



Bản Sơ thảo

BÀI GIẢNG CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

CHƯƠNG 5

Vi mạch tương tự

GV: GVC-TS. Trần Anh Vũ

Khoa Điện tử

Trường Điện - Điện tử

Email: vu.trananh@hust.edu.vn

Nội dung chương

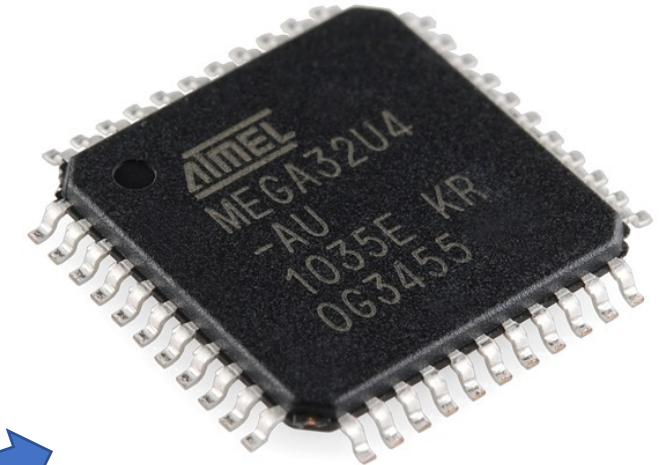
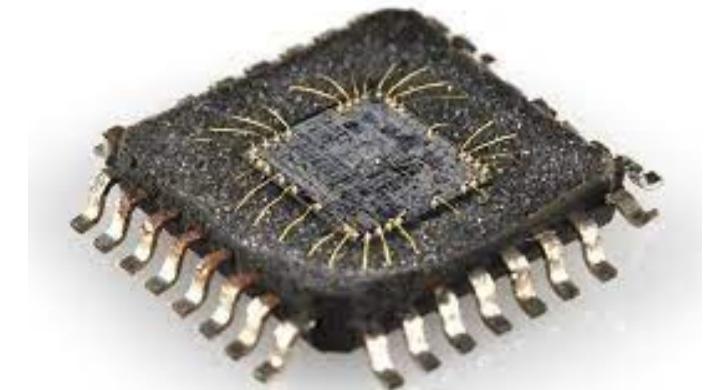
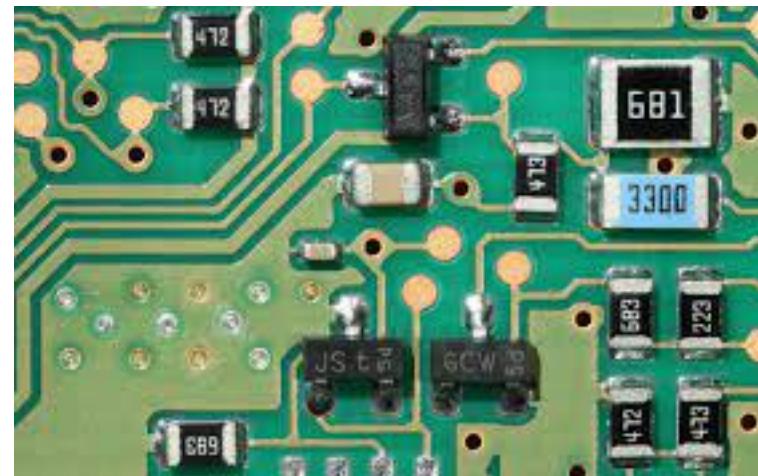
Bản Sơ

1. Giới thiệu vi mạch tương tự
2. IC khuếch đại thuật toán
3. IC khuếch đại vi sai
4. IC khuếch đại đo
5. IC so sánh

Vi mạch là gì?

Bản
Vi
Số

- Vi ~~số~~ nhỏ ↗ vi mạch = mạch nhỏ 😊
- Là mạch điện hoàn chỉnh, được thu nhỏ, rồi đóng trong cùng 1 vỏ, thành 1 thẻ thống nhất
- Vi mạch = mạch tích hợp = IC (Integrated Circuit)



Giới thiệu vi mạch tương tự

Bản

- Tín hiệu “tương tự” (analog) là gì? => Là tín hiệu liên tục cả về thời gian và biên độ.
- Các tín hiệu khác là gì? => Là tín hiệu rời rạc:
 - Tín hiệu lấy mẫu: rời rạc hóa về mặt thời gian
 - Tín hiệu lượng tử hóa: rời rạc về mặt biên độ
 - Tín hiệu số: rời rạc hóa cả về thời gian và biên độ
- Vi mạch tương tự (analog IC) là gì? => Là các IC làm việc với tín hiệu tương tự.
- Các loại khác là gì?
 - Vi mạch số (digital IC): làm việc với tín hiệu số
 - Vi mạch hỗn hợp (mixed signal IC): cả tương tự và số

Giới thiệu vi mạch tương tự

Bản so

• Vi mạch tương tự thông dụng:

- IC khuếch đại: KĐ thuật toán, KĐ vi sai, KĐ đo, KĐ công suất, KĐ tạp âm thấp, ...
- IC so sánh tương tự
- IC ổn áp tuyến tính
- IC lọc tương tự, IC dao động, IC điều chế
- ...

Nội dung chương

Bản ^{1. Sơ} l

Giới thiệu vi mạch tương tự

2. IC khuếch đại thuật toán
3. IC khuếch đại vi sai
4. IC khuếch đại đo
5. IC so sánh

IC khuếch đại thuật toán

Bản
số

Giới thiệu IC khuếch đại thuật toán

- Cấu tạo và nguyên lý làm việc
- Các mode tín hiệu vào
- Đặc tuyến của KĐTT
- Các tham số của KĐTT
- KĐTT có vòng hồi tiếp âm
- Các thông số giới hạn khác

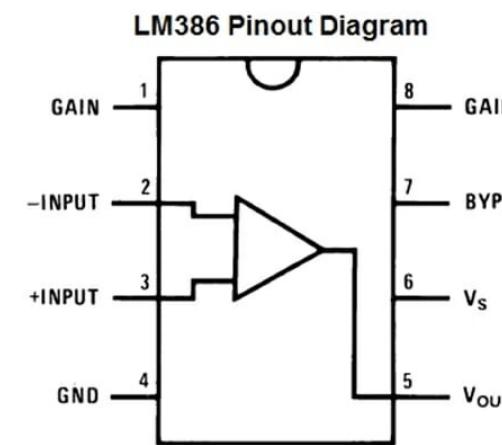
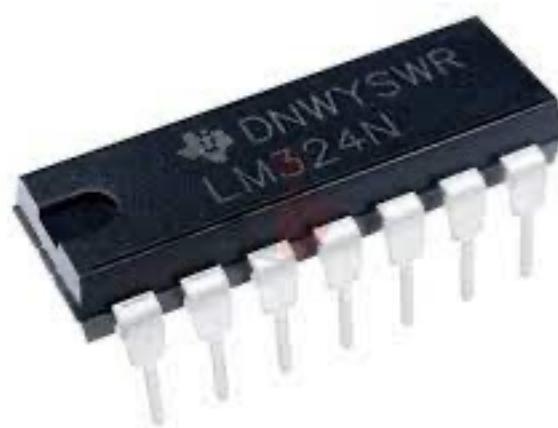
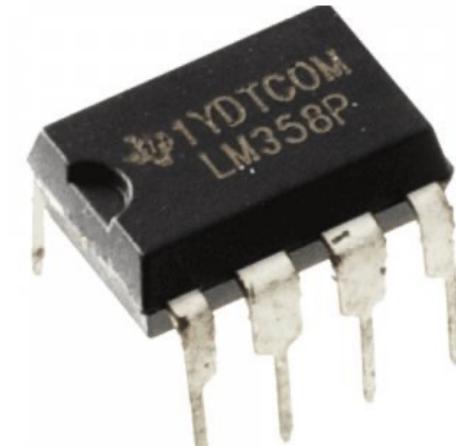
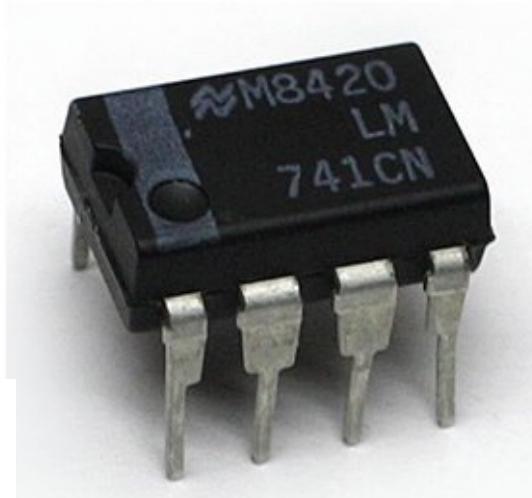
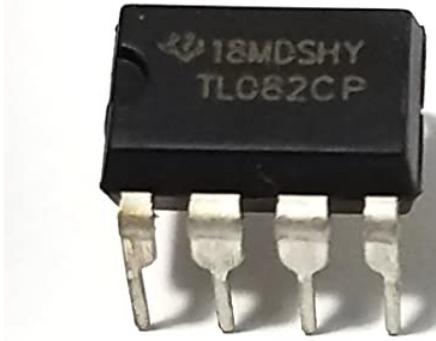
Giới thiệu IC khuếch đại thuật toán

Bản
so

- Là một vi mạch tương tự, vừa khuếch đại được tín hiệu và vừa thực hiện được một số phép toán với tín hiệu như: cộng, trừ, loga, đối loga, tích phân, vi phân,... => gọi là IC khuếch đại thuật toán = Operational amplifier (Op-Amp)
- Ngày nay KĐTT vô cùng thông dụng vì:
 - ✓ Đặc tính khuếch đại rất tốt
 - ✓ Rất dễ sử dụng
 - ✓ Rất phong phú và đa dạng
 - ✓ Giá thành rất rẻ
- Có hệ số khuếch đại lớn, trở kháng vào cao ($\text{vài } M\Omega$); trở kháng ra nhỏ ($< 100\Omega$).

Giới thiệu IC khuếch đại thuật toán

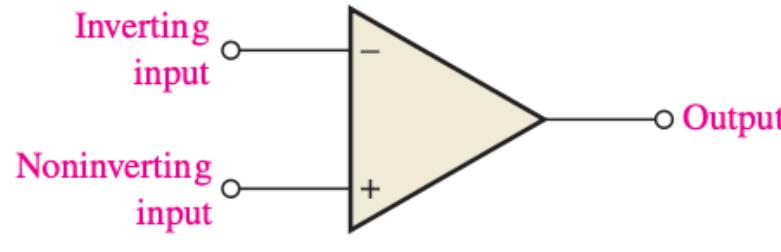
• IC khuếch đại thuật toán thông dụng



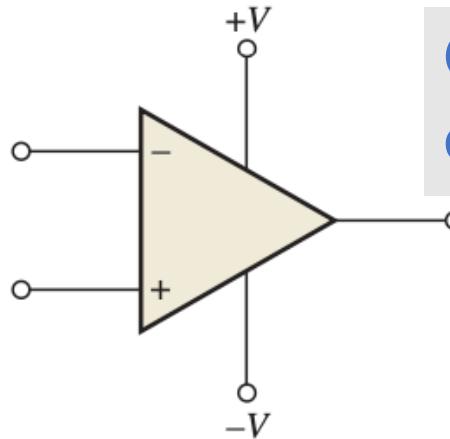
Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Có 2 đầu vào: đảo (N) và không đảo (thuận, P) và 1 đầu ra

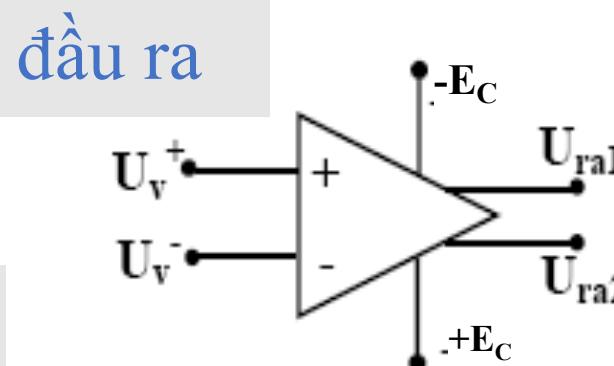
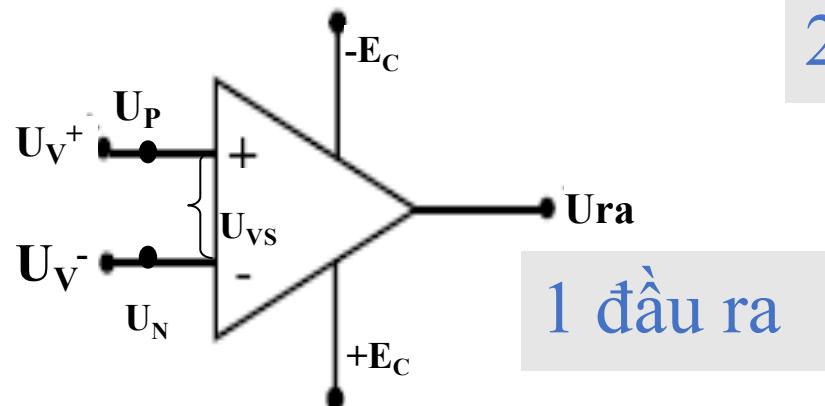
Bản



(a) Symbol



(b) Symbol with dc supply connections



Có chỉ rõ
chân nguồn

Thông thường các khuếch
đại thuật toán được nuôi
bằng nguồn lưỡng cực.
Hiện nay, với sự phát triển
của các thiết bị di động,
các mạch khuếch đại thuật
toán dùng nguồn đơn, điện
áp thấp đang được phát
triển mạnh.

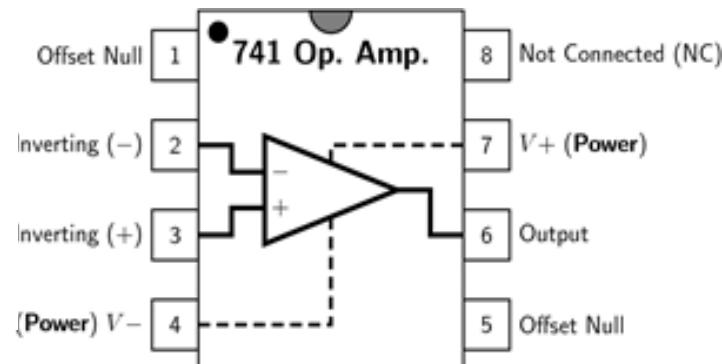
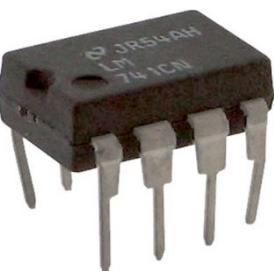
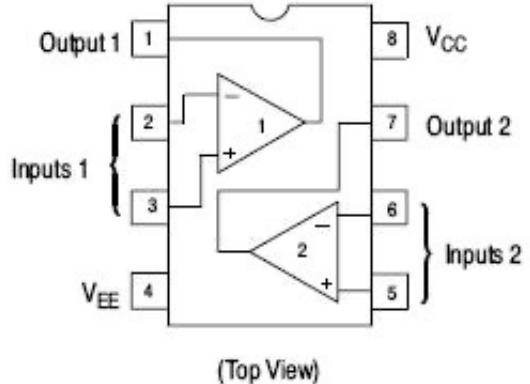
Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Một số ki
Bản sô

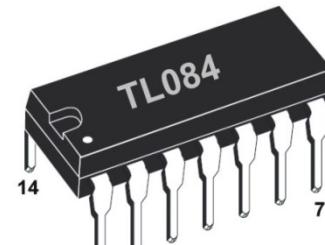
kiểu bố trí chân

LM833

PIN CONNECTIONS

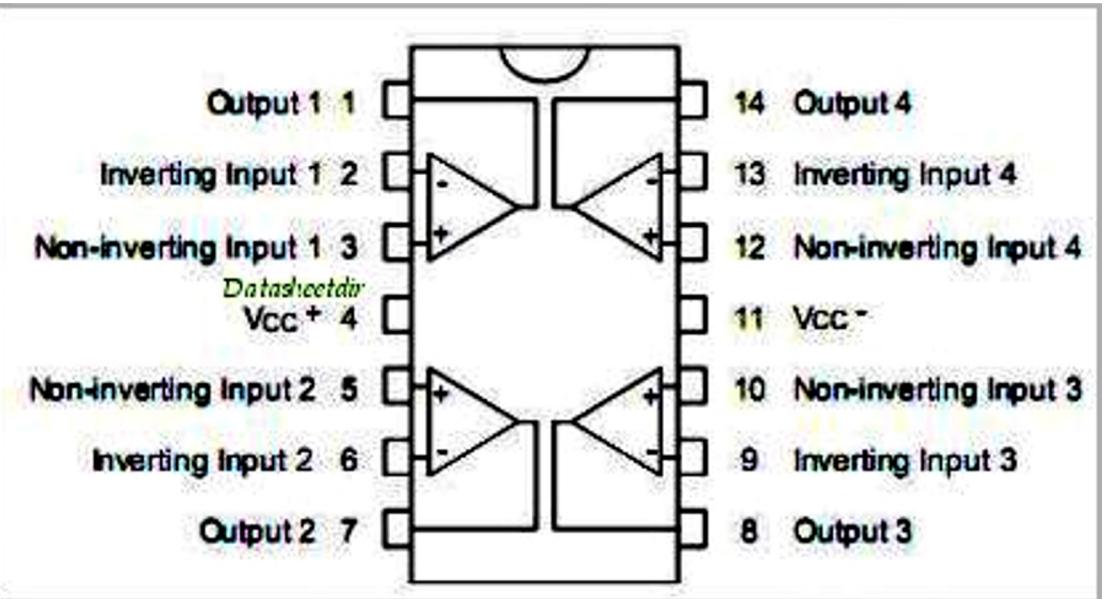


Sơ đồ chân của vi mạch
thuật toán 8 chân, 01 phần
tử khuếch đại



www.kitelectronic.wordpress.com

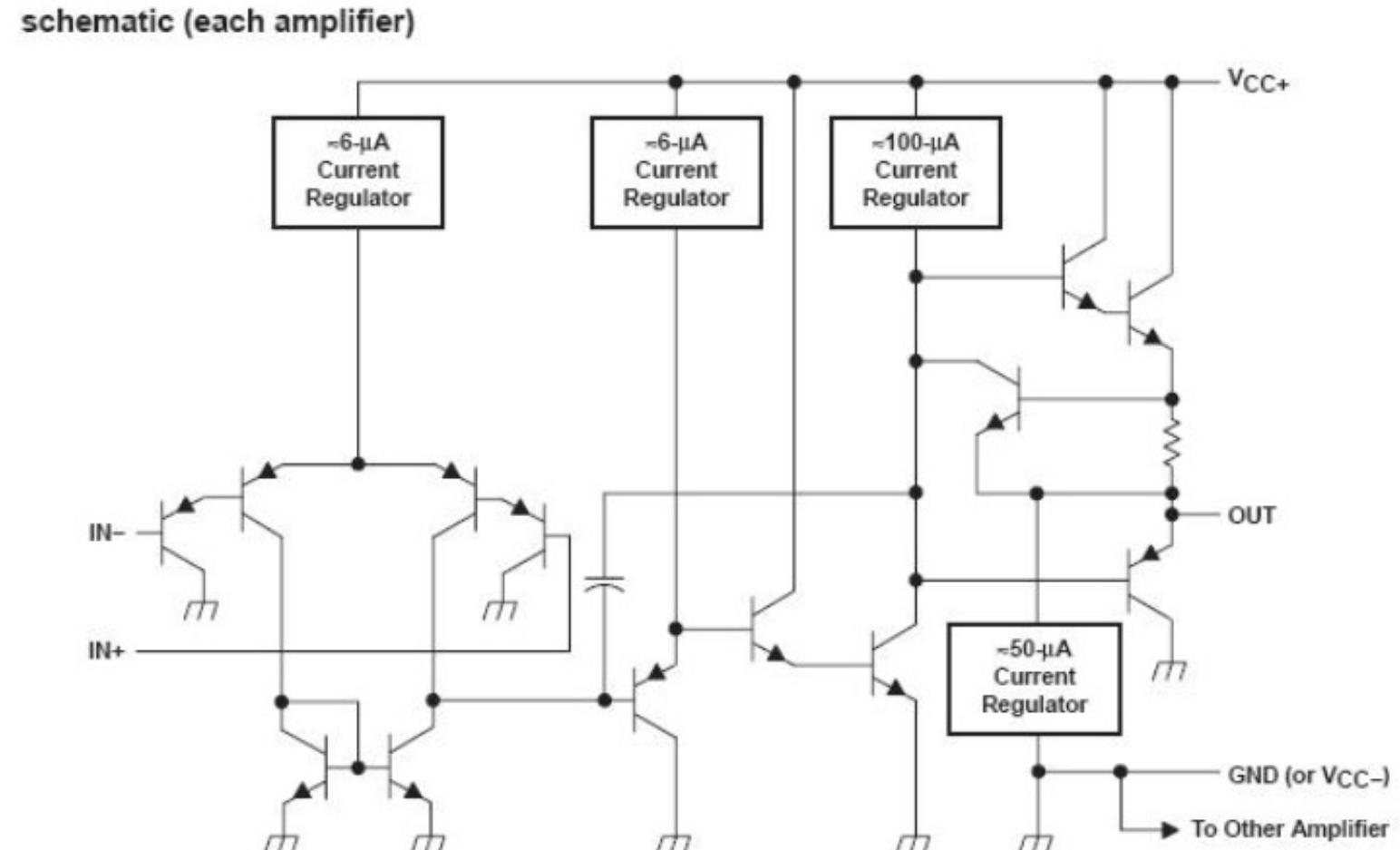
DIP-14



Cấu tạo và nguyên lý làm việc

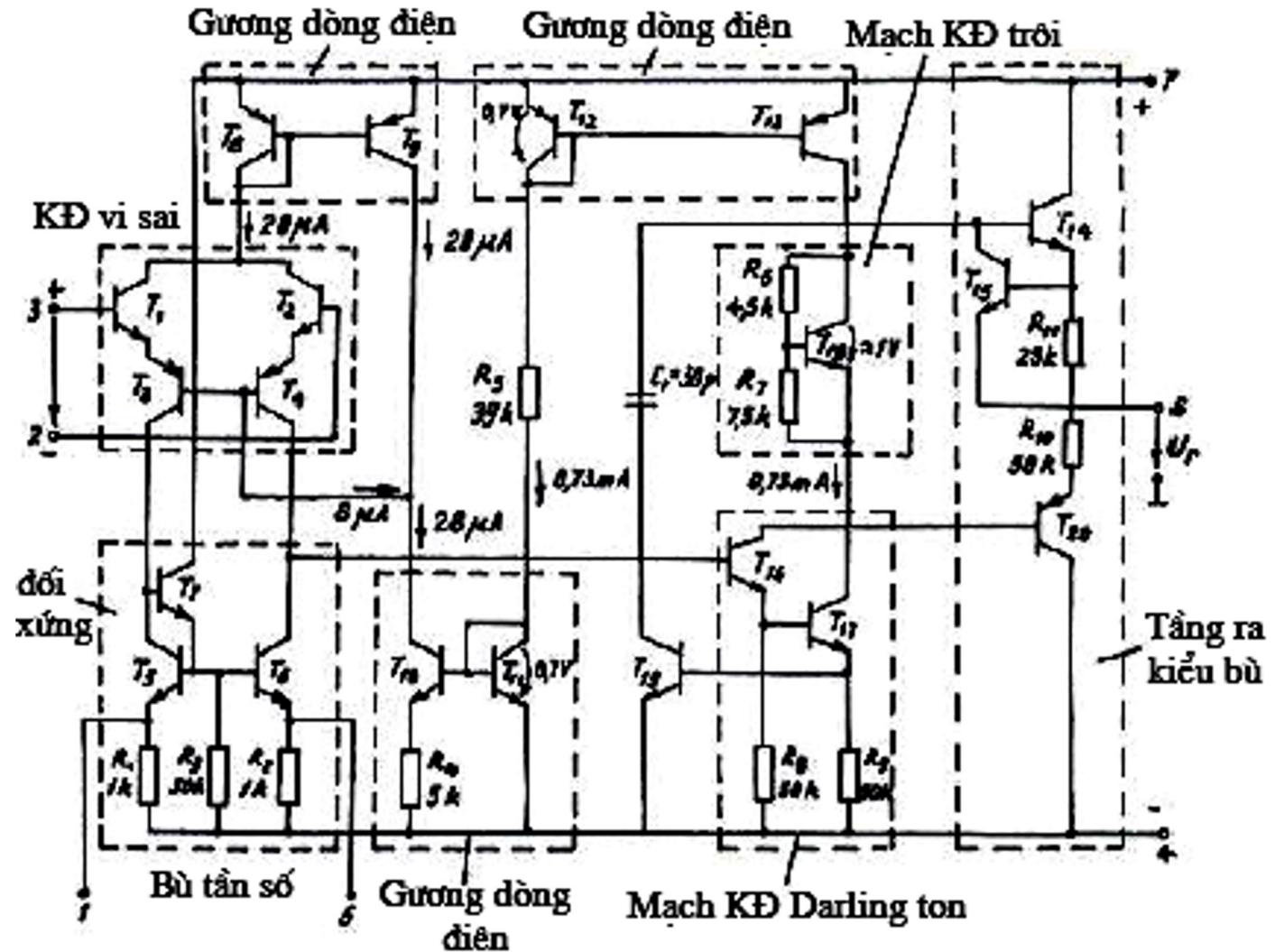
- Bản ~~sơ~~ Cấu tạo thực chất
của KĐTT: Là một
hệ mạch phức tạp
gồm nhiều tầng
khuếch đại

- Ví dụ trong LM358:
 - ✓ BJT: 51
 - ✓ FET: 1
 - ✓ Diode: 2
 - ✓ Điện trở: 7
 - ✓ Tụ điện: 2



Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Bản* Sơ đồ cấu trúc của
IC khuếch đại thuật
toán μA 741

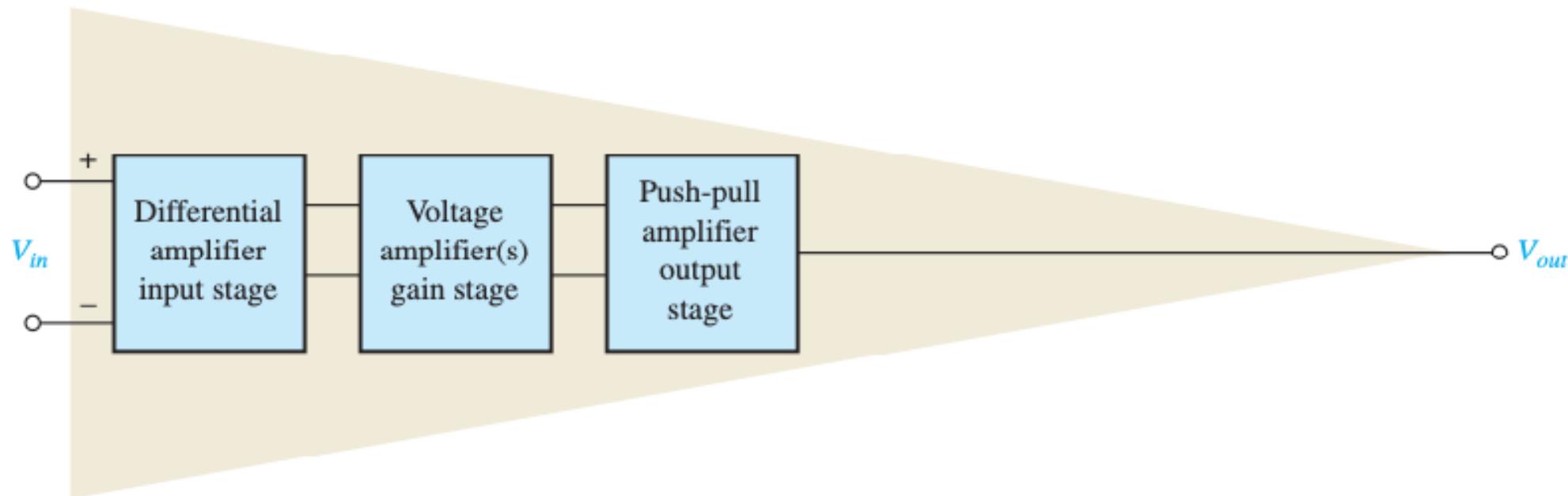


Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Bản
sơ
tóm
tắt

Gồm các tầng cơ bản sau:

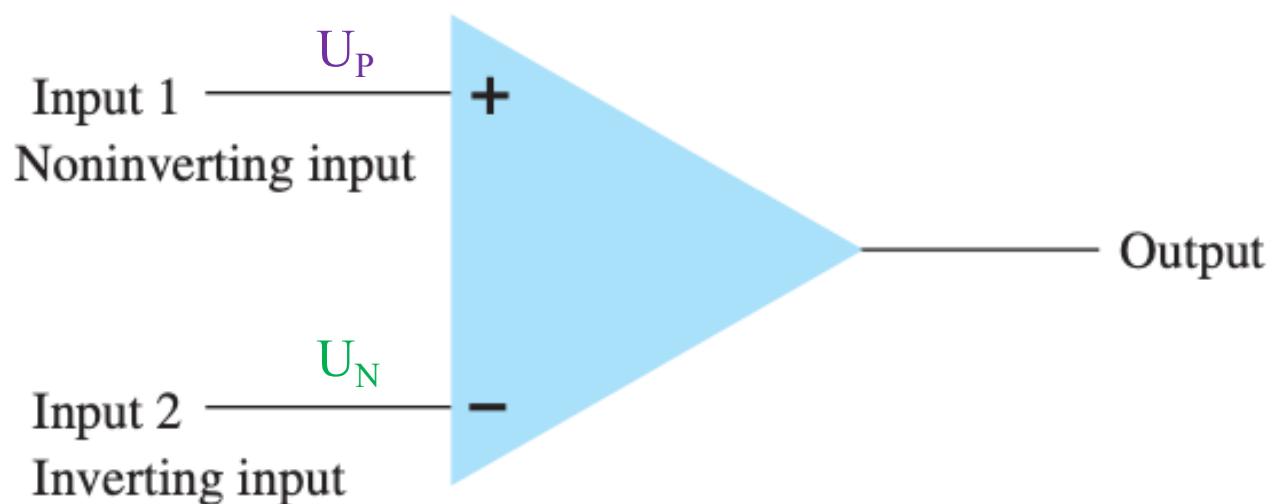
- ✓ Khuếch đại vi sai: ngay đầu vào
- ✓ Khuếch đại điện áp: trung gian, thường là nhiều tầng
- ✓ Khuếch đại dây-kéo: đầu ra



Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Bản
sơ
tóm

- Mạch vi sai: khuếch đại chênh lệch điện áp giữa hai đầu vào ($U_P - U_N$) với Z_{in} rất lớn
- Tầng trung gian: tiếp tục khuếch đại điện áp để tạo hệ số K (A_V) rất lớn
- Tầng đẩy-kéo: khuếch đại công suất với Z_{out} rất nhỏ

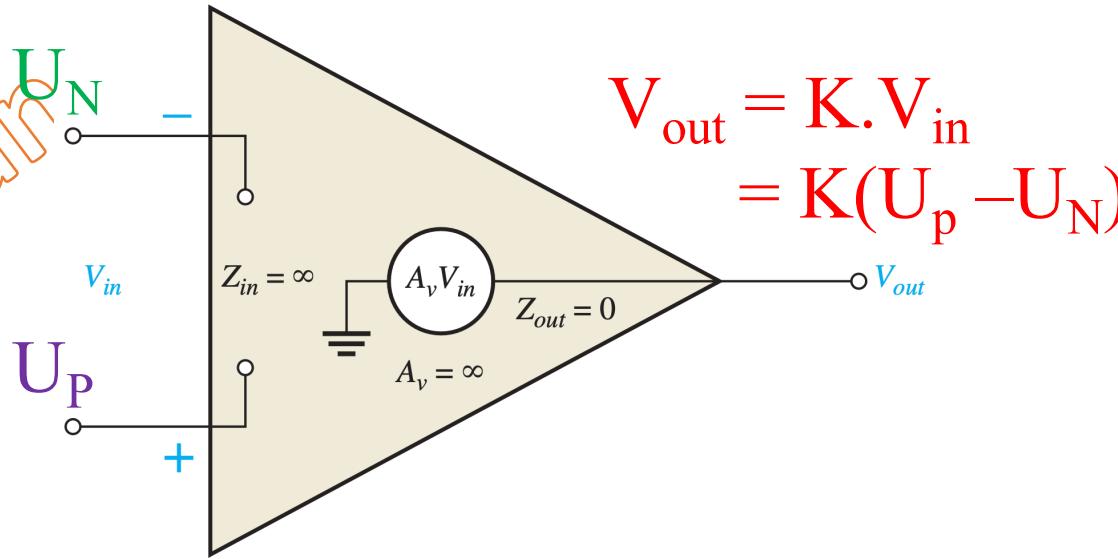


U_N : điện áp đầu vào đảo, tạo điện áp đầu ra ngược pha với tín hiệu đầu vào

U_P : điện áp đầu vào không đảo, tạo điện áp đầu ra cùng pha với tín hiệu đầu vào

Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Bản ~~đơn~~



- KĐTT lý tưởng:

- ✓ $Z_{in} = \infty \Rightarrow i_{in} = 0$
- ✓ $K = \infty \Rightarrow \dots ?$
- ✓ $Z_{out} = 0 \Rightarrow \dots ?$

- KĐTT thực tế:

- ✓ Không lý tưởng
- ✓ Có lệch, méo, phi tuyến, giới hạn tốc độ, v.v.
- ✓ Đầu ra: $U_{out} \approx K_{vs}[(U_p - U_N) + U_{os}] + K_c(U_p + U_N)/2$

Là hệ số
KĐ Av

Điện áp lệch đầu
vào ($\text{c}\text{o}\text{ }\mu\text{V-mV}$)

Điện áp mode
chung (rất nhỏ)

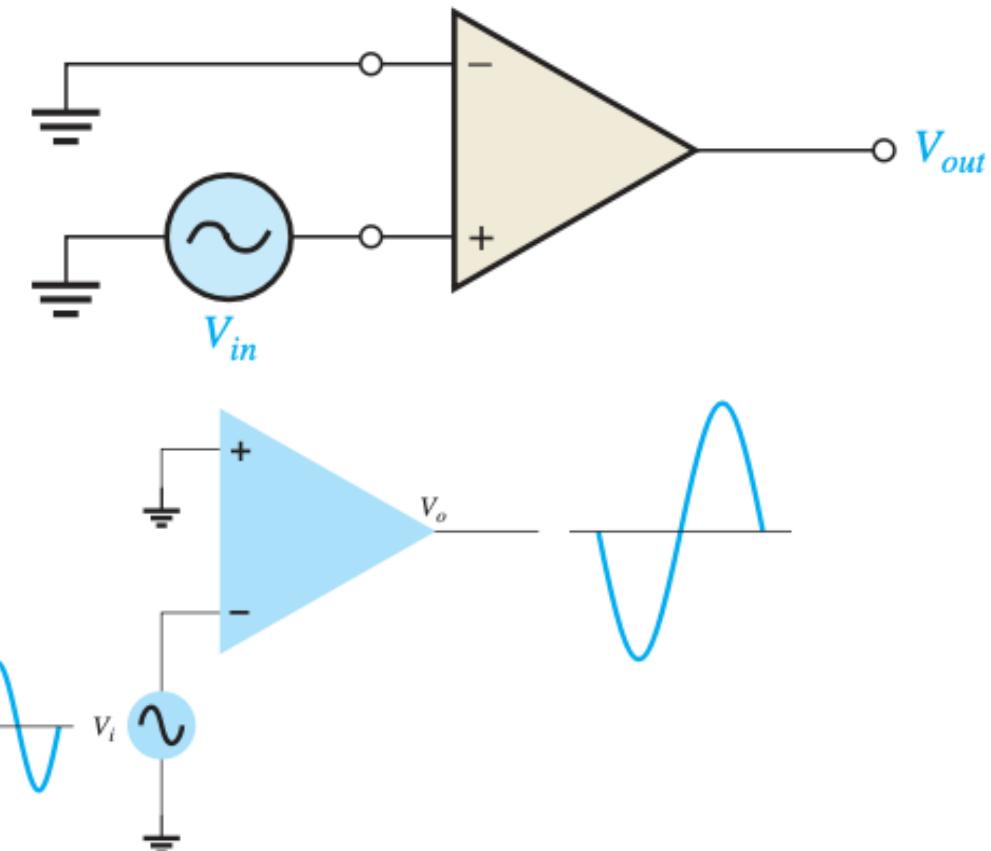
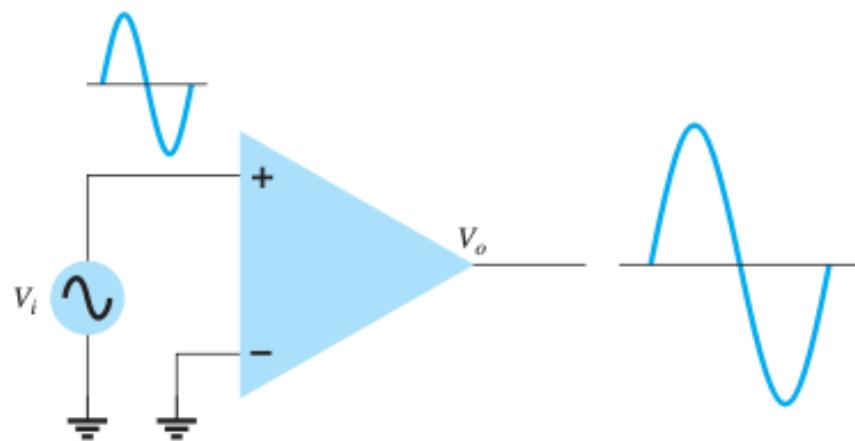
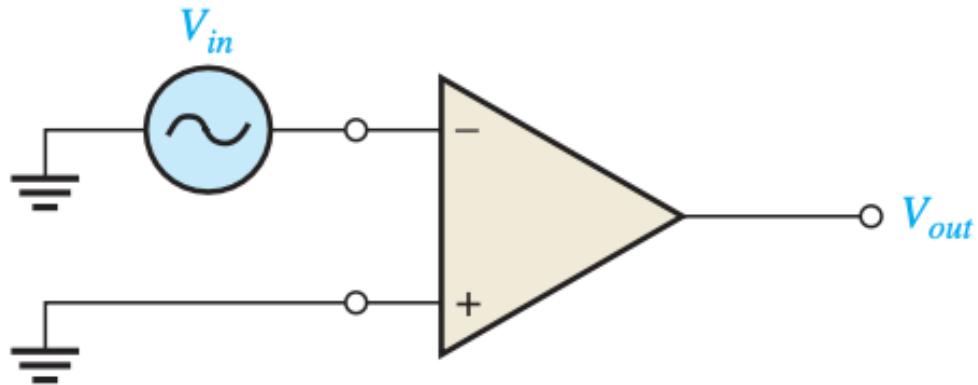
Các cách mắc (mode) tín hiệu vào

Bản•Có 2 “mode”:

- Mode vi sai (differential mode) => là tín hiệu cần k/đại
 - ✓ Single-ended
 - ✓ Double-ended
- Mode chung (common-mode) => thường là tín hiệu vô ích, cần loại bỏ

Cách măc đầu vào đơn

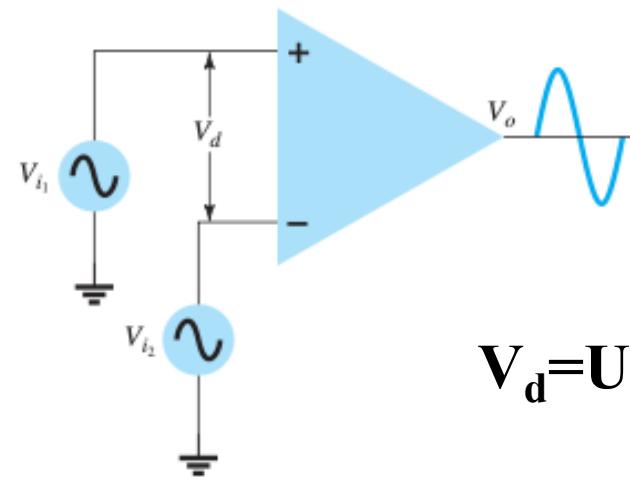
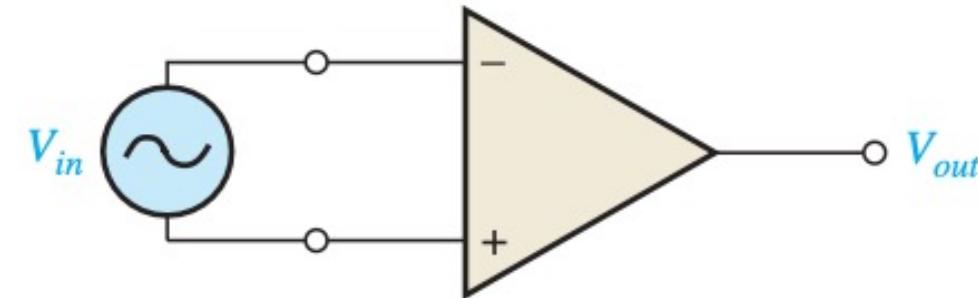
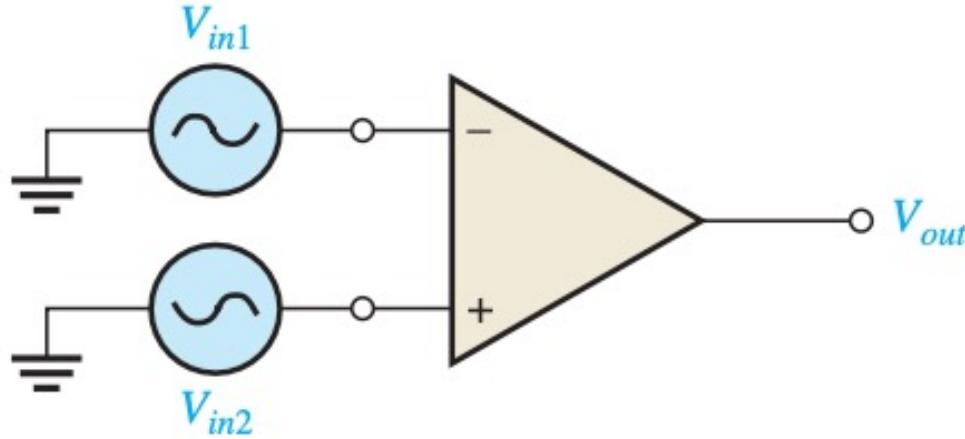
- Bản • Kiểu “single-ended”



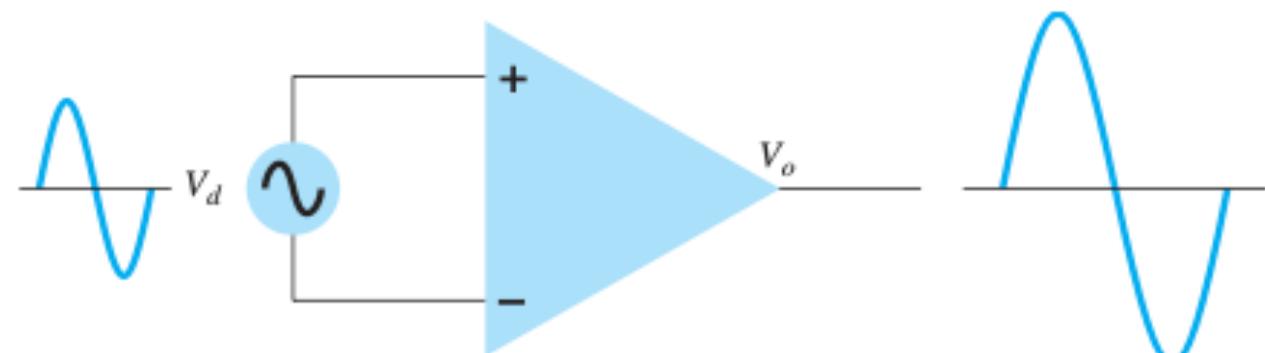
Cách măc đầu vào vi sai

- Kiểu “double-ended”: 2 đầu vào đảo pha, có thể bằng nguồn đơn

Bản

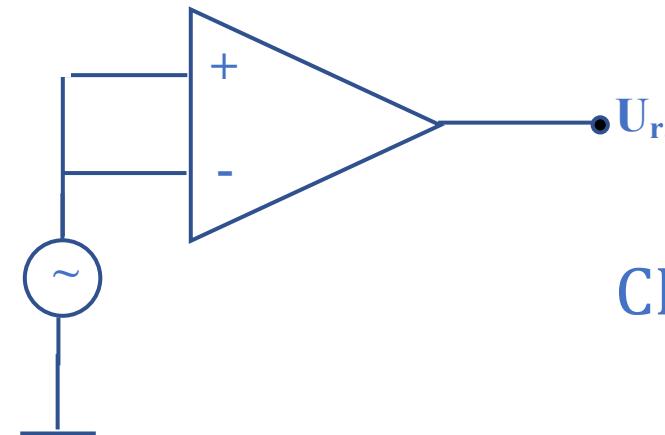
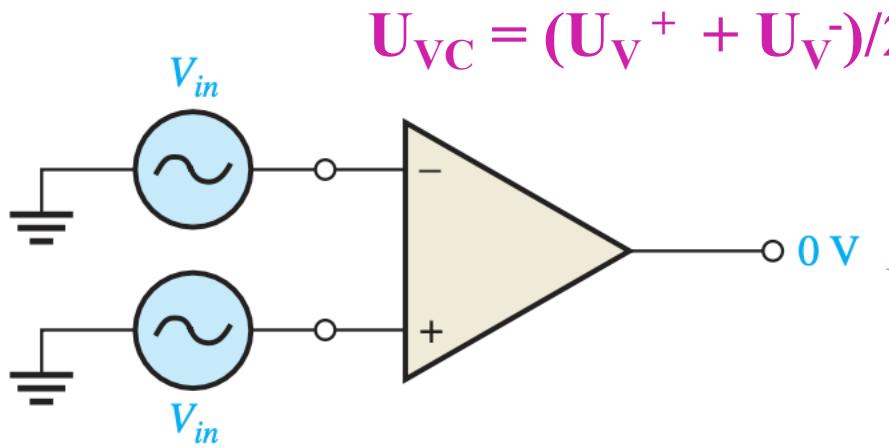


$$V_d = U_{VVS} = U_{V1} - U_{V2}$$



Cách mắc tín hiệu vào mode chung

- Bản so
- Common mode (mode chung): 2 tín hiệu vào đồng pha
 - Lý tưởng: $U_{out} = 0$ với mọi điện áp vào mode chung
 - Thực tế: gây thay đổi nhỏ ở đầu ra. Ảnh hưởng này càng nhỏ thì bộ khuếch đại càng gần với lý tưởng
- => Định nghĩa tỷ số nén mode chung (Common-Mode Rejection Ratio – CMRR)



$$\text{CMRR} = \frac{K_{VS}}{K_C}$$
$$\text{CMRR} = 20 \log \frac{K_{VS}}{K_C} (\text{dB})$$

Ví dụ

có thảo

IC 741 có CMRR là 80 dB. Hệ số khuếch đại vi sai là 106 dB. Hãy xác định hệ số khuếch đại kiểu mode chung.

Bản
Giải:

Biết CMRR = 80 dB tương đương với giá trị 10^4

Hệ số khuếch đại vi sai: $K_{VS} = 106$ dB tương đương khoảng 2×10^5 .

Hệ số khuếch đại mode chung $K_C = 20$ rất nhỏ so với hệ số khuếch đại vi sai $K_{VS} = 2 \times 10^5$.

Tín hiệu lồi vào vi sai và tín hiệu lồi vào đồng pha

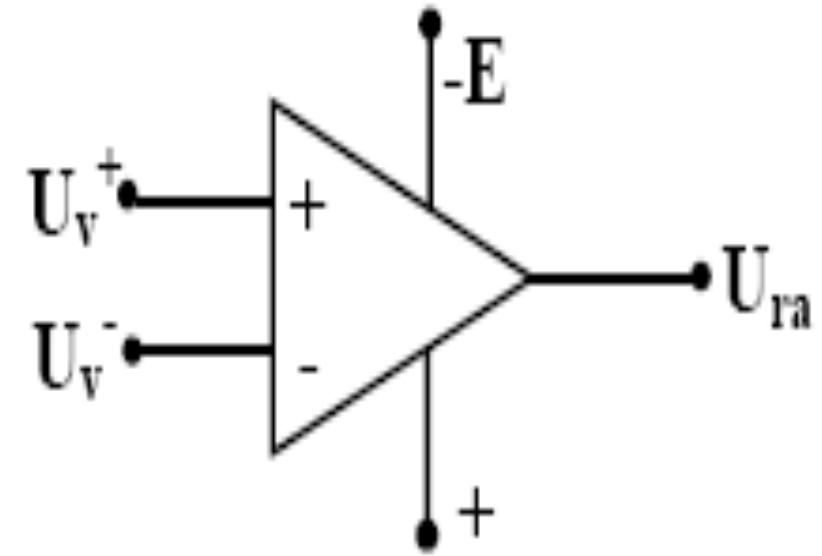
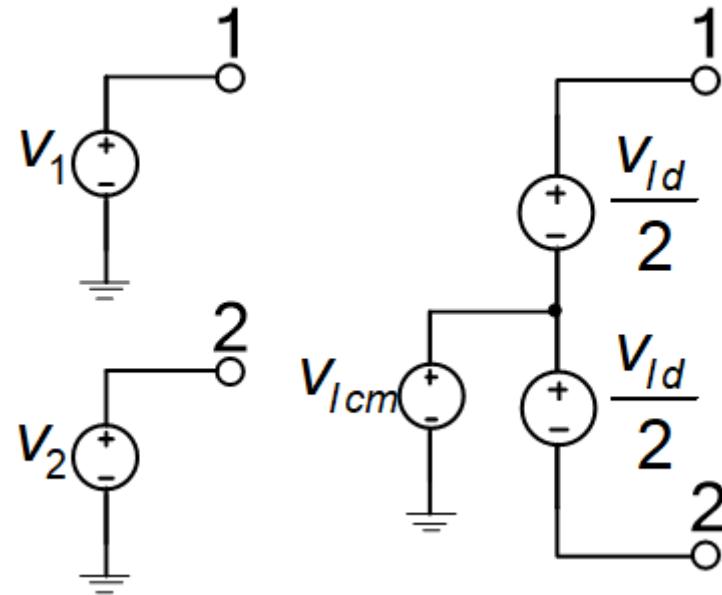
Bản V_{Id} = $V_1 - V_2$

$$V_{Icm} = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$$

hay

$$V_1 = V_{Icm} + \frac{V_{Id}}{2}$$

$$V_2 = V_{Icm} - \frac{V_{Id}}{2}$$



Tín hiệu ra

Bản số

Là hệ số KĐ Av

Điện áp lệch đầu vào (cỡ μ V-mV)

Điện áp mode chung (rất nhỏ)

$$U_{ra} = K_{vs}[(U_P - U_N) + U_{os}] + K_c(U_P + U_N)/2$$

$$U_{ra} = K_{vs}U_{vvs} + K_cU_{vc}$$

Trong đó: K_{vs} : hệ số KĐ vi sai của mạch (rất lớn)

U_{vvs} : Điện áp vào vi sai

K_c : hệ số KĐ mode chung (rất nhỏ)

U_{vc} : Điện áp vào mode chung

Đặc tuyến của KĐTT

Bản
số

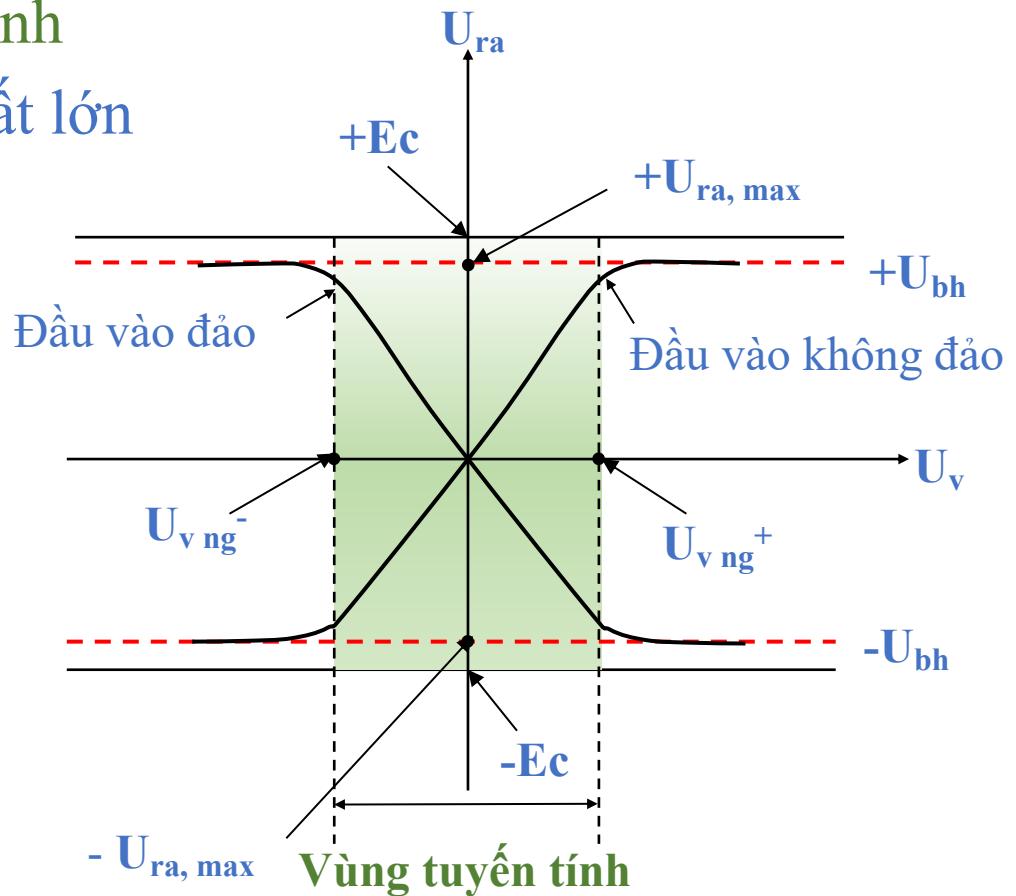
- Đặc tuyến biên độ:

- ✓ Có 2 vùng: vùng bão hòa và vùng tuyến tính
- ✓ Thực tế: vùng tuyến tính cực hẹp do K_{vs} rất lớn

- Đặc tuyến biên độ $U_{ra} = f(U_v)$

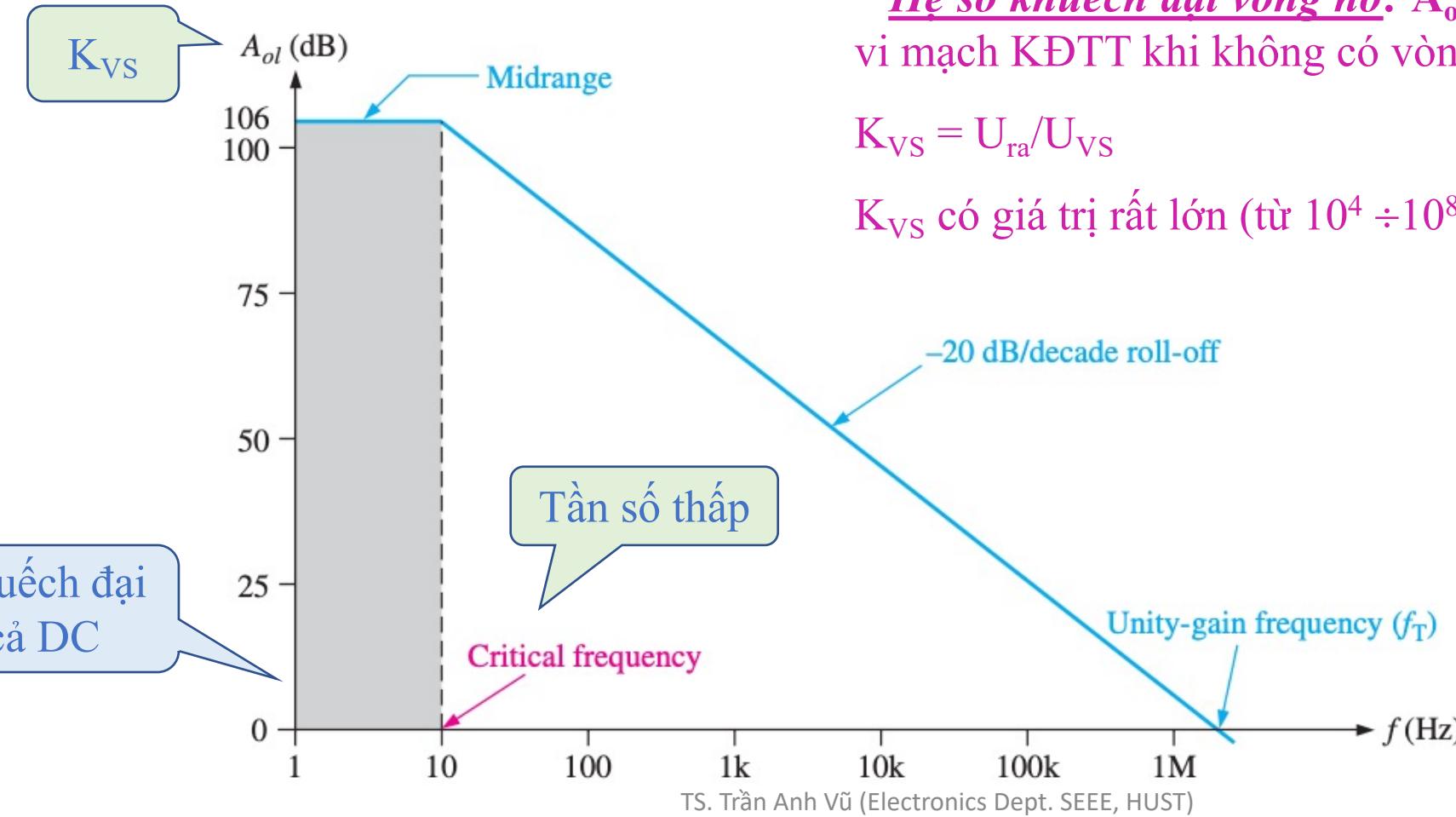
(Xét đặc tuyến của vi mạch KĐTT
dùng nguồn đối xứng)

$$|U_{bh}| = |U_{ra, \max}| = E_c - 1 \div 2V$$



Đặc tuyến của KĐTT

Bản số



* Hệ số khuếch đại vòng hở: A_{ol} là hệ số khuếch đại của vi mạch KĐTT khi không có vòng hồi tiếp nào, $A_{ol} = K_{vs}$.

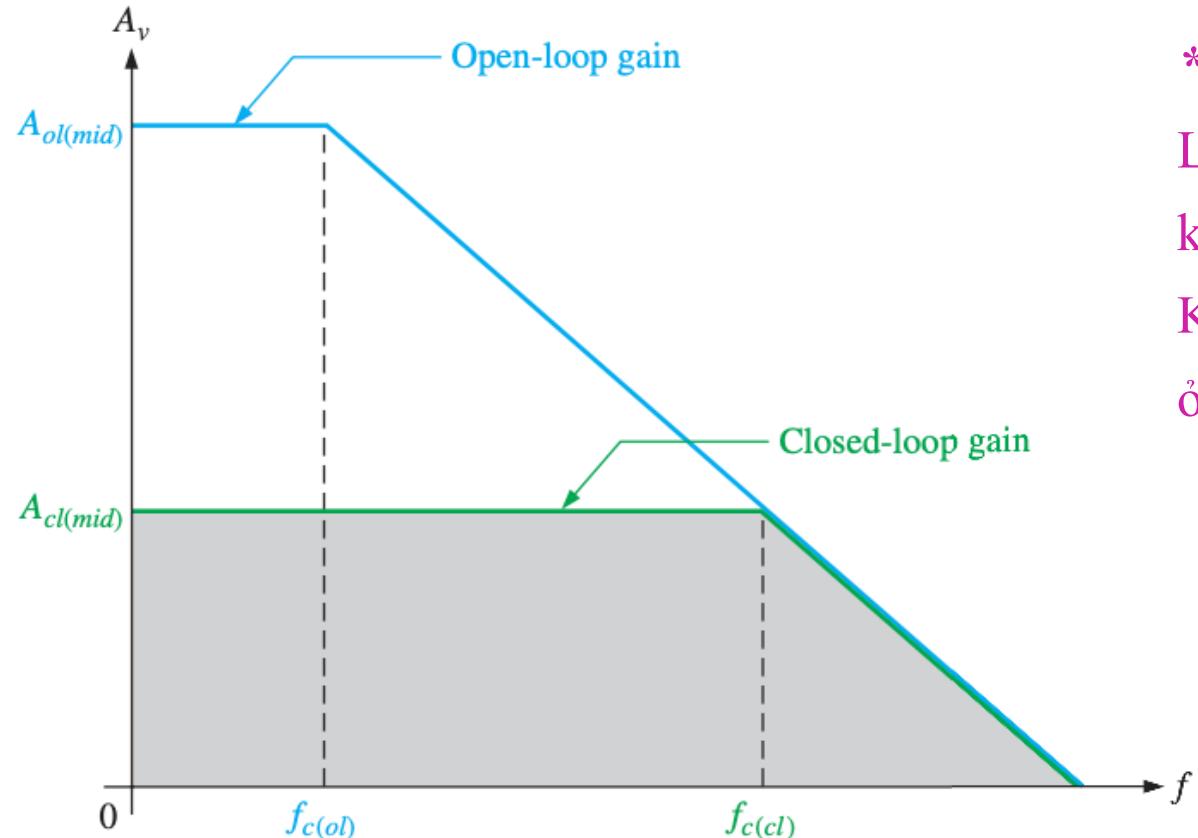
$$K_{vs} = U_{ra}/U_{vs}$$

K_{vs} có giá trị rất lớn (từ $10^4 \div 10^8$) và không ổn định

Đặc tuyến của KĐTT

Bản Sổ

- Đặc tuyến biên độ - tần số: Đáp ứng tần số (frequency response) có thể được cải thiện đáng kể nếu có vòng hồi tiếp => closed-loop



* Hệ số khuếch đại vòng kín: A_{cl}

Là hệ số KĐ của mạch khi có hồi tiếp, có thể ký hiệu là K

K thường được tính bởi tỉ số giữa các điện trở ở mạch ngoài.

Các tham số của KĐTT

Bản
so

• Hệ số khuếch đại vòng hở (open-loop gain):

- ✓ Chính là K_{vs} khi chưa có vòng hồi tiếp
- ✓ Rất lớn và không ổn định
- ✓ Thông thường $K_{vs} = 10^4 \div 10^8$, càng lớn càng tốt

• CMRR:

- ✓ Đặc trưng cho khả năng triệt nhiễu mode chung khi khuếch đại tín hiệu vi sai
- ✓ $CMRR = 60 \div 170(*)$ dB (càng lớn càng tốt)

(*) VD: OPA189 có K_{vs} đến 170 dB, CMRR đến 168 dB

Các tham số của KĐTT

Bản
so

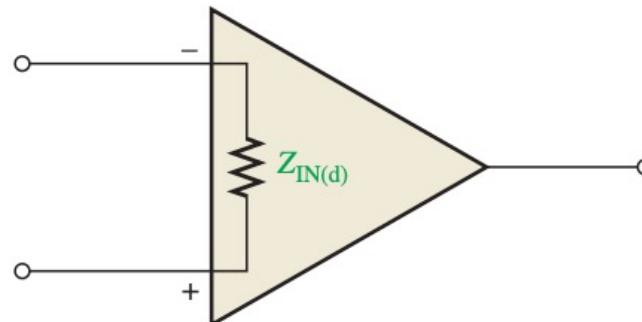
- Điện áp ra cực đại (output voltage swing) $U_{o(p-p)}$

- ✓ Lý tưởng: $\pm E_c$
 - ✓ Thực tế: $< |E_c|$, giá trị cụ thể phụ thuộc từng loại IC

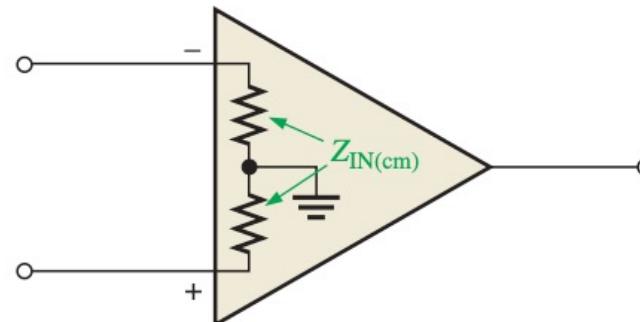
- Điện áp lệch đầu vào (input offset voltage) U_{os} :

- ✓ $V_{os} = I_1 R_{in} - I_2 R_{in} = (I_1 - I_2) R_{in} = I_{os} R_{in}$
 - ✓ Còn gọi là điện áp vào lệch 0

- Trở kháng vào (input impedance)



(a) Differential input impedance



(b) Common-mode input impedance

- Trở kháng vào vi sai là
trở kháng giữa 2 đầu vào
- Trở kháng vào mode
chung là trở kháng giữa
mỗi đầu vào với đất, đo
bởi dòng phân cực

Các tham số của KĐTT

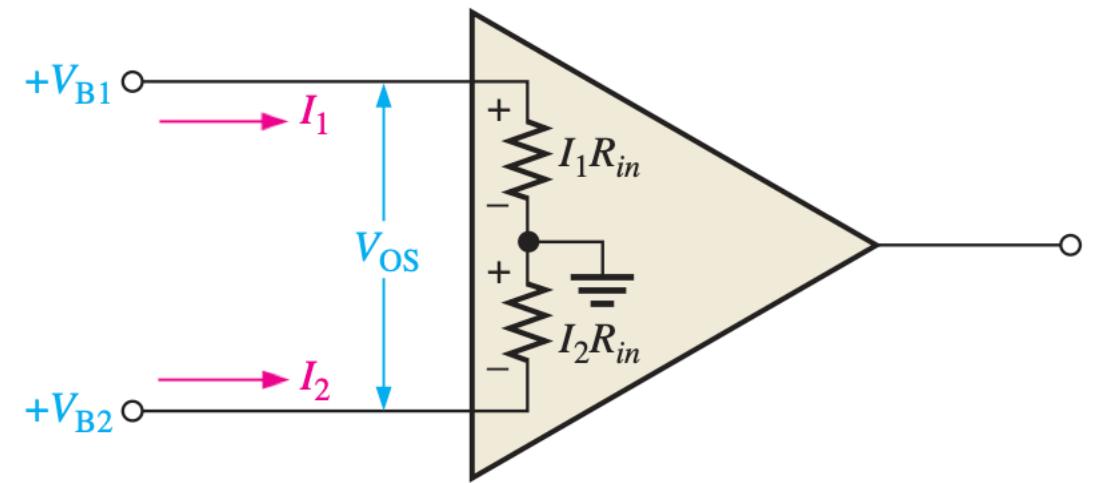
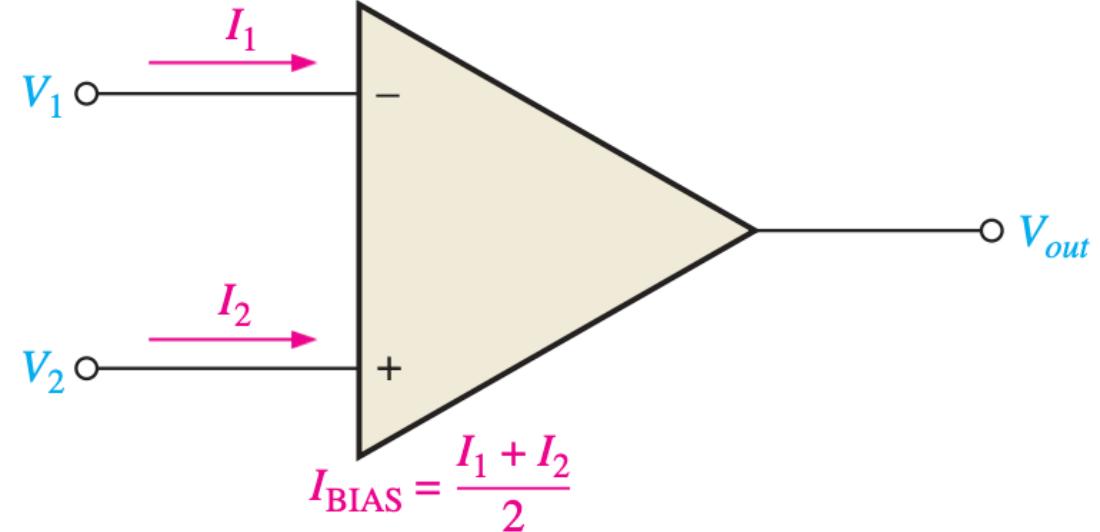
Bản sao

- Dòng phân cực đầu vào (input bias current) I_b

- ✓ Chính là dòng I_B (của BJT) hoặc I_G (của FET) trong tầng khuếch đại vi sai ở đầu vào bộ KĐTT
- ✓ Độ lớn: $I_b = (I_1 + I_2)/2$

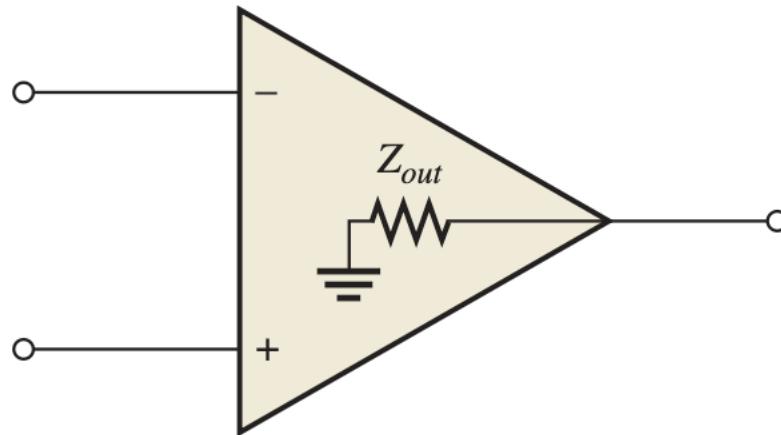
- Dòng lệch đầu vào (input current offset) I_{os}

- ✓ Công thức: $I_{os} = |I_1 - I_2|$
- ✓ Nhỏ hơn I_b cỡ hàng chục lần
- ✓ Gây sai lệch điện áp ra

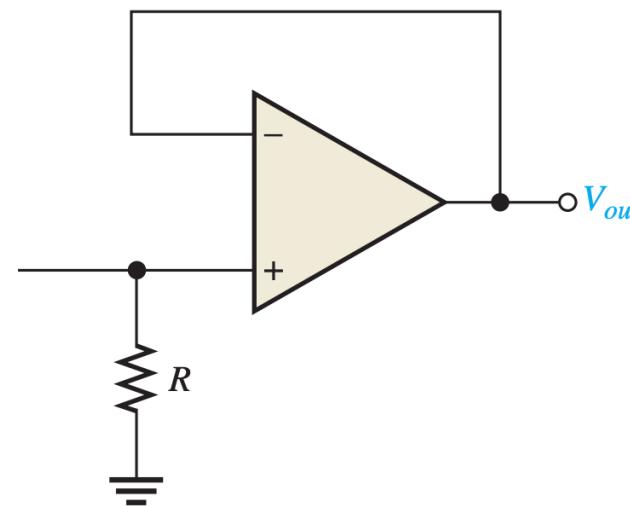


Các tham số của KĐTT

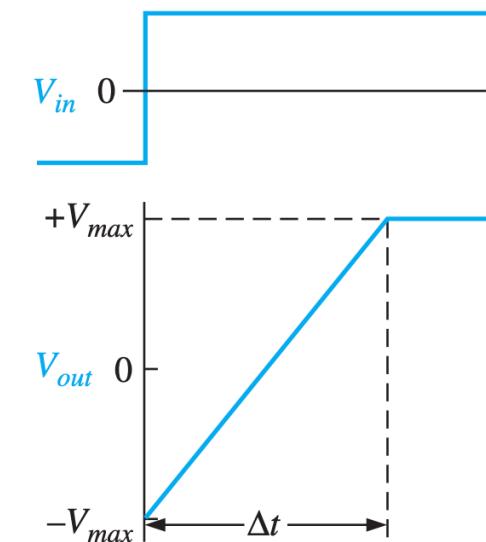
Bản *đảo* • Trở kháng ra
(output impedance)



(a) Test circuit



- Tốc độ biến đổi điện áp ra lớn nhất (slew rate)



(b) Step input voltage and the resulting output voltage

- Slew rate = $\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t}$

KĐTT có vòng hồi tiếp âm

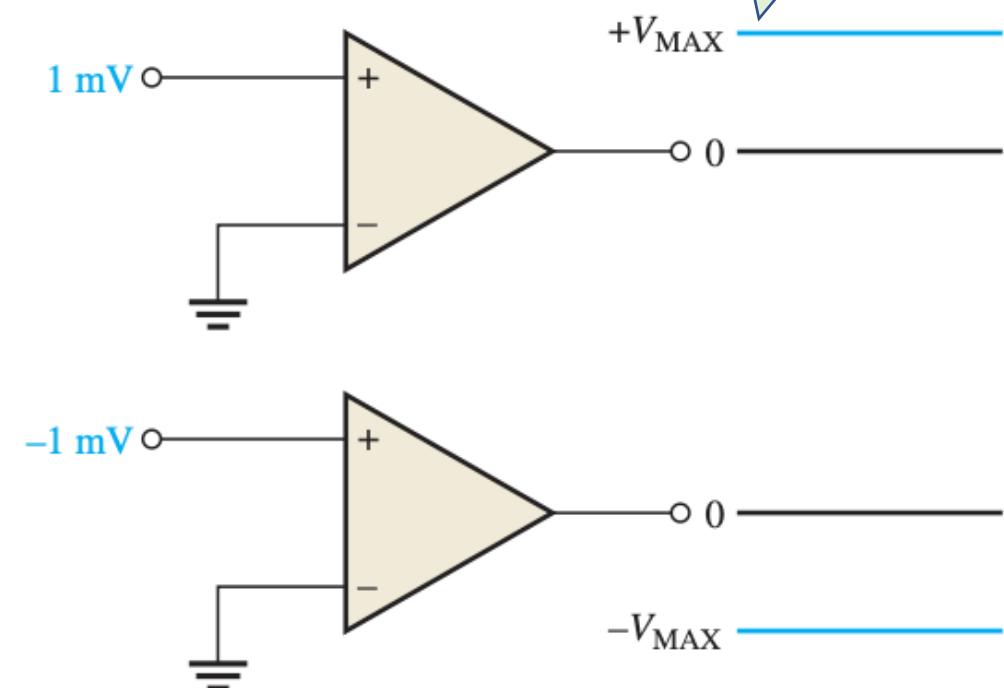
Bản•Số

Vấn đề của KĐ vòng hở:

- ✓ K_{vs} quá lớn $\Rightarrow U_{out}$ dễ bị bão hòa
Ví dụ; $K_{vs} = 100000$, $V_{in} = 1\text{mV}$
 $\Rightarrow V_{out} = K_{vs} V_{in} = 100\text{V} \Rightarrow$ bão hòa
- ✓ K_{vs} không ổn định
- ✓ Băng thông quá hẹp

Có thể khắc phục
bằng vòng hồi
tiếp âm (negative
feedback)

Bão hòa ngay cả khi
tín hiệu vào rất nhỏ



KĐTT có vòng hồi tiếp âm

Bản Sơ

- Hồi tiếp: đưa một phần tín hiệu ra trở lại đầu vào tạo thành vòng kín (closed-loop) => có 2 kiểu:

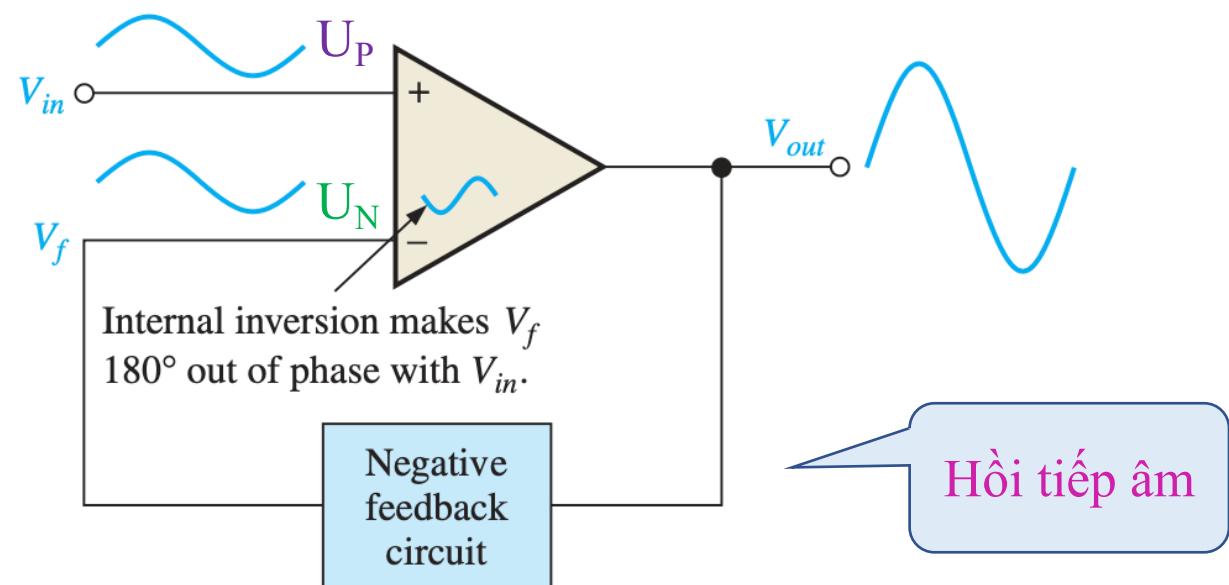
- ✓ Hồi tiếp dương: làm tăng tín hiệu vào => mất ổn định => làm việc ở chế độ b/hoà
- ✓ Hồi tiếp âm: làm giảm tín hiệu vào => giảm hệ số khuếch đại (A_{cl}) nhưng cải thiện đặc tính khuếch đại

* Lưu ý: Khi mạch có hồi tiếp âm => mạch làm việc ở chế độ khuếch đại

$$V_{out} = K(V_{in} - V_f)$$

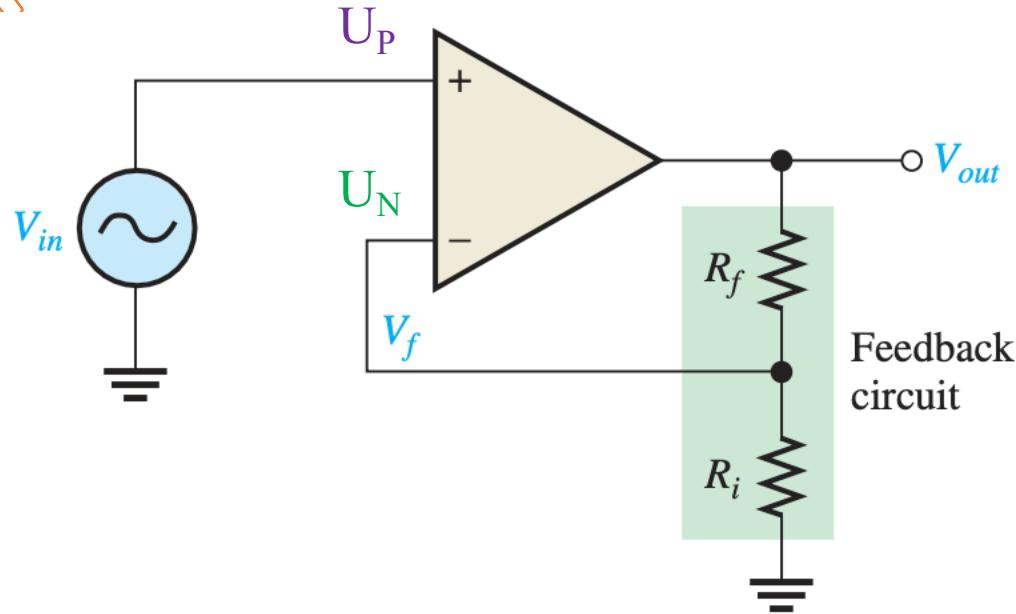
$$\Rightarrow (V_{in} - V_f) = \frac{V_{out}}{K} = 0$$

$\Rightarrow V_{in} = V_f$ hay $U_P = U_N$ (đầu vào đảo bằng đầu vào không đảo)



Mạch khuếch đại thuận (non-inverting amplifier)

Bản số



Điện áp đầu ra:

Do $V_p = V_N$ hay $V_f = V_{in}$

$$V_{out} = \left(\frac{R_i + R_f}{R_i} \right) V_{in}$$

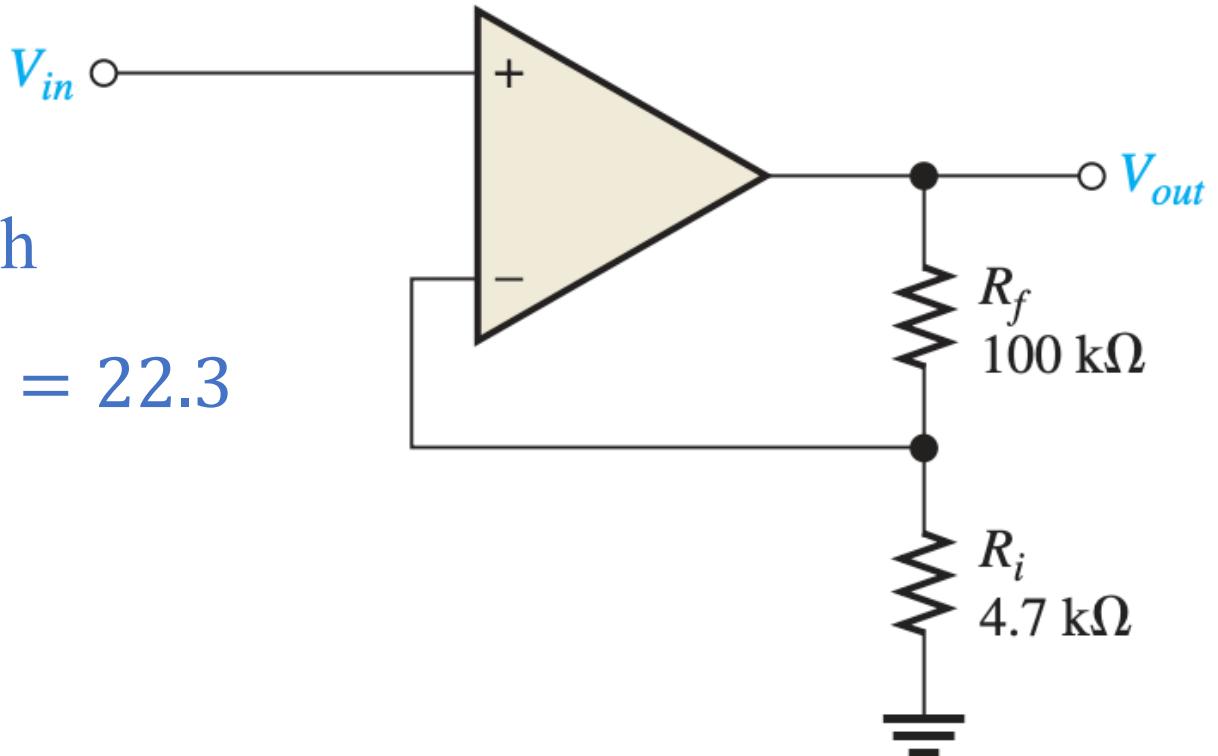
Hệ số khuếch đại toàn mạch (hệ số khuếch đại vòng kín)

$$A_{cl} = K_u = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(\frac{R_i + R_f}{R_i} \right)$$

Ví dụ Bản số thảo

Xác định hệ số khuếch đại của mạch

$$A_{cl} = K_u = \left(\frac{R_i + R_f}{R_i} \right) = \left(\frac{4.7 + 100}{4.7} \right) = 22.3$$



Nhận xét mạch KĐ thuận

Bản
sơ
xét

- Tín hiệu vào: vào đầu thuận
- Tín hiệu ra: cùng pha tín hiệu vào
- K_u do R_f/R_i quyết định \Rightarrow có thể chọn bất kỳ (≥ 1)
- K_u không phụ thuộc vào KĐTT \Rightarrow rất ổn định
- Trở kháng vào: tăng $[1 + K_{vs}/K_u]$ lần \Rightarrow rất tốt
- Trở kháng ra: giảm $[1 + K_{vs}/K_u]$ lần \Rightarrow rất tốt
- Độ rộng dải thông: tăng $[1 + K_{vs}/K_u]$ lần \Rightarrow rất tốt

Chú ý: K_{vs} là hệ số khuếch đại vòng hở A_{ol}

Mạch lặp điện áp

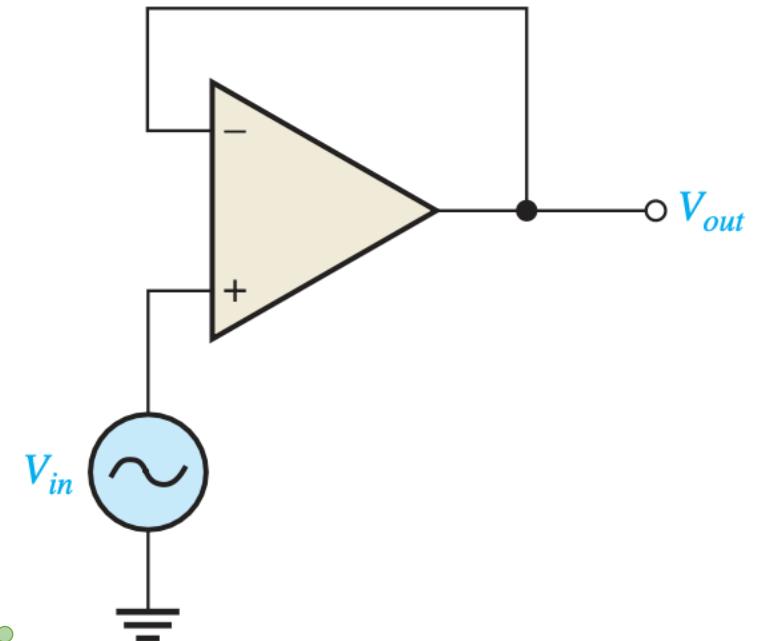
Bản Sơ

Trường hợp đặc biệt của KĐ thuận: $K_u = 1$

- Có đặc tính rất tốt
 - $R_{vào}$: tăng K_{vs} lần
 - R_{ra} : giảm K_{vs} lần
 - Băng thông: tăng K_{vs} lần
(so với KĐ vòng hở)
- Gọi là mạch lặp điện áp, mạch đệm (buffer)

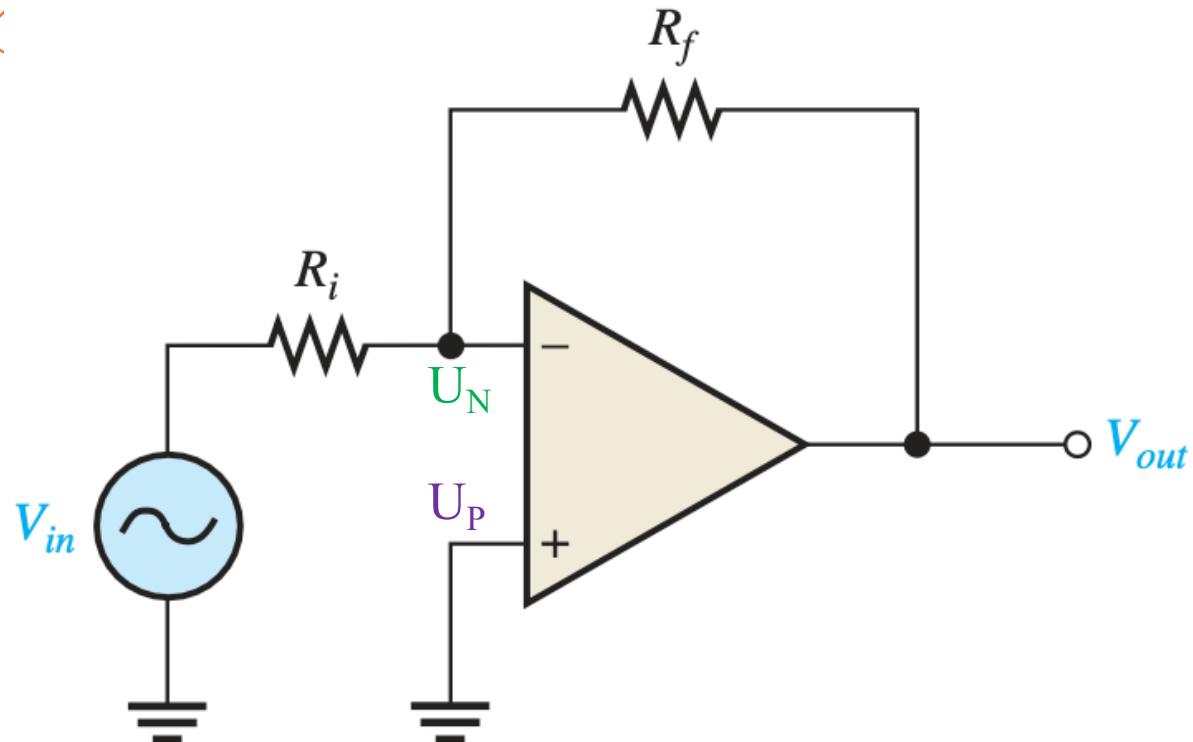
Ứng dụng gì với
 $K_u=1$?

$$A_{cl(VF)} = 1$$

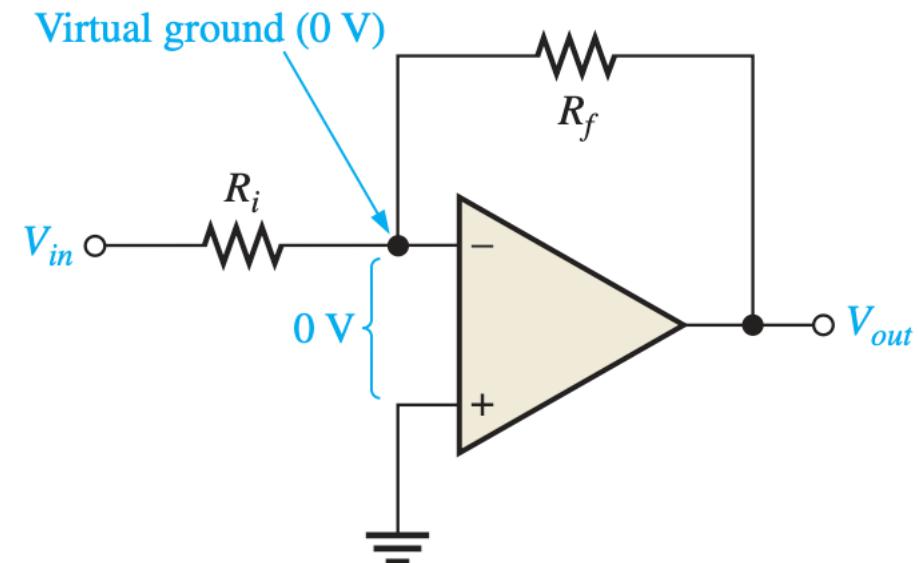


Mạch khuếch đại đảo (inverting amplifier)

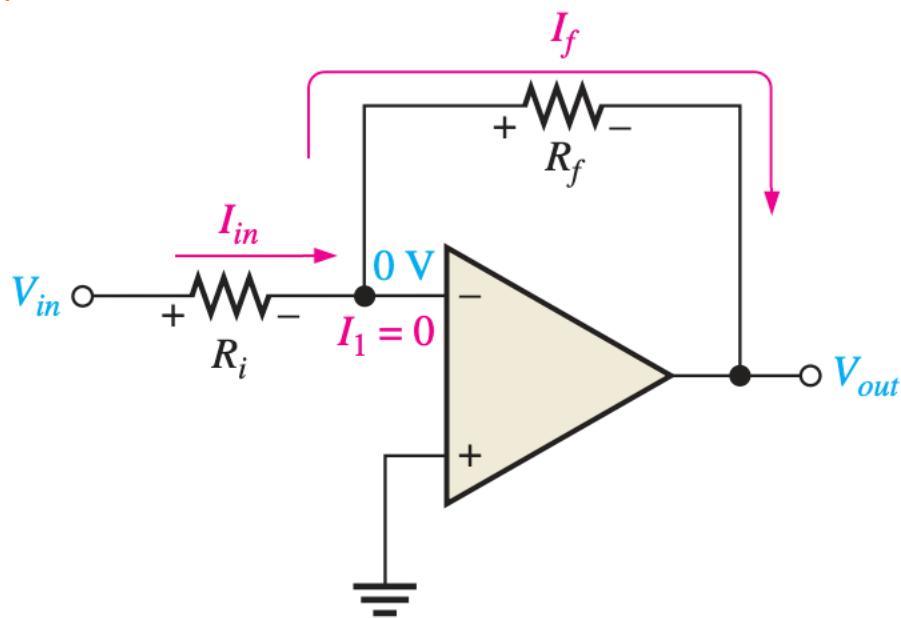
Bản Sơ



Điện áp đầu vào đảo $V_N = 0$
(đất ảo) do điện áp đầu vào
không đảo V_P nối đất



Mạch khuếch đại đảo (inverting amplifier)



Do không có dòng chảy vào KĐTT nên
 $I_{in} = I_f$

$$\Leftrightarrow \frac{V_{in}}{R_i} = -\frac{V_{out}}{R_f}$$

$$\Leftrightarrow V_{out} = -\frac{R_f}{R_i} V_{in}$$

Hệ số khuếch đại toàn mạch (hệ số khuếch đại vòng kín)

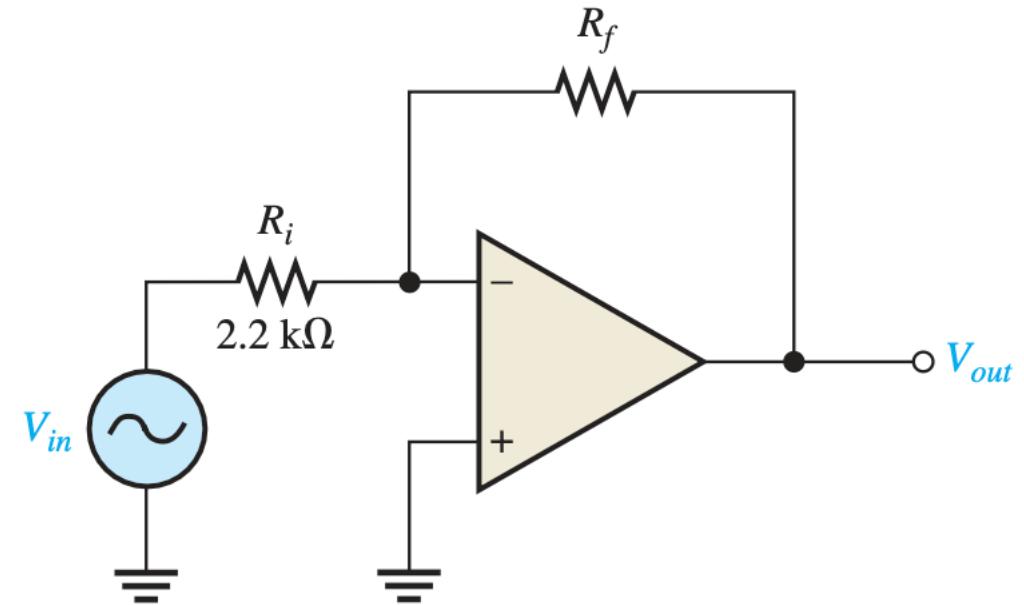
$$A_{cl} = K_u = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i}$$

Ví dụ Bản số thảo

Xác định R_f để hệ số khuếch đại của
mạch = -100

$$A_{cl} = -\frac{R_f}{R_i} = -100$$

$$\Rightarrow R_f = -A_{cl}R_i = (100)(2.2k\Omega) = 220k\Omega$$



Nhận xét mạch KĐ đảo

Bản
sơ
xét

- Tín hiệu vào: vào đầu đảo
- Tín hiệu ra: ngược pha tín hiệu vào
- K_u do R_f/R_i quyết định \Rightarrow có thể chọn bất kỳ (< 0)
- K_u không phụ thuộc vào KĐTT \Rightarrow rất ổn định
- Trở kháng vào = $R_i \Rightarrow$ không tốt lắm
- Trở kháng ra: giảm $[1 + K_{vs}/K_u]$ lần \Rightarrow rất tốt
- Độ rộng dải thông: tăng $[1 + K_{vs}/K_u]$ lần \Rightarrow rất tốt

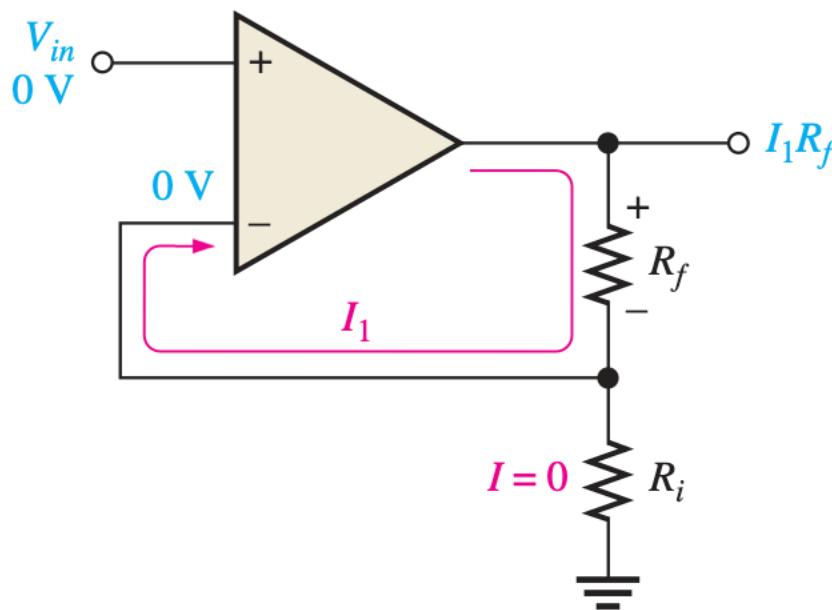
Chú ý: K_{vs} là hệ số khuếch đại vòng hở A_{ol}

Ảnh hưởng của dòng phân cực đầu vào:

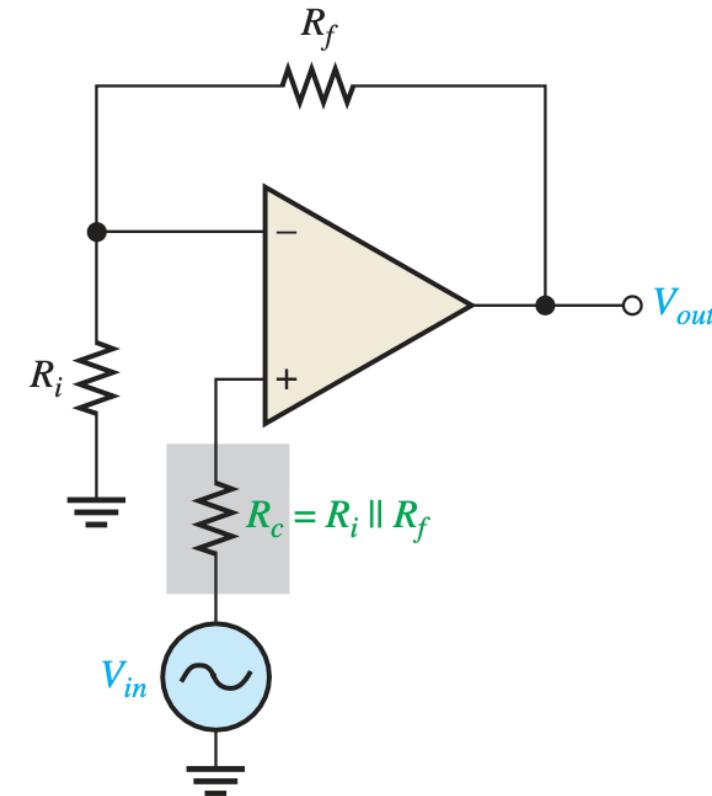
Bản Mô

Mạch KĐ thuận: gây sai lệch điện áp ra ($= I_{in} \cdot R_f$)

\Rightarrow Khắc phục bằng R_c (compensation)

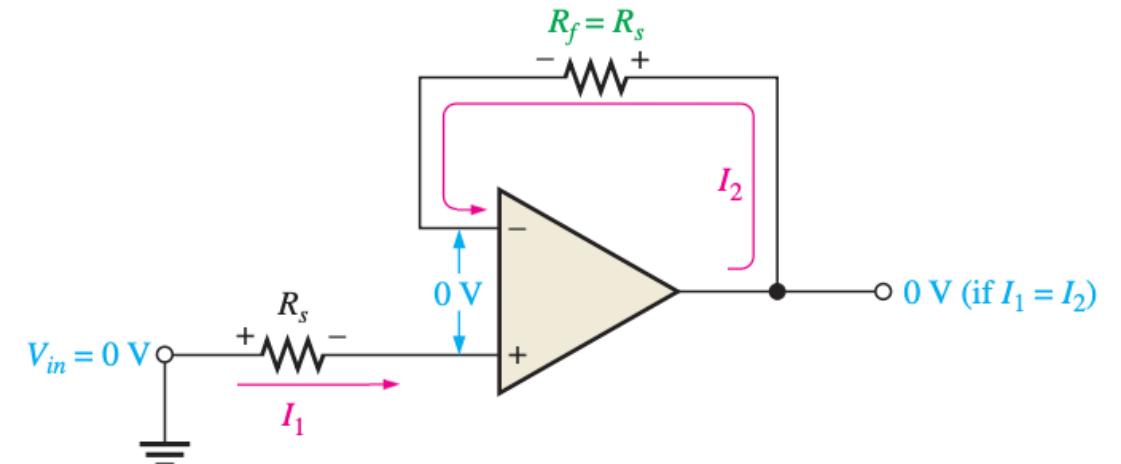
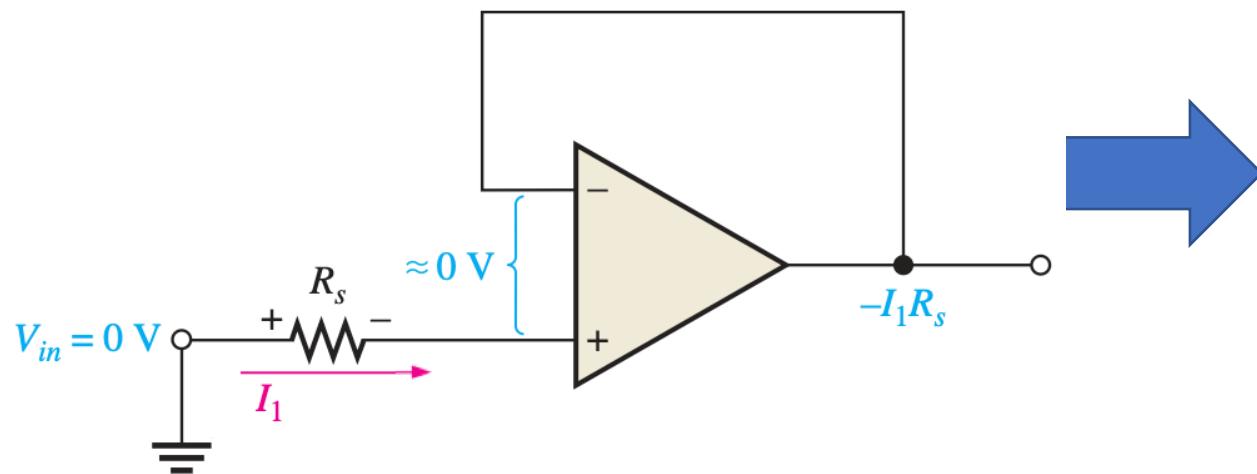


TS. Trần Anh Vũ (Electronics Dept. SEEE, HUST)



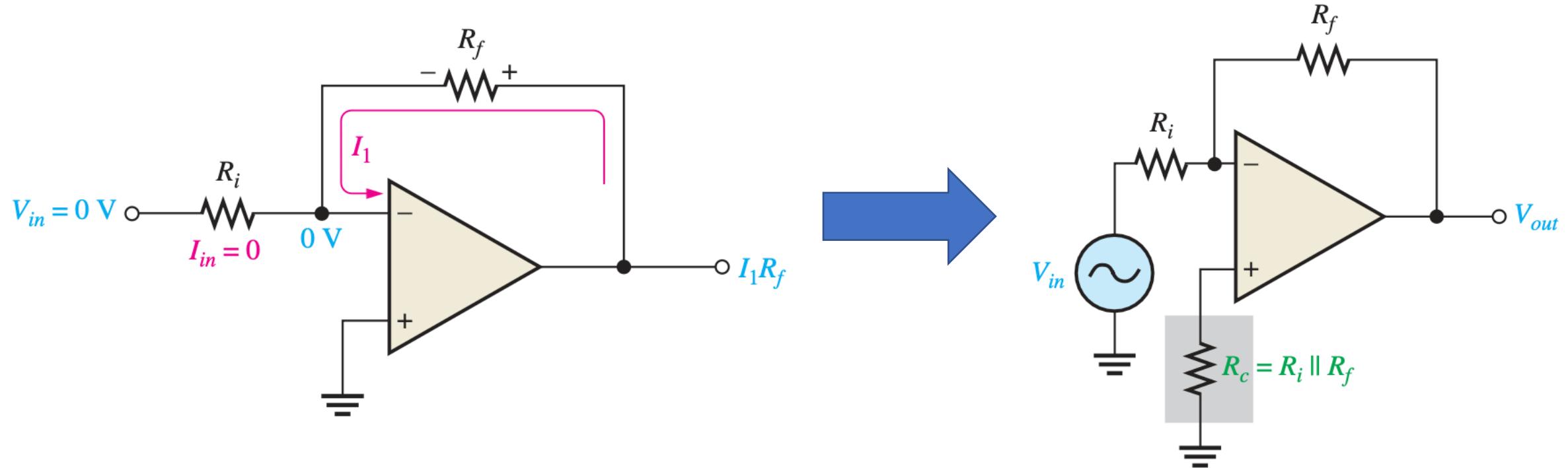
Ảnh hưởng của dòng phân cực đầu vào

Bản Mạch lắp điện áp: R_s (nội trở của nguồn tín hiệu) gây sai lệch điện áp ra ($= -I_{in} \cdot R_s$) \Rightarrow Khắc phục bằng R_c



Ảnh hưởng của dòng phân cực đầu vào

Bản Mô Mạch KĐ đảo: gây sai lệch điện áp ra ($= I_{in} \cdot R_f$) \Rightarrow Khắc phục bằng R_c



Ảnh hưởng của điện áp lệch đầu vào

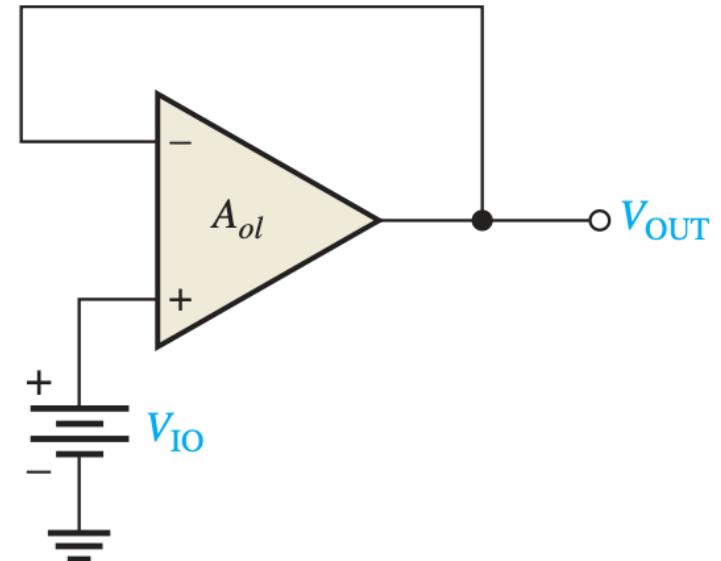
Điện áp lệch đầu vào U_{os} làm điện áp ra bị lệch (so với lý tưởng) một lượng $U_{error} = U_{os} \cdot K_u$

- K_u càng lớn, ảnh hưởng càng mạnh
- Thông thường, U_{error} khá nhỏ
=> có thể bỏ qua
- Trong các ứng dụng cần chính xác,
 U_{error} phải rất nhỏ

Do có điện áp ra lệch không nên nhiều trường hợp người ta phải đưa giá trị điện áp này về 0 bằng cách dùng mạch chỉnh không.

=> Giải pháp:

- KĐTT loại “low offset” (best)
- KĐTT hỗ trợ bù offset (good)
- KĐTT + mạch bù offset (so so)



Ảnh hưởng của điện áp lệch đầu vào

Bản Sổ
Giải pháp 1: Dùng KĐTT loại low offset => chọn IC tùy theo mức độ chính xác yêu cầu => xem datasheet



Data Sheet

Ultralow Offset Voltage
Operational Amplifier

OP07

FEATURES

- Low V_{os} : 75 μV maximum
- Low V_{os} drift: 1.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ maximum
- Ultrastable vs. time: 1.5 μV per month maximum
- Low noise: 0.6 μV p-p maximum
- Wide input voltage range: ± 14 V typical
- Wide supply voltage range: ± 3 V to ± 18 V
- 125°C temperature-tested dice

APPLICATIONS

- Wireless base station control circuits
- Optical network control circuits
- Instrumentation
- Sensors and controls
 - Thermocouples
 - Resistor thermal detectors (RTDs)
 - Strain bridges
 - Shunt current measurements
- Precision filters

PIN CONFIGURATION

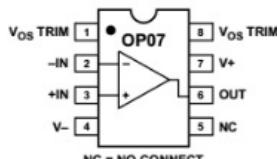
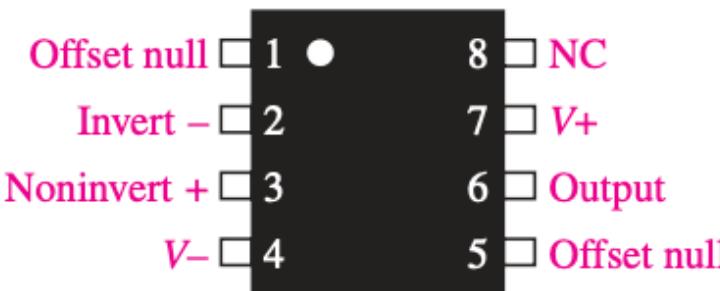


Figure 1.

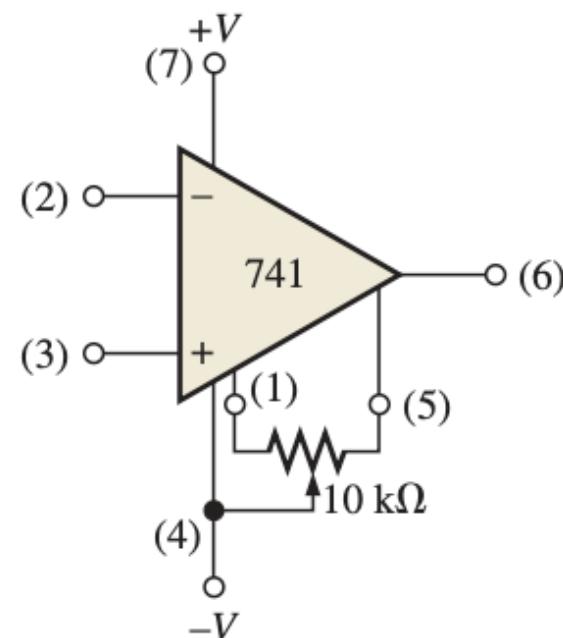
The wide input voltage range of ± 13 V minimum combined with a high CMRR of 106 dB (OP07E) and high input impedance provide high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP07 an

Ảnh hưởng của điện áp lệch đầu vào

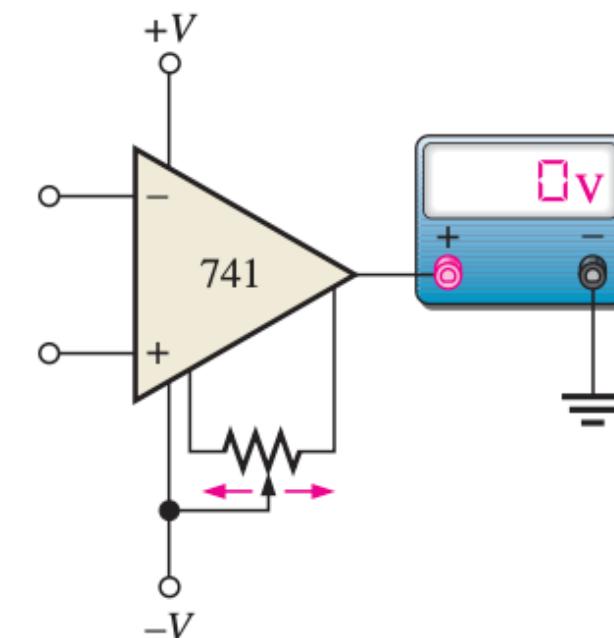
Bản so Giải pháp 2: Dùng KĐTT hỗ trợ bù offset => thường có 2 chân phụ để chỉnh offset. Cách chỉnh mỗi loại IC có thể khác nhau => cần xem datasheet



(a) 8-pin DIP or SMT package



(b) External potentiometer



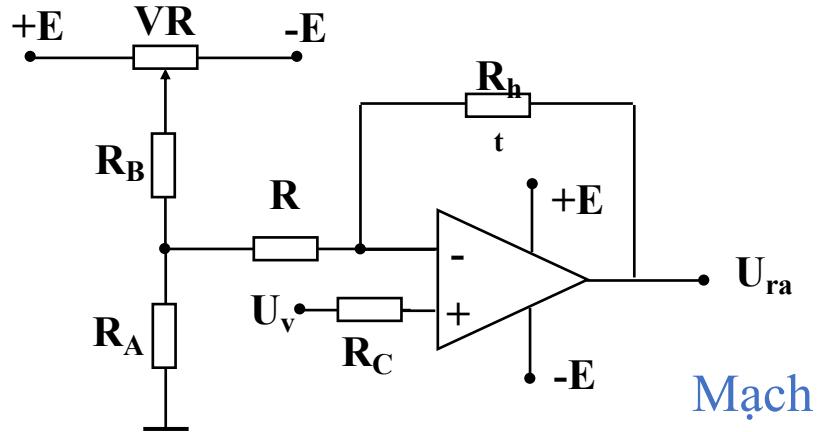
(c) Adjust for zero output

Ảnh hưởng của điện áp lệch đầu vào

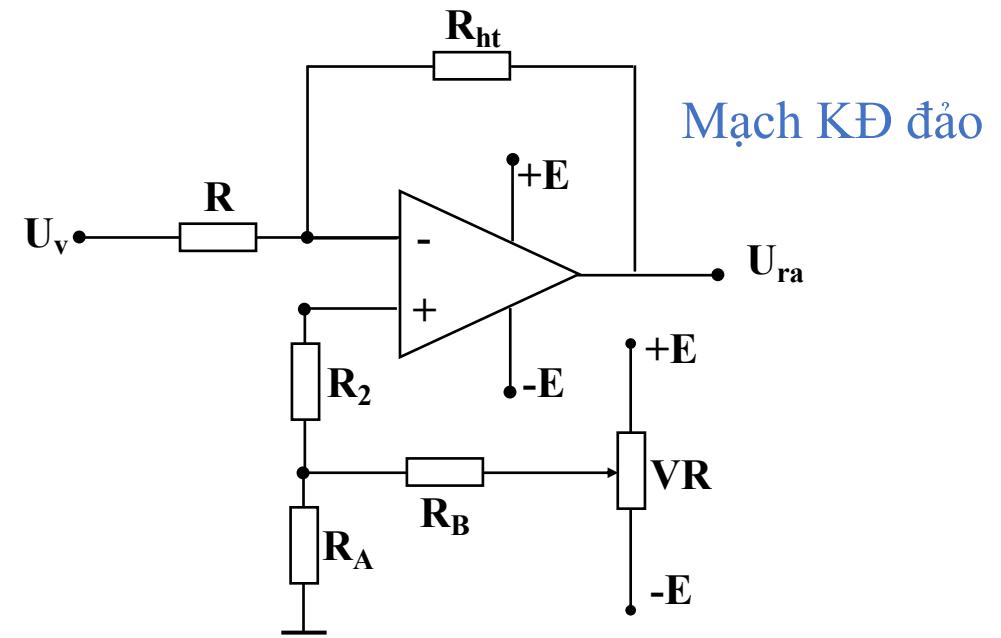
Bản so
Giải pháp 3: Dùng KĐTT loại thường + mạch bù offset

Mạch bù:

- Biến trở VR: tạo điện áp tùy ý trong dải từ $-E$ đến $+E$
- $R_A \ll R_B$: chia áp vừa tạo \Rightarrow áp rất nhỏ



Mạch KĐ thuận



Mạch KĐ đảo

Mạch khuếch đại cộng đảo

Bản ^{số}
Điện áp đầu vào đảo $V_N = 0$ (đất ảo)

do điện áp đầu vào không đảo V_P
nối đất

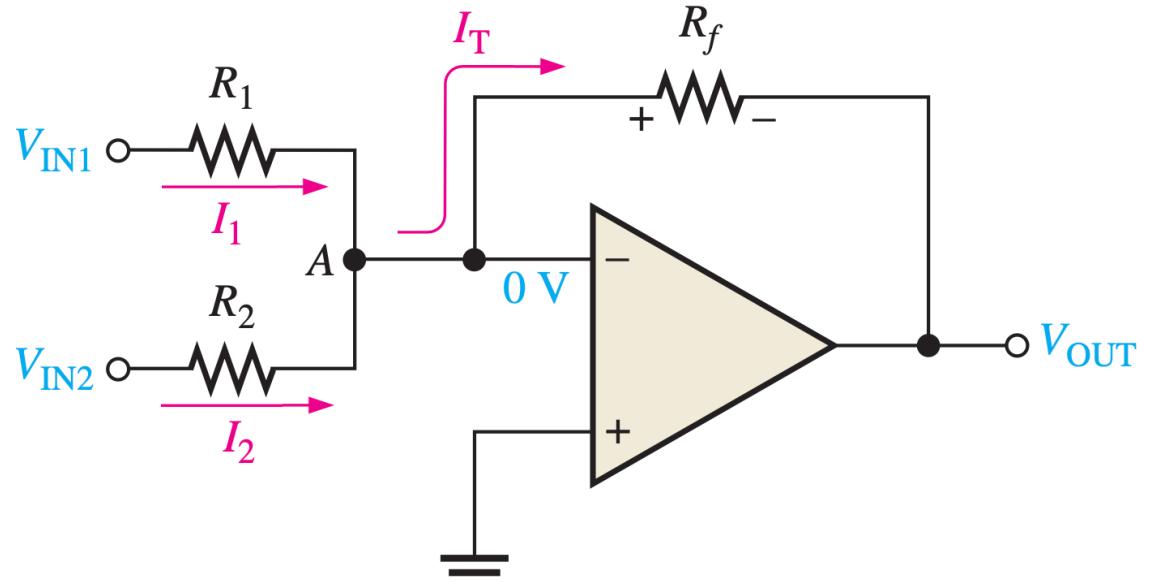
$$I_T = I_1 + I_2$$

$$\Rightarrow \frac{0V - V_{out}}{R_f} = \frac{V_{IN1} - 0V}{R_1} + \frac{V_{IN2} - 0V}{R_2}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -R_f \left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2} \right)$$

Nếu $R_f = R_1 = R_2$

$$V_{out} = - (V_{IN1} + V_{IN2})$$



Mạch khuếch đại cộng đảo

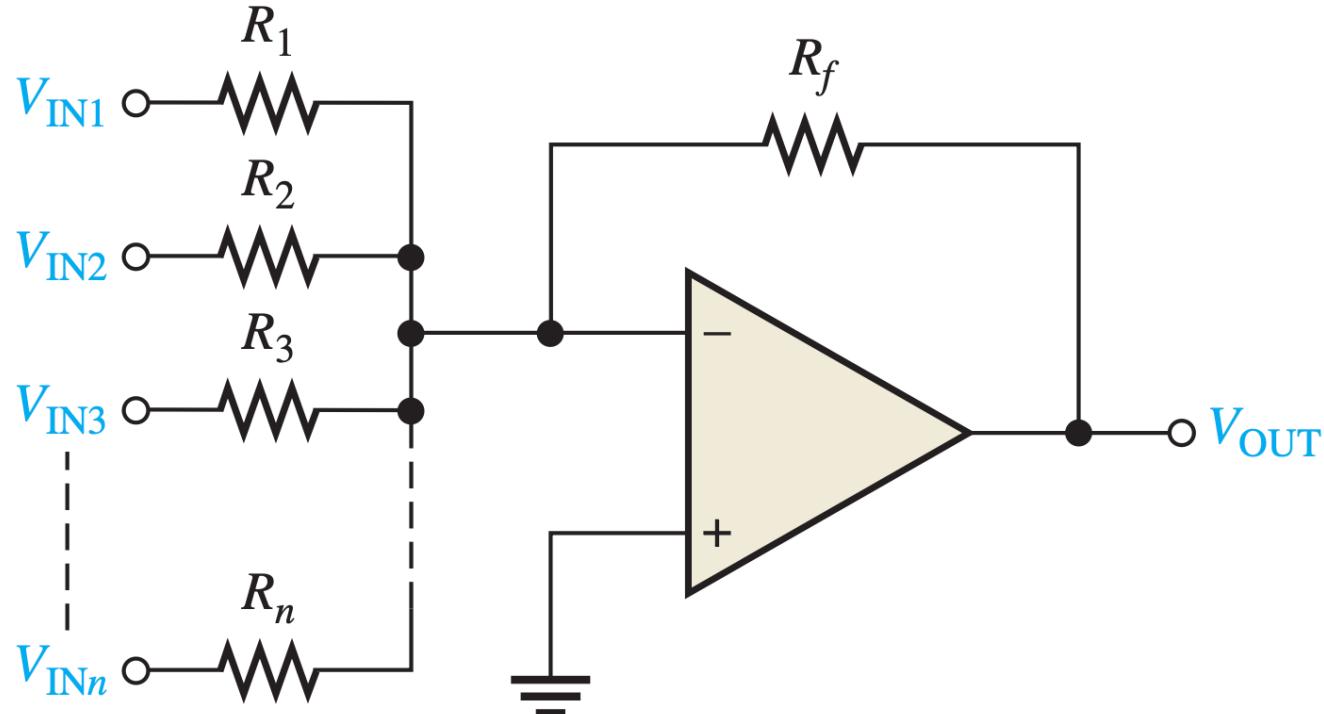
Bản số

Tổng quát

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\Rightarrow \frac{0V - V_{out}}{R_f} = \frac{V_{IN1} - 0V}{R_1} + \frac{V_{IN2} - 0V}{R_2} + \dots + \frac{V_{INn} - 0V}{R_n}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -R_f \left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{INn}}{R_n} \right)$$



Ví dụ

số thảo

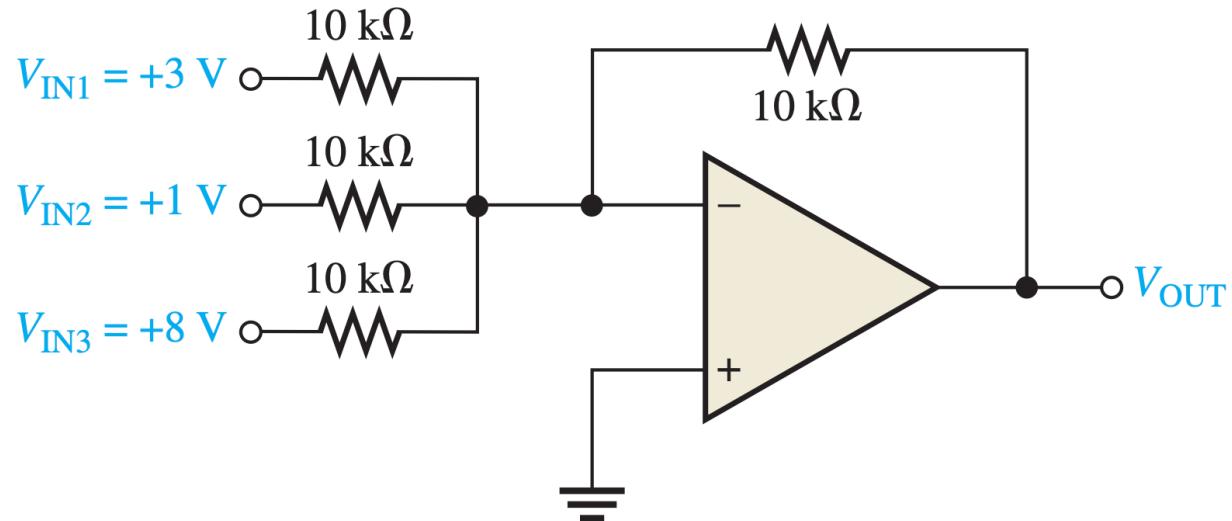
Bảng
Cho mạch như hình vẽ,
xác định điện áp đầu ra
Giải:

Điện áp đầu vào đảo $V_N = 0$
(đất ảo) do điện áp đầu vào
không đảo V_P nối đất

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\Rightarrow \frac{0V - V_{out}}{R_f} = \frac{V_{IN1} - 0V}{R_1} + \frac{V_{IN2} - 0V}{R_2} + \frac{V_{IN3} - 0V}{R_n}$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow V_{out} &= -R_f \left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2} + \frac{V_{IN3}}{R_3} \right) = -(V_1 + V_2 + V_3) \\ &= -(3V + 1V + 8V) = -12V\end{aligned}$$



Mạch khuếch đại cộng không đảo

Bảng số

$$0 = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\Rightarrow 0 = \frac{V_{IN1} - V_P}{R_1} + \frac{V_{IN2} - V_P}{R_2} + \dots + \frac{V_{INn} - V_P}{R_n}$$

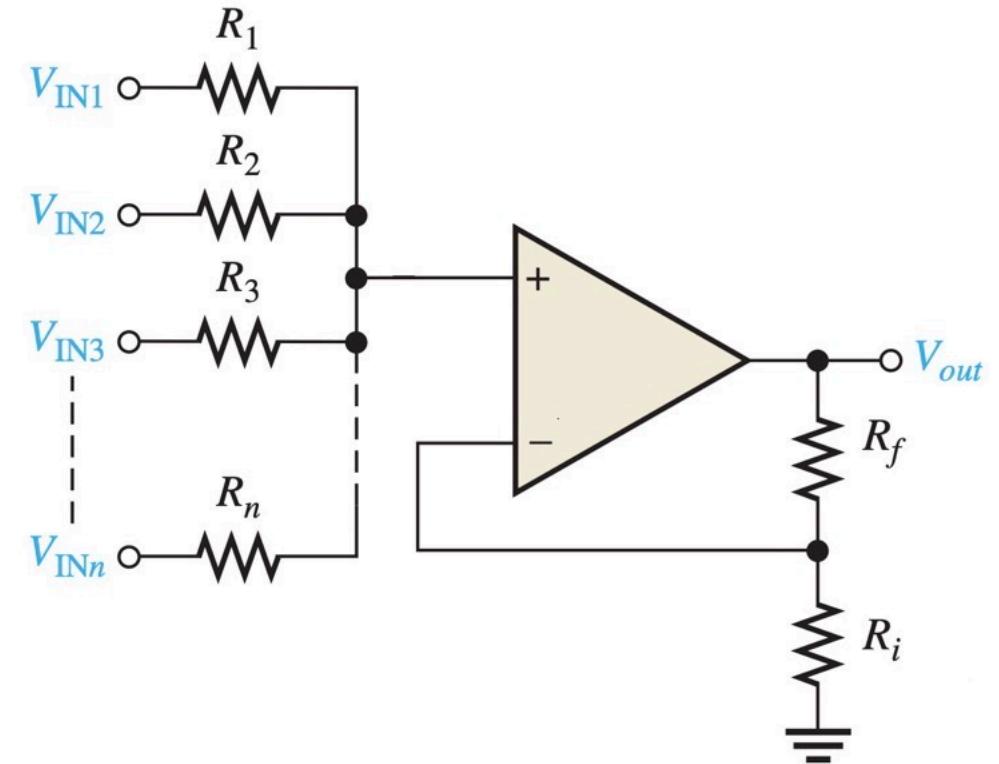
$$V_P = \frac{\left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{INn}}{R_n} \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)}$$

Nếu $R=R_1=R_2=\dots=R_n$

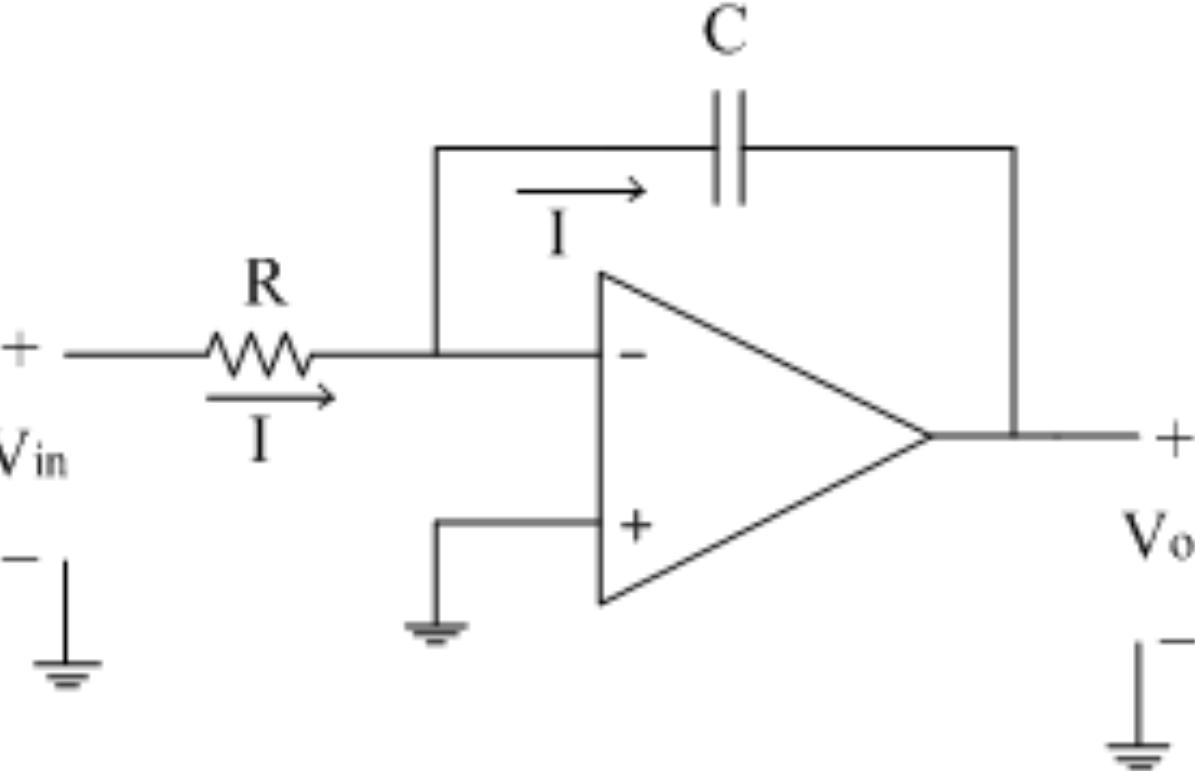
$$V_P = \frac{(V_{IN1} + V_{IN2} + \dots + V_{INn})}{n}$$

$$V_N = V_P = V_{out} \frac{R_i}{R_i + R_f}$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_i + R_f}{R_i} \right) \frac{(V_{IN1} + V_{IN2} + \dots + V_{INn})}{n}$$



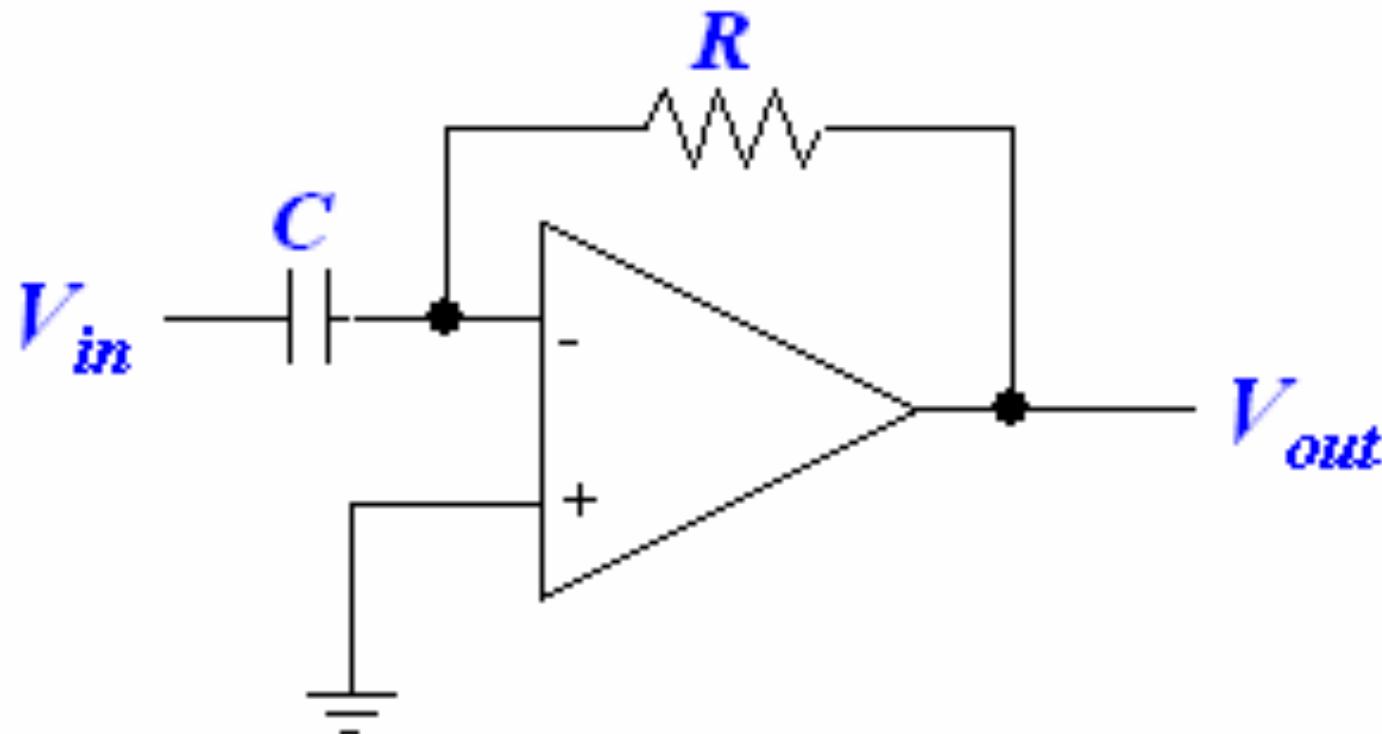
Mạch tích phân



$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in} dt$$

Bắt

Mạch vi phân



$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

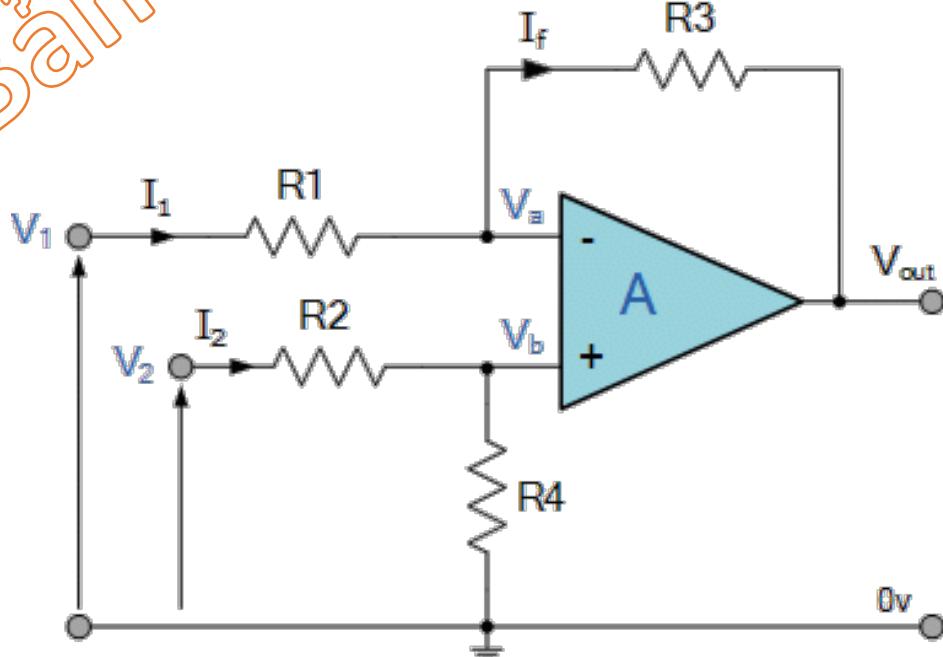
Nội dung chương

Bản ~~số~~

1. Giới thiệu vi mạch tương tự
2. IC khuếch đại thuật toán
3. IC khuếch đại vi sai
4. IC khuếch đại đo
5. IC so sánh

IC khuếch đại vi sai

Mạch (khuếch đại) trừ: Thực hiện phép trừ $U_2 - U_1$ (vi sai giữa 2 đầu vào)



$$\begin{aligned}V_a &= V_b = \frac{R_4}{R_4 + R_2} V_2 \\I_1 &= I_f \rightarrow \frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_{out}}{R_3} \\&\leftrightarrow V_{out} = V_a \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) - V_1 \frac{R_3}{R_1} \\\leftrightarrow V_{out} &= V_2 \frac{R_4}{R_4 + R_2} \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) - V_1 \frac{R_3}{R_1}\end{aligned}$$

$$\text{Thường có } R_1/R_3 = R_2/R_4 \Rightarrow V_{out} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

– Vấn đề thường gặp: sai số điện trở, lệch đầu vào, CMRR thấp, v.v. \Rightarrow làm giảm độ chính xác

IC khuếch đại vi sai

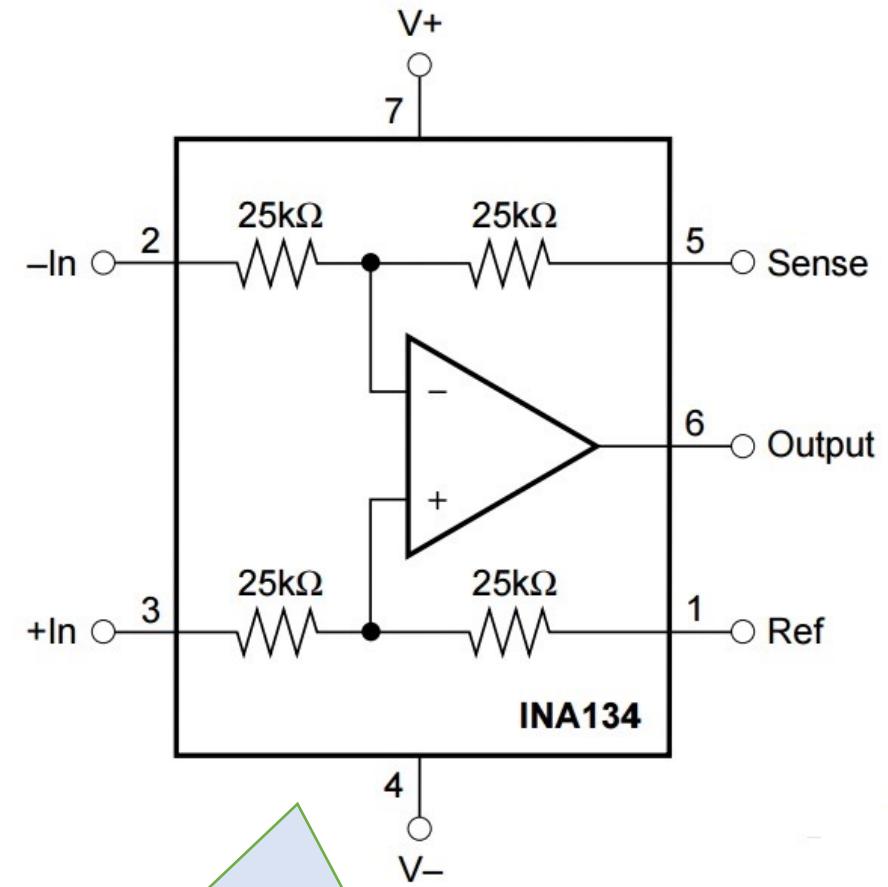
IC khuếch đại vi sai:

Bản Giống mạch trừ nhưng dùng KĐTT chính xác + tích hợp sẵn các điện trở chính xác, cấu trúc đối xứng

– Bỏ ngõ 2 kết nối => tạo ra 2 chân:

- Sense: cho phép chọn điểm cần feedback (thay cho U_{out} nếu cần)
- Ref: cho phép chọn điểm tham chiếu (thay cho GND nếu cần)

=> Sử dụng linh hoạt...

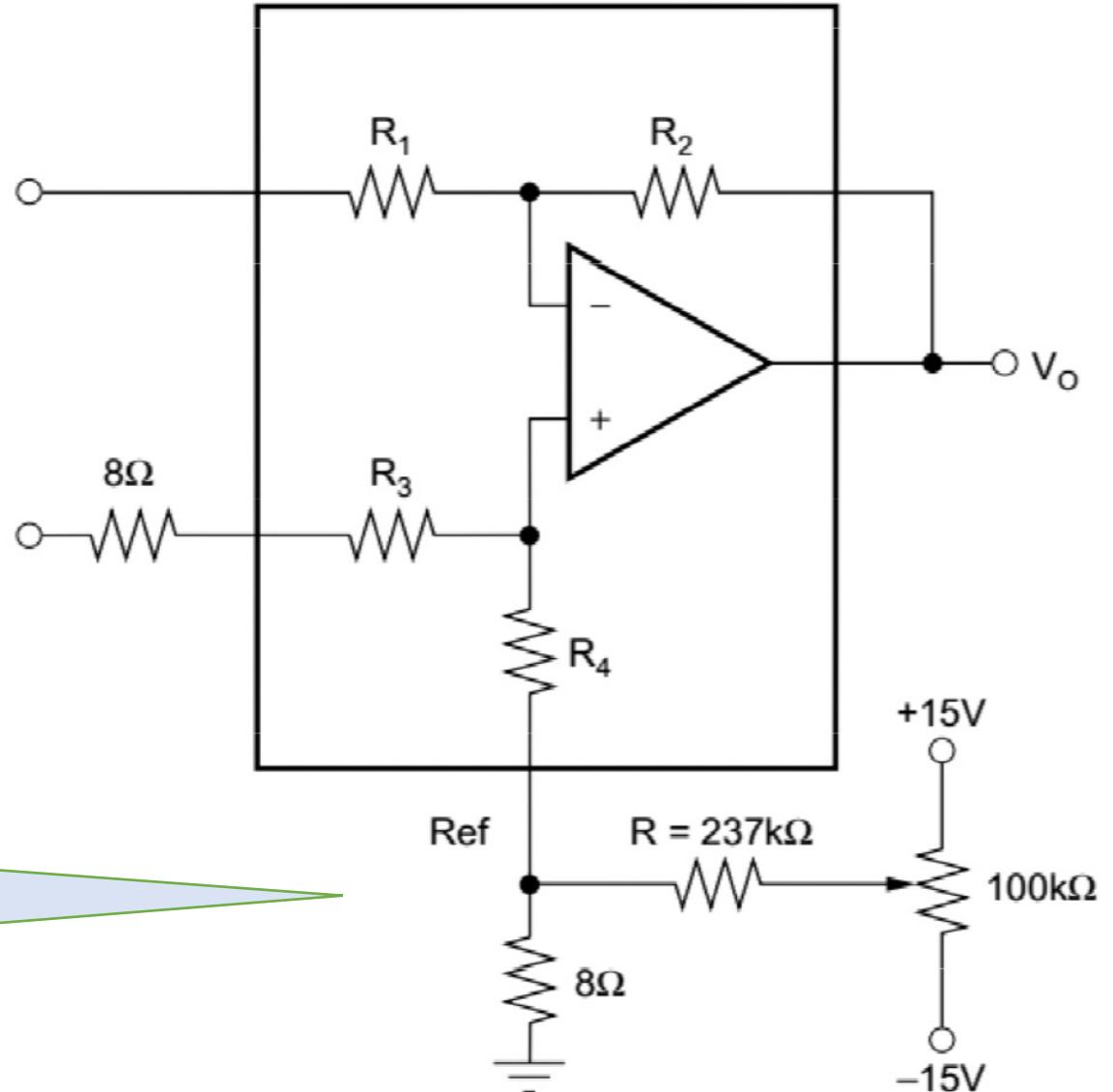


Cấu tạo điển hình của
IC khuếch đại vi sai
(difference amplifier)

IC khuếch đại vi sai

IC khuếch đại vi sai:

Bản => Sử dụng linh hoạt... Ví dụ



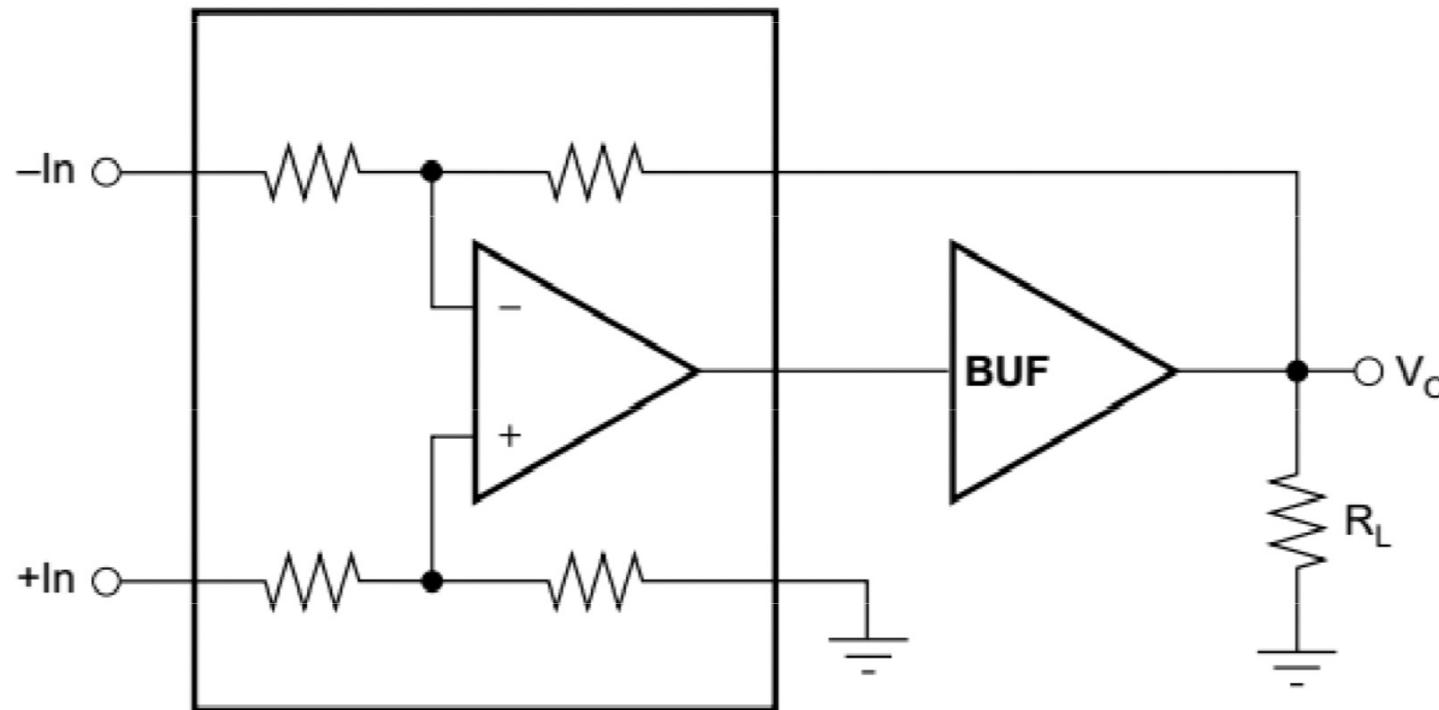
VD1: bù offset, tối
đa đến ± 0.5 mV

IC khuếch đại vi sai

IC khuếch đại vi sai:

Bản

Sử dụng linh hoạt... Ví dụ



VD2: đệm ngõ ra để
tăng dòng tải tối đa

IC khuếch đại vi sai

• Ưu điểm:

Bản
– Độ chính xác cao

– CMRR lớn

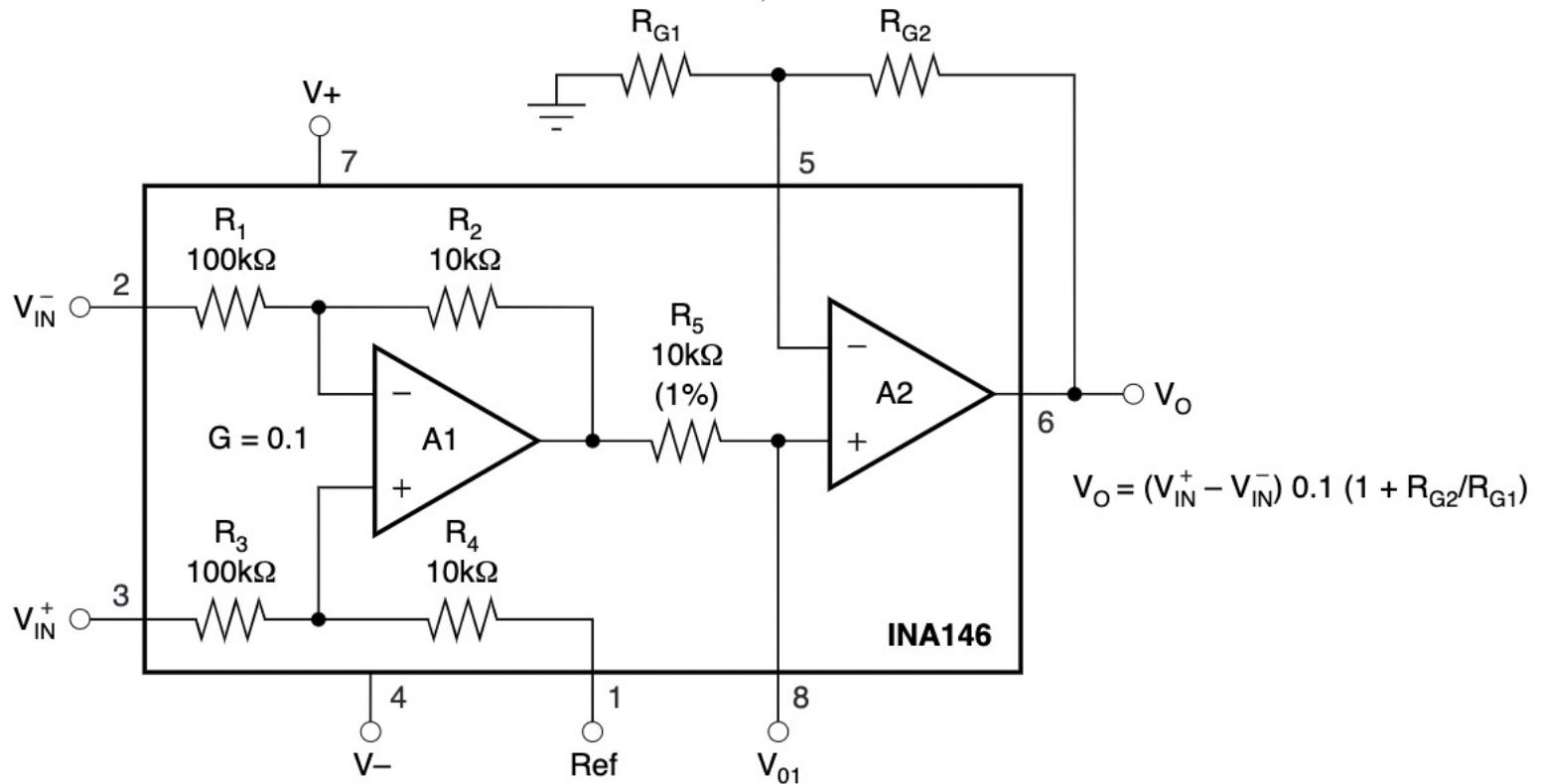
• Nhược điểm:

– K_u cố định

– $R_{\text{vào}}$ không lớn

Được khắc phục khá triệt để
bằng IC khuếch đại đo
(instrumentation amplifier)

Giải pháp cho phép
thay đổi Ku trong IC
INA146



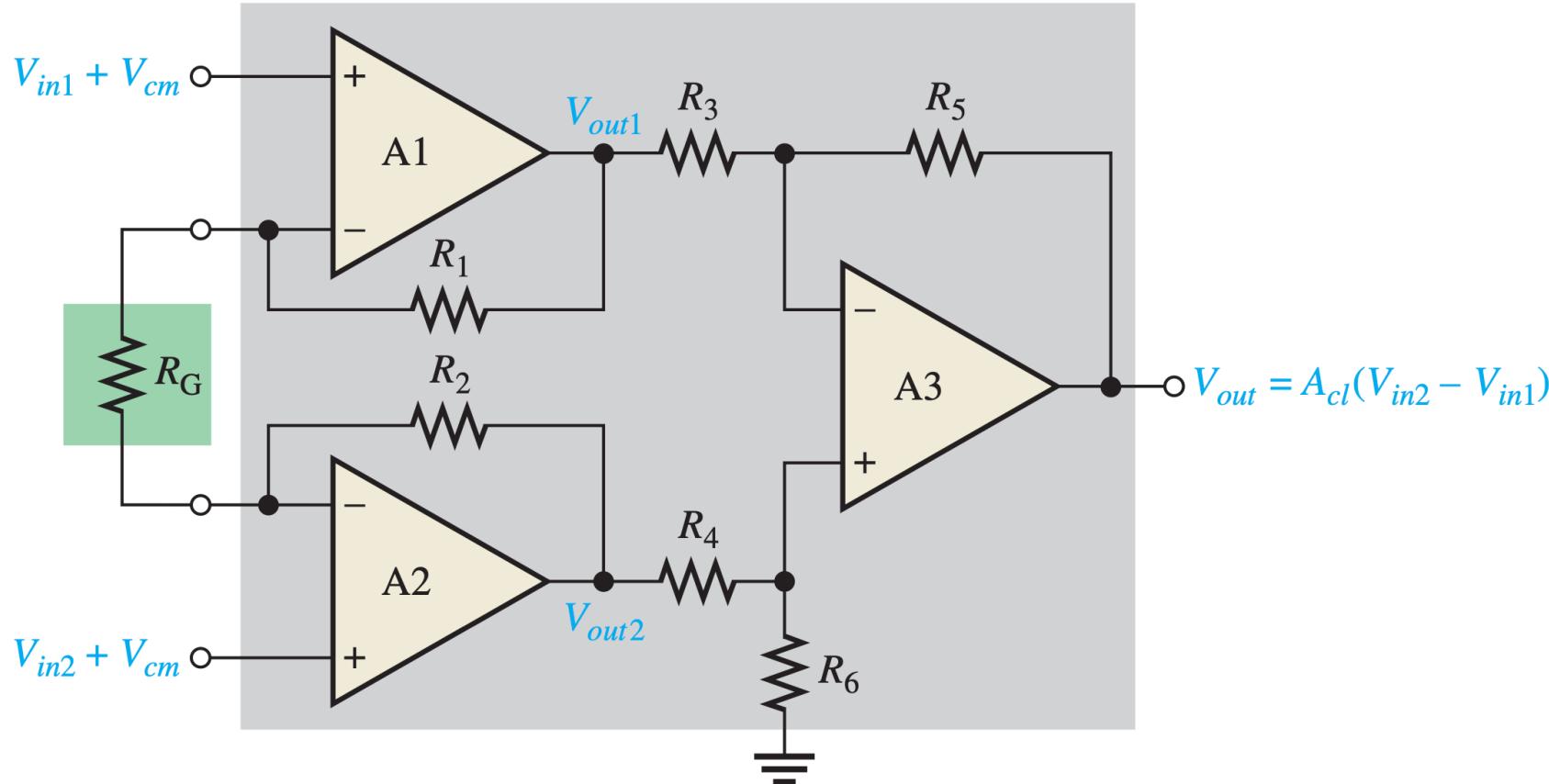
Nội dung chương

Bản ^{1. Sơ}sketch

1. Giới thiệu vi mạch tương tự
2. IC khuếch đại thuật toán
3. IC khuếch đại vi sai
- 4. IC khuếch đại đo**
5. IC so sánh

IC khuếch đại đo

Cấu tạo: KĐ vi sai được đệm 2 đầu vào bằng 2 mạch KĐ thuận; có
 $R_1 = R_2, R_3 = R_4, R_5 = R_6$

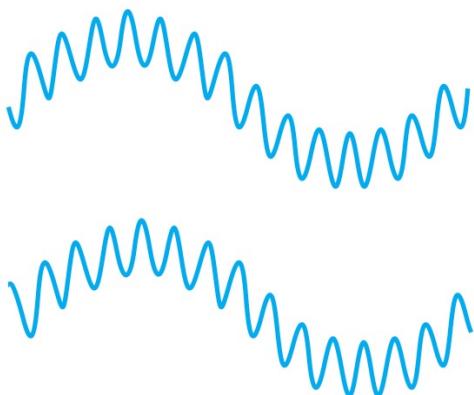


IC khuếch đại đo

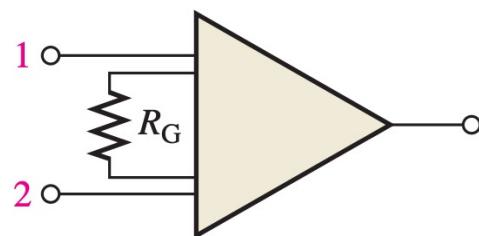
Nhiệm vụ: khuếch đại $(U_2 - U_1)$ với:

$$K_u = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) \left(\frac{R_5}{R_3}\right)$$

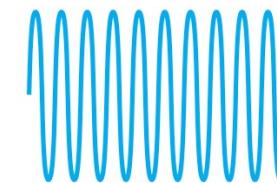
Đặc điểm: chính xác, CMRR rất lớn, $R_{\text{vào}}$ cực lớn, K_u thay đổi dễ dàng
=> rất tốt nhưng đắt tiền



Small differential high-frequency signal
riding on a larger low-frequency
common-mode signal



Instrumentation amplifier

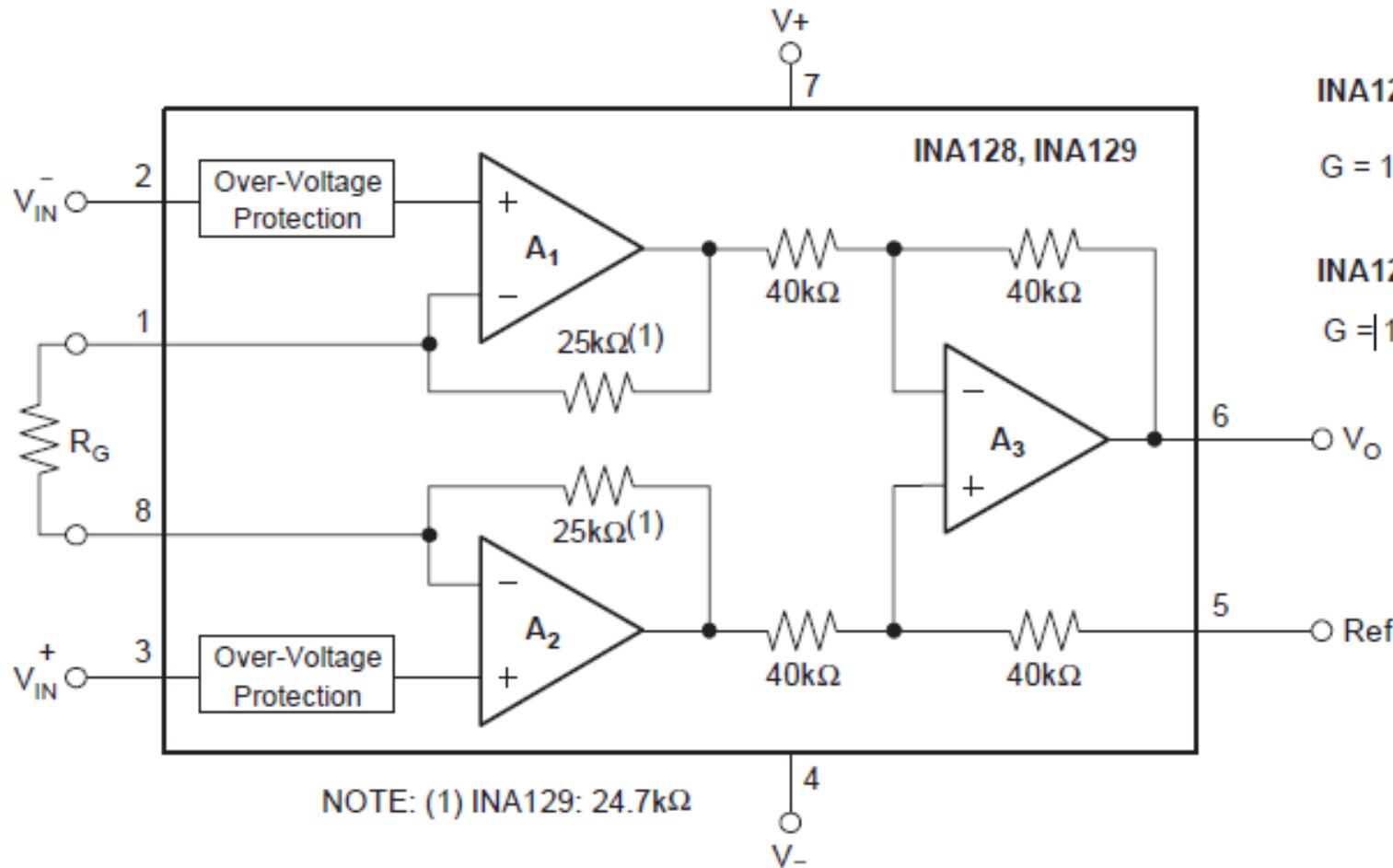


Amplified differential signal.
No common-mode signal.

IC khuếch đại đo

Ví dụ một loại IC khuếch đại đo: INA129

Bản

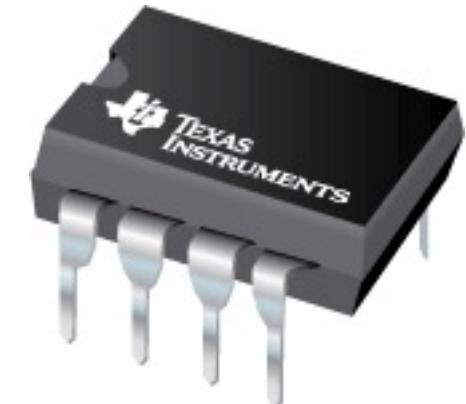


INA128:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$$

INA129:

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G}$$



Nội dung chương

Bản ^{1. Sơ}sketch

1. Giới thiệu vi mạch tương tự
2. IC khuếch đại thuật toán
3. IC khuếch đại vi sai
4. IC khuếch đại đo
5. IC so sánh

IC so sánh

Bản so sánh

- **Chế độ chuyển mạch của IC KĐTT:** Từ đặc tuyến truyền đạt của IC KĐTT, điện áp ra của IC KĐTT sẽ ở trạng thái bão hòa khi điện áp vào có biên độ đủ lớn.

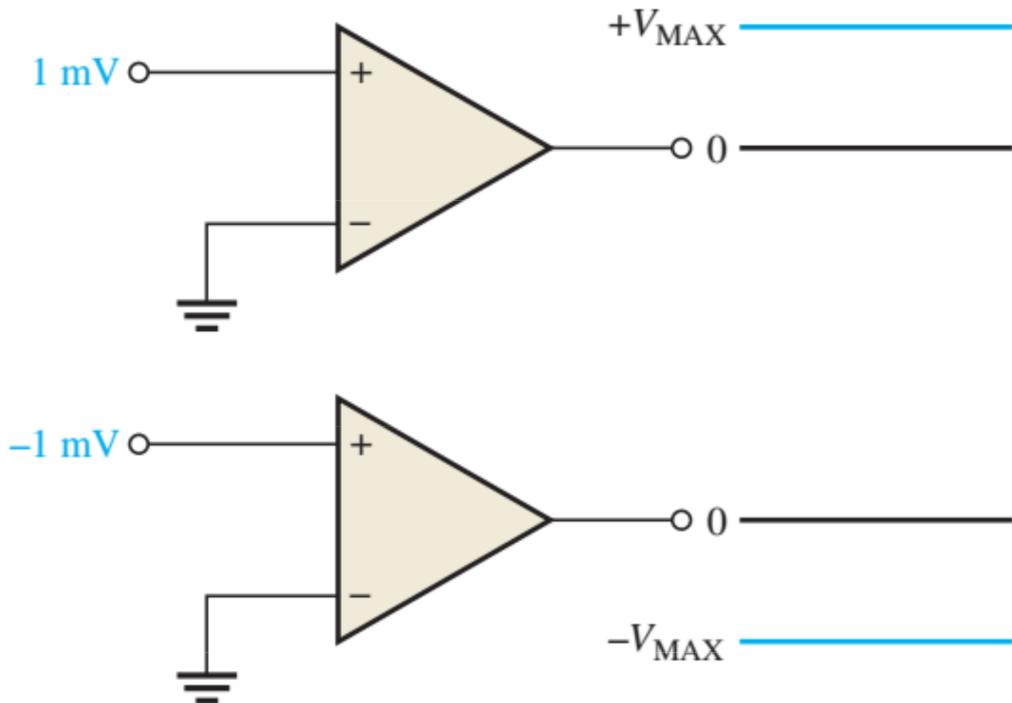
Với $|U_{bh}| = |U_{ra,max}| = E_c - 1 \div 2V$

- **Chuyển mạch bão hòa:** Là chế độ khi $U_{ra} = \pm U_{bh}$ ứng với trường hợp IC KĐTT làm việc khi không có vòng hồi tiếp

IC so sánh

Bản so sánh

- Cấu tạo: có thể coi là 1 bộ KĐTT có Ku rất lớn => độ dốc rất cao => vùng tuyến tính cực nhỏ => gần như chỉ chạy ở chế độ bão hòa
 - Nhiệm vụ: so sánh điện áp vào với một điện áp ngưỡng
 - Đặc điểm đầu ra:
 - Thường là “rail-to-rail” (điện áp bằng điện áp cung cấp, Op-Amp thường điện áp ra thấp hơn điện áp vào)
 - Thường kết nối với các mạch số



IC so sánh

Bản•Các mạch so sánh:

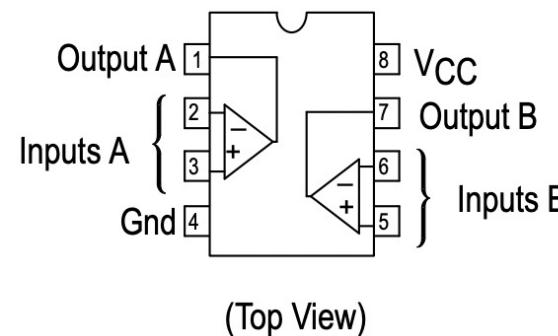
- Mạch so sánh ngưỡng 0
- Mạch so sánh ngưỡng khác 0
- Với mỗi loại, có:
 - So sánh đảo:
 - ✓ Tín hiệu cần so sánh: đưa vào đầu đảo
 - ✓ Điện áp ngưỡng: đưa vào đầu thuận
 - So sánh không đảo
 - ✓ Tín hiệu cần so sánh: đưa vào đầu thuận
 - ✓ Điện áp ngưỡng: đưa vào đầu đảo

Ví dụ IC so sánh

Bản IC LM393 Low Offset Voltage Dual Comparators



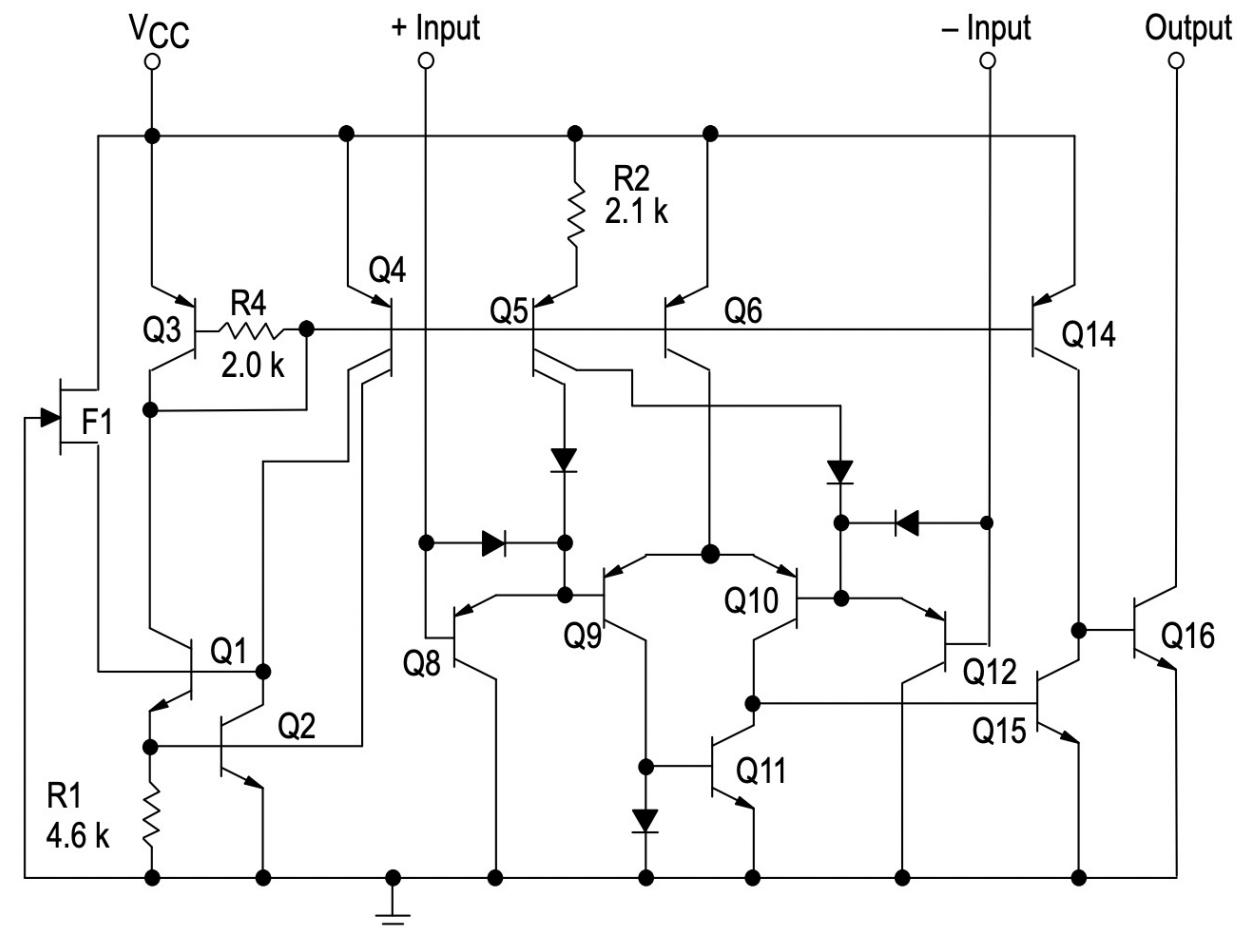
PIN CONNECTIONS



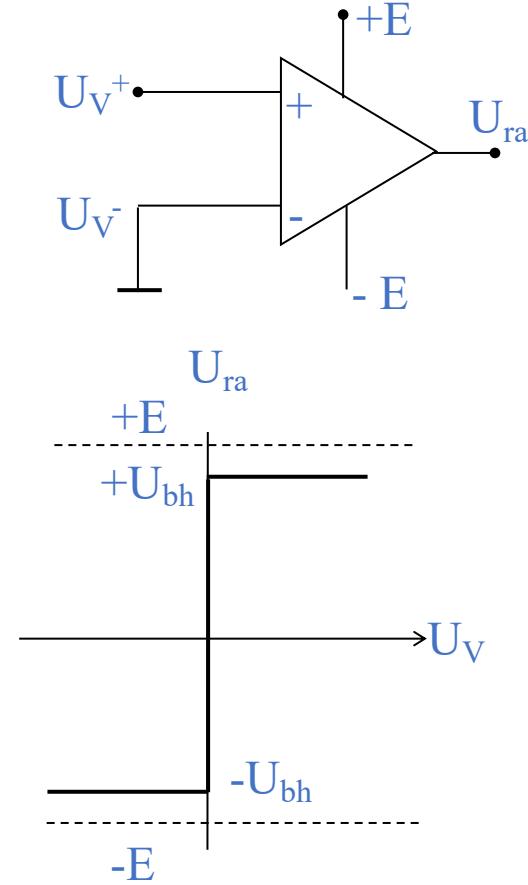
(Top View)

Representative Schematic Diagram

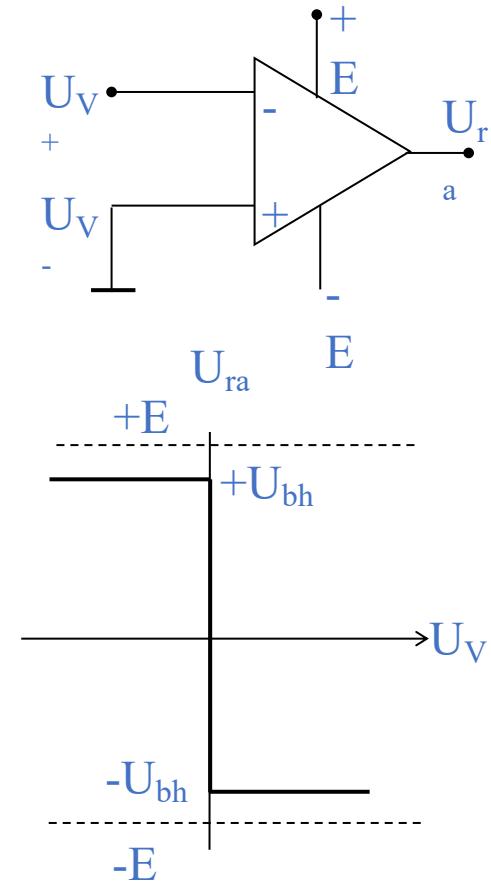
(Diagram shown is for 1 comparator)



IC so sánh



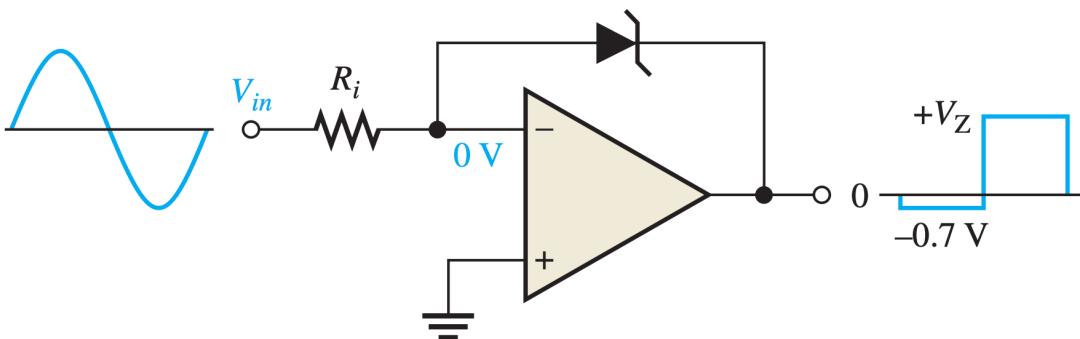
Chuyển mạch vào không đảo
và đặc tuyến vào/ra



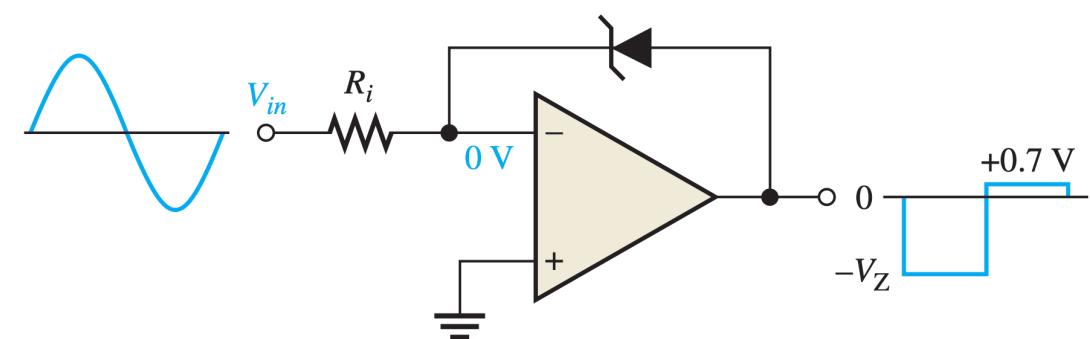
Chuyển mạch vào đảo
và đặc tuyến vào/ra

IC so sánh

Chuyển mạch không bão hòa: Dùng các mạch hạn chế biên độ điện áp
ra: $|U_{ra}| < |U_{bh}|$



(a) Bounded at a positive value



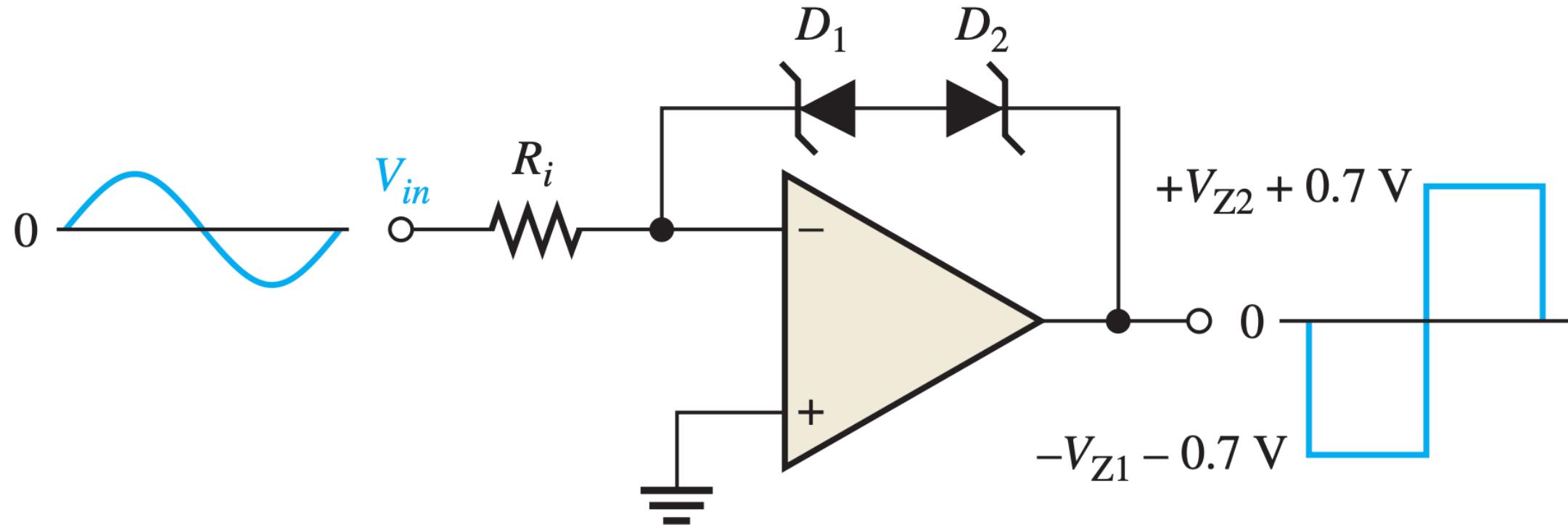
(b) Bounded at a negative value

Hạn chế mức $+U_Z$ và $-0,7\text{ V}$

Hạn chế mức $-U_Z$ và $+0,7\text{ V}$

IC so sánh

Chuyển mạch không bão hòa: Dùng các mạch hạn chế biên độ điện áp
Bản ra: $|U_{ra}| < |U_{bh}|$



Hạn chế mức $+U_z$ và $-U_z$

Tổng kết chương

Bản•số
tạo

Nội dung đã học

- ✓ Giới thiệu vi mạch tương tự
- ✓ IC khuếch đại thuật toán
- ✓ IC khuếch đại vi sai
- ✓ IC khuếch đại đo
- ✓ IC so sánh

• Nội dung quan trọng (tăng GPA, CPA):

- ✓ Toàn bộ các nội dung liên quan đến KĐTT
- ✓ Cách tính K_u trong các mạch có sử dụng bộ KĐTT

