

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

SYNTHÈSE

---

## Power electronics ELEC-H-312

---

*Auteur :*  
Enes ULUSOY

*Professeur :*  
Johan GYSELINK

Année 2015 - 2016

# Appel à contribution

## Synthèse Open Source



Ce document est grandement inspiré de l'excellent cours donné par Johan Gyselink à l'EPB (École Polytechnique de Bruxelles), faculté de l'ULB (Université Libre de Bruxelles). Il est écrit par les auteurs susnommés avec l'aide de tous les autres étudiants et votre aide est la bienvenue ! En effet, il y a toujours moyen de l'améliorer

surtout que si le cours change, la synthèse doit être changée en conséquence. On peut retrouver le code source à l'adresse suivante

<https://github.com/nenglebert/Syntheses>

Pour contribuer à cette synthèse, il vous suffira de créer un compte sur *Github.com*. De légères modifications (petites coquilles, orthographe, ...) peuvent directement être faites sur le site ! Vous avez vu une petite faute ? Si oui, la corriger de cette façon ne prendra que quelques secondes, une bonne raison de le faire !

Pour de plus longues modifications, il est intéressant de disposer des fichiers : il vous faudra pour cela installer  $\text{\LaTeX}$ , mais aussi *git*. Si cela pose problème, nous sommes évidemment ouverts à des contributeurs envoyant leur changement par mail ou n'importe quel autre moyen.

Le lien donné ci-dessus contient aussi le README contient de plus amples informations, vous êtes invités à le lire si vous voulez faire avancer ce projet !

## Licence Creative Commons

Le contenu de ce document est sous la licence Creative Commons : *Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)*. Celle-ci vous autorise à l'exploiter pleinement, compte- tenu de trois choses :



1. *Attribution* ; si vous utilisez/modifiez ce document vous devez signaler le(s) nom(s) de(s) auteur(s).
2. *Non Commercial* ; interdiction de tirer un profit commercial de l'œuvre sans autorisation de l'auteur
3. *Share alike* ; partage de l'œuvre, avec obligation de rediffuser selon la même licence ou une licence similaire

Si vous voulez en savoir plus sur cette licence :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

**Merci !**

# Table des matières



## Chapitre 2

# Redresseur à diodes

Ils sont simples, bon marché et ne nécessitent aucun réglage, délivrent une tension continue essentiellement constante sur base d'une tension alternative. Il existe deux catégories de charges à alimenter, celles pour lesquelles il faut délivrer une tension continue lisse et celle pour lesquelles il faut limiter la déformation du signal. Les équipements électroniques appartiennent à la 1ère catégorie, c'est pourquoi on retrouve un condensateur connecté entre les bornes de sortie qui permet de lisser le signal redressé. Les machines à courant continu, charges dites *RLE*, appartiennent à la 2ème catégorie, nécessite un redresseur à thyristors (**commandable**) puisque celui à diode est **non-commandable**. La liste des symboles utilisés est reprise ci-dessous.

symbole	unité	nom	name
$V_{D,on}$	V	tension de seuil (d'une diode)	threshold voltage
$R_{D,on}$	$\Omega$	résistance en conduction (d'une diode)	on-resistance
$V_{ac}^0$	V	tension à vide (valeur rms) de la source de tension monophasée	noload voltage of single-phase voltage source
$U_{ac}^0$	V	tension à vide phase-phase (valeur rms) de la source de tension triphasée	noload phase-to-phase voltage (of three-phase voltage source)
$L_{ac}$	H	inductance totale côté AC (par phase en triphasé)	total AC inductance
$T_{com}, \theta_{com}$	s, rad	durée de la commutation entre phases	phase-commutation time or angle
$\Delta V_{com}$	V	réduction de tension moyenne due à la commutation entre phases	average-voltage decrease due to commutation
$\Delta V_{dc,pp}$	V	ondulation crête à crête de la tension de sortie	peak-to-peak ripple of the output voltage
$V_{dc}^0$	V	tension à vide de la source de tension DC équivalente	noload voltage of the equivalent DC voltage source
$R_{i,dc}$	$\Omega$	résistance interne de la source de tension DC équivalente	internal resistance of the equivalent DC voltage source
$T_c, \theta_c$	s, rad	durée d'un intervalle de conduction	conduction time or angle interval
$T_{nc}, \theta_{nc}$	s, rad	durée d'un intervalle de non-conduction	non-conduction time or angle interval

Tableau 2.1 – Liste des symboles.

## 2.1 Caractéristique des diodes

La figure ci-dessous reprend la représentation réelle à idéalisée de la diode. Elle est **conductrice** ou passante pour  $v_D = v_{AK}$  lorsque la tension entre l'anode  $A$  et la cathode  $K$  est positive. La tension dépend alors peu du courant  $i_D$ .

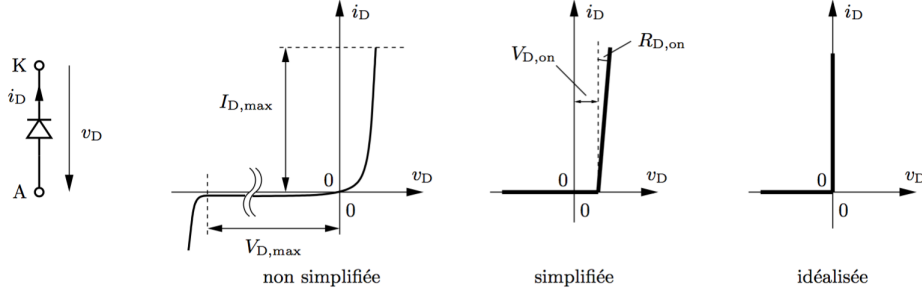


FIGURE 2.1 – Modélisation d'une diode.

Le courant maximum qu'elle peut supporter, noté  $i_{D,max}$  dépend de sa construction, sa taille et du radiateur, refroidisseur sur lequel elle est montée et peut atteindre plusieurs  $kA$  pour celles sur le commerce. Pour les diodes de puissance, le transfert de chaleur vers le radiateur est essentiel. De plus elles ont une faible **inertie thermique** vu leur taille. Pour le modèle simplifié on a en conduction :

$$v_D = v_{D,on} + R_{D,on}i_D \quad (2.1)$$

où  $v_{D,on}$  est appelé **tension de seuil** et est de l'ordre du volt. Sauf pour les basses tensions (dizaine de volts ou moins), on négligera cette tension  $v_D$  car elle influence peu les caractéristiques macroscopique des convertisseurs. On n'oubliera cependant pas qu'il existe une **perte de conduction** instantanée  $P_D(t) = v_D(t)i_D(t)$ .

Pour ce qui est de l'état **bloquant** ou **bloqué**, il se manifeste lorsque  $v_D < 0$  et  $i_D$  sera négatif mais négligeable. La tension inverse maximum qu'on peut appliquer est noté  $v_{D,max}$  et vaut plusieurs  $kV$ . Les diodes de puissance sont utilisées à des faibles **fréquences de commutation** (50 ou 60  $Hz$ ).

## 2.2 Charge inductive générique et circuits redresseurs élémentaires à une ou deux diodes

### 2.2.1 Charge RLE générique

Pour l'étude des circuits, on considèrera une charge inductive générique RLE avec une résistance  $R_{dc}$ , une inductance  $L_{dc}$  et une source de tension continue  $E_{dc}$ . Ces paramètres sont supposés constant c'est à dire que leur variation sur un cycle d'alimentation AC est négligeable. Ceci représente par exemple le circuit d'induit d'une MCC ( $E_{dc} \neq 0$ ) ou son circuit d'excitation ( $E_{dc} = 0$ ). L'équation différentielle pour la tension aux bornes de la charge est :

$$v_{dc} = E_{dc} + R_{dc}i_{dc} + L_{dc}\frac{di_{dc}}{dt}. \quad (2.2)$$

En régime établi et en introduisant la **tension moyenne**  $V_{dc}$  et le **courant moyen**  $I_{dc}$ , on a :

$$V_{dc} = E_{dc} + R_{dc}I_{dc}. \quad (2.3)$$

La charge étant alimenté par un redresseur à diode,  $i_{dc}$  et  $I_{dc}$  ne peuvent pas être négatifs et si  $E_{dc}$  est trop élevé, le courant est nul. On a :

$$I_{dc} = \max \left( \frac{V_{dc} - E_{dc}}{R_{dc}} \right). \quad (2.4)$$

L'inductance de la charge tend à lisser le courant. C'est d'autant plus le cas que la constante de temps  $\tau = L_{dc}/R_{dc}$  est grand par rapport à  $T = 1/f$  du réseau. Pour les ponts monophasé ou triphasé c'est l'intervalle de temps  $T/2$  ou  $T/6$  qui importe. Dans le cas d'une MCC, les ondulations de la tension implique une ondulation du courant et donc une ondulation du **couple électromagnétique**, ce qui est dérangeant. On peut donc adjoindre une inductance extérieur si c'est insuffisant, au détriment de performance dynamique réduits en cas de commande de couple, vitesse ou de position de l'entraînement électrique.

## 2.2.2 Circuits redresseurs élémentaires avec une diode et une charge R, ER ou EL

### Avec charge R

La figure ci-dessous représente un circuit avec une source de tension AC de fréquence  $f$  idéale raccordée à une diode idéale et une résistance avec  $R_{dc}$  constante. Dans ce cas,  $i_{ac}(t) = i_{dc}(t)$  à tout instant. La diode n'est passante que lorsque  $v_{ac}(t) > 0$ , avec  $v_{dc}(t) = v_{ac}(t)$  et  $i_{dc} = v_{ac}(t)/R_{dc}$ . La diode est bloquante lorsque  $v_D = v_{ac} < 0$ , avec  $v_{dc} = 0 = i_{dc}$ .

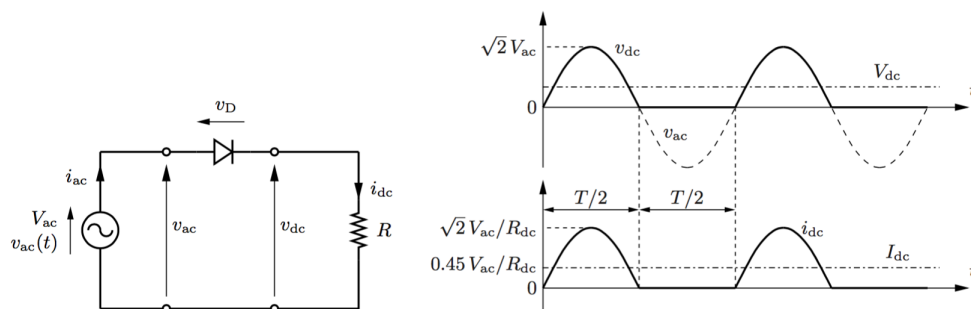


FIGURE 2.2 – Montage redresseur élémentaire avec une diode et une résistance.

On obtient la valeur moyenne de la tension en intégrant sur une demi-période de conduction :

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}V_{ac} \sin(\omega t) d\omega t = \underbrace{\frac{\sqrt{2}}{\pi}}_{0.450} V_{ac}. \quad (2.5)$$