



Apunts

Apunts d'electrònica analògica

Tema 4. Amplificador operacional real

Jordi Zaragoza Bertomeu, Néstor Berbel Artal

Assignatura: Electrònica analògica

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Curs: 3r

Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT)

Idioma: Català

2016





Universitat Politècnica de Catalunya
Departament d'Enginyeria Electrònica



Tema 4

AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

- Influència dels paràmetres de l'amplificador operacional
- Resposta en freqüència de l'amplificador operacional
- Tipus d'amplificadors operacionals

Bibliografia:

- Rafael Pindado, "**Electrónica analógica Integrada**", Ed. Marcombo. Capítol: 4
- James M. Fiore, "**Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales**", Ed. Thomson. Capítols: 1 i 5.
- Pérez García, Álvarez Antón, Campo Rodríguez, Ferrero Martín, Grillo Ortega, "**Instrumentación Electrónica**", Ed. Thomson. Capítol: 2.
- Alvert Paul Malvino, "**Principios de Electrónica**", Ed. McGraw-Hill. Capítol: 22.

□ Objectius:

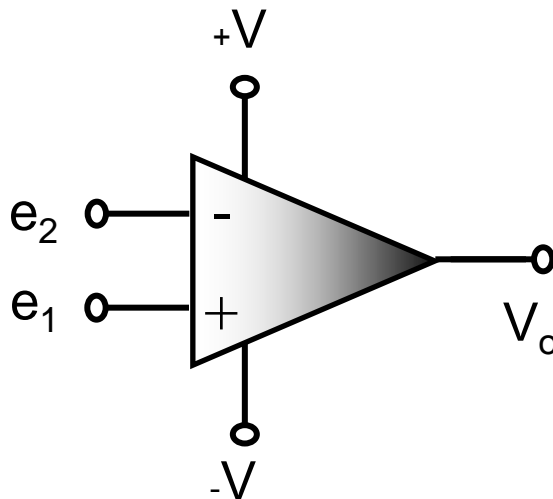
L'objectiu d'aquest tema és presentar alguns dels components no ideals de l'amplificador. En ell es fa referència a diversos paràmetres que allunyen el seu comportament real de l'ideal, i que per tant, hauran de considerar-se ja que imposaran límits i condicionats en els disseny de circuits.

Entre d'altres efectes, d'un amplificador operacional ideal s'espera:

- ✚ sortida nul·la per tensió diferencial d'entrada nul·la
- ✚ derives de temperatura i temps nul·les
- ✚ amplificació del mode comú nul·la
- ✚ guany infinit
- ✚ banda de pas infinita
- ✚ velocitat de creixement de la sortida ilimitada

- Tensió de derivació (o d'offset) d'entrada (V_{io}) (input offset voltage)

Def.- Es la tensió continua que ha d'aplicar-se entre les entrades perquè la tensió de la sortida de l'amplificador operacional sigui nul·la (sense cap resistència entre cada terminal d'entrada i massa).



OPAM IDEAL:

$$V_o = A_d(e_1 - e_2)$$

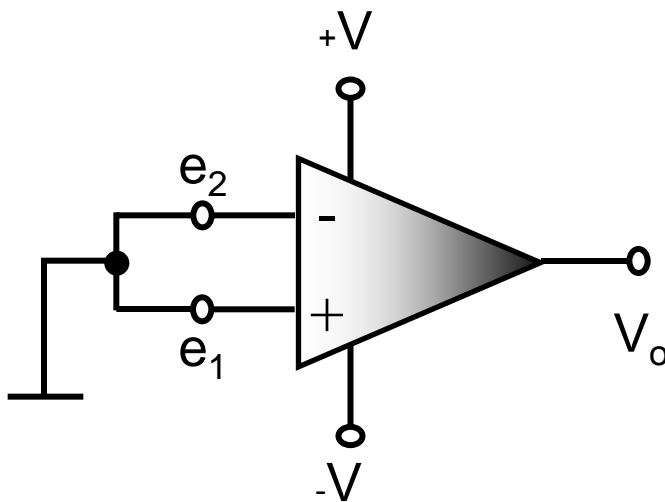
Si $e_1 = e_2$



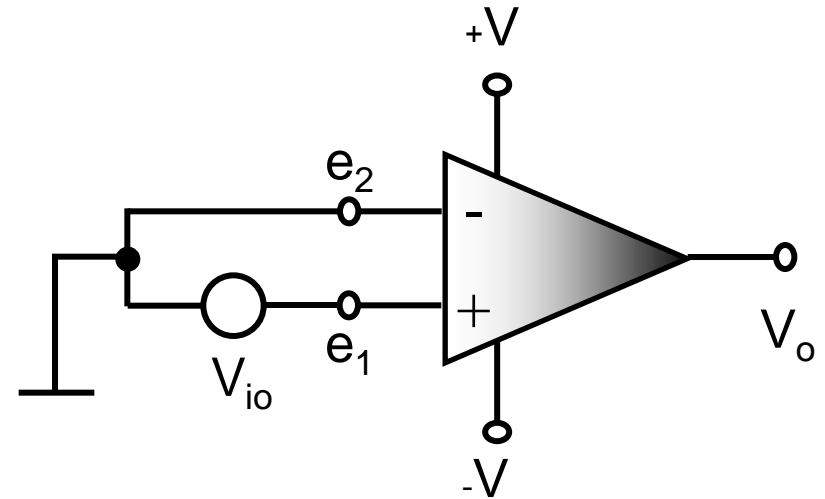
$$V_o = 0$$

- Tensió de derivació (o d'offset) d'entrada (V_{io}) (input offset voltage)

OPAM IDEAL:



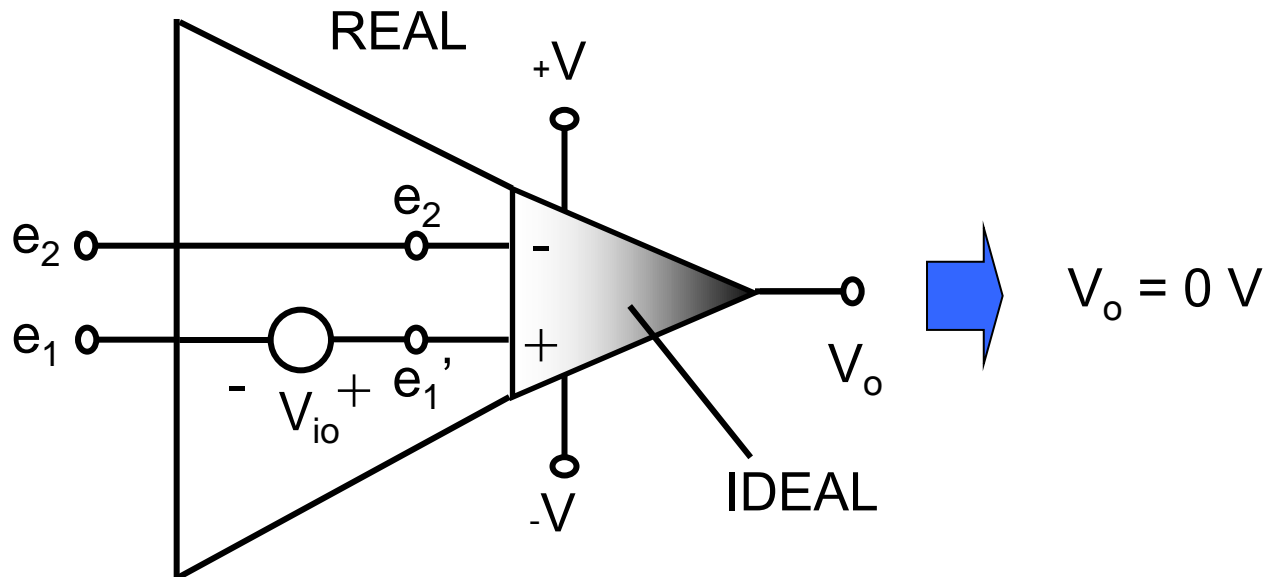
$$V_o \neq 0 \text{ V}$$



$$V_o = 0 \text{ V}$$

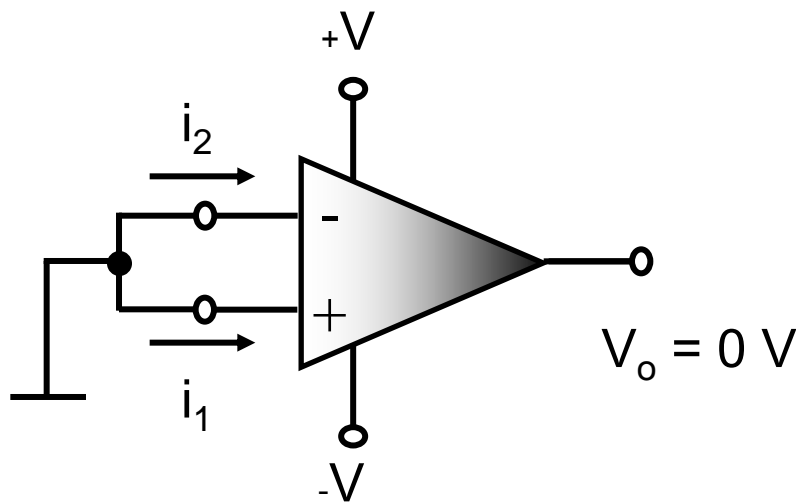
- Tensió de derivació (o d'offset) d'entrada (V_{io}) (input offset voltage)

Model real que contempla la tensió d'offset d'entrada



- Intensitat de derivació (o d'offset) d'entrada (I_{io}) (input offset current)

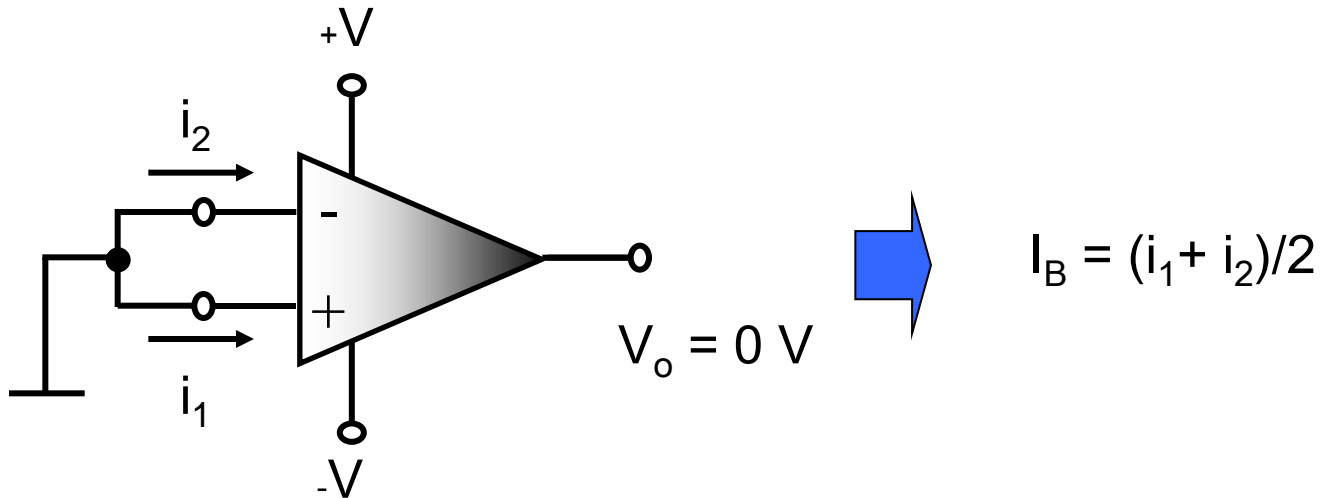
Def.- Diferencia entre els dos corrents d'entrada de l'operacional quan la seva sortida és nul·la.



$$I_{io} = i_1 - i_2$$

□ Intensitat de polarització d'entrada (I_B) (input bias current)

Def.- És la mitja aritmètica de les intensitats absorbides en les entrades de l'operacional quan la seva sortida és nul·la.



$$I_{io} = i_1 - i_2 \quad (1)$$

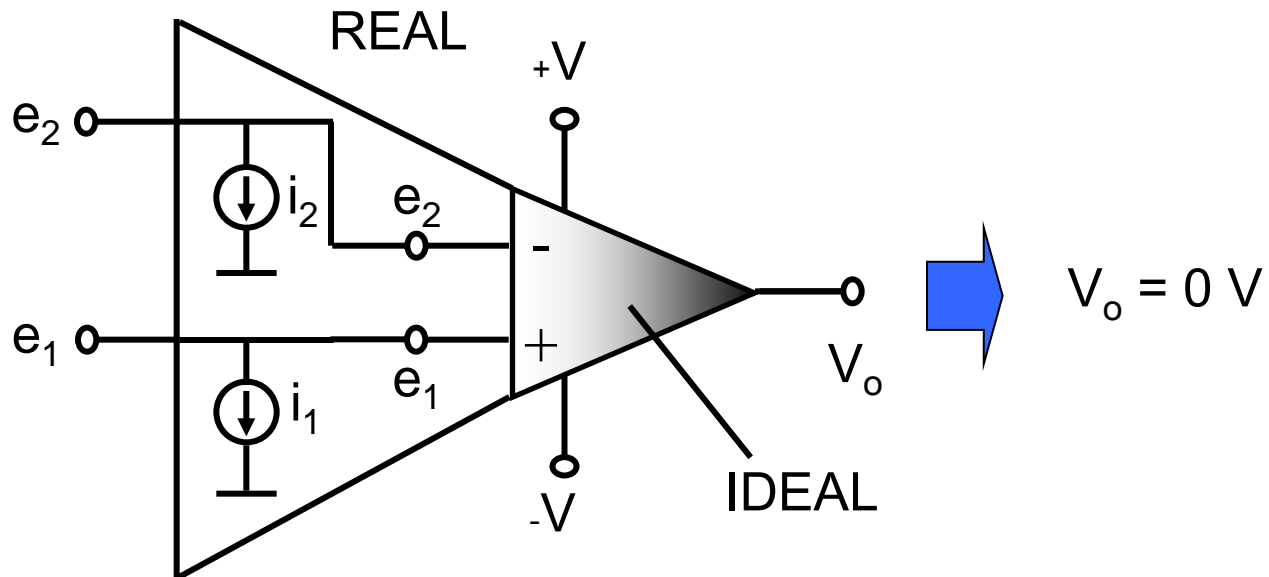
$$I_B = (i_1 + i_2)/2 \quad (2)$$

Sumant i restant ambdues equacions s'obté:

(1)+(2)	$2i_1 = 2I_B + I_{io}$	\Rightarrow	$i_1 = I_B + I_{io}/2$
(2)-(1)	$2i_2 = 2I_B - I_{io}$	\Rightarrow	$i_2 = I_B - I_{io}/2$

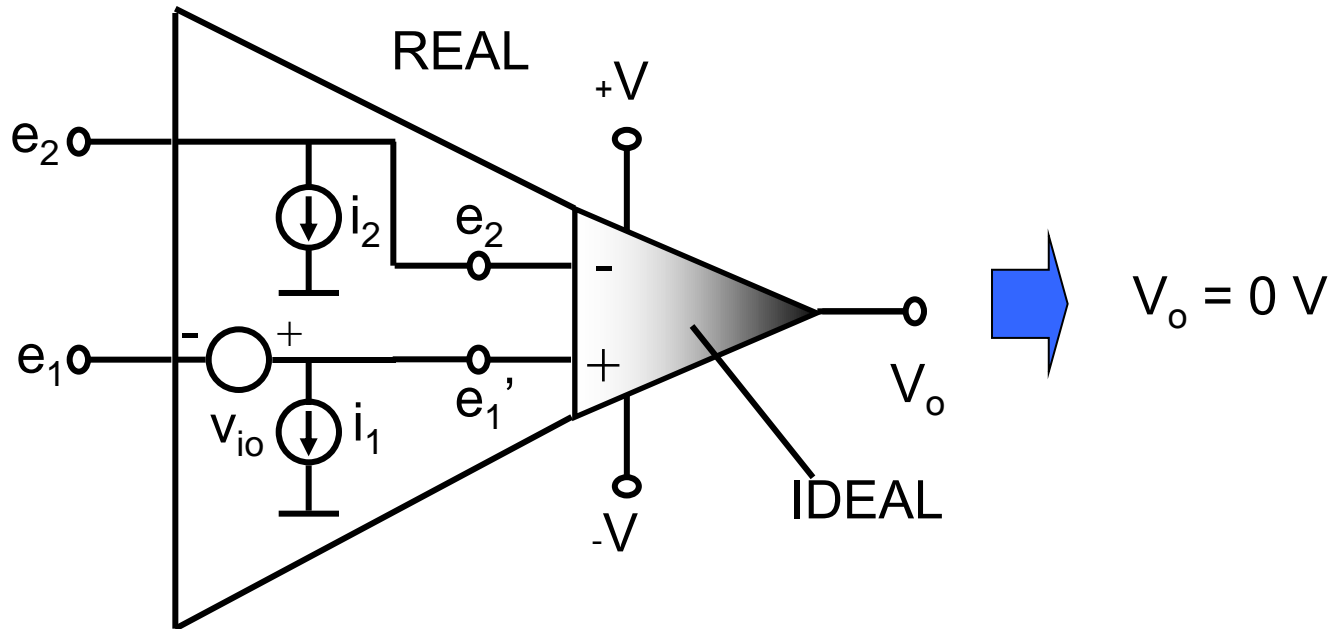
- Intensitat de polarització d'entrada (I_B) (input bias current)

Model real que contempla els corrents d'entrada de l'operacional



□ Compensació dels desplaçaments en continua

El model que s'utilitzarà per a considerar els efectes que produeixen els desplaçaments en continua sobre la sortida d'un amplificador operacional realimentat, és el següent:



□ Compensació dels desplaçaments en continua

Amb caràcter general, l'efecte de realimentació en continua s'indica amb β , de forma que la fracció de la tensió de sortida de realimentació negativa cap a l'entrada serà:

$$\beta = \frac{\text{Tensió realimentació a l'entrada}}{\text{Tensió de sortida}} = \frac{e_2}{V_o}$$

Si s'indica per R_I la resistència total que “veu” l'entrada inversora de l'amplificador operacional cap a fora, i per R_N la resistència total que “veu” l'entrada no inversora cap a fora, tindrem:

□ **Compensació dels desplaçaments en continua**

✓ **Exercici_1:**

Calcular l'expressió matemàtica de la tensió V_o en l'A.O. real en funció dels corrents de l'efecte de realimentació en continua, intensitat de derivació (I_{i_o}) i de polarització (I_B).

✓ **Exercici_2:**

Observant l'expressió matemàtica de la tensió V_o en l'A.O. real en l'exercici anterior, quina seria la conclusió per poder compensar els desplaçaments en continua:

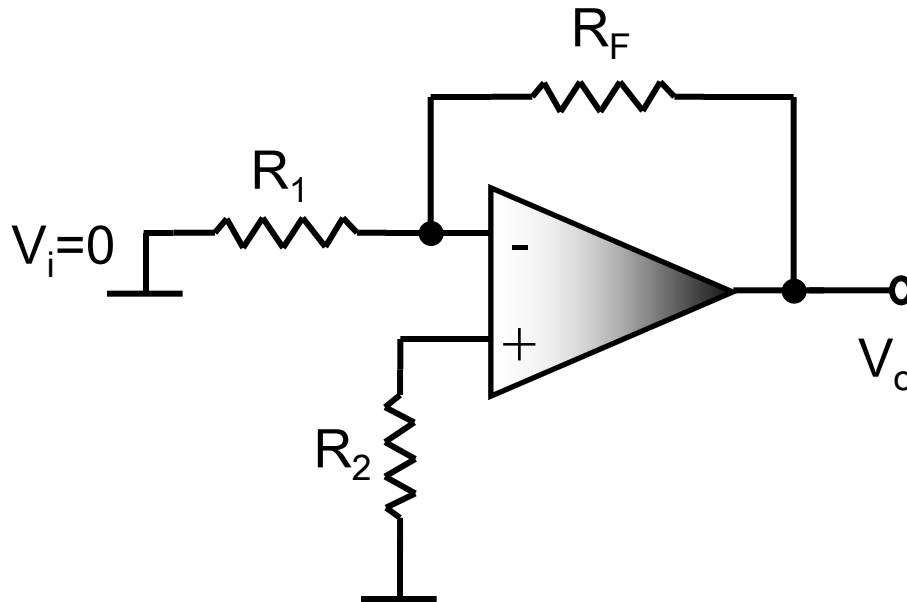
✓ **Exercici_3:**

Observant l'expressió matemàtica de la tensió V_o en l'A.O. real en l'exercici_1, es pot raonar la conclusió:

□ Compensació dels desplaçaments en continua

✓ *Exercici_4:*

Aplicar el resultat anterior al cas d'un amplificador inversor com el de la figura:

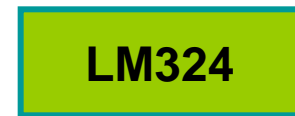


AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

□ Compensació dels desplaçaments en continua

La compensació de la resta d'efectes de desplaçament, es pot realitzar mitjançant terminals específics de compensació d'offset que pot tenir l'amplificador operacional, o bé utilitzar circuits externs com els de les figures:

Informació disponible en els següents *Data Sheets*:



□ **Compensació dels desplaçaments en continua**

Cal indicar que aquests errors de desplaçament de la tensió de sortida no serien preocupants si es mantinguessin constants, el problema és precisament que no és així ja que V_{io} , i_1 i i_2 depenen de paràmetres tals com la temperatura, l'envelliment del component i la tensió d'alimentació.

- Es pot expressar de forma incremental l'influència sobre la sortida d'aquestes variacions de la següent forma:

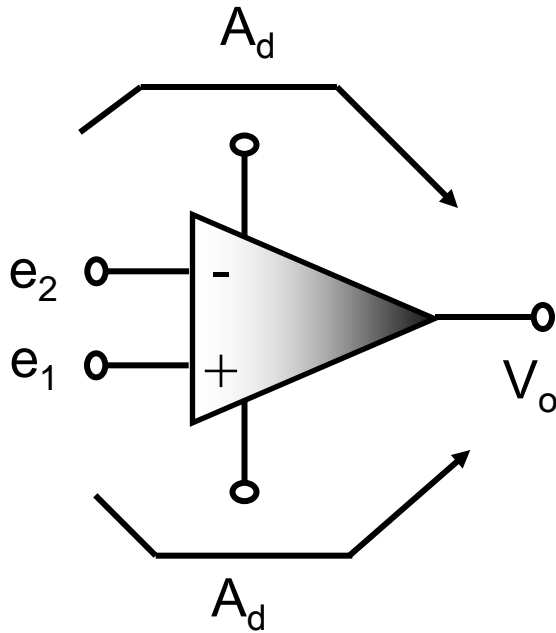
$$\Delta V_o = \frac{1}{\beta} \left[\Delta V_{io} + \Delta I_B (R_I - R_N) - \frac{\Delta I_{io}}{2} (R_I + R_N) \right]$$

- Considerant compensat l'efecte del corrent de polarització, l'expressió quedarà simplificada a:

$$\Delta V_o = \frac{1}{\beta} [\Delta V_{io} - \Delta I_{io} R_I]$$

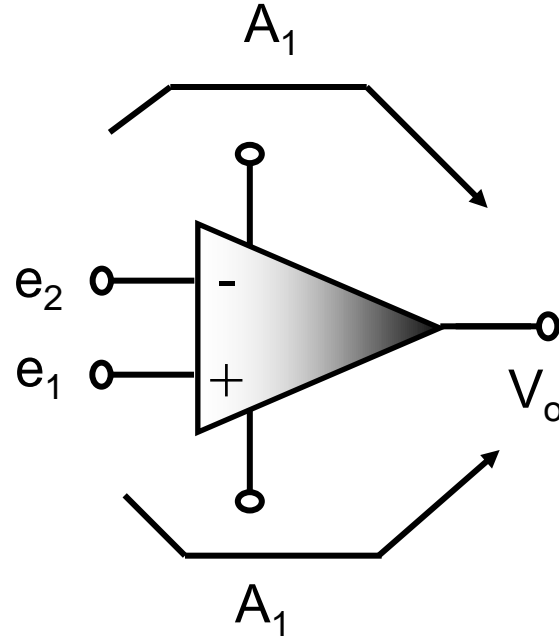
□ Factor de rebuig del mode comú

IDEAL:



$$V_o = A_d(e_1 - e_2) = A_d e_1 - A_d e_2$$

REAL:



$$V_o = A_1 e_1 - A_2 e_2$$

□ Factor de rebuig del mode comú

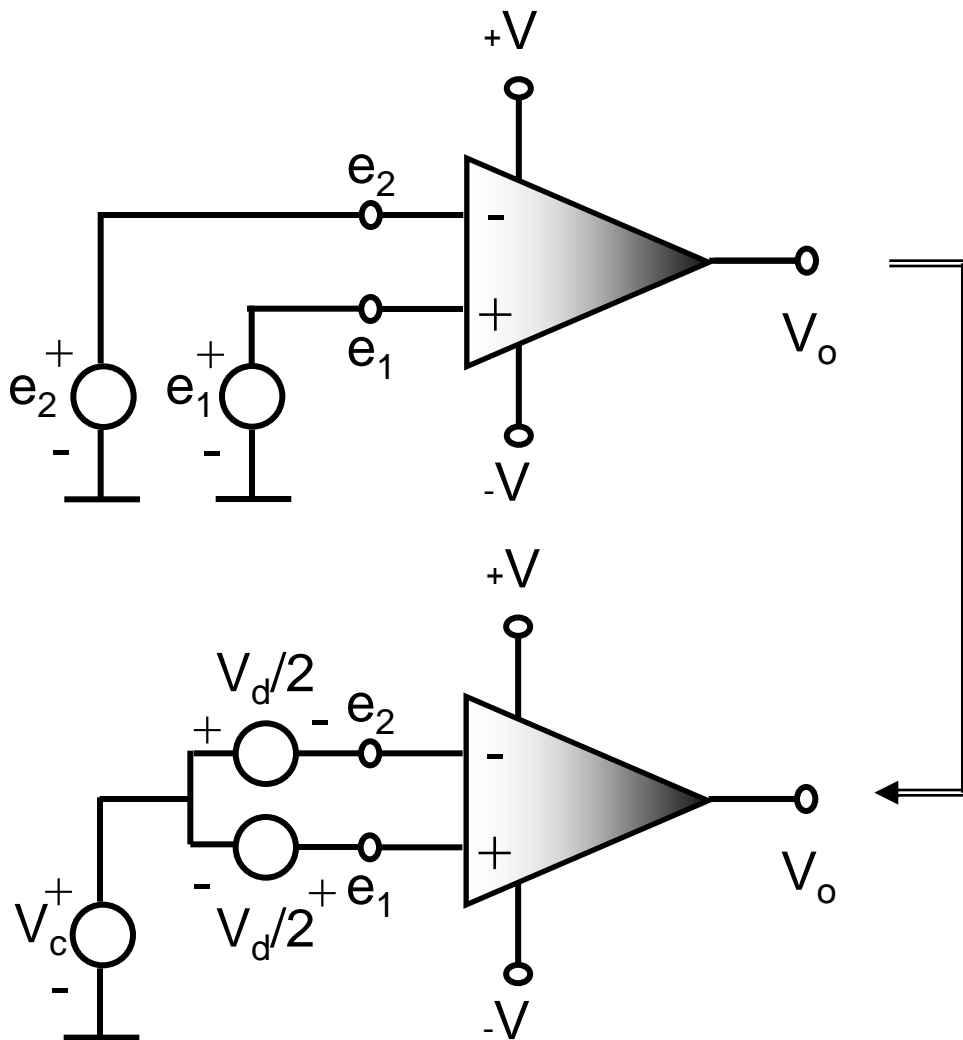
$$e_1 - e_2 = V_d \quad (1) \quad V_d: \text{Tensió diferencial}$$

$$(e_1 + e_2)/2 = V_c \quad (2) \quad V_c: \text{Tensió en mode comú}$$

Sumant i restant ambdues equacions s'obté:

(1)+(2)	$2e_1 = 2V_c + V_d$	\Rightarrow	$e_1 = V_c + V_d/2$
(2)-(1)	$2e_2 = 2V_c - V_d$	\Rightarrow	$e_2 = V_c - V_d/2$

□ Factor de rebuig del mode comú



Guany en mode comú:

$$A_c = A_1 - A_2$$

Guany en mode diferencial:

$$A_d = (A_1 + A_2)/2$$

Es defineix com factor de rebuig del mode comú a la següent relació:

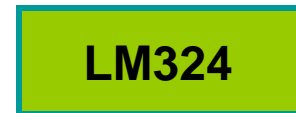
$$CMRR = 20 \log_{10}(A_d/A_c)$$

□ Factor de rebuig del mode comú

$$V_o = A_1 e_1 - A_2 e_2 = A_1 (V_c + V_d/2) - A_2 (V_c - V_d/2) = [A_1 - A_2] V_c + [(A_1 + A_2)/2] V_d$$

Com que interessa un guany en mode diferencial alt ($A_d \uparrow \uparrow$) i un guany en mode mode comú baix ($A_c \downarrow \downarrow$), en el cas ideal infinita i nul·la respectivament , el valor CMRR haurà de ser el més alt possible (típicament 100dB).

Informació disponible en els següents *Data Sheets*:



□ SLEW-RATE (SR)

L'SLEW-RATE és la màxima velocitat de variació de la tensió de la sortida que permet un amplificador operacional.

El motiu d'aquesta limitació és l'existència de capacitats internes del circuit integrat.

Els valors habituals van des de 0,5 V/ μ S a 13 V/ μ S, existint amplificadors operacionals majors.

Centrant l'estudi al cas particular de pretendre reproduir a la sortida de l'amplificador operacional una tensió senusoïdal:

$$f_{m\grave{a}x} = \frac{SR}{2\pi V_{om\grave{a}x}}$$

LM714

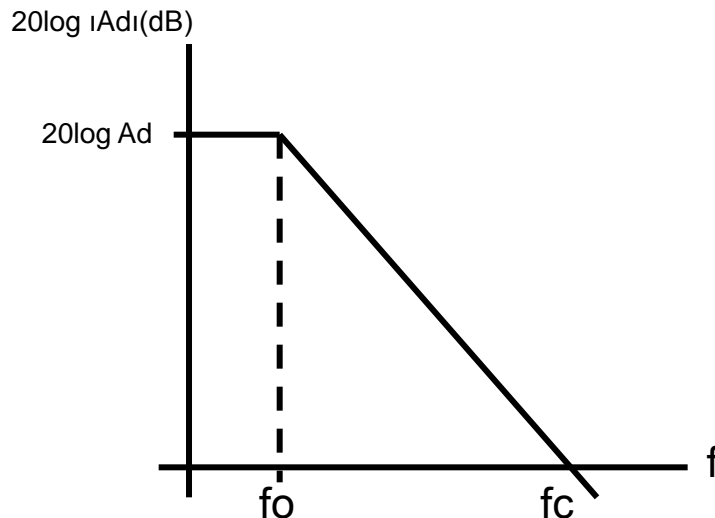
TI081

LM324



□ Pèrdua de guany diferencial amb la freqüència

Fent treballar l'amplificador operacional en continua o a baixes freqüències, és generalment suficient considerar el guany en anell obert de valor constant A_d . Ara bé, per a freqüències més elevades es fa necessari tenir en compte el caràcter sensible a la freqüència del guany en anell obert. La representació asimptòtica de la resposta en freqüència de l'amplificador operacional sol ser de la forma indicada en el pla de Bode de la figura (cas d'amplificador compensat).



$$A_d = V_o/V_d$$

□ Pèrdua de guany diferencial amb la freqüència

Aquesta pèrdua de guany diferencial fa que el comportament real de l'amplificador operacional es vagi allunyant cada vegada més del comportament ideal ($A_d \rightarrow \infty$) a mesura que augmenta la freqüència.

Això suposarà, entre altres efectes, una pèrdua de precisió en el guany obtingut en anell tancat a la freqüències altes. Així doncs, representarà una limitació en freqüència.