

Recueil d'annales des épreuves
d'électricité et électronique

Examen de 5^e année
Diplôme d'Etudes
Supérieures de la Marine
Marchande

Compilé par Claude Chevassu

ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (Valeur = 5)

Moteur asynchrone

Incidents de fonctionnement des moteurs asynchrones à rotor bobiné.
Indices, causes, remèdes.

2^e QUESTION (Valeur = 8)

Propulsion électrique par moteur à courant alternatif

1. Indiquer les avantages et les inconvénients de ce mode de propulsion et préciser les critères de choix entre moteurs asynchrone et synchrone.
2. Propulsion par moteur synchrone alimenté par cycloconvertisseur et couplé directement à une hélice à pales fixes.
 - a. Donner le schéma de principe de l'alimentation du moteur.
 - b. Expliquer comment est obtenue la variation de vitesse.
 - c. À l'aide d'un exemple concret, indiquer comment peut être résolu le problème du démarrage.
 - d. Préciser les avantages et les inconvénients de l'alimentation par cycloconvertisseur par rapport à une alimentation par convertisseur indirect de fréquence (redresseur et onduleur autonome).

Tournez la page S.V.P.

3^e QUESTION (Valeur = 7)

Électronique de puissance

1. Définir succinctement les composants suivants de l'électronique de puissance : transistor bipolaire, transistor à effet de champ MOS, thyristor, GTO et IGBT.
2. Préciser, pour chacun d'eux, les ordres de grandeur :
 - de la tension maximale supportable à l'état bloqué ;
 - de la chute de tension à leurs bornes à l'état passant ;
 - de la puissance maximale qu'ils peuvent transmettre ;
 - de la fréquence maximale de commutation.Comparer les puissances nécessaires à leur commande.
3. Dédire de la question précédente l'intérêt des composants du type thyristor à gâchette isolée ou IGBT.
4. Indiquer les principaux domaines d'emploi des différents composants considérés.

NOTA :

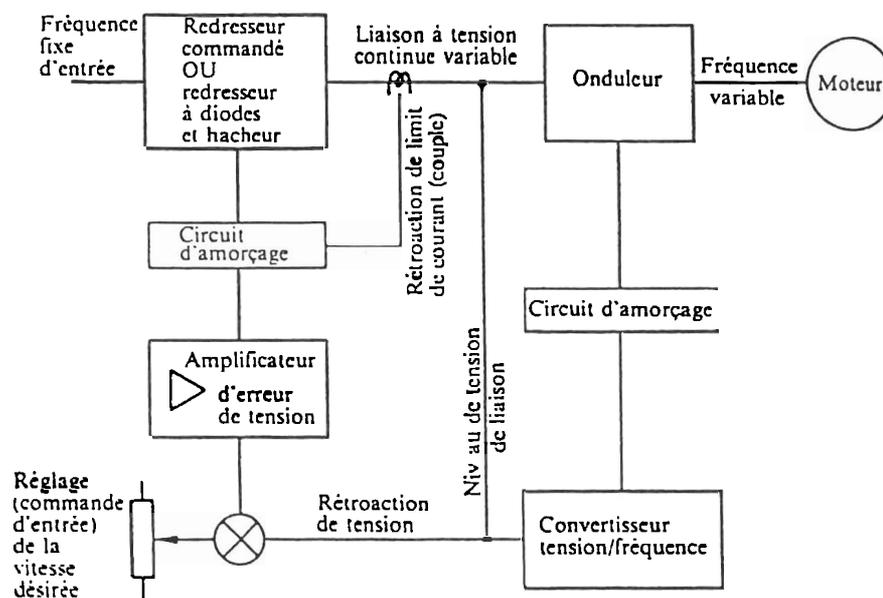
1. *Documents et instruments autorisés : se reporter à l'instruction relative aux examens.*
2. *Délits de fraude : « Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examens et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics. »*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (Valeur = 6)

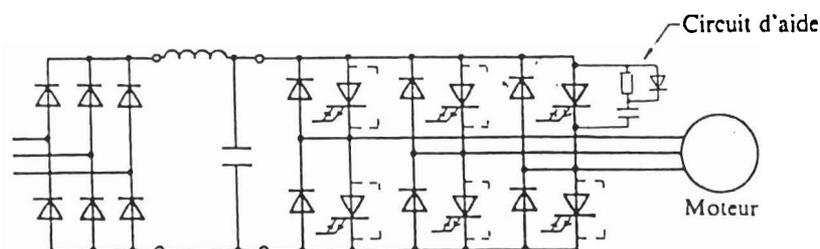
Soit le schéma fonctionnel de l'entraînement d'un moteur à induction contrôlé par tension:



Expliquer et commenter le rôle de chaque élément du schéma en analysant les avantages et inconvénients qu'ils présentent pour les fonctions à remplir.

2^e QUESTION (Valeur = 4)

Soit le schéma ci-dessous:



Onduleur à modulation de largeur d'impulsion

Après avoir identifié tous les éléments du schéma, vous exposerez et commenterez leur rôle.

Tourner la page SVP.

3^e QUESTION (Valeur = 6)

Maintenance en électrotechnique

Vous êtes à bord d'un navire possédant une source de courant alternatif produite par des générateurs indépendants avec coupleur et répartiteur de charges automatique. Décrivez, de façon concise, toutes les opérations d'entretien d'un tableau électrique principal ainsi que les réglages et vérifications périodiques à effectuer.

4^e QUESTION (Valeur = 4)

Un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné "ronfle"; quelles sont les origines de l'avarie et leurs conséquences ?

Nota:

- 1. Documents et instruments autorisés : se reporter à l'instruction relative aux examens.*
- 2. Délits de fraude: "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examens et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 7)

Propulsion électrique

- 1) Comparer de manière concise les différentes machines tournantes utilisées pour la propulsion électrique (ne considérer que les machines réceptrices).
- 2) On considère le schéma ci-joint de propulsion électrique par moteur à courant continu à attaque directe. On précise que M_1 , M_2 , M_3 sont à excitation séparée. Analyser et commenter le schéma joint.

2^e QUESTION (valeur = 6)

Incidents de fonctionnement

Enumérer les incidents de fonctionnement, symptômes et remèdes dans le cas d'un moteur asynchrone triphasé et de sa cascade hipsynchrone.

3^e QUESTION (valeur = 7)

Une alimentation statique ininterrompible est un équipement électronique disposé entre :

- un réseau électrique alternatif (220 V, 50 Hz) qui est le siège de perturbations (harmoniques parasites, coupures de plus ou moins longue durée),
- un ensemble de récepteurs (220 V, 50 Hz), sensibles à ces perturbations, et qui doivent être alimentés par une tension alternative sinusoïdale aussi parfaite que possible.

- 1°- Représenter un schéma synoptique et expliquer le fonctionnement d'une alimentation statique ininterrompible.
- 2°- Les composants de puissance employés couramment dans la réalisation de certains sous-ensembles de l'alimentation sont des transistors bipolaires.
 - a) Indiquer les principales caractéristiques de ce composant.
 - b) Justifier la nécessité d'un circuit d'aide à la commutation.
 - c) Lorsqu'ils conduisent, les transistors de puissance fonctionnent en général en quasi-saturation. Définir ce mode de fonctionnement et justifier son emploi.
- 3°- Donner la définition d'un onduleur à modulation de la largeur d'impulsion et préciser l'intérêt de son emploi dans une alimentation statique ininterrompible.

Nota :

1. Documents et instruments autorisés : se reporter à l'instruction relative aux examens.
2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)****1^{re} QUESTION (valeur = 5)**

Incidents de fonctionnement des machines à courant continu : indices, causes et remèdes.

2^e QUESTION (valeur = 10)

La propulsion électrique d'un navire océanographique est assurée par :

- trois alternateurs principaux (caractéristiques nominales : 1500 kVA, 660 V, 50 Hz) ; ces alternateurs fournissent également, à la mer, l'énergie nécessaire au fonctionnement des auxiliaires par l'intermédiaire de deux transformateurs 660 V / 380 V de 1100 kVA ;
- deux moteurs à courant continu à excitation séparée entraînant chacun directement une hélice à pales fixes (caractéristiques nominales : 1000 kW, 750 V, 150 tr/min).

Pour chaque moteur, la variation de vitesse est obtenue par action sur la tension de l'induit grâce à deux redresseurs commandés réversibles tout thyristors montés en pont de Graëtz.

1°) Donner un schéma électrique de principe de l'installation sachant que le tableau principal 660 V doit pouvoir être scindé en deux demi-tableaux indépendants.

2°) A partir d'un schéma fonctionnel indiquant les principales liaisons nécessaires à la commande des ponts de Graëtz alimentant un moteur, expliquer :

- le principe de fonctionnement en moteur à vitesse réglable et régulée dans un sens de rotation ;
- la séquence de freinage et d'inversion du sens de rotation.

3°) Souligner l'intérêt de ce mode de propulsion pour le navire considéré et mentionner ses principaux inconvénients.

3^e QUESTION (valeur = 5)

Le G.T.O. (*gate turn off thyristor*).

- 1 - Préciser le principal inconvénient du thyristor ordinaire utilisé sous tension continue.
- 2 - Comparer les performances du G.T.O. à celles du transistor de puissance. Que peut-on en conclure ?
- 3 - Indiquer les principaux domaines d'emploi du G.T.O.

Nota :

1. Documents et instruments autorisés : se reporter à l'instruction relative aux examens.
2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)****1^{re} QUESTION (valeur = 6)****Transmission de données par fibre optique.**

- 1 - Principe de base.
- 2 - Différentes fibres optiques.
- 3 - Différentes caractéristiques d'une transmission par fibres optiques.
- 4 - Circuits d'interface des fibres optiques.

2^e QUESTION (valeur = 6)**Diagnostic de dépannage ; technique de changement de cartes électroniques.**

1 - Méthodes permettant de déterminer qu'une carte est en panne ; on envisagera les deux cas suivants :

- on dispose d'une documentation détaillée sur les caractéristiques et le fonctionnement de l'installation ;
- absence de documentation.

(On suppose que l'on dispose d'une carte de rechange en état de marche).

2 - Quelles précautions doit-on prendre avant de monter une carte de rechange ? Quelles vérifications doit-on effectuer ?

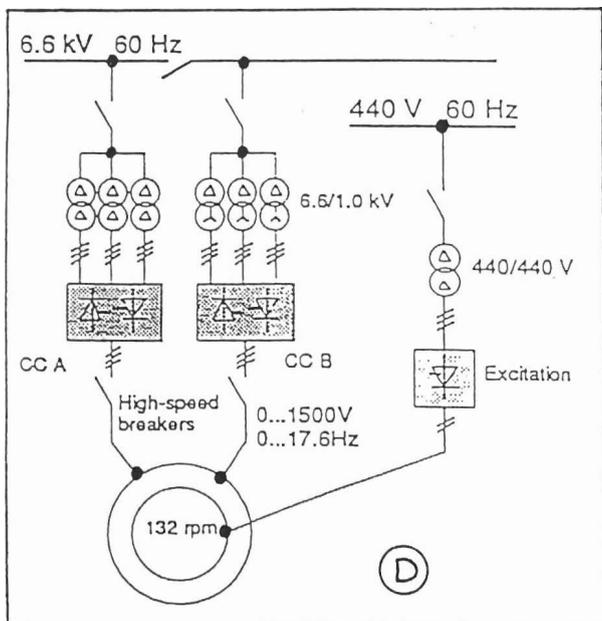
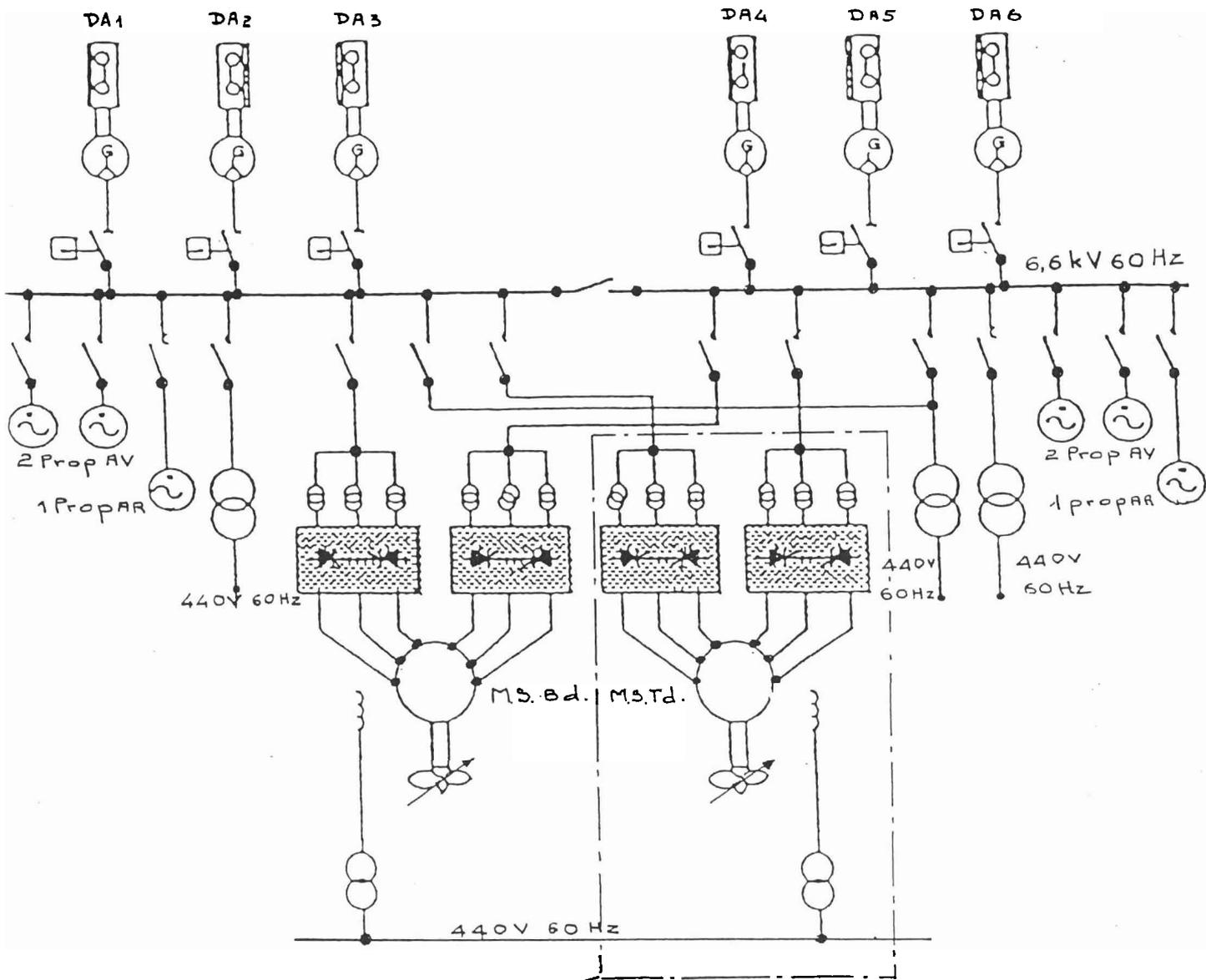
3^e QUESTION (valeur = 8)

Analyser et commenter le schéma ci-joint de propulsion électrique par cycloconvertisseurs et moteurs synchrones.

Nota :

1. Documents et instruments autorisés : se reporter à l'instruction relative aux examens.

2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."



⊙ schéma de détail de l'encadré ci-dessus

|| Les moteurs synchrones ont 2 stators triphasés et seulement 1 rotor commun.

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)**

1^{re} QUESTION (valeur = 8)*Propulsion électrique :*

- *moteur à courant continu à excitation séparée, alimenté par un redresseur commandé ;*
- *moteur synchrone alimenté par cycloconvertisseur.*

Dresser un comparatif technique (performances, conduite, entretien, domaines d'utilisation) de ces deux types de propulsion sur navires récents, aussi bien sur le plan général que sur les divers éléments des circuits de commande et de puissance.

2^e QUESTION (valeur = 6)*Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné.*

Entretien.

Incidents de fonctionnement : origines, symptômes, conséquences et remèdes.

3^e QUESTION (valeur = 6)*Effet des résidus d'harmoniques des convertisseurs électroniques sur l'alimentation et les récepteurs.*

Dresser un tableau, suivant le type de convertisseur utilisé, sur la nature des nuisances créées, leurs conséquences, leurs importances et leurs remèdes.

Nota :1. *Aucun document n'est autorisé.*

2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)****1^{re} QUESTION (valeur = 7)****Propulsion électrique.**

- 1) A l'aide d'un tableau, et de manière concise, comparer les différents types de moteurs électriques utilisés couramment en propulsion électrique.
- 2) Analyser et commenter le schéma ci-joint (annexe 1) de propulsion électrique par moteurs à courant continu.

2^e QUESTION (valeur = 7)**Incidents de fonctionnement d'un alternateur triphasé ; diagnostic de dépannage.**

On considère le document ci-joint (annexe 2) sur lequel les colonnes "Action" et "Origine du défaut" sont laissées volontairement vides.

Sur la feuille d'examen donner, en justifiant les réponses, les indications qui vont permettre de remplir les colonnes "Action" et "origine du défaut" dans les cas B, C, D, E, F. (Uniquement en Français.).

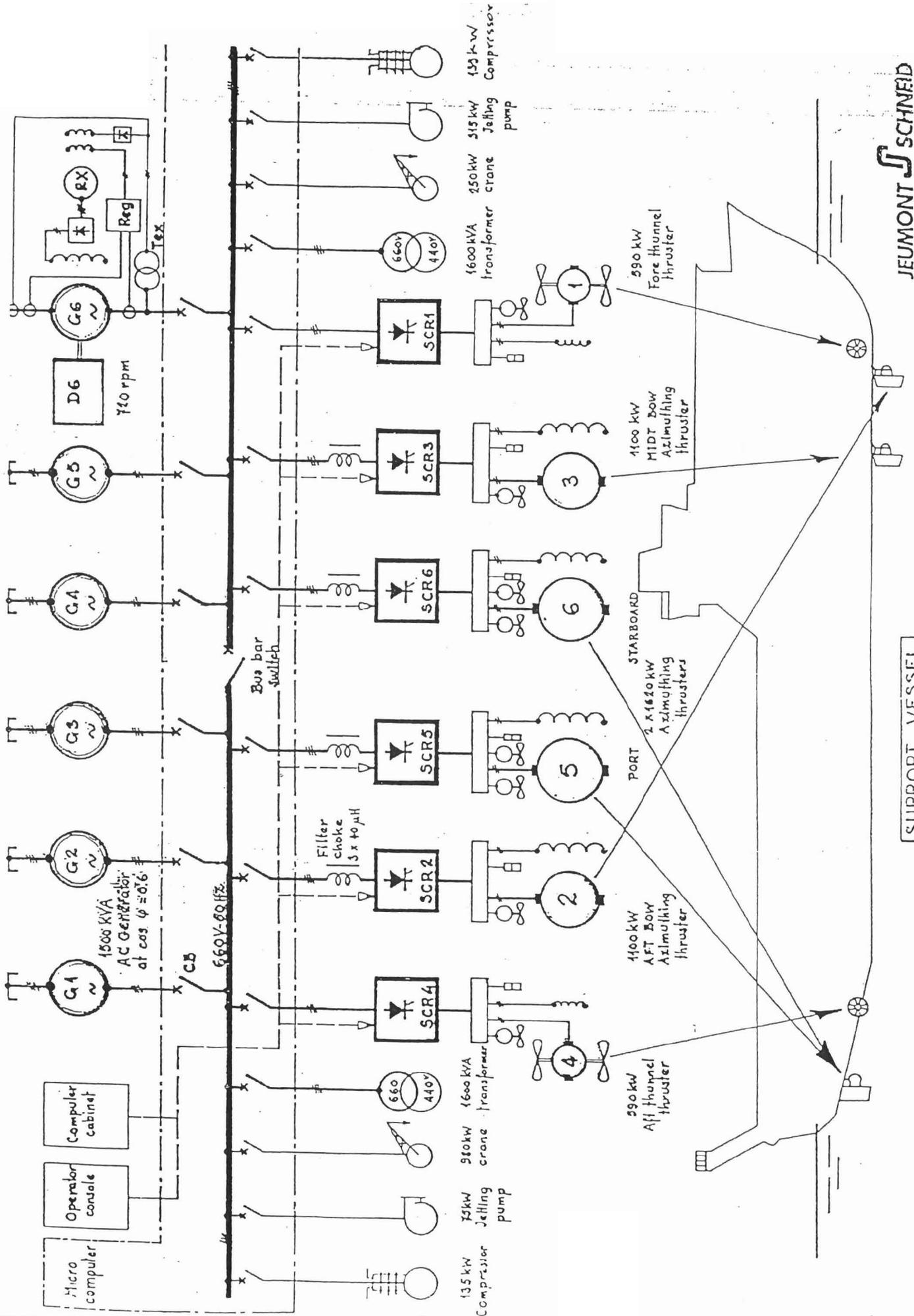
Le cas A est laissé complet pour l'exemple.

3^e QUESTION (valeur = 6)**Pollution des réseaux alternatifs :**

- 1) Causes.
- 2) Conséquences.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*



Alternateur

LSA 49.1 AREP. 4 Pôles

Défauts ayant une manifestation physique

	Défaut / Fault	Action	Origine du défaut / Origin of fault
A	Echauffement excessif du ou des paliers (temp > à 80°C sur les chapeaux de roulements avec ou sans bruit)	Démonter les paliers	- Si le roulement a bleui ou si la graisse est carbonisée, changer le roulement. - Cage de roulement tournant dans son emboîtement - Mauvais alignement des paliers (flasques mal emboîtés)
	<i>Excessive overheating of one or both bearings (temp of bearings over 80 °C)(With or without abnormal noise)</i>	<i>Dismantle the bearings</i>	<i>- If the bearing has turned blue or if the grease has turned black, change the bearing. - bearing race badly locked (moving in its housing) - Bracket misalignment.</i>
B	Echauffement excessif de la carcasse de l'alternateur (plus de 40° C au dessus de la température ambiante)		
	<i>Excessive overheating of alternator frame (temperature 100°F above ambient)</i>		
C	Vibrations excessives		
	<i>Too much vibration</i>		
D	Vibrations excessives plus bruit (grognement provenant de l'alternateur)		
	<i>Excessive vibration and humming noises coming from the alternator</i>		
E	Choc violent, éventuellement suivi d'un grognement et de vibrations		
	<i>Alternator damaged by a significant impact which is followed by humming and vibration</i>		
F	Fumée, étincelles ou flammes sortant de l'alternateur + grognements et vibrations		
	<i>Smoke, sparks, or flames issuing from the alternator</i>		

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 7)

Moteur asynchrone à rotor bobiné.

Quelles sont les origines et conséquences des défauts de fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné ?

2^e QUESTION (valeur = 6)

Pollution des réseaux électriques.

Les convertisseurs statiques provoquent des perturbations sur les réseaux électriques des navires. Quelles en sont les origines, les conséquences et les remèdes ?

En ce qui concerne les perturbations provoquées par les onduleurs, dresser un rapide comparatif suivant leur type de commande.

3^e QUESTION (valeur = 7)

Propulsion électrique.

Comparer, sur les plans performances, conduite et entretien, une propulsion diesel électrique à moteur électrique à courant continu et une propulsion diesel électrique à moteur électrique synchrone.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.

2. Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)**

Les trois questions, indépendantes, que comporte le sujet sont relatives à l'installation décrite ci-dessous.

Le schéma général unifilaire simplifié de distribution figurant en annexe est celui d'un navire de recherche océanographique de 93 m à propulsion électrique.

Deux hélices à ailes fixes entraînées par des moteurs à courant continu à vitesse réglable permettent une vitesse de 15,5 noeuds. Deux propulseurs avant et arrière facilitent le positionnement ou les manoeuvres du navire. Le propulseur avant est transversal, à hélice à pales orientables ; son moteur asynchrone d'entraînement dispose d'un auto-transformateur pour son démarrage. Le propulseur arrière est orientable et rétractable ; son hélice à ailes fixes est entraînée via un réducteur par un moteur asynchrone dont la vitesse est réglée par un convertisseur MLI.

La production électrique est assurée par quatre diesels-alternateurs, trois dits "DE PROPULSION", le quatrième dit "DE MOUILLAGE" étant destiné au service à quai.

Chaque ensemble "MS-GS" est l'association de 2 machines synchrones semblables de 100 kVA.

Chaque moteur de propulsion 1,5 MW - 170 tr/min a son induit alimenté par un pont redresseur commandé à 6 thyristors. L'inducteur est alimenté par un dispositif de 2 ponts redresseurs commandés à 6 thyristors montés tête-bêche.

1^{re} QUESTION (valeur = 4)**POLLUTION DES RESEAUX ELECTRIQUES.**

a) Indiquer les différentes causes de pollution ou perturbation dans cette distribution.

b) Mettre en évidence, justifier ou expliquer succinctement les différents procédés mis en oeuvre pour limiter leur propagation. On précisera notamment l'intérêt des disjoncteurs D_{16} et D_{20} qui doivent être respectivement fermé et ouvert lorsque les moteurs de propulsion sont en service (au port, D_{16} est ouvert et D_{20} est fermé).

Tourner la page S.V.P.

2° QUESTION (valeur = 11)

PROPULSION.

a) Faire le schéma électrique de principe de l'alimentation de l'un des moteurs de propulsion. Décrire succinctement la séquence à réaliser pour le passage rapide de "avant toute" à "arrière toute" avec une phase de freinage électrique.

b) Représenter un schéma simple annoté de l'ensemble de l'un de ces moteurs et de ses équipements (y compris de lubrification et de ventilation) ; indiquer les principales sécurités électriques et mécaniques qui assurent sa protection.

c) Enumérer les contrôles ou opérations d'entretien courant à effectuer sur ces machines et leur commande.

3° QUESTION (valeur = 5)

TRANSMISSION DES DONNEES PAR FIBRE OPTIQUE.

a) Présenter les principes de base à réaliser et les dispositifs d'interfaces nécessaires pour assurer une transmission de données par fibre optique.

b) Indiquer les avantages que présente ce mode de transmission et préciser pour quelles utilisations, sur ce navire, son emploi est particulièrement intéressant.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 5)

Tableaux électriques principaux d'une distribution en courant alternatif 380 V et 6600 V.

1. Décrire les opérations d'entretien.
2. Enumérer les incidents possibles en expliquant leurs origines.

2^e QUESTION (valeur = 4)

Moteur à courant continu.

Quelles opérations d'entretien mécanique et électrique faut-il effectuer sur un moteur à courant continu à excitation séparée ?

3^e QUESTION (valeur = 8)

Propulsion électrique.

1. Exposer et justifier les avantages majeurs de la propulsion électrique.
2. Comparer de manière complète et rapide sur le plan des performances et de l'exploitation technique les propulsions électriques du type :
 - redresseur associé à un moteur à courant continu ;
 - cycloconvertisseur associé à un moteur synchrone ;
 - onduleur autosynchrone associé à un moteur synchrone ;
 - onduleur à commutation forcée associé à un moteur asynchrone.

4^e QUESTION (valeur = 3)

Fibres optiques.

1. Définir la dispersion multimode.
2. Expliquer la différence entre une fibre à saut d'indice et une fibre à gradient d'indice.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.
2. Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics ".

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)**

Les quatre questions, indépendantes, que comporte le sujet sont relatives à l'installation décrite ci-dessous.

Un chantier propose d'assurer la production électrique d'un navire à l'aide de 2 diesels-générateurs semblables de 900 kVA, 440 V, 60 Hz et d'un dispositif de production électrique par l'appareil propulsif désigné "*groupe de mer*" pouvant fournir la même puissance.

Le schéma ci-joint est la présentation simplifiée de la conception du convertisseur statique de fréquence et de sa commande ; la notation α caractérise un angle de retard à la conduction des thyristors et γ un angle de garde (γ_0 désigne l'angle de garde minimal). On rappelle que l'angle de garde γ est l'écart entre la valeur maximale que l'on peut donner à α et π ; dans le cas du dispositif étudié, γ peut être réglé (régulateur 3). Les caractéristiques des principaux éléments du groupe de mer sont les suivantes :

Alternateur attelé AA :

1100 kVA , 1380 A, 460 V ;

vitesse de rotation :

- à puissance nominale : 65 - 95 tr/min ;

- à puissance réduite : 37 - 65 tr/min ;

excitation avec bagues et balais : 165 V, 265 A ;

réfrigération : à air, en circuit fermé avec électros-ventilateurs et aéro-réfrigérant ;

paliers lisses avec graissage forcé pris sur circuit huile du MP.

Moteur synchrone MS :

1350 kVA, 470 V, 1650 A, 4 pôles ;

1800 tr/min ;

excitation par exciteur ;

réfrigération : à air en circuit ouvert avec ventilateur attelé.

Moteur asynchrone de lancement ML :

55 kW, 450 V, 4 pôles, rotor à cage ;

1800 tr/min ;

pointe d'intensité lors du démarrage : 1150 A ;

temps de montée en vitesse : 20 s.

1^{re} QUESTION (valeur = 4)**ENTRETIEN ET AVARIES**

a) Enumérer les principales opérations de contrôle et d'entretien nécessaires à l'alternateur attelé.

Tourner la page S.V.P.

b) Indiquer les conséquences qui risquent de découler du non-respect de la sécurité demandée par le constructeur interdisant plus de 3 tentatives de démarrage du groupe de mer par heure.

2^e QUESTION (valeur = 6)

CONVERTISSEUR STATIQUE DE FREQUENCE

a) Tracer, avec une représentation complète des ponts 1 et 2, chacun à 6 thyristors, le circuit de puissance du convertisseur statique de fréquence. Indiquer la fonction de AA, pont1, pont2, L et MS.

b) Indiquer les différentes solutions qui, en régime normal, peuvent-être employées pour modifier les tension et fréquence délivrées.

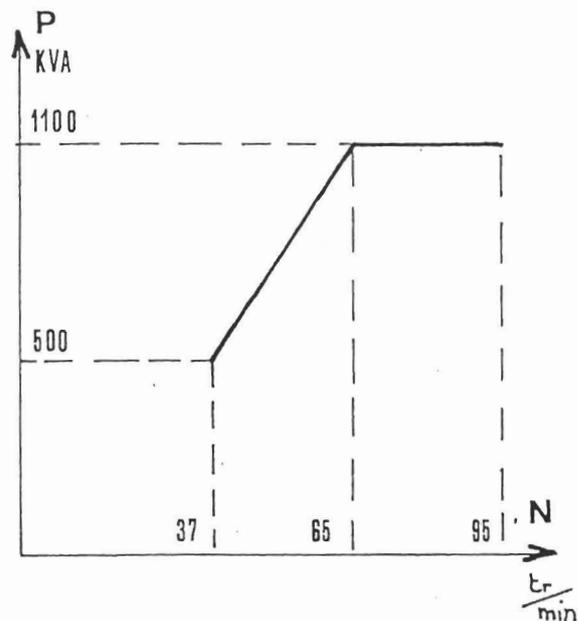
c) Après observation du schéma de la solution proposé par le chantier, indiquer dans quel ordre sont mis en service les machines ou équipements pour amener le groupe de mer prêt au couplage sur les barres principales.

3^e QUESTION (valeur = 5)

COMMANDES DU CONVERTISSEUR

En plus du graphe ci-contre de la puissance maximale disponible sur le groupe de mer en fonction de la vitesse de rotation, le constructeur précise que :

- pour les vitesses de rotation supérieures à 65 tr/min le groupe de mer fonctionne à α_2 constant ($\gamma_0 = \text{constant}$; $\gamma_n = 0$) ;
- pour les vitesses inférieurs à 65 tr/min il y a variation linéaire de γ_n .



Sans traiter du réglage de la tension, présenter succinctement le fonctionnement de la commande du convertisseur dans les cas suivants :

a.- vitesse de rotation égale à 68 tr/min et détection d'une baisse de fréquence par le convertisseur tension-fréquence 11 ;

b.- la vitesse de rotation augmente de 40 à 45 tr/min alors que l'intensité débitée par le groupe est à sa valeur maximale (observer le rôle du calculateur 5).

4^e QUESTION (valeur = 5)

HARMONIQUES ET COMMANDE DES THYRISTORS

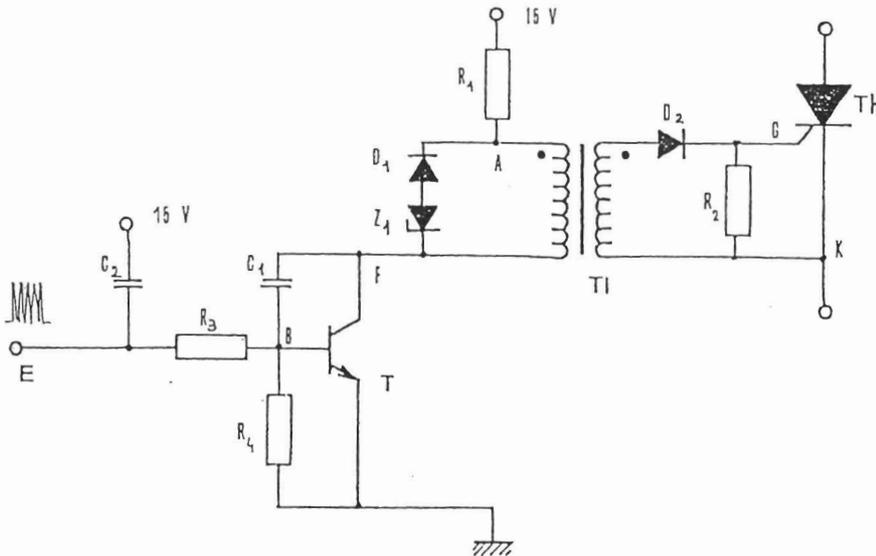
a.- Le groupe de mer étant en service, un analyseur d'harmoniques a relevé au disjoncteur D1 du tableau principal des harmoniques aux taux individuels de distorsions (ou amplitude relative) suivants :

Rang	5	7	11	13	17	19	23	25
Taux (%)	6,1	5,2	3,9	3,0	1,6	0,60	0,23	0,17

L'intensité efficace du fondamental de courant était 980 A et sa fréquence 60,10 Hz.

- Déterminer :
- la fréquence et la valeur efficace de l'intensité de l'harmonique de rang 11 ;
 - la valeur efficace du courant vrai (ou courant complet ou courant global) TRMS ;
 - le taux global de distorsion au courant vrai THD-G ;
 - le taux global de distorsion au courant fondamental THD-F.

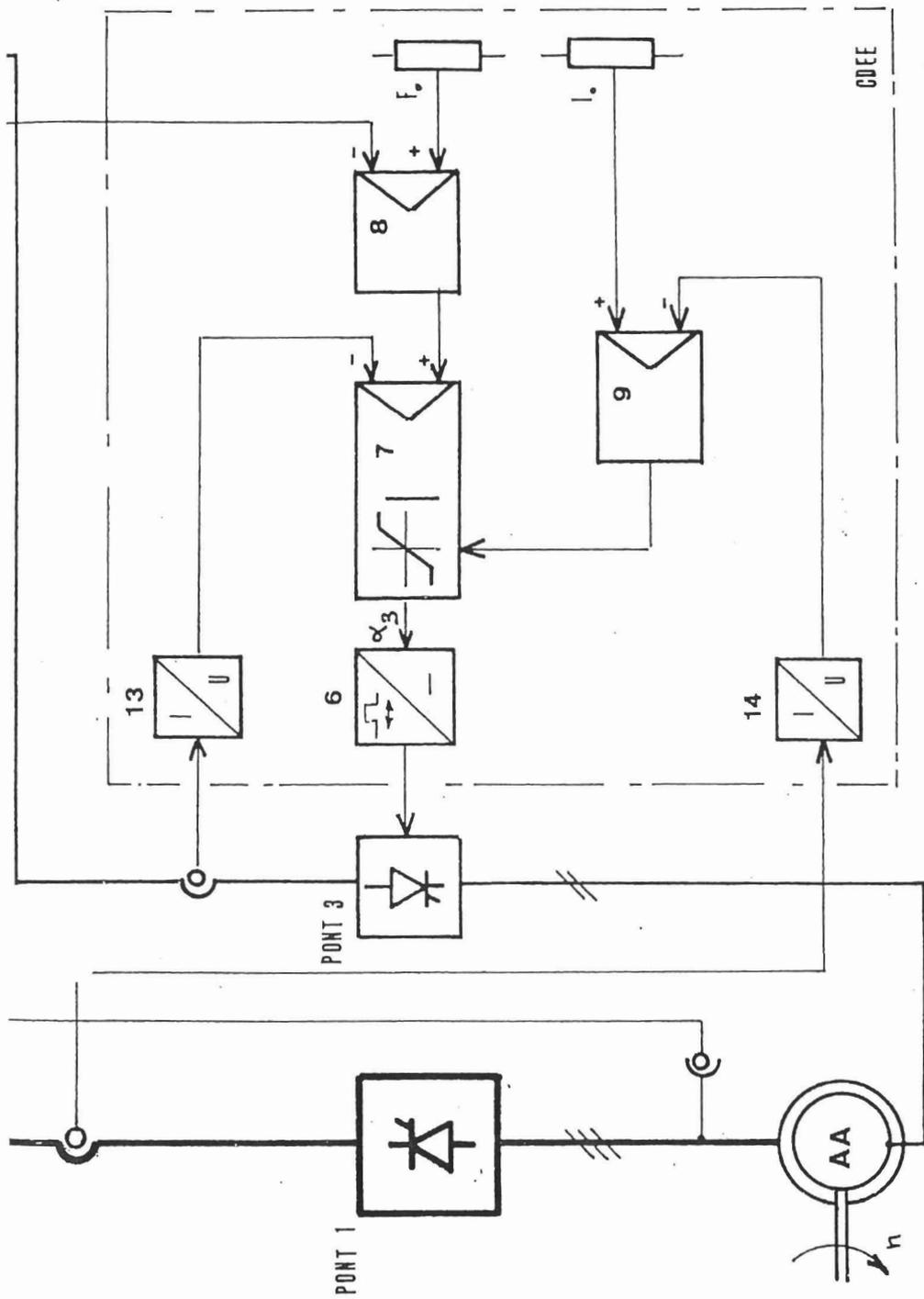
b.- les thyristors sont commandés par le montage suivant de sortie des générateurs d'impulsion 1 et 6.



Présenter succinctement le principe de cette commande lorsqu'apparaît en E, le train d'impulsions ; préciser en particulier les rôles de R₂, TI, D₁, Z₁.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.
2. Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".



- 1 et 6 : générateurs d'impulsions. 7 : régulateur et limiteur courant d'excitation.
 2 : calculateur retard α_2 . 8 : régulateur de fréquence.
 3 : régulateur angle de garde. 9 : régulateur de commande de limitation.
 5 : calculateur χ_n . 15 : régulateur de tension.

V_o, I_o, F_o, χ_o : consignes ou valeurs minimales.

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)**

1^{re} QUESTION (valeur = 6)**Incidents de fonctionnement des moteurs synchrones.**

Indiquer les principaux incidents de fonctionnement des moteurs synchrones et, pour chacun d'eux, préciser les indices et justifier les causes.

2^e QUESTION (valeur = 6)**Fibre optique.**

Représenter le schéma de principe d'une liaison par fibres optiques. Commenter le rôle de chacun des composants.

3^e QUESTION (valeur = 8)**Perturbations des réseaux.**

- 1) Indiquer les principaux inconvénients dus à la présence de courants harmoniques sur un réseau de distribution.
- 2) Définir ce que l'on appelle :
 - le rang d'une tension harmonique ;
 - le taux de la tension harmonique de rang n ;
 - le taux de distorsion global ;
 - le facteur de puissance.
- 3) Préciser et commenter le principe du filtrage actif.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

Les quatre questions que comporte le sujet sont relatives à l'installation décrite ci-dessous.

Un navire est propulsé par une hélice à ailes fixes entraînée par un moteur synchrone triphasé dont les caractéristiques nominales sont : 310 V , 900 kW.

La distribution de l'énergie électrique est effectuée à partir d'un tableau électrique principal en 400 V, 50 Hz pouvant être alimenté par 3 diesels-générateurs de 1200 kVA.

Un départ du tableau principal alimente un cycloconvertisseur pouvant fournir une fréquence comprise entre 0 et 15 Hz au stator du moteur électrique de propulsion.

Le rotor possède 10 pôles inducteurs saillants et une alimentation par bagues. En régime normal, l'excitation est réglée pour obtenir un fonctionnement du moteur avec un facteur de puissance de 1. Une roue codeuse RC mesure la valeur de l'angle θ de rotation du rotor par rapport à une position 0 de référence.

Le constructeur fournit le schéma donné en annexe 1 des principaux circuits de puissance, de mesure, de commande et de régulation simplifiés. Un micro-calculateur élabore les commandes du cycloconvertisseur (CDE A, B, C) et du courant d'excitation (CDE Iexc.) à partir des entrées 1 à 12 qui lui fournissent les consignes ou mesures avec entre autres :

- 3 : puissance consommée par les services autres que le moteur de propulsion ;
- 4 : nombre de groupes couplés sur les barres ;
- 5 : consigne de vitesse ;
- 6 : consigne de $\cos \varphi$;
- 7 : sortie d'un module dérivateur D.

1^{re} QUESTION (valeur = 6)

CYCLOCONVERTISSEUR

- a) Déterminer la plage de variation de vitesse de rotation en tr/min de l'hélice.
- b) Tracer le schéma complet du montage de puissance de la partie du cycloconvertisseur concernant la phase A.
- c) Présenter succinctement le principe d'un cycloconvertisseur.
 - Préciser les incidences d'une modification du $\cos \varphi$ du moteur et d'une demande de variation de vitesse sur le fonctionnement du cycloconvertisseur et de la tension à générer.
- d) Le constructeur indique que le facteur de distorsion au courant fondamental (THD-F) est de 12%.
Définir ce taux et préciser où il a été mesuré.

Tournez la page S.V.P.

2^e QUESTION (valeur = 3)

FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

L'essai de la procédure "PASSAGE AV-AR D'URGENCE" enclenchée à l'instant $t = 0$ a permis l'enregistrement donné en annexe 2 où les paramètres du moteur sont repérés :

- P pour la puissance ;
- I_r pour l'intensité du courant rotorique ;
- N pour la vitesse de rotation.

Une valeur nominale est caractérisée par l'ajout de l'indice n.

Observer l'enregistrement et décrire les différentes phases des fonctionnements du moteur et du cycloconvertisseur que l'on peut remarquer lors de cette procédure.

Préciser à quel instant le couple sur la ligne d'arbre s'inverse et indiquer l'intérêt de la mesure de fréquence en entrée 2.

3^e QUESTION (valeur = 6)

AVARIES, INCIDENTS DE FONCTIONNEMENT, PROTECTIONS

a.- Indiquer et justifier le ou les effets d'un double défaut d'isolement par rapport à la masse sur un des enroulements statoriques du moteur.

b.- Au vu des acquisitions du calculateur sur le schéma électrique simplifié, indiquer :

- quel paramètre du moteur est calculé en 7 ?
- quel paramètre peut être déterminé à partir du traitement des valeurs 1 et 7 ?
- quelle surveillance peut s'exercer à partir de l'acquisition des valeurs 7 et 12 ?
- quelles protections permettent les 3 mesures 10 ?

c.- Indiquer quel dispositif de protection électrique usuel du moteur et du cycloconvertisseur est implanté dans le circuit et quelles autres protections, nouvelles ou redondantes, peut commander le calculateur à partir de ses acquisitions.

Préciser si un ou plusieurs équipements de protection supplémentaires à ceux prévus par le constructeur seraient particulièrement utiles à la protection électrique du moteur.

4^e QUESTION (valeur = 5)

TRANSISTOR DE PUISSANCE

Un hacheur assure l'alimentation d'une charge composée de certains équipements du moteur.

Conformément au schéma de principe de l'annexe 3 où le circuit de puissance est représenté en traits forts :

- la base du transistor de puissance T est commandée par le signal de sortie d'un comparateur entre le signal V_a d'un oscillateur à 25 kHz et la consigne V_p affichée à l'aide du potentiomètre P ;

- connecté au shunt S, un montage représenté en traits fins veille à la protection du transistor en cas de surintensité dans la charge.

a.- Décrire le principe du réglage de la largeur des impulsions appliquées à l'entrée du module de la commande de base.

b.- Montrer que le montage assure un démarrage progressif du hacheur.

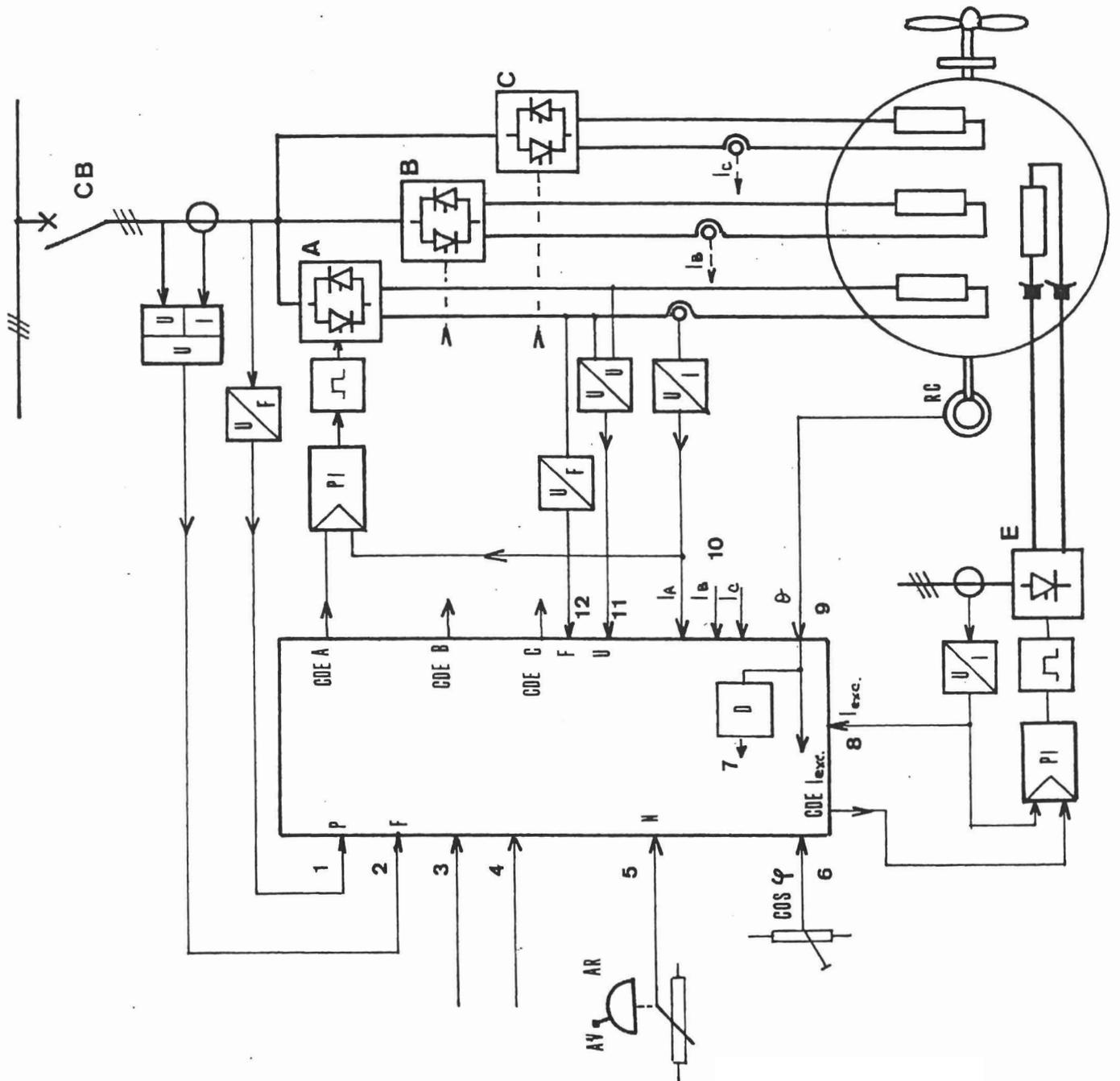
c.- Montrer qu'en cas de court-circuit ou de surcharge dans la charge le thyristor Th1 ou Th2 assure la protection du transistor T.

Nota :

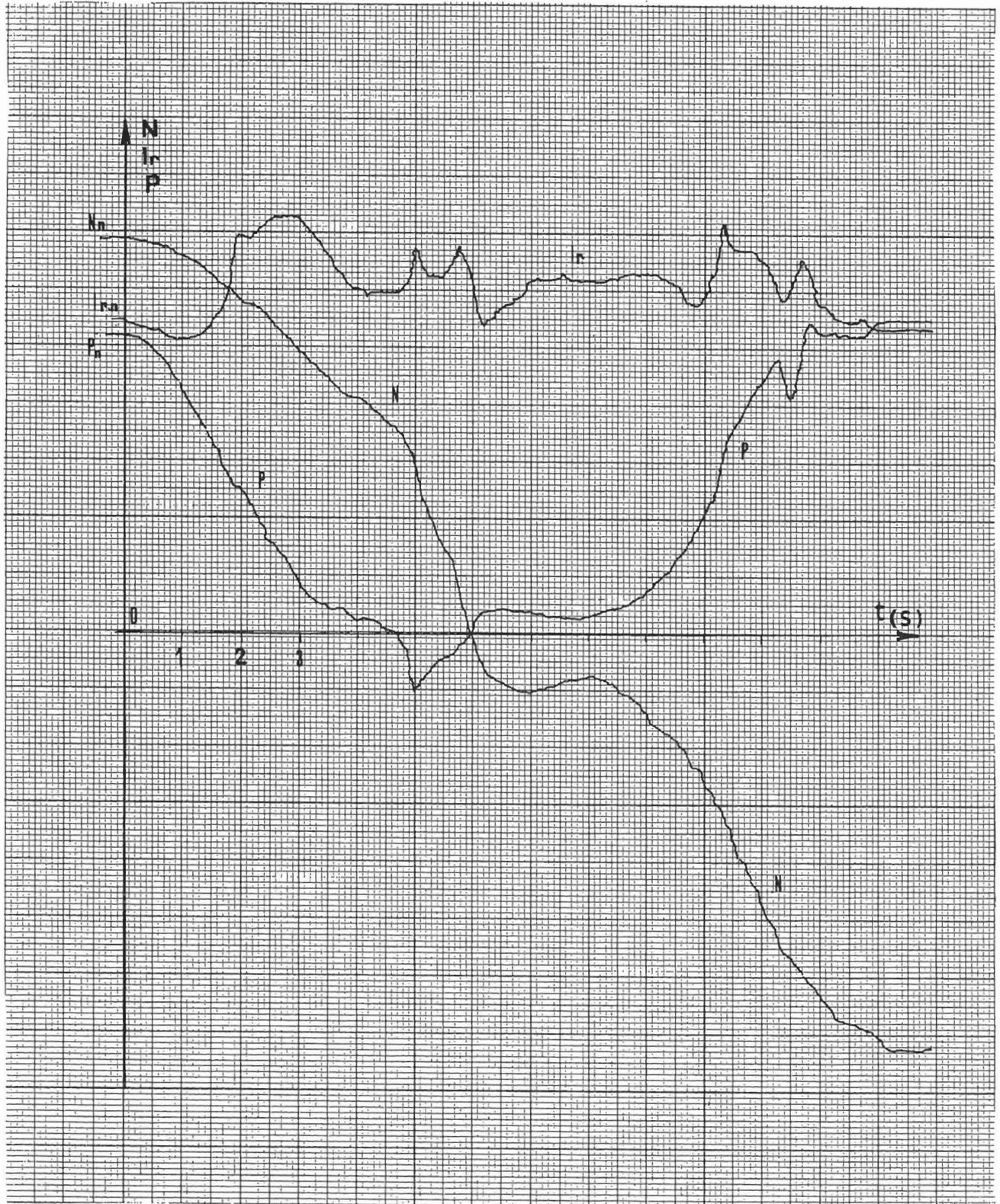
1. *Aucun document n'est autorisé.*

2. *Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

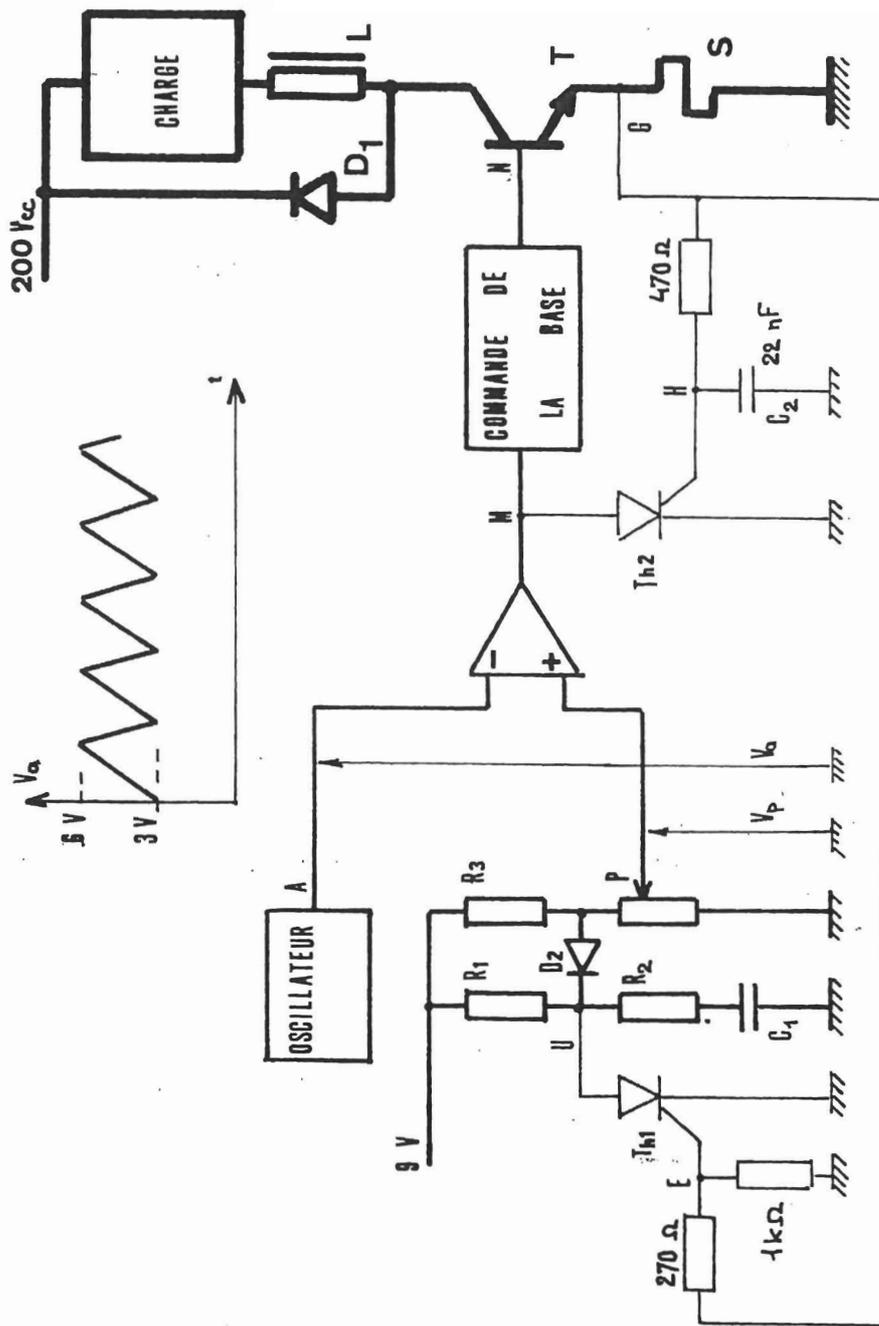
ANNEXE 1



ANNEXE 2



ANNEXE 3



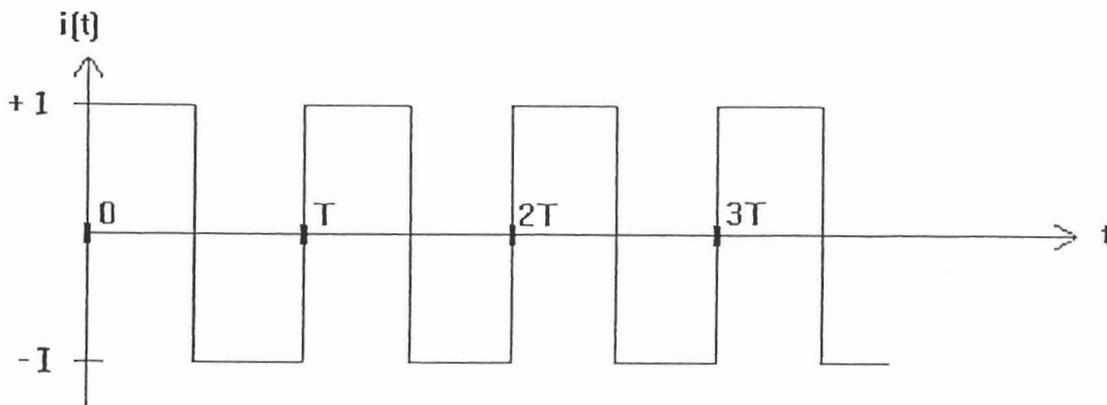
ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 7)

PERTURBATIONS DE RESEAUX

Un convertisseur statique appelle sur le réseau un courant alternatif en créneau dont les caractéristiques sont données par la figure suivante :



En notant $\omega = \frac{2\pi}{T}$, la valeur instantanée du courant peut se mettre sous la forme :

$$i(t) = \frac{4I}{\pi} \left[\sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \frac{\sin 7\omega t}{7} + \dots \right].$$

- 1) En négligeant les harmoniques de rang supérieur à 7, calculer :
 - le taux de chaque courant harmonique ;
 - le taux de distorsion global ;
 - le facteur de puissance, sachant que la tension d'alimentation est de la forme , $v(t) = V_m \sin \omega t$.
- 2) Préciser les inconvénients liés à la circulation d'un tel courant sur un réseau de distribution.
- 3) Quelles solutions peut-on employer pour remédier à ces inconvénients ?

2^e QUESTION (valeur = 8)

ALTERNATEUR TRIPHASE

1) A l'aide du schéma d'un alternateur triphasé à excitation statique compound avec bagues et balais, étudier les incidents de fonctionnement consécutifs à un défaut du système d'excitation : indices, causes, remèdes.

2) Suite à une avarie, cet alternateur a été débarqué et entièrement rebobiné. Après réparations il est réceptionné à bord.

Exposer de manière précise :

- les vérifications faites à la réception ;
- les précautions prises lors de l'installation ;
- les contrôles effectués avant le premier couplage.

3^e QUESTION (valeur = 5)

PHOTODIODE

1) Préciser le rôle tenu par une photodiode dans un ensemble de transmission de données par fibre optique.

2) Décrire la structure interne d'une photodiode P.I.N.

3) Après avoir précisé le type de polarisation d'un tel composant, commenter les phénomènes qui donnent naissance au courant électronique.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.

2. Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 10)

PROPULSION ELECTRIQUE PAR MOTEUR SYNCHRONE

1. *Avantages du moteur synchrone.*

Indiquer les avantages que présente le moteur synchrone sur les autres moteurs pouvant être employés pour la propulsion électrique.

2. *Alimentation du moteur synchrone par cycloconvertisseur ou onduleur auto-piloté.*

Pour comparer ces 2 solutions, présenter sous la forme d'un tableau conforme au modèle ci-dessous, les avantages ou inconvénients de chacune (en les justifiant de quelques mots si besoin) dans les principaux aspects ou critères à prendre en compte (par exemple : complexité, effets sur le moteur de l'onde de la tension appliquée, vitesses de rotation obtenues, facteur de puissance de l'installation, pollution, fiabilité ...).

Critères	Cycloconvertisseur	Onduleur auto-piloté

3. *Visite complète du moteur*

Enumérer les opérations ou contrôles qui doivent être effectués lors de la visite complète d'un moteur synchrone de 15 MW avec ventilation en circuit fermé et excitation sans bague ni balai.

2^e QUESTION (valeur = 3)

HARMONIQUES

Lors de mesures d'intensités sur un disjoncteur d'un tableau électrique principal, un analyseur d'harmoniques affiche les taux individuels de distorsion (ou amplitudes relatives) suivants :

Rang	5	7	11	13	17	19	23
Taux (%)	4,8	4,2	3,1	2,7	0,9	0,5	0,15

L'intensité efficace et la fréquence du fondamental sont : 1730 A, 59,9 Hz.

Déterminer :

- la fréquence et la valeur efficace de l'harmonique du rang 7 ;
- la valeur efficace du courant vrai (TRMS) ;
- le taux global de distorsion au courant fondamental (THD-F).

—*Tourner la page S.V.P.*

3^e QUESTION (valeur = 7)

COMMANDE DE THYRISTORS

Alimenté en L1, L2, L3 par un réseau alternatif sinusoïdal triphasé équilibré de tension simple V et de fréquence constante, un pont de puissance à 6 thyristors fournit une tension moyenne continue à une charge Z quelconque qui peut être l'induit d'un moteur à courant continu disposant d'un inducteur avec flux réversible. La figure 1 représente le schéma partiel du pont et de sa commande.

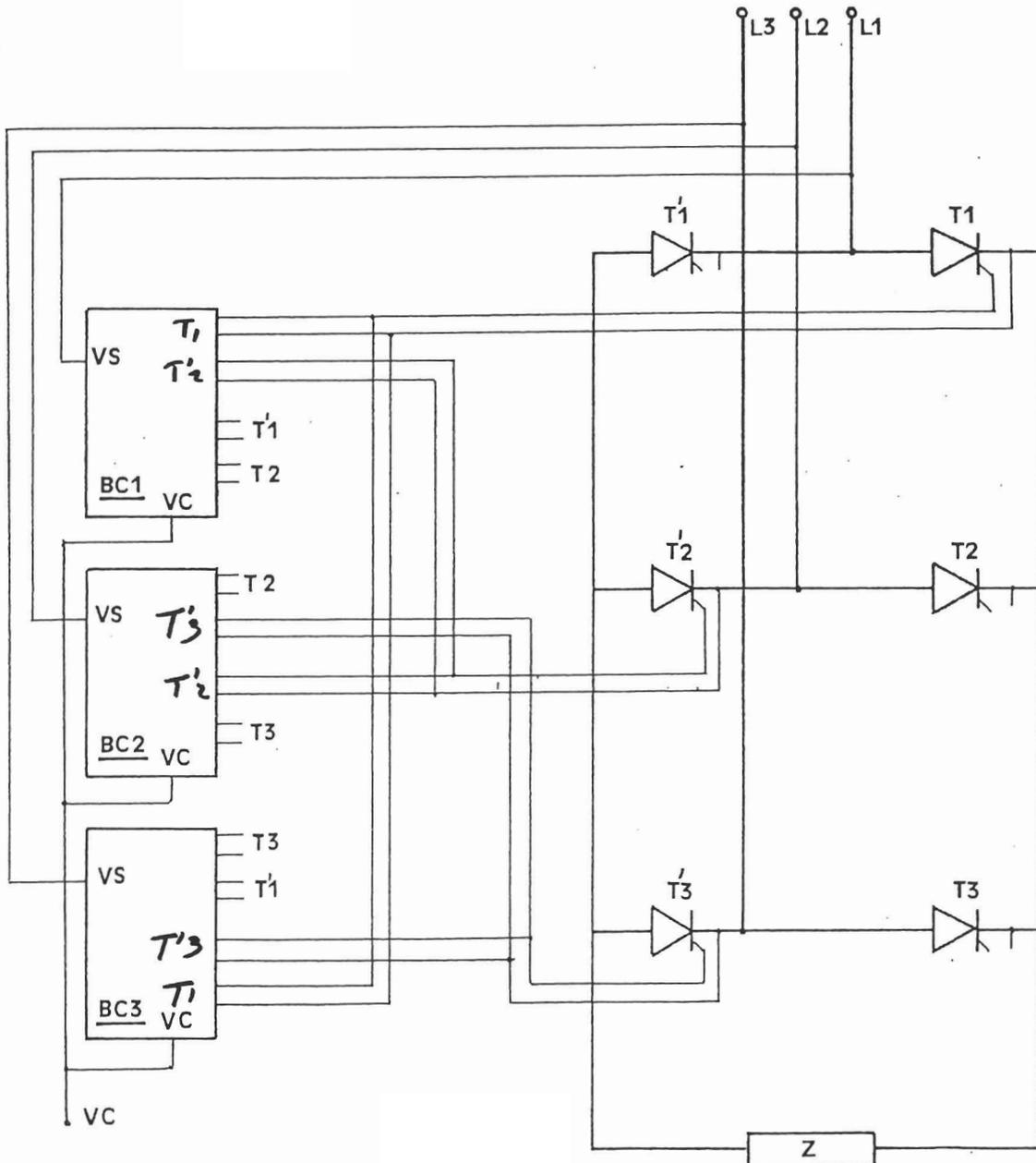


Figure 1

La commande des thyristors est constituée de montages semblables, désignés blocs de commande, repérés BC1, BC2, BC3 et détaillés en figure 2.

Ces montages BC utilisent un module intégré numérique (MIN) dont les signaux de sortie après transformation en impulsions dans des ensembles repérés BTI commandent les thyristors.

Un module intégré numérique (MIN) contient les éléments suivants représentés sur le schéma de la figure 2 :

- DZT : détecteur de zéro de tension ;
- RdS : registre de synchronisation ;
- GdR : générateur de rampe ;
- CdD : commande de décharge ;
- COMP : comparateur ;
- LOG : logique.

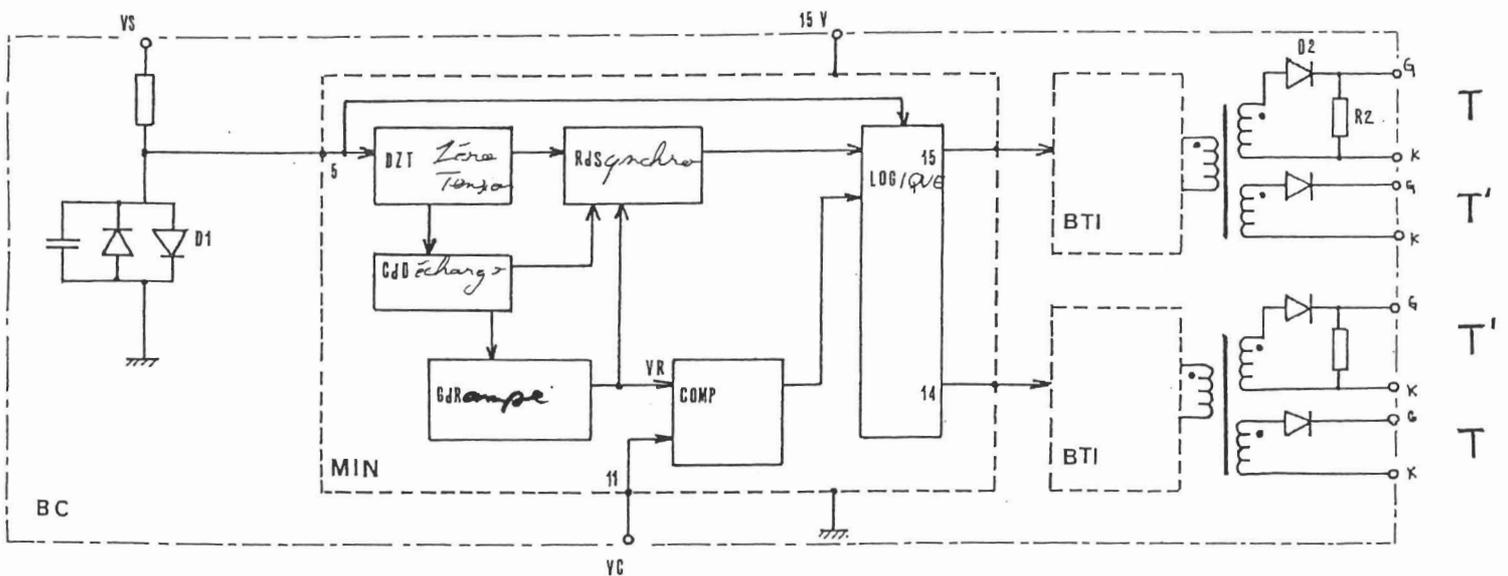


Figure 2

Le chronogramme représenté sur la figure 3 permet de repérer les signaux (de durée 30 μ s) sur les sorties 15 et 14 de la logique en fonction de la tension de synchronisation appliquée en 5 et de la tension de consigne Vc appliquée sur la broche 11.

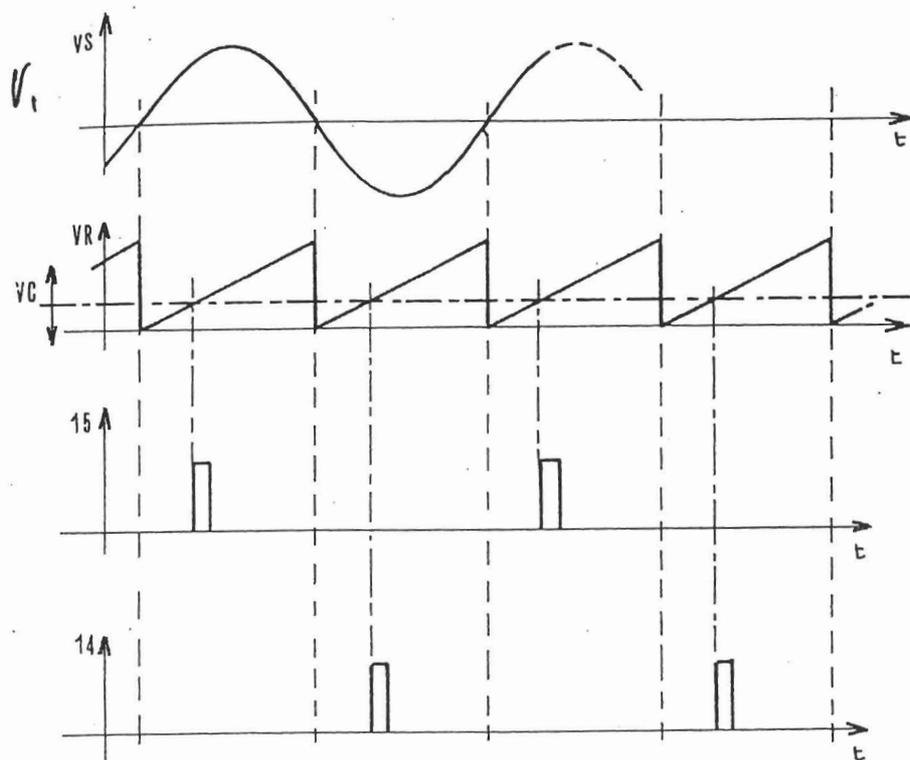


Figure 3

1. *Module intégré numérique (MIN).*

Après observation des figures 2 et 3 décrire succinctement le fonctionnement qui conduit aux signaux de sortie.

2. *Bloc de commande BC.*

Indiquer l'intérêt :

- 1°- des diodes D1 placées sur l'entrée de synchronisation (broche 5) ;
- 2°- des transformateurs en sortie des ensembles BTI.

3. *Commande des thyristors du circuit puissance.*

En observant, par exemple, la tension simple V1 (entre L1 et neutre) et le passage, lors d'une commutation, de la tension composée U32 à U12 indiquer les avantages que procure cette conception de commande avec sa logique synchronisée par la tension simple V.

4. *Transformateurs de sortie des blocs de commande BC.*

- 1°- Justifier la présence des diodes D2 en sortie des enroulements secondaires.
- 2°- Indiquer le rôle des résistances R2 et préciser pourquoi elles n'équipent pas toutes les sorties.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*

2. *Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)****1^{re} QUESTION (valeur = 10)****Propulsion électrique**

Un navire est propulsé par une hélice à pales fixes entraînée par un moteur synchrone à double étoile déphasées de 30 °. Chaque étoile est alimentée, comme représenté sur le schéma (voir au verso), par onduleur MLI à IGBT à deux niveaux.

1. Donner pour l'IGBT :
 - son schéma équivalent ;
 - ses principaux avantages par rapport aux thyristors et aux GTO.
2. Pour un onduleur à MLI classique à deux niveaux comme le schéma :
 - expliquer son principe de fonctionnement s'il est à commande triangulo-sinusoïdale, et le rôle des diodes ;
 - rappeler ses principaux avantages par rapport au cycloconvertisseur d'une part et à l'onduleur auto-synchrone d'autre part.
3. En étudiant le schéma électrique d'alimentation de ce moteur :
 - énumérer et expliquer les différents moyens qui ont été mis en œuvre pour limiter la pollution du réseau par les harmoniques ;
 - donner le rôle du circuit de précharge du bus continu ;
 - décrire une phase de freinage.

2^e QUESTION (valeur = 6)**Moteur asynchrone à rotor bobiné triphasé**

1. Entretien.
2. Incidents de fonctionnement : indices, causes, remèdes.

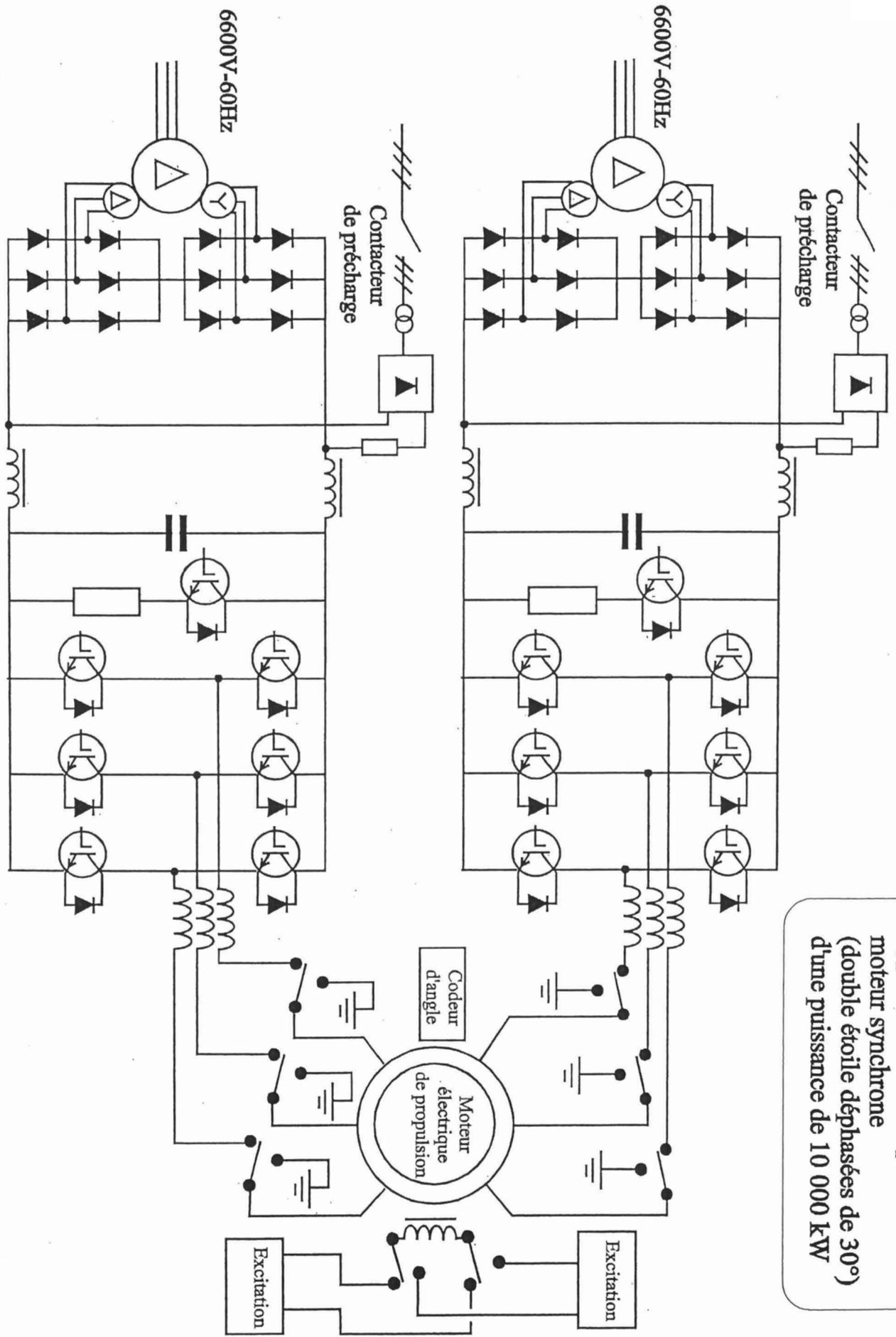
3^e QUESTION (valeur = 4)**Fibre optique**

1. Quels sont les avantages de la transmission par fibre optique et les applications que l'on peut trouver à bord ?
2. Expliquer le principe du guidage du rayon lumineux dans la fibre optique.
3. Donner la définition du cône d'acceptance et de l'ouverture numérique.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.
2. Délits de fraude : " Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examen sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

Type moteur électrique:
 moteur synchrone
 (double étoile déphasées de 30°)
 d'une puissance de 10 000 kW

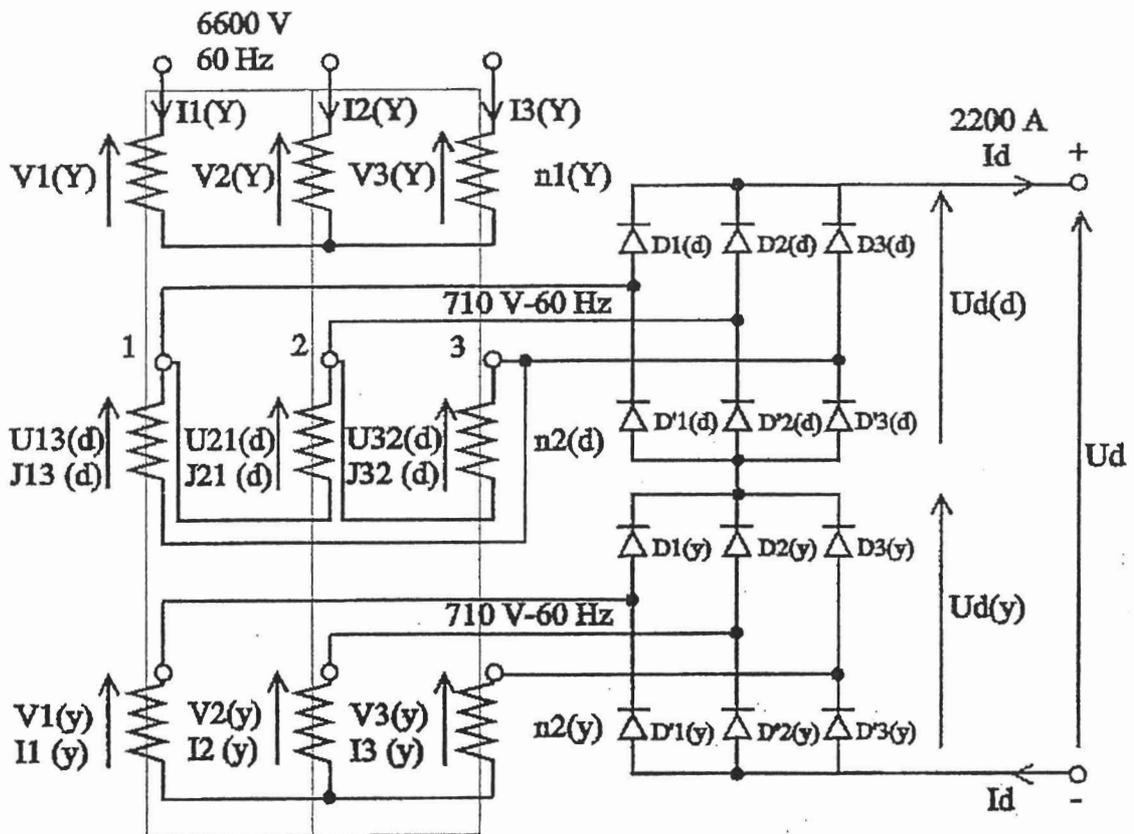


ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

La première et la deuxième question du sujet, indépendantes l'une de l'autre, sont relatives à l'installation décrite ci-dessous.

Un navire est propulsé par une hélice à pale fixe entraînée par un moteur synchrone à double étoile déphasée de 30° . Chaque étoile reçoit sa puissance d'un onduleur MLI à IGBT à deux niveaux qui est alimenté en continu par deux redresseurs montés en série comme représentés ci-dessous.



Tournez la page SVP

1^{re} QUESTION (valeur = 10)

Propulsion électrique.

1. Donner la désignation du couplage du transformateur avec ses indices horaires.
2. Expliquer comment est réalisée l'égalisation en valeur efficace des tensions composées du secondaire en triangle avec celles du secondaire en étoile.
3. Sur la feuille jointe en annexe (à rendre avec la copie) :
 - représenter les périodes de conduction des diodes ;
 - noter le nom des sommets des tensions composées, ainsi que celui des tensions simples qui sont représentées sur la feuille.
 - tracer la valeur instantanée de la tension $U_d(d)$ et de $U_d(y)$; en déduire le tracé de U_d .
4. Calculer la valeur moyenne de $U_d(d)$ et de $U_d(y)$; en déduire celle de U_d .
5. Lorsque le bus continu débite une intensité constante I_d de 2 200 A, représenter sur une période les valeurs instantanées des courants dans les enroulements de la première colonne du transformateur :
 - $I_{13}(d)$ intensité composée du secondaire en triangle ;
 - $I_{11}(y)$ intensité en ligne du secondaire en étoile ;
 - $I_{11}(Y)$ intensité en ligne du primaire.

Remarque : On suppose dans tout le problème que les redresseurs sont parfaits et fonctionnent de manière continue.

2^e QUESTION (valeur = 5)

Pollution des réseaux.

Lors des essais à pleine puissance du navire, un analyseur d'harmoniques a relevé, au primaire du transformateur d'alimentation d'une des étoiles du moteur synchrone, les valeurs efficaces des harmoniques présents :

Rang	11	13	23	25	35	37	47	49	59	61
IRMS (A)	14	9,5	2,5	2,1	1	0,86	0,53	0,45	0,31	0,25

La valeur efficace du fondamental du courant était de 265 A et sa fréquence 60 Hz

1. Déterminer :
 - la fréquence et le taux individuel de distorsion de l'harmonique de rang 11 ;
 - la valeur efficace du courant vrai IRMS ;
 - le taux global de distorsion au courant vrai THD-G ;
 - le taux global de distorsion au courant fondamental THD-F.

2. Expliquer pourquoi le rang le plus faible des harmoniques présents a une valeur aussi élevée de 11.
3. Donner en le justifiant un montage transformateur-redresseur qui est encore plus performant du point de vue des harmoniques.

3^e QUESTION (valeur = 5)

Moteurs synchrones à excitation statique composée à transformateur tournant.

1. Faire le schéma de principe.
2. Décrire l'entretien.
3. Citer les indices, les causes et les remèdes des incidents de fonctionnement.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 5)

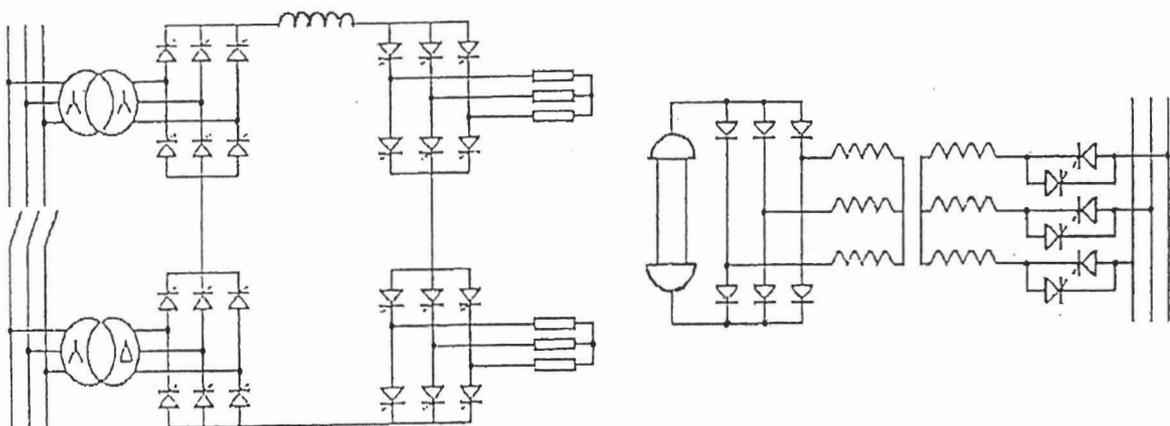
Propulsion électrique.

1. Citer les avantages et les inconvénients de la propulsion électrique.
2. Dire à quels types de navire elle est adaptée. Justifier votre réponse.

2^e QUESTION (valeur = 10)

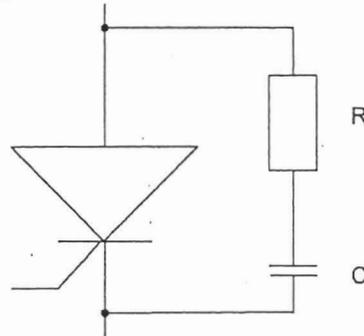
Propulsion électrique.

On considère le schéma simplifié ci-dessous d'une installation de propulsion électrique.



Tournez la page SVP

1. Alimentation du stator du moteur.
 - 1.1. Décrire le rôle de chacun des éléments alimentant le stator.
 - 1.2. Préciser le rôle du dispositif ci-dessous, placé aux bornes de chaque thyristor alimentant le stator.



2. Moteur électrique de propulsion.
 - 2.1. Nommer le type de moteur utilisé.
 - 2.2. Expliquer à partir de schémas, le principe de fonctionnement de ce moteur.
 - 2.3. Décrire ses avantages.
3. Rotor du moteur.
 - 3.1. Décrire le rôle de chacun des éléments alimentant le rotor.
 - 3.2. Donner l'intérêt principal de ce montage.
4. Conduite du moteur de propulsion :
 - 4.1. Nommer le mode de commande du moteur aux vitesses de rotation nominales et aux faibles vitesses.
 - 4.2. Dire si la récupération d'énergie est possible. Justifier votre réponse.

3^e QUESTION (valeur = 5)

Moteurs à courant continu.

Enumérer les incidents mécaniques et électriques des moteurs à courant continu et indiquer en quelques mots leurs origines.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics."*

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

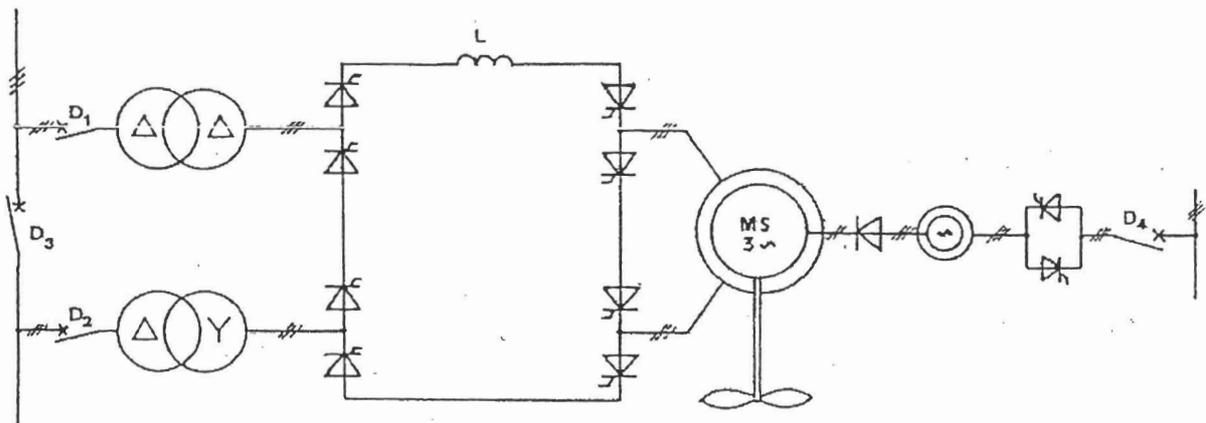
1^{re} QUESTION (valeur = 10)**Propulsion mécanique.**

Deux lignes d'arbres avec hélices à ailes fixes assurent la propulsion d'un navire de recherches océanographiques.

Chaque ligne d'arbres est entraînée directement par un moteur synchrone dodécaphasé de puissance 3 MW dont les deux jeux d'enroulements sont alimentés par un montage double synchro-convertisseurs mis en série.

Le rotor à excitation sans bague ni balai, par un montage gradateur triphasé, possède douze pôles saillants.

La conception du montage réalisée par moteur apparaît sur le schéma unifilaire simplifié ci-dessous.



1.

- 1.1. A partir du schéma unifilaire simplifié, tracer le schéma détaillé du montage comprenant :
 - les enroulements secondaires des transformateurs ;
 - les composants électroniques de puissance ;
 - les enroulements statoriques du moteur.

Indiquer le nombre de pôles pour chaque enroulement et chaque phase du stator du moteur.

- 1.2. Présenter la constitution, le principe de fonctionnement et le couple développé par le rotor du moteur dodécaphasé de l'application évoquée.
 - 1.3. Enumérer les avantages de cette conception.
 - 1.4. Préciser quel réglage permet le gradateur sur l'alimentation de l'excitateur.
2. Présenter un exemple de séquence de fonctionnement des ponts redresseurs-onduleurs et du moteur qui permette d'effectuer le passage de *avant toute* à *arrière toute* d'une ligne d'arbre.

Tournez la page SVP

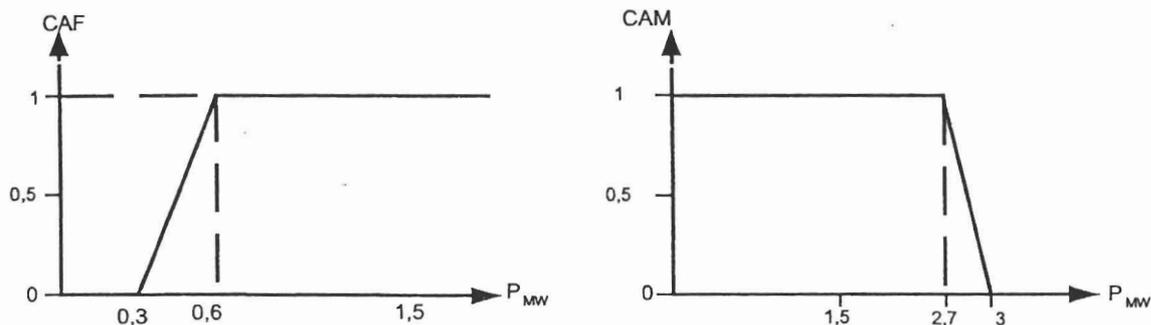
3. Le principe de fonctionnement global peut être représenté sous la forme simplifiée suivante :
- la production électrique est assurée par trois diesels-alternateurs semblables (DA) de 3,6 MVA qui peuvent alimenter sous 660 V – 50 Hz le tableau principal de propulsion. Un automatisme gère le nombre de groupes couplés en fonction de la puissance demandée sur le tableau .
 - la consigne de vitesse effectivement appliquée à la commande d'un synchro-convertisseur est la vitesse demandée par l'opérateur multipliée par un coefficient "AUTORISATION" qui varie de 1 à 0.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode "moteur" du moteur synchrone de propulsion, c'est le coefficient autorisation moteur (CAM) qui s'applique.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode "frein" du moteur synchrone de propulsion, c'est le coefficient autorisation freinage (CAF) qui s'applique.

La valeur du CAM est élaboré à partir de l'observation de la puissance active du DA le plus chargé tandis que le CAF est fondé sur l'analyse de la puissance active fournie par le moins chargé des DA couplée sur les barres propulsion.

Les graphes ci-dessous indiquent les valeurs des coefficients autorisations en fonction des puissances actives des DA le plus et le moins chargés. Les seuils indiqués sont arbitraires et uniquement destinés à faciliter l'analyse.



En se rapportant à la séquence présentée dans le 2. ci-dessus, indiquer en quelques mots :

- l'effet que peut produire le CAF ;
- l'intérêt du CAM.

2^e QUESTION (valeur = 5)

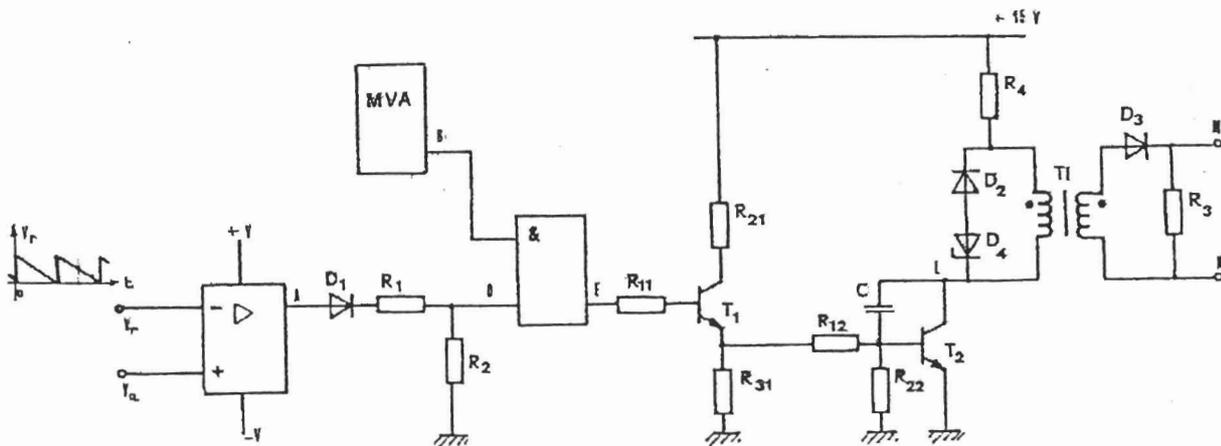
Commande de thyristors.

La figure ci-après présente la commande d'un thyristor Th (non représenté) alimenté par un réseau monophasé sinusoïdal alternatif de tension U et de fréquence f_r (début de l'alternance positive à $t = 0$).

MVA, multivibrateur astable de 10 kHz et l'opérateur logique "&" sont de technologie TTL.

Le comparateur reçoit :

- sur l'entrée "-" une tension en dent de scie V_r d'amplitude constante et de fréquence f_r (front constant à $t = 0$) ;
- sur l'entrée "+" une tension continue réglable V_a .



1. Présenter succinctement le principe de cette commande, lorsque, lors de sa croissance, V_r devient inférieur à V_a .
2. Indiquer :
 - sur quelles broches du thyristor Th on doit brancher les sorties M et N ;
 - la ou les fonctions réalisées par TI ;
 - le réglage que permet la tension V_a après observation de l'effet que produit sa diminution.
3. Préciser les rôles de :
 - D3 et R3 ;
 - D2 et D4.

3^e QUESTION (valeur = 5)

Fibre optique.

1. Représenter le schéma de principe d'une liaison par fibres optique. Commenter le rôle de chacun des composants.
2. Présenter les avantages de la fibre optique dans le domaine de la transmission de données.
3. Exposer les principes de base de l'injection et du guidage de la lumière dans une fibre optique.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.
2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**(Durée : 3 heures)**

1^{re} QUESTION (valeur = 10)**Propulsion électrique des navires.**

1. On considère les trois schémas de convertisseur sur l'annexe ci-jointe.
 - 1.1. Expliquer le fonctionnement de base du montage commun aux trois schémas.
 - 1.2. Interpréter les différences qui existent au niveau des schémas et leurs conséquences dans les possibilités de fonctionnement dans les "quatre cadrans".
2. Pratiquement pour la propulsion électrique ; en raison des limitations en puissance des transistors bi-polaires, on utilise des IGBT.
 - 2.1. Définir le mode de fonctionnement de ces transistors, leurs caractéristiques électriques maximales et leurs avantages comparé aux thyristors et aux transistors bi-polaires.
 - 2.2. Faire le schéma triphasé de la partie onduleur d'un convertisseur MLI à IGBT destiné à l'alimentation d'un moteur de propulsion synchrone permettant un freinage rhéostatique.

2^e QUESTION (valeur = 6)**Maintenance et avaries des convertisseurs statiques de fréquence.**

1. Résumer les principaux travaux d'entretien au niveau des composants des circuits de puissance et des cartes du bloc de commande.
2. Indiquer les principales avaries pouvant affecter la partie puissance, leurs conséquences, les moyens et les mesures permettant de détecter le ou les composants en avarie.

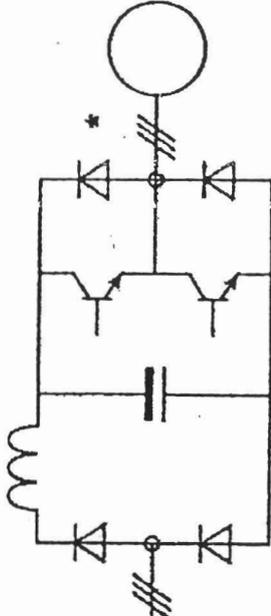
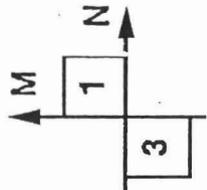
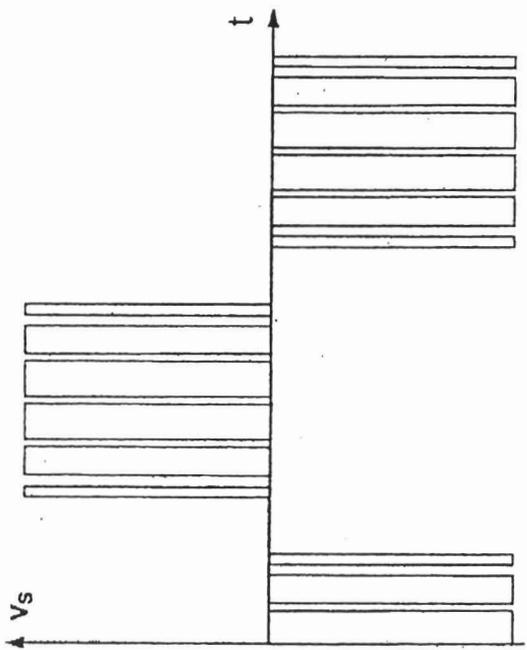
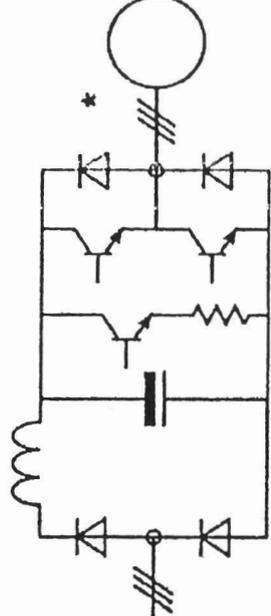
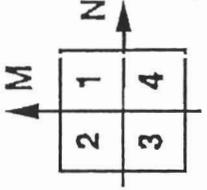
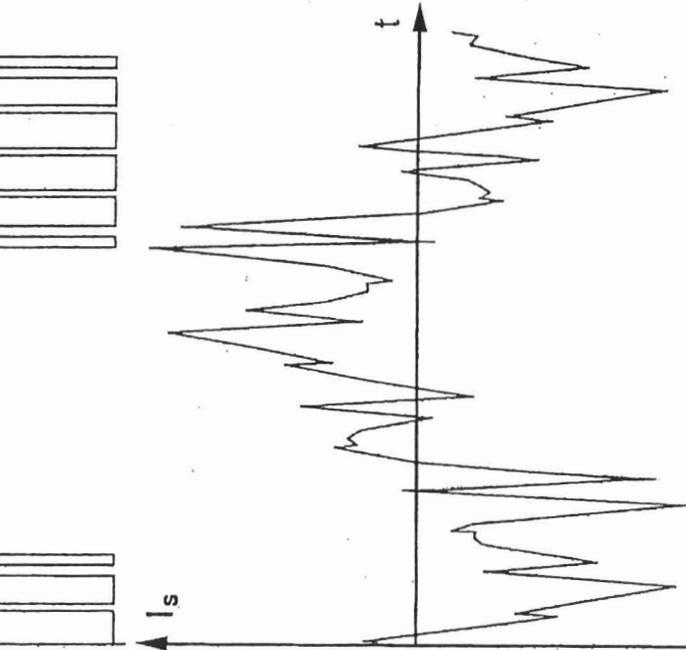
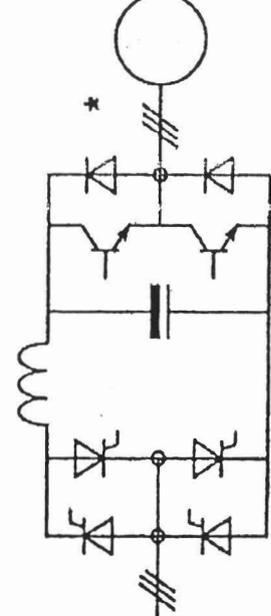
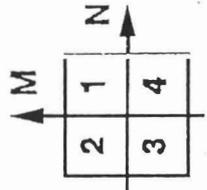
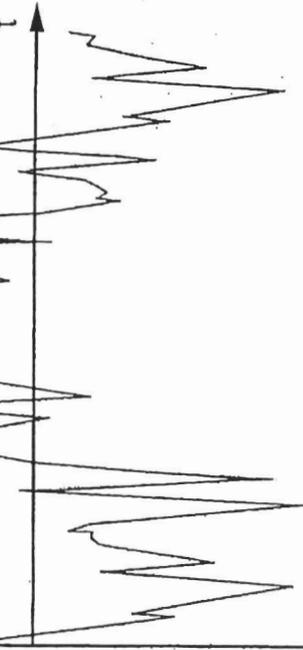
3^e QUESTION (valeur = 4)**Fibres optiques.**

Définir et comparer les types suivants de fibres optiques :

- Fibre multi mode à saut d'indice ;
- Fibre mono mode à saut d'indice ;
- Fibre à gradient d'indice.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

Moteur	Structure	Plan Couple Vitesse	Caractéristiques étage intermédiaire	Formes d'ondes en sortie (au point noté*)
AS-SYN			<p>Source de tension - Commutation forcée active côté machine</p>	
AS-SYN		<p>(sans renvoi d'énergie au réseau)</p> 	<p>Source de tension - Commutation forcée active côté machine, Adjonction d'un hacheur de freinage</p>	
AS-SYN			<p>Source de tension - Commutation forcée active côté machine, renvoi d'énergie au réseau</p>	

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE**Filière C1****ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE****(Durée : 3 heures)**

1^{re} QUESTION (valeur = 4)**Entretien - maintenance.**

Au cours d'un arrêt technique, le chantier visite le tableau principal, rebobine et remonte un alternateur triphasé. Décrire les opérations de contrôle et les essais à effectuer avant de coupler cet alternateur.

2^e QUESTION (valeur = 4)**Contrôle sous tension de l'isolement par rapport à la coque.**

1. En vous aidant de schémas, expliquer les différentes méthodes de contrôle et de mesure de la résistance d'isolement par rapport à la coque d'une installation électrique triphasée à régime IT.
2. Dissserter sur la nécessité de cette mesure d'isolement pour la conduite de l'installation. Indiquer en les justifiant les valeurs minimales tolérées et les précautions à prendre pour la validité de cette mesure.

Tournez la page SVP

3^e QUESTION (valeur = 5)

Harmoniques – caractérisation, effets et remèdes.

Un analyseur d'harmoniques a relevé les taux individuels de distorsions suivants sur un équipement :

Rang	5	7	9	11	13	15	17	19
Taux (%)	33	3	0	7	2	0	3	2

La valeur de l'intensité efficace du fondamental de courant est de 450 A et celle de la fréquence est de 59,8 Hz.

- Déterminer les valeurs suivantes :
 - la valeur efficace du courant vrai TRMS.
 - le taux global de distorsion relatif au courant vrai THD-R.
 - le taux global de distorsion relatif au courant fondamental THD-F.
- Décrire les effets immédiats et à terme des harmoniques sur le réseau électrique.
- Citer les remèdes possibles.

4^e QUESTION (valeur = 7)

Propulsion électrique.

- Représenter un schéma de principe d'un onduleur non autonome (ou auto-synchrone) alimentant un moteur synchrone.
- Expliquer brièvement son fonctionnement, en vous appuyant sur une séquence de manœuvre avec freinage pour cette explication.
- Préciser les avantages et les inconvénients de cette solution dans le cadre de la propulsion électrique.

Nota :

- Aucun document n'est autorisé.
- Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE

Filière C1

ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 10)

On considère le schéma simplifié d'une installation de propulsion électrique représenté sur l'annexe ci-jointe.

1. Production électrique (repère n°1 sur le schéma).
Déterminer le type d'alternateur utilisé et présenter son principal avantage.
2. Moteur électrique de propulsion (repère n°2 sur le schéma).
 - 2.1. Déterminer le type du moteur.
 - 2.2. Expliquer le principe de fonctionnement de ce montage.
 - 2.2. Présenter les avantages et les inconvénients de cette propulsion électrique dans les domaines de la conduite, de la puissance, de l'entretien, de la pollution du réseau et du rendement.
 - 2.4. Décrire la procédure à effectuer pour le passage rapide de « avant toute » à « arrière toute » avec une phase de freinage électrique.
 - 2.5. Tracer un schéma simplifié d'un autre montage qui permet d'alimenter ce moteur à partir d'une source alternative de courant et de le faire fonctionner dans les quatre quadrants.
 - 2.6. Expliquer le fonctionnement de ce nouveau montage.

Tournez la page SVP

2^e QUESTION (valeur = 5)

Présenter les opérations de maintenance d'un moteur à courant continu à excitation séparée.

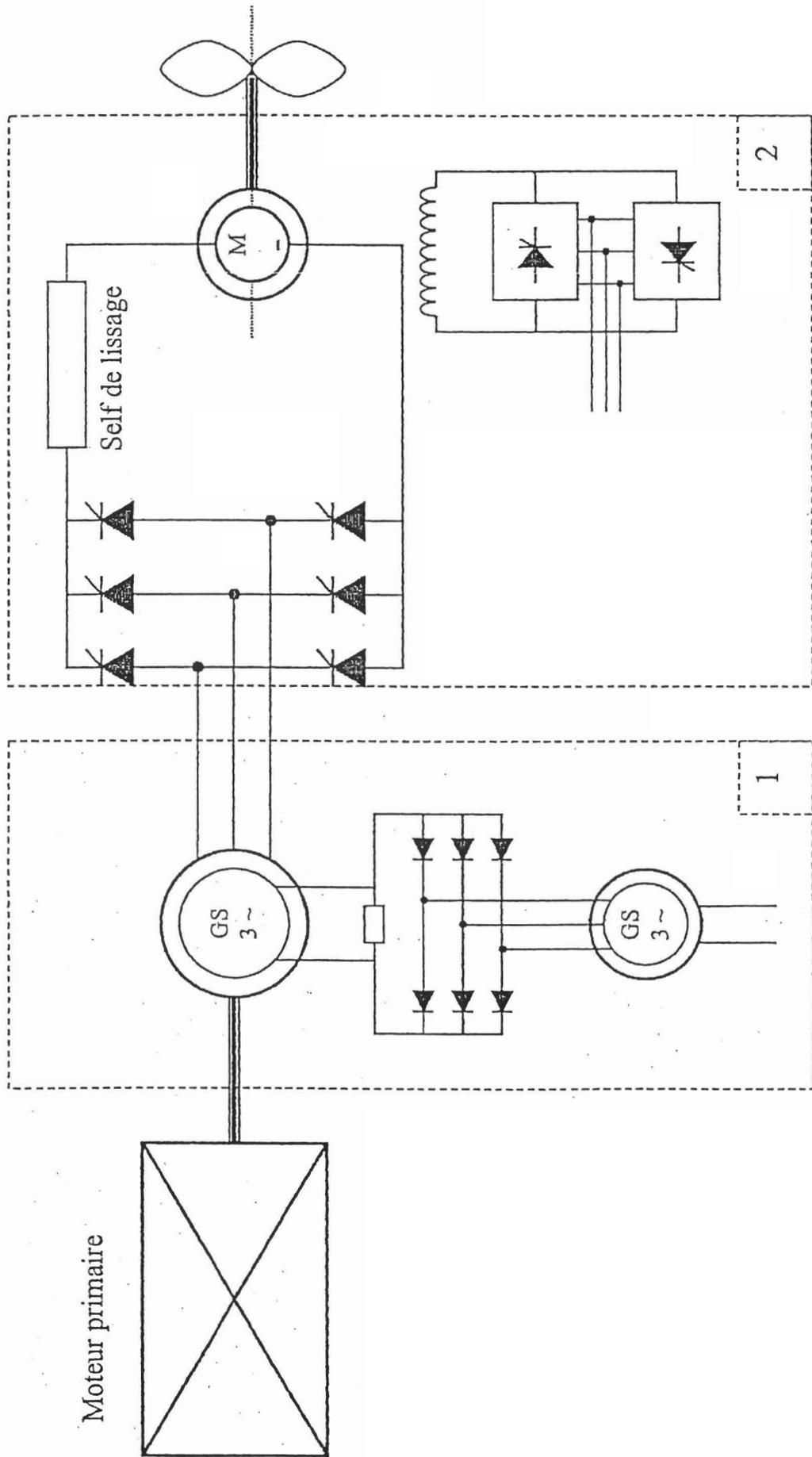
3^e QUESTION (valeur = 5)

1. Présenter le principe de production de l'énergie électrique par l'appareil propulsif, en vous aidant d'un schéma simplifié.
2. Indiquer de quelles manières s'effectuent les réglages de la tension, de la fréquence et des puissances active et réactive.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

ANNEXE



**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE
FILIERE C1**

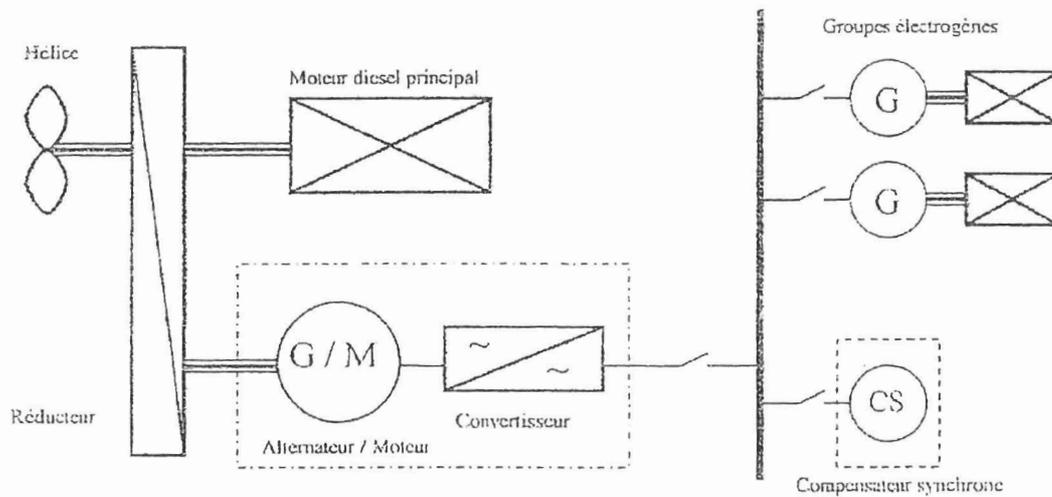
ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 6)

Production électrique.

Soit le schéma de production électrique suivant :



1. Décrire l'installation présentée dans le schéma ci-dessus.
2. Donner un schéma électrique du convertisseur et expliquer son fonctionnement.
3. Indiquer de quelles manières s'effectuent les réglages de la tension, de la fréquence et des puissances active et réactive.
4. Présenter les intérêts d'une telle installation.

Tournez la page S.V.P.

2^e QUESTION (valeur = 6)

Propulsion électrique.

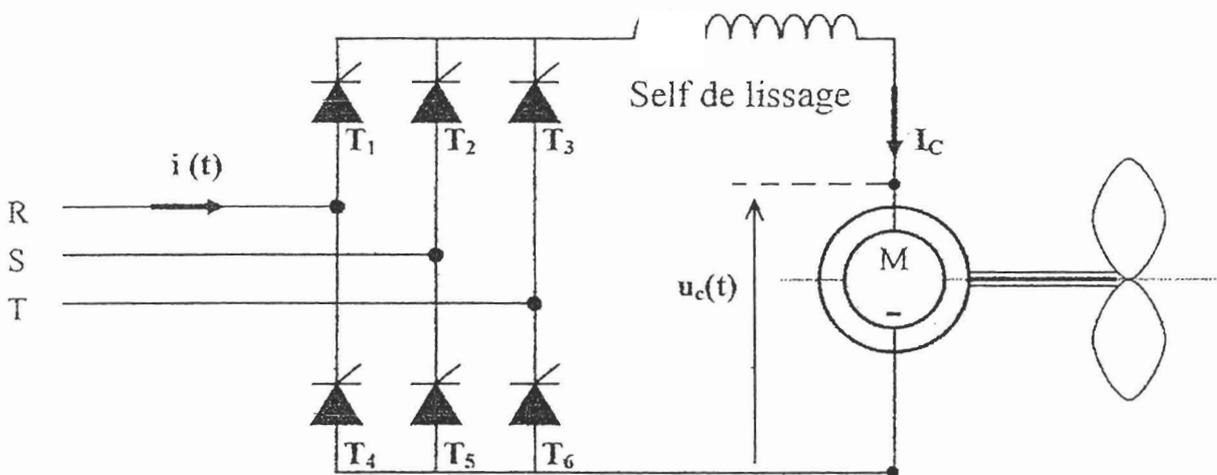
Comparer les différents types de moteurs électriques utilisés couramment en propulsion électrique. Effectuer cette comparaison en analysant les critères suivants :

- conduite du moteur ;
- entretien ;
- pollution du réseau électrique ;
- puissance ;
- rendement du moteur.

3^e QUESTION (valeur = 8)

Pollution des réseaux.

Soit le schéma électrique simplifié d'une propulsion électrique à moteur à courant continu.



1. Sur la feuille jointe en annexe (à rendre avec la copie) :

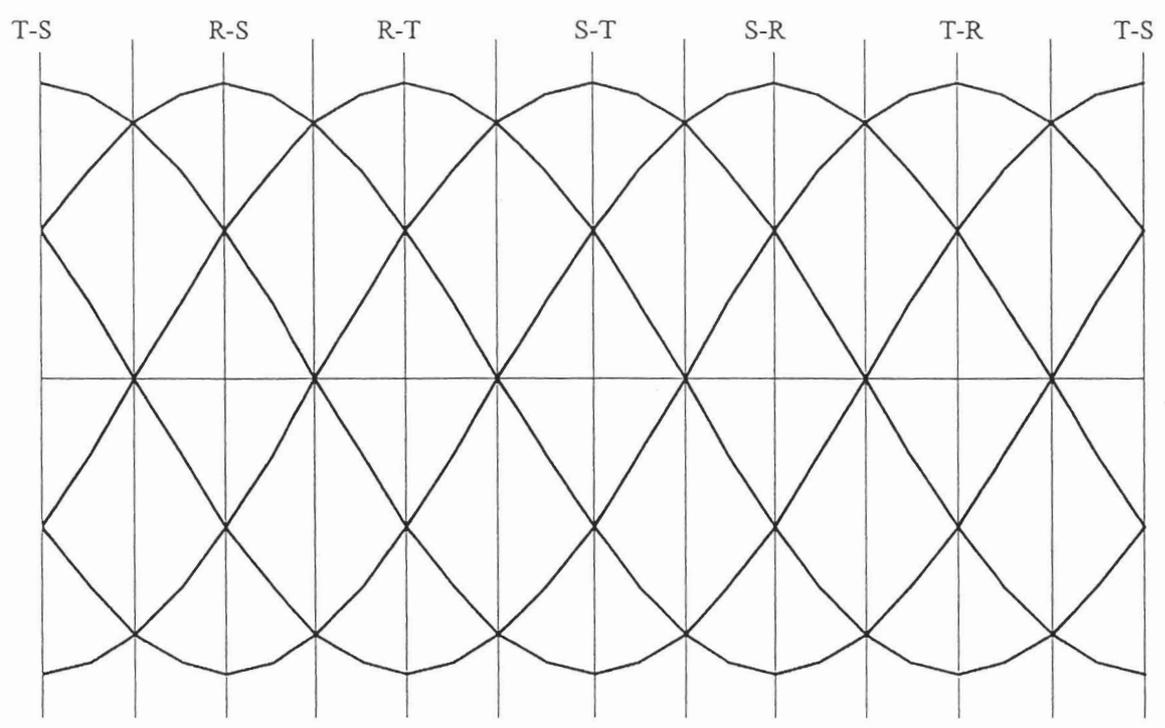
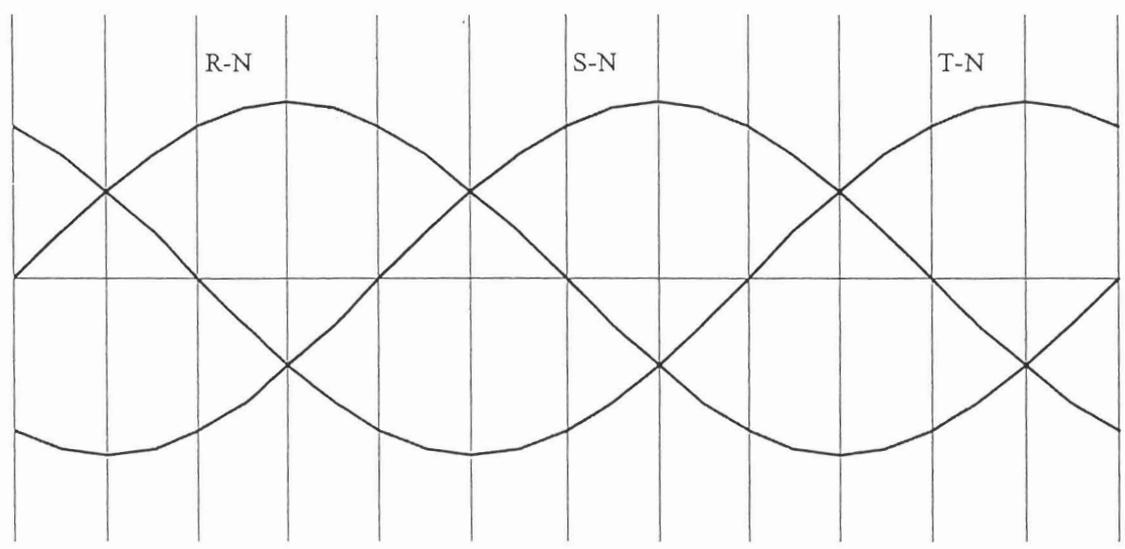
- Représenter les périodes de conduction des thyristors sachant qu'on les commande avec un angle de retard à l'amorçage $\alpha = 0^\circ$;
- Tracer la valeur instantanée de la tension $u_c(t)$ aux bornes du moteur à courant continu pour $\alpha = 0^\circ$;
- Tracer la valeur instantanée du courant $i(t)$ sachant que I_c peut être considéré comme constant.

NOM DU CENTRE :

NUMERO DUCANDIDAT :

NE RIEN INSCRIRE AU-DESSUS DE CETTE LIGNE.

ANNEXE



DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE

ELECTROTECHNIQUE, ELECTRONIQUE ET AUTOMATIQUE

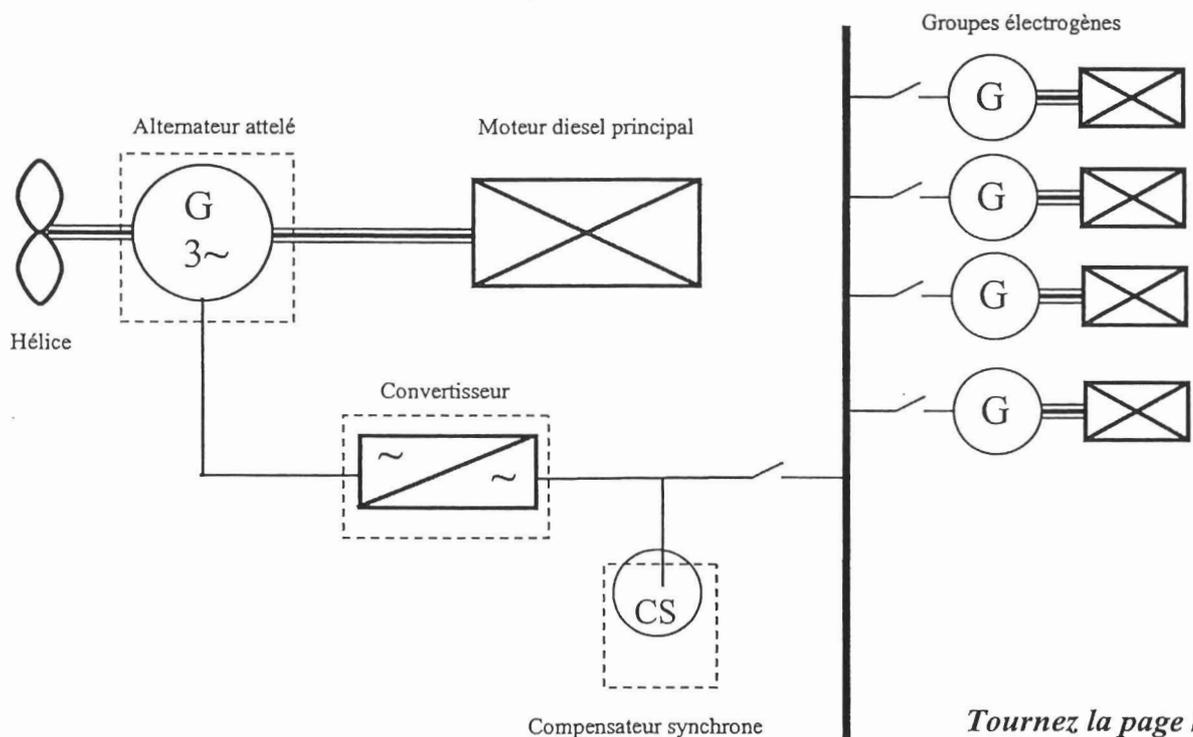
(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 14)**Production électrique et utilisation d'un alternateur attelé.**

Un porte conteneur moderne de 300 mètres de long, Post-Panamax, de 80 942 tonnes de port en lourd est propulsé par un moteur diesel dont la puissance maximale continue (MCR) est de 65 MW à 100 tr.min^{-1} , entraînant une hélice à pales fixes. Sa capacité d'emport est de 6700 EVP (équivalent vingt pieds) et 700 emplacements sont réservés pour l'embarquement de conteneurs réfrigérés. La production électrique du navire est assurée par quatre groupes électrogènes de 3,6 MW et d'un alternateur attelé à pôles saillants. Le réseau électrique du bord est alimenté en 6,6 kV, 60 Hz.

L'alternateur attelé est couplé sur le réseau lorsque la vitesse de rotation du moteur de propulsion est comprise entre 60 % et 110 % de la vitesse maximale continue.

Soit le schéma de production électrique suivant :

*Tournez la page SVP*

- Le nombre de paires de pôles de l'alternateur attelé est $p = 14$. Indiquer les écarts de fréquences maximum délivrées par l'alternateur attelé si celui-ci était directement couplé sur le réseau.

Tournez la page SVP

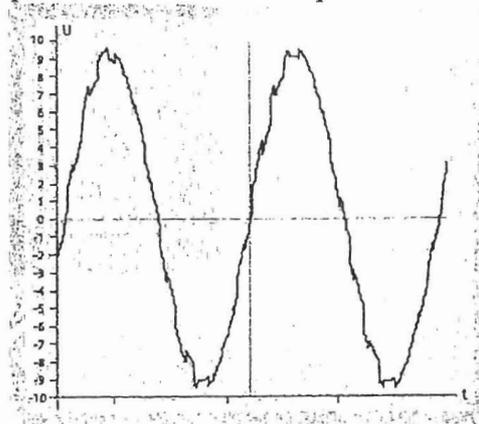
2. L'alternateur attelé étant entraîné à des vitesses variant selon les allures du navire ou de l'état de la mer, un convertisseur statique, disposé entre l'alternateur et le réseau bord, permet de s'affranchir des variations de fréquence qui en résultent.

Donner un schéma électrique du convertisseur et expliquer son fonctionnement.

3. En route libre, lorsque la puissance électrique absorbée par les consommateurs le permet, l'alternateur attelé est seul en service. Le réseau bord comporte de nombreux moteurs asynchrones qui entraînent pompes et compresseurs.

Dans ces conditions, :

- 3.1 Expliquer le rôle du compensateur synchrone (machine sans bague ni balais, à quatre pôles saillants) et son principe de fonctionnement.
 - 3.2 Compléter les flèches kW et kVar sur le schéma de l'annexe 1 pour indiquer le sens de transfert des puissances actives et réactives.
 - 3.3 Expliquer comment sont réglées les puissances actives et réactives délivrées sur le réseau bord.
4. Nommer les différents procédés de démarrage des moteurs synchrones.
5. Indiquer les conditions de couplage de l'alternateur attelé sur le réseau bord, déjà alimenté par un des quatre autres alternateurs.
6. Au démarrage de l'installation, deux modes de fonctionnement sont à considérer. Un premier fonctionnement où le convertisseur statique de fréquence fonctionne en mode cadencé. le compensateur synchrone est alors régulièrement accéléré jusqu'à 1200 tr.min^{-1} , vitesse au delà de laquelle la force contre-électromotrice délivrée par la machine permet la commutation naturelle des thyristors du pont réseau. Une deuxième phase prend alors le relais. Le convertisseur de fréquence fonctionne en mode synchrone et le compensateur synchrone est accéléré jusqu'à 1800 tr.min^{-1} .
Expliquer le fonctionnement du convertisseur de fréquence en mode cadencé.
7. Lorsque l'alternateur attelé est seul couplé sur le réseau bord, un enregistrement de la tension délivrée entre phase est représenté sur la courbe qui suit.



- 7.1 Donner une explication possible des phénomènes observés et les risques qu'ils engendrent.
 - 7.2 Donner quelques procédés technologiques pour limiter ces phénomènes.
8. Une analyse harmonique en tension dans les conditions de fonctionnement précédentes donne le résultat suivant :

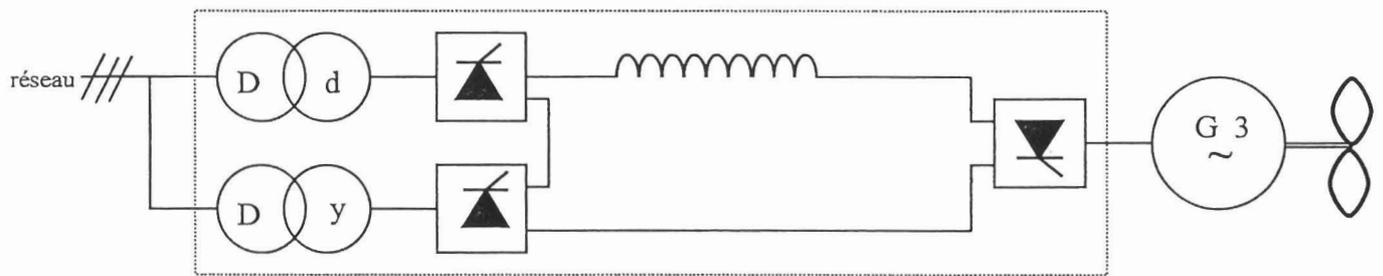
Tension :

THD (%) = 16
Trms (V) = 6435

	% :	Ampl. (V) :	Phase (°) :
Rang 1 :	100	6358	0
Rang 5 :	1	50	275
Rang 7 :	1	40	274
Rang 11 :	9	558	275
Rang 13 :	8	527	275
Rang 17 :	0	28	273
Rang 19 :	0	28	273
Rang 23 :	7	450	274
Rang 25 :	7	439	273
Rang 29 :	0	23	272
Rang 31 :	0	23	271

Indiquer ce que représente le THD(%) = 16 .

9. Dans certaine installation, le convertisseur sur lequel débite l'alternateur attelé est en fait constitué côté réseau par la mise en série de deux ponts tous thyristors qui débitent sur deux transformateurs couplés comme le montre le schéma ci dessous.

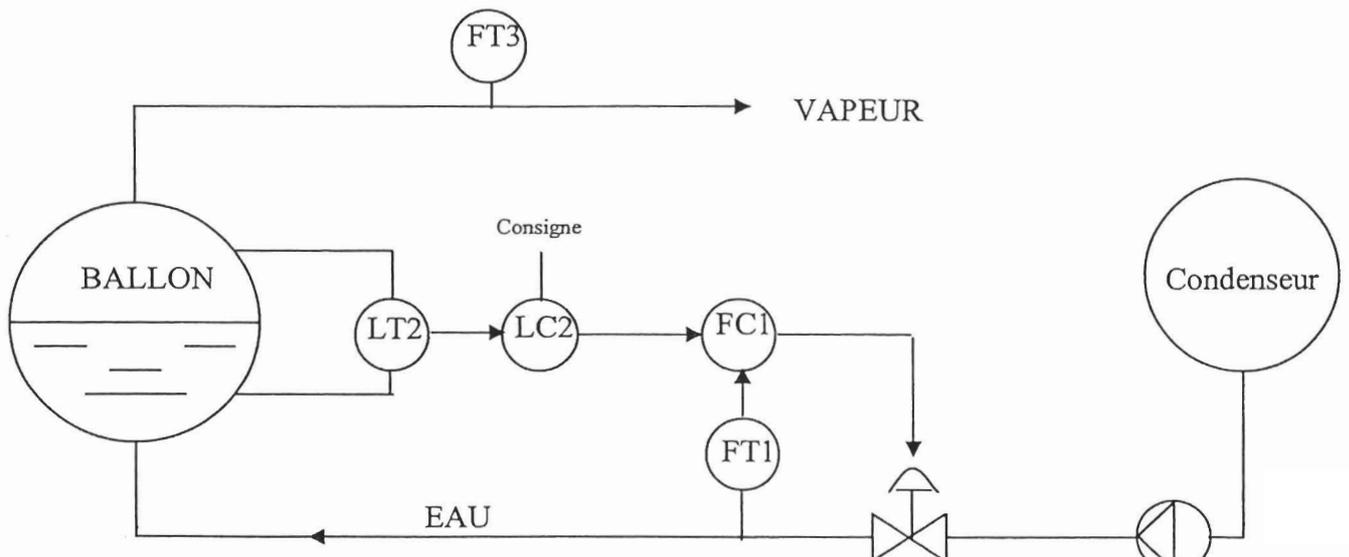


Préciser l'intérêt d'un tel montage.

2^e QUESTION (valeur = 6)

Etude de la régulation de niveau d'une chaudière.

Une chaudière de production de vapeur comporte un faisceau de vaporisation aboutissant dans un ballon alimenté en eau par une pompe qui aspire dans un condenseur. La régulation de niveau correspond au schéma ci-dessous.



1. Identifier les principales perturbations de ce système.
2. Des enregistrements de la variation de niveau dans le ballon et du débit d'alimentation en eau sont présentés en annexe 2. Ces enregistrements sont réalisés alors que les régulateurs fonctionnent en automatique et qu'une augmentation brutale de la demande de vapeur apparaît.
Expliquer l'évolution de ces deux tracés.
3. La stratégie de régulation employée sur cette installation est communément appelée stratégie cascade.
Expliquer en quoi cette régulation est une régulation cascade.
Présenter l'intérêt d'une telle stratégie.
4. On désire régler les paramètres du régulateur FC1. Pour cela, on identifie la fonction de transfert réglante en boucle ouverte.
Le régulateur étant en commande manuelle, on réalise au temps $t = 0$ s et en l'absence de perturbation, un échelon de commande de 45% à 60%.
A partir de l'enregistrement joint en annexe 3, établir la fonction de transfert réglante, donner les valeurs de gain statique K , de retard pur T et de la constante de temps τ , puis à partir du tableau de l'annexe 3, donner le type de régulateur utilisé.
5. On désire ajouter à la régulation précédente une action de tendance sur le débit vapeur.
Représenter la nouvelle structure de cette régulation et expliquer en quoi elle représente une amélioration.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

NOM DU CENTRE :

ANNEXE 1

NUMERO
DUCANDIDAT :

NE RIEN INSCRIRE AU-DESSUS DE CETTE LIGNE.

ANNEXE 1

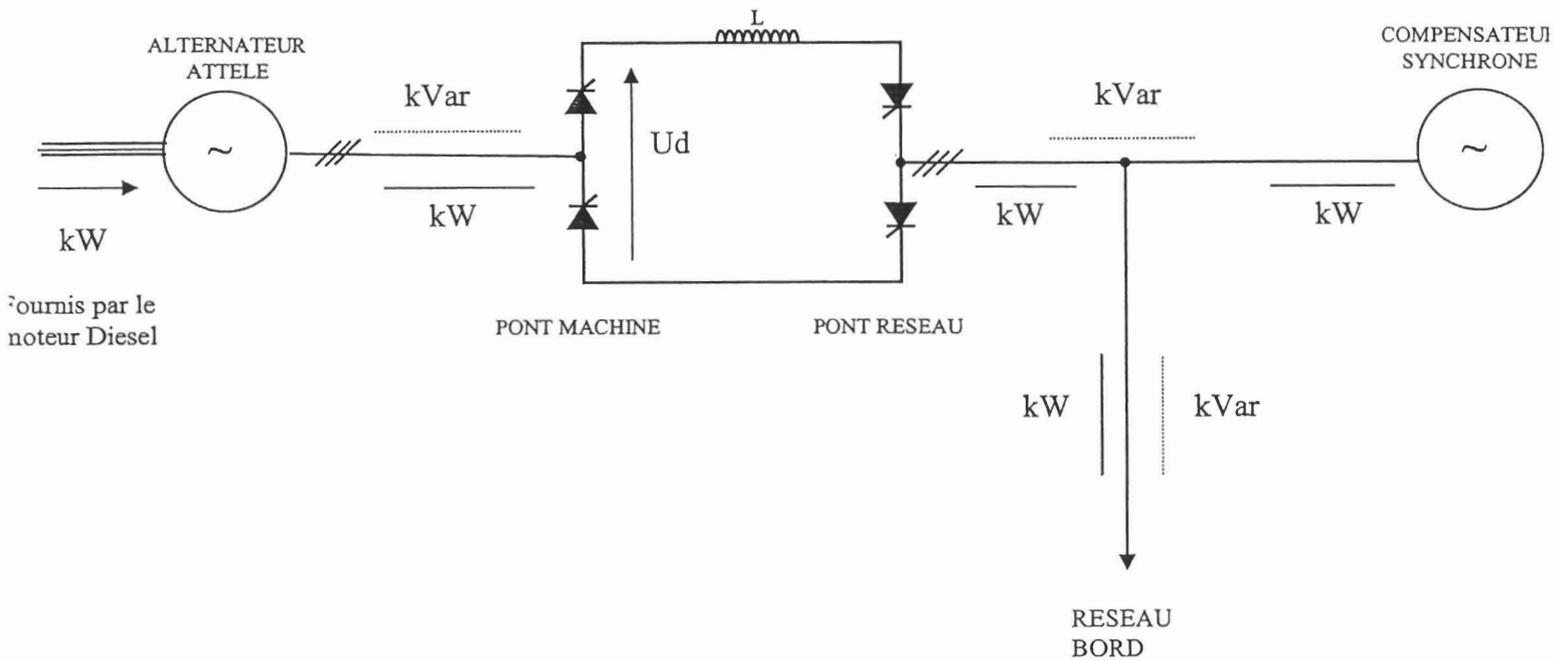


Schéma de production de l'énergie électrique du navire par alternateur attelé.

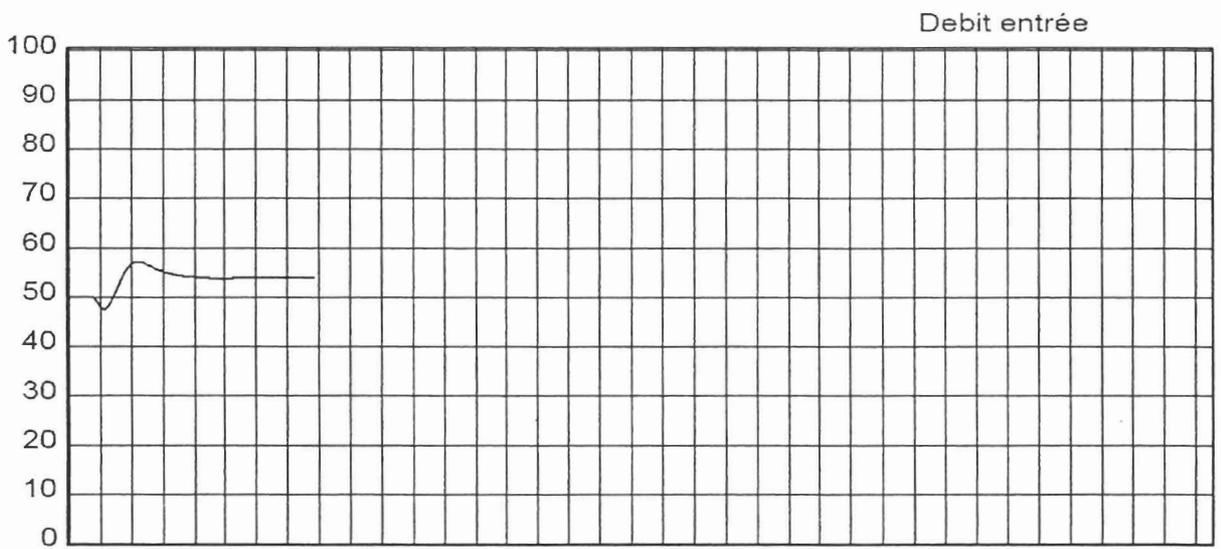
NOM DU CENTRE :

ANNEXE 2

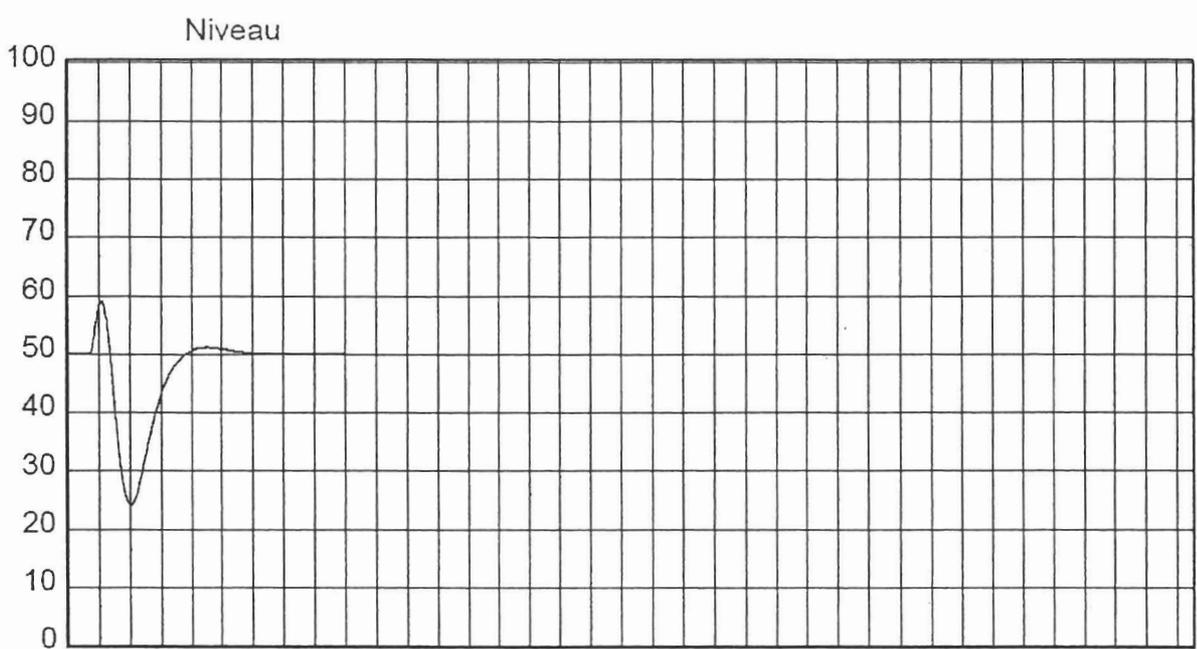
NUMERO
DUCANDIDAT :

NE RIEN INSCRIRE AU-DESSUS DE CETTE LIGNE.

ANNEXE 2



8 s/carreau



8 s/carreau

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE

ELECTROTECHNIQUE, ELECTRONIQUE ET AUTOMATIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 10)

La figure 1 représente le système de propulsion et de production d'énergie électrique d'un pétrolier de 38 500 tonnes de port en lourd.

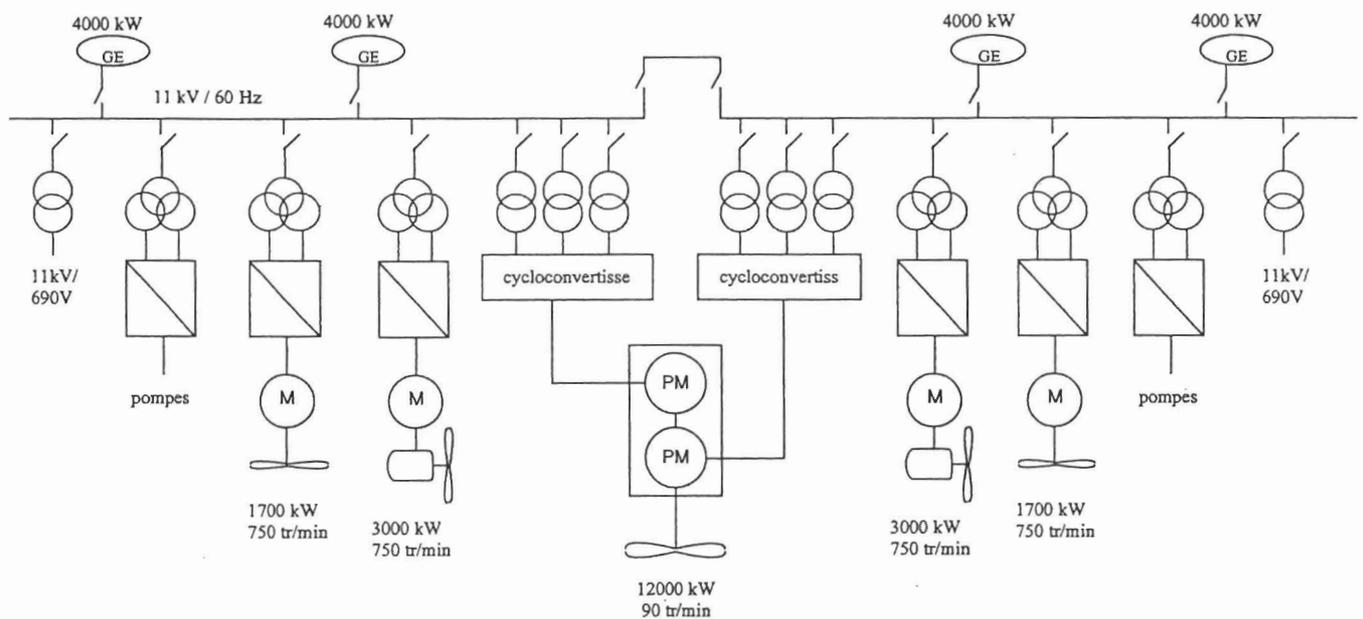


Figure 1.

Propulsion électrique.

1. Chaque demi-moteur est un moteur synchrone triphasé à rotor bobiné, alimenté par un cycloconvertisseur.

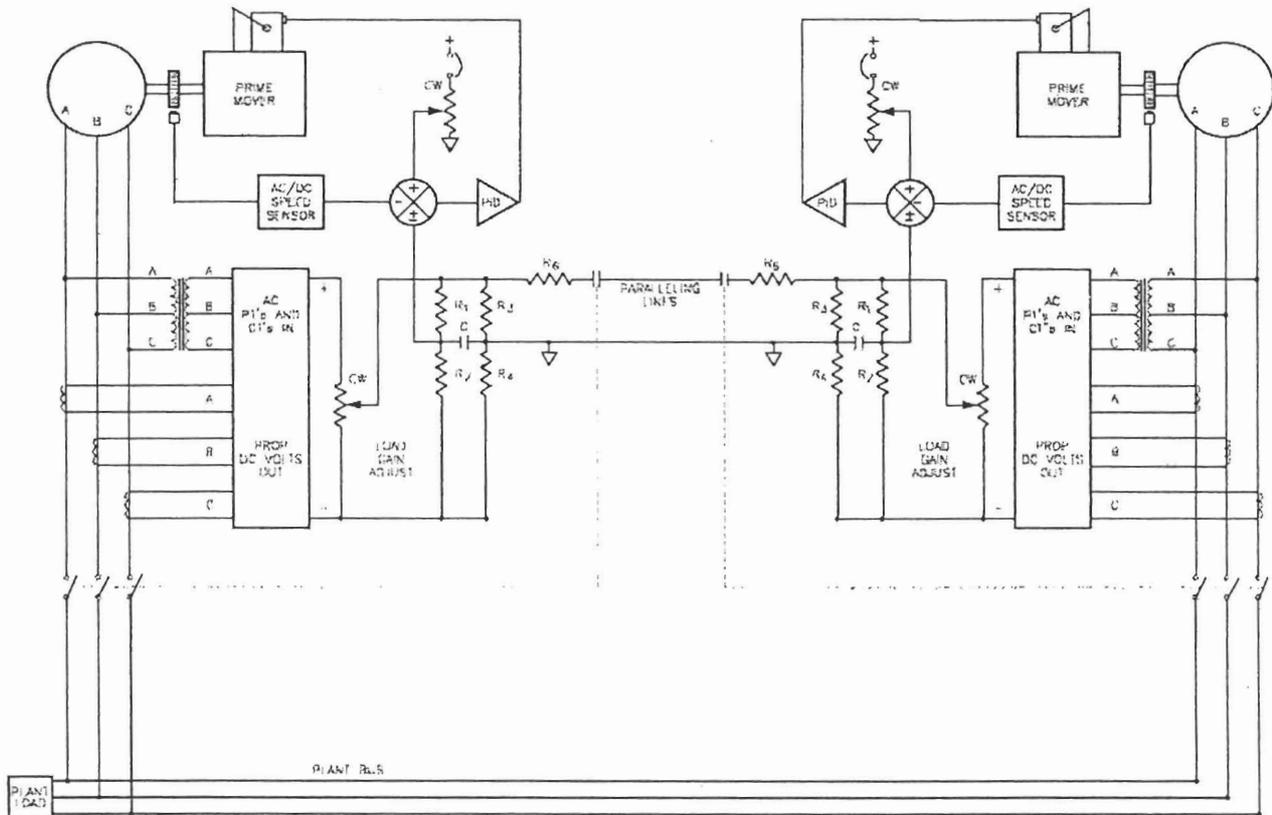
- 1.1. Représenter sur un schéma la structure détaillée d'un de ces cycloconvertisseurs. Préciser le nombre de pulsations de votre cycloconvertisseur.
- 1.2. Indiquer comment doivent être couplés les six transformateurs. Justifier la réponse.
- 1.3. Présenter les avantages et inconvénients de ce cycloconvertisseur.
- 1.4. Comparer le cycloconvertisseur et le synchroconvertisseur.

2. Dans le cadre de l'application actuelle, indiquer brièvement les raisons qui ont pu motiver le choix d'un double moteur synchrone à rotor bobiné au lieu d'autres types de moteurs à courant alternatif.

3. Expliquer l'intérêt du défluxage d'un moteur électrique dans le cadre d'une propulsion électrique. Indiquer si ce défluxage est possible ici.

Tournez la page SVP

4. La figure 2 est extraite de la documentation des régulateurs électroniques de vitesse des diesels alternateurs.



- 4.1. La répartition de charge entre les alternateurs est isochrone. Expliquer ce terme et le comparer avec le mode de répartition de charge par statisme.
- 4.2. Préciser le rôle de la liaison « paralleling line » entre les deux régulateurs et les conséquences de sa perte.

Pollution électromagnétique.

5. Les cycloconvertisseurs génèrent une pollution électromagnétique conduite sur le réseau. Décrire les effets de cette pollution sur les alternateurs et les transformateurs 11 kV / 690 V.
6. Les moteurs de propulsion absorbent une puissance totale de 9000 kW. Une analyse harmonique en tension indique que le THD (%) vaut 2,5 %. Donner la définition du THD et indiquer son influence sur le facteur de puissance de l'installation.
7. Un groupe électrogène supplémentaire est couplé au réseau. Donner le sens d'évolution du THD. Justifier la réponse.
8. Une analyse fine de cette pollution dévoile la présence d'inter-harmoniques. Définir et préciser l'origine de ces inter-harmoniques sur le réseau.

2^e QUESTION (valeur = 10)

La figure 3 représente la centrale de traitement d'air (CTA) d'une installation de conditionnement d'air d'un navire à passager.

Les parties A et B sont indépendantes.

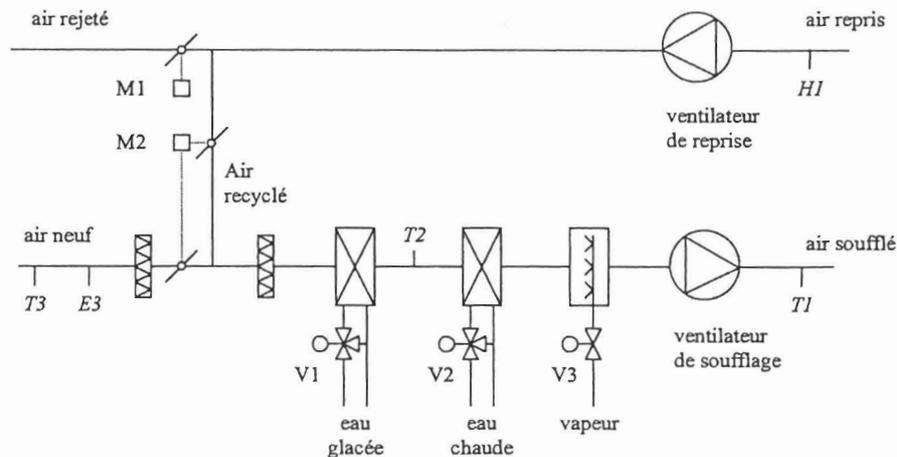


Figure 3.

Partie A.

1. Citer brièvement les procédés de régulation du débit d'air brassé par un ventilateur.

Les informations fournies par les capteurs de température $T1$, $T2$ et $T3$, par l'enthalpie-mètre $E3$ et l'hygromètre $H1$ sont acheminées vers deux régulateurs : température et humidité.

La température de soufflage sera supposée constante tout au long de l'année.

2. Pour chaque fonctionnement : été, demi saison et hiver :
 - indiquer l'état des registres ;
 - indiquer l'état des vannes (fermées, ouvertes ou pilotés par un régulateur).

Partie B.

3. Parmi les dernières innovations introduites en régulation d'installation de conditionnement d'air, on trouve des régulateurs flous.

- 3.1. Présenter succinctement les avantages, les inconvénients de la logique floue et les performances attendues dans une installation de climatisation.
- 3.2. Décrire la structure d'un régulateur flou.
- 3.3. Présenter les différents étapes de fonctionnement de ce type de régulateur.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.
2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE**ELECTROTECHNIQUE, ELECTRONIQUE ET AUTOMATIQUE**

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 14)**Etude d'une propulsion électrique par convertisseur de fréquence.**

Un navire de croisière, le « CARNIVAL FANTASY », livré dans le début des années 1990, mesurant 260 mètres de long, 31 mètres de large, d'une capacité de 2040 passagers et 920 membres d'équipage est propulsé par deux moteurs synchrones triphasés à rotors bobinés de 14 MW chacun, 1000 V, alimentés par 4 cycloconvertisseurs. Sa vitesse de croisière est de 19,5 nœuds. Les moteurs à 14 pôles sont directement couplés à deux lignes d'arbre dont la vitesse couvre la gamme de 50 tr.min⁻¹ à 140 tr.min⁻¹. Chaque moteur possède deux séries d'enroulements triphasés qui peuvent fonctionner séparément ou ensemble. Chaque série d'enroulement de 7 MVA est alimenté par un cycloconvertisseur à 36 thyristors. L'inducteur à courant continu est alimenté par un redresseur de 400 kW, qui à son tour est alimenté par un réseau à courant alternatif de 450 V. La production électrique est assurée par six alternateurs triphasés 6600 V, 60 Hz, entraînés par six moteurs diesel à 12 cylindres en V tournant à 512 tr.min⁻¹. Quatre de ces unités ont une puissance nominale de 10260 kVA. Les deux autres alternateurs ont une puissance de 6820 kVA. Le nombre d'alternateurs en service varie selon la charge. Lors de l'entrée en service d'un alternateur, la synchronisation se fait automatiquement. La tension triphasée à 6600 V générée par les alternateurs est abaissée à 1500 V au moyen de transformateurs. Les secondaires de ces transformateurs sont directement raccordés aux cycloconvertisseurs qui alimentent les moteurs de propulsion. Une unité de commande contrôle le courant d'excitation des moteurs et les courants statoriques provenant des cycloconvertisseurs. Cette unité de commande a aussi pour rôle de contrôler la vitesse des moteurs, la synchronisation des hélices et la surveillance des surcharges.

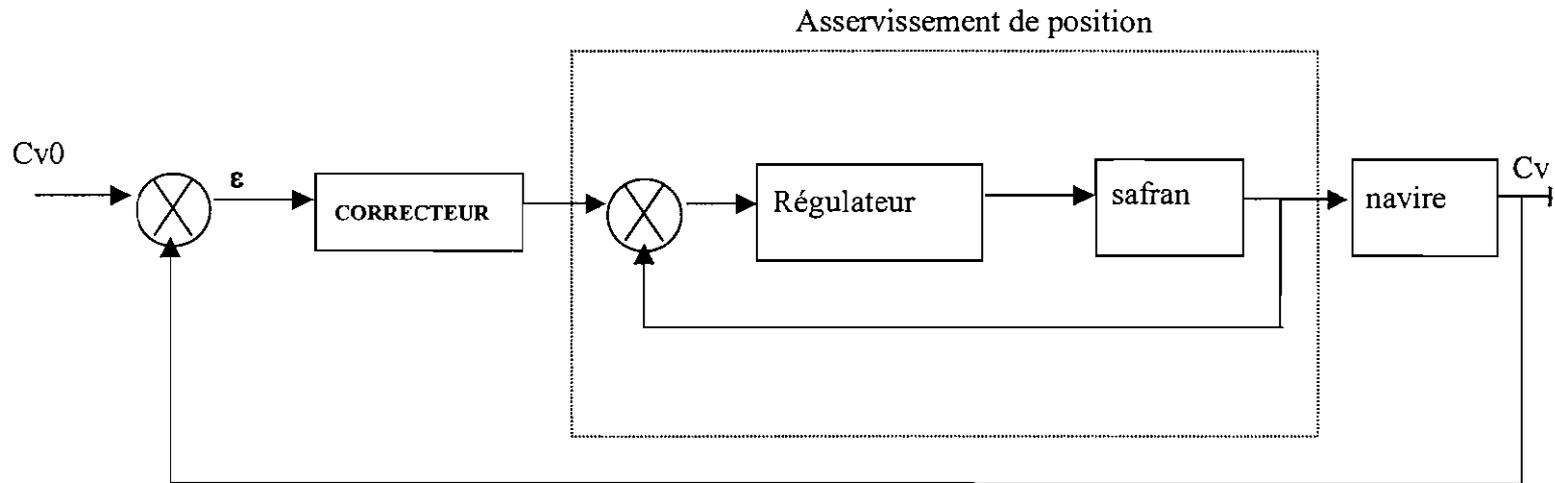
- 1.1. Représenter schématiquement le synoptique de l'installation électrique de ce navire.
- 1.2. Représenter schématiquement la structure détaillée des alimentations électriques côté induit et côté inducteur d'un des moteurs de propulsion. Faire apparaître sur le schéma, les types de couplage réalisés sur les transformateurs d'alimentation des cycloconvertisseurs. Justifier ces choix.
- 1.3. Donner en justifiant votre réponse le type de branchement (étoile ou triangle) réalisé sur les enroulements statoriques des moteurs.
- 1.4. En vous aidant des caractéristiques des moteurs évoquées dans le texte de présentation, calculer la valeur efficace du courant nominal d'induit. Calculer le moment du couple utile d'un moteur pour une vitesse de rotation de 80 tr.min⁻¹.
- 1.5. Citer les avantages que présentent l'utilisation des moteurs électriques de propulsion dodécaphasés.

- 1.6. Calculer la fréquence délivrée par les cycloconvertisseurs lorsque les moteurs de propulsion tournent à pleine vitesse. Comparer cette fréquence à la fréquence délivrée par les alternateurs. Expliquer pourquoi les constructeurs choisissent de ne jamais faire travailler les cycloconvertisseurs à la pleine fréquence du réseau.
- 1.7. Pour une vitesse de rotation de 120 tr.min^{-1} des moteurs de propulsion, expliquer pourquoi les cycloconvertisseurs ne peuvent pas travailler en ondes pleines. Dans ces conditions, expliquer comment varie l'angle d'amorçage des thyristors sur une branche d'un des ponts de Graëtz lorsque le facteur de puissance de la charge est maintenu à 100%.
- 1.8. Expliquer ce que représente le facteur de puissance puis expliquer comment l'unité de contrôle du courant d'excitation des moteurs permet de conserver un facteur de puissance du moteur de 100%.
- 1.9. Comparer le facteur de puissance du moteur et le facteur de puissance vu par le réseau triphasé d'alimentation des cycloconvertisseurs. Exprimer le sens de variation du facteur de puissance vu par le réseau en fonction de l'angle d'amorçage des thyristors des cycloconvertisseurs.
- 1.10. Exprimer les valeurs extrêmes des angles α de retard à l'allumage commandé des thyristors pour qu'un pont hexaphasé fonctionne en redresseur.
- 1.11. L'unité de contrôle des cycloconvertisseurs permet de faire varier la tension d'alimentation des moteurs de propulsion. Expliquer comment doit varier cette tension en fonction de la fréquence d'alimentation des moteurs de propulsion, à excitation constante, pour fonctionner à couple moteur constant.
- 1.12. En vous aidant des caractéristiques couple puissance données en annexe 1, expliquer ce que représente le mode de fonctionnement avec défluxage. Dans ces conditions expliquer les avantages que présentent les moteurs synchrones à rotor bobiné comparés aux moteurs synchrones à aimant permanent.
- 1.13. La propulsion électrique des navires de croisière nouvellement construit fait appel à l'utilisation de synchroconvertisseurs. Dans le cadre de l'application actuelle représenter schématiquement une alimentation possible des moteurs électriques par synchroconvertisseur et, énoncer les avantages que présenteraient le synchroconvertisseur sur le cycloconvertisseur.
- 1.14. L'utilisation de convertisseur statique de fréquence génère une pollution des réseaux électriques. Pour le CARNIVAL FANTASY, les valeurs maximales de pollution spécifiées par l'armateur sont : THDI maxi en condition normale = 5%. Donner la définition du terme THDI.

2^e QUESTION (valeur = 6)

Etude d'un pilote automatique.

Le pilote automatique désigne l'installation qui permet la tenue automatique d'un cap qu'elle que soit les perturbations subies. Le schéma fonctionnel de la chaîne de régulation est présenté ci-dessous.



- 2.1. Sur le correcteur, l'utilisateur a accès à trois réglages identifiés par les termes rudder, counter rudder et yawing. Expliquer l'action de chacun de ces paramètres sur le fonctionnement du pilote automatique.
- 2.2. Par beau temps calme, vous décidez de régler le pilote automatique en ajustant les paramètres précédemment définis. Pour ce faire vous choisissez de suivre la méthode de l'ultime pompage de Ziegler Nichol's. Etablissez une méthodologie de réalisation.
- 2.3. Les essais 1, 2 et 3 de l'annexe 2 ont été réalisés afin d'obtenir les réglages théoriques donnés par la méthode de l'ultime pompage.
Pour un régulateur PID, ces valeurs sont :
 $K = 0,6 K_0$
 $T_i = 0,5 T_0$
 $T_d = 0,125 T_0$
Donner les réglages théoriques que vous obtenez.
- 2.4. En réglant les paramètres du correcteur à $K=0,48$, $T_i=34s$ et $T_d=8.5s$, nous obtenons la réponse donnée en annexe 3. On désire cependant améliorer cette réponse en limitant le dépassement. Expliquer sur quels paramètres vous agissez.
- 2.5. Expliquer pourquoi après une modification importante du chargement du navire, les réglages précédent ne donne plus toute satisfaction.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.
2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

N° de place :

ANNEXE 1

NE RIEN INSCRIRE AU-DESSUS DE CETTE LIGNE

ANNEXE 1

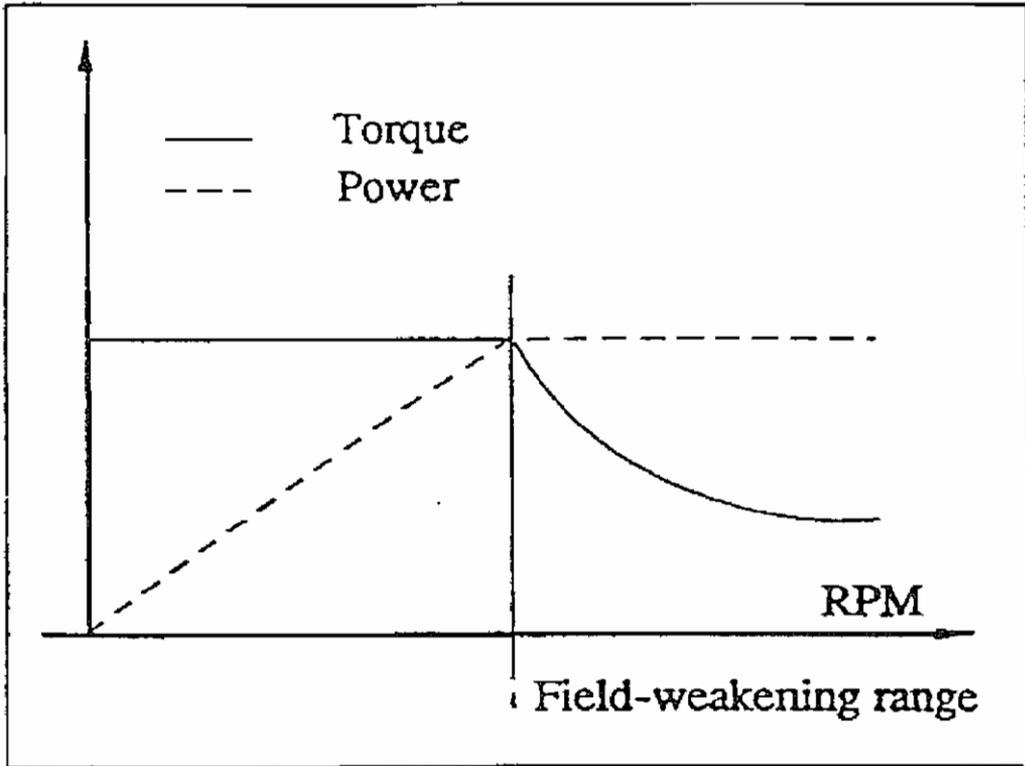


Figure 1. Characteristic torque and power curves of the cyclo-synchronous motor concept

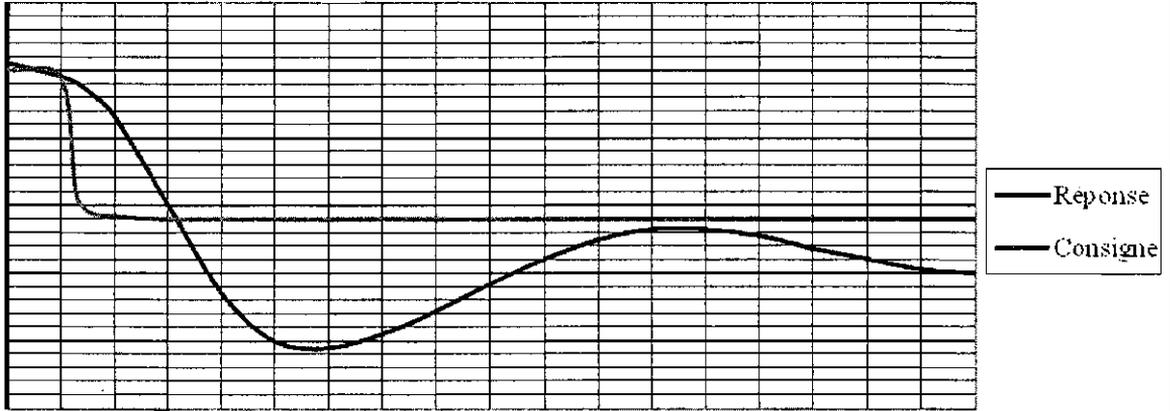
N° de place :

ANNEXE 2

NE RIEN INSCRIRE AU-DESSUS DE CETTE LIGNE

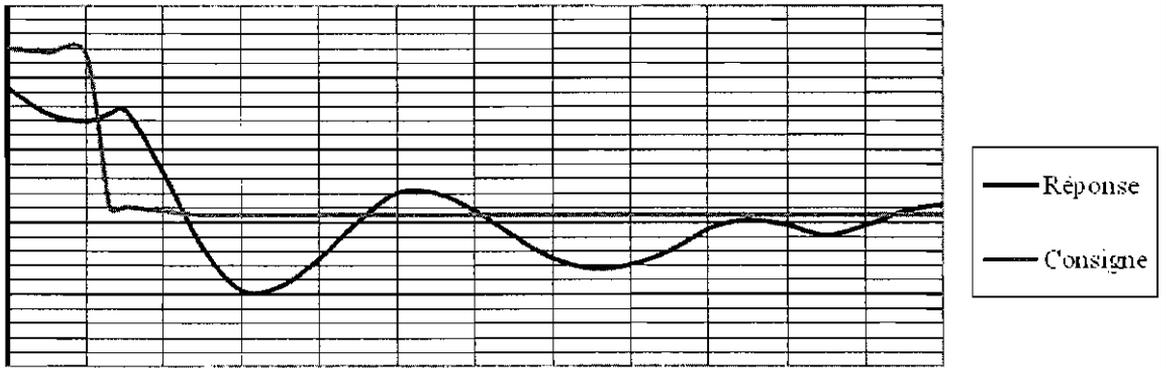
ANNEXE 2

1er essai: $K=0.1\%/mm$



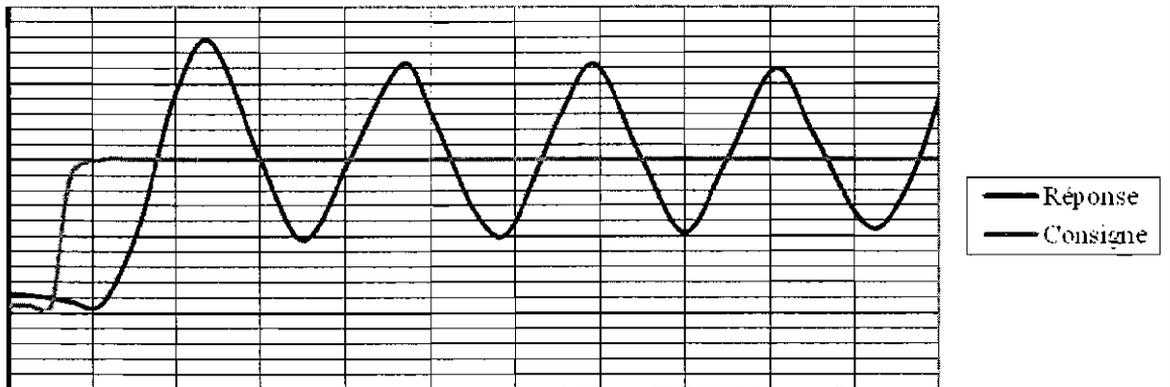
Défilement: 30s/carreau

2ème essai: $K=0.3\%/mm$



Défilement: 30s/carreau

3ème essai: $K=0.8\%/mm$



Défilement: 30s/carreau

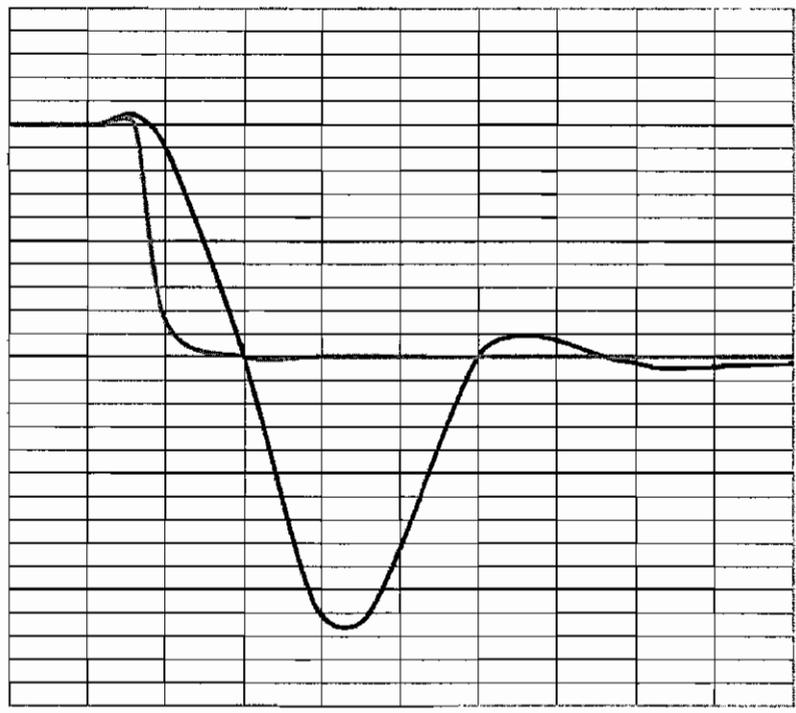
N° de place :

ANNEXE 3

NE RIEN INSCRIRE AU-DESSUS DE CETTE LIGNE

ANNEXE 3

4ème essai : PID $K=0.48$ $T_I=34s$ $T_d=8.5s$



— Réponse
— Consigne

Défilement: 30s/carreau

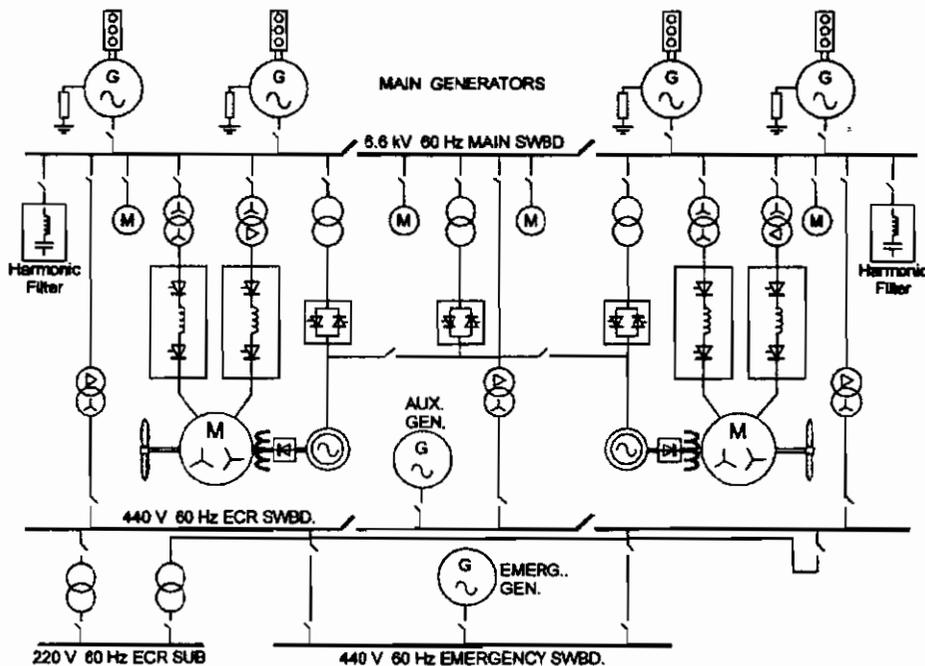
DIPLÔME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES DE LA MARINE MARCHANDE
ÉLECTROTECHNIQUE, ÉLECTRONIQUE ET AUTOMATIQUE

(Durée : 3 heures)

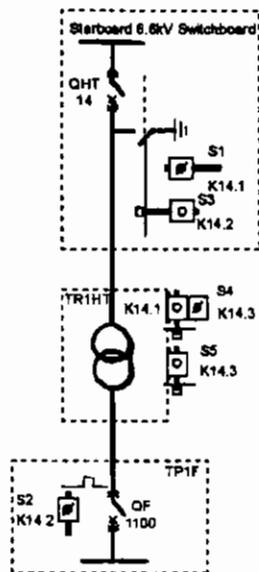
1^{re} QUESTION (valeur = 14)

Distribution haute tension

1. Le schéma suivant représente le réseau électrique triphasé 3 fils d'un navire à propulsion électrique.



- 1.1. Présenter les avantages et inconvénients des installations haute tension à bord des navires.
 - 1.2. Nommer et présenter le rôle de l'impédance sur les générateurs. Indiquer notamment si sa présence est indispensable.
2. Afin de mener des opérations de maintenance lors d'un arrêt technique, l'installation doit être mise hors tension et consignée.
- 2.1. Établir une procédure de consignation pour une intervention dans la cellule du transformateur HT/BT (voir figure suivante pour les notations ou K symbolise des clés et S des serrures).



- 2.2. Une procédure établie précédemment exigeait la mise en place d'une « araignée » pour la mise à la terre en amont et en aval du transformateur. Indiquer si cette mise en place est indispensable ici. Justifier votre réponse.
- 2.3. Quelle que soit votre réponse à la question précédente, indiquer dans quel ordre doivent être connectés les bras d'une « araignée ».
3. La mesure de l'isolement du transformateur HT/BT est programmée pendant cet arrêt. Présenter la démarche à suivre en précisant les appareils utilisés et les valeurs minimum à relever.

Pollution électromagnétique

4. Présenter toutes les différentes formes de pollution électromagnétique conduite qui peuvent être rencontrées sur un réseau électrique d'un navire. Indiquer leur origines probables et les classer en fonction de leurs effets sur le réseau.
5. Moteurs en service, un alternateur sur chaque jeu de barres, barres séparées, les valeurs efficaces des courants harmoniques I_h pour les rang h sont relevés sur un des jeux de barres :

Rang h	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
I_h (A)	187	0	44,2	26,4	0	18,6	12,2	0	8,4	6,6	0	4,2

- 5.1. Dans le cadre du réseau électrique étudié dans cet exercice, expliquer pourquoi les harmoniques paires ainsi que les harmoniques de rang 3 et multiples sont inexistantes.
- 5.2. Déterminer le courant efficace I consommé par la charge.
- 5.3. Calculer le taux de distorsion THD_i en %.
- 5.4. En admettant que le courant fondamental soit en phase avec la tension, déterminer, en triphasé, les puissances active P , réactive Q , apparente S et déformante D .
- 5.5. Les deux autres alternateurs sont couplés au réseau, les barres restent séparées et la charge inchangée. Indiquer comment vont évoluer les grandeurs suivantes : I , THD_i , P , Q , S et D . Justifier la réponse.
- 5.6. Expliquer pourquoi les sociétés de classification et l'IEC (commission internationale d'électrotechnique) définissent les limites admissibles de la pollution électrique à bord d'un navire en prenant la tension comme référence et non le courant comme il est d'usage sur une installation terrestre.

Maintenance

6. Le réseau dispose d'un alternateur triphasé 440 V – 60 Hz à excitation statique sans bague ni balai.
 - 6.1. Réaliser un schéma illustrant le principe de fonctionnement de ce type d'excitation.
 - 6.2. Expliquer comment procéder à une mesure d'isolement de cet alternateur. Préciser l'appareil utilisé, les valeurs minimums à relever et les précautions prises pour faire cette mesure.
 - 6.3. L'échéancier prévoit de contrôler les tensions minimales et maximales à vide disponible sur l'alternateur. Expliquer l'enjeu de ce contrôle sur un alternateur qui est régulièrement couplé sur le réseau sans qu'aucun souci particulier ne soit signalé.
 - 6.4. La tension maximale n'est pas accessible, identifier brièvement les causes possibles de cette anomalie.

2^e QUESTION (valeur = 6)

Pilote automatique

1. Donner le schéma de principe de la chaîne de régulation d'un pilote automatique.
2. Expliquer le fonctionnement de celle-ci. Indiquer les effets des grandeurs perturbatrices et des différents réglages pour y pallier.
3. Après avoir rappelé le principe d'un régulateur flou et donné sa structure, expliquer comment pourrait être intégré un tel régulateur dans la chaîne de régulation d'un pilote automatique.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

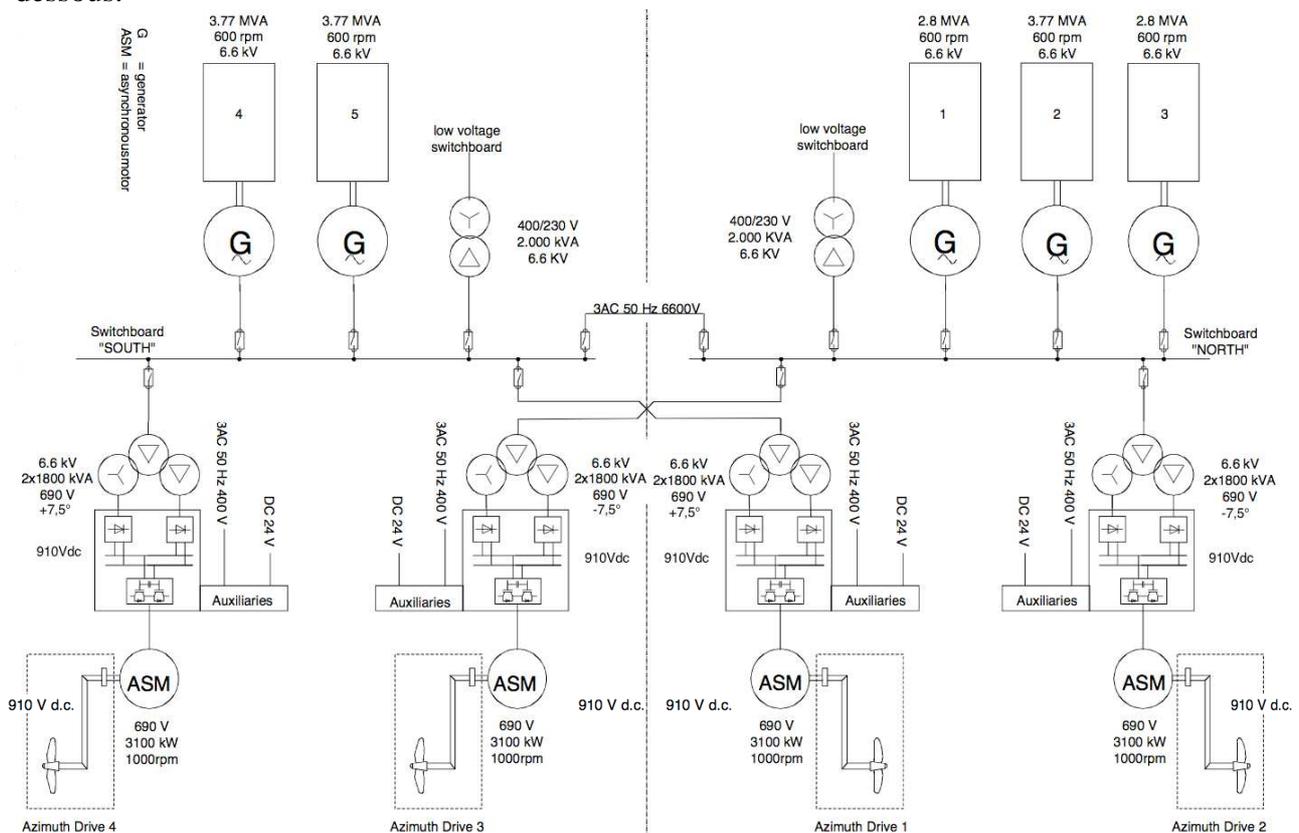
DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE

ELECTROTECHNIQUE – ELECTRONIQUE - AUTOMATIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 12)

On considère le cas d'un transbordeur amphidrome doté de quatre propulseurs azimutaux entraînés par des moteurs asynchrones triphasés et dont le schéma électrique unifilaire est représenté ci dessous.



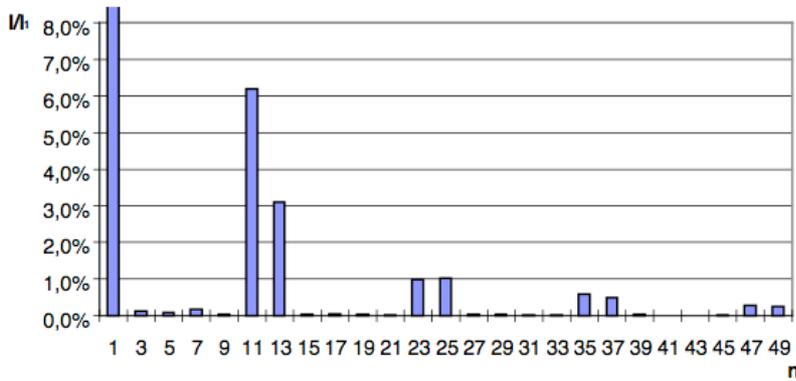
1. Pollution des réseaux.

Lors des essais en mer, en situation route libre, 3 générateurs sont en service et les 4 propulseurs sont réglés à la même puissance.

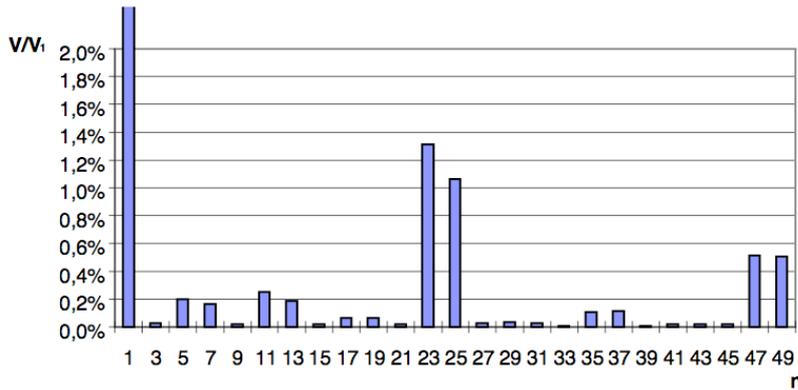
On a relevé :

- les spectres des harmoniques de courants au primaire d'un transformateur d'un variateur ;
- les spectres des harmoniques de la tension sur les barres 6,6kV à la fréquence de 50Hz.

Tournez la page SVP



Spectre du courant absorbé au primaire d'un transformateur d'un propulseur (route libre, 3 générateurs en service, tableaux reliés).

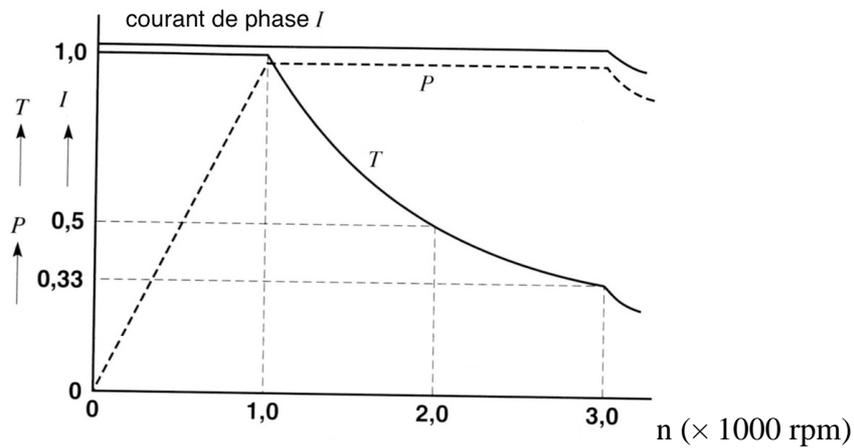


Spectre de la tension du réseau 6,6 kV (route libre, 3 générateurs en service, tableaux reliés).

- 1.1. Calculer le taux de distorsion global de la tension (V_{THD}) et celui du courant (I_{THD}).
Indiquer si ces valeurs sont dans les limites habituellement fixées par les sociétés de classification.
Indiquer les conséquences sur ces valeurs de la mise en service d'un générateur supplémentaire.
- 1.2. Calculer la valeur efficace du fondamental du courant de phase absorbé au primaire du transformateur sachant que sa valeur efficace T.R.M.S est de 230A.
- 1.3. Donner la fréquence des rangs 11, 13, 23 et 25 et leurs taux individuels d'harmoniques de courant et de tension.
Indiquer si ces valeurs sont dans les limites habituellement fixées par les sociétés de classification.
Expliquer pourquoi les deux spectres n'ont pas les mêmes rangs d'harmoniques les plus marqués.
- 1.4. Indiquer quels seraient les effets d'un déséquilibre des puissances absorbées par les différents propulseurs sur le V_{THD} .

2. Moteurs de propulsion.

La documentation évoque une commande de moteur asynchrone de type scalaire par onduleur à modulation de largeur d'impulsion à deux niveaux. Les principales limites de fonctionnement du moteur avec son hélice sont représentées sur les courbes ci jointes en fonction de la vitesse de rotation.



2.1. Les moteurs de propulsion ont comme caractéristiques nominales 690V/50Hz/3,1MW/cos ϕ =0,85.

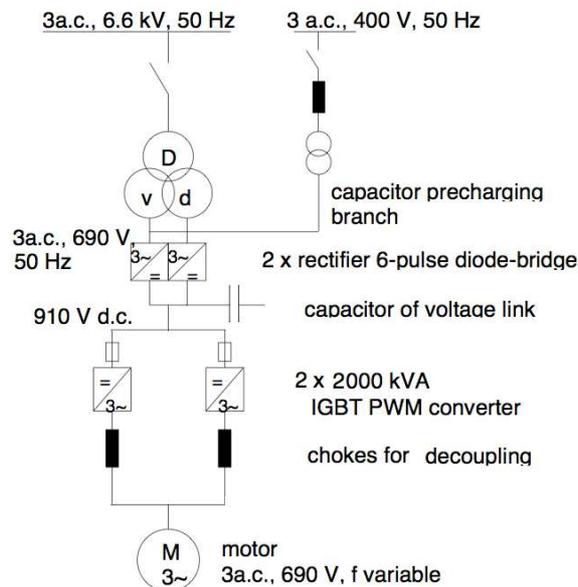
On négligera les pertes dans le moteur.

A partir des courbes ci-dessus, calculer :

- le nombre de paires de pôles de ce moteur ;
- l'intensité absorbée par le moteur ;
- le couple utile fourni par le moteur.

2.2. Expliquer les différentes limites imposées par ces courbes au moteur et comment elles sont réalisées par la commande scalaire.

3. Convertisseur.



Le schéma synoptique du variateur est représenté ci-dessus.

3.1. Faire le schéma développé du convertisseur.

3.2. Préciser le rôle de l'ensemble «capacitor precharging branch» et de l'ensemble «chokes for decoupling».

Tournez la page SVP

- 3.3. Expliquer quels sont les réglages qui permettent de régler la valeur efficace de la tension composée alimentant un moteur et préciser les valeurs efficaces maximales et minimales que peut fournir l'onduleur.
- 3.4. Préciser dans combien de quadrants le moteur peut fonctionner ici.
- 3.5. Donner les solutions possibles d'inversion de la poussée d'un propulseur et donner leurs qualités et défauts.

4. Haute tension.

- 4.1. Indiquer quelles sont les parties de cette installation soumise à la réglementation HT.
- 4.2. Donner la valeur minimale de la résistance d'isolement que doit avoir un générateur dans cette application et indiquer les solutions de contrôle de celle ci lors du fonctionnement.

2^e QUESTION (valeur = 8)

Régulation de niveau de chaudière.

On considère le cas d'une chaudière alimentant quatre turbos pompes de déchargement et une turbo pompe de ballastage (d'un débit nominal de vapeur de 5 tonnes par heure chacune), un turbo alternateur (d'un débit nominal de 8 tonnes par heure) et les différents réchauffages du bord (débit moyen d'environ une tonne par heure).

La chaudière est alimentée par l'intermédiaire de deux pompes alimentaires, une petite et une grosse ayant des débits nominaux respectifs de 20 et 50 tonnes par heure.

La régulation est assurée par une chaîne de niveau à trois éléments.

1. Décrire la chaîne de la régulation de niveau de cette chaudière, ses capteurs et actionneurs.
2. Mettre en évidence les principales perturbations de cette régulation, leurs effets. Indiquer comment elles sont prises en compte par la régulation.
3. Décrire une méthode d'identification de ce système et expliquer l'effet qu'aurait sur celle-ci la présence d'une hystérésis sur la commande de la vanne de régulation.
4. Indiquer une méthode de réglage des paramètres du correcteur de cette régulation.
5. Peut-on trouver un intérêt à adopter une régulation à logique floue dans cette application ?

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

DIPLÔME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES DE LA MARINE MARCHANDE

ÉLECTROTECHNIQUE, ÉLECTRONIQUE ET AUTOMATIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 12)

Propulsion électrique des navires

1. Indiquer et comparer les caractéristiques des différentes propulsions électriques suivantes :
 - propulsion par Machine à Courant Continu avec inversion du courant inducteur ;
 - propulsion par Machine à Courant Continu avec inversion du courant induit ;
 - propulsion par synchroconvertisseur et Machine Synchrone (dodécaphasée et non dodécaphasée) ;
 - propulsion par redresseur onduleur MLI et Machine Asynchrone .
2. Donner un schéma de principe de la propulsion électrique d'un navire par machine à courant continu à excitation séparée avec inversion du courant inducteur et alimentée à partir d'un réseau alternatif triphasé (circuit électrique de puissance uniquement).
3. Exposer le principe de la variation de vitesse de cette machine à courant continu en indiquant les grandeurs sur lesquelles il faut agir et dans quelles limites.
4. Décrire une séquence de démarrage en marche avant du moteur, montée en allure puis inversion du sens de rotation et arrêt. Les détails de la séquence devront préciser les valeurs des angles d'amorçage et les conditions de passage d'une situation à l'autre. Afin d'éviter toute ambiguïté, vous êtes vivement invité à décrire cette séquence à l'aide d'un grafcet (ou tout autre langage équivalent). L'inversion du sens de rotation se fera avec freinage et récupération d'énergie.
5. Présenter les conditions sur l'installation pour pouvoir assurer le freinage avec récupération d'énergie.

Le retard à l'amorçage du redresseur étant réglé à 45° , les valeurs efficaces des courants d'harmoniques I_h sont relevées sur le réseau et reportées dans le tableau suivant. L'intensité du courant I_l vaut 357 A.

I_1	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	I_{17}	I_{19}	I_{23}	I_{25}	I_{29}
100 %	18,9 %	11,0 %	5,9 %	4,8 %	3,4 %	3 %	2,3 %	2,1 %	1,8 %

6. Calculer le courant efficace I consommé par le redresseur.
7. Calculer le taux de distorsion THD_i .
8. Le retard à l'amorçage tendant vers 0° , indiquer le sens d'évolution des courants I et I_l et du taux de distorsion THD_i .

Tournez la page SVP

2^e QUESTION (valeur = 8)

Régulation chaudière.

1. À partir d'un schéma de principe, décrire et expliquer le fonctionnement d'une chaîne de régulation à 3 éléments de niveau d'une chaudière à vapeur surchauffée. La chaîne de régulation choisie devra comporter une régulation cascade.
2. Décrire une méthode de réglage empirique des régulateurs PID sur ce circuit.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

Module Energie-propulsion

Electrotechnique, électronique,

(Durée : 3 heures)

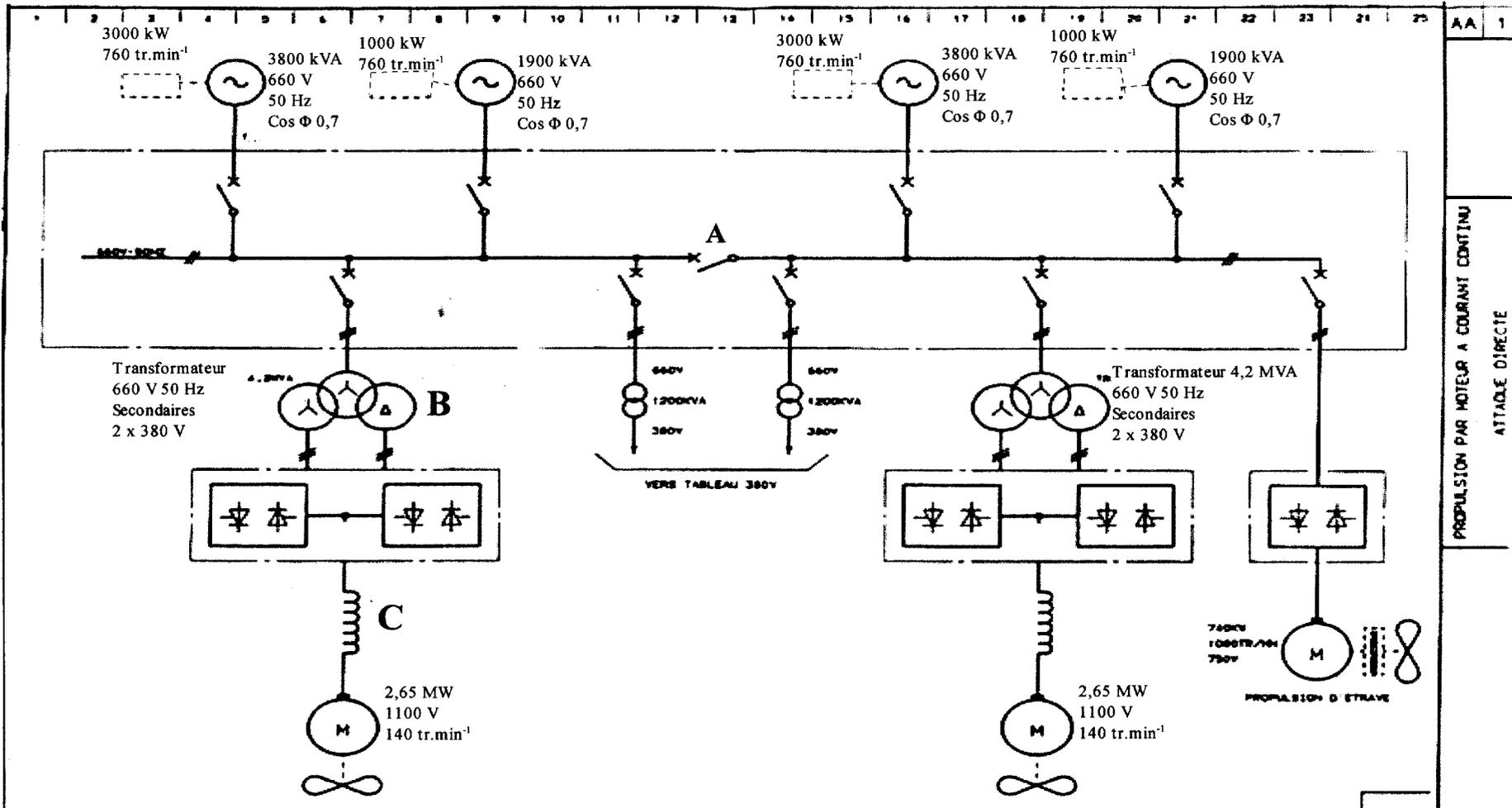
1^{re} QUESTION (valeur = 5)**Maintenance, entretien, avaries.**

1. Présenter sous forme de tableau, les opérations d'entretien des parties mécaniques et électriques des moteurs suivants :
 - moteur à courant continu ;
 - moteur asynchrone à cage ;
 - moteur asynchrone à rotor bobiné ;
 - moteur synchrone.
2. Expliquer les mesures d'isolement:
 - sur un moteur électrique de pompe, alimenté par un courant électrique alternatif sous une tension de 440 volts;
 - sur un moteur électrique de propulseur d'étrave, alimenté par un courant électrique alternatif sous une tension de 3300 volts.
3. Expliquer la recommandation constructeur de ne pas faire plus de trois tentatives de démarrage par heure des moteurs de barre.

2^e QUESTION (valeur = 5)**Propulsion électrique.**

1. Présenter les avantages et inconvénients de la propulsion électrique, puis citer, en justifiant vos réponses, les types de navires pour lesquels le choix de la propulsion électrique semble particulièrement adapté.
2. Comparer, sous forme de tableau, les avantages et inconvénients de la propulsion à courant continu à celle en alternatif avec moteur synchrone.
3. La figure ci-dessous représente le schéma électrique d'une propulsion électrique par moteurs à courant continu et hélices à pâles fixes.

Tournez la page SVP



AA 1

PROPULSION PAR MOTEUR A COURANT CONTINU
ATTACHE DIRECTE

MODIFICATION	DES	DATE	REVISION	DES
C	25-06-91	AJOUTE DIESELS - SUPPRIME DEPART 600kVA (RESERVE)		GILBERT

JEUMONT SCHNEIDER
INDUSTRIE

DATE	ET-AT-PT	4EM1118	DATE	REV
17-03-91	DE-CHANGEE			2

3.1 production électrique.

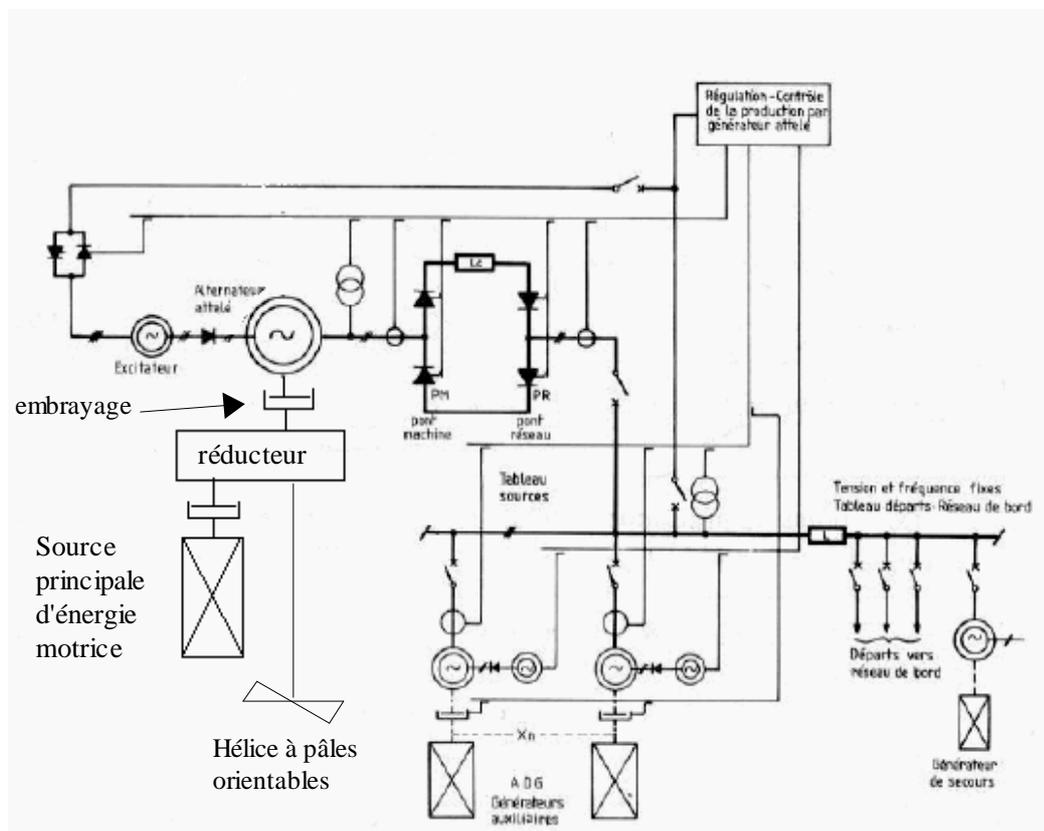
- Préciser les possibilités offertes par l'utilisation d'alternateurs de puissances différentes.
- Préciser l'intérêt d'avoir un tableau d'alimentation principal sous 660 volts.
- Nommer le dispositif repéré **A** sur le schéma et préciser son utilité.

3.2 propulsion.

- Expliquer quel est le rôle du transformateur repéré **B** sur le schéma.
- Expliquer comment est réalisée la variation de vitesse des moteurs électriques de propulsion.
- Expliquer comment est obtenue la tension d'alimentation de 1100 V des moteurs électriques de propulsion.
- Expliquer quel est le rôle de l'inductance repérée **C** sur le schéma.
- Schématiser l'alimentation électrique des moteurs électriques de propulsion puis expliquer comment est réalisée l'inversion du sens de rotation.
- Expliquer les phénomènes engendrés au niveau des moteurs électriques lorsque l'hélice est entraînée par sillage.

3° QUESTION (valeur = 5)

Production de l'énergie électrique par l'appareil propulsif.



1. A partir du schéma précédent, expliquer le fonctionnement du circuit de puissance de la production d'énergie électrique par l'appareil propulsif.
2. Expliquer comment et sur quels paramètres les systèmes de régulation agissent pour obtenir, à partir de l'alternateur attelé, tension et fréquence fixes pour le réseau bord.
3. Expliquer comment l'alternateur attelé peut être utilisé en propulsion de secours.

4^e QUESTION (valeur = 5)

Pollution des réseaux.

1. Définir une charge dite linéaire et une charge non linéaire.
2. Définir le facteur de puissance (power factor) et le facteur de déphasage (displacement power factor) puis donner des procédés permettant d'améliorer chacun de ces facteurs.
3. Expliquer dans quelles circonstances on observe une distorsion en courant sur le réseau électrique d'un navire.
4. Expliquer le lien qui existe entre la distorsion en courant d'un réseau électrique et la distorsion en tension, puis expliquer l'influence que pourra avoir l'impédance de la source d'énergie sur le taux de distorsion en courant et en tension.
5. Dire comment évolue l'impédance de la source d'énergie lorsque plusieurs alternateurs sont couplés en parallèle sur le réseau. Expliquer les conséquences que cela aura sur le réseau électrique.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*
2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE

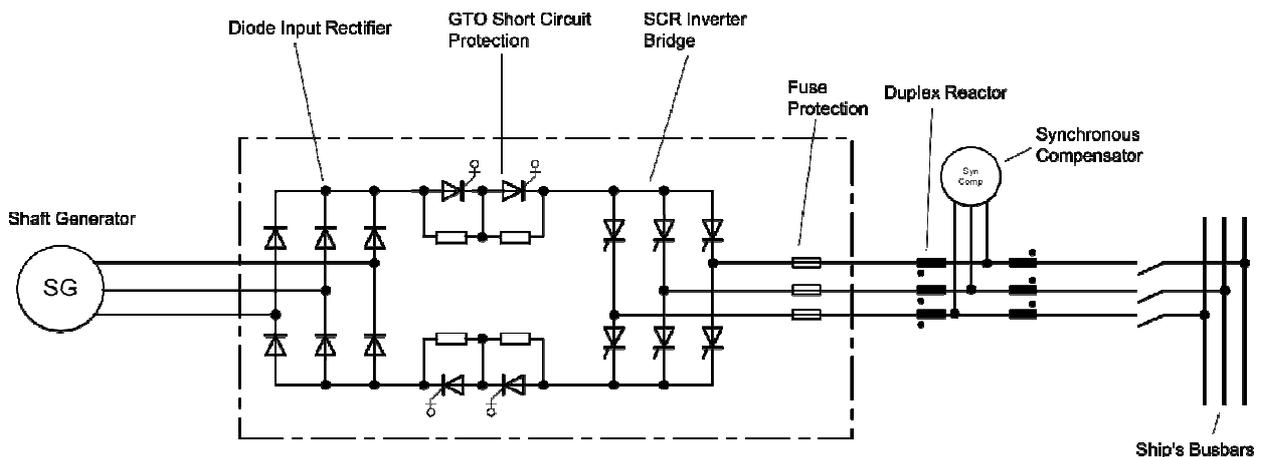
Module Energie - Propulsion

ELECTROTECHNIQUE - ELECTRONIQUE

(Durée : 3 heures)

1^{re} QUESTION (valeur = 7)

On considère le schéma ci-dessous d'un alternateur attelé équipé d'un convertisseur statique de fréquence. L'alternateur a 6 paires de pôles. Il est entraîné sans réducteur par la ligne d'arbre et peut être mis en service pour des régimes compris entre 75 et 103 rpm. Le réseau bord est de 440V/60Hz.



1. Expliciter la structure du dispositif en détaillant le rôle de chaque élément et présenter les fonctions qu'il offre.
2. Justifier la présence des « duplex reactor », précisez en le fonctionnement et les limites.
3. Le spectre du courant nominal traversant les fusibles est donné par le tableau ci-dessous.

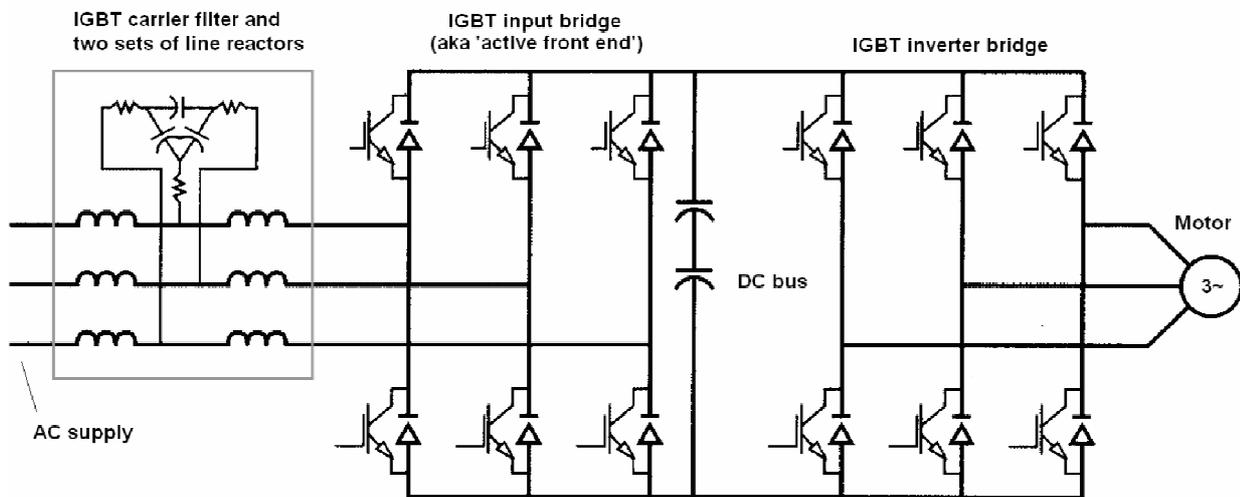
rang	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31	35	37	41	43	47	49
%I ₁	25	5	8	4	6	3	4	3	4	2	2	1	2	1	1	1

Tournez la page SVP

- 3.1. En considérant le système comme parfait, donner l'allure temporelle de ce courant.
 - 3.2. Dire pourquoi les rangs 4 et 9 sont absents. Dire pourquoi les rangs ne dépassent pas 49.
 - 3.3. Calculer le facteur de puissance vu du réseau si le fondamental est de 100A et est déphasé de 30° par rapport à la tension simple.
 - 3.4. Dire si le spectre du courant traversant une phase de l'alternateur attelé est identique. Déterminer les valeurs limites en fréquence que peut prendre son fondamental.
4. Discuter de l'avantage économique présenté par ce dispositif.

2^e QUESTION (valeur = 2)

Certains constructeurs proposent des convertisseurs de fréquence dotés de redresseurs avec filtre actif de type «Active Front End ». Un schéma de puissance en est représenté ci-dessous.



1. Expliquer les avantages offerts par cette option.
2. Justifier la présence des ensembles filtres LC en amont du redresseur.

3^e QUESTION (valeur = 6)

Expliquer quels sont les contrôles et maintenance pouvant être effectués lors d'une visite de classe d'un alternateur et de sa cellule de tableau électrique incluant son disjoncteur. Vous préciserez le déroulement de la consignation et les précautions à prendre.

4^e QUESTION (valeur = 2)

Au travers d'exemple, expliquer l'intérêt qu'il peut y avoir à procéder à un défluxage (fonctionnement à puissance constante) d'un moteur électrique.

Indiquer comment il est réalisé dans le cas d'un moteur asynchrone alimenté par un onduleur MLI.

5^e QUESTION (valeur = 3)

Deux générateurs fonctionnent couplés à la même charge.

1. Compléter le tableau suivant.

	P en kW	Q en kVAr	Facteur de puissance
GE1	500		0,8
GE2	400	350	
Charge			

2. Donner les inconvénients d'une discordance dans les facteurs de puissance entre deux générateurs lors d'un fonctionnement couplé. Expliquer comment ils sont égalisés en pratique.

3. Décrire les effets d'une perte soudaine d'excitation du GE2.

Nota :

1. *Aucun document n'est autorisé.*

2. *Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".*

Correction

Q1

1 - redresseur + onduleur non auto + compensateur synchrone

ici fonctionnement en PTO seulement, pas de réversibilité en puissance du redresseur à diodes

2 - charge polluante, duplex bien adapté si impédance de source = Cte ce qui est sans doute le cas ici, cf cours pour principe

3 -

a - créneau +/-I de 20° et zéro de 60°.

b - harmoniques en présence répondent à loi $h = \text{nbr de pulses} \times \text{entier}$,

ici 6 pulses, soit 1, 5, 7, 11, 13, 17, 19, THD ne tient compte généralement que rang harmo jusqu'à 50.

c - $\text{pf} = P/S = U \cdot I_1 \cos 30 / UI = I_1 \cos 30 / \sqrt{\sum_{(1 \text{ à } 50)} I_n^2} = 0,83$

4 - chaîne énergétique plus longue que DA, rendement plus faible mais moins d'entretien. rentable lorsque cout énergie faible devant celui entretien DA.

Q2

1 - permet de fonctionner avec facteur de puissance vu du réseau de +/-1, THD très faible, suppression des transformateurs même avec production 6,6kV, mais génère harmo forts au delà de rang 50.

2 - structure proche de celle d'un filtre actif donc stockage énergie (C) et pilotage vectoriel du courant absorbé (L).

Q3

consignation : séparation, condamnation, identification, mise à la coque des conducteurs

alternateur : contrôle visuel, contrôle connections et balais, mesure isolement (retirer mise à la coque et débrancher régulateurs de tension) avec minimum de 1kohm/V +1Mohm, essais à vide et en charge avec performances des régulations

disjoncteur : bon fonctionnement, état des connexions, fonctionnement débouché (impossibilité de fermeture contact, alarme), contrôle des valeurs (atelier spécialisé)

tableau : tableau «mort», contrôle visuel, connexions principales et auxiliaires (+ contrôle caméra thermique en service), vérifications entrées et sortie câbles, raccordement coque secondaires transformateurs mesures.

Q4

Plage de fonctionnement à couple constant limité par $C_{nominal}$ et $N_{nominale}$, au delà de $N_{nominale}$, fonctionnement en défluxage à C réduit jusqu'à $P_{nominal}$.

Pour MCC excitation séparée : diminution excitation : pour C identique, I augmente et N aussi,

Pour mot asy à cage : $U/f = C_{te}$ dans plage $C_{constant}$ puis U limité par $U_{nominal}$ lors du défluxage.

Q5

1- $P_{ch} = 900kW$, $Q_1 = 375kVAr$, $Q_{ch} = 725kVAr$, $PF_2 = 0,75$, $PF_{charge} = 0,78$

2 - courants pas en phase dans différents générateurs d'où surproduction et fonctionnement proche des limites électriques et échauffements supplémentaires

Réalisation pratique par régulation de tension avec statisme (U chute avec Q , de l'ordre de 5V pour du 440V)

3 -

GE2 : survitesse et surintensité

GE1 : baisse soudaine fréquence & tension + surintensité ,

black out probable.

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE LA MARINE MARCHANDE**Module « Energie – Propulsion »****ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE****(Durée : 3 heures)**

1^{re} QUESTION (valeur = 12)

Le British Emerald est un méthanier équipé d'une propulsion électrique représentée sur l'annexe.

Généralités.

1. Indiquer quel type de moteur thermique entraîne les alternateurs en justifiant votre réponse.
2. Expliquer les avantages et les inconvénients du choix d'une propulsion électrique pour un méthanier en la comparant avec une propulsion à vapeur ou une propulsion par moteur lent 2 T.
3. Calculer le nombre de paires de pôles des alternateurs.
4. Calculer le courant en ligne lorsque les groupes électrogènes DG1, DG2, et DG3 fonctionnent à pleine charge avec un facteur de puissance de 0,8.
5. Comparer cette intensité avec celle d'un réseau triphasé qui fournirait la même puissance avec le même facteur de puissance mais sous une tension de 400 V. En déduire pour ce navire les avantages de la haute tension.
6. Préciser l'intérêt du transformateur repère 1 sur l'annexe.

Etude du convertisseur.

7. Nommer le convertisseur de fréquence alimentant les moteurs électriques de propulsion.
8. Nommer le type de moteur électrique de propulsion qui fonctionne avec ce convertisseur en justifiant votre réponse.
9. Faire un schéma de principe de ce convertisseur de fréquence.

Tournez la page SVP

2° QUESTION (valeur = 5)

1. Décrire les opérations courantes d'entretien d'un tableau électrique alimenté sous 400 V.
2. Suite à une fuite d'eau douce à proximité d'un moteur électrique asynchrone à cage, vous constatez une chute de l'isolement de moteur.
 - 2.1. Indiquer la valeur minimale d'isolement de ce moteur sur un réseau 400 V.
 - 2.2. Décrire les opérations pour retrouver un isolement correct.
 - 2.3. Indiquer comment vous réalisez ces mesures d'isolement.

3° QUESTION (valeur = 3)

La conclusion d'un article de la revue "Motorship" de Février 2009 à propos d'applications futures de la supraconductivité dans le milieu maritime est la suivante :

"The Navy has invested more than \$100 million in the development of H.T.S. technology, paving the way not only for use in Navy ships but also in commercial vessels, such as cruise liners and liquefied natural gas (LNG) tankers, which can also take advantage of the space and efficiency benefits of HTS motors."

1. Présenter le phénomène de supraconductivité.
2. Expliquer ce que signifie « H.T.S. ».
3. A la conclusion de cet article, exposer les avantages de la supraconductivité et les domaines d'applications maritimes futures possibles.

Nota :

1. Aucun document n'est autorisé.

2. Délits de fraude : "Tout candidat pris en flagrant délit de fraude ou convaincu de tentative de fraude sera immédiatement exclu de la salle d'examen et risque l'exclusion temporaire ou définitive de toute école et d'une ou plusieurs sessions d'examens sans préjudice de l'application des sanctions prévues par les lois et règlements en vigueur réprimant les fraudes dans les examens et concours publics".

10. Expliquer son fonctionnement pour contrôler la vitesse des moteurs électriques de propulsion.
11. Tracer l'allure du courant en fonction du temps dans une phase du moteur. Conclure.
12. Le fonctionnement aux vitesses inférieures à 8% de la vitesse nominale est appelé « fonctionnement en commutation forcée ». Expliquer ce type de fonctionnement et sa nécessité.
13. Expliquer comment est réalisé et contrôlé le freinage des moteurs électriques de propulsion.
14. Expliquer pourquoi chaque moteur de propulsion est alimenté par 2 voies.
15. Expliquer les avantages que procure ce type d'alimentation.

Pollution du réseau.

16. Expliquer les causes de l'apparition d'harmoniques sur le réseau de distribution du British Emerald.
17. Expliquer le lien qu'il existe entre le THDV et le THDI.
18. Expliquer les conséquences de ces harmoniques si aucun moyen de lutte n'est mis en œuvre.
19. Indiquer des moyens possibles pour lutter contre ces harmoniques en expliquant leur principe de fonctionnement.

Etude comparative.

20. Le Provalys est un méthanier équipé également d'une propulsion électrique avec des convertisseurs de fréquence dont la partie onduleur est équipée d'une commande à M.L.I.. Expliquer le principe de fonctionnement de ce convertisseur.
21. Expliquer d'un point de vue harmonique le(s) avantage(s) que procure le convertisseur de fréquence du Provalys par rapport à celui du British Emerald.

