

Les gradateurs sont utilisés pour réaliser des **varianteurs** pour certains appareils fonctionnant sur le réseau (lampes halogènes, aspirateurs domestiques, outillage électroportatif...), pour la **régulation de chauffage** électrique, ainsi que dans de nombreux **processus industriels** (float glass pour la fabrication du verre, réchauffage de fluides en pétrochimie, fours à diffuser, bancs d'essais de cyclage thermique, etc.). Dans les applications d'**éclairage**, ils sont parfois appelés *dimmers* (de l'anglais to dim, assombrir).

1. Gradateur monophasé à retard de phase :

On donne figure 1 le schéma d'un gradateur monophasé débitant sur une charge résistive pure R.

Les thyristors sont amorcés avec un retard angulaire $\alpha = \omega t_0$ par rapport aux passages à 0 de la tension $v(t)$.

On donne $R = 10$ ohms.

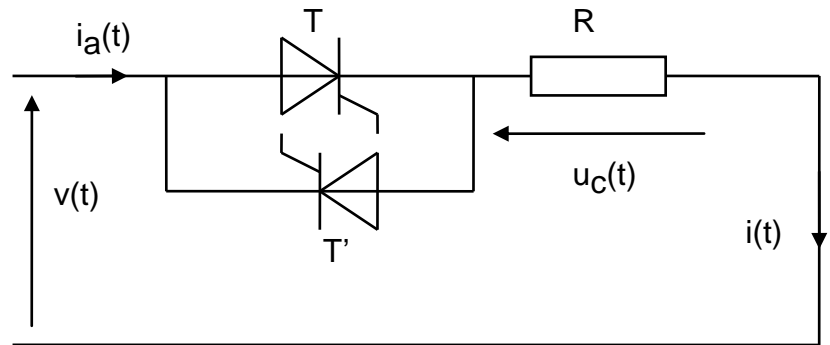


figure 1

1.1. Simuler avec PSIM le montage.

L'amplitude (peak value) de $v(t)$ est donc $230 \cdot \sqrt{2}$
 Simuler en régime permanent de 1 s à 1,1 par pas de 0,1 ms.

Observer $u_C(t)$ pour $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 135^\circ$. **Pour la suite on prendra $\alpha = 90^\circ$.**

1.2. Relever les chronogrammes de l'intensité $i(t)$ du courant dans la résistance R.

Donner, en les justifiant, les **intervalles de conduction** des deux thyristors.

1.3. relever avec PSIM

la puissance instantanée $p(t) = v(t) \cdot i_a(t)$ et sa **valeur moyenne** $P = \langle v \cdot i_a \rangle$. Noter cette valeur.

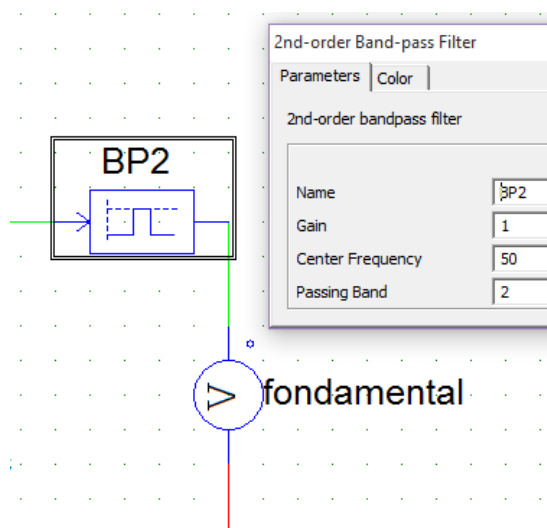
Faire la même chose avec $P = \langle u_C \cdot i \rangle$. Conclure.

Exprimer **simplement** la **puissance active** moyenne P fournie par le réseau en fonction de V et R. Application numérique. Conclure.

1.4. En déduire les valeurs efficaces I_{eff} de $i(t)$ et U_{ceff} de $u_C(t)$.

Rappelons de la formule de la valeur efficace U_C en fonction de la valeur efficace de la tension du

secteur et de α (en radians) l'angle de retard à l'amorçage des thyristors : $U_C = V \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$



1.5. Dans le développement en série de Fourier de $u(t) = R \cdot i(t)$, on trouve que **le fondamental** a pour expression $i_1(t) = I_{1\text{max}} \sin(\omega t - \varphi_1)$
 - avec PSIM relever les courbes $u_C(t) = R \cdot i(t)$ et son fondamental $u_1(t) = R \cdot i_1(t)$ grâce au montage représenté. Le filtre passe bande sélectif BP2 ne laissant passer que la composante de 50 Hz de $u_C(t)$.
 - en déduire les valeurs numériques de $I_{1\text{max}}$ et de φ_1 .

1.6. Déduire de la connaissance de $i_1(t)$, une expression de la puissance P.
 Comparer à la valeur calculée par PSIM.

- 1.7. Que vaut la **puissance réactive** Q fournie par le réseau ?
- 1.8. Quelle est la **puissance apparente** S de la source ?
- 1.9. Calculer la **puissance déformante** D pour la source.
- 1.10. Calculer le **facteur de puissance** de l'installation.
- 1.11. Proposer une **méthode** (schéma, type d'appareil à utiliser) pour mesurer la valeur efficace du courant, la puissance active et la puissance réactive. On dispose d'appareils analogiques (alt. et continu) et numériques TRMS avec positions AC et DC. Le wattmètre est de type électrodynamique.
- 1.12. La **charge** est maintenant **inductive**
 $R = 10 \Omega$ et L en série.

Observer $u_C(t)$ pour $L = 100 \text{ mH}$ et $L = 1 \text{ H}$. Conclure quant à l'intérêt de ce gradateur.

Observer $u_C(t)$ pour un retard de 30° pour $L = 100 \text{ mH}$ et $L = 1 \text{ mH}$.

Conclure quant à l'intérêt de ce gradateur.

2. **Gradateur triphasé :**

On en donne figure 2 le schéma de principe. Les tensions sinusoïdales v_a, v_b et v_c ont même valeur efficace V et constituent un système triphasé équilibré direct.

Ci-dessous, on précise le séquençement de l'amorçage des 6 thyristors dans le cas où $\alpha_0 = 30^\circ$:

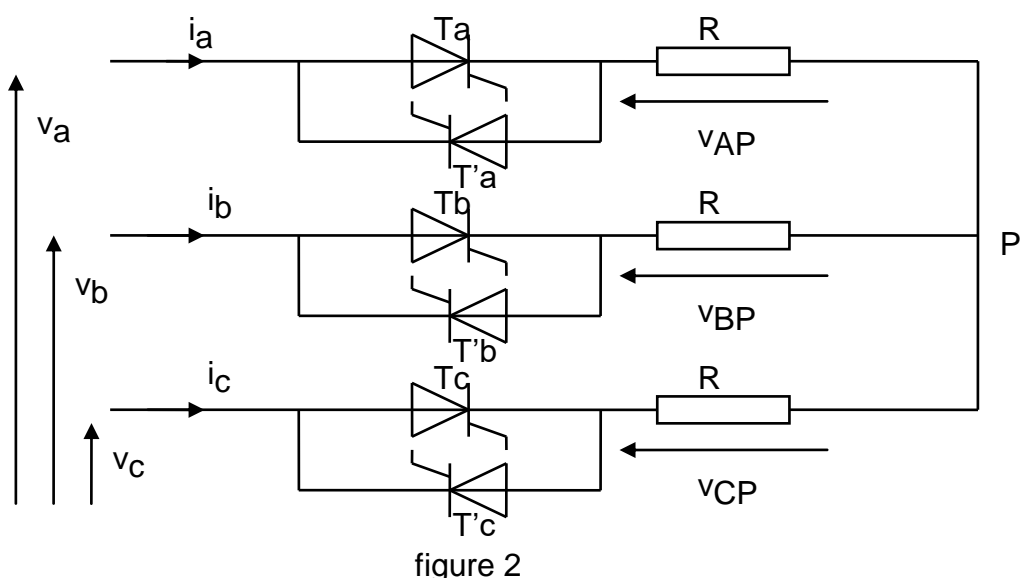
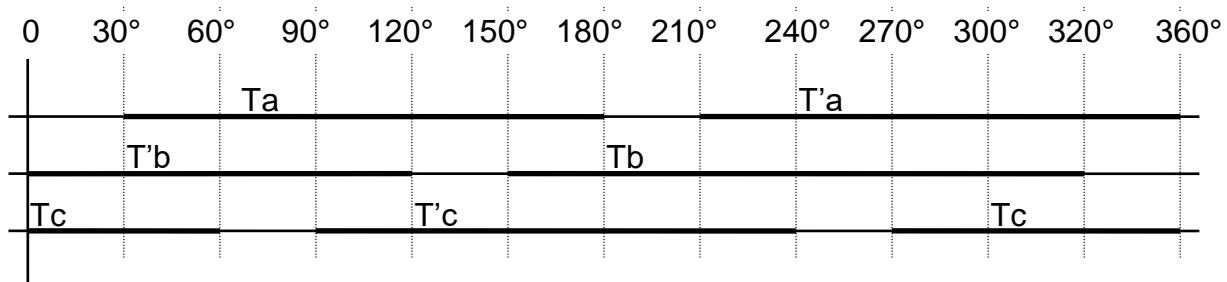


figure 2



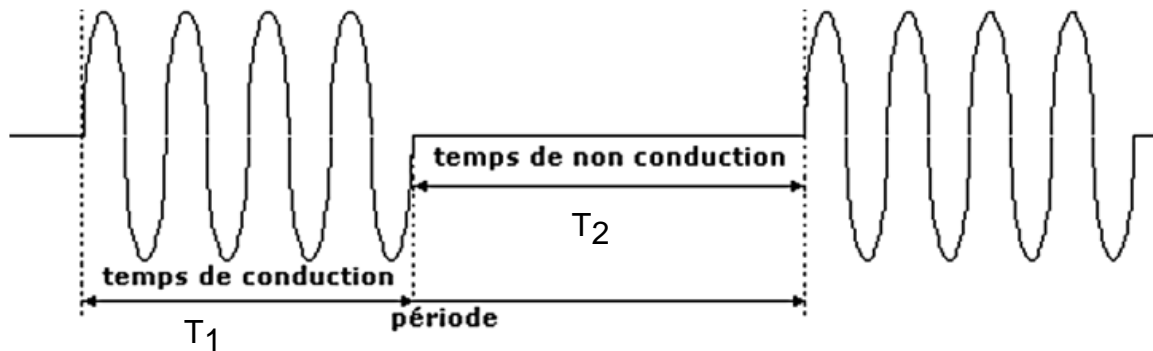
On a toujours $V = 230 \text{ V}$, 50 Hz et la charge est résistive $R = 10 \Omega$.

2.1. Simuler avec PSIM le montage en régime établi sur deux périodes du secteur et relever la tension simple $v_{AP}(t)$ et la tension composée $U_{AB}(t)$.

2.2. Le fonctionnement étant parfaitement symétrique, on étudie dans un premier temps l'intervalle $[0^\circ, 180^\circ]$. Sur chacun des 6 intervalles suivants :

$[0^\circ, 30^\circ]$, $[30^\circ, 60^\circ]$, $[60^\circ, 90^\circ]$, $[90^\circ, 120^\circ]$, $[120^\circ, 150^\circ]$, $[150^\circ, 180^\circ]$, donner un schéma équivalent de l'installation tenant compte des interrupteurs passants et expliquer la forme de la tension v_{AP}

3. le gradateur à train d'onde en monophasé



L'interrupteur autorise le passage du courant pendant une durée T_1 correspondant à un nombre entier de demi-périodes du secteur. Puis il coupe pendant le reste de la période T_2 de fonctionnement. On règle le transfert d'énergie en faisant varier le **rapport cyclique** $\alpha = \frac{T_1}{T_1+T_2}$.

Ce procédé est réservé aux machines à fortes inerties telles que les **fours**, le **chauffage** (dans ce cas inertie thermique). Il permet de s'affranchir des problèmes de facteur de puissance provoqués par la technologie « angle de phase » mais, en revanche, il introduit des perturbations de très basses fréquences provoquant sur le réseau des effets tel que le papillotement ou flicker.

3.1. réaliser avec PSIM le gradateur monophasé étudié dans la première question.

On remplace l'association des deux thyristors par un simple interrupteur appelé « bi-directional switch ».

L'interrupteur commandé par un « gating block » fonctionnera à une fréquence de 2 Hz et sera fermé pendant les 6 dixièmes de la période –**rapport cyclique de $\alpha=0.6$** –.

Le secteur $v(t)$ sera toujours de 230 V, 50 Hz.

Donner le **schéma** du montage en indiquant le paramétrage des différents composants.

3.2. Relever $u_C(t)$ sur une durée d'une seconde.

3.3. Calculer la **puissance $P = \alpha P_O$ transmise** à la charge R . Définir P_O .

et vérifier avec PSIM avec le calcul de la valeur moyenne de $p(t)$: $P = \frac{\langle u_C(t)^2 \rangle}{R}$.