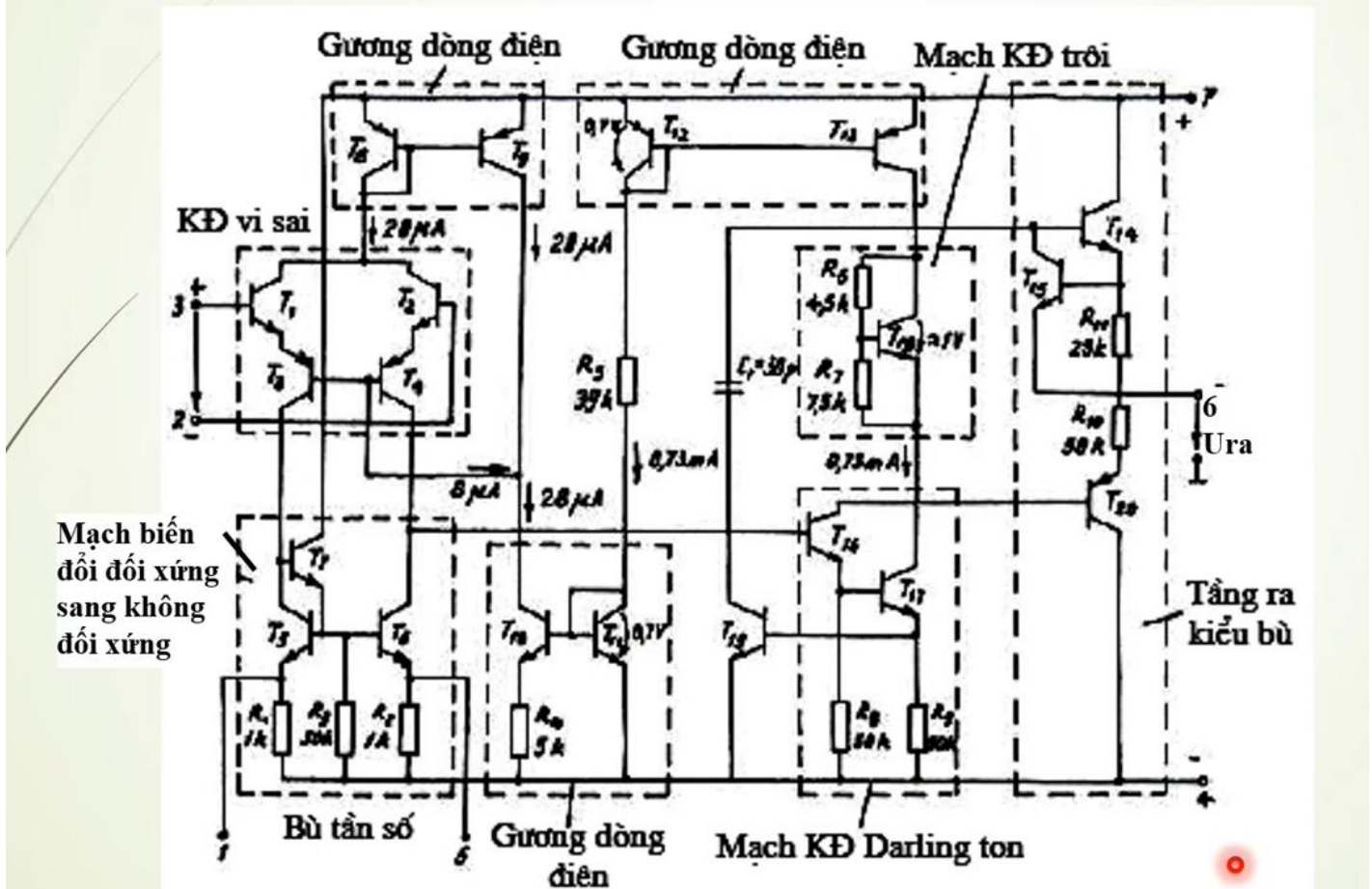


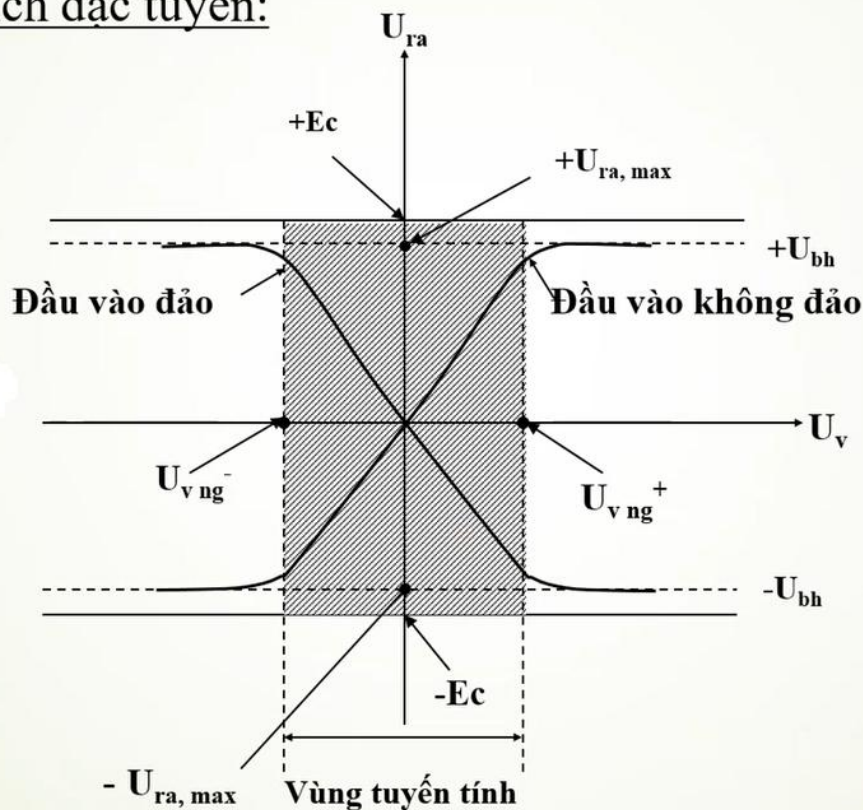
- 1) Điện áp vào - điện áp ra
- Cấu trúc của IC 741

### \* Sơ đồ cấu trúc của IC khuếch đại thuật toán $\mu A 741$



Dù đây là IC khá cũ rồi nhưng có thể thấy trong cấu trúc của một Op-Amp gồm khá nhiều BJT, hiện nay trong IC KĐTT gồm rất nhiều BJT, điều này nghĩa là cơ chế hoạt động của Op-Amp phụ thuộc rất nhiều vào BJT, cụ thể là khi cấp nguồn vào IC thì khi dòng đi vào sẽ lần lượt phân cực cho các BJT, khi ấy mỗi con BJT đều sẽ có 1 điểm làm việc tĩnh Q, khi cấp U<sub>vs</sub> vào mạch thì tín hiệu ấy sẽ chỉ dao động xung quanh điểm Q giúp cho mạch hoạt động ổn định. Khi cấp nguồn DC vào Op-Amp, Op-Amp sẽ không thể cho ra được điện áp lớn hơn nguồn đã cung cấp, ngoài ra trong Op-Amp còn gồm các điện trở, như vậy khi áp đi qua điện trở sẽ xảy ra hiện tượng phân áp từ đó, điện áp ra không chỉ không thể vượt được đến V<sub>cc</sub> mà thông thường sẽ bị hao đi một khoảng từ 1- 2 V. Mô tả bằng đặc tuyến sau :

## Giải thích đặc tuyến:



Ta có thể nhận diện được khoảng bị suy hao ở điện áp ra trong Datasheet bằng cách tìm  $V_{OH}$  - high level output voltage :

|                                    |                        |                        |            |                |   |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|------------|----------------|---|
| $V_{OH}$ High-level output voltage | $R_L \geq 2\ k\Omega$  |                        | 25°C       | $V_{CC} - 1.5$ | V |
|                                    | $R_L \geq 10\ k\Omega$ |                        | 25°C       |                |   |
|                                    | $V_{CC} = MAX$         | $R_L = 2\ k\Omega$     | Full range | 26             |   |
|                                    |                        | $R_L \geq 10\ k\Omega$ | Full range | 27 28          |   |

Ở đây nghĩa là khi  $V_{CC} < MAX$  ( ở đây  $MAX = 30V$  ) thì  $U_{ra}$  chỉ có thể đạt đến  $V_{CC} - 1.5$  (V) , hay nghĩa là khoảng bị suy hao đi chính là 1.5 V .

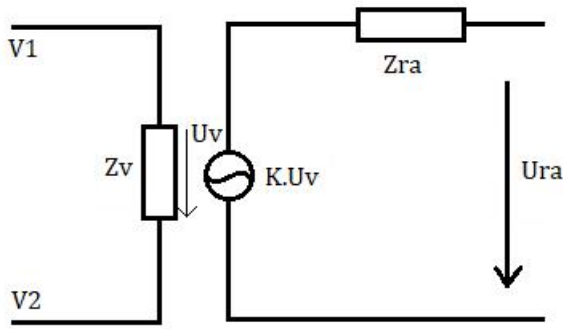
- Op-Amp rail to rail là Op-Amp giúp cho  $U_{bh}$  đạt đến gần  $V_{CC}$  nhất có thể .

## 2) Trở kháng vào , trở kháng ra của Op-Amp :

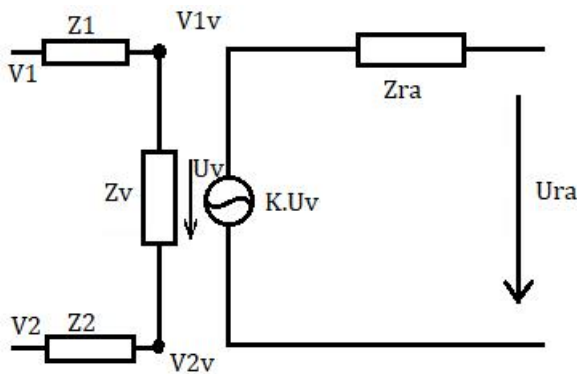
Khi nhắc đến Op-Amp khuếch đại thuật toán thì nguyên tắc sẽ luôn có trở kháng vào cao và trở kháng ra nhỏ

- Trở kháng vào cao ( với Op-Amp lý tưởng là bằng vô cùng ) giúp cho  $U_v$  không bị thay đổi khi cấp vào mạch , việc này giúp thuận tiện hơn khi không phải tính toán  $U_v$  sau khi thay đổi và tăng độ chính xác cho mạch :

Om-Amp có thể được coi là một nguồn áp phụ thuộc vào điện áp như hình sau :



Ta có thể thấy V1 , V2 khi đến Zv thì cần đi qua 1 đoạn dây , mỗi đoạn dây đều có điện trở riêng , khi ấy điện áp đi qua R1 , R2 sẽ bị thay đổi nên có thể coi mạch như sau :



Theo công thức phân áp , có

$$U_v = \Delta_v \frac{Z_v}{Z_1 + Z_2 + Z_v} = \Delta_v \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_1 + Z_2}{Z_v}}$$

Như vậy khi  $Z_v \rightarrow \infty$  đồng nghĩa với  $U_v \rightarrow \Delta_v$  , nghĩa là trở kháng vào càng cao , điện áp vi sai đầu vào càng bớt bị suy hao .

- Trở kháng đầu ra thấp ( lý tưởng là bằng 0 ) có thể giải thích đơn giản là sau khi khuếch đại  $U_v$  lên K lần thì áp sẽ đi qua trở kháng  $Z_{ra}$  , việc này sẽ gây ra suy hao điện áp đầu ra bằng  $U_{ra}$  , điều này đồng nghĩa với việc khi trở kháng ra bằng 0 thì sẽ không có sự suy hao điện áp sau khi khuếch đại , hay  $Z_{ra} \rightarrow 0$  thì

$$U_{ra} \rightarrow K.U_v.$$

- Tuy nhiên , trong thực tế thì không có khái niệm  $Z=0$  hay  $Z=\infty$  , vì vậy điện áp vào và điện áp ra sẽ có 1 số thay đổi .

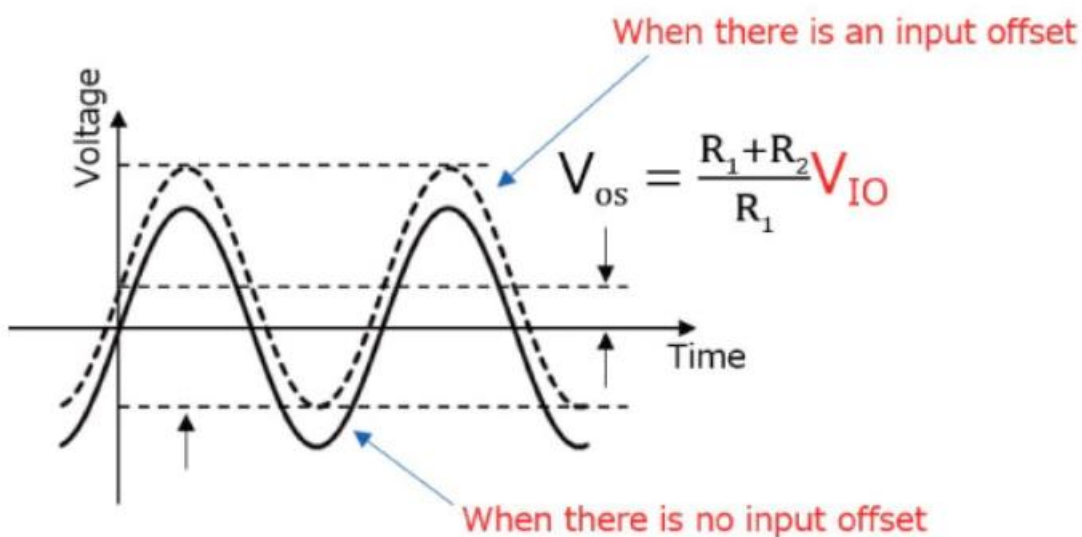
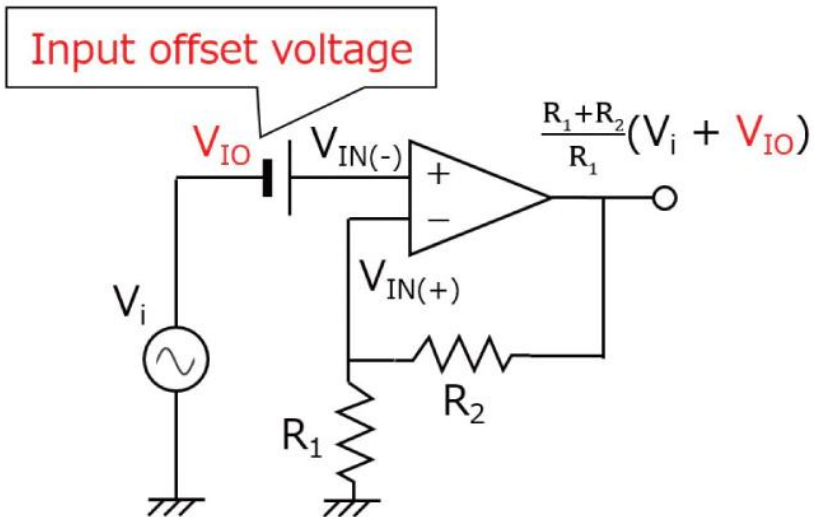
### 3 ) Offset

Bởi không có khái niệm  $Z=0$  hay  $Z=\infty$  , vì vậy điện áp vào và điện áp ra sẽ có một chút thay đổi , sự thay đổi so với lý tưởng , cụ thể là điện áp vào offset , dòng offset , và điện áp ra offset

- Điện áp vào offset

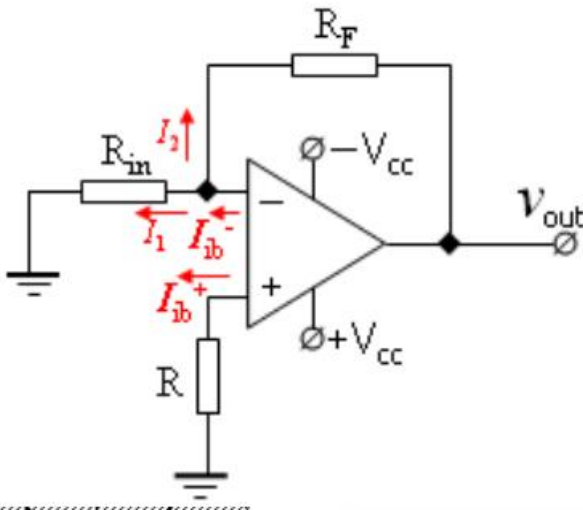
Khi chưa có nguồn  $V_i$  nào cho IC thì bản thân con IC đã có một chút điện áp lệch đầu vào rồi, điện áp lệch này được gọi là điện áp vào offset

Điện áp vào offset được biểu thị bằng một nguồn điện áp mắc nối tiếp với cực đầu vào dương hoặc âm (nó tương đương về mặt toán học theo cả hai cách).



- Dòng điện bù đầu vào :

Trong Op-Amps lý tưởng, do tổng trở ngõ vào vô cùng lớn do đó dòng phân cực ngõ vào bằng 0. Nhưng với Op-Amps thực tế thì không được như vậy, dòng điện ngõ vào vẫn tồn tại khá nhỏ (hàng trăm nA). Mặt khác do các linh kiện bên trong mạch không hoàn toàn đối xứng nên giá trị hai dòng này cũng không bằng nhau và lượng chênh lệch giữa chúng được gọi là dòng chênh lệch ngõ vào (input offset current). Minh họa qua hình sau :

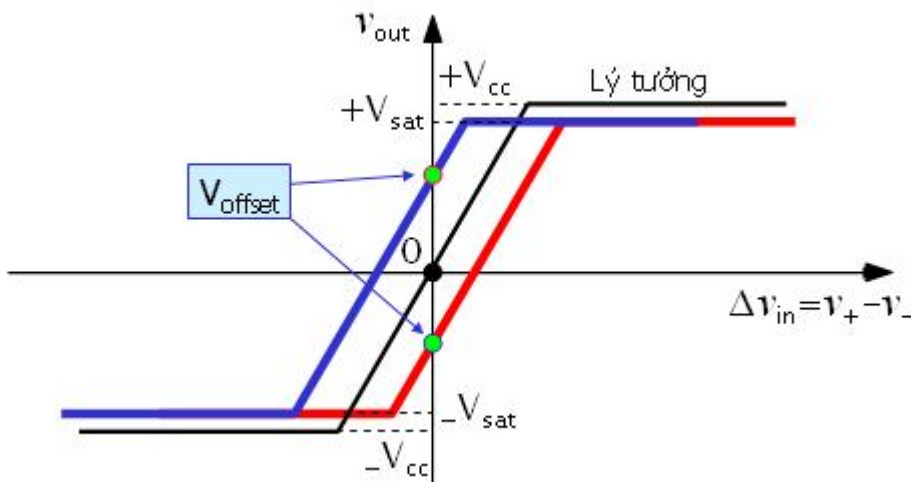


Dòng điện phân cực ngõ vào là giá trị trung bình của hai dòng nền ngõ vào.

$$I(\text{bias}) = \frac{I(\text{ib-}) + I(\text{ib+})}{2}$$

- Điện áp ra offset :

Trong Op-Amps lý tưởng khi  $\Delta V_{in}=0$  thì  $V_{out}=0$ . Nhưng với Op-Amps thực tế thì không được như vậy. Do các linh kiện bên trong mạch không hoàn toàn đối xứng, ảnh hưởng lớn nhất trong op-amps đó là mạch khuếch đại vi sai ở ngõ vào nên lúc này ngõ ra vẫn xuất hiện một điện áp khác 0, gọi là điện áp lệch không ngõ ra  $V_{offset}$  (output offset voltage).



- Trong Datasheet, có thể xem các thông số này với các ký hiệu tương ứng :

|          |                      |  |            |   |     |   |     |    |
|----------|----------------------|--|------------|---|-----|---|-----|----|
| $V_{IO}$ | Input offset voltage | $V_{CC} = 5 \text{ V to MAX,}$<br>$V_{IC} = V_{ICR(\text{min})},$<br>$V_O = 1.4 \text{ V}$ | 25°C       | 3 | 5   | 3 | 7   | mV |
|          |                      |  | Full range |   | 7   |   | 9   |    |
| $I_{IO}$ | Input offset current | $V_O = 1.4 \text{ V}$  | 25°C       | 2 | 30  | 2 | 50  | nA |
|          |                      |  | Full range |   | 100 |   | 150 |    |

$V_{oo}$  (  $V_{output\ offset}$  ) thì có thể được đo dễ dàng bằng cách cho hai chân âm và dương của KĐTT nối chung với đất , sau đó đo  $U_{ra}$  .

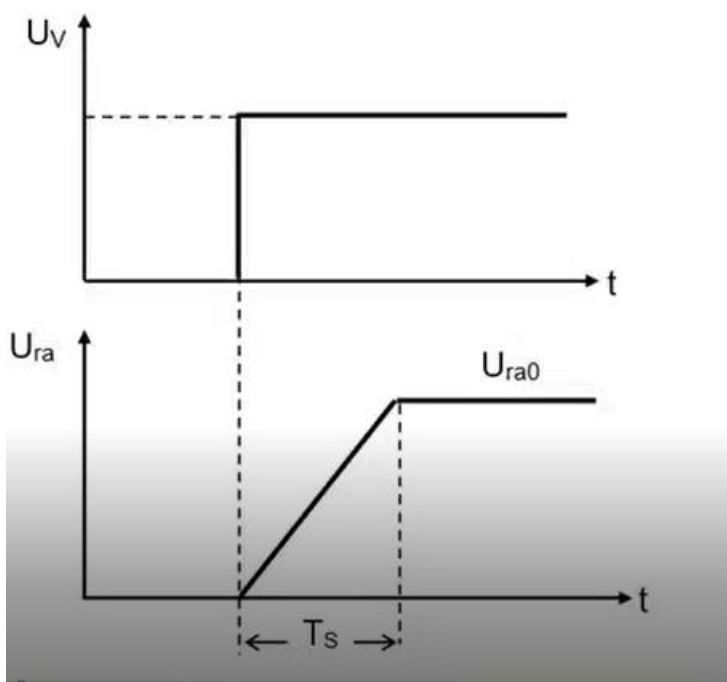
Điện áp ra offset được sinh ra bởi 2 yếu tố  $V_{IO}$  và  $I_{IO}$  :

$$U_{raoffset} = |U_{raoffset}(U_{Voffset})| + |U_{raoffset}(I_{Voffset})|$$

#### 4) Tốc độ

- Tốc độ đáp ứng đầu ra S - Slew Rate :

Tốc độ đáp ứng đầu ra khi đầu vào thay đổi . Về mặt lý tưởng thì khi đầu vào thay đổi đầu ra có thể thay đổi ngay theo đầu vào , nhưng thực tế thì sẽ mất một khoảng thời gian để đầu ra từ vị trí điện áp thấp nhất có thể đạt đến trạng thái điện áp cao nhất



$$s = \frac{U_{ra0}}{T_s} \Rightarrow \text{Thời gian đi lên } T_s = \frac{U_{ra0}}{s}$$

- Tốc độ biến đổi điện áp :

Điện thế của op-amp không thể tăng đột ngột lên trị số cao mà phải mất một thời gian đủ để điện áp đi từ tín hiệu thấp đến tín hiệu cao và ngược lại . Đặc tính này được đo bằng vận tốc tăng thế và có đơn vị là  $v/\mu s$

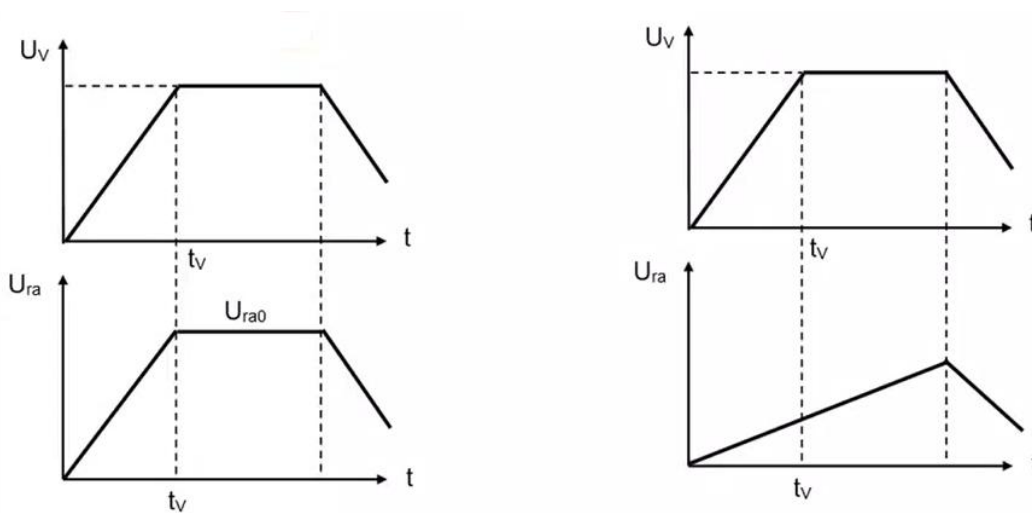
$$\text{Có } U_{ra} = K U_v$$



Chia cả 2 vế cho  $t_v$  có :  $\frac{U_{ra0}}{t_v} = \frac{K.U_v}{t_v}$

Tỷ số  $\frac{U_{ra}}{t_v}$  là giá trị đặc trưng cho đại lượng S với thời gian đi lên là  $t_v$

So sánh giá trị này với S . Nếu tốc độ đáp ứng  $S \geq \frac{K.U_v}{t_v}$  thì tín hiệu đầu ra đáp ứng kịp với tốc độ biến đổi của tín hiệu đầu vào , không bị giảm biên độ . Ngược lại nếu tốc độ đáp ứng  $S < \frac{K.U_v}{t_v}$  thì tín hiệu đầu ra không đáp ứng kịp với tốc độ biến đổi của tín hiệu vào nên biên độ sẽ bị giảm . Hai trường hợp này được mô tả như sau :



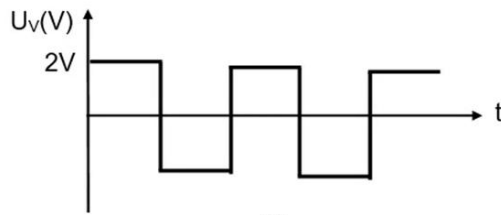
a) Trường hợp tốc độ biến thiên tín hiệu ra lớn hơn tốc độ biến thiên tín hiệu vào nên tín hiệu ra không méo dạng  

$$\frac{K U_v}{t_v} < S$$

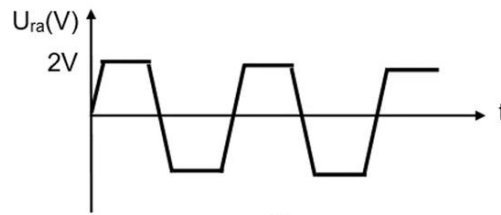
b) Trường hợp tốc độ biến thiên tín hiệu ra nhỏ hơn tốc độ biến thiên tín hiệu vào nên tín hiệu ra sẽ bị giảm biên độ và méo dạng so với tín hiệu vào  

$$S < \frac{K U_v}{t_v}$$

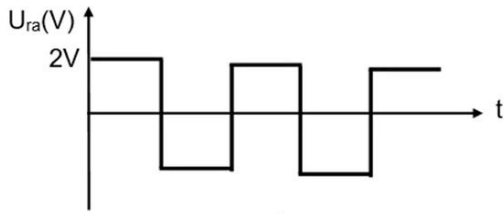
Ví dụ ảnh hưởng của tín hiệu đầu vào :



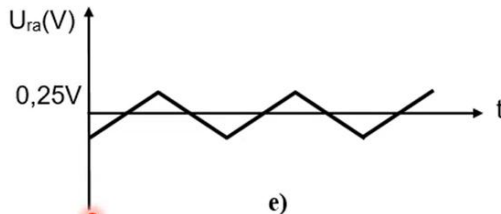
b)



d)



c)



e)

b) Dạng tín hiệu vào

c) Dạng tín hiệu ra khi  $f = 100\text{Hz}$

d) Dạng tín hiệu ra khi  $f = 10^4\text{Hz}$  e) Dạng tín hiệu ra khi  $f = 10^6\text{Hz}$

- Tần số cực đại của tín hiệu :

Tốc độ biến thiên cực đại của tín hiệu sẽ bằng :

$$\text{Có } \frac{dU_{ra}}{dt} = \frac{dU_m \cdot \sin(2\pi ft)}{dt} = 2\pi f \cdot U_m \cdot \cos(2\pi ft) \quad \text{với } U_{ra} = U_m \cdot \sin(2\pi ft)$$

Suy ra tốc độ biến thiên cực đại là :  $2\pi f \cdot U_m$

Giá trị này phải nhỏ hơn hoặc bằng S của KĐTT thì tín hiệu khuếch đại mới không bị biến dạng :  $2\pi f \cdot U_m \leq S$

Từ đây rút ra được tần số cực đại giới hạn bởi tốc độ đáp ứng là :

$$f_{smax} = \frac{S}{2\pi \cdot U_m} \quad (\text{Hz})$$

Từ đây ta thấy biên độ ra càng lớn thì tần số tối đa của mạch càng giảm

- Có thể tìm được tốc độ đáp ứng đầu ra ở Datasheet :

| PARAMETER |                         | TEST CONDITIONS  |  | MIN | MAX              |
|-----------|-------------------------|--|--|-----|------------------|
| SR        | Slew rate at unity gain | $R_L = 1 \text{ M}\Omega$ , $C_L = 30 \text{ pF}$ , $V_I = \pm 10 \text{ V}$<br>(see Figure 1) |  | 0.3 | V/ $\mu\text{s}$ |

## 5) Tích dải thông độ lợi vòng hở - Gain Bandwidth Product

- Độ rộng dải tần là mức chênh lệch giữa tần số cao nhất và thấp nhất có trên một kênh truyền thông. Phạm vi tần số này được đo bằng hertz

Tần số đơn vị  $f_1$  : là tần số mà tại đó hệ số khuếch đại giảm còn bằng 1

Tần số cắt  $f_c$  : là tần số mà tại đó hệ số khuếch đại giảm đi  $\sqrt{2}$  lần

- Độ lợi vòng hở  $K_0$  trên Datasheet :

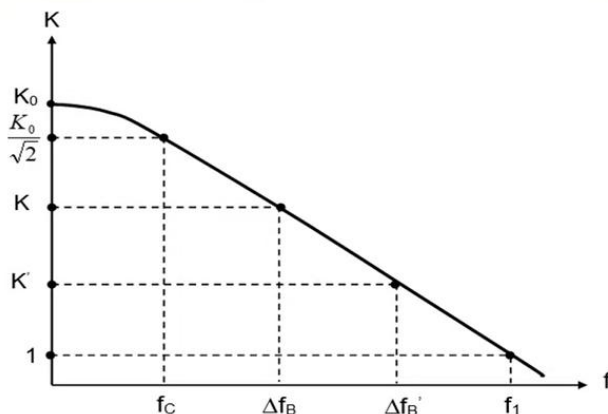


|          |   |   |            |    |     |      |
|----------|---|---|------------|----|-----|------|
| $A_{VD}$ | Large-signal differential voltage amplification | $V_{CC} = 15\text{ V},$<br>$V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V},$<br>$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ | 25°C       | 25 | 100 | V/mV |
|          |   |   | Full range | 15 |     |      |

Nghĩa là điện áp ra tăng 100 V trên mỗi mV , từ đó tính được độ lợi điện áp vòng hở là  $K_0 = \frac{100}{0.001} = 100.000$

- Tích dải thông độ lợi vòng hở - Gain Bandwith Product : với một mạch khuếch đại , giá trị này không đổi

$$GBP = \text{Hệ số khuếch đại} \times \text{Dải thông} = \text{Constant} = K \times \Delta f_B = 1 \times f_1$$

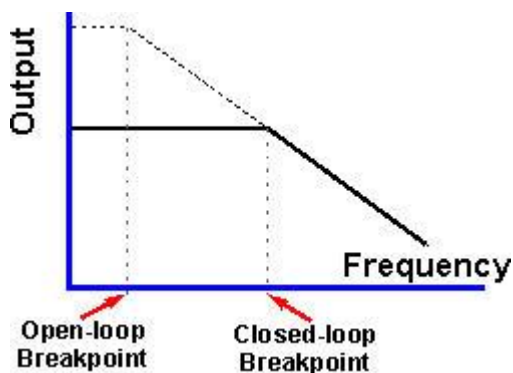


-> Trong Datasheet : .

|       |                      |   |     |     |
|-------|----------------------|---|-----|-----|
| $B_1$ | Unity-gain bandwidth | $R_L = 1\text{ M}\Omega, C_L = 20\text{ pF}$ (see Figure 1) | 0.7 | MHz |
|-------|----------------------|---|-----|-----|

Có thể tính  $f_c$  bằng cách :  $f_c = \frac{GBP}{\frac{K}{\sqrt{2}}}$

- Đáp ứng tần số : với hệ số khuếch đại vòng kín



Thường thì thiết kế hệ số khuếch đại vòng kín nhỏ hơn hoặc bằng 1/10 hệ số khuếch đại vòng hở để mở rộng hệ số  $f_c$  ( vùng khuếch đại ổn định )  
 Với hệ số khuếch đại vòng kín thì  $f_c$  có thể tính toán tùy theo mạch .

- Giải thích hiện tượng tần số càng cao thì hệ số khuếch đại càng giảm :  
 Hiện tượng tự ký sinh : khi có 2 dòng điện chạy song song với nhau thì nếu  $f$  càng cao thì sẽ tạo ra điện từ trường => đẩy dòng điện chạy từ dây này sang dây bên kia . Hiện tượng này cũng tương tự với một con tụ bình thường là tần số càng cao thì dung kháng càng thấp  
 Bản thân con KĐT gồm rất nhiều linh kiện rất bé, bản thân nó cũng khá nhỏ nên xảy ra hiện tượng tự ký sinh dòng điện chạy qua xung quanh

6) Tỷ số nén mode chung CMRR , hay tỷ số loại trừ nhiễu chung  
 Trong thực tế mạch khuếch đại luôn có nhiễu  $U_{vc}$  vào cả 2 đầu ( trường hợp mắc mạch Op-Amp theo kiểu mode chung ) , nghĩa là mạch sẽ khuếch đại cả tín hiệu nhiễu theo hệ số khuếch đại mode chung  $K_c$   
 Từ đó  $U_{ra}$  trong thực tế được tính bằng công thức :  

$$U_{ra} = K_{vs} \cdot U_{vvs} + K_c \cdot U_{vc}$$

Tỷ số nén mode chung CMRR thể hiện tương quan giữa độ khuếch đại tín hiệu vi sai cần quan tâm và độ khuếch đại mode chung

Có  $CMRR = \frac{K_{vs}}{K_c}$

Tính bằng đơn vị dB :  $CMRR = 20 \log_{10} \left( \frac{K_{vs}}{K_c} \right)$

( CMRR thường rất lớn từ khoảng 70-120 dB)

CMRR càng lớn thì khả năng IC tách được tín hiệu nhiễu càng lớn

Tuy nhiên vì tần số càng cao độ lợi càng nhỏ , nên tần số càng cao CMRR cũng thay đổi , cụ thể là nhỏ đi

- Hệ số nén mode chung trong Datasheet :

| voltage amplification |                             | RL ≤ 1kΩ   |  | Temperature |    | Typical |       | dB |
|-----------------------|-----------------------------|--|--|-------------|----|---------|-------|----|
| CMRR                  | Common-mode rejection ratio | V <sub>CC</sub> = 5 V to MAX,<br>V <sub>IC</sub> = V <sub>ICR(min)</sub> |  | 25°C        | 70 | 80      | 65 80 |    |