

# GLI AMPLIFICATORI

Sono dispositivi, solitamente a due porte, che accettano un segnale in ingresso in tensione o corrente e producono in uscita una replica del segnale amplificato.

Gli amplificatori più comuni sono l'amplificatore di tensione e l'amplificatore di corrente.

La funzione di trasferimento per un amplificatore è definita dalla relazione

$$V_{OUT} = A_V \cdot V_{IN}$$

oppure

$$I_{OUT} = A_I \cdot I_{IN}$$

dove  $V_{IN}$  e  $V_{OUT}$  sono le tensioni in ingresso e uscita e  $A_V$  viene chiamato guadagno in tensione (VOLTAGE GAIN FACTOR). Analogamente per l'amplificatore in corrente avere,  $I_{IN}$  e  $I_{OUT}$  come correnti in ingresso e uscita del circuito, mentre  $A_I$  è il guadagno in corrente (CURRENT GAIN FACTOR).

Si fa notare che il guadagno può essere positivo oppure negativo: nel primo caso il segnale amplificato ha la stessa polarità di quello in ingresso, mentre nel secondo ha polarità opposta.

Per un amplificatore lineare è, in genere, possibile

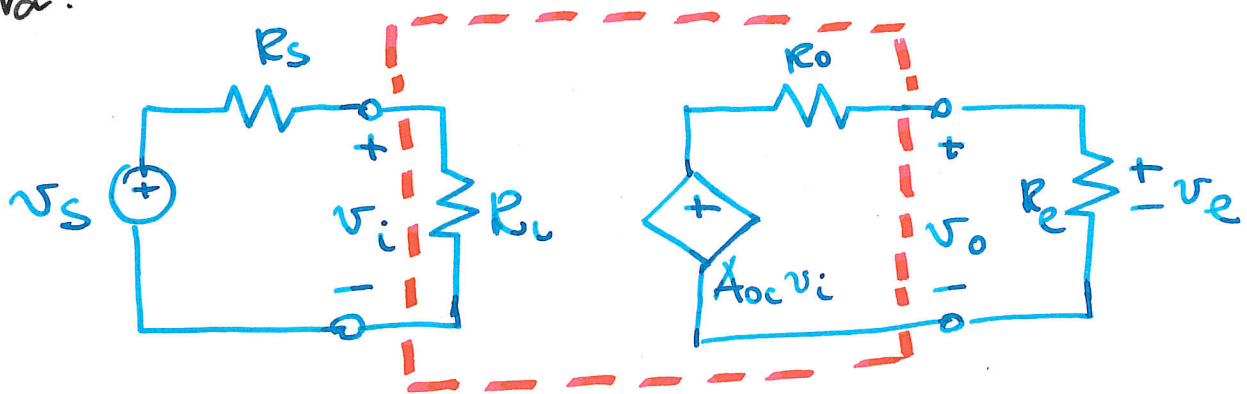
Calcolare il circuito equivalente di Thévenin o di Norton per le porte in ingresso e in uscita.

I terminali di ingresso giocano un ruolo puramente passivo e vengono modellati con una semplice resistenza equivalente,  $R_i$ . I terminali in uscita sono rappresentati da una resistenza di output  $R_o$ , e da un generatore dipendente; quest'ultimo riflette il fatto che l'output è 'controllato' dall'input.

Vedremo ora nel dettaglio i modelli di amplificatore che possono vedersi.

## L'AMPLIFICATORE di TENSIONE

Lo schema di amplificatore è rappresentato in figura:



L'amplificatore amplifica la tensione ai terminali di ingresso  $v_i$  e produce una tensione in uscita  $v_o$ .

Ritorniamo ora la funzione di trasferimento che mette in relazione  $v_e$  (caduta di tensione sul carico  $R_e$ ) e  $v_i$ .

$$v_e = \frac{R_e}{R_s + R_e} v_s$$

perché  $R_e$  e  $R_s$  sono un partitore di tensione



Andogamente in usata

$$v_o = v_e = \frac{R_e}{R_o + R_e} A_{oc} v_i$$

In assenza di carico ( $R_e \rightarrow \infty$ )

$$\lim_{R_e \rightarrow \infty} \frac{R_e}{R_e (1 + \frac{R_o}{R_e})} A_{oc} v_i = A_{oc} v_i$$

Quindi  $A_{oc} = \frac{v_o}{v_i}$  prende il nome di guadagno a circuito aperto

Combinare da le espressioni ricorrete precedentemente

$$v_o = \frac{R_e}{R_e + R_o} A_{oc} \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s$$

Il guadagno in tensione tra la sorgente e il carico è

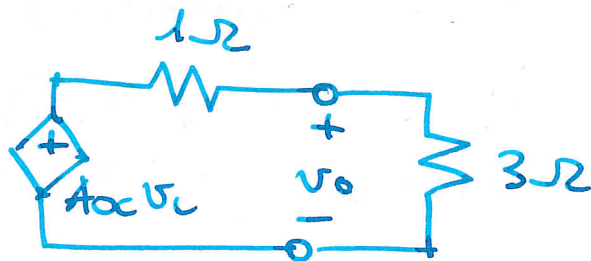
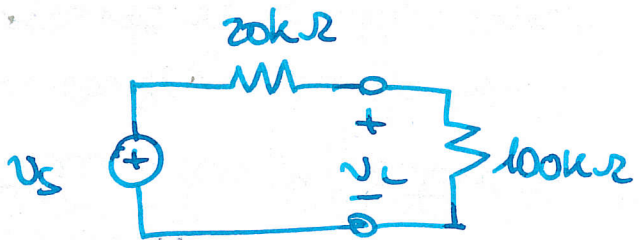
$$\frac{v_e}{v_s} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_o}$$

Quindi, a causa del carico, avviene sempre che

$$\left| \frac{v_e}{v_s} \right| \leq |A_{oc}|$$

## ESERCIZIO

È dato un amplificatore di tensione con  $R_i = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $A_{oc} = 100 \text{ V/V}$  e  $R_o = 1 \Omega$ . All'amplificatore è collegata una sorgente  $v_s$  con  $R_s = 20 \text{ k}\Omega$ , e un carico  $R_e = 3 \Omega$ . Calcolare il rapporto  $v_e/v_s$ .



Arreano

$$\frac{v_e}{v_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_o}$$

EFFETTO DEL CARICO IN INGRESSO

$$= \frac{100k}{120k} \cdot 100 \cdot \frac{3}{4} = 0,833 \times 100 \times 0,75$$

EFFETTO DEL CARICO IN USCITA

$$= 62,5 \text{ V/V}$$

### ESERCIZIO

Un segnale da 1mV con  $R_s = 200 \text{ k}\Omega$  deve essere amplificato in modo da produrre un segnale da 1V su un carico da  $8 \Omega$ .

Se l'amplificatore ha impedenze di ingresso e di uscita rispettivamente  $R_i = 1 \text{ M}\Omega$  e  $R_o = 2 \Omega$ , calcolare il guadagno a circuito aperto  $A_{oc}$  necessario

Sappiamo che

$$\frac{v_e}{v_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_o}$$

per tanto

$$A_{oc} = \frac{v_e}{v_s} \cdot \frac{R_i + R_s}{R_i} \cdot \frac{R_e + R_o}{R_e} = \frac{1V}{1mV} \cdot \frac{10^6 + 210^5}{10^6} \cdot \frac{8 + 2}{8}$$

$$= 10^3 \cdot 1,2 \cdot \frac{5}{4} = 1,5 \cdot 10^3 = 1500 \text{ V/V}$$

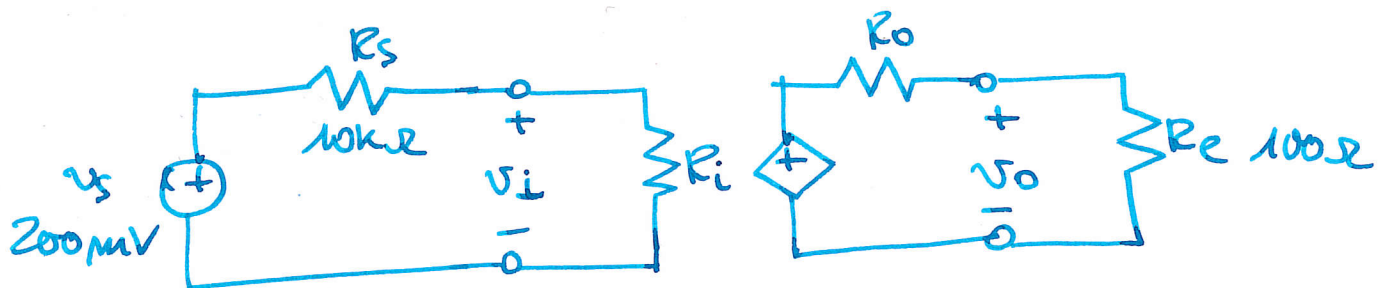


## ESERCIZIO

Il carico di un amplificatore può essere utilizzato per determinare i parametri dell'amplificatore.

Supponiamo di voler amplificare un segnale in tensione  $v_s = 200\text{mV}$  con resistenza in serie  $R_s = 10\text{k}\Omega$  e di utilizzare un amplificatore in tensione con carico  $R_e = 100\Omega$ .

Le misure ai terminali di ingresso e uscita con un voltmetro digitale forniscono  $v_i = 150\text{mV}$  e  $v_o = 6\text{V}$ . Tagliando il carico otteniamo  $v_o = 7.5\text{V}$ . Determinare  $R_i$ ,  $R_o$  e  $A_{oc}$  dell'amplificatore.



$$v_L = \frac{R_L}{R_s + R_L} v_s \rightarrow \frac{v_s}{v_i} = 1 + \frac{R_s}{R_L} \rightarrow \frac{R_s}{R_L} = \frac{v_s - v_L}{v_L}$$

$$\rightarrow R_L = R_s \cdot \frac{v_L}{v_s - v_L} = 10\text{k}\Omega \cdot \frac{150\text{mV}}{200\text{mV} - 150\text{mV}} = 10\text{k}\Omega \cdot \frac{15}{5} = 30\text{k}\Omega$$

$$R_L = 30\text{k}\Omega$$

In assenza di carico

$$A_{oc} = \frac{v_o^{\text{UNLOADED}}}{v_i} = \frac{7.5}{0.15} = 50 \text{ V/V}$$

$$A_{oc} = 50 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

Scrivere infine la funzione di trasferimento con il carico

$$v_o = \frac{R_e}{R_e + R_o} A_{oc} v_L, \quad \text{ma } A_{oc} v_L \equiv v_o^{\text{UNLOADED}}$$

$$\frac{v_o}{v_o^{\text{UNL}}} = \frac{R_e}{R_e + R_o} \rightarrow \frac{v_o^{\text{UNL}}}{v_o} = 1 + \frac{R_o}{R_e} \rightarrow \frac{R_o}{R_e} = \frac{v_o^{\text{UNL}} - v_o}{v_o}$$

$$R_o = R_e \left( \frac{v_o^{\text{UNLOADED}} - v_o}{v_o} \right)$$

$$= \frac{50}{100} \cdot \frac{7,5 - 6}{\frac{1}{3}} = 50 \cdot \frac{0,5}{\frac{1}{3}} = 25 \Omega$$

$$R_o = 25 \Omega$$

## AMPLIFICATORE IDEALE di TENSIONE

In generale il carico non è desiderabile (anche se è meritabile). Per minimizzare gli effetti del carico dovremmo avere  $R_L \gg R_S$  e  $R_o \ll R_e$ .  
Le due condizioni derivano dalle funzioni di trasferimento con vuoto.

$$\frac{v_o}{v_e} = \frac{R_L}{R_L + R_S} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_o} = \frac{1}{1 + \frac{R_S}{R_L}} A_{oc} \frac{1}{1 + \frac{R_o}{R_e}}$$

se  $R_L \gg R_S$  o  $R_L = \infty$

e  $R_o \ll R_e$  o  $R_o = 0$

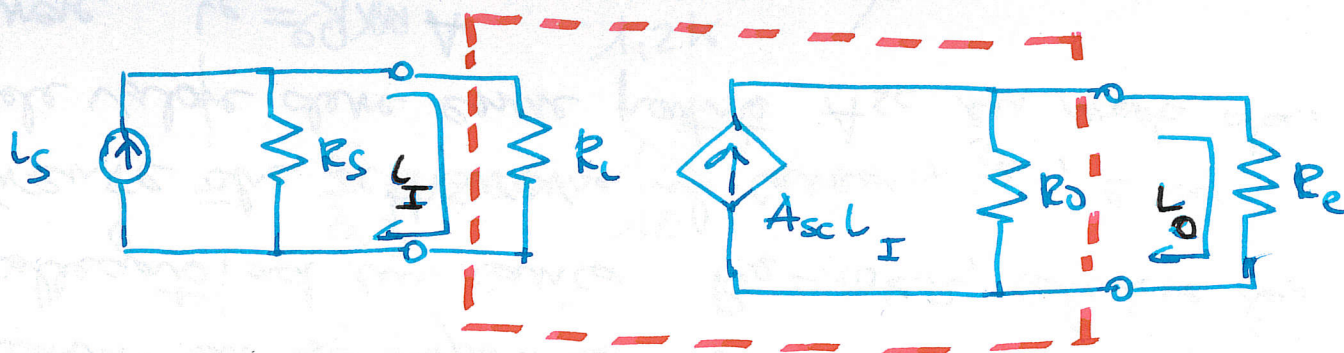
avere il ce ideale e

$$\frac{v_o}{v_e} = A_{oc}$$



## L'AMPLIFICATORE di CORRENTE

Il modello equivalente per un amplificatore di corrente è rappresentato in figura



Applichiamo le regole del partitore di corrente in ingresso e uscita

$$I_I = \frac{R_s}{R_s + R_L} I_s \quad \text{e} \quad I_o = \frac{R_o}{R_o + R_e} A_{sc} I_I$$

In assenza di carico,  $R_e = 0$

$$\lim_{R_e \rightarrow 0} \frac{R_o}{R_o + R_e} A_{sc} I_I = A_{sc} I_I$$

testante  $A_{sc} = \frac{I_o}{I_I}$

prende il nome di guadagno a circuito chiuso

In presenza di carico

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{R_s}{R_s + R_L} A_{sc} \frac{R_o}{R_o + R_e}$$

In generale

$$\left| \frac{I_o}{I_s} \right| \leq |A_{sc}|$$

a causa del carico in ingresso e uscita

Per eliminare gli effetti del carico dovremmo avere

$$R_L \ll R_S \quad \text{e} \quad R_e \ll R_o$$

infatti

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_S}} A_{sc} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_e}{R_o}}$$

e nel limite di amplificatore ideale

$$R_L = 0$$

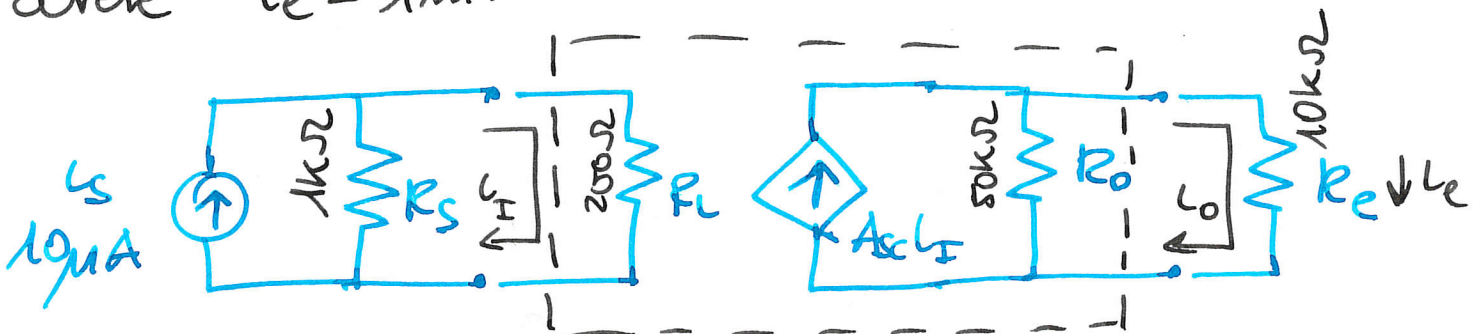
$$R_o = \infty$$

avremo 
$$\frac{I_o}{I_s} = A_{sc}$$

indipendente dai carichi in ingresso e uscita

### ESERCIZIO

Dato un amplificatore di corrente con  $A_{sc} = 100 \frac{A}{A}$ ,  $R_L = 200 \Omega$  e  $R_o = 50k\Omega$ , collegare una sorgente di corrente con  $I_s = 10\mu A$  e  $R_S = 1k\Omega$ . Se l'amplificatore è collegato ad un carico  $R_e = 10k\Omega$ , calcolare la corrente che attraversa il carico,  $I_e$ , e a quale valore deve essere portata  $A_{sc}$  in modo da avere  $I_e = 1mA$





$$\begin{aligned}
 I_e = I_o &= \frac{R_o}{R_o + R_e} A_{sc} \frac{R_s}{R_s + R_L} I_s \\
 &= \frac{50k}{60k} \cdot 100 \cdot \frac{1k}{1,2k} \cdot 10\mu A \\
 &= \frac{5}{6} \cdot 100 \cdot \frac{10^5}{12} \cdot 0,01mA \\
 &= \frac{25}{36} \cdot 1mA
 \end{aligned}$$

$$A_{sc} = \frac{I_e}{I_s} \cdot \underbrace{\frac{R_o + R_e}{R_o}}_{\frac{6}{5}} \cdot \underbrace{\frac{R_s + R_L}{R_s}}_{1,2} = \frac{1mA}{0,01mA} \times \frac{6}{5} \times 1,2 = 144 \text{ A/A}$$

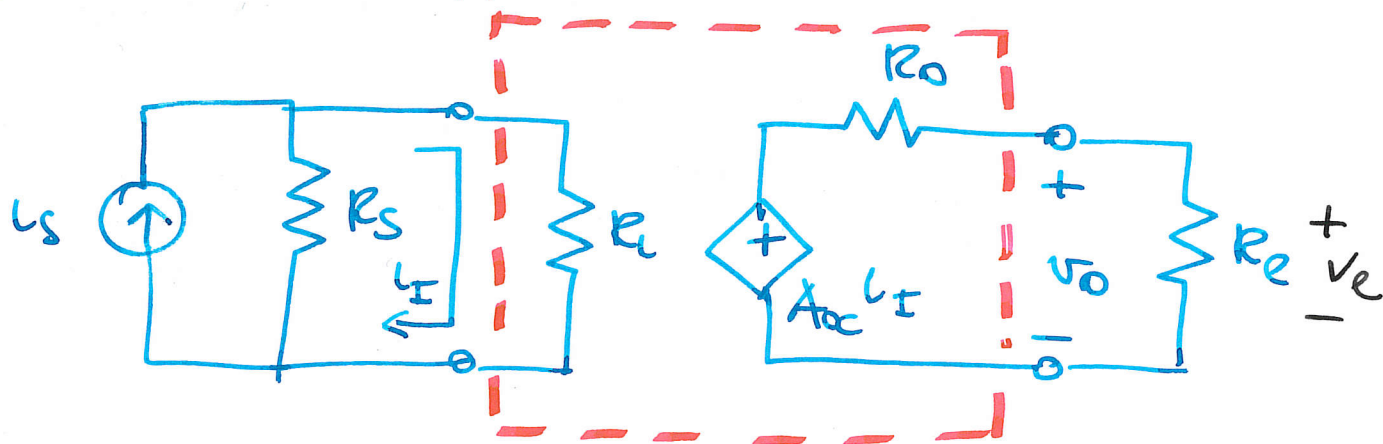
## GLI AMPLIFICATORI di TRANSRESISTENZA e di TRANSCONDUITANZA

Vengono utilizzati nel caso in cui le grandezze in ingresso e uscita non siano le stesse.

Per esempio:

- si vuole amplificare una corrente in ingresso producendo una tensione in uscita: **TRANSRESISTANCE AMPLIFIER**
- si vuole amplificare una tensione in ingresso fornendo una corrente in uscita: **TRANSCONDUCTANCE AMPLIFIER**

# Studiare il modello di **AMPLIFICATORE di TRANSERISTENZA**



Il guadagno è espresso in V/A

$$L_I = \frac{R_S}{R_S + R_L} L_S \quad ; \quad V_e = \frac{R_e}{R_e + R_o} A_{oc} L_I$$

$$\begin{aligned} \frac{V_e}{L_S} &= \frac{R_S}{R_S + R_L} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_o} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_S}} A_{oc} \frac{1}{1 + \frac{R_o}{R_e}} \end{aligned}$$

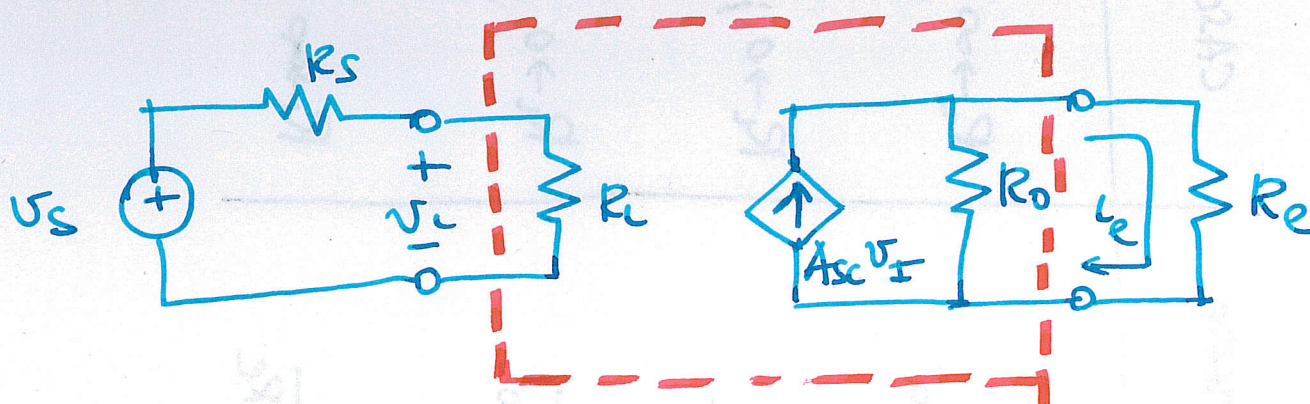
In generale  $\left| \frac{V_e}{L_S} \right| \leq |A_{oc}|$

Il limite di amplificatore ideale si ottiene

per  $R_o = 0$  e  $R_L = 0 \Rightarrow \frac{V_e}{L_S} = A_{oc}$



Completare studiando il modello di  
**AMPLIFICATORE di TRANSCONDOTTANZA**



Il guadagno sarà espresso in A/V

Scriviamo la funzione di trasferimento

$$I_o = \frac{R_o}{R_o + R_e} A_{sc} V_L \quad ; \quad V_L = \frac{R_L}{R_L + R_s} V_s$$

$$\frac{I_o}{V_s} = \frac{R_L}{R_L + R_s} A_{sc} \frac{R_o}{R_o + R_e}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_L}} A_{sc} \frac{1}{1 + \frac{R_e}{R_o}}$$

In generale  $\left| \frac{I_o}{V_s} \right| \leq |A_{sc}|$

Il limite di amplificatore ideale si ottiene

per  $R_o = \infty$  e  $R_L = \infty \Rightarrow \frac{I_o}{V_s} = A_{sc}$

# SCHEMA RIASSUNTIVO AMPLIFICATORI

INPUT	OUTPUT	TIPO	FUNZIONE di TRASFERIMENTO	CASO IDEALE
$v_I$	$v_O$	VOLTAGE AMPLIFIER	$\frac{v_O}{v_I} = \frac{R_L}{R_L + R_S} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_O}$	$R_L \rightarrow \infty; R_O \rightarrow 0$
$i_I$	$i_O$	CURRENT AMPLIFIER	$\frac{i_O}{i_I} = \frac{R_S}{R_S + R_L} A_{sc} \frac{R_O}{R_O + R_e}$	$R_L \rightarrow 0; R_O \rightarrow \infty$
$i_I$	$v_O$	TRANSRESISTANCE AMPLIFIER	$\frac{v_O}{i_I} = \frac{R_S}{R_S + R_L} A_{oc} \frac{R_e}{R_e + R_O}$	$R_L \rightarrow 0; R_O \rightarrow 0$
$v_I$	$i_O$	TRANSCONDUCTANCE AMPLIFIER	$\frac{i_O}{v_I} = \frac{R_L}{R_L + R_S} A_{sc} \frac{R_O}{R_O + R_e}$	$R_L \rightarrow \infty; R_O \rightarrow \infty$