

การทดลองที่ 9

Operational Amplifier

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ Operational Amplifier
2. เพื่อศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้ Operational Amplifier ให้เป็นวงจรตามที่ต้องการ
3. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Operational Amplifier

ทฤษฎี

Operational Amplifier (ออปแอมป์, Op-Amp) หมายถึง วงจรขยายที่มีคุณสมบัติเยี่ยมโดยมีคุณสมบัติในอุดมคติดังนี้

1. มีความต้านทานขาเข้าสูงเป็นอินฟินิต ($R_{in} = \infty$, $I_{in} = 0$)
2. มีความต้านทานขาออกเป็นศูนย์ ($R_{out} = 0$, $I_{out} = \infty$)
3. มีอัตราขยายเปิดสูงเป็นอินฟินิต ($A_{vo} = \infty$)
4. มีแบนด์วิธกว้างตั้งแต่ดีซีจนถึงอินฟินิต ($BW = \infty$)
5. มีแรงดันออฟเซตเป็นศูนย์ (V_{offset} คือแรงดันขณะ $V_{in} = 0$)

จากคุณสมบัติดังกล่าวเราสามารถตั้งหลักการวิเคราะห์ที่สำคัญได้สองประการคือ

1. $I_{in} = 0$
2. $V_d = 0$ เนื่องจาก $I_{in} = 0$ ($V_d =$ แรงดันที่ตกคร่อมอินพุตทั้งสอง)

แต่ในความเป็นจริง คุณสมบัติของออปแอมป์จะเป็นดังต่อไปนี้

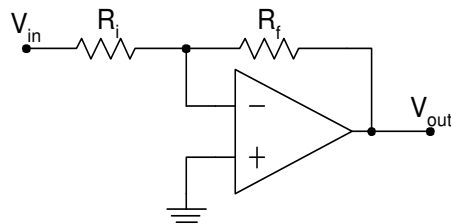
1. Input Resistance ไม่เท่ากับศูนย์ทำให้กระแสอินพุตไม่เท่ากับศูนย์โดย
 - Bipolar input stage มี $R_{in} > 250 \text{ k}\Omega$
 - FET input stage มี $R_{in} > 1500 \text{ M}\Omega$
2. Open loop output impedance ไม่เกิน 200Ω
3. Open loop gain มากกว่า $50,000 \text{ V/V}$ และจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น
4. Gain Bandwidth Product มีค่ามากกว่า 500 kHz
5. มีแรงดันออฟเซตเกิดขึ้น (ใน IC ที่บรรจุ OpAmp จะมีขาปรับออฟเซตให้)

วงจรภายในของออปแอมป์ประกอบด้วยภาคขยายต่างๆ อย่างน้อย 3 ภาคต่อกันแบบ Direct coupling ซึ่งก่อนที่จะให้ทรานซิสเตอร์ในออปแอมป์ทำงานแบบเชิงเส้นได้ เราต้องทำการจ่ายไบอัสให้กับตัวอุปกรณ์เสียก่อน

สำหรับวงจรภายในออปแอมป์ ภาคขยายแรกจะทำหน้าที่จ่ายไบอัสให้ภาคขยายถัดไป ดังนั้น ก่อนที่จะใช้งานโดยทั่วไป เราต้องไบอัสภาคขยายแรกด้วยวงจรภายนอกเสมอ (ข้อควรระวังสำหรับการต่ออินพุตจากอุปกรณ์ประเภท transducer คือจะไม่มีกระแสไบอัสผ่านตัว transducer ได้ เนื่องจากมีความต้านทานสูงมาก ดังนั้น เราต้องต่อความต้านทานเพิ่มเข้าไปเพื่อจ่ายไบอัสแก่ออปแอมป์)

ตัวอย่างวงจรประยุกต์ของ OpAmp

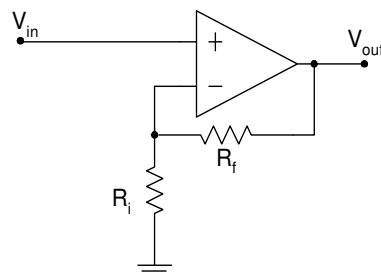
1. วงจรขยายกลับเฟส



รูปที่ 1 Inverting Amplifier

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_i} V_{in} \quad (1)$$

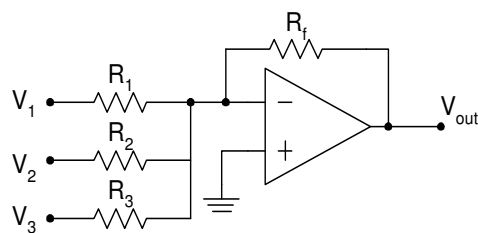
2. วงจรขยายไม่กลับเฟส



รูปที่ 2 Non-Inverting Amplifier

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1 \right) V_{in} \quad (2)$$

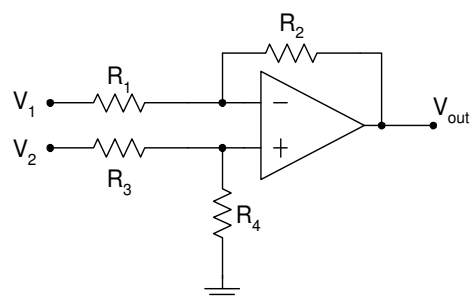
3. วงจรขยายผลบวก



รูปที่ 3 วงจรขยายผลบวก

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) \quad (3)$$

4. วงจรขยายผลลบ



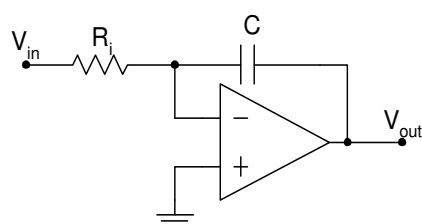
รูปที่ 4 วงจรขยายผลลบ

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 \quad (4)$$

ถ้า $R_1 = R_3$ และ $R_2 = R_4$ จะได้

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

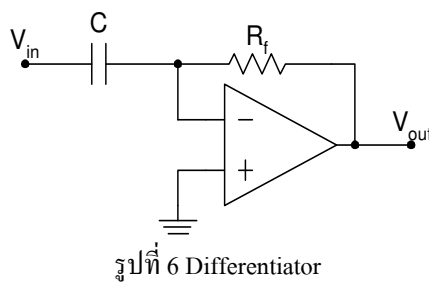
5. วงจรอินทิเกรตสัญญาณ



รูปที่ 5 Integrator

$$V_{out} = -\frac{1}{R_i C} \int V_{in} dt \quad (5)$$

6. วงจรดิฟเฟอเรนเชียลสัญญาณ



$$V_{out} = -R_f C \frac{d}{dt} V_{in} \quad (6)$$

รูปที่ 6 Differentiator

คำถามก่อนการทดลอง

1. จงแสดงวิธีการหาค่า V_{out} ของวงจรรูปที่ 1-6 (สมการที่ 1 - 6)
2. ถ้าป้อนสัญญาณเป็นรูป Square Wave เข้าไปในวงจรรูปที่ 5 V_{out} จะมีรูปร่างอย่างไร จงวาดรูปประกอบคำอธิบาย
3. ถ้าป้อนสัญญาณเป็นรูป Triangle Wave เข้าไปในวงจรรูปที่ 5 V_{out} จะมีรูปร่างอย่างไร จงวาดรูปประกอบคำอธิบาย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Operational Amplifier เบอร์ 741
2. Oscilloscope
3. Multimeter
4. Signal Generator
5. Power Supply
6. Resistor, Capacitor

ขั้นตอนการทดลอง

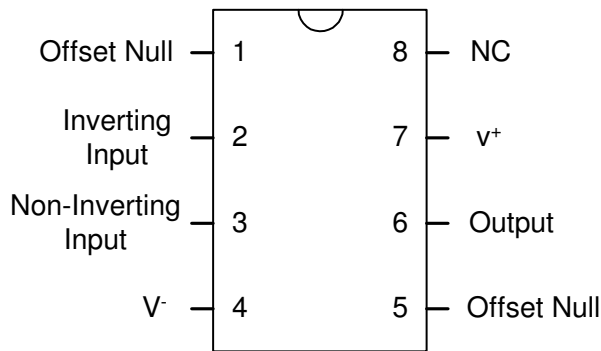
การใช้ Operational Amplifier เบอร์ 741

โดยทั่วไป Operational Amplifier จะถูกผลิตในรูปแบบของวงจรรวม (IC) ซึ่งสะดวกในการใช้งาน แต่ทั้งนี้ จะต้องต้องวงจรให้ถูกวิธี ในการทดลองนี้ Operational Amplifier ที่ใช้จะเป็น OP-AMP เบอร์ 741 ซึ่งมีขาสำหรับใช้ในการต่อวงจรทั้งหมดจำนวน 8 ขา โดยแต่ละขาจะมีฟังก์ชันที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงตามรูปที่ 7

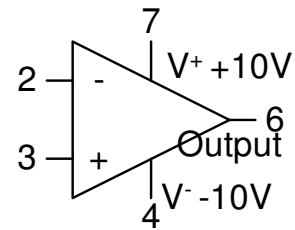
ในการต่อวงจร OP-AMP เราจะต้องต่อให้ถูกขา มิฉะนั้น OP-AMP จะไม่ทำงานตามที่เรต้องการ ซึ่งขาสัญญที่จำเป็นต้องใช้ในการต่อวงจร ได้แก่

1. ขาที่ 2 สำหรับเป็นการป้อนอินพุตด้านลบ
2. ขาที่ 3 สำหรับเป็นการป้อนอินพุตด้านบวก
3. ขาที่ 6 สำหรับเป็นเอาต์พุตของ OP-AMP
4. ขาที่ 7, 4 สำหรับป้อนไบอัส โดยขาที่ 7 เป็นขั้วบวก และขาที่ 4 เป็นขั้วลบ

ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 พินจังก์ชันของขาของ OP-AMP เบอร์ 741



รูปที่ 8 การใช้ OP-AMP เบอร์ 741

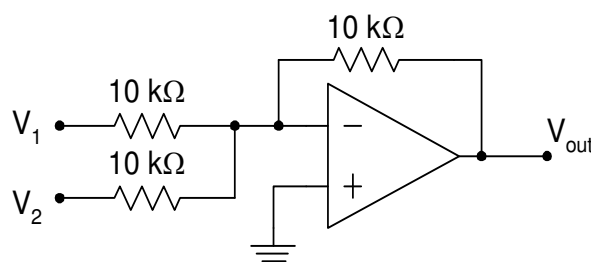
การทดลองที่ 1 วงจรขยายกลับเฟส

1. ต้องวงจรตามรูปที่ 1 โดยให้ $R_F = 10 \text{ k}\Omega$ และ $R_i = 1 \text{ k}\Omega$
2. ป้อนสัญญาณ Sinewave ขนาด 100 mV_{pp} ความถี่ 1 kHz เข้าที่ V_{in}
3. บันทึกรูปคลื่นของ V_{in} และ V_{out}
4. วัดค่า V_{in} , V_{out} , มุมเฟสของ V_{out}
5. เปลี่ยนความถี่เป็น 5 kHz , 10 kHz , 50 kHz และ 100 kHz ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 2, 3
6. เปลี่ยน R_F เป็น $100 \text{ k}\Omega$ แล้วทำการทดลองตามข้อ 2, 3, 4
7. นำผลที่ได้จากตารางทั้งสองไปพล็อตความสัมพันธ์ระหว่าง Gain และมุมเฟสกับความถี่บนกราฟ semi-log อันเดียวกัน

การทดลองที่ 2 วงจรขยายไม่กลับเฟส

1. ต้องวงจรตามรูป 2 โดยให้ $R_F = 10 \text{ k}\Omega$ และ $R_i = 1 \text{ k}\Omega$
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 2-7 ของการทดลองที่ 1 (วงจรขยายกลับเฟส)

การทดลองที่ 3 วงจรขยายผลบวก



รูปที่ 9 วงจรขยายผลบวก

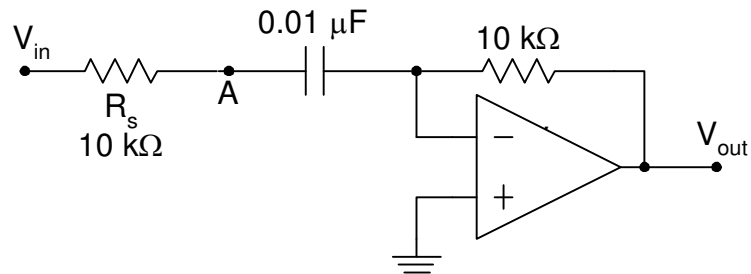
1. ต้องวงจรตามรูปที่ 9
2. ป้อนสัญญาณ Sinewave ขนาด 1 V_{pp} ความถี่ 1 kHz เข้าที่ V_1 และสัญญาณ DC ขนาด 0 V เข้าที่ V_2
3. บันทึกรูปคลื่น V_{in} , V_{out}
4. เพิ่มขนาดสัญญาณ DC เป็น 1 V แล้วทำการทดลองตามข้อ 3
5. เปรียบเทียบรูปคลื่นที่วัดได้

การทดลองที่ 4 วงจรขยายผลลบ

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4 โดยให้ R_1, R_2, R_3, R_4 เป็น $10\text{ k}\Omega$
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 2-5 ของการทดลองที่ 3 (วงจรขยายผลบวก)

การทดลองที่ 5 วงจร Differentiator

ในทางปฏิบัติ ถ้าความถี่ของ V_{in} มีค่าสูงๆ วงจร Differentiator มักจะไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้นต้องมี R_s ค่าเล็กๆ ต่ออนุกรมเข้าไป เพื่อเพิ่มเสถียรภาพ (R_s ที่ใช้ควรมีค่าต่ำกว่า $1/\omega C$ มากๆ) ดังวงจรในรูปที่ 10

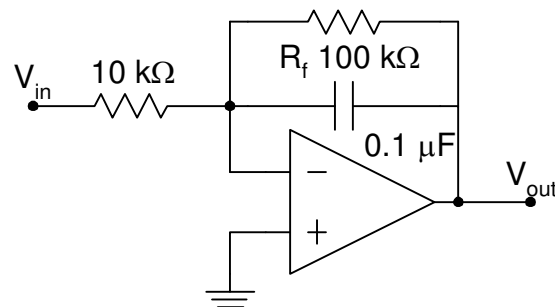


รูปที่ 10 Differentiator

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 10
2. ป้อนสัญญาณ Triangle wave ขนาด 100 mV_{pp} ความถี่ 1 kHz เข้าที่ V_{in}
3. เปรียบเทียบและบันทึกรูปคลื่นของ V_{in}, V_A และ V_{out}
4. เปลี่ยนความถี่เป็น 5 kHz แล้วทำการทดลองตามข้อ 3

การทดลองที่ 6 วงจร Integrator

ปัญหาในทางปฏิบัติของ Integrator เป็นปัญหาเกี่ยวกับ DC offset คือถ้ามีสัญญาณ DC อยู่ทางอินพุตจะทำให้มีการชาร์จตัวเก็บประจุไปเรื่อยๆจนเกิดการ Saturate ดังนั้นต้องมีการเพิ่ม R_f เข้าไปเพื่อจำกัด Gain ทางดิสซี (R_f ควรมีค่ามากกว่า $1/\omega C$ มากๆ)



รูปที่ 11 Integrator

1. ต่อวงจรตามรูป 11 ปิด Power Supply และทำการ discharge C ให้หมด
2. ป้อนสัญญาณ Square wave ขนาด 100 mV_{pp} ความถี่ 1 kHz เข้าที่ V_{in}
3. เปรียบเทียบและบันทึกรูปคลื่นของ V_{in} และ V_{out}
4. เปลี่ยนความถี่เป็น 5 kHz แล้วทำการทดลองตามข้อ 3