

# CONTROL'X

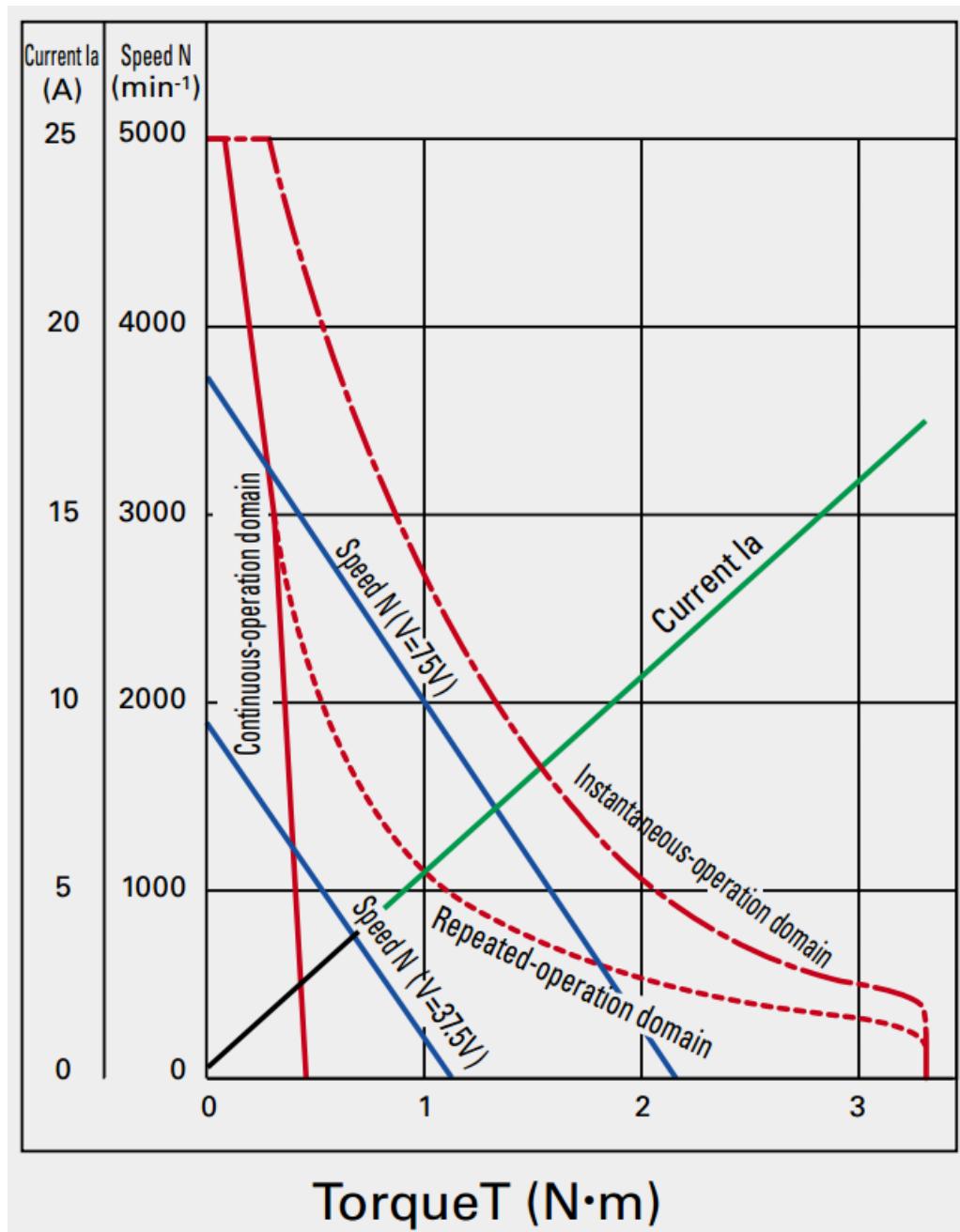
## DOSSIER TECHNIQUE

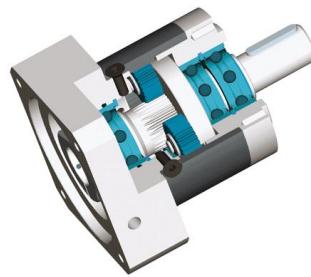


## DOCUMENTATIONS CONSTRUCTEUR (MECANIQUE)

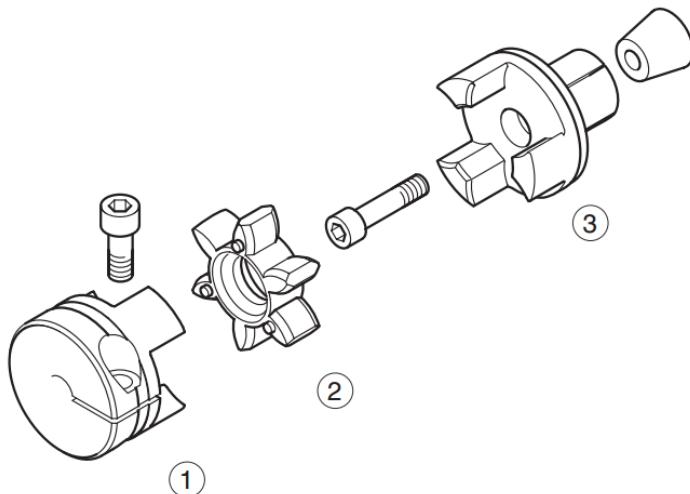
### MOTEUR A COURANT CONTINU

Caractéristique	Température	Symbol	Unité	Valeur	Observations
Puissance nominale	**	$P_{\text{nom}}$	W	110	
Tension nominale	**	$U_{\text{nom}}$	V	75	
Couple nominal	**	$C_{\text{nom}}$	N.m	0.34	
Courant nominal	**	$I_{\text{nom}}$	A	2.0	
Vitesse nominale	**	$\omega_{\text{nom}}$	tr/min	3000	soit 314 rad/s
Couple maxi en continu	**	$C_{\text{cont}}$	N.m	0.42	
Couple maxi instantané	**	$C_{\text{max}}$	N.m	3.4	
Courant maxi en continu	**	$I_{\text{cont}}$	A	2.2	
Courant maxi instantané	**	$I_{\text{max}}$	A	18	
Vitesse maximale			tr/min	5000	soit 523 rad/s
Couple de friction	*	$C_{\text{frott-moteur}}$	N.m	0.022	
Accélération maxi instantanée	**		rad/s <sup>2</sup>	$91.9 \times 10^3$	
Coefficient de frottement visqueux	*	$f_{\text{o-moteur}}$	N.m/min	$0.013 \times 10^{-3}$	soit 0.124e-3 N.m/(rad/s)
Constante de couple	*	$k$ ou $k_c$	N.m/A	0.21	
Constante de force contre électromotrice	*	$k$ ou $k_e$	V/min	$21.8 \times 10^{-3}$	soit 0.2083V/(rad/s)
Moment d'inertie du rotor	*	$J_{\text{mot}}$	kg.m <sup>2</sup>	$0.037 \times 10^{-3}$	
Résistance d'induit	*	r	$\Omega$	5.1	
Inductance d'induit	*	L	mH	3.2	
Constante de temps mécanique	*	$\tau_{\text{méca}}$	ms	4.3	
Constante de temps électrique	*	$\tau_{\text{élec}}$	ms	0.63	
Constante de temps thermique	**		min	30	
Résistance thermique	**		K/W	2.4	
Température limite	**		°C	105	

COURBES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR

REDUCTEUR NEUGART PLE 60

Caractéristique	Symbol	Unité	Valeur	Observations
<b>Nombre d'étage</b>			1	Train épicycloïdal
<b>Rapport de réduction</b>	1/i		1/3	( $\omega_{\text{sortie}}/\omega_{\text{entrée}}$ )
<b>Couple de sortie nominal</b>		N.m	28	
<b>Couple de sortie max</b>		N.m	45	
<b>Couple d'urgence</b>		N.m	66	Autorisé 1000 fois
<b>Jeu angulaire</b>		arcmin	< 10	Ramené sur la sortie (à priori)
<b>Vitesse d'entrée max</b>		tr/min	13000	
<b>F<sub>R</sub> max pour 300000 h</b>		N	340	
<b>F<sub>A</sub> max pour 300000 h</b>		N	450	
<b>F<sub>R</sub> max</b>		N	700	
<b>F<sub>A</sub> max</b>		N	800	
<b>Rigidité en torsion</b>		N.m/arcmin	2.3	$7.907 \times 10^3$ N.m/rad
<b>Masse</b>		kg	0.9	
<b>Moment d'inertie</b>	J <sub>r</sub>	kg.cm <sup>2</sup>	0.135	$0.135 \cdot 10^{-4}$ : ramené sur l'entrée
<b>Rendement</b>		%	97	
<b>Durée de vie</b>		h	30000	
<b>Température de fonctionnement</b>		°C	-25 à +90	

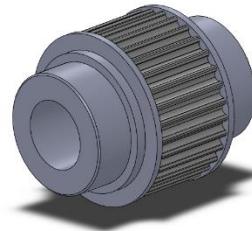
JOINT D'ACCOUPLEMENT

Moment d'inertie :  $J_a = 2,53 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$

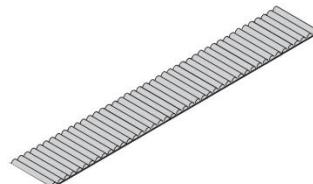
For axis ...			PAS41	PAS42	PAS43	PAS44
Moment of inertia	J	kgcm <sup>2</sup>	0.009	0.09	0.32	0.77
Max. torque	M <sub>max</sub>	Nm	7.7	35.7	82	182
Screw ISO 4762	E		M4	M6	M8	M10
Wrench size		mm	3	5	6	8
Tightening torque		Nm (lb-in)	2.9 (25.67)	10 (88.51)	25 (221.27)	49 (433.69)
	A	mm	16	22	24	25.5
Installation length	B	mm	14	20	30	36
	C	mm	7	8	12	13
Expanding hub h9	D1	mm	10	20	25	35
	D2	mm	25	40	55	65
	F	mm	5	8	8	8

For axis ...			PAS41	PAS42	PAS43	PAS44
Shore hardness			98 Sh A	98 Sh A	98 Sh A	98 Sh A
Color			Red	Red	Red	Red
Max. torque	M <sub>max</sub>	Nm	18	34	120	320
Nominal torque	M <sub>n</sub>	Nm	7	17	60	160
Moment of inertia	J	kgcm <sup>2</sup>	0.001	0.013	0.067	0.15
Diameter	DZ	mm	9	14	20	25

For axis ...			PAS41	PAS42	PAS43	PAS44
Moment of inertia	J	kgcm <sup>2</sup>	0.015	0.15	0.55	1.22
Screw ISO 4762	E		M3	M6	M6	M8
Wrench size		mm	2.5	5	5	6
Tightening torque		Nm (lb-in)	1.9 (16.82)	14 (123.91)	14 (123.91)	35 (309.78)
Hub length	A	mm	22	31	36	39
Hole depth	B	mm	11	17	20	21
Distance between centers	C	mm	5	8	10	9
Inside diameter H7	D1	mm	1)	1)	1)	1)
	D2	mm	25	40	55	65
Outside diameter	DK	mm	25.8	45	57.5	73
	F	mm	8	14	20	25

POULIES CRANTEES

Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Type				25 HTD 5M
Largeur		mm	25	
Pas	p*	mm	5	
Nombre de dents	Z		31	
Rayon primitif	R	mm	24.67	Avance de 155 mm/tour
Avance par tour	a	mm	155	
Moment d'inertie	J <sub>p</sub>	kg.m <sup>2</sup>	4.2.10 <sup>-5</sup>	Calculé avec SolidWorks (aluminium)

COURROIE

Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Type				25 HTD 5M
Largeur		mm	25	
Pas	p*	mm	5	
Longueur primitive de courroie	l <sub>c</sub>	mm	1670	
Masse linéique	λ <sub>c</sub>	kg/m	0.096	
Masse	m <sub>c</sub>	kg	0.16	
Raideur spécifique	r <sub>s</sub>	N	0.572×10 <sup>6</sup>	*
Tension recommandée		N	[570, 710]	

\* En notant k<sub>c</sub> la raideur (N/m) d'une longueur l (m) de courroie, la raideur spécifique r<sub>s</sub> (N)

est le produit r<sub>s</sub> = k<sub>c</sub>.l. La raideur k<sub>c</sub> (N/m) d'une longueur l (m) de courroie vaut donc : k<sub>c</sub> =  $\frac{r_s}{l}$

## DOCUMENTATIONS CONSTRUCTEUR (INFORMATIONS)

### VARIATEUR DE VITESSE MAXON ESCON 50/5



Caractéristique	Symbol	Unité	Valeur	Observations
Tension nominale de service	Vcc	V	[10, 50]	Réglée à 40.8 V
Tension maximum de sortie		V	0.98.V <sub>CC</sub>	C'est la tension de saturation : 40 V
Courant de sortie max permanent		A	5	
Courant de sortie max instantané		A	15	
Gain		B	4	Amplificateur de gain pur dans le mode de fonctionnement réglé (variateur de vitesse)
Fréquence du PWM		kHz	53.6	
Fréquence d'échantillonnage du régulateur de courant PI		kHz	53.6	
Fréquence d'échantillonnage du régulateur de vitesse PI		kHz	5.36	
Rendement maxi		%	95	
Self de lissage intégrée		µH	30	
Entrées numériques			2	
Entrées/Sorties numériques			2	
Entrées analogiques			2	
Résolution entrées analogiques		bits	12	
Gamme entrées analogiques		V	[-10, 10]	
Sorties analogiques			2	
Résolution sorties analogiques		bits	12	
Gamme sorties analogiques		V	[-4, 4]	

CARTE DE COMMANDE NI PCIE 6321

Caractéristique	Unité	Valeur	Observations
<b>Entrées analogiques</b>		8 différentielles ou 16 asymétriques	
<b>Fréquence max d'échantillonnage</b>	kéch./s	250	Pour l'ensemble des voies. (Un seul CAN avec entrées multiplexées)
<b>Résolution</b>	bits	16	
<b>Gamme maximum de tension</b>	V	[-10, 10]	
<b>Précision</b>	mV	2.2	
<b>Gamme maximum de tension</b>	V	[-0.2, 0.2]	
<b>Précision</b>	µV	69	
<b>Nombre de gammes</b>		4	
<b>Sortie analogiques</b>		2	
<b>Résolution</b>	bits	16	
<b>Gamme maximum de tension</b>	V	[-10, 10]	C'est la tension de saturation
<b>Précision</b>	mV	3.27	
<b>Taux de rafraîchissement</b>	kéch./s	900	Pour une voie (840 si deux voies)
<b>Courant fourni sur une voie</b>	mA	5	
<b>Entrées /sorties numériques bidirectionnelles</b>		24	
<b>Fréquence d'horloge maxi</b>	MHz	1	
<b>Gamme de tension</b>	V	[0, 5]	
<b>Niveaux logiques</b>		TTL	
<b>Compteurs-Timers</b>		4	
<b>Fréquence maxi</b>	MHz	100	
<b>Taille du compteur</b>	bits	32	
<b>Niveau logique</b>	V	TTL	

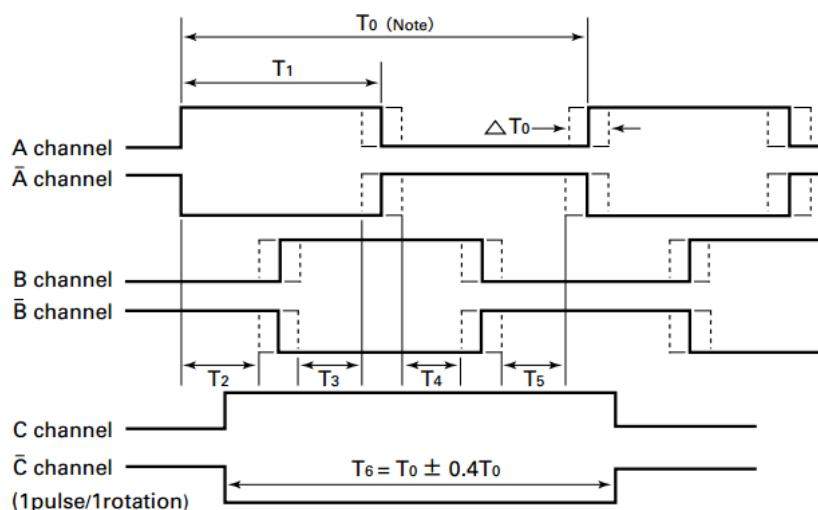
## DOCUMENTATIONS CONSTRUCTEUR (CAPTEURS)

### GENERATRICE TACHYMETRIQUE SANYO

Caractéristique	Température	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Tension de sortie par tr/min	*	$k_g$	V/(tr/min)	$7 \times 10^{-3} \pm 10\%$	soit 7 V/(1000tr/min) 0.0669 V/(rad/s)
Ondulation effective (rms)	*		%	1	
Ondulation crête à crête	*		%	3	
Linéarité	*		%	1	
Résistance aux bornes	*		$\Omega$	26	
Inductance aux bornes	*		mH	4.1	
Résistance de charge mini	*		k $\Omega$	10	
Moment d'inertie du rotor		$J_g$	kg.m <sup>2</sup>	$0.012 \times 10^{-3}$	

CODEUR INCREMENTAL SANYO

Caractéristique	Symbol	Unité	Valeur	Observations
Nombre d'impulsions par tour	n		1000	
Circuiterie de sortie			Line driver	
Nombre de canaux			3	
Tension d'entrée		V DC	+5 ±10%	
Intensité consommée		mA	160 max	
Tensions de sortie		V	$V_{OH} = 2.4 \text{ min}$ $V_{OL} = 0.54 \text{ max à } I_0 = 20 \text{ mA}$	
Courant de sortie		mA	20 max	
Réponse en fréquence		kHz	0 à 300	
Rapport cyclique des impulsions			$T_1 = 1/2.T_0 \pm 1/8.T_0$	
Différence de phase			$T_2 \text{ à } T_5 = 1/4.T_0 \pm 1/8.T_0$	Quadrature
Couplage			$(T_{0 \text{ max}} - T_{0 \text{ min}})/T_0 < 0.08$	
Température de travail		°C	-10 à + 85	
Élément électroluminescent émetteur			Diode infrarouge	
Élément électroluminescent récepteur			Photodiode	
Moment d'inertie	$J_e$	kg.m <sup>2</sup>	$8 \times 10^{-8}$	

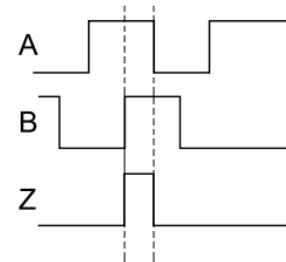
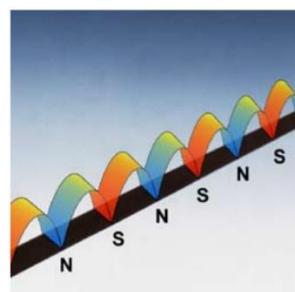


Notice) "T<sub>0</sub>" is the average value of each cycle during one encoder rotation at a constant speed.  
T<sub>0</sub> : 360-degree electrical angle.

## CAPTEUR DE POSITION MAGNETOSTRICTIF ASM POSIMAG PMIS3

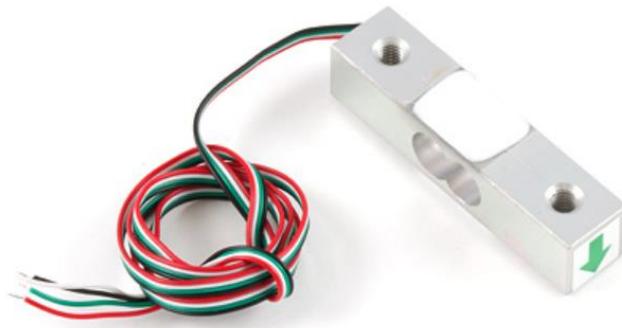
Réf de la tête de lecture : PMIS3-50-10-100KHZ-TTL-Z1-1M-S

Réf de la règle magnétique : PMIB3-50N-Z680-R/340



Le canal Z (top 0) est positionné à mi-course du chariot de Control'X et est accessible sur l'entrée P1.4 de la carte NI. (National Instrument).

Caractéristique	Unité	Valeur	Observations
<b>Nombre de canaux</b>		3	A et B en quadrature, Z : top de référence
<b>Tension d'alimentation</b>	V DC	5	± 5%
<b>Courant à vide</b>	mA	50-300	
<b>Période magnétique</b>	mm	5	
<b>Entrefer</b>	mm	0.1-2	
<b>Résolution</b>	µm	10	(avec interpolation ×4)
<b>Vitesse max</b>	m/s	3.2	avec fréquence de 100 kHz
<b>Sorties</b>			TTL, RS422
<b>Linéarité</b>		30µm ± 40µm/m	
<b>Répétabilité</b>	digit	1	

CAPTEUR D'EFFORT

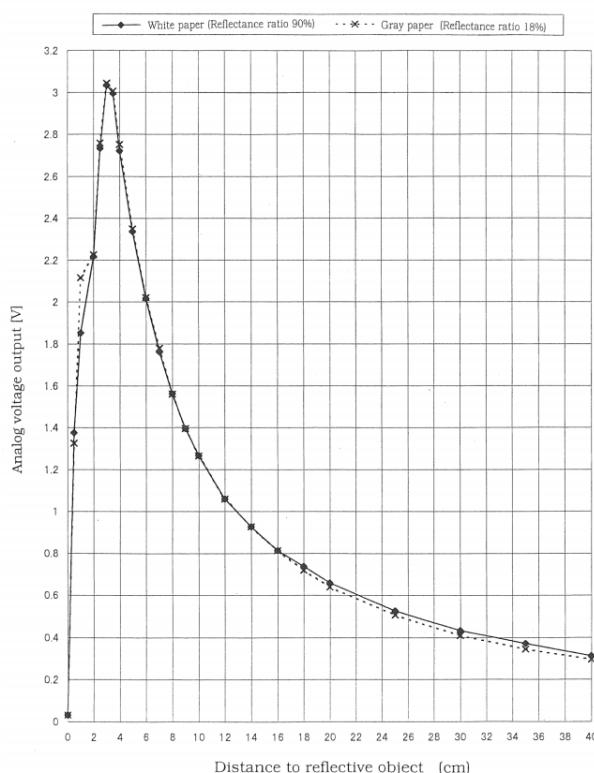
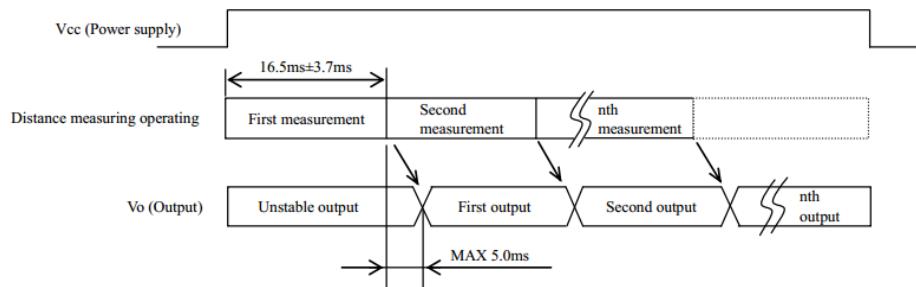
Caractéristique	Unité	Valeur	Observations
Capacité maxi	kg	20	
Surcharge maxi	kg	24	avant défaillance
Répétabilité	g	$\pm 10$	maxi
Non linéarité	g	10	maxi
Hystérésis	g	10	maxi
Offset	g	$\pm 300$	lorsqu'aucun effort n'est appliqué
Tension d'alimentation	V DC	5	maxi
Impédance de sortie	kΩ	1	
Tension de sortie nominale	mV/V	1	1mV par V de tension d'alimentation sous la charge maxi de 20 kg : Pour une alimentation en 5V, on recueille aux bornes du pont 5mV sous 20 kg.
Erreur sur la tension de sortie	µV/V	$\pm 150$	

Le montage en pont de Wheatstone et la disposition des jauge de déformation font que le capteur n'est sensible qu'à l'effort de cisaillement subit par la poutre et non au moment de flexion induit par l'effort exercé. L'information recueillie aux bornes du pont ne dépend donc pas du point d'application de la force horizontale exercée.

## CAPTEUR DE DISTANCE SHARP GP2Y0A41SK0F

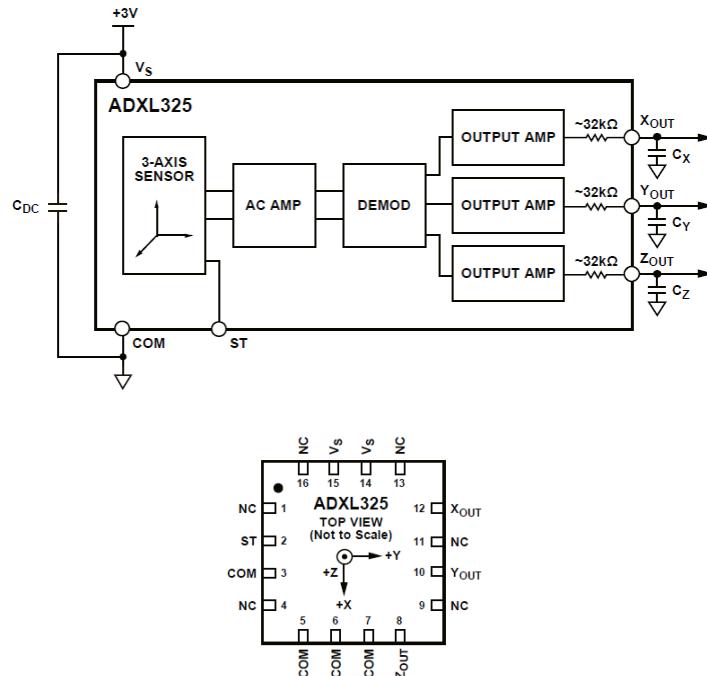


Caractéristique	Unité	Valeur	Observations
Technologie			Infra-rouge
Plage de mesure	cm	4 - 30	
Alimentation	V DC	4.5 - 5.5	
Durée de mesure	ms	$16.5 \pm 3.7$	
Intensité moyenne consommée	mA	12	

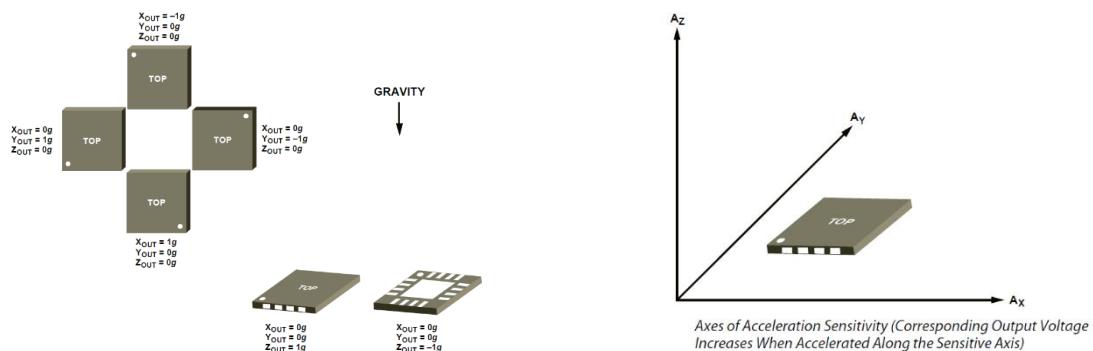


## ACCELEROMETRE ANALOG DEVICE ADXL325

Cet accéléromètre est monté sur un PCB spécialement créé pour Control'X pour que la dynamique de la mesure soit en adéquation avec la dynamique de l'axe :  $C_x = C_y = C_z = 0.01 \mu\text{F}$ . La bande passante à -3dB est ainsi de 500 Hz.



Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
<b>Nombre d'axes</b>			3	
<b>Tension d'alimentation</b>		V	1.8 à 3	
<b>Gamme</b>		g	$\pm 5\text{g}$	
<b>Sensibilité</b>		mV/g	174	
<b>Offset</b>		V	1.5	Tension pour 0 g



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES GLOBALES

Grandeur	Paramètre	Valeur	Unité	Observations
Résistance interne du moteur	r	5.1	Ω	
Inductance du moteur	L	$3.2 \times 10^{-3}$	H	
Constante de couple du moteur	$k_c$	0.21	N.m/A	
Constante de force contre électromotrice	$k_e$	0.2083	V/(rad/s)	
Moyenne des constantes de couple ou de force contre électromotrice	k	0.21	N.m/A ou V/(rad/s)	$\frac{k_c + k_e}{2}$
Constante de couple du moteur linéaire équivalent	$k'_c$	25.5	N/A	$k_c \cdot \frac{i}{R}$
Constante de force contre électromotrice du moteur linéaire équivalent	$k'_e$	25.3	V/(m/s)	$k_e \cdot \frac{i}{R}$
Moyenne des constantes de couple ou de force contre électromotrice du moteur linéaire équivalent	$k'$	25.5	N/A ou V/(m/s)	$\frac{k'_c + k'_e}{2}$
Gain en tension de l'interface de puissance	B	4		réglage interne au variateur
Rapport de réduction du réducteur	i	3		rapport entrée/sortie
Rayon primitif des poulies crantées	R	$24.67 \times 10^{-3}$	m	155 mm/tour
Tension de saturation de la carte de commande	$V_{sat}$	$\pm 10$	V	gain de la carte : 1
Résolution du couple {codeur incrémental + compteur - décompteur}	C	636.6	inc/rad	$\frac{4 \times 1000}{2\pi}$ 1000 points par tour décodé en $\times 4$
Gain de l'adaptateur	D	0.0129	mm/inc	$\frac{1000.R}{i.C}$

Grandeur	Paramètre	Valeur	Unité	Observations
Couple de frottement sec de tout le mécanisme ramené sur le chariot	$F_{frott}$	$\approx 28$	N	
Couple de frottement sec de tout le mécanisme ramené sur le moteur	$C_{frott}$	$\approx 0.23$	N.m	$\frac{F_{frott} \cdot R}{i}$
Coefficient de frottements visqueux ramenés sur le chariot	$f_v$	$\approx 20$	N/(m/s)	
Coefficient de frottements visqueux ramenés sur le moteur	$f_\omega$	$\approx 1.36 \times 10^{-3}$	(N.m)/rad/s)	$f_v \cdot \frac{R^2}{i^2}$
Tension de seuil du moteur	$U_{seuil}$	$\approx 1.5$	V	$C_{frott} \cdot \frac{r}{k}$

Masse équivalente de tout l'équipage mobile ramené sur le chariot	$m_{éq}$	3.2	kg	
Masse équivalente de tout l'équipage mobile ramené sur le moteur	$J_{éq}$	$2.15 \times 10^{-4}$	kg.m <sup>2</sup>	$m_{éq} \cdot \frac{R^2}{i^2}$

Toutes les valeurs encadrées en orange ne sont pas des caractéristiques annoncées par le constructeur mais sont estimées expérimentalement. En effet elles sont susceptibles de varier d'un axe à l'autre en fonction d'un grand nombre de paramètres dont le principal concerne la tension de précontrainte de la courroie.

## INERTIE EQUIVALENTE

Pièce	Nb	Inertie ramenée sur l'arbre moteur (kg.m <sup>2</sup> )	Inertie ramenée sur une poulie crantée (kg.m <sup>2</sup> )	Inertie ramenée sur le chariot (kg)	Origine de la valeur numérique
Arbre moteur	1	$0.037 \times 10^{-3}$			Constructeur
Génératrice tachymétrique	1	$0.012 \times 10^{-3}$			Constructeur
Codeur incrémental	1	$8 \times 10^{-8}$			Constructeur
Réducteur	1	$1.35 \times 10^{-5}$			Constructeur
Joint d'accouplement	1		$2.53 \times 10^{-5}$		Constructeur
Bagues intérieures de roulement + billes (mvt. épicycloïdal)	4		$4.4 \times 10^{-5}$		Estimation SolidWorks
Poulie crantée	2		$4.2 \times 10^{-5}$		Estimation SolidWorks
Courroie	1			0.16	Constructeur
Chariot + guidage (par 4 roulements)	1			0.9	Constructeur
Accessoires embarqués sur chariot *	1			0.525	Pesée directe
Ensemble capteur d'effort **	1			0.200	Pesée directe
Total de tout ce qui a le mouvement de l'arbre moteur		<b><math>6.26 \times 10^{-5}</math></b>			
Total de tout ce qui a le mouvement de l'arbre de la poulie			<b><math>2.85 \times 10^{-4}</math></b>		
Total de tout ce qui a le mouvement du chariot				<b>1.74</b>	
<b>Total</b>		<b><math>2.15 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>1.9 \times 10^{-3}</math></b>	<b>3.18</b>	

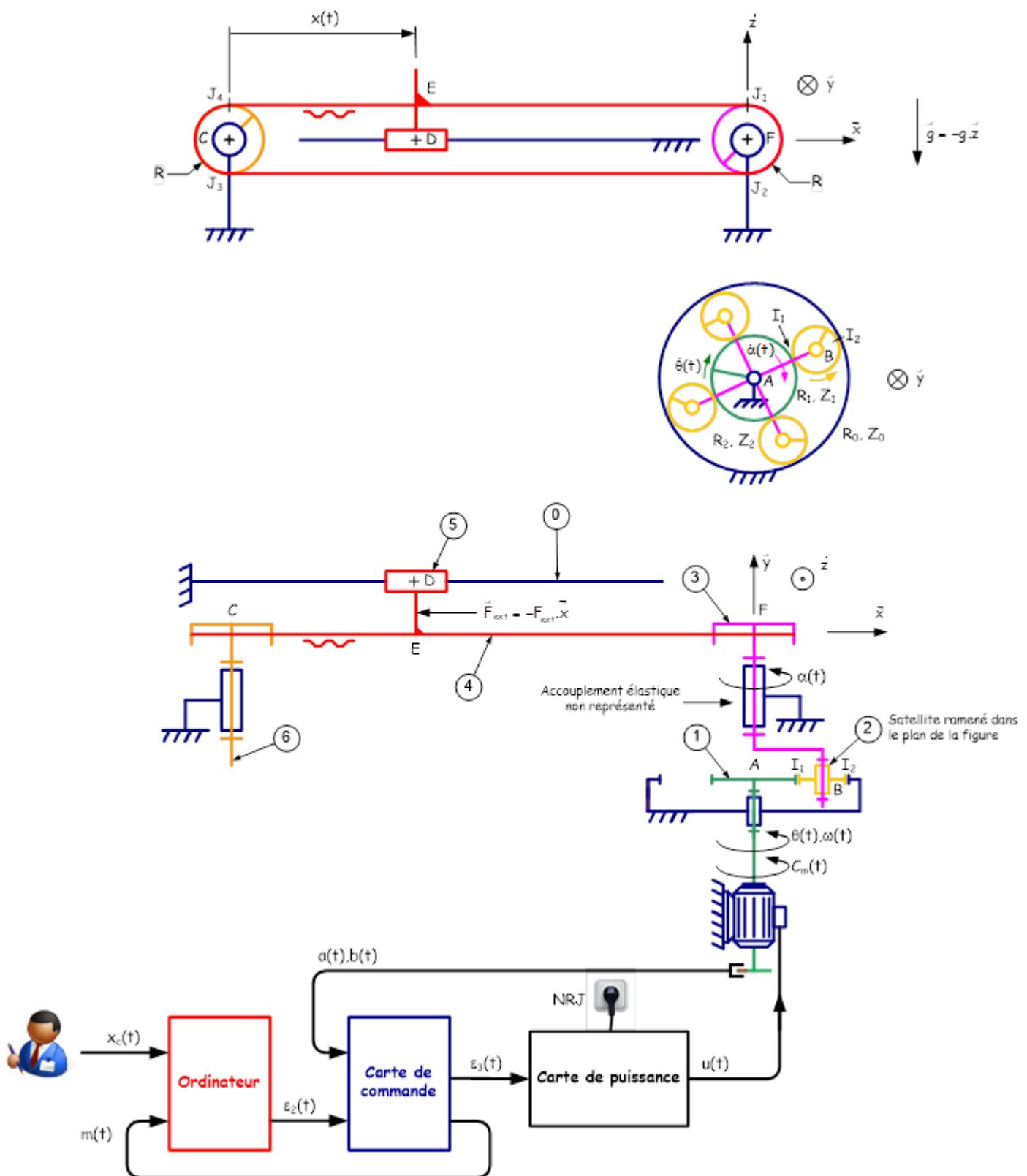
\* support de PCB + PCB + came + flèche blanche + moitié de la masse du câble SubD15 + moitié de la masse de la chaîne porte câble + capteur de règle magnétique + câble + connecteur SubD15

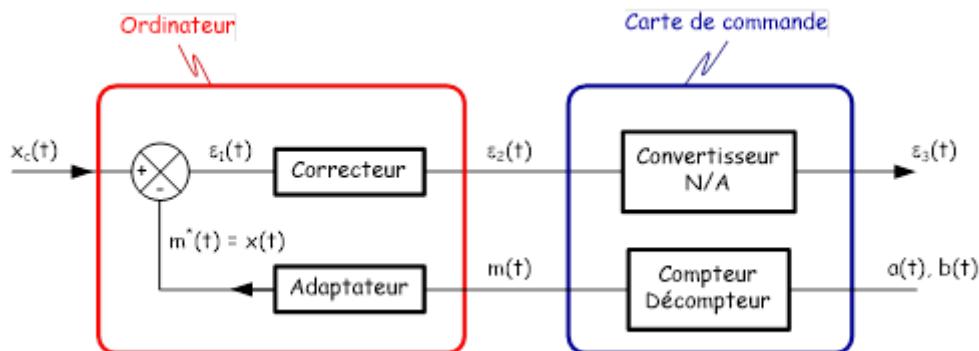


\*\* Equerre, capteur d'effort, poignée en bakélite



### SCHEMAS D'ARCHITECTURE DU SYSTEME





Zoom sur les fonctions remplies par l'ordinateur et la carte de commande

Le schéma ci-dessous met en évidence l'organisation structurelle et fonctionnelle des différents composants nécessaires à la mise en œuvre de l'asservissement de position.

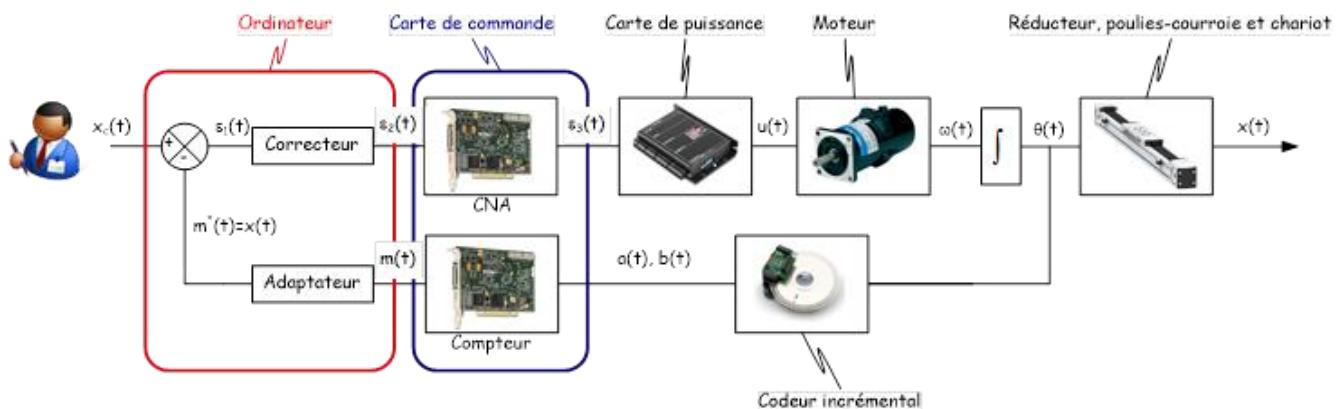


Schéma bloc de l'asservissement

### Fonction de la carte de commande :

#### Côté acquisition :

- Acquérir les deux signaux  $a(t)$  et  $b(t)$  en quadrature de phase venant du codeur incrémental.
- Compter ou décompter les impulsions  $a(t)$  et  $b(t)$  reçues pour élaborer un signal numérique  $m(t)$  en incrémentations image de la position linéaire  $x(t)$  du chariot.
- Transmettre le résultat de ce comptage  $m(t)$  à l'ordinateur.

#### Côté génération

- Recevoir le signal "écart corrigé"  $\varepsilon_2(t)$  provenant de l'ordinateur
- Elaborer la tension analogique  $\varepsilon_3(t)$  par conversion numérique analogique de  $\varepsilon_2(t)$

Remarque : La carte de commande ne se comporte qu'en interface entre le PC (logiciel) et la partie mécanique : ce n'est pas elle qui effectue les calculs de commande d'axe (adaptation, soustraction, correction).

Fonction de l'ordinateur :

- Acquérir la consigne  $x_c(t)$  de l'utilisateur (entrée directement en mm par l'utilisateur).
- Adapter le signal de mesure  $m(t)$  en incrément en signal  $m^*(t) = x(t)$  en mm : c'est l'équivalent du bloc adaptateur que l'on rencontre souvent devant le soustracteur. Plutôt que d'adapter la consigne, c'est ici la mesure qui est adaptée.
- Soustraire le signal  $m^*(t) = x(t)$  au signal de consigne  $x_c(t)$  pour obtenir l'écart  $\varepsilon_1(t)$
- Appliquer un algorithme de correction pour transformer l'écart  $\varepsilon_1(t)$  en écart corrigé  $\varepsilon_2(t)$

Fonction de la carte de puissance :

La carte utilisée ici est un servo-amplificateur qui peut intégrer en interne une boucle de courant (avec un correcteur PI) et/ou une boucle de vitesse (aussi avec correcteur PI). Ici cette carte n'est utilisée qu'en mode "variateur de vitesse" : les boucles internes de courant et de vitesse sont désactivées. Le terme "servo" n'est donc plus tellement justifié dans notre application.

La carte de puissance est configurée en gain pur entre le signal  $\varepsilon_3(t)$  et  $u(t)$  :  $u(t) = B \cdot \varepsilon_3(t)$

On travaille en boucle fermée avec les signaux suivants dans les unités indiquées :

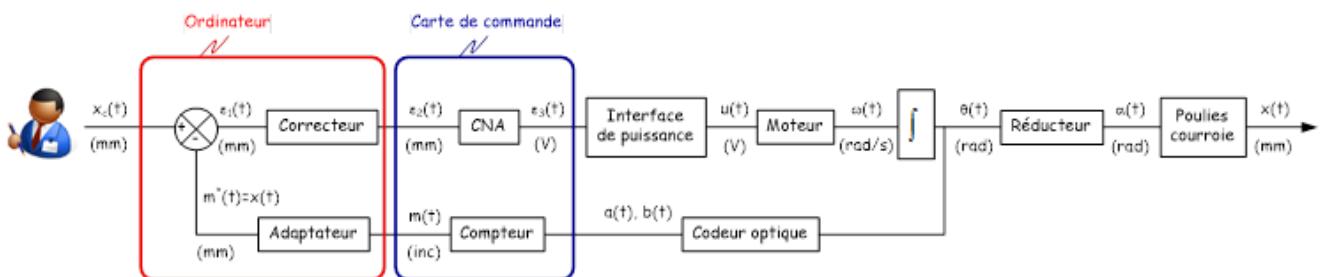


Schéma bloc de l'asservissement en boucle fermée

Signaux	Unités
$m(t)$	incréments
$\varepsilon_3(t), u(t)$	volts
$\omega(t)$	rad/s
$\theta(t), \alpha(t)$	rad
$x(t)$	mm (réels)
$x_c(t), m^*(t), \varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$	mm (dans l'ordinateur *)

Signaux et unités en boucle fermée