



**Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Prince of Songkla University**

Advanced Analog and Digital Systems



241-309: Advanced Analog and Digital Systems

1

Chapter 2

ออปแอมป์

Operation Amplifier



Computer Engineering

เนื้อหา

แนะนำออปแอมป์
คุณสมบัติของออปแอมป์,
พารามิเตอร์ของออปแอมป์

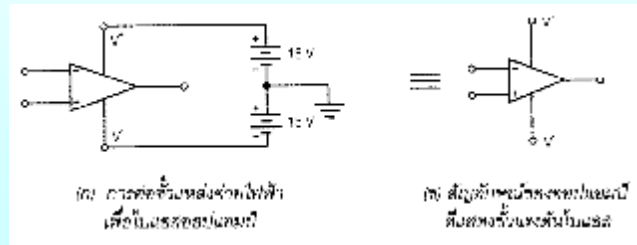
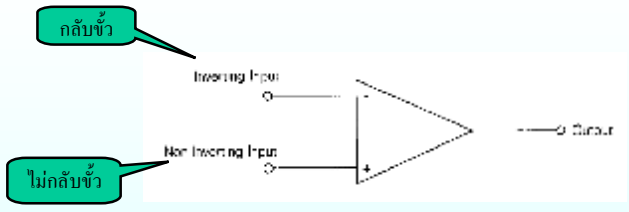


ออปแอมป์คืออะไร?

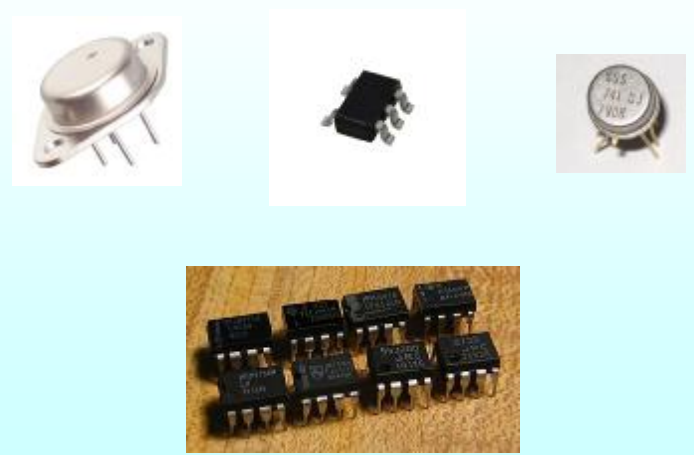
ออปแอมป์ (Op-Amp) ย่อมาจาก วงจรขยายเชิงดำเนินการ (Operational Amplifier) เป็นวงจรรวมเชิงเส้น (Linear Integrated Circuit) ที่ถูกสร้างขึ้นในปี 1948 เพื่อใช้ใน Analog Computer ปัจจุบันใช้งานแพร่หลายจึงเรียกว่า วงจรขยายเชิงเส้นอเนกประสงค์



สัญลักษณ์



ตัวถัง



รหัสที่กำหนดโดยผู้ผลิต

บริษัทผู้ผลิต

Fairchild

National Semiconductor

Motorola

RCA

Texas Instruments

Signetics

Burr-Brown

Analog Devices

รหัสหน้าเบอร์ไอซี

uA, uAF

LM, LH, LF, TBA

MC, MCF

CA, CD

SN

N,S,NE,NS

BB

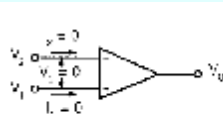
AD

เช่น LM741 เป็น ไอซีออปแอมป์ของบริษัท National Semiconductor

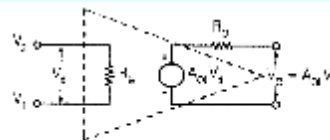


คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ (Ideal Op-amp)

- 1) อัตราขยายแรงดันเปิดมีค่าเป็นอนันต์ $A_{Vol} = \infty$
- 2) ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ $Z_{in} = \infty$
- 3) ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็นอนันต์ $Z_o = 0$
- 4) แบนด์วิดท์มีค่าเป็นอนันต์ **Bandwidth** = ∞
- 5) ออฟเซตมีค่าเป็นศูนย์ $V_0 = 0$ เมื่อ $V_1 = V_2 = 0$
- 6) **Bandwidth** = ∞



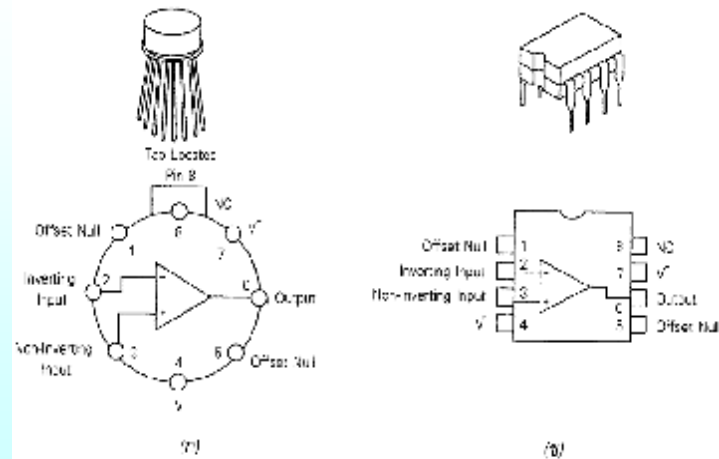
(ก) ออปแอมป์ในอุดมคติ



(ข) วงจรสมมูลของออปแอมป์ในอุดมคติ



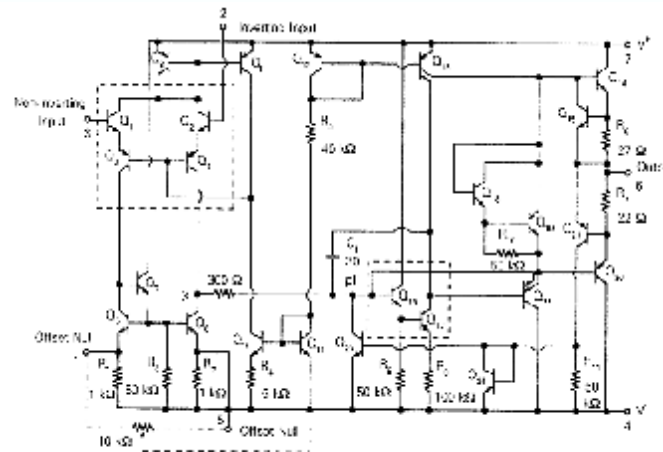
ตัวอย่างออปแอมป์



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของออปแอมป์โมเดล $\mu A741$ ตัวถังแบบพลาสติก TO-5 และแบบ DIP



วงจรรภายในของออปแอมป์ $\mu A741$



รูปที่ 1.10 โครงสร้างวงจรรภายในของออปแอมป์โมเดล $\mu A741$ จากบริษัท Fairchild

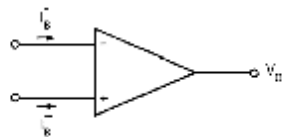


คุณสมบัติทางไฟตรงของออปแอมป์

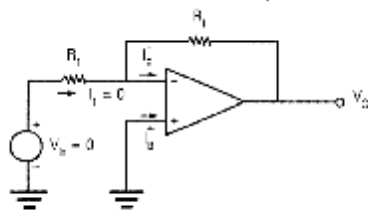
1. กระแสไบแอสอินพุต (Input Bias Current)
2. กระแสออฟเซตอินพุต (Input Offset Current)
3. แรงดันออฟเซตอินพุต (Input Offset Voltage)
4. แรงดันออฟเซตเอาต์พุต (Output Offset Voltage)
5. สภาวะอิ่มตัวของเอาต์พุต (Output Saturation)



กระแสไบแอสอินพุต (Input Bias Current)



(ก) กระแสไบแอสอินพุต



(ข) วงจรขยายแบบกลับเฟสและกระแสไบแอสอินพุต

$$I_B = \frac{I_B^+ + I_B^-}{2}$$

กระแสไบแอสเฉลี่ย

สำหรับ Ideal Op-Amp

$$I_B = 0$$

$$V_O = 0$$



กระแสออฟเซตอินพุต (Input Offset Current)

- เกิดขึ้นในกรณีที่กระแสไบแอสอินพุต $I_B^+ \neq I_B^-$
- ค่ากระแสออฟเซตอินพุต I_{OS} หาได้จากสมการต่อไปนี้

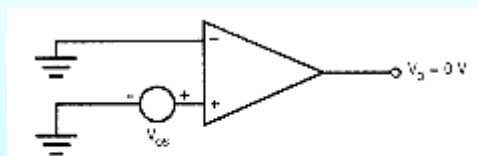
$$|I_{OS}| = I_B^+ - I_B^-$$

- I_{OS} มีค่าประมาณ 200 nA สำหรับอปแอมป์ทรานซิสเตอร์ และประมาณ 10 pA สำหรับเฟ็ดออปแอมป์



แรงดันออฟเซตอินพุต (Input Offset Voltage)

แรงดันเอาต์พุตไม่เท่ากับศูนย์ เมื่อแรงดันที่อินพุตทั้งสองขาเป็นศูนย์ จึงต้องเพิ่มแรงดันออฟเซตเข้าไปที่อินพุตเพื่อให้เอาต์พุตเป็นศูนย์



รูปที่ 1.15 แสดงแรงดันออฟเซตอินพุต

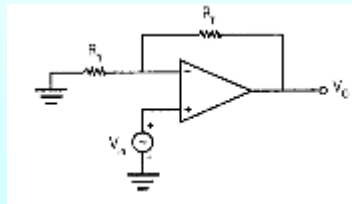


แรงดันออฟเซตเอาต์พุต (Output Offset Voltage)

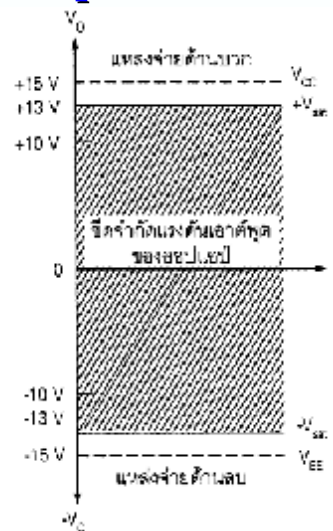
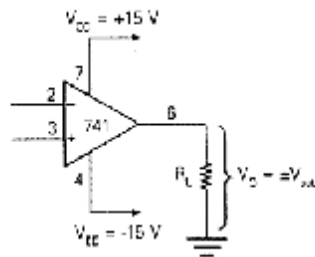
เกิดจาก I_B และ V_{OS} ไม่เท่ากับศูนย์ ทำให้ แรงดันที่
เอาต์พุตไม่เท่ากับศูนย์

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

ผลรวมของแรงดันออฟเซต
ทางเอาต์พุต



สถานะอิ่มตัวของเอาต์พุต (Output Saturation)



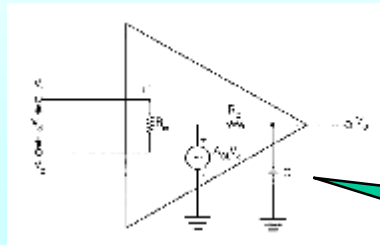
คุณสมบัติทางไฟลดับของออปแอมป์

1. ผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response)
2. การเลื่อนของอุณหภูมิ (Thermal Drift)
3. อัตราสลัว (Slew Rate)
4. อัตราการขจัดแบบโหมดร่วม (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)



ผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

- บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดัน (A_V) และความถี่ของสัญญาณอินพุต (f)
- ปกติ A_V จะมีค่าสูงที่ความถี่ต่ำ และลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น



C ทำให้อัตราขยาย
ลดลงที่ความถี่สูง

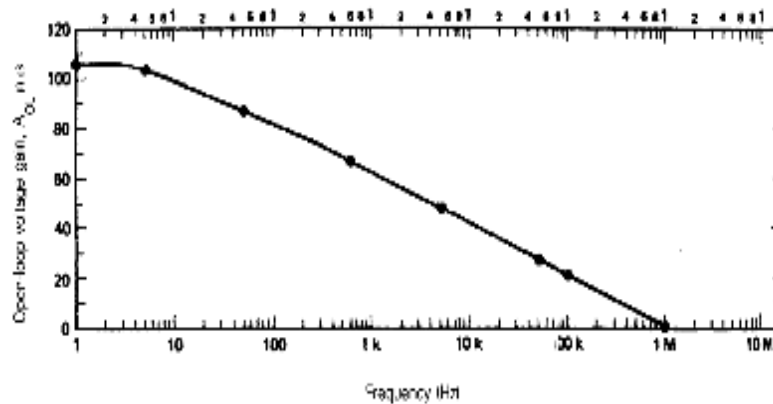


Gain Bandwidth Product

- หรือเรียกว่า **Unity Gain Bandwidth**
- หมายถึงความถี่ที่ออปแอมป์มีอัตราขยายเท่ากับ 1
- เช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 มีค่า **Unity Gain Bandwidth = 1MHz**



กราฟการตอบสนองความถี่ของออปแอมป์



การเลื่อนของอุณหภูมิ (Thermal Drift)

- เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ทำให้คุณสมบัติของออปแอมป์เปลี่ยนไป
- เช่น กระแสไบแอส แรงดันออฟเซตอินพุต และแรงดันออฟเซตเอาต์พุตเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
- ในคู่มือออปแอมป์จะกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงเป็น $\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$ หรือ $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
- ดังนั้นควรติดตั้งออปแอมป์ในที่ที่ระบายความร้อนได้ดี



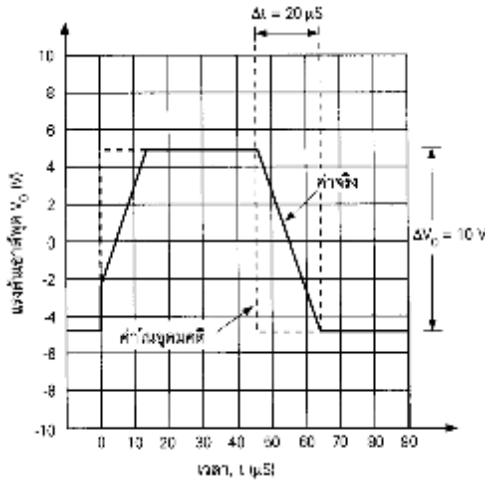
อัตราสลัว (Slew Rate)

- หมายถึงความเร็วในการทำงานของออปแอมป์ ที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตปรากฏเมื่อได้รับสัญญาณทางอินพุต
- หน่วยของอัตราสลัวคือ $\text{V}/\mu\text{s}$ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{SR} = \frac{\Delta V_o}{\Delta T}$$



อัตราสลัว (Slew Rate)



$$SR = \frac{10 \text{ V}}{20 \mu\text{S}} = 0.5 \text{ V}/\mu\text{S}$$

สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์เบอร์ 741 เมื่อ $SR = 0.5 \text{ V}/\mu\text{S}$
 จะทำให้แรงดันเอาต์พุต 10 V ปรากฏได้ในเวลา 20 μS

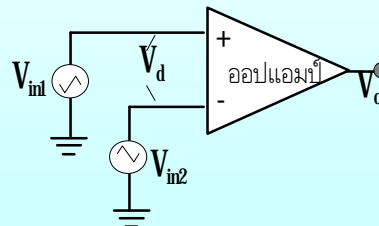
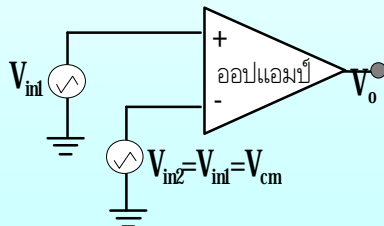


อัตราการจัดแบบโหมดร่วม (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)

Common Inputs $V_{cm} = V_{in1} = V_{in2}$
 Differential Inputs $V_d = V_{in1} - V_{in2}$

$$CMRR = A_{VD}/A_{VCM}$$

$$CMRR_{(dB)} = 20 \log A_{VD}/A_{VCM} \text{ dB}$$



คุณสมบัติของออปแอมป์ $\mu A 741$

General Description. The $\mu A741$ is a high performance monolithic operational amplifier constructed using the planer epitaxial process. High common mode voltage range and absence of latch-up tendencies make the $\mu A741$ ideal for use as voltage follower. The high gain and wide range of operating voltage provides superior performance in integrator summing amplifier and general feedback applications.

*No frequency compensation required

*Short circuit protection

*Offset voltage null capability

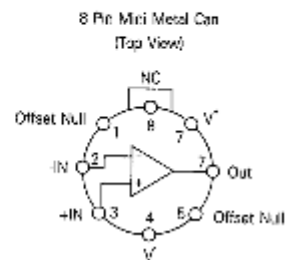
*Large common mode and differential voltage ranges

*Low power consumption

*No latch-up

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage



คุณสมบัติของออปแอมป์

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage

$\mu A741A$, $\mu A741$, $\mu A741E$ = 22 V

$\mu A741C$ = 18 V

Internal Power Dissipation

Metal Can = 500 mW

Molded and Hermetic DIP = 670 mW

Mini DIP = 310 mW

Flatpack = 570 mW

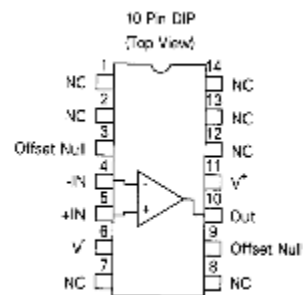
Differential Input Voltage = 30 V

Input Voltage = 15 V

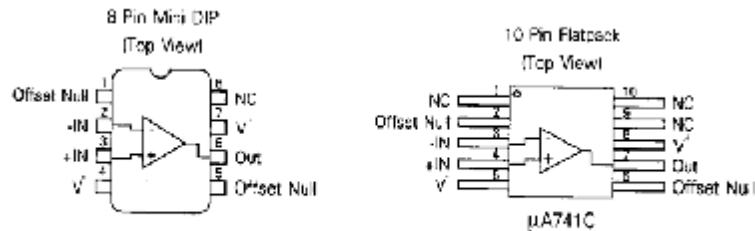
Operating Temperature Range

Military ($\mu A741A$, $\mu A741$) = -55°C to 125°C

Commercial ($\mu A741E$, $\mu A741C$) = 0°C to 70°C



คุณสมบัติของออปแอมป์



Electrical Characteristics $V_s = 15$, $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

คุณสมบัติของออปแอมป์

Characteristics(see definitions)	Conditions	MIN	TYP	MAX	Units
Input Offset Voltage	$R_s = 10\text{ k}\Omega$		20	60	mV
Input Offset Current			20	200	nA
Input Bias Current			80	500	nA
Input Resistance		0.3	2.0		M Ω
Input Capacitance			1.4		pF
Offset Voltage Adjustment Range			= 15		mV
Input Voltage Range		= 12	= 13		V
Common Mode Rejection Ratio	$R_s = 10\text{ k}\Omega$	70	80		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_s = 10\text{ k}\Omega$		30	150	$\mu\text{V/V}$
Large Signal Voltage Gain	$R_L = \text{k}\Omega$ $V_o = 10\text{ V}$	20,000	200,000		
Output Voltage Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	= 12	= 14		V
	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	= 10	= 13		V

คุณสมบัติของออปแอมป์

Output Resistance		75	Ω
Output Short Circuit Current		25	mA
Supply Current		1.7	2.8 mA
Power Consumption		50	85 mW
Transient Response Rise Time	$V_o = 20 \text{ mV}, R_L = 2 \text{ k}\Omega$		0.3 μS
(Unity Gain) Overshoot	$C_L = 100 \text{ pF}$		6.0 %
Slew Rate	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		0.5 V/ μS



ชนิดของออปแอมป์

1. ออปแอมป์เนกประสงค์ (General Purpose Op-amps) ราคาไม่แพงมากนัก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน เช่น 741 324 356 358 เป็นต้น
2. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) ไม่ใช่ออปแอมป์แต่มีลักษณะวงจรบนพื้นฐานเดียวกับออปแอมป์ A_{vol} สูงมาก (200,000 ถึง 300,000) เช่น 311 307 CMP-01 339 เป็นต้น
3. ออปแอมป์กระแสอินพุตต่ำ (Low Input Current Op-amps) จะนิยมใช้ MOSFET, JFET หรือ Darlington BJT โดย I_i อยู่ระดับ Picoamp, 10^{-12}A เช่น 3130 355 3140 OP-08 เป็นต้น



ชนิดของออปแอมป์

4. **ออปแอมป์กินกำลังต่ำ (Low Power Op-amps)** เป็นออปแอมป์ที่ถูกออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำ และที่ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรงที่ต่ำได้ด้วย ($\pm 1.5\text{V}$) เช่น 308 356 OP-01
5. **ออปแอมป์ที่มีการขยับเลื่อนต่ำ (Low Drift Op-amps)** ระดับแรงดันเอาท์พุทจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ น้อยมาก เช่น 308 357 3510 OPA-103
6. **ออปแอมป์แบนด์วิดท์กว้าง (Wide Bandwidth Op-amps)** บางครั้งเรียกว่า Video Op-amp มี G-B Product สูง เช่น 100 MHz (ปกติ 300 kHz ถึง 1.2 MHz, ตระกูล 741) เช่น 356 OPA-101 OP-01 3130
7. **ออปแอมป์สัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Op-amps)** กำหนดสัญญาณรบกวนน้อยมาก เหมาะที่จะนำมาใช้ในภาคแรกๆ ของวงจรถ่าย เช่น OP-227, OPA-103 OPA-101



ชนิดของออปแอมป์

9. **ออปแอมป์แบบหลายชุด (Multiple Devices Op-amp)** ตัวไอซีที่จะมีออปแอมป์ มากกว่า 1 ชุดในตัวถึงเดียว เช่น 2,3 หรือ 4 ชุด อยู่ในตัวถึงเดียว เช่น 1458 จะมีออปแอมป์แบบเดียวกับ 741 อยู่ถึง 2 ชุดในตัวถึงแบบ DIP 8 ขา
10. **ออปแอมป์เฉพาะทาง (Special Purpose Op-amps)** ถูกจำกัดความสามารถบางอย่างหรือสำหรับเป็นวงจรถ่ายพิเศษ เช่น เบอร์ 302 เป็นวงจรถ่ายแบบกลับเฟส gain = 1 มี 2 ชุด ในตัวถึงเดียว
11. **วงจรถ่ายเครื่องมือวัด (Instrumentation Amplifiers, IA)** เป็น Differential Amplifier มีการออกแบบวงจรเป็นพิเศษสำหรับเป็น IA โดยเฉพาะ ที่สามารถปรับอัตราขยายแรงดันได้ด้วยตัวต้านทานที่ต่อเพิ่มเติมภายนอก
12. **ออปแอมป์แรงดันไฟสูง (High-Voltage Op-amps)** ที่สามารถทำงานที่แรงดันสูงที่ 44 โวลท์ ถึง 100 โวลท์ (ปกติ 6 ถึง 22 โวลท์) เช่น 343 3160 344 3584



alan

