

JONCTION SEMI-CONDUCTRICE AU SILICIUM : DIODE ZENER

1. Généralités et conditions expérimentales

La jonction PN est un élément fondamental de l'électronique. Diverses composants exploitent ce principe comme les diodes de redressement classique, les diodes stabilisatrices de tension (diodes Zener), les diodes électroluminescentes (LED) et diode Laser, les photodiodes, ...etc.

Le but de ce TP est d'étudier les caractéristiques d'une diode Zener. En effet, ces dernières se comportent comme des diodes normales quand elles sont branchées dans le sens direct, et présentent une tension V_Z appelée tension de Zener, quand elles sont branchées dans le sens inverse. Cette tension inverse V_Z est utilisée comme référence de tension, pour la régulation d'alimentation par exemple.

Liste du matériel utilisé :

- Platine de test Jeulin (voir Figure 1)
- Composants en boîtier : diode Zener et résistance (voir Figure 1)
- Alimentation HAMEG 8040
- Multimètres METRIX MX 5060
- Rhéostat 1000Ω (résistance variable de puissance)



Figure 1 : Platine de test sécurisé et composants en boîtier UME (ici résistance et diode Zener)

La diode Zener exploite les propriétés caractéristiques des semi-conducteurs. Il est constitué par une "puce" de silicium dont une partie est dopée de type P (trous porteurs majoritaires) et l'autre de type N (électrons porteurs majoritaires). La caractéristique courant-tension $I_{AK} = f(U_{AK})$ de la jonction au silicium, donnée ci-dessous, a les propriétés suivantes :

- **En conduction directe**, pour une tension entre Anode et Cathode, U_{AK} positive, elle est sensiblement exponentielle. Au-delà d'une tension de seuil voisine de 0,65 V, le courant qui circule dans la diode s'accroît rapidement.

- **En conduction inverse** c'est-à-dire pour une tension U_{AK} négative, le courant dans la diode est d'abord très faible. Il correspond au courant inverse de saturation I_S et la diode est bloquée. Ensuite le courant se met à augmenter sensiblement.
- Pour les diodes dites « **Zener** », conçues à cet effet, au voisinage d'une tension négative V_Z , le courant se met à croître brusquement. La diode se comporte alors comme une force contre électromotrice de résistance interne faible (quelques ohms).

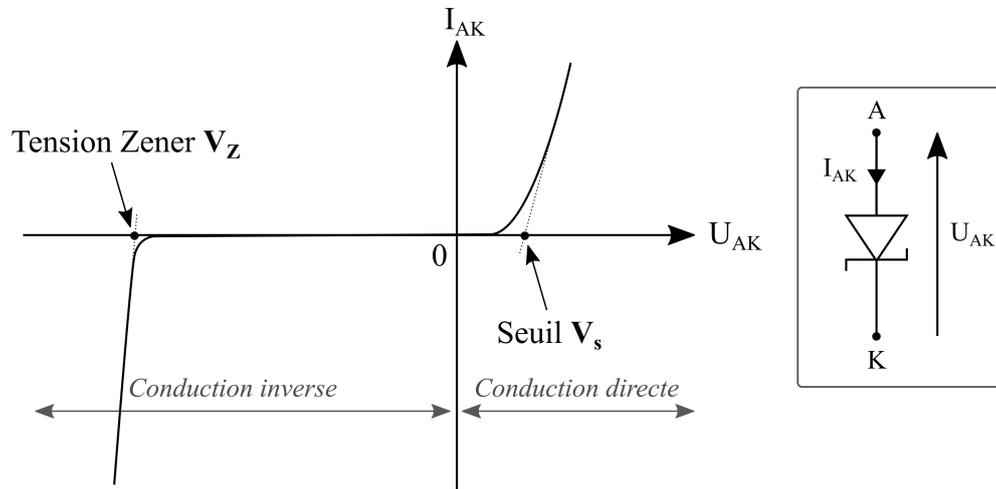


Figure 2 : Caractéristiques d'une diode au Silicium

Rappelons que la jonction semi-conductrice (pour $U_{AK} > V_Z$) est régie par la loi suivante qui met en évidence le rôle de la température du composant : $I_{AK} = I_S \left(e^{\frac{U_{AK}}{U_T}} - 1 \right)$

I_S : courant inverse de saturation.

$U_T = \frac{kT}{q} \approx 25mV$ à $25^\circ C$ (k est la constante de Boltzmann $1,38.10^{-23} J.K^{-1}$, T : la température en Kelvin K et q la charge élémentaire soit $1,609.10^{-19} C$).

2. MANIPULATION : CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION

Le relevé de la caractéristique courant-tension $I_{AK} = f(V_{AK})$ de la diode Zener fait appel aux montages présentés ci-dessous (Figure 3) qui utilisent :

- Une source de tension continue E réglable (alimentation HAMEG 8040).
- Un ampèremètre continu (DC)(MX5060 à mettre en série) pour mesurer le courant I_{AK} .
- Un voltmètre numérique (DC)(MX5060 à mettre en parallèle) qui possède une grande résistance interne d'environ $10 M\Omega$ pour mesurer la tension U_{AK} .

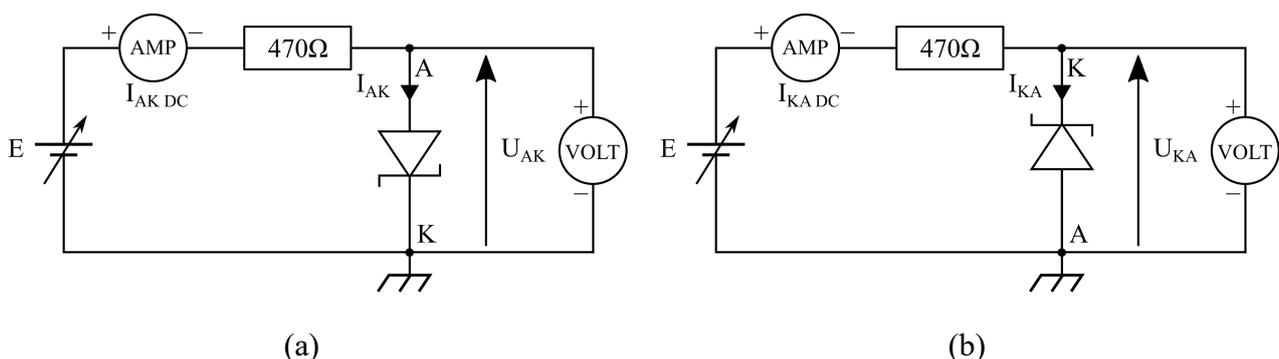


Figure 3 : (a) Diode Zener en direct et (b) Diode Zener en inverse.

2.1. Caractéristique courant-tension en direct et en inverse

- 2.1.1. Tracer sur le papier millimétré, le graphe $I_{AK} = f(U_{AK})$ en conduction directe en limitant le courant I_{AK} à 40 mA (commencer la mesure pour $I_{AK_{max}}$ pour définir les échelles du graphe).
Donner la valeur de **la tension de seuil** de conduction de la diode.
- 2.1.2. Vérifier la validité de la loi de la diode en traçant le graphe $I_{AK} = f(U_{AK})$ sur le papier semi-logarithmique en utilisant des résultats expérimentaux. Commenter le graphe ($I_{AK} = I_S e^{\frac{U_{AK}}{U_T}}$).
- 2.1.3. Relever la caractéristique $I_{AK} = f(U_{AK})$ en conduction inverse en limitant le courant à 40 mA et donner la valeur de **la tension de Zener V_Z** qui caractérise cette diode.

2.2. Résistance dynamique autour d'un point de repos en mode direct

- 2.2.1. Autour des points dits de "fonctionnement ou de repos" (voir figure 4) définis notamment par un courant I_{AK} de 2 mA, 5 et 20 mA, déterminer graphiquement à partir du tracé de la tangente au point de fonctionnement, la résistance interne « dynamique » r_d , de la diode.

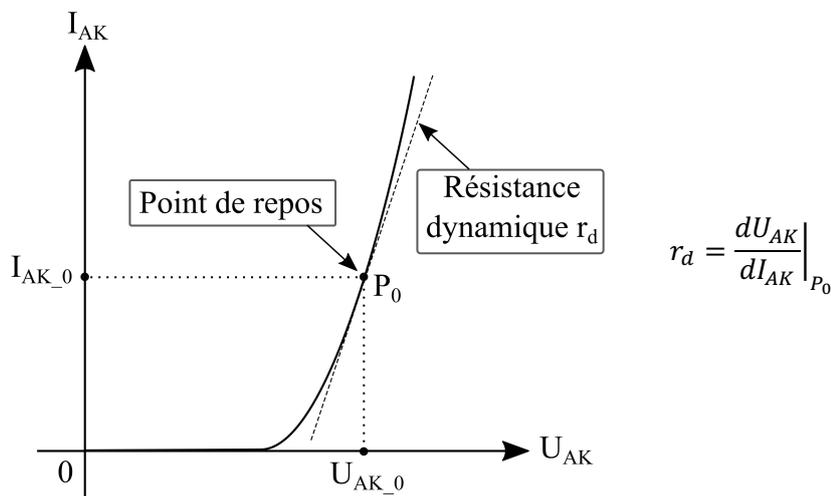


Figure 4 : Représentation du point de repos et de la résistance dynamique de la diode

- 2.2.2. A partir de la loi de la diode : $I_{AK} = I_S \left(e^{\frac{U_{AK}}{U_T}} - 1 \right)$, on peut déterminer l'expression de la résistance dynamique r_d de la diode : $r_d = \left. \frac{dU_{AK}}{dI_{AK}} \right|_{P_0}$

Comparer la valeur numérique calculée à partir de cette formule et les valeurs mesurées en dressant un tableau des résultats.

2.3. Exploitation de la caractéristique inverse de la diode Zener

2.3.1. Déterminer sur le graphe la résistance dynamique r_z de la diode dans sa zone "Zener". En déduire, autour d'un point de repos qui sera choisi, un schéma de simulation simple pour ce dispositif (f.c.e.m. et résistance interne).

Application : stabilisation de tension simple

L'exploitation de la zone de caractéristique abrupte d'une diode Zener permet de concevoir une source de tension relativement peu sensible aux fluctuations du courant débité dans une plage donnée (par exemple, remplacement des piles d'un poste de radio par une alimentation secteur).

2.3.2. Réaliser le montage suivant dans lequel la tension d'alimentation E est fixée à 24 V la diode étant en conduction inverse. La résistance R_h variable est constituée par un rhéostat.

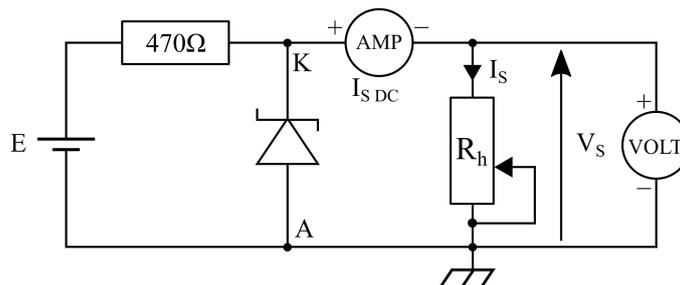


Figure 5 : Stabilisation de tension aval

2.3.3. Tracer la courbe caractéristique de sortie du montage : $V_s = f(I_s)$ pour I_s variant de 0 à 30mA (La valeur minimale mesurable se situe autour de 12mA).

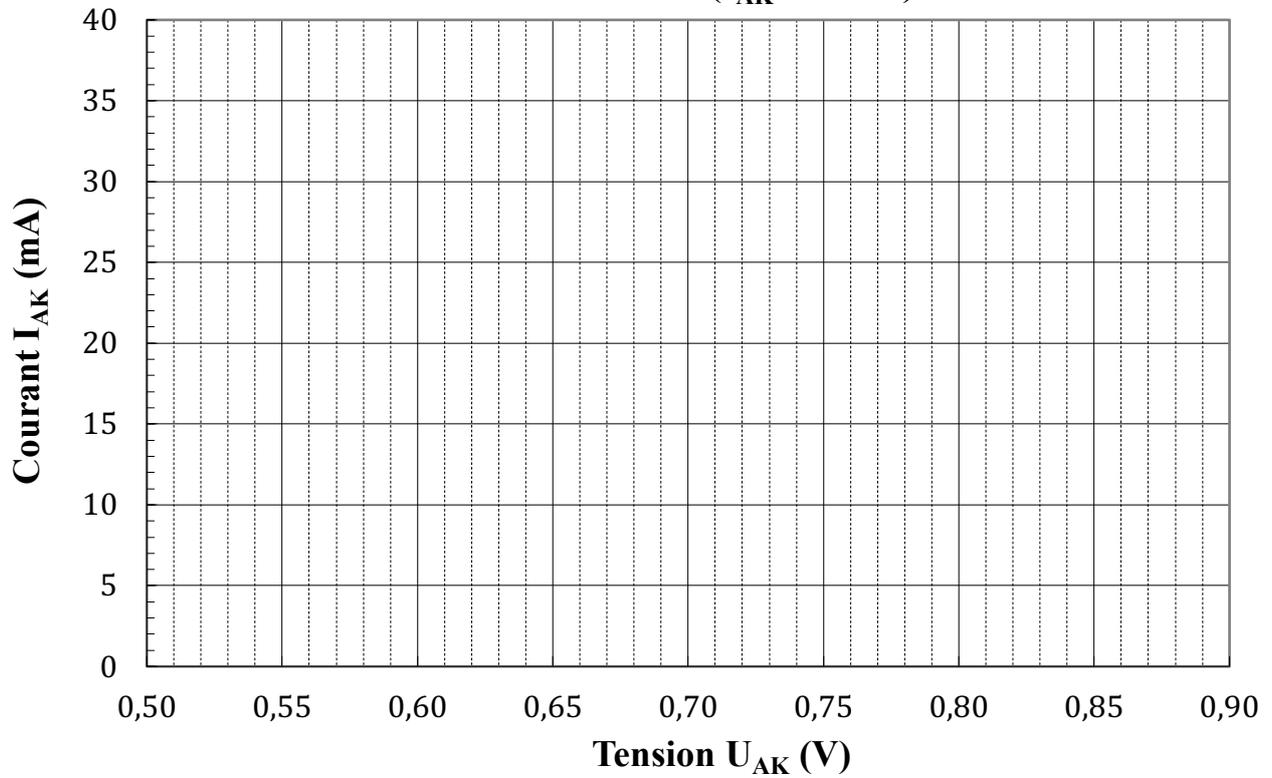
2.3.4. Déduire de la caractéristique précédente, dans sa zone linéaire, la valeur du générateur de Thévenin E_{th} et sa résistance interne R_{th} vue par la résistance de "charge" R_h . Dessiner le schéma équivalent du montage.

JONCTION SEMI-CONDUCTRICE AU SILICIUM : DIODE ZENER

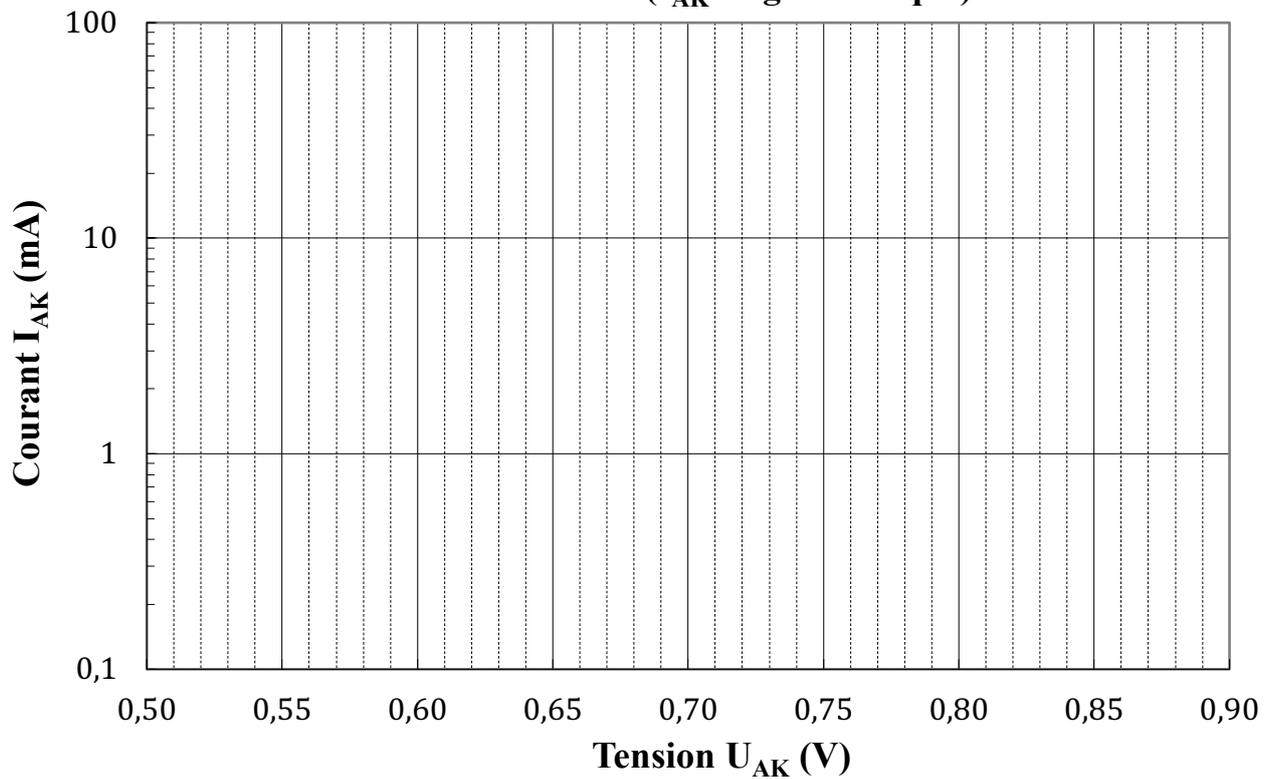
GROUPE :

NOMS :

Diode Zener en direct (I_{AK} linéaire)

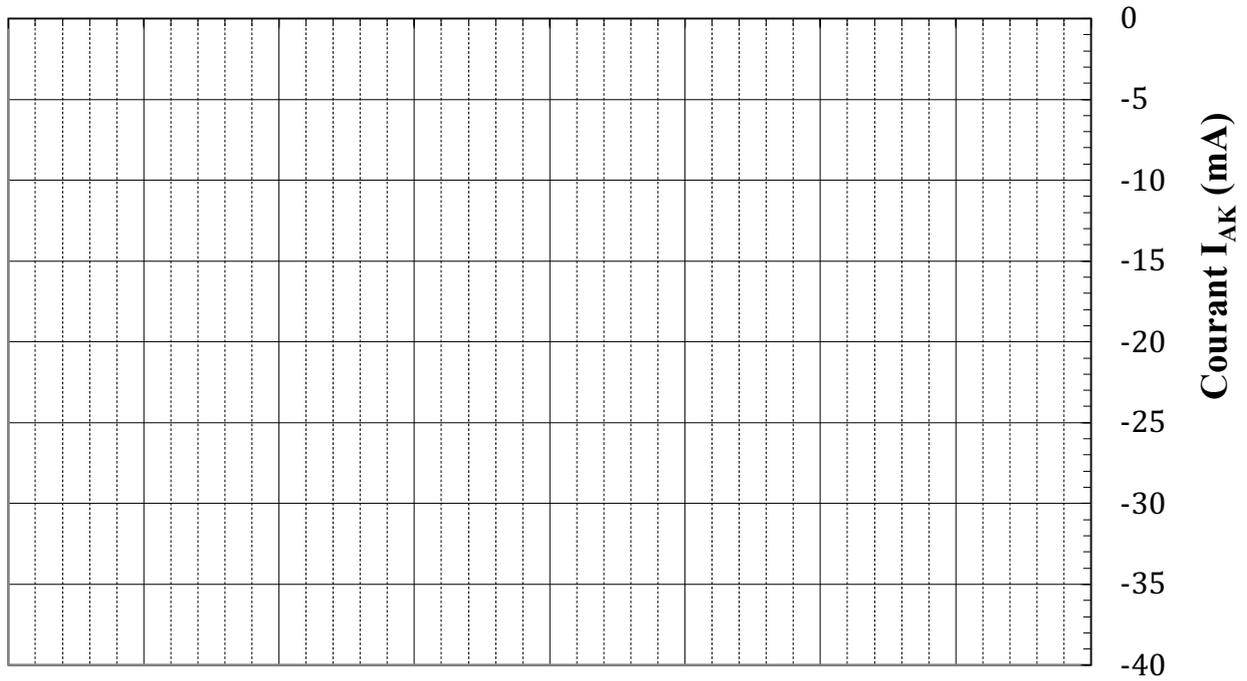


Diode Zener en direct (I_{AK} Logarithmique)



Diode Zener en inverse (I_{AK} linéaire)

Tension U_{AK} (V)



Stabilisation : Tension V_S en fonction du courant I_S

