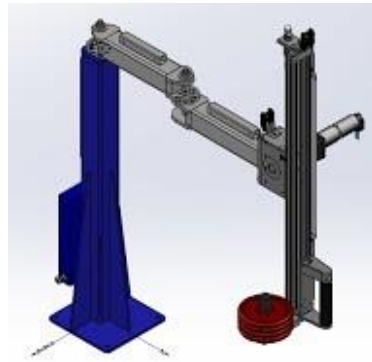


ROBOT COLLABORATIF CoMAX



Le système étudié est une partie d'un robot collaboratif. Ayant des domaines d'application très variés d'assistance à l'humain (domaine d'assistance à la personne, domaine médical), le contexte d'utilisation est ici le domaine manufacturier.

Ce type d'équipement permet d'assister l'humain dans les tâches industrielles où il est nécessaire d'appliquer un effort répétitif pendant le travail. Le robot collaboratif est commandé de manière continue et intuitive par l'utilisateur ; pour cette raison, il est dit collaboratif puisque l'humain se trouve déchargé des efforts dans sa tâche.

Cette solution limite les risques des Troubles Musculo Squelettiques (maladies TMS) et l'utilisateur peut alors uniquement se concentrer sur le contrôle du travail à accomplir.

Problématique :

Faire évoluer et valider un modèle dynamique de l'axe asservi en vitesse, afin de vérifier le cahier des charges.

1 DECOUVERTE – MANIPULATION – OBSERVATION – DESCRIPTION

Objectif 1 : S'approprier le fonctionnement du robot Comax – 10 minutes

Cette première partie nécessite la lecture préalable des fiche 1 et 2 : « Présentation » et « Mise en service du Comax ».

Activité 1

- ☐ Tester le comportement de l'axe lors d'une action sur la poignée avec 0 ou 4 masses supplémentaires de 1 kg sur le support de masse.
- ☐ Identifier sur le système les différents constituants de la chaîne d'information et de la chaîne d'énergie. Préparer une synthèse orale courte décrivant le fonctionnement du comax.

2 EXPERIMENTATION

Objectif 2 : Mesure de la vitesse du moteur – Durée : 15 minutes

Réaliser des mesures de vitesse du moteur pour une entrée échelon, afin de quantifier les performances de précision et de rapidité, avec différentes masses additionnelles et différentes valeurs du gain proportionnel. Conclure sur l'intérêt et les limites du correcteur proportionnel.

Activité 2 (Voir fiche 3) Durée : 15 minutes

- ☐ Réaliser les acquisitions vis-à-vis de cette sollicitation, avec 0 masses, 2 masses et 4 masses sur le support de masses. Compléter alors le tableau ci-dessous.
- ☐ A quelle valeur le constructeur a-t-il saturé le courant moteur ? Pourquoi saturer le courant ?
- ☐ Quelle est essentiellement la performance (Stabilité, Rapidité ou Précision) affectée par l'ajout des masses additionnelles ? Quelle est la cause de cette variation ?
- ☐ En conservant 2 masses additionnelles sur le support de masses, réaliser les mêmes acquisitions mais en réglant KP (correcteur proportionnel de l'asservissement de vitesse) tel que KP = 1000 et KP = 5000. Compléter aussi le tableau ci-dessous.
- ☐ Quelle(s) est (sont) la (les) performance(s) affectée(s) par le réglage du gain KP ?
- ☐ A votre avis, le correcteur uniquement proportionnel pour la boucle de vitesse est-il suffisant dans le cadre de l'action collaboratrice souhaitée ?

KP	Nombre de masses additionnelles	Valeur finale de la vitesse de rotation du moteur en rpm	Ecart en % en régime permanent sur la vitesse en rpm	Temps de réponse à 5%
3000	0			
3000	2			
3000	4			
1000	2			
5000	2			

3 MODELISATION – SIMULATION

Objectif 3 : Analyser une modélisation de l'axe asservi en vitesse, en vue de sa validation. – Durée : 15 minutes

Un modèle est fourni dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de vitesse tp1-2.zcos ».

On considère dans un premier temps un correcteur de vitesse proportionnel tel que $C_v(p) = K_{pv}$ (et Kivepos = 0, à modifier dans « bouton droit, modifier le contexte » sous Scilab ultérieurement).

Avec le réglage $K_{pvepos} = 3000$, nous avons $K_{pv} = 0,06$.

Activité 3 (Voir fiche 5 pour l'utilisation de Scilab Xcos).– Durée : 5 minutes

- ☐ Analyser la structure de l'asservissement
- ☐ Sans calcul, préciser à priori si l'écart statique est nul ou pas ? Justifier.

Activité 4 : Etude paramétrique Durée : 15 minutes

- ☐ Lancer la simulation en cliquant sur la flèche dans le menu supérieur horizontal, avec la consigne de 3000 rpm. Analyser les résultats.

- ☐ Lancer la simulation, avec la consigne de 3000 rpm. Analyser les résultats relatifs aux différentes valeurs du gain proportionnel : 1000, 3000, 5000. Les saturations de courant et de tension ont-elles eu lieu ?

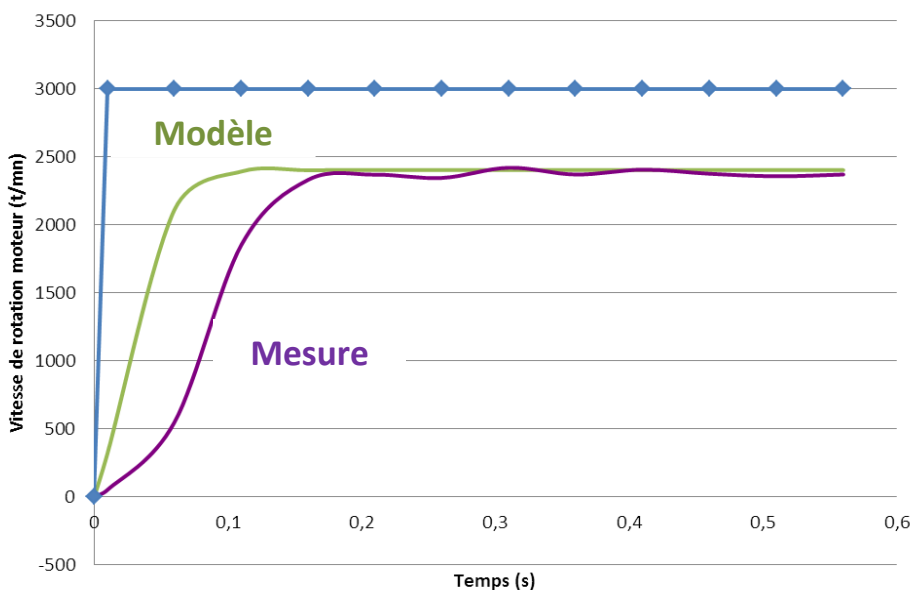
4 DIAGNOSTIQUER UN ECART ET DEFINIR UN PLAN D'ACTION

Objectif 4 : Analyser les écarts entre les valeurs issues de la mesure d'une part, et celles issues de la simulation d'autre part, puis prendre des dispositions pour réduire cet écart, faire évoluer et valider le modèle. – **Durée : 15 minutes**

Activité 5 Durée : 15 minutes

- ☐ Comparer les courbes expérimentales et les courbes simulées (allures, valeurs finales, saturations, temps de réponse). Les saturations imposées par le constructeur sont en courant : 7.5 A et en tension : 19.4 V
- ☐ Le modèle peut-il être validé ?
- ☐ Mettre en place la saturation de courant en donnant aux variables Isatsup et Isatinf respectivement les valeurs 7.5 A et -7.5A dans Modifier le contexte. Conclure.
- ☐ Proposer une manipulation et mesure permettant d'évaluer l'influence du frottement ; Vous disposez d'un capteur d'effort, d'un axe seul et du robot complet pour effectuer des mesures.
- ☐ Réaliser ces mesures. Donner la valeur de l'effort à produire sur l'axe pour vaincre les frottements, en déduire la valeur en couple ramenée sur l'axe du moteur. on donne la relation entre la vitesse de translation de l'axe et la vitesse de rotation du moteur ($V = K_{\text{tran}} \Omega_m = 1.1 \cdot 10^{-3} \Omega_m$)
- ☐ Justifier la modélisation des frottements secs et en particulier la fonction SIGN utilisée.
- ☐ Comparer les courbes expérimentales et les courbes simulées (allures, valeurs finales, saturations, temps de réponse) données sur la figure ci-dessous. Le modèle peut-il être validé ?

Asservissement de vitesse de rotation du moteur



Consigne 3000 t/mn
Kp = 3000
avec saturation (7,5A)
avec frottement
(Cresm=0,04Nm)

5 MODELISATION DE L'AXE ASSERVI EN VITESSE

Objectif 5 Modifier la modélisation de l'axe asservi en vitesse, en vue du respect du cahier des charges. – **Durée : 10 minutes**

Le cahier des charges de l'asservissement en vitesse, afin d'obtenir les performances souhaitées de la boucle collaborative est le suivant :

Critère de performances	Niveau	Flexibilité
-------------------------	--------	-------------

Stabilité	Dépassement < 10% pour $K_p < 3000$	$\pm 20 \%$
Rapidité	$t_m < 150 \text{ ms}$, t_m étant le temps de montée	$\pm 20 \%$
Précision	Écart en régime permanent nul vis-à-vis d'une consigne constante ou d'une perturbation constante	

Activité 6 Durée : 10 minutes

- ☐ Le correcteur proportionnel permet-il de satisfaire le cahier des charges ?
 - ☐ Le correcteur choisi par le constructeur est le suivant : $C_v(p) = K_{PV} + \frac{K_{IV}}{p} = K_i \frac{1+T_i p}{T_i p}$.
- $$K_{pvepos} = \frac{K_{PV}}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{K_i}{20 \cdot 10^{-6}} \text{ et } K_{ivepos} = \frac{K_{IV}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{K_i}{5 \cdot 10^{-3} T_i}$$
- ☐ On propose les valeurs suivantes admises pour la suite de l'étude : $K_{pvepos} = 3000$ et $K_{ivepos} = 90$. **Sans calculs, préciser si l'écart statique est nul ou pas? Justifier.**
 - ☐ Dans le fichier « Asservissement de vitesse tp1-2.zcos », Modifier « Le Contexte » et affecter les deux valeurs de $K_{pvepos} = 3000$ et $K_{ivepos} = 90$, en supprimant le bloc PARAM_VAR mis en place. **Lancer la simulation, montrer que les performances sont atteintes.** On précise que le temps de montée est le temps pour lequel le système coupe pour la première fois l'asymptote finale.
 - ☐ Réaliser un essai d'échelon de vitesse et conclure quant aux performances obtenues.

6 SYNTHÈSE

Objectif 6 : Exposer clairement le travail effectué – Durée : 10 minutes

Activité 7

- ☐ Proposer un poster présentant une synthèse de votre travail. Sur ce poster devront apparaître les éléments clé abordés précédemment ainsi que la démarche scientifique mise en œuvre pour répondre à la problématique. Les outils de communication nécessaires à sa rédaction sont laissés à votre initiative.

Fiche 1 PRESENTATION GENERALE

Pour découvrir une présentation du COMAX, vous pouvez utiliser l'application présente sur le Bureau dans le dossier Systemes\Comax\CoMax_EMP.exe – Raccourci.



La Cobotique

Le terme « Cobotique » est issu des mots « robotique » et « coopération » (« collaboration »). Elle se caractérise par l'interaction entre un opérateur humain et un système robotique. La cobotique industrielle (développée actuellement dans de grands groupes industriels) est une réponse aux tâches difficiles et pénibles, elle assiste le geste de l'opérateur en démultipliant ses capacités en termes d'efforts pour manipuler des pièces ou outils, lourds ou encombrants, avec la précision nécessaire, tout en s'adaptant aux caractéristiques de l'utilisateur. La cobotique est aussi utilisée pour traiter des problèmes d'ergonomie du poste de travail et de prévention des TMS (Troubles Musculo-squelettiques).

Le cobot est un robot assistant, il reste dépendant de l'intention, du geste ou du comportement de l'utilisateur.

Assistance à la marche

En utilisant leur savoir-faire acquis en matière de robotique, de grands constructeurs comme Honda au Japon, se lancent dans la commercialisation de dispositifs robotisés d'assistance à la marche.

Les applications d'une telle technologie d'assistance à la marche ou à la mobilité sont assez nombreuses :

- ☐ aide à la mobilité des personnes âgées ou handicapées ;
- ☐ aide à la rééducation après une maladie ou un accident ;
- ☐ assistance pour des mouvements répétitifs ou pour le déplacement d'objets lourds (monde de l'industrie ou de l'armée).



« Walking Assist Device » de Honda

Assistance à l'effort (Manutention industrielle)

Pour réduire les risques de TMS (Troubles Musculosquelettiques), certains constructeurs de matériel de manutention proposent des solutions de levage intelligentes qui assistent l'opérateur dans la manipulation de charges lourdes.

Principe de fonctionnement : le système repose sur l'utilisation d'un système de levage motorisé à câble associé à une poignée communicante intégrant le capteur d'effort. La poignée communique en permanence (via une liaison sans fil) l'intention de l'opérateur au système de levage. Celui-ci réagit alors en conséquence et assiste l'opérateur pour qu'il puisse déplacer l'objet manutentionné sans en percevoir son poids.

Le système s'auto-ajuste dans le cas de charges variables (bidons que l'on vide) et intègre de nombreuses sécurités (coupure d'alimentation, surcharges etc.).



Poignée communicante



Système de levage à câble



« Ze Solution » de SAPELEM

Fiche 2 MISE EN SERVICE DU COMAX

Mise sous tension

- ☐ Allumer le COMAX.
- ☐ Allumer l'ordinateur.
- ☐ Lancer le logiciel :
 - l'écran d'accueil s'affiche sur votre PC ;
 - cliquez sur « Continuer » pour accéder à la fenêtre principale de l'Interface Robot CoMax.

Connexion

- ☐ Dans la fenêtre principale de l'interface cliquez sur l'interrupteur « Connexion ».



Connexion établie

Si la communication est correctement établie, s'affiche à l'écran le panneau « CONNEXION ETABLIE ». Le dialogue entre le PC et le Robot CoMax est opérationnel.

- ☐ Cliquez sur "OK", de retour à la fenêtre principale de l'Interface, la led verte "Connexion" est allumée.

Avant de piloter l'axe linéaire, vous devez :

- ☐ Activer la carte de commande EPOS ;
- ☐ Activer la boucle Collaborative.

Activation de la carte de commande

L'Interface PC est connectée (led verte « Connexion ») au robot CoMax.

Avant de piloter (collaboration) le Robot vous devez activer et initialiser (codeur) l'axe linéaire.

- ☐ Cliquer sur l'interrupteur « Activation » pour activer la carte de commande ...

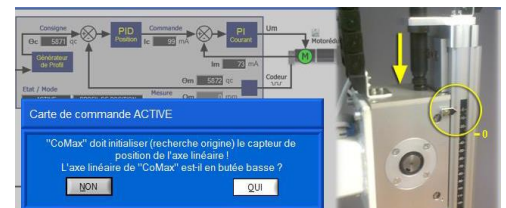


Initialisation du codeur

La carte de commande EPOS est activée, s'affiche à l'écran le panneau « Carte de commande ACTIVE » ci-contre.

ATTENTION, avant d'initialiser la position (RAZ codeur), l'axe linéaire doit être en position basse !

- ☐ Cliquer sur « OUI » pour confirmer l'initialisation du codeur.



Activation asservissement

L'Interface PC est connectée (led verte « Connexion ») au robot CoMax asservi en position (led rouge « Activation »).


- ☐ Cliquer sur l'interrupteur « Collaboration » pour activer la boucle collaborative.

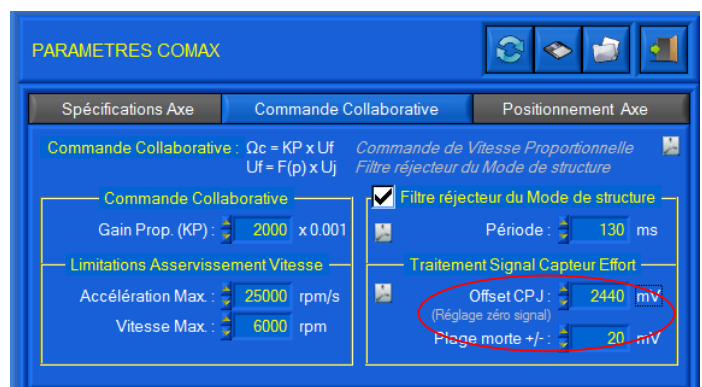
La boucle collaborative est activée, la led jaune « Collaboration » est allumée.

Vous pouvez maintenant piloter CoMax à l'aide de la boucle collaborative : saisir la poignée et déplacer l'axe sans effort.



Il se peut que le réglage du système (courant résiduel) ne soit pas correct ce qui provoque un déplacement du bras vers le bras. Il faut alors régler l'Off-set CPJ.

- Cliquer sur 



Fiche 3 REALISER UNE MESURE

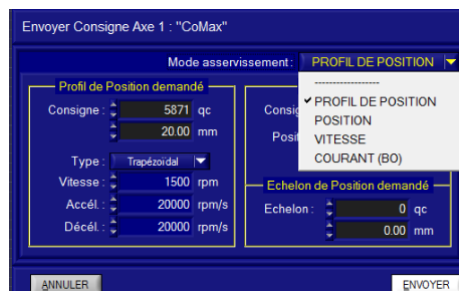
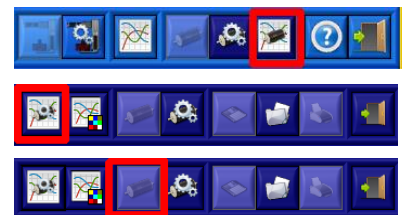
Cette interface vous permet de :

- ☐ Piloter CoMax :
 - commande collaborative ;
 - profil de position ;
 - consigne de position ;
 - consigne de vitesse ;
 - consigne de courant.
- ☐ Paramétrer la Commande collaborative :
 - gain proportionnel et limites en vitesse et accélération ;
 - activation et réglage du filtre réjecteur du mode de structure ;
- ☐ Paramétrer la carte de commande Epos (asservissement) :
 - PID position ;
 - PI vitesse ;
 - PI courant ;
- ☐ Visualiser et acquérir les grandeurs physiques suivantes :
 - consigne de position et position axe ;
 - consigne de vitesse et vitesse axe ;
 - consigne de courant et courant moteur ;
 - signal tension capteur d'effort.

ATTENTION : LES POSITIONS MOTEURS SONT DONNEES EN MM. IL S'AGIT EN FAIT DES POSITIONS DE L'AXE !

Mesure suite à une sollicitation

- ☐ S'assurer que le CoMax est activé.
- ☐ Appuyer sur l'icône « Acquisition axe »
- ☐ Sélectionner les signaux à visualiser (position, courant...)
- ☐ Sélectionner le type de consigne à envoyer (échelon de position, vitesse, courant)

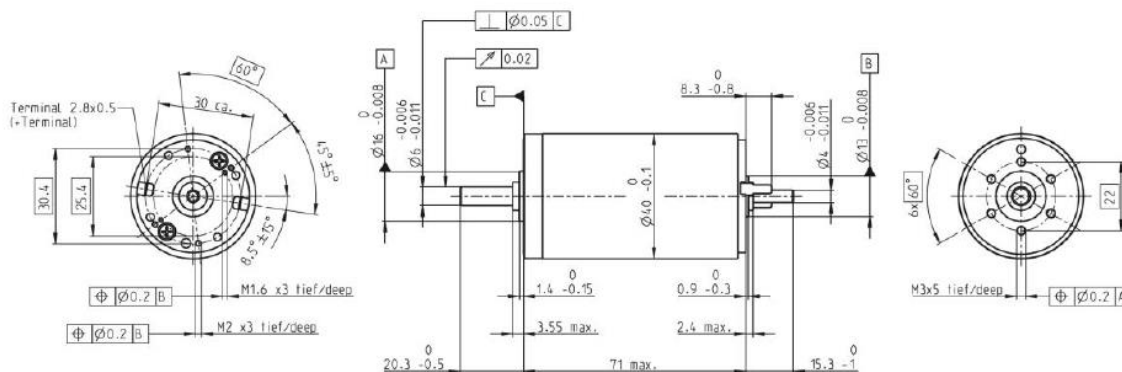


Fiche 4 DESCRIPTION STRUCTURELLE ET TECHNOLOGIQUE


Motoréducteur à courant continu

RE 40 Ø40 mm, Graphite Brushes, 150 Watt

maxon DC motor



M 1:2

 Stock program
 Standard program
 Special program (on request)

Article Numbers

		148866	148867	148877	218008	218009	218010	218011	218012	218013	218014			
Motor Data														
Values at nominal voltage														
1	Nominal voltage	V	12	24	48	48	48	48	48	48	48			
2	No load speed	rpm	6920	7580	7590	6420	5560	3330	2690	2130	1720	1420		
3	No load current	mA	241	137	88.6	53.6	43.7	21.9	16.6	12.5	9.66	7.76		
4	Nominal speed	rpm	6380	6940	7000	5810	4930	2710	2060	1510	1080	781		
5	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	94.9	177	187	186	180	189	190	192	192	190		
6	Nominal current (max. continuous current)	A	6	6	3.17	2.66	2.23	1.4	1.13	0.909	0.73	0.6		
7	Stall torque	mNm	1720	2420	2560	2040	1620	1020	814	655	523	424		
8	Starting current	A	105	80.2	42.4	28.6	19.7	7.43	4.79	3.06	1.97	1.32		
9	Max. efficiency	%	87	91	92	91	91	89	89	88	87	85		
Characteristics														
10	Terminal resistance	Ω	0.115	0.299	1.13	1.68	2.44	6.46	10	15.7	24.4	36.3		
11	Terminal inductance	mH	0.0245	0.0823	0.329	0.46	0.612	1.7	2.62	4.14	6.4	9.31		
12	Torque constant	mNm/A	16.4	30.2	60.3	71.3	82.2	137	170	214	266	321		
13	Speed constant	rpm/V	581	317	158	134	116	69.7	56.2	44.7	35.9	29.8		
14	Speed / torque gradient	rpm/mNm	4.05	3.14	2.97	3.16	3.45	3.29	3.31	3.27	3.29	3.37		
15	Mechanical time constant	ms	589	4.67	4.28	4.2	4.19	4.16	4.15	4.15	4.15	4.16		
16	Rotor inertia	gcm²	1.39	142	137	127	116	121	120	121	120	118		

Specifications

Thermal data		
17	Thermal resistance housing-housing	4.7 K/W
18	Thermal resistance winding-housing	1.9 K/W
19	Thermal time constant winding	41.5 s
20	Thermal time constant motor	736 s
21	Ambient temperature	-30...+100°C
22	Max. permissible winding temperature	+155°C
Mechanical data (ball bearings)		
23	Max. permissible speed	12000 rpm
24	Axial play	0.05 - 0.15 mm
25	Radial play	0.025 mm
26	Max. axial load (dynamic)	5.6 N
27	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	110 N 1200 N
28	Max. radial load, 5 mm from flange	28 N

Other specifications

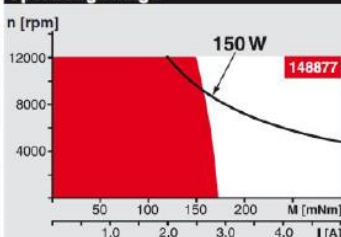
29 Number of pole pairs	1
30 Number of commutator segments	13
31 Weight of motor	480 g

Values listed in the table are nominal.
Explanation of the figures on page 49

Option

Preloaded ball bearings

Operating Range



Comments

Continuous operation
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
= Thermal limit.

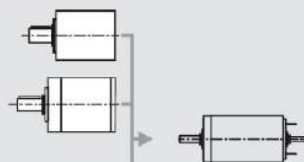
Short term operation
The motor may be briefly overloaded (recurring).

— Assigned power rating

maxon Modular System







Planetary Gearhead
 Ø42 mm
 0.15 Nm

0 - 10 Nm
 Page 242
Planetary Gearhead
 Ø52 mm
 4 - 30 Nm
 Page 245



Recommended Electronics:	
ESCON 50/5	Page 292
EPOS2 24/5	313
EPOS2 50/5	313
EPOS2 70/10	313
EPOS2 P 24/5	316
EPOS3 70/10 EtherCAT	319
ADS 50/10	373
ADS_E 50/10	373
Notes	18

Overview on page 16 - 21

	Encoder MR 256 - 1024 Imp., 3 channels Page 273
	Encoder HED 5540 500 CPT, 3 channels Page 276/278
	Brake AB 28 24 VDC 0,4 Nm Page 330
	Industrial Version Encoder HEDL 9140 Page 281
	Brake AB 28 Page 331
	End cap Page 335



Motoreducteur Courant Continu RE040G/PM42



Les avantages :

Motoréducteur d'asservissement - Idéal pour fonctionnement en start/stop et inversion de sens de rotation - Bon rendement - Rapport puissance/encombrement exceptionnel

Les produits associés :

> Alimentation

DRP-240-24

S-150-24

> Codeur

HEDL 5540

HEDS 5540

> Connectique

EPOS KIT POUR MOTEUR

EPOS KIT START DC

> Selfs-Moteur

SELF MOTEUR

> Cartes électroniques

EPOS P 24/5

EPOS2 24/5

ADS 50/10

FIRST DC 1Q 60/10

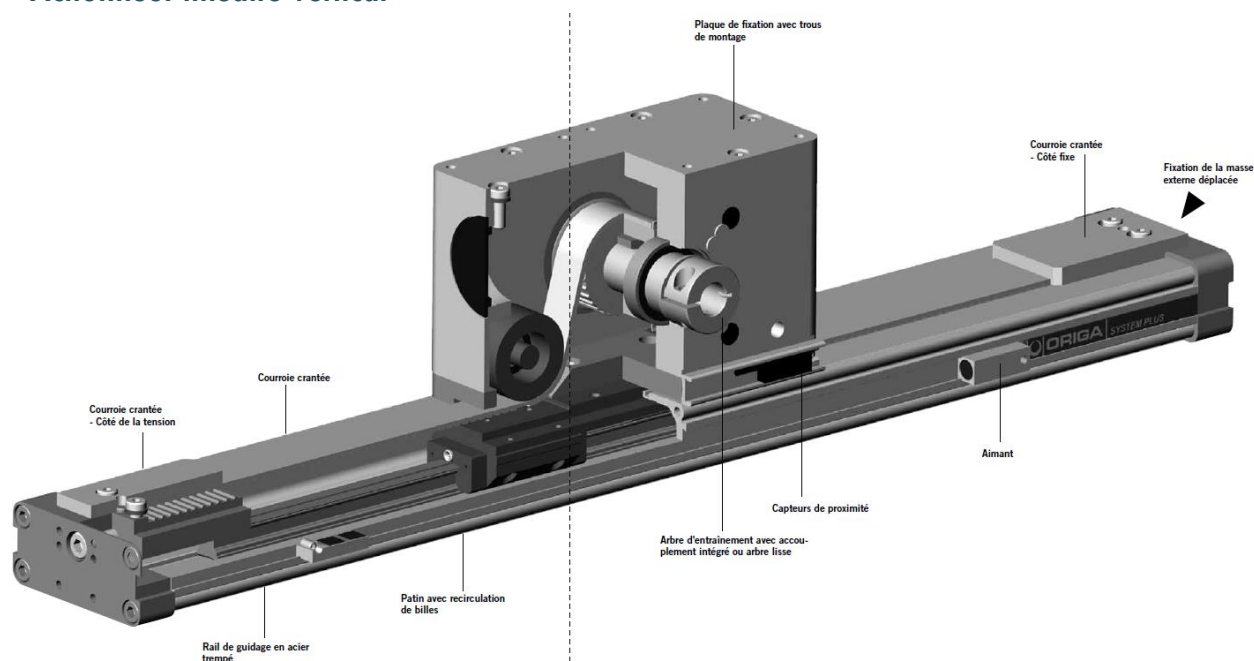
maxon motor

0.5 Nm - 15 Nm

Version	Rapport de réduction	Nombre d'étages	Rendement	Vitesse à vide en tr/min	Vitesse en charge en tr/min	Couple nominal en Nm	Courant nominal en A
12V/0004	3.70	1	0.80	1024	862	0.54	6
12V/0016	15.88	2	0.75	239	203	2.00	6
12V/0025	25.01	2	0.75	152	129	3.20	5.8
12V/0051	50.89	3	0.70	74	63	6.00	5.8
12V/0100	99.5	3	0.70	38	32	11.80	5.8
12V/0169	168.84	3	0.70	22	20	15.00	4.3
12V/0252	252.24	4	0.65	15	14	15.00	3.2
24V/0004	3.70	1	0.80	2049	1896	0.50	5.8
24V/0016	15.88	2	0.75	477	442	2.00	5.8
24V/0025	25.01	2	0.75	303	280	3.20	5.8
24V/0051	50.89	3	0.70	149	138	6.00	5.8
24V/0100	99.5	3	0.70	76	70	11.80	5.8
24V/0169	168.84	3	0.70	45	42	15.00	4.3
24V/0252	252.24	4	0.65	30	29	15.00	3.2

Commutation	Graphite
Nombre de lames au collecteur	13
Aimant	Néodym Fer Bore
Type de réducteur	PLANETAIRE
Paliers	Roulement à billes
Charge axiale maximum	110 N
Charge radiale maximum	160 N
Force de chassage	320 N
Jeu angulaire en charge	0.90 °
Vitesse maximum d'entrée	3000 tr/mn
Température ambiante mini de	-20 °C
Température ambiante maxi de	100 °C
étage d'entrée	Delrin
étage de sortie	Acier
Poids minimum	1080 g

Actionneur linéaire vertical

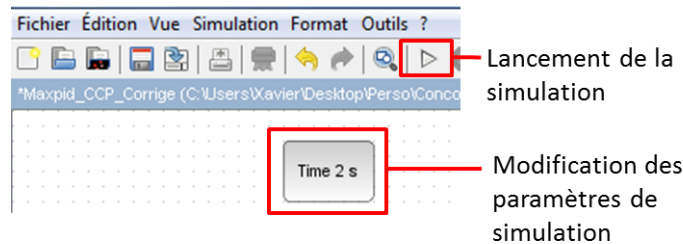


Caractéristiques								T1
	Unité		Description					
Taille			OSP-E20BV	OSP-E25BV				
Vitesse maxi.	[m/s]		3,0	5,0				
Déplacement par tour d'arbre d'entraînement	[mm/U]		108	160				
Courroie crantée			35ATL3	40ATL5				
Vitesse de rotation max. de l'arbre d'entraînement	[min ⁻¹]		1700	1875				
Effort maxi F _A à vitesse	1 m/s	[N]	650	1430				
	1 - 2 m/s	[N]	450	1200				
	> 3 - 5 m/s	[N]	–	1050				
Couple à vide ²⁾	[Nm]		0,6	1,2				
Accélération/décélération maxi.	[m/s ²]		20	20				
Répétabilité	+/- [mm/m]		0,05	0,05				
Course standard maxi. ¹⁾	[mm]		1000	1500				
Masse max. admise recommandée ³⁾	[kg]		10	20				

Poids (masse) et inertie							
	Poids total (Masse) [kg]		Masse en mouvement [kg]		Inertie (x 10 ⁻⁴ kgm ²)		
	Course 0 m	Tête d'entraînement	Course 0 m	par mètre de Course	Course 0 m	par mètre de Course	pro kg Masse
OSP-E20BV	3,4	1,9	1,6	4,0	486	1144	289

Fiche 5 UTILISATION DE SCILAB XCOS

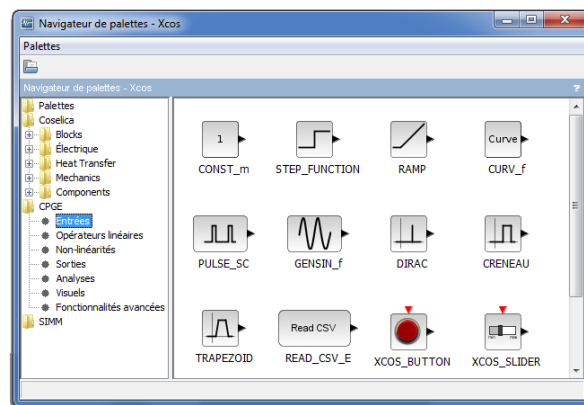
6.1 Lancement de la simulation



6.2 Modification du schéma bloc

Pour modifier les paramètres d'un bloc, double cliquer dessus ou modifier le contexte (voir paragraphe ci-dessous).

- Si le navigateur de palettes n'est pas ouvert :
Menu Vue ► Navigateur de palettes
- Tous les blocs nécessaires sont dans le menu CPGE



6.3 Modification des paramètres du contexte

Les constantes de chacune des blocs sont modifiables dans le contexte :

Clic droit sur le fond d'écran :

Modifier le contexte

