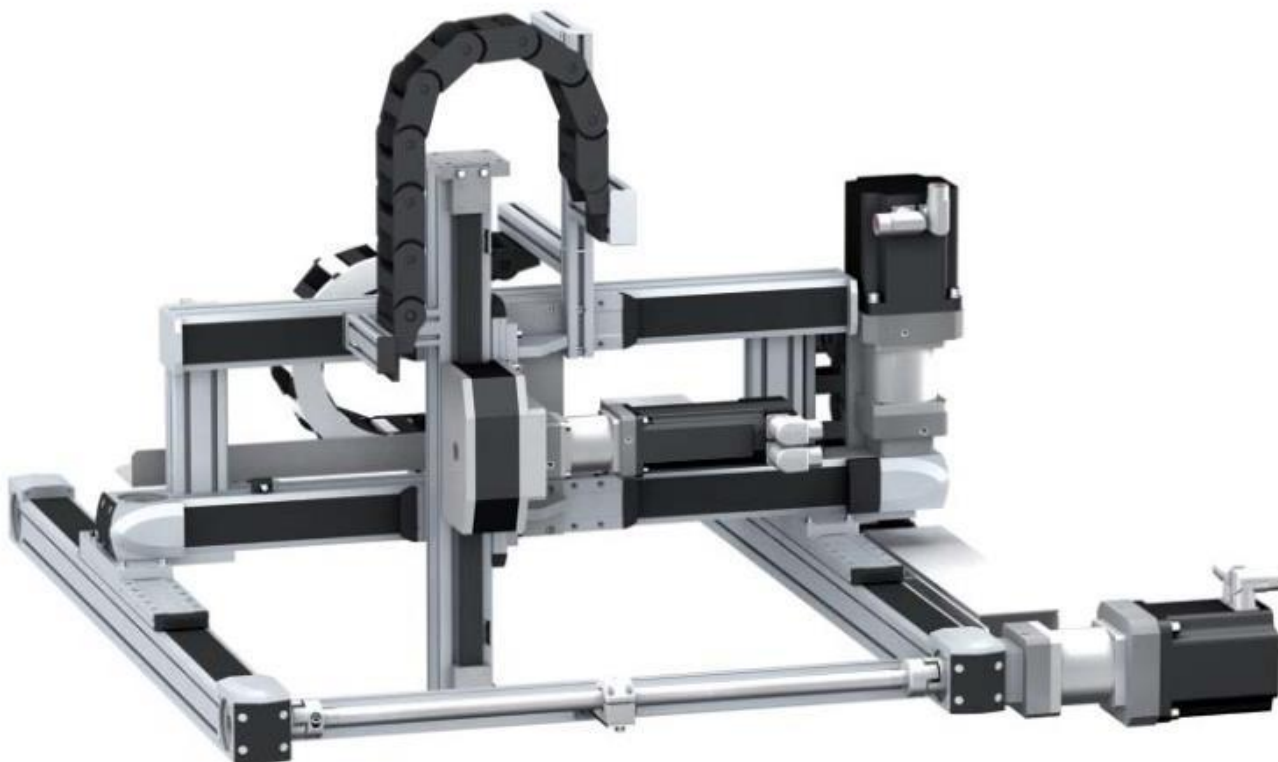


I. Présentation

1. Présentation du système industriel : le portique 3 axes Schneider MaxR



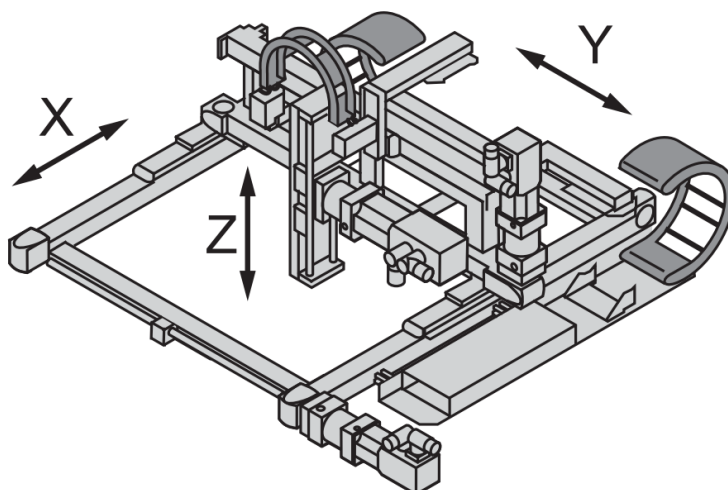
Le système industriel duquel est extrait Control'X est un robot portique 3 axes Lexium Max R du constructeur Schneider Electric. Ce robot portique est constitué :

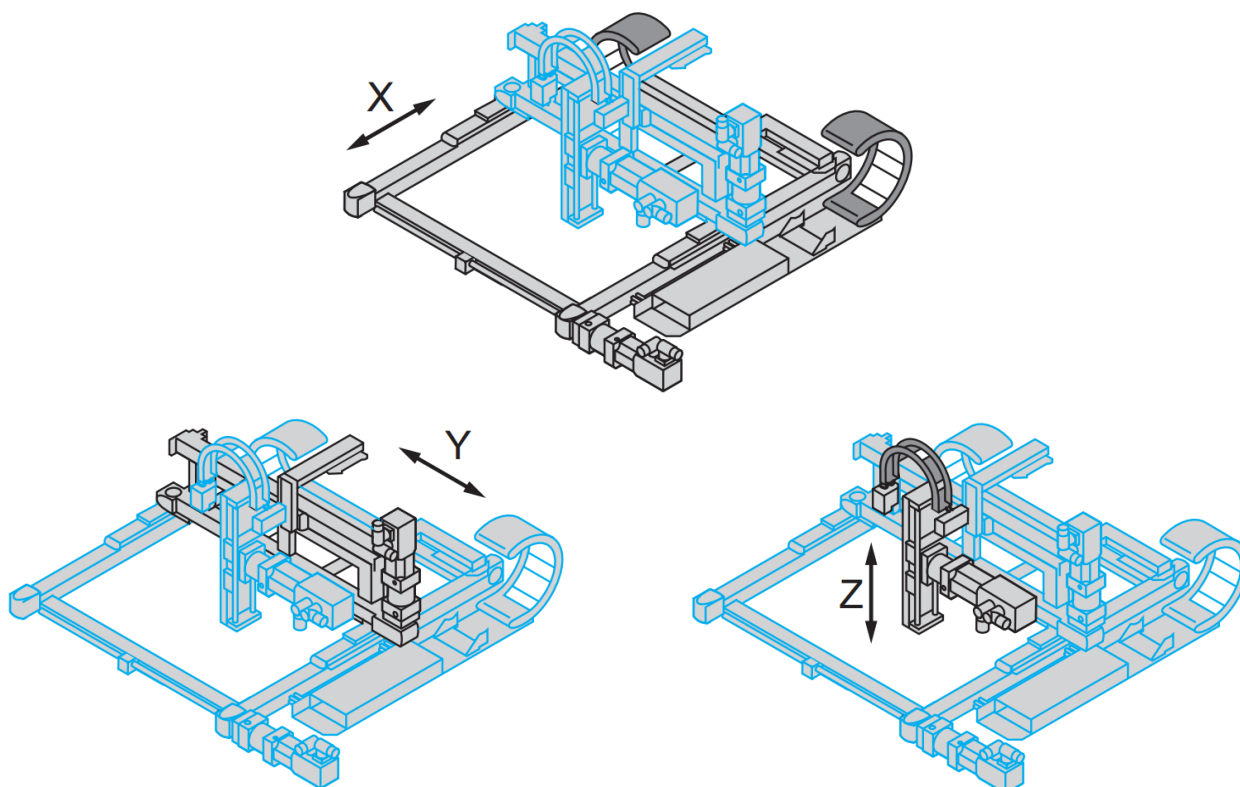
- D'un axe portique double Lexium MAX S assurant un déplacement selon la direction X
- D'un axe portique double Lexium MAX H assurant un déplacement selon la direction Y.
- D'un axe Cantilever Lexium CAS 4 ou Lexium CAS 3 assurant un déplacement selon la direction Z.

Ce robot portique permet d'apporter une solution fiable pour la manipulation de charges sur de longues distances : selon le modèle, des charges jusqu'à 50 kg peuvent être déplacées jusqu'à 5500 mm en X, 1500 mm en Y et 1200 mm en Z. L'entraînement de chaque axe est assuré par courroie crantée. Les guidages des chariots se font au choix par galets ou billes à recirculation.

Ces robots portiques, commercialisés préassemblés, offrent différentes options de configuration pour chaque axe dont la longueur, le choix entre différentes tailles et types de profilés, le choix entre différents types de guidages ...

Schneider Electric propose une offre globale constituée des portiques, de nombreux éléments de motorisation, des servovariateurs associés ainsi que des contrôleurs de mouvement.





Les applications typiques de ces portiques relèvent du "pick and place", de la manutention, de la palettisation, du tri, de l'inspection/mesure de pièces, de l'étiquetage...

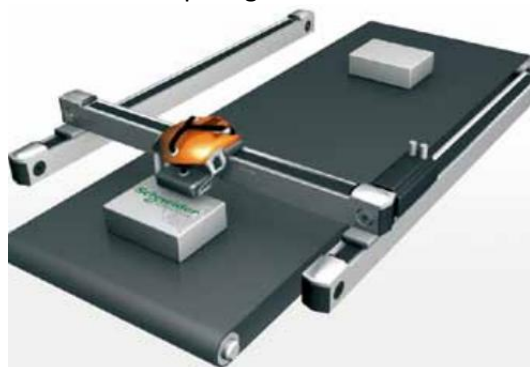
Manutention



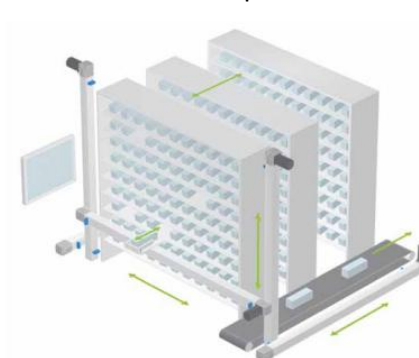
Scie volante



Etiquetage à la volée



Pick and place



2. Présentation du Control'X

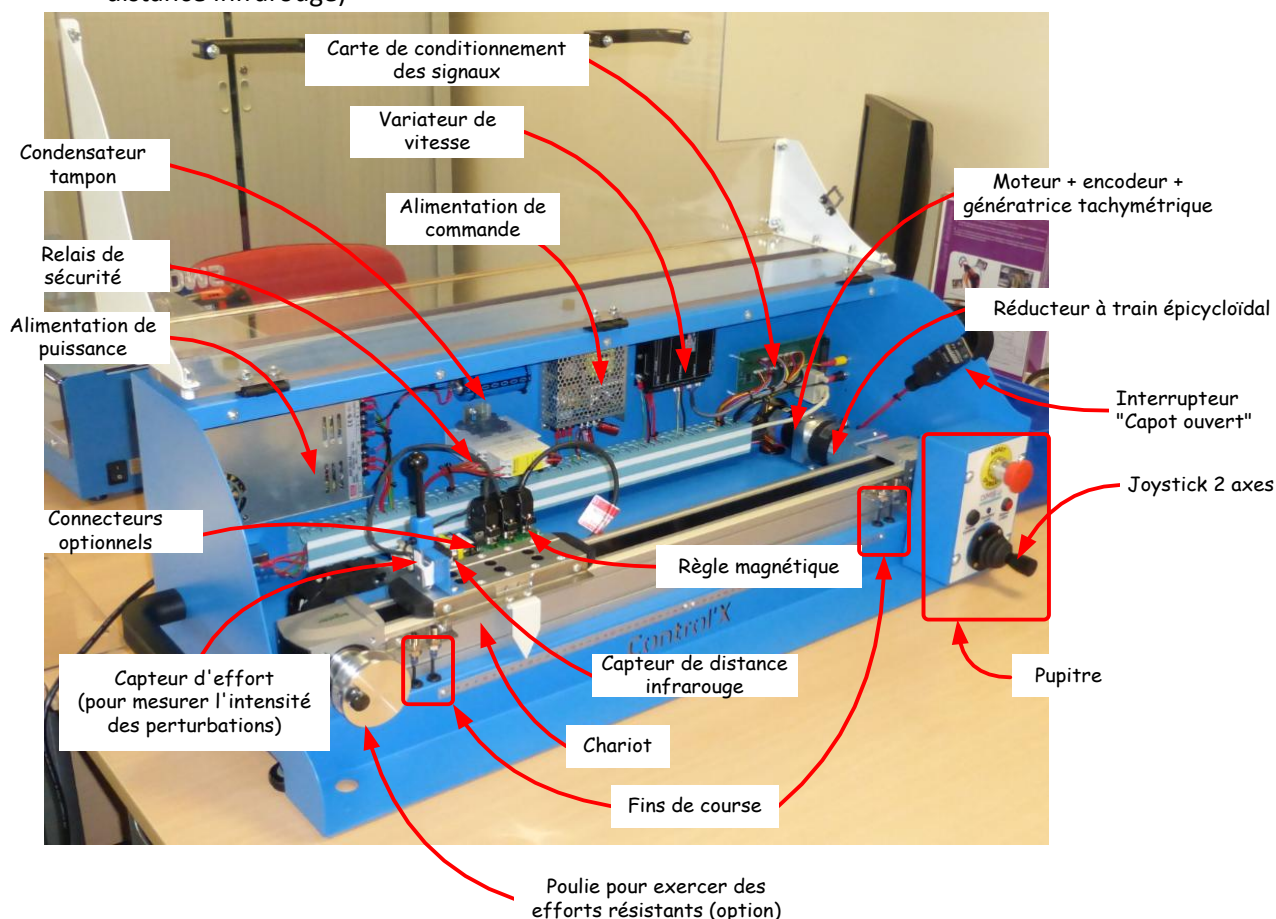
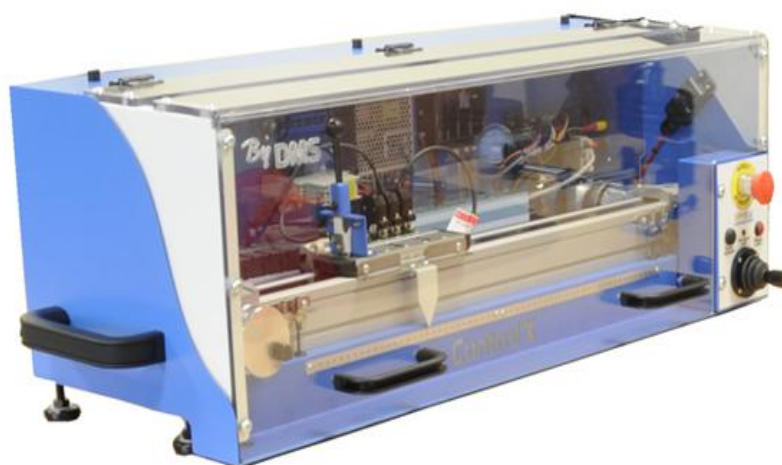
L'axe Control'X est un système reconstruit au plus proche du système industriel, le portique 3 axes Schneider MaxR.

La partie mécanique du Control'X est identique à celle de l'axe Schneider : réducteur, poulies-courroie, chariot et guidages. Le moteur a été changé pour un moteur à courant continu à balai et on a conservé le capteur principal nécessaire à l'asservissement :

- le codeur incrémental

Plusieurs capteurs ont été ajoutés pour permettre des études plus poussées :

- Capteur de tension en sortie de carte de commande (entrée de variateur)
- Capteur de tension moteur
- Capteur d'intensité moteur
- Génératrice tachymétrique montée en bout d'arbre moteur
- Capteur d'efforts exercés sur le chariot
- Règle magnétique
- Capteur de tension pour signaux optionnels (codeur supplémentaire, accéléromètre, capteur de distance infrarouge)

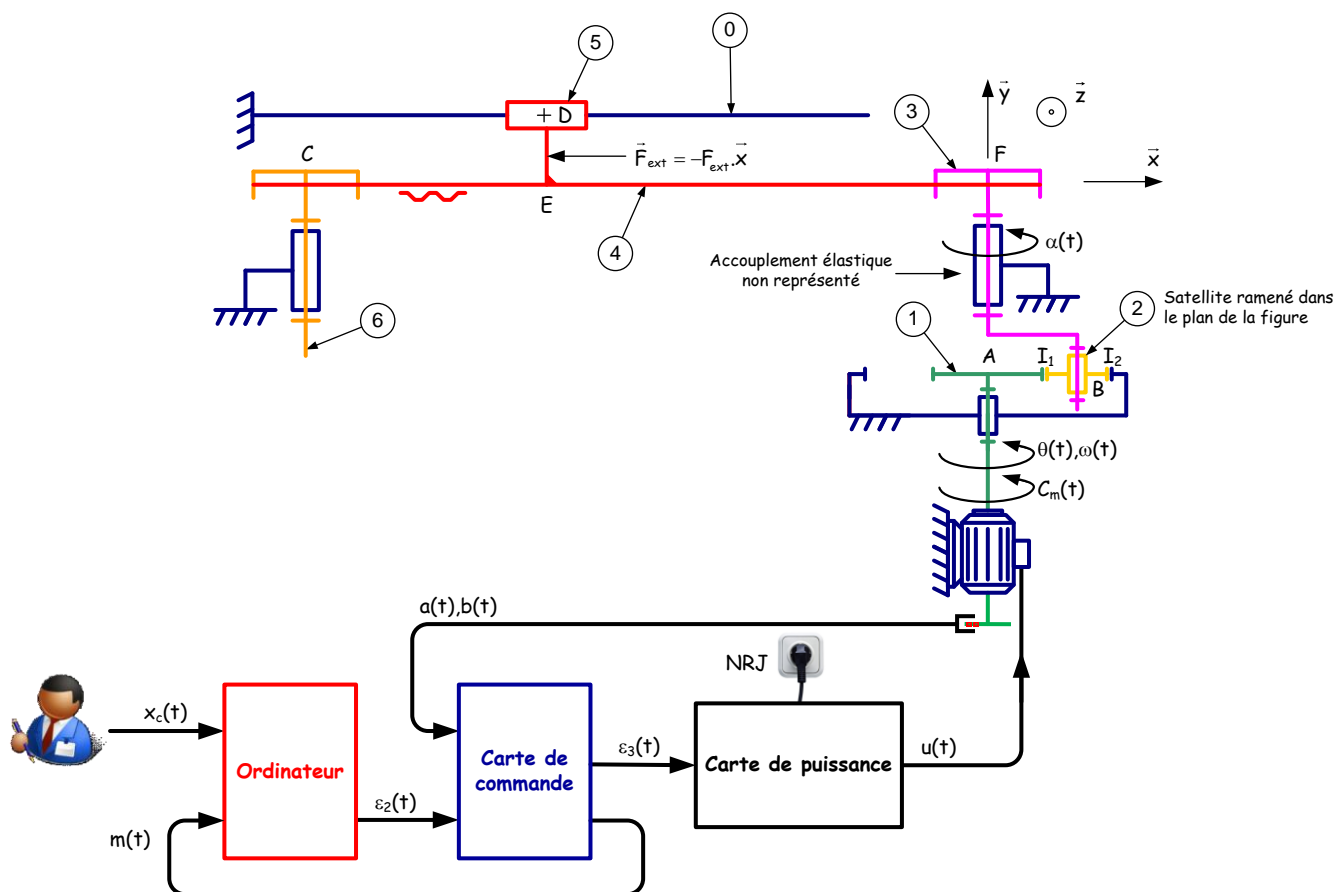
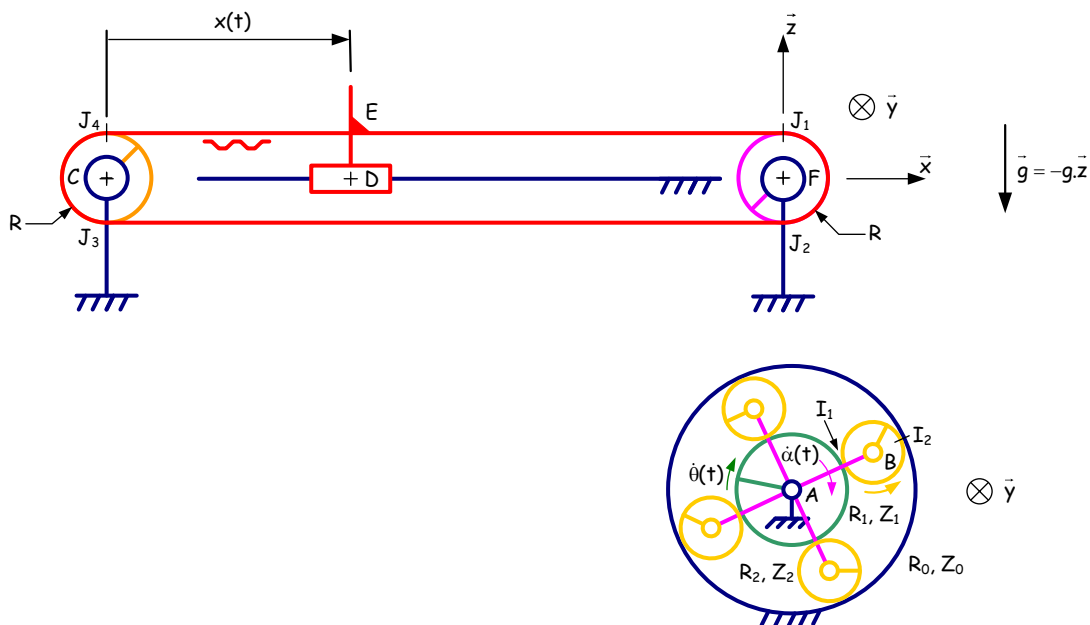


3. Architecture du Control'X

Le schéma ci-après présente l'architecture de Control'X :

Control'X est un axe linéaire asservi en position. Il repose principalement sur les éléments matériels suivants :

- Un PC qui fait tourner un logiciel de commande d'axe nommé Control'Drive
- Une carte de commande
- Une carte de puissance
- L'axe proprement dit : moteur, réducteur, poulies-courroie, chariot et codeur incrémental



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

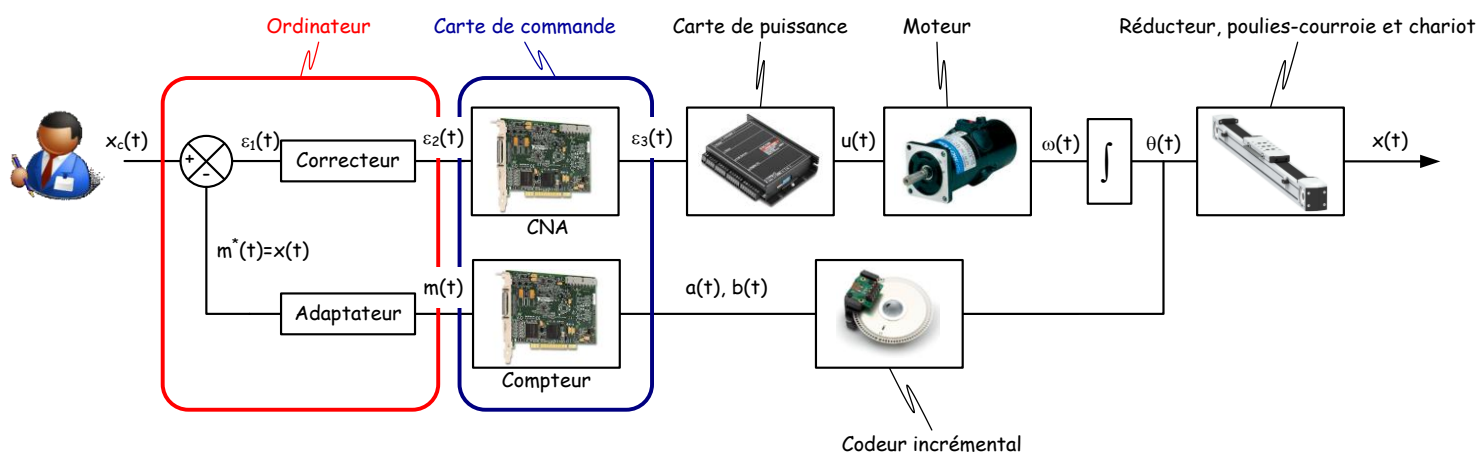


Schéma bloc de l'asservissement

Fonction de la carte de commande :

Coté 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 incréments image de la position linéaire $x(t)$ du chariot.
- Transmettre le résultat de ce comptage $m(t)$ à l'ordinateur.

Coté 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 $\varepsilon_2(t)$

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

Fonction de l'ordinateur :

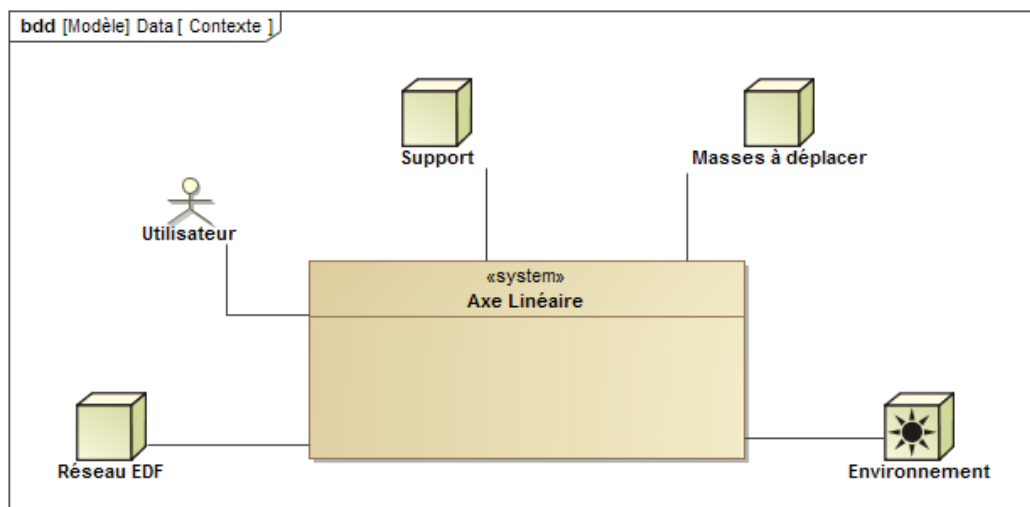
- Acquérir la consigne $x_c(t)$ de l'utilisateur (entrée directement en mm par l'utilisateur).
- Adapter le signal de mesure $m(t)$ en incréments en signal $m^*(t) = x(t)$ en mm : c'est l'équivalent du bloc adaptateur que l'on rencontre souvent devant le soustracteur. Plutôt que d'adapter la consigne, 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 :

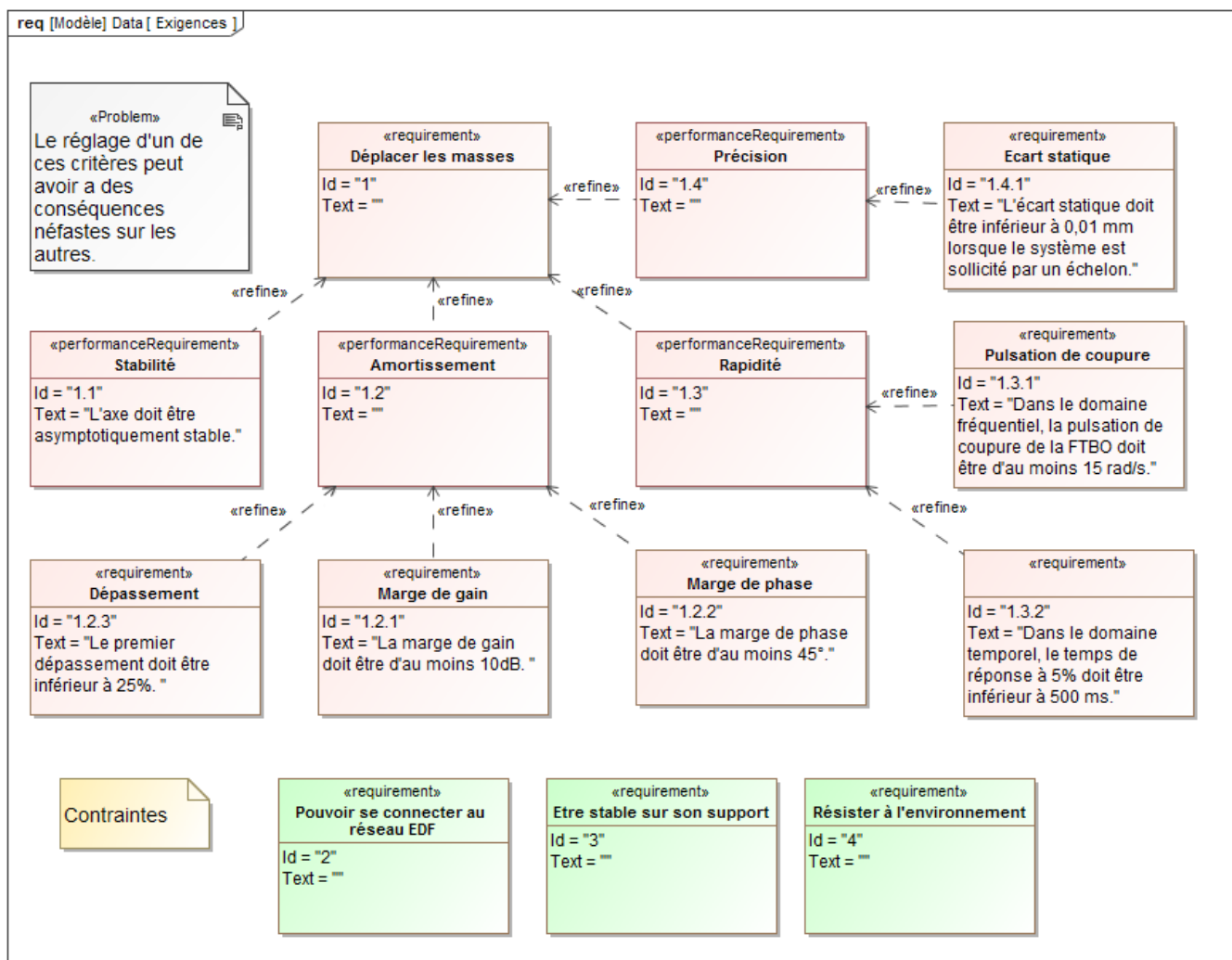
La carte utilisée ici est un servo-amplificateur qui peut intégrer en interne une boucle de courant (avec un correcteur PI) et/ou une boucle de vitesse (aussi avec correcteur PI). Ici cette carte n'est utilisée qu'en mode "variateur de vitesse" : les boucles internes de courant et de vitesse sont désactivées. 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 $u(t)$: $u(t) = B \cdot \varepsilon_3(t)$

4. Diagramme du contexte de l'axe Control'X

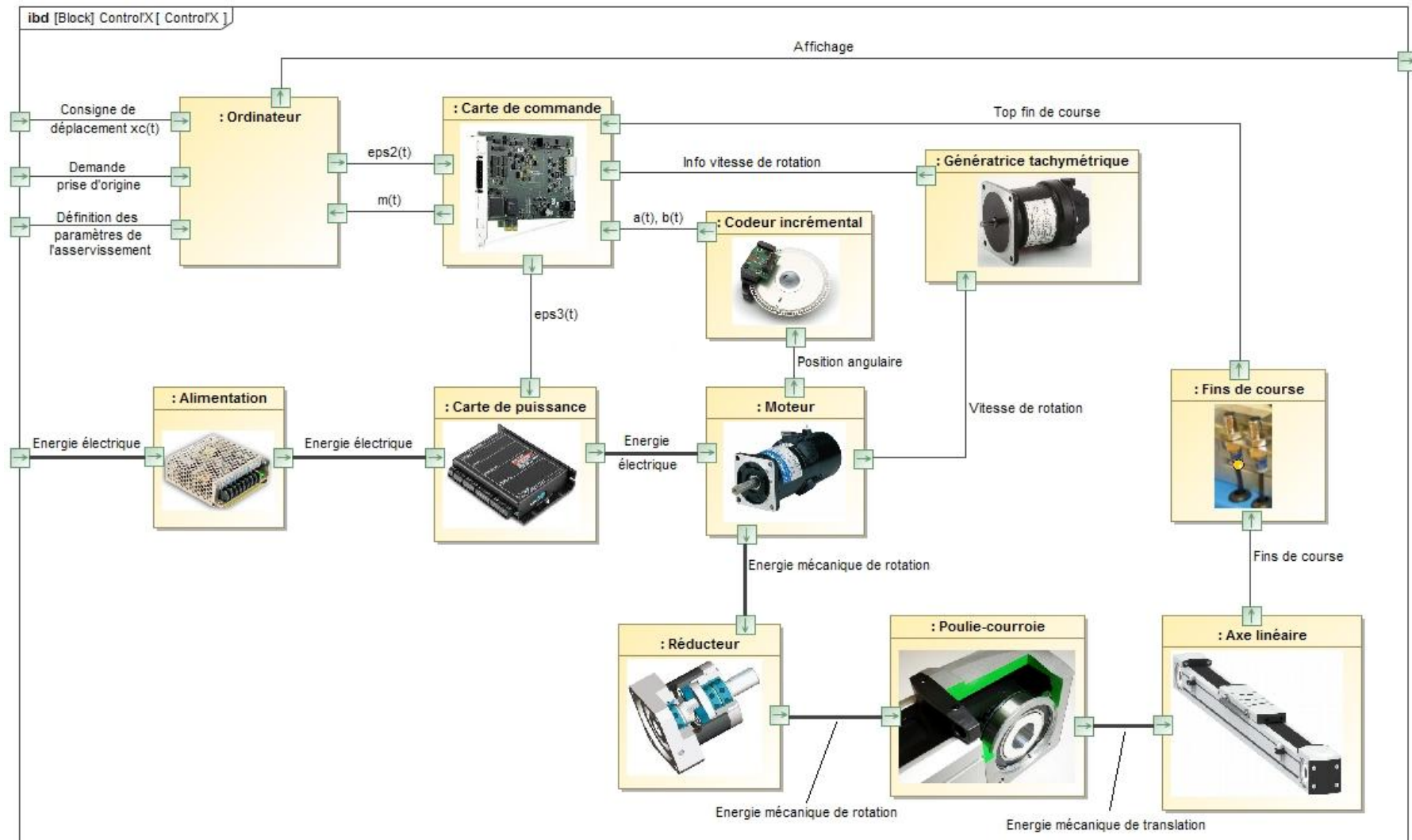


5. Diagramme d'exigences



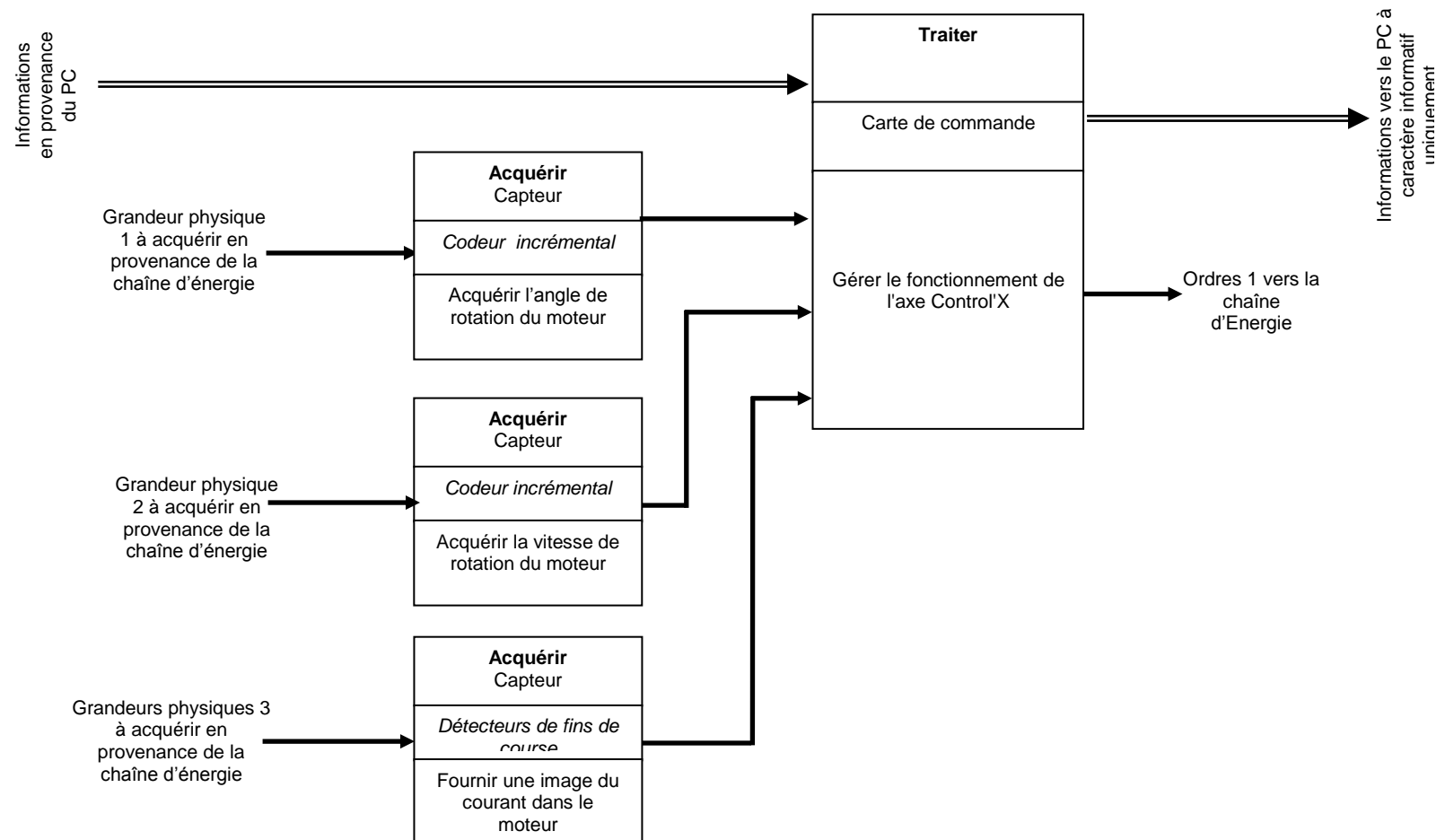
6. Diagramme des blocs internes pour un axe

Le diagramme des blocs internes suivant fournit la structure générale des éléments constituant l'axe Control'X :

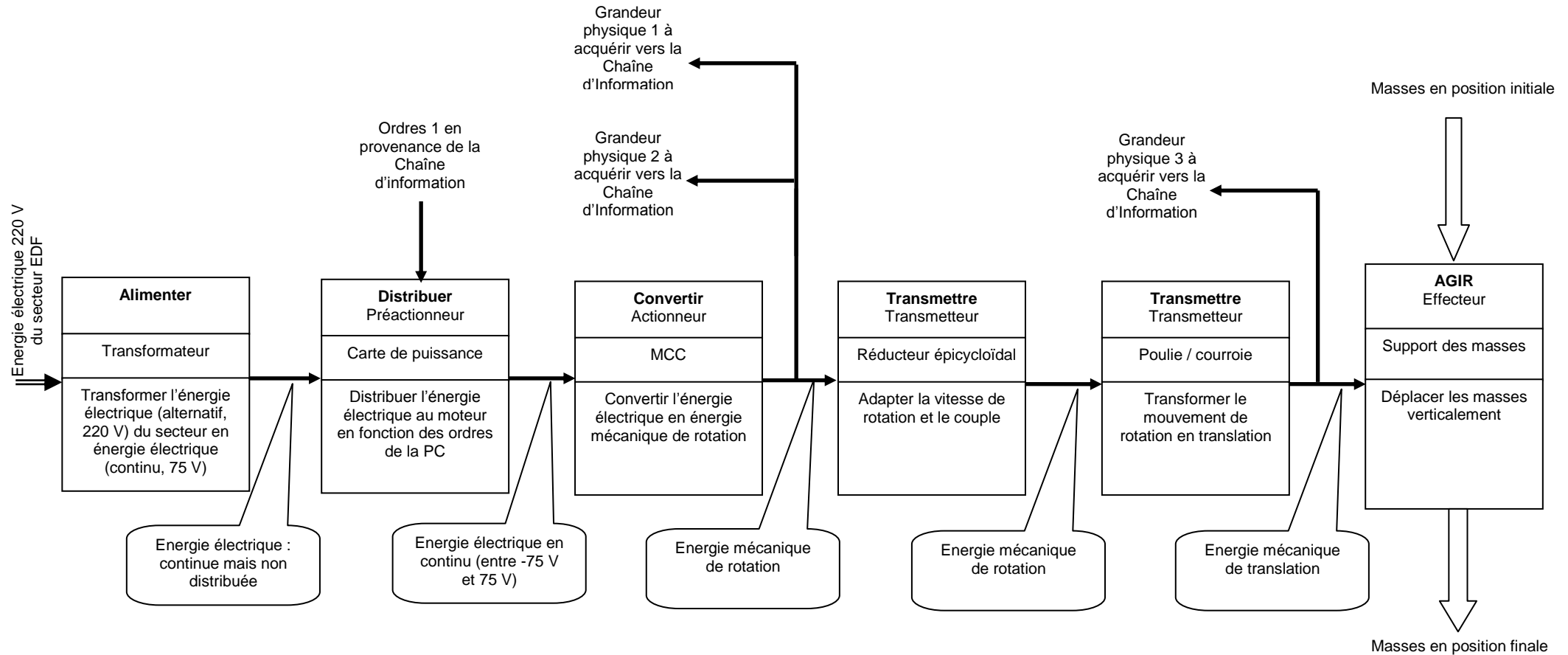


7. Chaînes d'énergie et d'information

a. Chaîne d'information



b. Chaîne d'Énergie



II. Caractéristiques de éléments constituant les chaînes fonctionnelles de l'axe Control'X

8. Moteur

Sanyo T5 T 01 2 EL8

- Puissance mécanique
 - Tension nominale
 - Couple au démarrage
 - Couple continu
 - Vitesse à vide
 - Accélération angulaire maximale
- Inductance $L = 3,2 \text{ mH}$
- Résistance $R = 5,1 \Omega$
- Constante de couple et constante électrique
 $K_t = K_e = K = 0,21 \text{ Nm/A} = 0,21 \text{ V} / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$



Type					T5 type	
Model					T506-012	T511-012
	Condition	Symbol	Unit (SI)			
Motor	Rated output	☆☆	PR	W	60	110
	Rated armature voltage	☆☆	VR	V	75	
	Rated torque	☆☆	TR	N · m (lb · in)	0.19 (1.68)	0.34 (3.01)
	Rated armature current	☆☆	IR	A	1.2	2.0
	Rated rotating speed	☆☆	NR	min ⁻¹	3000	
	Continuous stall torque	☆☆	TS	N · m (lb · in)	0.24 (2.12)	0.42 (3.72)
	Instantaneous maximum torque	☆☆	TP (N)	N · m (lb · in)	1.8 (15.93)	3.4 (30.09)
	Stall armature current	☆☆	IS	A	1.3	2.2
	Instantaneous maximum armature current	☆☆	IP (N)	A	10	18
	Maximum rotating speed		Nmax	min ⁻¹	5000	
	Friction torque	☆	Tf	N · m (lb · in)	0.020 (0.18)	0.022 (0.19)
	Rated power rate	☆☆	QR	kW/S	1.7	3.2
	Instantaneous maximum angular acceleration	☆☆	αP	rad/s ²	81.8 × 10 ³	91.9 × 10 ³
	Viscous braking constant	☆	Fd	N · m/min ⁻¹	0.009 × 10 ⁻³	0.013 × 10 ⁻³
	Torque constant	☆	KT	N · m/A	0.183	0.21
	Voltage constant	☆	KE	V/min ⁻¹	19.1 × 10 ⁻³	21.8 × 10 ⁻³
	Rotor inertia		JM	kg · m ² (GD ² /4) (lb · in ²)	0.022 × 10 ⁻³ (75.18 × 10 ⁻³)	0.037 × 10 ⁻³ (126.44 × 10 ⁻³)
	Armature winding resistance	☆	Ra	Ω	12.1	5.1
	Armature inductance	☆	Ja	mH	5.7	3.2
	Mechanical time constant	☆	tm	ms	7.4	4.3
	Electrical time constant	☆	te	ms	0.47	0.63
	Thermal time constant	☆☆	tθ	min	20	30
	Thermal resistance	☆☆	Rθ	K/W	2.8	2.4
	Heatup limit	☆☆	θ	K	105	
	Mass		W/M	kg (lbs)	0.65 (1.43)	0.95 (2.09)

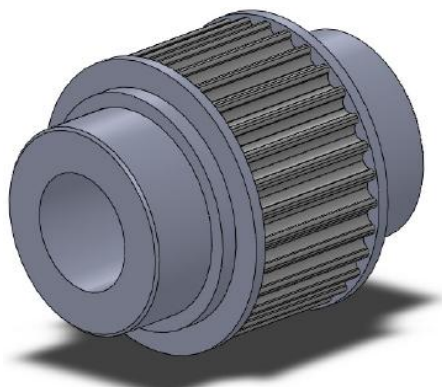
Tachometer generator	Coefficient of voltage generated	☆	KEG	V/min ⁻¹	
	Effective (rms) ripple	☆	ε s	%	1
	Peak-to-peak ripple	☆	ε s	%	3
	Linearity	☆	δ L	%	1
	Armature winding resistance	☆	Ri	Ω	26
	Armature inductance	☆	Li	mH	4.1
	Minimum load resistance	☆	RL	kΩ	10
	Rotor inertia		JTG	kg·m ² (GD ² /4) (lb·in ²)	0.012×10 ⁻³ (41.01×10 ⁻³)
	Mass		WT	kg (lbs)	0.26 (0.057)
Holding brake	Holding torque	☆☆	TB	N·m (lb·in)	0.29 (2.57)
	Voltage	☆	VB	V DC	90
	Current	☆	IB	A	0.06
	Resistance	☆	RB	Ω	1600
	Inertia		JB	kg·m ² (GD ² /4) (lb·in ²)	0.001×10 ⁻³ (3.42×10 ⁻³)
	Mass		WB	kg (lbs)	0.26 (0.057)
Optical encoder		Open collector			
		Line driver			200 500 1000 2000 2500 ^{P/R}
Gear					1/15 1/30 1/60 1/90
Oil seal					Installable
Basic model number of applicable servo amplifier					DA0D020

9. Réducteur Neugart PLE 60



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

10. Poulie-courroie



Rayon de la poulie $R_p = 24,67$ mm

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_p	kg.m ²	$4.2 \cdot 10^{-5}$	Calculé avec SolidWorks (aluminium)

11. Joint d'accouplement

Entre le réducteur et la poulie motrice, est présent un joint d'accouplement :

Inertie du joint $I_j = 2.53.10^{-5} \text{ kg.m}^2$



12. Chariot

Masse du chariot : $m = 0,9 \text{ kg}$
Ses accessoires : $m_{ac} = 0,84 \text{ kg}$

13. Variateur de vitesse Maxon ESCON 50/5



Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur	Observations
Tension nominale de service	V _{cc}	V	[10, 50]	Réglée à 40.8 V
Tension maximum de sortie		V	0.98.V _{cc}	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]	

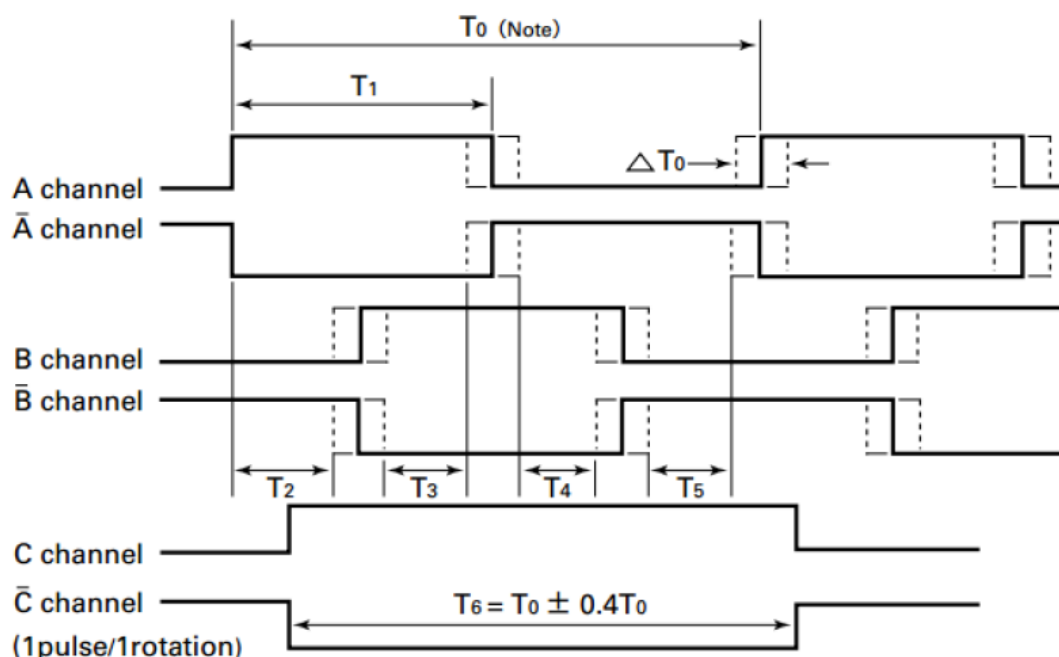
14. Carte de commande NI PCIe 6321



Caractéristique	Unité	Valeur	Observations
Entrées analogiques			
		8 différentielles ou 16 asymétriques	
Fréquence max d'échantillonnage	kéch./s	250	Pour l'ensemble des voies. (Un seul CAN avec entrées multiplexées)
Résolution	bits	16	
Gamme maximum de tension	V	[-10, 10]	
Précision	mV	2.2	
Gamme maximum de tension	V	[-0.2, 0.2]	
Précision	μV	69	
Nombre de gammes		4	
Sortie analogiques			
		2	
Résolution	bits	16	
Gamme maximum de tension	V	[-10, 10]	C'est la tension de saturation
Précision	mV	3.27	
Taux de rafraîchissement	kéch./s	900	Pour une voie. (840 si deux voies)
Courant fourni sur une voie	mA	5	

15. Codeur incrémental optique Sanyo

Caractéristique	Symbole	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 ²	8×10^{-8}	



16. Génératrice tachymétrique 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	*		Ω	26	
Inductance aux bornes	*		mH	4.1	
Résistance de charge mini	*		k Ω	10	
Moment d'inertie du rotor		J_g	kg.m ²	0.012×10^{-3}	

* Valeur numérique correspondant à une température ambiante de 25°C

* * Valeur numérique correspondant à la température maxi de 105 °C