

## FICHE MATIERE

Unité d'enseignement : **Electronique 1**

ECUE n° 1 : **Electronique Générale**

### *Chapitre 2*

### **Utilisation de la Diode à Jonction en Redressement**

Nombre d'heures/chapitre : 8h

Cours intégré

Système d'évaluation : **Continu**

#### **OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT :**

- Connaître les composants élémentaires de l'électronique et leurs applications dans les fonctions de base

#### **CONTENU THEORIQUE :**

Dans ce chapitre s'en intéresse au rôle de la diode dans la fonction de redressement et autre spécificité.

On détermine en premier lieu le redressement simple alternance, le montage, le fonctionnement et se performance. En second lieu on détermine le redressement double alternance, que se soit avec un transfo à point milieu ou bien en pont de graetz. En fin on détaille le filtrage ; son effet et ses performances avec le deux type de redressements.

Les différents montages sont exprimés dans des applications explicatives.

## Chapitre 2

**Utilisation de la Diode à Jonction en Redressement****3. Introduction:**

une des principales applications de la diode est le redressement de la tension alternative du secteur .

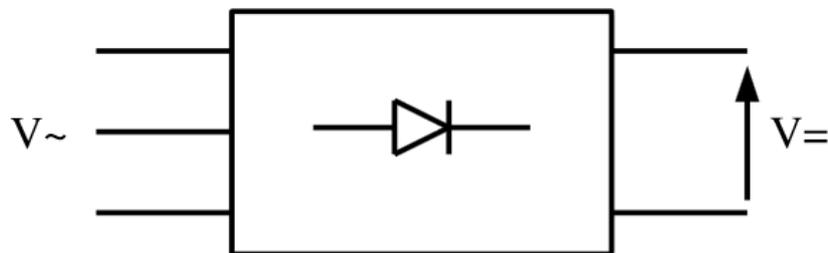


Figure II-1

Avant le redresseur, on a presque toujours un transformateur qui sert a abaisser la tension secteur et a isoler les montages du secteur.

**4. Redressement simple alternance :****2.1. montage :**

considérons le schema de la figure II-2.dans lequel la tension  $e(t)$  varie sous la forme :

$$e(t) = E \sin \omega t \text{ ou encore } e(t) = \sin \theta$$

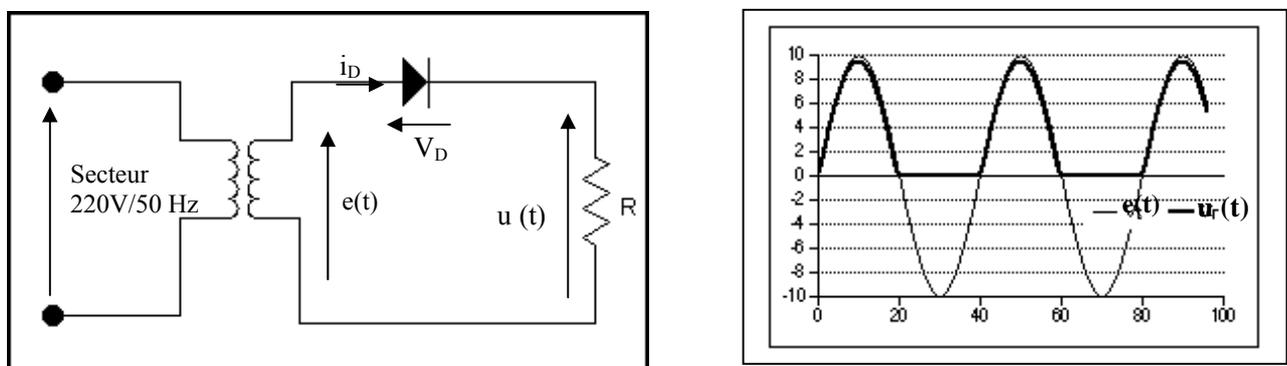


Figure II-2

### 5.2. Fonctionnement du montage :

Quand la tension aux bornes du secondaire du transformateur dépasse la tension de seuil de la diode  $D$ , celle-ci conduit (elle est « passante »). La tension aux bornes de la charge  $R$  est alors égale à la tension aux bornes du transformateur moins la tension directe  $V_f$  de la diode, soit en moyenne  $0,7$  v.

Quand la tension aux bornes du transformateur devient inférieure à la tension du seuil, la diode est bloquée ; il ne subsiste que le courant de saturation qui est négligeable en comparaison du courant direct. La tension aux bornes de la diode est alors égale à celle aux bornes du transformateur : il faudra choisir une diode avec une tension  $V_R$  au minimum égale à la tension crête du secondaire du transformateur.

### 5.3. Chronogrammes :

- **Etat passant de la diode :** ( pour une diode parfaite ) ; la configuration du circuit de la figure II-3 donne :

$$u(\theta) = e(\theta) = E \sin \theta \quad i_D = \frac{e}{R} = \frac{E}{R} \sin \theta = I_M \sin \theta$$

Cet état est maintenu pour  $i_D > 0$  c'est-à-dire pour  $\sin \theta > 0 : 0 < \theta < \pi$

Le courant direct maximum traversant la diode est  $I_{D_{\max}} = I_M$

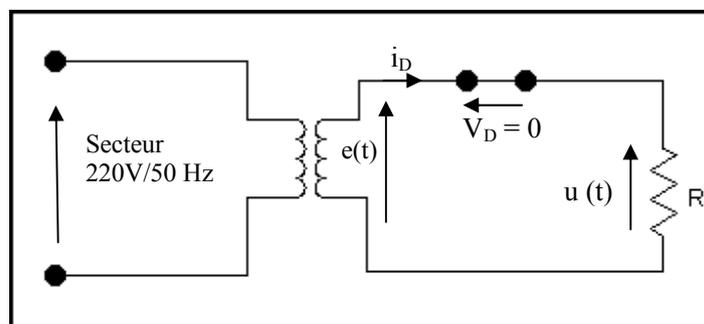


Figure II-3

- **Etat bloquée de la diode :** à partir de l'instant correspondant à  $\theta = \pi$  ( le courant  $i_D$  s'annule et a tendance à devenir négatif), la diode va basculer pour se bloquer :  $i_D = 0$  ; la configuration du circuit figure II-4 donne :

$$u(\theta) = Ri_D = 0 \quad v_D(\theta) = e(\theta) - u(\theta) = e(\theta) = E \sin \theta$$

Cet état bloqué est maintenu pour  $V_D < 0$  c'est-à-dire  $\sin \theta < 0 : \pi < \theta < 2\pi$

La tension inverse maximale aux bornes de la diode est  $V_{\max} = -E$

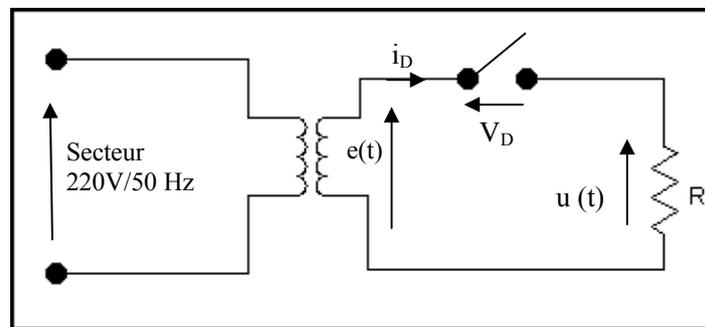


Figure II-4

L'allure de la tension  $u(t)$  aux bornes de la charge est un signal composé par une seule alternance de la tension  $e(t)$  ; figure II-5

La figure II-5 donne l'allure des différentes tensions du montage ainsi que l'allure du courant dans la charge.

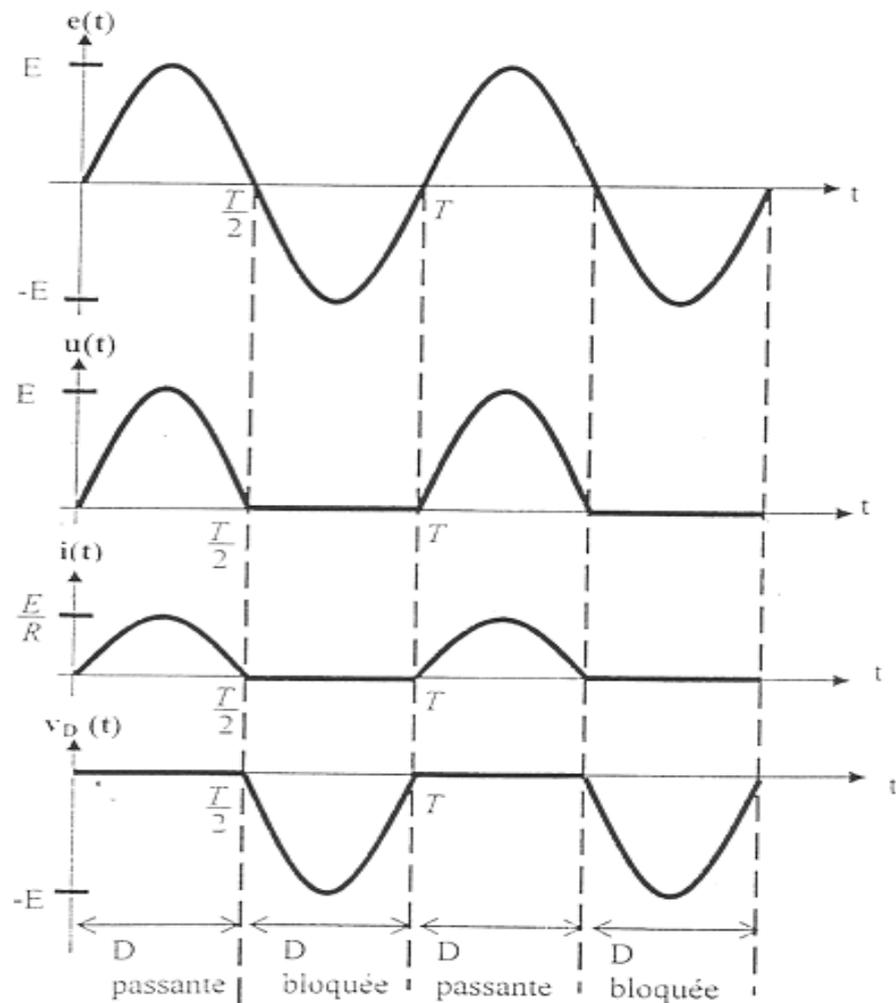


Figure II-5

#### 2.4. Performance du redressement simple alternance :

Du fait que l'objectif de la fonction redressement ( conversion alternatif-continu ) est d'obtenir une fonction constante à partir d'une fonction sinusoidale. Il y a lieu de quantifier le degré de réalisation de cet objectif. En effet, le signal obtenu à la sortie du redresseur ( figure II-5) contient une composante continue ( Valeur moyenne du signal  $U_{moy}$  ) à la quelle est superposée une ondulation  $U_{ond}$  ( de valeur moyenne nulle ).

$$u(\theta) = U_{moy} + u_{ond}(\theta)$$

La tension  $u(t)$  est périodique de période  $T$  sa valeur moyenne est :

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} e(\theta) d\theta$$

$$U_{moy} = \frac{E}{\pi}$$

Le courant moyen étant égal à :  $I_{moy} = \frac{E}{\pi R}$

Sa valeur efficace est :

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} e^2(\theta) d\theta$$

$$U_{eff} = \frac{E}{2}$$

Pour évaluer l'importance de l'ondulation par rapport à la valeur moyenne, on fait appel à l'un des deux coefficients suivants :

- **Le taux d'ondulation  $\tau$**  : c'est le rapport de la valeur efficace de l'ondulation à la valeur

moyenne de la grandeur 
$$\tau = \frac{v_{eff\ ond}}{v_{moy}}$$

- **Le facteur de forme  $F$**  : c'est le rapport de la valeur efficace de la grandeur à sa valeur

moyenne 
$$F = \frac{v_{eff}}{v_{moy}}$$

On peut démontrer la relation suivante :

$$U_{eff}^2 = U_{moy}^2 + U_{ond\ eff}^2$$

Et on peut en tirer la relation suivante entre  $F$  et  $\tau$ .

$$F = \sqrt{\tau^2 + 1}$$

Pour le redressement simple alternance, on a :

$$F = \frac{\frac{E}{2}}{\frac{E}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 \quad \tau = \sqrt{F^2 - 1} = 1.21$$

### 3. redressement double alternance :

#### 3.1. Avec transfo à point milieu :

##### 3.1.1. Montage :

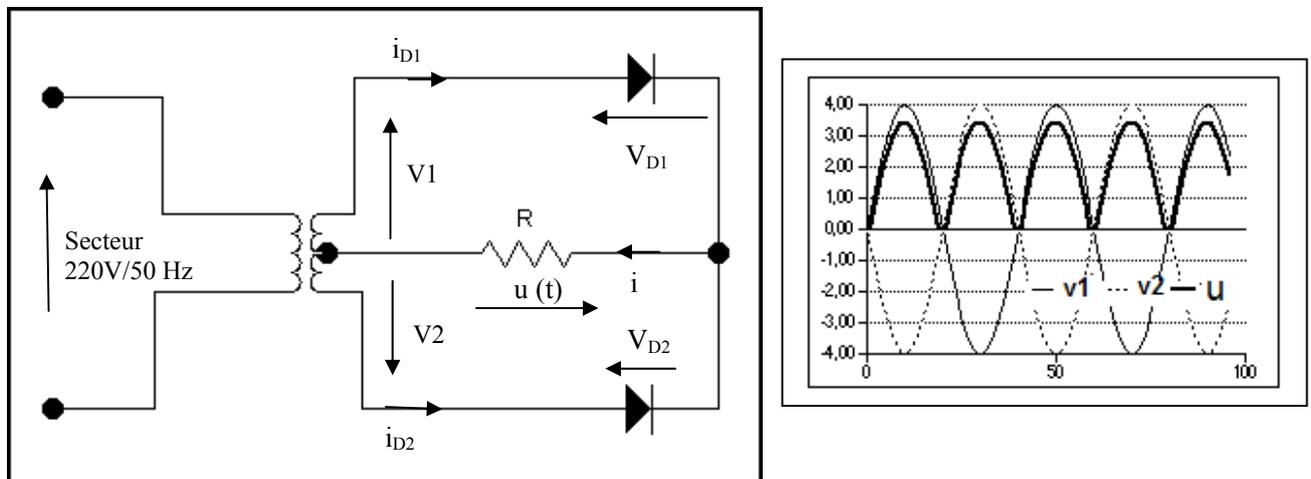


Figure II-6

Le montage précédant présente l'inconvénient de laisser passer que la moitié du courant que peut délivrer le transformateur. Pour remédier à cela. On utilise un transformateur à point milieu. On applique aux bornes de l'enroulement primaire du transformateur une tension sinusoïdale  $e(t) = E \sin \omega t = E \sin \theta$  (avec  $\theta = \omega t$ ). Le secondaire à point milieu du transformateur est constitué par deux enroulements symétriques délivrant entre leurs bornes deux tensions  $v_1$  et  $v_2$  en opposition de phase :  $v_1(\theta) = -v_2(\theta) = V_m \sin \theta$  avec  $V_m = m \frac{E}{2}$  où  $m$  est le rapport de transformation.

### 3.1.2. Fonctionnement et chronogramme :

Dans ce cas, tout se passe comme si on avait deux montages identiques à celui de la figure II-2 qui fonctionnent l'un pour l'alternance positive, l'autre pour l'alternance négative. On vérifie bien (figure II-6) que le courant dans la charge est toujours orienté dans le même sens.

La chute de tension dans les diodes devient non négligeable quand les tensions alternatives sont faibles.

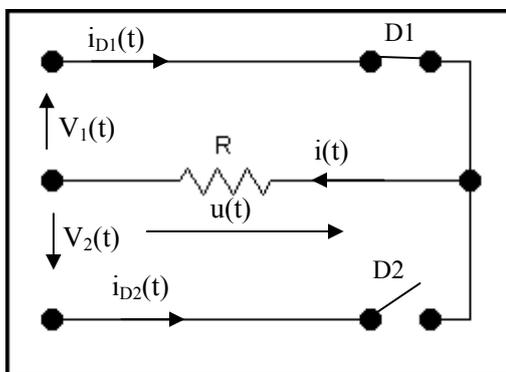


figure II-7

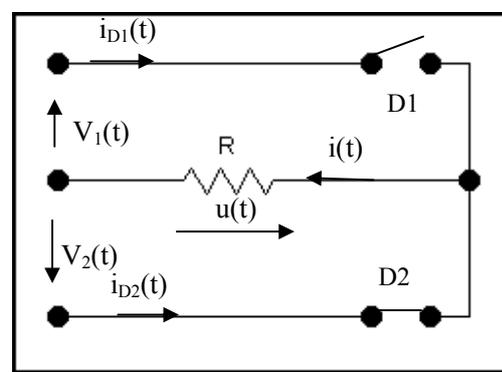


Figure II-8

- pour l'alternance positive de  $e(t)$  : figure II-7

$$u(t) = Ri(t) = v_1(t)$$

$$i(t) = i_{D1}$$

- pour l'alternance négative de  $e(t)$  : figure II-8

$$u(t) = v_2(t) = -v_1(t)$$

$$i(t) = i_{D2}(t)$$

### 3.1.3. Performance du redresseur :

La tension  $u(t)$  est périodique de période  $T/2$ ,  $T$  est la période de la tension secteur

- Sa valeur moyenne est

$$U_{moy} = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{\frac{T}{2}} u(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u(\theta) d\theta = \frac{E}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(\theta) d\theta$$

$$\text{Soit } U_{moy} = \frac{2E}{\pi}$$

- Sa valeur efficace est :

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{\frac{T}{2}} u^2(t) dt = \frac{E^2}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\theta) d\theta = \frac{E^2}{2\pi} \int_0^{\pi} (1 - \cos 2\theta) d\theta$$

$$\text{Soit } U_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

Le courant moyen étant égal à :

$$I_{moy} = \frac{2E}{\pi R}$$

Le facteur de forme  $F$  : 
$$F = \frac{\frac{E}{\sqrt{2}}}{\frac{2E}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

Le taux d'ondulation  $\tau$  : 
$$\tau = \sqrt{F^2 - 1} = 0.48$$

### 3.1.4. Caractéristiques des diodes :

$$v_{D1}(t) = v_1(t) - u(t) \quad \text{et} \quad v_{D2}(t) = v_2(t) - u(t)$$

Les diodes sont plus sollicitées que pour le montage simple alternance : en effet, la diode qui ne conduit pas devra supporter une tension  $V_R$  double de celle requise dans le montage à simple alternance, soit deux fois la tension crête présente sur chacun des secondaires.

Chaque diode ne conduit que pendant une alternance de  $e(t)$ , soit :  $I_{Dmoy} = \frac{E}{\pi R}$

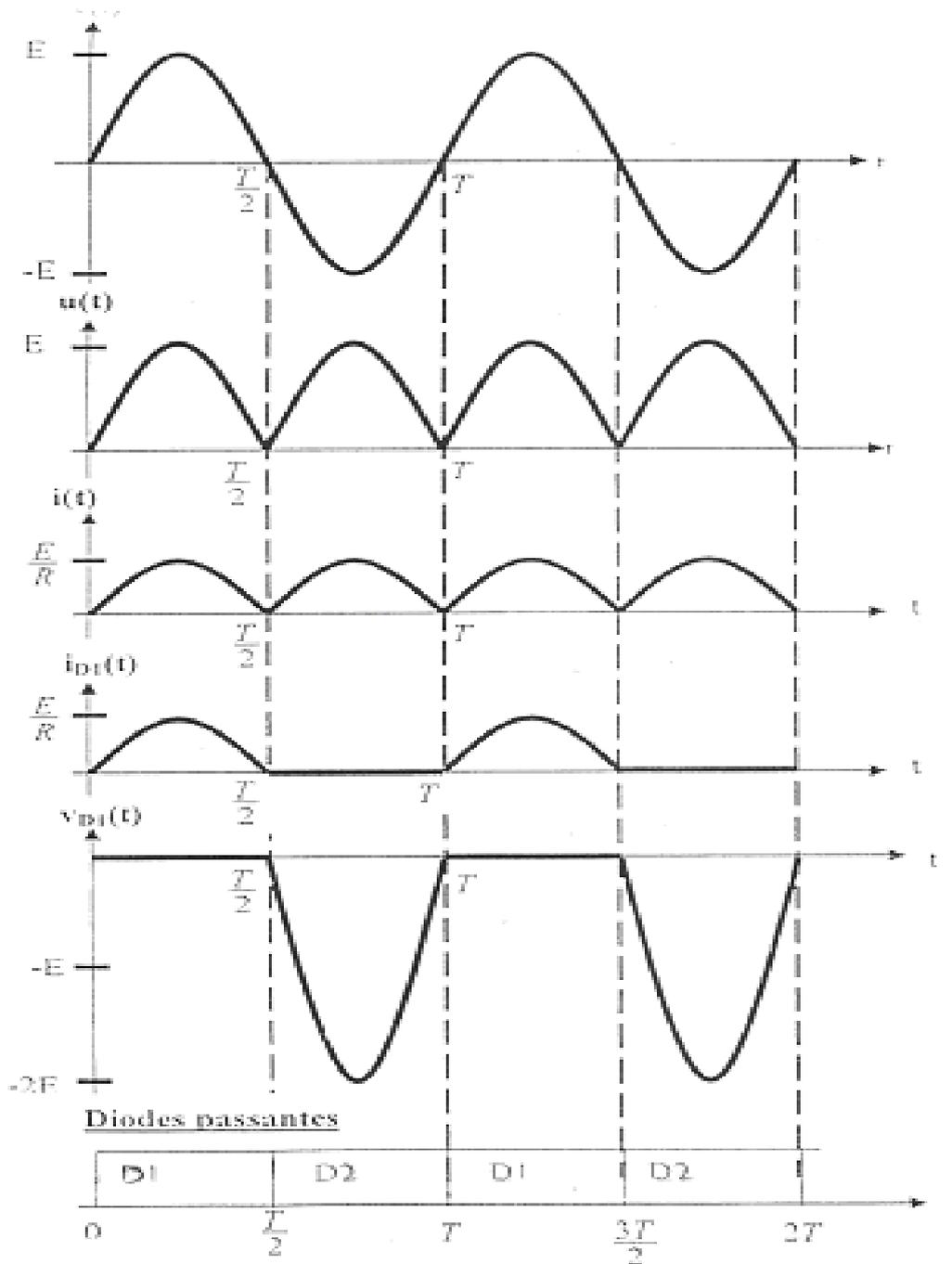


Figure II-9

### 3.2. Avec pont de graetz :

#### 3.2.1. Montage :

Il existe une autre manière de faire du redressement double alternance, ne nécessitant pas un transformateur à double enroulement : on utilise 4 diodes montées en pont.

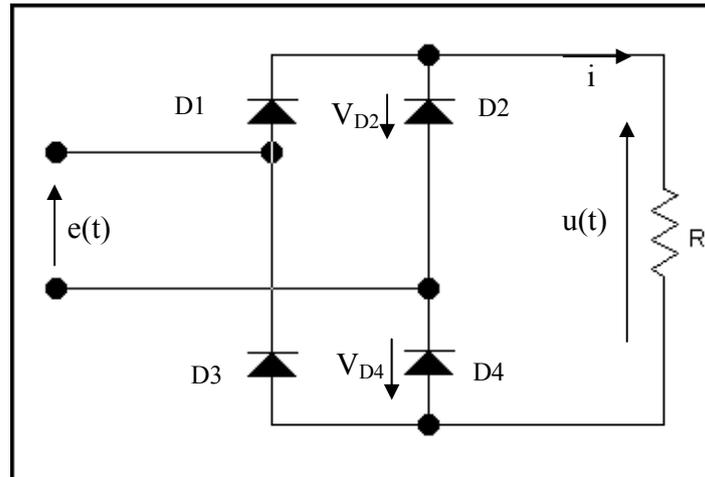


Figure II-10

#### 3.2.2. Fonctionnement :

Lorsque la tension aux bornes du transformateur est positive, D1 et D4 conduisent ( D2 et D3 sont bloquées ), et quand elle est négative, D2 et D3 conduisent (D1 et D4 sont bloquées ). Le courant dans la charge est toujours orienté dans le même sens.

##### a. Alternance positive : Figure II-11

D1 et D4 sont passantes  $V_{D1}=0$  et  $V_{D4}=0$  ( interrupteurs fermés ). La loi des mailles :

$$\begin{aligned}
 e(t) - V_{D1} - u(t) - V_{D4} &= 0 \\
 \Rightarrow e(t) - u(t) &= 0 \Rightarrow u(t) = e(t) \geq 0 \\
 i(t) = i_{D1}(t) &= \frac{u(t)}{R}
 \end{aligned}$$

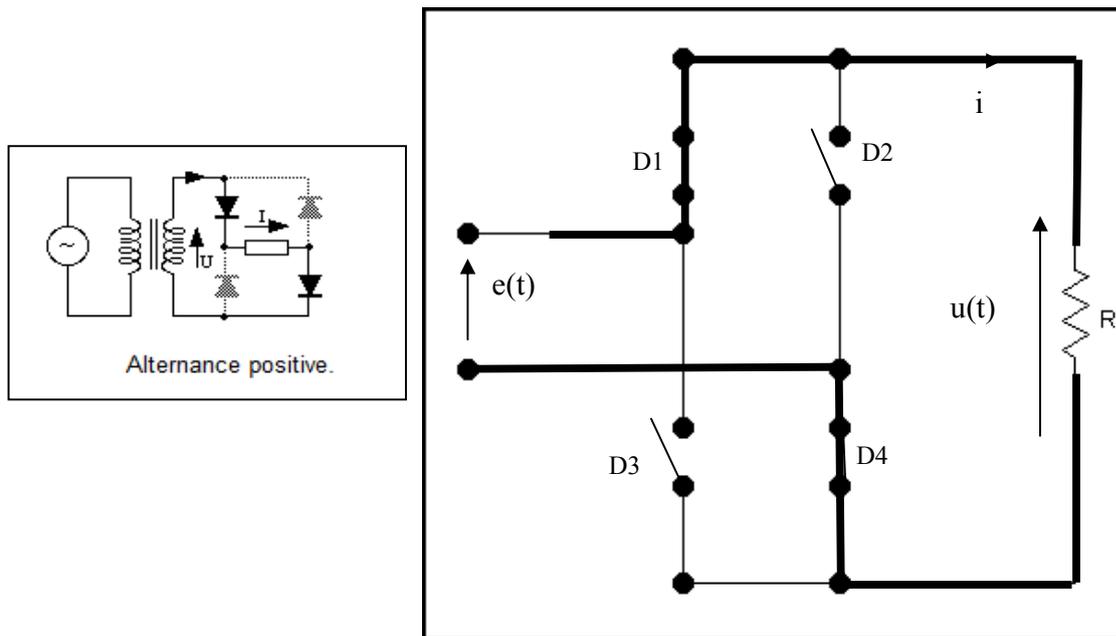


Figure II-11

**b. Alternance négative : Figure II-12**

D2 et D3 sont passantes  $V_{D2}=0$  et  $V_{D3}=0$  ( interrupteurs fermés ). La loi des mailles :

$$e(t) + V_{D2} + u(t) + V_{D3} = 0 \Rightarrow e(t) + u(t) = 0$$

$$\Rightarrow u(t) = -e(t) \geq 0$$

$$i(t) = i_{D2}(t) = \frac{u(t)}{R}$$

La loi des mailles pour D1 :

$$V_{D1} + u + V_{D3} = 0 \Rightarrow V_{D1}(t) = -u(t) = e(t) \leq 0$$

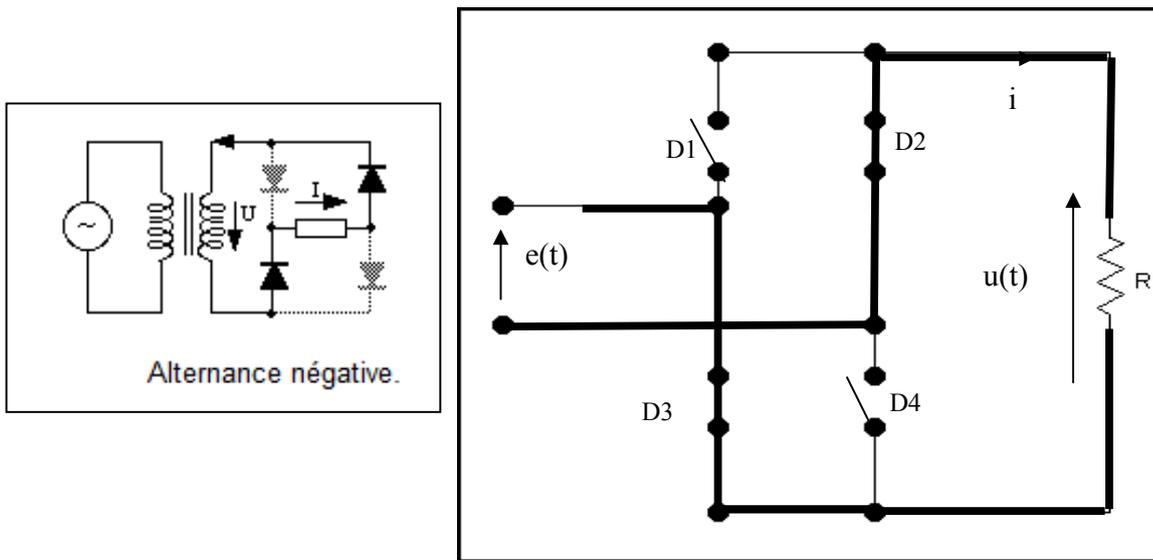


Figure II-12

3.2.3. Chronogrammes :

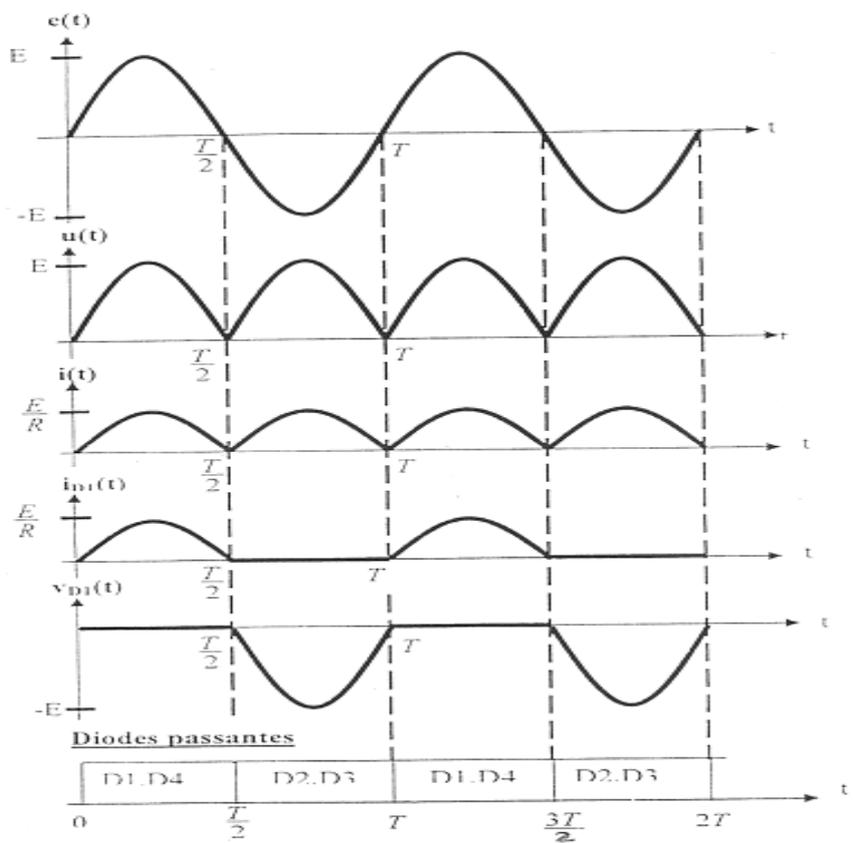


Figure II-13

### 3.2.4. Performances du redresseur :

Les performances sont les mêmes que celle du redresseur à deux diodes : même taux d'ondulation et même facteur de forme, les expressions des valeurs moyenne et efficace de la tension  $u(t)$  sont les mêmes puisque nous avons les mêmes allures.

Chaque diode n'a à supporter qu'une fois la tension crête du secondaire du transformateur ( contre deux fois pour le montage précédent ), mais en revanche, on a deux tensions directes de diodes en série. La puissance totale dissipée dans les diodes est double par rapport à la solution précédente.

## 4. Filtrage :

Les montages précédents délivrent des tensions redressées mais non continues. Pour obtenir une tension quasi continue, il suffit de mettre un gros condensateur en parallèle avec la charge.

### 4.1. Redressement simple alternance :

La charge est quelconque, et peut être un montage électronique complexe ayant une consommation en courant quelconque. Soit le montage de la figure II-14, alimenté par la tension :  
 $e(t) = E \sin \omega t$

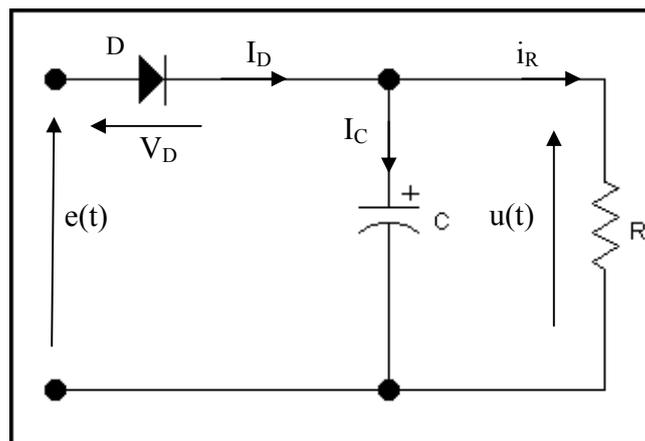


Figure II-14

#### 4.1.1. Fonctionnement :

En supposant la diode parfaite, on obtient pour  $u(t)$  la courbe donnée à la figure II-15. On peut distinguer deux phases.

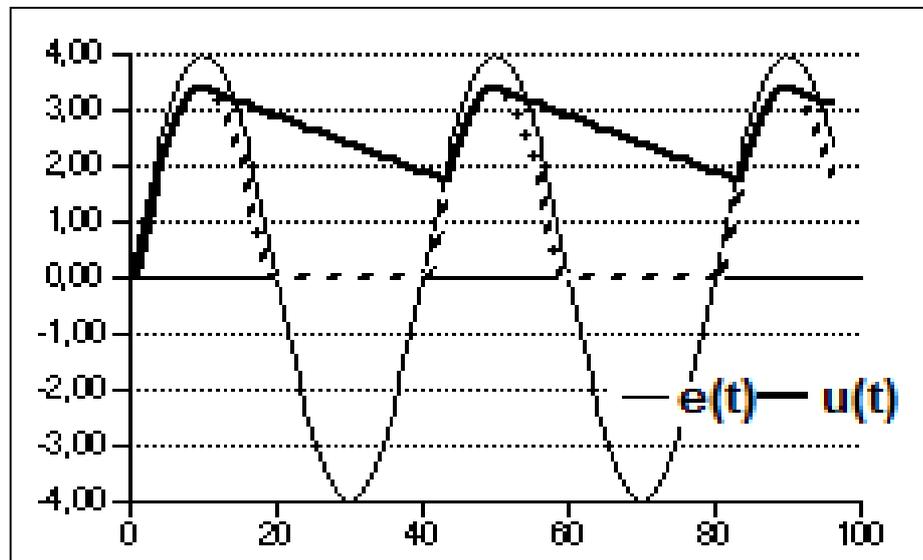


Figure II-15

- **Phase a** : figure II-16

$e(t) \geq u(t)$ , la diode D est passante, la tension  $u(t)$  suit l'évolution de la tension  $e(t)$ , soit :

$$e(t) = u(t) \text{ et } i_D(t) = i_R(t) + i_C(t)$$

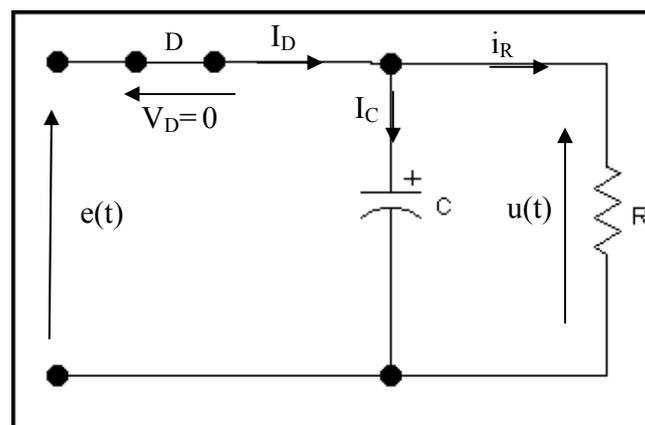


Figure II-16

- **Phase b** : figure II-17

La tension  $e(t)$  décroît rapidement et le condensateur, freinant l'évolution de la tension  $u(t)$ , l'empêche de suivre la décroissance de  $e(t)$  ce qui impose  $u(t) > e(t)$ . La diode  $D$  se bloque et le circuit RC se trouve isolé. Le condensateur se comporte comme un générateur de tension, et il restitue l'énergie accumulée dans la phase précédente.

La décroissance de  $u(t)$  est donc régit par la décharge du condensateur  $C$  dans la résistance  $R$ . A la limite, si la constante de temps  $RC$  est très grande par rapport à la période  $T$  de la tension  $e(t)$ , la décroissance de  $u(t)$ , lors de la phase b, est négligeable et la tension  $u(t)$  reste constante et égale à  $E$ .

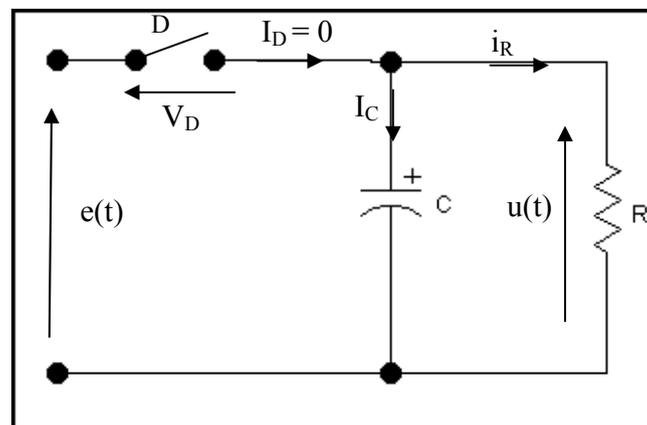


Figure II-17

**4.1.2. Calcul de l'ondulation :**

On suppose que  $RC \gg T$ , la tension  $u(t)$  reste peu différente de  $E$ , le courant dans la résistance

$R$  varie peu autour de  $I_{moy} = \frac{E}{R}$ .

Au cours de la phase b, le condensateur se décharge à courant constant  $E/R$  pendant une durée peu différente de la période  $T$ . On a :

$$i_R = \frac{E}{R} = -C \frac{du(t)}{dt}$$

$$\text{soit } -\Delta U = \int_{\text{phase } b} du = \int_0^T \frac{-E}{RC} dt$$

$$\Delta U = \frac{E}{RCf} = \frac{I_{\text{moy}}}{Cf} \text{ avec } f = \frac{1}{T}$$

A noter que la tension aux bornes du condensateurs étant en permanence voisine de la tension crête  $E$ , lorsque la tension crête de  $e(t)$  est négative, la diode doit supporter deux fois la tension crête de  $e(t)$  soit  $2E$ .

#### 4.2. Redressement double alternance :

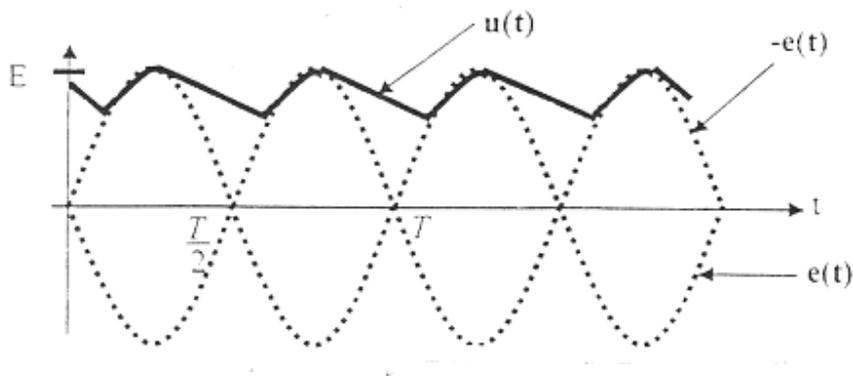


Figure II-18

La période de  $u(t)$  est  $T/2$  ( fréquence double de la tension  $e(t)$ ). Le même calcul que dans le cas du redressement simple alternance donne pour l'ondulation :

$$\Delta U = \frac{E}{2RCf} = \frac{I_{\text{moy}}}{2Cf}$$

#### 5. Doubleur de la tension :

Dans certaines applications, on peut avoir besoin de tensions continues très élevées ( quelques milliers de volts). On pourrait les obtenir avec un transformateur élévateur et un redressement/filtrage classique .

Il existe une solution moins onéreuse faisable avec des diodes et des condensateurs : c'est le doubleur de tension.

Le montage de la figure II-19 se décompose en deux : redressement / filtrage par la cellule D1/C1, puis détecteur de crête D2/C2.

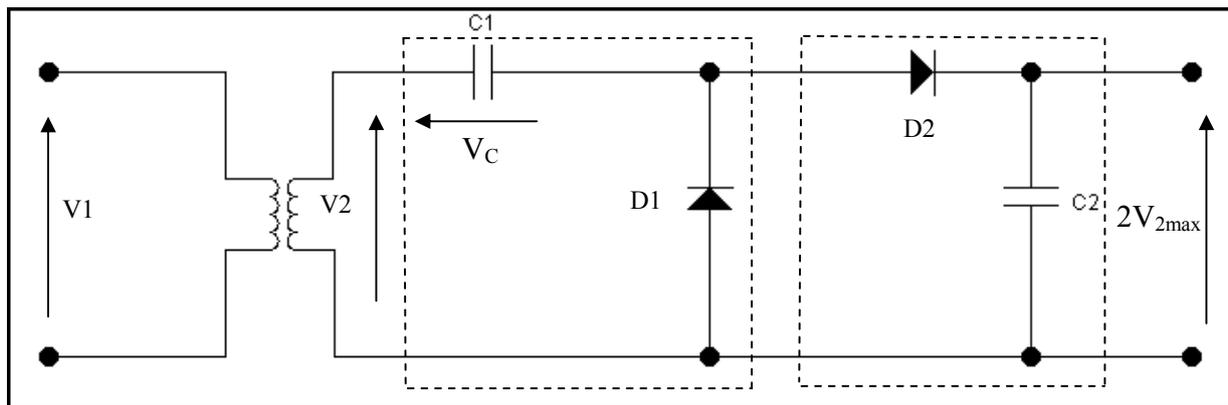


Figure II-19

Aux bornes du condensateur C1, si la charge est infinie, la tension  $V_c$  restera constante et égale à la tension crête du transformateur.

La diode D1 verra à ses bornes la tension  $V_2 - V_c$ , dont la valeur crête est égale à deux fois la tension crête du transformateur. Tout se passe comme si la tension du transformateur avait été translatée d'une fois la valeur de la tension crête. Il suffit alors de filtrer cette tension à sa valeur de crête avec D2 et C2 : on obtient une tension continue égale à deux fois la tension crête du transformateur.

## 6. Applications :

### Exercice :

Circuit d'alimentation : la tension 220 V du réseau alimente un transformateur assurant une conversion de niveau. La diode D supprime l'alternance négative et le condensateur C, avec la charge qu'il "voit" ont un effet de filtrage. La diode Zener  $D_Z$  assure, dans certaines limites, une stabilisation de la tension de sortie  $V_0$ . Figure II-20

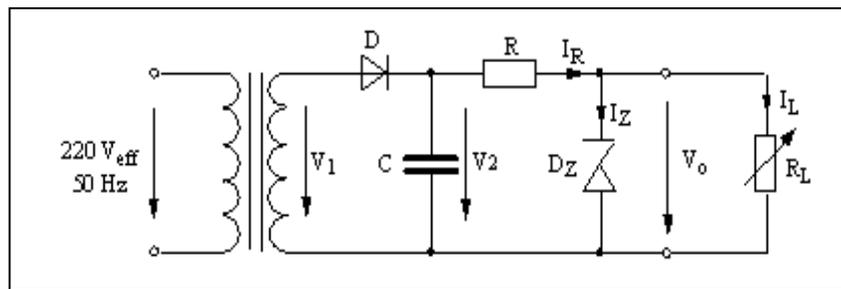


Figure II-20

$V_{1\text{eff}} = 12 \text{ V}$ ,  $U_Z = 10 \text{ V}$ ,  $I_{Z\text{min}} = 5 \text{ mA}$ ,  $I_L = 0 \text{ à } 50 \text{ mA}$ .

- Dessinez l'allure de  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_0$  indiqués dans la figure, en supposant que le courant  $I_Z$  ne s'annule jamais et que les diodes  $D$  et  $D_Z$  ont une résistance différentielle nulle.
- En admettant que  $V_2$  ne descend pas en dessous de  $14 \text{ V}$ , calculez  $R$  pour que le courant  $I_Z$  ne descende jamais au-dessous du minimum spécifié.
- Calculez la capacité de filtrage pour assurer que la tension  $V_2$  ne descend pas au-dessous de  $14 \text{ V}$ .
- Déterminez les conditions de charge qui entraînent un courant  $I_Z$  maximum. Calculez  $I_{Z\text{max}}$  et en déduire la puissance moyenne maximum dissipée dans la diode Zener.

**Corrigé :**

*a) Allure de  $V_2$ ,  $V_1$  et  $V_0$  en fonction du temps : (Figure II-21)*

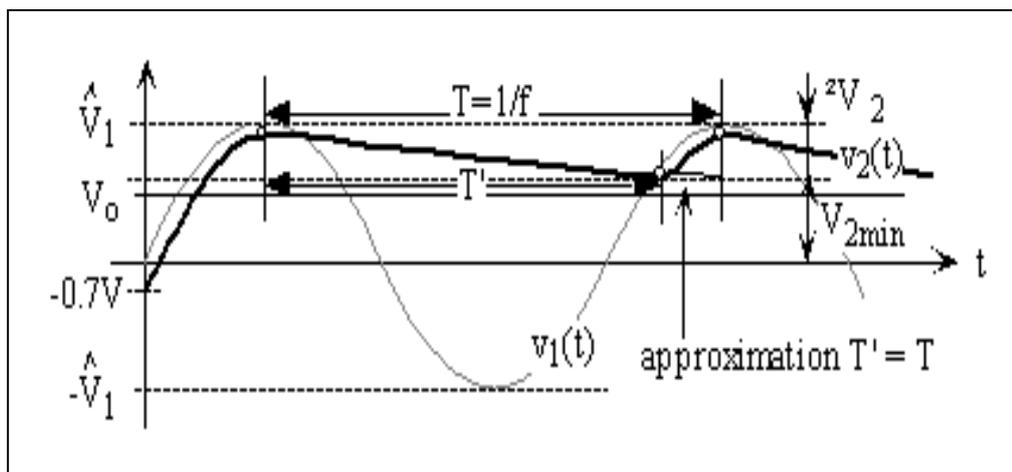


Figure II-21

**b) Calcul de R :**

Pour que  $V_0 = U_Z$  reste stable,  $I_Z$  ne doit jamais être inférieur à  $I_{Zmin}$  dans les conditions les plus défavorables, soit :

$$V_2 = V_{2min} = 14 \text{ V et } I_L = I_{Lmax} = 50 \text{ mA}$$

$$I_R = I_Z + I_L = 55 \text{ mA} \Rightarrow R_{max} = \frac{V_{2min} - V_o}{I_{Zmin} + I_{Lmax}} = 72.7 \Omega$$

En valeur normalisée on prendra  $R = 68 \Omega$

**c) Calcul de la capacité minimum :**

Lorsque la diode est bloquée, la capacité est déchargée par le courant  $I_R$ .

$$\Rightarrow i_R(t) = \frac{v_2(t) - V_o}{R} = C \frac{dv_2(t)}{dt}$$

$\Rightarrow v_2(t)$  est une exponentielle décroissante avec une constante de temps RC.

Pour simplifier, on considère que  $v_2(t)$  décroît linéairement durant en temps

$$T' \approx T = 20 \text{ ms.}$$

$$\text{Approximation linéaire} \Rightarrow \Delta Q_C = C \cdot \Delta V_2 = T \cdot I_{Rmoyen}$$

$$\text{avec: } V_{2max} = V_{1eff} - U_j = 16.3 \text{ V et } V_{2min} = 14 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \Delta V_2 = V_{2max} - V_{2min} = 2.3 \text{ V}$$

$$\Rightarrow I_{Rmoy} = \frac{V_{2max} + V_{2min} - 2V_o}{2R} = 76 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow C_{min} = \frac{I_{Rmoy} \cdot T}{\Delta V_2} = 650 \mu\text{F}$$

En valeur normalisée on prendra  $680 \mu\text{F}$ .

*d) Calcul de la puissance maximum dissipée dans la diode Zener :*

$I_Z = I_R - I_L$  est maximum lorsque  $I_L = I_{Lmin} = 0$

$\Rightarrow I_{Zmax} = I_R$

La constante de temps thermique d'une diode Zener étant généralement plus grande que la période T on s'intéresse à la puissance moyenne sur une période :

$$P_{Zmax} = V_0 \cdot I_{Rmoy} = V_0 \frac{V_{2max} + V_{2min} - 2V_0}{2R} = 760 \text{ mW}$$