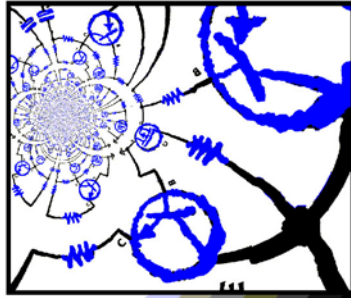




## Basic Electronics



# Chapter 9

## Operational Amplifier

Non Ideal Op-amp





เนื้อหา : คุณสมบัติของออปแอมป์ พารามิเตอร์ของออปแอมป์มาตรฐาน  
ชนิดของออปแอมป์



## คำนำ

วงจรรขยายเชิงดำเนินการ เป็น Linear Integrated Circuit ออกแบบ ปี 1948 ใช้ใน Analog Computer ปัจจุบันใช้งานประยุกต์มากมายจึงเรียกว่า วงจรรขยายเชิงเส้นอเนกประสงค์



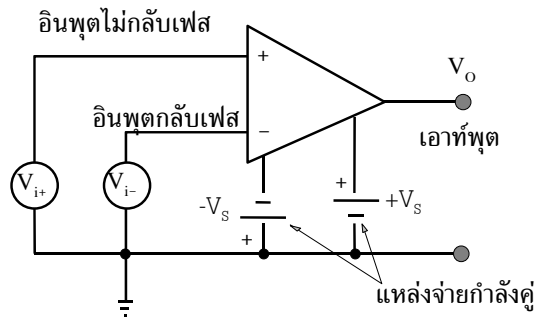
## คุณสมบัติของออปแอมป์

$$V_o = A_{Vol} (V_{i+} - V_{i-})$$

$A_{Vol}$  = Open Loop Gain มีค่าสูงมาก ( $10^4 - 10^5$ )

$V_{i+}$  = Noninverting Input

$V_{i-}$  = Inverting Input



## คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ

- 1)  $A_{Vol} = \infty$
- 2)  $Z_{in} = \infty$
- 3)  $Z_o = 0$
- 4) Noise = 0
- 5) Output Offset Voltage = 0
- 6) Bandwidth =  $\infty$



## คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางปฏิบัติ

- 1) สภาวะอิ่มตัวของเอาต์พุต
- 2) กระแสไบแอสและกระแสออฟเซ็ทของอินพุต
- 3) อัตราขยายวงรอบเปิดและการตอบสนองความถี่
- 4) ช่วงของแรงดันอินพุต
- 5) อัตราการสลัว
- 6) อัตราส่วนการจัดแบบใหม่รวม



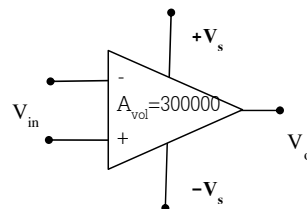
### 1. สภาวะอิ่มตัวของเอาต์พุต (Output Saturation)

$$V_{in(sat)} = V_{sat} / A_{VOL}$$

เมื่อ  $V_{in(sat)}$  เป็นแรงดันอินพุตต่ำสุดที่ทำให้เอาต์พุตถึงจุดอิ่มตัว

ตาราง คุณสมบัติของออปแอมป์ที่มี  $A_{vol} = 300,000$

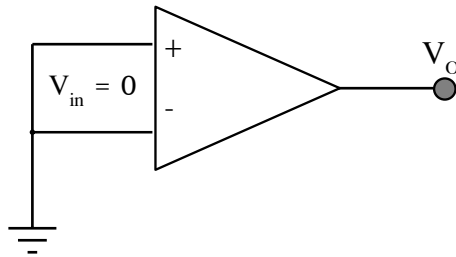
$\pm V_s$	$\pm V_{sat}$	$\pm V_{in(max)}$
$\pm 6 V_{DC}$	$\pm 5 V_{DC}$	$\pm 17 \mu V$
$\pm 10 V_{DC}$	$\pm 9 V_{DC}$	$\pm 30 \mu V$
$\pm 12 V_{DC}$	$\pm 11 V_{DC}$	$\pm 37 \mu V$
$\pm 15 V_{DC}$	$\pm 14 V_{DC}$	$\pm 47 \mu V$



## 2. Output Offset Voltage

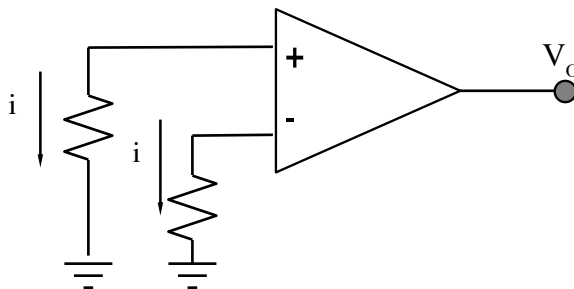
ในกรณี Ideal จาก  $V_o = A_{vol}(V_{in+} - V_{in-})$

ในกรณี Nonideal เมื่อ  $V_{i+} = V_{i-}$  แล้ว  $V_o$  ไม่เป็น ศูนย์



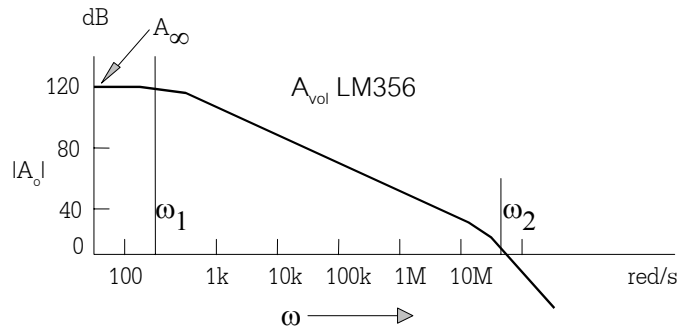
## 3. Input Bias Current

กระแสไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำๆ ที่ไหลออกหรือไหลเข้าขาอินพุตของออปแอมป์ ขึ้นอยู่กับชนิดของทรานซิสเตอร์ที่ใช้สร้าง ปกติระหว่าง 0.1 pA - 0.1 uA



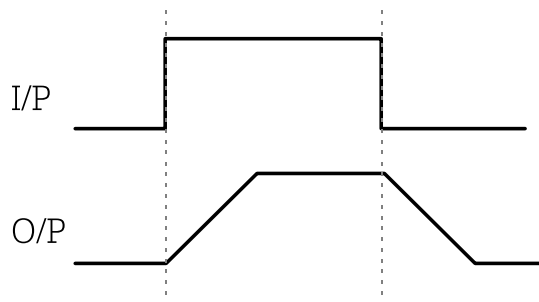
## 4. Open-loop Gain and Frequency Response

โปรดักต์แบนด์วิดท์ของอัตราขยาย (Gain Bandwidth Product, G-B Product) โดยใช้สัญลักษณ์  $F_t$  หรือ  $F_u$  เป็นความถี่ที่มีอัตราขยายหนึ่งเท่า ปกติออปแอมป์จะมี G-B Product ในช่วง 100kHz ถึงระดับ MHz และสูงกว่านี้สำหรับออปแอมป์ชนิดพิเศษ



## 5. อัตราการสรวู (Slew Rate)

LM741 มีค่า Slew rate = 0.5 V/uSec หมายถึง เอาท์พุทเปลี่ยนจาก 0 - 12 โวลท์ ใช้เวลา 24 uSec สำหรับ Step input



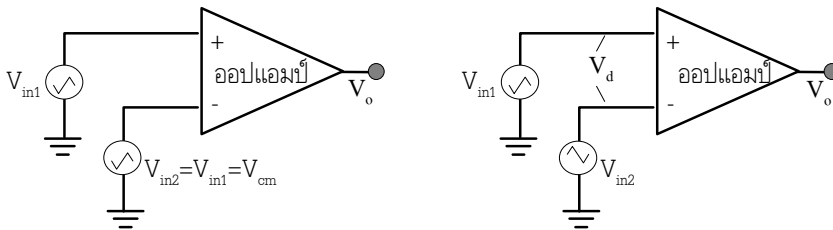
## 7. Common Mode Rejection Ratio, CMRR

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

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

Common Inputs  $V_{cm} = V_{in1} = V_{in2}$

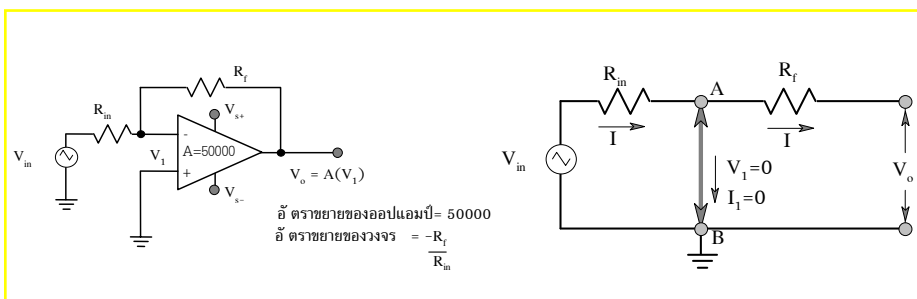
Differential Inputs  $V_d = V_{i1} - V_{i2}$



## 8. กราวด์เสมือน (Virtual Ground)

อินพุตของออปแอมป์เสมือน Short Circuit เนื่องจาก  $V_1=0$

แต่ไม่ได้เป็นกราวด์จริงๆ เพราะ  $V_{in}$  ไม่ได้ไหลผ่าน  $R_{in}$  ของลงกราวด์



## ชนิดของออปแอมป์

### 1. ออปแอมป์อเนกประสงค์ (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  $i_i$  อยู่ประมาณ Picoamp,  $10^{-12}$  A (ปกติ Microamp,  $10^{-6}$  A) เช่น 3130 355 3140 OP-08 เป็นต้น



### 4. ออปแอมป์สัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Op-amps)

กำเนิดสัญญาณรบกวนน้อยมาก เหมาะที่จะนำมาใช้ในภาคแรก ๆ ของ วงจรขยาย เช่น OP-227, OPA-103 OPA-101 เป็นต้น

### 5. ออปแอมป์กินกำลังต่ำ (Low Power Op-amps)

เป็นออปแอมป์ที่ถูกออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำ และที่ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟ กระแสตรงที่ต่ำได้ด้วย ( $\pm 1.5$  V) เช่น 308 356 OP-01 เป็นต้น

### 6. ออปแอมป์ที่มีการขยับเลื่อนต่ำ (Low Drift Op-amps)

ระดับแรงดันเอาท์พุทจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ น้อยมาก เช่น 308 357 3510 OPA-103 เป็นต้น





### 7. 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 เป็นต้น

### 8. ออปแอมป์แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงเดี่ยว (Single DC Supply Op-amps)

ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงกระแสตรงขั้วเดียว (Monopolar) เช่น +12 โวลต์ กับ กราวด์ เช่น LM10 2900 3301 324 เป็นต้น

### 9. ออปแอมป์แรงดันไฟสูง (High-Voltage Op-amps)

ที่สามารถทำงานที่แรงดันสูงที่  $\pm 44$  โวลต์ ถึง  $\pm 100$  โวลต์ (ปกติ  $\pm 6$  ถึง  $\pm 22$  โวลต์) เช่น 343 3160 344 3584 เป็นต้น



### 10. ออปแอมป์แบบหลายชุด (Multiple Devices Op-amp)

ตัวไอซีที่มีออปแอมป์มากกว่า 1 ชุดในตัวถังเดียว เช่น 2,3 หรือ 4 ชุด อยู่ในตัวถังเดียว เช่น 1458 จะมีออปแอมป์แบบเดียวกับ 741 อยู่ถึง 2 ชุดในตัวถังแบบ DIP 8 ขา

### 11. ออปแอมป์เฉพาะทาง (Special Purpose Op-amps)

ถูกจำกัดความสามารถบางอย่างหรือสำหรับเป็นวงจรพิเศษ เช่น เบอร์ 302 เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส  $g_{ian} = 1$  มี 2 ชุด ในตัวถังเดียว

### 12. วงจรขยายเครื่องมือวัด (Instrumentation Amplifiers, IA)

เป็น Differential Amplifier มีการออกแบบวงจรเป็นพิเศษสำหรับเป็น IA โดยเฉพาะ ที่สามารถปรับอัตราขยายแรงดันได้ด้วยตัวต้านทานที่ต่อเพิ่มเติมภายนอก





จบ

