Sommaire

Exercice 1: QCM : (Solution 1:)

Entourer la ou les bonnes réponses

1. Gradateur monophasé : commande par angle de retard à l'amorçage δ

a) La tension du générateur a une valeur efficace imposée. Avec un gradateur monophasé, on modifie la valeur efficace du courant alternatif en agissant sur la valeur de δ

b) Avec un gradateur monophasé, on règle la valeur de la puissance fournie en agissant sur la valeur de δ.

c) La tension de sortie u(t) est sinusoïdale quelle que soit la valeur de δ.

d) Avec un gradateur monophasé, le courant i(t) obtenu sur charge inductive L-R est sinusoïdal.

e) En cas de débit sur charge inductive pure L, il est possible de régler la puissance réactive.

2. Gradateur monophasé : commande par train d'ondes

a) La tension du générateur a une valeur efficace imposée. Avec un gradateur monophasé, on modifie la valeur efficace du courant alternatif en agissant sur la valeur rapport cyclique α.

b) La tension du générateur a une valeur efficace imposée. Avec un gradateur monophasé, on règle la valeur de la puissance fournie en agissant sur la valeur du rapport cyclique α.

c) A l'état fermé de l'interrupteur K, la tension de sortie u(t) est sinusoïdale.

d) A l'état fermé de l'interrupteur K, le courant i(t) obtenu sur charge inductive L-R est sinusoïdal.

e) Avec un gradateur monophasé sur charge inductive pure L, il est possible de régler la puissance réactive en agissant sur la valeur du rapport cyclique α.

3. Gradateur triphasé

a) Il existe plusieurs branchements de gradateurs triphasés.

b) La tension de sortie phase-neutre v_{ph}(t) est sinusoïdale quelle que soit la valeur de δ

c) Il est indispensable de brancher un fil neutre.

d) En cas de débit sur charge inductive pure L, il est possible de régler la puissance réactive.

e) Ce type de gradateur peut alimenter un moteur asynchrone triphasé.

4. Stato - compensateur

a) Un stato-compensateur triphasé nécessite l'utilisation d'une batterie de condensateurs.

b) Un stato-compensateur fonctionne en utilisant une commande par train d'onde

c) On règle la puissance active fournie par le réseau.

d) On règle la puissance réactive fournie au réseau.

e) Un stato-compensateur nécessite un montage d'au moins trois inductances.

Exercice 2: Système de chauffage de l'air ventilé (Solution 2:)

Une résistance chauffante R_{ch} est alimentée par le secteur 220 V ; 50 Hz en série avec un triac.

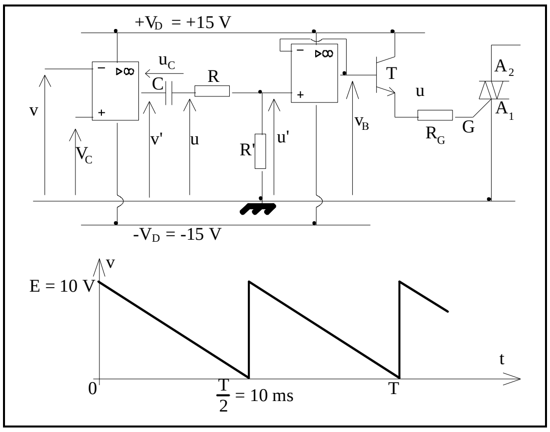
I \ CIRCUIT DE COMMANDE DU TRIAC :

C'est un générateur d'impulsions synchronisé sur le secteur représenté par le schéma ci-contre :

Les composants sont supposés parfaits.

La d.d.p. v (t) est donnée par la courbe ci-contre, avec E = 10 V.

Le retard t_0 des impulsions créées par le générateur, après chaque passage à 0 de la tension du secteur est réglé par la tension V_C.



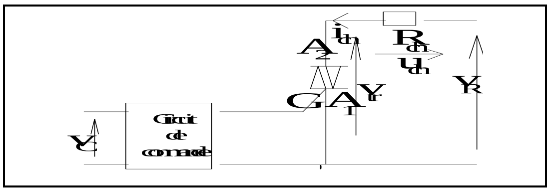
1-1) Soit V_C = 7,0 V (différence de potentiel constante). Représenter la courbe v' = f (t). Soit t_0 l'instant particulier qui apparaît entre 0 et $\frac{T}{2}$. Calculer sa valeur.

1-2) On prend C = 10 nF ; R = 20 kΩ ; R' = 10 kΩ. Calculer la constante de temps du système (C, R, R') ; en déduire l'allure de la courbe u' = f (t) sur le document réponse **2**.

1-2-3) Quel est le rôle du deuxième amplificateur opérationnel et du transistor ?

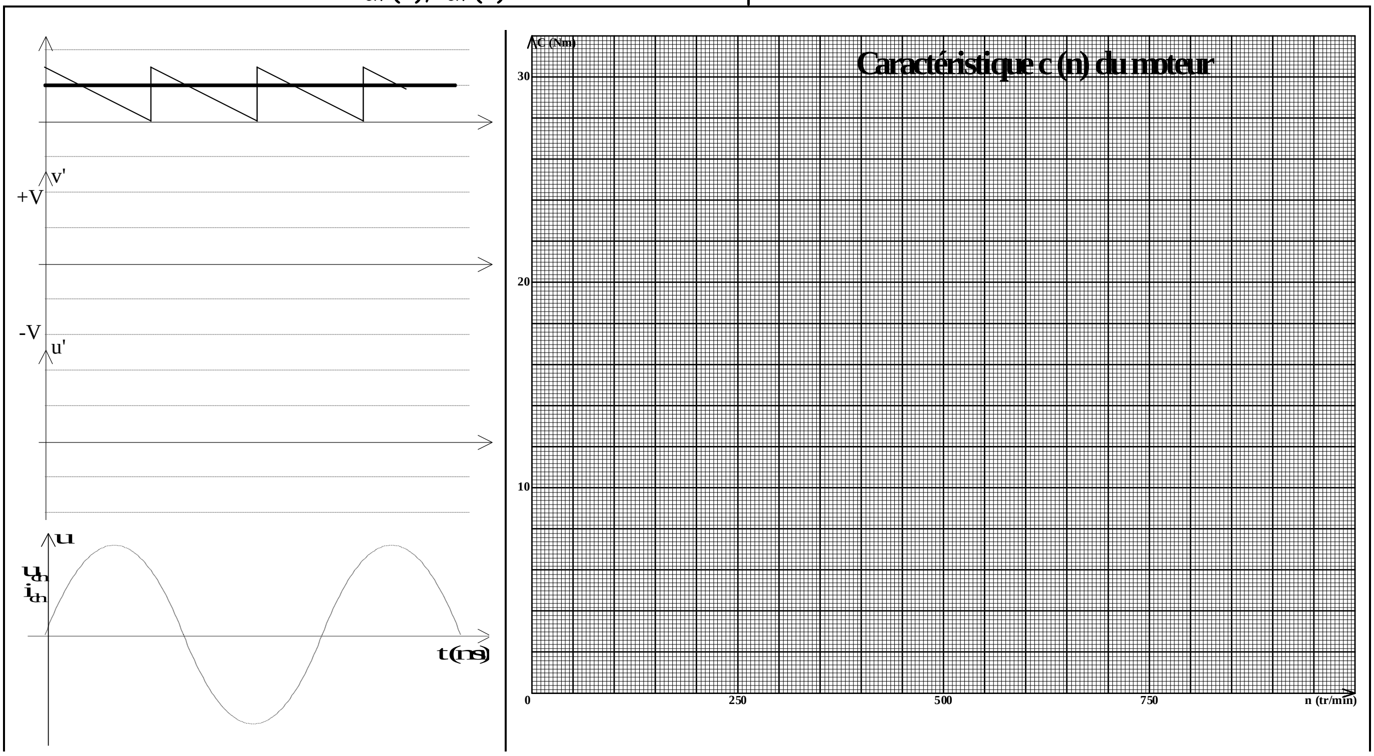
II \ CIRCUIT DE PUISSANCE :

Il se compose d'une résistance de chauffage R_{ch} alimentée par le réseau v_R en série avec un triac T_r (supposé parfait).



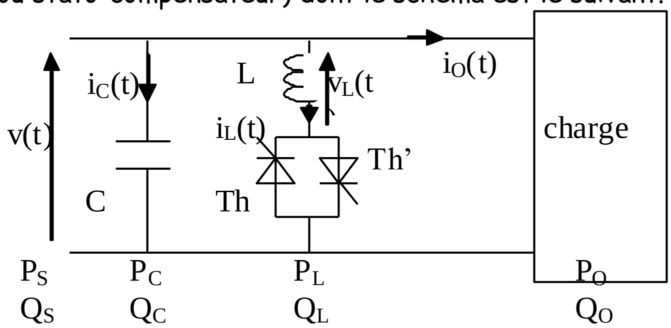
On donne $v_R = 220\sqrt{2}\sin\omega t$, avec f = 50 Hz et R_{ch} = 15 Ω.

Tracer les courbes u_{ch} (t), i_{ch} (t) sur le document réponse.



Exercice 3: BTS 2001 Nouméa Etude d'un compensateur statique monophasé (allégé) (Solution 3:)

Pour assurer un meilleur réglage de la puissance réactive échangée entre une source et une charge, on s'intéresse à un compensateur statique (ou stato-compensateur) dont le schéma est le suivant.



On donne $v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t) = V\sqrt{2}\sin\theta$ avec V=230V et f=50 Hz.

La charge consomme en permanence la puissance Po=50kW.

La puissance Qo consommée est positive et varie de manière telle que le facteur de puissance $\cos\varphi_o$ évolue entre 0.4 et 1.

On note φ_o le déphasage entre le courant $i_o(t)$ et la tension v(t).

Les thyristors sont montés tête-bêche et on note δ l'angle de retard à l'amorçage des thyristors.

1) Expliquer pourquoi la commande du gradateur fait varier la puissance réactive Q_L.
2) La valeur instantanée $i_{L1}(t)$ du fondamental de $i_L(t)$ a pour expression :

$$i_{L1}(t) = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi.L.\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right).\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

En déduire l'expression de la puissance active P_L et de la puissance réactive Q_L absorbée par l'ensemble « gradateur+bobine » en fonction de δ.

3) Quelle est la puissance active Pc consommée par le condensateur C ? En déduire la relation entre P_S et Po.
4) On s'impose Q_S=0. Démontrer la relation suivante :

$$P_O.\tan\phi_O + \frac{2V^2}{\pi.L.\omega}(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta) - V^2 C\omega = 0$$

5) Lorsque $\delta = \pi$, on a Q_L=0. Le facteur de puissance de la charge est $\cos\varphi_o$ =0.4. En déduire la valeur de C pour que Q_S=0.
6) Pour $\delta = \pi/2$ .On s'intéresse au cas où le facteur de puissance de la charge est $\cos\varphi_o$ =1. On choisit C=6.9mF. En déduire la valeur de L pour que Q_S=0.

Exercice 4: Gradateur monophasé puis triphasé (Solution 4:)

Les interrupteurs sont constitués de thyristors supposés idéaux (circuit ouvert à l'état bloqué et court-circuit à l'état passant). Le réseau a pour pulsation ω.

1 \ Gradateur monophasé :

On donne (Figure **1**) le schéma d'un gradateur monophasé débitant sur une charge résistive pure. Les thyristors sont amorcés avec un retard angulaire $a_0 = \omega t_0 = \frac{\pi}{2}$ par rapport aux passages à 0 de la tension v (t). On donne V = 220 V et R = 10 Ω.

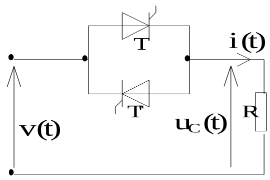


Figure 1

1-1) Donner sur le document réponse n° **1**, en les justifiant, les intervalles de conduction des deux thyristors et le chronogramme de l'intensité i (t) du courant dans la résistance R.

1-2) Pour la valeur particulière $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}$, exprimer simplement la puissance active moyenne "P" fournie par le réseau en fonction de V et R. Application numérique.

1-3) En déduire les valeurs efficaces I_{eff} de i (t) et $U_{C\,eff}$ de u_C (t).

1-4) Dans le développement en série de Fourier de i (t) on trouve que le fondamental a pour expression :

i (t) = $I_{1\,Max}$ sin (ωt - φ_1) **avec** $I_{1\,Max}$ = 18,4 A **et** φ_1 = 32,5° = 0,567 rad.

Déduire de la connaissance de i_1 (t), une expression de la puissance P. A l'aide de cette expression, recalculer P.

1-5) Que vaut la puissance réactive fournie par le réseau ?

1-6) Quelle est la puissance apparente S de la source ?

1-7) Calculer le facteur de puissance de l'installation.

1-8) 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 position AC et DC. Le wattmètre est de type électrodynamique.

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. Sur le document réponse n° **2**, on précise le séquencement de l'amorçage des 6 thyristors dans le cas où α_0 = 30°. On a toujours V = 220 V et la charge est résistive. Les interrupteurs sont supposés idéaux.
Le fonctionnement étant parfaitement symétrique, on étudie dans un premier temps l'intervalle [0° , 180°].

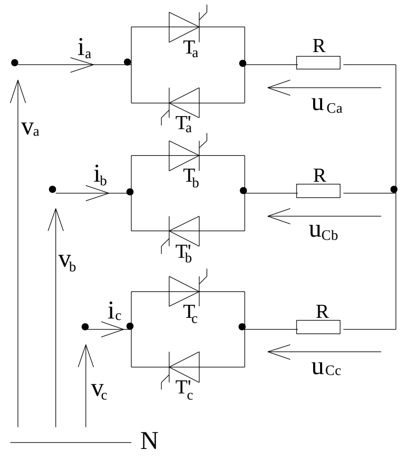
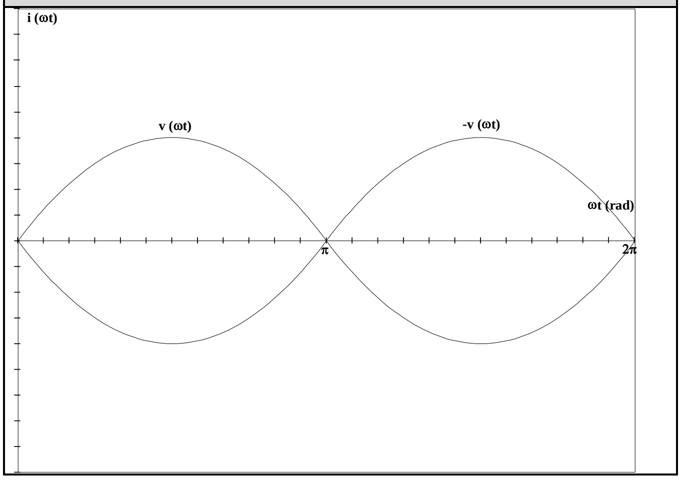


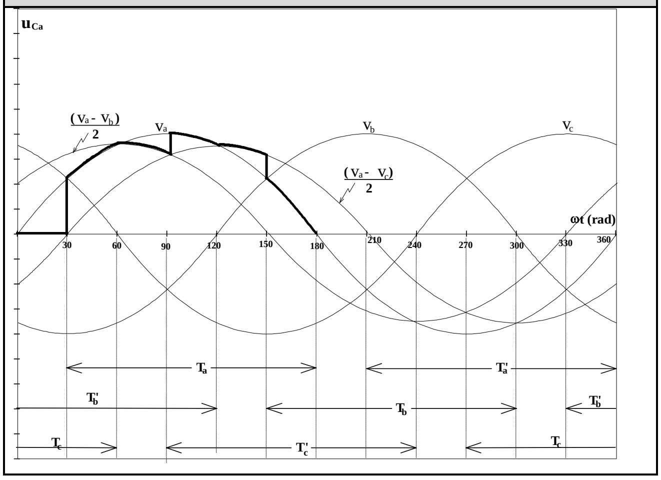
Figure 2

2-1) Sur chacun des 6 intervalles suivants : [0° , 30°], [30° , 60°], [60° , 90°], [90° , 120°], [120° , 150°], [150° , 180°], donner un schéma équivalent de l'installation tenant compte des interrupteurs passants et expliquer la forme de la tension u_{ca} donnée sur le document réponse n° **2** entre 0 et 180°.
2-2) Compléter le chronogramme de u_{ca} sur [180° , 360°].

DOCUMENT REPONSE N° 1



DOCUMENT REPONSE N° 2



Exercice 5: Gradateur triphasé alimentant des résistances d'un four électrique (Solution 5:)

Un gradateur triphasé à thyristors alimente trois résistances de valeur égale R = 10,6 Ω d'un four électrique.
Un dipôle est constitué par un interrupteur bidirectionnel, formé de deux thyristors tête-bêche, placé en série avec la résistance R. On obtient ainsi trois dipôles qui sont montés :

- soit en étoile avec fil neutre,
- soit en triangle.

Le réseau d'alimentation est triphasé de fréquence 50 Hz, et la valeur efficace de la tension phase-neutre vaut V = 230 Volts.

1. Expliquer pourquoi la commande des thyristors est possible en montage triangle.
2. On décide tout d'abord de commander le gradateur en agissant sur l'angle de retard à l'amorçage. On le notera δ_1 dans le cas d'un montage étoile et δ_2 dans le cas d'un montage triangle.
   2.1. Exprimer la puissance active $P_1(\delta_1)$ en fonction de V et de R dans le cas du montage étoile.
   2.2. Exprimer la puissance active $P_2(\delta_2)$ en fonction de V et de R dans le cas du montage triangle
   2.3. Donner la relation entre δ_1 et δ_2 pour que $P_1 = P_2$
3. On décide maintenant de commander le gradateur en agissant sur le rapport cyclique du train d'ondes. On le notera α_1 dans le cas d'un montage étoile et α_2 dans le cas d'un montage triangle.
   3.1. Exprimer la puissance active $P_1(\alpha_1)$ en fonction de V et de R dans le cas du montage étoile
   3.2. Exprimer la puissance active $P_2(\alpha_2)$ en fonction de V et de R dans le cas du montage triangle

3.3. Donner la relation entre α_1 et α_2 pour que $P_1 = P_2$.

4. Comparer les deux modes de commande et conclure.

Exercice 6: Commande linéaire numérique d'un gradateur monophasé (Solution 6:)

On s'intéresse à la commande qui permettrait d'obtenir une relation de proportionnalité entre la puissance débitée sur charge résistive. A l'entrée du déclencheur, on impose la tension tic qui détermine la valeur de l'angle de retard à l'amorçage noté δ. On souhaite obtenir une relation linéaire de la forme :

$$P = P_O \times \left(\frac{u_C}{u_0}\right)$$

où u_o est une tension de référence et P_0 la puissance fournie à réglage maximal.

1. Justifier que $u_c \leq u_o$, et montrer que pour $u_c = u_o$ on a nécessairement $\delta = 0$.
2. Justifier la relation

$$\frac{u_C}{u_0} = 1 - \frac{\delta}{\pi} + \frac{\sin 2\delta}{2\pi}$$

3. Un convertisseur analogique-numérique (CAN) convertit la tension u_C en un « mot » n_{uc} de 8 bits. Sachant que u_o = 2,55 V quelle est la variation Δu_C,. telle que Δn_{uC} varie de ± 1 ?
4. Le mot n_{uc}, de 8 bits sert à lire l'adresse en mémoire où est placée la valeur n_δ fixant l'angle δ. Combien d'angles différents seront-ils placés en mémoire ?
5. Expliquer comment a-t-on calculé la valeur n_δ en fonction de l'adresse n_{uc}.
6. Calculer $\frac{dP}{d\delta} = f(\delta)$. Pour quelle(s) valeur(s) de δ le réglage de P sera-t-il le moins sensible ?
7. Pour quelle valeur de δ le réglage de P sera-t-il le plus sensible ?
8. Quelle est la variation $\frac{\Delta P}{P_0}$ pour Δu_C ? Conclure.

Exercice 7: Electrothermie par gradateur et résistance (Solution 7:)

Soit le montage de la figure 1.1 :

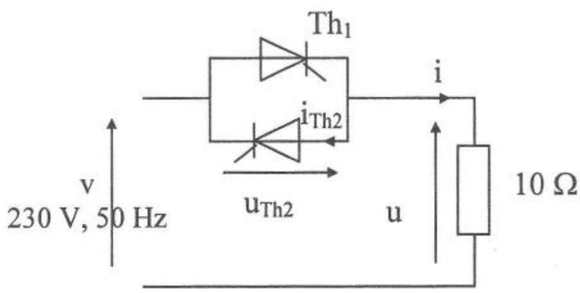
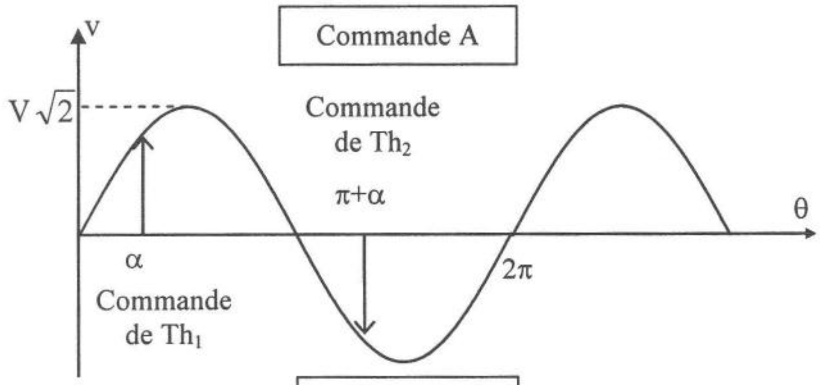


Figure 1.1 : Gradateur monophasé sur charge résistive

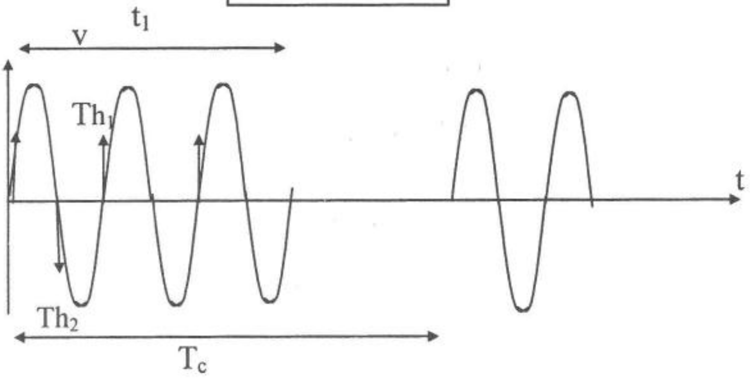
v est une tension sinusoïdale.

On utilise deux types de commandes pour les thyristors :

Commande A



Commande B



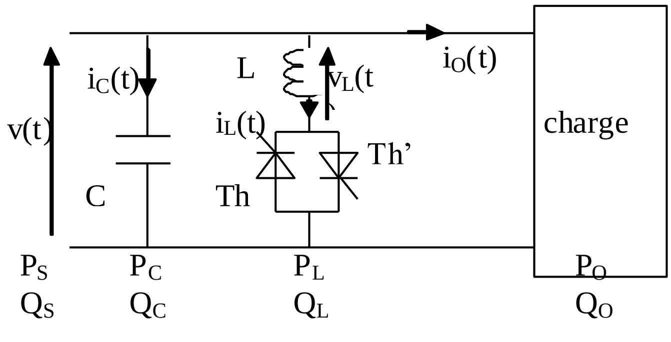
1. Commande A : α = 45 °
    a) Représenter i(t), $u_{Th2}(t)$, $i_{Th2}(t)$ en concordance avec v.
    b) Calculer la valeur efficace de u.
    c) Calculer la puissance P consommée.
    d) Calculer le facteur de puissance de l'installation.
    e) Quel est le type de commutation des thyristors ?
2. Commande B

    Il s'agit d'une commande en train d'onde. On laisse passer un certain nombre de sinusoïdes réseau de fréquence 50 Hz. La période du train d'onde est T_C.

    a) Représenter le courant i(t) et la tension $u_{Th2}(t)$ sur une période T.
    b) Calculer la puissance P consommée.
    c) Quel est l'intérêt de ce type de commande ?

Exercice 8: BTS 2001 Nouméa Stato compensateur version 2 (Solution 8:)

Pour assurer un meilleur réglage de la compensation de l'énergie réactive échangée entre une source et une charge, nous allons étudier un compensateur statique monophasé, dont le schéma de principe est donné sur la figure suivante



Dans cette partie, toute l'étude est faite en monophasé avec comme grandeurs :

- tension simple $v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t) = V\sqrt{2}\sin\theta$ à la fréquence f = 50 Hz, avec V=230V;

- charge linéaire consommant la puissance active constante P_0 = 50 kW et la puissance réactive Q_0 positive, avec un facteur de puissance variable entre 0,4 et 1.
On note φ_0 le déphasage entre le courant absorbé par la charge et la tension v.
La source monophasée fournit les puissances Ps et Q_S.
Le condensateur C consomme P_0 et Q_0.
L'ensemble « gradateur-bobine L » consomme P_L et Q_L.

I. Tout d'abord on étudie le fonctionnement du gradateur

Le gradateur est constitué de deux thyristors supposés parfaits, Th et Th' montés tête-bêche, en série avec une inductance pure L (cf. figure 3.2).

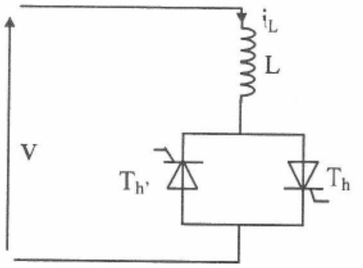


Figure 3.2

L'ensemble est alimenté sous la tension v(t), délivrée par la source. Th et Th' sont commandés de manière périodique. Th est commandé à la fermeture sur la demi alternance positive de la tension v, avec un angle de commande α compté à partir de 0, et compris entre $\frac{\pi}{2}$ et π (α en rad). Th' est commandé de la même manière sur la demi-alternance négative de la tension v. (cf document réponse n° 1)
Il est rappelé que si t est la variable temporelle de v(t), θ est la variable angulaire de la même grandeur v avec : $\theta = \omega t$

$$v(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \text{ ou } v(\theta) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\theta)$$

a) Pour $\alpha = \frac{3\pi}{4}$: i_L (t) a l'allure donnée sur la figure du bas du documentréponse n° 1.
   Préciser sur la figure du haut du document réponse n°1 l'intervalle de conduction de Th et Th'.
   Expliquer pourquoi Th cesse de conduire.
   Tracer l'allure du fondamental de i_L(t), noté i_{Lf}(t), sur la figure du bas du document réponse n° 1

b) La valeur instantanée du fondamental de i_L(t), i_{Lf}(t) a pour expression en fonction de α

$$i_{L1}(t) = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi.L.\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right).\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

   En déduire l'expression de la puissance active P_L et de la puissance réactive Q_L absorbée par l'ensemble «gradateur-bobine » en fonction de α.

II. Bilan des puissances (cf. figure 3.1)

a) Quelles sont les puissances actives P_C et P_L consommées respectivement par le condensateur et l'ensemble « gradateur - bobine » ? Donner la relation entre P_S et P_0.

b) Faire le bilan des puissances réactives, en donnant la relation entre Q_S Q_C., Q_L et Q_0

c) En déduire que la relation générale entre P_0, φ_0 , V, C, L, α et ω , quand Q_S = 0, est :

$$P_O.\tan\phi_O + \frac{2V^2}{\pi.L.\omega}(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta) - V^2 C\omega = 0$$

d) On a Q_L = 0 lorsque $\alpha = \pi$. On réalise ce réglage pour un facteur de puissance de la charge de 0,40.
   En déduire la valeur de la capacité C du condensateur pour que Q_S = 0. La valeur de la capacité reste maintenant constante et égale à C = 6,9 mF.

e) Dans le cas d'une charge ayant un facteur de puissance de 1, on désire obtenir Q_S = 0, avec le réglage α = π/2. En déduire la valeur de L.

f) Les courbes donnant la puissance réactive Q_S, fournie par le réseau, à P_0 = constante, en fonction du facteur de puissance (f_P) de la charge et du réglage du gradateur (α) sont données sur le document réponse n° 2. Sur le document réponse n° 2, placer les 3 points suivants :

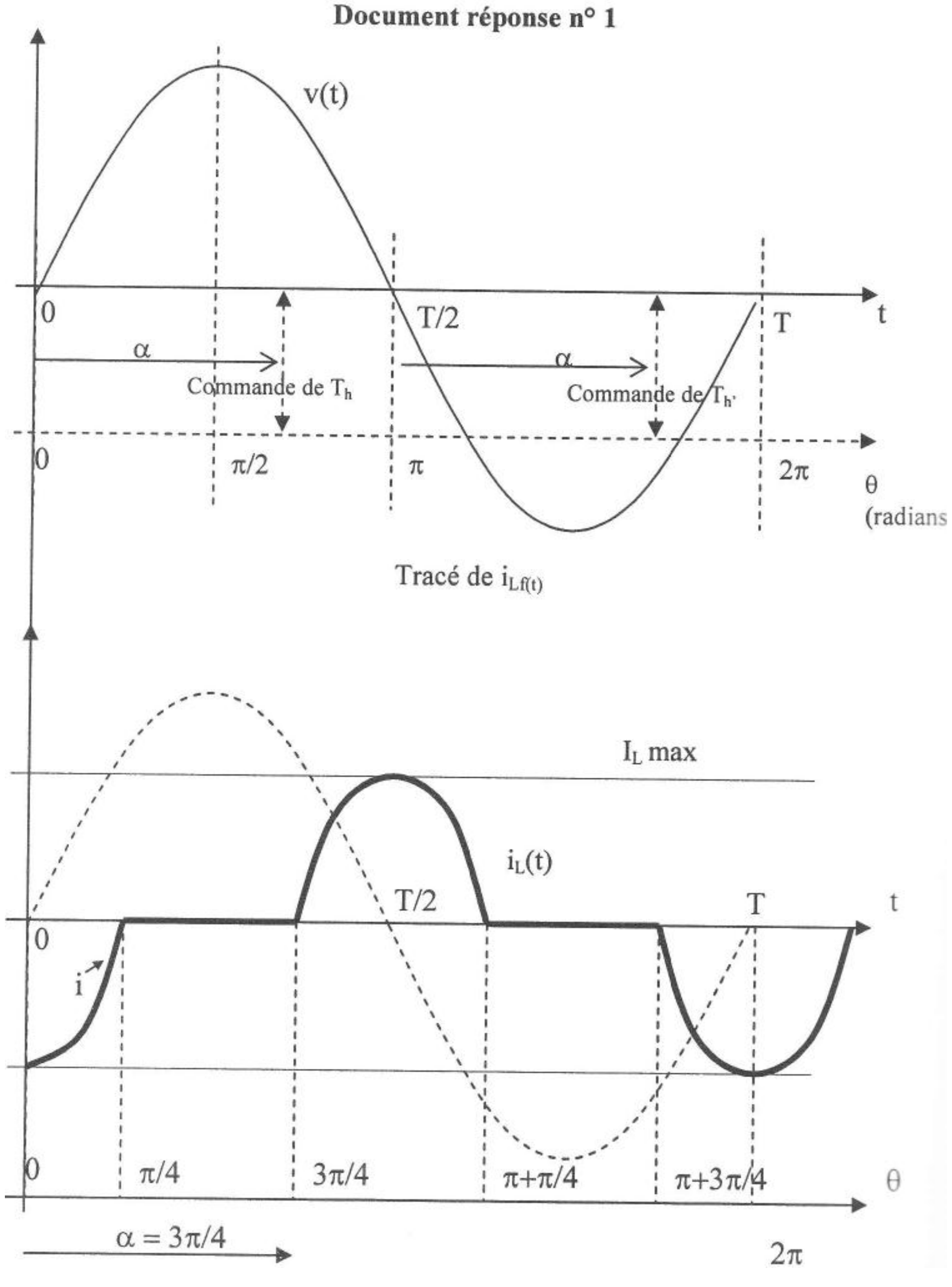
Point A pour le cas du 2.d ;

Point B pour le cas du 2.e ;

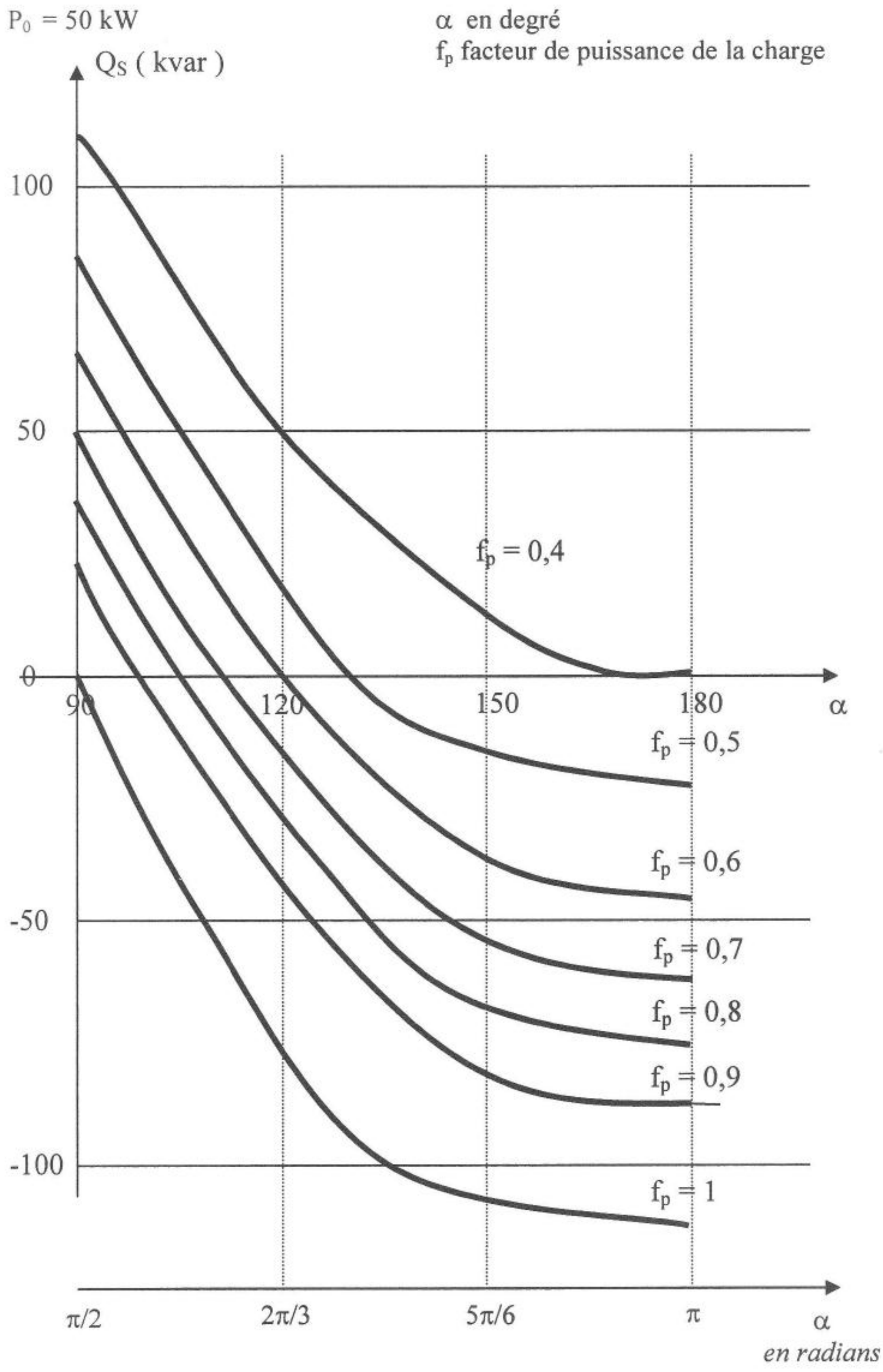
Point C pour un réglage de $Q_S = 0$ si $f_p = 0{,}80$.

A quelle valeur de α faut-il régler le gradateur pour le point C ?

Document réponse n° 1



Document réponse n° 2

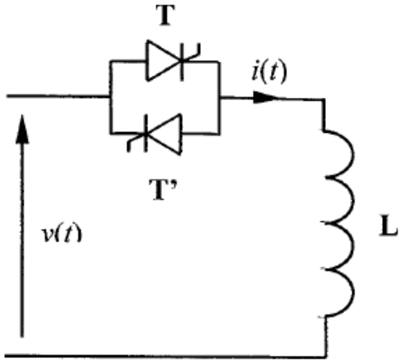


Exercice 9: BTS 2004 Nouméa Démarrage de l'éolienne (Solution 9:)

À la suite d'un arrêt, pour faire démarrer l'éolienne, on utilise la machine asynchrone en moteur alimenté par le réseau 690 V /50 Hz. A l'instant du démarrage, chaque phase du moteur peut être assimilée à une inductance pure L = 0,32 mH.

A.III.1. Quelle serait la valeur efficace du courant au début d'un démarrage en direct sur le réseau ?

Afin de limiter l'intensité du courant au démarrage, on insère en série avec chaque enroulement du moteur un gradateur constitué de deux thyristors T et T'. (figure 3).



(figure 3).

Le thyristor T est amorcé avec un retard angulaire α par rapport à l'origine de la tension simple d'expression :

$$v(t) = V\sqrt{2}\sin\omega t$$

Le thyristor T' est amorcé une demi période plus tard.

A.III.2. Écrire l'équation différentielle liant i(t) et v(t) lorsque T est passant.

A.III.3. Résoudre cette équation en tenant compte qu'à l'instant d'amorçage de T, i(t) = 0. Vérifier que :

$$i(t) = \frac{V\sqrt{2}}{L\omega}\left(\cos\alpha - \cos\omega t\right)$$

A.III.4. On donne à l'angle de retard la valeur $\alpha = 3\pi/4$.

- Placer sur le document réponse DR2a la droite horizontale d'ordonnée $\frac{V\sqrt{2}}{L\omega}\cos\alpha$, en déduire l'allure du courant i(t) lorsque T est passant. Préciser l'intervalle pour lequel T est passant.
- Compléter le document réponse pour T' passant.

A.III.5. Pour $\alpha = \pi/2$, que devient l'équation de i(t) lorsque T est passant ? Tracer i(t) sur le document réponse DR2b et préciser les intervalles de conduction des thyristors. Vérifier que la valeur efficace de i(t) est I_0 = 3960 A.

A.III.6. La figure 4 donne le rapport I/I_0 en fonction du retard α exprimé en degrés, I est la valeur efficace de i(t). Déterminer la valeur de α pour limiter le courant de démarrage du moteur à 2,5 I_n soit 1570 A.

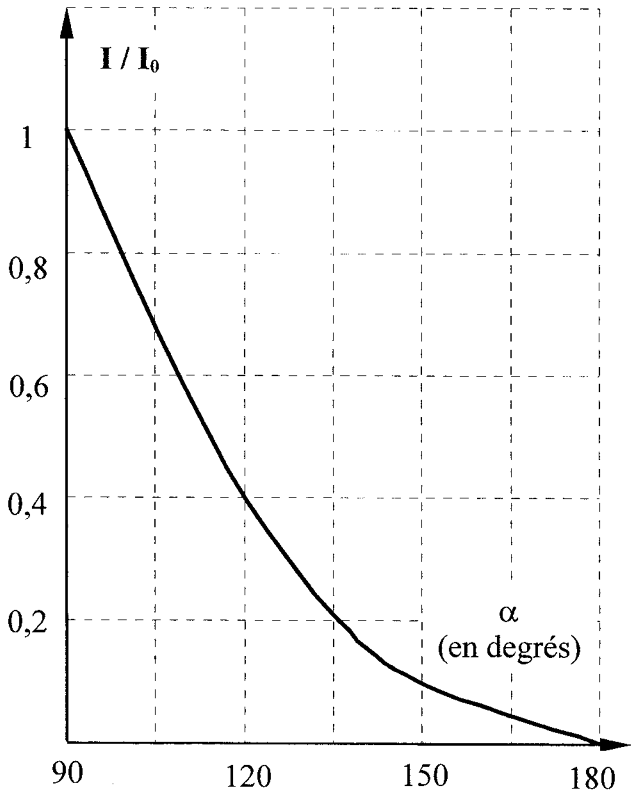
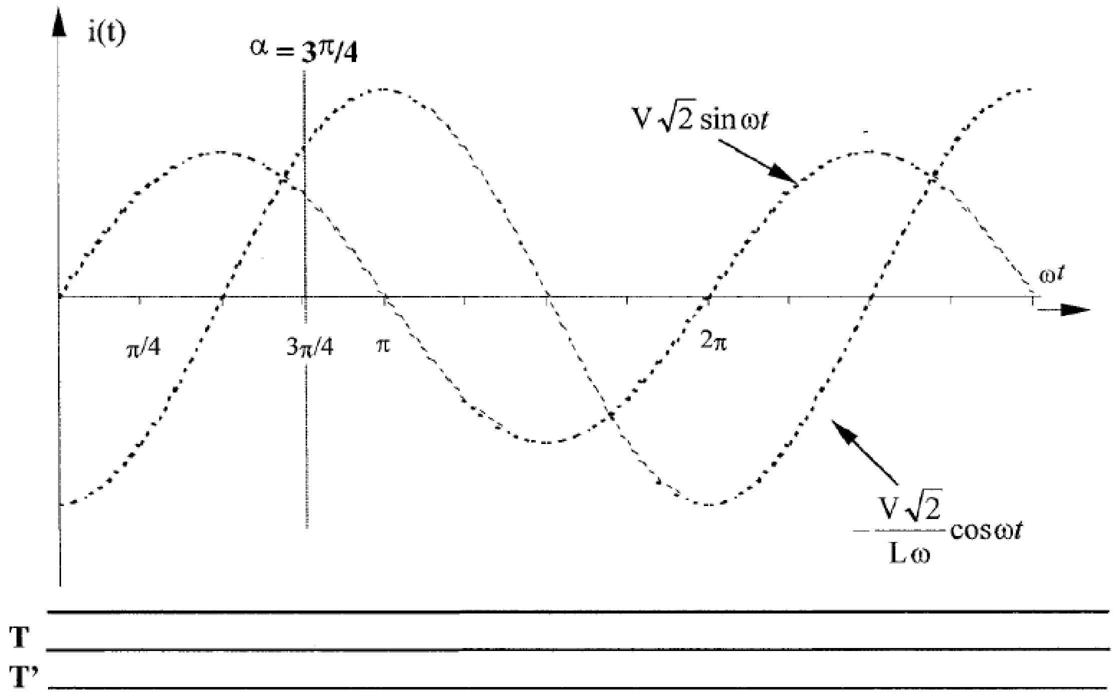


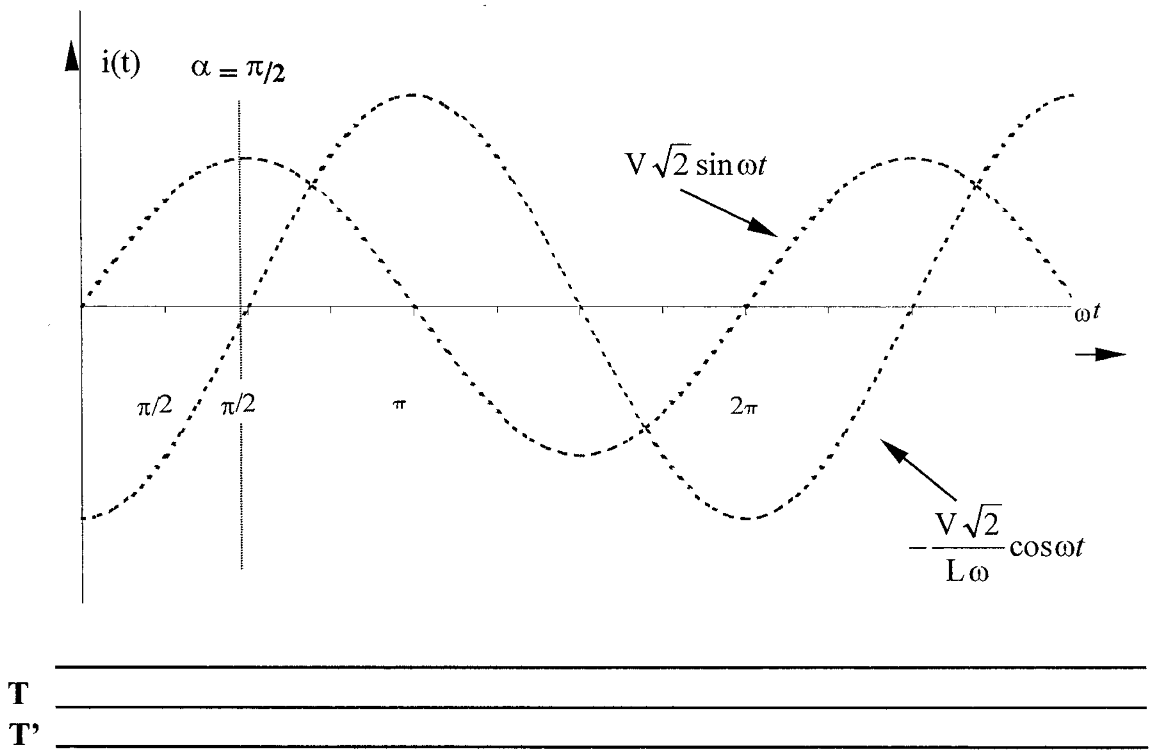
figure 4

Document Réponse DR2a



DELIMITER ET HACHURER LES INTERVALLES OU LES THYRISTORS SONT PASSANTS

Document Réponse DR2b



DELIMITER ET HACHURER LES INTERVALLES OU LES THYRISTORS SONT PASSANTS

Exercice 10: BTS 2005 Nouméa Démarrage et arrêt de la scie (Solution 10:)

C1. Principe du gradateur

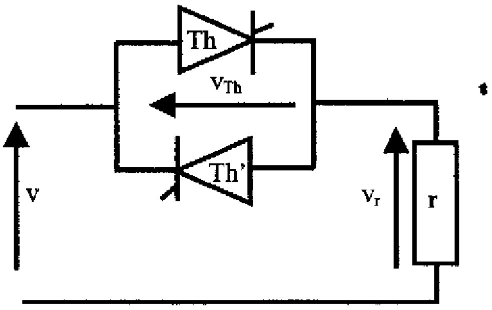


Figure 4

Sur la figure 4, est représenté un gradateur monophasé, alimentant une résistance r. Les thyristors Th et Th' sont commandés avec un retard à l'amorçage ψ par rapport aux passages à 0 de la tension sinusoïdale d'alimentation v de pulsation ω_S. On note $v = V\sqrt{2}\sin\theta$, avec $\theta = \omega_S t$.

C.1.1. Donner, sur le document réponse n°2, figure 8, l'allure des tensions v_r et v_{Th}, si ψ = 120 °. Préciser les instants de conduction des thyristors Th et Th'.

C.1.2. Ecrire l'expression de l'intégrale permettant d'obtenir la valeur efficace V_r de la tension v_r aux bornes de la résistance r. Le calcul complet n'est pas demandé.

C.1.3. Préciser les valeurs prises par V_r pour ψ = 180° et ψ = 0°?

DOCUMENT REPONSE N°2

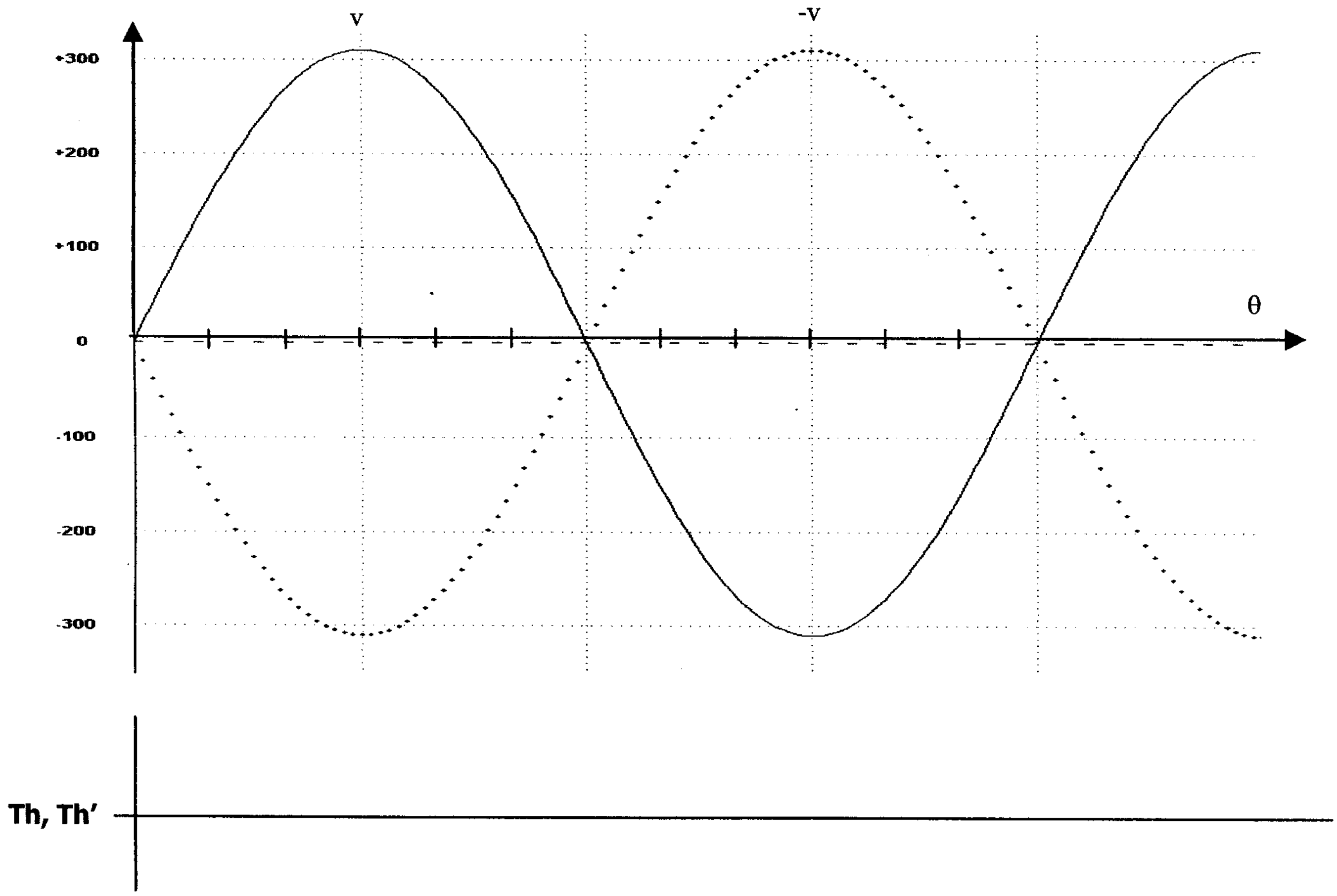


Figure 8

Exercice 11: BTS 2011 Nouméa : Embouteillage Volvic (Solution 11:)

: Étude énergétique du nouveau réchauffeur

On se propose, dans cette partie du sujet, d'analyser le mode de commande par train d'ondes du réchauffeur puis de déterminer plus globalement les économies d'énergies liées à son installation.

La puissance de chauffe maximale du réchauffeur est de 96 kW. Ce réchauffeur est composé de ***trois charges triphasées*** *équilibrées purement résistives. Chacune de ces charges est alimentée par un convertisseur statique triphasé alternatif-alternatif permettant une modulation de l'énergie de chauffage par train d'ondes à partir d'un réseau triphasé 230V/400V, 50 Hz.*

A.1 Caractéristiques d'une charge triphasée du réchauffeur

A.1.1 Quelle est la puissance de chauffe maximale P_{1max}, délivrée par une charge triphasée ?

A.1.2 Chaque charge triphasée est constituée de trois éléments chauffants de résistance R. Quel couplage faut-il adopter pour alimenter chaque élément sous une tension de 400V ?

A.1.3 Déterminer la valeur de la résistance R d'un élément chauffant.

A.2 Commande par train d'ondes d'un élément chauffant

On étudie, par souci de simplification, le principe de fonctionnement de la commande par train d'ondes sur un gradateur monophasé à thyristors alimentant une résistance r quelconque (figure n°1). Les résultats obtenus sont transférables à une charge triphasée.

La tension v(t) du réseau, de valeur efficace V = 230V, a pour fréquence f = 50Hz. Sa période est notée T.

Le signal de commande des thyristors est un cycle de période T_C comportant un nombre entier p de périodes T du réseau. Les thyristors reçoivent des impulsions en permanence pendant n périodes du réseau. Puis les impulsions cessent pendant les p-n périodes restantes. Les thyristors sont considérés comme parfaits.

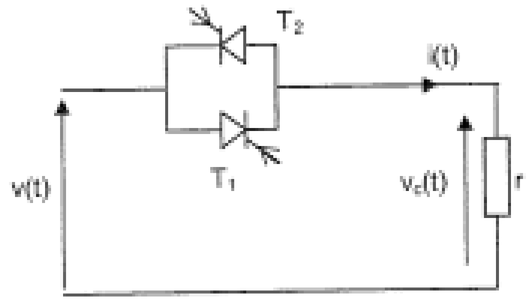


Figure n°1

A.2.1 Rappeler les conditions de mise en conduction et de blocage d'un thyristor.

A.2.2 On donne, sur le document réponse A , l'allure de l'intensité du courant i(t) dans la charge r.
- Représenter sur l'axe des temps t les périodes T et Tc.
- indiquer les intervalles de temps qui correspondent aux n périodes T et aux p-n périodes T caractérisant le cycle de commande des thyristors.
- Préciser les intervalles de conductions des thyristors T_1 et T_2.

A.2.3 Exprimer la période T_C en fonction de la période T et p.

A.2.4 Donner l'expression du rapport cyclique α de la commande en fonction de n et p. On rappelle que le rapport cyclique est le rapport de la durée de conduction du gradateur par la durée d'un cycle de commande.

A.2.5 Connaissant l'allure de i(t), représenter sur le document réponse A l'allure de la tension $v_c(t)$ aux bornes de la charge. Justifier la démarche suivie et préciser la valeur numérique de l'amplitude de cette tension.

A.2.6 Rappeler la définition de la puissance active P absorbée par la charge r en l'exprimant en fonction des grandeurs électriques notées sur la figure n°1.

A.2.7 La valeur efficace V_C de la tension $v_C(t)$ s'exprime par $V_C = V \cdot \sqrt{\alpha}$ où V est la valeur efficace de la tension v(t).

Montrer que la puissance P peut alors s'écrire : $P = \dfrac{V^2 \cdot \alpha}{r}$

A.2.8 Préciser la plage de réglage de la puissance active absorbée par la charge r. Quel est l'intérêt pratique de la commande par train d'ondes ?

A.3 Bilan énergétique du chauffage de l'air pour le séchage du P.E.T.

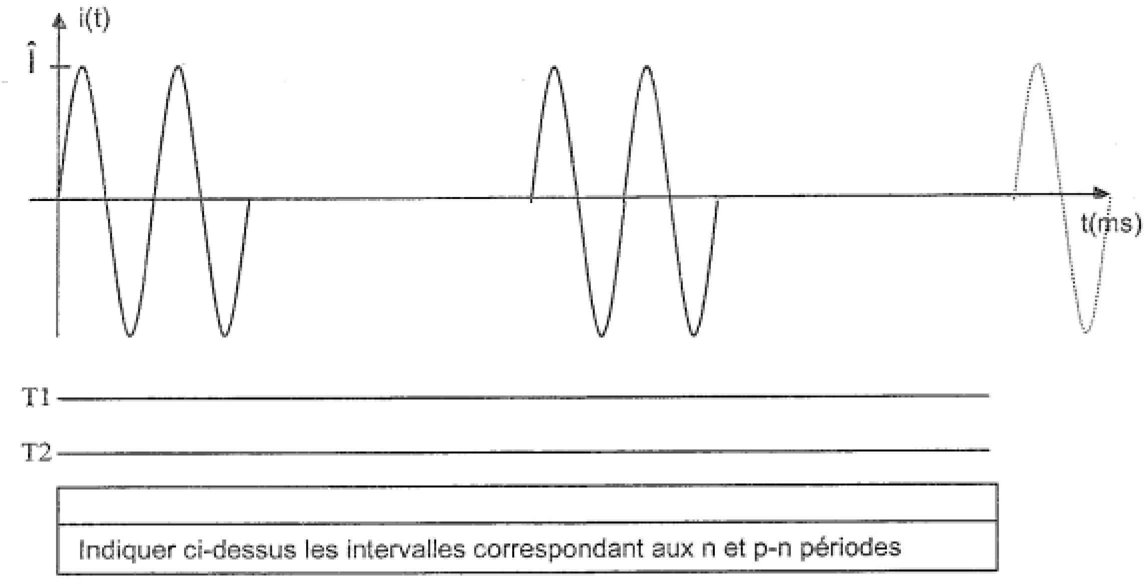
Les relevés énergétiques du réchauffeur du nouveau sécheur Husky 4 ont permis de déterminer que, pour une séquence de séchage de 1 minute, le chauffage mobilisait une puissance de 96 kW pendant 30s. L'ancien système était équipé d'une puissance de chauffe de 160 kW pour les mêmes paramètres de temps de chauffe et de séchage.

A.3.1 Déterminer en Watt.heure les énergies W_n et W_a respectivement consommées pour 1h de séchage par les réchauffeurs du nouveau et de l'ancien sécheur. Quelle est l'énergie $W_{écoR}$ économisée pendant 1h de fonctionnement ?

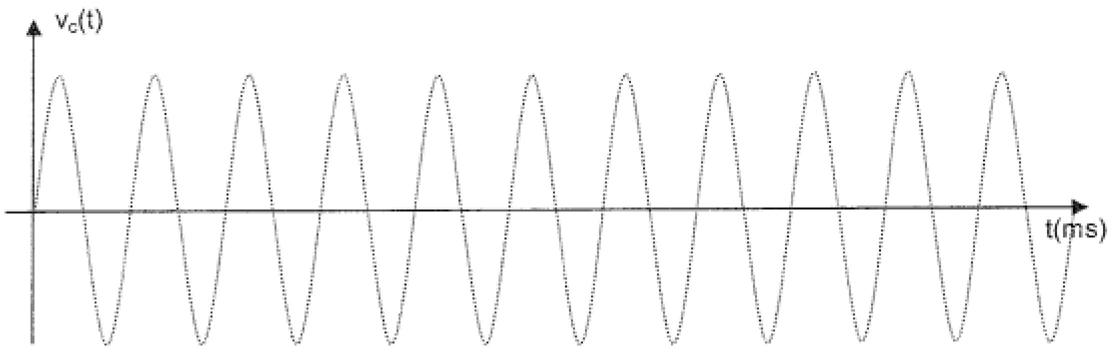
A.3.2 En supposant que les deux sécheurs sont utilisés sur l'année dans des conditions identiques, déterminer en pourcentages, l'économie d'énergie réalisée par l'installation du nouveau sécheur.

DOCUMENT REPONSE A

Question A.2.2



Question A.2.5



Exercice 12: BTS 20131 Métro : Eclairage Pablo Picasso (Solution 12:)

Les projecteurs sont alimentés par l'intermédiaire de gradateurs afin de créer des jeux de lumière. Nous allons montrer dans cette partie que l'utilisation de gradateurs triphasés est susceptible de générer un courant dans le conducteur neutre nécessitant une attention particulière lors de son dimensionnement.

Dans toute cette partie, les gradateurs sont constitués de thyristors supposés idéaux (circuit ouvert à l'état bloqué et court-circuit à l'état passant). Ils sont montés tête-bêche.

B.1. Principe de fonctionnement d'un gradateur monophasé, étude des puissances

Cette première étude simplifiée en monophasé vise à nous familiariser avec les outils d'analyse utilisés dans la partie triphasée.
Un gradateur monophasé à commande par modulation de l'angle de phase est alimenté par un réseau monophasé 50 Hz, 230 V. Il est connecté à deux projecteurs de lumière considérés comme étant équivalents à une charge purement résistive de puissance 2000 W sous 230 V (figure 3).
On admet que le réseau n'a pas d'impédance. On dit aussi qu'il a une puissance de court-circuit infinie.

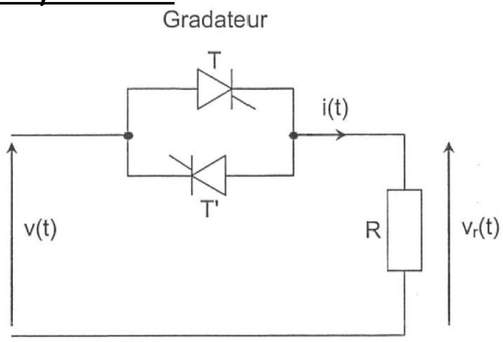


Figure 3

B.1.1. Calculer la valeur de la résistance R.

B.1.2. Pour un angle de retard à la conduction α = 2 , indiquer sur le **document-réponse 1**, les intervalles de conduction des deux thyristors et tracer les chronogrammes de l'intensité i(t) et de la tension vr(t).

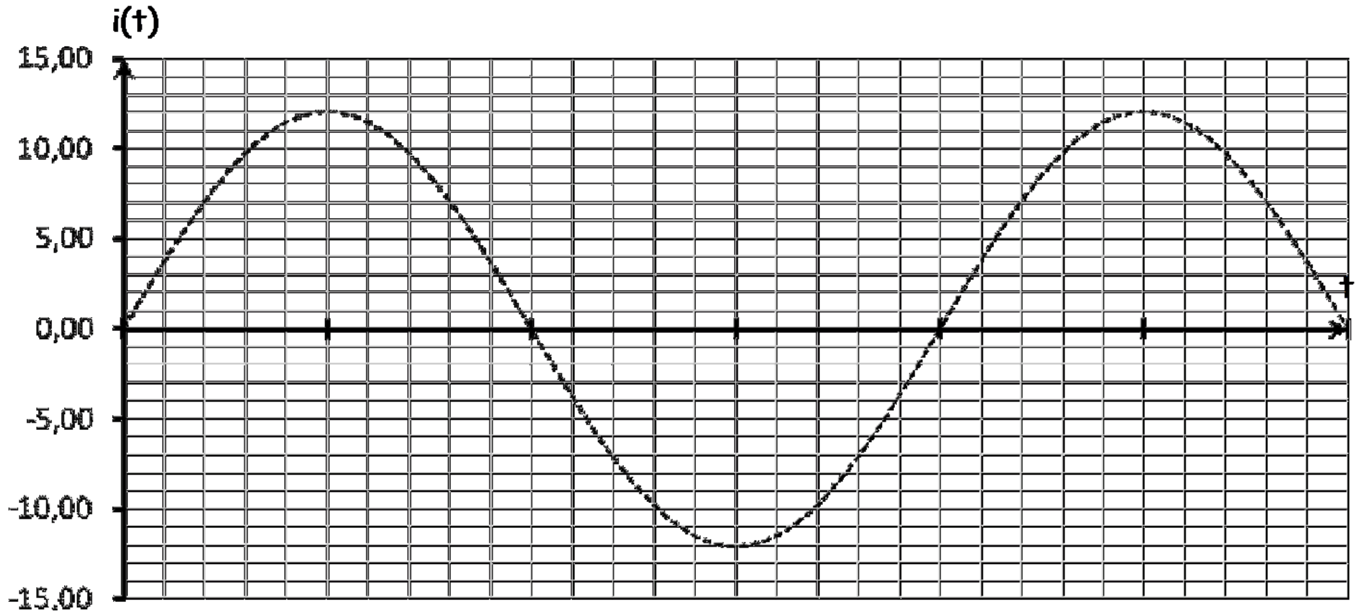
Étude des puissances du côté de la charge

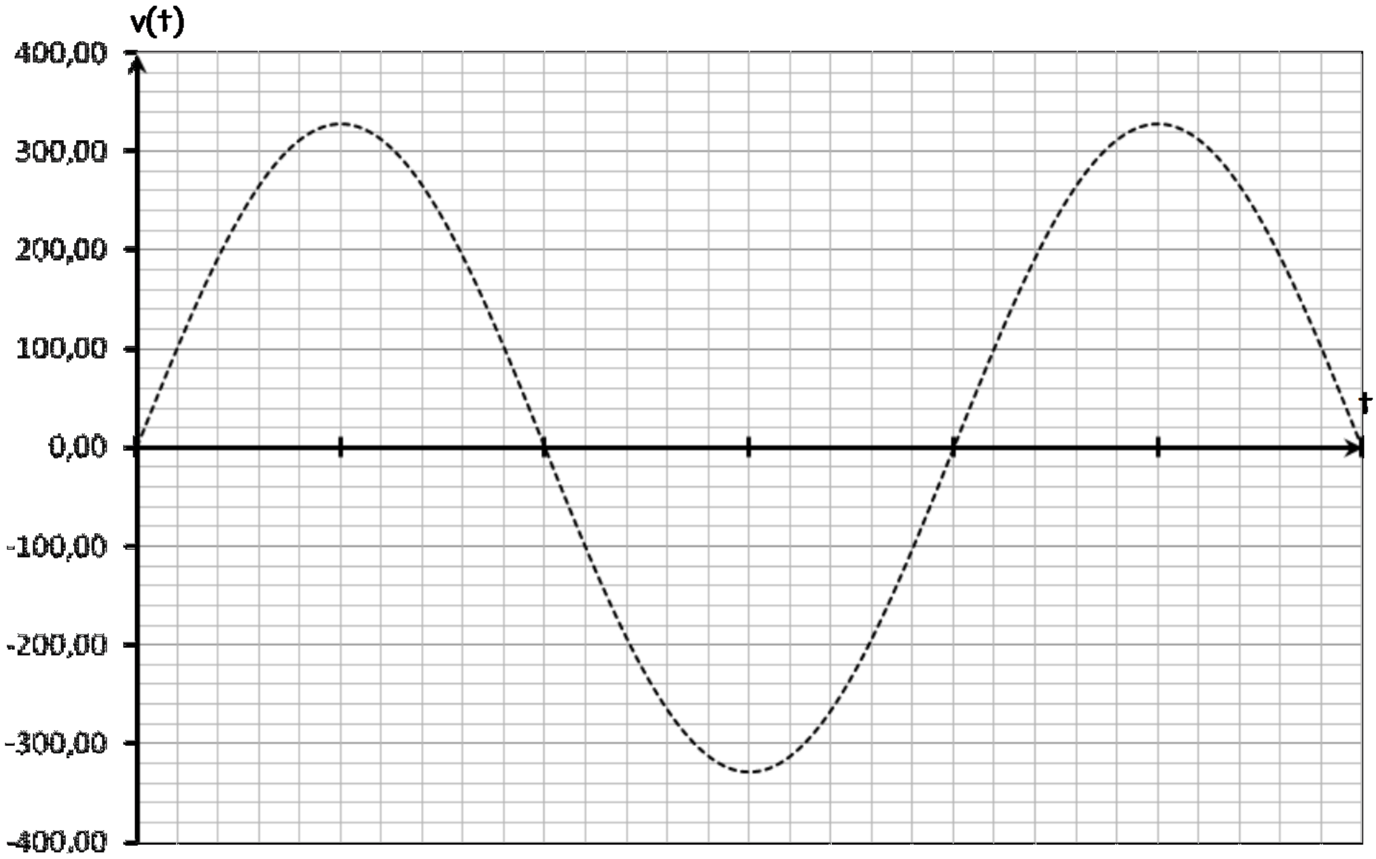
B.1.3. L'expression de la valeur efficace de i(t) est : $I = \frac{V}{R}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$ (avec α en radian).

Pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, calculer !a valeur efficace I de i et la puissance active P consommée par la résistance.

Document-réponse 1

T	
T'	


i(t)
15,00
10,00
5,00
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
t


v(t)
400,00
300,00
200,00
100,00
0,00
-100,00
-200,00
-300,00
-400,00
t

Exercice 13: BTS 2013 Métro : Eclairage Pablo Picasso (Solution 13:)

B.3. Gradateur triphasé en fonctionnement déséquilibré, étude du courant dans le conducteur neutre

Pour créer certaines ambiances d'éclairage sur la scène, les 3 paires de projecteurs peuvent être commandés séparément.

Nous étudierons comme exemple la commande suivante : l'angle de commande sur la ligne 1 est de 90° l'angle de commande sur la ligne 2 est de 0° l'angle de commande sur la ligne 3 est de 180°.

Les allures correspondantes aux courants i_{L1}, i_{L2}, i_{L3}, sont représentées sur le ***document-réponse 2.***

Nous allons montrer comme dans le cas précédent, que cette situation est très contraignante pour le courant dans le conducteur neutre.

B.3.1. Tracer sur ce document l'allure de i_N.

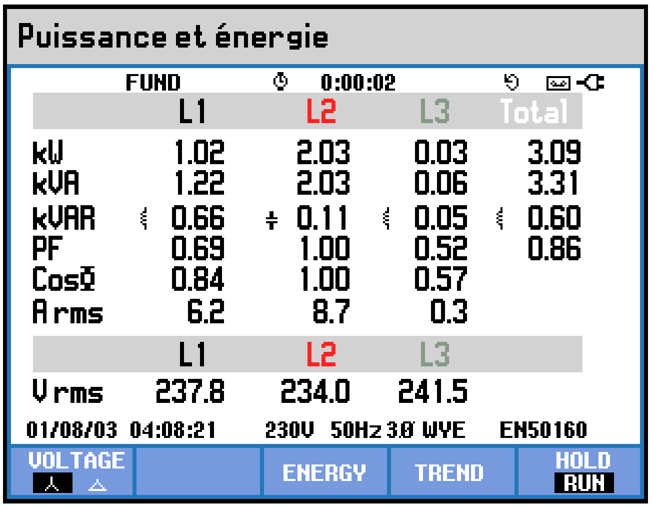
B.3.2. D'après les relevés (annexe 4) calculer le rapport $\frac{I_N}{I_1}$ (I1 est la valeur efficace du courant circulant dans la ligne L_1 lorsque l'angle de commande du gradateur est réglé à 0°).

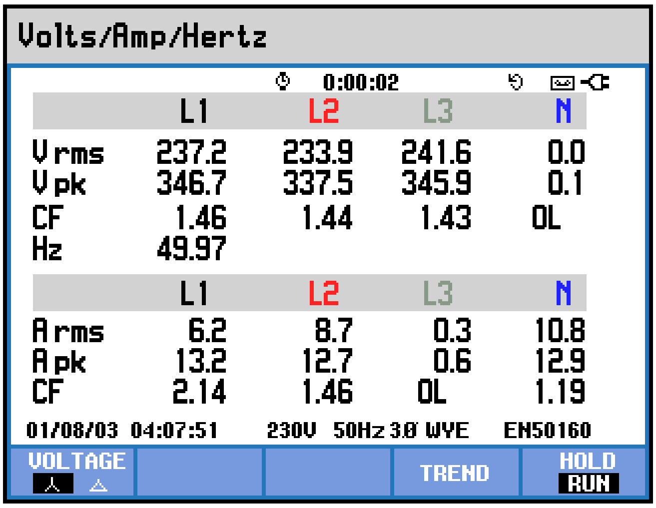
B.4. Dimensionnement du conducteur neutre

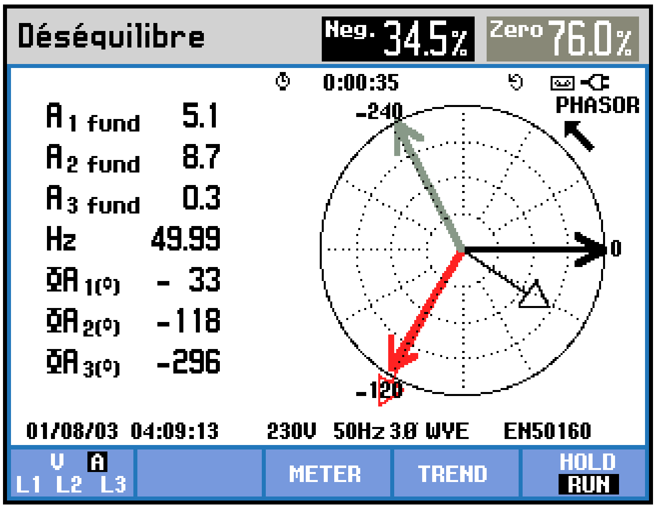
D'après les résultats précédents, indiquer les précautions à prendre lorsque l'on dimensionne le conducteur neutre de l'installation sachant que le nombre de projecteurs commandés par gradateur a été augmenté.

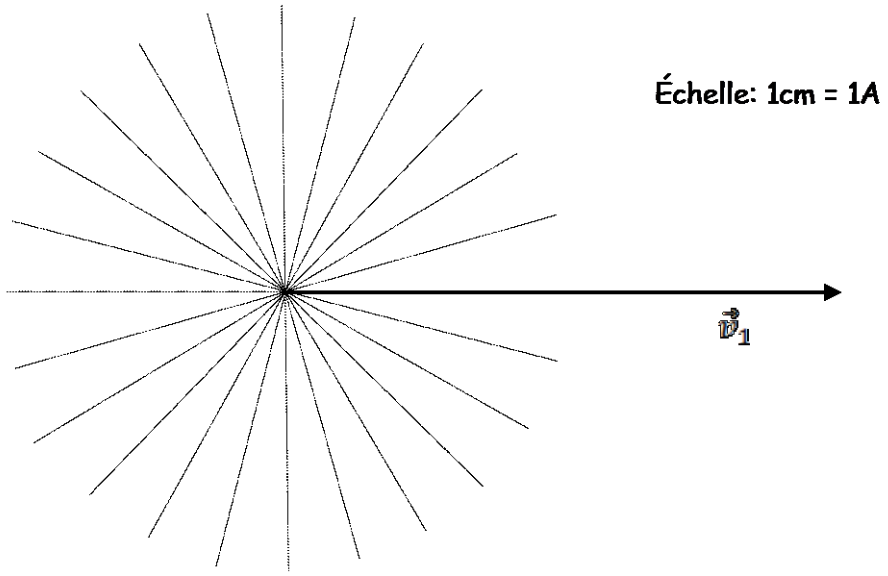
ANNEXE 4

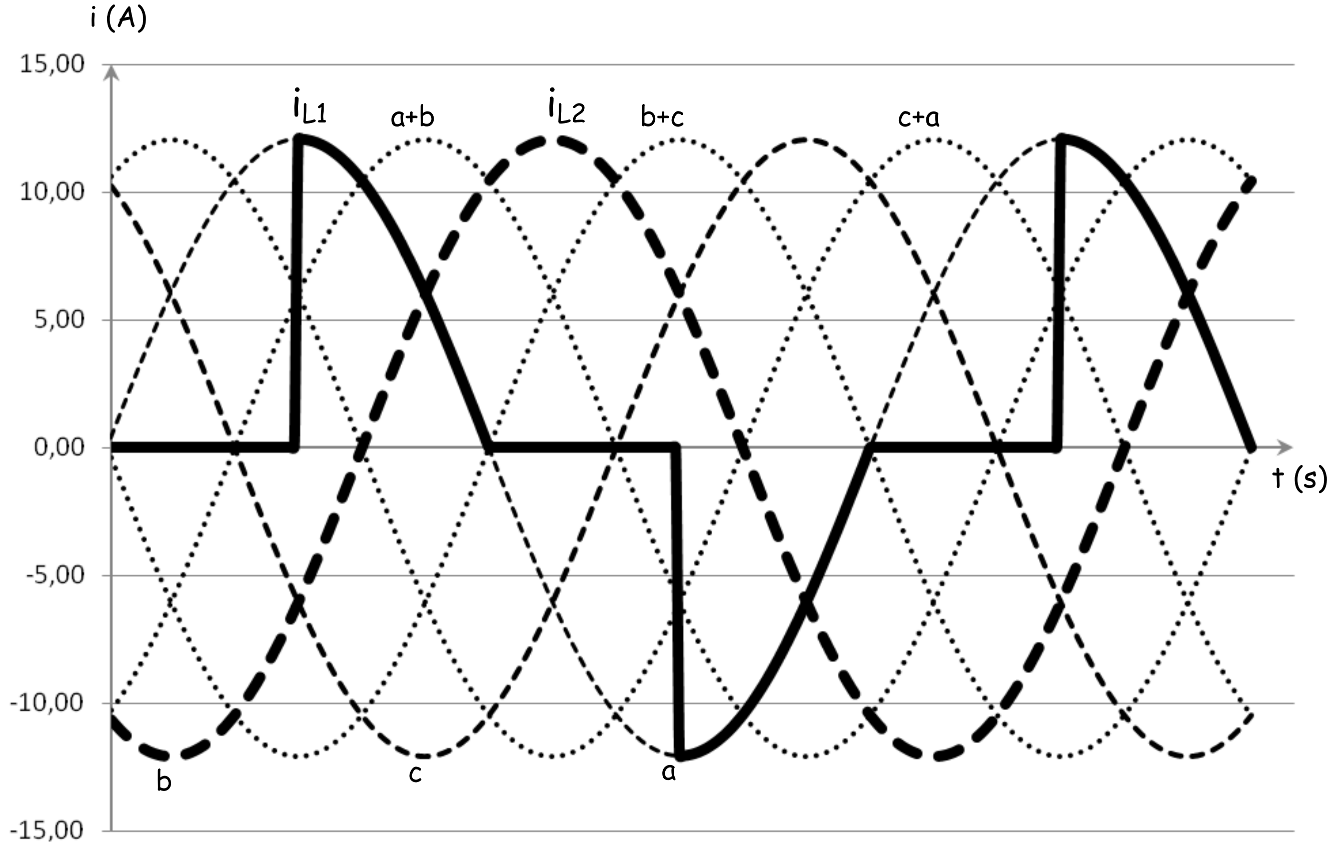
Fonctionnement déséquilibré








Échelle: 1cm = 1A
$\vec{v}_1$


i (A)
15,00
10,00
5,00
0,00
-5,00
-10,00
-15,00
t (s)
i_{L1}
a+b
i_{L2}
b+c
c+a
b
c
a

Solutions

Solution 1: Exercice 1:QCM :

1. A-b-e
2. A-b-c-d
3. A-d-e
4. A-d-e

Solution 2: Exercice 2:Système de chauffage de l'air ventilé

Solution 3: Exercice 3:BTS 2001 Nouméa Etude d'un compensateur statique monophasé

1. Le gradateur fait varier la puissance réactive Q_L car la valeur efficace de la tension $v_L(t)$ varie avec l'angle δ, ainsi que la valeur efficace du fondamental $i_{L1}(t)$ du courant $i_L(t)$.

2. La puissance active P_L est nulle car le courant $i_{L1}(t)$ est en quadrature arrière par rapport à $v(t)$. Pour la puissance réactive, on écrit que $Q_L = V \times I_{L1\,eff}$ soit $Q_L = \frac{2V^2}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right)$.

3. La puissance active P_c consommée par le condensateur C est nulle car le courant $i_c t)$ est en quadrature avant par rapport à $v(t)$.

4. La puissance réactive consommée par la charge est $Q_0 = P_0 \times tg\,\varphi_0$. Cette puissance s'ajoute à Q_L. D'autre part $Q_c = -V^2 \times C\omega$. On écrit donc :

$$Q_0 + Q_L + Q_c = Q_s = 0$$

Ce qui donne la relation donnée dans l'énoncé.

5. On a $\cos\varphi_0 = 0{,}4$, soit $tg\,\varphi_0 = 2{,}29$. On obtient donc :

$$5 \times 10^4 \times 2{,}29 - 230^2 \times C \times 100\pi = 0$$

Ce qui donne C = 6,89 mF.

6. Pour $\cos\varphi_0 = 1$ et pour $\delta = \pi/2$, l'équation de la question 4 devient :

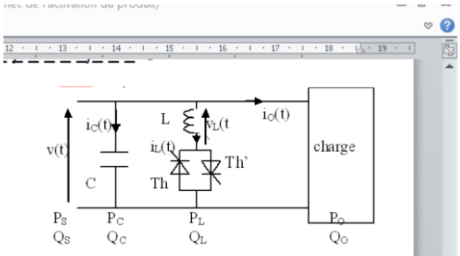
$$\frac{V^2}{L\omega} - V^2 \times C\omega = 0$$

ce qui revient à écrire :

$$L = \frac{1}{C\omega^2} = 1{,}47\ mH$$

$P_0 \tan\varphi_0 - C\omega V^2 = 0$ car $Q_L = 0$

$$C = \frac{P_0 \tan\varphi}{\omega V^2} = \frac{5.10^4 \times 2{,}29}{2\pi \times 50 \times 230^2}$$



$$i_L(t) = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right)\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow \varphi_{v/i_L} = \varphi_v - \varphi_{i_L} = 0 - \left(-\frac{\pi}{2}\right) = +\frac{\pi}{2}$$

Déphasage classique d'une bobine

$$Q_S = 0 = Q_C + Q_L + Q_O$$

$$0 = -C\omega V^2 + Q_L + P_o \tan\varphi_o$$

$$\Rightarrow P = VI\cos\varphi = 0$$

$$Q_L = VI\sin\varphi = VI$$

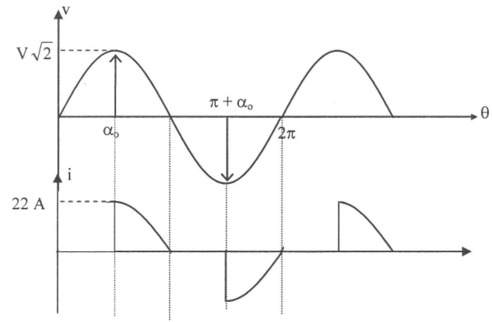
$$\boxed{Q_L = \frac{2V^2}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right)}$$

Solution 4: Exercice 4:Gradateur monophasé puis triphasé

1. Gradateur monophasé.

a) T devient passant lorsque la tension directe à ses bornes est positive (soit $v(t) > 0$) et qu'il reçoit des impulsions de courant sur la gâchette, c'est-à-dire

à partir de t_o tel que $\alpha_o = \omega t_o$. On a alors $u_c(t) = v(t)$ et comme la charge est résistive, i(t) a la même allure. i(t) s'annule à T/2 (soit pour l'angle π si l'on prend $\theta = \omega t$ comme variable). T est passant de α_o à π.
Le comportement de T' est symétrique, T'est donc passant de $\pi + \alpha_o$ à 2π. Lorsque T' est passant, $u_c = v$ et $i = v/R$.



b) Si l'on trace la puissance instantanée p(t) pour $\alpha_o = \pi/2$, on constate que l'aire de la courbe est la moitié de celle de p(t) pour $\alpha_o = 0$ (régime sinusoïdal, on appellera la puissance moyenne P_o dans ce cas). La puissance moyenne (<p(t)>) est proportionnelle à l'aire donc P pour $\alpha_o = \pi/2$ vaut $P_o/2$, avec $P_o = \frac{V^2}{R}$.

On a donc : $P = \frac{P_o}{2} = \frac{V^2}{2R}$.

$$\boxed{P = \frac{220^2}{2\times 10} = 2420 \text{ W}}$$

c) Pour la charge, on peut écrire $P = RI_{eff}^2 = \frac{U_{ceff}^2}{R}$. On en déduit alors :

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{P}{R}} \text{ et } U_{ceff} = \sqrt{RP}$$

$I_{eff} = \sqrt{\frac{2420}{10}} = 15{,}5$ A et $U_{ceff} = RI_{eff} = 10 \times 15{,}5 = 155$ V.

d) Comme la tension v(t) est sinusoïdale, seul le fondamental du courant contribue au transfert de puissance active et $P = VI_{1eff}\cos\varphi_1$ où

$I_{1eff} = \frac{I_{1\,max}}{\sqrt{2}}$ est la valeur efficace du fondamental du courant (cf. cours Régimes périodiques).

$P = 220 \times \frac{18{,}4}{\sqrt{2}} \times \cos 0{,}567 = 2414$ W ,

$$\boxed{P = 2414 \text{ W}}$$

e) La puissance réactive fournie par le réseau est $Q = VI_{1eff}\sin\varphi_1$.

$Q = 220 \times \frac{18{,}4}{\sqrt{2}} \times \sin 0{,}567 = 1538$ VAR

$$\boxed{Q = 1538 \text{ VAR}}$$

f) La puissance apparente vaut $S = VI_{eff} = 220 \times 15{,}5$

$$\boxed{S = 3410 \text{ VA}}$$

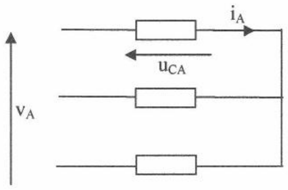
g) Le facteur de puissance de l'installation est :

$$F_p = \frac{P}{S} = \frac{2420}{3410} = 0{,}7.$$

2. Gradateur triphasé

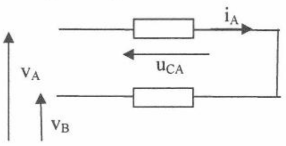
a) La tension $u_{CA} = Ri_a$. Nous allons déterminer i_a dans les différents intervalles.

- Entre 0 et 30° : ni T_a, ni T'_a ne sont passants donc $i_a = 0$ et $u_{CA} = 0$.
- Entre 30° et 60°, chaque phase est passante donc le montage est équivalent à :



et $\boxed{u_{CA} = v_A}$.

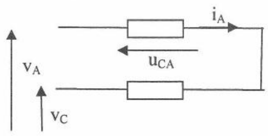
- Entre 60 et 90°, le montage est équivalent à :



En utilisant les lois de base du circuit :

$$\boxed{u_{CA} = Ri_A = \frac{v_A - v_B}{2}}$$

- Entre 90 et 120° : on est dans le même cas qu'entre 30 et 60 ° : $\boxed{u_{CA} = v_A}$.
- Entre 120 et 150°, le montage est équivalent à :

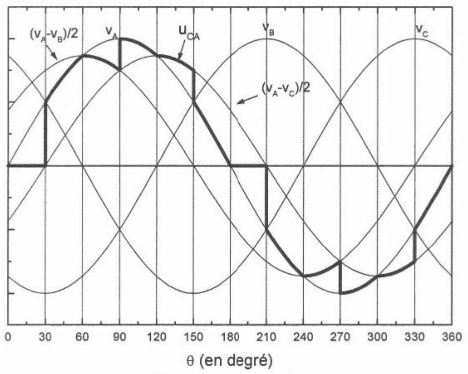


En utilisant les lois de base du circuit :

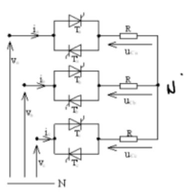
$$\boxed{u_{CA} = Ri_A = \frac{v_A - v_C}{2}}$$

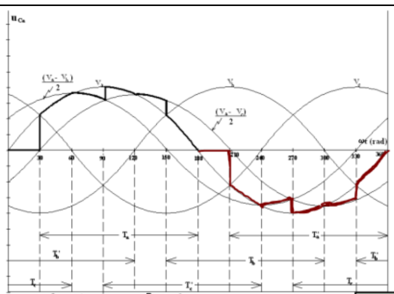
- Entre 150 et 180° : on est dans le même cas qu'entre 30 et 60 ° : $\boxed{u_{CA} = v_A}$.

b) La courbe est symétrique par rapport à la demi période ce qui donne l'allure ci-dessous.



Chronogramme de u_{CA}





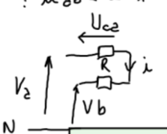
1 2 3 4 5 6

1) 0 à 30° : b et c conduisent : pas de courant sur U_{ca} ⇒ $\boxed{U_{ca} = 0}$

2) 30 à 60 : a, b, c " : syst équilibré ⇒ $V_N = V_{N'}$ ⇒ $\boxed{U_{ca} = V_a}$

3°) 60 à 90 : a, b " : $u_{ab} = 2R \times i = u_{ca}$ u_{cb}

⇒ $\boxed{u_{ca} = \frac{u_{ab}}{2} = \frac{V_A - V_b}{2}}$



4°) 90° à 120° : a b c conduisent => $\boxed{U_{ca} = V_a}$

5°) 120 à 150 : a, c " ⇒ $u_{ac} = 2 \times Ri$ or $Ri = u_{ca}$

⇒ $\boxed{u_{ca} = \frac{V_a - V_c}{2}}$

6°) 150 à 180° : a b c . " ⇒ $\boxed{U_{ca} = V_a}$

7) 180 à 210 : b, c " ⇒ $U_{ca} = 0$

210 à 240 : a b c " ⇒ $U_{ca} = V_a$

240 à 270 : a b " ⇒ $\frac{U_{ab}}{2} = U_{ca}$ ⇒ $U_{ca} = \frac{V_a - V_b}{2}$

Solution 5: Exercice 5:Gradateur triphasé alimentant des résistances d'un four électrique

1. La commande des thyristors est possible en montage triangle car chaque dipôle constituant une branche fonctionne entre phases indépendamment des autres. On retrouve donc le fonctionnement de trois gradateurs monophasés où la tension d'alimentation a pour valeur efficace $U_{ab} = V\sqrt{3}$, entre les phases a et b par exemple.

2.1. Dans le cas du montage étoile avec fil neutre, on utilise le formulaire du § IV.3. On obtient :

$$P_1 = \left(\frac{3\ V^2}{R}\right)\left(1 - \frac{\delta_1}{\pi} + \frac{\sin 2\delta_1}{2\pi}\right)$$

soit numériquement $P_1 = 15,11 \times 10^3 \left(1 - \frac{\delta_1}{\pi} + \frac{\sin 2\delta_1}{2\pi}\right)$ en W

2.2. Dans le cas du montage triangle, on modifie la relation précédente en faisant $V \rightarrow V\sqrt{3}$. Ce qui donne :

$$P_2 = \left(\frac{9\ V^2}{R}\right)\left(1 - \frac{\delta_2}{\pi} + \frac{\sin 2\delta_2}{2\pi}\right)$$

soit numériquement $P_2 = 45,34 \times 10^3 \left(1 - \frac{\delta_2}{\pi} + \frac{\sin 2\delta_2}{2\pi}\right)$ en W

2.3. Pour que $P_1 = P_2$, il faut et il suffit que :

$$\frac{\sin 2\delta_1}{2\pi} - \frac{\delta_1}{\pi} = 2 + 3 \times \frac{\sin 2\delta_2}{2\pi} - 3 \times \frac{\delta_2}{\pi}$$

Cette relation ne peut pas être résolue analytiquement sauf pour des valeurs particulières de δ_1 et δ_2.

3.1. Dans le cas du montage étoile avec fil neutre, on utilise le formulaire du § IV.3. On obtient :

$$P_1 = 3\alpha_1\left(\frac{V^2}{R}\right)$$

Soit numériquement $P_1 = 15,11 \times 10^3 \times \alpha_1$ en W

3.2. Dans le cas du montage triangle, on modifie la relation précédente en faisant $V \rightarrow V\sqrt{3}$. Ce qui donne

$$P_2 = 9\alpha_2\left(\frac{V^2}{R}\right)$$

Soit numériquement $P_2 = 45,34 \times 10^3 \times \alpha_2$ en W

3.3. Pour que $P_1 = P_2$, il faut et il suffit que :

$$\alpha_1 = 3 \times \alpha_2$$

Cette relation est simple ; il est donc facile de trouver une équivalence entre les deux montages de résistances.

4. La commande par train d'ondes est plus simple à utiliser ; mais la commande par angle de retard à l'amorçage est beaucoup plus souple.

903 **1.** La puissance maximale doit avoir lieu pour $u_c = u_0$, pour obtenir $P = P_0$. Dans ce cas, l'angle de retard à l'amorçage est nul.

2. D'après la formule du cours

$$P = \left(\frac{V^2}{R}\right)\left(1 - \frac{\delta}{\pi} + \frac{\sin 2\delta}{2\pi}\right) \text{ avec } P_0 = \frac{V^2}{R}$$

On obtient donc le résultat de l'énoncé.

3. Quand Δn_{uc} varie de ± 1, la variation correspondante Δn_{uc} est de $\Delta u_c = \frac{u_0}{255} = 10\text{ mV}$.

4. Il y a 255 adresses possibles.

5. On utilise la relation :

$$\frac{u_c}{u_0} = \frac{n_c}{255} = 1 - \frac{\delta}{\pi} + \frac{\sin 2\delta}{2\pi}.$$

Le nombre n_δ est exprimé sous 8 bits. Pour $\delta_M = \pi$ on a $n_{\delta M} = 255$. On peut donc remplacer l'angle δ par $\delta = \pi\left(\frac{n_\delta}{255}\right)$. Ce qui donne :

$$\frac{n_c}{255} = 1 - \frac{n_\delta}{255} + \frac{\sin\left(2\pi\frac{n_\delta}{255}\right)}{2\pi}.$$

Ainsi, à chaque adresse fixée par la valeur de n_{uc}, il est possible d'établir la valeur numérique n_δ de δ.

6. On obtient :

$$\frac{dP}{d\delta} = \frac{P_0}{\pi}\left(-1 + \cos 2\delta\right).$$

La dérivée est nulle pour δ = 0 et pour δ = π. Pour ces deux valeurs (extrêmes) le réglage est le moins sensible.

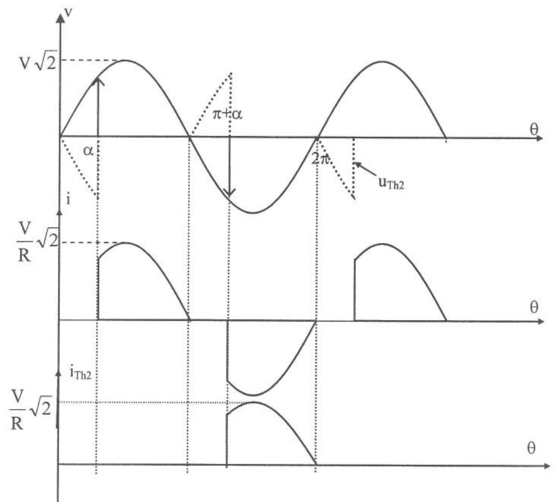
7. On calcule la dérivée seconde :

$$\frac{d^2P}{d\delta^2} = -\frac{2P_0}{\pi}\left(\sin 2\delta\right).$$

La dérivée seconde est nulle pour δ = 0 et pour δ = π/2 ; dans ce deuxième cas, la dérivée première vaut (– 2). Mais ce qui compte en définitive, c'est la valeur absolue de la dérivée, qui est alors maximale. C'est là qu'il y a la plus grande sensibilité.

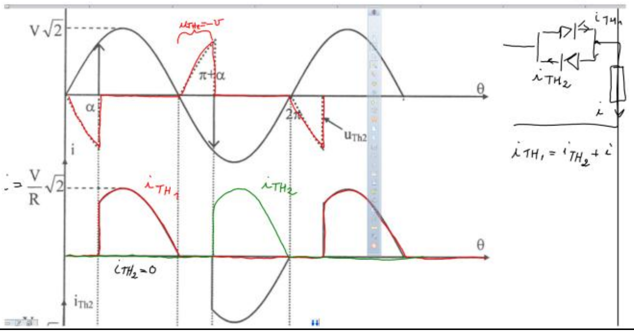
8. On a Δu_c = 10 mV. Ce qui donne $\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{0,01}{2,55} = \frac{1}{255} \approx 0,004$. La précision du réglage de la puissance est grande lorsqu'on utilise une commande numérique.

1. a)



Allures de u_{Th2}, i_{Th2} et i

- De $\theta = \alpha$ à $\theta = \pi$, Th_1 est passant et u = v. Comme la charge est une résistance, $i = \frac{v}{R}$ et $i_{Th1} = i$. Th_2 est bloqué donc $i_{Th2} = 0$. Th_1 étant passant, la tension $u_{Th1} = -u_{Th2} = 0$.
- A $\theta = \pi$, i_{Th1} s'annule et Th_1 se bloque. De π à $\pi + \alpha$, les deux thyristors sont bloqués, donc i = 0, u = 0, $i_{Th2} = 0$ et $u_{Th2} = u - v = -v$.
- De $\theta = \alpha + \pi$ à $\theta = 2\pi$, Th_2 est passant et u = v. Comme la charge est une résistance, $i = \frac{v}{R}$ et $i_{Th2} = -i$. Th_2 étant passant, la tension $u_{Th2} = 0$.



- A $\theta = 2\pi$, i_{Th2} s'annule et Th_2 se bloque. De 2π à $2\pi + \alpha$, les deux thyristors sont bloqués, donc i = 0, u = 0, $i_{Th2} = 0$ et $u_{Th2} = u - v = -v$.
- De $\theta = \alpha$ à $\theta = \pi$, Th_1 est passant et u = v. comme la charge est une résistance, $i = \frac{v}{R}$ et $i_{Th1} = i$. Th_2 est bloqué donc $i_{Th2} = 0$. Th_1 étant passant, la tension $u_{Th1} = -u_{Th2} = 0$.
- A $\theta = \pi$, i_{Th1} s'annule et Th_1 se bloque. De π à $\pi + \alpha$, les deux thyristors sont bloqués, donc i = 0, u = 0, $i_{Th2} = 0$ et $u_{Th} = u - v = -v$.

b) D'après les chronogrammes précédents, u = v de α à π et de $\pi + \alpha$ à 2π, u = 0 le reste de la période.

Par définition : $U^2 = \langle u^2 \rangle = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u^2(\theta)d\theta = \frac{2}{2\pi}\int_\alpha^\pi v^2(\theta)d\theta$. Remplaçons u par son expression :

$U^2 = \frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi \left(V\sqrt{2}\sin\theta\right)d\theta^2$. Il faut linéariser $\sin^2(\theta)$. On utilise la relation : $\sin^2(\theta) = \frac{1-\cos 2\theta}{2}$.

On a alors :

$$U^2 = \frac{2V^2}{\pi}\int_\alpha^\pi \frac{1-\cos 2\theta}{2} = \frac{V^2}{\pi}\left[\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right]_\alpha^\pi = \frac{V^2}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right).$$

La valeur efficace de u est donc :

$$\boxed{U = V\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}}.$$

$$U = 230 \times \sqrt{1 - \frac{\pi/4}{\pi} + \frac{\sin\left(2 \times \pi/4\right)}{2\pi}} = 219\ V,$$

$$\boxed{U = 219\ V}$$

c) On l'a démontré dans le cours :

$$\boxed{P = \frac{V^2}{R}\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right) = \frac{U^2}{R}}$$

$$P = \frac{219^2}{10} = 4796\ W$$

$$\boxed{P = 4{,}8\ kW}$$

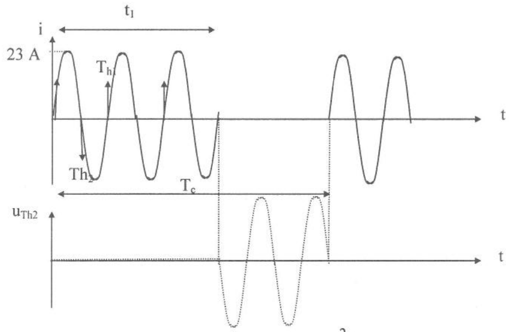
d) La puissance apparente est $S = VI = V.\frac{U}{R} = \frac{230 \times 219}{10} = 5037\ VA$.

Le facteur de puissance vaut :

$F_p = \frac{P}{S} = \frac{4796}{5037} = 0{,}95$. $\boxed{F_p = 0{,}95}$

e) Les thyristors se bloquent par annulation du courant. Il s'agit d'un blocage naturel. L'amorçage est en revanche commandé.

2. a) Sur la durée t_1, Th_1 et Th_2 sont commandés tour à tour, donc u = v. Comme il s'agit d'une charge résistive, i = u/R = v/ R est sinusoïdal. Le courant i (donc u aussi) est nul entre t_1 et T_c.
Tant que l'un des deux thyristor est passant, ce qui correspond à l'intervalle de temps $[0, t_1]$, $u_{Th2} = -u_{Th1} = 0$. Sur $[t_1, T_c]$, u = 0 et $u_{Th2} = u - v = -v$.



b) La puissance instantanée est $p(t) = u(t)i(t) = \frac{u^2(t)}{R}$.

La puissance consommée par période réseau est $\frac{V^2}{R}$. Sur T_c, la puissance moyenne est donc :

$$\boxed{P = \frac{V^2}{R}.\frac{t_1}{T_c}}$$

c) On règle la puissance en réglant la largeur du train d'onde (nombre de périodes réseau à passer). De plus, le calcul de la puissance est simple, ce qui permet une exploitation aisée de cette commande. Lorsque le courant n'est pas nul, il est sinusoïdal, il n'y a pas d'harmoniques de courant, c'est l'autre avantage de cette commande.

Solution 8: Exercice 8: : BTS 2001 Nouméa Stato compensateur version 2 (Solution 8:)

I. Fonctionnement du gradateur

a) Le thyristor Th conduit à partir de $\alpha = \frac{3\pi}{4}$ et se bloque soit par annulation du courant, soit par mise en inverse. Il apparaît ici qu'il se bloque par annulation du courant pour l'angle $\pi + \frac{\pi}{4}$. On applique le même raisonnement pour Th' (alternance négative de $i_L(\theta)$).

Le fondamental du courant coupera l'axe des temps (ou angles) par les milieux des portions où i_L est nul, ce qui correspond à un déphasage par rapport à l'origine de $\frac{\pi}{2}$ (et ce sera vrai quelque soit α compris entre $\frac{\pi}{2}$ et π) (cf. document réponse n°1).

b) Comme la tension est sinusoïdale aux bornes de l'ensemble gradateur – bobine, seul le fondamental du courant i_L contribue au transfert de puissance. On a alors :

$$P_L = VI_{Lf}\cos\varphi \text{ et } Q_L = VI_{Lf}\sin\varphi$$

où V et I_{Lf} sont respectivement les valeurs efficaces de V et du fondamental de i_L et φ le déphasage entre la tension v et le fondamental du courant i_L. Ici, φ vaut $\frac{\pi}{2}$, donc les expressions se simplifient :

$$P_L = 0 \text{ et } Q_L = VI_{Lf}.$$

En remplaçant I_{Lf} par sa valeur : $I_{Lf} = \frac{2V}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\alpha}{2} + \pi - \alpha\right)$, on obtient finalement :

$$\boxed{P_L = 0} \text{ et } \boxed{Q_L = \frac{2V^2}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\alpha}{2} + \pi - \alpha\right)}$$

II. a) On vient de le voir, $P_L = 0$. De même $P_C = 0$ donc :

$$\boxed{P_s = P_o}.$$

b) D'après le théorème de Boucherot, on va avoir :

$$\boxed{Q_s = Q_c + Q_L + Q_o}.$$

c) Il s'agit de remplacer dans l'expression de la question b) chaque puissance réactive par son expression. $Q_s = 0$, $Q_c = -C\omega V^2$, $Q_o = P_o\tan\varphi_o$ (car la charge est linéaire et v est sinusoïdale donc le courant dans la charge aussi) et Q_L par l'expression déterminée question 1.b). Ceci nous amène à la relation :

$$\boxed{P_o \tan\varphi_o + \frac{2V^2}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\alpha}{2} + \pi - \alpha\right) - C\omega V^2 = 0}$$

d) Dans l'expression que nous venons de déterminer, remplaçons α par π et on sait de plus que $\cos\varphi_o = 0{,}4$:

$$P_o \tan\varphi_o + 0 - C\omega V^2 = 0$$

soit

$$\boxed{C = \frac{P_o \tan\varphi_o}{\omega V^2}}$$

$$C = \frac{50000 \times \tan\cos^{-1} 0{,}4}{100\pi \times 230} = 6{,}9 \text{ mF} \qquad \boxed{C = 6{,}9 \text{ mF}}.$$

e) Après avoir choisi C, nous allons déterminer L. Nous nous plaçons dans l'autre cas extrême de α : $\frac{\pi}{2}$. Pour cette valeur, la charge ne consomme pas de puissance réactive. Quant à l'ensemble gradateur bobine, il absorbe le

maximum de puissance réactive possible compte tenu des valeurs que l'angle α peut prendre. Il faut que l'ensemble gradateur bobine compense dans cette configuration toute la puissance réactive que renvoie le condensateur. On choisira L comme ça.
Une fois L et C fixés, pour chaque valeur du facteur de puissance de la charge, on pourra régler α de façon à se ramener à $Q_s = 0$.

Pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$ et la charge ayant un facteur de puissance unitaire, l'expression de la question 2.c devient :

$$0 + \frac{2V^2}{\pi L\omega}\left(\frac{\pi}{2}\right) - C\omega V^2 = 0$$

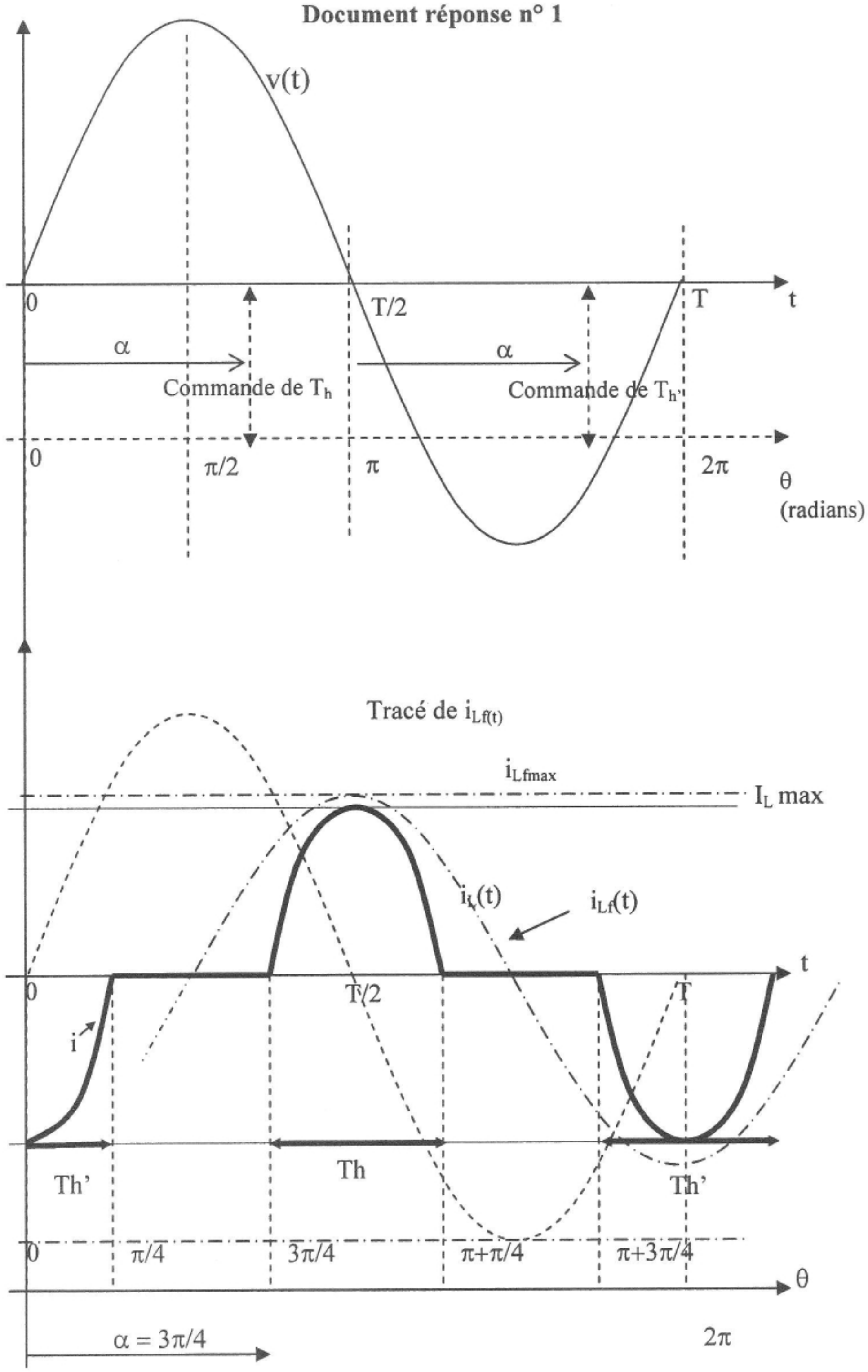
soit $\frac{2V^2}{\pi C\omega V^2\omega}\left(\frac{\pi}{2}\right) = L$, qui devient après simplification : $\boxed{L = \frac{1}{C\omega^2}}$

$$L = \frac{1}{6{,}9.10^{-3} \times (100\pi)^2} = 1{,}5\ \text{mH} \qquad \boxed{L = 1{,}5\ \text{mH}}.$$

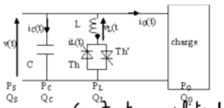
f) Pour les points A, B et C, cf. document réponse n°2.
D'après la courbe, le point C correspond à une angle de 105°.

Conclusion : ce dispositif permet de se ramener à un facteur de puissance proche de l'unité en faisant varier α. Si l'on ne prend que des condensateurs, on ne peut compenser que des valeurs ponctuelles de puissances réactives. Avec notre système, nous choisissons le condensateur afin de renvoyer la totalité de la puissance réactive correspondant au facteur de puissance le moins bon, à savoir 0,4 (question 2.d). Si le facteur de puissance de l'usine augmente, la puissance réactive renvoyée par le condensateur est supérieure à celle absorbée par l'usine. Pour se ramener à une puissance réactive nulle vue du réseau, il faut que l'ensemble gradateur + bobine absorbe la différence entre la puissance réactive renvoyée par le condensateur et celle absorbée par l'usine. Ce réglage est simple et dépend de α (cf. question 2-e pour le choix de L). On peut également se servir des courbes du document réponse n° 2.

Document réponse n° 1



1°) Le gradateur connecte ou non la bobine qui amène alors Q_L



Constant : amplitude $= \hat{I}_1$

$$i_{L1}(t) = \underbrace{\frac{2V\sqrt{2}}{\pi . L\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right)}_{I_1\sqrt{2}} . \sin(\omega t - \underbrace{\frac{\pi}{2}}_{\varphi_1})$$

2°) $\boxed{P_L = V \times I_1 \times \underbrace{\cos\varphi_1}_{0} = 0}$ $\left(\varphi_1 = \pi/2\right)$

$Q_L = V I_1 \underbrace{\sin\varphi_1}_{1} =$

$$\boxed{Q_L = V \times \frac{\hat{I}_1}{\sqrt{2}} = V \times \frac{2V}{\pi \times L \times \omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right)}$$

3°) $P_C = 0$

$P_S = \underbrace{P_C}_{0} + \underbrace{P_L}_{0} + P_0 = P_0 \Rightarrow \boxed{P_S = P_0}$

4°) $Q_S = Q_C + Q_L + Q_0$

$Q_C \rightarrow -C\omega V^2$

$Q_0 \rightarrow P_0 \tan\varphi_0$

$Q_L \rightarrow \dfrac{2V^2}{\pi \times L \times \omega}\left(\dfrac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right)$

$$\Rightarrow \boxed{Q_S = P_0 \tan\varphi_0 + \frac{2V^2}{\pi L\omega}\left(\frac{\sin 2\delta}{2} + \pi - \delta\right) - C\omega V^2}$$

5°) Si $\delta = \pi$ $\quad Q_L = 0 \Rightarrow Q_S = Q_C + Q_0$

$0 = Q_C + Q_0 \Rightarrow Q_C = -Q_0$

$C\omega V^2 = 50.10^3 \times \tan(\arccos 0{,}4)$

$$\Rightarrow C = \frac{50.10^3 \tan(\arccos 0{,}4)}{2\pi \times 50 \times 230^2} = 6{,}9 \text{ mF}$$

Solution 9: Exercice 9:BTS 2004 Nouméa Démarrage de l'éolienne (Solution 9:)

A.III) Démarrage de l'éolienne

4/

A.III.1 $\quad I = \dfrac{V}{L\omega} = \dfrac{690/\sqrt{3}}{0{,}32.10^{-3} \times 2\pi \times 50} = \boxed{3962 \text{ A} = I_{dém}}$

A.III.2 $\quad \boxed{v(t) = L\dfrac{di(t)}{dt}}$

A.III.3. $\quad \dfrac{1}{L} V\sqrt{2} \sin\omega t = \dfrac{di(t)}{dt}$

$i(t) = \dfrac{V\sqrt{2}}{L}\displaystyle\int_{\alpha}^{t} \sin\omega t \, dt + c^{te}$ $\qquad i\left(\frac{\alpha}{2\pi}T\right) = 0$

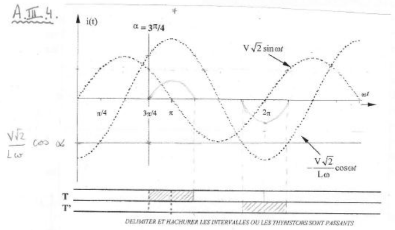
$i(t) = \dfrac{V\sqrt{2}}{L}\left[-\dfrac{1}{\omega}\cos\omega t\right]_{\alpha}^{t} + c^{te}$ $\qquad i(0) =$

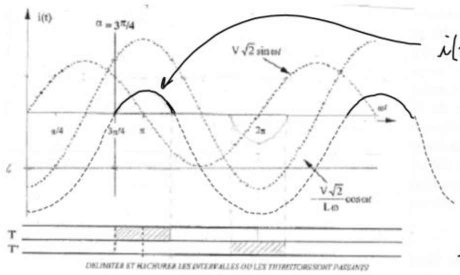
$i(t) = -\dfrac{V\sqrt{2}}{L\omega}\cos\omega t + \dfrac{V\sqrt{2}}{L\omega}\cos\alpha + c^{te}$

A l'amorçage $i\left(\frac{\alpha}{2\pi} \times T\right) = 0$ $\quad i\left(\dfrac{\alpha T}{2\pi}\right) = \underbrace{-\dfrac{V\sqrt{2}}{L\omega}\cos\dfrac{2\pi}{T}\dfrac{\alpha T}{2\pi} + \dfrac{V\sqrt{2}}{L\omega}\cos\alpha}_{0} + c^{te} = 0 \Rightarrow c^{te} = 0$

$$\Rightarrow \boxed{i(t) = \frac{V\sqrt{2}}{L\omega}(\cos\alpha - \cos\omega t)}$$

A.III.4.





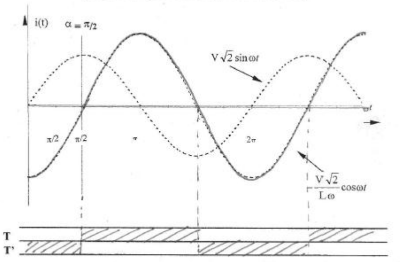
$i(t) = \dfrac{V\sqrt{2}}{L\omega}(\underbrace{\cos\alpha}_{-\frac{1}{\sqrt{2}}} - \cos\omega t)$

T est passant lorsque $i(t) > 0$ car le triac cesse de conduire lorsque le courant s'annule

A.III.5.

A.III.5. $\alpha = \pi/2$ $\quad i(t) = \frac{V\sqrt{2}}{L\omega}\left(\cos\pi/2 - \cos\omega t\right) = \boxed{-\frac{V\sqrt{2}}{L\omega}\cos\omega t = i(t)}$

DOCUMENT RÉPONSE DR2b

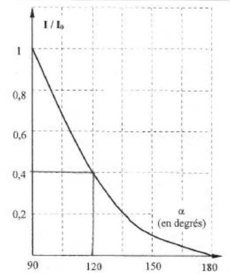


DELIMITER ET HACHURER LES INTERVALLES OU LES THYRISTORS SONT PASSANTS

$I_0 = \frac{V}{L\omega} = \frac{690/\sqrt{3}}{0{,}32.10^{-3} \times 2\pi \times 50} = \boxed{3962 = I_0}$

A.III.6. $I = 1570\ A$, $I_0 = 3960\ A$ $\Rightarrow \frac{I}{I_0} = 0{,}396$

On lit $\boxed{\alpha = 120°}$



Solution 10: Exercice 10:BTS 2005 Nouméa Démarrage et arrêt de la scie (Solution 10:)

C Démarrage et arrêt après modification

C1 1

1 1 1

8 pts

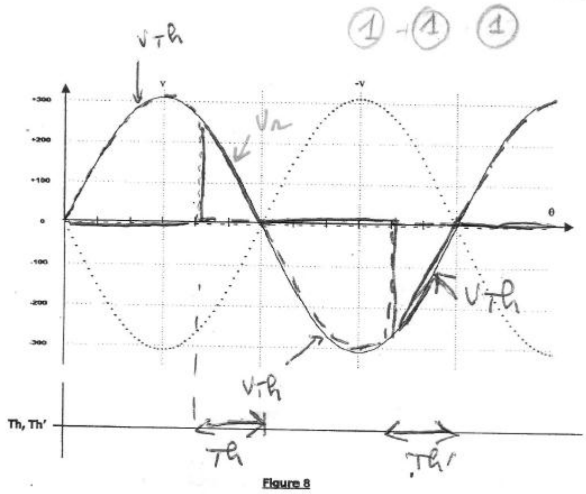


Figure 8

C12 $\quad V_r^2 = \frac{\int_\psi^\pi \hat{V}^2 \sin^2\theta \, d\theta}{\pi}$

1 $\quad V_R = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_\psi^\pi \hat{V}^2 \sin^2\theta \, d\theta}$

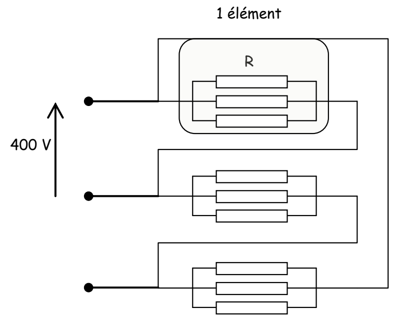
C.13 $\quad \psi = 0 \quad V_r = V = \underline{230V}$ 0,5 $\quad \psi = 180° \quad V_r = 0$ 0,5

Solution 11: Exercice 11:BTS 2011 Nouméa : Embouteillage Volvic (Solution 11:)

A.1 Caractéristiques d'une charge triphasée du réchauffeur

A.1.1 $\boxed{\frac{96}{3} = 32\ kW}$ par charge triphasée

A.1.2 Couplage $\boxed{\text{triangle}}$, chaque élément est soumis à une tension composé



A.1.3 $P = 3\dfrac{U^2}{R} \Rightarrow R = 3\dfrac{U^2}{P} = 3\dfrac{400^2}{32\cdot 10^3} = 15\ \Omega$. Donc $\boxed{R = 15\ \Omega}$

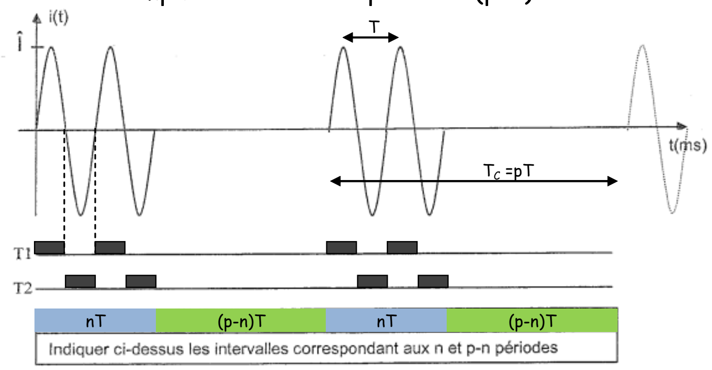
A.2 Commande par train d'ondes d'un élément chauffant

A.2. Thyristor

- conducteur si $V_{AK}>0$ et impulsion de gâchette
- bloqué si le courant s'annule

A.2.2

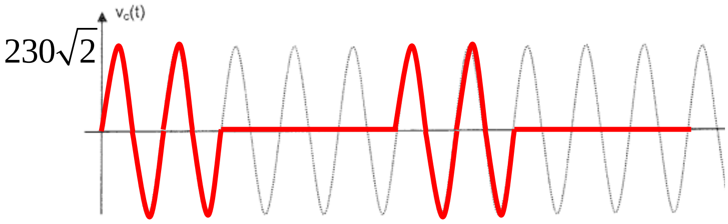
- T période du réseau
- Cycle de commande des thyristors : T_C
- Les thyristors reçoivent la commande pendant nT
- les impulsions cessent pendant (p-n)T



A.2.3 $\boxed{T_C = p \times T}$.

A.2.4. $\boxed{\alpha = \dfrac{n}{p}}$

A.2.5



Lorsque T_1 ou T_2 conduit alors $v_C(t)=v(t)$
(pas de chute de tension dans les thyristors qui sont parfaits)

A.2.6 $\boxed{P = \langle u \cdot i \rangle = r\langle i^2 \rangle = \dfrac{\langle v_C^2 \rangle}{r}}$.

A.2.7 Comme $P = \dfrac{\langle v_C^2 \rangle}{r} \Rightarrow P = \dfrac{V_C^2}{r}$

En effet la définition de la valeur efficace est $V_C = \sqrt{\langle v_C^2 \rangle}$

Donc $P = \dfrac{V_C^2}{r} = \dfrac{\left(V\sqrt{\alpha}\right)^2}{r} = \dfrac{V^2\alpha}{r}$

A.2.8 On peut faire $\boxed{\text{varier P de 0 à } \dfrac{V^2}{r}}$

A.3 Bilan énergétique du chauffage de l'air pour le séchage du P.E.T.

A.3.1 Le sécheur fonctionne pendant 0,5 heure sur une heure donc

$\boxed{W_1 = 96000 \times 0,5 = 48000\ Wh}$

$\boxed{W_2 = 160000 \times 0,5 = 80000\ Wh}$

$\boxed{W_{éco} = 32000\ Wh}$

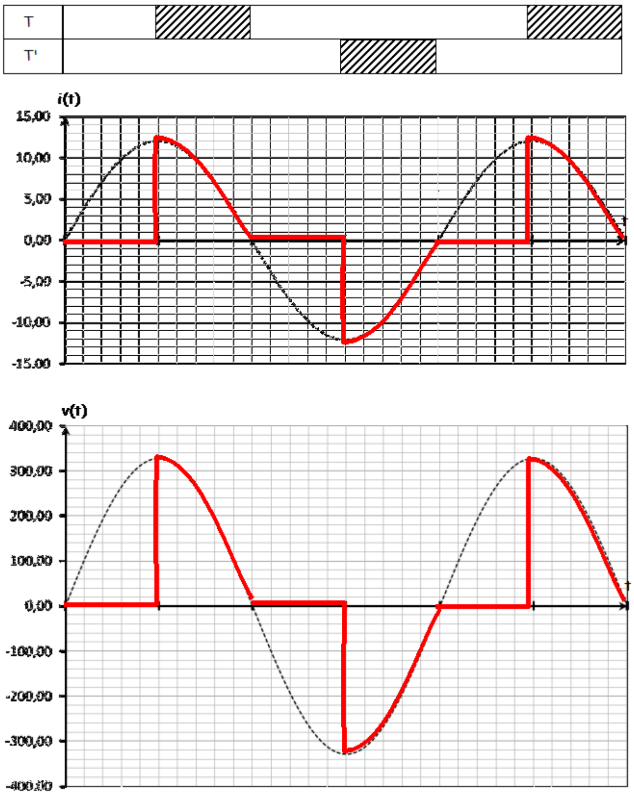
A.3.2. $\boxed{\%_{éco} = \dfrac{32000}{80000} = 40\%}$

<u>*Solution 12: Exercice 12:BTS 20131 Métro : Eclairage Pablo Picasso (Solution 12:)*</u>

<u>***B.1. Principe de fonctionnement d'un gradateur monophasé, étude des puissances***</u>

1 ***B.1.1.*** $P = \dfrac{U^2}{R} \Rightarrow R = \dfrac{U^2}{P} = \dfrac{230^2}{2000} = 26,4\Omega$ donc la résistance d'un éclairage de 2 kW est $\boxed{R = 26,4\ \Omega}$

B.1.2.



2+1

Étude des puissances du côté de la charge

B.1.3 $I = \dfrac{V}{R}\sqrt{1 - \dfrac{\alpha}{\pi} + \dfrac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} = \dfrac{230}{26,4}\sqrt{1 - \dfrac{\pi/2}{\pi} + \underbrace{\dfrac{\sin\left(2\,\pi/2\right)}{2\pi}}_{0}} = \dfrac{230}{26,4\sqrt{2}} = \boxed{6,16\,A}$.

1 Si $\alpha = \dfrac{\pi}{2}$ le courant consommé vaut $\boxed{I = 6,16\ A}$

Et danc ce cas la puissance consommée est $P = RI^2 = 26,4 \times 6,16^2 = 1000W$

1

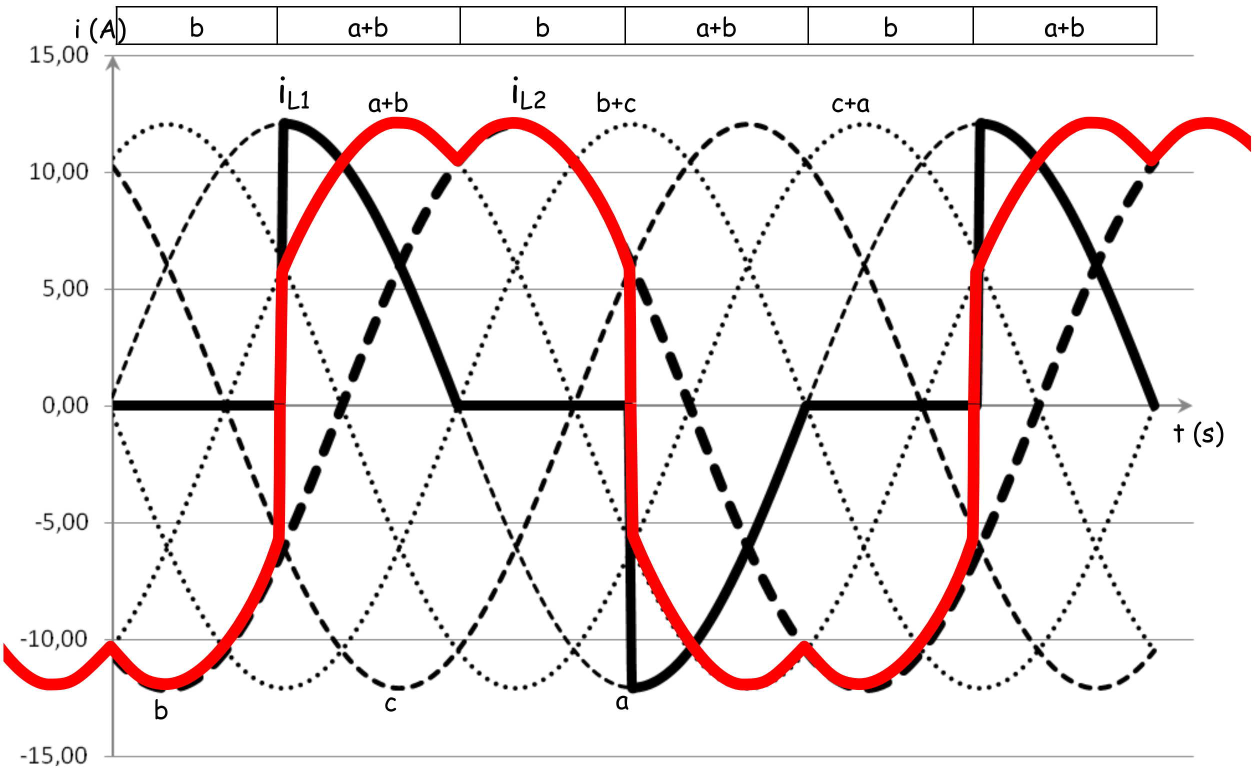
Pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, la puissance active P consommée par la résistance est de $\boxed{P=1000\ W}$.

<u>*Solution 13: Exercice 13:BTS 2013 Métro : Eclairage Pablo Picasso (Solution 13:)*</u>

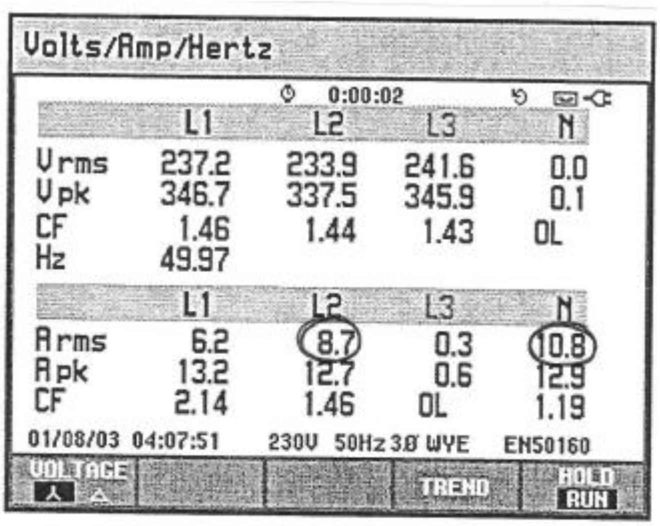
<u>*B.3. Gradateur triphasé en fonctionnement déséquilibré, étude du courant dans le conducteur neutre*</u>

B.3.1. On trace $i_N = \underset{a}{i_{L1}} + \underset{b}{i_{L2}} + \underset{0}{i_{L3}}$

2

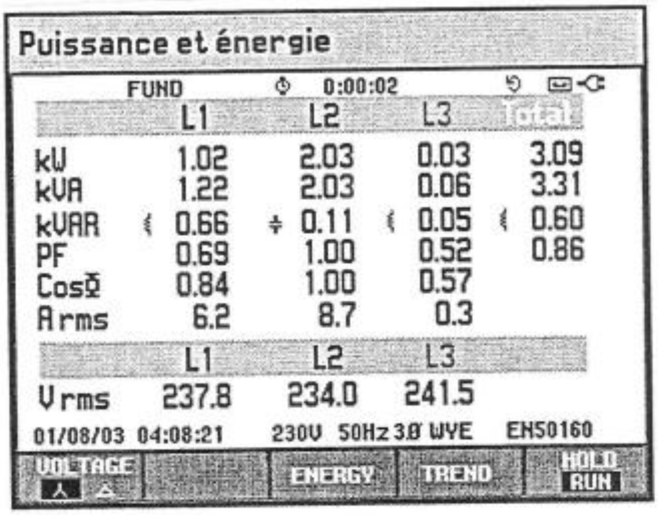


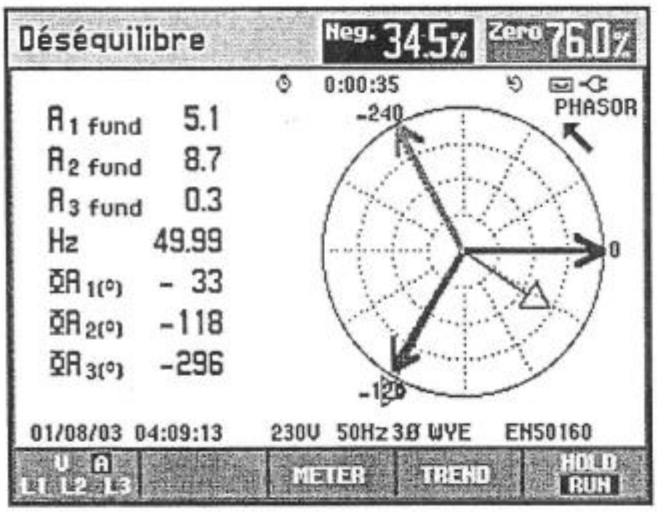
1 *B.3.2.* $\boxed{\frac{I_N}{I_1} = \frac{10,8}{8,7} = 1,24}$. Ou $\boxed{\frac{I_N}{I_1} = \frac{10,8}{6,2} = 1,74}$



1 <u>*B.4. Dimensionnement du conducteur neutre*</u>

Il faut le $\boxed{\text{surdimensionner}}$


Puissance et énergie
FUND 0:00:02
L1 L2 L3 Total
kW 1.02 2.03 0.03 3.09
kVA 1.22 2.03 0.06 3.31
kVAR 0.66 0.11 0.05 0.60
PF 0.69 1.00 0.52 0.86
CosΦ 0.84 1.00 0.57
Arms 6.2 8.7 0.3
L1 L2 L3
Vrms 237.8 234.0 241.5
01/08/03 04:08:21 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160
VOLTAGE
ENERGY
TREND
HOLD RUN


Déséquilibre
Neg. 34.5%
Zero 76.0%
0:00:35
PHASOR
A1 fund 5.1
A2 fund 8.7
A3 fund 0.3
Hz 49.99
ΦA1(°) - 33
ΦA2(°) -118
ΦA3(°) -296
-240
0
-120
01/08/03 04:09:13 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160
V A
L1 L2 L3
METER
TREND
HOLD RUN