

LES ALIMENTATIONS DÉMYSTIFIÉES (LINÉAIRES ET À DÉCOUPAGE)

Auteur: Yves MERGY

PRÉSENTATION.

L'alimentation électronique constitue la pièce maîtresse de tout appareil, montage expérimental, ou réalisation aboutie. Les piles n'apportent pas toujours la meilleure solution et il est fréquemment souhaitable de recourir aux services d'une alimentation électronique fiable et plus « musclée ». Les besoins ne sont pas forcément évidents à définir. Au cours de cet article, nous allons vous aider dans cette démarche en vous exposant les différentes technologies, leurs avantages et inconvénients. Nous traiterons des modèles linéaires et terminerons par les alimentations à découpage, plus délicates à mettre en œuvre, mais bien plus performantes. Vous trouverez également quelques schémas de base, bien pratiques pour se repérer.

TRANSFORMATION, REDRESSEMENT et FILTRAGE.

C'est la base de toutes les alimentations dont nous allons parler. Certaines, issues de l'industrie, se passent du transformateur d'alimentation. Nous ne pouvons pas traiter ce sujet ici pour d'évidentes raisons de sécurité et de complexité.

Le transformateur d'alimentation est un appareil statique à induction électromagnétique. Il sert à transformer une tension alternative en une, ou plusieurs tensions généralement différentes, mais de même fréquence. Il comporte un enroulement primaire constitué d'un grand nombre de spires de fil émaillé fin et un, ou plusieurs bobinages secondaires comportant bien moins de spires (pour un transformateur abaisseur de tension) de fil d'un diamètre supérieur. **La figure 1** montre quelques représentations de transformateurs. Notez le point déterminant le début du bobinage.

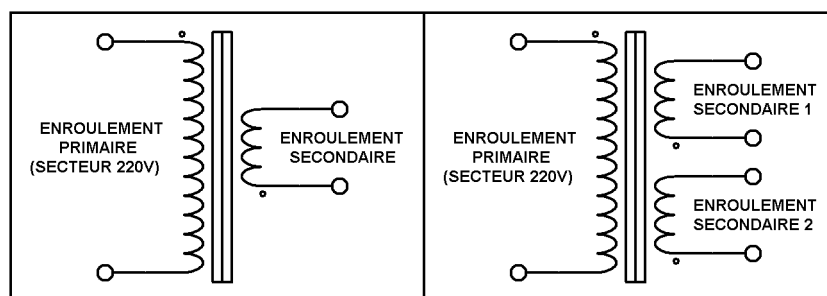


Figure 1. Symbolisation des transformateurs.

La tension alternative doit subir un redressement simple, ou double alternance. A cet effet, il est possible d'employer une simple diode, deux diodes, ou un pont dit de « Graëtz ». **La figure 2** donne les schémas des différents modes de redressement, accompagnés de leurs courbes respectives. A **la figure 2a**, une seule diode redresse une seule alternance. En **2b**, un pont de « Graëtz » redresse les deux alternances. En **2c**, deux secondaires fournissent une seule tension redressée sur les deux alternances. Enfin, en **2d**, les deux mêmes secondaires donnent naissance à deux tensions redressées sur les deux alternances, symétriques par rapport à la masse.

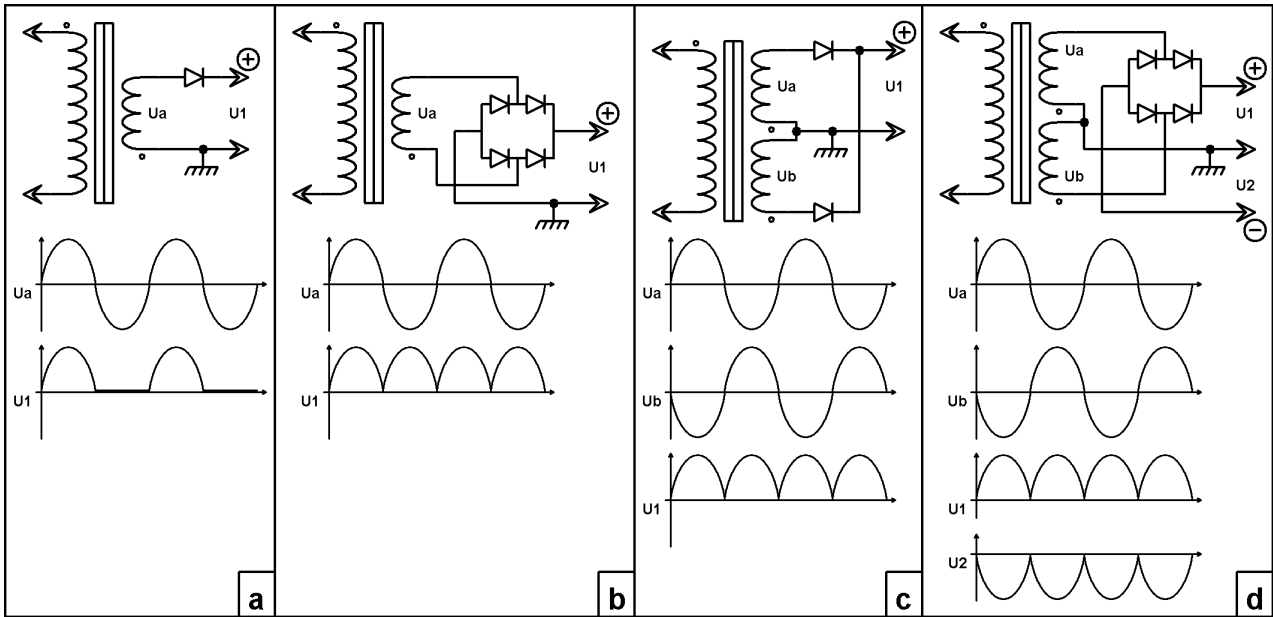


Figure 2. Les différents modes de redressement.

La tension redressée ainsi obtenue ne peut être considérée comme continue. Un efficace filtrage à l'aide de condensateurs va lisser cette tension de manière à atténuer au maximum la composante alternative. La **figure 3** montre le schéma et l'oscillogramme du filtrage de la tension. Cette technique s'applique, bien sûr, à tout mode de redressement.

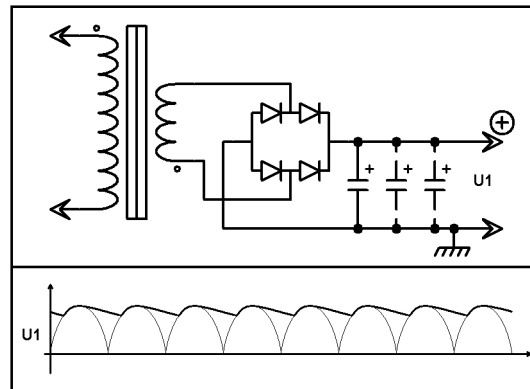


Figure 3. Le filtrage de la tension.

Cette alimentation rudimentaire peut suffire dans certains cas. Elle n'offre pas la stabilité nécessaire à bon nombre d'applications. De plus, en cas de court-circuit, le redresseur risque la destruction, sans parler du transformateur ! Le simple fusible peut remédier à ce problème en utilisant des composants largement dimensionnés.

RÉGULATION LINÉAIRE OU À DÉCOUPAGE.

Essayons de comparer succinctement et simplement, les deux technologies. La régulation linéaire adapte la tension de manière proportionnelle aux besoins en sortie. Les divers éléments comparent en permanence, la tension demandée pour le courant débité, et font chuter l'excédent de puissance par des résistances ou des transistors sous forme d'effet Joule (chaleur). L'élévation de température des composants est étroitement liée à la puissance inutilisée. L'alimentation à découpage travaille différemment. Un hacheur de courant commande un circuit destiné à accumuler de l'énergie (self, diode rapide, transistor MOSFET et condensateurs). L'étage de puissance se comporte comme un simple interrupteur commandé électroniquement selon un rapport cyclique variable, en fonction de la tension requise. L'effet joule est

moins et le rendement bien meilleur. Nous nous étendrons plus en détails sur ces principes aux paragraphes concernés.

ALIMENTATION LINÉAIRE À RÉGULATION PARALLÈLE.

Ce mode de régulation présente l'avantage de n'utiliser que peu de composants. Voyez son principe de base sur le schéma de la **figure 4**.

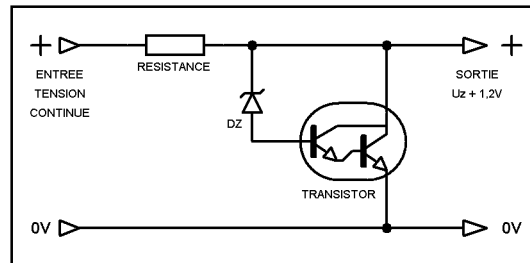


Figure 4. La régulation linéaire parallèle.

Une diode Zener courante ne peut dissiper plus de 0,25 ou, 1,3 watt pour la plus puissante. Ce montage s'apparente à une diode Zener de forte puissance et bénéficie de la puissance de dissipation du transistor darlington. Le calcul des éléments reste identique à celui d'une diode Zener simple. L'exemple part d'une tension d'entrée de 18 volts pour obtenir 13,2V (Zener = 12V) en sortie sous 1 ampère.

- $R = (U_{(entrée)} - U_{(zener)}) / I_{(sortie)}$ exemple : $R = (18-12)/1 = 6\Omega$
- $P_{(résistance)} = R \cdot I^2$ exemple : $P = 6 \cdot 1 \cdot 1 = 6 \text{ Watts}$

Il convient d'opter, par sécurité, pour une résistance d'une puissance de 10 watts et de doter le transistor d'un bon dissipateur thermique. Ce type d'alimentation présente plusieurs inconvénients : les composants sont volumineux et chauffent abondamment.

ALIMENTATION LINÉAIRE À RÉGULATION SÉRIE.

Ce modèle d'alimentation, bien que linéaire, a fait ses preuves durant de longues années. A ce jour, bon nombre d'électroniciens préfèrent cette technologie, plus simple à mettre en œuvre.

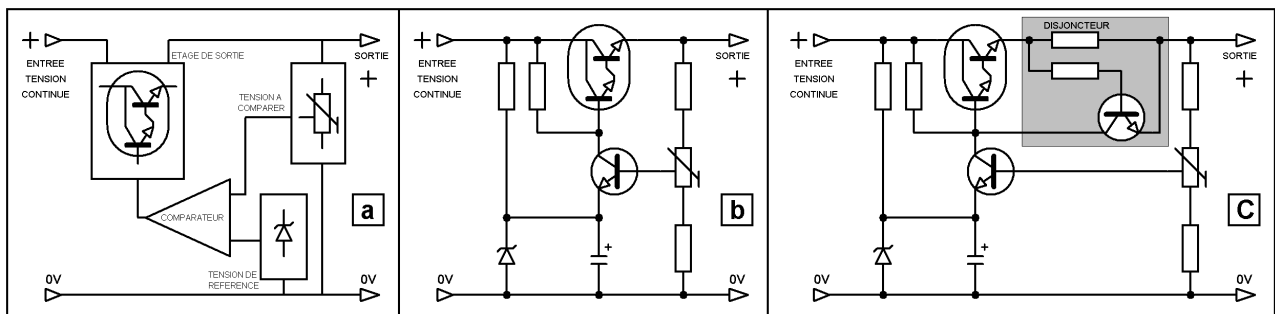


Figure 5. La régulation linéaire série.

La **figure 5a** donne le synoptique de base. Un simple transistor, ou un amplificateur opérationnel (AOP), compare une tension de référence à celle issue d'un pont diviseur en sortie. Le résultat commande l'étage de sortie. Le circuit s'auto régule pour s'approcher au mieux de la tension de consigne déterminée par le pont diviseur.

Le schéma de la **figure 5b** montre un exemple rudimentaire, mais parfaitement fiable de l'analyse faite ci-dessus. Une diode zener fournit la tension de référence filtrée par un condensateur et limitée en courant par une résistance. Un transistor NPN compare la tension de référence à celle issue de la résistance ajustable. Les résistances de part et d'autre de cette dernière servent de « butées » afin de ne pas dépasser un seuil inférieur et supérieur de tension. Un transistor Darlington NPN se charge de réguler la tension en dissipant l'excédent de puissance en chaleur par transfert à son dissipateur thermique.

Il convient, par sécurité, de doter l'alimentation d'un disjoncteur électronique. Celui-ci surveille continuellement le courant de sortie et intervient en cas de surcharge et de court-circuit franc. La **figure 5c**

reprend le schéma précédent additionné de trois composants pour tenir ce rôle. Le courant traverse une faible résistance de puissance. En cas de surcharge, quand la différence de potentiel à ses bornes atteint 0,7 volt, le transistor NPN devient passant et bloque l'étage de puissance.

Il existe un circuit intégré spécialisé : le LM723, dont les performances ne sont plus à démontrer et qui comporte l'intégralité des circuits nécessaires à la réalisation d'une alimentation. Ce composant est couramment utilisé dans l'industrie, et nous vous recommandons la consultation de sa fiche technique sur le site Internet du fabricant : « <http://www.national.com/pf/LM/LM723.html> ».

GÉNÉRALITÉ SUR LES ALIMENTATIONS À DÉCOUPAGE.

Nous en avons parlé précédemment, une alimentation à découpage travaille de manière très différente. Tout le fonctionnement s'articule autour de la self alimentée en régime de commutation à une fréquence élevée (entre 20kHz et 300kHz environ, selon les fabricants). Pour expliquer simplement le principe relatif à cette technologie, il faut savoir qu'en présence d'une tension, l'intensité aux bornes de la self croît régulièrement : elle se charge en courant. A la mise hors tension, le courant ne pouvant plus circuler provoque une très forte montée en tension. C'est cette caractéristique qui est mise à profit.

Pour travailler électroniquement à très grande vitesse, l'interrupteur chargé de mettre la self en et hors tension est généralement remplacé par un transistor MOSFET de puissance à très faible résistance de fonctionnement (quelques milliohms). Une diode rapide aiguille l'énergie vers un ou plusieurs condensateurs faisant office de réservoirs.

Les termes qui nomment et définissent les alimentations à découpage sont, malheureusement anglais. Voyons les principaux.

- Step-down ou Buck. Définit une alimentation où la tension de sortie est inférieure à celle d'entrée. L'interrupteur électronique est placé comme sur une régulation série.
- Step-up ou Boost. La tension de sortie est supérieure à celle d'entrée. L'interrupteur électronique est positionné comme pour une régulation parallèle.
- Buck-Boost. C'est un convertisseur qui inverse la tension. L'interrupteur est de type « série », mais la diode est inversée.
- Flyback. La self est remplacée par un transformateur dans un montage Step-down.
- Forward. La self est également remplacée par un transformateur mais nécessite un enroulement supplémentaire.
- A résonance. La commutation ne s'effectue que lorsque l'intensité est nulle dans la self, ce qui évite les parasites liés aux commutations à pleine puissance.
- A pompe de charges. Ces alimentations ne font plus appel aux inductances mais à des condensateurs. Elles ne peuvent fournir que de faibles puissances (quelques mA).

Il existe une multitude de circuits intégrés spécialisés pour les alimentations à découpage. Nous avons choisi, pour cet article, le SG3524 ou LM3524 capable de gérer plusieurs configurations. D'une puissance réduite, il est possible de lui adjoindre des MOSFET externes permettant de commuter de fortes puissances. Nous n'étudierons ici que les deux premiers modèles : step-up et step-down, les plus simples à mettre en œuvre et les plus répandus.

ALIMENTATION À DÉCOUPAGE DE TYPE « STEP-DOWN ».

La tension de sortie est plus faible que la tension d'entrée. Les **figure 6a et 6b** donnent les deux phases de fonctionnement du principe électrique de ce genre d'alimentation.

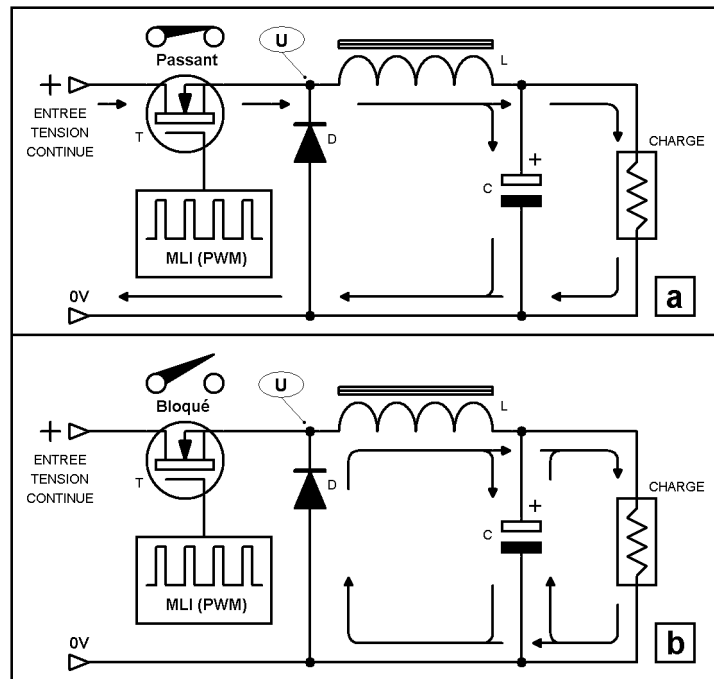


Figure 6. Alimentation à découpage « Step-down ».

Le transistor MOSFET à très faible résistance de fonctionnement ($R_{DS\ on\ max}$) et capable de supporter une forte intensité (I_D) se comporte comme un interrupteur électronique. Celui-ci est commandé en modulation de largeur d'impulsions (MLI ou PWM en anglais) par un oscillateur. Les périodes pendant lesquelles il est passant ou bloqué sont de durée variable afin de réguler la tension de sortie.

Lorsque le transistor T conduit (**figure 6a**), la charge est alimentée à travers l'inductance L sous une tension approximativement égale à celle d'entrée. Le courant ne traverse pas la diode D, raccordée à l'inverse. Le condensateur C se charge en même temps.

Durant la phase de blocage de T (**figure 6b**), la self force le point « U » (commun de la cathode de la diode et de la source du transistor) au potentiel négatif pour maintenir la fuite du courant. La diode devient conductrice et le courant s'écoule à travers D et L. La tension est filtrée par L et C afin d'obtenir un signal continu de bonne qualité en sortie. La self génère un accroissement du courant de « ΔI » issu de son changement de tension (courant de rupture). La meilleure règle consiste à maintenir un « ΔI » d'environ 40% de I nominal, voyez le graphique de la **figure 7**.

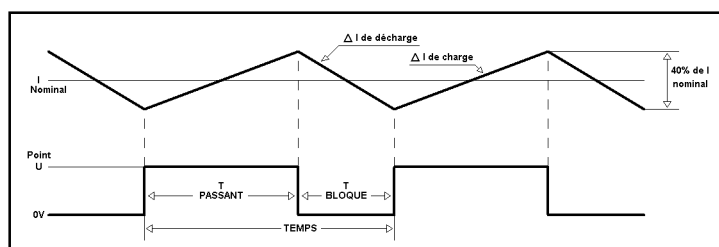


Figure 7. Diagrammes de ΔI (accroissement de I nominal).

Afin de ne pas rester sur une étude théorique, nous vous proposons un exemple de schéma de principe d'alimentation à découpage à réduction de tension (Step Down). Au cœur de la **figure 8**, notez la présence du circuit intégré spécialisé SG3524. La vue interne du composant permet de mieux comprendre le fonctionnement, contrairement aux schémas habituels, peu explicites avec un simple rectangle sombre pour toute représentation du circuit intégré. Constatez la présence d'une tension de référence, générée de manière interne. Un amplificateur d'erreur compare une fraction de cette tension (R_4 , R_5) à celle prélevée en sortie au moyen d'un diviseur de tension (R_2 , AJ1, R_3). Cette fonction permet de régler et réguler la tension de sortie. Les valeurs de R_6 , AJ2 et C_4 définissent la fréquence de l'oscillateur interne. Le SG3524 comprend également un limiteur de courant, inutilisé ici, mais indispensable dans une alimentation de laboratoire.

Vous retrouvez les principaux organes cités ci-dessus, à savoir : le transistor MOSFET, la diode, la self et le condensateur de sortie.

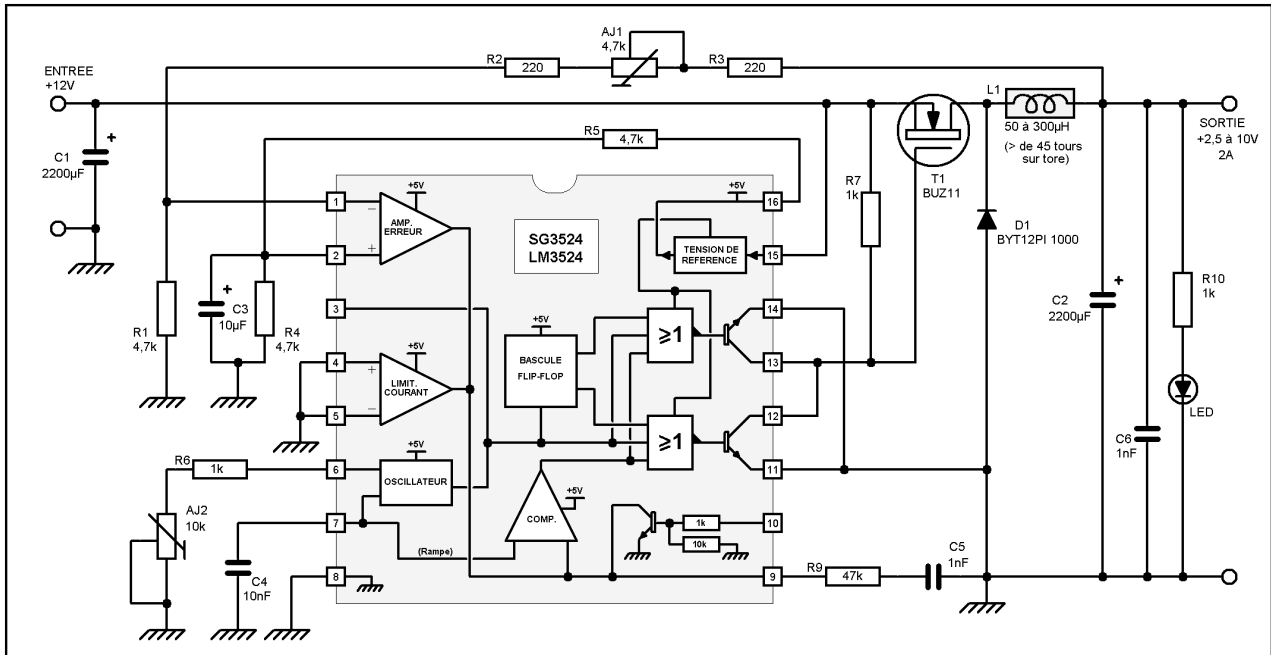


Figure 8. Exemple d'alimentation à découpage de type « Step Down » .

ALIMENTATION À DÉCOUPAGE DE TYPE « STEP-UP ».

La tension de sortie est plus élevée que la tension d'entrée. Les figures 9a et 9b donnent les deux états définissant le principe électrique de ce modèle d'alimentation.

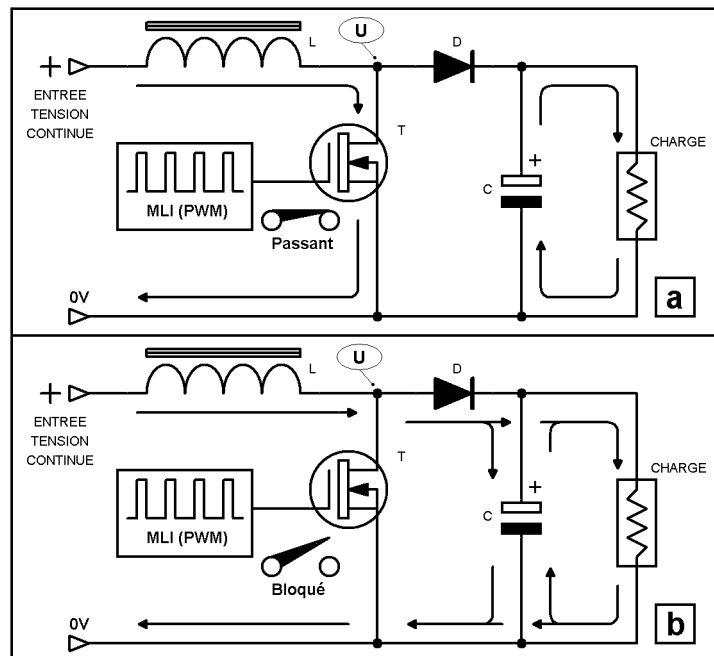


Figure 9. Alimentation à découpage « Step-up ».

Là encore, un transistor MOSFET de puissance fait office d'interrupteur électronique commandé en largeur d'impulsions par un oscillateur. Passant ou bloqué durant des laps de temps différents, il régule la tension de sortie.

Lorsque le transistor T conduit (**figure 9a**), l'énergie est stockée dans la self L ; la diode D montée à l'inverse empêche la décharge du condensateur C.

Durant la phase de blocage de T (**figure 9b**), l'énergie emmagasinée par l'inductance L s'écoule en chargeant le condensateur C via la diode D afin de compenser la décharge du condensateur, survenue durant le temps de conduction de T. La self génère sensiblement le même accroissement de courant « ΔI » que pour l'alimentation de type « Step down » ; voyez le graphique de la **figure 7**.

Ici aussi, nous vous proposons un exemple de schéma de principe d'alimentation à découpage à élévation de tension (Step Up) sur la **figure 10**. Le circuit intégré spécialisé SG3524 est également mis à contribution. La vue interne du composant facilite la compréhension du fonctionnement. La régulation de la tension de sortie s'effectue par le biais de l'amplificateur d'erreur chargé de comparer une fraction de la tension de référence (R4, R5) à celle prélevée en sortie au moyen d'un diviseur de tension (R2, AJ1, R3). Retrouvez les principaux composants cités lors de l'étude théorique : le transistor MOSFET, la diode, la self et le condensateur de sortie.

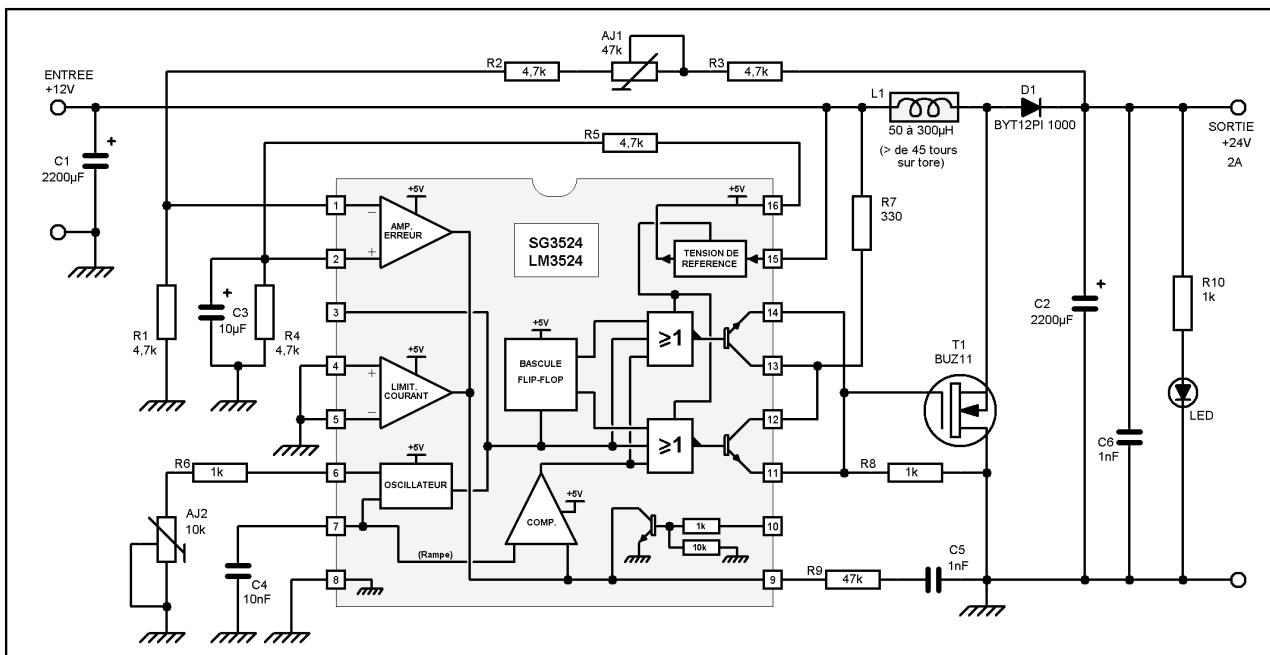


Figure 10. Exemple d'alimentation à découpage de type « Step up ».

BIBLIOGRAPHIE.

L'auteur de cet article a fait paraître un ouvrage aux éditions Dunod ETSF. Il s'intitule : « Réaliser ses alimentations électroniques », traite de manière très concrète de la majorité des alimentations et propose de nombreuses réalisations partant des plus simples pour terminer par des appareils aux caractéristiques ambitieuses.