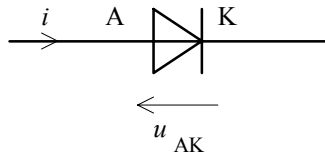


REDRESSEMENT MONOPHASE

1 - LA DIODE A JONCTION

1.1 Caractéristique courant-tension



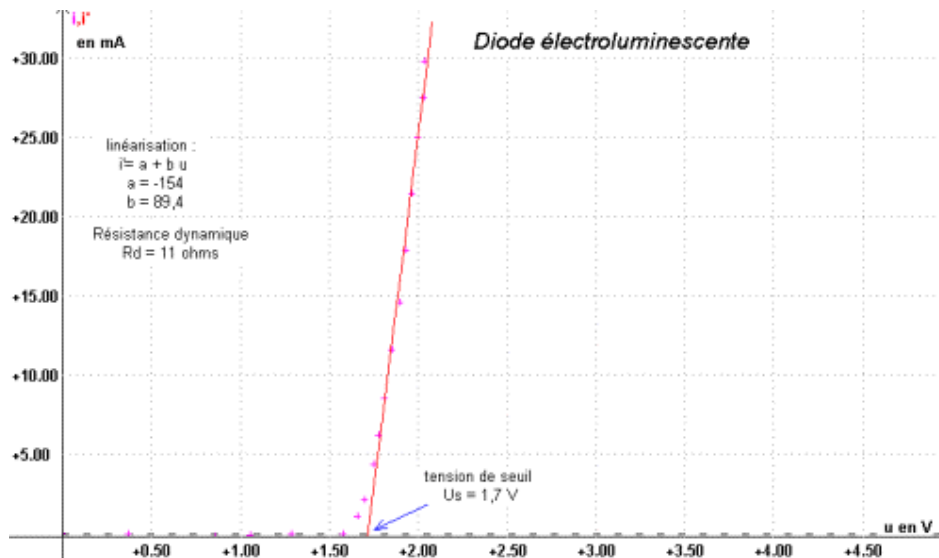
En *polarisation inverse* ($u_{AK} < 0$) une diode ne laisse pas passer le courant - elle est **bloquée**. Par contre en *polarisation directe* ($u_{AK} > 0$) le courant d'abord nul croit très rapidement à partir d'une **tension de seuil** U_S de l'ordre de quelques dixièmes de volts suivant la nature de la diode.

Pratiquement on peut vérifier l'état d'une diode en utilisant un contrôleur sur la fonction "test diode" (*ohmmètre*). En polarisation inverse la "*résistance mesurée*" est **infinie**, en polarisation directe la valeur affichée est en général voisine de la tension de seuil.

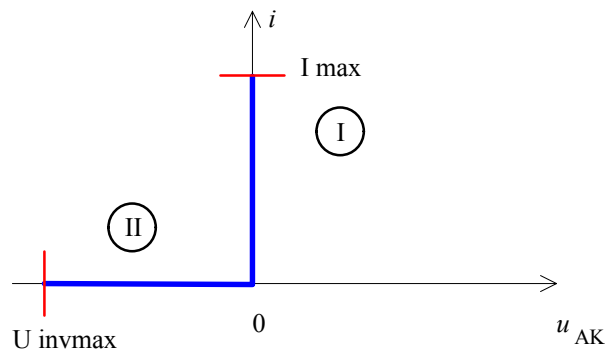
exemples : diode au silicium $U_S \approx 0,7$ V, au germanium $U_S \approx 0,2$ V, DEL $U_S \approx 1,5$ à 2 V.

Le courant direct et la tension inverse sont limités sous peine de claquage de la diode.

exemple : diode au silicium 1N4001 : $I_{\max} = 1$ A et $U_{\text{invmax}} = 100$ V



1.2 Diode idéale



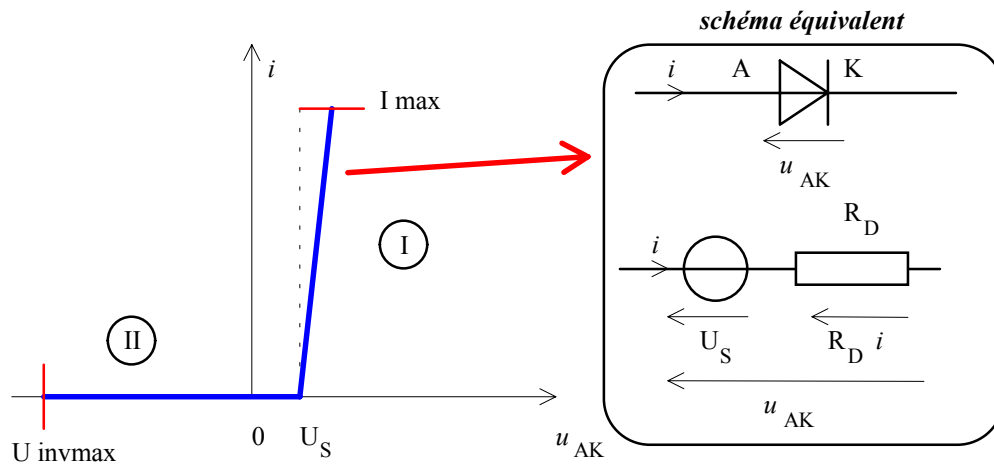
Une diode idéale ne possède que deux états caractérisés par les relations suivantes :

- (I) **diode passante** $i \geq 0 \quad u_{AK} = 0$ *interrupteur fermé*
- (II) **diode bloquée** $i = 0 \quad u_{AK} \leq 0$ *interrupteur ouvert*

La tension de seuil est nulle et la puissance consommée également ($p = u_{AK} i = 0$)

1.3 Diode réelle linéarisée

Le modèle précédent n'est pas toujours satisfaisant ; on ne peut pas négliger la tension de seuil et la caractéristique directe est inclinée sur la verticale. On peut néanmoins utiliser un modèle proche de la réalité en assimilant la caractéristique à deux segments de droite.



- (I) **diode passante** $i \geq 0 \quad u_{AK} = U_S + R_D i$ *schéma équivalent*
- (II) **diode bloquée:** $i = 0 \quad u_{AK} \leq U_S$ *interrupteur ouvert*

$R_D = \frac{\Delta u_{AK}}{\Delta i}$ représente **la résistance dynamique** directe de la diode

Lorsqu'elle est passante, la puissance consommée par la diode n'est pas nulle, elle s'échauffe. Le tracé de l'hyperbole de dissipation $P_{max} = u_{AK} \cdot i$ permet de connaître les limites d'utilisation. Au-delà des valeurs limites P_{max} , I_{max} et U_{invmax} il y a un risque de destruction du composant.

Pour la suite du cours, nous admettons que les diodes sont idéales

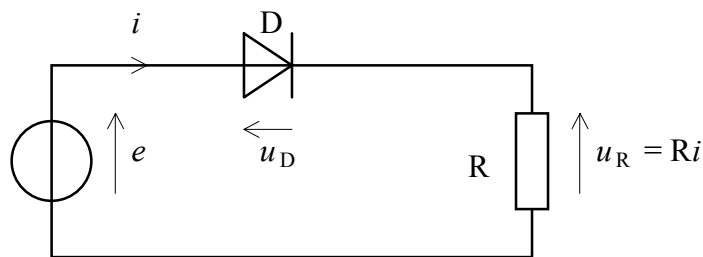
- le seuil peut être négligé si la tension d'alimentation du circuit est suffisamment grande (ex. 220V)
- la résistance dynamique (quelques $1/10^{\text{ème}}$ Ω) également en fonction de la résistance du circuit

diode passante (I) :	$i \geq 0$	$u_{AK} = 0$
diode bloquée (II) :	$i = 0$	$u_{AK} \leq 0$

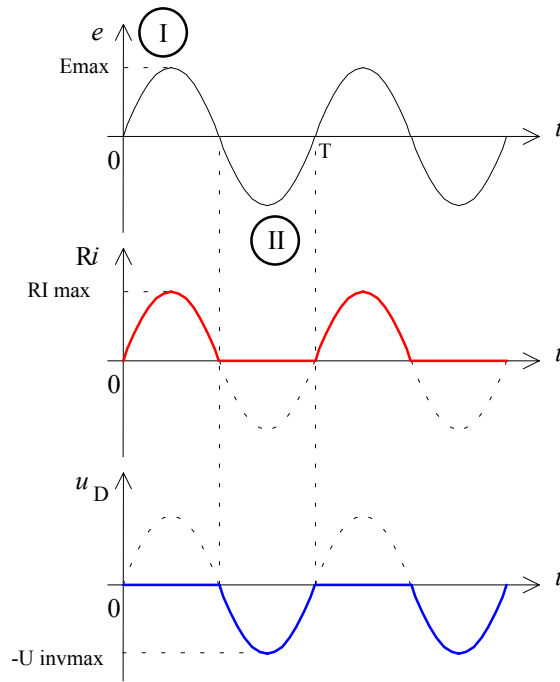
2 - REDRESSEMENT MONOALTERNANCE

2.1 Charge résistive

Le montage alimenté par une source de tension alternative sinusoïdale de valeur instantanée $e = E\sqrt{2} \sin \omega t$ débite un courant d'intensité i dans une charge résistive de résistance R .



loi de maille : $e = Ri + u_D$	
2 états	
I - diode passante	II - diode bloquée
$i \geq 0$ $u_D = 0$	$i = 0$ $u_D \leq 0$
$e = Ri + u_D = Ri$	$e = Ri + u_D = u_D$
$e = Ri \geq 0$	$e = Ri + u_D = u_D \leq 0$
changement d'état : $e = 0$	

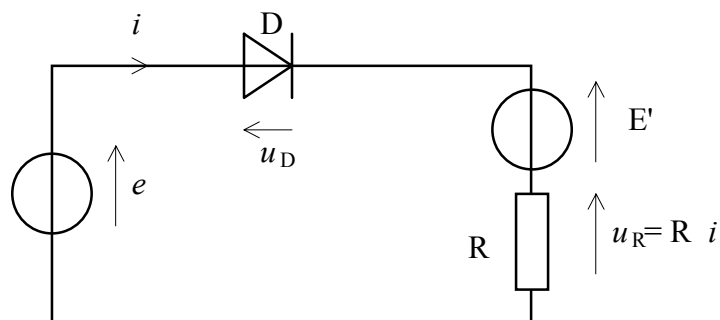


Valeurs remarquables :

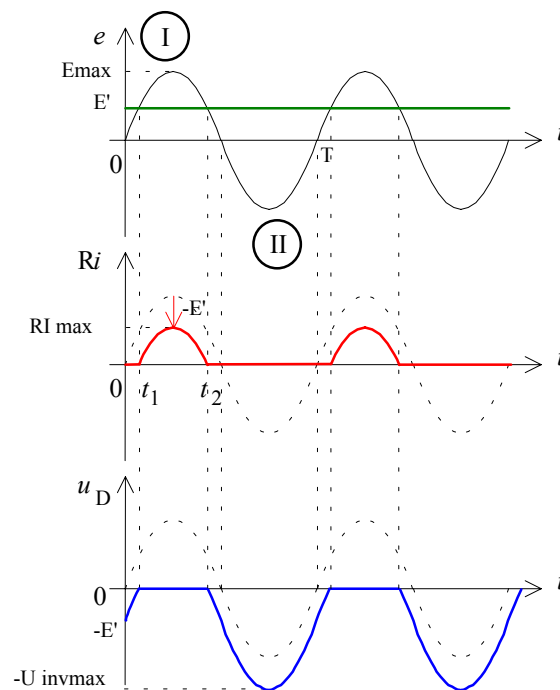
- valeurs maximales $I_{\max} = \frac{E\sqrt{2}}{R}$ et $|U_{\text{invmax}}| = E\sqrt{2}$
- valeur moyenne $\langle i \rangle = \frac{I_{\max}}{\pi}$
- valeur efficace $I = \frac{I_{\max}}{2}$

2.2 Débit sur un électromoteur

Le montage alimenté par une source de tension alternative sinusoïdale de valeur instantanée $e = E\sqrt{2} \sin \omega t$ débite un courant d'intensité i dans une charge constituée d'une source de tension continue de fem E' en série avec une résistance R .



loi de maille : $e = Ri + E' + u_D$	
2 états	
I - diode passante	II - diode bloquée
$i \geq 0$ $u_D = 0$	$i = 0$ $u_D \leq 0$
$e = Ri + E' + u_D = Ri + E'$	$e = Ri + E' + u_D = E' + u_D$
$Ri = e - E' \geq 0$	$u_D = e - E' \leq 0$
$e \geq E'$	$e \leq E'$
changement d'état : $e = E'$	



- Valeurs maximales : $I_{\max} = \frac{E\sqrt{2} - E'}{R}$ et $|U_{\text{invmax}}| = E\sqrt{2} + E'$

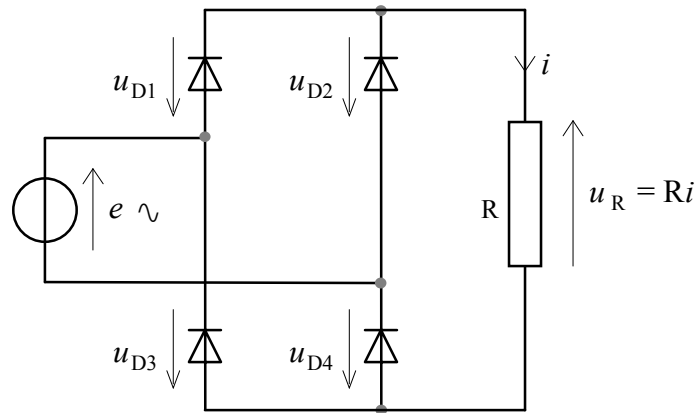
Application numérique : $e = 220\sqrt{2} \sin 100 \pi t$; $E' = 100 \text{ V}$ et $R = 100 \Omega$.

- Calculer les instants t_1 et t_2 des changements d'état de la diode sur une période.
- En déduire l'angle d'ouverture $\theta = \omega (t_2 - t_1)$ du redresseur.

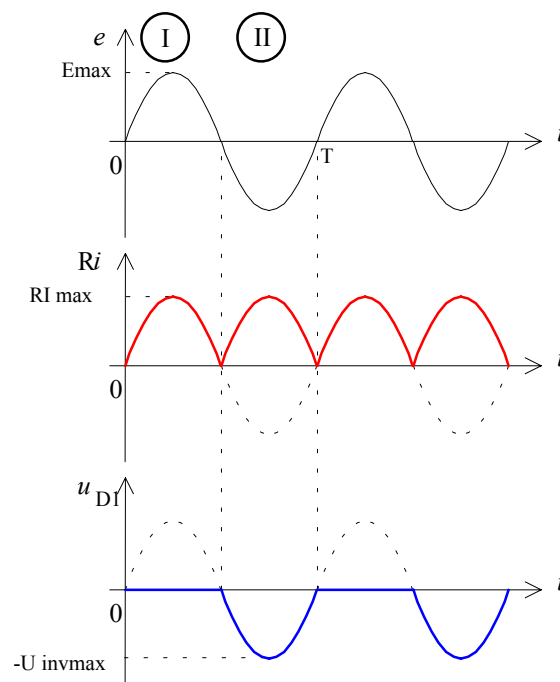
Réponses : $t_1 = 1,04 \text{ ms}$; $t_2 = 8,96 \text{ ms}$ et $\theta = 2,48 \text{ rad}$.

3 - REDRESSEMENT BIALTERNANCE

3.1 Pont de Graetz



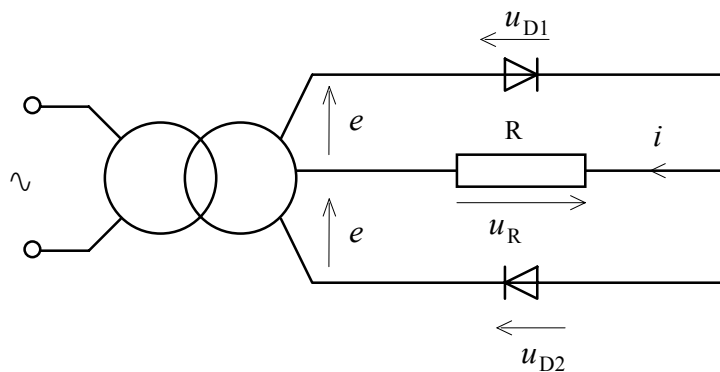
lois de maille : $e - u_{D1} - Ri - u_{D4} = 0$ $e + u_{D3} + Ri + u_{D2} = 0$ $e = u_{D1} - u_{D2} = u_{D4} - u_{D3}$	
D1 et D4 passantes D2 et D3 bloquées	D1 et D4 bloquées D2 et D3 passantes
$i = i_1 = i_4 \geq 0$ $u_{D1} = u_{D4} = 0$	$i = i_2 = i_3 \geq 0$ $u_{D2} = u_{D3} = 0$
$e = Ri \geq 0$	$e = -Ri \leq 0$
changement d'état : $e = 0$	



Valeurs remarquables :

- valeurs maximales $I_{\max} = \frac{E\sqrt{2}}{R}$ et $|U_{\text{invmax}}| = E\sqrt{2}$
- valeur moyenne $\langle i \rangle = \frac{2I_{\max}}{\pi}$
- valeur efficace $I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$

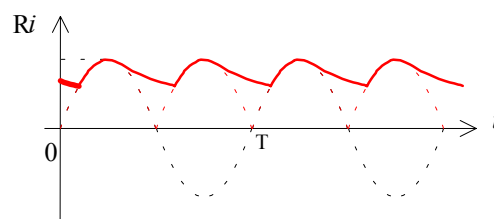
3.2 Transformateur à point milieu



N.B. dans ce montage, chaque diode supporte *en inverse* une tension égale à $2 \times E\sqrt{2}$

3.3 Ondulation : rôle d'un condensateur

Un condensateur de capacité suffisamment élevée (chimique) placé *en parallèle* avec une charge résistive permet de limiter l'ondulation de la tension redressée et d'augmenter sa valeur moyenne.



interprétation sommaire :

La tension redressée est la somme d'une composante continue (DC) et d'une composante alternative (AC). Il suffit donc de court-circuiter celle-ci (AC) par le condensateur. L'impédance du condensateur doit donc être négligeable devant celle de la résistance :

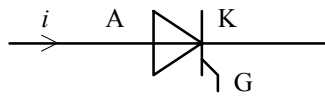
$$\frac{1}{C\omega} \ll R \text{ soit } RC \gg \frac{1}{\omega} = \frac{T}{2\pi}$$

On observera, *en travaux pratiques*, l'influence de la constante de temps $\tau = RC$ sur l'ondulation résiduelle du courant dans la résistance.

N.B. On peut également *lisser le courant* avec une bobine d'inductance suffisante *en série* avec une charge résistive.

4 - REDRESSEMENT COMMANDE

4.1 Thyristor



Un *thyristor* ou "*diode commandée*" possède une électrode supplémentaire appelée **gâchette** dont le rôle est de *rendre passante* la diode au moment où on le souhaite.

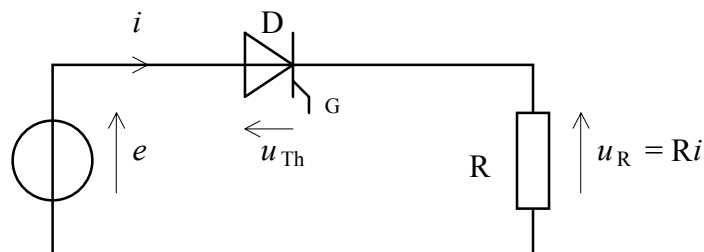
- En *polarisation directe* ($u_{AK} > 0$), le *thyristor* reste bloqué tant que la gâchette ne reçoit pas une **impulsion** de quelques volts ($u_{GK} > 0$).
- En *polarisation inverse* ($u_{AK} < 0$), il reste *toujours* bloqué.

Les propriétés du thyristor sont identiques à celles de la diode à jonction

thyristor passant	$i \geq 0$	$u_{AK} = 0$
thyristor bloqué	$i = 0$	$u_{AK} \leq 0$

N.B. Seule la *première impulsion* reçue sur la gâchette (lorsque $u_{AK} > 0$) est active

4.2 Redressement commandé monophasé

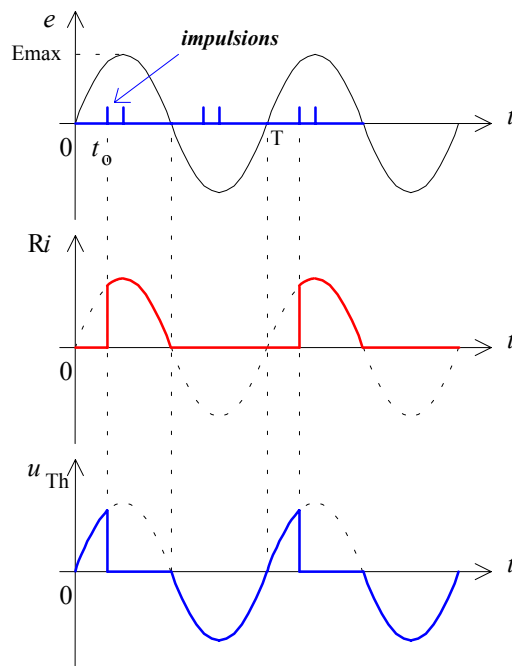


N.B. Un générateur d'impulsions *synchronisé par la tension d'alimentation* permet de rendre passant le thyristor avec un retard t_0 identique à chaque période.

Valeur moyenne de la tension redressée:

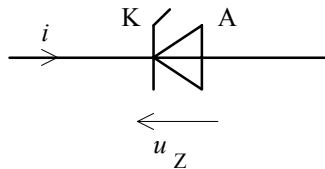
Posons $\alpha = \omega t$ et calculons la valeur moyenne sur une période en intégrant entre $\alpha_0 = \omega t_0$ et π (la tension redressée est nulle en dehors de cet intervalle).

$$\begin{aligned} \langle u_R \rangle &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_0}^{\pi} E\sqrt{2} \sin \alpha \, d\alpha \\ \langle u_R \rangle &= \frac{1}{2\pi} E\sqrt{2} \left[-\cos \alpha \right]_{\alpha_0}^{\pi} \\ \langle u_R \rangle &= \frac{E\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha_0) \end{aligned}$$



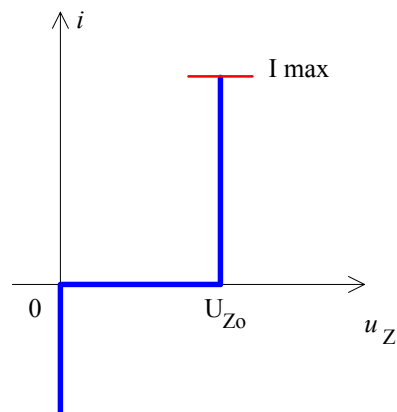
5 - REGULATION DE TENSION PAR DIODE ZENER

5.1 Diode Zener



La diode Zéner est utilisée en *polarisation inverse*. Elle reste bloquée jusqu'à la valeur U_{Z0} appelée **tension Zéner**. La tension reste alors pratiquement constante.

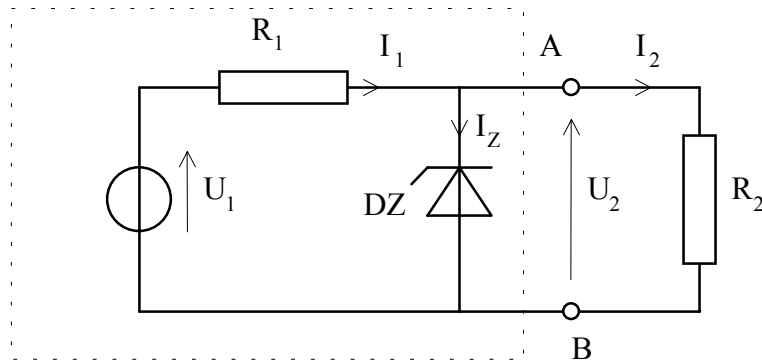
diode idéale



N.B. En inverse la diode subit un claquage réversible par champ (effet Zéner) ou par avalanche.

5.3 Régulation par diode Zéner

Exercice



La diode Zéner a pour caractéristiques $U_{Z0} = 6V$ et $R_Z = 5 \Omega$. - $R_1 = 30 \Omega$

- Déterminer les caractéristiques du modèle équivalent de Thévenin $[E_T, R_T]$ du dipôle AB lorsque la diode Zéner est passante.
- En déduire l'expression de la tension U_2 en fonction de E_T, R_T et I_2 puis de U_1, U_{Z0}, R_1, R_Z et I_2 .
- Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme : $U_2 = U_0 + k U_1 - R_0 I_2$.

Stabilisation aval : $U_1 = 12 V$, la charge R_2 est variable

- Donner l'équation de la caractéristique $U_2 = f(I_2)$ lorsque la diode est passante.
- Pour quelle valeur maximale de I_2 la diode reste passante ?
- Donner l'équation de la caractéristique $U_2 = f(I_2)$ lorsque la diode est bloquée.
- Calculer la valeur du courant de court-circuit I_{cc} .
- Tracer la courbe $U_2 = f(I_2)$ entre $I_2 = 0$ et I_{cc}

Stabilisation amont : U_1 variable, la charge $R_2 =$ est fixe.

- Quelle est l'expression de la caractéristique $U_2 = f(U_1)$ lorsque la diode est bloquée.
- Pour quelle valeur minimale de U_1 la diode est-elle passante ?
- Calculer, lorsque la diode est passante, la variation ΔU_2 de la tension des sortie pour une variation $\Delta U_1 = 2 V$ de la tension d'entrée (en admettant que $\Delta I_2 \approx 0$)

Réponses :

$$E_T = \frac{R_Z U_1 + R_1 U_{Z0}}{R_1 + R_Z} \text{ et } R_T = \frac{R_1 R_Z}{R_1 + R_Z}$$

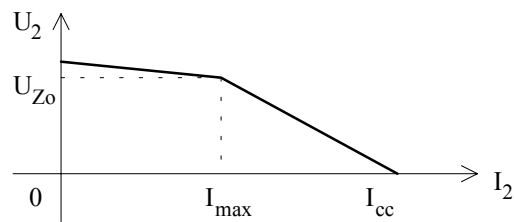
$$U_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_Z} U_{Z0} + \frac{R_Z}{R_1 + R_Z} U_1 - \frac{R_1 R_Z}{R_1 + R_Z} I_2$$

$$U_0 = 5,14 V ; k = 0,14 ; R_0 = 4,29 \Omega$$

stabilisation aval :

diode passante : $U_2 = 6,86 - 4,19 I_2$; elle se bloque pour $U_2 \leq U_{Z0}$ soit $I_2 = 0,2 \text{ A}$

diode bloquée : $U_2 = 12 - 30 I_2$



stabilisation amont :

diode bloquée : $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1$ ((diviseur de tension) et $U_{1\text{MINI}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_{Z0}$

$$\Delta U_2 = \frac{R_Z}{R_1 + R_Z} \Delta U_1 = 0,3 \text{ V}$$

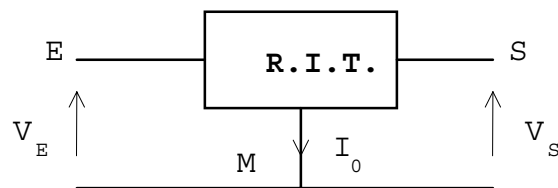
Rappels : Théorème de Thévenin

Tout dipôle actif et linéaire est équivalent à un modèle de Thévenin (M.E.T.) :

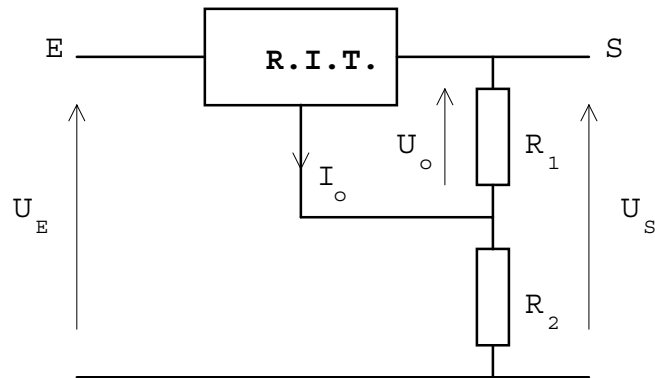
- de fem E_T égale à la tension à vide aux bornes du dipôle
- de résistance interne R_T égale à la résistance vue des bornes du dipôle lorsque toutes les sources sont éteintes.

5.4 Régulateur intégré de tension (R.I.T.)

En utilisation normale un RIT idéal a pour propriété : $V_S = U_0 = \text{constante}$.

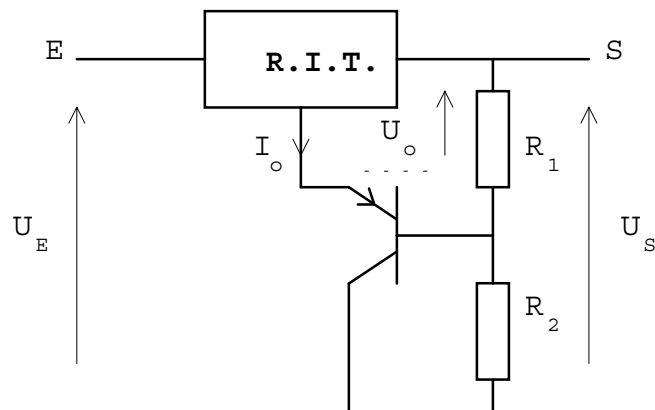


exercice 1 : Le RIT est utilisé dans un montage régulateur série ajustable.



- Montrer que $U_S = U_o \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + R_2 I_o$
- On note, expérimentalement, qu'une variation de tension ΔU_E provoque une variation de la tension de sortie ΔU_S .
- Expliquer l'origine de ΔU_S . Que peut-on faire pour limiter cette variation ?

exercice 2 On utilise le montage suivant avec un transistor ($\beta = 250$, $V_{BE} = 0,6$ V).



- Montrer que $U_S = (U_o - V_{BE}) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + R_2 \frac{I_o}{\beta}$
- A-t-on amélioré les résultats par rapport au premier montage ? Pourquoi ?
- Le courant I_o variant entre 1 mA et 8 mA selon les conditions de fonctionnement, et quel que soit le montage, calculer la valeur maximale de R_2 pour que ΔU_S soit inférieur à 20 mV.