

ออปแอมป์และ ลานีเยร์ไอซี



ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี

โดย รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และ ธนศักดิ์ อรุณไพโร

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย โดย รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และ ธนศักดิ์ อรุณไพโร © พ.ศ. 2558
ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

มนตรี ศิริปรัชญานันท์.

ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี. -- กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2558.

208 หน้า.

1. การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า.

I. ธนศักดิ์ อรุณไพโร, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

621.3

Barcode (e-book) 9786160841134

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

1858/87-90 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260 โทรศัพท์ 0-2739-8000

หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com

คำนำ



หนังสือเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน โดยใช้ในรายวิชา **ออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี** ตามหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ และผู้สนใจ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ในการใช้งานออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี และการประยุกต์ใช้งาน มีเนื้อหาที่หลากหลาย ซึ่งผู้เขียนได้รวบรวมข้อมูลจากประสบการณ์การสอนและการค้นคว้าเพิ่มเติมของผู้เขียนเอง และแนวคิดจากคณาจารย์ จนมาเป็นหนังสือเล่มนี้

หนังสือเล่มนี้คงเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าปราศจากครูอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้เขียน คุณค่าของควมดีหนังสือเล่มนี้ ขอมอบแต่ท่านทั้งหลาย ส่วนข้อบกพร่องผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

รศ. ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์

ธนศักดิ์ อรุณไพโร

สารบัญ



บทที่ 1 คุณสมบัติของออมแอมป์ 9

คุณสมบัติทั่วไปของออมแอมป์	10
โครงสร้างภายในของออมแอมป์	11
คุณสมบัติของออมแอมป์ในทางอุดมคติ	12
สัญลักษณ์ของออมแอมป์	13

บทที่ 2 วงจรออมแอมป์ขยายสัญญาณกลับเฟสแบบต่อตรง 31

คุณสมบัติของวงจร	32
การวิเคราะห์วงจร	33
แบบฝึกหัด	39

บทที่ 3 วงจรออมแอมป์ขยายสัญญาณ ไม่กลับเฟสแบบต่อตรง..... 41

คุณสมบัติของวงจร	42
การวิเคราะห์วงจร	43
แบบฝึกหัด	50

บทที่ 4 วงจรรวมแอมป์ขยายสัญญาณกลับเฟส แบบเชื่อมต่อด้วยตัวเก็บประจุ 53

คุณสมบัติของวงจร	54
การวิเคราะห์วงจร	55
แบบฝึกหัด	61

บทที่ 5 วงจรรวมแอมป์ขยายสัญญาณไม่กลับเฟส แบบเชื่อมต่อด้วยตัวเก็บประจุ 63

คุณสมบัติของวงจร	64
การวิเคราะห์วงจร	65
แบบฝึกหัด	72

บทที่ 6 วงจรรวมแอมป์ขยายผลต่างแรงดัน 77

แบบฝึกหัด	91
-----------	----

บทที่ 7 วงจรรวมแอมป์รวมสัญญาณกลับเฟส..... 95

คุณสมบัติของวงจร	96
การวิเคราะห์วงจร	97
แบบฝึกหัด	105

บทที่ 8 วงจรรวมแอมป์รวมสัญญาณไม่กลับเฟส 107

คุณสมบัติของวงจร	108
การวิเคราะห์วงจร	108
แบบฝึกหัด	111

บทที่ 9 วงจรอปแอมป์เฟลซิปต์ออสซิลเลเตอร์ 113

แบบฝึกหัด 121

บทที่ 10 วงจรอปแอมป์เวนบริดจ์ออสซิลเลเตอร์ 123

แบบฝึกหัด 131

บทที่ 11 วงจรกรองสัญญาณแบบแอคทีฟ 133

การตอบสนองของวงจรกรองสัญญาณความถี่	134
ลำดับของวงจรกรองความถี่	136
วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1	138
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2	138
วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2	140
วงจรกรองสัญญาณแถบความถี่	141
วงจรตัดสัญญาณแถบความถี่ (Band Elimination Filter; BEF)	143

บทที่ 12 วงจรอปแอมป์แปลงรูปสัญญาณ และวงจรกำเนิดสัญญาณ 145

12.1 วงจรขมิตต์ทริกเกอร์ (Schmitt Trigger Circuit)	146
12.2 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator Circuit)	149
12.3 วงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ (Differentiator Circuit)	150
12.4 วงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Mono Stable Multivibrator Circuit)	151
12.5 วงจรอปแอมป์อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Op-Amp Astable Multivibrator Circuit)	154
12.6 วงจรฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator)	161
แบบฝึกหัด	163

บทที่ 13 วงจรใช้งานไอซี 555..... 165

13.1 ส่วนประกอบของวงจรภายในไอซีเบอร์ 555 167

13.2 อธิบายการทำงานจากโครงสร้างจากรูปที่ 13.2 16813.3 วงจรอะเตปิตมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 169

13.4 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555

แบบฝึกหัด 178

บทที่ 14 วงจรเฟสล็อกกลูบและวงจรกำเนิดสัญญาณ
ควบคุมด้วยแรงดัน 179

14.1 เฟสล็อกกลูป (Phase Lock Loop ; PLL) 180

14.2 วงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator ; VCO) 184

14.3 การใช้งานไอซีเฟสล็อกกลุ๊ป 187แบบฝึกหัด 191

บทที่ 15 วงจรฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ด้วยไอซี L8038 193

หลักการทำงานของวงจรและการออกแบบวงจร 195หลักการออกแบบวงจร 196

บทที่ 16 วจรกำเนิดสัจฉญาณด้วย OTA..... 199

หลักการดำเนินงานของวงจรและการออกแบบวงจร 200

ความถี่ของการกำเนิดสัญญาณ 202

การควบคุมแรงดันออฟเซต 203

บรรณานุกรม..... 205

คุณสมบัติของออปแอมป์

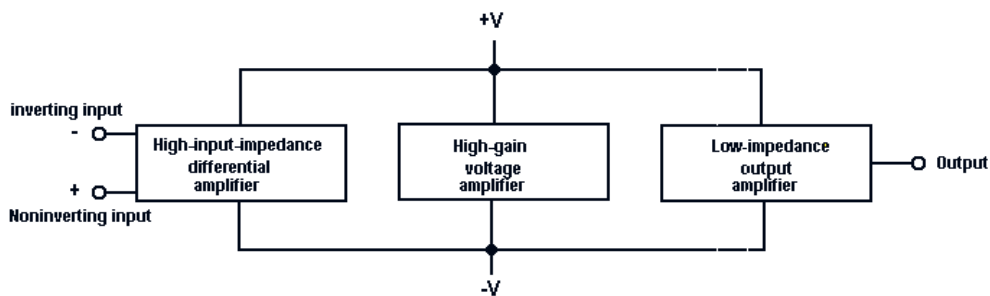
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายโครงสร้างของออปแอมป์
2. อธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของออปแอมป์ได้อย่างถูกต้อง
3. เขียนสัญลักษณ์และตำแหน่งขาออปแอมป์ได้อย่างถูกต้อง
4. อธิบายลักษณะการต่อออปแอมป์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้
5. อ่านค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าจากคู่มือการใช้งานได้อย่างถูกต้อง

ออปแอมป์ (*Operating Amplifier*) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอคทีฟ (*Active Device*) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้หลายรูปแบบ อาทิ วงจรขยายสัญญาณ วงจรบวกลบแรงดัน วงจรสร้างรูปสัญญาณในรูปแบบต่างๆ วงจรสมิตต์ทริกเกอร์ วงจรรักษาระดับแรงดัน ฯลฯ ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานมากและเป็นที่ยอมรับในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์

1. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงเป็นอนันต์ ทำให้กระแสอินพุตมีค่าต่ำเกือบเป็นศูนย์
2. อัตราการขยายของออปแอมป์ขณะเปิดลูปมีค่าสูงเป็นอนันต์
3. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ซึ่งไม่มีผลต่อโหลดของวงจรขยาย

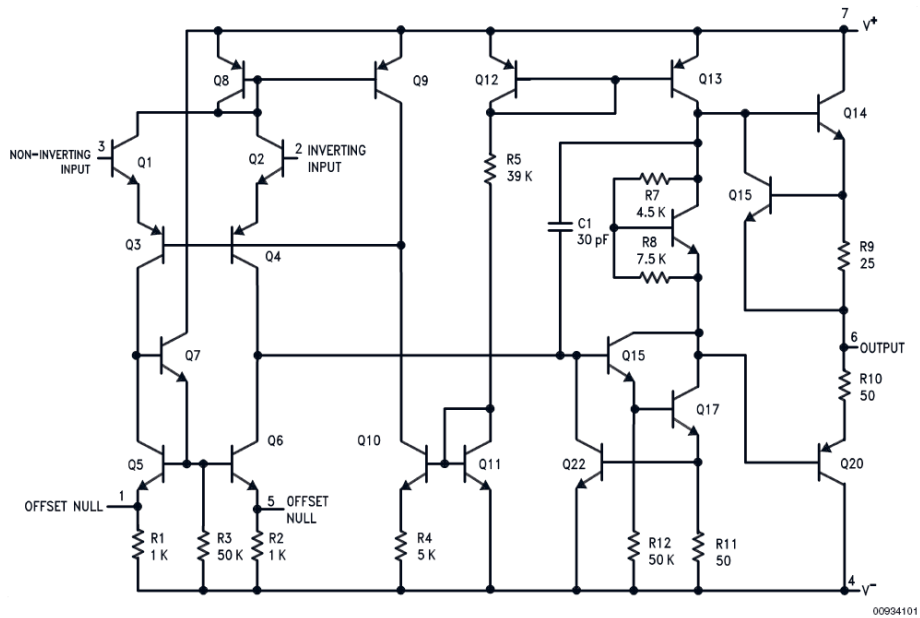


รูปที่ 1.1 โครงสร้างคุณสมบัติของออปแอมป์

โครงสร้างภายในของออปแอมป์ LM741

โครงสร้างภายในของออปแอมป์ LM741 ประกอบด้วย

Schematic Diagram

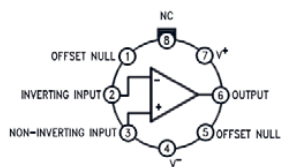


รูปที่ 1.2 โครงสร้างภายในของออปแอมป์ LM741

ที่มา : <http://www.national.com/ds/LM/LM741.pdf>

Connection Diagrams

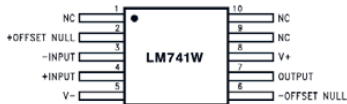
Metal Can Package



Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

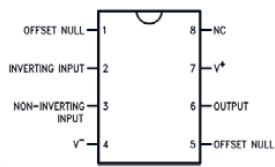
Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Ceramic Flatpak



Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Dual-In-Line or S.O. Package



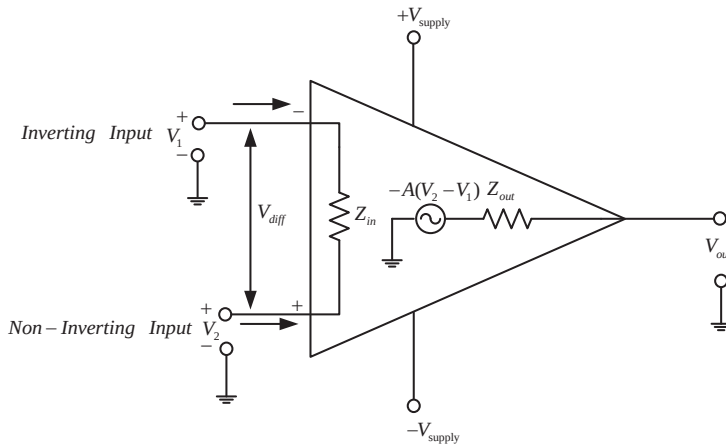
Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

รูปที่ 1.3 การเชื่อมต่อขาของออปแอมป์ LM741

ที่มา : <http://www.national.com/ds/LM/LM741.pdf>

คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ (Ideal Op - Amp)

ออปแอมป์ในทางอุดมคตินั้นไม่มีจริง แต่ที่กล่าวถึงก็เพราะต้องใช้คุณสมบัติของออปแอมป์ตามอุดมคติ (ตามที่สมมติว่าสร้างได้ใกล้เคียง) ช่วยในการออกแบบวงจรใช้งานต่างๆ ซึ่งวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของออปแอมป์ในทางอุดมคตินั้นสามารถเขียนอธิบายได้ดังรูปที่ 1.4

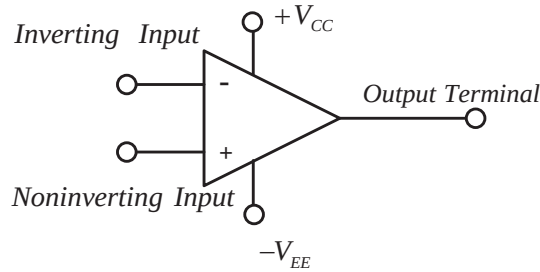


รูปที่ 1.4 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์ในอุดมคติ มีดังต่อไปนี้คือ

1. อัตราการขยายแรงดันลูเปิด (Open loop voltage gain ; A_{ol}) จะต้องมามีค่าสูงมากเป็นอนันต์ (Infinite)
2. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance ; Z_{in}) จะต้องมามีค่าสูงมากเป็นอนันต์
3. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Out impedance ; Z_{out}) จะต้องมามีค่าต่ำมากเป็นศูนย์
4. ช่วงความถี่แบนด์วิดท์ (Bandwidth ; BW) จะต้องมามีค่ามากเป็นอนันต์
5. แรงดันอินพุตออฟเซต (Offset input voltage ; V_{ios}) จะต้องมามีค่าต่ำมากเป็นศูนย์ (ในทางปฏิบัติสาเหตุที่ทำให้แรงดันอินพุตออฟเซตไม่เท่ากับศูนย์ เนื่องมาจากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ในส่วนวงจรทางอินพุตที่ไม่เหมาะสม (Match) กันนั่นเอง)

สัญลักษณ์ของออปแอมป์

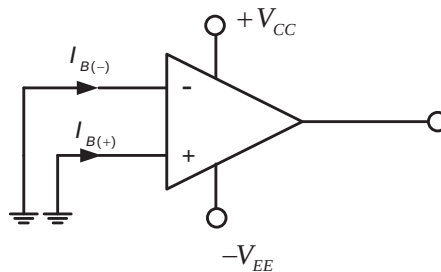


รูปที่ 1.5 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าตามคู่มือไอซี

1.1 แรงดันอินพุตออฟเซต (Input Offset Voltage ; V_{ios}) คือ ผลต่างของแรงดันที่อินพุตทั้งสองของออปแอมป์ ซึ่งออปแอมป์แต่ละเบอร์จะมีค่าไม่เท่ากับค่าแรงดัน V_{ios} ซึ่งจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

1.2 กระแสอินพุตออฟเซต (Input Offset Current ; I_{os}) เป็นผลต่างของกระแส $I_{(+)}$ กับ $I_{(-)}$ ที่อินพุตทั้งสองของออปแอมป์



รูปที่ 1.6 กระแสอินพุตออฟเซต

$$\text{Input Offset Current ; } I_{os} = | I_{B(-)} - I_{B(+)} | \quad (1.1)$$

ออปแอมป์แต่ละเบอร์มีค่า I_{os} ไม่เท่ากัน เช่น

$$I_{os}(\mu A741C) = 200nA(Max)$$

$$I_{os}(LF411A) = 25nA(Max)$$

1.3 กระแสอินพุตไบอัส (Input Bias Current ; I_B) เป็นค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลเข้าอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ ซึ่งหาได้จาก

$$I_B = \left| \frac{I_{B(+)} + I_{B(-)}}{2} \right| \quad (1.2)$$

ค่ากระแส I_B แต่ละเบอร์จะมีค่าแตกต่างกัน เช่น

$$I_B(\mu A741C) = 500nA(Max)$$

$$I_B(LF411A) = 200nA(Max)$$

1.4 ความต้านทานของอินพุตระหว่างอินพุตทั้งสอง (Differential Input Resistance ; R_i) เป็นค่าความต้านทานระหว่างอินพุตลบ Inverting Input (-) กับอินพุตบวก Non-Inverting Input (+) ซึ่งมีค่าสูงมาก มีหน่วยเป็นเมกะโอห์ม ตัวอย่างเช่น

$$R_i(\mu A741C) = 2M\Omega(Max)$$

$$R_i(LF411A) = 10^{12}\Omega(Max)$$

1.5 ค่าตัวเก็บประจุระหว่างอินพุต (Input Capacitance ; C_i) เป็นค่าความจุเสมือน (Equivalent Capacitance) ระหว่างอินพุตลบ (-) กับอินพุตบวก (+) เทียบกับกราวด์

$$C_i(\mu A741C) = 1.4pF(Max)$$

$$C_i(LF411A) = 1.4pF(Max)$$

1.6 ความต้านทานทางด้านเอาต์พุต (Output Resistance ; R_o) เป็นค่าความต้านทานเสมือน (Equivalent Resistance) ที่สามารถวัดได้ที่ขั้วของเอาต์พุต (Output Terminal) ของออปแอมป์กับกราวด์ สำหรับไอซี $\mu A741C$ จะมีค่า $R_o = 75\Omega$

1.7 แรงดันอินพุต (Input Voltage) เมื่ออินพุตทั้งสองถูกต่อเข้ากับสัญญาณแรงดันที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณค่าเดียวกัน จะเรียกแรงดันนี้ว่า Common-Mode Voltage และจะเรียกการทำงานของออปแอมป์เป็น Common-Mode

1.8 ค่าคอมมอนโหมด (Common Mode Rejection Ratio ; CMRR) CMRR เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างผลต่างของโหมดเกน (Differential -Mode Gain ; A_d) กับคอมมอนโหมดเกน (Common-Mode Gain ; A_{cm})

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{cm}} \quad (1.3)$$

โดยทั่วไป ค่า A_d จะมีค่าเท่ากับอัตราขยายขณะเปิดลูป (Open Loop Gain ; A_o) ค่า CMRR ของออปแอมป์แต่ละเบอร์ เช่น

$$CMRR(\mu A741C) = 90dB(Typically)$$

$$CMRR(LF411AC) = 100dB(Typically)$$

1.9 อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าของแหล่งจ่าย (Supply Voltage Rejection Ratio ; SVRR)
 เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตออฟเซต (Input offset Voltage ; V_{ios}) เนื่องจากผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแหล่งจ่ายที่จ่ายให้ออปแอมป์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Power Supply Rejection Ratio ; PSRR หรือค่า Power Supply Sensitivity ; PSS มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์ต่อโวลต์ ($\mu V/V$)

$$SVRR = \frac{\Delta V_{ios}}{\Delta V} \mu V / V \quad (1.4)$$

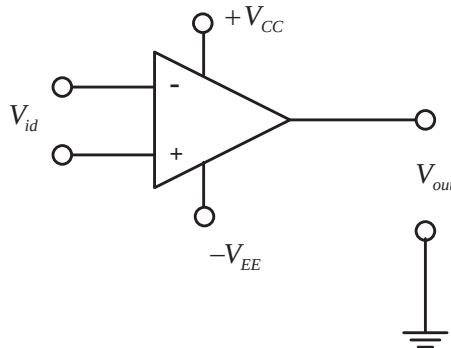
ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ $\mu A741C$ มีค่า $SVRR = 150 \mu V / V$ ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายทุกๆ 1 โวลต์ ทำให้ค่า V_{ios} เปลี่ยนไป $150 \mu V$ จากค่าเดิมไอซีเบอร์ $LF411A$ จะมีค่า $SVRR$ ในหน่วย dB มีค่าเท่ากับ $100 dB$

$$SVRR = 20 \log \left(\frac{\Delta V_{ios}}{\Delta V} \right) \quad (1.5)$$

1.10 อัตราการขยายของออปแอมป์ (Large-Signal Voltage Gain ; A) คือ อัตราการขยายทางแรงดันของออปแอมป์

$$\text{Voltage gain} = \frac{\text{Output Voltage}}{\text{Differential Input Voltage}}$$

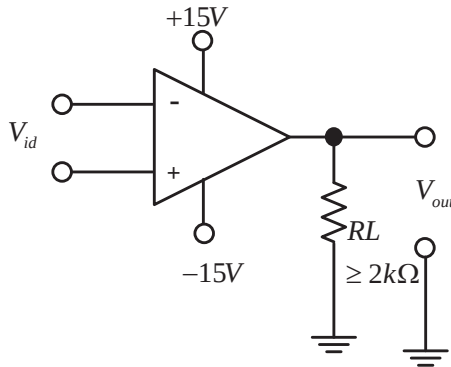
$$A = \frac{V_o}{V_{id}} \quad (1.6)$$



รูปที่ 1.7 อัตราการขยายของออปแอมป์

อัตราการขยายของออปแอมป์เบอร์ $\mu A741C$ จะมีค่า $A = 200 V/mV$ หรือ 200,000 เท่า

1.11 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต (Output Voltage Swing) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่แรงดันเอาต์พุตได้สูงสุด ไอซีเบอร์ $\mu A 741$ จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต ($\text{Output Voltage Swing} = \pm 13 \text{ V}$) เมื่อ $RL \geq 2k\Omega$ และ $\text{Supply Voltage} = \pm 15 \text{ V}$ ตามที่แสดงในวงจรรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 การต่อโหลดเพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต

1.12 กระแสเอาต์พุตลัดวงจร (Output Short Circuit Current) ขณะที่ออปแอมป์ทำงาน หากมีการลัดวงจรที่เอาต์พุต จะเกิดกระแสไหลจำนวนมากไหลออกจากออปแอมป์ ทำให้เกิดความร้อนทำให้ออปแอมป์พังเสียหาย ออปแอมป์เบอร์ $\mu A 741C$ จะมีค่า *Short Circuit Protection* ซึ่งจะจำกัดกระแสไม่ให้ไหลเกิน 25 mA

1.13 กระแสจากแหล่งจ่าย (Supply Current ; I_{supply}) เป็นค่ากระแสที่ออปแอมป์ขณะทำงานที่แหล่งจ่ายแรงดัน สำหรับออปแอมป์เบอร์ $\mu A 741C$ จะมีค่า $I_s = 2.8 \text{ mA}$

1.14 กำลังงานที่ใช้ (Power Consumption ; P_c) ในการทำงานของออปแอมป์ต้องการใช้กำลังงาน ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ $\mu A 741C$ ต้องการใช้กำลังงานประมาณ 85 mW

1.15 อัตราสโลว์เรต (Slew Rate ; SR) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตสูงสุดต่อเวลา ค่าสโลว์เรตจะทำการทดสอบที่ *Unity Gain (+1)* ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของออปแอมป์แต่ละเบอร์ ในการเลือกใช้งานออปแอมป์ในด้านความถี่ ต้องนำค่าสโลว์เรตมาพิจารณาด้วยเพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ซึ่งออปแอมป์แต่ละเบอร์จะมีค่าสโลว์เรตที่แตกต่างกัน เช่น

$$SR(\mu A 741C) = 0.5 \text{ V} / \mu s$$

$$SR(LF 411A) = 15 \text{ V} / \mu s$$

$$SR(LF 351) = 0.5 \text{ V} / \mu s$$

$$SR(LF 411A)(\mu AF 771)(MC 34001) = 13 \text{ V} / \mu s(\text{Typically})$$

1.16 อัตราการขยายตอบสนองต่อย่านความถี่ (*Gain – Bandwidth Product ; GB*) เป็นค่าตอบสนองต่อย่านความถี่ของออปแอมป์ ในบางครั้งค่า *Gain-Bandwidth Product* อาจเรียกเป็น *Closed-Loop Bandwidth*, *Unity Gain Bandwidth* หรือ *Small-Signal Bandwidth* ซึ่งแต่ละเบอร์มีค่าการตอบสนองไม่เท่ากัน เช่น

$$GB(\mu A741C) = 1 \text{ MHz}$$

$$GB(LF411A) = 4 \text{ MHz (Typically)}$$

1.17 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่มีผลต่อค่าแรงดันและกระแสอินพุตออฟเซต (*Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage and Current*) คือ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่มีผลต่อค่าแรงดันอินพุตออฟเซต หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของแรงดันอินพุตออฟเซตต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น $\mu V/C^\circ$ ส่วนค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่มีผลต่อค่ากระแสอินพุตออฟเซต หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของกระแสอินพุตออฟเซตต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น pA/C°

ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ $\mu A741C$

$$\frac{\Delta V_{ios}}{\Delta T} = 0.5 \mu V / C^\circ$$

$$\frac{\Delta I_{ios}}{\Delta T} = 12 \text{ pA} / C^\circ$$

1.18 ระยะเวลาที่มีผลต่อเสถียรภาพของแรงดันและกระแสออฟเซต (*Long-Term Input offset Voltage and Current Stability*) ประกอบด้วย

1.18.1 อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตออฟเซตเทียบกับค่าเวลา มีหน่วยเป็น $\mu V/Week$

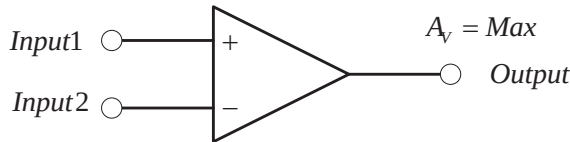
$$\frac{\Delta V_{ios}}{\Delta T} = 0.5 \mu V / C^\circ$$

1.18.2 อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของกระแสอินพุตออฟเซตเทียบกับค่าเวลา มีหน่วยเป็น $pA/Week$

$$\frac{\Delta I_{ios}}{\Delta T} = 12 \text{ pA} / C^\circ$$

2. ลักษณะการทำงานของออปแอมป์และการใช้งานในวงจร

2.1 การต่อแบบลูปเปิด (Open Loop Mode) การต่อออปแอมป์ใช้งานลักษณะนี้ อัตราการขยายของออปแอมป์มีค่าสูงสุด ที่เรียกว่าอัตราขยายขณะเปิดลูป ในขณะที่ความแตกต่างของสัญญาณระหว่างขาอินพุตบวกและอินพุตลบ เอาต์พุตของวงจรจะมีค่าสูงสุดประมาณ 90% ของแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจร

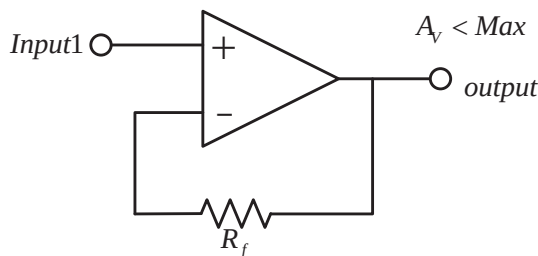


รูปที่ 1.9 การต่อวงจรแบบลูปเปิด (Open Loop Mode)

2.2 การใช้งานออปแอมป์แบบลูปปิด (Closed Loop Mode) เป็นการต่อออปแอมป์ในลักษณะมีการป้อนกลับของสัญญาณ โดยใช้ตัวต้านทานป้อนกลับ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานทำให้เสถียรภาพของวงจรสูงขึ้น ลดสัญญาณรบกวน แต่ทำให้อัตราการขยายลดลง การป้อนกลับมี 2 แบบคือ

2.2.1 การป้อนกลับแบบบวก (Positive Feed Back) คือ การนำสัญญาณจากเอาต์พุตบางส่วนมาป้อนให้สัญญาณอินพุต แล้วทำให้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสูงขึ้น เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์

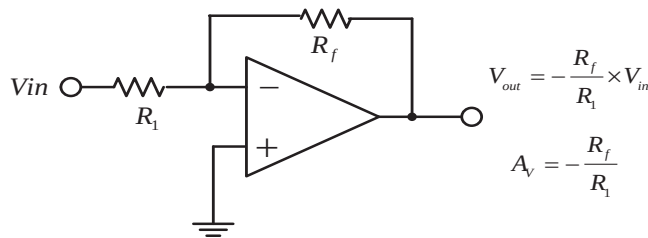
2.2.2 การป้อนกลับแบบลบ (Negative Feed Back) คือ การนำสัญญาณจากเอาต์พุตบางส่วนมาป้อนให้สัญญาณอินพุต แล้วทำให้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตลดลง เช่น วงจรขยายสัญญาณทั่วไป



รูปที่ 1.10 การต่อวงจรแบบลูปปิด (Closed Loop Mode)

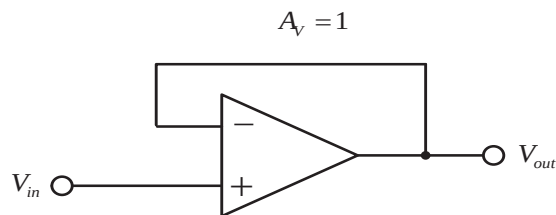
2.3 การควบคุมอัตราการขยาย (Controlled Gain) เป็นการป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับมาเป็นอินพุต และยังสามารถควบคุมอัตราการขยายแรงดันได้ โดยใช้ตัวต้านทาน R_1 กับ R_f ทำให้เกิดอัตราการขยายทางแรงดัน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i} \quad (1.7)$$



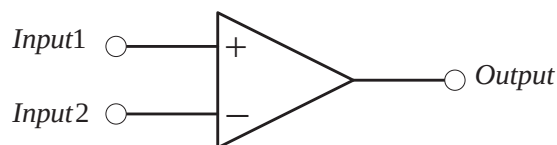
รูปที่ 1.11 การควบคุมอัตราขยาย (Controlled Gain)

2.4 วงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (Unity Gain) เป็นการป้อนกลับแบบต่อตรง ซึ่งทำให้อัตราการขยายของแรงดันเท่ากับ 1 ($A_v = 1$)



รูปที่ 1.12 วงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (Unity Gain)

2.5 การต่ออินพุตแบบเปรียบเทียบแรงดันระหว่างอินพุตทั้งสอง (Difference Mode) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอินพุตบวกกับอินพุตลบ ตามเงื่อนไขต่อไปนี้



รูปที่ 1.13 การต่ออินพุตแบบเปรียบเทียบแรงดัน (Difference Mode)

- ถ้าสัญญาณที่อินพุต - มีค่าแรงดันบวกสูงกว่าอินพุต + เอาต์พุตเป็น -
- ถ้าสัญญาณที่อินพุต - มีค่าแรงดันบวกต่ำกว่าอินพุต + เอาต์พุตเป็น +

3. การอ่านค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าจากคู่มือการใช้งาน (Data Sheet)

μA741 , μA741Y GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A^\dagger$	μA741C			μA741I , μA741M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0$	25°C		1	6		1	5	mV
		Full range			7.5			6	
$\Delta V_{IO}(\text{adj})$ Offset voltage adjust range	$V_O = 0$	25°C		± 15			± 15		mV
I_{IO} Input offset current	$V_O = 0$	25°C		20	200		20	200	nA
		Full range			300			500	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 0$	25°C		80	500		80	500	nA
		Full range			800			1500	
V_{ICR} Common-mode input voltage range		25°C	± 12	± 13		± 12	± 13		V
		Full range	± 12			± 12			
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	25°C	± 12	± 14		± 12	± 14		V
	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range	± 12			± 12			
	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C	± 10	± 13		± 10	± 13		
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	Full range	± 10			± 10			
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	20	200		50	200		V/mV
	$V_O = \pm 10\text{ V}$	Full range	15			25			
r_i Input resistance		25°C	0.3	2		0.3	2		M Ω
r_o Output resistance	$V_O = 0$, See Note 5	25°C		75			75		Ω
C_i Input capacitance		25°C		1.4			1.4		pF
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	25°C	70	90		70	90		dB
		Full range	70			70			
k_{SVS} Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$)	$V_{CC} = \pm 9\text{ V to } \pm 15\text{ V}$	25°C		30	150		30	150	$\mu\text{V/V}$
		Full range			150			150	
I_{OS} Short-circuit output current		25°C	± 25	± 40		± 25	± 40		mA
I_{CC} Supply current	$V_O = 0$, No load	25°C		1.7	2.8		1.7	2.8	mA
		Full range			3.3			3.3	
P_D Total power dissipation	$V_O = 0$, No load	25°C		50	85		50	85	mW
		Full range			100			100	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for the μA741C is 0°C to 70°C, the μA741I is -40°C to 85°C, and the μA741M is -55°C to 125°C.

NOTE 5: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	μA741C			μA741I , μA741M			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_r Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		0.3			0.3		μs
Overshoot factor			5%			5%		
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		0.5			0.5		V/ μs

รูปที่ 1.14 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของออปแอมป์

ที่มา : <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/ua741.pdf>

4. วงจรพื้นฐานในการใช้งานออปแอมป์

4.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) เป็นการต่อสัญญาณให้กับออปแอมป์ทั้งสองอินพุต มีการใช้งานแบบลูปเปิด (Open Loop) ซึ่งมีหลักการทำงานคือ เมื่อแรงดันที่อินพุตลบมีค่าเป็นบวกมากกว่าแรงดันที่อินพุตลบ สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบ และเมื่อแรงดันที่อินพุตลบเป็นบวกต่ำกว่าสัญญาณอินพุตบวก สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นแรงดันบวก ซึ่งขนาดของแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ $\pm V_{sat}$ ของออปแอมป์ ดังแสดงในรูปที่ 1.16

เนื้อหาตรงตามคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขางานอิเล็กทรอนิกส์ และผู้สนใจศึกษาการทำงานของออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี อาทิ วงจรขยายดีฟเฟอเรนเชียลและออปแอมป์ เบื้องต้น การออกแบบวงจรกรองความถี่ วงจรขยายสัญญาณทางไฟฟ้า วงจรสวิตช์ วงจรขมิตต์ ทริกเกอร์ วงจรขยายสัญญาณแบบหลายช่อง วงจรกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ รูปสี่เหลี่ยม รูปแรมพ์ วงจร ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ วงจรแปลงรูปสัญญาณ วงจรเฟสล็อกลูป พร้อมทั้งตัวอย่างการ ออกแบบวงจร การวิเคราะห์การทำงานของวงจรและการประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่น ได้อย่างครบถ้วน

ประวัติผู้เขียน

รศ. ดร. มนต์ธี ศิริปรัชญานันท์

อนุศักดิ์ อรุณไพโร



ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2547 วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (Telecommunication Engineering) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พ.ศ. 2542 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (Telecommunication Engineering) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- พ.ศ. 2537 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (Electronics) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติการทำงาน

- พ.ศ. 2550 รองศาสตราจารย์ระดับ 9 ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2549 รองศาสตราจารย์ระดับ 8 ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2548 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8 ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2537 อาจารย์ระดับ 3 ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผลงานหรือกิจกรรมที่ภาคภูมิใจ

- พ.ศ. 2556 คิษย์เก่าดีเด่นสาขาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2556 นักวิจัยดีเด่น นักวิจัยที่ได้รับการอ้างอิงผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ ในวารสารระดับชาติที่อยู่ในฐานข้อมูล ISI สูงสุด ตามมาตรฐานการประเมินมหาวิทยาลัยโลก โดย THE มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2554 นักวิจัยดีเด่น นักวิจัยที่มีศักยภาพในการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล ISI สูงสุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ประวัติการศึกษา

- ปริญญาตรี ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
- ปริญญาโท ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (ค.อ.ม.) สาขาวิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติการทำงาน

- พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท
- พ.ศ. 2549 ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะชำนาญการ
- พ.ศ. 2547 ตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 7
- พ.ศ. 2538 ตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 5
- พ.ศ. 2532 เข้ารับราชการตำแหน่งครู 2 ระดับ 2 วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท

ผลงานหรือกิจกรรมที่ภาคภูมิใจ

- ได้รับรางวัลเชิดชูเกียรติหนึ่งแสนครูดี พ.ศ. 2555
- ได้รับรางวัลครูสอนดี พ.ศ. 2554
- ได้รับรางวัลข้าราชการตัวอย่าง กระทรวงศึกษาธิการ พ.ศ. 2535



www.se-ed.com



sbc.fans

ISBN 978-616-08-4113-4



9 786160 841134

149 บาท

คู่มือเรียน - สอบ - อาชีวศึกษา /
วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์