

Electronique de puissance

1^{er} Master

Conception d'une alimentation stabilisée de laboratoire

Table des matières

1. Énoncé	1
2. La source d'alimentation en générale	2
3. Les différentes étapes d'une source d'alimentation linéaire et leur rôle	3
3.1 Le transformateur	3
3.1.1 Le circuit magnétique	3
3.1.2 Comparatif	4
3.2 Le redresseur	6
3.2.1 Comparaison des trois types des redresseurs	6
3.2.2 Le redresseur double alternance en pont de Graëtz	7
3.2.3 Calcul divers	9
3.3 Le filtrage	11
3.3.1 Filtre réseau	11
3.3.2 Filtre capacitif	11
3.3.3 Filtre inductif	12
3.4 La régulation	13
3.4.1 Classification	13
3.4.2 Grandeurs caractéristiques	15
4. Protection de l'alimentation de laboratoire	16
4.1 Protections contre les surintensités	16
4.1.1 Les fusibles	16
4.1.2 Protection par limitation de courant	16
4.2 Protection contre les surtensions	19
4.2.1 Principe	19
4.2.2 Détecteur à diode Zener	19
4.2.3 Détecteur à diode Zener et amplificateur opérationnel	20
4.2.4 Circuit intégré spécialisé	20
5. Choix des principes techniques pour la conception	23
6. Schéma de principe de l'installation	23
Bibliographie	Erreur ! Signet non défini.

1. Énoncé

Mini cahier des charges

Conditions indispensables

Fonction : conversion de la tension domestique alternative en une tension continue de 0 à 15 V.

Sécurité : garantie lors du fonctionnement

Tension d'entrée : alimentation domestique 230 V AC

Tension de sortie :

- réglable de 0 à 15 V DC
- tension stabilisée
- faible facteur d'ondulation, haute résolution

Protections :

- limiteur de courant réglable de 500 mA – 3A – 5A – 7A
- au court-circuit

Autres exigences :

- ne pas perturber de manière significative son environnement (la ligne du réseau électrique sur laquelle l'alimentation est branchée, ne pas générer des perturbations électromagnétiques ...)

Option :

- Affichage numérique de la tension
- Protection aux perturbations éventuelles de la tension d'entrée (surtension, fluctuation de tension...)

2. La source d'alimentation en générale

Une alimentation stabilisée est un dispositif électronique, permettant le réglage de la tension et ainsi que le courant nécessaire au fonctionnement d'un appareil électrique. La tension de sortie doit rester stable quelque soit le courant passant dans la charge et les perturbations du réseau. Dans notre cas le courant de sortie ne doit pas être constant mais il ne doit pas dépasser une limite imposée par l'utilisateur.

Pour réaliser notre application, il existe deux techniques de conception :

- Les sources d'alimentation stabilisée à régulation linéaire qui se décompose en :
 - Régulation série
 - Régulation shunt
- Les alimentations à découpage, la régulation est assurée par un composant électrotechnique utilisé en commutation, généralement par transistor.

Toutes deux ont leurs avantages et leurs inconvénients. L'alimentation à découpage est plus compacte et s'utilise essentiellement dans le domaine des puissances élevées. Ci-dessous un tableau récapitulatif des caractéristiques des deux types de conception :

Tableau 1 : caractéristiques détaillées des deux types d'alimentations

Caractéristique	Régulation à découpage	Régulation linéaire
Rendement	65 à 90 %	35 à 55 %
Puissance massique	30 à 200 W/kg	10 à 30 W/kg
Régulation en ligne et en charge	0,5 %	0,01 %
Régulation dynamique : dépassement et durée	± 5 % 1ms	± 1 % 50 us
Ondulation résiduelle	1%	0,1%
Parasites conduits et rayonnés	Nécessité d'un blindage	négligeable
Coût	Elevé	Faible
Poids	Faible - Moyen	Elevé
Bruit R.F	Moyen	Aucun

*Références bibliographiques : [1]

Remarque

Après analyse du *tableau 1*, on peut constater que les caractéristiques les plus intéressantes pour notre projet sont les faibles ondulations résiduelles, le coût, l'absence de parasites et de bruits. Notre choix s'oriente donc vers l'alimentation à régulation linéaire. Celle-ci présente un faible rendement par rapport à la régulation à découpage mais l'objectif n'est pas dans notre cas d'optimiser le rendement.

3. Les différentes étapes d'une source d'alimentation linéaire et leur rôle

Les sources d'alimentation stabilisée à régulation linéaire sont constituées des différents éléments ci-dessous permettant le fonctionnement de l'ensemble.

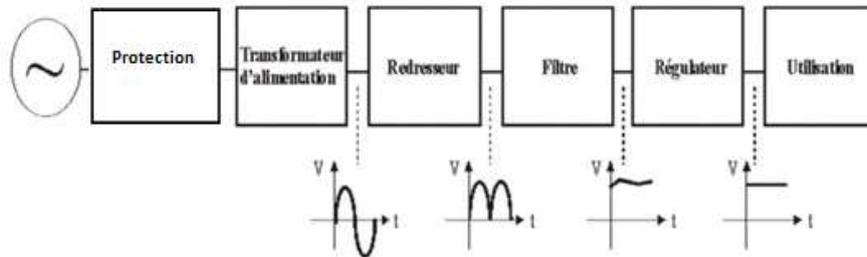


Figure 1: étapes d'une alimentation linéaire

3.1 Le transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement. Le transformateur permet également l'isolement du circuit primaire (secteur) et secondaire (circuit d'utilisation). Donc, le transformateur joue le rôle d'isolation galvanique entre les deux circuits.

Les réseaux de distribution de l'énergie électrique (Electrabel par exemple) fournissent des tensions sinusoïdales dont les valeurs efficaces sont déterminées (230 V, ...) et dont la fréquence est fixe (50 Hz). Les valeurs de ces tensions alternatives conviennent rarement à l'alimentation directe des montages redresseurs. C'est pour cela qu'il est utile d'utiliser un transformateur.

3.1.1 Le circuit magnétique

Un transformateur se compose d'un circuit magnétique qui peut être de différents types.

- Circuit magnétique à tôles d'acier

Il se compose d'un empilement de tôles d'acier à très faible teneur en carbone. Il reste encore aujourd'hui un des circuits magnétiques les plus utilisés. L'inconvénient majeur de ce circuit est l'entrefer créé par l'imbrication des tôles et donc les fuites magnétiques engendrées.

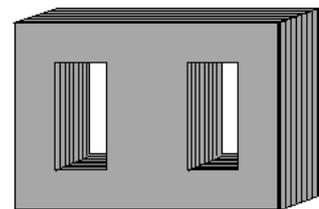


Figure 2: circuit magnétique à tôles d'acier

- Noyaux « C » core

Les circuits coupés se composent d'un enroulement de bande de feuillards en acier. Ces feuillards sont enroulés en forme de tore aplati. Ils sont collés, coupés puis rectifiés pour assurer le minimum d'entrefer. Après introduction des bobinages, les deux parties sont assemblées et maintenue en position par cerclage. Ce type de circuit offre un excellent rendement et permet de réduire nettement l'encombrement par rapport aux solutions à tôles jointes. Les circuits « C » core sont 30% plus petits, 40% plus légers et ont des pertes magnétiques inférieures à 90%.

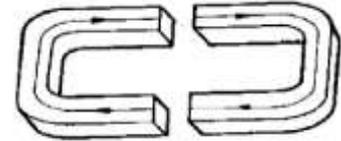


Figure 3: double noyau en C

- Circuit torique

Il est considéré comme un transformateur quasi idéal. Ces circuits possèdent un très faible encombrement et un poids réduit. Ils sont assez « silencieux » au point de vue électromagnétique.

Ils se comparent aux circuits « C » de part leur conception où cette fois les feuillards sont disposés en spirale.

L'avantage de cette forme est la répartition homogène de l'entrefer sur l'ensemble du circuit, donc très peu de fuites magnétiques (faible rayonnement parasite susceptible de perturber les circuits voisins). Pas de vibration des tôles donc pas de gênes acoustiques.

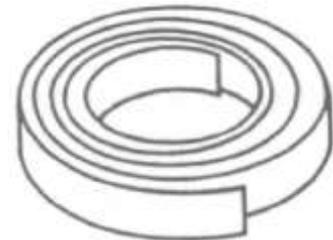


Figure 4: circuit torique

3.1.2 Comparatif

Tableau 2 : caractéristiques des transformateurs

Circuit magnétique	Tôles assemblées	Circuit « C » Core	Circuit torique
Pertes fer (selon puissance)	Moyennes à faibles (selon qualité tôles)	Faibles	Faibles
Rendement (selon puissance)	Elevé (selon qualité tôles)	Très élevé	Très élevé
Bobinage	Facile	Facile	Complexe
Dimensions et poids	Fort	Moyen à faible	Faible
Champ de fuite magnétique	Fort à moyen	Moyen à faible	Faible
Montage du circuit magnétique	Long	Ajustage et serrage par clé dynamométrique	Aucun sert aussi de support de bobinage
Prix de revient	Faible	Moyen	Elevé

*Références bibliographiques : [2]

Remarque

Dans le cadre de notre projet, nous opterons pour la solution torique qui présente plusieurs avantages :

- Encombrement et poids réduit
- Faible rayonnement électromagnétique
- Facilité de montage
- Rendement élevé

3.2 Le redresseur

Permet d'obtenir, en sortie du transformateur d'alimentation, une tension unidirectionnelle pulsée à partir d'une tension sinusoïdale. Il existe plusieurs types de redresseur, nous avons réalisé une étude comparative pour réaliser un choix stratégique.

3.2.1 Comparaison des trois types des redresseurs

Le redresseur simple alternance

- ✓ Pour des puissances faibles
- ✓ Simplicité du montage
- ✓ Un taux d'ondulation très important (121%)
- ✓ Un faible rendement de la conversion alternative/courant continu (40,6%)
- ✓ Un faible taux d'utilisation du transformateur (0,287)
- ✓ Un effet de saturation de l'enroulement secondaire du transformateur, ce qui limite la puissance à la charge
- ✓ Très peu utilisé

Le redresseur double alternance à 2 diodes

- ✓ Un taux d'ondulation de 48,2%
- ✓ Le rendement de la conversion alternative/courant continu (81,2%)
- ✓ Le taux d'utilisation du transformateur est amélioré, sa valeur moyenne pour les 2 enroulements est de (0,693)
- ✓ Il n'y a aucun risque de saturation du transformateur.
- ✓ Par contre, ce montage nécessite un transformateur à point milieu et seul la moitié de l'enroulement est utilisée lors de chaque alternance

Le redresseur double alternance en pont

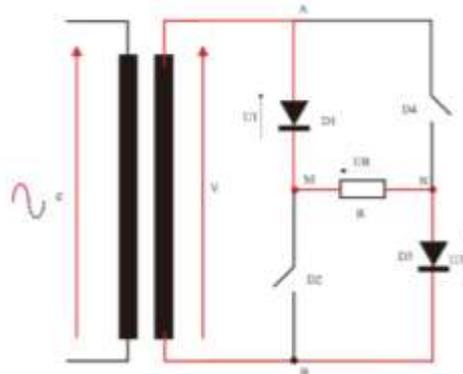
- ✓ Un taux d'ondulation et rendement de la conversion courant alternatif/courant continu sont identiques au montage redresseur à 2 diodes.
- ✓ Le taux d'utilisation du transformateur est augmenté et atteint (0,812)
- ✓ Il n'y a aucun risque de saturation du transformateur.
- ✓ Par contre, ce montage nécessite un transformateur à point milieu et seul la moitié de l'enroulement est utilisée lors de chaque alternance

Remarque

Parmi les trois montages redresseurs monophasés cités ci-dessus, le redresseur double alternance en pont dit « pont de Graëtz » est le plus avantageux et le plus utilisé pour notre application. Il permet d'obtenir une plus grande puissance dans la charge lors de l'utilisation de transformateurs d'alimentation une puissance nominale identique. Il ne nécessite pas l'emploi d'un transformateur à point milieu.

3.2.2 Le redresseur double alternance en pont de Graëtz

Pour réaliser ce redresseur, on utilise 4 diodes montées en pont. Le montage ci-dessous est alimentée par une tension alternative $V(\theta)$. Il existe deux situations possibles soit la tension $V(\theta)$ est supérieure à zéro ou la tension $V(\theta)$ est inférieure à zéro.

Cas ou $V(\theta) > 0$ Figure 5: pont de Graëtz, cas $V > 0$

On constate que D1, D3 et R sont en série et polarisées dans le sens passant.

$$\Rightarrow v = U_1 + U_3 + U_r$$

$$\Rightarrow v = U_1 - U_2 = U_3 - U_4$$

et si D1 et D3 conduisent $U_2 = U_4 = 0$.

$$\Rightarrow U_2 = -v \rightarrow \text{D2 bloqué} \rightarrow i_2 = 0$$

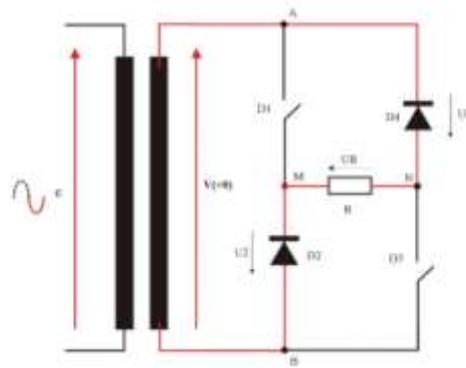
$$\Rightarrow U_4 = -v \rightarrow \text{D4 bloqué} \rightarrow i_4 = 0$$

$$\Rightarrow \text{Donc } IR = i_1 = i_3 = v/R \text{ est positif}$$

$$\Rightarrow \text{On a donc } U_r = v = v_m \times \sin \omega t$$

Dans le cas où la tension d'entrée est positive, D1 et D3 sont passantes. D2 et D4 sont bloquées. Le courant

Cas ou $V(\theta) < 0$

Figure 6: pont de Graëtz, cas $V < 0$

On constate que D2, D4 et R sont en série et polarisées dans le sens passant.

$$\Rightarrow v = -U_2 - U_4 - U_r$$

$$\Rightarrow v = U_1 - U_2 = U_3 - U_4$$

et si D2 et D4 conduisent $U_2 = U_4 = 0$.

$$\Rightarrow U_1 = v < 0 \rightarrow \text{D1 bloqué} \rightarrow i_1 = 0$$

$$\Rightarrow U_3 = v < 0 \rightarrow \text{D3 bloqué} \rightarrow i_3 = 0$$

$$\Rightarrow \text{Donc } I_R = i_2 = i_4 = -v/R \text{ est positif}$$

$$\Rightarrow \text{On a donc } U_r = -v = v_m \times \sin \omega t > 0$$

$$\Rightarrow I_r = U_r/R = -v_m/R \times \sin \omega t = -i_M \times \sin \omega t > 0$$

Dans le cas où la tension d'entrée est négative, D2 et D4 sont passantes. D1 et D3 sont bloquées.

Remarque

Le courant dans la charge est constant dans les deux cas donc U_r conserve un signe constant d'où les alternances positives en sortie du redresseur.

⇒ Représentation de la sinusoïde en entrée $v(\theta)$ et en sortie $u(\theta)$ du redresseur

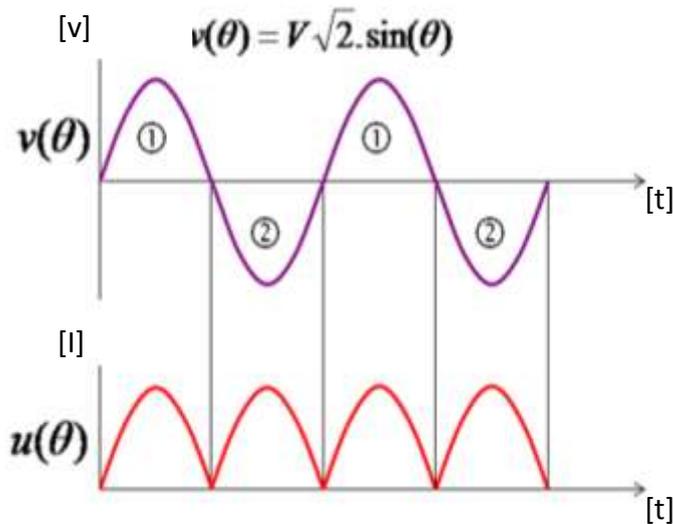


Figure 7: sinusoïdes d'entrée et de sortie du redresseur

1) Cas où $V(\theta) > 0$

2) Cas où $V(\theta) < 0$

$$u(\theta) = v(\theta)$$

3.2.3 Calcul divers

Tension inverse de crête :

$$\Rightarrow V_{Dinv} = V_{max} \quad (1)$$

Tensions et courants de sortie

Valeur de crête de la tension max :

$$\Rightarrow V_{max} = \sqrt{2} \times V_{eff} \quad (2)$$

Valeur de crête du courant circulant dans la charge :

$$\Rightarrow I_{max} = V_{max} / R_{charge} \quad (3)$$

Valeur moyenne

Valeur moyenne de la tension redressée à vide :

$$\Rightarrow V_{moy} = \frac{2 V_{max}}{\pi} = 0,636 \times V_{max} \quad (4)$$

Lorsqu'un courant traverse la charge :

$$\Rightarrow V_{moy} = \frac{2 V_{max}}{\pi} - (I_{moy} \cdot R_{charge}) \quad (5)$$

Valeur moyenne du courant redressé dans la charge :

$$\Rightarrow I_{moy} = \frac{2 I_{max}}{\pi} = 0,636 \times I_{max} \quad (6)$$

La valeur moyenne du courant redressé traversant chaque diode est égale à la moitié de celle circulant dans la charge :

$$\Rightarrow I_{\text{moyDiode}} = \frac{I_{\text{moyR}}}{2} \times \frac{0,636 \times I_{\text{max}}}{2} \quad (7)$$

Valeur efficace

$$\Rightarrow V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$\Rightarrow I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Valeur d'ondulation

$$\Rightarrow V_{\text{eff}} = 0,307 \times V_{\text{max}} \quad (10)$$

Dans le cas d'une charge résistive :

$$\Rightarrow V_{\text{eff}} = 0,307 \times \frac{V_{\text{max}}}{R} \quad (11)$$

Fréquence de l'ondulation :

$$\Rightarrow f = 2 \times f_{\text{source alimentation}} \quad (12)$$

Facteur d'utilisation du transformateur d'alimentation (F.U.T) :

$$\Rightarrow \text{F.U.T} = \frac{\text{Puissance moyenne en courant continu}}{\text{Puissance efficace en courant alternatif}} \quad (13)$$

$$\Rightarrow \text{F.U.T} = \frac{V_{\text{moy}}^2}{R} \times \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = \left(\frac{1}{f}\right)^2 \quad (14)$$

3.3 Le filtrage

Le filtre permet d'obtenir une tension continue sensiblement constante à partir de la tension pulsée fournie par le redresseur. La tension pulsée fournie par l'étage redresseur comprend une composante continue à laquelle est superposée une composante alternative. Le rôle du filtre est de bloquer ou tout du moins, de fortement réduire la composante alternative.

3.3.1 Filtre réseau

Il est parfois intéressant de disposer d'un filtre réseau avant le régulateur. Celui-ci a pour but de ne pas induire des perturbations dans le réseau engendré par notre régulateur. Cependant dans notre cas vu les puissances mises en jeu, ce type de dispositif n'est pas nécessaire.

3.3.2 Filtre capacitif

Un filtre capacitif consiste en un condensateur C placé en parallèle avec une résistance de charge R et permet d'obtenir une tension constante. Ce filtre est de loin le plus utilisé dans les alimentations d'équipements et les alimentations de laboratoire.

Fonctionnement du filtre capacitif dans le cas du redresseur double alternance

Lors de l'alternance positive, la borne A est positive par rapport à la borne B, le condensateur de filtrage se charge jusqu'à la tension V_{max} , à travers la diode D1 et D2 durant l'intervalle de temps $t_2 - t_3$. Au temps t_3 , les diodes D1 et D2 sont bloquées de sorte que le condensateur se décharge dans la résistance de charge selon la constante de temps RC du circuit durant l'intervalle de temps $t_3 - t_4$. A partir du temps t_4 , la borne B étant positive par rapport à la borne A, les diodes D3 et D4 laissent passer le courant et recharge le condensateur durant l'intervalle de temps $t_4 - t_5$. Le cycle continue ensuite de la même manière.

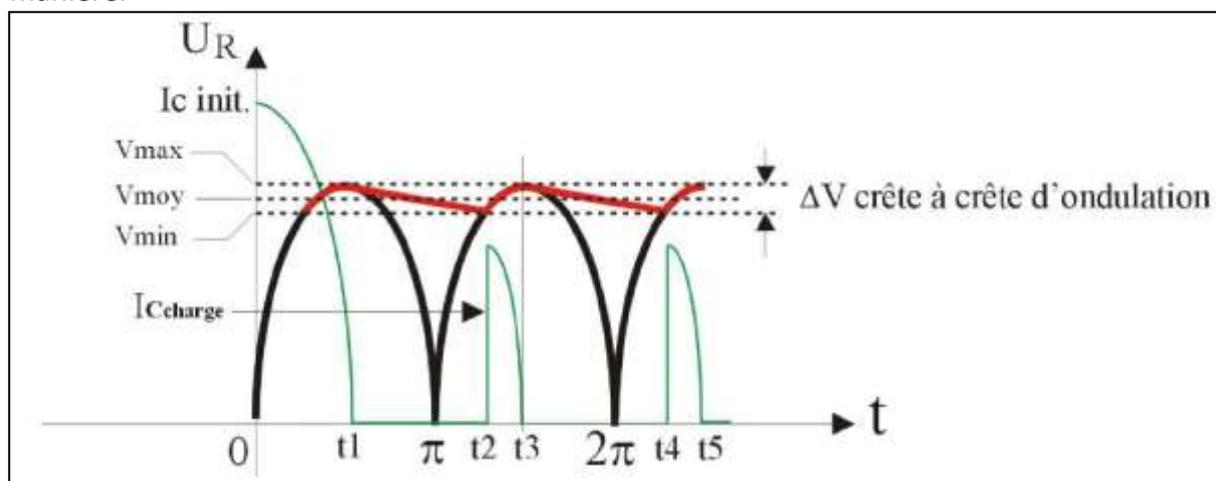


Figure 8: utilité du filtre capacitif

$$V_{moy} = V_{max} \left(1 - \frac{1}{4RCf}\right)$$

$$\text{Facteur d'ondulation } r = \frac{1}{4RCf\sqrt{3}}$$

3.3.3 Filtre inductif

Le filtre inductif le plus simple consiste en une inductance (ou bobine de lissage) placée en série avec la charge qui permet d'obtenir un courant constant.

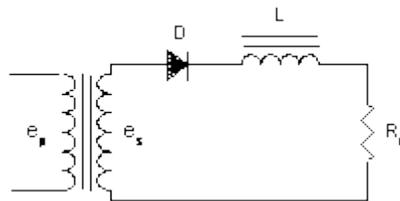


Figure 9: représentation la plus simple d'un filtre inductif

Il utilise la propriété des inductances de s'opposer à toute variation du courant qui les traverse. Placée en série, l'inductance oppose donc une forte résistance au passage du composant alternatif. Ceci contribue à diminuer la tension d'ondulation.

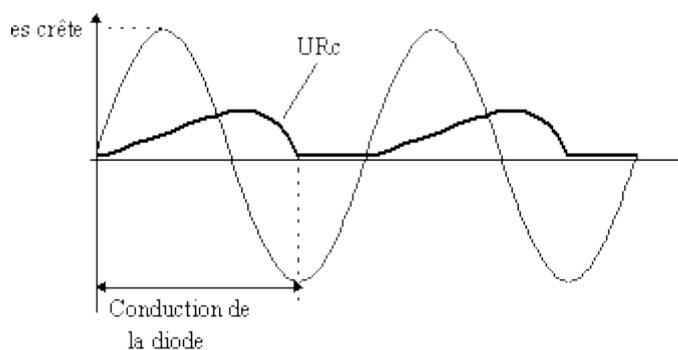


Figure 10: fonctionnement du filtrage

Le courant dans la charge atteint son maximum après celui de la tension de e_s . Le courant se prolonge après l'inversion de la source d'alimentation lorsque la bobine restitue l'énergie qu'elle avait emmagasinée. La durée de ce débit augmente avec la constante de temps L/R_c .

Remarque

En ce qui concerne le choix du type de filtre, nous nous orienterons vers un filtre capacitif. Celui-ci permet d'obtenir une tension constante qui est l'objectif de notre alimentation linéaire.

3.4 La régulation

Les composants déjà décrits (transformateur, redresseur et filtre) nous permettent de réaliser une alimentation continue. Cependant cette dernière aurait des performances médiocres d'un point de vue « continuité » de la tension, hors ici c'est exactement ce qui nous intéresse. Ce qui justifie l'emploi d'un dispositif qui va justement palier à ce problème : le régulateur ou le stabilisateur de tension.

3.4.1 Classification

Que se soit l'un ou l'autre dispositif que l'on utilise, on a bien compris que leur but premier est de maintenir une tension constante aux bornes d'une charge ; c'est la façon d'y parvenir qui diffère. Le stabilisateur emploie les propriétés non linéaires de divers composants tels la diode Zener pour minimiser la variation de tension. Contrairement au régulateur qui est un système bouclé ce qui permet d'avoir un feedback de la tension de sortie pour une régulation très précise de cette dernière.

Stabilisateur

Avantages	Inconvénient
méthode élémentaire et facile	utilisable qu'avec des courants assez faibles

Régulateur

Avantages	Inconvénient
performances supérieures (même à débit élevé)	plus complexe
il existe des CI spécialisés qui facilitent beaucoup le travail de l'utilisateur	

A la simple vue de ces quelques avantages et inconvénients, il est facile de comprendre que nous emploierons un régulateur de tension pour notre système.

Deux mises en œuvres du régulateur son possibles : le régulateur linéaire ou à découpage.

La régulation linéaire

Le régulateur linéaire emploie un transistor en tant qu'amplificateur pour réguler la sortie en fonction de l'entrée. Il peut être placé en série ou en parallèle avec la charge. La configuration série est de loin la plus utilisée, nous ne considérerons donc que cette dernière.

Le transistor produit une chute de tension entre l'entrée et la sortie via un amplificateur d'erreur qui va comparer une valeur de référence à une fraction de cette tension de sortie.

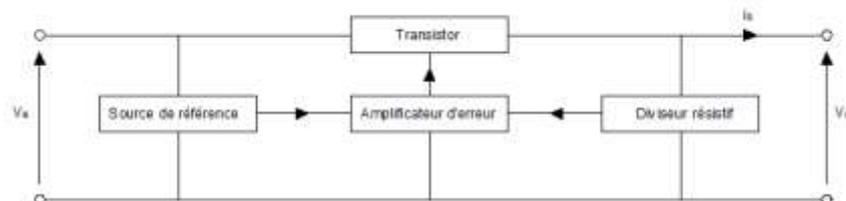


Figure 11: Principe d'un régulateur linéaire

La chute de tension au transistor sera donc modifiée en fonction des variations de tension en entrée. Le problème ici est qu'une puissance importante va être perdue : $P=(v_e-v_s).i_s$. Le rendement du régulateur linéaire n'est en fait fonction que (si on néglige la consommation propre du régulateur) de la tension de sortie et de celle d'entrée. Il faudra donc trouver des tensions suffisantes pour permettre une bonne régulation mais pas trop différentes pour éviter une trop grande chute de tension et donc un rendement médiocre.

Le régulateur à découpage quant à lui, va hacher la tension d'entrée (continue) par un commutateur électronique, puis filtré par un circuit LC. Si L et C sont suffisamment grands, la tension de sortie sera presque parfaitement continue et pourra être réglée en modifiant la vitesse de commutation. La régulation s'effectue donc en gérant les commutations (générateur de commande) avec une nouvelle fois une comparaison entre la tension de sortie et une référence.

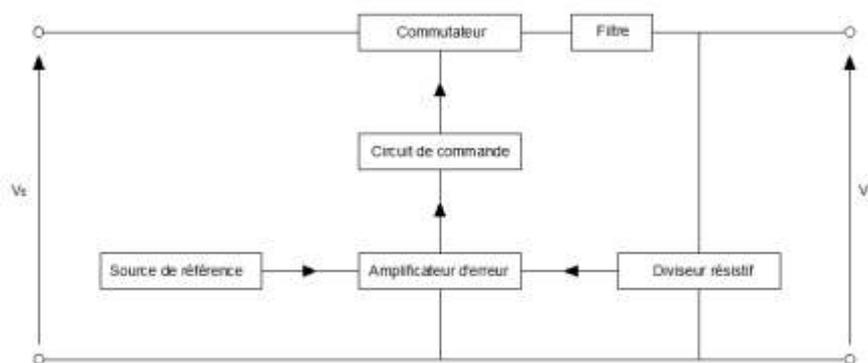


Figure 12: Principe d'un régulateur à découpage

Régulateur linéaire

Avantages	Inconvénient
bonne régulation par rapport aux variations de charge	rendement très vite mauvais
rapidité de réponse (régulation rapide)	puissance perdue importante
faible ondulation résiduelle	

Régulateur à découpage

Avantages	Inconvénient
indispensable pour les petites et moyennes puissances	rapidité de réponse moins bonne que le linéaire
	ondulation résiduelle plus élevée que le linéaire
	création de parasites et de perturbations
	circuit de commande un peu plus complexe

Dans notre cas (alimentation stabilisée de laboratoire) ce qui nous intéresse est d'avoir une tension la plus stable possible en sortie en fonction de la charge qu'on lui impose mais aussi le moins possible de bruits ou perturbations quelconques. De plus, pour une puissance maximale nécessaire de $15 \times 7 = 105W$ (faible puissance) nous pouvons faire le choix d'un régulateur linéaire qui sera plus performant d'un point de vue « pureté de la tension ».

3.4.2 Grandeurs caractéristiques

Certaines caractéristiques peuvent être chiffrées afin de déterminer les qualités d'un régulateur de tension.

Si on considère un régulateur de tension comme un quadripôle :



Figure 13: conventions de signe

Le taux de rejet d'ondulation (K) est très important car il permet de se contenter d'une faible capacité pour le filtrage qui précède le régulateur.

$$k = 20 \log \frac{\Delta v_e}{\Delta v_s}$$

4. Protection de l'alimentation de laboratoire

La conception de l'alimentation doit être protégée contre les défauts électriques. Il existe divers moyens de protection permettant d'assurer une sécurité optimale en cas de défaut. Pour ce faire, il faut comprendre les différents défauts possibles. Il existe deux grandes catégories de défauts :

- L'élévation anormale de l'intensité absorbée par un circuit et donc une élévation de la température. Ce sont les surintensités, elle concerne les surcharges et les courts-circuits.
- Les fluctuations ou les perturbations des niveaux de tension et des harmoniques de courant.

4.1 Protections contre les surintensités

4.1.1 Les fusibles

Lors de la mise sous tension de l'alimentation ou lors de variation brusque de la charge, l'alimentation risque de subir une pointe de courant importante. Le dimensionnement du fusible est assez complexe car s'il est trop rapide, il risque de fondre à la mise sous tension. Et s'il est trop lent, il risque d'endommager les composants en aval lors d'un court-circuit. Le fusible est nécessaire mais n'est pas suffisant pour protéger l'ensemble de l'installation. Lors du dimensionnement du fusible, il faut tenir compte d'un facteur de sécurité de 1,25. La valeur du courant maximal du fusible doit être environ $1,25 \times$ le courant demandé normalement par la charge.

Pour améliorer la protection de l'ensemble, on placera le fusible au circuit primaire du transformateur. La surcharge sera stoppée par le fusible. Il est cependant conseillé d'utiliser un fusible à fonte lente à cause de la surintensité lors de la mise en fonction de l'appareil.

Sélection : Fusible à fonte lente au primaire du transformateur

4.1.2 Protection par limitation de courant

Le régulateur doit supporter les courants de court-circuit, mais il faut limiter l'intensité de ces courants de court-circuit. Cette limitation permet de protéger les circuits intégrés du régulateur. Dans notre cas, le régulateur est en série avec la charge donc il faut prévoir un circuit supplémentaire de limitation. Les circuits intégrés comportent systématiquement cette protection. Dans le cas où l'on réalise le limiteur de courant à l'aide d'élément séparé ou si un transistor externe est ajouté au régulateur intégré, il faut prévoir un circuit supplémentaire de limitation.

4.1.2.1 Limiteur à courant constant

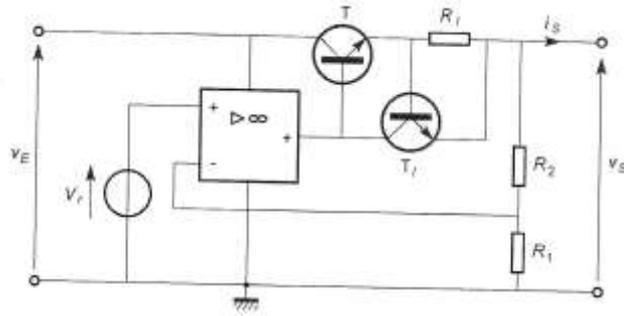


Figure 14: limiteur à courant constant

On utilise une résistance R_1 qui détecte le courant. Lorsque l'intensité traversant la résistance atteint une certaine valeur, la tension aux bornes de R_1 devient égale à la tension de seuil de conduction du transistor T_1 . Celui-ci devient passant et dévie une partie du courant de base du transistor T . Le courant de sortie est égale à :

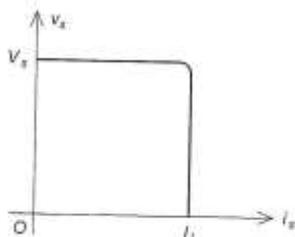


Figure 15: courbe du courant de sortie

$$I_1 = \frac{V_{be1}}{R_1}$$

Le courant de sortie est constant et on fixe sa valeur à l'aide de R_1 . Inconvénient, il provoque une dissipation de puissance élevée.

4.1.2.2 Limiteur par délestage

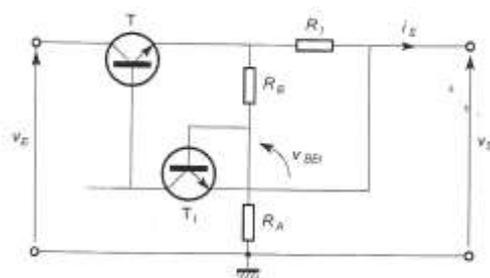


Figure 16: limiteur par délestage

Le principe est le même que pour le limiteur à courant constant. La tension de seuil, n'est plus donnée par la résistance R_1 , c'est le pont diviseur formé par R_A et R_B qui fixe cette tension.

4.2 Protection contre les surtensions

Le but de ce système est ici de protéger la charge (souvent sensible aux surtensions dans les applications de labo) d'une éventuelle surtension due au claquage de divers composants amont ou une fausse manœuvre de l'opérateur.

4.2.1 Principe

La détection de la surtension se fait par comparaison entre la tension d'entrée et une référence. Dès qu'on se trouve en présence d'un défaut, la charge est court-circuitée par un thyristor.

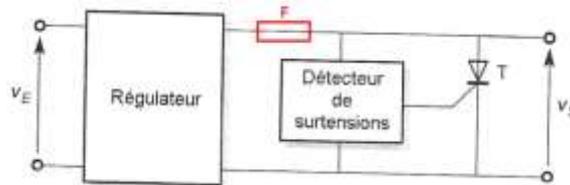


Figure 18: principe de détection des surtensions

A partir du moment où le thyristor conduit, le courant va nous être imposé par le circuit de limitation d'intensité. Au cas contraire, on ajoute un fusible rapide à la sortie du régulateur (F rouge sur la figure 18).

Il est également possible de placer le thyristor en aval du régulateur, ce qui a pour avantage de le déconnecter. Une résistance peut alors être placée en série avec le thyristor afin de limiter le courant de court-circuit s'il ne l'est pas déjà suffisamment par les autres dispositifs.

4.2.2 Détecteur à diode Zener

La tension de sortie va ici fixer la valeur de la tension nominale de notre Zener (égale ou légèrement supérieure). Le thyristor reste bloqué tant que la Zener est bloquée et donc que aucun courant ne traverse la résistance R. Si une surtension survient, la Zener devient passante et développe une tension suffisante pour rendre le thyristor passant, ce qui permet donc de court-circuiter notre charge et donc sa protection.

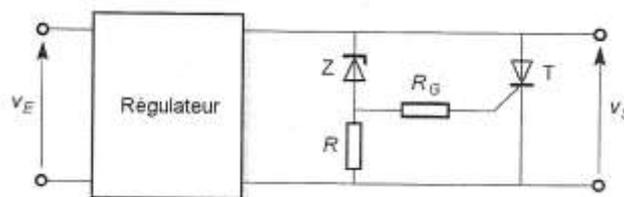


Figure 19: détecteur à diode Zener

Avantages	Inconvénient
Le plus simple	Performances médiocres
	Peu sensible
	Pas d'ajustage précis possible

4.2.3 Détecteur à diode Zener et amplificateur opérationnel

L'amplificateur opérationnel va nous permettre d'améliorer la sensibilité du dispositif par une comparaison beaucoup plus sensible avec la tension de sortie.

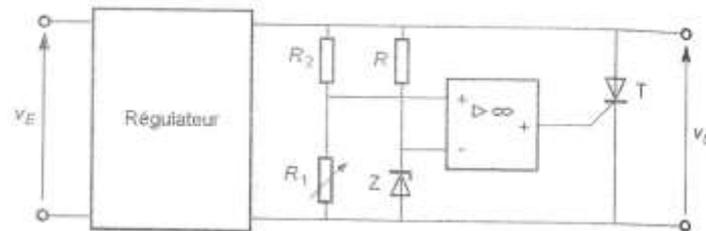


Figure 20: détecteur à diode Zener et amplificateur opérationnel

On voit ici le potentiomètre R1 qui va nous permettre de fixer un seuil beaucoup plus précis que dans le cas précédent.

4.2.4 Circuit intégré spécialisé

En plus des deux systèmes déjà présentés, il existe des circuits intégrés spécialement conçus pour détecter les surtensions.

Le CI le plus souvent renseigné dans les livres et sur internet est le MC3423, c'est donc ce dernier que nous allons développer ici.

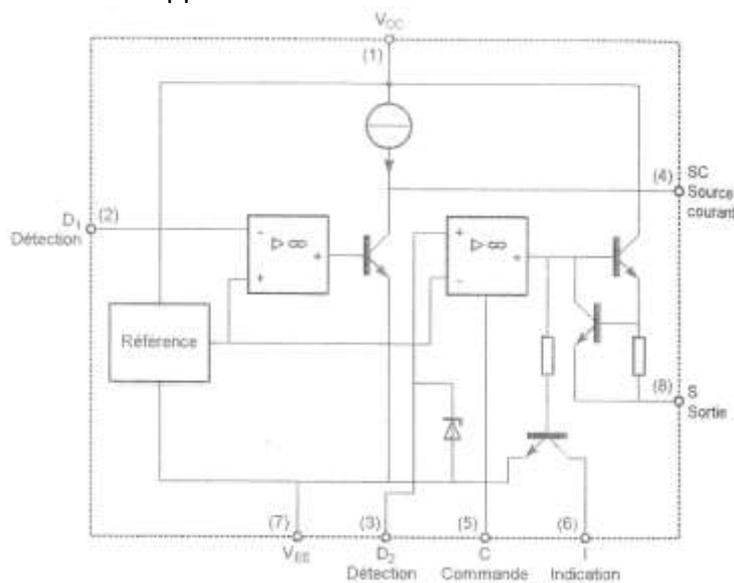


Figure 21: schéma fonctionnel du circuit intégré MC3423

Il est pourvu d'une source de référence de 2,6v, deux comparateurs et une sortie à fort courant. Une sortie d'indication (6) signale l'action de la protection (ce qui nous permettra de signaler son action en allumant une LED par exemple) et une entrée (5) permet également de le commander « manuellement ». Une durée minimale du déclenchement de la surtension peut également être donnée en ajoutant un condensateur.

Dans la configuration ci-dessous, le seuil de déclenchement est donné par :

$$v_{Sl} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_r$$

R1 doit être inférieure à 10kΩ afin de minimiser la dérive du système.

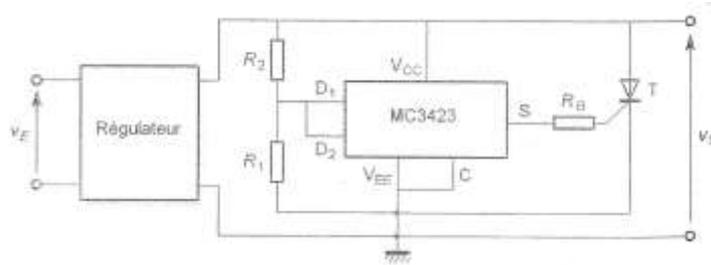


Figure 22: application de base du MC3423

La tension à la sortie de notre régulateur de tension (V_{cc} - V_{ee} sur le schéma ci-dessus) peut être comprise entre 5 et 36V (ceci convient donc pour notre alimentation). La résistance R_G qui relie la sortie de commande du MC3423 à la gâchette du thyristor est déterminée par la courbe suivante :

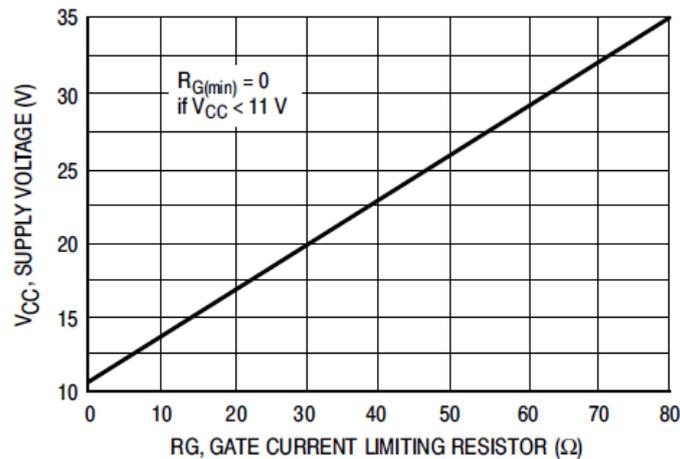


Figure 23: courbe permettant le choix de la résistance minimale de gâchette

Comme nous l'avons déjà introduit, il est possible de réaliser le déclenchement après une certaine durée de surtension. Pour cela nous ajoutons un condensateur au montage initial comme ci-dessous.

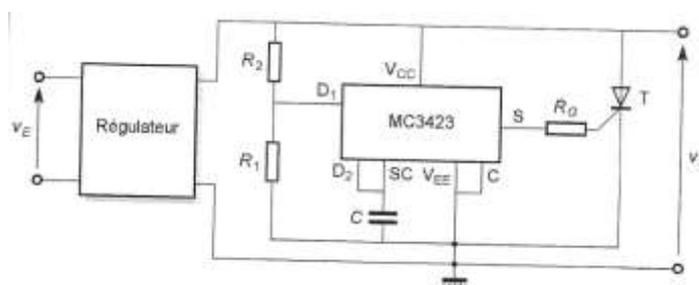


Figure 24: retard de déclenchement

La durée minimale de surtension conduisant à un déclenchement est : $t_r = \frac{C V_r}{I}$

On peut donc trouver la valeur de C : $C = \frac{I \cdot t_r}{V_r}$

Du fait que de brèves surtensions parasites peuvent se produire dans l'environnement de notre alimentation, on peut accepter une durée minimale de la surtension d'environ $10\mu\text{s}$.

En vue de toutes les possibilités que nous offre un circuit intégré comme le MC3423 nous avons décidé de réaliser la protection contre les surtensions de notre système avec ce genre de montage.

5. Choix des principes techniques pour la conception

Ci-dessous un tableau récapitulatif en ce qui concerne le choix de la technologie déterminée précédemment pour s'orienter vers la conception d'une alimentation « idéal » de laboratoire.

Élément constituant l'alimentation	Sélection après analyse détaillée
L'alimentation	- Alimentation stabilisée à régulation linéaire
Le transformateur	- Circuit torique
Le redresseur	- Double alternance en pont de Graëtz
Le filtrage	- Capacitif
Le régulateur	- Linéaire en série avec la charge
Protection de l'alimentation	- Un fusible à fonte lente au primaire du transformateur - (Limiteur de courant par délestage) - Protection contre les surtensions via un circuit intégré (tel que le MC3423)

6. Schéma de principe de l'installation

D'après notre état d'avancement, nous pouvons établir le schéma bloc suivant :

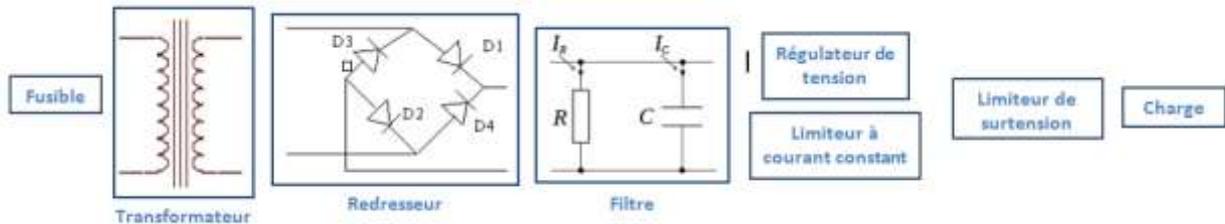


Figure 25: schéma bloc