



ମେଘନିଧି

ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਖਰੀਦ

ປຣາໂມທຍ໌ ຈາມຣວີເຊີຍຣ

דף שס"ז

2.2 4F

R3
1004

35F2997
S9112AH
SFG10647
nissauir

การซ่อมเครื่องรับวิทยุที่ใช้หลอดเตด

ตรวจสอบวงการออสบิลเลเตอร์

ตรวจสอบวงจร RF

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

การปฏิบัติงานแบบซ่อมอุปกรณ์ TR

กลไกการตรวจ สอบอุปกรณ์การบิเลเตอร์

Electronics

การตรวจสอบ

อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์

นอกเหนือไปจากการเกิดจุดเสียที่วงจรและทางด้านแมคคานิกส์แล้ว อุปกรณ์ใช้ทรานซิสเตอร์ยังเกิดจุดเสียได้จากสาเหตุ 2 ประการด้วยกันคือ

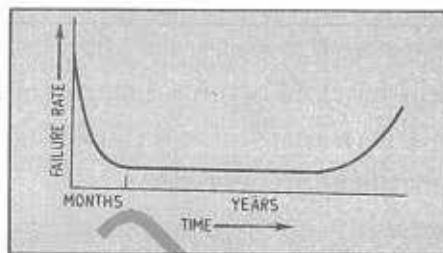
1. ตัวทรานซิสเตอร์เสีย
2. ภาตจ่ายไฟ

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วรีซิสเตอร์, คาปาซิเตอร์, อินดักเตอร์, ทรานสฟอเมอร์และอุปกรณ์ในวงจรตัวอื่น ๆ นั้นมีโอกาสเสียได้น้อยกว่าอุปกรณ์ชนิดเดียวกันนี้ที่ใช้อยู่ในวงจรหลอดสูญญากาศ ซึ่งใช้กำลังและมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

ปกติวงจรทรานซิสเตอร์ใช้ทั้งกระแสและแรงดันต่ำกว่าที่ใช้อยู่ในวงจรหลอด เรื่องนี้จึงคาดหมายได้ว่าอายุใช้งานของอุปกรณ์จึงยืนยาวกว่าอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในวงจรหลอด อย่างไรก็ตามก็ถึงวงจรทรานซิสเตอร์อาจเกิดจุดเสียได้ทั้งทางด้านไฟฟ้าและด้านแมคคานิกส์

ตามธรรมดาแล้วการใช้เพาเวอร์ในอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ๆ เมื่อเทียบกับวงจรหลอดที่ใช้แบตเตอรี่ เรื่องนี้หมายความว่าแบตเตอรี่ที่ใช้กับวงจรทรานซิสเตอร์จะมีอายุใช้งานได้นานกว่า ดังนั้นจึงมองข้ามปัญหาเรื่องแบตเตอรี่ไปได้เลย เมื่ออุปกรณ์ใช้วงจรทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานขึ้นมาก็ควรจะไปทำการตรวจวัดตรงจุดที่มีความสำคัญมากกว่า อย่างไรก็ตามก็ดีในหลาย ๆ กรณีด้วยกัน อาการเสียเพราะแบตเตอรี่หมดพลังก็จะแสดงร่องรอยออกมาให้เห็น ซึ่งเรื่องนี้จะกล่าวในตอนต่อไป

ความแน่นอนในการทำงานของทรานซิสเตอร์

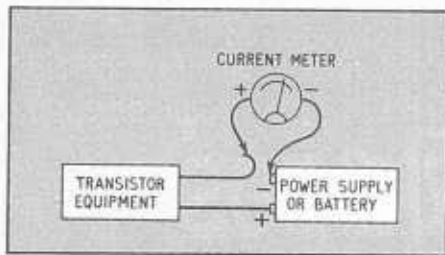


รูปที่ 1 : กราฟการทำงานของทรานซิสเตอร์ ในช่วงแรกอัตราการเสียของทรานซิสเตอร์มีสูง หลังจากนั้นอัตราเสียจะค่อย ๆ ลดลง จะมีระดับการเสียต่ำสุดจนกว่าทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงานตามปกติ เพราะมีอายุใช้งานมายาวนาน

เป็นความจริงที่ว่าทรานซิสเตอร์นั้นทำงานมีความแน่นอนดีกว่าหลอด เมื่อนำไปใส่ลงในวงจรเรียบร้อยแล้วมันจะทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นเวลาหลายปี ส่วนหลอดนั้นประสิทธิภาพของมันจะค่อย ๆ ลดลงไปเพราะความเสื่อมเมื่อปล่อยอิเล็กตรอนออกมานาน ๆ ประกอบกับปัญหาด้านความร้อนที่เกิดขึ้นสูง แต่จะไม่เกิดกับทรานซิสเตอร์เพราะทรานซิสเตอร์ไม่มีไส้เหมือนหลอด

จึงหะที่เลวร้ายที่สุดของทรานซิสเตอร์คือในช่วงต้น ๆ ของการทำงานในวงจร และในช่วงนี้เองจะเห็นว่าเกิดข้อบกพร่องขึ้นมา ภายหลังช่วงนี้ไปแล้วอัตราการเสียของทรานซิสเตอร์มีอยู่น้อยมากและจะมีระดับอยู่คงที่จนกว่าจะเสียเพราะมีอายุใช้งานมา มากจริง ๆ ซึ่งในช่วงนี้อัตราการเสียของทรานซิสเตอร์จะมีระดับสูงขึ้นมาอีก

เป็นเรื่องเป็นไปไม่ได้ที่จะหาช่วงเวลาที่ถูกต้องในเคิร์ฟการใช้งานของทรานซิสเตอร์ทั้งนี้เพราะยัง



รูปที่ 2 : วิธีรวดเร็วที่สุดในการตรวจสอบกระแสทั้งหมด

ขาดสถิติ อย่างไรก็ตามในรูปที่ 1 เป็นแนวทางทั่ว ๆ ไป ในการหาช่วงเวลาอย่างคร่าว ๆ เป็นเดือนและปีของ อัตราการเสียของทรานซิสเตอร์

การตรวจวัดภาคจ่ายไฟ

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วจึงเห็นว่าถ้าหาก อุปกรณ์ใช้ทรานซิสเตอร์เสียไม่ทำงาน ต้องทำการ ตรวจสอบที่ 2 จุดทันที คือจุดที่ 1 ที่ภาคจ่ายไฟและ จุดที่สองที่ตัวทรานซิสเตอร์เอง ในการตรวจวัดภาค จ่ายไฟใช้เครื่องวัดมัลติเรนจ์ (Multirange Tester) อย่าง เดียวก็พอ ก่อนอื่นทำการวัดแรงดันขณะเปิดสวิตช์ ไฟของอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ที่นำมาตรวจวัด (นั่นคือ แบตเตอรี่มีโหลด) หลังจากนั้นทำการตรวจวัดขั้น ที่ 2 คือวัดกระแสทั้งหมด โดยใช้เครื่องวัดกระแสที่ เหมาะสมเอามาวัดแบบต่อกันเป็นอนุกรมกับภาคจ่าย ไฟ ซึ่งกระทำได้โดยวิธีปลดสายลบของแบตเตอรี่ ออกแล้วเอาสายลบของเครื่องวัดต่อเข้ากับสายลบ ของแบตเตอรี่ เอาสายบวกต่อเข้ากับสายลบของ อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์เครื่องที่เอามาตรวจวัด ตาม ภาพที่แสดงไว้ให้เห็นในรูปที่ 2

ก่อนที่จะจ่ายไฟให้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ควร ตั้งสวิตช์ของเครื่องวัดไว้ในย่านการวัดที่คาดว่าจะมี กระแสสูงในระดับใดระดับหนึ่ง และเมื่อการอ่านค่า การวัดในย่านที่มีกระแสสูงดีแล้วก็ปิดสวิตช์กลับมา ยังย่านที่มีค่ากระแสไม่เกินย่านการวัด การทำเช่นนั้น เป็นการป้องกันมิให้มีเตอร์พังอันเนื่องมาจากการ ช็อตในอุปกรณ์ตัวที่ตรวจวัด นอกจากนั้นการถอด

สายหรือปิดสวิตช์ไฟของอุปกรณ์ตัวที่นำมาตรวจวัด ก่อนทำการปรับย่านวัดของเครื่องวัดเป็นวิธีที่ดีที่สุด

ขณะที่เปิดสวิตช์ของอุปกรณ์ตัวที่นำมาตรวจ วัดจะได้ยินเสียงดัง “กริก” ทั้งนี้เพราะมีไฟฟ้าประจุ คาพาซิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์

แม้ว่าปริมาณการใช้กระแสทั้งหมดของอุปกรณ์ ตัวที่นำมาตรวจวัดอาจไม่ใช่เรื่องสำคัญในขั้นนี้ แต่ จากข้อเท็จจริงที่ว่าอุปกรณ์ใช้ทรานซิสเตอร์ต้องใช้ กำลังงาน จึงหมายความว่าอย่างน้อยที่สุดภาคจ่าย ไฟต้องจ่ายกำลังไปให้วงจรในค่าถูกต้อง รวมทั้ง สวิตช์ปิด/เปิดและมีฟิวส์ใส่ไว้ในวงจร

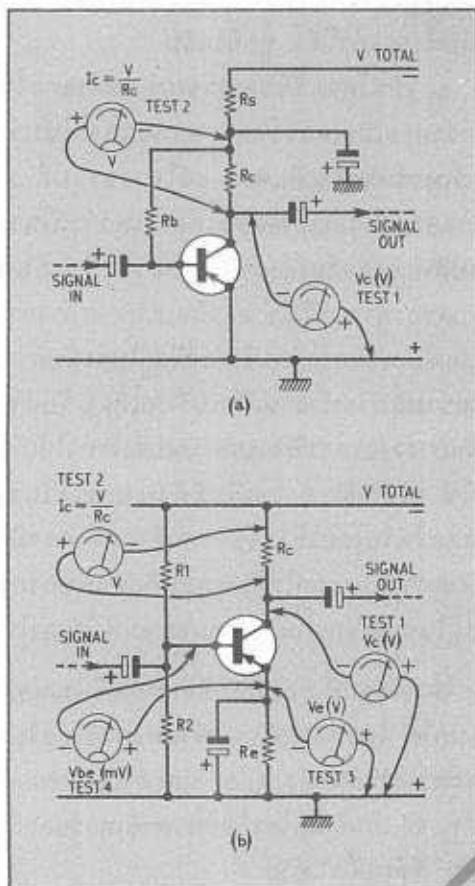
เราอาจแน่ใจว่าขอบเขตของกระแสที่อุปกรณ์ ทรานซิสเตอร์จะต้องใช้นั้นมีค่าเท่าใด ถ้าหากกระแส เป็นศูนย์เราก็อาจสรุปได้ว่ามีบางอย่างเกิดเสียใน วงจรจ่ายกำลังให้วงจร (เช่นสวิตช์, ฟิวส์หรือสาย เกิดเสีย) เนื่องจากอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ทุกชนิดแม้ ว่าจะใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวจะมีตัวแบ่งศักย์ที่ปรากฏ คร่อมภาคจ่ายไฟแบตเตอรี่ ซึ่งอาจให้มีกระแสเพียง เล็กน้อยผ่านไป

แต่ถ้าหากวัดแล้วได้ค่ากระแสสูงมาก ก็แสดง ให้เห็นว่าเกิดวงจรลัดหรือมีกระแสรั่วอยู่ในอุปกรณ์ ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการตรวจวัดภาคจ่ายไฟในตอน แรก ๆ จะทำให้เราได้ข้อมูลที่สำคัญและมีประโยชน์ ทำให้ทราบว่ามิอะไรเกิดขึ้นในอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ ก่อนที่จะถอดมันออกมาจากกล่องหรือตู้ใส่ เราอาจ พบว่าในการนำเอาอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์มาซ่อม นั้นบางครั้งจำเป็นต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่หรือฟิวส์หรือ ต้องต่อสายหรือที่ต่อกับแบตเตอรี่ใหม่

สมมุติว่าการตรวจวัดภาคจ่ายไฟพบว่า จุดเสีย เกิดจากภายในอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ เมื่อทำการ วิเคราะห์โดยใช้เหตุผลตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ต่อไป เราก็จะพบว่าทรานซิสเตอร์ในวงจรทำงานกับกระแส ดีซีประการใดบ้าง

สภาพของการทำงาน

เราทราบแล้วว่าในวงจรทรานซิสเตอร์เกือบ



รูปที่ 3 : วงจรทั้งสองนี้แสดงให้เห็นจุดที่ต้องทำการตรวจวัด ซึ่งมีประโยชน์ในการวิเคราะห์จุดเสีย (a) ในภาคจ่ายไฟไม่มีตัวแบ่งแรงดันเบส และ (b) ภาคคอมมอนอิงใช้ตัวแบ่งแรงดัน

ทุกวงจร เบสจำเป็นต้องใช้ไบอัสกระแสตรงทิศทาง (Forward Current) ส่วนคอลเล็คเตอร์ต้องการกระแสกลับทิศทาง (Reverse Current) เบสไบอัสในวงจรใช้งานจริง ๆ ได้มาจากวิธีเอมิเตอร์ค่าสูง ๆ มาต่อเข้าระหว่างเบสและสายของภาคจ่ายไฟ (ลบสำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และเป็นบวกสำหรับทรานซิสเตอร์แบบ NPN) หรือใช้ตัวแบ่งศักย์ชนิดตัวต้านทานต่อคร่อมกับภาคจ่ายไฟโดยมีจังก์ชันต่อเข้ากับเบส วงจรทั้ง 2 แบบนี้ได้แสดงไว้ให้เห็นใน (a) และ (b) ในรูปที่ 3 ในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ PNP แต่ใช้หลักการเดียวกับทรานซิสเตอร์ NPN เพียงแค่สลับขั้วบวก-ลบของสายจ่ายไฟเท่านั้น

ในแอมพลิฟายเออร์ เบสไบอัสเป็นตัวกำหนดกระแสคอลเล็คเตอร์เพื่อทำงานให้ได้สภาพตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่นในการทำงานในคลาส A การตั้งไบอัสเพื่อให้ได้กระแส I_c ซึ่งจะสวิงขึ้นลงเท่านั้น เพราะมีกระแสสัญญาณอินพุตทุกครั้งถูกบิดเบี้ยวไปยังอิมิตเตอร์จังก์ชัน ถ้าหากว่าเบสไบอัสมีมากเกินไปทรานซิสเตอร์ก็จะมีสภาพที่เรียกว่าเกิดการอิมิตวเมื่อสัญญาณอินพุตสวิงเป็นลบที่เบส ในขณะที่กระแสคอลเล็คเตอร์อาจมีระดับต่ำเกินไปเมื่อสัญญาณที่เบสสวิงบวก (คือที่ครึ่งไซเคิลบวก) ดังนั้นเรื่องเบสไบอัสที่ถูกตั้งจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก

ในการทำงานในคลาส B เบสไบอัสได้จัดตั้งไว้ให้กระแสคอลเล็คเตอร์ใกล้ถึงจุดตัดกระแสมากยิ่งขึ้นในวงจรเช่นนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวและได้จัดไว้ให้ตัวหนึ่งมีกระแสคอลเล็คเตอร์ไหลในขณะที่อีกตัวหนึ่งหยุดนำกระแสในครึ่งไซเคิลหนึ่ง และเพื่อให้การทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวเปลี่ยนการทำงานในอีกไซเคิลสลับกัน

สำหรับการทำงานในคลาส C ทรานซิสเตอร์ได้รับการไบอัสให้ I_c เป็นศูนย์ มีกระแสคอลเล็คเตอร์ไหลเฉพาะขณะมีสัญญาณสวิงเท่านั้น สภาพการทำงานระหว่างคลาส A และ B เรียกว่าการทำงานคลาส AB ซึ่งการทำงานในคลาสนี้ก็ถูกกำหนดโดยเบสไบอัสเช่นกัน

เราจะพิจารณาเรื่องสภาพของสัญญาณของทรานซิสเตอร์อย่างละเอียดในภายหลัง ขณะนี้สิ่งที่จำเป็นต้องเข้าใจก็คือเรื่องการทำงานขั้นพื้นฐานของแอมพลิฟายเออร์กับเรื่องเบสได้รับการไบอัสเพื่อให้ได้กระแส I_c ที่ต้องการ

ที่นี่ให้หันกลับมาดูรูปที่ 3 เบสไบอัสในวงจร (a) ถูกจัดตั้งขึ้นโดย R_b กระแส I_b เท่ากับแรงดันที่จังก์ชันของ R_c หาค่าด้วย R_b I_b ค่า μA เท่ากับแรงดันหารด้วย R_b เป็นเมกกะโอห์ม ดังนั้นถ้า V เท่ากับ 10 และ R_b เท่ากับ 1M I_b จะมีค่าประมาณ $10 \mu A$

วงจรในรูปที่ 3 จัดไว้เป็นวงจรแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ ดังนั้นเมื่อมองดูคุณสมบัติของวงจรแบบ

คอมมอน-อิมิตเตอร์สำหรับชนิดของทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้ (ตัวอย่างเช่น (a) ในรูปที่ 18) เราก็จะรู้ค่าของ I_c ที่ค่าของ I_b ค่าใด ๆ จะทำให้ค่าของ I_c สูงขึ้น เนื่องจากว่าเราสนใจเฉพาะเรื่องการวิเคราะห์หาจุดเสียไม่เกี่ยวข้องกับเรื่องของการออกแบบ เราไม่สนใจมากนักเกี่ยวกับค่าของกระแสที่แน่นอน แต่ต้องการเพียงว่าวงจรทำงานอย่างถูกต้องก่อนที่มันจะเสีย หน้าที่ของเราก็คือการหาให้พบว่าอะไรทำให้มันเสียหายได้

R_c ในรูปที่ 3 เป็นโหลดรีซิสเตอร์ของคอลเล็กเตอร์ ในขณะที่ R_s ในวงจรที่ (a) มีหน้าที่รักษาดีซีให้มีค่าคงที่ และจะเห็นว่าวงจรนี้ไม่มีอิมิตเตอร์รีซิสเตอร์ สมมุติว่า I_c มีค่าสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นกระแสใน R_s ก็จะต้องสูงขึ้นเช่นกัน แรงดันตกคร่อมรีซิสเตอร์ตัวนี้ก็จะสูงขึ้นด้วย เรื่องนี้เป็นผลให้แรงดันที่จังก์ชัน $R_s R_c$ ตกลงด้วยและเรื่องนี้หมายความว่าเบสไบอัสลบถูกดึงกลับ การที่ I_c ลดลงเกิดจากผลของการทำงานของทรานซิสเตอร์ดังนั้นวงจรจึงทำงานอย่างมีเสถียรภาพ

ที่นี้ให้ดูวงจรในรูปที่ 3 (b) ในวงจรนี้เบสไบอัสเกิดขึ้นได้เพราะแรงดันลบที่แบ่งออกจากตัวแบ่งแรงดัน $R_1 R_2$ และยังเกิดขึ้นได้จากแรงดันตกคร่อมอิมิตเตอร์รีซิสเตอร์ R_e กระแสตรงทิศทางในอิมิตเตอร์/เบสจึงถูกกำหนดจากแรงดันระหว่างอิมิตเตอร์และเบส (V_{be}) จากบทที่แล้วจะเห็นว่าคุณสมบัติของอินพุท (รูปที่ 16) แสดงให้เห็นว่า I_b สูงขึ้นเมื่อ V_{be} สูงขึ้น (จะเห็นว่าบางครั้ง V_{be} เขียนเป็น V_b) จากวงจรในรูปนั้นทรานซิสเตอร์ AF114 ให้กระแสอยู่ในย่าน $24 \mu A$ เมื่อ V_{be} มีค่าเป็น $-300 mV$ ที่ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวกันนี้ที่จังก์ชันของอิมิตเตอร์/เบสจะมีแรงดันประมาณ $270 mV$ เมื่อ I_b มีค่าเป็น $10 \mu A$

ในวงจรดังกล่าว R_c คืออิมิตเตอร์รีซิสเตอร์ทำให้วงจรเกิด “เสถียรภาพ” ตามที่กล่าวมาแล้ว ในบทก่อนจะเห็นว่าถ้าหาก I_c มีค่าสูงขึ้นเพราะมีอุณหภูมิสูงขึ้นใน R_c ก็จะทำให้แรงดันตกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เรื่องนี้ทำให้อิมิตเตอร์เป็นลบมากยิ่งขึ้น

อีกเมื่อเปรียบเทียบกับเบสซึ่งจะเป็นอย่างเดิม เมื่อเบสเป็นลบน้อยลงทำให้ I_c ถูกดึงกลับ

R_c เป็นโหลดรีซิสเตอร์ของคอลเล็กเตอร์หรือเรียกว่าคอลเล็กเตอร์โหลด ส่วนมากจะใช้ทรานซิสฟอร์เมอร์หรืออินดักเตอร์ แต่ในวงจรรูปที่ 3 ใช้รีซิสเตอร์เป็นคอลเล็กเตอร์โหลด เพราะเป็นวงจรแอมพลิฟายเออร์แบบง่าย ๆ ในการป้องกันการบิดเบือนของกระแสจึงใช้ R_c เป็นบายพาสทางความจุ ค่ารีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์มีอยู่ในระดับต่ำ ๆ ที่ย่านความถี่การทำงานเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของ R_c ในบางวงจรการบิดเบือนทางลบจึงใจทำให้เกิดขึ้นโดยใช้ R_c ค่าเล็ก ๆ โดยไม่มีตัวบายพาสในวงจรอิมิตเตอร์หรือโดยวิธีไม่ใช้คาปาซิเตอร์ การมีการบิดเบือนทางลบจะทำให้อินพุทอิมิตเตอร์ของภาคนี้สูงขึ้น ในขณะเดียวกันก็ลดเกนขยายให้น้อยลงไป

ในวงจรรูปที่ 3 (a) ป้องกันการเกิดดีเจเนอเรตฟีดแบคได้ โดยการเอาบายพาสคาปาซิเตอร์มาต่อเข้าระหว่างจังก์ชันของ $R_s R_c$ และสายบวกของภาคจ่ายไฟ R_s เป็นอีเล็กโตรไลต์คาปาซิเตอร์และถือว่าเป็นตัว “ดีคัปปลิง” ด้วย

ตามวงจรนี้จะเห็นว่าสายของภาคจ่ายไฟอาจจะใช้สายบวกหรือสายลบลงดิน อย่างไรก็ตามในวงจรดังกล่าวใช้สายบวกลงดิน เราจะเห็นในตอนต่อไปว่าวงจรคอมมอน-อิมิตเตอร์ วงจรคอมมอน-เบสหรือวงจรคอมมอน-คอลเล็กเตอร์ถูกกำหนดจากคอมมอน-อีเล็กโตรดที่ลงดิน เนื่องจากวงจรในรูปที่ 3 เป็นวงจรคอมมอน-อิมิตเตอร์ที่ต่ออิมิตเตอร์ลงดินที่ (a) โดยตรงที่ (b) ผ่านทางบายพาสคาปาซิเตอร์ของอิมิตเตอร์ สัญญาณอินพุทถูกป้อนเข้าไปที่เบสและสัญญาณถูกเอาออกจากคอลเล็กเตอร์

ค่าของคาปาซิเตอร์และตัวบวกลบ

อินพุทอิมิตเตอร์และเอาต์พุทอิมิตเตอร์ซึ่งมีอยู่ค่อนข้างต่ำ เพราะคัปปลิงคาปาซิเตอร์ซึ่งค่ารีแอคแตนซ์ที่ความถี่ทำงานเป็นความถี่ต่ำ ๆ ถ้าหากค่ารีแอคแตนซ์ของคัปปลิงคาปาซิเตอร์สูงกว่าหรือ

ต่ำกว่าอินพุทหรือเอาต์พุทอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ก็จะเกิดการขัดขวางต่อความถี่ต่ำกว่า จากเหตุผลข้อนี้เองจึงต้องใช้โอ้เล็คโตรไลต์คาปาซิเตอร์ค่าสูง ๆ ในทรานซิสเตอร์ AF แอมพลิฟายเออร์ ในแอมพลิฟายเออร์ความถี่สูงค่าของคัปปลิงคาปาซิเตอร์จะต่ำเนื่องจากค่ารีแอคแตนซ์ทางความจุลดลงที่ความถี่สูง ๆ

ในเรื่องนี้เราจำเป็นต้องพิจารณาถึงขั้วบวก-ลบของโอ้เล็คโตรไลต์คาปาซิเตอร์ด้วย คาปาซิเตอร์ที่ต่อในวงจรจะต้องต่อขั้วบวกหรือลบให้ถูกต้อง คือขั้วบวกของโอ้เล็คโตรไลต์คาปาซิเตอร์ต้องต่อเข้ากับทางด้านบวกของวงจร โอ้เล็คโตรไลต์คาปาซิเตอร์ที่นำมาใช้เป็นคัปปลิงภาคหนึ่งต่อกับอีกภาคหนึ่งควรต่อเข้ากับ NPN ทรานซิสเตอร์เพื่อให้ด้านบวกอยู่ทางคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวหน้าและด้านบวกอยู่ทางด้านบวกบนเบสของทรานซิสเตอร์ตัวถัดไป ถ้าหากเป็น PNP ทรานซิสเตอร์จะใช้ขั้วบวก-ลบตรงกันข้ามกับทรานซิสเตอร์ NPN

อินพุทคาปาซิเตอร์ในวงจรรูปที่ 3 ไม่ได้ต่อไว้อย่างนี้ เพราะในที่นี้สมมติว่าไม่มีการใช้ภาคแรกซึ่งในกรณีนี้จะใช้หลอดต่อเข้าระหว่างเพลทบวกและสายของภาคจ่ายไฟสายบวก การต่อขั้วบวก-ลบของบายพาสคาปาซิเตอร์และคัปปลิงคาปาซิเตอร์เป็นเรื่องมีความสำคัญ

สิ่งที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุดได้แก่เรื่อง การเปลี่ยนโอ้เล็คโตรไลต์คาปาซิเตอร์ให้ถูกต้อง ถ้าต่อไว้มันไม่ถูกต้องก็จะมีกระแสรั่วไหลออกมาก่อวนต่อไปยังของทรานซิสเตอร์ และทำให้การวิเคราะห์หาจุดเสียเป็นเรื่องยากลำบากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์วงจร

ขณะนี้เรามีข้อมูลอยู่มากในเรื่องการกำหนดสภาพการทำงานขั้นพื้นฐานของวงจรทรานซิสเตอร์ตามที่กล่าวมาแล้วว่าสิ่งสำคัญที่สุดประการที่สองในเรื่องของการค้นหาจุดเสียก็คือเรื่องการค้นหาสภาพของทรานซิสเตอร์ เรื่องนี้มีได้หมายความว่า จะต้อง

ถอดทรานซิสเตอร์ทุกตัวออกจากวงจรแล้วเอามาต่อเข้ากับเครื่องวัดตัวทรานซิสเตอร์ ความจริงการเอาทรานซิสเตอร์ออกจากอุปกรณ์บางชนิดเป็นเรื่องต้องการความระมัดระวังมาก ดังนั้นวิธีที่ดีจึงควรหลีกเลี่ยงเรื่องการเอาทรานซิสเตอร์ออกจากวงจรมาวัดจนกว่าจะแน่ใจจริง ๆ ว่าตัวทรานซิสเตอร์ตัวนั้นเสีย

เรื่องการค้นหาว่าทรานซิสเตอร์ตัวใดเสียต้องใช้วิธีวัดแรงดันและกระแสรอบ ๆ ภาคที่สงสัยว่าทรานซิสเตอร์ในภาคนั้นเสีย สมมติว่าวัดแล้วปรากฏว่าภาคจ่ายไฟปกติ สิ่งแรกที่ต้องทำต่อไปก็คือวัดแรงดันคอลเล็กเตอร์คือวัดตรงจุด Test 1 ในรูปที่ 3 ถ้าหากปรากฏว่ามี I_c รีซิสเตอร์ในวงจรคอลเล็กเตอร์จะลดแรงดันของภาคจ่ายไฟ และเครื่องวัดจะแสดงว่ามีแรงดันต่ำกว่าแรงดันของภาคจ่ายไฟ ถ้าหากว่าคอลเล็กเตอร์โหลดที่ใช้เป็นชนิดอินดักเตอร์เป็นขดลวดหรือเป็นทรานส์ฟอร์เมอร์ค่าความต้านทานดิสซีทีที่วัดได้จะวัดค่าได้เพียงไม่กี่โอห์ม ในกรณีนี้แรงดันจะลดลงมีค่าน้อยและค่าของ V_c จะวัดได้เกือบอย่างเดียวกับค่า V_{total}

ถ้าหากวัดแล้วไม่มีแรงดันที่คอลเล็กเตอร์และไม่มีกระแสสูงผิดปกติ ถ้าเป็นเช่นนั้นก็แสดงว่ามีวงจรเปิดอยู่ในคอลเล็กเตอร์โหลดหรือไม่ก็มีวงจรเปิดอยู่ในฟีดรีซิสเตอร์

การตรวจกระแสโดยไม่ต้องตัดวงจร

ถ้าหากว่ามี V_c ขึ้นตอนต่อไปก็ต้องตรวจสอบ I_c วิธีทำก็คือต้องตัดวงจรที่ทางด้านบนของ R_c แล้วเอามิเตอร์วัดกระแสต่อเข้าไปในวงจร แต่การทำเช่นนี้เป็นเรื่องยาก วิธีที่ดีกว่านี้ก็คือวัดแรงดันที่ปรากฏคร่อมรีซิสเตอร์ในวงจรคอลเล็กเตอร์ และจากค่าที่วัดได้เอามาคำนวณกับค่าของความต้านทานก็สามารถคำนวณค่าของกระแสที่ไหลผ่าน การใช้วิธีนี้ไม่ใช่เรื่องยากและทำให้การวิเคราะห์หาจุดเสียเร็วขึ้น เราลองมาดูตัวอย่าง

สมมติว่า R_c มีค่าเป็น $1k(1000 \text{ โอห์ม})$ และ

แรงดันคร่อมรีซิสเตอร์ตัวนี้เราวัดค่าได้เป็น 1 โวลต์ จากกฎของโอห์ม (I เท่ากับ V/R) เราจะสามารถคำนวณหาค่าของกระแสได้ เมื่อคิดค่ากระแสเป็น มิลลิแอมป์จะเท่ากับแรงดันวัดเป็นโวลต์หารด้วยความต้านทานคิดเป็น 1,000 โอห์ม (คือกิโลโอห์ม) ดังนั้นตามตัวอย่างนี้เราได้ $1/1$ หรือเท่ากับ 1 mA

ความเที่ยงตรงแน่นอนของการคำนวณแบบนี้ขึ้นอยู่กับความแน่นอนของรีซิสเตอร์และโวลท์มิเตอร์ นอกนั้นก็ขึ้นกับความไวของโวลท์มิเตอร์ เป็นเรื่องที่เราเข้าใจกันดีแล้วว่าโวลท์มิเตอร์ที่มีความไวดีจะทำหน้าที่เหมือนว่าเป็นตัวต้านทานวงจร R_c และจะลดค่าความต้านทานที่แรงดันผ่านไป อย่างไรก็ตามก็ดีในทางปฏิบัติของการค้นหาจุดเสีย กระแสที่วัดได้ถือว่ามีความถูกต้องแน่นอนเพียงพอ วิธีการวัดกระแสแบบนี้ได้แสดงไว้ให้เห็นตรงจุด Test 2 ในรูปที่ 3

ตอนนี้เราก็เห็นแล้วว่าทรานซิสเตอร์ทำงานอย่างไร ถ้าหากว่าทั้ง V_c และ I_c มีค่าเป็นปกติ สำหรับวงจรอย่างที่เราเอามาตรวัดเราก็สามารถสรุปได้ว่า I_b กำลังไหลและ I_c เกิดจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ เราอาจผิดพลาดได้ในการสรุปไว้อย่างนี้ ทั้งนี้ก็เพราะว่า I_c อาจเป็นกระแสลัดเล็ดหรือเป็นกระแสที่เกิดจากทรานซิสเตอร์เสียก็ได้ เราต้องแน่ใจในเรื่องนี้

เราจะมีคามมั่นใจอย่างแน่นอนว่า I_c เป็นผลมาจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ปกติ คือ ทรานซิสเตอร์ทำงานโดยถูกต้องโดยวิธีเปลี่ยน I_b เล็กน้อย ในขณะที่เราสังเกตค่าของ I_c (นั่นคือแรงดันที่วัดได้คร่อม R_c)

ค่าของ I_b เปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนค่าของ R_b ในวงจร (a) หรือโดยการเปลี่ยนค่าของ V_{be} ในวงจร (b) วิธีรวดเร็วที่สุดในการเปลี่ยนแปลงวงจร (a) ก็เพียงเอา R_b ค่าสูง ๆ มาต่อคร่อม ถ้าหากค่าของ R_b มีค่าเป็น 470 k Ω เราก็เอารีซิสเตอร์ค่าประมาณ 1M มาต่อคร่อมซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสเข้าไปที่จังก์ชันของอิมิตเตอร์/เบส เมื่อภาคจ่ายไฟ 10 โวลต์จะทำให้

ค่าของ I_b เพิ่มขึ้นประมาณ 10 μA

การตรวจสอบค่าเบต้า

ถ้าหากทรานซิสเตอร์ทำงานด้วยค่าของ I_b ประมาณ 20 μA และค่าของ I_c มีค่า 2.8 mA ดังนั้น 10 μA ของ I_b ที่เพิ่มขึ้นจะผลักค่าของ I_c ให้สูงขึ้นประมาณ 4.2 mA เพราะค่าเบต้าของทรานซิสเตอร์ เราจะหาค่าเบต้าที่ถูกต้องจากคุณสมบัติของวงจรคอมมอน-อิมิตเตอร์และเอามาเปรียบเทียบกับค่าของเบต้าที่ได้จากการวัด ค่าเบต้าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงใน I_c หารด้วยการเปลี่ยนแปลงใน I_b ตามตัวอย่างที่กล่าวมาค่าเบต้าจะเท่ากับ 2000/10 หรือเท่ากับ 200

เราจะต้องระมัดระวังอย่าให้คอลเล็กเตอร์มีกระแสมากเกินไปในการตรวจวัดด้วยวิธีนี้ การมีค่า I_b เพิ่มขึ้นมากเกินไปอาจทำให้จังก์ชันของอิมิตเตอร์/เบสพังหรือทำให้จังก์ชันของคอลเล็กเตอร์เสียเพราะความร้อนที่คอลเล็กเตอร์มีมากเกินไป เมื่อใช้ทรานซิสเตอร์ AF114 ของ บ.มุลลาร์ด ความร้อนที่ 45°C จะเท่ากับ 50 mW ค่านี้ตรงกับ I_c ค่า 5 mA เมื่อ V_c เป็น 10 V

ค่าเบต้าในวงจรประเภทนี้ได้แสดงไว้ให้เห็นในรูปที่ 3 (b) ยิ่งเป็นเรื่องยุ่งยากมากยิ่งขึ้นอย่างไรก็ดีก็ยังรู้ได้ว่าทรานซิสเตอร์ทำงานหรือไม่โดยวิธีเอารีซิสเตอร์ตัวหนึ่งที่มีค่าใกล้เคียงกับ R_2 มาต่อคร่อมกับ R_2 การทำเช่นนี้จะลด V_{be} ลงและการลดของ I_c จะสังเกตเห็นได้ในวงจรที่ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นปกติ

ในวงจรที่ I_c ไม่เปลี่ยนแปลงเพราะการเปลี่ยนแปลงใน I_b หรือ V_{be} ถ้าเป็นเช่นนี้ก็เกือบมั่นใจได้เลยว่าทรานซิสเตอร์เสีย อย่างไรก็ตามก็ดีกว่าก่อนนำเอาทรานซิสเตอร์ออกจากวงจรมาตรวจวัดหรือเอาตัวใหม่ใส่แทนก็ควรตรวจวัดให้แน่ใจสัก 1-2 ครั้ง

ในวงจรอย่างเช่นรูปที่ 3 (b) ซึ่งมีอิมิตเตอร์รีซิสเตอร์อยู่ตัวหนึ่ง ก็จะสามารถวัดค่าของ V_c ได้ ดังแสดงไว้ให้เห็นตรง Test 3 จะหาค่า I_c ได้ทำนอง

เดียวกับ I_c โดยวิธีการแรงดันที่วัดได้ด้วยค่าของ อิมิตเตอร์รีซิสเตอร์เป็นกิโลโอห์มเพื่อให้ได้คำตอบ เป็นมิลลิแอมป์ ดังนั้น I โวลต์คร่อมความต้านทาน $1\text{ k}\Omega$ ก็จะเท่ากับ I_c ของ 1 ma

คอลเล็คเตอร์จังก์ชันเกิดข้อขัด

ถ้าหากว่ามี I_c แต่ไม่มี I_e (นั่นคือ I_c เป็นศูนย์) ก็เกือบจะแน่ใจได้เลยว่ามีการข้อขัดหรือการรั่วที่จังก์ชันของคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ในสภาพเช่นนี้ I_c จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ I_b หรือ V_{be} เปลี่ยนแปลง

เรารู้มาแล้วว่า I_c คือ I_b หรือ I_e ทั้งนี้ก็เพราะว่าทั้ง I_c และ I_b ไหลอยู่ในวงจรอิมิตเตอร์ จะต้องสังเกตดูความแตกต่างระหว่าง I_c และ I_e เพราะ I_b อาจมีค่าเพียง μA แต่ถ้าหากการวัดค่า I_c และ I_e ได้ค่าปกติและการเปลี่ยนแปลงใน I_b หรือ V_{be} ไม่ทำให้ I_c เปลี่ยนแปลง ก็ควรตรวจวัด V_{be} ที่ขาทรานซิสเตอร์ ดังแสดงไว้ให้เห็นตรง Test 4 ในวงจรที่ (b) การวัดเช่นนี้จำเป็นต้องใช้มิเตอร์ชนิดมีความไวมาก ๆ เพื่อวัดในย่าน $2-3$ มิลลิโวลต์ได้

ถ้าหากวัดแล้วได้ค่าปกติและได้ค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเอา R_2 มาต่อคร่อม แต่ค่า I_c ยังคงที่ก็แสดงว่าทรานซิสเตอร์เสียแน่นอน

ถ้าหากไม่มี I_c หรือ I_e ก็วัดค่า V_{be} อีกครั้งหนึ่ง ถ้าหากวัดแล้วไม่มี V_{be} ก็ควรเลื่อนหัววัดของมิเตอร์จากขาทรานซิสเตอร์ไปยังวงจรจริง ๆ เหตุผลที่ต้องทำเช่นนี้มีอยู่ว่าบางครั้งการบัดกรีไม่สนิทหรือการต่อไว้ไม่ดีระหว่างขาทรานซิสเตอร์กับวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนแผ่นวงจรพิมพ์ การต่อหรือบัดกรีไว้อาจมองดูว่าดี แต่ภายใต้ตะกั่วบัดกรีลงไปอาจมีการต่อทางไฟฟ้าไม่ดีพอ ความยุ่งยากในเรื่องนี้จะทำให้กระแสเบสของทรานซิสเตอร์ไม่พอ ดังนั้นจึงไม่มีกระแสคอลเล็คเตอร์พอเพียงด้วย

จังก์ชันของคอลเล็คเตอร์เปิดวงจร

ถ้าหากการไม่มี I_c เกิดจากจังก์ชันที่คอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์เปิดวงจร เรื่องนี้จะเห็นได้ชัดโดย

การวัด V_e (ตรงจุด Test 3) แล้วปรากฏมีแรงดันต่ำมาก ทั้งนี้เพราะมีกระแสเบสอย่างเดียวเท่านั้นทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมิตเตอร์รีซิสเตอร์

จากการตรวจวัดทั้ง 4 วิธีตามที่กล่าวมาจะสามารถค้นหาสภาพการทำงานทางดีของทรานซิสเตอร์ในวงจรได้ ในที่สุดก็จำเป็นต้องเอาตัวทรานซิสเตอร์ออกจากวงจรเพื่อเอามาตรวจวัดโดยละเอียดหรือเพื่อเอาตัวใหม่ใส่แทน

มีข้อควรระวังอยู่เล็กน้อยเกี่ยวกับจุดอ่อนของทรานซิสเตอร์คือ ทรานซิสเตอร์ไม่ชอบกระแสหรือแรงดันกระชาก มันจะทำให้จังก์ชันของเบสหรือคอลเล็คเตอร์พังหรือไม่ทำให้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไปโดยสิ้นเชิง

แรงดันหรือกระแสกระชากอาจเกิดขึ้นได้เมื่อต่อเครื่องวัดที่ทำงานด้วยกระแส AC เข้ากับวงจรต่าง ๆ โดยมีการแยกจากกันระหว่างเครื่องวัดกับอุปกรณ์ที่นำมาวัดไม่เพียงพอ ความจริงจะมีกระแสลัดวงจรจำนวนน้อยมากปรากฏระหว่างไส้กับตัวต้านทานของหัวแรงไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสกระชากขึ้นมาเมื่อปลายหัวแรงสัมผัสกับวงจร กระแสกระชากที่เกิดขึ้นมีกำลังมากพอที่จะทำให้จังก์ชันของอิมิตเตอร์พัง จังก์ชันของอิมิตเตอร์เป็นจุดอ่อนแอที่สุดของอีก 2 จังก์ชันของทรานซิสเตอร์ เรื่องทำนองนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าหากหัวแรงได้รับการลงดินไว้ดีพอ เพราะกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจะถูกระบายลงดินไปไม่เข้าไปในวงจร อย่างไรก็ตามก็ดีเพื่อเป็นการประหยัดกระแสจากแบตเตอรี่ควรใช้หัวแรงไฟฟ้าชนิดใช้กับไฟ AC เท่านั้น

โวลต์มิเตอร์ชนิดที่ใช้หลอดถ้าหากใช้ไม่ถูกต้องก็อาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียได้ง่าย ๆ วิธีที่ดีนั้นควรต่ออุปกรณ์ทำงานด้วยกระแส AC เข้ากับวงจรก่อนเปิดสวิทช์ทั้งเครื่องวัดและอุปกรณ์ที่นำมาตรวจวัด เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) ถ้าหากทำงานจากกระแส AC ก็ควรมีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย (เรียกว่า Isolating Capacitors)

กระแสกระชากที่มีอันตรายอาจเกิดขึ้นได้โดย

การต่อและการปลดทราวนซิสเตอร์และอุปกรณ์ออก
ในขณะวงจรมีกระแส จึงต้องปิดสวิทช์ก่อนเสมอเมื่อ
ต่อหรือปลดทราวนซิสเตอร์เรียบร้อยแล้วจึงเปิดสวิทช์
เมื่อใช้ FET และ IC ที่มี FET ต้องป้องกันกระแสสถิตย์
ให้ด้วย

จิงชั้นของอีมีเตอร์เปิดวงจร

จิงชั้นของอีมีเตอร์พังเพราะกระแสกระชาก
ซึ่งจะรู้ได้ว่าเป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าจะไม่มี I_c เลย และ
ค่าของ I_c ก็มีน้อยมากเพราะกระแสลิกเกจคือ I_{cbo}

นอกจากนั้นกระแสกระชากยังทำให้จิงชั้น
ลัดวงจรหรือเกิดวงจรลัดที่จิงชั้นของทราวนซิสเตอร์
จิงชั้นที่คอลเล็กเตอร์พังจะรู้ได้เพราะมี I_c สูงกว่า
ค่าปกติ ซึ่งกระแสจะไม่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ I_b หรือ
 V_{be} เปลี่ยนแปลงค่า

การเกิดข้อผิดพลาดหรือการช็อตเพียงส่วนเดียวจะทำให้ค่าของ I_c สูงผิดปกติ I_c มีค่าเป็นศูนย์หรือต่ำมาก

ในบางสภาพการณ์ทราวนซิสเตอร์อาจพังเพราะ
นำไปตรวจสอบโดยวิธีไม่ถูกต้อง เครื่องตรวจวัด
ราคาถูก ๆ สามารถตรวจสอบค่าเบต้าและกระแส
ลิกเกจของคอลเล็กเตอร์ ถ้าหากใช้เครื่องวัดอย่าง
ถูกต้องตามคำแนะนำการใช้

อย่างไรก็ดีถ้าให้ I_c หรือ V_c สูง หรือ I_b มีค่า
มากเกินไป ความร้อนที่ปรากฏออกมาทั้งหมดจะมี
มากซึ่งจะทำให้จิงชั้นของทราวนซิสเตอร์มีความร้อน
สูง และทำให้ความร้อนทวีตัวมากยิ่งขึ้น สภาพการณ์
เช่นนี้เรียกว่าเกิดความร้อนทวีคูณ ดังนั้นจึงควรทำ
การวัดทราวนซิสเตอร์ด้วยเครื่องวัดที่มีความร้อน
น้อยที่สุดและทำการตรวจวัดทราวนซิสเตอร์โดยใช้
เวลาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และปิดสวิทช์ทันทีถ้า
หากว่าขณะวัดค่าที่วัดสูงขึ้นทุกขณะ

การออสซิลเลตปลอม

ทราวนซิสเตอร์ VHF และ UHF ในเครื่องวัด
ทราวนซิสเตอร์ทำให้เกิดการออสซิลเลตปลอมขึ้นมาก
การเกิดออสซิลเลตเช่นนี้จะทราบได้เมื่อเข็มวัดของ

เครื่องวัดชี้เต็มสเกล และจะรู้ได้โดยอีกวิธีหนึ่งเมื่อ
เข็มวัดชี้กลับขณะใช้มือหรือปลายไขควงสัมผัสกับ
ขาเบสหรือขาคอลเล็กเตอร์ของทราวนซิสเตอร์ตัวที่
นำมาตรวจวัด การออสซิลเลตปลอมยังเกิดขึ้นได้
เพราะใช้สายต่อยาวระหว่างเครื่องวัดกับทราวนซิสเตอร์
ที่เอามาตรวจวัด เมื่อทำการตรวจวัดทราวนซิสเตอร์
VHF และ UHF สายวัดจะต้องต่อตรงกับเทอร์มินอล
ของเครื่องวัด ถ้าหากการเกิดออสซิลเลตยังคงทำ
ให้มีปัญหาอยู่อีกจะแก้ไขได้โดยเอาแท่งเฟอไรท์
ขนาดเล็กมาใส่ไว้ที่ขาทราวนซิสเตอร์ แท่งเฟอไรท์
ทำให้ค่าอินดักแตนซ์สูงขึ้นจึงทำให้การเกิด
ออสซิลเลตเป็นไปด้วยความยากลำบาก

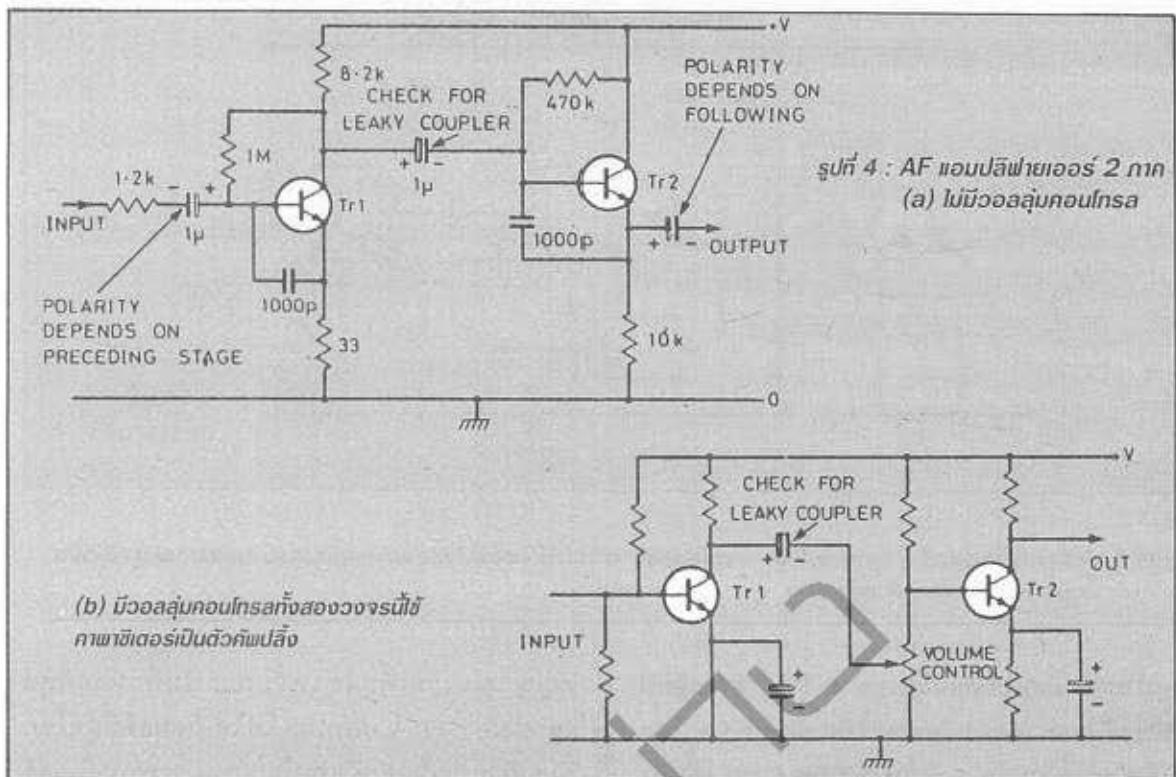
นอกเหนือไปจากการเกิดออสซิลเลตปลอม
จะสร้างปัญหายากยากกับการตรวจวัดทราวนซิสเตอร์
แล้ว ในบางกรณีก็จะทำให้ทราวนซิสเตอร์ตัวที่นำมา
ตรวจสอบวัดพัง เพราะทำให้ I_c หรือ I_b มีมากเกินไป (หรือทั้ง 2 เรื่อง) และตัวทราวนซิสเตอร์ได้รับความร้อนเกินปกติ

อุปกรณ์ประเภทหลายภาค

โดยปกติแล้วอุปกรณ์ทราวนซิสเตอร์จะมีมาก
กว่าหนึ่งภาคดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 ตัวอย่างเช่น
ในวิทยุทราวนซิสเตอร์ง่าย ๆ อย่างน้อยที่สุดจะมี 6
ภาคมีทราวนสฟอร์เมอร์และคาปาซิเตอร์เป็นตัวคัปปลิง
ภาคต่าง ๆ เหล่านี้คือ 1. ภาคเปลี่ยนความถี่ 2. ภาค
IF ที่หนึ่ง 3. ภาค IF ที่สอง 4. ภาคดีเท็คเตอร์ 5. ภาค
ออติโอแอมพลิฟายเออร์หรือไดรเวอร์ และ 6. ภาค
เอาต์พุต

การวิเคราะห์หาจุดเสียแต่ละภาคแม้จะกระทำ
ได้ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่บางครั้งการ
คัปปลิงแต่ละภาคทำให้เกิดจุดเสียซึ่งจะทำให้เกิด
บกพร่องขึ้นมาในภาคที่ต่ออยู่ด้วยกัน

รูปที่ 4 (a) แสดงให้เห็นแอมพลิฟายเออร์ 2 ภาค
เชื่อมต่อกันด้วยคาปาซิเตอร์ (อาจเป็นไมโครโฟน
แอมพลิฟายเออร์) Tr_1 ต่อไว้แบบคอมมอนอีมีเตอร์
และ Tr_2 ต่อไว้แบบคอมมอน-คอลเล็กเตอร์ (อีมีเตอร์



ฟอลโลเวอร์) ทั้ง 2 ภาคได้รับการไบอัสให้ทำงานในคลาส A โดยใช้รีซิสเตอร์ค่าสูงต่อเข้าระหว่างเบสและคอลเล็กเตอร์หรือสายของภาคจ่ายไฟ สัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วที่คอลเล็กเตอร์ของ Tr_1 จะถูกส่งผ่านไปให้เบสของ Tr_2 โดยมีคาปาซิเตอร์อีเล็กโตรไลต์ $1 \mu F$ เป็นตัวเชื่อมต่อหรือเป็นตัวคัปปลิงระหว่างทั้ง 2 ภาค

ถ้าหากคัปปลิงคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดการช็อตหรือรั่ว การวิเคราะห์ภาค Tr_2 จะแสดงให้เห็นค่า I_c สูงผิดปกติ ทั้งนี้ก็เป็นเพราะว่ากระแสลิกเกจของคาปาซิเตอร์จะไหลเข้าไปในเบสของ Tr_2 ซึ่งในสภาพของไบอัสเช่นนั้นเป็นการ "กั้น" ภาค Tr_2 โดยสิ้นเชิง หรือถ้าหากว่ากระแสลิกเกจไม่ร้ายแรงมากนักผลที่จะเกิดขึ้นมาก็คือสัญญาณเอาท์พุทมีความเพี้ยน

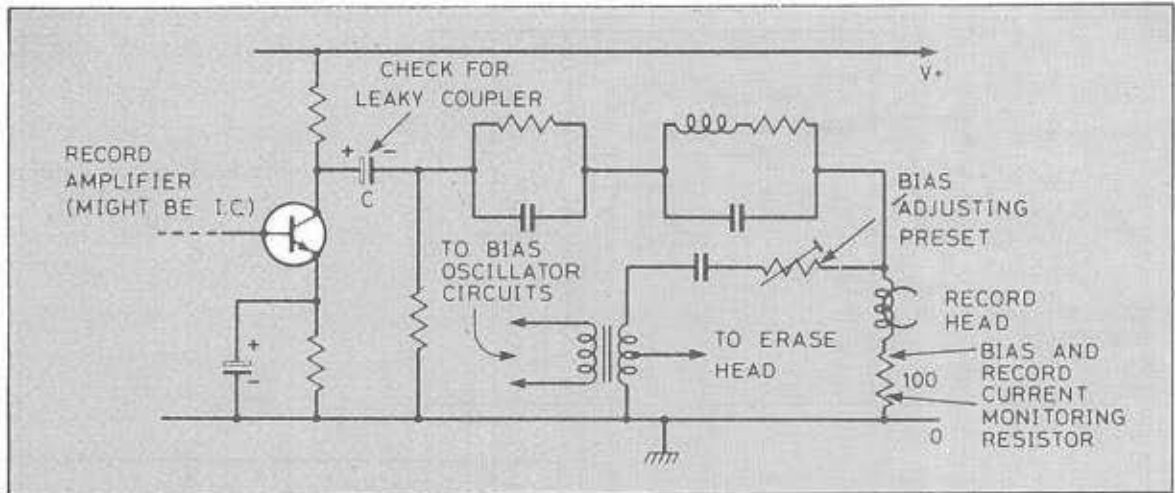
ตรวจตัวคัปเปลอร์รั่ว

วิธีการรวดเร็วอีกวิธีหนึ่งในการตรวจการรั่วของคาปาซิเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคัปปลิงระหว่าง

ภาคก็คือ การวัดค่า I_c ของภาคที่ถูกต่อเข้ากับภาคแรก หรือภาค Tr_2 ในรูปที่ 4 (a) ให้บันทึกการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อปลดสายข้างหนึ่งของคัปปลิงคาปาซิเตอร์ออก ตรวจสอบกระแสชาร์จและดิสชาร์จ ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อต่อตัวคัปเปลอร์ใหม่แล้วก็แน่ใจได้เลยว่าจะต้องเปลี่ยนคาปาซิเตอร์

สมมติว่าเอาไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์มาต่อเข้าที่อินพุทของรูปที่ 4 (a) และคัปปลิงคาปาซิเตอร์ที่อินพุทเกิด "รั่ว" เบสไบอัสของ Tr_1 อาจเสีย เนื่องจากปลายด้านล่างของไมโครโฟนควรเท่ากับศักย์ของแท่น กระแสลิกเกจจะแบ่งเบสไบอัส (สมมติว่าไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ซึ่งมีความต้านทานค่อนข้างต่ำ) และภาคนั้นจะหยุดนำกระแส

รูปที่ 4 (b) แสดงให้เห็นว่า 2 ภาคเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยคาปาซิเตอร์รวมทั้งมีวอลุ่มคอนโทรลไบอัสของ Tr_2 ในกรณีนี้จะได้รับผลกระทบประการใดจากตัวคัปปลิงคาปาซิเตอร์ย่อมแต่ตำแหน่งของ



รูปที่ 5 : ในวงจรนี้การรั่วที่ C ซึ่งจะทำให้มี DC ไหลเข้าไปในหัวบันทึกทำให้มีรอยสกปรกสูง และการตอบสนองในย่านความถี่สูงไม่ดีเป็นผลมาจากมีอำนาจแม่เหล็กที่หัวบันทึก

คอนโทรล เมื่อหมุนคอนโทรลตามเข็มนาฬิกาเต็มที กระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์รีซิสเตอร์ T_{r1} จะไหลเข้าไปในเบสของ T_{r2} ทำให้ไบอัสของ T_{r2} เพิ่มขึ้นจนอาจทำให้เกิดสภาพ "อัมตั่ว" เมื่อหมุนคอนโทรลทวนเข็มนาฬิกาเต็มทีกระแสลัดเกจจะไหลตรงไปยังแท่นและไม่มีผลกระทบต่อไบอัสของ T_{r2} ดังนั้นการวัด I_c ของ T_{r2} จะเปลี่ยนแปลงไปมากขณะหมุนวอลลุ่มคอนโทรลไป แต่ก็ป็นสาเหตุทำให้เกิดความเพี้ยนขึ้นมาขณะหมุนคอนโทรล ซึ่งจะได้ยินเสียงดังแกรก ๆ และในที่สุดสัญญาณก็จะหยุดไหลโดยสิ้นเชิง ถ้าหากว่าตัวคัปปลิงคาปาซิเตอร์ไม่ดี V_c ของ T_{r1} ก็จะลดลงไปด้วยเมื่อลวอลลุ่มคอนโทรล

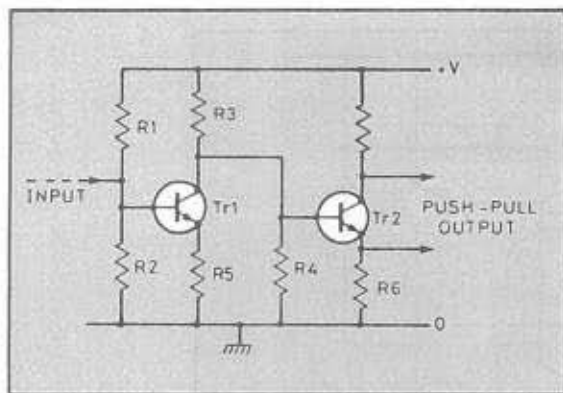
หัวบันทึกของเครื่องบันทึกเทปอาจส่งผ่านสัญญาณไปยังคอลเล็กเตอร์ของแอมพลิฟายเออร์ของเครื่องโดยผ่านไประหวัดคัปปลิงคาปาซิเตอร์ ดังได้แสดงไว้ให้เห็นในรูปที่ 5 ถ้าคาปาซิเตอร์ตัวนี้รั่วจะทำให้มีกระแสดีซีไหลผ่านหัวบันทึกซึ่งเป็นเรื่องร้ายแรงมาก หัวเทปอาจได้รับแรงแม่เหล็ก ถ้าหากใช้หัวบันทึกมาใช้ในการเพลย์แบคด้วยจะทำให้อัตราส่วนสัญญาณ/นอยส์และการตอบสนองต่อความถี่สูงเสียไป

วงจรยังแสดงให้เห็นว่าไบอัส HF ต้องการ

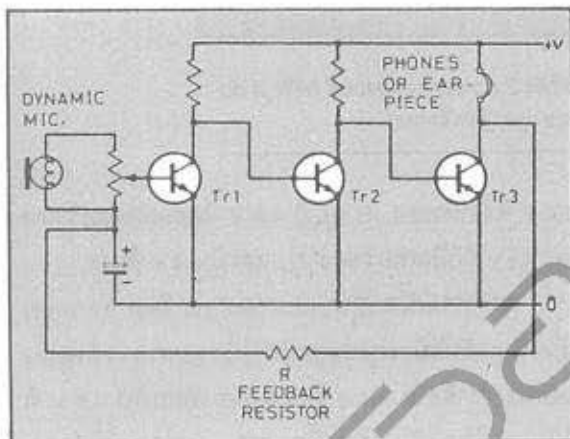
สัญญาณความเพี้ยนสำหรับการบันทึกน้อยที่สุดและนำเอา LB จากเทปมาใช้ให้เกิดผลดีที่สุดโดยป้อนสัญญาณไปยังหัวเทปโดยผ่านทางคาปาซิเตอร์และรีซิสเตอร์ปรับระดับไบอัส ดังนั้นกระแสลัดเกจในคัปปลิงคาปาซิเตอร์จะไม่ทำให้มีกระแสดีซีไหลผ่านหัวเทป นอกจากนั้นก็มีกระแสไบอัส HF ไหลผ่านรีซิสเตอร์ 100 โอห์มซึ่งต่อไปเป็นอนุกรมกับหัวเทป แรงดัน HF ปรากฏคร่อมรีซิสเตอร์ตัวนี้เป็นตัวตั้งไบอัส เช่นมีค่า 30 mV ปรากฏคร่อมรีซิสเตอร์สำหรับเทปเฟอริค HL เมื่อตั้งสวิตช์ของมิเตอร์ไปไว้ยังตำแหน่ง DC จะวัดไม่พบว่ามี DC

การคัปปลิงโดยตรง

มีวงจรมากมายต่อเข้าด้วยกันโดยไม่มีคาปาซิเตอร์เป็นตัวคัปปลิงและเราได้เห็นตัวอย่างเรื่องนี้มาแล้วในรูปที่ 20 ทรานซิสเตอร์ในไอซีนั้นจะเชื่อมต่อเข้าถึงกันโดยตรง (ไม่มีตัวคัปปลิง) อีกตัวอย่างของการต่อเข้าถึงกันโดยตรงได้แสดงไว้ให้เห็นในรูปที่ 6 ในวงจรนี้กระแสบเบสสำหรับ T_{r1} ได้มาจากตัวแบ่งแรงดัน R_1/R_2 และสำหรับ T_{r2} ได้มาจากตัวแบ่งแรงดัน R_3/R_4 จะเห็นว่ารีซิสเตอร์ที่นำมาใช้จะต้องเลือกมาด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้เหมาะสมต่อ



รูปที่ 6 : วงจรแบบคัปปลิงโดยตรง ซึ่ง Tr1 ส่งกำลังไปส่วภาคแบ่งเฟสเพื่อส่งไปที่เอาท์พุททรานซิสเตอร์คู่หนึ่งซึ่งทำงานแบบพุช-พูล



รูปที่ 7 : แอมป์ฟายเออร์มีเกนขยายสูง 3 ภาคคัปปลิง โดยตรง ซึ่งทำให้ DC ทำงานมีเสถียรภาพเพราะการฟีดแบคจากคอลเล็กเตอร์ Tr3 ไปยังเบส Tr1 โดยผ่านทาง R "เกนขยายล๊อค" โอฮ์มโดยทั่ว ๆ ไปในปัจจุบันถูกนำมาใช้แทนวงจรชนิดนี้

การทำงานของทรานซิสเตอร์และการเชื่อมต่อถึงกันระหว่างภาคโดยตรง แต่ในวงจรที่มีได้ออกแบบไว้เพื่อการต่อโดยตรงจะเอาคัปปลิงคาปาซิเตอร์ออกไปไม่ได้

การทำงานอย่างมีเสถียรภาพในรูปที่ 6 ได้มาจากอีมิเตอร์รีซิสเตอร์ R5 และ R6 และวงจรโดยทั่วไปต้องการให้กระแสเบส "สมดุล" ในเอาท์พุททรานซิสเตอร์ของภาคพุช-พูล

วงจรแบบต่องันโดยตรงอีกวงจรหนึ่งได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 7 วงจรนี้ได้รับการออกแบบไว้ให้มีเกนขยายสูง มีนอยส์ต่ำและเป็นแอมป์ฟายเออร์ที่ใช้อยู่ในเครื่องช่วยการฟัง แรงดันของภาคจ่ายไฟและคอลเล็กเตอร์รีซิสเตอร์ได้รับการคัดเลือกให้แอมป์ฟายเออร์ทำงานในคลาส A และในการนี้ การทำให้วงจรทำงานมีเสถียรภาพได้มาจากการฟีดแบค ดีซี จากคอลเล็กเตอร์ของ Tr3 ป้อนไปให้เบสของ Tr1 ผ่านทางฟีดแบครีซิสเตอร์ R โดยทั่ว ๆ ไปวงจรประเภทนี้ขณะนี้นั้นไปใช้โอฮ์มนอยส์ต่ำ ๆ มีเกนขยายสูงแทน

ตัวอย่างของการคัปปลิงโดยตรงใช้ในออดิโอ-แอมป์ฟายเออร์ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 8 ในวงจรดังกล่าวใช้ทรานซิสเตอร์ PNP ผสมกับทรานซิสเตอร์ NPN เรียกว่าคัมพลีเมนตารี

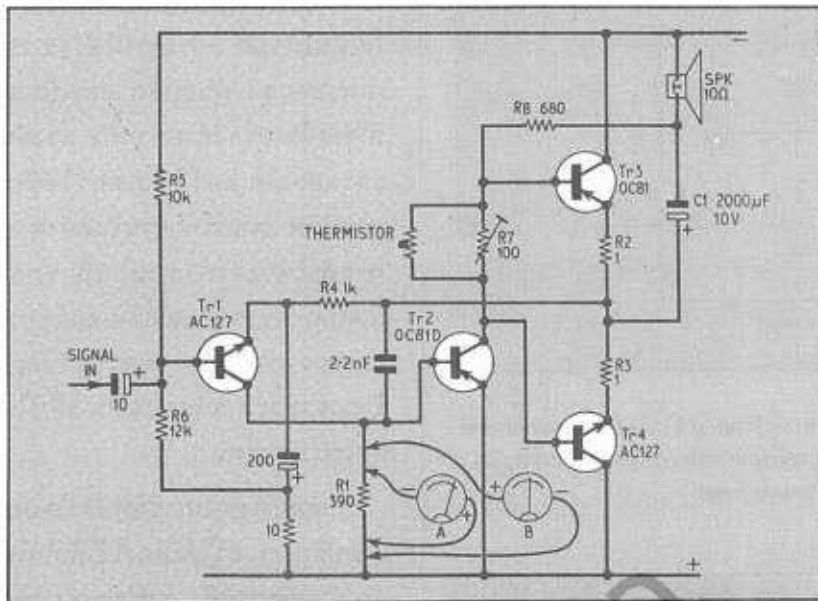
นอกจากนั้นคัมพลีเมนตารี Tr3 และ Tr4 ในรูปที่ 8 ยังมี Tr1 NPN เป็นปรีแอมป์ฟายเออร์ Tr2 PNP เป็นภาคไดรเวอร์

สภาพของ DC ในวงจรคอมพลีเมนตารี

Tr1 ต่อไว้แบบคอมมอน-อีมิเตอร์ มีสัญญาณอินพุตป้อนเข้าไปที่เบสและเอาท์พุทออกมาจากคอลเล็กเตอร์ ใช้การคัปปลิงโดยตรงจากคอลเล็กเตอร์ของ Tr1 ไปให้เบสของ Tr2 คอลเล็กเตอร์ของ Tr1 NPN ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟบวกโดยผ่านทางโหลด R1 และอีมิเตอร์ต่อเข้าไปยังจังก์ชันของ R2 R3 ผ่านทาง R4 ตรงจุดนี้เป็นจุดแรงดันกลาง แรงดันบวกจำนวนเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอีมิเตอร์ถูกป้อนเข้าไปยังเบสของ Tr1 จากตัวแบ่งแรงดันให้เบส R5 R6

คอลเล็กเตอร์ของ Tr2 ถูกต่อเข้ากับสายลบของภาคจ่ายไฟ ผ่านทาง R7 ซึ่งเป็นชั้นที่เทอร์มิสเตอร์, R8 และล้าโพง, ในขณะเดียวกันอีมิเตอร์ก็ถูกส่งกลับไปยังสายบวก

ในทาง DC, เอาท์พุทของคอมพลีเมนตารี Tr3 และ Tr4 ถูกต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรม โดยให้คอลเล็ก-



รูปที่ 8 : ออดิโอแอมป์ลิฟายเออร์ใช้ทรานซิสเตอร์ PNP 2 ตัวและทรานซิสเตอร์ NPN 2 ตัว
ต่อแบบคอมพลีเมนต์กันที่นำมาก่อร่างแบบเพช-พล “ซิงเกิลเอนด์”

เตอร์ของ Tr3 PNP ต่อเข้ากับสายลบและคอลเล็กเตอร์
ของ Tr4 NPN ต่อเข้ากับสายบวก หลังจากนั้นทั้ง 2
อิมิตเตอร์ต่อเข้าด้วยกันผ่านทาง R2 และ R3

เอาที่พุททธานซิสเตอร์ได้ไบอัสทำงานใน
คลาส B หมายความว่า T_{r3} PNP จะต้องมีความดัน
ลบค่าเล็กน้อยอยู่ที่เบสเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ ใน
ขณะที่ T_{r4} NPN จะต้องมีความดันบวกค่าเล็กน้อยอยู่
ที่เบสเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ สภาพเหล่านี้เป็นเรื่อง
จำเป็นเพื่อให้กระแสตรงทิศทาง (Forward Current)
เข้าไปในจังก์ชันของอิมิตเตอร์/เบส

การให้ไบอัสเช่นนี้ได้จากการเชื่อมต่อโดยตรงของไครเวอร์ T_{r2} ในรูปที่ 9 เป็นวงจรไครเวอร์/เอ๊าท์พุทแบบง่าย ๆ ซึ่งให้แรงดันที่จุดต่าง ๆ แม้ว่า จะไม่ใช่วงจรตัวอย่างจริง ๆ แต่วงจรนี้อย่างน้อยที่สุด ก็แสดงให้เห็นว่าจะตั้งศักย์ให้ได้ตามที่ต้องการได้ อย่างไร แรงดันนั้นเป็นแรงดันเทียบกับแรงดันลบของ แบตเตอรี่

เริ่มต้นจากภาคใดเวอร์ จะมีศูนย์โวลต์ตรง
ด้านบนของโพลด R3 (ความจริงจะมีแรงดันน้อย
มากเพราะมีแรงดันตกคร่อมขดลวดของลำโพง) มี

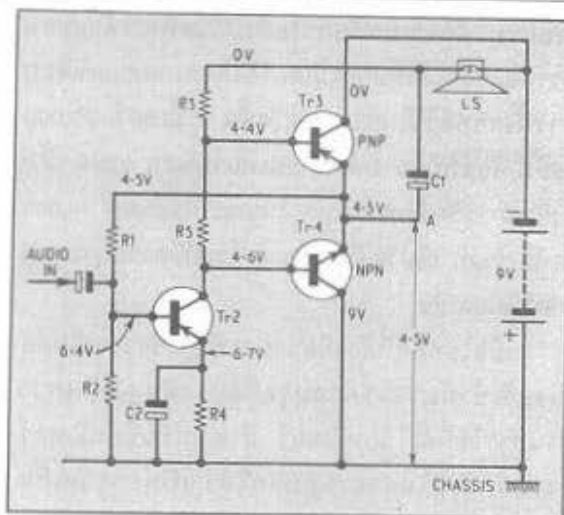
4.4 V ที่จิ้งขั้วของ R3 R5 มี 4.6 V ที่คอลเล็กเตอร์ของ Tr2 6.7 V ที่อีมิเตอร์ของ Tr2 และมี 6.4 V ที่เบส

จากกรณีนี้จะเห็นว่าเบสของ Tr_2 มีค่า 0.3 V ลบ เมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ของมัน เนื่องจากคาร์คัพปลิ่งโดยตรงเราจึงได้ 4.4 V ที่เบส Tr_3 เทียบกับ 4.5 V ที่อิมิตเตอร์ของมัน เรื่องนี้หมายความว่าเบสมีค่าลบ 0.1 V เมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ ดังนั้น Tr_3 จึงนำกระแสเล็กน้อย (ผ่าน I_c)

อย่างไรก็ดีเนื่องจาก R5 แรงดันที่เบส Tr4 จึงเป็น 4.6 V เทียบกับ 4.5 V ที่อีมิเตอร์ เรื่องนี้หมายความว่าเบสเป็นบวก 0.1 V เมื่อเทียบกับอีมิเตอร์ ดังนั้น Tr4 จึงนำกระแสเพียงเล็กน้อย

R5 เป็นไบอัสรีซิสเตอร์ต้องเลือกค่าให้เหมาะสม เพื่อให้ได้กระแสไบอัสที่ถูกต้อง วงจรได้รับการจัดไว้เพื่อให้แรงดันที่จุด A เมื่อเทียบกับแท่นสูงกว่าครึ่งหนึ่งของแรงดันเบตเตอร์เล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะมีแรงดันตกคร่อมอีมิเตอร์รีซิสเตอร์ R3 (รูปที่ 8) บวกกับแรงดันที่อิมิตัวของ Tr2

กลับไปดูวงจรที่ใช้กันอยู่จริง ๆ ในรูปที่ 8 เรา
จะเห็นว่าแทนที่จะใช้ไบอัสรีซิสเตอร์ R5 เพียงตัว



รูปที่ 9 : วงจรพื้นฐานของภาคไดรเวอร์และคู่พุช-พูลจาก
วงจรรูปที่ 8

เดียว (รูปที่ 9) และใช้ R7 และเทอร์มิสเตอร์ต่อไว้แบบ
ขนาน เน้นเทคนิคนี้หน้าที่ทำให้วงจรทำงานมีเสถียรภาพ
ถ้าหากไม่มีเนื้ทวนนี้กระแสของเอาท์พุททรานซิสเตอร์
ก็จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะลดลงเมื่ออุณหภูมิ
ต่ำลง ผลก็คือเกิดความเพี้ยนขึ้นมา

ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ที่เอาท์พุททรานซิสเตอร์
กระแสคอลเล็คเตอร์ของมันถึงจุดตัดกระแสโดยไม่ต้อง
ทำให้วงจรทำงานมีเสถียรภาพ เพียงแต่อิมิตเตอร์
รีซิสเตอร์ R2 และ R3 ค่า 1 โอห์มได้ไว้ เทอร์มิสเตอร์
แก้ปัญหาเรื่องยุ่งยากนี้ได้เมื่ออุณหภูมิลดลงค่าของ
มันจะสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เบส Tr3 เป็นบวกน้อยลง
และเบส Tr4 เป็นบวกมากขึ้น การทำงานเช่นนี้ทำให้
Ic ของแต่ละเอาท์พุททรานซิสเตอร์สูงขึ้นและจะ
ป้องกันไม่ให้ภาคนั้นทำงานใกล้จุดตัดกระแสมาก
เกินไป ซึ่งในสภาพเช่นนั้นจะทำให้เกิดความเพี้ยน
“ครอสโอเวอร์” ซึ่งเรื่องนี้จะได้นำมาพิจารณาใน
คราวต่อไป

ในรูปที่ 8 การทำให้วงจรทำงานมีเสถียรภาพ
ได้มาจากทางเดินคิซีระหว่างจันซ์ของ R2 R3 และ
อิมิตเตอร์ของ Tr1 ความจริง Tr1 ทำหน้าที่เป็นคิซี
แอมพลิฟายเออร์ในแง่นี้และเปรียบเทียบแรงดันที่
เบสของมันกับแรงดันจุดกลางที่จันซ์ของ R2 R3

เกินขยายสูง ๆ ของแอมพลิฟายเออร์จึงทำให้
แรงดันที่จุดกลางมีค่าคงที่เมื่อเปรียบกับแรงดันที่
เบสของ Tr1

สมควรจะต้องกล่าวไว้ด้วยว่าสัญญาณใดที่
จากคอมมอน-อิมิตเตอร์ Tr2 ถูกป้อนเข้าไประหว่าง
เบสและอิมิตเตอร์ของทั้ง Tr3 และ Tr4 ทั้งนี้ก็เพราะว่า
สัญญาณใดที่ปรากฏคร่อมคอลเล็คเตอร์ในโหลด
(R8) ของ Tr2 ปรากฏอยู่ที่อีเล็คโตรดเหล่านี้เพราะ
AC คัพปลิงของ C1

ผลของพุช-พูล

มีเรื่องที่น่าสนใจในอีกแนวทางหนึ่งของคอม-
พลีเมนตารีทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นออดิโอ
แอมพลิฟายเออร์ ได้แก่เรื่องแบ่งเฟสแยกกันต่างหาก
ในรูปที่ 8 ถ้าโหม่งคูล์ผ่านทาง C1 และทั้ง ๆ ที่เอาท์พุท
ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวถูกโหม่งจากจุดสัญญาณ
เดียวกัน (คือคอลเล็คเตอร์ของไดรเวอร์ Tr2) การ
ทำงานแบบพุช-พูลเกิดขึ้นมาได้ก็เพราะครึ่งไซเคิล
บวกของการโหม่งทำให้ทรานซิสเตอร์ NPN นำ
กระแสและทำให้ทรานซิสเตอร์ PNP หยุดนำกระแส
และจะกล่าวถึงเรื่องสภาพสัญญาณของออดิโอแอม-
พลิฟายเออร์ในบทต่อไป

การวิเคราะห์การคัพปลิงโดยตรงและภาค
คอมพลีเมนตารีทรานซิสเตอร์ ทำการวิเคราะห์หา
จุดเสียตามแนวทางที่อธิบายมาแล้วในเรื่องการค้นหา
จุดเสียในวงจรมีทรานซิสเตอร์ภาคเดียวและในภาค
ที่ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวคัพปลิง สิ่งที่ต้องดูก่อนก็คือ
ชนิดของทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้ (คือชนิด PNP หรือ
NPN) ขั้วบวกหรือลบของแรงดันและเรื่องคอมมอน-
อีเล็คโตรด ตัวอย่างเช่น Vc ของ Tr3 ในรูปที่ 8 ควร
วัดเปรียบเทียบกับอิมิตเตอร์ นั่นคือจันซ์ของ R2
R3 การวัดแบบนี้เห็นได้ชัดในกรณีของ Tr2 และ Tr4
ควรวัด Vc ของ Tr1 เทียบกับที่จันซ์ของ R2 และ
R3 ในวงจรที่ซับซ้อนมาก ๆ อย่างเช่นในรูปที่ 8 จะ
ต้องค้นหากระแสที่เนื้ทวนจากการวัดค่าแรงดัน
จากแรงดันคร่อมรีซิสเตอร์ การทำเช่นนี้เป็นการ

