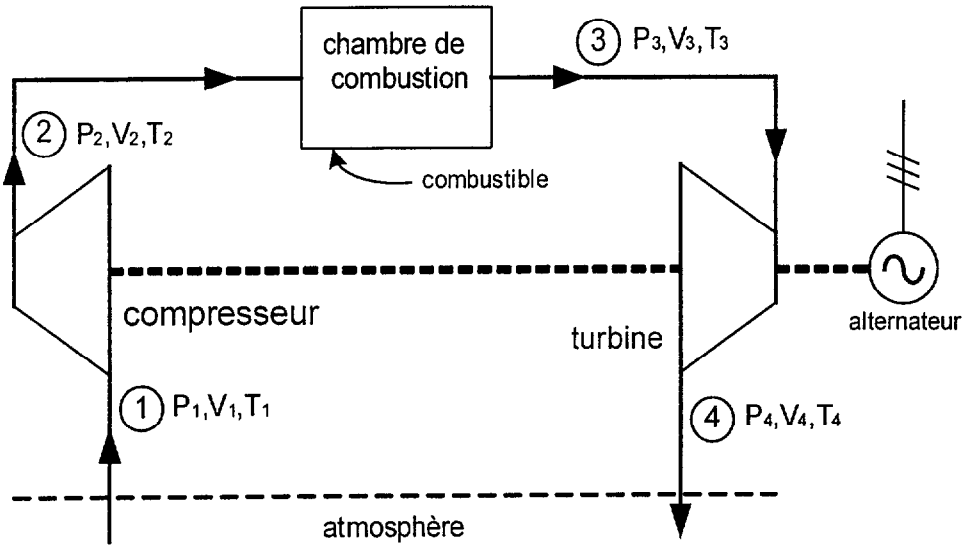
Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

I. ÉTUDE D'UNE TURBINE À GAZ

Les principaux éléments d'une turbine à gaz, fonctionnant suivant un cycle, sont schématisés sur la figure suivante :



Elle comprend un **compresseur** qui puise l'air dans l'atmosphère, une **chambre de combustion** (dans laquelle l'air est brûlé) et une **turbine** alimentée par les gaz chauds issus de la chambre de combustion. La turbine comporte deux lignes d'arbres, l'une disponible pour l'entraînement du compresseur et l'autre pour l'entraînement d'un alternateur.

On précise les différentes transformations du cycle pour un fonctionnement idéal et réversible du dispositif :

① → ② : compression **isentropique**
② → ③ : échauffement **isobare**
③ → ④ : détente **isentropique**
④ → ① : refroidissement **isobare**

On désigne par α le rapport de compression du compresseur : $\alpha = \dfrac{P_2}{P_1}$.

Le cycle est étudié pour **1 mole de gaz parfait** de capacités thermiques molaires à pression constante C_P et à volume constant C_V (C_P et C_V sont supposées constantes, indépendantes de la température).

On rappelle que lors de la transformation isentropique d'un gaz parfait :

$$P \cdot V^{\gamma} = \text{constante}, \qquad \text{avec } \gamma = \frac{C_P}{C_V} \text{ (exposant de l'isentropique).}$$

1) Tracer qualitativement le cycle étudié sur un diagramme de Clapeyron : volume molaire V en abscisse, pression P en ordonnée.

2) Exprimer, en fonction des températures aux extrémités du cycle $(T_1, T_2, T_3 \text{ et } T_4)$, la quantité de chaleur Q échangée au cours d'un cycle ($Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41}$).

3) En déduire, par application du Premier Principe, que le travail W échangé au cours du cycle peut s'écrire sous la forme $W = C_P \cdot (T_2 + T_4 - T_1 - T_3)$.

La température maximale admissible T_3 est limitée pour des problèmes de résistance des matériaux constitutifs de la turbine. La température T_1 est fixée par les conditions atmosphériques. On se propose dans la suite du problème, de déterminer, en fonction des températures T_3 et T_1, la température T_2 qui permettra d'optimiser le travail W.

4) À partir de l'équation des gaz parfaits et de la relation $P \cdot V^{\gamma} = \text{constante}$ (valable pour les transformations isentropiques), démontrer que l'on peut obtenir :
$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \alpha^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$.

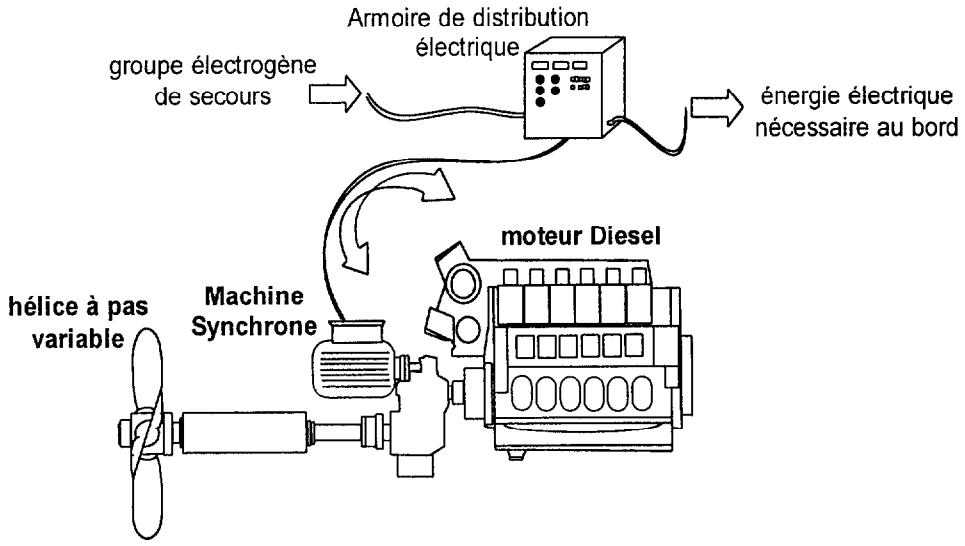
5) En déduire la relation : $W(T_2) = C_P \cdot \left(T_2 + \frac{T_3 \cdot T_1}{T_2} - T_1 - T_3 \right)$.

6) Montrer que le travail fourni à l'alternateur est maximal pour : $T_2 = \sqrt{T_3 \cdot T_1}$ (T_1 et T_3 sont constantes).

7) **Application numérique** : on donne T_1 = 293 K , $P_1 = 1$ bar , T_3 = 1233 K et $\gamma = 1{,}40$.
Calculer les valeurs numériques :
   a) de la température T_2 ,
   b) du rapport de compression α ,
   c) du rendement théorique du cycle $\eta = \frac{-W}{Q_{23}}$.

II. ÉTUDE D'UNE PROPULSION ÉLECTRIQUE DE SECOURS

En exploitation normale, la propulsion d'un navire porte – conteneurs est assurée par une hélice à pas variable entraînée par un moteur Diesel. Attelé au moteur Diesel, l'alternateur fournit l'énergie électrique nécessaire au bord. Dans le cas d'une avarie du moteur Diesel, la propulsion est assurée par la même machine synchrone qui tourne alors en moteur. Le moteur synchrone, alimenté par un groupe électrogène de secours, permet ainsi au navire de rallier un port à vitesse réduite.



Étude du démarrage de la machine synchrone en moteur électrique de secours

Pour démarrer une machine synchrone en moteur synchrone, il n'est pas possible de connecter directement son stator sur le réseau (réseau de fréquence fixe) alors que le rotor est immobile (le couple moyen de démarrage serait nul). C'est pourquoi la machine synchrone utilisée possède une cage d'écureuil sur son rotor. On peut alors réaliser un démarrage progressif de la machine en moteur à l'aide d'un autotransformateur :

1re étape :

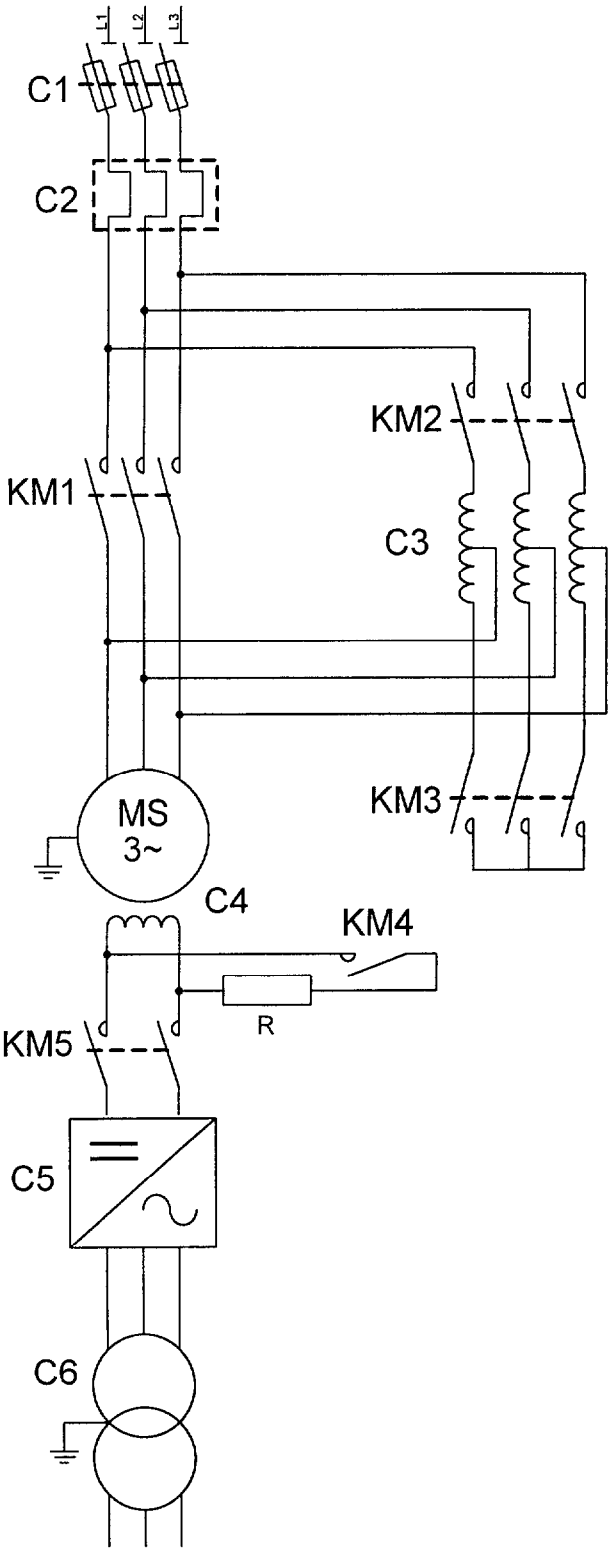
On court-circuite l'inducteur sur une résistance, l'autotransformateur est branché en étoile et alimente le moteur sous tension réduite (l'hélice est au pas zéro pour réduire le couple résistant au minimum).

2e étape :

Une partie des enroulements de l'autotransformateur deviennent des inductances qui abaissent la tension du réseau.

3e étape :

Lorsque la vitesse est suffisamment voisine du synchronisme, on alimente l'inducteur et le moteur est directement alimenté sous la tension du réseau.
Le moteur est alors accroché au réseau et tourne à la vitesse de synchronisme.
On peut dès lors augmenter la charge du moteur, c'est-à-dire augmenter le pas de l'hélice.



1) Repérer les différents constituants du circuit de puissance (page n°4) en complétant le tableau n°1 du document réponse.

2) Justifier la présence d'une cage d'écureuil sur le rotor de la machine synchrone ainsi que la fermeture du circuit inducteur sur une résistance. (deux à quatre phrases)

3) Pourquoi faut-il démarrer le moteur sous tension réduite ? (une phrase)

4) Préciser l'état des contacteurs (0=ouvert ;1=fermé) à la fin de chacune des 3 étapes du démarrage, en complétant le tableau n°2 du document réponse.

5) Lorsque le moteur est « accroché » au réseau triphasé de fréquence $f = 60\ \text{Hz}$, celui-ci tourne à la vitesse de synchronisme $n_S = 1800\ \text{tr/min}$. En déduire le nombre de pôles de la machine synchrone.

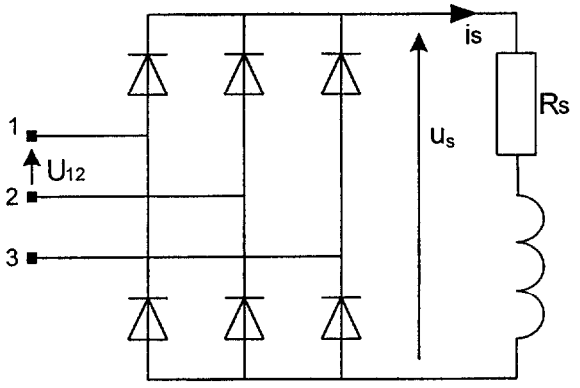
6) En fin d'étape n°2, le moteur atteint la vitesse $n = 1710\ \text{tr/min}$. En déduire le glissement du moteur.

7) Le moteur tournant à la vitesse de synchronisme et son nombre de pôles étant fixé, comment est réalisée la variation de vitesse du navire étudié ? (une phrase)

8) Sur certains navires équipés d'hélices à pales fixes, le moteur synchrone est asservi à un onduleur (moteur « synchrone autopiloté » ou « autosynchrone »). Justifier l'utilisation d'un onduleur pour ce type de navire. (une à deux phrases)

Étude du circuit d'excitation de la machine synchrone

On suppose que le circuit C5 est un pont de diodes (PD3) alimenté par un système triphasé de tensions 63V/110V : 60Hz.



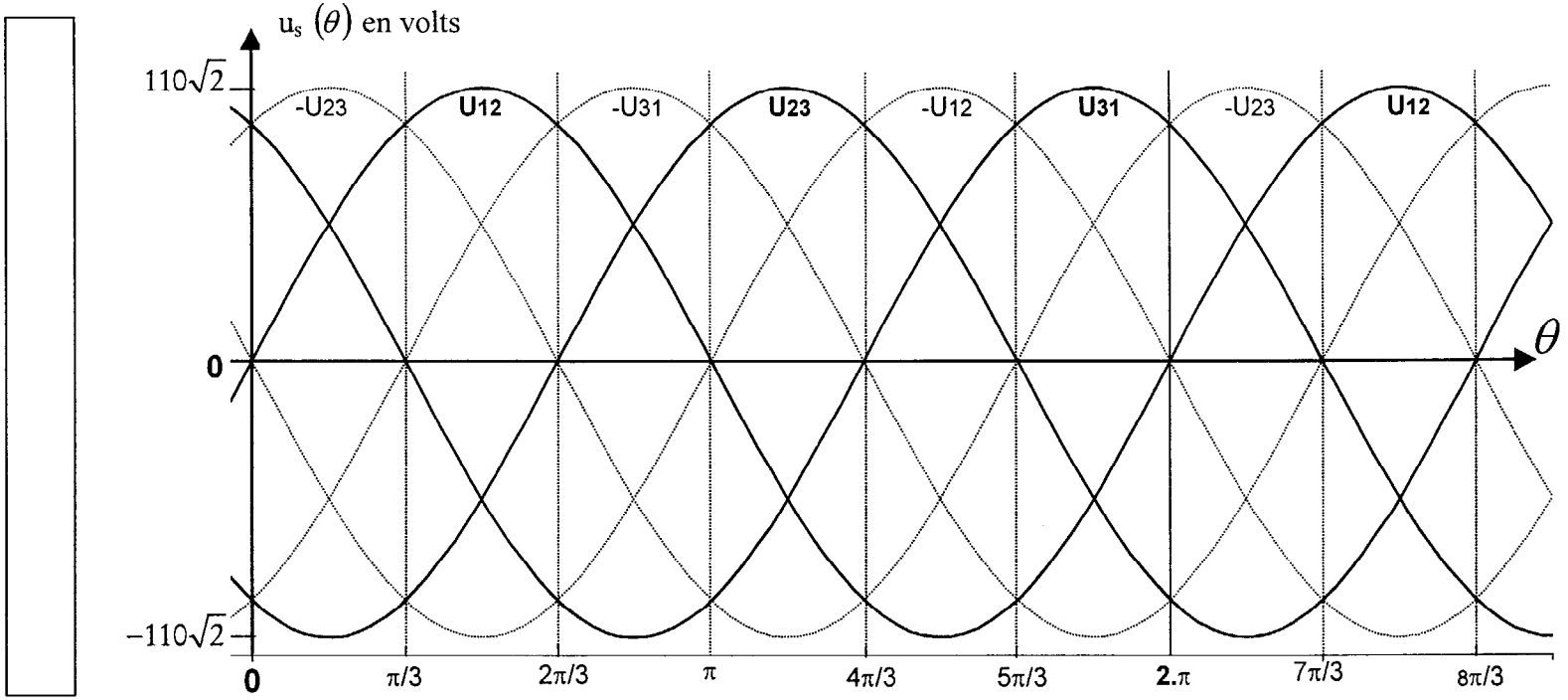
9) Dessiner sur le document réponse (figure n°3), l'allure de la tension de sortie $u_s(\theta)$ sur une période ($0 \le \theta \le 2\pi$).

10) Le circuit d'excitation de la machine synchrone (C4) est un bobinage inductif de résistance $R_S = 6\Omega$. On rappelle que $\langle u_S \rangle = \dfrac{3U\sqrt{2}}{\pi}$, calculer l'intensité moyenne $< i_S >$ du courant i_s débité par le pont.

11) Quel autre type de pont faudrait-il utiliser afin d'ajuster l'intensité moyenne $< i_S >$ à une certaine consigne ?

1	contacteurs	sectionneur porte fusible	relais différentiel de protection thermique	auto - transformateur	transformateur	machine synchrone	redresseur
	KM1, KM2, KM3, KM4, KM5	**C** . . .	**C** . . .	**C** . . .	**C** . . .	**C** . . .	**C** . . .

2	**contacteurs**	**KM1**	**KM2**	**KM3**	**KM4**	**KM5**
	fin de la 1re étape	. . .	. . .	. . .	. . .	**0**
	fin de la 2e étape	. . .	. . .	. . .	. . .	**0**
	fin de la 3e étape	. . .	. . .	. . .	. . .	**1**



Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.