

Alimentations électroniques

Les composants électroniques nécessitent généralement une alimentation de tension continue, constante et stable pour pouvoir fonctionner correctement.

L'énergie indispensable à cette alimentation peut être fournie par le réseau de distribution électrique alternatif (230 V efficaces 50 Hz en France) ou par des piles ou batteries d'accumulateurs. La structure de l'alimentation sera alors différente dans chaque cas.

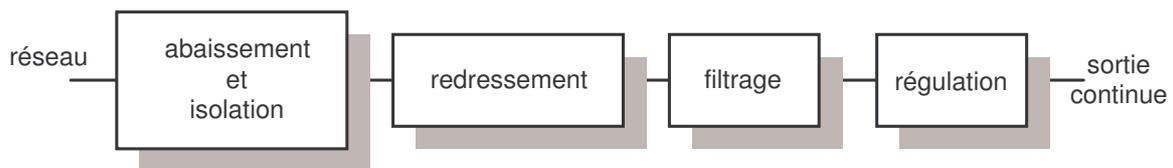
1 Cas du réseau de distribution électrique

Deux types d'alimentation sont classiquement utilisées, l'alimentation linéaire et l'alimentation à découpage.

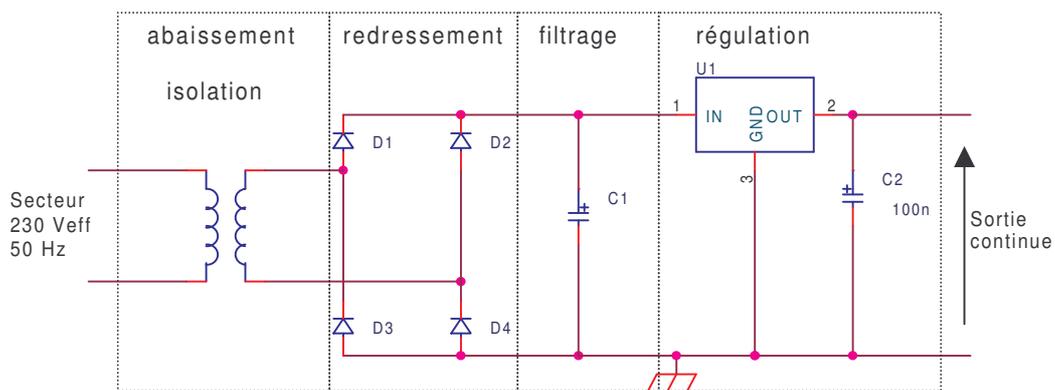
1.1 Alimentation linéaire

On retrouvera les fonctions suivantes :

- Abaissement et isolation de la tension secteur ;
- redressement ;
- filtrage ;
- régulation.



La figure suivante propose une réalisation d'une telle alimentation :



1.1.1 Abaissement et isolation

Cette fonction est généralement réalisée par un transformateur électromagnétique, utilisant le principe suivant :

- un enroulement primaire est alimenté par la tension secteur 230 V 50 Hz, et crée un flux magnétique dans le circuit magnétique (loi de Lenz Faraday $u_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}$, u_1 étant la tension instantanée, ϕ le flux instantané, N_1 le nombre de spire de l'enroulement primaire et t le temps). Le circuit magnétique canalise le flux dans un second enroulement de N_2 spires, produisant alors une tension alternative u_2 suivant la même loi. Le rapport des tensions efficaces U_2/U_1 est alors égale au rapport de transformation du transformateur N_2/N_1 .

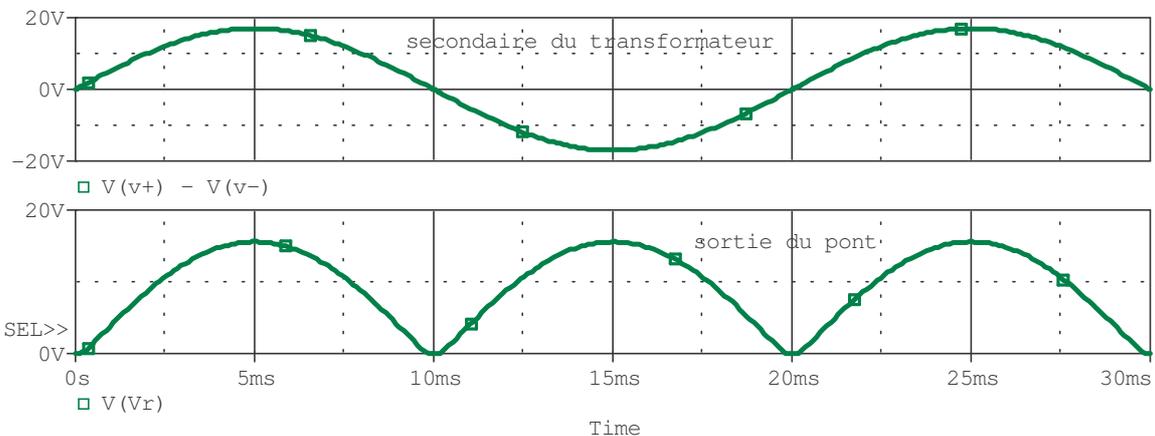
En choisissant correctement ce rapport on obtient au secondaire une tension faible ($12 V_{\text{eff}}$ par exemple) adaptée aux composants électroniques. Le transformateur n'ayant aucune liaison électrique entre circuit primaire et secondaire, assure de plus la sécurité des utilisateurs des circuits électronique.

Le transformateur se choisit en fonction des paramètres suivants :

- la tension qu'il supporte au primaire (en général $230 V_{\text{eff}}$) ;
- le rapport de transformation (celui-ci impose la tension au secondaire, qui va être choisie en fonction de la plage de fonctionnement du régulateur) ;
- le courant qu'il pourra fournir au secondaire ; ce dernier terme est généralement déterminé par la puissance apparente du transformateur (en $V \cdot A$) qui est le produit de la tension efficace par le courant efficace, au primaire ou au secondaire. Le facteur de puissance de la charge (« $\cos\phi$ » en sinusoïdal) n'étant pas connu par le constructeur du transformateur, il ne peut donner une puissance active dans les caractéristiques du transformateur.

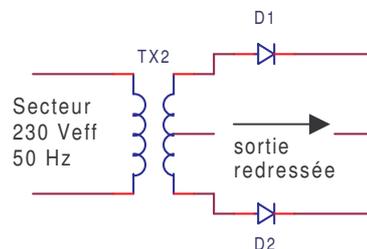
1.1.2 Redressement

Celui-ci est généralement réalisé par un pont de 4 diodes, montées en pont dit de Graëtz comme sur le schéma précédent. La figure ci-après donne les chronogrammes obtenus dans le cas d'une charge résistive en entrée (tension de $12 V$ efficaces) et sortie du pont :



La manière la plus simple pour justifier les chronogrammes consiste à raisonner sur le sens du courant fourni par le pont à sa charge (une résistance dans l'exemple de la simulation). Les diodes de chaque diagonale du pont sont alors passante, inversant le signe de la tension aux bornes de la charge lorsque la tension de sortie du transformateur est négative. On obtient aux bornes de la charge une tension unidirectionnelle, dite « redressée double alternance ».

Une alternative à ce montage consiste à n'utiliser que deux diodes et un transformateur à point milieu :



En inversant le sens des diodes on obtient une tension négative par rapport au point milieu du transformateur (ce qui permettra de réaliser une alimentation continue négative).

Quelle que soit l'option retenue, les diodes se choisissent en fonction des critères suivants :

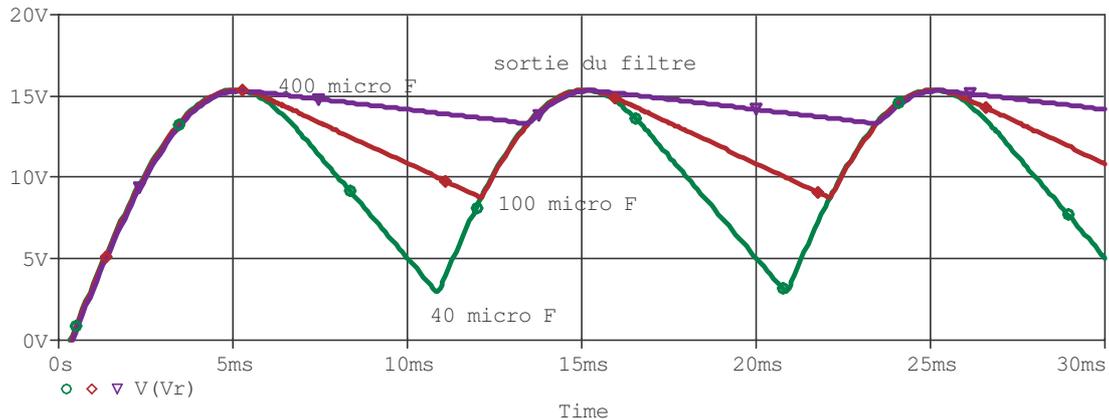
- ce sont des diodes de redressement, c'est à dire des diodes pour lesquelles les paramètres tension inverse maximale, courant direct maximal ont été optimisés au détriment de la vitesse de commutation ;

- tension inverse maximale
- courant direct moyen et efficace.

Les ponts de Graëtz existent sous forme intégrée.

1.1.3 Filtrage

Pour passer de la tension redressée double alternance à une tension presque continue, on utilise un condensateur, qui fonctionne comme l'indique le chronogramme suivant pour différentes valeurs de la capacité (40, 100 et 400 μF), le courant absorbé par l'étage suivant (le régulateur) étant de 100 mA :



Lorsque deux diodes sont passantes (de 0 à 5 ms sur le chronogramme par exemple), le condensateur se charge sous la tension du transformateur, puis lorsque la valeur absolue de cette dernière commence à décroître (à 5 ms par exemple), le potentiel sur la borne positive du condensateur devenant supérieur à celui sur la cathode des diodes du haut du pont (raisonnement identique sur les diodes du bas), les diodes se bloquent et c'est le condensateur qui fournit le courant à la partie amont de l'alimentation. Lorsque la tension à ses bornes redevient égale à la valeur absolue de la tension de sortie du secondaire (à 11 ms avec 40 μF par exemple), les deux diodes de la diagonale opposée se remettent à conduire. On constate que plus la valeur de la capacité est élevée, meilleur est le filtrage. Dans le raisonnement précédent, le seuil des diodes a été négligé, contrairement à la simulation.

Lors de la mise sous tension, le courant du court-circuit entre la sortie du transformateur (valeur quelconque suivant l'instant de mise sous tension) et le condensateur (tension a priori nulle) est limité par les inductances (dites de fuite) du transformateur.

La valeur du condensateur se calcule de telle manière que la tension minimale à ses bornes ne descende pas au-dessous de la valeur minimale nécessaire au circuit suivant pour assurer la régulation. On effectue ce calcul en considérant que pendant la décharge, le courant absorbé par ce circuit est constant. On se place évidemment dans le cas le plus défavorable où l'alimentation fournit en sortie son courant maximal.

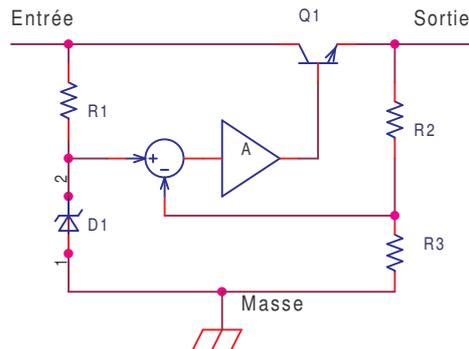
Les valeurs du condensateur obtenues étant généralement importantes (quelques centaines de μF), on choisit généralement un condensateur électrochimique aluminium (polarisé) afin de diminuer le volume du composant.

Le dernier critère est la tension maximale que peut supporter le condensateur, qui doit être au moins égale à la tension maximale en sortie du transformateur. On prend en générale une marge de sécurité d'au moins 20%.

1.1.4 Régulation

La régulation assure une tension continue en sortie quel que soit le courant absorbé par la charge et quelle que soit la tension à l'entrée du régulateur (dans la limite des valeurs fixées). Il s'agit d'un circuit, généralement intégré, qui fait la différence entre une tension de référence interne (fournie par une diode zener par exemple) et la tension mesurée en sortie par un pont de résistance. Suivant le

résultat, on rend plus ou moins passant un transistor de puissance (dit transistor ballast), afin d'assurer l'égalité entre la mesure et la référence.



Afin que le fonctionnement soit possible, la tension à l'entrée du régulateur ne doit pas descendre en dessous d'une certaine valeur (choix du condensateur et de la tension de sortie du transformateur), ni dépasser une valeur maximale (choix du transformateur).

Le régulateur est choisit en fonction de :

- sa tension de sortie
- son courant maximal admissible en sortie ;
- la puissance maximale dissipée.

La classique série de circuits intégrés 78XX fournit une tension positive en sortie de 5 V pour le 7805, 9 V pour le 7809 etc... On trouvera également la série 79XX qui fournit quant à elle des valeurs négatives. Lorsqu'une tension ajustable par potentiomètre est nécessaire, on pourra choisir par exemple le circuit LM317 qui fournit en sortie une tension ajustable entre 1,2 V et 35 V.

Si la puissance dissipée par le régulateur conduit à une température du composant supérieure à la limite maximale, il faudra envisager la mise en place d'un radiateur sur le régulateur.

Suivant les constructeurs, un condensateur au tantale de 0,1 μ F est parfois nécessaire en sortie.

1.1.5 Performances générales de l'alimentation

Ce type d'alimentation présente une bonne régulation en sortie et est relativement fiable. Le volume du condensateur de filtrage, ainsi que le volume et le poids du transformateur lui donne cependant une puissance massique et volumique très médiocre. De même, la chute de tension aux bornes entrée et sortie du régulateur (qui est traversé par la courant de sortie), limite le rendement en dessous des 50%.

1.2 Alimentation à découpage

1.2.1 Principe

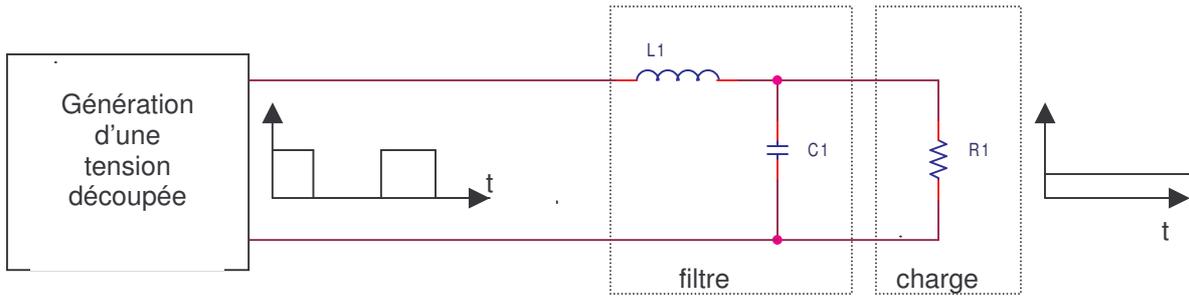
Notre objectif n'est pas ici de faire un cours exhaustif sur les alimentations à découpage, mais d'en présenter grossièrement le principe.

Les alimentations précédentes présentent trois inconvénients majeurs :

- le volume et le poids du transformateur ;
- le volume du condensateur de filtrage ;
- le rendement trop faible.

Le mauvais rendement est dû au transistor ballast du régulateur qui fonctionne en linéaire et donc dissipe beaucoup de puissance. Le rôle de cet élément est, comme nous l'avons vu, de faire chuter plus ou moins la tension d'entrée de manière à obtenir une tension constante en sortie.

Dans une alimentation à découpage, plutôt que d'agir instantanément sur la tension, on va découper celle-ci à fréquence élevée, de manière à obtenir une tension rectangulaire. Après un filtrage de type passe bas de cette dernière, on obtient une tension continue proportionnelle au rapport cyclique α (défini comme le rapport du temps à l'état haut T_0 sur la période totale, soit $\alpha=T_0/T$), comme le montre la figure suivante.



En réglant le rapport cyclique α , on règle alors la tension de sortie. On agit pour cela sur le temps de saturation du transistor qui découpe la tension d'entrée de l'alimentation.

La puissance dissipée par un transistor est le produit $v_{ce} \cdot i_c$ pour un transistor bipolaire, ou $v_{ds} \cdot i_d$ pour un transistor MOS. Lorsque le transistor fonctionne en commutation la puissance est théoriquement très faible car le transistor est bloqué (donc i_c ou i_d nul) ou saturé (donc v_{ce} ou v_{ds} faible) ; en pratique, on trouve des pertes en conduction et au moment de la commutation.

De même, si le filtre est non dissipatif, c'est à dire qu'il n'utilise pas de résistances, mais des inductances et condensateurs, il ne dissipera théoriquement pas de puissance si les éléments LC sont parfait.

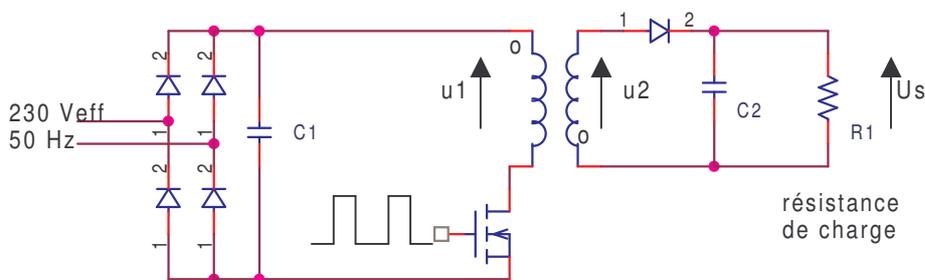
La valeur de ces éléments (donc leur poids et volume) sera d'autant plus faible que la fréquence de découpage sera élevée.

De même, le volume d'un transformateur diminue lorsque la fréquence de fonctionnement augmente (formule de Boucherot).

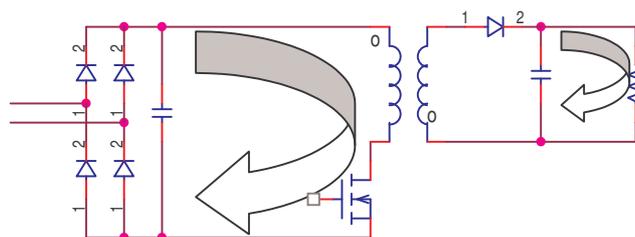
On a donc intérêt pour augmenter la puissance massique et volumique, à fonctionner à fréquence de découpage élevée. Cependant, au delà d'une certaine limite, les transistors ne sont plus suffisamment rapides, et on provoque de plus des pertes importantes (pertes de commutation dans les semi-conducteurs, et magnétiques dans les transformateurs). Classiquement, on découpe à une fréquence de 20 kHz.

1.2.2 Exemple d'une alimentation Flyback

On trouve classiquement cette alimentation est appelée aussi à conduction inverse, dans les alimentations d'ordinateur :

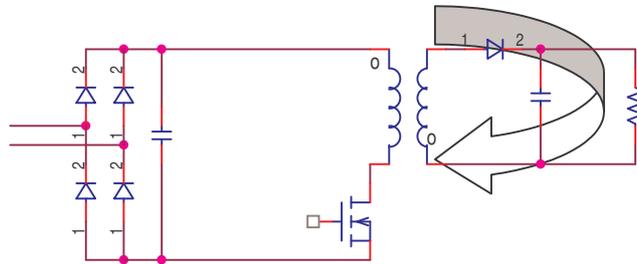


Une tension unidirectionnelle est obtenue par redressement de la tension secteur. Les signaux de commande sur la grille du transistor sont à une fréquence très supérieur à la tension secteur (typiquement 20 kHz par rapport à 50 Hz). Lors d'une première phase de durée T_0 , on va saturer le transistor et stocker de l'énergie dans le circuit magnétique en faisant circuler un courant i_1 dans le primaire.



Le sens des enroulements (repérés par les points sur le circuit magnétique) implique alors une tension secondaire u_2 est négative, la diode D est donc bloquée (si on suppose que U_S est positive ou nulle). Le condensateur C2 permet s'il est chargé (une fois le régime établi), d'alimenter la charge, modélisée par la résistance.

Lors de la seconde phase de durée $T-T_0$, on va bloquer le transistor ; l'énergie stocké dans le circuit magnétique n'a d'autres solutions que de circuler par le circuit secondaire et va par conséquent charger le condensateur et alimenter la charge.



On vérifie bien au passage que la tension U_S est positive.

Si le condensateur C2 et l'inductance du circuit secondaire sont correctement calculés, la tension U_S est continue (à une ondulation résiduelle près). On retrouve donc un schéma similaire à celui présenté dans le paragraphe précédent à deux nuances près :

- première et seconde phase sont inversées ;
- c'est directement l'inductance du secondaire qui se comporte comme un générateur lors de la charge du condensateur.

La tension U_S a pour expression, en régime établi et si l'énergie dans le circuit magnétique ne s'annule pas (c'est à dire s'il y a toujours un courant au primaire ou au secondaire) :

$$U_S = \frac{N_2}{N_1} \frac{\alpha}{1-\alpha} U_E$$

Le condensateur C1 en sortie du pont de Graëtz sert uniquement à filtrer les fréquences élevées dues au découpage, il a donc une valeur et un volume réduit. La tension en sortie du pont de diodes présente donc une ondulation importante, ondulation compensée par une régulation qui impose un temps de conduction, donc un rapport cyclique α plus ou moins important au transistor.

1.2.3 Conclusion

Les alimentations à découpage présentent comme nous l'avons vu de nombreux avantages en terme de rendement, puissance volumique et massique. Elles ont cependant quelques inconvénients :

- perturbations électromagnétiques générées par le découpage ;
- durée de vie plus faible due au stress des composants par les fortes variations de courant et tension ;
- ondulation résiduelle importante sur la tension de sortie, due au découpage ; aussi verrons-nous souvent des alimentations linéaires placées en aval d'alimentation à découpage, cette dernière fournissant la tension continue minimale nécessaire à un régulateur linéaire qui se contente d'assurer une bonne régulation de la sortie.

Notons également que de nombreux circuits intégrés simplifient la réalisation des alimentations à découpage, intégrant la commande et éventuellement le transistor de puissance (suivant la puissance à fournir).

2 Cas de piles ou accumulateurs

Avant de nous intéresser à la manière de réaliser l'alimentation, passons en revues quelques notions de bases sur les accumulateurs.

2.1 Les accumulateurs

Un accumulateur est caractérisé dans un premier temps par la tension qu'il peut fournir à ces bornes (en volts) et la quantité d'électricité qu'il peut contenir, aussi appelée capacité C (en A.h ou mA.h). La charge d'un accumulateur est une opération plus ou moins complexe suivant la technologie, mais

nécessite toujours d'alimenter l'accumulateur à courant constant, au moins pendant un certain temps. Une surveillance de la tension aux bornes de l'accumulateur est nécessaire pour déterminer la fin de charge et arrêter ce courant.

Trois technologies sont principalement utilisées pour réaliser des accumulateurs à faible capacité :

- la technologie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) : c'est la plus ancienne et la plus robuste (décharge à fort courant, surcharge), le chargeur pouvant être rudimentaire ; elle présente cependant un « effet mémoire » important en cas de mauvaise utilisation, qui réduit fortement la capacité ; c'est également une technologie polluante (contient du cadmium) qui risque d'être interdite à plus ou moins long terme ; la tension aux bornes de chaque élément est de 1,2 V ;
- la technologie Nickel-Hydrure Métallique (Ni-MH pour Nickel-Métal Hydrure, en anglais) présente un rapport qualité prix et une longévité plus importante que la précédente ; elle nécessite cependant de chargeurs plus performants....sauf si on se limite à un courant de charge faible de l'ordre de C/10 (en toute rigueur C/(10 h) ; la capacité du Ni-MH est de l'ordre de 40% supérieure à celle du Ni-Cd à volume égal ; la tension aux bornes d'un élément est de 1,2 V.
- la technologie lithium, lithium-ion (Li-ion) et ses déclinaisons permet d'obtenir des capacités importantes, mais nécessite une charge parfaitement maîtrisée sous peine d'explosion de l'élément ; la tension est de 3,6 ou 3,7 V suivant la technologie.

Pour plus d'informations : <http://www.ni-cd.net/accusphp/index.php>

2.2 Réalisation de l'alimentation

Dans ce cas de figure, le problème de l'isolation et de la sécurité des personnes ne se pose plus. Par contre la source d'énergie étant de capacité limitée, le rendement sera un élément primordial. On évitera donc autant que possible les alimentations linéaires.

Les problèmes classiquement rencontrés seront :

- stabilisation de la tension d'alimentation à une valeur fixe, malgré la décharge des batteries ;
- élévation de la tension des batterie (1,2 V à 5 V par exemple) ;
- génération d'une tension négative (1,2 V à - 5 V par exemple).

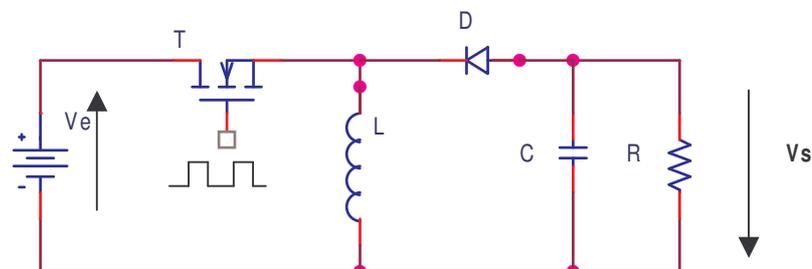
Suivant la consommation des circuits à alimenter, on rencontrera deux cas de figure :

- alimentation à découpage lorsque le courant à fournir est supérieur à quelque milliampères ;
- système à pompe de charge dans le cas contraire.

2.2.1 Alimentation à découpage

Nous ne proposerons ici qu'un seul schéma d'une alimentation flyback, sachant que d'autres sont aussi classiquement utilisés.

Le schéma est identique à l'alimentation que nous avons vu précédemment, mais sans le transformateur ni le pont de diodes. Le fonctionnement est le même : lorsque le transistor est saturé, on emmagasine de l'énergie dans l'inductance, énergie qui est restituée au condensateur et à la charge au blocage du transistor.



La tension de sortie est de sens opposée à celle d'entrée et vaut $U_S = \frac{\alpha}{1-\alpha} U_E$. Il est donc possible

d'obtenir ainsi une tension d'alimentation négative de valeur absolue supérieure ou inférieure (suivant la valeur de α) à la tension d'entrée. Si on souhaite une alimentation positive, il est possible de placer la masse sur la polarité plus de la batterie et de changer la position du transistor en le reliant entre le pôle plus de la batterie et l'inductance.

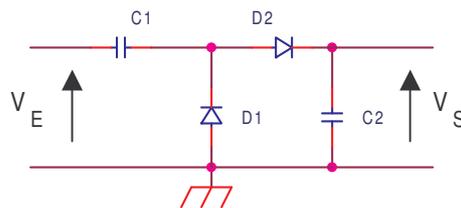
De nombreux circuits intégrés permettent la réalisation de ce type d'alimentation, en intégrant la commande et le transistor. Citons par exemple le LT1073 qui peut fonctionner avec une tension d'alimentation de 1 V (caractéristique intéressante si on travaille avec un seul accumulateur 1,2 V).

2.2.2 Alimentation à pompe de charge

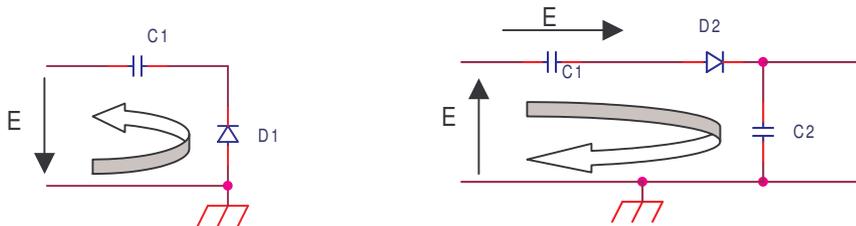
Contrairement aux alimentation à découpage, cette solution ne permet pas de régulation de la tension de sortie, qui dépendra alors fortement du courant absorbé par la charge. On limite alors l'utilisation à de faibles courants absorbés par la charge (quelques milliampères maximum en général). Le principe consiste aussi à utiliser une tension carrée, fournie par un multivibrateur astable par exemple, pour charger des condensateurs, tout en modifiant la topologie du circuit.

2.2.2.1 Doubleur Schenkel

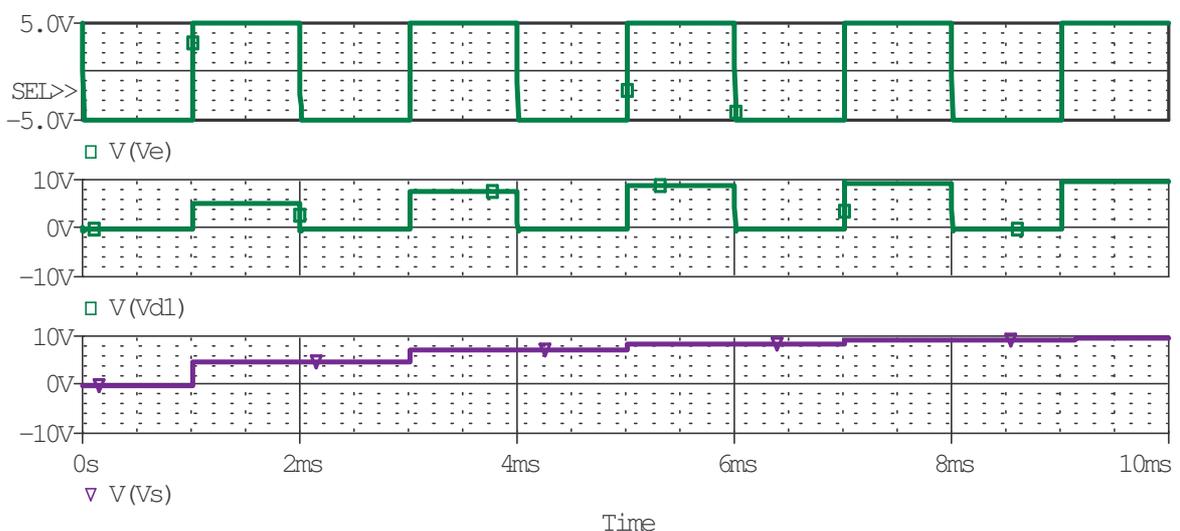
Le premier schéma présente un doubleur de tension, dit doubleur Schenkel, qui permet à partir d'une tension V_E carrée d'amplitude $\pm E$ en entrée, d'obtenir une tension V_S de $2.E$ en sortie, à vide.



Lorsque la tension d'entrée est négative, la diode D1 est passante (si on suppose V_{C1} inférieure à E) et la diode D2 est bloquée (si on suppose V_S positive ou nulle). Le condensateur C1 est donc chargé sous E . Lorsque la tension d'entrée redevient positive, la diode D1 se bloque, et la diode D2 voit $2.E$ sur son anode, tandis qu'elle avait V_S sur sa cathode.

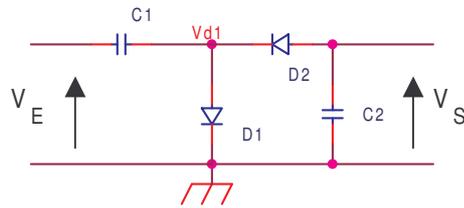


Si on suppose V_S inférieur à $2.E$, la diode D2 devient passante et C2 se charge vers une valeur qui croît à chaque période et tend finalement vers $2.E$, si le circuit n'alimente pas de charge, comme le montre la simulation suivante avec $E=5$ V. On a représenté les tension d'entrée, tension sur l'anode de D1 et tension de sortie :

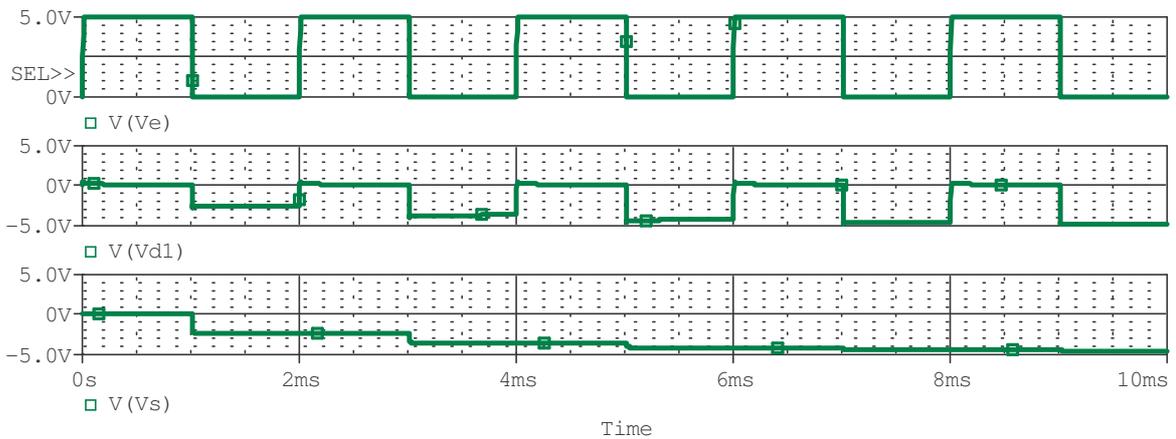


2.2.2.2 *Inverseur*

Il est également possible d'obtenir une tension négative $-E$ à l'aide du circuit suivant, en envoyant une tension d'entrée entre les potentiels 0 volts et E .



Voici les chronogrammes obtenus pour une tension carrée de 5 V crête en entrée :



Au bout de quelques périodes, on obtient bien, à vide, une tension de -5 V.

On trouvera également pour réaliser ce genre d'alimentations de nombreux circuits intégrés, même si un simple multivibrateur astable et quelques diodes font souvent l'affaire.