

Le transistor bipolaire

Pascal MASSON
(pascal.masson@unice.fr)
 Edition 2015-2016

École Polytechnique Universitaire de Nice Sophia-Antipolis
 Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip)
 1665 route des Lucioles, 06410 BIOC

Sommaire

- I. Historique
- II. Caractéristiques du transistor
- III. Polarisation du transistor
- IV. Les fonctions logiques
- V. Amplification en classe A
- VI. Multivibrateur astable ABRAHAM BLOCH
- VII. Amplification en classe B
- VIII. Amplificateur opérationnel

Pascal MASSON - Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) - Le transistor bipolaire

I. Historique

I.1. Définition

- Le transistor bipolaire est un composant électronique utilisé comme : interrupteur commandé, amplificateur, stabilisateur de tension, modulateur de signal ...

Pascal MASSON - Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) - Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **Université** Côte d'Azur

I. Historique

I.2. Histoire du transistor

- 1947 : John BARDEEN et Walter BRATTAIN inventent le transistor à contact (transistor) au laboratoire de physique de la société BELL (USA). Cette découverte est annoncée en juillet 1948.



Transistor à contact 1948

- 1948 : Herbert MATARE et Heinrich WELKER inventent (indépendamment de BELL) aussi le transistor à contact en juin 1948 (en France). Ce transistor sera appelé le Transistron pour le distinguer de celui de BELL.



Transistron 1948

- 1948 : en janvier William SHOCKLEY invente le transistor à jonction (bipolaire) mais la technique de fabrication ne sera maîtrisée qu'en 1951



Transistor à jonction 1948


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **Université** Côte d'Azur

I. Historique

I.2. Histoire du transistor

- Les transistors remplacent les contacteurs électromécaniques des centraux téléphoniques et les tubes dans les calculateurs.




Sonotone 1010

- 1953 : première application portable du transistor entant que sonotone.



Régency TR-1 (4 transistors)

- 1954 : première radio à transistors.



1953 - calculateur (93 transistors + 550 diodes)

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **Université** Côte d'Azur

I. Historique

I.3. Histoire des premiers circuits intégrés

- 1958 : Jack KILBY de Texas Instrument présente le premier circuit (oscillateur) entièrement intégré sur une plaque de semi-conducteur.



1958 - premier circuit intégré

- 1960 : production de la première mémoire Flip Flop par la société Fairchild Semiconductor.



1960 - Flip Flop en circuit intégré

- 1965 : à partir du nombre de composants par circuit intégré fabriqué depuis 1965, Gordon MOORE (Fairchild Semiconductor) prédit que le nombre de composants intégrés (par unité de surface) doublera tous les 12 mois. Cette loi est toujours vraie !



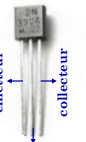
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

II. Caractéristiques du transistor

II.1. Définition d'un transistor bipolaire

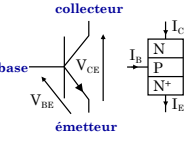
- Le transistor bipolaire est créé en juxtaposant trois couches de semi-conducteur dopés N⁺, P puis N pour le transistor NPN (courant dû à un flux d'électrons) ou dopés P⁺, N puis P pour le transistor PNP (courant dû à un flux de trous). Le niveau de dopage décroît d'un bout à l'autre de la structure.
- Un faible courant de base, I_B, permet de commander un courant de collecteur, I_C, bien plus important.

II.2. Représentation



émetteur
collecteur
base

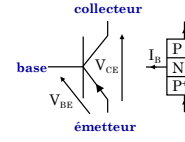
collecteur



base
émetteur

Transistor NPN

collecteur



base
émetteur

Transistor PNP

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) - Le transistor bipolaire

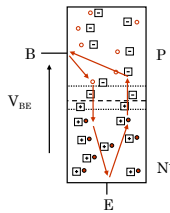
II. Caractéristiques du transistor

II.3. Fonctionnement du transistor NPN

- Si la tension V_{BE} est suffisante, la diode BE (base -émetteur) est passante :
 - ✓ Courant de trous de B vers E.
 - ✓ Courant d'électrons de E vers B

$$I = I_S \exp\left(\frac{qV_{BE}}{KT}\right) = (I_{St} + I_{Se}) \exp\left(\frac{qV_{BE}}{KT}\right)$$

- Si le nombre d'électrons dans l'émetteur est 100 fois plus grand que le nombre de trous dans la base alors I_{St} << I_{Se}.



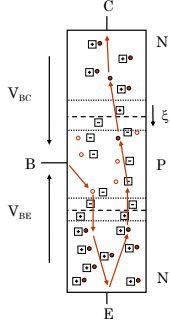
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) - Le transistor bipolaire

II. Caractéristiques du transistor

II.3. Fonctionnement du transistor NPN

- On positionne à présent le collecteur dopé N
- La jonction BC est polarisée en inverse : augmentation du champ électrique interne.
- La longueur de la base est très courte et les électrons arrivent tous au niveau de la ZCE Base-collecteur.
- Les électrons sont propulsés dans le collecteur pas le champ électrique.
- Si on modifie la tension V_{BC} (dans une certaine limite), le champ électrique est toujours suffisant pour propulser tous les électrons :

Le courant de collecteur ne dépend pas de la tension V_{BC} mais uniquement de V_{BE}.



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) - Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.3. Fonctionnement du transistor NPN

- Par convenance on pose : $V_T = \frac{q}{kT}$ ($= 25,6\text{mV}$ à 300K)
- Les trois courants du transistor bipolaire sont :
 - I_B : courant de trous de B vers E.
 - I_C : courant d'électrons de E vers C
 - I_E : courant de trous de B vers E + courant d'électrons de E vers C

$$I_B = I_{S1} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$$

$$I_C = I_{S2} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$$

$$I_E = I_S \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) = I_B + I_C$$

- Le rapport, β , entre les courants I_C et I_B dépend entre autres des niveaux de dopage de l'émetteur et de la base ainsi que de l'épaisseur de la base : $I_C = \beta \cdot I_B$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.3. Fonctionnement du transistor NPN

- Si la tension V_{BC} augmente trop :
 - Le champ électrique base – collecteur diminue
 - Les électrons ne sont plus tous propulsés dans le collecteur mais une partie sort par la base
 - Le courant I_C tend à devenir nul
 - On dit dans ce cas que le transistor est saturé
 - La tension V_{CE} pour laquelle ce phénomène apparaît est notée V_{CEsat} .

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.3. Caractéristiques $I_B(V_{BE})$ du transistor NPN

- Pour débloquer (rendre passant) le transistor NPN, il faut que la jonction base-émetteur soit polarisée en direct avec une tension supérieure à la tension de seuil, V_S , de cette diode : $V_{BE} > V_S$.
- La caractéristique $I_B(V_{BE})$ est celle de la diode base-émetteur en ne considérant que le courant de trou.
- Ici le courant de trous est bien plus faible que le courant d'électrons.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.3. Caractéristiques $I_B(V_{BE})$ du transistor PNP

- Pour débloquer (rendre passant) le transistor PNP, il faut que la jonction base-émetteur soit polarisée en direct avec une tension supérieure (en valeur absolue) à la tension de seuil, V_S , de cette diode soit : $V_{BE} < -V_S$.
- La caractéristique $I_B(V_{BE})$ est celle de la diode base-émetteur en ne considérant que le courant des électrons.
- Ici le courant des électrons est bien plus faible que le courant des trous.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.3. Caractéristiques $I_C(V_{CE})$ du transistor NPN

- Si la jonction BC est polarisée en inverse, alors le courant d'électrons peut traverser cette jonction.
- Dans ce cas le courant I_C est indépendant de V_{CE} : régime linéaire ($I_C = \beta \cdot I_B$)
- Si $V_{CE} = 0$ alors aucun courant ne circule entre l'émetteur et le collecteur
- Le basculement entre ces deux fonctionnements se produit à la tension V_{CEsat} (sat pour saturation) : le courant I_C n'est pas proportionnel à I_B .

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.4. Bilan des caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$

Bloqué : $V_{BE} < V_S, I_B = 0, I_C = 0$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.4. Bilan des caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$

Passant_Linéaire : $V_{BE} > V_S, I_B > 0, I_C = \beta \cdot I_B$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.4. Bilan des caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$

Passant_Saturé : $V_{BE} > V_S, I_B > 0, I_C < \beta \cdot I_B, V_{CE} < V_{CEsat}$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.4. Bilan des caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$

- Si on déconnecte le collecteur, le courant de base correspond à la somme des trous et des électrons ($I_B = h^+ + e^-$). La résistance série est de l'ordre de l'ohm

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.4. Bilan des caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$

- En régime linéaire, le courant de base est constitué uniquement de trous ($I_B = h^+$) donc la résistance série de la diode est beaucoup plus grande, de l'ordre du kohm

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA II. Caractéristiques du transistor

II.4. Bilan des caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$

- En régime saturé, le courant de base est constitué des trous et d'une partie des électrons ($I_B = h^+ + \alpha \cdot e^-$)

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA III. Polarisation du transistor


III.1. Polarisation simple

□ Détermination de I_{B0} et I_{C0}

- La boucle d'entrée permet de déterminer la valeur de I_B

$$E_G = R_B I_{B0} + V_S + R_S I_{B0} \Rightarrow \begin{cases} I_{B0} = \frac{E_G - V_S}{R_B + R_S} \\ V_{BE0} = V_S + R_S I_{B0} \end{cases}$$

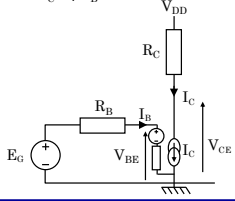
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** 


III.1. Polarisation simple

□ Détermination de I_{B0} et I_{C0}

- On considère que le transistor est en régime linéaire $I_C = \beta I_B$
- On peut donc résumer le transistor à trois éléments :
 - En entrée : V_S et R_S (donc la diode base-émetteur)
 - En sortie: un générateur de courant $I_C = \beta I_B$



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** 

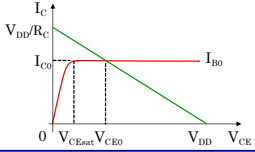
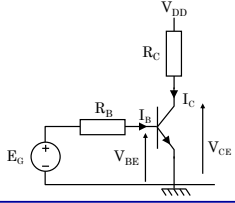
III.1. Polarisation simple

□ Détermination de I_{B0} et I_{C0}


- Il faut à présent vérifier si le transistor est réellement en régime linéaire par le calcul de V_{CE}

$$V_{DD} = R_C I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{DD} - R_C I_C$$

- Si $V_{CE} > V_{CEsat}$ alors on confirme le régime linéaire et les calculs sont exacts

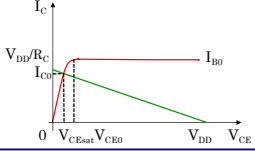
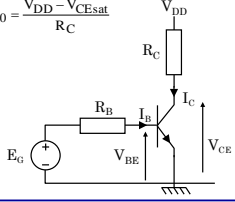
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** 

III.1. Polarisation simple

□ Détermination de I_{B0} et I_{C0}

- Si $V_{CE} < V_{CEsat}$ le transistor est en régime saturé et l'utilisation de la droite de charge donne les vraies valeurs de I_{C0} et V_{CE0}
- Si on utilise pas la droite de charge, on impose $V_{CE} = V_{CEsat}$ et on détermine la valeur de I_C avec la boucle de sortie.

$$V_{DD} = R_C I_{C0} + V_{CEsat} \Rightarrow I_{C0} = \frac{V_{DD} - V_{CEsat}}{R_C}$$



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** Université de Nice - Sophia Antipolis

III.1. Polarisation simple

□ **Détermination de I_{B0} et I_{C0}**

- Il faut aussi re-déterminer la véritable valeur du courant de base.
- Les électrons qui passent de l'émetteur à la base ne sont pas tous propulsés au collecteur et une partie sort par la base.
- Les valeurs de V_S et R_S sont donc différentes

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** Université de Nice - Sophia Antipolis

III.1. Polarisation simple

□ **Variation de R_B avec R_C constant**

- On part d'une valeur de R_B suffisamment grande pour que le transistor soit en régime linéaire
- La droite de charge en sortie ne change pas
- On diminue alors R_B

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** Université de Nice - Sophia Antipolis

III.1. Polarisation simple

□ **Variation de R_B avec R_C constant**

- On part d'une valeur de R_B suffisamment grande pour que le transistor soit en régime linéaire
- La droite de charge en sortie ne change pas
- On diminue alors R_B

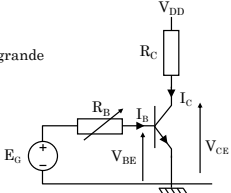
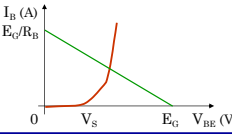
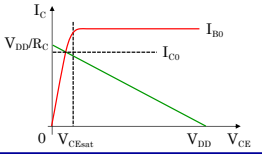
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **III. Polarisation du transistor** UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS

III.1. Polarisation simple

□ **Variation de R_B avec R_C constant**

- On part d'une valeur de R_B suffisamment grande pour que le transistor soit en régime linéaire
- La droite de charge en sortie ne change pas
- On diminue alors R_B

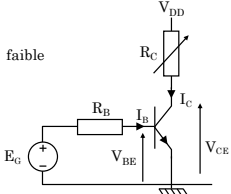
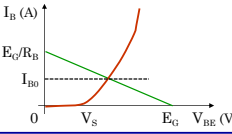
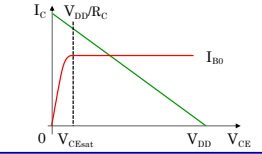
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **III. Polarisation du transistor** UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS

III.1. Polarisation simple

□ **Variation de R_C avec R_B constant**

- On part d'une valeur de R_C suffisamment faible pour que le transistor soit en régime linéaire
- La droite de charge en entrée ne change pas
- On augmente alors R_C

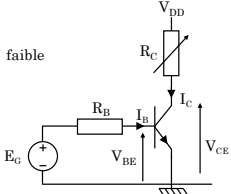
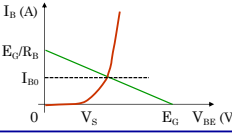
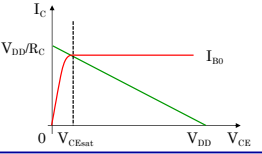
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **III. Polarisation du transistor** UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS


III.1. Polarisation simple

□ **Variation de R_C avec R_B constant**

- On part d'une valeur de R_C suffisamment faible pour que le transistor soit en régime linéaire
- La droite de charge en entrée ne change pas
- On augmente alors R_C

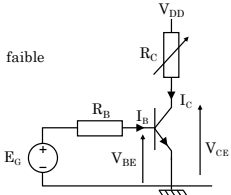
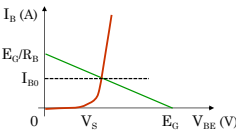
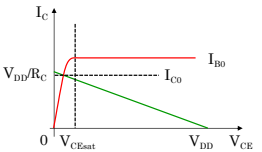
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** 


III.1. Polarisation simple

□ **Variation de R_C avec R_B constant**

- On part d'une valeur de R_C suffisamment faible pour que le transistor soit en régime linéaire
- La droite de charge en entrée ne change pas
- On augmente alors R_C

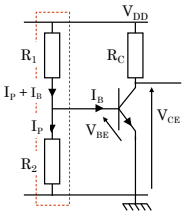




Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** 

III.2. Pont de base

- Les résistances R_1 et R_2 forment un pont entre la base et V_{DD} d'où le nom.
- La détermination de I_B passe par celle de I_P .



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** 

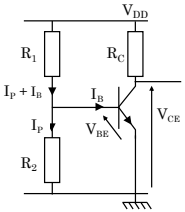
III.2. Pont de base

□ **I_B : approche simple**

- On considère que $I_P \gg I_B$.
- Dans ce cas un simple pont diviseur de tension permet de connaître la valeur de V_{BE} et par suite la valeur de I_B .

$$V_{BE} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

- Puis on détermine I_B .

$$I_B = \frac{V_{BE} - V_S}{R_S}$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

III.2. Pont de base

□ I_B : système de 2 équations

- On résout un système de deux équations qui correspond à l'écriture de deux mailles en entrée

$$(1) \begin{cases} V_{BE} = R_2 I_P = V_S + R_S I_B \\ V_{DD} = R_1 (I_P + I_B) + V_{BE} = R_1 I_P + V_S + (R_1 + R_S) I_B \end{cases}$$

- On trouve

$$I_B =$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

III.2. Pont de base

□ I_B : Thévenin

- On peut aussi transformer V_{DD} , R_1 et R_2 en générateur de thévenin

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **III. Polarisation du transistor** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

III.2. Pont de base

□ I_B : Thévenin

- On peut aussi transformer V_{DD} , R_1 et R_2 en générateur de thévenin
- On débranche la base du transistor pour éliminer le courant I_B
- Pour déterminer R_{th} , on élimine les sources (ici $V_{DD} = 0$) ce qui donne $R_1 // R_2$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

- On détermine alors E_{th} avec un pont diviseur de tension

$$E_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA III. Polarisation du transistor

III.2. Pont de base

□ I_B : Thévenin

- On peut aussi transformer V_{DD} , R_1 et R_2 en générateur de thévenin
- On débranche la base du transistor pour éliminer le courant I_B
- Pour déterminer R_{th} , on élimine les sources (ici $V_{DD} = 0$) ce qui donne $R_1 // R_2$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

- On détermine alors E_{th} avec un pont diviseur de tension

$$E_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

- D'où I_B :

$$I_B = \frac{E_{th} - V_S}{R_{th} + R_S}$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA III. Polarisation du transistor

III.3. Résistance d'émetteur

- Dans la résistance R_E il passe le courant I_E donc les courants I_B et I_C
- La maille en entrée s'écrit :

$$\begin{cases} E_{th} = R_{th} I_B + V_S + R_S I_B + R_E (I_B + I_C) \\ E_{th} = R_{th} I_B + V_S + R_S I_B + R_E (1 + \beta) I_B \end{cases}$$

- On trouve le courant I_B

$$I_B = \frac{E_{th} - V_S}{R_{th} + R_S + (1 + \beta) R_E}$$

Erreur classique : oublié du β

- Vu de l'entrée (donc de I_B), la résistance R_E est multipliée par $(1 + \beta)$
- En fonction de la valeur de β on peut écrire :

$$(1 + \beta) R_E \approx \beta R_E$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA III. Polarisation du transistor

III.3. Résistance d'émetteur

- La présence de R_E permet une régulation thermique du transistor
- En fonctionnement, le transistor chauffe à cause de la circulation du courant ce qui augmente la valeur du courant qui engendre une augmentation de la température etc ...
- En présence de R_E :

- Si la présence de R_E n'est pas suffisante, il faut ajouter un radiateur sur le transistor.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** Université de Nice - Sophia Antipolis

IV.1. L'inverseur

- La loi des mailles dans la boucle de sortie donne : $V_{CE} = V_S = 24 - R \cdot I_C$
- On obtient alors la droite de charge : $I_C = \frac{24}{R} - \frac{V_{CE}}{R}$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** Université de Nice - Sophia Antipolis

IV.1. L'inverseur

- La loi des mailles dans la boucle de sortie donne : $V_{CE} = V_S = 24 - R \cdot I_C$
- On obtient alors la droite de charge : $I_C = \frac{24}{R} - \frac{V_{CE}}{R}$
- On trace maintenant la caractéristique $V_S(V_E)$ de l'inverseur.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** Université de Nice - Sophia Antipolis

IV.1. L'inverseur

- Table de vérité et symbole logique :

E	S
0	1
1	0

- En pratique on définit un gabarit pour l'inverseur

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

IV.2. La fonction NI (NON-OU, NOR)

- Schéma électrique d'une porte NI :
- Table de vérité et symbole logique :

E ₂	E ₁	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

IV.3. La fonction mémoire à deux portes NI

- Le but est de stocker l'information 1 ou 0.
- Schéma logique de la mémoire :
- Table de vérité :

Set	Reset	Q	Q̄
- Chronogramme :

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

IV.3. La fonction mémoire à deux portes NI

- Il existe un état interdit avec Set = Reset = 1
- Schéma logique de la mémoire :
- Table de vérité :

Set	Reset	Q	Q̄
- Chronogramme :

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

IV.3. La fonction mémoire à deux portes NI

- Schéma électrique de cette mémoire :

- Symbole logique de la mémoire RS (bascule RS) :

- Mémoire de type RAM (Random Acces Memory) qui s'apparente à la SRAM (Static) : l'information disparaît si on éteint l'alimentation.
- Si le pont de base consomme $1 \mu A$ (sous 30 V) et que l'on stocke 10^6 bits alors la mémoire disperse au moins 30 W !

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **IV. Les fonctions logiques** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

IV.3. La fonction mémoire à deux portes NI

1971 : 256-bit TTL RAM (Fairchild)

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.1. Principe de fonctionnement

- L'amplificateur de classe A amplifie tout le signal d'entrée.
- On travaille dans la partie linéaire du transistor qui est polarisé en statique à I_{B0} et I_{C0} .
- Le courant I_B oscille autour de I_{B0} et donc I_C oscille autour de I_{C0} avec $I_C = \beta \cdot I_B$.
- Sans signal d'entrée, l'ampli consomme I_{C0} : mauvais rendement (au mieux 50 %).

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** Université de Nice - Sophia Antipolis

V.1. Principe de fonctionnement

Graphs showing the relationship between I_B (A) and V_{BE} (V) on the left, and I_B (A) vs t on the right. The left graph shows the base current I_B as a function of the base-emitter voltage V_{BE} , with values I_{Bmax} , I_{B0} , and I_{Bmin} marked. The right graph shows the base current I_B as a function of time t , with values I_{Bmax} , I_{B0} , and I_{Bmin} marked.

Graphs showing the relationship between E_G (V) and t on the right. The left graph shows the collector-emitter voltage V_{CE} as a function of the collector current I_C , with values E_{Gmax} , E_{G0} , and E_{Gmin} marked. The right graph shows the collector-emitter voltage E_G as a function of time t , with values E_{Gmax} , E_{G0} , and E_{Gmin} marked.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire



POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** Université de Nice - Sophia Antipolis

V.1. Principe de fonctionnement

Graphs showing the relationship between I_B (A) and V_{BE} (V) on the left, and I_B (A) vs t on the right. The left graph shows the base current I_B as a function of the base-emitter voltage V_{BE} , with values I_{Bmax} , I_{B0} , and I_{Bmin} marked. The right graph shows the base current I_B as a function of time t , with values I_{Bmax} , I_{B0} , and I_{Bmin} marked.

Graphs showing the relationship between I_C (A) and V_{CE} (V) on the left, and I_C (A) vs t on the right. The left graph shows the collector current I_C as a function of the collector-emitter voltage V_{CE} , with values I_{Cmax} , I_{C0} , and I_{Cmin} marked. The right graph shows the collector current I_C as a function of time t , with values I_{Cmax} , I_{C0} , and I_{Cmin} marked. The relationship $I_C = \beta \cdot I_B$ is indicated.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire



POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** Université de Nice - Sophia Antipolis


V.1. Principe de fonctionnement

Graphs showing the relationship between I_B (A) and V_{BE} (V) on the left, and I_B (A) vs t on the right. The left graph shows the base current I_B as a function of the base-emitter voltage V_{BE} , with values I_{Bmax} , I_{B0} , and I_{Bmin} marked. The right graph shows the base current I_B as a function of time t , with values I_{Bmax} , I_{B0} , and I_{Bmin} marked.


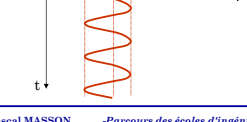
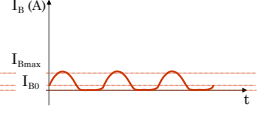
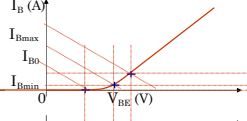
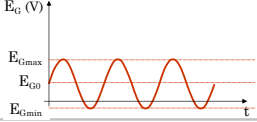
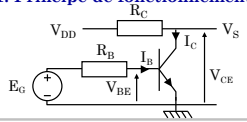
Graphs showing the relationship between I_C (A) and V_{CE} (V) on the left, and I_C (A) vs t on the right. The left graph shows the collector current I_C as a function of the collector-emitter voltage V_{CE} , with values I_{Cmax} , I_{C0} , and I_{Cmin} marked. The right graph shows the collector current I_C as a function of time t , with values I_{Cmax} , I_{C0} , and I_{Cmin} marked. The relationship $I_C = \beta \cdot I_B$ is indicated.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire




POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 


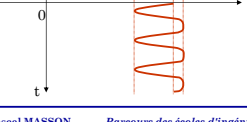
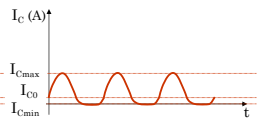
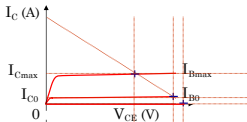
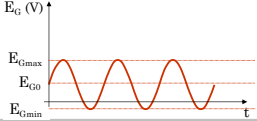
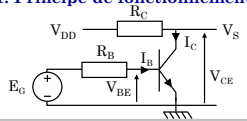
V.1. Principe de fonctionnement




Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 


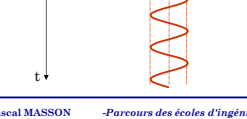
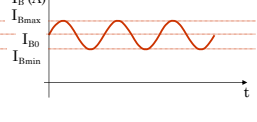
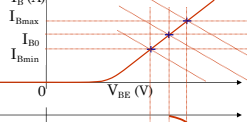
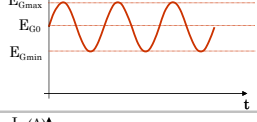
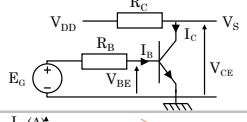
V.1. Principe de fonctionnement



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.1. Principe de fonctionnement



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **Université** NICE COPERNIC

V. Amplification classe A

V.1. Principe de fonctionnement

V_{DD} , R_C , V_S , V_{CE} , I_C , R_B , V_{BE} , I_B , E_G

I_{Cmax} , I_{Bmax} , I_{C0} , I_{B0} , I_{Cmin} , I_{Bmin} , V_{CE}

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **Université** NICE COPERNIC

V. Amplification classe A

V.2. Rappels : passe haut et passe bas

- Les gains V_C/E_G et V_R/E_G correspondent aux filtres passe bas et pas haut respectivement.
- La fréquence de coupure des deux filtres est : $F_c = 1/(2\pi RC)$.
- La notion de haute et basse fréquences se reporte à la valeur de F_c

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **Université** NICE COPERNIC

V. Amplification classe A


V.2. Rappels : passe haut et passe bas

- En basse fréquence $\Delta V_C = \Delta E_G$ et $\Delta V_R = 0$: la capacité "absorbe" toutes les variations de E_G . Elle a le temps de se charger et de se décharger

$F = 0,2 F_c$

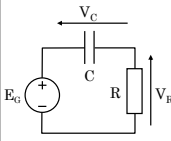
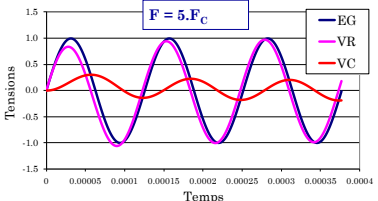
— EG
— VR
— VC

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.2. Rappels : passe haut et passe bas

- En basse fréquence $\Delta V_C = \Delta E_C$ et $\Delta V_R = 0$: la capacité "absorbe" toutes les variations de E_C . Elle a le temps de se charger et de se décharger

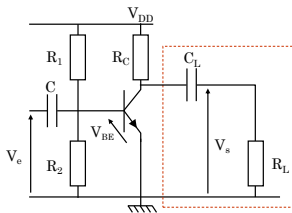



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.3. Eléments du montage

- Les résistances R_1 et R_2 constituent le pont de base : polarisation de la base
- Le condensateur C ne laisse passer que les variations de V_e et non la composante continue : évite de modifier la polarisation de la base.
- C_L est aussi un condensateur de liaison qui permet à la charge R_L (résistance d'entrée du bloc suivant) de ne pas modifier la polarisation du transistor.

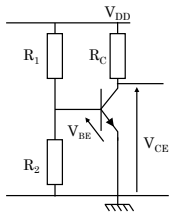


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.4. Point de repos du montage

- Le point de repos correspond aux valeurs des tensions et des courants lorsqu'on ne considère que le régime statique (ne dépend pas du temps).
- C et C_L se comportent comme des interrupteurs ouverts.
- On calcule I_B (ce qui donne immédiatement I_C) en supposant que le transistor est en régime linéaire
- On détermine alors la tension V_{CE} qui doit être supérieure à V_{CEsat}



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.5. Schéma en petit signal

- E_G est à présent un signal alternatif d'amplitude suffisamment faible pour ne pas bloquer et/ou saturer le transistor.
- Cette fois, les fréquences du signal E_G sont suffisamment élevées pour ne pas permettre aux capacités C et C_L de se charger ou de se décharger. Elles se comportent comme des interrupteurs fermés.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.5. Schéma en petit signal

- Les variations de E_G vont se propager le long du circuit, être amplifiée par le transistor puis appliquées à la charge R_L .
- Les paramètres importants d'un amplificateur sont : les résistances d'entrée et de sortie, le gain en tension et les fréquences de coupure haute et basse
- Calculer ces paramètres peut être long et on préfère utiliser le schéma petit signal qui est une simplification mathématique du schéma réel.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.5. Schéma en petit signal

- Pour pouvoir utiliser le schéma petit signal il faut que tous les éléments aient un comportement linéaire.
- Dans ce schéma, c'est le transistor qui est non linéaire et, par exemple, les variations de V_{BE} doivent être suffisamment faibles pour considérer un seul V_S et surtout un seul R_S .

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.5. Schéma en petit signal

- Pour construire ce schéma, on ne conserve que les éléments (résistances, tensions, fils ... et on ne conserve que les variations de tension et de courant.
- $E_G(t) = E_{G0} + e_g(t)$ donc on ne conserve que $e_g(t)$
- La variation de V_{DD} est nulle, $v_{dd}(t) = 0$, et il en va de même pour la masse donc $v_{masse}(t) = 0$
- Donc d'un point de vu alternatif, les fils V_{DD} et masse sont identiques.
- Une tension continue est équivalente à un court circuit

$V_1(t) = V_{10} + v_1(t)$
 $V_2(t) = V_{20} + v_2(t) = V_1(t) - V_S$
 donc $\begin{cases} V_{20} = V_{10} - V_S \\ v_2(t) = v_1(t) \end{cases}$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.5. Schéma en petit signal

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.5. Schéma en petit signal

- Il faut aussi ajouter deux éléments parasites donnés par la matrice hybride du transistor.

$$\begin{cases} v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce} \\ i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce} \end{cases}$$

bipolaire

- Dans ce cours, nous négligerons toujours la tension $h_{re} \cdot v_{ce}$ (par rapport à $h_{ie} \cdot i_b$) et en fonction des cas nous négligerons aussi la résistance $1/h_{oe}$ devant les résistances branchées en parallèle.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

V. Amplification classe A

V.5. Schéma en petit signal

- Les 4 paramètres sont obtenus à partir du point de polarisation.

- Détermination de h_{ie}

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial v_{be}}{\partial i_b} \right|_{v_{ce}=0} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}=V_{CE0}}$$
- Détermination de h_{fe}

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial i_b} \right|_{v_{ce}=0} = \beta$$
- Détermination de h_{oe}

$$h_{oe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial v_{ce}} \right|_{i_b=0}$$
- Détermination de h_{re}

$$h_{re} = \left. \frac{\partial v_{be}}{\partial v_{ce}} \right|_{i_b=0}$$

Les paramètres h dépendent du point de repos (ou point de polarisation)

Pascal MASSON - Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

V. Amplification classe A

V.6. Paramètres : résistances et gains

- Impédance d'entrée : $R_e = \frac{V_{in}}{i_{in}} =$

Pascal MASSON - Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

V. Amplification classe A

V.6. Paramètres : résistances et gains

- Pour l'impédance de sortie, on court-circuite e_s donc i_b devient nul ainsi que $h_{ie} \cdot i_b$ et il reste :

$$R_s = \frac{V_{out}}{i_{out}} =$$

Pascal MASSON - Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** Université de Nice - Sophia Antipolis

V.6. Paramètres : résistances et gains

- Le gain en tension correspond au rapport entre la tension appliquée à la charge (R_L) et la tension appliquée par le générateur :

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{ce}}{V_{be}}$$

- Sans charge (i.e. $R_L \rightarrow \infty$), le gain en tension devient le gain à vide :

$$A_{V0} = A_V |_{R_L \rightarrow \infty} =$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** Université de Nice - Sophia Antipolis

V.6. Paramètres : résistances et gains

- Pour le gain « composite », il faut considérer e_g et non v_{in} :

$$A_{VG} = \frac{V_{ce}}{e_g} =$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** Université de Nice - Sophia Antipolis

V.7. Capacité C d'entrée

- Si la fréquence du signal E_G est trop faible, la capacité C a le temps de se charger et de se décharger et la tension V_{BE} ne varie pas.
- La variation de tension de E_G se retrouve intégralement aux bornes de la capacité
- Il est nécessaire de connaître la fréquence de coupure du filtre pour ajuster correctement la valeur de C et ainsi laisser passer le signal à amplifier

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

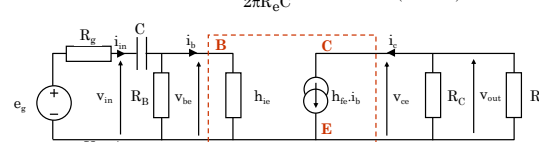
POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.7. Capacité C d'entrée


- On ajoute la capacité dans le schéma petit signal et on détermine le gain de l'amplificateur

$$A_{VC} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{be}}{V_{in}} \frac{V_{ce}}{V_{be}} = \frac{R_e}{R_e + \frac{1}{j\omega C}} \Delta V = \frac{1}{1 - j \frac{R_e C}{\omega}} \Delta V = \frac{H}{1 - j \frac{\omega_0}{\omega}} \Delta V$$

On voit clairement apparaître la fonction d'un filtre passe haut dont la fréquence de coupure est :

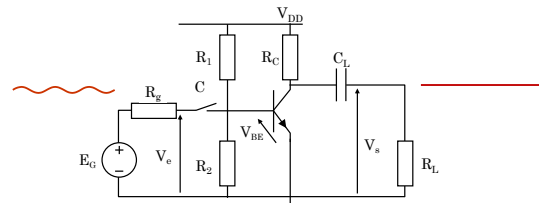
$$F_C = \frac{1}{2\pi R_e C} \quad (\omega = 2\pi F)$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.7. Capacité C d'entrée

- Si $F < F_C$ alors le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert et le signal n'est pas amplifié

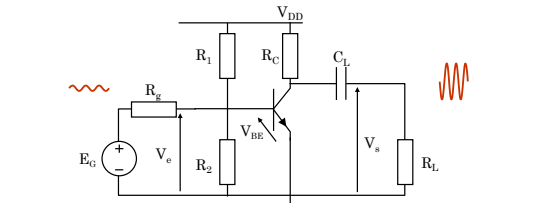


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.7. Capacité C d'entrée

- Si $F < F_C$ alors le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert et le signal n'est pas amplifié
- Si $F > F_C$ alors le condensateur se comporte comme un court-circuit et le signal est amplifié

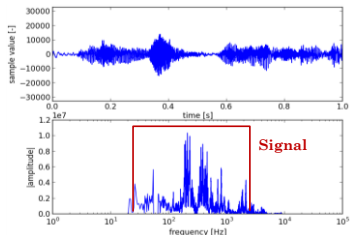


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.7. Capacité C d'entrée

- La voix humaine (et les autres sons) est constituée d'une somme de sinusoïdes d'amplitudes et fréquences différentes :

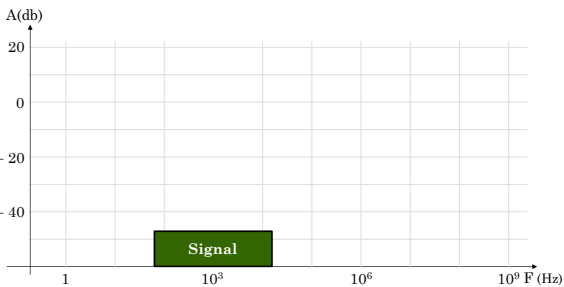
$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cdot \cos\left(2\pi \frac{n}{T} t\right) + b_n \cdot \sin\left(2\pi \frac{n}{T} t\right) \right)$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.7. Capacité C d'entrée

- Diagramme de bode en amplitude (échelle semi-log) :



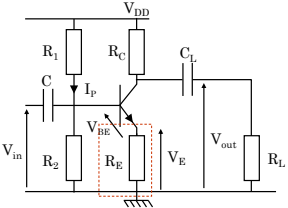
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.8. Résistance d'émetteur

- Si le transistor chauffe il risque de s'emballer thermiquement et d'être détruit.
- La résistance R_E évite l'emballement thermique du transistor :

$T^{\circ} \nearrow \Rightarrow I_B \nearrow \Rightarrow V_E \nearrow \Rightarrow V_{BE} \searrow \Rightarrow I_B \searrow$



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.8. Résistance d'émetteur

- Gain en tension : $AV_E = \frac{v_{out}}{v_{in}} =$
- Le gain a diminué avec l'introduction de la résistance R_E .

$$AV_E = -100 \frac{300}{1000} = -30 \quad AV_E = -100 \frac{300}{1000 + 20(1 + 100)} = -9.9$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.8. Résistance d'émetteur

- Pour revenir à la valeur initiale du gain (i.e. A_V), on ajoute une capacité C_E en parallèle de R_E . Cette capacité agit comme un passe bas.
- Si la fréquence est basse, C_E agit comme un circuit ouvert, sinon elle est équivalente à un court-circuit.


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **V. Amplification classe A** **Université de Nice - Sophia Antipolis**

V.8. Résistance d'émetteur

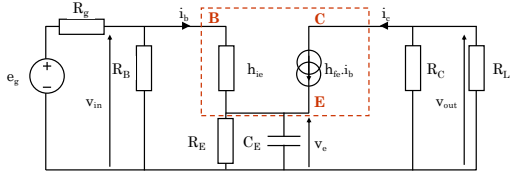
- Il est nécessaire de déterminer la fréquence de transition entre court-circuit et circuit ouvert.
- Pour cela, on représente le schéma en petit signal en faisant apparaître la capacité C_E .

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.8. Résistance d'émetteur

- Pour déterminer la fréquence de coupure du filtre, on commence par définir l'impédance équivalent à $R_E // C_E$: $\frac{1}{Z_{Eq}} = \frac{1}{R_E} + j\omega C_E$
- On détermine alors le gain :

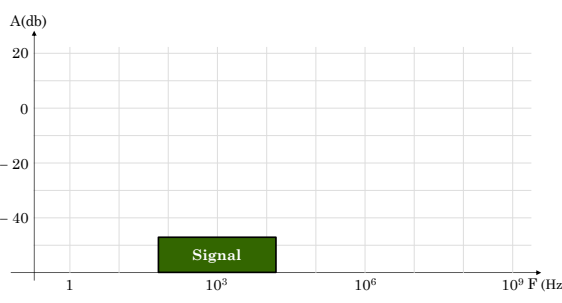
$$A_E = \frac{v_e}{v_{in}} =$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire


POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.8. Résistance d'émetteur

- Diagramme de bode en amplitude (échelle semi-log) :

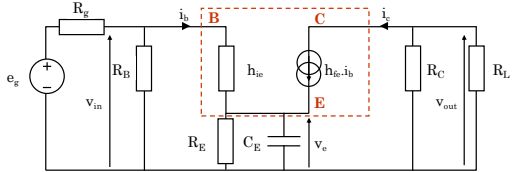


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.8. Résistance d'émetteur

- Le gain de l'amplificateur s'écrit :

$$A_{VCE} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\beta \frac{R_C // R_L}{R_E + \frac{1}{j\omega C_E}} = -\beta \frac{R_C // R_L}{R_S + (1 + \beta) \frac{R_E}{j\omega C_E R_E + 1}}$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **V. Amplification classe A** **Université de Nice-Sophia**

V.8. Résistance d'émetteur

- Le gain de l'amplificateur s'écrit :

$$A_{VCE} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\beta \frac{R_C // R_L}{R_S + (1 + \beta)R_E} \frac{1}{j\omega C_E \frac{R_E R_S}{R_S + (1 + \beta)R_E} + 1} (j\omega C_E R_E + 1)$$

Il existe 2 fréquences de coupure

$$F_{CE} = \frac{R_S + R_E(1 + \beta)}{2\pi R_S R_E C_E} \quad \text{et} \quad F_{CE}' = \frac{1}{2\pi R_E C_E}$$

- On retrouve aussi les 2 gains

$$A_{VCE}(\omega \rightarrow 0) = -\beta \frac{R_C // R_L}{R_S + \beta R_E} \quad \text{et} \quad A_{VCE}(\omega \rightarrow \infty) = -\beta \frac{R_C // R_L}{R_S}$$

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **V. Amplification classe A** **Université de Nice-Sophia**

V.8. Résistance d'émetteur

- Diagramme de bode en amplitude (échelle semi-log) avec la résistance RE devient :


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH **V. Amplification classe A** **Université de Nice-Sophia**

V.9. Fréquences de coupure hautes

- La variation de la tension v_{bc} implique une variation de la longueur de la zone de charge d'espace (ZCE) de la diode Base-Collecteur
- La variation de la ZCE correspond à une variation de charge et donc la diode est équivalente à une capacité notée C_{BC} .
- Cette capacité fait un pont entre l'entrée et la sortie ce qui complique le calcul du gain en tension

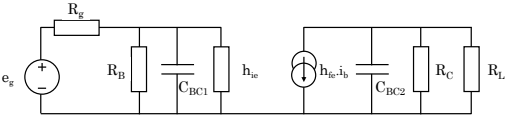
Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 


V.9. Fréquences de coupure hautes

- Nous considérons la capacité entre la base et le collecteur : C_{BE}
- Elle peut être ramenée en entrée et en sortie du transistor avec le théorème de MILLER :

$$Z_1 = \frac{1}{jC_{BC1}\omega} = \frac{1}{jC_{BC}\omega} \cdot \frac{1}{1-A_V} \quad C_{BC1} = C_{BC}(1-A_V) \gg C_{BC}$$

$$Z_2 = \frac{1}{jC_{BC2}\omega} = \frac{1}{jC_{BC}\omega} \cdot \frac{A_V}{1-A_V} \quad C_{BC2} = C_{BC} \frac{1-A_V}{A_V} \approx C_{BC}$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.9. Fréquences de coupure hautes

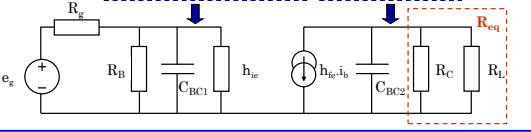
- Gain composite : $A_{VG_CBC} = \frac{v_{ce}}{e_g} = -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_{eq} // C_{BC2}) \frac{(R_e // C_{BC1})}{R_g + (R_e // C_{BC1})}$

soit $A_{VG_CBC} = \frac{v_{ce}}{e_g} = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} \frac{R_{eq} R_e}{R_g + R_e} \frac{1}{1 + j\omega C_{BC1} (R_g // R_e)} \frac{1}{1 + j\omega C_{BC2} R_{eq}}$


Gain aux fréquences moyennes

- Il existe deux fréquences de coupure hautes avec $F_{HF1} \ll F_{HF2}$:

Fréquence de coupure haute de l'ampli

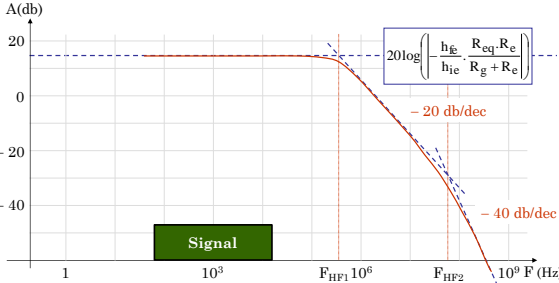
$$F_{HF1} = \frac{1}{2\pi C_{BE1} (R_g // R_e)} = F_{HF} \quad F_{HF2} = \frac{1}{2\pi C_{BE2} R_{eq}}$$


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **V. Amplification classe A** 

V.9. Fréquences de coupure hautes

- Diagramme de bode en amplitude (échelle semi-log) :

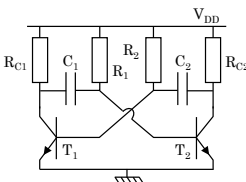
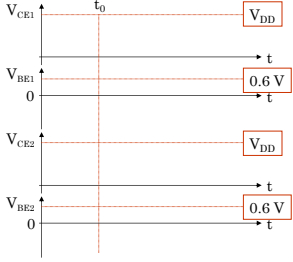


Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

VI. Multivibrateur astable Abraham BLOCH

VI.1. Présentation

- Circuit dont le schéma s'apparente à celui de la mémoire RS et qui fournit un signal carré.

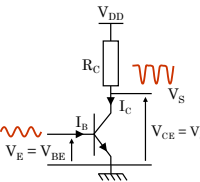
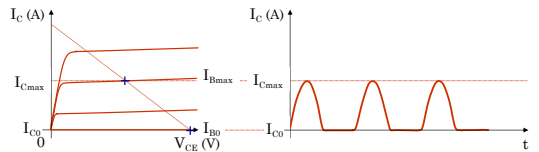



Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

VII. Amplification classe B

VII.1. Définition et principe de fonctionnement

- L'amplificateur de classe B n'amplifie que la moitié du signal d'entrée.
- Il crée beaucoup de distorsion mais a un rendement bien meilleur que le classe A avec en théorie 78.5 %.
- Le point de repos se situe à la limite du blocage du transistor

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

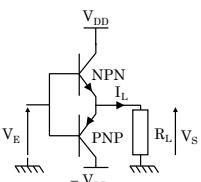
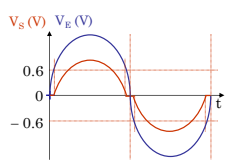
VII. Amplification classe B

VII.2. Amplificateur push-pull

- Les deux transistors ont le même gain β .
- Amplificateur de puissance et non de tension
- Si $V_E = 0$, les deux transistors sont bloqués et $V_S = 0$.
- Si $V_E > 0.6$ V, le transistor NPN est en régime linéaire et le PNP est bloqué :

$$V_S = V_E - 0.6.$$
- Si $V_E < -0.6$ V, le transistor PNP est en régime linéaire et le NPN est bloqué.

$$V_S = V_E + 0.6.$$
- Distorsion pour les faibles valeurs de V_E .
- Saturation de V_S si $|V_E| > V_{DD}$.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **VII. Amplification classe B** Université de Nice - Sophia Antipolis

VII.2. Amplificateur push-pull

- Les deux transistors ont le même gain β .
- Amplificateur de puissance et non de tension
- Si $V_E = 0$, les deux transistors sont bloqués et $V_S = 0$.
- Si $V_E > 0.6$ V, le transistor NPN est en régime linéaire et le PNP est bloqué :

$$V_S = V_E - 0.6.$$
- Si $V_E < -0.6$ V, le transistor PNP est en régime linéaire et le NPN est bloqué.

$$V_S = V_E + 0.6.$$
- Distorsion pour les faibles valeurs de V_E .
- Saturation de V_S si $|V_E| > V_{DD}$.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **VII. Amplification classe B** Université de Nice - Sophia Antipolis

VII.2. Amplificateur push-pull

- Les deux transistors ont le même gain β .
- Amplificateur de puissance et non de tension
- Si $V_E = 0$, les deux transistors sont bloqués et $V_S = 0$.
- Si $V_E > 0.6$ V, le transistor NPN est en régime linéaire et le PNP est bloqué :

$$V_S = V_E - 0.6.$$
- Si $V_E < -0.6$ V, le transistor PNP est en régime linéaire et le NPN est bloqué.

$$V_S = V_E + 0.6.$$
- Distorsion pour les faibles valeurs de V_E .
- Saturation de V_S si $|V_E| > V_{DD}$.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire

POLYTECH NICE SOPHIA **VII. Amplification classe B** Université de Nice - Sophia Antipolis

VII.2. Amplificateur push-pull

- Afin d'éviter la distorsion du signal, on place un pont de base avec deux diodes polarisées en directe (et passantes).
- L'amplificateur push-pull est utilisé comme étage de sortie des générateurs de fonction et des amplificateurs audio.

Pascal MASSON -Parcours des écoles d'ingénieurs Polytech (Peip) Le transistor bipolaire
