Chapitre 9:
BJT et FET
Réponse en Fréquence

avec permission de : Pearson Prentice Hall

Considérations sur la réponse en fréquence

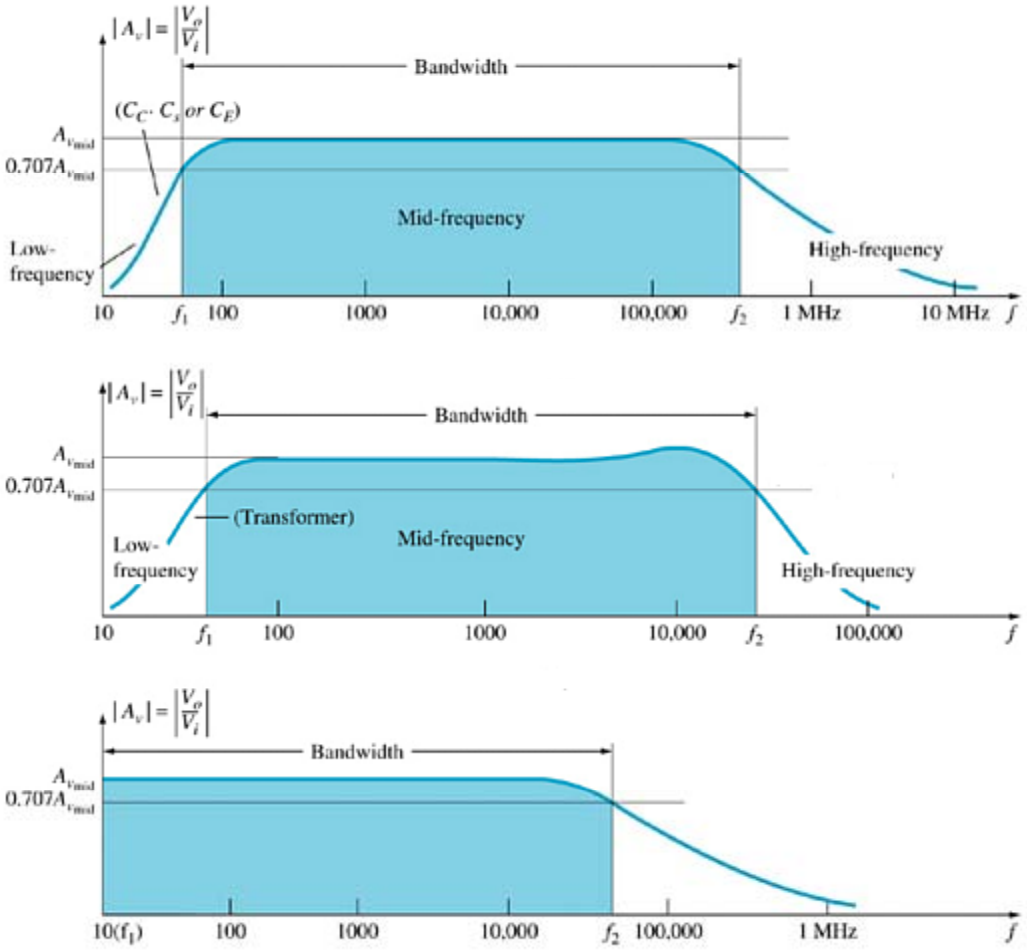
La réponse en fréquence d'un amplificateur fait référence a la plage de fréquences dans laquelle l'amplificateur fonctionne. Cette zone est aussi appellée bande passante de fonctionnement.

- Aux fréquences par dessus et par dessous la bande passante, les capacitances et les inductances vont affecter le gain de l'amplificateur.
- A des basses fréquences les condensateurs de couplage et de passage font réduire le gain global.
- A des hautes fréquences les capacitances parasites associées au composantes actives vont faire diminuer le gain.
- D'ailleurs les amplificateurs en cascade limiteront le gain dans les fréquences hautes et basses.

Diagramme de Bode

Le diagramme de Bode représente la réponse en fréquence d'un amplificateur.

Tandis que l'echelle horizontale indique la fréquence (en Hz) l'echelle verticale indique le gain (en dB).

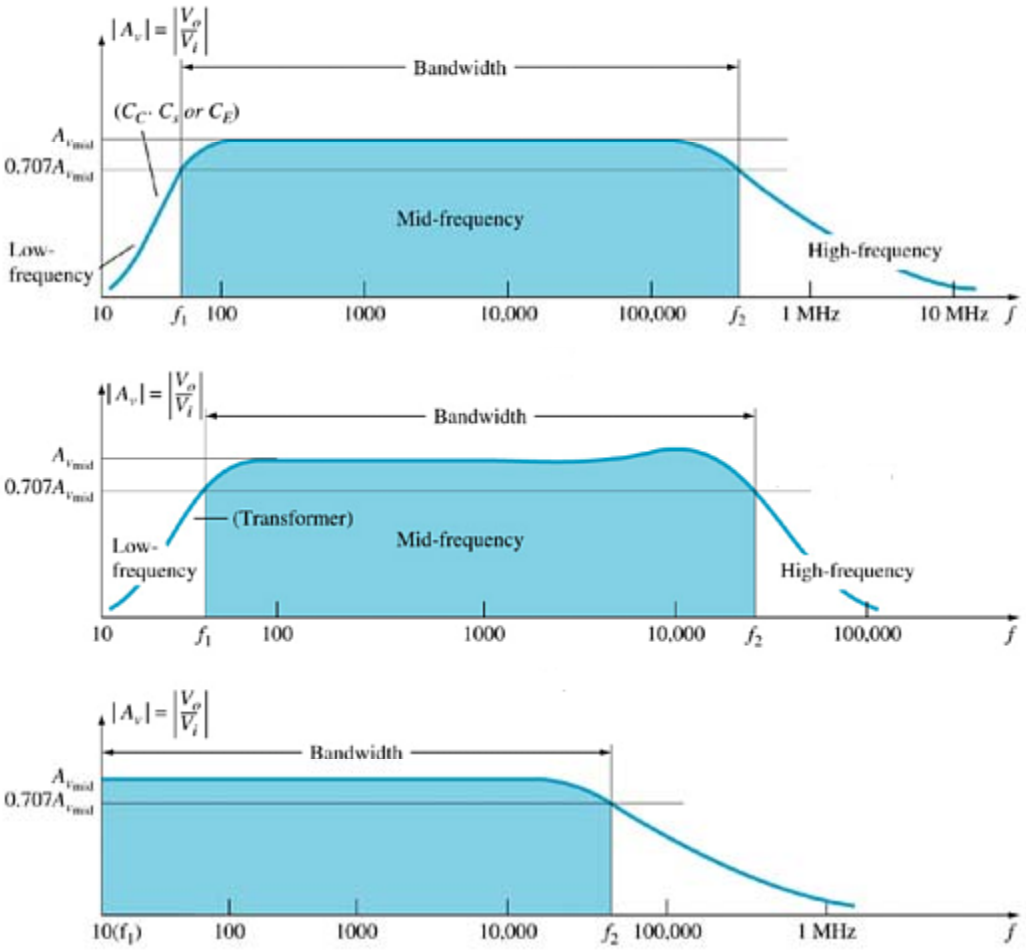


Fréquences de coupure

La plage des fréquences situées au milieu de la zone de fonctionnement d'un amplificateur s'appelle la bande passante d'un amplificateur.

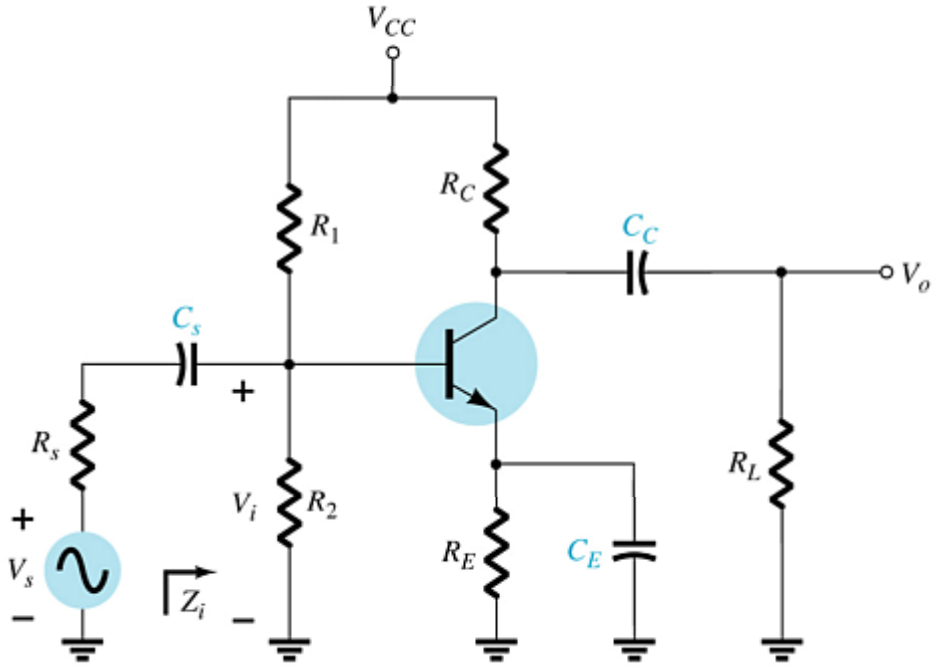
La largeur de bande est delimitée par les fréquences de coupure inférieur et supérieure.

Coupure– toute fréquence alaquelle le gain ou perte du signal comporte une reduction de 3 dB.



Amplificateur BJT Reponse à basse fréquence

Aux basses fréquences, les condensateurs de couplage (C_S, C_C) et les condensateurs de passage (C_E) affectent les impédances du circuit.



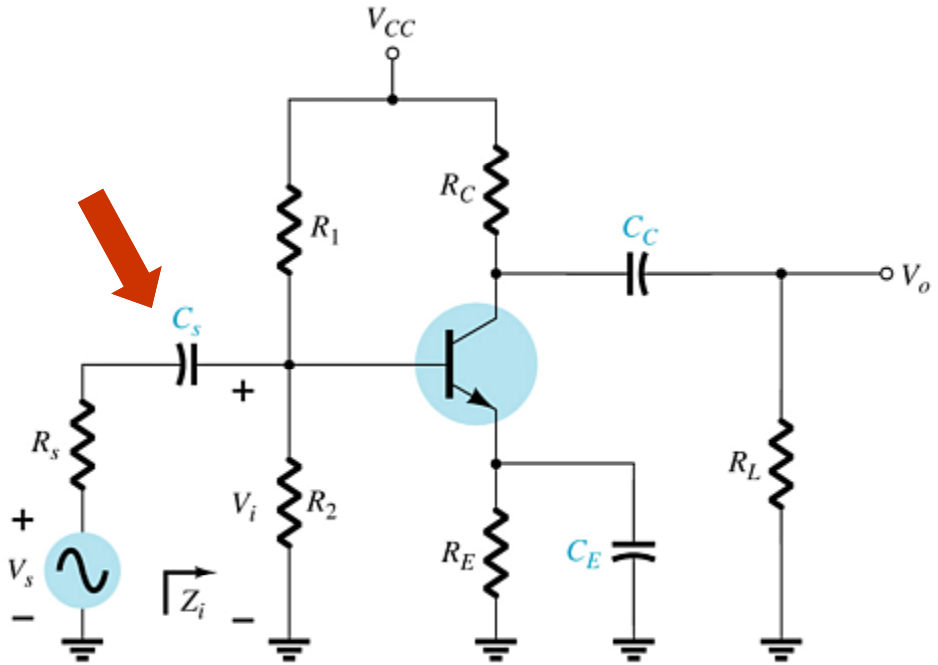
Condensateur de couplage (C_S)

La fréquence de coupure due a C_S peut être calculée par:

$$f_{Ls} = \frac{1}{2\pi(R_s + R_i)C_s}$$

avec

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$



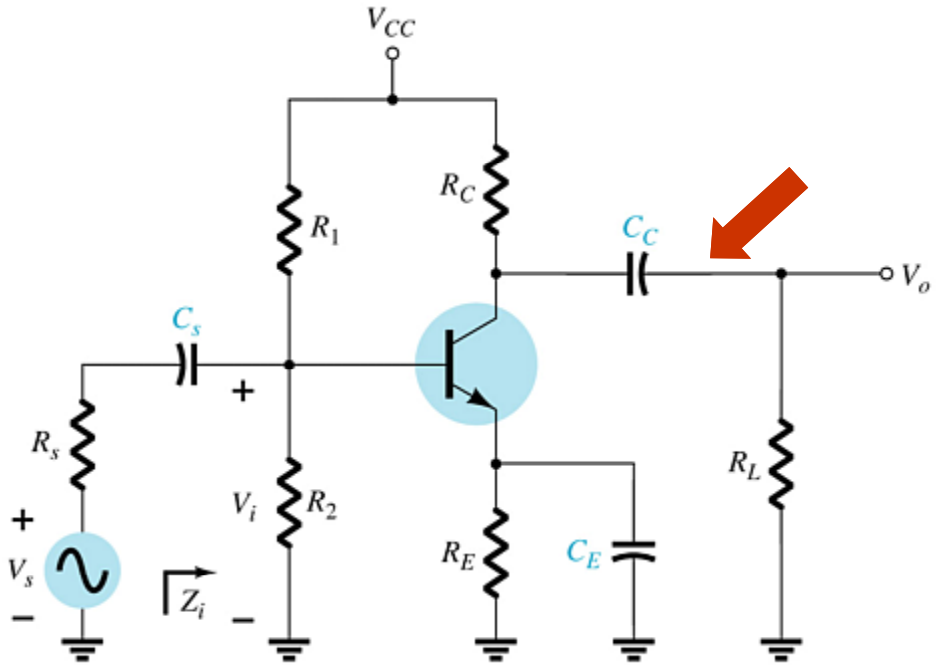
Condensateur de couplage (C_C)

La fréquence de coupure due a C_C peut être calculée par

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_c}$$

avec

$$R_o = R_C \parallel r_o$$



Condensateur de passage (C_E)

La fréquence de coupure due a C_E peut être calculée par

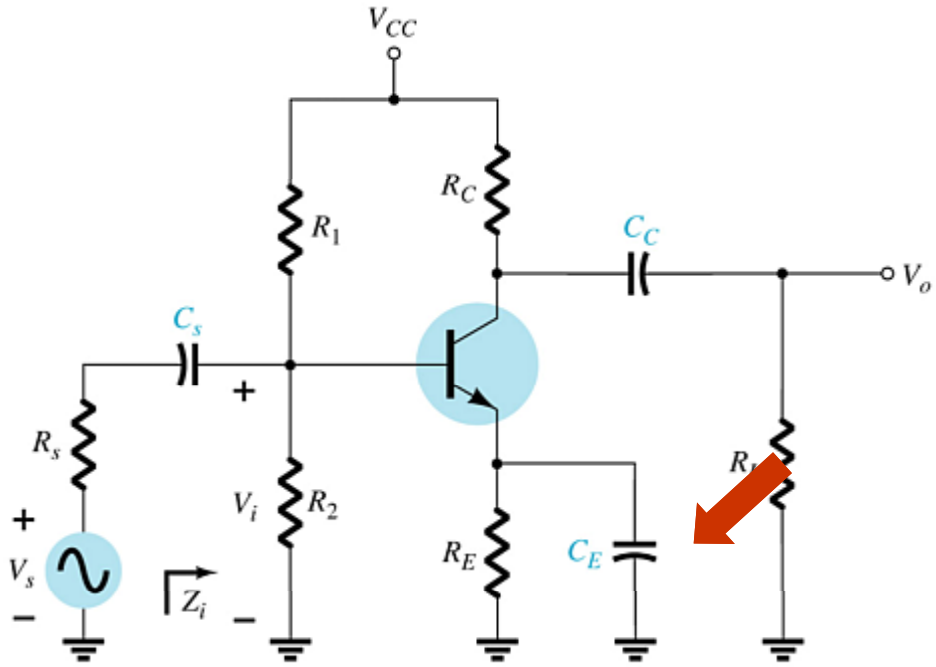
$$f_{LE} = \frac{1}{2\pi R_e C_E}$$

avec

$$R_e = R_E \parallel \left(\frac{R'_s}{\beta} + r_e\right)$$

et

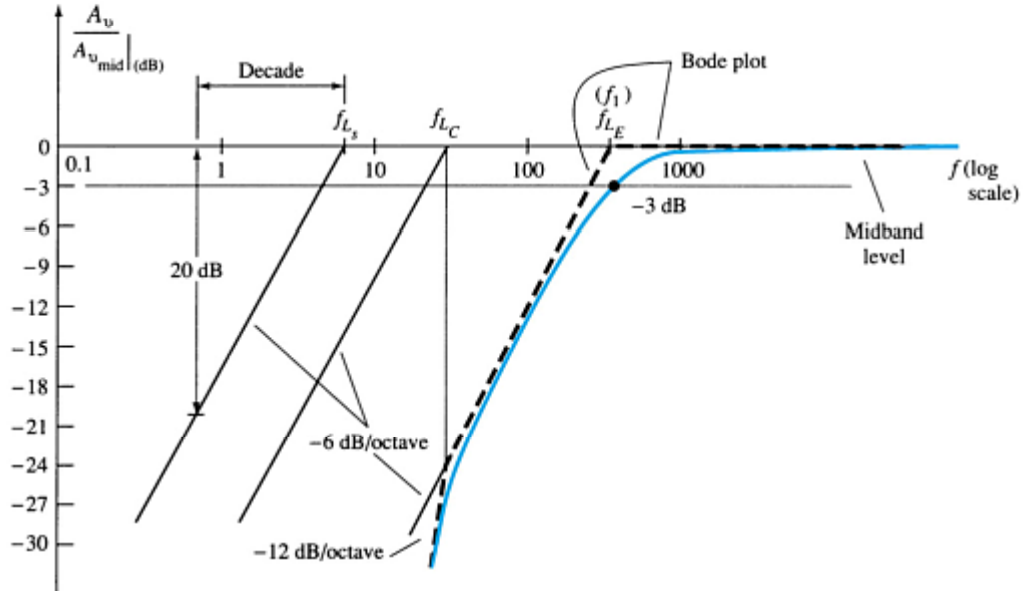
$$R'_s = R_s \parallel R_1 \parallel R_2$$



Amplificateur BJT Réponse à basse fréquence

Le diagramme de Bode montre que chaque condensateur peut avoir une fréquence de coupure différente.

C'est le condensateur qui comporte la plus haute basse fréquence de coupure (f_L) celui qui domine la réponse globale en fréquence de l'amplificateur.

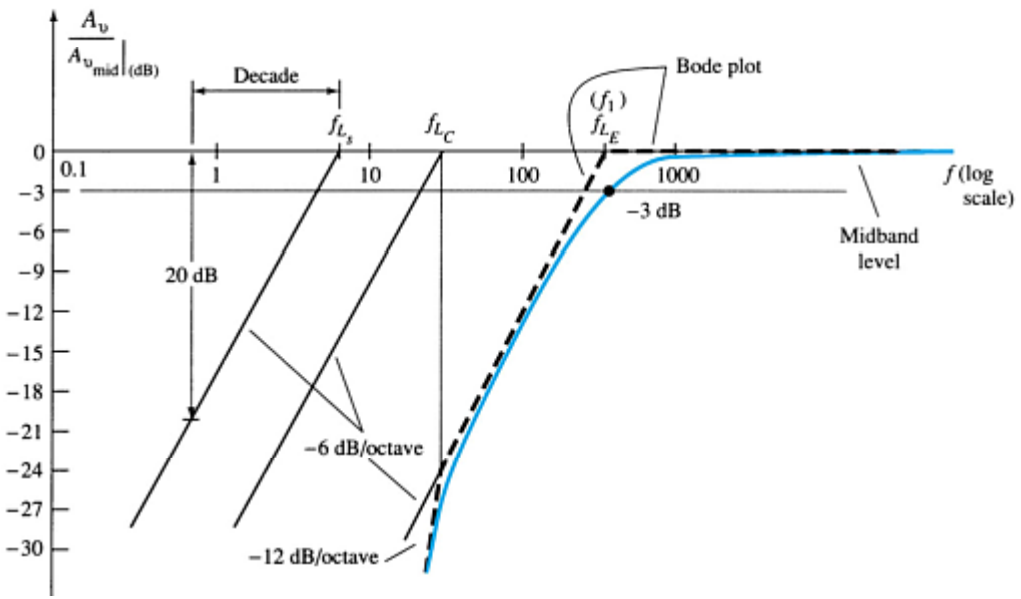


Gain marginal dans le diagramme de Bode

Le diagramme de Bode indique aussi le taux de gain marginal ou attenuation (perte de gain) aux differentes fréquences de coupure.

La quantité d'attenuation marginal du gain est souvant referé par "roll-off".

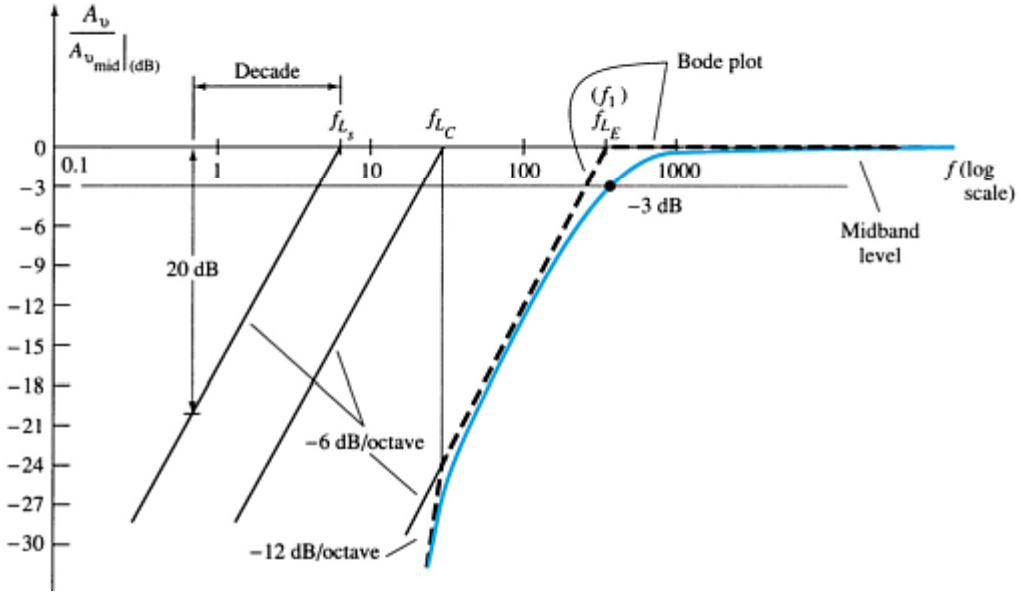
Le roll-off est défini comme la perte-par-octave en dB ou la perte-par-decade en dB.



Taux de Roll-off Marginal (-dB/Decade)

-dB/decade fait reference a l'attenuation encourue pour une variation de dix-fois en fréquence.

Pour les attenuations dans la zone de basses fréquences, il fait reférence a la perte marginale de gain de la fréquence de coupure la plus basse jusq'a la fréquence située a un dixième de la frequence de coupure.

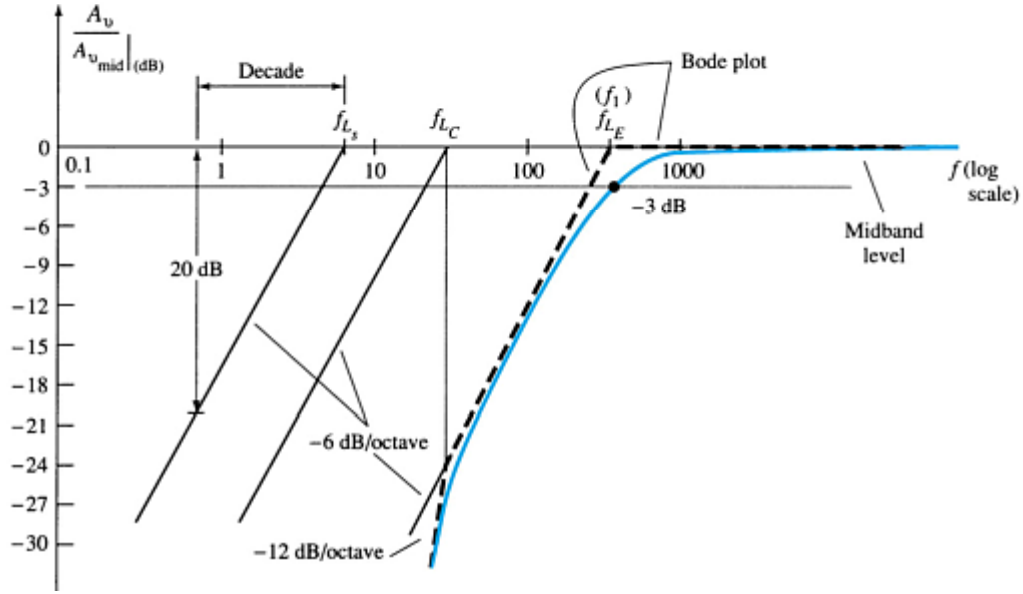


In this example:

f_{LS} = 9kHz gain is 0dB
f_{LS}/10 = .9kHz gain is –20dB
Thus the roll-off is 20dB/decade
The gain decreases by –20dB/decade

Taux de Roll-off Marginal (–dB/Octave)

-dB/octave fait référence a l'atténuation pour chaque changement en double de la fréquence.
Pour les attenuations marginales a basse fréquence , il fait reférence a la perte de gain entre la fréquence plus basse et la fréquence qui est située a la moitié de la valeur de coupure.



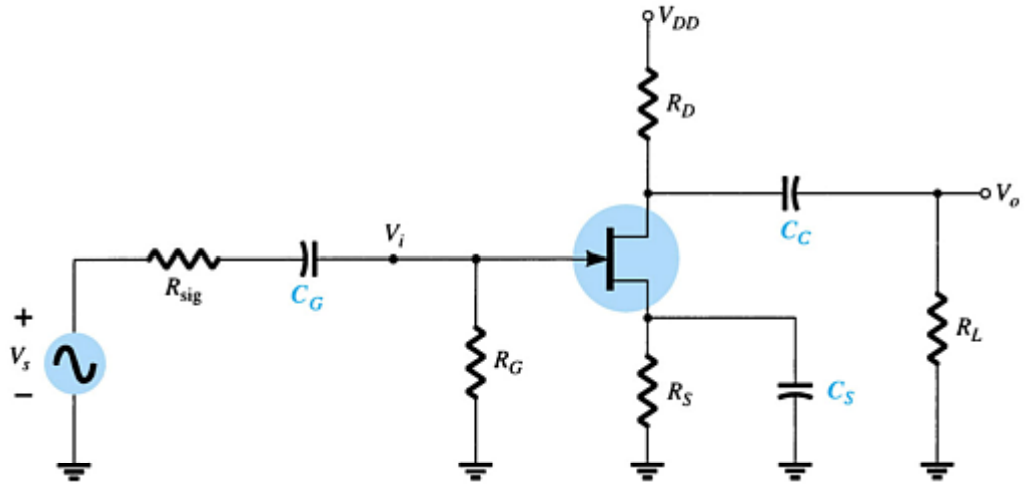
Dans cet exemple:

f_{LS} = 9kHz gain est 0dB
f_{LS} / 2 = 4.5kHz gain est –6dB
Par conséquence le roll-off est de 6dB/octave.

C'est un peu difficile a voir dans le diagramme du fait que l'echelle horizontale est logatithmique.

Amplificateur FET Réponse a basse fréquence

A basse fréquence, les réactances des condensateurs de couplage (C_G, C_C) et de passage (C_S) affectent l'impédance du circuit.



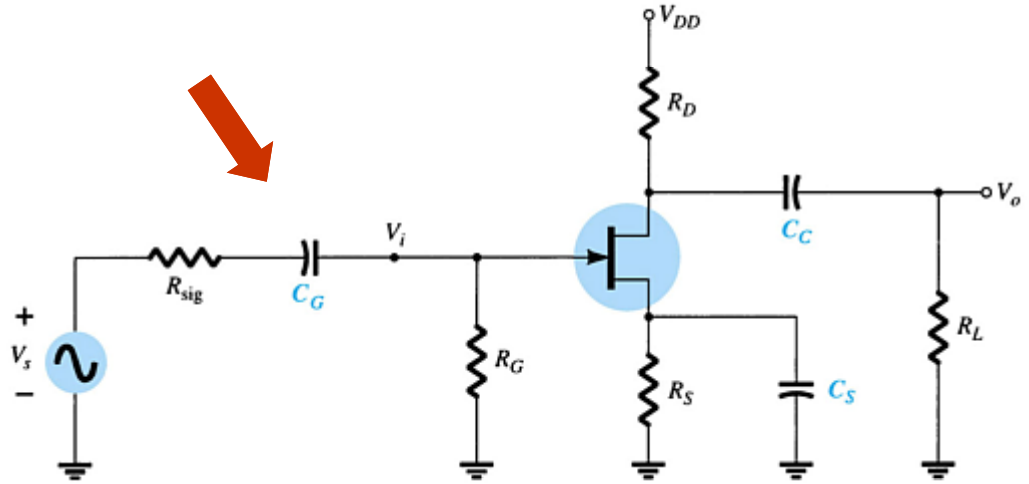
Condensateur de couplage (C_G)

La fréquence de coupure due à C_G peut être calculée par:

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi(R_{sig} + R_i)C_G}$$

avec

$$R_i = R_G$$



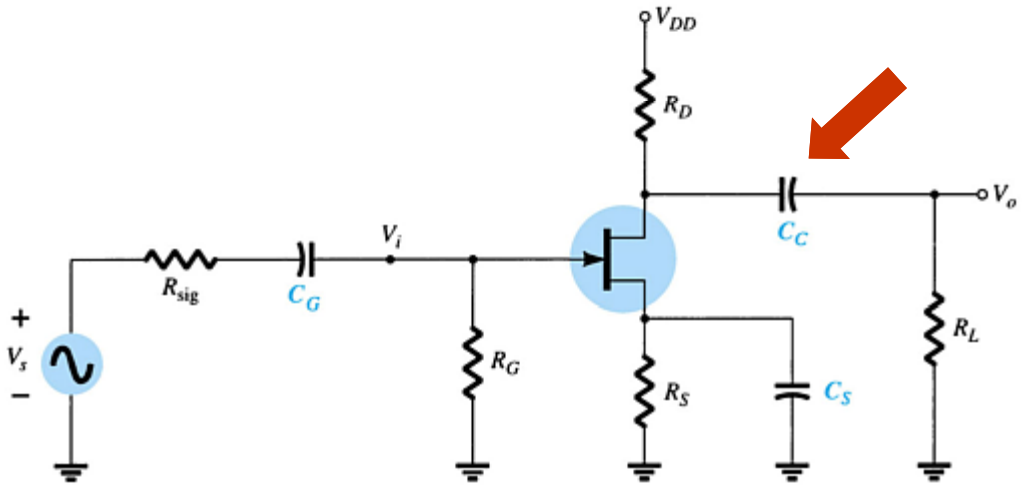
Condensateur de couplage (C_C)

La fréquence de coupure due à C_C peut être calculée par:

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi(R_o+R_L)C_C}$$

avec

$$R_o = R_D \parallel r_d$$



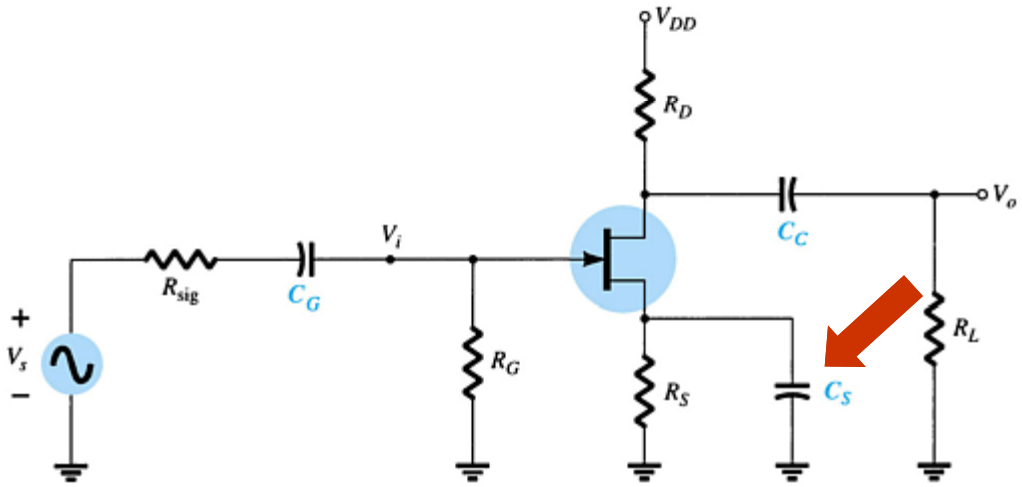
Condensateur de passage (C_S)

La fréquence de coupure due à C_S peut être calculée par:

$$f_{LS} = \frac{1}{2\pi R_{eq} C_S}$$

avec

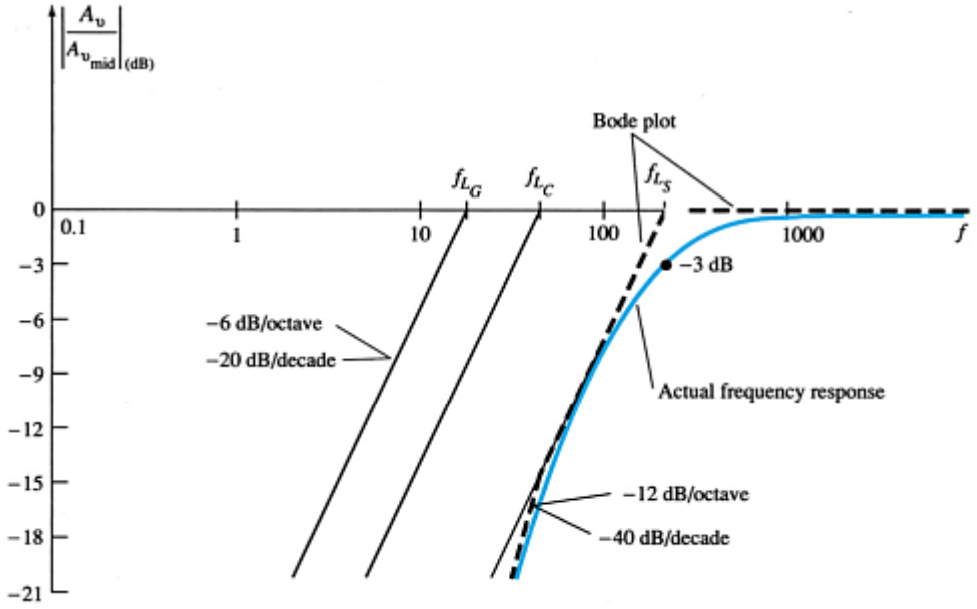
$$R_{eq} = R_S \parallel \frac{1}{g_m}\Big|_{r_d \cong \infty\Omega}$$



Amplificateur FET Réponse à basse fréqunce

Le diagramme de Bode indique que chaque condensateur peut comporter une fréquence de coupure différente.

Le condensateur avec la fréquence de coupure inférieure (f_L) est celui le plus proche de la fréquence de coupure de l'amplificateur.



Capacitance de Miller

Toute jonction p-n peut comporter une capacitance, Dans un amplificateur BJT, cette capacitance devient significatives dans les contacts suivants:

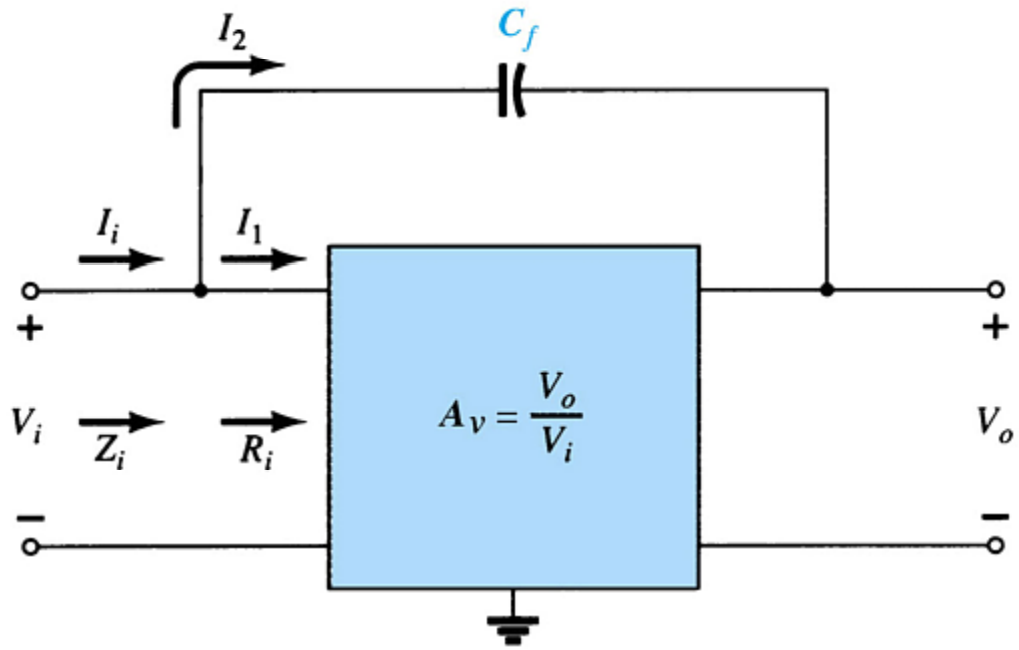
- **La jonction base-collecteur a des hautes fréquences dans les configurations a emetteur commun.**

- **La jonction drain-grille a des hautes fréquences dans les configurations source commune d'un amplificateur FET.**

Ces capacitances sont représentées ayant des entrées et des sorties différentes, appelées Capacitance Miller.

Capacitance d'entrée Miller (C_{Mi})

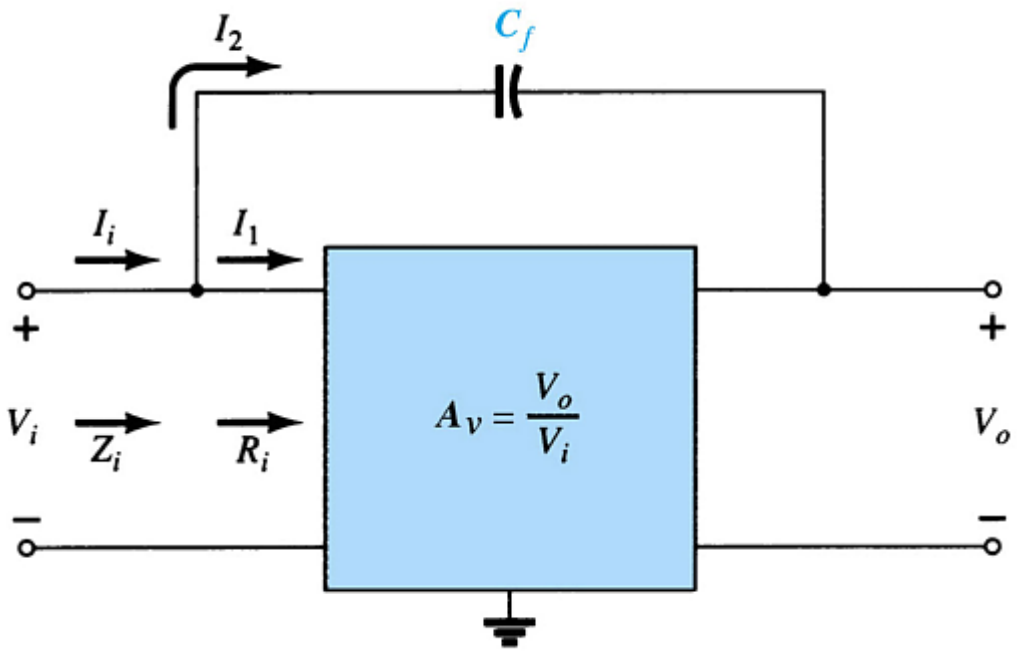
$$C_{Mi} = (1 - A_v)C_f$$



Capacitance de sortie iller (C_{Mo})

Si le gain (A_v) est plus grand que 1, alors

$$C_{Mo} \cong C_f$$



Réponse d'un ampli BJT en haute fréquence

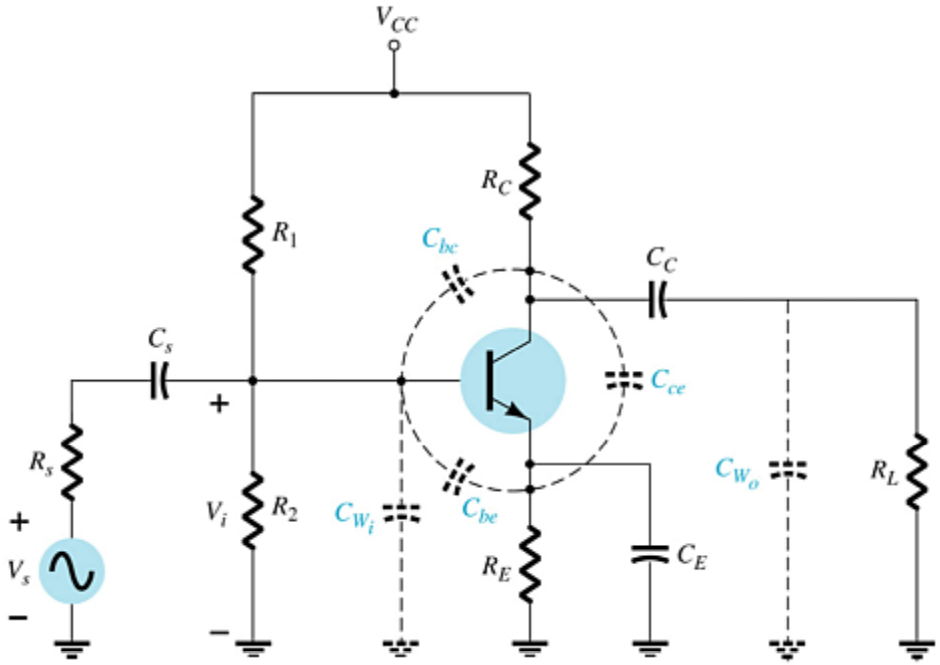
Les capacitances affectant la réponse sont:

- **capacitances de jonction**
  C_{be}, C_{bc}, C_{ce}

- **Capacitances de cablage**
  C_{wi}, C_{wo}

- **condensateurs de couplage C_S, C_C**

- **condensateur de passage C_E**



Fréqunce de coupure haute fréquence (f_{Hi}) en entrée.

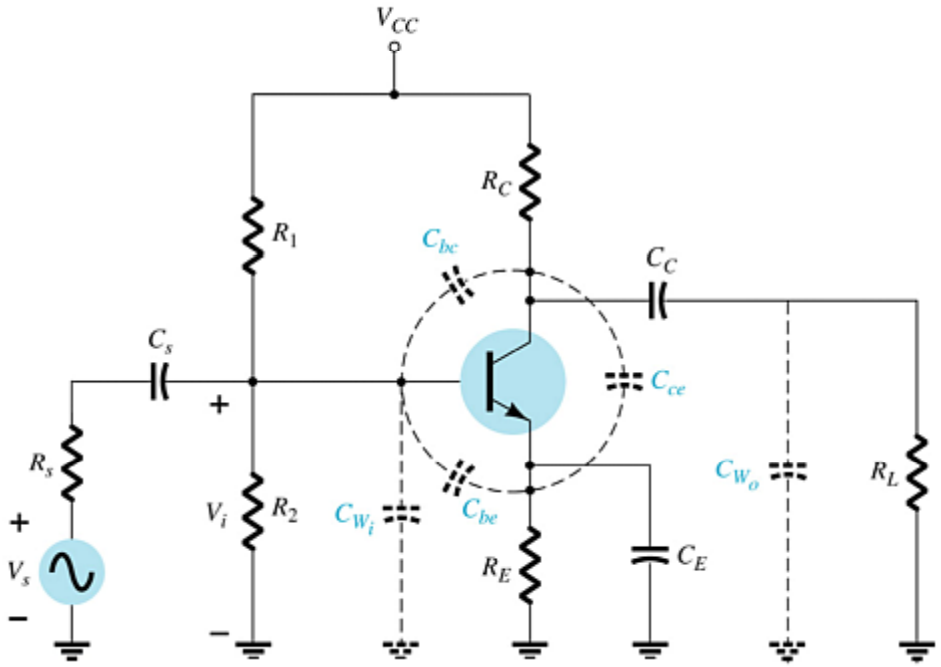
$$f_{Hi} = \frac{1}{2\pi R_{Thi} C_i}$$

avec

$$R_{Thi} = R_s \| R_1 \| R_2 \| R_i$$

et

$$C_i = C_{Wi} + C_{be} + C_{Mi}$$
$$= C_{Wi} + C_{be} + (1 - A_v) C_{bc}$$



Fréquence de coupure haute fréquence (f_{Ho}) en sortie

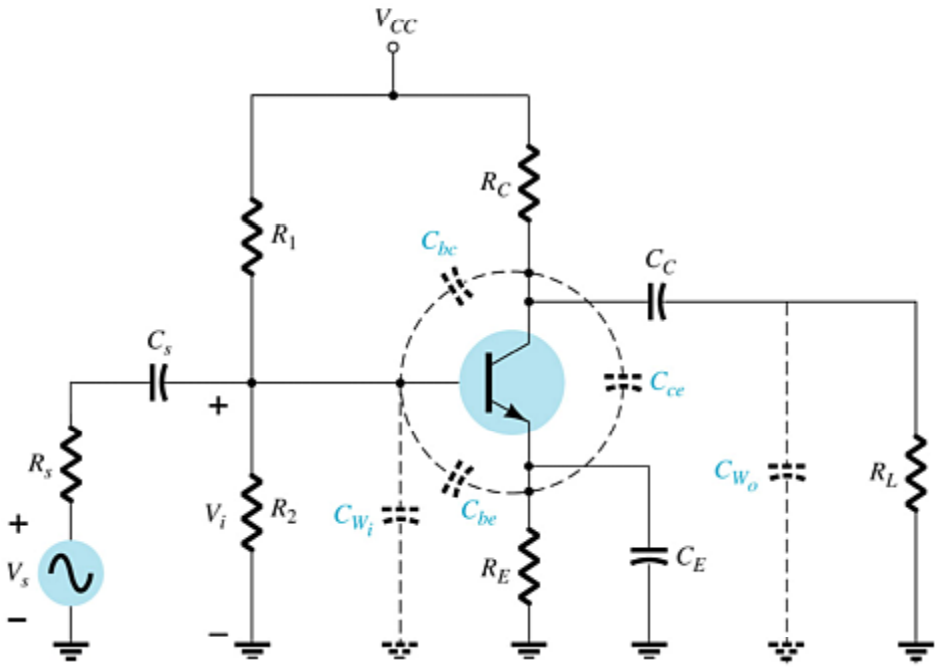
$$f_{Ho} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} C_o}$$

avec

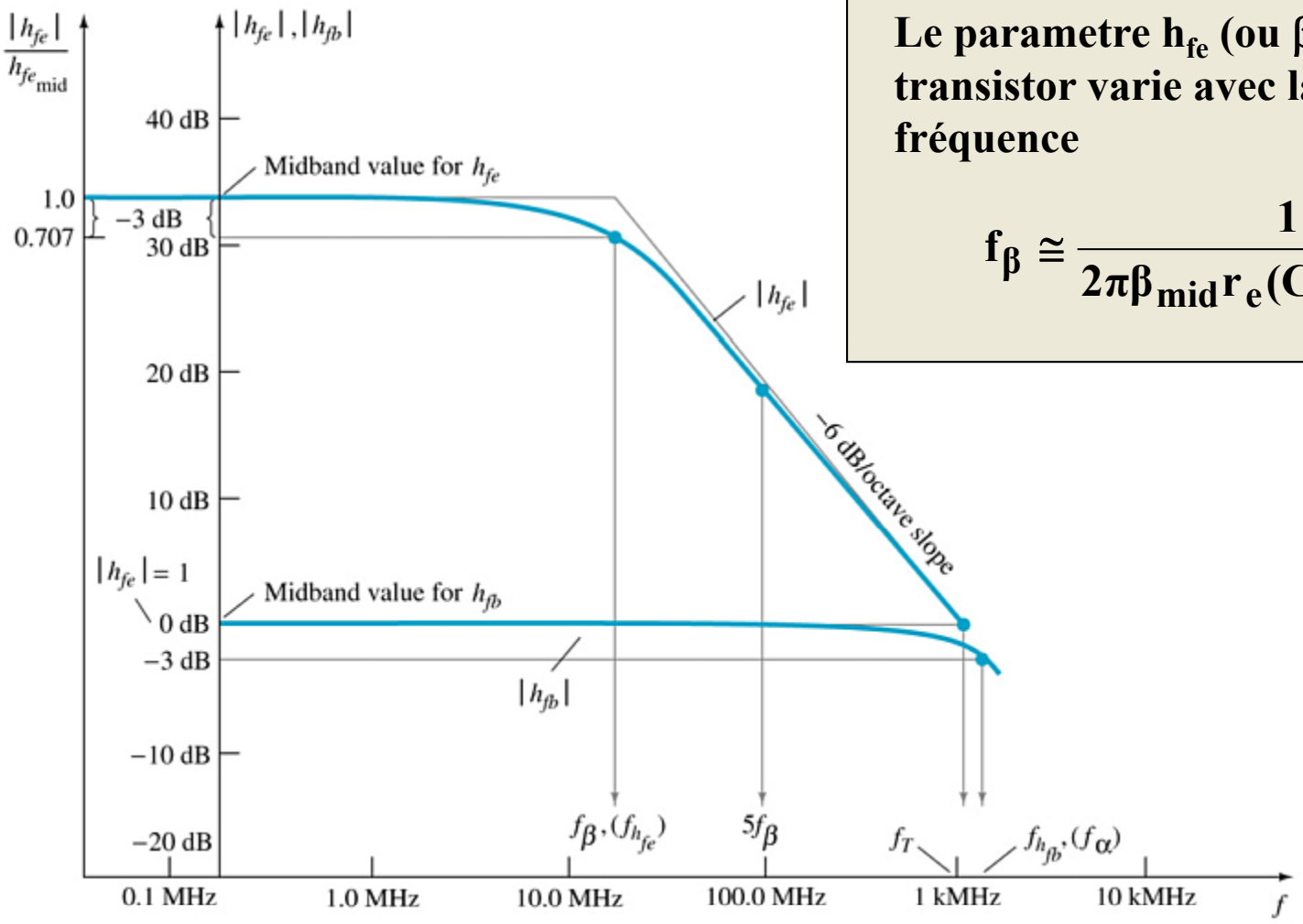
$$R_{Tho} = R_C \parallel R_L \parallel r_o$$

et

$$C_o = C_{Wo} + C_{ce} + C_{Mo}$$



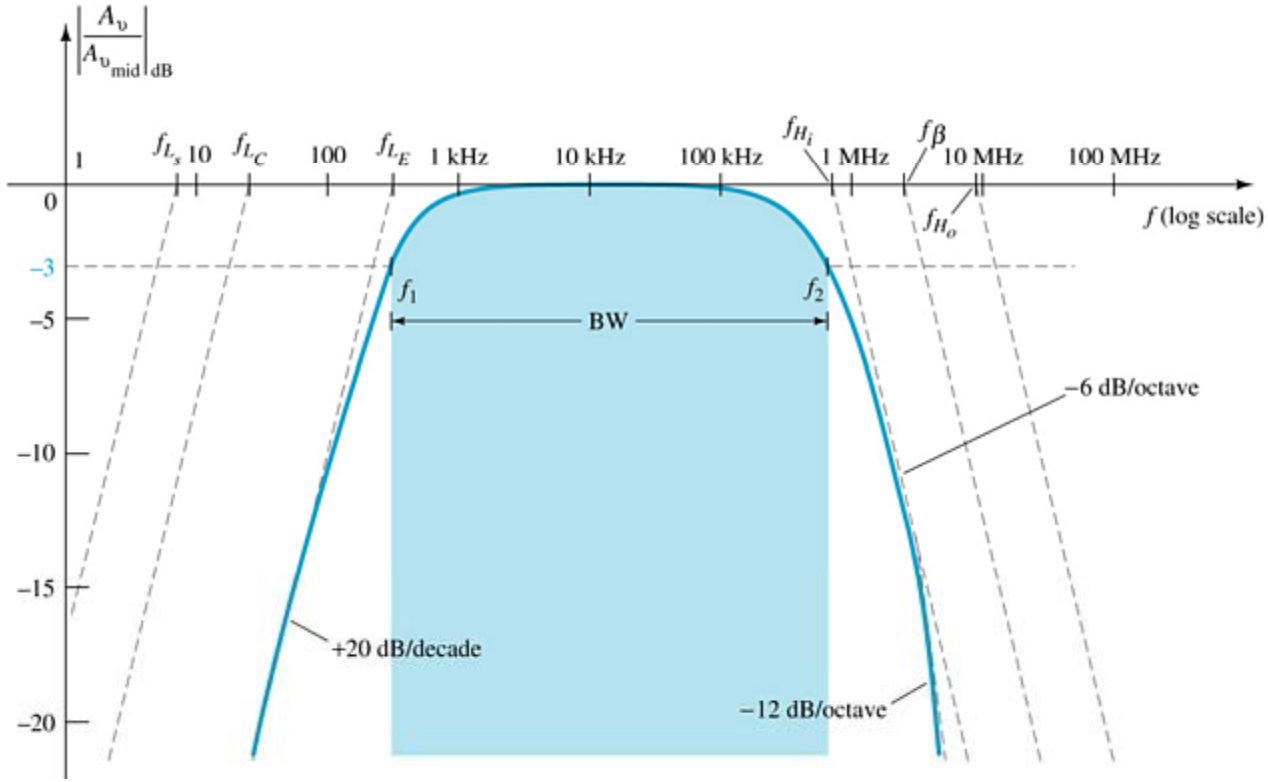
Variation de h_{fe} (or β) avec la fréquence



Le parametre h_{fe} (ou β) d'un transistor varie avec la fréquence

$$f_\beta \cong \frac{1}{2\pi\beta_{mid} r_e (C_{be} + C_{bc})}$$

Réponse en fréquence d'un BJT

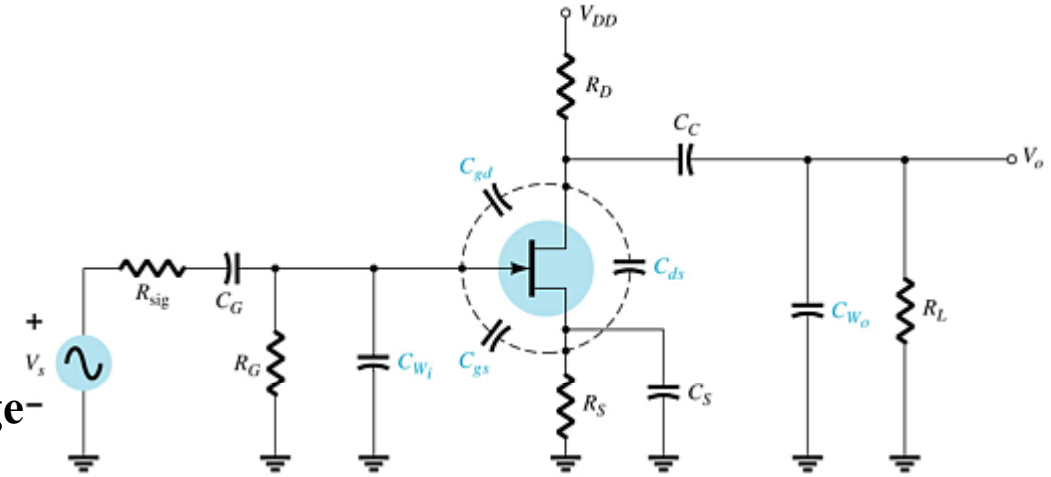


A noter que la plus haute basse fréquence de coupure (f_L) et la plus basse haute fréquence de coupure (f_H) sont les plus proches a la réponse de l'amplificateur.

Réponse haute fréquence du FET

Les capacitances qui affectent sont:

- **Capacitances de jonction**
  C_{gs}, C_{gd}, C_{ds}
- **capacitances de cablage**
  C_{wi}, C_{wo}
- **condensateurs de couplage**
  C_G, C_C
- **condensateur de pssage**
  C_S



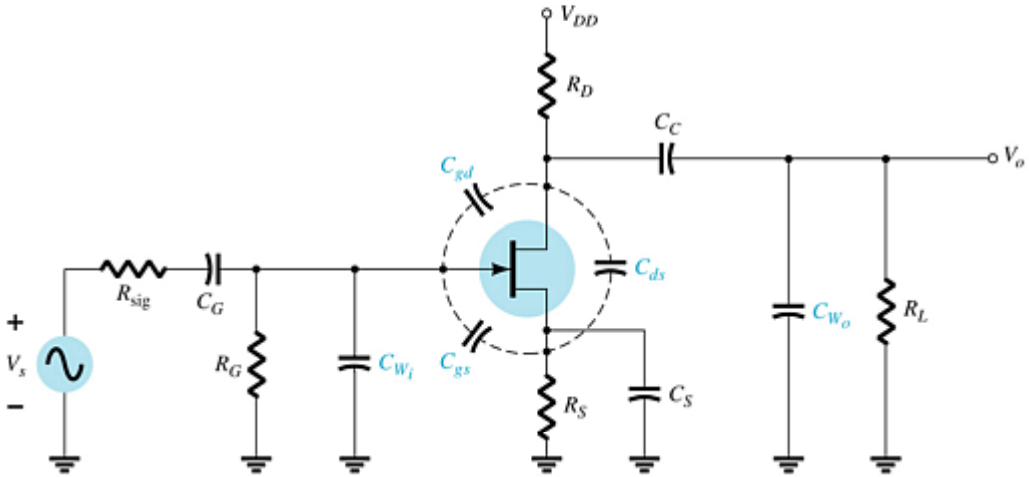
Fréquence de coupure en entrée (f_{Hi})

$$f_{Hi} = \frac{1}{2\pi R_{Thi} C_i}$$

$$C_i = C_{Wi} + C_{gs} + C_{Mi}$$

$$C_{Mi} = (1 - A_v) C_{gd}$$

$$R_{Thi} = R_{sig} \parallel R_G$$



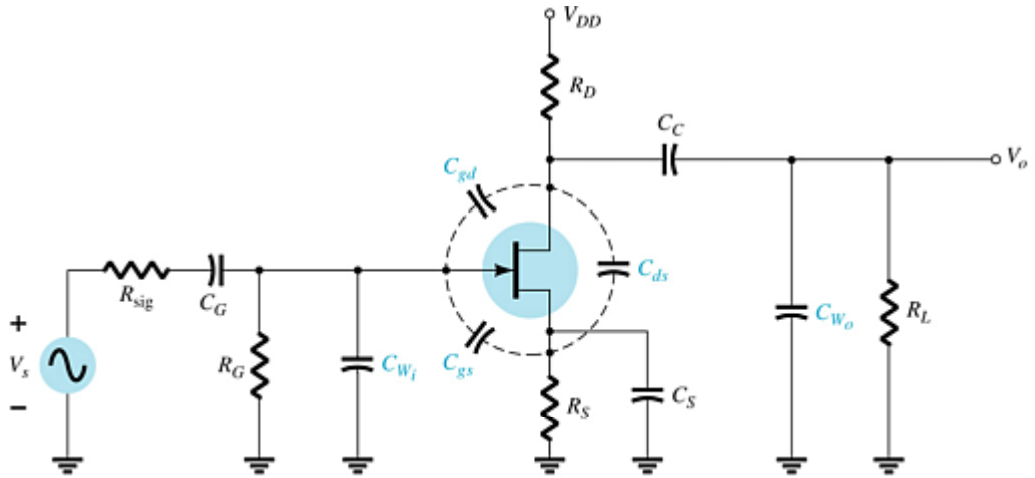
Fréquence de coupure en sortie (f_{Ho})

$$f_{Ho} = \frac{1}{2\pi R_{Tho} C_o}$$

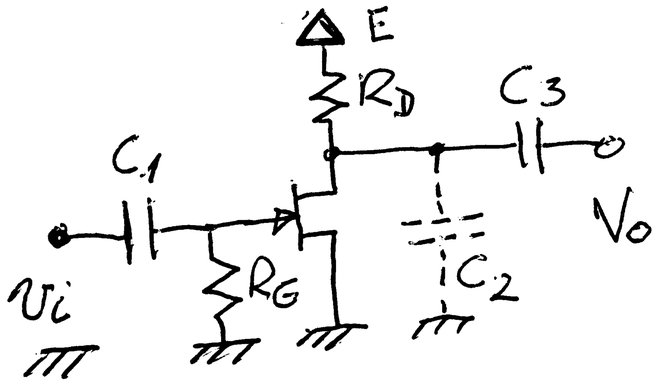
$$C_o = C_{Wo} + C_{ds} + C_{Mo}$$

$$C_{Mo} = \left(1 - \frac{1}{A_v}\right) C_{gd}$$

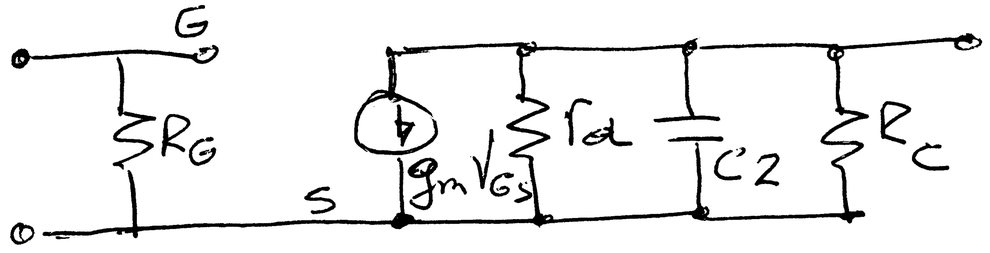
$$R_{Tho} = R_D \parallel R_L \parallel r_d$$



CH 9 - BANDE PASSANTE D'UN AMPLI A UN SEUL ETAGE



- Le circuit travaille dans La zone des frequences moyennes quand C_1, et C_3 sont assez grandes. (modèle petits signaux)
- C_1 et C_3 sont dimensionés pour augmenter la fréquence basse de coupure
- C_2, capacitance parasite du transistor crée une limite a la fréquence plus haute de fonctionnement



A des basses fréquences
Freq. de coupure: $\omega_1 = \frac{1}{R_G C_1}$

A des hautes fréquences:
Freq de coupure: $\omega_2 = \frac{1}{(r_d \| R_C) C_2}$

EXEMPLE

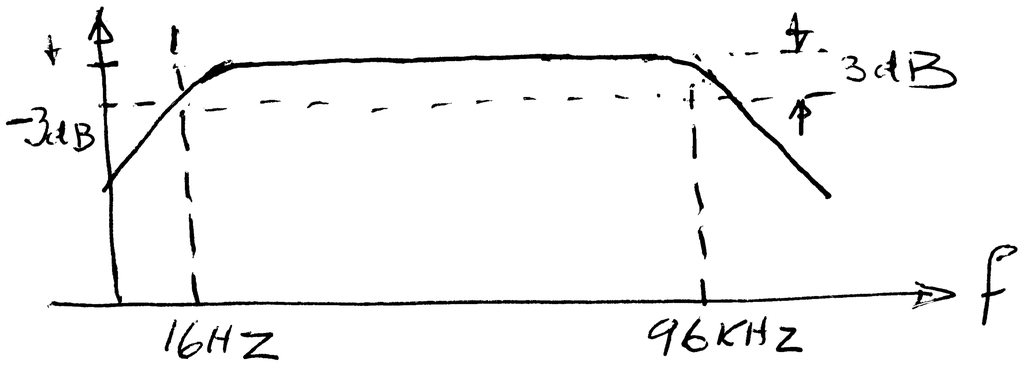
Point d'operation: $I_D = 4mA$, $V_{DS} = 10V$

$g_m = 4\,mA/V$ $\quad \frac{1}{r_d} = 10\mu S$

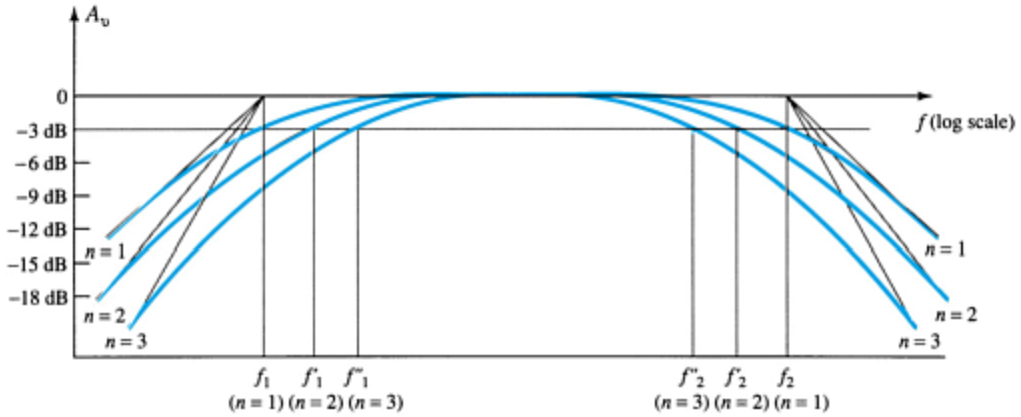
$R_G = 1M\Omega$, $R_C = 10K\Omega$ $\quad C_1 = 10nF$, $C_2 = 100pF$

Gain (bande moyenne) $= -g_m(r_d \| R_C) = -34$

$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = 16Hz$ $\qquad f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = 96KHz$



Réponse en fréquence d'un amplificateur multi-étage



Une fois que les fréquences de coupure de chaque étage ont étés déterminés, elles sont mises dans un diagramme.

La réponse conjointe de bande passante est celle de l'amplificateur total.