

Les alimentations sans transformateur

Il est souvent utile de posséder une source d'alimentation à partir du secteur pour laquelle on désire à la fois un faible coût et un encombrement réduit.

Pour obtenir satisfaction, l'élément prédominant à supprimer qui sera en ligne de mire c'est, bien entendu, le transformateur.

Or, faire une alimentation secteur sans transformateur est quelque chose de tout à fait possible. Certes il y a quelques précautions à prendre, des règles à respecter, mais les résultats obtenus peuvent s'avérer amplement suffisants et extrêmement intéressants dans bien des cas.

L'article qui suit ne débouche pas sur une réalisation, mais il aura pour but de répondre à de nombreuses questions: Quelles sont les précautions à prendre, que peut-on attendre de ces types d'alimentations, comment les calculer et les optimiser? etc.

Le but

Si vous vous empressez de lire cet article, autant prévenir, ne vous attendez pas à y trouver une solution simple pour alimenter un amplificateur 60 Watts....

En effet, si des tensions de l'ordre de 50 ou 60 Volts sont du domaine du possible, c'est au niveau des courants maximums que la première limite se montrera.

Envisager des courants d'une centaine de milli-Ampères fait partie de ces limites maximales à convoiter.

Déjà avec des courants de cet ordre (et même pour moins) de nombreux montages peuvent prendre vie.

Précautions et nécessités

Ces alimentations tombent à pic pour les petits montages dont le coût de revient ne dépasse guère la cinquantaine de Francs. En effet, dans ce cas, une alimentation à transformateur revient aussi cher que le montage et en enlève tout l'intérêt.

Par contre, si tout montage à la gourmandise modeste peut en théorie y être connecté, il faut garder dans l'esprit quelques règles importantes. On ne pourra par exemple pas alimenter de cette façon tout montage ayant des parties métalliques facilement accessibles.

Ainsi les différents points passés en détail ci-dessous sont pratiquement des cas d'exclusions systématiques:

- Si des éléments (poussoirs, interrupteurs, prises de sortie, micro, peuvent être touchés facilement de la main: là le risque est présent et dangereux. D'une manière générale, éviter toute tentative lorsque le montage ne se trouve pas dans un coffret plastique solide.
- Si le montage doit être raccordé à un autre appareil possédant une alimentation traditionnelle (T.V. chaîne H.I.F.I., appareil de mesure, etc).
- Si le montage doit être raccordé à une ligne P.T.T. (et là, les sanctions peuvent être graves...).
- Si le montage connecté peut être soumis à une humidité importante (accidentellement ou non) et, à fortiori, s'il sert à mesurer des niveaux de liquides ou autres applications du même style, cela va de soi...)

Cette liste d'exclusions peut paraître bien contraignante, mais la sécurité est primordiale.

L'élément responsable de toute cette série d'impossibilités est le fait qu'en général, l'un des deux pôles du secteur se retrouve directement réuni au montage.

Or, lorsque l'on branche une fiche secteur, on a une chance sur deux (le

barillet de la roulette russe se réduit!!) pour que la masse du montage se retrouve à la phase du secteur ou au neutre.

Même si le neutre est pratiquement toujours au même potentiel que la terre, il ne peut toujours y avoir certitude et le risque existe. Il faut savoir qu'un courant d'une dizaine de mA circulant dans le corps humain est déjà grandement mortel... Or le montage peut être relié à la phase et un radiateur de chauffage central représente une très bonne terre....

Tous ces avertissements ne doivent pas pour autant faire lâcher prise à l'engouement que vous avez à résoudre vos problèmes d'alimentation.

Ainsi, un micro-émetteur F.M. par exemple, dont le micro métallique n'est pas accessible et bien enfermé dans son boîtier est un exemple de montage pour lequel cette solution est viable.

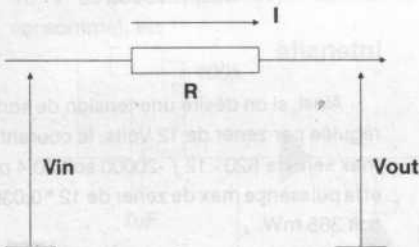
Le temporisateur longue durée, vu le mois dernier, proposait également une solution de ce type. Pour la sécurité, il suffisait de commuter les inters D.I.L. lorsque l'appareil était hors tension.

Nous venons de prendre ici deux exemples positifs, mais il en existe bien d'autres avec lesquels nous pourrions remplir des colonnes. Ce n'est pas le but ici et, pour résumer, il suffit de garder en mémoire les cas d'exclusions et faire preuve de bon sens pour faire son choix.

Principe de base

Lorsque l'on a une tension **continue** à faire chuter, la solution la plus simple, c'est la résistance. Le seul inconvénient de cette méthode réside dans le fait que cette résistance est généralement calculée pour un courant connu et constant.

En effet, si le courant consommé diminue, la chute de tension dans R également, ce qui correspond à une augmentation de la tension de sortie. A la limite, pour $I = 0$, on obtient $V_{out} = V_{in}$.



Pour créer une consommation constante sur cette résistance, indépendamment du courant consommé par la charge, la solution consiste à placer une régulation SHUNT, généralement une diode zener.

A noter que ce système à diode, résistance et diode zener peut être utilisé pour des courants jusqu'à 1,5 à 2 mA (alimentation de circuits MOS) tout en restant dans des résistances de 1/2 à 1Watt.

Au redressement près, nous pourrions partir du même principe pour une alimentation se raccordant au secteur. Le seul problème réside dans la puissance dissipée dans la résistance, car là, on part d'une tension efficace de 220 V, soit 310 V crête.

La solution à résistance impose donc une nouvelle limite: la puissance et, par le fait, encore la taille.

Capacité = Z?

Si en continu un condensateur ou une self n'offrent respectivement qu'un isolement ou la résistivité du fil, en alternatif, tout est à reconsidérer.

Ainsi, un condensateur soumis à une fréquence de 50 Hz laisse passer une proportion de cette tension, proportion étroitement liée à l'impédance que représente ce condensateur à la fréquence considérée. Cette impédance suit la formule:

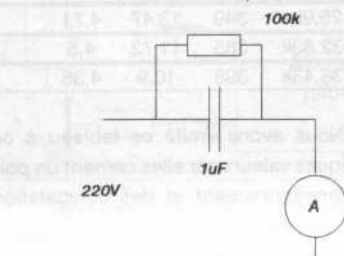
$$Z = 1/(2 \pi F C)$$

La "résistance" équivalente est très intéressante puisque le condensateur, offrant un déphasage de $\pi/2$ entre le courant et la tension, ne dissipe aucune puissance: $P = U \cdot I \cdot \cos(\phi)$.

Cet absence de puissance dissipée est d'autant plus réelle que le condensateur s'approche du composant parfait.

En reprenant la formule précédemment donnée, on peut ainsi calculer qu'un condensateur de 1uF représente une impédance équivalente sous 50 Hz de 3,183 kOhms.

L'expérience consistant à connecter un condensateur plastique de 1 uF 400V au secteur et un milli-Ampèremètre vérifie ce calcul puisque l'on obtiendra un courant alternatif efficace de $220/3183 = 69,1$ mA.



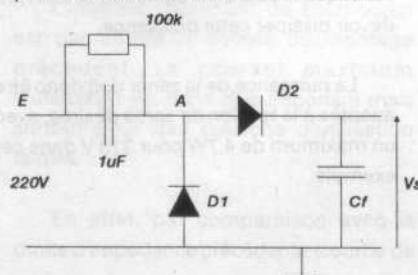
Dans la suite des exemples de cet article, nous conserverons toujours la valeur de 1 uF pour le condensateur. Vous retrouverez toujours aussi la résistance de 100 kOhms 1/2 Watt en parallèle sur celui-ci.

Sa présence se justifie par le fait que sur un montage de ce type, la fiche secteur peut être enlevée à tout moment, laissant ainsi le condensateur avec un état de charge inconnu. On peut à cet instant T de déconnexion y trouver 0 Volt tout comme 310 Volts d'une polarité ou d'une autre. Cette résistance assure la décharge rapide et évite ainsi tout choc désagréable au contact de la prise mâle.

Création d'une tension continue

Le condensateur par lui-même ne suffit pas. Il faut pour obtenir une tension continue comme l'aiment nos chers CI, utiliser une cellule de redressement.

La cellule la plus couramment utilisée prend la forme du schéma ci-dessous.



Si nous supposons que la première alternance du secteur est négative, le condensateur de 1 uF va d'abord se charger au travers de D1 à la tension crête du secteur.

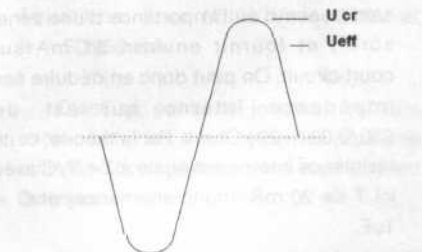
Pendant toute cette phase descendante, le point A va se trouver à -0,7V par rapport à la masse. Au point maximum négatif de la tension secteur, ce condensateur sera chargé à la tension crête, soit 310 Volts. (-310V à l'entrée E et 0V en A (on négligera les 0,7 de seuil)).

Lorsque l'on attaque la remontée de l'alternance négative, D1 va se bloquer et la tension au point A va monter de la même quantité. D2 entre en conduction et la capacité de filtrage Cf se charge à la même tension (en fait Cf se charge sur plusieurs alternances, à cause du ratio des capacités).

Point particulier: lorsque la tension d'entrée sera à zéro, le point A sera à +310V par rapport à la masse.

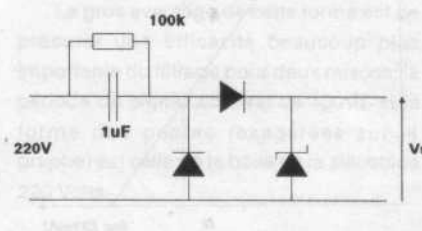
Nous ne faisons par contre à ce moment, qu'attaquer seulement l'alternance positive et elle ira jusqu'à +310 Volts crête (entraînant toujours le point A).

C'est donc de 620V que nous disposerons lorsque cette crête sera atteinte, et la capacité de filtrage Cf sera rechargée de ses pertes (pertes propres + celles d'une charge externe) toutes les 20 mS.

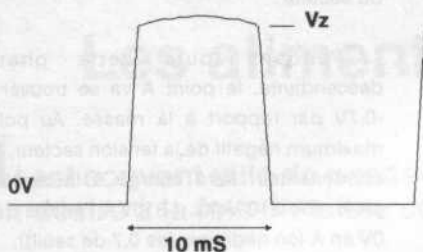


L'étage que nous venons de décrire est très connu et se nomme DOUBLEUR DE TENSION. C'est ce principe qu'utilisent par exemple les MAX232 pour obtenir des tensions de 12V à partir du 5V et à l'aide d'un découpeur intégré.

Si nous remplaçons maintenant la capacité de filtrage Cf par une diode zener, nous obtenons le montage suivant:



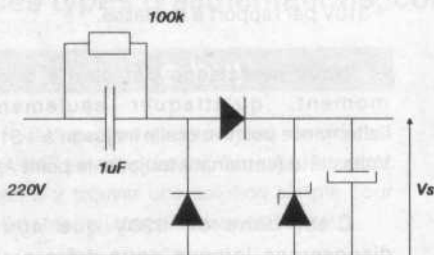
La diode zener va désormais limiter la tension de sortie et, sans condensateur de filtrage, la tension V_s aura la forme suivante:



Les défauts sont ici accentués: la pente du carré obtenu correspond à la pente de la sinusoïde à proximité de 0V et l'arrondi au niveau de V_z correspond à la résistance dynamique de cette diode.

Nous sommes à deux pas de notre alimentation, à laquelle il suffit d'ajouter le filtrage et une éventuelle régulation série.

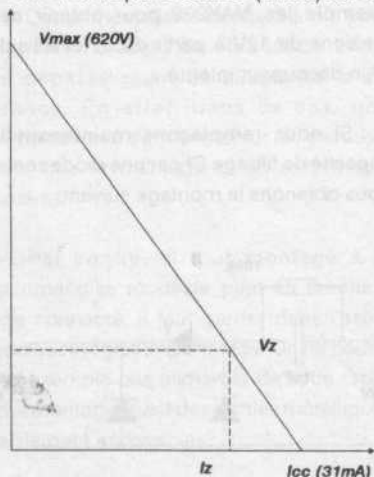
Alimentation mono-alternance



Voilà le schéma final de cette première alimentation complète (la plus courante).

Elle part de la base du doubleur (620V sans zener: d'où l'importance d'une zener sûre!) et fournit environ 31 mA sur court-circuit. On peut donc en déduire son impédance interne qui est de $620/0,031 = 20\text{ k}\Omega$. Par la théorie, cette résistance interne est égale à $Z = T/C$ avec ici T de 20 mS (mono-alternance) et $C = 1\mu\text{F}$.

Cette résistance interne liée à une tension à vide élevée est très intéressante et se traduit par la courbe (droite) suivante:



De cette droite on peut déduire tous les courants pouvant être disponibles en fonction de la tension de sortie désirée.

Avec les valeurs de composants suivantes (et sans zener):

- C entrée: 1uF 400V
- Diodes: 1N4007
- Capacité de filtrage: 47uF 450V,

nous avons obtenu le relevé de tension en fonction de la charge suivant (V_s en volts, I_s en mA et P_s en Watts):

RI	V_s	I_s	P_s
591	17,57	29,68	0,521
1,586k	44,92	28,32	1,27
3,6k	93,75	25,97	2,435
10,43k	210,9	20,12	4,24
14k	252	18	4,5
25,9k	349	13,47	4,71
32,83k	385	11,72	4,5
36,43k	398	10,9	4,36

Nous avons limité ce tableau à ces quelques valeurs car elles cernent un point de fonctionnement et des constatations importantes.

On peut voir dans un premier temps que la puissance obtenue n'est pas constante. Cette puissance va tendre vers zéro pour $V_s = 0$ (court-circuit) et également pour $I_s = 0$ (à vide). On voit aussi qu'elle passe par un maximum (de l'ordre de 4,7 Watts quand même) pour une résistance de charge située en fait entre 14 et 25kOhms.

Plus précisément, la puissance maximum que l'on obtiendra sera de fait acquise pour une valeur de RI égale à l'impédance interne de l'alimentation: voilà qui rappelle étrangement les adaptations d'impédances.

A ce moment, la tension disponible sera de $V_{\text{max}}/2$ (soit 310V) et le courant de sortie de $I_{\text{cc}}/2$ soit 15,5 mA environ.

Pour revenir à notre alimentation pré-stabilisée par zener, on peut en retirer aussi une conclusion importante: Si la consommation de la charge est variable (et notamment si elle peut être nulle), c'est la zener qui, montée en régulation SHUNT, va devoir dissiper cette puissance.

La puissance de la zener doit donc être adaptée à la tension de sortie désirée, avec un maximum de 4,7W pour 310 V dans cet exemple.

Ces points de repos sont symbolisés dans la droite de bas de page par V_z et I_z . Le point I_z est la limite supérieure que pourra consommer le montage avant que la zener commence à ne plus réguler. A cet endroit, la tension d'utilisation va ensuite descendre suivant la pente de la droite.

Pour faciliter la tâche, il est plus simple de trouver l'équation de cette droite, de la forme $Y = AX + B$, avec $B = 620$ (V_{max}) et $A = 620 / 0,031$ (I_{cc}):

- $V_s = -20000 I_s + 620$ ou encore
- $I_s = (V_s - 620) / -20000$

Intensité

Ainsi, si on désire une tension de sortie régulée par zener de 12 Volts, le courant I_z max sera de $620 - 12 / -20000$ soit 30,4 mA et la puissance max de zener de $12 * 0,0304$ soit 365 mW.

Une zener 24 Volts devra pouvoir dissiper 730 mW et ainsi de suite. On constate ainsi que la zener, qui est très importante dans ce type de montage (si elle se coupe, ce qui est rarement le cas, la tension s'envole...) aura tout intérêt à être bien dimensionnée et qu'il sera souvent plus simple de placer 2 zeners 12 Volts, 1W en série par exemple.

Pour rassurer, précisons qu'une zener sollicitée au delà de ses caractéristiques maximales a plutôt pour habitude de se mettre en court-circuit.

Puissance

De ces résultats, des conclusions peuvent être tirées également au niveau de la puissance.

Prenons l'exemple d'un montage équipé d'un relais. Le relais, à caractéristiques égales, peut se trouver avec différentes valeurs de tensions pour la bobine: c'est l'exemple type du composant fonctionnant à puissance constante.

Ainsi, un relais 12V dont la bobine consomme 30 mA (cas fréquent des petits relais (360mW)), ne consommera que 15 mA en version 24V, 7,5 mA en 48V, etc.

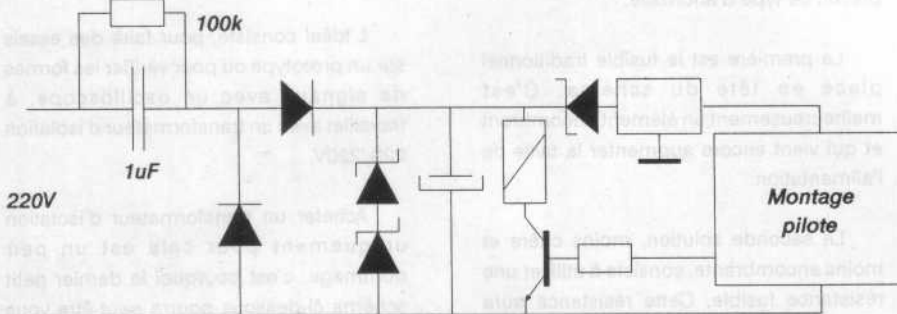
On voit de suite que le relais 12V, dans le cas de notre alimentation, consommera pratiquement la totalité du courant disponible, ne laissant rien à l'électronique de commande.

Un relais 48V consommant 7,5mA laissera, par contre, encore 20 mA disponibles pour le montage (en se basant

sur le tableau des valeurs relevées, page précédente).

On aura donc tout intérêt dans un montage comme cet exemple, à prendre un relais dont la tension de bobine est la plus forte possible, quitte à le commander par un transistor monté en collecteur ouvert de Vce suffisant.

Ceci est vrai pour tous les composants fonctionnant à puissance constante, relais, lucioles, HP (le HP 50 Ohms existe), buzzers (il existe des modèles allant de 3 à 48 V avec diminution du courant consommé), etc.



Le schéma ci-dessus représente un tel montage avec deux types d'alimentations distinctes.

Deux zeners de 24 Volts permettent de piloter le relais en 48 Volts. Une zener de 25 à 32 Volts, placée en série dans l'entrée d'un régulateur permet de descendre sa tension d'entrée entre 16 et 23 Volts (les régulateurs n'aiment pas beaucoup au-dessus de 27 V).

Ce régulateur de type 12V par exemple fournit enfin une tension très stable au montage utilisateur. La tension de commande du relais est appliquée à la base du transistor au travers d'une résistance de limitation, et une commande par une tension du type 0 à 3V est déjà utilisable.

Nous avons omis dans ce schéma les divers condensateurs de découplage pour plus de clarté (entrée et sortie du RG 12, etc).

Plus de courant....

Dans ce titre, le mot "plus" s'entend évidemment dans le sens "+". Et de fait, on en veut bien souvent toujours plus.

Même si travailler à l'économie dans un montage est tout un art, 30 mA sous 12 Volts: c'est "short".

Or nous avons vu plus haut que l'impédance de la capacité sur du 50 Hz est

définie par $Z = 1 / (2 \pi F C)$. Pour diminuer Z, il n'y a donc pas 36 solutions:

Π est une valeur ancienne et personne n'osera la changer. Pour F, s'il suffisait de téléphoner à EDF pour augmenter sa fréquence, ça se saurait! Reste C.

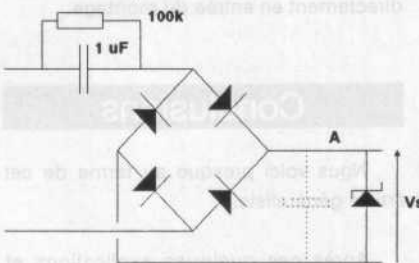
Cela semble couler de source, si l'on met en parallèle plusieurs capacités de 1uF, on augmentera proportionnellement le courant disponible. Si l'encombrement est le critère de choix, autant s'arrêter avant que tout cela ne devienne plus gros que le transformateur correspondant.

Revenons pourtant un peu en arrière avec F...

Fabriquer du 100 Hz, à la limite, améliorerait déjà le résultat par deux. Or, 100 Hz, c'est bien la fréquence que l'on retrouve à la sortie d'un pont, non ?

Alimentation double-alternance

Le montage est extrêmement simple. Son schéma (ci-dessous) fait appel à la même capacité d'entrée et un pont de diode classique.



Ici, le fonctionnement est relativement différent et l'aspect doubleur de tension disparaît. Ce montage, à vide, fournit une tension de 310Volts, soit la valeur crête du secteur.

L'intensité maximum de court-circuit est par contre le double du montage précédent. Le courant maximum d'utilisation est donc plus important mais surtout pour des tensions d'utilisation faibles.

En effet, par comparaison avec la droite d'impédance précédente (courbe de

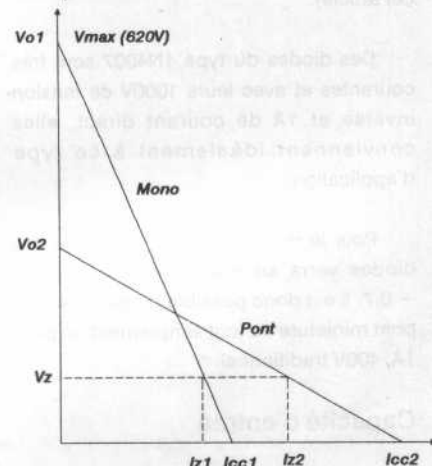
charge) la tension à vide de moitié (V_{o2}) et le courant maxi au double (I_{cc2}) donnent une pente de droite divisée par 4.

L'équation de tension en fonction de la charge reste la même, seules les valeurs deviennent:

- $V_s = -5000 I_s + 310$ ou encore
- $I_s = (V_s - 310) / -5000$

Cette différence de pente montre que pour une même valeur de V_z , le courant de régulation I_{z2} est très différent et surtout chute beaucoup plus vite lorsque l'on désire des tensions d'utilisation élevées.

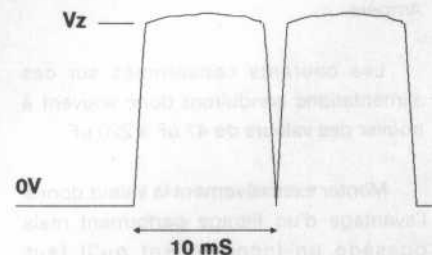
Le graphe comparatif ci-dessous met en évidence la différence de comportement entre les deux montages.



Le point de jonction entre ces deux droites peut être calculé à l'aide des deux équations. Il se fait à $V_s = 206V$ et $I_s = 20,666 \text{ mA}$.

C'est ce point de jonction qui fera choisir entre les deux systèmes pour une utilisation donnée de tension et de courant de sortie.

Enfin, sur le système à pont et sans chimique de filtrage, la forme d'onde obtenue est de la forme suivante:



Le gros avantage de cette forme est de procurer une efficacité beaucoup plus importante du filtrage pour deux raisons: la période de signal actif est de 10 ms et la forme des pentes (exagérées sur le graphe) est celle de la base de la sinusoïde 220 Volts.

Dans tous les cas, c'est toujours sur la dissipation des zeners qu'il faudra porter l'attention, surtout s'il n'y a aucune charge de sortie.

Choix des composants

Diodes

Le courant véhiculé par les diodes reste modeste. Le choix portera surtout sur la tension inverse maximale qu'elles devront supporter.

Pour le système mono-alternance, la diode D1 devra supporter au minimum 620 V, D2 supportera au maximum le V_s choisi + 0,7V (schéma de la deuxième page de cet article).

Des diodes du type 1N4007 sont très courantes et avec leurs 1000V de tension inverse et 1A de courant direct, elles conviennent idéalement à ce type d'application.

Pour le montage à pont, chacune des diodes verra au maximum le V_s choisi + 0,7. Il est donc possible d'opter pour un pont miniature ou tout simplement un pont 1A, 400V traditionnel.

Capacité d'entrée

Les condensateurs plastiques 400V offrent un bon rapport qualité / prix et qualité / encombrement.

Des condensateurs spécialisés pour l'alternatif offrent également un angle de perte faible et conviennent pour de telles applications.

Capacité de filtrage

Le calcul de la capacité de filtrage peut suivre les règles traditionnelles de sélection, à savoir 1000 à 1500 μF par Ampère.

Les courants consommés sur ces alimentations conduiront donc souvent à trouver des valeurs de 47 μF à 220 μF .

Monter excessivement la valeur donne l'avantage d'un filtrage performant mais possède un inconvénient qu'il faut commenter.

L'impédance interne de la source d'alimentation étant loin d'être nulle (nous avons vu 20 kOhms pour la mono-alternance à 1uF), l'établissement de la tension nominale d'utilisation ne se

fera qu'avec une constante de temps de démarrage non négligeable.

Cette montée lente (quelques alternances du secteur) peut être nuisible pour des montages possédant un RESET de démarrage basé sur la ligne d'alimentation.

Protection d'entrée

Prévoir le court-circuit éventuel du condensateur d'entrée fait partie des décisions sages du concepteur.

Il existe deux solutions simples pour prévoir ce type d'anomalie.

La première est le fusible traditionnel placé en tête du schéma. C'est malheureusement un élément encombrant et qui vient encore augmenter la taille de l'alimentation.

La seconde solution, moins chère et moins encombrante, consiste à utiliser une résistance fusible. Cette résistance aura pour rôle de partir en fumée et de se couper en cas de "pépin".

C'est pour cette raison que cette résistance sera plutôt choisie du type ininflammable. Cette solution est très fréquemment rencontrée dans des produits secteur de bas prix du commerce (télécommandes secteur, clignoteurs, gradateurs, etc).

Cette résistance aura une valeur de 10 à 100 Ohms et d'une puissance de 1/4 de Watt. Elle sera câblée comme le fusible, directement en entrée du montage.

Conclusions

Nous voici presque au terme de cet article généraliste.

Après ces quelques explications et démystifications, vous devriez pouvoir venir à bout de divers calculs d'alimentations de ce type.

A noter enfin que la résistance de 100 kOhms, placée en parallèle sur le condensateur d'entrée, vient légèrement modifier tous les résultats.

Elle diminue notamment l'efficacité du doubleur (pendant la phase croissante de V_{in}), modifie les impédances internes et légèrement le courant maxi de sortie.

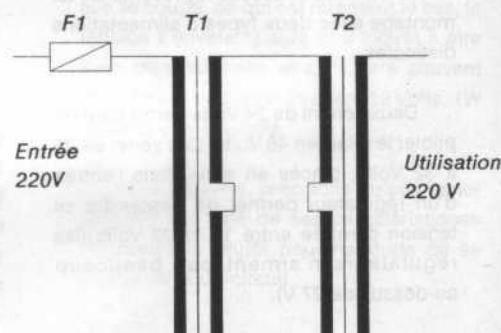
Si son action reste toutefois négligeable avec des condensateurs de 1 μF et plus, comme celui que nous avons pris dans tous les exemples, avec un 0,1 μF les résultats deviennent totalement erronés.

Il est toujours possible, pour vérification des résultats ou tests, d'augmenter sa valeur ou de l'ôter, en prenant garde à la charge résiduelle que peut conserver ce condensateur.

Enfin, au sujet des essais, rappelons qu'il faut prendre toutes les précautions d'usage concernant les manipulations.

L'idéal consiste, pour faire des essais sur un prototype ou pour vérifier les formes de signaux avec un oscilloscope, à travailler avec un transformateur d'isolation 220/220V.

Acheter un transformateur d'isolation uniquement pour cela est un peu dommage. c'est pourquoi le dernier petit schéma ci-dessous pourra peut-être vous rendre service.



On choisira si possible deux transformateurs T1 et T2 de puissances égales, et avec des tensions de secondaires (ISOLES!) identiques.

Si cela est possible, on choisira également ces tensions secondaires les plus élevées possibles (par exemple 2x48V), pour obtenir un jumelage des enroulements le plus équilibré possible.

C'est même un transformateur double isolement que vous aurez ainsi réalisé, avec la possibilité de connecter les secondaires communs à une prise de terre.

Une puissance de 10 à 25VA suffit largement pour tester les schémas proposés dans cet article, des puissances plus élevées peuvent être utilisées si vous reprenez l'idée pour d'autres applications...