



Conception et mise en œuvre des codeurs incrémentiels HEDS-5000 et HEDS-6000

INTRODUCTION

Un codeur incrémentiel est un dispositif permettant de transformer le mouvement circulaire d'un axe en signaux électriques.

La présente note concerne en particulier le codeur modulaire incrémentiel Hewlett-Packard HEDS-5000 ou HEDS-6000. Les explications qui suivent lui sont donc spécifiques et nécessitent une connaissance préalable du principe et des circuits connexes à ce type de codeur.

En première partie, la note analyse brièvement la conception et la théorie de fonctionnement des HEDS-5000 et HEDS-6000. Dans sa deuxième partie, elle traite des impératifs de conception et analyse les différentes erreurs avec une étude détaillée des relations existant entre les paramètres mécaniques du moteur et l'accumulation des erreurs de codage. Plusieurs montages donnent des exemples pratiques d'utilisation des techniques présentées. Le chapitre «Montage» traite du mode d'assemblage des différentes parties constitutives, des procédures d'essai, du dépannage et de la remise en état du codeur. En deuxième partie, est décrit un certain nombre de circuits et de logiciels utiles à l'interface entre le codeur et des systèmes numériques ou à base de microprocesseur. En annexe enfin, un guide de

sélection présente les avantages et inconvénients de différents codeurs et un tableau donne un choix préférentiel des moteurs convenant à l'entraînement des codeurs HEDS-5000 et HEDS-6000.

DESCRIPTION

Un codeur d'axe utilisé dans un système, tel qu'une commande à servomoteur, permet de constituer une boucle à partir de composants numériques comme par exemple un microprocesseur, au lieu d'un amplificateur à servomécanisme, réduisant ainsi le coût du circuit. La figure 1 illustre une boucle d'asservissement numérique typique.

Un codeur optique présente un certain nombre d'avantages par rapport aux autres systèmes de codeurs : en l'absence de contacts mécaniques, le système est donc dénué de frottements d'où moindre inertie et fonctionnement plus sûr. La vitesse de codage est grande et l'influence du bruit est extrêmement faible.

La série HEDS-5000/-6000 correspond à un type particulier de codeur incrémentiel modulaire. Deux voies similaires fournissent des signaux en quadrature (déphasés de 90°) permettant de déterminer vitesse et sens de rotation. Une troisième voie d'impulsion d'indexage, en option, assure

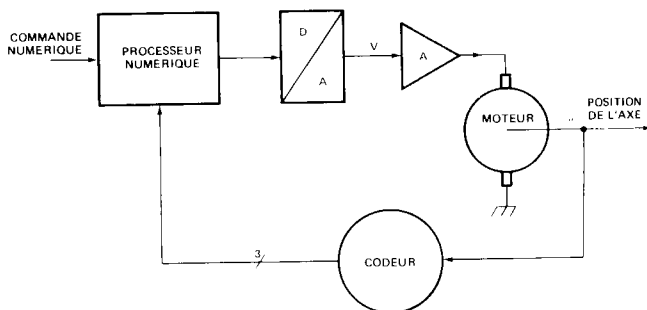


FIGURE 1 — Synoptique de la commande numérique du moteur

l'indication absolue de la rotation de l'axe une fois par tour. Les signaux numériques en sortie sont compatibles TTL et LSTTL.

La série de codeurs Hewlett-Packard HEDS-5000/-6000 comporte un grand nombre de résolutions standard et d'axes de différentes dimensions. Les fiches techniques HEDS-5000/-6000 donnent la description des produits standard disponibles. D'autres résolutions, diamètres d'axe, et formes d'ondes en sortie sont possibles et peuvent être envisagées à la demande du client.

Le kit du codeur modulaire comprend trois parties à assembler :

1. Le corps du codeur contenant la platine de mise en phase, les détecteurs et les circuits intégrés.
2. La roue codeuse à monter sur l'axe.
3. Le sous-ensemble émetteur, comportant la source de lumière (DEL), qui s'encliquette sur le corps pour constituer un ensemble à l'abri de la poussière.

Une fois assemblé, le codeur HEDS-5000 a un diamètre d'environ 28 mm et une hauteur de 18 mm, tandis que le diamètre du HEDS-6000 est d'environ 56 mm et sa hauteur de 19,5 mm. Les raccordements électriques, pour ces deux modules, sont réalisés à l'aide d'un câble en nappe de 60 cm de longueur.

Des renseignements complémentaires concernant les dimensions et autres paramètres sont fournis dans les fiches techniques du HEDS-5000 et HEDS-6000.

THEORIE DE FONCTIONNEMENT

Un codeur optique est basé sur l'occultation cyclique d'un faisceau lumineux par une roue codeuse animée d'un

mouvement rotatif. Pour obtenir une résolution supérieure, pour un diamètre donné, à celle atteinte par une méthode d'occultation directe du faisceau, un masque, constitué par une platine de mise en phase, est placé sur le chemin du faisceau lumineux devant les détecteurs de lumière. La disposition des fenêtres de la platine de mise en phase et de la roue codeuse est similaire : lorsque ces fenêtres sont observées en enfilade, il se produit un effet de moirage. La lumière émise par une DEL n'atteint les détecteurs que lorsque les fenêtres de la roue codeuse et de la platine de mise en phase sont alignées, et comme la roue codeuse tourne, le détecteur reçoit des impulsions lumineuses séparées par des noirs.

L'augmentation de la résolution du codeur et la réduction de l'intervalle entre les fenêtres de la roue rendent le bon fonctionnement du codeur très sensible à la collimation de la lumière émise à travers la roue codeuse et la platine de mise en phase, et à l'écartement de ces dernières. Pour rendre plus fiable le fonctionnement, les codeurs HEDS-5000/-6000 sont équipés d'émetteurs de lumière ponctuels et d'un système de lentilles de collimation ayant de très faibles aberrations, ce qui permet un plus grand écart entre la roue codeuse et la platine de mise en phase tout en rendant les codeurs moins sensibles au jeu longitudinal de l'axe.

Chaque voie comporte deux photodétecteurs dont la disposition par rapport à la platine de mise en phase est telle qu'à une période d'éclairement sur l'un correspond une période d'obscurité sur l'autre. Les courants fournis sont amplifiés par un amplificateur différentiel (push-pull) qui limite la sensibilité du système aux variations de niveau lumineux des DEL et évite ainsi l'emploi d'un dispositif de réglage de gain. Le signal numérique est obtenu sur chaque voie par l'entremise d'un comparateur qui commute lorsque les valeurs analogiques sont égales. Ce comparateur fournit un signal compatible TTL/LSTTL.

Un synoptique des HEDS-5000 et HEDS-6000 est illustré en figure 2.

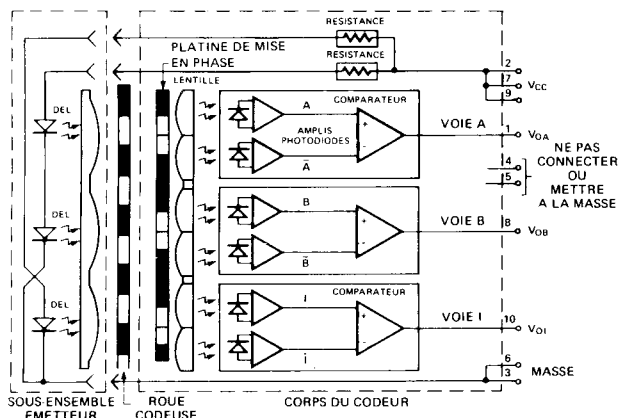


FIGURE 2 — Synoptique des codeurs HEDS-5000 et HEDS-6000

REMARQUES SUR LE CHOIX DES CODEURS ET LES CAUSES D'ERREUR

Dans la majorité des systèmes de mesure, le procédé de codage n'est pas exempt d'erreurs dont il est important de connaître les causes et de comprendre les effets pour pouvoir choisir le codeur approprié et définir les caractéristiques mécaniques auxquelles doit répondre l'axe du moteur sur lequel doit être monté le codeur.

DEFINITIONS

Degré d'angle :

unité mécanique de rotation de l'axe : une révolution = 360 degrés.

Capacité de comptage de la roue codeuse (N) :

correspond au nombre de paires fenêtre-intervalle sur la périphérie de la roue codeuse, c'est-à-dire :

N = 500 pour le HEDS-5000 - AXX,

N = 1000 pour le HEDS-6000 - BXX.

Cycle :

portion de la forme d'onde en sortie correspondant à la période de passage et d'occultation de la lumière sur une paire de détecteurs : il y a N cycles par rotation d'axe.

Degré électrique :

unité de mesure de la forme d'onde en sortie : 1 cycle = 360 degrés électriques = 360/N degrés d'angle.

Largeur des impulsions et des états logiques :

voir les définitions données par la figure 3.

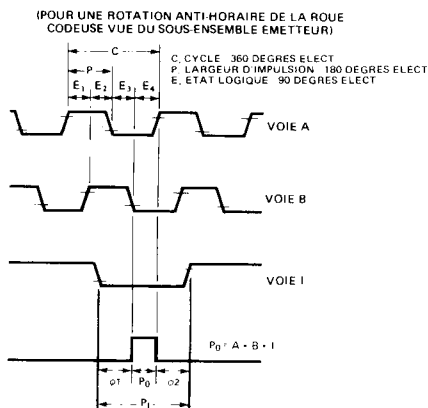


FIGURE 3 - Formes d'ondes en sortie

Phase :

angle en degrés électriques entre le centre de l'impulsion de la voie A et le centre de l'impulsion correspondante de la voie B.

Phase de l'indexage :

dans le sens anti-horaire (voir illustration précédente), la phase de l'indexage se définit comme suit :

$$\phi_1 = \frac{(\phi_1 - \phi_2)}{2}$$

ϕ_1 est l'angle en degrés électriques entre le front arrière de I et le front arrière de B. ϕ_2 est l'angle en degrés électriques entre le front avant de A et le front avant de I.

Résolution :

le plus petit écart angulaire détectable. Peut s'exprimer en nombre de transitions en sortie pour un tour complet, soit par l'écart angulaire entre deux transitions successives.

CARACTERISTIQUES DE CODAGE

Chaque révolution correspondant à N cycles, il existe N valeurs pour chaque paramètre de codage. Les erreurs de codage indiquées dans les fiches techniques HEDS-5000 et HEDS-6000 sont déterminées de la façon suivante :

- Erreur typique : correspond à la valeur moyenne (pour un grand nombre de codeurs) de l'erreur maximale observée pour une révolution sur chaque codeur.
- Erreur maximale : la plus forte erreur observée sur le lot de codeurs ci-dessus.

NATURE STATISTIQUE DES ERREURS

Sur un codeur modulaire, les caractéristiques de codage d'un dispositif particulier ne peuvent être mesurées directement qu'une fois celui-ci assemblé dans un système. Il est utile de pouvoir en prévoir les performances, mais les erreurs n'étant pas déterminables avec certitude, leur étude statistique donnera en général une approximation suffisante sur le comportement d'un lot important. La distribution des caractéristiques des composants est en général gaussienne et peut être déterminée par sa moyenne (\bar{E}) et l'écart type (σ). Dans le cas du codeur, \bar{E} se définit comme étant la moyenne des valeurs absolues des erreurs.

Lorsque deux ou plusieurs facteurs se combinent pour en générer un supplémentaire, leurs erreurs peuvent s'additionner soit vectoriellement, soit algébriquement. Si la combinaison est vectorielle, l'erreur résultante peut être supérieure ou inférieure à l'erreur originelle (quelque fois nulle). Par exemple, l'excentricité résultant du montage de la roue codeuse, qui possède elle-même une certaine excentricité, et de l'excentricité propre à l'axe est une combinaison vectorielle. Une combinaison algébrique se produit quand deux erreurs ont une erreur résultante de valeur toujours plus grande, comme c'est le cas lorsqu'une erreur sur la phase pour donner l'erreur sur la largeur des états logiques.

Lorsque l'on estime que la distribution d'une erreur découle de telles combinaisons, utiliser les formules suivantes :

1. La nouvelle moyenne correspond :

a. soit à la somme algébrique des moyennes

$$\bar{E}_T = \bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \dots + \bar{E}_N$$

b. soit à la racine carrée de la somme des carrés des modules de chaque composante vectorielle

$$E_T = \sqrt{(E_1)^2 + (E_2)^2 + \dots + (E_N)^2}$$

2. Le nouvel écart type découle de l'équation :

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

CONCEPTION DU CODEUR

Sur un codeur d'axe modulaire, les performances dépendent plus de l'assemblage et des tolérances axiales que sur un codeur tout monté ayant son axe propre et ses contraintes propres. Ces facteurs, joints à la vitesse de rotation de l'axe, à la température et à d'autres paramètres, s'ajoutent aux caractéristiques intrinsèques du codeur pour affecter sa précision résultante. Une étude quantitative des relations entre l'environnement et la précision ne peut se faire que sur un type de codeur particulier (les HEDS-5000 et HEDS-6000 dans notre cas), bien que le concept puisse être appliqué à d'autres types de codeurs.

Le tableau 1 résume les relations entre les paramètres de codage et les phénomènes extérieurs qui les affectent. Les croix indiquent le paramètre affecté. Comme on le voit, l'uniformité du cycle est pratiquement indépendante des facteurs extérieurs au codeur, alors que la durée des états logiques correspondant à la somme de toutes les transitions, dépend de presque tous.

Excentricité et jeu radial

L'excentricité joue surtout sur les erreurs de position, de phase et d'états logiques. L'étude quantitative de ce facteur se trouve au paragraphe «Erreurs intrinsèques aux codeurs».

L'excentricité de l'arbre qui affecte les performances du codeur provient de la combinaison des quatre facteurs indépendants suivants :

1. L'excentricité, désaxement cyclique dans la rotation de l'axe.
2. Le jeu radial, mouvement aléatoire provenant des tolérances sur les paliers et du balourd.
3. Les tolérances de sous-dimensionnement du diamètre de l'axe provoquant un désaxement cyclique dû au montage de la roue codeuse sur un arbre de diamètre faible quoique dans les tolérances.
4. Le montage de la roue codeuse sur son axe creux amenant un désaxement cyclique de la roue codeuse dû à son décentrage par rapport à son axe creux.

Jeu axial de l'arbre

Ce jeu agit principalement sur la phase (ou la quadrature) entre les deux voies du codeur et de moindre façon sur la

largeur des impulsions. En plus de considérations sur la gigue de phase, le jeu doit être limité à moins de 0,5 mm pour le HEDS-5000 et 0,58 mm pour le HEDS-6000 à cause des contraintes mécaniques du codeur. Le processus de montage préconisé permet de maintenir l'axe au plus près de la platine de mise en phase assurant ainsi la protection de cette dernière et de la roue codeuse. Le déplacement se fait donc toujours dans le sens de l'accroissement de l'intervalle roue codeuse-platine de mise en phase, améliorant ainsi la sécurité sans altérer les tolérances sur la largeur des impulsions. Lorsque le jeu maximal admissible est dépassé, l'axe creux peut venir en contact avec le sous-ensemble émetteur ce qui, sans être catastrophique, n'est pas recommandé.

Vitesse de rotation et température

Les mesures de précision en position et en cycle sont réalisées entre deux transitions concordantes des formes d'ondes en sortie et sont pratiquement indépendantes de la vitesse de rotation. Le comptage des cycles (par déclenchement d'un compteur TTL, par exemple) ne nécessite qu'un intervalle très court entre deux transitions logiques, la fréquence de comptage peut atteindre typiquement 200 kHz avant de perdre sa validité.

D'un autre côté, la largeur des impulsions est mesurée entre deux transitions différentes et la précision se trouve réduite par toute variation du temps de propagation des transitions. Cette différence de durée devient une partie prépondérante de la largeur de l'impulsion au fur et à mesure que la fréquence croît. Le temps de propagation est en outre légèrement affecté par les variations de température.

Montage

Le montage du HEDS-5000 et du HEDS-6000 ne nécessite qu'un seul réglage qui consiste à ajuster au mieux la phase entre les deux voies. Cette mise en phase consiste à aligner l'axe de la platine de mise en phase avec celui de la roue codeuse. La phase moyenne entre les voies A et B doit être ajustée à 90 degrés. L'erreur sur cette valeur peut être limitée à 10 degrés en visualisant les signaux de sortie sur un oscilloscope. Le réglage peut être affiné en utilisant le phasemètre à moyenne dont le schéma est donné figure 11.

La voie de l'indexage d'un codeur à trois voies est réglée également lors du montage et alignée typiquement de façon à ce que P₁ soit centré sur les états bas des voies A et B (voir figure 3).

Tableau 1

CARACTERISTIQUES DE CODAGE	FACTEURS NON CONTROLABLES PAR LE FABRICANT				
	EXCENTRICITE	JEU AXIAL	VITESSE DE ROTATION	TEMPERATURE	MONTAGE
Précision en position	X				
Uniformité des cycles	X				
Largeur d'impulsion			X	X	
Phase	X	X			X
Largeur de l'état	X	X	X	X	X

ERREURS DUES AU CODEUR

Les caractéristiques de chaque codeur sont entachées d'erreurs du fait des relations intervenant entre les composants internes et l'environnement. Comme nous l'avons montré précédemment, les erreurs de codages sont produites par plusieurs facteurs extérieurs. L'étude qui suit définit ces défauts du codeur, détermine les principaux facteurs contribuant aux erreurs et donne des exemples de calcul si nécessaire.

Erreur en position

L'erreur en position s'exprime en minutes d'arc ou en degrés électriques, elle se définit comme étant la différence entre la position réelle de l'arbre et sa position théorique en observant le signal en sortie du codeur. La figure 4 représente l'erreur de position d'une roue codeuse ayant 8 cycles par révolution. L'erreur de positionnement provient tout d'abord de l'excentration de la roue codeuse en rotation par rapport à l'axe de la platine de mise en phase et aux détecteurs. L'effet d'excentricité est inversement proportionnel au diamètre de la roue codeuse. L'erreur en position résultante, $\Delta\theta$, se calcule avec la formule :

$$\Delta\theta = \frac{kE}{R} \text{ en degrés}$$

où $k = \frac{360}{2\pi}$

E = excentricité en mm

R = rayon de la roue codeuse

10,9 mm pour le HEDS-5000

22 mm pour le HEDS-6000

Un facteur de sensibilité, Q_p , peut être déterminé pour évaluer la contribution de l'excentricité à l'erreur de position.

$$Q_p = \frac{k}{R} = 5,3 \text{ degrés d'angle par mm d'excentricité pour le HEDS-5000}$$

$$= 2,6 \text{ degrés d'angle par mm d'excentricité pour le HEDS-6000}$$

La gravure de la roue codeuse et de la platine de mise en phase contribue elle aussi à l'erreur de positionnement, mais les erreurs étant très faibles, ce facteur peut être négligé. A noter que l'erreur en position est inversement proportionnelle au diamètre de la roue codeuse, c'est pourquoi l'erreur en position du HEDS-6000 est inférieure à celle du HEDS-5000.

L'erreur en position n'intervient que dans les systèmes exigeant une très grande résolution de positionnement. L'exemple qui suit permet d'évaluer cette erreur sur un HEDS-5000 dont la roue codeuse est animée d'un mouvement de rotation excentré. Les mêmes calculs sont appliqués pour un HEDS-6000. Ce mouvement de rotation excentré du codeur est en effet le résultat de la combinaison des quatre facteurs indépendants décrits plus haut.

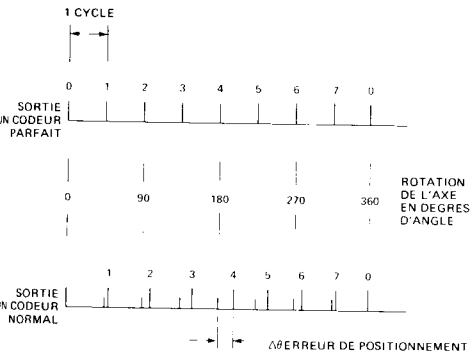
Calcul de l'erreur en position

- Facteurs contributifs : le tableau 2 donne les valeurs des facteurs contributifs, en accord avec les conditions de fonctionnement recommandées du HEDS-5000 (voir fiche technique). L'influence du montage de la roue codeuse sur son axe creux est évaluée empiriquement.

Tableau 2

FACTEUR CONTRIBUTIF	MOYENNE \bar{E}	ECART TYPE σ
Roue codeuse-axe creux	0,040 mm	0,015 mm
Excentricité de l'axe	0,020 mm	0,005 mm
Sous-dimensionnement du diamètre de l'axe	0,015 mm	0,010 mm

N = 8 CYCLES



Le jeu axial n'est pas pris en compte du fait de sa nature aléatoire. Les trois facteurs mis en jeu produisent des erreurs cycliques prévisibles s'additionnant vectoriellement. Le jeu radial amène des erreurs sur la phase et sur la largeur des états logiques, comme on le verra plus loin.

2. Additionner les erreurs selon la méthode indiquée précédemment (nature statistique des erreurs) pour calculer la vectorielle moyenne :

$$\bar{E}_T = \sqrt{(\bar{E}_1)^2 + (\bar{E}_2)^2 + (\bar{E}_3)^2} = 4,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Calculer l'écart type :

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

3. Pour déterminer la précision du codeur, il est nécessaire de multiplier \bar{E}_T et σ_T par le facteur d'excentricité, Q_p , qui permet d'évaluer l'erreur en position :

$$Q_p = 5,3 \text{ degrés d'angle par mm d'excentricité}$$

Sur le HEDS-5000, $N = 500$. L'erreur de position moyenne, $\Delta\theta$, est alors de :

$$\begin{aligned} \Delta\bar{\theta} &= \bar{E}_T Q_p \\ &= (4,7 \times 10^{-2} \text{ mm}) \text{ (5,3 degrés d'angle/mm)} \\ &= 0,25 \text{ degrés d'angle} \\ &\text{soit } 15 \text{ minutes d'arc,} \end{aligned}$$

et l'écart type de :

$$\begin{aligned} \sigma(\Delta\theta) &= \sigma_T Q_p \\ &= (1,9 \times 10^{-2} \text{ mm}) \text{ (5,3 degrés d'angle/mm)} \\ &= 0,1 \text{ degré d'angle} \\ &\text{soit } 6 \text{ minutes d'arc.} \end{aligned}$$

L'erreur maximale de positionnement, $\Delta\theta_{\max}$, a pour valeur approximative :

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{\max} &= \Delta\bar{\theta} + 2 [\sigma(\Delta\theta)] \\ &= 0,25 + 2 (0,1) \text{ degrés d'angle} \\ &= 27 \text{ minutes d'arc} \\ &\text{soit } 225 \text{ degrés électriques} \end{aligned}$$

(98% de la distribution normale se retrouvera dans $\bar{x} \pm 2\sigma$)

La relation entre l'excentricité de l'arbre et la précision du fonctionnement pour les HEDS-5000 et HEDS-6000 est indiquée figure 5. L'erreur résiduelle sur le positionnement (excentricité de l'arbre = 0, figure 5) indique la contribution de l'ensemble roue codeuse-axe creux à l'erreur en position. Pour les autres valeurs d'excentricité, la courbe tient compte à la fois de l'excentricité de l'arbre et de son sous-dimensionnement. $E_T + 2 \sigma_T$ dans notre exemple indique une excentricité max. de 0,085 mm, ce qui correspond à environ 27 minutes d'arc sur la courbe typique pour un HEDS-5000. La courbe de percentile 99 donne une indication sur la distribution en cours de fabrication, elle donne l'accroissement de l'erreur de la position résiduelle.

Erreurs sur le cycle

Chaque cycle comporte 360 degrés électriques. Cependant, le nombre de degrés mécaniques correspondant à chaque cycle peut s'écarter de sa valeur idéale, 360/N. L'erreur sur un cycle, ΔC , est exprimée en général en degrés électriques, d'où l'erreur équivalente en degrés d'angle :

$$\text{Erreur angulaire sur un cycle} = \frac{\Delta C}{N}$$

La qualité de la gravure de la roue et de la platine de mise en phase est le facteur primordial agissant sur l'erreur sur le cycle. Les valeurs de ce paramètre sont indiquées dans la fiche technique. L'excentricité a une incidence insignifiante sur l'erreur sur le cycle, ce qui permet de ne pas la calculer.

Erreur sur la largeur d'une impulsion

L'erreur sur la largeur d'une impulsion correspond à l'écart maximal entre sa largeur réelle et sa largeur théorique de

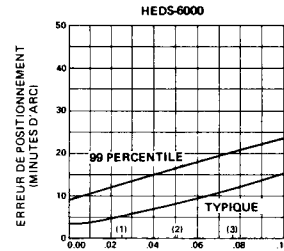
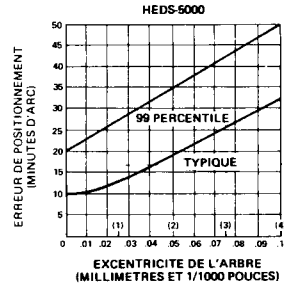


FIGURE 5 — Erreur de positionnement en fonction de l'excentricité de l'arbre

180 degrés électriques.

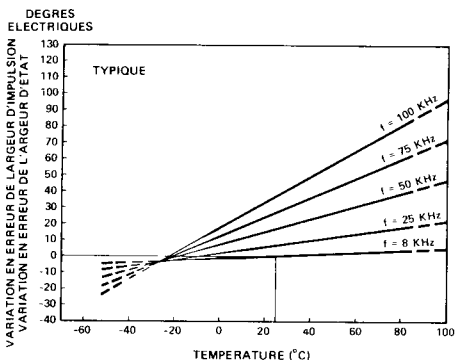
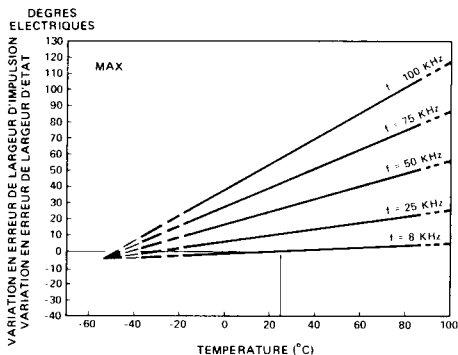
Bien que l'usage d'amplificateurs différentiels réduise la sensibilité aux tolérances sur les composants et les circuits, certains erreurs résultent de l'impact irrégulier de la lumière sur les détecteurs différentiels ou du déséquilibre entre les éléments de l'amplificateur différentiel. Une erreur supplémentaire peut s'observer si dans la plage de température préconisée, le codeur tourne à grande vitesse. Cet effet est dû aux retards de propagation inégaux des fronts montants et descendants des trains d'impulsions numériques. Comme pour la plupart des paramètres des circuits intégrés, cette différence entre temps de propagation dépend de la température. Presque égaux à 25°C, ces temps de propagation ne le sont plus, que la température croisse ou décroisse.

La figure 6 montre les valeurs maximale et typique sur une erreur de largeur d'impulsion due à des variations de la température et de la vitesse.

Erreur sur la phase

L'erreur sur la phase correspond à l'écart maximal du déphasage entre les voies A et B par rapport à leur déphasage théorique de 90 degrés électriques.

La phase, à strictement parler, n'est pas un paramètre de codage, puisqu'elle n'atteint pas la valeur de deux transitions. Mais comme elle contribue directement à l'erreur sur la largeur des états logiques, il est important de connaître son mécanisme.



On peut définir un facteur de sensibilité, Q_e , pour permettre d'évaluer la contribution du jeu radial et de l'excentricité sur l'erreur sur la phase.

$$Q_e = \frac{K_2 N}{R^2}$$

$$= 520 \text{ degrés électriques par mm (typique sur le HEDS-5000, } N = 500)$$

$$= 227 \text{ degrés électriques par mm (typique sur le HEDS-6000, } N = 1000)$$

La contribution de l'erreur sur la phase à l'erreur sur la largeur de l'état logique est calculée dans l'exemple de calcul de l'erreur sur la largeur de l'état, elle se partage entre l'excentricité cyclique et le jeu radial aléatoire de l'axe.

Erreur sur la phase due au jeu axial

Le jeu axial provoque une modification de la phase lorsque les faisceaux lumineux éclairant les deux voies ne sont pas parfaitement parallèles. L'équation représentant cette variation de phase est la suivante :

$$\Delta\phi_A = \Delta G \times Q_{ma}$$

où ΔG = variation d'écartement roue codeuse-platine de mise en phase due au jeu axial (mm)

Q_{ma} = facteur de désalignement (degrés électriques/mm)

La valeur typique de Q_{ma} , observée sur un lot de HEDS-5000/6000, est de :

$$Q_{ma} = 20 \text{ degrés/mm}$$

Erreur totale sur la phase

L'erreur totale sur la phase est égale à la somme des erreurs dues au jeu radial et aux déplacements axiaux :

$$\Delta\phi_T = \sqrt{\Delta\phi_R^2 + \Delta\phi_A^2}$$

Erreur sur la largeur de l'état logique

L'erreur sur la largeur de l'état logique est l'écart maximal observé entre sa valeur réelle et sa valeur théorique de 90 degrés électriques.

Puisque la largeur d'un état logique est la combinaison de toutes les transitions du codeur, tous les facteurs agissant sur la largeur de l'impulsion et sur l'erreur sur la phase, participeront à l'erreur sur la largeur de l'état logique. Ces contributions aux erreurs peuvent se classer en trois catégories. La première comprend la contribution de l'excentricité dont le résultat provoque des erreurs cycliques comme nous l'avons montré au paragraphe traitant des erreurs sur la position. La seconde concerne les facteurs produisant des erreurs aléatoires. La troisième comprend tous les facteurs dus à la conception du codeur comme la qualité des lentilles, les caractéristiques de commutation des circuits intégrés et leurs hystérésis. Sur les HEDS-5000 et HEDS-6000, l'influence d'ensemble de ces facteurs provoque une erreur moyenne de 5 degrés électriques.

L'étude quantitative des effets de ces facteurs sur l'erreur sur l'état logique fait l'objet des paragraphes suivants.

FIGURE 6 - Variations maximale et typique en erreur de largeur d'impulsion et erreur de largeur d'état en fonction de la température

La phase moyenne de la plupart des systèmes de codeurs est réglée au cours du montage pour s'approcher au plus près de sa valeur théorique de 90 degrés. Ceci permet de moyenner plus facilement les variations cycliques de la phase pendant la rotation de l'axe. C'est pourquoi, l'intérêt du modèle concerne en priorité la valeur de la variation de la phase due aux mouvements aléatoires de l'arbre pendant sa rotation.

L'instabilité de phase entre les deux voies du codeur est due aux déplacements radial, axial et à l'excentration des fenêtres de la roue codeuse par rapport à la platine de mise en phase.

Erreurs sur la phase dues au jeu radial

Le jeu radial et l'excentricité vont modifier la phase d'une valeur inversement proportionnelle au carré du rayon de la roue codeuse et proportionnelle au nombre de fentes N de la roue codeuse.

$$\Delta\phi_R = \frac{K_2 NE}{R^2}$$

EXEMPLES DE CALCUL

Les exemples qui suivent ont pour but d'étudier l'erreur sur la largeur de l'état logique d'un lot de codeurs. La largeur de l'état logique est fondamentale dans les informations de direction. Il faut donc en conserver un minimum quelles que soient les conditions de fonctionnement. La valeur de ce minimum peut varier de 1 à 20 degrés électriques ou plus, elle dépend du type de circuit de comptage utilisé sur lequel les informations de direction puissent être obtenues. Nous allons étudier deux types d'approches pour réaliser cette analyse. En premier, nous évaluerons la largeur de l'état logique à la température ambiante normale, sans tenir compte des vitesses extrêmes. Dans le second exemple, nous tâcherons de répondre à la question : « Quelles doivent être les conditions de mesure limites à température ambiante pour conserver une largeur minimale aux états logiques lorsque l'on se trouve en extrémité de gamme de températures ou de vitesses ? ».

Les valeurs de paramètre nécessaires aux calculs ne sont pas toutes fournies par la fiche technique. Quand elles existent, on utilise celles données dans la fiche technique sinon, les données nécessaires ont été empiriquement évaluées à partir d'essais en production. Les valeurs relatives aux variables intéressant l'axe doivent être estimées ou mesurées par l'utilisateur. Les valeurs utilisées ci-après se rapportent à un lot d'un type de moteur particulier monté sur des HEDS-5000 et HEDS-6000 fonctionnant dans les conditions recommandées. Les exemples supposent que la phase a été ajustée pendant le montage pour que l'erreur de phase moyenne sur 360 degrés mécaniques soit proche de zéro.

Toute erreur de phase provoque une erreur sur la largeur de l'état logique de grandeur égale. C'est pourquoi, les facteurs de sensibilité déjà calculés pour la phase sont utilisés dans le calcul de l'erreur sur la largeur de l'état logique.

Exemple d'analyse à la température ambiante normale

EXCENTRICITE, ΔS_1

L'excentricité totale des fenêtres de la roue codeuse a été évaluée dans l'exemple concernant l'erreur de position.

$$\text{Excentricité moyenne} = 4,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\text{Ecart type sur l'excentricité} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

L'effet de l'excentricité sur la largeur des états s'obtient en multipliant l'excentricité totale attendue par le facteur de sensibilité de phase $Q_e = 520$ degrés électriques/mm.

L'excentricité étant mesurée comme une valeur crête-à-crête (DTA)* et l'erreur de phase ayant été ajustée pour être proche de zéro, le déplacement maximal de la roue codeuse par rapport à la platine de mise en phase sera inférieur ou tout au plus égal à la moitié des valeurs de DTA spécifiées pour l'excentricité. Les écarts types et moyens sur l'excentricité utilisés dans le calcul de ΔS_1 sont à diviser par deux.

Les équations suivantes concernent les HEDS-5000 et HEDS-6000, $N = 500$.

* DTA : déviation totale de l'axe

La contribution de l'excentricité ΔS_1 est donc de :

$$\Delta S_1 = \frac{(4,7 \times 10^{-2} \text{ mm})}{2} \quad (520 \text{ degrés électriques})$$

$$= 12,2 \text{ degrés électriques}$$

$$\text{et } \sigma(\Delta S) = \frac{(1,9 \times 10^{-2} \text{ mm})}{2} \quad (520 \text{ degrés électriques})$$

$$= 4,9 \text{ degrés électriques}$$

PHASE ALEATOIRE, ΔS_2

Les facteurs contribuant à la phase aléatoire doivent s'évaluer en association avec le facteur de corrélation, Q, de leur influence sur l'erreur de largeur de l'état logique. Le tableau 3 indique ces facteurs. Les jeux radial et axial dans l'exemple ont été relevés sur un moteur type de 31,75 mm équipé de roulements à billes. On utilise à nouveau les facteurs de sensibilité de phase, Q_e et Q_{ma} , (décrits précédemment) pour calculer la contribution à l'erreur. Les valeurs indiquées pour les erreurs ont été relevées sur un lot de production typique à l'aide du phasemètre décrit au paragraphe « Procédures d'essai ».

Tableau 3

FACTEUR	UNITES	MOYENNE E	ECART TYPE σ	FACTEUR DE SENSIBILITE DE PHASE, Q
Jeu axial de l'axe	mm	0,1	0,06	Q_{ma} 20 deg.élect./ mm
Jeu radial de l'axe	mm	0,006	0,003	Q_e 520 deg.élect./ mm
Ajustage de l'ensemble	Degrés élect.	3	3	aucun

Multiplier la moyenne et l'écart type de chaque facteur par la valeur correspondante de Q. Ensuite, calculer la contribution moyenne totale en combinant les moyennes pondérées. L'écart type total est obtenu en combinant l'écart type correspondant à chaque facteur.

$$\overline{\Delta S_2} = \sqrt{[(0,1) 20]^2 + [(0,006) 520]^2 + 3^2}$$

$$= 4,7 \text{ degrés électriques}$$

$$\sigma(\Delta S_2) = \sqrt{[(0,06) 20]^2 + [(0,003) 520]^2 + 3^2}$$

$$= 3,5 \text{ degrés électriques}$$

ERREURS INTERNES, ΔS_3

Les erreurs intrinsèques au HEDS-5000 (non imputables directement aux tolérances de montage et à l'axe) sont dues

aux tolérances sur la qualité des lentilles, sur les caractéristiques de commutation des circuits intégrés et sur divers autres paramètres. Toutes additionnées, elles ont les valeurs approximatives suivantes :

$$\overline{\Delta S_3} = 5 \text{ degrés électriques}$$

$$\sigma (\Delta S_3) = 8,4 \text{ degrés électriques}$$

Ces résultats ont été obtenus à partir de lots échantillonnés en fabrication.

Distribution des erreurs

La distribution des erreurs sur la largeur des états logiques se calcule algébriquement en additionnant* les moyennes sur l'excentricité, la phase aléatoire et les erreurs internes. L'écart type s'obtient comme précédemment.

Largeur des états :

$$\text{Erreur moyenne } \overline{\Delta S_T} = 12,2 + 4,7 + 5$$

$$= 21,9 \text{ degrés électriques}$$

$$\text{Ecart type } \sigma (\Delta S_T) = \sqrt{(4,9)^2 + (3,5)^2 + (8,4)^2}$$

$$= 10,3 \text{ degrés électriques}$$

L'exemple ci-dessus permet de prévoir que l'erreur moyenne sur la largeur de l'état pour un lot de codeur sera inférieure à 25 degrés électriques lorsque l'on maintient les paramètres dans les limites préconisées pour que le codeur fonctionne dans les conditions recommandées par la fiche technique HEDS-5000. L'erreur sur la largeur de l'état, pour 99% (2,3 σ) du lot, se calcule de la façon suivante :

$$\overline{\Delta S_T} + 2,3 \{ \sigma (\Delta S_T) \}$$

$$= 21,9 + (2,3) (10,3)$$

* Les contributions des erreurs sont additionnées algébriquement en vue d'obtenir les performances dans le cas le plus défavorable.

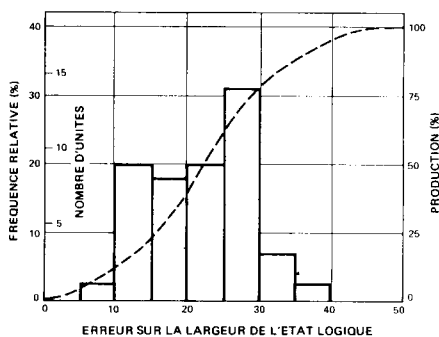


FIGURE 7 — Exemple de distribution de l'erreur sur la largeur de l'état logique dans un lot de fabrication

$$= 45,5 \text{ degrés électriques}$$

soit environ 45 degrés électriques (noter que ces hypothèses ne contredisent pas l'erreur sur la largeur de l'état spécifiée dans la fiche technique du HEDS-5000).

Des codeurs et des moteurs aux caractéristiques semblables à l'exemple ont été montés et essayés. L'histogramme de l'erreur sur la largeur de l'état résultante est indiqué figure 7.

Choix de la gamme de température

Pour obtenir un décodage correct dans toute la plage de température, se reporter aux fiches techniques HEDS-5000 et HEDS-6000 comportant des graphiques comme ceux de la figure 6 qui montrent la largeur d'impulsion maximale et typique et les erreurs de largeur des états en fonction de la température et de la vitesse.

MONTAGE SUR LE MOTEUR

Surface de montage

Le codeur peut se fixer directement sur l'une des faces d'un moteur à axe double, ou sur un support déposé à l'extrémité d'un axe.

Dans les deux cas, la face sur laquelle doit être monté le moteur doit être plane et lisse. Cette face n'a besoin d'aucune finition particulière si ce n'est d'un ébarbage pour permettre un glissement aisé du codeur lors du réglage de la phase. Le codeur HEDS-5000 est fixé par trois vis, le HEDS-6000 par deux; il est donc nécessaire de percer les trous dont les cotes sont indiquées figure 8, puis de les tarauder à pas métrique ou anglo-saxon.

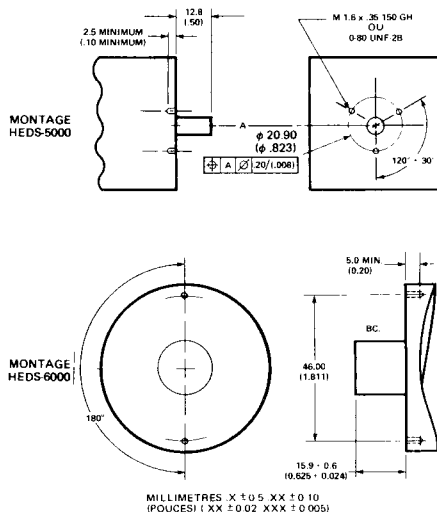


FIGURE 8 — Cotes de montage

Collage

Deux types de colles sont employées pour fixer le codeur.

La colle RTV (colle vulcanisant à froid) est utilisée pour ses avantages suivants :

1. Servir de lubrifiant en favorisant le glissement du codeur pendant le réglage de la phase.
2. Permettre un collage souple tolérant les différences de dilatation.

Les colles Dow Corning 3145 et GE 162 ont été sélectionnées car elles répondent à ces critères et qu'en outre, elles ne sont pas corrosives et n'émettent pas de vapeurs nocives.

La colle époxy Hysol a été choisie car elle donne un collage rigide tout en présentant un compromis acceptable entre une viscosité initiale suffisante pour maintenir la roue codeuse en place avant et pendant les réglages. La colle RTV s'utilise avantagieusement sur les axes de diamètre supérieur à 6,35 mm. Elle est moins recommandée pour les axes de diamètre inférieur car la faible surface de contact entraîne un maintien moins ferme et un collage moins solide.

ASSEMBLAGE DU CODEUR

ATTENTION : les circuits électroniques du codeur peuvent être endommagés par les décharges électrostatiques. Les extrémités du câble sont des zones sensibles. Les précautions classiques comme une bonne isolation électrique du personnel éliminent ces inconvénients.

La fiche technique des HEDS-5000 et HEDS-6000 donne la procédure d'assemblage complète. Bien que cette procédure puisse être différente du fait de la diversité des applications, il est nécessaire d'utiliser une méthode rationnelle dans l'établissement de toute procédure particulière. Trois étapes dans l'assemblage risquent de détériorer les performances du codeur : le centrage, le réglage de l'écartement et le réglage de la phase.

Le centrage du codeur HEDS-5000 sur l'axe au moyen du gabarit de centrage conique (HEDS-892X) permet une meilleure insertion des vis et donne une référence solide au réglage final de la phase. Le centrage du HEDS-6000 s'effectue à vue.

Bien que les HEDS-5000 et HEDS-6000 acceptent de fortes tolérances sur l'écartement entre la roue codeuse et la platine de mise en phase, seul un réglage correct de cet écartement au départ peut assurer un fonctionnement sans aléas. Il est essentiel que la roue codeuse ne touche pas la platine de mise en phase pendant sa rotation, son déplacement axial ou sous l'action de vibrations. Pour le HEDS-5000 utiliser un gabarit d'écartement permettant un écartement entre la roue codeuse et la platine de mise en phase d'environ 63 mm, en utilisant comme référence la partie supérieure du corps du codeur. Pour le réglage de cet écartement en ce qui concerne le HEDS-6000, mettre au même niveau l'axe creux de la roue codeuse et la partie supérieure du corps du codeur. Il est recommandé de déposer un peu de colle RTV pour servir de joint à l'ensemble émetteur et le protéger de la poussière, ceci est inutile en atmosphère dépoussiérée.

La dernière étape de l'assemblage consiste à ajuster la phase, elle peut servir en outre de contrôle final. Ainsi qu'on a pu le voir précédemment, cette étape est indispensable pour obtenir les caractéristiques de codage voulues. Comme elle contribue à l'erreur sur la largeur de l'état logique, la phase moyenne doit être ajustée à une valeur aussi proche que possible de 90 degrés électriques. Il est facile d'atteindre cette valeur à ± 10 degrés électriques près à l'aide du phase-mètre décrit figure 11. Le réglage de l'oscilloscope est moins précis et demande plus d'expérience, il permet quand même d'atteindre les mêmes résultats avec du soin et de l'attention.

Lorsque la mise en phase des voies n'est pas nécessaire (tachymètres) ou si l'on peut tolérer un déphasage important ou le corriger, le réglage de la phase peut être omis ou modifié.

PROCEDURES DE TEST

Toutes les pièces du codeur modulaire sont vérifiées avant expédition. Le contrôle de ces pièces chez l'utilisateur est difficile car il exige des montures spéciales. Il vaut mieux essayer le codeur une fois assemblé bien que certaines vérifications simples puissent être réalisées en contrôle d'entrée.

CONTROLE D'ENTREE

Éléments du codeur

Roue codeuse : contrôler visuellement les dommages éventuels, c'est-à-dire que la roue n'est ni gauchie ni ébréchée.

Ensemble émetteur : les DEL peuvent être vérifiées en les alimentant selon le schéma de la figure 9. Limiter le courant à 10 mA et ne pas utiliser de source de tension dépassant 10 V pour ne pas détériorer les diodes.

Corps du codeur : en alimentant le corps du codeur sous 5 V au moyen du connecteur 10 broches, il est possible d'observer un signal sur un oscilloscope. En déplaçant le corps du codeur devant une source de lumière (lampe d'éclairage par exemple), on peut observer des signaux fugitifs.

Moteurs

Axe : les définitions des tolérances sur l'axe et les contrôles sont indiqués Annexe C.

Assemblage : l'écartement de la roue codeuse ne peut être mesuré directement mais avec un peu de pratique, il est

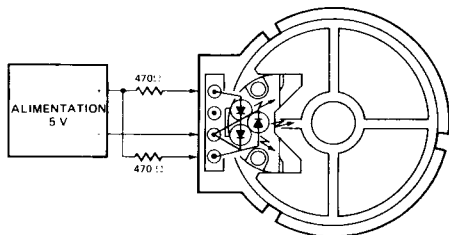


FIGURE 9 – Disposition de l'ensemble émetteur

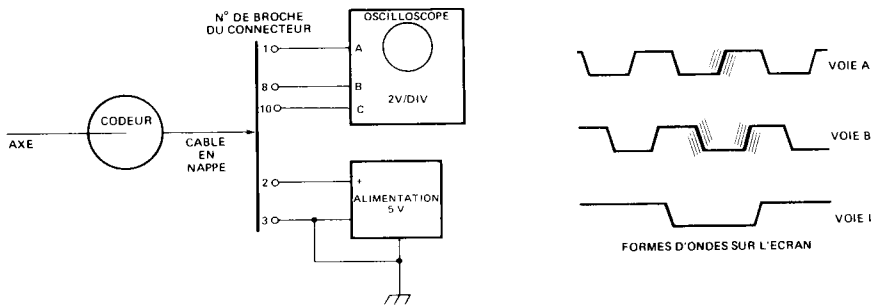
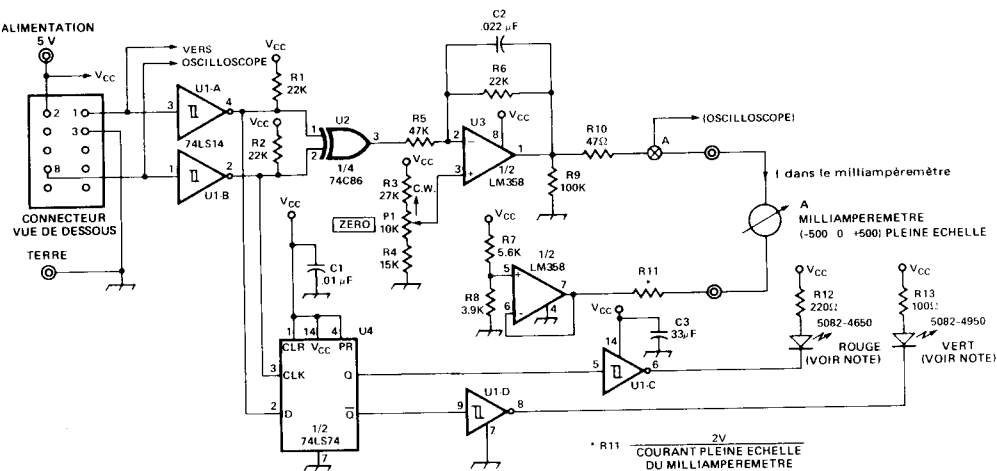
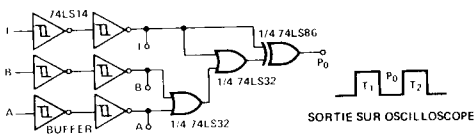


FIGURE 10 – Branchement de l'oscilloscope



NOTE : LA DEL ROUGE S'ILLUMINE LORSQUE LA FORME D'ONDE DE LA VOIE A EST EN AVANCE DE PHASE SUR CELLE DE LA VOIE B

A. Circuits du phasemètre



B. Disposition des circuits d'impulsion de l'indexage

FIGURE 11 – Circuits du phasemètre et disposition des circuits d'impulsion de l'indexage

possible de l'évaluer en observant, sous un grossissement adéquat, la parallaxe entre les fentes de la roue codeuse et de la platine de mise en phase.

Réglage de la phase/Essais finaux : la dernière étape de l'assemblage consiste à régler la phase. Ce réglage se fait à l'aide d'un oscilloscope ou d'un phasemètre à moyenne. Le montage de l'oscilloscope et les formes d'ondes obtenues sont indiquées figure 10. Pour régler la phase à la valeur d'erreur minimale, il est judicieux de le faire pour chacun des deux sens de rotation.

La figure 11A donne le schéma d'un phasemètre à moyenne qui facilite et rend plus précis le réglage de la phase entre les deux voies.

Processus de réglage

1. Observer les deux DEL indiquant le sens de rotation pour voir si ce dernier correspond à la couleur indiquée.
2. Faire correspondre éventuellement le sens de rotation avec la DEL de couleur correspondante. Régler la phase jusqu'à ce qu'elle soit correcte.
3. Régler le codeur (voir montage dans la fiche technique) pour lire 0 sur le galvanomètre du phasemètre.

Si dans le cas de certaines applications la voie de l'indexage doit être utilisée, il est nécessaire de l'aligner aux principales voies des données. La position d'impulsion de l'indexage et la phase sont réglées simultanément. Cette procédure met la phase de l'indexage à zéro.

Une fois réalisé le réglage de la phase des voies A et B à l'aide d'un oscilloscope ou phasemètre, utiliser un oscilloscope ou le circuit décrit à la figure 11B et ajuster le déclenchement pour le front descendant de la sortie I. Régler l'impulsion de l'indexage pour que T_1 et T_2 soient de largeur égale. Pour le réglage, suivre les instructions de montage indiquées sur la fiche technique correspondante.

Répéter le processus ci-dessus pour parvenir à la position souhaitée d'impulsion de l'indexage et de la phase.

Note : Il se peut qu'apparaisse une impulsion de grande largeur ou une erreur de phase importante dans certains cas. Les effets sont dus à des variations statistiques dans les tolérances des pièces composant le codeur. Il suffit de remplacer le sous-ensemble émetteur par un autre pour que le défaut disparaisse. Le sous-ensemble émetteur fautif peut être réutilisé en général sans problème sur un autre codeur.

DEPANNAGE ET REPARATION

Les HEDS-5000 et HEDS-6000 ne nécessitent aucun réglage une fois montés. Le sous-ensemble émetteur peut être retiré, mais avec beaucoup de soin pour éviter de tordre les fils de liaison du codeur. Des encoches sont disposées sur le pourtour de l'ensemble émetteur pour faciliter son démontage. Une fois l'ensemble émetteur retiré, il est possible de diriger un faisceau lumineux sur le corps et de faire tourner l'axe pour observer des changements d'état en sortie des deux voies. Si le corps du codeur fonctionne correctement et après vérification du câblage, il est possible de mettre en place un nouvel ensemble émetteur et de revérifier le codeur. Contrôler l'ensemble émetteur retiré comme l'indique le paragraphe «Contrôle d'entrée».

ENVIRONNEMENT

Certains environnements peuvent avoir des effets néfastes sur les matériaux utilisés dans la fabrication des HEDS-5000 et HEDS-6000. Pour permettre à l'utilisateur de prendre les précautions voulues, nous indiquons ci-après les différentes matières utilisées.

Corps du codeur et sous-ensemble émetteur :	Nylon chargé de verre
Lentilles de l'émetteur et du détecteur :	Polycarbonate
Isolant du câble en nappe :	Chlorure de polyvinyle
Roue codeuse :	Alliage de nickel
Colles :	RVT, silicone

INTERFACE

Il est indispensable que l'interface mécanique et électrique du codeur soit réalisée correctement pour que celui-ci puisse remplir une fonction utile dans un système donné.

MATERIEL

Le câble en nappe, fourni avec le codeur, est de qualité suffisante dans la plupart des cas. Ce câble non blindé peut supporter des interférences électromagnétiques de fort niveau sans influence sur les performances du codeur. Ce câble est constitué de conducteurs mono-brin (rigides) non prévus pour supporter des flexions ou des déplacements entre connecteur et codeur répétés. La figure 12 indique les points de concentration des contraintes pendant la flexion. Pour éliminer les contraintes dues aux déplacements ou à de fortes vibrations, il est recommandé de ligaturer le câble comme l'indique la figure 13. Le reste du câble doit être monté de telle manière qu'il n'y ait pas de flexions répétées dans une zone particulière.

Les codeurs HEDS-5000 et HEDS-6000 standard sont fournis avec un connecteur femelle à cisaillement d'isolant en extrémité du câble. Le tableau 4 indique les connecteurs mâles compatibles. Pour d'autres câbles et connecteurs, s'adresser à un distributeur agréé Hewlett-Packard.

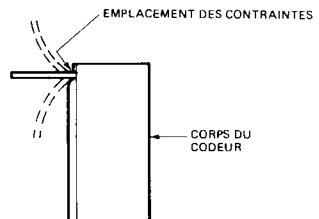


FIGURE 12

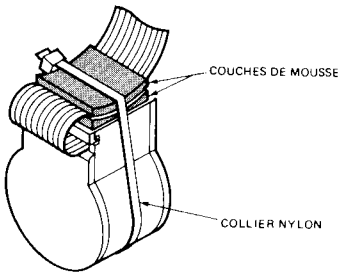


FIGURE 13

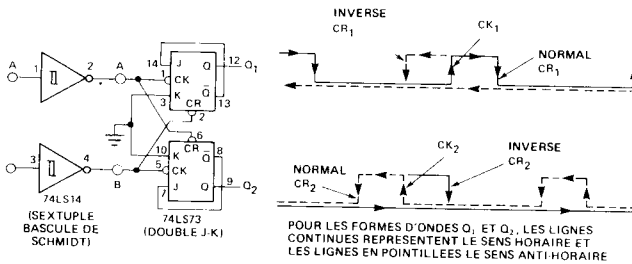
CIRCUITS

Certaines applications, comme la tachymétrie ou celles ne nécessitant qu'un seul sens de rotation, n'utilisent qu'une seule voie. Cependant dans la plupart des cas, il est nécessaire d'intégrer (comptage) la position angulaire de l'axe de rotation. Le circuit de base compte les cycles, alors qu'une de ses versions plus complexes, parfois utile, compte à la fois les deux transitions d'une voie (x2). Il est recommandé de placer une bascule de Schmitt LSTTL en tampon, en sortie de voie. Cette bascule augmente la sortance du codeur tout en diminuant sa sensibilité aux erreurs introduites par des transitions de longue durée à la sortie du codeur.

FABRICANT	REFERENCE DU CONNECTEUR MALE
AMP	102154-1 102160-1
Molex	10-56-2101 10-55-2101
3M	3446-2002 3446-1002
Berg	65962-001
Robinson-Nugent	IDH-10-SI IDH-10-SRI

Le circuit de la figure 14 fournit une impulsion montante ou descendante à chaque cycle. La configuration à hystérésis verrouillée évite que le circuit réalise des comptages multiples lorsque l'axe oscille faiblement autour de son point d'équilibre pendant une transition.

Pour permettre de distinguer un état haut d'un état bas, il est possible d'accroître la résolution en comptant chaque transition en sortie d'une voie. Le circuit de détection de fronts de la figure 15 fournit une impulsion à chaque transition sur la voie A. La porte OU exclusif se déclenche à la fréquence double de chaque voie, et si on l'observe en coïncidence avec la transition négative en sortie, son état correspond au sens de rotation. Ces deux sorties peuvent servir à réaliser le signal d'horloge et de sorties de commande d'un compteur-décompteur genre 74LS168.



DETERMINATION DU SENS DE ROTATION : SENS HORLAIRE, IMPULSIONS EN O₁, SENS INVERSE, IMPULSIONS EN O₂

FIGURE 14 - Circuit de comptage des cycles (x1)

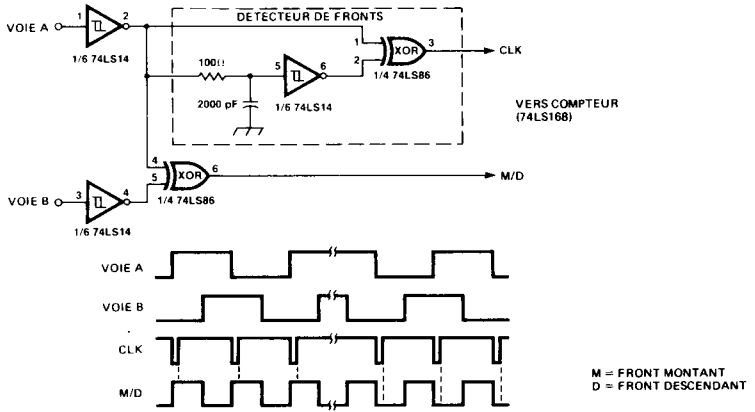


FIGURE 15 – Circuit de comptage x2

INTERFACE POUR MICROPROCESSEUR

L'interface avec un microprocesseur se fait selon différentes méthodes dépendant des exigences de conception. Un sous-programme d'interruption du système de commande, simple à réaliser, est valable aux faibles vitesses de rotation. Un sous-programme d'entrée peut réduire le matériel et convenir à des vitesses de rotation plus élevées. A très grande vitesse, la sortie du codeur peut attaquer un étage tampon constitué d'un compteur à base d'éléments discrets avant d'être introduit sur le microprocesseur.

Réalisation de l'étage de commande d'interruption

Sous-programme d'interruption

Entrer la voie A et la voie B dans le totalisateur.
 Masquer tous les bits sauf les bits 0 et 1.
 SI (IF) le totalisateur = 1 ou 2.
 ALORS (THEN)
 Incrémente le registre compteur.
 SINON (ELSE)
 Décrémente le registre compteur.

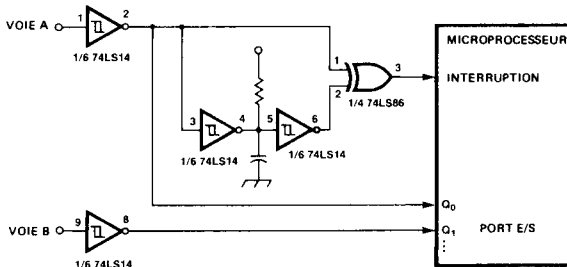


FIGURE 16 – Interfaces d'interruption

L'usage d'un indicateur binaire de dépassement permet à l'utilisateur d'accroître la capacité effective du compteur pour lui permettre d'atteindre sa capacité de comptage maximale.

Entrée programmée :

L'échantillonnage des sorties du codeur et l'algorithme de décodage sont écrits comme faisant partie intégrante du programme qui se déroule, ce qui élimine le temps système associé aux sous-programmes d'interruption. L'échantillonnage devenant alors indépendant des transitions du codeur, la vitesse de rotation de l'axe doit être réduite pour laisser le microprocesseur échantillonner au moins une fois par état logique en sortie.

La vitesse de rotation maximale se calcule comme suit :

1. La largeur minimale requise de l'état logique doit être plus longue que le cycle du programme.

$$T_S \left(1 - \frac{\Delta S_{\max}}{90} \right) > T_P$$

Dans cette formule :

T_S = durée nominale de l'état à la fréquence maximale

T_P = durée de la période d'échantillonnage du programme

ΔS_{\max} = erreur maximale sur la largeur de l'état logique

2. En remplaçant T_S par sa valeur ci-dessus, la fréquence maximale est de :

$$f_{\max} = \frac{1}{4 T_P} = \left(\frac{1 - \frac{\Delta S_{\max}}{90}}{4 T_P} \right) \text{ Hz}$$

ΔS s'estime comme indiqué au paragraphe « Conception du codeur ». Comme ΔS dépend aussi de la fréquence, il faut faire une première estimation à la fréquence voulue puis, si nécessaire, (pour des cycles de programmes très rapides), par itération, faire converger résultats et hypothèses.

La vitesse maximale autorisée découle de la fréquence :

$$\omega_{\max} = (2 \pi f_{\max} / N) \text{ radians/s}$$

N représentant le nombre de comptes de la roue codeuse

Exemple :

Un moteur doit fonctionner à 3000 t/mn. L'erreur sur la largeur de l'état est estimée à 45 degrés électriques. Calculer la durée maximale de la période d'échantillonnage.

$$f = \left(\frac{600}{60} \right) \times 500 = 5 \text{ kHz}$$

$$T_S = \frac{1}{4 f} = 0,05 \text{ ms}$$

$$T_P \leq T_S \left(1 - \frac{\Delta S_{\max}}{90} \right)$$

$$\leq 0,05 \left(1 - \frac{45}{90} \right) \text{ ms}$$

$$\leq 25 \mu\text{s}$$

L'intervalle de temps maximal admissible entre échantillons à l'entrée doit être de 25 μs . Un cycle complet du programme ne doit pas dépasser cette valeur sous peine de perdre des comptes du codeur.

SOUS-PROGRAMME DE DECODAGE

Un sous-programme de décodage doit conserver en mémoire l'état qui précède. Après l'entrée de l'état présent, une décision doit être prise quant au sens de rotation (éventuellement). Ceci peut être réalisé en accédant à l'emplacement d'une table déterminé par un mot de deux bits représentant l'état précédent et dont le contenu est le mot correspondant à l'état suivant dans le sens de rotation horaire.

ETAGE TAMPON

La conception de l'étage tampon dépend du rapport entre la fréquence du codeur et la fréquence d'échantillonnage du microprocesseur.

L'élément de mémoire à un seul étage (flip-flop) de la figure 15 multiplie la fréquence possible du décodeur par un facteur de 2,5 environ tout en permettant le comptage de deux transitions par cycle.

Pour atteindre des vitesses de rotation encore plus grandes, un compteur-décompteur peut servir d'étage tampon au codeur. Le microprocesseur accède directement au mot parallèle du compteur.

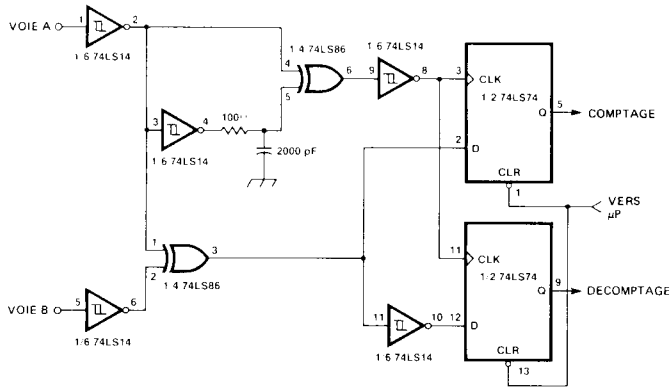


FIGURE 17 – Etage intermédiaire adaptateur x2 pour compteur-décodeur

DETECTION DE LA POSITION DE L'AXE

Un codeur incrémentiel est un composant de coût intéressant, fiable, permettant de déterminer la position d'un axe. Comme sa sortie fournit une impulsion par incrément de rotation, il est nécessaire de prévoir un système intégrant le train d'impulsion pour pouvoir indiquer la position.

Le circuit de la figure 17 réalise l'adaptation des signaux de sortie du codeur à l'entrée d'un compteur-décodeur. La résolution du comptage correspond au double du comptage de la roue codeuse.

ANNEXE A

CHOIX D'UN CODEUR

PARAMETRE	DESCRIPTION/AVANTAGES PRINCIPAUX
TYPE :	
ABSOLU	<ul style="list-style-type: none"> – Fournit un « mot » binaire pour chaque position. Chaque bit nécessite une voie optique particulière. – La résolution est égale au nombre de bits en sortie. – Conserve en permanence l'information de la position correcte sur un tour. – Insensible aux baisses de puissance.
INCREMENTIEL OU RELATIF	<ul style="list-style-type: none"> – Fournit une impulsion pour chaque incrément dans la rotation de l'axe. – Est constitué généralement de deux voies optiques pour permettre de déterminer les sens de rotation. – Coût inférieur à celui du codeur absolu, du fait du nombre réduit de voies. – Meilleure fiabilité. – Codage en position non limité à un tour.

PARAMETRE	DESCRIPTION/AVANTAGES PRINCIPAUX
NOMBRE DE VOIES :	
1 VOIE	<p>Un seul train d'impulsions.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fournit les informations nécessaires et suffisantes si le moteur ne doit tourner que dans un seul sens. <p>Les durées sont proportionnelles à la vitesse de rotation.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Electronique moins coûteuse.
2 VOIES	<p>Deux signaux en sortie en quadrature</p> <ul style="list-style-type: none"> – Permet de déterminer le sens de rotation. – Peut, après intégration, indiquer la position.
3 VOIES	<p>Comme le codeur deux voies, la troisième voie donnant une ou plusieurs impulsions par rotation</p> <ul style="list-style-type: none"> – Indique la position absolue de l'axe une fois par tour. – Peut servir à remettre les compteurs de position à zéro. – Peut servir comme troisième voie de données
CONSTRUCTION :	
MONOBLOC	<ul style="list-style-type: none"> – Le codeur, vendu comme une unité, comporte ses propres paliers et son propre axe. – Facile à utiliser. Moins de montage et de contrôle. – Moins sensible à l'excentricité de l'axe et à la charge.
MODULAIRE	<ul style="list-style-type: none"> – Le codeur, fourni en kit, est assemblé par l'utilisateur. – Coût plus réduit. – Faibles dimensions. – Moindre inertie et friction du fait de l'élimination des paliers supplémentaires. – Ne nécessite pas d'alignement entre deux axes séparés. – N'ajoute pas de résonance due à la torsion lorsque le moteur et le codeur sont reliés par un axe de grande longueur.
CODAGE :	
DIRECT	<ul style="list-style-type: none"> – Une roue possédant des perforations interrompt le faisceau lumineux envoyé par une source sur un photo-détecteur. Les fenêtres et leur intervalle sont égaux et de même largeur que le faisceau lumineux, ce qui en réduit la résolution. – Simple, faible coût.
MOIRE	<ul style="list-style-type: none"> – Un masque constitué d'un ensemble de fentes est placé devant le photo-détecteur. Une roue codeuse possédant des fentes disposées de façon similaire à celles du masque coupe le faisceau lumineux. La lumière n'atteint le détecteur que lorsque les fentes de la roue codeuse et du masque sont alignées. La résolution n'est alors limitée que par l'intervalle entre fentes sur la roue et le masque et non par le diamètre du faisceau lumineux. – La résolution n'est plus tributaire de la taille du détecteur.

PARAMETRE	DESCRIPTION/AVANTAGES PRINCIPAUX
OPTIQUE	
SANS LENTILLE	<ul style="list-style-type: none"> - Le faisceau lumineux issu de la source peut diverger. Dans ce cas, la distance entre la roue codeuse et le masque doit être très faible pour conserver une modulation suffisante des détecteurs par la lumière. - Faible prix, valable pour les codeurs de faible résolution.
FOCALISEE	<ul style="list-style-type: none"> - Une lentille focalise la lumière émise sur la roue codeuse. Un jeu quelconque de l'axe provoque un déplacement de la roue codeuse par rapport à sa position optimale donc l'augmentation du diamètre du faisceau lumineux, d'où réduction des contrastes de modulation. - Bonne captation de la lumière. - Résolution meilleure que sur les systèmes sans lentille, lorsque la méthode de la moire n'est pas utilisée.
COLLIMATEE	<ul style="list-style-type: none"> - Une lentille recueille la lumière d'une petite source et la transforme en un fin pinceau de rayons parallèles dirigés sur la roue codeuse et le photo-détecteur disposé derrière un masque. La modulation de la lumière n'étant pas influencée par l'écartement roue codeuse-masque, il est donc possible de rendre ce dernier plus important même aux fortes résolutions. - L'écartement plus important permet de réduire les tolérances sur le jeu de l'axe. - Permet une meilleure résolution. - Meilleure concentration de la lumière.
SOURCE LUMINEUSE :	
A INCANDESCENCE	<ul style="list-style-type: none"> - Petite lampe. - Forte puissance lumineuse.
A SEMI-CONDUCTEUR	<ul style="list-style-type: none"> - Une DEL fournit une lumière rouge ou infrarouge proche. - Faible consommation. - Meilleure fiabilité. - Faibles dimensions, source plus concentrée permettant une meilleure collimation.
ROUE CODEUSE :	
VERRE	<ul style="list-style-type: none"> - Un ensemble de barres est imprimé sur le verre. - Plus grande résolution possible. - Meilleure précision des cycles. - Bonne planéité.
METAL	<ul style="list-style-type: none"> - Le disque métallique comporte un ensemble de fentes sur son pourtour. - Faible inertie. - Rapport résolution/inertie bien meilleur. - Insensible aux rayures. - Robuste.

PARAMETRE	DESCRIPTION/AVANTAGES PRINCIPAUX
MISE EN FORME DU SIGNAL :	
UNE SEULE SORTIE	<ul style="list-style-type: none"> - Un seul détecteur par voie collecte la lumière modulée. Le photo courant qui en résulte est amplifié puis envoyé sur une sortie unique. Le signal numérique est obtenu en comparant le signal en sortie de l'amplificateur à un niveau de référence (en général égal à la moitié du niveau crête). Tout changement de niveau dans le cheminement de la lumière (dégradation de la source, par exemple) amènera une dissymétrie de la forme d'onde numérisée. - Faible coût.
DIFFERENTIELLE (PUSH-PULL)	<ul style="list-style-type: none"> - Les perforations du masque sont disposées devant deux détecteurs espacés de façon que seul l'un d'eux soit éclairé à la fois. Les courants résultants sont amplifiés par un amplificateur différentiel. - Le signal numérique est obtenu en comparant les signaux de chaque sortie. - Les formes d'ondes sont stables et moins influencées par la température ou les modifications d'alignement.
SORTIE :	
ANALOGIQUE	<ul style="list-style-type: none"> - Le signal triangulaire amplifié est sorti puis numérisé par un circuit extérieur. - La sortie peut être réinjectée pour déterminer, par interpolation, la position analogique. - Quelquefois utilisée pour le contrôle de vitesse.
NUMERIQUE	<ul style="list-style-type: none"> - Le codeur délivre un signal numérique. - S'interface directement aux circuits numériques. - Possède une plus grande immunité au bruit. - Interconnexion plus simple.

ANNEXE B

MOTEURS A COURANT CONTINU

L'emploi du codage au moyen de moteurs dans les applications concernant la commande en position nécessite souvent des moteurs spéciaux répondant à des exigences particulières telles que le couple, la vitesse, le diamètre, l'axe, le boîtier, etc. Il n'est pas facile de faire la liste de tous ceux qui sont compatibles avec les HEDS-5000 et HEDS-6000.

Les moteurs qui lui conviennent doivent répondre à quatre critères mécaniques suivants :

- Le jeu axial.
- La perpendicularité de l'axe par rapport aux faces.
- L'excentricité de l'axe.
- Le jeu radial.

Les tolérances maximales sur ces paramètres sont spécifiées dans la fiche technique des HEDS-5000 et HEDS-6000.

Pour aider ceux qui désirent un moteur permettant d'évaluer les performances des HEDS-5000 et HEDS-6000, nous indiquons, au tableau 5, ceux que nous avons essayés et dont les tests sur échantillons ont répondu aux spécifications. La liste de moteurs ci-dessous n'est pas exhaustive, d'autres fabricants peuvent en offrir convenant parfaitement, de même que chez les fabricants indiqués, il peut en exister d'autres très valables.

Tableau 5

FABRICANTS	REFERENCES
Electro-Craft	Séries 508, 510
Pittman	Séries 8000, 9000, 13000
Portescap	Séries 23021, 26PC11, 28PL21, 34L11
Transicoil	Tous les moteurs avec axe de 3,96 ou 6,35 mm

Si on consulte une fiche technique de moteur, on constate que les dimensions sont bien spécifiées mais que les paramètres spécifiés plus haut sont rarement indiqués. Il est nécessaire de s'entendre avec le fournisseur pour qu'il indique les paramètres d'axe de ses moteurs.

Quelques fabricants donnent le choix entre des paliers d'axe manchonnés ou à billes. Les paliers à billes améliorent la qualité des paramètres et peuvent être nécessaires pour obtenir les spécifications voulues.

Les exigences de montage des codeurs doivent être communiquées au fabricant pour que l'alignement du codeur soit réalisable. Ceci peut nécessiter la réalisation éventuelle d'une plaque de montage supplémentaire avec trous taraudés.

Les contrôles du jeu axial, de la perpendicularité, de l'excentricité et du jeu radial de l'arbre sont nécessaires pour accepter les moteurs en contrôle d'entrée. L'utilisateur doit s'assurer que les conditions d'essais concordent avec les exigences des codeurs HEDS-5000 et HEDS-6000. Par exemple, la roue codeuse est située grosso-modo à 10 mm de la surface de montage lorsque le codeur est installé, c'est pourquoi, la perpendicularité, l'excentricité et le jeu radial doivent être mesurés à cette distance de la surface sur laquelle le codeur est fixé.

ANNEXE C

PARAMETRES D'AXE D'UN MOTEUR

