพาเวอร์แอมป์

เพื่อใช้วัดหาคุณสมบัติของวงจรขยายเสียง ทั้งการทำงานเชิงไบอัส และเชิงความถี่

3.11.1 คุณลักษณะการตอบสนองความถี่

ทดสอบด้วยสัญญาณไซน์เวฟ โดยอินพุทแปรความถี่ทดสอบจากต่ำสุดถึงสูงสุด ทดสอบเสถียรภาพเชิงความถี่ด้วยสัญญาณสแควร์เวฟ ผลตอบสนองที่ดีที่สุด จะต้องไม่เกิดการออสซิลเลทต่อเนื่อง ผลตอบสนองเร็วที่สุดและมี Overshoot หรือ Ringing ต่ำที่สุด ทดสอบด้วยโหลดตามที่ระบุ

3.11.2 กำลังวัตต์

ทดสอบด้วยสัญญาณไซน์เวฟ ด้วยความถี่ที่ระบุปกติเป็นความถี่ 1 kHz หรือความถี่อื่นด้วยโหลดตามที่ระบุ ให้ได้สัญญาณที่เอาท์พุทมีขนาดสูงที่สุดก่อนคลิป วัดแรงดันและคำนวณร่วมกับค่าความต้านทานโหลดจะได้เป็น กำลังวัตต์สูงสุดแบบต่อเนื่อง เรียกว่าวัตต์แบบอาร์เอ็มเอส (RMS)

กำลังวัตต์ RMS;
$$P_{OUT(max)} = \frac{V^2_{OUT(rms)}}{R_{LOAD}} \qquad (3.5)$$

3.11.3 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์

คือค่าความต้านทานเอซีของด้านอินพุทของวงจรเพาเวอร์แอป์ ปกติเป็นความถี่ 1 kHz วัดหาได้ด้วยอิมพีแดนซ์มิเตอร์ หรือทดสอบด้วยสัญญาณไซน์เวฟ ด้วยความถี่ที่ระบุปกติเป็นความถี่ 1 kHz หรือความถี่อื่น โดยมีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับอินพุทของวงจรเพาเวอร์แอมป์ โดยเลือกใช้ค่าความต้านทานให้มีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานอินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจร วัดหาระดับสัญญาณการแบ่งแรงดันด้วยวิธีวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) หรืออาจใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ เลือกใช้ที่มีค่าความต้านทานสูงสุดมากกว่าค่าความต้านทานอินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจร ป้อนสัญญาณทดสอบวัดหาระดับสัญญาณการแบ่งแรงดันด้วยวิธีวงจรแบ่งแรงดันโดยปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่งได้แรงดันที่ปรากฏที่อิพุทของวงจรวงจรเพาเวอร์แอมป์เป็นครึ่งหนึ่ง ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่จะเกิดขึ้นเมื่อค่าความต้านทารที่มาต่ออนุกรมเข้ากับอินพุทของวงจรมีค่าเท่ากันพอดี ถอดค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ออกจากวงจรและวัดด้วยโอห์มมิเตอร์จะได้เป็นค่าต้านทานอินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจร

3.11.4 ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ค่าแดมปิ้งแฟกเตอร์ของเพาเวอร์แอมป์

ค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของวงจรเพาเวอร์แอมป์ คือค่าความต้าทานทางไฟเอซีเมื่อมองเข้าไปทางด้านเอาท์พุท วัดหาได้ด้วยการวัดหาระดับสัญญาณการแบ่งแรงดันด้วยวิธีวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) โดยป้อนสัญญาณอินพุททดสอบไซน์เวฟ วัดแรงดันเอาท์พุดด้วยเอซีโวลท์มิเตอร์ความละเอียดสูง วัดแรงดันขณะไม่ต่อโหลด (No load) และวัดแรงดันอีกครั้งในขณะที่มีโหลด (Take load) นำไปคำนวณหาค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์

ค่าแดมปิ้งแฟคเตอร์คือ ค่าที่บ่งออกถึงความสามารถที่จะควบคุมการสั่นของรวยลำโพง หาได้จากค่าความต้านทานโหลดหารด้วยค่าความต้านเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของวงจรเพาเวอร์แอมป์ โดยค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ ค่าแดมปิ้งแฟกเตอร์สูง วงจรเพาเวอร์แอมป์มีคุณภาพดี