

Redresseur PD2 sur différents types de charges

- Redresseur sur charge résistive
- Redresseur sur charge inductive
- Redresseur sur charge capacitive
- Redresseur à sortie filtrée
- Redresseur sur charge active

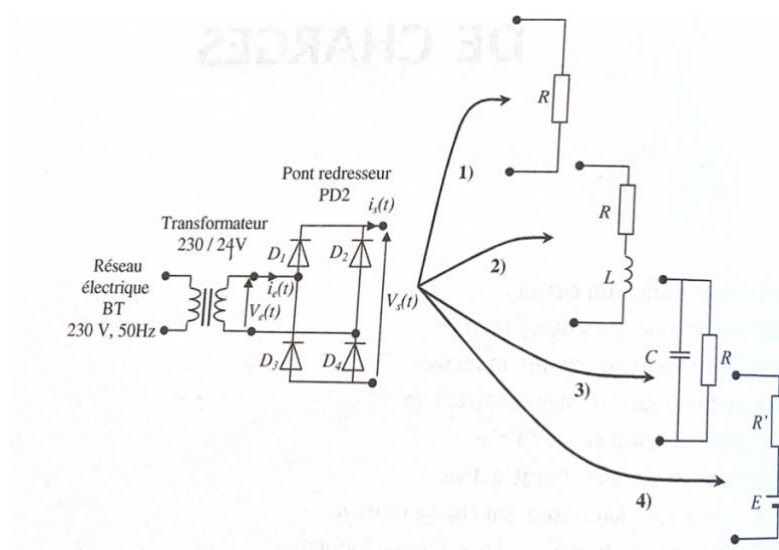
On s'intéresse dans cette étude de cas à un circuit très commun, faisant partie de l'alimentation d'un grand nombre d'appareils, à savoir un redresseur monophasé de type PD2.

L'objectif de l'étude réside dans l'analyse du fonctionnement du circuit sur plusieurs types de charges (résistance, résistance et condensateur, résistance et inductance, batterie d'accumulateurs, etc.) et des propriétés particulières de tension et d'ondulations que chacune fait apparaître.

PRESENTATION DU CIRCUIT

L'intégralité du problème exposé repose sur la structure de redressement monophasé appelée « pont PD2 » représenté sur la figure ci-dessous. La tension d'entrée du montage est issue d'un transformateur monophasé 230/24 V supposé idéal et la charge est successivement considérée comme une simple résistance, une association série résistance-inductance, une association parallèle résistance-condensateur, puis une batterie d'accumulateur en série avec une résistance de limitation de courant.

Le problème consiste en l'étude systématique de chaque type de charge à travers les calculs des valeurs moyennes, des ondulations, du rendement et du facteur de puissance vu du réseau.



I. REDRESSEUR SUR CHARGE RÉGISITIVE

Premier circuit étudié est un circuit avec une charge résistive avec $R = 20 \Omega$. On considère les diodes comme idéales (aucune tension à l'état passant ni résistance dynamique) ainsi que le transformateur qui produit la tension d'entrée sinusoïdale du montage : $V_e(t)$ de valeur efficace $V = 24 \text{ V}$, de pulsation $\omega = 2\pi f$ avec $f = 50 \text{ Hz}$, la fréquence du réseau.

1. Écrire l'expression temporelle de la tension $V_e(t)$ (supposée référence de phase) et la représenter sur un chronogramme.
2. Représenter alors, dans l'hypothèse des diodes idéales, les allures du courant $i_s(t)$ et de la tension $V_s(t)$ sur un deuxième chronogramme.
3. En déduire l'allure du courant $i_e(t)$ à reporter sur le premier graphe.
4. Calculer alors analytiquement l'expression littérale et la valeur de la tension et du courant moyens en sortie : $\langle V_s \rangle$ et $\langle i_s \rangle$.
5. En déduire l'expression et la valeur du facteur d'ondulation associé à cette tension :

$$F_d = \frac{\Delta V_s}{2 \langle V_s \rangle}$$

6. Préciser la valeur du facteur de puissance de ce circuit (vu de la sortie du transformateur).
7. Tracer les nouvelles formes d'ondes de la tension et du courant de sortie.
On considère à présent que **les diodes ne sont plus idéales**. Étant donné la valeur du courant passant dans la charge, on supposera qu'elles sont principalement modélisées par leur tension maximale à l'état passant : $V_f = 0,9 \text{ V}$.
8. Préciser par calcul les nouvelles valeurs moyennes réellement obtenues. Commenter ces valeurs et proposer une méthode simple permettant d'approximer la chute de tension.
9. Calculer les pertes par conduction associées à chacune des quatre diodes et en déduire le rendement du pont redresseur (on considérera que chaque diode conduit durant une demi-période entière).
10. Commenter l'ensemble de ces résultats et énoncer les avantages et inconvénients de ce type de montage.

II. REDRESSEUR SUR CHARGE INDUCTIVE

On s'intéresse à présent au fonctionnement du même redresseur mais débitant sur une charge constituée par la mise en série de la résistance $R = 20 \Omega$ et d'une inductance supposée idéale (résistance série très faible ou assimilée à la résistance R) de valeur : $L = 100 \text{ mH}$. **Les diodes seront à nouveau considérées comme idéales.**

11. Calculer tout d'abord l'expression du courant moyen qui circule dans la charge, $\langle i_s \rangle$ en fonction de $\langle V_s \rangle$ et de R .

12. De façon préalable, en sachant que l'inductance contribue à « lisser » le courant autour de sa valeur moyenne, tracer les allures des évolutions de la tension $V_s(t)$ et du courant $i_s(t)$.

13. Calculer alors la valeur du courant moyen : $\langle i_s \rangle$.

14. En réalité, il est possible de calculer analytiquement les évolutions du courant $i_s(t)$. Pour cela, écrire l'équation de maille qui relie la tension $V_s(t)$ à ce courant et aux composants en présence.

Résoudre cette équation différentielle, en supposant le régime périodique établi, sur un intervalle de temps correspondant à une demi-période du réseau (on mènera la résolution lors de la conduction des diodes $D1$ et $D4$).

Préciser ainsi l'équation complète du courant sur cette demi-période et représenter alors l'allure précise de $i_s(t)$ sur un chronogramme (on pourra s'aider de la connaissance la valeur moyenne du courant pour identifier les constantes dans l'équation).

15. Relever la véritable valeur de l'ondulation du courant de sortie du montage et la comparer à celle donnée par la formule approchée :

$$\Delta i_s \approx \frac{\Delta V_s}{\sqrt{R^2 + (2L\omega)^2}}$$

Conclure.

16. Quelle est alors l'utilité de l'inductance dans un tel montage ?

17. Représenter enfin l'allure du courant $i_s(t)$ dans l'hypothèse d'une ondulation négligeable du courant de sortie et en déduire l'ordre de grandeur du facteur de puissance de ce dispositif.

III. REDRESSEUR SUR CHARGE CAPACITIVE

La charge particulière étudiée dans cette partie correspond à la mise en parallèle de la résistance $R = 20 \Omega$ et d'un condensateur supposé idéal de valeur : $C = 1000 \mu\text{F}$. Dans cette partie, les diodes seront considérées comme idéales et on amorce cette étude en prenant comme point de départ de la réflexion le passage de la tension secteur au maximum de sa valeur. À cet instant, le condensateur est également chargé à sa valeur maximale.

- 18.** Calculer tout d'abord la valeur de la constante de temps associée à l'association parallèle du condensateur et de la résistance.
- 19.** La décharge du condensateur dans la résistance R est-elle « rapide » ou « lente » par rapport à la période de la tension secteur ? Qu'en déduire sur l'allure de la tension $V_s(t)$?
- 20.** Calculer l'équation de décroissance de la tension du condensateur à partir du maximum de la tension secteur (on placera, pour simplifier l'étude, le temps $t = 0$ au maximum de la première alternance de la tension secteur).
- 21.** Représenter alors sur un chronogramme l'allure précise de la tension $V_s(t)$ sur une période complète d'évolution.
- 22.** En déduire la valeur de l'ondulation de tension correspondante et la comparer à la valeur donnée par l'expression approchée du cours :
$$\Delta V_s \approx \frac{V\sqrt{2}}{2fRC}$$
- 23.** Calculer la valeur du condensateur $C_{5\%}$ permettant d'obtenir une ondulation (approchée) de l'ordre de 5% de la tension de sortie moyenne. Commenter ce résultat.
- 24.** Représenter l'allure (sans calcul) du courant $i_e(t)$ et indiquer si le facteur de puissance de ce type de redresseur s'avère plutôt bon ou mauvais.

IV. REDRESSEUR À SORTIE FILTRÉE

Il est en réalité possible de combiner les deux montages précédents de manière à faire apparaître un filtrage de la tension de sortie par une cellule L-C.

- 25.** Représenter le montage complet correspondant sachant que le filtre doit être compatible avec une entrée de type « source de tension » et une sortie présentant également ce comportement.

26. Calculer, d'après la formule du cours, la capacité du condensateur permettant d'obtenir une ondulation résiduelle de la tension de sortie de l'ordre de 5 % de la valeur moyenne, en utilisant la même inductance $L = 100 \text{ mH}$ que précédemment.

27. Discuter également de l'allure du courant d'entrée dans l'hypothèse d'un filtrage idéal. Donner alors la valeur attendue du facteur de puissance.

28. Commenter tous les résultats précédents.

V. REDRESSEUR SUR CHARGE ACTIVE

Le dernier type de charge appliqué à ce redresseur consiste en l'association série d'une batterie d'accumulateur de tension $E = 24 \text{ V}$ et d'une faible résistance $R' = 5 \Omega$, cette dernière étant ajoutée de manière à limiter les appels de courant de la batterie. Une telle configuration, à la différence près qu'elle a lieu sortie d'un redresseur triphasé, est généralement rencontrée dans la recharge des batteries de voitures, de camions, etc. Dans toute cette partie, on considère les diodes comme non idéales et simplement ramenées à la tension maximale à l'état passant : $V_f = 1,3 \text{ V}$.

29. Préciser quelle valeur de tension doit dépasser la tension secteur de manière à ce que les diodes D1 et D4 soient passantes. Préciser alors le temps t_1 , correspondant au dépassement de cette tension par la première alternance du secteur dont l'écriture sera à nouveau : $V_s(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$.

30. Quelle est l'expression de la tension $V_s(t)$ lorsque toutes les diodes sont bloquées ? Que deviennent cette expression que celle du courant $i_s(t)$ lorsque D1, et D4 sont passantes ?

31. Représenter alors l'allure précise de la tension $V_s(t)$ et du courant $i_s(t)$ sur un chronogramme.

32. Calculer la valeur moyenne du courant injecté dans la batterie : $\langle i_s \rangle$ et en déduire l'expression du temps (en heures) de charge nécessaire à la recharge complète d'un accumulateur de charge Q (en Ampère heure : Ah).

33. Calculer également l'expression de l'ondulation de courant et commenter ces derniers résultats.