

Nous avons vu dans le chapitre « redressement » comment passer d'une tension alternative à une tension de valeur moyenne non nulle ayant une faible ondulation. L'ondulation est réduite par l'augmentation de la capacité de lissage. La valeur de cette capacité est néanmoins limitée par l'encombrement (voir cours condensateur) et la valeur du courant. De plus, on n'est pas sûr que la valeur moyenne de la tension de sortie sera constante, car celle-ci dépend de la tension en sortie du transformateur (variant en fonction de la température, du courant, de la tension au primaire...). Nous allons voir dans ce chapitre comment stabiliser cette tension (ondulation nulle) et régler sa valeur (valeur moyenne constante).

### 18.1 FONCTIONNEL



$V_E$  est une tension continue souffrant d'imperfections :

- ondulation ;
- valeur moyenne variable en fonction du courant...

Dans les alimentations stabilisées cette tension est souvent la tension de sortie d'un redressement sur charge capacitive.

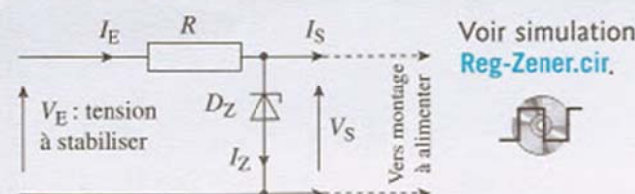
$V_S$  est une tension continue « parfaite » :

- ondulation négligeable ;
- valeur moyenne constante, indépendante du courant.

Cette fonction est soit réalisée par des montages à base de diodes ZENER (très basse puissance), des régulateurs intégrés (basse et moyenne puissance), des hacheurs ou encore des alimentations à découpage (moyenne et forte puissance).

### 18.2 MONTAGE À DIODE ZENER

#### ■ Montage de base



$V_E$  est une tension non stabilisée (tension continue à laquelle s'ajoute une ondulation) qui doit toujours être supérieure à la tension ZENER,  $V_Z$  de  $D_Z$ .

Si  $V_E$  est toujours supérieure à  $V_Z$ , alors  $I_Z > 0$ , la diode ZENER sera toujours passante et  $V_S = V_Z$ .  $V_S$  sera stabilisée. L'ondulation de  $V_E$  se retrouve aux bornes de  $R$  et non aux bornes du montage à alimenter.

**Avantages :** simplicité de mise en œuvre. Bonne réjection des ondulations.

**Inconvénients :** peu précis. Utilisable en faible puissance uniquement. Rendement faible (pertes dues à  $R$ ).

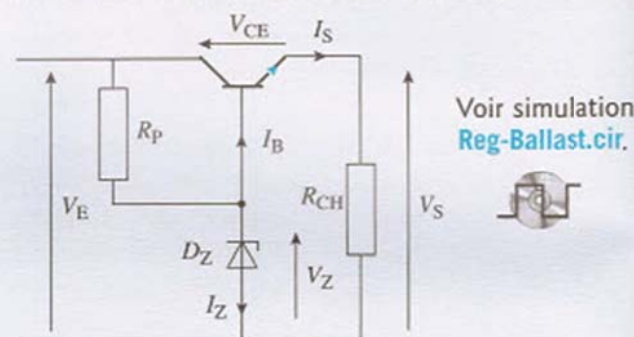
→ Si le montage à alimenter demande trop de courant ( $I_S$  important), la chute de tension aux bornes de  $R$  va augmenter puis bloquer la diode.

→ Le courant  $I_Z$  traversant la diode ZENER est fonction du courant alimentant le montage ( $I_S$ ). Or, la diode ZENER présente une résistance interne non nulle. La chute de tension aux bornes de cette résistance interne risque de modifier la tension ZENER quand  $I_S$  varie, donc  $V_S$ .

→ Afin de dimensionner correctement ce montage ( $R$  et  $D_Z$ ), il faut connaître  $V_{Emoy}$ ,  $\Delta V_E$ ,  $V_S$  et  $I_S$ . Il faudra choisir une diode ZENER de tension  $V_Z = V_S$  souhaitée et capable de dissiper une puissance  $= V_Z \times I_Z$ , avec  $I_Z = (V_E - V_S)/R - I_S$ .

#### ■ Amélioration

Le montage suivant permet de s'affranchir des problèmes d'ondulation de  $V_Z$  par régulation de  $V_S$ , via le courant  $I_S$  ( $I_S = \beta I_B$ ). Le transistor fonctionne en linéaire. Le courant  $I_Z$  n'est plus dépendant de  $I_S$  :



Il faut dimensionner correctement le transistor en calculant la puissance dissipée par ce dernier :  $P \approx V_{CE} I_S$  ( $I_B$  négligeable).

**Avantages :** bonne réjection des ondulations. Tension de sortie constante.

**Inconvénients :** utilisable en faible puissance uniquement. Pertes importantes dans le transistor. Largement tributaire de la température.

### 18.3 RÉGULATEURS INTÉGRÉS

Ce sont des circuits intégrés (à base de transistors, résistors, A.L.I....) à trois broches :

- une entrée,
- une sortie,
- une référence.

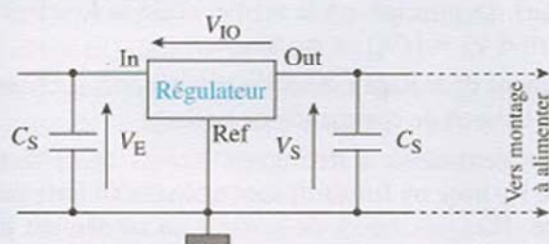




Les régulateurs donnent toujours une tension de sortie inférieure à la tension d'entrée (en valeur absolue). L'intérêt est de disposer d'une tension de sortie stable, sans ondulation. La tension de sortie est réglée ; sa valeur ne dépend pas du courant de sortie, ni de l'ondulation de la tension d'entrée, ni de la température.

Ces éléments sont idéalement utilisés dans les montages électroniques de faible puissance. Certains régulateurs sont prévus pour délivrer une tension positive et d'autres une tension négative.

## ■ Représentation / Montage



Le condensateur d'entrée élimine les effets transitoires (ex : microcoupures) et le condensateur de sortie permet d'obtenir une meilleure stabilité de la tension de sortie.

Des montages plus ou moins complexes peuvent être ajoutés autour du régulateur. Ces montages à résistors, condensateurs, diodes ou transistors permettent :

- d'ajuster la tension de sortie ;
- de protéger le montage contre les courts-circuits ;
- de réguler le courant de sortie ;
- d'augmenter la tension de sortie...

## ■ Caractéristiques techniques

Les constructeurs précisent :

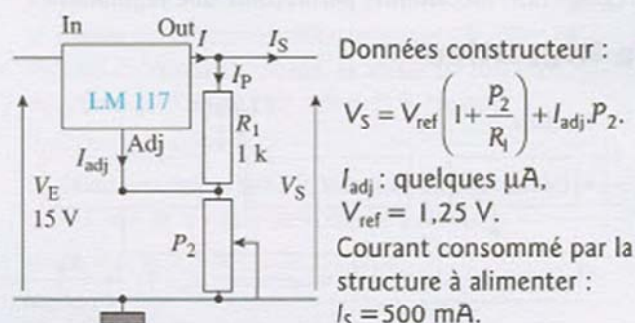
- la valeur de la tension de sortie, output voltage ( $V_O$ ) ;
- la valeur minimale de la tension d'entrée nécessaire au bon fonctionnement (ou la valeur minimale de  $V_{IO} = V_E - V_S$ , appelée Dropout Voltage). La valeur maximale est aussi spécifiée ;
- la puissance maximale dissipable  $P_D = V_{IO} \cdot I_S$  ;
- la valeur des résistances thermiques  $R_{thja}$  et  $R_{thjc}$  afin de pouvoir dimensionner le radiateur adéquat ; Le type de boîtier (TO-3, TO-220...) permettant de déterminer la valeur de la résistance thermique boîtier  $\rightarrow$  ambiant ;
- le cas échéant, le montage des éléments externes nécessaires au bon fonctionnement ou les montages pouvant être installés à fin d'améliorations.

**Avantages :** facilité de mise en œuvre, bonne réjection des ondulations, tension de sortie constante, possibilité de réglage de la tension de sortie (sur certains régulateurs), possibilité de câbler divers circuits annexes afin d'augmenter le courant de sortie ou encore disposer d'un circuit de coupure (sur certains régulateurs).

**Inconvénients :** souvent nécessaire d'adjoindre un système de refroidissement (radiateur), utilisation en moyenne puissance à cause de son faible rendement (pertes dues à  $P_D$ ).

## ■ Exemple

Cas du régulateur LM 117 et son montage classique. Le constructeur précise que la valeur de la tension de sortie peut être obtenue par réglage de  $P_2$  :



On peut négliger  $I_{adj}$ . Si on souhaite  $V_S = 10 V$ , il faut  $P_2 = 7 k\Omega$ . ( $I_P \approx V_S / (R_1 + P_2) = 1,25 mA \gg I_{adj}$ ).

Puissance dissipée : si  $I = 500 mA$ ,

$$P_D = (V_E - V_S) \times I = (V_E - V_S) \times (I_S + I_P) = 2,5 W.$$

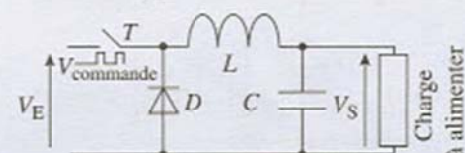
(Voir le chapitre suivant pour le dimensionnement du dissipateur thermique sur ce même exemple.)

## 18.4 HACHEUR SÉRIE

Ces montages permettent de disposer en sortie d'une tension continue dont la valeur est réglable via le rapport cyclique du découpage de la tension d'entrée.

Ils permettent l'alimentation de dispositifs demandant des puissances moyennes.

## ■ Montage



Voir simulation  
Reg-Hacheur.cir.



$V_E$  est une tension continue.

$V_{commande}$  est une tension carrée (type 0-5 V) de période  $T$  fixe, à rapport cyclique  $\alpha$  variable.

- De 0 à  $\alpha T$ ,  $T$  est fermé,  $D$  est bloquée. La bobine  $L$  accumule de l'énergie.

- De  $\alpha T$  à  $T$ ,  $T$  est ouvert,  $D$  est passante. La bobine restitue l'énergie à la charge.  $D$  fonctionne alors en roue libre afin d'assurer la continuité du courant de sortie.

Pendant les deux phases, la tension de sortie est continue (le condensateur  $C$  joue le rôle de filtrage). Le rapport cyclique  $\alpha$  va permettre de régler la valeur moyenne de  $V_S$ .

La production d'une tension continue à valeur moyenne réglable fait des hacheurs des éléments privilégiés pour l'alimentation des moteurs à courant continu.

## ■ Équation

$$V_S = \alpha \cdot V_E.$$

$V_S$  est la valeur de la tension continue de sortie.

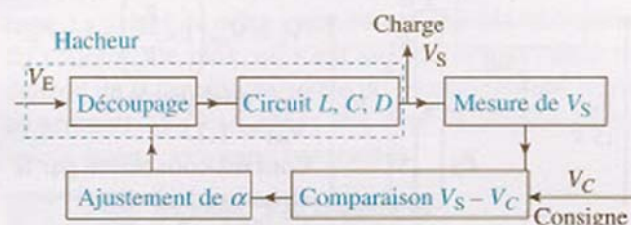
$V_E$  est la valeur de la tension continue d'entrée.



$\alpha$  est le rapport cyclique de la tension de commande du hacheur.

Un hacheur réalise alors une conversion continu  $\rightarrow$  continu. L'avantage est de disposer d'un moyen de réglage non mécanique, permettant une régulation.

## Régulation



La fonction découpage : le composant réalisant cette fonction est généralement un transistor fonctionnant en régime de commutation.

Le circuit  $L$  (bobine),  $C$  (condensateur),  $D$  (diode), permet de transmettre l'énergie à la charge sans interrup-

tion. Le condensateur  $C$  permet de rendre la tension  $V_S$  continue.

La fonction mesure de  $V_S$  permet de mesurer la valeur de la tension de sortie. La comparaison de la mesure à la consigne commande l'ajustement du rapport cyclique de la fonction découpage.

Si  $V_S$  augmente  $\rightarrow$  la mesure augmente  $\rightarrow$  la comparaison  $V_S - V_C$  augmente  $\rightarrow \alpha$  diminue  $\rightarrow V_S$  diminue.

Donc, ce schéma fonctionnel permet une régulation de la tension de sortie  $V_S$ .

Il existe d'autres montages hacheurs (parallèle ou élévateur). Le principe est le même, seule la fonction de transfert  $V_S = f(V_E)$  se modifie.

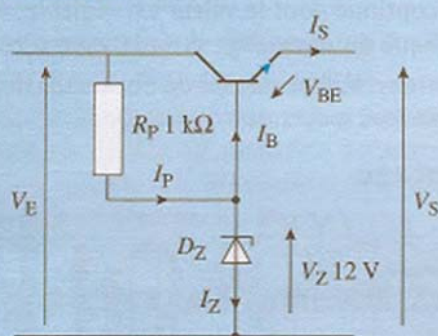
L'élément de réglage est toujours le rapport cyclique  $\alpha$  de la tension de commande de hachage.

Les alimentations à découpage isolées de la source (type Fly back ou Forward) sont utilisées en forte puissance. Elles possèdent de surcroît un rendement plus important et une isolation galvanique.

## EXERCICES

### Exercice 1 : choix de composants

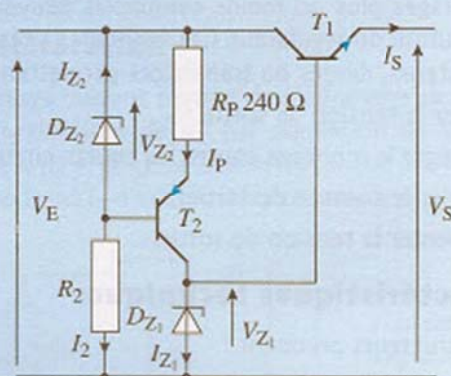
1. Soit le montage :



- Soit  $V_{BE} = 0,6$  volts. Calculer  $V_S$ .
- $V_E$  est une tension continue de 21 V sur laquelle se superpose une tension type sinusoïdale de fréquence 100 Hz, d'amplitude max 3 V. Calculer  $V_{E_{max}}$  et  $V_{E_{min}}$ .
- $I_B$ , le courant de base du transistor sera supposé négligeable devant  $I_Z$ . Déduire la relation liant  $I_B$  à  $I_Z$ .
- Donner la loi des mailles comprenant les tensions  $V_E$ ,  $V_Z$  et  $R_P \cdot I_P$ .
- En déduire la valeur de  $I_Z$  en fonction de  $V_Z$ ,  $V_E$  et  $R_P$ .
- Calculer alors les valeurs  $I_{Z_{min}}$ ,  $I_{Z_{max}}$  et  $\langle I_Z \rangle$ .
- Calculer la puissance dissipée par  $R_P$  :  $R_P \times \langle I_P \rangle^2$ .

### 2. Amélioration

Dans le circuit précédent, le courant  $I_Z$  n'est pas constant. La diode ZENER comportant une résistance interne non nulle, la chute de tension aux bornes de celle-ci, (tributaire de  $I_Z$ ), ne sera pas constante, ce qui génère des variations au niveau de la sortie. Afin de fixer le courant dans la diode ZENER  $D_Z$ , on utilise le montage suivant :

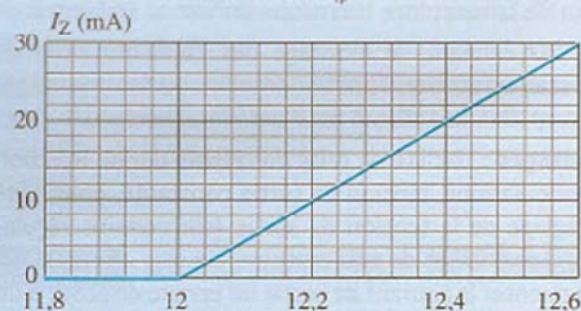


$V_{BE}$  de  $T_1$  et  $T_2 = 0,6$  V. Courants de base de  $T_1$  et  $T_2$  négligeables ( $\approx 0$ ).

2.1 Donner la relation liant  $I_{Z1}$  à  $I_P$  et celle liant  $I_{Z2}$  à  $I_Z$ .

2.2 On souhaite avoir  $V_S = 12$  volts.

- Donner la relation liant  $V_S$  à  $V_{BE}$  (de  $T_1$ ) et  $V_{Z1}$ .
- D'après la caractéristique  $I_{Z1} = f(V_{Z1})$  de  $D_{Z1}$ , si on veut  $V_S = 12$  volts, quel courant doit circuler dans la diode ZENER ? Cette valeur sera notée  $I_{Z1p}$ .



- Donner la relation liant  $V_{Z2}$  à  $V_{BE}$  (de  $T_2$ ) et  $R_P \times I_P$ .
- Quelle valeur de  $V_{Z2}$  doit-on choisir afin d'avoir  $I_P = I_{Z1p}$  ?
- Choisir  $D_{Z2}$  dans la doc [BZX55C-Fai.pdf](#).

