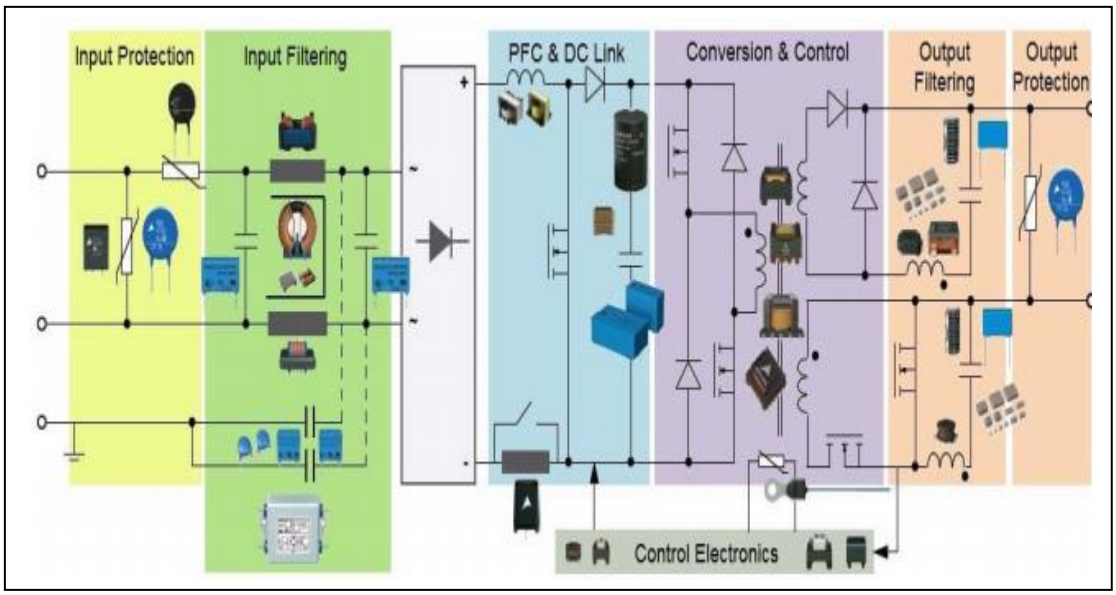
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de la Formation et de l'Enseignement Professionnels
Institut de Formation et de l'Enseignement Professionnels
Sanhadri Abdelhafid Sidi Bel Abbes

MANUEL TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL DU STAGIAIRE

Analyse des circuits électroniques simples

Spécialité : Maintenance Des Equipements Informatiques

Niveau : 4



Conçu par

M. MEKSI Aissa

M. BOUMEDIENE Houari

Décembre/2020

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

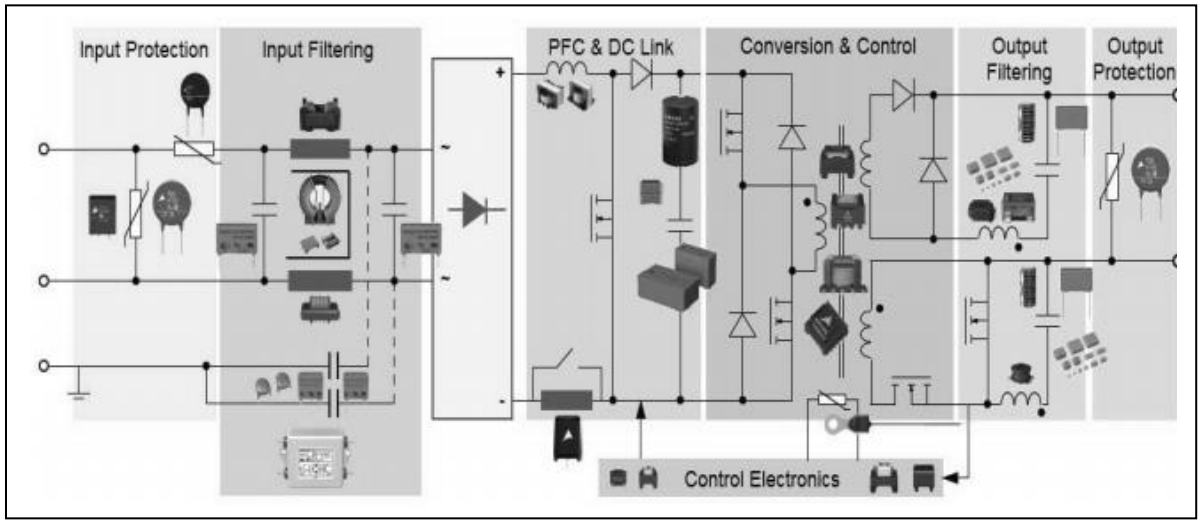
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de la Formation et de l'Enseignement Professionnels
Institut de Formation et de l'Enseignement Professionnels
Sanhadri Abdelhafid Sidi Bel Abbes

MANUEL TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL DU STAGIAIRE

Analyse des circuits électroniques simples

Spécialité : Maintenance Des Equipements Informatiques

Niveau : 4



Conçu par

M. MEKSI Aissa

M. BOUMEDIENE Houari

Décembre/2020

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

EQUIPE DE PRODUCTION

Conception et rédaction

M. MEKSI Aissa

Professeur Spécialisé de la Formation et de l'Enseignement Professionnels 2ème Grade en Automatique,

Institut de Formation et de l'Enseignement Professionnels SanhadriAbdelhafid Sidi Bel Abbes

M. BOUMEDIENE Houari

Professeur spécialisé de la formation et de l'enseignement professionnel de grade 2 en génie Automatique,Institut de Formation et de l'Enseignement Professionnels SanhadriAbdelhafid Sidi Bel Abbes

Remerciements :

Nous remercions vivement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail et nous ont été d'une aide précieuse.

Les droits de reproduction d'adaptation, ou de traduction de ce manuel Professionnel sont réservés exclusivement à l'Institut de Formation et d'Enseignement Professionnels (IFEP) de SIDI BEL-ABBES et à l'Institut National de Formation et d'Enseignement Professionnels (INFEP) d'ALGER y compris la reproduction par procédé mécanique ou électronique.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Table des matières

Préambule……..6

Présentation de la profession……..7

Fiche de présentation du module ……..……..……8

CHAPITRE 1 : Les semi-conducteurs 9

1.1 Notions sur les semi-conducteurs……..……... 9

1.1.1 Structure électronique des semi-conducteurs …….. 9

1.1.2 Exercice 1…….. 10

1.2 Dopage des semi-conducteurs..……..…… 10

1.2.1 Semi-conducteurs intrinsèques.…… 10

1.2.2 Semi-conducteurs extrinsèques……..…….…. 11

1.2.3 Exercice 2…….…. 13

1.3 Résumé....…….…. 14

1.4 Exercice de synthèse1..…… 15

CHAPITRE 2 : les circuits à base de diodes **16**

2.1 La jonction PN…….. 16

2.1.1 La jonction PN au repos……... 16

2.1.2 La jonction PN soumise à une tension……..... 17

2.1.3 Exercice 3…….. 18

2.2 La diode……..…….. 18

2.2.1 Symbole.……...…… 19

2.2.2 polarisation directe et inverse……..…… 19

2.2.3 caractéristiques et paramètres…….…... 19

2.2.4 influence de la température……..……. 22

2.2.5 Exercice 4…….. 22

2.3 Domaines d'application d'une diode à jonction ……..……...…. 23

2.3.1 Redressement mono et double alternance…….... 23

2.3.2 Circuits doubleur et multiplicateur de tension…….…… 26

2.3.3 Circuit d'écrêtage……..… 27

2.3.4 Exercice 5…….. 31

2.4 La diode Zener…….…… 31

2.4.1 Définition…… 31

2.4.2 Caractéristique statique courant-tension…….…. 32

2.4.3 Exercice 6…… 35

2.5 Résumé…….. 35

2.6 Exercice de synthèse 2…….…… 36

CHAPITRE 3 : les circuits à base de transistors **38**

3.1 Constitution d'un Transistor bipolaire……. 38

3.1.1 Description schématique …….. 38

3.1.2 Transistor NPN…… 39

3.1.3 Transistor PNP……. 39

3.1.4 Exercice 7…….. 39

3.2 Principe de fonctionnement d'un transistor bipolaire …….. 40

3.2.1 Gain statique en courant …….. 40

3.2.2 Caractéristiques électriques ……. 41

3.2.3 Exercice 8 …… 41

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

3.3 Etude en régime statique…… 42
3.3.1 Réseau de caractéristiques…….. 42
3.3.2 Point de fonctionnement d'un transistor …… 43
3.3.3 Fonctionnement statique …….. 44
3.3.4 Exercice 9…… 46
3.4 Etudes en régime dynamique ……... 46
3.4.1 Etude de quelques montages amplificateurs …… 46
3.4.2 Les circuits de polarisation …… 47
3.4.3 Trois montages fondamentaux ……. 50
3.4.4 Fonctionnement en hautes fréquences …….. 56
3.4.5 Exercice 10 ……... 56
3.5 Résumé ……. 57
3.6 Exercice de synthèse 3…….. 58

CHAPITRE 4 : Le transistor à effet de champ et l'amplificateur opérationnel 59
4.1 Le transistor à effet de champ:……..... 59
4.1.1 Etude statique.……..……..... 59
4.1.2 Etude dynamique en petits signaux.……..... 62
4.1.3 Exercice 11…… 63
4.2 Amplificateur opérationnel…….……... 64
4.2.1 Propriétés ……. 65
4.2.2 Différents Montages ……. 66
4.2.3 Exercice 12 ……... 70
4.3 Résumé ...…….. 70
4.4 Exercice de synthèse 4…….. 71

CHAPITRE 5 : Les composants de l'électronique de puissance 73
5.1 Les diodes de puissance.……...…… 73

5.1.1 Principe de la diode puissance ……..…….. 73
5.1.2 Fonctionnement de la diode réelle ……..… 73
5.1.3 Exercice 13 …… 75
5.2 Les transistors de puissance……..…..…. 75
5.2.1 Transistor bipolaire de puissance ……. 75
5.2.2 Transistor MOSFET de puissance ……. 76
5.2.3 Transistor IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)…… 76
5.2.4 Exercice14……. 76
5.3 Les thyristors.……...…. 77
5.3.1 Thyristor commandé à la fermeture et à l'ouverture GTO …… 77
5.3.2 Exercice15……. 78
5.4 Le DIAC et le TRIAC.……..…….. 78
5.4.1 Déclenchement des triacs par des diacs …… 79
5.4.2 Exercice16……. 81
5.5 Résumé …….. 81
5.6 Exercice de synthèse 5…….. 82
Résumé générale……...…83
Activité de synthèse……..86
Bibliographie……...……...89
Annexes ……...……I-XIV

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

PREAMBULE

Ce manuel est rédigé à l'intention des stagiaires du CFPA et INSFEP « maintenance des équipements informatiques » niveau IV. Il est constitué du cours et des exercices d'application qui expliquent d'une manière simple et facile les circuits d'électronique simples.

Le premier chapitre traite les notions sur les semi-conducteurs, les matières utiliser dans les semi-conducteurs et les deux types de dopages intrinsèque et extrinsèque.

Le deuxième chapitre mis le point sur la jonction PN et la polarisation des diodes et leurs applications dans les circuits électroniques.

Le troisième chapitre consacré a l'étude statique et dynamique des circuits à base de transistors.

Le quatrième Chapitre traite le transistor à effet de champ et de l'amplificateur et ses applications dans la maintenance des équipements informatiques.

Et le cinquième chapitre mis le point sur les composants de l'électronique de puissance

Ce manuel se termine par un résumé général et une activité de synthèse qui regroupe l'ensemble des acquis abordés. C'est un complément de cours pour faciliter au stagiaire la compréhension du fonctionnement des circuits électroniques simples.

En annexe, vous trouverez les corrigés des exercices traités.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Présentation de la profession

- **Branche professionnelle** : Electricité/Electronique/Energétique.
- **Dénomination de la profession : Maintenance des équipements informatiques.**
- **Définition de la profession :**

Le technicien en maintenance des équipements informatiques doit être en mesure d'assurer toutes les activités de maintenance de l'outil informatique. Il doit agir selon ses connaissances techniques et scientifiques pour assurer le bon fonctionnement du matériel.

- **Tâches Principales:**
  Le technicien en maintenance des équipements informatiques est chargé de :
  - Assembler un ordinateur.
  - Installer les différents types de programmes.
  - Entretenir un PC et ses périphériques standards.
  - Réparer un PC et ses périphériques standards.
  - Analyser les circuits électroniques simples.
  - Analyser les circuits numériques simples.
  - Utiliser les microprocesseurs et les microcontrôleurs.
  - Utiliser les appareils de mesures électriques et électroniques.
  - Installer un réseau informatique.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Fiche de présentation du module

Module : Analyse des circuits électronique simples.

Code du module : MQ5

Durée : 119 heures.

Objectif modulaire

Comportement attendu :

A l'issue de ce module, le stagiaire sera capable d'étudier et d'analyser les circuits électroniques simples.

Conditions d'évaluation :

A partir de :

- Schémas
- Documentation appropriée

A l'aide de :

- matériel didactique approprié,
- tableau,
- Matériel et instruments de mesure appropriés
- Composants électroniques

Critères généraux de performance :

- Analyse correcte des circuits électroniques.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

CHAPITRE 1 LES SEMI-CONDUCTEURS

Les semi-conducteurs ayant une grande importance dans les circuits électroniques donc il est nécessaire de comprendre ce que sont les semi-conducteurs?

1.1 Notions sur les semi-conducteurs

Pour comprendre le fonctionnement des composants électroniques, il faut tout d'abord étudier les semi-conducteurs matériaux qui ne sont ni conducteurs, ni isolants.

1.1.1Structure des semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité, comme le montre le tableau 1, est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants.

Tableaux1 : Zone de charge d'espace dans une jonction PN

Matériaux	Conductivité (S/cm)
Conducteurs	$10^{2} – 10^{6}$
Semi-conducteurs	$10^{-6} – 10^{-2}$
Isolants	$10^{-16} – 10^{-6}$

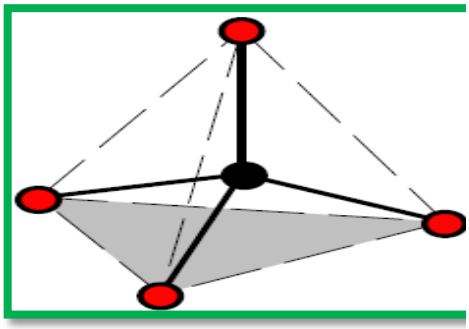
Source : K HOJET E L K HIL Sejir,"Fonctions Electroniques", Support de Cours, Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis, 2008.

Il faut souligner que la conductivité des semi-conducteurs, à la différence de celle des conducteurs et des isolants, dépend fortement de leur pureté, de la température et d'autres quantités physiques et chimiques. Ainsi, il est possible aux semi-conducteurs de se comporter tantôt comme des conducteurs (laisser passer le courant électrique) tantôt se comporter comme des isolants (bloquer le passage du courant électrique) suivants certaines conditions qui seront présentées dans les paragraphes suivants.

Cette propriété présente leur principal avantage : la construction de la plus part des composants électroniques. Parmi les semi-conducteurs, on peut citer : le Silicium (**Si**), le Germanium (**Ge**), le Sélénium (Se), …etc.

Le silicium reste néanmoins le semi-conducteur le plus utilisé en électronique Figure 2.

Figure 2: structure d'un Semi-conducteur



Source :A.Oumnad :" Electronique Fondamentale"

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

1.1.2 Exercice1

1-Donner la définition des semi-conducteurs

2-Quels sont les matières de semi-conducteur

3-Quel est le matériau approprié et le plus utilisé dans les semi-conducteurs

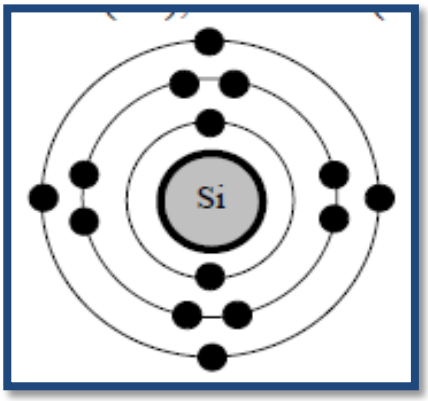
1.2 Dopage des semi-conducteurs

Dans le domaine des semi-conducteurs, le dopage est l'action d'ajouter des impuretés en petites quantités à une substance pure afin de modifier ses propriétés de conductivité.

1.2.1 Semi-conducteurs intrinsèques

Dans ces semi-conducteurs idéalement purs, il y a autant de trous qued'électrons libres car les premiers apparaissent lors de la formation des seconds,on dit qu'il y a création d'une paire électron-trou. Le nombre d'électrons est notén_i. Si on applique un champ au sein du semi-conducteur en connectant un générateurde tension à ses bornes, il circule un courant qui résulte du déplacement des deuxtype de conducteurs, les électrons libre vers le pôle (+) du générateur et les trousvers le pôle (-) du générateur. L'expression de la conductivité est : $\sigma_i = n_i \exp(\mu_n + \mu_p)/KT$. $\mu_n$est la mobilité des électrons libres et μ_p est la mobilité des trous. Pour le silicium$\mu_n = 0.13\ m^2/Vs$ **et** $\mu_p = 0.05\ m^2/Vs$ ce qui donne une conductivité $\sigma_i = 1.6\ 10^{16} \times 1.610^{19}(0.13 + 0.05) = 0.46\ 10^{-3}\ (\Omega m)^{-1}$ soit une résistivité$\rho_i = 1/\sigma_i = 2200\ \Omega m$.Quand la température augmente, la croissance de n_i est très importante ce quiprovoque une augmentation importante de la conductivité et donc du courantélectrique.
Lorsque le corps est parfaitement pur, il est qualifié d'intrinsèque.Exemples : Silicium (Si), Germanium (Ge), Sélénium (Se) (Figure 3)

Figure3: Atome de Silicium

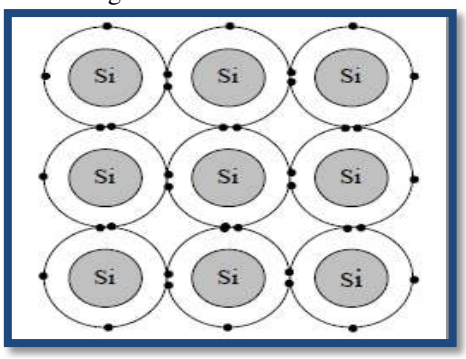


https://www.univ-sba.dz/ft/images/ST/TD/cour_TCI.pdf

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Le Silicium est un atome tétravalent : Il possède quatre électrons de valence qui vont se mettre en commun avec d'autres atomes de Silicium pour avoir la forme cristalline (Figure 4).

Figure4 : Cristal de Silicium



https://www.coursehero.com/file/43411495/Electronique-Fondamentale-A-Oumnad.pdf/

Dans un semi-conducteur intrinsèque, les électrons de la bande de conduction sont générés en laissant un trou dans la bande de valence ; enconséquence, les concentrations d'électrons (n) et de trous (p) sont égales et valentn_i, contrairement à un semi-conducteur extrinsèque. Sachant que :

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) \quad et \quad p = N_v exp\left(-\frac{E_F - E_V}{KT}\right)$$

- E_F est le niveau de Fermi
- kT est l'énergie thermique

En posant $Eg=E_C-E_V$, largeur de la bande interdite, on peut facilement déduire ni :

$$n_i = \sqrt{N_c . N_v} . e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

Ainsi que le niveau de Fermi :

$$E_F = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{3kT}{4} ln(\frac{m_v}{m_c})$$

Soit environ à la moitié de la bande interdite, le second terme étant souvent négligeable.

Pour le silicium, on trouve par exemple :

- ni = 1,5 × 1010 cm−3,
- EF=0,553 eV

  À température ambiante.

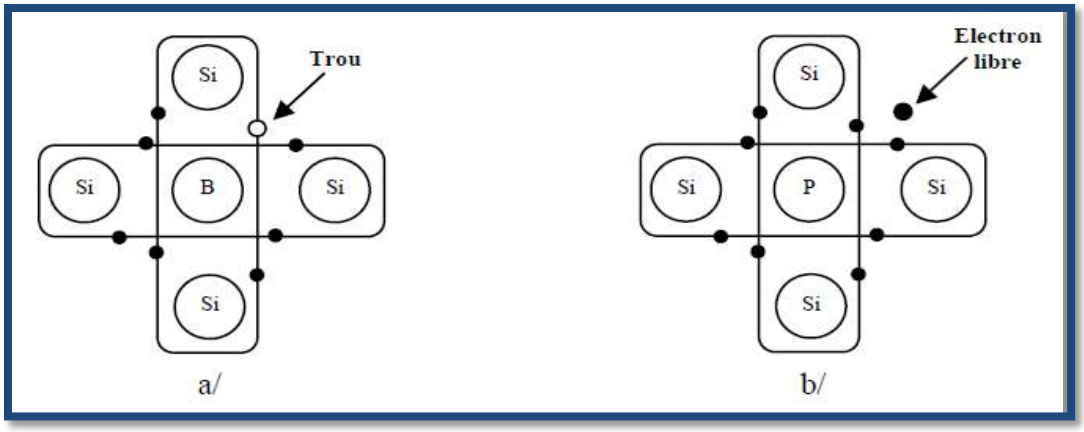
1.2.2Semi-conducteurs extrinsèques

Ce sont des semi-conducteurs intrinsèques dans lesquels on a introduit desatomes étrangers qu'on appelle impuretés ce qui va modifier complètement leurscaractéristiques électriques. Cette opération d'injections d'impuretés s'appelle**dopage** d'un semi-conducteur.

On distingue deux types de dopage : le dopage de type N et le dopage de type P (figure 5)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 5 :Semi-conducteurs de type P (a) et de type N (b)



Source : KHOJET EL KHIL Sejir, Fonctions Electroniques, Support de Cours, Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis.

1.2.2.1 Semi-conducteurs extrinsèques de type N

C'est le cas où les atomes étrangers sont pentavalents (antimoines, phosphore, arsenic) c.à.d. qu'ils ont 5 électrons sur la couche périphérique (de valence).

Parmi ces 5 électrons, 4 vont être mis en commun avec les atomes voisins pour assurer les liaisons de valence, le $5^{ème}$ resté libre, peut ce déplacer et participer à la conduction. On dit que les impuretés utilisées sont des donneurs (d'électrons). Bien que l'électron devenu libre laisse un ion positif derrière lui, celui ci (constitué de l'atome donneur) a 8 électrons sur sa couche de valence, il n'a pas tendance à capter l'électron d'un atome voisin, ce n'est donc pas un trou (porteur) car il ne participera pas au courant de trous (par le mécanisme de déplacement de trou qui à lieu à chaque fois qu'un atome ionisé comportant un trou capte un électron de l'atome voisin pour compléter sa dernière couche).

Le dopage par des atomes donneurs va donc favoriser la conduction par électrons libres au détriment de la conduction par trous. On dit que les électrons constituent les porteurs majoritaires. Comme ils sont porteurs de charge négatives, le semi-conducteur extrinsèque est dit de type N.

Loi d'action de masse : $$np = n_i^2$$

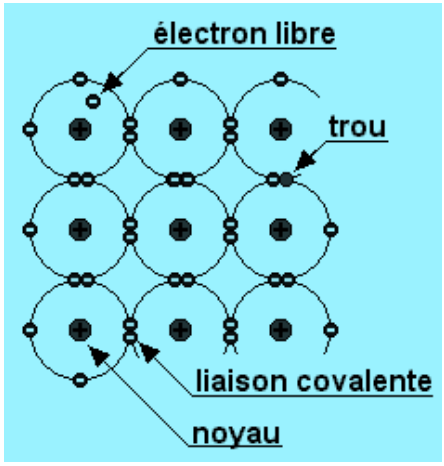
1.2.2.2 Semi-conducteurs extrinsèques de type P

Ici, les atomes d'impureté sont des accepteurs (bore, aluminium, gallium, indium), ils ont seulement trois électrons sur la couche de valence. Si on les introduit dans un cristal intrinsèque, ils mettent en commun leurs 3 électrons

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

avec les 4 atomes du semi-conducteur qui les entourent pour former les liaisons de valence. Ils se trouvent à la fin avec 7 (3+4) électrons sur la couche de valence, cette configuration est instable et aura tendance à capter un électron d'un atome voisin pour compléter sa couche à 8 électrons. Dès que cet électron est capté, l'atome Accepteur devient un ion négatif et introduit un trou dans le cristal qui va participer à la conduction par trou. Aucun électron libre n'a été crée lors de la formation du trou, les trous sont donc beaucoup plus nombreux que les électrons, ils constituent les porteurs majoritaireset le semi-conducteur est de type P.

Figure 6 : dopage par atome accepteur



Source : https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D05.html

1.2.3 Exercice 2

1. Citez les différents types de matériaux semi-conducteurs.
2. Enoncez le concept de la masse effective.
3. Que représente le trou ?
4. Décrivez ces deux figures :

Figure a

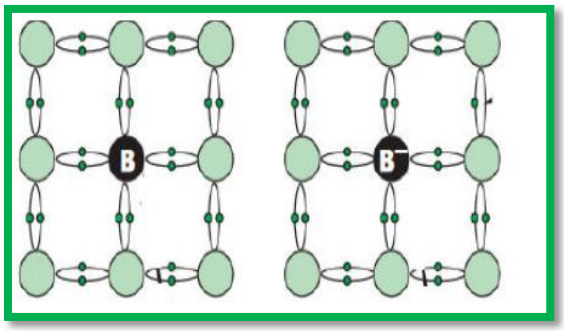
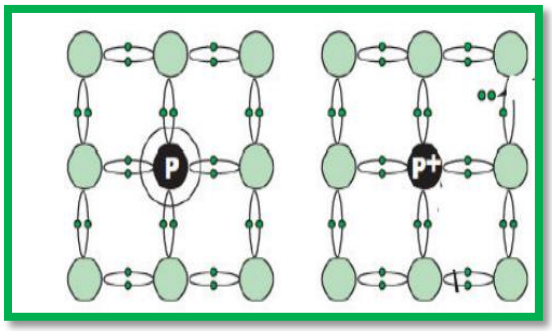


Figure b



5. On donne le tableau suivant :

	E_g [eV]	N_c [atomes/cm³]	N_v [atomes/cm³]
AsGa	1,43	$4, 7.10^{17}$	7.10^{18}
Ge	0,66	$1,04.10^{19}$	6.10^{18}
Si	1,12	$2,8.10^{19}$	$1,04.10^{19}$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

1. Parmi ces trois semi-conducteurs, quel est celui qui présente la concentration intrinsèque la plus faible ?

2. Calculer n_i pour ce semi-conducteur à 300 K.

1.3 Résumé

Nous savons maintenant distinguer trois types de semi-conducteurs : intrinsèque, dopé *n* et dopé p.

Un semi-conducteur intrinsèque est un très mauvais conducteur : il a peu d'utilité en tant que tel. En revanche, il sert pour base technologique lors de la fabrication des semi-conducteurs extrinsèques. Un semi-conducteur dopé, en revanche, possède des charges majoritaires en abondance : son comportement peut être apparenté à celui du métal. Cependant, il existe deux types de semi-conducteur extrinsèque : dopé n et dopé p. Dans le premier cas, la conduction est assurée par des charges négatives, dans le deuxième cas par les charges positives.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

1.4 Exercice De Synthèse 1

Spécialité : MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS INFORMATIQUES

Module : MQ5 Analyse des circuits électroniques simples

Durée : 02 heures

But : Utiliser les semi-conducteurs.

Matériel requis: Document, stylo, calculatrice

Mise en situation :

On considère un semi-conducteur intrinsèque dont les densités équivalentes d'états énergétiques dans la bande de conduction et dans la bande de valence sont notées respectivement N_C et N_V.

Le semi-conducteur considéré est du silicium de largeur de bande interdite (ou gap) Eg = 1,11eV et pour lequel $N_C = 2{,}710^{19}$ cm^{-3} et $N_V = 1{,}110^{19}$ cm^{-3}. En supposant que Eg, N_C et N_V ne varient pas avec la température ;

On considère un matériau semi-conducteur en silicium dopé avec du phosphore (groupe V du tableau périodique) de concentration N D = 10 18 cm^{-3}

Marche à suivre :

1. Donner la structure et schéma d'un semi-conducteur
2. Rappelez les expressions de la densité d'électron n dans la bande de conduction et la densité de trous p dans la bande de valence.
3. En déduire l'expression de la densité intrinsèque n_i et la position du niveau de Fermi intrinsèque E_{Fi}
4. Calculez sa densité intrinsèque et la position du niveau de Fermi à 27°C, 127°C et 227°C puis conclure.
   On donne k= 1.3810 -23 J/K et kT = 26 meV à 300°K
   On prendra comme référence énergétique, le haut de la bande de valence (E V = 0eV).
5. Calculez à 27°C, la densité d'électrons du Si ainsi dopé. En déduire la densité de trous. Quel est le type du semi-conducteur ainsi obtenu ?
6. Calculez à 27°C la position du niveau de Fermi E F puis donnez une représentation du diagramme de bandes d'énergies du silicium ainsi dopé.
   On donne : n i = 1,12x10 10 cm -3 , E g = 1,11 eV, KT = 26 meV pour T = 27°C

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

CHAPITRE 2 : LES CIRCUITS A BASE DE DIODES

Une diode est constituée d'une plaquette de silicium dans laquelle deux zones de dopages, appelés dopage P et dopage N, ont été réalisées. Donc une diode n'est rien d'autre qu'une jonction PN.

2.1 La jonction PN

Lorsque un semi-conducteur de type P est mis en contact avec un semi-conducteur de typeN, comme l'illustre la figure 7, une jonction PN est créée. Cette jonction possède unecaractéristique particulière : la capacité de laisser passe le courant dans un seul et unique sens.

Avant de comprendre le fonctionnement de la jonction PN, rappelons que dans un pareilSmi-conducteur quatre types de charges existent :

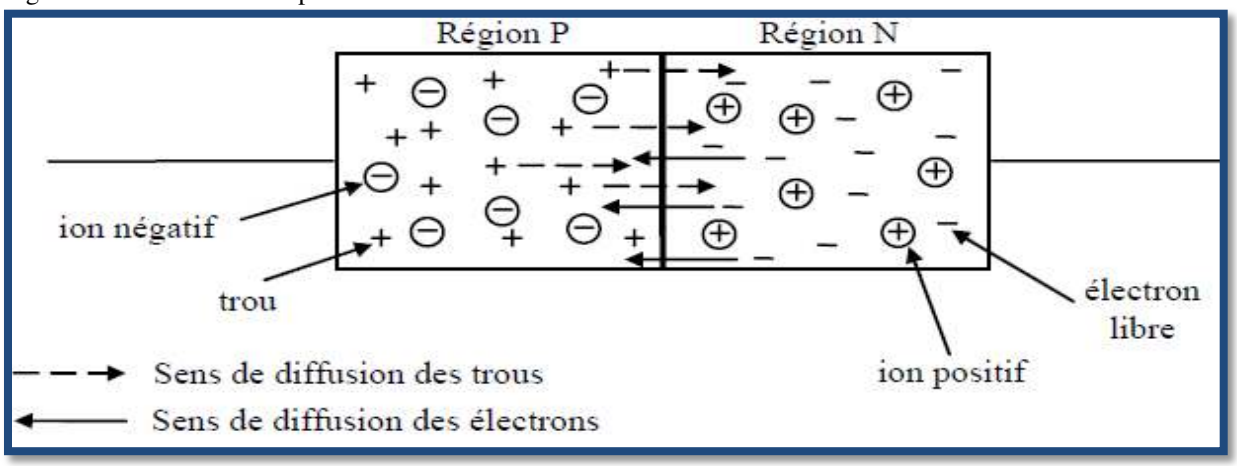
- Charges fixes : ions positifs (cristal de type N) et ions négatifs (cristal de type P).
- Charges mobiles : électrons (porteurs majoritaires dans le cristal de type N) et trous (porteurs majoritaires dans le cristal de type P).

2.1.1 La jonction PN au repos

Au moment de la réunion des deux cristaux (type P et type N), un processus de diffusion se déclenche : les porteurs majoritaires, au voisinage immédiat de la jonction, vont diffuser du côté où ils sont minoritaires. Ainsi, les trous vont diffuser du côté P au côté N ; de même, les électrons diffusent de la région N à la région P (figure 7).

En arrivant dans la région N, les trous se recombinent avec les électrons libres. De même, en arrivant dans la région P, les électrons se recombinent avec des trous.

Figure 7 : Jonction PN non polarisée



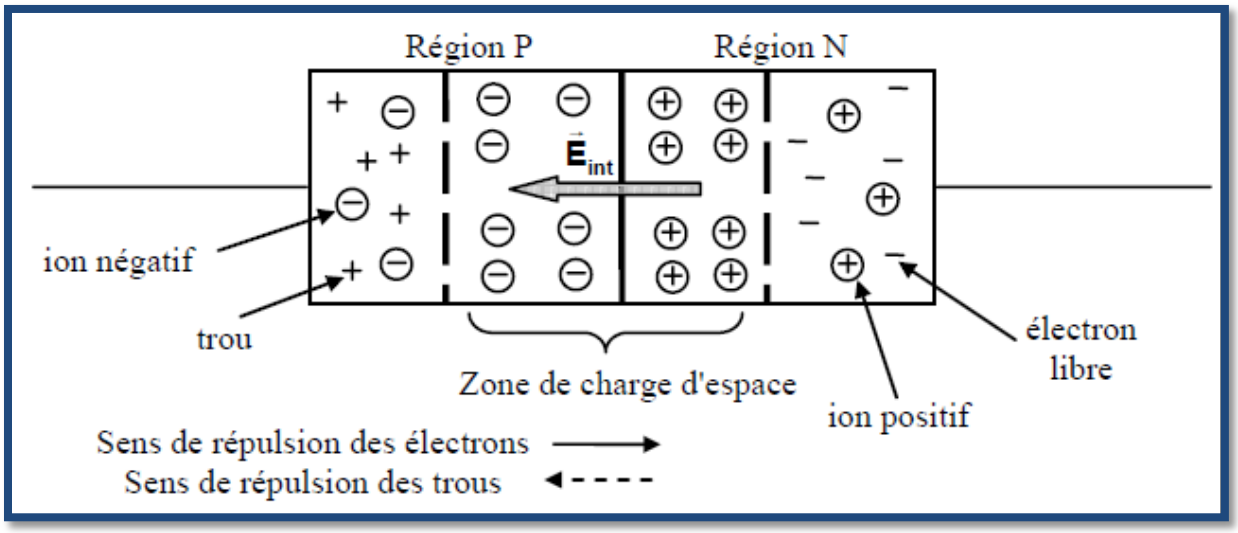
Source : https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D06.html

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Lorsque les électrons diffusent vers la région P, il y a création dans la région N, au voisinage de la jonction, une zone contenant des charges positives immobiles. Pareillement, lorsque les trous diffusent vers la région N, il y a création dans la région P, au voisinage de la jonction, une zone contenant des charges négatives immobiles.

Ainsi, va prendre naissance des deux côtés de la jonction, une zone pratiquement vide de porteurs libres appelée *Zone de charge d'espace*. Cette zone est chargée positivement côté N et négativement côté P (Figure.8).

Figure.8 : Zone de charge d'espace dans une jonction PN



https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D06.html

A l'intérieur de la zone de charge d'espace et entre les deux charges opposées, il existe un champ électrique $\vec{E}_{int}$dirigé de la région N vers la région P, s'opposant ainsi à la diffusion des trous et des électrons. Comme le processus de diffusion continu, la zone de charge d'espace devient plus large et le champ s'intensifie causant la diminution de la diffusion.

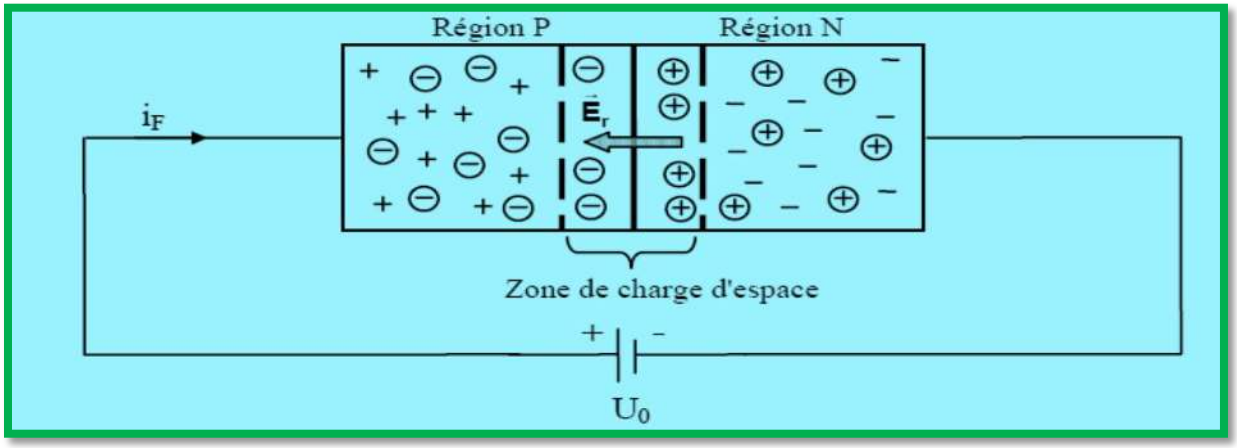
Ce processus continu, jusqu'à ce que la quantité des charges immobiles et le champ électrique dans la jonction cesse d'accroître. Un équilibre dynamique s'installe dans la jonction, caractérisé par une intensité E_0 de $\vec{E}_{int}$et une différence de potentiel V_0entre les deux charges immobiles dans la jonction. A 25°C, V0 est de l'ordre de 0.7V pour la jonction PN au silicium.

2.1.2 La jonction PN soumise à une tension

On applique maintenant une tension U_0 aux bornes des la jonction PN (figure 9), telle que la borne positive de U_0 est liée au semi-conducteur de type P et sa borne négative au semi-conducteur de type N. La tension appliquée produit un champ électrique $\vec{E}$dirigé de la région P vers la région N et de sens opposé au champ interne $\vec{E}_{int}$On obtient alors un champ $\vec{E}_r$qui est inférieur à $\vec{E}_{int}$. La barrière de potentiel diminue et s'oppose moins au passage des porteurs majoritaires. Il y a alors naissance alors d'un courant appelé courant direct noté i_F.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 9: jonction PN polarisée en directe



https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D06.html

2.1.3Exercice 3

La jonction est réalisée en silicium.

- Montrez que la zone de déplétion s'étend plus du coté le moins dopé

Calculez la tension de diffusion V_d à T=300K en fonction des densités de dopants $N_A=10^{19}cm^{-3}$, $N_D= 10^{16}cm^{-3}$ et de la densité de porteurs intrinsèques $n_i = 10^{10}cm^{-3}$ (300K). Rappel : constante de Boltzmann : k=1,38.10-23JK-1 et charge de l'électron : q=1,602.10^{-19}C.

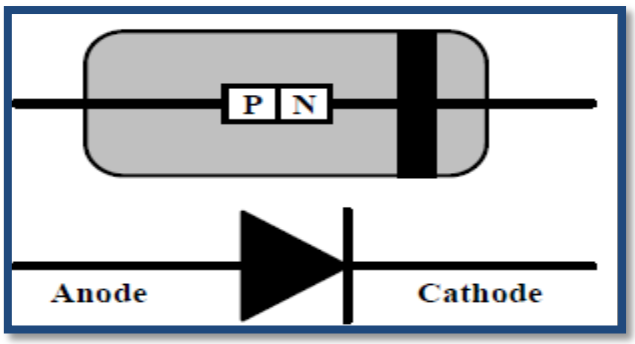
- Donnez l'expression de la largeur de la zone de déplétion w en fonction de N_A, N_D, V_d et de la permittivité du milieu$\xi_s = 10^{-10}\,F/m$.Calculez cette largeur à 300K pour les valeurs données en b).

2.2 La diode

La diode semi-conductrice (D) est un dipôle passif, non linéaire formé à partir d'une jonction PN (figure10). La diode est composée de deux électrodes appelées respectivement :

Anode (côté P) et *Cathode* (côté N).

Figure.10 : Symbole d'une diode à jonction



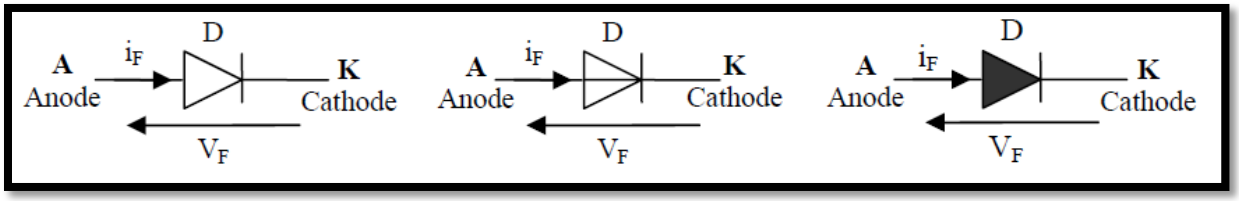
http://www.isetn.rnu.tn/useruploads/files/electronique.pdf

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

2.2.1 Symbole

La figure 11, représente différents symboles graphiques d'une diode de redressement. Le courant (i_F)dans une diode de redressement, ne circule que dans un seul sens : de l'anode vers la cathode.

Figure 11 Différents symboles de la diode semi-conductrice



http://www.isetn.rnu.tn/useruploads/files/electronique.pdf

Le courant, passant dans la diode, est noté i_F, la tension aux bornes de la diode est $V_F = V_A - V_K$.

2.2.2 Polarisation directe et inverse

Figure 12 Polarisation directe

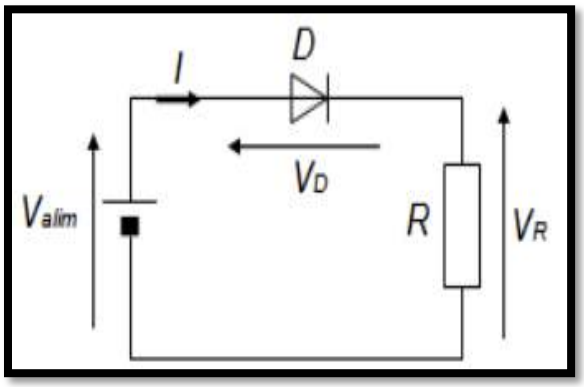
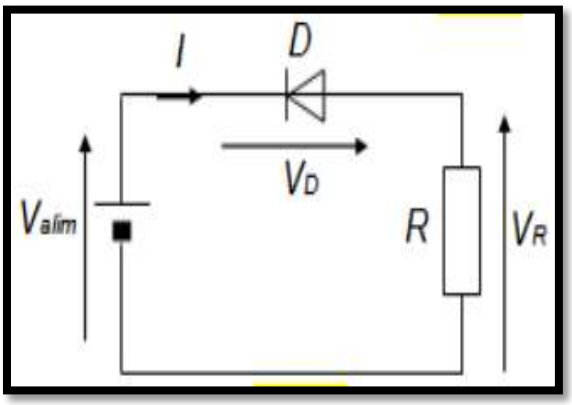


Figure 13 Polarisation inverse



En polarisation directe, la tension appliquée ($V_{AK}=V_D> 0$) permet le passage d'un courant électrique de l'anode vers la cathode appelé courant direct.

Loi des mailles : $V_{alim} - V_D - V_R = 0$

$$V_R = V_{alim} - V_D$$

$$R.I = V_{alim} - V_D$$

$$I = \frac{Valim - VD}{R}$$

En polarisation inverse, la tension appliquée ($V_{AK}<0$) empêche le passage du courant. Le courant inverse est pratiquement nul.

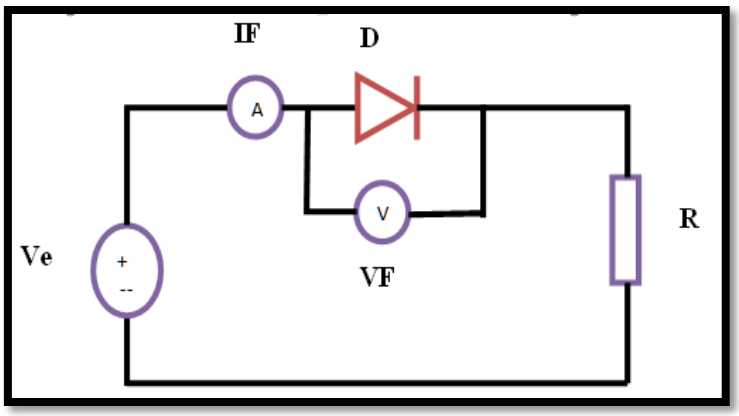
2.2.3 Caractéristiques et paramètres

- **Caractéristique directe**

Soit le circuit de la figure14 qui permet de mesurer le courant et la tension de la diode D, qui est polarisée dans ce cas de figure en direct c'est-à-dire que le potentiel de l'anode est supérieur au potentiel de la cathode.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure. 14 Circuit à diode



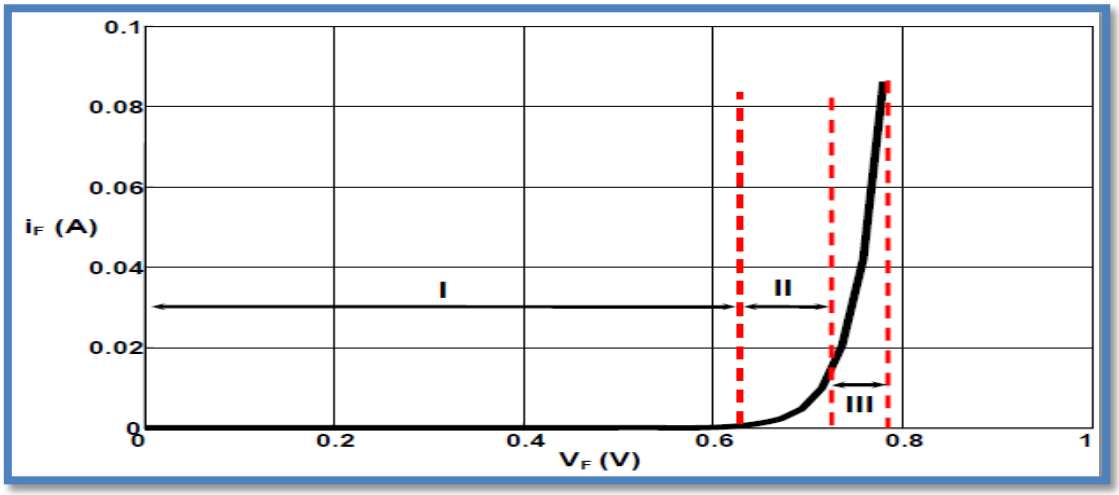
La figure 15 illustre la caractéristique directe courant tension : $I_F = f(V_F)$ de la diode. On augmente la valeur de la tension V_eà partir de 0 et on mesure respectivement la courant I_F et la tension V_F. La variation de $I_F$en fonction de $V_F$est non linéaire et plus précisément exponentielle, dont l'équation caractéristique est :

$$i_F = I_s\left(exp\left(\frac{qV_F}{KT}\right) - 1\right), \text{à } 25°C\ \frac{kT}{q} = 26mV \quad (1.1)$$

Avec :

- ✓ I_S : courant de saturation inverse.
- ✓ V_F : tension directe.
- ✓ q : charge de l'électron : 1.6 10^{-19}C.
- ✓ k : constante de Boltzmann : 1.38 10^{-23}JK^{-1}.

Figure 15 Caractéristique directe courant /tension de la diode



Source : SKLINIARZ BRONISLAV, Analyse de circuit à semi-conducteur

L'analyse la courbe de la figure précédente montre que si la tension VF <Vseuil, le courant i_F est nul : la diode est dite alors *bloquée*. Si $V_F \geq V_{seuil}$, i_F devient positif : la diode est dite *passante*. Au-delà de la tension V_{seuil}, une petite variation de V_F produit une forte

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

augmentation du courant i_F. Pour une diode au silicium, généralement $V_{seuil} \approx 0.7V$ (0.3V pour la diode au germanium).

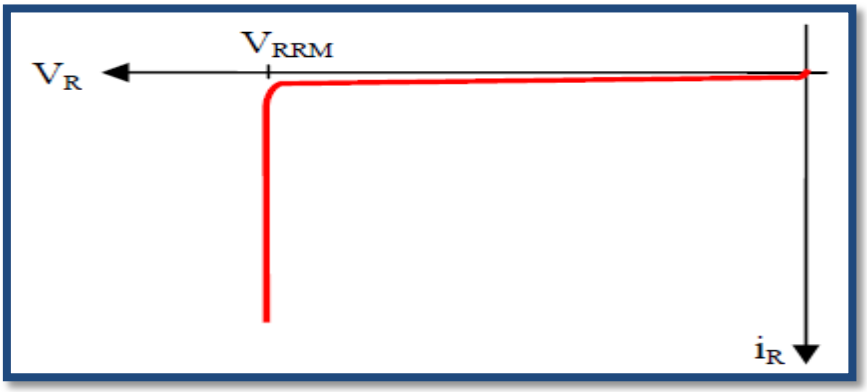
La caractéristique directe de la diode peut être répartie en trois zones de fonctionnement :

- *Zone de non-conduction (I)* : $V_F < V_{seuil} \leftrightarrow i_F = 0$. La diode est bloquée et se comporte comme un interrupteur ouvert.
- *Zone de conduction non linéaire (II)* : $V_F \geq V_{seuil} \leftrightarrow i_F > 0$. La diode est passante, néanmoins on évite de travailler dans cette zone car les signaux de faible amplitude subissent de fortes distorsions.
- *Zone de conduction quasi linéaire (III)* : $V_F \geq V_{seuil} \leftrightarrow i_F > 0$. La diode est passante. La variation de i_F en fonction de V_F dans cette zone est quasi linéaire. C'est la zone de fonctionnement normal de la diode.

Caractéristique inverse

On reprend le même circuit que celui de la figure 14 sauf que la diode est maintenant polarisée en inverse. On augmente la valeur de la tension d'alimentation. Le courant et la tension mesurée sont appelés respectivement courant inverse i_R et tension inverse V_R. Lorsque la tension inverse est appliquée, on obtient courant inverse extrêmement faible appelé *courant de fuite*. Si l'on augmente suffisamment la tension inverse, on atteint *la tension de claquage* V_{RRM} de la diode. Le courant inverse commence alors à augmenter rapidement (figure 16).

Figure 16 Caractéristique inverse de la diode.



Source : SKLINIARZ BRONISLAV, Analyse de circuit à semi-conducteur

Si le courant inverse n'est pas limité par des éléments externes, il y a destruction rapide de la diode due à deux phénomènes :

- ✓ *Phénomène d'avalanche :* quand le champ électrique au niveau de la jonction devient trop intense, les électrons accélérés peuvent ioniser les atomes par chocs, ce qui libère d'autres électrons qui sont à leur tour accélérés Il y a divergence du phénomène, et le courant devient très important en un temps extrêmement court.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- ✓ *Phénomène Zener*: les électrons sont arrachés aux atomes directement par le champ électrique dans la zone de transition et créent un courant qui devient vite intense quand la tension V_R atteint une valeur Vz dite tension Zener.

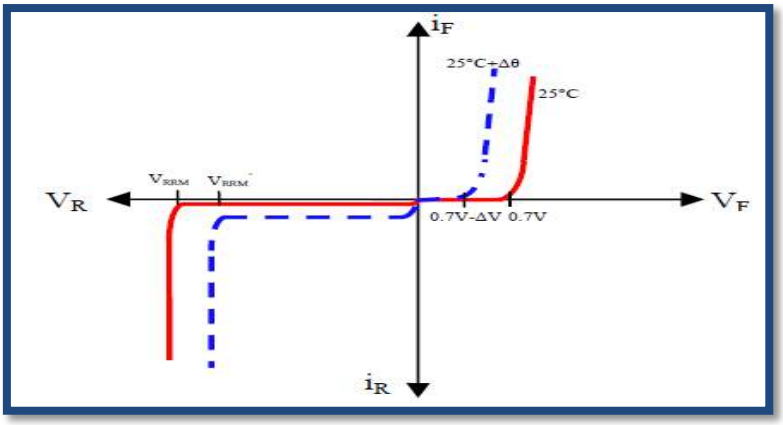
Remarque :

- ✓ Résistance dynamique de la diode : En observant la zone III de la caractéristique directe et la zone de claquage de la zone inverse de la diode, on remarque que la variation du courant en fonction de la tension aux bornes de la diode est quasi linéaire. Il est donc possible de conclure que la diode possède une résistance dynamique directe faible et une résistance dynamique inverse grande.
- ✓ En polarisation directe, la tension V_F varie généralement entre 0.8 V et 1.1V.

2.2.4 Influence de la température

Effet de la température sur les caractéristiques courant – tension : L'augmentation de la température modifie les caractéristiques directe et inverse de la diode : diminution des valeurs de la tension seuil et de la tension de claquage, augmentation du courant inverse (voir figure 17).

Figure 17 : Influence de la température sur la caractéristique courant – tension



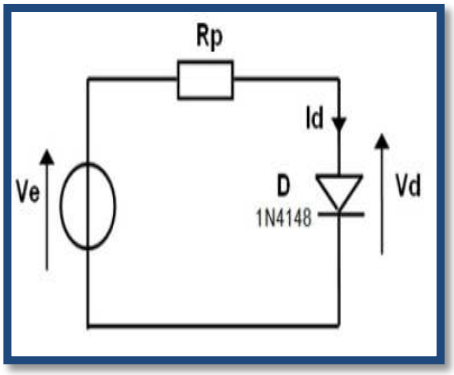
Source :SKLINIARZ BRONISLAV, Analyse de circuit à semi-conducteur

2.2.5 Exercice4

Soit le schéma ci-contre.

On donne V_e= +5V, R_p = 1KΩ et V_{Seuil}= 0,6 V.

Déterminer la valeur du courant Id.



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

2.3 Domaines d'application d'une diode à jonction

Il y a plusieurs applications de la diode dans multi-domaines :

2.3.1 Redressement mono et double alternance

Une des principales applications de la diode est le redressement de la tension alternative du secteur pour faire des générateurs de tension continue destinés à alimenter les montages électroniques (entre autres).

Il y a deux types principaux de diodes de redressement : les diodes standard pour le redressement secteur classique, et les diodes rapides pour les alimentations à découpage.

Caractéristiques physiques.

Les diodes de redressement standard sont les moins sophistiquées, et ne font l'objet d'aucun traitement particulier, les conditions d'utilisations étant peu contraignantes.

Elles ont des tensions V_R comprises entre 50 et 1000V environ, et les courants I_F vont de 1A à plusieurs centaines d'ampères.

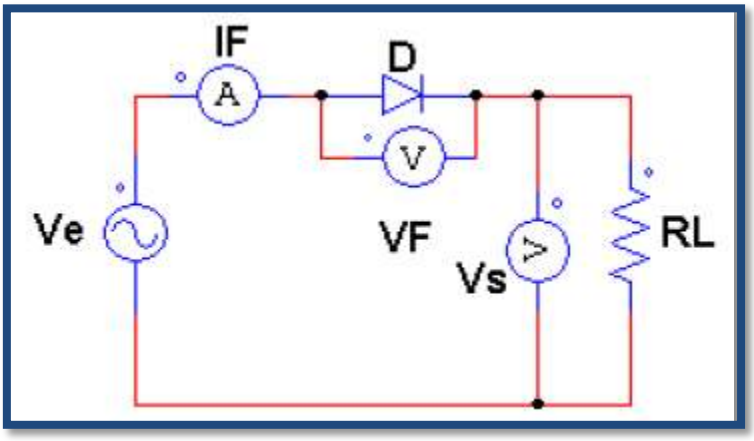
Avant le système de redressement, on a presque toujours un transformateur qui sert à abaisser la tension secteur (les montages électroniques fonctionnent souvent sous des tensions de polarisation allant de quelques volts à quelques dizaines de volts), et qui sert aussi à isoler les montages du secteur (220V, ça peut faire très mal !).

- **Redressement simple (mono) alternance**

Soit le montage de la figure 19 La tension d'alimentation V_e est de la forme :

$$V_e(t) = V_{emax}\sin(\omega t)$$

Figure 19 Circuit de redressement simple alternance



Vu que la tension d'alimentation est alternative, alors l'étude du circuit se fait suivant que l'alternance de Ve est positive ou négative. La diode est supposée parfaite (Vseuil = 0.7V).

Alternance positive de V_e: Pendant l'alternance positive de V_e, la diode est polarisée en direct.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Elle est alors passante et on a :

$V_F = V_{seuil}$

$V_F(t) = V_e(t) - V_F = V_e(t) - V_{seuil}$,

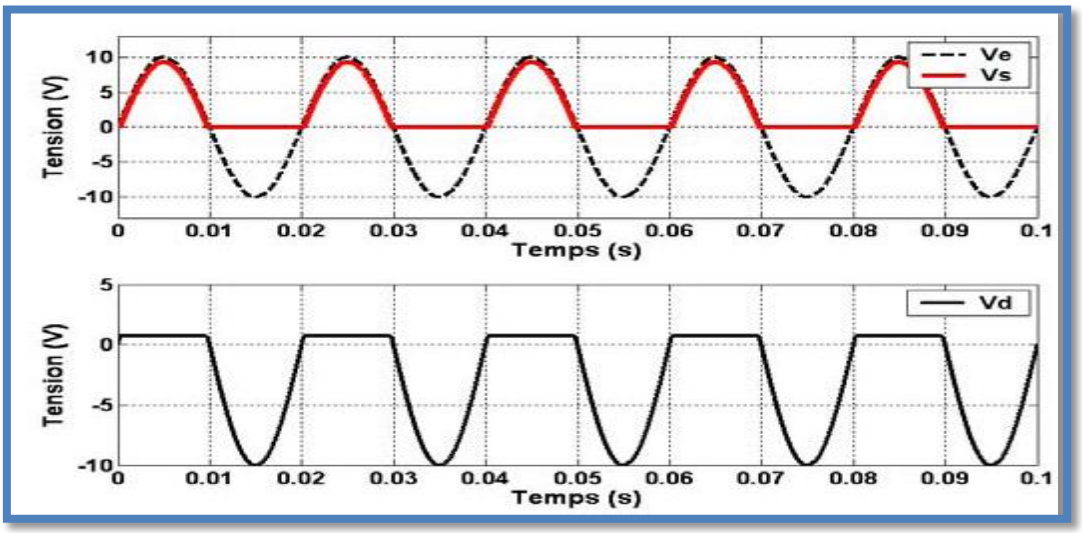
$$i_F(t) = \frac{V_s(t)}{R_L} = \frac{V_e(t) - V_{seuil}}{R_L}$$

Alternance négative de V_e : Pendant l'alternance négative de V_e, la diode est polarisée en inverse. Elle est alors bloquée et on a :

$i_F = 0$
$V_s(s) = 0$
$V_F(s) = V_s(t)$

La figure 20 présente l'allure des tensions : d'alimentation V_e de sortie, V_s appelée tension redressée ainsi que celle aux bornes de la diode, V_F.

Figure 20 Allures des tensions Ve, Vs et VF pour un redressement simple alternance



Remarque :

- ✓ Dans un redressement simple alternance, la tension redressée Vs possède la même fréquence que celle de la tension d'alimentation V_e.
- ✓ La valeur moyenne de la tension redressée :

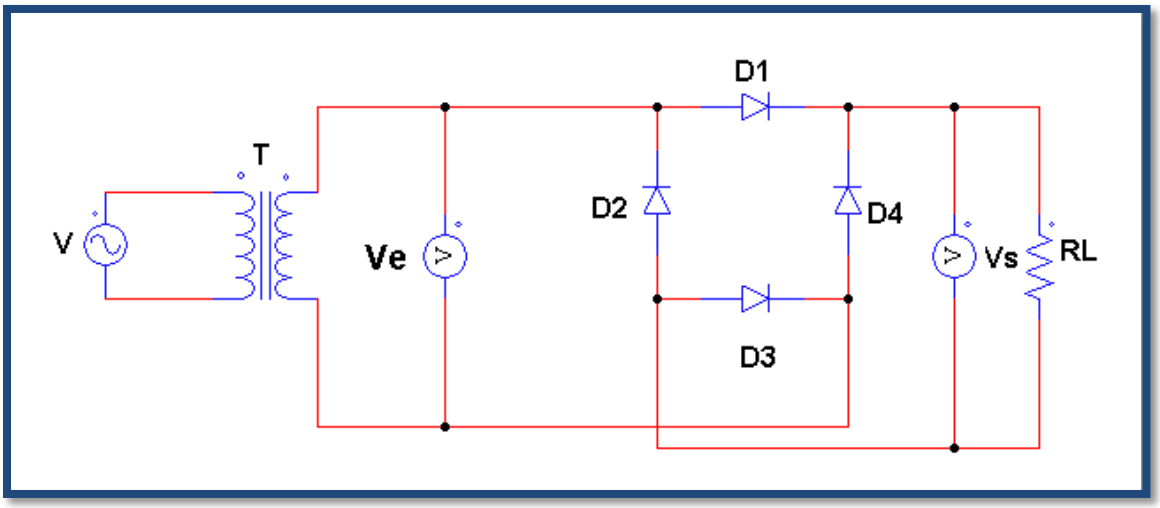
$$V_{smoy} = \frac{V_{emax} - V_{seuil}}{\pi}$$

- **Redressement double alternance**

  Il existe plusieurs procédés et circuits permettant de réaliser un redressement double alternance. Dans notre étude on s'intéresse principalement au circuit la plus utilisé à savoir le redressement par pont de diodes comme le montre la figure 21.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 21 Circuit pour un redressement double alternance par pont de diodes



De la même manière que pour le redressement simple alternance, l'étude du circuit de la figure 21 suivant l'alternance positive puis négative de la tension d'alimentation.

Alternance positive de V_e : Pendant l'alternance positive de V_e, les diodes D_1 et D_3 sont polarisées en directs donc passantes. Les diodes D_2 et D_4 sont par contre polarisées en inverse donc bloquées. On a alors:

$V_{D1} = V_{D3} = V_{\text{seuil}}$ $\quad ,V_s(t) = V_e(t) - V_{D1} - V_{D3} = V_e(t) - 2V_{seuil}$

$$i_F(t) = i_{D1}(t) = i_{D3}(t) = \frac{V_s(t)}{R_L} = \frac{V_e(t) - V_{\text{seuil}}}{R_L}$$

$i_{D2}(t) = i_{D4}(t) = 0,$ $\quad V_{D2}(t) = V_{D4}(t) = -V_e(t) + V_{seuil}$

Alternance négative de Ve: Pendant l'alternance négative de V_e, les diodes D_2 et D_4sontpolarisées en directs donc passantes. Les diodes D_1 et D_3 sont par contrepolarisées en inverse donc bloquées. On a alors:

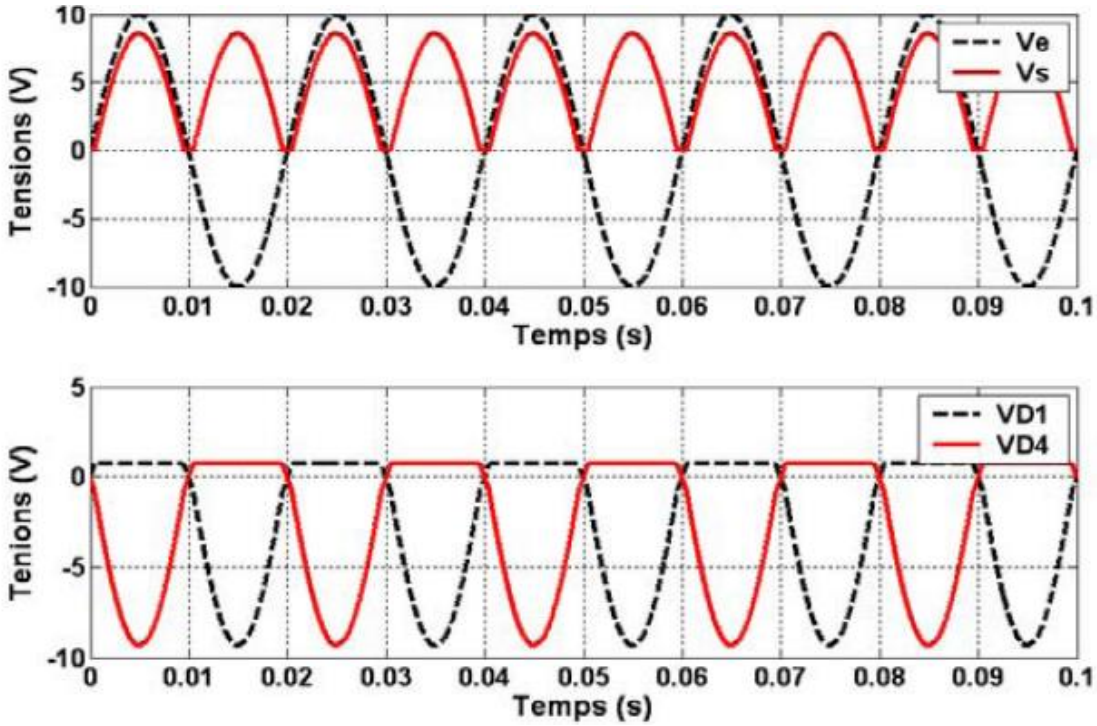
$V_{D2} = V_{D4} = V_{seuil}$, $V_s(t) = -V_e(t) - V_{D2} - V_4 = -V_e(t) - 2V_{seuil}$

$i_F(t) = i_{D3} = i_{D4} = \frac{V_s(t)}{R_L} = \frac{-V_e(t) - 2V_{seuil}}{R_L}$, $i_{D1} = i_{D3} = 0$, $V_{D1}(t) = V_{D1} = V_e(t) - V_{seuil}$

La figure 22 présente l'allure des tensions d'alimentation: V_e de sortie redressée: V_s ainsi que celles aux bornes des différentes diodes.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure22. Allures des différentes tensions pour un redressement double alternances



Source : KHOJET EL KHIL Sejir,"Fonctions Electroniques ",Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis, 2008.

Dans le cas d'un redressement double alternance, La fréquence de la tension redressée est égale au double de celle de la tension d'alimentation Ve.

La valeur moyenne de la tension redressée est donnée par :

$$V_{smoy} = \frac{2(V_{emax} - 2V_{seuil})}{\pi}$$

La valeur moyenne de la tension redressée pour un redressement double alternance est environ égale au double de celle pour un redressement simple alternance. Le redressement double alternance est donc plus avantageux et sera majoritairement utilisée dans les circuits de redressement. La tension une fois redressée, elle est par la suite filtrée.

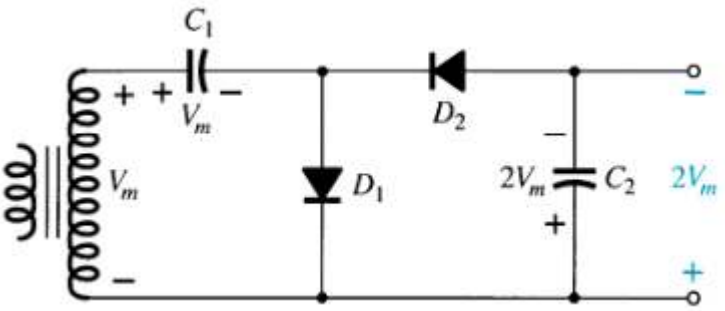
2.3.2 Circuits doubleur et multiplicateur de tension

Les circuits multiplicateurs de tension utilisent une combinaison des diodes et de condensateurs pour fixer la tension de sortie.

• Doubleur de tension

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 23 : Doubleur de tension



La sortie du doubleur de tension a demi-onde est:

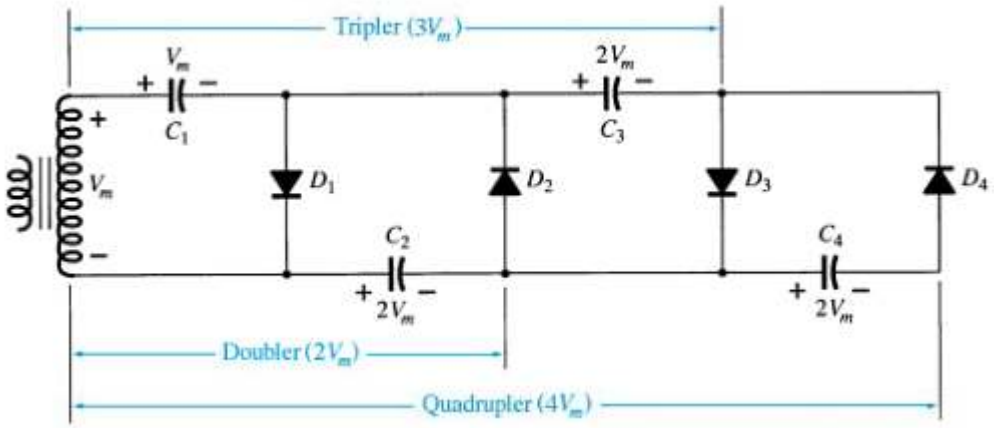
$$\mathbf{V_{out} = V_{C2} = 2V_m}$$

V_m= tension du secondaire du transformateur

- **multiplicateur de tension**

Un multiplicateur de tension est un circuit électrique redresseur, ayant pour entrée une tension alternative (AC) et pour sortie une tension continue (DC) plus élevée que celle d'entrée. Il utilise typiquement des condensateurs et des diodes Figure 24.

Figure 24 :**multiplicateur de tension**



Source :https://fr.wikipedia.org/wiki/Multiplicateur_de_tension

2.3.3 Circuit d'écrêtage

L'écrêtage consiste à supprimer une partie de l'amplitude d'un signal. Suivant le sens de la tension E appliquée, on obtient un signal écrêté au-dessus de la masse ou au-dessous.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

2.3.3.1 Circuits particuliers

Voyons pour terminer cette partie quelques circuits simples, capables de fournir une tension approximativement carré à partir d'une tension sinusoïdale ou encore de modifier le potentiel de référence d'un signal rectangulaire, sans en changer les caractéristiques.

Ces circuits sont appelés des **Écrêteurs** dans le premier cas et des **Restaureurs** dans le second.

- **Circuits écrêteurs**

Ces circuits **Écrêteurs** (on dit aussi **Limiteurs**) ont pour but de modifier l'amplitude d'une tension ou plus exactement d'en supprimer une partie.

Ils permettent par exemple d'obtenir une tension carrée à partir d'une onde sinusoïdale.

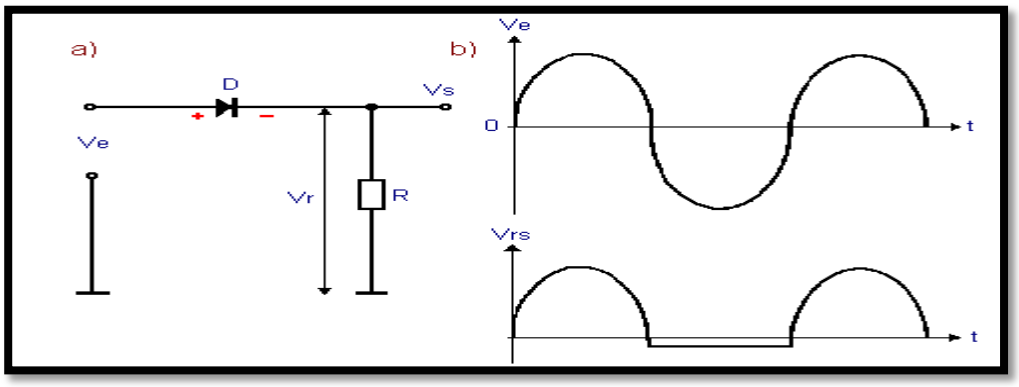
a) **ÉCRÊTAGE PAR DIODE**

- Les écrêteurs utilisant des diodes peuvent être classés en trois catégories **:**
- les écrêteurs négatifs
- les écrêteurs positifs
- les écrêteurs mixtes.

1) **ÉCRÊTEURS NÉGATIFS**

Le schéma d'un écrêteur négatif est donné figure 25.

Figure 25: Ecréteur négatif



https://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et Informatique/images/Ecreteur_negatif.GIF

Ce montage est une redresseuse simple alternance. Pendant l'alternance positive du signal d'entrée, la diode **D** est conductrice.
Le courant qui traverse la résistance **R** produit dans celle-ci une chute de tension, ayant la forme de l'alternance positive du signal d'entrée.

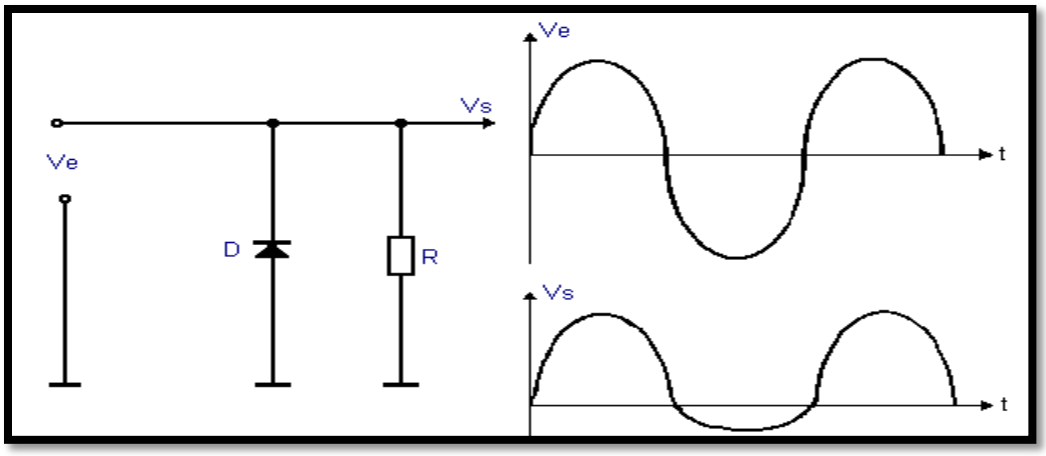
Pendant l'alternance négative, la diode **D** polarisée dans le sens inverse de sa conduction, présente une résistance interne très élevée.

Le courant négatif qui traverse la résistance **R** est donc très faible et par conséquent la chute de tension à ses bornes, est négligeable.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La figure 1-b montre les formes des tensions à l'entrée et à la sortie du montage. Le signal obtenu en sortie n'a rien de comparable à celui délivré par un multivibrateur, mais dans certains cas, on peut l'assimiler à un signal rectangulaire.
Le même résultat peut être obtenu en montant la diode **D** en parallèle sur la résistance **R** (figure 26).
Pendant l'alternance positive du signal d'entrée **Ve**, la diode **D** est bloqué. Tout le courant passe par la résistance **R.**

Figure 26: Ecréteur négatif (montage modifie)

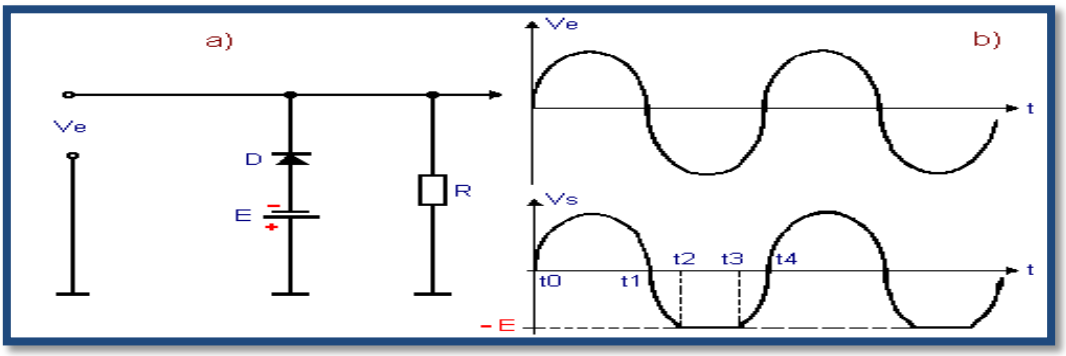


https://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/Ecreteurs_negatifs_positifs_mixtes

Pendant l'alternance négative, la diode **D** est conductrice, sa résistance interne étant très faible, la presque totalité du courant passe à travers la diode.
Si la résistance **R** est très grande devant la résistance interne de la diode **D**, nous pouvons considérer que le courant traversant **R** pendant l'alternance négative de **Ve** est pratiquement inexistant.

Ces deux montages suppriment totalement l'alternance négative du signal d'entrée.
Il est parfois utile de supprimer uniquement une partie de l'alternance négative. Pour cela, on utilise le circuit représenté figure 27, qui est un écrêteur négatif à diode parallèle polarisée négativement.

Figure27 : Ecréteur négatif à diode polarisé négativement



https://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et
Informatique/images/Ecreteur_negatif_polarise_negativement.GIF

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La diode **D** a son anode portée à un potentiel négatif **- E**, par une batterie ou une source de tension continue.

De ce fait, la diode ne peut conduire que lorsque sa cathode est à un potentiel négatif plus élevé que celui de son anode.

Pendant l'alternance positive, la diode est bloquée et toute la tension est présente aux bornes de la résistance **R.**

De **t1** à **t2** (figure 3-b), la diode a sa cathode moins négative que l'anode et elle ne conduit pas.

La tension alternative est donc présente en sortie.

De **t2** à **t3**, la diode est passante. Le courant alternatif s'écoule à la masse à travers **D** et la source de tension **- E.**

En sortie, nous obtenons le potentiel continu **- E.**

De **t3** à **t4**, la diode est de nouveau bloquée et la tension alternative apparaît aux bornes de la résistance **R.**

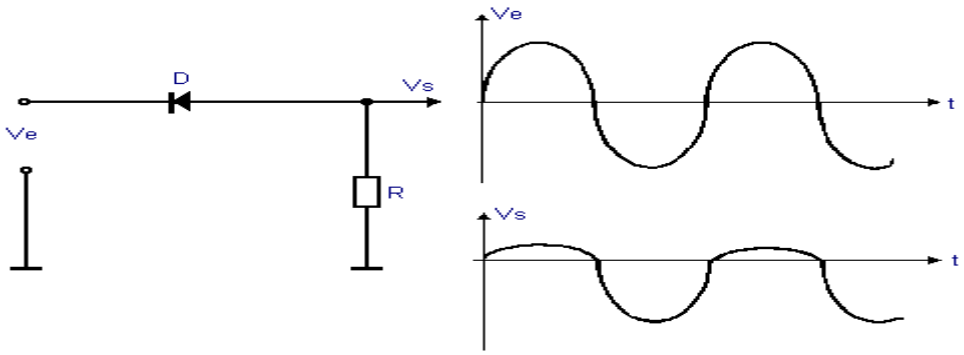
2) ÉCRÊTEURS POSITIFS

Ces écrêteurs sont basés sur le même principe que celui des écrêteurs négatifs et nous ne reviendrons pas sur leur fonctionnement.

Pour transformer un écrêteur négatif, en écrêteur positif, **il suffit d'inverser le sens de branchement de la diode.**

La figure 28 montre un écrêteur positif à diode série, ainsi que les formes de tensions à l'entrée et à la sortie du montage.

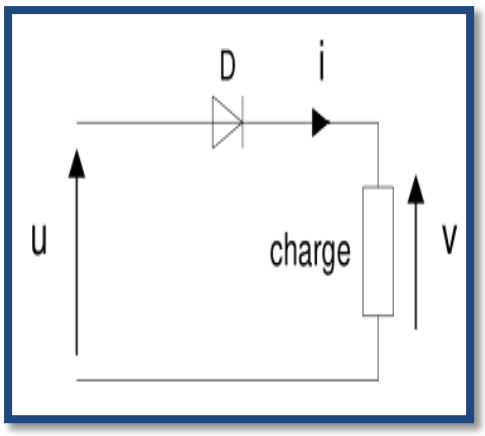
La figure 28 : **Excréteurs positifs**



https://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/Ecreteurs_negatifs_positifs_mixtes.php

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

2.3.4 Exercice5



La tension u est sinusoïdale alternative.
D est une diode supposée parfaite (tension de seuil nulle).
La charge est une résistance R.
1- Quel est l'état de la diode quand u > 0 ?
En déduire la relation entre v et u.
2- Quel est l'état de la diode quand u < 0 ? En déduire la tension v.
3- Tracer u et v en concordance de temps.
4- Montrer que la valeur moyenne de la tension v est :

$$< v >= \frac{\hat{V}}{\pi}$$

On rappelle que :

$$< v >= \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt$$

5- Application numérique

La valeur efficace de la tension u est de 10 V.

R = 220 Ω .

Calculer < v > et < i >.

Calculer la valeur efficace de la tension v.

On rappelle que :

$$V_{eff} = \sqrt{< v^2 >}$$

2.4 La diode Zener

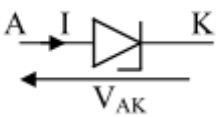
Une diode Zener est un assemblage de deux semi-conducteurs dont les propriétés électriques ont été découvertes par le physicien américain Clarence Zener

2.4.1- Définition

Une diode Zener est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse. La tension de claquage est appelée tension Zener.

Symbole :

Figure 29: Symbole de la diode Zener

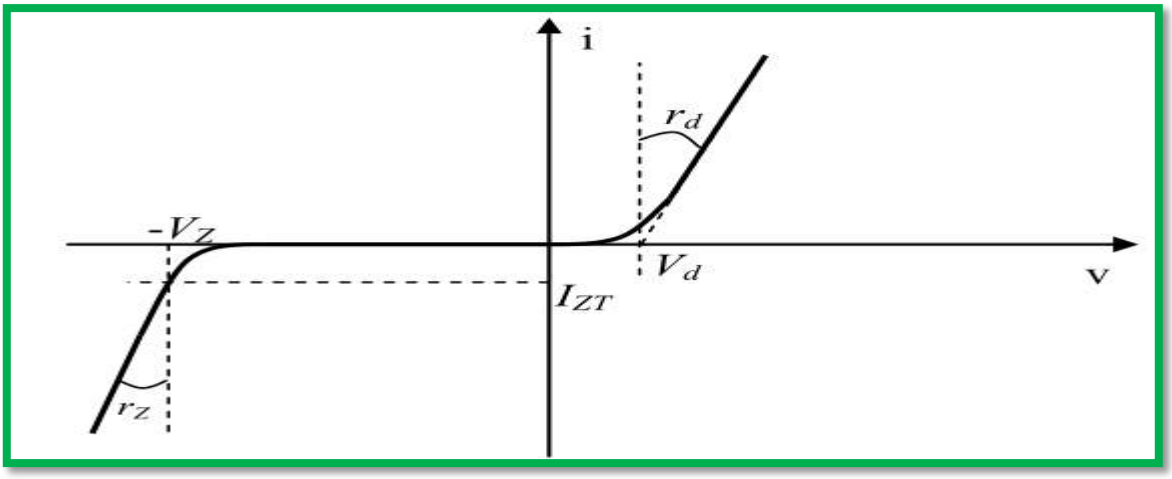


WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

2.4.2- Caractéristique statique courant-tension

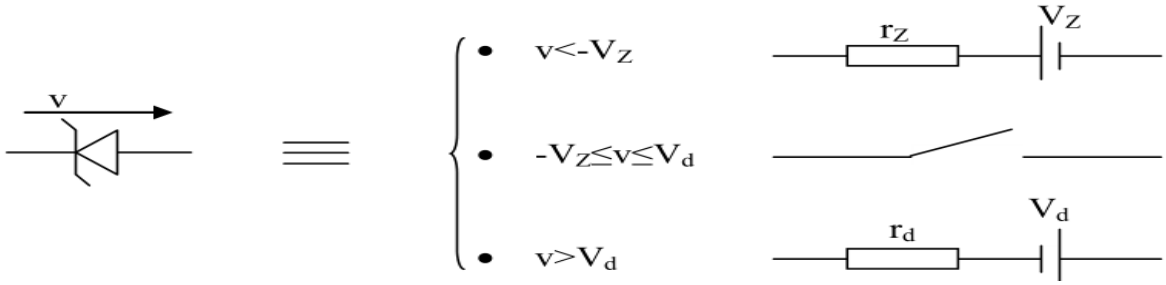
La diode Zener est une diode que le constructeur a optimée pour opérer dans la zone de claquage (Figure 30). La diode Zener au claquage présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance verticale du courant. La tension est presque constante, c'est la tension ZenerV_Z . Les fiches techniques donnent la tension V_Z pour un courant de test I_{ZT}.

Figure 30 : Caractéristique courant-tension de la diode Zener



La diode Zener ayant troisapproximations est présentée par le modèle linéaire ci-dessous.

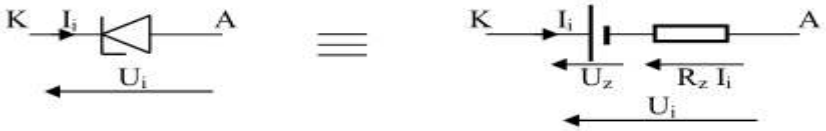
Figure 31 :Trois approximation d'un diodezener



En polarisation directe, une diode Zener est équivalente à une diode normale.

En polarisation inverse, la diode conduit lorsque la tension inverse Ui devient supérieure à la tension Zener Uz . La caractéristique linéarisée conduit à l'équation :$U_i = U_z + R_z I_i$où$R_z$est la résistancedynamique inverse . Dans ce cas La diode Zener est équivalente au modèle suivant :

Figure32 : Schéma équivalent à une diode Zener polarisée en inverse



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Remarque:

Si la résistance dynamique $R_z$est négligée, la tension aux bornes de la diode lorsqu'elle conduit en inverse est constante quelque soit le courant qui la traverse. La diode Zener est idéale.

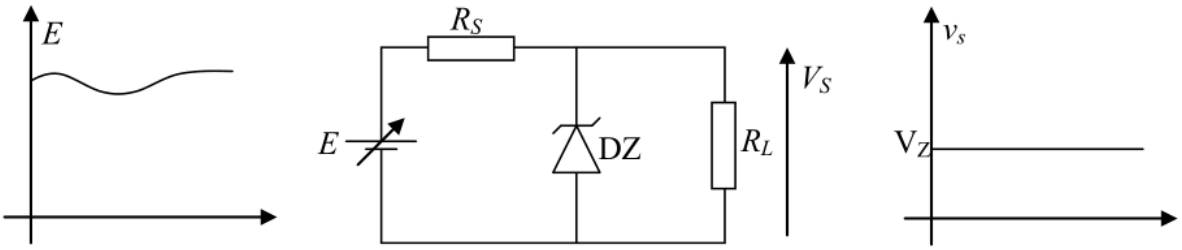
Figure 33 : Schéma équivalent d'une diode Zener idéale passante en inverse.



2.4.2.1 Régulateur (stabilisateur) à diode Zener

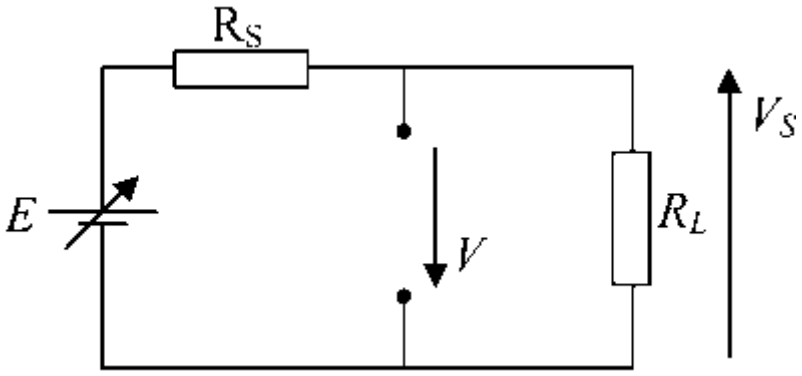
Pour que la tension de sortie reste constante (Figure 31) il faut que la diode Zener soit polarisée en inverse dans la zone de claquage et que: $E > \frac{R_L + R_s}{R_L} V_Z$.

Figure34 :Régulateur Zener simple.



De la même façon que la diode normal, on calcul premièrement la tension $V=V_{AK}$ de la diode Zener lorsqu'elle est déconnectée.

Figure 35 : diode Zener déconnectée



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

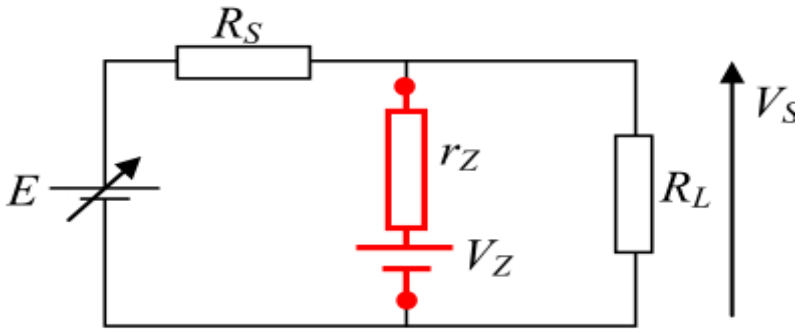
$$V = -\frac{R_L}{R_L + R_S} E$$

Pour que la diode Zener fonctionne en mode stabilisation de tension, il faut qu'elle est polarisée dans lazone de claquage:

$$V < -V_Z \Rightarrow -\frac{R_L}{R_L+R_S} E < -V_Z \Rightarrow \boldsymbol{E > \frac{R_L+R_S}{R_L} V_Z}$$

La diode Zener est au claquage et peut être remplacée par une source de tension V_Z (tension Zener) et une résistance r_Z (résistance Zener).

Figure 36 : Diode Zener remplacée par une source de tension et une résistance



En appliquant le théorème de Millman :

$$V_S = \frac{\frac{E}{R_S} + \frac{V_Z}{r_Z}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_Z} + \frac{1}{R_L}}$$

Dans le cas d'une diode idéale, on obtient : Vs = Vz.

Détermination de la résistance R_S :

On considère les deux cas limites suivants (on néglige la résistance r_Z):

- $E=E_{max}$, $I_Z=I_{Zmax}$, $I_L=I_{Lmin}$: $\boldsymbol{R_S = \frac{E_{\max} - V_Z}{I_{Z\max} + I_{L\min}}}$
- $E=E_{min}$, $I_Z=I_{Zmin}$, $I_L=I_{Lmax}$: $\boldsymbol{R_S = \frac{E_{\min} - V_Z}{I_{Z\min} + I_{L\max}}}$

Généralement on prend:

$$\boldsymbol{I_{Z\min} = a \cdot I_{Z\max}}, \text{ avec: } 0.1 \le a \le 0.3.$$

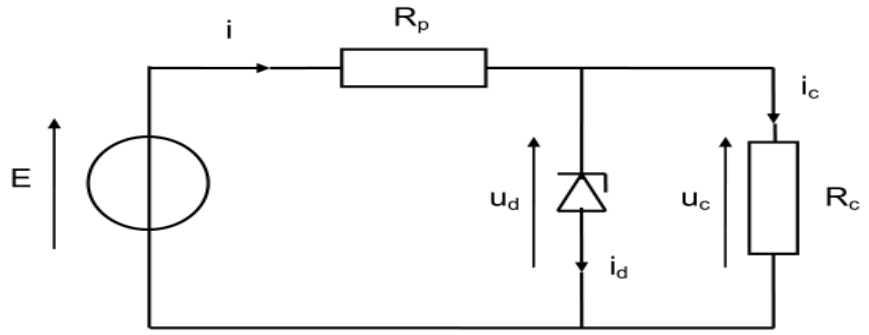
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$I_{Z\max} = \frac{(E_{\max} - V_Z)I_{L\max} + (E_{\min} - V_Z)I_{L\min}}{(E_{\min} - V_Z) - a(E_{\max} - V_Z)}$$

2.4.3 Exercice 6

Dans le montage de la Figure H, la diode Zener est supposée parfaite. Sa tension Zener U_Z est égale à 6,2V et sa puissance maximale est de 1,3W.

Figure H :la diode Zener parfaite



1 .Déterminer le courant maximal qui peut traverser la diode.

2. On fixe R c = R p = 100Ω. Entre quelles limites peut varier E pour qu'il y ait stabilisation de la tension uc?

3 .On fixe E = 24V et Rp = 100Ω. Entre quelles limites peut varier R c pour qu'il y ait stabilisation de la tension Uc ?

2.5 Résumé

La jonction PN soumis à deux état:

- jonction PN au repos
- jonction PN soumise à une tension

la diode travail comme interrupteur avec condition
La diode polarise direct et inverse
La diode à deux caractéristiques:

- Caractéristique directe

Diode passante

- Caractéristique inverse

Diode bloquée
Domaines d'application d'une diode à jonction
Il y a plusieurs applications de la diode dans multi-domaines :

- Redressement mono et double alternance

Une diode Zener est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse.
- On propose 3 exercice-types couvrant l'ensemble des comportements d'une diode normale et diode Zener

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

2.6. Exercice de synthèse 2

Spécialité : MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS INFORMATIQUES

Module : MQ5 Analyse des circuits électroniques simples

Durée : 02 heures

But : Analyser les circuits à base de diodes.

Matériel requis : Document, stylo, calculatrice

Mise en situation :

Soit le circuit de la figure (a) tel que R=10Ω, E= 1.4 V

Figure a :La diode

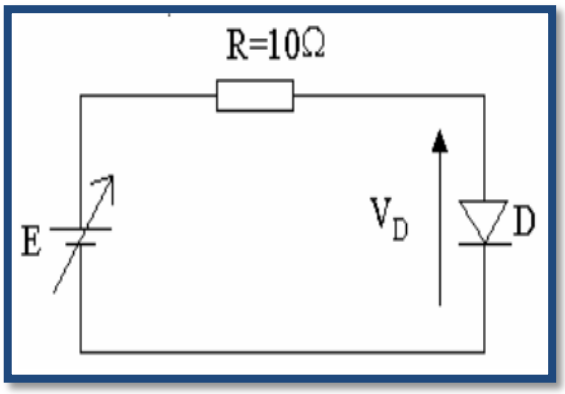
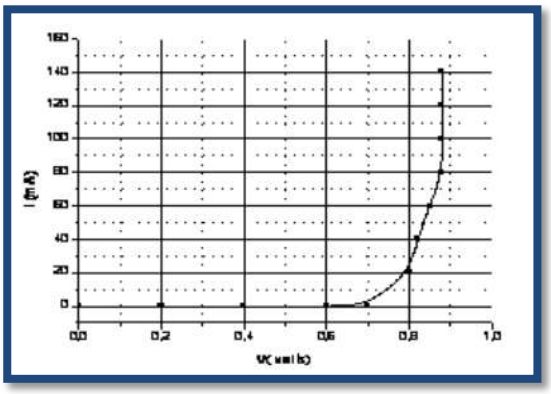
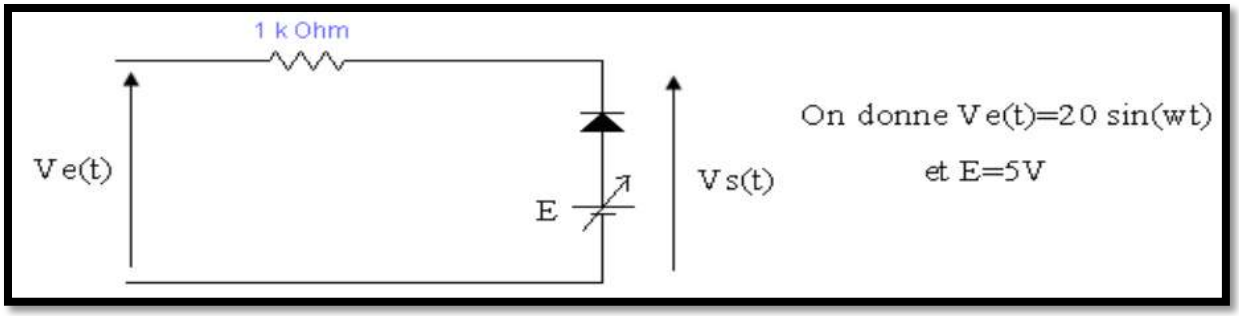


Figure b :caractéristique de la diode



La diode D est utilisée dans le circuit de la figure c :

Figure c

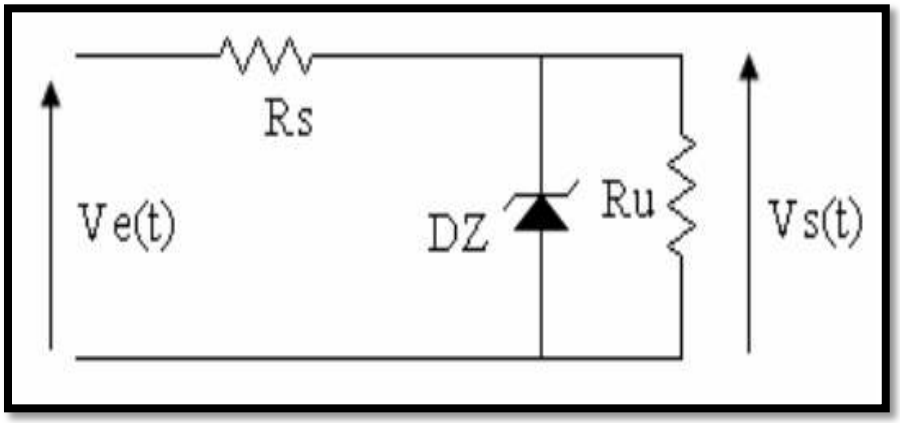


Une diode Zener de tension Vz= 45V est utilisée pour régler une tension sinusoïdale redressée est filtré, susceptible de varier entre les limites 40 V< Ve < 60 V.

On considère que la résistance dynamique de la diode est nulle.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure d : diode Zener



Marche à suivre :

1. Ecrire l'équation de la droite de charge de la diode utilisée dans la figure a.
2. tracer la droite de charge dans le plan (I, V).
3. Déterminer les coordonnées du point de saturation, du point de blocage et du point de fonctionnement.
4. En déduire la résistance statique de la diode.
5. Déterminer, en utilisant sa caractéristique, les éléments du schéma équivalent de la diode dans le sens direct et dans le sens inverse.

6. Selon la figure c :
   a- Donner la condition pour que la diode soit conductrice
   b- Donner l'expression et l'allure de Vs(t)

7. Lorsque Ve =40 V on mesure Is =20 mA. En déduire la valeur de Rs figure d .
8. A partir de quelle valeur de Ve, la tension de sortie est elle régulée.
9. Tracer le graphe de transfert Vs =f(V e).
10. Calculer le courant dans la diode quand V e =60 V.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

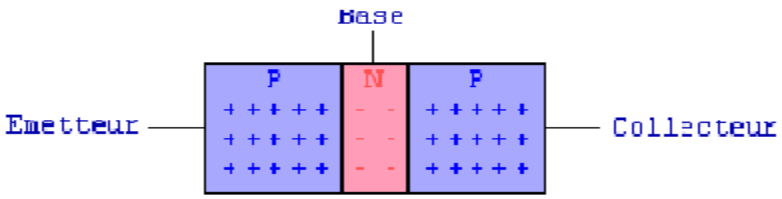
CHAPITRE 3 : les circuits à base de transistors

Inventé en 1948 par les Américains J. Bardeen, W. Brattain et W. Shockley, le transistor est un composant à semi-conducteur qui remplit deux fonctions vitales en électronique: celles d'amplificateur (c'est un générateur de fort courant en sortie commandé par un faible courant en entrée) et de commutateur (à la manière d'un interrupteur marche/arrêt).

3.1. Constitution d'un Transistor bipolaire

Un transistor à jonction bipolaire est un composant à semi-conducteur constitué de 2 jonctions P-N, très proches l'une de l'autre. Un transistor est formé de 3 zones (N-P-N ou P-N-P selon son type), tel qu'illustré sur le figure37

Figure 37 : constitution d'un transistor bipolaire



PDF Electronique Fondamentale, Université Sétif1, Dr Benbahouche Lynda

3.1.1 Description schématique

Le transistor décrit au paragraphe précédent comporte deux zones P et une zone N.
C'est une des deux façons d'agencer les jonctions pour fabriquer un transistor :
- soit une zone P, une N et une P : le transistor est dit PNP.(Voir figure 39)
- soit une zone N, une P et une N : le transistor est dit NPN. (Voir figure 38)

Dans les deux cas, la zone centrale (base) est très étroite vis à vis de la longueur de diffusion des porteurs minoritaires issus de la zone adjacente (l'émetteur).
La base possède en outre la caractéristique d'être très faiblement dopée en comparaison de l'émetteur.

Figure38 Le transistor NPN

La base, zone de type P, est située entre deux zones de type N.

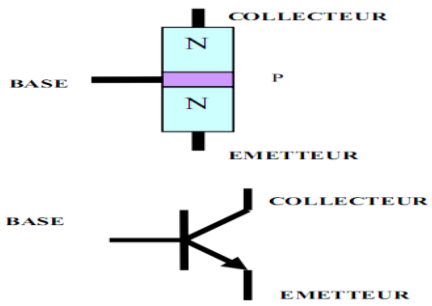
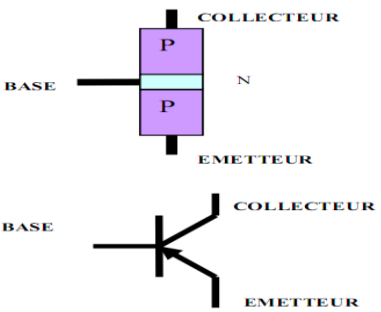


Figure 39 Le transistor PNP

La base, zone de type N, est située entre deux zones de type P.



http://projet.eu.org/pedago/sin/1ere/9-transistor.pdf

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

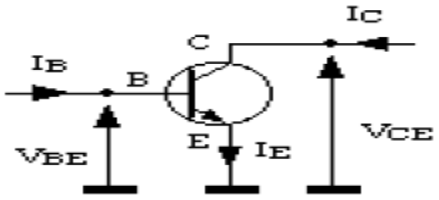
Remarque :

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur. C'est le sens de cette flèche qui varepérer le type de transistor : NPN pour un courant d'émetteur sortant du transistor, et PNP dans le cas inverse.

3.1.2 Transistor NPN

Dans ce type de transistor, les courants de base et de collecteur sont rentrants, et le courant d'émetteur est sortant. Les tensions V_{BE} et V_{CE} sont ici positives.

Figure 40. Courants et tensions sur un NPN

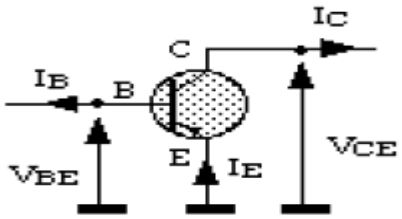


SKLINIARZ BRONISLAV,Résumé Théorique et Guide de travaux pratique, PDF

3.1.3 Transistor PNP

Dans ce type de transistor, les courants de base et de collecteur sont sortants, et le courant d'émetteur est rentrant. Les tensions V_{BE} et V_{CE} sont ici négatives.

Figure 41. Courants et tensions sur un PNP.



SKLINIARZ BRONISLAV, Résumé Théorique et Guide de travaux pratique, PDF

3.1.4 Exercice 7

Cocher la bonne case

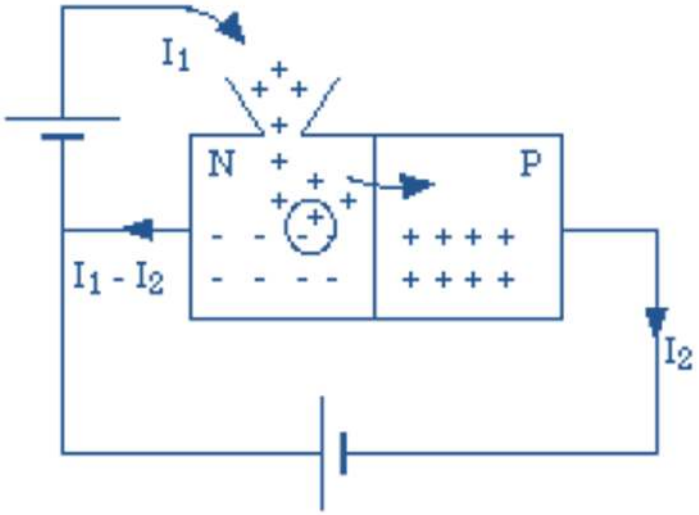
Enoncé	Vrai	Faux
Le collecteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant		
Transistor NPN : le courant d'émetteur sortant du transistor		
Un transistor à jonction bipolaire est un composant à semi-conducteur constitué de 3 jonctions P-N		
Le transistor remplit deux fonctions vitales en électronique		

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

3.2 Principe de fonctionnement d'un transistor bipolaire

Nous avons déjà vu à propos de la diode que si celle-ci est polarisée en inverse, lesporteurs minoritaires (électrons de la zone P et trous de la zone N, créés parl'agitation thermique) traversent sans problèmes la jonction et sont accélérés par lechamp extérieur.
On a vu aussi que lorsque les porteurs majoritaires d'une zone franchissent lajonction, ils deviennent minoritaires dans l'autre zone, et qu'ils mettent un certaintemps à se recombiner avec les porteurs opposés.
Partant des deux remarques précédentes, on peut déduire que si on injecte dans lazone N d'une jonction NP polarisée en inverse beaucoup de trous (qui seront danscette zone des porteurs minoritaires) en faisant en sorte qu'ils ne se recombinentpas avec les électrons de la zone N, ils vont traverser la jonction et créer uncourant dans le circuit extérieur.

Figure 42 : Injection de trous dans une zone N



SKLINIARZ BRONISLAV, Résumé Théorique et Guide de travaux pratique, PDF

La Figure 42 illustre ce propos : il y aura des recombinaisons (charges + et - encerclées), mais limitées, et la plupart des trous iront dans la zone P et formeront le courant I_2. A noter que les recombinaisons correspondent au courant I_1-I_2.

Ce que nous venons de décrire n'est ni plus ni moins que **l'effet transistor** : il ne manque que le moyen d'injecter des trous dans la zone N et de faire en sorte que les recombinaisons soient faibles, pour que la majorité des trous passent dans la zone P.

3.2.1 Gain statique en courant

Soit α ($0 < \alpha < 1$) le pourcentage d'électrons venant de l'émetteur et qui ont atteint le collecteur. Le pourcentage des électrons venant de l'émetteur et qui se sont recombinés avec les trous dans la base est alors $(1-\alpha)$.
On peut alors facilement exprimer la relation entre les différents courants du transistor : I_E, I_B et I_C :

$$i_C = \alpha i_E$$
$$i_B = (1-\alpha) i_E \qquad (3.1)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

On montre alors que le courant de l'émetteur est la somme du courant de la base et du courant du collecteur :

$$i_E = i_B + i_C \qquad (3.2)$$

On peut de même exprimer le courant du collecteur en fonction du courant de la base à partir de l'équation (3.1) on a :

$$i_C = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} i_B \qquad (3.3)$$ On peut écrire : $i_C = \beta i_B$ tel que $\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha)}$

β est le gain statique en courent, Il ne dépend que des caractéristiques physiques du transistor: il ne dépend ni de la tension inverse collecteur base, ni du courant circulant dans le collecteur. (Ceci n'est qu'une approximation, mais dans les hypothèses de petits signaux, c'est assez bien vérifié).

3.2.2 Caractéristiques électriques

Pour ce paragraphe, nous allons étudier les caractéristiques des transistors NPN.
Celles des transistors PNP sont les mêmes aux réserves de signes décrites au paragraphe précédent.

Les transistors NPN sont plus répandus car ils ont de meilleures performances queles PNP (la conductibilité du silicium N est meilleure que celle du silicium P, ainsique la tenue en tension).Il existe des relations entre les courants :

$$I_C = \beta I_B \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B \ldots\ldots\ldots (3.5)$$

$$I_B = I_E - I_C \ldots\ldots\ldots\ldots (3.6)$$

3.2.4 Exercice 8

Donner l'appéllation des symbols suivants :

I_C	
I_E	
I_B	
β	

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

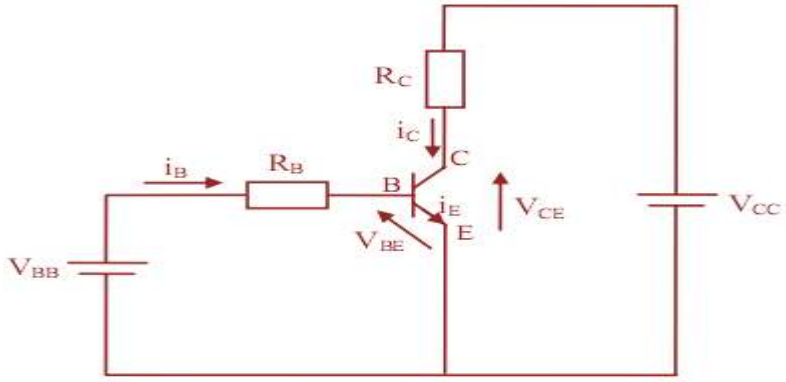
3.3Etude en régime statique

On peut utiliser le transistor soit comme un amplificateur, soit comme interrupteur unidirectionnel en courant comme en tension.

3.3.1 Réseau de caractéristiques

Le transistor fonctionne avec un circuit d'attaque et un circuit de charge. Le transistor bipolaire (de type NPN dans notre cas) est en montage émetteur commun comme l'illustre la figure 43 Il peut alors être assimilé à un quadripôle avec comme grandeurs d'entrée (I_B, V_{BE}) et comme grandeurs de sortie (I_C, V_{CE})

figure 43 Transistor bipolaire en montage émetteur commun



K HOJET E L K HIL Sejir, analogique support, PDF

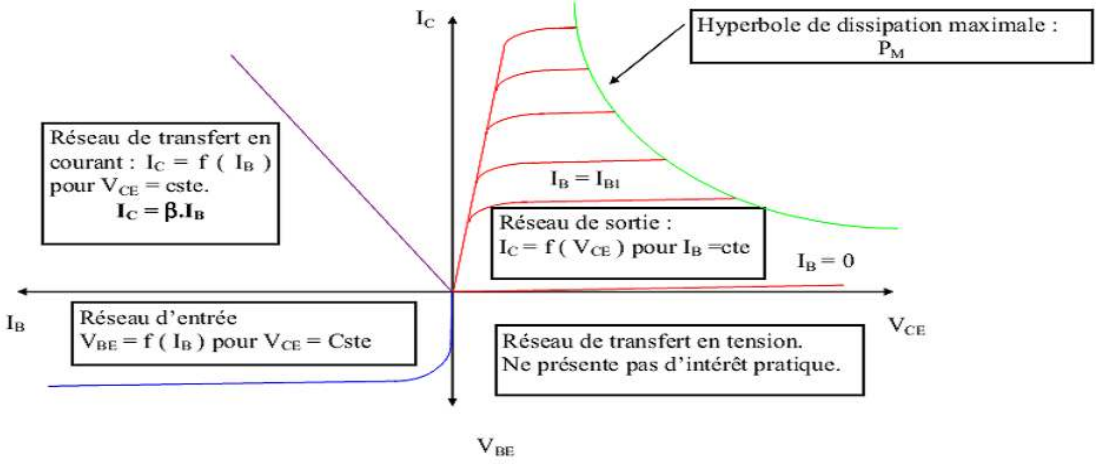
Ainsi les équations de la droite d'attaque et de la droite de charge sont :

$$i_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$ Équation de la droite d'attaque

$$i_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$ Équation de la droite de charge

On représente les différentes caractéristiques dans le système d'axes suivant (Figure 44)

Figure44 Réseau de caractéristiques d'un transistor



Dr Benbahouche Lynda ,Electronique Fondamentale, Université Sétif1, PDF

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Ces trois caractéristiques facilitent le calcul de la valeur des résistances de base R_B et du collecteur R_C, nécessaires à la polarisation du transistor.

3.3.1.1 Caractéristique de transfert en courant $I_C=f(I_B)$

La caractéristique de transfert est une droite; elle est pratiquement linéaire et admet pour équation : $I_C=\beta I_B$. On peut donc dire que le transistor se comporte comme un générateur de courant commandé par un courant. On notera que l'origine de la droite ne passe pas par 0, mais par une valeur notée I_{CEO}, qui correspond au courant de fuite (leakage current), courant circulant dans le collecteur. Cette valeur étant généralement très faible, on pourra le plus souvent la négliger. Avec β : Coefficient d'amplification statique en courant (20<β<qq centaines).

3.3.1.2 Caractéristique d'entrée IB=f(VBE)

Cette caractéristique est pratiquement celle d'une diode polarisée en direct, la tension V_{BE} est de l'ordre de 0,7V lorsqu'un transistor au silicium conduit.

3.3.1.3 Caractéristique de sortie IC=f(VCE)

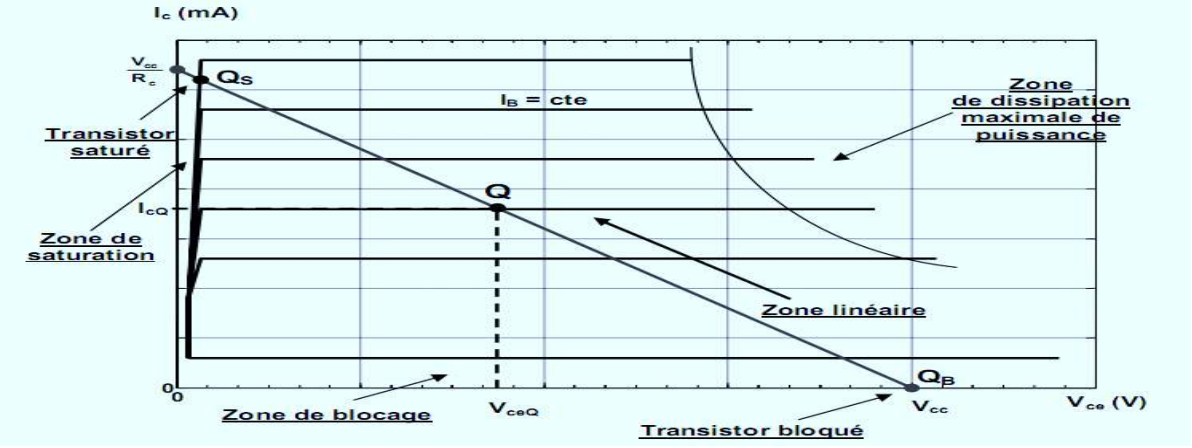
La caractéristique de sortie du transistor correspond à la relation $I_C = f(V_{CE})$, I_B étant constant. Dans la pratique, on trace plusieurs caractéristiques pour différentes valeurs de I_B.

La zone "grisée" correspond à la zone de saturation: quand la tension V_{CE} diminue pour devenir très faible, la jonction collecteur-base cesse d'être polarisée en inverse, et l'effet transistor décroît alors très rapidement. L'autre partie du graphe montre que le courant de collecteur I_C dépend très peu de la tension V_{CE}: nous avons là la caractéristique d'un générateur de courant.

3.3.2 Point de fonctionnement d'un transistor

Le point de fonctionnement ou point de repos Q, correspond au point d'intersection entre la droite de charge et la caractéristique de sortie du transistor pour un courant I_B donné (figure 45) .Pour un courant I_B donné les coordonnées du point de fonctionnement Q sont (V_{CEQ}, I_{CQ}).

Figure 45Point de fonctionnement d'un transistor



K HOJET E L K HIL Sejir, analogique support, PDF

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

D'après la figure 45, suivant l'emplacement du point de repos sur la droite de charge, on distingue trois types de fonctionnement du transistor :

- Si le point de fonctionnement est situé dans le segment]QS, QB[, le transistor fonctionne en régime linéaire. Ce type de fonctionnement est dédié notamment pour applications telles les amplificateurs linéaires. Généralement on choisit $V_{CEQ} = V_{CC}/2$ afin d'éviter toute saturation ou blocage du transistor en régime dynamique (voir remarque suivante).
- Si le point de fonctionnement correspond à QB, on dit que le transistor est bloqué. Vce = Vcc, Ic =0. Le transistor se comporte alors comme un interrupteur ouvert.
- Si le point de fonctionnement correspond à QS, on dit que le transistor est saturé. Vce ≈ 0, Ic ≈ Icsat (courant de saturation). Le transistor se comporte alors comme un interrupteur fermé.

Si le transistor est saturé ou en bloqué, on dit qu'il fonctionne en commutation. Ainsi, en régime de commutation le transistor bipolaire se comporte comme un interrupteur commandé par le courant de base I_B.

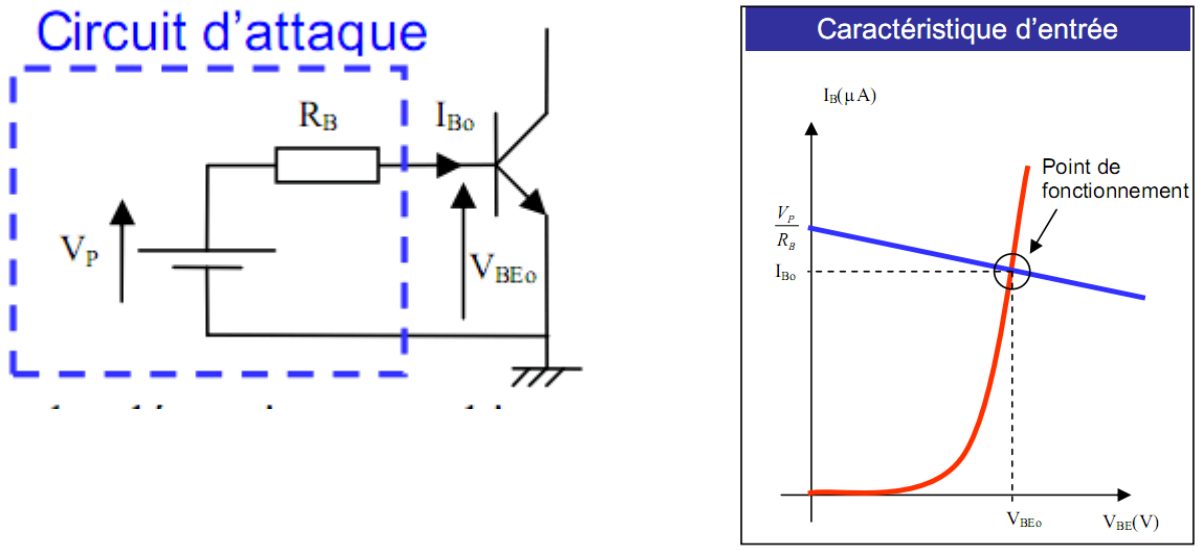
Sur la figure 44 toutes les zones de fonctionnement sont déterminées. Quel que soit la nature du fonctionnement du transistor (régime linéaire ou en commutation), il faut veiller à ce que le point de fonctionnement ne soit pas situé dans la zone de dissipation maximale de puissance.

3.3.3 Fonctionnement statique

On parle de fonctionnement statique quand toutes les grandeurs (courants et tensions) sont des grandeurs continues, c'est-à-dire qui ne varient pas dans le temps. On les notera en MAJUSCULE.

Le point de fonctionnement est imposé par **le circuit d'attaque**.

Figure 46Caractéristique d'entrée



https://bv.univ-poitiers.fr/access/content/user/fwatteau/site/peda/geii1/en1/cm/transistor.pdf

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

On peut le déterminer graphiquement en traçant la droite d'attaque, d'équation:

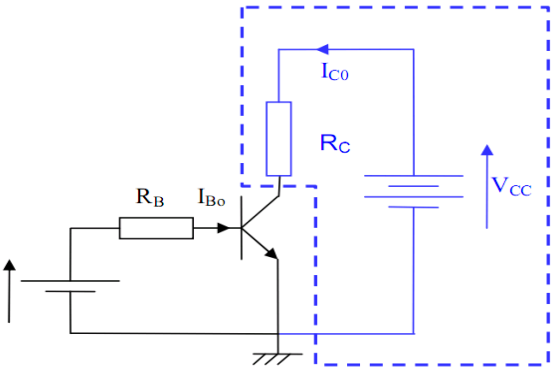
$$I_B = -\frac{1}{R_B} V_{BE} + \frac{V_P}{R_B}$$

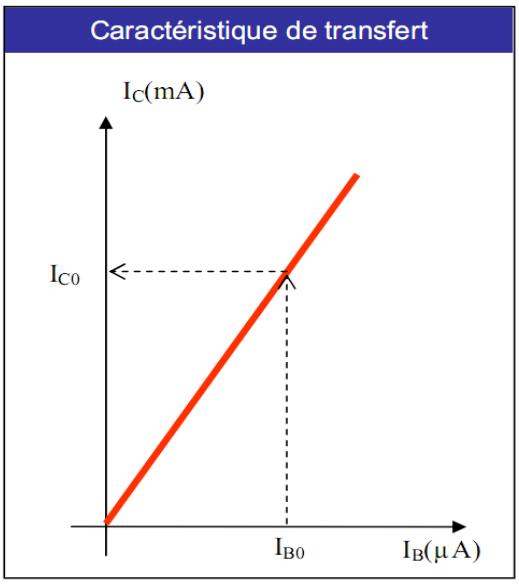
Généralement, V_P est connue et il faut choisir R_B pour fixer I_{B0}

I_{B0} étant fixé, on peut en déduire la valeur de I_{C0} par : $I_{C0} = \beta\, I_{B0}$

Ou graphiquement par l'exploitation de la caractéristique de transfert du transistor. Or cela est vrai si on autorise le passage d'un courant collecteur, c'est à dire s'il existe un circuit de charge.

Figure 47Caractéristique de transfert





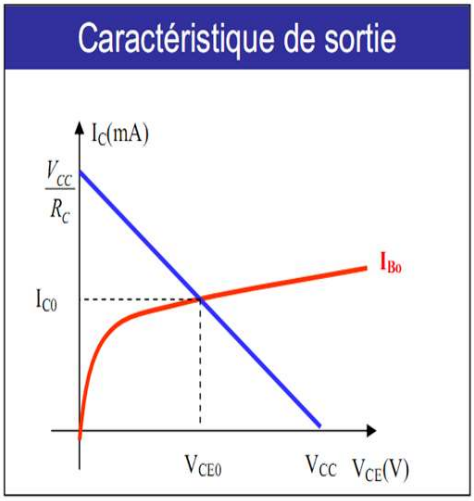
https://bv.univ-poitiers.fr/access/content/user/fwatteau/site/peda/geii1/en1/cm/transistor.pdf

Figure 48Caractéristique de sortie

La valeur de V_{CE0} est fixée par V_{CC}et R_C, et peut être déterminéegraphiquement en traçant la droite decharge d'équation:

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

La droite de charge passe forcémentpar I_{C0}.
En pratique, VCC est généralementconnue, on choisit alors RC pour fixer
I_{C0} et V_{CE0}



https://bv.univ-poitiers.fr/access/content/user/fwatteau/site/peda/geii1/en1/cm/transistor.pdf

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

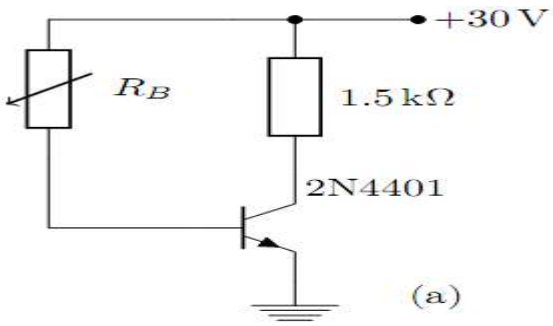
3.3.4 Exercice 9

Le transistor 2N4401 du circuit de la figure (a) est un transistor au silicium avec β =80.

Tracer la droite de charge statique.

Déterminer le point de polarisation lorsque RB =390 k

Figure (a)

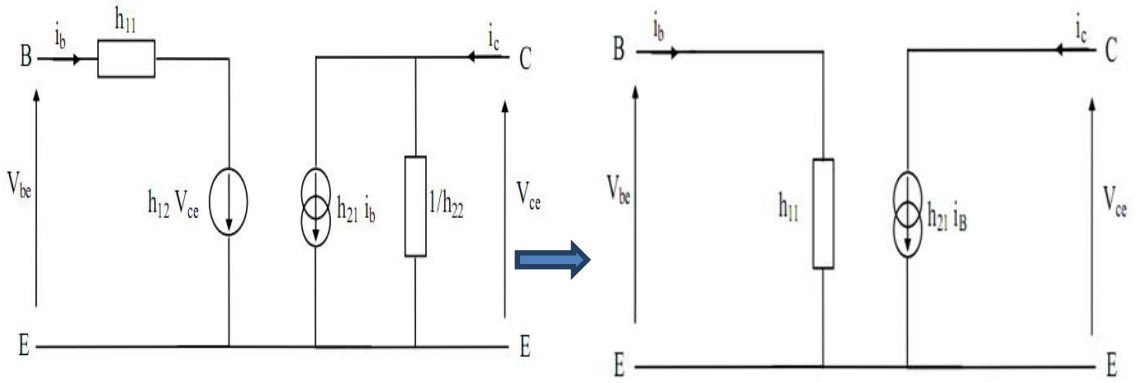


3.4 Etudes en régime dynamique

Vu qu'on suppose que le point de fonctionnement est correctement fixé, la méthode générale du régime dynamique ne s'intéresse qu'au circuit d'amplification. Elle se résume en deux étapes :

1. Eteindre toutes les sources d'énergie continue : replacer les sources de tensions continues par un court-circuit et les sources de courant continu par un circuit ouvert.
2. Remplacer le transistor bipolaire par son schéma équivalent petits signaux.(figure49)

Figure49Modèles petits signaux simplifiés d'un transistor bipolaire



K HOJET E L K HIL Sejir, analogique support, PDF

Dans toute la suite et afin de simplifier l'étude des différents montages d'amplificateur à base de transistor bipolaire, on suppose que h12 = 0 et que h22 = 0

3.4.1 Etude de quelques montages amplificateurs

Un amplificateur est défini par ses trois paramètres fondamentaux :

- L'impédance d'entrée Ze.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- L'impédance de sortie Zs.

- Le gain en tension à vide G_{V0}.

Afin d'étudier les montages amplificateurs, on se place dans les conditions de travail suivantes :

- On suppose que le transistor est bien polarisé quelque soit le circuit de polarisation qui lui est associé. Le point de fonctionnement est situé dans la zone de fonctionnement linéaire.
- On ne traite que les signaux de faibles amplitudes de manière à ce que leurs variations autour du point de fonctionnement soient considérées comme linéaires.
- On se place en régime basse fréquence pour lequel les transistors sont considérés comme des quadripôles et peuvent être remplacés par leur schéma équivalent petits signaux (on utilise le schéma simplifié).
- Les condensateurs de liaison et de découplage sont calculés pour qu'à la fréquence de travail leurs impédances puissent être négligées. Ils sont eux aussi remplacés par des court-circuits lors de l'application de la méthode générale du régime dynamique.

3.4.2 Les circuits de polarisation

Un circuit de polarisation permet de faire fonctionner un transistor en régime linéaire ou en régime de commutation en fixant le point de fonctionnement soit dans la zone linéaire, soit dans la zone de blocage ou encore dans la zone de saturation. En effet si un amplificateur linéaire n'est pas bien polarisé, il peut passer en saturation ou en blocage lorsque le signal d'entrée est appliqué. Pour cela, en régime dynamique, il faut veiller à ce que les variations des grandeurs électriques autour du point de fonctionnement soient linéaires.

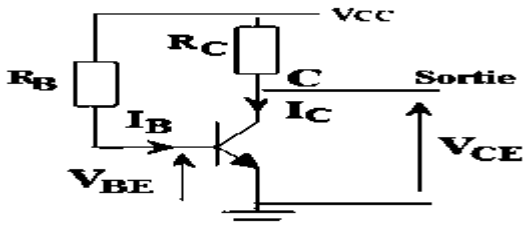
Pour certaines applications telles l'amplification, il faut que le circuit de polarisation assure une stabilité du point de fonctionnement face aux variations de la température.

Il existe plusieurs types de circuits de polarisation. Dans cette partie on s'intéresse aux plus utilisés d'entre eux en mentionnant leurs principaux avantages, inconvénients et applications.

- **Polarisation par résistance de base** :

Soit le montage ci-dessous

Figure 50Polarisation par résistance de base



Dr BenbahoucheLynda ,Electronique Fondamentale, Université Sétif1, PDF

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Le circuit d'entrée donne :

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} \quad avec \quad V_{BE} \approx 0.7V$$
$$\Rightarrow I_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B} \approx \frac{V_{CC}}{R_B}$$

Le circuit de sortie donne :

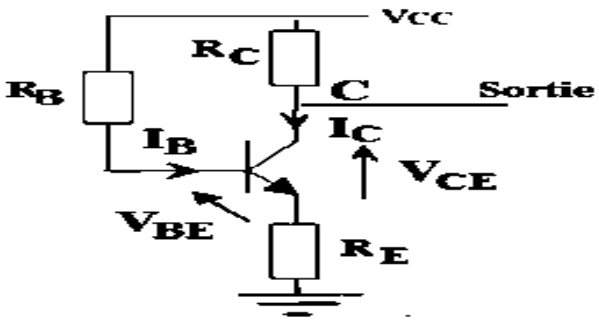
$$V_{CC} = R_C * I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \quad avec \quad I_C = \beta I_B$$

Remarque: Ce montage est sensible à la dérive thermique.

- **Polarisation par résistance d'Emetteur**

Soit le montage ci-dessous

Figure 51Polarisation par résistance d'Emetteur



Dr BenbahoucheLynda ,Electronique Fondamentale, Université Sétif1, PDF

Le circuit d'entrée donne :

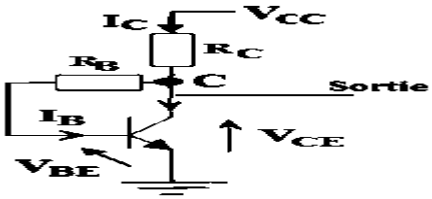
$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I \qquad V_{BE} \approx 0.7V$$
$$\Rightarrow I_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + (\beta + 1)R_E} \text{ vec} \qquad I_E = I_C + I_B = (\beta + 1)I_B$$

On déduit que R_E permet de compenser les variations de β. Si β croit I_C et I_E augmentent, d'après l'équation ci-dessus I_B diminué.

- **Polarisation par résistance de collecteur**

Soit le montage ci-dessous :

Figure 52 Polarisation par résistance de collecteur



Dr BenbahoucheLynda ,Electronique Fondamentale, Université Sétif1, PDF

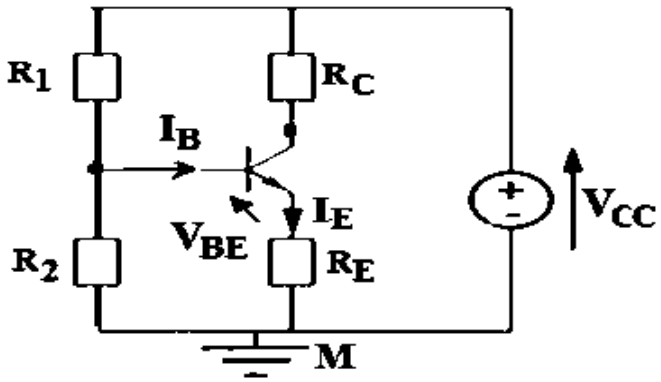
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$V_{CC} = R_C * I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \; et \; V_{CE} = R_B I_B$$

➢ Polarisation par pont de base et résistance d'émetteur

Soit le montage ci-dessous :

Figure 53Polarisation par pont de base



Dr BenbahoucheLynda ,Electronique Fondamentale, Université Sétif1, PDF

La polarisation par pont de base (diviseur de tension) est utilisée pour rendre le courant I_C indépendant des variations du gain. $V_{BM} = V_{BE} + R_E I_E$

$$\Rightarrow I_E = \frac{(V_{EM})}{R_E} = \frac{(V_{BM} - V_{BE})}{R_E}$$

Comme : $I_E = I_B + I_C \;\; et \; I_B \ll I_C \;\; \Rightarrow I_E \approx I_C$

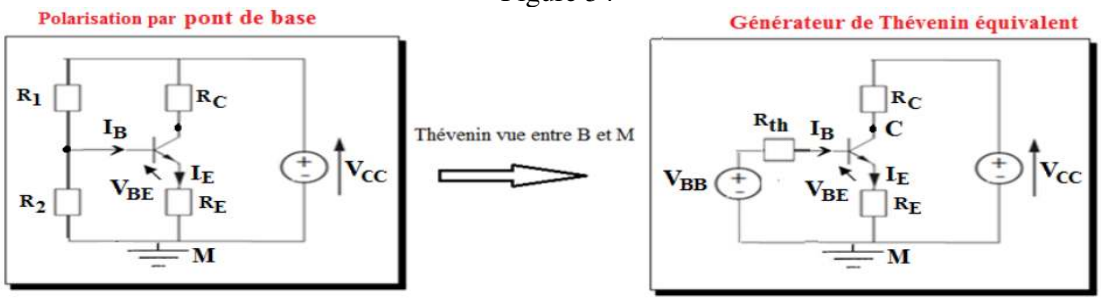
On en déduit que le courant I_C est indépendant du gain β.

Le circuit de sortie donne :

$$V_{CC} = R_C * I_C + V_{CE} + R_E * I_E \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$

Le schéma équivalent en remplaçant R1 et R2 par le générateur de Thévenin :

Figure 54



$$\Rightarrow V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \; et \Rightarrow R_{th} = R_B = R_2 // R_2 = \frac{R_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

$$Donc \; V_{BM} = V_{BB} - R_{th} I_B$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

3.4.3 Trois montages fondamentaux

Quand on branche un transistor, si on s'arrange pour qu'il y ait une patte commune à l'entrée et à la sortie du montage, il y a 3 manières fondamentales de procéder :

La patte commune est l'émetteur : on parle de montage émetteur commun. L'entrée est la base et la sortie le collecteur.

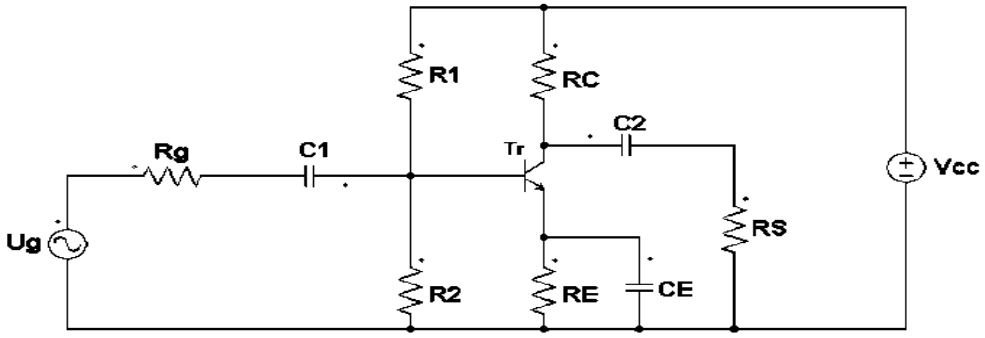
La patte commune est la base : on parle de montage base commune. L'entrée est l'émetteur et la sortie le collecteur.

La patte commune est le collecteur : on parle de montage collecteur commun. L'entrée est la base et la sortie l'émetteur.

- **Montage émetteur commun**

Soit le montage émetteur commun représenté dans la figure 55. La tension d'entrée del'amplificateur est Ve et sa tension de sortie est Vs (aux bornes de Rs). Les capacités C1 et C2 sont appelées capacités de liaison. La capacité C_E est appelée capacité de découplage.

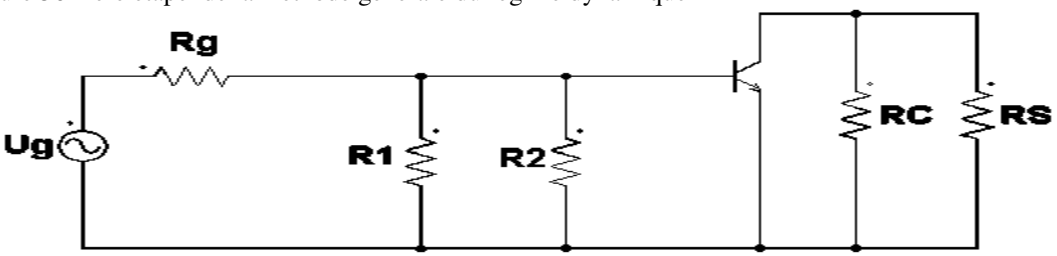
Figure 55 Montage émetteur commun



SejirKhojet El Khil , Support de cours – Fonctions électroniques , Iset'Com 2008

On applique la méthode générale du régime dynamique. La figure 56 représente le circuit obtenu après application de la première étape de la méthode générale du régime dynamique.

Figure 56 1 ère étape de la méthode générale du régime dynamique



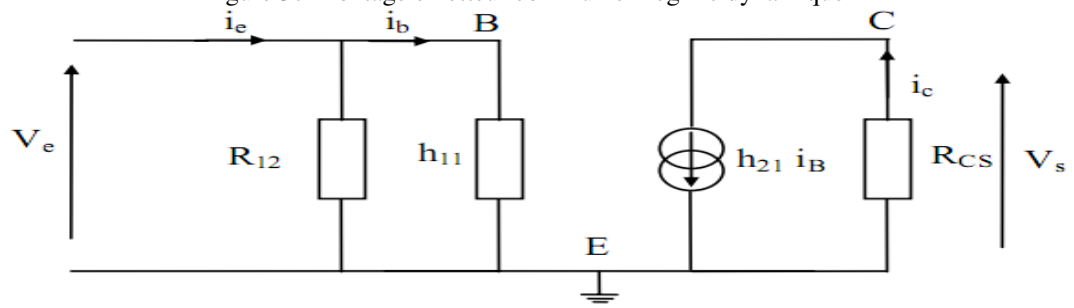
SejirKhojet El Khil ,Support de cours – Fonctions électroniques, Iset'Com 2008

Dans la figure 57, le transistor est remplacé par son schéma équivalent petits signaux d'où le montage final de l'amplificateur. $R_{CS} = (R_C // R_S)$ et R12 = (R1 // R2)

Le gain en tension GV est donné par : $$G_V = \frac{V_s}{V_e} = -\beta \frac{R_{CS}}{h_{11}}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

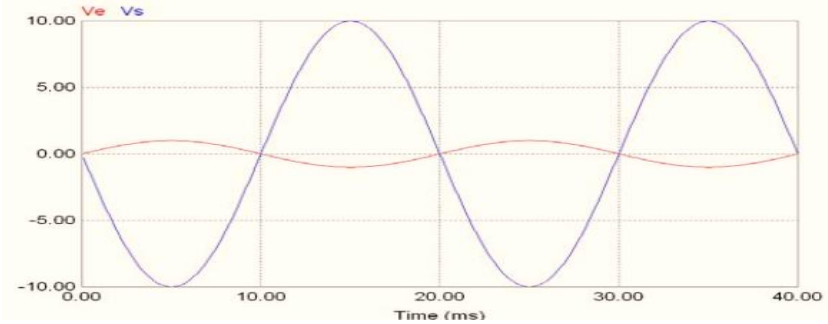
Figure 57 Montage émetteur commun en régime dynamique



SejirKhojet El Khil, Support de cours – Fonctions électroniques, Iset'Com 2008

A partir de l'expression du gain en tension GV, on conclue que dans un montage émetteur commun la tension de sortie amplifiée Vs est en opposition de phase avec la tension d'entrée Ve.

Figure 58 Vs est en opposition de phase avec la tension d'entrée Ve



SejirKhojet El Khil ,Support de cours – Fonctions électroniques, Iset'Com 2008

L'impédance d'entrée Ze est l'impédance équivalente à l'entrée du montage amplificateur vue par la source de tension. Elle est définie par :

$$Z_e = \frac{V_e}{i_e} = (R_{12} // h_{11}),$$

L'impédance de sortie Zs de l'amplificateur est définie par :

$$Z_s = \frac{V_s}{i_s} = R_S,$$

Remarque :

Découplage de la résistance R_E : Le condensateur C_E placé en parallèle avec la résistance R_E fournit un court-circuit réel de point de vue alternatif.(figure 55) On dit alors que la résistance de l'émetteur est découplée. Le découplage de R_E permet d'obtenir un gainen tension maximal. La valeur de C_E doit être suffisamment élevée pour que sa réactance soit très faible comparativement à R_E. Il faut néanmoins souligner que bien que R_E soir découplée en régime dynamique, elle très importante en régime statique puisqu'elle permet de bien stabiliser le point de fonctionnement du transistor.

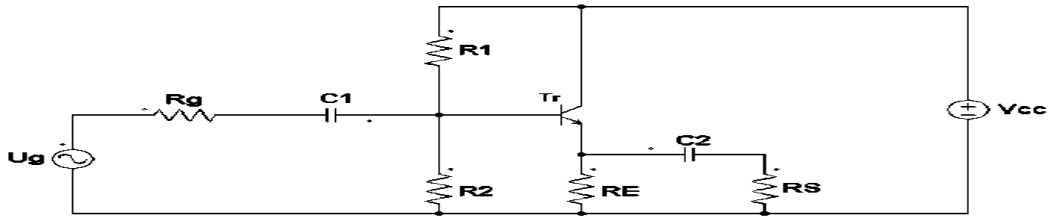
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Distorsion de la tension de sortie : il est important de rappeler que si la tension d'entrée Ve est élevée, la tension de sortie Vs peut être écrêtée ou distordue.

- **Montage collecteur commun**

La figure 59 présente le montage émetteur commun. Comme dans le cas précédent, la tension d'entrée de l'amplificateur est Ve et sa tension de sortie est Vs (aux bornes de Rs). Les capacités C1 et C2 sont des capacités de liaison.

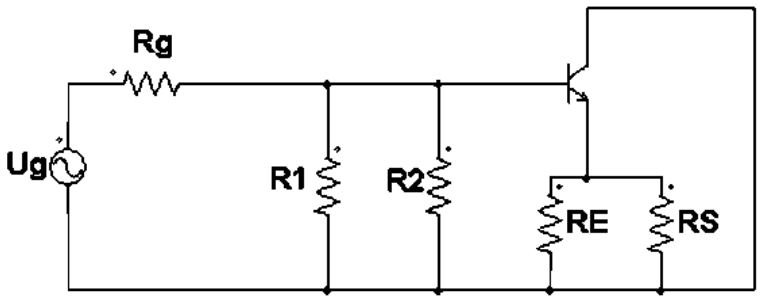
Figure59Montage collecteur commun



SejirKhojet El Khil ,Support de cours – Fonctions électroniques, Iset'Com 2008

On applique la méthode générale du régime dynamique. La figure 60 représente le circuit obtenu après application de la première étape de la méthode générale du régime dynamique.

Figure60 1ère étape de la méthode générale du régime dynamique



SejirKhojet El Khil ,Support de cours – Fonctions électroniques, Iset'Com 2008

Dans la figure 61, le transistor est remplacé par son schéma équivalent petits signaux d'où le montage final de l'amplificateur. $R_{ES} = (R_E // R_S)$ et R12 = (R1 // R2)

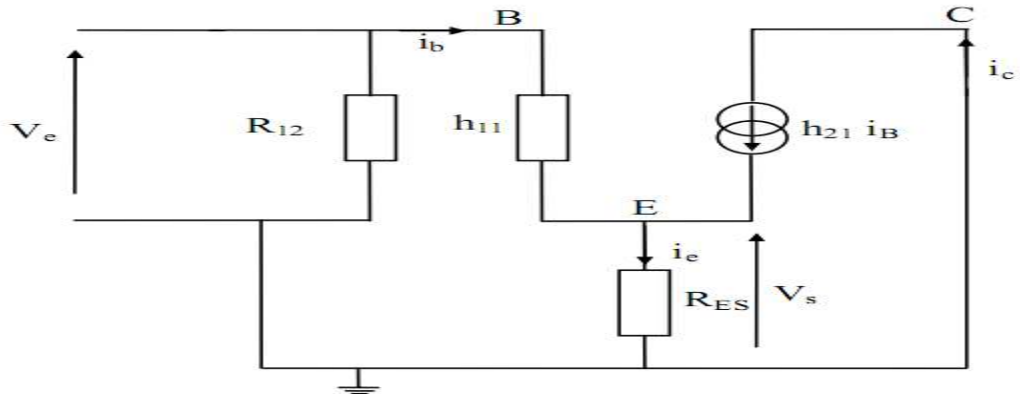
Le gain en tension G_V est donné par :

$$G_V = \frac{V_s}{V_e} = (\beta + 1)\frac{R_{ES}}{h_{11} + (\beta + 1)R_{ES}} \approx \beta \frac{R_{ES}}{h_{11} + \beta R_{ES}}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

On remarque que si on choisit R_{ES}>> h11, $G_V \approx 1$.

Figure 61 Montage collecteur commun en régime dynamique



SejirKhojet El Khil ,Support de cours – Fonctions électroniques, Iset'Com 2008

L'expression du gain en tension GV montre que dans un montage collecteur commun la tension de sortie est en phase avec la tension d'entrée. Le gain en tension est inférieur à 1.

Les impédances d'entrée et de sortie Ze et Zs de l'amplificateur sont définies par :

$$Z_e = \frac{V_e}{i_e} = \left(R_{12} // \left(h_{11} + (\beta+1)R_{ES}\right)\right), \quad Z_s = \frac{V_s}{i_s} = \left(\frac{(R_g // R_{12}) + h_{11}}{\beta+1}\right) // R_E,$$

On remarque que l'impédance d'entrée du montage collecteur commun est supérieure à celle du montage émetteur commun. Par contre son impédance de sortie est très faible.

Ainsi un montage collecteur commun est caractérisé par un gain en tension unitaire, une impédance d'entrée très grande et une impédance de sortie très faible.

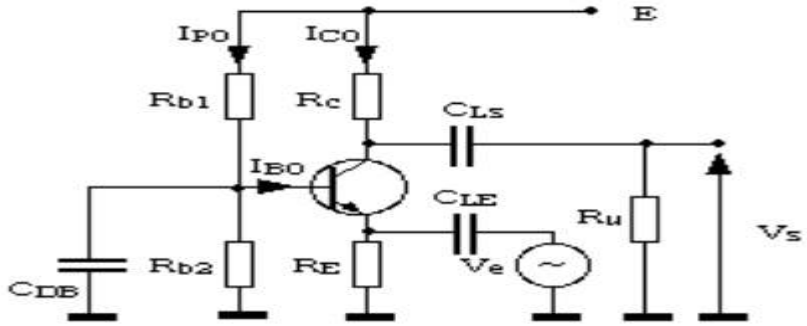
L'intérêt du montage collecteur commun est que bien que le gain en tension soit voisin de 1, son impédance de sortie est très faible ce qui permet d'alimenter avec bon gain en puissance une charge d'impédance faible.

- **Montage base commune**

Le montage commence à nous être familier : en effet, mis à part l'emplacement du générateur d'attaque et le condensateur de découplage qui est ici situé sur la base, le montage est le même que celui de l'émetteur commun.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 62 Montage base commune.



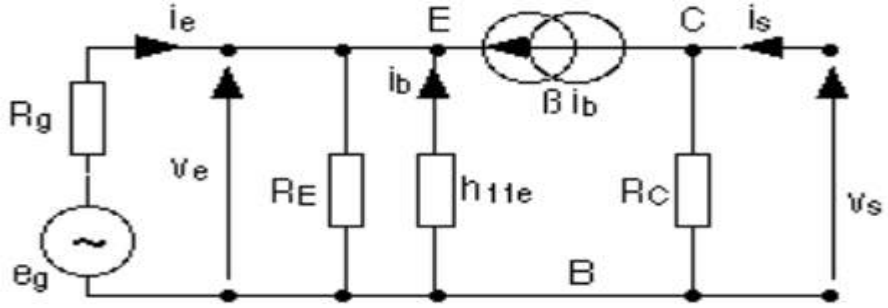
SKLINIARZ BRONISLAV, Résumé Théorique et Guide de travaux pratique, PDF

La procédure de calculs des éléments de polarisation est donc identique, car seuls les éléments liés au régime alternatif changent.

On va donc étudier ici le montage base commune. On voit tout de suite le défaut que va présenter ce montage : vu qu'on attaque côté émetteur, il faudra faire varier un courant important, donc, l'impédance d'entrée sera sûrement beaucoup plus faible que pour l'émetteur commun, qui n'était déjà pas brillant sur ce point. En fait, ce montage sera peu utilisé, sauf dans des applications hautes fréquences où il trouvera son seul avantage.

Le schéma équivalent est le suivant :

Figure 63 Schéma équivalent base commune.



SKLINIARZ BRONISLAV, Résumé Théorique et Guide de travaux pratique, PDF

Le pont Rb1 / Rb2 disparait car il est shunté en alternatif par le condensateur de découplage C_{DB}. La base est bien le potentiel commun entrée / sortie, et le schéma du transistor est le même que pour l'émetteur commun.
Le fonctionnement intuitif a déjà été ébauché dans le paragraphe relatif à la polarisation : il est rigoureusement le même que pour l'émetteur commun sauf qu'on attaque l'émetteur pour imposer les variations V_{BE}, avec un potentiel de base fixe.

On aura juste une différence de signe provenant du fait que quand on augmente la tension de base à potentiel d'émetteur constant, la tension V_{BE} augmente, et quand on augmente la tension d'émetteur à potentiel de base constant, elle diminue : une tension d'entrée positive dans les deux cas aura donc des effets contraires.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Du schéma Figure 63 on tire les équations suivantes :

$$V_s = - R_c \beta i_b$$
$$V_e = - h_{11e} i_b$$

D'où l'expression du gain en tension à vide :

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{\beta R_c}{h_{11e}}$$

Du circuit d'entrée, on tire l'équation suivante :

$$i_e = \frac{V_e}{R_E} - (\beta+1) i_b$$

$$i_e = \frac{V_e}{R_E} + (\beta+1) \frac{V_e}{h_{11e}}$$

$$Z_e = \frac{V_e}{i_e} = R_E // \frac{h_{11e}}{\beta+1}$$

Pour éviter de longs calculs inutiles, on ne tiendra pas compte de la résistance du générateur d'attaque Rg.

Du circuit de sortie, on peut tirer les équations suivantes :

$$V_s = R_c (i_s - \beta i_b)$$

$$V_s = R_c i_s + \frac{\beta R_c}{h_{11e}} V_e$$

$$Z_s = R_c \quad |$$

On aurait pu prévoir ce résultat, car l'entrée est séparée de la sortie par un générateur de courant qui présente une impédance infinie (en pratique égale à 1/h22e, qui est très grand) : dupoint de vue des impédances, on se retrouve avec l'entrée séparée de la sortie.

Les caractéristiques sont donc les suivantes :

Même gain en tension que pour l'émetteur commun (plusieurs centaines).

Impédance d'entrée très faible : quelques dizaines d'ohm

Impédance de sortie moyenne : quelques kilos-ohm, la même que pour l'émetteur commun.

En pratique, ce montage sera très peu utilisé, sauf en haute fréquence où il va présenter une bande passante supérieure à celle du montage émetteur commun.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Remarques fondamentales

Il faudra garder à l'esprit ces deux remarques fondamentales, qui permettront d'évaluer grossièrement mais sans calculs les impédances des montages à transistors :

- tout ce qui est vu de la base et situé en aval de l'émetteur est multiplié par le gain en courant.

- tout ce qui est vu de l'émetteur et situé en amont de celui-ci est divisé par le gain en courant.

Ces remarques sont fondamentales par le fait qu'on peut évaluer très rapidement les potentialités d'un montage sans faire de calculs sur le schéma alternatif petits signaux, qui, on l'a vu, sont particulièrement pénibles, et ne donnent pas beaucoup plus de précision que ce que l'on peut déterminer très simplement.

Cette façon d'appréhender les choses permet à l'électronicien de bâtir un schéma rapidement sans se noyer dans les calculs, et aussi, permettent de mieux comprendre le fonctionnement d'un étage à transistor, autrement que par le biais d'équations.

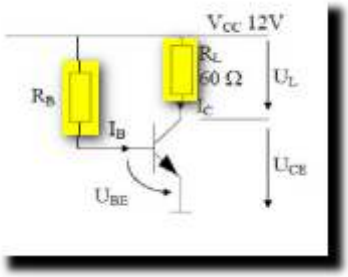
3.4.4 Fonctionnement en hautes fréquences

Tout ce qui a été dit jusqu'à présent ne concerne que le fonctionnement à faible fréquence (inférieure à quelques centaines de kHz). Pour des fréquences plus élevées, on utilise un schéma équivalent du transistor différent, rendant mieux compte de ce qui se passe physiquement.

Ce modèle introduit des capacités parasites, et donc, les paramètres du transistor deviennent complexes (au sens mathématique du terme !).

3.4.5 Exercice 10

On considère le montage suivant avec un transistor NPN de gain en courant statique β=100 et



la tension entre la base et l'émetteur est de 0,7V

a) On désire avoir un courant de 100 mAdans la charge R_L, quelle valeur derésistance R_B faut-il choisir?

b) Si on fait varier R_B alors I_B varie etdonc I_C varie aussi. Quelle est la valeurmaximale qu'on peut obtenir pour I_C(transistor saturé)?

3) quelle est la valeur minimale de R_B pour saturer le transistor

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

3.5 Résumé

Un transistor à jonction bipolaire est un composant à semi-conducteur constitué de 2 jonctions P-N qui forment 3 zones :

- soit une zone P, une N et une P : le transistor est dit PNP.
- soit une zone N, une P et une N : le transistor est dit NPN.

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur
Le courant de l'émetteur est la somme du courant de la base et du courant du collecteur
β est le gain statique en courent
Le transistor en montage émetteur commun peut être assimilé à un quadripôle avec comme grandeurs d'entrée (I_B, V_{BE}) et comme grandeurs de sortie (I_C, V_{CE})

Caractéristique de transfert en courant $I_C=f(I_B)$
Caractéristique d'entrée $I_B=f(V_{BE})$:
Caractéristique de sortie $I_C=f(V_{CE})$
Ces trois caractéristiques facilitent le calcul de la valeur des résistances de base R_B et du collecteur R_C, nécessaires à la polarisation du transistor.
Le point de fonctionnement correspond au point d'intersection entre la droite de charge et la caractéristique de sortie du transistor pour un courant I_B donné. On distingue trois types de fonctionnement du transistor :
Régime linéaire : les amplificateurs linéaires
Régime de blocage : interrupteur ouvert Vce = Vcc,Ic =0
Régime de saturation : interrupteur fermé Vce ≈ 0, Ic ≈ Icsat

En régime dynamique :la méthode générale du régime dynamique ne s'intéresse qu'au circuit d'amplification

Un amplificateur est défini par ses trois paramètres fondamentaux :

- L'impédance d'entrée Ze. L'impédance de sortie Zs. Le gain en tension à vide G_{V0}.

Un circuit de polarisation permet de faire fonctionner un transistor en régime linéaire

Trois montages fondamentaux

Montage émetteur commun

Montage collecteur commun

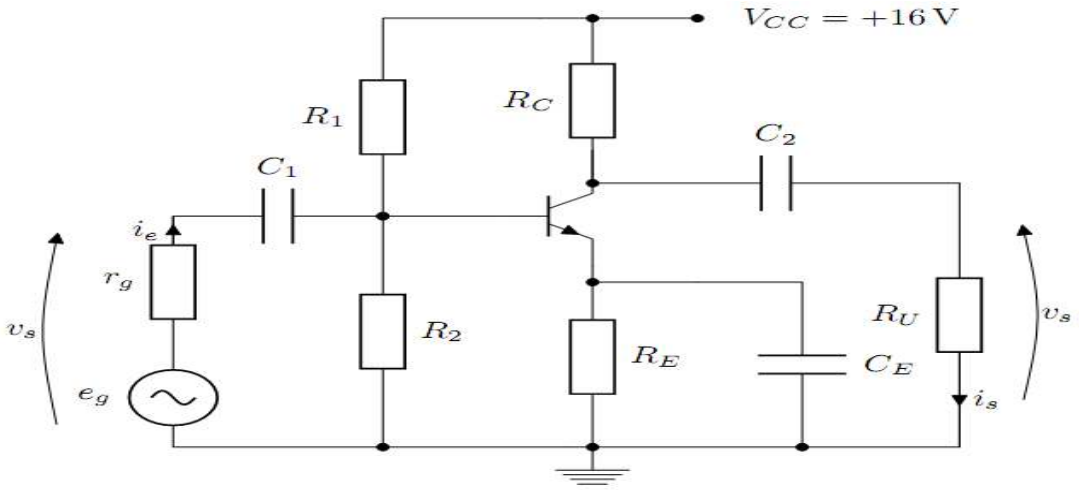
Montage base commune

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

3.6 Exercice de synthèse 3

Spécialité : Maintenance des équipements informatiques
Module : MQ5 Analyse des circuits électroniques simples.
Durée : 02 heures
But : Analyser les circuits à base de transistors.
Matériel requis : Document, stylo
Mise en situation :
On considère le montage de l'amplificateur de la figure 60.

Figure 60



Les paramètres du transistor ont pour valeurs au point de repos:

h11 =2 kW ; h12 =0 ; h21 =50 ; h22 =50 µS

Les résistances R1 et R2 du pont de polarisation ont des valeurs très supérieures à celle du paramètre h11 du transistor. Les autres résistances ont pour valeurs:

R_C =5 kW ; R_U =5 kW ; R_E =10 kW ; rg =600W

Tous les condensateurs ont une impédance négligeable à la fréquence de travail.

La fréquence minimum du signal alternatif est de 500Hz.

Marche à suivre :

1. Représenter le schéma équivalent de l'étage amplificateur pour les signaux alternatifs.
2. Calculer la valeur de la capacité du condensateur CE.
3. Calculer les impédances d'entrée et de sortie de l'étage amplificateur.
4. Calculer l'amplification en courant Ai = is/ie.
5. Calculer l'amplification en tension Av = vs/ve.
6. Calculer le gain en puissance en admettant que la puissance de sortie est la puissance moyenne dissipée dans la résistance RU traversée par le courant is, et que la puissance d'entrée est la puissance moyenne dissipée dans le circuit de base du transistor.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

CHAPITRE 4 : Le transistor à effet de champ et l'amplificateur opérationnel

4.1 Le transistor à effet de champ

La dénomination « transistor à effet de champ » (TEC ou FET) regroupe deux types de transistors :

- le TEC à jonction (JFET)
- le TEC à grille isolée (IGFET : insulated gate FET, MOSFET : Métal Oxyde Semiconductor FET)

Comparaison au transistor bipolaire :

- fonctionnement lié au déplacement d'un seul type de porteur (les porteurs majoritaires : électrons ou trous) ; composant unipolaire.
- simple à fabriquer, surface réduite (plus haut niveau d'intégration).
- très forte impédance d'entrée (MΩ).
- facteur de bruit inférieur au transistor bipolaire.

4.1.1 Etude statique

Principe

Le TEC est réalisé dans un barreau de semi-conducteur dopé (N sur la figure 64). Sa conductance dépend du taux de dopage et des dimensions du barreau.

figure 64 un barreau de semi-conducteur

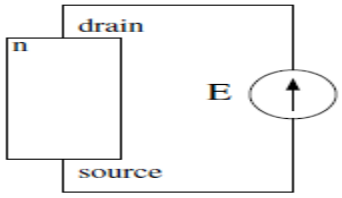
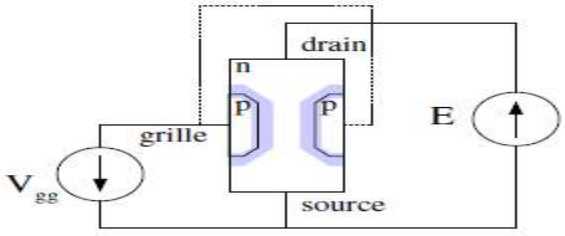


figure 65 jonctions PN polarisées en inverse



C. PETER, Polytech Nice Sophia

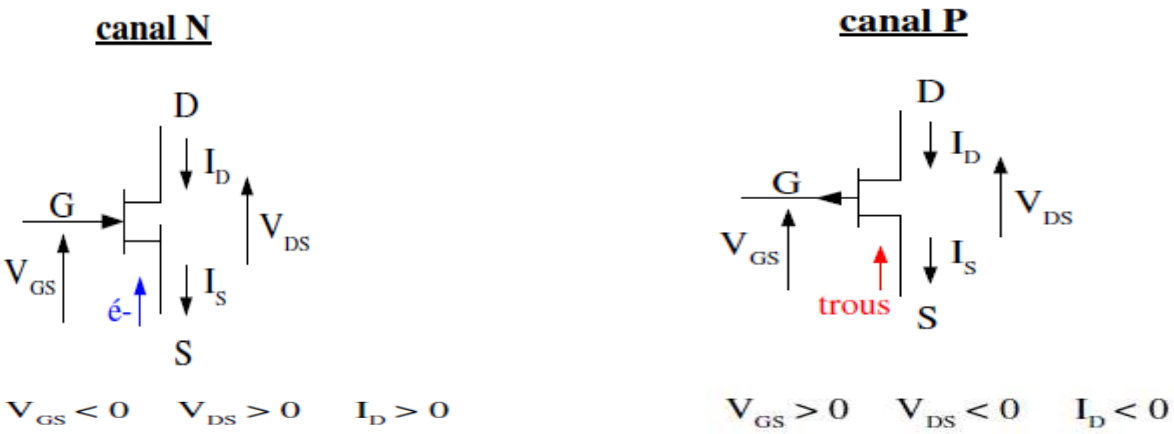
Pour moduler les dimensions du canal, on ajoute deux zones de dopage P. En polarisant les jonctions PN en inverse (figure 65), on peut agir sur les dimensions des zones de déplétions et donc sur la taille du canal. On peut ainsi moduler le courant dans le transistor en intervenant sur le champ existant dans les jonctions.

Symboles, tensions et courants

- SOURCE : électrode par laquelle les porteurs entrent dans le canal.
- DRAIN : électrode par laquelle les porteurs quittent dans le canal.
- GRILLE: électrode de commande ($I_G = 0$).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 66 le TEC à jonction (JFET)



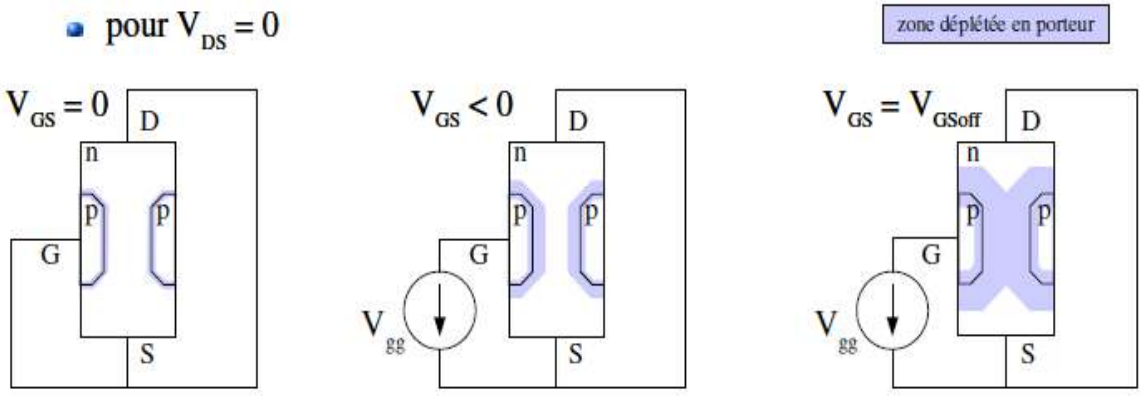
C. PETER, PolytechNiceSophia

Remarque : le sens de la flèche représente la diode qui doit être polarisée en inverse.

Fonctionnementdu transistor à canal N

Pour simplifier le raisonnement, nous allons considérer dans un premier temps un montage (Figure 67.) où le canal est court-circuité (VDS= 0)

Figure67Modulation de conductivité à VDS= 0



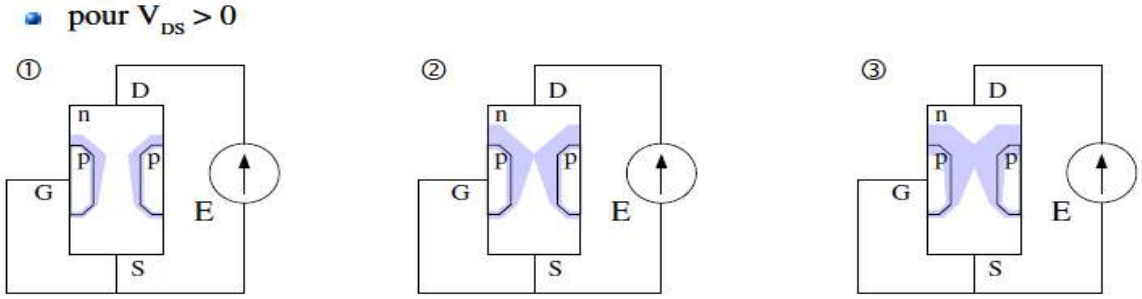
C. PETER, Polytech Nice Sophia

La conductance maximale du barreau est obtenue pour $V_{GS} = 0$. Lorsque la tension V_{GS} devient négative, la zone de déplétion s'étend réduisant la taille du canal et sa conductance. Lorsque $V_{GS} = V_{GSoff}$, les deux zones de déplétion se rejoignent et le canal est supprimé. La conductance tend alors vers 0 (impédance infinie).C'est le phénomène de pincement.

Le TEC fonctionne en déplétion ou appauvrissement.
Dans ce cas, on peut considérer le TEC comme une résistance commandée en tension.
Si on reprend le montage précédent, et qu'en plus on applique une tension positive entre le drain et la source, le gradient de potentiel présent tout le long du barreau de silicium constituant le canal va modifier le profil de la zone de déplétion. Vers le drain, (voire figure 68).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 68. Modulation de conductivité pour V_{DS}non nul.



C. PETER, Polytech Nice Sophia

- Pour V_{DS}> 0, le potentiel du drain est supérieur au potentiel de la source. La tension inverse grillecanal sera donc plus importante du côté du drain. La zone de déplétion s'élargit donc vers le drain du transistor.
- Lorsque V_{DS} ↗, il y a pincement du canal pour $V_{DS} = V_P$
- Si V_{DS} ↗ encore, le canal se rétrécit et le courant est limité.Le courant de drain va tendre vers une valeur constante.

Caractéristique

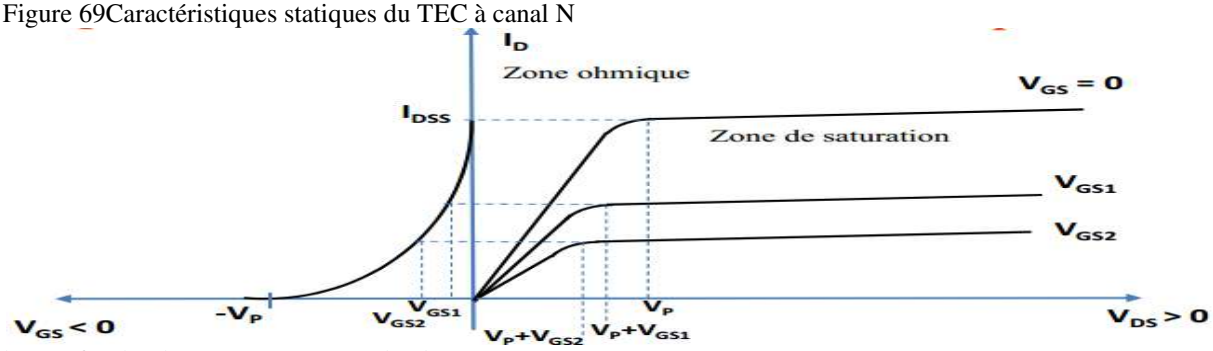
A partir de ce qui a été dit dans le paragraphe précédent, on peut déjà deviner trois choses :

- Si V_{GS}= V_{GSoff}, dans tous les cas, quelle que soit la tension V_{DS}, le courant dans le canal sera nul. En effet, une tension V_{DS}non nulle ne fera que renforcer le phénomène de pincement.

- Le courant de drain deviendra d'autant plus vite constant que la tension |VGS| sera plus élevée.

- Le courant constant maximum sera obtenu pour une tension grille-source nulle.

Figure 69Caractéristiques statiques du TEC à canal N



https://f2school.com/wp-content/uploads/2020/01

Polarisation automatique

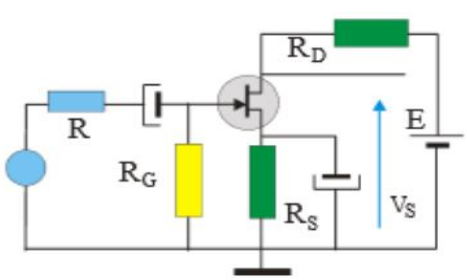
Les JFET sont caractérisés par une grande dispersion des valeurs des paramètres. Pour un même type, le courant drain maximum IDSS et latension VGS de pincement VP peuvent varier d'un facteur 4 à 5. Ainsi pour un 2N 5459, on note les valeurs suivantes :

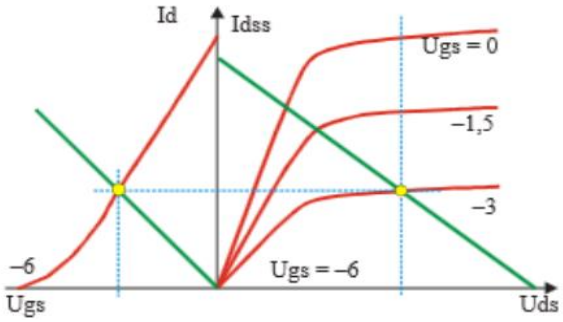
4 mA < IDSS< 16 mA et – 2 V > VP> – 8 V

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

A cause de cette dispersion des paramètres, il est impossible de régler le point de fonctionnement en imposant le potentiel de grille car ID peut varier de manière trop importante pour un VGS donné.

Figure70 Polarisation automatique du TEC





www.technologuepro.com

La grille est reliée à la masse par une résistance RG de forte valeur. Comme le courant grille est nul, le potentiel de grille est nul. Le courant drain produit dans la résistance de source unechute de tension égale à RS.ID. La tension grille-source vaut donc :

VGS= VGM– VSM= –RS.ID. La grille est bien négative par rapport à la source.

L'équation de la droite d'attaque est : VGS= – RS.IDet celle de la droite de charge est :

VDS= E-(RS+ RD).ID

L'intersection de ID= – VGS/RSavec la caractéristique de transfert définit la tension VGSet la valeur de ID. L'intersection de la droite de charge etde la caractéristique qui correspond à VGS donne la valeur de VDS.

Si le courant drain augmente, la chute de tension dans la résistance de source augmente ce qui diminue la conduction du canal et donc le courant drain. Il y a une contre-réaction qui stabilise le point de fonctionnement.

4.1.2 Etude dynamique en petits signaux

L'examen des caractéristiques d'un JFET polarisé dans la zone de saturation montre que les équations qui régissent le fonctionnement sont :

En entrée : iG= 0

En sortie : iD= $s.v_{GS}+ 1/\rho.v_{DS}$. (Figure 71)

On définit la pente ou transconductance par :

$$s = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \left(\frac{i_D}{V_{GS}}\right)_{VDS=Cte}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

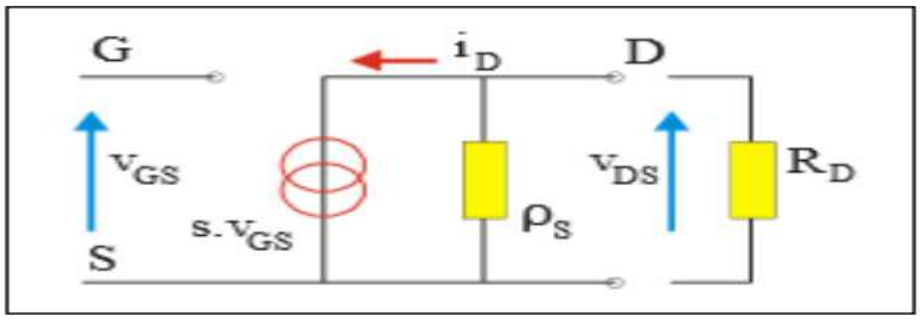
Et la résistance interne par :

$$\rho = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} = \left(\frac{V_{DS}}{i_D}\right)_{VGS=Cte}$$

En utilisant la relation $I_D = I_{DSS}.(1 - V_{GS}/V_P)^2$, on obtient l'expression suivante pour la valeur de la pente :

$$s = 2I_{DSS}.\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right).\left(\frac{-1}{V_P}\right)$$

Figure71 schéma équivalent en petits signaux



www.technologuepro.com

Pour les transistors petits signaux les valeurs typiques de la pente et de la résistance interne sont : s ≈quelques mA/V ρ≈10 kΩ à 100 kΩ

En entrée, on applique une tension V_{GS} et le courant consommé est nul. En sortie le FET se comporte comme un générateur de courant d'intensité $S.V_{GS}$ en parallèle avec une résistance ρ.

Ce schéma simplifié permet d'interpréter le fonctionnement des JFET montés en amplificateur.

La caractéristique de transconductance étant parabolique les FET déforment les signaux de grande amplitude. Il faut satisfaire la condition $i_D << I_D$pour limiter la distorsion du signal.

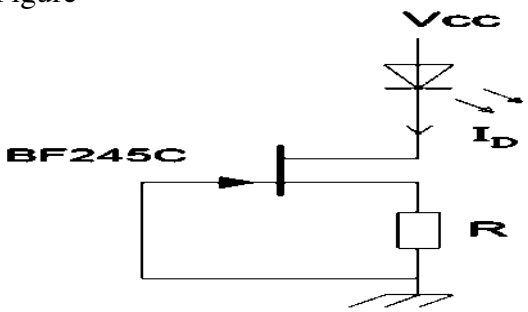
On prend souvent $i_D \approx I_D/10$.

4.1.3 Exercice 11

On désire alimenter une LED à courant constant(10 mA) avec une source de tension (Vcc) 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure



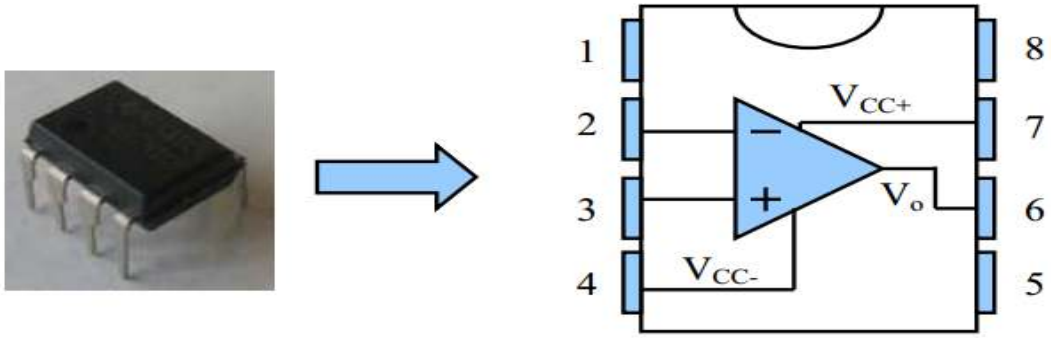
1. Calculer la valeur de la résistance R.
2. Calculer la tension Vcc minimale qui permet d'avoir un courant de 10 mA (on tolère une variation de 1 mA).
On donne : Tension aux bornes de la LED : 2,0 V pour 10 mA
3.Le data sheet du transistor indique que : P = 300mW (max).
Vérifier qu'il n'y a pas de problèmes d'échauffement du transistor.

4.2 Amplificateur opérationnel

Cette section présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

L'amplificateur opérationnel le plus commun : développé en 1968 par Fair child Semiconductor ; le uA741.

Figure 72 Amplificateur opérationnel



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

L'amplificateur opérationnel possède cinq bornes qui sont d'intérêt :

Entrée inversée *vn*(l'entrée avec le -)

Entrée non-inversée *vp* (l'entrée avec le +)

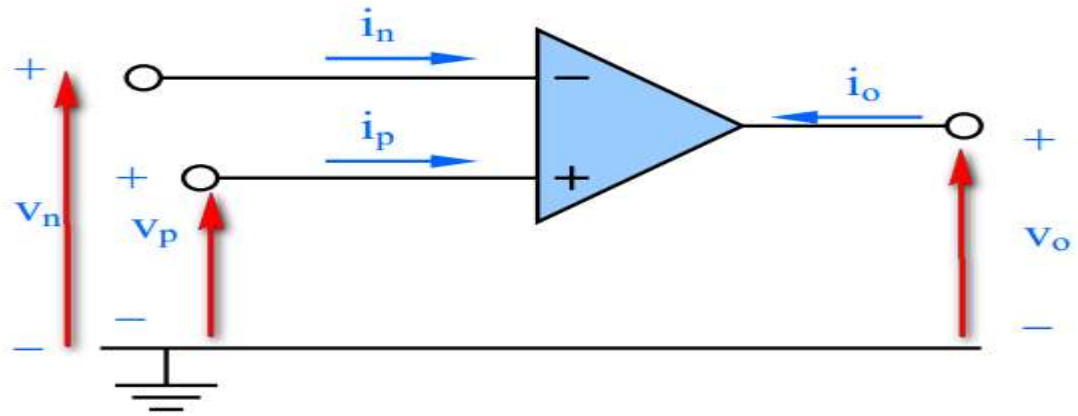
Sortie *vo*

Alimentation positive VCC+

Alimentation négative VCC-

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Figure 73Schéma de l'ampli-op



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

4.2.1 Propriétés de l'amplificateur

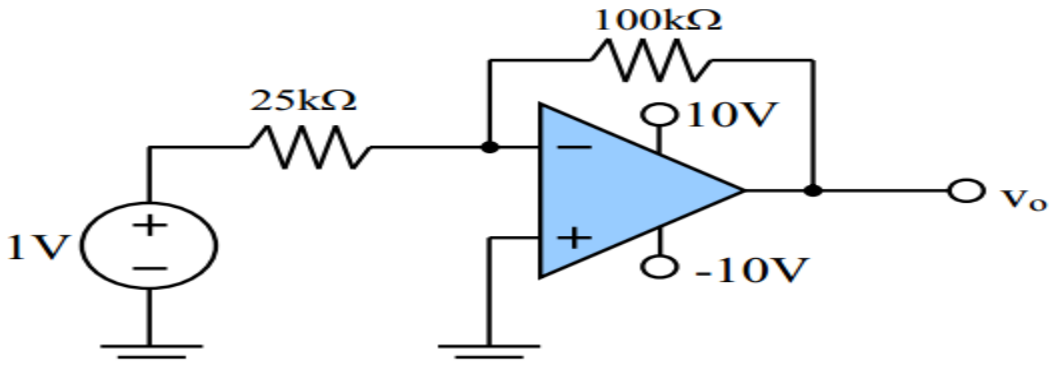
Gain très élevé : de l'ordre de 200 000 pour des amplis pratiques.
Equation du gain : $vo = A(vp - vn)$, ou A est le gain.
Sortie limitée : $VCC- < vo < VCC+$
Deux modes de fonctionnement :
Mode amplificateur : il y a toujours un parcours entre la sortie et l'entrée - : c'est du feedback négatif.
Deux suppositions importantes :

$$vp = vn$$

$$ip = in = 0$$

Mode comparateur : Sans ce parcours, l'amplificateur opérationnel fonctionne en mode comparateur.
Exemple :
Calculer la tension de sortie vo

Figure74



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Mode amplificateur : parcours entre la sortie et la borne - (à travers la résistance de 100kΩ).

Appliquer les suppositions : $vn = vp = 0$, puisque vn est mis à la terre, et $ip = in = 0$.

Puisque $in = 0, i_{25k} = i_{100k}$. On a donc :

$$\frac{v_{in} - v_n}{25000} = \frac{v_n - v_o}{100000}$$

Et puisque $vn = 0$,

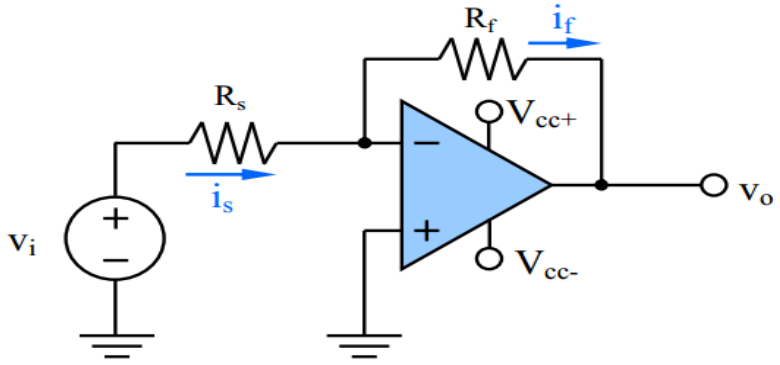
$$\frac{1 - 0}{25000} = \frac{0 - v_o}{100000} \Rightarrow v_o = -4\text{V}$$

4.2.2 Différents Montages

Montage amplificateur inverseur

Soit le montage ci-dessous (Configuration la plus commune).

Figure75 Montage amplificateur inverseur



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

On peut dire que $is = if$ puisque $vn = vp = 0$ et $ip = in = 0$

$$i_s = \frac{v_i - v_n}{R_s} = \frac{v_i}{R_s}$$

On applique le mème raisonnement pour trouver le courant if

$$i_f = \frac{v_n - v_o}{R_f} = -\frac{v_o}{R_s}$$

Avec ces deux equations, on obtient : $$v_o = -\frac{R_f}{R_s} v_i$$

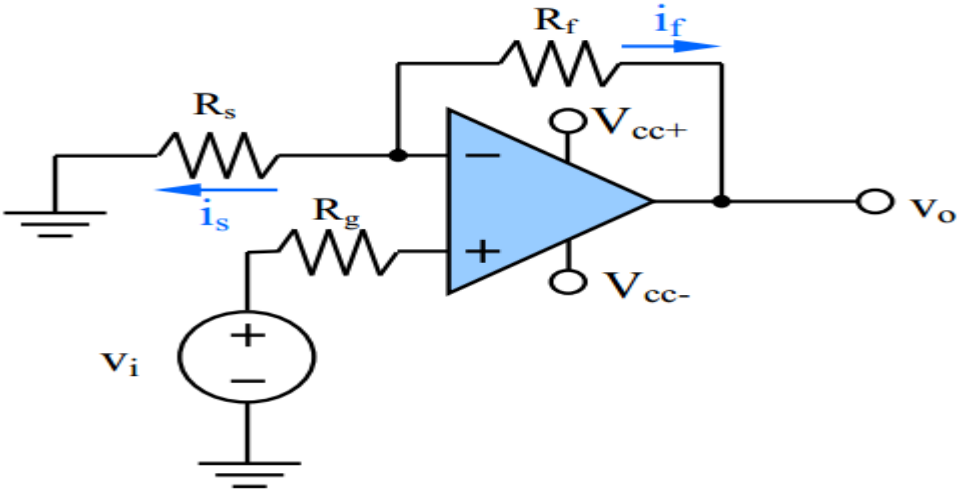
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La tension de sortie sera une version amplifiée de la tension à l'entrée.
Le signe négatif est la raison pour laquelle on appelle ce montage inverseur.
La dernierre équation est seulement valide si la sortie est entre VCC- etVCC+

Montage amplificateur non inverseur

Un amplificateur qui n'inverse pas la polarité de l'entrée.

Figure76 Montage amplificateur non inverseur



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

Mode amplificateur, donc :

$$vn = vp = vi \; et \; ip = in = 0$$

On fait la somme des courants à la borne négative de l'ampli-op :

$$\frac{v_i - 0}{R_s} - \frac{v_o - v_i}{R_f} = 0$$

ce qui donne

$$\frac{v_i}{R_s} + \frac{v_i}{R_f} = \frac{v_o}{R_f}$$

qu'on simpliefie

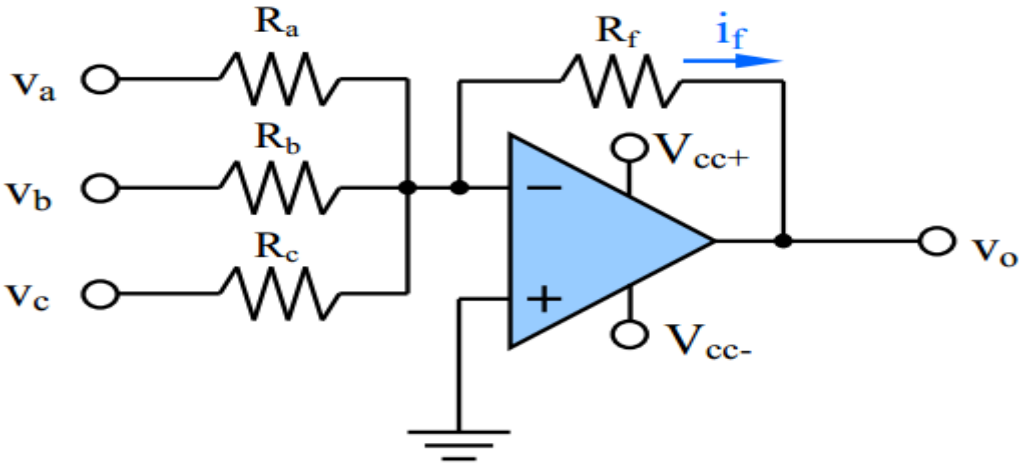
$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_s}\right) v_i$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Montage additionneur de tension

Soit le montage ci-dessous : sommateur de tension Utilisé pour additionner des tensions.

Figure77 Montage additionneur de tension



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

Mode amplificateur, donc :

$$vn = vp = 0 \; et \; ip = in = 0$$

On fait la somme des courants à la borne –

$$\frac{v_a - v_n}{R_a} + \frac{v_b - v_n}{R_b} + \frac{v_c - v_n}{R_c} - \frac{v_n - v_o}{R_f} = 0$$

La sortie est :

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_a}v_a + \frac{R_f}{R_b}v_b + \frac{R_f}{R_c}v_c\right)$$

Si les trois résistances à l'entrée sont égales (Ra = Rb = Rc = Rs), onpeut simplifier

$$v_o = -\frac{R_f}{R_s}(v_a + v_b + v_c)$$

On voit bien que la sortie est la somme des trois entrées.

Le nombre d'entrées n'est pas limit é à 3 : on peut additionner autantde signaux que l'on veut.

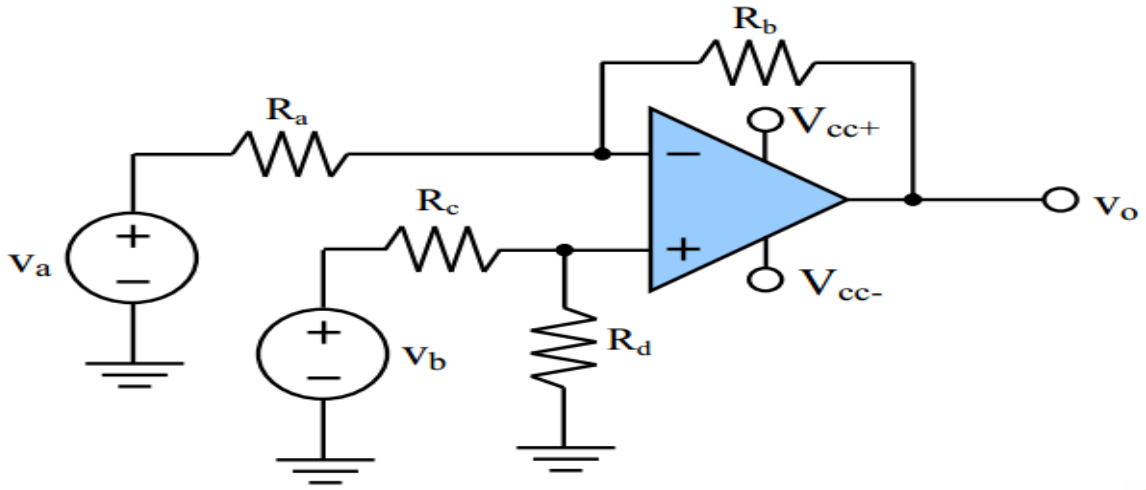
Par exemple, on pourrait additionner les 16canaux d'un signal audio.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Amplificateur différentiel

Permet de soustraire deux tensions.

Figure 78Amplificateur différentiel



Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

Mode amplificateur, donc :

$$vn = vp \quad et\ ip = in = 0$$

Tension vp(diviseur de tension)

$$v_p = \frac{R_d}{R_c + R_d} v_b$$

Somme des courants à la borne négative de l'ampli-op :

$$\frac{v_a - v_n}{R_a} - \frac{v_n - v_o}{R_b} = 0 \Rightarrow \frac{R_b}{R_a} v_a - \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) v_n = -v_o$$

On combine les deux équations précédentes (puisque vn = vp), ce qui donne

$$\frac{R_b}{R_a} v_a - \left(\frac{R_a + R_b}{R_a}\right) \frac{R_d}{R_c + R_d} v_b = -v_o$$

et donc

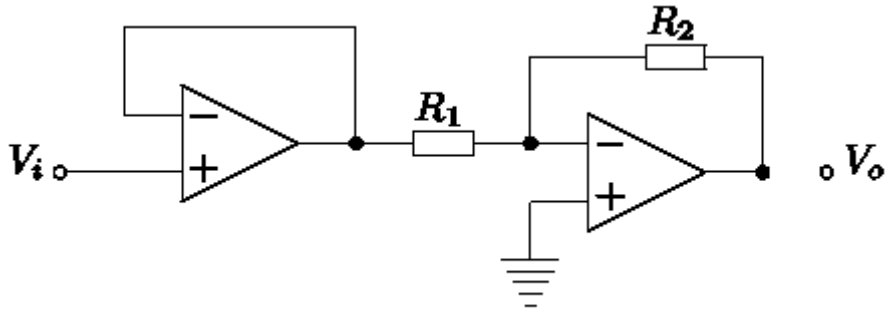
$$v_o = \left(\frac{R_d}{R_a} \frac{R_a + R_b}{R_c + R_d}\right) v_b - \frac{R_b}{R_a} v_a$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

4.2.3 Exercice 12

Sachant que R1 = 2.5k et R2 = 25k, trouvez le gain de l'ampli-op suivant :

Figure77



4.3 Résumé

Le TEC à jonction (JFET) est réalisé dans un barreau de semi-conducteur dopé

Il est constitué de trois zones SOURCE, DRAIN et GRILLE

Dans le réseau des caractéristiques de sortie $I_D = f(V_{DS})$, on observe quatre zones différentes. Une zone linéaire dite résistive, un coude, une zone de saturation ($I_D \approx$ constant) et une zone d'avalanche

Une zone linéaire dite résistive (diminue la largeur effective du canal)
Une zone du coude (une croissance liée au caractère ohmique du canal et une diminution liée au pincement progressif de ce canal.)
Une zone de saturation ($I_D \approx$ constant) La valeur maximum de I_D pour $V_{GS} = 0$, qui correspond au pincement du canal est notée I_{DSS}
Une zone d'avalanche : Elle résulte d'un claquage inverse de la jonction drain-grille.

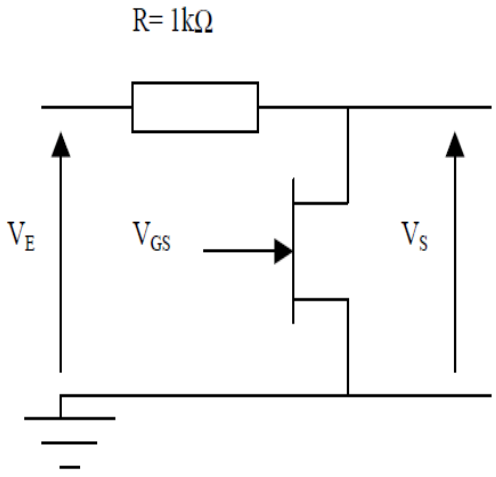
Les transistors JFET doivent uniquement être utilisés avec des tensions V_{GS} négatives et inférieures à la tension de claquage inverse.

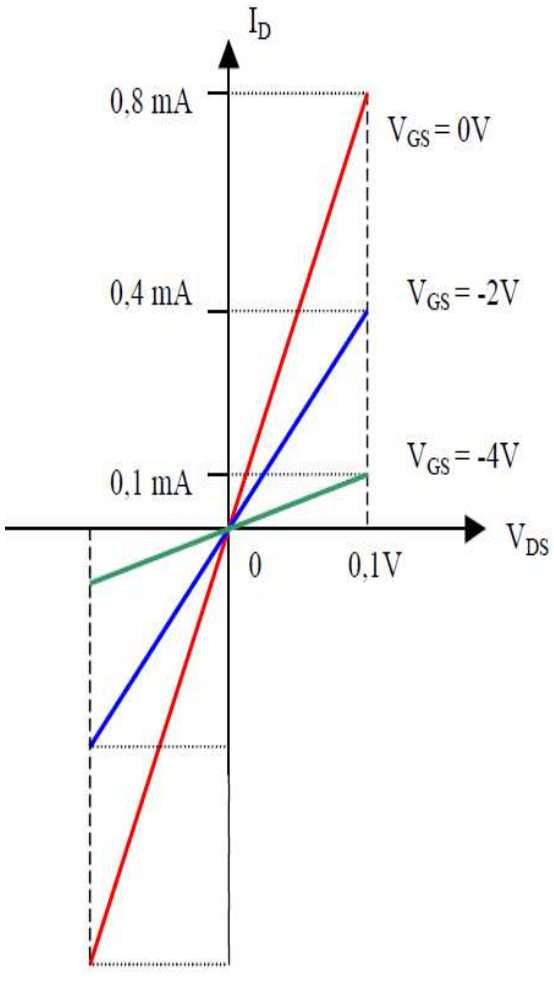
La caractéristique d'entrée est celle d'une diode polarisée en inverse. On a donc toujours : IG=0

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

4.4 Exercice de synthèse4

Spécialité : Maintenance des équipements informatiques
Module : MQ5 Analyse des circuits électroniques simples.
Durée : 02 heures
But : Utiliser le transistor à effet de champ et de l'amplificateur opérationnel.
Matériel requis : Document, stylo
Mise en situation 1:
On utilise un transistor JFET dans la région ohmique. Dont le montage et les caractéristiques sont les suivantes:
Figure



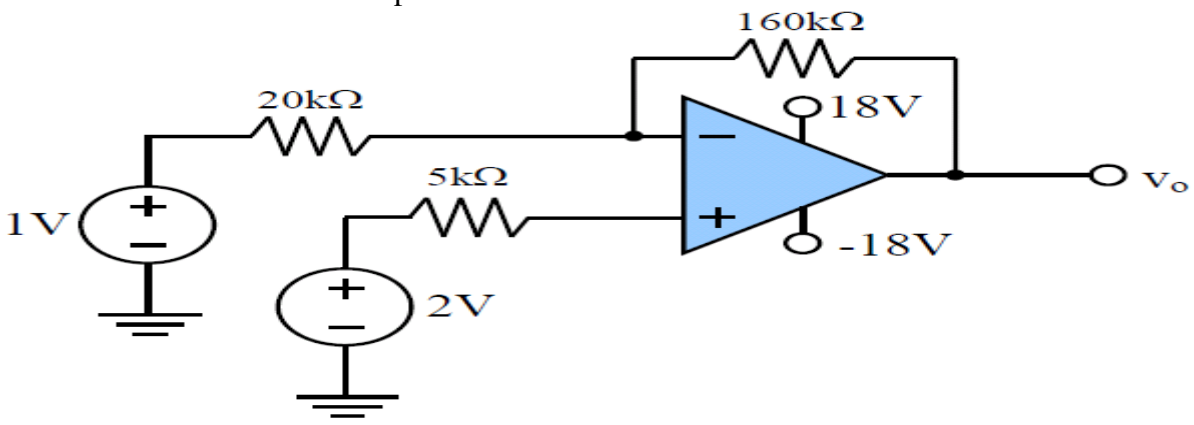


Marche à suivre :

1. Déterminer les résistances r_{ds} du canal entre le drain et la source pour les différentes valeurs de V_{GS}.
2. La tension d'entrée est sinusoïdale d'amplitude 50mV. Préciser les tensions de sortie et l'atténuation V_S/V_E pour chaque valeur de la polarisation V_{GS}.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Mise en situation 2
Calculer la tension de sortie vo pour le circuit suivant.



Marche à suivre :

1. Calculer la tension a la borne positive, vp. Il ne faut pas oublier que ip = 0.
2. Faire la somme des courants _a la borne négative, tout en n'oubliant pas que in = 0.
3. Appliquer le principe que vn = vp.
4. Solutionner pour vo en fonction de vi.
5. Vérifier que Vcc-< vo < Vcc+.

CHAPITRE 5 : Les composants de l'électronique de puissance

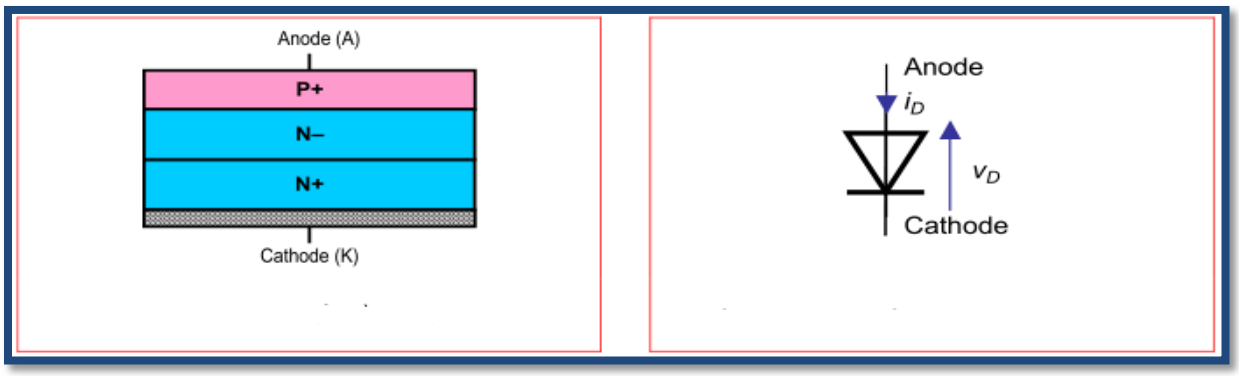
5.1 Les diodes de puissance

Dès qu'il s'agit de parler de composants de puissance, on s'attache immédiatement au modèle externe de l'élément. La présentation du composant réel évolue vers le modèle parfait pour évoquer la fonction de l'élément.

5.1.1 Principe de la diode puissance

Sous le point de vue de l'électronique de puissance, la diode de puissance est un interrupteur non commandable. Reprenant le principe de la jonction PN de la diode « signal », celle-ci utilise une jonction PIN (**I** comme Intrinsèque) constituée d'un empilement P^+ /N^- /N^+ (Figure 79). La zone intermédiaire N^- assure une bonne tenue en tension.

Figure 79 : diode PIN depuissanceFigure80**:**symbole de la diode de puissance



Source : Fiche technique EnPu, 'l'essentiel sur la diode de puissance'

5.1.2 Fonctionnement de la diode réelle

- **Caractéristique statique tension-courant**

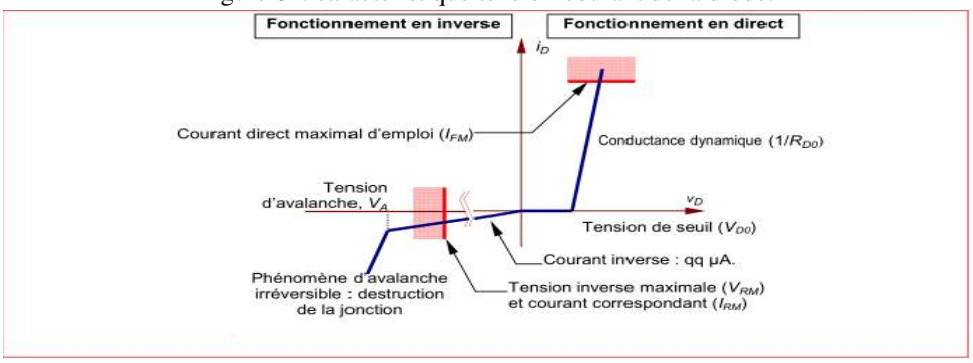
Repérée en convention récepteur (Figure 80), la diode présente une caractéristique tension-courant dissymétrique (Figure 81).

En polarisation directe la tension V_D est positive et présente les imperfections suivantes :

- Tension de seuil V_{D0} (de 0,8 à 2 V) ;
- Résistance dynamique r_{D0}(de 10 à 100 mΩ).

En inverse, le courant est quasi nul puis croît brutalement lors du claquage qui est un phénomènedestructif pour le composant (V RM de 200 à 1000 V couramment).

Figure 81: caractéristique tension-courant de la diode.



Source : Fiche technique En Pu, 'l'essentiel sur la diode de puissance'

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

A ces caractéristiques propres du composant, le constructeur indique les grandeurs à ne pas dépasser en fonctionnement :

- Le courant direct moyen I_{F0} (**F** pour Forward) ;
- Le courant direct efficaceI_{Feff}

➢ **Pertes en conduction**

Il convient à l'utilisateur de déterminer ces valeurs dans le cas de son application pour évaluer les pertes moyennes en conduction (ou puissance dissipée) :

$$P_d = V_{D0} I_{F0} + r_{D0} I_{Feff}^2$$

En direct, il ne faut pas dépasser le courant maximal I_{FM} (en valeur moyenne) et le courantmaximal répétitif (I_{FRM}) pendant un court instant. En inverse, la tension d'avalanche n'est pas atteintecar le constructeur définit la tension inverse maximale (V_{RM}) à ne pas dépasser ($\approx V_A/2$).Pourdéterminer la résistance équivalente en inverse à l'état ouvert, le constructeur indiqueI_{RM}.

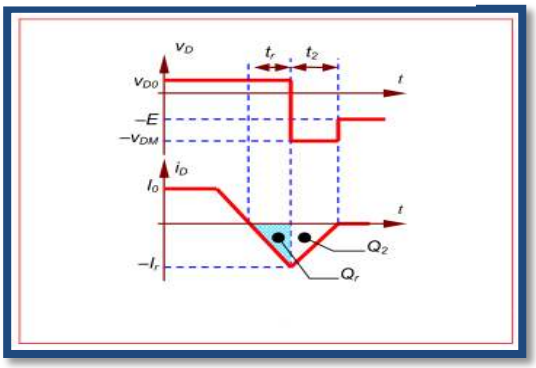
➢ **Comportement dynamique**

Le principe bipolaire de cette diode induit l'existence de charges stockées dans la zone N^-. Celles-ci procurent une faible chute de tension lors de la conduction. Mais en contrepartie, il faut les évacuer lors de la phase de blocage.

Lors de la mise en conduction, aucun phénomène particulier ne contrarie la mise en conduction de la diode : la tension atteint la tension de seuil v_{DO} tandis que le courant s'établit dans le circuit.

Au moment du blocage, l'évacuation de la charge stockée Q_r conduit au phénomène derecouvrement illustré à la Figure 82. Un légercourant inverse apparaît jusqu'à la valeur$(-I_r)$pendant la durée de recouvrement t_r.Ensuite, la diode reconstitue sa barrière depotentiel en gagnant la charge Q_2 quiprovoque une légère surtension négative $-V_{DM}$.

Figure 82 : signaux au moment du



Cette tension dure jusqu'à l'annulation ducourant, pour se rétablir à –E, la tension délivrée par la source d'alimentation. Ceci garantit la fin de la transition vers l'état bloqué en permettant au courant de revenir à zéro.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

➢ **Pertes en commutation**

Le processus décrit ci-dessus conduit à la dissipation d'une puissance de recouvrement P_r encommutation qui dépend des charges qui transitent$(Q_r + Q_2)$, de la tension de la source (E) et de la fréquence des commutations(f):

$$P_r = (Q_r + Q_2).E.f$$

5.1.3 Exercice 13

Cocher la bonne réponse

énoncé	vrai	faux
La diode de puissance est un interrupteur bidirectionnel en courant non commandable		
La diode passante ⇒V_{AK} = 0 pour i_{AK}> 0		
La diode est considérée comme un interrupteur ouvert tant que la tension à ses bornes est négative		

5.2Les transistors de puissance

Ils sont des transistors à commande classique (électronique analogique classique). Ils ontl'avantage d'être rapides en commutation et facile à contrôler notamment au blocage. On cite : les transistors bipolaires, Les MOS et les IGBT.

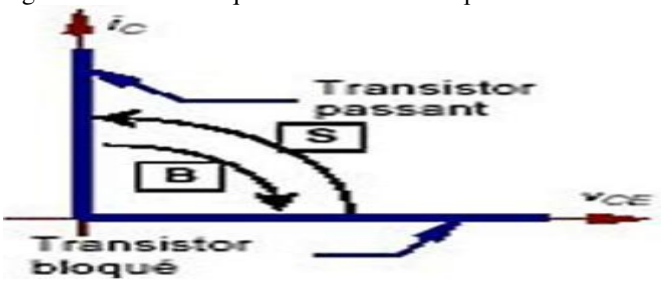
5.2.1 Transistor bipolaire de puissance :

Le transistor bipolaire joue le rôle d'interrupteur unidirectionnel en courant et tension commandable à la fermeture et à l'ouverture par le biais du courant de base i_B :

• Transistor bloqué : état obtenu en annulant le courant de base $i_B(i_B = 0)$ ce qui induit un courantde collecteur nul($Ic = 0$) et une tension V_{CE} non fixée. L'équivalent est un commutateurouvert.

• Transistor saturé : ici, le courant i_B est tel que le transistor impose une tension V_{CE} nulle tandisque le courant ic atteint une valeur limite dite de saturation i_{csat}. L'équivalent est uncommutateur fermé. (Figure 83)

Figure 83 caractéristiques d'un transistor bipolaire NPN



www.F2School.com

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

5.2.2 Transistor MOSFET de puissance :

Le transistor MOSFET est un interrupteur commandé à la fermeture et à l'ouverture par la tension VGS :

- $V_{GS} = 0$ annule le courant $i_D (i_D = 0)$: transistor bloqué
- $V_{GS} \geq V_{Gsat}$ permet au courant i_D de se croitre : transistor saturé

Figure 84 symbole et caractéristique d'un MOSFET



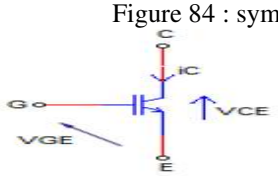
www.F2School.com

5.2.3 Transistor IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Le transistor IGBT (InsulatedGateBipolar Transistor figure 85) est l'association d'un transistor bipolaire (collecteur et émetteur) et d'un transistor MOSFET. Il associe les performances en courant entre collecteur et émetteur (la faible chute de tension collecteur émetteur est de 0,1 V) et la commande en tension par sa grille qui nécessite un courant permanent quasiment nul.

Il est commandé à la fermeture et à l'ouverture par la tension V_{GE}.

Figure 84 : symbole d'un IGBT



www.F2School.com

5.2.4 Exercice 14

Relier le mot à droite par leur correspondant à gauche

Transistor bloqué	commutateur fermé
Transistor saturé	transistor bloqué
$V_{GS} = 0$	transistor saturé
$V_{GS} \geq V_{Gsat}$	commutateur ouvert

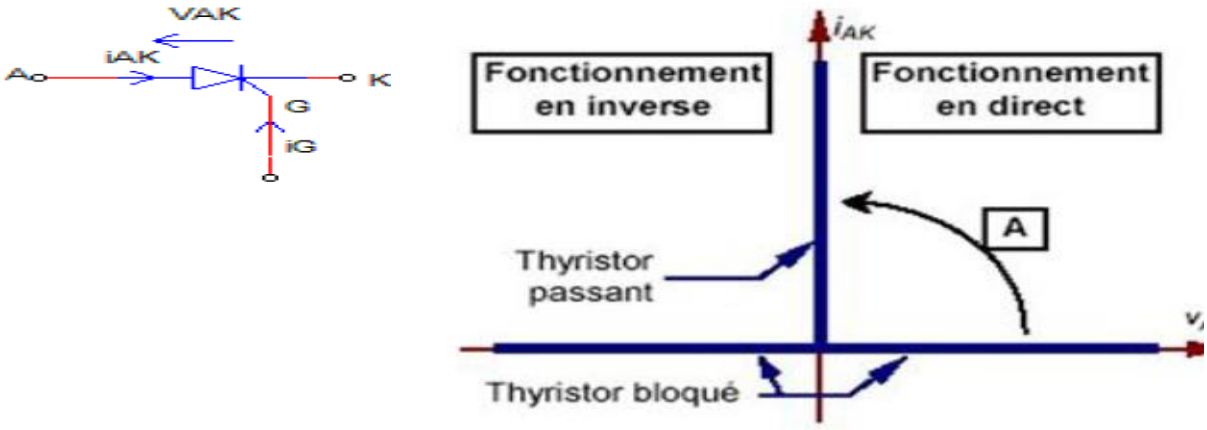
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

5.3 Thyristor

C'est un interrupteur unidirectionnel en courant commandable à la fermeture (voir figure 85) :

• VAK> 0 et pas d'impulsion sur la gâchette : thyristor bloqué (thyristor amorçable)
• VAK > 0 et on applique un courant de gâchette i_G positif de valeur suffisante : thyristorpassant (thyristor amorcé)
• Une fois il est passant, le thyristor ne s'ouvre que lorsque le courant qui le traverse s'annule.
• Le thyristor est bloqué et VAK < 0 et on applique une impulsion de commande : thyristor reste bloqué.

Figure85 symbole et caractéristique d'un Thyristor



www.F2School.com

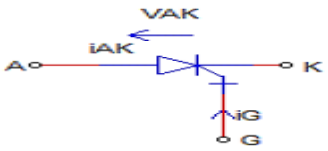
Une diode ou un thyristor sont principalement caractérisés par :
• le courant moyen maximal
• la tension inverse maximale supportée

5.3.1 Thyristor commandé à la fermeture et à l'ouverture GTO (Turn off Gate Thyristor)

C'est un thyristor commandé à la fermeture et à l'ouverture :

- $iG > 0$: GTO passant (avec VAK >0)
- $iG < 0$: GTO bloqué

Figure85 symbole GTO



www.F2School.com

L'annulation du courant peut aussi provoquer un blocage spontané du GTO.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

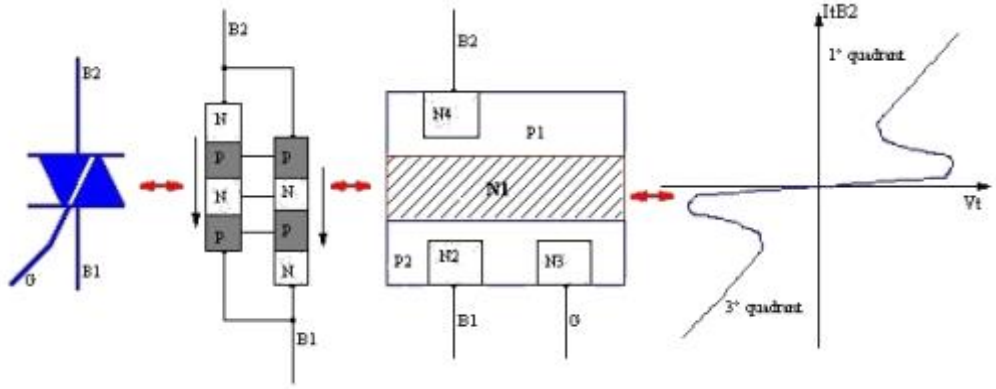
5.3.2 Exercice 15

Remplir les vides avec les mots :bloqué – le courant -passant - la gâchette
L'application d'une impulsion sur ……d'un thyristor avec VAK> 0 rendre le thyristor ……, lorsque ……qui le traverse s'annule le thyristor devient……...

5.4 DIAC et TRIAC

Le triac est composé de deux thyristors opposés commandés par une seule gâchette. La figure suivante donne la disposition des fonctions et sa courbe de fonctionnement dans lesquadrants 1 et 3. Le dispositif devant fonctionner dans les deux polarités du courant alternatif.

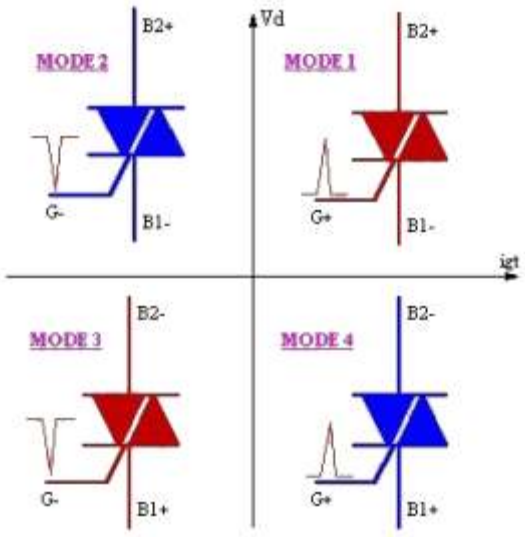
Figure 86 dispositions des fonctions et courbe de fonctionnement duTRIACS



On ne peut plus nommer les électrons anodes et cathodes comme les thyristors. On le désigne par B1 et B2. La gâchette est prise à la fois sur N3 et P2. La bobine B1 est reliée à la foissur N2 et P2, et la borne B2 sur N4 et P1.

La figure87 montre les 4 modes possibles de fonctionnement

Figure 87 modes de fonctionnement duTRIACS



Mode 1: 1° quadrant: B2=positif, B1=négatif, G=impulsion positive;

Mode 2: 2° quadrant: B2=positif**,** B1=négatif, G=impulsion négative;

Mode 3: 3° quadrant: B2=négatif,B1=positif, G=impulsion négative;

Mode 4: 4° quadrant: B2=négatif,B1=positif, G=impulsion positive.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Étant donné que les triacs doivent fonctionner dans les deux sens en alternatif (alternance positive et négative), on doit utiliser deux de ces modes.

Le mode 1 est le plus sensible. Les modes 2 et 3 requièrent des courants de gâchette plus élevés. Le mode 4 est le moins sensible.

Les modes 1 et 3 sont les plus intéressants car l'impulsion de déclenchement est du même sens que le courant principal. Ils permettent la réalisation de déclencheurs économiques.

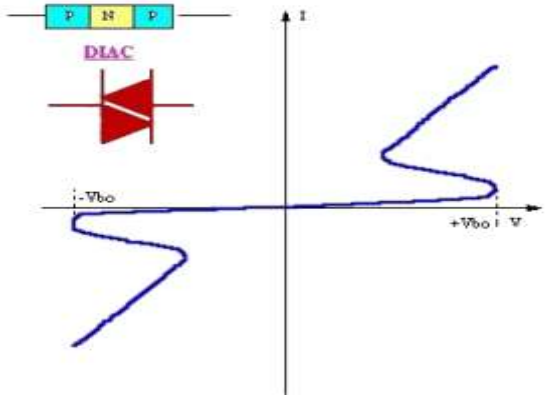
Seules ces modes nous intéressent. Les modes 2 et 3 sont utilisés pour des applications industrielles, car les systèmes de déclenchement sont plus précis. Les autres modes sont déconseillés

5.4.1 Déclenchement des triacs par des diacs

Le diac (diode AC)

Le diac est un composant à 3 couches PNP possédant deux sorties "P", la couche intermédiaire "N" n'est pas accessible. Sa caractéristique est symétrique, il est commuté de l'état bloqué à l'état passant par déplacement de sa tension de claquage.

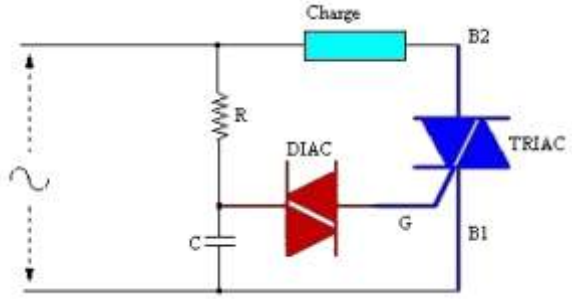
Figure 88 dispositions des fonctions et courbe de fonctionnement du DIAC



Déclencheur de triac à diac

Le schéma ci-dessous (Figure 88) est à déclenchement très simple.

Figure 88 Déclencheur de triac à diac



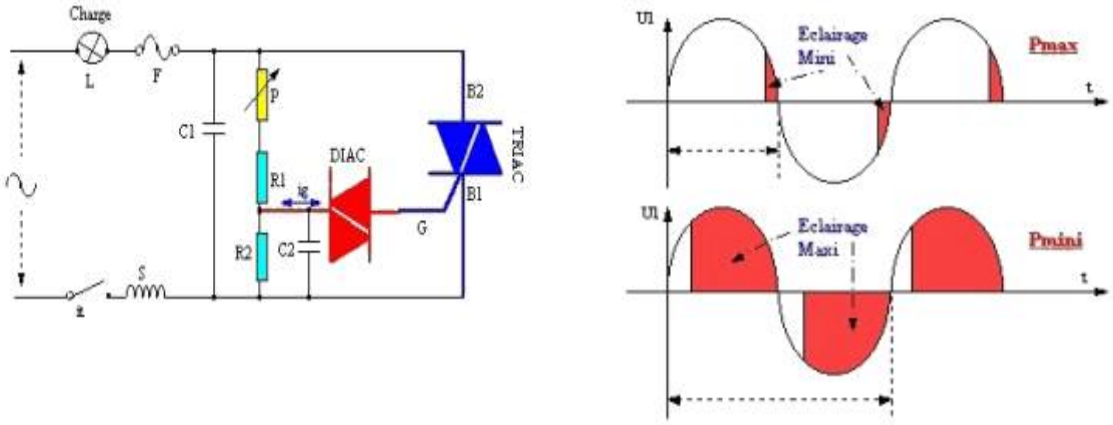
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Le réseau déphaseur RC charge la capacité. Lorsqu'elle atteint une tension aux bornes, supérieure à la tension de retournement du diac, ce dispositif fournit une impulsion positive sur la gâchette du triac, qui est mis en conduction. En rendant R ajustable, on modifie la constante de temps du circuit et le moment de commutation par rapport à la sinusoïde du secteur. Le déclenchement s'effectue dans les modes 1 et 3 du triac.

Ce montage est à commande de phase et est donc affectée d'une hystérésis de commande et d'un fonctionnement incertain sur charge inductive. C'est pourquoi les schémas de gradateurs de lumière prévoient un dispositif éliminant cette hystérésis.

Utilisons le schéma de la figure 89. La lampe "L" est alimentée à travers le fusible "F", le triac "T", l'inductance "L" et l'interrupteur "It" associé au potentiomètre "P".

Figure89 schéma modifié de déclencheur de triac à diac



Le triac est déclenché à chaque demi-alternance du secteur par le diac, qui fournit une impulsion positive pour cette demi-alternance et une impulsion négative pour la suivante.

La tension fournie en sens convenable, au diac par R2C2. Lorsque "P" est ici à sa valeur maximale, le courant dans "P ,R1,R2" est faible et C2 se charge lentement. Il atteint la tension de déclenchement aux bornes presque à la fin de l'alternance, l'éclairage de la lampe est très faible.

Lorsque "P" est à sa valeur minimale, le courant dans "P, R1, R2" est plus important et C2 se charge rapidement. La tension de déclenchement est atteinte au début de la demi-alternance, l'éclairage de la lampe est maximal.

La puissance transmise à la lampe est proportionnelle à la surface hachurée de chacune des demi-alternances. La forme du signal est loin de lasinusoïde et crée des harmoniques de rang élevé, sous la forme de parasites radio électriques. La bobine "L" et la capacité "C" sont indispensables pour atténuer la constante de tempsR2C2, donc diminue les phénomènes d'hystérésis à l'allumage et à l'extinction.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

5.4.2 Exercice 16

Cocher la bonne réponse

énoncé	vrai	faux
Le triac est un composant à 3 couches PNP		
Le diac est composé de deux thyristors opposés commandés par une seule gâchette		
Le diac fournit une impulsion positive sur la gâchette du triac, qui est mis en conduction		
La commutation de l'état bloqué à l'état passant du diac se fait par déplacement de sa tension de claquage.		

5.4 Résumé

La diode de puissance est un interrupteur non commandable utilise une jonction PIN constituée d'un empilement $P^+ /N^- /N^+$.
Le transistor bipolaire joue le rôle d'interrupteur unidirectionnel en courant et tension commandable à la fermeture et à l'ouverture par le biais du courant de base i_B.
Le transistor MOSFET est un interrupteur commandé à la fermeture et à l'ouverture par la tension V_{GS}.
Le thyristor est un interrupteur unidirectionnel en courant commandable à la fermeture, une fois il est passant, le thyristor ne s'ouvre que lorsque le courant qui le traverse s'annule.

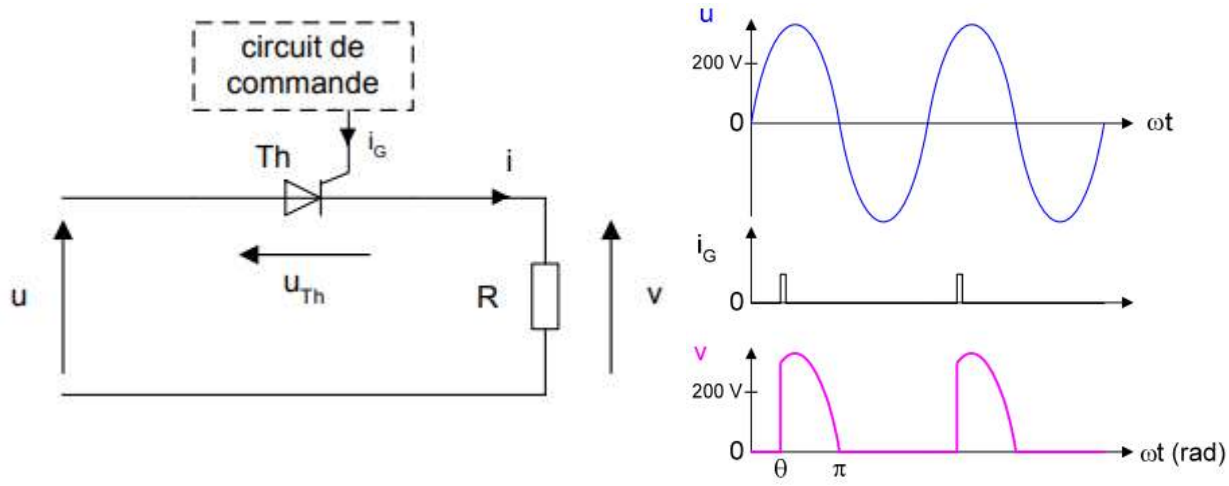
Le triac est composé de deux thyristors opposés commandés par une seule gâchette, et le diac est un composant à 3 couches PNP possédant deux sorties "P",

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

5.5 Exercice de synthèse 5

Spécialité : Maintenance des équipements informatiques
Module : MQ5 Analyse des circuits électroniques simples**.**
Durée : 02 heures
But : Utiliser les composants de l'électronique de puissance.
Matériel requis : Document, stylo
Mise en situation :
Une charge résistive R = 100 Ω est alimentée à travers un thyristor Th (supposé parfait) par une source de tension sinusoïdale alternative u (figure a). On relève les chronogrammes de u, i_G et v :

Figure a

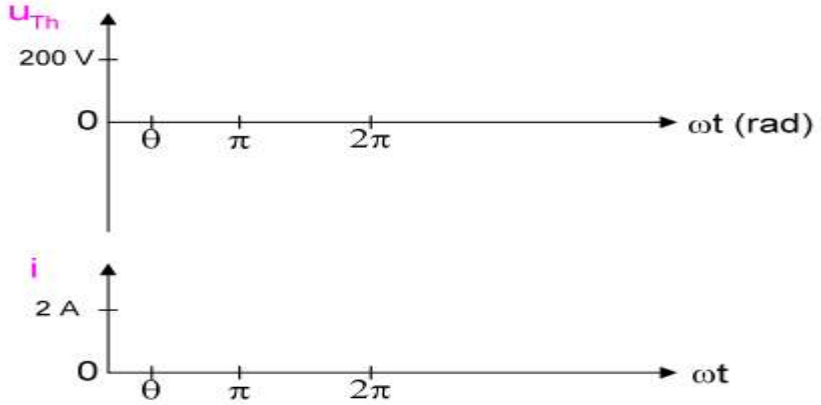


Marches à suivre

1- Déterminer la valeur efficace de la tension u.
2- Indiquer les intervalles de conduction et de blocage du thyristor.
3- Montrer que la valeur moyenne de la tension v est :

$$< v >= \frac{\hat{v}}{2\pi}(1+\cos\theta)$$

4- Faire l'application numérique.
5- Compléter les chronogrammes de u_{Th} et i :



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Résumé générale

Chapitre 1

Un semi-conducteur intrinsèque est un très mauvais conducteur : il a peu d'utilité en tant que tel.En revanche, il sert pour base technologique lors de la fabrication des semi-conducteurs extrinsèques. Un semi-conducteur dopé, en revanche, possède des charges majoritaires en abondance : son comportement peut être apparenté à celui du métal. Cependant, il existe deux types de semi-conducteur extrinsèque : dopé n et dopé p.Dans le premier cas la conduction est assurée par des charges négatives, dans le deuxième cas par les charges positives.

Chapitre 2

La jonction PN soumis à deux état:

- jonction PN au repos
- jonction PN soumise à une tension

la diode travail comme interrupteur avec condition
La diode polarise direct et inverse
La diode à deux caractéristiques:

- Caractéristique directe

Diode passante

- Caractéristique inverse

Diode bloquer
Domaines d'application d'une diode à jonction
Il y a plusieurs applications de la diode dans multi-domaines :

- Redressement mono et double alternance

Une diode Zener est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse.
- On propose 3 exercices "types" couvrant l'ensemble des comportements d'une diode normale et diode zener

Chapitre 3

Un transistor à jonction bipolaire est un composant à semi-conducteur constitué de 2 jonctions P-N qui forment 3 zones :

- soit une zone P, une N et une P : le transistor est dit PNP.
- soit une zone N, une P et une N : le transistor est dit NPN.

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur
Le courant de l'émetteur est la somme du courant de la base et du courant du collecteur
β est le gain statique en courent
Le transistor en montage émetteur commun peut être assimilé à un quadripôle avec comme grandeurs d'entrée (I_B, V_{BE}) et comme grandeurs de sortie (I_C, V_{CE})

Caractéristique de transfert en courant $I_C=f(I_B)$
Caractéristique d'entrée $I_B=f(V_{BE})$:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Caractéristique de sortie $I_C=f(V_{CE})$
Ces trois caractéristiques facilitent le calcul de la valeur des résistances de base R_B et du collecteur R_C, nécessaires à la polarisation du transistor.
Le point de fonctionnement correspond au point d'intersection entre la droite de charge et la caractéristique de sortie du transistor pour un courant I_B donné. On distingue trois types de fonctionnement du transistor :
Régime linéaire : les amplificateurs linéaires
Régime de blocage : interrupteur ouvertVce = Vcc,Ic =0
Régime de saturation : interrupteur fermé Vce ≈ 0, Ic ≈ Icsat

En régime dynamique :la méthode générale du régime dynamique ne s'intéresse qu'au circuit d'amplification

Un amplificateur est défini par ses trois paramètres fondamentaux :

- L'impédance d'entrée Ze. L'impédance de sortie Zs. Le gain en tension à vide G_{V0}.

Un circuit de polarisation permet de faire fonctionner un transistor en régime linéaire

Trois montages fondamentaux

Montage émetteur commun

Montage collecteur commun

Montage base commune

Chapitre 4

Le TEC à jonction (JFET) est réalisé dans un barreau de semi-conducteur dopé
Il est constitué de trois zones SOURCE, DRAIN et GRILLE
Dans le réseau des caractéristiques de sortie $I_D= f(V_{DS})$, on observe quatre zones différentes. Une zone linéaire dite résistive, un coude, une zone de saturation ($I_D \approx$ constant) et une zone d'avalanche
Une zone linéaire dite résistive (diminue la largeur effective du canal)
Zone du coude (une croissance liée au caractère ohmique du canal et une diminution liée au pincement progressif de ce canal.)
une zone de saturation ($I_D \approx$ constant) La valeur maximum de I_D pour $V_{GS}= 0$, qui correspond au pincement du canal est notée I_{DSS}
une zone d'avalanche : Elle résulte d'un claquage inverse de la jonction drain-grille.

Les transistors JFET doivent uniquement être utilisés avec des tensions V_{GS} négatives et inférieures à la tension de claquage inverse.

La caractéristique d'entrée est celle d'une diode polarisée en inverse. On a donc toujours : IG=0

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Chapitre 5

La diode de puissance est un interrupteur non commandable utilise une jonction PIN constituée d'un empilement $P^+ /N^- /N^+$.
Le transistor bipolaire joue le rôle d'interrupteur unidirectionnel en courant et tension commandable à la fermeture et à l'ouverture par le biais du courant de base i_B.
Le transistor MOSFET est un interrupteur commandé à la fermeture et à l'ouverture par la tension V_{GS}.
Le thyristor est un interrupteur unidirectionnel en courant commandable à la fermeture, une fois il est passant, le thyristor ne s'ouvre que lorsque le courant qui le traverse s'annule.

Le triac est composé de deux thyristors opposés commandés par une seule gâchette, et le diac est un composant à 3 couches PNP possédant deux sorties "P",

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Activité de synthèse

Spécialité : Maintenance des équipements informatiques

Module : analyse des circuits électronique simples

Durée : 6h

But : C'est familiariser les stagiaires à analyser des circuits a base des diodes et des transistors et trace leurs caractéristiques

Matériel requis :

Document - calculatrice – oscilloscope – multimètre – générateur de tension continue - GBF

Mise en situation 1:

Caractéristique de diodes

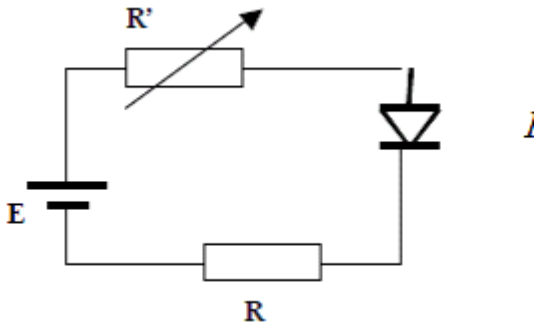
On étudiera des diodes au silicium (du type 1N 4004) ou au germanium et des diodes électroluminescentes (jaune, verte, rouge).
Le courant dans les diodes est limité à 15mA.
La puissance des diodes de redressement et Zener utilisées est limitée à 1 W.
Schéma :



Montage

On alimentera le montage avec une tension E continue constante (E= 15 V) Déterminer la résistance de protection R à introduire dans le circuit. Pour le tracé de la caractéristique point par point, on fera varier la résistance R' en série avec la diode. Il est conseillé de disposer toutes les résistances prévues en barrette sur la plaquette de montage et de déplacer les fils connecteurs.

Figure 1 Schéma de polarisation d'une diode



Marche à suivre :
Tracer la caractéristique d'une diode point par point en mesurant la tension aux bornes de la diode et le courant dans le circuit (tension aux bornes de R pour différentes valeurs de R').

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Déterminer la tension seuil, et la résistance dynamique de la diode en un point. Vérifier qu'une des branches de la caractéristique est une exponentielle
Conclusion

Mise en situation 2:

Caractéristiques du transistor

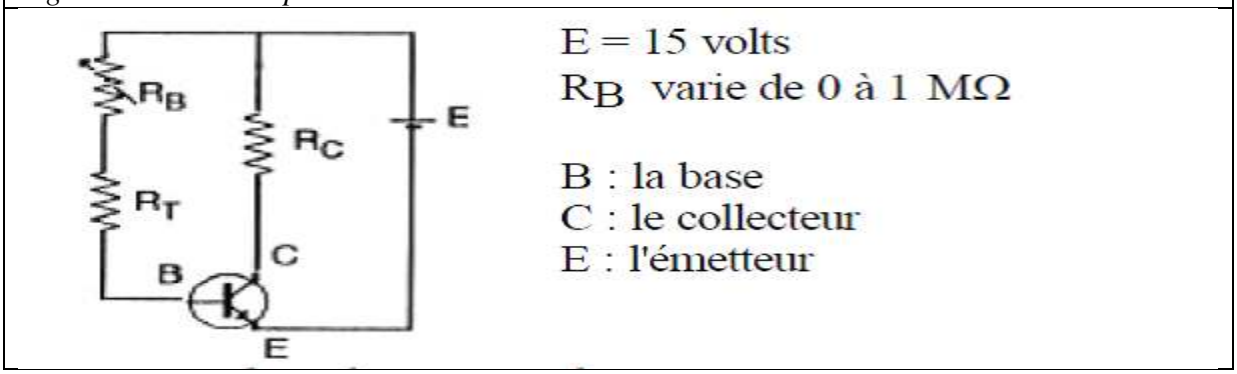
On étudiera les caractéristiques d'un transistor 2N2219A (ou un transistor BD 137) considéré comme un dipôle (collecteur/émetteur) commandé par le courant de base.

Voir en Annexe quelques indications sur la notion de transistor et les limites en courant et puissance des transistors utilisés.

Montage

Le montage de la figure 2 sera appelé circuit de polarisation par la suite.

Figure 2- Circuit de polarisation d'un transistor



Marche à suivre

Ecrire l'équation des mailles pour les mailles base-émetteur et émetteur-collecteur du montage de la Figure 2.

- Déterminer les valeurs minimales de RB et RC pour que le montage fonctionne en toute sécurité (transistor et résistances). On introduira une valeur minimale pour RB dans le circuit au moyen d'une résistance étalon permanente RT.

Pour une valeur de quelques kΩ de RC, mettre en évidence les états bloqué et saturé du transistor. Pour ce faire, on mesurera les tensions base-émetteur VBE et collecteur-émetteur VCE pour ces états et on interprétera les résultats au moyen de la loi des mailles:

$E = (RB + RT)\ IB + VBE$

$E = RC\ IC + VCE$

Tracer la caractéristique d'entrée-sortie du transistor IC en fonction de IBpour une valeur de RC choisie de façon à atteindre la saturation.

- Tracer les caractéristiques IC en fonction de VCE pour 3 ou 4 valeurs de RB en faisant varier la résistance de collecteur RC.

En déduire le gain en courant du transistor.

- Indiquer sur les caractéristiques les régions correspondant au transistor bloqué, saturé et en régime linéaire.

- Indiquer la droite de charge du transistor pour une valeur donnée de RC sur le réseau de caractéristiques IC = f (VCE), ainsi que le point de fonctionnement du transistor pour une valeur donnée de RB. Indiquez le point correspondant sur la courbe.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Annexe

Tous les appareils utilisés, qu'ils soient destinés à fournir une tension (alimentations), un signal périodique (générateurs), ou à examiner une tension périodique ou non (oscilloscopes) possèdent une masse. Les tensions délivrées ou mesurées sont des différences de potentiel par rapport à un potentiel de référence (celui de la masse) qui est généralement le potentiel de la carcasse de l'appareil. Cette masse est reliée à la prise de terre du secteur. C'est une obligation légale pour des raisons de sécurité. Elle n'est malheureusement pas toujours respectée dans les faits. Il en résulte que, en principe, tous les appareils ont le même potentiel de référence. Cette masse, matérialisée par une borne noire ou par le conducteur extérieur des câbles coaxiaux, peut être à l'origine de disfonctionnements dans les montages :

Si les masses de deux appareils sont reliées respectivement à deux points A et B d'un circuit quelconque, ces deux points sont au même potentiel, c'est à dire en court-circuit.

Les deux voies d'un oscilloscope ont le même potentiel de référence : inutile de tenter de mesurer les d.d.p. aux bornes de deux portions d'un circuit si ces deux portions n'ont pas un point commun dont le potentiel sera le potentiel de référence.

Pour isoler la masse d'un appareil de la terre, c'est à dire des autres masses, on peut utiliser un transformateur d'isolement : en général le secondaire d'un transformateur n'est pas relié à la carcasse ; on parle de masse flottante**.**

Avant d'appliquer une source de tension à un montage, i1 est conseillé d'observer la tension délivrée à l'oscilloscope : composante continue et composante alternative. On en profitera pour se remettre en mémoire le fonctionnement de l'oscilloscope : calibrage des voies, modes AC et DC, positionnement de la ligne de base, synchronisation, fonctionnement en bicourbe ou en XY, etc..

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Bibliographie

- INFEP, programme d'étude « maintenance des équipements informatiques », 2016.
- IFEP SBA, MTPS « lois fondamentales d'électricité et d'électromagnétisme », 2019.
- A.Oumnad :" Electronique Fondamentale", PDF
- KHOJET E L K HIL Sejir,FonctionsElectroniques,Support de Cours,2008. Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis.
- SKLINIARZ BRONISLAV, Analyse de circuit à semi-conducteur, Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail, ROYAUME DU MAROC
- F. watteau, Le transistor bipolaire.Pdf
- L. Benbahouche, Electronique Fondamentale, Université Sétif1, PDF
- C. PETER, TRANSISTORS A EFFET DE CHAMP , Polytech Nice Sophia; pdf
- Gabriel Cormier, amplificateur opérationnel, Université de Moncton 2009

Site internet

https://www.univ-sba.dz/ft/images/ST/TD/cour_TCI.pdf

https://www.coursehero.com/file/43411495/Electronique-Fondamentale-A-Oumnad pdf/

https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D05.html

https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23D/RM23D06.html

http://www.isetn.rnu.tn/useruploads/files/electronique.pdf

https://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et Informatique/images/Ecreteur_negatif.GIF

https://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/Ecreteurs_negatifs_positifs_mixtes.php

http://projet.eu.org/pedago/sin/1ere/9-transistor.pdf

https://bv.univ-poitiers.fr/access/content/user/fwatteau/site/peda/geii1/en1/cm/transistor.pdf

https://f2school.com/wp-content/uploads/2020/01

www.technologuepro.com

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ANNEXE (solutions et corrigées des exercices)

exercice1

1-Donner la définition des semi-conducteurs ?

Un **semi-conducteur** est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants.

2-Quels sont les matières de semi-conducteur ?
Les matériaux les plus utilisés dans les semi-conducteurs :

- Semi-conducteurs élémentaires :
  - Diamant (C)
  - Silicium (Si)
  - Germanium (Ge)
- Semi-conducteurs composites :
  - Carbure de silicium (SiC)
  - Silicium-germanium (SiGe)

3-Quel est le matériau approprié et le plus utilisé dans les semi-conducteurs ?
Le silicium est le matériau semi-conducteur le plus utilisé commercialement, du fait de ses bonnes propriétés, et de son abondance naturelle même s'il existe également des dizaines d'autres semi-conducteurs utilisés, comme le germanium, l'arséniure de gallium ou le carbure de silicium.

Exercice2

1. Citez les différents types de matériaux semi-conducteurs.

Dans les matériaux semi-conducteurs, on peut classer :

- SC à gap direct - SC intrinsèque

- SC à gap indirect - SC extrinsèque : type N et Type P

2. Enoncez le concept de la masse effective.

La masse effective apparait comme inversement proportionnelle à la dérivée seconde de la courbe de dispersion :

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$\frac{1}{m^*} = \frac{\frac{\partial^2 E}{\partial K^2}}{h^2}$$

3. Que représente le trou :

Supposons qu'on apporte au matériau une énergie E >Eg. La radiation va échanger son énergie avec le matériau et permettre de faire passer un électron de la B.V. vers la B.C. Sa place libre va donner naissance à un « trou » dans la B.V.

4. Décrivez ces deux figures :

Figure (a)Figure (b)

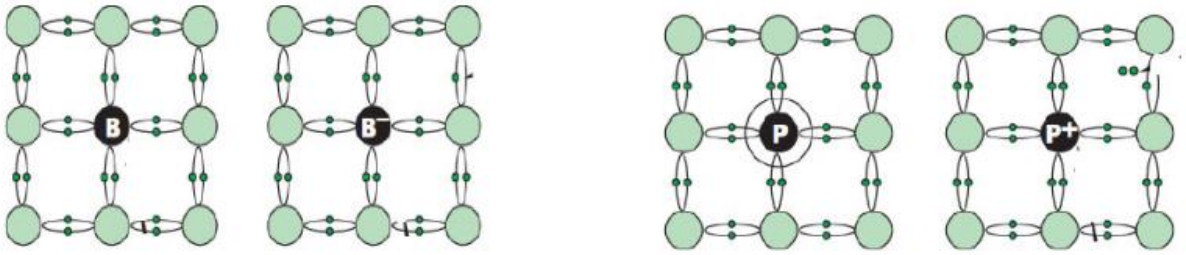


Figure a - : un semi-conducteur dopé avec du Bore → Dopage de type P

Figure b - : un semi-conducteur dopé avec du Phosphore → Dopage de type N

5. Parmi ces trois semi-conducteurs, quel est celui qui présente la concentration intrinsèque laplus faible ?

1. L'AsGa.

5. Calculer ni pour ce semi-conducteur à 300 K.

2. n i = 1,8.10 6 cm -3.

Exercice de Synthèse 1 :

1. Expressions des densités d'électron et de trou :

$$n = N_C exp\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) \quad \text{et} \quad p = N_V exp\left(-\frac{E_F - E_V}{KT}\right)$$

2. Densité intrinsèque ni **:**

Le semi-conducteur étant intrinsèque, on a donc : n = p= n

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$\Longrightarrow n_i = N_C exp\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) = N_V exp\left(-\frac{E_F - E_V}{KT}\right)$$

$$n_i^2 = n.p$$

$$\text{d'où : } n_i = \sqrt{n.p} = \sqrt{N_C N_V}\, exp\left(-\frac{E_C - E_V}{2KT}\right)$$

Niveau de Fermi intrinsèque EFi :

$$\text{On a : n/p =1} \Longrightarrow \frac{N_C}{N_V} exp\left[\left(-\frac{E_C - E_F}{KT}\right) + \left(\frac{E_F - E_V}{KT}\right)\right] = 1$$

$$\text{D'où : } \boldsymbol{E_{Fi} = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{KT}{2} ln \frac{N_V}{N_C}}$$

3. A.N :

Il faut convertir la température en Kelvin :

$$27°C = 300K\ ,\ 127°C = 400K \text{ et } 227°C = 500K$$

$$T=300K : \ KT = 26\ meV$$

$$T= 400K : \ KT = \frac{1{,}3810^{-23} * 400}{1{,}610^{-19}} = 34{,}5meV$$ et pour T=500K, KT=43,1meV

T(K)	KT (meV)	ni(cm^{-3})	E_{Fi}(eV)
300	26	$9.244\ 10^{9}$	0.543
400	34.5	$1.777\ 10^{12}$	0.539
500	43.1	$4.405\ 10^{13}$	0.535

c/c : plus la température augmente, plus il y a génération des paires électron-trou ; d'où l'augmentation de la densité intrinsèque du S.C. Le niveau de Fermi intrinsèque se rapproche légèrement de celui de la bande de valence.

Semi-conducteur extrinsèque

- Le phosphore, P, est une impureté de type donneur: $N_D = 10^{18}\ cm^{-3}$.

A température ambiante on suppose que tous les atomes donneurs sont ionisés, c.à.d. $N_D^+ = N_D$. Pour calculer la densité des porteurs on se base sur deux lois fondamentales **:**

Loi d'action de masse : $\boldsymbol{np = n_i^2}$

La neutralité électrique du matériau : $\boldsymbol{: -e.n + (-e).N_A + e.p + e.N_D = 0}$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$n + N_A = p + N_D$$

Donc

Pas d'accepteurs donc $N_A=0$ Ainsi les deux équations donnent :

$$n^2 - N_D n - n_i^2 = 0$$

dont lasolution est :

$$n = \frac{N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2}}{2} \approx \frac{N_D + \sqrt{N_D^2}}{2} = N_D \text{ car } N_D \gg 2n_i$$ ($N_D=10^{18}cm^{-3}$ et $n_i = 1{,}12x10^{10}$ cm^3

, ainsi la densité d'électrons est égale à la densité de donneurs :

$$n = N_D = 10^{18} cm^{-3}$$

Selon la loi d'action de masse la densité de trous est donnée par :

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1{,}12 \times 10^{10})^2}{10^{18}} = 125\ cm^{-3}$$

c/c Le semi-conducteur obtenu est de type N

-L'énergie de Fermi peut être déduite de la densité d'électrons comme suit :

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_n}}{kT}\right) \approx N_D \quad \Rightarrow N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_i} + E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right)$$

E_{Fn} est le niveau de Fermi pour un SC dopé N, E Fi est le niveau de Fermi du SC intrinsèque.

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_n}}{kT}\right) \approx N_D \quad \Rightarrow N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_i} + E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right)$$

E_{Fn} est le niveau de Fermi pour un SC dopé N, E_{Fi} est le niveau de Fermi du SC intrinsèque.

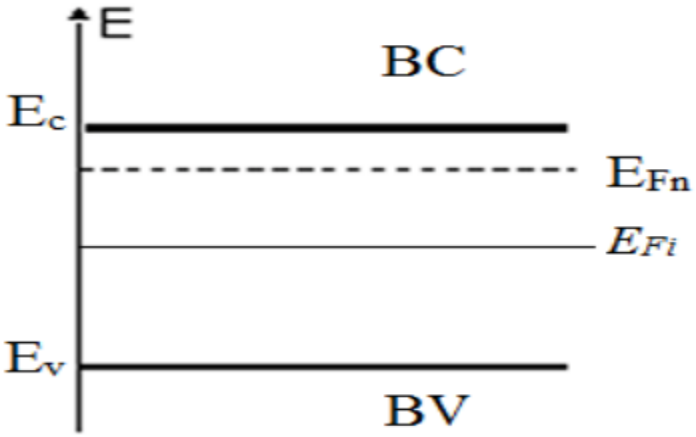
$$\Leftrightarrow \quad N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{F_i}}{kT}\right)\exp\left(-\frac{E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right) = n_i \exp\left(-\frac{E_{F_i} - E_{F_n}}{kT}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad -\frac{E_{F_i} - E_{F_n}}{kT} = \ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right) \quad \Rightarrow \quad E_{F_n} = E_{F_i} + kT \ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right)$$

A.N $$E_{Fn} = \frac{1.11}{2} + 0.026 ln \frac{10^{18}}{1.12\ 10^{10}} \approx 1{,}09\ eV$$

F

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



c/c : pour un S.C type N, le niveau de Fermi est proche de la bande de conduction ; par contre pour un S.C type P, il est proche de la bande de valence.

Exercice 3

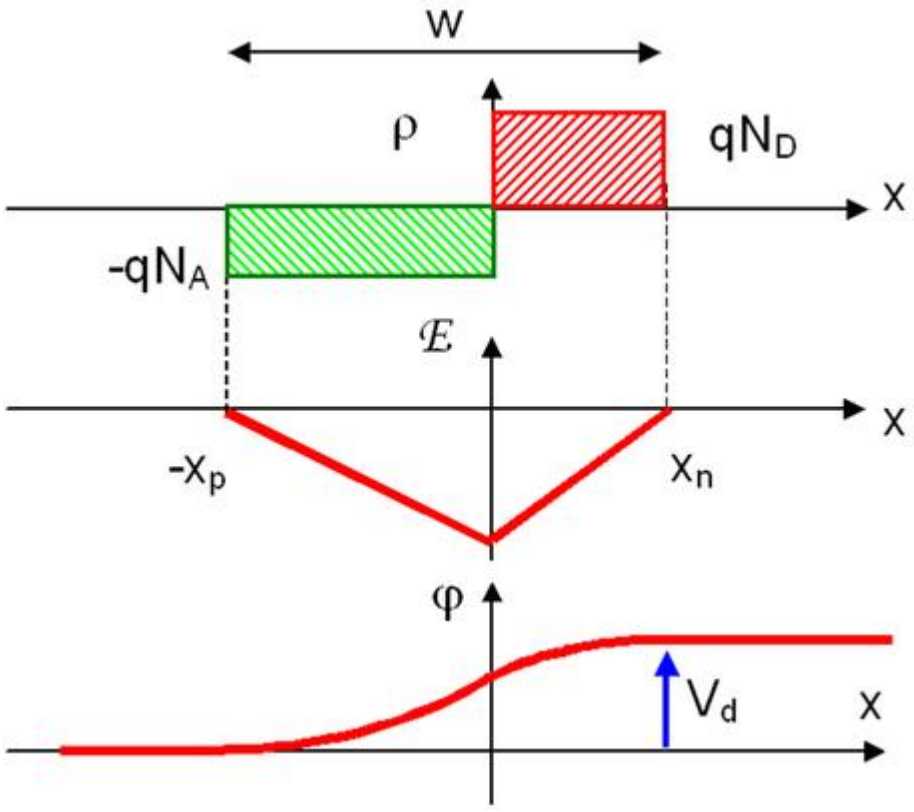
Jonction PN

La jonction est réalisée en silicium.

Question

Montrez que la zone de déplétion s'étend plus du coté le moins dopé.

Pour une jonction PN abrupte les concentrations de dopant passent « brusquement » de N_A à N_D. La figure Ex2 donne la répartition de la charge, le champ électrique et le potentiel électrostatique dans la zone de déplétion



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice 4

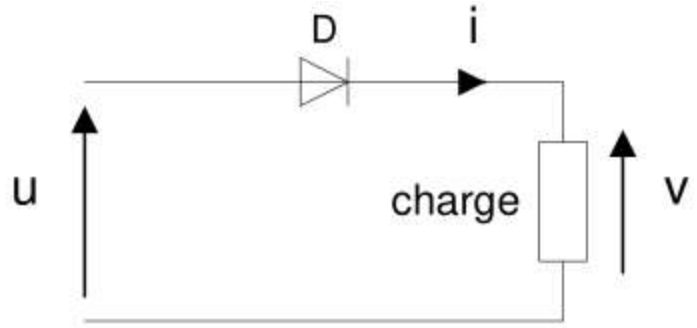
Ve - URp - Vd = 0 V

URp = Ve - Vd = 5,0 - 0,6 = 4,4 V

URp = Rp x Id

$$Id = \frac{URp}{R} = \frac{4,4}{1000} = 4,4\,mA$$

Exercice 5



La tension u est sinusoïdale alternative.

D est une diode supposée parfaite (tension de seuil nulle).

La charge est une résistance R.

1- Quel est l'état de la diode quand u > 0 ?

En déduire la relation entre v et u.

La diode conduit.

v = u

2- Quel est l'état de la diode quand u < 0 ?

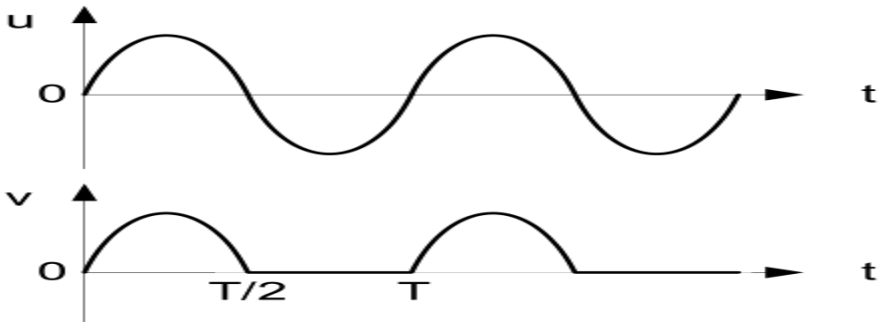
En déduire la tension v.

La diode est bloquée.

i = 0 donc v = 0 V.

3- Tracer u et v en concordance de temps.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



4- Montrer que la valeur moyenne de la tension v est :$< v >= \frac{\hat{V}}{\pi}$

On rappelle que :

$$< v >= \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt$$

$$< v >= \frac{1}{T}\int_0^{T/2} \hat{V}\sin(\omega t)dt + \frac{1}{T}\int_{T/2}^{T} 0 \cdot dt$$

$$= \frac{\hat{V}}{T}\left[\frac{-\cos(\omega t)}{\omega}\right]_0^{T/2} = \frac{\hat{V}}{T}\left(\frac{-\cos(\omega T/2)}{\omega} - \frac{-\cos(0)}{\omega}\right) = \frac{\hat{V}}{T}\left(\frac{-\cos(\pi)}{\omega} - \frac{-\cos(0)}{\omega}\right) = \frac{2\hat{V}}{\omega T}$$

$$= \frac{\hat{V}}{\pi}$$

5- Application numérique

La valeur efficace de la tension u est de 10 V.

R = 220 Ω.

Calculer < v > et < i >.

Calculer la valeur efficace de la tension v.

On rappelle que :

$$V_{eff} = \sqrt{< v^2 >}$$

$$< v >= \frac{\hat{V}}{\pi} = \frac{\hat{U}}{\pi} = \frac{U_{eff}\sqrt{2}}{\pi} = \frac{10\times\sqrt{2}}{\pi} = 4{,}5\ V$$

$$< i >= \frac{< v >}{R} = \frac{4{,}5}{220} = 20{,}5\ mA$$

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} v^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} u^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{2T}\int_0^{T} u^2(t)} = \frac{U_{eff}}{\sqrt{2}} = 7{,}1\ V$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice 6 :

1)$i_{dmax} = 0.21A$;Stabilisation si $12.4 \leq E \leq 33.4V$; $Rc > 34.8\Omega$

Exercice7

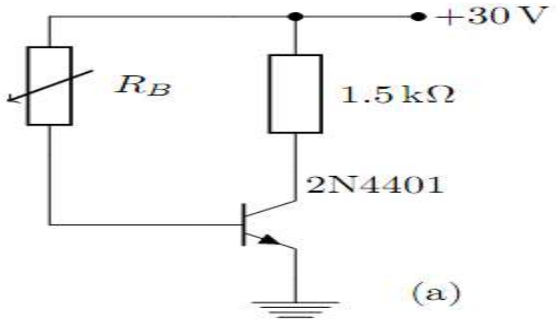
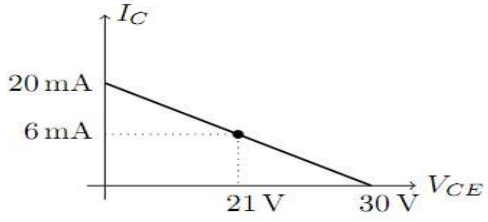
Cocher la bonne case

Enoncé	**Vrai**	**Faux**
Le collecteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant		x
Transistor NPN : le courant d'émetteur sortant du transistor	x	
Un transistor à jonction bipolaire est un composant à semi-conducteur constitué de 3 jonctions P-N		x
Le transistor remplit deux fonctions vitales en électronique	x	

Exercice8

I_C	courant du collecteur
I_E	courant de l'émetteur
I_B	courant de la base
β	gain statique en courant

Exercice 9

lafigure1.4(a)	Lafigure1.4(b)
	

Il vient:

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{30}{1500} = 20\ \text{mA}$$

Et

$$V_{CE_{\text{blocage}}} = V_{CC} = 30\ \text{V}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

La figure 1.4 (b) représente la droite de charge statique. Déterminons I_B :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{30 - 0,7}{390 \cdot 10^3} = 75.1\,\text{mA}$$

Le courant collecteur est :

$$I_C = \beta \dot{I}_B = 80 \times 75,1 \cdot 10^{-6} = 6\,\text{mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 30 - 6 \cdot 10^{-3} \times 1500 = 21\,\text{volt}$$

La figure 1.4(b) donne le point P avec ses coordonnées IC =6mA et VCE = 21V.

On remarque que le point P est sur la droite de charge statique car cette Droite représente tous les points de fonctionnement possibles. Si on changeait la Valeur de RB, le point P se déplacerait alors en un autre point de la droite de charge.

Exercice 10

1) Maille d'entrée : VBE + RB*IB = VCC
   On a IB = IC / β = 1mA
   Donc RB = (VCC –VBE)/IB = (12 – 0,7)/1 (KΩ)
   Finalement on doit prendre RB = 11,3 KΩ pour obtenir un courant de 100mAdans la résistance RL.
   2)
   IC est maximal lorsque IC = VCC/RC.
   Donc IC = 12/60 = 0,2 A soit 200 mA.
   Le transistor est saturé donc lorsque IC atteint la valeur 200 mA
   3) pour avoir I = Isat = 200 mA il faut avoir IBsat = ICsat / β = 200/100 = 2mA
   Il faut donc RBsat = (VCC –VBE)/IBsat = (12-0,7)/2 = 5,65 KΩ

Exercice de synthèse3

Il s'agit d'un montage à émetteur commun.

Attention!, ici l'amplificateur ne fonctionne pas à vide mais est chargé par la résistance RU.

Pour le calcul du gain en tension, il faudra exprimer v_s et v_e en fonction de i_b et éffectuer le quotient puis appliquer la même méthode pour le gain en courant en exprimant is et ie en fonction de i_b avant d'en faire le quotient.

1. Leschémaéquivalentenrégimedynamiqueestceluidelafigure3.20.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

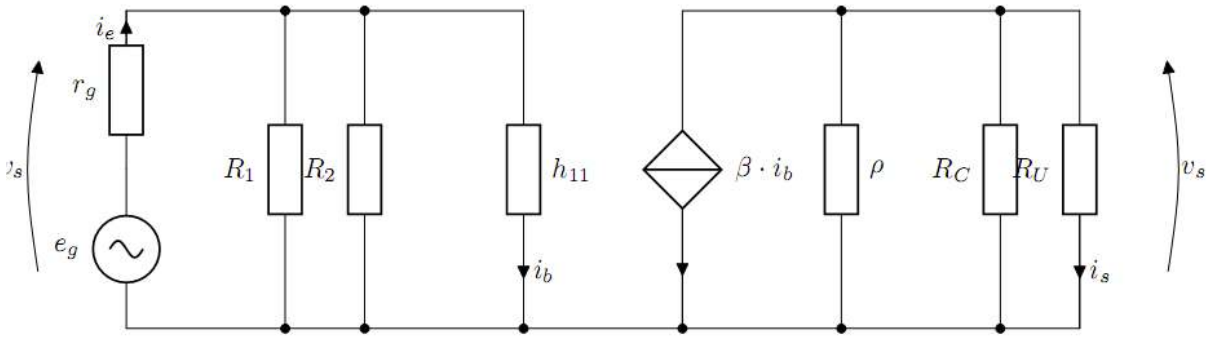


FIGURE 3.20

2. La valeur minimale du condensateur C_E doit être telle que son impédance soit pluspetite (2 × π fois plus petite) que la résistance avec laquelle elle est en parallèle (R_E), d'où:

$$C_E > \frac{1}{R_E \times f_{\text{mini}}} = \frac{1}{10 \cdot 10^3 \cdot 500} = 200\,\text{nF}$$

3. Ici, la résistance d'émetteur est découplée, donc:

$$Z_e \approx R_1 // R_2 // h_{11} \approx h_{11} = 2\,\text{k}\Omega$$

Pour l'impédance de sortie, en ne tenant pas compte de ρ, on a:

$$Z_s = R_C = 5\,\text{k}\Omega$$

En tenant compte de lavaleur de ρ :

$$Z_s = R_C // \rho = 4\,\text{k}\Omega$$

4. Avec l'approximation selon laquelle la résistance R1//R2 >> h11,on peut estimer que ie≈ib. Si on néglige ρ,le courant $\beta * i_b$ se partage également entre R_C et R_U.
Le gain en courant Ai = is/ie est égal à β/2, , entenant compte du fait que le courant ie circulera de bas en haut, donc en sens inverse du courant i_s qui apparaît sur la figure 3.20, il vient: $A_i = -25$

Effectuons maintenant le calcul en tenant compte de ρ, on a:

$$i_s = -\frac{v_s}{R_U}$$

Or :

$$v_s = -\beta \cdot i_b \times (\rho // R_C // R_U) = \beta \cdot i_b \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1}$$

Et donc

$$i_s = -\beta \cdot i_b \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1} \times \frac{1}{R_U}$$

On en déduit:

$$A_i = -\frac{i_s}{i_e} = \frac{\beta \cdot i_b \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1} \times \frac{1}{R_U}}{i_b} \Rightarrow Z_s = \beta \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1} \times \frac{1}{R_U}$$

Soit :

$$A_i = -50 \times \left[50 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{5 \cdot 10^3} + \frac{1}{5 \cdot 10^3}\right]^{-1} \times \frac{1}{5 \cdot 10^3} = -22,2$$

Ici, les formules sont «importantes» .Afin de détecter les erreurs grossières, il est utile de déterminer la dimension physique du résultat et donc ici de vérifier que les résistances du numérateur et du dénominateur «se compensent bien».

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = \frac{-R_U \cdot i_s}{h_{11} \cdot i_b}$$

On a déjà exprimé is en fonction de ib en résolvant la question précédente.
On obtient donc:

$$A_v = \frac{-\beta \cdot i_b \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1} \times \frac{1}{R_U} \times R_U}{h_{11} \cdot i_b} = \frac{\beta \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1}}{h_{11}}$$

L'application numérique donne:

$$A_v = \frac{-50 \times \left[50 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{5 \cdot 10^3} + \frac{1}{5 \cdot 10^3}\right]^{-1}}{2 \cdot 10^3} = -55,5$$

6. Calculons tout d'abord l'amplification en puissance Ap.

$$A_p = \frac{R_U \cdot i_s^2}{h_{11} \cdot i_e^2}$$

À l'aide des expressions de ie et de is en fonction de ib déterminées précédemment, nous obtenons:

$$A_p = \frac{R_U \cdot \left[\beta \cdot i_b \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1} \times \frac{1}{R_U}\right]^2}{h_{11} \cdot i_b^2} = \frac{R_U \cdot \left[\beta \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1} \times \frac{1}{R_U}\right]^2}{h_{11}}$$

$$A_p = \frac{\frac{1}{R_U} \cdot \left[\beta \times \left[\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_U}\right]^{-1}\right]^2}{h_{11}}$$

L'application numérique donne:

$$A_p = \frac{\frac{1}{5 \cdot 10^3} \cdot \left[50 \times \left[50 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{5 \cdot 10^3} + \frac{1}{5 \cdot 10^3}\right]^{-1}\right]^2}{2 \cdot 10^3} = 1234,5$$

Ce nombre est à comparer au produit des gains en tension et en intensité,
soit : $(-22,2) \times (-55,5) = 1232$.
Le gain en puissance est donc de:

$$G_p = 10 \log A_p = 30,9 \approx 31 \text{ dB}$$

Exercice11

I_D= 10 mA => V_{GS}= -1,6 V => R = -V_{GS}/ I_D= 160 Ω(1/4 W)

V_{DS}> 4 V => Vcc > 4 + 1,6 + 2,0 = 7,6 V (environ)

3) P = $V_{DS}I_D$= (Vcc – 1,6 – 2,0)·0,010

P = 200 mW pour Vcc = 24 V donc pas de problèmes d'échauffement.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice 12:

Le circuit a un ampli-op suiveur à l'entrée suivi d'un ampli-op inverseur.
Le suiveur a toujours un gain de 1.
Le gain de l'ampli-op inverseur est :gain partiel =R2 /R1=25/2.5= 10
Le gain global est :gain global = (gain du suiveur) × (gain partiel)
gain global = (1) × (10) = 10

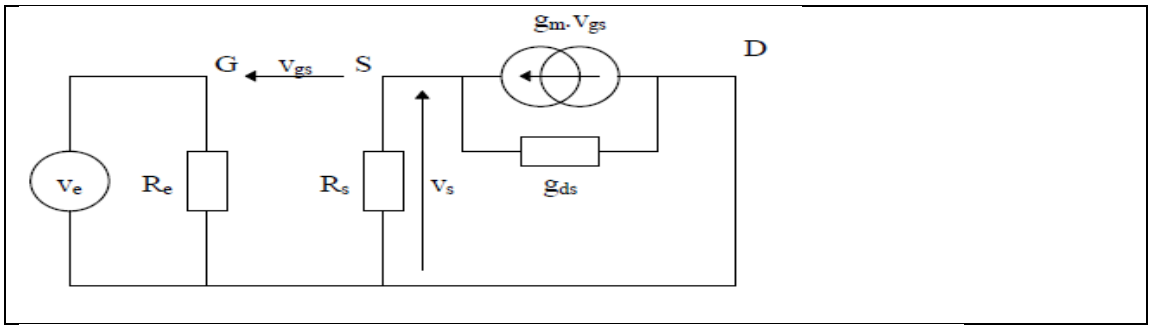
Exercice de synthèse 4

1. $I_D = \dfrac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S}$.

. La droite passe par les points (10 mA, 0 V) et (0 mA, 15 V).
2. Point de fonctionnement $V_{DS} = 10$ V.
3. $V_{DS0} = 10$ V, $I_{DS0} = 3{,}25$ mA, $V_{GS0} = -1$ V.
4. $R_D + R_S = 1{,}54$ kΩ.

$$V_{GS} = V_{DD} \cdot \frac{1}{1+x}.$$

5. En écrivant l'équation de la maille d'entrée, on obtient une droite $I_D = f(V_{GS})$ de pente $-1/R_S$A $I_D = 0$.
L'écart minimal entre les deux points est obtenu quand la droite à la pente la plus faible possible tout en passant par le point de repos. => R_S maximum et x minimum.
6. $R_D + R_S$ = constante et R_S maximal => $R_D = 0$. $R_S = 1{,}54$ kΩ. x = 2,75 => x = 3.
7. $R_2 = 4$ MΩ, $R_1 = 1{,}33$ MΩ.
8. $g_m = 3$ mA / V.
9.



10. $a_v = \dfrac{g_m.(r_{ds} // R_S)}{1 + g_m.(r_{ds} // R_S)} = 0{,}8.$ $Y_S = \dfrac{1 + g_m.(r_{ds} // R_S)}{(r_{ds} // R_S)}$ => $Z_S = 270\ \Omega$.

C'est un montage adaptateur d'impédance.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice 13

énoncé	vrai	faux
La diode de puissance est un interrupteur bidirectionnel en courant non commandable		x
La diode passante $\Rightarrow V_{AK} = 0$ pour $i_{AK} > 0$	x	
La diode est considérée comme un interrupteur ouvert tant que la tension à ses bornes est négative	x	

Exercice 14

Transistor bloqué	commutateur ouvert
Transistor saturé	commutateur fermé
$V_{GS} = 0$	transistor bloqué
$V_{GS} \geq V_{Gsat}$	transistor saturé

Exercice15

L'application d'une impulsion sur la gâchette d'un thyristor avec VAK> 0 rendre le thyristor passant, lorsque le courant qui le traverse s'annule le thyristor devient bloqué.

Exercice 16

énoncé	vrai	faux
Le triac est un composant à 3 couches PNP		x
Le diac est composé de deux thyristors opposés commandés par une seule gâchette		x
Le diac fournit une impulsion positive sur la gâchette du triac, qui est mis en conduction	x	
La commutation de l'état bloqué à l'état passant du diac se fait par déplacement de sa tension de claquage.	x	

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Exercice de synthèse 5

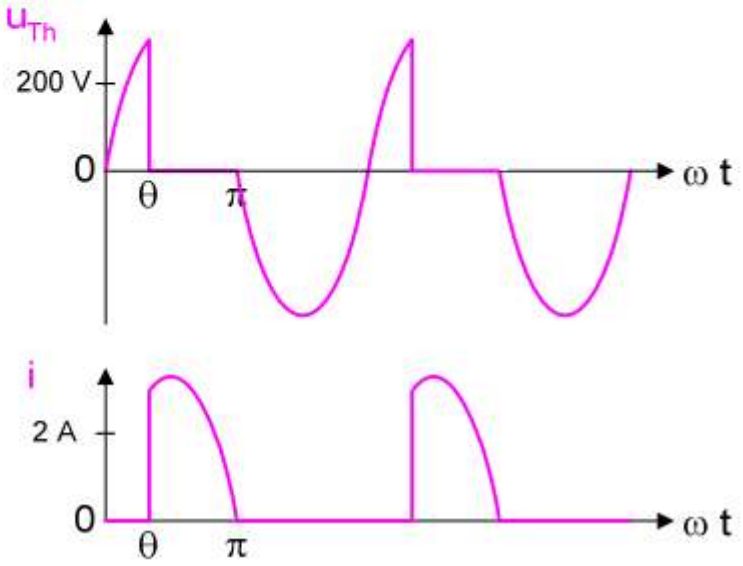
1- $U_{eff} = 330/\sqrt{2} = 233$ volts

2- v = u quand le thyristor est conducteur.
v = Ri = 0 quand le thyristor est bloqué.

3- $< v >= \frac{330}{2\pi}(1+\cos 60°) = 80$ volts

4-

Loi des branches : $u_{Th} = u - v$
Loi d'Ohm : $i = v/R$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر