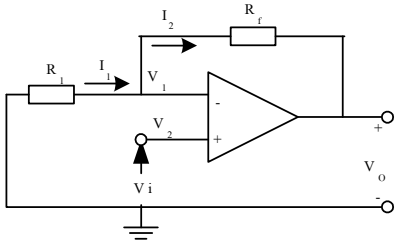
7.4 การขยายแบบไม่กลับขั้ว (Non-Inverting Amplifier)

การขยายแบบไม่กลับขั้วด้วยออปแอมป์เป็นการประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งมีลักษณะการต่อวงจรภายนอกดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 การขยายแบบไม่กลับขั้วด้วยออปแอมป์

การขยายแบบนี้สัญญาณที่จะขยายจะต่อเข้าขาไม่กลับขั้วของออปแอมป์และความต้านทาน R_1 จะต่อเข้ากับขากลับขั้วเทียบกับกราวน์ ความต้านทานป้อนกลับก็ต่ออยู่ระหว่างขั้วขาด้านออกและขั้วขากลับขั้ว (พิจารณาตามรูปที่ 7.7) เช่นเดียวกับการขยายแบบอื่น เราต้องการทราบแรงดันด้านออกและอัตราขยายแรงดัน ดังนั้นประยุกต์ใช้กฎกระแส KCL ที่ขากลับขั้วจะได้

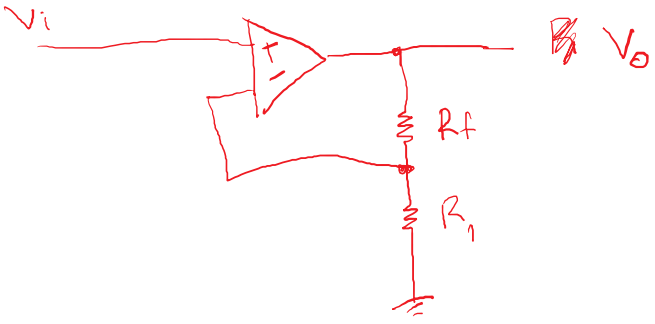
$$I_1 = I_2$$

$$\frac{0 - V_1}{R_1} = \frac{V_1 - V_O}{R_f} \qquad (7.9)$$

$$\frac{-R_f V_1}{R_1} = V_1 - V_{out}$$

$$V_{out} = V_1 + \frac{R_f V_1}{R_1}$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_{in}$$



แต่ $V_1 = V_2 = V_i$ เขียนสมการ (7.9) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{-V_1}{R_1} = \frac{V_i - V_O}{R_f} \qquad (7.10)$$

หรือ

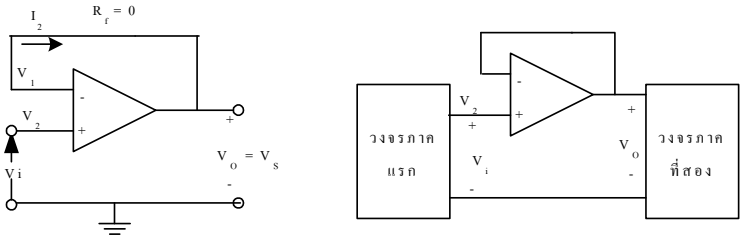
$$V_O = (1 + \frac{R_f}{R_i}) V_i \qquad (7.11)$$

อัตราขยายแรงดันคือ $A_V = \frac{V_O}{V_i} = (1 + \frac{R_f}{R_i})$ ซึ่งไม่มีเครื่องหมายลบ (-) ดังนั้น แรงดันด้านขาออกจะมีขั้วเหมือนกับแรงดันด้านขาเข้า นั่นคือวงจรขยายแบบไม่กลับขั้วจะถูกออกแบบให้มีอัตราขยายเป็นบวกนั่นเอง และก็เหมือนกับวงจรขยายแบบกลับขั้วที่อัตราขยายของวงจรจะขึ้นกับอุปกรณ์ภายนอกที่นำมาต่อเท่านั้น

ถ้ากำหนดให้ความต้านทานป้อนกลับ $R_f = 0$ (ต่อลัดวงจร) หรือ $R_1 = \infty$ (หรือเปิดวงจร) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างดังกล่าว จะทำให้อัตราขยายของวงจรนี้มีค่าเท่ากับ 1 กรณี $R_f = 0$ (ต่อลัดวงจร) และ $R_1 = \infty$ (หรือเปิดวงจร) รูปที่ 7.8 ก) จะเขียนได้เป็นวงจรดังรูปที่ 7.8 ข) ซึ่งเรียกว่า **วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower)** เพราะแรงดันด้านขาออก จะมีค่าเดียวกับแรงดันด้านขาเข้า นั่นคือ

$$V_O = V_i \qquad (7.12)$$

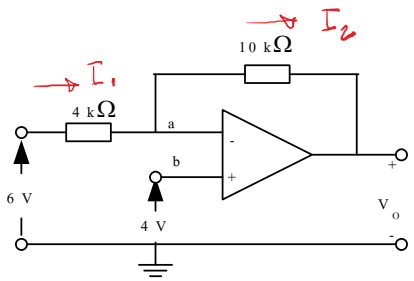
เนื่องจากออปแอมป์มีค่าความต้านทานหรืออิมพีแดนซ์ด้านขาเข้าสูงมาก จึงใช้ประโยชน์เป็นตัวคั่นระหว่างวงจรขยายซึ่งอาจเรียกว่า **บัฟเฟอร์ (Buffer)** ใช้สำหรับแยกวงจรโดยอธิบายได้ดังรูปที่ 7.8 โดยบัฟเฟอร์จะเป็นตัวกลางกั้นไม่ให้วงจรทั้งสองกวนซึ่งกันและกันและยังช่วยไม่ให้วงจรขั้นถัดไป**กินกำลัง (Loading)** วงจรแรกอีกด้วย



ก) ข)

รูปที่ 7.8 วงจรตามแรงดันหรือบัฟเฟอร์ใช้แยกวงจรแต่ละขั้นออกจากกัน

ตัวอย่างที่ 7.5 จากรูปวงจรที่ 7.9 อยากทราบว่าแรงดันด้านขาออก V_O มีค่ากี่โวลต์



รูปที่ 7.9

วิธีคิด **วิธีที่ 1** ใช้วิธีซุปเปอร์โพสชิชั่น (คิดผลของแหล่งจ่ายสัญญาณทีละตัว)

เนื่องจาก 6 V โดยให้แหล่งจ่าย 4 โวลต์ ลัดวงจร (= 0 โวลต์)

$$V_{O6V} = -\frac{10k\Omega}{4k\Omega}(6V) \qquad = -15 \text{ โวลต์}$$

เนื่องจาก 4 V โดยให้แหล่งจ่าย 6 โวลต์ ลัดวงจร (= 0 โวลต์)

$$V_{O4V} = (1+\frac{10k\Omega}{4k\Omega})(4V) \qquad = 14 \text{ โวลต์}$$

แรงดันด้านขาออกจะได้จากผลของแรงดันแหล่งจ่ายทั้งสองรวมกันคือ

$$V_O = V_{O6V} + V_{O4V}$$
$$= -15 + 14 \qquad = -1 \text{ โวลต์}$$

วิธีที่ 2 ใช้กฎกระแสที่จุด a

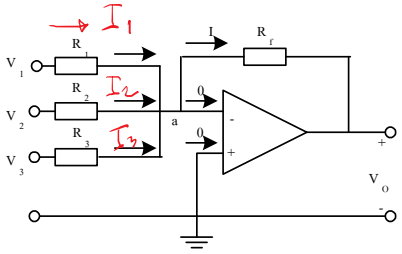
$$\frac{6-V_a}{4\times10^3} = \frac{V_a-V_O}{10\times10^3}$$

จากรูปที่ 7.9 พิจารณาได้ว่า $V_a = V_b = 4$ โวลต์ ดังนั้นจะได้

$$\frac{6V-4V}{4\times10^3} = \frac{4V-V_O}{10\times10^3}$$
$$20 = 16 - 4V_O$$
$$4V_O = 16-20 \qquad = -4 \text{ โวลต์}$$
$$\therefore \quad V_O = -4/4 \qquad = -1 \text{ โวลต์}$$

7.5 การขยายแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

นอกจากขยายสัญญาณแล้วยังสามารถใช้ออปแอมป์ในการรวม (บวก) หรือการลบได้ด้วย สำหรับการรวมคือ การต่อวงจรออปแอมป์เพื่อให้รับสัญญาณด้านเข้าแล้วหลาย ๆ สัญญาณร่วมกันและสร้างเป็นค่าที่ได้ออกมาที่ด้านออกเป็นผลรวมของค่าแรงดันของค่าด้านขาเข้า (ค่าประจำหลัก) มีลักษณะการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 7.10



รูปที่ 7.10 วงจรขยายแบบรวมสัญญาณ

จากรูปที่ 7.10 จะเห็นว่าวงจรขยายแบบรวมสัญญาณก็คือวงจรที่แปลงรูปมาจากวงจรขยายแบบกลับขั้ว โดยใช้ข้อดีที่รูปแบบของวงจรขยายแบบกลับขั้วสามารถใช้ได้กับจุดต่อด้านขาเข้าหลายจุดต่อในเวลาเดียวกัน เช่นที่ผ่านมาเรายังคงใช้หลักการเดิม คือถือว่าไม่มีกระแสไหลเข้าแต่ละขั้วที่ด้านเข้าของออปแอมป์ (เป็น 0) เมื่อใช้กฎกระแส KCL ที่จุด a จะได้

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \qquad (7.13)$$

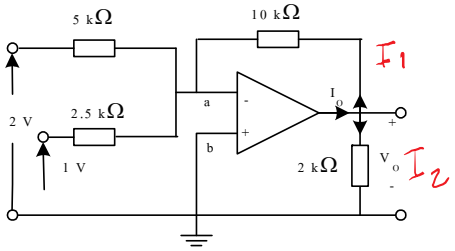
แต่ $$I = \frac{V_a - V_O}{R_f},\ I_1 = \frac{V_1 - V_a}{R_1},\ I_2 = \frac{V_2 - V_a}{R_2},\ I_3 = \frac{V_3 - V_a}{R_3} \qquad (7.14)$$

เราจะสังเกตได้ว่า $V_a = 0$ เมื่อแทนค่าในสมการ (7.14) แล้วนำไปแทนในสมการ (7.13) เราจะได้สมการแรงดันด้านขาออกดังนี้

$$V_O = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right) \qquad (7.15)$$

สมการแสดงให้เห็นว่าแรงดันด้านขาออกเป็นผลรวมของแรงดันด้านขาเข้า เราจึงเรียกวงจรนี้ได้ว่า ตัวรวม (Summer) โดยจำนวนจุดต่อรับสัญญาณด้านขาเข้าอาจมากกว่าที่กล่าวข้างต้นก็ได้

ตัวอย่างที่ 7.6 จงคำนวณหาค่าแรงดัน V_O และ กระแส I_O ของวงจรออปแอมป์ในรูปที่ 7.11



รูปที่ 7.11

วิธีคิด จากรูปที่ 7.11 พิจารณาได้ว่าเป็นวงจรขยายแบบรวมสัญญาณมีส่วนต่อเข้าสองชุด ใช้สมการที่ (7.15) เพียงสองเทอมได้

$$V_O = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2\right)$$

$$= -\left(\frac{10}{5}(2) + \frac{10}{2.5}(1)\right)$$ เศษและส่วนมีหน่วย kΩ เหมือนกันจึงไม่เขียน

$$= -(4+4) \qquad = -8 \text{ โวลต์}$$

กระแส I_O เป็นผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน 10 และ 2 กิโลโอห์ม ซึ่งมีแรงดันคร่อมเท่ากับ $V_O = -8$ โวลต์ และ จะเห็นว่าแรงดัน $V_a = V_b = 0$ เนื่องจากแรงดันแตกต่างน้อยมากจนถือว่าไม่มีและจุด b ต่อลงกราวน์ ดังนั้นจะได้

$$I_O = I_{10k} + I_{2k}$$

$$= \frac{V_O - 0}{10} + \frac{V_O - 0}{2}$$

$$= -0.8 - 0.4 \qquad = -1.2 \text{ มิลลิแอมป์}$$