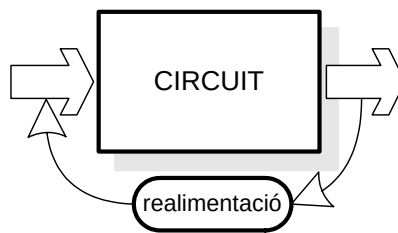


Realimentació i Estabilitat

- Realimentació
 - Realimentació negativa
 - Propietats
- Estabilitat
 - Condicions
 - Marges de guany i fase

Introducció

- Realimentació: En un circuit tenim realimentació (*feedback*) quan existeix una connexió d'alguna de les sortides amb alguna de les entrades



- Aplicacions en electrònica analògica:

- Circuits amplificadors.

Amb realimentació aconseguim:

- Reducció de la sensibilitat de l'amplificador en front de variacions de paràmetres
- Augment de l'ample de banda
- Reduir distorsions de no linealitat
- Minimitzar els efectes del renou
- Millorar les impedàncies d'entrada i sortida

Però, presente també desavantatges

- Reducció del guany de l'amplificador abans de realimentar
- Oscil·lacions o inestabilitats no desitjades

- Oscil·ladors : els tractarem més endavant

Realimentació: Teoria general

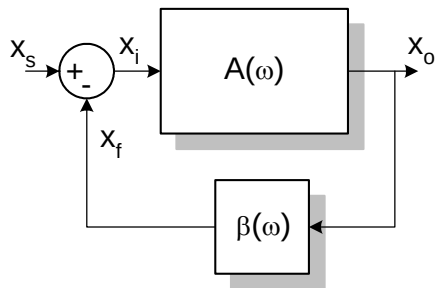


Diagrama de fluxe de senyal d'un
amplificador realimentat

(x pot ser V o I)

- Realimentació negativa: la senyal realimentada es resta de l'entrada
- Tenim

- Anem a calcular el guany del sistema realimentat A_F

- Definim el guany de laç $L = A(\omega)\beta(\omega)$

Propietats de la realimentació negativa

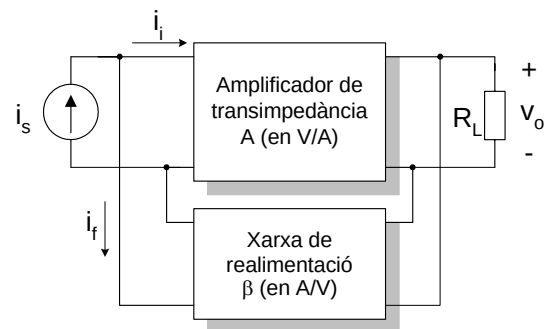
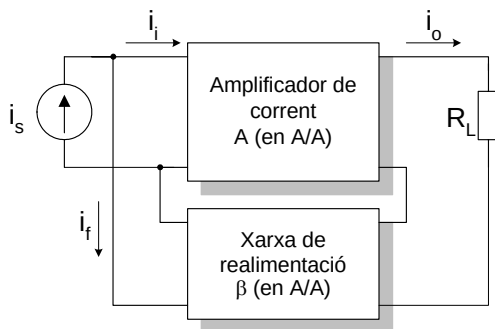
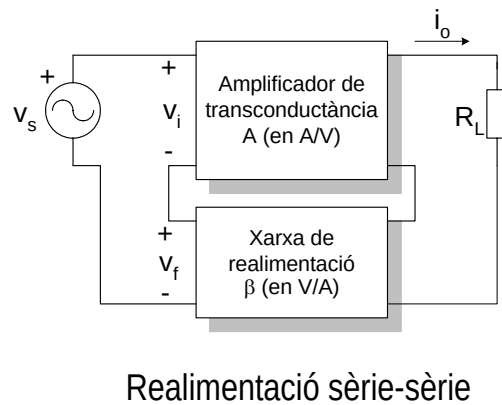
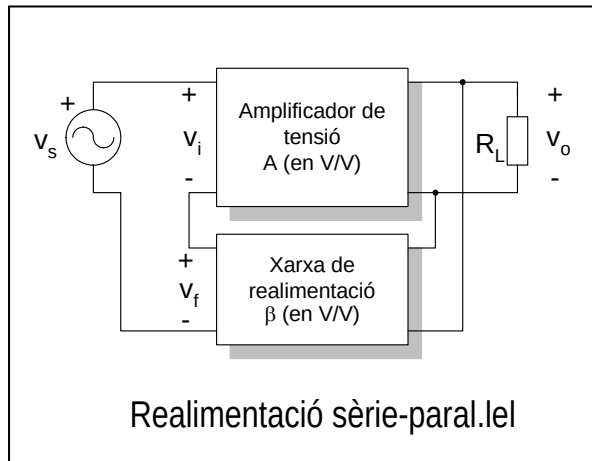
Analitzarem tres de les més importants

- Reducció de la sensibilitat del guany A_F respecte a variacions del guany A
- Reducció de la distorsió de no linealitat

Propietats de la realimentació negativa

- Extensió de l'ample de banda

Tipus d'amplificadors realimentats



Estabilitat dels sistemes realimentats

Concepte d'estabilitat

Sistema estable

Sistema inestable

Sistema inestable
oscil.lacions

Estudi de l'estabilitat d'un amplificador realimentat

- Suposem un amplificador amb realimentació negativa

$$A_f(\omega) = \frac{A(\omega)}{1 + A(\omega)\beta(\omega)}$$

- Definim el guany de llaç $L(\omega)$ (funció complexa de la freqüència)

$$L(\omega) = A(\omega) \cdot \beta(\omega) = |L(\omega)| \angle \phi(\omega)$$

mòdul
fase

- Segui ω_{180} la freqüència tal que $\phi(\omega_{180}) = \pm 180^\circ$ ($\pm \pi$ rad)

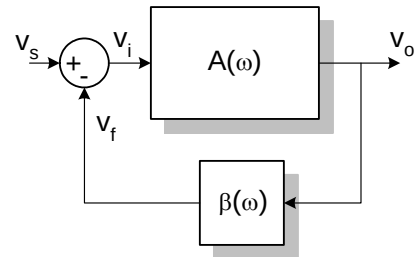
$$|L(\omega_{180})| < 1 \quad \text{L'amplificador és ESTABLE}$$

$$|L(\omega_{180})| \geq 1 \quad \begin{array}{l} \text{L'amplificador és INESTABLE} \\ \text{Apareixen oscil.lacions de pulsació } \omega_{180} \end{array}$$

Estabilitat dels sistemes realimentats

Interpretació intuïtiva de les condicions d'estabilitat
(realimentació negativa)

- Cas $|L(\omega_{180})| = 1$



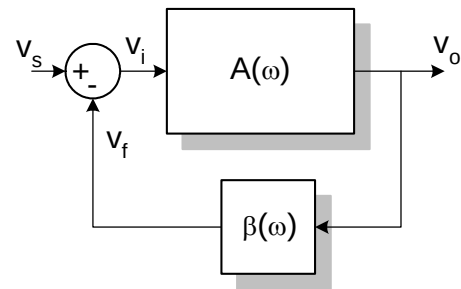
- Cas $|L(\omega_{180})| < 1$

- Cas $|L(\omega_{180})| > 1$

Estabilitat dels sistemes realimentats

Càlcul del guany de llaç $L(\omega)$

- Per determinar l'estabilitat d'un amplificador haurem de calcular $L(\omega)$
- Suposem un amplificador de tensió



- Per calcular $L = A\beta$ feim:
 - Suprimim les fonts d'entrada
 - Rompem el llaç de realimentació a un punt convenient
 - Injectam una tensió de test v_T
 - Calculam v_R , el resultat de propagar v_T al llarg del llaç
 - Com $v_R = (-1) \times A \times \beta \times v_T$ llavors

$$L \equiv A\beta = - \frac{v_R}{v_T} \Big|_{v_s=0}$$

Realimentació
negativa

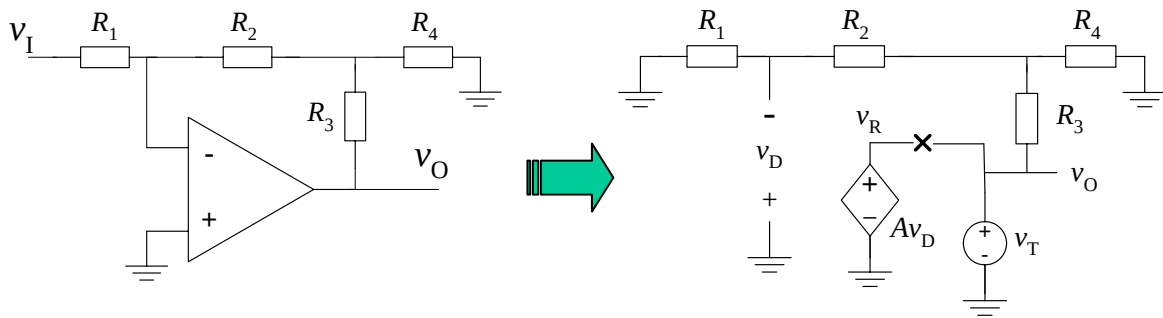
- Si es tractés de realimentació positiva, llavors

$$L \equiv A\beta = \frac{v_R}{v_T} \Big|_{v_s=0}$$

Realimentació
positiva

Estabilitat dels sistemes realimentats

Exemple de càlcul de $L(\omega)$



Estabilitat dels sistemes realimentats

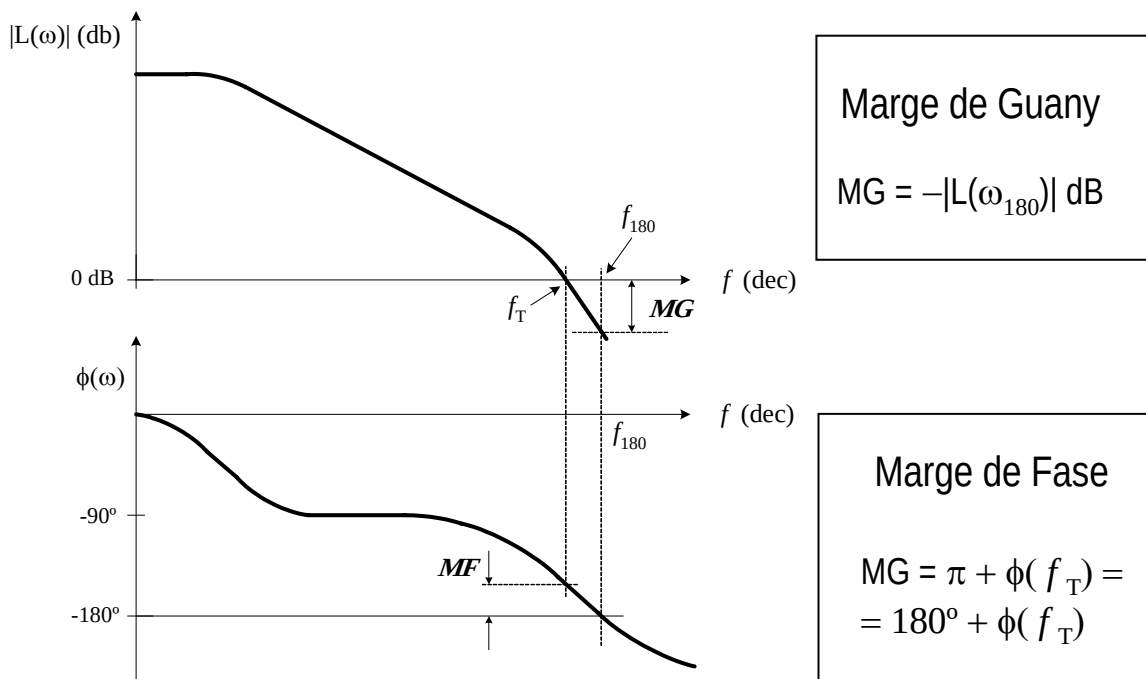
Determinació de l'estabilitat a partir del diagrama de Bode

L'objectiu en el disseny d'un amplificador és evitar en tot moment que aquest pugui tornar inestable, produint oscil·lacions (volem un amplificador, no un oscil·lador !)

Volem una mesura que ens indiqui quan enfora de la condició d'oscil·lació es troba un amplificador. En certa manera, volem una mesura de quan estable es un amplificador.

Definirem marge de guany (MG) i marge de fase (MF)

- **Marge de Guany:** És la quantitat per la que podem augmentar $|L(\omega_{180})|$ de forma que el sistema continui essent estable.
- **Marge de Fase:** És la diferència, (en graus o radians) entre la fase a f_T i -180° ($-\pi$)



Estabilitat dels sistemes realimentats

Compensació d'un amplificador

Se tracta de modificar el guany de llaç L per tal d'augmentar els marges de guany i fase i estabilitzar el sistema o fer-lo més estable. Ho podem fer de dues formes:

- Modificar el guany en llaç obert de l'amplificador $A(j\omega)$
- Modificar la xarxa de realimentació $\beta(j\omega)$

Si utilitzam un amplificador integrat (p.e. un OpAmp), només podem modificar la $\beta(j\omega)$

Si utilitzam un amplificador fet amb components discrets, podem modificar $A(j\omega)$ i/o $\beta(j\omega)$

Estabilitat dels sistemes realimentats

Compensació d'un amplificador. Exemple

Suposem un amplificador realimentat amb un guany de llaç

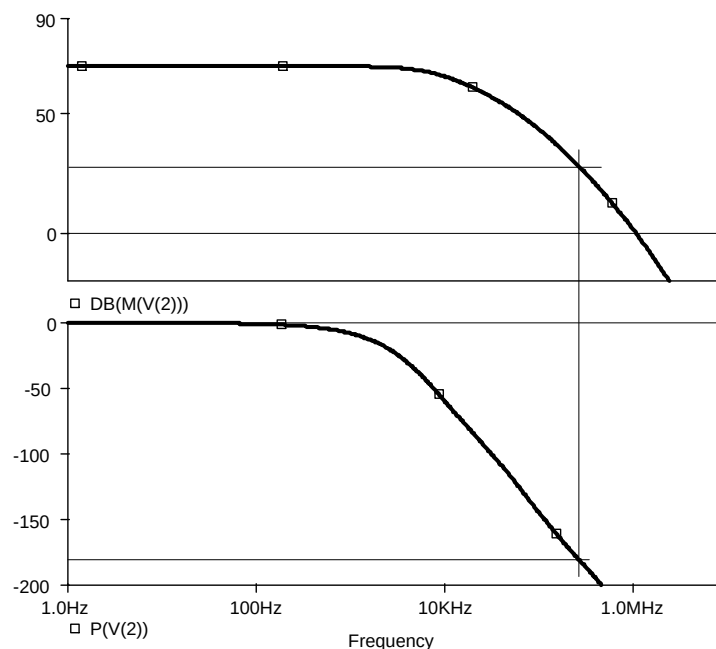
$$L(\omega) = \frac{a}{\left(1 + j\omega/\omega_1\right)\left(1 + j\omega/\omega_2\right)\left(1 + j\omega/\omega_3\right)}$$

$$\omega_1 = 5 \cdot 10^4 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ rad/s}$$

$$\omega_3 = 5 \cdot 10^6 \text{ rad/s}$$

$$a = 70\text{dB}$$



El sistema és inestable ja que $|L(\omega_{180})| > 0$ (és aprox 27 dB)

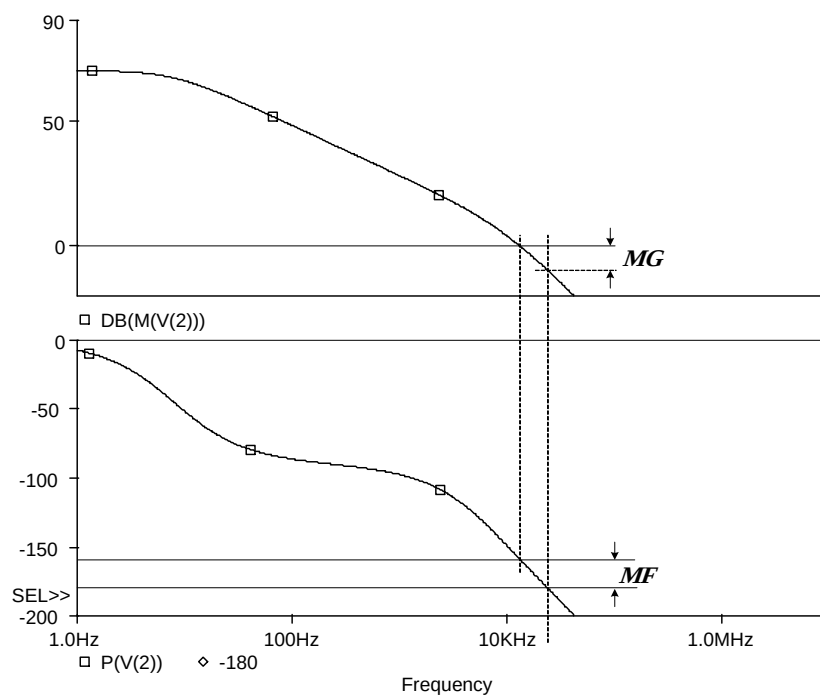
Suposem que modifiquem el circuit de forma que introduïm un pol dominant (un pol a suficientment baixes freqüències).

Veigem l'efecte del pol dominant

Estabilitat dels sistemes realimentats

Introduïm un pol a $\omega_p = 50$ rad/s. El guany de llaç queda

$$L(\omega) = \frac{a}{\left(1 + j\omega/\omega_p\right)\left(1 + j\omega/\omega_1\right)\left(1 + j\omega/\omega_2\right)\left(1 + j\omega/\omega_3\right)}$$



El sistema és ara estable! Tenim un $MF = 20^\circ$ i $MG = 12\text{dB}$

Notem que hem pagat un preu per estabilitzar el sistema. Clàrament el guany de llaç útil cau molt més ràpidament amb la freqüència: l'amplificador tindrà molt menor ample de banda!