

Radiocommunications

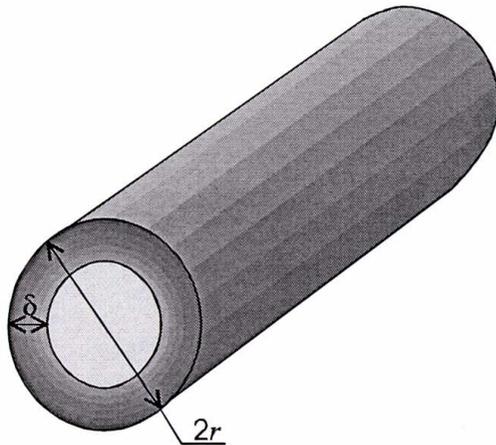
Comportement des composants en hautes fréquences

Joël Redoutey - 2009

Comportement en hautes fréquences

- **Composants passifs**
 - Effet de peau
 - Inductances, transformateurs
 - Condensateurs
- **Composants actifs**
 - Diodes (Schottky, PIN, varicap)
 - Transistors bipolaires
 - Transistors à effet de champ

Effet de peau

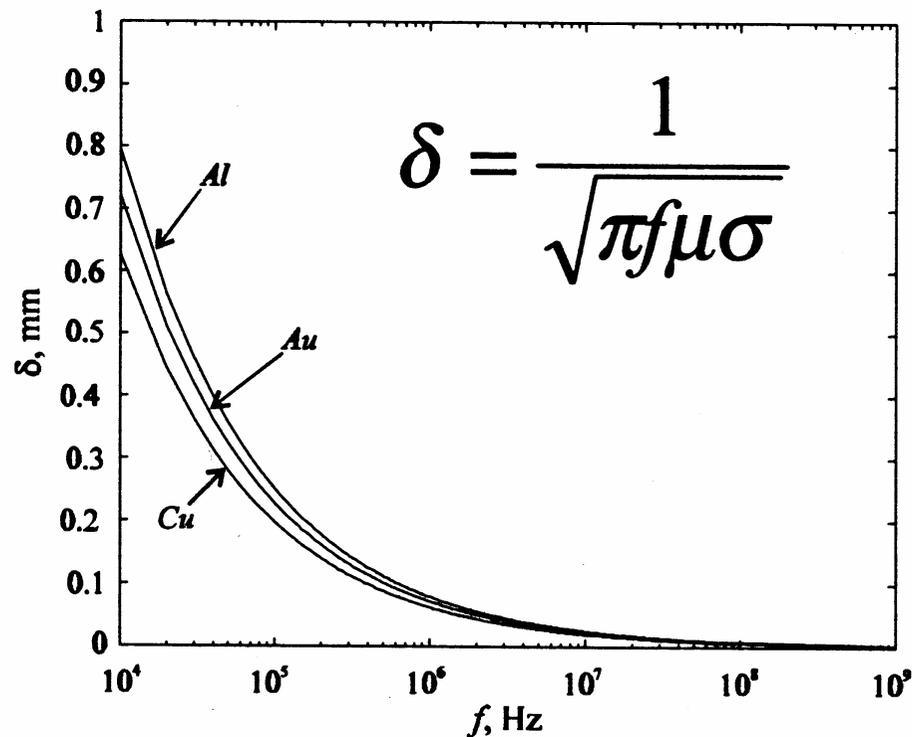


En courant alternatif haute fréquence, la densité de courant n'est pas uniforme dans toute la section d'un conducteur

Le courant circule dans une fine couronne à la surface du conducteur

Épaisseur de peau δ

C'est la profondeur à laquelle la densité de courant chute à 37% de sa valeur en surface.



Pour un conducteur en cuivre, l'épaisseur de peau est d'environ 20 μ m à 10MHz et 2 μ m à 1GHz

Dimensionnement des conducteurs en HF

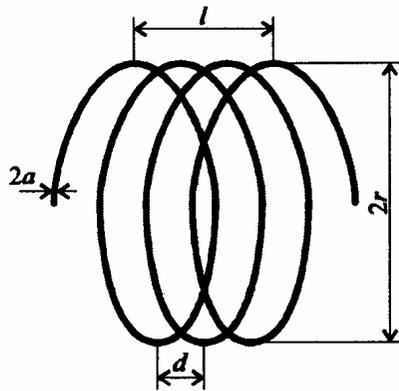
- Fil multibrins isolés (fil de Litz)
- Tubes
- Traitement de surface (dorure, argenture)
- Prévoir une épaisseur ≥ 5 fois épaisseur de peau



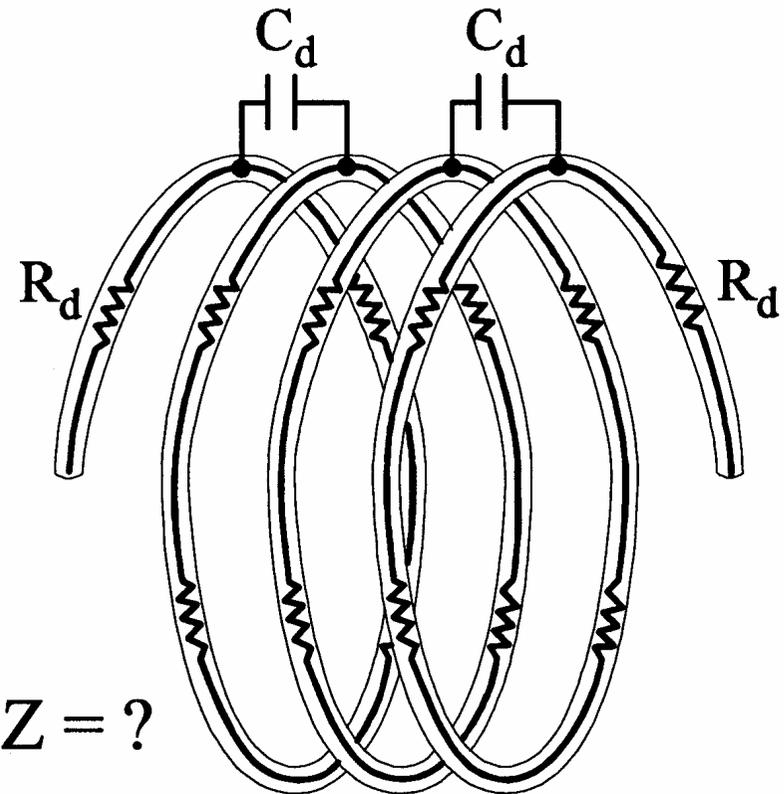
Inductances d'un émetteur de 50kW, réalisées en tube de cuivre argenté.

Inductances en HF

Basse fréquence



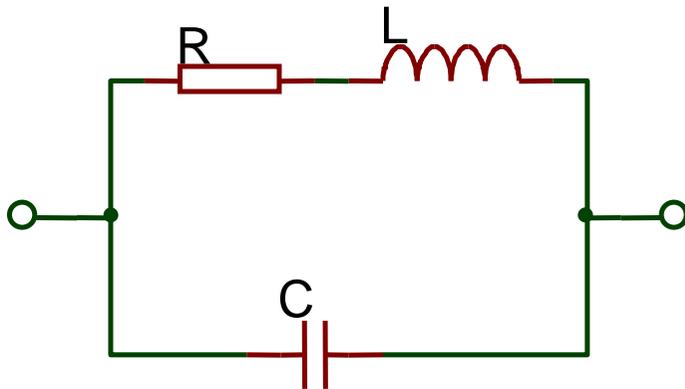
$$Z = R + j\omega L$$



$$Z = ?$$

En HF: R dépend de ω , influence des capacités parasites

Schéma équivalent d'une inductance en HF



Facteur de qualité

$$Q = L\omega/R$$

$$R = f(\omega)$$

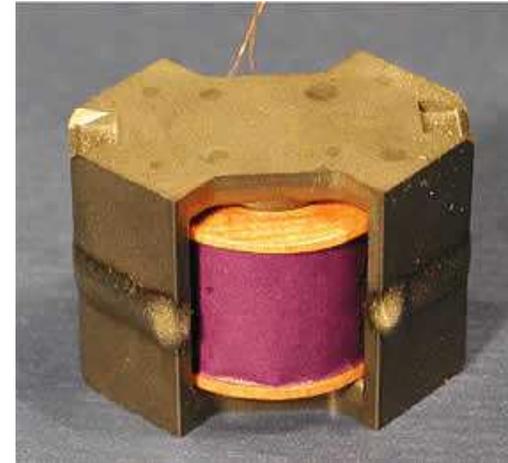
Résonance

$$LC\omega^2 = 1$$

Une inductance présente une fréquence de résonance propre au-delà de laquelle son comportement devient capacitif (impédance diminue avec la fréquence)

circuits magnétiques

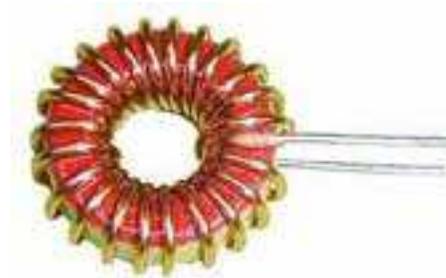
- L'utilisation d'un noyau magnétique permet de réduire le nombre de spires pour une inductance donnée, donc les pertes par effet Joule.



Pot ferrite



Bâtonnet



Tore

Pertes dans les circuits magnétiques

- Il existe deux types de pertes dans les noyaux magnétiques:
- Les pertes par ***hystérésis*** proportionnelles à la fréquence
- Les pertes par ***courants de Foucault*** proportionnelles au carré de la fréquence

Condensateurs en HF

Un condensateur est caractérisé par:

- Sa capacité
- Sa tolérance
- Sa tension de service
- Son coefficient de température

Mais aussi par:

- Ses pertes (diélectrique et armatures) → **ESR**
- Sa fréquence de résonance propre → **ESL**

Pertes diélectriques

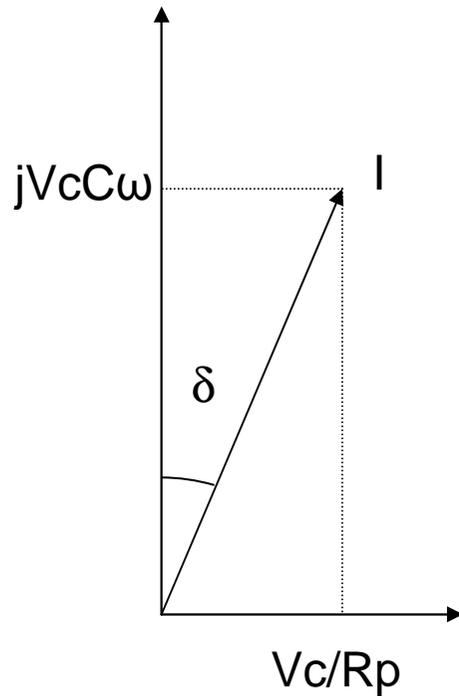
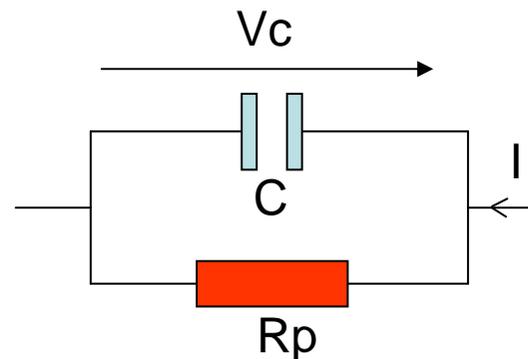


Diagramme des courants

Dans un condensateur réel le courant et la tension ne sont pas parfaitement en quadrature. L'angle δ est appelé *angle de perte*. On caractérise les pertes diélectriques par

$$\text{Tg } \delta = 1/R_p C \omega$$

R_p représente la résistance de pertes



Modèle de condensateur

Résistance série équivalente ESR

- En hautes fréquences, on doit également tenir compte des pertes dues aux connexions et aux métallisations.
- On modélise l'ensemble des pertes par une résistance série appelée **ESR**
- La puissance dissipée dans un condensateur parcouru par un courant I est $P = ESR \cdot I_{\text{eff}}^2$

Fréquence de résonance d'un condensateur

- L'inductance L des connexions n'est pas négligeable en hautes fréquences.
- Elle constitue avec la capacité C du condensateur un *circuit résonant série* dont la fréquence de résonance est

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Au dessus de sa fréquence de résonance un condensateur se comporte comme une inductance (l'impédance augmente avec la fréquence)

Schéma équivalent d'un condensateur en hautes fréquences



Facteur de qualité

$$Q = 1/\operatorname{tg} \delta$$

$$Q = 1/ESRC\omega$$

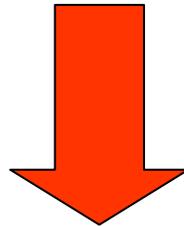
Résonance

$$LC\omega^2 = 1$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Diodes Schottky

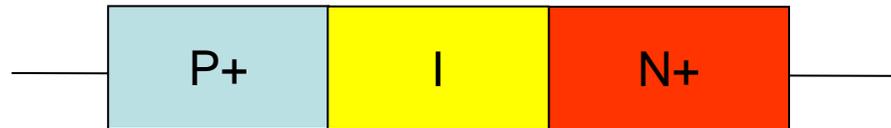
- Contact métal-semiconducteur
- Conduction uniquement par des électrons



- Faible seuil de conduction ($\approx 0,3V$)
- Capacité inverse réduite
- Très grande rapidité

Utilisations: détecteurs, mélangeurs

Diode PIN



- Se comporte en HF comme une résistance pure fonction du courant direct qui la traverse:

$$R_{HF} (\Omega) \approx \frac{48}{I(mA)}$$

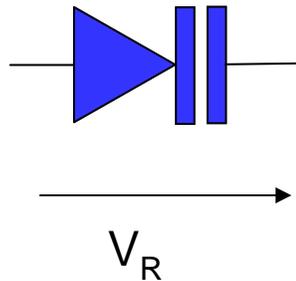
Utilisations: Atténuateurs variables, Commande Automatique de Gain, Commutation HF

Diode Varicap

- Jonction PN dont on utilise la capacité de jonction en polarisation inverse:

$$C \approx \frac{k}{(V_R + 0,5)^n}$$

0,33 < n < 0,75 selon technologie

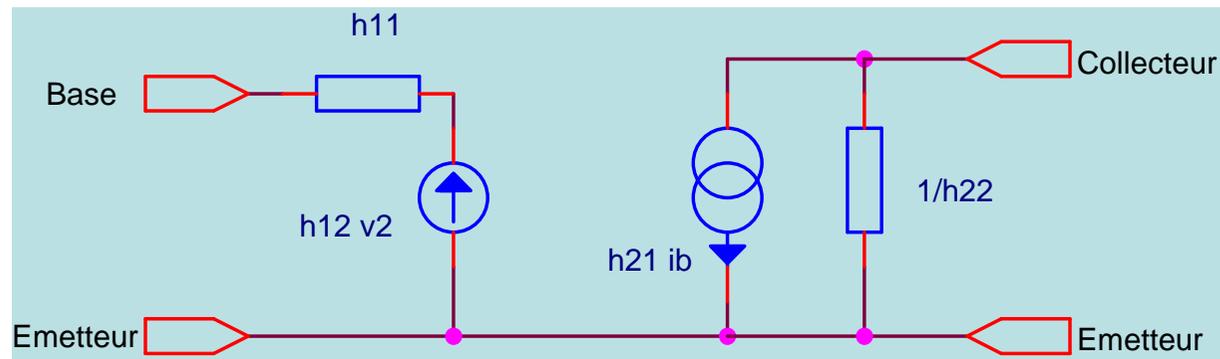


$$5 < \frac{C_{Max}}{C_{Min}} < 15$$

Utilisations: Oscillateurs contrôlés en tension VCO, Circuits accordés (tuner TV), etc

Transistor bipolaire

- Modèle basse fréquence



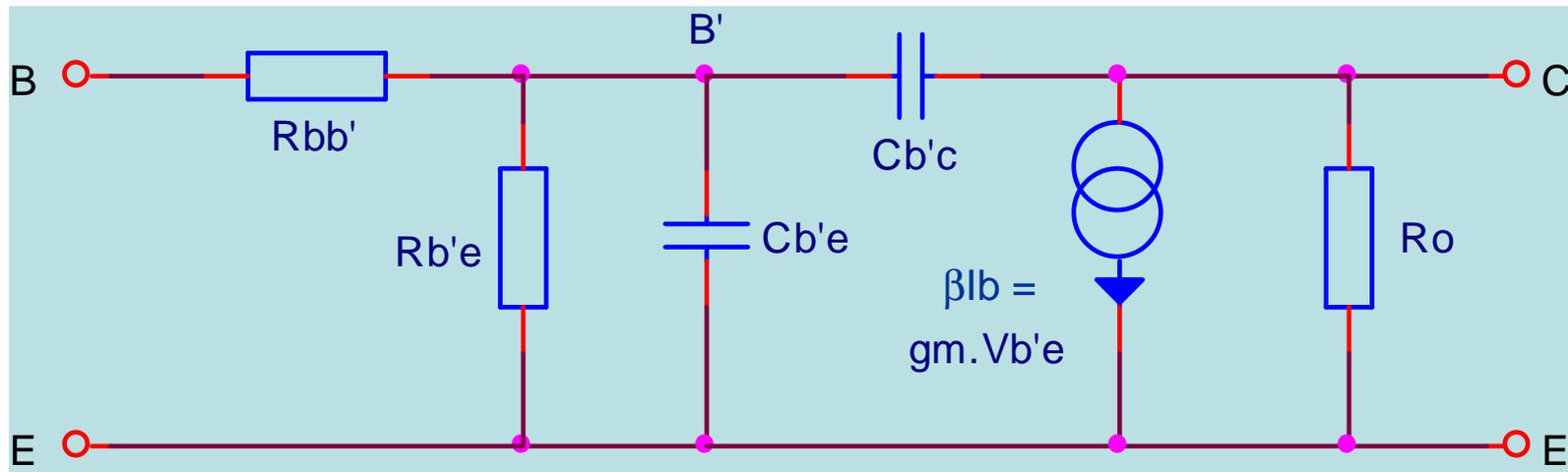
Collecteur

Base

Emetteur

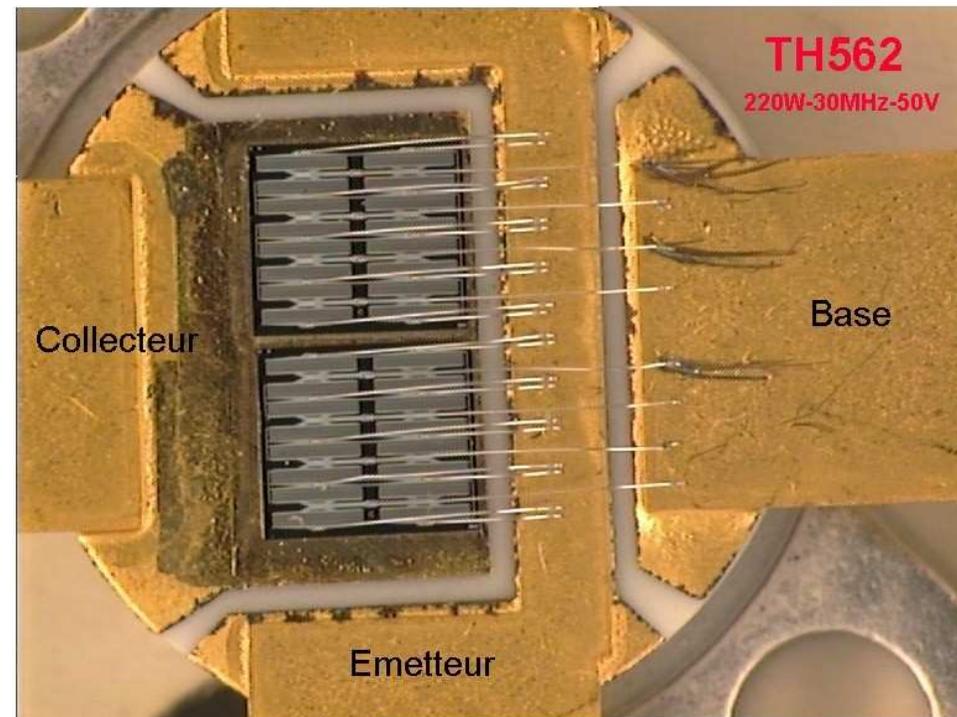
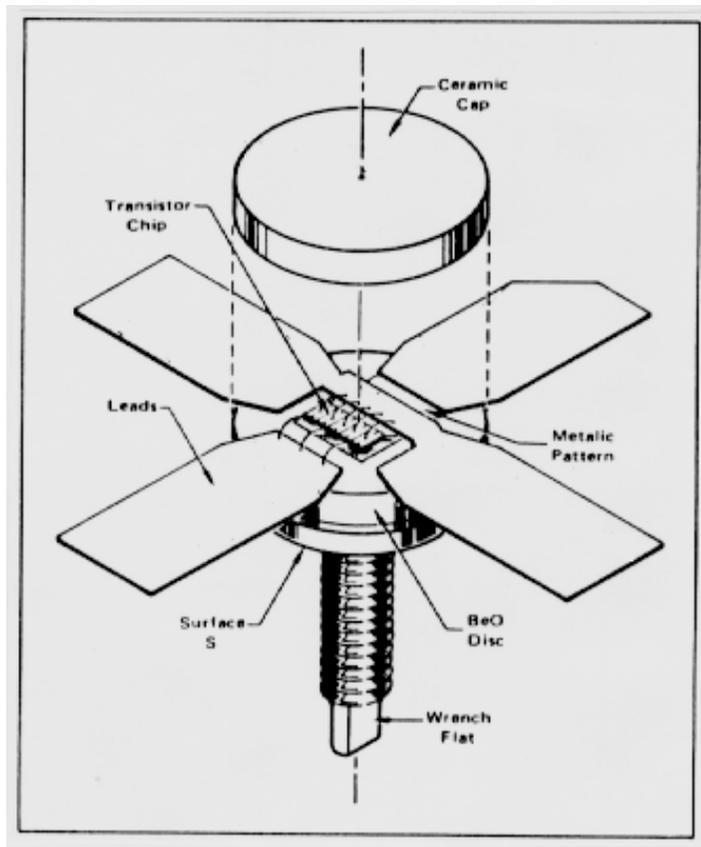
Transistor bipolaire

- Modèle haute fréquence (hybrid-pi)

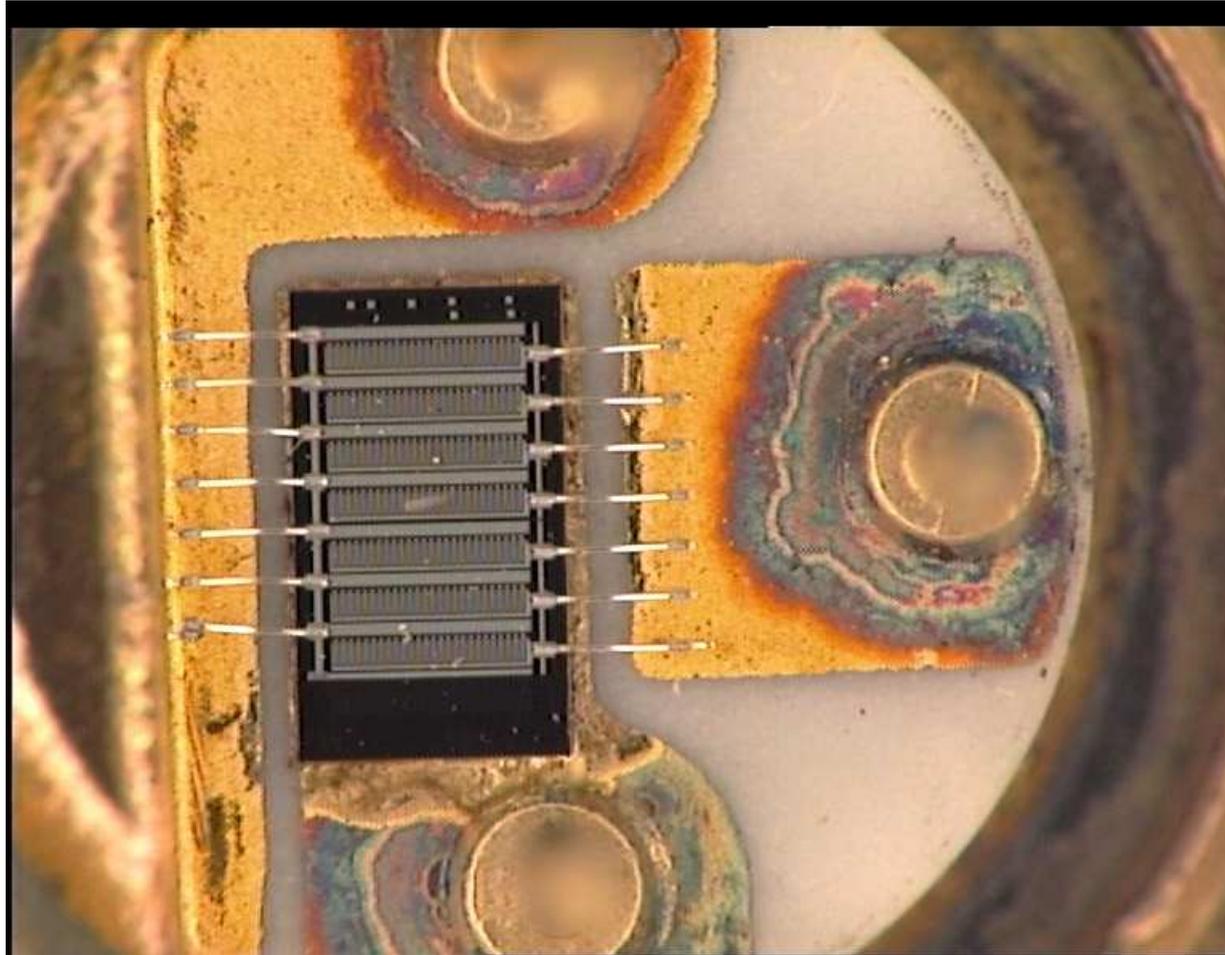


La présence de la capacité $C_{b'c}$ implique une réaction de la sortie sur l'entrée et vice versa

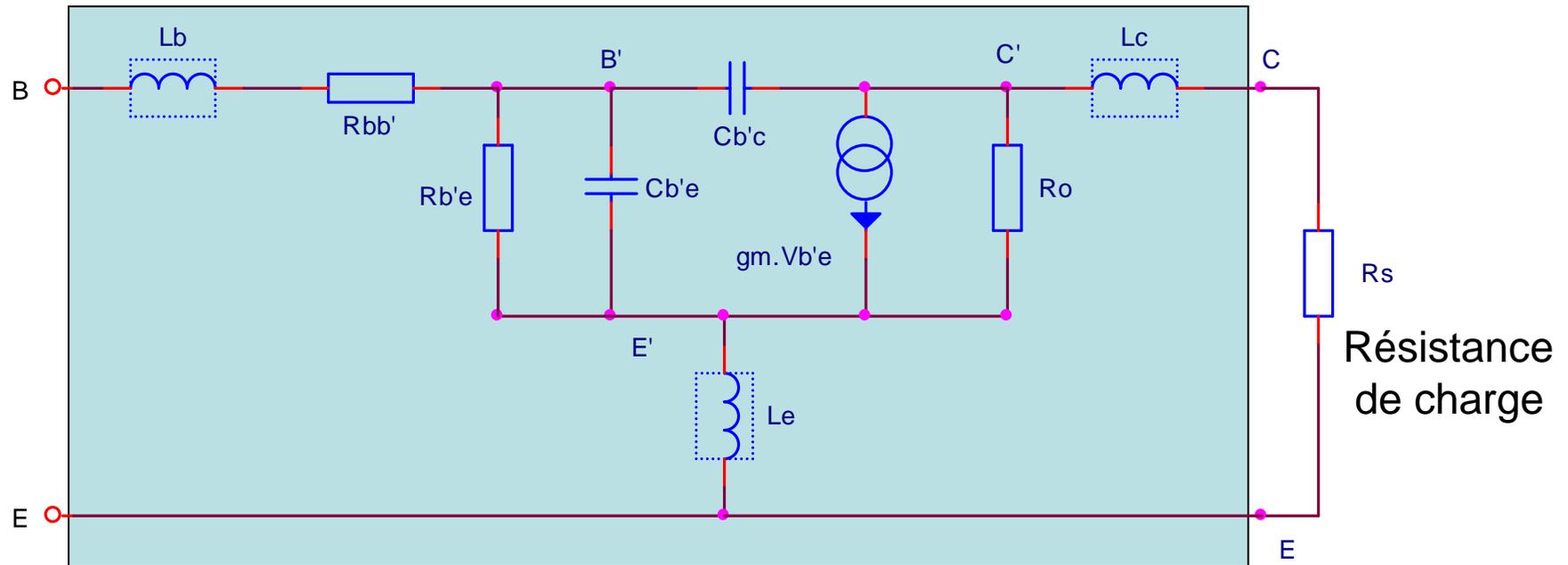
Constitution d'un transistor RF de puissance



Transistor bipolaire RF

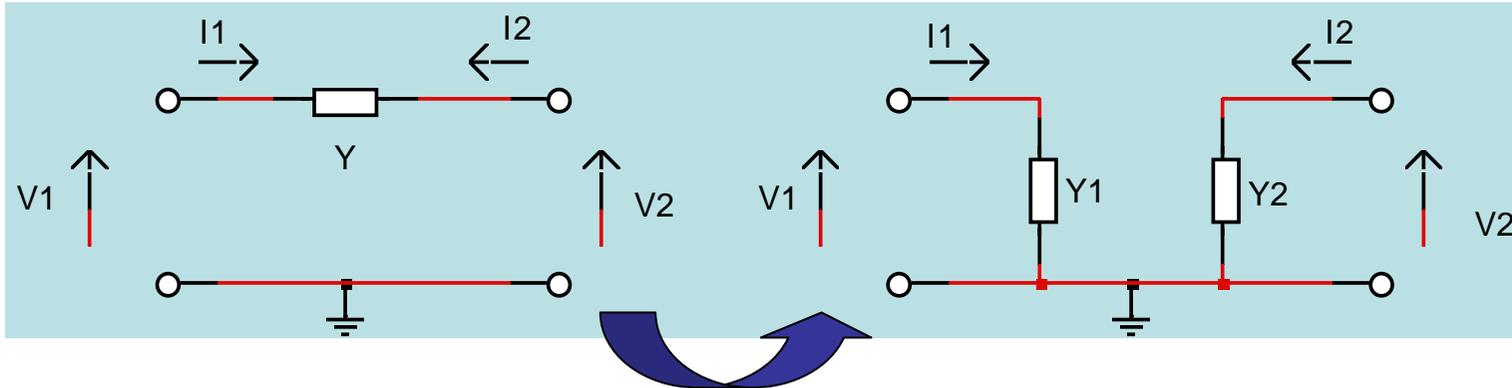


Modèle RF du transistor bipolaire



En hautes fréquences, on doit tenir compte de l'inductance des fils de connexion entre la puce et le boîtier

Transformation de Miller



$$I_1 = Y(V_1 - V_2) = YV_1\left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) = YV_1(1 - K)$$

$$I_1 = Y_1 V_1$$

$$K = V_2/V_1$$

$$Y_1 = Y(1 - K)$$

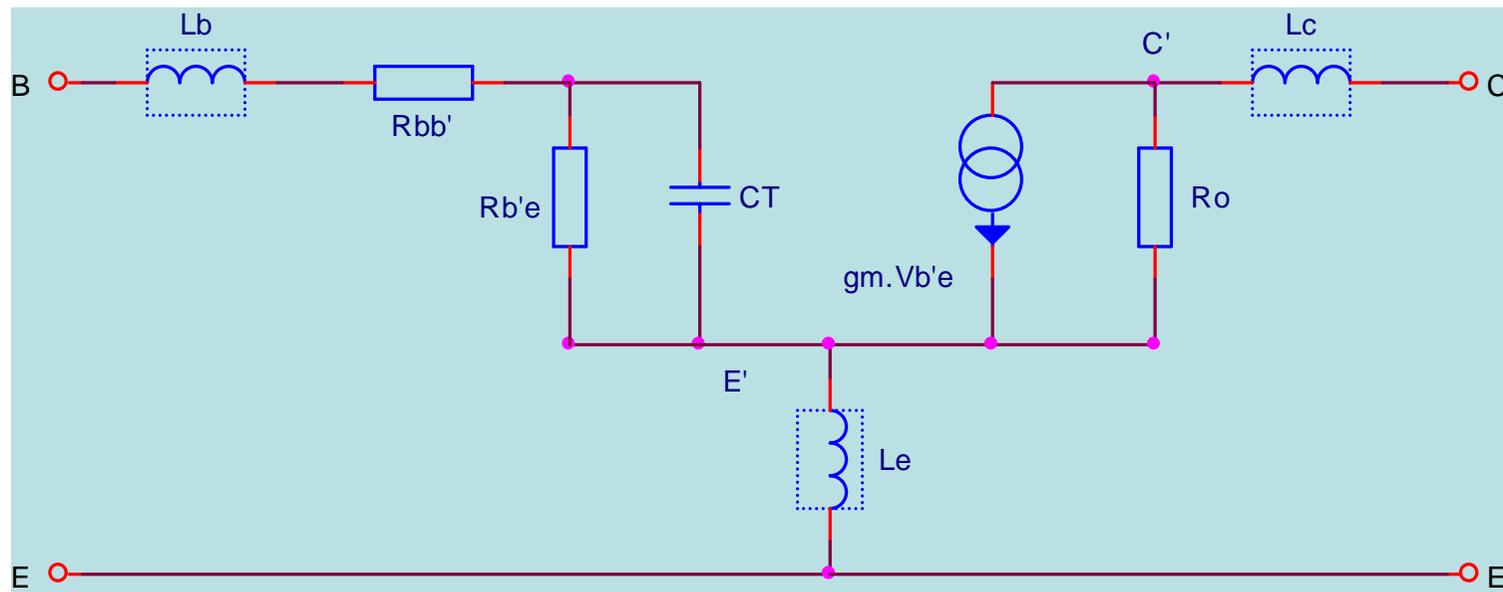
$$I_2 = Y(V_2 - V_1) = YV_2\left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) = YV_2\left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

$$I_2 = Y_2 V_2$$

$$Y_2 = Y\left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

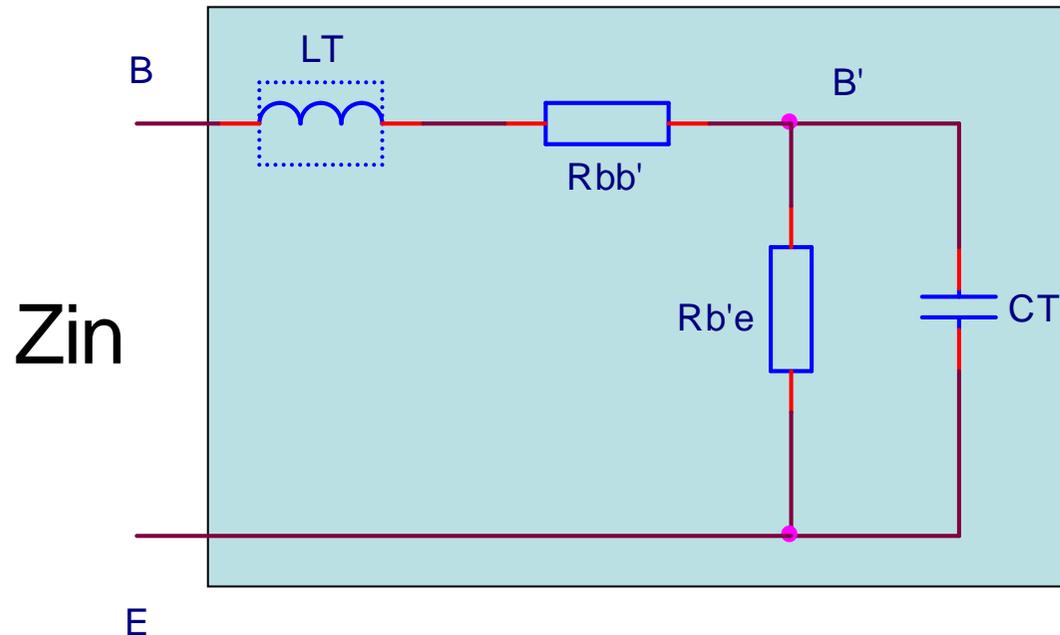
Effet Miller

- Application de la transformation de Miller au modèle hybrid-pi



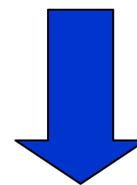
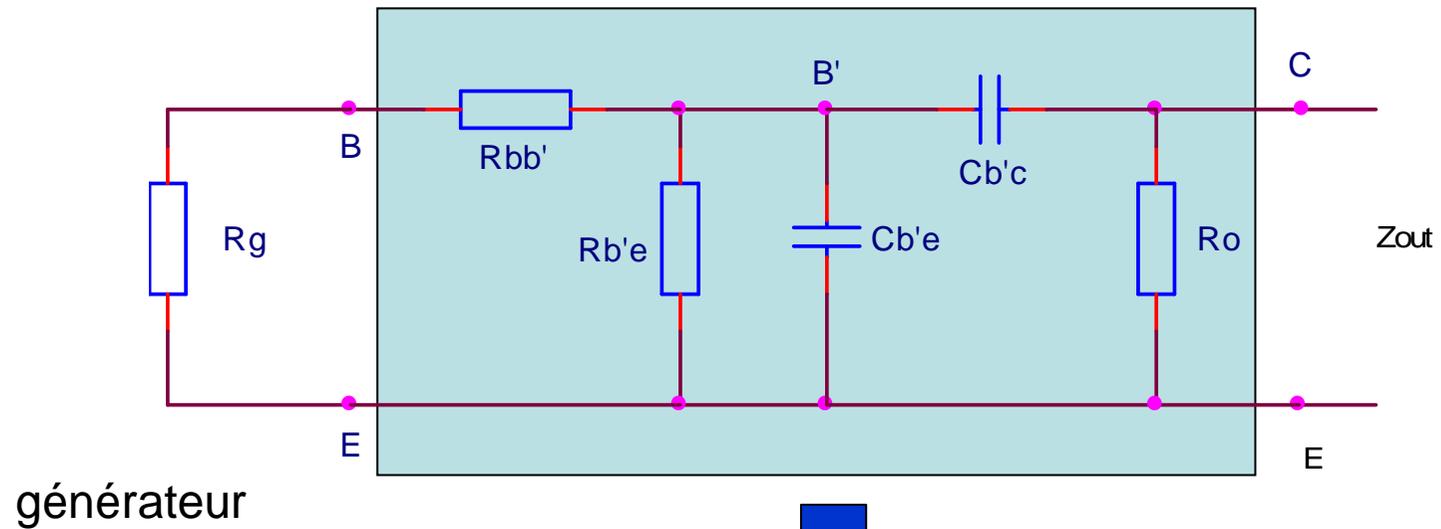
La capacité $C_{b'c}$ est ramenée en parallèle avec $C_{b'e}$ et sa valeur est multipliée par le gain en tension de l'étage

Impédance d'entrée

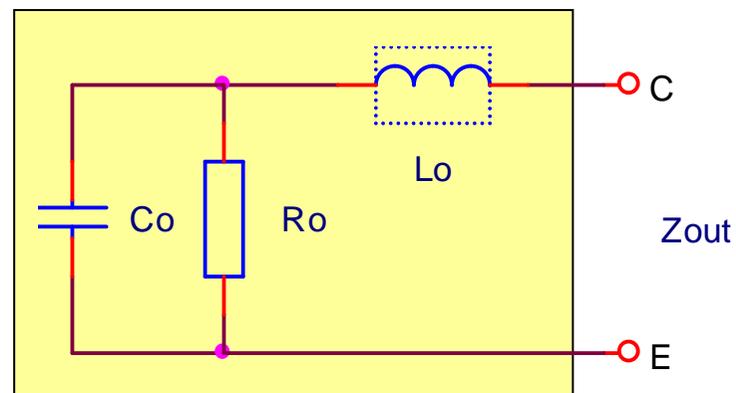


En hautes fréquences, l'impédance d'entrée d'un transistor bipolaire est toujours réactive et constitue un filtre passe-bas qui limite la réponse aux fréquences élevées.

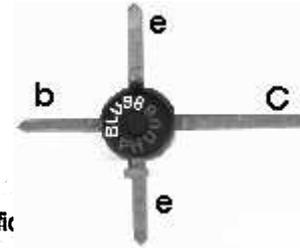
Impédance de sortie



Transformation de Miller



Exemple: BLU99

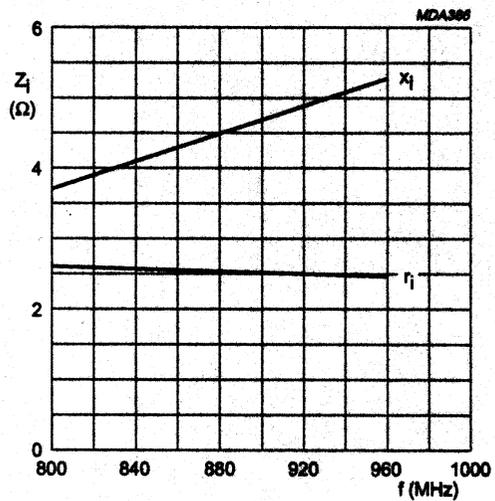


Philips Semiconductors

Product specific

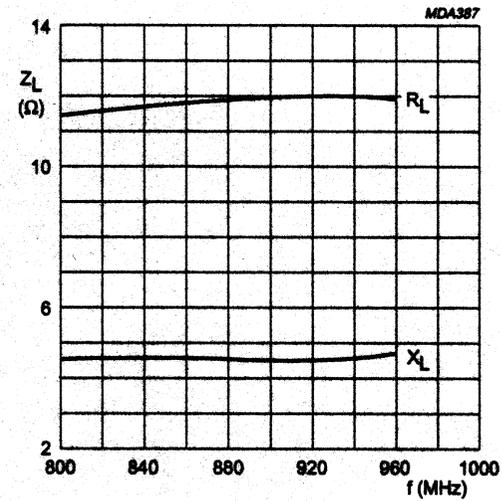
UHF power transistor

BLU99
BLU99/SL



$f = 800-960$ MHz; $V_{CE} = 12.5$ V; $P_L = 4$ W;
 $T_h = 25$ °C; typ. values.

Fig.19 Input impedance (series components).

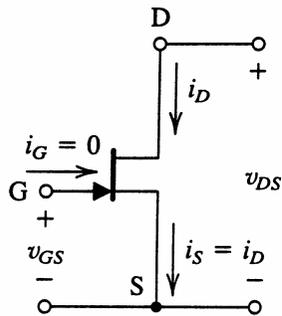
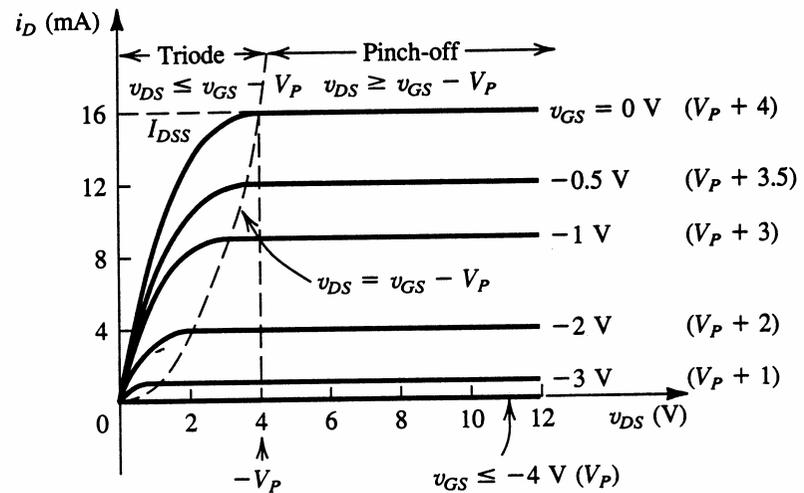
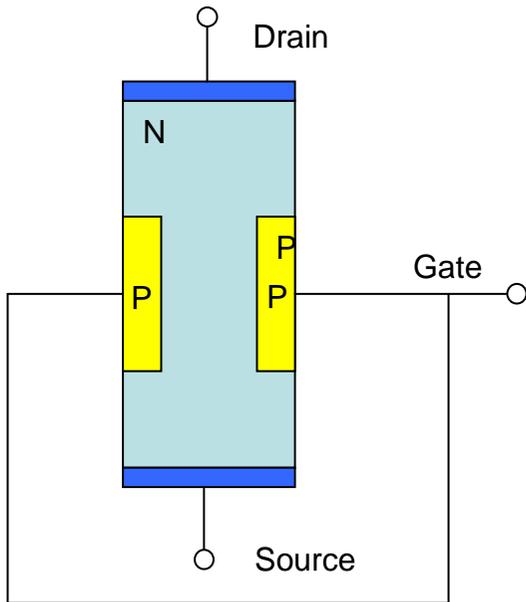


$f = 800-960$ MHz; $V_{CE} = 12.5$ V; $P_L = 4$ W;
 $T_h = 25$ °C; typ. values.

Fig.20 Load impedance (series components).

Transistor à effet de champ

JFET

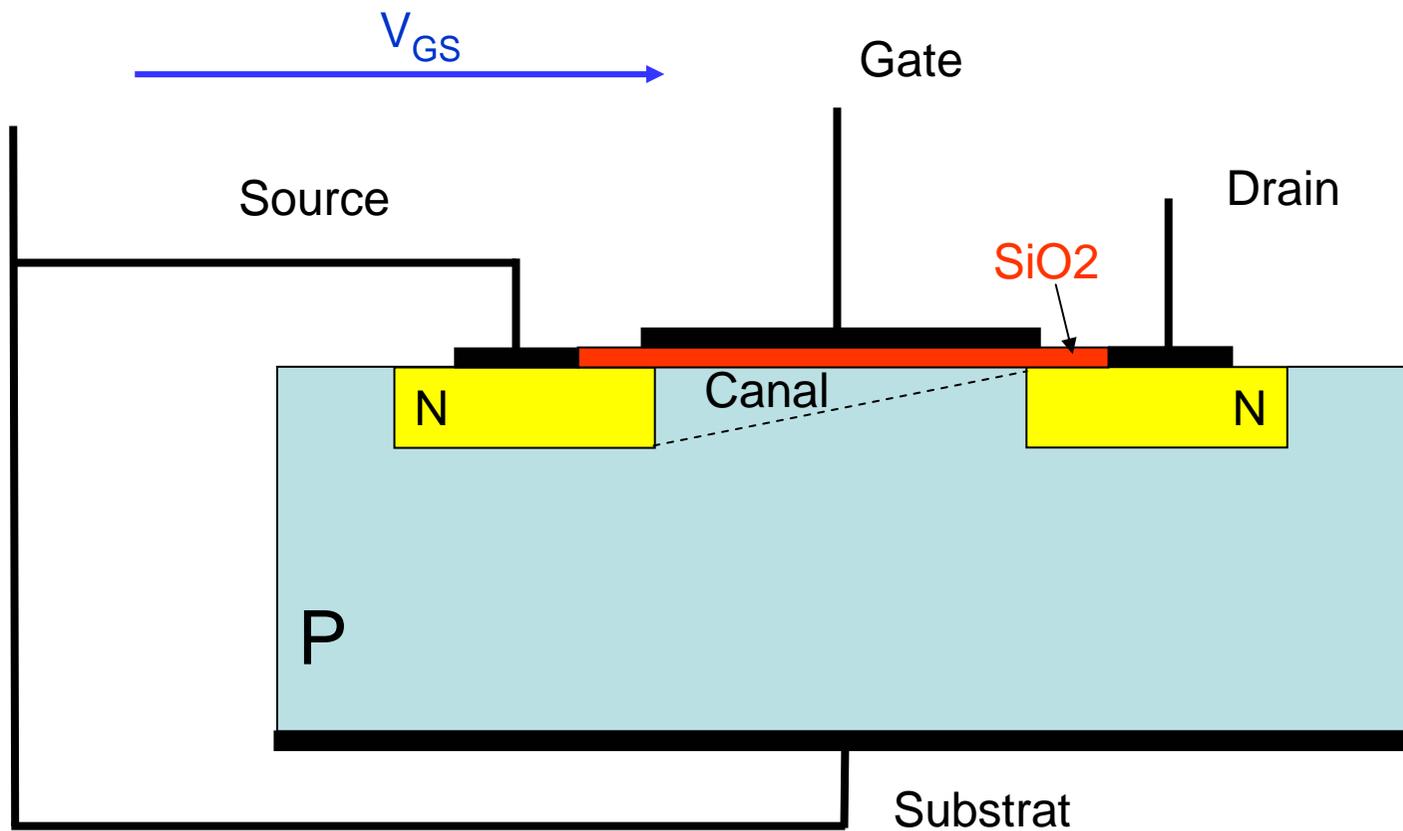


$$I_D \approx I_{DSS} (1 - V_{GS}/V_P)^2$$

$$I_{DSS} = I_D (V_{GS}=0)$$

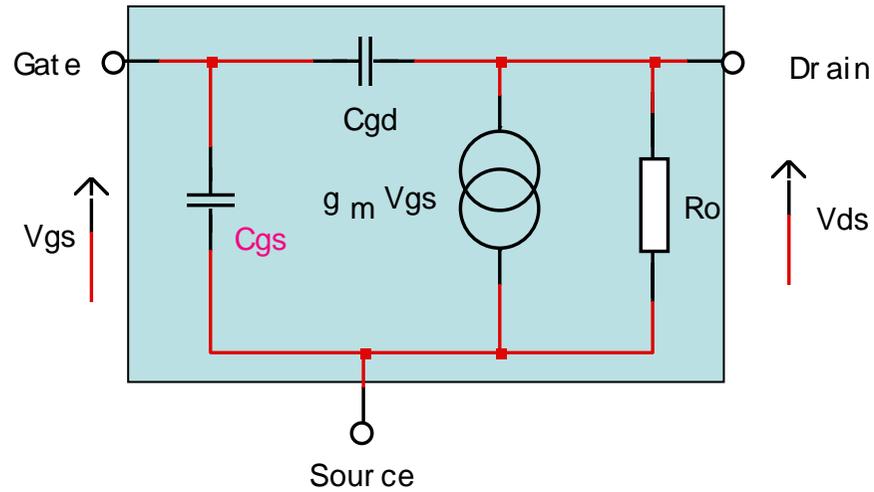
$$V_P = V_{GS}(I_D=0)$$

MOSFET

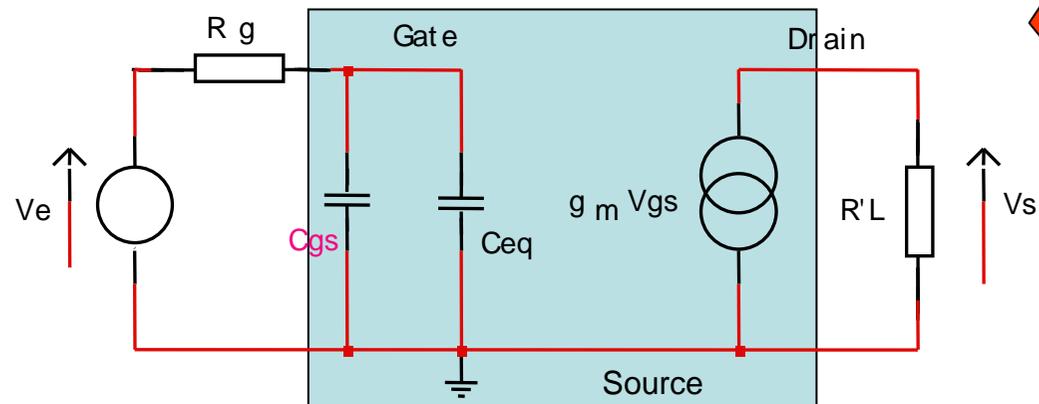


$$I_D = K(V_{GS} - V_{th})^2$$

Modèle HF du MOSFET

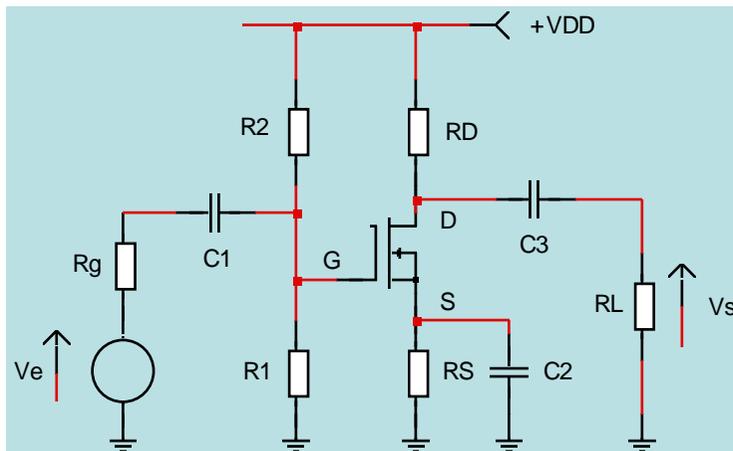


Miller



Exemple

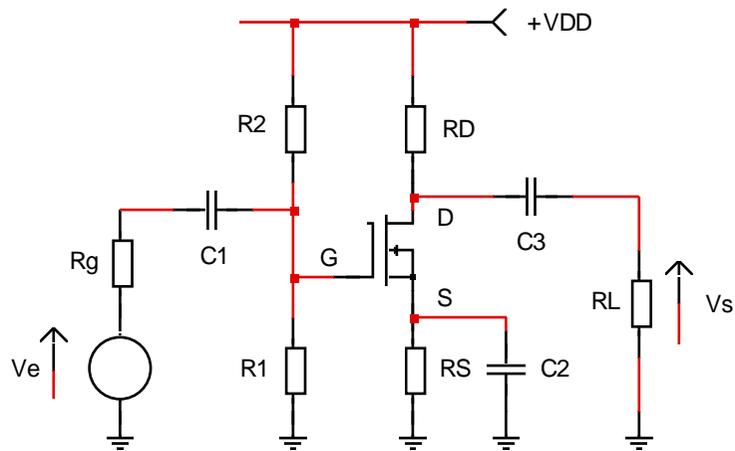
Amplificateur à MOSFET



$$G = V_s/V_e = -100$$
$$R_g = 50\Omega$$
$$C_{gd} = 1\text{pF}$$
$$C_{gs} = 10\text{pF}$$

- Faire un schéma équivalent
- Fréquence de coupure haute?

Exemple



$$G = V_s/V_e = -100$$

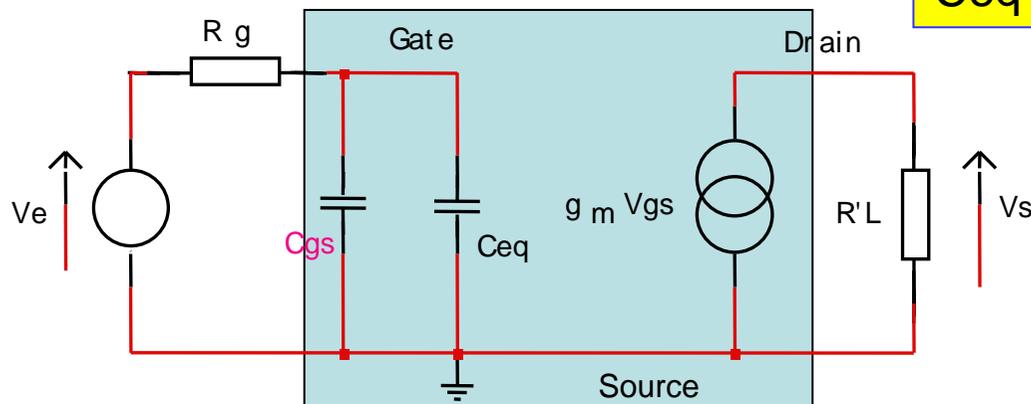
$$R_g = 50\Omega$$

$$C_{gd} = 1\text{pF}$$

$$C_{gs} = 10\text{pF}$$

Fréquence de coupure haute

Schéma équivalent

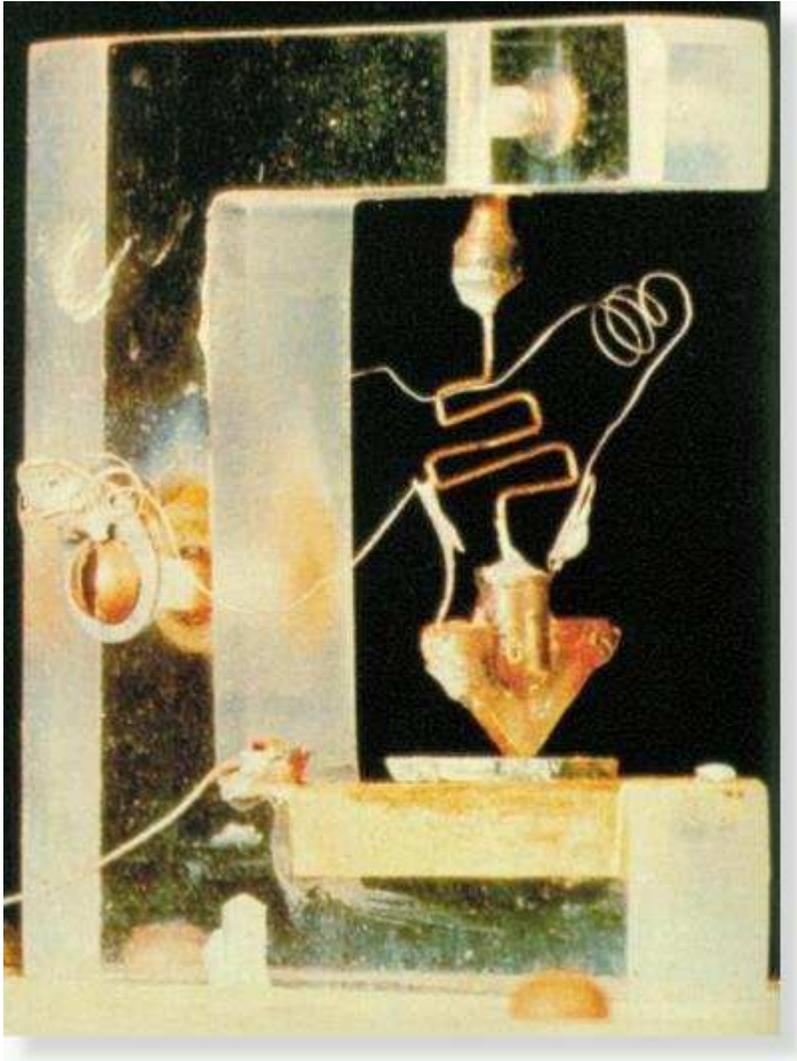


$$C_{eq} = C_{gd} (1 - K) = 1 (1 - (-100)) = 101 \text{ pF}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi(C_{eq} + c_{gs})R_g}$$

$$f_H = 28,7\text{MHz}$$

Transistor bipolaire



Le premier transistor 1947

Un transistor RF de puissance

