

GENERER UNE TENSION CONSTANTE ALIMENTATIONS STABILISÉES

I/ INTRODUCTION ET RAPPELS

Le système de distribution électrique en France géré par Electricité de France assure la distribution d'une tension alternative sinusoïdale périodique de 240V efficace sous une fréquence de 50Hz.

Pourtant de nombreux équipements électriques nécessitent une alimentation en très basse tension (La limite de la TBT d'après la norme UTEC18510 est _____ V) sous une tension continue constante.

Pour rendre ces deux contraintes compatibles, il est nécessaire d'utiliser des structures d'abaissement et de régulation de tension.



Le courant électrique : un courant continu est tel que les particules électriques ne changent jamais de sens.

Le courant alternatif : un courant alternatif est tel que les particules changent de sens dans le conducteur. Si le changement se fait toujours de la même manière en fonction du temps, on dit que le courant est alternatif et périodique.

Sur les systèmes d'axe ci-contre, tracer un signal continu puis un signal alternatif :

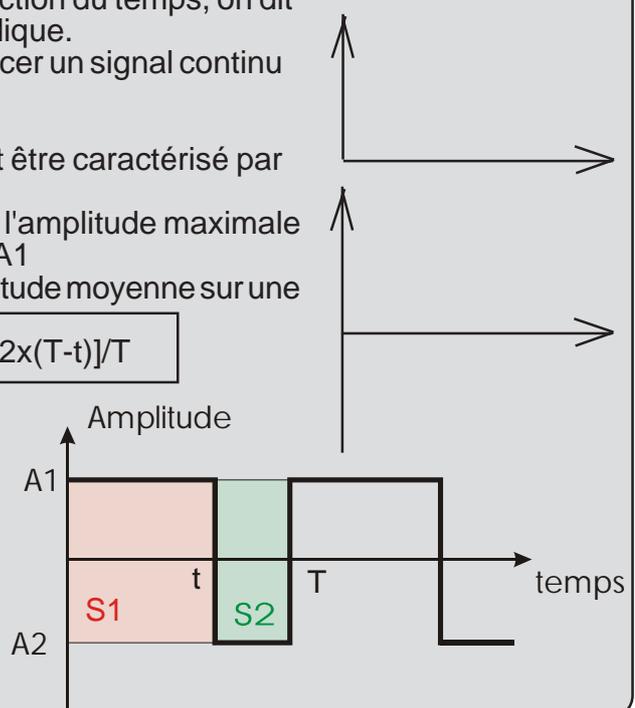
Un signal électrique périodique peut être caractérisé par plusieurs valeurs :

-Valeur maximale : il s'agit de l'amplitude maximale que peut prendre le signal. Ici A1

-Valeur moyenne : c'est l'amplitude moyenne sur une période soit

$$A_{\text{moy}} = [A_1 \times t + A_2 \times (T-t)] / T$$

-Valeur efficace : si un signal périodique d'amplitude A1 provoque un dégagement calorifique °C dans une résistance R, ce signal aura une valeur efficace Aeff telle qu'une tension constante de valeur Aeff provoque le même dégagement de chaleur.



$$A_{\text{eff}} = \sqrt{[A_1^2 \times t + A_2^2 \times (T-t)]/T}$$

-Période : c'est le temps au bout duquel un signal se reproduit identique à lui même. Ici T. La période est exprimée en secondes (unité MKSA)

-Fréquence : il s'agit du nombre de fois qu'un signal se reproduit identique à lui même en une seconde. C'est donc l'inverse de la période

$f=1/T$. Son unité est le Hertz (Hz).

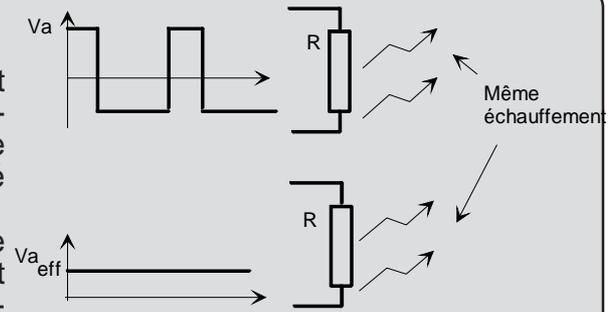
-Rapport cyclique (Duty cycle) : c'est le rapport entre le temps à l'état haut du signal et la période.

$$\tau=t/T$$

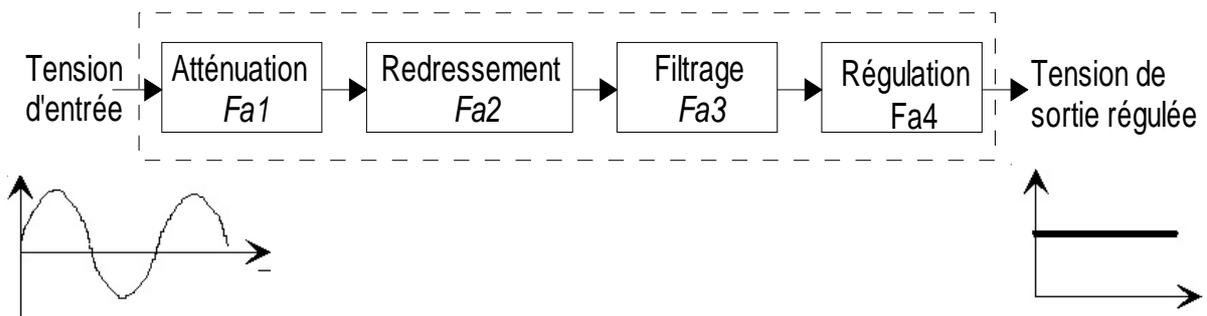
Le rapport cyclique est généralement exprimé en pourcentage.

-Générateur de tension : il s'agit d'une source qui délivre une énergie électrique sous une tension constante mais avec un courant qui varie selon la charge ($I=U/R$)

-Générateur de courant : il s'agit d'une source qui délivre une énergie électrique sous un courant constant mais avec une tension qui varie selon la charge ($U=I \times R$)



II/ STRUCTURE D'UNE ALIMENTATION STABILISÉE



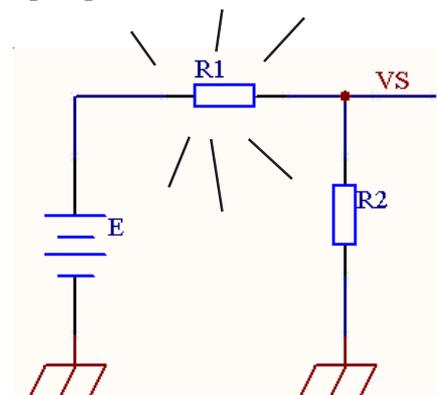
Les fonctions secondaires associées sont au nombre de quatre :

- **Atténuation** : assure la réduction de la tension en limitant les pertes énergétiques
- **Redressement** : transforme la tension alternative en tension continue
- **Filtrage** : supprime ou atténue les composantes fréquentielles de la tension afin de s'approcher d'une tension stable
- **Régulation** : assure une tension constante et stable en sortie quelque soit la variation de la tension d'entrée (régulation amont) ou de la charge (régulation aval).

III/ FONCTION ATTÉNUATION

La première idée qui vient à l'esprit, quand on cherche à atténuer une tension, est d'utiliser un ensemble de résistances (un pont diviseur de tension).

$$V_s = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



Mais malheureusement cette solution n'est pas exploitable si les tensions et les courants mis en oeuvre sont importants.

En effet, si $E=230V_{eff}$ et $V_s=12V$, la puissance dissipée par la résistance R_1 serait :

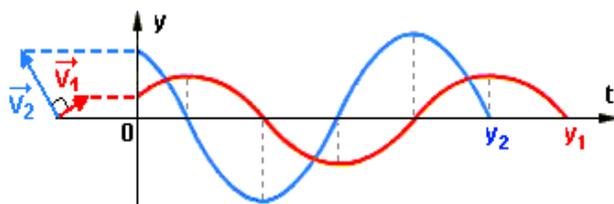
$P = (E - V_s).I$ soit $P=(230 - 12V).I$ soit plus de 200W si le courant est de 1A.

III.1/ Atténuation par condensateur

Le problème évoqué précédemment rencontre une solution lorsque l'on remplace R_1 par un condensateur. En effet, un condensateur s'oppose au passage du courant lorsque celui-ci est alternatif. Son impédance a pour valeur $Z_c=1/(2.\pi.f.C)$.



Application : si $f=50Hz$, $C=1\mu F$ alors $Z_c=$ _____ Ω



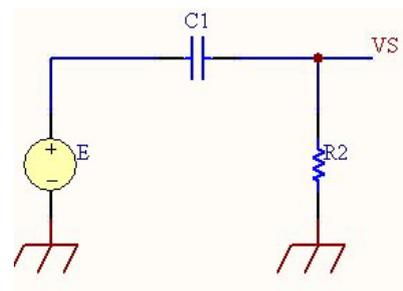
Par ailleurs, dans un condensateur, le courant I est déphasé de 90° par rapport à la tension. Donc face à une tension alternative, si celle-ci est maximale, le courant est nul dans le condensateur. Il est donc possible d'utiliser cette structure lorsqu'on souhaite disposer à faible coût d'un limiteur de tension alternative.



Cette structure est-elle utilisable en courant continu ? Pourquoi ? _____

Plus la valeur du condensateur est importante et plus le courant dans la charge peut être élevé.

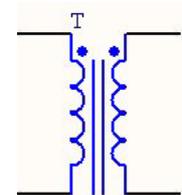
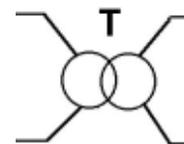
$$I = 70000.C$$



Exemple : si I doit être de 100mA, C_1 doit avoir la valeur _____

III.2/ Atténuation par transformateur

C'est la solution la plus courante. Un bobinage primaire est enroulé sur un circuit magnétique et produit un flux d'induction magnétique. Le bobinage secondaire, soumis à ce flux magnétique génère une tension proportionnelle



-à la tension primaire

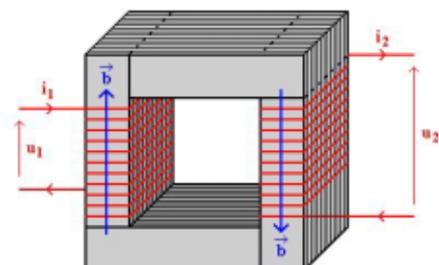
-au rapport du nombre de spires au secondaire et du nombre de spires au primaire.

$$U_2/U_1 = N_2/N_1 = I_1/I_2$$

Compte tenu des pertes (thermique, magnétiques...) cette relation est une approximation mais l'excellent rendement des transformateurs la rend tout à fait fidèle.

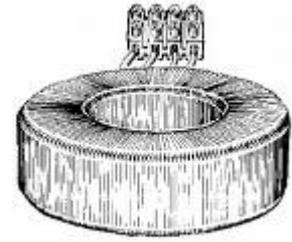
CHOIX D'UN TRANSFORMATEUR

Un transformateur se choisit en fonction de la tension secondaire qu'il doit délivrer mais aussi de la puissance.



On donne généralement la puissance apparente en VA : $P_{\text{apparente}} = U_s \times I_s$

Pour des applications audiophoniques, on prend généralement des transformateurs toriques beaucoup plus chers, mais pour lesquels les pertes magnétiques sont très faibles.



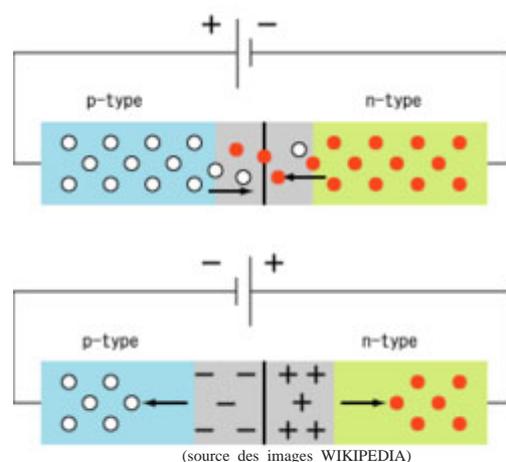
IV/ REDRESSEMENT

IV.1/ La diode

La diode est un dipôle constitué d'un semi-conducteur dopé N et d'un semi-conducteur dopé P formant ainsi une jonction dite "jonction PN". Deux branchements sont possibles :

En direct : le bloc P est branché à la borne + du générateur et le bloc N à la borne -. les électrons vont circuler de la région N vers la région P et les trous de la région P vers la région N. Le courant circule donc. On dit que la diode est passante.

En inverse : les porteurs de charge mobiles sont attirés vers les connexions extérieures par la présence de charges électriques de l'alimentation. Aucun courant ne circule. On dit que la diode est bloquée.



Il existe différentes types de diodes. Parmi les plus utilisées citons :

- **Les diodes de redressement :** elles permettent de redresser une tension (c'est ce qui nous intéresse ici). Elles tolèrent donc des courants directs élevés.
- **Les diodes de signal (ou de commutation) :** utilisées plutôt pour la mise en forme de signaux de faibles puissance (protection, portes logiques câblées, etc...)
- **Les diodes zener :** on les verra plus loin. Elles permettent de stabiliser une tension.
- **Les diodes Schottky :** utilisées pour leur rapidité de commutation et pour leur faible tension de seuil.
- **Les photodiodes :** il s'agit de capteurs de lumière
- **Les diodes électroluminescente (DEL ou LED) :** on les utilise pour émettre de la lumière (indicateur lumineux, barrière optique, etc...)

IV.2/ Caractéristiques de la diode de redressement

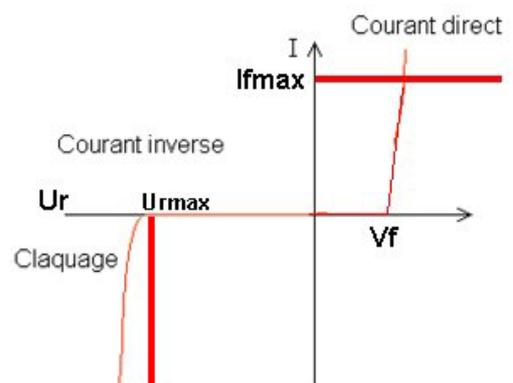
L'allure de la diode de redressement est la suivante :

La diode présente une tension de seuil à coefficient de température négatif de l'ordre de 0,7V. Si la température augmente cette tension baisse et réciproquement.

$$V_f = 0,7V \text{ en moyenne}$$

Elle présente également une résistance de faible valeur lorsqu'elle est passante :

$$R_d = \Delta V_f / \Delta I_f$$



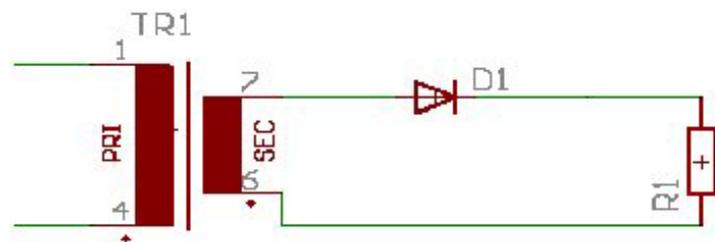
- V_{RRM} : **Tension inverse de pointe répétitive** : valeur maximale instantanée de la tension inverse. Cette valeur peut être appliquée à chaque période mais elle est à la limite des possibilités de la diode. Actuellement, pour certaines diodes cette limite V_{RRM} atteint 2000V.
- V_{RM} : **Tension maximale inverse de service** : c'est la valeur précédente divisée par un coefficient de sécurité K auquel on donne souvent la valeur 2.
- I_R : **Courant inverse** : c'est la valeur instantanée maximale qui, pour la tension V_{RRM} , correspond à la température maximale de jonction. Ce courant peut atteindre quelques milliampères.
- I_{FRM} : **Courant direct moyen maximal** : C'est le maximum admissible pour la valeur moyenne du courant direct; cette valeur étant calculée sur une période avec un redressement monophasé simple alternance et une charge résistive. Actuellement pour certaines diodes cette valeur peut atteindre 2000A
- I_F : **Courant direct moyen de service** : C'est la valeur précédente divisée par un coefficient K généralement de 2
- **Température maximale de jonction** : pour une diode au silicium elle est de 200°C.
- **Temps de commutation** : C'est le temps que met la diode pour passer de la valeur I_F à 0A. Il est en général de quelques ns

IV.3/ Redressement Mono-alternance

Le redressement le plus simple se fait avec une seule diode

Son montage est le suivant :

Seule une alternance de la tension alternative issue du transformateur se retrouve aux bornes de la charge:



En sens inverse la diode est soumise à une tension égale à la tension maximale d'alimentation.



Compléter les chronogrammes ci-contre :

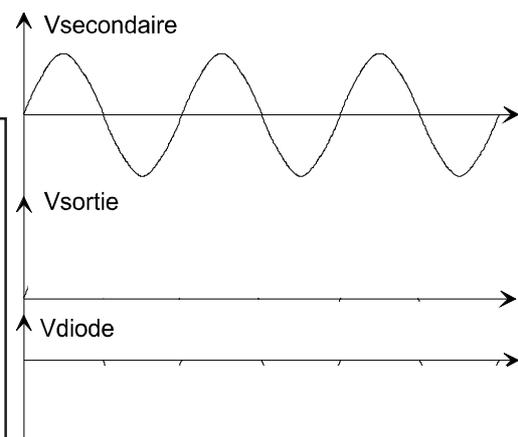
La valeur moyenne de la tension de sortie est :

$$V_{moy} = V_{max} / \pi$$

La valeur efficace est :

$$V_{eff} = V_{max} / 2$$

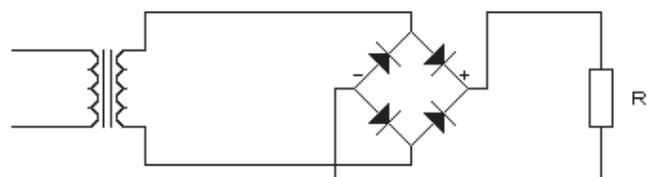
La tension inverse maximale de la diode est V_{max}

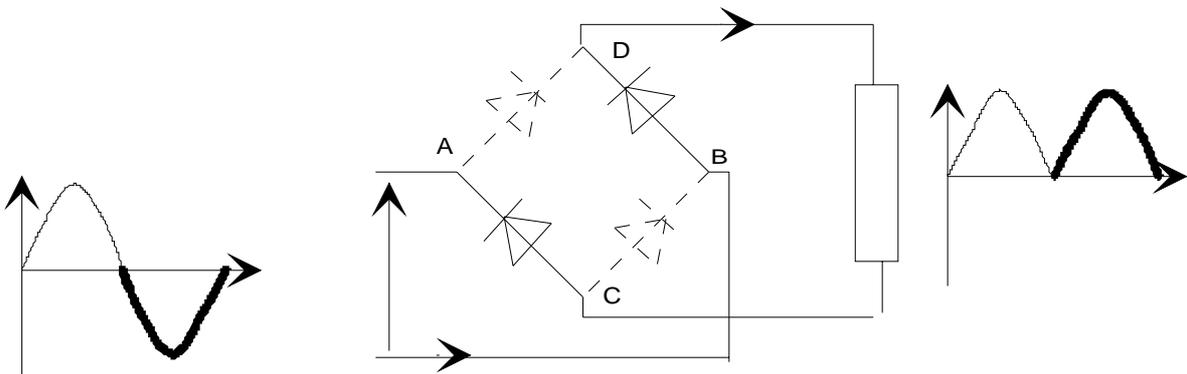
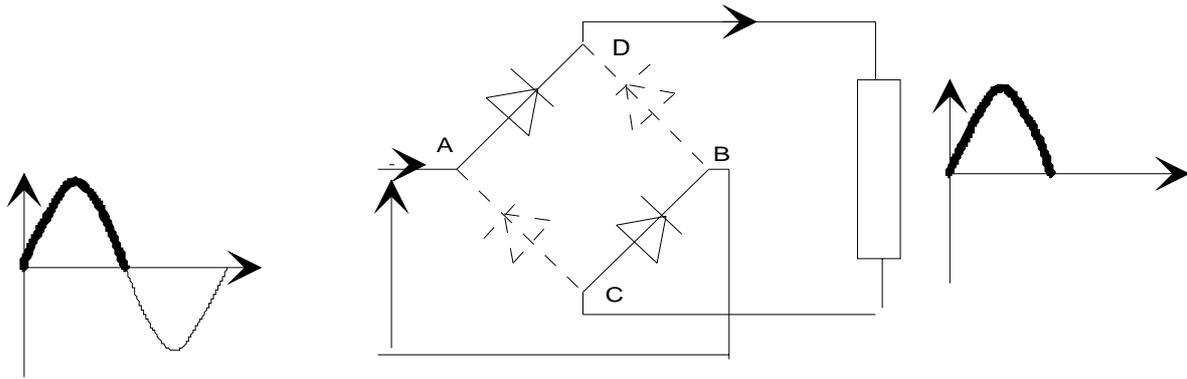


IV.4/ Redressement double alternance

IV.4.1/ Par pont de Graetz

Le pont de Graetz constitué de quatre diodes permet de réaliser un redressement double alternance. Les diodes sont passantes deux à deux.





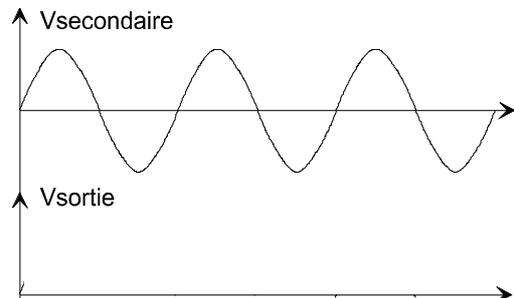
Donner l'allure de la tension aux bornes de la résistance



Indiquer dans les différentes alternances les diodes



passantes



La valeur moyenne de la tension de sortie est :

$$V_{moy} = 2 \cdot V_{max} / \pi$$

La valeur efficace est :

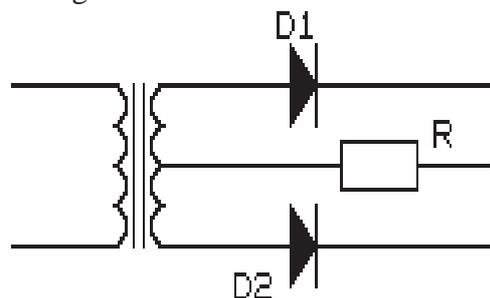
$$V_{eff} = V_{max} / \sqrt{2}$$

La tension inverse maximale de la diode est V_{max}

IV.4.1/ Par transformateur à point milieu

L'utilisation d'un transformateur à point milieu permet également de réaliser un redressement double alternance avec seulement deux diodes.

L'inconvénient majeur de cette structure est que les diodes doivent supporter une tension inverse deux fois supérieure à la tension maximale de sortie. Le coût de revient est donc plus important.



Sur le chronogramme ci-contre indiquer pour chacune des alternances la diode passante.

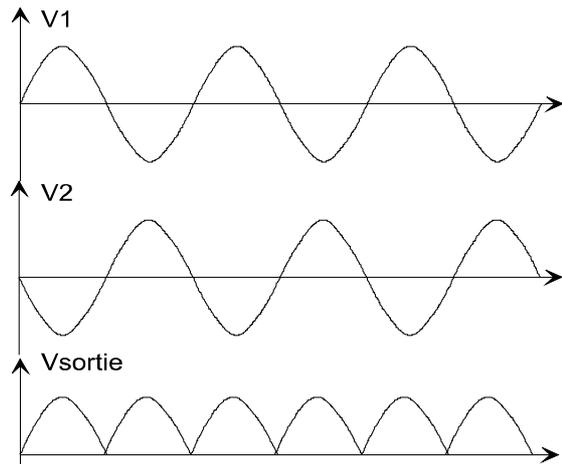
La valeur moyenne de la tension est :

$$V_{moy} = 2 \cdot V_{max} / \pi$$

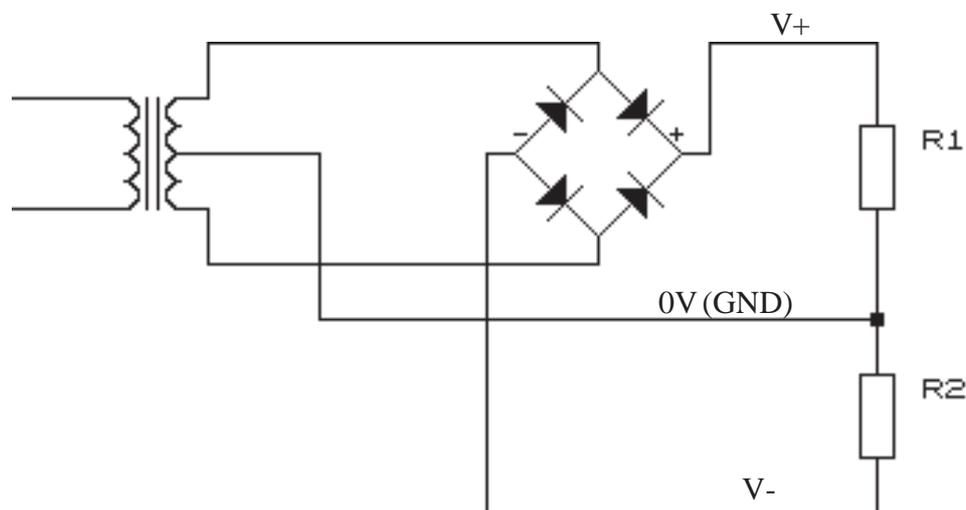
La valeur efficace :

$$V_{eff} = V_{max} / \sqrt{2}$$

La tension inverse de chaque diode est $2 \times V_{max}$

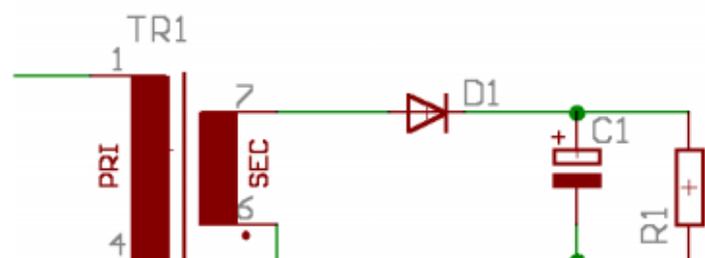


Par extension on obtient deux tensions symétriques ($V+$ et $V-$) avec un transformateur à point milieu et un pont de Graetz :



V/ FILTRAGE

La fonction de filtrage permet de niveler la tension en sortie de la fonction redressement afin que la tension ΔV soit moins importante. Pour obtenir le filtrage, il suffit de placer un condensateur électrochimique de forte valeur en sortie du pont redresseur.



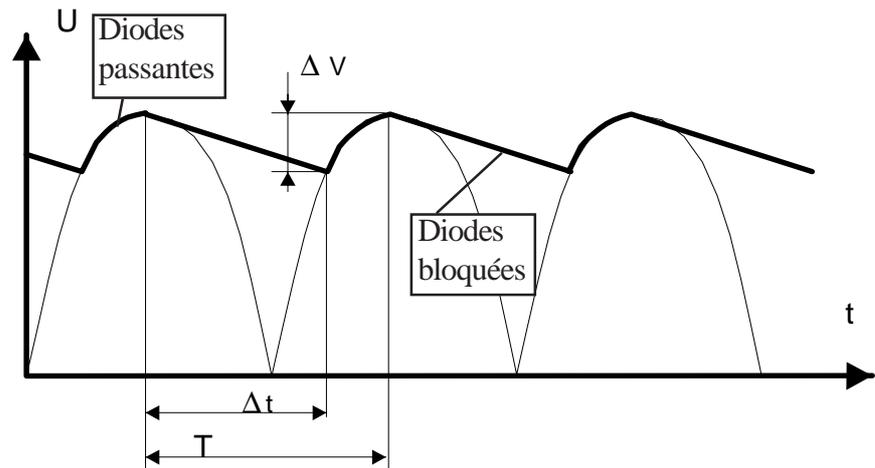
Lorsque la tension en sortie du transformateur est supérieure à la tension de la cathode, D1 est passante et le condensateur se charge à travers D1. Lorsque la tension secondaire baisse à nouveau, le condensateur est chargé donc la tension de cathode est supérieure à la tension de l'anode et la diode se bloque. Le condensateur se décharge alors dans le circuit de charge ($R1$ sur la figure).

La décharge du condensateur s'apparente à une droite (en réalité elle est exponentielle) on peut donc appliquer les relations de charge et décharge de condensateur sous courant constant : $Q = C \cdot U = I \cdot t$

Ici ΔV correspond à la tension aux bornes du condensateur

Δt est le temps de décharge (environ 8ms en redressement double alternance)

I le courant débité par le redresseur et C la valeur du condensateur



$$\text{Donc } C = I \cdot \Delta t / \Delta U$$

Le taux d'ondulation (en %) correspond à $\Delta U / U_{\max}$



Application : Calculer la valeur du condensateur de filtrage pour une alimentation devant fournir au minimum 12V. $I = 1A$, Taux d'ondulation = 10%

VI/ RÉGULER

VI.1/ Généralités

Une régulation en tension implique que la tension de sortie du régulateur est la plus indépendante possible de la charge et de la tension d'entrée.

Elle est caractérisée par la formule :

$$\Delta V_s = K \cdot \Delta V_e - \rho \cdot \Delta I_s$$

On dit qu'une régulation est performante lorsque les coefficients **K** et **ρ** sont très faibles.

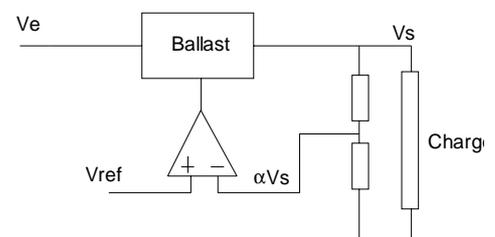
$K = \Delta V_s / \Delta V_e$ est la régulation en tension avec I_s constant

$\rho = \Delta V_s / \Delta I_s$ est la résistance interne avec V_e constant

VI.2/ Principe de régulation

Le principe de régulation le plus courant est la régulation par ballast série.

Pour ce type de régulateur, un comparateur compare une tension de référence avec la tension de sortie, et agit sur un transistor appelé «**Ballast**» capable de diminuer ou d'augmenter la tension de sortie en fonction de la sortie du comparateur.



VI.3/ Limitation de courant

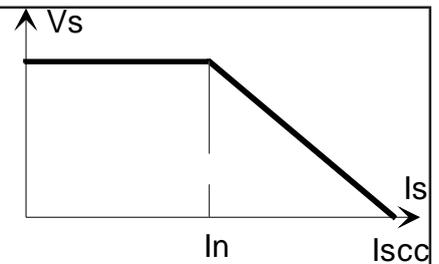
Un régulateur de tension dont la sortie délivre un courant supérieur au courant nominal prévu n'est plus capable de remplir correctement sa fonction. Il s'en suit une diminution de la tension de

sortie et une augmentation du courant (I_{sc}).

La courbe de sortie se présente de la façon suivante :

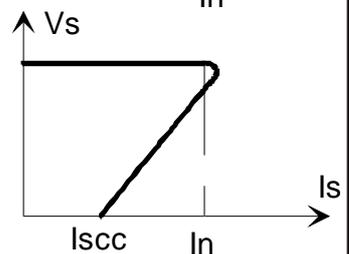
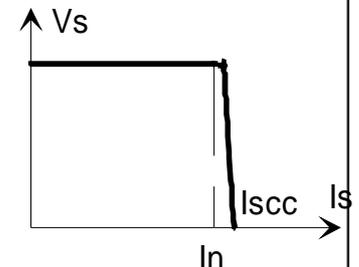
VI.3.1/ Régulateur à limiteur simple

Pour ces régulateurs, dès que le courant de sortie dépasse la valeur maximale admise, la tension de sortie chute jusqu'à 0v. Dans ce cas également le régulateur dissipe une forte énergie calorifique ce qui nécessite l'utilisation d'un régulateur.



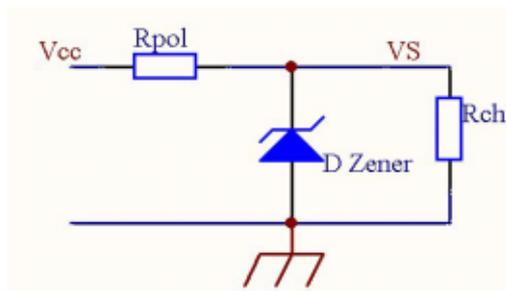
VI.3.2/ Limiteur à retournement

Pour éviter l'échauffement du ballast en cas de court circuit, certains régulateurs disposent d'une limitation en courant par retournement qui fait en sorte qu'en cas de court-circuit, la tension chute et le courant de court circuit diminue également, ce qui donne la courbe ci-contre :

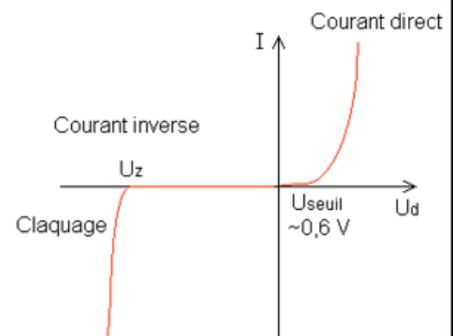


VI.4/ Régulation par diode zener

Dans le sens direct, une diode zener se comporte comme une diode de redressement. En sens inverse, le courant reste nul jusqu'à la tension V_z , puis cette tension reste pratiquement indépendante de la tension.



Associée à une charge, une résistance de polarisation et polarisée en inverse, elle permet donc de réaliser une régulation aval.



Mais la diode doit être sensiblement identique au courant dans la charge.

Pour une bonne régulation, il faudrait que le courant

De ce fait une régulation sous fort courant n'est pas envisageable.

VI.5/ Les régulateurs monolithiques

Ces régulateurs se présentent sous forme de circuits intégrés ne comportant que trois connexions extérieures : Entrée-Masse-Sortie.

Leur branchement se fait de la manière suivante :

Mais il est également possible d'augmenter la tension de sortie de l'ensemble en ajoutant des composants extérieurs (Diode zener, résistances). Certains régulateurs monolithiques sont d'ailleurs spécialement prévus pour cela (LM317 par exemple). Ils sont alors associés à deux résistances qui définissent leur tension de régulation. Ces régulateurs sont toujours associés à deux condensateurs placés près des bornes d'entrée et de sortie du circuit. Ces derniers permettent de supprimer des bruits parasites.

