

Thème de la problématique : Comment améliorer les performances du Pilote automatique de bateau (modèle TP32) afin de limiter sa consommation électrique et de permettre ainsi au skipper de bénéficier d'une plus grande autonomie d'énergie ?

Support de la démarche : Pilote automatique de bateau modèle TP32

Niveau : Fin PREMIERE – Début TERMINALE

Durée : Une séance de 2h



Pilote automatique TP32

Déroulé de la démarche expérimentale proposée dans le cadre de cette démarche d'amélioration de l'existant :

Durée estimée

	Expression du besoin et spécification de l'exigence attendue du nouveau cahier des charges	5 min.
	Détermination expérimentale du rendement global du pilote existant	40 min.
	Modélisation multiphysique et simulation de la chaîne de puissance du pilote existant élaborée à partir de résultats expérimentaux fournis	15 min.
	Analyse des écarts entre système réel et système modélisé et proposition de solution d'amélioration	15 min.
	Modélisation multiphysique et simulation de la proposition d'amélioration de la chaîne de puissance en prédition des performances du futur pilote	10 min.
	Analyse des écarts de la solution d'amélioration proposée	15 min.
	Validation des prédictions de performances et conclusion	10 min.



Expression du besoin et spécification de l'exigence attendue du nouveau cahier des charges

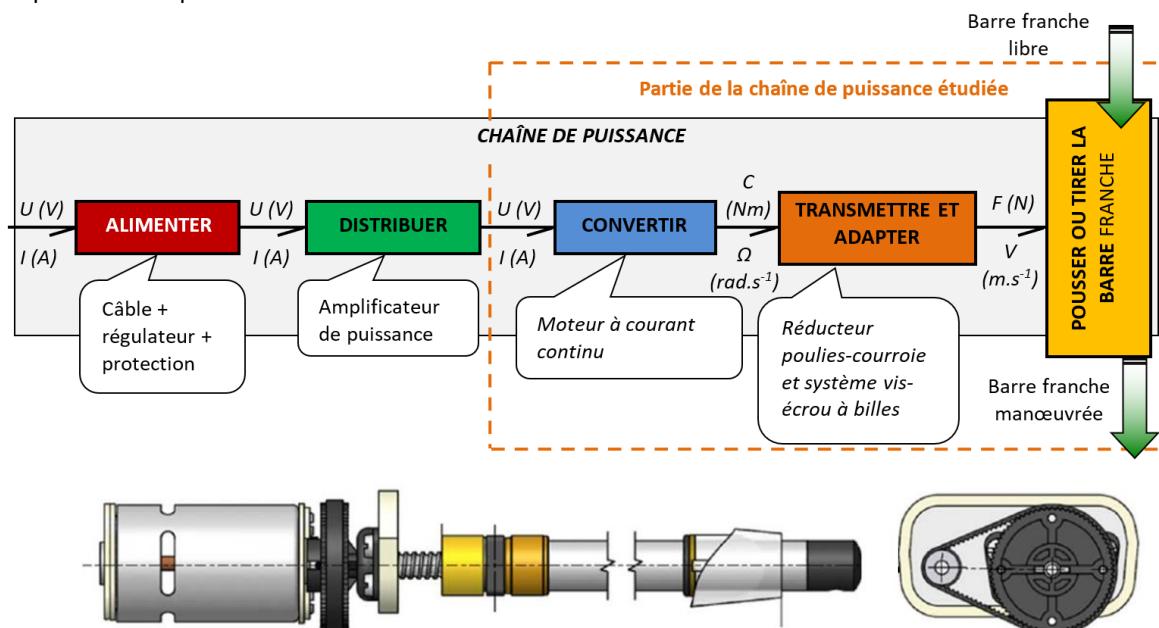
La société SIMRAD souhaite profiter du renouvellement de sa gamme de pilote automatique de bateau pour réduire de 15 %, à minima, la consommation électrique de son modèle TP32 sans nuire, pour autant, à ses autres performances.

Exigence attendue	Critère	Niveau
Barrer automatiquement un bateau en consommant le moins possible d'énergie	Effort de poussée sur la barre	Jusqu'à : $F = 850 \text{ N}$
	Course utile	$C_u = 250 \text{ mm}$
	Temps pour effectuer la course à vide	Au plus 4 s
	Temps pour effectuer la course à 20 Kg	Au plus 4,7 s
	Temps pour effectuer la course à 40 Kg	Au plus 6 s
	Temps pour effectuer la course à 50 Kg	Au plus 8 s
Puissance moyenne absorbée		Diminution minimum de 15 % par rapport au modèle TP32 existant



Détermination expérimentale du rendement global du pilote existant.

La chaîne de puissance du pilote existant est la suivante :



Comment déterminer expérimentalement le rendement global de pilote existant lors de la montée d'une charge ?



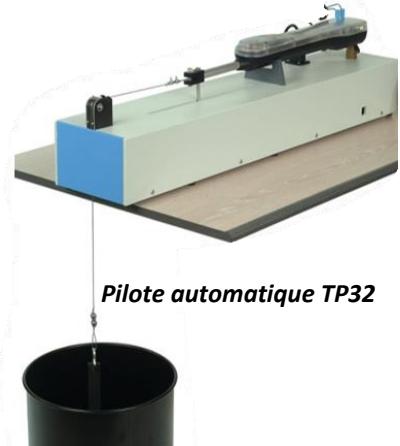
Hypothèse simplificatrice : Les contraintes d'efforts subies par la barre et le safran associé se réduisent à un effort résultant ramené en bout de tige du vérin du pilote. Les pertes dans la poulie de renvoie du câble sont négligées.

→ **Préparation de la démarche expérimentale**

1- Rappeler l'expression de la puissance électrique à l'entrée de la chaîne en fonction de U_{alim} et I_{alim} en précisant les unités.

$$P_{\text{Electrique}} = ? \dots$$

2- Indiquer les appareils de mesure nécessaires pour déterminer $P_{\text{Electrique}}$.



3- Rappeler l'expression de la puissance mécanique en sortie de chaîne en fonction de F_{tige} et $V_{\text{rentrée tige}}$ en précisant les unités.

$$P_{\text{Mécanique}} = ? \dots$$

4- Indiquer les appareils de mesure nécessaires pour déterminer $P_{\text{Mécanique}}$.

→ **Relevés de mesures** APPELER LE PROFESSEUR et lui proposer oralement le protocole expérimental

Consignes d'utilisation du pilote automatique didactisé :

- Mettre l'alimentation 12V DC dédiée sous tension ;
- Appuyer sur « STBY AUTO » jusqu'à l'obtention du clignotement du voyant rouge ;
- Appuyer sur les poussoirs pour entrer ou sortir la tige.

ATTENTION : Ne pas maintenir les poussoirs enfouis une fois la tige en butée !



5- Effectuer les mesures pour une montée de charge de 5 kg

$$U_{\text{alim}} = ?$$

$$I_{\text{alim}} = ?$$

$$\text{Longueur de tige} = ?$$

$$\text{Temps de montée} = ?$$

→ **Exploitation des relevés pour une montée de charge de 5 kg**

6- Compléter le tableau suivant :

Masse [kg]	U_{alim} [V]	I_{alim} [A]	$P_{\text{Electrique}}$ [W]	F_{tige} [N]	V_{tige} [m.s^{-1}]	$P_{\text{Mécanique}}$ [W]	η_{global} (%)
5							



Modélisation multiphysique et simulation de la chaîne de puissance du pilote existant élaborée à partir de résultats expérimentaux fournis

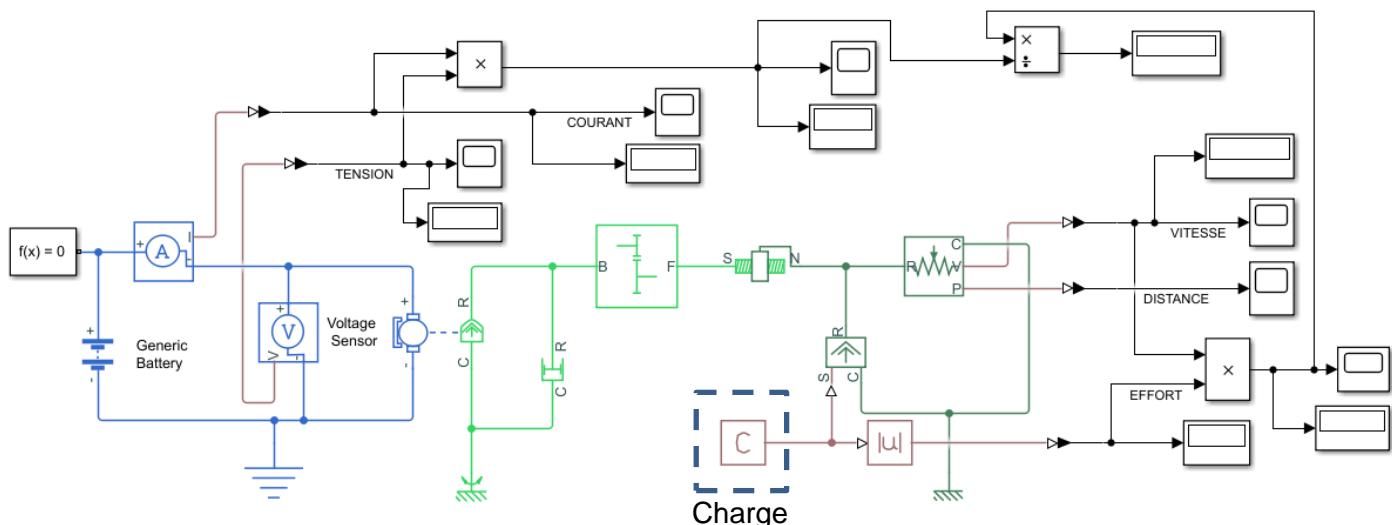
Des essais effectués sur le pilote TP32 en fonctionnement sur un voilier de taille intermédiaire (11 m) ont permis de déterminer un effort moyen appliqué par la barre franche sur la tige du pilote de $F_{\text{moy}} = 270 \text{ N}$.

La ligne encadrée en rouge du tableau ci-après donne les relevés expérimentaux de grandeurs physiques caractéristiques obtenues sur la version didactisée du pilote lorsqu'il est soumis à cet effort moyen.

RELEVES DE REFERENCE

Masse [Kg]	F_{tige} [N]	N_{moteur} [tr/min]	V_{tige} [m.s ⁻¹]	U_{moteur} [V]	I_{moteur} [A]	$P_{absorbée}$ [W] par le moteur	$P_{sortie tige}$ [W]	$\eta_{moteur ET tige}$
2.4	23.6	4430	0.062	11.2	1.5	16.8	1.5	0.09
7.4	72.6	4175	0.059	11.2	2	22.4	4.27	0.19
12.4	121.7	3920	0.055	11.1	2.4	26.6	6.72	0.252
17.4	170.7	3672	0.052	11	2.7	29.7	8.83	0.3
22.4	219.7	3415	0.048	10.9	3	32.7	10.56	0.323
27.4	268.8	3170	0.045	10.7	3.3	35.3	12	0.34
32.4	317.8	2895	0.041	10.5	3.7	38.9	12.95	0.333
37.4	366.9	2750	0.039	10.3	4.2	43.3	14.18	0.328

7- Ouvrir le fichier de MATLAB SIMULINK " PiloteRS755SH.slx " et encadrer le modèle du moteur.



→ SIMULATION de la chaîne de puissance

8- Régler la charge à 270 N (affecter une valeur négative) puis lancer la simulation.

APPELER LE PROFESSEUR si besoin.

Visualiser la courbe d'évolution de la vitesse ainsi que celle du courant absorbé



Analyse des écarts entre système réel et système modélisé et proposition de solution d'amélioration

9- Compléter le tableau suivant pour $F_{moy} = 270$ N :

Grandeur physique	Valeur réelle mesurée	Valeur simulée	Erreur absolue (réelle – simulée)	Erreur relative (%)
$P_{absorbée}$ (W)				
$P_{sortie tige}$ (W)				
$\eta_{moteur ET tige}$				

Critère de validation d'un modèle multiphysique : Traditionnellement, un modèle est validé lorsque l'ensemble des grandeurs physiques simulées en régime établi ne s'écarte pas de plus de 5 % à 10 % des grandeurs données par le constructeur ou des grandeurs issues de relevés expérimentaux.

10- Selon ce critère de validation, conclure sur la crédibilité de notre modèle pour ce point de fonctionnement.

11- A des fins de synthèse de l'analyse de l'existant et d'orientation à donner pour la proposition d'amélioration qui suit, compléter le VRAI-FAUX suivant :

Synthèse de l'existant :

Le rendement de l'association des fonctions CONVERTIR et TRANSMETTRE + ADAPTER est suffisant.	VRAI	FAUX
Avec un rendement de 90% pour chacun des constituants de la fonction « Transmettre + Adapter », le rendement résultant de ces 2 fonctions est acceptable.	VRAI	FAUX

Amélioration de l'existant proposée :

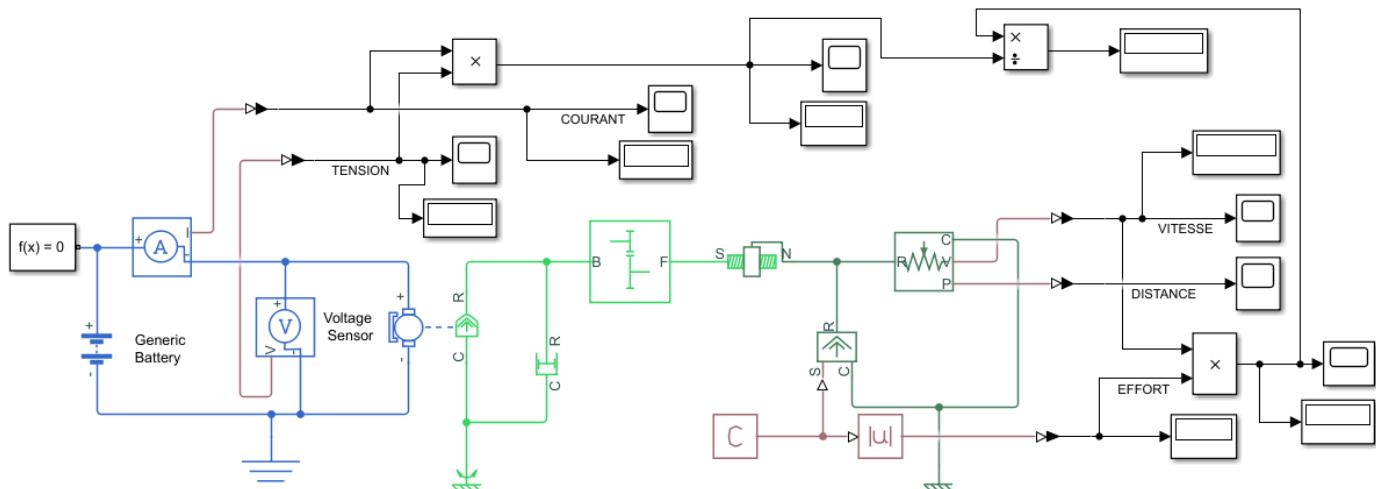
La décision de remplacer le moteur est légitime.	VRAI	FAUX
La diminution de la consommation énergétique du pilote sera alors amplement envisageable.	VRAI	FAUX



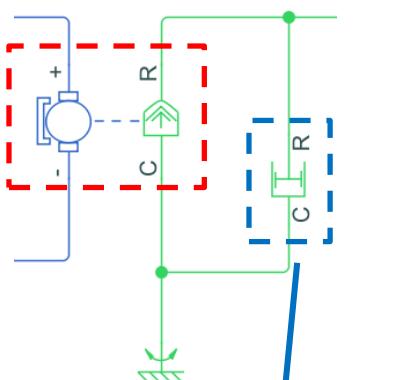
Modélisation multiphysique et simulation de la proposition d'amélioration de la chaîne de puissance en prédition des performances du futur pilote

La proposition d'amélioration du Pilote existant cible le changement de moteur. Les prospections menées conduisent à la référence est la suivante : **Moteur MAXON DCX 26 L - 12V** (Voir document annexe 1)

12- Ouvrir le fichier MATLAB SIMULINK " PiloteMAXON.slx ".



13- Compléter le paramétrage du moteur conformément au document constructeur MAXON (cf. annexe 1)



Settings

Electrical Torque	Mechanical
Model parameterization:	By stall torque & no-load speed
Armature inductance:	[] mH
Stall torque:	[] mN*m
No-load speed:	[] rpm
Rated DC supply voltage:	10.7 [] V
Rotor damping parameterization:	By no-load current
No-load current:	[] mA
DC supply voltage when measuring no-load current:	12 [] V

Settings

Electrical Torque	Mechanical
Rotor inertia:	[] g*cm^2
Initial rotor speed:	0 [] rpm

Settings

Parameters	Variables
Damping coefficient:	[] N*m/(rad/s)

→ SIMULATION de la chaîne de puissance du Pilote équipé du moteur MAXON

- 14- Lancer la simulation pour une charge de $F_{tige} = 270 \text{ N}$ (affecter une valeur négative). **APPELER LE PROFESSEUR si besoin.**



Analyse des écarts de la solution d'amélioration proposée

- 15- Compléter le tableau récapitulatif de résultats de modélisation pour un effort moyen $F_{moy} = 270 \text{ N}$ et commenter les écarts entre les 2 modèles.

Grandeur physique	Avec Moteur RS 755 SH	Avec Moteur MAXON	Commentaires sur les écarts entre le modèle MAXON et la version RS 755 SH existante
$U_{moteur} (\text{V})$	10.7	10.7	
$I_{moteur} (\text{A})$			
$P_{absorbée} (\text{W})$			
$F_{tige} (\text{N})$	270	270	
$V_{tige} (\text{mm/s})$			
$P_{sortie tige} (\text{W})$			
$\eta_{moteurEtTige} (\%)$			



Validation des prédictions de performances et conclusion

Notons que la puissance absorbée par la chaîne d'information du pilote est considérée comme identique et constante quel que soit le modèle considéré.

- 16- Calculer (en %) la diminution de puissance absorbée qui serait obtenue avec le nouveau modèle de pilote.
Cette diminution de puissance absorbée est-elle conforme à l'exigence du nouveau cahier des charges ?

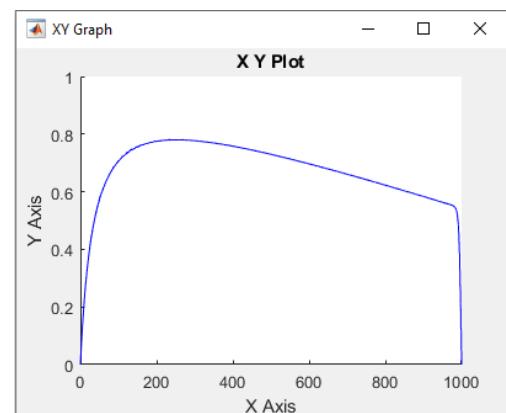
POUR ALLER PLUS LOIN DANS L'ANALYSE... (HORS TEMPS D'ACTIVITE EXPERIMENTATL)

Afin d'entériner définitivement le choix du modèle MAXON, il convient de se poser de nouvelles questions d'importance en lien, notamment, avec le régime de fonctionnement du moteur et les performances en vitesse de translation de la tige du vérin.

- 17- D'après les résultats de la simulation, la vitesse de translation du nouveau modèle donne-t-elle satisfaction ?
Quel avantage présente une vitesse de translation plus rapide sur le plan de la consommation énergétique du bateau ?

Quelques aménagements du modèle multiphysique permettent d'observer l'évolution ci-contre de $\eta_{moteur} = f(F_{tige})$ du modèle MAXON.

- 18- Le régime de fonctionnement du moteur est-il proche de régime nominal ?
Autrement dit, le moteur est-il bien dimensionné ?



- 19- Conclure sur la faisabilité de choisir le modèle MAXON.

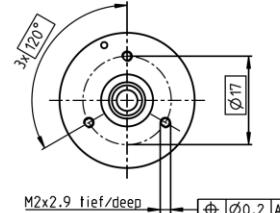
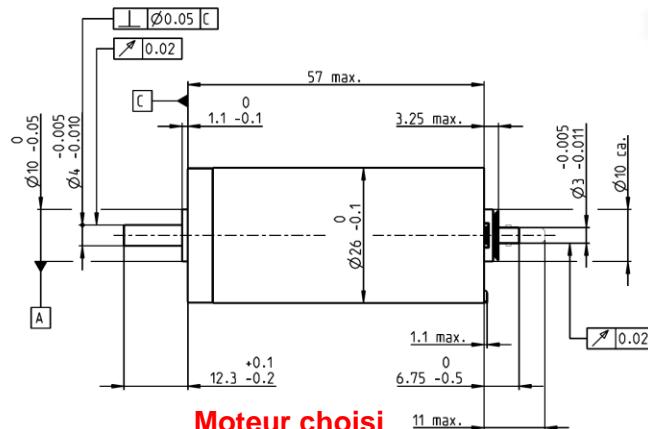
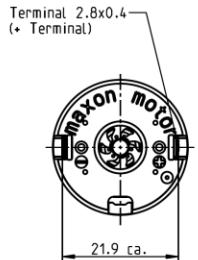
Annexe 1 – Document constructeur du Moteur MAXON DCX 26L-12V

DCX 26 L Ø26 mm, precious metal brushes, DC motor

Key Data: 18/29 W, 52.3 mNm, 5900 rpm



DCX



M 3:4

Moteur choisi

Motor Data							
1_ Nominal voltage	V	9	12	18	24	36	48
2_ No load speed	rpm	5530	5330	5530	5330	5430	5320
3_ No load current	mA	80.5	56.8	40.2	28.4	19.5	14.2
4_ Nominal speed	rpm	5060	4690	4770	4600	4680	4570
5_ Nominal torque	mNm	32.9	46.1	49.8	52.3	50.8	50.3
6_ Nominal current (max. continuous current)	A	2.2	2.2	1.64	1.25	0.822	0.599
7_ Stall torque	mNm	384	384	362	384	370	355
8_ Stall current	A	24.8	17.9	11.7	8.95	5.86	4.14
9_ Max. efficiency	%	89	89	89	89	89	89
10_ Terminal resistance	Ω	0.363	0.671	1.54	2.68	6.15	11.6
11_ Terminal inductance	mH	0.067	0.129	0.268	0.514	1.11	2.06
12_ Torque constant	mNm/A	15.5	21.4	31	42.9	63.2	85.8
13_ Speed constant	rpm/V	616	445	308	223	151	111
14_ Speed/torque gradient	rpm/mNm	1440	1390	1530	1390	1470	1500
15_ Mechanical time constant	ms	3.23	3.13	3.11	3.09	3.1	3.11
16_ Rotor inertia	gcm²	21.3	21.4	19.4	21.2	20.1	19.7

Thermal data		Operating Range	
17_ Thermal resistance housing-ambient	K/W	10.2	n [rpm] Winding 18 V
18_ Thermal resistance winding-housing	K/W	3.01	
19_ Thermal time constant winding	s	24	
20_ Thermal time constant motor	s	620	16000
21_ Ambient temperature ball bearings	°C	-40...+85	
Ambient temperature sleeve bearings	°C	-30...+85	
22_ Max. winding temperature	°C	100	12000

- Continuous operation
- Continuous operation with reduced thermal resistance R_{th2} 50%
- Intermittent operation

Mechanical data ball bearings		Modular System		Details on catalog page 36	
23_ Max. speed	rpm	5900	8000		
24_ Axial play	mm	0...0.1			
Preload	N	5.5			
25_ Radial play	mm	0.02	4000		
26_ Max. axial load (dynamic)	N	5.5			
27_ Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	N	40	0		
28_ Max. radial load [mm from flange]	N	500	20.5 [5]		

Mechanical data sleeve bearings		Modular System		Details on catalog page 36	
23_ Max. speed	rpm	5900	Gear	Stages [opt.]	Sensor
24_ Axial play	mm	0...0.2	380_GPX 26 A/C	1-2 [3]	473_ENX 10 EASY
Preload	N	0	381_GPX 26 LN/LZ	1-2 [3]	473_ENX 10 QUAD
25_ Radial play	mm	0.02	382_GPX 26 HP	2-3 [4]	474_ENX 10 EASY XT
26_ Max. axial load (dynamic)	N	0.1	383_GPX 32 A/C	3	475_ENX 16 EASY
27_ Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	N	80	384_GPX 32 LN/LZ	3	476_ENX 16 EASY XT
28_ Max. radial load [mm from flange]	N	500	385_GPX 32 HP	4	477_ENX 16 EASY Abs.

Other specifications		Modular System		Details on catalog page 36	
29_ Number of pole pairs	1				
30_ Number of commutator segments	11				
31_ Weight of motor	g	170			
32_ Typical noise level	dBA	48	Configuration		

Bearing: Ball bearings preloaded/sleeve bearings
 Commutation: Precious metal brushes with CLL/graphite brushes
 Flange front/back: Standard flange/configurable flange/no flange
 Shaft front/back: Length/diameter/flat face
 Electric connection: Terminals or cable/alignment of connection/cable length/connector type