

**TRAVAUX DIRIGÉS**

**ÉLECTRONIQUE de PUISSANCE  
et ELECTROTECHNIQUE**

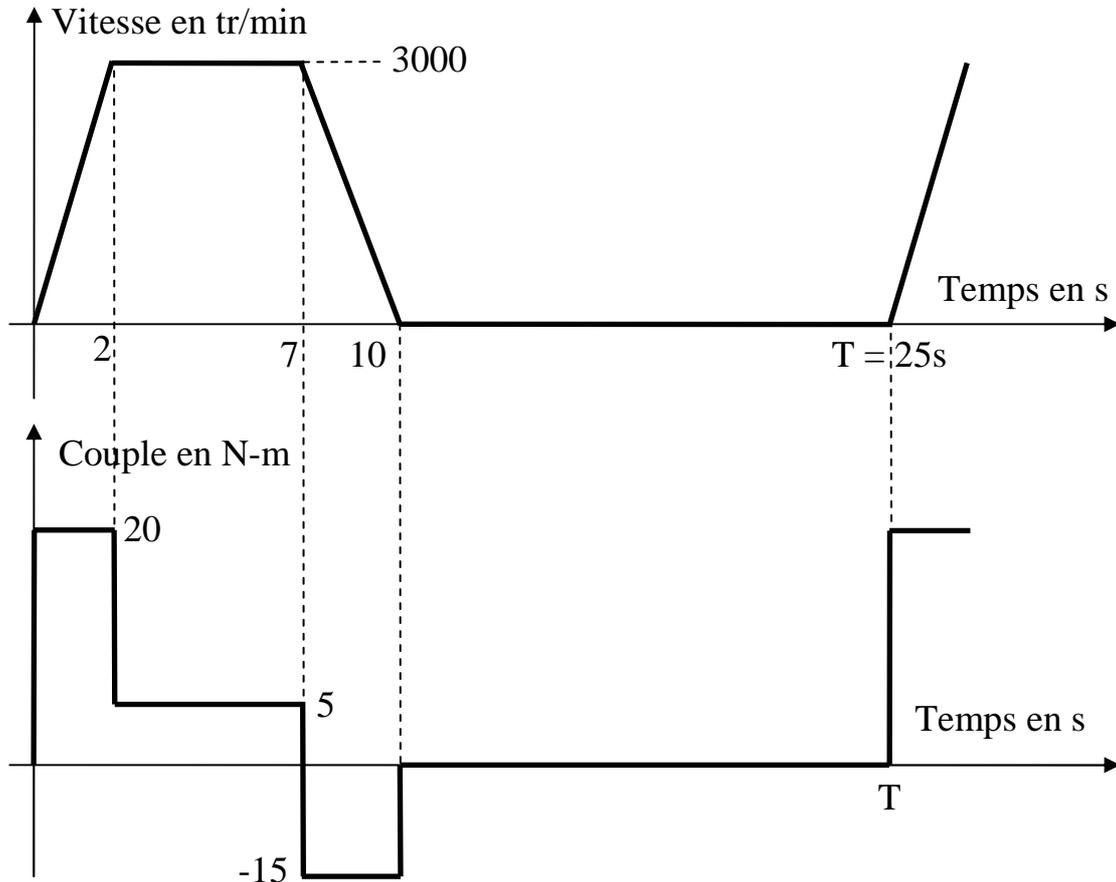
*VARIATION de VITESSE*

*Association  
CONVERTISSEURS – MACHINES*

## T.D. 1 – Variateur de vitesse à moteur brushless

Un tapis transporteur est entraîné par une machine synchrone autopilotée à aimants permanents associée à un variateur. Le variateur est composé d'un onduleur de tension triphasé à IGBT lui-même alimenté par un redresseur à diodes monophasé en pont et un filtre LC.

L'évolution de la vitesse et du couple est représentée ci-dessous :



1 – Dans ce type de machine, comment est réalisé le stator :

- par un enroulement monophasé,
- par des aimants,
- par un enroulement triphasé.

2 – Même question pour le rotor.

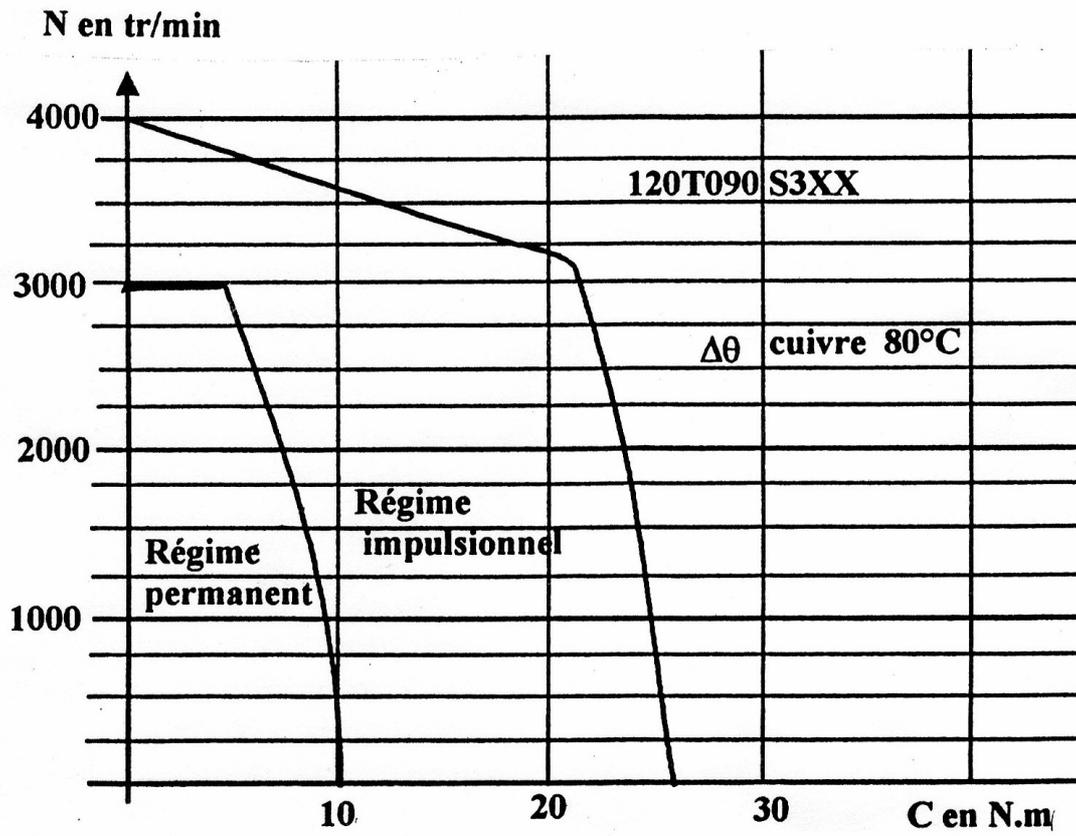
3 – Représenter le schéma électrique de l'ensemble variateur – moteur.

4 – Calculer le couple thermique équivalent et la vitesse moyenne équivalente.

Le moteur proposé sur l'annexe page suivante convient-il ?

Placer le point correspondant sur la caractéristique proposée.

5 – Indiquer le point de fonctionnement le plus contraignant du cycle en précisant la vitesse et le couple. Vérifier que le moteur choisi convient en plaçant ce point sur la caractéristique vitesse(couple) de l'annexe.



## T.D. 2 – Tramway CITADIS de Grenoble

### 1<sup>ère</sup> partie : Étude de l'entraînement

Le cycle moyen d'un tramway entre deux stations est représenté sur l'annexe.

Le déplacement comprend :

- Une phase d'accélération d'une durée  $t_1 = 20\text{s}$ ,
- Le déplacement à vitesse constante durant  $t_2$  sur une longueur de 450m,
- Une phase de décélération d'une durée  $t_3 = 15\text{s}$ ,
- Un arrêt à la station d'une durée  $t_4 = 20\text{s}$ .

Le tramway présente une masse moyenne de 60 tonnes.

La force résistante ( $F_R$ ) à l'avancement est considérée constante, égale à 18 kN.

- 1 – Calculer l'accélération ( $\gamma_a$ ) puis la décélération ( $\gamma_d$ ) en  $\text{m/s}^2$ .
- 2 – Calculer la durée d'avancement à vitesse constante ( $t_2$ ), en déduire la période  $T$  d'un cycle.
- 3 – Calculer la force motrice ( $F_m$ ) que doit produire le tramway pendant l'accélération pour vaincre l'inertie et la force résistante.
- 4 – Représenter sur l'annexe le tracé de la force motrice au cours de ce cycle ainsi que la puissance instantanée.
- 5 – Quelle est la puissance maximale ? A quel instant se produit-elle ?
- 6 – Quelle est la phase où la puissance mécanique est récupérée ? Combien vaut cette puissance au début de la décélération ?

Le tramway est entraîné par 6 moteurs répartis sur 3 bogies.

La transmission réduit la vitesse des moteurs dans un rapport 7 avec un rendement de 90%.

Le diamètre des roues est de 60 cm.

- 7 – Pour un moteur, calculer la vitesse maximale et la puissance utile maximale. En déduire le couple maximal lors de l'accélération.
- 8 – Représenter, pour un moteur, l'évolution de la vitesse (en  $\text{tr/min}$ ) et du couple (en  $\text{Nm}$ ) au cours du cycle. On pourra simplement réutiliser les graphiques du document réponse en adaptant les unités et les valeurs numériques (utiliser une couleur différente).
- 9 – Calculer le couple thermique équivalent.

## 2<sup>ème</sup> partie : Moteur Asynchrone

Le tramway est entraîné par 6 moteurs asynchrones (2 par bogie moteur), ces moteurs étant alimentés à fréquence et tension variables par des onduleurs MLI connectés sur la caténaire (ligne à courant continu 750 V).

### **Caractéristiques du moteur :**

2 pôles

Vitesse nominale = 3492 tr/min

Valeurs nominales par enroulement :  $V_{1n} = 360 \text{ V}$   $I_{1n} = 250 \text{ A}$

$P_{un} = 175 \text{ kW}$   $g_n = 3\%$

$R_1 = 20 \text{ m}\Omega$  (résistance d'un enroulement stator)

$R_2 = 10 \text{ m}\Omega$  (résistance d'un enroulement rotor)

Pertes fer :  $P_F = 2 \text{ kW}$  sous tension et fréquence nominales

Pertes mécaniques :  $p_m = 3 \text{ kW}$  à vitesse nominale.

### Fonctionnement nominal :

1 – Déterminer la fréquence d'alimentation nécessaire pour obtenir la vitesse nominale au glissement nominal.

2 – Faire le bilan des puissances pour le fonctionnement nominal en admettant que les pertes fer au rotor sont négligeables. Indiquer les diverses puissances et pertes.

3 – Calculer, pour le fonctionnement nominal, le facteur de puissance ( $\cos\phi_n$ ), le rendement ( $\eta_n$ ), le couple utile ( $C_n$ ) et le courant rotorique ( $I_{2n}$ ).

### Fonctionnement à vitesse variable :

Ce moteur asynchrone est alimenté par un onduleur de tension triphasé à IGBT, lui-même alimenté à partir du réseau continu 750V et un filtre LC entre le réseau et l'onduleur.

4 – Représenter le schéma de l'ensemble.

5 – A 60 Hz, l'onduleur fonctionne en ondes pleines.

Représenter l'allure d'une tension composée et calculer sa valeur efficace.

Déterminer le couplage nécessaire au stator.

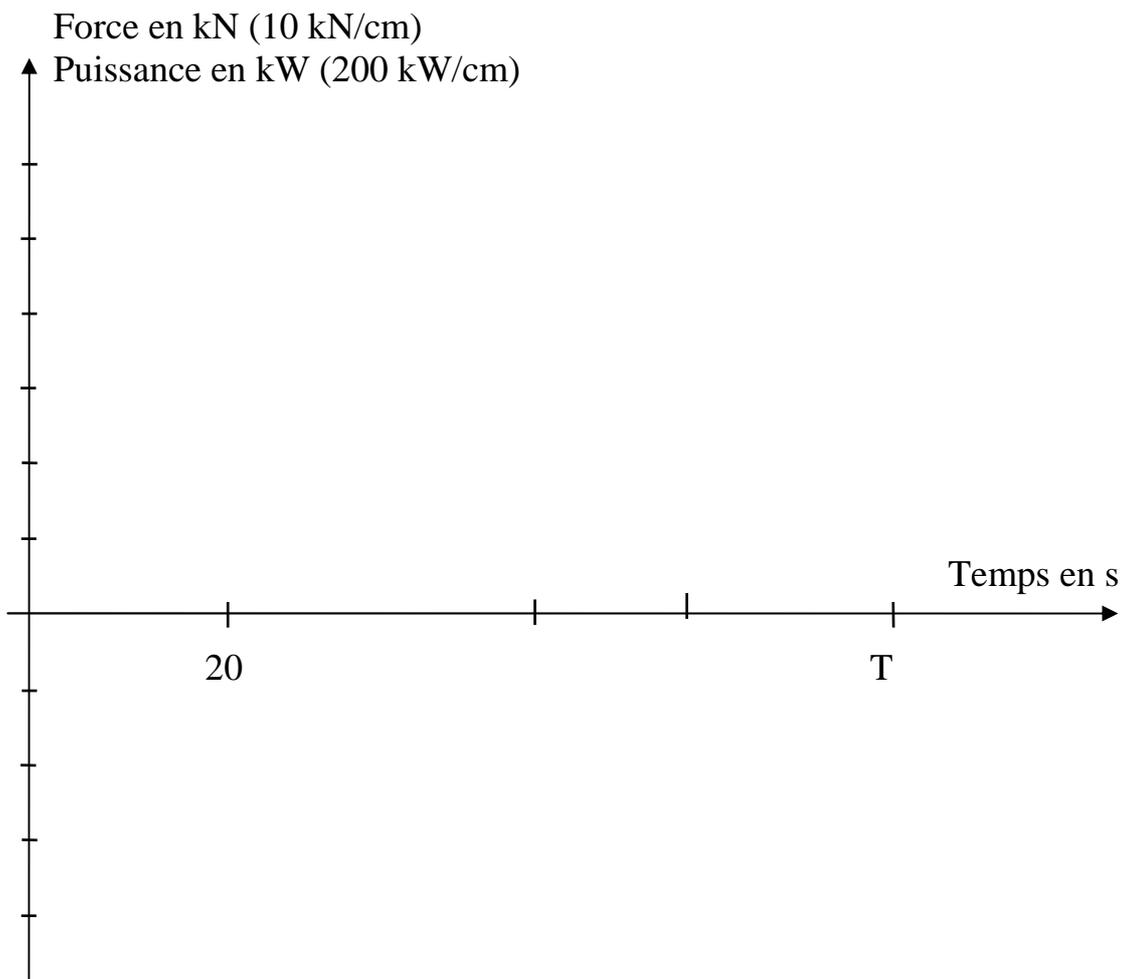
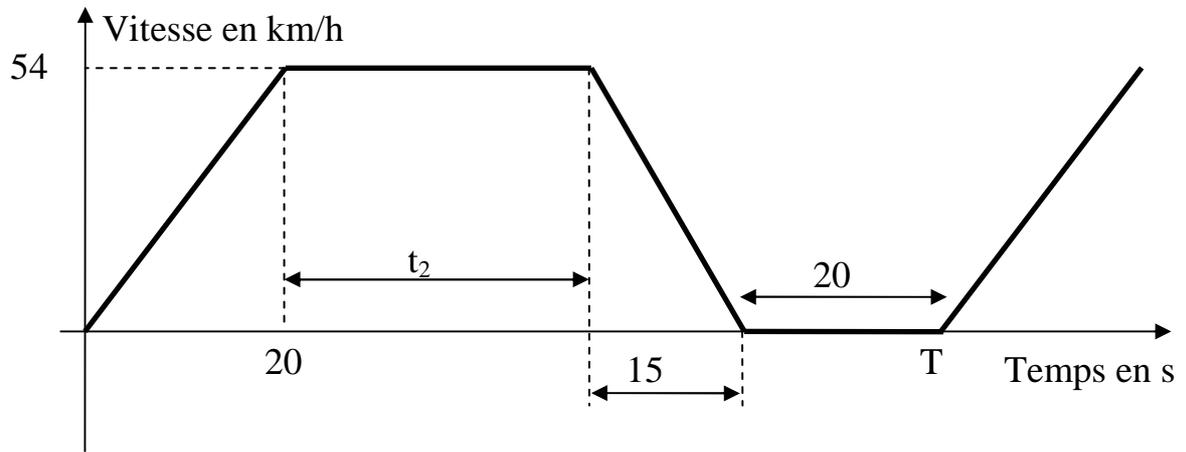
6 – A  $N_n/2$ , l'onduleur fonctionne en MLI, le couple résistant reste égal au couple nominal.

Déterminer la fréquence nécessaire pour entraîner le moteur à cette vitesse dans les conditions nominales de flux.

En déduire la tension composée nécessaire pour cela.

7 – Quelle fréquence faut-il appliquer à l'onduleur pour obtenir un couple à vitesse nulle égal au couple nominal ?

8 – Résumer sur le plan couple-vitesse les points de fonctionnement des questions 5, 6 et 7.

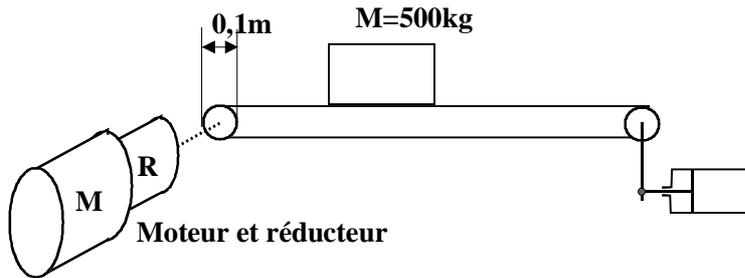


## T.D. 3 – Choix d'un Servo-Moteur

**Objectif** : Le but de ce TD est de montrer comment peut se faire le choix d'un servo-moteur, qu'il soit à courant continu ou bien synchrone autopiloté.

### Cahier des charges :

Une machine transfert est chargée de déplacer une masse de 500 kg entre différents postes. La longueur totale de déplacement (4 m), associée à la précision demandée pour le positionnement, a conduit à choisir un entraînement par courroie crantée. Un tendeur pneumatique à rattrapage automatique permet de maintenir une tension constante pour la courroie.



**On impose les contraintes suivantes :**

Vitesse maximale **2,5 m/s**

Accélération et décélération constantes et égales à **2,5 m/s<sup>2</sup>**

Temps d'arrêt au poste : **12,6 s**

Longueur du déplacement **4 m**

### 1 - Diagramme de vitesse

1-1 Le cycle de fonctionnement comprend une phase d'accélération, une phase à vitesse constante et une phase de décélération. Calculer le temps pendant lequel la pièce se déplace à vitesse constante et en déduire le temps du cycle.

1-2 Tracer l'évolution de la vitesse en fonction du temps.

### 2 - Diagramme de couple

Le diamètre des poulies est de 10 cm.

Force de frottement = 750 N (on la considère indépendante de la vitesse).

Moment d'inertie du moteur seul :  $J_m = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$ .

Le moteur est associé à un réducteur de rapport 5.

2-1 Calculer la vitesse maximale du moteur.

2-2 Calculer le moment d'inertie ramené à l'axe moteur.

2-3 On considérera le réducteur sans pertes. Tracer l'évolution du couple au cours du cycle de fonctionnement.

### 3 - Couple thermique équivalent et vitesse moyenne

Il faut maintenant vérifier les limites d'échauffement du moteur en régime permanent. Le principe consiste à calculer un couple continu thermiquement équivalent aux différents couples constituant le cycle de travail. Ce couple produit les mêmes échauffements que les différents couples du cycle.

(Ceci s'apparente à une valeur efficace). Les couples étant constants pendant toute la durée d'une phase, il peut se calculer par la formule :

$$C_{th} = \sqrt{\frac{\sum C_i^2 \cdot t_i}{T}}$$

Ce couple prend en compte les échauffements par effet joule (le couple est proportionnel au courant).

Il faut aussi calculer la vitesse moyenne sur un cycle. Cette vitesse correspond à une vitesse constante produisant sur un cycle les mêmes pertes fer et mécanique.

Le point constitué par ( $N_{moy}$ ,  $C_{th}$ ) doit se trouver dans la zone d'utilisation permanente.

3-3 Calculer le couple thermique équivalent et la vitesse moyenne.

#### 4 - Choix des moteurs

4-1 Choisir un moteur à courant continu et un moteur brushless (synchrone autopiloté) à l'aide des documents constructeurs donnés en annexe en fin de polycopié.

4-2 Quelle est l'influence de l'inertie des moteurs choisis ? Recalculer si nécessaire les couples maximaux.

Comparer l'inertie des deux moteurs DC proposés et justifier la différence.

4-3 Relever la constante de temps thermique du moteur DC. Est-elle grande devant la période du cycle ? Que pourrait-on dire du calcul du couple thermique équivalent si ce n'était pas le cas ?

4-4 Représenter le schéma de la structure de puissance relatif aux deux variateurs devant alimenter les deux moteurs.

## T.D. 4 – Machine synchrone pour robot de perçage

La fonction « perçage » d'un robot est assurée par une machine synchrone autopilotée à aimants permanents associée à un variateur à onduleur MLI triphasé à IGBT.

Machine à 6 pôles. L'entraînement est direct.

L'onduleur est alimenté par le réseau 50 Hz à travers un redresseur monophasé à diodes.

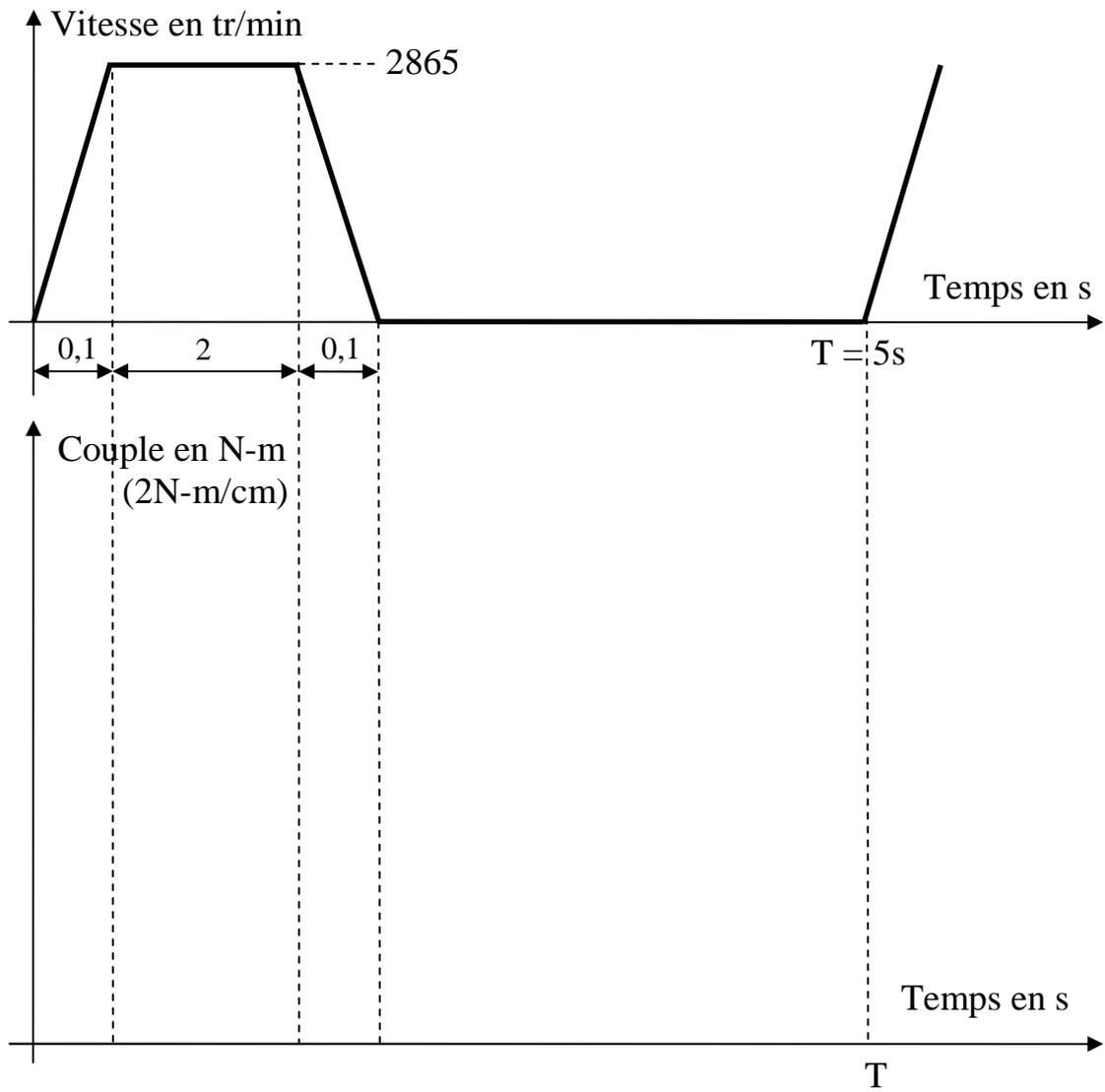
L'évolution de la vitesse au cours d'un cycle de perçage est représentée en annexe.

Le couple résistant est constant :  $C_r = 8 \text{ Nm}$

L'inertie de l'ensemble en rotation vaut  $J = 2.10^{-3} \text{ kg-m}^2$

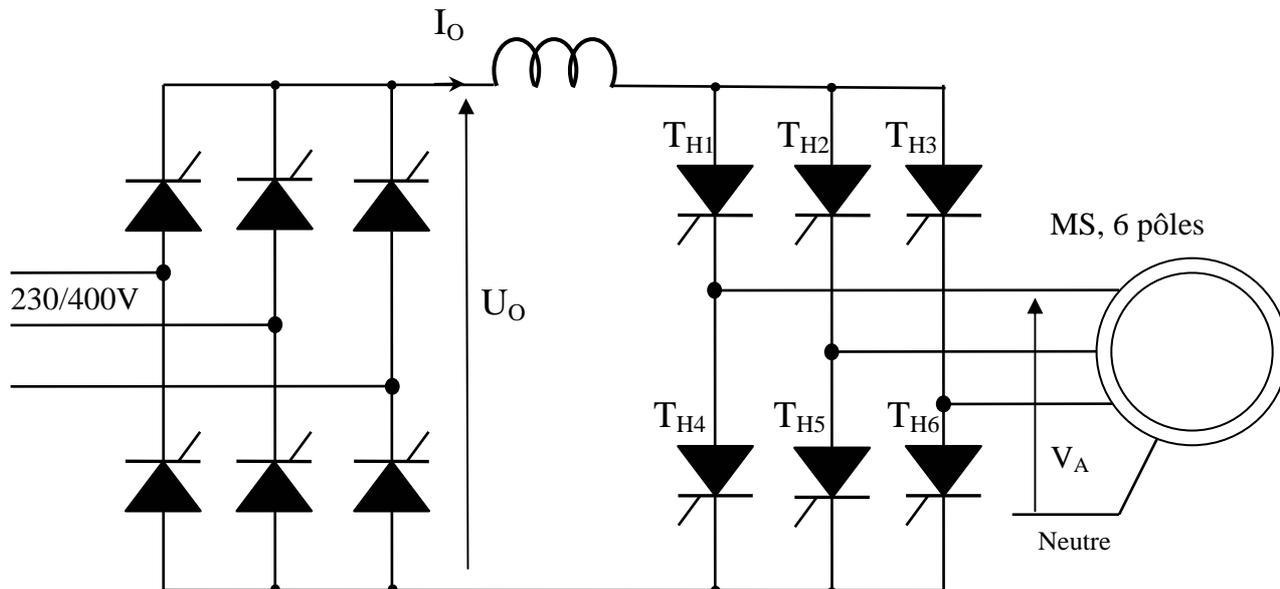
- 1 – Dans ce type de machine, décrire succinctement la composition du rotor et du stator.
  - 2 – Tracer sur la feuille annexe l'évolution du couple moteur nécessaire au cours d'un cycle.
  - 3 – Indiquer le point de fonctionnement le plus contraignant du cycle en précisant la vitesse et le couple.
  - 4 – Calculer le couple thermique équivalent ( $C_{TH}$ ).
  - 5 – Choisir le moteur parmi ceux proposés en annexe (données techniques INFRANOR, page 14). On respectera le couple crête et le couple nominal (couple en régime permanent).
  - 6 – Doit-on récupérer de la puissance mécanique ?
  - 7 – Représenter le schéma électrique de l'ensemble variateur – moteur.
  - 8 – Calculer la fréquence d'alimentation du moteur à pleine vitesse.
  - 9 – Représenter le diagramme de Fresnel du schéma équivalent par phase de la machine, dans les conditions qui optimisent le couple moteur.
  - 10 – Avec le moteur choisi et ses caractéristiques, calculer à l'aide du diagramme de Fresnel la tension simple du moteur nécessaire à pleine vitesse, sachant que :
    - le courant est de 5,8 A correspondant à 8 N-m,
    - on ne prendra en compte que l'inductance cyclique sans tenir compte de la résistance.
-

Annexe TD 4



## T.D. 5 – Machine Synchrone Autopilotee

Un moteur synchrone de forte puissance est alimente par l'intermediaire d'un redresseur a thyristors et d'un commutateur a thyristors.



Afin d'assurer le synchronisme entre le rotor et le champ tournant, les signaux d'amorçage des thyristors du commutateur sont elabores a partir de la position du rotor.

On considerera le courant  $I_O$  parfaitement lisse.

Les durees de conduction sont supposees connues et sont indiquees sur la feuille annexe.

$T_{H1}$  est amorce a  $t = 0$ ,  $T_{H2}$  et  $T_{H3}$  sont commandes avec des retards respectifs de  $T/3$  et  $2T/3$ .

$T_{H4}$  est amorce a  $T/2$ ,  $T_{H5}$  et  $T_{H6}$  sont commandes avec des retards respectifs de  $T/3$  et  $2T/3$ .

On donne  $v_A = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega t$  avec  $V = 230V$

1- Représenter, sur la page suivante le courant  $i_A$  de la phase A.

Montrer que la valeur efficace du fondamental de  $i_A$  vaut  $I_{A1} = \frac{I_O}{\pi} \sqrt{6}$

Représenter l'allure de ce fondamental.

2- Les thyristors fonctionnent-ils en commutation naturelle ?

Justifier votre réponse en représentant  $v_{Th1}$ .

3- Chaque phase est équivalente à une fcem  $e$ , en série avec une inductance  $L$ .

Représenter l'allure du diagramme de Fresnel reliant les grandeurs fondamentales de la phase A :  $i_{A1}$ ,  $v_{A1}$  et  $e_{A1}$ .

On appellera :  $\phi$  l'angle entre  $i_{A1}$  et  $v_{A1}$

$\psi$  l'angle entre  $i_{A1}$  et  $e_{A1}$

$E = k \cdot \Omega$  la valeur efficace de  $e_{A1}$ .

4- En exprimant l'égalité entre la puissance fournie en continu et la puissance absorbée par le moteur, et en négligeant toutes les pertes, montrer que :

\* le couple est proportionnel à  $I_O$ ,

\* la tension continue  $U_O$  est proportionnelle à la vitesse  $\Omega$  avec  $\psi = \text{constante}$ .

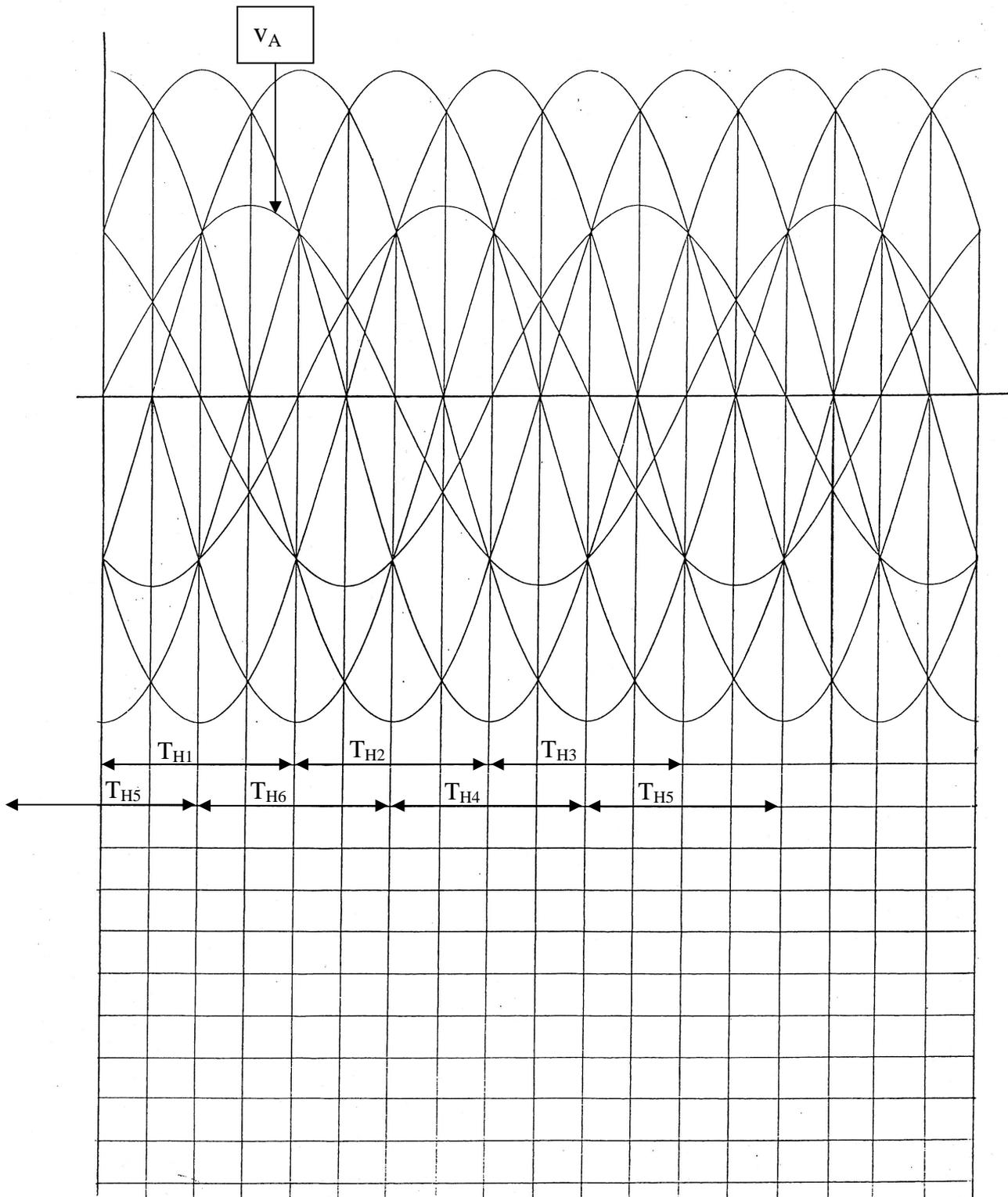
On appellera  $K$  ce coefficient de proportionnalité.

Exprimer  $K$  en fonction de  $k$  et  $\psi$ .

Faire l'application numérique pour  $k= 2,1$  et  $\psi = 30^\circ$ .

5- On désire obtenir une vitesse de rotation de 1000 tr/min tout en fournissant une puissance de 1 kW. La machine possède 3 paires de pôles et est considérée sans pertes.

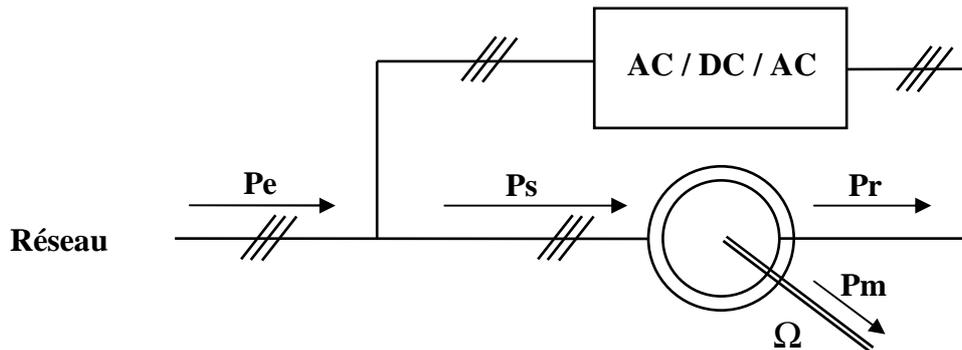
Déterminer : la fréquence du commutateur,  
la tension  $U_0$  et le courant  $I_0$ ,  
le couple,  
l'angle d'amorçage du pont redresseur.



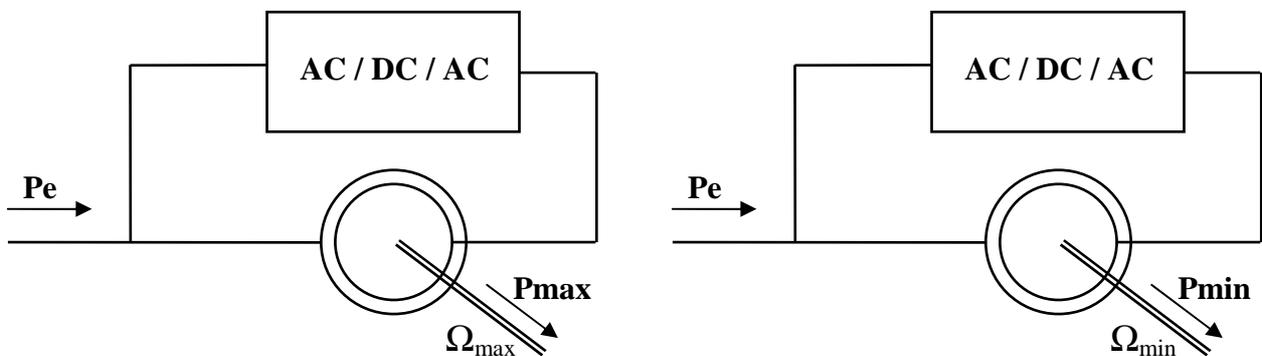
## T.D. 6 – Variation de vitesse d'un moteur asynchrone

On désire faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone de forte puissance par alimentation rotorique (machine à double alimentation). Les principales caractéristiques sont :

- machine asynchrone à  $p = 3$  paires de pôles, alimentée en 50 Hz,
- plage de vitesse désirée :  $750 \leq N \leq 1300$  tr/min,
- couple résistant de la forme  $C_R = k.N^2$  avec  $k = 2.10^{-3}$ ,  $N$  en tr/min,  $C_R$  en N-m
- toutes les pertes sont négligées ; on respectera les conventions des puissances indiquées sur le schéma ci-dessous :



- 1 – Calculer la puissance mécanique fournie  $P_m$  pour les valeurs extrêmes de vitesse.
- 2 – Déterminer la plage de variation du glissement pour la plage de vitesse désirée.
- 3 – Indiquer ci-dessous les bilans de puissance pour les deux cas extrêmes. Préciser le sens réel d'écoulement et les valeurs des différentes puissances.
- 4 – Quelle est la puissance de dimensionnement du convertisseur statique ?  
À quelle fréquence la partie DC/AC doit-elle alimenter le rotor lorsque  $P_m$  est maximale ?
- 5 – Indiquer les avantages et inconvénients de ce système à double alimentation.



## Annexes TD 3 et TD 4 : Machine synchrone (Infranor)

### Données techniques

Type bobinage*	HDD 09E		HDD 09J		HDD 09N		HDD 09Q	HDD 14J	HDD 14N	
	Ma	Pa	Ma	Pa	Ma	Pa	Pa	Pa	Pa	
Couple à l'arrêt <sup>1</sup>	[Nm]	1.31	1.31	2.76	2.76	5.1	5.1	6.0	9.6	16.1
Courant à l'arrêt	[Arms]	2.57	1.19	4.31	2.44	6.99	4.05	5.04	6.95	11.5
Vitesse max. <sup>2</sup>	[t/min]	5 000	-	3 900	-	3 900	-	-	-	-
Vitesse max. <sup>3</sup>	[t/min]	5 000	4 700	5 000	4 700	5 000	3 900	3 900	3 900	3 900
Couple crête	[Nm]	2.82	2.82	7.35	7.35	16.6	16.6	25.0	22.5	45.0
Courant crête	[Arms]	6.0	3.0	12.0	7.0	23.0	13.0	21.0	16.3	32.14
Vitesse nominale	[t/min]	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Couple nominal	[Nm]	1.19	1.19	2.51	2.51	3.96	3.96	4.5	5.8	7.1
Courant nominal	[Arms]	2.29	1.13	3.92	2.30	5.42	3.32	3.78	4.2	5.07
Puissance nominale	[W]	374	374	786	786	1 244	1 244	1 413	1 821	2 229
Const. de couple	[Nm/A]	0.51	1.10	0.64	1.13	0.73	1.26	1.19	1.38	1.4
Constante de f.e.m.	[Vs/rad]	0.30	0.69	0.38	0.68	0.74	0.83	0.69	0.8	0.8
f.e.m. à 1000 t/min	[V]	32	72	40	72	50	87	72	83	83
Résistance	[Ohm]	5.0	30.0	2.4	7.4	1.6	3.9	2.8	1.54	0.64
Inductance	[mH]	6.76	38.0	4.44	15.2	2.46	9.8	5.4	8.8	4.5
Inertie rotor <sup>4</sup>	[kgm <sup>2</sup> x10 <sup>-3</sup> ]	0.13	0.13	0.28	0.28	0.61	0.61	0.88	1.37	3.36
Masse	[kg]	1.8	1.8	2.4	2.4	3.6	3.6	4.7	5.7	9.2
Charge radiale <sup>5</sup>	[N]	320	320	370	370	430	430	-	-	-
Charge axiale	[N]	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Option frein 24VDC						
Couple	[Nm]	9	9	9	9	9
Inertie rotor	[kgm <sup>2</sup> x10 <sup>-3</sup> ]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.185
Masse	[kg]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Puissance électrique	[W]	12	12	12	12	12

Toutes les caractéristiques sont mesurées à 25°C ambiant, moteur avec resolver, commutation sinusoïdale, 10 paires de pôles

\*Bobinage type Ma préféré pour 230VAC

Bobinage type Pa préféré pour 400VAC

<sup>1</sup>Monté sur plaque en aluminium 260x200x12mm

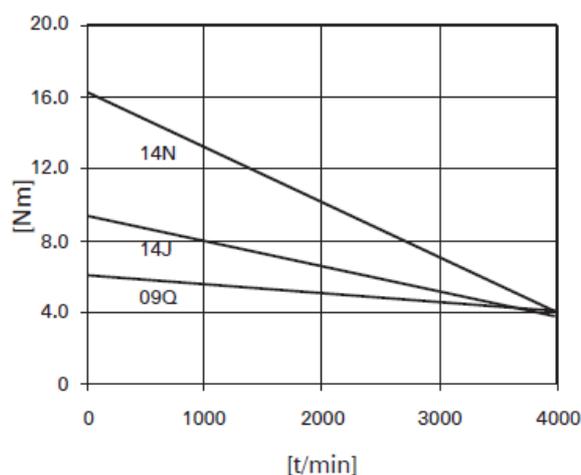
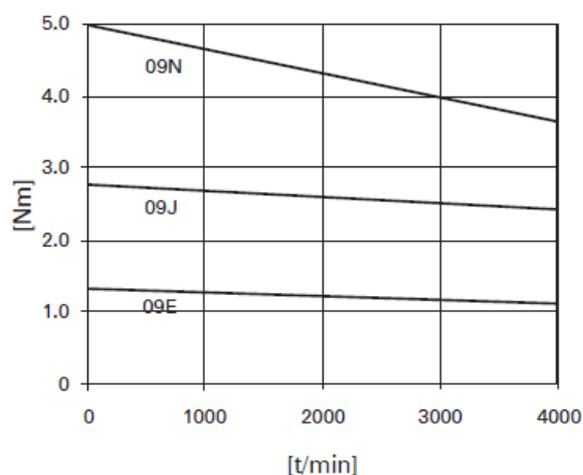
<sup>2</sup>Vitesse max. sans charge à 230VAC

<sup>3</sup>Vitesse max. sans charge à 400VAC

<sup>4</sup>Sans frein

<sup>5</sup>Appliquée à 1/2 longueur de l'arbre

### Courbes

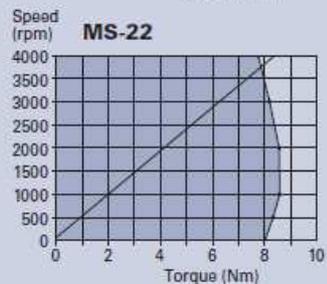
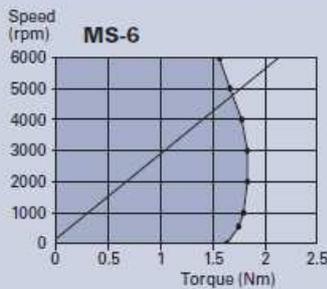


## Annexes TD 3 : Machine DC (Infranor)

### Technical Specifications

ALL CHARACTERISTICS MEASURED AT 40°C AMBIENT TEMPERATURE EXCEPT TERMINAL RESISTANCE (25°C)			MS-2	MS-4	MS-6	MS-8	MS-12	MS-22
	SYMBOLS	UNITS						
RATED SPEED	n	rpm	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
RATED VOLTAGE ±5%	U	V	39.4	67	67.8	89.7	106.7	181
RATED CURRENT	I	A	6.5	7.8	10.7	10.7	14	16
RATED OUTPUT POWER (1)	P	W	190.3	397	575	805	1,240	2,573
EFFICIENCY	$\eta$	%	74	76	80	84	83	89
RATED TORQUE	T	Nm	0.6	1.26	1.83	2.56	3.95	8.19
MAXIMUM TORQUE (2)	T <sub>max</sub>	Nm	3.6	7.58	11	15.38	23.7	49.14
MAXIMUM SPEED (3)	n <sub>max</sub>	rpm	7,000	6,000	6,000	5,000	4,500	4,000
EMF CONSTANT ±5%	K <sub>E</sub>	V/1000 rpm	10.4	18	19	26.3	30.85	55.6
TORQUE CONSTANT ±5%	K <sub>T</sub>	Nm/A	0.099	0.172	0.181	0.251	0.295	0.53
FRICTION TORQUE	T <sub>f</sub>	Nm	0.03	0.05	0.05	0.06	0.09	0.09
DAMPING CONSTANT	K <sub>D</sub>	Nm/1000 rpm	0.003	0.009	0.018	0.021	0.02	0.05
TERMINAL RESISTANCE (25°C)	R	$\Omega$	1	1.25	0.75	0.82	0.75	0.67
ARMATURE INDUCTANCE	L	$\mu$ H	<102	<130	<120	<150	<200	<250
INERTIA	J	kg m <sup>2</sup> 10 <sup>-3</sup>	0.15	0.37	0.40	0.82	1.7	5.1
MECHANICAL TIME CONSTANT	T <sub>M</sub>	ms	14.38	15	9	10.17	14	11.6
TRANSITORY POWER	P <sub>S</sub>	kW/s	89	155	300	288	330	473
THERMAL TIME CONSTANT ROTOR TO HOUSING	T <sub>AC</sub>	s	170	180	190	200	300	360
THERMAL TIME CONSTANT (1) HOUSING TO AMBIENT	T <sub>CA</sub>	s	1,700	1,750	1,800	2,000	2,700	3,000
THERMAL RESISTANCE ROTOR TO HOUSING	R <sub>AC</sub>	°C/W	0.8	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2
THERMAL RESISTANCE (1) HOUSING TO AMBIENT	R <sub>CA</sub>	°C/W	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2
RADIAL LOAD (at mid-length of shaft)	F <sub>R</sub>	N	200	200	300	300	500	600
AXIAL LOAD	F <sub>A</sub>	N	150	200	200	200	250	400
MASS (Only motors. No options)	M	kg	300x300x10		400x400x10			
(1) With an aluminium heat sink plate			3	3.5	4	7	10	
(2) For an S3 cycle			9,000		6,000		4,500	
(3) Maximum speed in continuous service. During a very short time (r.p.m.)								

### Tachometer Specifications



	UNITS	MS-2	MS-4	MS-6	MS-8	MS-12	MS-22
	SIZE	D40	D40	D40	D40	D40	D26
Voltage Constant	V/krpm	10 ± 5%*	10 ± 5%*	10 ± 5%*	10 ± 5%*	10 ± 5%*	10 ± 5%*
Ripple @ 1000 rpm (pp)	%	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.2
Linearity @ 6000 rpm	%	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
Reversing Error	%	≤0.12	≤0.12	≤0.12	≤0.12	≤0.12	≤0.12
Temperature Coefficient	%/°C	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Rotor Inertia	kg m <sup>2</sup> 10 <sup>-3</sup>	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.024
Resistance	$\Omega$	86	86	86	86	86	90
Inductance	mH	13	13	13	13	13	25
Current	mA	2	2	2	2	2	4
Maximum Current	mA	8	8	8	8	8	17
Maximum Speed	rpm	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	8,000
Mass	kg	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105	0.295

\*other voltages available

## Annexes TD 3 : Machine DC à rotor disque (Parvex)

### AXEM

0.1 à 20N.m



#### DESCRIPTION

Avec plus de 2 millions d'unités produites, le moteur AXEM est l'un des servomoteurs les plus répandus dans le monde.

Son rotor disque, composé uniquement de cuivre et d'isolant, autorise une haute dynamique, une excellente régularité de marche à basse vitesse, ainsi qu'un fonctionnement silencieux et exempt de vibration.

Robuste et performant le moteur AXEM ne nécessite pas de maintenance.

**AUCUNE MODULATION DE VITESSE**  
**RÉGULARITÉ EXCEPTIONNELLE DE ROTATION À BASSE VITESSE**  
**HAUTE DYNAMIQUE : FAIBLE INERTIE DU ROTOR**  
**SILENCIEUX**  
**PAS DE MAINTENANCE**  
**ROTOR DISQUE**  
**PROTECTION IP44**  
**IP20 SUR MODÈLES VENTILÉS**  
**ISOLATION CLASSE F**

#### Caractéristiques AXEM

Moteur	Couple nominal (N.m)	Courant nominal (A)	Tension nominale (V)	Vitesse nominale (tr/min)	Inertie (kgm <sup>2</sup> .10 <sup>-3</sup> )
F9M4R	0.14	6.4	22	4800	3.5
F9M2	0.282	11	14	3000	2.9
F9M4	0.346	6.7	26	3000	3.5
F9M4H	0.537	6.5	35	3000	3.4
F12M4R	0.42	8	37	4800	15
F12M2	0.61	11.7	24	3000	10.5
F12M4	0.77	7.7	43	3000	15
F12M4H	1.1	7.2	61	3000	16
MC13S	1.2	7.6	64	3000	23.5
MC17H	1.8	6.9	102	3000	79
MC17B	1.2	24	23.5	3200	79
MC19P	3.2	14.5	83	3000	100
MC19P*	5.1	22.2	87	3000	100
MC19S	3.2	7.3	165	3000	100
MC19S*	5.1	11.1	171	3000	100
MC19B	2.8	46	23.5	3000	100
MC23S	6.1	13	170	3000	230
MC23S*	10.5	21.8	178	3000	230
MC24P	7.3	18.9	136	3000	320
MC24P*	14.3	36	142	3000	320
MC27P	14.3	33	152	3000	740
MC27P*	19.2	44	154	3000	740

\*Ventilation forcée 10 l/sec.

#### Codeurs

Modèle	Moteur associé	Traits par tour		Inertie (kgm <sup>2</sup> .10 <sup>-3</sup> )	Masse (kg)
		standard	option		
K10	F	500	250	0.03	0.07
			250		
C4	F	500	1000	0.23	0.2
			2500		
			1000		
C6B	MC	500	2500	0.3	0.45
			5000		
			5000		

#### Tachy

Modèle	Moteur associé	FEM (V/1000 tr/min)
F9T	F9	3
FC12T	F12 / MC	6
TBN 206	F9 / F12	6
TBN 420	MC	20

#### Frein (tension 24Vdc ± 10%)

Moteur associé	Couple de maintien frein à aimant (N.m)	maintien frein à ressorts (N.m)	Inertie (kgm <sup>2</sup> .10 <sup>-3</sup> )	Masse (kg)
F9 - F12	-	1.5	1	0.47
MC13	2	-	2.3	0.3
MC17 / MC19	5	-	6.5	0.6
MC23 / MC24	12	-	21.4	1.1
MC27	20	-	57	1.9
MC17	-	4	2.5	1.4
MC19	-	8	7	1.9
MC23 / 24 / 27	-	16	13.5	2.8