

REDRESSEURS NON COMMANDÉS

1 -Généralités.....	2
1.1 -À quoi ça sert ?.....	2
1.2 -Critères de performance.....	2
1.3 -Règle d'étude – conduction des diodes.....	2
1.4 -les différents types de ponts étudiés.....	3
2 -Formes d'onde – charge R.....	4
2.1 -Sortie PD2.....	4
2.2 -Sortie PD3.....	4
2.3 -Tensions moyenne et efficace en sortie.....	4
2.4 -Courant en entrée.....	5
3 -Formes d'onde avec un condensateur.....	6
3.1 -Formes d'onde Pont PD2+C.....	7
Tension de sortie.....	7
Courant réseau.....	7
3.2 -Formes d'onde Pont PD3+C.....	8
Tension de sortie.....	8
Courant réseau.....	9
3.3 -Dimensionnement du condensateur.....	10
4 -Formes d'onde avec une self.....	11
4.1 -Formes d'onde Pont PD2 charge $I_s = cte$	11
4.2 -Formes d'onde Pont PD3 charge $I_s = cte$	12
4.3 -Relations tension courant sur la charge du pont.....	13
4.4 -Dimensionnement d'une inductance de lissage.....	14

1 - GÉNÉRALITÉS.

1.1 - À QUOI ÇA SERT ?



Le pont à diodes est l'élément essentiel d'un convertisseur AC/DC puisque c'est lui qui permet de redresser une partie des tensions réseau.

Les diodes sont des interrupteurs unidirectionnels en courant. Elles sont placées de façon à ce que l'énergie ne peut s'échanger que du réseau vers la charge du pont (résistance R).

Les diodes sont des interrupteurs non commandés. Donc la tension moyenne obtenue en sortie du pont n'est pas réglable. Elle dépend du type de pont, du type de charge et de la valeur efficace de la tension réseau.

Pour rendre la tension sur la charge R la plus constante possible, on utilise soit un condensateur (charge R//C), soit une inductance de lissage (charge L+R), soit les 2 ensemble (L+C//R).

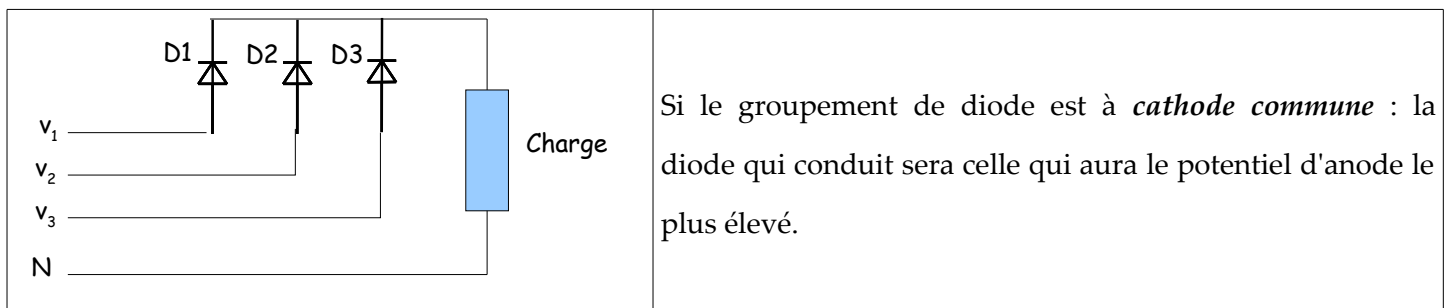
1.2 - CRITÈRES DE PERFORMANCE.

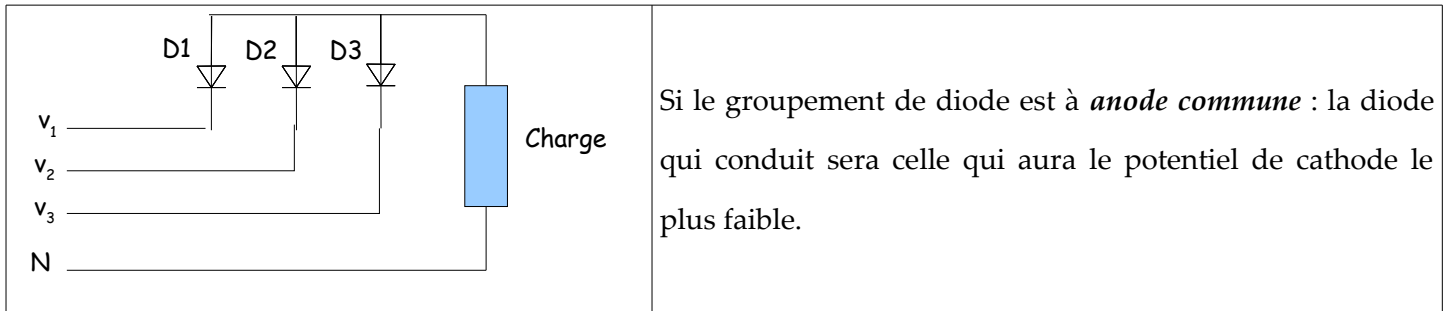
On veut une tension sur la charge constante. Ce critère sera évalué grâce au taux d'ondulation en sortie.

On veut que ce convertisseur n'impacte pas le réseau : le courant réseau appelé doit être le plus sinusoïdal possible. Ce critère sera évalué par la mesure du TDH et les mesures de puissances.

1.3 - RÈGLE D'ÉTUDE – CONDUCTION DES DIODES.

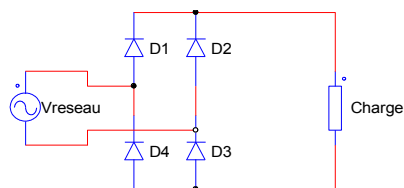
Dans tout ce chapitre, on supposera les diodes idéales : à l'état passant, la tension aux bornes est nulle.



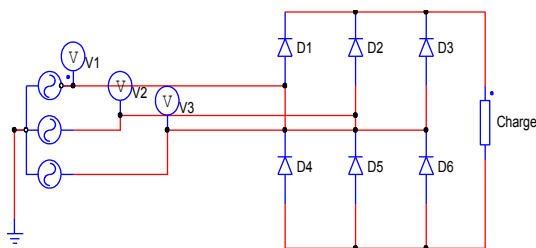


1.4 - LES DIFFÉRENTS TYPES DE PONTS ÉTUDIÉS.

Pont monophasé Parallèle Double à 2 branches PD2 : 2 branches placées en parallèle et constituées de 2 diodes chacune.



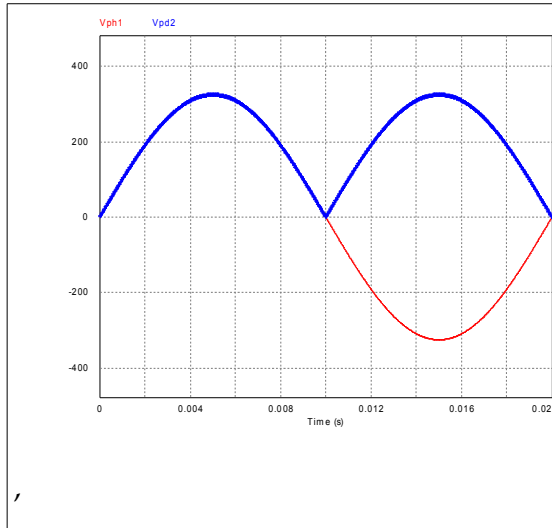
Pont triphasé Parallèle Double à 3 branches PD3 : 3 branches placées en parallèle et constituées de 2 diodes chacune.



2 - FORMES D'ONDE – CHARGE R.

La charge du pont sur les simulation est une résistance $R=10\Omega$.

2.1 - SORTIE PD2.



Tension d'alimentation : tension simple V .

Tension de sortie :

redressement double alternance =

Redresse la partie négative de la tension réseau

ou Recopie la partie >0 de la tension simple réseau

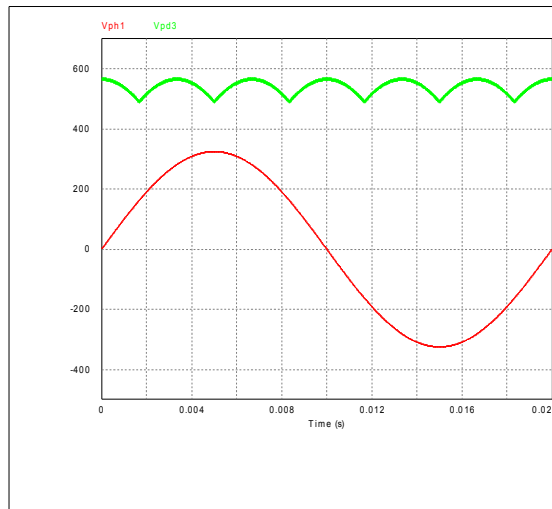
« Redressement biphasé »

fréquence : $2 \times 50 = 100\text{Hz}$

valeur maximale : V_{max}

valeur minimale 0

2.2 - SORTIE PD3.



Tensions d'alimentation : tensions composées U .

Tension de sortie :

redresse les tensions composées :

recopie la « calotte » des tensions composées

redressement « hexaphasé »

fréquence : $6 \times 50 = 300\text{Hz}$

valeur maximale : $U_{\text{max}} = V_{\text{max}} \times \sqrt{3}$

valeur minimale $U_{\text{max}} \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\text{max}}$

2.3 - TENSIONS MOYENNE ET EFFICACE EN SORTIE.

	PD2	PD3
Valeur moyenne	$V_{ch-DC} = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \approx 0.9 \times V$	$V_{ch-DC} = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi} \approx 2.34 \times V$
Valeur efficace	$V_{ch-AC+DC} = V$	$V_{ch-AC+DC} = \left(\sqrt{1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}} \right) \sqrt{3} V \approx 2.34 \times V$

Facteur de forme : $FF = \frac{V_{ch-AC+DC}}{V_{ch-DC}} \Rightarrow$ taux d'ondulation $TO = \sqrt{FF^2 - 1} = \frac{V_{ch-AC}}{V_{ch-DC}}$ en %

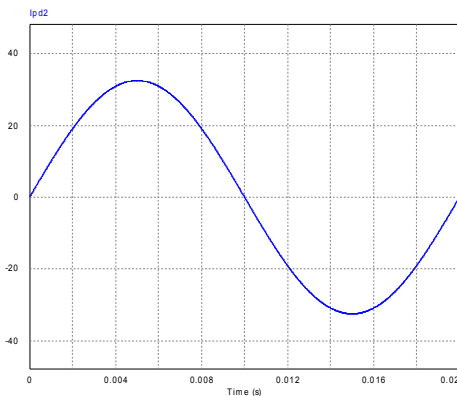


Taux d'ondulation	48%	4,5%
-------------------	-----	------

2.4 - COURANT EN ENTRÉE.

Un pont redresseur redresse les tensions réseau, mais en même temps ondule le courant de la charge : ce courant est fourni alternativement par les différentes phases du réseau.

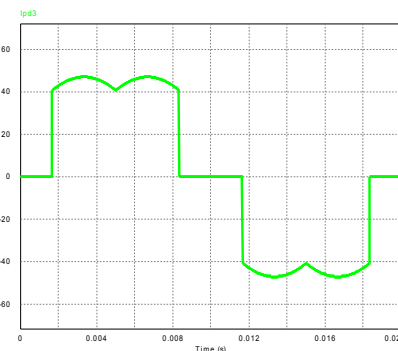
Dans le cas d'une charge R, le courant dans la charge est proportionnel à la tension de sortie du pont.



Le courant réseau appelé par un PD2 à charge R est :

- alternatif $\Rightarrow$ harmonique de rang impair uniquement
- sinusoïdal $\Leftrightarrow$ TDHi=0% $\Leftrightarrow$ D=0
- en phase avec la tension $\Leftrightarrow$ DPF = 1 $\Leftrightarrow$ Q=0

$\Rightarrow F_p = 1$



Le courant réseau appelé par un PD3 à charge R est :

- alternatif $\Rightarrow$ harmonique de rang impair uniquement
- de forme créneau avec un plateau de 30° $\Leftrightarrow$ TDHi~30% $\Leftrightarrow$ présence de D
- PD3 : triphasé sans neutre $\Rightarrow$ absence d'harmonique de rang multiple de 3
- son fondamental est en phase avec la tension réseau $\Leftrightarrow$ DPF = 1 $\Leftrightarrow$ Q=0

$\Rightarrow F_p < 1$

3 -FORMES D'ONDE AVEC UN CONDENSATEUR.

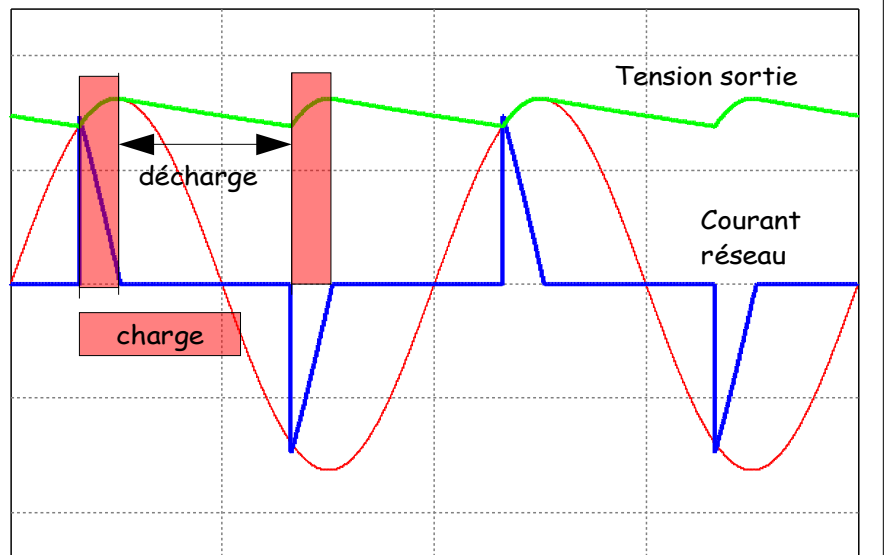
L'association Pont à diode + condensateur de lissage est appelé pour le réseau une « charge électronique ».

Le condensateur C est placé en parallèle avec la résistance R (« charge R//C »).

Le condensateur est utilisé pour limiter les variations de la tension aux bornes de la charge.

Il se décharge dans la charge lorsque la tension redressée diminue.

Il se recharge lorsque « la tension réseau redevient supérieure à la tension aux bornes de la charge (tension lissée) ».



C'est un circuit RC d'ordre 1 :

- il atteint donc son régime permanent au bout de $3RC$,
- lors de la mise sous tension, l'appel de courant est très important pour charger complètement le condensateur

=> protection par DMT courbe D

=> Pour les ponts de forte puissance, on branche en série avec le condensateur une résistance « de démarrage » pour limiter l'appel de courant sur les premières périodes.

Le temps de décharge est très long (au moins 5min) : normalement, le condensateur devrait rester chargé, mais un courant de fuite s'écoulant vers la terre permet de les décharger.

Ce courant de fuite (composante homopolaire) provoque le déclenchement des protections différentielles non adaptées à ce type de courant : il faut utiliser un DDR type A.

3.1 - FORMES D'ONDE PONT PD2+C.

Pont PD2 alimenté par tension monophasé $V=230V-50Hz$.

Charge $R=10\text{ Ohms} + \text{Condensateur } 5mF$ ($\tau=50ms$ - ondulation de tension de 20%).

TENSION DE SORTIE.

Fréquence $2*50Hz$

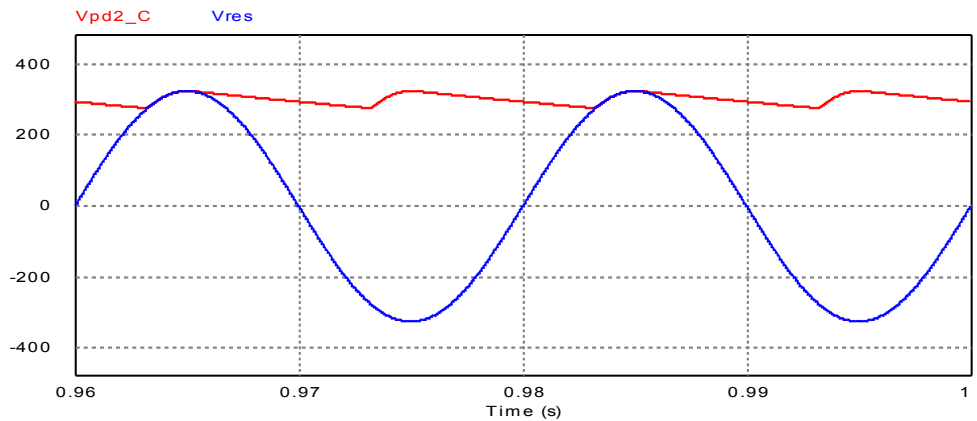
Tension moyenne

$$V_{ch-DC} \simeq V_{Max} = V \sqrt{2}$$

réseau $V=230V \Rightarrow$ coté continu 325V

temps de décharge :

$$\Delta t_{dch} \simeq T/2$$



tensions entrée et sortie PD2+C

COURANT RÉSEAU.

Courant réseau :

1 impulsion/demi période

$\Rightarrow$ TDHi élevé - D

important

Fondamental en

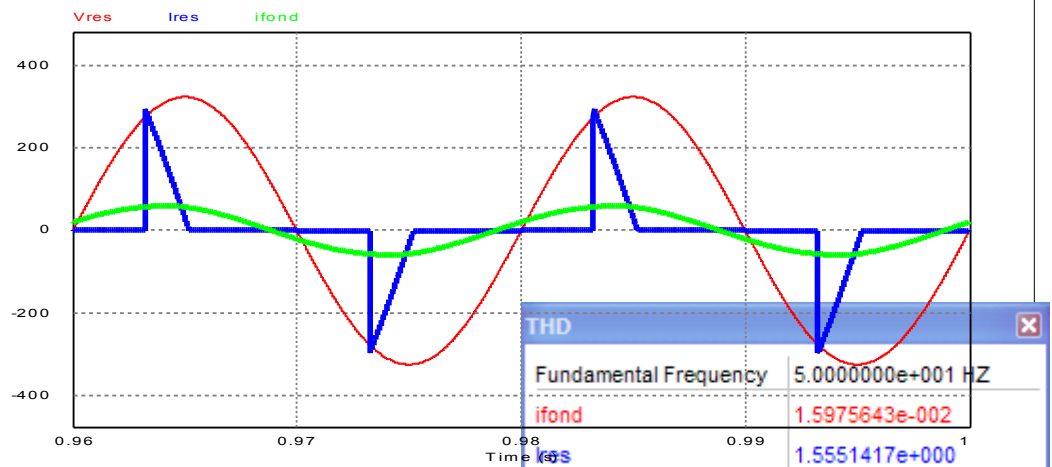
avance sur la tension

$\Rightarrow Q < 0$

mais déphasage léger

$\Rightarrow DPF \sim 1$

Fp mauvais



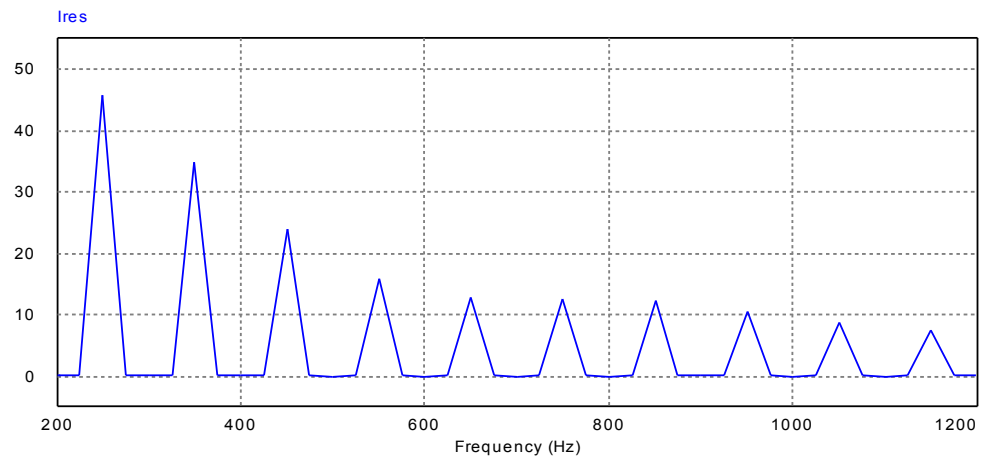
courant et fondamental courant réseau PD2+C

Courant alternatif
=> Harmoniques rang
impair.

Harmoniques BF
importants /
fondamental

=> D important

=> FP mauvais (~0,5)



spectre courant réseau PD2+C

3.2 - FORMES D'ONDE PONT PD3+C.

Mêmes valeurs V, R et C.

TENSION DE SORTIE.

Fréquence 6*50Hz

Tension moyenne

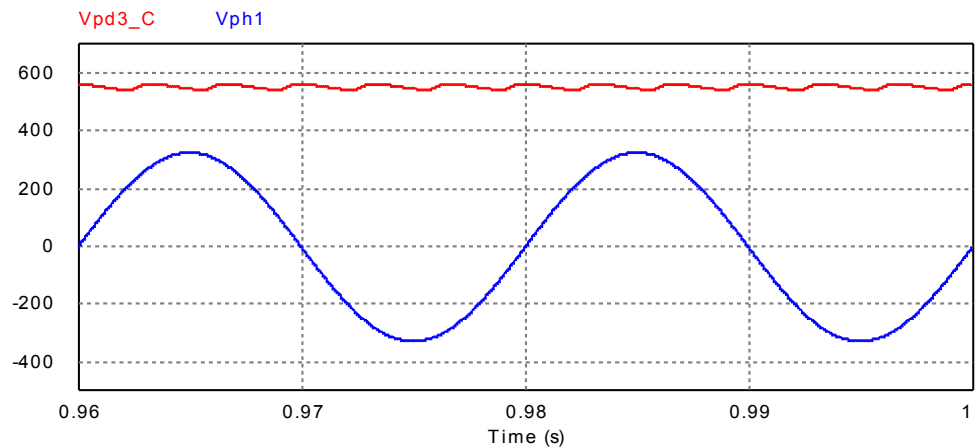
$$V_{ch-DC} \simeq U\sqrt{2}$$

réseau U=400V =>
coté continu 565V

temps de décharge :

$$\Delta t_{dch} \simeq T/6 \Rightarrow$$

ondulation divisée
par 3 /PD2



tensions entrée ph1 et sortie PD3+C

COURANT RÉSEAU.

2 impulsions / demi
période

=> TDHi élevé

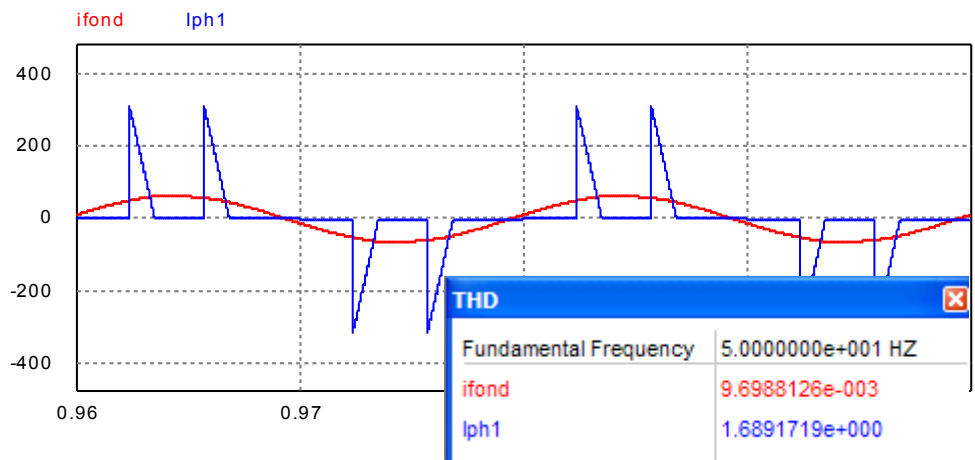
fondamental

légèrement en avance
sur la tension

=> $Q < 0$

=> DPF ~1

mauvais Fp



courant et fondamental courant réseau PD3+C

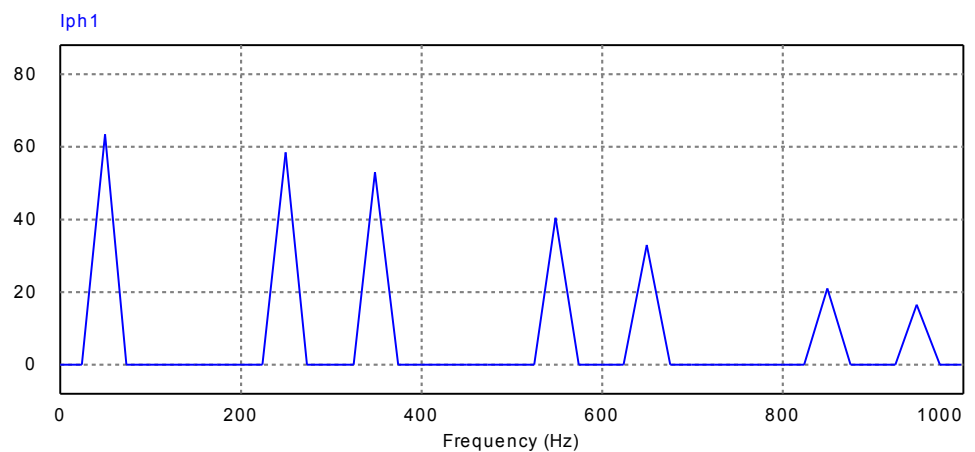
Pas de neutre relié

=> pas d'harmonique
de rang multiple de 3

harmonique BF
importants

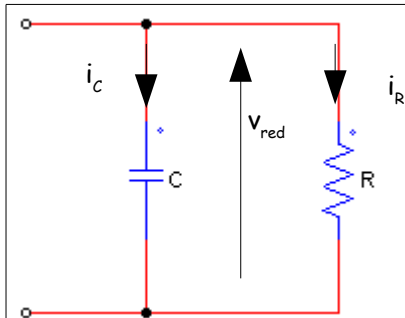
=> D important

=> Fp mauvais mais
un peu meilleur que
PD2



spectre courant réseau PD3+C

3.3 - DIMENSIONNEMENT DU CONDENSATEUR.



On considère que la variation de tension Δv_{red} lors de la décharge est très faible, donc que la tension de sortie est quasiment constante :

$$v_{red} \simeq V_{red-DC}$$

Le temps de décharge est noté Δt_{dch} .

Lors de la décharge on a pour les courants :

$$i_C = C \frac{dv_{red}}{dt} \simeq -C \frac{\Delta v_{red}}{\Delta t_{dch}}, \quad i_R = \frac{v_{red}}{R} \simeq \frac{V_{red-DC}}{R} \quad \text{et} \quad i_C = -i_R$$

$$\text{donc} \quad \frac{\Delta v_{red}}{\Delta t_{dch}} \simeq \frac{V_{red-DC}}{RC} \Rightarrow \text{ondulation} \quad \frac{\Delta v_{red}}{V_{red-DC}} \simeq \frac{\Delta t_{dch}}{RC}$$

Exemple d'application :

On doit alimenter en 20V continu une charge R de 20W.

L'alimentation de cette charge se fera par transformateur + PD2 + C.

On tolère une ondulation de tension aux bornes de la charge de 5%.

1. Calculer la résistance R de la charge.
2. Évaluer le temps de décharge du condensateur pour le pont PD2.
3. En déduire le condensateur C et le transformateur à utiliser (pour ce dernier, on donnera les tensions primaire/secondaire et les puissances nécessaires).

$$1 : P_{dc}=20W ; V_{dc}=20V \Rightarrow R = (20V)^2 / 20W = 20\Omega$$

$$2 : \text{Pont PD2} \Rightarrow \text{décharge } dtc=T/2 = 10ms$$

$$3 : D_{vc} / V_{dc} = 5\% \Rightarrow D_{vc} = 0.05 \cdot 20 = 1V - D_{vc} / V_{dc} = dtc / RC \Rightarrow RC = dtc \cdot V_{dc} / D_{vc} = 200ms \Rightarrow C=10mF$$

$$4 : \text{on veut } V_{dc}=20V = V_s \text{ rac } 2 \Rightarrow V_s = 14V \Rightarrow \text{transformateur } 230V / 14V$$

$$\text{en sortie on veut } P=20W - F_p = 0.5 \Rightarrow S=40VA$$



4 -FORMES D'ONDE AVEC UNE SELF.

La bobine L est placée en série avec la charge R (et E éventuellement) : « charge R+L » ou charge « RLE ».

La bobine va limiter les variations du courant i par rapport aux variations de la tension u en sortie du pont.

Dans les simulations, l'inductance a été choisie pour que le courant dans la charge R soit parfaitement lissé : $I_s = \text{cte}$.

Si le courant en sortie n'est pas constant, les performances (TDH_i et Fp) seront moins bons que ceux annoncés.

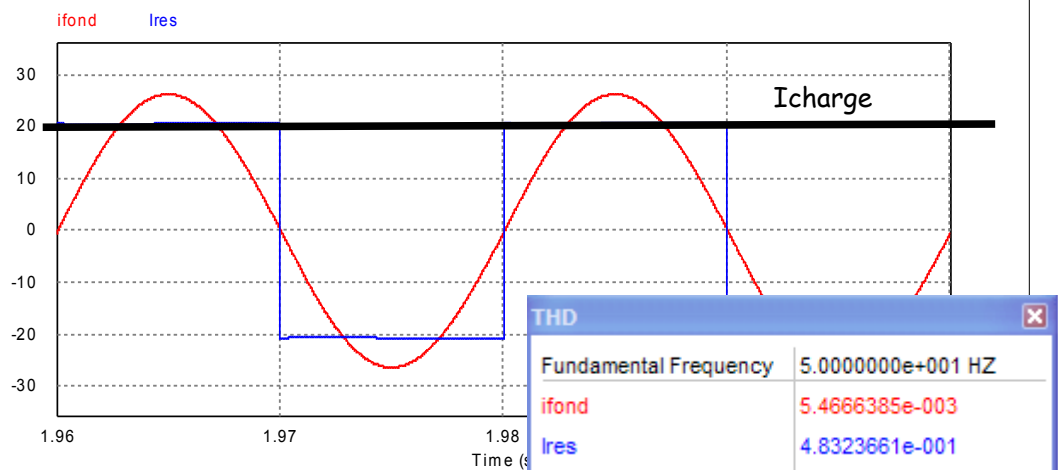
4.1 - FORMES D'ONDE PONT PD2 CHARGE IS=CTE.

En sortie du pont on retrouve la forme de tension de la charge R.

En entrée, la valeur max du courant est égale à la valeur du courant dans la charge R.

Courant carré

$\Leftrightarrow \text{TDHi} = 48\% \Leftrightarrow \text{D}$
fondamental en phase
avec la tension
 $\Rightarrow \text{DPF}=1 \Leftrightarrow \text{Q}=0$



courant réseau et son fondamental - PD2+L - Icharge=cte

Courant alternatif

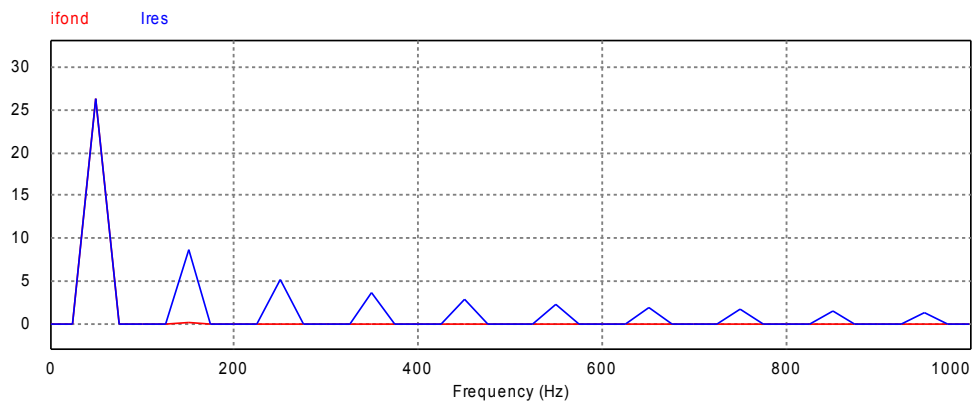
=> rang impair

courant carré

=> amplitude des harmoniques en $1/n$

=> $D < \text{charge } R/C$

=> $F_p = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \simeq 0.9$



spectre courant réseau - PD2+L - $I_s = cte$

4.2 - FORMES D'ONDE PONT PD3 CHARGE $I_s = cte$.

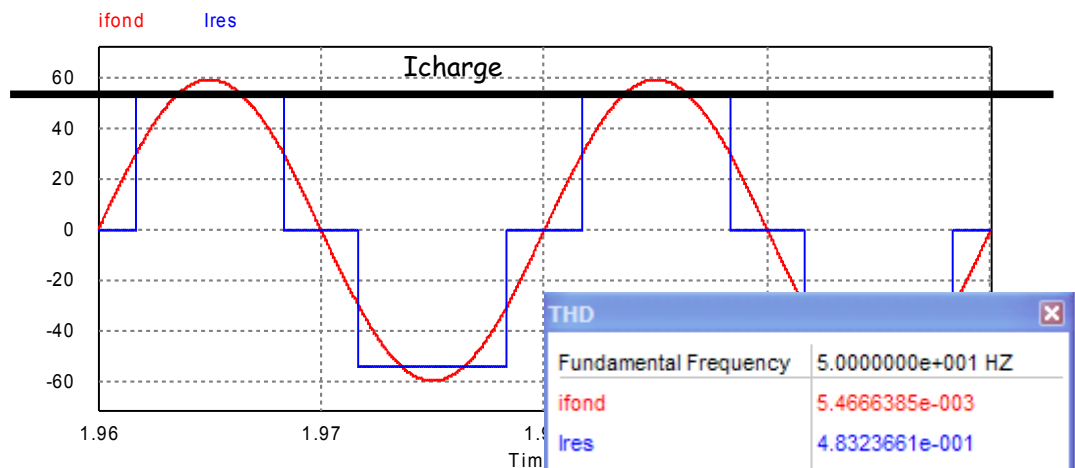
En sortie du pont on retrouve la forme de tension de la charge R.

En entrée, la valeur max du courant est égale à la valeur du courant dans la charge R.

Fondamental en

phase avec la tension

=> $Q=0 \Leftrightarrow DPF=1$



courant ligne phase 1 et son fondamental - PD3+L - $I_s = cte$

Courant créneau (30°)

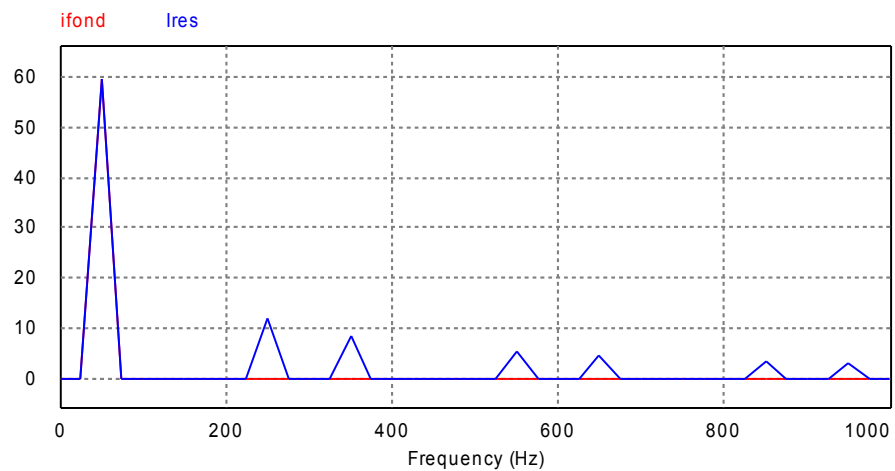
=> TDHi=30%

=> absence de rang

3*k

=> Présence de D

$$Fp = \frac{3}{\pi} \approx 0.955$$

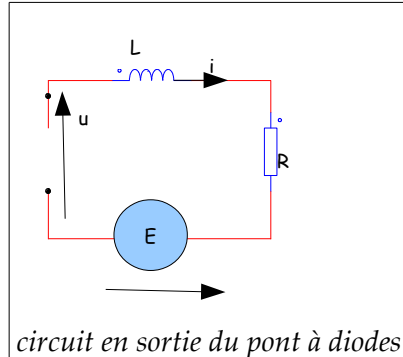


spectre courant ligne - PD3+L - Is=cte

4.3 - RELATIONS TENSION COURANT SUR LA CHARGE DU PONT.

Ces relations sont obtenues en appliquant les lois de Kirchoff à chaque rang d'harmonique.

Dans ces rangs, on distingue la composante continue (là où la fem E intervient) des autres rangs.



$$u(t) = Ri + L \frac{di}{dt} + E$$

en continu (valeur moyenne) : $U_{DC} = R I_{DC} + E$

sur chaque harmonique (rang n) : $\underline{U}_n = R \underline{I}_n + j L n \omega \underline{I}_n$

cette relation appliquée aux modules donne les relations [1] :

$$U_n = \sqrt{R^2 + (L n \omega)^2} I_n \quad I_n = \frac{U_n}{\sqrt{R^2 + (L n \omega)^2}} \quad (L n \omega)^2 = \left(\frac{U_n}{I_n} \right)^2 - R^2$$

La relation sur les valeurs moyennes permet de mesurer R.

La dernière relation permet de mesurer ou dimensionner l'inductance L.

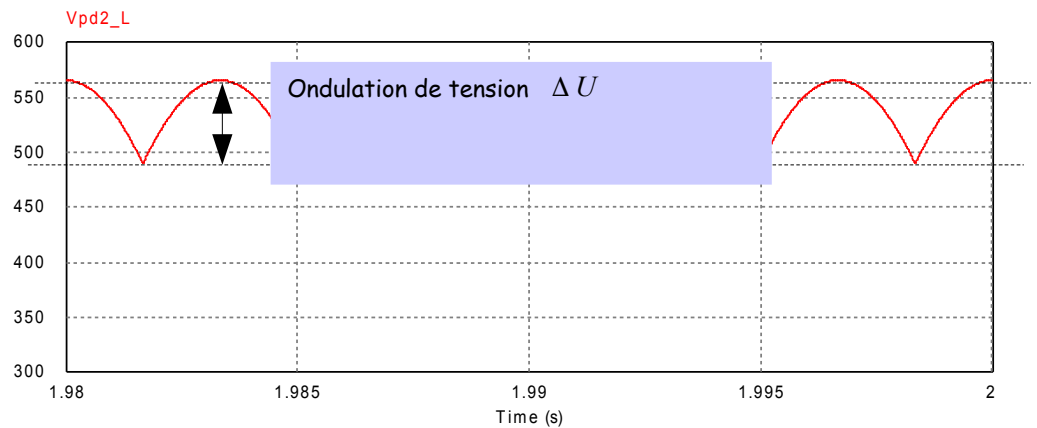
4.4 - DIMENSIONNEMENT D'UNE INDUCTANCE DE LISSAGE.

Pour dimensionner l'inductance, on va faire l'approximation du premier harmonique :
on considère que toute l'ondulation est due uniquement au premier harmonique.

Dans les relations [1],

on remplace la valeur efficace U_n par la valeur de l'ondulation de tension ΔU du pont étudié (cette valeur est différente selon que le pont est commandé ou non).

on remplace la valeur efficace I_n par la valeur de l'ondulation de courant ΔI que l'on veut obtenir.



Les relations à appliquer sont [2]

$$\Delta U = \sqrt{R^2 + (Ln\omega)^2} \Delta I \quad (Ln\omega)^2 = \left(\frac{\Delta U}{\Delta I} \right)^2 - R^2 \quad \Delta I = \frac{\Delta U}{\sqrt{R^2 + (Ln\omega)^2}}$$

- ω est la pulsation du réseau
- n est le rang du premier harmonique (fondamental 50Hz) – il dépend du type de pont
- l'ondulation de tension ΔU dépend du type de pont
- l'ondulation de courant ΔI est celle imposée dans le cahier des charges.

Exemple d'application :

On doit alimenter une charge $L=5\text{mH}+R=10\Omega$ avec un pont PD3 à diodes. Réseau 400V – 50Hz.
Calculer l'ondulation du courant DI.

Pont PD3 non commandé: ondulation de tension $\Delta U = U_{\text{max}} - (\frac{3}{2}) * U_{\text{max}} = 0.13 * U_{\text{max}} = 0.13 * 400 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 76\text{V}$.

Fréquence tension de sortie 300Hz => rang 1er harmonique $n=6$.

=> Ondulation courant $\Delta I = \Delta U / \sqrt{R^2 + (L * n * \omega)^2} = 76 / \sqrt{10^2 + (5\text{m} * 6 * 314)^2} = 5.5\text{A}$.



Remarque : pour un pont commandé tout thyristors $DU = 2U_{res-max}$

Remarque : pour un pont commandé mixte $DU = U_{res-max}$