

Dossier principal

Dossier à rendre avec la copie, comprenant le questionnement et tous les espaces nécessaires pour les réponses :

Partie A - Distribution électrique	pages 2 à 13
A1 Etude de l'alimentation du tableau DGF711	
A2 Protection des personnes	
Partie B - Etude de la propulsion	pages 14 à 29
B1 Moteur et onduleur	
B2 Transformateur	
B3 Transformateur et redresseur simplifié	
B4 Hacheur de freinage	
Partie C - Perturbations électromagnétiques	pages 30 à 36
C1 Généralités	
C2 Etude d'un signal perturbateur	
C3 Perturbations sur la tension	
C4 Etude d'un filtre	

Barème

Partie A - Distribution électrique	sur 70
Partie B - Etude de la propulsion	sur 70
Partie C - Perturbations électromagnétiques	sur 60

Partie A - Distribution électrique

L'installation étudiée, dont le schéma se trouve page 3 de la partie présentation, fonctionne en 60 Hz. Dans un soucis de simplification, on utilisera les données de la norme C15-105.

A1 Etude de l'alimentation du tableau DGF711

Cette partie doit permettre de choisir le câble rep F711 entre le tableau principal TPTF et le tableau démarreur moteur DGF711 alimentant les auxiliaires de démarrage. Pour des raisons de mise en œuvre, le constructeur utilise uniquement des câbles multipolaire triphasés de type BFOU en cuivre de section maximum $3 \times 120\text{mm}^2$ mis en parallèle si nécessaire.

- ◆ Réseau triphasé sans neutre
- ◆ U_R : tension entre phase 440V
- ◆ I_{k3} courant de court-circuit triphasé symétrique : 70kA au niveau du TPTF
- ◆ L : longueur 40m
- ◆ $\cos \varphi$ moyen 0,83
- ◆ Température 45°C
- ◆ Pose groupée sur chemin de câble avec 10 autres câbles
- ◆ Tension limite du local U_L : 25V

A11 Calcul du courant maximum d'emploi I_B du câble F711

A partir de la documentation (doc A2), calculer le courant I_B . Tous les moteurs de l'installation doivent pouvoir fonctionner simultanément, le coefficient d'utilisation moyen est de 0,89 et le client demande une puissance pour extension future de 20%. Le $\cos \varphi$ de tous les récepteurs est considéré comme identique.

A12 Choix de la protection

On posera :

- I_{n1} : courant nominal du moteur le plus puissant.
- I_B : courant en ligne.
- I_n : intensité nominale du déclencheur.
- I_r et I_m : les courants long retard et court retard du déclencheur.
- I_P : courant de pointe dans le circuit.
- I'_z : intensité corrigée admissible dans la canalisation.
- I_z : intensité admissible dans la canalisation choisie.

A121 Enoncer les conditions de choix du disjoncteur (dispositif de coupure)

A122 Enoncer les conditions de choix du dispositif de protection

A123 En utilisant la documentation (doc A8 à A12), choisir

A1231 Le disjoncteur de protection de ce départ le mieux adapté.

A1232 Son déclencheur à temporisation fixe.

A1233 Donner les réglages minimums long retard et court retard en ampères. Pour le réglage court retard on prendra en compte le courant I_B et le courant de démarrage du moteur le plus puissant ($I_{d1} = 6 \cdot I_{n1}$). Pour simplifier, on admettra que le moteur a un $\cos \varphi$ identique au démarrage et en charge

A13 Choix de la canalisation

Pour cette question on prendra $I_B = I_r = 315A$

A partir des contraintes de l'environnement, et à l'aide de la documentation doc A2 à A4 et A8 à A12 :

A131 Avez-vous des arguments justifiant l'utilisation de **câbles multiconducteur** de section maximum $3 \times 120 \text{ mm}^2$

A132 Déterminer les caractéristiques de la canalisation (section minimum et nombre de câbles multiconducteur).

A133 Calculer le courant maximum admissible I_z dans la canalisation en fonction de la section choisie et de l'environnement.

A134 A partir du résultat précédent, calculer le réglage maximum du dispositif de protection long retard en fonction de I_n .

A135 En déduire les réglages I_o et I_r les plus appropriés pour le déclencheur ainsi que l'intensité de réglage résultante.

A136 A quelle valeur faut-il régler le déclencheur court retard pour obtenir un seuil de déclenchement I_m de 2800A.

A14 Vérification de la chute de tension dans ce câble en régime permanent

Pour cette question on prendra $I_B = 315A$

La chute de tension admissible dans ce tronçon d'installation est limitée à 1%.

A partir des caractéristiques de la canalisation, des tableaux GA et GB du guide C15-105 (doc A6),

A141 Calculer la chute de tension Δu : $\Delta u = \sqrt{3} * I_B \left(\frac{\rho * l}{s} \cos\varphi + \lambda * l * \sin\varphi \right)$

A142 Vérifier que cette chute de tension est conforme aux valeurs admissibles.

A143 En fonction des calculs précédents préciser les caractéristiques définitives de la canalisation.

A15 Evaluation du courant de court-circuit maximal au tableau DGF 711

Calculer le courant maximal de court-circuit au niveau du tableau DGF711 en utilisant la méthode de composition du guide C15-105 §C2.2.1, (doc A5). On calculera d'abord Z_c impédance de la canalisation à partir des tableaux GA et GB. On admettra une canalisation de $2 \times (3 \times 120 \text{ mm}^2)$.

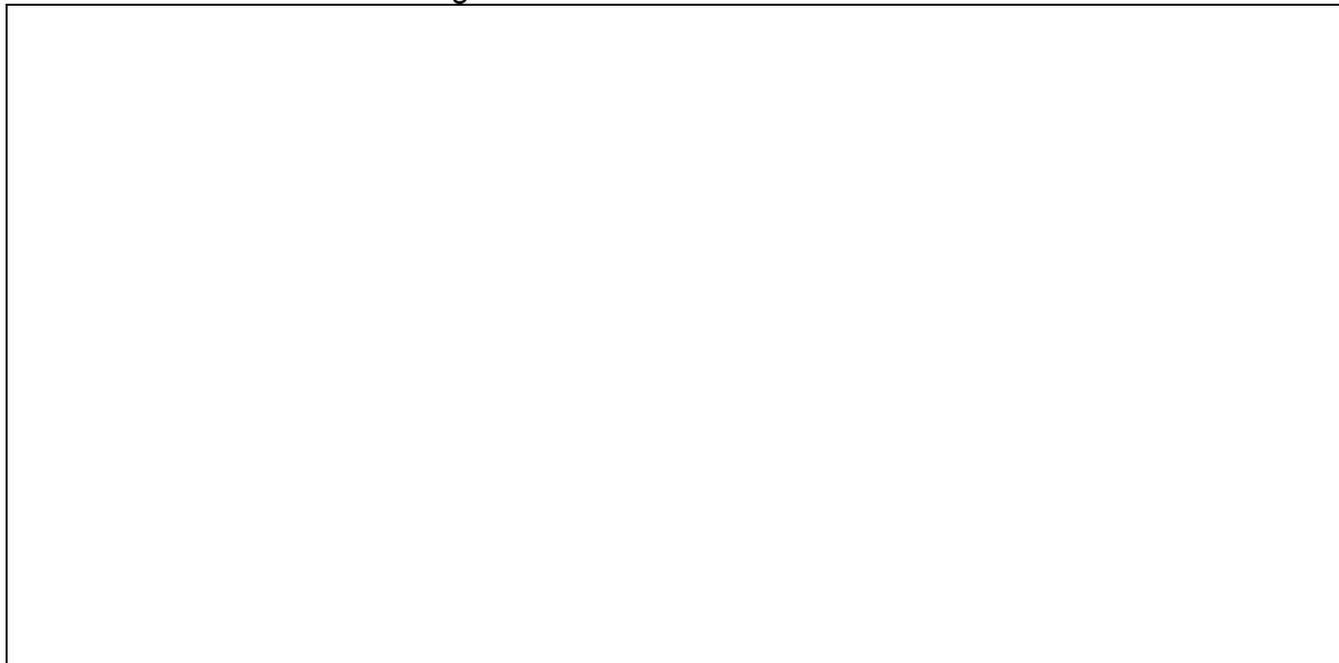
A2 Protection des personnes

Sur un navire la coque et l'ensemble de la structure métallique sont utilisés comme référence de potentiel et comme conducteur équipotentiel. Elles servent de conducteur PE en distribution et pour les circuits terminaux de forte et moyenne puissance.

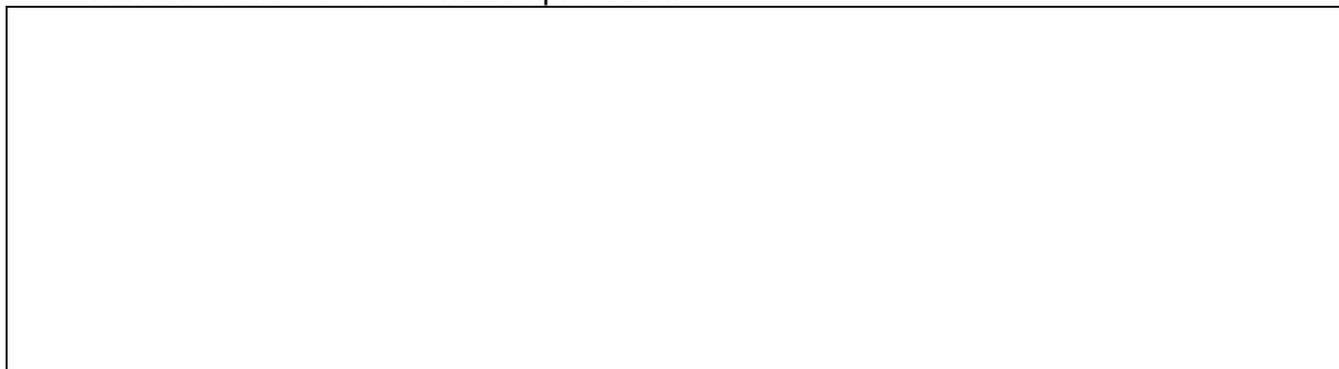
Le schéma des liaisons à la terre IT sans neutre distribué est retenu dans cette d'installation.

A21 mise en œuvre du schéma IT

A211 Préciser les avantages et les inconvénients de ce schéma des liaisons à la terre.

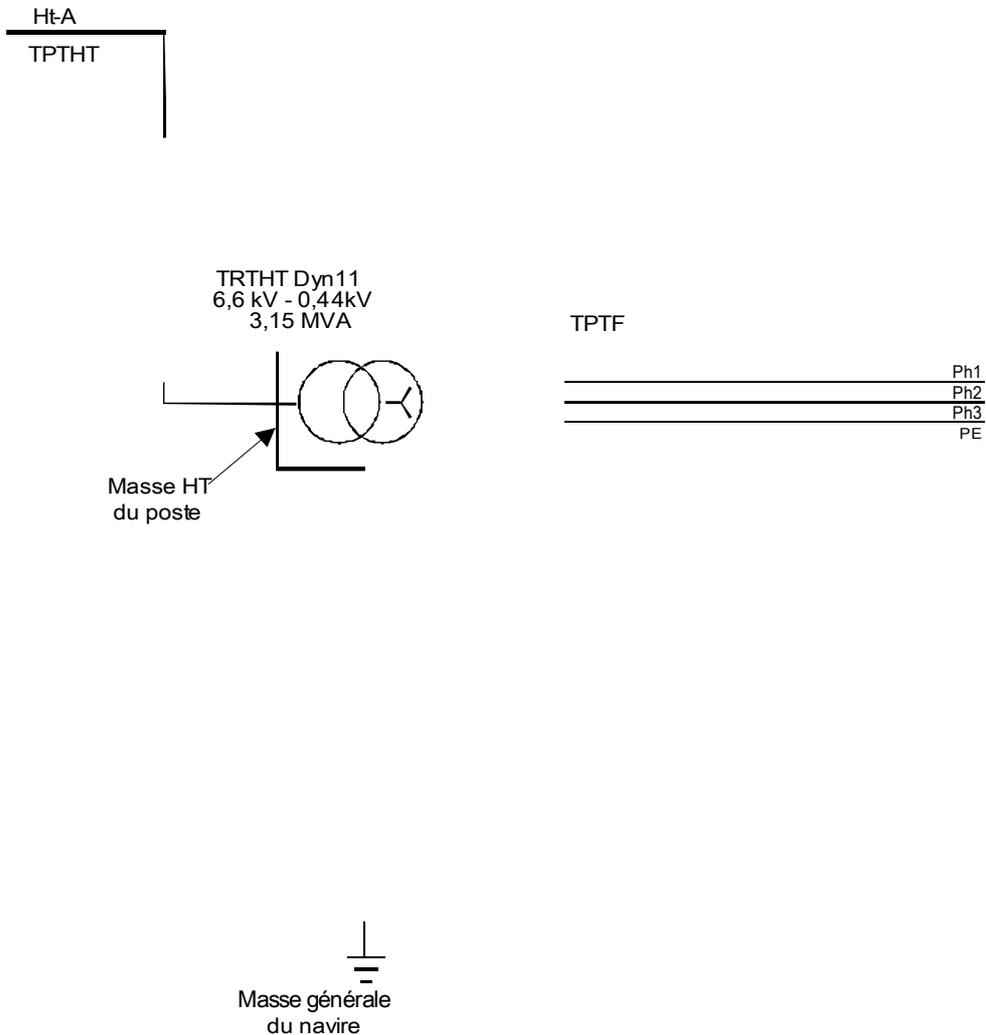


A212 Définir les conditions d'exploitation.



A22 Schéma du poste HT-A / BT

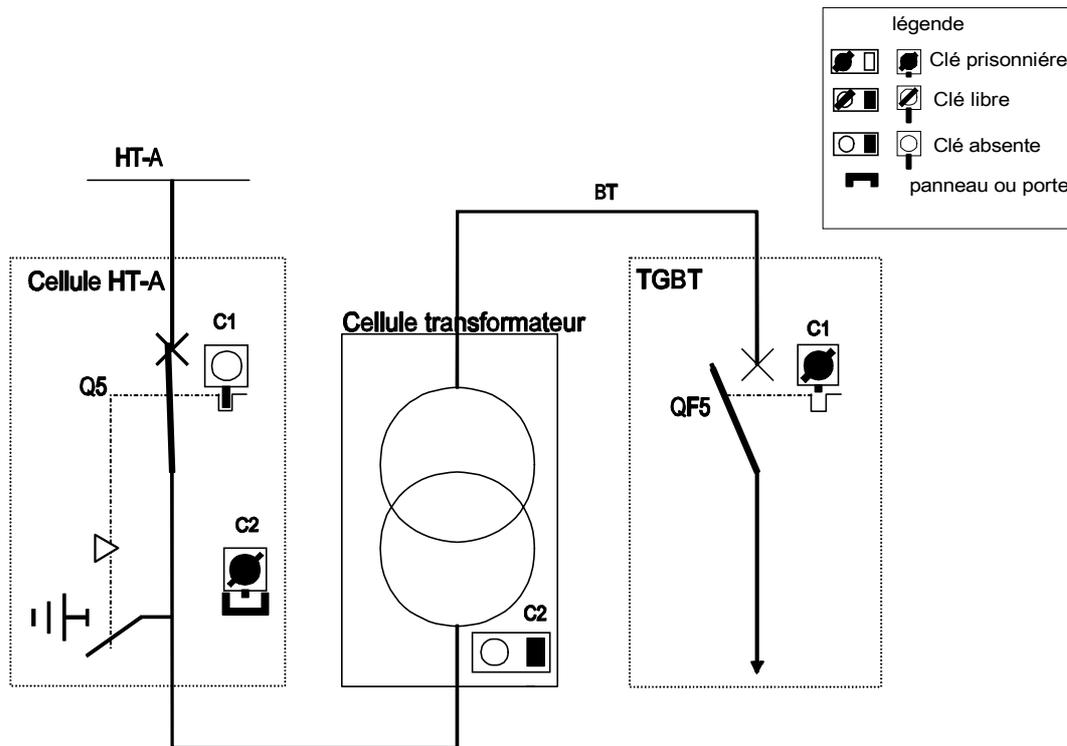
A221 A partir du schéma général du navire (P3 présentation), compléter le schéma du poste depuis le jeu de barre HT-A (TPTHT) jusqu'au jeu de barre BT du tableau TPTF faisant apparaître les protections nécessaires et le raccordement des masses HT-A et BT. Précisez le nom des câbles et des appareils de protection. (Le circuit HT-A pourra être représenté en unifilaire.)



A222 Justifier le rôle des principaux appareils utilisés.

A23 Etude du système de condamnation par clés prisonnières

On propose d'étudier le système de clés associées au transformateur, et aux disjoncteurs HT-A et BT.



A231 Expliquer le rôle du système des clés prisonnières.

A232 L'installation étant en fonctionnement, écrire la procédure de consignation pour ouvrir la cellule du transformateur (transformateur avec indice de protection < IP3X).

A24 Etude du fonctionnement sur défaut

Pour l'étude on se place dans le cas le plus défavorable : les moteurs ne sont reliés à la masse que par le conducteur PE, ils sont considérés isolés de la structure du bateau.

Résistance d'isolement de l'installation avant défaut $35k\Omega$.

Les résistances de défaut et celles des appareils sont négligées.

La réactance des câbles n'est pas prise en compte (faibles sections)

On prendra

R_{PH1} : résistance du conducteur de phase du circuit terminal pompe 1

R_{PH2} : résistance du conducteur de phase du circuit terminal pompe 2

R_{PE1} : résistance du conducteur PE du circuit terminal pompe 1

R_{PE2} : résistance du conducteur PE du circuit terminal pompe 2

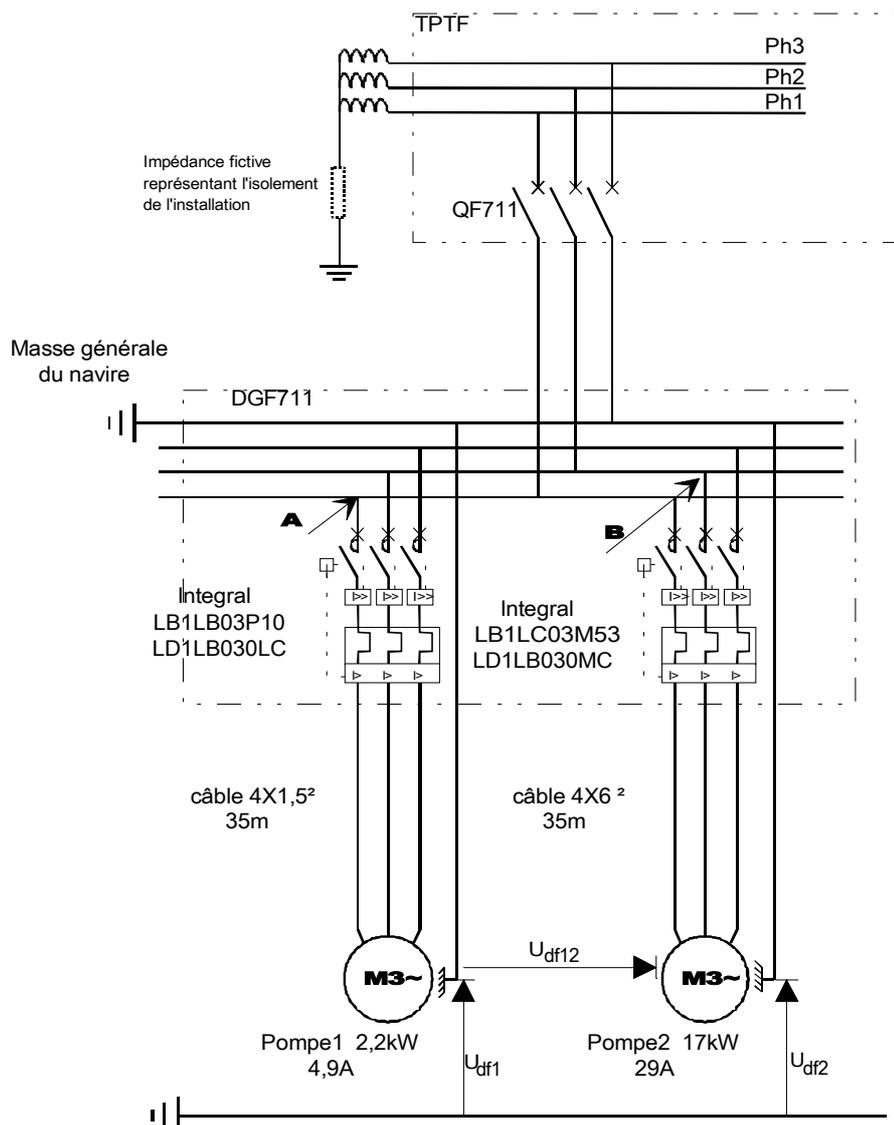
Pour traiter les questions suivantes utiliser les caractéristiques de l'installation et la documentation. (doc A5, A6). On prendra $\rho = 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. La tension limite du local UL est de 25V.

A241 défaut simple

On étudie le cas d'un défaut franc sur la phase 1 de la pompe 1. La résistance équivalente des 2 autres phases par rapport à la terre est toujours de $35k\Omega$.

A2411 Dessiner la boucle de défaut (I_{df1}).

Schéma de principe d'une partie de l'installation



A2412 Calculer le courant de défaut I_{df1} et la tension de défaut U_{df1} .

A2413 Cette tension est-elle dangereuse ? , Justifier.

A2414 Quel est le comportement de l'installation ?

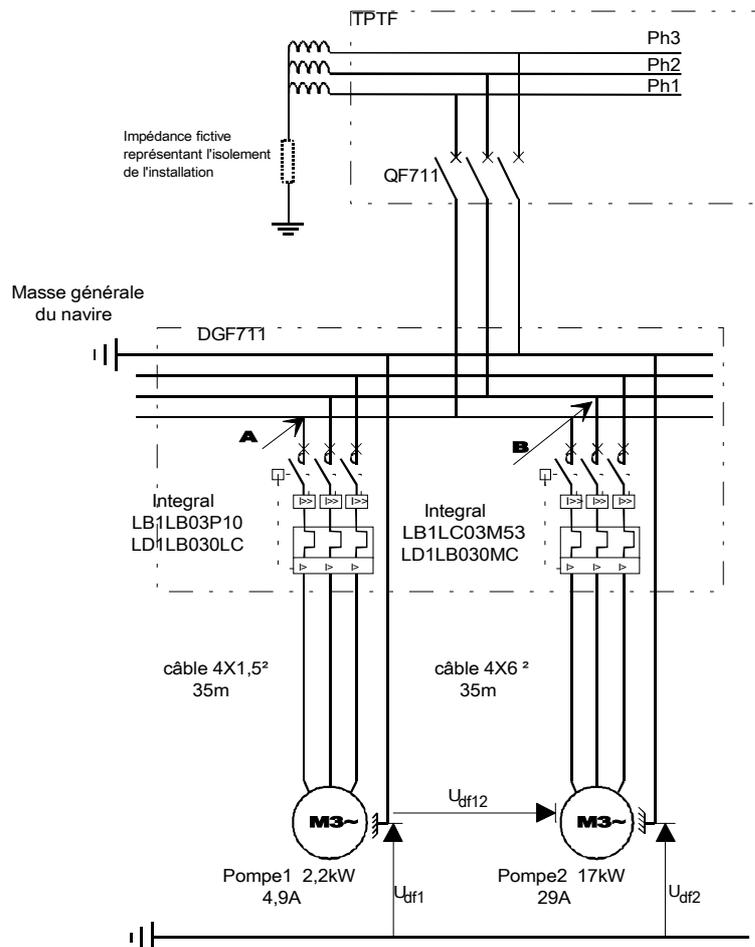
A242 défaut double

En plus du défaut précédent on à un défaut sur la phase 2 de la pompe 2.

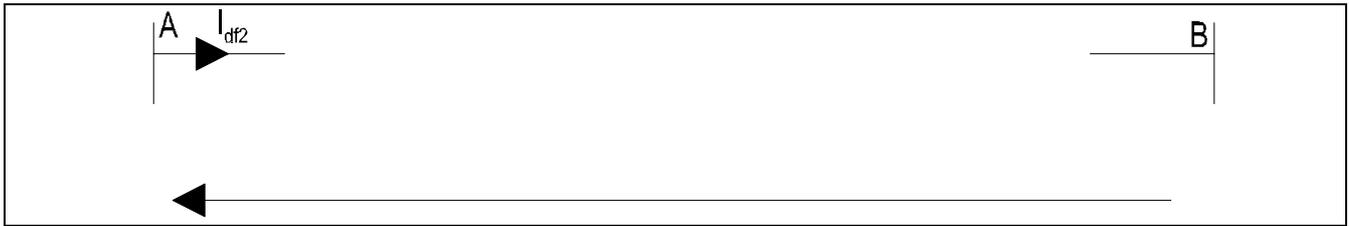
Hypothèse simplificatrice : la tension entre les points A et B (U_{AB}) est prise égale à $0,8 U_R$.

A2421 Dessiner la boucle de défaut double.

Schéma de principe d'une partie de l'installation



A2422 Proposer un schéma équivalent de la boucle de défaut des circuits terminaux entre les points A et B, positionner les défauts et le potentiel de référence (masse générale), les tensions U_{df1} U_{df2} U_{df12} .



A2423 Calculer le courant de défaut double I_{df2} et les tensions U_{df1} U_{df2} U_{df12} .

Empty box for the calculation of the double fault current I_{df2} and the voltages U_{df1} , U_{df2} , and U_{df12} .

A2424 Ces tensions sont-elles dangereuses ? , Justifier.

Empty box for justifying whether the voltages are dangerous.

A2425 Quel est le comportement de l'installation ?

Empty box for describing the behavior of the installation.

A25 Vérification de la protection des personnes

A251 Vérification dans le cas de câble avec PE (cas général)

On se propose de vérifier la protection des personnes sur le départ pompe 1 ($I_{RTH} = 5A$) du tableau DGF711. A partir du schéma (question A242), des caractéristiques de l'installation et du matériel (doc A7), en utilisant la méthode conventionnelle (extrait du guide §D.4.4.2 , doc A5) :

A2511 Enoncer les conditions de protection des personnes dans ce cas.

A2512 Calculer le courant de défaut I_d par la méthode indiquée.

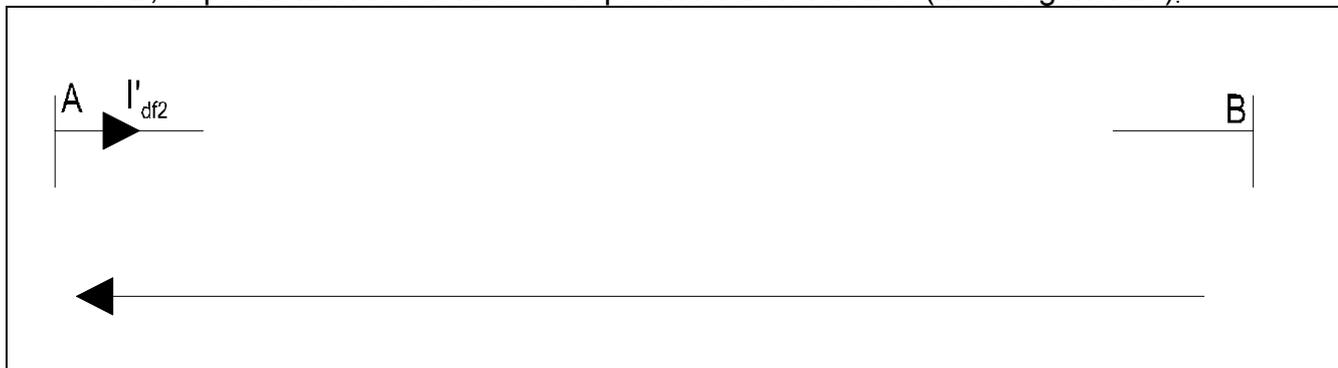
A2513 Vérifier si la protection des personnes est assurée, précisez si nécessaire le réglage des protections.

A252 Vérification avec masse locale (cas de la majorité des récepteurs du navire)

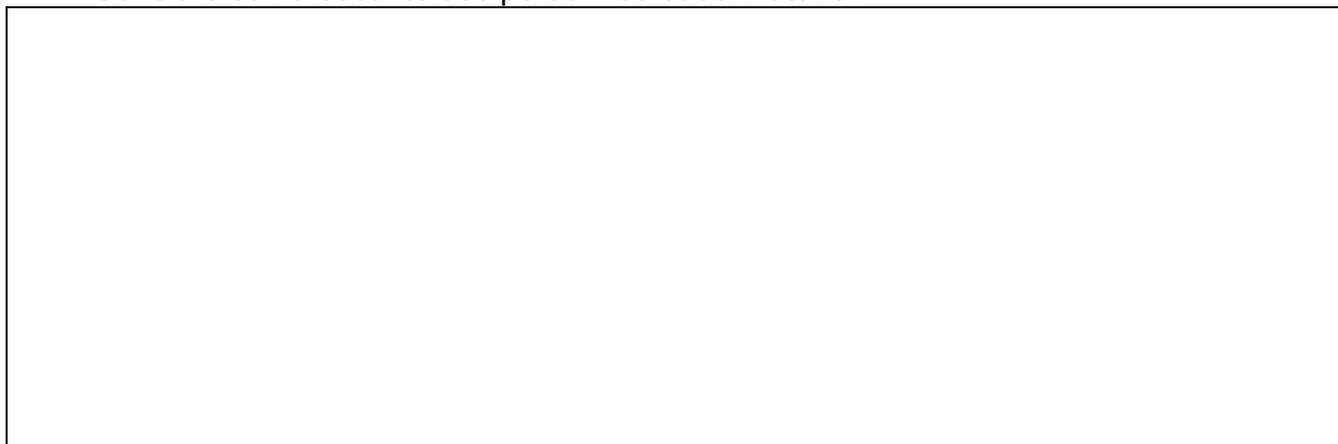
Dans un navire la plupart des récepteurs sont reliés à la coque (masse) par une tresse de résistance négligeable, posée localement.

On utilisera la même notation que pour la question A242 différenciée par le symbole ' ex : $I'_{df2} \Rightarrow I'_{df2}$.

A2521 Dessiner le schéma équivalent à cette boucle de défaut double entre les points A et B, et positionner les défauts et le potentiel de référence (masse générale).

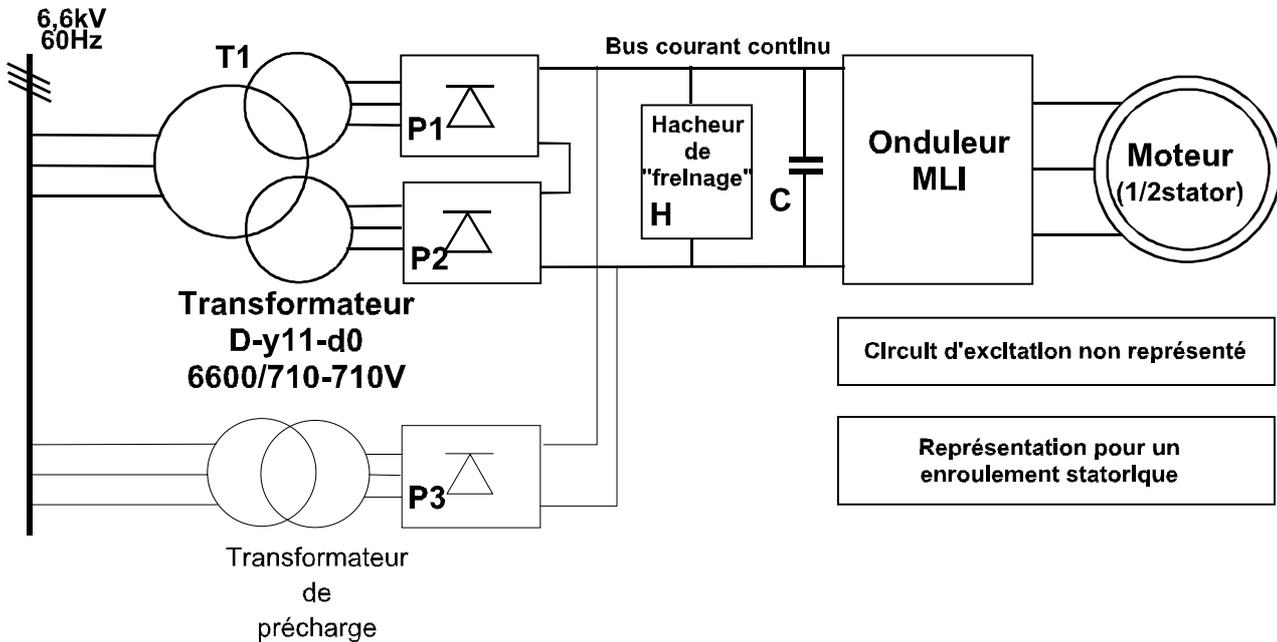


A2522 Montrer que la tension de contact reste négligeable en cas de défaut double. Conclure sur la sécurité des personnes et du matériel.



Partie B - Etude de la propulsion

Les moteurs de propulsion, au nombre de 2, sont du type synchrone. Ils possèdent un double enroulement statorique triphasé, chacun de ces enroulements étant alimenté par un ensemble transformateur + redresseur + onduleur. Le schéma est donné ci-dessous.



B1 Moteur et onduleur

On donne page suivante une partie de la fiche technique d'un moteur de propulsion.

B11 Généralités

B111 Déterminer le nombre de pôles de la machine.

B12 Aspects énergétiques

B121 Indiquer le couple nominal de la machine.

B122 Préciser la localisation des pertes de la machine et la façon dont celles ci évoluent quand la puissance augmente.

B123 Donner son rendement à mi puissance.

B13 Refroidissement

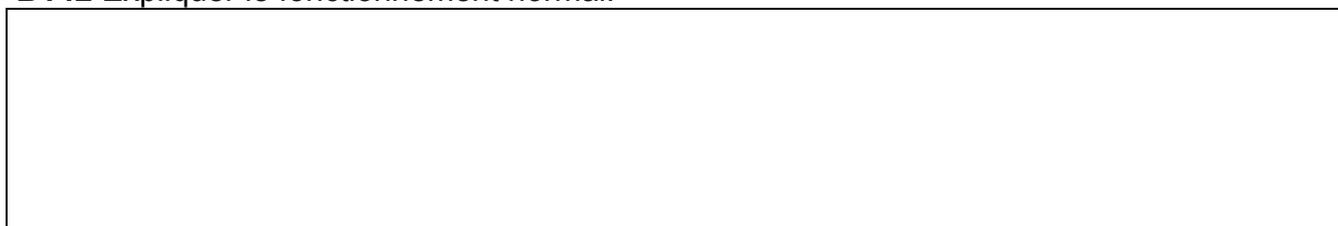
Expliquer, à l'aide d'un croquis, le système de refroidissement de la machine. Donner des précisions sur les températures.

B14 Excitation

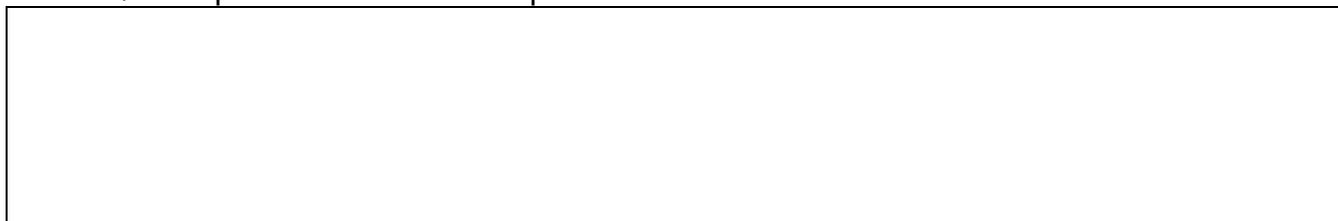
B141 Faire un schéma du système d'excitation de la machine.



B142 Expliquer le fonctionnement normal.

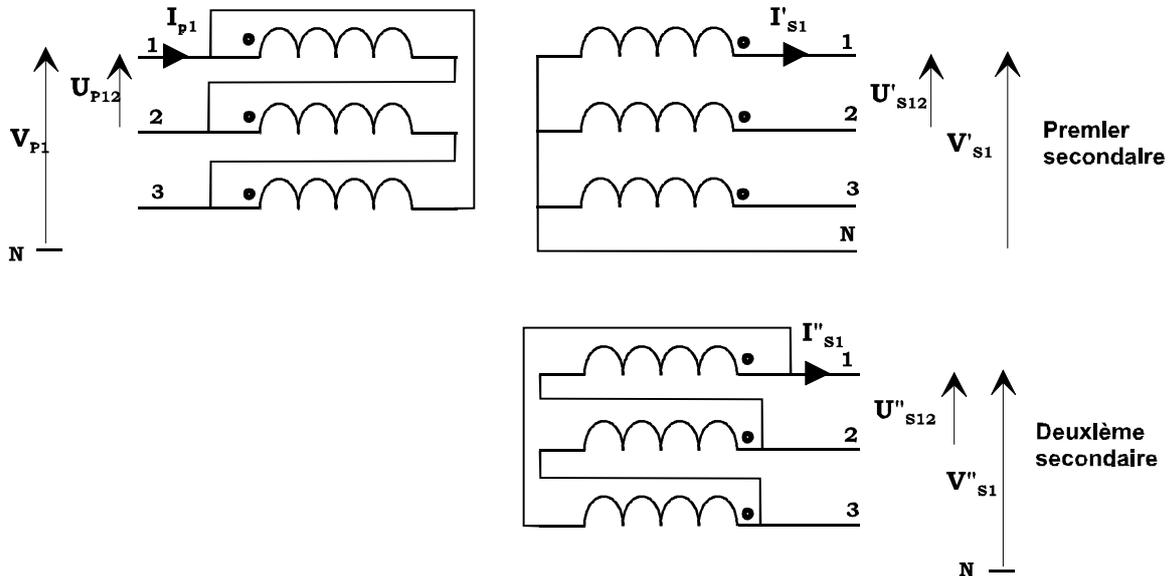


B143 Que se passe t-il en cas de rupture du circuit d'excitation?



B2 Transformateur

Cette partie porte sur le transformateur principal seul, fonctionnant en régime sinusoïdal, dont le schéma est donné ci-dessous.



Les données constructeur sont les suivantes :

$$S = 5\,400 \text{ KVA}$$

Tensions composées :

$$6600\text{V} / 710\text{V} - 710\text{V à vide (700V en charge)}$$

$$f = 60\text{Hz}$$

$U_{cc} = 7\%$ pour chaque demi secondaire

$$P_F = 9 \text{ kW} \quad \text{Courant magnétisant } 0,4\% \text{ de } I_N$$

pertes en court circuit au courant nominal, 2 secondaires chargés (température de fonctionnement 115°C) : 33 kW

Les notations à utiliser sont les suivantes :

V_P tension simple primaire

U_P tension composée primaire

I_P courant en ligne primaire

J_P courant dans un enroulement primaire

V'_S tension simple pour le premier secondaire (V''_S tension simple pour le deuxième)

U'_S tension composée pour le premier secondaire (U''_S tension composée pour le deuxième)

I'_S courant en ligne pour le premier secondaire (I''_S pour le deuxième)

J''_S courant dans le deuxième enroulement secondaire

B21 Rapport de transformation

B211 Etablir les rapports de transformation entre les tensions composées \mathbf{M}' pour le premier secondaire et \mathbf{M}'' pour le deuxième.

B212 En tenant compte du couplage, calculer les rapports de transformation par colonne \mathbf{m}' pour le premier secondaire et \mathbf{m}'' pour le deuxième.

B22 Courants

La puissance nominale est donnée pour une charge égale des 2 secondaires.

B221 Pour la charge nominale et en négligeant les pertes, calculer les courants en ligne puis dans les enroulements primaires et secondaires.

B222 Calculer la valeur du courant magnétisant.

B23 Bilan énergétique

B231 A partir des données constructeur, déterminer les impédances du modèle de Kapp \mathbf{Z}'_s et \mathbf{Z}''_s .

B232 Calculer les résistances des enroulements ramenées au secondaire R'_s et R''_s . On supposera les pertes Joules équitablement réparties entre les 2 secondaires.

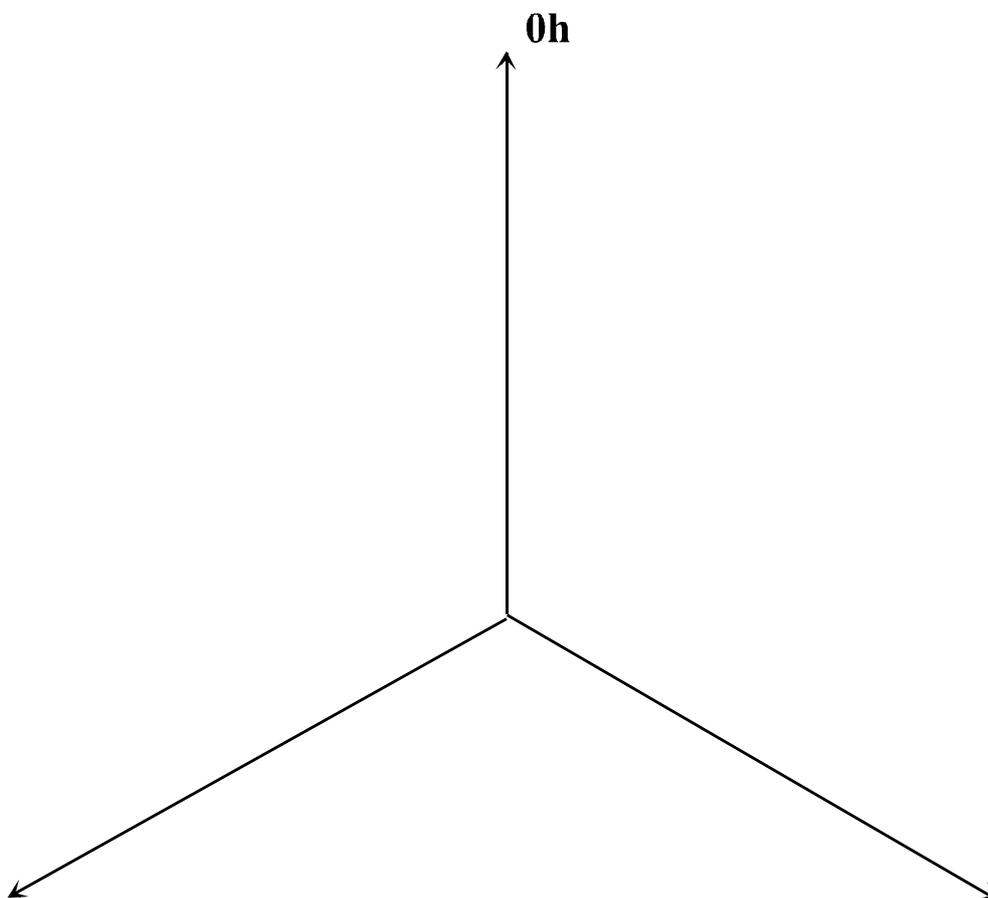
B233 Calculer les réactances du modèle de Kapp $L'_{s\omega}$ et $L''_{s\omega}$.

B234 Indiquer les pertes en régime nominal et en déduire le rendement à cette charge ($\cos\phi = 1$).

B235 Calculer la charge (en %) pour laquelle le rendement est maximum, c'est à dire pour pertes fer=pertes cuivre.

B24 Indice horaire

A l'aide d'un diagramme de Fresnel que l'on dessinera ci-dessous, justifier le couplage **D - y11 - d0** donné par le constructeur. Utiliser les notations du sujet.



Echelles :
Primaire :1cm = 1000v
Secondaire :1cm = 100v

B3 Transformateur et redresseur simplifié

Dans cette partie, on considère que le transformateur D- y11-d0 se ramène à un transformateur D-y11 (équivalent mais différent du transformateur précédent). Il n'y a plus qu'un seul redresseur. La charge est supposée constante, le courant est lissé de façon à ce que la charge soit équivalente à un générateur de **courant constant** I_0 . La tension secondaire V_S vaut ici $700/\sqrt{3}=404$ V. Voir Figure 1.

On se propose d'étudier les courants et de dimensionner les éléments du redresseur.

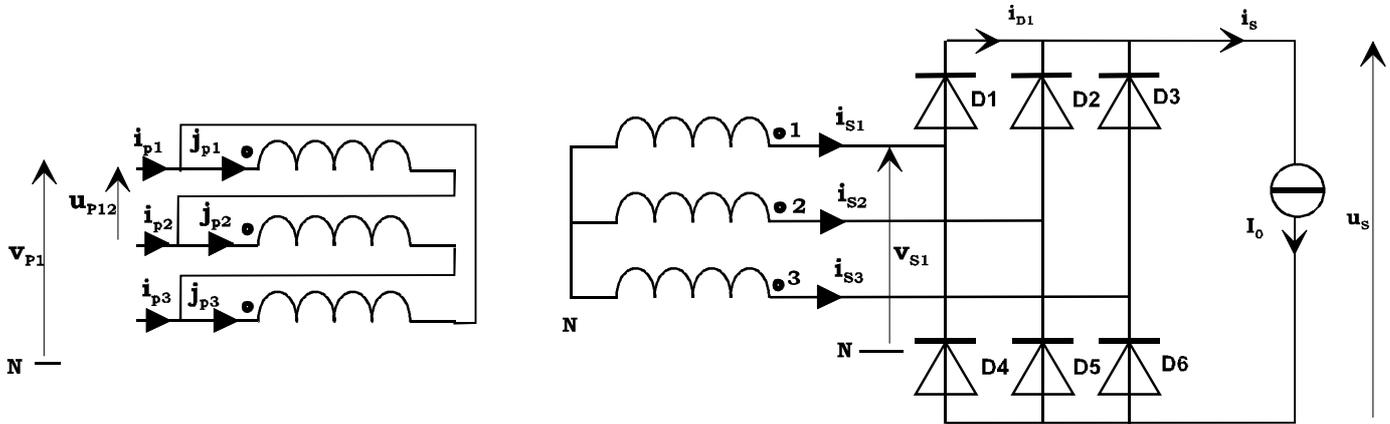


Figure 1

B31 Formes d'onde

B311 Sur le document réponse page suivante, donner la forme de la tension de sortie u_s . Indiquer ses valeurs min et max en fonction de V_S , puis ses valeurs numériques.

B312 Exprimer la valeur moyenne de u_s puis calculer sa valeur numérique.

B313 Sur le document réponse page suivante, donner la forme du courant i_{D1} dans la diode D1 et des courants i_{s1} , i_{s2} , i_{s3} dans les enroulements secondaires. On prendra 1 carreau pour I_0 .

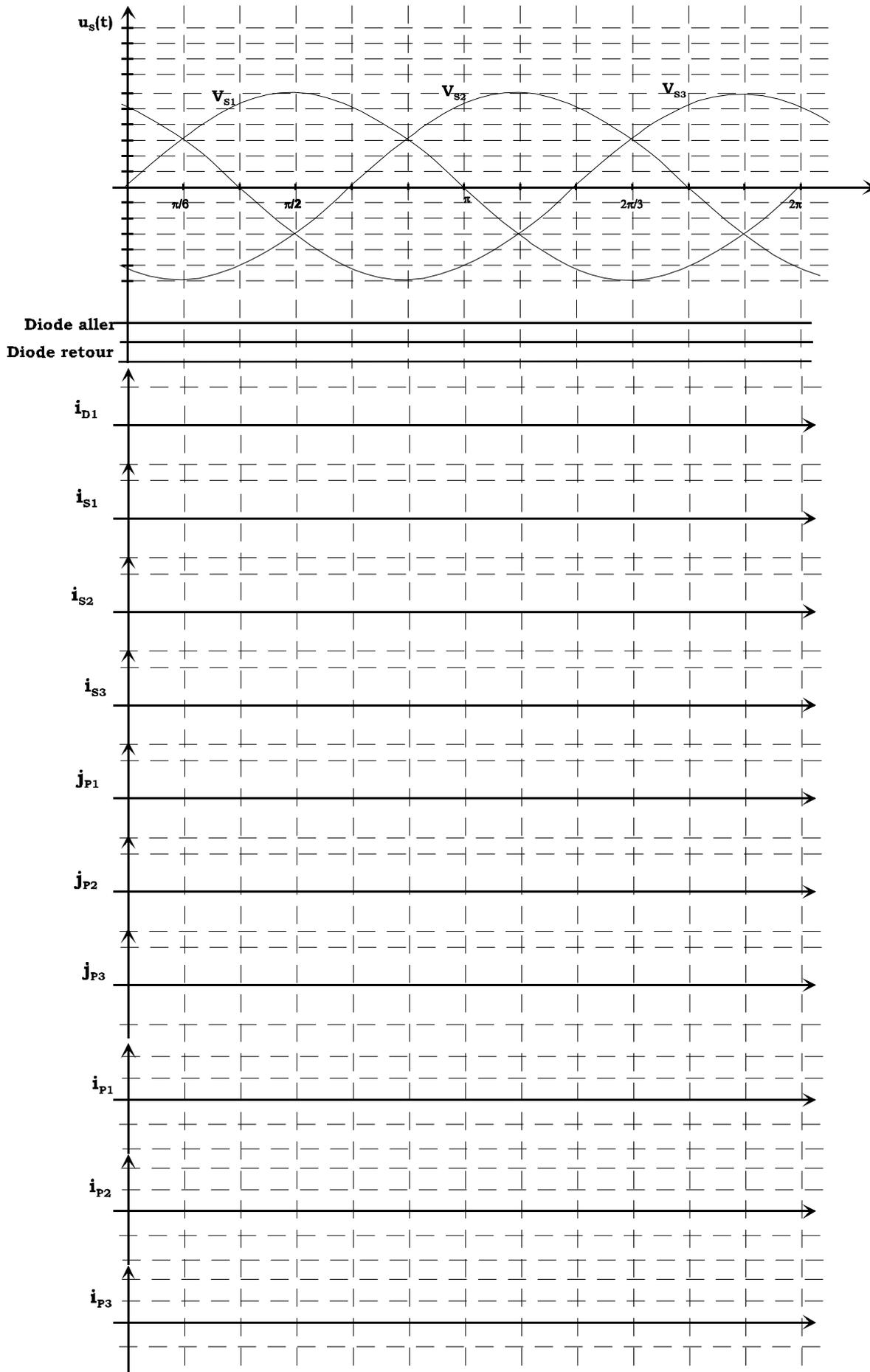
B314 Préciser les diodes en conduction sur chaque intervalle.

B315 En déduire l'allure des courants j_{p1} , j_{p2} , j_{p3} dans les enroulement primaires.

B316 Exprimer les courants i_{p1} , i_{p2} , i_{p3} en ligne en fonction de j_{p1} , j_{p2} , j_{p3} .

B317 Tracer l'allure de i_{p1} , i_{p2} , i_{p3} . On prendra 2 carreaux pour I_{Pmax}

Question B31



B32 Diodes

B321 Etablir l'expression des valeurs moyenne et efficace du courant i_{D1} dans la diode D1.

B322 Calculer leurs valeurs numériques avec $I_0 = 3600A$.

B323 Indiquer le modèle électrique tenant compte de la tension de seuil V_{T0} et de la résistance dynamique R_D , équivalent à une diode polarisée dans le sens direct.

B324 Etablir l'expression de la puissance P_D dissipée par la diode

B33 Choix des diodes

Choisir à l'aide des tableaux 1 et 2 page suivante, en le justifiant, une diode convenant à cette application. Prendre un coefficient de sécurité de 2 pour la tension et de 1,4 pour le courant.

VRSM VRRM V	IFAV (Tcase= 75°C)	
	1550A	2000A
400	SKN 1500/04	
600		SKN 2000/06
1200	SKN1500/12	SKN2000/12
1600	SKN1500/16	SKt42000/16
2000	SKN 1500/20	SKN 2000/20
2400	SKN 1500/24	SKN 2000/24
2900	SKN 1500/29	

Tableau 1

	Symbol Conditions	SKN 1500	SKN 2000
IFAV	T =25°C DSC	1550 A	2000 A
IFSM	Tvj=25°C;10ms	19kA	30kA
I ² t	Tvj = 25 °C; ,10 ms	1800 kA ² s	4500 kA ² s
VF	Tvj= 25 °C;	1,3V (1800A)	1,3V (3400A)
V _{TO}	Tvj = 25°C	0,85 V	0,85 V
r _D	Tvj=25°C	0,25mΩ	0,12mΩ
R _{thjc}	DSC	0,033 ⁰ C/W	0,021 ⁰ C/W
	SSC	0,066 ⁰ C/W	0,050 ⁰ C/W
R _{thch}	DSC	0,007 ⁰ C/W	0,004 ⁰ C/W
	SSC	0,014 ⁰ C/W	0,010 ⁰ C/W
DSC : Refroidissement double face SSC : Refroidissement simple face			
w	300g	530g	
Case	E20	E21	

Tableau 2

	Type	R _{thca} (°C/W)
SKN 1500	2xP8/180	0,29
	2xP8/180F	0,071
	2xP9/210F	0,045
SKN 2000	2xP8/180	0,29
	2xP8/180F	0,071
	2xP9/210F	0,045
F : ventilation forcée		

Tableau 3

Documentation sur les diodes de puissance (D'après SEMIKRON)

B34 Choix du dissipateur

B341 Etablir la puissance dissipée en régime nominal.

B342 Calculer la résistance thermique maximum que devra avoir le dissipateur (Prendre une température de jonction de 160°C et une température ambiante de 45°C)

B343 Choisir un dissipateur approprié dans le Tableau 3 page précédente.

B35 Protection des diodes

Proposer une protection des diodes contre les surcharges et contre les variations brusques de tension (faire un schéma).

B36 Bilan énergétique

Etablir le rendement du redresseur.

B4 Hacheur de freinage

L'arbre portant l'hélice doit pouvoir être stoppé rapidement lors d'un "crash-stop".

Le moment d'inertie de cette ligne d'arbre est de $57 \cdot 10^3 \text{ kg m}^2$.

On fixe la durée du "crash-stop" à 12 secondes. Pour simplifier, on considère que pendant ce temps, la tension $u_s(t)$, reste constante et égale à $U_0=2000\text{V}$.

Le schéma de l'ensemble est donné Figure 2

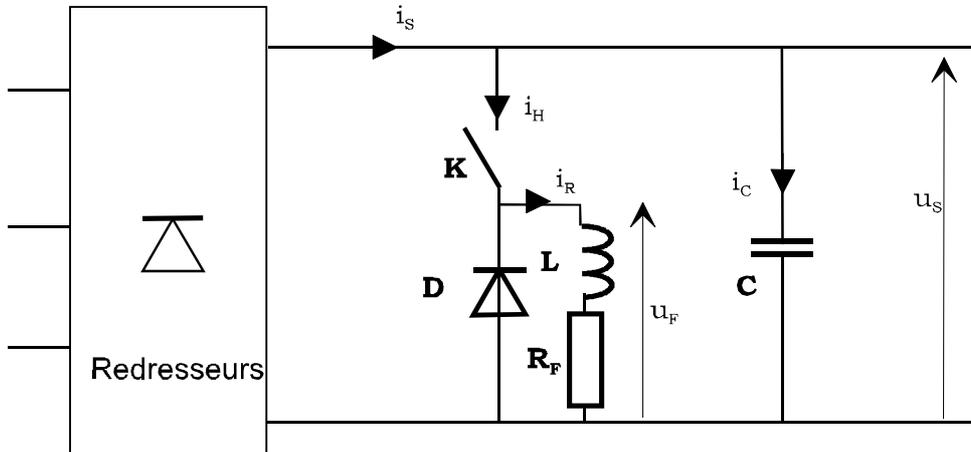


Figure 2

B41 Fonctionnement

B411 Expliquer brièvement, en utilisant les variables figurant sur le schéma, le fonctionnement de l'ensemble convertisseur + moteur et le rôle du hacheur lors de ce "crash-stop".

B412 Que se passerait-il en cas de défaillance du hacheur (cas où K reste ouvert)?

B413 Quelles sont les conditions de mise en marche et d'arrêt du hacheur?

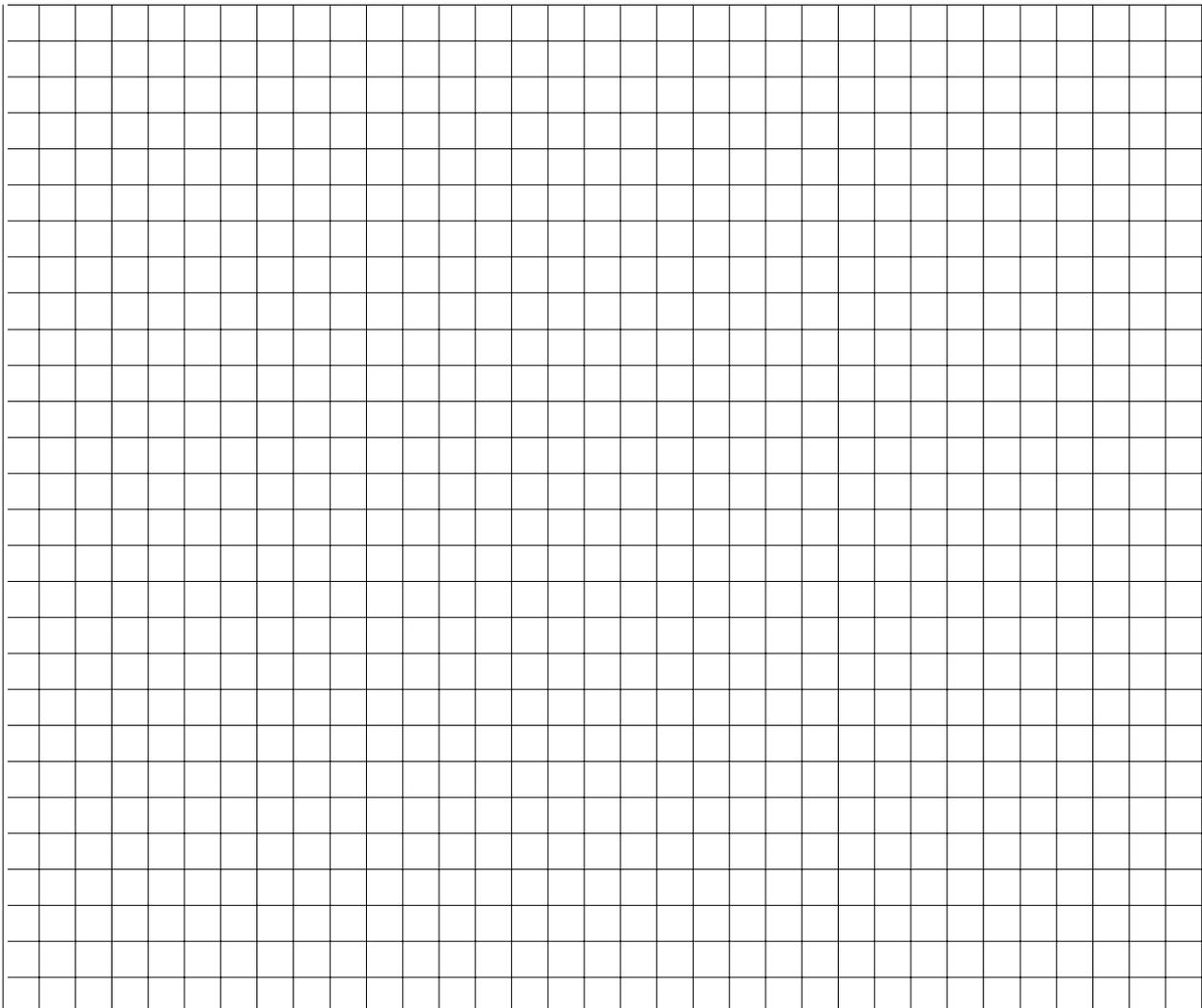
B42 Energies

B421 Calculer l'énergie emmagasinée par la ligne d'arbre à la vitesse nominale du moteur.

B422 En déduire la puissance moyenne dissipée pendant le freinage.

B43 Formes d'ondes

Représenter ci dessous l'allure de la tension $u_F(t)$, du courant dans la résistance $i_R(t)$ et du courant dans l'interrupteur $i_H(t)$. Prendre un rapport cyclique α de 0,4; porter la valeur de la tension U_0 ; représenter le courant, variant entre I_M et I_m et en supposant l'effet de l'inductance de lissage important.



B44 Etude quantitative

B441 Etablir l'expression de la valeur moyenne U_F de la tension $u_F(t)$.

B442 Ecrire les équations régissant l'évolution du courant $i_R(t)$ sur l'intervalle $[0, \alpha T]$ puis sur l'intervalle $[\alpha T, T]$ en fonction de I_M et I_m , en considérant la constante de temps L_F / R_F très grande devant la période T .

B443 Etablir la valeur moyenne I_R du courant $i_R(t)$, montrer que la tension moyenne aux bornes de l'inductance L est nulle.

B444 Etablir la puissance dissipée dans R_F en fonction du rapport cyclique α (on négligera l'ondulation du courant).

B445 En utilisant le résultat établi en B422, et sachant que la résistance R_F vaut $0,86\Omega$, déterminer le rapport cyclique nécessaire durant un crash stop.

Partie C - Perturbations électromagnétiques

C1 Généralités

Comme on a pu le voir sur le schéma général du navire (page 3 de la présentation), le réseau comporte de nombreux filtres anti harmoniques triphasés placés en amont des transformateurs HT / BT.

C11 Quelle est la cause principale des perturbations harmoniques sur le réseau du bord?

C12 A quels effets néfastes faut-il s'attendre?

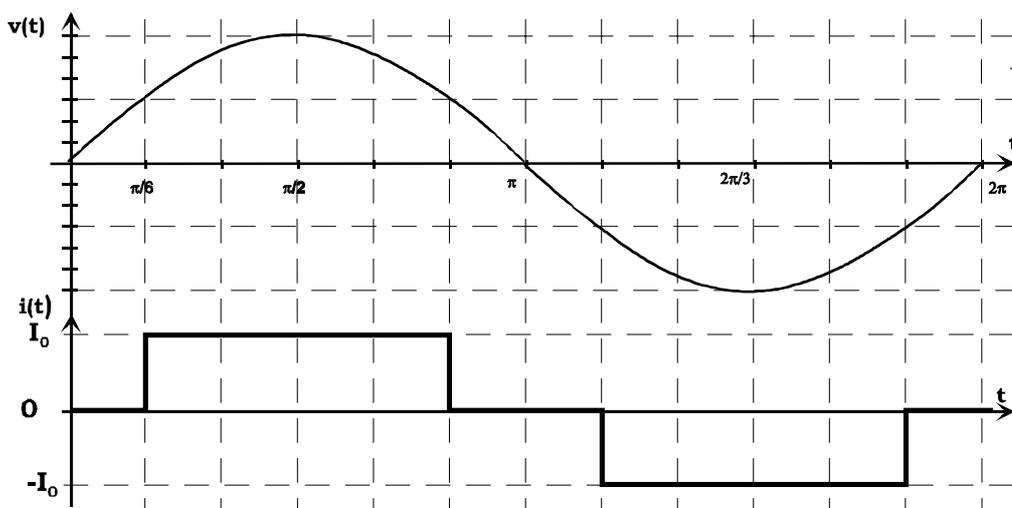
C13 Indiquer en le justifiant s'il existe des harmoniques paires ainsi que des harmoniques de rang 3 et multiples.

C2 Etude d'un signal perturbateur

Nous allons dans la suite étudier de façon simplifiée le problème des perturbations harmoniques : dans la réalité le problème est légèrement différent mais similaire.

On se propose dans un premier temps d'étudier l'effet d'un récepteur (type redresseur triphasé) sur un réseau.

La forme du courant est donnée ci -dessous. Sa valeur maxi vaut $I_0 = 200A$, la tension composée est de $6600V$, soit une tension simple $V = 3810V$ en $60 Hz$.



C21 Décomposition en série de Fourier

C211 Rappeler le principe de la décomposition en série de Fourier.

C212 Montrer que le courant $i(t)$ s'écrit $i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} 4I_0 \frac{\cos[(2n+1)\pi/6]}{(2n+1)\pi} \sin[(2n+1)\omega t]$

C213 Indiquer dans le tableau ci-dessous les valeurs efficaces I_k des courants harmoniques de rang k jusqu'au rang 25.

Rang k	1	3	5	7	11	13	15	17	19	21	23	25
I_k (A)												

C22 Valeurs caractéristiques

C221 Déterminer la valeur efficace I du courant consommé par la charge.

C222 Calculer le taux de distorsion tdi en % de la valeur efficace totale en se limitant au rang 25.

C223 Déterminer, en triphasé, les puissances active P, réactive Q véhiculée par le premier harmonique, apparente S et déformante D.

C3 Perturbations sur la tension

On donne l'inductance de la source constituée par le réseau HT du bord : $L = 1,2\text{mH}$. Cette valeur correspond à un schéma équivalent étoile. On néglige la résistance de la source. On considère que l'impédance est proportionnelle à la fréquence. En réalité ceci n'est vrai qu'aux basses fréquences : aux fréquences élevées, la capacité du réseau intervient. Nous limiterons donc l'étude au rang 25.

On fait un schéma équivalent pour chaque fréquence étudiée : un schéma équivalent à la fréquence fondamentale $f = 60\text{Hz}$ et un schéma équivalent à la fréquence harmonique f_k .

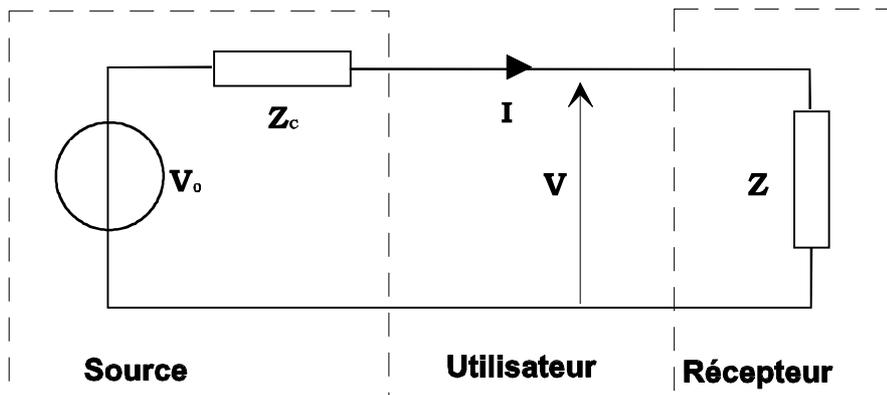


Schéma équivalent à la fréquence fondamentale

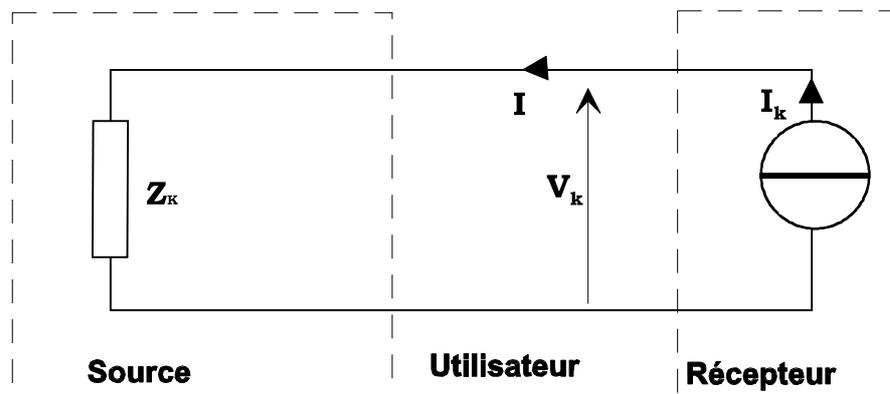


Schéma équivalent pour l'harmonique de rang k

C31 Donner l'expression des impédances de source Z_k et des tensions harmoniques correspondantes V_k .

C32 Calculer les valeurs numériques correspondantes jusqu'au rang 25.

k	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Z_k (Ω)													
V_k (V)													

C33 Calculer la distorsion harmonique **tdu** de la tension en % du fondamental.

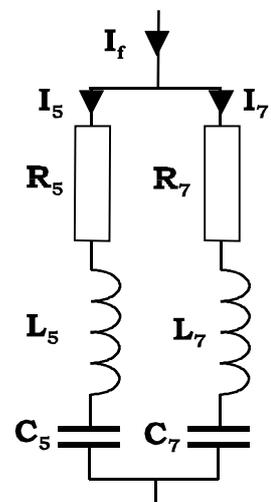
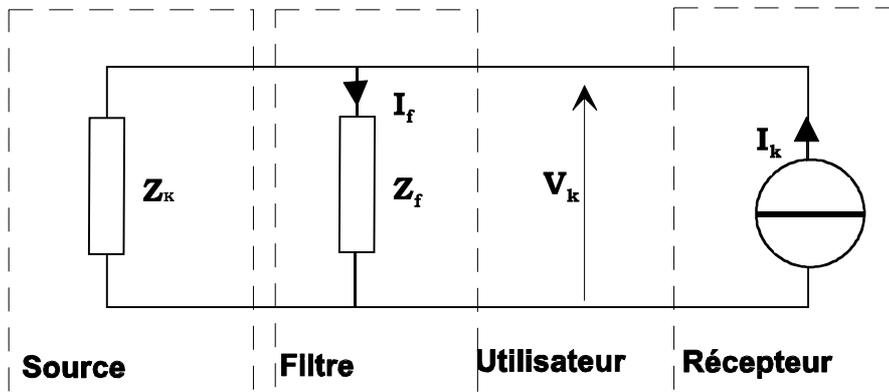
C34 Conclure sur les perturbations infligées aux autres utilisateurs.

C4 Etude d'un filtre

On se propose de limiter les harmoniques en plaçant un filtre constitué par 2 circuits R,L,C entre chaque phase et le neutre, accordés respectivement sur les harmoniques 5 et 7 qui sont les plus gênantes .

On s'impose un facteur de qualité $Q_0 = X_0 / R = 75$ (avec $X_0 = \sqrt{L/C}$)

On suppose que les résistances équivalentes séries R_5 et R_7 seront de 1Ω .



C41 Calculer les éléments du filtre L_5 , C_5 , L_7 et C_7 .

C42 Exprimer les impédances complexes équivalentes à chaque cellule Z_5 et Z_7 en fonction de ω

C43 Calculer leurs modules et leurs arguments aux différentes fréquences. On assimilera les arguments à $0, \pi / 2, -\pi / 2$.

Notations :

Z_{51} impédance de la cellule de filtrage de l'harmonique 5 à la fréquence fondamentale

Z_{55} impédance de la cellule de filtrage de l'harmonique 5 à la fréquence harmonique 5

Z_{57} impédance de la cellule de filtrage de l'harmonique 5 à la fréquence harmonique 7

Z_{71} impédance de la cellule de filtrage de l'harmonique 7 à la fréquence fondamentale

Z_{75} impédance de la cellule de filtrage de l'harmonique 7 à la fréquence harmonique 5

Z_{77} impédance de la cellule de filtrage de l'harmonique 7 à la fréquence harmonique 7

	Z_{51}	Z_{55}	Z_{57}	Z_{71}	Z_{75}	Z_{77}
Module (Ω)						
Argument						

C44 En déduire les valeurs efficaces des courants absorbés par chaque cellule, à la fréquence fondamentale puis aux harmoniques 5 et 7 (notations similaires à celles des impédances). Par exemple I_{57} correspond au courant dans la cellule de filtrage de l'harmonique 5 à la fréquence $7f$.

On suppose pour simplifier que les tensions harmoniques ont pour valeurs efficaces :

$V_5 = V_7 = 100 \text{ V}$

	I_{51}	I_{55}	I_{57}	I_{71}	I_{75}	I_{77}
Courant (A)						

C45 Calculer les courants absorbés par l'ensemble du filtre a la fréquence fondamentale (I_1) et aux fréquences harmoniques 5 (I_5) et 7(I_7),.En déduire la valeur du courant efficace I_f absorbé par le filtre complet.

	I_1	I_5	I_7	I_f
Valeur (A)				

C46 Déterminer l'avantage procuré sur le plan du facteur de puissance en calculant l'énergie réactive fournie par le filtre à 60Hz.

C47 Conclure sur l'intérêt du filtre et ses limites.