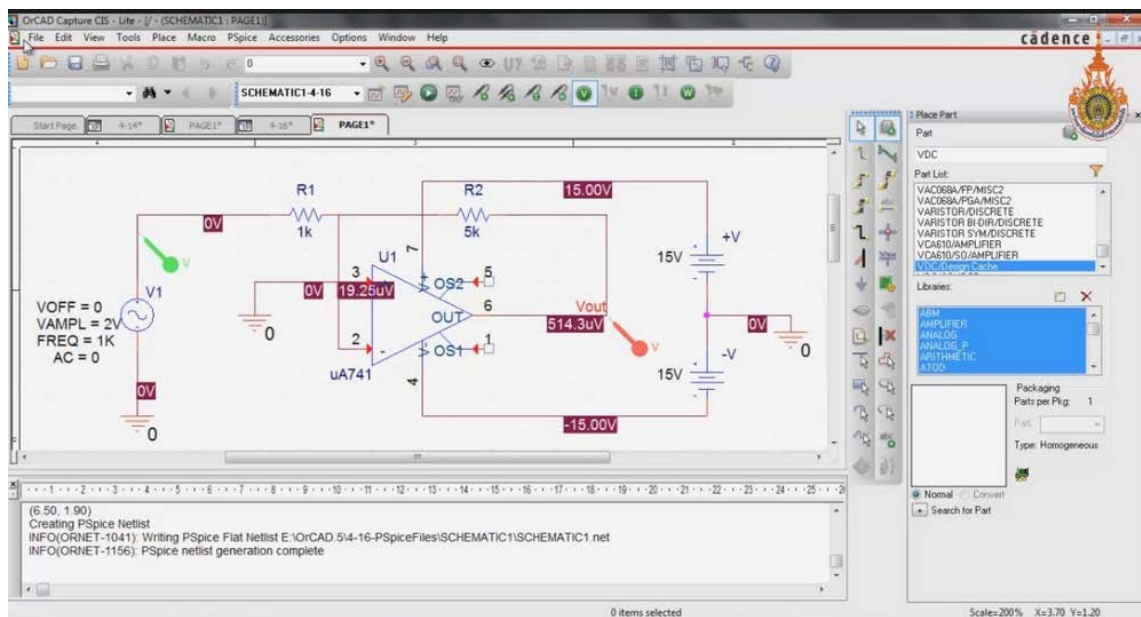


ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

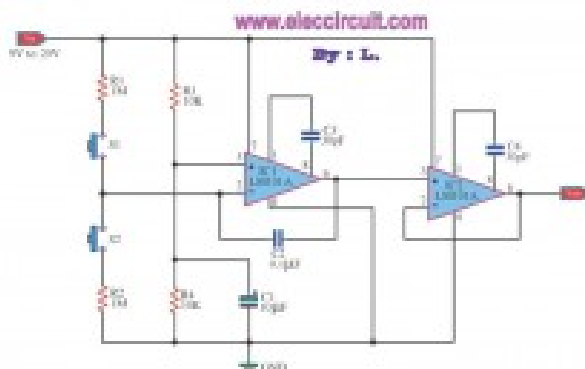
1. ให้นักศึกษาเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานวงจรขยายสัญญาณด้วยไอซี ออป แอมป์



วงจรไอซีออปแอมป์

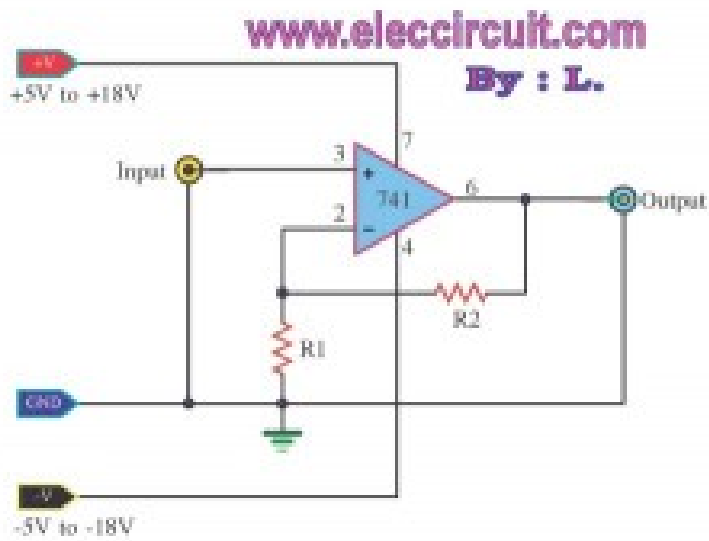
วงจรไอซีออปแอมป์

ไอซีออปแอมป์มีประโยชน์ในงานเกี่ยวกับสัญญาณลิเนียร์มาก ด้วยคุณสมบัติพื้นฐานที่ช่วยขยายสัญญาณแบบต่างๆ ทั้งแบบป้อนกลับและแบบไม่ป้อนกลับ ซึ่งสามารถนำประยุกต์ใช้เป็นวงจรผลิตความถี่, วงจรเปรียบเทียบกระแส, วงจรตรวจจับต่างๆ และ วงจรควบคุมต่างๆ

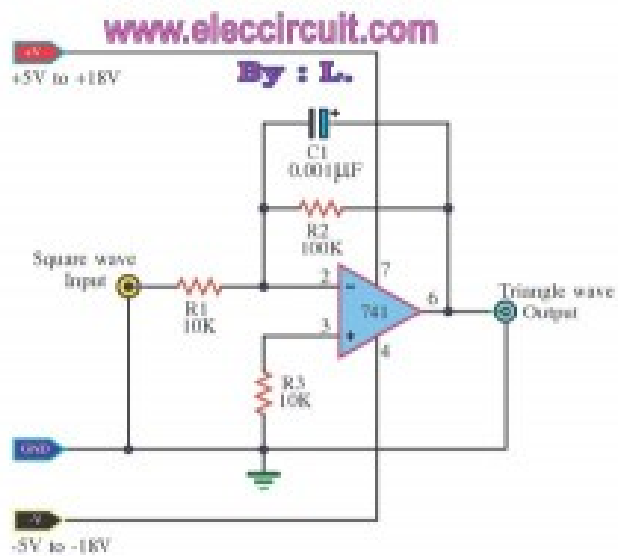


ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรสวิตช์ปรับแต่งความดัง

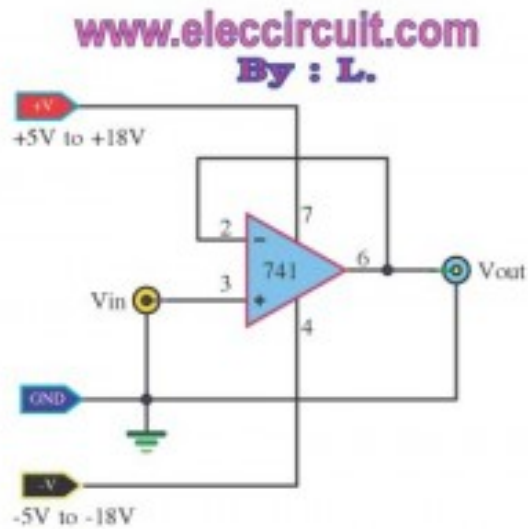


Non – Inverting Amplifier by IC LM741



Basic Integrator by LM741

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์



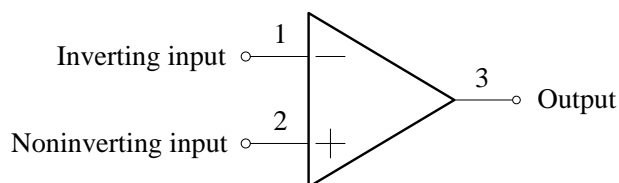
Buffer op-amp by IC LM741

อ้างอิงจาก <http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=electronic-circuit&month=04-2012&date=25&group=1&qblog=321>

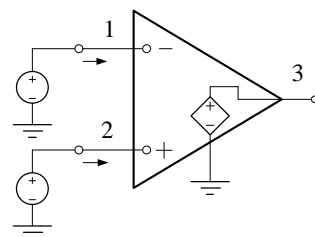
OPERATIONAL AMPLIFIER

1. ออปแอมป์เบื้องต้น

ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (Operational Amplifier) หรือเรียกสั้นๆว่า OP AMP เป็นวงจขยายสัญญาณที่มีอัตราขยายแรงดันสูง ตอบสนองความถี่ได้กว้างตั้งแต่ DC จนถึงความถี่สูงหลายเมกะเฮิร์ตซ์ และมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน สัญลักษณ์ของ ออปแอมป์ แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยแรงดันที่ขา output เทียบกับกราวด์ในวงจรจะขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันที่ขา inverting input และขา noninverting input ซึ่งรูปที่ 2 แสดงวงจรเทียบเท่าของ ออปแอมป์



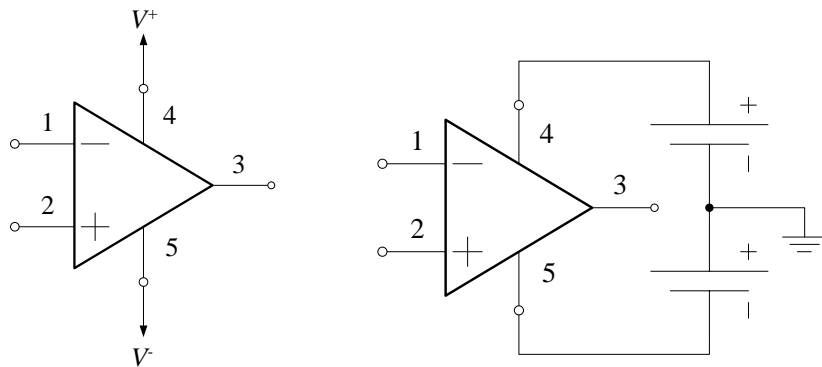
รูปที่ 1. สัญลักษณ์ของ ออปแอมป์



รูปที่ 2. วงจรเทียบเท่า

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

เพื่อให้อปแอมป์ สามารถทำงานกับไฟ DC และ AC ได้จะต้องให้ไฟเลี้ยงบวกและลบดังรูปที่ 3 ออปแอมป์ ตัวแรกออกแบบโดยนาย C. A. Lovell ในห้องทดลองของ Bell Lab เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนปืนใหญ่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยที่วงจรภายในสร้างขึ้นจากหลอดสุญญากาศจำนวนมาก ต่อมาในปี ค. ศ. 1948 นาย George Philbrick สามารถออกแบบ ออป-แอมป์ ให้มีขนาดกะทัดรัด ทำให้ ออปแอมป์ ได้รับความนิยมใช้งานจำนวนมาก โดยเป็นส่วนหนึ่งของ Analog Computer เพื่อใช้ในการบวก การลบ การอินทิเกรต และการสเกล ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ Operational amplifier



รูปที่ 3. การต่อไฟเลี้ยงบวกและลบให้แก่อปแอมป์

ในต้นทศวรรษที่ 1960 ได้มีการใช้ทรานซิสเตอร์แทนหลอดสุญญากาศ ทำให้ขนาดของตัวออปแอมป์ ลดเหลือเพียงแผ่นวงจรพิมพ์เล็กๆ จึงทำให้มีการใช้งานอปแอมป์แพร่หลายมากขึ้น ไม่ว่าจะในงานปรับแต่งสัญญาณ การใช้งานในเครื่องมือวัดและทดสอบ และระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม

จากความก้าวหน้าในการผลิตวงจรรวม(Integrated Circuit: IC) วงจรทั้งหมดของอป-แอมป์สามารถผลิตรวมไว้บนแผ่นซิลิกอนขนาดจิ๋ว ซึ่งจะถูกรวมในตัวถังพลาสติกแบบ DIP 8 ขา ไอซีออปแอมป์ยุคแรกคือ เบอร์ 709 ของบริษัท Fairchild ในปี ค. ศ. 1965 และไอซีออปแอมป์ยุคที่สองคือ เบอร์ 741 ในปี ค. ศ. 1968 โดยออปแอมป์ 741 ยังคงได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน ราคาของไอซีออปแอมป์นั้นพอๆ กับทรานซิสเตอร์หนึ่งตัว

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติกับออปแอมป์ในทางปฏิบัติ

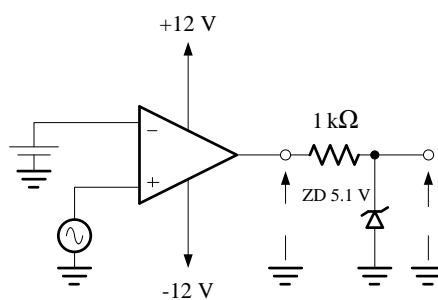
		อุดมคติ	ออปแอมป์ 741	
2. ใช้ ออป	1. อัตราขยายแรงดัน	A_{OL}	∞	200,000 V/V
	2. ความต้านทานขาออก	R_o	0	75Ω
	3. ความต้านทานขาเข้า	R_i	∞	$2\text{ M}\Omega$
	4. แบนด์วิธ	BW	∞	1 MHz

ออปแอมป์แบบเปิดวงรอบ (Open Loop)

เนื่องจากออปแอมป์มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก ดังนั้นเมื่อแรงดันที่ขาอินพุตแบบไม่กลับขั้ว (Non-inverting input: NI) มีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับขั้ว (inverting input: INV) แรงดันที่ขาเอาต์พุตจะเป็น บวก $+\infty$ แต่เนื่องจากไฟเลี้ยง V^+ ที่จำกัด ดังนั้นแรงดันที่ขาเอาต์พุตของจะประมาณเท่ากับไฟเลี้ยงบวก V^+ นี้ ในทำนองเดียวกันหาก แรงดันที่ขา INV สูงกว่าของ NI แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์จะเท่ากับ V^- ดังนั้นออปแอมป์จึงสามารถนำมาใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ได้

ตัวอย่างที่ 1 จงสังเกตภาพของแรงดัน V_{O1} และ V_{O2} ของวงจรเปรียบเทียบแรงดันในรูปที่ 4

(กำหนดให้แรงดันตกคร่อมที่ภาคขาออกของออปแอมป์ ขณะที่อิมิตเตอร์เป็นศูนย์โวลต์)



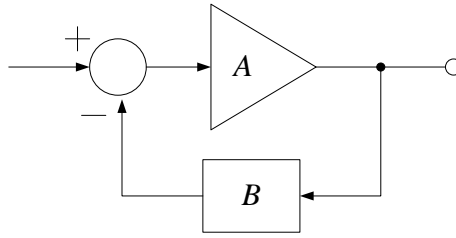
รูปที่ 4. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3. การใช้งานออปแอมป์แบบที่มีการป้อนกลับ(Closed Loop)

การป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback: NFB) ทำให้เราสามารถประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ได้หลากหลาย อาทิเช่น วงจรขยายสัญญาณ วงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรดิฟเฟอเรนเชียล-อินเวอร์ตอร์ วงจรกรองสัญญาณ ฯลฯ เพื่อความเข้าใจในการวิเคราะห์และออกแบบวงจรที่ใช้ออปแอมป์แบบที่มีการป้อนกลับ เราจึงควรพิจารณาผลที่เกิดจากการป้อนกลับแบบลบ

3.1 ผลของการป้อนกลับแบบลบ



รูปที่ 5. บล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปของระบบที่มี NFB

พิจารณาบล็อกไดอะแกรมของระบบที่มีการป้อนกลับแบบลบในรูปที่ 5 จะได้ว่า

$$v_o = Av_d \quad (3.1.1)$$

$$v_f = Bv_o \quad (3.1.2)$$

$$v_d = v_i - v_f \quad (3.1.3)$$

หลังจากแทน(3.1.1), (3.1.2) ลงใน (3.1.3) และจัดรูปสมการจะสามารถความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออกได้ดังนี้

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1 + AB} \approx \frac{1}{B}; AB \gg 1 \quad (3.1.4)$$

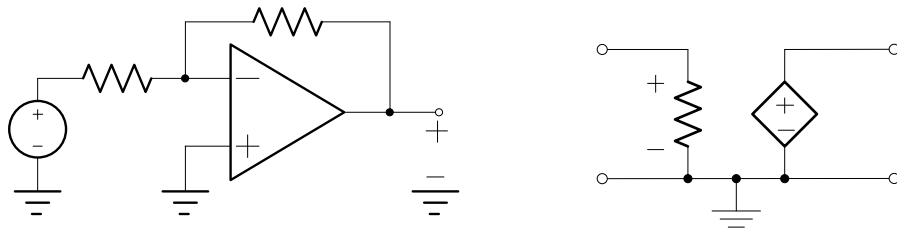
สรุปได้ว่าหากผลคูณของอัตราขยายทั้งวงรอบ AB มีค่ามากกว่าหนึ่งมากๆแล้ว ระบบโดยรวมจะแปรผกผันกับบล็อกการป้อนกลับ B โดยไม่ขึ้นกับบล็อกการขยาย A

3.2 โครงสร้างแบบกลับขั้วสัญญาณ (Inverting Configuration)

เป็นโครงสร้างที่นำสัญญาณเข้าที่ขาอินพุต INV ของออปแอมป์

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 วงจรขยายแรงดันแบบกลับขั้วสัญญาณ (Inverting Amplifier)



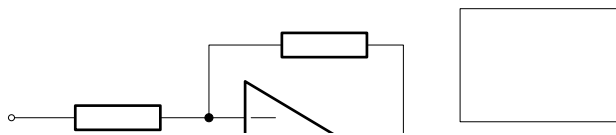
(a)

(b)

รูปที่ 6. วงจรขยายแรงดันแบบกลับขั้วสัญญาณ (a) และวงจรเทียบเท่า (b)

3.2.2 วงจรที่เป็นอิมพีแดนซ์ใดๆ

ในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าไม่จำเป็นที่วงจรป้อนกลับจะต้องเป็นชุดความต้านทานเท่านั้น ความต้านทาน R_1 และ R_2 สามารถแทนด้วยอิมพีแดนซ์ Z_1 และ Z_2 ตามลำดับ



รูปที่ 7 วงจรที่แทนชุดป้อนกลับด้วยอิมพีแดนซ์ใดๆ

3.2.3 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Miller Integrator)

พิจารณากรณีที่ $Z_1=R$ และ $Z_2 = \frac{1}{sC}$ ดังในรูปที่ 8 จะได้ว่า

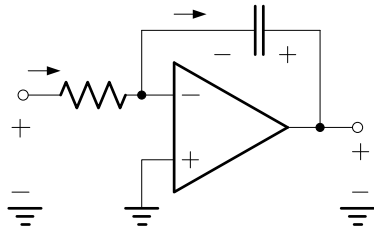
$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{sCR} = -\frac{1}{j\omega CR}; s = j\omega \quad (3.2.3.1)$$

นั่นคือค่าแรงดันขณะใดขณะหนึ่งของแรงดันเอาต์พุต $v_o(t)$ จะเท่ากับการอินทิเกรตแรงดันอินพุต $v_i(t)$ เทียบกับเวลา ดังความสัมพันธ์ดังนี้

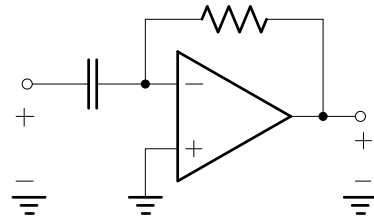
$$v_o(t) = V_C - \frac{1}{CR} \int_0^t v_i(t) dt \quad (3.2.3.2)$$

แรงดัน V_C คือค่าเริ่มต้นของการอินทิเกรต

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 8 วงจรอินทิเกรเตอร์แบบกลับ



รูปที่ 9 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์แบบกลับ

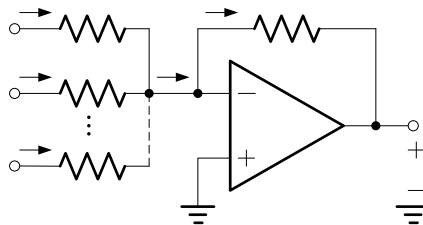
3.2.4 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator)

พิจารณากรณีที่ $Z_1 = \frac{1}{sC}$ และ $Z_2 = R$ ดังในรูปที่ 9 จะได้ว่า

$$\frac{V_o}{V_i} = -sCR = -j\omega CR; s = j\omega \quad (3.2.4.1)$$

$$v_o(t) = -CR \frac{dv_i(t)}{dt} \quad (3.2.4.2)$$

3.2.5 วงจรรวมแรงดันแบบกลับขั้ว (Inverting Summer or Weighted Summer)



รูปที่ 10 วงจรรวมแรงดันแบบกลับขั้ว

เนื่องจากแรงดันที่ขาอินพุต INV มีศักย์ใกล้เคียงกับกราวด์ 0 V ดังนั้น

$$i_1 = \frac{v_1}{R_1}, \quad i_2 = \frac{v_2}{R_2}, \quad \dots, \quad i_n = \frac{v_n}{R_n}$$

กระแสเหล่านี้รวมกันเป็นกระแส i

$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n \quad (3.2.5.1)$$

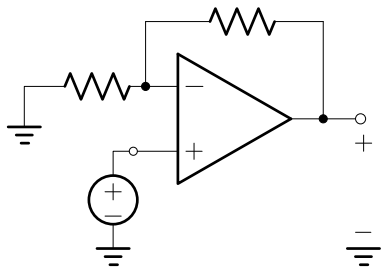
$$v_o = 0 - iR_f = -iR_f \quad (3.2.5.2)$$

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

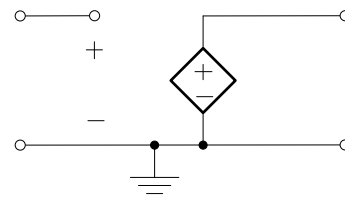
$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n}v_n\right) \quad (3.2.5.3)$$

3.3 โครงสร้างแบบไม่กลับขั้วสัญญาณ (Non-inverting Configuration)

3.3.1 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับขั้วสัญญาณ (Non-inverting Amplifier)



(a)



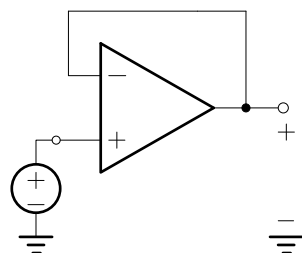
(b)

รูปที่ 11 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับขั้วสัญญาณ (a) และวงจรเทียบเท่า (b)

รูปที่ 11 เป็นวงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับขั้วสัญญาณ จุดที่ป้อนสัญญาณอินพุตคือที่ขาอินพุต NI ของออปแอมป์ โดยอัตราขยายแรงดันมีค่าเท่ากับ

$$\frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.3.1.1)$$

3.3.2 วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower)



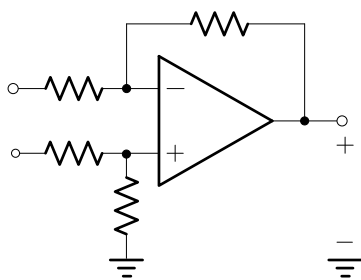
รูปที่ 12 วงจรตามแรงดัน

ใบงานที่ 6 วงจรขยายเสียงด้วย IC op amp วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ประโยชน์ของวงจรตามแรงดันในรูปแบบที่ 12 คือใช้เป็นวงจรกันชน (Buffer) ระหว่างแหล่งกำเนิดแรงดันที่มีความต้านทานภายในสูงกับโหลดที่มีค่าความต้านทานต่ำ เพื่อลดการเกิด loading effect

3.4 ตัวอย่างวงจรออปแอมป์แบบอื่นๆ

3.4.1 วงจรขยายความแตกต่าง (Difference Amplifier)



รูปที่ 13 วงจรขยายความแตกต่าง

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1); \text{ โดยที่ } \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (3.4.1.1)$$

