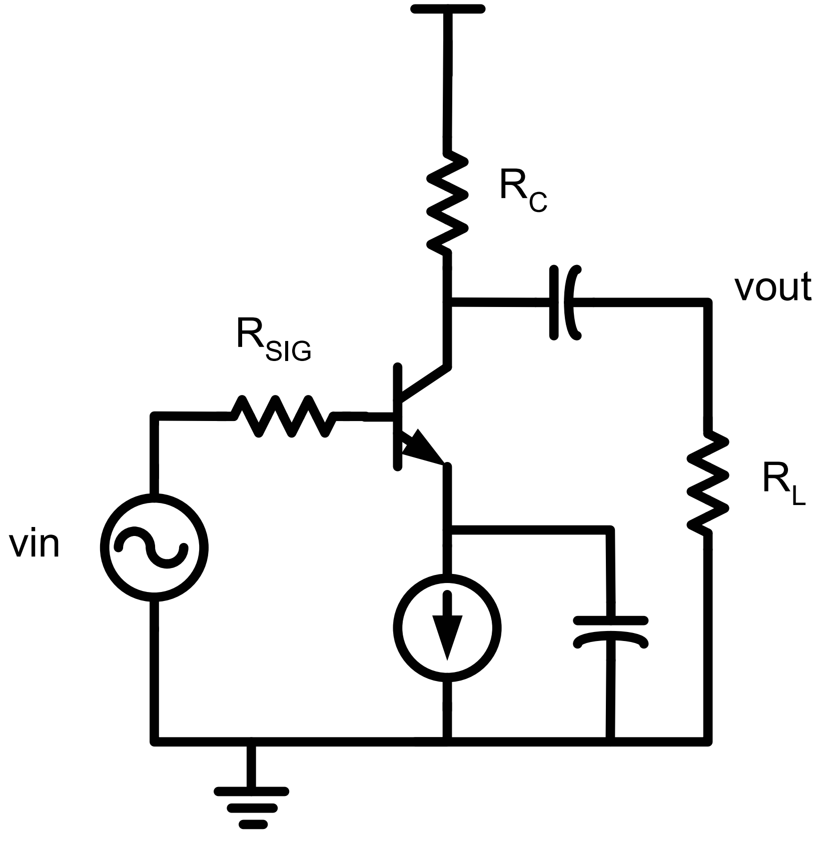
Exercice #1

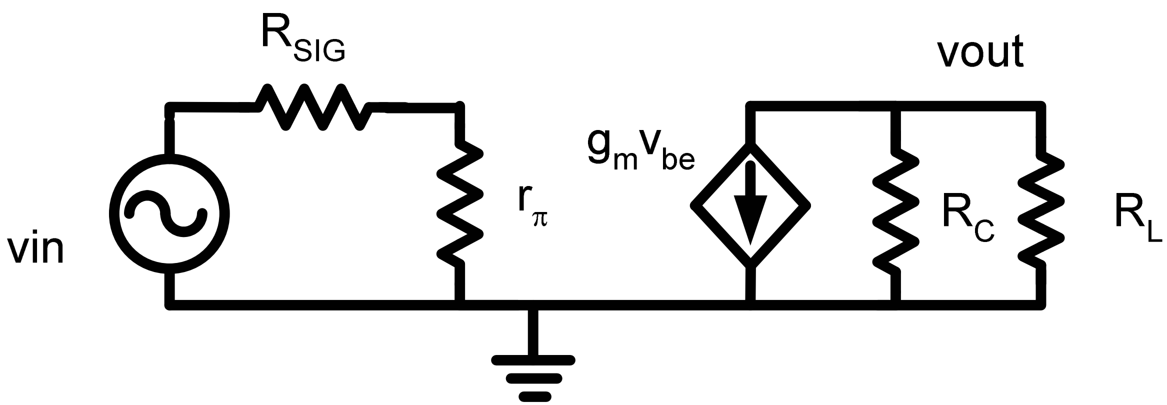
- Trouvez le gain, R_{in} et R_{out}: (#5.128)
  - β=100
  - V_A infini
  - I_C=0.2mA
  - R_C=24KΩ
  - R_L=10KΩ
  - R_{SIG}=10KΩ



Exercice #1

- On va calculer les parametres petit signal:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.2mA}{25mV} = 0.008 \qquad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0.008} = 12500$$



Exercice #1

- On est maintenant capable de resoudre le probleme.
- On trouve v_{be} (diviseur de tension):

$$v_{be} = \frac{r_\pi}{r_\pi + R_{SIG}} v_{in} = \frac{12.5}{12.5+10} v_{in} = 0.56 v_{in}$$

- V_{out} devient:

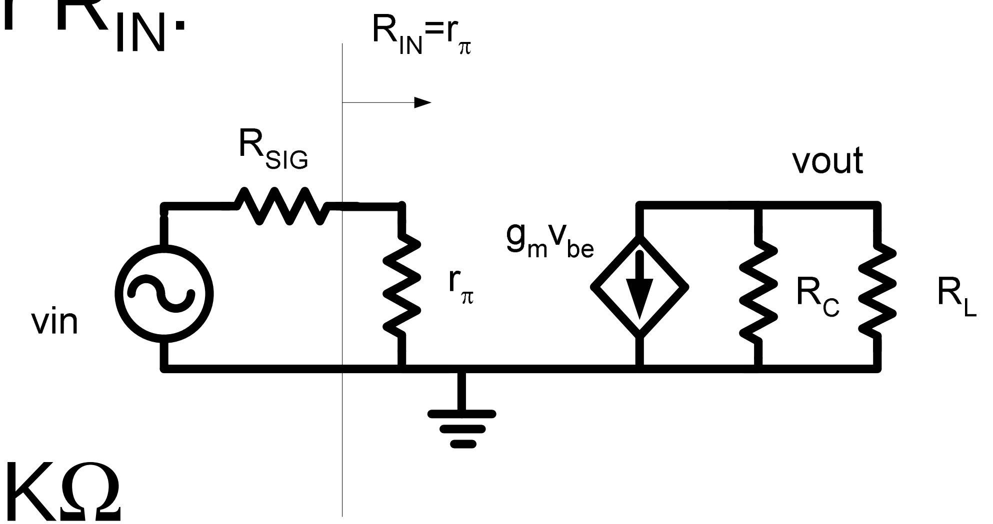
$$v_{out} = -g_m v_{be} \left(R_C \parallel R_L \right) = -(0.008)(0.56 v_{in})(24K \parallel 10K)$$

Exercice #1

- Apres calcul, ca devient:

$$v_{out} = -(0.008)(0.56v_{in})(7060) = -31.6v_{in}$$

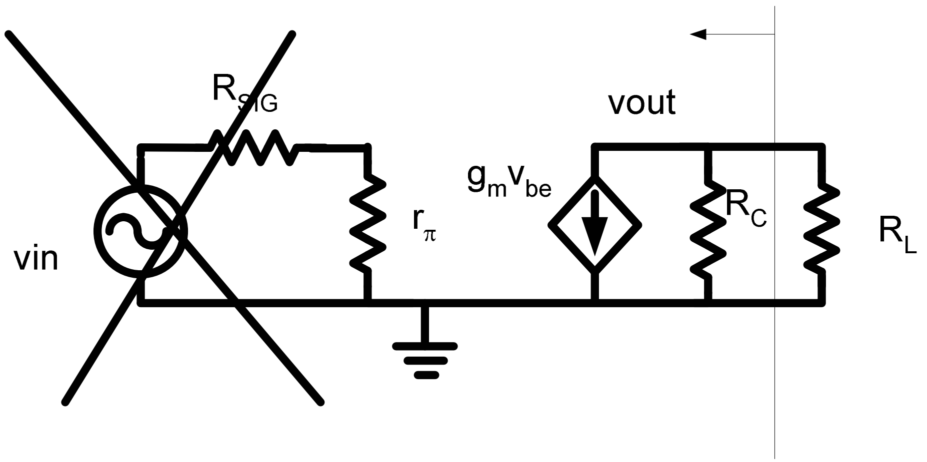
- Pour trouver R_{IN}:



- $R_{IN}=r_\pi=12.5K\Omega$

Exercice #1

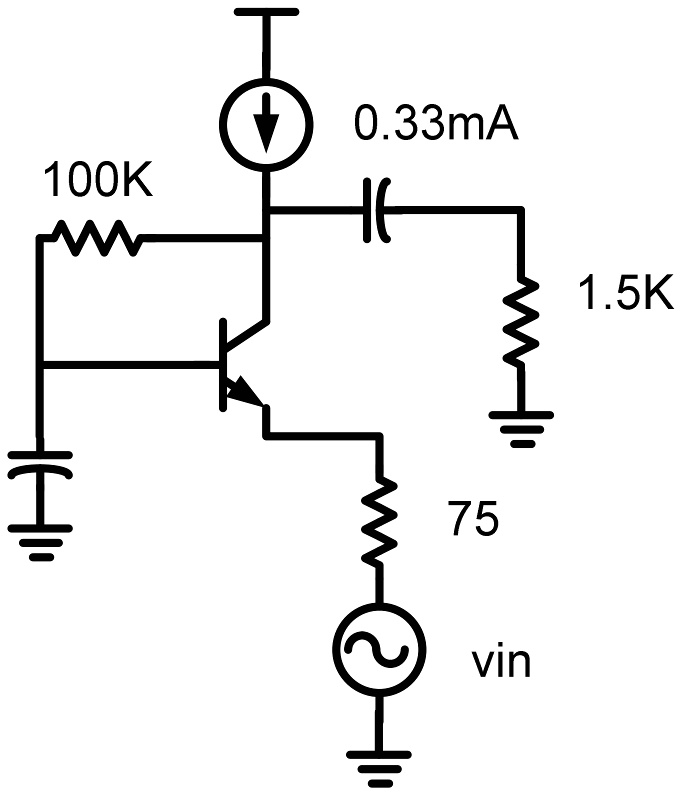
- La resistance de sortie R_{OUT} se trouve comme ceci:



- $R_{OUT}=R_C=24K\Omega$

Exercice #2

- Probleme #5.141.
- Trouvez R_{IN}, R_{OUT} et le gain. (β=100)



Exercice #2

- Pour parametres petit signal, il faut I_C
  - D'apres le circuit, on connait I_E
- On peut donc trouver I_C:

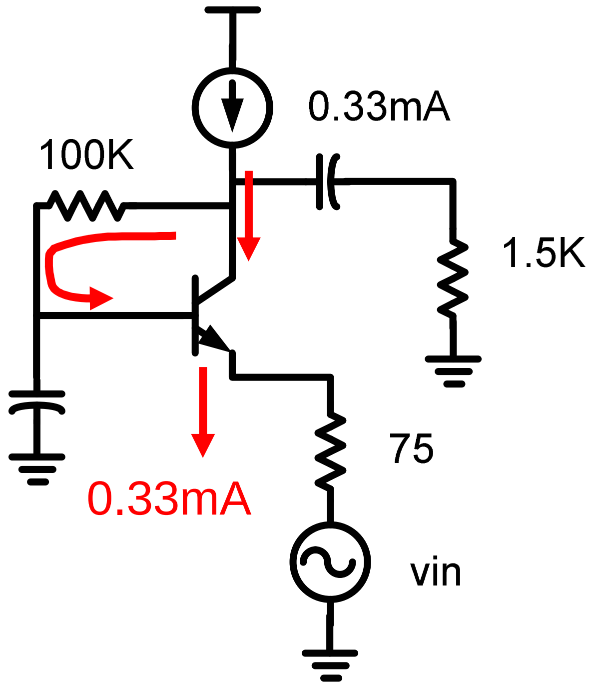
$$I_E = I_B + I_C$$

  - I_B c'est I_C divise par β:

$$I_E = \frac{I_C}{\beta} + I_C$$

  - Et on isole I_C:

$$I_C = \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) I_E = 0.327mA$$

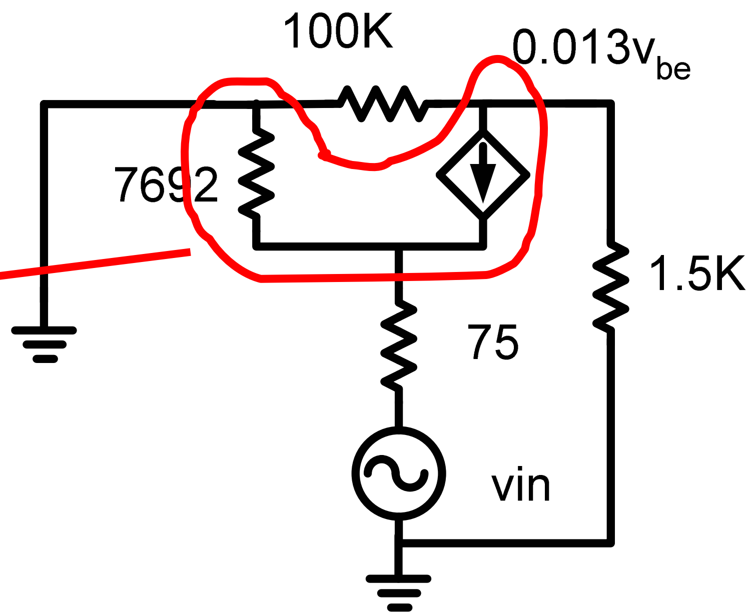


Exercice #2

- Parametres petit-signal

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \left(\frac{0.327mA}{25mV} \right) = 0.013 \qquad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \left(\frac{100}{0.013} \right) = 7692$$

On choisit le modele π



Exercice #2

- On va resoudre avec des symboles
  - On substituera plus tard…
- On ecrit une equation a v_a:

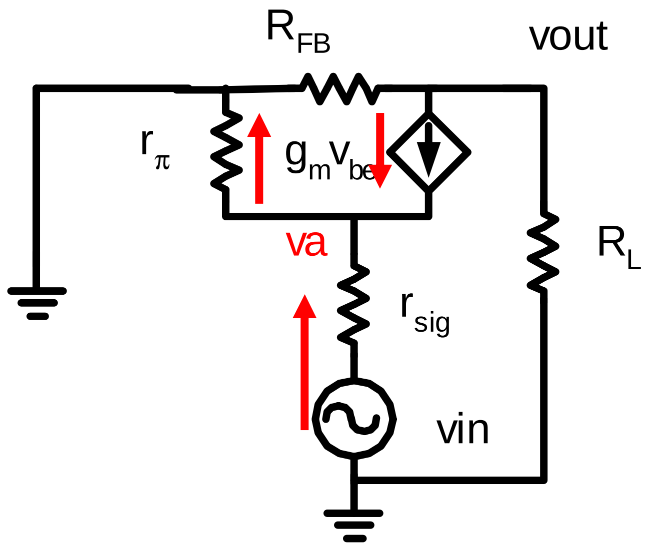
$$\frac{v_{in} - v_a}{r_{sig}} + g_m v_{be} = \frac{v_a}{r_\pi}$$

  - v_{be} c'est $(0\text{-}v_a)$

$$\frac{v_{in} - v_a}{r_{sig}} + g_m(0 - v_a) = \frac{v_a}{r_\pi}$$

  - Ca devient donc…

$$\frac{v_{in} - v_a}{r_{sig}} - g_m v_a = \frac{v_a}{r_\pi}$$



C'est quoi v_a? Il faut une autre equation

Exercice #2

- On ecrit une equation au noeud V_{out}:
  - R_L et R_B sont en parallele:

$$\frac{(0-v_{out})}{(R_{FB} \parallel R_L)} = g_m v_{be}$$

  - v_{be} c'est $0-v_a$

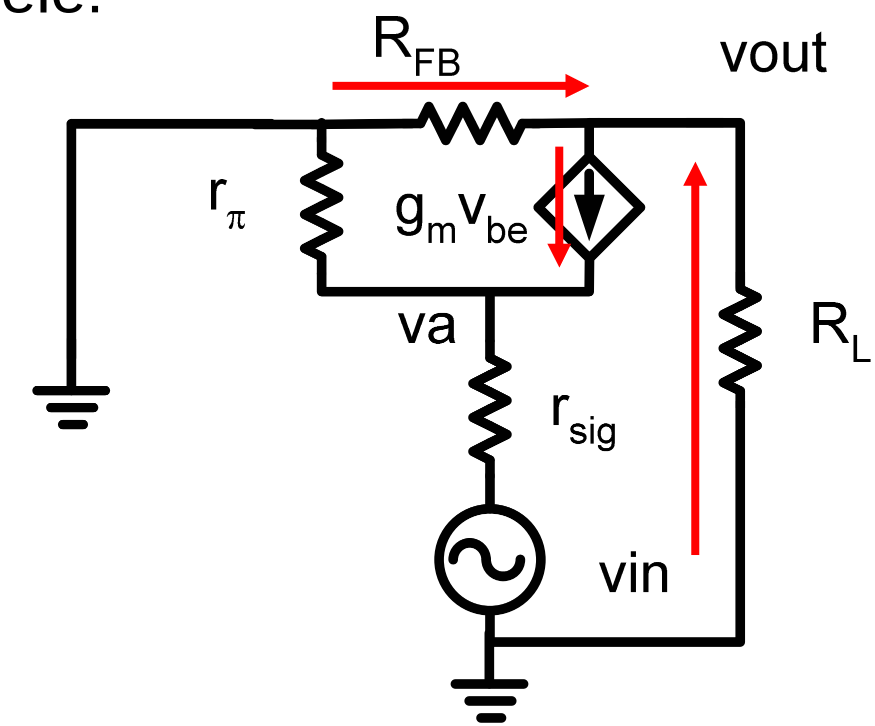
$$\frac{(0-v_{out})}{(R_{FB} \parallel R_L)} = g_m(0-v_a)$$

  - On enleve les "moins"

$$\frac{v_{out}}{(R_{FB} \parallel R_L)} = g_m v_a$$

  - Isoler v_a, c'est facile:

$$v_a = \frac{v_{out}}{g_m(R_{FB} \parallel R_L)}$$



2 equations a 2 variables… on substitue

Exercice #2

- On substitue v_a dans la premiere equation:

$$\frac{v_{in} - v_a}{r_{sig}} - g_m v_a = \frac{v_a}{r_\pi}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{v_{in} - \dfrac{v_{out}}{g_m\left(R_{FB} \parallel R_L\right)}}{r_{sig}} - g_m \frac{v_{out}}{g_m\left(R_{FB} \parallel R_L\right)} = \frac{\dfrac{v_{out}}{g_m\left(R_{FB} \parallel R_L\right)}}{r_\pi}$$

- On arrange et on met v_{out} a droite:

$$\frac{v_{in}}{r_{sig}} = \frac{v_{out}}{g_m r_\pi\left(R_{FB} \parallel R_L\right)} + \frac{v_{out}}{g_m r_{sig}\left(R_{FB} \parallel R_L\right)} + \frac{v_{out}}{\left(R_{FB} \parallel R_L\right)}$$

Exercice #2

- On factorise v_{out} et $R_L||R_{FB}$:

$$\frac{v_{in}}{r_{sig}} = \frac{v_{out}}{(R_{FB} \parallel R_L)}\left(\frac{1}{g_m r_\pi} + \frac{1}{g_m r_{sig}} + 1\right)$$

- On isole v_{out}/v_{in} et on developpe:

$$\frac{(R_{FB} \parallel R_L)}{r_{sig}\left(\frac{r_{sig}}{g_m r_\pi r_{sig}} + \frac{r_\pi}{g_m r_\pi r_{sig}} + \frac{g_m r_\pi r_{sig}}{g_m r_\pi r_{sig}}\right)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

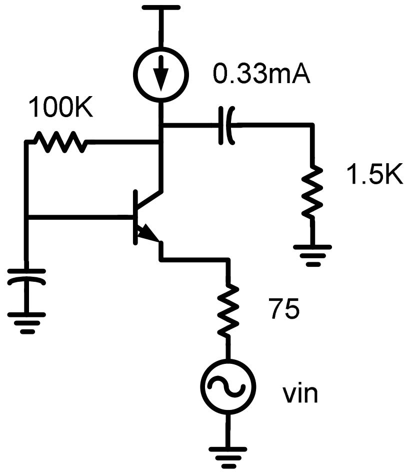
On aurait pu terminer le probleme ici… mais on va continuer…

Exercice #2

- r_{sig} s'annule et on met $\beta = g_m r_\pi$

$$\frac{(R_{FB} \parallel R_L)}{\cancel{r_{sig}}\left(\frac{r_{sig}}{g_m r_\pi \cancel{r_{sig}}} + \frac{r_\pi}{g_m r_\pi \cancel{r_{sig}}} + \frac{g_m r_\pi r_{sig}}{g_m r_\pi \cancel{r_{sig}}}\right)} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \Rightarrow \frac{(R_{FB} \parallel R_L)}{\left(\frac{r_{sig}}{\beta} + \frac{r_\pi}{\beta} + \frac{\beta r_{sig}}{\beta}\right)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

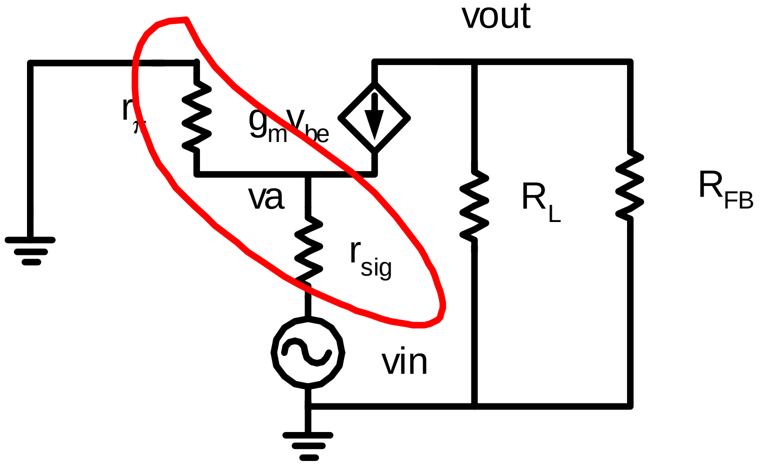
- Finalement, on obtient:

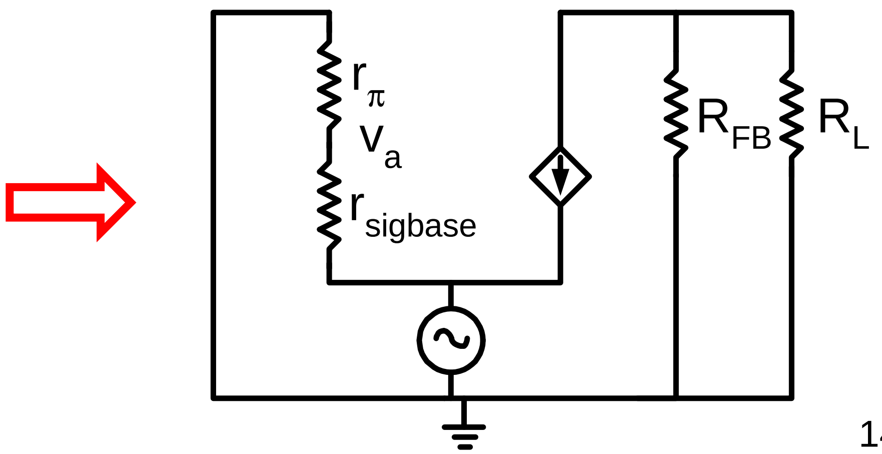


$$\frac{\beta(R_{FB} \parallel R_L)}{\left(r_{sig}(\beta+1) + r_\pi\right)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

Exercice #2

- Autre facon de raisonner:
  - On pourrait deplacer r_{sig} a la base ($r_{sigbase}$)
  - En deplacant r_π a l'emetteur (r_e), on divise par β+1
  - En deplacant r_{sig} a la base on MULTIPLIE par β+1
  - $R_{sigbase} = R_{sig}(\beta+1)$





Exercice #2

- V_{be} devient un diviseur de tension:

$$v_{be} = -\frac{r_\pi}{r_{sig}(\beta+1)+r_\pi} v_{in}$$

- La sortie devient (meme resultat qu'avant)

$$v_{out} = g_m (R_{FB} \parallel R_L) \frac{r_\pi}{r_{sig}(\beta+1)+r_\pi} v_{in}$$

$g_m r_\pi = \beta$

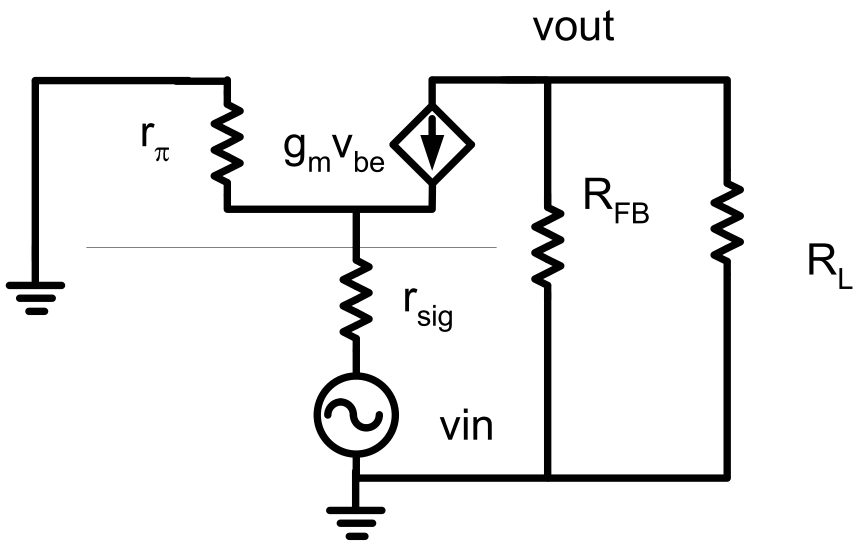
- Avec les chiffres, la reponse est:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{75(101)+7692} 100(100K \parallel 1.5K) = 9.7$$

Passons maintenant au R_{IN}

Exercice #2

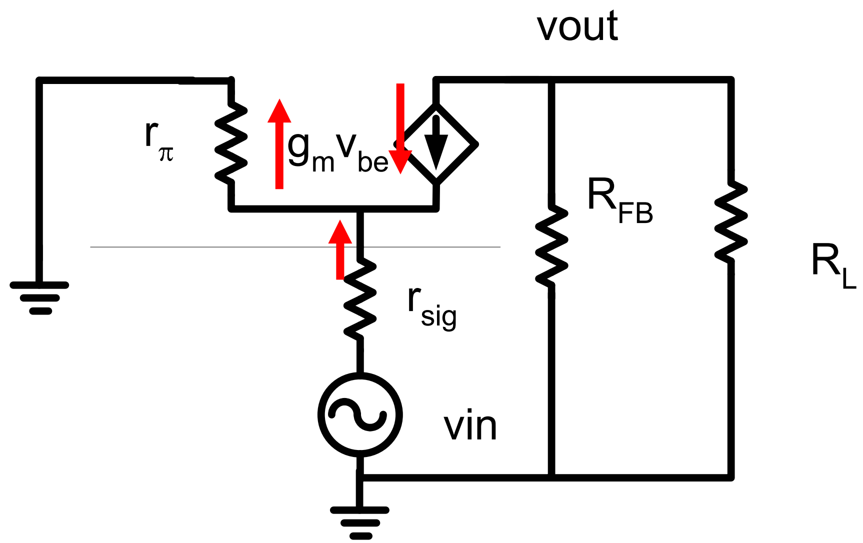
- On calcule R_{in}:
  - On enleve la source et sa resistance
  - On applique une source ideale V_{IN}
  - On voit quel courant I_{IN} ca tire
  - R_{IN} c'est V_{IN}/I_{IN}



Exercice #2

- On ecrit le courant au noeud d'entree:

$$i_{in} - g_m v_{in} = \frac{v_{in}}{r_\pi}$$



- On isole I_{IN}

$$i_{in} = v_{in}\left(\frac{1}{r_\pi} + \frac{\beta}{r_\pi}\right)$$

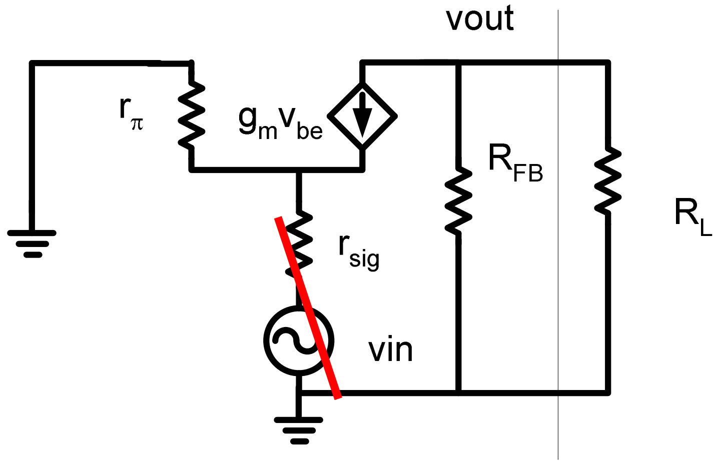
- On trouve R_{IN}

$$R_{IN} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{r_\pi}{\beta + 1} = r_e = 76$$

Erreur dans le solutionnaire

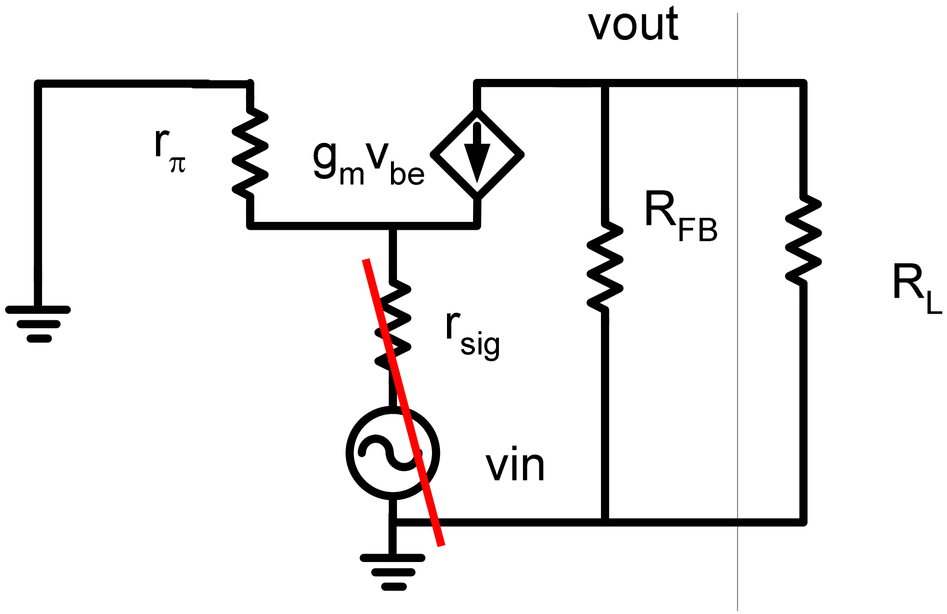
Exercice #2

- Pour R_{out},
  - On met l'entrée a 0
  - On enleve la charge R_L
  - On applique une source ideale V_{OUT}
  - On regarde quel courant I_{OUT} est tire
  - R_{OUT}, c'est V_{OUT}/I_{OUT}



Exercice #2

- On calcule R_{out}:



$$R_{OUT} = R_{FB} = 100K$$

Cours 5

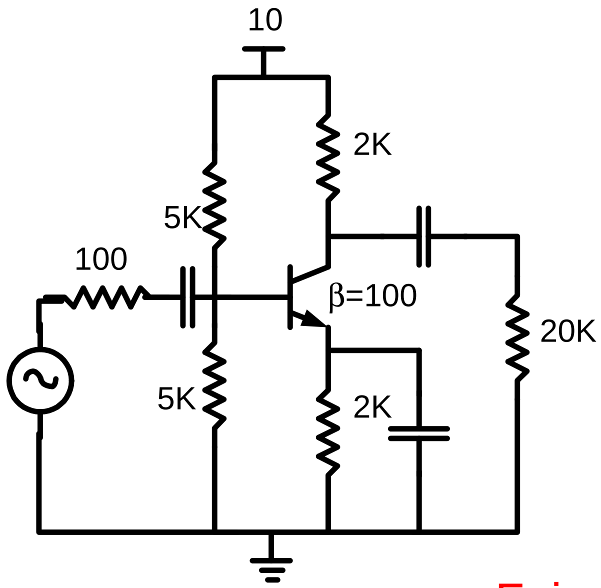
Analyse en frequences

Jusqu'a present

- Etapes:
  - Analyse DC: C sont circuits ouverts
  - Calculer parametres petit-signal
  - Analyse AC: C sont courts-circuits
- Condensateurs enlevent DC
- Condensateurs "laissent passer" AC
- Pourquoi?
  - Parce qu'ils sont des filtres passe-haut

Jusqu’a present

- Un filtre passe-haut laisse passer les hautes frequences
  - Qu’est-ce que ca veut dire “haute” frequence?
- Considerez un cas concret…



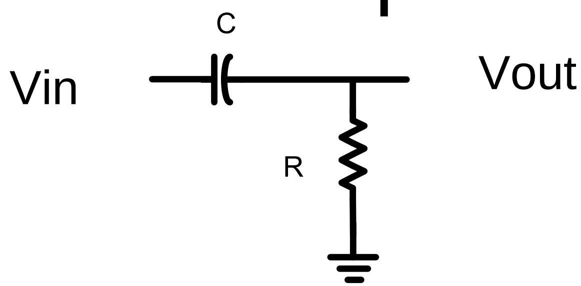
Imaginez que v_{in} est a 400Hz.

Quelles valeurs de C devrais-je choisir?

Faisons un petit retour dans le temps…

Rappel: frequences

- Considerez ce filtre passe-haut:

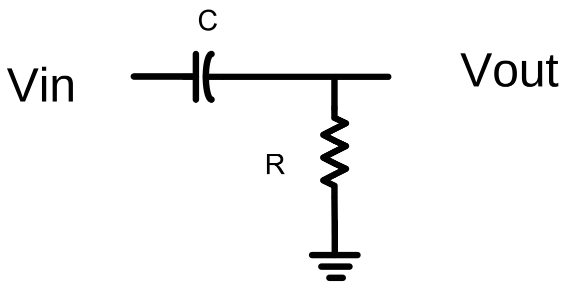


- Quelles frequences passent? (DS2)
  1) Trouver fonction de transfert
  2) Regime sinusoidal etabli: $s=j\omega$
  3) Mettre le gain egal a 0.707
  4) Resoudre pour trouver ω

Refaisons ca rapidement…

Rappel: frequences

- Le circuit est:



- On trouve V_{OUT} (diviseur de tension):

$$vout = vin\frac{R}{R+\frac{1}{sC}}$$

- Fonction de transfert:

$$vout = vin\frac{R\left(\frac{s}{R}\right)}{R\left(\frac{s}{R}\right)+\frac{1}{sC}\left(\frac{s}{R}\right)} \Rightarrow \frac{vout}{vin} = \frac{s}{s+\frac{1}{CR}}$$

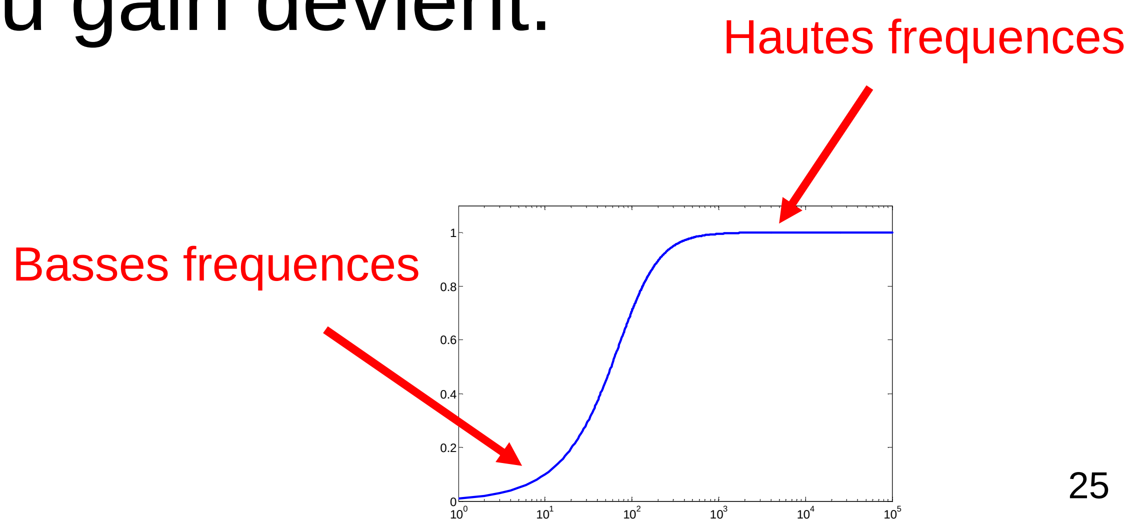
Rappel: frequences

- On sait que s=σ+jω
  - En regime sinusoidal etabli, σ→0 et donc, s=jω

$$\frac{vout}{vin} = \left(\frac{j\omega}{j\omega + \frac{1}{CR}} \right)$$

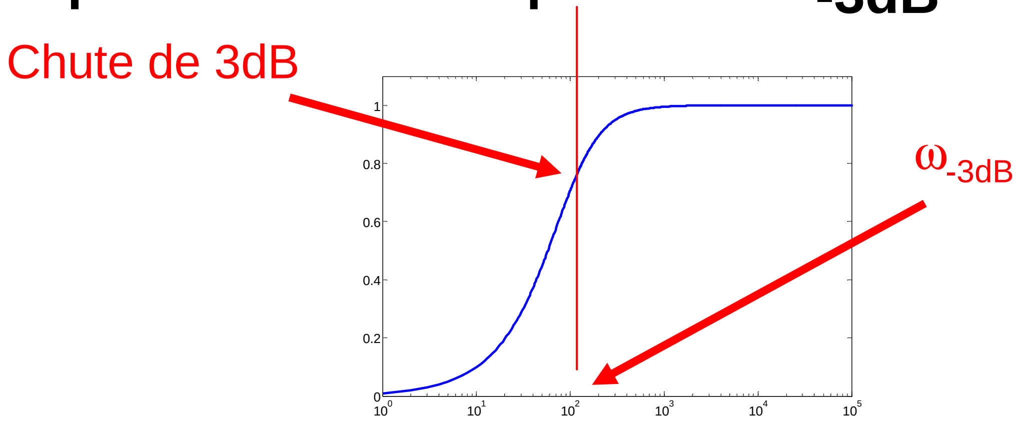
- L'amplitude du gain devient:

$$\left|\frac{vout}{vin}\right| = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \left(\frac{1}{CR}\right)^2}}$$



Rappel: frequences

- Il y a une plage de frequences ou le gain est maximal
    - Avec un changement de frequences, ce gain va chuter
    - On va s'interesser au point ou le gain **baisse de 3dB**
- La frequence a ce point: $\omega_{\mathbf{-3dB}}$



Rappel: frequences

- ω_{-3dB} : frequence de coupure
  - Frequence ou gain est -3dB de son maximum.
- Comment trouver un gain en decibels?

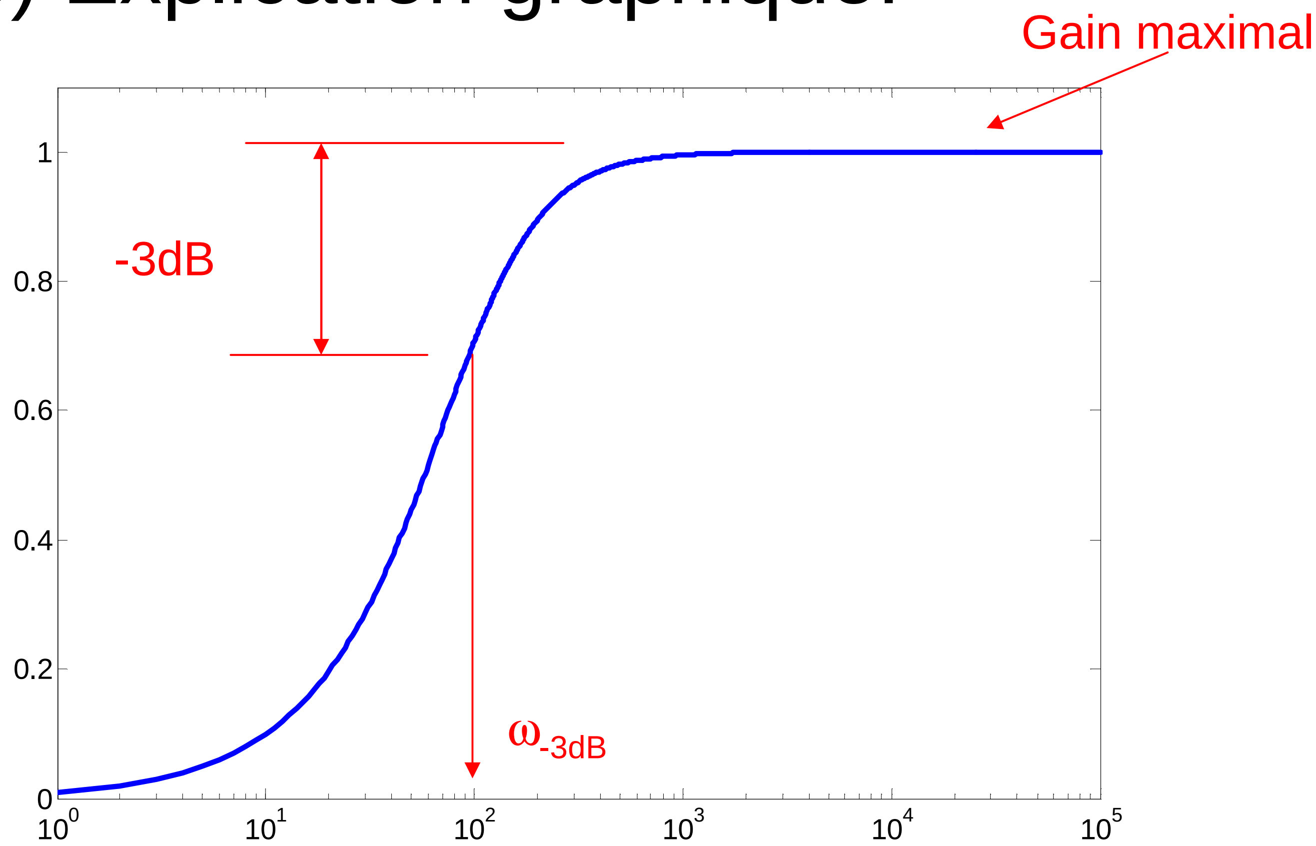
$$GAIN_{dB} = 20LOG_{10}\left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}\right)$$

- Une chute de -3dB correspond a:

$$-3 = 20LOG_{10}\left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}\right) \Rightarrow \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 10^{\left(\frac{-3}{20}\right)} \cong 0.707 = \sqrt{\frac{1}{2}}$$

Rappel: frequences

- (Meme) Explication graphique:



Rappel: frequences

- Pour filtre passe haut, gain maximal est 1.

$$\omega \longrightarrow \infty \qquad \left|\frac{vout}{vin}\right| = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \cancel{\left(\frac{1}{CR}\right)^2}}} \; 0 \quad \Rightarrow \quad \left|\frac{vout}{vin}\right| = 1$$

Gain maximal

- On trouve frequence ou gain est 0.707.

$$\left|\frac{vout}{vin}\right| = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \left(\frac{1}{CR}\right)^2}} \quad \Rightarrow \quad \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\omega_{-3dB}}{\sqrt{\omega_{-3dB}{}^2 + \left(\frac{1}{CR}\right)^2}}$$

- On isole ω_{-3dB}:

$$\omega_{-3dB} = \left(\frac{1}{CR}\right)$$

Rappel: frequences

- Regardons l'equation de la fonction de transfert:

$$\frac{vout}{vin} = \left(\frac{s}{s + \frac{1}{CR}} \right)$$

- <u>Sous cette forme</u>, ω_{-3dB} est "a cote" du s:

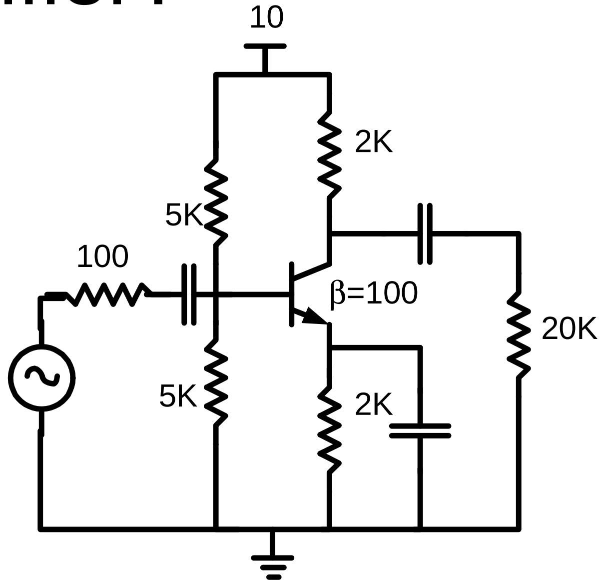
$$\omega_{-3dB} = \left(\frac{1}{CR} \right)$$

On se rappelle donc comment trouver la frequence de coupure…

Retournons voir ce qu'on voulait faire initialement

C'etait quoi le but de tout ca?

- Notre amplificateur a 3 condensateurs
- On pourrait faire l'analyse au long, mais…
  - Difficile a analyser
  - Difficile a interpreter (grosse equation)
- Peut-on simplifier?



Constante de temps (CC)

- Notre circuit a 3 condensateurs, donc du 3e ordre
- C'est un filtre passe haut
    - Fonction de transfert generique:

$$\frac{vout}{vin} = \frac{Ks^3}{(s+\omega_1)(s+\omega_2)(s+\omega_3)}$$

$\omega \to 0 \qquad \text{Gain} = 0$

$\omega \to \infty \qquad \text{Gain} \to \max$

- ω_1, ω_2, ω_3: 3 poles associes aux 3 condensateurs

Developpons le denominateur…

Constante de temps (CC)

- Ca nous donne…

$$s^3 + s^2(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) + s[(\omega_1\omega_2) + \omega_3(\omega_1 + \omega_2)] + \omega_1\omega_2\omega_3$$

- Trop complique… simplifions!
  - On s'interesse aux "hautes" frequences
  - "Hautes" compare a ω_1, ω_2 et ω_3
- A "hautes" frequences, *s* est grand
  - Les s^2 et s^3 dominent
  - Le reste devient "negligeable"

$$s^3 + s^2(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) + s[\cancel{(\omega_1\omega_2) + \omega_3(\omega_1 + \omega_2)}] + \cancel{\omega_1\omega_2\omega_3}$$

Constante de temps (CC)

- La fonction de transfert deviendrait:

$$\frac{vout}{vin}=\frac{Ks^3}{s^3+s^2(\omega_1+\omega_2+\omega_3)}=\frac{Ks}{s+(\omega_1+\omega_2+\omega_3)}$$

  - Ca devient un filtre passe haut du 1er ordre.

- On trouve ω_{-3dB} en regargand "a cote" du s

$$\frac{vout}{vin}=\left(\frac{s}{s+\frac{1}{CR}}\right) \Leftrightarrow \frac{vout}{vin}=\frac{Ks}{s+(\omega_1+\omega_2+\omega_3)}$$

Constante de temps (CC)

- Comment trouver ω_{-3dB}?
    - Il faut calculer $\omega_1+\omega_2+\omega_3$.
- Ok, mais c'est quoi ω_1, ω_2 et ω_3?
- $\omega_{1,}$ ω_2 et ω_3 sont les 3 poles determines par les condensateurs
- Chaque ω depend normalement des 3 condensateurs
    - Habituellement tres lourd comme calcul

Essayons donc de simplifier ca…

Constante de temps (CC)

- Les valeurs de ω_1, ω_2 et ω_3 dependent SURTOUT d'un C en particulier.
  - Dans certains cas, on peut negliger l'effet des autres C
- On peut dire que $\omega_{1,}$ ω_2 et ω_3 sont les ω_{-3dB} de chaque C_1, C_2 et C_3 (respectivement)
- Pour chaque C, on fait semblant que les autres C n'ont pas effets…
  - Les autres C sont court circuites

C'est une approximation qui tient souvent…

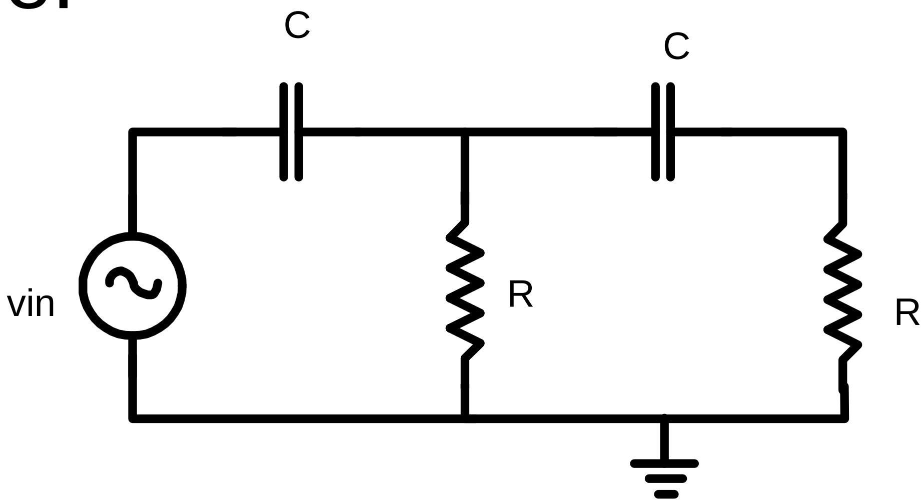
Constante de temps (CC)

- Recette:
  - Considerer un C.
  - Mettre a 0 les sources independantes
  - Trouver le R que “voit” le C
  - 1/RC sera son ω_{-3dB}
  - Refaire pour tous les C
  - ω_{-3dB} est la somme des contributions

Cette section n’est PAS dans votre livre

Exemple

- Prenons un cas simple pour illustrer la technique:



- On veut ω_{-3dB} de v_{out}/v_{in}

On va analyser ca de 2 manieres: classique et constante de temps

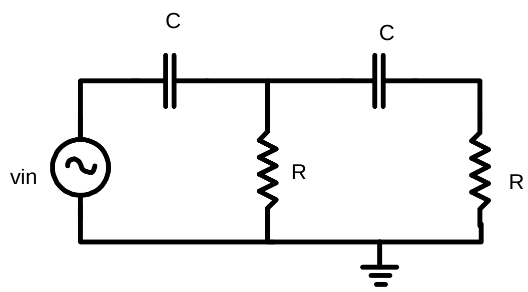
Exemple

- L'approche classique:
  - Trouver v_{out}/v_{in}
  - Remplacer $s \rightarrow j\omega$
  - Trouver l'amplitude
  - Mettre egal a $\frac{1}{\sqrt{2}}$
  - Isoler ω

Exemple

- On utilise les techniques de DS2 pour trouver v_{out}/v_{in}:

$$T(s) = \frac{VOUT(s)}{VIN(s)} = \frac{1}{s^2C^2R^2 + 3sCR + 1}$$



- On fait une analyse en frequences
  - On est donc en regime sinusoidal etabli
  - On remplace $s \rightarrow j\omega$

$$T(j\omega) = \frac{1}{(j\omega)^2C^2R^2 + 3(j\omega)CR + 1} = \frac{1}{1 - \omega^2C^2R^2 + j\omega 3CR}$$

Exemple

- On veut maintenant son amplitude:

$$Amplitude = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\omega^2 C^2 R^2\right)^2 + \left(j\omega 3CR\right)^2}}$$

- ω_{-3dB}, frequence quand amplitude est a 0.707 de son maximum

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\omega_{-3dB}{}^2 C^2 R^2\right)^2 + \left(j\omega_{-3dB} 3CR\right)^2}}$$

Notre but est maintenant d'isoler ω_{-3dB}

Exemple

- On isole $\omega_{-3\text{dB}}$, et on voit qu'il y a 4 reponses possibles (mathematiquement):

$$\pm \frac{\sqrt{\left(22 \pm 10\sqrt{5}\right)}}{2RC}$$

  - Reponses imaginaires: Pas bonnes
  - Reponses negatives: Pas bonnes

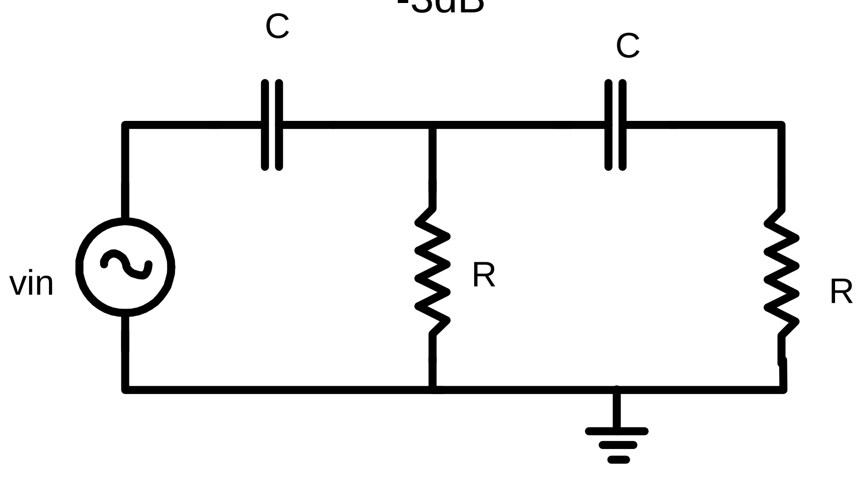
- Il reste:

$$\frac{\sqrt{\left(22 + 10\sqrt{5}\right)}}{2RC} = \frac{3.33}{RC}$$

Ca c'est la premiere methode… "a la DS2"

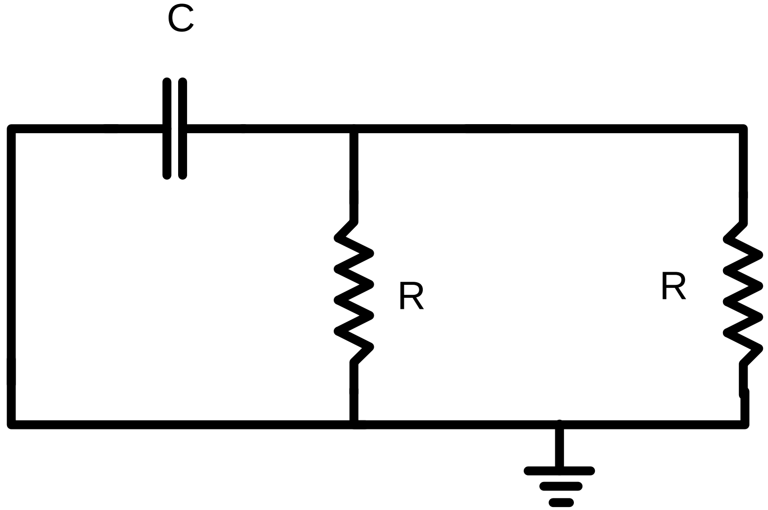
Exemple

- Allons-y avec la nouvelle methode…
    - Considerer chaque C individuellement
    - Court-circuiter les autres C
    - Mettre v_{in} a 0
    - Trouver R_{EQ} “vu” par le C
    - Faire la somme des ω_{-3dB}



Exemple

- On prend le premier condensateur
- Quel R_{EQ} “voit-il”?
- Par “inspection”, on voit que c’est (R||R)
- On peut aussi y aller systematiquement
  - On DEVRAIT y aller systematiquement



Exemple

- Quelle resistance se trouve aux bornes du condensateur?
- Autre facon de le dire:
    - SI C etait une source V, quel I serait tire?
    - SI C etait une source I, quel V serait a ses bornes?

$$R_{EQ} = \frac{V}{I}$$

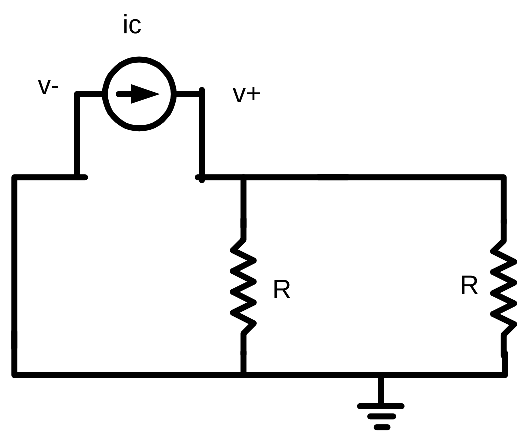
- J'aime bien utiliser les sources de courant, alors on va y aller comme ca…

Exemple

1) On remplace C par source de courant

2) On voit quelle tension se developpe a ses bornes (V_+ - V_-)

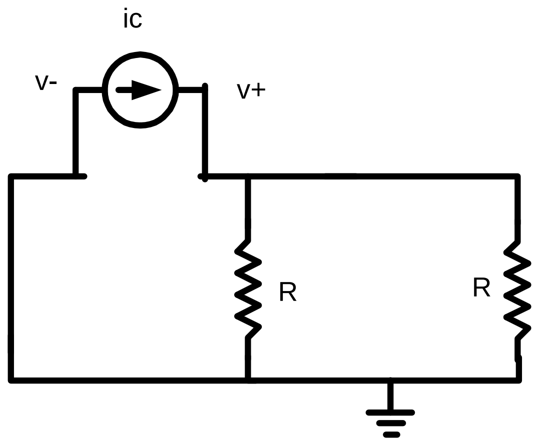
$$R_{EQ} = \frac{V_+ - V_-}{I}$$



Appliquons cette technique a notre exemple…

Exemple

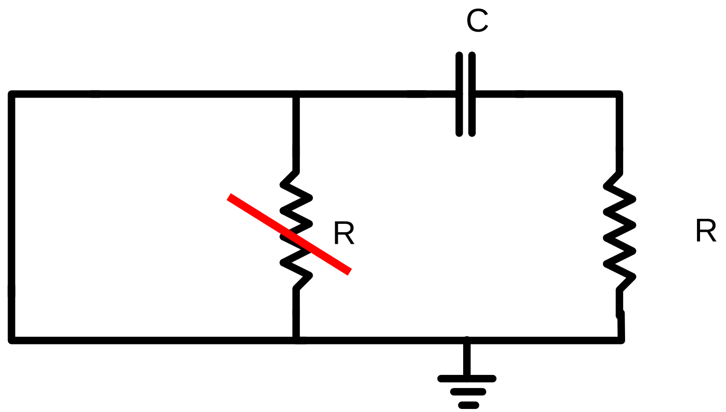
- Pour la tension il faut trouver V_+ et V_-:
  - $V_-=0$
  - $V_+=I_C(R||R)$
  - $V_+-V_-=I_C(R||R)$
- La resistance equivalente:
  - $R_{EQ=}(V_+-V_-)/I_C= (R||R)=R/2$
- La frequence de coupure est $1/R_{EQ}C$:
  - $\omega_{-3dB}=2/RC$



Le premier C contribue $\omega_1=2/RC$
Allons voir la contribution de l'autre C

Exemple

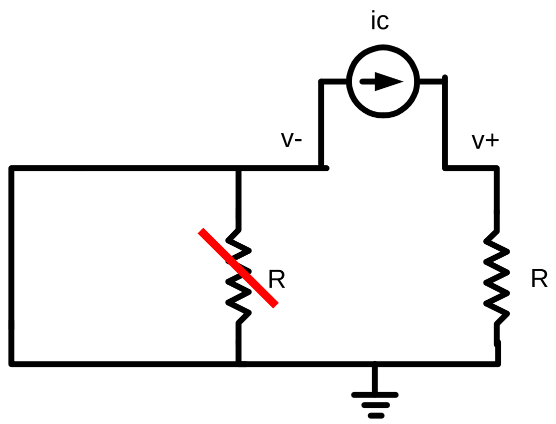
- On considere l'autre C:



- L'un des R est court-circuite: il ne fait rien.
- On peut faire l'approche par inspection:
  - $R_{EQ}=R$

Mais, faisons-le au long pour nous pratiquer…

Exemple



- On trouve la tension:
  - $V_-=0$
  - $V_+=i_cR$
- La resistance equivalente sera:
  - $R_{EQ}=R$
- Et la frequence de coupure sera
  - $\omega_{-3dB}=1/RC$

Le deuxieme C contribue $\omega_2=1/RC$

Exemple

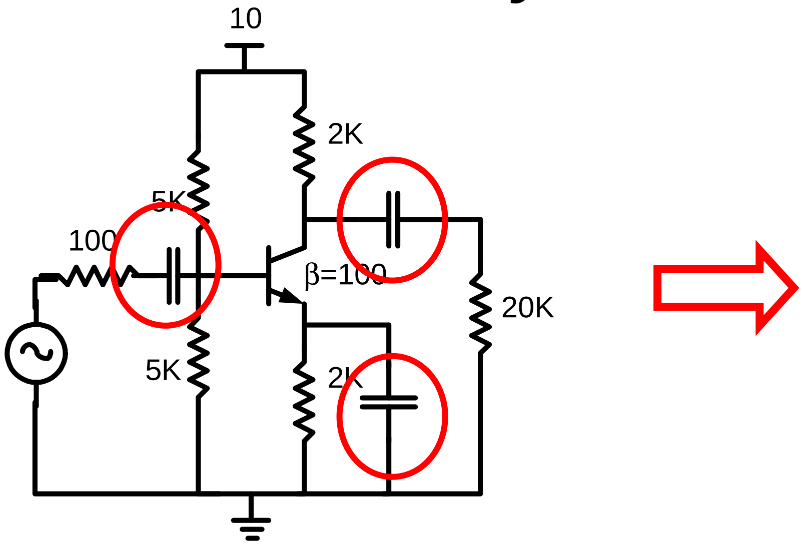
- Le ω_{-3dB} total est la somme des 2 contributions

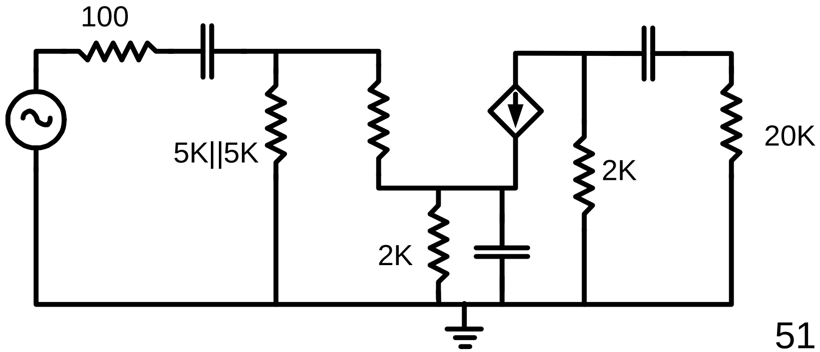
$$\omega_{-3dB} = \omega_1 + \omega_2 = \frac{2}{RC} + \frac{1}{RC} = \frac{3}{RC}$$

- On compare les resultats: $\frac{3}{RC} \text{ vs } \frac{3.33}{RC}$
    - Moins precis
    - Vite et facile
    - Montre la contribution de chaque condensateur

Revenons a ce qu’on faisait

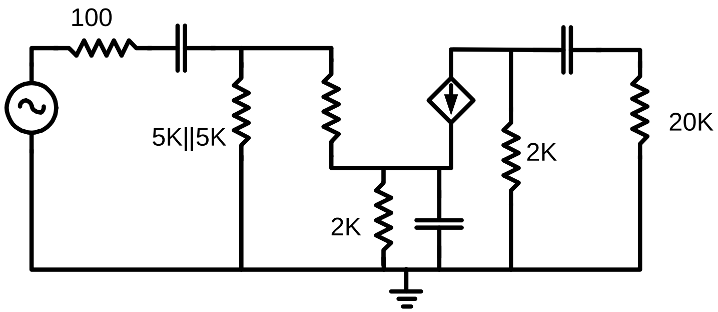
- Analyser la frequence de coupure due aux condensateurs dans un amplificateur
- On va utiliser la methode par constante de temps court-circuit.
- On va analyser l’effet des 3 condensateurs

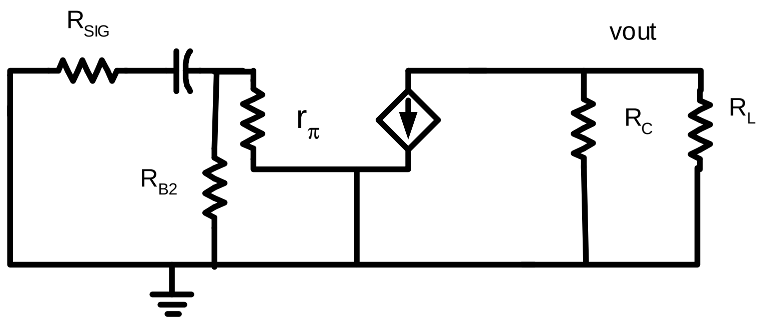




Basse frequence: CI

- Considerons le condensateur a l'entrée
  - Les autres C sont court-circuites
  - v_{in} est court-circuite





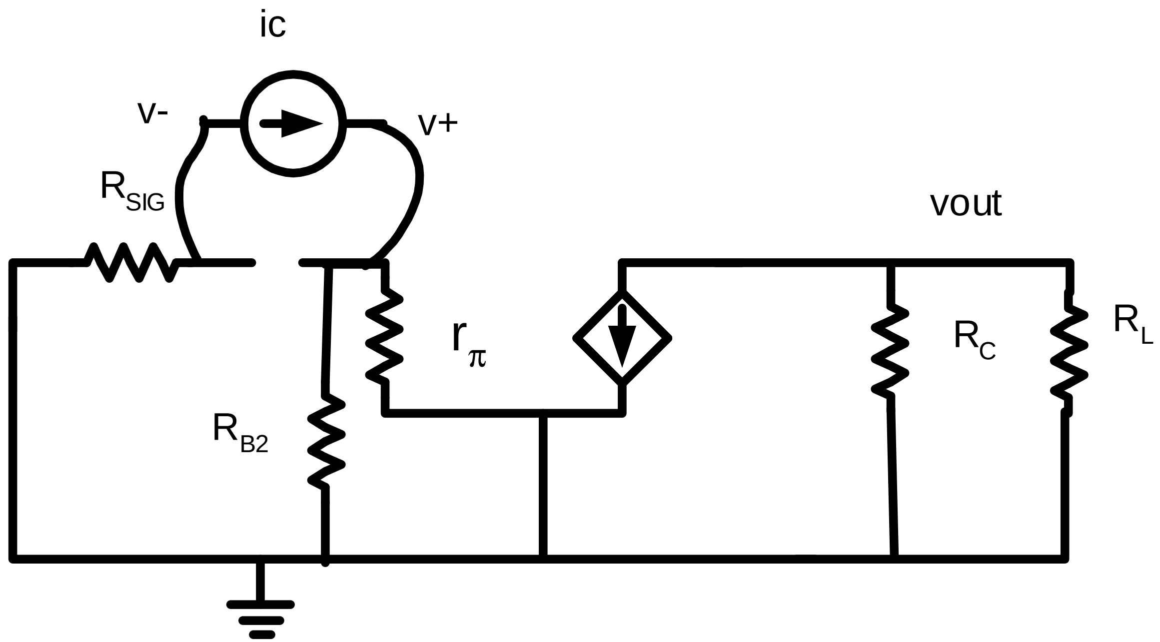
- Trouvez R_{EQ} et son ω_{-3dB} (seul)
  - Remplacez C par une source de courant

$$R_{EQ} = \frac{V_+ - V_-}{I}$$

Basse frequence: CI

- On peut ecrire les equations aux noeuds de la source:

$$v_{-} = -i_c R_S \qquad\qquad v_{+} = i_c (r_\pi \parallel R_B)$$



Basse frequence: CI

- Pour trouver R_{EQ}, on divise la V par I
- La tension est:

$$v_+ - v_- = i_c(r_\pi \parallel R_B) + i_c R_S$$

- R_{EQ} est:

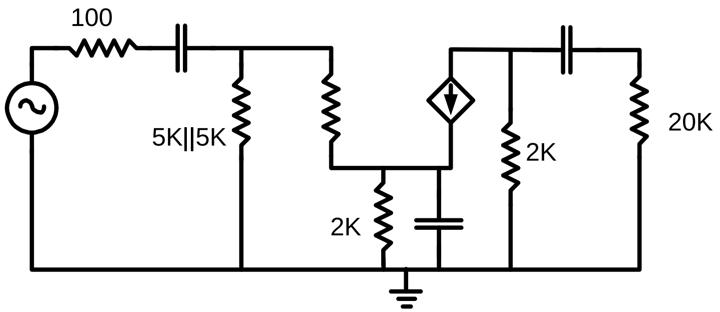
$$R_{EQ\_CI} = \frac{v_+ - v_-}{i_c} = (r_\pi \parallel R_B) + R_S$$

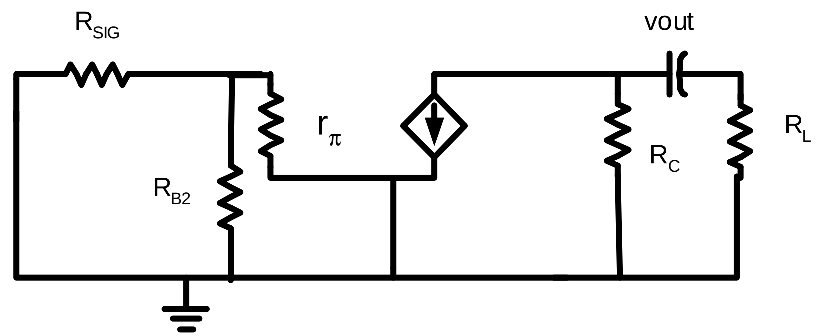
- La frequence de coupure est:

$$\omega_{-3dB\_CI} = \frac{1}{C_I R_{EQ\_CI}} = \frac{1}{C_I\left[(r_\pi \parallel R_B) + R_S\right]}$$

Basse frequence: CO

- Considerons le condensateur a la sortie
  - Les autres C sont court-circuites
  - v_{in} est court-circuite





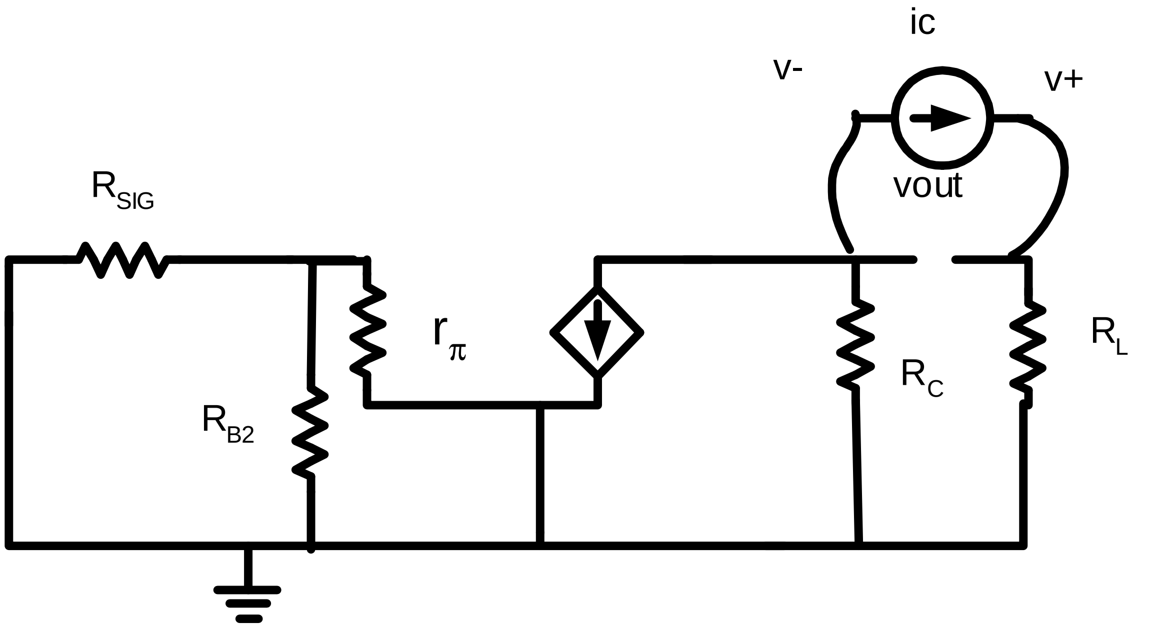
- Trouvez R_{EQ} et son ω_{-3dB} (seul)
  - Remplacez C par une source de courant

$$R_{EQ} = \frac{V_+ - V_-}{I}$$

Basse frequence: CO

- On ecrit les equations aux noeuds:

$$v_{-} = -i_c R_C \qquad v_{+} = i_c R_L$$



Basse frequence: CO

- Pour trouver R_{EQ}, on divise V par I
- La tension est:

$$v_+ - v_- = i_c R_L + i_c R_C$$

- R_{EQ} est:

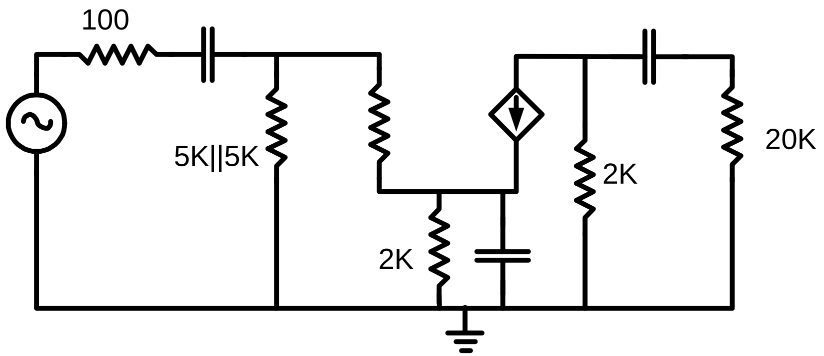
$$R_{EQ\_CO} = \frac{v_+ - v_-}{i_c} = \left(R_L + R_C\right)$$

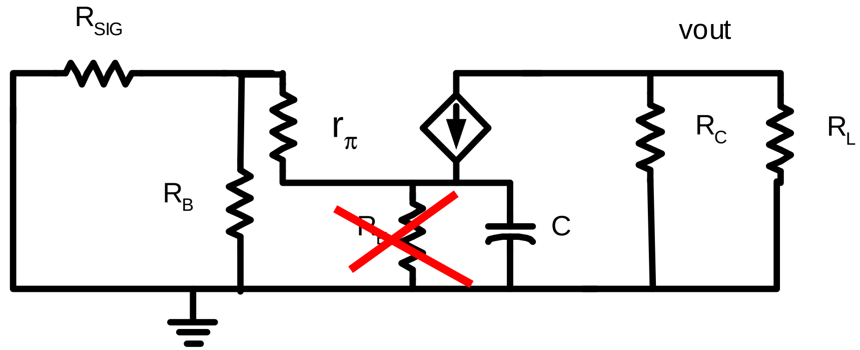
- La frequence de coupure est:

$$\omega_{-3dB\_CO} = \frac{1}{C_O R_{EQ}} = \frac{1}{C_O\left[R_L + R_C\right]}$$

Basse frequence: CE

- Considerons le condensateur a l'emetteur:
  - On court-circuite les autres C
  - On met v_{in} a 0





- Trouvez R_{EQ} et son ω_{-3dB} (seul)
  - Remplacez C par une source de courant

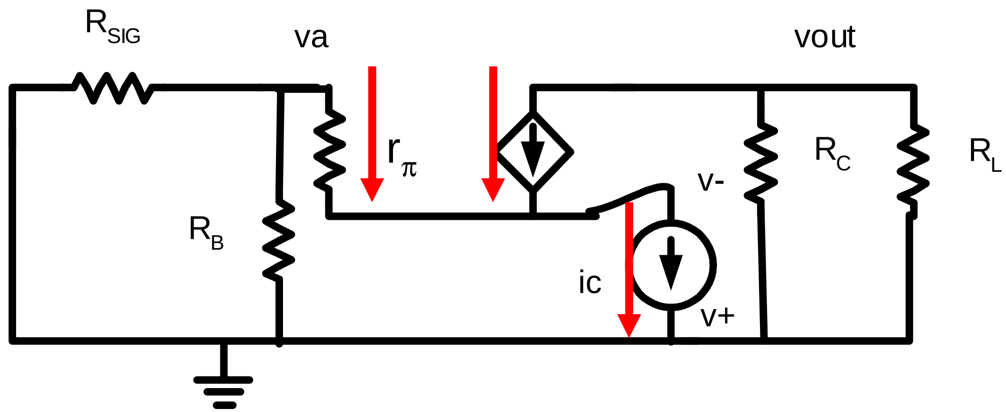
$$R_{EQ} = \frac{V_+ - V_-}{I}$$

On neglige R_E… on justifiera ca plus tard…

Basse frequence: CE

- Le source dependante $g_m v_{be}$ est active cette fois-ci
- On commence avec une equation a v_-

$$\frac{v_a - v_-}{r_\pi} + (v_a - v_-) g_m = i_c$$

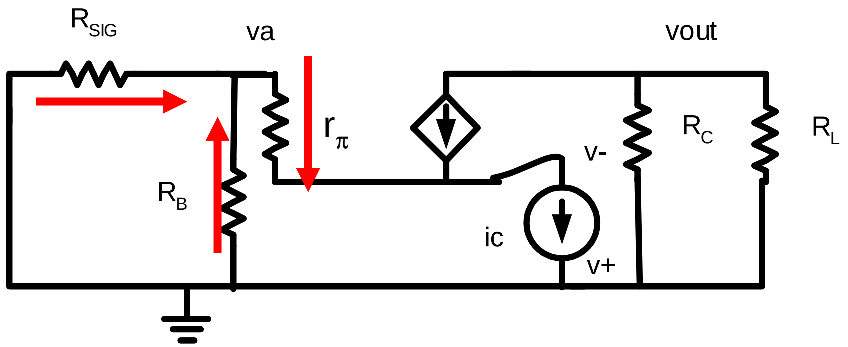


C'est quoi v_a? Il faut une autre equation….

Basse frequence: CE

- Equation au noeud de la base:

$$-\frac{v_a}{(R_S \parallel R_B)} = \frac{v_a - v_-}{r_\pi}$$



- On isole v_a:

$$v_a = \frac{v_-(R_S \parallel R_B)}{r_\pi + (R_S \parallel R_B)}$$

On va maintenant substituer ca dans l'autre equation…

Basse frequence: CE

- L'equation de depart ressemblait a ca:

$$\frac{v_a - v_-}{r_\pi} + (v_a - v_-)g_m = i_c$$

- Or, on a trouve ceci:

$$v_a = \frac{v_-(R_S \parallel R_B)}{r_\pi + (R_S \parallel R_B)}$$

- La substution donne…

$$\frac{\dfrac{v_-(R_S \parallel R_B)}{r_\pi + (R_S \parallel R_B)} - v_-}{r_\pi} + \left(\frac{v_-(R_S \parallel R_B)}{(R_S \parallel R_B) + r_\pi} - v_-\right)g_m = i_c$$

Maintenant, il faut manipuler…

Basse frequence: CE

- On met v_- sur meme denominateur:

$$\frac{\dfrac{v_-\left(R_S \parallel R_B\right)}{r_\pi+\left(R_S \parallel R_B\right)}-\dfrac{v_-\left(r_\pi+\left(R_S \parallel R_B\right)\right)}{r_\pi+\left(R_S \parallel R_B\right)}}{r_\pi}+\left(\frac{v_-\left(R_S \parallel R_B\right)}{\left(R_S \parallel R_B\right)+r_\pi}-\frac{v_-\left(\left(R_S \parallel R_B\right)+r_\pi\right)}{\left(R_S \parallel R_B\right)+r_\pi}\right)g_m=i_c$$

- La soustraction elimine les $R_S||R_B$:

$$\frac{-\dfrac{v_-r_\pi}{r_\pi+\left(R_S \parallel R_B\right)}}{r_\pi}-\frac{\left(v_-r_\pi\right)}{\left(R_S \parallel R_B\right)+r_\pi}g_m=i_c$$

- On elimine r_π a gauche:

$$-\frac{v_-r_\pi}{r_\pi+\left(R_S \parallel R_B\right)}-\frac{\left(v_-r_\pi\right)}{\left(R_S \parallel R_B\right)+r_\pi}g_m=i_c$$

Basse frequence: CE

- Avec $\beta = g_m r_\pi$:

$$-\frac{v_-}{r_\pi + (R_S \parallel R_B)} - \frac{v_- \beta}{(R_S \parallel R_B) + r_\pi} = i_c$$

- On factorise $-v_-$

$$-v_- \left[\frac{1}{r_\pi + (R_S \parallel R_B)} + \frac{\beta}{(R_S \parallel R_B) + r_\pi} \right] = i_c$$

- On isole v_-:

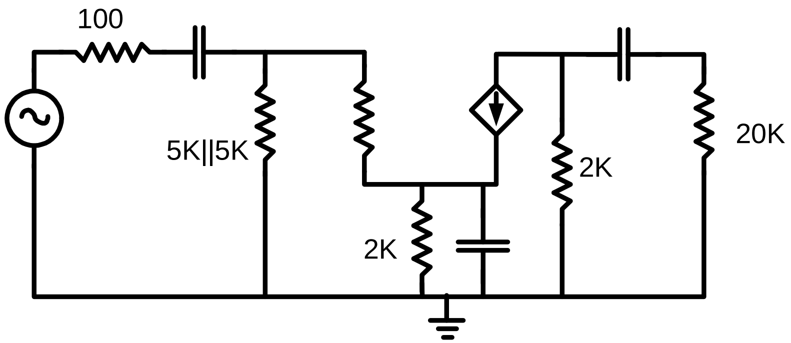
$$v_- = -i_c \left(\frac{(R_S \parallel R_B) + r_\pi}{(1+\beta)} \right)$$

Basse frequence: CE

- On trouve R_{EQ_CE}:

$$R_{EQ\_CE} = \frac{v_+ - v_-}{i_c} = \left(\frac{(R_S \parallel R_B) + r_\pi}{(1+\beta)} \right) = \frac{(R_S \parallel R_B)}{(1+\beta)} + r_e$$

- Justification pour R_E:
  - R_{EQ} est la combinaison parallele de R_E et du reste
  - On voit que “le reste” est tres petit
  - “Tres petit” et “tres gros” en parallele = “tres petit”



Donc, on peut negliger R_E…

Basse frequence: CE

- Avec ce R_{EQ_CE}:

$$R_{EQ\_CE} = \frac{v_+ - v_-}{i_c} = \left(\frac{(R_S \parallel R_B) + r_\pi}{(1+\beta)} \right) = \frac{(R_S \parallel R_B)}{(1+\beta)} + r_e$$

- On peut calculer ω_{-3dB}:

$$\omega_{-3dB\_CE} = \frac{1}{C_E R_{EQ\_CE}} = \frac{1}{C_E \left[\frac{(R_S \parallel R_B)}{(1+\beta)} + r_e \right]}$$

On a donc les 3 contributions…

Basse frequence: Total

- Avec les 3 contributions, on trouve le ω_{-3dB} total du circuit:

$$\omega_{-3dB} = \omega_{-3dB\_CI} + \omega_{-3dB\_CE} + \omega_{-3dB\_CO}$$

- En substituant par les valeurs trouvees:

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{C_I\left[(r_\pi \parallel R_B) + R_S\right]} + \frac{1}{C_E\left[\frac{(R_S \parallel R_B)}{(1+\beta)} + r_e\right]} + \frac{1}{C_O\left[R_L + R_C\right]}$$

Et ca c'est la reponse…

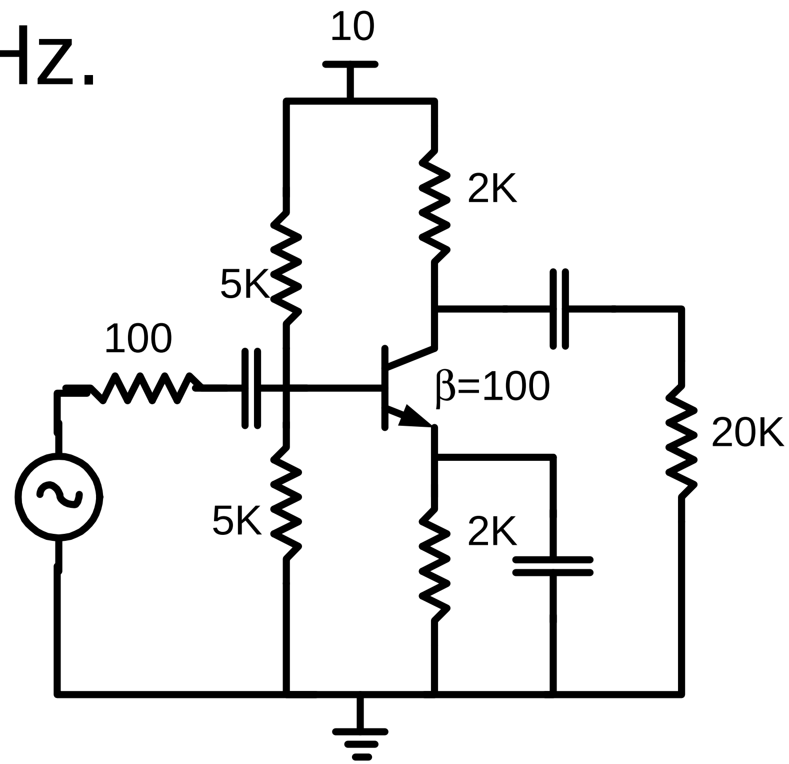
Basse frequence: Total

- On utilise ces calculs pour determiner C
- On veut C le plus faible possible
  - Gros C → Gros espace et plus cher
  - Gros C → Grosse charge a commander
- Mais, il faut que les signaux AC passent.
- Regle du pouce: 80% du ω total va a l'emetteur, 10% entrée et 10% sortie:
  - Emetteur dans "emetteur commun" ne ralentit pas la vitesse d'operation.

Exemple

- Un telephone laisse passer des frequences de 300 a 3400Hz.
- Il faudrait que les filtres passe haut laissent passer 300Hz.
- Calculez la valeur

  des C.



Exemple

- On commence avec l'analyse DC.
  - Courant au noeud de la base:

$$\frac{VDD - V_B}{R_{B1}} = I_B + \frac{V_B}{R_{B2}}$$

  - On connait les 3 equations suivantes:

$$V_B = V_E + 0.7 \qquad I_E = \frac{V_E}{R_E} \qquad I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

  - On substitue pour obtenir une equation en termes de V_E

$$\frac{VDD - (V_E + 0.7)}{R_{B1}} = \frac{V_E}{R_E}\left(\frac{1}{\beta + 1}\right) + \frac{V_E + 0.7}{R_{B2}}$$

Exemple

- On isole V_E:

$$\frac{\left(\frac{VDD-0.7}{R_{B1}}-\frac{0.7}{R_{B2}}\right)}{\left[\frac{1}{R_E}\left(\frac{1}{\beta+1}\right)+\frac{1}{R_{B2}}+\frac{1}{R_{B1}}\right]}=V_E$$

- En substituant par les valeurs:

$$V_E = 4.247 \qquad I_E = \frac{4.247}{2K} = 2.12mA$$

- Et on obtient I_C par l'equation des β:

$$I_C = 2.12mA\left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 2.1mA$$

Exemple

- On verifie la region d'operation avec V_C:

$$V_C = VDD - I_C R_C = 5.8V$$

$V_{CE} > V_{CESAT}$

- On peut trouver les parametres petit-signal:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.1mA}{25mV} = 0.084$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0.084} = 1190$$

$$r_e = \frac{r_\pi}{\beta + 1} = \frac{1190}{101} = 11.8$$

Exemple

- Le probleme veut laisser passer 300Hz:

$$f = 300 \qquad \omega = 2\pi 300$$

- Regle du pouce pour condensateur a l'entrée et a la sortie:

$$\omega_{10\%} = 2\pi 30$$

- On trouve les valeurs:

$$\frac{1}{188.5\left[\left(r_\pi \parallel R_B\right) + R_{SIG}\right]} = C = 5.8\mu F \qquad \frac{1}{\left(R_L + R_C\right)188.5} = C = 0.24\mu F$$

Exemple

- Regle du pouce pour condensateur a l'emetteur:

$$\omega_{80\%} = 2\pi 240$$

- On trouve la valeur de C_E:

$$\frac{1}{1508\left[\frac{\left(R_S \parallel R_B\right)}{\left(1+\beta\right)} + r_e\right]} = C = 51.6\mu F$$