

MINISTRE DE L'EDUCATION
NATIONALE ET DE L'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE



ANNEE ACADEMIQUE : 2021 - 2022

SUPPORT DE COURS/ ELECTRONIQUE ANALOGIQUE 1BT/ELECTRONIQUE

*GROUPE ETIC
(2plateaux, Marcory,
Yopougon, Abobo,
Korhogo, Bondoukou et
Odiennée*

PROFESSEUR

Monsieur

GNOKO TETTY PATRICK

0759149424/0504112207/0140152651

Electronique analogique**1^{ère} année****2 heures / semaine**

Séance	Activités pédagogiques	Volume horaire
	Chapitre 1 : CONSTITUTION DE LA MATIERE.....3	
	Chapitre 2 : SEMI-CONDUCTEUR.....7	
	Chapitre 3 : APPLICATION DES SEMI-CONDUCTEURS EXTRINSEQUES.....14	
	Chapitre 4 : LA DIODE A JONCTION.....19	
	Chapitre 5 : LA DIODE ZENER.....29	
	Chapitre 6 : LA DIODE SCHOTTKY.....34	
	Chapitre 7 : LA DIODE VARICAP.....36	
	Chapitre 8 : LA DIODE ELECTROLUMINESCENTE.....38	
	Chapitre 9: LE TRANSISTOR BIPOLAIRE.....40	
	Chapitre 10 : TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP (JFET).....51	
	Chapitre 11 : TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE ISOLEE ET A CANAL INDUIT (MOSFET.....56	
	Chapitre 12 : PHOTODIODE.....61	
	Chapitre 13 : PHOTO TRANSISTOR.....69	

Chapitre 1 : CONSTITUTION DE LA MATIERE

I. DEFINITIONS

1. L'atome

C'est la plus petite partie d'un élément qui est indivisiblement, inséparable.

2. Ion positif ou cation

C'est un atome qui a perdu un ou plusieurs électrons. Il existe aussi des molécules ioniques.

Exemple : H^+ , Na^+ , Li^+

3. Ion négatif ou anion

C'est un atome qui a gagné un ou plusieurs électrons.

4. La molécule

C'est un élément qui est constitué d'un ensemble d'atomes. C'est donc la plus petite partie d'un corps.

5. Corps simple

C'est un corps ou une molécule constituée d'atomes identiques.

6. Corps composé

C'est une molécule est constituée d'atomes différents.

7. La matière

C'est tout ce que l'on peut toucher ou sentir. Elle peut se présenter sous plusieurs formes ou aspects : solides, liquides, gazeux. C'est aussi un ensemble de molécules.

8. Notion de moles – constante d'Avogadro

La mole d'une molécule ou d'un atome est la quantité de matière contenant $6,02.10^{23}$ molécules ou atomes. Ce nombre s'appelle la **constante d'Avogadro** ou **nombre Avogadro**.

II. STRUCTURE DE L'ATOME

1. Constitution

L'atome est constitué d'électrons et d'un noyau central. Le noyau a une forme sphérique de même que l'atome.

Le noyau est constitué de protons (de masse $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$), de charge élémentaire ($q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) et de neutrons (de masse $m_n = m_p$ et non chargé). Les électrons sont des particules de masse $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ et de charge électrique $q_e = e^- = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

La masse d'électron étant négligeable devant celle du proton alors la masse de l'atome est concentrée dans le noyau.

❖ **Représentation**

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Remarque : la masse d'un atome s'obtient en divisant la masse atomique par le nombre d'Avogadro

$$M_{\text{atome}} = \frac{A}{\eta} \text{ avec } \eta \text{ le nombre d'Avogadro}$$

Dans un atome, le nombre de neutrons est au moins égale au nombre de protons ($n_N \geq n_P$) sauf l'atome d'hydrogène où l'on a un proton et zéro neutron.

Exemple :

2. Neutralité électronique

Dans un atome, le nombre de protons (porteurs de charge positive) est égal au nombre d'électrons. L'atome est donc **électriquement neutre**.

Démonstration :

3. Les couches électroniques

Les électrons qui gravitent autour du noyau ont des niveaux d'énergies différents. On les répartit sur **7 couches** électroniques repérées dans l'ordre par les lettres **K, L, M, N, O, P et Q**. **K** est la couche la plus proche du noyau tandis que **Q** est la plus éloignée. Chacune de ses couches doit comporter au maximum un certain nombre d'électrons selon la règle suivante : **n^{ième} couche → 2n² électrons**.

Ainsi pour la couche **K** → 2 e⁻, pour la couche **L** → 8e⁻, pour la couche **M** → 18e⁻, pour la couche **N** → 32e⁻, pour la couche **O** → 50e⁻, pour la couche **P** → 72e⁻, pour la couche **Q** → 98e⁻.

Remarque :

- Les couches **O, P et Q**, les éléments actuellement connus ne sont pas complète. On a : **O** → 28 e⁻, **P** → 13 e⁻, **Q** → 2 e⁻.
- Quand une couche est complète on dit qu'elle est saturée
- les atomes qui ont le même nombre d'électrons sont des isotopes
- la couche externe est la couche la plus externe, de l'atome. Elle est aussi appelée couche périphérique ou couche valence. Cette couche comporte au maximum **8 électrons** sauf s'il s'agit de la couche **K** qui ne comporte que maximum 2 e⁻.

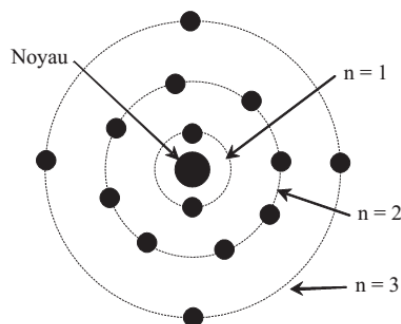
4. Formules électroniques d'un atome

C'est une formule qui met en évidence la répartition des électrons d'un atome sur ses couches électronique.

Exemples :

- Cuivre: ₂₉Cu.....
- Potassium: ₁₉K.....
- Rubidium: ₃₇Rb.....

Exemple de répartition pour l'atome de silicium : ₁₄Si

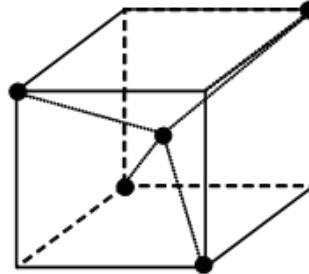


Chapitre 2 : SEMI-CONDUCTEUR

I) SEMI CONDUCTEUR PUR OU INTRINSEQUE

I-1) Définition

C'est un semi-conducteur pur ou parfait qui présente un cristal dans lequel chaque atome est placé au centre d'un tétraèdre dont les sommets sont occupés par les quatre atomes les plus proches.



I-2) Conductibilité intrinsèque

Compte tenu de la régularité et de l'homogénéité de la structure cristalline des semi-conducteurs intrinsèques, il est difficile d'imaginer une conductibilité électrique. Car il est impossible de déplacer un élément sans bousculer l'ensemble.

I-2-1) Basse température

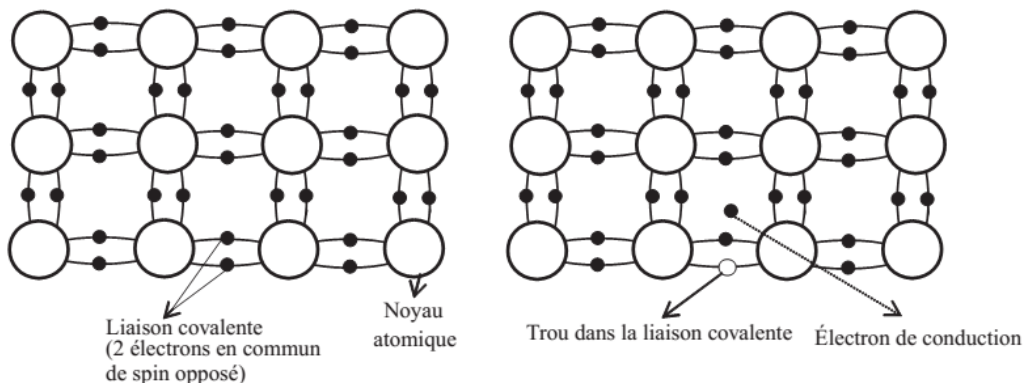
Le réseau cristallin se comporte comme un isolant à basse température car il n'y a aucune agitation thermique, donc pas d'énergie pour arracher les électrons du monocristal.

I-2-2) Haute température

A haute température, sous l'effet de l'agitation thermique, certains électrons sont arrachés de leur orbite et peuvent se mouvoir dans le monocristal. Ils deviennent des électrons libres. Dans le même temps, l'atome devient positif. Il a alors une liaison incomplète avec ses voisins. Si l'un d'entre eux lui cède un électron, il devient électrique neutre mais l'autre devient à son tour positif ainsi de suite.

Ainsi leur conductivité est due aux déplacements des électrons et des trous dans le monocristal suite à l'élévation de température. Ces déplacements sont de sens opposés.

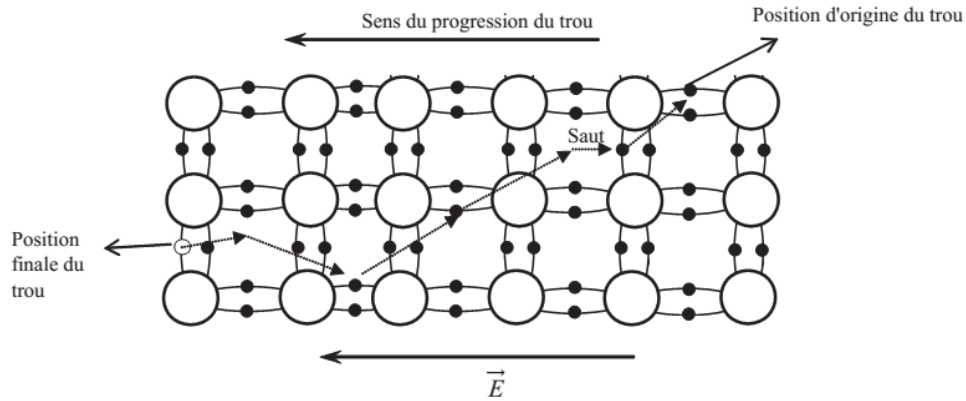
Voir figures illustratives



Si un champ E agit sur le corps, un mouvement d'ensemble se superpose au mouvement désordonné créé par l'agitation thermique. Le champ ainsi imposé par une polarisation extérieure, fait apparaître un courant électrique qui sera formé par le déplacement des électrons et des trous dans le sens opposé.

NB : La conductivité d'un semi-conducteur croît avec la température.

Voir figures illustratives (Déplacement d'un trou sous l'effet d'un champ électrique)



II) SEMI-CONDUCTEUR EXTRINSEQUE

II-1) Dopage

C'est l'introduction d'une impureté dans un semi-conducteur pur en quantité infime convenablement choisie. Ce qui modifie la conductibilité des semi-conducteurs à tel point qu'on dit que la conductibilité est essentiellement due à la présence du dopeur(**impureté**). Le semi-conducteur obtenu est appelé semi-conducteur extrinsèque ou semi-conducteur dopé.

On deux types d'impureté :

- Pentavalent (5 électrons sur la dernière couche) :

Exemples: Phosphore ($_{15}\text{P}$); Arsenic ($_{33}\text{As}$); Antimoine ($_{51}\text{Sb}$)

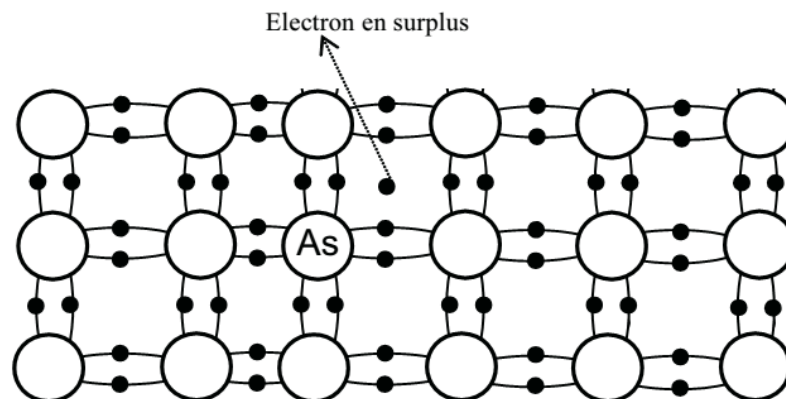
- Trivalents (3 électrons sur la dernière couche) :

Exemples: Bore ($_{5}\text{B}$); Gallium ($_{31}\text{Ga}$); Indium ($_{45}\text{In}$)

II-2) Semi-conducteur de type N

Le dopeur (**donneur**) possède 5 électrons sur sa dernière couche. Ces atomes prennent la place des atomes de semi-conducteurs dans le tétraèdre et échange les électrons de leur couche périphérique avec ceux des atomes voisins.

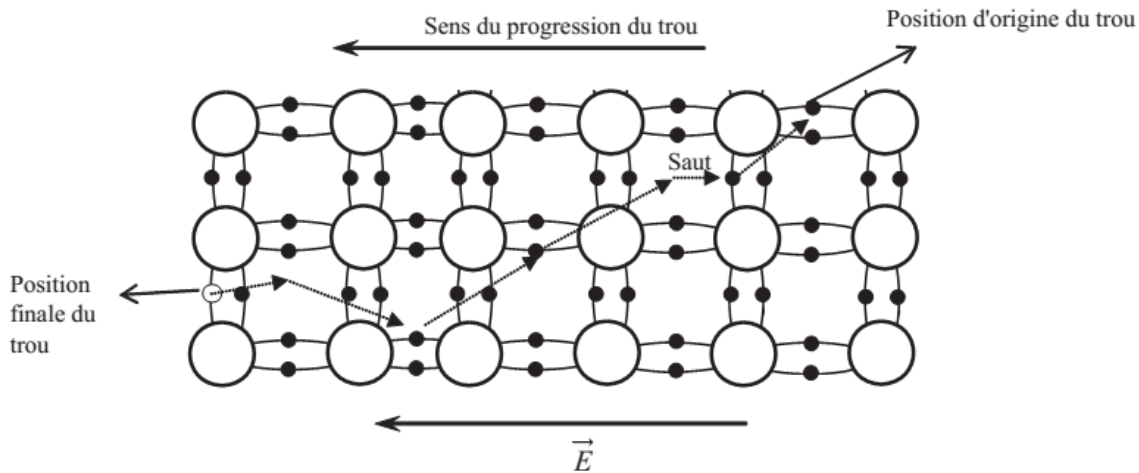
Sur les 5 atomes périphériques, 4 sont fixés sur les atomes voisins, le cinquième gravite autour de l'atome d'impureté.



On dit que dans un semi-conducteur de type N, il ya excès d'électrons. Les électrons sont dit porteurs majoritaires, les trous sont dit porteurs minoritaires.

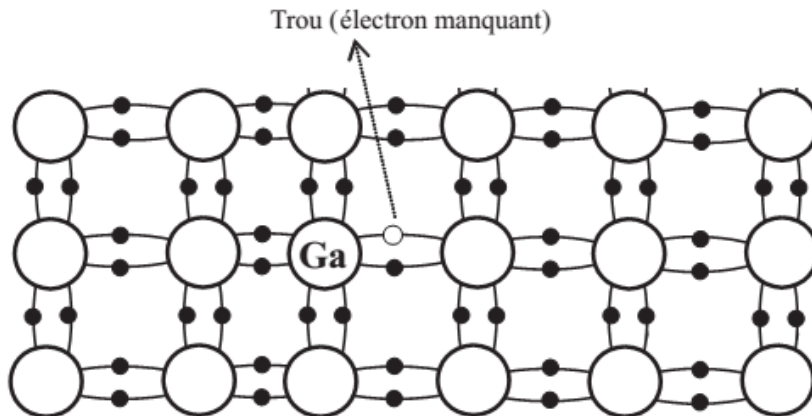
Dès que la température s'élèvera très légèrement, cet électron « célibataire » va être le premier à s'arracher de l'attraction du noyau et sera ainsi la cause de la conduction électrique. Mais l'ensemble formé par l'atome d'impureté ne possédant que 4 électrons va devenir une charge positive capable d'attirer un autre électron passant près de lui.

Etant donné qu'il ya excès d'électron, si nous appliquons une charge électrique au système il ya déplacement des électrons libres.



II-3) Semi-conducteur type P

Le dopeur (*accepteur*) possède 3 électrons sur sa dernière couche. De même que pour les semi-conducteurs de type **N**, ils prennent la place de certains atomes du semi-conducteur mais, n'ont que 3 électrons à échanger avec les 4 atomes voisins. Il y a donc un trou disponible. Ce trou caractérisé par l'absence d'électron sera appelé trou positif.



On dit donc que dans un semi-conducteur de type **P**, les trous sont en excès alors ils sont dits porteurs majoritaires et les électrons sont dits porteurs minoritaires.

Ainsi lors d'une agitation thermique, ce trou demandera à être comblé mais l'élément introduit devenant négatif aura tendance à chasser cet électron nouvellement arrivé.

L'agitation thermique nécessaire à l'apparition d'un électron dans le trou sera plus importante que celle nécessaire à libérer l'électron « célibataire » du type **N**. Car dans le type **P**, l'électron devra être arraché au monocristal du semi-conducteur et de plus l'élément d'impureté électriquement neutre aura tendance à repousser ce nouvel arrivé. Alors que dans le cas du type **N**, il n'y aura que force d'attraction d'électron « célibataire » par l'élément d'impureté à vaincre.

Donc aux basses températures, le monocristal de type **N** seul réagira et ce n'est qu'aux températures élevées que le monocristal de type **P** réagira.

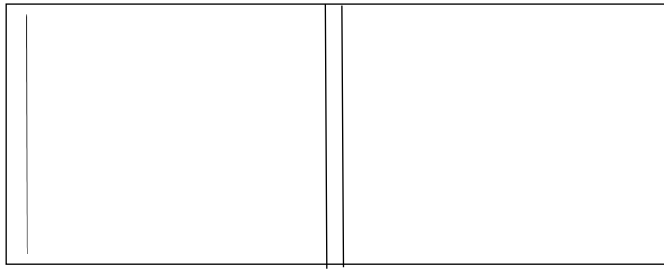
III) JONCTION PN EN CIRCUIT OUVERT OU NON POLARISE

Si nous approchons 2 semi-conducteurs de type **p** et de type **n** réalisés dans des cristaux différents. Ceux-ci gardent leur caractère propre. La zone de contact est une frontière de séparation.

Si par contre les 2 composants sont réalisés dans un même cristal (même matière), il se produit une des modifications internes dans une zone de faible épaisseur. Cette région s'appelle zone de séparation ou jonction **PN**.

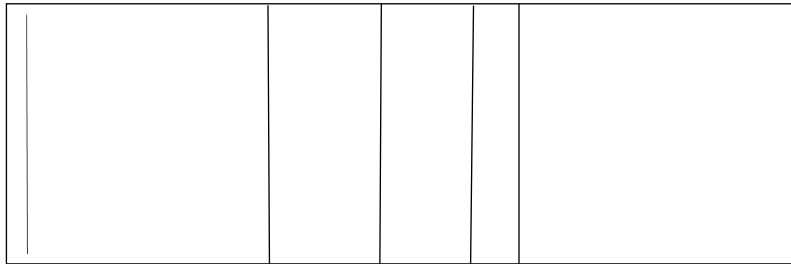
Nous avons une quantité importante d'électrons libres dans la zone **N** et une quantité importante de trous dans la zone **P**. Les électrons libres iront se diffuser dans la zone **P** et les trous dans la zone **N**. Les

porteurs se trouvant dans la **zone de transition** se recombinent à raison d'un électron par trou de part et d'autre de la jonction.

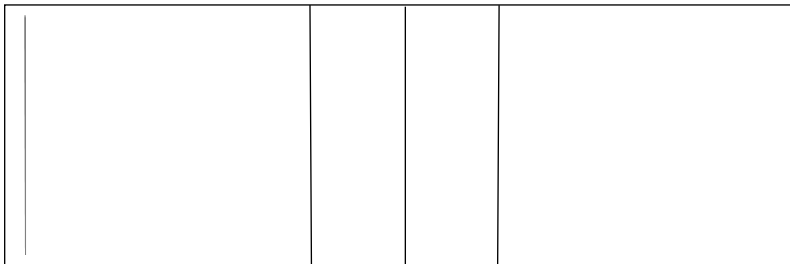


Jonction PN

Cette recombinaison va charger la zone **P** négativement et la zone **N** positivement et ce non loin de la jonction **PN**.



Cette charge repousse les porteurs majoritaires de chaque partie et arrête la recombinaison. Il apparaît alors entre les deux parties une **différence de potentiels** appelée **barrière de potentiel**.



Barrière de potentiel

IV) JONCTION PN POLARISEE

IV-1) Polarisation en direct

Lorsqu'une tension positive est appliquée à la jonction **PN**, celle-ci est polarisée en direct comme ci-dessous :



Si la tension **U** est faible, aucun porteur ne peut franchir la barrière de potentiel car **U** n'est pas suffisant pour vaincre la barrière de potentiel.

Si on augmente progressivement **U** on constate qu'à partir de **0,2V** (pour le Germanium) et **0,7V** (pour le silicium) appelé seuil de détection ou tension de seuil, il ya passage de porteur dans la barrière de potentiel donc circulation du courant. On dit que la jonction est passante.

IV-2) Polarisation inverse

Lorsqu'une tension négative est appliquée à la jonction, celle-ci est polarisée en inverse.



La barrière de potentiel augmente car les polarités du générateur étant inversées, les électrons de la zone **N** sont attirés par les pôles + de même les trous sont attirés par le pôle –. Ainsi la barrière ne peut être franchie donc la jonction n'est parcourue par aucun courant. Alors elle se comporte comme un isolant. On dit que la jonction est bloquée.

Mais si la tension externe de la polarisation inverse U est augmentée suffisamment. Le claquage inverse survient. En voici l'explication : assumons qu'un électron majoritaire de la bande de conduction acquiert assez d'énergie de la source externe pour accélérer vers la borne positive de la jonction **PN**. Pendant son déplacement, il se heurte avec un atome et transmet assez d'énergie pour enfoncer un électron de valence dans la bande de conduction. Il y a maintenant 2 électrons dans la bande de conduction. Chacun d'eux entre en collision avec un atome, rabattant 2 autres électrons de valence dans la zone de conduction. Il y a maintenant 4 électrons dans la bande de conduction qui, à leur tour, en rabattent 4 autres dans la zone de conduction. Cette multiplication rapide d'électrons dans la bande de conduction, connue sous le nom d'avalanche, entraîne une augmentation rapide du courant inverse.

RESUMES DES 2 CHAPITRES

- *Un atome est défini comme étant constitué d'un noyau contenant des protons et des neutrons autour duquel gravitent des électrons.*
- *Les protons sont positifs, les neutrons sont neutres et les électrons sont négatifs.*
- *Les couches atomiques sont des bandes énergétiques.*
- *La couche la plus éloignée contenant des électrons est la couche de valence.*
- *Le silicium et le germanium sont des semi-conducteurs. Le silicium est plus utilisé.*
- *Des atomes à l'intérieur d'une structure de cristal sont tenus ensemble par des liens covalents.*
- *Les paires électron-trou sont produites par l'énergie thermique.*
- *Le procédé qui permet d'ajouter des impuretés à un semi-conducteur intrinsèque (pur) pour augmenter et contrôler la conductibilité est appelé dopage.*
- *Un semi-conducteur de type P est dopé avec des atomes d'impureté trivalents.*
- *Un semi-conducteur de type N est dopé avec des atomes d'impureté pentavalents.*
- *La région d'appauvrissement est la région adjacente à la jonction PN qui ne contient pas de porteurs majoritaires.*
- *La polarisation directe permet le courant porteur majoritaire à travers la jonction PN.*
- *La polarisation inverse empêche le courant porteur majoritaire.*
- *Une structure PN est appelée une diode.*
- *Le courant de fuite inverse est produit par les paires électrons-trou créées par l'énergie thermique.*
- *Le claquage inverse survient lorsque la tension de polarisation inverse excède une valeur spécifique.*

**SEANCES D'EXERCICES : Notions physiques des semi-conducteurs
et jonction PN
AUTO-TEST**

1. La charge des électrons est :

- a) positive b) négative c) neutre d) variable

2. Le nombre d'électrons de valence dans le silicium et le germanium est :

- a) deux b) huit c) quatre d) dix-huit

3. Lorsqu'un atome perd ou gagne un électron de valence, l'atome devient :

- a) Covalent b) neutre c) un cristal d) un ion

4. A l'intérieur d'un cristal, les atomes sont tenus ensemble par :

- a) De la colle atomique b) des particules subatomiques

- c) des liens covalents d) la bande de valence

5. Les électrons libres existent dans la :

- a) bande de valence b) bande de conduction
c) bande la plus basse d) bande de recombinaison

6. Un trou est :

- a) une place vacante dans la bande de valence laissée par un électron
b) une place vacante dans la bande de conduction
c) un électron positif
d) un électron de la bande de conduction

7. L'écart énergétique le plus large entre la bande de valence et la bande de conduction est celui dans :

- a) les semi-conducteurs b) les isolants c) les conducteurs d) un vacum

8. Le procédé d'ajout d'atome d'impureté dans un semi- conducteur pur est appelé :

- a) recombinaison b) cristallisation c) liaison d) dopage

9. Les deux types de courant dans un semi-conducteur sont :

- a) le courant positif et le courant négatif
b) le courant d'électron et le courant de convention
c) le courant d'électron et le courant de trou
d) le courant avant et le courant inverse

10. Les porteurs majoritaires dans un semi – conducteur de type N sont les :

- a) électrons b) trous c) ions positifs d) ions négatifs

11. La jonction PN se retrouve dans :

- a) les diodes b) les transistors c) tous les semi-conducteurs d) a) et b)

12. Dans une diode, la région près de la jonction PN constituée d'ions positifs négatifs est appelée la :

- a) zone neutre b) région de recombinaison
c) région d'appauvrissement d) zone de diffusion

13. Le terme désignant la tension continue fixe qui met un composant à semi- conducteur en état opérationnel est :

- a) la polarisation b) la tension d'appauvrissement
c) la pile d) la barrière de potentiel

Chapitre 3 : APPLICATION DES SEMI-CONDUCTEURS EXTRINSEQUES

I – LES THERMISTANCE (CTN – CTP)

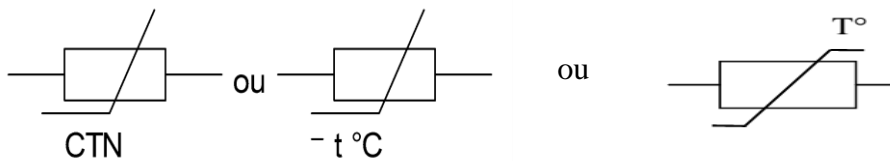
Ce sont des résistances dont la valeur varie en fonction de la température. On distingue deux types : les **CTN** (Coefficient de Température Négatif) et les **CTP** (Coefficient de Température Positif). D'une manière générale, ce sont des résistances constituées de semi-conducteurs soit à coefficient de température négatif élevé (**CTN**) ou de coefficient de température positif élevé

I-1) Les CTN (Résistance à coefficient de Température Négatif) ou (NTC en Anglais)

I-1-1) Constitution

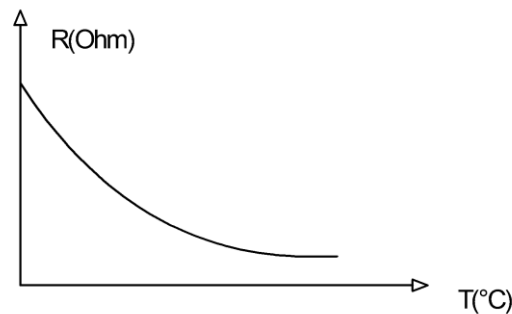
En général les **CTN** sont fabriqués à base de solution d'oxydes de fer associée à des oxydes de titane, de lithium, de Nickel, de Cobalt etc....

I-1-2) Symboles



I-1-3) Fonctionnement

Elles ont un coefficient de température négatif donc leur résistance diminue fortement lorsque la température augmente et elle augmente fortement lorsque la température diminue comme l'indique la courbe ci-dessous mais sans dissipation.



I-1-4) Formule liant U_t et R_t

$U = R_t \cdot I$ avec $R_t = R_0 e^{\alpha t}$ (courbe exponentielle).

- R_0 : résistance à la température 0°C .
- R_t : résistance à la température $t^\circ\text{C}$.
- e : base des logarithmes népérien (2,718).
- α : coefficient de température compris entre -1 et -9 $^\circ/\text{par } ^\circ\text{C}$.

$$\alpha = -B / T^2$$

α est négatif et varie avec la température.

B : constante qui dépend de la nature du matériau.

La valeur de cette constante est comprise entre **1 000** et **8 000** suivant le matériau choisi.

T : température absolue en ($^\circ\text{K}$)

NB : La résistance nominale et sa tolérance : La résistance nominale est choisie parmi les termes de la série **E6**

I-1-5) Applications

- Contrôle de température ;
- Thermostats- Détecteurs d'incendie ;
- Régulation de tension pour faible puissance.
- Protection contre les surintensités.

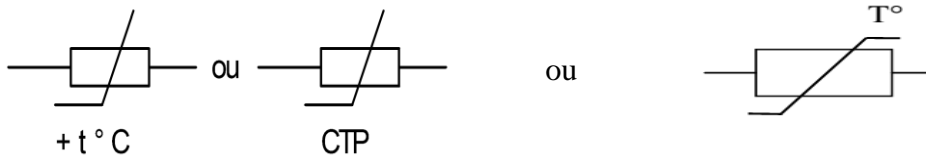
I-2) Les CTP (Résistance à coefficient de Température positif) ou (PTC en Anglais)

I-2-1) Constitution

Elle est constituée par du titanate de baryum, qui présente une résistivité qui croit rapidement au-delà d'une certaine température appelé point de Curie.

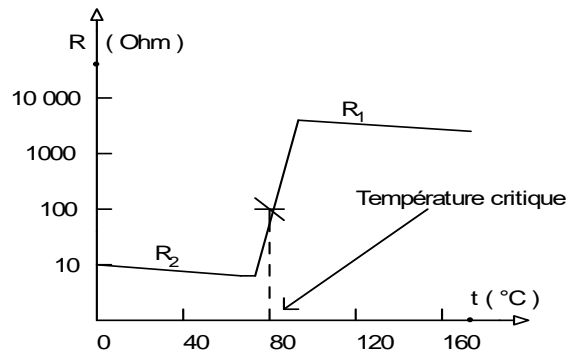
Le point de Curie peut être modifié à volonté de 30°C à 100°C au moyen d'additifs, de même que le coefficient de température.

I-1-2) Symboles



I-2-2) Fonctionnement

Elles ont un coefficient de température positif donc leur résistance augmente fortement lorsque la température augmente et atteint une température critique appelée point de Curie. Puis elle diminue fortement lorsque la température diminue selon la courbe ci- dessous :



NB : Cette courbe présente :

- Zone 1 : située entre 0 et le point de Curie, où le coefficient de température est légèrement négatif.
- Zone 2 : Très étroite, où le coefficient de température devient très nettement positif
- Zone 3 : où le coefficient de température redevient négatif.

I-2-3) Applications

- Protection contre les échauffements.
- Stabilisation de tension.

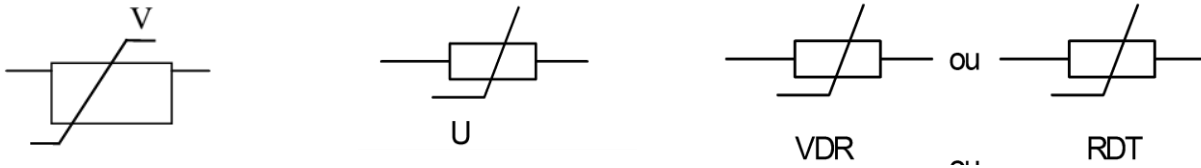
NB : Les thermistances peuvent être utilisées pour mesurer la température à l'intérieur d'un appareil ou d'un radiateur d'amplificateur et déclencher une ventilation forcée (ventilateur) à partir d'un certain seuil de température.

II – Les varistance ou VDR (Voltage Depending Resistor) ou Varistor en Anglais) ou RTD (Résistor Dépendant de la Tension).

II-1) Constitution

Elle est constituée essentiellement par du carbure de silicium ou d'oxyde métallique.

II-2) Symboles



II-3) Fonctionnement

La valeur de leur résistance diminue quand la tension à leurs bornes augmente à partir d'une tension de seuil. Puis elle augmente quand la tension à leurs bornes diminue. Cette propriété s'exprime par la loi suivante :

$$U = K \cdot I^n \quad \text{avec} \quad K = K_0 (1 + \alpha \cdot t)$$

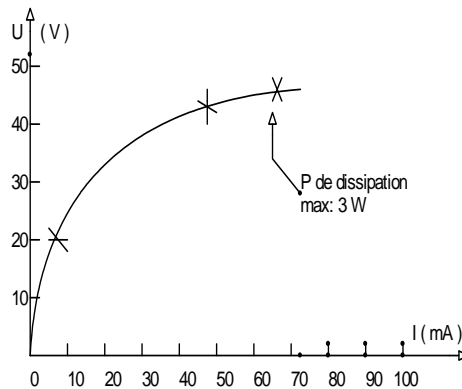
I : Courant traversant la varistance ;

U : Tension appliquée aux bornes de la **VDR** ;

n : exposant de tension pour **VDR** donnée (compris entre 0,14 et 0,5) ;

K : Constante du matériau qui dépend du matériau, de la forme et des dimensions dont les valeurs se situent généralement entre 30 et 2 000

α : est le coefficient de température négatif qui varie de $-0,1$ à $-0,2$ $^{\circ}/^{\circ}$ par $^{\circ}\text{C}$ en fonction de la température.



II-4) Applications

- Régulation de tension.
- Protection contre les surtensions (Elle protège les montages d'une surtension. Elle est capable d'absorber des courants très importants (100A à 1000A) pendant une courte durée (8 à 20 μ S)).
- Parafoudre haute et basse tension.

**Séances d'exercices du Chapitre 3 : APPLICATION DES SEMI-CONDUCTEURS
EXTRINSEQUES**
EXERCICE 1 : Etude d'un stabilisateur de tension thermistance CTN

Soit une source de tension réglable E variant de $24V \pm 15\%$ de $24V$ en série avec une résistance R . Le tout en parallèle avec deux éléments dont : une CTN en série avec une résistance $r = 15\Omega$, puis une résistance $R_C = 800\Omega$. Le courant circulant dans r et la CTN est noté i , la tension aux bornes de r est notée U_r et celle aux bornes de la CTN est notée U_t et la tension aux bornes des éléments en parallèle est notée U .

- 1) A partir des informations données ci-dessous, réalisez le schéma du montage en annotant, U_r , U_t et i .
- 2) Etablissez la relation entre i , U , E , R et R_C .
- 3) Calculez R pour $i = 60\text{mA}$.
- 4) Entre quelles limites U varie-t-elle, lorsque E varie de $\pm 15\%$ autour de la valeur $24V$.

Réponses : 2) $i = (E-U)/R - U/R_C$, 3) $R = 200\Omega$, 4) $U = 9,55V$ et $U = 9,5V$

EXERCICE 2

La résistance d'une thermistance varie avec la température selon la loi : $R(T) = A \cdot \exp(B/T)$. Sachant qu'à 27°C , la résistance vaut $10\text{K}\Omega$, et le coefficient de température -3% , calculez la résistance à 37°C .

Réponse : $7,48\text{K}\Omega$

EXERCICE 3 : Etude d'un thermomètre à thermistance

Soit une source de tension continue réglable E en série avec un milliampèremètre de calibre 10mA et de résistance interne $R = 1\text{K}\Omega$, puis une CTN dont la résistance est de $9\text{K}\Omega$ à 0°C et $2,73\text{K}\Omega$ à 25°C .

- 1) Réalisez le schéma du montage en remplaçant chaque élément par son symbole.
- 2) Sachant que la résistance varie selon la loi : $R(T) = A \cdot \exp(B/T)$ (T : température absolue), quel doit être la valeur de E pour qu'à 50°C la déviation soit maximale ?
- 3) Calculez l'intensité du courant à 0°C .
- 4) Quelle est la température correspondant au centre du cadran ?

Réponses : 2) $E = 20$; 3) $i = 2\text{mA}$; 3) $T = 23^\circ\text{C}$.

EXERCICE 4 :

La caractéristique $U = f(I)$ d'une VDR a pour équation $U = K \cdot I^n$. Elle passe par les points ($U = 31,6V$; $I = 10\text{mA}$) et ($U = 37,6V$; $I = 20\text{mA}$).

- 1) Déterminez les valeurs de K et n .
- 2) Tracez la caractéristique $U = f(I)$ pour I compris entre 0 et 20mA .
- 3) Cette VDR est insérée dans un montage en série avec une résistance R et une alimentation continue E telle que $R = 2\text{K}\Omega$ et $E = 40V$.
 - 3-1) Réalisez le schéma du montage.
 - 3-2) Tracez la droite de charge dans le plan (U ; I).
 - 3-3) Déterminez le point de fonctionnement du montage.
- 4) E varie de $\pm 10\%$ autour de $40V$, quelle est la variation correspondante de U ?

Réponses : 1) $K = 100$; $n = 0,25$; 3-3) ($U = 28V$; $I = 6\text{mA}$) ; 4) $U = 23,6V$; $U = 31,4V$.

EXERCICE 5 : Transformation d'un milliampèremètre de calibre 10mA en un voltmètre à échelle dilatée

La VDR est montée en série avec un milliampèremètre et une source de tension E qui de $\pm 5\%$ autour de $25V$.

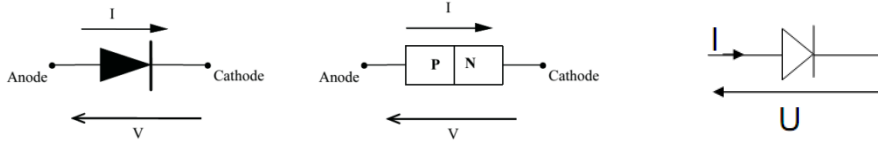
- 1) Réalisez le schéma du montage.

Chapitre 4 : LA DIODE A JONCTION

I- DEFINITION – SYMBOLES

Une diode est une jonction PN munie de deux électrodes sur chaque extrémité. L'électrode du côté P est l'anode (A) et celle du côté N est la cathode (K). Le courant dans la diode ne peut passer que dans un seul sens : de l'anode vers la cathode

Symboles

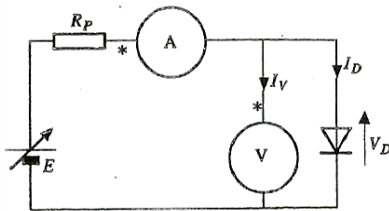


II- POLARISATION

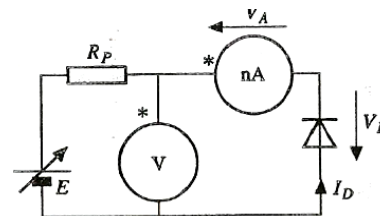
Polariser une diode, c'est l'alimenter par une tension afin qu'elle conduise le courant. On distingue deux types de polarisation à savoir la polarisation directe et la polarisation inverse.

II-1) Montages expérimentaux

II-1-1) En direct



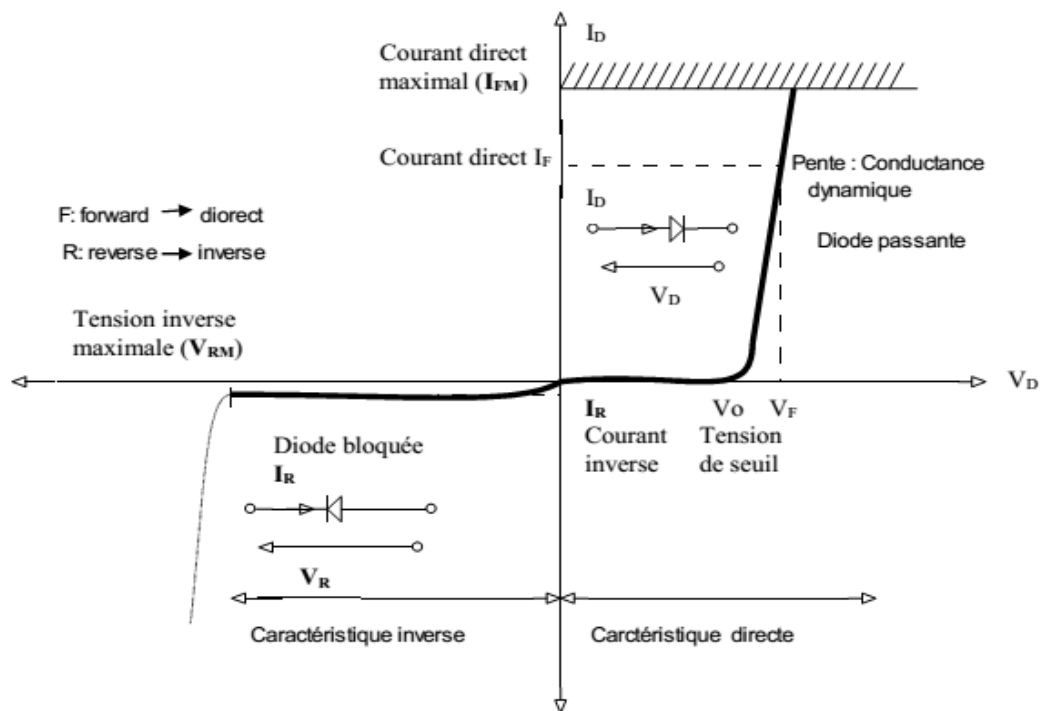
II-1-2) En Inverse



E : Tension continue réglage ; **R_P** : Résistance de protection **A** : Ampèremètre et **V** : Voltmètre

II-2) Résultats expérimentaux et caractéristiques courant tension

On fait varier la tension E. Pour chaque valeur de E, on relève les valeurs de I affichée par l'ampèremètre A et celle de V_D mesurée par le voltmètre V. A partir de ces valeurs relevées dans deux tableaux, on trace la caractéristique courant tension en direct et en inverse dont l'allure est la suivante :



Caractéristiques courant-tension en direct et en inverse

II-3) Interprétations**❖ Pour $V_D < 0$ la diode est dite en polarisation inverse.**

Le courant inverse est quasi nul. On le nomme « courant de saturation inverse », il est noté I_s . Sa valeur est très sensible à la température ($I_s \approx 1\text{pA}$ à $1\mu\text{A}$).

En polarisation inverse, la diode se comporte comme un **interrupteur ouvert**. Elle est dite « **bloquée** »

Remarque :

En polarisation inverse il existe une maximale inverse V_{RM} qu'il ne faut dépasser. Lorsque cette valeur est atteinte, il y a une augmentation du champ électrique au sein du composant qui engendre la destruction de la diode par claquage. On observe dans ce cas un important courant en inverse.

❖ Pour $V_D > 0$ la diode est dite en polarisation directe

En direct deux situations se présentent :

- Si $0 \leq V_D \leq V_o$, le courant dans la diode est également très faible. La diode est bloquée ou non passante
- Si $V_D \geq V_o$, le courant dans la diode augmente rapidement. La diode est dite « passante ». On dit aussi que la diode conduit.

La tension V_o à partir de laquelle la diode devient passante est appelée tension **seuil** de la diode.

Ce seuil reste toutefois une tension très faible. Pour les diodes au silicium $0,6\text{V} \leq V_o \leq 0,7\text{V}$ et pour les diodes au germanium $0,2\text{V} \leq V_o \leq 0,3\text{V}$.

L'existence de la zone « de coude » pour la tension $0 \leq V_D \leq V_o$ indique une augmentation exponentielle du courant I_D selon la relation :

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

Avec $I = I_D$ courant direct ou courant de diffusion

I_s : courant inverse (quelques pA)

$1 \leq n \leq 2$: facteur d'idéalité. $n \approx 1$ pour le silicium ; $n \approx 2$ pour le germanium.

$V_T = K \cdot T / q$: tension de température ($V_T \approx 26\text{mV}$ à 26°C)

K : $1,38 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$: constante de Boltzmann

$q = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$: Charge élémentaire

$T = t (^{\circ}\text{C}) + 273$: température en Kelvin.

Au delà de V_o , l'augmentation du courant donne une pente $s = dI_D/dV_D$, très élevée (cette pente s'exprime en Ω^{-1}). Il en résulte alors une résistance interne de la diode très faible $r_D = dV_D/dI_D$.

$$s = \frac{dI_D}{dV_D} = \frac{d}{dV_D} \left(I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) \right) \text{ donc } s = \frac{I_s}{nV_T} e^{\frac{V_D}{nV_T}} . \text{ Pour une petite variation de } V_D \text{ on a :}$$

$$s = \left(\frac{I_s}{nV_T} e^{\frac{V_D}{nV_T}} \right) V_D = 0 = \frac{I_s}{nV_T} \text{ donc } r_D = \frac{nV_T}{I_s}$$

III- MODELISATION DE LA DIODE

La caractéristique réelle d'une diode se prête assez mal aux calculs. Il est nécessaire de la remplacer par une caractéristique idéale, à laquelle on peut ajouter graduellement les imperfections du composant (tension de seuil V_o , résistance dynamique $R_D = \Delta V_D / \Delta I_D$)

Caractéristique idéale (Diode idéale)	Caractéristique idéalisée (Diode à seuil)	Caractéristique réelle simplifiée (Diode réelle simplifiée)
<p>Diode passante : $I_D > 0$ et $V_D = 0$</p> <p>Diode bloquée : $V_D < 0$</p>	<p>Diode passante : $I_D > 0$ et $V_D = V_0$</p> <p>Diode bloquée : $V_D < V_0$</p>	<p>Diode passante : $I_D > 0$ et $V_D \geq 0$</p> <p>Diode bloquée : $V_D < V_0$</p>

Remarque :

- ❖ Ces modèles ne sont valables qu'en régime statique ou en basse fréquence.
- ❖ L'emploi de la caractéristique idéale s'avère intéressant dans les montages où la tension de seuil est négligeable devant les autres tensions (Exemple : redressement monophasé).
- ❖ La caractéristique réelle simplifiée est surtout utilisée pour évaluer la puissance dissipée dans une diode. (V_D : Tension de seuil 0,6V pour le Si ; R_D : Résistance dynamique de qq mΩ à qq Ω).

IV-APPLICATIONS DE LA DIODE A JONCTION

IV-1) Redressements

IV-1-1) Définition

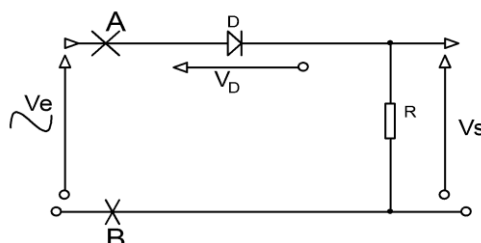
Le redressement est une opération par laquelle l'on transforme une tension alternative en une tension unidirectionnelle ou continue c'est-à-dire variable dans le temps mais de signe constant.

NB : Dans ce cours nous considérerons toutes les diodes idéales dans nos explications. Ainsi lorsqu'une diode est passante elle est équivalente à un interrupteur fermé d'où $V_D = 0V$ et lorsqu'elle est bloquée elle est équivalente à un interrupteur ouvert, il faut donc déterminer V_D .

IV-1-2) Redressement mono alternance

Il s'agit de redresser une seule alternance de la tension alternative. Nous prendrons dans notre cas l'alternance positive.

a) Schéma



b) Fonctionnement

La loi des mailles appliquée au montage donne à tout instant :

$$V_e - V_D - V_s = 0 \quad (1)$$

❖ **Alternance positive ($0 \leq t \leq T/2$) :** $V_e \geq 0$

Considérons qu'à l'alternance positive le signe positif est en **A** et le signe négatif est en **B**.

Ainsi la diode **D** est polarisée en direct donc elle est passante d'où :

D'après (1) on a $V_e - 0 - V_s = 0 \implies V_e - V_s = 0 \implies V_e = V_s \geq 0$.

$$\implies \boxed{V_D = 0 \text{ et } V_e = V_s \geq 0}$$

❖ **Alternance négative ($T/2 \leq t \leq T$) : $V_e \leq 0$**

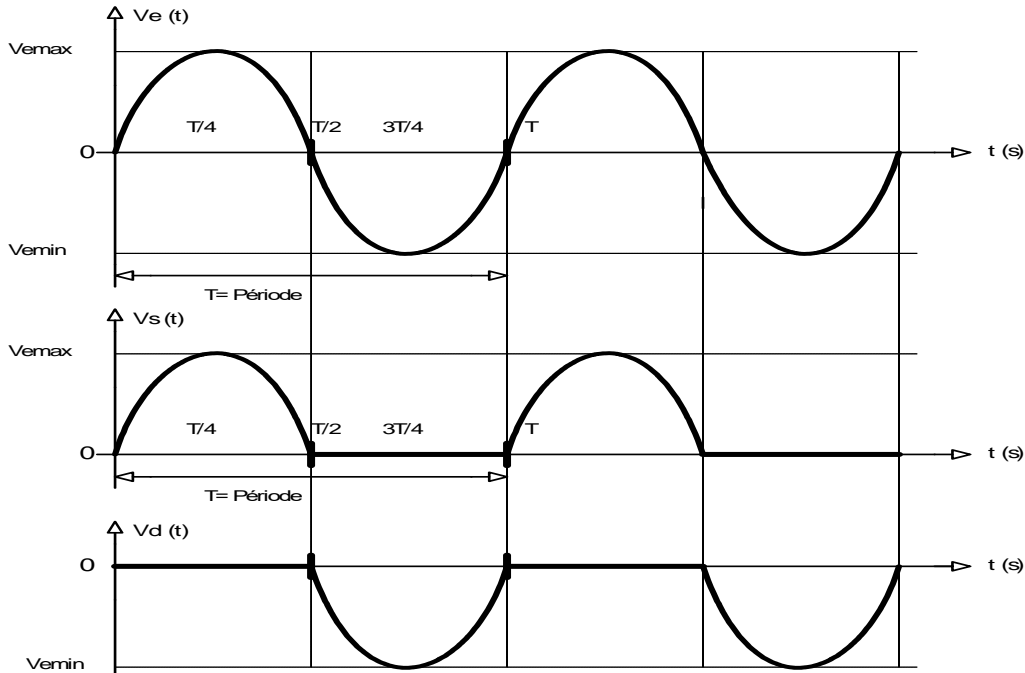
On a le signe positif en **B** et le signe négatif en **A**.

La diode est polarisée en inverse donc elle est bloquée (interrupteur ouvert). Ainsi $I_D = 0$.

Or $V_s = R \cdot I_D = R \cdot 0 = 0$ donc (1) $\implies V_e - V_D - 0 = 0 \implies V_e - V_D = 0$

$$\implies \boxed{V_e = V_D \leq 0 \text{ et } V_s = 0}$$

❖ **Chronogrammes (Voir page suivante SVP)**



❖ **Remarque:**

-En inverse, la diode supporte toute la tension alternative. Il faudrait donc choisir une diode dont la tension de claquage est supérieure à V_{max} c'est-à-dire $V_{inv D} > V_{max}$.

-Le courant moyen supportable par la diode doit être supérieur à la moitié de la valeur efficace du courant au secondaire du transformateur : $I_{Dmoy} > I_{eff \text{ secondaire}}/2$

- La valeur moyenne de la tension de sortie : $V_{smoy} = V_{max} / \pi$

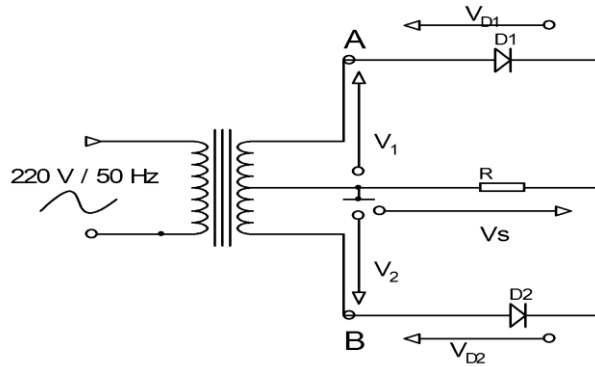
-La valeur efficace de la tension de sortie $V_{seff} = V_{max} / 2$.

IV-1-3) Redressements double alternances ou bi alternances

Il s'agit de redresser les deux alternances de la tension alternative, c'est-à-dire à la fois l'alternance positive et négative.

a) Montage à deux diodes.

a-1) Schéma



a-2) Fonctionnement

La loi des mailles donne en tout instant :

$$V_1 - V_{D1} - V_S = 0 \quad (1)$$

$$-V_2 + V_{D2} + V_S = 0 \quad (2)$$

$$V_1 \text{ et } V_2 \text{ sont en opposition de phase } V_1 = -V_2 \text{ ou } V_2 = -V_1. \quad (3)$$

❖ **Alternance positive ($0 \leq t \leq T/2$) : $V_1 \geq 0$ et $V_2 \leq 0$**

On a le signe positif en **A** et le signe négatif en **B**. La tension V_1 ayant son «-» sur la masse est une alimentation positive ($V_1 \geq 0$). La tension V_2 ayant son «+» à la masse une alimentation négative ($V_2 \leq 0$). Donc la diode **D2** est bloquée tandis que **D1** est passante.

$V_{D1} = 0$, tandis que **D2** est bloquée.

(1) donne $V_1 - 0 - V_S = 0 \implies \boxed{V_S = V_1.}$

(2) donne $-V_2 + V_{D2} + V_1 = 0$ or $-V_2 = V_1$ donc $V_1 + V_{D2} + V_1 = 0$ donc $\boxed{V_{D2} = -2V_1}$

❖ **Alternance négative ($T/2 \leq t \leq T$) : $V_2 \geq 0$ et $V_1 \leq 0$**

On a le signe «+» en **B** et le signe «-» en **A**. Donc $V_1 \leq 0$ et $V_2 \geq 0$.

La diode **D1** est bloquée tandis que **D2** est passante : $\boxed{V_{D1} = 0}$

(2) donne : $-V_2 + 0 + V_S = 0$ ce qui entraîne $\boxed{V_S = V_2.}$

(1) donne $V_1 - V_{D1} - V_2 = 0$ donc $V_1 - V_2 = V_{D1}$ or $V_1 = -V_2$ donc $V_{D1} = -V_2 - V_2$ $\boxed{V_{D1} = -2V_2.}$

Ainsi

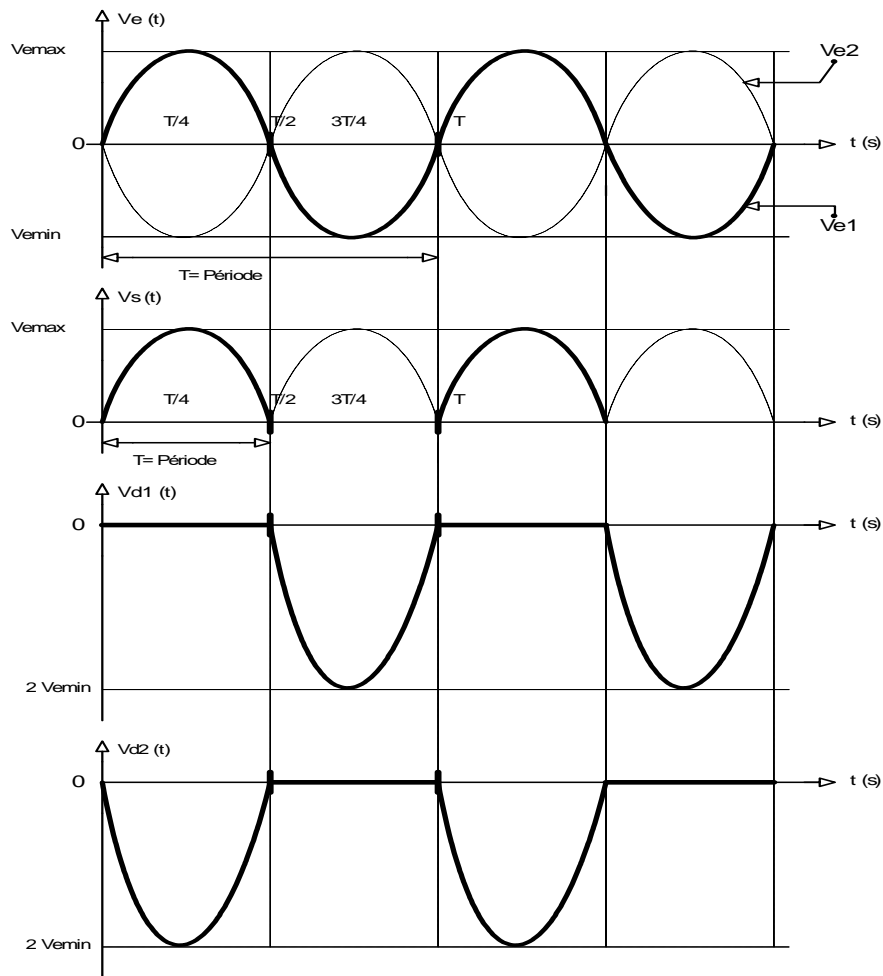
a-3) Chronogrammes (Voir page suivante SVP)

a-4) Remarque :

- A l'alternance positive comme à l'alternance négative, il y a toujours circulation de courant dans la résistance de charge. Ce courant crée une différence de potentiel aux bornes de la résistance. Le signe négatif étant à la masse, on a alors une tension positive aux bornes de **R**. Nous venons donc de réaliser un redressement double alternances dans le positif.
- Il existe le redressement double alternances dans le négatif.
- Le courant moyen supportable par la diode doit être supérieur à la moitié de la valeur efficace du courant au secondaire du transformateur : $I_{moy} > I_{eff \text{ secondaire}} / 2.$
- La valeur moyenne de la tension de sortie : $V_{smoy} = 2V_{emax} / \Pi$
- La valeur efficace de la tension de sortie $V_{seff} = V_{emax} / (2)^{1/2}$
- On constate que les diodes en inverse, supportent le double des tensions d'alimentation donc il faut tenir compte de cela pour le choix des diodes à utiliser, c'est-à-dire, la tension de claquage doit être supérieure à $2V_{1max} = 2V_{2max}$ ($V_{inv D} > 2V_{1max}$).

- Ce montage utilisant un transformateur à point milieu est encombrant et coûteux.

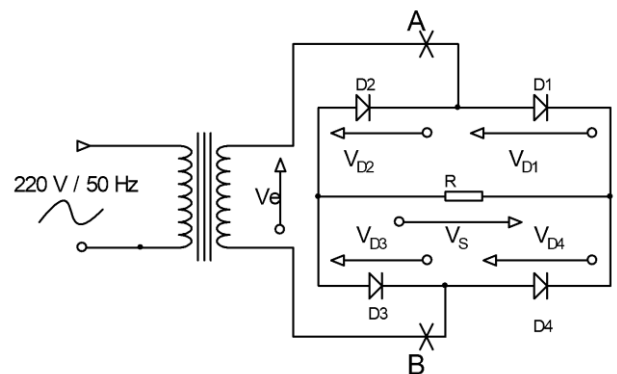
Chronogrammes



b) Montage à 4 diodes ou pont de GRAETZ

C'est le type redressement bi alternance le plus utilisé

b-1) Schéma



b-2) Fonctionnement.

La loi des mailles appliquée au circuit donne à tout instant :

$$V_e + V_{D2} - V_{D3} = 0 \quad (1)$$

$$V_e - V_{D1} - V_s - V_{D3} = 0 \quad (2)$$

$$V_e + V_{D2} + V_s + V_{D4} = 0 \quad (3)$$

$$V_e - V_{D1} + V_{D4} = 0 \quad (4)$$

❖ **Alternance positive ($0 \leq t \leq T/2$) : $V_e \geq 0$**

On a le signe positif en **A** et le signe négatif en **B**. Les diodes **D2** et **D4** sont bloquées tandis que les diodes **D1** et **D3** conduisent

$$V_{D1} = V_{D3} = 0 \quad \text{donc :}$$

(1) donne $V_e + V_{D2} - 0 = 0 \implies V_e + V_{D2} = 0 \implies V_{D2} = -V_e \leq 0$

(4) donne $V_e - 0 + V_{D4} = 0 \implies V_e + V_{D4} = 0 \implies V_{D4} = -V_e \leq 0$

(2) donne $V_e - 0 - V_s - 0 = 0 \implies V_e - V_s = 0 \implies V_e = V_s \geq 0$

❖ **Alternance négative ($T/2 \leq t \leq T$) : $V_e \leq 0$**

On a le signe « + » en **B** et le signe « - » en **A**. Les diodes **D1** et **D3** sont bloquées tandis que **D2** et **D4** sont passantes donc :

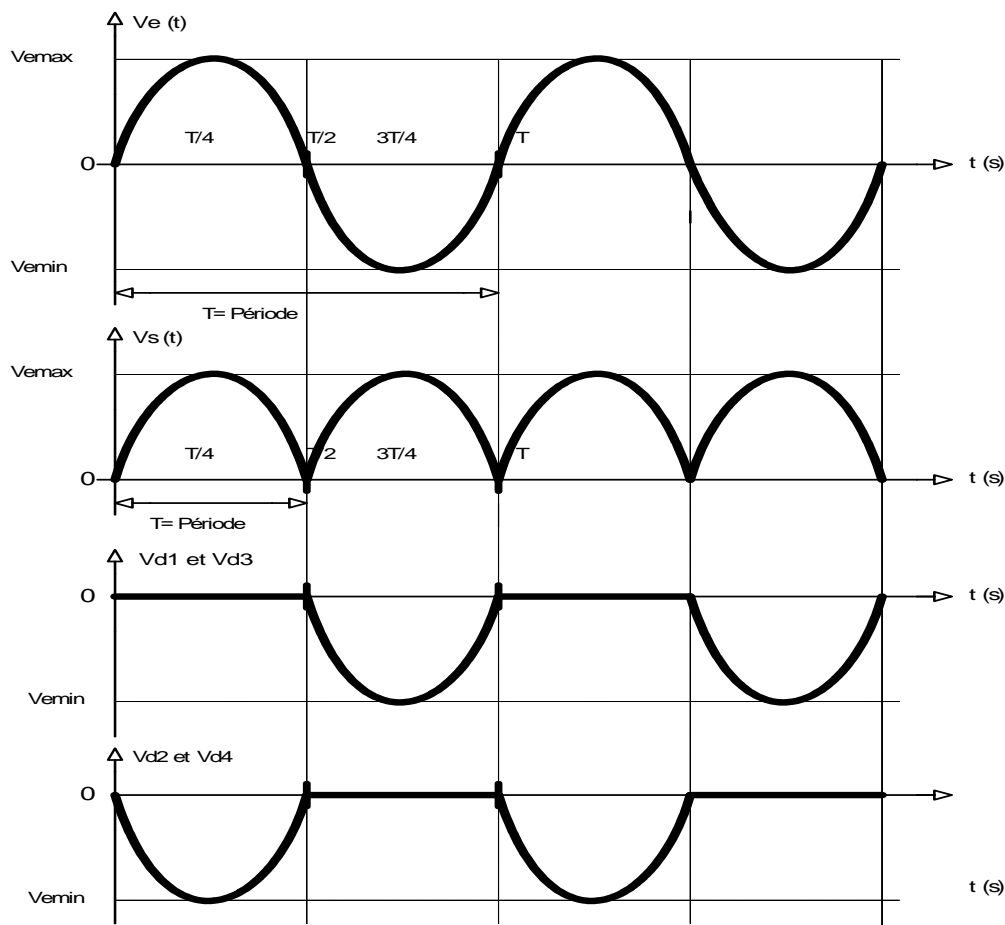
$V_{D2} = V_{D4} = 0.$

(3) donne $V_e + 0 + V_s + 0 = 0 \implies V_e + V_s = 0 \implies V_s = -V_e \geq 0$

(1) donne $V_e + 0 - V_{D3} = 0 \implies V_e - V_{D3} = 0 \implies V_{D3} = V_e \leq 0$

(2) donne $V_e - V_{D1} + V_{D4} = 0 \implies V_e - V_{D1} + 0 = 0 \implies V_{D1} = V_e \leq 0$

b-3) Chronogrammes (Voir page suivante SVP)



b-4) Remarques :

- En inverse chaque diode supporte la tension d'alimentation. Il faudrait donc choisir une diode dont la tension de claquage est supérieur $V_{invD} > V_{max}$.
- Le courant moyen supportable par la diode doit être supérieur à la moitié de la valeur efficace du courant au secondaire du transformateur : $I_{moy} > I_{eff\ secondaire} / 2.$

- La valeur moyenne de la tension de sortie : $V_{smoy} = 2V_{max} / \pi$
- La valeur efficace de la tension de sortie $V_{seff} = V_{max} / (2)^{1/2}$
- On constate que les diodes en inverse, supportent toute la tension d'alimentation donc il faut tenir compte de cela pour le choix des diodes à utiliser, c'est-à-dire, la tension de claquage doit être supérieure à $V_{max} = (V_{inv} D > V_{max})$.

IV-2) Ecrêtages de tension

IV-2-1) Définition

C'est une opération qui consiste à éliminer la crête positive ou la crête négative d'une tension alternative. Il existe donc deux types d'écrêtage : l'écrêtage positif et l'écrêtage négatif.

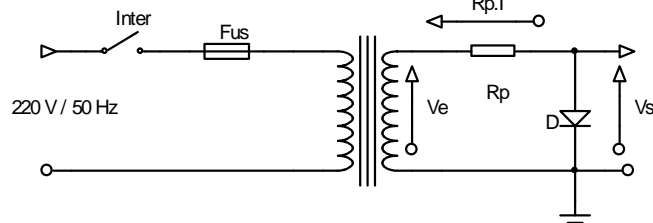
NB : Pour les montages d'écrêtage à diodes, lorsque les diodes seront passantes on aura $V_D = V_O = E_O = 0,7V$ pour les diodes au silicium et $0,3V$ pour les diodes au germanium (diode à seuil). Lorsqu'elles seront bloquées, elles seront équivalentes à des interrupteurs ouverts.

IV-2-2) Ecrêtage positif

a) Définition

C'est une opération qui consiste à éliminer la partie supérieure ou crête positif d'une tension alternative sinusoïdale ou triangulaire.

b) Schéma



c) Fonctionnement

La loi des mailles donne à tout instant : $V_e - R_p \cdot I - V_s = 0$ (1)

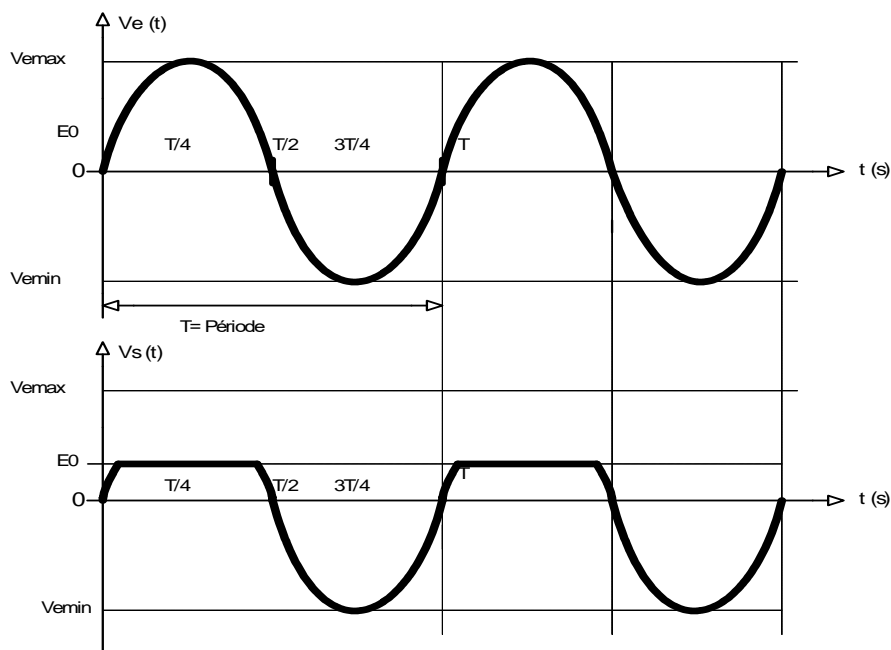
❖ **Alternance positive ($0 \leq t \leq T/2$)** : $V_e \geq 0$

On a le signe positif en A et le signe négatif en B. La diode D est passante donc $V_s = V_D = V_O = E_O = 0,7V$

❖ **Alternance négative ($T/2 \leq t \leq T$)** : $V_e \leq 0$

On a le signe positif en B et le signe négatif en A. La diode D est bloquée alors le courant $I = 0$ donc : (1) donne $V_e - R_p \cdot 0 - V_s = 0$ donc $V_e - V_s = 0$ alors $V_s = V_e$

d) Chronogrammes

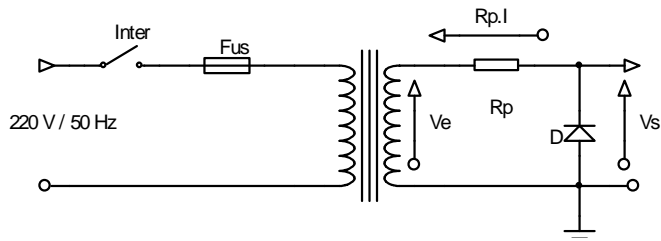


IV-2-3) Ecrêtage négatif

a) Définition

C'est une opération qui consiste à éliminer la partie inférieure ou crête négatif d'une tension alternative.

b) Schéma



c) Fonctionnement

La loi des mailles donne à tout instant : $V_e - R_p \cdot I - V_s = 0$ (1)

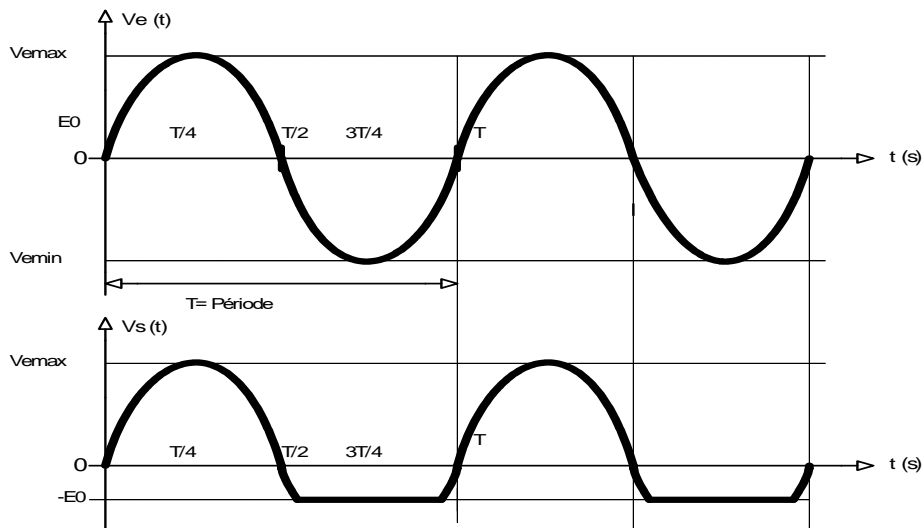
❖ **Alternance positive ($0 \leq t \leq T/2$) : $V_e \geq 0$**

On a le signe positif en A et le signe négatif en B. La diode D est bloquée alors le courant $I = 0$ donc : (1) donne $V_e - R_p \cdot 0 - V_s = 0$ donc $V_e - V_s = 0$ alors $V_s = V_e$

❖ **Alternance négative ($T/2 \leq t \leq T$) : $V_e \leq 0$**

On a le signe positif en B et le signe négatif en A. La diode D est passante donc $V_s = -V_D = -V_0 = E_0 = -0,7V$

d) Chronogrammes

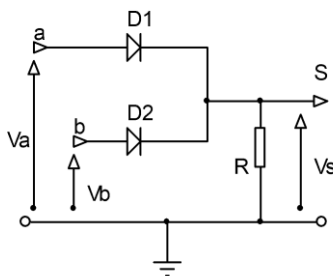


IV-3) Circuits logiques (ET- OU)

Il s'agit d'utiliser des diodes à jonction pour réaliser des fonctions logiques. Ces diodes seront considérées comme idéales c'est-à-dire lorsqu'elles seront passante $V_D = 0V$ et lorsqu'elles seront bloquées, elles seront équivalentes à un interrupteur ouvert.

IV-3-1) Circuit logique « OU »

a) schéma



b) Table de fonctionnement

Va	Vb	D1	D2	Vs
0V	0V	Bloquée	Bloquée	0
0V	5V	Bloquée	Passante	5V
5V	0V	Passante	Bloquée	5V
5V	5V	Passante	Passante	5V

Chapitre 5 : LA DIODE ZENER

I-GENERALITES

C'est une diode pour laquelle on a utilisé des semi-conducteurs de types P et N très fortement dopés, ce qui a comme effet de réduire la tension de claquage V_{RM} qui sera appelée tension Zener V_Z . Durant la fabrication, on sait contrôler avec précision la valeur de V_Z .

Les diodes Zener sont fabriquées pour être utilisées en inverse dans la zone d'avalanche (zone de claquage). Dans ce cas, la tension à ses bornes reste quasi constante et égale à V_Z quel que soit le courant I_Z qui la traverse. On l'appelle diode stabilisatrice.

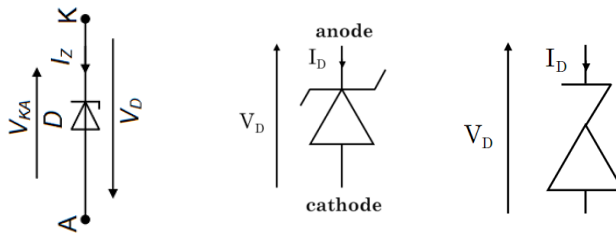
Evidemment une diode zener polarisée en direct fonctionne comme une diode normale.

II) DEFINITION

C'est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse. La tension de claquage ou tension de Zener est relativement faible, du Volt à quelques dizaines de Volts.

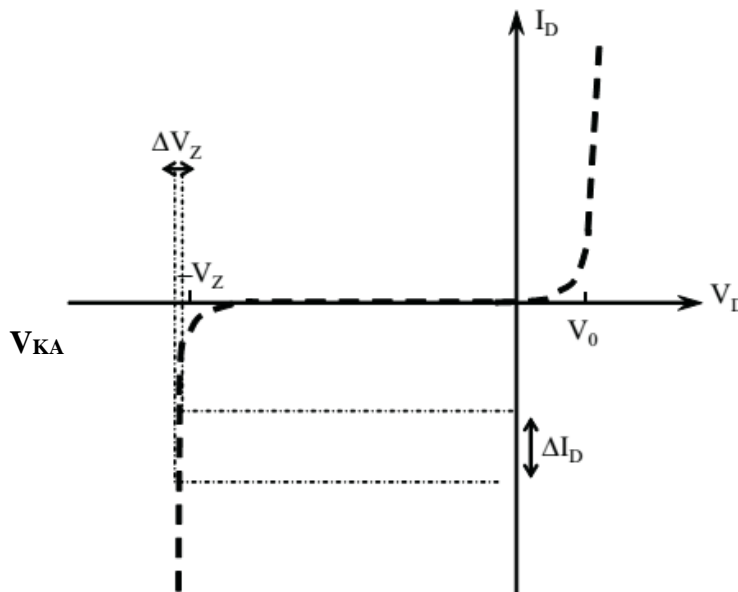
III) SYMBOLES

A pour l'anode
C ou K pour la



III) CARACTERISTIQUES TENSION- COURANT D'UNE DIODE ZENER

III-1) Courbes direct et inverse



III-2) Interprétations

Polarisée en direct, une diode Zener est équivalente à une diode à jonction normale.

En polarisation inverse :

-Lorsque $V_{KA} < V_Z$, la tension Zener, la diode Zener est bloquée donc $I_Z = 0$

-Lorsque $V_{KA} > V_Z$, la diode Zener est passante donc $I_Z > 0$

La caractéristique est alors linéaire d'équation : $V_{KA} = V_Z + r_z \cdot I_Z$

V_{KA} ; V_Z en Volt, r_z en Ohm et I_Z en Ampère.

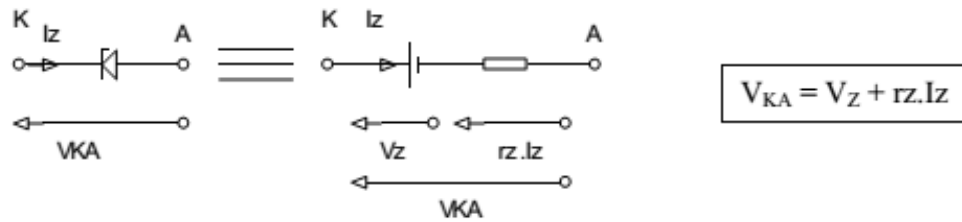
r_z est la résistance dynamique inverse

NB : En pratique une diode Zener n'est utilisée qu'en inverse.

On ne l'utilise pas pour faire des redressements dont l'amplitude est supérieure à V_Z .

IV) MODELE EQUIVALENT D'UNE ZENER POLARISEE EN INVERSE.

Lorsque la diode Zener conduit, elle est équivalente au modèle suivant :



avec graphiquement la valeur de $r_z = \dots\dots\dots$;

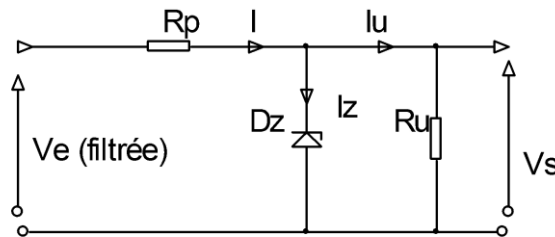
Si r_z est négligée alors $V_{KA} = V_Z = Cte$ quel que soit le courant qui le traverse. La Zener est alors **idéale ou parfaite**.

Le courant de zener I_{Zmax} est limité à $I_{Zmax} = P_{max} / V_Z$

V- APPLICATION DE LA DIODE ZENER A LA STABILISATION DE TENSION

La principale application de la diode zener est la stabilisation de tension

V-1) Schéma



V-2) Fonctionnement

- Si $0 < V_e < V_{Z0}$ (tension de zener), la diode zener est bloquée en inverse et se comporte comme un interrupteur ouvert. Le montage devient un diviseur de tension. D'où $V_s = \frac{R_u}{R_u + R_p} V_e$. **Pas de stabilisation**
- Si $V_e > V_{Z0}$, la diode zener est passante en inverse. On a alors $V_s = V_{Z0} = Cte$. **Il y a stabilisation.**

NB : Pour que la diode Zener fonctionne et assure le rôle de stabilisateur, il faut qu'un courant I_z non nul circule en permanence dans ce composant, et ce quelles que soient les variations de la tension d'entrée V_e et de la charge R_u .

La résistance R_p assure le rôle de polarisation de la diode Zener, et elle sera calculée pour que la condition énoncée ci-dessus soit remplie. Il faudra aussi veiller à ce que le courant I_z ne dépasse pas le courant I_{Zmax} .

Choix des composants

Cette résistance R_p est calculée de telle sorte que le courant I_z , vérifie la condition suivante :

$$I_{Zmin} \leq I_z \leq I_{Zmax}$$

Supposons que $r_z = 0$ (diode Zener parfaite ou idéale), la tension V_s doit rester constante et égale à V_{Z0} .

On a : $I_z = \frac{V_e - V_{Z0}}{R_p} - I_u$

$V_z = V_s$. Comme V_{Z0} dépend aussi de I_z . Il faut prendre dans la notice technique un I_z tel que $I_z \approx I_{Zmoy}$ parcourant la diode dans le montage. R_p doit être inférieur à une valeur limite pour que Dz conduise bien ($I_z \geq I_{Zmin}$). Dans tous les cas, le cas le plus défavorable se présente lorsque V_e est minimale et que I_s est maximale.

$$R_p \leq (V_{emin} - V_{z0}) / (I_{Zmin} + I_{smax})$$

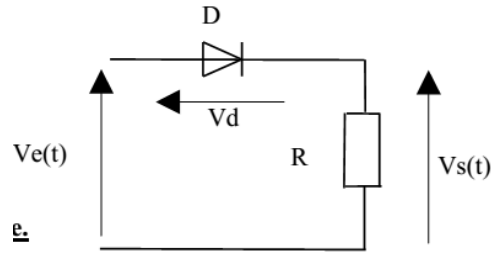
Il faut respecter la P_{dmax} de la diode

Séances d'exercices des Chapitres 4 et 5

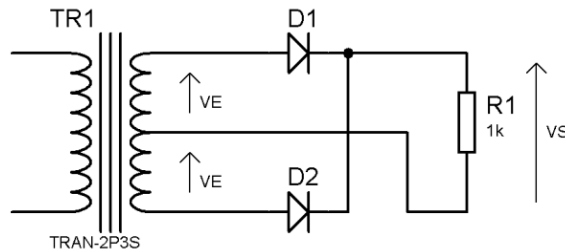
EXERCICE 1

Soit le montage ci-contre :

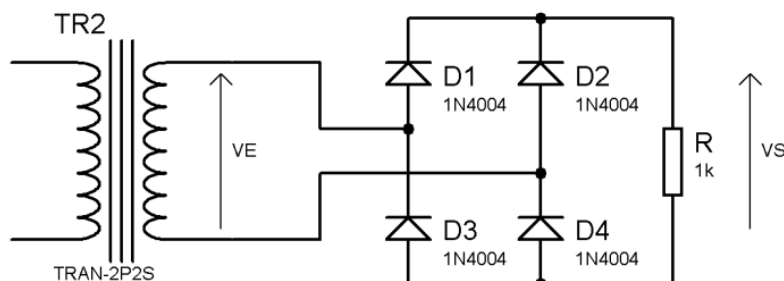
$V_D = 0,6V$

**1) Etude du montage pour une tension V_e continue**1-1) $V_e \geq 0$: tracer le sens de cheminement du courant (s'il y a courant).1-2) $V_e \leq 0$: tracer le sens de cheminement du courant (s'il y a courant).**2) Etude en régime sinusoïdal** V_e est maintenant sinusoïdal, d'amplitude maximale 10V et de fréquence 50Hz.2-1) Tracer les chronogrammes $V_e(t)$, $V_s(t)$ et $V_d(t)$.**Echelles** : En abscisse 6 cm correspond à 10ms

En ordonnée 2,5 cm correspond à 10 V

2-2) Citer le type de signal se trouvant sur V_s .**EXERCICE 2** : Les diodes sont supposées idéales et V_E alternative sinusoïdale $V_{E_{max}} = 6V$ et $f = 50Hz$ 1) Lors d'une alternance positive de V_E , quelles diodes sont passantes ?2) Lors d'une alternance négative de V_E , quelles diodes sont passantes ?3) Tracer les chronogrammes de V_S , V_{D1} et V_{D2}

4) Quelle est la fonction réalisée par le montage ?

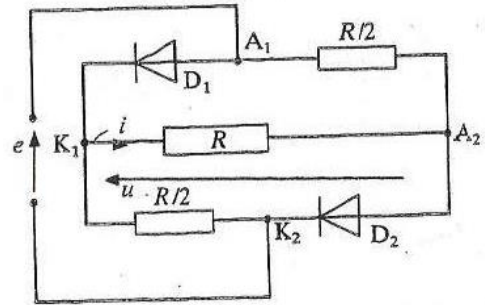
EXERCICE 3 : Les diodes sont supposées idéales et V_E alternative sinusoïdale $V_{E_{max}} = 6V$ et $f = 50Hz$ 1) Lors d'une alternance positive de V_E , quelles diodes sont passantes ?2) Lors d'une alternance négative de V_E , quelles diodes sont passantes ?3) Tracer les chronogrammes de V_S , V_{D1} , V_{D2} , V_{D3} et V_{D4}

4) Quelle est la fonction réalisée par le montage ?

EXERCICE 4

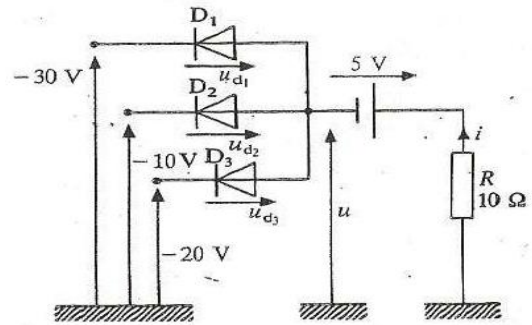
On considère le montage ci-contre dans lequel les diodes D_1 et D_2 sont supposées parfaites.

- 1) Calculer u dans les deux cas suivants :
 - 1-1) $e = 10V$
 - 1-2) $e = -10V$
- 2) Donner la forme d'onde de u si e est une tension sinusoïdale de valeur maximale $10V$.



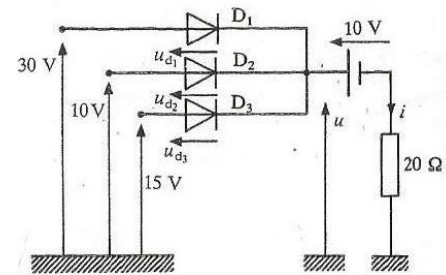
EXERCICE 5

Dans le montage de la figure ci-contre où les diodes sont parfaites. Déterminer l'intensité i et la tension aux bornes de chaque diode.



EXERCICE 6

Dans le montage de la figure ci-contre où les diodes sont parfaites. Déterminer l'intensité i et la tension aux bornes de chaque diode.



EXERCICE 7

Pour le montage ci-contre, déterminer les courants dans les diverse branches si les tensions Zener des diodes Z_1 et Z_2 sont respectivement $10V$ et $5V$

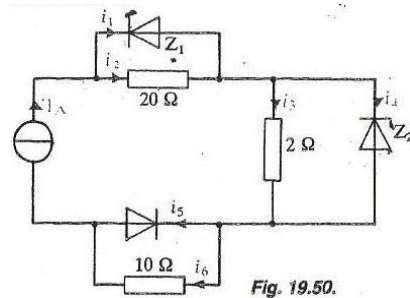


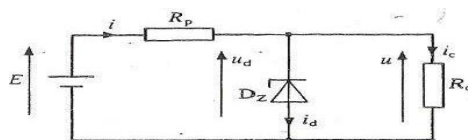
Fig. 19.50.

EXERCICE 8

Dans le montage ci-dessous, la diode de stabilisation D_Z est supposée parfaite. Sa tension de Zener est égale à $6,2V$ et sa puissance maximale est de $1,3W$.

- 1) Déterminer le courant maximal qui peut traverser la diode.
- 2) On fixe $R_C = R_P = 100\Omega$. Entre quelles limites peut varier E pour qu'il y ait stabilisation ? Justifier l'expression : stabilisation amont.
- 3) On fixe $E = 24 V$ et $R_P = 100\Omega$. Entre quelles limites peut varier R_C pour qu'il y ait stabilisation ? Justifier l'expression stabilisation aval.

NB : On dit qu'il y a stabilisation de tension, si la tension de sortie reste constante malgré la variation de certaines autres grandeurs dans le montage.



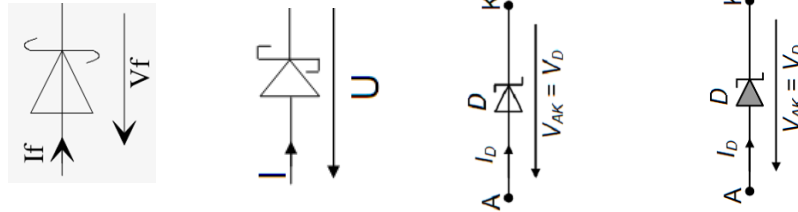
Chapitre 6 : LA DIODE SCHOTTKY

I- DEFINITION

C'est une diode de redressement qui laisse passer le courant de l'anode vers la cathode comme la diode à jonction PN, mais constituée par la jonction d'un semi-conducteur de type N surtout avec un métal.

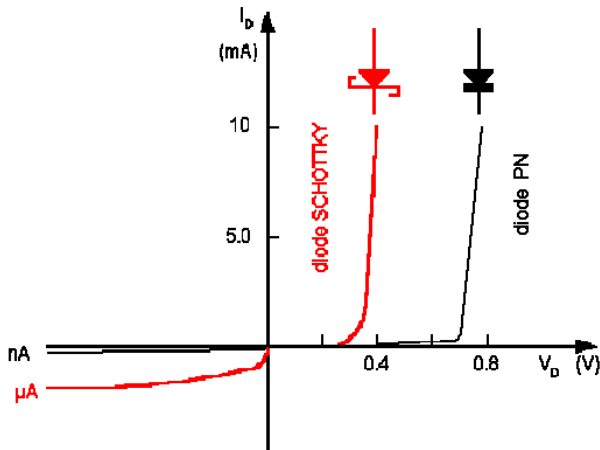
NB : Le fonctionnement est quasiment le même que celle de la diode à jonction

II- SYMBOLES



III- CARACTERISTIQUES

III-1) Caractéristique courant-tension comparée des diodes à jonction et Schottky



NB : On constate les différences suivantes :

La tension de seuil d'une diode Schottky (0,3 V) est plus faible que celui d'une jonction PN (0,6 V)

Le courant inverse de la jonction PN est plus faible que celui de la diode Schottky

III-2) Critères de choix

- ❖ Tension de seuil ($E_0 = 0,3V$ environ) ;
- ❖ Courant direct moyen maximale (I_0 ou I_{FAV}) ;
- ❖ Le courant inverse maximal (I_R) ;
- ❖ Tension inverse maximale ou tension de claquage (V_{RRM});
- ❖ Rapidité qui est caractérisée par le temps de recouvrement inverse (temps de passage de l'état passant à l'état bloquée)

IV- AVANTAGES

- ❖ Pas d'accumulation de charge lorsque la diode est bloquée
- ❖ Cette diode est très rapide à la commutation
- ❖ Tension de seuil faible : 0.3V
- ❖ Dissipe une puissance beaucoup plus faible en redressement des courants très important
- ❖ La puissance dissipée par une diode Schottky est beaucoup plus faible qu'avec un diode à jonction PN.

V- INCONVENIENTS

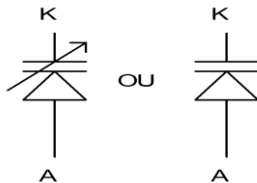
- ❖ Plus couteux que les diodes à jonction ;
- ❖ Courant inverse de valeur plus élevée que la diode à jonction.

Chapitre 7 : LA DIODE VARICAP

I- DEFINITION

Diode varicap (varactor ou voltacap) ou diode a capacité variable, une diode qui se comporte comme un condensateur variable en laissant passer le courant en inverse c'est-à-dire de la cathode vers l'anode, et ce, en fonction de la tension inverse qu'elle reçoit.

II- SYMBOLES



III- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Elles sont spécialement conçues pour utiliser la capacité parasite de la région d'appauvrissement de la jonction **PN** polarisée en inverse. La région d'appauvrissement créée par la polarisation inverse agit comme un diélectrique à cause de ses caractéristiques non conductrices. Les régions **P** et **N** sont conductrices et jouent le rôle de plaques du condensateur.

On contrôle la capacité parasite en variant la tension inverse. Plus la tension inverse augmente, la région d'appauvrissement s'élargit, pour augmenter en réalité l'épaisseur du diélectrique (**d**) et ainsi diminuer la capacité. Lorsque la tension en polarisation inverse diminue la région d'appauvrissement devient plus étroite et par conséquent augmente la capacité.

Comme nous l'avons vu auparavant, la capacité est déterminée par l'aire de la surface des plaques (**S**), la constante du diélectrique (**ε**) et l'épaisseur du diélectrique(**d**) selon la formule suivante :

$$C = S \cdot \epsilon / d$$

Schémas représentatifs

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

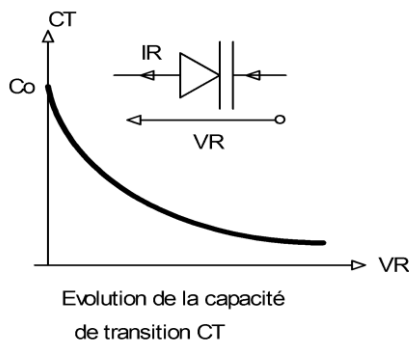
.....

.....

.....

.....

Dans une diode Varactor, les paramètres de capacités sont réglés par la méthode de dopage de la région d'appauvrissement et par la taille et la géométrie de construction de la diode. Les capacités varactor sont typiquement de l'échelle de quelques picofarads à quelques centaines de picofarads.



$$C_T(V_R) = C_0 / (1 + V_R / V_0)^y$$

C₀: Capacité de la jonction non polarisée

V₀ : Tension de seuil

y : Facteur de forme ($0,33 \leq y \leq 0,75$)

C_T : Capacité de transition

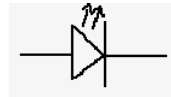
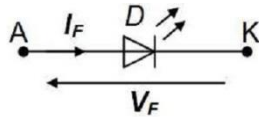
V_R : Tension inverse appliquée

Chapitre 8 : LA DIODE ELECTROLUMINESCENTE

I- DEFINITION

Les **LED** (**L**ight **E**mitting **D**iode - Diode à émission de lumière-), ou **DEL**, en français (**D**iodes **E**lectro-**L**uminescentes), sont des diodes qui émettent de la lumière visible ou infrarouge (capteur) lorsque le courant les traversent dans leurs sens passants, c'est-à-dire de l'anode vers la cathode.

II-SYMBOLES



III- CARACTERISTIQUES

III-1) Critères de choix

Pour faire le choix d'une DEL, il faut tenir compte de sa couleur, sa tension direct typique (V_{Ftyp}), son courant direct typique I_{Ftyp} , sa luminosité son angle de vision et enfin sa consommation.

III-1-1) Tension directe typique (V_{Ftyp}) en volts

C'est la valeur de la tension entre l'anode et la cathode qui peut apporter une luminosité acceptable. Elle est donnée par le fabricant pour un courant direct d'environ 20mA qui la valeur du courant typique direct.

III-1-2) Courant typique I_{Ftyp} en mA

C'est la valeur du courant direct correspondant à la tension directe typique. Elle est généralement donnée par le fabricant de manière direct ou à partir d'une caractéristique courant-tension.

III-1-3) Tension inverse maximale supportable V_{RM}

C'est la valeur de la tension inverse maximale au delà de laquelle la DEL est détruite. En général $V_{RM} \leq 5V$

III-1-4) La couleur

Elle dépend du rôle que doit jouer la **LED** dans le système technique ou du gout du fabricant.

Exemples : Couleur rouge pour attester la présence du secteur en générale. Couleur verte pour marquer la fin de la charge d'une batterie...

III-1-5) la luminosité

Elle atteste de la puissance de la lumière émise par la LED. Elle dépend de l'intensité du courant qui circule dans la LED et s'exprime en millicandela (mcd)

III-1-6) l'angle de vision

C'est l'angle en degré que le flux lumineux émis par la LED peut décrire.

III-1-7) **Le courant direct crête** qu'elle peut supporter en régime impulsionnel.

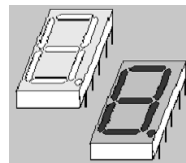
IV- APPLICATIONS : (LED A COULEURS VISIBLES ET LED INFRAROUGE)

Les **DEL** émettant dans le proche infrarouge sont utilisées dans les émetteurs de télécommande et les systèmes de transmission de données. Ce rayonnement lumineux n'est pas visible. Il est capté par soit une photodiode ou un phototransistor et reconvertir en signal électrique.

Les **DEL** émettant dans le visible (couleurs : rouge, orange, jaune, vert et bleue) trouvent leurs applications dans l'afficheur numérique **7 segments** ou l'affichage alphanumérique (afficheur matriciel)

Leur caractéristique est analogue à celle d'une diode ou silicium avec des tensions seuil allant de **1,1V** (diode infrarouge) à **3,6V** et plus pour les diodes bleues. Elles ne supportent pas les tensions inverse élevées (**< 5V**) et les courant direct dépassant quelques dizaines de mA. On les **utilise généralement comme témoin lumineux** dans les systèmes électronique. Exemples : chargeur de téléphone et d'ordinateur portable

Exemple d'afficheur 7 segments à point décimal :



Chapitre 9: LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

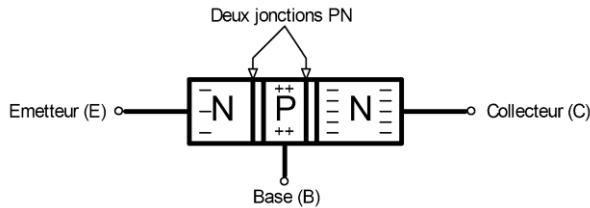
I) DEFINITION

C'est un composant électronique à trois bornes dont la base, l'émetteur et le collecteur qui a la possibilité d'amplifier le courant, mais également de se comporter comme un interrupteur. Il est commandé par son courant de base I_B .

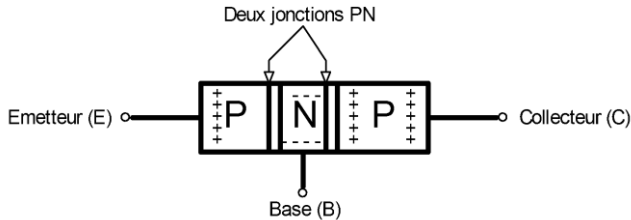
II) CONSTUITION

Il est constitué par un cristal de semi conducteur (germanium ou silicium) comportant trois zones dopées différemment de façon à former :

- Soit deux zones **N** séparées par une zone **P** ; c'est le transistor **NPN**.



- Soit deux zones **P** séparées par une zone **N** ; c'est le transistor **PNP**.

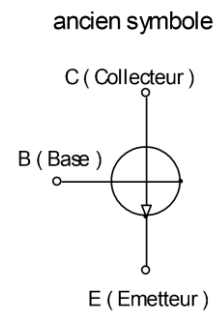
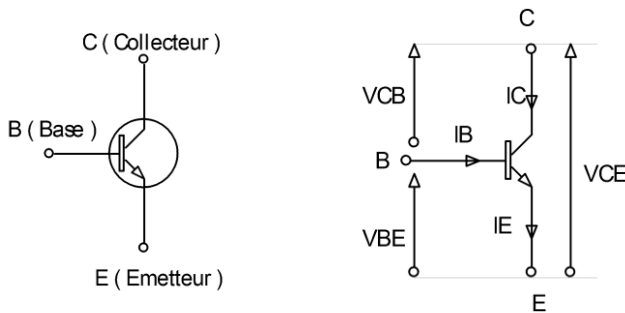


Le transistor bipolaire présente deux jonctions **PN** dont les sens sont opposés. La zone comprise entre les deux jonctions est très mince ; c'est la **BASE** du transistor. Une des zones extrêmes est fortement dopée ; c'est l'**EMETTEUR** du transistor. L'autre zone extrême faiblement dopée, est le **COLLECTEUR** du transistor.

III) SYMBOLES

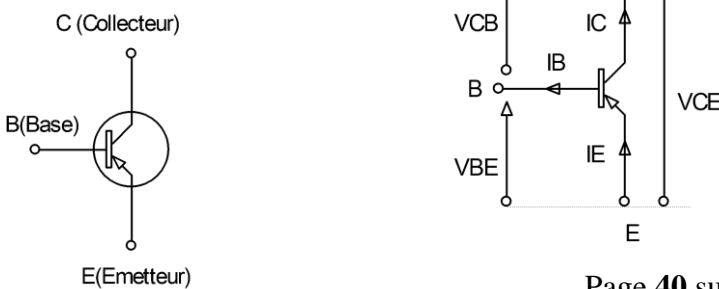
III-1) type NPN

Nouveaux symboles

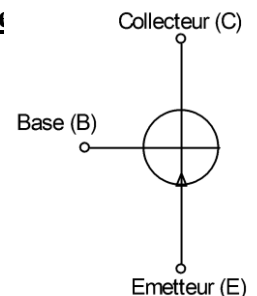


III- 2) Type PNP

Nouveaux symboles



ancien symbol



IV) CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

IV-1) Type NPN

On a : Pour les courants : $I_B > 0$; $I_C > 0$ et $I_E > 0$. Pour les tensions : $V_{BE} > 0$; $V_{CE} > 0$ et $V_{CB} > 0$

La loi des nœuds donne : $I_E = I_B + I_C$

La loi des mailles donne : $V_{CE} - V_{CB} - V_{BE} = 0$ donc : $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$

IV-2) Type PNP

On a en général pour les courants $I_B > 0$; $I_C > 0$ et $I_E > 0$. Pour les tensions $V_{BE} < 0$ donc $V_{EB} > 0$; $V_{CE} < 0$ donc $V_{EC} > 0$ et $V_{CB} < 0$ donc $V_{BC} > 0$

La loi des nœuds donne : $I_E = I_B + I_C$

La loi des mailles donne : $V_{CE} - V_{CB} - V_{BE} = 0$ donc $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$;

$-V_{EC} = -V_{BC} - V_{EB}$ donc $V_{EC} = V_{BC} + V_{EB}$

IV-3) Effet transistor bipolaire

C'est la propriété du transistor de commander un courant important de collecteur I_C à partir d'un faible courant de base I_B .

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

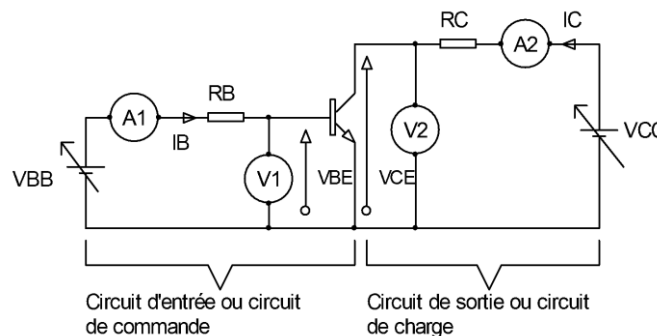
β : est le coefficient d'amplification en courant ou le gain en courant du transistor. Il est sans unité. Selon le type de transistor β peut dépasser 100 $I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B = (1 + \beta) I_B$.

$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

IV-4) Trace du réseau de caractéristiques d'un transistor Bipolaire type NPN

IV-4-1) Montage expérimental

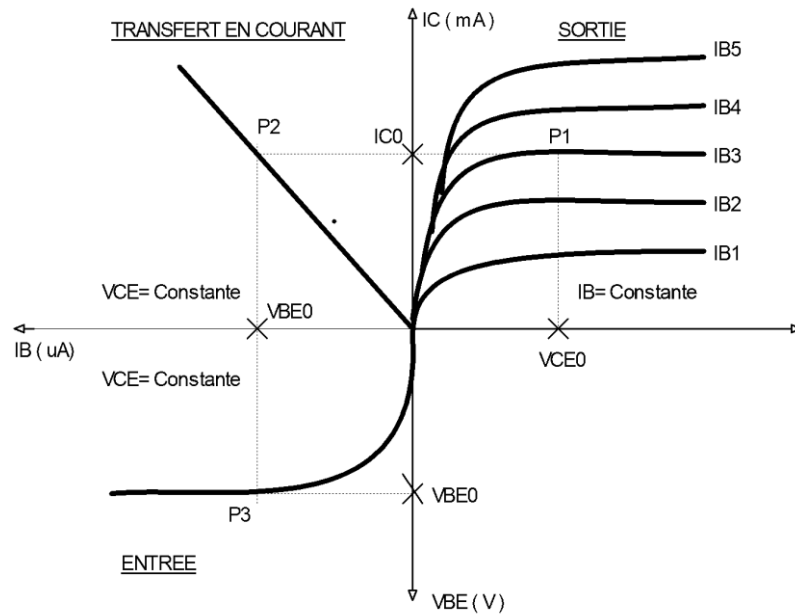
Le transistor en tant que quadripôle peut alimenter selon le montage expérimental suivant :



NB : La jonction base-émetteur est polarisée en direct ou dans le sens passant. La jonction collecteur-base dans le sens non passant ou sens bloqué.

IV-4-2) Réseau de caractéristiques

On appelle réseau de caractéristique l'ensemble des courbes traduisant les relations entre les quatre grandeurs du transistor bipolaire. C'est-à-dire les grandeurs d'entrée (V_{BE} et I_B) et les grandeurs de sortie (I_C et V_{CE}).



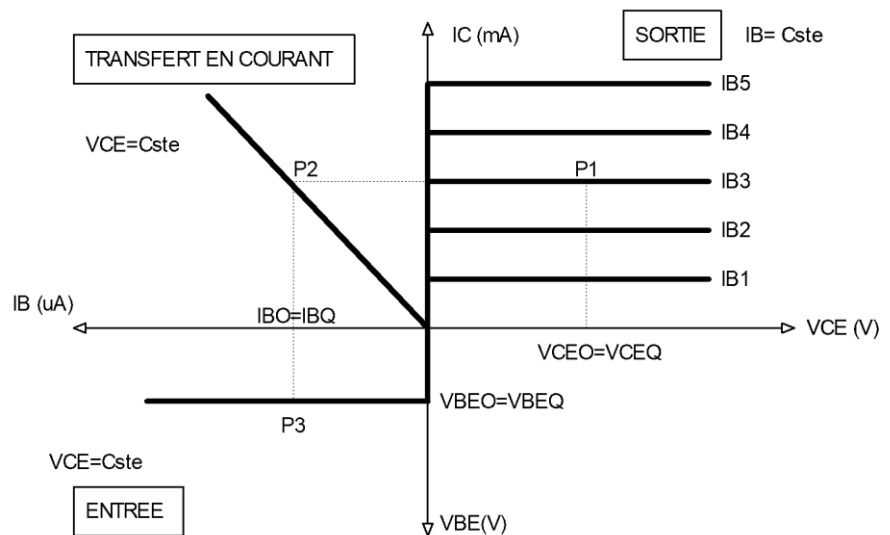
a) Caractéristique d'entrée : C'est la courbe de V_{BE} en fonction de I_B : ($V_{BE} = f(I_B)$) lorsque V_{CE} est maintenu constante. Elle est pratiquement celle d'une diode en direct. V_{BE} est de l'ordre de **0,7V** (diode au Silicium(Si)) et **0,3V** (diode au Germanium (Ge)).

b) Caractéristique de sortie : C'est la courbe de I_C en fonction de V_{CE} : ($I_C = f(V_{CE})$), lorsque I_B est maintenu constant. Dans un transistor idéal ces caractéristiques sont des droites horizontales car I_C ne dépend que de I_B .

Dans un transistor réel, ces caractéristiques sont légèrement inclinées sur l'horizontal.

c) Caractéristique de transfert en courant : C'est la courbe de I_C en fonction de I_B : ($I_C = f(I_B)$) lorsque V_{CE} est maintenu constante. Cette caractéristique est une droite passant par l'origine et qui traduit la proportionnalité entre I_C et I_B

d) Caractéristiques idéalisées



e) Le point de fonctionnement du transistor.

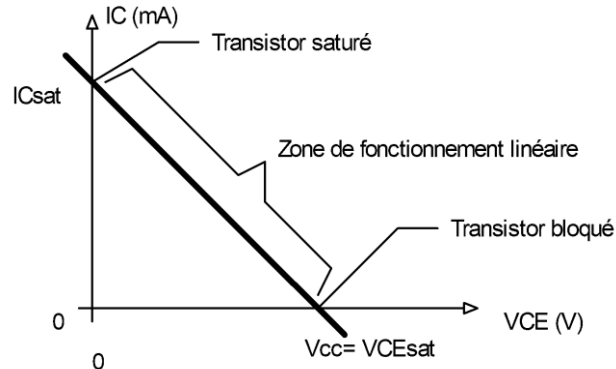
Il est caractérisé par la donnée des quatre (4) valeurs que sont $V_{BE0} = V_{BEQ}$; $I_{B0} = I_{BQ}$; $V_{CE0} = V_{CEQ}$ et $I_{C0} = I_{CQ}$.

Ils sont représentés sur le réseau de caractéristique par les points **P1**, **P2** et **P3**.

V- COMPORTEMENTS STATIQUE OU EN POLARISATION (EN REGIME LINEAIRE)**V-1) Définitions****V-1-1) Droite de charge**

La droite de charge d'un transistor bipolaire est la droite qui a pour équation I_C en fonction de V_{CE} : ($I_C = f(V_{CE})$) ou V_{CE} en fonction de I_C : ($V_{CE} = f(I_C)$). Elle est déduite de la loi des mailles appliquée au circuit de sortie.

Exemple :

**V-1-2) Régime linéaire**

On dit qu'un transistor fonctionne en régime linéaire, lorsqu'il n'est ni bloqué ni saturé et son point de fonctionnement se trouve dans la zone de fonctionnement linéaire.

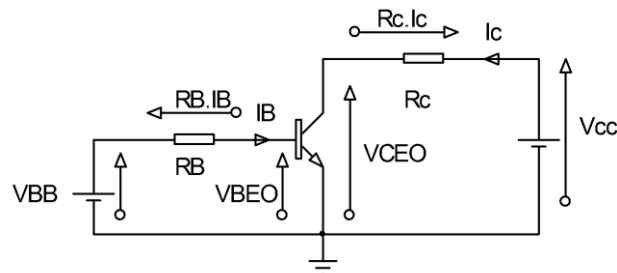
NB : C'est à ce régime qu'on utilise les transistors bipolaires pour faire des amplifications en **classe A**.

V-1-3) Droite d'attaque

C'est la droite qui a pour équation V_{BE} en fonction de I_B ($V_{BE} = f(I_B)$) ou I_B en fonction de V_{BE} ($I_B = f(V_{BE})$). Elle est déduite en appliquant la loi des mailles au circuit d'entrée du montage

V-2) Procédure de polarisation en régime linéaire.

Polariser un transistor c'est fixer son point de repos V_{CE0} , I_{C0} , V_{BE0} et I_{B0} de sorte qu'il puisse fonctionner en amplification comme nous le désirons.

V-2-1) Polarisation par deux sources de tension**a) Schéma****b) Expressions des résistances R_B et R_C**

D'après la loi des mailles : $V_{CC} - R_C \cdot I_{C0} - V_{CE0} = 0$ donc

$$R_C = (V_{CC} - V_{CE0}) / I_{C0}$$

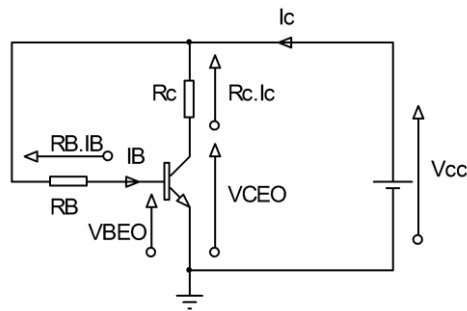
$V_{BB} - R_B \cdot I_{B0} - V_{BE0} = 0$ donc

$$R_B = (V_{BB} - V_{BE0}) / I_{B0}$$

NB : L'utilisation de deux sources de tension étant coûteuse et encombrant l'on préfère les polarisations par une seule source de tension.

V-2-2) Polarisation par une seule source de tension**a) Par résistance R_B entre V_{CC} et base**

a-1) schéma



NB : Ce montage est sensible à la dérive thermique. Ce type de polarisation ne doit jamais être employé pour un transistor utilisé en amplificateur (il est tolérable en commutation).

a-2) Expressions des résistances R_B et R_C

D'après la loi des mailles : $V_{CC} - R_C \cdot I_{C0} - V_{CE0} = 0$ donc

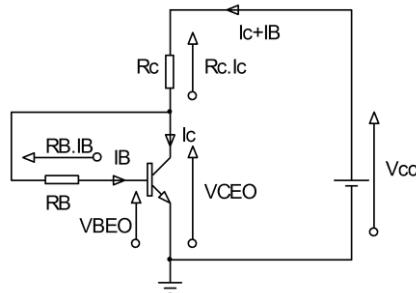
$$R_C = (V_{CC} - V_{CE0}) / I_{C0}$$

$V_{CC} - R_B \cdot I_{B0} - V_{BE0} = 0$ donc

$$R_B = (V_{CC} - V_{BE0}) / I_{B0}$$

b) Par résistance R_B entre collecteur et base

b-1) Schéma



b-2) Expressions des résistances R_C et R_B

D'après la loi des mailles : $V_{CC} - R_C \cdot (I_{C0} + I_{B0}) - V_{CE0} = 0$ donc

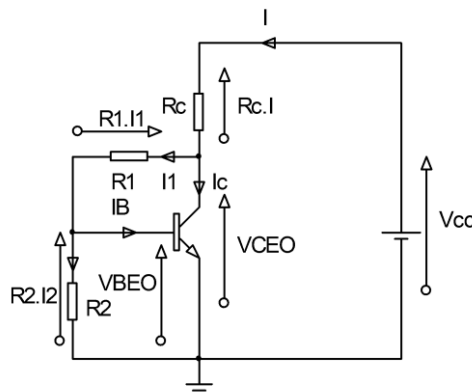
$$R_C = (V_{CC} - V_{CE0}) / (I_{B0} + I_{C0})$$

$V_{CE0} - V_{BE0} - R_B \cdot I_{B0} = 0$ donc

$$R_B = (V_{CE0} - V_{BE0}) / I_{B0}$$

c) Par pont de résistance entre collecteur et masse

c-1) Schéma



c-2) Expression des résistances R_C , R_1 et R_2

D'après la loi des mailles : $V_{CC} - R_C \cdot I - V_{CE0} = 0$, Or $I = I_{C0} + I_1$ en général

$I_1 = 10 \cdot I_{B0}$; $V_{CC} - R_C \cdot (I_{C0} + I_1) - V_{CE0} = 0$ donc $V_{CC} - R_C \cdot (I_{C0} + 10 \cdot I_{B0}) - V_{CE0} = 0$

Donc

$$R_C = (V_{CC} - V_{CE0}) / (I_{C0} + I_{B0})$$

$$V_{CE0} - R_1 \cdot I_1 - V_{BE0} = 0; \quad V_{CE0} - 10I_{B0} \cdot R_1 - V_{BE0} = 0; \text{ donc}$$

$$R_1 = (V_{CE0} - V_{BE0}) / 10I_{B0}$$

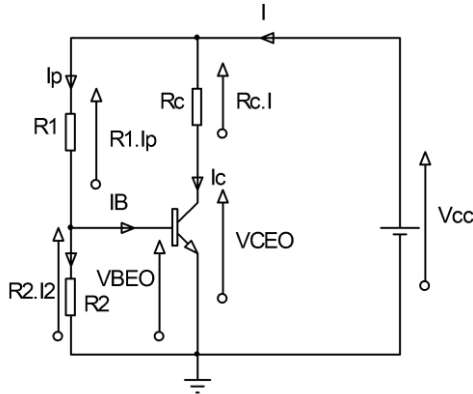
$$V_{BE0} - R_2 \cdot I_2 = 0; \text{ Or } I_2 = I_1 - I_{B0} = 10I_{B0} - I_B = 9I_B \text{ donc } V_{BE0} - 9R_2 \cdot I_{B0} = 0 \text{ alors}$$

$$R_2 = V_{BE0} / 9I_{B0}$$

d) Polarisation par pont de résistance entre Vcc et masse

C'est le montage de polarisation le plus utilisé car il permet d'avoir un point de repos stable.

d-1) Schéma



NB : En général le courant $I_P = 10I_{B0}$ c'est le courant de pont.

d-2) Expression de Rc, R1 et R2

$$R_c = (V_{cc} - V_{CE0}) / I_{C0}$$

$$V_{BE0} - R_2 \cdot I_2 = 0; \text{ Or } I_2 = I_P - I_{B0} = 10I_{B0} - I_B = 9I_B \text{ donc } V_{BE0} - 9R_2 \cdot I_{B0} = 0 \text{ alors}$$

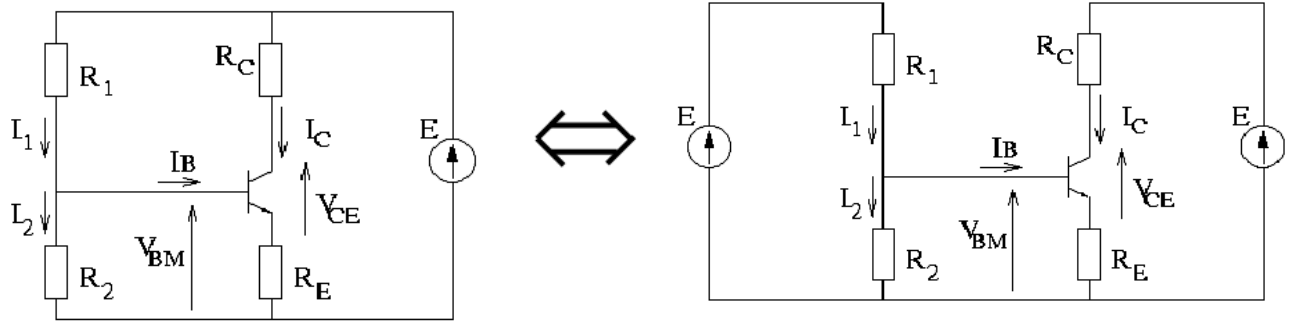
$$R_2 = V_{BE0} / 9I_{B0}$$

$$V_{cc} - R_1 \cdot I_1 - V_{BE0} = 0; \quad V_{cc} - 10I_{B0} \cdot R_1 - V_{BE0} = 0 \text{ donc}$$

$$R_1 = (V_{cc} - V_{BE0}) / 10I_{B0}$$

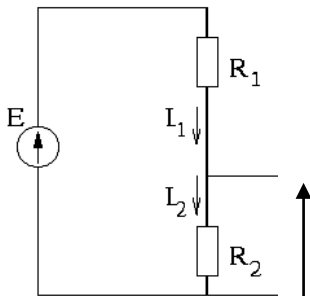
d-3) Tracé les droites d'attaque et de charge après, avoir déterminée leurs équations respectives

- Schéma équivalent au schéma de base



- Calcul de la tension de THEVENIN vu des point B et M: U_{TH}

D'après la loi du diviseur de tension



$$U_{TH} = \frac{R_2 \cdot E}{R_1 + R_2}$$

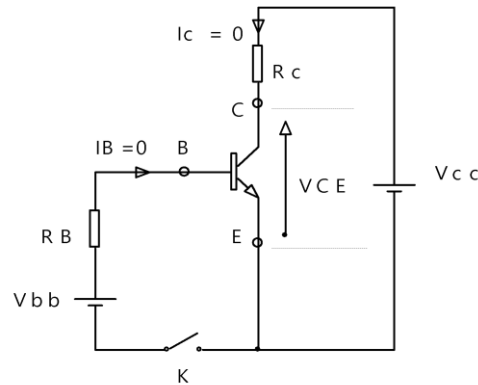
- Calcul de la résistance de THEVENIN vu des points B et M: R_{TH}

La source de tension E devient un court-circuit ou interrupteur fermé

VI- TRANSISTOR BIPOLAIRE EN REGIME DE COMMUTATION**VI-1) Définition**

On dit qu'un transistor bipolaire fonctionne en régime de commutation lorsqu'il se comporte comme un interrupteur entre le collecteur (C) et l'émetteur (E).

Il ne peut avoir que deux états de fonctionnement : **BLOQUE** (équivalent à un interrupteur ouvert entre C et E) ou **SATURE** (équivalent à un interrupteur fermé entre C et E). La transition d'un état à l'autre doit se faire le plus rapidement possible.

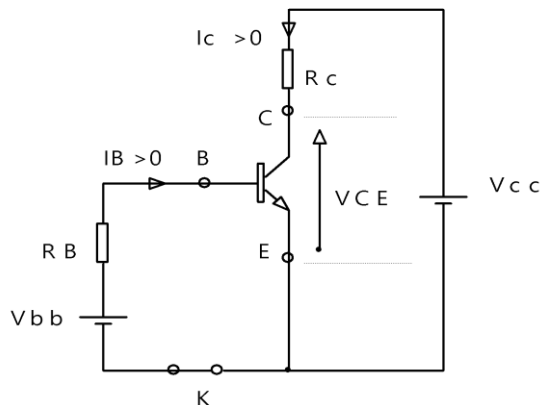
VI-2) Fonctionnement**VI-2-1) Etat bloqué****a) Schéma****b) Explication**

L'interrupteur **K** est ouvert le courant **IB** est nul. La charge **Rc** est parcourue par un faible courant résiduel **ICEO** et on admet qu'elle n'est pas alimentée.

On dit que le transistor est bloqué et il est équivalent à un **interrupteur ouvert** entre les points **C** et **E**. Pratiquement $V_{CE} = V_{CC}$. Car $V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$ et $I_C = \beta I_B = 0$ donc $V_{CE} = V_{CC}$.

Transistor **bloqué** $I_B=0$, $I_C=0$ et $V_{CE}=V_{CC}$: **interrupteur ouvert** entre les points **C** et **E**.

I_{CEO} est encore appelé courant de fuite ou courant circulant entre le collecteur et l'émetteur lorsque la base est ouverte.

VI-2-2) Etat saturé**b) Schéma****c) Explication**

L'interrupteur **K** est fermé le courant **IB** prend une grande valeur positive. La charge **Rc** est parcourue par un $I_C = I_{CSAT}$ qui est maximum et $V_{CE} = V_{CEsat}$ qui est pratiquement nulle ($V_{CEsat} = 0$). Ainsi la tension aux bornes de la charge est sensiblement égale à **Vcc**. On dit que le transistor est saturé et il est équivalent à un **interrupteur fermé** entre les points **C** et **E**.

Pour obtenir cet état le courant **IB** doit être supérieur à $I_{BSAT} = \frac{I_{CSAT}}{\beta} = \frac{V_{CC}}{\beta_{min} \cdot R_C}$.

Le gain d'un transistor n'étant connu qu'à l'intérieur d'un intervalle sur les fiches techniques :

$$\beta_{min} < \beta < \beta_{maxi}.$$

La détermination de I_{BSAT} se fera avec la borne inférieure de l'intervalle.

Condition de saturation : $I_B > \frac{V_{CC}}{\beta_{min} \cdot R_C}$

$I_B = K \cdot \frac{V_{cc}}{\beta_{min} \cdot R_C} = K \cdot I_{BSAT}$ avec **K coefficient de sursaturation** ou **facteur de sursaturation** qui est en général égal à **2 à 3**.

Transistor saturé $I_B = I_{Bsat} = I_{Csat} / \beta > 0$, $V_{CE} = V_{CEsat} = 0$: interrupteur ouvert entre les points C et E

- Choix des résistances R_B et R_C

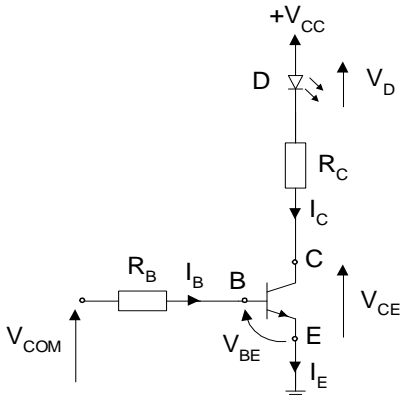
On a : $I_B > \frac{V_{cc}}{\beta_{min} \cdot R_C}$; or $I_B = \frac{V_{bb} - V_{BE}}{R_B}$ donc $\frac{V_{bb} - V_{BE}}{R_B} > \frac{V_{cc}}{\beta_{min} \cdot R_C}$

$$\frac{R_C}{R_B} > \frac{V_{cc}}{\beta_{min} (V_{bb} - V_{BE})}$$

Séance d'exercices du chapitre 9

EXERCICE 1

$R_B = 100k\Omega$; $R_C = 2k\Omega$; $V_{COM} = 10V$; $V_{CC} = 12V$; $V_{BE} = 0,6V$; $V_{CE} = 1V$; $I_C = \beta x I_B$; $\beta = 50$



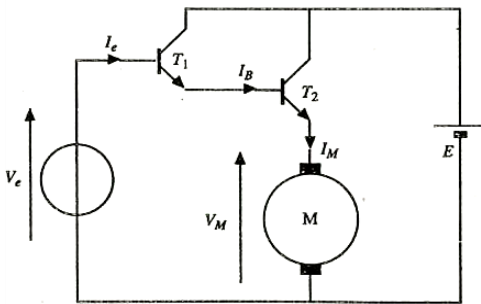
Soit le montage suivant

1. Exprimez I_B en fonction de R_B , V_{COM} et V_{BE} . Calculez I_B .
2. Exprimez V_D en fonction de V_{CC} , R_C , I_C et V_{CE} .
3. Exprimez V_D en fonction de V_{CC} , R_C , β , I_B et V_{CE} .
4. Exprimez V_D en fonction de V_{CC} , R_C , β , V_{CE} , R_B , V_{COM} et V_{BE} .
5. Calculez V_D
6. Calculez I_C .

EXERCICE 2

On utilise un montage Darlington afin d'alimenter un moteur à courant continu. L'intensité I_M du moteur à courant continu est constante.

On donne $E=240V$; $I_M = 2A$; $V_{BE1} = V_{BE2} = 0,75V$; $\beta_1 = 100$; $\beta_2 = 20$



On admettra que $I_B \ll I_C$ pour les deux transistors

- 1) Exprimer V_M en fonction de V_e .
- 2) Calculer l'amplification en courant $A_i = \frac{I_M}{I_e}$.
- 3) Calculer l'intensité du courant I_e fourni par la source de commande V_e .

4) Pour $V_e = 10V$ puis $V_e = 20V$ calculer :

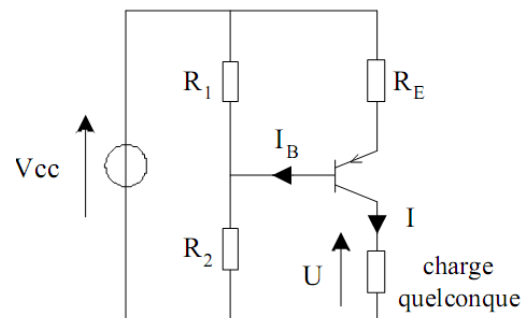
- La puissance fournie au moteur ;
- La puissance fournie par la source de commande V_e ;
- La puissance fournie par la source d'alimentation continue E ;
- La puissance dissipée dans les transistors ;
- Le rendement du montage.

Le transistor PNP est en régime linéaire.

- a- En négligeant le courant de base I_B , calculer la tension aux bornes de la résistance R_2 .
- b- En déduire la tension aux bornes de la résistance R_E .
- c- Calculer R_E pour avoir un courant $I = 1 \text{ mA}$.
- d- Le montage se comporte comme une source de courant tant que le transistor fonctionne en régime linéaire. Quelle valeur la tension U ne doit-elle pas dépasser ?

On donne : $V_{CC} = + 12 \text{ V}$; $R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 8,2 \text{ k}\Omega$.
 $V_{EB} = 0,7 \text{ V}$; $V_{EC \text{ sat}} = 0,2 \text{ V}$

EXERCICE 3



Eléments de correction : a- 9,46 V ; b- 1,84 V ; c- 1,84 kΩ ; d- 9,96 V

EXERCICE 4 :

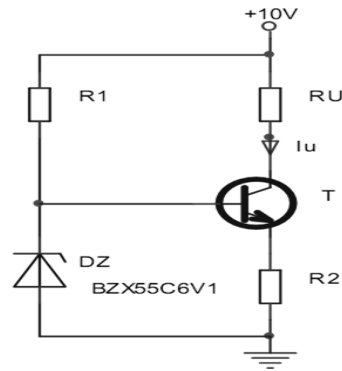
Soit le montage suivant :

$\beta = 100$; $V_{BE} = 0,7V$; $V_Z = 6,1V$; $R_2 = 1\text{ k}\Omega$

1°). Pour $R_u = 200\ \Omega$, calculez la valeur de I .

2°). Pour $R_u = 300\ \Omega$, calculez la valeur de I .

3°). Quelle est la fonction réalisée par ce montage ?



EXERCICE 5

Soit le montage d'un transistor en commutation ci-contre:

Données : générateur $V_{CC} = 10V$, $\beta = 200$, $V_{BE} = 0,7V$, $V_{CEsat} = 0,25V$, $R_C = 500\Omega$, $R_B = 14700\Omega$, $V_{in} = 0$ ou $5V$. Le transistor sera saturé

1. Écrivez l'équation de la maille d'entrée (R_B , V_{in} , ...)

2. Écrivez l'équation de la maille de sortie (R_C , V_{CC} , ...)

3. Lorsque $V_{in} = 0V$:

• Donnez l'état du transistor (bloqué ou conducteur).

4. Lorsque $V_{in} = 5V$:

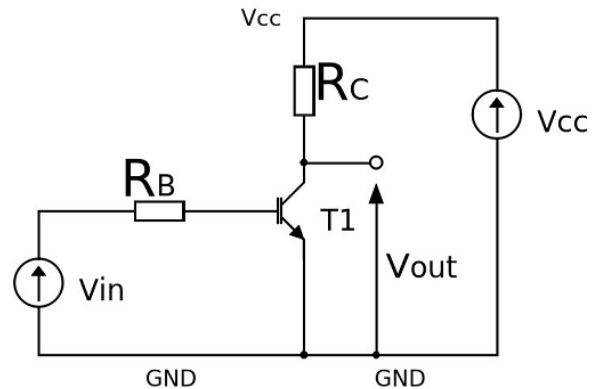
• Donnez l'état du transistor (bloqué ou conducteur).

• Déduisez-en la valeur de V_{CE} et de V_{out} .

5. Lorsque le transistor conduit calculez, à l'aide de l'équation de la maille d'entrée, la valeur du courant I_B .

6. Lorsque le transistor conduit calculez, à l'aide de l'équation de la maille de sortie, la valeur du courant I_C . (le transistor est saturé)

7. À partir de la relation entre I_C et I_B , démontrez que le transistor est bien saturé.



EXERCICE 6

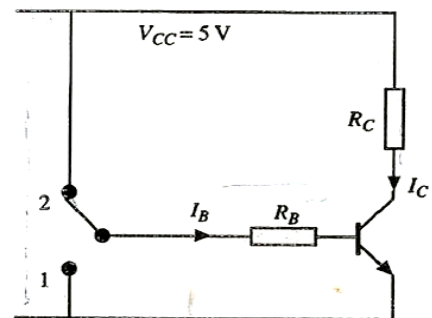
Pour le montage ci- contre, on donne $R_B = 47K\Omega$; $R_C = 1,5K\Omega$.

$V_{BE} = 0,8V$; $V_{CEsat} = 0V$; $\beta = 120$

1) L'interrupteur est en position (1). Quel est l'état du transistor ?

2) L'interrupteur est en position (2). Calculer I_B et I_C . Quel est l'état du transistor ?

Réponses : $89\mu A$; $3,3\text{ mA}$; $I_B > \frac{I_C\text{ sat}}{\beta}$



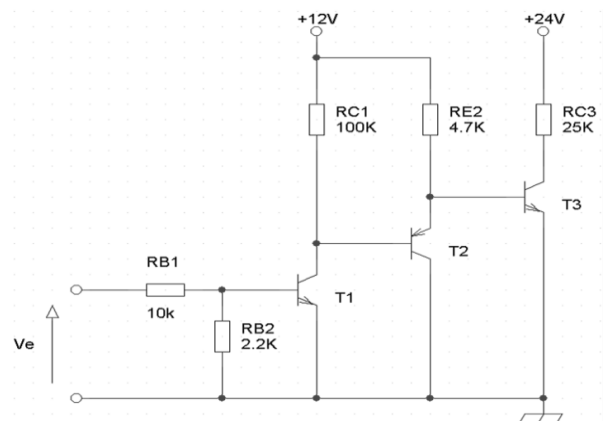
EXERCICE 7

Dans le montage suivant :

1°). On suppose $V_e = 0$, indiquez quels sont les transistors dans l'état bloqué et ceux dans l'état saturé.

2°). On suppose $V_e > 0$, indiquez quels sont les transistors dans l'état bloqué et ceux dans l'état saturé.

3°). A partir de quelle tension V_e , T1 est-il saturé ?

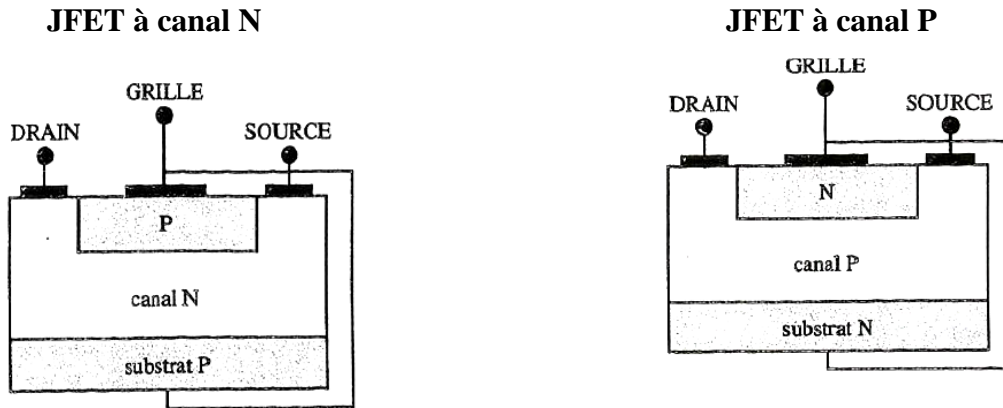


Chapitre 10 : TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A JONCTION (JFET)

I- DEFINITION

C'est un composant électronique à trois bornes dont la grille, la source et le drain qui a la possibilité d'amplifier le courant, mais également de se comporter comme un interrupteur. Il est commandé par sa tension grille- source.

II- CONSTITUTION



Le **TEC à jonction** (ou **JFET : Jonction Field Effet Transistor**) est constitué d'un barreau de semi-conducteur de type N (ou P) : Le **CANAL**. Aux deux extrémités du canal on trouve deux électrodes métalliques appelées : **SOURCE** et **DRAIN**.

Il existe de chaque côté du canal deux régions de type P (ou N) reliées électriquement à l'électrode de commande : **GRILLE** (porte).

La constitution du **JFET** entraîne l'existence d'une jonction canal-grille qui doit être polarisée en inverse.

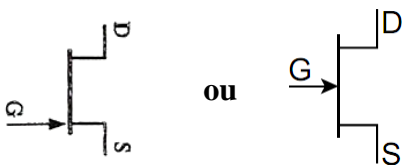
III- FONCTIONNEMENT

On utilise un effet électrostatique. L'idée est ici de créer un canal dont la largeur est contrôlée par la commande de la grille. En pratique, le fait d'appliquer une tension de grille (négative pour le NJFET) renforce la polarisation négative des jonctions PN existant dans le transistor, ce qui amène les zones de charge d'espace de ces jonctions à s'élargir et donc à rétrécir le canal permettant le passage du courant de drain.

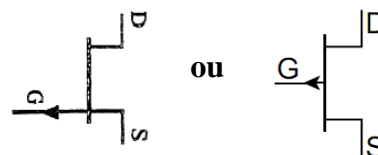
Sa résistance d'entrée, quoique très élevée (environ $10^{10}\Omega$)

IV-SYMBOLLES

JFET à canal N ou NFET



JFET à canal P ou PFET



NB : G : Grille ou Gate ; D : Drain ; S : Source

V- CARACTERISTIQUES

V-1) Caractéristiques constructeurs

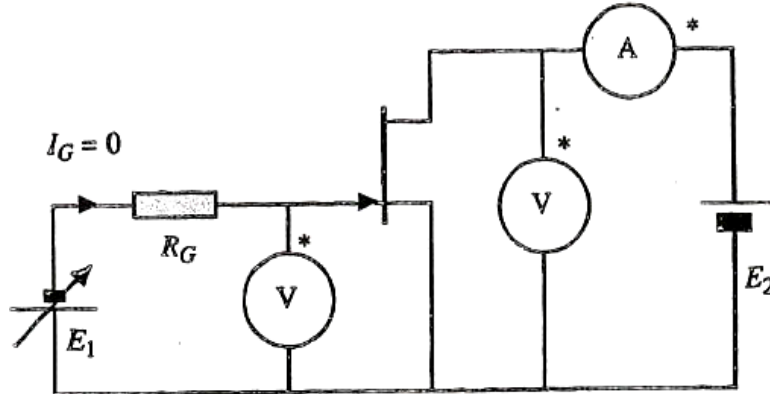
- V_{GSM} : Tension Maximale Grille-Source au-delà de laquelle le transistor risque d'être détruit (claquage de la jonction par effet d'avalanche).
- V_{DSM} : Tension Maximale Drain- Source au-delà de laquelle le transistor risque d'être détruit (claquage de la jonction par effet d'avalanche).

- P_M : Puissance maximale dissipable pour une température du boîtier de 25°C ($P_M = I_D \cdot V_{DS}$).
- I_G : le courant de grille qui est très faible et de l'ordre du nano ampère donc négligeable $I_G \approx 0$ nA

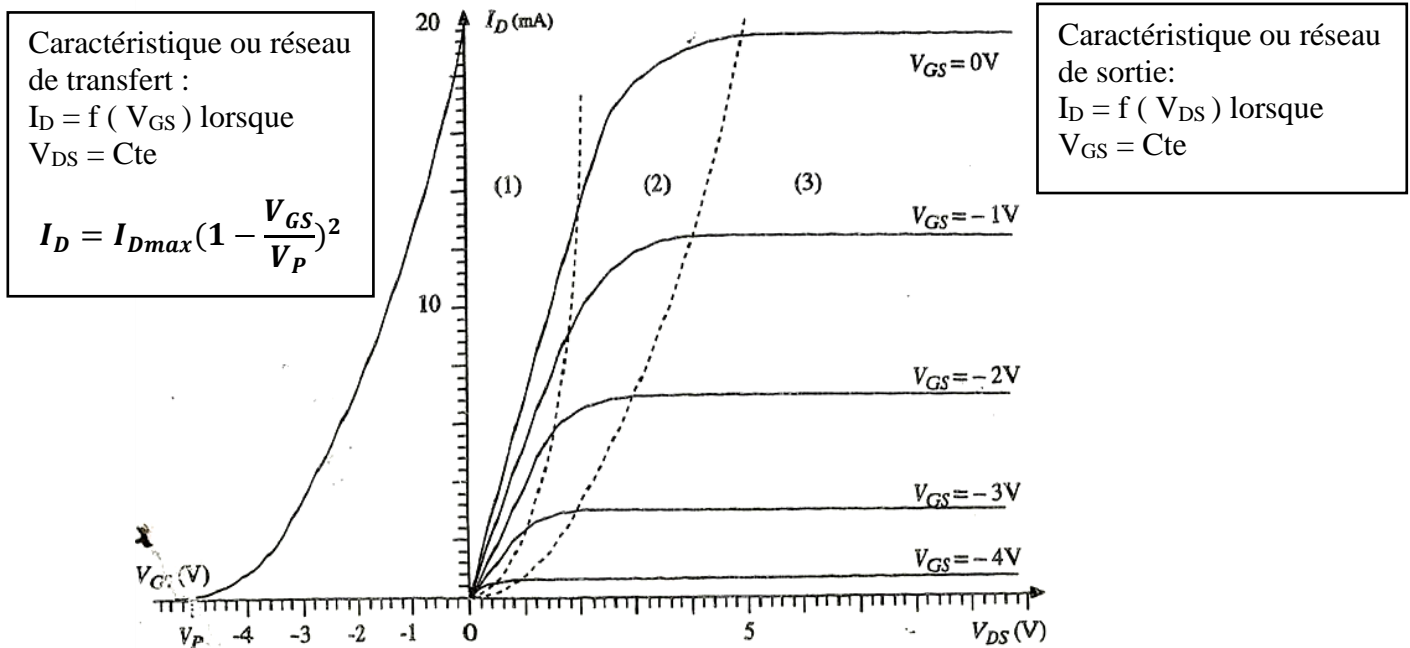
V-2) Réseau de caractéristiques

V-2-1) Montage expérimental pour NFET

La résistance R_G permet de protéger le transistor dans le cas d'une mauvaise polarisation de la jonction grille- source.



V-2-2) Courbes du réseau de caractéristiques



V-2-3) Interprétation

- Le réseau de transfert montre que le JFET est commandé en tension. Si $|V_{GS}|$ augmente, I_D diminue.

Pour $|V_{GS}| \geq |V_P|$ (tension de pincement), le courant est quasiment nul : le JFET est bloqué. Dans le cas contraire il est passant. V_{GSoff} : tension de blocage ($I_D = 0, \forall V_{DS}$), $V_{GSoff} = V_P$

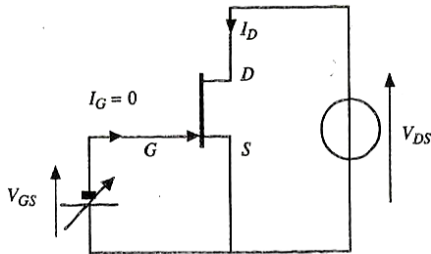
$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right]^2$$

- Le réseau de sortie comprend trois parties :
 - (1) La région ohmique, pour laquelle le transistor est utilisé en résistance variable commandée par une tension $R_{DS} = f(V_{GS})$. (Dans cette région, il est possible de travailler avec des tensions V_{DS} symétriques mais de faibles valeurs).
 - (2) La région pour laquelle la résistance du canal R_{DS} dépend de V_{GS} et de V_{DS} .

- (3) La région de pincement pour laquelle le courant est sensiblement constant et ne dépend que de V_{GS} . Le transistor se comporte comme un générateur de courant dont l'intensité est commandée par la tension V_{GS} : $I_D = f(V_{GS})$.

NB : Pour la polarisation JFET à canal N ou NFET, il faut que $V_{GS} < 0$ et $V_{DS} > 0 > V_{GS}$
 Pour la polarisation JFET à canal P ou PFET, il faut que $V_{GS} > 0$ et $V_{DS} < 0 < V_{GS}$

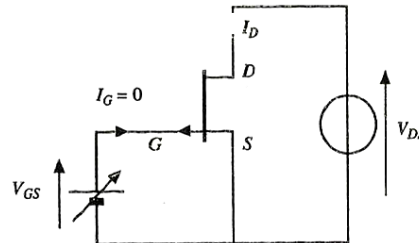
Canal N



Canal N : $V_{GS} < 0$
 $V_{DS} > V_{GS}$

$I_D = I_S > 0 \text{ car } I_G = 0$

Canal P



Canal P : $V_{GS} > 0$
 $V_{DS} < V_{GS}$

$I_D = I_S > 0 \text{ car } I_G = 0$

VI- APPLICATIONS

Les deux principales applications des JFET sont l'utilisation en amplificateur et l'utilisation en commutation.

VI-1) Utilisation en commutation

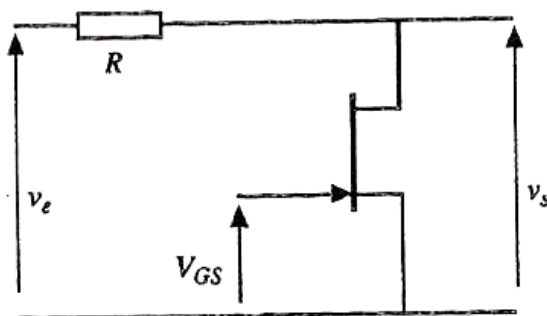
Le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert entre drain et source lorsque $|V_{GS}| > |V_P|$, c'est l'état bloqué.

Le transistor se comporte comme une résistance de faible valeur (R_{DSon}) entre drain et source lorsque $V_{GS} = 0$; c'est l'état passant ($R_{DSon} = 200 \Omega$ pour la caractéristique qui est donnée).

EXERCICE D'APPLICATION : Interrupteur analogique

On donne : $R = 200 \text{ K}\Omega$; $V_P = -5\text{V}$; $R_{DSon} = 200 \Omega$.

- 1- Exprimer V_s en fonction de V_e , lorsque :
 - a) $V_{GS} = 0 \text{ V}$.
 - b) $V_{GS} = -8 \text{ V}$.
- 2- Représenter $V_s(t)$ lorsque V_{GS} est une tension rectangulaire de fréquence 1 KHz et pouvant prendre les deux valeurs précédentes, V_e étant une tension constante de 10 V.



Résolution

.....

.....

.....

.....

.....

Son équation : la loi des mailles donne $R_S \cdot I_D + V_{GS} - R_g \cdot I_G = 0$ Or $I_G = 0$ donc $R_g \cdot I_G = 0$

alors $R_S \cdot I_D + V_{GS} = 0$ D'ou $V_{GS} = -R_S \cdot I_D$ ou $I_D = -\frac{V_{GS}}{R_S}$

c) Notion de droite de charge statique

C'est la droite qui a pour équation $V_{DS} = f(I_D)$ ou $I_D = f(V_{DS})$. Cette équation s'obtient en appliquant la loi des mailles au circuit de sortie.

Son équation est : $R_S \cdot I_D + V_{DS} - R_d \cdot I_D - V_{dd} = 0$ donc $V_{DS} = V_{dd} - (R_S + R_d) \cdot I_D$

Ou $I_D = \frac{V_{dd} - V_{DS}}{R_S + R_d}$

d) Calcul des résistances de polarisation R_S et R_d sachant les valeurs de V_{DS0}, I_{D0} et V_{GS0}

$R_S \cdot I_{D0} + V_{GS0} - R_g \cdot I_G = 0$ or $I_G = 0$ donc $R_g \cdot I_G = 0$ alors $R_S \cdot I_{D0} + V_{GS0} = 0$ puis $R_S = \frac{-V_{GS0}}{I_{D0}}$

On a : $I_{D0} = \frac{V_{dd} - V_{DS0}}{R_S + R_d}$ donc $R_S + R_d = \frac{V_{dd} - V_{DS0}}{I_{D0}}$ enfin : $R_d = \frac{V_{dd} - V_{DS0}}{I_{D0}} - R_S$

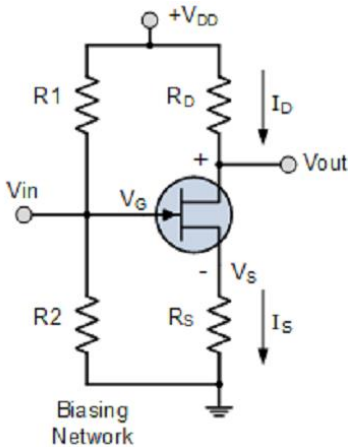
$$R_d = \frac{V_{dd} - V_{DS0}}{I_{D0}} - \left(\frac{-V_{GS0}}{I_{D0}} \right) = \frac{V_{dd} - V_{DS0}}{I_{D0}} + \frac{V_{GS0}}{I_{D0}}$$

VI-2-2) Polarisation par pont diviseur

Ce montage source commune est polarisée par un diviseur de tension formé par les résistances R_1 et R_2 . La tension aux bornes de la résistance de source est généralement fixée à 25% de V_{DD} , soit :

$$V_S = R_S \cdot I_D = \frac{V_{DD}}{4}$$

a) Schéma



b) Expression des résistances de polarisation R_S, R_1, R_2 et R_D sachant les valeurs de $V_{DS0}, I_{D0}, I_2 = I_1$ et V_{GS0} puis $R_S \cdot I_{D0} = \frac{V_{DD}}{4}$

On a : $R_S = \frac{V_{DD}}{4 \cdot I_{D0}}$

Le courant de grille étant nul $I_G = 0$, on a la loi du diviseur de tension qui donne : $V_{GM} = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$;

$$V_S + V_{GS0} - R_2 \cdot I_2 = 0 \Rightarrow V_S + V_{GS0} = R_2 \cdot I_2$$

$$R_2 = \frac{V_S + V_{GS0}}{I_2} ; V_S + V_{GS0} + R_1 \cdot I_1 - V_{DD} = 0$$

$$R_1 = \frac{V_{DD} - V_S + V_{GS0}}{I_1}$$

$$V_S + V_{DS0} + R_D \cdot I_{D0} - V_{DD} = 0 \Rightarrow R_D \cdot I_{D0} = V_{DD} - (V_S + V_{DS0}) \text{ enfin :}$$

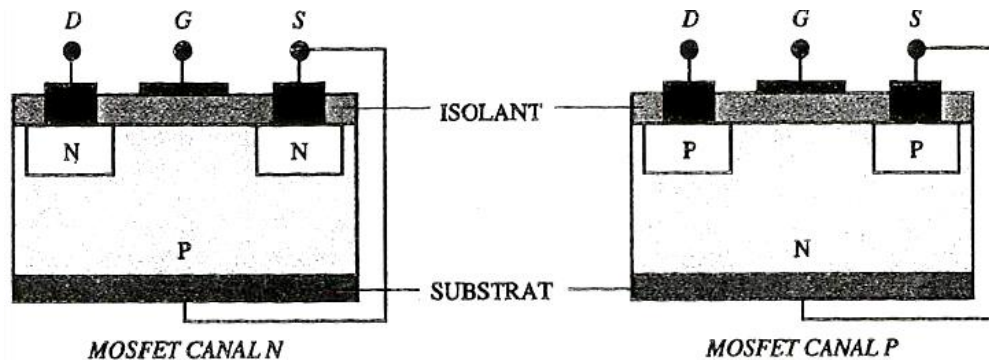
$$R_D = \frac{V_{DD} - V_S - V_{DS0}}{I_{D0}}$$

Chapitre 11 : TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE ISOLEE ET A CANAL INDUIT (MOSFET)

I- DEFINITION

C'est un composant électronique à trois bornes dont la grille, la source et le drain qui a la possibilité d'amplifier le courant, mais également de se comporter comme un interrupteur. Il est commandé par sa tension grille- source, avec sa grille qui est isolée des deux autres bornes.

II- CONSTITUTION



Les différences essentielles avec le **TEC** à jonction ou **JFET** sont :

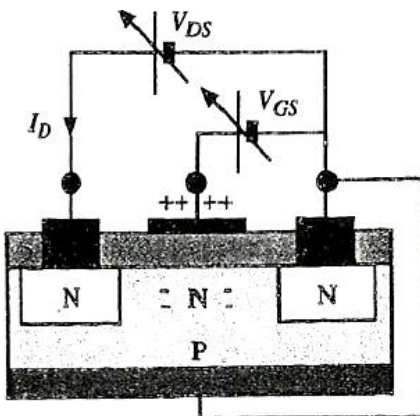
- La grille est isolée du canal par une couche d'oxyde de silicium et par conséquent : $I_G = 0 \text{ A}$.
- Il n'existe pas de canal semi-conducteur en l'absence de tension de commande :

$I_D = 0 \text{ A}$, lorsque $V_{GS} = 0 \text{ V}$. Ce transistor est aussi appelé : **MOSFET** (**M**etal **O**xide **S**emi-conducteur **F**ield **E**ffet **T**ransistor).

III- FONCTIONNEMENT

Le bon fonctionnement du **MOSFET** est obtenu lorsque la jonction drain-substrat est polarisée en inverse. Pour un transistor, le substrat est relié à la source.

Dans les circuits intégrés, le substrat est souvent relié au potentiel le plus bas pour les transistors « canal N » et au potentiel le plus élevé pour les transistors « canal P ».



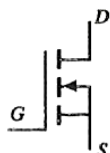
Le fonctionnement du **MOSFET** est également basé sur les variations de la résistance du canal semi-conducteur.

Lorsque l'on applique une tension V_{GS} positive (pour un « canal N »), un champ électrique a pour effet d'attirer des électrons vers la grille.

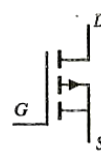
Le canal induit se crée entre la source et le drain et un courant I_D peut circuler si l'on applique une tension $V_{DS} > 0$.

IV-SYMBOLES des MOSFET à Enrichissement ou enhancement

MOSFET à canal N ou NMOS



MOSFET à canal P ou PMOS



NB : Nous ne verrons pas les MOSFET à appauvrissement ou à déplétion

V- CARACTERISTIQUES

V-1) Caractéristiques constructeurs

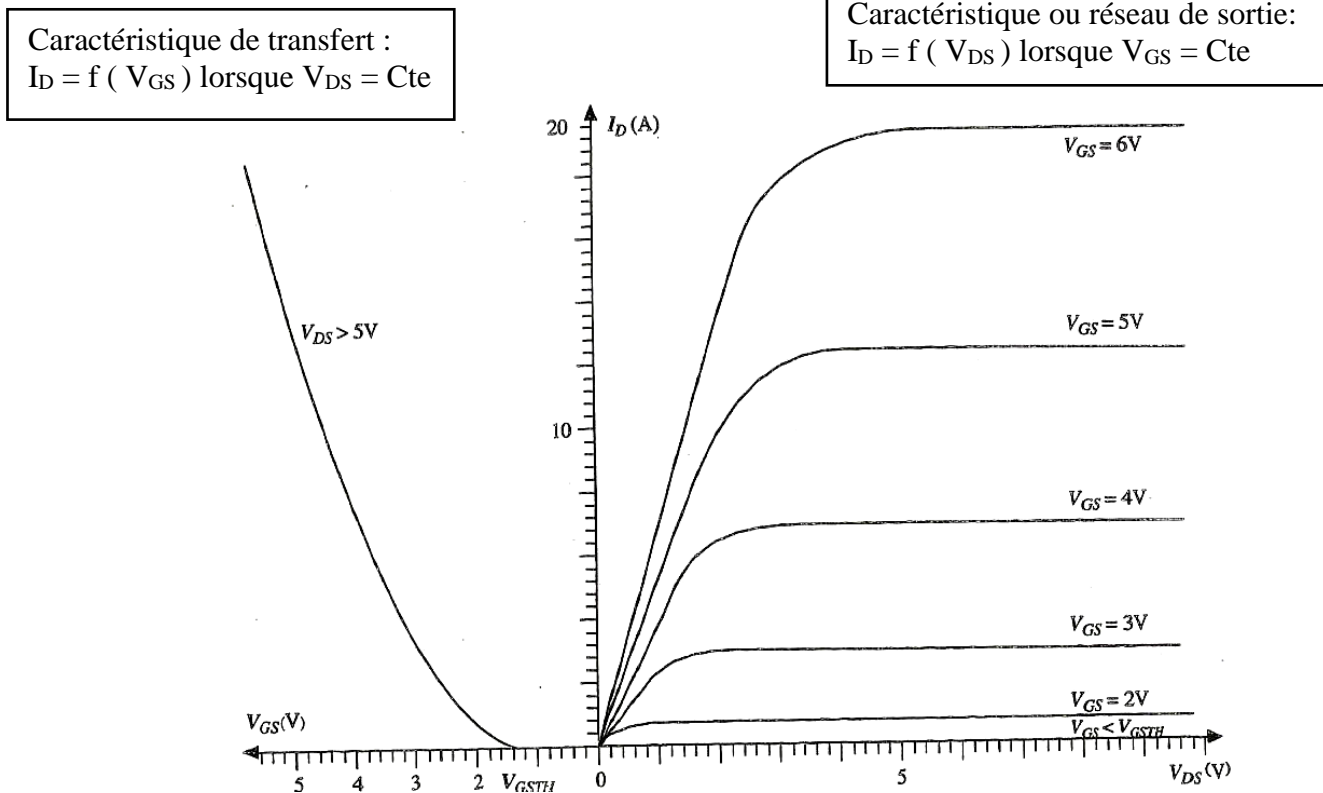
- V_{GSTH} : Tension **minimale** Grille-Source au-delà de laquelle le transistor rentre en conduction
- V_{DSM} : Tension **Maximale** Drain- Source au-delà de laquelle le transistor risque d'être détruit (claquage de la jonction par effet d'avalanche).
- P_M : Puissance maximale dissipable pour une température du boîtier de 25°C ($P_M = I_D \cdot V_{DS}$).
- I_G : le courant de grille qui est plus faible que celle du JFET est de l'ordre du pico ampère donc négligeable $I_G \approx 0 \text{ pA}$.

V-2) Réseau de caractéristiques

V-2-1) Montage expérimental pour NMOS

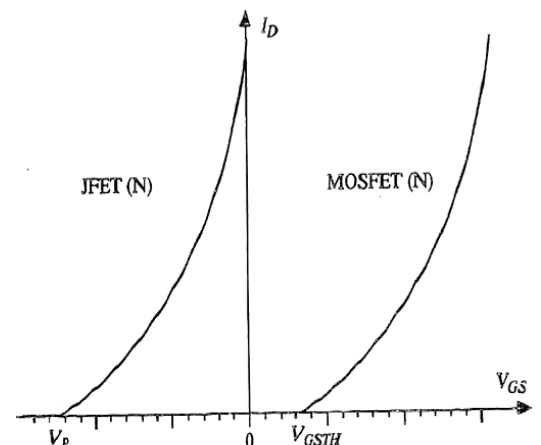
Le montage est le même que celui du NFET mais les courbes diffèrent au niveau de la caractéristique de transfert.

V-2-2) Courbes du réseau de caractéristiques



V-2-3) Interprétation comparative le JFET à canal N

- Le réseau de transfert courant-tension :
 $I_D = f(V_{GS})$ d'un **MOSFET** est différent de celui du **JFET**.
Le **MOSFET** est bloqué pour $0 \leq V_{GS} < V_{GSTH}$ (Gate threshold Voltage).
Une augmentation de V_{GS} entraîne une augmentation de I_D .
Le **JFET** est passant pour $V_{GS} = 0 \text{ V}$.
Une augmentation de $|V_{GS}|$ entraîne une diminution de I_D pour le **JFET**.
- Le réseau de sortie est semblable à celui du **JFET**



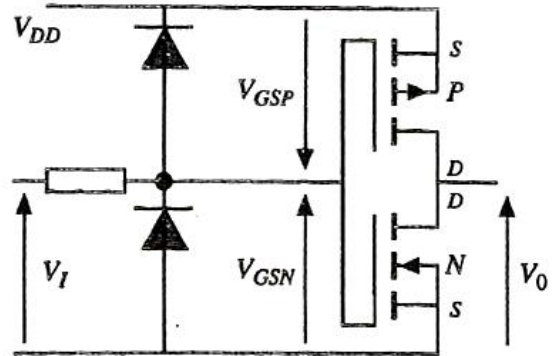
NB : Pour la polarisation MOSET à canal N ou NFET, il faut que $V_{GS} > V_{GSTH} > 0$ et $V_{DS} > 0$
 Pour la polarisation JFET à canal P ou PFET, il faut que $V_{GS} < -V_{GSTH} < 0V$ et $V_{DS} < 0$

VI- APPLICATIONS

Il peut être utilisé en régime d'amplification comme en régime de commutation, mais à cause de son impédance d'entrée trop élevée l'on préfère l'utiliser en régime de commutation et utiliser le JFET en régime d'amplification. Ainsi en régime de commutation on peut réaliser des porte logiques et meme des interrupteurs analogiques.

VI-1) Porte logique CMOS

Une porte logique CMOS est constituée de deux transistors MOSFET complémentaires. Les portes CMOS sont généralement pourvues de diodes de protection. Elles limitent le potentiel de grille des transistors à une valeur comprise entre 0 V et la tension d'alimentation V_{DD} . Sans ces diodes, les charges électrostatiques accumulées sur les grilles, lorsque celles-ci sont en l'air, pourraient amener la tension V_{GS} au-delà de la tension de claquage de l'isolant.

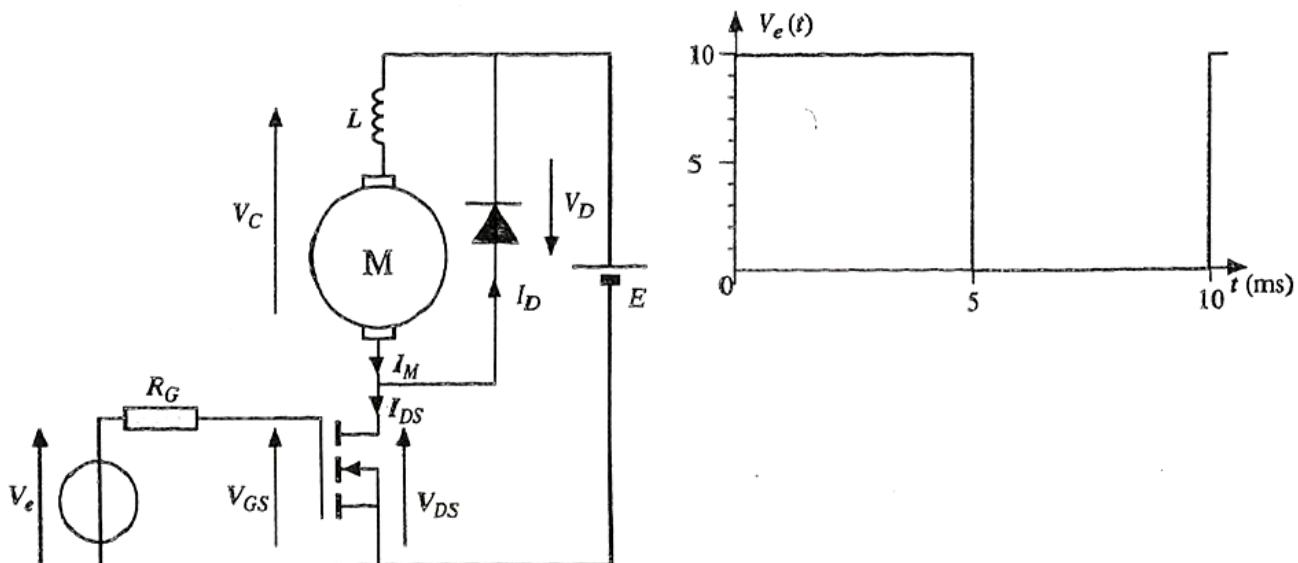


V_I	V_{GSN}	MOSFET (N)	V_{GSN}	MOSFET (P)	V_O
0	0	bloqué	$-V_{DD}$	passant	V_{DD}
V_{DD}	V_{DD}	passant	0	bloqué	0

La porte logique réalise la fonction NON. C'est un inverseur.

VI-1) MOSFET de puissance en commutation

Un MOSFET de puissance en commutation (canal N) fonctionne en commutation. La charge est constituée d'un moteur à courant continu en série avec une inductance de lissage L. L'intensité du courant I_M du courant dans le moteur est constante. La tension de commande V_e est une tension rectangulaire d'amplitude 10 V et de fréquence 100 Hz.



Séances d'exercices des Chapitre 10 et 11
--

EXERCICE 1:

On désire alimenter une LED à courant constant (10 mA) avec une source de tension (V_{CC}) qui peut évoluer entre 12 et 24 V. Pour cela, on utilise un transistor JFET BF245C ($I_{DSS} = 17$ mA, ce qui est suffisant pour fournir 10 mA) fonctionnant en source de courant : Figure de dessous.

- 1) Calculer la valeur de la résistance R.
- 2) Calculer la tension V_{CC} minimale qui permet d'avoir un courant de 10 mA (on tolère une variation de 1 mA).

On donne : Tension aux bornes de la LED : 2,0 V pour 10 mA

- 3) Le data sheet du transistor indique que : $P = 300$ mW (max).

Vérifier qu'il n'y a pas de problèmes d'échauffement du transistor.

Corrigé :

- 1) D'après la figure 1 :

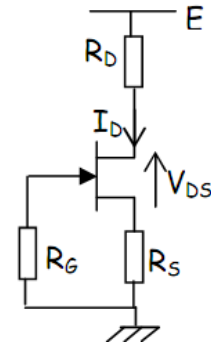
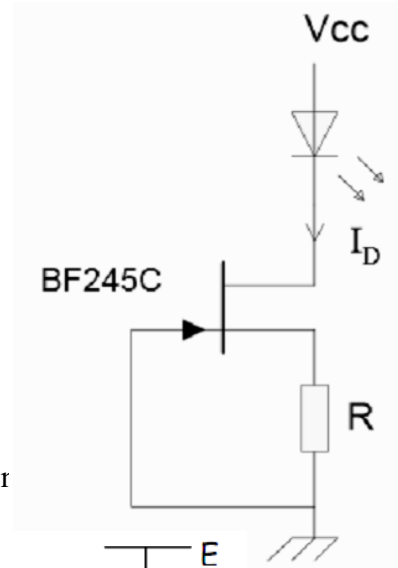
$$I_D = 10 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS} = -1,6 \text{ V} \Rightarrow R = -V_{GS} / I_D = 160 \Omega \text{ (1/4 W)}$$

- 2) D'après la figure 2

$$V_{DS} > 4 \text{ V} \Rightarrow V_{CC} > 4 + 1,6 + 2,0 = 7,6 \text{ V (environ)}$$

$$P = V_{DS} I_D = (V_{CC} - 1,6 - 2,0) \cdot 0,010$$

$$P = 200 \text{ mW pour } V_{CC} = 24 \text{ V donc pas de problèmes d'échauffement}$$

**EXERCICE 2 :**

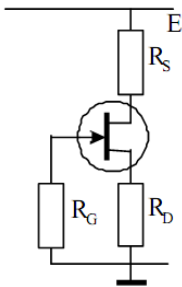
On admettra que : $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$

Déterminer le point de fonctionnement du montage sachant que :

$$I_{DSS} = 4 \text{ mA} \quad V_{GSoff} = -2 \text{ V}$$

$$R_D = 4,7 \text{ k}\Omega \quad R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_G = 5 \text{ M}\Omega \quad E = 10 \text{ V.}$$

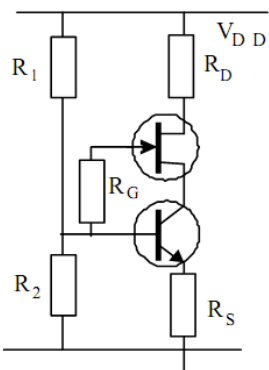
EXERCICE 3: Polarisation des transistors à effet de champ

Sachant que $I_{DSS} = 5$ mA, $V_{GS0} = -2$ V, déterminer le point de fonctionnement du montage si :

a) $R_S = 100 \Omega$

b) $R_S = 1 \text{ k}\Omega$.

Déterminer la valeur de R_S pour avoir $I_D = 2$ mA.

EXERCICE 4 : Régulateur de courant drain

Déterminer le point de fonctionnement du montage si on impose

$$V_{GS} = -2 \text{ V.}$$

On donne :

$$V_{DD} = 30 \text{ V} \quad R_G = 10 \text{ M}\Omega$$

$$R_D = 8,2 \text{ k}\Omega \quad R_S = 10 \text{ k}\Omega$$

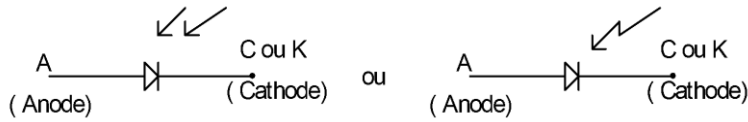
$$R_1 = 33 \text{ M}\Omega \quad R_2 = 15 \text{ k}\Omega.$$

Chapitre 12 : PHOTODIODE

I- DEFINITION

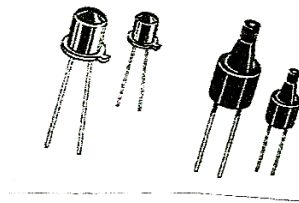
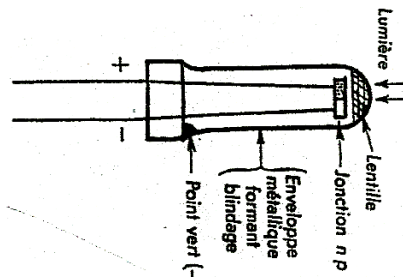
Une photodiode est une diode à jonction qui produit un courant en fonction de l'éclairement reçu. Elle est constituée d'un semi-conducteur dopé P d'un côté et N de l'autre (jonction dit PN). Elle possède une petite fenêtre transparente (lentille) qui permet de concentrer la lumière vers la jonction PN.

II- SYMBOLES



III- PRESENTATION PHYSIQUE

La cathode est généralement indiquée par un anneau ou un ergot qui sera branché à la borne positive.



Trois connexions sortent du boîtier. L'une correspond à la masse (connectée au boîtier), les deux autres à la cathode et à l'anode.

La surface sensible est protégée par une fenêtre traitée anti-reflet à la longueur d'onde de travail afin d'éviter les réflexions de Fresnel sur l'interface air-verre qui engendreraient des pertes non négligeables.

Dans certaines rares applications où l'on cherche à réduire le plus possible les pertes de détection (en recherche principalement), il peut être utile de retirer cette protection ("décapsulation"). La photodiode devient très fragile et sa durée de vie est réduite. Cette solution est vivement déconseillée pour toutes applications courantes.

IV- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

IV-1) Courant d'obscurité :

C'est le courant inverse presque négligeable qui circule dans la photodiode en absence de lumière.

IV-2) Sensibilité :

S_λ (en $A \cdot W^{-1}$, $V \cdot W^{-1}$, $A \cdot lm^{-1}$, $V \cdot lm^{-1}$ selon les grandeurs d'entrée/ sortie utilisées)

Elle représente le taux de variation $S_\lambda = \frac{R(F) - R_D(F_D=0)}{F - 0}$ ou R est la réponse du détecteur (en I ou en U

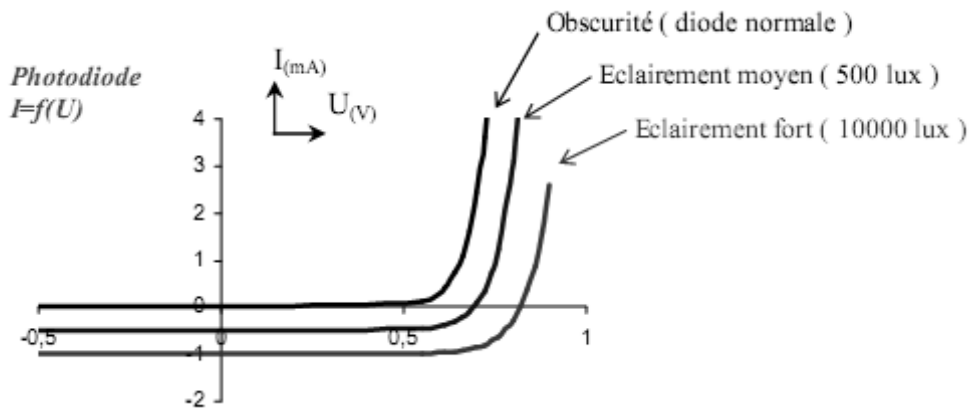
selon) à un flux reçu F (énergétique en W ou lumineux en lm). R_D est la réponse à l'obscurité (D pour dark), soit $F_D = 0$

IV-3) Temps de réponse :

Temps mis par le signal pour atteindre 75 % de sa valeur asymptotique lorsque le détecteur est soumis à une variation d'éclairement très rapide du type fonction escalier

V-4) Caractéristiques courant-tension :

Le graphe $I = f(U)$ pour une photodiode dépend de l'éclairement (Lux) de la jonction PN.

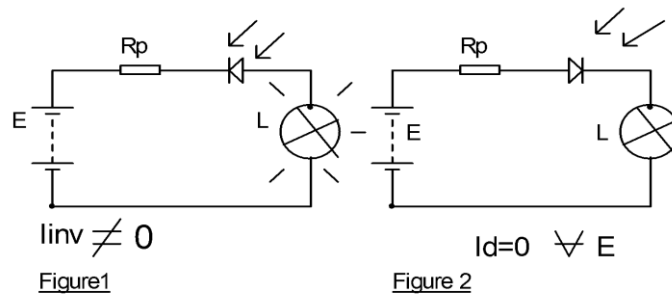


NB : On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur ($I = 0 \Rightarrow U \approx 0,7 \text{ V}$ pour 1000 lux). On a donc affaire à une photopile (effet photovoltaïque).

V- FONCTIONNEMENT

Etant donné qu'elle ne fonctionne que lorsqu'elle est éclairée, nous allons donc la polariser dans son état éclairé.

V-1) Schémas



V-2) Explication

En polarisation inverse (figure1) la lampe L brille donc la photodiode laisse passer un courant inverse important à partir d'une tension seuil. Donc elle se comporte comme un interrupteur fermé.

En polarisation direct (figure 2), elle ne laisse passer aucun courant d'où la lampe L ne brille pas. Ainsi elle se comporte comme un interrupteur ouvert.

VI- AVANTAGES :

- Bonne sensibilité
- Faible temps de réponse (bande passante élevée).

VII- INCONVENIENTS :

- Coût plus élevé qu'une photorésistance
- Nécessite un circuit de polarisation précis.

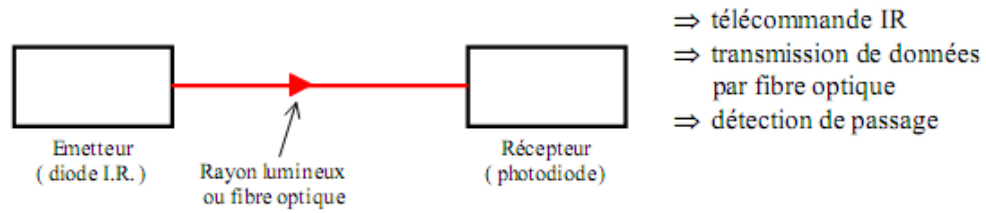
VIII- APPLICATIONS :

- Lecture des cartes et bandes perforées.
- On trouvera de nombreuses autres applications industrielles telles que les dispositifs de comptage, déclenchement d'appareils de sécurité, etc.

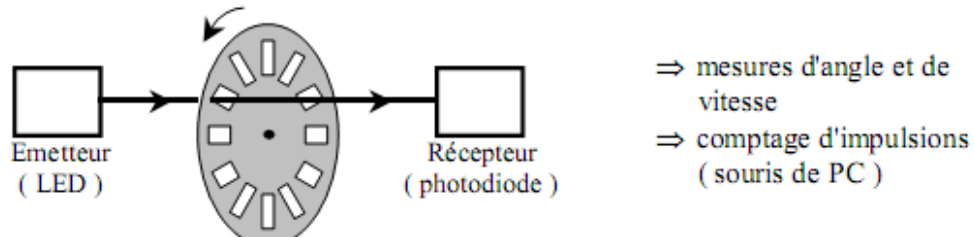
- Elle est utilisée généralement comme détecteur de lumière ou d'obscurité car qui détecte la lumière détecte l'obscurité.

Exemples

1) Transmission de données



2) Roue codeuse



IX- REMARQUE

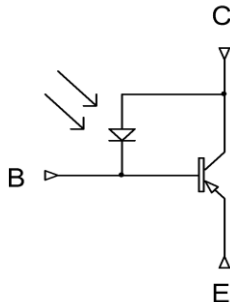
La photodiode est sensible à deux sortes de lumière à savoir les lumières visibles (lumière solaire ou artificielle) et la lumière non visible dont l'infrarouge (**IR**) ou les deux types de lumière à la fois.

Chapitre 13 : PHOTO TRANSISTOR

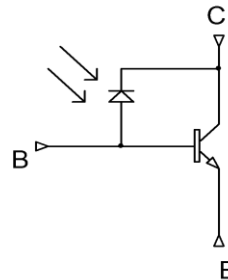
I- DEFINITION-CONSTITUTION

C'est un transistor bipolaire dont la base et le collecteur sont reliés par une photodiode. Il présente les structures suivantes en fonction du type de transistors bipolaires utilisés.

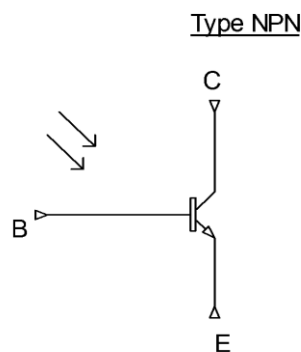
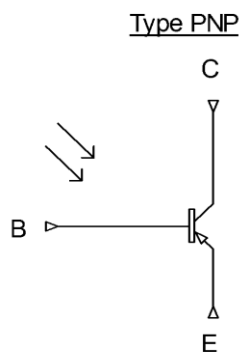
Phototransistor type PNP



Phototransistor type NPN



II- SYMBOLES

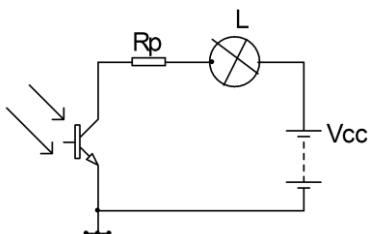


III- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES (MEME QUE CELLE D'UNE PHOTODIODE)

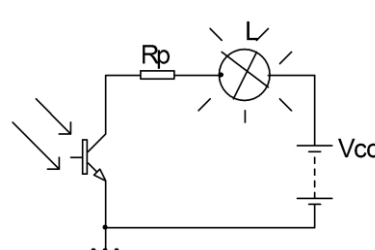
IV- FONCTIONNEMENT

IV-1) Schémas de montages expérimentaux

A l'obscurité



A la lumière



IV-2) Explication

A l'obscurité, la photodiode incorporée dans le phototransistor n'est pas illuminée, alors elle ne peut libérer de porteurs de charge (électrons et trous). D'où pas de force électromotrice (**f.é.m.**) donc pas de courant et la lampe **L** est éteinte.

En présence de lumière, la photodiode étant illuminée, elle va libérer des porteurs de charges. Il en résulte une **f.é.m.** qui conduit le courant et la lampe **L** brille. Ainsi à l'obscurité, il se comporte comme un interrupteur ouvert et à la lumière comme un interrupteur fermé.

V- AVANTAGES :

- Très bonne sensibilité (plus sensible que la photodiode)
- Très faible temps de réponse (plus rapide que la photodiode).

VI- INCONVENIENTS :

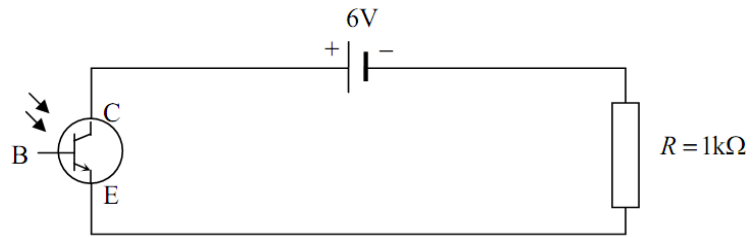
- Coût plus élevé qu'une photodiode
- Nécessite un circuit de polarisation précis.

VII- APPLICATIONS (IDENTIQUES A CELLE DES PHOTODIODES)

Séances d'exercices des chapitres 12 et 13

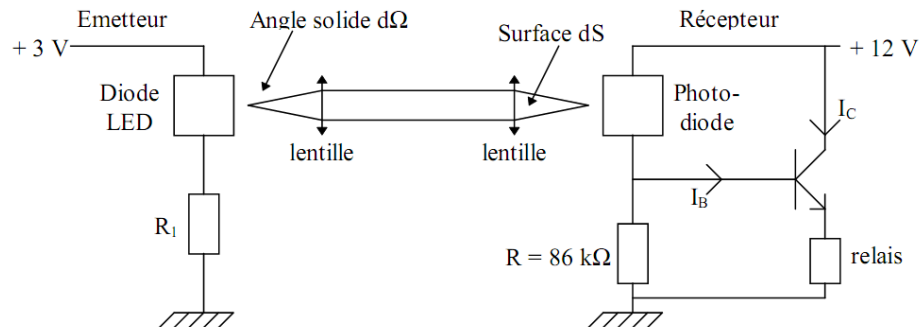
EXERCICE 1

- 1) Calculer la tension aux bornes de la résistance lorsque le phototransistor est éclairé.
- 2) En déduire l'intensité du courant dans le phototransistor.



EXERCICE 2

On se propose de réaliser un photocoupleur à infra rouge utilisant à l'émission une diode LED à AsGa, à la réception une photodiode à AsGa ainsi qu'un transistor au silicium. La transmission de l'information lumineuse est effectuée au moyen d'une fibre optique et de deux systèmes de focalisation. Le relais est assimilable à une résistance de $2\text{ k}\Omega$, son courant minimal de fermeture est de $2,5\text{ mA}$. Ce courant de fermeture est obtenu lorsque le courant I_B atteint la valeur de $25\text{ }\mu\text{A}$. Dans ces conditions, le potentiel aux bornes de R est de $5,7\text{ V}$.

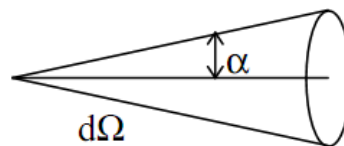


Etude du récepteur

- 1) Quel est le sens de branchement de la diode de réception ?
- 2) Que se passe-t-il en l'absence d'éclairement ?
- 3) Décrire l'évolution du circuit lorsque l'éclairement augmente.
- 4) Au moyen de la caractéristique de la diode BPW 50, calculer l'éclairement énergétique E_0 (exprimé en mW / cm^2) requis pour la fermeture du relais.
- 5) Sachant que la lumière reçue (à la longueur d'onde de 930 nm) arrive sur une surface de 25 mm^2 , en déduire la puissance énergétique nécessaire à la fermeture du relais.

Etude de l'émetteur

- 1) Donner le sens de branchement de la diode LED.
- 2) Sachant que la diode émet dans un cône d'angle moitié $\alpha = 10^\circ$ et que 55 % de la puissance lumineuse est perdue dans le système optique, déterminer l'intensité lumineuse (exprimée en $\text{mW} / \text{stéradian}$) que doit délivrer la LED pour fermer le relais. On rappelle que l'angle solide $d\Omega$ exprimé en stéradian (Sr) d'un cône de demi-angle au sommet α a pour expression : $d\Omega = 2.\pi.(1 - \cos(\alpha))$.



- 3) En déduire le courant dans la diode LED.
- 4) En déduire la valeur de R_1 .
- 5) Quelle serait, dans ces conditions, la température maximale ambiante supportée par la diode LED ?

REPONSES**Récepteur :**

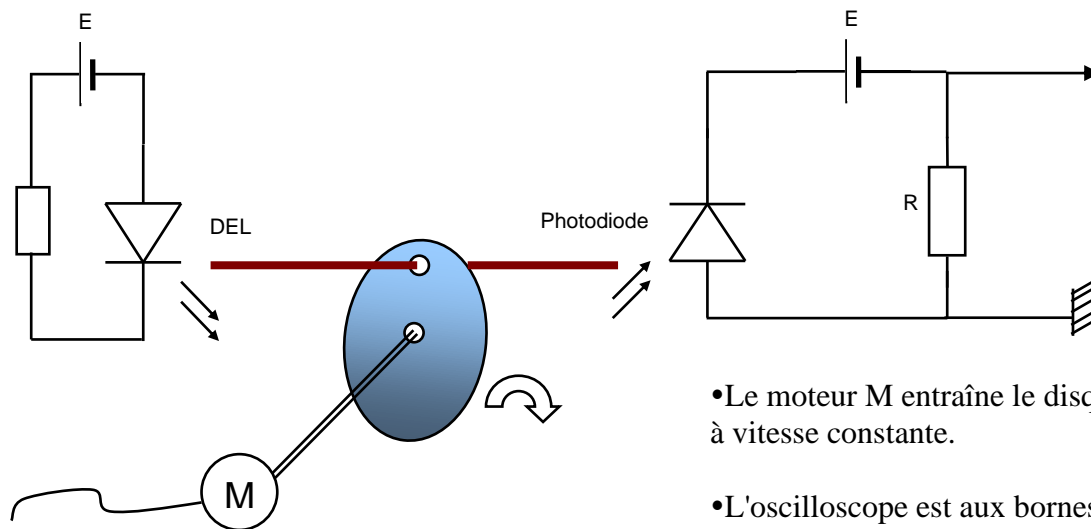
- 1) Photodiode = polarisation inverse.
- 2) Le courant inverse de la diode est égal à I_s (courant d'obscurité qq nA) $\Rightarrow I_B = 0 \Rightarrow$ le relais est ouvert.
- 3) E_c augmente $\Rightarrow I$ inverse augmente jusqu'à ce que I_B atteigne $25 \mu A$. \Rightarrow fermeture du relais.
- 4) $E_0 = 2 \text{ mW} / \text{cm}^2$
- 5) Puissance énergétique = $0,5 \text{ mW}$.

Emetteur :

- 1) diode LED = polarisation en directe.
- 2) Intensité lumineuse = $11,5 \text{ mW} / \text{sr}$.
- 3) I diode = 50 mA .
- 4) $R1 = 34 \Omega$.
- 5) $T_{\text{max}} = 75^\circ \text{C}$.

EXERCICE 3 : Compte tour

Le principe de fonctionnement d'un compte tour est résumé par le schéma ci-dessous;



- Le moteur M entraîne le disque percé à vitesse constante.
- L'oscilloscope est aux bornes de la résistance

L'oscillogramme obtenu aux bornes de la résistance est :



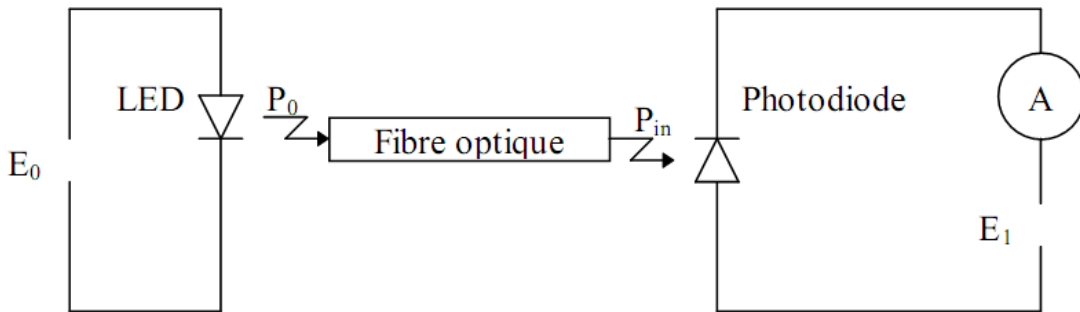
- 1) Expliquer le fonctionnement des deux transducteurs et le fonctionnement de l'ensemble du montage.

- 2) Calculer la période du signal. En déduire la vitesse de rotation en rad/s puis en tr/min du moteur.

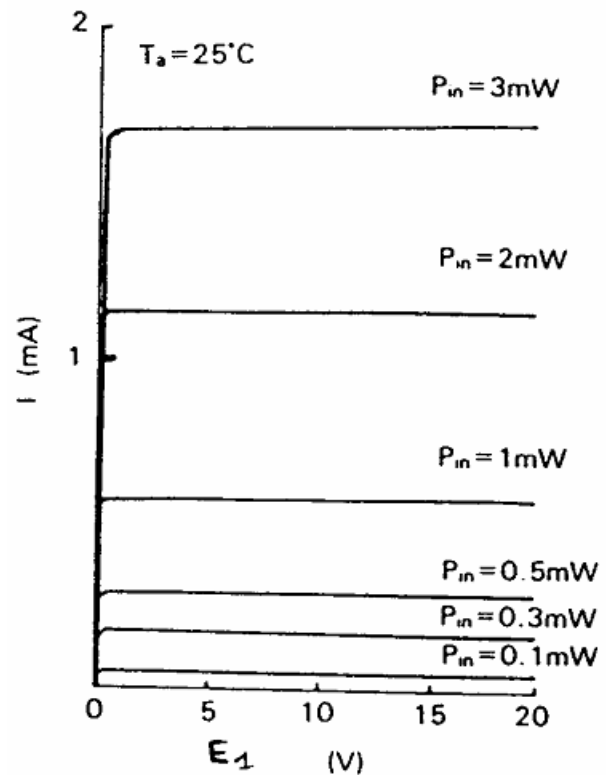
EXERCICE 3

Le dispositif suivant sert à mesurer la sensibilité d'une photodiode. La sensibilité S est le rapport entre le courant traversant la photodiode éclairée et la puissance lumineuse reçue par la photodiode. On rappelle qu'à 300 K,

$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) - P.e \text{ et } V_T = 0,025 \text{ V.}$$



- 1) Sur la figure précédente, dessiner le branchement correct des générateurs E_0 et E_1 (E_0 et E_1 sont positif).
- 2) Préciser le sens des courants réels dans les deux diodes.
- 3) On a relevé expérimentalement les courbes du courant I traversant la photodiode en fonction de E_1 pour différentes puissances lumineuses P_{in} . La relation $I = f(P_{in})$ est-elle linéaire ? En déduire la sensibilité que l'on exprimera en mA / mW.
- 4) La photodiode présente un courant d'obscurité de 5 nA. Déterminer le courant de court-circuit et le potentiel photovoltaïque de cette diode lorsque la puissance lumineuse reçue est de 1 mW.



Réponses 8.3

1. et 2. LED : polarisation directe, photodiode : polarisation inverse.
3. $I = f(P_{in})$ est linéaire quand P_{in} n'est pas trop élevée. $S = 0,6 \text{ mA / mW}$.
4. $I_{cc} = -0,6 \text{ mA}$, $V_{ph} = 0,292 \text{ V}$.