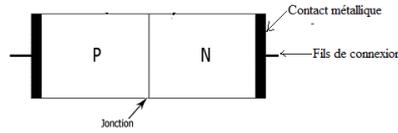


CHAPITRE 5 : DIODES A JONCTION PN

I. Structure et symbole schématique de la diode à jonction PN

La diode utilisée comme redresseur de courant est un composant à jonction PN muni de contacts conducteurs et de connexions à fils connectés sur chaque région.



Symbole



Figure 1 : Symbole diode à jonction

La région N est la cathode ; La région P se nomme l'anode.

II. Caractéristique d'une diode

En physique des semi-conducteurs, on montre que le courant dans une diode est décrit par :

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right) - 1 \right]$$

$V_T = \frac{kT}{e}$: équivalent en tension de la température. A 25 °C, $V_T = 25 \text{ mV}$

η : facteur technologique dépendant du type de diode et de la manière dont elle est fabriquée. Il est généralement compris entre 1,3 et 2 pour les diodes et vaut pratiquement 1 pour les transistors bipolaires.

I_s : courant de saturation inverse de la jonction= quelques dixièmes de nanosecondes.

1. Caractéristique courant-tension d'une diode à jonction PN

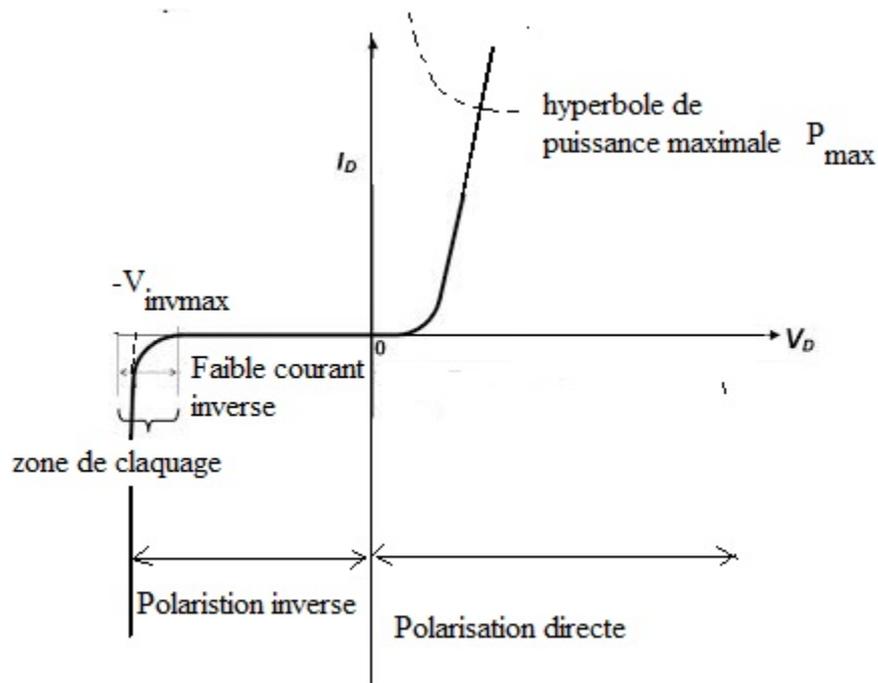


Figure 2 : Caractéristique $I=f(V)$

a. Tension seuil V_s

Tension pour laquelle le courant commence à augmenter rapidement. Elle est égale à la barrière de potentiel.

b. Sens direct

- $V < V_s$: Courant négligeable (pas de conduction)
- $V > V_s$: la diode conduit, la caractéristique est sensiblement rectiligne

Résistance dynamique :

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

elle est déterminée sur la partie rectiligne. C'est la résistance ohmique des régions p et n. Elle est souvent inférieure à 1Ω .

Résistance statique :

Elle est définie par

$$r_F = \frac{V_F}{I_F}$$

La diode n'est pas un composant linéaire. Sa résistance statique en direct varie avec le courant qui le traverse. Elle diminue si le courant direct augmente. Elle tient compte de la barrière de potentiel et de la résistance ohmique des régions p et n.

c. Sens inverse ($V < 0$)

- le courant inverse est négligeable (de l'ordre du nanoampère)
- la résistance inverse se définit comme le rapport de la tension inverse V_R sur le courant inverse I_R

$$r_R = \frac{V_R}{I_R}$$

Elle est de l'ordre du $M\Omega$. Elle diminue lorsqu'on se rapproche de la tension de claquage $V = V_{invmax}$: tension de claquage ; le courant inverse augmente très rapidement, ce qui peut faire surchauffer et endommager la jonction.

2. Dissipation de puissance

La puissance dissipée dans la diode :

$$p = V I$$

Cette puissance doit être inférieure à la puissance maximale de la diode.

La puissance maximale est la puissance que peut dissiper une diode sans nuire à son fonctionnement :

$$P_{max} = V_{max} I_{max}$$

Où V_{max} est la tension correspondant à I_{max} .

III. Modèles linéaires d'une diode à jonction PN

1. Modèle idéal

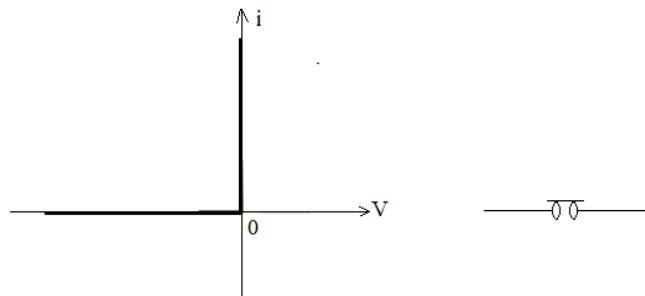


Figure 3 : Modèle idéal

- Polarisation directe : la diode se comporte comme un conducteur parfait (résistance nulle)

- Polarisation inverse : la diode se comporte comme un isolant parfait (résistance infinie)

2. Modèle semi-réel ou pratique

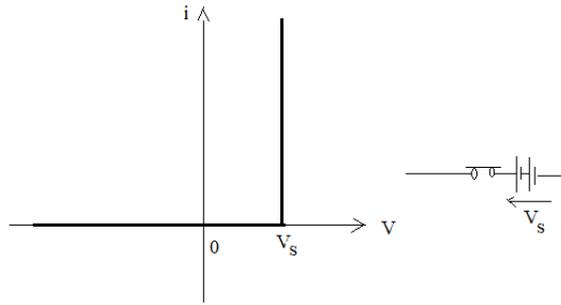


Figure 4 : Modèle pratique

Si $V < V_s$: la diode se comporte comme un interrupteur ouvert

Si $V > V_s$: la diode se comporte comme un interrupteur fermé en série avec une source de tension

3. Modèle réel

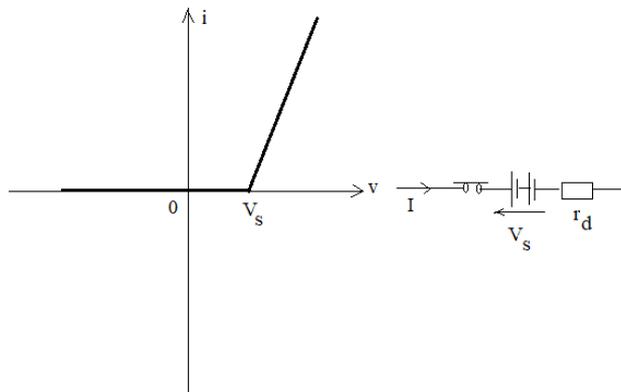


Figure 5 : Modèle réel

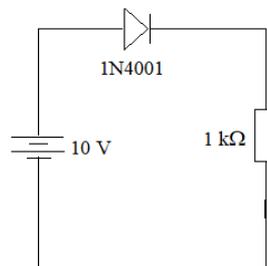
Si $V < V_s$: la diode se comporte comme un interrupteur ouvert

Si $V > V_s$: la diode se comporte comme un interrupteur fermé en série avec une source de tension V_s et une résistance R_D .

Exemple

La diode 1N4001 de la figure suivante possède une résistance dynamique $r_d = 0,23 \Omega$.

Quels sont le courant, la tension et la puissance sur la charge $R_L = 1k\Omega$?



IV. Les différents régimes

Dans les circuits électroniques, deux types de signaux sont traités : les signaux constants (continus) et les signaux variables alternatifs. Les signaux constants permettent de définir le point de fonctionnement des montages et fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement des circuits actifs. Les signaux variables transportent l'information.

L'étude des signaux constants est appelée étude de la polarisation et le régime variable est appelé régime dynamique.

1. Polarisation d'une diode

Considérons le circuit suivant :

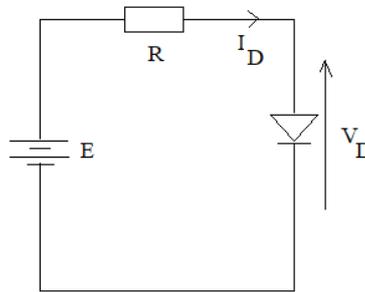


Figure 6 : Circuit de polarisation d'une diode

Ce circuit possède un point d'équilibre appelé point de fonctionnement ou point de polarisation Q. Il s'agit de la sécante entre la caractéristique de la diode et la droite de charge. L'équation de la droite de charge est :

$$I = \frac{E - V}{R} = f(V)$$

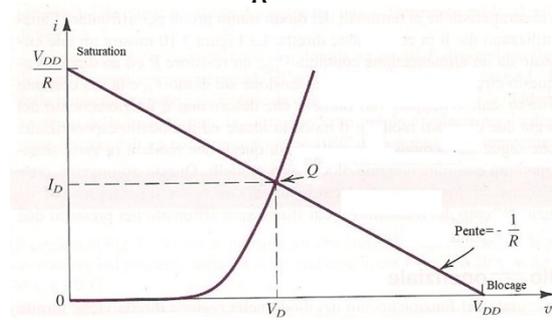


Figure 7 : Point de fonctionnement

2. Régime dynamique

Superposons aux grandeurs continues des signaux variables plus précisément des signaux sinusoïdaux. Chaque grandeur ($E_{th}(t)$, $I(t)$, $V(t)$) est alors la somme d'une composante continue (E_0 , I_0 , V_0) de polarisation et d'une composante alternative (e , i , v) :

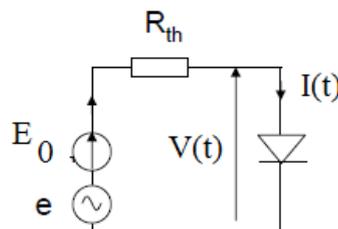


Figure 8 : Schéma de principe

$$\begin{cases} E_{th}(t) = E_0 + e \\ I(t) = I_0 + i \\ V(t) = V_0 + v \end{cases}$$

- Composante continue : E_0 , I_0 , V_0

- Composante alternative : v , e , i

Afin de maintenir le point de fonctionnement Q sur la partie linéaire de la caractéristique, on suppose que les signaux variables sont de faible amplitude. On les qualifie de 'petits signaux'.

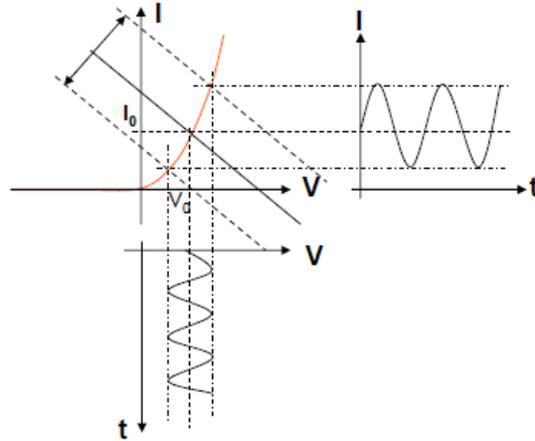


Figure 9 : Régime dynamique : variations autour du point de fonctionnement

2.1. Modélisation du régime dynamique

$$I(t) = I_0 + i = I_s \exp \frac{V(t)}{V_T}$$

$$I(t) = I_s \exp \frac{V_0 + v}{V_T} = I_s \exp \frac{V_0}{V_T} \exp \frac{v}{V_T}$$

$$v \ll V_T ; \exp \frac{v}{V_T} = 1 + \frac{v}{V_T}$$

$$I(t) = I_s \exp \frac{V_0 + v}{V_T} = I_s \exp \frac{V_0}{V_T} \left(1 + \frac{v}{V_T} \right)$$

En posant: $I_0 = I_s \exp \frac{V_0}{V_T}$

$$I(t) = I_0 \left(1 + \frac{v}{V_T} \right)$$

Sachant que :

$$v = V - V_0$$

Alors

$$I(t) = I_0 \left(1 - \frac{V}{V_T} \right) + I_0 \frac{V}{V_0}$$

Cette caractéristique a pour pente :

$$g = \frac{1}{r_d} = \frac{I_0}{V_T}$$

r_d est la résistance dynamique de la diode

$$\frac{1}{r_d} = \left. \frac{\partial I}{\partial V} \right|_{V=V_0} = \frac{1}{V_T} I_s \exp \frac{V}{V_T} \Big|_{V=V_0} = \frac{I_0}{V_T} = \frac{i}{v}$$

Remarques

1. La polarisation permet de fixer la résistance dynamique
2. $v \ll V_T$, cette condition est valable lorsque les amplitudes des signaux variables sont faibles. Si tel n'est pas le cas, il faut faire un développement limité à des ordres supérieures : il n'y a plus de linéarité, les signaux ne sont plus sinusoïdaux, il y'a apparition d'harmoniques.

2.2 Schéma petits signaux

$$V_0 = E_0 - R_{th} I_0$$

$$V_0 + v = E_0 + e - R_{th} (I_0 + i)$$

$$v = e - R_{th} i$$

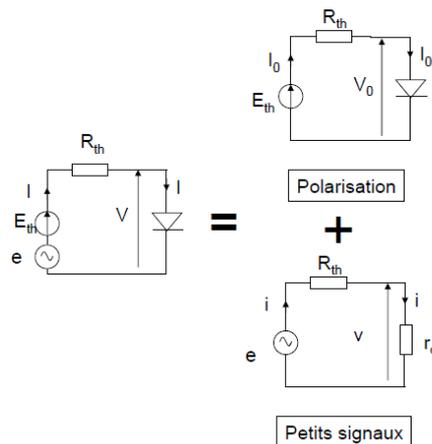


Figure 10 : Décomposition d'un schéma variable en un schéma de polarisation et un schéma petits signaux

2.3. Schéma de petits signaux haute fréquence

a. Polarisation directe

Aux hautes fréquences, la diode a un comportement capacitif, il s'agit de la capacité de diffusion C_D .

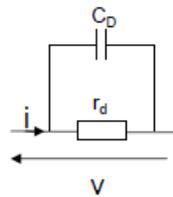


Figure 11 : Schéma petits signaux d'une diode à haute fréquence sous polarisation directe

b. Polarisation indirecte

La résistance dynamique est très grande. On a une capacité de transition C_T .

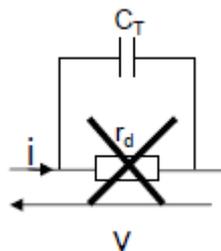


Figure 12 : Schéma petits signaux d'une diode à haute fréquence sous polarisation inverse

3. Fiche technique

Une fiche technique est un document qui liste les principaux paramètres et les caractéristiques essentielles d'un composant à semi-conducteur. On y trouve des informations comme le type de composant, ses dimensions physiques, ses connexions, les procédures de test, ses caractéristiques électriques statiques et dynamiques...

1. Tension de claquage inverse

Tension de claquage inverse V_{RRM} (Peak repetitive reverse Voltage)

Pour la diode 1N4001, la tension de claquage inverse est de 50 V. ce claquage survient lorsque quand la jonction se met en avalanche. Dans les diodes à redressement, l'avalanche est généralement destructrice. Pour la diode 1N4001, une tension inverse de 50 V est un niveau destructif qu'un concepteur doit éviter dans les modes opératoires.

2. Courant direct limité I_F

Cette donnée indique la diode 1N4001 peut supporter 1 A en direct lorsqu'elle est utilisée comme diode redresseuse.

3. Chute de tension directe V_F

Dans la rubrique caractéristique électrique, la chute de tension directe instantanée correspond à 1,1 V pour un courant direct $I_F=1$ A.

4. Courant inverse maximal I_R

Le courant inverse maximal est défini pour une tension inverse maximale à une température donnée. Pour la diode 1N4001, $I_R=5 \mu A$ à $T_A=25$ °C.

Le courant inverse comprend le courant de saturation crée par l'énergie thermique et le courant de fuite.

1N4001 - 1N4007

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41
COLOR BAND DENOTES CATHODE

General Purpose Rectifiers

Absolute Maximum Ratings* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current, .375" lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_F	Forward Voltage @ 1.0 A	1.1							V
I_R	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30							μA
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$	5.0							μA
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 100^\circ\text{C}$	500							μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$	15							pF

Figure 3.16

Figure 13 : Fiche technique