

# Cours 3

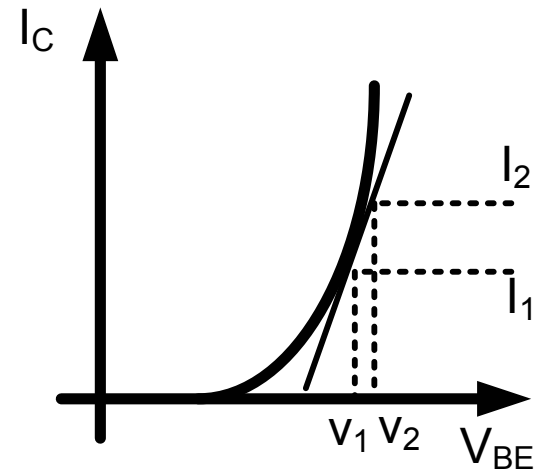
BJT: Analyse Petit Signal

# Dernier Cours

- On a parlé des BJT
- On sait mettre le BJT en mode actif
- Autour de ce point, le système est linéaire
  - On applique un signal à l'entrée.
  - On reçoit un courant proportionnel en sortie
- Allons revoir ces choses rapidement...

# Dernier Cours

- J'utilise mes techniques pour:
  - Mettre  $V_{BE}=0.7$  (polarisation directe)
  - Mettre  $V_{BC}$  en polarisation inverse
- On fait varier la tension  $V_{BE}$  autour de 0.7 allant de  $V_1$  a  $V_2$ 
  - $V_1$  donne  $I_1$
  - $V_2$  donne  $I_2$



# Dernier Cours

- $V_1$  et  $V_2$  sont liés à  $I_1$  et  $I_2$  par une relation exponentielle
- Quand  $V_1$  et  $V_2$  sont PROCHES, on fait semblant que la pente est droite
  - Démontrable par série de Taylor
- Approximation:  $V_1/V_2$  liés à  $I_1/I_2$  par  $g_m$
- On a dérivé ceci:  $g_m = I_C/V_T$

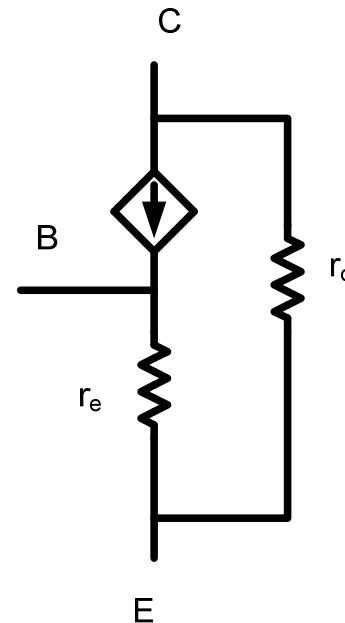
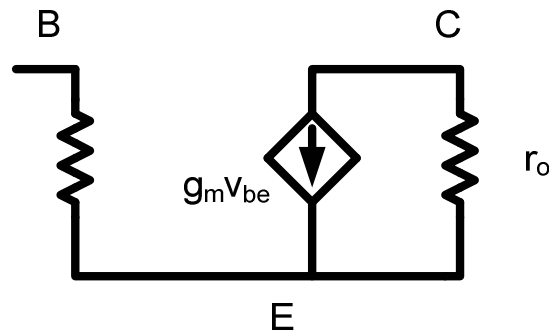
C'est ce qu'on appelle l'approximation "petit-signal"

# Dernier Cours

- En faisant l'approximation petit signal, il faut considérer d'autres choses:
  - En approximation gros signal,  $V_{BE}=0.7$
  - En petit signal, ca varie autour de 0.7
- Changement de  $v_{be}$  change aussi le courant  $i_b$  ( $I_B$  est constant, mais  $i_b$  varie):
  - Relation est "lineaire" et est donnee par  $r_{\pi}$  ou  $r_e$
- Courant fourni a la sortie varie avec  $v_{ce}$ 
  - Cette relation est donnee par  $r_o$

# Dernier Cours

- Apres analyse DC, on applique petit signal
- On remplace ensuite transistor par modele petit-signal (lineaire)
  - Selon preference: modele  $\pi$  ou en T

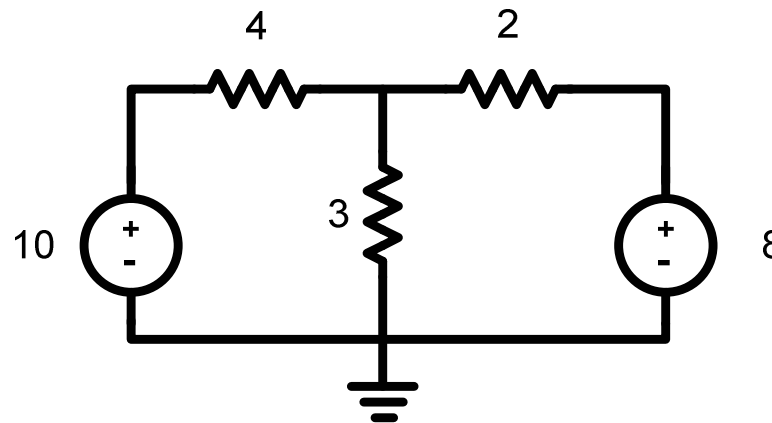


# Il reste un point...

- On va éventuellement apprendre à analyser le circuit petit signal.
- Avant de poursuivre, il reste un détail
- Pour expliquer le détail, on va ouvrir une parenthèse...

# Superposition

- Imaginons un circuit de ce genre:

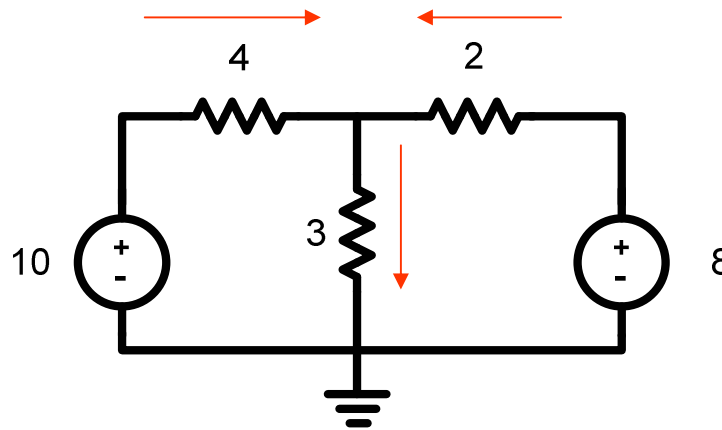


- On veut trouver la tension au milieu ( $V_A$ )
- Il y a 2 facons de l'analyser.



# Superposition: facon evidente

- La facon la plus evidente:



- L'equation du courant au noeud  $V_A$ :

$$\frac{10 - v_a}{4} + \frac{8 - v_a}{2} = \frac{v_a}{3}$$

# Superposition: facon evidente

- On amene  $V_A$  a droite:

$$\frac{10}{4} + \frac{8}{2} = \frac{va}{3} + \frac{va}{4} + \frac{va}{2}$$

- On factorise  $V_A$  et on change les denominateurs

$$\frac{10}{4} + \frac{16}{4} = va \left( \frac{4}{12} + \frac{3}{12} + \frac{6}{12} \right)$$

# Superposition: facon evidente

- Finalement, on isole  $V_A$  :

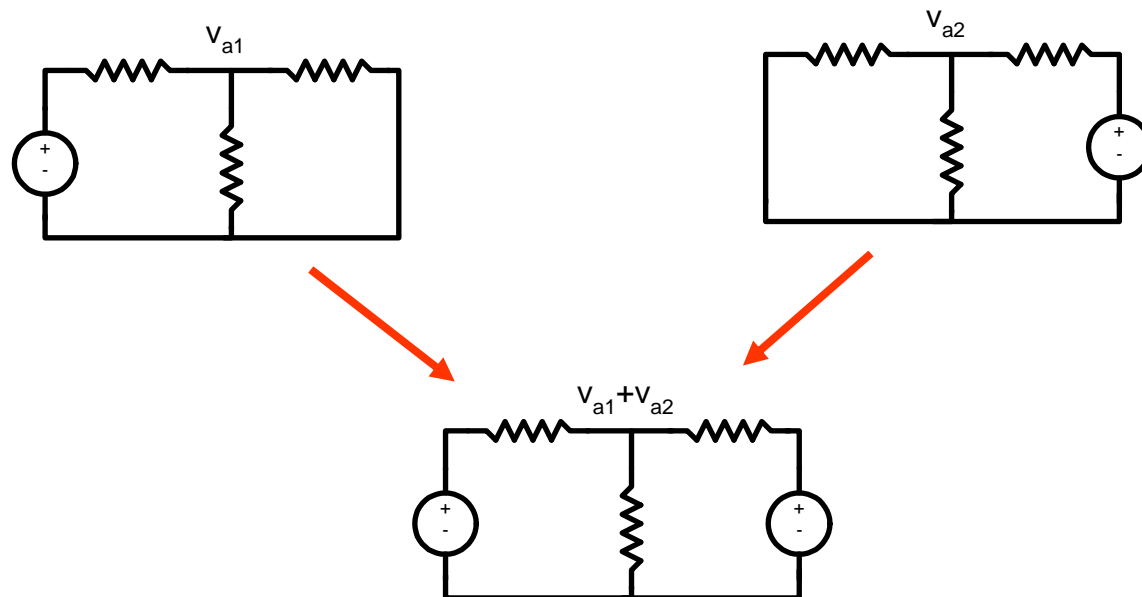
$$\frac{\frac{26}{4}}{\left(\frac{4}{12} + \frac{3}{12} + \frac{6}{12}\right)} = va$$

- Et ca se simplifie:

$$va = 6$$

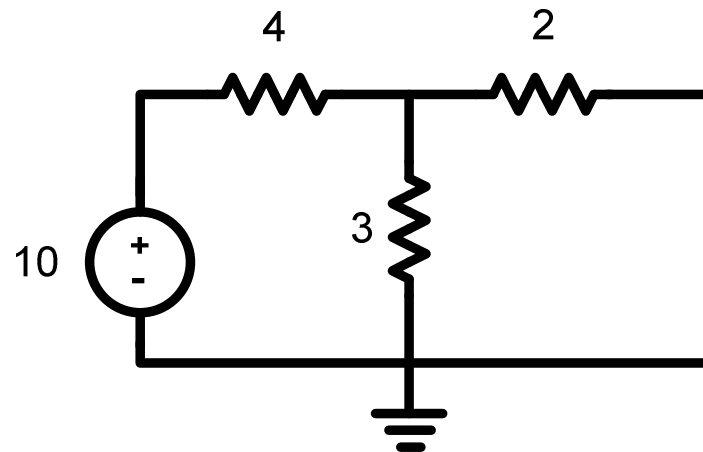
# Superposition: autre facon

- L'autre facon, c'est avec la superposition:
  - Activer une source, mettre l'autre a 0 et trouver  $V_A$ .
  - Activer l'autre source, mettre la 1<sup>re</sup> a 0 et trouver  $V_A$ .
  - Le "vrai"  $V_A$ , c'est la somme des 2  $V_A$ .



# Superposition: autre facon

- On met la source de droite a 0

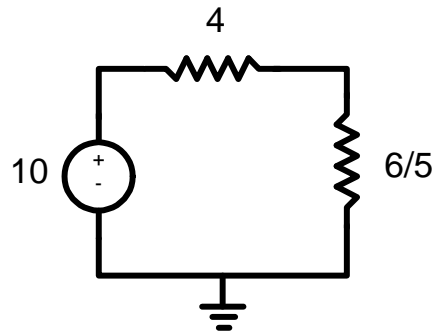


- On combine les resistances de  $2\Omega$  et  $3\Omega$

$$\frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{2}} = \frac{6}{5}$$

# Superposition: autre facon

- $V_A$  devient une division de tension:



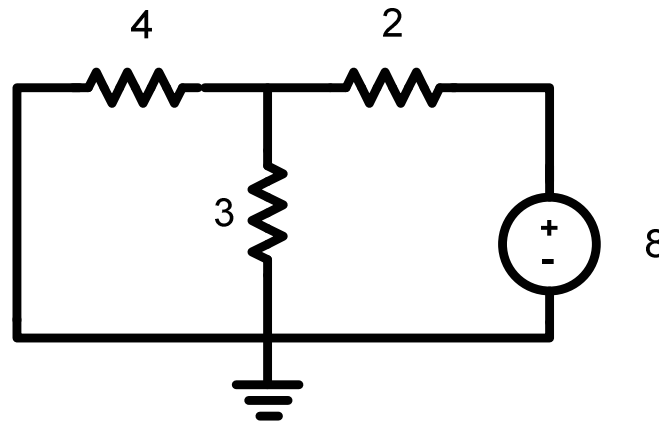
$$10 \left( \frac{\frac{6}{5}}{\frac{6}{5} + 4} \right)$$

- Ca se simplifie:

$$10 \left( \frac{\frac{6}{5}}{\frac{6}{5} + \frac{20}{5}} \right) = \frac{60}{26}$$

# Superposition: autre facon

- On fait l'autre bord:

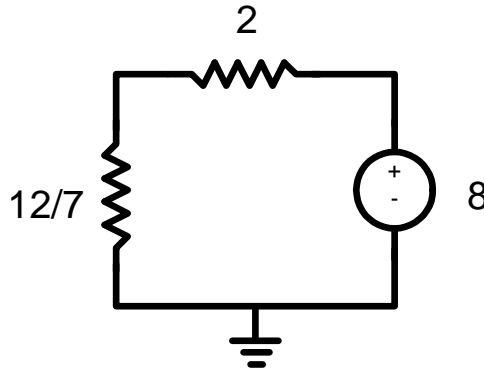


- On combine les resistance 3Ω et 4Ω

$$\frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{4}} = \frac{1}{\frac{4}{12} + \frac{3}{12}} = \frac{12}{7}$$

# Superposition: autre facon

- $V_A$  se trouve avec diviseur de tension:



$$8 \left( \frac{\frac{12}{7}}{\frac{12}{7} + 2} \right)$$

- Et ca se simplifie:

$$8 \left( \frac{\frac{12}{7}}{\frac{12}{7} + \frac{14}{7}} \right) = 8 \left( \frac{\frac{12}{7}}{\frac{26}{7}} \right) = 8 \left( \frac{12}{26} \right) = \left( \frac{96}{26} \right)$$



# Superposition: autre facon

- La valeur totale  $V_A$  est la somme des 2 contributions:

$$\left(\frac{96}{26}\right) + \left(\frac{60}{26}\right) = \left(\frac{156}{26}\right) = 6$$

- Ca correspond a la meme reponse qu'avant

Les 2 techniques donnent la meme reponse PARCE QUE le systeme est LINEAIRE, donc la superposition s'applique

# C'est quoi la superposition?

- Pour un systeme lineaire:
  - Si une entrée  $x_1$  donne  $f(x_1)$
  - Et si une entrée  $x_2$  donne  $f(x_2)$
  - On peut dire que  $f(x_1+x_2)=f(x_1)+f(x_2)$
- Exemples de systeme NON-lineaire:
  - $f(x)=x^2$
  - $(x_1+x_2)^2$  n'est pas egal a  $x_1^2+x_2^2$
- Les BJT sont non-lineaires, mais avec des petits signaux, ils “deviennent” lineaires

On peut donc appliquer la superposition a nos circuits...

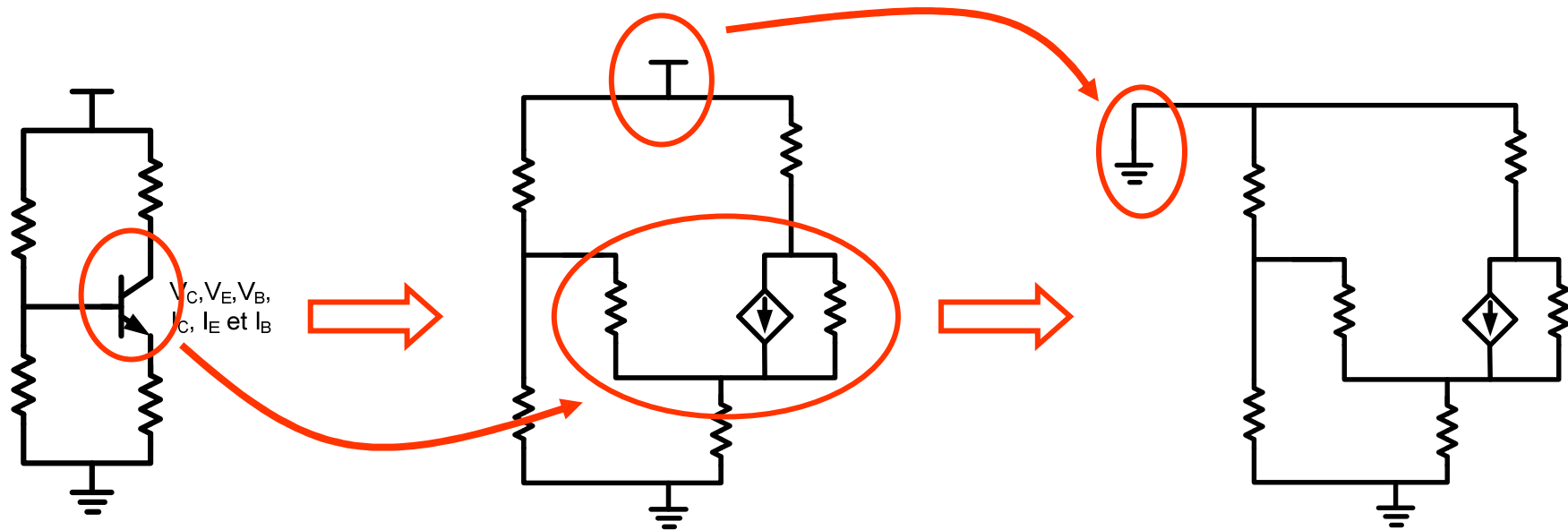
# Superposition pour circuit

- Methode d'analyse de circuits:
  - 1) Activer sources DC et mettre sources AC a 0
  - 2) Analyser en DC (trouver  $V_C$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  et  $I_E$ )
  - 3) Calculer  $g_m$ ,  $r_\pi$ ,  $r_e$  et  $r_o$ .
  - 4) Remplacer transistor par equivalent petit signal
  - 5) Activer sources AC et mettre sources DC a 0
  - 6) Analyser en AC (trouver  $v_c$ ,  $v_b$ ,  $v_e$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  et  $i_e$ )
  - 7) Les "vraies valeurs" seront  $V_C+v_c$ ,  $V_B+v_b$ ,  $V_E+v_e$ ,  $I_B+i_b$ ,  $I_C+i_c$  et  $I_E+i_e$ )

La partie la moins evidente est surement la desactivation des sources DC et activation du AC... allons voir un exemple

# Superposition pour circuit

- Transformation de circuit DC en circuit AC:

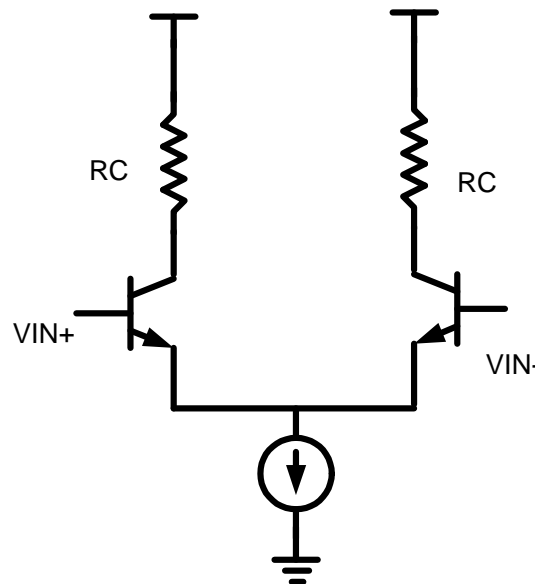


1) Substitution par le modele en  $\pi$

2) Desactivation des alimentations DC

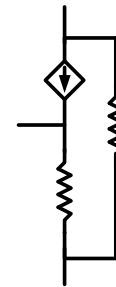
# Exemple (seul)

- Faites un exemple de substitution et d'analyse AC
  - Substituer par modele en T
  - Preparer pour analyse AC

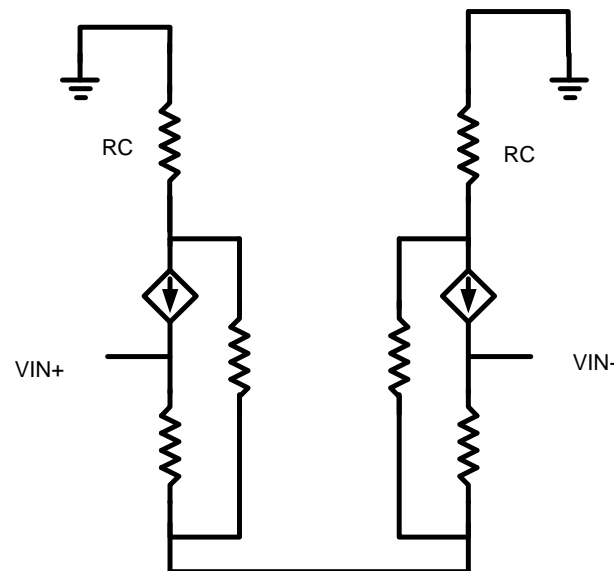


# Exemple (seul)

- On sait que:
  - Alimentation tension devient court-circuit
  - Alimentation courant devient circuit ouvert
  - Modele en T ressemble a ca:

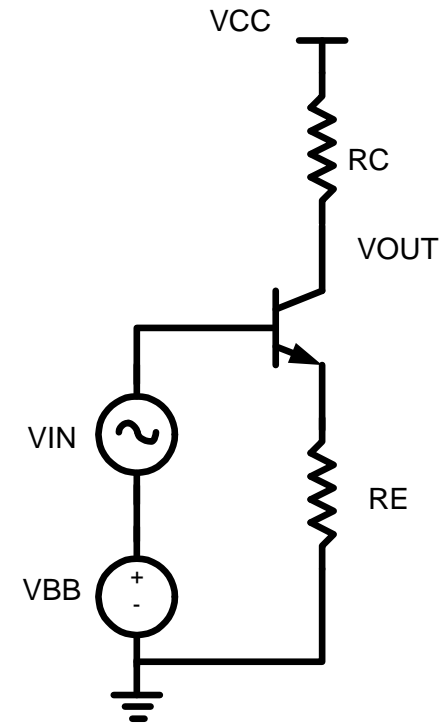


- Resultat final:



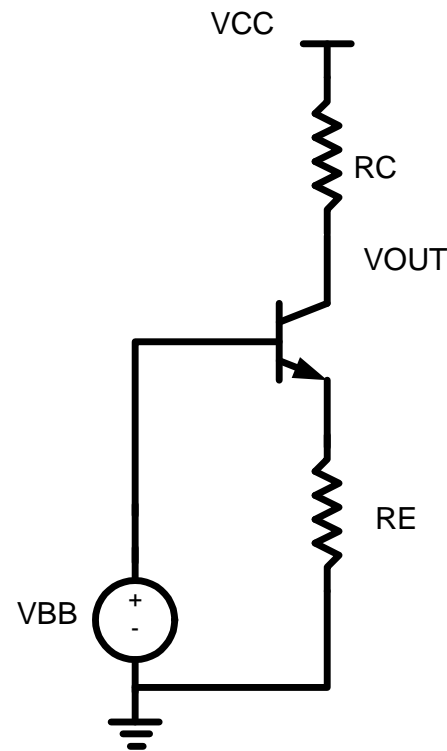
# Analyse de circuits

- Pratiquons-nous a faire les etapes de l'analyse avec cet exemple...
- On identifie les sources DC:
  - VCC
  - VBB
- On identifie les sources AC:
  - VIN



# Partie #1: Analyse DC

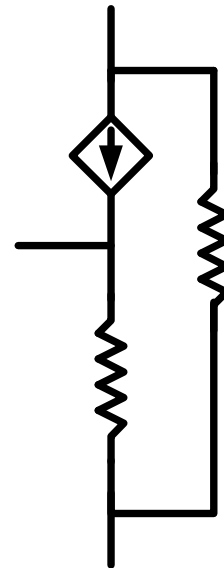
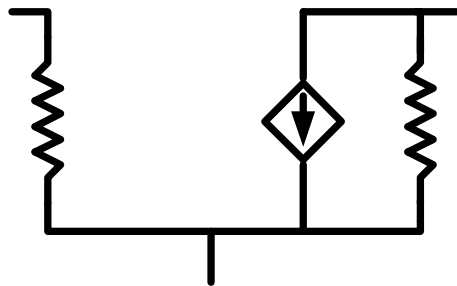
- On met les sources AC a 0
- Les methodes d'analyse sont connues
  - Trouver region d'operation
  - Trouver V et I demandes
  - (Surtout  $I_C$ )





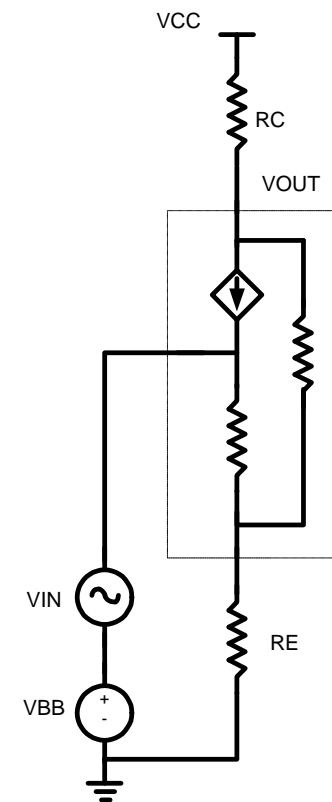
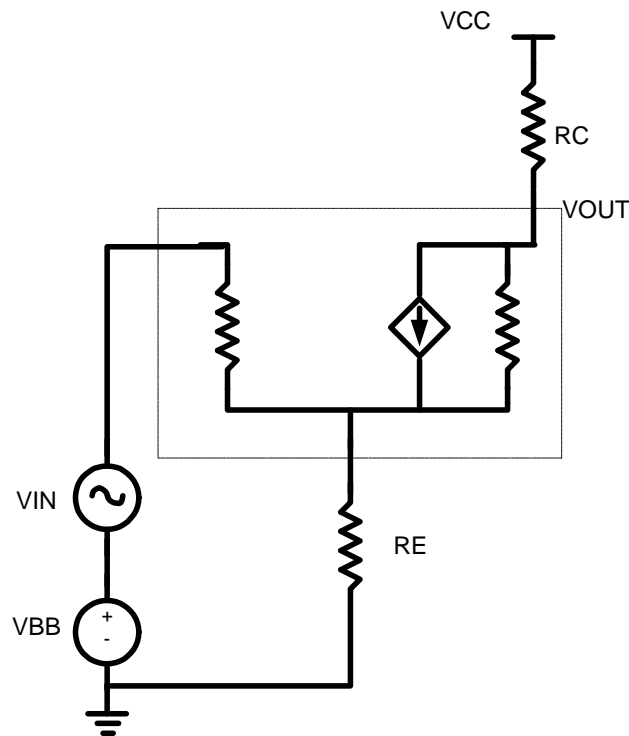
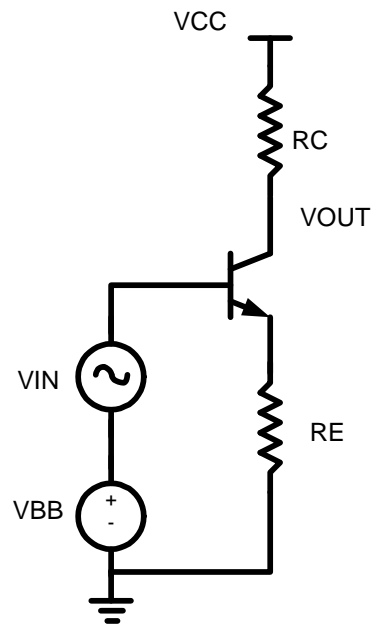
# Partie #2: Modele petit signal

- On va eventuellement remplacer transistor par modele petit signal
- En preparation, il faut calculer  $g_m$  et  $r_o$ 
  - Selon modele choisi, on calcule  $r_e$  ou  $r_\pi$



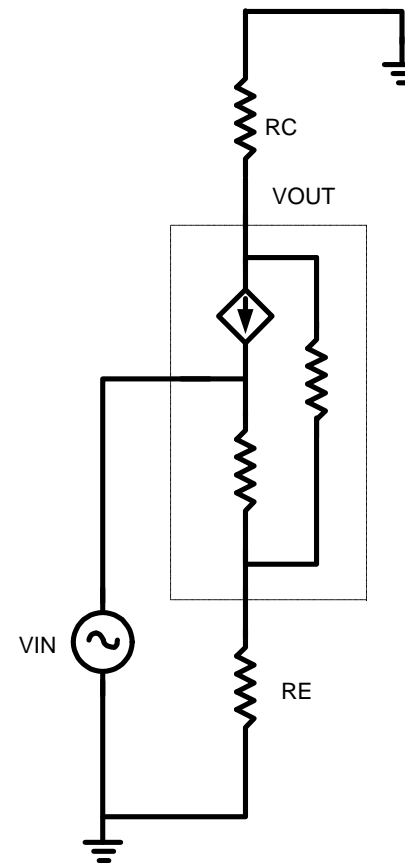
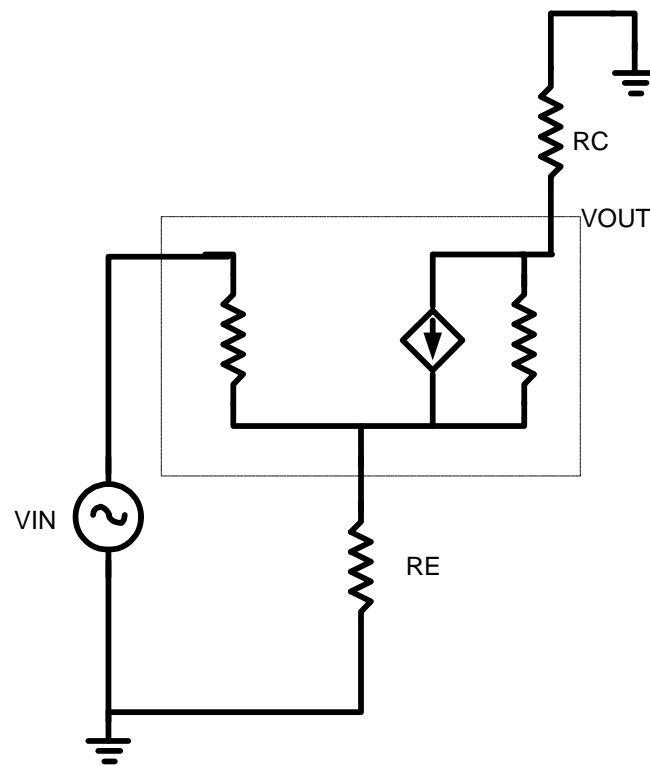
# Partie #3: Substitution transistor

- Modele  $\pi$  ou en T selon les consignes (ou votre choix)
- On remet les sources AC



# Partie #4: Analyse AC

- On met les sources DC a 0
- On veut habituellement trouver  $v_{out}/v_{in}$ .

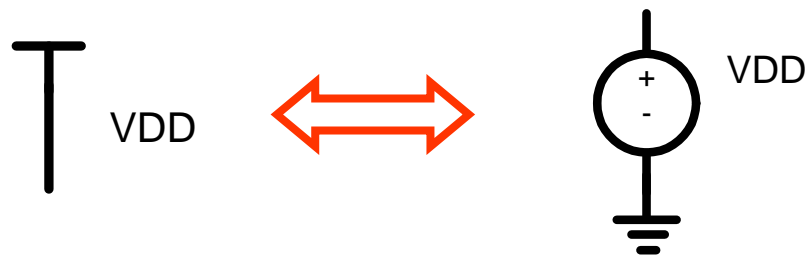


# Notes

1) Le circuit devrait être redessiné:

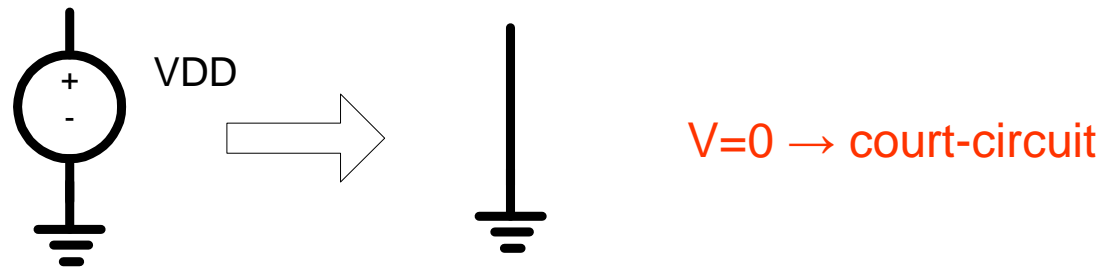
- Permet de combiner les “grounds”
- Permet de voir les combinaisons parallèle/série
- Plus beau à voir

2) Ces symboles sont équivalents:

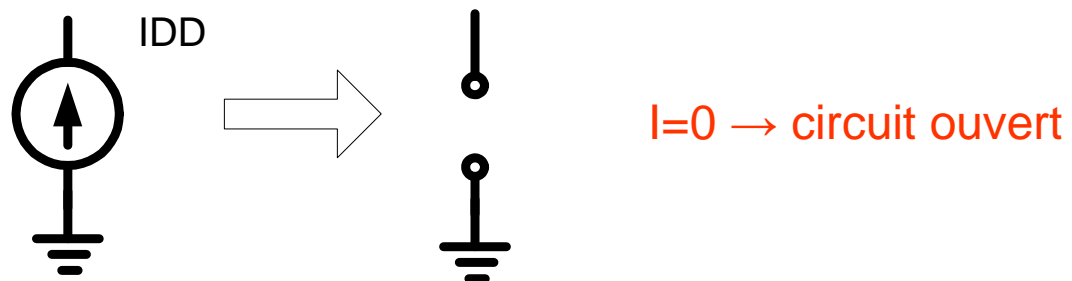


# Notes

3) Source de tension de 0: court-circuit

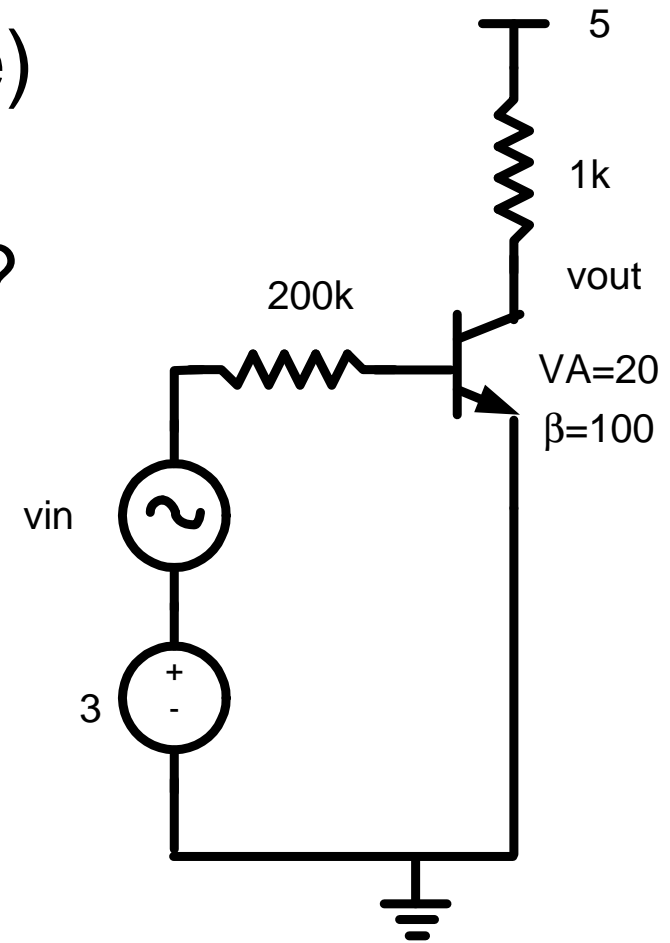


4) Source de courant de 0: circuit-ouvert



# Exemple

- Exemple complet (presque)
  - Trouver le gain  $v_{out}/v_{in}$
- Qu'est ce que ca implique?
  - Analyse DC et mettre AC=0
  - Parametre petit signal
  - Substitution
  - Activer AC et mettre DC=0
  - Isoler  $v_{out}/v_{in}$ .



# Exemple

- Analyse DC: AC=0
- Hypothese: region active

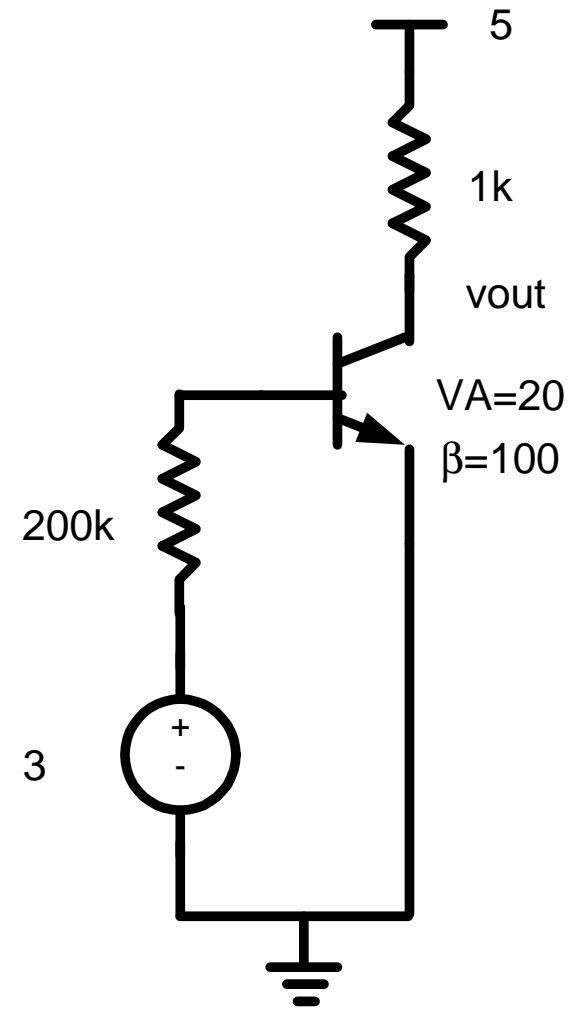
$$V_{BE} = V_B = 0 + 0.7 = 0.7$$

- On peut trouver  $I_B$

$$\frac{3 - 0.7}{200K} = 11.5 \mu A$$

- Avec  $\beta$ , on trouve  $I_C$ :

$$100(11.5 \mu A) = 1.15 mA$$



# Exemple

- Avec  $I_C$ , on trouve  $V_C$ :

$$V_{DD} - I_C R_C = 5 - (1.15m)1K = 3.85$$

- Jonction BC: inverse.
- On ne nous demande pas de parametres, donc il ne suffit que de:
  - Trouver  $V_C$  pour confirmer “region active”
  - Trouver  $I_C$  pour calculer les parametres



# Exemple

- On trouve les parametres:

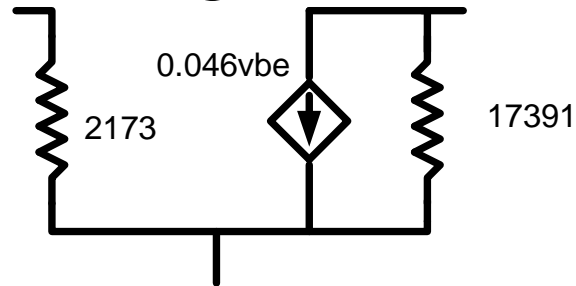
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.15}{25} = 0.046 \quad r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{20V}{1.15mA} = 17391\Omega$$

- Le dernier parametre depend de notre modele. Pour le fun, on choisit le modele  $\pi$ :

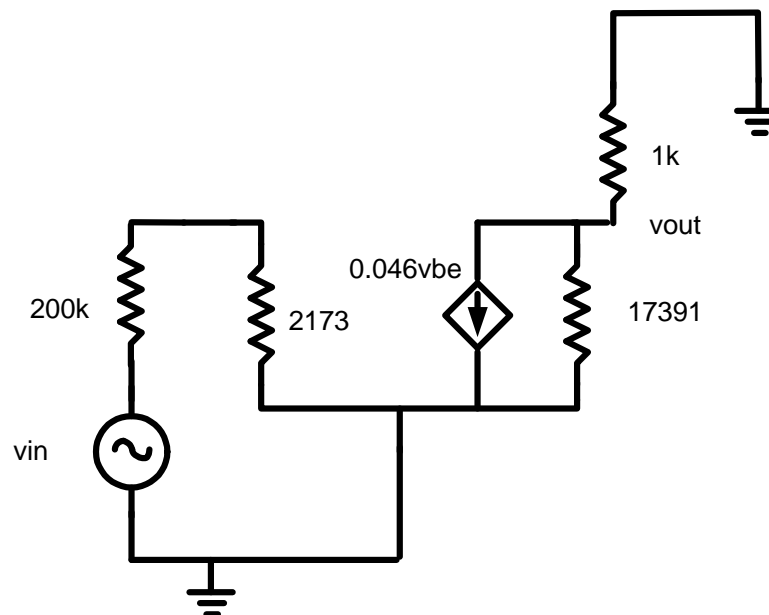
$$r_\pi = \frac{v_{be}}{i_b} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0.046} = 2173\Omega$$

# Exemple

- Le modele petit signal ressemble a ceci:



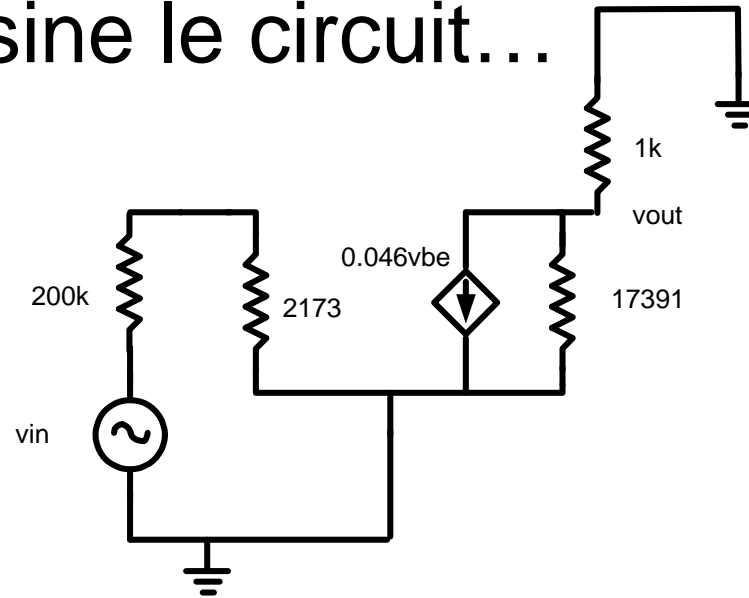
- Et le circuit substitue ressemble a ceci:



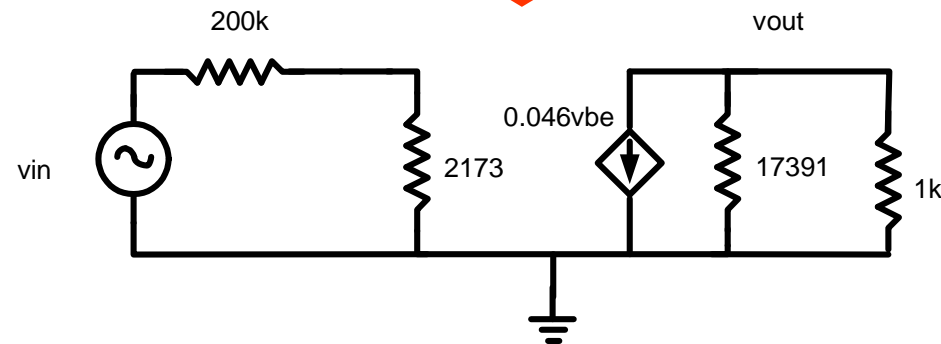
# Exemple

- On redessine le circuit...

Avant

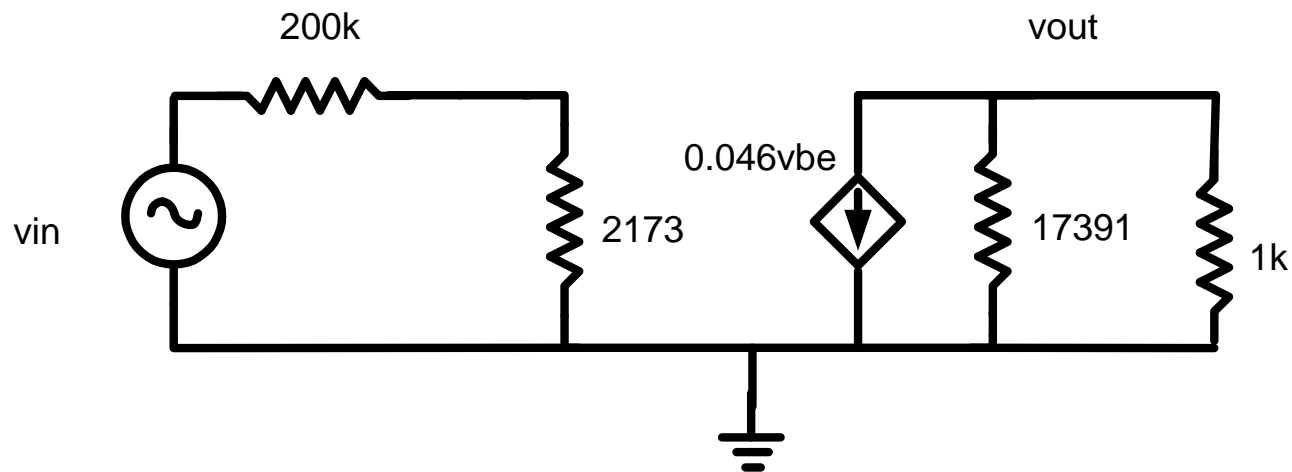


Après



# Exemple

- Il ne reste qu'à trouver  $v_{out}/v_{in}$ 
  - On manipule comme en DS1/DS2:



- L'équation pour trouver  $v_{out}$  est:

$$v_{out} = -i_{out}(r_o \parallel R_C)$$

Pourquoi "negatif"? Regardez la direction du courant...

# Exemple

- On remplace par des chiffres:

$$v_{out} = -0.046v_{be}(17391 \parallel 1K)$$

- Il nous manque  $v_{be}$ . Diviseur de tension:

$$v_{be} = v_{in} \frac{2173}{2173 + 200000} = 0.01v_{in}$$

- On substitue et  $v_{out}$  devient:

$$v_{out} = -0.046(0.01v_{in})(17391 \parallel 1K)$$

# Exemple

- Des manipulations simples nous donnent la reponse:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -0.434$$

- On note plusieurs choses:
  - Avec  $R_B:200K$  et  $R_C=1K$ : region active
  - En appliquant un signal, sortie 0.43 fois plus “gros”
  - Note: le gain est negatif

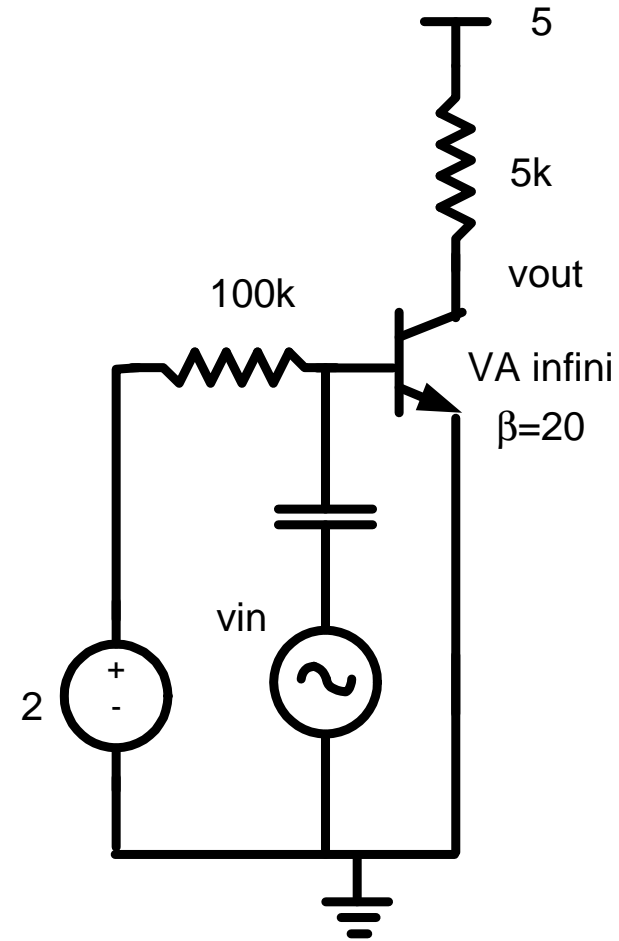
# Exemple: Conclusions

- On voit l'effet de  $r_{in}$  et  $r_{out}$
- “R source” eleve et  $r_{in}$  non-infini.
  - $v_{be}$  est beaucoup plus petit que  $v_{in}$ .
- Pour sortie en tension, on veut  $r_o=0$ .
- Pour sortie en courant, on veut  $r_o \rightarrow \infty$ 
  - Si  $r_o \rightarrow \text{infini}$ , gain de  $v_{be}$  serait 1000
  - $r_o=17K$ : ca baisse le gain de  $v_{be}$  a  $\sim 945$

Oui, l'amplificateur est poche...

# Exemple (seul)

- Exemple
  - Trouvez  $v_{out}/v_{in}$
- Note:
  - Gros condensateur
  - Genre de filtre passe-haut
  - DC: circuit ouvert
  - AC: court-circuit





# Exemple (seul)

- $V_B$  se trouve facilement:

$$V_B = 0 + 0.7 = 0.7$$

- On utilise ca pour trouver  $I_B$ :

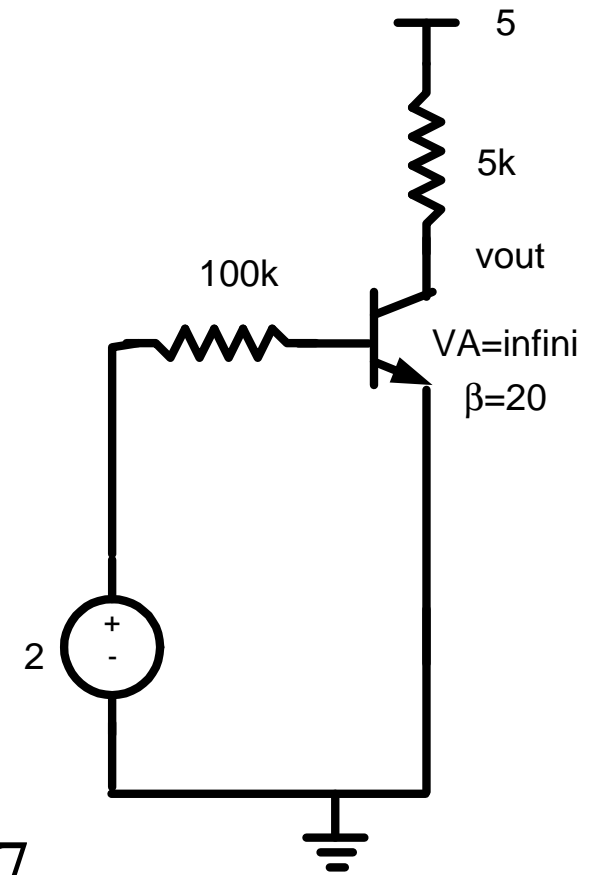
$$I_B = \frac{2 - 0.7}{100K} = 13\mu A$$

- $I_C$  c'est  $\beta I_B$

$$I_C = 260\mu A$$

- Et on trouve  $V_C$

$$V_C = 5 - (5K)260\mu A = 3.7$$



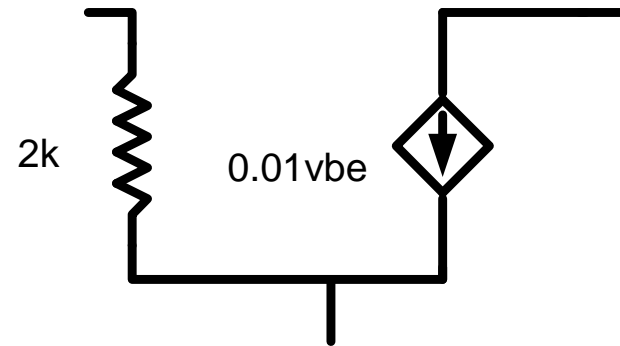
# Exemple (seul)

- On doit toujours calculer  $g_m$  et  $r_o$ :

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{260\mu A}{25mV} = 0.01 \qquad r_o = \frac{V_A}{I_C} = \infty \quad \text{Circuit Ouvert}$$

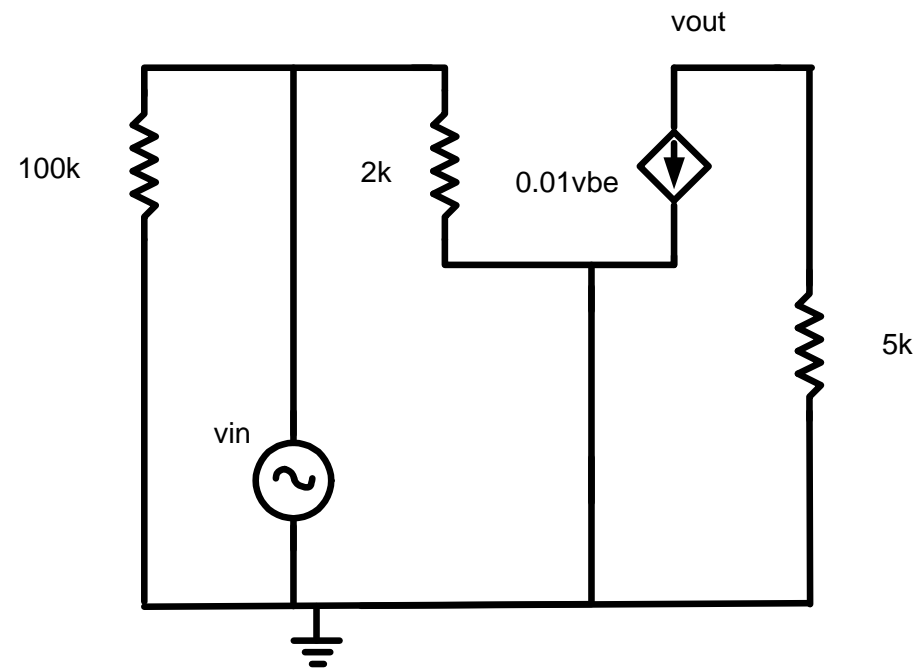
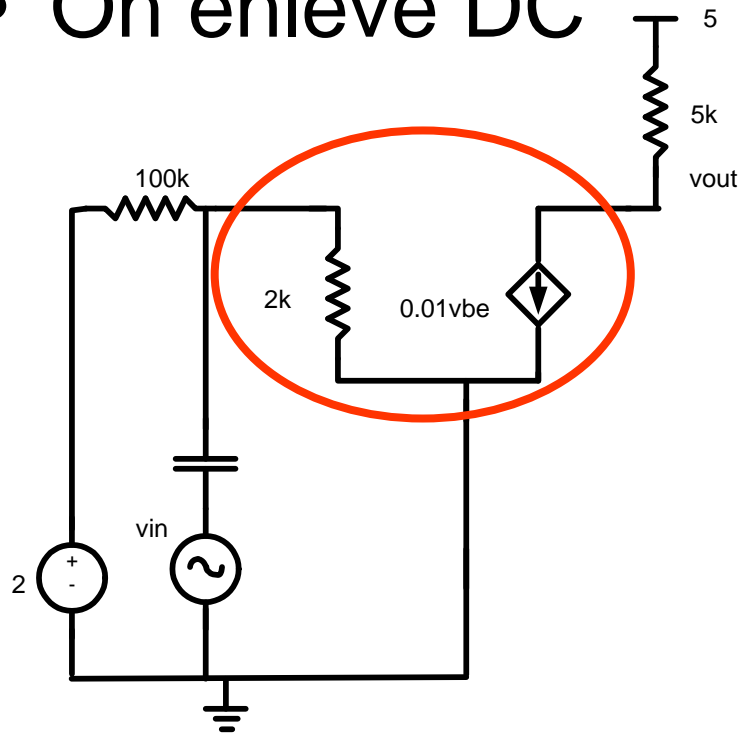
- Le parametre restant depend du modele
- On choisit  $\pi$ :

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{20}{0.01} = 2000$$



# Exemple (seul)

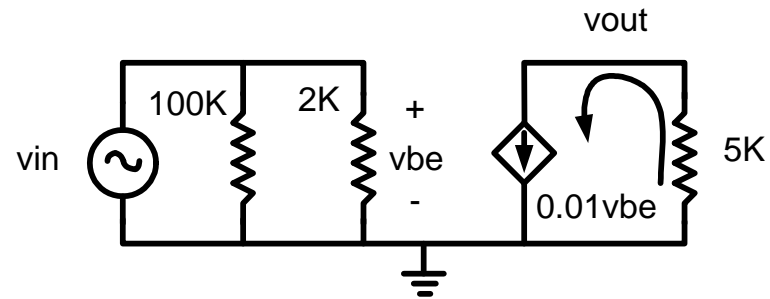
- On substitue
- On remet AC (condensateur court-circuit)
- On enleve DC



# Exemple (seul)

- La resistance 100K n'affecte pas l'analyse

- $v_{out} = -i_{out} * 5K$
- $i_{out} = 0.01 * v_{be}$
- $v_{be} = v_{in}$



- On combine le tout:

- $v_{out} = -(0.01)(5k)v_{in} = -50v_{in}$

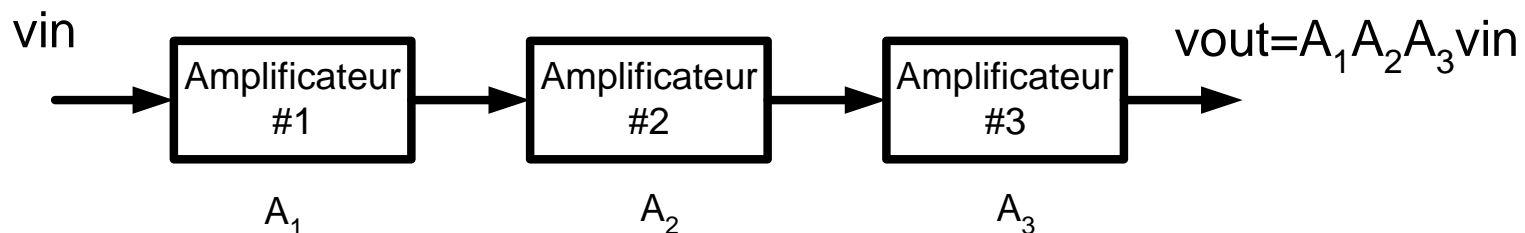
- Remarque: gain =  $-g_m R_C$

# Exemple: Conclusions

- $R_B$  est nécessaire pour limiter  $I_B$
- $R_B$  réduit le gain en faisant que  $v_{be} \ll v_{in}$
- $C$  donne un point d'accès (un "bypass")
  - Avec  $C$ , polarisation encore la même
  - Avec  $C$ , signal ne "voit" plus le  $R_B$
- On peut s'en servir dans d'autres situations aussi.

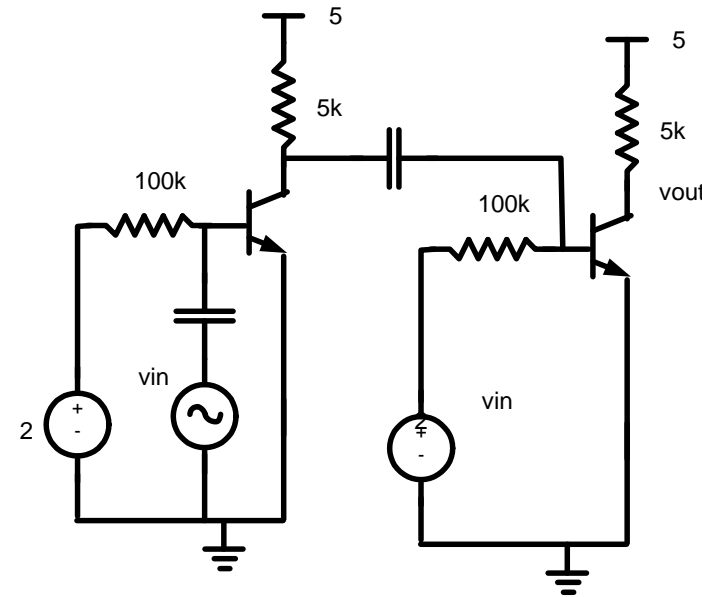
# Condensateur

- Couplage capacitif pour isoler DC du AC
- Ex: imaginez notre circuit precedent qui a un gain de  $|50|$ .
- Certains applications veulent gain  $> 1000$ 
  - Rappel: idealement, on veut gain infini...
- Solution possible:
  - Plusieurs amplificateurs en “cascade”



# Condensateur

- Pour connecter on utilise condensateur
- Pourquoi pas connexion directe?
  - $V_{\text{sortie}}$  et  $V_{\text{base}}$  ne sont pas les memes
- Dans notre cas:
  - $V_C: 3.7\text{v}$
  - $V_B: 0.7\text{v}$
- C laisse passer signal
  - Mais bloque DC



# Rappel

- Pourquoi un condensateur fait ca?
  - Imaginez un condensateur qui a des charges
  - Charges + d'un bord attire charge – de l'autre

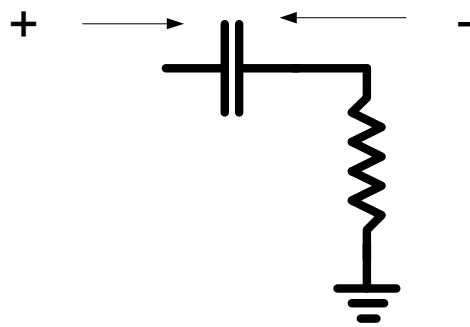


- Aucun courant ne circule:  $V=RI=0$

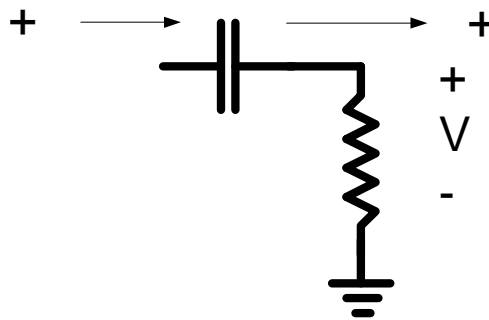


# Rappel

- Quand (+) arrivent, (-) sont attirés



- C'est COMME si (+) étaient repoussés



# Rappel

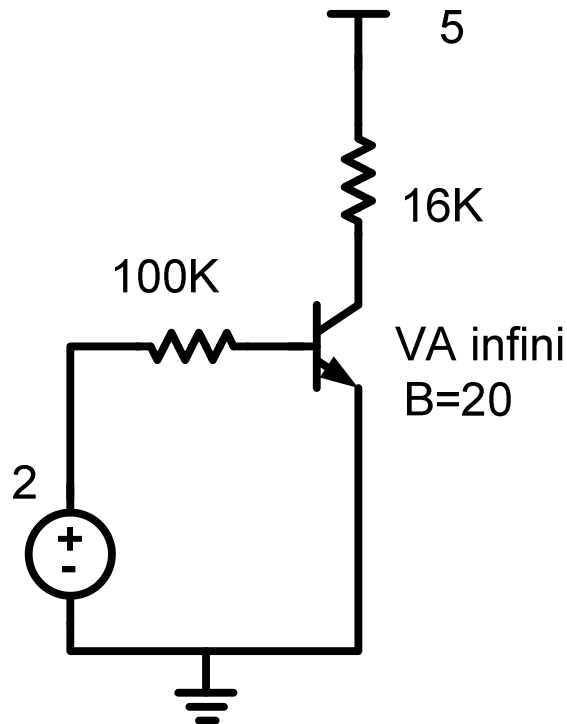
- On a un signal qui passe quand le courant CHANGE
- Si courant change assez vite, c'est COMME si on avait court-circuit
- Pour DC, ce sera toujours circuit ouvert.
- DONC:
  - DC ne passe pas
  - Signal passe

# Changement de region

- Amplificateurs peuvent avoir grands gains
- Si c'est trop gros, ca cause des problemes
  - $v_{be}$  vs.  $i_c$  ne sera plus lineaire (distortion)
  - Ca pourrait sortir de la region active
- Solutions:
  - Ajuster la valeur des parametres

# Changement de region

- On a vu, par exemple, que le gain du circuit precedent etait  $-g_m R_C$
- On augmente  $R_C$  pour augmenter le gain.



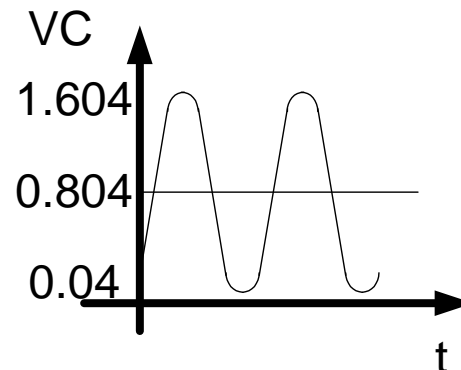
# Changement de region

- Dans ce cas-ci, on se retrouverait avec  $\text{gain} = -g_m R_C = -160$
- Est-ce qu'il y a un probleme?
  - Peut-etre.
- Imaginez une onde sinusoidale de 5mV a l'entrée.
  - La sortie serait  $5\text{mv} * 160 = 800\text{mV}$

Allons voir son impact...

# Changement de region

- Retournons a l'analyse DC
  - $I_C=260\mu A$
  - $V_C=5-(260\mu A*16000)=0.84$
- On est encore polarise en inverse
- Avec un signal de 800mV a la sortie,  $V_C$  ira de 0.04v a 1.64v



Durant une partie du cycle, transistor sera en saturation.

# Prochain cours

- On a analyse exemples d'amplificateurs
- On n'a pas encore de technique
- Prochaine partie, on va presenter les 3 configurations de base:
  - Emetteur commun
  - Base commune
  - Collecteur commun