วงจรการลดสัญญาณความเพี้ยนของวงจรขยายเสียง

ชัชชัย นบธีรานุภาพ

เครื่องเสียงทั่วๆ ไปที่ขายในท้องตลาดและเป็นที่นิยมกันนั้น คุณภาพของเสียงมีส่วนสำคัญมาก เครื่องเสียงทุกเครื่องจะต้องมีวงจรลดสัญญาณความเพี้ยน. เพื่อให้เครื่องเสียงนั้นมีคุณภาพของเสียงดี ไม่มีการรบกวนของสัญญาณหรือที่เรียกว่าความเพี้ยนนั่นเอง

ก่อนที่จะทำความเข้าใจกับวงจรลดสัญญาณความเพี้ยนควรทราบความหมายของคำต่อไปนี้ คือ

เฟส (phase) หมายถึง ความสัมพันธ์ในแง่ของเวลา (time relationship) ของสัญญาณ 2 สัญญาณ ขึ้นไปในวงจรอีเลคทรอนิคส์เดียวกัน

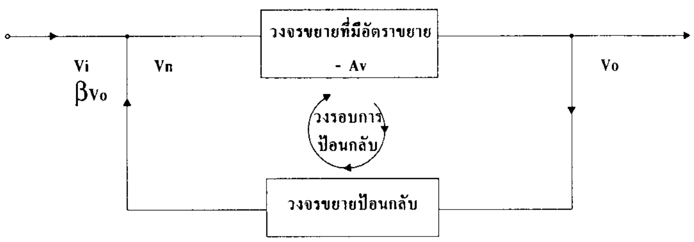
สัญญาณความถี่ หมายถึง สัญญาณที่เกิดจากการออสซิลเลเตอร์

หลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ ก็คือ วงจรขยายสัญญาณชนิดหนึ่งนั่นเอง แต่เป็นวงจรขยายสัญญาณชนิดป้อนกลับ การป้อนกลับในวงจรขยายสัญญาณป้อนกลับทั่วไป ถ้าให้ส่วนหนึ่งของสัญญาณขาออก (out put) ป้อนกลับเข้ามายังสัญญาณขาเข้า (in put) ในลักษณะที่เสริมกับสัญญาณขาเข้า หรือมีเฟสเดียวกัน เรียกวงจรขยายนั้นว่า **วงจรป้อนกลับแบบบวก** วงจรป้อนกลับลักษณะนี้ ใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์กำเนิดสัญญาณ เพราะวงจรเช่นนี้ จะมีเสถียรภาพไม่คงที่ คือ ออสซิลเลตตลอดเวลานั่นเอง

ถ้าหากให้สัญญาณป้อนกลับในลักษณะที่หักล้างกับสัญญาณขาเข้า หรือ เฟสตรงข้าม เราเรียกว่า **วงจรขยายป้อนกลับแบบลบ** ซึ่งเป็นวงจรขยายที่ทำให้เสถียรภาพของวงจรดีกว่าเดิมมาก

ข้อดีของวงจรขยายป้อนกลับแบบลบนี้มี 2 ประการคือ ประการแรก วงจรให้เสถียรภาพของสัญญาณที่ขยายได้ดี และยังทำให้การเพี้ยนต่างๆ ลดน้อยลง ทั้งทางด้านขนาดและความถี่ของสัญญาณเพี้ยน คือ ลดสัญญาณเสียงซ่า เสียงรบกวน หรือเสียงฮัมออกจากวงจรขยายเสียงนั่นเอง ประการที่ 2 การป้อนกลับแบบลบ ยังทำให้ค่าความต้านทานขาเข้าของวงจรขยายสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความต้านทานขาออกของวงจรขยายสัญญาณมีค่าลดลง นับเป็นข้อดีสำหรับวงจรขยายสัญญาณ เพราะว่า ถ้าเป็นค่าความต้านทานขาเข้าสูงๆ สัญญาณที่ป้อนเข้าก็จะไม่ถูกบั่นทอนให้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากค่าความต้านทานขาเข้ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความต้านทาน ภายในของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ส่วนทางด้านขาออก ถ้ามีค่าความต้านทานขาออกต่ำก็จะทำให้สามารถจ่ายกำลังงานไปที่ตัวต้านทานโหลดมีค่าต่ำๆ ได้โดยไม่ทำให้แรงดันขาออกตก



รูป 1 วงจรขยายสัญญาณป้อนกลับพื้นฐาน

จากรูป 1 แรงดันขาออกถูกแบ่งออกเป็น β ส่วน เพื่อป้อนกลับเข้ามาทางขาเข้า ส่วนของ β เป็นค่าอัตราส่วนคงที่ที่แบ่งสัญญาณป้อนกลับจากค่าขาออกในกรณีที่แรงดันขาออกมีค่า Vo ดังนั้น ส่วนของแรงดันป้อนกลับที่ป้อนมายังขาเข้าจึงมีค่าเท่ากับ βvo

$$\beta = \frac{\text{สัญญาณที่ป้อนกลับมายังขาเข้า}}{\text{สัญญาณขาออก}}$$

โดยทั่วไปเรามักจะให้ค่าของ β มีค่าประมาณ 1 ถึง 10 เปอร์เซนต์ สำหรับวงจรขยายทั่วๆ ไป ส่วนของการออกแบบการป้อนกลับขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของวงจรขยายสัญญาณ ในบางครั้งเราอาจทำให้วงจรขยายสัญญาณมีการป้อนกลับถึง 100 เปอร์เซนต์ ในกรณีที่เราพิจารณาถึงเสถียรภาพของวงจรเป็นสิ่งสำคัญ

จากรูป ถ้าให้ Vi เป็นไฟฟ้าแรงดันขาเข้าของทั้งวงจร และถ้าส่วนของแรงดันขาเข้าของวงจรขยายมีค่า Vn นั่นคือ แรงดัน

ไฟฟ้าป้อนเข้าวงจรขยายสัญญาณจะประกอบด้วยแรงดัน 2 ส่วน ส่วนหนึ่งคือ ค่าของแรงดัน Vi อีกส่วนหนึ่งคือ ค่าของแรงดัน βvo เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Vn = Vi + \beta vo$$

สมมติว่า อัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณในขณะที่ไม่มีการป้อนกลับ มีค่าเป็น Av แรงดันขาออกจะเป็น ผลคูณของ แรงดันขาเข้า กับ อัตราการขยายของวงจร

$$Vo = Av\,Vn$$
$$Vo = Av\,(Vi + \beta vo)$$
$$= AvVi + Av\beta Vo$$
$$Vo - Av\beta Vo = AvVi$$
$$Vo\,(1-\beta AV) = AvVi$$
$$Vo = \frac{AvVi}{1-\beta Av}$$
$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{Av}{1-\beta Av}$$
$$= A'v$$

เทอม A'v ใช้แทนอัตราการขยายของวงจร เมื่อต่อส่วนการป้อนกลับกับวงจรเรียบร้อยแล้ว

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการหา อัตราการขยายของวงจร เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ 5 เปอร์เซนต์ อัตราการขยายของวงจรในขณะไม่มีการป้อนกลับมีค่าเท่ากับ 100 จะต้องคำนวณดังนี้

จาก $$A'v = \frac{A'v}{1-\beta Av}$$
$$= \frac{100}{1-(-0.05 \times 100)}$$
$$= 16.7$$

ในการป้อนกลับแบบลบตามรูปนี้ สิ่งหนึ่งจะพบเห็นได้ก็คือ อัตราการขยายของวงจรจะมีค่าลดลง การเพิ่มค่าการป้อนกลับจะเป็นผลทำให้อัตราการขยายของวงจรยิ่งมีค่าลดลง การป้อนกลับทำให้ความเพี้ยนและสัญญาณรบกวนลดลง เพราะการทำให้เกิดการป้อนกลับจะเกิดภาวะเป็นวงรอบ (loop) ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น จะมีทิศต่างเฟสกับสัญญาณรบกวนที่มีอยู่แล้วในวงจรขยาย จึงทำให้ผลรวมของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อยลง

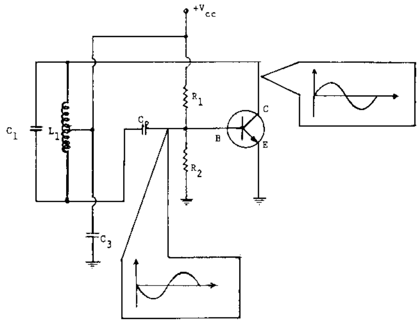
จากสมการการป้อนกลับ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความเพี้ยนได้ดีโดยการสมมติให้แรงดันของสัญญาณความเพี้ยนที่แรงดันขาออก V_d แต่แรงดันขาเข้าจากการป้อนกลับมีค่าเท่ากับ Avβ ตามความเป็นจริง ผลรวมของความเพี้ยน V_d เป็นฟังค์ชั่นกับสัญญาณรบกวนที่ได้รับการสร้างขึ้นที่วงจรขยาย (d) รวมกับส่วนของการขยายสัญญาณความเพี้ยนนี้ ($Av\beta \times V_d$) หรือ ทำการวิเคราะห์หา V_d ได้จาก

$$V_d = d + Av\,\beta V_d$$

หรือ $$V_d = \frac{d}{1-Av\beta}$$

สังเกตได้ว่า สมการนี้มีส่วนคล้ายคลึงกับสมการที่เกี่ยวกับอัตราการขยายทั้งวงจร ซึ่งค่าของความเพี้ยนจะลดลงด้วยค่าตัวคงที่ 1- Av β การลดลงของสัญญาณรบกวนนี้ จะมีค่าโดยประมาณการเท่ากับ อัตราส่วนของการลดลงของอัตราขยายของวงจร

วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น



รูป 2 วงจรฮาร์เล่ย์ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ ตามรูป มีชื่อว่า ฮาร์เล่ย์ออสซิลเลเตอร์ การทำงานของวงจรอาศัยหลักการป้อนกลับด้วยวงจร รีโซแนนซ์ที่ประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ C_1 และตัวเหนี่ยวนำ L_1 สัญญาณป้อนกลับจากแรงดันขาออก คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จะป้อนกลับผ่านวงจรจูนเมื่อกลับเฟส 180 องศา ป้อนเข้ามาทางขาเบสของทรานซิสเตอร์

สำหรับทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะเป็นตัวไบแอสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในลักษณะของวงจรขยายสัญญาณ ส่วนตัวเก็บประจุ C_2 เปรียบเสมือนเป็นตัวคัปปลิ้งสัญญาณเข้ามาทางขาเข้า โดยปกติวงจรขยายชนิดขาอิมิตเตอร์ร่วมนั้น สัญญาณขาออกที่ได้ทางขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะมีทิศเฟสตรงข้ามกับสัญญาณทางขาเข้าอยู่แล้ว คือ มีทิศเฟสต่างกัน 180 องศา ผลของสัญญาณป้อนกลับจะมีทิศทางเสริมกับสัญญาณขาเข้าทันที วงจรก็ออสซิลเลทได้

การทำงานในแต่ละรอบของการออสซิลเลท ในขณะเริ่มแรกของการออสซิลเลท จะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเลคเตอร์ ซึ่งเป็นผลป้อนกลับมาทางด้านขาเข้า ทางขาเบสของทรานซิสเตอร์ ทำให้มีการกระตุ้นที่ขาเบส โดยถ้ากระแสทางคอลเลคเตอร์เพิ่มขึ้นทางค่ามาก จะทำให้แรงดันที่คอลเลคเตอร์ลดลง การป้อนกลับจะกระตุ้นเข้ามาที่ขาเบสด้วยค่าแรงดันน้อยลง เป็นผลทำให้กระแสลดลง และแรงดันคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะสูงขึ้น เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

ตัวเก็บประจุ C_3 ของวงจรตามรูป เป็นทางผ่าน (by pass) ของสัญญาณไฟสลับ และในทำนองเดียวกันก็จะเป็นตัวกั้นแรงดันไฟตรง เพื่อไม่ให้ลัดลงกราวน์ ความถี่ของวงจรได้จาก ความถี่รีโซแนนซ์ของ L_1 และ C_1 ซึ่งเราสามารถปรับค่าความถี่รีโซแนนซ์ ได้ด้วยการปรับค่าของ L_1 หรือ C_1 นั่นเอง