

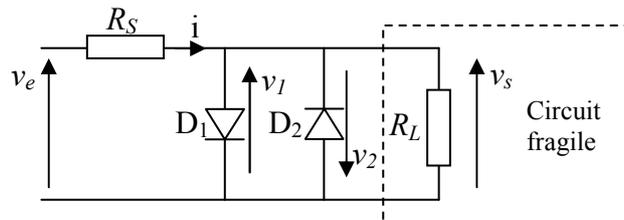
**CIRCUITS A DIODES :**

**1- Ecrêteurs et limiteurs :**

La fonction d'écrtage est utile pour la mise en forme des signaux, la protection des circuits, et les communications.

**1-1- Ecrêteur pour la protection d'un circuit fragile :**

Dans ce type de limiteurs, les diodes sont normalement non-conductrices ; elles ne conduisent que si quelque chose est anormal (un signal trop fort par exemple).



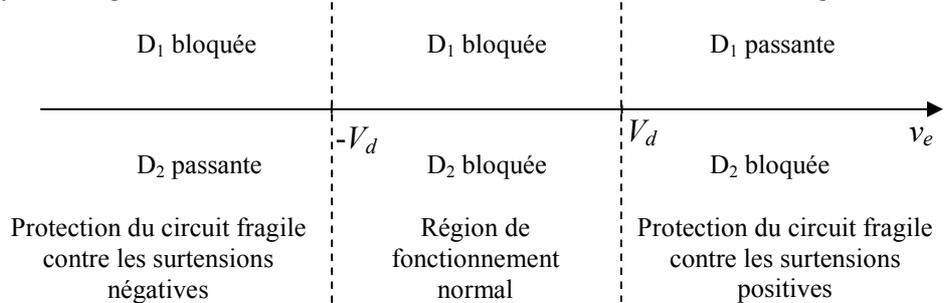
Pour déterminer la tension de sortie  $v_s$  de ce circuit, on commence par supposer bloquée les deux diodes  $D_1$  et  $D_2$ . Cela implique que le courant total  $i$  qui parcourt  $R_S$  est nul ( $i=0$ ).

$$i = 0 \Rightarrow \begin{cases} v_1 = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e \\ v_2 = -\frac{R_L}{R_L + R_S} v_e \end{cases}$$

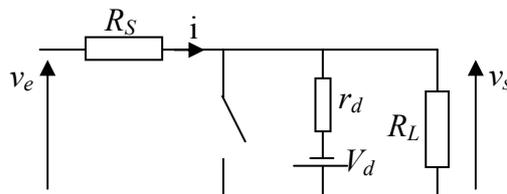
$$v_1 \leq V_d \Rightarrow D_1 \text{ est bloquée} \Rightarrow v_1 = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e \leq V_d \Rightarrow v_e \leq \frac{R_L + R_S}{R_L} V_d$$

$$v_2 \leq V_d \Rightarrow D_2 \text{ est bloquée} \Rightarrow v_2 = -\frac{R_L}{R_L + R_S} v_e \leq V_d \Rightarrow v_e \geq -\frac{R_L + R_S}{R_L} V_d$$

On constate qu'il ya trois régions différentes de fonctionnement, comme il est montré sur la figure ci-dessous.



- première région :  $D_1$  bloquée et  $D_2$  passante



En appliquant le théorème de Millman, on obtient :

$$v_s = \frac{\frac{v_e}{R_S} - \frac{V_d}{r_d} + \frac{0}{R_L}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_L}}$$

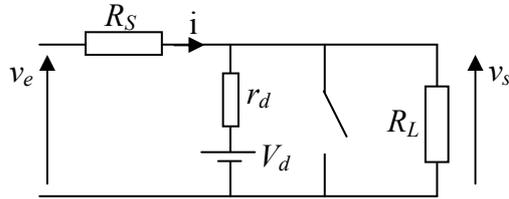
Dans le cas où  $r_d=0$  :  $v_s = -V_d$

- deuxième région :  $D_1$  bloquée et  $D_2$  bloquée

$$v_s = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e$$

Dans le cas où  $R_S \ll R_L$  :  $v_s = v_e$

- troisième région :  $D_1$  passante et  $D_2$  bloquée

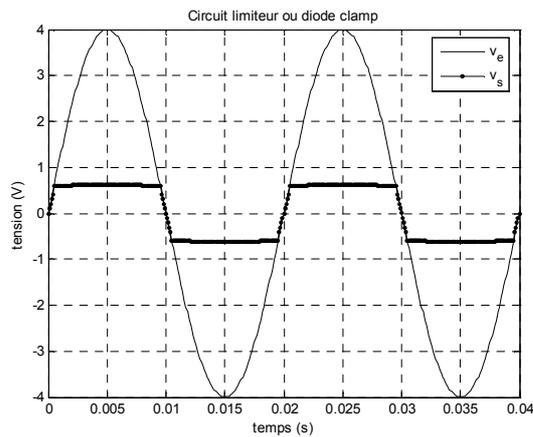


En appliquant le théorème de Millman, on obtient :

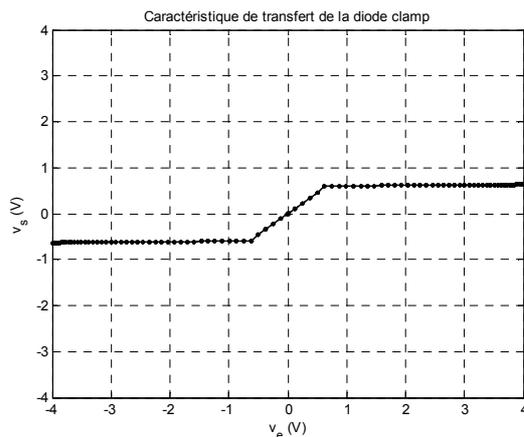
$$v_s = \frac{\frac{v_e}{R_S} + \frac{V_d}{r_d} + \frac{0}{R_L}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_L}}$$

Dans le cas où  $r_d=0$  :  $v_s = +V_d$

La figure ci-dessous présente les tensions d'entrée et de sortie d'un circuit limiteur ou diode clamp.



La figure ci-dessous montre la caractéristique de transfert du circuit limiteur ou diode clamp.

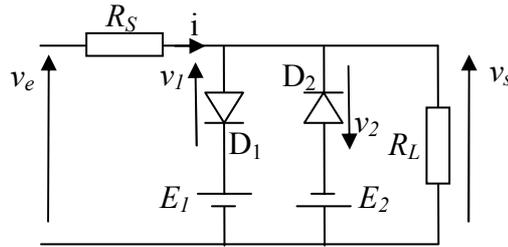


Données :  $T=20$  ms;  $V_p=4$  V;  $V_d=0.6$  V;  $r_d=1$   $\Omega$ ;  $R_S=100$   $\Omega$ ;  $R_L=1$  k  $\Omega$ ;

$$v_e = V_p \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

### 1-1- Ecrêteur polarisé à deux diodes :

Dans ce type d'écrêteurs, les diodes conduisent uniquement si la tension dépasse certains niveaux définis par des sources de tension.



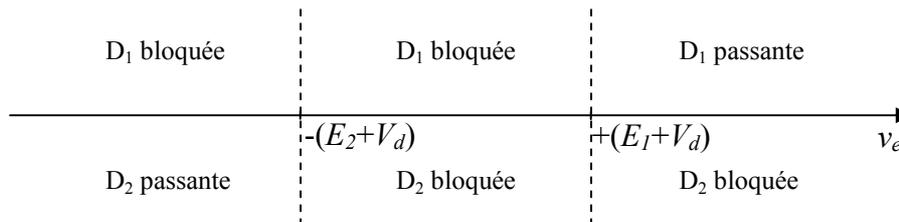
Pour déterminer la tension de sortie  $v_s$  de ce circuit, on suppose que les deux diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont bloquées. On peut facilement, par l'utilisation de théorème de Thevenin, montrer que :

$$\begin{cases} v_1 = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e - E_1 \\ v_2 = -\frac{R_L}{R_L + R_S} v_e - E_2 \end{cases}$$

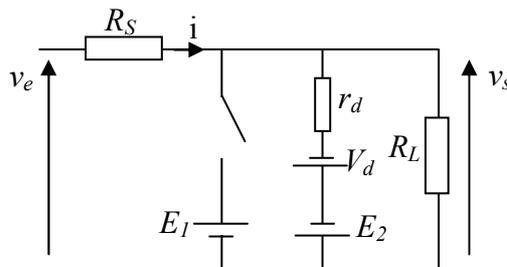
$$v_1 \leq V_d \Rightarrow D_1 \text{ est bloquée} \Rightarrow v_1 = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e - E_1 \leq V_d \Rightarrow v_e \leq \frac{R_L + R_S}{R_L} (E_1 + V_d)$$

$$v_2 \leq V_d \Rightarrow D_2 \text{ est bloquée} \Rightarrow v_2 = -\frac{R_L}{R_L + R_S} v_e - E_2 \leq V_d \Rightarrow v_e \geq -\frac{R_L + R_S}{R_L} (E_2 + V_d)$$

On constate qu'il ya trois régions différentes de fonctionnement, comme il est montré sur la figure ci-dessous.



- première région :  $D_1$  bloquée et  $D_2$  passante



En appliquant le théorème de Millman, on obtient :

$$v_s = \frac{\frac{v_e}{R_S} - \frac{E_2 + V_d}{r_d} + \frac{0}{R_L}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_L}}$$

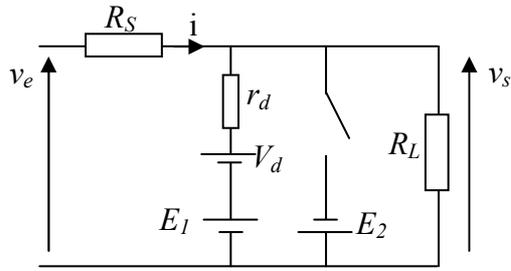
Dans le cas où  $r_d=0$  :  $v_s = -(E_2 + V_d)$

- deuxième région :  $D_1$  bloquée et  $D_2$  bloquée

$$v_s = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e$$

Dans le cas où  $R_S \ll R_L$  :  $v_s = v_e$

- troisième région :  $D_1$  passante et  $D_2$  bloquée

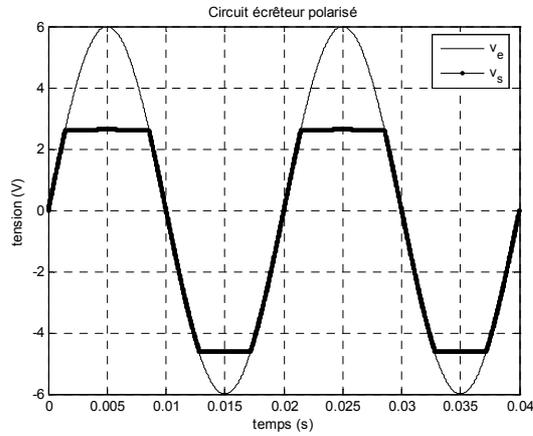


En appliquant le théorème de Millman, on obtient :

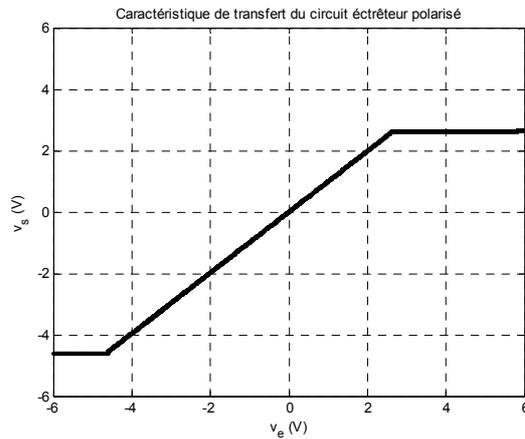
$$v_s = \frac{\frac{v_e + E_1 + V_d}{R_S} + \frac{0}{r_d} + \frac{0}{R_L}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_L}}$$

Dans le cas où  $r_d=0$  :  $v_s = +(E_1 + V_d)$

La figure ci-dessous présente les tensions d'entrée et de sortie du circuit écrêteur polarisé à deux diodes.



La figure ci-dessous montre la caractéristique de transfert d'écriteur polarisé à deux diodes.

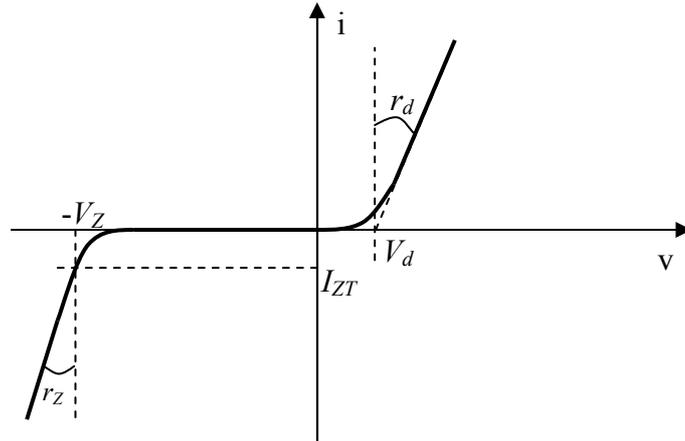


Données :  $T=20$  ms;  $V_p=6$  V;  $V_d=0.6$  V;  $r_d=1$   $\Omega$ ;  $R_S=100$   $\Omega$ ;  $R_L=10$  k $\Omega$ ;  $E_1=2$  V ;  $E_2=4$  V ;

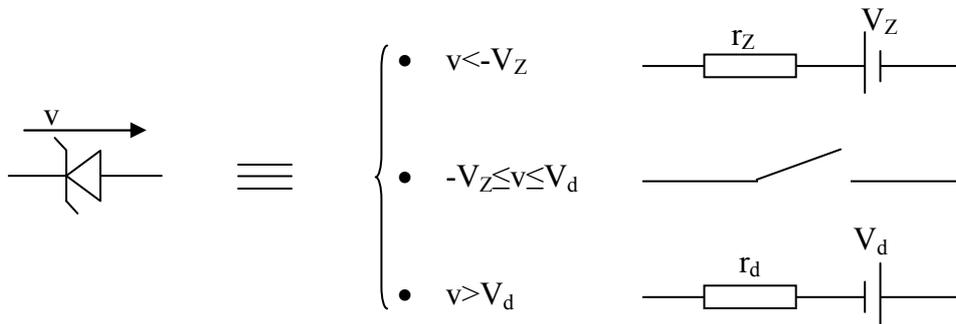
$$v_e = V_p \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right).$$

**2- Diode Zener :**

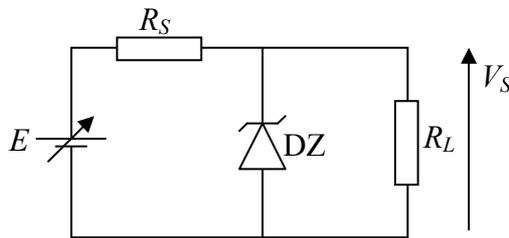
La diode Zener est une diode que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage. La diode Zener au claquage présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance verticale du courant. La tension est presque constante, c'est la tension Zener  $V_Z$ . Les fiches techniques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



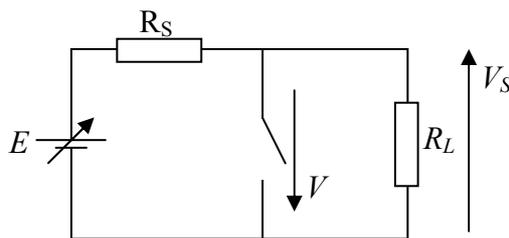
La diode Zener en deuxième approximation est présentée par le modèle ci-dessous.



**2-1- Diode Zener comme régulatrice de tension :**



Dans le cas où la diode Zener est bloquée, le circuit devient comme suit.

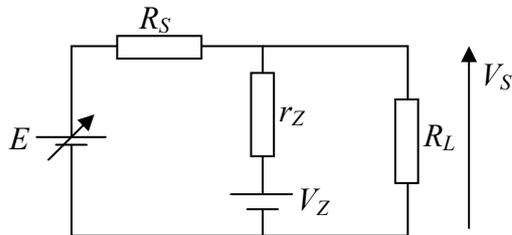


$$V = -\frac{R_L}{R_L + R_S} E$$

On distingue trois cas :

1.  $V = -\frac{R_L}{R_L + R_S} E < -V_Z \Rightarrow E > \frac{R_L + R_S}{R_L} V_Z \Rightarrow$  la diode Zener est au claquage et peut être remplacée par une source de tension  $V_Z$  et une résistance  $r_Z$ . En appliquant Millman :

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

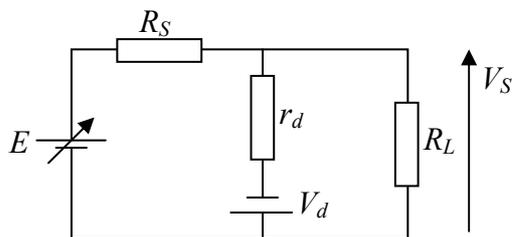


Dans le cas où  $r_Z=0$  :  $V_S = V_Z$

$$2. \quad -V_Z \leq V = -\frac{R_L}{R_L + R_S} E \leq V_d \Rightarrow -\frac{R_L + R_S}{R_L} V_d \leq E \leq \frac{R_L + R_S}{R_L} V_Z \Rightarrow \text{la diode est bloquée}$$

$$\Rightarrow V_S = \frac{R_L}{R_L + R_S} E$$

$$3. \quad V = -\frac{R_L}{R_L + R_S} E > V_d \Rightarrow E < -\frac{R_L + R_S}{R_L} V_d \Rightarrow \text{la diode conduit} \Rightarrow \text{on remplace la diode Zener par une source de tension } V_d \text{ et une résistance } r_d \text{ comme le montre le schéma ci-dessous.}$$



En appliquant Millman :

$$V_S = \frac{\frac{E}{R_S} - \frac{V_d}{r_d}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_L}}$$

Dans le cas où  $r_d=0$  :  $V_S = -V_d$ .

Pour que la diode Zener fonctionne comme régulatrice de tension, la tension d'entrée  $E$  doit être nettement supérieure à la tension Zener  $V_Z$ . Dans ce cas  $V_S \approx V_Z$  quelque soit la valeur de la tension d'entrée  $E$ .

**Détermination de la résistance  $R_S$  dans le cas où  $E > \frac{R_L + R_S}{R_L} V_Z$  :**

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

$$\bullet \quad E=E_{\max}, I_Z=I_{Z\max}, I_L=I_{L\min}: R_S = \frac{E_{\max} - V_Z}{I_{Z\max} + I_{L\min}} \quad (1)$$

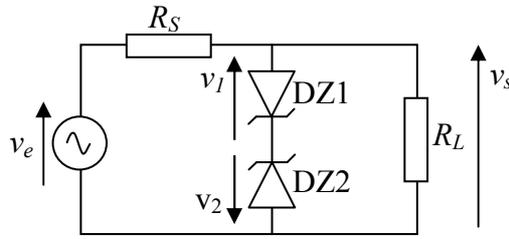
$$\bullet \quad E=E_{\min}, I_Z=I_{Z\min}, I_L=I_{L\max}: R_S = \frac{E_{\min} - V_Z}{I_{Z\min} + I_{L\max}} \quad (2)$$

Généralement on prend:  $I_{Z\min} = a \cdot I_{Z\max}$ , avec:  $0.1 \leq a \leq 0.3$ .

$$(1) \text{ et } (2) \Rightarrow I_{Z\max} = \frac{(E_{\max} - V_Z)I_{L\max} + (E_{\min} - V_Z)I_{L\min}}{(E_{\min} - V_Z) - a(E_{\max} - V_Z)} \quad (3)$$

En remplaçant (3) dans (1) ou (2), on peut déterminer  $R_S$ .

## 2-2- Diode Zener utilisé pour la mise en forme de signaux :



Supposons que les deux diodes sont bloquées :

$$\begin{cases} -V_{Z1} \leq v_1 \leq V_{d1} \\ -V_{Z2} \leq v_2 \leq V_{d2} \end{cases} \Rightarrow -V_{Z1} - V_{d2} \leq v_1 - v_2 \leq V_{Z2} + V_{d1} \quad (1)$$

On a :  $v_1 - v_2 = \frac{R_L}{R_L + R_S} \cdot v_e$  (2)

(2)  $\rightarrow$  (1) :  $-V_{Z1} - V_{d2} \leq \frac{R_L}{R_L + R_S} \cdot v_e \leq V_{Z2} + V_{d1} \Rightarrow -\frac{R_L + R_S}{R_L} (V_{Z1} + V_{d2}) \leq v_e \leq \frac{R_L + R_S}{R_L} (V_{Z2} + V_{d1})$

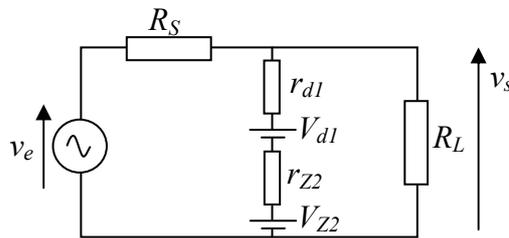
On distingue trois cas différents :

- $-\frac{R_L + R_S}{R_L} (V_{Z1} + V_{d2}) \leq v_e \leq \frac{R_L + R_S}{R_L} (V_{Z2} + V_{d1})$  : les deux diodes sont bloquées

$$\Rightarrow v_s = \frac{R_L}{R_L + R_S} v_e$$

Dans le cas où  $R_S \ll R_L$  :  $v_s = v_e$

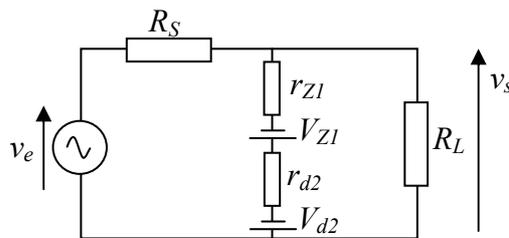
- $v_e > \frac{R_L + R_S}{R_L} (V_{Z2} + V_{d1})$  : la diode DZ1 conduit et la diode DZ2 est au claquage



$$\Rightarrow v_s = \frac{\frac{v_e + V_{Z2} + V_{d1}}{R_S} + \frac{1}{r_{z2} + r_{d1}}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_{z2} + r_{d1}} + \frac{1}{R_L}}$$

Dans le cas où  $r_{z2} = r_{d1} = 0$  :  $v_s = V_{Z2} + V_{d1}$

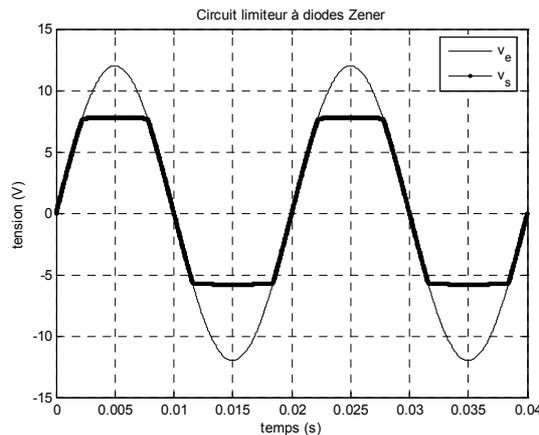
- $v_e < -\frac{R_L + R_S}{R_L} (V_{Z1} + V_{d2})$  : la diode DZ2 conduit et la diode DZ1 est au claquage



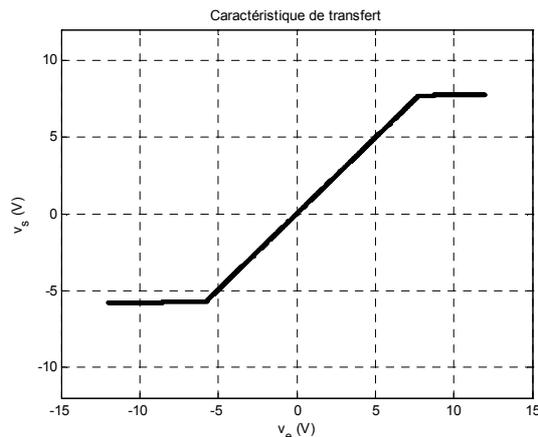
$$\Rightarrow v_s = \frac{\frac{v_e - V_{Z1} + V_{d2}}{R_S} - \frac{V_{Z1} + V_{d2}}{r_{Z1} + r_{d2}}}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_{Z1} + r_{d2}} + \frac{1}{R_L}}$$

Dans le cas où  $r_{Z1} = r_{d2} = 0$  :  $v_s = -V_{Z1} - V_{d2}$

La figure ci-dessous présente les tensions d'entrée et de sortie d'un circuit limiteur utilisant deux diodes Zener.



La figure ci-dessous montre la caractéristique de transfert d'un limiteur à diodes Zener.



Données :  $T=20$  ms;  $V_p=12$  V;  $V_{d1}=V_{d2}=0.7$  V;  $r_{d1}=r_{d2}=1$   $\Omega$ ;  $r_{Z1}=r_{Z2}=1$   $\Omega$ ;  $R_S=100$   $\Omega$ ;  $R_L=10$  k  $\Omega$ ;  $V_{Z1}=5$  V;  $V_{Z2}=7$  V;

$$v_e = V_p \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right).$$

### 3- Composants optoélectroniques :

#### 3-1- La diode électroluminescente (LED) :

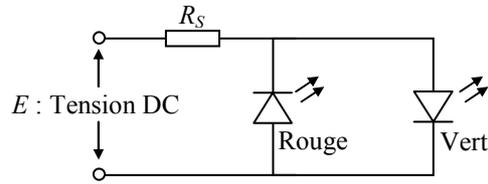
Dans une LED polarisée en direct, il ya émission de radiations lumineuses. Les constructeurs réalisent des LED qui émettent du rouge, du vert, du jaune, du bleu, de l'orange ou de l'infrarouge (invisible). Celles qui émettent dans le visible sont utilisées comme indicateurs ou afficheurs. Celles qui rayonnent dans l'invisible sont employées dans les alarmes sonores, les lecteurs CD, ...etc.

#### Exemple : Indicateur de polarité utilisant deux LED

Pour  $E > V_d$  : la LED vert s'allume parce qu'elle est polarisée en direct.

Pour  $E < -V_d$  : la LED rouge s'allume parce qu'elle est polarisée en direct.

Le courant traversant chaque LED, lorsqu'elle est en conduction, est donnée par :  $i = \frac{E \mp V_d}{R_S}$



### 3-2- La photodiode :

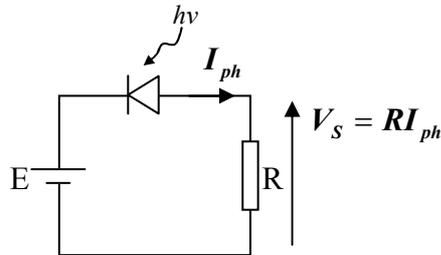
La photodiode convertie un signal optique (lumière) en un courant électrique. Le courant total qui parcourt une photodiode

est la somme du courant due à la polarisation ( $I_s \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$ ) et le photo-courant due à la lumière ( $I_{ph}$ ) :

$$i = I_{ph} + I_s \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

La photodiode est polarisée en inverse pour réduire l'effet du courant due à la polarisation :

$$I_s \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \approx 0, \text{ lorsque } V < 0.$$



### 3-3- L'optocoupleur ou l'optoisolateur :

Un optocoupleur associe une LED (émettrice de la lumière) et une photodiode (capteur de la lumière) dans un même boîtier. L'avantage essentiel d'un optocoupleur est l'isolation électrique entre l'entrée et la sortie.

