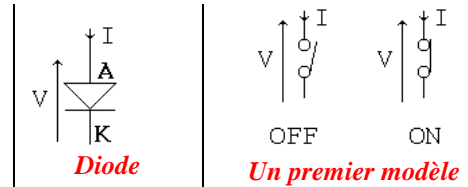


Exemple d'utilisation de Pspice : manipulation autour de la diode

Introduction :

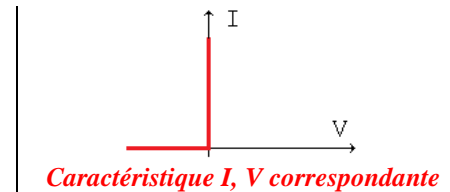
En « **grands signaux** », une diode peut être modélisée par un interrupteur :

- se ferme si V devient positif (et la diode impose $V = 0$)
- s'ouvre si I devient négatif (et la diode impose $I = 0$).



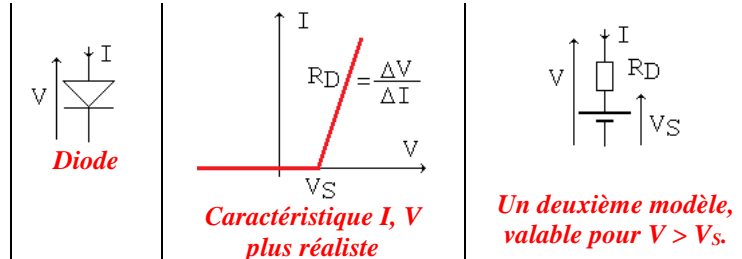
Cette modélisation est exploitée pour analyser le fonctionnement des diodes en « redressement ».

Le comportement de la diode se résume alors à la caractéristique suivante :



Toujours en grands signaux, on peut affiner le modèle de la diode en tenant compte d'une « tension de seuil » V_S , et d'une résistance directe R_D :

Le schéma équivalent de la diode montre une f.c.e.m. V_S , et une résistance en série.



Le domaine de validité de ce modèle est pour la tension appliquée V supérieure à V_S . Si V est inférieure, le modèle est l'interrupteur ouvert.

- Une valeur habituelle pour V_S est de 0,6 V à 0,7 V. On peut en tenir compte pour chiffrer la chute de tension dans un redresseur. Appelée parfois tension de déchet.
- La valeur de R_D est liée à la technologie, au courant etc, mais est souvent bien inférieure à 1 Ω . Si le courant est faible, on peut négliger la chute de tension occasionnée et estimer que $R_D \rightarrow 0$.

Prenons un extrait du cours d'« introduction à l'électronique », partie « physique du composant » :

La physique du semi-conducteur est telle que la loi du courant en fonction de la tension obéit à la loi de Shockley :

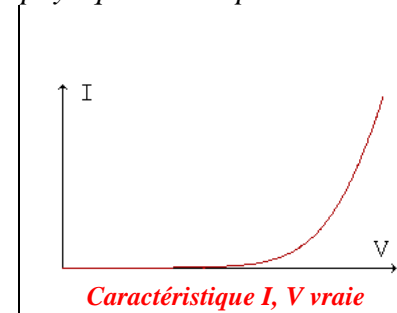
$$I = I_S [\exp(V/nV_T) - 1] .$$

Dans une zone où $\exp(V/nV_T) \gg 1$, on peut écrire :

$$I = I_S \exp(V/nV_T) .$$

I_S (en A) et n (sans dimension) sont propres à chaque diode.

$V_T = kT/q$, tension thermodynamique (en V).



Modèle en « **petits signaux** »

On fixe un point de polarisation dans le premier quadrant, et on suppose que l'on travaille « en dynamique », autour de ce point de polarisation. Les coordonnées de ce point de repos sont I_0 , V_0 .

Rappels :

« dynamique » signifie signaux rapides pour considérer que chaque tension continue constante se comporte comme un court-circuit (idem pour les condensateurs de forte valeur).

« petits signaux » signifie que ces variations sont de faible amplitude et que l'on peut linéariser une caractéristique. Ici, la loi de Shockley peut être remplacée, localement, par une autre loi.

Usuellement, on utilise l'écriture minuscule en petits signaux. Mais Pspice ne distingue pas les minuscules des majuscules, ce qui est regrettable.

En dérivant I par rapport à V , on a, en exploitant $I = I_s \exp(V/nV_T)$:

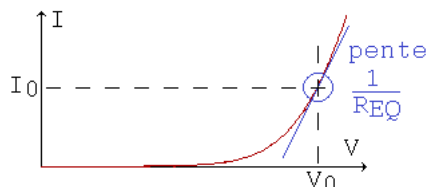
$$dI/dV = (I_s/nV_T) \exp(V/nV_T)$$

La valeur de cette dérivée, au point de polarisation, est :

$$(I_s/nV_T) \exp(V_0/nV_T) = I_0/nV_T.$$

Dans une **zone linéarisée**, on peut écrire :

$$\Delta I/\Delta V = dI/dV.$$



Au voisinage d'un point de polarisation, on peut linéariser la loi en exponentielle.



Un modèle dynamique, valable autour d'un point de fonctionnement

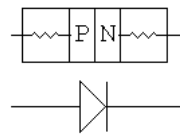
Ce qui signifie que localement, autour du point de fonctionnement (établi par la polarisation), la diode se comporte comme une résistance dont la valeur $\Delta V/\Delta I$ est nV_T/I que Pspice pose à R_{EQ} .

La **résistance d'accès**.

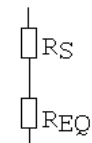
Entre les broches de la diode et la jonction PN interne, il y a une (très faible) résistance d'accès, nommée R_s par Pspice.

Sa valeur est donnée par le fabricant de la diode.

On peut donc affiner les modèles en ajoutant R_s en série.



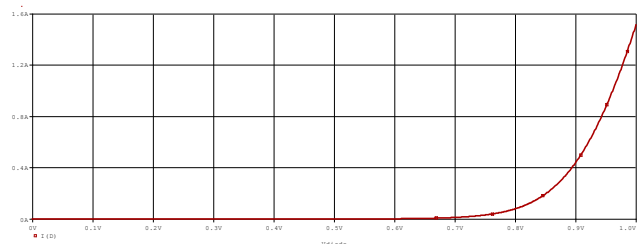
Résistance d'accès



Modèle équivalent résultant en petits signaux

La netliste ci-dessous permet de faire appel à Pspice pour tracer la caractéristique I , V de la diode D1N4002, disponible dans la bibliothèque eval.lib :

```
caracteristique directe
* fichier diode.cir
.lib eval.lib
Vdiode 1 0
D 1 0 D1N4002 ; diode de redressement
.DC Vdiode 0 1 1m ; increment de 1 mV
.probe
.end
```



Commentaires :

- Le schéma correspondant à cette netliste est une source de tension placée directement sur la diode. Cette façon de faire est à exclure en pratique car, sans résistance de protection en série, on prend le risque de faire circuler un courant excessif dans la maille.
- La directive .DC est un balayage continu de la tension Vdiode. Ici de 0 V à 1 V, par pas de 1 mV.
- Après le run, la variable placée en abscisse est la tension Vdiode. On demande en ordonnée $I(D)$
- On remarque qu'à 1 V le courant atteint 1,5 A > I_{max} de la 1N4002 (1 A). A ce niveau de courant, la simulation et la réalité sont éloignées...

Questions et simulations

 : Répondre sur feuille, scannée (ou photo lisible) et me renvoyer

- Saisir la netliste, run, et obtenir à l'écran la caractéristique donnée.

Modèle grands signaux

- Si on veut affecter un modèle équivalent formé de R_D , V_S , **quelles valeurs suggérez-vous à ces paramètres?** Il n'y a pas une réponse unique, car cela dépend de la façon de placer la ligne brisée sur la loi en exponentielle. Dans cette question, R_D inclut R_S .

Modèle petits signaux Statique

- Choisir arbitrairement un point de polarisation. **Indiquer ses coordonnées.**
 - En zoomant, mesurer la pente $\Delta I / \Delta V$ (on s'aidera des curseurs, pas d'outils logiciels disponibles), et **en déduire $R_{EQ} + R_S$.**
 - Modifier la netliste en plaçant votre **valeur** numérique de tension choisie de polarisation :
`Vdiode 1 0 DC valeur`
 - Remplacer la ligne « `.DC Vdiode 0 1 1m` » par `.OP`.
 - Run, et « view output file ». Le fichier diode.out. rappelle un extrait de eval.lib. On peut lire, entre autres, quelques paramètres de la D1N4002 : $I_S = 14,11 \text{ nA}$ $n = 1,984$ $R_S = 33,89 \text{ m}\Omega$.
 - Vérifier cela. Si OK, continuer.
- Pspice reporte également ses résultats de l'analyse .OP : courant ID, tension VD, résistance REQ.
- Donner les valeurs indiquées dans le fichier diode.out
 - **Calculer la chute de tension aux bornes de R_S .**
 - En déduire la tension aux bornes de la jonction PN (diode intrinsèque)
 - On donne : $k = 1,38 \times 10^{-23}$ $T = 300 \text{ K}$ $Q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ **Calculer V_T .**
 - **Calculer le courant en utilisant la relation de Shockley appliquée à la diode intrinsèque.**
 - **Retrouver, par le calcul, la valeur de R_{EQ} donnée par Pspice.**

Modèle petits signaux Dynamique

On se propose de reproduire par la simulation la manipulation expérimentale suivante (D = D1N4002) :

La source $e(t)$ est sinusoïdale, 1 kHz, d'amplitude 5 mV. Pas d'offset.

Justifiez ces valeurs.

Pour comparer avec ce qui a déjà été simulé, E est réglée à votre **valeur** de la simulation `.OP`.

On peut fusionner E et e qui sont en série en une seule source sinusoïdale avec offset. Nous n'utiliserons pas cette possibilité pour cet exercice.

Placer des noms ou numéros de nœud (le 0 est la masse 0 V). Établir un nouveau fichier.cir.

Simuler en transitoire (directive .TRAN). Choisir une durée de simulation de quelques périodes.

Avoir dans la fenêtre 4 « plot » (menu add plot to windows)

Visualiser les 4 traces respectivement : E, $e(t)$, $V(t)$ et **s'assurer de leur valeur numérique** le courant dans la diode.

À partir des graphes $V(t)$, $i(t)$, déduire la résistance apparente que présente la diode en dynamique. **La valeur est-elle conforme** avec le paragraphe précédent ?

Influence de l'amplitude

Refaire la simulation précédente en plaçant une amplitude de 100 mV sur la source sinusoïdale, toute chose étant égale par ailleurs.

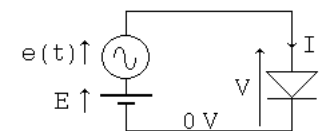
Quelle « anomalie » voyez-vous sur le courant ? Quelle conclusion peut-on en tirer ?

Influence de la fréquence

Refaire la simulation précédente en plaçant une fréquence de 70 kHz, (5 mV d'amplitude).

Modifier la durée du run (paramètre .TRAN) pour ne simuler que sur quelques périodes.

Quel changement voyez-vous sur le courant ? Quelle explication proposez-vous ? Sur le plan de la modélisation, quelle conclusion peut-on en tirer ?



Nouveau circuit à simuler