

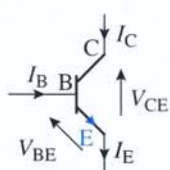
7 LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

7.1 PRÉSENTATION

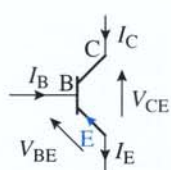
■ Les transistors bipolaires sont des éléments à 3 bornes

- Une borne appelée Base : B.
- Une borne appelée Émetteur : E.
- Une borne appelée Collecteur : C.

■ Symboles



Transistor NPN



Transistor PNP

→ La flèche repère toujours l'Émetteur :

- la flèche est entrante pour un PNP ;
- la flèche est sortante pour un NPN.

7.2 FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement des 2 types de transistors (NPN et PNP) est analogue : le courant I_B commande la jonction C-E.

■ Signes des paramètres

- Dans un transistor bipolaire, le courant Collecteur → Émetteur ne peut transiter que dans le sens indiqué par la flèche de l'émetteur.

Ceci entraîne pour notre représentation (voir symboles) :

- I_C et I_E positifs pour un NPN ;
- I_C et I_E négatifs pour un PNP.
- La commande de la jonction CE par I_B se fera :
 - par I_B positif pour un NPN ;
 - par I_B négatif pour un PNP.
- Pour les tensions :
 - V_{CE} et V_{BE} seront positives pour un NPN ;
 - V_{CE} et V_{BE} seront négatives pour un PNP.

■ Étude des régimes de fonctionnement

Le transistor est un élément pouvant être commandé. En effet, selon la valeur du courant injecté sur sa base (I_B), le régime de fonctionnement du transistor sera différent. Pour étudier le transistor, il faut donc dissocier deux montages :

- le montage sur la base du transistor : commande ;
- le montage sur la jonction CE : commandé.

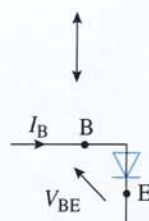
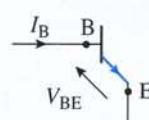
Afin d'étudier les régimes de fonctionnement du transistor, nous allons, dans un premier temps, isoler la jonction B → E, puis la jonction C → E. Dans les deux cas, nous donnerons les schémas électriques équivalents de ces deux jonctions, selon le régime de fonctionnement.

Jonction Base/Émetteur

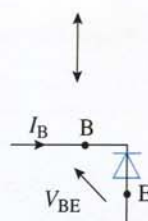
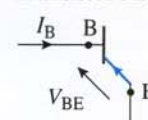
Cette jonction est en fait une jonction NP ou PN pour respectivement un transistor type PNP ou NPN.

Le schéma équivalent de cette jonction est donc celui d'une diode.

Transistor NPN



Transistor PNP



La jonction BE sera passante uniquement si $I_B > 0$, ce qui entraîne $V_{BE} = V_{seuil}$, c'est-à-dire typiquement 0,7 volts (pour un transistor au silicium).

Si $V_{BE} < V_{seuil}$, la jonction BE sera bloquée et $I_B = 0$. Ce qui entraîne le blocage total du transistor.

La jonction BE sera passante uniquement si $I_B < 0$, ce qui entraîne $V_{BE} = -V_{seuil}$, c'est-à-dire typiquement -0,7 volts (pour un transistor au silicium).

Si $V_{BE} > -V_{seuil}$, la jonction BE sera bloquée et $I_B = 0$. Ce qui entraîne le total blocage du transistor.

Exemple pour un transistor NPN

Pour savoir si la jonction base émetteur d'un transistor NPN est passante ou bloquée, il suffit d'écrire $V_{BE} = V_{seuil}$, puis de déterminer la valeur de I_B par la loi de la maille côté jonction BE.

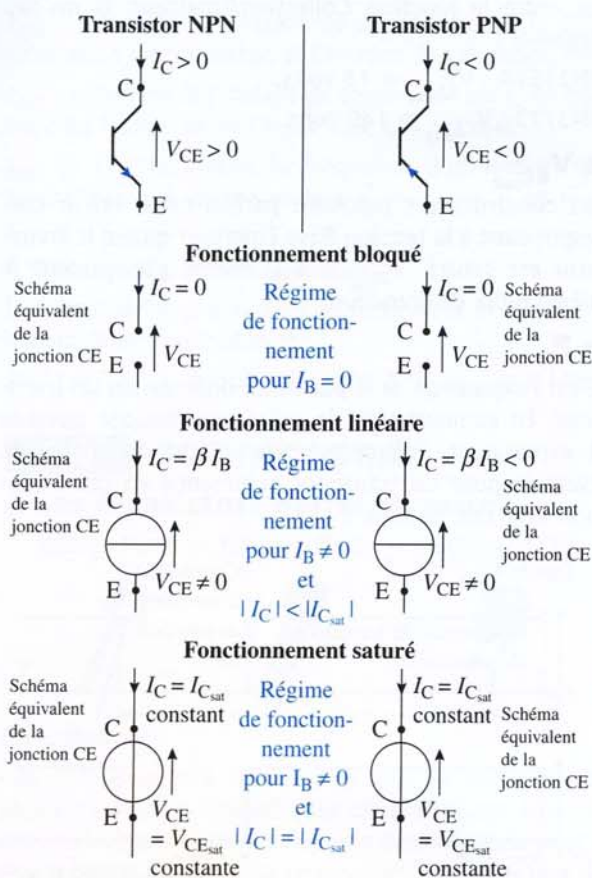
Si $I_B > 0$, alors la jonction est passante ; $V_{BE} = V_{seuil}$.

Si $I_B < 0$ alors la jonction est bloquée ; I_B ne peut être que nul et $V_{BE} < V_{seuil}$.

Jonction Collecteur/Émetteur

Cette jonction est en fait une jonction NPN ou PNP commandée par le courant I_B de la jonction Base Émetteur.

Les schémas équivalents de cette jonction dépendent donc du courant I_B :



- $V_{CE_{sat}}$ et β sont des données constructeur.
- $V_{CE_{sat}}$ est une tension très petite.
- $I_{C_{sat}}$ est le courant maximum pouvant circuler dans le circuit comprenant la jonction CE (avec $V_{CE} = V_{CE_{sat}}$).
- En régime de fonctionnement linéaire ou bloqué, la valeur de la tension V_{CE} est déterminée en établissant la loi de la maille comprenant la tension V_{CE} .
- V_{CE} , I_C , $V_{CE_{sat}}$ et $I_{C_{sat}}$ sont des grandeurs négatives dans le cas d'un transistor type PNP.

Relation de courant

Comme tout courant entrant doit ressortir (loi des nœuds) :

$$I_E = I_C + I_B$$

Relation de tension

La loi des mailles pouvant toujours être appliquée :

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

Fonctionnement en commutation

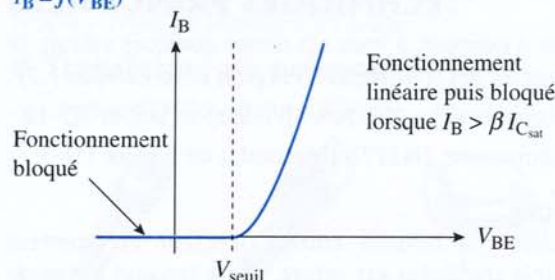
En travaillant en fonctionnement bloqué ou saturé uniquement, le transistor permet bien de commander un « interrupteur » (jonction CE), par un courant (I_B).

On dira alors, travailler en régime de commutation :

- $I_B = 0 \Rightarrow$ jonction CE ouverte et $I_C = 0 \Rightarrow$ Interrupteur ouvert.
- $I_B > \beta \cdot I_{C_{sat}} \Rightarrow V_{CE} = V_{CE_{sat}}$ (proche de 0) et $I_C = I_{C_{sat}} \Rightarrow$ Interrupteur fermé.

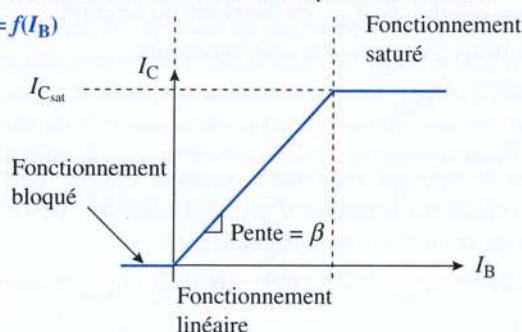
■ Caractéristique de transfert

$$I_B = f(V_{BE})$$



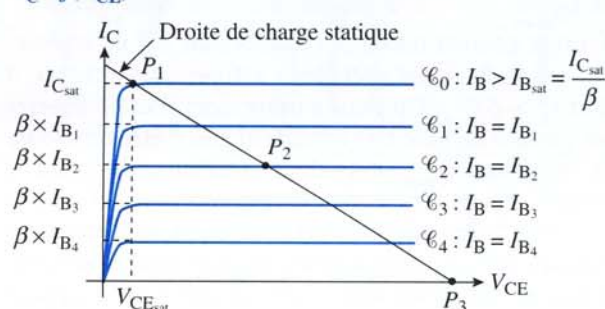
On retrouve bien la caractéristique d'une diode.

$$I_C = f(I_B)$$



On a $I_C = \beta \cdot I_B$ en fonctionnement linéaire, $I_C = 0$ en régime bloqué et $I_C = I_{C_{sat}}$ Constante en régime de saturation.

$$I_C = f(V_{CE})$$



On a $I_C = \beta \cdot I_B$ en fonctionnement linéaire, $I_C = 0$ en régime bloqué et $I_C = I_{C_{sat}}$ Constante en régime de saturation.

L'équation de la droite de charge est trouvée en écrivant la loi des mailles côté jonction CE. C'est la droite d'équation $I_C = f(V_{CE})$.

Chaque courbe \mathcal{C}_i du réseau du transistor correspond à une valeur précise de I_B . Ainsi, en connaissant la valeur de I_B , on sait que le point de fonctionnement P_i est l'intersection de la droite de charge et de la courbe \mathcal{C}_i concernée. On connaît donc ainsi la valeur de I_C et V_{CE} .

- Point de fonctionnement en P_1 : $I_C = I_{C_{sat}} = I_{C_{max}}$ et $V_{CE} = V_{CE_{sat}}$; régime saturé.
- Point de fonctionnement en P_2 : $I_C = \beta \times I_B$; régime linéaire.
- Point de fonctionnement en P_3 : $I_C = I_B = 0$; régime bloqué.

- Il suffit de donner à I_B les bonnes valeurs pour passer du point P_1 à P_3 (commutation commandée).

7.3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES PRINCIPALES

À titre d'exemple, il vous est donné quelques valeurs de paramètres des transistors NPN (voir aussi exercice 7.2) :

- de commutation 2N2369A (Philips) en boîtier TO-18 ;
- de puissance 2N3773 (Motorola) en boîtier TO-3.

■ $V_{CE_{sat}}$

Valeur de la tension entre Collecteur et Émetteur quand le transistor est saturé. Cette tension est généralement faible. Les constructeurs peuvent donner plusieurs valeurs de $V_{CE_{sat}}$ en fonction du courant I_C .

2N2369A : $V_{CE_{sat}} = 0,5$ volt maximum.

2N3773 : $V_{CE_{sat}} = 1$ volt maximum.

■ $I_{C_{max}}$

C'est le courant maximum pouvant circuler entre le Collecteur et l'Émetteur d'un transistor sans détérioration de celui-ci. À ne pas dépasser !

2N2369A : $I_{C_{max}} = 200$ mA ; 2N3773 : $I_{C_{max}} = 16$ A.

■ V_{BE}

Lorsque la jonction Base Émetteur est passante, la tension V_{BE} est équivalente à une tension de seuil d'une diode. Typiquement : $0,5 \text{ V} < V_{BE} < 1 \text{ V}$. C'est la valeur limite de V_{BE} qui permet de débloquent le transistor.

■ $I_{B_{max}}$

C'est le courant maximum supportable par un transistor sur sa Base. En effet, pour saturer un transistor, il faut $I_B > \beta \cdot I_{C_{sat}}$. On pourrait être alors tenté d'injecter un courant de base très important afin d'être certain de la saturation. $I_{B_{max}}$ limite donc la valeur du courant I_B injecté afin de ne pas dégrader le transistor. À ne pas dépasser ! On définit généralement le coefficient de sursaturation k_s . Afin d'être certain de saturer le transistor, on injecte sur sa base un courant plus important que $I_{C_{sat}}/\beta$:

$$I_B = \frac{k_s I_{C_{sat}}}{\beta} \text{ (typiquement } k_s > 3 \text{)}.$$

■ $V_{BE_{invmax}}$

Tension inverse maximum supportable entre Base et Émetteur, lorsque le transistor est bloqué. À ne pas dépasser !

■ β

β est le rapport I_C/I_B en régime de fonctionnement linéaire. β n'est pas une valeur fixe. Un constructeur donne une plage de valeur. β est censé être compris dans cette plage.

Pour étudier un montage à transistor en commutation, il faut raisonner avec $\beta = \beta_{min}$ et avec $\beta = \beta_{max}$ pour être sûr d'avoir le fonctionnement souhaité avec un transistor ayant un β compris entre β_{min} et β_{max} .

2N2369A : $40 < \beta < 120$; 2N3773 : $15 < \beta < 60$.

→ Les constructeurs notent généralement ce paramètre H_{FE} .

■ $V_{CE_{max}}$

C'est la tension maximale supportable par un transistor entre la jonction Collecteur/Émetteur. À ne pas dépasser !

2N2369A : $V_{CE_{max}} = 15$ volts.

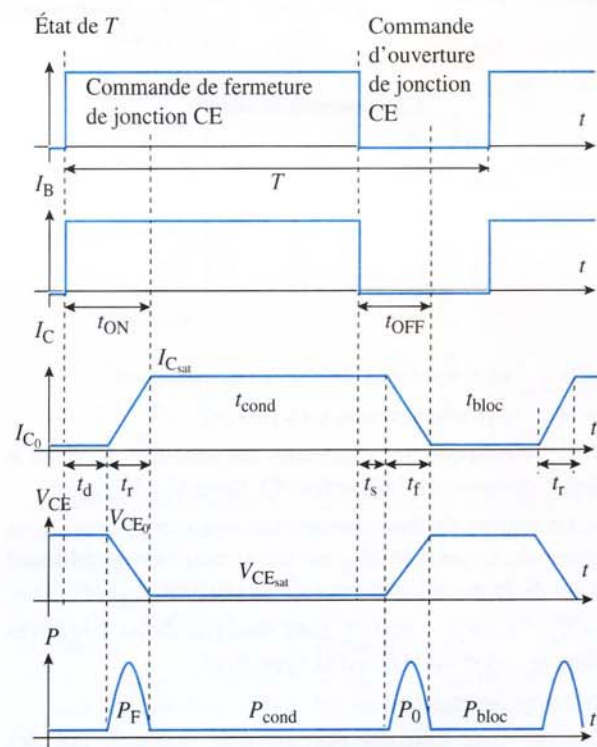
2N3773 : $V_{CE_{max}} = 140$ volts.

■ $V_{BE_{sat}}$

Les constructeurs précisent parfois cette valeur correspondant à la tension Base Émetteur quand le transistor est saturé. $V_{BE_{sat}} > V_{BE}$, même s'ils gardent le même ordre de grandeur.

■ P_D

C'est l'expression de la puissance dissipée par un transistor. En commutation, la puissance dissipée possède 4 expressions différentes, selon l'état du transistor. Exemple pour un transistor commandé en commutation avec une période T .



• À la fermeture, on a : $P_F \approx V_{CE_0} \cdot I_{C_{sat}} \cdot t_f / 6T$.

• À l'ouverture, on a : $P_0 \approx V_{CE_0} \cdot I_{C_{sat}} \cdot t_f / 6T$.

• Pendant la phase de conduction, on a :

$$P_{cond} = V_{CE_{sat}} \cdot I_{C_{sat}} \cdot t_{cond} / T.$$

• Pendant la phase de blocage, on a :

$$P_{bloc} = V_{CE_0} \cdot I_{C_0} \cdot t_{bloc} / T.$$

$$P_{totale} = P_0 + P_F + P_{cond} + P_{bloc}.$$

Le calcul de la puissance dissipée permet par la suite de dimensionner le dissipateur thermique (radiateur) à adjoindre au transistor afin de limiter la température des jonctions. Les constructeurs précisent la puissance maximale dissipable.

2N2369A : $P_{max} = 360$ mW. 2N3773 : $P_{max} = 150$ W.



7_pui.cir

■ t_{ON}/t_{OFF}

Ce sont les temps de commutation :

t_{ON}^* : retard entre l'instant de commande par I_B de la saturation du transistor, et l'instant de saturation réel.

t_{OFF}^* : retard entre l'instant de commande par I_B du blocage du transistor, et l'instant de blocage réel.

t_{ON} et t_{OFF} limiteront la fréquence d'utilisation des transistors. On donne parfois $t_d^* = t_{ON} - t_r^*$ et $t_s^* = t_{OFF} - t_f^*$.

* Voir chronogrammes ci-dessus.

Les constructeurs précisent généralement la fréquence maximale de commutation :

2N2369A : $f_{max} = 500$ MHz. 2N3773 : $f_{max} = 8$ MHz.

7.4 TECHNOLOGIE

■ Les transistors petits signaux

Boîtier TO18 Boîtier TO92 Boîtier TO39



Constitution

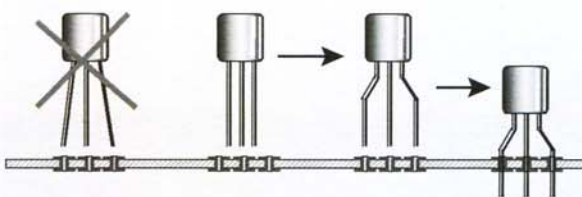
Ces composants à semi-conducteur se déclinent en plusieurs boîtiers, métalliques ou plastiques. Dans le cas des boîtiers métalliques, l'une des jonctions peut y être reliée, il faudra dans ce cas faire attention lors de l'utilisation à ne pas produire de court-circuit entre ces éléments. Les modèles en boîtiers métalliques sont plus onéreux que ceux en boîtiers plastiques, en contrepartie ils ont une résistance thermique plus basse, leur dissipation thermique sera meilleure. Des dissipateurs thermiques peuvent être adjoints aux composants à boîtiers métalliques.

Les boîtiers plastiques sont plus économiques.

Brochage des transistors

Un fabricant dispose de six façons de câbler un transistor dans un boîtier à trois broches. Aucun standard n'existe, on ne peut pas dire qu'un transistor en boîtier TO92 aura son émetteur sur telle ou telle broche. La seule solution pour s'assurer du branchement adéquat d'un transistor est donc de se reporter à la documentation du fabricant ou à un répertoire général des transistors.

Montage



Chacune des broches du composant ayant sa propre fonctionnalité, le sens de montage doit respecter l'implantation prévue.

Très souvent un transistor est implanté à des dimensions supérieures aux siennes, il faut donc reformer ses broches avant de le mettre en place.

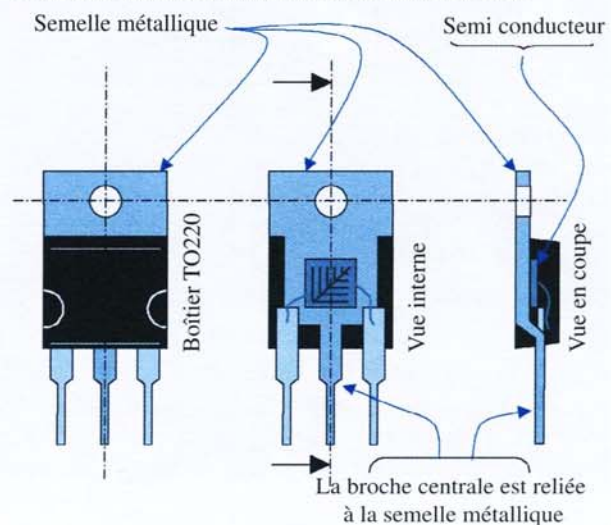
■ Transistors de puissance

Boîtier TO126 Boîtier TO220 Boîtier TO3



Constitution

Sauf exception, le plan de montage de ces transistors présente une surface métallique sur laquelle est soudé le semi-conducteur à l'intérieur du composant. La résistance thermique de la liaison métallique est faible et facilite ainsi le refroidissement du transistor.



Montage/Résistance thermique/Température

Résistance thermique et température maximale : ce sont les paramètres qui permettent de dimensionner le dissipateur thermique qui peut être nécessaire pour certains montages à forte puissance.

Montage : voir chapitre refroidisseur thermique pour le montage des transistors de puissance sur les dissipateurs thermiques.

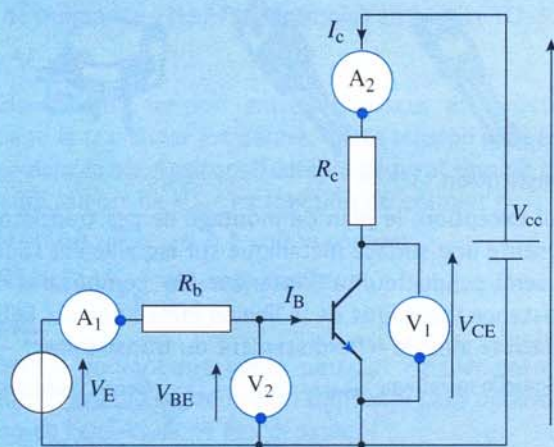
NOTIONS IMPORTANTES

- Savoir reconnaître un PNP ou un NPN, donner le nom aux broches et aussi le signe de I_B , I_C , V_{CE} et V_{BE} .
- Les schémas équivalents du transistor en fonction du régime de fonctionnement.
- La relation $I_C = \beta \times I_B$ valable uniquement en linéaire.
- Savoir définir et déterminer la saturation et le blocage d'un transistor.
- La forme des caractéristiques de transfert.
- La définition des paramètres techniques $V_{CE_{sat}}$, β , $V_{CE_{max}}$, P_D , $I_{C_{max}}$, $I_{B_{max}}$, $V_{BE_{invmax}}$.
- La définition et l'application du coefficient de sursaturation.
- La différence entre un transistor de signal et un transistor de puissance.

EXERCICES

Exercice 1 : bloqué, saturé ou linéaire ?

Soit le montage :



A₁ mesure le courant

A₂ mesure le courant

V₁ mesure la tension

V₂ mesure la tension

Les points repèrent les entrées COM des multimètres.

* À compléter.

$R_b = 40 \text{ K}\Omega$; $R_c = 1 \text{ K}\Omega$; $V_{CC} = 10 \text{ volts}$.

Le transistor, de type NPN/PNP**, possède une tension $V_{CE_{sat}}$ de 0,3 V et un rapport de transformation $\beta = 100$.

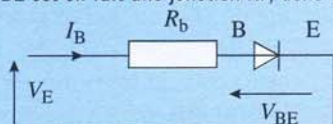
** Choisir le bon type

Nous allons faire varier la tension V_E et relever la valeur des autres paramètres.

V_E	0	0,5	1	2	3	4	4,5	5	7
$I_B (\mu A)$	0	0	10	35	60	85	97,2	109	159
$I_C (mA)$	0	0	1	3,5	6	8,5	9,7	9,7	9,7
V_{CE}	10	10	9	6,5	4	1,5	0,3	0,3	0,3
V_{BE}	0	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,62	0,65	0,65

1. Transistor bloqué

La jonction BE est en fait une jonction NP, donc une diode.



a) Repérer alors dans le tableau les colonnes pour lesquelles la jonction BE est bloquée.

Dans ces colonnes, le transistor est donc bloqué (jonction CE équivalente à un interrupteur ouvert).

b) Donner le schéma équivalent du montage, côté jonction CE.

c) Déterminer la valeur de I_C .

d) Calculer alors la valeur de la tension V_{CE} .

e) Comparer aux résultats du tableau de mesures.

2. Transistor en régime linéaire

Côté jonction BE, le schéma équivalent est toujours le même (diode).

Le régime linéaire se remarque quand la diode est passante et que $V_{CE} < V_{CE_{sat}}$.

a) Repérer alors dans le tableau les colonnes pour lesquelles le transistor fonctionne en régime linéaire.

b) Pour chacune de ces colonnes, calculer le rapport I_C/I_B , et comparer à β .

c) Donner alors la relation liant I_C à β et I_B .

Cette relation est valable uniquement en régime linéaire.

3. Transistor saturé

Côté jonction BE, le schéma équivalent est toujours le même (diode).

Le régime saturé se reconnaît quand la tension V_{CE} a atteint la valeur $V_{CE_{sat}}$.

a) Repérer alors dans le tableau les colonnes pour lesquelles le transistor fonctionne en régime saturé.

b) Donner le schéma équivalent du montage côté CE en remplaçant la jonction CE du transistor par une source de tension continue de valeur $V_{CE_{sat}}$.

c) Calculer alors la valeur de I_C . Cette valeur est appelée $I_{C_{sat}}$.

d) Pour les colonnes où le transistor est saturé, calculer le rapport I_C/I_B .

e) Le régime saturé se reconnaît donc aussi quand on a :

$I_C < \beta \cdot I_B$ ou $I_C > \beta \cdot I_B$ (Choisir la bonne affirmation)

Lancer l'exercice de simulation 7-1.cir.



Exercice 2 : caractéristiques techniques



Soit les caractéristiques techniques : [2N2222-Mot. pdf](#), [2N2907-Mot. pdf](#), [BC237-Mot. pdf](#) et [BD135-Mot. pdf](#).

Après avoir rappelé les définitions des différents paramètres, rechercher leurs valeurs dans les documentations techniques :

	NPN/PNP	$V_{CE_{max}}$	$V_{BE_{max}}$	$I_{C_{max}}$	$V_{CE_{sat}}$	β (hfe)
2N2222						
2N2907						
BC237A						
BD135						

Pour un transistor type 2N2222, relever la valeur des paramètres t_d et t_r , t_s et t_f après en avoir donné la définition.

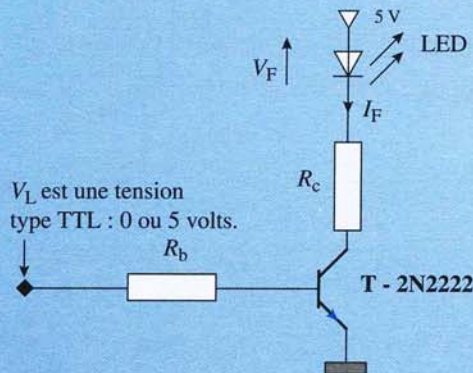
Exercice 3 : fonction visualisation d'état logique

Une LED (diode électroluminescente) est un dipôle qui, lorsqu'elle est parcourue par un courant suffisant, s'allume.

On utilisera les caractéristiques suivantes :

- $I_F > 10\text{mA}$ pour garantir un éclairage correct de la LED.
- $V_F = \text{constante} = 1,6\text{ V}$ quand la LED est allumée ($I_F > 10\text{ mA}$) et 0 V quand la LED est éteinte ($I_F = 0$).

Soit le montage :



1. Quand V_L est à l'état logique bas ($V_L = 0\text{ V}$), donner l'état du transistor T . (voir cours page 54).

Donner alors la valeur de I_B , I_F , V_F et V_{CE} .

Quand l'état logique est haut ($V_L = 5\text{ V}$), on souhaite que le transistor soit saturé avec un coefficient de sursaturation $k = 3$.

On souhaite aussi dans ce cas avoir $I_F = I_{C_{\text{sat}}} = 10\text{ mA}$.

2. Choix de R_b

Il faut donc $I_B = k \cdot I_{C_{\text{sat}}} / \beta$. On sait (voir exercice 7.2) que $35 < \beta < 300$ pour un transistor 2N2222.

a) Donner la loi des mailles comprenant les tensions V_L , V_{BE} et $R_b \cdot I_B$.

b) Calculer $I_{B_{\text{max}}} = k \cdot I_{C_{\text{sat}}} / \beta_{\text{min}}$ et $I_{B_{\text{min}}} = k \cdot I_{C_{\text{sat}}} / \beta_{\text{max}}$.

Quelle valeur de I_B choisir afin d'être certain de saturer le transistor avec un coefficient de sursaturation de 3 ?

c) Sachant que $V_{BE} = 0,8\text{ volts}$ en saturation, calculer la valeur de R_b de façon à satisfaire : $I_B > k \cdot I_{C_{\text{sat}}} / \beta$.

d) Choisir R_b normalisée dans la série E12 en justifiant ce choix (recalculer I_B avec R_b normalisée).

3. Choix de R_c

a) Donner la loi des mailles côté jonction CE.

b) Sachant que l'on souhaite $I_{C_{\text{sat}}} = I_F = 10\text{ mA}$ au minimum pour un bon éclairage de la LED et que $V_{CE_{\text{sat}}} = 0,2\text{ V}$, calculer la valeur à donner à R_c .

c) Choisir R_c normalisée dans la série E12 en justifiant ce choix (recalculer I_c avec R_c normalisée).

Exercice 4 : fonction alimentation de moteur à courant continu

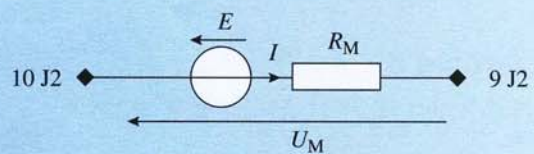
Afin de simplifier le fonctionnement d'un moteur à courant continu (MCC), on remplacera ce dernier par une f.e.m. (force électromotrice) E et une chute de tension $R \times I$. Sachez encore que la vitesse du moteur est proportionnelle à la valeur de la f.e.m. E .

Soit les fonctions FS1-9 et 11 de l'enregistreur LM300. La fonction FS 1-9 est un pont en H (voir cours MCC).

Quand le moteur tourne dans le sens 1, les transistors T_1 et T_4 sont commandés (T_2 et T_3 bloqués). Dans le sens 2, T_2 et T_3 sont commandés.

a) Dans le sens 1, donner le schéma équivalent du pont en remplaçant les transistors bloqués par des interrupteurs ouverts. On négligera la chute de tension dans R_{31} .

On adoptera le schéma équivalent suivant pour le MCC :



On notera V_E la tension au point TP9 (tension sur base de T_1 et T_2) et V_E' , la tension au point TP11 (tension sur base de T_3 et T_4).

b) Relever dans la documentation technique du transistor BD 135 et BD 136 (BD135-Mot. pdf), la valeur de I_C à ne pas dépasser, la valeur de $V_{BE_{\text{ON}}}$ en fonctionnement, ainsi que la valeur de $V_{CE_{\text{sat}}}$.

c) Soit $V_E = -V_E' = 5\text{ volts}$. Connaissant alors la valeur des tensions V_{BE} , calculer la valeur de U_M (loi des mailles comprenant V_E , V_E' , et V_{BE} de T_1 et T_4). T_4 est un transistor PNP !

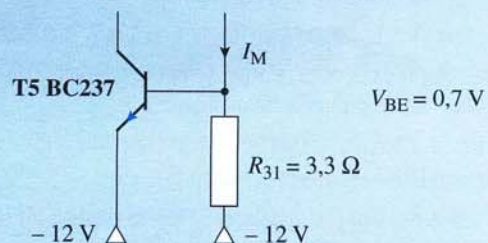
d) Sachant que $0\text{ V} < V_E < 8,8\text{ V}$, calculer les valeurs minimale et maximale de U_M , la tension d'alimentation du moteur.

Exercice 5 : fonction limitation de courant

Soit la fonction FS 1-10 de l'objet technique enregistreur LM300.

1. À la base

Soit le montage situé sur la base du transistor :



a) En considérant le transistor bloqué, donner la relation liant V_{BE} à R_{31} et I_M .

b) Calculer la valeur de I_M qui permet de débloquent le transistor. Dans quel état se trouve alors le transistor juste après avoir quitté le régime bloqué ?

2. Au collecteur

a) Lorsque le transistor n'est plus bloqué, la diode (D_1 ou D_2) qui a son anode au potentiel le plus haut est passante.

Soit $V_{CDE_1} = -V_{CDE_2} = 3\text{ V}$ et $I_M = 0,25\text{ A}$, donner le schéma équivalent du circuit collecteur en remplaçant la diode bloquée par un interrupteur ouvert, et celle passante par une tension de seuil de 1 V.

Calculer alors V_{TP15} .

b) Soit $V_{CDE_1} = -V_{CDE_2} = 3\text{ V}$ et $I_M = 0,1\text{ A}$; les deux diodes sont bloquées. Donner le schéma équivalent du circuit collecteur de T5 en remplaçant les diodes bloquées par des interrupteurs ouverts. Calculer alors V_{TP15} .

3. Lancer l'exercice de simulation 7-5.cir.



Exercice 6 : T_i , T_f

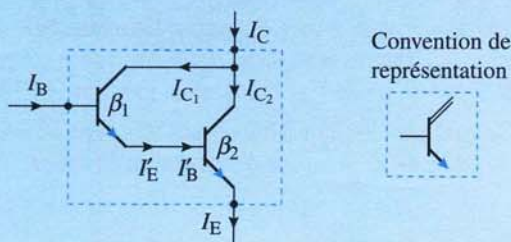
Soit la fonction FP 5 de l'objet technique serrure à code.

Lancer l'exercice de simulation 7-6.cir.



Exercice 7 : Darlington

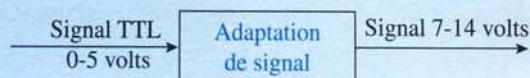
Soit le schéma interne d'un transistor Darlington :



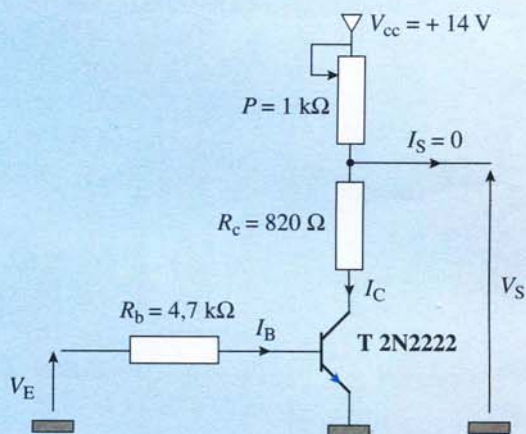
- Donner l'expression de I_C en fonction I_{C1} et I_{C2} (relation 1).
- Donner l'expression de I_{C1} en fonction de β_1 et I_B (relation 2).
- Donner l'expression de I_{C2} en fonction de β_2 et I_{E1} , puis celle de I_{C2} en fonction de β_2 et I_E (relation 3).
- Donner l'expression de I_E en fonction de I_B et I_{C1} (relation 4).
- Remplacer dans cette relation I_{C1} par la relation (2). Cette nouvelle relation sera appelée relation (5).
- Dans la relation (3), remplacer I_E par la relation (5). Cette nouvelle relation est appelée relation (6).
- Dans la relation (1), remplacer I_{C1} par la relation (6) et I_{C2} par la relation (2).
- De cette dernière relation, déduire l'expression du rapport des courants I_C/I_B .
- Si $\beta_1 = \beta_2 = 100$, calculer I_C/I_B pour un transistor Darlington et comparer au rapport I_C/I_B d'un transistor seul.
- Conclure.

Exercice 8 : fonction adaptation de signaux

Soit la fonction suivante :



Cette fonction est réalisée par la structure suivante :



Soit les caractéristiques techniques du transistor 2N2222 : ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T A = 25 °C) ON CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
DC Current Gain	h_{FE}	75	300	
Collector – Emitter Saturation Voltage	V_{CEsat}	0.3	1.0	Vdc
Base – Emitter Saturation Voltage (1)	V_{BEsat}	0.6	1.2	Vdc

1. Étude qualitative

En supposant T parfait ($V_{CEsat} = 0\text{ V}$) et $P = R_c$, remplir le tableau suivant :

V_E (V)	État de T^*	V_S (V)
0		
5		

2. $V_E = 5\text{ volts}$; dimensionnement des composants. On supposera le transistor saturé (ON).

- Donner la loi des mailles contenant les tensions R_b , I_B , V_E et V_{BE} .
- Rechercher les valeurs min et max de V_{BE} dans la documentation technique. Calculer alors I_{Bmin} et I_{Bmax} .
- Quand le transistor est saturé, que vaut V_{CE} ? Choisir pour les calculs la valeur minimale de V_{CEsat} (voir doc technique plus haut).
- Grâce à la méthode du pont diviseur, donner l'expression de V_S en fonction de V_{CC} , V_{CEsat} , P et R_c . En déduire la valeur à donner à P afin d'obtenir $V_S = 7\text{ volts}$ quand T est saturé.
- Calculer la valeur de I_C qui sera notée I_{Csat} .

f) Donner l'expression de I_B en fonction de β et I_C valable en régime linéaire (relation 1). Donner les valeurs min et max de β ($= h_{fe}$). Calculer le courant $I_{B_{sat_{max}}}$ et $I_{B_{sat_{min}}}$ avec la relation (1). On prendra bien sûr $I_C = I_{C_{sat}}$. Comparer $I_{B_{sat_{max}}}$ à $I_{B_{max}}$ trouvé à la question b).

Justifier la saturation du transistor et déterminer le coefficient de sursaturation k_s .

g) Pourquoi a-t-on choisi un potentiomètre à la place d'un simple résistor ?

Exercice 9 : adaptation de courant

Voir exercice d'application de la fonction FS2.8 de l'objet technique enregistreur LM300.

V/F

VRAI OU FAUX

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | $V_{CE_{sat}}$ est la tension maximale pouvant être atteinte par un transistor. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Un transistor de puissance est un transistor dont l'amplification en courant β est élevé. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | En commutation, le transistor travaille en bloqué ou saturé. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Il existe différents boîtiers capables de contenir des transistors bipolaires. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | H_{fe} est la fréquence haute maximale de fonctionnement d'un transistor bipolaire. |