

Retour à la présentation

Asservissement numérique de vitesse et de position d'un plateau tournant

1. Objectif.

Analyser et régler une boucle d'asservissement numérique de vitesse et de position.

2. Préparation : lire la présentation (paragraphe 3).

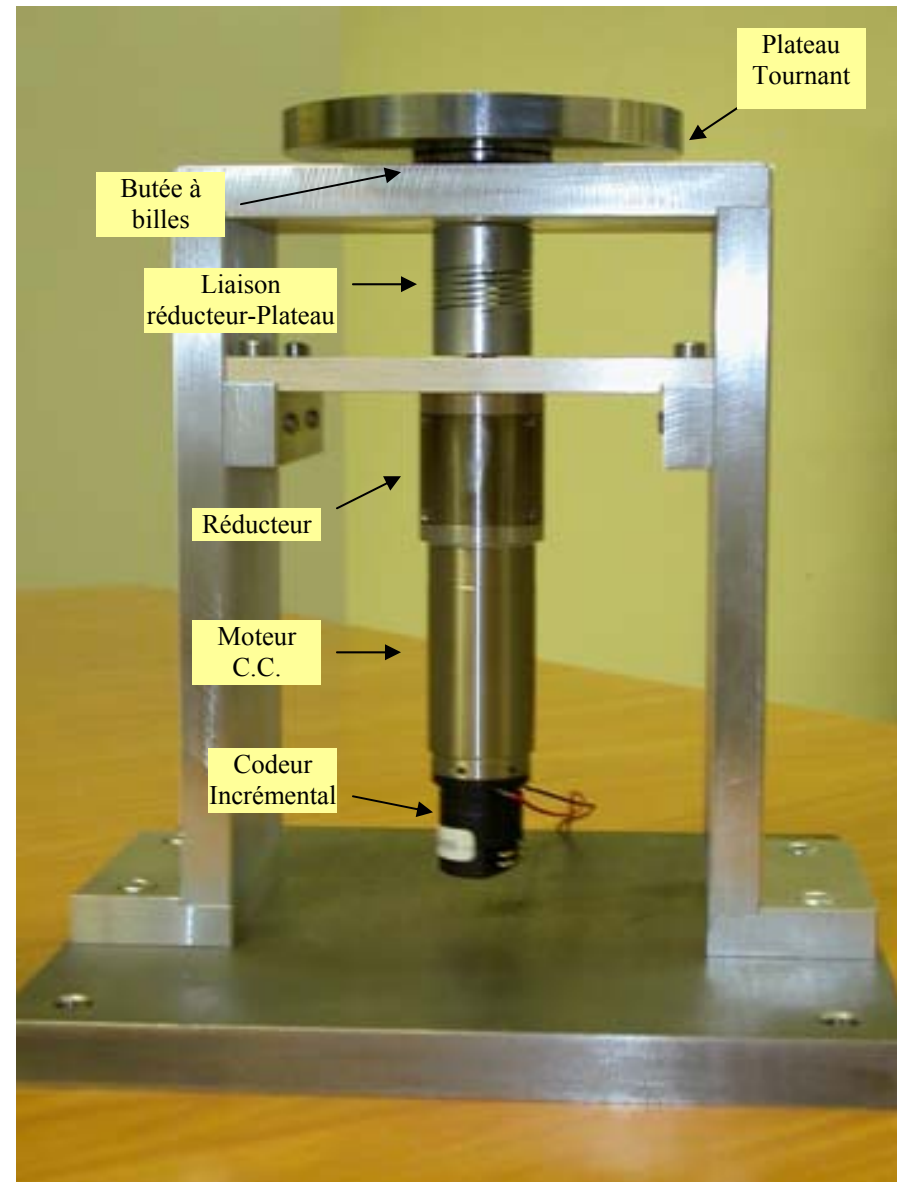
3. Présentation du matériel et Branchements

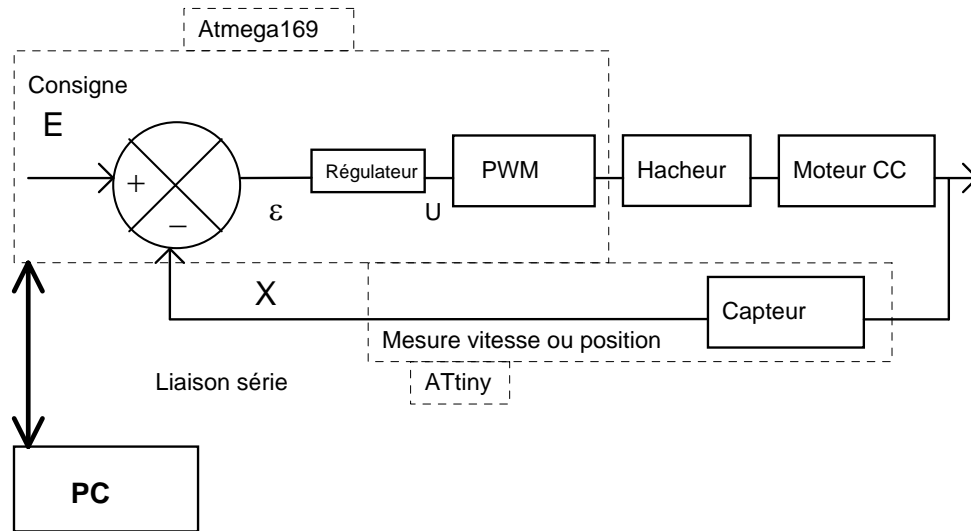
Un moteur à courant continu entraîne en rotation un plateau tournant, par l'intermédiaire d'un réducteur.

Le moteur est commandé en tension par un hacheur.

Un codeur incrémental, associé à un microcontrôleur (ATtiny 2313), permet de mesurer la vitesse et la position angulaire de l'arbre du moteur.

Un autre microcontrôleur (ATMEGA169) assure la gestion de la boucle d'asservissement.

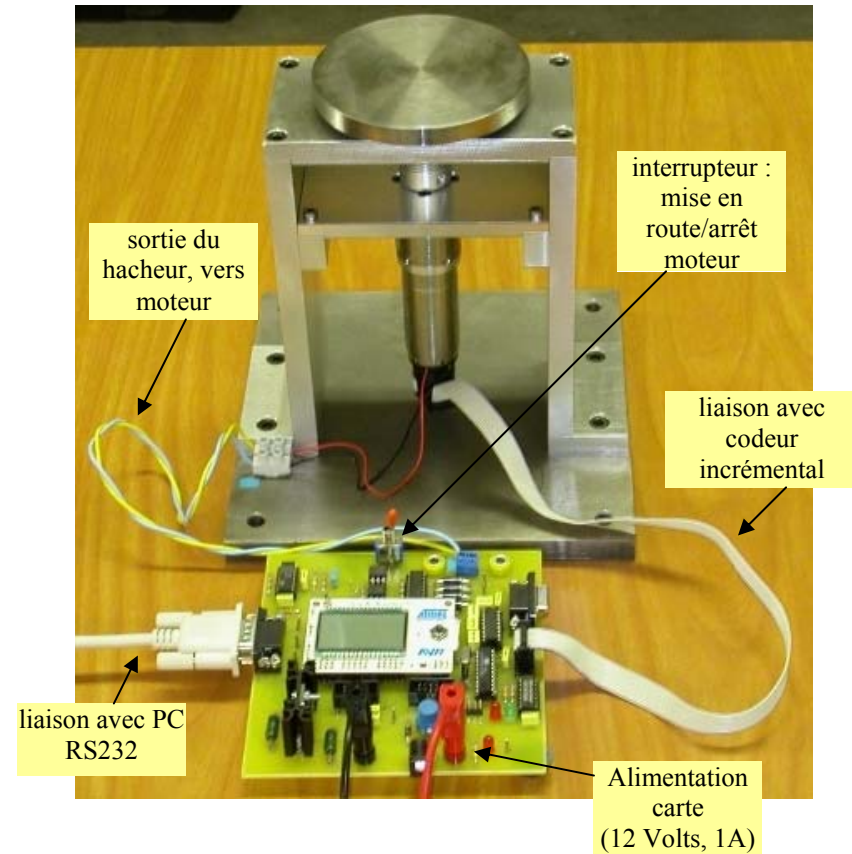




ATTENTION : la carte est alimentée avec une alimentation continue qui doit être réglée de la façon suivante :

- tension à vide 12 Volts
- courant de court-circuit 1 ampère

Les branchements :



Principe de la mesure de vitesse et de position pour une période d'échantillonnage de 10 ms :

- Pour une mesure de vitesse, le microcontrôleur ATtiny compte les impulsions pendant 10ms. A l'issue de ce comptage, il envoie, par liaison SPI, le résultat au microcontrôleur ATMEGA169. Après remise à zéro, il reprend le comptage pendant de nouveau 10ms.

- Pour une mesure de position, le microcontrôleur ATtiny compte les impulsions pendant 10ms (le résultat est divisé par 50). Suivant le sens de rotation donné par le capteur, le résultat du comptage pendant les 10ms suivantes est ajouté ou retranché de la valeur précédente.

Pour les deux autres périodes proposées de 20 ou 30 ms, la mesure de vitesse sur 10ms n'est prise en compte qu'une fois sur 2 (20ms) ou sur 3 (30ms); même chose pour la mesure de position, mais qui reste incrémentée toutes les 10ms.

Principe de l'asservissement pour une période de 10ms :

Le microcontrôleur ATMEGA169 effectue le traitement de l'asservissement par interruption de durée 10ms.

La valeur mesurée de vitesse ou de position est soustraite à la consigne E (valeur présente de la variable d'écart ε_k). La commande numérique U_k est élaborée par l'algorithme choisi qui peut utiliser la valeur ε_k mais aussi les valeurs précédentes, mémorisées, de l'écart et de la commande (ε_{k-1} , ε_{k-2} , U_{k-1}) :

$$U_k = A.U_{k-1} + B.\varepsilon_k - C.\varepsilon_{k-1} + D.\varepsilon_{k-2}$$

Le résultat du calcul : U_k est une valeur numérique comprise entre -1024 et 1024 qui permet de commander le hacheur.

La sortie du hacheur est un signal carré de fréquence 7,8 kHz dont le rapport cyclique varie avec U_k . La valeur moyenne en sortie du hacheur est positive ou négative suivant le signe de la commande U_k

Pour les deux autres périodes proposées de 20 ou 30 ms, le principe est le même, mais le traitement n'est effectué qu'une fois sur 2 ou sur 3.

Principe de la configuration de la boucle et des mesures en temps réel :

Le microcontrôleur ATMEGA169 communique avec le PC par la liaison série RS232. Ce qui permet d'assurer :

- La configuration de tous les paramètres de la boucle avant mise en route du moteur (PC→microcontrôleur) : vitesse/position, boucle ouverte/fermée, type et paramètres de la consigne, coefficients de l'algorithme de régulation, période d'échantillonnage.

- L'acquisition en temps réel des variables principales de la boucle (microcontrôleur→PC) transmises en fin d'interruption : consigne E, écart ε et commande U

Les options de configuration :

Au lancement du programme permettant la configuration, choisir :

- Asservissement de vitesse ou de position
- Forme de la consigne : carré ou triangle (les niveaux du signal carré sont ajustables de 1 à 255, les niveaux extrêmes du triangle sont fixes : 20 – 220). La fréquence de ces signaux est fixe égale à 0,25 Hz (demi-période 2s)
- Boucle ouverte ou fermée (la boucle ouverte n'est autorisée qu'en signal carré)
- Sens de rotation direct ou inverse (signal carré seulement)
- Coefficients de l'algorithme du régulateur (seul le terme en ε_k est autorisé en boucle ouverte, action proportionnelle)
- Période d'échantillonnage (10, 20 ou 30ms)

Un clic sur le bouton "VALIDER" permet de transmettre au microcontrôleur les valeurs choisies.

La mise en route du programme d'asservissement :

Dès que les choix ont été validés, cliquer sur le bouton "Démarrer Moteur". Le programme de traitement par interruption est lancé.

Pour observer les résultats des mesures, cliquer sur le bouton "ACQUISITION". Ceci permet de transmettre en temps réel les variables de la boucle du microcontrôleur au PC. Les valeurs numériques de la consigne E, l'image de la vitesse ou de la position X, l'écart ϵ et la commande U sont affichées sur le schéma-bloc de la boucle. L'image de E et X sont tracées sur le graphique et rafraichies toutes les 10 secondes.

Cliquer sur le bouton "STOP" permet d'arrêter seulement la saisie. Pour stopper le programme de traitement, cliquer sur "Arrêter Moteur". Les valeurs de E et X sont affichables avec le bouton "Consulter la Saisie".

Une autre configuration peut alors être saisie puis validée avant de relancer le moteur.

4. Manipulation

4.1 - Régulation de vitesse

• Identification en boucle ouverte

Choisir :

- vitesse
- carré
- boucle ouverte
- consigne variant de 50 à 100 (sens direct)
- gain par exemple de 5

Observer et exploiter la réponse indicielle pour en déduire une fonction de transfert approchée de la boucle ouverte.

Modéliser la boucle complète en utilisant la transformée en z.

• Boucle fermée - Régulation P

Etudier le comportement de la boucle pour un gain G variable (modifier le coefficient du terme $\epsilon(kT)$ seul) :

- en réponse à un carré puis un triangle
- pour la réponse à un carré, choisir par exemple :
 - o niveau bas = 100
 - o niveau haut = 150
- période d'échantillonnage : T = 10ms puis 30ms
- choisir par exemple G = 5 puis 10

Vérifier que le modèle identifié en boucle ouverte permet de prévoir ces résultats.

Observer en particulier :

- allure des régimes transitoires
- temps de réponse
- erreur de position
- erreur de vitesse (ou de traînage)

- pour chaque gain G utilisé, calculer la valeur du pôle et justifier le transitoire obtenu.

• Boucle fermée - Régulation PI

Reprendre les mesures effectuées en régulation P avec chacun des algorithmes suivants :

$$U(kT) = A.U((k-1)T) + B.\varepsilon(kT) \quad (1)$$

puis :

$$U(kT) = A.U((k-1)T) + B.\varepsilon(kT) - C.\varepsilon((k-1)T) \quad (2)$$

Dans chaque cas, calculer la fonction de transfert en z du régulateur et exprimer A, B et C en mettant ces fonctions de transfert sous la forme suivante :

$$\text{- cas n°1 : } R(z) = \frac{U}{\varepsilon} = G \frac{z}{z-1}$$

$$\text{- cas n°2 : } R(z) = \frac{U}{\varepsilon} = G \frac{z - e^{-\frac{T}{\tau}}}{z-1}$$

Puis calculer la fonction de transfert en boucle fermée correspondante. En déduire, gain statique, erreur de position, erreur de vitesse et valeurs des pôles.

En déduire l'allure des régimes transitoires et permanents en réponse à un échelon de position et au signal triangulaire proposé.

On pourra choisir par exemple (T = 10ms) :

A = 1 (impératif !), B = 2

Puis ;

A = 1 (impératif !), B = 2, C = 1,4

4.2 - Asservissement de position

Attention, pour la modélisation de cette boucle, le nombre d'impulsions mesurées toutes les 10ms est divisé par 50, de façon à pouvoir afficher sans difficulté les courbes de réponse sur l'écran de l'ordinateur (au détriment de la précision du positionnement).

On travaillera en régulation P seule avec un gain au moins égal à 10.

Analyser le fonctionnement avec les deux formes de consignes pour G = 20 puis 40 (par exemple) et T variable.

Caractéristiques Plateau et moteur/réducteur

Moteur

Caractéristiques Moteur (ESCAP 28DT12) (notice constructeur)	Tension de mesure : 24V pour une vitesse de 6900tr/mn Courant min (sans charge) : 110mA Courant MAX permanent : 1,4A Couple MAX permanent : 0,041Nm Accélération angulaire MAX : $82 \cdot 10^3 \text{ rad/s}^2$ Constante de FCEM: $3,4 \cdot 10^{-3} \text{ V/tr/mn}$ Constante de couple : $32,5 \cdot 10^{-3} \text{ Nm/A}$ Résistance d'induit : $6,2 \Omega$ Inductance d'induit : $0,75 \cdot 10^{-3} \text{ H}$ Moment d'inertie du rotor : $20 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$ Constante de temps mécanique à vide : 12 ms
	$k = 3,25 \cdot 10^{-2} = \text{constante de couple} \approx 3,4 \cdot 10^{-3} / (2\pi/60)$ $1/k = 30,8$ $\tau_m = \text{constante de temps mécanique} = 6,2 \cdot 20 \cdot 10^{-7} / (3,25 \cdot 10^{-2})^2 \approx 12 \text{ ms}$ $\tau_e = \text{constante de temps électrique} = 0,75 \cdot 10^{-3} / 6,2 = 0,12 \text{ ms}$
Fonction de transfert à vide	$\frac{\Omega}{U} = \frac{30,8}{(1 + 0,012p)(1 + 0,0012p)}$

Réducteur

Caractéristiques réducteur	Rapport de réduction : $N = 1/24$ Rendement : $\eta = 0,75$
-----------------------------------	--

Plateau

Caractéristiques du plateau	Diamètre = 10 cm Epaisseur = 1 cm Volume = $\pi \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 10^{-2} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ Densité (acier) = 7800 kg/m^3 Masse = $7800 \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} = 614 \text{ g}$ Moment d'inertie du plateau : $J_{\text{plateau}} = J_2 = (1/2) \cdot 0,614 \cdot (0,05)^2 = 7,67 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$ Moment d'inertie du plateau ramené sur l'arbre moteur : $J_1 = \frac{N^2 \cdot J_2}{\eta} = \frac{1}{(24)^2 \cdot 0,75} \cdot 7,67 \cdot 10^{-4} = 1,78 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$ Constante de temps du plateau ramenée sur le moteur : $\frac{R \cdot J_1}{k^2} = \frac{6,2 \cdot 1,78 \cdot 10^{-6}}{(3,25 \cdot 10^{-2})^2} = 10,4 \text{ ms}$
------------------------------------	--

La constante de temps mécanique totale :

$\tau_m = 12 \text{ ms (moteur seul)} + 10,4 \text{ ms (plateau)} + (\text{réducteur, liaison mécanique, fixation sur cette liaison})$

La constante de temps électrique :

$\tau_e = 0,12 \text{ ms}$

BLDC Motors

The Miniature Brushless DC Motor Technologies

Conventional DC motors use a stationary magnet with a rotating armature combining the commutation segments and brushes to provide automatic commutation. In comparison, the brushless DC motor is a reversed design: the permanent magnet is rotating whereas the windings are part of the stator and can be energized without requiring a commutator-and-brush system. Therefore this motor type achieves very long, trouble-free life even while operating at very high speeds.

One technology uses a self-supporting cylindrical ironless coil made in the same winding technique as for our ironless rotor DC motors: this is called the BLDC motor, slotless iron structure.

The rotor is a cylindrical two-pole magnet, the stator tube is made of iron laminations. With this construction a uniform and constant airgap is obtained.

If the tube is fixed to the magnet and rotates with it, iron losses are avoided. The other technology is called BLDC motor, slotted iron structure. The iron cores are part of the housing. The rotor

is a multiple-pole magnet. The position of the rotor field is continuously monitored to ensure correct timing of the commutation (switching of the current in the windings through power transistors). Three options for supervising the rotor position are proposed.

The first one uses no sensor inside the motor but derives the information by analyzing the shape of back-EMF. It is easy to implement and recommended mainly for high speed continuous operation. Another option are Hall sensors built into the motor, signalling the rotor field strength. Finally, an encoder or resolver may be added to the motor externally. It provides very high resolution and allows the BLDC motor to perform anything a DC with brushes can do but without the drawbacks of a mechanical commutation system.

Construction of three BLDC motors: 22BT (with the tube rotating with the magnet, right), 26BC, slotless iron structure (left) and a B09 motor with slotted iron structure (center)



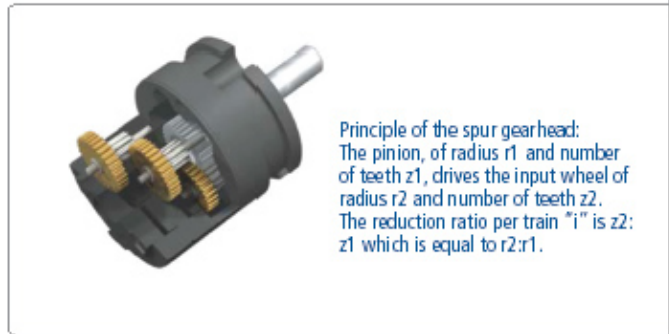
Concept Detail	Motor Characteristics	Advantages for the Application
DC device	Essentially linear torque/speed curve proportional to current and speed proportional to voltage	Possibility of speed and position control
Brushless design	Life is not limited by brush wear but only by wear on ball bearings	Very long life, high reliability, insensitive to environment (no arcing), to shocks and to vibration
Static winding attached to motor housing	Improved heat dissipation	Overload capability
Versions without position sensor	Typically used in spindle applications	Excellent velocity smoothness
Versions with hall effect sensors	Typically used in applications with high variation of speed or load	Very simple commutation circuitry

The Spur and Planetary Gearhead Technologies

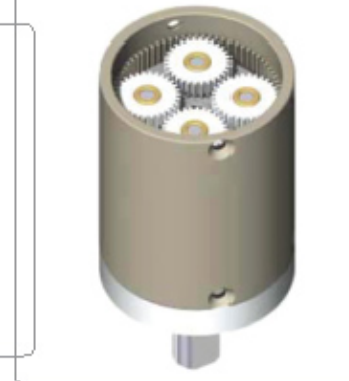
Complements well adapted to escap[®] motors

Every application has power requirements in terms of specific values of speed and torque. With a load demanding high torque at low speed, use of a large motor capable of developing the torque would be uneconomic, and system efficiency would be very low.

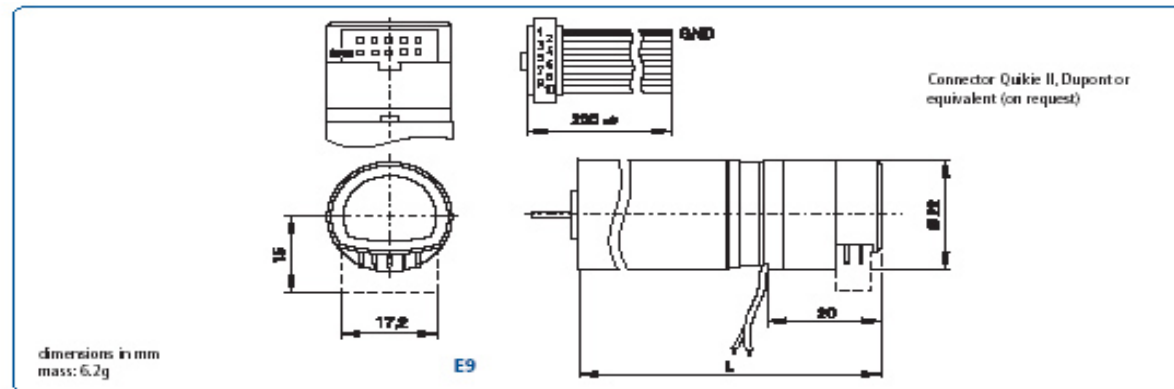
In such cases, a better solution is to introduce some gearing between the motor and the load. Gearing adapts the motor to the load, be it for speed, torque, or inertia. The motor-and-gearbox assembly will provide greater efficiency and be lower priced.



Principle of the planetary gearhead:
The pinion S (=sun) having "s" teeth is driving the planets P (3 or 4 per train) which have "p" teeth and are fixed to the planet carrier.
 A = stationary annulus with "a" teeth.
The reduction ratio per train is $i = (a:s) + 1$.



Concept Detail	Motor Characteristics	Advantages for the Application
Spur gear concept: Only 1 transmission point per train	Low friction per train Arrangement of several trains as intended by the designer Input and output shaft not necessarily in line Two output shafts possible	Good efficiency, about 0.9 per train Long gearhead of small diameter or short gearhead of large diameter Free choice for placing the motor relative to the output shaft Mounting of a sensor, a potentiometer
Input wheel made of high grade plastic	Reduction of mechanical noise generated at high motor speeds	Silent functioning
Planetary concept: 3 or 4 transmission points per train	Reduction ratio per train is higher but so is friction Can transmit higher torques Input and output of a train have the same direction of rotation Less backlash	Less trains for a given reduction ratio Efficiencies about 0.85 per train Very compact gearbox for its performance For any number of trains, the load always rotates in the same direction as the motor Smaller shock in case of a rapid reversal of motor rotation



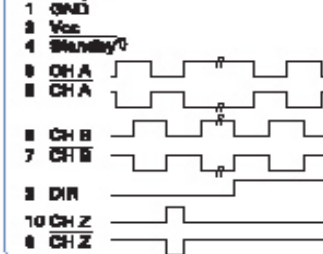
Characteristics at 22°C

Number of lines available				100, 144, 200, 256, 300, 360 ¹⁾ , 500 ¹⁾ , 512 ¹⁾								
Supply current	typical	mA		10								
	max	mA		20								
	stand-by	µA		50								
Output signal			CMOS	compatible								
Electrical phase shift between A and B		degree		90 ± 20								
Duty cycle		%		50 ± 10								
Max. count frequency		kHz		200								
Operating temperature range	at 90% humidity	°C		-40 to +85								
Code wheel moment of inertia		10 ⁻⁷ x kgm ²		0.12								
Supply voltage	Vcc	V		5 ± 10%								
Pin out	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Version 1	GND	Vcc	dir.	stand-by	A	A ₋	B	B	Z	Z		
Version 2	GND	Vcc	dir.	stand-by	up	A	down	B	pulse	Z		
Available on Motor Types	22N48	22V48	23IT82	23V48	23DT12	25GST/GT	26N48	28L18	28U12	28DT12	30GT8	35NT
L = length (mm)	53.9	56.2	57.6	67.6	71	84,10/72,50	62.1	61.5	61.2	85.1	89.6	84
Page #												

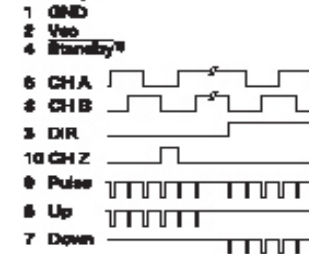
¹⁾ ask for a 2R motor type for use with the E9 in 360/500 or 512 lines version

Typical Encoder Output Signal

PIN Output



PIN Output



Features

- 2 channel quadrature output and index pulse
- Small size
- Integrated direction of rotation detection
- Stand-by function with latched state of channels (to de-activate the stand-by mode, connect the pin 4 to the +5V)
- Complimentary outputs
- Up/Down pulse signals (on request)
- CMOS compatible. ¹⁾ The input stand-by has to be connected to 0 V_{DC} or +5V_{DC}
- Single 5V_{DC} supply