

TP : CONVERSION ALTERNATIF-CONTINU

On se propose dans cette manipulation d'étudier la conversion alternatif \rightarrow continu en passant en revue les différents modules constitutifs d'une alimentation stabilisée en tension.

1 Généralités et définitions

1.1 Notion sur la conversion

en électricité, un convertisseur est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique d'une forme initiale disponible en une forme finale utile. Il existe plusieurs types de convertisseurs statiques :

- les convertisseurs alternatif \rightarrow continu appelés aussi redresseurs,
- les convertisseurs continu \rightarrow continu ou hacheurs,
- les convertisseurs alternatif \rightarrow alternatif ou gradateurs,
- les convertisseurs continu \rightarrow alternatif ou onduleurs.

Dans cette manipulation, on se limite à l'étude de la conversion alternatif \rightarrow continu.

Un convertisseur alternatif \rightarrow continu est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique alternative en énergie électrique continue. Il existe deux types de conversion alternatif \rightarrow continu :

- la conversion non commandée à diodes, sa principale utilisation est la réalisation d'alimentations stabilisées,
- la conversion commandée à thyristors utilisé en électrotechnique.

D'autre part, suivant que le réseau électrique est monophasé ou triphasé, on utilise un convertisseur monophasé ou triphasé.

Dans cette manipulation, on se limitera à la conversion monophasée non commandée dans le but d'étudier le principe de fonctionnement d'une alimentation stabilisée électronique.

1.2 Grandeurs caractéristiques d'une tension redressée

- ☞ Revoir dans le T.P. de **caractéristiques des signaux électriques** les notions de valeur moyenne, de valeur efficace, d'ondulation, de facteur de forme et de taux de distorsion harmonique.

N.B : Les mêmes définitions peuvent être transposées au cas d'un courant.

Soit u une tension de valeur instantanée $u(t)$, périodique de période T : $u(t + T) = u(t)$.

1.2.1 Valeur moyenne

La valeur moyenne $\langle u \rangle$ de u est définie par :

$$\langle u \rangle = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} u(t) dt$$

Dans le cas d'une fonction périodique, il suffit de calculer $\langle u \rangle$ sur une période :

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Pour mesurer la valeur moyenne d'une tension quelconque il faut utiliser un voltmètre numérique sur la position continue (DC : Direct Current).

On appelle tension alternative, une tension de valeur moyenne nulle $\langle u_{alt} \rangle = 0$.

Questions :

- Calculer la valeur moyenne d'une tension sinusoïdale d'amplitude U_m après redressement monoalternance.
- Répondre à la même question pour un redressement bialternance.
- Comparer les deux valeurs trouvées et conclure.

1.2.2 Valeur efficace

La valeur efficace U_{eff} de u est définie par :

$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2(t) \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Pour mesurer la valeur efficace d'une tension quelconque il faut utiliser un voltmètre "True Root Mean Square" ou "T.R.M.S." : voltmètre numérique sur la position AC+DC.

Questions :

- Que mesure-t-on à l'aide d'un voltmètre magnétoélectrique sur la position (\sim) ?
- Calculer la valeur efficace pour une tension sinusoïdale d'amplitude U_m ainsi que pour une tension triangulaire symétrique d'amplitude U_m et rectangulaire symétrique d'amplitude U_m .
- Répondre à la même question pour une tension sinusoïdale après redressement monoalternance.
- Répondre à la même question pour une tension sinusoïdale après redressement bialternance.
- Comparer les deux derniers résultats et conclure.

1.2.3 Facteur de forme

Le facteur de forme F d'un signal périodique $u(t)$ quelconque est défini par :

$$F = \frac{U_{eff}}{\langle u \rangle}$$

Questions :

- Calculer F pour une tension sinusoïdale après redressement monoalternance ainsi qu'après redressement bialternance.
- Que vaut F pour une tension continue ? Commenter.

1.2.4 Ondulation

u étant une tension variable quelconque, on peut écrire :

$$u(t) = \langle u \rangle + u_{alt}(t)$$

où :

- $\langle u \rangle$ est la valeur moyenne de $u(t)$ appelée aussi composante continue ou, parfois, offset,
- u_{alt} est la composante alternative de $u(t)$ ou ondulation.

On caractérise l'ondulation soit par le taux d'ondulation τ , soit par r donnés respectivement par :

$$\tau = \frac{U_{alt,eff}}{\langle u \rangle}, \quad r = \frac{U_{alt,cr-cr}}{\langle u \rangle}$$

où :

- $U_{alt,eff}$ est la valeur efficace de l'ondulation $u_{alt}(t)$,
- $U_{alt,cr-cr}$ est la valeur crête à crête de l'ondulation $u_{alt}(t)$,
- $\langle u \rangle$ est la valeur moyenne de $u(t)$.

Questions :

- ⇒ Montrer que : $F^2 = 1 + \tau^2$
- ⇒ En déduire la relation entre les incertitudes relatives $\frac{\Delta F}{F}$ et $\frac{\Delta \tau}{\tau}$. Montrer alors qu'il est plus précis de mesurer F et d'en déduire τ à l'aide de la relation ci-dessus.

2 Redressement

2.1 Redressement monoalternance

- ☞ Réaliser le montage représenté figure 1. La cathode de la diode de redressement est en général repérée par un trait "|". Si celui-ci n'est plus visible, utiliser le testeur de composant de l'oscilloscope pour identifier anode et cathode de la diode.

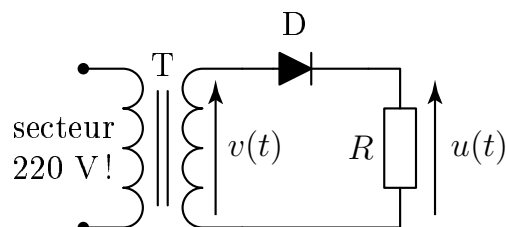


FIGURE 1 – Circuit de redressement mono-alternance avec $R = 1 \text{ k}\Omega$, D une diode de redressement du type 1N4004 et T un transformateur 220/12 V, 60 VA.

- ☞ Quel est le courant maximal que peut délivrer le transformateur T sous une tension de 12 V ?

- ☞ Visualiser $u(t)$ et $v(t)$ à l'oscilloscope.
- ☞ Mesurer le facteur de forme F , τ et r en expliquant la méthode adoptée et en précisant les appareils utilisés. Commenter.
- ☞ Comment doit-on modifier le montage précédent pour pouvoir visualiser la caractéristique dynamique de la diode? Faire un schéma du montage et relever l'allure de la caractéristique de la diode.

2.2 Redressement bialternance

On utilise pour cela un pont formé de quatre diodes de redressement appelé pont de GRAETZ

2.2.1 Principe de fonctionnement

Pour étudier le principe de fonctionnement du pont de GRAETZ, on utilise un pont dans lequel les diodes de redressement sont remplacées par des diodes électroluminescentes (DEL ou LED : Light Emitting Diode). Afin de pouvoir suivre l'évolution de l'état des LED, on alimentera le montage à l'aide d'un GBF en très basse fréquence (1 Hz par exemple), le parcours du courant est alors marqué par les LED allumées.

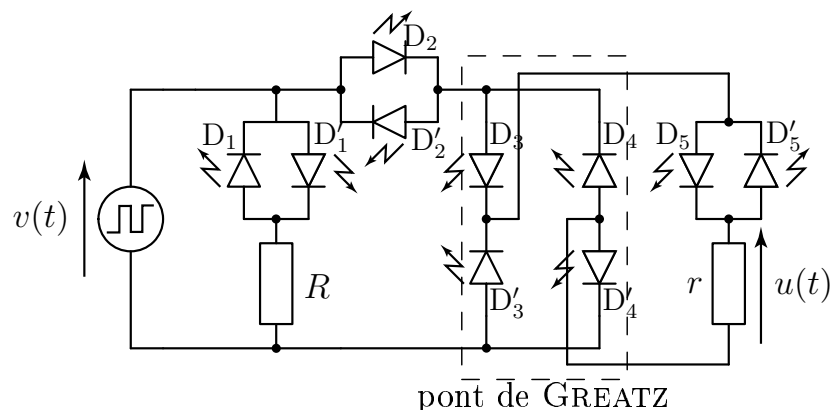


FIGURE 2 – Circuit de redressement double-alternance didactique avec $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $r = 1 \Omega$. Les LED permettent de suivre le passage du courant dans le circuit.

- ☞ Expliquer le fonctionnement du pont de GRAETZ.

2.2.2 Caractérisation de la tension redressée

- ☞ Câbler le montage représenté figure 3 en respectant le sens branchement de toutes les diodes et en veillant à ne pas confondre les bornes alternatives (\ominus , \ominus) et les bornes continues (\oplus , \ominus).

!Attention :

- 1) Toute inversion du sens de branchement d'une diode entraîne la destruction du transformateur et des diodes ; le montrer à l'aide d'un schéma.
- 2) La permutation des bornes alternatives et continues entraîne la destruction du transformateur et des diodes ; le montrer à l'aide d'un schéma.

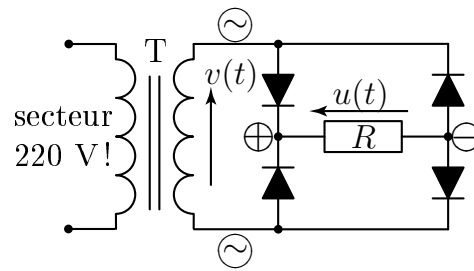


FIGURE 3 – Circuit de redressement double-alternance à pont de GREATZ, avec $R = 1\text{ k}\Omega$ et T un transformateur 220/12 V, 60 VA.

- ⚡ Exprimer $u(t)$ en fonction de $v(t)$ en supposant toutes les diodes idéales.
- ⚡ Pourquoi n'est il pas possible de visualiser simultanément les deux tensions $u(t)$ et $v(t)$?
- ⚡ Comment doit-on modifier le montage pour pouvoir y parvenir ? Faire un schéma. Visualiser la tension $u(t)$ et relever son allure.
- 👉 Mesurer F , τ et r en expliquant la méthode adoptée et précisant les appareils utilisés.
- ⚡ Comparer avec les résultats théoriques et commenter.
- ⚡ Quel est l'intérêt du redressement bialternance par rapport au redressement monoalternance ?

Dans toute la suite de la manipulation on s'intéressera au redressement bialternance.

3 Filtrage de la tension redressée

Afin de réduire l'ondulation de la tension et du courant redressés, on utilise un filtre passe-bas construit autour d'une capacité et/ou d'une bobine (figure 4).

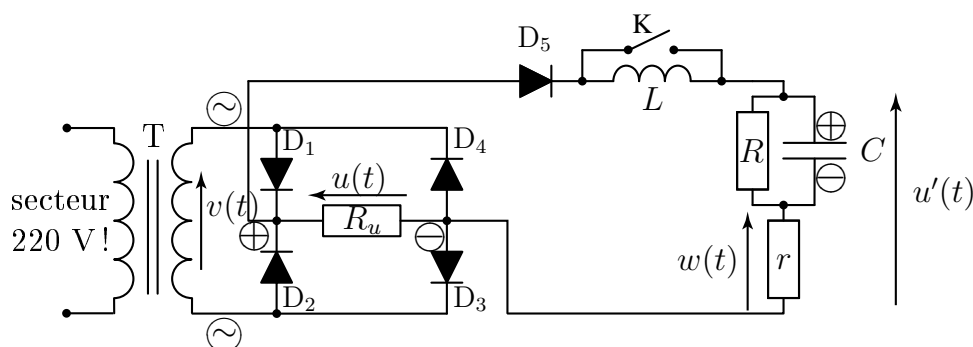


FIGURE 4 – Circuit de redressement double-alternance à pont de GREATZ et filtrage. On donne $R_u = 120\ \Omega$, $R = 120\ \Omega$ et $r = 1\ \Omega$ des résistances de **puissance**. T est un transformateur 220/12 V, 60 VA.

!Attention : Pour les valeurs élevées de la capacité C , les seuls condensateurs utilisables sont de type « condensateur électrochimique » qui sont *polarisés* ! Par conséquent toute inversion de la polarité des bornes d'un condensateur chimique peut entraîner au pire une **explosion violente** et au mieux un dysfonctionnement de ce condensateur !

3.1 Filtre à capacité

- ☞ On court-circuite tout d'abord la bobine d'induction L en fermant K .
- ☞ Relever les oscillogrammes des tensions $u(t)$ et $u'(t)$. Utiliser ces oscillogrammes pour expliquer le principe de fonctionnement du montage. Quel est le rôle de la diode D_5 ?
- ☞ Mesurer le taux d'ondulation τ' de $u'(t)$ pour différentes valeurs du produit RC (remplir le tableau 1). Comment varie τ' avec le produit RC ? Expliquer. Il est imprudent de prendre C trop élevée ; en effet lors de la commutation des diodes le courant peut entraîner des surintensités (en raison du terme $C \frac{du_C}{dt}$) nuisibles.
- ☞ En rendre compte en visualisant $w(t)$. Quel est le rôle de r ?

C	100 nF	1 μ F	10 μ F	100 μ F
RC				
τ'				

TABLE 1 – Influence du produit RC sur le taux d'ondulation.

3.2 Filtre à self et à capacité

Le filtrage à base d'un condensateur convient pour filtrer des courants de quelques ampères ; au delà, particulièrement en électrotechnique, on préfère utiliser une bobine de lissage qui a l'avantage de ne pas faire débiter les diodes de manière discontinue. Par contre elle entraîne une chute de tension et peut aboutir lors de la commutation des diodes au phénomène d'empiétement : la f.e.m. d'induction met les quatre diodes en conduction.

En électrotechnique, le caractère inductif de la charge (moteur, ...) peut parfois faire office de bobine de lissage mais il est en générale nécessaire de renforcer cet effet par l'adjonction d'une bobine supplémentaire.

- ☞ Débrancher la résistance R_u et enlever le court-circuit sur la bobine.
- ☞ Visualiser et relever les oscillogrammes des tensions $u'(t)$ et $w(t)$, en faisant varier l'inductance de la bobine de 0,15 H à 1 H environ.
- ☞ Interpréter l'allure de ces oscillogrammes.
- ☞ Quelle est la valeur minimale de l'inductance pour que les quatre diodes fonctionnent en régime de conduction continue.
- ☞ Mesurer le facteur d'ondulation de la tension $u'(t)$ en régime de conduction continue et en régime de conduction discontinue des diodes. Conclure sur le rôle de la bobine de lissage.
- ☞ Comparer l'oscillogramme de $w(t)$ à celui du montage précédent où la bobine était court-circuitée. Conclure.

4 Régulation de la tension filtrée

4.1 But et caractérisation de la régulation

La tension filtrée présente en général un taux d'ondulation satisfaisant pour les charges courantes rencontrées en électrotechnique mais encore trop important pour pouvoir alimenter de façon satisfai-

sante un dispositif électronique tel qu'on en rencontre au laboratoire d'électronique. Pour s'affranchir de cette ondulation résiduelle on utilise un stabilisateur ou un régulateur.

La fonction « régulation » est destinée à minimiser les variations ΔU_s de la tension de sortie U_s (du régulateur représenté figure 5) vis à vis des variations ΔU_e de la tension d'entrée U_e , des variations ΔI_s du courant de sortie I_s mais aussi des variations extérieures (variations de température, de rayonnement, ...).



FIGURE 5 – Le régulateur est un quadripôle interposé entre la source de tension redressée et filtrée et la charge.

Le régulateur est caractérisé par des facteurs de régulation amont A et aval ρ :

$$A = \left(\frac{\Delta U_e}{\Delta U_s} \right)_{I_s = \text{cste}} \quad \text{et} \quad \rho = - \left(\frac{\Delta U_s}{\Delta I_s} \right)_{U_e = \text{cste}}$$

- ☞ Quelles sont les dimensions respectives de A et de ρ ?
- ☞ Quelles seraient les valeurs respectives de A et de ρ pour un régulateur parfait ?

4.2 Stabilisateur à diode ZÉNER

L'utilisation d'une diode ZÉNER requiert un certain nombre de précautions. Le constructeur donne la tension ZÉNER V_z et la puissance maximale $P_{d,\text{max}}$. L'intensité I_z doit alors rester inférieure ou égale à $I_{z,\text{max}} = P_{d,\text{max}}/V_z$. La valeur minimale de la résistance de protection R et la valeur maximale de la tension d'alimentation doivent étre choisies pour réaliser cette condition.

La diode ZÉNER utilisée dans cette manipulation a pour caractéristiques : $P_{d,\text{max}} = 500 \text{ mW}$ et $V_z = 5 \text{ V}$.

4.2.1 Relevé de la caractéristique courant-tension

Le relevé de la caractéristique courant-tension de la diode ZÉNER peut se faire point par point (relevé statique) soit de manière dynamique à l'aide du montage représenté figure 6.

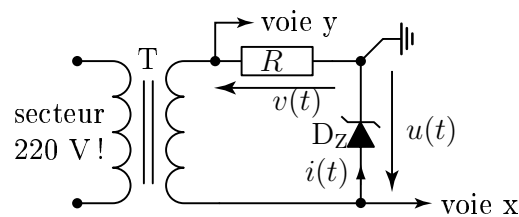


FIGURE 6 – Relevé dynamique de la caractéristique courant-tension d'une diode Zener. On donne $R = 1 \text{ k}\Omega$, D_z est une diode Zener 5 V, 500 mW et T un transformateur 220/12 V, 60 VA.

- ☞ Montrer que la diode ZENER peut fonctionner sans danger.
- ☞ Relever la caractéristique courant-tension de D_Z en utilisant un oscilloscope en mode $X - Y$ ou une table traçante.
- ☞ Mettre en évidence, sur la caractéristique, l'existence d'une zone de régulation.
- ☞ Déterminer la tension zener V_{Z_0} et la résistance dynamique r_z de la diode après avoir linéarisé sa caractéristique.
- ☞ Quelle est la valeur minimale $I_{z,\min}$ de I_z qui permet à la diode ZENER de fonctionner dans sa zone de régulation ?

En pratique pour faire fonctionner à coup sûr une diode ZENER dans sa zone de régulation, on choisit la résistance R et la tension E de sorte que $I_z = I_{z,\max}/10$; (E,R) sont les éléments du générateur de THÉVENIN équivalent au circuit amont.

4.2.2 Mesure du coefficient de régulation amont

Réaliser le montage représenté figure 7. On prendra $R_L \geq 1 \text{ k}\Omega$.

- ☞ Faire varier E (ΔE de l'ordre de 1 V) de sorte que $I_z \geq I_{z,\min}$ et $I_L = \text{cste}$ (on ajustera au besoin R_L). En déduire la valeur du coefficient de régulation amont A .
- ☞ Conclure sur la qualité de la régulation amont de la diode zener.

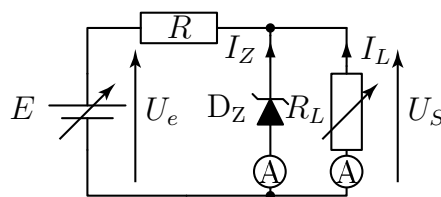


FIGURE 7 – Montage stabilisateur de tension à diode Zener. On donne $R = 1 \text{ k}\Omega$, D_Z est une diode Zener 5 V, 500 mW et R_L une boîte à décades.

4.2.3 Mesure du coefficient de régulation aval

La mesure du coefficient de régulation aval s'effectue encore à partir du montage représenté figure 7.

- ☞ Faire décroître R_L à partir de 10 k Ω et tracer $U_S = f(I_L)$ pour une dizaine de valeurs. En déduire ρ dans le domaine $I_z \geq I_{z,\min}$.
- ☞ Comparer ρ à r_z .
- ☞ Conclure sur la qualité de la régulation aval de la diode zener.

4.3 Régulation Intégré de Tension (R.I.T.)

4.3.1 Présentation

Un régulateur intégré de tension est construit autour d'une diode ZÉNER à laquelle ont été ajoutés un circuit de stabilisation à rétroaction et un circuit d'amplification du courant de sortie. Le tout étant intégré dans un même boîtier pouvant communiquer avec l'extérieur au moyen de trois broches.

Les broches diffèrent selon les boîtiers et les polarités des régulateurs. On a représenté figure 8 le brochage des boîtiers TO-220 utilisé dans ce T.P.

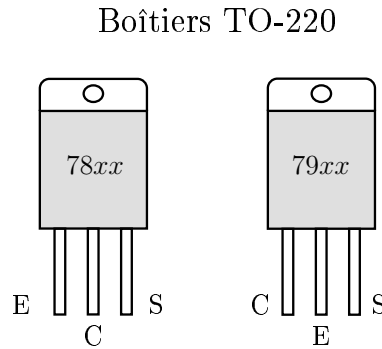


FIGURE 8 – Brochages des RIT positifs (78xx) et négatifs (79xx) en boîtier TO-220.

Avec :

- E : l'entrée,
- S : sortie,
- C : commun (ou masse) ;
- la série 78xx correspond à des régulateurs positifs ;
- la série 79xx correspond à des régulateurs négatifs ;
- xx désigne la valeur absolue de la tension de sortie (en Volt).

Exemples :

Référence	7805	7905	7808	7908	7812	7912	7815	7915
Tension de sortie	+5 V	-5 V	+8 V	-8 V	+12 V	-12 V	+15 V	-15 V

La série 78xx/79xx autorise un courant d'intensité maximale de 1,5 A à condition que la dissipation $(V_{in} - V_{out})I_{out}$ reste inférieure à 2 W sans radiateur et 15 W avec un radiateur infini. Sans radiateur on limitera le courant de sortie à $I_{out} \leq 400$ mA.

4.3.2 Caractérisation

Réaliser le montage représenté figure 9. On prendra $R_L \approx 200 \Omega$ et E une alimentation stabilisée 0–30 V.

La chute de tension $V_{in} - V_{out}$ minimale qui assure le fonctionnement est appelée tension de drop-out ; elle est de l'ordre de 3 V.

- ☞ Faire varier E de 0 à 15 V et tracer la courbe $V_{out} = f(V_{in})$. En déduire la valeur de la tension de sortie réglée et la valeur minimale de la tension de drop-out.
- ☞ Que peut-on dire à propos du facteur de régulation amont A ? Comparer avec celui de la diode ZENER seule ? Justifier brièvement.
- ☞ Comment, à partir du montage précédent, peut-on estimer le facteur de régulation aval ρ ? Quelle(s) précaution(s) expérimentale(s) doit-on prendre ? Comparer avec celui d'une diode ZENER seule.

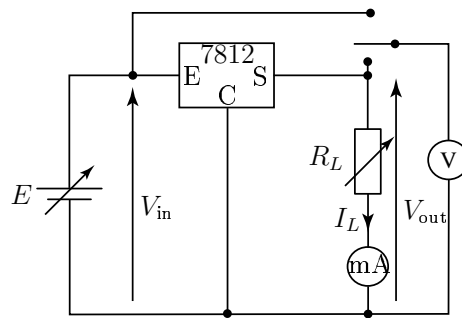


FIGURE 9 – Montage de caractérisation des facteurs de régulation amont et aval d'un RIT.

4.3.3 Quelques variantes

4.3.3.1 Variation de la tension de sortie On peut modifier la valeur de la tension de sortie en réalisant le montage représenté figure 10.

- ☞ Exprimer la tension de sortie V_{out} en fonction de E , R_1 et R_2 dans le cas où R_1 et R_2 sont suffisamment faibles pour que $I_p \ll I_1$.
- ☞ Câbler le montage et vérifier les résultats théoriques précédents.

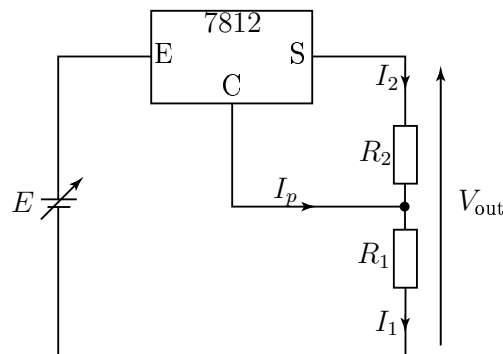


FIGURE 10 – Montage permettant de modifier la valeur de la tension stabilisée.

4.3.3.2 Réalisation d'un générateur de courant constant On aussi peut réaliser une source de courant constant à l'aide du montage représenté figure 11.

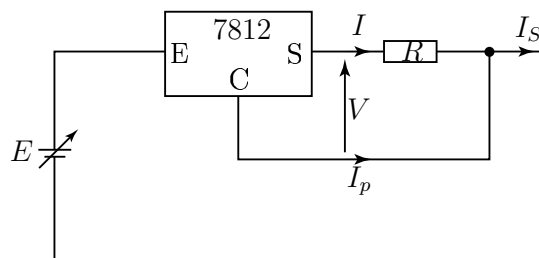


FIGURE 11 – Source de courant constant.

- ☞ Montrer que si $I_p \ll I$ alors le courant de sortie est donné par : $I_s \cong I = \frac{V}{R}$.
- ☞ Câbler le montage et vérifier expérimentalement que I_s est quasiment indépendant de la charge.

5 Alimentation stabilisée

5.1 Réalisation d'une alimentation stabilisée en tension (Facultatif)

On peut réaliser une alimentation stabilisée en tension en mettant en cascade (figure 12) :

- le circuit donnant la tension redressée et filtrée étudié en 3.1 ;
- un régulateur de tension.

C_1 et C_2 sont appelés condensateurs de découplage et on pour rôle la réduction des tensions de bruit et de parasites liées au secteur :

- C_1 de l'ordre de 100 nF à 200 nF (mylar ou plastique) ou 1 μF (tantale) est placé en parallèle sur l'entrée et a pour rôle de réduire les parasites sur l'entrée ;
- C_2 de l'ordre de 1 μF à 10 μF est placé en parallèle sur la sortie et élimine l'ondulation résiduelle en sortie et les parasites en sortie (par filtrage).

☞ Câbler le montage et comparer les facteurs d'ondulation des tensions d'entrée et de sortie du régulateur.

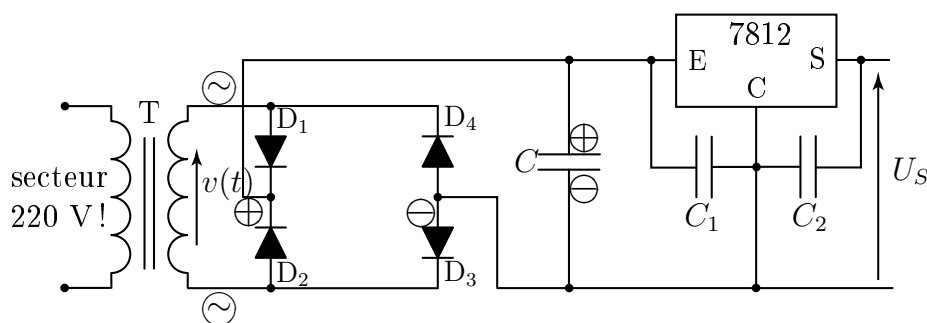


FIGURE 12 – Schéma constitutif d'une alimentation stabilisée élémentaire.

5.2 Étude d'une alimentation stabilisée de commerce

Ces alimentations stabilisées sont dites à caractéristique rectangulaire. Elles sont stabilisée en tension et protégées contre les court-circuits.

On se propose dans cette partie de relever la caractéristique de telle alimentation et de comprendre son principe d'utilisation à l'aide du montage représenté figure 13

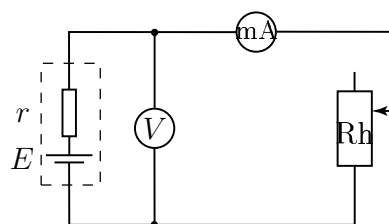


FIGURE 13 – étude de la caractéristique d'une alimentation stabilisée du commerce, avec (E, r) une alimentation stabilisée 0 - 30 V et R_h un rhéostat (16,5 Ω ; 5 A) utilisé en résistance variable.

- ☞ Fixer la tension à vide délivrée par l'alimentation stabilisée à $E = 10\text{ V}$
- ☞ Placer le bouton courant sur une position intermédiaire et mesurer le courant de court-circuit I_{cc} .
- ☞ Câbler le montage représenté figure 13 et relever la caractéristique externe $I = f(V)$ en faisant varier la résistance R_h du rhéostat.

Application :

- ☞ L'alimentation stabilisée est utilisée pour polariser un circuit, de résistance d'entrée R_e . Pour quelles valeurs de R_e l'alimentation stabilisée se comporte-elle comme un générateur de tension ? Comme un générateur de courant ?