

การทดลองที่ 5

**การขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนต์**

**Instrumentation Amplifier**

**1. วัตถุประสงค์**

- 1.1. เพื่อศึกษาหลักการออกแบบวงจรออปแอมป์ต่อร่วมกับตัวต้านทาน สำหรับการจัดการสัญญาณรูปแบบต่างๆ
- 1.2. เพื่อศึกษาวงจรจัดการสัญญาณรูปแบบต่างๆ ดังนี้
  - 1) วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส
  - 2) วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส
  - 3) วงจรขยายความแตกต่าง
  - 4) วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์
- 1.3. เพื่อศึกษาวงจรแปลงสัญญาณระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ดังนี้
  - 1) วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย
  - 2) วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณแรงดันแบบปรับย่านการแปลงได้

**2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

- |                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 2.1. แหล่งจ่ายไฟตรง           | 1 เครื่อง |
| 2.2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์      | 1 เครื่อง |
| 2.3. โฟโต้บอร์ด               | 1 แผง     |
| 2.4. ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM324N | 1 ตัว     |
| 2.5. ตัวต้านทาน               |           |
| 1) $220\ \Omega$              | 1 ตัว     |
| 2) $10\ k\Omega$              | 2 ตัว     |
| 3) $50\ k\Omega$              | 5 ตัว     |
| 4) $100\ k\Omega$             | 5 ตัว     |
| 2.6. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้  |           |
| 1) $500\ \Omega$              | 2 ตัว     |
| 2) $10\ k\Omega$              | 2 ตัว     |
| 2.7. สายต่อสัญญาณต่างๆ        |           |

### 3. ทฤษฎี

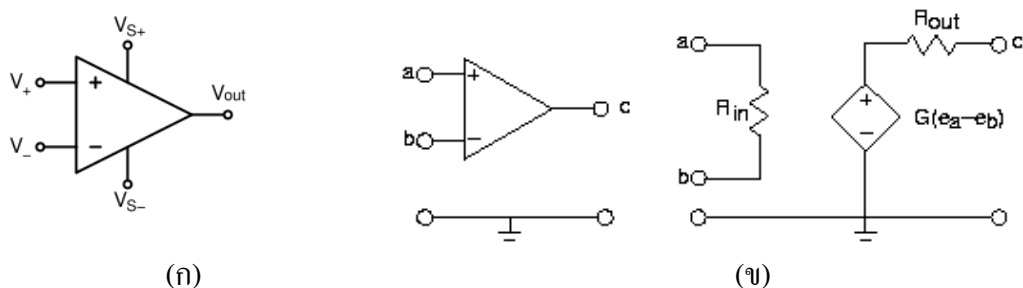
การจัดการสัญญาณอนาลอกสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

- 1) การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (Signal level changes)
- 2) การจัดสัญญาณให้เป็นเชิงเส้น (Linearization)
- 3) การเปลี่ยนชนิดของสัญญาณ (Conversions)
- 4) การกรองและอิมพีแดนซ์แมต칭 (Filtering and impedance matching)

โดยในการใช้งานอาจใช้เพียงประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือทั้ง 4 ประเภทร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานและสัญญาณที่ต้องการ

#### 3.1. ออปแอมป์ (Operational Amplifier: Op-Amp)

ออปแอมป์เป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์แบบสำเร็จหรือวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ที่มีการประยุกต์ใช้ในการจัดการสัญญาณหลายอย่าง มีขนาดเล็กและสมรรถนะสูง สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของออปแอมป์แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) สัญลักษณ์ของออปแอมป์ และ (ข) วงจรสมมูลของออปแอมป์

#### 1) คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ

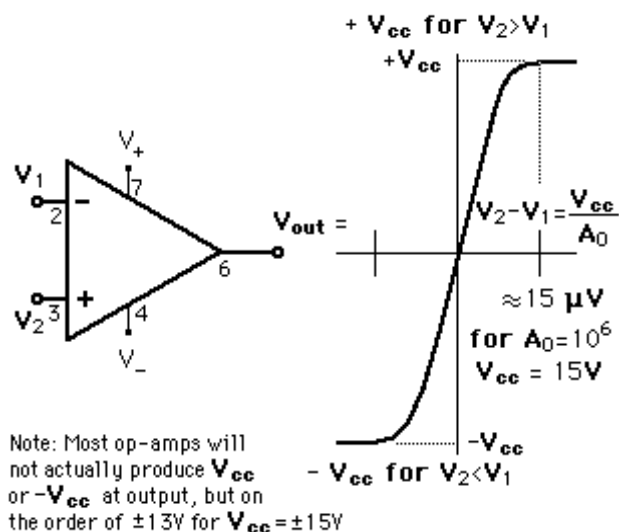
- 1) ความต้านทานระหว่างขา (+) และขา (-) จะมีค่าสูงมาก ( $R_{in} > 1M\Omega$ )
- 2) อัตราขยายสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงมาก ( $G > 10^5$ )
- 3) ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำมาก ( $R_{out} < 100\Omega$ )
- 4) ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขา (+) และแรงดันไฟฟ้าที่ขา (-) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ( $(e_a - e_b) \rightarrow 0$ )

#### 2) วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

วงจรเปรียบเทียบเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ลักษณะของวงจรและกราฟของสัญญาณเอาต์พุตแสดงไว้ดังรูปที่ 2 สัญญาณอินพุต 2 สัญญาณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน ถ้า  $V_2 > V_1$  สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าประมาณ  $+13 V$  เป็นเอาต์พุตลอจิก “1”

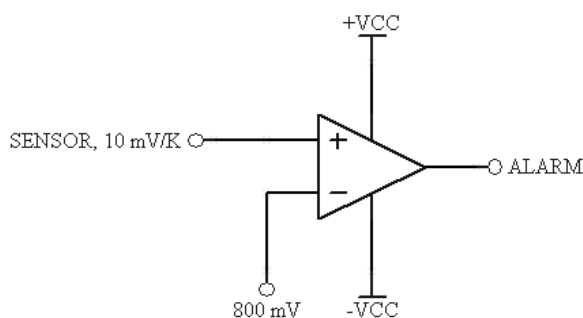
แต่ถ้า  $V_2 < V_1$  สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าประมาณ  $-13\text{ V}$  เป็นเอาต์พุตลอจิก “0” โดยวงจรสามารถเปรียบเทียบได้ก็ต่อเมื่ออินพุตมีความแตกต่างมากกว่า  $15\text{ }\mu\text{V}$  ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราขยายของออปแอมป์ (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2)

วงจรเปรียบเทียบนิยมนำมาใช้ในการส่งสัญญาณเตือน (Alarm) ลักษณะของวงจรสัญญาณเตือนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแสดงไว้ดังรูปที่ 3 จากรูปแรงดันจากเซนเซอร์ คือ  $10\text{ mV/K}$  ถ้าต้องการเตือนที่  $80\text{ K}$  จะได้ว่าแรงดันอ้างอิง คือ  $(80\text{ K})(10\text{ mV/K}) = 800\text{ mV}$



รูปที่ 2 วงจรเปรียบเทียบและกราฟสัญญาณเอาต์พุตของวงจร

ที่มา : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/opampvar8.html>

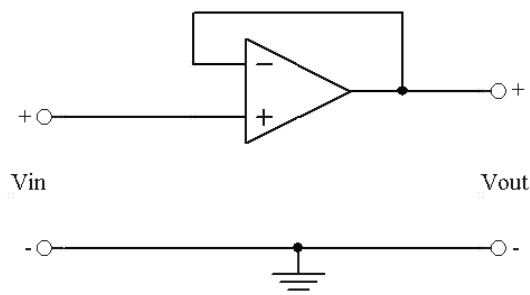


รูปที่ 3 วงจรสัญญาณเตือนที่อุณหภูมิ  $80\text{ K}$

### 3) บัฟเฟอร์หรือวงจรตามศักดา (Buffer หรือ Voltage Follower)

บัฟเฟอร์หรือวงจรตามศักดาแสดงไว้ในรูปที่ 4 เป็นวงจรที่ใช้เป็นกันชน ใช้ในกรณีที่อิมพีแดนซ์ (Impedance) ระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณและส่วนที่จะติดต่อด้วยไม่สมนัยกัน

(correspond) วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรตามสัญญาณจะมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง มีความต้านทานอินพุตสูง และความต้านทานเอาต์พุตต่ำ



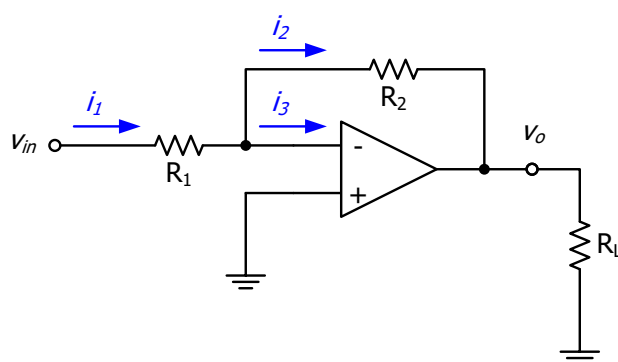
รูปที่ 4 บัฟเฟอร์หรือวงจรตามสัญญาณ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุต คือ

$$V_{out} = V_{in} \quad (1)$$

#### 4) วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายแบบกลับเฟสแสดงไว้ในรูปที่ 5 จากคุณสมบัติของออปแอมป์ จะได้ว่า แรงดันที่ขา (-) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากขา (+) ต่อลงกราวด์ (Ground) เรียกว่า กราวด์เสมือนที่ขา (-) และความต้านทานอินพุตที่ขา (-) มีค่าสูงมาก ดังนั้นกระแส  $i_3$  จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ คือ  $i_3 = 0$



รูปที่ 5 วงจรขยายแบบกลับเฟส

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต  $v_{out}$  และแรงดันอินพุต  $v_{in}$  สามารถหาได้ดังนี้

$$i_1 = \frac{v_{in}}{R_1} \quad (2)$$

$$i_2 = \frac{v_1 - v_o}{R_2} = \frac{-v_o}{R_2} \quad (3)$$

เนื่องจาก  $i_3 = 0$  ดังนั้น จะได้  $i_1 = i_2$  หรือ

$$\frac{v_{in}}{R_1} = \frac{-v_o}{R_2} \quad (4)$$

ดังนั้น

$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5)$$

เครื่องหมายลบในสมการ (5) แสดงให้เห็นถึงการกลับเฟสไป  $180^\circ$  ระหว่างแรงดันอินพุต  $v_{in}$  และแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  และค่าอัตราขยายของวงจรในรูปที่ 5 สามารถกำหนดให้มีค่าเท่าใดก็ได้ด้วยการปรับสัดส่วนระหว่าง  $R_1$  และ  $R_2$

### 5) วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสแสดงไว้ในรูปที่ 6 วงจรนี้มีแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  และแรงดันอินพุต  $v_{in}$  ที่มีเฟสเหมือนกัน และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  และแรงดันอินพุต  $v_{in}$  สามารถหาได้ดังนี้

$$i_1 = \frac{v_1}{R_1} \quad (6)$$

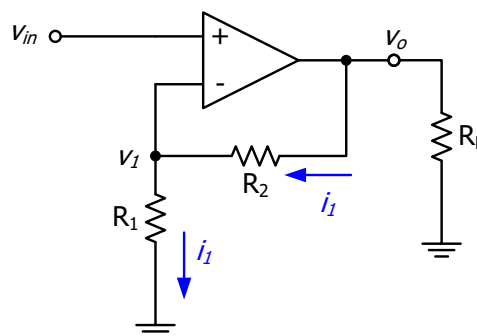
เนื่องจาก  $v_1 = v_{in}$  ดังนั้น

$$i_1 = \frac{v_{in}}{R_1} \quad (7)$$

$$v_o = i_1 R_2 + v_1 = \frac{v_{in}}{R_1} R_2 + v_{in} \quad (8)$$

ดังนั้น

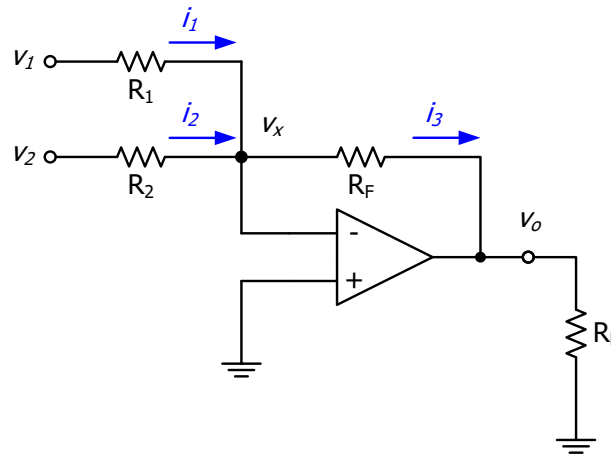
$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (9)$$



รูปที่ 6 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

### 3.2. วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting summer)

การรวมสัญญาณแรงดันหลายสัญญาณเข้าด้วยกันสามารถทำได้ โดยใช้วงจรขยายแบบกลับเฟสมาปรับปรุงส่วนอินพุต ดังรูปที่ 7 วงจรในรูปแบบเป็นการรวมแรงดัน 2 สัญญาณ โดยแรงดันเอาต์พุตสามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 7 วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส

พิจารณา KCL ที่โหนด  $v_x$  จะได้ว่า

$$i_1 + i_2 = i_3 \quad (10)$$

หรือ

$$\frac{v_1 - v_x}{R_1} + \frac{v_2 - v_x}{R_2} = \frac{v_x - v_o}{R_F} \quad (11)$$

เมื่อขา (-) ของออปแอมป์เป็นกราวด์เสมือน ดังนั้น  $v_x = 0$  จะได้ว่า

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} = \frac{-v_o}{R_F} \quad (12)$$

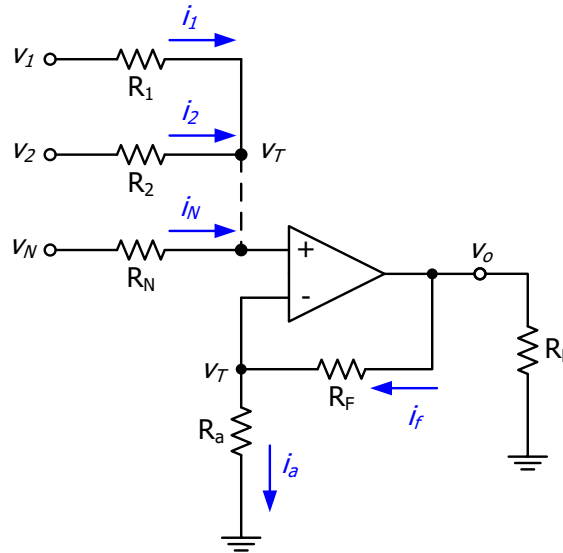
$$v_o = - \left[ \frac{R_F}{R_1} v_1 + \frac{R_F}{R_2} v_2 \right] \quad (13)$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับแรงดันอินพุต  $N$  ตัว จะได้แรงดันเอาต์พุต  $v_o$  ดังนี้

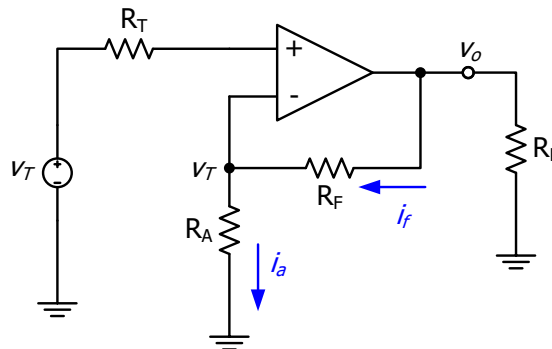
$$v_o = - \left[ \frac{R_F}{R_1} v_1 + \frac{R_F}{R_2} v_2 + \dots + \frac{R_F}{R_N} v_N \right] \quad (14)$$

### 3.3. วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting summer)

วงจรรวมแบบไม่กลับเฟสของแรงดันอินพุต  $N$  สัญญาณแสดงไว้ในรูปที่ 8 เป็นการนำวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสมาปรับปรุง การวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตของวงจรสามารถทำได้โดยแทนส่วนอินพุตของวงจรด้วยวงจรสมมูลแบบเทวินิน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส



รูปที่ 9 วงจรสมมูลแบบเทวินินของส่วนอินพุตของวงจรในรูปที่ 8

โดยที่

$$v_T = \frac{R_T}{R_1} v_1 + \frac{R_T}{R_2} v_2 + \cdots + \frac{R_T}{R_N} v_N \quad (15)$$

เมื่อ

$$R_T = R_1 \parallel R_2 \parallel \cdots \parallel R_N \quad (16)$$

พิจารณา KCL ที่โหนด  $v_T$  จะได้ว่า  $i_f = i_a$  หรือ

$$\frac{v_o - v_T}{R_F} = \frac{v_T}{R_A} \quad (17)$$

ดังนั้น

$$v_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) v_T \quad (18)$$

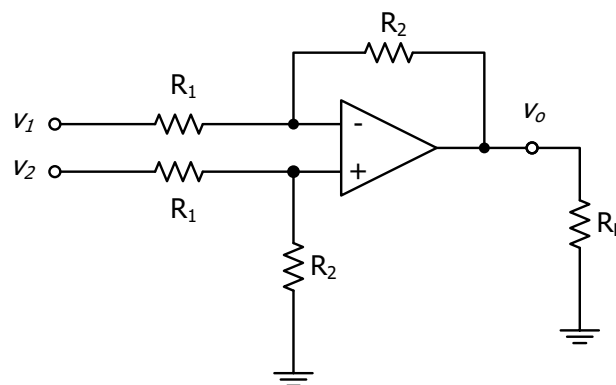
แทนสมการ (15) ลงในสมการ (18) จะได้แรงดันเอาต์พุต  $v_o$  คือ

$$v_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) \left( \frac{R_T}{R_1} v_1 + \frac{R_T}{R_2} v_2 + \dots + \frac{R_T}{R_N} v_N \right) \quad (19)$$

### 3.4. วงจรขยายความแตกต่าง (Differential amplifier)

วงจรขยายความแตกต่างแสดงไว้ในรูปที่ 10 เป็นวงจรสำหรับขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็กและมีการรบกวนสูง เช่น สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลหรือสเตรนเกจ เป็นต้น แรงดันเอาต์พุต  $v_o$  ของวงจรคือ

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1) \quad (20)$$



รูปที่ 10 วงจรขยายความแตกต่าง

แรงดันเอาต์พุต  $v_o$  ขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต  $v_1$  และ  $v_2$  ถ้าแรงดันอินพุตทั้งสองมีค่าเท่ากัน ( $v_1 = v_2$ ) จะต้องได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับศูนย์ ซึ่งเรียกแรงดันอินพุต  $v_1$  และ  $v_2$  นี้ว่าแรงดันร่วม (common

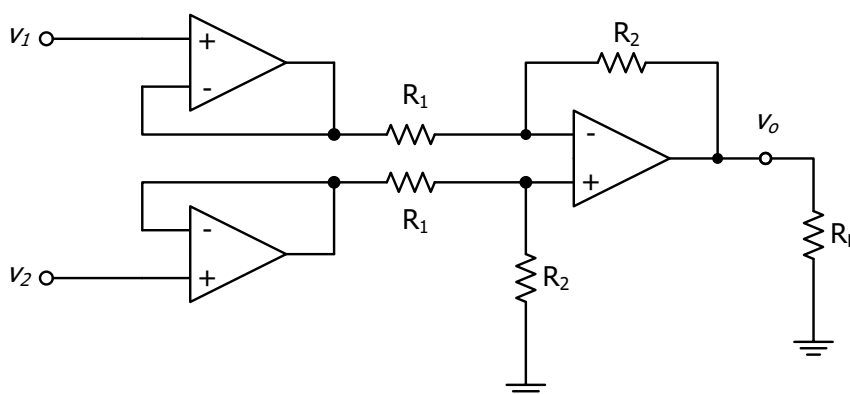


mode voltage) ในกรณีนี้ความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  แต่ละคู่ในวงจรจะต้องมีค่าสมนัยกันมาก เพื่อให้ อัตราขยายของวงจรที่ต่อสัญญาณรวมเท่ากับศูนย์

### 3.5. วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrumentation amplifier)

#### 1) วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์อย่างง่าย (Basic instrumentation amplifier)

วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์อย่างง่ายแสดงไว้ในรูปที่ 11 วงจรนี้เป็นการรวมกันของวงจรขยาย ความแตกต่างและวงจรบัฟเฟอร์ การออกแบบวงจรนี้คำนึงถึงอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจร โดยออกแบบ สำหรับใช้ต่อร่วมกับตัวตรวจวัด (detector) หรือเซนเซอร์ (sensor) เนื่องจากตัวตรวจวัดหรือเซนเซอร์มี ความต้านทานเอาต์พุตสูง และวงจรขยายความแตกต่างแบบเดิมมีค่าความต้านทานอินพุตไม่สูง (รูปที่ 10) ทำให้สัญญาณที่ส่งมาจากตัวตรวจวัดผิดพลาดได้ แรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแบบ อินสตรูเมนต์อย่างง่ายยังหาได้จากสมการที่ (20) การปรับอัตราขยายของวงจรนี้ทำโดยปรับค่าความ ต้านทานของ  $R_2$  ทั้งสองตัว ซึ่งอาจมีผลทำให้อัตราการขยายของแรงดันรวมไม่เป็นศูนย์ เหมือนที่เกิด ขึ้นกับวงจรขยายความแตกต่าง



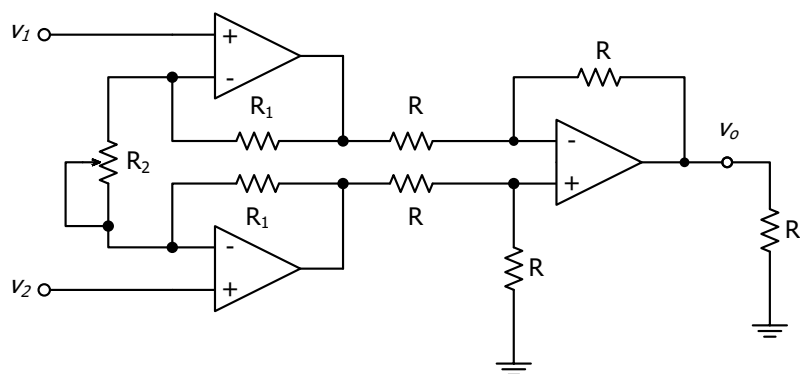
รูปที่ 11 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์อย่างง่าย

#### 2) วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์

วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์แบบปรับอัตราขยายได้ แสดงไว้ในรูปที่ 12 เนื่องจากวงจรขยาย แบบอินสตรูเมนต์อย่างง่าย (รูปที่ 11) มีปัญหาในการปรับอัตราขยาย จึงมีการปรับปรุงวงจร เพื่อให้ สามารถปรับอัตราขยายได้ วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์นี้ มีแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  คือ

$$v_o = \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)(v_2 - v_1) \quad (21)$$

การปรับอัตราขยายของวงจรทำได้โดยปรับค่าความต้านทานของ  $R_2$  เพียงตัวเดียว



รูปที่ 12 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์

### 3.6. สัญญาณมาตรฐานในอุตสาหกรรม

สัญญาณมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

#### 1) สัญญาณลม

ขนาดของสัญญาณลมมาตรฐาน คือ  $0.2 - 1.0 \text{ kg/cm}^2$  หรือ  $3 - 15 \text{ psig}$  และที่พบน้อย คือ  $6 - 30 \text{ psig}$  หรือ  $3 - 27 \text{ psig}$

#### 2) สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์มาตรฐานมี 2 แบบ คือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน  $1 - 5 \text{ Vdc}$  หรือที่พบน้อย คือ  $0 - 10 \text{ Vdc}$  และสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน  $4 - 20 \text{ mAdc}$  หรือที่พบน้อย คือ  $10 - 50 \text{ mAdc}$  และ  $0 - 20 \text{ mAdc}$

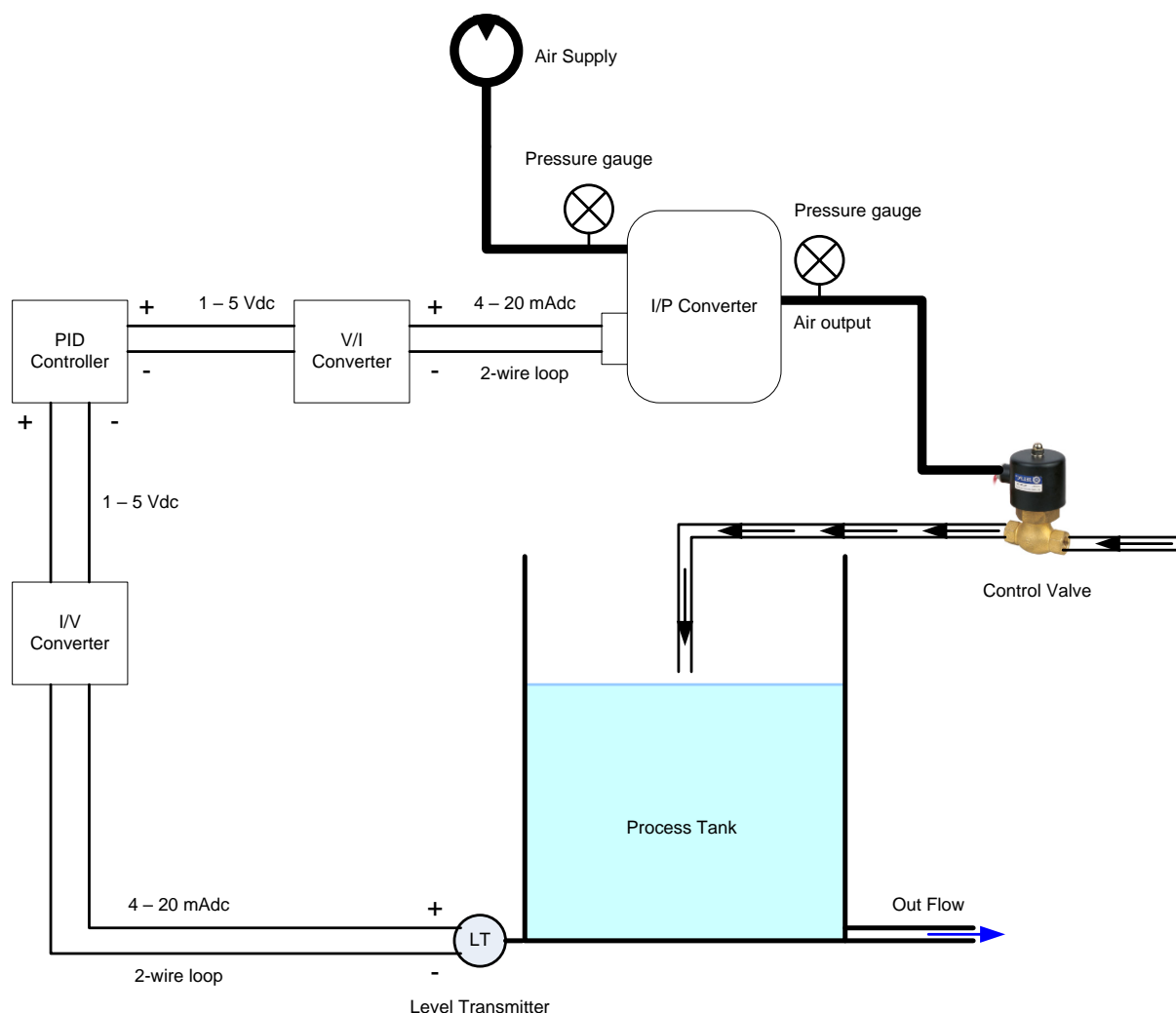
#### 3) สัญญาณดิจิทัล

สำหรับสัญญาณดิจิทัลยังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน ระดับสัญญาณดิจิทัลที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน คือ  $0 - 5 \text{ Vdc}$  หรือ  $0 - 24 \text{ Vdc}$  เป็นต้น

ในการทดลองนี้จะกล่าวเพียงการแปลงสัญญาณมาตรฐานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นวงจรสำคัญในระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม การแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในกรณีที่อุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณในระบบให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า และจำเป็นต้องส่งสัญญาณไปเป็นระยะทางไกลๆ จึงต้องส่งเป็นกระแสไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ตัวรับต้องการสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น ระบบควบคุมปริมาณของเหลวในถังด้วยการควบคุมแบบปิด (Closed-Loop control) ดังรูปที่ 13 การควบคุมปริมาณของเหลวในถังใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบปริพันธ์และร่วมกับแบบอนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative Controller: PID Controller) มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน  $1 - 5 \text{ Vdc}$  สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด  $4 - 20 \text{ mAdc}$  ด้วยตัวแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Voltage-to-Current Converter: V/I Converter) และสัญญาณกระแสไฟฟ้าจะถูก

เปลี่ยนเป็นสัญญาณลมด้วยตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณลม (Current-to-Pneumatic Converter: I/P Converter) สัญญาณลมเอาท์พุทที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามตัวควบคุมแบบ PID และนำไปควบคุมการเปิด/ปิดวาล์วควบคุม (Control Valve) โดยของเหลวจะไหลผ่านวาล์วควบคุม ทำให้ปริมาตรของเหลวในถังเพิ่มขึ้น ข้อมูลปริมาณของเหลวในถังจะต้องนำมาป้อนกลับ (feed-back) ให้กับตัวควบคุมแบบ PID เพื่อกำหนดการเปิด/ปิดวาล์วให้เหมาะสม ข้อมูลนี้ได้จากเครื่องวัดระดับของเหลว (Level Transmitter) สัญญาณเอาท์พุทของเครื่องนี้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 – 20 mAdc ซึ่งจะถูกละเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแรงดัน ด้วยวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1 – 5 Vdc (Current-to-Voltage Converter: I/V Converter) และส่งสัญญาณแรงดันให้กับตัวควบคุมแบบ PID ใช้ควบคุมการเปิด/ปิดวาล์วต่อไป

ปัจจุบันมีไอซีหรืออุปกรณ์สำเร็จรูปสำหรับแปลงสัญญาณ เช่น ไอซีเบอร์ XTR110 ของบริษัท Burn-Brown ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าได้ เป็นต้น แต่ในการทดลองนี้จะไม่กล่าวถึง



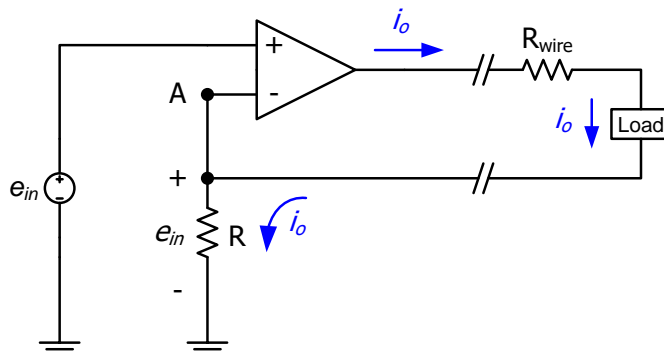
รูปที่ 13 ระบบควบคุมปริมาตรของเหลวในถังแบบปิด (Closed-Loop control)

### 3.7. วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

#### (Voltage to Current Converter Circuit)

##### 1) วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่ายแสดงไว้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย

วงจรนี้เป็นการดัดแปลงวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) การวิเคราะห์วงจรนี้มีดังนี้ แรงดัน  $V_A = V_R = e_{in}$  ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_R}{R} = \frac{V_A}{R} = \frac{e_{in}}{R} \quad (22)$$

ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตย่าน  $e_{in} = 1-5 \text{ Vdc}$  เป็นกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4-20 \text{ mAdc}$  การคำนวณ คือ ที่  $e_{in} = 1 \text{ Vdc}$  กระแสเอาต์พุตเท่ากับ  $i_o = 4 \text{ mAdc}$  จะได้

$$(4 \times 10^{-3} \text{ A}) = \frac{(1 \text{ V})}{R}$$

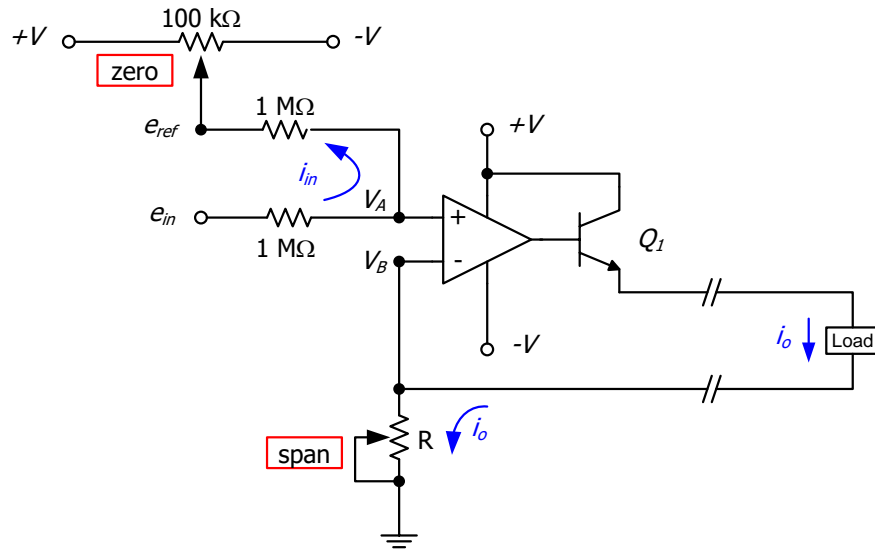
$$R = 250 \Omega$$

และที่  $e_{in} = 1 \text{ Vdc}$  กระแสเอาต์พุตเท่ากับ

$$i_o = \frac{5 \text{ V}}{250 \Omega} = 20 \text{ mA}$$

## 2) วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้

เนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยขั้วออปแอมป์มีขีดจำกัด และมีย่านการแปลงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน จึงมีการนำทรานซิสเตอร์มาช่วยขับเคลื่อน รูปที่ 15 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้



รูปที่ 15 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบปรับแต่งย่านการแปลงได้

การวิเคราะห์วงจรมีดังนี้ แรงดัน  $V_A = V_B = V_R$  ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_A}{R} = \frac{V_B}{R} = \frac{V_R}{R} \quad (23)$$

สมการแรงดันลูปบน คือ

$$e_{in} - i_{in}(1\text{ M}\Omega) - i_{in}(1\text{ M}\Omega) - e_{ref} = 0 \quad (24)$$

ดังนั้น

$$i_{in} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{2\text{ M}\Omega} \quad (25)$$

และสมการแรงดันลูปล่าง คือ

$$e_{in} - i_{in}(1\text{ M}\Omega) - V_A = 0 \quad (26)$$

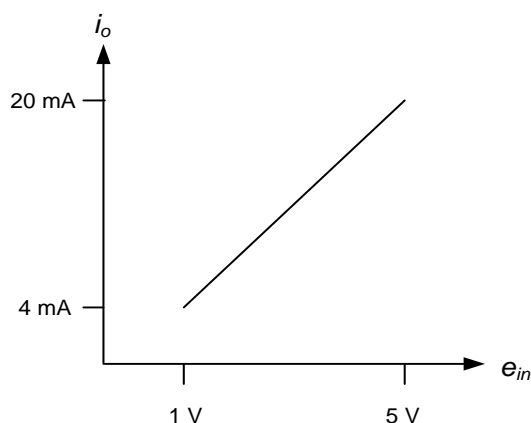
จากสมการ (25) และ (26) จะได้

$$V_A = e_{in} - \frac{e_{in} - e_{ref}}{2\text{ M}\Omega}(1\text{ M}\Omega) = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2} \quad (27)$$

ดังนั้น

$$i_o = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2R} \quad (28)$$

จากสมการนี้ จะเห็นได้ว่ากระแสเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุต แรงดันอ้างอิง และค่าความต้านทาน ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตย่าน  $e_{in} = 1-5 \text{ Vdc}$  เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4-20 \text{ mAdc}$  ดังกราฟในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

พิจารณาที่แรงดัน  $e_{in} = 1 \text{ Vdc}$  กระแสเอาต์พุต คือ  $i_o = 4 \text{ mAdc}$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} 4 \times 10^{-3} \text{ A} &= \frac{1 + e_{ref}}{2R} \\ e_{ref} &= 8 \times 10^{-3} R - 1 \end{aligned} \quad (29)$$

และที่  $e_{in} = 5 \text{ Vdc}$  กระแสเอาต์พุต คือ  $i_o = 20 \text{ mAdc}$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} 20 \times 10^{-3} \text{ A} &= \frac{5 + e_{ref}}{2R} \\ e_{ref} &= 40 \times 10^{-3} R - 5 \end{aligned} \quad (30)$$

จากสมการ (29) และ (30) จะได้ว่า

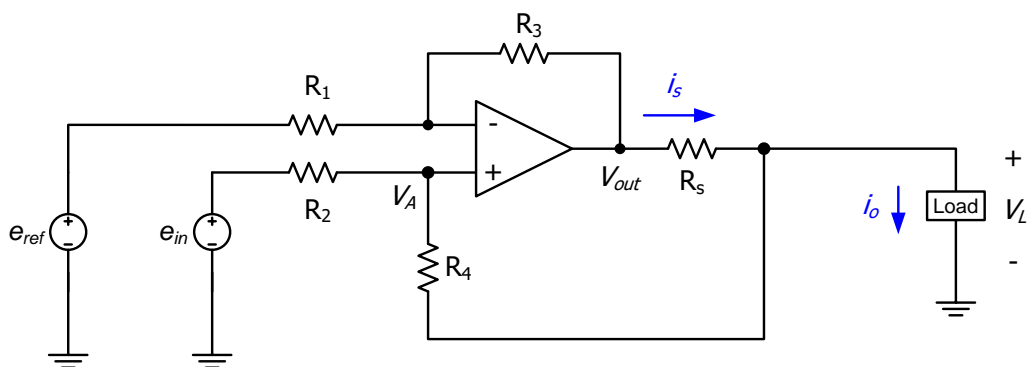
$$R = \frac{4}{32 \times 10^{-3}} = 125 \Omega$$

และ

$$e_{ref} = 8 \times 10^{-3} \times 125 - 1 = 0$$

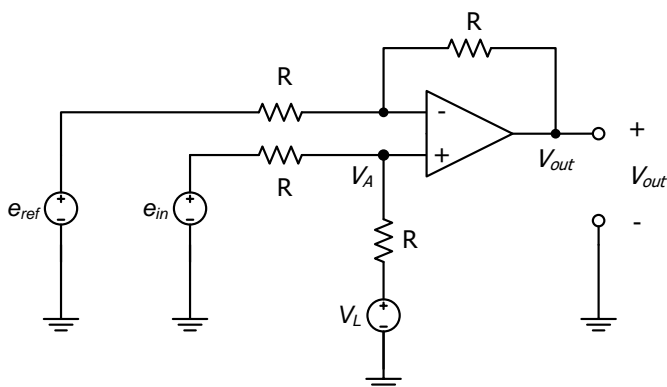
### 3) วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบต่อโหลดลงกราวด์

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้าทั้งสองวงจรที่กล่าวมาแล้ว มีกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต  $i_o$  ไหลผ่านโหลดและตัวต้านทานลงกราวด์ เรียกการต่อโหลดลักษณะนี้ว่า “โหลดลอย” (floating load) แต่ถ้าต้องการให้กระแสเอาต์พุตไหลผ่านโหลดแล้วลงกราวด์ (grounded load) โดยไม่ผ่านตัวต้านทาน ก็สามารถทำได้ และวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้าแบบต่อโหลดลงกราวด์แสดงไว้ในรูปที่ 17



รูปที่ 17 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้าแบบต่อโหลดลงกราวด์

ถ้ากำหนดให้  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  การวิเคราะห์ห้วงจรทำโดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน (superposition) วงจรสำหรับวิเคราะห์ด้วยการวางซ้อนแสดงไว้ในรูปที่ 18



รูปที่ 18 วงจรสำหรับการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการวางซ้อน

วิเคราะห์ห้วงจรในรูปที่ 18 ด้วยทฤษฎีการซ้อนทับ จะได้

$$V_{out1} = -e_{ref} \quad (31)$$

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R}{R}\right) V_A \quad (32)$$

โดยที่

$$V_A = \left(\frac{e_{in} - V_L}{2R}\right) R + V_L \quad (33)$$

ดังนั้น

$$V_{out2} = 2V_A = 2 \left[ \left(\frac{e_{in} - V_L}{2R}\right) R + V_L \right] = e_{in} + V_L \quad (34)$$

และ

$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2} = V_L + e_{in} - e_{ref} \quad (35)$$

จากรูปที่ 18 จะได้

$$V_{rs} = V_{out} - V_L = V_L + e_{in} - e_{ref} - V_L = e_{in} - e_{ref} \quad (36)$$

ดังนั้นกระแสไหลผ่าน  $R_s$  จะมีค่าเท่ากับกระแสเอาต์พุต คือ

$$i_{rs} = i_o = \frac{V_{rs}}{R_s} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{R_s} \quad (37)$$

กระแสเอาต์พุตตามสมการ (37) จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุต แรงดันอ้างอิงและค่าความต้านทาน  $R_s$  ในกรณีที่ต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตย่าน  $e_{in} = 1-5 \text{ Vdc}$  เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4-20 \text{ mAdc}$  สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ ที่แรงดัน  $e_{in} = 1 \text{ Vdc}$  กระแสเอาต์พุตคือ  $i_o = 4 \text{ mAdc}$  จะได้

$$4 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{1 - e_{ref}}{R_s} \quad (38)$$

$$e_{ref} = 1 - 4 \times 10^{-3} R_s$$

และที่  $e_{in} = 5 \text{ Vdc}$  กระแสเอาต์พุตคือ  $i_o = 20 \text{ mAdc}$  จะได้ว่า

$$20 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{5 - e_{ref}}{R_s} \quad (39)$$

$$e_{ref} = 5 - 20 \times 10^{-3} R_s$$

จากสมการ (38) และ (39) จะได้ว่า

$$R_s = \frac{4}{16 \times 10^{-3}} = 250 \Omega$$

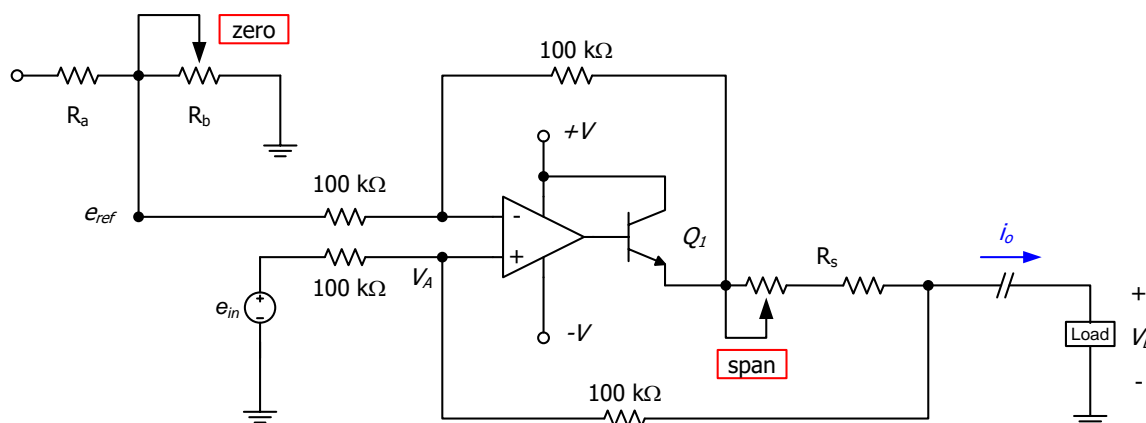
และ

$$e_{ref} = 1 - 4 \times 10^{-3} \times 250 = 0$$



#### 4) วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบต่อโหลดลงกราวด์และปรับย่านการแปลงได้

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบต่อโหลดลงกราวด์สามารถดัดแปลงให้ปรับย่านการแปลงได้และสามารถขับเคลื่อนได้มากขึ้น ทำโดยต่อทรานซิสเตอร์เพิ่ม ดังรูปที่ 19

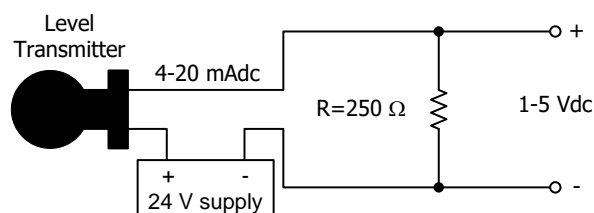


รูปที่ 19 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบต่อโหลดลงกราวด์ที่สามารถปรับย่านการแปลงได้

### 3.8. วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าและสัญญาณแรงดัน

#### 1) วงจรแปลงสัญญาณกระแส 4-20 $mA_{dc}$ เป็นสัญญาณแรงดัน 1-5 $V_{dc}$ อย่างง่าย

วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ แต่การแปลงอย่างง่าย ๆ อาจทำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทานไฟฟ้า ( $V = iR$ ) ดังรูปที่ 20 แสดงการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4–20  $mA_{dc}$  เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1–5  $V_{dc}$  โดยใช้ตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 250  $\Omega$

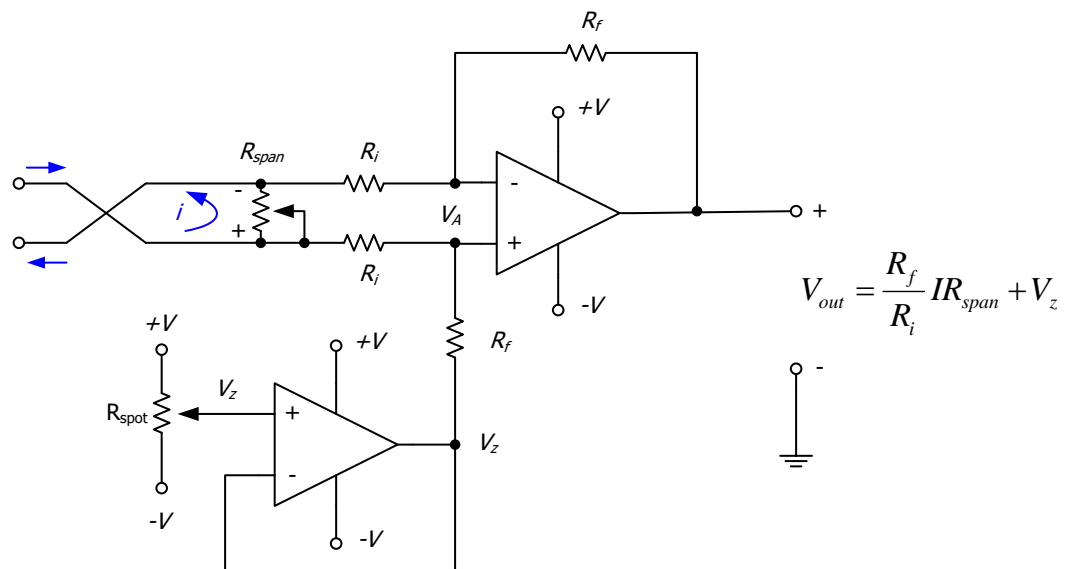


รูปที่ 20 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4–20  $mA_{dc}$  เป็นแรงดันไฟฟ้า 1–5  $V_{dc}$  อย่างง่าย

วงจรแปลงสัญญาณดังรูปที่ 20 ไม่นิยมใช้ เนื่องจากการสืดย่านการแปลง และเกิดความยุ่งยากถ้าต้องการเปลี่ยนย่านการแปลง

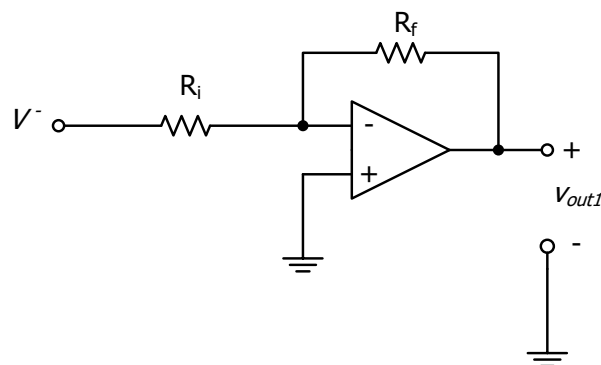
## 2) วงจรแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้

วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้แสดงไว้ในรูปที่ 21

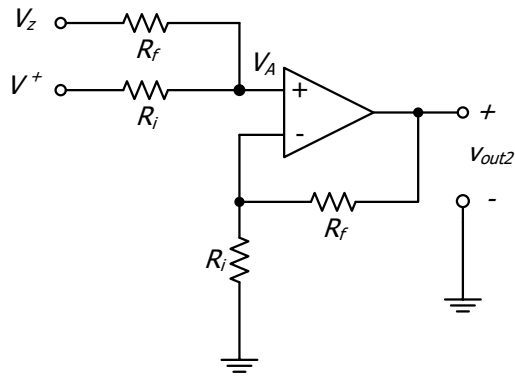


รูปที่ 21 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้

กระแสอินพุตจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันอินพุตของวงจรด้วย  $R_{span}$  และ  $R_{span} \ll R_i$  เพื่อป้องกันกระแสไหลเข้าวงจรลงกราวด์ การคำนวณหาแรงดันเอาต์พุตของวงจรนี้ทำได้โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการวางซ้อน ด้วยวงจรในรูปที่ 22 และ 23



รูปที่ 22 วงจรสำหรับวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต  $V_{out1}$  ของวงจรในรูปที่ 21



รูปที่ 23 วงจรสำหรับวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต  $V_{out2}$  ของวงจรในรูปที่ 21

วงจรในรูปที่ 21 เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของวงจรนี้คือ

$$V_{out1} = -\frac{R_f}{R_i} V^- \quad (40)$$

และวงจรในรูปที่ 23 เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (noninverting amplifier) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของวงจรนี้คือ

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) V_A \quad (41)$$

จากรูปที่ 23 จะได้ว่า

$$V_A = (V^+ - V_z) \frac{R_f}{R_i + R_f} + V_z = \frac{V^+ R_f + V_z R_i}{R_i + R_f} \quad (42)$$

ดังนั้น

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) \frac{(V^+ R_f + V_z R_i)}{R_i + R_f} = \frac{R_f}{R_i} V^+ + V_z \quad (43)$$

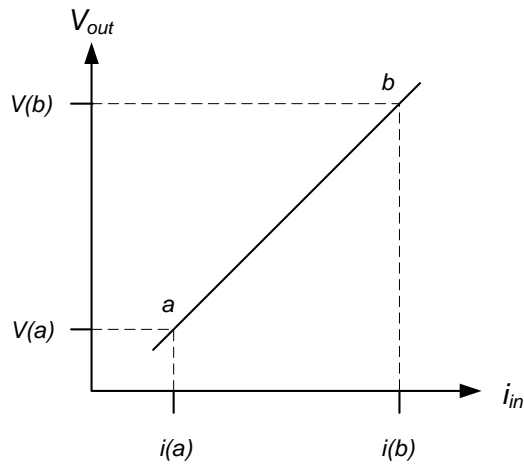
และ  $V_{out} = V_{out1} + V_{out2}$  ดังนั้น

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i} V^+ + V_z - \frac{R_f}{R_i} V^- = \frac{R_f}{R_i} (V^+ - V^-) + V_z \quad (44)$$

เมื่อ  $(V^+ - V^-) = R_{span} i$  จะได้

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i + V_z \quad (45)$$

สมการที่ (45) คือแรงดันเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 21 ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต ( $e = R_{span} i$ ) อัตราส่วน  $\frac{R_f}{R_i}$  และแรงดันออฟเซต  $V_z$



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอินพุตและแรงดันเอาต์พุต

ในกรณีที่ต้องการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันเอาต์พุตดังกราฟในรูปที่ 24 การคำนวณทำได้ดังต่อไปนี้ พิจารณาที่จุด a จะได้

$$V(a) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(a) + V_z \quad (46)$$

และที่จุด b จะได้

$$V(b) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(b) + V_z \quad (47)$$

จากสมการ (46) และ (47) จะได้

$$V(b) - V(a) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(b) - \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(a) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} [i(b) - i(a)] \quad (48)$$

ดังนั้น

$$R_{span} = \frac{V(b) - V(a)}{\frac{R_f}{R_i} [i(b) - i(a)]} \quad (49)$$

และ

$$V_z = V(a) - \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(a) \quad (50)$$

หรือ

$$V_z = V(b) - \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(b) \quad (51)$$

ถ้าต้องการแปลงกระแสไฟฟ้าอินพุตย่าน  $i_{in} = 4 - 20 \text{ mAdc}$  เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out} = 1 - 5 \text{ Vdc}$  นั่นคือ

$$\begin{aligned} i(a) &= 4 \text{ mA} & V(a) &= 1 \text{ V} \\ i(b) &= 20 \text{ mA} & V(b) &= 5 \text{ V} \end{aligned}$$

ถ้าเลือก  $R_f/R_i = 10$

$$R_{span} = \frac{5 \text{ V} - 1 \text{ V}}{10[20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}]} = 25 \Omega$$

จากเงื่อนไข  $R_{span} \ll R_i$  ดังนั้นเลือก  $R_i = 10 \text{ k}\Omega$  จะได้

$$R_f = 10R_i = 10 \times 10 \times 10^3 = 100 \text{ k}\Omega$$

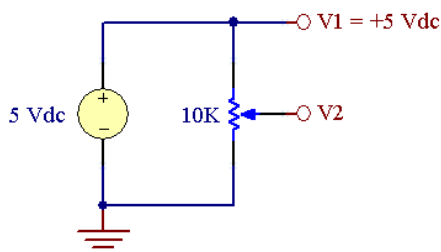
และ

$$V_z = 1 \text{ V} - \frac{100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \times 25 \Omega \times 4 \times 10^3 \text{ A} = 0 \text{ V}$$

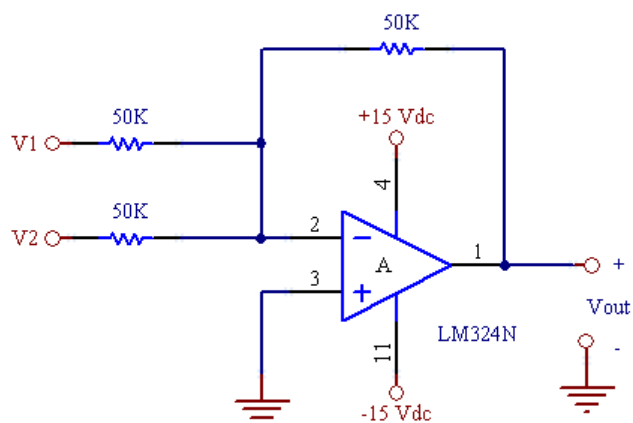
#### 4. การทดลอง

##### การทดลองที่ 1 วงจรรวมสัญญาณ

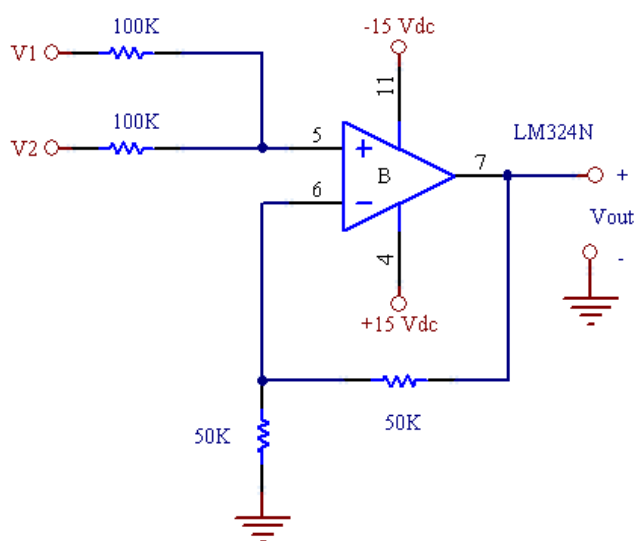
1. ต่อวงจรแหล่งจ่ายแรงดันแบบปรับค่าได้ (รูปที่ 25) วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส (รูปที่ 26) และวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส (รูปที่ 27) โดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM 324



รูปที่ 25 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้



รูปที่ 26 วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส



รูปที่ 27 วงจรรวมแบบไม่กลับเฟส

แรงดันเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟสคำนวณได้จากสมการ (13) คือ

$$v_{out} = -\left(\frac{50k}{50k}v_1 + \frac{50k}{50k}v_2\right) = -(v_1 + v_2) \quad (52)$$

และแรงดันเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟสคำนวณได้จากสมการ (19) คือ

$$v_{out} = \left(1 + \frac{50k}{50k}\right)\left(\frac{50k}{100k}v_1 + \frac{50k}{100k}v_2\right) = v_1 + v_2 \quad (53)$$

2. ต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้า  $v_1$  และ  $v_2$  จากวงจรแหล่งจ่ายแรงดันเข้ากับอินพุต  $v_1$  และ  $v_2$  ของวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส และแบบไม่กลับเฟส แรงดันอินพุต  $v_1$  มีค่าคงที่ คือ เท่ากับ 5 V ขณะที่แรงดันอินพุต  $v_2$  สามารถปรับค่าได้

3. ปรับแรงดันอินพุต  $v_2$  ด้วยการปรับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor: VR) ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน (รูปที่ 25) ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดแรงดันอินพุต  $v_1$  และ  $v_2$  ให้มีค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 และวัดแรงดันเอาต์พุต  $v_{out}$  ของวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส และแบบไม่กลับเฟส บันทึกแรงดันเอาต์พุตของทั้งสองวงจรลงในตารางที่ 1 เปรียบเทียบกับทฤษฎี

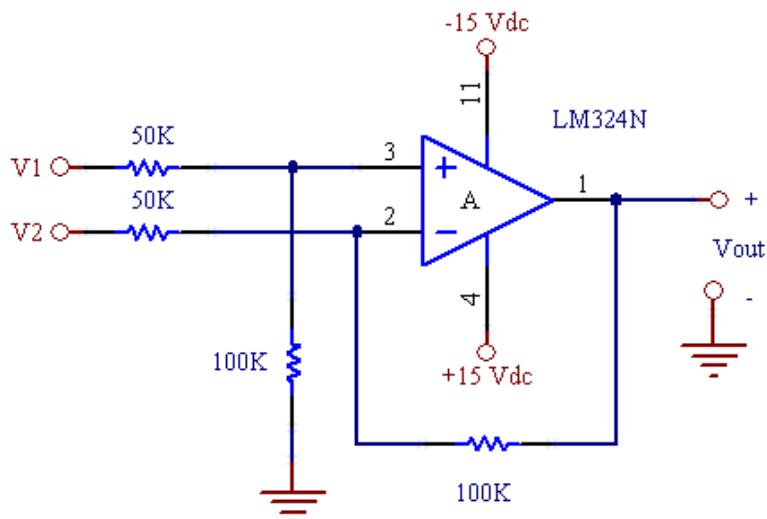
4. สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดลองวงจรรวมสัญญาณ

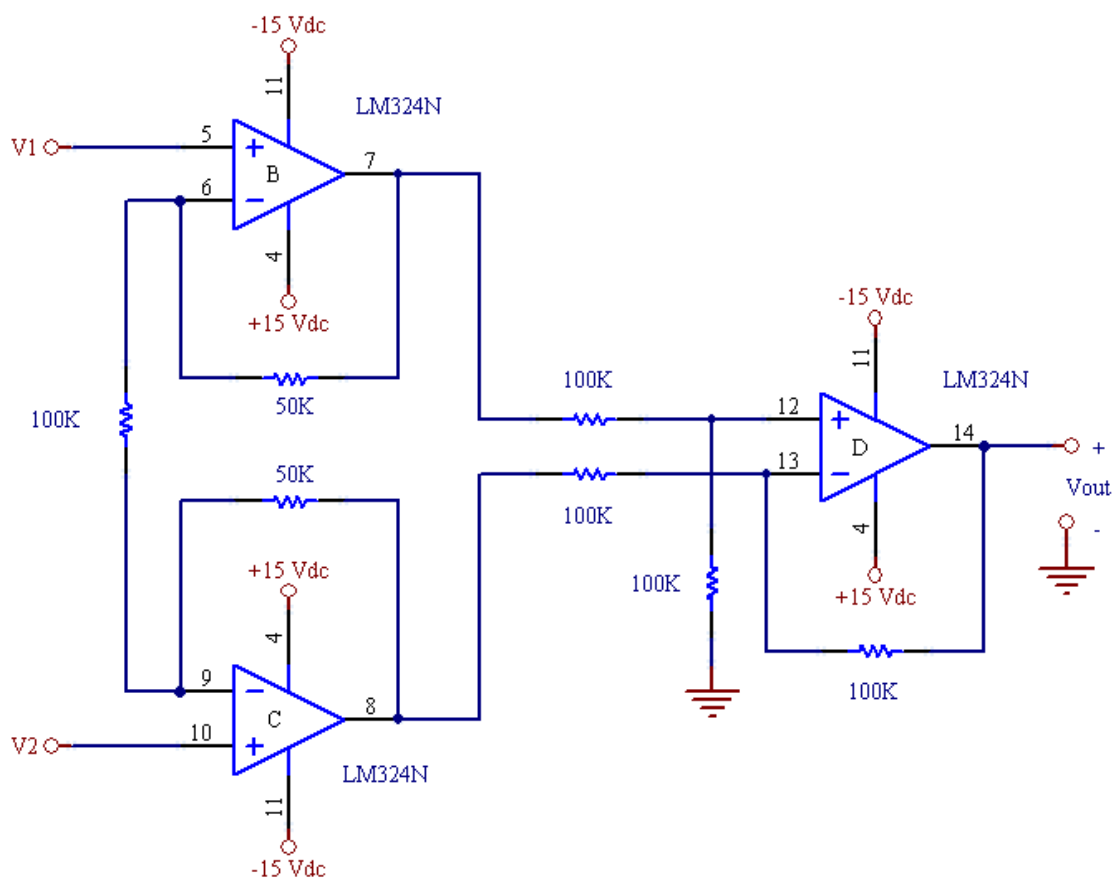
$v_1 (V)$	$v_2 (V)$	วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส		วงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	
		$v_{out} (V)$	$v_{out} (V)$ , ทฤษฎี	$v_{out} (V)$	$v_{out} (V)$ , ทฤษฎี
5	0		-5		5
5	1		-6		6
5	2		-7		7
5	3		-8		8
5	4		-9		9

## การทดลองที่ 2 วงจรความแตกต่างและวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์

1. ต่อวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน (รูปที่ 25) วงจรขยายความแตกต่าง (รูปที่ 28) และวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ (รูปที่ 29) โดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM 324 N



รูปที่ 28 วงจรขยายความแตกต่าง



รูปที่ 29 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์



แรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่างสามารถหาได้จากสมการที่ (20) คือ

$$v_{out} = \frac{100k}{50k}(v_1 - v_2) = 2(v_1 - v_2)$$

และแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์สามารถหาได้จากสมการที่ (21) คือ

$$v_{out} = \left(1 + \frac{2(50k)}{100k}\right)(v_1 - v_2) = 2(v_1 - v_2)$$

2. ต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้า  $v_1$  และ  $v_2$  จากวงจรแหล่งจ่ายแรงดันเข้ากับอินพุต  $v_1$  และ  $v_2$  ของวงจรขยายความแตกต่าง และวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ แรงดันอินพุต  $v_1$  มีค่าคงที่ คือ เท่ากับ 5 V ขณะที่แรงดันอินพุต  $v_2$  สามารถปรับค่าได้

3. ปรับแรงดันอินพุต  $v_2$  ด้วยการปรับ VR ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน (รูปที่ 25) ใช้คิิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดแรงดันอินพุต  $v_1$  และ  $v_2$  ให้มีค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 2 และวัดแรงดันเอาต์พุต  $v_{out}$  ของวงจรขยายความแตกต่าง และของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ บันทึกแรงดันเอาต์พุตของทั้งสองวงจรลงในตารางที่ 2 เปรียบเทียบกับทฤษฎี

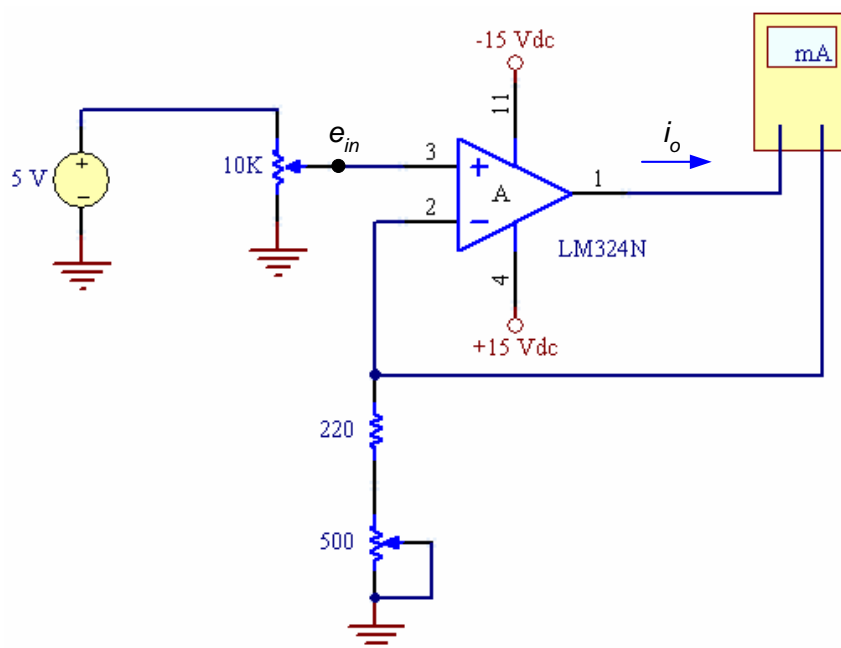
4. สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 2 การทดลองขยายความแตกต่างและวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์

$v_1 (V)$	$v_2 (V)$	$v_{out} (V)$ ของวงจรขยาย ความแตกต่าง	$v_{out} (V)$ ของวงจรขยาย แบบอินสตรูเมนต์	$v_{out} (V)$ จากทฤษฎี
5	0			10
5	1			8
5	2			6
5	3			4
5	4			2

### การทดลองที่ 3 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย

1. ต่อวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย

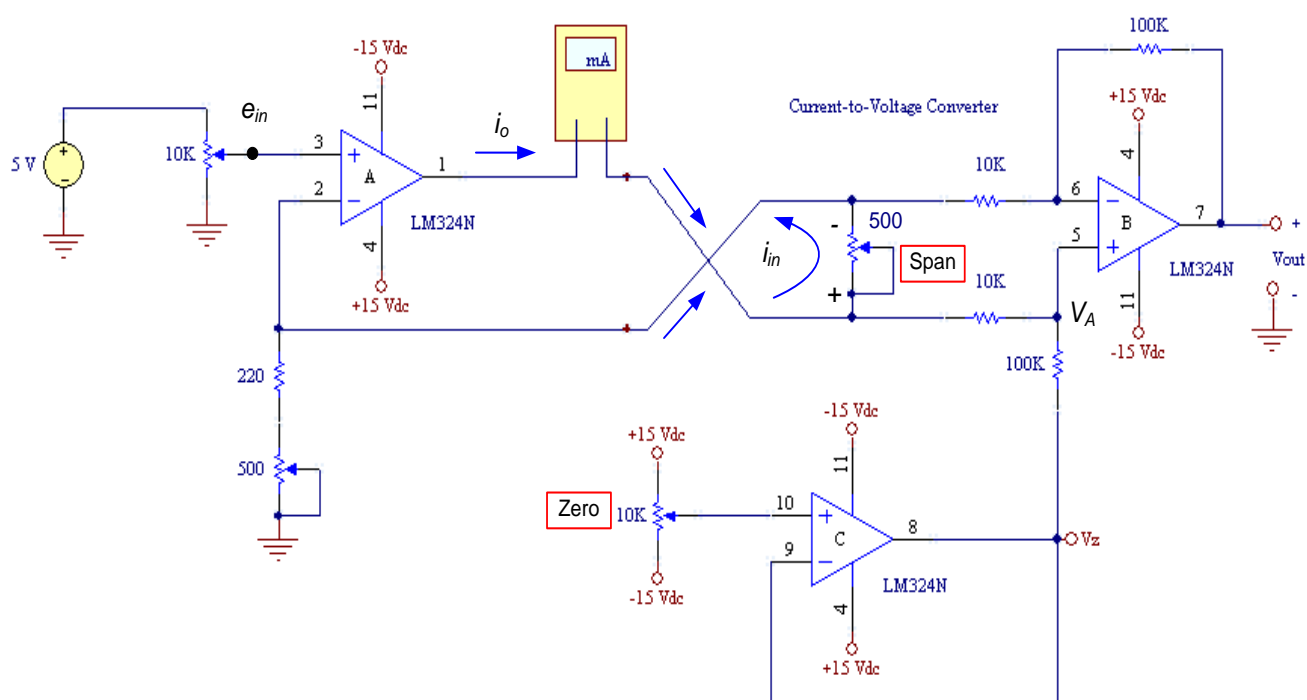
2. ปรับคิตอลมัลติมิเตอร์ให้เป็นการวัดกระแสไฟฟ้าแบบ DC ระดับมิลลิแอมป์ (mA)
3. ปรับค่าความต้านทานของ VR  $10\text{ k}\Omega$  ให้แรงดันอินพุต  $e_{in}$  มีค่าเท่ากับ 1 V จากนั้นปรับค่า VR  $500\Omega$  จนกระทั่ง  $i_o = 4\text{ mA}$
4. ปรับค่าความต้านทานของ VR  $10\text{ k}\Omega$  ให้แรงดันอินพุต  $e_{in}$  มีค่าเท่ากับ 5 V จากนั้นดูว่ากระแสเอาต์พุต  $i_o$  มีค่าเท่ากับ 5 mA หรือไม่ ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น ให้ปรับค่าความต้านทานของ VR  $500\Omega$  จนกระทั่ง  $i_o = 20\text{ mA}$
5. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4 จนกระทั่งที่ระดับแรงดันอินพุต  $e_{in} = 1\text{ V}$  ได้กระแส  $i_o = 4\text{ mA}$  และที่  $e_{in} = 5\text{ V}$  ได้กระแส  $i_o = 20\text{ mA}$
6. ปรับ VR  $10\text{ k}\Omega$  ให้แรงดันอินพุต  $e_{in}$  มีค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 3 และวัดกระแสเอาต์พุต  $i_o$  บันทึกกระแสเอาต์พุตลงในตารางที่ 3 พิจารณาเปรียบเทียบกับทฤษฎี
7. สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 3 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย

$e_{in}$ (V)	$i_o$ จากการทดลอง (mA)	$i_o$ จากทฤษฎี (mA)
1		4
2		8
3		12
4		16
5		20

การทดลองที่ 4 วงจรแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้

1. ตัววงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้ โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสอินพุตจากการทดลองที่ 3 ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้

- ปรับค่าต่าง ๆ ของวงจรแปลงแรงดันเป็นสัญญาณกระแส (วงจรที่ 1) ตามการทดลองที่ 3 ให้กระแสอินพุต ( $i_{in}$ ) ของวงจรแปลงสัญญาณกระแสเป็นแรงดัน (วงจรที่ 2) เป็น  $i_{in} = 4\text{ mA}$
- ปรับค่าความต้านทานของ VR  $10\text{ k}\Omega$  [Zero] จนกระทั่งวัดแรงดันเอาต์พุต  $V_{out}$  ได้  $1\text{ V}$
- ปรับวงจรที่ 1 ให้กระแสอินพุตเป็น  $i_{in} = 20\text{ mA}$  จากนั้นดูว่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ  $5\text{ V}$  หรือไม่ ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น ให้ปรับค่า VR  $500\text{ }\Omega$  [Span] จนกระทั่งแรงดันเอาต์พุตได้  $5\text{ V}$

5. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4 จนกระทั่งที่  $i_{in} = 4\text{mA}$  ได้แรงดันเอาต์พุต  $V_{out} = 1\text{V}$  และที่  $i_{in} = 20\text{mA}$  ได้แรงดันเอาต์พุต  $V_{out} = 5\text{V}$

6. ปรับวงจรที่ 1 ให้สัญญาณกระแสที่จ่ายให้กับวงจรที่ 2 ( $i_{in}$ ) มีค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 4 วัดแรงดัน  $V_z$  และแรงดันเอาต์พุต  $V_{out}$  บันทึกลงตารางที่ 4 พิจารณาเปรียบเทียบกับทฤษฎี

7. สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 4 การทดลองวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลงได้

$i_{in}$ (mA)	$V_z$ (V)	$V_{out}$ จากการทดลอง (V)	$V_{out}$ จากทฤษฎี (V)
4			1
8			2
12			3
16			4
20			5

## 5. คำถามท้ายการทดลอง

1. จงออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณแรงดันจาก 0-10 V เป็น 1-5 V ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยใช้โอปแอมป์และตัวต้านทาน พร้อมทั้งระบุค่าความต้านทาน

ตารางที่ 5 แรงดันของวงจรในคำถามข้อที่ 5.1

$v_{in}$ (V)	$v_o$ (V)
0.0	1
2.5	2
5.0	3
7.5	4
10.0	5

2. นักศึกษาคิดว่าการส่งสัญญาณในรูปของกระแสและแรงดันไฟฟ้าต่างกันหรือไม่อย่างไร

3. จากการทดลองที่ 3 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้า  $e_{in} = 0-5\text{Vdc}$  เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4-20\text{mA dc}$  จงคำนวณหาค่าแรงดันอ้างอิงและค่าความต้านทาน