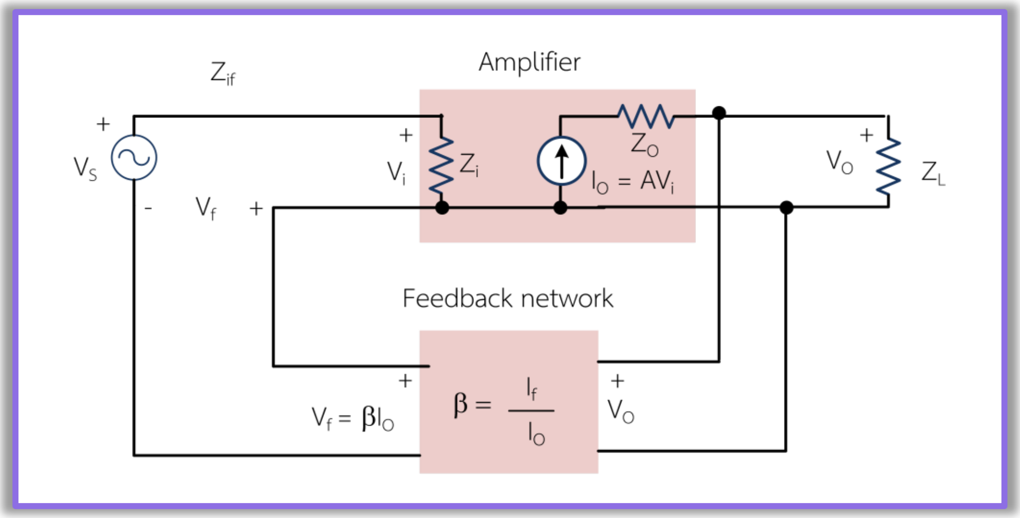
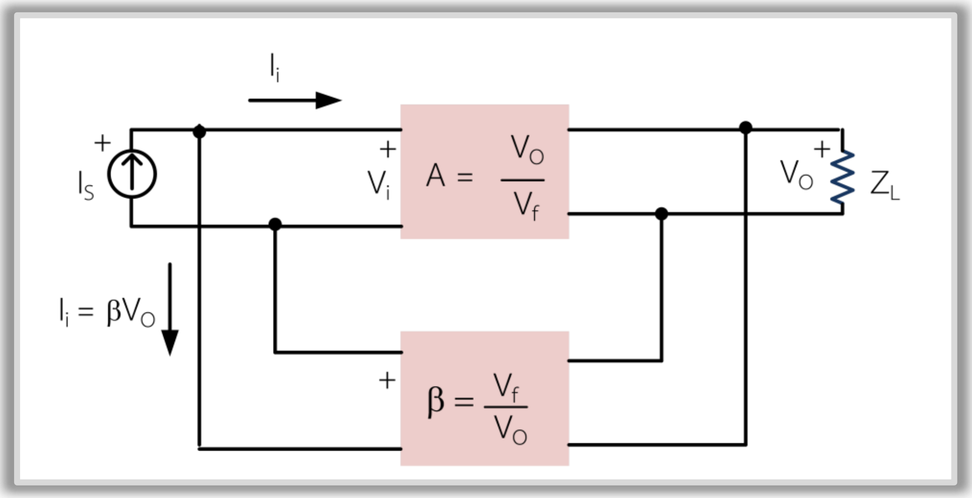
หน่วยที่ 9 การวิเคราะห์วงจรป้อนกลับแบบเนกาตีฟฟีดแบค

(Negative Feedback)





โดย

นายเอกนริน พลาชีวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 9
การวิเคราะห์วงจรป้อนกลับแบบเนกาตีฟฟีดแบค
(Negative Feedback)

สาระสำคัญ

ในการออกแบบวงจรขยายนิยมใช้การป้อนกลับแบบลบ เนื่องมาจากการป้อนกลับแบบลบมีข้อดีหลายประการ ซึ่งข้อดีประการสำคัญคือในเรื่องอัตราขยายของวงจรที่มีการป้อนกลับแบบลบจะมีเสถียรภาพสูง ประการต่อมา มีอินพุต และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ในการทำให้ระบบมีเสถียรภาพนั้น จำเป็นต้องใช้ ระบบป้อนกลับ การป้อนกลับมีทั้งแบบบวกและแบบลบ ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน ในการเรียนสาขา อิเล็กทรอนิกส์หรือวัดคุม จำเป็นต้องเข้าใจส่วนนี้ ในงานอิเล็กทรอนิกส์ที่พบเจอวงจรป้อนกลับนี้ทั่วไปเช่น เครื่องขยายเสียงหรือภาคขยายสัญญาณจะพบการ ป้อนกลับแบบลบ

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ หลักการของวงจรป้อนกลับ ชนิดของการต่อแบบป้อนกลับอัตราการขยายของการป้อนกลับของวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับ การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับแบบลบ การคำนวณของวงจรป้อนกลับแบบลบทางด้านแรงดันและกระแส

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายหลักการของวงจรป้อนกลับได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายชนิดของการต่อแบบป้อนกลับได้อย่างถูกต้อง
3. คำนวณหาอัตราการขยายของการป้อนกลับได้อย่างถูกต้อง
4. คำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับได้อย่างถูกต้อง
5. คำนวณหาเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับได้อย่างถูกต้อง
6. คำนวณวงจรการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage-Series Feedback) ได้อย่างถูกต้อง
7. คำนวณวงจรการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current-Series Feedback) ได้อย่างถูกต้อง
8. คำนวณวงจรการป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage-Shunt Feedback) ได้อย่างถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหา

9.1 หลักการของวงจรป้อนกลับ

9.2 ชนิดของการต่อแบบป้อนกลับ

9.3 อัตราการขยายของการป้อนกลับ ของวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับ

9.4 การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับแบบลบ

9.5 การคำนวณของวงจรป้อนกลับแบบลบทางด้านแรงดันและกระแส

แบบทดสอบก่อนเรียน

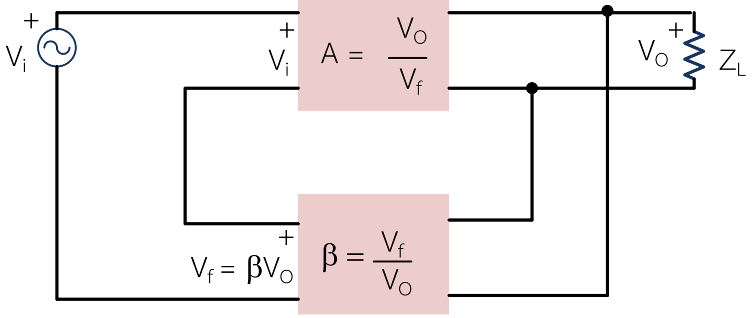
หน่วยที่ 9 วงจรป้อนกลับแบบเนกาตีฟฟีดแบค (Negative Feedback)

<u>คำชี้แจง</u>

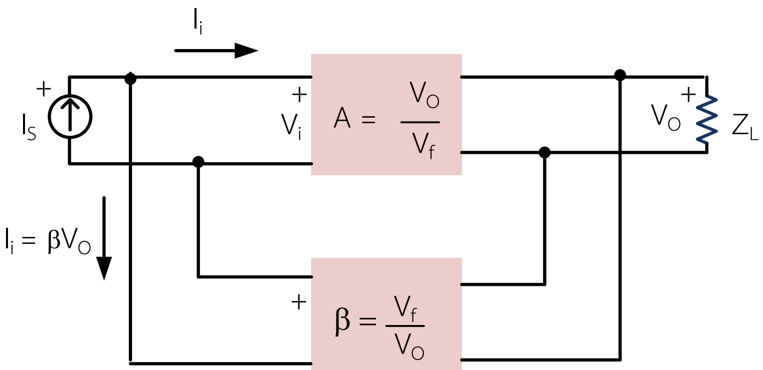
1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

----

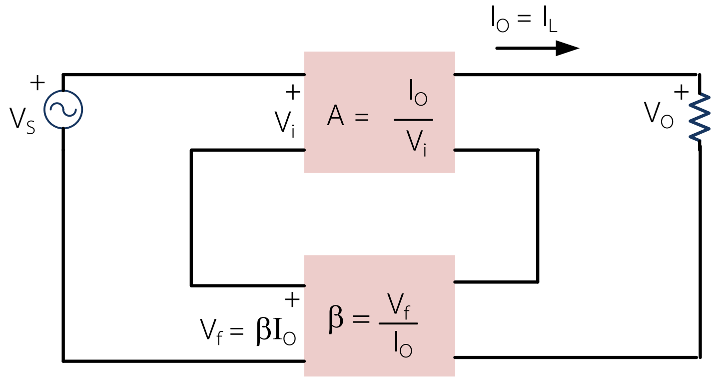
1. การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback) คือข้อใด



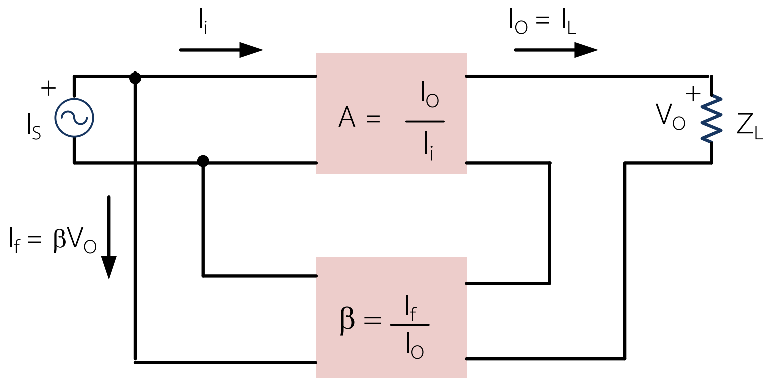
ก.



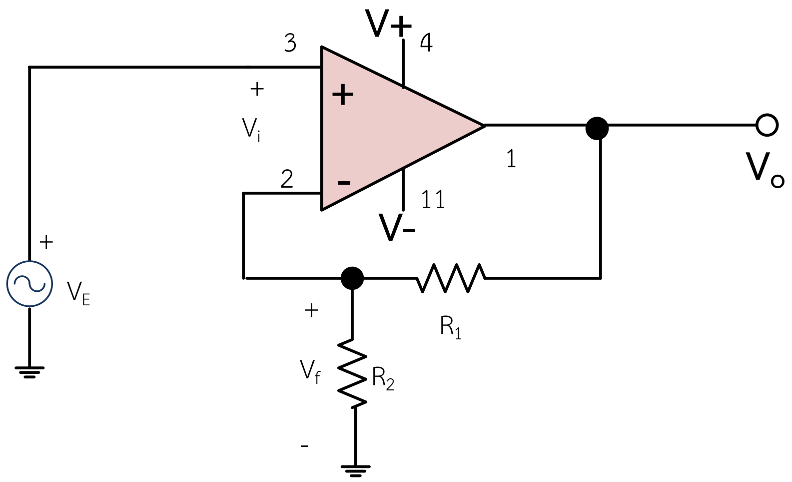
ข.



ค.



ง.



จ.

2. จงคำนวณหาอัตราขยายของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (A_f) ที่มีอัตราขยาย A = -2,000 และ β = -1/10

ก. A_f = -5.55

ข. A_f = -6.31

ค. A_f = -8.23

ง. A_f = -9.95

จ. A_f = -10.42

3. แรงดันเอาท์พุต (V_O) ถูกป้อนกลับไปยังอินพุตวงจรข่ายป้อนกลับ (β) เพื่อทำหน้าที่อะไร

ก. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเอาท์พุต

ข. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่ลดลงของอินพุต

ค. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่ลดลงของเอาท์พุต

ง. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของอินพุต

จ. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายแรงดันที่อินพุตให้มีค่าสูงขึ้น

4. วงจรขยายสัญญาณเสียงจะใช้ลักษณะของการป้อนกลับแบบใด

ก. แบบลบ

ข. แบบบวก

ค. แบบผสม

ง. แบบอนุกรม

จ. แบบขนาน

5. ข้อใดคืออินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{if}) ของวงจรป้อนกลับแบบแบบอนุกรมแรงดัน (A_f) ที่มีอัตราขยาย A = -2,000 และ β = -1/10

ก. Z_{if} = 62.16 Ω

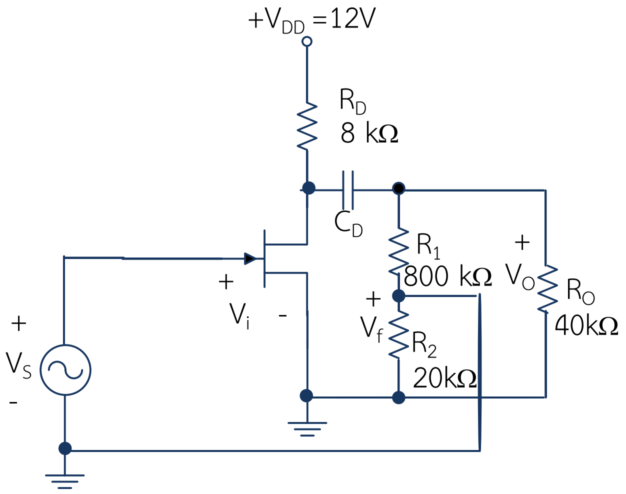
ข. Z_{if} = 68.11 Ω

ค. Z_{if} = 71.43

ง. Z_{if} = 84.50 Ω

จ. Z_{if} = 92.31 Ω

6. จากรูปที่ 1 จงคำนวณหาค่าอัตราขยายของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน ขณะที่มีการป้อนกลับของวงจรขยายเฟต โดยกำหนดให้ g_m =5,000 μS



รูปที่ 1 วงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน

ก. A_f=-15.51 Ω

ข. A_f=-16.62 Ω

ค. A_f=-17.54 Ω

ง. A_f=-18.53 Ω

จ. A_f=-19.45 Ω

7. ข้อใดคือเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_{of}) ของวงจรป้อนกลับแบบแบบอนุกรมแรงดัน (A_f) ที่มีอัตราขยาย A = -2,000 และ β = -1/10

ก. $Z_{Of} = 1.32\ k\Omega$

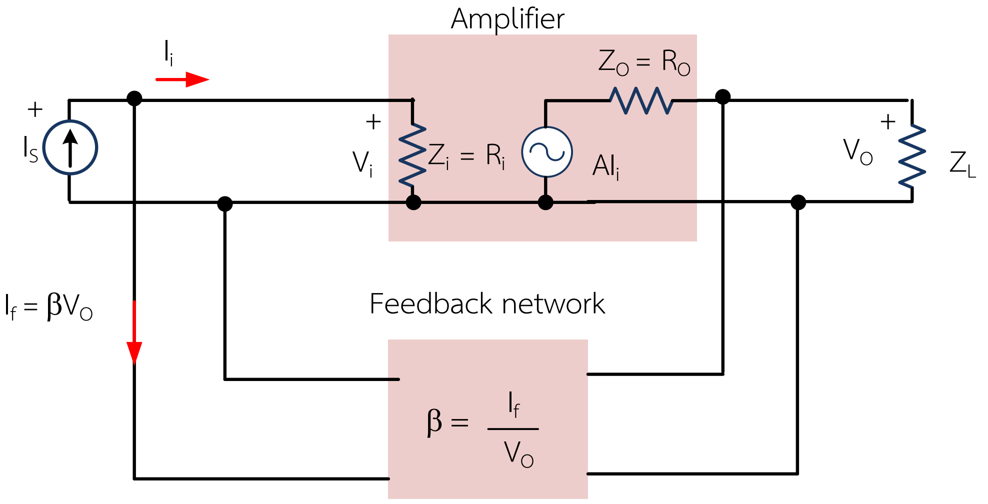
ข. $Z_{Of} = 2.38\ k\Omega$

ค. $Z_{Of} = 3.14\ k\Omega$

ง. $Z_{Of} = 4.27\ k\Omega$

จ. $Z_{Of} = 5.63\ k\Omega$

8. จากรูปที่ 2 ข้อใดคือสมการของอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{if})



รูปที่ 2 วงจรป้อนกลับแบบขนานแรงดัน

ก. $Z_{if} = \frac{V_i}{I_s}$

ข. $Z_{if} = \frac{V_i}{I_f}$

ค. $Z_{if} = \frac{V_o}{I_f}$

ง. $Z_{if} = \frac{I_o}{I_f}$

จ. $Z_{if} = \frac{V_1}{V_2}$

9. ข้อใด**ไม่ใช่**ผลของวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับ

ก. การลดความเพี้ยนของความถี่

ข. การลดของสัญญาณลบกวนและความเพี้ยนไม่เป็นเชิงเส้น

ค. อัตราขยายแรงดันโดยรวมเพิ่มขึ้น

ง. อัตราขยายมีเสถียรภาพมากขึ้น

จ. การทำงานเป็นเชิงเส้นมากขึ้น

10. วงจรขยายสัญญาณที่ต่อเรียงกันหรือที่เรียนว่า คาสเคด ต้องการให้มีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตสูงและอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาท์พุตต่ำ ควรเลือกใช้การป้อนกลับแบบใน

ก. การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)

ข. การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback)

ค. การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback)

ง. การป้อนกลับแบบขนานกระแส (Current Shunt Feedback)

จ. การป้อนกลับแบบอนุกรม ขนานกระแส (Current Series Shunt Feedback)

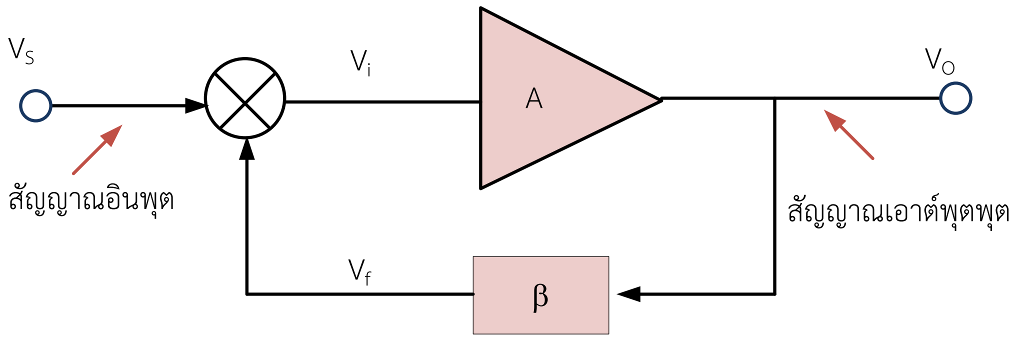
หน่วยที่ 9
การวิเคราะห์วงจรป้อนกลับแบบเนกาตีฟฟีดแบค
(Negative Feedback)

เนื้อหาสาระ

วงจรป้อนกลับ (Feedback) ที่นำมาใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่จะเป็นวงจรขยายสัญญาณในย่านความถี่เสียง จุดประสงค์เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีกำลังทางเอาท์พุตที่สูงมากพอ รวมถึงการเพิ่มแบนด์วิดธ์ ซึ่งลักษณะการป้อนกลับทางเอาท์พุตไปยังอินพุตที่ทำให้เกิดผลกับวงจรขยาย ในกรณีที่สัญญาณเอาท์พุต (Output Signal) ถูกป้อนกลับไปในลักษณะหักล้างกับสัญญาณอินพุต (Input Signal) หรือมีเฟสตรงข้ามที่เรียกว่า การป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) ในการออกแบบวงจรขยายนิยมใช้การป้อนกลับแบบลบ เนื่องมาจากการป้อนกลับแบบลบมีข้อดีหลายประการ ซึ่งข้อดีประการสำคัญคือในเรื่องอัตราขยายของวงจรที่มีการป้อนกลับแบบลบจะมีเสถียรภาพสูง ประการต่อมา มีอินพุต และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและอายุการใช้งานของอุปกรณ์

9.1 หลักการของวงจรป้อนกลับ

จากรูปที่ 9.1 เมื่อมีสัญญาณอินพุต (V_S) ถูกป้อนมายังอินพุตของวงจรข่ายผสมสัญญาณ (Mixer Network) ที่รวมสัญญาณป้อนกลับ (V_f) จากทางเอาท์พุต จะเกิดเป็นผลต่างของสัญญาณทั้งสองนั่นคือแรงดันอินพุต (V_i) ที่ถูกป้อนเข้าไปยังวงจรขยายสัญญาณ (A) เพื่อขยายสัญญาณแรงดันอินพุตนี้ โดยจะมีส่วนหนึ่งของเอาท์พุตของวงจรขยายสัญญาณ (A) คือแรงดันเอาท์พุต (V_O) ถูกป้อนกลับไปยังอินพุตวงจรข่ายป้อนกลับ (β) เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่ลดลงของเอาท์พุต ซึ่งก็คือสัญญาณป้อนกลับ (V_f) ที่ส่งไปยังอินพุตของวงจรข่ายผสมสัญญาณต่อไป



รูปที่ 9.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรป้อนกลับอย่างง่าย

จากวงจรในรูปที่ 9.1 เมื่อสัญญาณป้อนกลับ (V_f) มีสภาพขั้วที่ตรงข้ามกับสัญญาณอินพุต (V_S) ซึ่งเป็นลักษณะของการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) ถึงแม้ว่าการป้อนกลับแบบลบจะมีผลทำให้อัตราขยายแรงดันโดยรวมลดลง แต่วงจรขยายสัญญาณจะได้รับการแก้ไขดังนี้

1. อินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูงขึ้น
2. อัตราขยายแรงดันมีเสถียรภาพมากขึ้น
3. การตอบสนองความถี่ที่ดีขึ้น
4. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำลง
5. สัญญาณลบกวนลดลง
6. การทำงานเป็นแบบเชิงเส้นมากขึ้น

9.2 ชนิดของการต่อแบบป้อนกลับ

ในการป้อนกลับสัญญาณเอาท์พุต (Output Signal) กลับไปยังอินพุตของวงจรขยายสัญญาณซึ่งจะมีวิธีพื้นฐานในการต่อสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) อยู่ 4 ชนิด คือ

1. การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)
2. การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback)
3. การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback)
4. การป้อนกลับแบบขนานกระแส (Current Shunt Feedback)

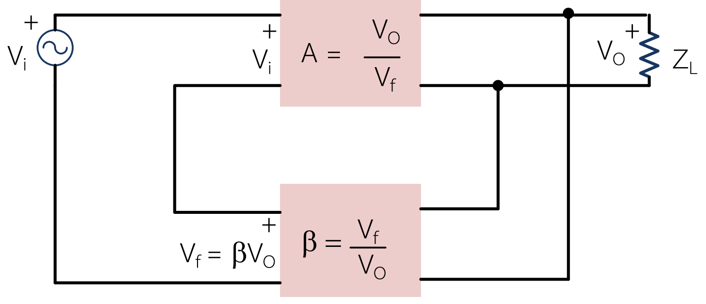
จากในรูปที่ 9.2 สามารถให้ความหมายที่เกี่ยวข้องกับวงจรขยายป้อนกลับได้ดังนี้

แรงดัน (Voltage) หมายถึง การต่อแรงดันเอาท์พุต (V_O) เป็นอินพุตไปยังวงจรข่ายป้อนกลับ (β)

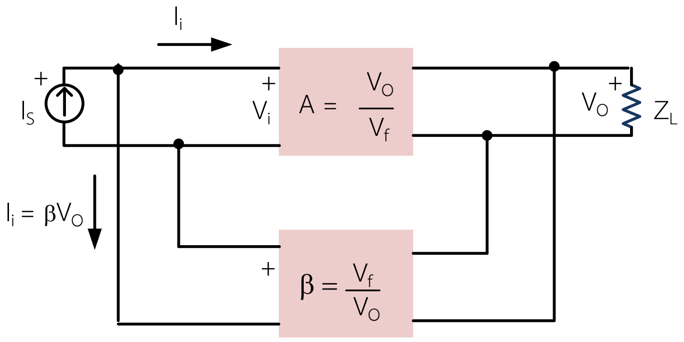
กระแส (Current) หมายถึง การต่อแยกออกจากกระแสเอาท์พุต (I_O) บางส่วนผ่านทางวงจรข่ายป้อนกลับ (β)

แบบอนุกรม (Series) หมายถึง การเชื่อมต่อสัญญาณป้อนกลับ (V_f) ที่อนุกรมกับแรงดันสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา (V_S)

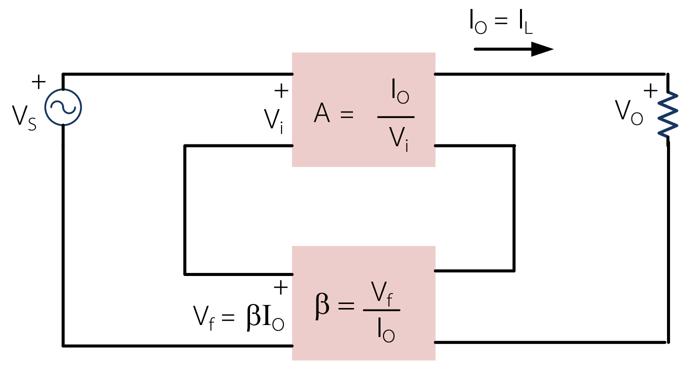
แบบขนาน (Shunt) หมายถึง การเชื่อมต่อสัญญาณป้อนกลับ (V_f) ที่ขนานกับแหล่งกำเนิดกระแสทางด้านอินพุตที่ป้อนเข้ามา (I_S)



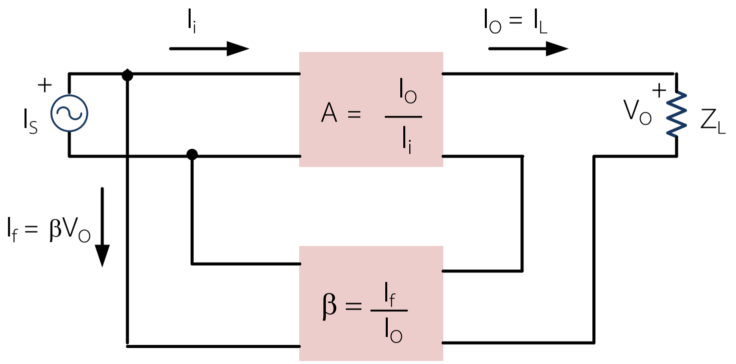
(ก) การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน



(ข) การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน



(ค) การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส



(ง) การป้อนกลับแบบขนานกระแส

รูปที่ 9.2 ชนิดของการต่อวงจรแบบป้อนกลับ

เมื่อพิจารณาจากการต่อป้อนกลับแบบอนุกรม (Voltage Series Feedback) มีแนวโน้มที่จะเพิ่มความต้านทานทางด้านอินพุต ในขณะที่การต่อแบบป้อนกลับแบบขนาน (Voltage Shunt Feedback) มีแนวโน้มที่จะลดความต้านทานทางอินพุต ส่วนการป้อนกลับแรงดัน (Voltage Feedback) มีแนวโน้มที่จะลดอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาท์พุตขณะที่การป้อนกลับแบบกระแส (Current Feedback) มีแนวโน้มเพิ่มอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาท์พุต โดยทั่วไปวงจรขยายสัญญาณที่ต่อเรียงกันหรือที่เรียนว่า คาสเคด (Cascade Amplifier) จะต้องออกแบบให้มีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตสูงและอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาท์พุตต่ำ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback) จึงมีความเหมาะสมที่จะให้คุณสมบัติดังกล่าวนี้

9.3 อัตราการขยายของการป้อนกลับ

อัตราการขยายของวงจรป้อนกลับแต่ละวงจรดังแสดงในรูปที่ 9.2 โดยอัตราขยายที่ไม่มีการป้อนกลับแทนตัวแปรด้วย A ซึ่งเป็นภาควงจรขยาย (Amplifier Stage) ส่วนที่มีการป้อนกลับแทนตัวแปรด้วย β จะมีผลทำให้อัตราขยายโดยรวมของวงจรลดลงด้วยตัวประกอบ (1+βA) ซึ่งมีข้อสรุปเกี่ยวกับอัตราขยาย (A) การป้อนกลับ (β) และอัตราขยายของการป้อนกลับ (A_f) ของวงจรดังแสดงในรูปที่ 9.2 ดังแสดงในตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 ข้อสรุปเกี่ยวกับอัตราขยาย การป้อนกลับและอัตราขยายที่มีการป้อนกลับของวงจรใน รูปที่ 9.2

	อนุกรมแรงดัน	ขนานแรงดัน	อนุกรมกระแส	ขนานกระแส
อัตราขยาย (ที่ไม่มีการป้อนกลับ) (A)	$\frac{V_o}{V_i}$	$\frac{V_o}{I_i}$	$\frac{I_o}{V_i}$	$\frac{I_o}{I_i}$
การป้อนกลับ (β)	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$
อัตราขยาย (ที่มีการป้อนกลับ) (A_f)	$\frac{V_o}{V_s}$	$\frac{V_o}{I_s}$	$\frac{I_o}{V_s}$	$\frac{I_o}{I_s}$

9.3.1 การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)

จากวงจรในรูปที่ 9.2 (ก) จะเป็นการต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน ที่มีส่วนหนึ่งของแรงดันทางด้านเอาท์พุต (V_O) ป้อนกลับในแบบอนุกรมกันกับสัญญาณทางด้านอินพุต (V_S) ทำให้อัตราการขยายโดยรวมลดลง ถ้าไม่มีการป้อนกลับ (V_f=0) สามารถหาค่าอัตราการขยายแรงดันของภาควงจรขยาย (Amplifier Stage) ได้ดังนี้

$$A = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \qquad ...9.1$$

ถ้ามีสัญญาณป้อนกลับ (V_f) ที่ต่ออนุกรมกับอินพุตจะได้สมการดังนี้

$$V_i = V_s - V_f$$

เนื่องจาก

$$V_o = AV_i$$
$$V_o = A(V_s - V_f)$$
$$V_o = AV_s - AV_f$$
$$V_o = AV_s - A(\beta V_o)$$
$$(1+\beta A)\, V_o = AV_s$$

ดังนั้นอัตราการขยายแรงดันโดยรวมที่มีการป้อนกลับสามารถหาได้ดังนี้

$$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1+\beta A} \qquad \text{...9.2}$$

จากสมการที่ 9.2 จะเห็นว่าอัตราขยายที่มีการป้อนกลับ (A_f) จะมีค่าลดลงด้วยตัวประกอบ ($1+\beta A$) ซึ่งเป็นตัวประกอบนี้จะมีผลต่ออินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ ที่จะเกิดขึ้นในวงจรอื่น ๆ ด้วย

9.3.2 การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback)

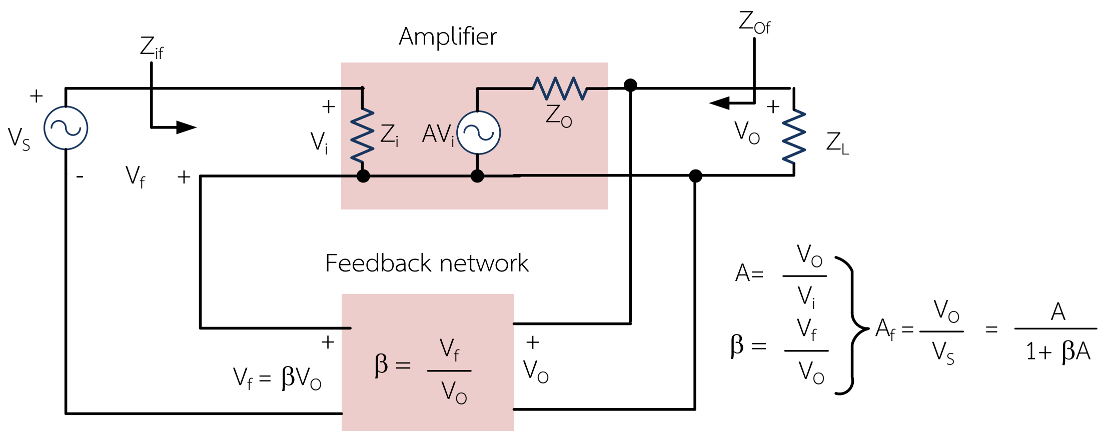
จากวงจรในรูปที่ 9.2 (ข) จะเป็นการต่อวงจรป้อนกลับแบบขนานแรงดันสามารถหาค่าอัตราการขยายที่มีการป้อนกลับได้ดังนี้

$$A_f = \frac{V_o}{I_s}$$
$$A_f = \frac{AI_i}{I_i + I_f}$$
$$A_f = \frac{AI_i}{I_i + \beta V_o}$$
$$A_f = \frac{AI_i}{I_i + \beta AI_i}$$
$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} \qquad \text{...9.3}$$

9.4 อินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับ

9.4.1 การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)

จากวงจรในรูปที่ 9.3 จะแสดงรายละเอียดของการต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน ซึ่งสามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 9.3 การต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 9.3 สามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ดังต่อไปนี้

$$I_i = \frac{V_i}{Z_i}$$

$$I_i = \frac{V_s - V_f}{Z_i}$$

$$I_i = \frac{V_s - \beta V_o}{Z_i}$$

$$I_i = \frac{V_s - \beta A V_i}{Z_i}$$

$$I_i Z_i = V_s - \beta A V_i$$

$$V_s = I_i Z_i + \beta A V_i$$

$$V_s = I_i Z_i + \beta A I_i Z_i$$

$$V_s = I_i (Z_i + \beta A Z_i)$$

$$\frac{V_s}{I_i} = Z_i + \beta A Z_i$$

$$Z_{if} = \frac{V_s}{I_i} = Z_i + \beta A Z_i$$

$$Z_{if} = \frac{V_s}{I_i} = Z_i + \beta A Z_i$$

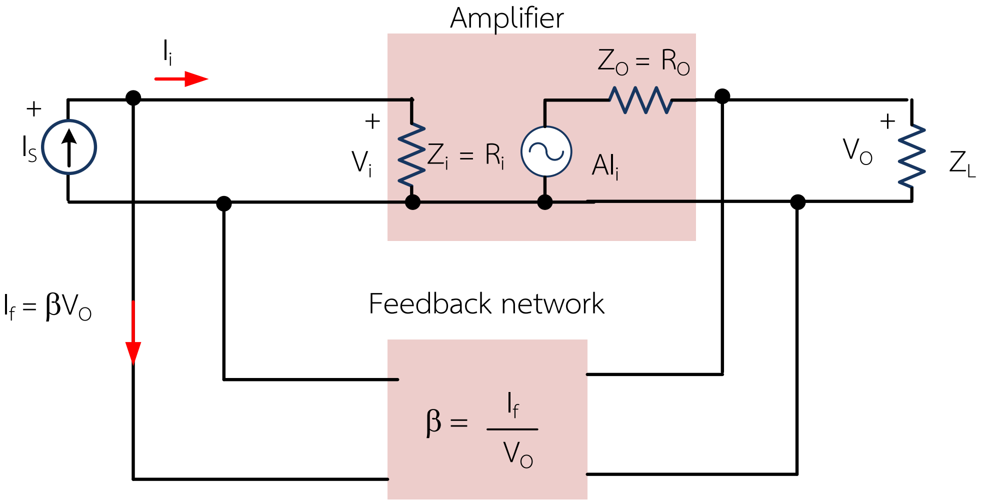
ดังนั้น

$$Z_{if}=\frac{V_s}{I_i}=Z_i(1+\beta A) \quad ...9.4$$

จากสมการที่ 9.4 อินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรม (Z_{if}) จะมีค่าเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ไม่มีการป้อนกลับ (Z_i) คูณการป้อนกลับด้วย (1+βA) ซึ่งเป็นตัวประกอบที่ใช้ได้กับทั้งวงจรแบบอนุกรมแรงดันในรูปที่ 9.2 (ก) และวงจรแบบอนุกรมกระแสในรูปที่ 9.3 (ค)

9.4.2 การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback)

จากวงจรในรูปที่ 9.4 จะแสดงรายละเอียดของการต่อวงจรป้อนกลับแบบขนานแรงดัน ซึ่งสามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 9.4 การต่อวงจรป้อนกลับแบบขนานแรงดัน

$$Z_{if}=\frac{V_i}{I_s}$$

$$Z_{if}=\frac{V_i}{I_i+I_f}$$

$$Z_{if}=\frac{V_i}{I_i+\beta V_O}$$

$$Z_{if}=\frac{V_i/I_i}{I_i/I_i+\beta V_O/I_i}$$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{1+\beta A} \quad ...9.5$$

อินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับ (Z_{if}) ที่ลดลงนี้จะนำไปใช้กับการต่อแบบขนานแรงดันในรูปที่ 9.2 (ก) และการต่อแบบขนานกระแสในรูปที่ 9.2 (ง)

9.5 เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับ

เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 9.2 จะขึ้นอยู่กับว่าการป้อนกลับแรงดันหรือกระแสที่นำมาใช้งาน สำหรับการป้อนกลับแรงดันจะทำให้เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ลดลง ในขณะที่การป้อนกลับแบบกระแสจะทำให้เอาท์พุตอิมพีแดนซ์เพิ่มมากขึ้น

9.5.1 การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)

จากวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันตามรูปที่ 9.3 สามารถนำมาพิจารณาเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับ โดยเอาท์พุตอิมพีแดนซ์จะถูกกำหนดด้วยการใช้แรงดัน (V) และทำให้มีกระแส (I) ด้วยการลัดวงจรที่สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาV_s(V_s=0) ซึ่งจะพิจารณาหาค่าแรงดัน(V) ได้ดังนี้

$$V=IZ_o+AV_i$$

เมื่อ $V_s=0$ และ $V_i=-V_f$

ดังนั้น

$$V=IZ_o-AV_f$$

$$V=IZ_o-A(\beta V)$$

จัดสมการใหม่จะได้ว่า

$$V+A\beta V=IZ_o$$

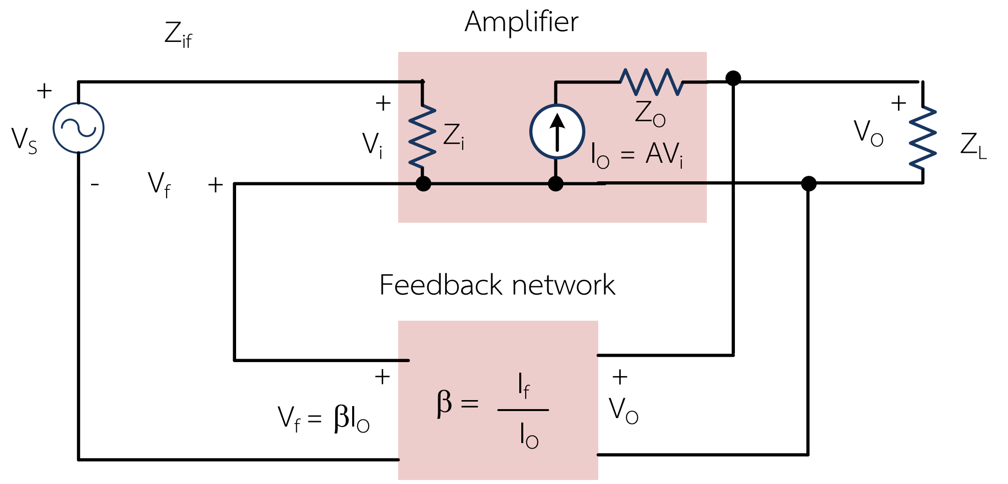
ดังนั้นสำหรับเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับสามารถหาได้ดังนี้

$$Z_{of} = \frac{V}{I} = \frac{Z_o}{1+\beta A} \quad ...9.6$$

จากสมการที่ 9.6 แสดงให้เห็นว่าการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน จะมีค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับ (Z_{of}) ที่ถูกลดลงจากเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่ไม่ที่มีการป้อนกลับ (Z_o) โดยตัวประกอบ (1+βA)

9.5.2 การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback)

จากวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมกระแสตามรูปที่ 9.5 จะเห็นว่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส จะถูกกำหนดโดยการใช้แรงดัน V สำหรับเอาท์พุตขณะที่มีการลัดวงจรแรงดันอินพุต (V_s) จะทำให้มีกระแส I ซึ่งอัตราส่วนของแรงดัน V กับกระแส I จะเป็นเอาท์พุตอิมพีแดนซ์นั่นเอง



รูปที่ 9.5 การต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส

จากวงจรในรูปที่ 9.5 จะแสดงรายละเอียดการต่อวงจรที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส โดยที่ทางเอาท์พุตของวงจรจะสามารถคำนวณหาค่าเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ เมื่อกำหนดให้ V_s=0 ดังนี้

$$V_i=V_f$$

$$I=\frac{V}{Z_o}-AV_i$$

$$I=\frac{V}{Z_o}-AV_f$$

$$I=\frac{V}{Z_o}-\beta I$$

$$I+\beta I=\frac{V}{Z_o}$$

$$Z_o(I+\beta I)=V$$

$$Z_oI(1+\beta)=V$$

ดังนั้น

$$\boxed{Z_{of}=\frac{V}{I}=Z_o(1+\beta)} \qquad ...9.7$$

สรุปผลกระทบจากการต่อวงจรป้อนกลับเกี่ยวกับอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรป้อนกลับในแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 สรุปผลกระทบจากการต่อการป้อนกลับที่สัมพันธ์กับอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์

	อนุกรมแรงดัน	ขนานแรงดัน	อนุกรมกระแส	ขนานกระแส
Z_{if}	$Z_i(1+\beta A)$ เพิ่มขึ้น	$Z_i(1+\beta A)$ เพิ่มขึ้น	$\frac{Z_i}{1+\beta A}$ เพิ่มขึ้น	$\frac{Z_i}{1+\beta A}$ เพิ่มขึ้น
Z_{of}	$\frac{Z_o}{1+\beta A}$ เพิ่มขึ้น	$Z_o(1+\beta A)$ เพิ่มขึ้น	$\frac{Z_o}{1+\beta A}$ เพิ่มขึ้น	$Z_o(1+\beta A)$ เพิ่มขึ้น

ตัวอย่างที่ 9.1 จงคำนวณหาค่าอัตราการขยายแรงดัน อินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับ สำหรับการใช้วงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน โดยกำหนดให้ A=-50, R_i=50 kΩ และ R_o=10 kΩ สำหรับการป้อนกลับ คือ (ก) β=-0.2 และ (ข) β=-0.5

วิธีทำ

จากสมการที่ 9.2 สมการที่ 9.4 และสมการ 9.6 จะได้ว่า

(ก) เมื่อการป้อนกลับคือ β=-0.2

หาอัตราการขยายแรงดันโดยรวมที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันจากสมการที่ 9.2 สามารถหาได้ดังนี้

$$A_f=\frac{V_o}{V_s}=\frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f=\frac{-50}{1+\left(-0.2\right)(-50)}$$

$$A_f=\frac{-50}{11}$$

$$A_f=-4.54$$ **ตอบ**

อินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันจากสมการที่ 9.4 ได้ดังนี้

$$Z_{if}=\frac{V_s}{I_i}=Z_i\left(1+\beta A\right)$$

$$Z_{if}=\left(50\ k\Omega\right)\left(1+\left(-0.2\right)\left(-50\right)\right)$$

$$Z_{if}=\left(50\ k\Omega\right)(11)$$

$$Z_{if}=550\ k\Omega$$ **ตอบ**

เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันจากสมการที่ 9.6 ได้ดังนี้

$$Z_{of}=\frac{V}{I}=\frac{Z_o}{1+\beta A}$$

$$Z_{of}=\frac{10\ k\Omega}{1+\left(-0.2\right)\left(-50\right)}$$

$$Z_{of}=\frac{10\ k\Omega}{11}$$

$$Z_{of}=0.909\ k\Omega$$ **ตอบ**

(ข) เมื่อการป้อนกลับคือ $\beta=-0.5$

หาอัตราการขยายแรงดันโดยรวมที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันจากสมการที่ 9.2 สามารถหาได้ดังนี้

$$A_f=\frac{V_o}{V_s}=\frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f=\frac{-50}{1+\left(-0.5\right)(-50)}$$

$$A_f=\frac{-50}{26}$$

$$A_f=-1.92$$ **ตอบ**

อินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันจากสมการที่ 9.4 ได้ดังนี้

$$Z_{if}=\frac{V_s}{I_i}=Z_i\left(1+\beta A\right)$$

$$Z_{if}=\left(50\ k\Omega\right)(\ 1+\left(-0.5\right)\left(-50\right))$$

$$Z_{if}=\left(50\ k\Omega\right)(26)$$

$$Z_{if}=1.3\ M\Omega$$ **<u>ตอบ</u>**

เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ที่มีการป้อนกลับของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันจากสมการที่ 9.6 ได้ดังนี้

$$Z_{of}=\frac{V}{I}=\frac{Z_o}{1+\beta A}$$

$$Z_{of}=\frac{10\ k\Omega}{1+\left(-0.5\right)\left(-50\right)}$$

$$Z_{of}=\frac{10\ k\Omega}{26}$$

$$Z_{of}=384.61\ \Omega$$ **<u>ตอบ</u>**

9.6 ผลของวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับ

การใช้วงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับแบบลบ ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติของวงจรในด้านต่างๆ ดีขึ้นดังต่อไปนี้

การลดความเพี้ยนของความถี่ (Reduction in Frequency Distortion) สำหรับในวงขยายป้อนกลับแบบลบที่มี $\beta A \gg 1$ จะทำให้อัตราขยายที่มีการป้อนกลับคือ $A_f = 1/\beta$ เมื่อพิจารณาจากในกรณีวงจรข่ายป้อนกลับที่ประกอบด้วยความต้านทานอย่างเดียว ซึ่งค่าอัตราขยายที่มีการป้อนกลับนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ถึงแม้ว่าอัตราขยายของจรขยายพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับความถี่ก็ตาม ในทางปฏิบัติ

ความเพี้ยนของความถี่ (Frequency Distortion) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราขยายของจรขยายเปลี่ยนแปลงที่ความถี่จะลดลงอย่างมากในวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับแบบลบ

การลดของสัญญาณลบกวนและความเพี้ยนไม่เป็นเชิงเส้น (Reduction in Noise and Nonlinear Distortion) การป้อนกลับของสัญญาณมีแนวโน้มที่จะลดปริมาณของสัญญาณรบกวน (Noise) และความเพี้ยนไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Distortion) ซึ่งตัวประกอบ $1+\beta A$ จะช่วยลดทั้งสัญญาณรบกวนทางด้านอินพุตและความเพี้ยนไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้การปรับปรุงวงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น สิ่งที่ควรสังเกตคือจะมีการลดของอัตราขยายโดยรวม หากมีการใช้ภาคขยายเพิ่มมากขึ้น เพื่อทำให้อัตราขยายโดยรวมสูงถึงระดับที่ไม่มีการป้อนกลับจะเรียกภาคขยายนี้ใหม่ว่า ภาคขยายพิเศษ ซึ่งภาคขยายนี้อาจจะนำสัญญาณรบกวนกลับเข้าสู่ระบบตามที่ถูกลดลงโดยวงจรขยายป้อนกลับ ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขได้บ้างโดยปรับอัตราขยายของวงจรขยายการป้อนกลับเพื่อให้ได้อัตราขยายสูงมากขึ้นในขณะที่ยังให้สัญญาณรบกวนที่ลดลง

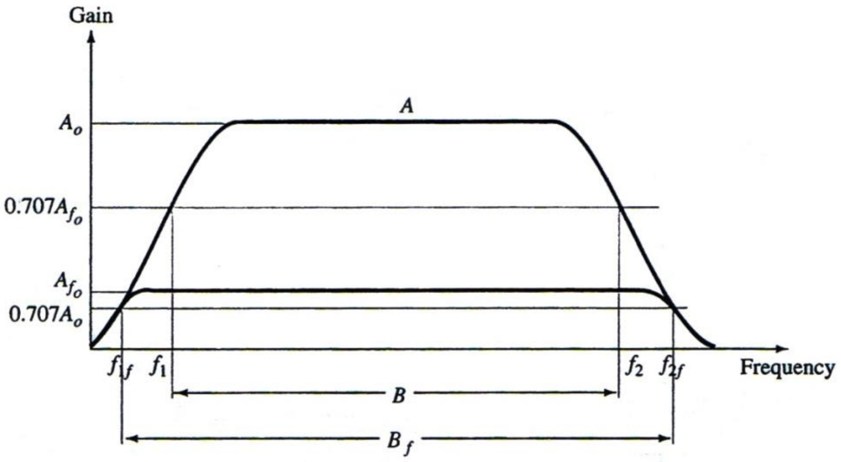
ผลกระทบของการการป้อนกลับแบบลบในอัตราขยายและความกว้างของแบนด์วิดท์ (Effect of Negative Feedback on Gain and Banwidth) เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 9.2 อัตราขยายโดยรวมที่มีการป้อนกลับจะแสดงให้เห็นว่า

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} \cong \frac{A}{\beta A} \qquad \text{เมื่อ } \beta A \gg 1$$

$$A_f = \frac{1}{\beta}$$

เมื่อ $\beta A \gg 1$ อัตราขยายโดยรวมจะมีค่าประมาณ $1/\beta$ สำหรับวงจรขยายที่ใช้งาน (คือมีจุดหักมุมของความถี่สูงและความถี่ต่ำอย่างละจุด) อัตราขยายวงรอบเปิด (Open Loop Gain) จะลดลงที่ความถี่สูงเนื่องจากผลกระทบของอุปกรณ์แอคทีฟในวงจร เช่น ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น และความจุไฟฟ้าของวงจร อัตราขยายอาจลดลงที่ความถี่ต่ำนั้น สำหรับตัวเก็บประจุที่ใช้ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างภาคขยาย เมื่ออัตราขยายวงจรรอบเปิด A ลดลงมากพอและตัวประกอบ βA จะไม่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ดังนั้นสรุปได้ว่า สมการที่ 9.2 คือ $A_f = 1/\beta$ จึงถือว่าไม่เป็นความจริง

รูปที่ 9.6 เป็นผลของการป้อนกลับแบบลบในอัตราขยายและความกว้างของแบนด์วิดท์จะเห็นว่าวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับแบบลบจะมีความกว้างของแบนด์วิดท์ (B_f) มากขึ้นกว่าความกว้างของแบนด์วิดท์ (B) ของวงจรขยายที่ไม่มีการป้อนกลับ กล่าวคือวงจรขยายป้อนกลับมีความถี่ -3 dB ช่วงบนที่สูงขึ้น ($f_{2f}>f_2$) และมีความถี่ -3 dB ช่วงล่างต่ำ ($f_{1f}>f_1$)



รูปที่ 9.6 ผลของการป้อนกลับแบบลบในอัตราขยายและความกว้างของแบนด์วิดท์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 9.6 เป็นเรื่องน่าสนใจที่ต้องทราบว่าการใช้งานของการป้อนกลับแม้ว่าจะทำให้อัตราขยายแรงดันลดลง แต่ก็ให้ความกว้างของแถบแบนด์วิดท์ (B) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในความถี่ที่ -3 dBช่วงบน ซึ่งในความเป็นจริงผลคูณของอัตราขยายและความถี่นั้นก็ยังคงเหมือนเดิมเพื่อให้ผลคูณอัตราขยายความกว้างของแบนด์วิดท์ (Gain-Bandwidth) ของวงจรขยายพื้นฐานที่เป็นค่าเดียวกันสำหรับวงจรขยายแบบป้อนกลับ อย่างไรก็ตามเนื่องจากวงจรขยายป้อนกลับมีอัตราขยายต่ำการทำงานทั้งหมดจะเป็นไปเพื่อการแลกเปลี่ยนอัตราขยายสำหรับความกว้าของแถบแบนด์วิดท์ (ที่ใช้ความกว้างแบนด์วิดท์สำหรับความถี่ -3 dB ช่วงบน เนื่องจากโดยทั่วไป $f_2>f_1$)

เสถียรภาพของอัตราขยายที่มีการป้อนกลับ (Gain Stability with Feedback) นอกเหนือจากตัวประกอบ β จะกำหนดค่าอัตราขยายได้แน่นอน เสถียรภาพของอัตราขยายที่มีการป้อนกลับเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรขยายไม่มีการป้อนกลับผลจะเป็นอย่างไร โดยพิจารณาหาจากอนุพันธ์ของสมการที่ 9.2 จะได้ว่า

$$\left|\frac{dA_f}{A_f}\right| = \frac{1}{|1+\beta|}\left|\frac{dA}{A}\right| \qquad ...9.8$$

$$\left|\frac{dA_f}{A_f}\right| \cong \left|\frac{1}{\beta A}\right|\left|\frac{dA}{A}\right| \qquad \text{เมื่อ } \beta A \gg 1 \qquad ...9.9$$

จากสมการที่ 9.7 แสดงให้เห็นว่าค่าขนาดของการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ในอัตราขยาย $|dA_f/A_f|$ จะลดลงด้วยตัวประกอบ $|\beta A|$ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่มีการป้อนกลับ ($|dA/A|$)

ตัวอย่างที่ 9.2 ถ้าวงจรขยายมีอัตราขยายเท่ากับ −1,000 เท่า และการป้อนกลับของ β=-0.1 มีการเปลี่ยนแปลงอัตราขยายเนื่องจากอุณหภูมิ เท่ากับ 20% จงหาการเปลี่ยนแปลงในอัตราขยายของวงจรขยายป้อนกลับ

วิธีทำ

จากสมการที่ 9.9

$$\left|\frac{dA_f}{A_f}\right| \cong \left|\frac{1}{\beta A}\right| \left|\frac{dA}{A}\right|$$

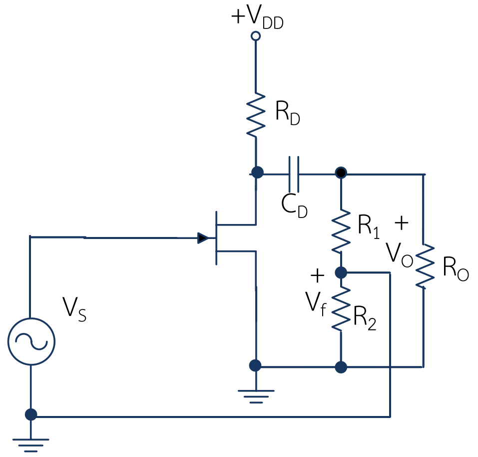
$$\left|\frac{dA_f}{A_f}\right| \cong \left|\frac{1}{-0.1+(-1{,}000)}\right| 20\%$$

$$\left|\frac{dA_f}{A_f}\right| \cong 0.2\%$$ <u>**ตอบ**</u>

จากตัวอย่างที่ 9.2 จะเห็นว่ามีการปรับปรุงอัตราขยายเป็น 100เท่า คือขณะที่อัตราขยายของวงจรขยายมีการเปลี่ยนแปลงจาก $|A|$=1,000 ขึ้นไป 20% และอัตราขยายที่มีการป้อนกลับจะเปลี่ยนแปลงจาก $|A_f|$=100 ขึ้นไป 0.2%

9.7 การคำนวณของวงจรป้อนกลับแบบลบการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)

จากวงจรที่ 9.7 แสดงวงจรขยายที่ใช้เฟต (FET) ที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน ซึ่งในบางส่วนของสัญญาณทางด้านเอาท์พุต (V_O) จะถูกใช้กับวงจรข่ายการป้อนกลับของตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ที่เป็นตัวแบ่งแรงดัน และแรงดันป้อนกลับ (V_f) จะถูกต่ออนุกรมเข้ากับสัญญาณแหล่งกำเนิด (V_S) ทำให้มีผลต่างของแรงดันทั้งสองนี้คือ สัญญาณอินพุตของวงจรขยาย (V_i)



รูปที่ 9.7 วงจรขยายที่ใช้เฟตและมีการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน

จากรูปที่ 9.7 ขณะไม่มีการป้อนกลับอัตราขยายของวงจรคือ

$$A=\frac{V_o}{V_i}=-g_m R_L \qquad ...9.10$$

เมื่อ R_L คือ ค่าความต้านทานรวมกันแบบขนานของตัวต้านทานเอาท์พุต

$$R_L=R_D\backslash\backslash(R_1+R_2)\backslash\backslash R_o \qquad ...9.11$$

วงจรข่ายป้อนกลับ (Feedback Network) มีตัวประกอบป้อนกลับคือ

$$\beta=\frac{V_f}{V_o}=\frac{-R_2}{R_1+R_2} \qquad ...9.12$$

ใช้ค่า A และ β ในสมการที่ 9.2 เพื่อหาค่าอัตราขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบจะได้

$$A_f=\frac{A}{1+\beta A}=\frac{-g_m R_L}{1+\left[\frac{R_2 R_L}{(R_1+R_2)}\right]g_m}$$ ถ้า $\beta A \gg 1$ จะได้ ...9.13

$$A_f \cong \frac{1}{\beta}=\frac{R_1+R_2}{R_2} \qquad ...9.14$$

ตัวอย่างที่ 9.3 จากรูปที่ 9.7 จงคำนวณหาค่าอัตราขยายที่ไม่มีการป้อนกลับและมีการป้อนกลับของวงจรขยายที่ใช้เจเฟต (JFET) โดยกำหนดให้ R_1=50 kΩ , R_2=10 kΩ, R_o=10 kΩ, R_D=10 kΩ และ g_m=3,000 μS

วิธีทำ หาค่าอัตราขยายที่ไม่มีการป้อนกลับ

จากสมการที่ 9.11 และสมการที่ 9.10 กรณีไม่คิดค่า R_1+R_2

$$R_L=R_D\backslash\backslash R_o$$

$$R_L=\frac{R_D R_o}{R_D+R_o}$$

$$R_L=\frac{(10\ k\Omega)(10\ k\Omega)}{(10\ k\Omega)+(10\ k\Omega)}$$

$$R_L=5\ k\Omega$$

จากสมการที่ 9.10

$$A=\frac{V_o}{V_i}=-g_m R_L$$

$$A=-(3{,}000\ \mu S)(5\ k\Omega)$$

$$A=-15$$ **ตอบ**

หาค่าอัตราขยายที่มีการป้อนกลับ

จากสมการที่ 9.12 ตัวประกอบการป้อนกลับหาได้ดังนี้

$$\beta=\frac{V_f}{V_o}=\frac{-R_2}{R_1+R_2}$$

$$\beta=\frac{-10\ kw}{50\ kw+10\ kw}$$

$$\beta=-0.16$$

จากสมการที่ 9.13

$$A_f=\frac{A}{1+\beta A}$$

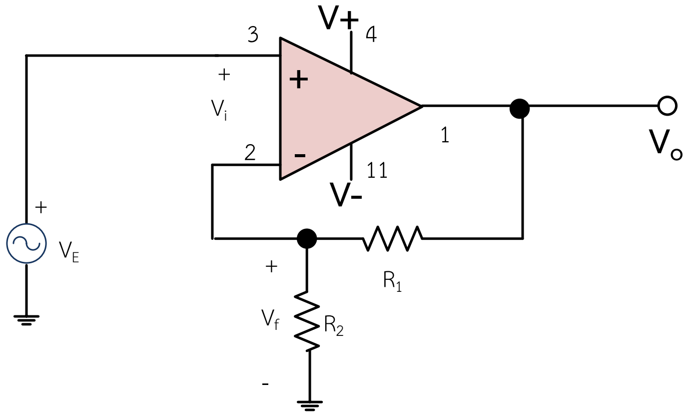
$$A_f=\frac{-15}{1+(-0.16)(-15)}$$

$$A_f=\frac{-15}{3.49}$$

$$A_f=-4.29$$ **ตอบ**

ในรูปที่ 9.8 แสดงการต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันที่ใช้ออปแอมป์ (Op Amp) อัตราขยายของออปแอมป์ A โดยไม่มีการป้อนกลับจะลดลงโดยตัวประกอบป้อนกลับดังนี้

$$\beta=\frac{R_2}{R_1+R_2} \qquad ...9.15$$



รูปที่ 9.8 แสดงการต่อวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันที่ใช้ออปแอมป์ (Op Amp)

ตัวอย่างที่ 9.4 จากวงจรในรูปที่ 9.8 จงคำนวณหาค่าอัตราการขยายของวงจรขยาย กำหนดให้อัตราขยายของออปแอมป์ A=50,000 , R_1=2 kΩ และ R_1=400 Ω

วิธีทำ

จากสมการที่ 9.15 หาตัวประกอบป้อนกลับได้ดังนี้

$$\beta=\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$\beta=\frac{400\ \Omega}{2\ k\Omega+400\ \Omega}$$

$$\beta=0.16$$

จากสมการที่ 9.13 หาอัตราขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบ

$$A_f=\frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f=\frac{50,000}{1+(0.16)(50,000)}$$

$$A_f=\frac{50,000}{8,001}$$

$$A_f=6.24$$

เนื่องจาก $\beta A \gg 1$ จะได้ว่า

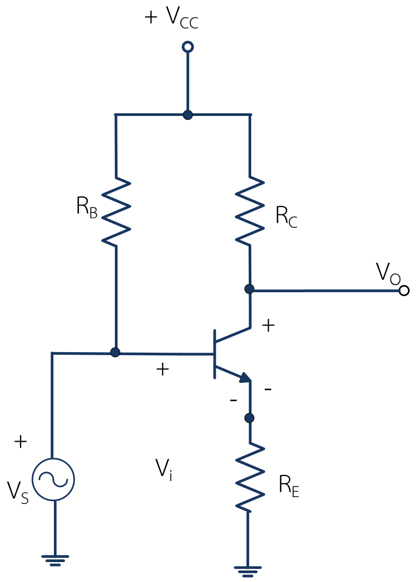
$$A_f=\frac{1}{\beta}$$

$$A_f = \frac{1}{0.16}$$

$$A_f = 6.25$$ **<u>ตอบ</u>**

วงจรอิมิตเตอร์ตาม (Emitter Follower Circuit)

จากวงจรในรูปที่ 9.9 แสดงการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันของวงจรอิมิตเตอร์ตาม (Emitter Follower Circuit) ซึ่งจะมีแรงดันสัญญาณ V_S เป็นแรงดันอินพุต V_i และแรงดันเอาท์พุต V_O เป็นแรงดันป้อนกลับที่ต่ออนุกรมกับแรงดันอินพุต



รูปที่ 9.9 แสดงการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันของวงจรอิมิตเตอร์ตาม (Emitter Follower Circuit)

จากวงจรในรูปที่ 9.9 แสดงวงจรการป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันที่ใช้วงจรขยายทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ตาม (Emitter Follower Circuit) เมื่อการทำงานของวงจรไม่มีการป้อนกลับจะให้ V_f=0 ดังนั้นจะได้ว่า

$$A = \frac{V_o}{V_s}$$

$$A = \frac{h_{fe} I_b R_E}{V_s}$$

$$A = \frac{h_{fe} R_E (V_s / h_{ie})}{V_s}$$

$$A=\frac{h_{fe}R_E}{h_{ie}}$$

และ

$$\beta=\frac{V_f}{V_o}=1$$

ส่วนการทำงานของวงจรที่มีการป้อนกลับจะได้ว่า

$$A_f=\frac{V_o}{V_s}$$

$$A_f=\frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f=\frac{h_{fe}R_E/h_{ie}}{1+(1)(h_{fe}R_E/h_{ie})}$$

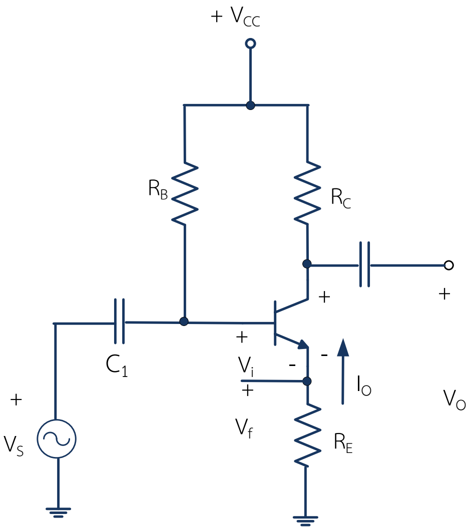
$$A_f=\frac{h_{fe}R_E}{h_{ie}+h_{fe}R_E}$$

สำหรับ $h_{fe}R_E \gg h_{ie}$

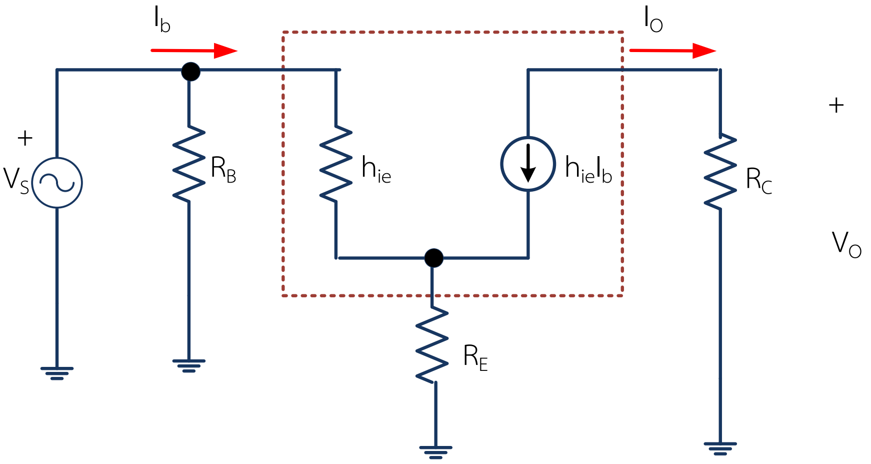
$$A_f \cong 1$$

การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback)

ในการต่อวงจรที่มีการการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback) จะมีผลทำให้ความต้านทานอินพุตเพิ่มมากขึ้น



(ก) วงจรที่มีการการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส



(ข) วงจรขยายทรานซิสเตอร์ที่มีความอิมิตเตอร์ (R_E) ไม่ต่อบายพาสส์

รูปที่ 9.10 วงจรขยายทรานซิสเตอร์ที่มีความอิมิตเตอร์ (R_Eไม่ต่อบายพาสส์
สำหรับการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส

จากวงจรในรูปที่ 9.10 จะแสดงวงจรขยายทรานซิสเตอร์เดี่ยว เนื่องจากว่าขาอิมิตเตอร์ (E) ของภาคขยายนี้จะไม่มีบายพาสส์ จึงส่งผลให้การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแสเป็นไปได้ด้วยดี ส่วนกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานอิมิตเตอร์ (R_E) จะทำให้มีแรงดันป้อนกลับ (V_f) ที่ตรงข้ามกับสัญญาณแหล่งกำเนิด(V_S) ที่ใช้เพื่อให้แรงดันเอาท์พุต(V_O) มีค่าลดลง เมื่อต้องการที่จะยกเลิกการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแสทำได้โดยตัดตัวต้านอิมิตเตอร์ (R_E) หรือต่อบายพาสส์ด้วยตัวเก็บประจุซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน

เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรที่ไม่มีการป้อนกลับ โดยอ้างถึงรูปวงจรในรูปที่ 9.2 และสรุปในตารางที่ 9.1 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$A = \frac{I_o}{V_i} = \frac{-I_b h_{fe}}{I_b(h_{ie}+R_E)}$$

$$\boxed{A = \frac{-h_{fe}}{h_{ie}+R_E}} \quad ...9.16$$

$$\boxed{\beta = \frac{V_f}{I_o} = \frac{-I_o R_E}{I_o} = -R_E} \quad ...9.17$$

อินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์

$$\boxed{Z_i = R_B \,//\, (h_{ie}+R_E) \cong h_{ie}+R_E} \quad ...9.18$$

$$\boxed{Z_o = R_C} \quad ...9.19$$

เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรที่มีการป้อนกลับจะได้ว่า

$$A_f = \frac{I_o}{V_s} = \frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f = \frac{-h_{fe}/h_{ie}}{1+(-R_E)\left[\frac{-h_{fe}}{h_{ie}+R_E}\right]}$$

$$\boxed{A_f \cong \frac{-h_{fe}}{h_{ie}+h_{fe}R_E}} \quad ...9.20$$

อินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ จะมีการคำนวณตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 9.2

$$Z_{if} = Z_i(1+\beta A)$$

$$\boxed{Z_{if} \cong h_{ie}\left[1+\frac{h_{fe}R_E}{h_{ie}}\right]} \quad ...9.21$$

$$Z_{if} = h_{ie}+h_{fe}R_E$$

$$Z_{of}=Z_o(1+\beta A)$$

$$Z_{of}=R_C\left[1+\frac{h_{fe}R_E}{h_{ie}}\right] \qquad ...9.22$$

อัตราขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับ คือ

$$A_{vf}=\frac{V_o}{V_s}$$

$$A_{vf}=\frac{I_oR_C}{V_s}$$

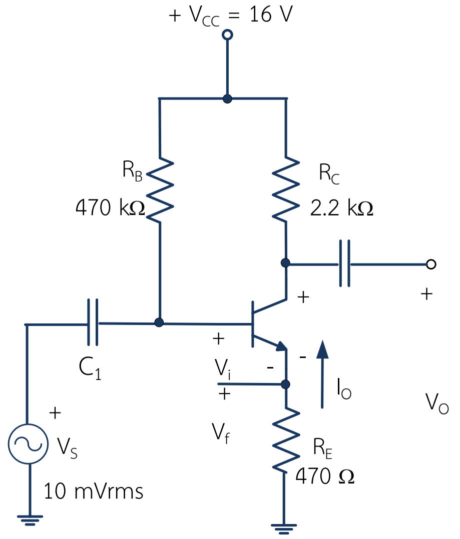
$$A_{vf}=\left[\frac{I_o}{V_s}\right]R_C$$

$$A_{vf}=A_fR_C$$

$$A_{vf}=A_fR_C$$

$$A_f\cong\frac{-h_{fe}R_C}{h_{ie}+h_{fe}R_E} \qquad ...9.23$$

ตัวอย่างที่ 9.5 จากวงจรในรูปที่ 9.11 จงคำนวณหาอัตราขยายของวงจรที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส เมื่อกำหนดให้ h_{fe}=220 และ h_{ie}=800 Ω



รูปที่ 9.11 วงจรที่มีการป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส

วิธีทำ

กรณีที่ไม่มีการป้อนกลับ

$$A=\frac{-h_{fe}}{h_{ie}+R_E}$$

$$A=\frac{-220}{800\ \Omega+470\ \Omega}$$

$$A = -0.17$$

$$\beta = \frac{V_f}{I_o} = -R_E$$

$$\beta = -470$$

ตัวประกอบ $(1+\beta A)$ จะได้

$$1+\beta A = 1+(-0.17)(-470)$$

$$1+\beta A = 80.9$$

อัตราขยายที่มีการป้อนกลับคือ

$$A_f = \frac{I_o}{V_s} = \frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f = \frac{-0.17}{80.9}$$

$$A_f=-2.10\times10^{-3}$$

และอัตราขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับ (A_{vf}) คือ

$$A_{vf} = A_f R_C$$

$$A_{vf} = (-2.10\times10^{-3})(2.2\times10^{3})$$

$$A_{vf} = -4.62$$

กรณีไม่มีการป้อนกลับ $(R_E=0)$ หาอัตราขยายแรงดัน (A_V) จะได้

$$A_V=-\frac{R_C}{r_e}$$

หาค่าความต้านทานอาร์อี (r_e) เนื่องจาก $\beta=h_{fe}=220$ จะได้ว่า

$$I_B=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B+(\beta+1)R_E}$$

$$I_B=\frac{16\ V-0.7\ V}{470\ k\Omega+(221)(0.47\ k\Omega)}$$

$$I_B=26.66\ \mu A$$

$$I_E = (\beta+1)I_B$$

$$I_E = (221)(26.66\ \mu A)$$

$$I_E = 5.89\ mA$$

$$r_e = \frac{26\ mV}{I_E}$$

$$r_e = \frac{26\ mV}{5.89\ mA}$$

$$r_e = 4.41\ \Omega$$

ดังนั้น

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e}$$

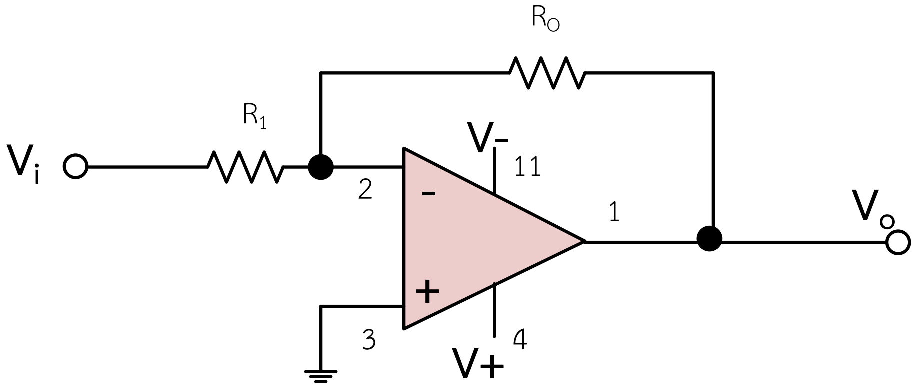
$$A_v = -\frac{2.2\times10^3\Omega}{4.41\ \Omega}$$

$$A_v = -498.86$$ **ตอบ**

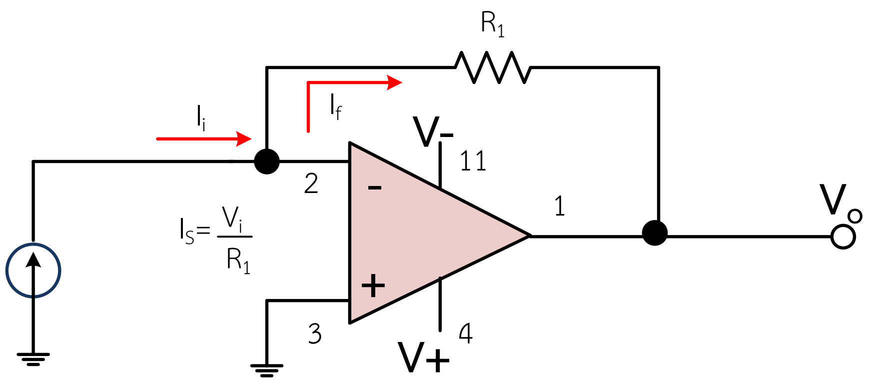
การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback) เมื่อพิจารณาวงจรออปแอมป์อัตราขยายคงตัวดังแสดงในรูปที่ 9.12 (ก) ที่ให้การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน โดยอ้างถึงรูปแบบของวงจรในรูปที่ 9.2 (ข) และตารางที่ 9.1 รวมทั้งคุณลักษณะทางอุดมคติของออปแอมป์เมื่อ $I_i=0$, $V_i=0$ และอัตราขยายแรงดัน (A) มีค่าเป็นอนันต์ (∞) จะได้

$$A = \frac{V_o}{I_i} = \infty \qquad ...9.24$$

$$\beta = \frac{I_f}{V_o} = \frac{-1}{R_o} \qquad ...9.25$$



(ก) วงจรออปแอมป์อัตราขยายคงตัว



(ข) การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน

รูปที่ 9.12 วงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดัน

อัตราขยายที่มีการป้อนกลับ คือ

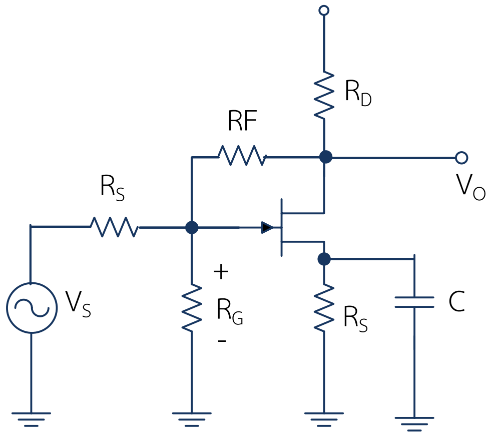
$$A_f = \frac{V_O}{I_S} = \frac{V_O}{I_i} = \frac{A}{1+\beta A} = \frac{1}{\beta} = -R_O \qquad ...9.26$$

ซึ่งค่านี้คืออัตราขยายความต้านทานถ่ายโอน (Transfer Resistance Gain) และค่าอัตราขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับ คือ

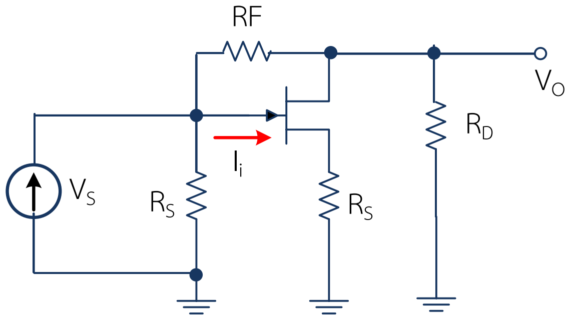
$$A_{vf} = \frac{V_O}{I_S} \cdot \frac{I_S}{V_1} (-R_O) \frac{1}{R_1} = \frac{-R_O}{R_1} \qquad ...9.27$$

จากวงจรในรูปที่ 9.13 เป็นวงจรขยายป้อนกลับแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต (FET) ขณะไม่มีการขยายป้อนกลับคือ $V_f=0$

$$A = \frac{V_O}{I_i} \cong -g_m R_D R_S \qquad ...9.28$$



(ก) วงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต



(ข) วงจรสมมูลของวงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต

รูปที่ 9.13 วงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต

การป้อนกลับคือ

$$\beta = \frac{I_f}{V_O} = \frac{-1}{R_F} \qquad \text{...9.29}$$

เมื่อมีการป้อนกลับอัตราขยายของวงจรคือ

$$A_f = \frac{V_O}{I_s}$$

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A}$$

$$A_f = \frac{-g_m R_D R_S}{1+\left(\frac{1}{R_F}\right)(-g_m R_D R_S)}$$

$$A_f=\frac{-g_m R_D R_S R_F}{R_F+g_m R_D R_S} \qquad ...9.30$$

อัตราขยายแรงดันของวงจรที่มีการป้อนกลับคือ

$$A_{Vf}=\frac{V_O}{I_s}\cdot\frac{I_s}{V_s}$$

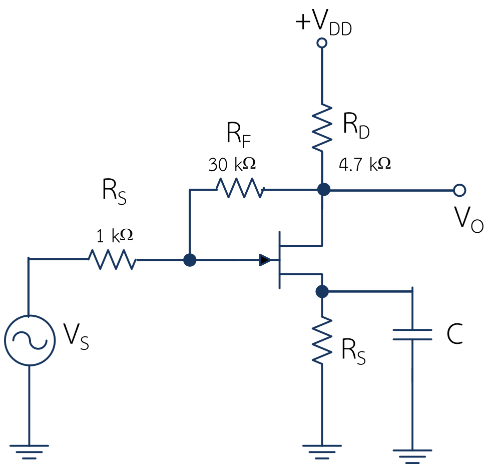
$$A_{Vf}=\frac{-g_m R_D R_S R_F}{R_F+g_m R_D R_S}\cdot\frac{I_s}{V_s}$$

$$A_{Vf}=\frac{-g_m R_D R_S R_F}{R_F+g_m R_D R_S}\left[\frac{1}{R_S}\right]$$

$$A_{Vf}=\frac{-g_m R_D R_F}{R_F+g_m R_D R_S}$$

$$A_{Vf}=(-g_m R_D)\frac{R_F}{R_F+g_m R_D R_S} \qquad ...9.31$$

ตัวอย่างที่ 9.6 จากวงจรในรูปที่ 9.14 จงคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดันเมื่อมีและไม่มีการป้อนกลับสำหรับวงจรขยายที่ใช้เฟตโดยกำหนดให้ g_m=10 mS



รูปที่ 9.14 วงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต

วิธีทำ

กรณีไม่มีการป้อนกลับอัตราขยายแรงดันคือ

$$A_V=-g_m R_D$$

$$A_V= -(10\ mS)(4.7\ k\Omega)$$

$$A_V=-47$$ **ตอบ**

กรณีที่มีการป้อนกลับอัตราขยายแรงดันจะมีค่าลดลงคือ

$$A_{Vf}=(-g_m R_D)\frac{R_F}{R_F+g_m R_D R_S}$$

$$A_{Vf}=(-47)\frac{30\ k\Omega}{(30\ k\Omega)+\left(10\ mS\right)(4.7\ k\Omega)(1\ k\Omega)}$$

$$A_{Vf}=(-47)(0.38)$$

$$A_{Vf}=-17.86$$ **ตอบ**

สรุป

การต่อสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) อยู่ 4 ชนิด คือ

1. การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)
2. การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback)
3. การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback)
4. การป้อนกลับแบบขนานกระแส (Current Shunt Feedback)

การป้อนกลับแบบลบจะมีผลทำให้อัตราขยายแรงดันโดยรวมลดลง แต่วงจรขยายสัญญาณจะได้รับการแก้ไขดังนี้

1. อินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูงขึ้น
2. อัตราขยายแรงดันมีเสถียรภาพมากขึ้น
3. การตอบสนองความถี่ที่ดีขึ้น
4. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำลง
5. สัญญาณลบกวนลดลง
6. การทำงานเป็นแบบเชิงเส้นมากขึ้น

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 9 วงจรป้อนกลับแบบเนกาตีฟฟีดแบค (Negative Feedback)

คำสั่ง จงตอบคำถามให้สมบูรณ์และถูกต้อง ใช้เวลาทำแบบฝึกหัด 20 นาที (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

1. จงคำนวณหาอัตราขยายของวงจรป้อนกลับแบบลบ (A_f) ที่มีอัตราขยาย A=-2,000 และ $\beta = -1/10$

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

2. จงคำนวณหาอัตราขยาย อินพุตอิมพีแดนซ์และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรขยายป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน โดยกำหนดให้ A=-300, R_i=1.5 kΩ, R_O=50 kΩและ $\beta = -1/15$

....

....

....

....

....

....

....

....

....

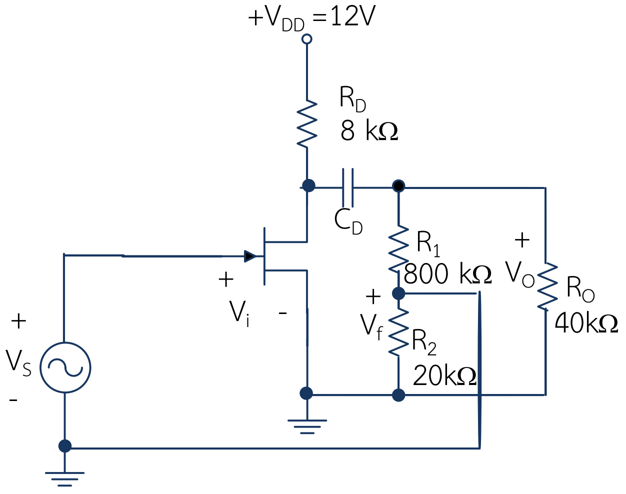
....

....

....

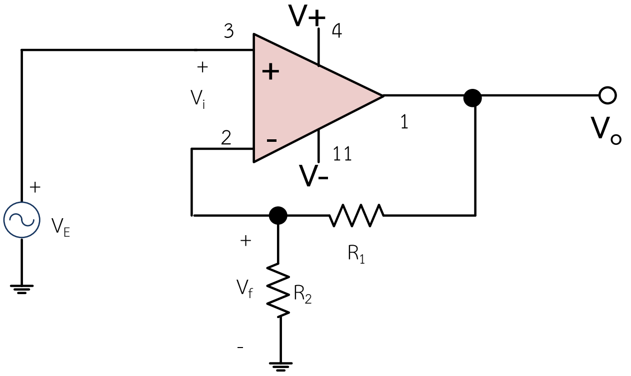
....

3. จากรูปที่ 1 จงคำนวณหาค่าของวงจรขณะที่มีและไม่มีการป้อนกลับของวงจรขยายเฟต โดยกำหนดให้ g_m =5,000 μS



รูปที่ 1 วงจรขยายที่ใช้เฟต

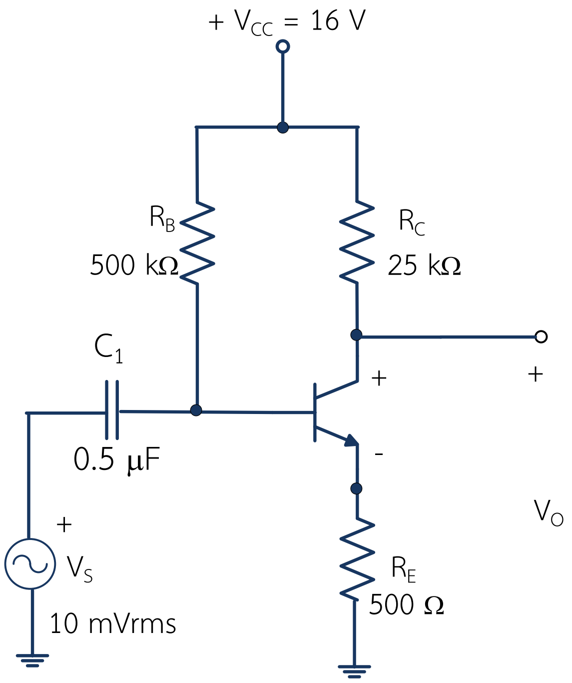
4. จากวงจรในรูปที่ 9.16 วงจรขยายป้อนกลับแบบอนุกรมที่ใช้ออปแอมป์ จงคำนวณหาค่าอัตราขยายของวงจรโดยกำหนดให้ A=200,000



รูปที่ 2 วงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดันที่ใช้ออปแอมป์

....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....

5. จากวงจรในรูปที่ 9.17 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ กำหนดให้ h_{fe}=100 และ h_{fe} = 900 Ω จงคำนวณหาอัตราขยายของวงจร ขณะที่มีและไม่มีการป้อนกลับ



รูปที่ 3 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

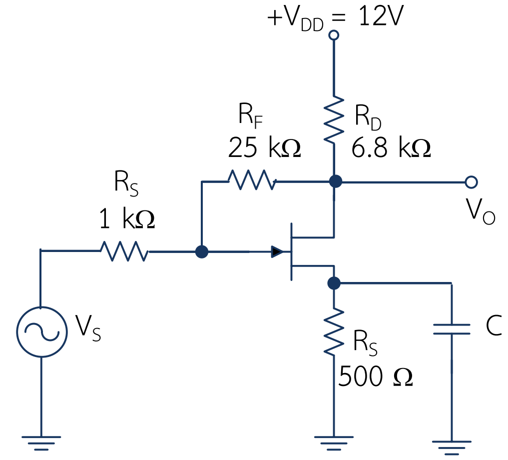
....

....

....

....

6. จากรูปที่ 9.18 วงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต โดยกำหนดให้ g_m =10 mS จงคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดัน เมื่อมีและไม่มีการป้อนกลับ



รูปที่ 4 วงจรขยายป้อนกลับแบบลบแบบขนานแรงดันที่ใช้เฟต

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 9 วงจรป้อนกลับแบบเนกาตีฟฟีดแบค (Negative Feedback)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

****

1. วงจรขยายสัญญาณเสียงจะใช้ลักษณะของการป้อนกลับแบบใด

ก. แบบลบ

ข. แบบบวก

ค. แบบผสม

ง. แบบอนุกรม

จ. แบบขนาน

2. จงคำนวณหาอัตราขยายของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (A_f) ที่มีอัตราขยาย A = -2,000 และ β = -1/10

ก. A_f = -5.55

ข. A_f = -6.31

ค. A_f = -8.23

ง. A_f = -9.95

จ. A_f = -10.42

3. แรงดันเอาท์พุต (V_O) ถูกป้อนกลับไปยังอินพุตวงจรข่ายป้อนกลับ (β) เพื่อทำหน้าที่อะไร

ก. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเอาท์พุต

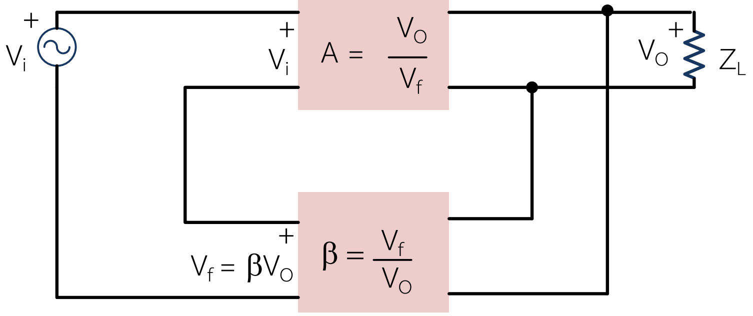
ข. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่ลดลงของอินพุต

ค. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่ลดลงของเอาท์พุต

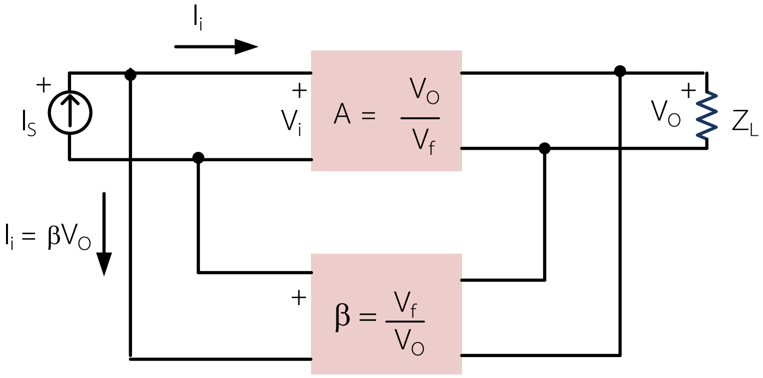
ง. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของอินพุต

จ. เพื่อจะทำหน้าที่ขยายแรงดันที่อินพุตให้มีค่าสูงขึ้น

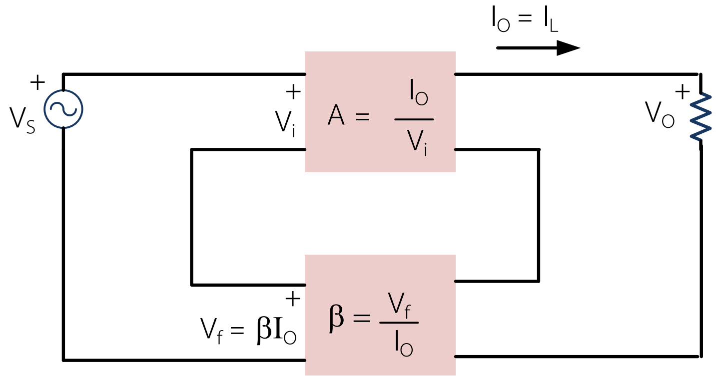
4. การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback) คือข้อใด



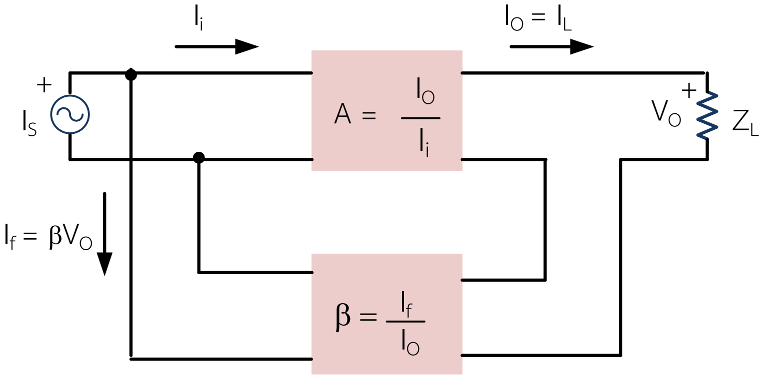
ก.



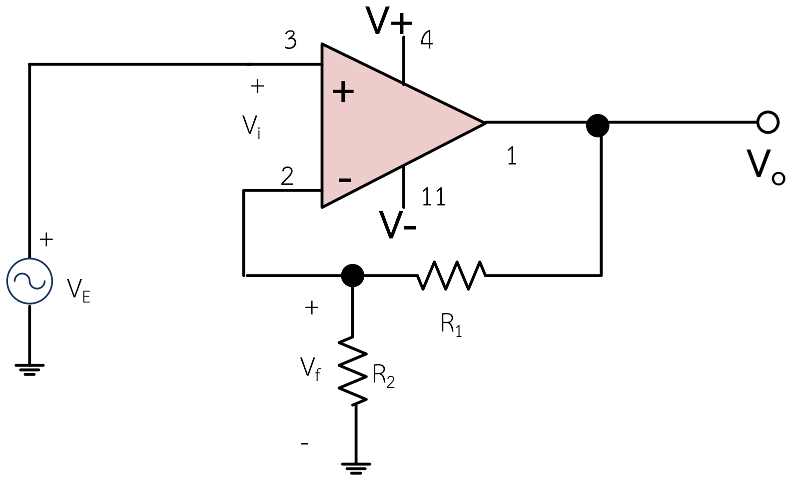
ข.



ค.



ง.



จ.

5. ข้อใดคืออินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{if}) ของวงจรป้อนกลับแบบแบบอนุกรมแรงดัน (A_f) ที่มีอัตราขยาย A = -2,000 และ β = -1/10

ก. Z_{if} = 62.16 Ω

ข. Z_{if} = 68.11 Ω

ค. Z_{if} = 71.43

ง. Z_{if} = 84.50 Ω

จ. Z_{if} = 92.31 Ω

6. วงจรขยายสัญญาณที่ต่อเรียงกันหรือที่เรียนว่า คาสเคด ต้องการให้มีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตสูงและอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาท์พุตต่ำ ควรเลือกใช้การป้อนกลับแบบใน

ก. การป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน (Voltage Series Feedback)

ข. การป้อนกลับแบบขนานแรงดัน (Voltage Shunt Feedback)

ค. การป้อนกลับแบบอนุกรมกระแส (Current Series Feedback)

ง. การป้อนกลับแบบขนานกระแส (Current Shunt Feedback)

จ. การป้อนกลับแบบอนุกรม ขนานกระแส (Current Series Shunt Feedback)

7. ข้อใดคือเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_{of}) ของวงจรป้อนกลับแบบแบบอนุกรมแรงดัน (A_f) ที่มีอัตราขยาย A = -2,000 และ β = -1/10

ก. Z_{Of} = 1.32 kΩ

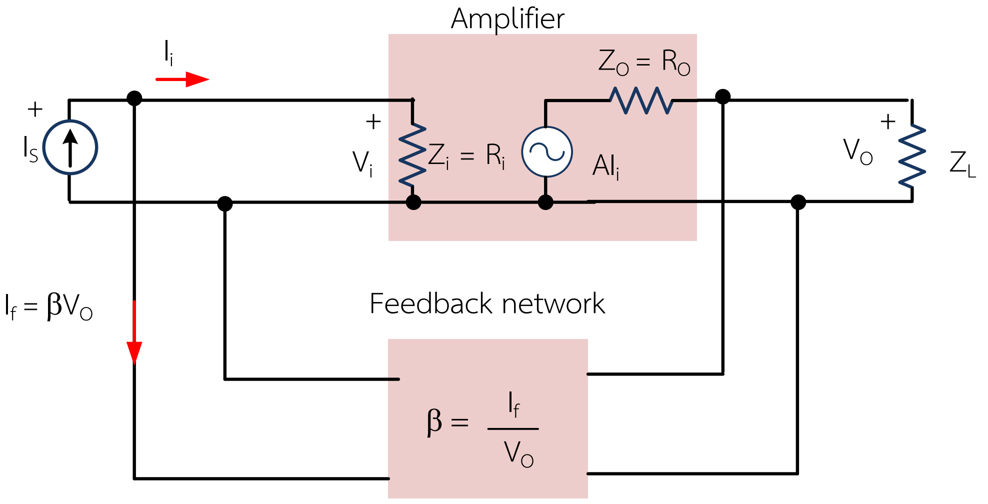
ข. Z_{Of} = 2.38 kΩ

ค. Z_{Of} = 3.14 kΩ

ง. Z_{Of} = 4.27 kΩ

จ. Z_{Of} = 5.63 kΩ

8. จากรูปที่ 1 ข้อใดคือสมการของอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{if})



รูปที่ 1 วงจรป้อนกลับแบบขนานแรงดัน

ก. $Z_{if} = \frac{V_i}{I_s}$

ข. $Z_{if} = \frac{V_i}{I_f}$

ค. $Z_{if} = \frac{V_o}{I_f}$

ง. $Z_{if} = \frac{I_o}{I_f}$

จ. $Z_{if} = \frac{V_1}{V_2}$

9. ข้อใด**ไม่ใช่**ผลของวงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับ

ก. การลดความเพี้ยนของความถี่

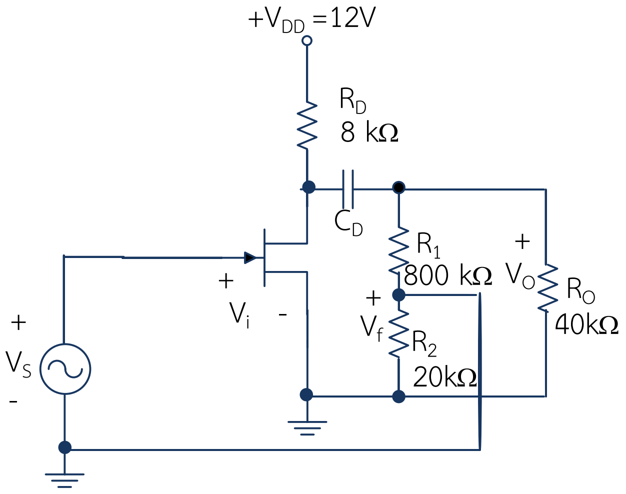
ข. การลดของสัญญาณลบกวนและความเพี้ยนไม่เป็นเชิงเส้น

ค. อัตราขยายแรงดันโดยรวมเพิ่มขึ้น

ง. อัตราขยายมีเสถียรภาพมากขึ้น

จ. การทำงานเป็นเชิงเส้นมากขึ้น

10. จากรูปที่ 2 จงคำนวณหาค่าอัตราขยายของวงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน ขณะที่มีการป้อนกลับของวงจรขยายเฟต โดยกำหนดให้ g_m =5,000 μS



รูปที่ 2 วงจรป้อนกลับแบบอนุกรมแรงดัน

ก. A_f=-15.51 Ω

ข. A_f=-16.62 Ω

ค. A_f=-17.54 Ω

ง. A_f=-18.53 Ω

จ. A_f=-19.45 Ω

บรรณานุกรม

เจน สงสมพันธุ์. **เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์**. ปทุมธานี : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพรังสิต. 2552.

นภัทร วัจนเทพพินทร์. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.** สกายบุ๊กส์. 2538.

ทรงพล กาญจนชูชัย. **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.

ธนันต์ ศรีสกุล. **พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ: วิตตี้ กรุ๊ป. 2552.

สุคนธ์ พุ่มศรี. **การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2558.

สายัณต์ ชื่นอารมณ์. **วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ. 2552.

Albert Malvino and David J. **Bates. Electronic Principles.** Seventh Edition.New York: McGraw-Hill. 2007.

Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**, Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.

	ใบงานที่ 9.1	**หน่วยที่ 9**
	รหัสวิชา 3105-1003 **วิชา** การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	**สอนครั้งที่ 1**
	ชื่อหน่วย การวิเคราะห์วงจรป้อนกลับแบบ เนกาตีฟฟีดแบค (Negative Feedback)	**คาบรวม 10**
ชื่อเรื่อง	วงจรผลิตความถี่แบบ RC โดยอาศัยหลักการทำงานการป้อนกลับแบบลบ	**จำนวนคาบ 3**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่อวงจรผลิตความถี่แบบ RCโดยอาศัยหลักการทำงานการป้อนกลับแบบลบเพื่อทดลองตามใบงานได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. วัดความถี่ที่ผลิตขึ้นได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษย์สัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

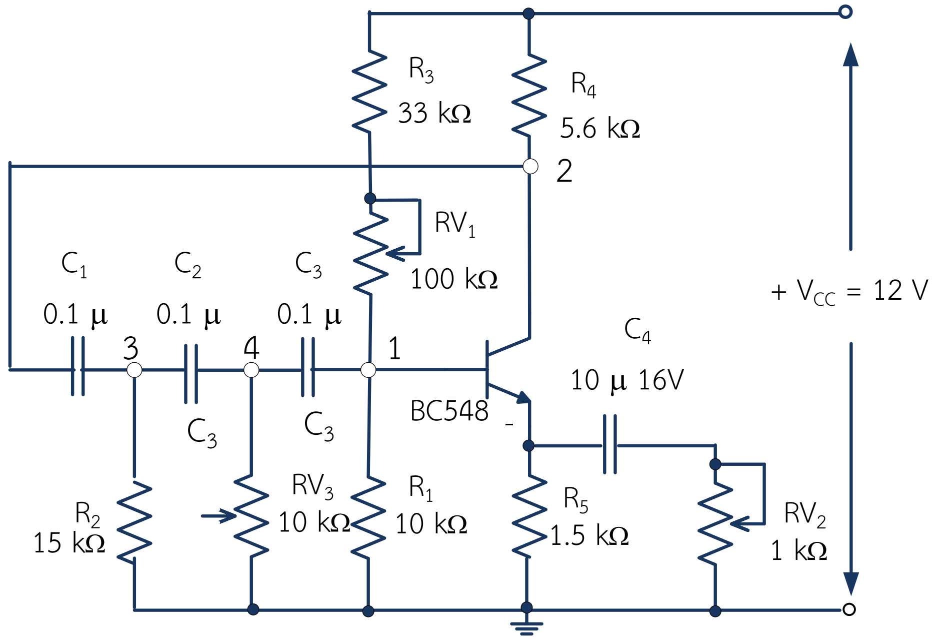
1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A 1 เครื่อง
3. ออสซิโลสโคป 1 เครื่อง
4. ฟังชั่นเจนเนอร์เรเตอร์ 1 เครื่อง
5. ตัวตานทานแบบปรับค่าได้ V_{R1} 100 kΩ, V_{R2} 1 kΩ, V_{R3} 10 kΩ อยางละ 1 ตัว
6. ตัวตานทานคาคงที่ R_1 10 kΩ, R_2 15 kΩ, R_3 33 kΩ, R_4 5.6 kΩ R_5 1.5 kΩ, R_6 2.2 kΩ อยางละ 1 ตัว
7. ตัวเก็บประจุ C_1,C_2,C_3 0.1 uF , C_4 10 uF 16 V อยางละ 1 ตัว

8.ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC548 1 ตัว

9. แผงประกอบวงจรและสายตอวงจร 1 ชุด

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

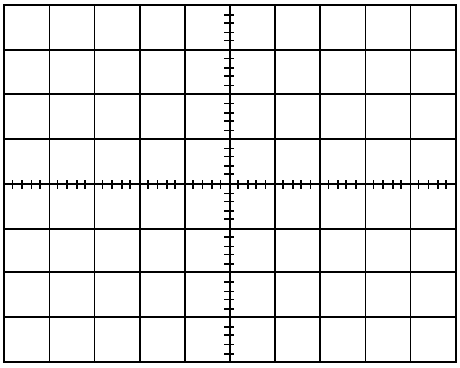
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงวงจรประกอบการทดลองข้อที่ 1

2. ปรับ V_{R1} และ V_{R2} ให้อยู่ในตำแหน่งครึ่งหนึ่งและต่อแหล่งจ่ายเข้าสู่วงจร

3. วัดสัญญาณรูปแรงดัน DC ที่จุด 2 โดยใช้แชลเนล 1 ของออสซิโลสโคปที่ตั้งค่าไว้ที่ 2V/div และตั้ง time base ไว้ที่ 2ms/div บันทึกผล



สัญญาณ จุดที่ 2

4. ปรับ V_{R2} ให้แรงดันที่จุด 2 มีขนาด 6V

5. ลดค่าความต้านทานของทริมเมอร์ V_{R2} อย่างช้า ๆ จนสัญญาณรูปไซน์ที่แสดงบนจอออสซิโลสโคปมีรูปร่างสมบูรณ์

6. ทำการปรับค่า V_{R1} และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ บันทึกผล

....

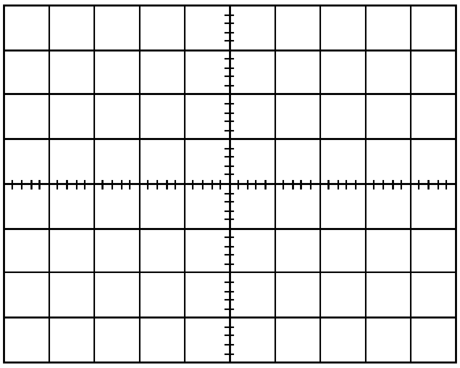
....

7. วัดความถี่ fosc ของสัญญาณ บันทึกผล

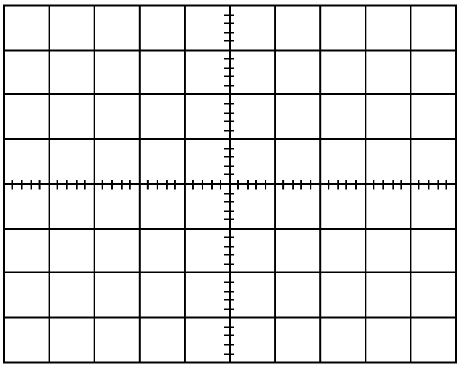
....

....

8.วัดรูปสัญญาณที่จุด 1 และ 2 บันทึกผล

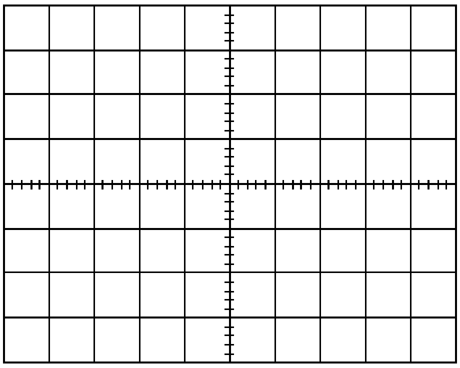


จุดที่ 1

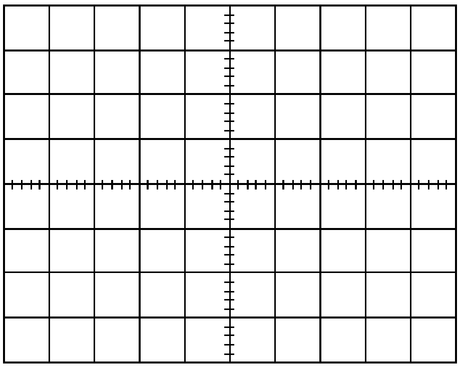


จุดที่ 2

9. วัดรูปสัญญาณที่จุด 3 และ 4 บันทึกผล



จุดที่ 3



จุดที่ 4

10. สังเกตแรงดันที่จุด 1,3,4 และตรวจสอบว่าความต่างของเฟสของสัญญาณเอาท์พุทมีค่าได้ถึง 180^0 หรือไม่

....

....

สรุปผลการทดลอง

....

....

....

....

....

....

คำถามการทดลอง

1.วงจรผลิตสัญญาณรูปไซน์ สามารถที่จะสร้างได้ในวงจรป้อนกลับ เมื่ออัตราการขยายของวงจรและวงจรป้อนกลับมีค่าเท่าใด

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

2. คุณสมบัติของวงจร hfe = 150 จงหาค่าของความต้านทาน เอาต์พุทของวงจร

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....