

## หน่วยที่ 5

### การขยายกำลังคลื่นเสียงด้วยทรานซิสเตอร์

#### 5.1 การเพิ่มความดังเสียง

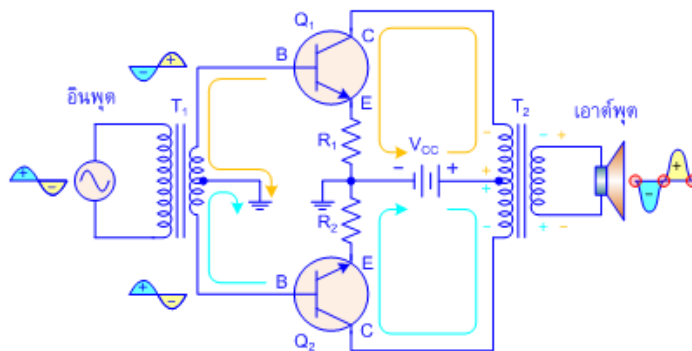
การเพิ่มความดังเสียง คือสัญญาณเสียงที่ถูกขยายให้มีความแรงเพิ่มขึ้น จะต้องมียูปร่างสัญญาณคงเดิม ไม่เกิดความผิดเพี้ยน การขยายสัญญาณเสียงให้ได้คุณภาพดี จะต้องมีการขยายสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ก่อนส่งต่อไปยังภาคขยายเสียงภาคสุดท้าย ที่จะได้อัตราการขยายสัญญาณเสียงมากที่สุด ภาคขยายเสียงภาคสุดท้ายที่สามารถขยายสัญญาณเสียงให้มีความแรงมากที่สุดโดยสัญญาณเสียงไม่เกิดความผิดเพี้ยน คือ วงจรขยายกำลัง ก่อนส่งสัญญาณเสียงไปขับลำโพงให้เกิดเสียงดังออกมา

ส่วนที่จะทำให้เกิดผลดังกล่าว ขึ้นอยู่กับการจัดระบบการทำงานของวงจรขยายเสียงได้อย่างเหมาะสม ตามคลาสวงจรขยายสัญญาณเสียงคลาสต่างๆ คลาสการขยายสัญญาณเสียงที่ใช้สำหรับวงจรขยายกำลัง ได้แก่ คลาส B, AB และคลาส D ซึ่งเป็นคลาสที่สามารถนำมาใช้งานในการขยายกำลังเสียงได้ โดยมีรูปแบบการจัดวงจรการทำงานที่แตกต่างกันไป แบ่งรูปแบบการจัดวงจร ขยายกำลังออกได้เป็น วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูล (Push - Pull Audio Amplifier) และวงจร ขยายเสียงแบบคอมพลีเมนต์ารี (Complementary Amplifier)

#### 5.2 วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูล

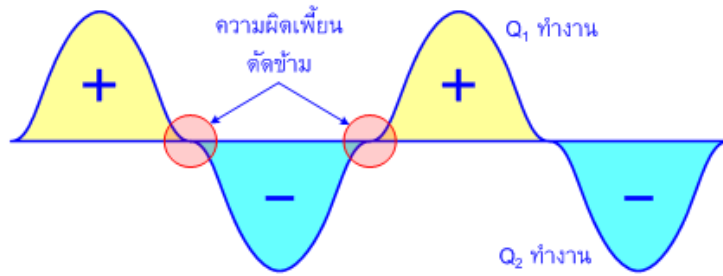
วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูล เป็นวงจรขยายกำลังแบบหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานในการขยายสัญญาณเสียงภาคสุดท้าย โดยการจัดวงจรขยายเสียงในคลาส B หรือคลาส AB ด้วยอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 2 ตัว ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงซีกละตัว ต่อทำงานร่วมกับหม้อแปลงก่อนส่งออกเอาต์พุต จึงเรียกวงจรขยายเสียงชนิดพุช - พูลว่าวงจรขยายเสียงชนิดใช้หม้อแปลงทางเอาต์พุต หรือชนิด OT (Output Transformer) โดยใช้หม้อแปลงช่วยทำให้เกิดสัญญาณเสียงครบทั้งสองซีก ได้สัญญาณเสียงออกเอาต์พุตเหมือนกับสัญญาณเสียงอินพุตที่ป้อนเข้ามา

1. วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูลคลาส B เป็นการจัดวงจรขยายเสียงให้ทรานซิสเตอร์แต่ละซีกเป็นแบบคลาส B วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูลคลาส B ใช้ NPN ทรานซิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 5.1



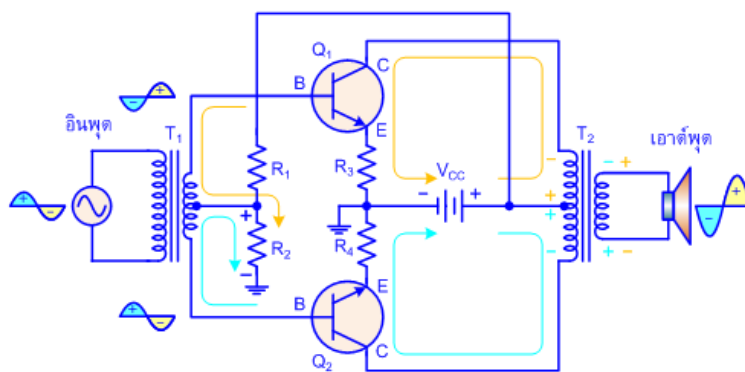
รูปที่ 5.2 วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูลคลาส B ใช้ NPN ทรานซิสเตอร์

วงจรขยายเสียงแบบพุซ - พูลคลาส B เมื่อนำมาใช้งานสามารถทำการขยายสัญญาณ เสียงให้มีระดับความแรงเพิ่มมากขึ้นส่งออกเอาต์พุตทั้งซีกบวกและซีกลบได้ก็ตาม แต่เกิดปัญหาตามมา คือได้รูปสัญญาณเสียงขยายออกมาไม่เหมือนสัญญาณเสียงทางอินพุตที่ป้อนเข้ามา เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณเสียงขึ้นตรงรอยต่อ เรียกว่าความผิดเพี้ยนนี้ว่า ความผิดเพี้ยนระหว่างรอยต่อ หรือความผิดเพี้ยนตัดข้าม (Crossover Distortion) ความผิดเพี้ยนตัดข้ามของสัญญาณ เสียง แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ความผิดเพี้ยนตัดข้ามของสัญญาณเสียง เกิดจากวงจรขยายเสียงพุซ - พูลคลาส B

2. วงจรขยายเสียงแบบพุซ - พูลคลาส AB เป็นการจัดวงจรขยายเสียงให้ทรานซิสเตอร์แต่ละซีกเป็นแบบคลาส AB เพื่อช่วยแก้ความผิดเพี้ยนตัดข้ามของวงจรขยายเสียงแบบพุซ - พูลคลาส B ให้หมดไป วงจรทำงานยังคงใช้ NPN ทรานซิสเตอร์ และอุปกรณ์อื่นๆ ตามเดิม โดยเพิ่มชุดตัวต้านทานช่วยจ่ายไบแอสให้ขา B ของ NPN ทรานซิสเตอร์ ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้ทรานซิสเตอร์พร้อมในการทำงาน และสามารถทำงานทันทีเมื่อมีสัญญาณเสียงป้อนเข้ามาทางอินพุต โดยไม่มีแรงดันไฟฟ้าต้านกลับระหว่างรอยต่อ PN จากค่าดีพลีชันริจิน มาทำให้การขยายสัญญาณเสียงเกิดความผิดเพี้ยน ค่าความผิดเพี้ยนตัดข้ามหมดไป วงจรขยายเสียงแบบพุซ - พูลคลาส AB ใช้ NPN ทรานซิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ความผิดเพี้ยนตัดข้ามของสัญญาณเสียง เกิดจากวงจรขยายเสียงพุซ - พูลคลาส B

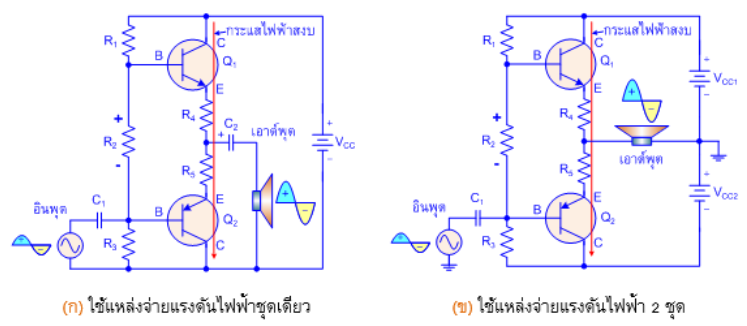
### 5.3 วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารี

วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารี เป็นวงจรขยายเสียงที่ถูกพัฒนามาจากวงจรขยายเสียงแบบพุช – พูล เพื่อแก้ข้อเสียของวงจรขยายเสียงแบบพุช – พูล ที่ต้องใช้หม้อแปลงร่วมในการทำงาน เกิดปัญหาตามมาในเรื่องของคุณภาพของเสียงแหลมลดลงจากการต้านของขดลวดหม้อแปลง เกิดเสียงฮัม (Hum) จากการสั่นในขณะหม้อแปลงทำงาน และหม้อแปลงที่ใช้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก เกิดความไม่สะดวกต่อการทำงานและการใช้งาน

วงจรขยายเสียงที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยตัดหม้อแปลงทั้งหมดในวงจรขยายเสียงทิ้งไป สร้างวงจรขยายเสียงใหม่แบบไม่มีหม้อแปลงเข้ามาร่วมใช้งาน ถูกเรียกว่า วงจรขยายเสียงแบบพุช – พูลไม่มีหม้อแปลง (Transformerless Push – Pull Amplifier) ทำให้วงจรขยายเสียงแบบนี้สามารถให้การตอบสนองต่อความถี่เสียงได้ดีตลอดย่าน นิยมเรียกววงจรขยายเสียงแบบนี้ว่า วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารี เป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย

วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีที่นิยมผลิตออกมาใช้งาน สามารถแบ่งรูปแบบการจัดวงจรทำงาน ออกได้ 2 ชนิด แตกต่างกันตามชุดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จ่ายในการทำงานของวงจรขยายเสียง วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในการทำงานเพียงชุดเดียว มีชื่อเรียกว่า ชนิดไม่มีหม้อแปลงที่เอาต์พุต หรือ ชนิด OTL (Output Transformer Less) ใช้ตัวเก็บประจุที่เอาต์พุตทำงานแทนหม้อแปลง และวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2 ชุด มีชื่อเรียกว่า ชนิดไม่มีตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต หรือ ชนิด OCL (Output Capacitor Less) โดยต่อเอาต์พุตของวงจรขยายเสียงเข้าลำโพงโดยตรง

1. วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีคลาส AB จ่ายไบแอสด้วยตัวต้านทาน ในวงจร ขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีแบบพื้นฐาน วงจรจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่างชนิดกัน คือชนิด PNP และ NPN ใช้ชนิดละ 1 ตัว โดยทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ ในการทำงานเหมือนกัน สามารถนำมาจับเข้าคู่กันได้ (Match Pair) มีอุปกรณ์ประกอบรวมทั้ง R และ C ช่วยในการทำงาน โดยจัดค่าแรงดันไฟฟ้าไบแอสให้วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีเป็นคลาส AB เพื่อไม่ให้เกิดความผิดเพี้ยนตัดข้ามขึ้น ได้คุณภาพสัญญาณเสียงที่สมบูรณ์ออกมา วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีแบบพื้นฐานคลาส AB แสดงดังรูปที่ 5.4

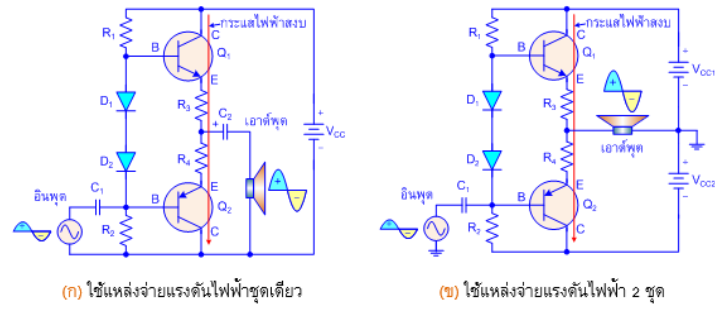


รูปที่ 5.4 วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีพื้นฐานคลาส AB จ่ายไบแอสด้วยตัวต้านทาน

2. วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีคลาส AB จ่ายไบแอสด้วยไดโอด ในวงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีแบบพื้นฐานคลาส AB จ่ายไบแอสด้วยตัวต้านทานแบ่งแรงดันไฟฟ้า R1, R2 และ R3 ที่กล่าวมาในข้อ 1 เกิด

ปัญหาในส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าไบแอสที่จ่ายออกมาจากตัวต้านทานทั้งสามตัวมีค่าคงที่ตายตัวตลอดเวลา ไม่มีการปรับเปลี่ยนค่าตามความต้องการของตัวทรานซิสเตอร์ตามความเหมาะสม ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ทำงานไม่เหมาะสมตามความต้องการ ทำให้สัญญาณเสียงที่ถูกขยายออกมาไม่คงที่ วงจรขยายเสียงทำงานแบบไม่เสถียร

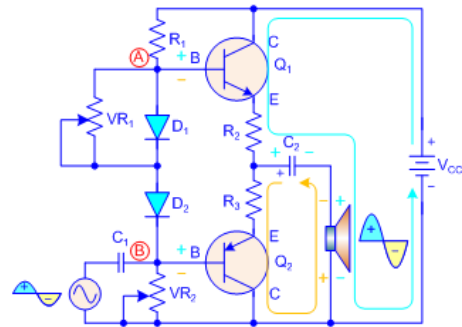
ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ ด้วยการจัดวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าไบแอสให้ขา B ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวใหม่ โดยแทนที่ตัว R2 ด้วยไดโอดต่ออนุกรม 2 ตัว เพื่อให้การจ่ายไบแอสของวงจรเป็นแบบไบแอสอัตโนมัติ (Automatic Bias) วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีแบบพื้นฐานคลาส AB จ่ายไบแอสด้วยไดโอด แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 วงจรขยายเสียงคอมพลิเมนต์ารีพื้นฐานคลาส AB จ่ายไบแอสด้วยตัวต้านทาน

### 5.4 การทำงานของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีชนิด OTL

วงจรขยายเสียงแบบพุช - พูลไม่มีหม้อแปลง หรือที่รู้จักทั่วไปในชื่อ วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีชนิด OTL เป็นวงจรขยายเสียงชนิดที่ไม่ใช้หม้อแปลงในการทำงานของวงจร รวมทั้งทางเอาต์พุตก่อนต่อไปลำโพง และใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วงจรเพียงชุดเดียว ทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวต่อวงจรคอมพลิเมนต์ารีสามารถทำงานขยายสัญญาณเสียงได้เพียงซีกเดียว ต่ออนุกรมกับเอาต์พุตของวงจรก่อนออกลำโพง มาช่วยในการทำงาน ทำให้ทรานซิสเตอร์สามารถขยายสัญญาณเสียงซีกที่เหลือนี้ได้ ได้สัญญาณเสียงส่งออกลำโพงมีครบทั้ง 2 ซีก วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีชนิด OTL แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีชนิด OTL

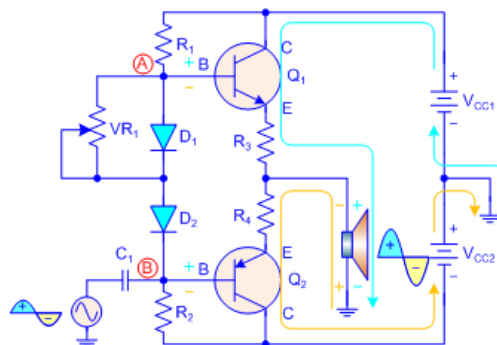
ข้อเสียของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์ารีชนิด OTL คือการใส่ C2 ที่เอาต์พุตมีผลต่อการต้านสัญญาณเสียงความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้มผ่านออกลำโพงได้น้อยลง ทำให้เสียงทุ้มในวงจร ขยายเสียงชนิดนี้มีความดังลดลง

ข้อดีของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OTL คือเมื่อทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งคู่เกิดการลัดวงจร ไม่ส่งผลต่อการทำให้ลำโพงเกิดการชำรุดเสียหาย เพราะกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจำนวนมากที่เกิดจากการลัดวงจรของทรานซิสเตอร์ ไม่สามารถไหลผ่านไปยังลำโพงได้ เนื่องจาก C2 ทำหน้าที่ต้านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายไม่ให้ผ่านไปยังลำโพง

### 5.5 การทำงานของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL

จากข้อเสียของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OTL ที่เอาต์พุตมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับลำโพง ส่งผลต่อการต้านสัญญาณเสียงความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้มให้ผ่านออกลำโพงได้น้อยลง ทำให้วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OTL มีการตอบสนองความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้มลดน้อยลง

การแก้ข้อเสียวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OTL เพื่อให้วงจรขยายเสียงสามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ครอบคลุมย่านความถี่เสียงทั้งหมด โดยตัดแปลงวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริใหม่ ด้วยการตัดตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกับลำโพงออก และต่อขั้วเอาต์พุตของวงจรขยายเสียงเข้ากับลำโพงโดยตรง วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิดนี้มีชื่อเรียกว่าชนิดไม่มีตัวเก็บประจุเอาต์พุต หรือชนิด OCL การจ่ายแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจรต้องเพิ่มแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็น 2 ชุด มีจุดกราวด์เป็นจุดร่วมการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL แสดงดังรูปที่ 5.7



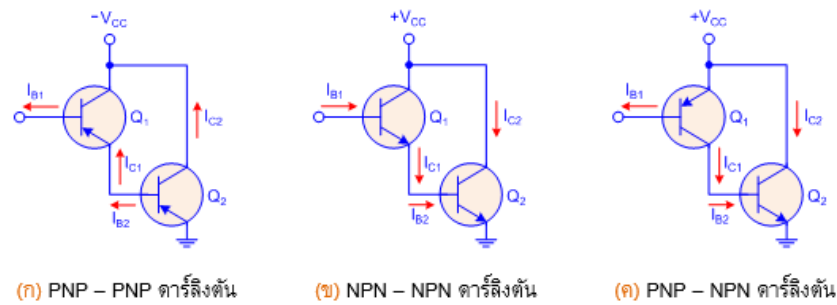
รูปที่ 5.7 วงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL

ข้อเสียของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL คือเมื่อทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งคู่เกิดการลัดวงจร ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจำนวนมากไหลผ่านลำโพง ส่งผลให้ลำโพงเกิดการชำรุดเสียหายทันที จำเป็นต้องต่อเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันลำโพงชำรุดเสียหายเข้าที่เอาต์พุตของวงจรขยายเสียงชนิดนี้

ข้อดีของวงจรขยายเสียงแบบคอมพลิเมนต์าริชนิด OCL คือสัญญาณเสียงที่ถูกขยายออกมาทุกความถี่สามารถส่งผ่านออกลำโพงได้โดยตรง ได้วงจรขยายเสียงที่ให้การตอบสนองความถี่เสียงทุกความถี่ออกมาใช้งาน เป็นวงจรขยายเสียงที่ให้คุณภาพเสียงออกมาได้สมบูรณ์แบบ

## 5.6 การขยายแบบดาร์ลิ่งตัน

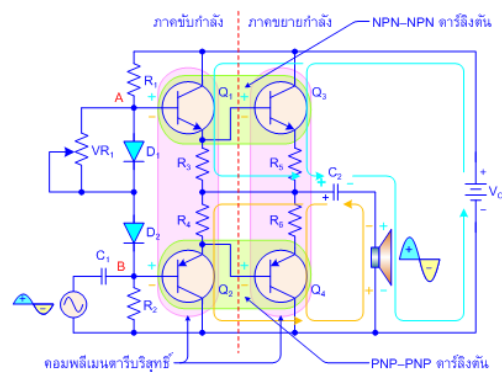
วงจรดาร์ลิ่งตัน (Darlington Circuit) เป็นการนำวงจรขยายทรานซิสเตอร์ต่อวงจรร่วมกัน 2 ตัว ต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณชนิดสองภาคต่อเนื่องกัน ช่วยเพิ่มอัตราขยายให้กับวงจรมากขึ้น นิยมนำไปใช้งานในวงจรขยายเสียง โดยต่อวงจรภาคขับกำลังเข้ากับวงจรภาคขยายกำลัง วงจรขยายแบบดาร์ลิ่งตันพื้นฐานแบ่งการต่อวงจรออกได้ 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 วงจรขยายแบบดาร์ลิ่งตันพื้นฐาน

## 5.7 ภาคขยายกำลังเสียงแบบคอมพลีเมนต์ารีบริสุทธ์ชนิด OTL

ภาคขยายกำลังเสียงแบบคอมพลีเมนต์ารีบริสุทธ์ชนิด OTL เป็นภาคขยายกำลังเสียงของวงจรขยายเสียง ที่ภายในวงจรประกอบด้วยการทำงาน 2 ภาคต่อวงจรร่วมกัน คือภาคขับกำลังและภาคขยายกำลังต่อวงจรทำงานร่วมกัน เป็นวงจรขยายกำลังเสียงที่ต้องการเพิ่มอัตราการขยายเสียงของวงจรให้แรงมากยิ่งขึ้น โดยนำภาคขับกำลังและภาคขยายกำลังมาต่อวงจรร่วมกันแบบวงจรขยายดาร์ลิ่งตัน มีทรานซิสเตอร์ที่ต่อในภาคขยายกำลังใช้ทรานซิสเตอร์ต่างชนิดกัน ตัวหนึ่งเป็น NPN อีกตัวหนึ่งเป็น PNP เรียกการต่อวงจรคอมพลีเมนต์ารีแบบนี้ว่า วงจรคอมพลีเมนต์ารีบริสุทธ์ หรือวงจรเพียวคอมพลีเมนต์ารี (Pure Complementary Circuit) วงจรขยายกำลังเสียงแบบคอมพลีเมนต์ารีบริสุทธ์ชนิด OTL แสดงดังรูปที่ 5.9



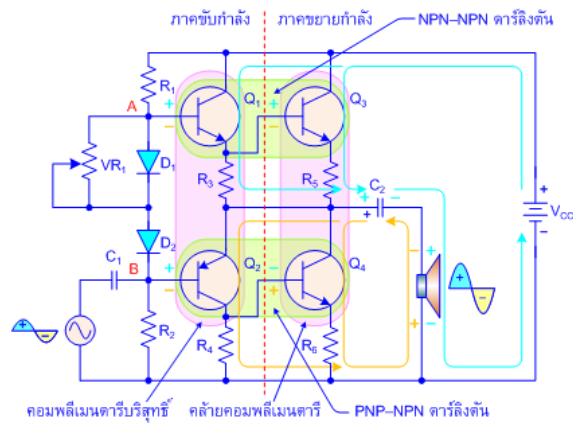
รูปที่ 5.9 วงจรขยายกำลังเสียงแบบคอมพลีเมนต์ารีบริสุทธ์ชนิด OTL

## 5.8 ภาคขยายกำลังเสียงแบบคล้ายคอมพลีเมนต์ารีชนิด OTL

ภาคขยายกำลังเสียงแบบคอมพลีเมนต์ารีบริสุทธ์ของวงจรรูปที่ 5.10 หัวข้อที่ 5.7 ในส่วนของภาคขยายกำลังทรานซิสเตอร์กำลัง Q3 และ Q4 จะต้องใช้ทรานซิสเตอร์ต่างชนิดกันคือ PNP และ NPN มาจับคู่

กัน ทรานซิสเตอร์กำลังทั้งคู่ต้องมีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนกันจึงสามารถจับเข้าคู่กันได้ เกิดปัญหาที่ ทรานซิสเตอร์กำลังต่างชนิดกันมีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนกันมาจับเข้าคู่กันหาได้ยากและเกิดความยุ่งยาก

เพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นนี้ จึงเปลี่ยนวงจรภาคขยายกำลังมาใช้ทรานซิสเตอร์กำลังชนิดเดียวกัน หรือเบอร์ เดียวกันทั้งคู่ ใช้ได้ทั้ง PNP ทั้งคู่ หรือ NPN ทั้งคู่ ช่วยให้การจับคู่ทรานซิสเตอร์ กำลังที่เหมาะสมทำได้ง่ายขึ้น เกิด ความสะดวกในการต่อใช้งาน เรียกการต่อวงจรคอมพลิเมนต์ารีนีว่า วงจรคล้ายคอมพลิเมนต์ารีนี หรือ วงจรควอซีคอมพลิเมนต์ารีนี (Quasi Complementary Circuit) วงจรขยายกำลังเสียงแบบคล้ายคอมพลิเมนต์ารีนีชนิด OTL แสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 วงจรขยายกำลังเสียงแบบคล้ายคอมพลิเมนต์ารีนีชนิด OTL

