
Enjeu A : Augmentation de la capacité de production

L'entreprise souhaite porter sa capacité de production de 33 tonnes/heure à 36 tonnes/heure. La mise en place de cet objectif, nécessite l'étude de plusieurs problèmes techniques indépendants abordés dans les parties suivantes :

- Problème technique A1 : Débit horaire de fusion
- Problème technique A2 : Contribution à la compensation du facteur de puissance global de l'usine
- Problème technique A3 : Capacité du dispositif d'approvisionnement
- Problème technique A4 : Rénovation de la motorisation du treuil de levage du pont roulant – Choix du moteur
- Problème technique A5 : Rénovation de la motorisation du treuil de levage du pont roulant – Choix de la commande de puissance
- Problème technique A6 : Rénovation de la motorisation du treuil de levage du pont roulant – Mise en oeuvre

Problème technique A1 : Débit horaire de fusion

Afin d'augmenter sa capacité de production, l'usine cherche à augmenter le débit horaire de métal traité par son ensemble de fusion électrique qui est actuellement de 11 tonnes par heure et par four.

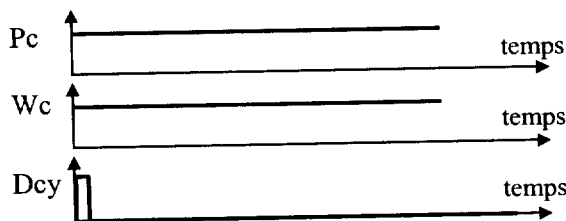
Pour ce faire, deux solutions sont envisagées : augmenter le débit horaire de chaque four d'une tonne par heure, ou bien implanter un quatrième four.

Par conséquent, afin de pouvoir choisir la solution qui s'impose en fonction des objectifs de production fixés, il convient de déterminer la valeur maximum du débit horaire de fusion qu'un four existant peut atteindre.

Hypothèses

- (1) Le débit horaire de fusion d'un four est la quantité de métal fondue par heure dans son creuset, et s'exprime en tonne par heure.
- (2) Le creuset du four est neuf : son diamètre interne est égal à 1650 mm.
- (3) Le creuset contient 38 tonnes de métal.
- (4) L'évolution de la puissance et de l'énergie électrique absorbée à la bobine par un four lors d'un cycle de fusion est la suivante :

Consignes

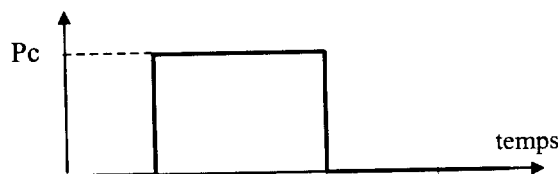


P_c : consigne de puissance fixée par l'opérateur

W_c : consigne d'énergie fixée par l'opérateur

D_{cy} : ordre de démarrage du cycle de fusion

Puissance absorbée à la bobine

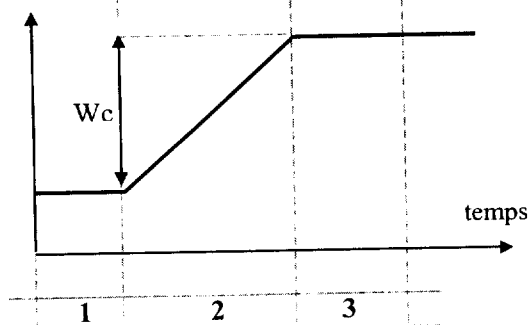


1 : immersion d'une charge de 3,2 tonnes de métal dans le four

2 : fusion









3 : basculement du creuset

Energie absorbée à la bobine



	1	3
Durées	0,9 min	2 min

Documents techniques à disposition

- § Déroulement d'un cycle de fusion ▷  Descriptions des moyens
↳  Chapitre1 : ensemble de fusion ...
- § Consommation d'énergie pour mise à température du métal liquide ▷  Descriptions des moyens
↳  Chapitre1 : ensemble de fusion ...
- § Installation électrique d'un four ▷  Descriptions des moyens
↳  Chapitre1 : ensemble de fusion ...
- § Régulation de puissance ▷  Descriptions des moyens
↳  Chapitre1 : ensemble de fusion ...

Travail demandé pour résoudre le problème posé

Expression du débit horaire de fusion d'un four

A1.1 : Déterminer l'énergie nécessaire pour élever à température de coulée, la température de la charge de 3,2 tonnes de métal immergé dans le creuset, en considérant :

- a. que la température initiale de la charge est de 20°C,
- b. que la température finale de la charge est de 1480°C (température de coulée),
- c. que la quantité de métal contenue dans le creuset est de 38 tonnes avec la charge.

A1.2 : En déduire, en considérant que le rendement du four est de 94%, que l'expression du débit horaire de fusion (D_{horaire} en tonnes par heure) en fonction de la puissance absorbée à la bobine (P_{bobine} en kilowatts) est la suivante :

$$D_{\text{horaire}} = \frac{3,2}{\frac{2460}{0,94 \times P_{\text{bobine}}} + 0,048}$$

Valeur maximum de la puissance active absorbée à la bobine d'un four

A1.3 : Déterminer la valeur de la puissance active absorbée à la bobine correspondant à la valeur maximum de la tension que peut délivrer le régulateur d'induction.

A1.4 : Cette valeur de puissance est-elle compatible avec la valeur maximum du courant que peut absorber la bobine ? Justifier votre réponse.

Valeur maximum du débit horaire de fusion d'un four et conclusion

A1.5 : Déduire des réponses apportées aux questions précédentes, la valeur maximum du débit horaire de fusion d'un four.

A1.6 : Doit-on implanter un quatrième four ? Justifier votre réponse.

Problème technique A2 : Contribution à la compensation du facteur de puissance global de l'usine

L'augmentation du débit horaire de fusion implique d'augmenter la puissance active absorbée par le four.



Il est alors nécessaire d'implanter des échelons supplémentaires à la batterie de condensateurs existante afin que celle-ci puisse fournir la totalité de la part réactive du courant absorbé par le four. Par ailleurs, il serait souhaitable que la batterie fournisse également de la puissance réactive au réseau 90 kV afin de remonter le facteur de puissance de l'usine.



Il convient d'établir, compte tenu de la puissance assignée du transformateur, la valeur maximum de la puissance réactive devant être délivrée par la batterie et d'en déduire le nombre d'échelons de condensateurs supplémentaires à implanter.

Hypothèses

- (1) Le creuset du four est usé : son diamètre interne est égal à 1690 mm.
- (2) La puissance active absorbée par le four est égale à 12000 kW.
- (3) Les échelons de condensateurs supplémentaires sont identiques à ceux déjà implantés.

Documents techniques à disposition

- (1) § Installation électrique d'un four ▷  Descriptions des moyens
↳  Chapitre1 : ensemble de fusion ...

- (2) § Régulation de puissance ▷  Descriptions des moyens
↳  Chapitre1 : ensemble de fusion ...

Travail demandé pour résoudre le problème posé

Calcul de la puissance réactive de la batterie de condensateurs

A2.1 : Calculer la puissance réactive maximum pouvant être échangée avec le réseau 90 kV compte-tenu de la puissance nominale du transformateur.

A2.2 : Calculer la puissance réactive absorbée par le four.

A2.3 : En déduire, la valeur de la puissance réactive que doit fournir la batterie de condensateurs pour obtenir un transfert maximum de puissance réactive de l'ensemble de fusion (four + condensateurs) vis à vis du réseau 90 kV.

Calcul du nombre d'échelons de condensateurs supplémentaires

A2.4 : Déterminer à l'aide de l'abaque « diamètre intérieur du creuset ... », la tension d'alimentation du four.

A2.5 : Calculer la puissance réactive fournie :

- par le talon de la batterie de condensateurs.
- par un échelon de la batterie de condensateurs.

A2.6 : En déduire le nombre d'échelons de condensateurs supplémentaires à implanter.

Problème technique A3 : Capacité du dispositif d'approvisionnement

Les matières premières sont acheminées vers les fours de fusion par un pont roulant 8 tonnes et un convoyeur à bennes (voir descriptions des moyens techniques). L'augmentation de la capacité de production dépend de la capacité d'apport en matière première par le pont roulant ; le convoyeur à bennes (hors étude) pourrait être doté d'une benne supplémentaire le cas échéant.



Hypothèses

Le pont roulant assure deux fonctions :

- la décharge des matières premières livrées par route ou par fer vers les aires de stockage ;
- le chargement des couloirs vibrants en matière première qui l'acheminent ensuite vers le convoyeur à bennes. Les bennes ouvrantes sont vidées au dessus des fours de fusion.

Afin de garantir un flux ininterrompu de matière première, on estime que les deux fonctions assurées par le pont roulant occupent un temps équivalent.

Documents techniques à disposition

- (1) § Déroulement des opérations de fonderie
 - ▷  Descriptions des moyens
 - ↳  Chapitre 2 : Préparation...

Travail demandé

Détermination de la durée maximale d'un cycle de chargement pour répondre à la nouvelle contrainte de production.

- A3.1** Déterminer la charge utile m_u que peut emporter le pont roulant compte tenu de sa capacité de levage.
- A3.2** Calculer le nombre de cycles de chargement nécessaires par heure de production afin de respecter la performance attendue.
- A3.3** En déduire la durée maximale admissible, exprimée en minute, d'un cycle de chargement. On prendra en considération que le pont roulant assure deux fonctions à temps équivalent.

Estimation de la durée d'un cycle de chargement compte tenu des possibilités actuelles du pont

Afin de déterminer la durée d'un cycle de chargement, on se place dans les hypothèses suivantes :

- le pont roulant transporte une charge utile de 3 tonnes ;
- un cycle comprend les phases de descente à vide, montée en charge, déplacements aller, descente en charge, montée à vide et déplacement retour ;
- les déplacements s'effectuent sur la moitié des courses respectives pour les mouvements de translation et de direction et sur la totalité de la course pour le levage ;
- les mouvements de translation et de direction sont simultanés ;
- les phases d'accélération et de décélération seront négligées.

- A3.4** Déterminer la durée (t_T en minute) du mouvement de translation du chariot pour un déplacement aller (ou retour).
- A3.5** Déterminer la durée (t_D en minute) du mouvement de direction du chariot pour un déplacement aller (ou retour).
- A3.6** Déterminer la durée (t_L en minute) du mouvement de levage pour une phase de montée (ou de descente).
- A3.7** En déduire la durée totale d'un cycle complet.

Conclusion

- A3.8** Les performances actuelles du pont roulant permettent-elles d'assurer, dans le cadre de l'augmentation de la production prévue, les conditions d'approvisionnement des fours depuis le déchargement de la matière première jusqu'au chargement des couloirs vibrants ? Expliquer la réponse.

Problème technique A4 : Rénovation de la motorisation du treuil de levage du pont - choix du moteur

*Afin d'éviter le remplacement de la partie mécanique qui ne présente pas de signe majeur d'usure et de réaliser ainsi une rénovation à moindre coût, il est envisagé le remplacement de l'ancienne motorisation de levage (machine à rotor bobiné et résistance rotorique) par un moto réducteur neuf dont la **hauteur d'axe sera conservée** (ici 375 mm) et qui sera piloté par un variateur de fréquence à commande scalaire. On garantit alors un remplacement rapide et à un coût optimisé.*





Hypothèse de travail

- (1) Une recherche de référence d'un moteur de même hauteur d'axe à l'aide du « Configurateur » disponible sur le site Internet de LEROY SOMER, nous conduit vers un moto-réducteur asynchrone triphasé 4 pôles de référence **LSMV225MK**.
- (2) On rappelle la formule de calcul du couple moyen thermique équivalent :

$$C_{MTE} = \sqrt{\frac{\sum C_i^2 * T_i}{\sum T_i}}$$

où C_i représente la valeur du couple pour la phase i et
 T_i , la durée de la phase i .

Documents techniques à disposition

- (1) Fiche technique moto-réducteur   Documents ressources
  Extrait de catalogues...

Travail demandé

Étude de l'accélération maximum admissible pour le mouvement de levage

A4.1. Déterminer, en relation avec la capacité maximum d'attraction de l'électro-aimant, la valeur maximum de l'accélération (notée a_{tMAX}) que peut subir la charge lors de la phase de démarrage du moteur dans le sens de la montée.

On retiendra, pour la conduite du pont roulant, une valeur de a_t qui correspond à 15 % de cette valeur car la valeur a_{tMAX} correspond à une situation de contact optimal entre l'électro-aimant et la matière première, ce qui n'est pas toujours le cas.

Modélisation de l'entraînement

A4.2. Représenter l'ensemble de la chaîne cinématique, par un dessin qui montre symboliquement les constituants et leurs interactions.

Motorisation du mouvement de levage : étude cinématique

A4.3. Calculer la vitesse maximale du moteur de levage (**attention** : du fait du système de mouflage, la vitesse d'enroulement du câble est le double de la vitesse de montée de la charge).

A4.4. Dessiner, sur le document réponse A4 (papier millimétré), le profil de vitesse (diagramme vitesse temps) du moteur de levage pour un cycle d'approvisionnement des vibrants. Pour cela, on prend en considération les spécifications suivantes :

- la durée totale d'une phase de montée (ou de descente) est égale à 28 secondes ;
- les temps d'accélération et de décélération sont identiques ;
- une durée de 1 seconde est nécessaire entre les mouvements de montée et de descente pour actionner l'électro-aimant ;
- les déplacements en position haute sont estimés à 10 secondes lors du chargement des vibrants ;
- un frein de parking permet le blocage des mouvements de levage lors des phases à vitesse nulle.

Détermination du couple résistant

A4.5. Calculer les puissances mécaniques, à vide et en charge (P_{m0} et P_m), nécessaires au levage. En déduire les puissances utiles (P_{u0} et P_u) du moteur.

A4.6. Déterminer alors les couples résistants, à vide et en charge (C_{Res0} et C_{Res}), engendrés par la charge sur l'arbre du moteur.

Détermination du moment d'inertie équivalent vu de l'arbre moteur par la méthode des énergies cinétiques partielles

A4.7. Calculer les énergies cinétiques dans les conditions nominales de fonctionnement :

- Énergie cinétique des masses transportées (E_{c0} et E_c).
- Énergie cinétique du tambour (E_{cT}).
- Énergie cinétique de l'ensemble réducteur, accouplement, frein et moteur (E_{cE}).

A4.8. À partir de l'énergie cinétique totale, déterminer le moment d'inertie équivalent, à vide et en charge (J_{T0} et J_T) vu de l'arbre moteur.

Motorisation du mouvement de levage : étude dynamique

Quels que soient les résultats précédents, on prendra :

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{T0} = J_T = 0,95 \text{ kg.m}^2 \\ \theta''_m = 157,5 \text{ rad/s}^2 \\ C_{Res0} = 160 \text{ Nm et } C_{Res} = 260 \text{ Nm} \end{array} \right.$$

A4.9. En appliquant le principe fondamental de la dynamique (PFD), déterminer le profil du couple moteur C_m pour assurer les conditions d'exploitation proposées à la question A4.1. Dessiner, sur le document réponse A4, le profil de couple obtenu.

A4.10. Vérifier si, en terme de couple maximum et de couple moyen thermique équivalent, ce nouveau moteur permet de remplacer le moteur existant et dans quelles conditions.

Problème technique A5 : Rénovation de la motorisation du treuil de levage du pont - choix de la commande de puissance

Afin d'homogénéiser le matériel utilisé dans l'entreprise, il a été décidé de choisir le variateur pilotant le moteur de levage dans la gamme UMV 4301 de chez Leroy Somer.

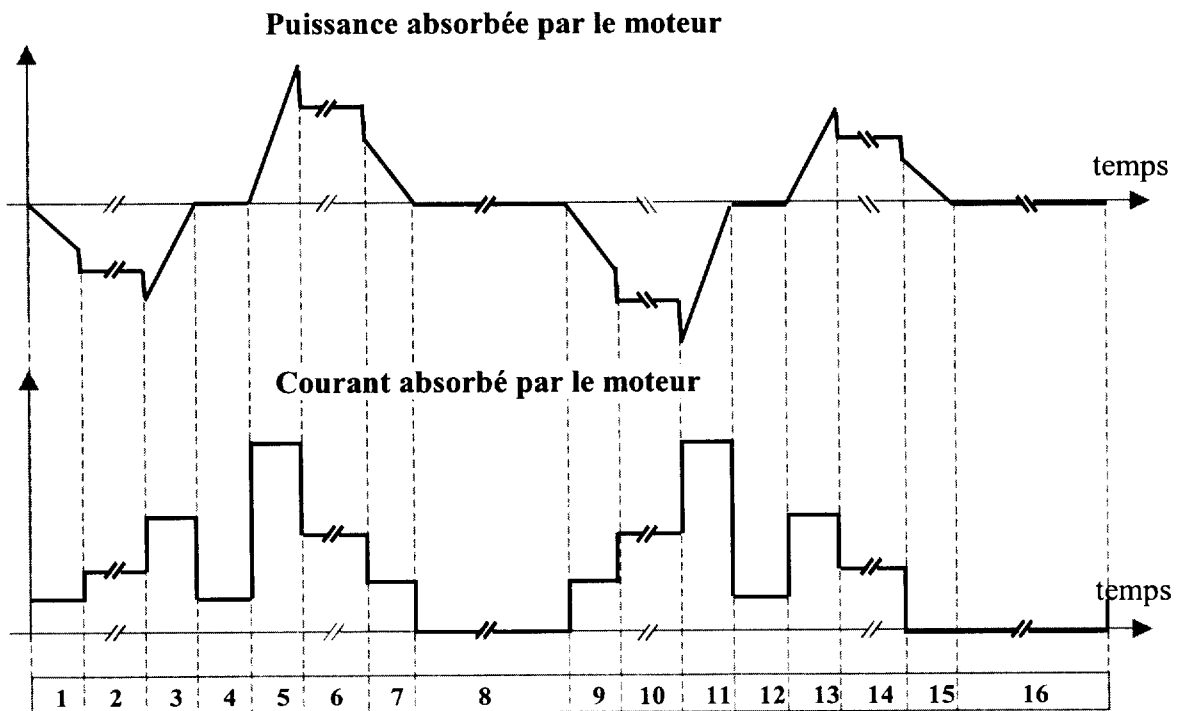
Deux problèmes se posent :

- au vu de la puissance nominale du moteur un variateur de calibre 60 T semble adapté. Néanmoins, nous devons nous assurer que le cycle de fonctionnement du moteur ne nécessite pas le déclassement du variateur.

- Un calcul préliminaire a montré que la résistance de freinage interne au variateur est insuffisante pour obtenir lors des phases de récupération d'énergie le profil de vitesse voulu. Il convient donc d'en implanter une extérieure au variateur.

Hypothèses

- (1) Le coffret d'alimentation du moteur est ventilé : sa température interne n'excède pas 30°C.
- (2) Les évolutions de la puissance et du courant absorbé lors d'un cycle de fonctionnement du moteur de levage du pont roulant, sont données ci-dessous :





(3) Suite à une simulation du fonctionnement, on obtient les données numériques relatives aux différentes phases du cycle étudié. Elles sont résumées dans le tableau ci-dessous :



Phases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Durée (s)	1	26	1	1	1	26	1	10	1	26	1	1	1	26	1	10
Puissance (kW)	0 à -1,6	-25,1	-48,6 à 0	0	0 à 64,3	40,8	17,3 à 0	0	0 à -17,3	-40,8	-64,3 à 0	0	0 à 48,6	25,1	1,6 à 0	0
Courant (A)	46,4	59,9	86,9	0	108	77,3	53,2	0	53,2	77,3	108	0	86,9	59,9	46,4	0

Documentation technique à disposition

(1) § Sélection

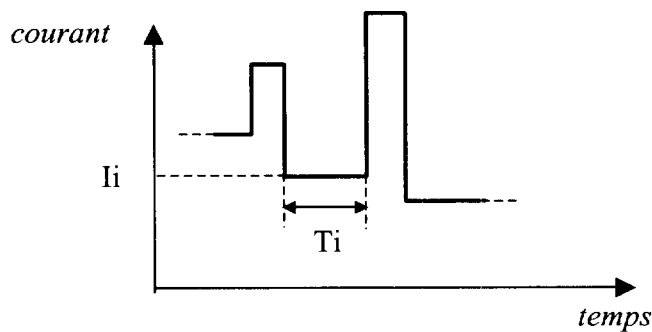
- ▷  Documents ressources
 - ↳  Variateur électronique UMV4301

(2) § Options : résistance de freinage

- ▷  Documents ressources
 - ↳  Variateur électronique UMV4301

Travail demandé

A5.1 : Calculer l'intensité thermique moyenne équivalente (notée I_{th} ci-dessous) du courant délivré par le variateur lors d'un cycle de fonctionnement du moteur de levage :



$$I_{th} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}}$$

I_i correspond au courant moteur efficace pendant la durée T_i

A5.2 : Est-il alors nécessaire de déclasser le variateur envisagé (calibre 60T)? Justifier votre réponse et proposer le cas échéant, un autre calibre pour le variateur UMV 4301.

A5.3 : Tracer pour un cycle de fonctionnement du moteur de levage, l'évolution de la puissance dissipée par la résistance externe de freinage.

A5.4 : En déduire la valeur crête et la valeur moyenne sur un cycle, de la puissance dissipée par la résistance externe de freinage.

A5.5 : Choisir parmi ceux proposés dans la documentation, un calibre pour la résistance de freinage externe. Justifier votre réponse.

Problème technique A6 : Rénovation de la motorisation du treuil de levage du pont – mise en oeuvre

Afin d'homogénéiser le matériel utilisé dans l'entreprise, il a été décidé de choisir le variateur pilotant le moteur de levage dans la gamme UMV 4301 de chez Leroy Somer. Par ailleurs ce variateur sera équipé de la carte optionnelle CAP UMV LVG, qui assure les sécurités inhérentes au variateur pour un mouvement de levage.

- il est nécessaire d'établir un schéma de câblage du variateur adapté au moteur de levage du pont roulant, à partir de ceux proposés par le constructeur de l'UMV 4301.

- il faut prévoir un paramétrage du variateur qui prenne en compte les spécificités de l'entraînement électromécanique qu'il pilote.

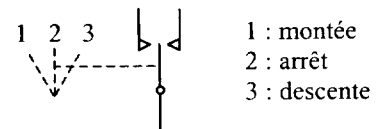
Hypothèse

- (1) L'opérateur pilotant le pont roulant dispose pour la partie levage de l'électroaimant, d'un pupitre de commande constitué de deux commutateurs et deux voyants :

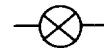
S1 Bouton rotatif à fermeture sans retour automatique



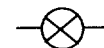
S2 Commutateur multipolaire équipé d'un contact à deux directions avec position médiane d'ouverture, à retour automatique pour la position montée et pour la position descente



L1 Voyant 24V



L2 Voyant 24V



- (2) Après avoir mis sous tension le variateur UMV 4301 à l'aide du commutateur S1, l'opérateur pilotant le pont roulant peut commander la montée ou la descente de l'électroaimant à l'aide du commutateur à levier S2. Lorsque l'opérateur relâche le commutateur S2, celui ci revient automatiquement en position médiane, ce qui provoque l'arrêt du mouvement en cours.
- (3) Le voyant L1 indique à l'opérateur que le variateur est sous tension, tandis que le voyant L2 signale l'état du frein : bloqué ou débloqué.