

Étude des redresseurs à diodes (redresseurs non commandés)

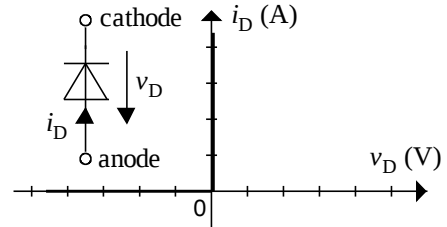
Première partie : généralités

1. Rappels sur les diodes

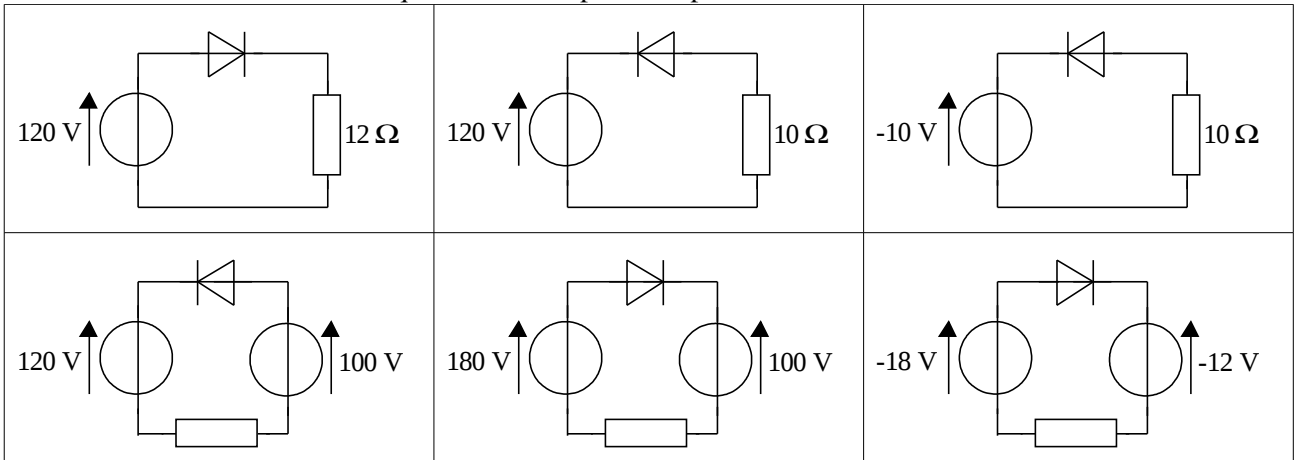
En électronique de puissance, la diode est utilisée comme un interrupteur unidirectionnel non commandé.

Le graphe ci-contre représente la caractéristique d'une diode parfaite (ou idéale).

- lorsque la diode est passante, elle se comporte comme un interrupteur fermé. Quelle est la tension à ses bornes ?
- lorsque la diode est bloquée, elle se comporte comme un interrupteur ouvert. Quelle est l'intensité qui la traverse ?



Dans les situations suivantes indiquer si la diode peut être passante.



2. Fonctionnement des groupements de diodes

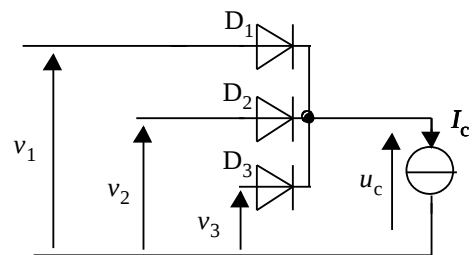
Les diodes utilisées dans les redresseurs non commandés peuvent être connectées de deux manières différentes pour former des groupements. Pour l'établissement des règles de fonctionnement, les diodes sont supposées parfaites.

a. À cathodes communes (ou « plus positif ») : Il s'agit de diodes dont les cathodes sont reliées.

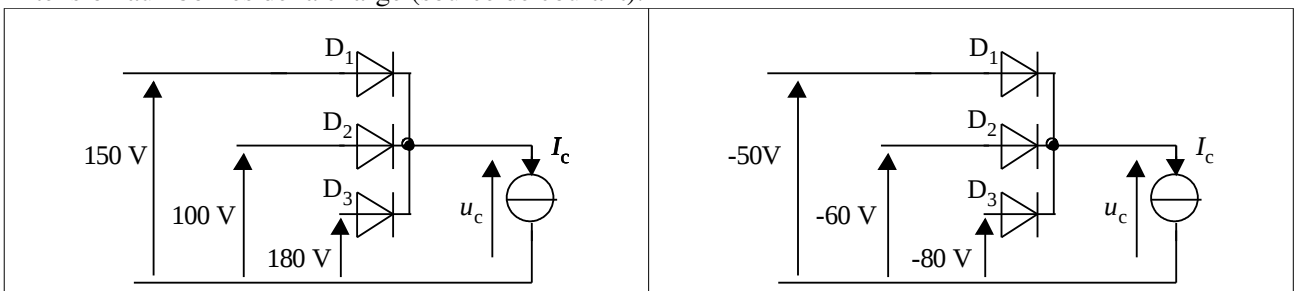
➤ Principe de fonctionnement

Dans le montage ci-contre, la diode D_1 est supposée passante.

- que vaut la tension à ses bornes ?
- que vaut la tension u_c ?
- exprimer la tension aux bornes des autres diodes.
- l'hypothèse est-elle vérifiée si v_1 est la plus grande des tensions ? Si v_1 n'est pas la plus grande des tensions ?



➤ Dans les situations suivantes, indiquer la diode passante, la tension aux bornes des deux autres et la tension aux bornes de la charge (source de courant).

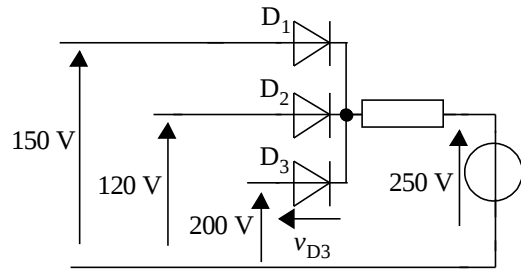


Remarque :

Si le dipôle relié aux cathodes des diodes impose un potentiel supérieur au plus grand des potentiels imposés sur les anodes alors aucune diode ne peut être passante. Cette situation est illustrée ci-dessous.

L'anode de la diode D_3 est connectée au potentiel le plus élevé (200 V). Le potentiel imposé sur sa cathode étant égal à 250 V, $v_{D3} = -50$ V et elle ne peut pas être passante.

Dans cette situation, toutes les diodes sont donc bloquées.

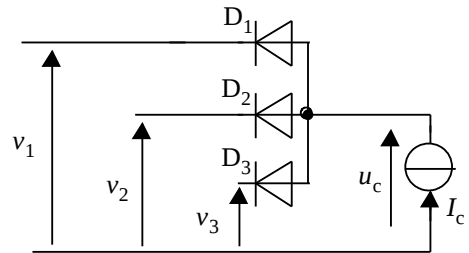


b. À anodes communes (ou « plus négatif ») : Il s'agit de diodes dont les anodes sont reliées.

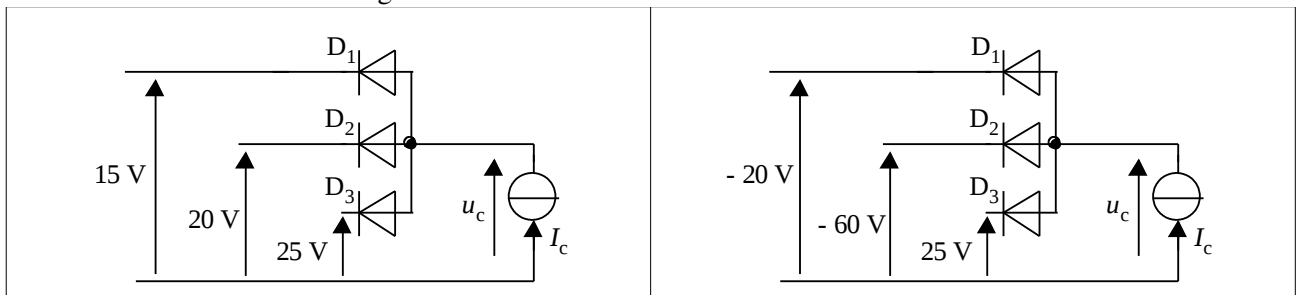
➤ **Principe de fonctionnement**

Dans le montage ci-contre, la diode D_1 est supposée passante.

- que vaut la tension à ses bornes ?
- que vaut la tension u_c ?
- exprimer la tension aux bornes des autres diodes.
- l'hypothèse est-elle vérifiée si v_1 est la plus petite des tensions ? Si v_1 n'est pas la plus petite des tensions ?



➤ **Dans les situations suivantes**, indiquer la diode passante, la tension aux bornes des deux autres et la tension aux bornes de la charge.



3. Plan d'étude des montages redresseurs

Les diodes sont supposées idéales. Les résistances (transformateur, connexions) sont négligées. Dans un premier temps, l'intensité côté continu est supposée parfaitement lissée.

➤ **Détermination des intervalles de conduction des diodes** : à établir à partir des règles de fonctionnement des groupements de diodes.

➤ **Étude des tensions**

- Tracé de la tension redressée en fonction du temps.
 - Tracé de la tension aux bornes d'une diode en fonction du temps (non exigible à l'examen).
- Ces courbes sont établies à partir des intervalles de conduction et de la loi des mailles.

La fréquence de l'ondulation de la tension redressée est un critère de choix du type de redresseur. Plus elle est élevée, plus le filtrage est aisé.

- Détermination de l'expression de la valeur moyenne de la tension redressée en fonction de la valeur efficace de l'une des grandeurs d'entrée (tension simple ou efficace).
- Détermination de la valeur maximale de la tension aux bornes d'une diode. Cette valeur est un critère de choix d'une diode.

➤ **Étude des intensités**

- Tracé de l'intensité dans une diode en fonction du temps. Cette courbe est obtenue à partir des intervalles de conduction. *Calcul des valeurs moyenne et efficace. Ces valeurs sont des critères de choix d'une diode.*

- Tracé de l'intensité dans un secondaire de transformateur ou dans un fil de ligne en fonction du temps (cela dépend de la présence d'un transformateur). Cette courbe est tracée à partir des intervalles de conduction et de la loi des nœuds.

Expression du facteur de puissance secondaire. À établir à partir de la définition du facteur de puissance et de l'hypothèse de composants parfaits (rendement du redresseur égal à un).

Méthode de détermination du facteur de puissance

La puissance active en entrée du redresseur est notée P , la puissance apparente S . Le facteur de puissance s'écrit alors $k = \frac{P}{S}$.

En supposant que le rendement du redresseur est égal à un, la puissance côté continu est aussi égale à P . Puisque le courant côté continu est parfaitement lissé alors $P = \bar{u}_c \cdot I_c$ avec \bar{u}_c la valeur moyenne de la tension redressée et I_c l'intensité du courant continu.

La puissance apparente est obtenue en multipliant par le nombre de phases le produit des valeurs efficaces de la tension et de l'intensité pour une phase en entrée du redresseur.

Le facteur de puissance secondaire est un critère de choix du type de redresseur.

- Tracé de l'intensité dans un primaire de transformateur en fonction du temps (cela dépend de la présence d'un transformateur). Cette courbe est tracée à partir de l'intensité des courants dans un secondaire et de la « loi de compensation des ampères tours ».
- Expression du facteur de puissance primaire. Le facteur de puissance primaire est un critère de choix du type de redresseur.

Loi de compensation des ampères tours

Elle découle de l'étude des transformateurs (voir le cours les concernant). On considère une colonne de transformateur sur laquelle sont bobinés un enroulement primaire et deux enroulements secondaires.

Les nombres de spires sont notés n_1 et n_2 , les courants dans chaque enroulement sont repérés sur le schéma ci-contre.

Les composantes continues des forces magnétomotrices ne peuvent pas se transmettre du primaire au secondaire ou du secondaire au primaire. La loi de compensation des ampères tours permet d'écrire la relation entre les composantes alternatives (ou ondulation) des A.t au secondaire et au primaire soit :

$$(n_1 i_1)_{\text{ond}} = (n_2 i_{21} + n_2 i_{22})_{\text{ond}}$$

- Tracé de l'intensité dans une ligne d'alimentation (s'il est différent de celui dans un primaire de transformateur) en fonction du temps. Cette courbe est tracée à partir de l'intensité des courants dans un primaire et la loi des nœuds.
- Expression du facteur de puissance en ligne. *Le facteur de puissance en ligne est un critère de choix du type de redresseur.*

➤ Étude de l'influence de la charge

Le courant côté continu n'est pas toujours parfaitement lissé et peut même être interrompu. Le fonctionnement du redresseur est alors sensiblement différent de l'étude précédente.

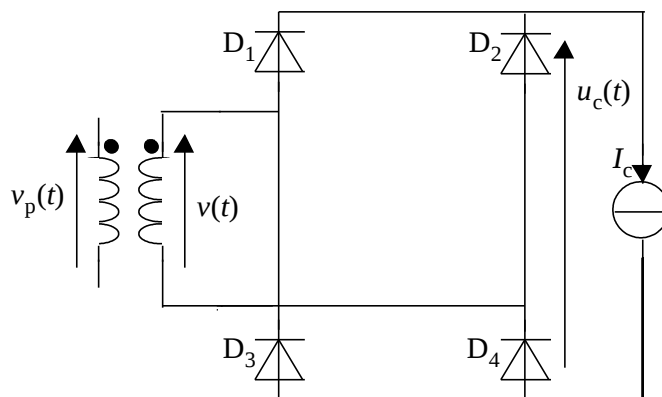
Deuxième partie : étude des redresseurs à commutation parallèle double (PD2 et PD3)

Le schéma de chaque redresseur est donné à la page suivante. Pour les deux montages :

- indiquer les intervalles de conduction des diodes,
- représenter la tension redressée et vérifier que les valeurs moyennes sont cohérentes avec les relations $\bar{u}_c = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi}$ pour un PD2 et $\bar{u}_c = \frac{3V\sqrt{2}\sqrt{3}}{\pi}$ pour un PD3 (V est la valeur efficace des tensions aux bornes des enroulements secondaires des transformateurs),
- représenter le courant dans une diode, écrire les expressions littérales des valeurs moyennes et efficaces. Représenter le courant dans un enroulement secondaire de transformateur, écrire les expressions littérales des valeurs efficaces puis le facteur de puissance,
- Représenter le courant dans un enroulement primaire de transformateur.

➤ Montage PD2

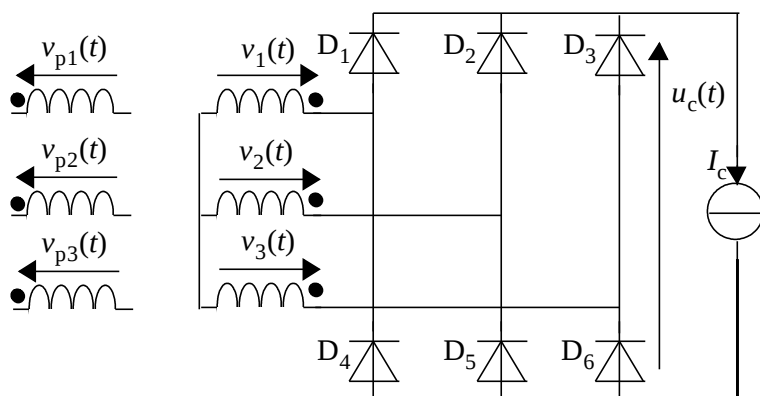
Les enroulements primaire et secondaire sont bobinés sur la même colonne de transformateur. Les nombres de spires au primaire et au secondaire sont notés n_1 et n_2 .



➤ Montage PD3

Les tensions $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $v_3(t)$ forment un système triphasé équilibré direct.

Les enroulements primaire et secondaire placés sur la même horizontale sont bobinés sur la même colonne de transformateur. Les nombres de spires au primaire et au secondaire sont notés n_1 et n_2 .



Remarque : le primaire du transformateur peut être couplé en étoile ou en triangle.

Des feuilles « documents réponses » sont disponibles pour déterminer les intervalles de conduction et tracer les tensions redressées ainsi que les tensions aux bornes des diodes.

Exercices

Exercice 1 : calcul d'un redresseur PD3 non commandé

Les questions 1 à 3 reprennent l'étude « classique » d'un pont redresseur à diodes, la question 4 concerne le calcul de la bobine de lissage.

On suppose dans un premier temps que le courant côté continu est parfaitement lissé. On utilise les mêmes notations que dans le cours pour les diodes, les tensions et intensités alternatives et redressées.

1. Représenter sur le document réponse de la page suivante les intervalles de conduction des diodes ainsi que la tension redressée $u_c(t)$.

2. On note V_1 la valeur efficace d'une tension simple du réseau alimentant le redresseur (fréquence 50 Hz).

a. Déterminer V_1 pour que la valeur moyenne de $u_c(t)$ soit égale à 450 V. On rappelle que la valeur moyenne de la tension redressée s'écrit : $\bar{u}_c = \frac{3U_1\sqrt{2}}{\pi}$ avec U_1 la valeur efficace d'une tension composée alimentant le redresseur.

b. Calculer la valeur moyenne du courant côté continu si la charge est constituée d'une résistance R de 4,8 Ω en série avec une bobine de résistance négligeable et d'inductance L suffisante pour que le courant soit parfaitement lissé.

3. Représenter le courant dans un enroulement secondaire en fonction du temps et calculer sa valeur efficace. En déduire le facteur de puissance.

En réalité, le courant côté continu n'est parfaitement lissé. Le développement en série de Fourier de $u_c(t)$ limité aux premiers termes est le suivant : $u_c(t) = \frac{3 V_1 \sqrt{2} \sqrt{3}}{\pi} \left(1 + \frac{2}{35} \cos 6 \omega t - \frac{2}{143} \cos 12 \omega t + \dots \right)$

Cette tension aux bornes d'un circuit R, L (constituant la charge) donne naissance à un courant dont les premiers termes sont $i_c(t) = I_0 + i_1(t) + i_2(t) + \dots$

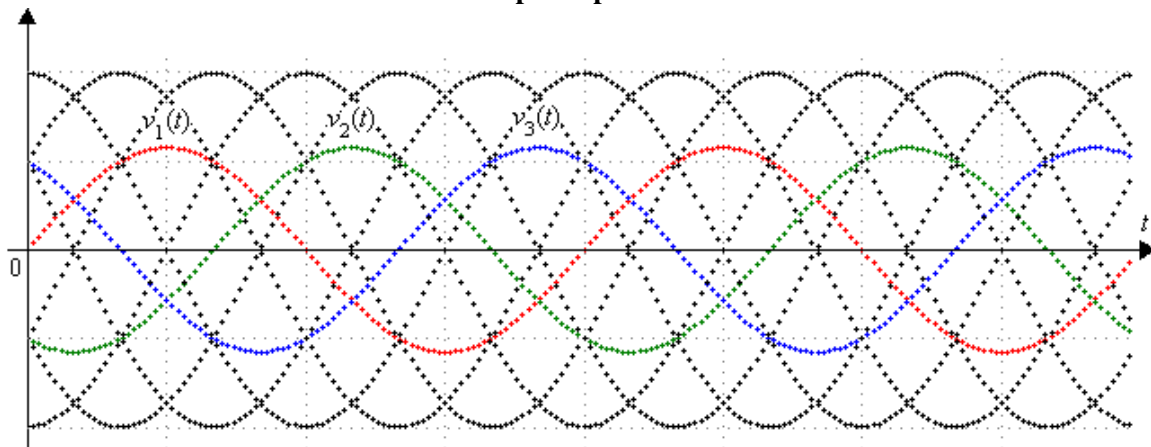
On suppose que le théorème de superposition est applicable.

4.a. Quelle est la fréquence du fondamental de $i_c(t)$?

b. Exprimer la relation entre les nombres complexes associés aux fondamentaux de $u_c(t)$ et $i_c(t)$, la fréquence du fondamental, l'inductance L et la résistance R .

c. Calculer la valeur de L qui permet d'obtenir une amplitude du fondamental de l'ondulation égal à 10% de I_0 puis à 3% de I_0 .

Document réponse pour l'exercice 1



D₁ _____
 D₂ _____
 D₃ _____
 D₄ _____
 D₅ _____
 D₆ _____

Courant dans un enroulement secondaire



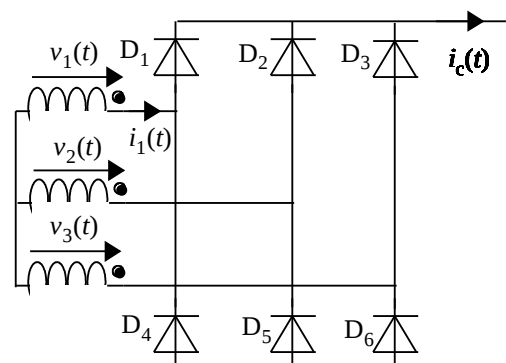
Exercice 2 : étude d'un redresseur PD3

La première partie est l'étude « classique » d'un pont redresseur à diodes (sauf la question 2.b), la deuxième partie concerne l'influence de la bobine de lissage. Elles sont indépendantes.

Le pont représenté ci-contre est alimenté par un système triphasé équilibré direct de fréquence 50 Hz dont les tensions simples ont une valeur efficace de 127 V.

Première partie

Le courant redressé est supposé parfaitement lissé, tous les éléments composant le montage sont supposés parfaits.



1. Indiquer sur le document réponse de la page 8 les intervalles de conduction des diodes.
- 2.a. Représenter sur le document réponse le chronogramme de la tension redressée.
- b. Démontrer la formule donnant la valeur moyenne de la tension redressée en fonction de la valeur efficace des tensions composées du réseau alternatif puis faire l'application numérique (partie compliquée).
- c. Représenter sur le document réponse la tension aux bornes de la diode D_2 . A quelle valeur doit être égale la tension inverse maximale des diodes utilisées ? (partie compliquée)
- 3.a. Représenter les courants dans D_1 et D_4 sur le document réponse. Calculer les valeurs moyenne et efficace de ces courants.
- b. Représenter le courant $i_1(t)$ sur le document réponse. Calculer ses valeurs moyenne et efficace.
- c. Calculer le facteur de puissance de la ligne d'alimentation

Deuxième partie

Le courant $i_c(t)$ n'est plus parfaitement lissé, la charge est constituée d'une résistance R en série avec une inductance L .

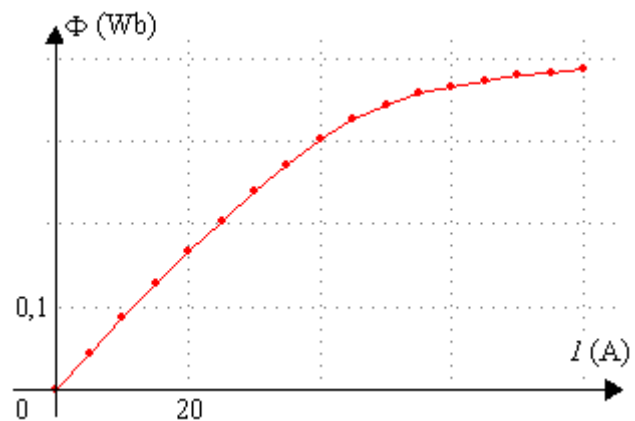
On donne la décomposition de Fourier limitée aux deux premiers termes : $u_c(t) = \bar{u}_c + U_1 \sqrt{2} \cos \omega_1 t$ avec U_1 la pulsation de la tension redressée. On prendra 300 V pour la valeur moyenne de la tension redressée et 17,1 V pour la valeur efficace du fondamental.

1.a. Représenter le schéma équivalent de la charge pour la valeur moyenne (continu).

b. Représenter le schéma équivalent de la charge pour le fondamental.

2. Calculer la valeur de R si l'intensité moyenne du courant est égale à 48 A.

3. La bobine utilisée est à noyau de fer, l'évolution du flux Φ en fonction du courant I qui la traverse est représentée ci-contre.



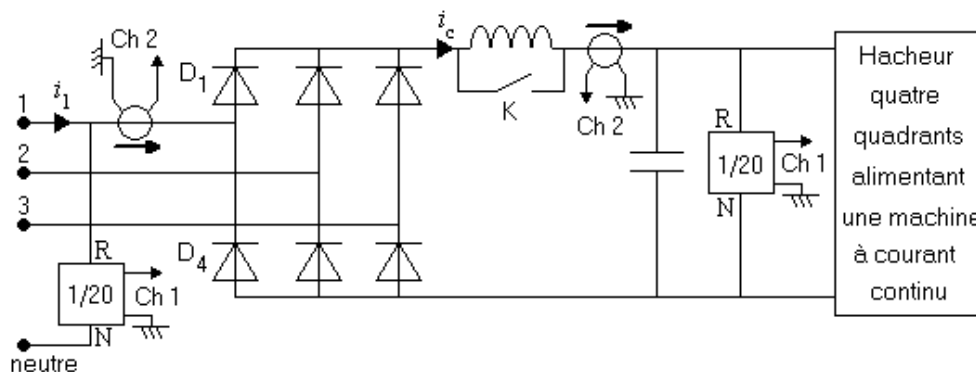
a. Calculer la valeur de $L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$ correspondant à 48 A.

b. Écrire U_1 en fonction de L , ω_1 , R et I_1 (intensité efficace du fondamental du courant) puis calculer I_1 .

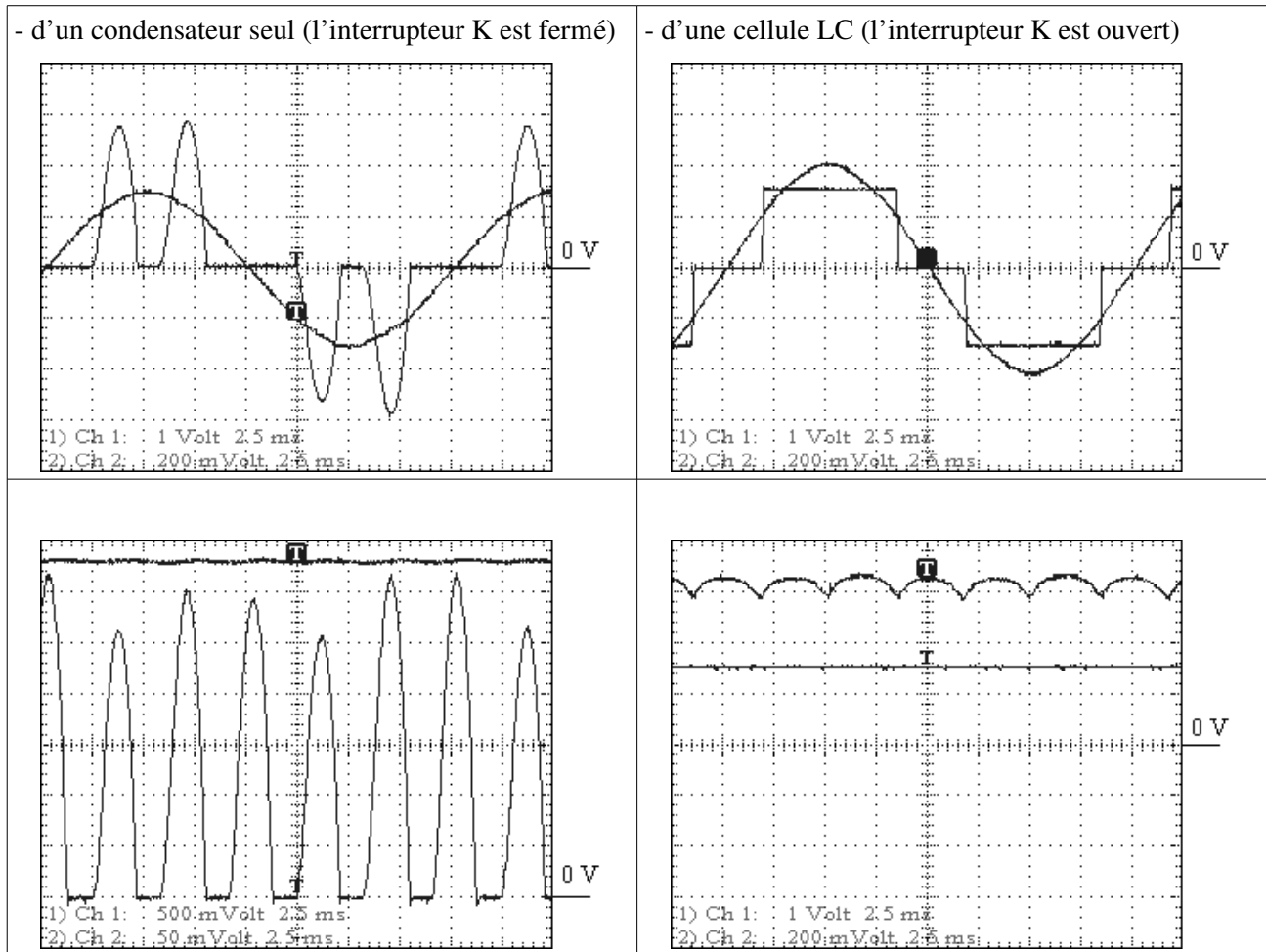
Exercice 3 : redresseur PD3, fonctionnement en conduction discontinue.

Dans les cas étudiés précédemment, le courant côté continu est supposé parfaitement lissé ou le lissage est assuré par une bobine, la conduction est alors ininterrompue. Dans de nombreuses applications, le filtrage de la tension de sortie d'un redresseur triphasé est assuré par un condensateur et la conduction est alors interrompue. L'étude suivante propose de comparer ces deux types de fonctionnement sur un même dispositif.

Le schéma, indiquant les positions des appareils de mesure, est le suivant :

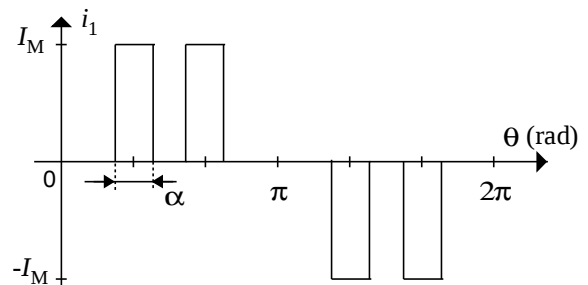


Le redresseur PD3 à diodes alimente le hacheur quatre quadrants par l'intermédiaire d'un filtre constitué :



1. Indiquer pour chaque cas les intervalles de conduction des diodes D_1 et D_4 (oscillogrammes du haut).

2. Pour simplifier les calculs, le courant $i_1(t)$ dans le cas de la conduction discontinue est approché par la courbe ci-contre :



a. En déduire la représentation approchée de $i_c(t)$.

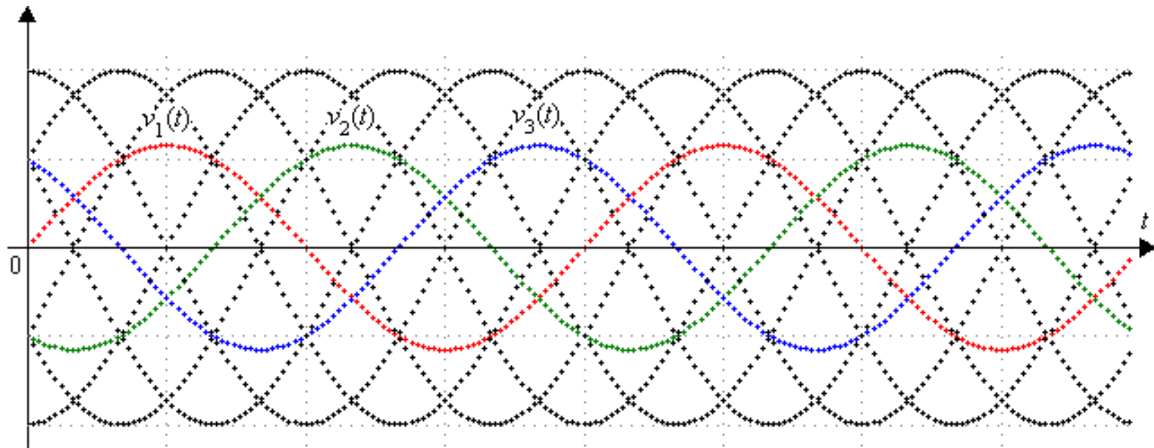
b. Exprimer la valeur efficace de $i_1(t)$ en fonction de α .

c. Représenter $i_c(t)$ et exprimer sa valeur moyenne en fonction de α et de I_M .

3.a. Tracer la courbe donnant l'évolution du facteur de puissance dans le cas de la conduction discontinue (pour le calcul, on suppose que la tension redressée est parfaitement continue et égale à la valeur maximale des tensions composées du réseau d'alimentation).

b. Comparer le résultat obtenu précédemment avec celui obtenu si le courant est supposé parfaitement lissé.

Document réponse pour l'exercice 2



- D₁ _____
- D₂ _____
- D₃ _____
- D₄ _____
- D₅ _____
- D₆ _____

