



# CIRCUITS ELECTRONIQUES

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

### **LES CIRCUITS REDRESSEURS**

Cette leçon reprend sous une forme plus pratique, toutes les notions déjà exposées sur le **REDRESSEMENT** de la **TENSION ALTERNATIVE**.

D'autre part, afin de faciliter une recherche éventuelle, tous les montages **REDRESSEURS** d'usage courant, sont regroupés dans ce fascicule.

En **ELECTRONIQUE**, quel que soit le montage envisagé, celui-ci doit toujours être alimenté par une **TENSION CONTINUE**.

Si la source d'alimentation est une batterie de piles ou d'accumulateurs, aucun problème ne se présente.

En effet, la batterie délivre directement la tension continue.

Cette solution n'est cependant pas toujours applicable. La valeur de la tension demandée peut être élevée et le courant important.

Dans ce cas, l'emploi d'une batterie ou d'une série de batteries constituerait un système peu rentable et d'un encombrement prohibitif.

On fait donc appel à la tension secteur, qui, après REDRESSEMENT et FILTRAGE, est en mesure de fournir le courant désiré.

### 1 - REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE

Comme vous le savez, la tension secteur est ALTERNATIVE et plus précisément SINUSOÏDALE.

Celle-ci croît régulièrement de la valeur zéro vers un maximum POSITIF, puis décroît tout aussi régulièrement de ce maximum positif vers zéro, puis vers un maximum NEGATIF avant de revenir à une valeur nulle.

La forme d'onde de cette tension est représentée figure 1.

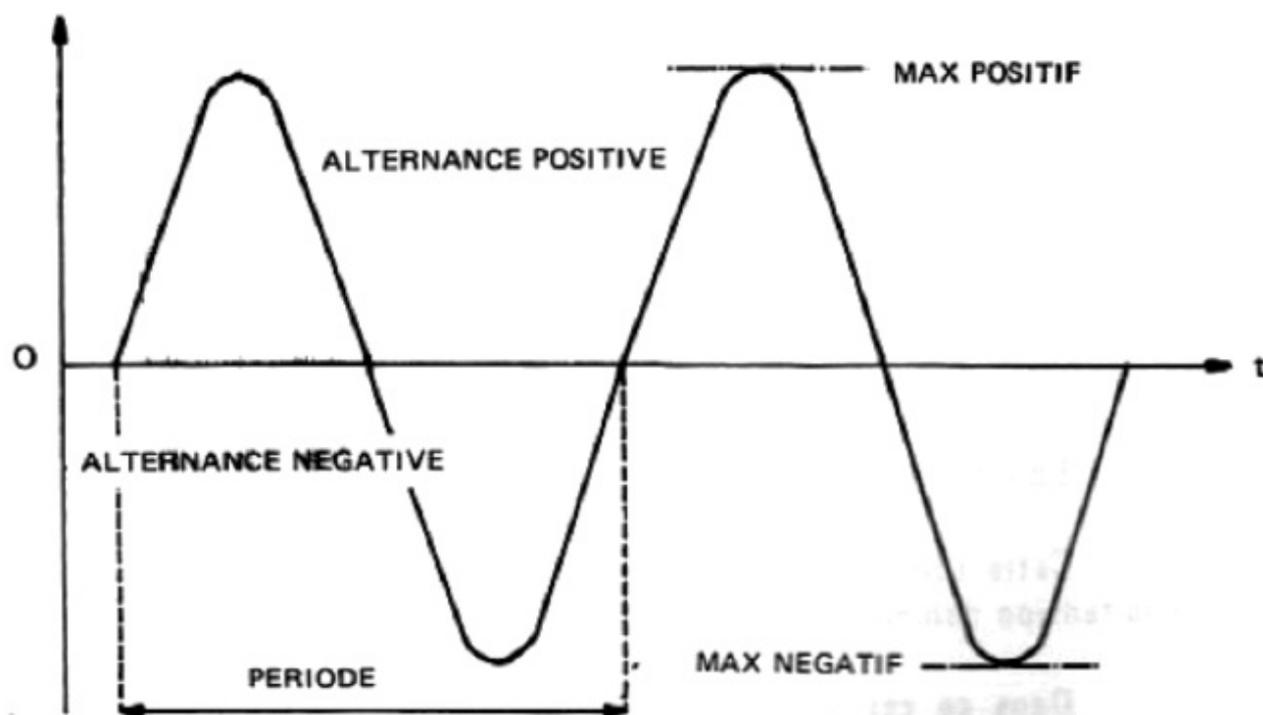


Figure 1

Le problème du REDRESSEMENT, consiste à supprimer L'UNE DES ALTERNANCES et le plus souvent L'ALTERNANCE NEGATIVE.

Dans ce cas, seule subsiste l'alternance POSITIVE, permettant d'avoir une TENSION CONTINUE POSITIVE.

Mais, on peut aussi CONSERVER L'ALTERNANCE NEGATIVE et SUPPRIMER L'ALTERNANCE POSITIVE, de façon à obtenir une TENSION CONTINUE NEGATIVE.

L'ELEMENT ACTIF, utilisé dans cette opération est appelé REDRESSEUR.

Dans les cas les plus courants, il s'agit d'une diode à vide ou à semi-conducteur pour les petites puissances, d'une diode à gaz au mercure ou d'un ignitron pour les puissances élevées (utilisation en ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE).

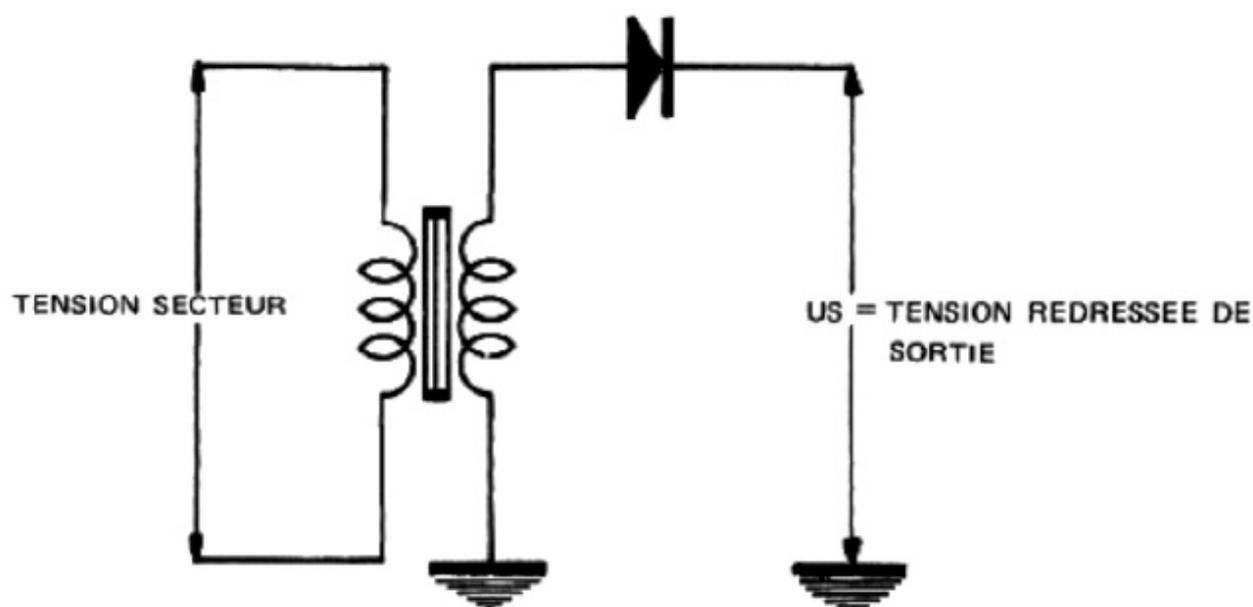
Quel que soit le REDRESSEUR utilisé, le montage se présente comme indiqué figure 2.

## 1 - 1 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Connaissant les propriétés des diodes (voir leçons "THEORIE" et "SEMI-CONDUCTEURS") le principe de fonctionnement du montage redresseur est simple.

a) - LA DIODE CONDUIT pendant les ALTERNANCES POSITIVES de la tension alternative du secteur (résistance négligeable).

b) - LA DIODE NE CONDUIT PAS pendant les ALTERNANCES NEGATIVES de la tension alternative du secteur (résistance pratiquement infinie).



MONTAGE REDRESSEUR A UNE ALTERNANCE

Figure 2

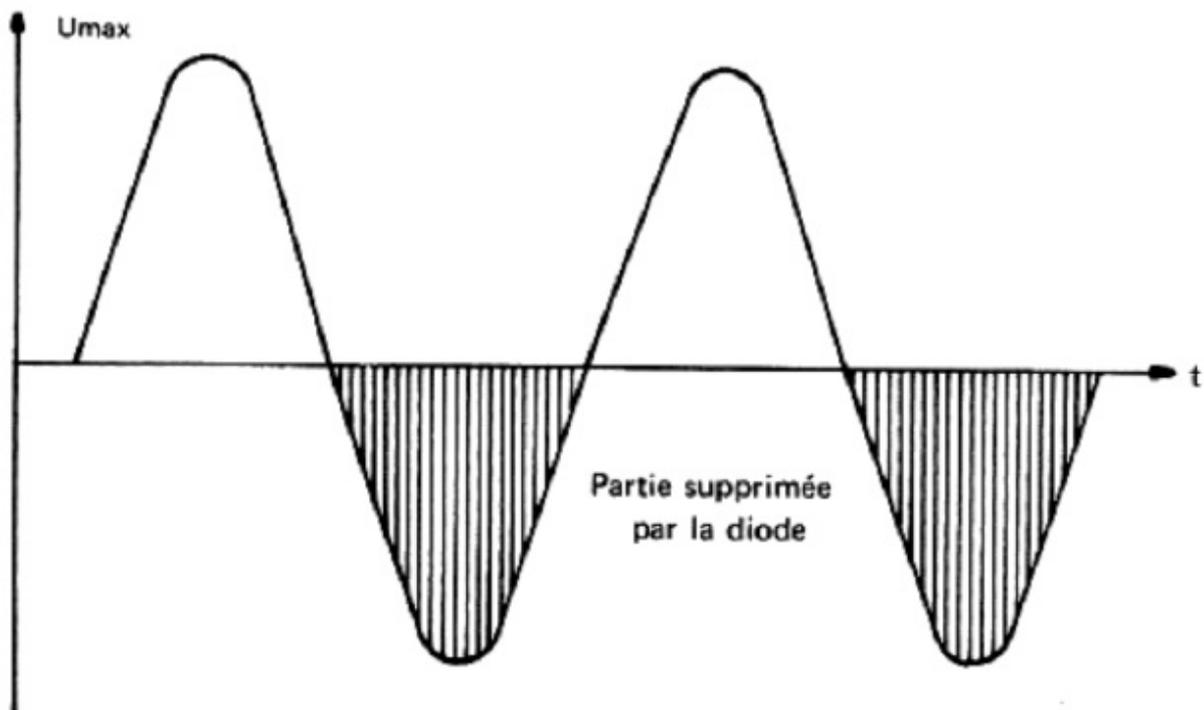
Entre la **CATHODE** et la **MASSE**, on obtient donc une tension ayant la forme indiquée figure 3.

Sur la figure 2, on voit que le secondaire du transformateur est relié d'une part à la diode et d'autre part à la masse (partie métallique du châssis).

De ce fait, la tension de sortie est recueillie entre la **CATHODE** de la diode et la masse.

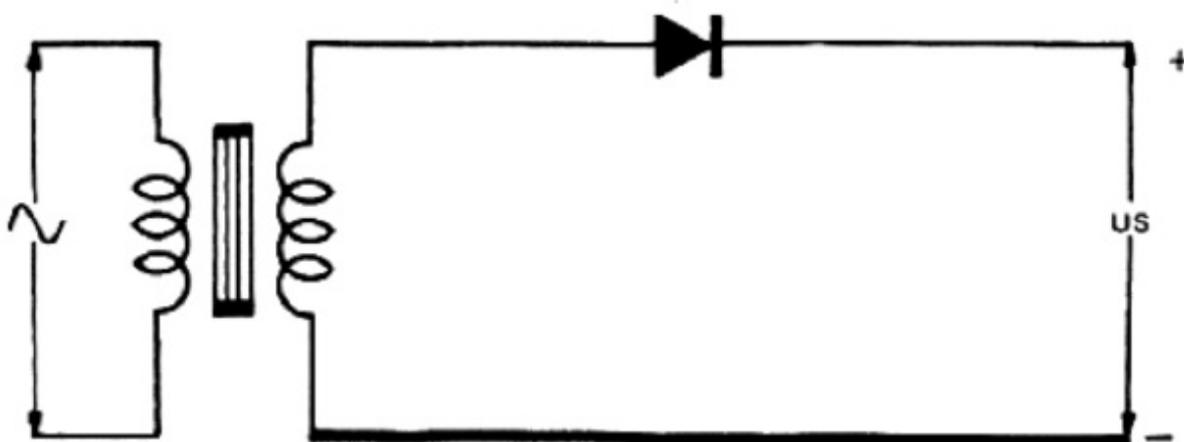
On peut bien entendu supprimer cette liaison de masse. Dans ce cas, le montage se présente comme indiqué figure 4.

Le fait d'utiliser la masse du châssis facilite cependant le câblage en évitant l'emploi d'un **CONDUCTEUR COMMUN** (conducteur reliant le point bas du secondaire, également appelé "point froid", au "point froid" de la SORTIE).



FORME DE LA TENSION A LA SORTIE DU REDRESSEUR SIMPLE ALTERNANCE

Figure 3



REPLACEMENT DE LA MASSE PAR UN CONDUCTEUR

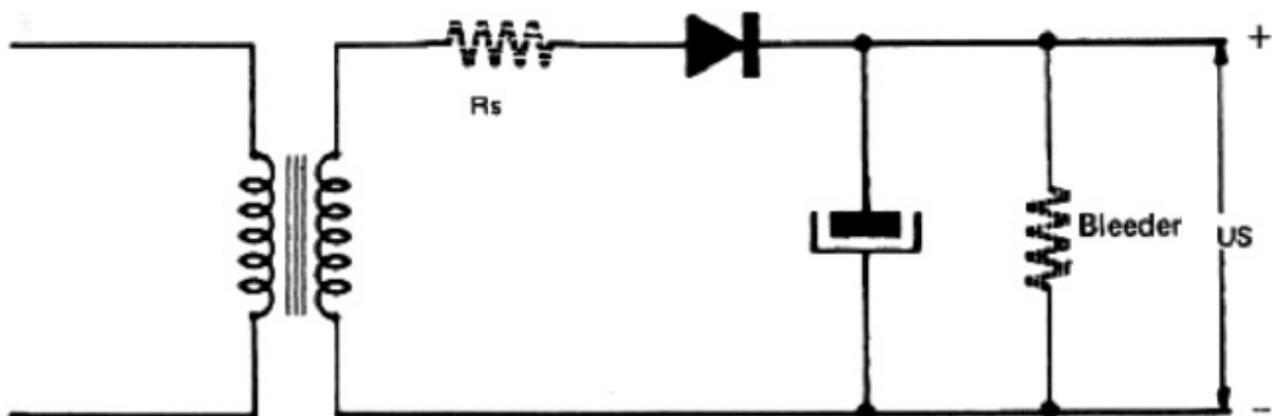
Figure 4

La tension de sortie n'est toutefois pas vraiment continue.

Elle se présente en effet sous forme d'impulsion (voir figure 3).

Aussi, pour rendre cette tension plus régulière, il est bon d'insérer entre les bornes de sortie, un condensateur électrochimique de forte valeur (de quelques microfarads à plusieurs dizaines de microfarads dans les cas courants).

Le montage redresseur se présente alors comme sur la figure 5.



INSERTION D'UN CONDENSATEUR DE FILTRAGE

Figure 5

Ce condensateur, appelé **CONDENSATEUR DE FILTRAGE**, se charge à la valeur maximum de la tension alternative (on peut négliger l'influence de la **RESISTANCE DIRECTE DE LA DIODE**) et se décharge lorsque la tension diminue et cesse d'exister (alternances négatives).

On peut encore améliorer la forme de la tension de sortie, en utilisant, à la place d'un seul condensateur, un **FILTRE DE NIVELLEMENT**, composé de deux condensateurs et d'une bobine (ou d'une résistance).

Nous étudierons ces filtres dans cette leçon.

Pour le moment, nous ne considérerons que le condensateur se trouvant entre les bornes de sortie du montage, car celui-ci intervient pour le choix du redresseur à utiliser dans le projet d'une alimentation.

Pour bien comprendre les explications qui vont suivre, prenons un exemple numérique : soit 250 Volts, la TENSION EFFICACE délivrée par le secondaire du transformateur.

LA TENSION CONTINUE A VIDE, c'est-à-dire la tension de sortie sans charge, aura pour valeur :

$$U_s = 0,45 U \text{ efficace} = 250 \times 0,45 = 112,50 \text{ Volts.}$$

(soit sensiblement la moitié de la valeur efficace, ce qui est normal, étant donné que l'on ne redresse qu'une seule alternance).

Cependant, le condensateur se chargera à la valeur de la tension maximum, soit :

$$U_{\text{max}} = U_{\text{eff}} \sqrt{2} = 250 \times 1,41 = 350 \text{ Volts environ}$$

Aussi, pendant les alternances négatives, lorsque l'anode se trouvera portée au potentiel négatif maximum, soit  $- 350$  Volts, la cathode, par l'intermédiaire du condensateur se trouvera à  $+ 350$  Volts (en considérant que le condensateur ne s'est pas déchargé).

On aura ainsi une TENSION INVERSE DE CRETE DE :

$$350 + 350 = 700 \text{ Volts.}$$

En régime normal, c'est-à-dire avec une charge dans l'alimentation, la TENSION INVERSE MOYENNE n'atteindra pas cette valeur.

En effet, pour maintenir le débit de courant, le condensateur commencera à se décharger dès que l'alternance positive de la tension alternative, ayant atteint son maximum, reviendra vers une valeur nulle.

En pratique, AVEC UNE ALIMENTATION EN CHARGE LA TENSION CONTINUE DE SORTIE SERA EGALE A LA VALEUR DE LA TENSION ALTERNATIVE EFFICACE APPLIQUEE.

En conclusion, lors du projet d'une alimentation simple alternance, avec un condensateur de filtrage, on devra tenir compte des trois facteurs suivants :

- a) TENSION INVERSE,
- b) COURANT MAXIMUM demandé,
- c) TENSION D'ISOLEMENT DU CONDENSATEUR.

Exemple : Elément de calcul pour réaliser une alimentation simple alternance, délivrant un courant maximum de 400 mA sous 100 Volts :

a) LA TENSION CONTINUE DE SORTIE étant égale à la tension alternative efficace, il faudra utiliser un transformateur avec un secondaire pouvant délivrer un courant d'au moins 400 mA et une tension de 100 Volts.

b) Pour le choix du redresseur, on devra prendre un composant capable de fournir un courant moyen redressé de 400 mA, et capable de supporter une tension inverse de deux à trois fois la valeur de la tension efficace, c'est-à-dire :

$$100 \times 2 = 200 \text{ à } 100 \times 3 = 300 \text{ Volts.}$$

c) Quant à la tension d'isolement du condensateur, une valeur théorique de 242 Volts serait nécessaire.

Cependant, étant donné que l'alimentation débite un courant, donc que le condensateur se décharge, on adopte en général (pour des raisons d'économie) une valeur moins élevée.

La tension inverse de crête n'est en effet appliquée que par intermittence et pendant un temps très court.

On peut ainsi prendre un condensateur isolé à 150 Volts (TENSION SERVICE), pouvant supporter une "tension de pointe" ou "tension d'essai" nettement plus élevée.

**CEPENDANT PAR SECURITE, UNE ALIMENTATION NE DOIT JAMAIS FONCTIONNER A VIDE.**

En effet, pour un débit nul, la tension continue de sortie passe, dans l'exemple donné, de 100 Volts à 142 Volts. Pendant le même temps, la tension alternative sur l'anode peut être de - 142 Volts, donc la tension entre anode et cathode de 284 Volts.

Dans ces conditions, il peut en résulter la destruction du condensateur chimique de filtrage.

Pour éviter cet inconvénient, on insère très souvent à la sortie des alimentations, une RESISTANCE DE PROTECTION appelée BLEEDER (terme anglo-saxon signifiant : qui tire de la puissance).

Cette résistance est représentée en pointillé sur la figure 5.

La valeur de celle-ci doit être suffisante pour déterminer un débit de quelques milliampères, capable de provoquer la DECHARGE du condensateur, mais ne doit pas être trop basse, afin de ne pas SURCHARGER l'alimentation.

On peut par exemple admettre un débit de 5 mA.

La résistance BLEEDER aura alors pour valeur :

$$R = U/I = 100/0,005 = 20 \text{ k}\Omega .$$

Il ne reste plus ensuite, en consultant un CATALOGUE CONSTRUCTEUR, qu'à choisir le REDRESSEUR répondant aux normes déterminées en b (BRY 13, 1 N 334, SFR 264, etc...).

Pour protéger celui-ci des éventuelles surcharges, on peut prévoir une résistance en série, placée avant ou après le redresseur, mais AVANT LA CHARGE ; la valeur moyenne de cette résistance est de l'ordre de  $5 \Omega$  .

Etant donné que le courant débité par l'alimentation circulera dans celle-ci, cet élément devra être en mesure de dissiper une puissance de :

$$P = RI^2 = 5 \times 0,4 = 0,8 \text{ watt}$$

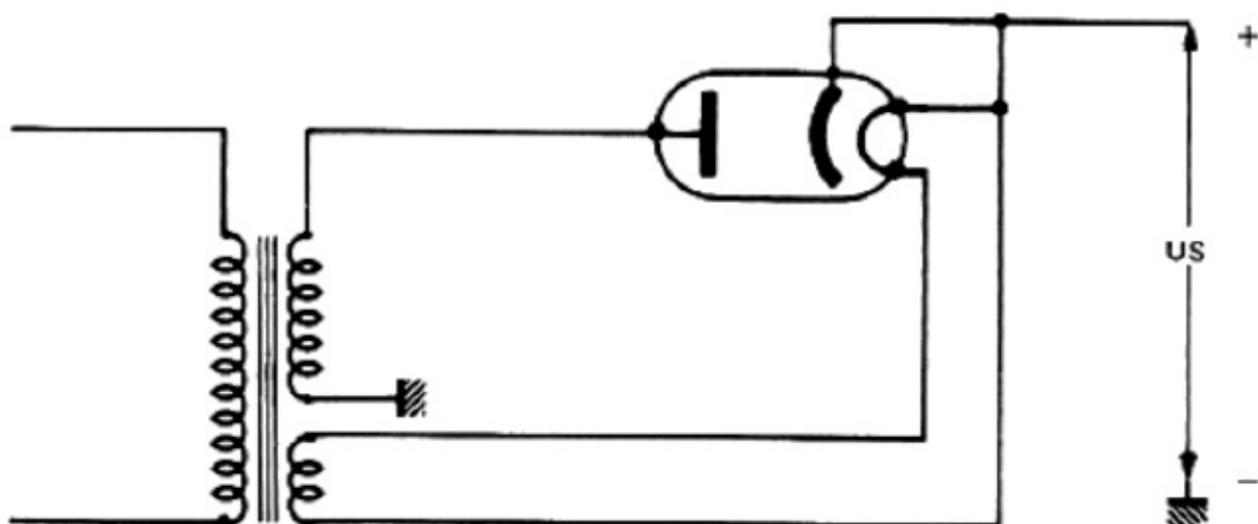
Par précaution, il est bon de prévoir une résistance de 1 à 2 watts.

Dans le cas d'une alimentation par l'intermédiaire d'un transformateur, on peut considérer que la résistance ohmique de celui-ci assure une protection suffisante.

Par contre, dans le cas d'une alimentation directe sur le réseau, cette résistance est indispensable.

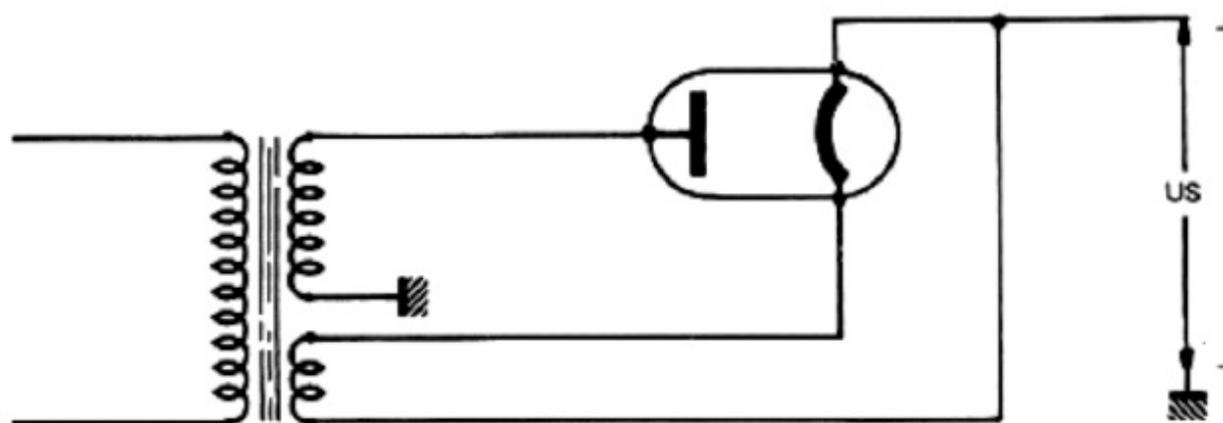
Dans les figures précédentes, on a toujours représenté le redresseur avec le symbole d'une diode à semi-conducteur.

On peut évidemment, avec le même montage, utiliser une diode à vide. Il suffit simplement de prévoir au secondaire du transformateur, un enroulement supplémentaire, pour le chauffage du filament (voir figures 6 et 7).



MONTAGE REDRESSEUR SIMPLE ALTERNANCE AVEC DIODE A VIDE (CHAUFFAGE INDIRECT)

Figure 6



MONTAGE REDRESSEUR SIMPLE ALTERNANCE AVEC DIODE A VIDE (CHAUFFAGE DIRECT)

Figure 7

On peut voir, figure 6 (diode à chauffage indirect), qu'une extrémité du filament est reliée à la cathode.

Cette liaison, qui ne change rien au fonctionnement du tube, a pour but d'éviter un éventuel amorçage entre le filament et la cathode.

Avec ce montage, il n'est évidemment pas possible de relier une extrémité du secondaire "chauffage-filament" à la masse et de faire de même avec une extrémité du filament (solution facilitant le câblage).

**DANS CE CAS EN EFFET, LE FILAMENT SERAIT SOUMIS A LA TENSION CONTINUE REDRESSEE.**

Les diodes à vide modernes, étant conçues avec un isolement CATHODE-FILAMENT suffisant, cette liaison n'est pas toujours indispensable.

Dans le montage de la figure 7 (diode à chauffage direct), c'est le filament qui sert de cathode.

La tension continue de sortie est prise entre la masse et cette électrode.

Là encore, il n'est pas possible de relier à la masse une extrémité du secondaire "chauffage filament" et une extrémité du filament.

Dans ce cas, en effet, la tension continue serait directement en court-circuit avec la masse.

Le tableau de la figure 8 résume ce qui a été dit sur les montages redresseurs à une alternance.

Ce type de montage est simple, mais le nivellement de la tension continue de sortie est délicat, du fait que les alternances négatives de la tension alternative sont purement éliminées.

TENSION CONTINUE A VIDE		Tension inverse de pointe appliquée au redresseur	Tension continue de sortie avec charge normale
SANS condensateur	AVEC condensateur		
0,45 Ueff	1,41 Ueff	2,82 Ueff	$\leq$ Ueff dépend dans une certaine mesure de la valeur du condensateur

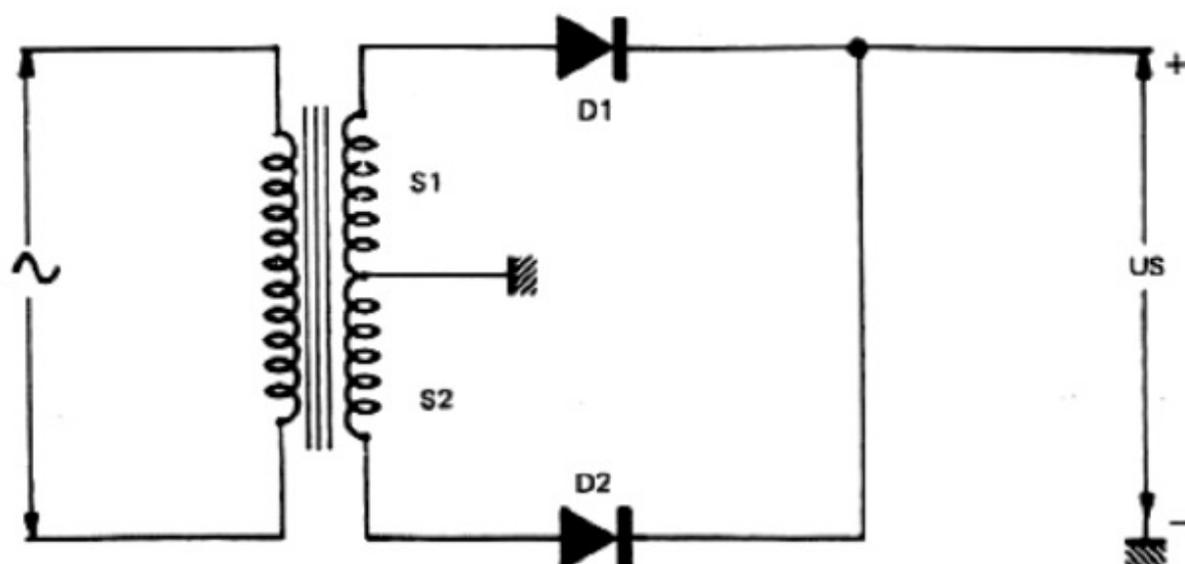
Figure 8

## II - REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE

Pour remédier aux inconvénients du montage précédent, c'est-à-dire : tension continue de sortie dépendant de la valeur du condensateur de filtrage et difficulté à obtenir un bon nivellement, on a réalisé un autre type de circuit redresseur, où les deux alternances de la tension, sont effectivement utilisées.

Ce nouveau montage s'appelle REDRESSEUR A DOUBLE ALTERNANCE, ou REDRESSEUR DOUBLEUR D'INTENSITE (ne pas confondre avec les redresseurs "doubleurs de tension" dont nous parlerons dans cette leçon).

Dans ce type de circuit, on utilise deux redresseurs (diodes à vide ou à gaz ou diodes à semi-conducteurs) et un TRANSFORMATEUR AVEC SECONDAIRE A POINT MILIEU (figure 9).



REDRESSEUR DOUBLE ALTERNANCE

Figure 9

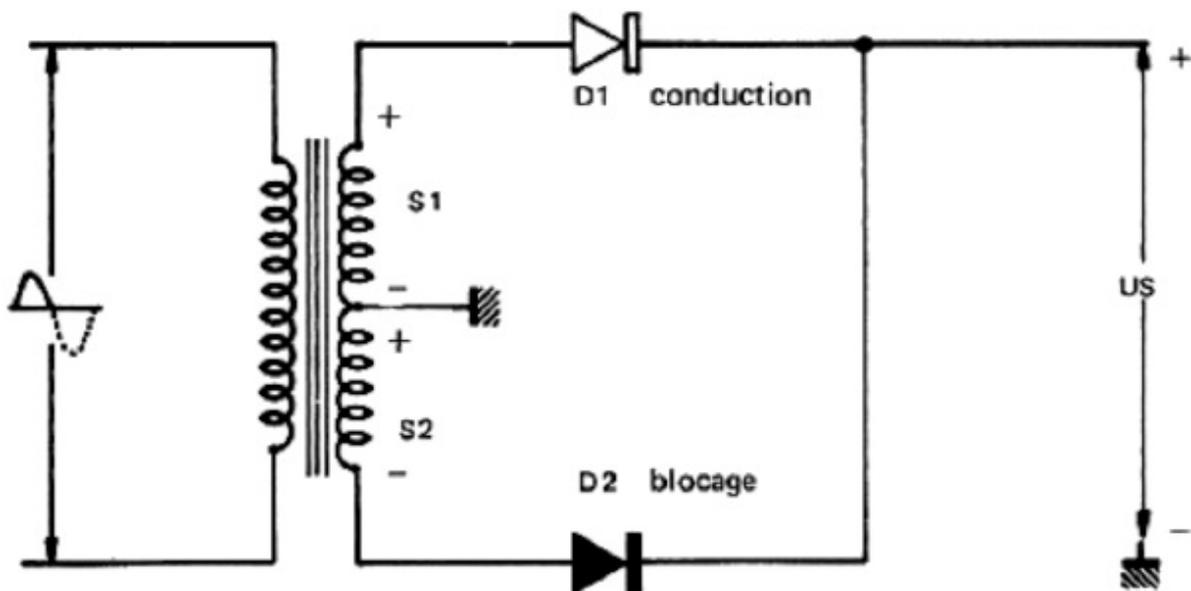
Ce secondaire est partagé en DEUX PARTIES EGALES, par le point milieu, relié à la masse.

Chacune de ces deux parties, S 1 et S 2, fournit la tension alternative efficace, à redresser.

Tout se passe comme si l'on avait DEUX TRANSFORMATEURS avec SECONDAIRES en PARALLELE et en OPPOSITION.

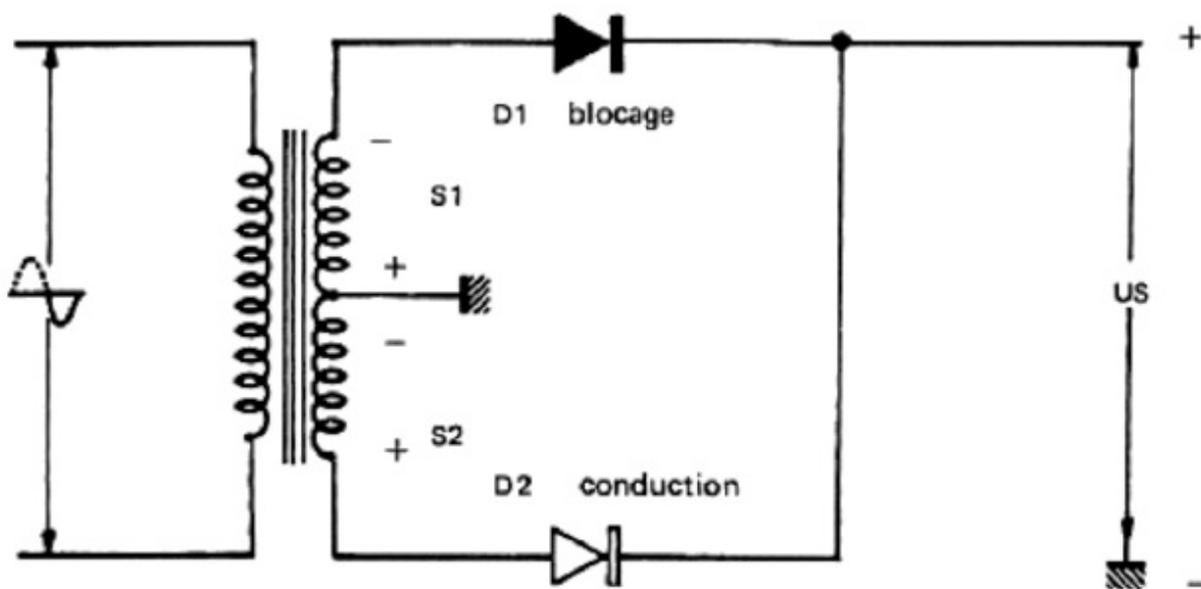
Ainsi, lors de l'ALTERNANCE POSITIVE de la tension alternative, lorsqu'il apparaît aux bornes de S 1, les polarités indiquées figure 10, aux bornes de S 2 ces polarités sont inversées.

Le phénomène contraire se passe lors de l'alternance négative de la tension alternative (figure 11).



INVERSION DES POLARITES DANS LES SECONDAIRES S1 et S2

Figure 10



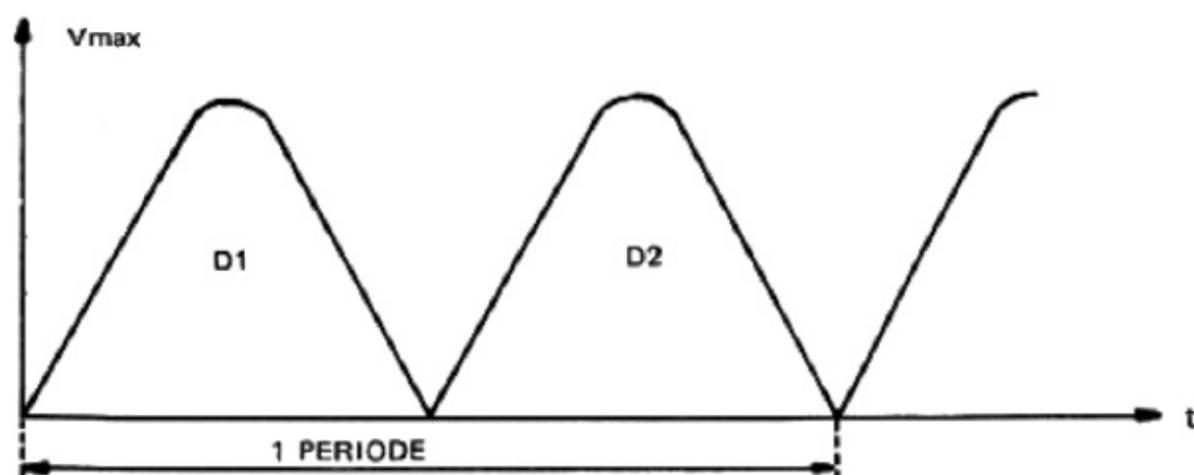
CHANGEMENT DE POLARITES AUX BORNES DES SECONDAIRES

Figure 11

On voit clairement, à l'aide des figures 10 et 11, que lorsque le redresseur D 1 conduit, D 2 est bloqué (alternance positive), et que lorsque D 2 conduit, D 1 est bloqué.

Par conséquent, chaque redresseur devient tour à tour conducteur, pendant la PERIODE COMPLETE de la tension alternative.

De ce fait, la TENSION CONTINUE de sortie US a la forme indiquée figure 12.



FORME DE LA TENSION DE SORTIE

Figure 12

Ce montage nécessite un transformateur avec secondaire délivrant le DOUBLE DE LA TENSION EFFICACE DEMANDEE.

En effet, si l'on désire une tension efficace de 250 Volts par exemple, le secondaire complet devra fournir 500 Volts.

Après avoir connecté le point milieu à la masse (point commun), chaque demi-secondaire S 1 et S 2, délivrera 250 Volts, soit la valeur requise.

En examinant la figure 12, on comprend facilement que la tension continue de sortie  $U_s$ , doit avoir une valeur supérieure, à celle obtenue avec le montage simple alternance.

Dans ce cas, en effet, il n'y a pas d'interruption entre chaque impulsion de courant.

Sans condensateur de nivellement, cette tension continue de sortie a pour valeur :

$$U_S = 0,9 U \text{ eff.}$$

Avec un condensateur placé immédiatement après la diode, la tension continue de sortie  $U_S$ , a, comme avec le montage précédent, une valeur de :

$$U_S = 1,41 U \text{ eff.}$$

Dans les deux cas en effet, le condensateur se chargeant à la valeur maximum de la tension alternative, il est normal que la valeur de la tension continue de sortie, soit la même.

Cependant, avec une CHARGE NORMALE, la tension continue de sortie disponible a pour valeur :

$$U_S = 1,2 U \text{ eff.}$$

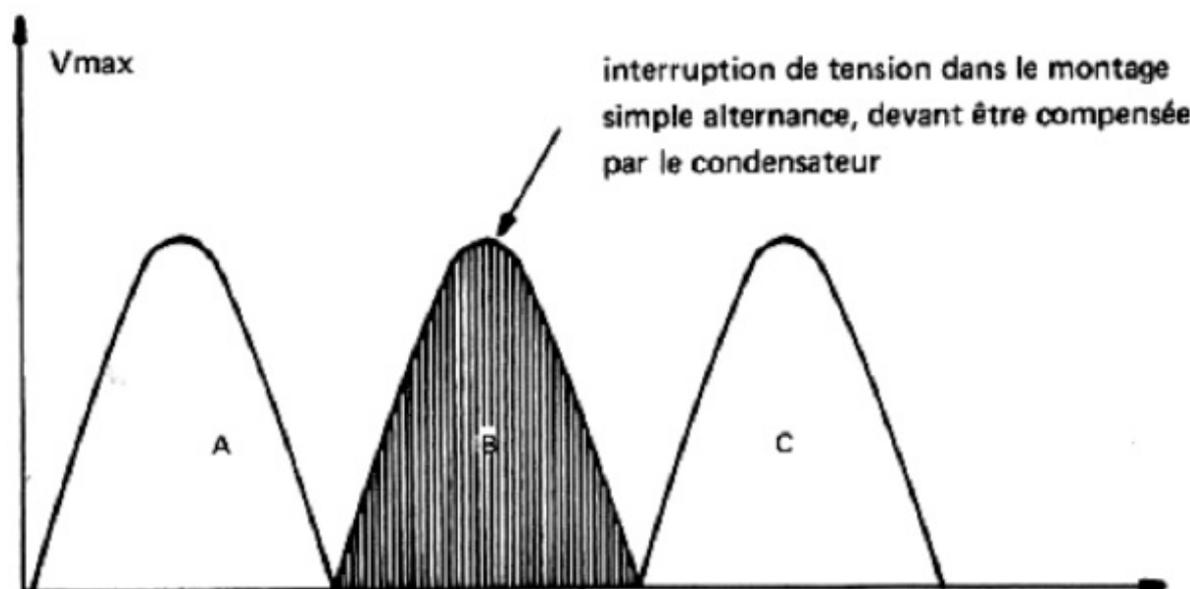
soit sensiblement plus que dans le montage précédent.

Il faut surtout souligner le fait, qu'avec le circuit DOUBLE ALTERNANCE, la valeur de la tension continue de sortie, ne dépend pas de la valeur capacitive du condensateur.

Sur le tableau de la figure 8, on a en effet mentionné :

-Tension de sortie continue avec charge normale :  $\leq U \text{ eff}$  en fonction de la valeur du condensateur.

Il est facile de comprendre à ce sujet, étant donné qu'il existe une interruption, égale à une demi-période, dans les impulsions de tension continue, que c'est le condensateur qui doit fournir le courant absorbé par la charge, pendant ces interruptions (voir figure 13).



RESTITUTION DE LA TENSION ENTRE DEUX IMPULSIONS

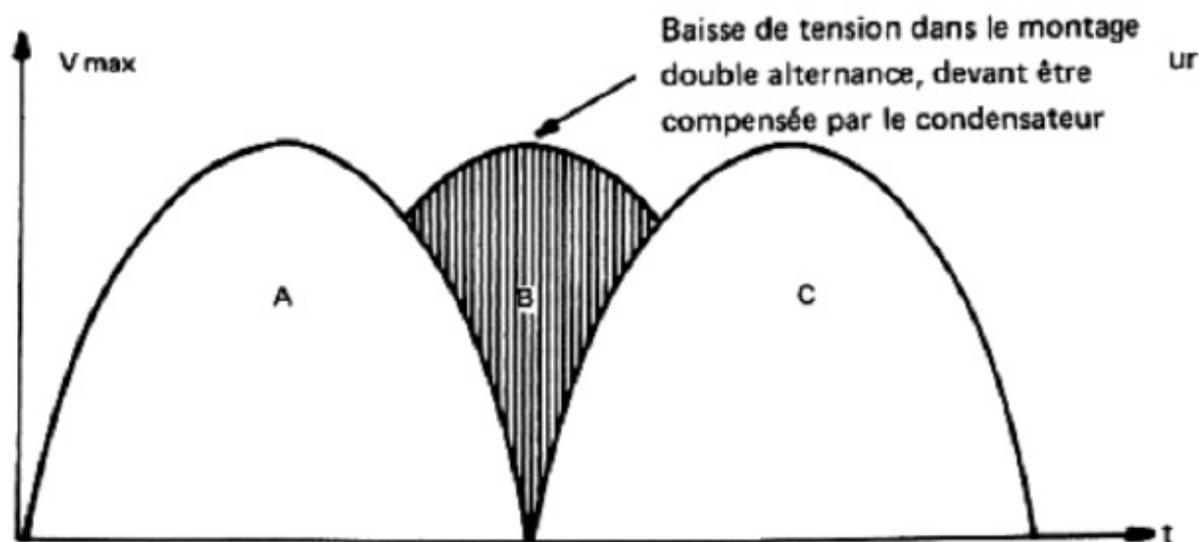
Figure 13

On comprend tout aussi aisément, que la charge d'un condensateur dépend de sa valeur capacitive ( $Q = CU$ ) ; plus celle-ci sera élevée, plus la charge emmagasinée sera forte, donc sera en mesure de fournir un courant, entre les deux impulsions A et C (figure 13).

Avec une alimentation DOUBLE ALTERNANCE, les impulsions de courant continu se suivent régulièrement sans interruption, et le condensateur n'a plus à compenser des interruptions, mais seulement à "niveler" le courant (voir figure 14).

Quant à la TENSION INVERSE DE POINTE supportée par les deux redresseurs, elle est, comme dans le montage précédent, égale à :

$$2,82 U \text{ eff.}$$



RESTITUTION DE LA TENSION ENTRE DEUX IMPULSIONS

Figure 14

Tout ce qui a été dit pour le choix des éléments, pour UNE ALIMENTATION SIMPLE ALTERNANCE, reste donc valable avec l'ALIMENTATION A DOUBLE ALTERNANCE.

Il faut toutefois remarquer qu'avec ce dernier montage, chaque redresseur ne fournit que la moitié de l'intensité demandée.

C'est pour cette raison, que ce montage est souvent appelé DOUBLEUR D'INTENSITE.

Ainsi, en reprenant l'exemple précédent, soit à réaliser une alimentation fournissant 400 mA sous 100 V, on pourra utiliser deux

redresseurs, capables de fournir seulement 200 mA chacun.

Le tableau de la figure 15, résume les caractéristiques du montage REDRESSEUR DOUBLE ALTERNANCE.

TENSION CONTINUE A VIDE		Tension inverse de pointe appliquée au redresseur	Tension continue de sortie avec charge
SANS condensateur	AVEC condensateur		
0,9 Ueff	1,41 Ueff	2,82 Ueff	1,2 Ueff

Figure 15

Avec ce dernier circuit, on peut, comme avec le circuit simple alternance, utiliser des redresseurs de types quelconques.

Cependant, les redresseurs à semi-conducteurs sont plus avantageux et plus souples d'emploi.

Examinons les courbes de la figure 16, relatives aux caractéristiques anodiques d'une diode à vide et d'une diode à semi-conducteur.

La figure 16-a concerne une diode à vide. Sur celle-ci, on voit que le courant fourni dépend beaucoup de la tension appliquée sur l'anode.

Ainsi, lorsque le constructeur indique pour une diode à vide (EY 82, par exemple) **COURANT REDRESSE : 180 mA**, **TENSION D'ANODE : 250 Volts**, le courant de 180 mA représente la valeur maximum.

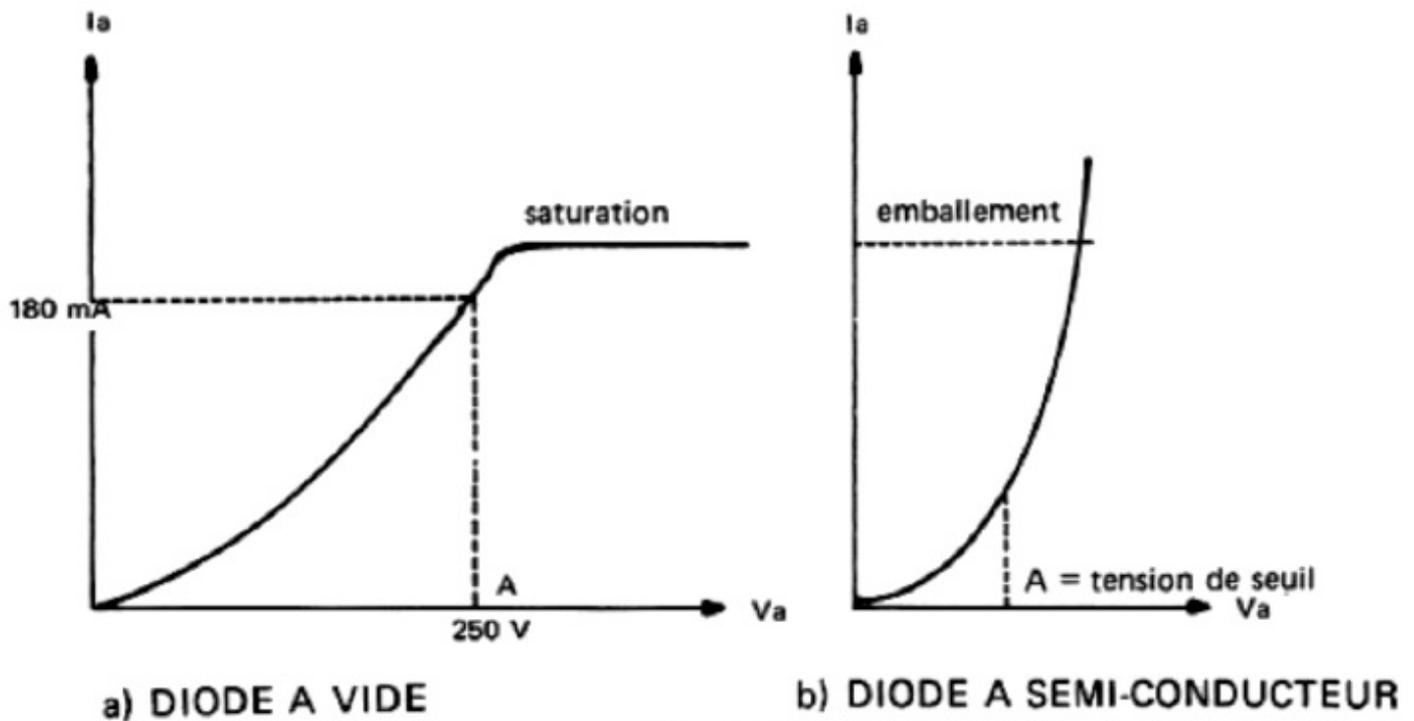


Figure 16

En augmentant la tension d'anode, le tube travaillera à la **SATURATION** et le courant n'augmentera pas. Par contre, si la tension d'anode est inférieure à 250 Volts, **LE COURANT SERA BEAUCOUP PLUS FAIBLE**.

Ainsi, avec ce tube, il faut obligatoirement une tension d'anode de 250 Volts, pour obtenir un courant de 180 mA.

Il n'en est pas de même avec une diode à semi-conducteur. En effet, avec ce type de redresseur, le courant augmente très rapidement, dès que la tension de seuil est atteinte (point A sur la figure 6-b).

Or, la tension de seuil est très basse (environ 0,5 Volt). En dépassant la valeur limite de tension fixée par le constructeur, il n'y a pas **SATURATION** comme pour la diode à vide, mais **EMBALLEMENT** et **DESTRUCTION DU REDRESSEUR**.

Ainsi, la diode à semi-conducteur SFR 164 par exemple peut fournir un courant de 1 A et supporter une tension d'anode de 150 Volts environ.

Cette diode fonctionnera encore normalement avec une tension beaucoup plus faible 100 V – 50 V et même moins, tout en fournissant toujours un courant important.

On pourra donc utiliser ce composant pour redresser des tensions peu importantes, bien qu'il soit prévu pour 150 Volts, alors qu'avec un tube à vide, il convient de respecter la tension donnée par le constructeur, le courant délivré tombant rapidement, lorsque la tension appliquée diminue de valeur.

D'autre part, la diode à semi-conducteur est capable de fournir sans danger, un courant instantané, nettement plus élevé que le courant moyen redressé.

Ce courant instantané peut être demandé par le condensateur de filtre lors de chaque charge.

Au contraire, la diode à vide ne peut pas, sans danger, fournir un courant instantané beaucoup plus élevé que le courant moyen redressé.

Pour cette raison, afin de limiter le courant instantané, les constructeurs indiquent toujours pour les diodes à vide : **VALEUR MAXIMUM DU CONDENSATEUR DE FILTRE**.

Exemple : diode à vide EY 82 – capacité entrée de filtre =  $60\mu F$  maximum.

Cette valeur n'est jamais donnée pour les redresseurs à semi-conducteurs, ceux-ci pouvant précisément fournir un courant instantané élevé.

C'est d'ailleurs pour cette raison, du fait même que la capacité du condensateur peut être très élevée, qu'il est conseillé de monter une résistance de protection ( $R_s$ ), avant ou après le redresseur, mais avant le condensateur (voir figure 5).

La valeur de cette résistance est généralement de l'ordre de  $5 \Omega$ .

Pour déterminer sa valeur dans tous les cas, on admet que celle-ci doit être comprise entre 1 et 5 % de la valeur de la charge.

Nous devons donc définir ce qu'on entend par "CHARGE NORMALE" de l'alimentation.

L'application pure et simple de la loi d'ohm permet de définir cette charge.

En effet, dans le cas d'une alimentation devant fournir 400 mA sous 100 Volts, on comprend immédiatement qu'un tel courant sous 100 Volts, est celui qui circule dans une résistance ayant pour valeur :

$$R = U/I = 100/0,4 = 250 \Omega$$

Cette valeur représente donc la CHARGE NORMALE de l'alimentation.

Il en résulte que la résistance de protection pourra avoir une valeur comprise entre :

$$\frac{250 \times 1}{100} = 2,5 \Omega \text{ à } \frac{250 \times 5}{100} = 12,5 \Omega$$

Notons enfin que cette résistance de protection (que l'on peut aussi monter dans les circuits redresseurs à diodes à vide) est indispensable, dans le cas d'une alimentation directe sur le réseau secteur, c'est-à-dire une alimentation sans transformateur.

Avec un transformateur, la résistance totale du circuit d'entrée est généralement suffisante, celle-ci ayant pour valeur :

$$R_e = R_1 \left( \frac{N_2^2}{N_1} \right) + R_2$$

avec  $R_1$  = résistance de l'enroulement primaire,  
 $R_2$  = résistance de l'enroulement secondaire,  
 $N_2/N_1$  = rapport de transformation.

### III - FILTRE DE NIVELLEMENT ET TENSION DE RONFLEMENT

Nous avons vu qu'en insérant un condensateur électrochimique, entre les bornes de sortie de l'alimentation, on pouvait réduire considérablement les "creux", entre deux impulsions de courant, c'est-à-dire NIVELER la forme de la tension continue.

Le condensateur utilisé se comporte donc comme un "réservoir", absorbant les pointes de tension et restituant celles-ci au moment voulu, c'est-à-dire lorsque le redresseur est bloqué, lors des alternances négatives.

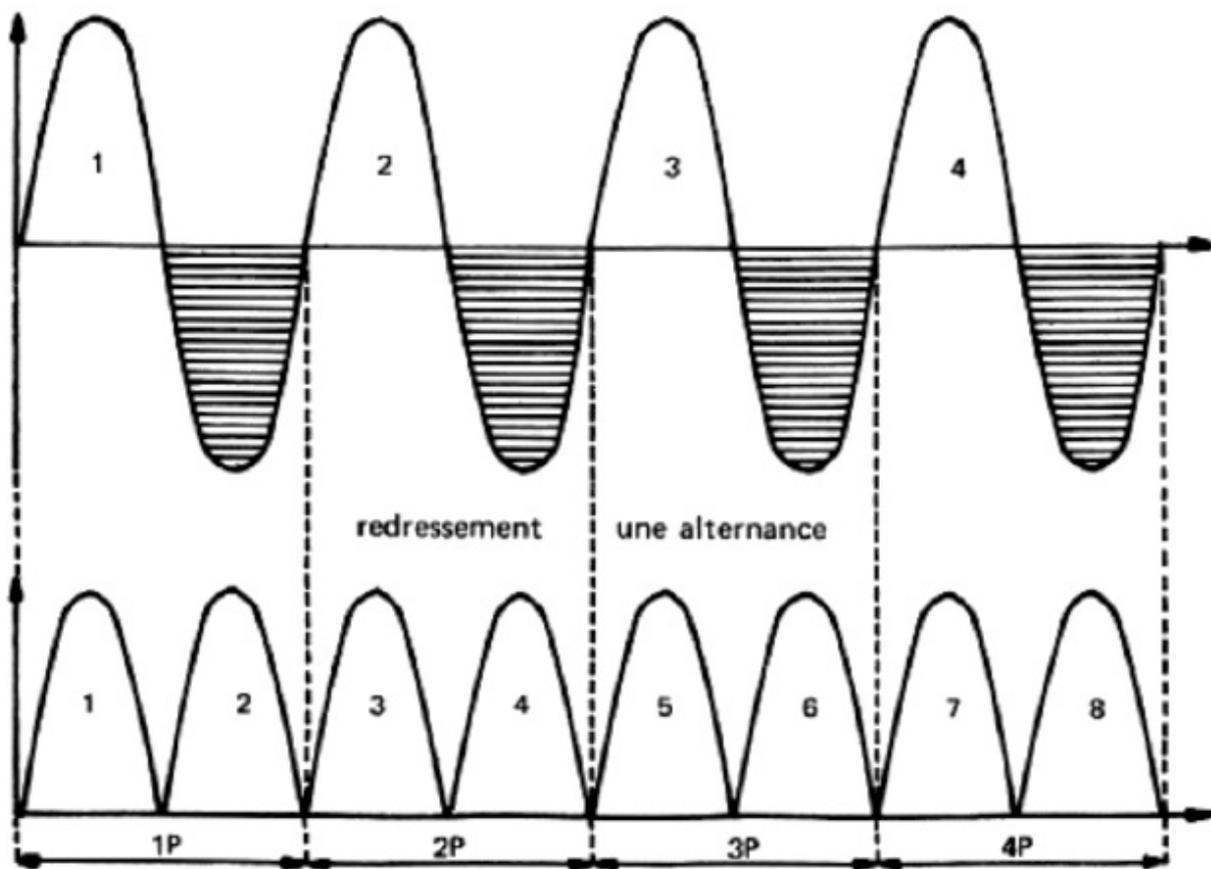
Cependant, malgré ce condensateur, la tension de sortie est encore trop ONDULEE, pour pouvoir alimenter un montage électronique.

Avec le MONTAGE SIMPLE ALTERNANCE, la fréquence des "creux", c'est-à-dire la fréquence de l'ondulation est de 50 Hz (le montage

ne redresse en effet qu'une alternance par période et la fréquence de la tension est de 50 Hz).

Avec le MONTAGE DOUBLE ALTERNANCE, la fréquence de l'ondulation est de 100 Hz.

Ce fait est mis en évidence figure 17, où par simplicité, on n'a représenté que quatre périodes de la tension.



### REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE

Figure 17

Le régime des charges et décharges successives, étant plus rapide dans le cas du montage à double alternance, il en résulte que le nivellement est plus facile.

De façon plus technique, on peut dire que pour une valeur donnée du condensateur, la **REACTANCE CAPACITIVE**, c'est-à-dire l'impédance présentée par le condensateur à la **COMPOSANTE ALTERNATIVE** (ondulation due aux impulsions de courant) est d'autant plus faible que la fréquence de la composante à éliminer est élevée.

Nous avons en effet :

$$X_C = \frac{1}{c\omega}, \text{ avec}$$

$X_C$  = réactance capacitive

$c$  = valeur du condensateur en farad

$\omega$  =  $2 \pi F$  (avec  $F$  en Hertz) =  $6,28 F$ .

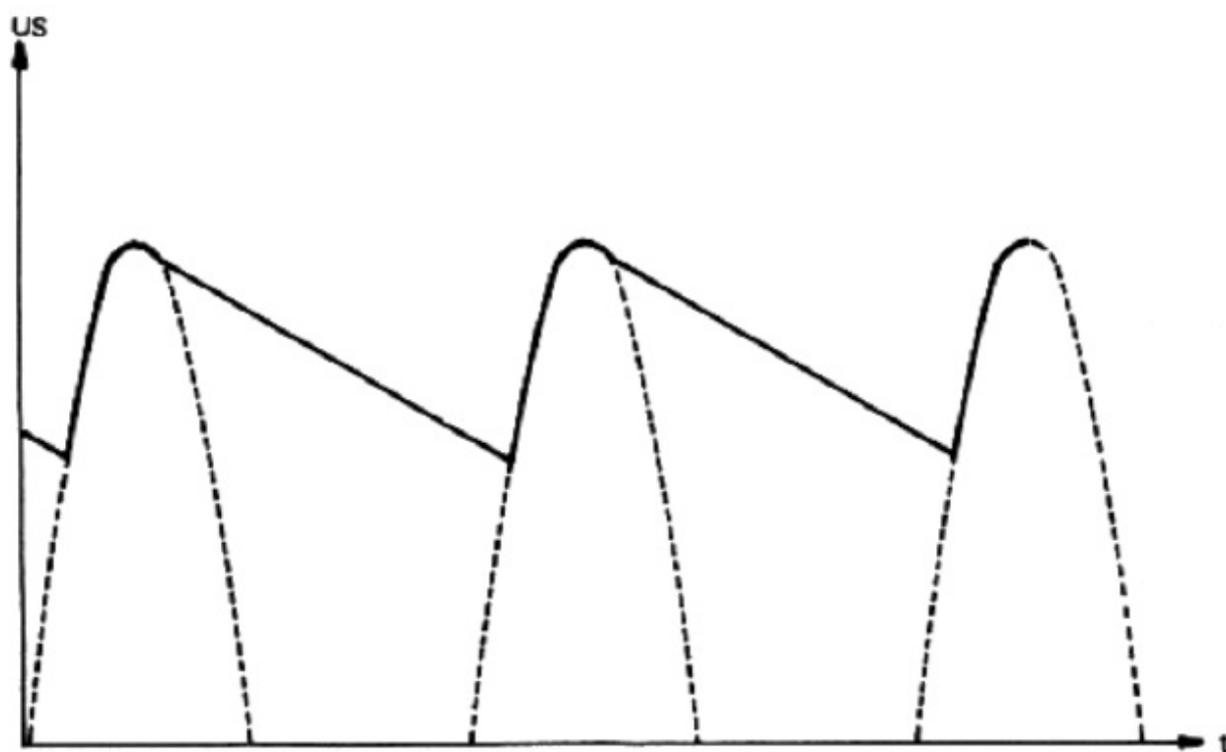
Après avoir disposé un condensateur aux bornes de sortie de l'alimentation, le courant dans la charge a l'allure représentée figure 18-a pour un circuit simple alternance, et figure 18-b pour un circuit double alternance.

Aussi, afin de niveler au maximum la tension, on utilise généralement à la sortie des circuits de redressement, des **CELLULES DE FILTRAGES**.

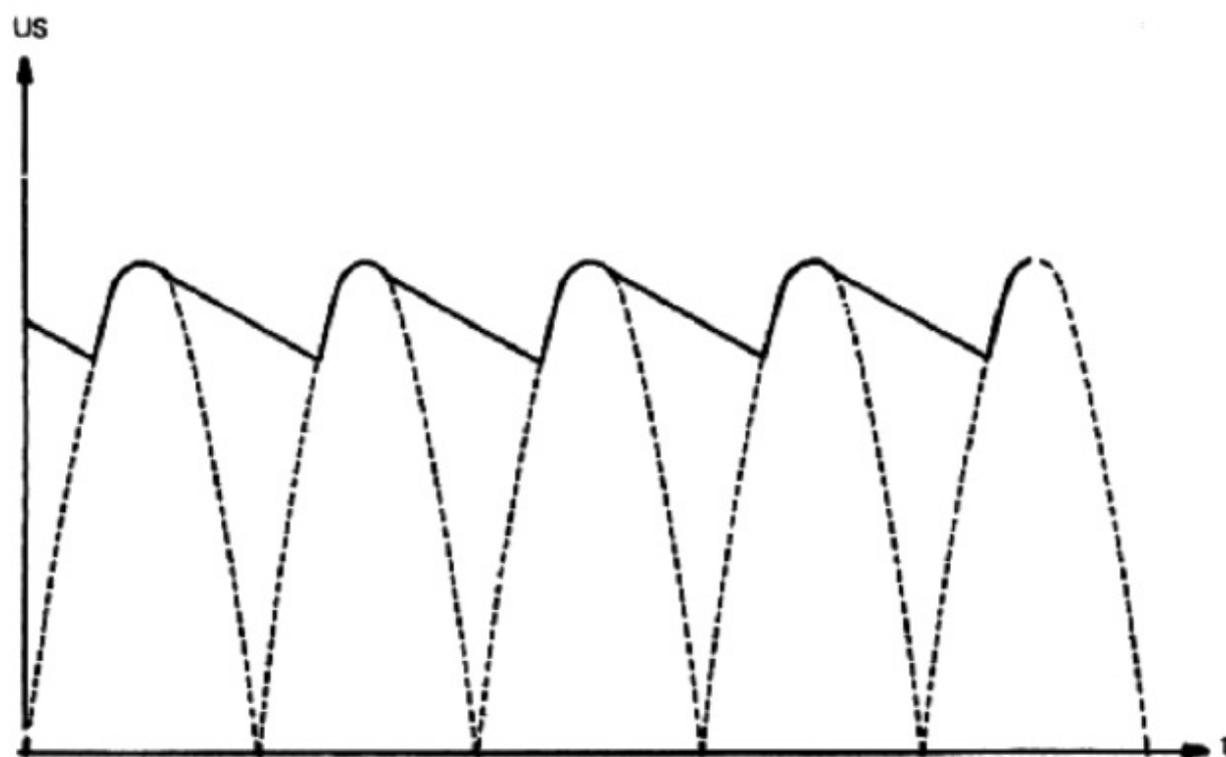
Celles-ci sont connues sous le nom de **FILTRES PASSE-BAS**.

Un **FILTRE PASSE-BAS** est un dispositif **AFFAIBLISSANT AU MAXIMUM POSSIBLE** les fréquences supérieures à une valeur donnée.

Autrement dit, un filtre passe-bas laisse passer toutes les fréquences comprises entre zéro (courant continu) et une fréquence  $f_0$ , dite fréquence d'arrêt et bloque toutes les fréquences supérieures à  $f_0$ .



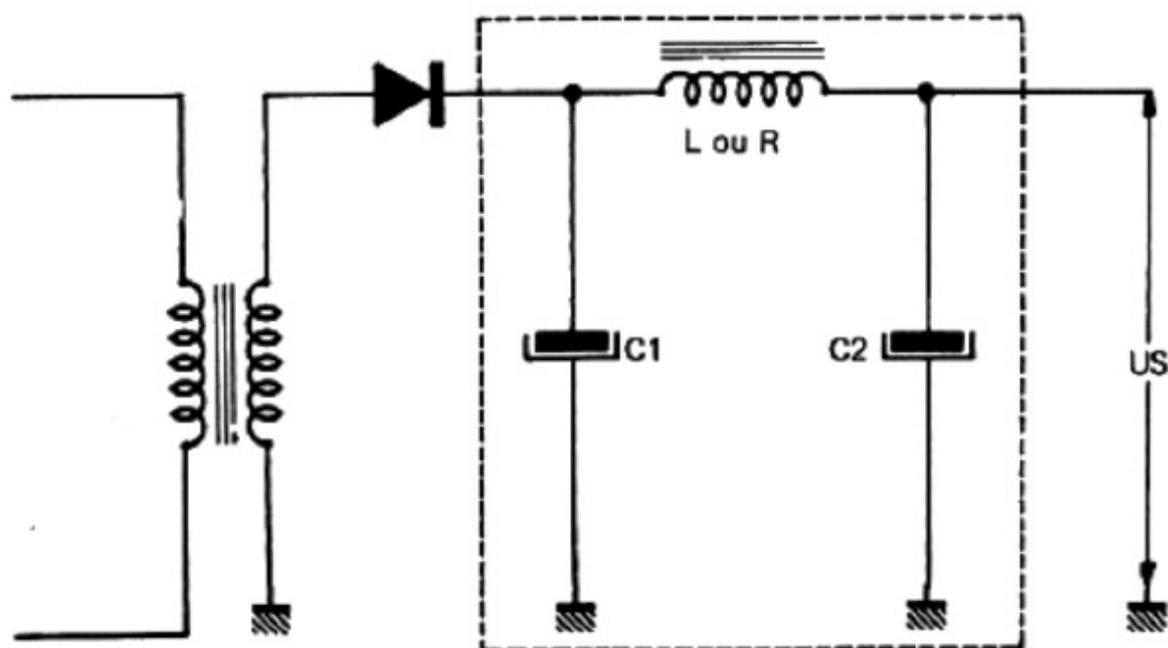
a) COURANT DANS LA CHARGE DU CIRCUIT SIMPLE ALTERNANCE



b) COURANT DANS LA CHARGE DU CIRCUIT DOUBLE ALTERNANCE

Figure 18

Ce filtre, dans le cas d'une alimentation, est composé de deux condensateurs chimiques et d'un bobinage ou d'une résistance (figure 19).



CELLULE DE FILTRAGE

Figure 19

Le fonctionnement de l'ensemble est très facile à comprendre.

Nous avons vu l'effet du premier condensateur C 1. Celui-ci se charge lors des impulsions de courant et se décharge, lorsque la tension disparaît ou tend à diminuer.

Avec la cellule de filtrage, le courant doit maintenant traverser le bobinage avant d'atteindre la CHARGE.

Or, ce bobinage a la propriété de combattre les VARIATIONS du courant. Il en résulte donc une amélioration de la forme de la tension de sortie  $U_s$ .

D'autre part, le condensateur C 2 relié à la sortie de L (ou R) se comporte de la même façon que C 1 et réduit donc encore la composante alternative.

En résumé, la composante alternative à la sortie du redresseur rencontre deux éléments : C 1 et L (qui, répétons-le peut-être remplacé par une résistance).

Or, pour cette composante alternative, C 1 présente une réactance capacitive inférieure à la réactance inductive de L ou la résistance de R.

En effet, en effectuant le calcul sur la base de C 1 = 50  $\mu$ F (valeur généralement adoptée), L = 4 H et F = 50 Hz, on obtient :

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6} \times 2 \pi \cdot 50} = 66 \Omega \text{ environ}$$

$$X_L = L\omega = 4 \times 2 \pi \cdot 50 = 1250 \Omega \text{ environ}$$

En remplaçant L = 4 H par une résistance de 1250  $\Omega$  on pourrait s'attendre à obtenir le même résultat au point de vue ATTENUATION de la composante alternative.

En pratique, le résultat est moins bon, car la bobine a la propriété de s'opposer aux variations de courant, ce qui n'est pas le cas d'une résistance. Cependant, les cellules RC sont suffisamment efficaces en pratique.

A l'aide du même exemple, on voit que dans le MONTAGE DOUBLE ALTERNANCE, où la composante alternative a une fréquence de 100 Hz, le résultat est considérablement amélioré.

En effet :

$$X_C = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6} \times 2 \pi F} = 33 \Omega \text{ environ et}$$

$$X_L = 4 \times 2 \pi F = 2512 \Omega \text{ environ}$$

Bien entendu, le condensateur C 2 a le même effet, vis à vis de la charge de l'alimentation, que le condensateur C 1 vis à vis de L ou de R.

Pour le calcul de l'ATTENUATION de la composante alternative (celle-ci provoquant un RONFLEMENT dans un amplificateur BF, on dit aussi TENSION DE RONFLEMENT), on doit tenir compte de la valeur de la tension continue de sortie  $U_s$  et aussi du COURANT DELIVRE PAR L'ALIMENTATION et absorbé par la charge.

Il est bien évident, en effet, que la composante alternative dépend de la tension continue de sortie, car plus celle-ci est élevée, plus la tension alternative nécessaire, est d'amplitude importante.

Quant au courant délivré par l'alimentation, on comprend tout aussi facilement que, plus celui-ci est faible, plus le condensateur (lors de sa décharge) est en mesure de maintenir un débit constant.

Le calcul théorique de l'atténuation, fort complexe, doit tenir compte des temps de charges et de décharges du condensateur, en fonction des paramètres Tension et Courant.

Nous n'aborderons pas le détail de ces calculs, sortant du cadre de ce cours, d'autant plus que les résultats obtenus sont souvent erronés en pratique, en fonction de la NATURE DE LA CHARGE pouvant être partiellement résistive, inductive et capacitive.

Cependant, pour avoir une idée approximative, parfaitement valable en pratique, on peut calculer simplement la TENSION DE RONFLEMENT à l'aide des formules ci-dessous.

a) - CIRCUIT SIMPLE ALTERNANCE, avec filtre ne comportant qu'un seul CONDENSATEUR :

$$V_r = (4I/C 1) \times \sqrt{2} \text{ avec}$$

$V_r$  = Tension de ronflement

$I$  = courant débité dans la charge en mA

$C1$  = valeur capacitive du condensateur en  $\mu F$

$$\sqrt{2} = 1,41$$

EXEMPLE : Soit une alimentation débitant un courant de 60 mA. Le condensateur de filtre a une valeur de 50  $\mu F$ .

$$V_r = (4I/C 1) \times \sqrt{2} = (4 \times 60/50) \times 1,41 = 6,7 \text{ V.}$$

b) - CIRCUIT DOUBLE ALTERNANCE, avec filtre ne comportant qu'un SEUL CONDENSATEUR :

$$V_r = 4I/C 1.$$

EXEMPLE : Mêmes données que dans l'exemple précédent.

$$V_r = 4I/C 1 = 4 \times 60/50 = 4,8 \text{ V.}$$

c) - CIRCUIT SIMPLE ALTERNANCE avec filtre comportant DEUX CONDENSATEURS ET UNE BOBINE (voir figure 19).

$$V_r = (4I/C 1.C 2.L) \times \sqrt{2} \text{ avec}$$

$I$  en mA,

$C$  en  $\mu F$ ,

$L$  en H (henrys).

**EXEMPLE :** Mêmes données que dans l'exemple précédent, avec en plus  $C_2 = 50 \mu\text{F}$  et  $L = 2 \text{ H}$ .

$$V_r = (4I/C_1 C_2 L) \times \sqrt{2} = (4 \times 60/50 \times 50 \times 2) \times 1,41 = 67 \text{ mV}$$

d) - **CIRCUIT DOUBLE ALTERNANCE**, avec filtre comportant **DEUX CONDENSATEURS ET UNE BOBINE** (voir figure 19) :

$$V_r = 4I/C_1 C_2 L$$

**EXEMPLE :** Mêmes données que dans l'exemple précédent :

$$V_r = 4I/C_1 C_2 L = 4 \times 60/50 \times 50 \times 2 = 48 \text{ mV}$$

Dans les deux dernières formules, on doit remplacer  $L$  (valeur en Henrys de la bobine) par  $R$  (valeur de la résistance mise à la place de la bobine).

Dans ce cas, on exprime alors :

$I$  en mA

$C$  en  $\mu\text{F}$

$R$  en  $\text{k}\Omega$

**EXEMPLE :** Même exemple que précédemment, mais avec  $R = 1200 \Omega$  à la place de  $L = 2 \text{ H}$ .

$$V_r = 4I/C_1 C_2 R = 4 \times 60/50 \times 50 \times 1,2 = 80 \text{ mV}$$

Cette valeur de 80 mV, représentant la tension alternative, superposée à la tension continue de sortie est parfaitement admissible dans la grande majorité des cas.

Aussi, le fait d'utiliser une bobine plutôt qu'une résistance dépend surtout de la **CHUTE DE TENSION ADMISSIBLE**, provoquée par la cellule de filtrage.

En examinant la figure 19, on peut voir que la totalité du courant absorbé par la charge (qui sera branché aux bornes de sorties  $U_s$ ) passe dans la bobine L ou dans la résistance R.

Il en résulte évidemment une **CHUTE DE TENSION** ( $U = Ri$ ) et de ce fait la tension continue  $U_s$  disponible, est moins importante.

Prenons un exemple avec des valeurs courantes.

Une bobine de filtrage de 4 Henrys par exemple, d'excellente qualité, présente une résistance ohmique (due à l'enroulement constituant le bobinage) de l'ordre de  $40 \Omega$ .

A la place de cette bobine, on peut prendre une résistance d'une valeur de  $1500 \Omega$  environ.

Si le courant débité est de 60 mA par exemple, dans le premier cas la chute de tension sera de :

$$U = Ri = 40 \times 0,06 = 2,4 \text{ V}$$

Ainsi, avec une tension continue de sortie à vide de 250 Volts, la tension  $U_s$  en charge sera de :

$$250 - 2,4 = 247 \text{ Volts environ}$$

Avec la résistance de  $1500 \Omega$ , et dans les mêmes conditions, la chute de tension sera de :

$$U = Ri = 1500 \times 0,06 = 90 \text{ Volts}$$

La tension  $U_s$  en charge aura alors pour valeur :

$$250 - 90 = 160 \text{ Volts}$$

Si le courant demandé était plus important encore (par exemple 100 mA au lieu de 60 mA), la chute de tension serait prohibitive ( $1500 \times 0,1 = 150 \text{ Volts}$ ).

En conclusion, on utilise une résistance de filtrage (élément peu coûteux et peu encombrant) lorsque le courant que doit fournir l'alimentation est relativement faible.

Dans le cas contraire, on adopte une bobine de filtrage.

En pratique, on trouve des alimentations avec cellules CRC, pour des courants maximum de l'ordre de 60 à 80 mA.

Au-delà de ces valeurs, on trouve des cellules CLC.

Dans les deux cas, lorsque l'alimentation doit fournir du courant à plusieurs charges, on peut rencontrer plusieurs CELLULES DE FILTRAGE en série.

On évite ainsi l'influence d'une charge sur l'autre (on parle alors du DECOUPLAGE DES CIRCUITS).

Le montage se présente comme indiqué figure 20.

Dans cet exemple, si :

$$L = \text{résistance ohmique} = 40 \Omega ,$$

$$R1 = 1000 \Omega , R2 = 500 \Omega$$

et si les courants demandés sont de :

$$HT\ 1 = 100\ \text{mA},\ HT\ 2 = 50\ \text{mA}\ \text{et}\ HT\ 3 = 20\ \text{mA},$$

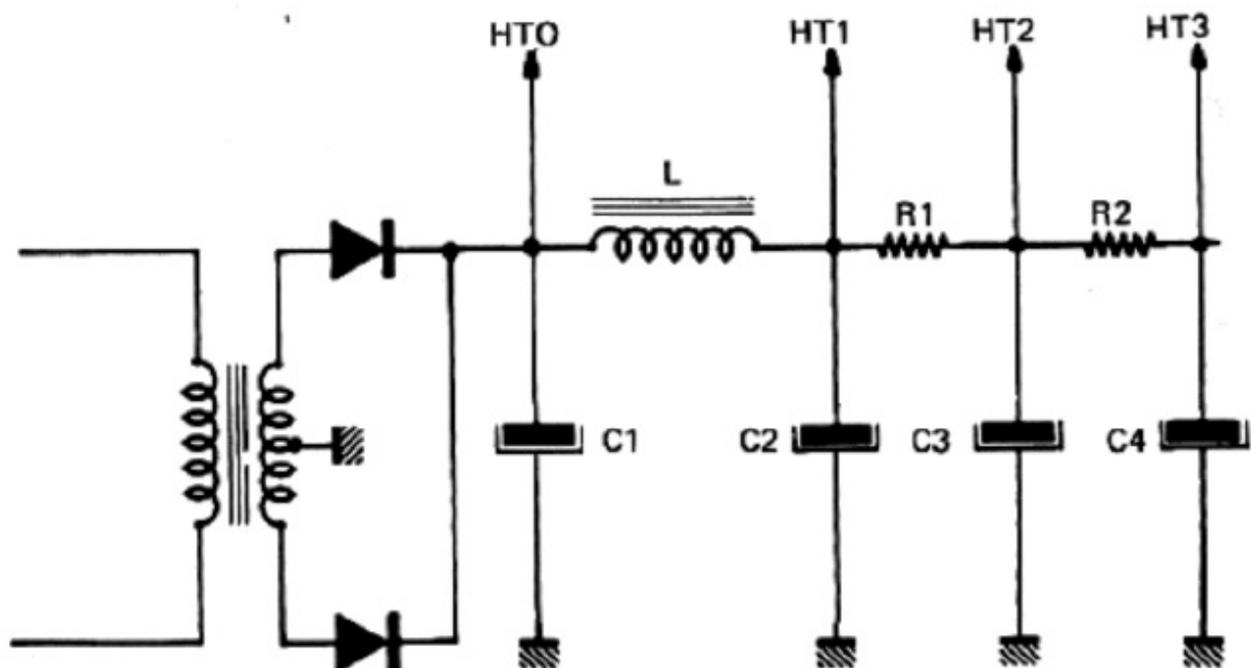
nous aurons, dans le cas d'une tension continue de sortie à vide de 250 Volts :

$$HT\ 1 = 250 - (40 \times 0,1) = 246\ \text{Volts}$$

$$HT\ 2 = 246 - (1000 \times 0,05) = 196\ \text{Volts}$$

$$HT\ 3 = 196 - (500 \times 0,02) = 186\ \text{Volts}.$$

Bien entendu, chaque cellule améliore le filtrage et les effets s'ajoutant, la tension de ronflement sur HT 3 sera plus faible que sur HT 2, elle-même moins élevée que sur HT 1.



ALIMENTATION AVEC PLUSIEURS CELLULES DE FILTRAGE EN SERIE

Figure 20

Enfin, comme il existe des circuits pouvant être alimentés avec une tension peu filtrée, on peut prélever celle-ci directement sur les cathodes, aux bornes de C 1 (HT 0).

En négligeant la résistance interne des redresseurs, la chute de tension sera nulle, donc :

$$HT 0 = 250 \text{ Volts}$$

#### IV - CELLULE DE FILTRAGE AVEC SELF D'ENTREE

Dans les cellules que nous avons examinées, le premier élément était toujours le condensateur C 1.

Pour cette raison, ces cellules sont dites : CELLULES A ENTREE CAPACITIVE.

Dans la grande majorité des cas, ce sont celles-ci que l'on trouve sur les alimentations.

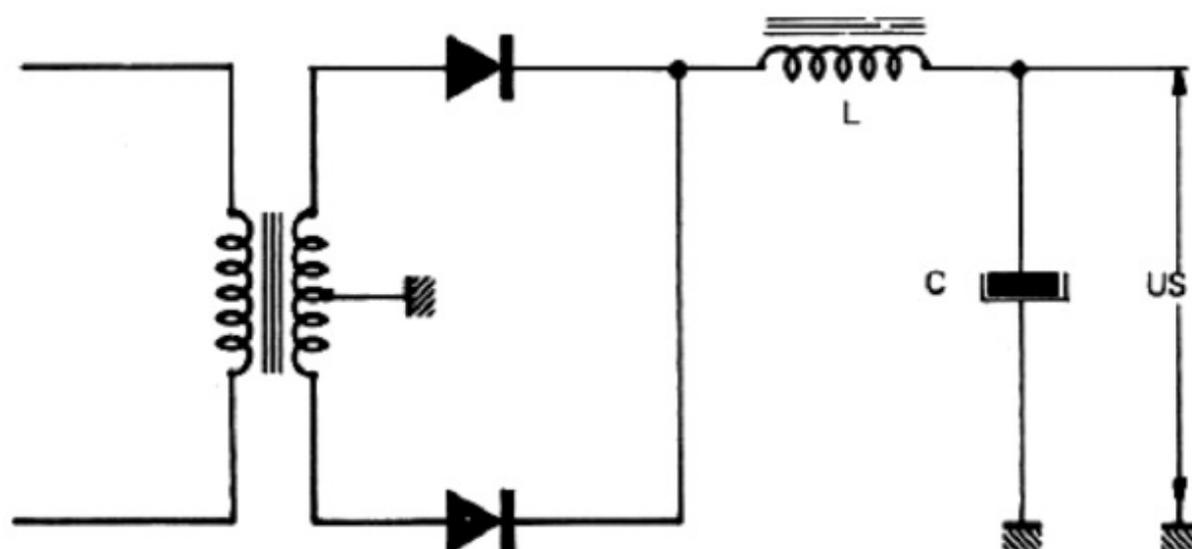
Cependant, sur certains montages, on place la SELF comme élément d'entrée.

Le schéma de ce genre de circuit est représenté figure 21.

Ce type de cellule est adopté pour les TUBES A GAZ et à VAPEUR DE MERCURE (ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE).

Avec ceux-ci, de faible résistance interne, l'adoption d'un condensateur de forte capacité, donnerait lieu lorsque celui-ci est déchargé, à un COURANT DE CHARGE EXCESSIF, pouvant détruire ces tubes.

Le filtre à SELF EN TETE, diminue le taux d'ondulation AVAL (après la bobine) mais augmente le taux d'ondulation AMONT.



ALIMENTATION AVEC ENTREE INDUCTIVE (SELF EN TETE)

Figure 21

Le ronflement résiduel en sortie de filtre, se calcule comme précédemment, à l'aide de la formule :

$$V_r = 4I/LC$$

Pour avoir une TENSION CONTINUE DE SORTIE CONSTANTE, avec une CHARGE FAIBLE, la self d'entrée doit avoir une valeur minimum en henrys, beaucoup plus grande que celle nécessaire pour une CHARGE NORMALE.

Or, une valeur élevée de L, signifie que le circuit magnétique est encombrant (beaucoup de fer), et que l'enroulement (beaucoup de cuivre), présente une résistance ohmique non négligeable.

Comme il convient de réduire cette résistance pour éviter une chute de tension et une dissipation de puissance inutile, on met d'habitude une SELF GLISSANTE, c'est-à-dire une bobine avec un ENTREFER REDUIT, ou même nul.

Une telle self, présente bien la valeur demandée lorsque le débit est faible, mais tombe au tiers environ ou même plus, lorsque le débit est normal.

Ce phénomène est dû à la SATURATION PARTIELLE DU FER, dans lequel le flux magnétique demeurant presque constant ne peut pas induire de force contre-électromotrice dans la bobine, qui perd ainsi son pouvoir de s'opposer aux variations de courant, c'est-à-dire perd de sa valeur inductive.

Précisons encore que dans les deux types de cellules (capacité ou self en tête), la bobine doit être prévue pour le COURANT MAXIMUM demandé.

Dans le cas contraire, il se produirait un échauffement (voire même la destruction) de l'enroulement.

Dans les cellules de filtrage avec capacité en tête, quand L est remplacé par une résistance, celle-ci doit pouvoir dissiper en chaleur, la puissance résultant de la valeur ohmique de R et du courant ( $P = RI^2$ ).

Ainsi, dans le cas d'une alimentation débitant 80 mA, il conviendra de choisir une SELF DE FILTRAGE capable de supporter cette intensité.

Si la self est remplacée par une résistance de 1500 par exemple, celle-ci devra pouvoir dissiper une puissance de :

$$P = RI^2 = 1500 \times 0,08^2 = 9,6 \text{ W,}$$

soit 10 Watts en pratique.

Nous allons voir maintenant d'autres circuits d'alimentation, d'usage courant dans les différentes applications de l'électronique.

## V - ALIMENTATION EN PONT

Le montage classique **DOUBLE ALTERNANCE**, étudié dans le chapitre précédent est très intéressant, car il fonctionne en **DOUBLEUR D'INTENSITE** et la tension continue de sortie est facile à filtrer, la fréquence de la composante alternative étant de 100 Hertz.

Ce type d'alimentation présente cependant un inconvénient : nécessité d'utiliser un transformateur comportant un secondaire avec point milieu, c'est-à-dire pratiquement deux secondaires.

De ce fait, le transformateur est coûteux et volumineux.

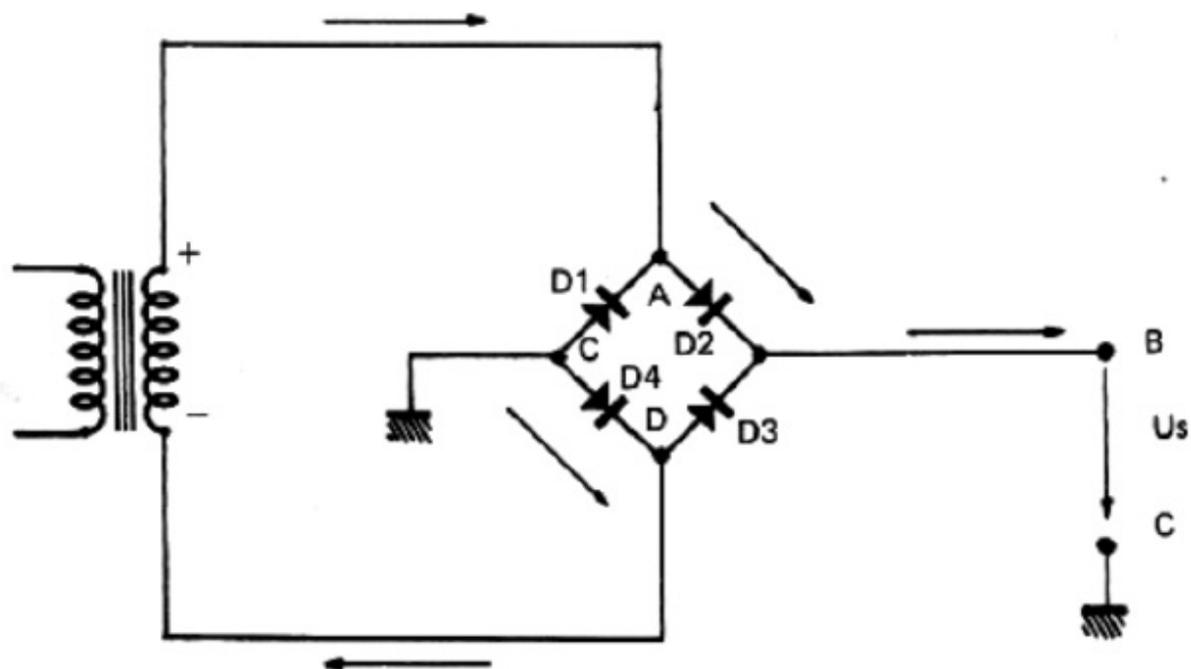
Pour pallier cet inconvénient, on a réalisé un autre type d'alimentation, possédant les avantages du montage **DOUBLE ALTERNANCE** et fonctionnant avec un transformateur ne comportant qu'un seul secondaire, ou même directement sur le secteur.

Ce nouveau circuit, appelé **MONTAGE EN PONT** est représenté figure 22.

Il utilise quatre redresseurs séparés du même type, ou un **REDRESSEUR EN PONT** (boîtier unique comportant quatre redresseurs).

Le fonctionnement du circuit est le suivant :

a) - LORS DE L'ALTERNANCE POSITIVE DE LA TENSION, c'est-à-dire lorsque les points A et D ont les polarités indiquées figure 22, D 1 est bloqué et D 2 conduit.



ALIMENTATION EN PONT

Figure 22

Le courant circule alors du point A vers le point B, et à travers la charge rejoint la masse (point C), puis grâce à D 4 atteint le point D, pour retourner au secondaire.

b) - Lors de l'alternance négative de la tension, c'est-à-dire lorsque les points A et D ont les polarités indiquées figure 23, D 3 conduit et D 4 est bloqué.

Le courant circule du point D vers le point B par l'intermédiaire de D 3 et rejoint la masse à travers la charge, puis, grâce à D 1 atteint le point A, pour retourner au secondaire.

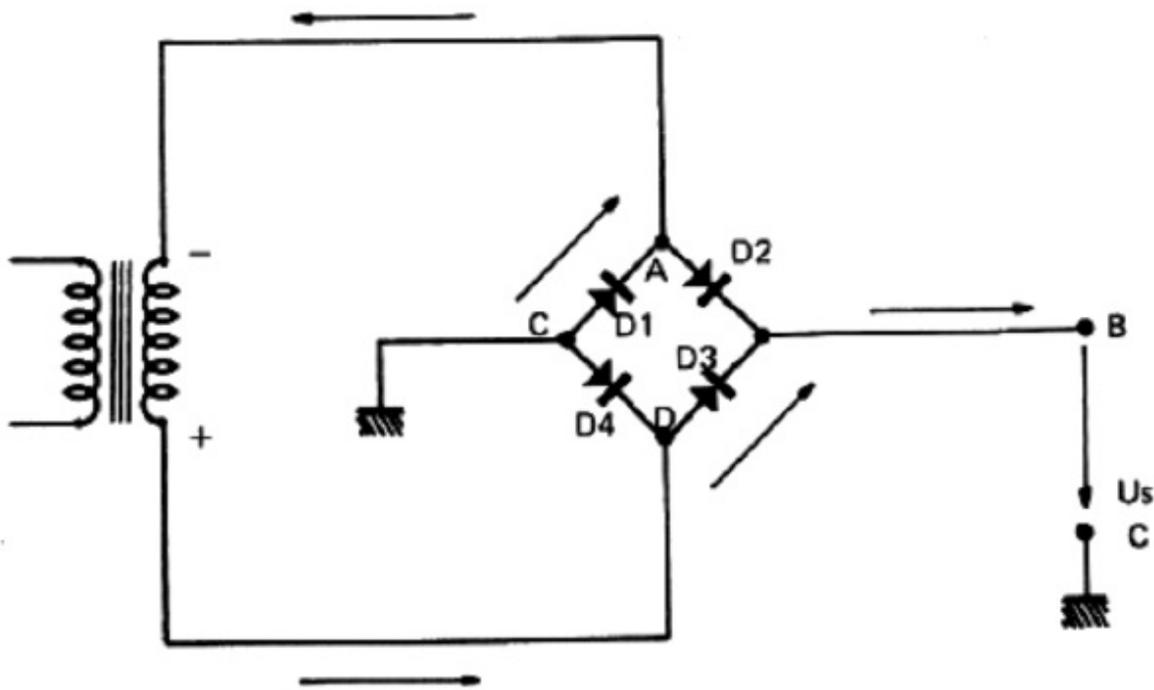


Figure 23

Les deux alternances de la période étant redressées, le circuit fonctionne en **DOUBLEUR D'INTENSITE**.

La tension continue à vide, sans condensateur en tête est de :

$$U_s = 0,9 U_{\text{eff}}$$

Avec un condensateur, cette tension passe, comme dans le cas du redressement "double alternance" à :

$$U_s = 1,41 U_{\text{eff}}$$

La **TENSION INVERSE DE POINTE**, est par contre moins importante que dans les montages étudiés jusqu'ici.

En effet, en examinant les figures 22 et 23, on voit que pour chaque alternance, il y a toujours deux redresseurs qui conduisent (au lieu d'un seul dans les montages précédents).

De ce fait, la tension inverse de pointe est réduite de moitié.

Nous avons donc :

**TENSION INVERSE DE POINTE : 1,41 U eff** (au lieu de 2,82 U eff pour les montages redresseurs simple et double alternance).

Vu sous un angle différent, on peut dire que du point de vue alternatif, le niveau zéro passe successivement du point A au point D, en fonction des alternances.

Ces deux points étant reliés directement à la masse par l'intermédiaire de D 1 et D 4, on peut considérer en négligeant la résistance interne des redresseurs, que lors **DES ALTERNANCES NEGATIVES**, les points A et D sont au potentiel de la masse, c'est-à-dire à un potentiel nul.

Chaque redresseur ne supporte ainsi, que la valeur de pointe de l'alternance positive.

Quant à la valeur de la tension continue de sortie, avec une charge normale, elle est égale, comme dans le cas du montage double alternance à :

$$U_s = 1,2 U \text{ eff}$$

Le tableau de la figure 24, résume les caractéristiques et les avantages de **L'ALIMENTATION EN PONT**.

Tout ce qui a été dit par ailleurs dans le chapitre précédent, demeure valable pour ce type d'alimentation (filtrage, calcul de la charge, résistance de protection, etc...).

Tension continue à vide		Tension inverse de pointe	Tension conti- nue avec charge normale	Avantages
sans C	avec C			
0,9 Ueff	1,41 Ueff	1,41 Ueff	1,41 Ueff	Faible tension inverse - filtrage aisé (100 Hz) transformateur éventuel simpli- fié

CARACTERISTIQUES ET AVANTAGES DU CIRCUIT EN PONT

Figure 24

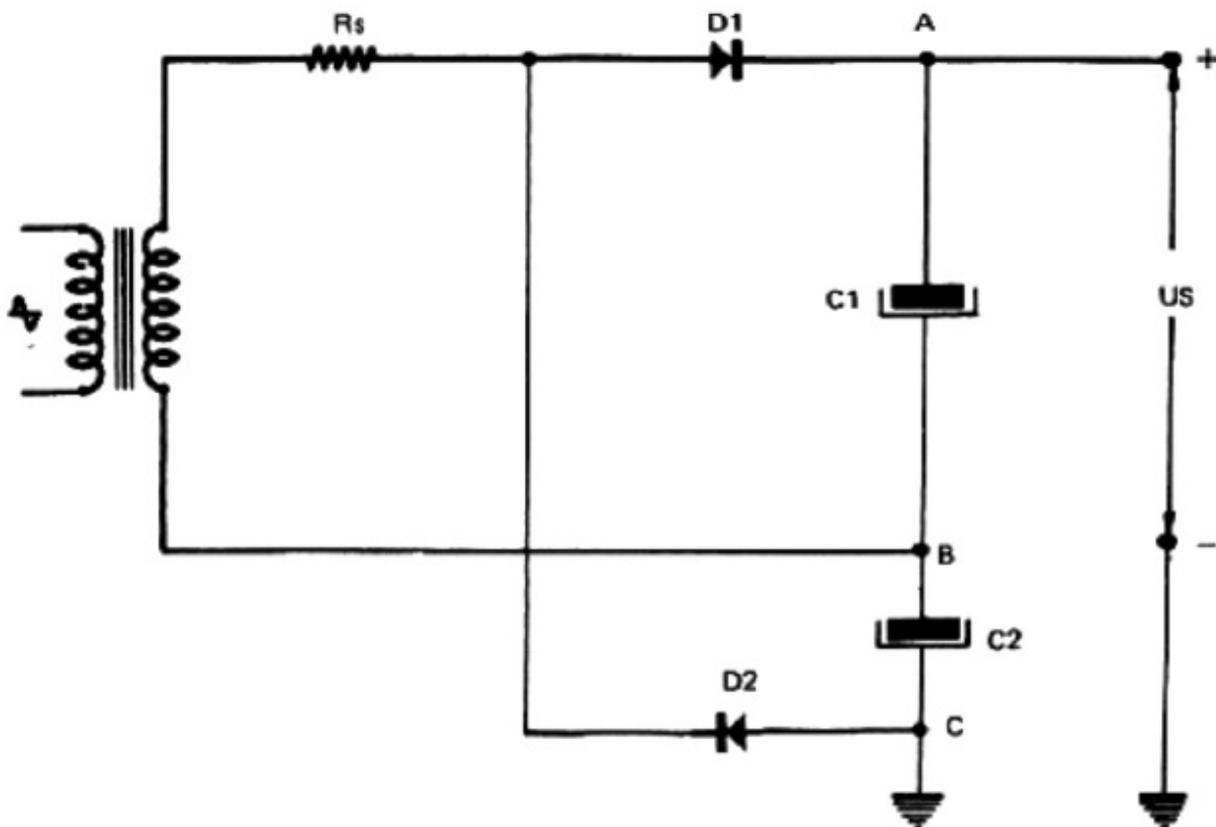
## VI - MULTIPLICATEURS DE TENSION

Sous le nom de **MULTIPLICATEURS DE TENSION**, on trouve une série de montages, dont la propriété essentielle est de **DOUBLER**, **TRIPLER**, **QUADRUPLER**, etc... la valeur de la tension appliquée.

Les circuits les plus utilisés sont du type **DOUBLEUR** ou **TRIPLEUR DE TENSION**.

## VI - 1 - DOUBLEUR DE TENSION

Le montage doubleur de tension le plus connu, est appelé **DOUBLEUR DE LATOUR**. Celui-ci, dû à l'ingénieur français Marius LATOUR, est représenté figure 25.



DOUBLEUR DE LATOUR

Figure 25

Le mécanisme de fonctionnement est le suivant :

a) **LORS DE L'ALTERNANCE POSITIVE**

D 1 conduit, alors que D 2 est bloqué. Le condensateur électrochimique se charge, le courant circulant à travers D 1 – C 1 et retournant au secondaire par le point B (sens conventionnel).

Par exemple, si la tension efficace alternative est de 100 Volts, la tension continue de pointe entre A et B est de :

$$100 \times 1,41 = 141 \text{ Volts}$$

#### b) LORS DE L'ALTERNANCE NEGATIVE

D 1 est bloqué, alors que D 2 conduit. Le condensateur électrochimique C 2 se charge, le courant circulant du point B vers C 2 et retournant au secondaire, par l'intermédiaire de D 2 (sens conventionnel).

La tension continue de pointe entre B et C est alors de :

$$100 \times 1,41 = 141 \text{ Volts.}$$

Les condensateurs C 1 et C 2 étant en série, la tension continue entre A et C est de :

$$141 + 141 = 282 \text{ Volts (à vide).}$$

Les composants C 1 et C 2 se comportent donc comme deux générateurs, de tension continue en série (voir figure 26).

Bien entendu, l'effet de doublage ne se produit en présence d'une charge entre A et C, que si les condensateurs C 1 et C 2 ont une valeur capacitive suffisante.

La valeur exacte est liée à la **CONSTANTE DE TEMPS** du circuit d'utilisation.

Pour une tension alternative de 50 Hertz et pour des débits normaux en électronique (de l'ordre de 50 à 400 mA), cette valeur est généralement de  $100 \mu\text{F}$ .

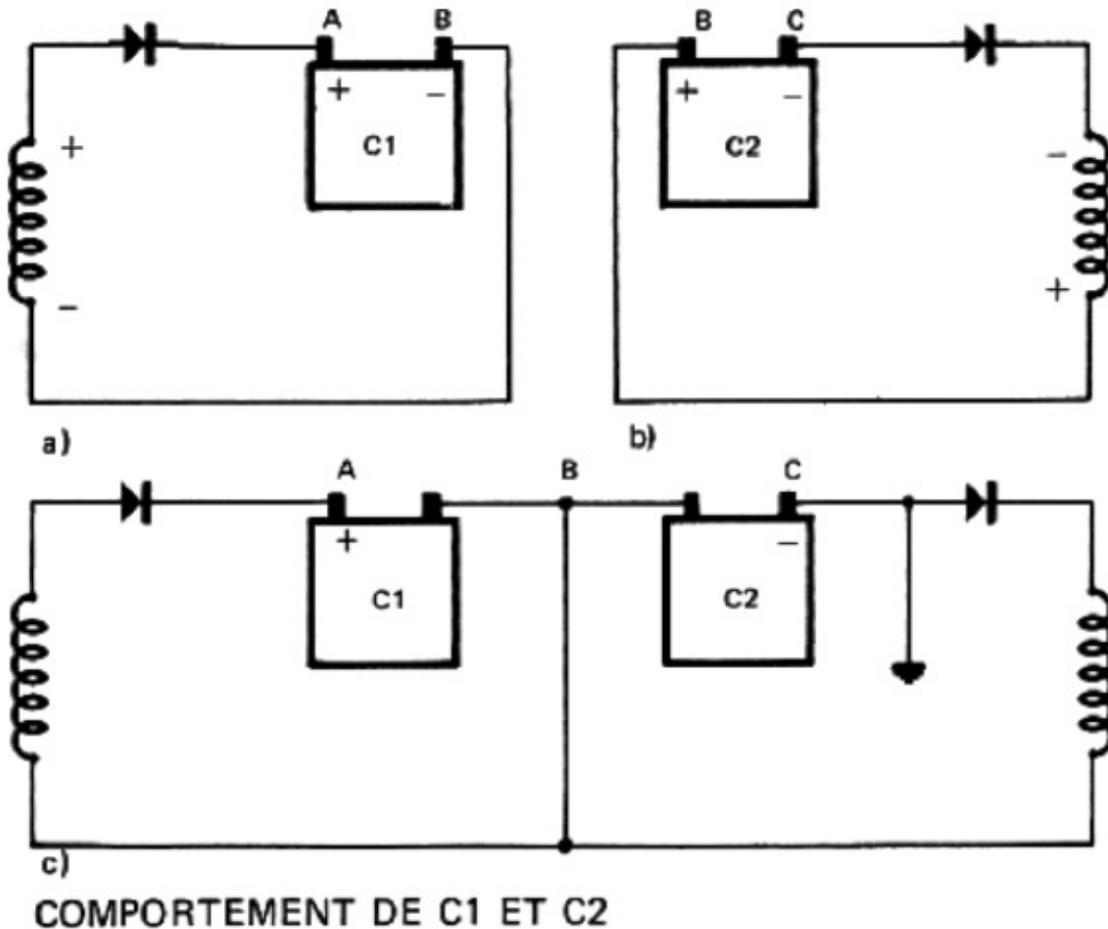


Figure 26

Le débit maximum demandé à l'alimentation, ne doit pas être supérieur au courant maximum, pouvant être fourni par un seul redresseur.

Il convient de remarquer que dans ce montage, C 1 et C 2 assurent le doublage de la tension et remplissent le rôle de condensateurs d'entrée

de filtre (tension de ronflement = 100 Hz).

Chacun de ces condensateurs n'a cependant à supporter que la moitié de la valeur maximum de la tension de sortie (1,41 U eff).

Le tableau de la figure 27 résume les caractéristiques et les avantages du montage **DOUBLEUR DE TENSION**.

Tension continue à vide		Tension inverse de pointe	Tension continue avec charge normale	Avantages
sans C	avec C			
1,8 Ueff	2,82 Ueff	2,82 Ueff	2,4 Ueff	Transformateur simple Tension de sortie élevée Filtrage facile

**CARACTERISTIQUES DU DOUBLEUR DE TENSION**

**Figure 27**

Il faut encore ajouter que le montage doubleur de tension, peut être utilisé directement sur le secteur, sans l'intermédiaire d'un transformateur.

D'autre part, on peut disposer en sortie, de deux valeurs de tension

continue :

- 1) entre A et B :  $U_s = 1,2 U \text{ eff}$
- 2) entre A et C :  $U_s = 2,4 U \text{ eff}$ .

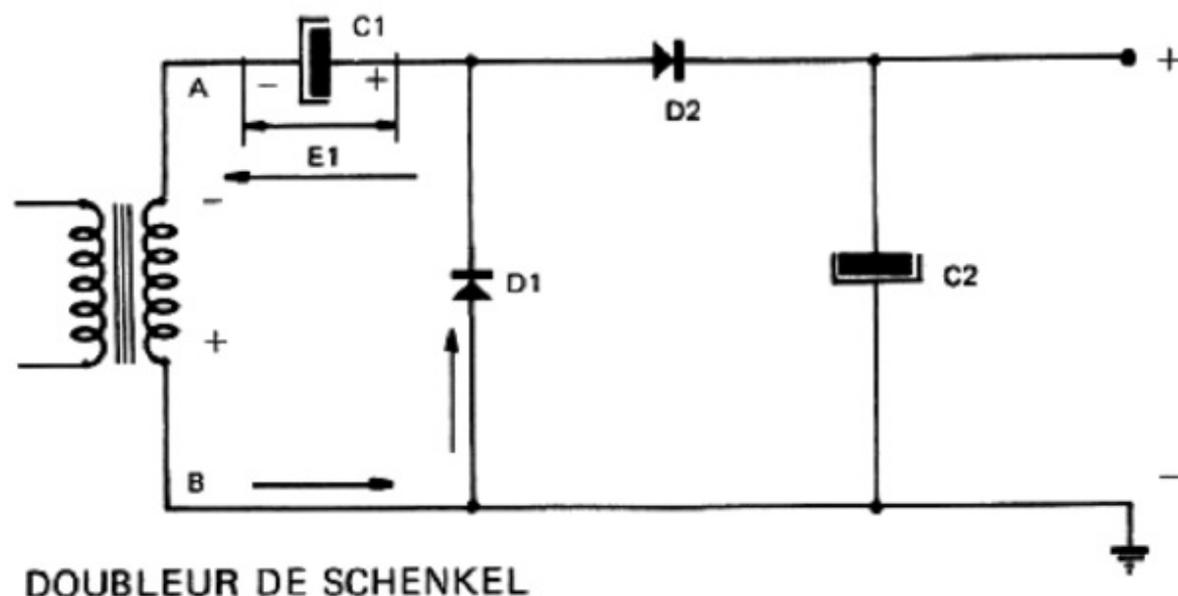
La panne type survenant dans ce montage est due au vieillissement de C 1 ou C 2.

En effet, lorsque la valeur capacitive de ces composants devient relativement faible, par suite du dessèchement du diélectrique, la tension continue de sortie n'a plus une valeur égale à  $2,4 U \text{ eff}$ .

Il convient alors de remplacer ces deux composants.

## VI - 2 - DOUBLEUR DE SCHENKEL

Un autre type de doubleur de tension très connu est le DOUBLEUR DE SCHENKEL (figure 28).



DOUBLEUR DE SCHENKEL

Figure 28

Le fonctionnement de ce montage est basé sur le même principe que celui du DOUBLEUR DE LATOUR, c'est-à-dire par charge de C 1 et C 2.

Précisons tout d'abord que l'extrémité inférieure du secondaire étant à la masse, nous aurons toujours pour le point B, le niveau de référence zéro (potentiel nul).

Cependant, en alternatif, le point B (niveau zéro) sera bien positif par rapport au point A, lorsque celui-ci sera négatif.

En effet, si la tension alternative au secondaire est de 100 Volts, le point A passera par rapport au point B de  $-100\text{ V}$  à  $+100\text{ V}$ , selon l'alternance considérée.

Ainsi, quand nous aurons point A =  $-100\text{ Volts}$ , nous pourrions dire que le point B est positif par rapport au point A.

Voyons maintenant le comportement des éléments, en fonction de chaque alternance.

a) - LORS DE L'ALTERNANCE NEGATIVE (figure 28).

Le point A est négatif, donc D 2 est bloqué.

Par contre, le point B est positif par rapport à A, ce qui revient à dire que l'anode de D 1 est positive par rapport à sa cathode.

Donc, D 1 conduit et charge C 1 avec les polarités indiquées figure 28.

LA TENSION AUX BORNES DE C 1 EST EGALE A LA TENSION DE CRETE DU SECTEUR.

b) - LORS DE L'ALTERNANCE POSITIVE (figure 29).

Le point A est positif par rapport à B.

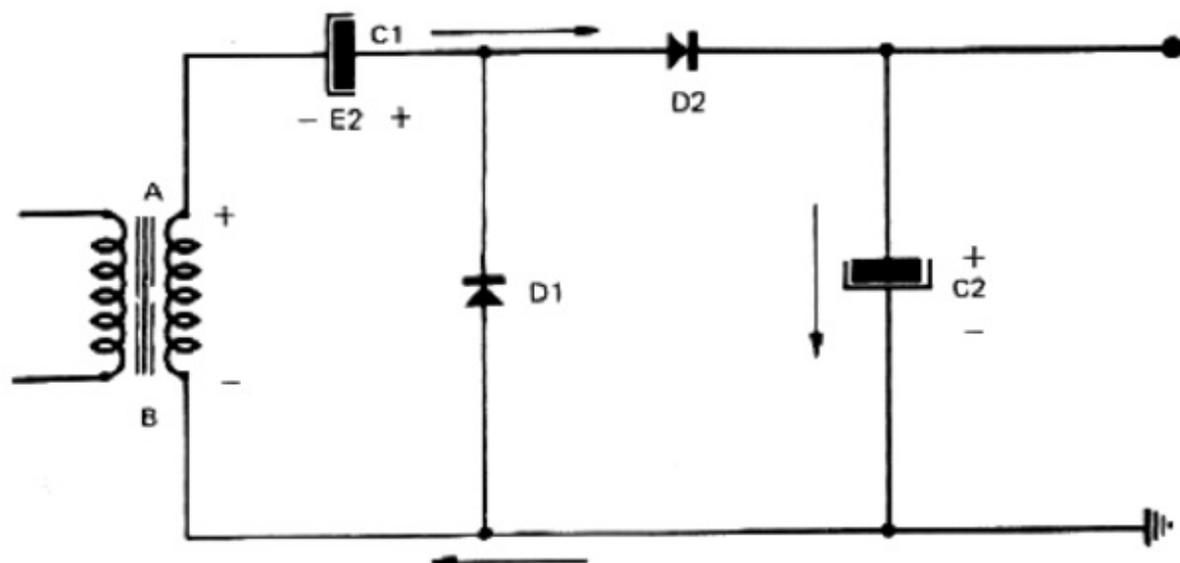


Figure 29

Donc D 2 conduit, alors que D 1 est bloqué.

La tension appliquée à D 2 résulte de la mise en série de la tension du secteur pendant l'alternance positive et de la tension précédente, à laquelle s'est chargé C 1 (notez les polarités entre B et C 1 pour les figures 28 et 29).

Ainsi, D 2 redresse  $E 2 = 2 E 1$

Le condensateur C 2 se charge donc à cette valeur, c'est-à-dire à  $2,82 U \text{ eff}$  (deux fois la valeur de crête).

Comme précédemment, les condensateurs sont soumis à DES TENSIONS DE POLARITES INVARIABLES ; cependant C 2 supporte la valeur de la HT doublée ( $2,82 U \text{ eff}$ ), alors que C 1 ne supporte qu'une tension égale à la valeur de crête du secteur ( $1,41 U \text{ eff}$ ).

LA TENSION INVERSE DE POINTE appliquée à D 1 et à D 2 est égale à 2,82 U eff.

Le doublage de la tension ne dépendant pourtant que de C 1, la valeur capacitive de ce composant augmente avec le courant.

On trouve généralement :

C 1 = 100  $\mu$ F pour un courant maximum de 200 mA,

C 1 = 150  $\mu$ F pour un courant maximum de 300 mA,

C 1 = 300  $\mu$ F pour un courant maximum de 400 mA.

C 2 joue ici aussi, le rôle de condensateur d'entrée de filtre.

Ce condensateur n'est cependant rechargé qu'à chaque alternance positive. La tension de ronflement est donc de 50 Hz, ce qui implique une cellule de filtrage très efficace.

### VI - 3 - DOUBLEUR DE TENSION ET D'INTENSITE

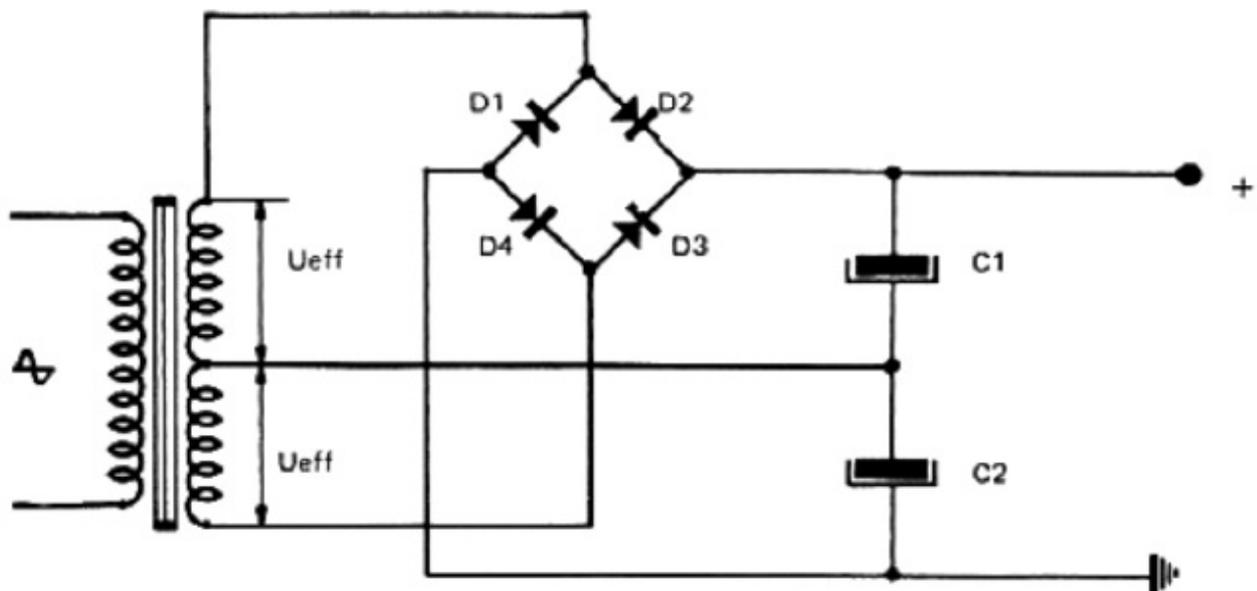
En combinant le montage DOUBLEUR DE TENSION avec le montage DOUBLEUR D'INTENSITE, on peut obtenir un circuit DOUBLEUR DE TENSION ET D'INTENSITE.

Celui-ci est représenté figure 30.

Ce montage présente les avantages du DOUBLEUR D'INTENSITE DU CIRCUIT EN PONT et ceux du DOUBLEUR DE TENSION.

La tension continue de sortie est de 2,82 U eff et la tension inverse de pointe supportée par les redresseurs est également de 2,82 U eff.

Là encore C 1 et C 2 n'ont à supporter chacun, que la moitié de la valeur maximum de la tension continue de sortie (1,41 U eff).



DOUBLEUR DE TENSION ET D'INTENSITE

Figure 30

#### VI - 4 - TRIPLEUR DE TENSION

Dans la série des multiplicateurs de tension, on rencontre également assez souvent, le montage **TRIPLEUR DE TENSION**.

Le schéma de celui-ci est représenté figure 31.

Là encore, il faut se rappeler que le point B étant à la masse, fixe le niveau de référence zéro (potentiel nul).

Cependant, du point de vue alternatif, lorsque le point A est négatif (– 100 Volts par exemple), le point B est bien positif par rapport à A.

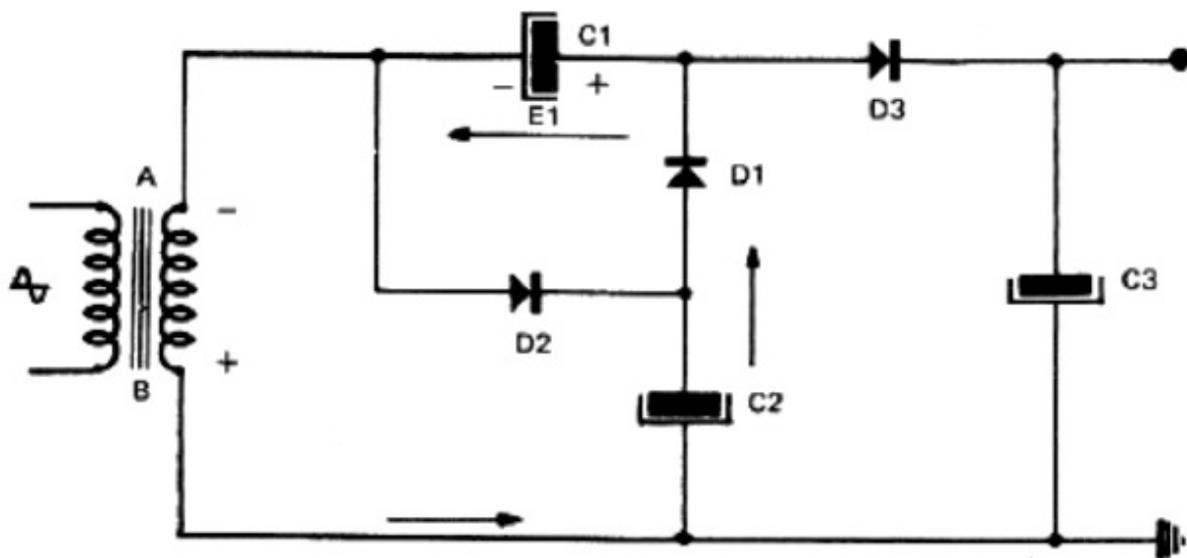


Figure 31

Après ce rappel, voyons le fonctionnement du circuit.

a) - LORS DE L'ALTERNANCE NEGATIVE (figure 31).

Les anodes des redresseurs D 2 et D 3 étant négatives, ces composants sont bloqués.

Par contre, l'anode de D 1 étant positive par rapport à sa cathode, ce composant conduit et charge C 1 à la valeur de crête du secteur.

Notez bien la polarité au point B et aux bornes de C 1.

b) - LORS DE L'ALTERNANCE POSITIVE (figure 32).

Le redresseur D 1 est bloqué.

Par contre, D 2 et D 3 conduisent.

Nous avons alors :

- 1) - D 2 chargeant le condensateur C 2 à la valeur de crête du secteur (E 3),
- 2) - D 3 chargeant C 3 à la valeur de E 2 + E 3, c'est-à-dire  $3 E 1$ .

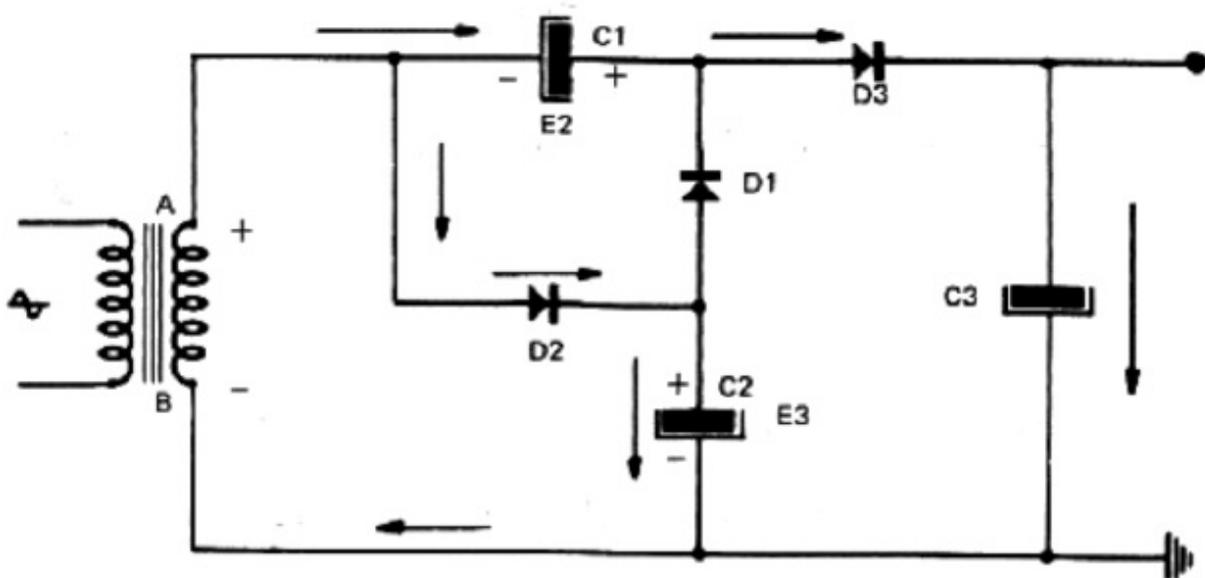


Figure 32

La tension de sortie à vide est donc de  $4,23 U_{\text{eff}}$  (trois fois la valeur de crête).

AVEC UNE CHARGE NORMALE, LA TENSION DE SORTIE EST DE L'ORDRE DE  $3,2 U_{\text{eff}}$ .

La tension inverse de pointe reste de  $2,82 U_{\text{eff}}$  pour chaque redresseur.

En effet, même pour D 3, qui apparemment supporte la tension inverse la plus importante, nous avons, lorsque ce redresseur est bloqué :

- cathode de D 3 = + 4,23 U eff,  
 - anode de D 3 = + E 1 (tension aux bornes de C 1),  
 soit + 1,41 U eff,

Tension inverse sur D 3 = 4,23 - 1,41 = 2,82 U eff.

Pour D 1 bloqué, nous avons :

- cathode de D 1 = + 4,23 U eff,  
 Anode de D 1 = + E 3 (tension aux bornes de C 2)  
 soit + 1,41 U eff,

Tension inverse sur D 1 = 4,23 - 1,41 = 2,82 U eff.

Et enfin, pour D 2 bloqué, nous avons :

- cathode de D 2 = - 1,41 U eff,

Anode de D 2 = + 1,41 U eff.

Tension inverse sur D 2 = 1,41 + 1,41 = 2,82 U eff.

Quant aux condensateurs, il est bien évident que C 3 supporte une tension maximum de 4,23 U eff, mais C 1 et C 2 ne supportent que la tension maximum, due à une charge par alternance, c'est-à-dire 1,41 U eff.

## VI - 5 - QUADRUPLEUR DE TENSION

Le principe consistant à charger un condensateur par l'intermédiaire d'un redresseur pendant une alternance et à y ajouter la tension maximum de la source pendant l'autre alternance, peut être appliqué à un

nombre illimité d'éléments.

Ainsi, en mettant en série les tensions de sortie de deux doubleurs, on arrive au **QUADRUPLEUR DE TENSION** (figure 33).

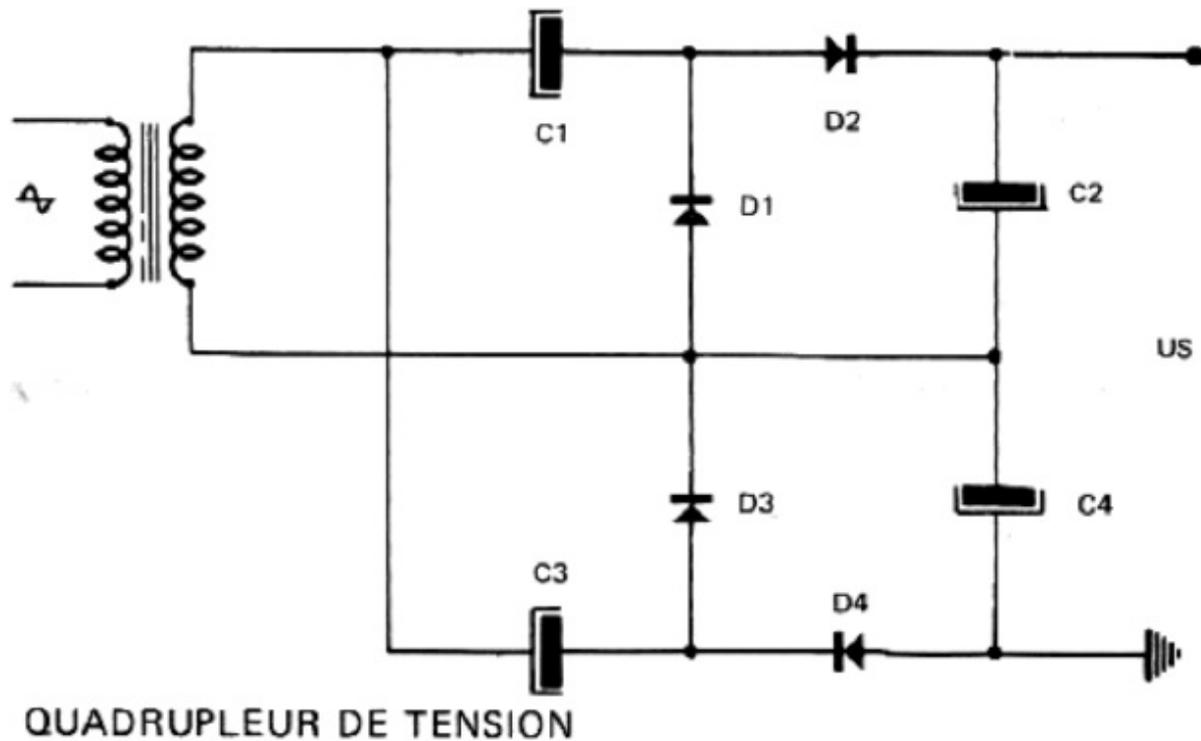


Figure 33

On reconnaît facilement sur le schéma qu'il s'agit de deux **DOUBLEURS DE SCHENKEL** en série.

Le principe de fonctionnement est maintenant suffisamment connu et nous ne nous étendrons plus sur ce sujet.

Précisons cependant que pour les divers types de **MULTIPLI-CATEUR DE TENSION**, la tension continue de sortie (à vide) est toujours égale à :

$$U_s = 1,41 U_{\text{eff}} \times k \text{ avec}$$

$k$  = facteur de multiplication ( $k = 2$  pour un doubleur, 3 pour un tripleur, 4 pour un quadrupleur, etc...).

Quant à la TENSION INVERSE supportée par chaque redresseur, elle reste toujours de  $2,82 U_{\text{eff}}$ .

#### EXEMPLE POUR LE QUADRUPLEUR DE TENSION.

Si la tension au secondaire est de 100 Volts (50 Hz), nous aurons :

$$U_s = 1,41 \times 100 \times 4 = 564 \text{ Volts.}$$

TENSION INVERSE :  $2,82 \times 100 = 282 \text{ Volts.}$

Précisons également que dans tous les cas, avec une CHARGE NORMALE, la tension continue disponible est sensiblement égale à :

$$U_{\text{eff}} \times k \text{ avec}$$

$k$  = facteur de multiplication (2 pour un doubleur, 3 pour un tripleur, 4 pour un quadrupleur, etc...).

Ainsi, avec le circuit quadrupleur de l'exemple précédent, la TENSION CONTINUE DE SORTIE, en présence d'une CHARGE NORMALE, sera de :

$$U_{\text{eff}} \times k = 100 \times 4 = 400 \text{ Volts.}$$

Les condensateurs C 1 et C 3 ne supportent qu'une tension de  $1,41 U_{\text{eff}}$ , alors que les condensateurs C 2 et C 4 supportent évidemment une tension de  $2,82 U_{\text{eff}}$ .

La valeur capacitive de ces composants est de l'ordre de  $100 \mu\text{F}$ .

TOUTES LES VALEURS CAPACITIVES DONNEES A PARTIR

**DU MONTAGE DOUBLEUR DE TENSION NE SONT VALABLES QUE LORSQUE LES CIRCUITS SONT EQUIPES DE REDRESSEURS A SEMI-CONDUCTEURS.**

Dans le cas d'emploi de diode à vide, ne pouvant pas, comme les diodes à semi-conducteurs, fournir un débit instantané, beaucoup plus important que le débit moyen, les valeurs capacitives sont moins élevées.

Cette remarque n'a d'ailleurs qu'un intérêt théorique, car en pratique, on peut considérer que toutes les alimentations électroniques pour petites et moyennes puissances (c'est-à-dire toutes les alimentations prévues pour des dispositifs purement électroniques), sont équipées de redresseurs à semi-conducteurs.

Précisons enfin qu'il est extrêmement rare pour ce genre d'alimentation, de trouver des circuits dépassant le quadruplage de la tension.

Pratiquement, on peut même dire que le montage **DOUBLEUR DE TENSION** (doubleur de LATOUR en principe) est le seul couramment utilisé.

Par contre, pour les très petites puissances (une dizaine de mA), on rencontre assez souvent le montage **TRIPLEUR** et **QUADRUPLEUR**.

Enfin, lorsqu'il est nécessaire de disposer d'une **TRES HAUTE TENSION** (plusieurs milliers de volts), sous un débit très faible (quelques mA), il est possible de pousser le principe de charge des condensateurs encore plus loin et de réaliser des circuits **MULTIPLICATEURS CASCADE**.

## **VI - 6 - MULTIPLICATEURS CASCADE SERIE**

Le premier type de ce genre de montage est appelé **MULTIPLICATEUR CASCADE SERIE** (figure 34).



continue de sortie  $U_s$  (à vide) est de :

$$352 \times 8 = 2816 \text{ Volts}$$

On doit noter que les condensateurs n'ont à supporter qu'une tension de 2,82 U eff, sauf C 1 (1,41 U eff) et C 9, pour lequel la tension appliquée dépend du nombre de redresseurs.

Dans le cas du montage de la figure 34, C 9 supporte une tension de 2816 Volts.

Quant aux redresseurs, la tension inverse de pointe reste de 2,82 U eff pour chacun de ces composants.

En effet, en examinant par exemple le circuit relatif à D 8, qui apparemment doit supporter une tension plus élevée que celle appliquée à D 1, on constate que du fait de la présence de C 4, l'anode de D 8 reste positive pendant l'alternance négative de la tension.

La différence de potentiel maximum entre cathode et anode de chaque redresseur reste donc égale à 2,82 U eff.

Un calcul très simple permet de s'en assurer :

- Entre la borne positive de C 5 et la masse (sortie du premier doubleur), la tension continue est de :

$$(250 \times 1,41) \times 2 = 704 \text{ Volts.}$$

Entre la borne positive de C 6 et la masse (sortie du second doubleur) la tension continue est de :

$$704 \times 2 = 1408 \text{ Volts.}$$

Cependant, la différence de potentiel entre la borne + de C 5 et la borne + de C 6 reste de :

$$1408 - 704 = 704 \text{ Volts, c'est-à-dire } U \text{ eff} \times 2,82.$$

Dans ce type de montage, le courant en jeu est toujours très faible (quelques mA). De ce fait, la valeur capacitive des condensateurs est faible par rapport aux montages précédents.

Pour ceux-ci on avait des valeurs de l'ordre d'une centaine de microfarads, ce qui impliquait l'emploi de condensateurs électrochimiques.

Pour LES MULTIPLICATEURS DE TENSION CASCADE, les valeurs capacitives sont de l'ordre de quelques microfarads au maximum.

On peut donc utiliser des condensateurs ordinaires (type papier ou similaire).

## VI - 7 - MULTIPLICATEUR CASCADE PARALLELE

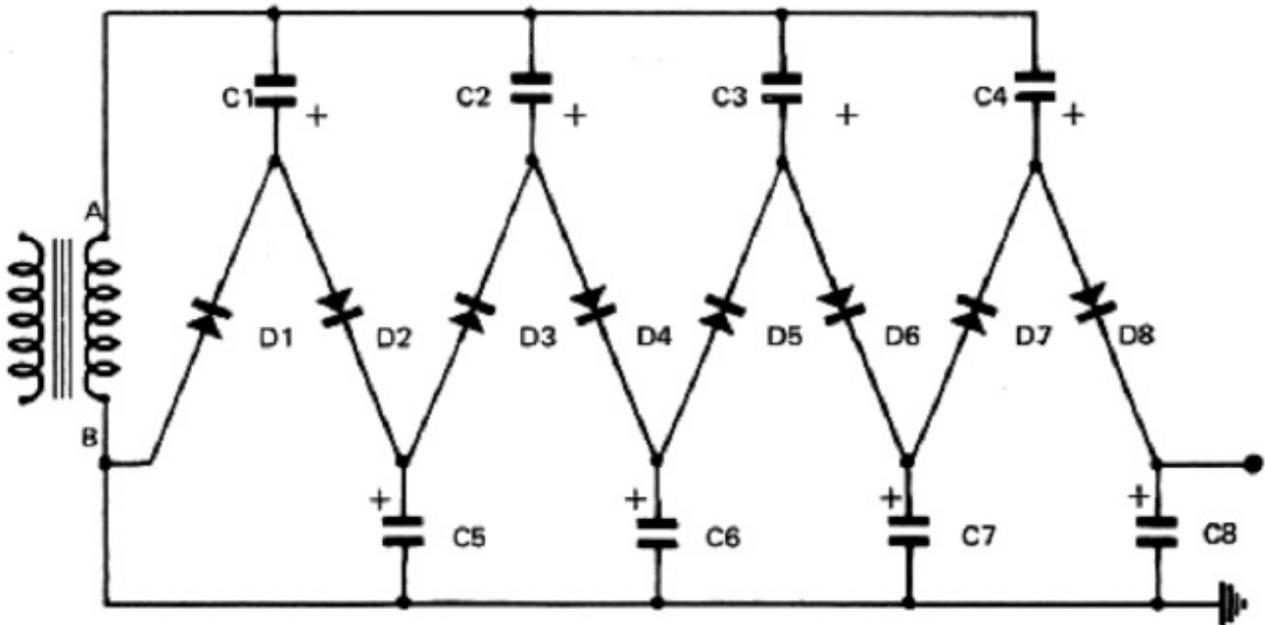
D'un emploi moins courant que le multiplicateur cascade série, on trouve cependant quelquefois le MULTIPLICATEUR CASCADE PARALLELE (figure 35).

Le fonctionnement de ce circuit diffère du précédent.

En effet, les condensateurs C 1, C 3, C 5 et C 7 sont en parallèle, de même que les condensateurs C 2, C 4, C 6 et C 8.

De ce fait, après une période complète de la tension, C 2 supporte une tension de  $2,82 U \text{ eff}$ .

Cette tension, à laquelle vient s'ajouter la valeur de crête du secteur, lorsque le point B est positif, donne aux bornes de C 3 une tension de  $2,82 U \text{ eff} + 1,41 U \text{ eff}$ .



MULTIPLICATEUR CASCADE PARALLELE

Figure 35

Lorsque le point A est négatif, cette tension de :

$$2,82 U \text{ eff} + 1,41 U \text{ eff} = 4,23 U \text{ eff}$$

donne aux bornes de C 4 une valeur de  $4,23 U \text{ eff} + 1,41 U \text{ eff}$  (provenant de C 3) soit  $5,64 U \text{ eff}$  et ainsi de suite.

IL EN RESULTE QUE LA TENSION SUPPORTEE PAR CHAQUE CONDENSATEUR, AUGMENTE SELON LA PROGRESSION DE LA MONTEE DE LA TENSION CONTINUE LE LONG DE LA CHAINE.

Nous avons ainsi :

$$\begin{aligned} C 1 &= 1,41 \text{ U eff} \\ C 2 &= 2,82 \text{ U eff} \\ C 3 &= 4,23 \text{ U eff} \\ C 4 &= 5,64 \text{ U eff et} \end{aligned}$$

**LA TENSION D'ISOLEMENT DES CONDENSATEURS DOIT EVIDEMMENT SUIVRE CETTE PROGRESSION.**

Quant à la TENSION INVERSE SUPPORTEE PAR LES REDRESSEURS, elle reste de 2,82 U eff.

En effet, pour D 4 par exemple, nous avons une tension de 5,64 U eff sur la cathode (tension aux bornes de C 4) et une tension de 4,23 U eff sur l'anode (tension aux bornes de C 3).

La différence est donc de :

$$5,64 - 4,23 = 1,41 \text{ U eff}$$

et à celle-ci vient s'ajouter la valeur de crête, lorsque D 4 est bloqué, soit une TENSION INVERSE DE CRETE DE :

$$1,41 + 1,41 = 2,82 \text{ U eff}$$

Comme dans le cas précédent, la tension continue de sortie à vide (tension aux bornes de C 8) est, avec un secondaire délivrant 250 U eff, de :

$$(250 \times 1,41) \times 8 = 2816 \text{ Volts}$$

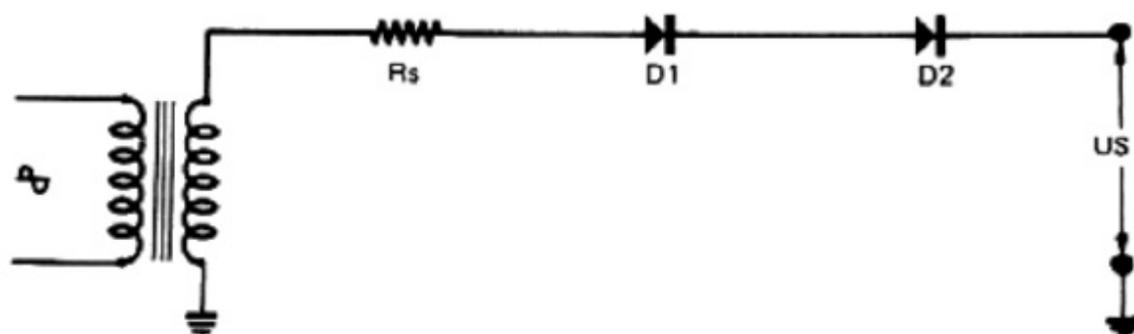
(calcul arrondi, en prenant  $250 \times 1,41 = 352 \text{ V}$ ).

## VII - MONTAGE SERIE DES REDRESSEURS

Afin d'augmenter la valeur de la **TENSION INVERSE**, susceptible d'être supportée sans dommage par les redresseurs, on peut envisager le **MONTAGE EN SERIE** de ceux-ci, donc redresser des tensions plus élevées.

De nombreux constructeurs utilisent cette solution.

Le circuit se présente alors comme indiqué figure 36.



MONTAGE SERIE DES DEUX REDRESSEURS

Figure 36

Ce circuit n'est réalisable que dans le cas où les deux redresseurs sont **IDENTIQUES** du point de vue **RESISTANCE DIRECTE ET INVERSE**.

En effet, dans le cas contraire, on trouve aux bornes de chaque redresseur, une **TENSION** proportionnelle à l'inverse du courant inverse circulant dans ceux-ci.

**PRENONS UN EXEMPLE SIMPLE.**

Si le secondaire fournit une tension de 100 Volts efficaces, la tension inverse maximum peut avoir pour valeur :

$$100 \times 2,82 = 282 \text{ Volts}$$

Partant de ce calcul, on choisira donc des redresseurs capables de supporter chacun  $282/2 = 141$  Volts (les redresseurs étant en série, chaque composant ne supporte en effet que la moitié de la tension inverse maximum).

Or, si D 1 a une RESISTANCE INVERSE, égale au double de celle de D 2, la tension efficace aux bornes de D 1 sera le double de celle appliquée à D 2.

Ainsi, la tension aux bornes de D 1 sera de 66,6 Volts et celle aux bornes de D 2 de 33,3 Volts.

Pour D 1, la TENSION INVERSE sera donc de :

$$66,6 \times 2,82 = 188 \text{ Volts environ}$$

Pour D 2, elle sera de :

$$33,3 \times 2,82 = 94 \text{ Volts environ}$$

Il est facile de comprendre que D 1 (prévu pour une tension inverse de 141 V) ne résistera pas longtemps à la tension appliquée (188 V).

Comme il est très rare de trouver deux redresseurs de même résistance directe et inverse, il est nécessaire de prévoir un circuit pour assurer une REPARTITION EGALE DES TENSIONS.

Pour cela, il suffit de shunter chaque redresseur, soit par un condensateur d'environ 10 kpF, soit par une résistance de 150 à 220 k  $\Omega$ .

L'un ou l'autre de ces éléments présentant une impédance faible par rapport à la RESISTANCE INVERSE des redresseurs, sera en mesure d'assurer une répartition sensiblement égale des tensions.

D'autre part, l'impédance élevée de ces composants, par rapport à la résistance directe des redresseurs, ne modifiera pas le fonctionnement du montage.

En reprenant l'exemple précédent, où D 1 avait une résistance inverse égale au double de celle de D 2, on peut, en fixant des valeurs, s'assurer de la répartition des tensions.

Soit par exemple :

Résistance inverse de D 1 = 1 M $\Omega$

Résistance inverse de D 2 = 500 k $\Omega$  .

En montant une résistance de 200 k $\Omega$  , en parallèle sur chaque redresseur (figure 37), la valeur de la résistance équivalente sera de :

$$\text{pour D 1 : } \frac{1000 \times 200}{1000 + 200} = 166 \text{ k}\Omega \text{ environ}$$

$$\text{pour D 2 : } \frac{500 \times 200}{500 + 200} = 143 \text{ k}\Omega \text{ environ}$$

La différence entre ces deux valeurs est pratiquement négligeable par rapport à celle qui existait précédemment.

Les condensateurs de 10 kpF ont évidemment la même efficacité que les résistances.

En effet, en calculant l'impédance de ceux-ci à la fréquence de

travail (50 Hz), on voit qu'elle est de :

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{10^{-8} \times 2 \pi \times 50} = 318 \text{ k}\Omega \text{ environ}$$

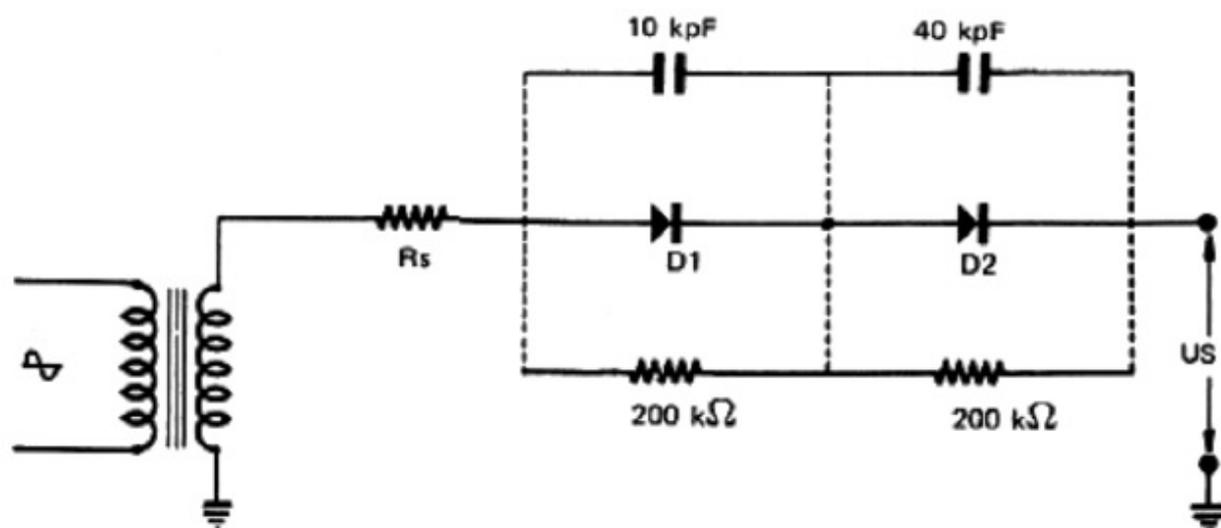


Figure 37

En insérant des résistances ou des condensateurs, une partie de la tension alternative n'est pas redressée, mais le pourcentage en est pratiquement négligeable, vu l'impédance élevée du circuit, par rapport à l'impédance beaucoup plus faible du circuit d'utilisation.

## VII - 1 - MONTAGE PARALLELE DE REDRESSEURS

Le montage série précédent, permet de redresser des tensions plus élevées que celles que l'on pourrait avoir avec un seul redresseur.

Lorsque, de la même façon, on veut obtenir un COURANT supérieur à celui que peut fournir un seul redresseur, on peut réaliser le MONTAGE PARALLELE.

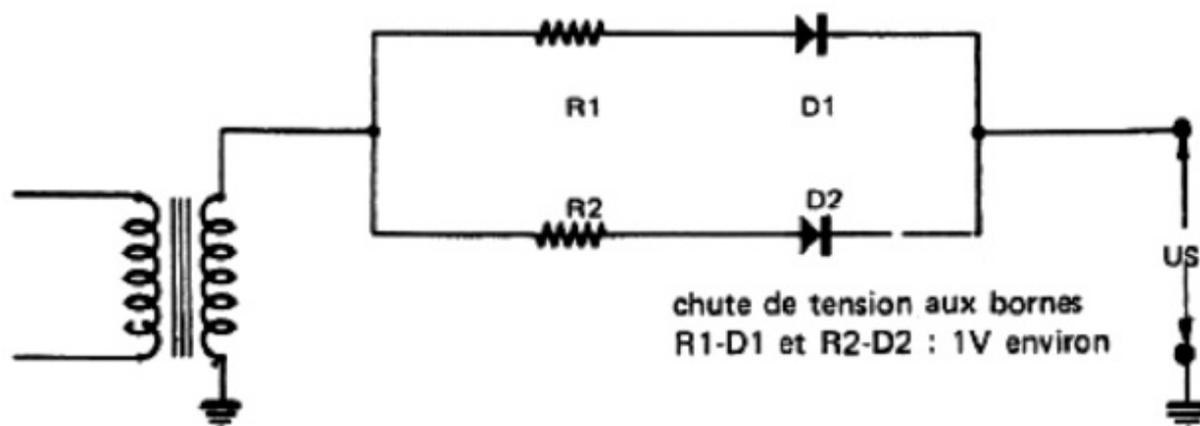
Cette solution est possible, à condition de respecter les précautions énoncées pour le circuit série.

En effet, les redresseurs du MEME TYPE et provenant du même constructeur, ne sont pas identiques et diffèrent dans la chute de tension interne (cependant faible).

Il en résulte que dans le MONTAGE PARALLELE, le redresseur ayant la plus faible résistance, est parcouru par un courant plus fort.

Là encore, pour rétablir l'équilibre, on insère dans chaque branche une résistance série, de façon que la chute de tension aux bornes de chaque branche soit de l'ordre de un volt environ (figure 38).

Ainsi, les différences de caractéristiques d'une diode à l'autre deviennent négligeables.



MONTAGE PARALLELE DES REDRESSEURS

Figure 38

La valeur de la résistance dépend ici des redresseurs utilisés et plus précisément du courant débité.

### VIII - ALIMENTATION DE PUISSANCE

Pour obtenir un COURANT IMPORTANT et une TENSION DE SORTIE ELEVEE, on peut avec des redresseurs de type classique, adopter le montage de la figure 39.

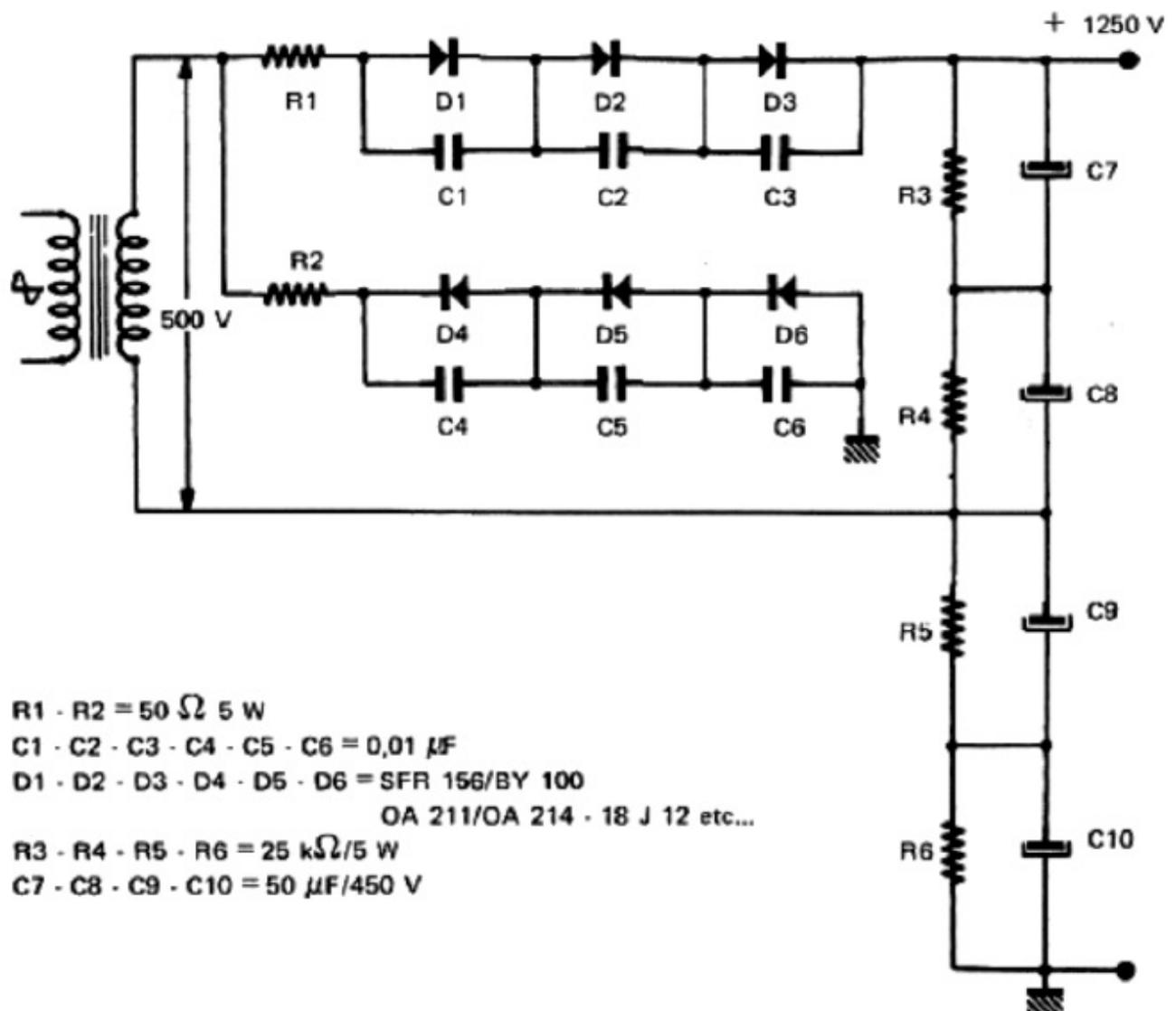


Figure 39

On reconnaît un montage doubleur de tension avec redresseurs en série.

Chaque diode est shuntée par un condensateur de 10 000 pF et chaque condensateur du doubleur comporte une résistance en parallèle, pour les mêmes raisons (répartition de la tension).

Cependant, en règle générale, on utilise le plus souvent pour les alimentations de puissance (utilisées surtout en ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE) des montages équipés de VALVES A VAPEUR DE MERCURE, THYRATRONS, IGNITRONS ou THYRISTORS).

Ces montages particuliers sont traités dans le cours de SPECIALISATION EN ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE.

