

NOM :

Signature :

Prénom :

Contrôle Continu

Lundi 8 avril 2019

Aucun document n'est autorisé – Calculatrice autorisée – Durée : 1h30

Le sujet doit être rendu

Ce sujet comporte 4 pages.

Lisez attentivement et entièrement l'énoncé des exercices proposés.

Respectez les instructions de l'énoncé.

Écrivez votre nom sur vos copies et numérotez-les.

Tout prêt de matériel et toute collaboration sont strictement interdits.

Questions de cours (3 pts)

- 1) Quelles sont les deux normes principales définissant les caractéristiques au point de livraison du client pour un réseau public basse tension concernant les niveaux de tensions harmoniques ?
- 2) Déterminer deux effets néfastes de la présence d'harmoniques de courant et tension sur un réseau électrique basse tension.
- 3) Déterminer deux solutions permettant de réduire le taux de distorsion harmonique en tension sur un réseau électrique basse tension composé de charges propres (linéaires) et polluantes (non-linéaires).

Exercice 1 : Contrôle de connaissances (3 pts)

Cochez la(les) bonne(s) réponse(s)

- 1) Le courant efficace est défini comme suit :

I_{h1}

I_{h3}

$\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}$

$\sqrt{I_{h1}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}$

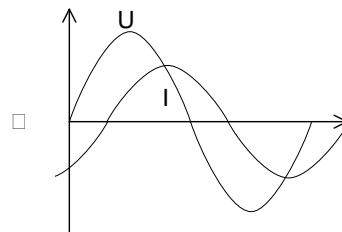
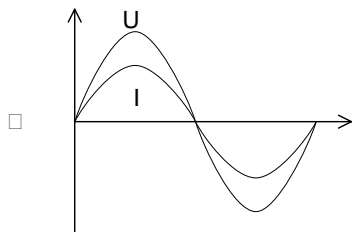
- 2) Sur une charge non-linéaire :

$f_p = \cos \varphi_1$

$f_p \leq \cos \varphi_1$

$f_p \geq \cos \varphi_1$

- 3) Allure(s) de courant d'une charge non-linéaire (la tension U est sinusoïdale) :





4) Le TDH_I est défini comme suit :

$\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}}{I}$
 $\frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{hn}^2}}{I}$
 $\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}}{I_1}$
 $\frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{hn}^2}}{I_1}$

5) La résonance parallèle de l'impédance d'un réseau électrique comportant une batterie de condensateurs et des charges linéaires (active et réactive) et non-linéaires est définie lorsque

- Z est maximum
 $Z \rightarrow \infty$
 $Z \rightarrow 0$

Exercice 2 : Etude de cas (14 pts)

On considère l'installation triphasée équilibrée représentée à la figure 1.

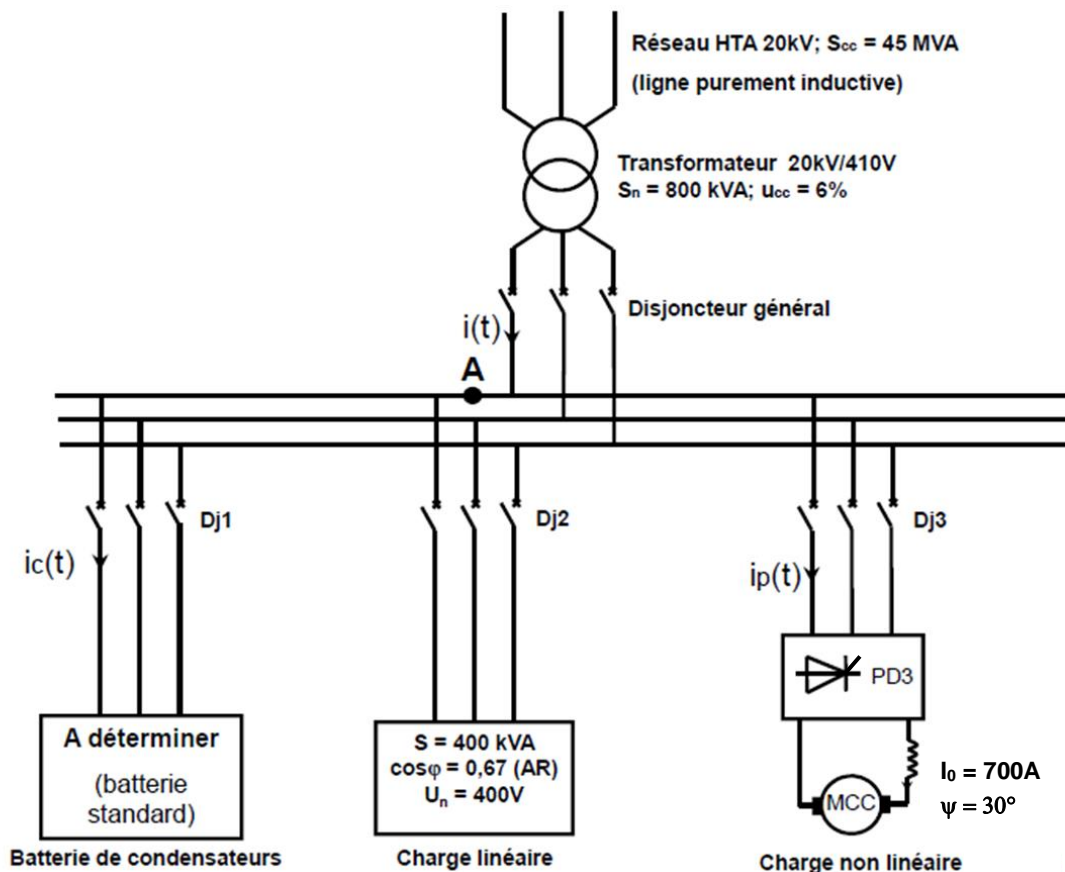


Figure 1

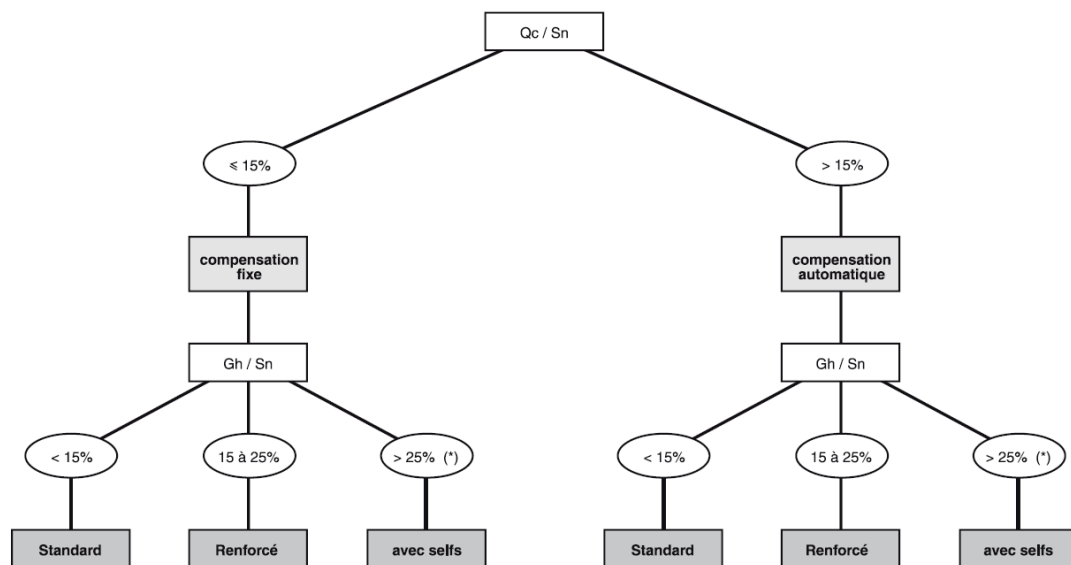
La charge non-linéaire absorbe un courant non-sinusoïdal et les courants suivants ont été mesurés : $I_{P1} = 546A$, $I_{P5} = 109 A$, $I_{P7} = 78 A$, $I_{P11} = 50 A$, $I_{P13} = 42 A$ et $I_{P17} = 32 A$. Les autres courants harmoniques de courant sont négligés. Le déphasage entre la tension simple et le courant fondamental est égale à ψ . La tension simple fondamentale au point A est égale à 230 V.

Partie 1 : Etude des charges linéaire, non-linéaire et de la batterie de condensateurs

- 1) Etablissez un bilan de puissance pour la charge non-linéaire afin de déterminer les puissances active, réactive, apparente et déformante. En déduire les facteurs de puissance et de déplacement de la charge non-linéaire.
- 2) Etablissez un bilan de puissance global de l'installation afin de vérifier si la puissance apparente du transformateur est suffisante pour garantir une réserve de puissance de 15% en cas d'augmentation de l'installation.
- 3) Afin de garantir la réserve de puissance, une compensation de l'énergie réactive est mise en place pour garantir un facteur de déplacement au secondaire du transformateur égale à 0,955 AR. Calculer la puissance réactive que devra fournir la batterie de condensateurs. Vérifier si la réserve de puissance est assurée.
- 4) En vous aidant de la figure 2, préciser le mode et le type de compensation à mettre en place.

Tableau de synthèse : type de batterie

Réseau 400V/50Hz



(*) au-delà de 50%, une étude de filtrage d'harmoniques est recommandée par Rectiphase.

Source : Schneider Electric - Catalogue Distribution Electrique – Compléments Techniques – page A287 - 2016/2017

Figure 2

Partie 2 : Etude en régime harmonique – mise en avant de la problématique

Le modèle équivalent monophasé de l'installation pour l'harmonique de rang n est donné à la figure 3.

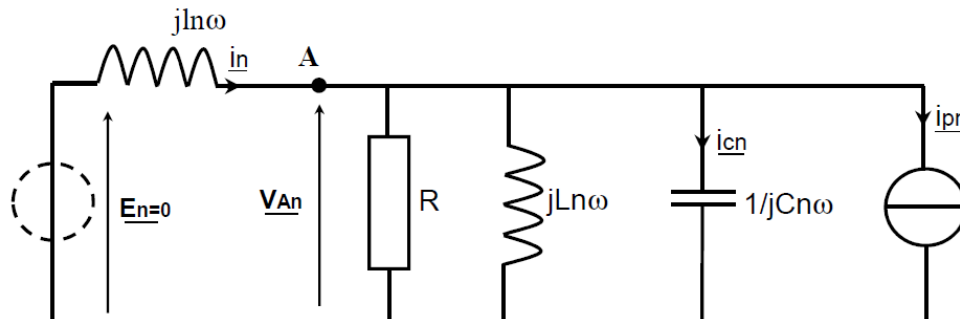


Figure 3

On considère les éléments suivants : $l = 52,02 \mu H$; $R = 0,597 \Omega$, $L = 1,715 mH$ et $C = 6,418 mF$.

L'impédance de l'installation pour l'harmonique de rang n s'écrit comme suit :

$$\underline{Z}_n = \frac{1}{\frac{1}{R} - j \frac{(L+l) - L \cdot l \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2}{L \cdot l \cdot n \cdot \omega}}$$

- 5) Afin de simplifier l'étude, l'inductance L sera négligée par rapport à l'inductance l . Démontrer que l'impédance de l'installation pour l'harmonique de rang n s'exprime :

$$\underline{Z}_n = \frac{1}{\frac{1}{R} - j \frac{1 - l \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2}{l \cdot n \cdot \omega}}$$

- 6) Calculer le rang n_{rp} de la résonance parallèle de l'impédance harmonique de l'installation.
7) Calculez le taux de distorsion harmonique de la tension au point A ainsi que le courant efficace circulant dans la batterie de condensateurs. Concluez par rapport aux recommandations de la norme, sur l'impact aux niveaux des protections de la batterie de condensateurs et sur le courant efficace vu par le transformateur.

On donne les éléments suivants : $Z_5 = 0,366 \Omega$; $Z_7 = 0,178 \Omega$; $Z_{11} = 0,0598 \Omega$; $Z_{13} = 0,0464 \Omega$ et $Z_{17} = 0,0325 \Omega$.

Partie 3 : Etude en régime harmonique – mise en place d'une Self Anti-Harmonique

- 8) Calculer les éléments (SAH, C) tel que :
- réseau électrique basse tension ($U_1 = 400 V$, $f = 50 \text{ Hz}$)
 - rang d'accord $n_{rs} : 4,3$
 - puissance réactive $Q_c = 315 \text{ kVAr}$.

On rappelle les équations suivantes :

$$n_{rs} = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{SAH \cdot C}}$$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{n_{rs}^2 - 1}{n_{rs}^2} \cdot C \cdot V_{A1}^2 \cdot \omega$$

En présence de la SAH, la nouvelle impédance de l'installation pour l'harmonique de rang n s'écrit comme suit :

$$\underline{Z}'_n = \frac{1}{\frac{1}{R} - j \frac{l \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2 - (1 - SAH \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2)}{L \cdot l \cdot n \cdot \omega \cdot (1 - SAH \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2)}}$$

- 9) Calculer les rangs des résonances série et parallèle de l'impédance de l'installation.
10) Calculez le nouveau taux de distorsion harmonique de la tension au point A ainsi que le courant efficace circulant dans la batterie de condensateurs. Concluez par rapport aux recommandations de la norme, sur l'impact aux niveaux des protections de la batterie de condensateurs et sur le courant efficace vu par le transformateur.

On donne les éléments suivants : $Z'_5 = 0,025 \Omega$; $Z'_7 = 0,059 \Omega$; $Z'_{11} = 0,105 \Omega$; $Z'_{13} = 0,126 \Omega$ et $Z'_{17} = 0,165 \Omega$.