

Chapitre 1

Les convertisseurs alternatif- continu

1. Introduction

Les convertisseurs AC/DC ou les montages redresseurs sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu. Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications.

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes.

1.2. Redresseurs triphasés

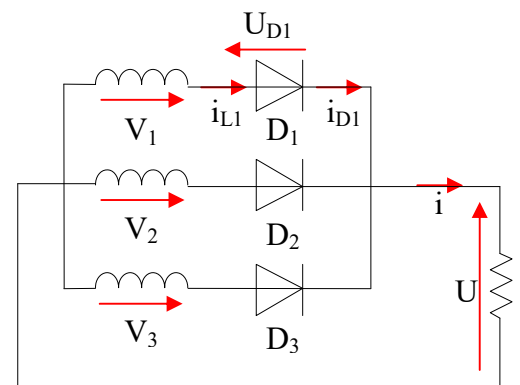
1.2.1 Les trois types de montages redresseurs

Pour obtenir une tension continue, on redresse un ensemble de q tensions alternatives, d'ordinaire supposées sinusoïdales et formant un système polyphasé équilibré (q : nombre de phases). Ces tensions peuvent être les tensions aux bornes d'un alternateur. Généralement, elles sont fournies par le réseau monophasé ou, plus souvent, par le réseau triphasé, d'ordinaire par l'intermédiaire d'un transformateur.

On distingue trois types de montages :

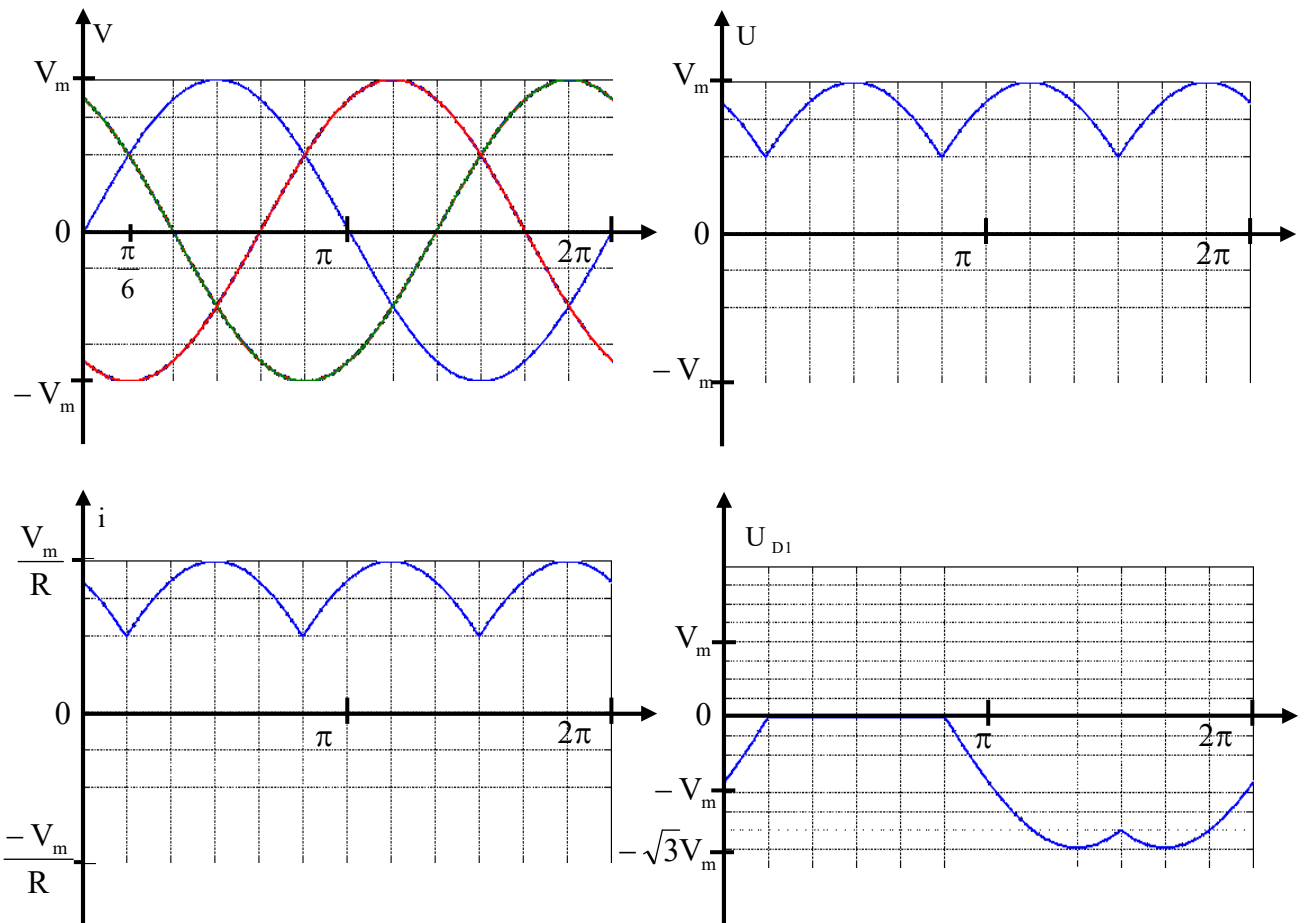
- ✓ **Pq**: montages avec source en étoile et un seul commutateur ou redresseur "simple alternance" ;
- ✓ **PDq**: montages avec source en étoile et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source étoilée ;
- ✓ **Sq**: montages avec source en polygone et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source polygonale.

1.2.1.1 Redresseur parallèle simple P3



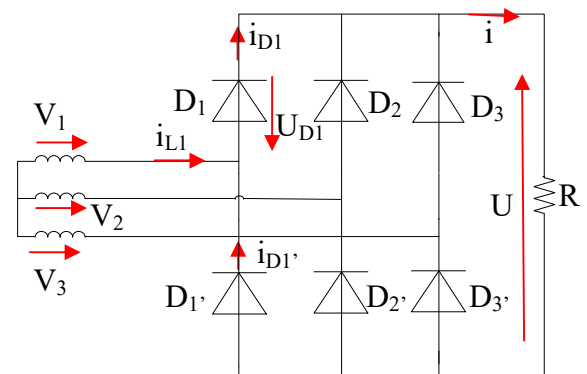
Chaque diode est raccordée sur une phase ($V_1 = V_m \sin(\omega t)$, $V_2 = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$ et $V_3 = V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$), les cathodes sont communes et raccordées sur la charge. Le retour au transformateur s'effectue par le neutre.

Seule la diode dont l'anode est au plus haut potentiel peut conduire. Par conséquent, chaque diode conduit à son tour dans l'ordre suivant : D_3, D_1, D_2, D_3, D_1 , etc.



1.2.1.2 Redresseur parallèle double PD3

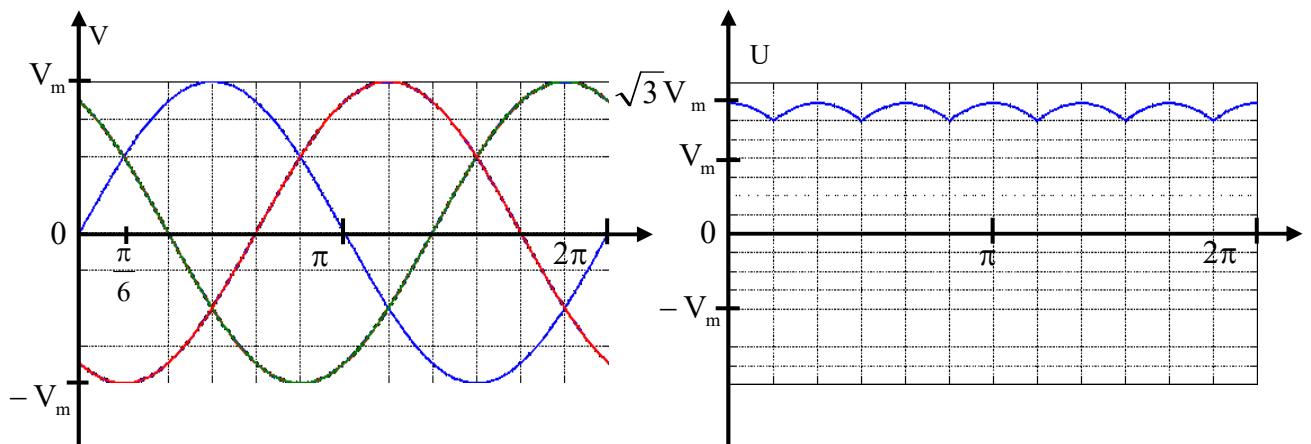
Ce redresseur est le prototype du redresseur industriel. Il peut être vu comme une combinaison de 2 redresseurs P3. Les trois diodes D_1, D_2, D_3 forment un commutateur plus positif, qui laisse passer tout instant la plus positive des tensions, et les diodes D_1', D_2', D_3' forment un commutateur plus négatif, qui laisse passer la plus négative des tensions.

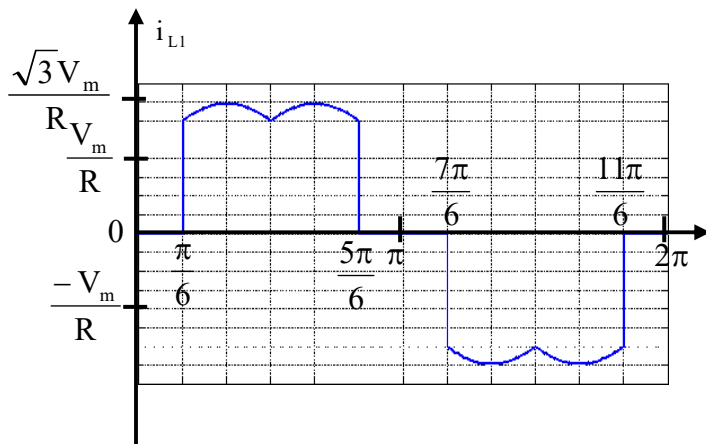
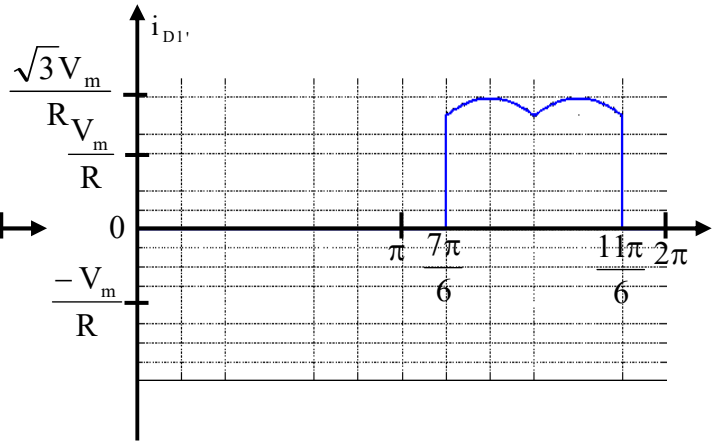
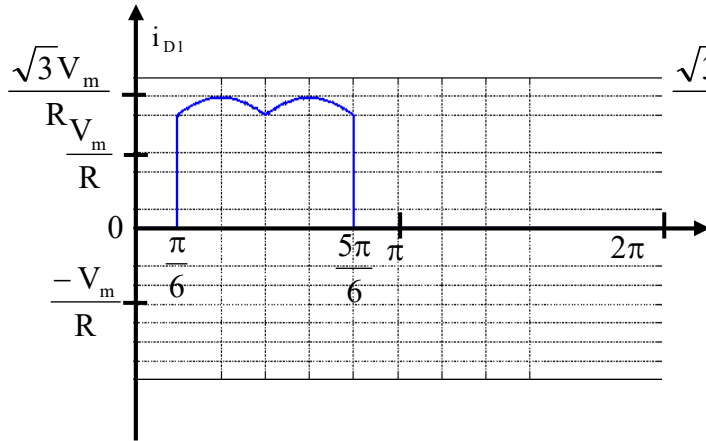
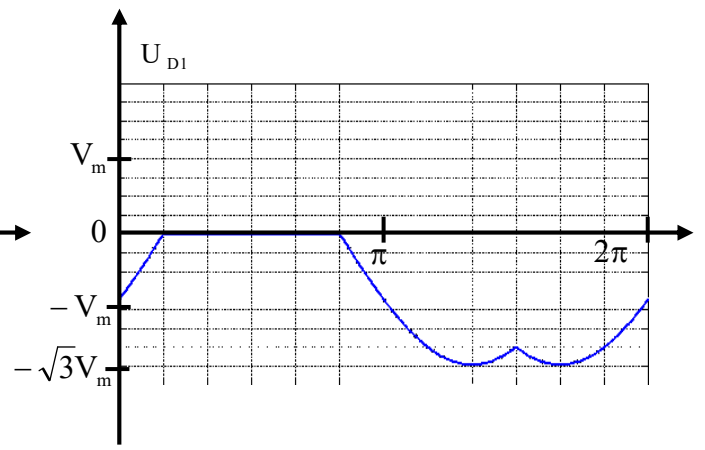
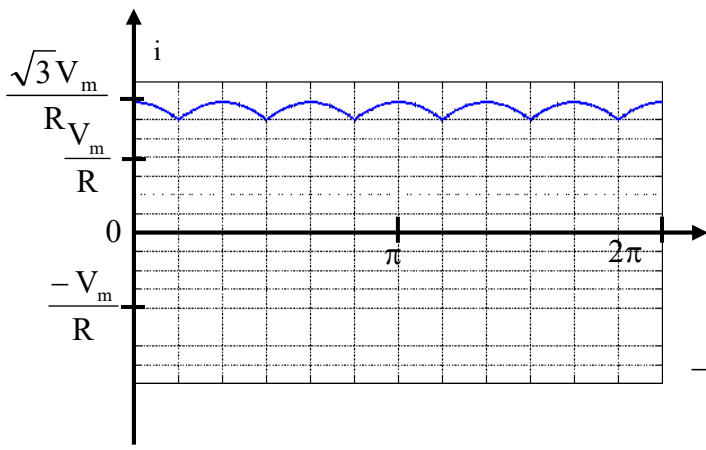


Charge résistive : Analyse du fonctionnement

Intervalles	$\frac{\pi}{6} \rightarrow \frac{3\pi}{6}$	$\frac{3\pi}{6} \rightarrow \frac{5\pi}{6}$	$\frac{5\pi}{6} \rightarrow \frac{7\pi}{6}$
Diodes passantes (D)	D ₁ et D ₂ '	D ₁ et D ₃ '	D ₂ et D ₃ '
Tension redressée	$U=V_1-V_2$	$U=V_1-V_3$	$U=V_2-V_3$
Courant redressé	$i = \frac{U}{R} = \frac{V_1 - V_2}{R}$	$i = \frac{U}{R} = \frac{V_1 - V_3}{R}$	$i = \frac{U}{R} = \frac{V_2 - V_3}{R}$
Tension aux bornes de la diode bloquée D ₁	$U_{D1}=0$	$U_{D1}=0$	$U_{D1}=V_1-V_2$
Courant traversant la diode D ₁	$i_{D1} = \frac{U}{R} = \frac{V_1 - V_2}{R}$	$i_{D1} = \frac{U}{R} = \frac{V_1 - V_2}{R}$	$i_{D1} = 0$
Courant traversant la diode D ₁ '	$i_{D1'} = 0$	$i_{D1'} = 0$	$i_{D1'} = 0$
Courant de la ligne 1 (enroulements secondaires)	$i_{L1} = i_{D1}$	$i_{L1} = i_{D1}$	$i_{L1} = 0$

Intervalles	$\frac{7\pi}{6} \rightarrow \frac{9\pi}{6}$	$\frac{9\pi}{6} \rightarrow \frac{11\pi}{6}$	$\frac{11\pi}{6} \rightarrow \frac{13\pi}{6}$
Diodes passantes (D)	D ₂ et D ₁ '	D ₃ et D ₁ '	D ₃ et D ₂ '
Tension redressée	$U=V_2-V_1$	$U=V_3-V_1$	$U=V_3-V_2$
Courant redressé	$i = \frac{U}{R} = \frac{V_2 - V_1}{R}$	$i = \frac{U}{R} = \frac{V_3 - V_1}{R}$	$i = \frac{U}{R} = \frac{V_3 - V_2}{R}$
Tension aux bornes de la diode bloquée D ₁	$U_{D1}=V_1-V_2$	$U_{D1}=V_1-V_3$	$U_{D1}=V_1-V_3$
Courant traversant la diode D ₁	$i_{D1} = 0$	$i_{D1} = 0$	$i_{D1} = 0$
Courant traversant la diode D ₁ '	$i_{D1'} = \frac{U}{R} = \frac{V_2 - V_1}{R}$	$i_{D1'} = \frac{U}{R} = \frac{V_2 - V_1}{R}$	$i_{D1'} = 0$
Courant de la ligne 1 (enroulements secondaires)	$i_{L1} = -i_{D1'}$	$i_{L1} = -i_{D1'}$	$i_{L1} = 0$



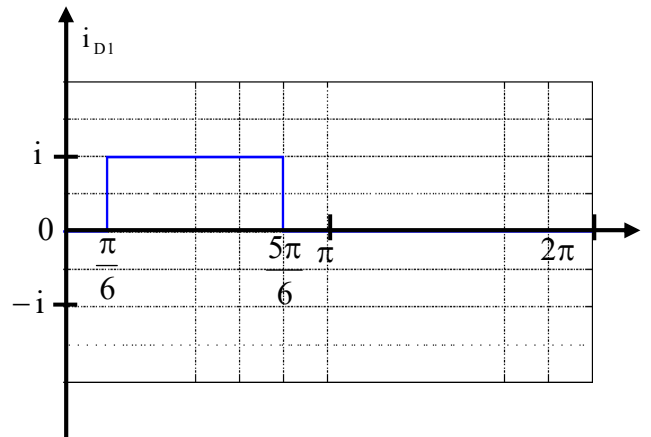
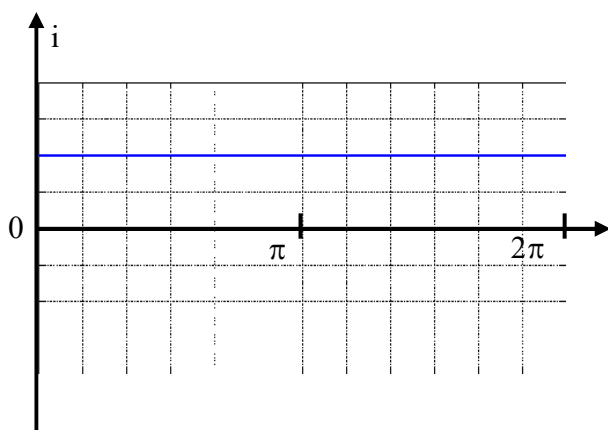


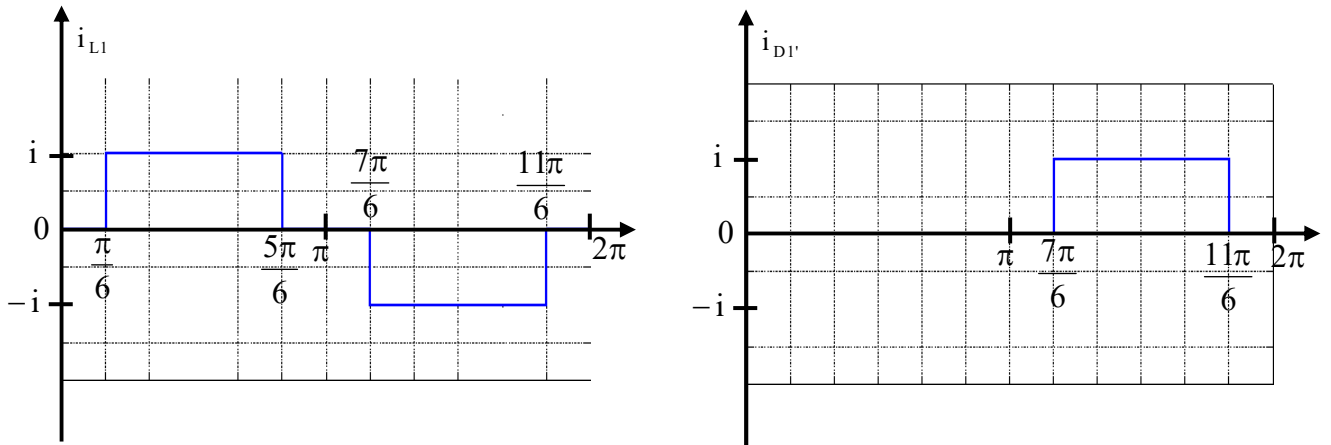
$$i_{L1} = i_{D1} - i_{D1}'$$

$$i_{L2} = i_{D2} - i_{D2}'$$

$$i_{L3} = i_{D3} - i_{D3}'$$

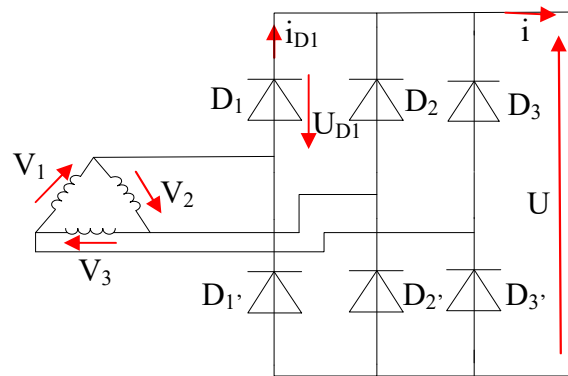
Charge résistive et inductive (lissage du courant)





1.2.1.3 Redresseur du type série S3

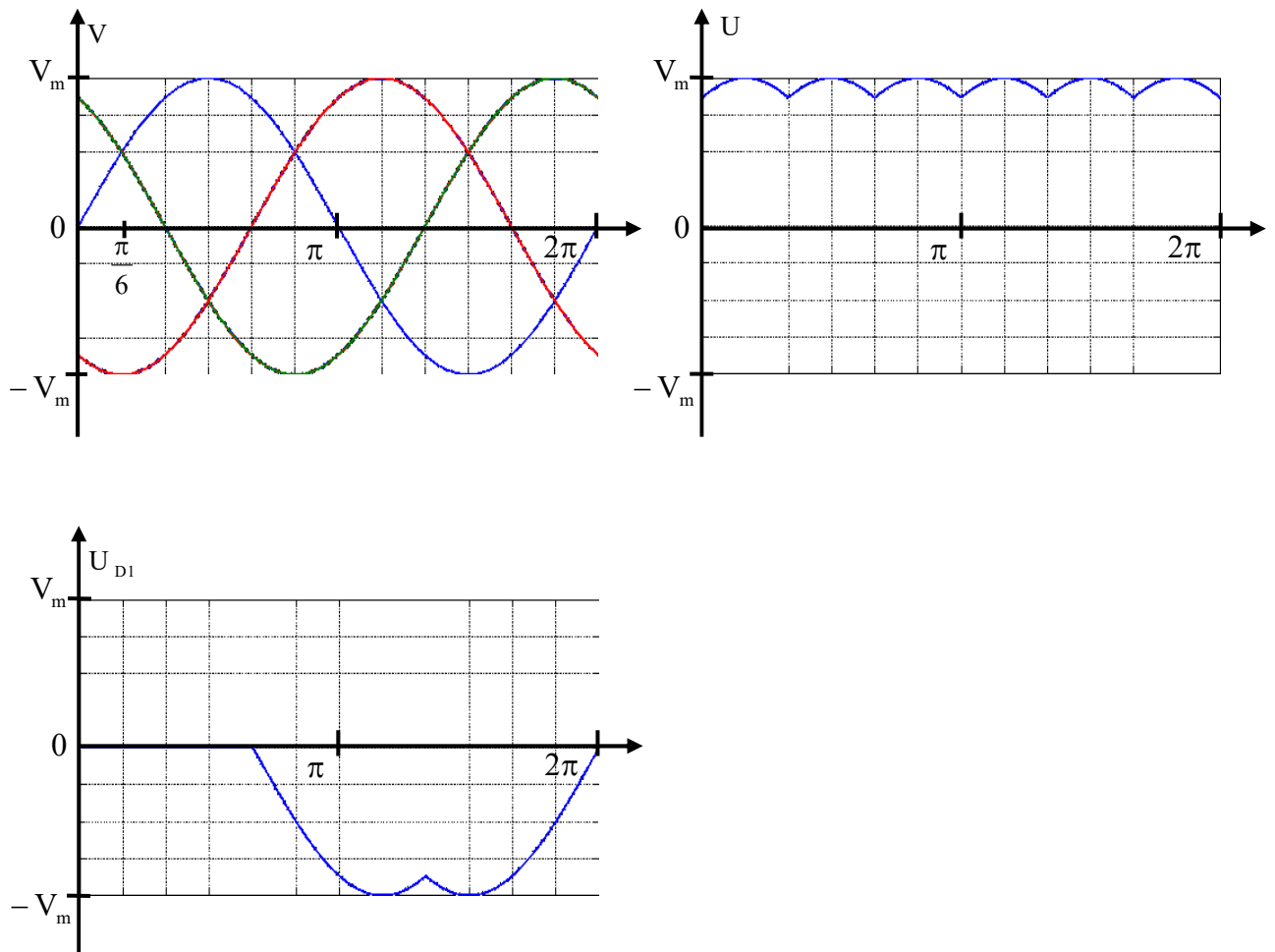
Le montage redresseur S3 à diode est constitué de six diodes. Les enroulements secondaires du transformateur sont couplés en triangle. D_1, D_2 et D_3 conduisent dès que V_1, V_2, V_3 deviennent positives, D_1', D_2' et D_3' conduisent dès que V_1, V_2, V_3 deviennent négatives.



Analyse du fonctionnement

Intervalles	$0 \rightarrow \frac{2\pi}{6}$	$\frac{2\pi}{6} \rightarrow \frac{4\pi}{6}$	$\frac{4\pi}{6} \rightarrow \frac{6\pi}{6}$
Diode passante (D)	D_1 et D_2'	D_1 et D_3'	D_2 et D_3'
Tension redressée	$U = -V_2$	$U = V_1$	$U = -V_3$
Tension aux bornes de la diode D_1	$U_{D1} = 0$	$U_{D1} = 0$	$U_{D1} = -V_2$

Intervalles	$\frac{6\pi}{6} \rightarrow \frac{8\pi}{6}$	$\frac{8\pi}{6} \rightarrow \frac{10\pi}{6}$	$\frac{10\pi}{6} \rightarrow \frac{12\pi}{6}$
Diode passante (D)	D_2 et D_1'	D_3 et D_1'	D_3 et D_2'
Tension redressée	$U = V_2$	$U = -V_1$	$U = V_3$
Tension aux bornes de la diode D_1	$U_{D1} = -V_2$	$U_{D1} = V_1$	$U_{D1} = V_1$



1.4 Chutes de tension en charge (fonctionnement normal)

Jusqu'ici nous avons supposé la source et le redresseur parfaits. En fait, les impédances des éléments du redresseur et celle du réseau qu'il alimente entraînent une diminution de la valeur moyenne U .

La chute de tension totale est obtenue en ajoutant:

- la chute due aux commutations (empiétements) $\Delta_1 U$;
- la chute due aux résistances $\Delta_2 U$;
- la chute due aux diodes $\Delta_3 U$.

Avec: $\Delta U = \Delta_1 U + \Delta_2 U + \Delta_3 U$

Surtout pour les montages de forte puissance, c'est le phénomène d'empiétement lors des commutations qui est à l'origine de la principale chute de tension.

1.4.1 Chutes de tension inductives dues à la commutation des diodes: phénomène d'empiétement

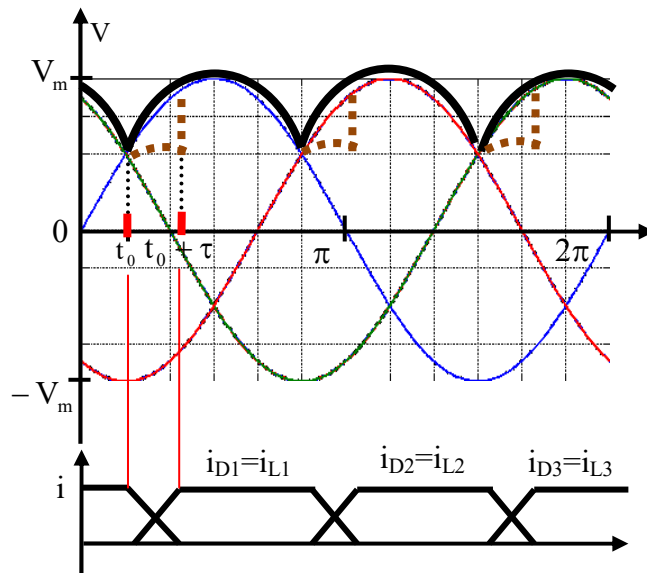
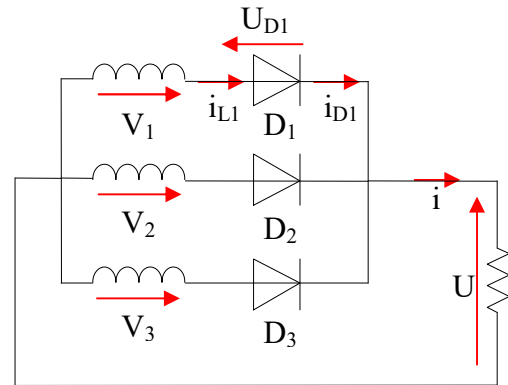
- En réalité, les enroulements primaire et secondaire du transformateur présentent des inductances de fuite.
- En conséquence, l'intensité du courant ne peut varier de façon discontinue dans ces éléments et la commutation ne peut être instantanée.

A l'instant t_0 où $V_1(t)=V_2(t)$, les diodes commutent pendant la durée τ . D_1 et D_2 conductrices,

$$U = V_1 - L \frac{di_{D1}}{dt} = V_2 - L \frac{di_{D2}}{dt}.$$

On a: $i_{D1} + i_{D2} = i \Rightarrow \frac{di_{D1}}{dt} + \frac{di_{D2}}{dt} = 0$. D'où

$$U = V_1 - L \frac{di_{D1}}{dt} = V_2 + L \frac{di_{D1}}{dt} \Rightarrow U = \frac{V_1 + V_2}{2}$$



Pendant la durée τ de l'empîement la tension redressée vaut donc $\frac{V_1 + V_2}{2}$ au lieu de V_2 .

Au delà de l'instant $t_0 + \tau$ on a: $i_{D1} = 0$, $i_{D2} = i$ et $U = V_2$.

L'empîement se traduit donc par une chute de tension instantanée:

$$\Delta_1 U = V_2 - \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{V_2 - V_1}{2} = L \frac{di_{D2}}{dt}$$

La valeur moyenne $\Delta_1 U = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\tau} \left(\frac{V_2 - V_1}{2} \right) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\tau} L \frac{di_{D2}}{dt} dt = \frac{L\omega}{2\pi} i$

❖ **La durée (τ) de l'empîement (Cas général)**

$$\tau = \arccos \left[1 - \frac{\sqrt{2}L\omega}{V_{\text{eff}} \sin(m)} i \right], \quad m = \left(\frac{\pi}{q} \right)$$

❖ **Cas général : redresseur quelconque**

La chute de tension par commutation est proportionnelle au courant i , à la réactance $L\omega$ et aussi au nombre q de phases : $\Delta_1 U = \frac{L\omega}{2\pi} qi$

✓ **Chute de tension ohmique**

$$\Delta_2 U = R_s * i_L$$

R_s étant la résistance du transformateur ramenée au secondaire et i_L l'intensité du courant dans un enroulement secondaire.

✓ **Chute de tension due aux diodes**

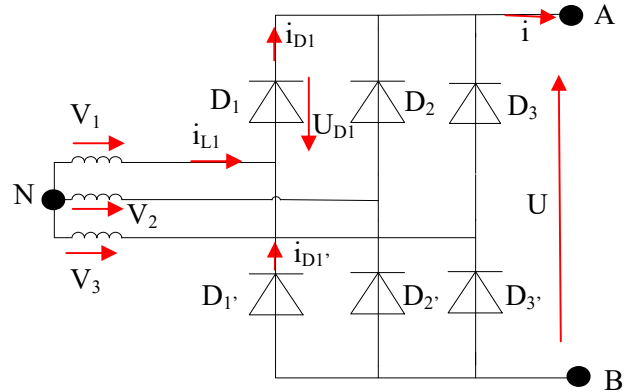
$$\Delta_3 U = V_{\text{seuil}} + R_D * i_D$$

❖ **La durée (τ) de l'empiétement (thyristors)**

$$\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \tau) = \frac{L\omega}{V_m \sin\left(\frac{\pi}{q}\right)} i$$

TD n° 1**Exercice 1**

A. La figure suivante représente le pont redresseur à diodes du variateur de vitesse. Le redresseur est alimenté par un système de tension sinusoïdales, triphasés équilibrés (V_1, V_2, V_3) de valeur efficace $V=220V$ et de pulsation $\omega = 100\pi$. On suppose que les diodes sont idéales.



1. Déterminer les intervalles de conduction des différentes diodes pendant une période.
2. Représenter les tensions $U_{AN}(t)$, $U_{BN}(t)$ et $U_{D1}(t)$.
3. En déduire la forme d'onde de la tension $U(t)$.
4. Trouver l'expression de la tension U_{moy} de $U(t)$.
5. Représenter les intensités $i_{L1}(t)$, $i_{L2}(t)$ et $i_{L3}(t)$ (On suppose que le courant i est parfaitement lissé).
6. Que se passe-t-il si la diode D_3 est détruite, tracer la nouvelle allure de la tension redressée $U(t)$.
7. Trouver l'expression de la nouvelle valeur moyenne de $U(t)$ (AN).

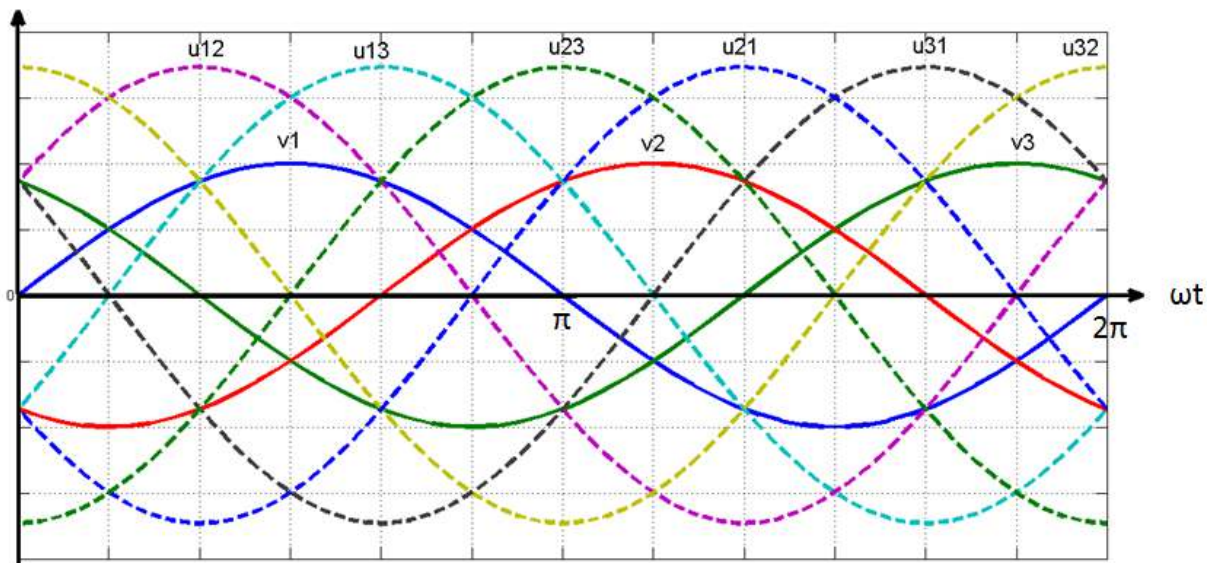
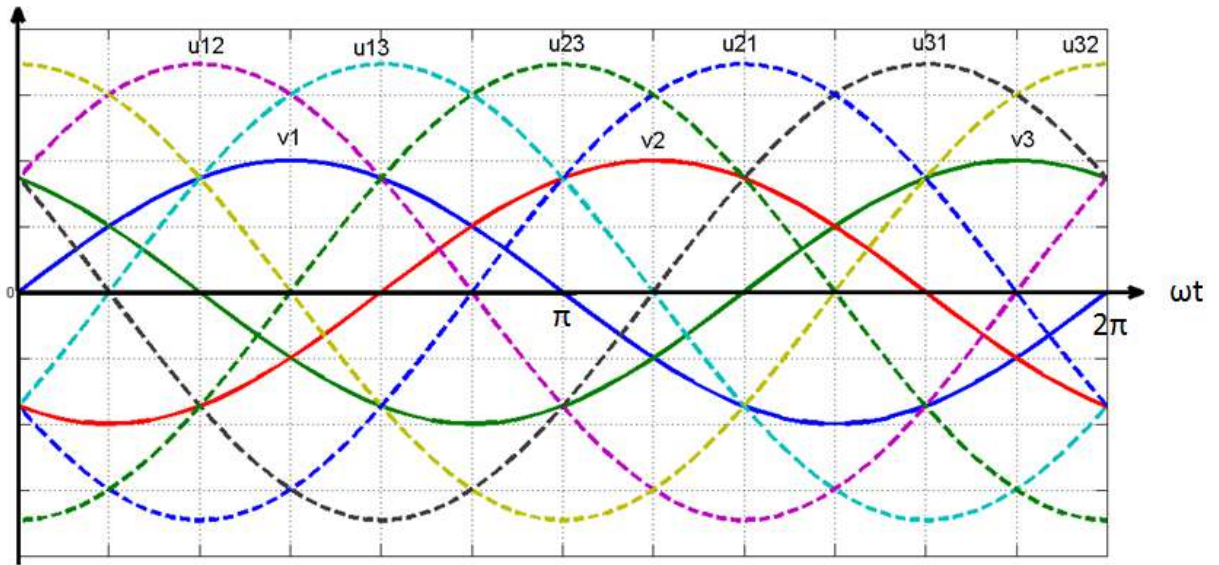
B. Etude du pont redresseur à thyristors : On se propose dans cette partie de remplacer les six diodes par six thyristors $Th_1, Th_2, Th_3, Th'_1, Th'_2$ et Th'_3 supposés parfaits

8. Représentation sur les signaux pour $\alpha = \frac{\pi}{6}$
 - Représenter les tensions : $U_{AN}(t)$ et $U_{BN}(t)$.
 - Déduire la forme de la tension $U(t)$.
 - Trouver l'expression de la tension moyenne U_{moy} (AN).

Exercice 2 :

- 1) Pour un montage redresseur PD3 à diodes, tracer sur un même graphique les allures de :
 - la tension redressée u_d ,
 - la tension aux bornes d'une diode,
- 2) Que deviennent la forme d'onde de la tension redressée u_d dans les cas suivants :
 - si on supprime une diode (par exemple D_1)
 - si on supprime deux diodes réunies à deux bornes secondaires différentes (par exemple D_1 et D_2').
 - si on supprime deux diodes réunies à une même borne secondaire (par exemple D_1 et D_1').

Document réponse



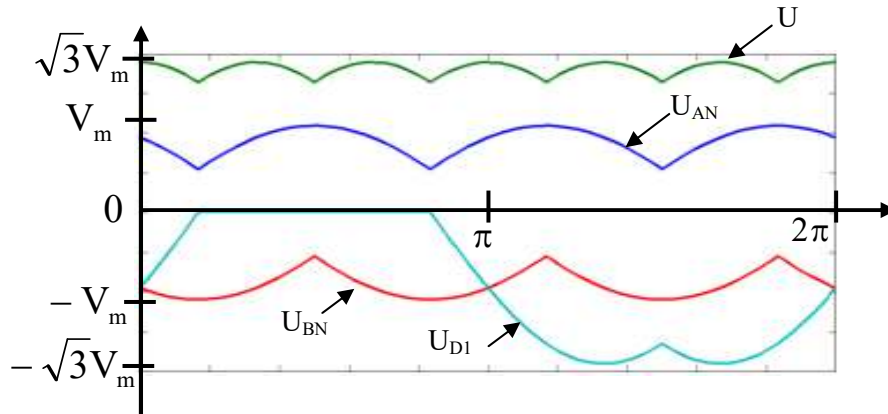
TD 1 corrigé

Corrigé 1

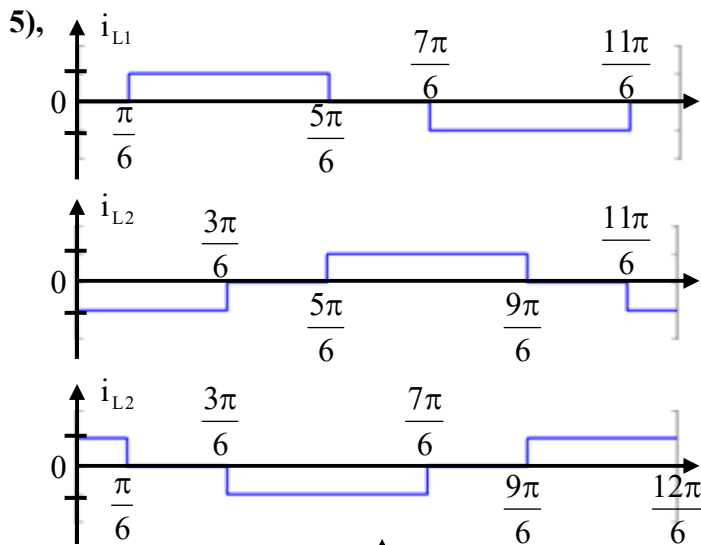
1)

$$D_1: \frac{\pi}{6} \rightarrow \frac{5\pi}{6}, D_2: \frac{5\pi}{6} \rightarrow \frac{9\pi}{6}, D_3: \frac{9\pi}{6} \rightarrow \frac{12\pi}{6} \text{ et } 0 \rightarrow \frac{\pi}{6}, D_1: \frac{7\pi}{6} \rightarrow \frac{11\pi}{6}, D_2: 0 \rightarrow \frac{3\pi}{6} \text{ et } \frac{11\pi}{6} \rightarrow 2\pi, D_3: \frac{3\pi}{6} \rightarrow \frac{7\pi}{6}$$

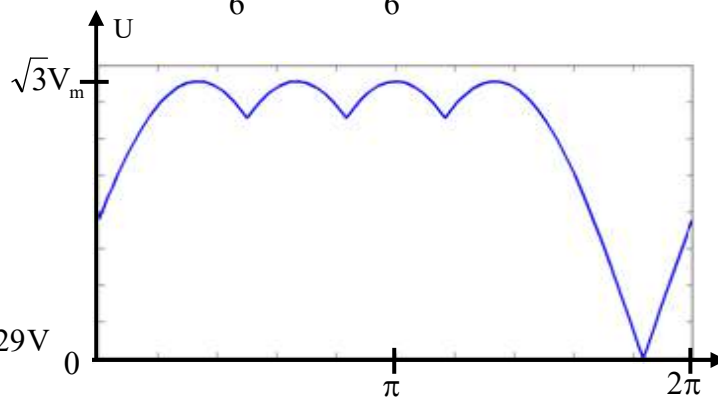
2), 3),



$$4), U_{\text{moy}} = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{6}} (V_1(\theta) - V_2(\theta)) d\theta = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi}$$

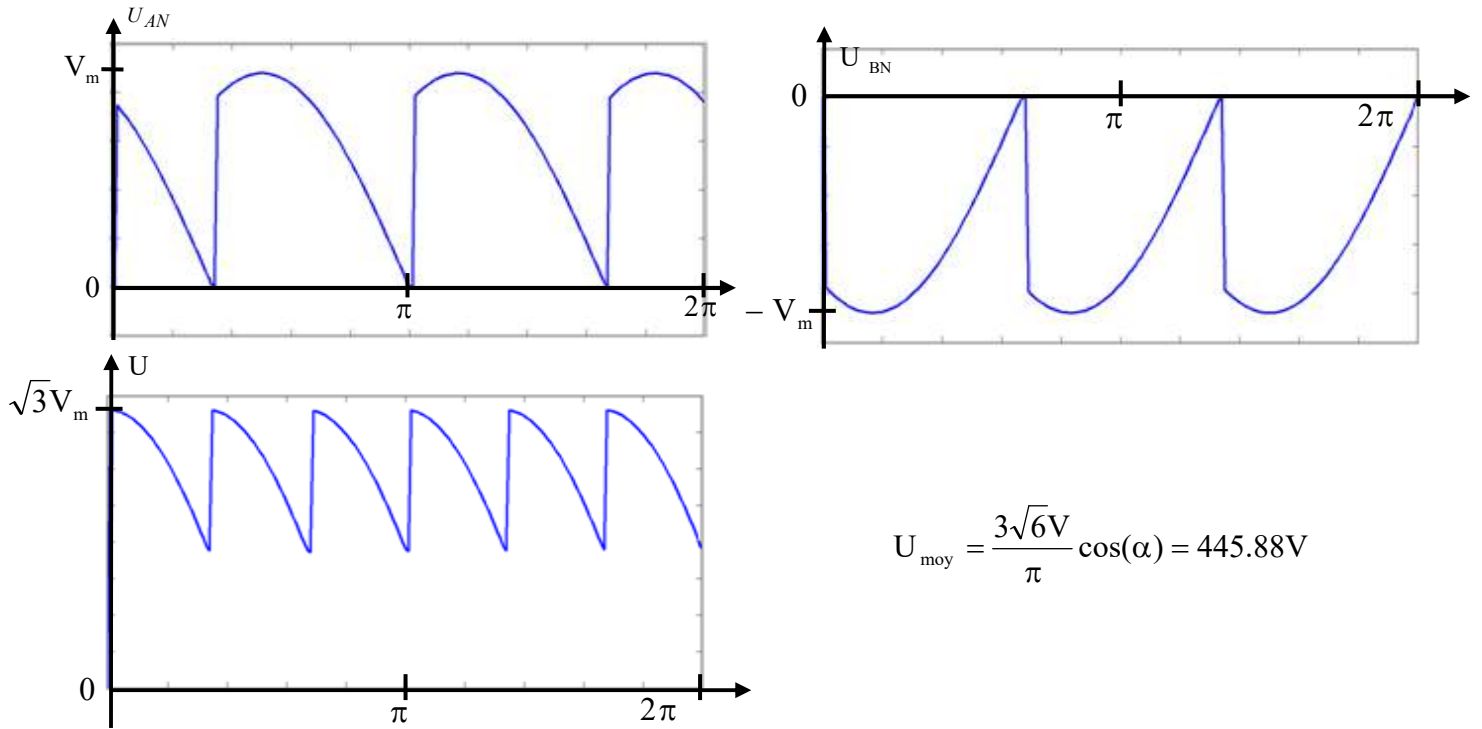


6),



$$7), U_{\text{moy}} = \frac{5\sqrt{6}V}{2\pi} = 429V$$

8),



Corrigé2

