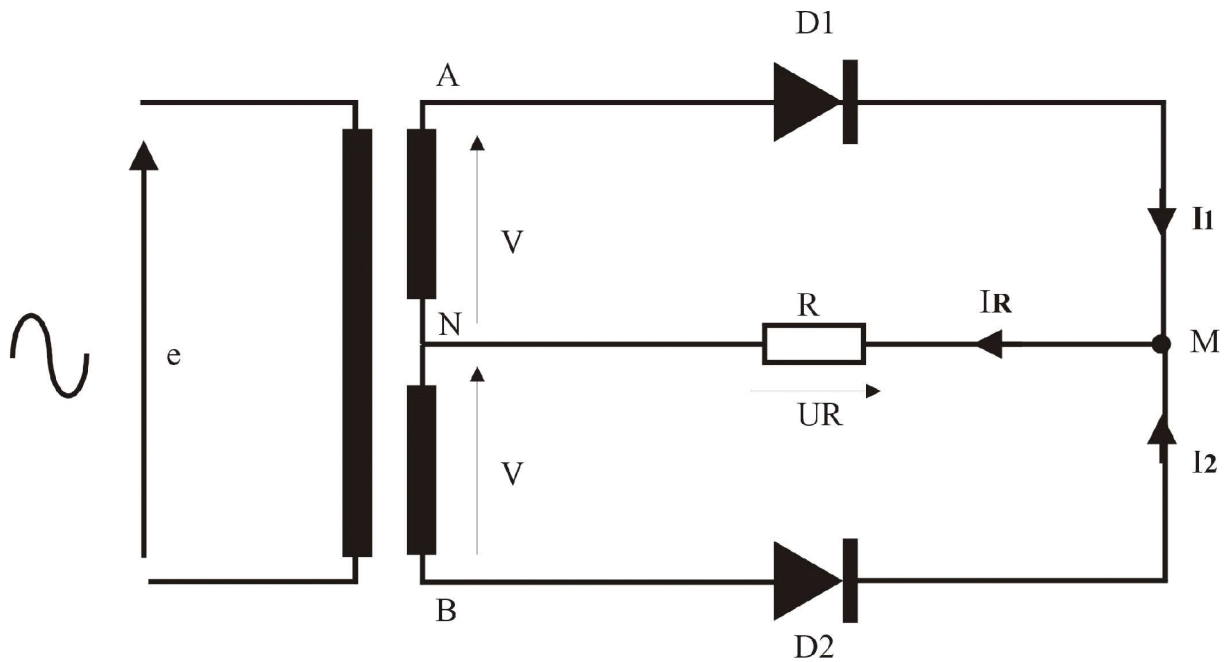
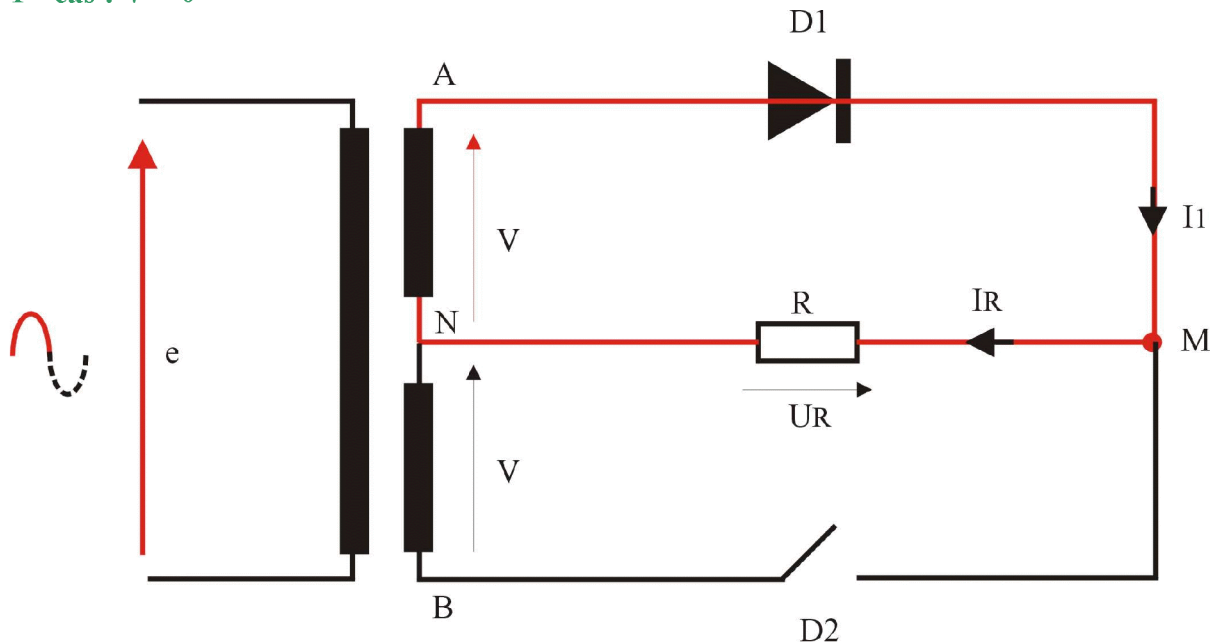


- **Redressement double alternance à 2 diodes à point milieu encore appelé montage "va et vient":**



A partir du transformateur à point milieu, on obtient deux différences de potentiels alternatives  $V$  identiques à chaque instant à partir d'une tension unique  $e$ .

1<sup>er</sup> cas :  $V > 0$

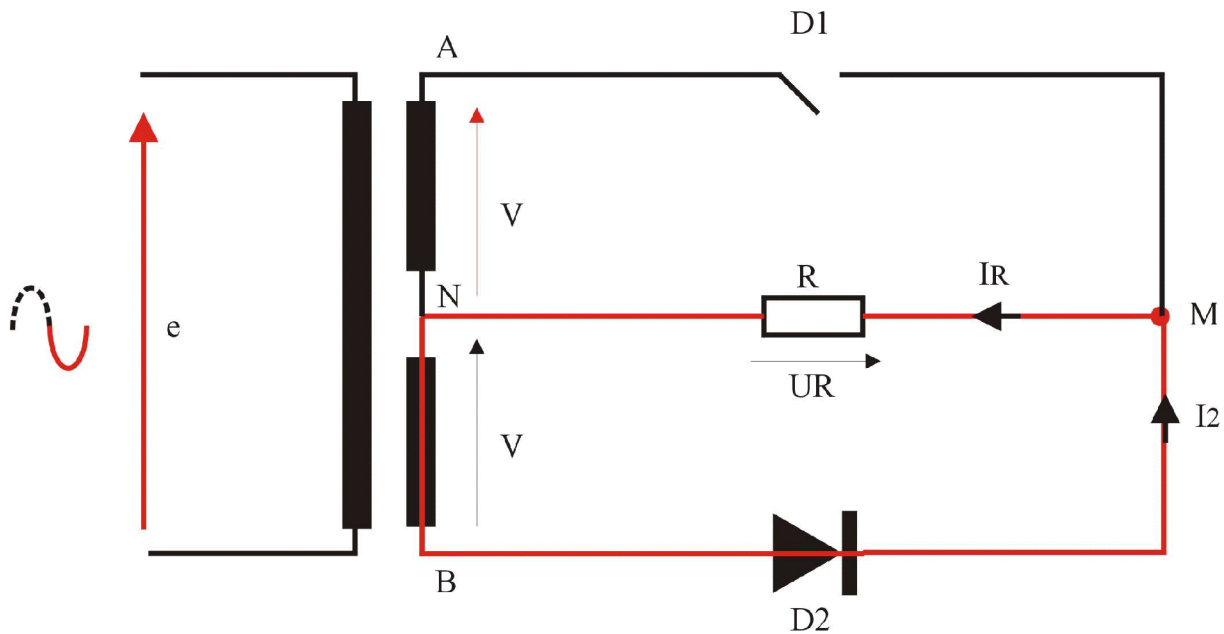


D1 conduit et D2 est bloquée.

D'où  $U_R = V = V_M \times \sin \omega t$  avec  $I_2 = 0$

Et :  $I_R = I_1 = \frac{U_R}{R} = \frac{V_M}{R} \times \sin \omega t = I_M \times \sin \omega t$

2<sup>eme</sup> cas :  $V < 0$



De la même manière : (avec  $V < 0$ )

D2 conduit et D1 est bloquée.

D'où  $U_R = -V = -V_{\max} \times \sin \omega t > 0$  et  $I_1 = 0$

Et  $I_R = I_2 = \frac{U_R}{R} = \frac{-V_{\max}}{R} \times \sin \omega t = I_{\max} \times \sin \omega t > 0$

Le courant dans R circule toujours dans le même sens, quelque soit le signe de V et  $U_R$  garde un signe constant.

On dit que le courant circulant dans la charge est un courant unidirectionnel pulsé.

Valeur maximale du courant :

L'intensité maximale du courant pulsé circulant à travers la charge et à travers chacune des diodes est, d'après la loi d'Ohm :

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{R}$$

**Remarque :** pour des calculs rigoureux, on tiendra compte de la résistance dynamique de la diode  $R_D$  et de la résistance des enroulements secondaires du transformateur  $R_b$  de sorte qu'en définitive on ai :

$$I_{\max} = \frac{vM}{R + R_D + R_b}$$

**Valeur moyenne du courant redressé :**

Elle s'écrit :

$$I_{\text{moy}} = \int_0^{\pi} \frac{I_{\text{max}} \sin \theta d\theta}{\pi}$$

Après intégration on a :

$$I_{\text{moy}} = \frac{2I_{\text{max}}}{\pi}$$

Dans le redresseur double alternance, le courant moyen traversant chaque diode est égal à la moitié du courant dans la charge.

Soit

$$I_{\text{moyD}} = \frac{I_{\text{moy}} \times R}{2}$$
**Tension moyenne:**

On appelle tension moyenne, la valeur moyenne sur une période de la tension.

Pour un signal alternatif sinusoïdal sa valeur moyenne est nulle.

Pour un signal redressé on écrit :

$$V_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{\text{max}} dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{\text{max}} \sin \theta d\theta = \frac{2V_{\text{max}}}{\pi}$$

Nous pouvons également écrire :

$$V_{\text{moy}} = I_{\text{moy}} \times R = \frac{2I_{\text{max}}}{\pi} \times R$$

**Valeur efficace du courant redressé :**

Pour un redresseur double alternance l'équation générale du courant efficace est :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_{\text{max}}^2 \sin^2 \theta d\theta}$$

Après intégration :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{I_{\text{max}}^2}{2}} = \boxed{\frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}}$$

**Tension efficace:**

On appelle tension efficace la racine carrée de la valeur moyenne sur une période du carré de la tension.

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{\text{max}}^2 \sin^2 \theta d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{\text{max}}^2 \sin^2 \theta d\theta}$$

Soit :  $\boxed{\frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}}}$

Dans un redresseur double alternance, les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité sont les mêmes pour la charge et pour la source.

**Facteur de forme :**

Le facteur de forme est le rapport entre la tension efficace et la tension moyenne.

On écrit :

$$\boxed{F = \frac{v_{\text{eff}}}{v_{\text{moy}}}} = \frac{0,707v_{\text{max}}}{0,636v_{\text{moy}}} = \mathbf{1,11}$$

### Rendement maximal de la conversion du courant alternatif en courant continu dans un redresseur double alternance :

Il est défini par :

$$\eta\% = \frac{\text{P en continu dans la charge}}{\text{P en alternatif fourni au circuit}} \times 100$$

La puissance en courant continu dissipé par la charge est :

$$P_{c.c} = V_{moy} \times I_{moy} = \left( \frac{2V_{max}}{\pi} \right) \times \left( \frac{2V_{max}}{\pi R} \right)$$

Soit :

$$P_{c.c} = \frac{4V_{max}^2}{\pi^2 \times R}$$

La puissance en courant alternatif fournie au circuit par le secondaire du transformateur est :

$$P_{\text{courant alternatif}} = V_{eff} \times I_{eff} = \left( \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \right) \times \left( \frac{V_{max}}{\sqrt{2} \times R} \right)$$

D'où

$$P_{\text{courant alternatif}} = \frac{V_{max}^2}{2 \times R}$$

$$\text{On obtient donc : } \eta = \left( 4 \times \frac{V_{max}^2}{\pi^2 \times R} \right) \times \left( \frac{2R}{V_{max}^2} \right) \times 100 = \frac{8}{\pi^2} \times 100 = \mathbf{81,2\%}$$

**Le rendement théorique maximal du redresseur double alternance est double de celui fourni par le redresseur simple alternance.**

**Remarque :** si l'on tient compte de la résistance directe de la diode, la valeur théorique du rendement devient :

$$\eta = \left( \frac{8}{\pi^2} \right) \times \left( \frac{R}{R + R_d} \right) \times 100$$

Valeurs de l'ondulation :

## → Taux d'ondulation

La tension de sortie d'un redresseur double alternance est composée d'une tension continue constante à laquelle est superposée une tension alternative appelée ondulation. Vectoriellement nous pouvons écrire :

$$V_{\text{eff de sortie}}^2 = V_{\text{eff d'ondulation}}^2 + V_{\text{moy}}^2$$

Puisque :

$$V_{\text{eff de sortie}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \text{ et } V_{\text{moy}} = \frac{2V_{\text{max}}}{\pi}$$

Alors on a :

$$V_{\text{eff d'ondulation}} = 2 \sqrt{\left(\frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}}\right)^2 - \left(\frac{2V_{\text{max}}}{\pi}\right)^2}$$

$$V_{\text{eff d'ondulation}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2}\right)} \times V_{\text{max}} = 0,307V_{\text{max}}$$

La valeur efficace de la tension d'ondulation d'un redresseur double alternance est donc :

$$V_{\text{eff ondulation}} = 0,307V_{\text{max}}$$

Pour une charge résistive, nous avons :

$$I_{\text{eff ondulation}} = 0,307 \times \frac{V_{\text{max}}}{R}$$

Le taux d'ondulation est:

$$r = \frac{V_{\text{eff ondulation}}}{V_{\text{moy}}} = \frac{0,307V_{\text{max}}}{0,636V_{\text{max}}} = 0,482$$

Soit:

$$r = 48,2\%$$

Nous pouvons également calculer le taux d'ondulation à partir du facteur de forme, ce qui donne:

$$R = \left(\sqrt{(1,11^2 - 1)}\right) \times 100 = 48,2\%$$

Pour un redresseur double alternance, nous constatons que la valeur de la composante continue est bien supérieure à la valeur efficace de la tension d'ondulation, ce qui va faciliter l'opération de filtrage.

### Fréquence d'ondulation :

La fréquence d'ondulation est égale au double de la fréquence de la source alternative qui alimente le redresseur double alternance :

$$f_{\text{ondulation}} = 2f_{\text{source alimentation}}$$

### Facteur d'utilisation du transformateur d'alimentation

Dans un redresseur double alternance, le facteur d'utilisation du transformateur est calculé à partir des enroulements primaire et secondaire considérés séparément.

Pour l'enroulement secondaire, avec prise médiane, nous avons deux circuits distincts, un pour chaque alternance.

Chacun des circuits équivaut à un redresseur simple alternance.

Le facteur d'utilisation (FUT) pour l'enroulement secondaire sera donc égal à deux fois la valeur calculée pour un redresseur simple alternance :

Pour un redresseur double alternance à 2 diodes :

$$FUT_{\text{enroulement secondaire}} = 0,574$$

Pour l'enroulement primaire nous pouvons écrire :

$$V_{\text{moy}} = \frac{2V_{\text{max}}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$$

$$I_{\text{moy}} = \frac{2I_{\text{max}}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}I_{\text{eff}}}{\pi}$$

D'où :

$$V_{\text{eff}} = \left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\right) \times V_{\text{moy}} \quad \text{et} \quad I_{\text{eff}} = \left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\right) \times I_{\text{moy}}$$

De sorte que :

$$V_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} = \left(\frac{\pi^2}{8}\right) \times V_{\text{moy}} \times I_{\text{moy}}$$

Le facteur d'utilisation pour l'enroulement primaire est donc :

$$\frac{V_{\text{moy}} \times I_{\text{moy}}}{V_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}}$$

En pratique, on utilise la valeur moyenne de ces 2 facteurs, soit :

$$\frac{0,574 + 0,812}{2} = 0,693$$

Donc pour un redresseur double alternance on a :

$$\text{FUT} = 0,693$$

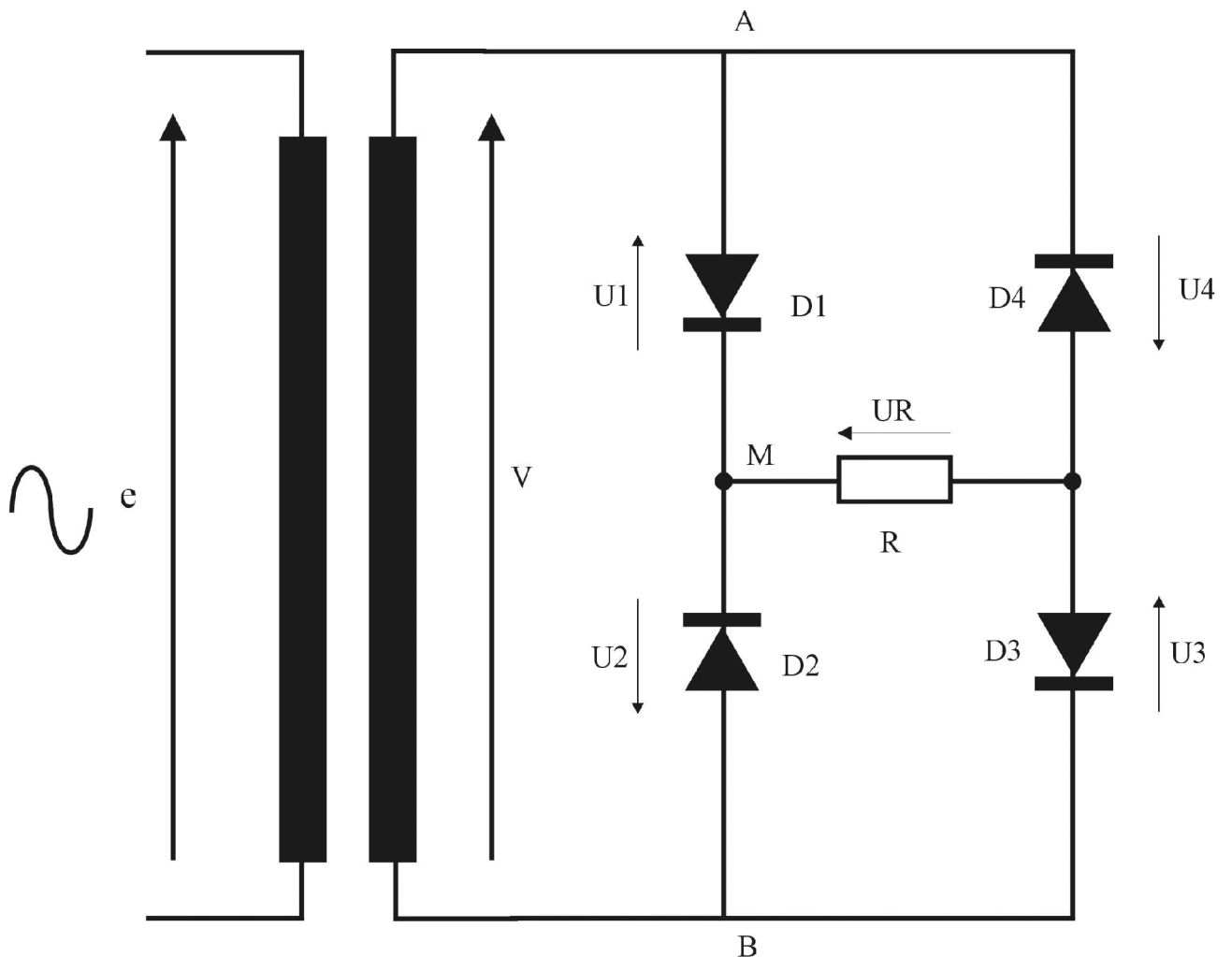
Un transformateur de 500VA alimentant un redresseur double alternance fournira, à une charge résistive, une puissance en courant continu de  $500 \times 0,693 = 346,5\text{W}$ .

Comme le rendement de la conversion courant alternatif/courant continu est de 81,2%, la puissance demandée au secondaire du transformateur sera :  $\frac{346,5 \times 100}{81,2} = 426,7\text{W}$

➤ **Redressement double alternance en pont de 4 diodes ou pont de Graëtz :**

Ce type de redresseur est le montage le plus utilisé, car il ne nécessite pas l'emploi d'un transformateur à point milieu.

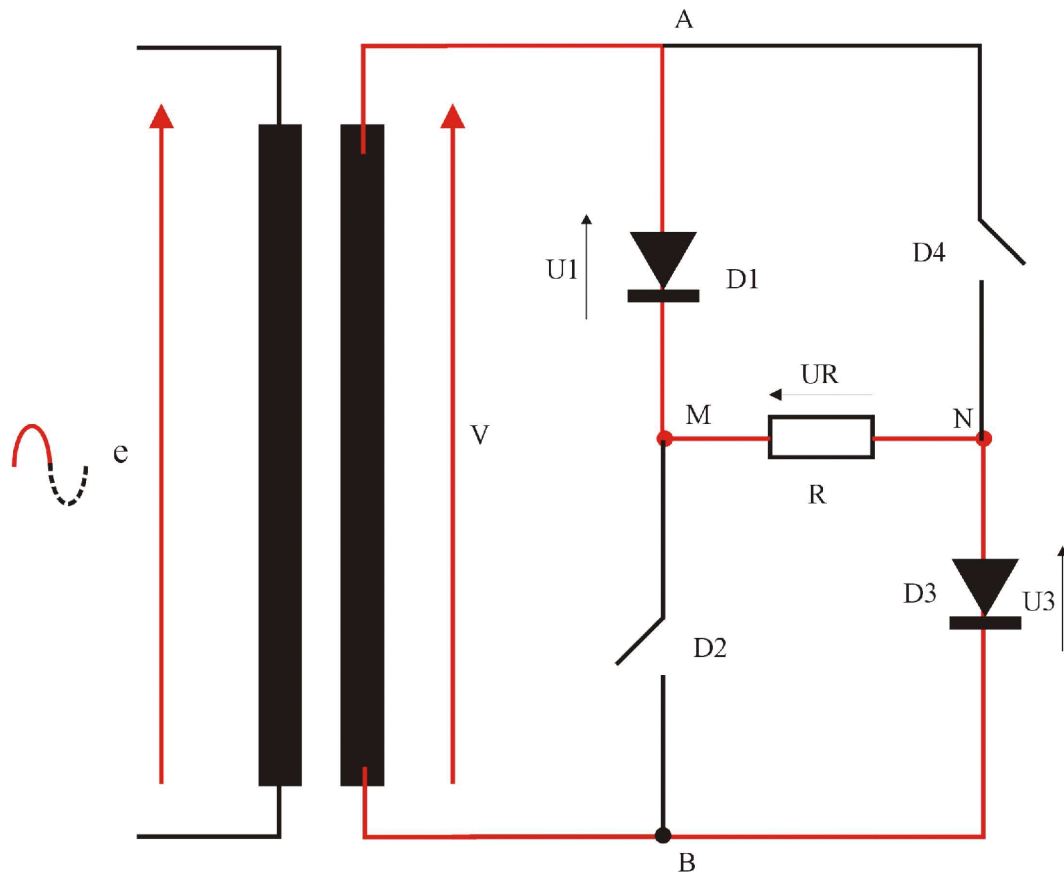
Ici on utilise 4 diodes montées en pont.





**Fonctionnement :**

1<sup>er</sup> cas :  $v > 0$



D1 et D3 en série avec R sont polarisées dans le sens passant.

Nous avons :  $v = U_1 + U_R + U_3$

et

$$v = U_1 - U_2$$

$$v = U_3 - U_4$$

Comme D1 et D3 conduisent:  $U_1 = U_3 = 0$

D'où :  $U_R = v$  qui est ici positive.

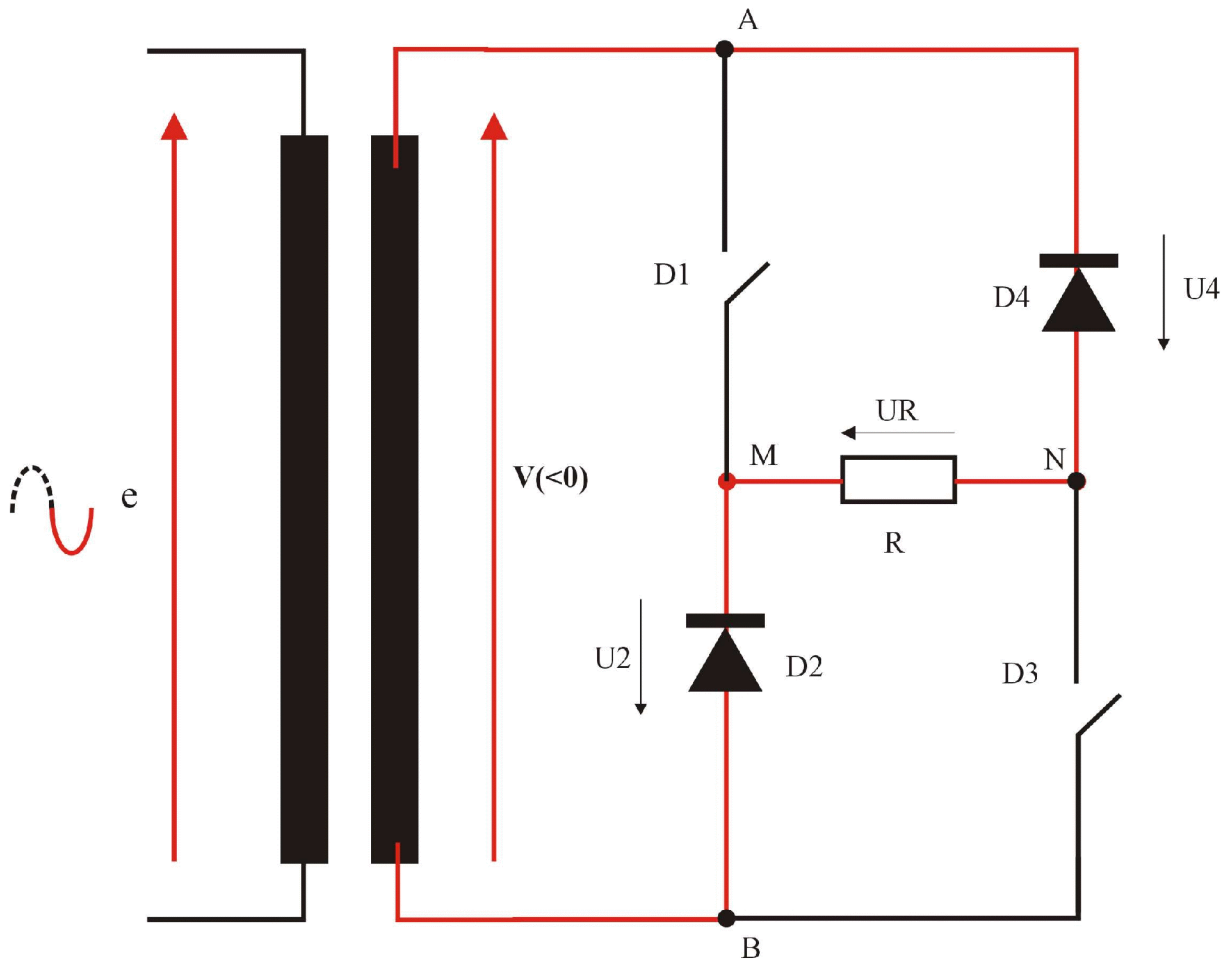
$$U_2 = -v \Rightarrow D_2 \text{ bloquée} \Rightarrow i_2 = 0$$

$$U_4 = -v \Rightarrow D_4 \text{ bloquée} \Rightarrow i_4 = 0$$

Donc  $i_R = i_1 = i_3 = \frac{v}{R}$  est positif.

On a donc  $U_R = v = v_M \times \sin \omega t$

2<sup>eme</sup> cas :  $v < 0$



Vérifions que  $D_2$  et  $D_4$  conduisent.

$$v = -U_4 - U_R - U_2$$

$$v = U_1 - U_2$$

$$v = U_3 - U_4$$

Si  $D_2$  et  $D_4$  conduisent

$$\text{Alors } U_2 = U_4 = 0$$

Et  $U_R = -v$  qui est **positive**.

$$U_1 = v < 0 \Rightarrow \mathbf{D_1 \text{ est bloquée}} \Rightarrow i_1 = 0.$$

$$U_3 = v < 0 \Rightarrow \mathbf{D_3 \text{ est bloquée}} \Rightarrow i_3 = 0.$$

$$\text{D'où } i_R = i_2 = i_4 = -\frac{v}{R} \text{ est positif.}$$

Donc on peut dire que  **$D_2$  et  $D_4$  conduisent et  $D_1$  et  $D_3$  sont bloquées.**

Ainsi on peut écrire :

$$U_R = -v = -v_M \times \sin \omega t > 0$$

$$\text{Et } i_R = \frac{U_R}{R} = -\frac{v_M}{R} \times \sin \omega t = -i_M \times \sin \omega t > 0$$

Le courant circule dans le même sens que dans le 1<sup>er</sup> cas et donc  $U_R$  conserve un signe constant.

### Tension inverse de crête :

Lorsque la borne A est positive, les diodes à l'état passant, D1 et D2, sont comparables à des interrupteurs fermés tandis que les diodes à l'état bloqué, D3 et D4, sont comparables à des interrupteurs ouverts.

Chacune des diodes à l'état bloqué, D3 et D4, supporte donc toute la tension  $V_{BA}$ .

Dans un redresseur double alternance constitué de 4 diodes montés en pont, la tension inverse de crête supportée par chaque diode est :

$$V_{Dinv} = v_{max}$$

### Valeurs des tensions et des courants de sortie :

Les valeurs des tensions et des courants de sortie sont calculées de la même façon et à l'aide des mêmes formules de base que pour un redresseur double alternance à 2 diodes.

La seule différence réside dans la valeur de la tension d'entrée.

Pour un redresseur double alternance en pont, la tension d'entrée du redresseur est la tension aux bornes de l'enroulement secondaire du transformateur alors que, pour un redresseur double alternance à 2 diodes, la tension d'entrée est celle fournie par la moitié de l'enroulement secondaire, c'est-à-dire la différence de potentiel entre le point milieu et une borne.

### **Valeurs maximales :**

La valeur de crête de la tension redressée pour un redresseur double alternance en pont est :

$$v_{max} = \sqrt{2} \times v_{eff}$$

La valeur de crête du courant circulant à travers la charge est :

$$I_{max} = \frac{v_{max}}{R}$$

Pour les calculs rigoureux, on tiendra compte de la résistance de l'enroulement secondaire ainsi que des résistances dynamiques des diodes :

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{R + 2R_d + R_{\text{bobinage}}}$$

### Valeurs moyennes :

La valeur moyenne de la tension redressée, à vide est :

$$V_{\text{moy}} = \frac{2V_{\max}}{\pi} = 0,636 \times V_{\max}$$

Lorsqu'un courant important circule dans la charge, nous avons :

$$V_{\text{moy}} = \frac{2V_{\max}}{\pi} - I_{\text{moy}} \times (R_{\text{bobinage}} + 2R_D)$$

La valeur moyenne du courant redressé dans la charge est donc :

$$I_{\text{moy}} = \frac{2I_{\max}}{\pi} = 0,636I_{\max}$$

La valeur moyenne du courant redressé traversant chaque diode est égale à la moitié de celle circulant dans la charge.

$$I_{\text{moyDiode}} = \frac{I_{\text{moy}}}{2} = \frac{0,636 \times I_{\max}}{2}$$

### Valeurs efficaces :

Comme pour le redresseur alternance à 2 diodes, nous avons après redressement :

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} \text{ et } I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Rendement maximal de la conversion du courant alternatif en courant continu pour un redresseur double alternance en pont :

Il vaut :

$$\eta = 81,2\%$$

**Valeurs de l'ondulation :****Taux d'ondulation :**

Le taux d'ondulation du redresseur double alternance en pont est identique à celui du redresseur double alternance à 2 diodes :

$$R = 48,2\%$$

La valeur efficace de la tension d'ondulation pour un redresseur double alternance en pont est :

$$v_{\text{eff}} = 0,307 \times v_{\text{max}}$$

Dans le cas d'une charge résistive nous avons :

$$I_{\text{eff ondulation}} = 0,307 \times \frac{v_{\text{max}}}{R}$$

**Fréquence de l'ondulation:**

La fréquence de l'ondulation est égale au double de la fréquence de la source d'alimentation:

$$f_{\text{ondulation}} = 2 \times f_{\text{source alimentation}}$$

**Facteur d'utilisation du transformateur d'alimentation (F.U.T)**

Dans un redresseur double alternance en pont, le courant circulant dans l'enroulement secondaire est purement alternatif sans aucune composante continue.  
Le facteur d'utilisation du transformateur est donc :

$$F.U.T. = \frac{\text{Puissance moy en courant continu}}{\text{Puissance efficace en courant alternatif}}$$

$$F.U.T. = \frac{v_{\text{moy}}^2}{R} \times \frac{v_{\text{eff}}^2}{R} = \left(\frac{1}{f}\right)^2$$

$$F.U.T. = \left(\frac{1}{1,11}\right)^2 = 0,812$$

Ainsi, avec un redresseur double alternance en pont, un transformateur d'alimentation de 500VA pourra fournir une puissance en courant continu de 406W à une charge résistive. Comme le rendement de la conversion courant alternatif/ courant continu est de 81,2%, la puissance demandée au secondaire du transformateur sera :

$$\frac{406 \times 100}{81,2} = 500W$$

### Comparaison des 3 circuits redresseurs :

**Le redresseur simple alternance** est très peu utilisé, sauf dans certaines applications où la puissance demandée est faible.

Son avantage réside dans la simplicité du montage ( 1 diode et un transformateur à 1 enroulement secondaire)

**Les inconvénients se résument ainsi :**

- ✓ Un taux d'ondulation très important (121%)
- ✓ Un faible rendement de la conversion courant alternatif/ courant continu (40,6%).
- ✓ Un faible taux d'utilisation du transformateur (0,287) ;
- ✓ Un effet de saturation de l'enroulement secondaire du transformateur, ce qui limite la puissance disponible à la charge.

**Le redresseur double alternance à 2 diodes est plus avantageux :**

- ✓ Le taux d'ondulation n'est que de 48,2%.
- ✓ Le rendement de la conversion courant alternatif/ courant continu passe à 81,2%
- ✓ Le taux d'utilisation du transformateur est amélioré, sa valeur moyenne pour les 2 enroulements est de 0,693.
- ✓ Il n'y a aucun risque de saturation du transformateur.

Par contre, ce montage nécessite un transformateur à point milieu et seule la moitié de l'enroulement est utilisée lors de chaque alternance.

**Le redresseur double alternance en pont est le plus avantageux.**

Il n'utilise pas de transformateur à point milieu, et pour la même tension redressée à la sortie, la tension inverse de crête supportée par chaque diode est la moitié de celle supportée par les diodes du redresseur double alternance à 2 diodes.

Ses principales caractéristiques sont :

- ✓ Le taux d'ondulation et le rendement de la conversion courant alternatif/courant continu sont identiques au montage redresseur à 2 diodes.
- ✓ Le taux d'utilisation du transformateur (F.U.T.) est augmenté et atteint 0,812.
- ✓ Parmi les trois montages redresseurs monophasés étudiés ici, le redresseur double alternance en pont permet d'obtenir la plus grande puissance dans la charge lors de l'utilisation de transformateurs d'alimentation possédant une puissance nominale identique.