

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2010

ÉPREUVE E4.2

Étude d'un système technique industriel

Conception et industrialisation

Durée : 4 heures ~ Coefficient : 3

ALÉSEUSE 2 TÊTES



DOSSIER QUESTIONNEMENT

- Le questionnement comporte 2 parties indépendantes :
 - Partie A : Amélioration de la productivité
 - Partie B : Mise en sécurité de la machine
- Il est cependant conseillé de traiter les 2 parties dans l'ordre.

⇒ Il est indispensable de lire au préalable le chapitre "Présentation générale" du dossier technique.

PARTIE A : AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ

A1. ÉTUDE DU CYCLE DE DÉPLACEMENT ACTUEL

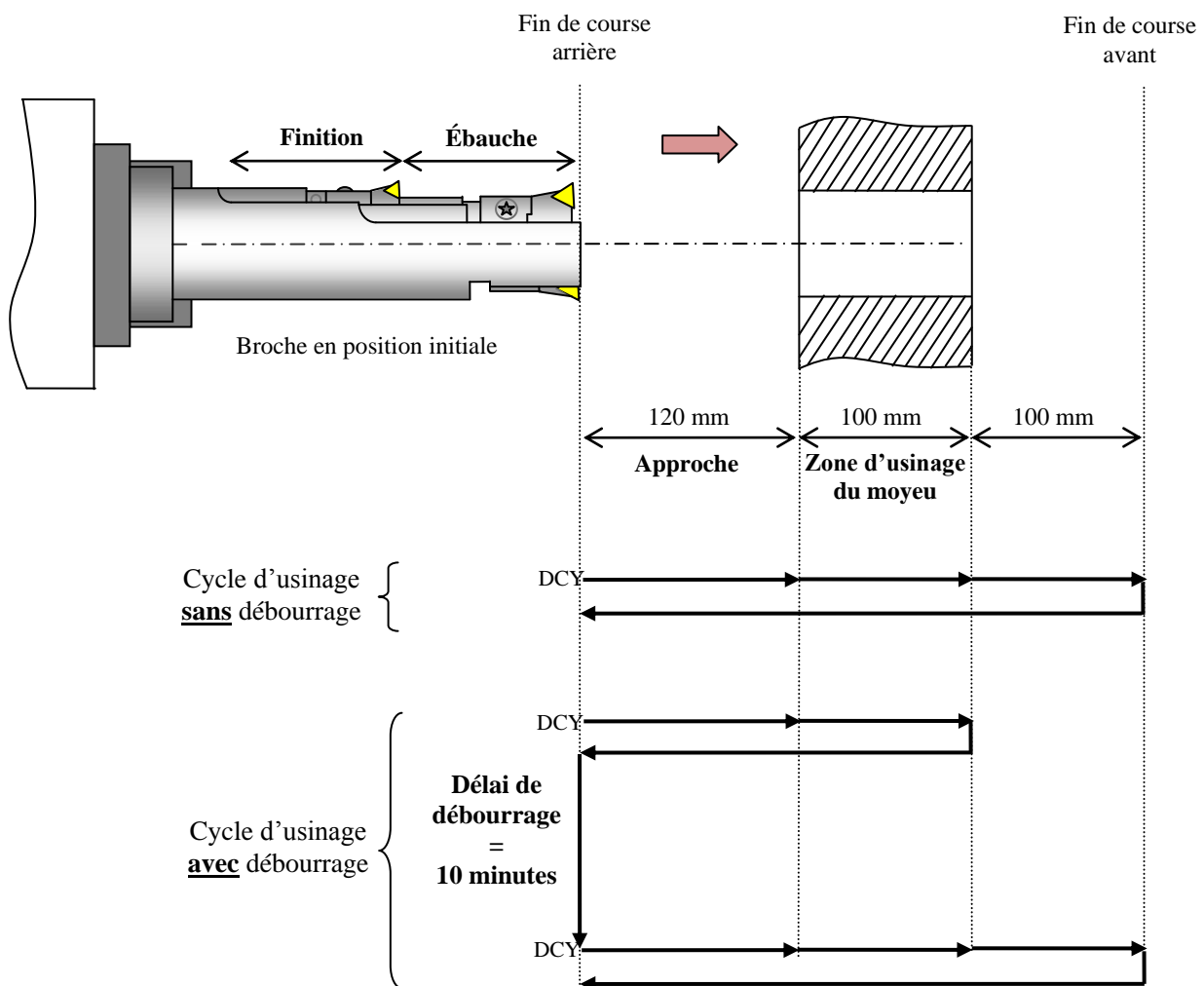
L'opération d'alésage d'un châssis comprend la **manutention** (positionnement et évacuation du châssis), le **contrôle** (vérification de l'état de surface et de l'alignement des moyeux) et la **phase d'usinage** (approche, ébauche, finition et recul).

Le temps cumulé de la manutention et du contrôle du châssis est estimé en moyenne à **35 minutes**.

Le temps d'usinage dépend de la vitesse de déplacement des broches et du type de cycle sélectionné.

Lorsque l'opérateur choisit un cycle avec déburrage, ce dernier a lieu juste avant la phase de finition. Lorsque les broches sont revenues en position initiale, le temps nécessaire à l'opérateur pour éliminer les copeaux amoncelés est estimé en moyenne à **10 minutes**. L'opérateur donne l'ordre de reprise du cycle par action sur le bouton poussoir "DCY".

Cycle de déplacement de la broche gauche :



Le fléchage représente le parcours de l'extrémité de la broche.

A1.1 Temps d'alésage d'un châssis

On donne la vitesse de déplacement des broches :

- Vitesse d'avance : $V_A = 40 \text{ mm.min}^{-1}$

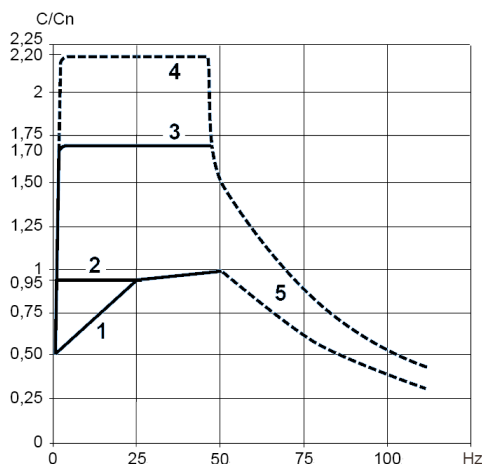
- Vitesse de recul : $V_R = 46 \text{ mm.min}^{-1}$

Note : Pour un débit fixe, l'écart entre les vitesses d'avance et de recul est dû aux diamètres du piston et de la tige des vérins.

- A.1.1.1 – Déterminer la course **d** de déplacement d'une broche à l'aller lors d'un cycle sans débouillage.
- A.1.1.2 – Déterminer la durée **T_{CU_{SD}1}** pour réaliser un cycle complet sans débouillage.
- A.1.1.3 – Déterminer la durée **T_{CU_{AD}1}** pour réaliser un cycle complet avec débouillage en prenant en compte la durée de l'intervention de débouillage.
- A.1.1.4 – Calculer le temps de travail **T_{TRV1}** nécessaire à l'opération d'alésage d'un châssis avec débouillage, temps de manutention et de contrôle du châssis inclus.

A2. ÉTUDE DES CONDITIONS D'ALÉSAGE ACTUELLES

Dans la nouvelle configuration de l'équipement, on associe, par moteur de broche, un variateur de référence **ATV71 HU55N4** ayant les caractéristiques suivantes :



Applications en boucle ouverte

Caractéristiques de couple (courbes typiques)

Les courbes ci-contre définissent le couple permanent et le surcouple transitoire disponibles, soit sur un moteur autoventilé, soit sur un moteur motoventilé. La différence réside uniquement dans l'aptitude du moteur à fournir un couple permanent important en dessous de la moitié de la vitesse nominale.

Applications en boucle ouverte

- 1 Moteur autoventilé : couple utile permanent (1)
- 2 Moteur motoventilé : couple utile permanent
- 3 Surcouple pendant 60 s maximum
- 4 Surcouple transitoire pendant 2 s maximum
- 5 Couple en survitesse à puissance constante (2)

On donne :

- vitesse d'avance de la broche $V_A = 40 \text{ mm.min}^{-1}$
- fréquence de rotation des moteurs de broche $N_M = 906 \text{ tr.min}^{-1}$
- couple résistant en ébauche ramené au moteur $C_{RM} = 40 \text{ N.m}$
- couple nominal des moteurs asynchrones $C_{NM} = 54 \text{ N.m}$
- nombre de paires de pôles des moteurs asynchrones $p = 3$

A2.1 Point de fonctionnement en ébauche

A.2.1.1 – Déterminer la fréquence de rotation des moteurs de broche F_{MV} (en Hz) correspondant aux conditions d'alésage actuelles.

A.2.1.2 – Déterminer le taux de charge $\frac{C}{C_N}$ des moteurs en ébauche.

A.2.1.3 – Sur le réseau de caractéristiques du document réponse n°1, placer le point de fonctionnement en ébauche, repéré **PdF1**.

A2.2 Point de fonctionnement en finition

A.2.2.1 – En considérant la fréquence de rotation et la vitesse d'avance des broches identiques en ébauche et en finition, placer, sur le même réseau de caractéristiques, le point de fonctionnement en finition, repéré **PdF2**.

A2.3 Bilan sur les conditions d'usinage actuelles

A.2.3.1 – Commenter l'emploi du moteur par rapport à ses performances nominales.

A3. OPTIMISATION DES CONDITIONS D'ALÉSAGE

Les nouveaux variateurs mis en place permettent le fonctionnement du moteur en surcouple pendant un certain laps de temps.

L'application de cette propriété permet d'augmenter l'effort de coupe, donc la vitesse d'avance des broches, et ainsi de gagner en temps de cycle.

Cependant, il faut veiller au respect des recommandations du constructeur des plaquettes d'alésage concernant la profondeur de coupe, l'avance et la vitesse de coupe. Le non respect de ces recommandations peut entraîner une détérioration prématurée des plaquettes ou une dégradation de l'état de surface final.

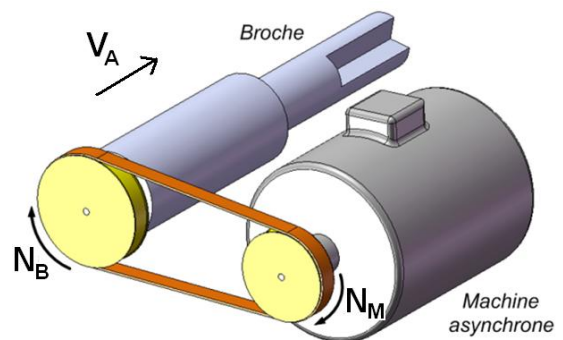
On donne :

- Le rapport de réduction de la transmission entre une broche et son moteur d'entraînement assuré par un ensemble poulies/courroie :

$$r = \frac{N_B}{N_M} = 0,8$$

- L'avance f_n (en $mm.tr^{-1}$) correspond au déplacement horizontal de l'outil pour un tour de broche :

$$f_n = \frac{V_A}{N_B} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V_A : \text{vitesse d'avance (en } mm.min^{-1} \text{)} \\ N_B : \text{fréquence de rotation de broche (en } tr.min^{-1} \text{)} \end{cases}$$



A3.1 Phase d'ébauche

A.3.1.1 – À partir des caractéristiques de couple du moto-variateur de la page précédente, déterminer le surcouple maximum C_{M60} que peut fournir le moteur pendant 60 secondes.

A.3.1.2 – Sur le réseau de caractéristiques du document réponse n°1, relever la vitesse d'avance maximale V_A pouvant être appliquée en ébauche sans dépassement du surcouple C_{M60} .

A.3.1.3 – Pour cette vitesse d'avance, vérifier que la durée $T_{ÉB}$ du surcouple en phase d'ébauche est inférieure à 60 secondes.

Selon les recommandations du constructeur, l'avance f_n des plaquettes doit être égale à $0,2 \text{ mm.tr}^{-1}$.

A.3.1.4 – Pour satisfaire cette contrainte, déterminer :

- la fréquence de rotation de la broche $N_{BÉB}$ exprimée en tr.min^{-1} ;
- la fréquence de rotation du moteur $N_{MÉB}$ exprimée en tr.min^{-1} ;
- la fréquence de rotation du moteur $F_{MVÉB}$ exprimée en Hz.

A.3.1.5 – Sur le réseau de caractéristiques du document réponse n°1, placer le point de fonctionnement, repéré **PdF3**. Puis, relever le couple moteur $C_{RMÉB}$ en ébauche.

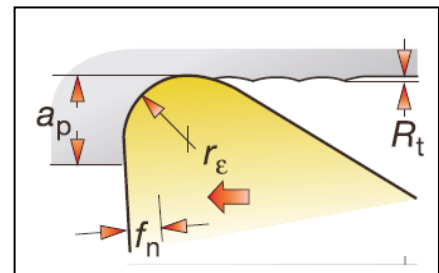
A.3.1.6 – Calculer la puissance mécanique $P_{MÉB}$ sur l'arbre du moteur lors de la phase d'ébauche.

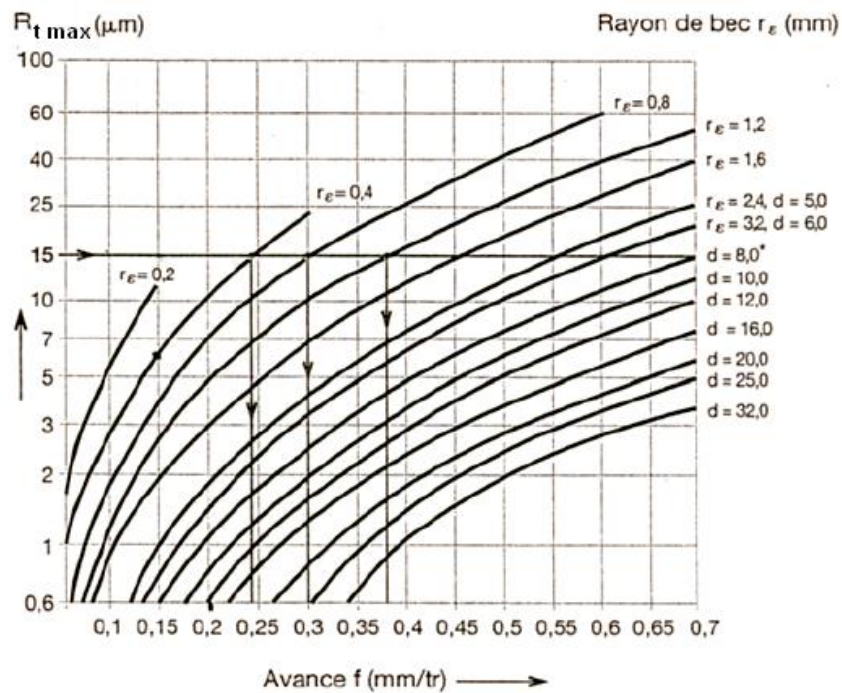
A3.2 Phase de finition

La phase de finition sera effectuée à la même vitesse d'avance qu'en phase d'ébauche, soit $V_A = 150 \text{ mm.min}^{-1}$.

Les conditions de coupe en phase de finition doivent être définies pour garantir un état de surface conforme aux spécifications du client, soit $R_t \text{ max} = 8 \mu\text{m}$.

Cette redéfinition des conditions de coupe s'accompagne d'un changement de nuance de la plaquette de finition. En effet, le constructeur dispose d'une nouvelle génération de plaquettes acceptant des vitesses de coupe plus élevées. Le rayon de bec r_ϵ de la plaquette de finition est égal à $0,4 \text{ mm}$.





A.3.2.1 – A partir de la caractéristique $R_{t \max}(f_n)$, ci-dessus, déterminer l'avance maximale f_n permettant de respecter l'état de surface attendu.

Pour la nouvelle nuance de plaquette, le constructeur recommande une avance comprise entre $0,05$ et $0,2 \text{ mm.tr}^{-1}$.

Pour la suite de l'étude, nous retiendrons une valeur intermédiaire soit une avance f_n égale à $0,12 \text{ mm.tr}^{-1}$.

A.3.2.2 – Pour la vitesse d'avance V_A et l'avance f_n , déterminer :

- la fréquence de rotation de la broche N_{BFI} exprimée en tr.min^{-1} ;
- la fréquence de rotation du moteur N_{MFI} exprimée en tr.min^{-1} ;
- la fréquence de rotation du moteur F_{MVFI} exprimée en Hz.

A.3.2.3 – Sur le réseau de caractéristiques du document réponse n°1, placer le point de fonctionnement, repéré **PdF4**. Puis, relever le couple moteur C_{RMFI} en finition.

A.3.2.4 – Calculer la puissance mécanique P_{MFI} sur l'arbre du moteur lors de la phase de finition.

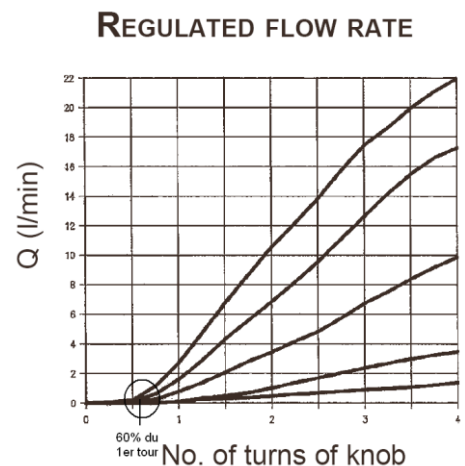
A4. RÉGLAGE DES CONSTITUANTS

A4.1 Réglage de la petite vitesse d'avance

Le réglage de la petite vitesse d'avance (vitesse d'usinage) est réalisé manuellement à l'aide de la molette située au dessus du régulateur de débit.

La vitesse d'avance actuelle, $V_A = 40 \text{ mm.min}^{-1}$, correspond à la position de la molette à 60% (position 6) du 1^{er} tour.

La caractéristique du régulateur montre qu'il s'agit d'une version 4 tours et que le réglage est délicat dans le premier tour.



Des essais ont permis de relever une série de points pour différentes positions de la molette dans le premier tour :

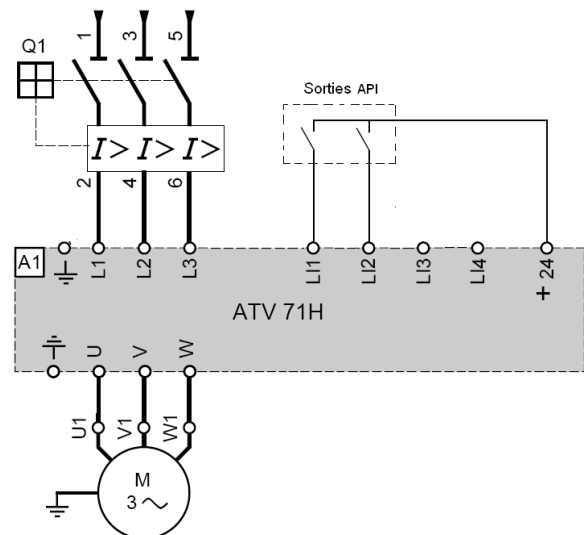
Position de la molette (1 ^{er} tour)	6	6,5	7	8,5	9
Déplacement de la broche (cm)	7	7	7	7	7
Durée du déplacement (s)	99,5	60,9	44,3	23,2	20,5

- A.4.1.1 – Sur le document réponse n°2, tracer la caractéristique de la vitesse d’avance en fonction de la position de la molette, $V_A = f(\text{position molette})$.
- A.4.1.2 – Définir le réglage du régulateur pour obtenir la nouvelle vitesse d’avance en ébauche et en finition.

A4.2 Réglage des fréquences de rotation des broches

Chaque variateur de vitesse est piloté par deux sorties T.O.R. de l’automate programmable industriel qui équipe le système.

La logique de commande doit permettre de sélectionner les seuils de vitesse correspondant aux fréquences de rotation des moteurs de broche en ébauche (N_{MEB}) et en finition (N_{MFI}).



Affectation des paramètres du variateur

Code	Réglage		Nom / désignation
	usine	client	
tFr	60 Hz	80 Hz	Fréquence maxi
HSP	50 Hz	80 Hz	Grande vitesse (en Hz)
rrS	L12	nO	Sens arrière non affecté
PS2	nO	L11	2 vitesses présélectionnées
PS4	nO	L12	4 vitesses présélectionnées

Note : aucune consigne analogique n’est appliquée au variateur

📁 Dossier ressources – Paramètres du variateur ATV71

page 9 & 10

- A.4.2.1 – A partir de la nouvelle affectation des paramètres du variateur (réglage client), compléter le tableau n°1 du document réponse n°2.

A.4.2.2 – Définir, dans le tableau n°2 du document réponse n°2, les nouveaux réglages répondant au fonctionnement optimisé.


A5. OBTENTION DE LA DEUXIÈME VITESSE DE TRANSLATION

A5.1 Possibilités du groupe hydraulique

Chaque corps de pompe, entraîné à la vitesse nominale du moteur, fournit un débit de 6 l.min^{-1} dans son circuit respectif via un régulateur de débit 3 voies.

Le précédent réglage des régulateurs fixait le débit à $0,12 \text{ l.min}^{-1}$ dans chaque circuit des vérins, l'excédent d'huile, soit $5,88 \text{ l.min}^{-1}$, étant renvoyé directement à la cuve par la 3^{ème} voie des régulateurs.

Ce réglage procurait une vitesse d'avance des broches de 40 mm.min^{-1} .

 Dossier technique – Partie A - § A1 : Schéma de l'installation hydraulique - page 7

A.5.1.1 – Déterminer quelle serait la vitesse d'avance rapide $V_{A,R}$ des broches en l'absence de régulateur de débit dans le circuit hydraulique.

A5.2 Modification du circuit hydraulique

Pour obtenir les deux vitesses de translation des broches, la solution la moins onéreuse consiste à modifier l'installation hydraulique en rajoutant un distributeur 3/2 monostable dans chaque circuit des vérins de sorte que :

- distributeur non commandé : vitesse **lente** fixée par le régulateur de débit ;
- distributeur commandé : vitesse **rapide** limitée par le débit de la pompe.

A.5.2.1 – Sur le document réponse n°3, compléter le schéma hydraulique permettant d'obtenir les deux vitesses de translation des broches à partir des électro-distributeurs 3D et 4D.

A.5.2.2 – Dans le tableau n°3 du document réponse n°3, définir les nouveaux ordres de commande des électrovannes permettant d'obtenir les vitesses attendues dans les différentes phases d'usinage.

A6. BILAN DE PRODUCTIVITÉ

A6.1 Temps de cycle optimisé

Le tableau ci-dessous récapitule les vitesses de translation des broches selon les phases d'usinage :

Phase d'usinage	Approche	Ébauche et finition	Recul
Vitesse	Avance rapide $V_{A,R}$	Avance lente $V_{A,L}$	Recul rapide $V_{R,R}$
	2000 mm.min^{-1}	150 mm.min^{-1}	2000 mm.min^{-1}

Hypothèse : on admettra une grande vitesse unique en approche et en recul.

A.6.1.1 – Déterminer la durée $T_{\text{CUSD}2}$ pour réaliser un cycle complet sans débouillage.

A.6.1.2 – Déterminer la durée $T_{\text{CUAD}2}$ pour réaliser un cycle complet avec débouillage en prenant en compte la durée de l'intervention de débouillage.

A.6.1.3 – Calculer le temps de travail T_{TRV2} nécessaire à l'opération d'alésage d'un châssis avec débouillage, temps de manutention et de contrôle du châssis inclus.

A6.2 Gain de productivité

A.6.2.1 – Déterminer le gain de temps réalisé pour l'alésage de 5 châssis par nuit en considérant un débouillage par cycle.

A.6.2.2 – Sachant que l'opération d'alésage mobilise un ouvrier et que le coût horaire de la main d'œuvre est de 35 € (travail de nuit), chiffrer l'économie réalisée par châssis.

A.6.2.3 – La réfection complète de la machine a coûté 20 000 € TTC. Calculer le nombre de châssis à usiner avant le retour sur investissement.

A.6.2.4 – L'entreprise fonctionne 5 jours par semaine et produit en moyenne 5 châssis par jour. Elle est fermée 4 semaines par an à l'occasion des congés. Déterminer le moment au bout duquel l'affaire sera rentabilisée.

A7. VÉRIFICATION DE L'ÉCHAUFFEMENT DES MOTEURS DE BROCHE

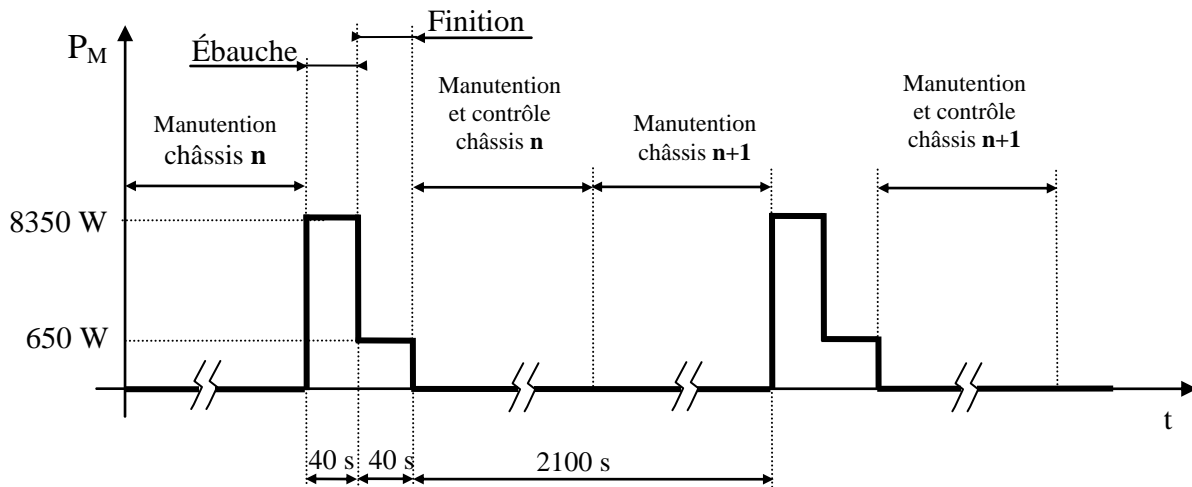
Pour valider les conditions d'alésage optimisées dans lesquelles les moteurs de broche sont amenés à travailler en surcharge pendant la phase d'ébauche, il est nécessaire de vérifier leur dimensionnement d'après l'échauffement.

La norme CEI 60034-1 prévoit 10 types de service de fonctionnement. Celui correspondant au fonctionnement des moteurs de broche, lors du cycle de l'opération d'alésage des châssis, est le service intermittent périodique S3 dont la définition est donnée ci-dessous.

Service intermittent périodique – Service type S3 : Suite de cycles de services identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante nominale N et une période de repos R . Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative.

$$F_{dm} = \frac{N}{N+R} \text{ et } n = 0.$$

Cycle de l'opération d'alésage des châssis



Hypothèses :

- On considère un cycle de fonctionnement dans les conditions les plus défavorables, soit un cycle d'usinage sans déburrage.
- On néglige les temps d'approche et de recul lors de la phase d'usinage.
- La période de fonctionnement **N** correspond aux phases d'ébauche et de finition.
- La période de repos **R** correspond au temps de manutention et de contrôle du châssis

La vérification des moteurs de broche d'après l'échauffement se fait par l'estimation de la puissance équivalente à partir de la formule suivante :

$$P_{\text{éq}} = \sqrt{\frac{n \times t_d \times \left[\frac{I_d}{I_n} \times P_n \right]^2 + (3600 - n \times t_d) \times P_u^2 \times F_{dm}}{3600}}$$

Dans laquelle

- t_d : temps de démarrage avec un moteur de puissance P_n (en seconde)
- n : nombre de démarrages équivalent par heure $n = n_D + 3.n_F + 0,5.n_i$
- n_D : nombre de démarrages dans l'heure
- n_F : nombre de freinages électriques dans l'heure
- n_i : nombre d'impulsions (démarrage incomplet jusqu'au 1/3 de la vitesse finale) dans l'heure
- F_{dm} : facteur de marche du moteur = $\frac{\text{durée de fonctionnement à } P_u}{\text{durée totale du cycle}}$
- I_d/I_n : appel de courant avec un moteur de puissance P_n
- P_n : puissance nominale du moteur pressenti
- P_u : puissance utile du moteur pendant le cycle d'utilisation hors démarrage

Lorsque la période de fonctionnement **N** présente des variations cycliques de la charge (service intermittent), la puissance utile se calcule avec la formule suivante :

$$P_u = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

- Les P_i inférieures à $\frac{P_n}{2}$ seront remplacées par $\frac{P_n}{2}$
- Aucun des P_i ne dépassera $2 \times P_n$
- Le temps de démarrage ne dépasse pas 5 s
- Le couple accélérateur reste toujours suffisant sur la période de démarrage

Le dimensionnement des moteurs de broche est correct si leur puissance nominale est supérieure à la puissance équivalente.

A7.1 Détermination de la puissance équivalente

- A.7.1.1 – D'après la définition du service type S3, donner l'expression simplifiée de la puissance équivalente.
- A.7.1.2 – Calculer le facteur de marche F_{dm} .
- A.7.1.3 – Calculer la puissance utile P_u pendant un cycle d'usinage sans débouillage.
Rappel : on néglige les temps d'approche et de recul lors de la phase d'usinage
- A.7.1.4 – Calculer la puissance équivalente P_{eq} .
- A.7.1.5 – Conclure sur le dimensionnement des moteurs de broche.

PARTIE B : MISE EN SÉCURITÉ DE LA MACHINE

Le choix, la mise en œuvre et le réglage des constituants dépendent de la classification du système de commande selon la norme EN 954-1 et de la catégorie d'arrêt selon la norme CEI/EN 60204-1.

La conjugaison des moyens mis en œuvre doit permettre de satisfaire à la dualité de l'ergonomie du poste de travail et de la sécurité du personnel.

B1. CATÉGORIE DU SYSTÈME DE COMMANDE

B1.1 Classification du système de commande selon la norme EN 954-1


 Dossier technique – Partie B - § B1 : Évaluation des risques page 8

B.1.1.1 – A partir de l'évaluation des risques, représenter, sur l'abaque du document réponse n°4, le cheminement pour parvenir à la catégorie du système de commande ayant la préférence. Entourer la catégorie retenue.

B.1.1.2 – Caractériser la catégorie 3 en deux points.

B1.2 Solutions technologiques

 Dossier ressources – Variateurs ATV71 – Niveaux d'exigence pour la sécurité pages 4 & 5

 Dossier technique – Partie A - § A1 : Schéma de l'installation hydraulique page 7
– Partie B - § B4 : Schémas électriques... pages 12 à 14

B.1.2.1 – Les variateurs de la gamme ALTIVAR 71 disposent d'une fonction de sécurité qui leur permet d'être classés en catégorie 3. Donner cette fonction.

B.1.2.2 – Expliquer, à partir des schémas électriques et hydrauliques, comment est obtenue la double coupure (catégorie 3) de l'énergie hydraulique au niveau des vérins.

B2. CATÉGORIE D'ARRÊT

Les moteurs de broche ne possèdent pas de frein électromécanique. Jusqu'à présent, un arrêt de sécurité engendrait une mise hors énergie des moteurs donc un arrêt en roue libre. Les broches mettaient une dizaine de secondes à s'immobiliser.

Dorénavant, un arrêt d'urgence ou une intrusion dans le périmètre de sécurité doit être suivi d'un freinage rapide puis de la mise hors énergie.

Lors de l'arrêt contrôlé, l'énergie cinétique emmagasinée dans les masses tournantes doit être dissipée dans une résistance de freinage.

B2.1 Arrêt de sécurité des moteurs de broche

 Dossier ressources – Extrait de la norme CEI/EN 60204-1 page 13
– Module de sécurité XPS-ATE page 14

 Dossier technique – Partie B - § B4 : Schémas électriques... pages 12 à 14

B.2.1.1 – Choisir la catégorie d'arrêt de la machine selon la norme CEI/EN 60204-1.

B.2.1.2 – Donner la spécificité du module de sécurité XPS-ATE qui permet d'assurer cette catégorie d'arrêt.

B.2.1.3 – À partir des schémas électriques, expliquer comment le module de sécurité XPS-ATE transmet l'ordre de freinage aux variateurs ATV71.

- B.2.1.4 – À partir des schémas électriques, compléter, dans le tableau n°4 du document réponse n°4, l'ordre d'enchaînement des évènements consécutifs à l'intrusion d'une personne dans la zone de protection.


B3. DISTANCE DE SÉCURITÉ

La norme EN 999 prévoit une distance de sécurité telle que le temps nécessaire pour atteindre le danger soit supérieur au temps d'arrêt de la machine.

Cette distance dépend du temps de réponse des constituants de la chaîne de sécurité placés en cascade, du temps d'arrêt des mouvements dangereux et de la vitesse d'approche de l'opérateur.

Pour conserver l'ergonomie du poste de travail (voir dossier technique – § B2), on souhaite limitée la distance de sécurité à 2 m au plus. La seule manière de limiter cette distance est d'agir sur le temps d'arrêt des mouvements dangereux, soit le temps de freinage des moteurs de broche.

B3.1 Détermination du temps de freinage


-  Dossier technique – Partie B - § B2 : Surveillance de la zone dangereuse pages 9 et 10
– Partie B - § B3 : Définition de la zone de sécurité page 11
– Partie B - § B5 : Diagrammes fonctionnels ... page 15

- B.3.1.1 – A partir des contraintes d'installation du scrutateur de sécurité, déterminer la marge complémentaire **C**.
- B.3.1.2 – A partir des diagrammes fonctionnels de la chaîne de sécurité, déterminer le temps de réponse **T_S** des constituants de la chaîne de sécurité.
- B.3.1.3 – Calculer le temps d'arrêt **T_M** des mouvements dangereux permettant de respecter une distance de sécurité **S** de **2 m** autour de la zone dangereuse.
Note : On considère la marge d'erreur due aux réflexions parasites $Z_R = 0$

B3.2 Réglage des constituants de la chaîne de sécurité :

- B.3.2.1 – Donner, dans le tableau n°5 du document réponse n°5, le nouveau réglage du paramètre de décélération des variateurs de vitesse.
- B.3.2.2 – Choisir le réglage de la temporisation du module XPS-ATE le plus approprié parmi ceux proposés sur le document réponse n°5.

B3.3 Choix et raccordement des résistances de freinage :

-  Dossier ressources – Variateur ATV 71 – Résistances de freinage page 7

- B.3.3.1 – Donner la référence et les caractéristiques de la résistance de freinage préconisée par le constructeur.
- B.3.3.2 – Compléter, sur le schéma électrique du document réponse n°5, le raccordement des résistances de freinage **R_{f1}** et **R_{f2}** à leur variateur respectif.