Examen médian

Jeudi 2 mai 2019

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

Ce sujet comporte 6 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.

Problème:

On considère l'installation triphasée équilibrée représentée à la figure 1.
On considère un transformateur 20 kV/410 V de puissance apparente S_N = 800 kVA. La tension de court-circuit de ce transformateur vaut U_{cc} = 6%.

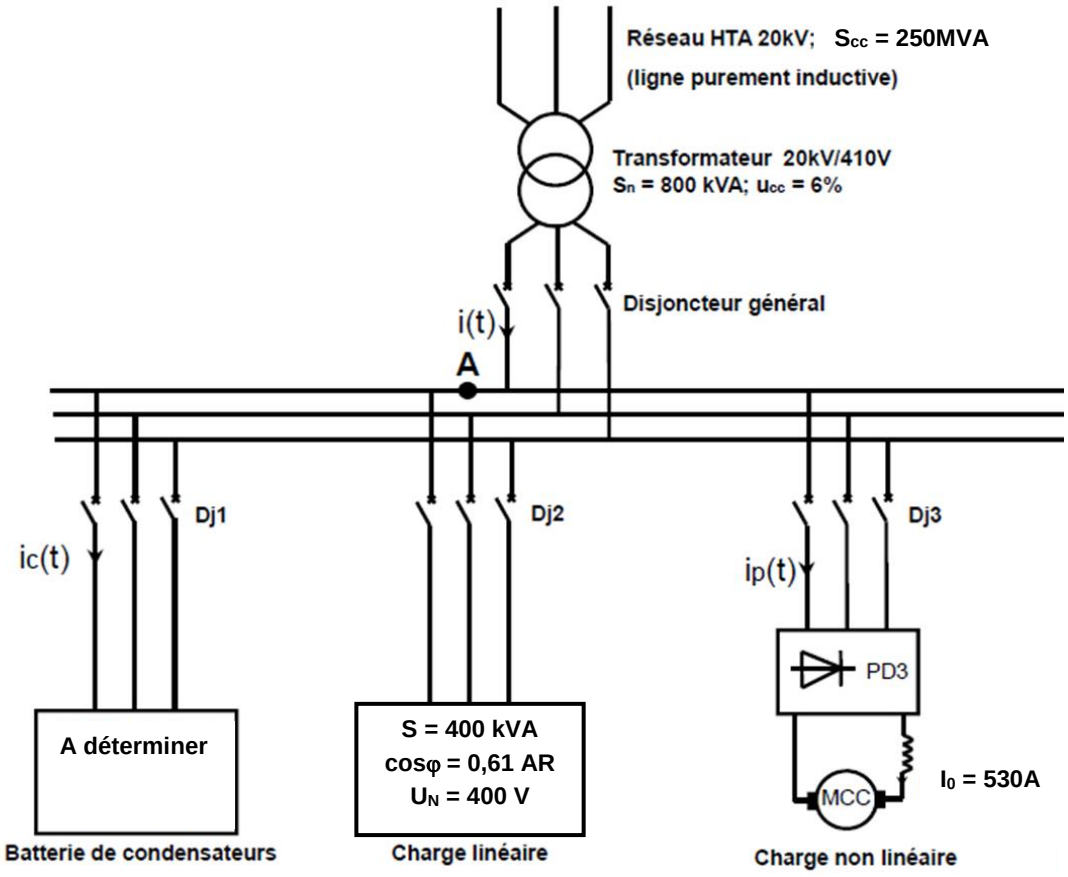


Figure 1

Ce transformateur alimente :

- Un pont redresseur triphasé à diodes débitant un courant continu I_0 = 530 A sur une charge très inductive (courant lissé). On rappelle que le facteur de puissance d'un pont de diode diodes triphasé débitant un courant continu vaut f_{pNL} = 0,955.

- Une charge linéaire absorbant une puissance apparente S_L = 400 kVA sous 400 V dont le facteur de puissance vaut f_{pL} = 0,61.

La puissance de court-circuit du réseau amont (au point de livraison coté haute tension) vaut 250 MVA (on suppose le réseau HTA purement inductif).

Une batterie de compensation permet d'améliorer le facteur de déplacement de l'installation pour éviter la facturation du réactif.

Partie 1 : Etude de la charge non-linéaire

1) Calculer les valeurs efficaces des courants harmoniques jusqu'au rang 17. On donne l'équation ci-dessous.

$$Ip_{2k+1} = \frac{4I_0}{(2k+1)\pi\sqrt{2}} cos\left[(2k+1)\frac{\pi}{6}\right]$$

2) En déduire la valeur efficace du courant absorbé par la charge non-linéaire.

3) En déduire le taux de distorsion harmonique du courant.

4) 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.

Partie 2 : Détermination de la puissance réactive Qc de la batterie de condensateurs

On désire compenser la puissance réactive afin d'éviter la facturation du réactif.

5) Calculer le facteur de déplacement de l'installation (au point A) sans les condensateurs (les puissances active et réactive du transformateur seront négligées). Quelles sont les conséquences d'un mauvais facteur de déplacement.

6) On désire obtenir un facteur de déplacement pour l'installation égal à 0,93. Calculer la valeur de la puissance réactive que doit fournir les condensateurs.

7) Dimensionner le disjoncteur Dj1 (on utilise dans un premier temps des batteries de type standard) et indiquer le réglage long retard du déclencheur électronique associé (STR23SE).

Partie 3 : Effets des courants harmoniques sur l'installation

Le modèle équivalent monophasé de l'installation est donné à figure 2. Dans ce modèle, l'inductance l représente l'inductance de fuites du transformateur et l'inductance du réseau amont (on néglige la résistance des enroulements du transformateur pour simplifier les calculs). La source de courant modélise la charge non-linéaire. On suppose e(t) purement sinusoïdale.

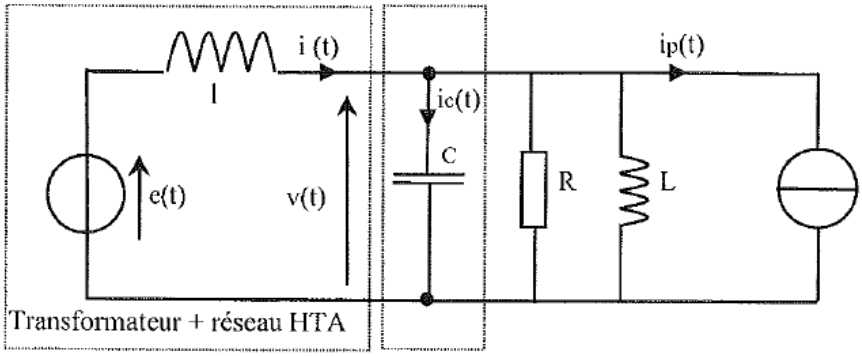


Figure 2

8) Calculer les éléments l, C, R et L du montage.
9) Représenter le modèle équivalent monophasé du réseau pour l'harmonique de rang n=2k+1.
10) En admettant que la valeur efficace du fondamental de la tension v(t) soit égale à V_1 = 230 V, calculer la valeur efficace du fondamental du courant traversant le condensateur (I_{C1}).

Pour simplifier les calculs, on négligera dans la suite de l'exercice l'influence de L (effets négligeables).

11) Calculer les courants harmoniques (5, 7, 11, 13 et 17) traversant le condensateur. En déduire la valeur efficace du courant traversant la batterie de condensateurs et le taux de distorsion harmonique de la tension du jeu de barres (point A). Conclure.
On donne les équations suivantes :

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

$$\underline{V_n} = -\frac{\underline{Ip_n}}{\underline{Y_n}}$$

$$\underline{I_{cn}} = j \cdot C \cdot n \cdot \omega \cdot \underline{V_n}$$

12) Pour éviter les problèmes générés par les harmoniques de courant, on place en série avec C une inductance SAH permettant de déplacer la fréquence de résonance parallèle du réseau vers une valeur non dangereuse. Calculer la valeur de SAH et C pour que la fréquence d'accord du circuit (SAH, C) soit égale à 215 Hz et que la batterie de condensateurs fournisse la puissance réactive trouvée à la question 6. Calculer à nouveau les courants harmoniques 5, 7, 11, 13 et 17 traversant la batterie de condensateurs avec SAH et le taux de distorsion harmonique au niveau du jeu de barres. Conclure.
On donne les équations suivantes :

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

$$Q_c = 3 \cdot \frac{n_{rs}^2}{n_{rs}^2 - 1} \cdot C \cdot V_1^2 \cdot \omega$$

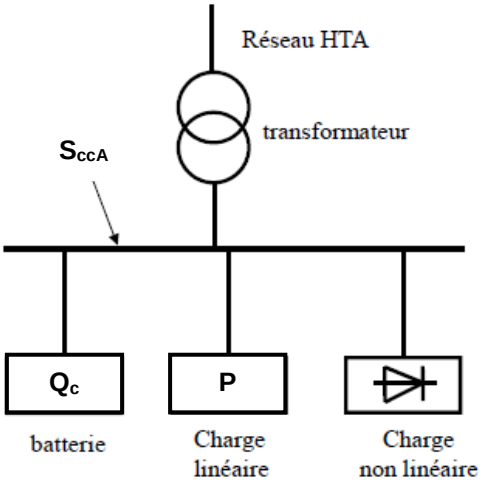
$$\underline{Y'_n} = \frac{1}{\underline{Z'_n}} = \frac{1}{R} - j\frac{1 - (SAH + l) \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2)}{l \cdot n \cdot \omega \cdot (1 - SAH \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2)}$$

$$\underline{I'_{cn}} = \frac{j \cdot C \cdot n \cdot \omega}{(1 - SAH \cdot C \cdot (n \cdot \omega)^2)} \underline{V_n}$$

Partie 4 : Choix de la batterie de condensateurs par la méthode pratique

13) A partir du résultat trouvé à la question 6, calculer à l'aide des formules approchées données par le guide distribution Schneider Electric, la valeur du rang de la résonance parallèle ainsi que le coefficient d'amplification. Vérifier que ces résultats sont proches des résultats des calculs précédents.
14) A partir des documents techniques, déterminer le type de compensation à réaliser (fixe ou automatique) ainsi que le type de batterie (type standard, type H (renforcé), type SAH ou filtre passif).
15) A partir des documents techniques, choisir la batterie de condensateurs et donner sa référence.

Formules approchées données par le guide Schneider Electric



Expression du rang de la résonance parallèle :

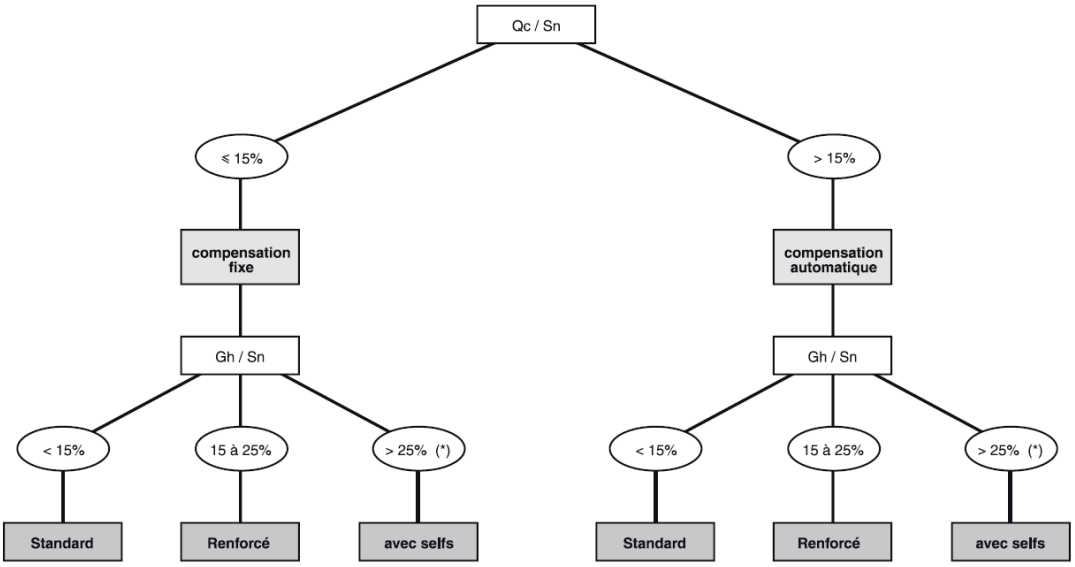
$$n_{rp} = \sqrt{\frac{S_{ccA}}{Q_c}}$$

Expression du facteur d'amplification :

$$Ic_{nrp} = Ip_{nrp} \cdot F_A \text{ avec } F_A = \frac{\sqrt{S_{ccA} \cdot Q_c}}{P}$$

Tableau de synthèse : type de batterie

Réseau 400V/50Hz



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

C78 **Condensateurs BT**
Compensation de l'énergie réactive
et filtrage d'harmoniques

Rectibloc (avec disjoncteur de protection)
Compensation fixe

Rectibloc, coffret

Rectibloc, structure

Rectibloc, type standard

Présentation
Ensemble constitué de condensateurs Varplus M en coffret ou montés dos à dos sur une structure en tôle peinte et protégé par un disjoncteur intégré.

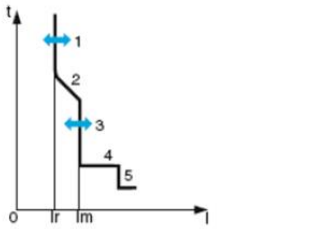
Le Rectibloc type standard convient pour les réseaux peu pollués (Gh/Sn ⩽ 15 %).

Caractéristiques :
- ■ tension assignée : 400/415 V, triphasée 50 Hz
- ■ tolérance sur valeur de capacité : -5 %, +10 %
- ■ classe d'isolement :
- □ 0,69 kV
- □ tenue 50 Hz, 1 min. : 2,5 kV
- ■ courant maximal admissible : 1,3 In (400 V)
- ■ tension maximale admissible (8 h sur 24 h selon IEC 60831) : 460 V
- ■ air ambiant autour de l'équipement :
- □ température maximale : 40 °C
- □ température moyenne sur 24 h : 35 °C
- □ température moyenne annuelle : 25 °C
- □ température minimale : -5 °C
- ■ degré de protection : IP 21D
- ■ couleur :
- □ coffret et structure : RAL 7032
- ■ normes : IEC 60439-1, EN 60439-1.

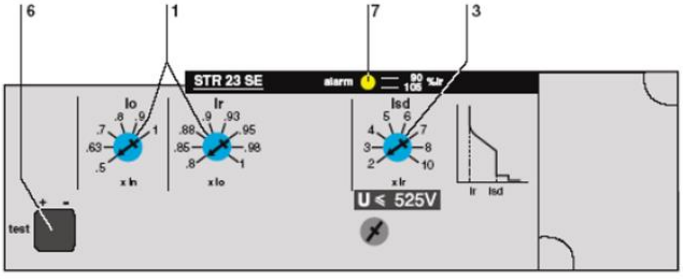
Installation :
- ■ coffret : fixation murale
- ■ structure : fixation au sol avec raccordement des câbles de puissance par le bas.

puissance (kvar)	réalisation	disjoncteur intégré type	disjoncteur intégré Icu (kA rms)	référence
type standard 400 V				
10	coffret	NG125	25	**51270**
15	coffret	NG125	25	**51271**
20	coffret	NG125	25	**51272**
25	sructure	NS100	25	**52480**
30	structure	NS100	25	**52481**
40	structure	NS100	25	**52482**
50	structure	NS100	25	**52483**
60	structure	NS160	36	**52484**
70	structure	NS160	36	**52485**
80	structure	NS160	36	**52486**
100	structure	NS250	36	**52487**
120	structure	NS250	36	**52488**

Déclencheurs électroniques
STR23SE (U ⩽ 525 V) et STR23SV (U > 525 V)



1 seuils Long Retard (protection surcharge)
2 temporisation Long Retard
3 seuils Court Retard (protection courts-circuits)
4 temporisation Court Retard
5 seuils Instantanés (protection courts-circuits)
6 prise test
7 signalisation de charge



Protections
Les protections sont réglables par commutateurs.
- ■ Protection contre les surcharges

Protection Long retard à seuils réglables et temporisations fixes :
- □ réglage par précalibrage Io à 6 crans (0,5 à 1)
- □ réglage fin Ir à 8 crans (0,8 à 1).
- ■ Protection contre les courts-circuits

Protection court retard et instantanée :
- □ protection court retard à seuils réglables et temporisations fixes
- □ protection instantanée à seuils fixes.
- ■ Protection du 4e pôle

Les disjoncteurs tétrapolaires sont équipés en standard d'un commutateur de protection du neutre à 3 positions : 4P 3d, 4P 3d + Nr , 4P 4d.
- ■ Protection du neutre surchargé (OSN)

Pour les disjoncteurs 4 pôles, protection spécifique des réseaux à fort taux d'harmonique 3. Le commutateur en position 4P 4d détermine un seuil de protection du neutre à 1,6 x Ir (phase).

Rectibloc type H, coffret

Rectibloc type H, structure

Rectibloc type SAH

Rectibloc, type H et SAH

Présentation

Ensemble constitué de condensateurs Varplus M, protégé par un disjoncteur intégré :
- type H : en coffret ou montés dos à dos sur une structure en tôle peinte,
- type SAH : en armoire.

Le type SAH est associé à une self antiharmoniques (fréquence d'accord 215 Hz).

Le Rectibloc type H convient pour les réseaux pollués (15 % < Gh/Sn ⩽ 25 %).
Le Rectibloc type SAH pour les réseaux fortement pollués (25 % < Gh/Sn ⩽ 50 %).

Caractéristiques :
- tension assignée : 400/415 V
- tension de dimensionnement des condensateurs : 470 V, triphasée 50 Hz
- rang d'accord : 4,3 (pour type SAH uniquement)
- tolérance sur valeur de capacité : -5 %, +10 %
- classe d'isolement :
  - 0,69 kV
  - tenue 50 Hz, 1 min. : 2,5 kV
- courant maximal admissible :
  - type H : 1,5 In (400 V)
  - type SAH : 1,27 In (400 V)
- tension maximale admissible (8 h sur 24 h selon IEC 60831) : 460 V
- air ambiant autour de l'équipement :
  - température maximale : 40 °C
  - température moyenne sur 24 h : 35 °C
  - température moyenne annuelle : 25 °C
  - température minimale : -5 °C
- degré de protection : IP 31 (IP 21D en type SAH)
- couleur :
  - type H : RAL 7032
  - type SAH :
    - tôle : RAL 9002
    - bandeau : RAL 7021
- normes : IEC 60439-1, EN 60439-1.

Installation :
- coffret : fixation murale
- structure : au sol avec raccordement des câbles de puissance par le bas
- armoire : au sol, sur socle (accessoire).

puissance (kvar)		réalisation	disjoncteur intégré		référence
400 V	470 V		type	Icu (kA rms)	
type H					
7,5	10	coffret	NG125	25	**52004**
10	14	coffret	NG125	25	**52135**
15	20	coffret	NG125	25	**52005**
20	24	structure	NS100	25	**52499**
22,5	30,5	structure	NS100	25	**52500**
30	42	structure	NS100	25	**52501**
35	48	structure	NS100	25	**52502**
40	57,5	structure	NS100	25	**52503**
45	60	structure	NS100	25	**52504**
52,5	72	structure	NS160	36	**52505**
60	76	structure	NS160	36	**52506**
70	96	structure	NS160	36	**52507**
80	115	structure	NS250	36	**52508**
90	120	structure	NS250	36	**52509**
105	144	structure	NS250	36	**52510**
type SAH					
25		armoire 2	NS100	25	**52585**
37,5		armoire 2	NS100	25	**52586**
50		armoire 2	NS100	25	**52587**
75		armoire 2	NS160	36	**52588**
100		armoire 2	NS250	36	**52589**
125		armoire 2	NS250	36	**52590**
150		armoire 2	NS400	45	**52591**

accessoire pour Rectibloc type SAH	référence
socle réhausse H = 250 mm pour armoire 2	**52673**