

AEL-06 วงจรขยายที่ใช้ทรานซิสเตอร์ประเภท BJT

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

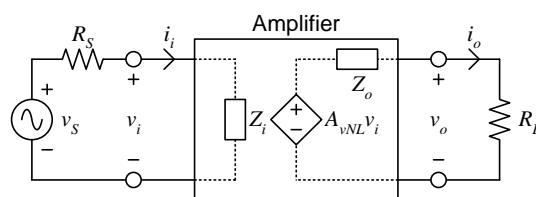
1. ศึกษาการทำงานของวงจรขยายที่ใช้ทรานซิสเตอร์ประเภท BJT.
2. ศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญของวงจรขยาย.

วงจรขยายสัญญาณเบื้องต้นที่ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ BJT มีการต่อ 3 แบบ คือ common-emitter, common-collector, และ common-base. วงจรขยายแต่ละแบบจะมีพารามิเตอร์พื้นฐานซึ่งได้แก่ความต้านทานทางเข้าอินพุต (Z_i), ความต้านทานทางออกเอาต์พุต (Z_o), voltage gain (A_v), และ current gain (A_i) แตกต่างกันไปตามลักษณะการต่อวงจร. นอกจากพารามิเตอร์เหล่านี้ ยังมีการตอบสนองความถี่ของวงจรขยาย และการตอบสนองต่อสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้วิศวกรพิจารณาประกอบการใช้งานอีกด้วย. ในการทดลองนี้ เราจะศึกษาวงจรขยายทั้ง 3 แบบ รวมทั้งพารามิเตอร์บางตัวของวงจรขยายดังกล่าวด้วย.

วงจรขยายแบบอื่นๆนอกเหนือจากทั้ง 3 แบบนี้ ยังมีวงจรอีกหลายชนิด เช่น cascode amplifiers, differential amplifiers, tuned amplifiers, ฯลฯ. บางวงจรจะขยายได้ทั้งไฟตรงและไฟสลับ. บางวงจรเหมาะที่จะขยายเฉพาะสัญญาณความถี่สูง เช่น สัญญาณวิทยุ เป็นต้น. วงจรขยายบางวงจรมีกำลังงานเอาต์พุตพอที่จะขับโหลดที่กินกำลังงานมาก เช่น ลำโพง หรือมอเตอร์ได้.

6.1. พารามิเตอร์ที่สำคัญของวงจรขยาย

แบบจำลองของวงจรขยายอย่างง่ายได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.1. ทางด้านอินพุตของวงจรขยายประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ Z_i เพียงตัวเดียว. ทางด้านเอาต์พุตประกอบด้วย voltage-controlled voltage source ซึ่งมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ A_{vNL} และต่ออนุกรมอยู่กับอิมพีแดนซ์ Z_o . ทางด้านเข้าของวงจรขยายจะต่อกับแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีค่าแรงดันเท่ากับ v_s ซึ่งมีความต้านทานภายในแหล่งกำเนิดสัญญาณเท่ากับ R_s และสัญญาณเอาต์พุต v_o จะอยู่ทางด้านขวามือของวงจร ซึ่งให้มีโหลด R_L ต่ออยู่ด้วย.



รูปที่ 6.1 แบบจำลองของวงจรขยายอย่างง่าย.

เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองอย่างง่าย จึงใช้ได้เฉพาะบางย่านความถี่เท่านั้น ซึ่งเราเรียกว่าเป็น ย่านความถี่กลาง. ถ้าความถี่ของสัญญาณสูงหรือต่ำกว่าย่านดังกล่าว แบบจำลองนี้อาจจะให้ผลต่างจากที่เกิดขึ้นจริงมากได้. ในการทดลองนี้ ในย่านความถี่กลางเราจะใช้ความต้านทาน R_i และ R_o แทนอิมพีแดนซ์ Z_i และ Z_o ตามลำดับ.

6.2. ประเภทของวงจรขยายที่ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ BJT

การนำทรานซิสเตอร์แบบ BJT มาต้องเป็นวงจรขยายแบบต่างๆ ทั้ง 3 แบบนั้น ขึ้นอยู่กับการเลือกหาทรานซิสเตอร์ว่า ขาใดเป็นอินพุตและขาใดเป็นเอาต์พุต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.1. วงจรขยายแต่ละแบบจะให้คุณสมบัติของ Z_i , Z_o , A_v , A_i และ A_p ต่างกัน ดังสรุปไว้ในตารางที่ 6.2. เราต้องเลือกวงจรขยายให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่จะขยายและความต้านทานของโหลดด้วย. ในการทดลองนี้ เราจะใช้วงจรขยายแบบ common-emitter และ common-collector (หรือ emitter follower) ซึ่งทั้งคู่ใช้วงจรไบอัสแบบ voltage divider.

ตารางที่ 6.1 การใช้ขาของทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายแบบต่างๆ.

	CE Configuration	CB Configuration	CC Configuration
ขาอินพุต	base	emitter	base
ขาเอาต์พุต	collector	collector	emitter
ขาร่วมของอินพุตและเอาต์พุต	emitter	base	collector

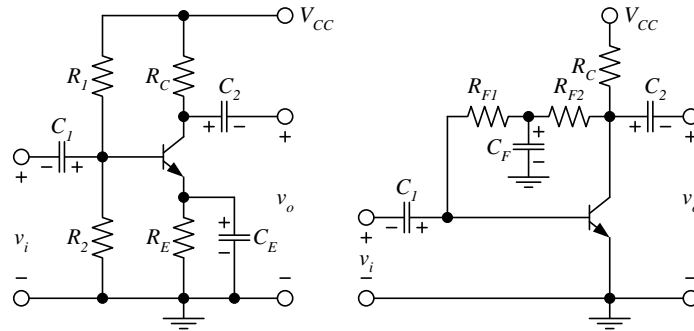
ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรขยายแบบ CE, CC, และ CB.

ประเภท	A_v	A_i	$A_p = A_v A_i$	Z_i	Z_o
CE	100-1000	100-1000	> 1000	$1k\Omega$ - $10k\Omega$	$1k\Omega$ - $10k\Omega$
CC	< 1	100-1000	$\cong A_i$	$> 10k\Omega$	$< 1k\Omega$
CB	100-1000	< 1	$\cong A_v$	$< 1k\Omega$	$> 10k\Omega$

6.3. ผลของตัวเก็บประจุในวงจรขยาย

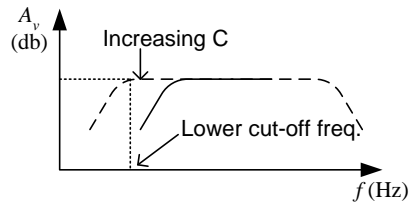
ตัวเก็บประจุที่ต่อไว้ในวงจรจะมีหน้าที่ให้สัญญาณไฟสลับผ่าน แต่ไม่ยอมให้กระแสไฟตรงไหลผ่าน. ดังนั้น วงจรขยายจะมีไฟเลี้ยงวงจรอยู่เมื่อป้อนสัญญาณไฟสลับ. ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรขยายโดยทั่วไป จะมีหน้าที่สองประเภท คือ ให้สัญญาณไฟสลับไหลเข้าในวงจร หรือออกจากวงจรได้ ซึ่งเรียกว่า coupling capacitors และให้สัญญาณไฟสลับลัดจากจุดหนึ่งในวงจรไปยังอีกจุดหนึ่งในวงจร ซึ่งเรียกว่า bypass capacitors. บ่อยครั้งที่ bypass capacitors ถูกใช้เพื่อลัดสัญญาณไฟสลับลงกราวด์. ตัวเก็บประจุในวงจรขยายในรูปที่ 6.2 มีทั้งที่ทำหน้าที่เป็น coupling capacitors ได้แก่ C_1 และ C_2 และที่เป็น bypass capacitors ได้แก่ C_E และ C_F . โดยทั่วไป ตัวเก็บประจุเหล่านี้มีค่าใหญ่ จึงใช้ชนิด electrolytic capacitors ซึ่งมีขั้วแรงดัน. ในการต่อวงจรต้องระวังไม่ให้ขั้วของตัวเก็บประจุเหล่านี้ต่อผิดทิศทาง. ถ้าต่อขั้วผิดทิศทาง ตัวเก็บประจุจะกลายเป็นความต้านทาน และอาจร้อนขึ้นจนสารเคมีภายในเดือดและระเบิดได้ในที่สุด.

ตัวเก็บประจุมีอิมพีแดนซ์ขึ้นกับความถี่. ที่ความถี่ต่ำๆ ตัวเก็บประจุมีอิมพีแดนซ์สูง. ดังนั้น สัญญาณไฟสลับที่ความถี่ต่ำจะผ่านได้น้อยลงเมื่อเทียบกับความถี่สูง เป็นผลทำให้อัตราการขยายสัญญาณไฟสลับที่ความถี่ต่ำ ลดลงตามไปด้วย. ถ้าต้องการขยายสัญญาณไฟสลับที่มีความถี่ต่ำ ตัวเก็บประจุที่ใช้ต้องมีค่าใหญ่เพียงพอที่จะให้อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่ำไม่สูงจนเกินไป จึงจะได้อัตราขยายที่อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ.



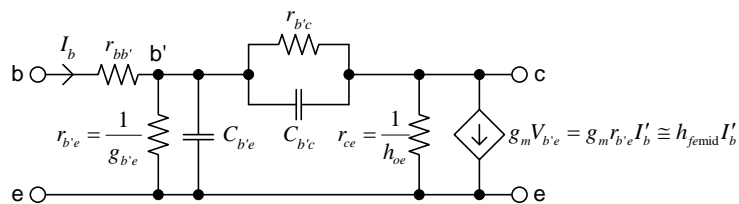
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างวงจรขยายที่มีการต่อตัวเก็บประจุไว้ในวงจร.

ตัวเก็บประจุในวงจรในรูปที่ 6.2 ไม่ว่าทำหน้าที่เป็น coupling capacitors หรือ bypass capacitors จะมีผลต่อความถี่ต่ำทั้งสิ้น. อัตราขยายของวงจรที่ความถี่ต่ำจะลดลง โดยเป็นผลมาจากตัวเก็บประจุเหล่านี้. ถ้าเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุเหล่านี้ อัตราขยายของวงจรจะลดลงที่ความถี่ต่ำลงไปอีก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.3.



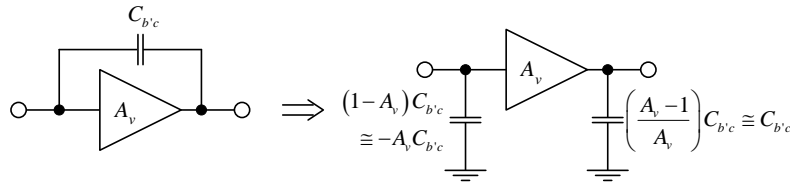
รูปที่ 6.3 ผลตอบสนองความถี่ที่ความถี่ต่ำที่มีการเพิ่มค่าตัวเก็บประจุ.

ถ้าความถี่ของสัญญาณที่เข้าวงจรขยายมีค่าสูงเกินไป วงจรขยายจะมีอัตราขยายลดลงได้เช่นกัน. แต่เราไม่สามารถจะพิจารณาได้จากแบบจำลองอย่างง่ายที่ผ่านมา เพราะยังละเอียดไม่พอเมื่อใช้กับความถี่สูง. แบบจำลองหนึ่งของทรานซิสเตอร์ที่มักนิยมใช้กับความถี่สูงคือ hybrid- π (หรือ Giaccolletto model) จะมีการพิจารณา ตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นที่ junction ในตัวทรานซิสเตอร์เพิ่มเติมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.4.

รูปที่ 6.4 แบบจำลองทรานซิสเตอร์ชนิด hybrid- π (หรือ Giaccolletto model).

นอกจากนี้ base ของทรานซิสเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือเป็นโหนด b และ b' เนื่องจากต้องการคิดความต้านทานที่เกิดขึ้นที่ base ให้ละเอียดขึ้น. ค่า $r_{bb'}$ เป็นค่าความต้านทานภายในส่วนที่เป็น base ของทรานซิสเตอร์. ตัวต้านทาน $r_{bb'}$ และตัวเก็บประจุ $C_{b'e}$ และ $C_{b'c}$ จะทำให้อัตราขยายแรงดันของวงจรที่ความถี่สูงลดลง. ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปค่าของ $C_{b'e}$ จะมากกว่า $C_{b'c}$ (เช่น $C_{b'e} = 36$ pF, $C_{b'c} = 4$ pF) แต่ผลของ $C_{b'c}$ อาจมีมากกว่า เนื่องจากแรงดันที่ขา collector มีขนาดใหญ่และมีเฟสตรงกันข้าม ซึ่งทำให้กระแสที่ไหลผ่าน $C_{b'c}$ มีมากกว่ากระแสของ $C_{b'e}$ ได้ จึงทำให้ค่าเสมือน (Miller-effect capacitance) ของ $C_{b'c}$ เมื่อมองเข้าที่อินพุตใหญ่ขึ้นกว่าเดิมประมาณ $-A_v$ เท่า ดังแสดงในรูปที่ 6.5. (ค่า A_v ในที่นี้จะมีค่าเป็น

ลบ ดังนั้น $-A_v$ จึงมีค่าเป็นบวก). ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองชนิด hybrid- π นี้ ต้องหาจากผู้ผลิตทรานซิสเตอร์.

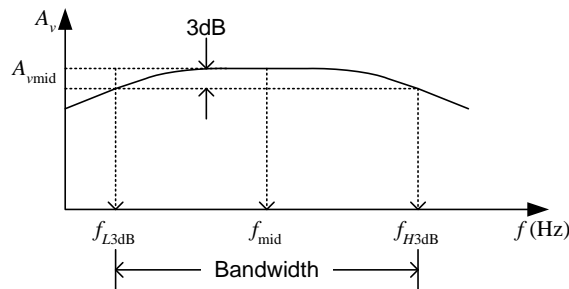


รูปที่ 6.5 Miller-effect capacitance ทำให้ทางด้านอินพุตเสมือนว่ามี C ขนาด $-A_v C_{b'c}$ ต่ออยู่.

(หมายเหตุ A_v ในที่นี้จะมามีค่าเป็นลบ จึงทำให้ $-A_v$ มีค่าเป็นบวก)

6.4. การวัดการตอบสนองความถี่ของวงจรขยาย

ในการทดลองนี้จะมีการวัด bandwidth ของวงจรขยายแต่ละแบบ เพื่อเปรียบเทียบกัน. การตอบสนองความถี่ของวงจรขยายโดยทั่วไปจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.6. การวัด เริ่มจากการปรับความถี่ของสัญญาณอินพุต เพื่อให้ได้อัตราขยายแรงดันสูงสุดก่อน ซึ่งเรียกว่า mid-band $A_{v \text{ mid}}$ และความถี่ที่ให้อัตราขยายแรงดันสูงสุด เรียกว่า mid-band frequency (f_{mid}). โดยทั่วไปความถี่นี้จะมีเฟสระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตตรงกัน (0 องศา) หรือตรงข้ามกัน (± 180 องศา). จากนั้น ให้ปรับความถี่ต่ำลง จนกระทั่งวัดอัตราขยายแรงดันลดลงจาก $A_{v \text{ mid}}$ 3 dB (หรือเหลือเพียง 0.707 เท่าของ $A_{v \text{ mid}}$). ความถี่นี้เรียกว่า lower cut-off frequency (f_{L3dB}). แล้วให้ปรับความถี่สูงขึ้นเรื่อยๆ จนอัตราขยายแรงดันลดลงเหลือเพียง 0.707 เท่าของ $A_{v \text{ mid}}$ (ลดลง 3 dB) อีก. ความถี่นี้เรียกว่า upper cut-off frequency (f_{H3dB}). ค่า bandwidth สามารถคำนวณได้จากผลต่างของ f_{H3dB} และ f_{L3dB} .

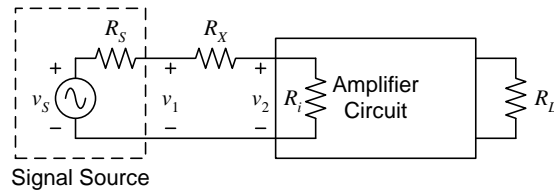


รูปที่ 6.6 ลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายโดยทั่วไป.

6.5. เทคนิคการวัดค่าความต้านทานขาเข้า

ในส่วนนี้จะแสดงวิธีหนึ่งในการวัดค่าความต้านทานทางด้านอินพุต (R_i) ของวงจรขยาย โดยการต่อ อิมพีแดนซ์ ภายนอกอนุกรมกับสิ่งที่ต้องการวัด แล้วป้อนสัญญาณเข้าไป. ในการวัด R_i ของวงจรขยาย เราอาจต้องจตามรูปที่ 6.7 และตั้งความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณให้อยู่ในช่วง mid-band ของวงจรขยาย. R_x เป็นตัวต้านทานที่ต่อเพิ่มเข้าไปในวงจร เพื่อทำให้ v_1 ต่างจาก v_2 เพียงพอที่จะวัดได้สะดวก และไม่ต้องต่างกันมากหรือน้อยเกินไป เช่น ถ้าเลือก R_x ประมาณเท่ากับ R_i จะทำให้ได้ v_2 ประมาณครึ่งหนึ่งของ v_1 .

ถ้า R_x เป็นค่าอื่น เราสามารถคำนวณ R_i ได้จาก



รูปที่ 6.7 วงจรที่ใช้วัดความต้านทานทางด้านอินพุต.

$$R_i = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X$$

โดยต้องใช้ v_s ที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้สัญญาณเอาต์พุต v_o ถูกขลิบด้านใดด้านหนึ่ง.

ในทางปฏิบัติเราควรจะประมาณค่า R_i ให้ได้ก่อน จึงจะเลือกค่า R_X ที่เหมาะสมได้. ถ้าไม่ทราบค่า R_i เลย เราอาจจะเลือกค่า R_X ให้สูงไว้ก่อน เพื่อไม่ให้กระแสไหลเข้าขาอินพุตของวงจรขยายมากเกินไป. ถ้า v_2 มีค่าน้อยเกินไป ให้ลดค่า R_X ลง.

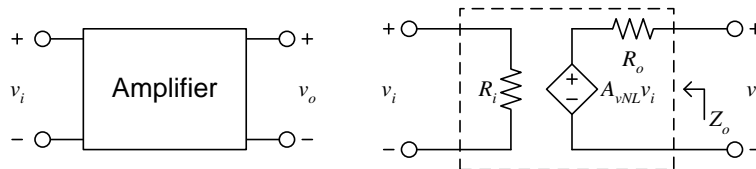
การวัด R_i ของวงจร จำเป็นต้องต่อความต้านทานทางด้านเอาต์พุต (R_L) ไว้ด้วย เนื่องจากวงจรขยายบางวงจรมี R_i ขึ้นอยู่กับ R_L .

6.6. เทคนิคการวัดค่าความต้านทานขาออก (R_o)

ในการวัดความต้านทานทางด้านเอาต์พุต (R_o) เราจะแทนเอาต์พุตของวงจรขยายด้วยวงจร Thevenin ซึ่งประกอบด้วยแรงดัน $v_o = A_{vNL}v_i$ ต่ออนุกรมกับ R_o ดังแสดงในรูปที่ 6.8. วิธีหนึ่งที่จะวัด R_o เราจะให้ v_i เท่ากับ 0 V โดยการลัดขาอินพุตลงกราวด์ แล้วป้อนแรงดัน v_s ผ่านตัวต้านทาน R_X ดังแสดงในรูปที่ 6.9. ค่า R_o สามารถคำนวณได้จาก

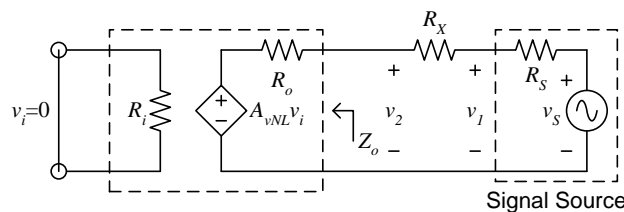
$$R_o = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X$$

โดยต้องใช้ v_s ที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้กระแสไหลจากแหล่งจ่ายสัญญาณมากเกินไป.



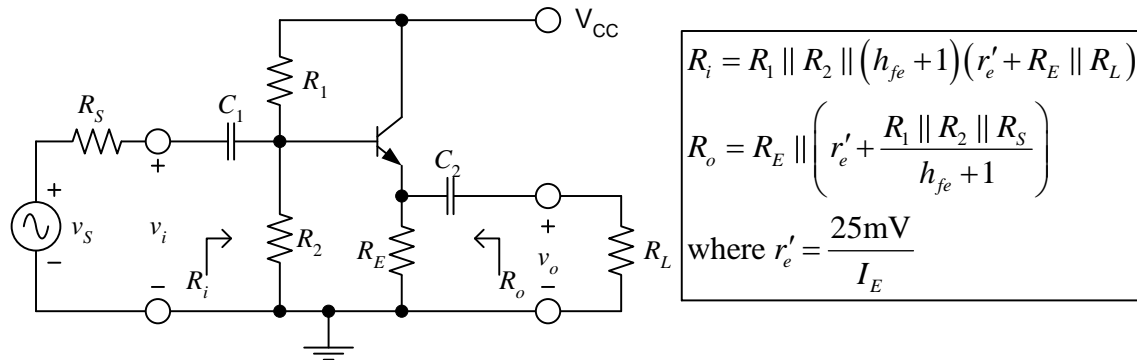
รูปที่ 6.8 การแทนส่วนเอาต์พุตของวงจรขยายด้วยวงจร Thevenin.

ในทางปฏิบัติเช่นเดียวกับการคำนวณหา R_i เราควรจะประมาณค่า R_o ให้ได้ก่อน จึงจะเลือกค่า R_X ที่เหมาะสมได้. ถ้าไม่ทราบค่า R_o เลย เราอาจจะเลือกค่า R_X ให้สูงไว้ก่อน เพื่อไม่ให้กระแสไหลเข้าขาเอาต์พุตของวงจรขยายมากเกินไป. ถ้า v_2 มีค่าน้อยเกินไป ให้ลดค่า R_X ลง.

รูปที่ 6.9 การหา R_o ต้องลัดขาอินพุตลงกราวด์.

6.7. วงจรขยายที่มีความต้านทานขาเข้าและขาออกขึ้นแก่กันและกัน

วงจรขยายบางวงจรได้แก่ วงจรขยายแบบ common-collector ดังแสดงในรูปที่ 6.10 ซึ่งมีอัตราขยายแรงดันน้อยกว่า 1 เท่า มีค่าความต้านทานขาเข้าและขาออกขึ้นแก่กันและกัน. ถ้าความต้านทาน R_E หรือ R_L มาก ความต้านทานขาเข้า R_i จะมีค่ามากตามด้วย. ในทำนองเดียวกัน ถ้าความต้านทาน R_S หรือความต้านทานของวงจรทางด้านเบสมีค่ามาก ความต้านทานขาออก R_o จะมีค่ามากตามด้วย.



รูปที่ 6.10 วงจรขยายแบบ CC ซึ่งมีความต้านทานขาเข้าและขาออกขึ้นแก่กัน.

6.8. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904	1 ตัว
R 1/4W 5% 18k Ω , 22k Ω , 91k Ω , 100k Ω , 120k Ω , 150k Ω ค่าละ	1 ตัว
R 1/4W 5% 8.2k Ω , 10k Ω	2 ตัว
R 1/4W 5% 10 Ω , 300 Ω , 620 Ω , 1.8k Ω , 1k Ω ค่าละ	1 ตัว
C 22 μ F, 100nF	1 ตัว
C 330 nF	2 ตัว
แหล่งจ่ายแรงดัน	1 เครื่อง
Digital Multimeters	2 ตัว
Oscilloscope	1 เครื่อง
เครื่องกำเนิดสัญญาณ	1 เครื่อง

6.9. การทดลอง

6.9.1. การทดลองวงจรขยายแบบ Common Emitter ที่ไม่มี C_E

วิเคราะห์ไฟตรง

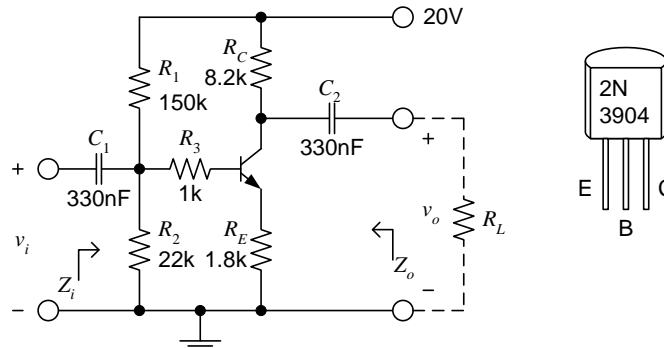
ต่อวงจรขยายแบบ common emitter ตามรูปที่ 6.11. ใช้ multimeter วัดค่า V_{CE} แล้วบันทึกลงในช่องว่างข้างล่างนี้. (วงจรในรูปที่ 6.11 นี้ มีการต่อ $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ อยู่ด้วย. R_3 นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัด f_{H3dB} ลงมาให้อยู่ในช่วงที่เครื่องมือที่มีอยู่ทำงานได้. ในการต่อวงจรใช้งานจริง จึงไม่จำเป็นต้องมีการต่อ R_3 .)

$V_{CE} = \underline{\hspace{2cm}}$ V.

$V_E = \underline{\hspace{2cm}}$ V.

$$I_E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA. (คำนวณจาก } I_E = \frac{V_E}{R_E} \text{.)}$$

$$\text{ค่า } r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_E} = \frac{25 \times 10^{-3}}{I_E} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega.$$

รูปที่ 6.11 วงจร common-emitter (ไม่มี C_E).

หาอัตราขยายแรงดันและ bandwidth ($R_L = \infty \Omega$)

ป้อนสัญญาณ sinusoidal waveform ที่ขาอินพุตของวงจร โดยใช้ความถี่ประมาณ 1 kHz และปรับขนาดของสัญญาณอินพุต v_i ให้ได้ขนาดประมาณ 1 V_{pp}. ปรับความถี่เพื่อให้เฟสระหว่าง v_o และ v_i ต่างกัน ± 180 องศา. ความถี่นี้จะเป็น mid-band frequency (f_{mid}). บันทึกความถี่นี้, v_o และ v_i เพื่อคำนวณหาอัตราขยายแรงดันที่ความถี่นี้.

$$f_{mid} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz.}$$

$$A_{v \text{ mid}} = \frac{v_o}{v_i} = - \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$A_{v \text{ mid}} \text{ ตามทฤษฎี} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.)}$$

$$\text{ลดความถี่ลงเพื่อหา } f_{L3dB} \text{ ได้ } f_{L3dB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz.}$$

$$\text{เพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นเพื่อหา } f_{H3dB} \text{ ได้ } f_{H3dB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz.}$$

$$3\text{-dB bandwidth} = f_{H3dB} - f_{L3dB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz.}$$

ผลของ R_L ที่มีต่ออัตราขยายแรงดัน ($R_L = 18\text{k}\Omega$)

ต่อ R_L ขนาด 18 k Ω เข้าที่เอาต์พุต. ป้อนสัญญาณ sinusoidal waveform ที่ขาอินพุตของวงจร โดยใช้ความถี่ f_{mid} และปรับขนาดของสัญญาณอินพุต v_i ให้ได้ขนาดประมาณ 1 V_{pp}. วัดอัตราขยายแรงดันเมื่อมี R_L ขนาด 18 k Ω ต่ออยู่.

$$A_{v \text{ mid}} = \frac{v_o}{v_i} = - \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

ในรายงานให้อภิปรายเปรียบเทียบอัตราขยายเมื่อต่อโหลด กับเมื่อไม่มีโหลดต่ออยู่ว่า ผลที่เกิดขึ้นเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร.

หา R_i

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.12 เพื่อวัด R_i . ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไปที่ f_{mid} . คำนวณหา R_i จากวงจร โดยสมมติให้ h_{fe} มีค่าเท่ากับ $\sqrt{h_{fe\max} \times h_{fe\min}} = \sqrt{400 \times 100} = 200$ เท่า

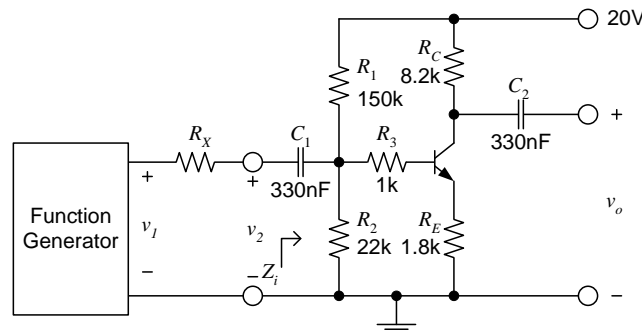
R_i ที่คำนวณได้ = _____ Ω . (แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.)

เลือก R_X ประมาณเท่ากับ R_i เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณครึ่งหนึ่งของ v_1 และปรับขนาดสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณ 1 V_{pp}.

R_X ที่ใช้ = _____ Ω .

v_1 = _____ V, v_2 = _____ V.

$R_i = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X =$ _____ Ω .



รูปที่ 6.12 วงจรที่ใช้หา R_i (วงจรไม่มี C_E).

หา R_o

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.13 เพื่อวัด R_o . ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไปที่ f_{mid} . คำนวณหา R_o จากวงจร. (อย่าลืมลัดวงจรทางด้านอินพุตด้วย.)

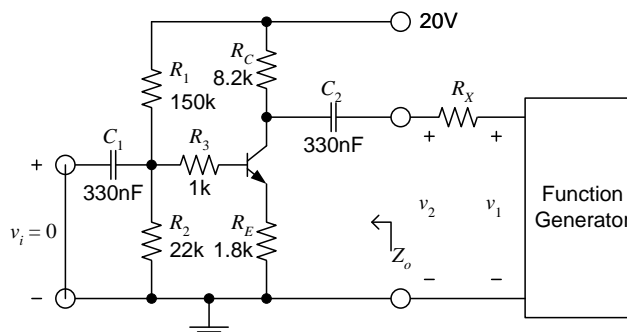
R_o ที่คำนวณได้ = _____ Ω . (แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.)

เลือก R_X ประมาณเท่ากับ R_o เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณครึ่งหนึ่งของ v_1 .

R_X ที่ใช้ = _____ Ω .

v_1 = _____ V, v_2 = _____ V.

$R_o = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X =$ _____ Ω .



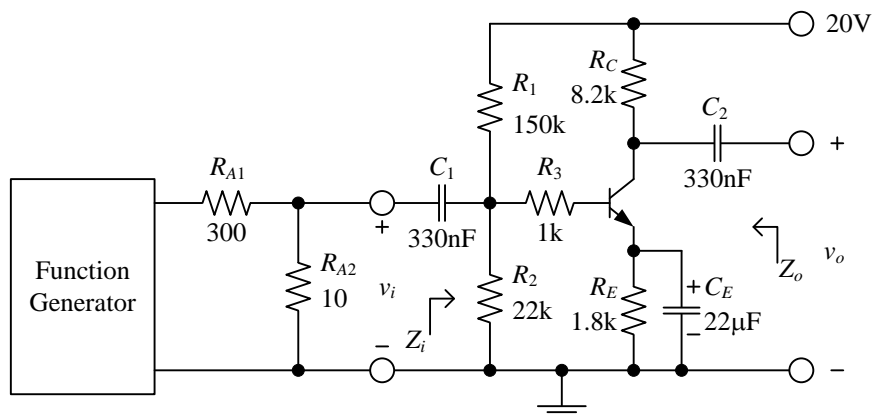
รูปที่ 6.13 วงจรที่ใช้หา R_o (วงจรไม่มี C_E).

ในรายงานให้เขียนอธิบายผลการทดลองว่า ค่าอัตราขยายแรงดัน, ความต้านทานขาเข้า, และความต้านทานขาออกของวงจรขยายที่มีความถี่ f_{mid} มีความสอดคล้องกับค่าตามทฤษฎีมากน้อยเพียงใด และอะไรเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนได้บ้าง.

6.9.2. การทดลองวงจร Common-Emitter ที่มี C_E

หาอัตราขยายแรงดันและ bandwidth

ต่อวงจรรูปที่ 6.14. ป้อนสัญญาณ sinusoidal waveform ความถี่ประมาณ 1 kHz เข้าที่ขาอินพุตของวงจร. เนื่องจากวงจรนี้มีอัตราขยายแรงดันมากกว่า 150 เท่า การป้อนสัญญาณอินพุต จะต้องผ่านวงจรแบ่งแรงดันที่ประกอบด้วย ตัวต้านทาน R_{A1} และ R_{A2} เพื่อลดแรงดันที่เข้าวงจรขยายลงในระดับหนึ่งก่อน. ปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุต v_o ที่มีขนาดประมาณ 50 mV_{pp}. ปรับความถี่เพื่อให้เฟสระหว่าง v_o และ v_i ต่างกัน ± 180 องศา. ความถี่นี้จะเป็น mid-band frequency (f_{mid}). บันทึกความถี่และวัดแรงดัน v_o และ v_i เพื่อคำนวณหาอัตราขยายแรงดันที่ความถี่นี้.



รูปที่ 6.14 วงจร common-emitter (วงจรมี C_E).

$$f_{mid} = \text{_____ Hz.}$$

$$A_{v \text{ mid}} = \frac{v_o}{v_i} = \text{_____}$$

$$A_{v \text{ mid}} \text{ ตามทฤษฎี} = \text{_____} \quad (\text{แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.})$$

$$\text{ลดความถี่ลงเพื่อหา } f_{L3dB}. \text{ ได้ } f_{L3dB} = \text{_____ Hz.}$$

$$\text{เพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นเพื่อหา } f_{H3dB}. \text{ ได้ } f_{H3dB} = \text{_____ Hz.}$$

$$3\text{-dB bandwidth} = f_{H3dB} - f_{L3dB} = \text{_____ Hz.}$$

หา R_i

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.15 (ในหน้าถัดไป) เพื่อวัด R_i . ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไปที่ f_{mid} . คำนวณหา R_i จากวงจร โดยสมมติให้ h_{fe} มีค่าเท่ากับ 141 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ต่อไป.

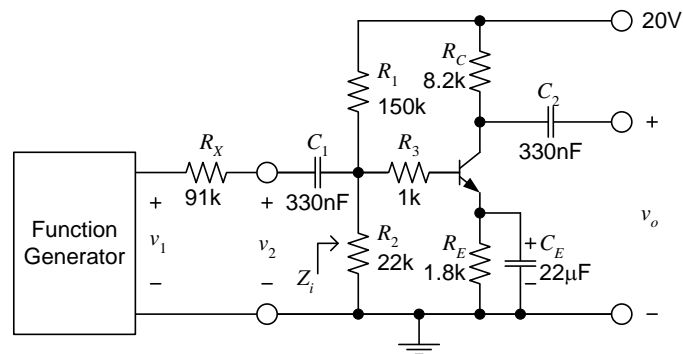
$$R_i \text{ ที่คำนวณได้} = \text{_____ } \Omega. \quad (\text{แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.})$$

ปรับขนาดสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณ 50 mV_{pp}.

$$R_X \text{ ที่ใช้} = \text{_____ } 91k \text{ } \Omega.$$

$$v_1 = \text{_____ V}, v_2 = \text{_____ V}.$$

$$R_i = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X = \text{_____ } \Omega.$$



รูปที่ 6.15 วงจรที่ใช้หา R_i (วงจรมี C_E).

หา R_o

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.16 เพื่อวัด R_o . ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไปที่ f_{mid} . คำนวณหา R_o จากวงจร. (อย่าลืมลัดวงจรทางด้านอินพุตด้วย.)

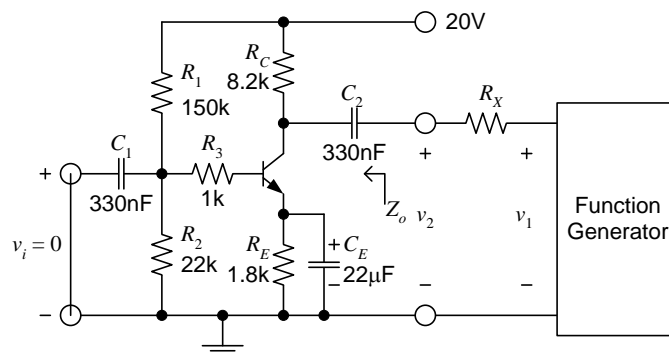
$$R_o \text{ ที่คำนวณได้} = \text{_____ } \Omega. \text{ (แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.)}$$

เลือก R_X ประมาณเท่ากับ R_o เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณครึ่งหนึ่งของ v_1 .

$$R_X \text{ ที่ใช้} = \text{_____ } \Omega.$$

$$v_1 = \text{_____ V}, v_2 = \text{_____ V}.$$

$$R_o = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X = \text{_____ } \Omega.$$



รูปที่ 6.16 วงจรที่ใช้หา R_o (วงจรมี C_E).

ในรายงานให้เขียนอภิปรายผลการทดลองว่า ค่าอัตราขยายแรงดัน, ความต้านทานขาเข้า, และความต้านทานขาออกของวงจรขยายที่ความถี่ f_{mid} มีความสอดคล้องกับค่าตามทฤษฎีมากน้อยเพียงใด และอะไรเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนได้บ้าง.

6.9.3. การทดลองวงจร Common-Collector (Emitter Follower)

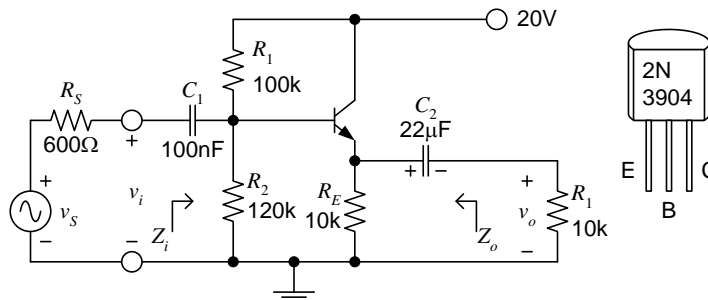
หาอัตราขยายแรงดัน

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.17. ป้อนสัญญาณ sinusoidal waveform ที่ขาอินพุตของวงจร โดยใช้ความถี่ประมาณ 100 kHz. เนื่องจากวงจรมี bandwidth กว้างเกินกว่า function generator จะสร้างได้ ความถี่ 100 kHz นี้จะถูกสมมุติให้เป็น mid-band frequency (f_{mid}). เลือกความต้านทานขาออกของ function generator เป็น 600 โอห์ม และปรับขนาดของสัญญาณอินพุต v_i ให้ได้ขนาดประมาณ 1 V_{pp}. บันทึกความถี่นี้และ v_o และ v_i เพื่อคำนวณหาอัตราขยายแรงดันที่ความถี่นี้.

$$A_{v \text{ mid}} = \frac{v_o}{v_i} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (\text{ควรมีค่า} < 1 \text{ เท่า})$$

ลดความถี่ลงเพื่อหา f_{L3dB} ได้ $f_{L3dB} = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz.

เนื่องจาก f_{H3dB} ของวงจรมีค่ามากกว่า 2 MHz ซึ่งสูงเกินความสามารถของเครื่องกำเนิดสัญญาณ จึงไม่สามารถทดลองได้.



รูปที่ 6.17 วงจร common-collector.

หา R_i

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.18 (ในหน้าถัดไป) เพื่อวัด R_i . ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไปที่ 100 kHz. คำนวณหา R_i จากวงจร โดยสมมุติให้ h_{fe} มีค่าเท่ากับ 141 เท่า.

$$R_i \text{ ที่คำนวณได้} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega. \quad (\text{แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย})$$

เลือก R_x ประมาณเท่ากับ R_i เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณครึ่งหนึ่งของ v_1 และปรับขนาดสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ได้ v_2 ประมาณ 1 V_{pp}.

$$R_x \text{ ที่ใช้} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega.$$

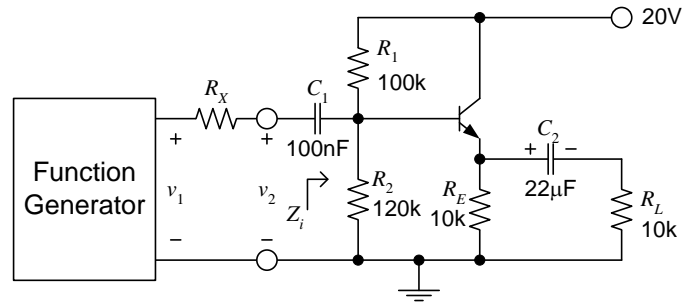
$$v_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}, v_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}.$$

$$R_i = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_x = \underline{\hspace{2cm}} \Omega.$$

ให้ถอด C_2 และ R_L ออกจากวงจรในรูปที่ 6.18. วัดค่า v_1 และ v_2 อีกครั้ง เพื่อหาค่า R_i ที่เปลี่ยนไป.

$$v_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}, v_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}.$$

$$R_i = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_x = \underline{\hspace{2cm}} \Omega. \quad (\text{ควรมีค่ามากกว่าเดิม})$$

รูปที่ 6.18 วงจรที่ใช้หา R_i .หา R_o

ต่อวงจรตามรูปที่ 6.19 เพื่อวัด R_o . ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไปที่ 100 kHz. คำนวณหา R_o จากวงจร.

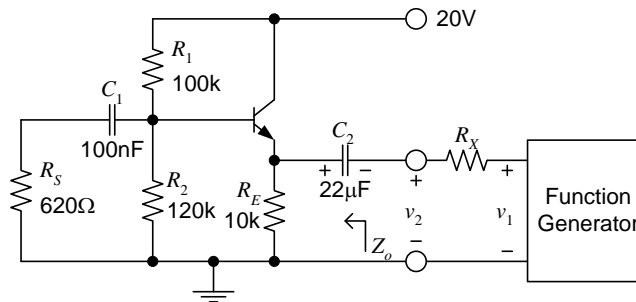
R_o ที่คำนวณได้ = _____ Ω . (แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.)

ให้ใช้ $R_X =$ _____ 300 _____ Ω .

ป้อนแรงดันของเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อให้ v_2 มีค่าประมาณ 50 mV_{pp}. บันทึกค่า v_1 และ v_2 .

$v_1 =$ _____ V, $v_2 =$ _____ V.

$R_o = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X =$ _____ Ω .

รูปที่ 6.19 วงจรที่ใช้หา R_o .

ให้ถอด C_1 และ R_S ออกจากวงจรในรูปที่ 6.19. วัดค่า v_1 และ v_2 อีกครั้ง เพื่อหาค่า R_o ที่เปลี่ยนไป.

$v_1 =$ _____ V, $v_2 =$ _____ V.

$R_o = \frac{v_2}{v_1 - v_2} R_X =$ _____ Ω . (ควรมีค่ามากกว่าเดิม)

ในรายงานให้เขียนอธิบายผลการทดลองว่า ค่าอัตราขยายแรงดัน, ความต้านทานขาเข้า, และความต้านทานขาออกของวงจรขยายที่ความถี่ f_{mid} มีความสอดคล้องกับค่าตามทฤษฎีมากน้อยเพียงใด และอะไรเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนได้บ้าง.

6.10. สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้

ให้สรุปสิ่งที่เรียนรู้ทั้งหมดจากการทดลองแยกเป็นอีกหัวข้อหนึ่งในท้ายรายงาน โดยสรุปเรียงตามลำดับเรื่องที่ทดลอง.