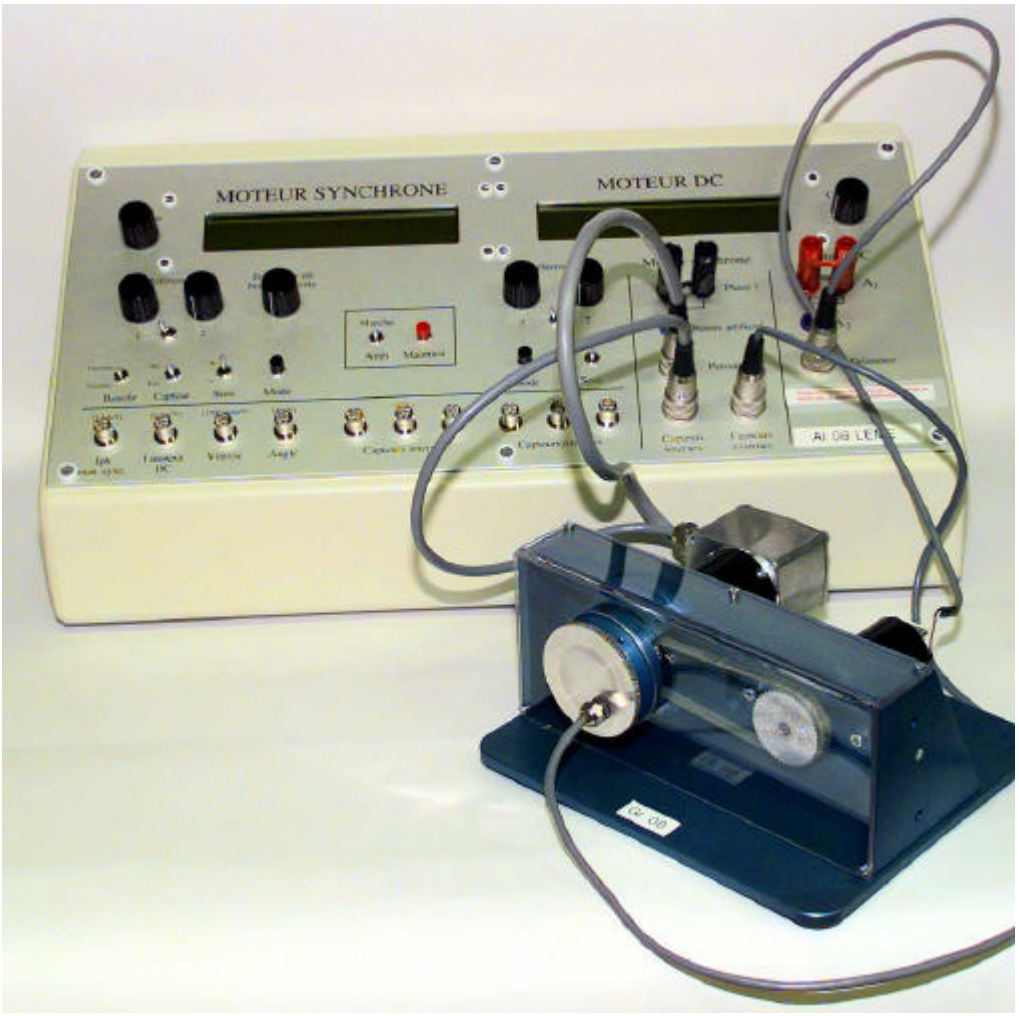
TA3: moteur synchrone - réducteur - moteur à courant continu - alimentation



JDG/JPL/YD

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES 3
1. PRÉSENTATION 4
1.1 Composition du système *4*
1.2 Objectif *4*
1.3 Environnement *4*
2. MOTEUR À COURANT CONTINU 7
2.1 Préparation *7*
2.1.1 Descriptif du système d'alimentation du MCC 7
2.1.2 Aspects généraux 9
2.1.3 Equations principales en régime statique 10
2.1.4 Prédétermination des caractéristiques statiques en charge 10
2.1.5 Equations en régime transitoire 11
2.1.6 Constantes de temps 11
2.1.7 Prédétermination des caractéristiques de démarrage 11
2.1.8 Prédétermination des caractéristiques pour un saut de charge 12
2.2 Expérimentation *13*
2.2.1 Observation 13
2.2.2 Tension induite 13
2.2.3 Caractéristiques statiques en charge 14
2.2.4 Comparaison calculs-mesures 14
2.2.5 Démarrage à vide 15
2.2.6 Saut de charge 15
3. MOTEUR À COURANT CONTINU SANS COLLECTEUR 17
3.1 Préparation *17*
3.1.1 Descriptif du système 17
3.1.2 Aspects généraux 18
3.1.3 Caractéristiques en boucle ouverte 19
3.1.4 Diagramme vectoriel 19
3.1.5 Caractéristiques en boucle fermée 20
3.2 Expérimentation *22*
3.2.1 Tension induite 22
3.2.2 Observation 22
3.2.3 Mesure des caractéristiques en boucle ouverte 23
3.2.4 Diagramme vectoriel 24
3.2.5 Mesures des caractéristiques en boucle fermée 24
3.2.6 Commentaire boucle ouverte - boucle fermée 27
4. GROUPE 27
4.1 Préparation *27*
4.1.1 Bilan théorique de puissance 27
4.2 Expérimentation *28*
4.2.1 Bilan de puissance 28
4.2.2 Comparaison calculs-mesures 28
LISTE DES SYMBOLES 29
Annexe 31

1. Présentation

1.1 Composition du système

Le système est composé d'une machine à courant continu (MCC) Maxon de 90 W, accouplée à un réducteur multiplicateur à poulie de rapport 1.5:1, accouplé à un moteur synchrone (MS) de 120 W. Un capteur à effet Hall mobile est monté en bout d'arbre (fig.2).

Le module d'alimentation permet de commander en courant, vitesse et tension les 2 machines aussi bien en moteur qu'en générateur.

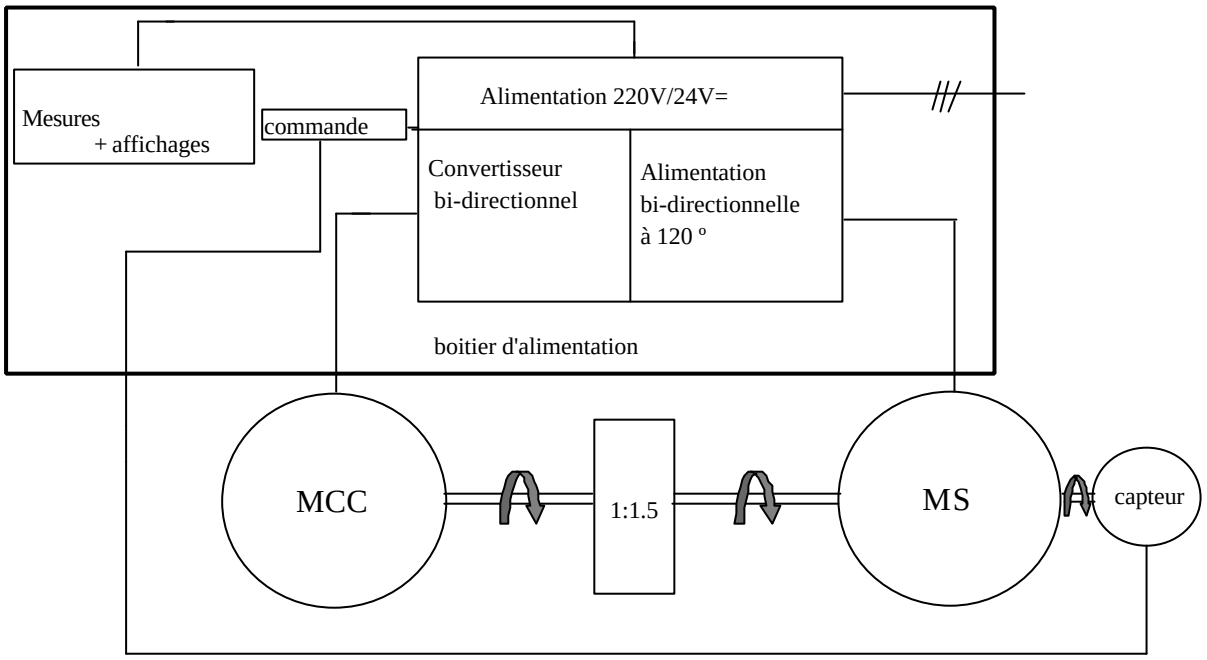


Figure 2 - Schéma bloc

1.2 Objectif

L'objectif de ce laboratoire est de :

- caractériser de façon globale un système d'entraînement électrique ;
- caractériser la machine à courant continu et son alimentation ;
- caractériser la machine à courant continu sans collecteur en boucle fermée et ouverte ainsi que son alimentation à 120 degrés ;
- comparer les 2 types de machines y compris leur alimentation ;

1.3 Environnement

Le système d'entraînement à étudier est composé de 2 parties (fig.1 page de garde):

- le boîtier d'alimentation

- la partie électro-mécanique proprement dite .

1.3.1 Le boîtier d'alimentation (fig.3) permet de commander les 2 moteurs et de mesurer certains de leurs paramètres. Un affichage pour chaque moteur est intégré. Il permet:

- de mesurer courants, couples électromagnétiques, puissances électromagnétiques, puissances électriques, tensions, vitesse, angle de commutation ;
- de connaître le mode de réglage ;
- d'afficher les valeurs de consigne ;

Des sorties analogiques 0-5 V sont prévues pour l'enregistrement des divers signaux suivants en régime transitoire :

- vitesse
- courant efficace MCC (Moteur à Courant Continu ou moteur DC)
- courant efficace MCCSC (Moteur à Courant continu sans collecteur = moteur synchrone + alimentation)
- angle de commutation ψ

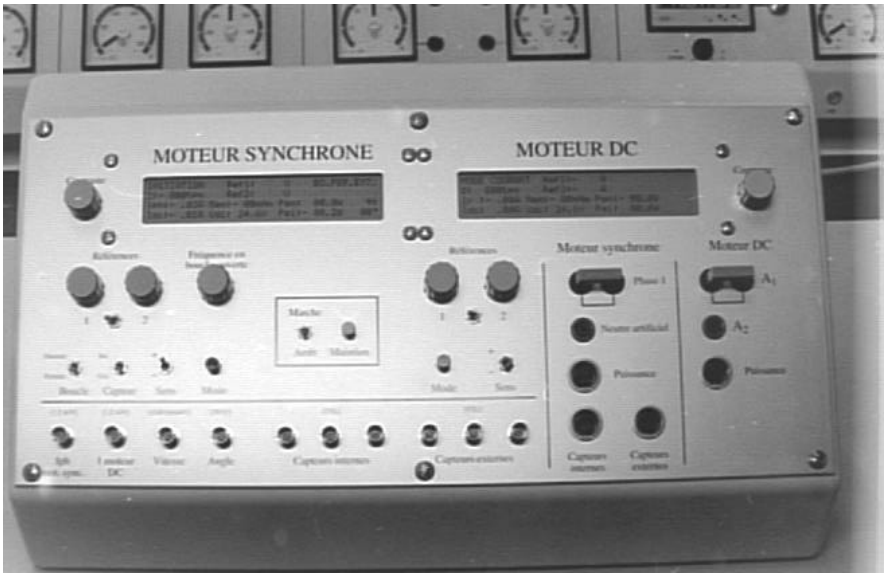


Figure 3 - Boîtier d'alimentation

Le schéma de principe de l'alimentation est décrit à la figure 4.

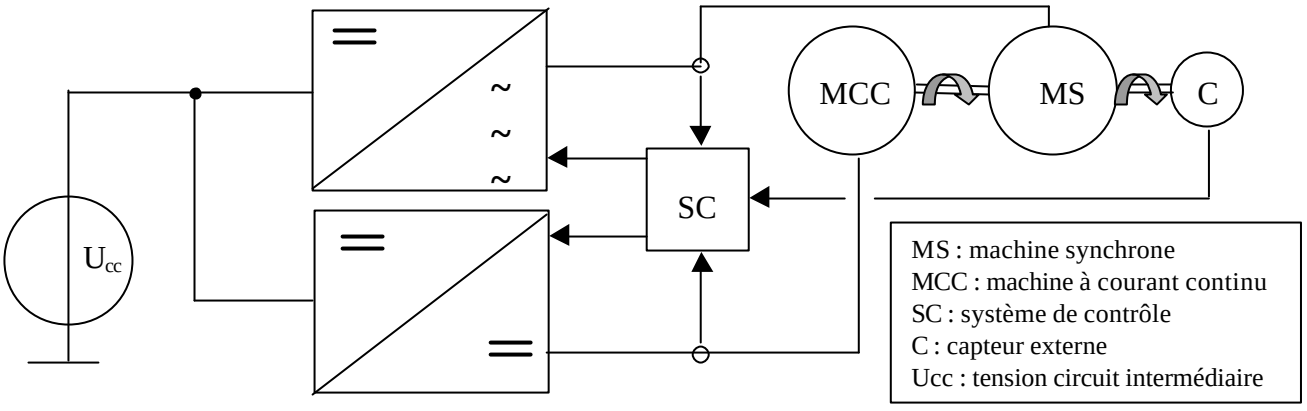


Figure 4 - Schéma de l'alimentation

1.3.2 Le système mécanique (fig.5) est composé d'un châssis supportant un moteur à courant continu et un moteur synchrone. La transmission se fait par courroie crantée. Le rapport de réduction-multiplication est de 1.5. (*par exemple* : MCC 1000t/min → MS 1500t/min).

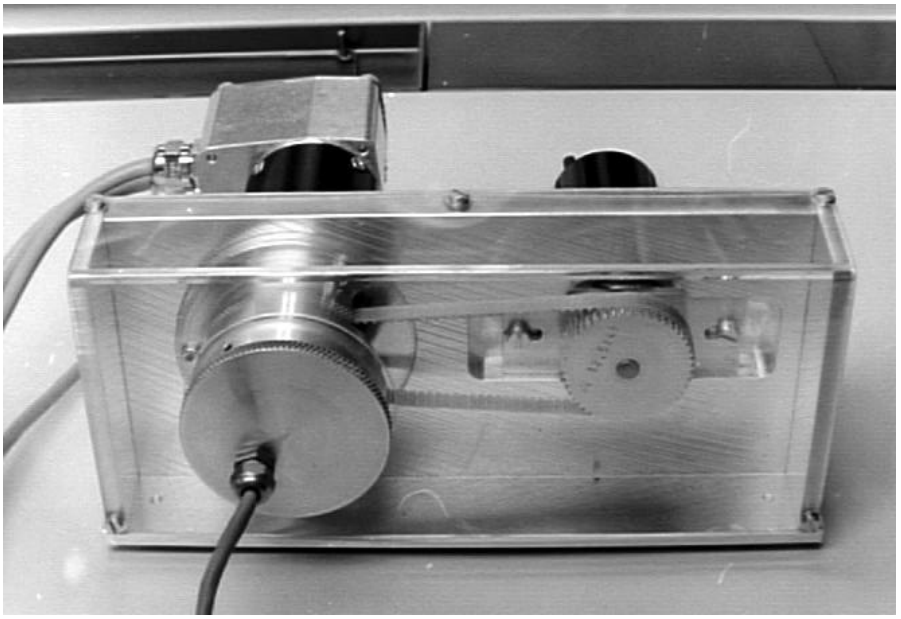


Figure 5 - Système mécanique

Pour l'étude du MCC, le moteur synchrone sera considéré uniquement comme charge (couple résistant) et son convertisseur sera en réglage de courant.

Pour l'étude du MCCSC, le moteur à courant continu sera considéré comme charge (couple résistant) ; son convertisseur sera en réglage de courant.

1.3.3 Les appareils de mesure extérieurs seront :

- un oscilloscope 4 traces
- une sonde de courant
- un amplificateur différentiel (70 kHz)
- un voltmètre numérique
- un ampèremètre numérique

2. Moteur à courant continu

2.1 Préparation

2.1.1 Descriptif du système d'alimentation du MCC

- L'alimentation du MCC est un variateur à courant continu bidirectionnel à pulsation (fig.6). La tension continue du circuit intermédiaire est fournie par un convertisseur à découpage.

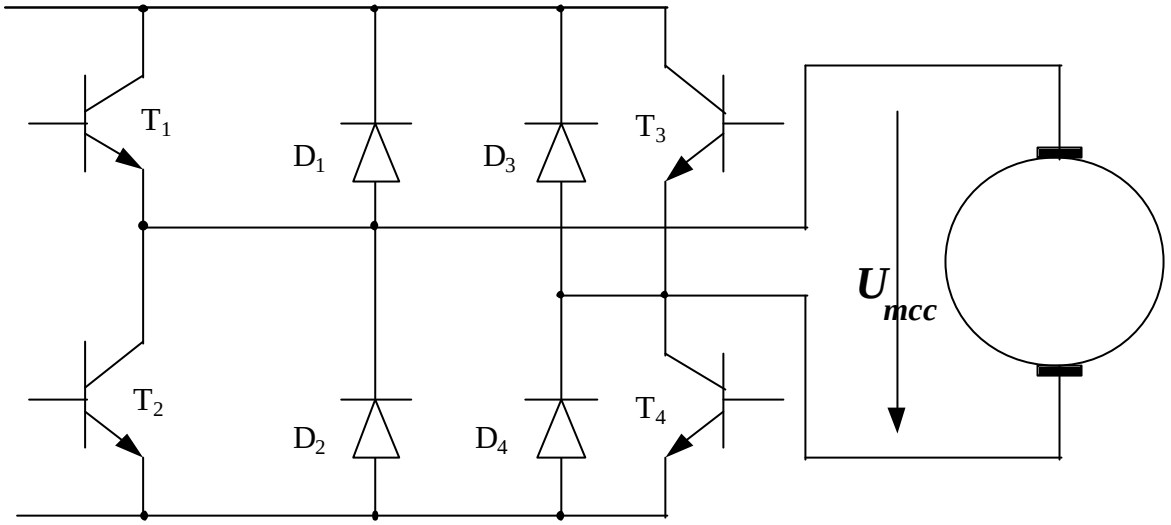


Figure 6 - Schéma de l'alimentation

- Le moteur à courant continu est un moteur Maxon de type **118777**. Ce moteur est à aimants permanents à rotor sans fer (fig.7).
- Les données du moteur à courant continu fournies par le constructeur se trouvent dans le tableau n° 1.

Type moteur: maxon DC motor RE ∅35 mm . . . **Codification Caractéristiques moteur**

. . . Commutation Graphite, 90 W, roulements, 2 bouts d'arbre		118776	118777	118778					118783							
1 Puissance conseillée	W	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
2 Tension nominale	Volt	15,00	30,00	42,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00
3 Vitesse à vide	tr/min	7070	7220	7530	7270	6650	5970	4750	3810	3140	2570	2100	1620	1290	1060	856
4 Couple de démarrage	mNm	872	949	1070	966	878	766	613	493	394	320	253	194	155	125	99,5
5 Pente vitesse/couple	tr/min/mNm	8,45	7,77	7,17	7,63	7,68	7,89	7,86	7,84	8,09	8,19	8,47	8,55	8,54	8,80	8,94
6 Courant à vide	mA	245	124	92,8	77,4	68,7	59,7	44,7	34,2	27,2	21,6	17,2	13,0	10,1	8,27	6,62
7 Courant de démarrage	mA	44900	24400	20300	15500	12900	10100	6430	4160	2740	1830	1180	704	448	298	193
8 Résistance aux bornes	Ohm	0,334	1,23	2,07	3,09	3,72	4,75	7,46	11,5	17,5	26,2	40,5	68,2	107	161	248
9 Vitesse limite	tr/min	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200
10 Courant permanent max.	mA	4000	2740	2150	1780	1630	1450	1170	944	768	630	508	392	313	256	206
11 Couple permanent max.	mNm	77,7	107	113	111	111	110	111	112	111	110	109	108	108	107	106
12 Puissance max. fournie à la tens. nom.	mW	152000	175000	206000	181000	150000	118000	75000	48400	31800	21200	13700	8070	5100	3360	2150
13 Rendement max.	%	80,6	84,1	85,5	85,2	84,8	84,2	83,1	81,9	80,4	78,8	76,8	74,3	71,8	69,2	66,1
14 Constante de couple	mNm/A	19,4	38,9	52,5	62,2	68,0	75,8	95,2	119	144	175	214	276	346	418	515
15 Constante de vitesse	tr/min/V	491	246	182	154	140	126	100	80,6	66,4	54,6	44,7	34,6	27,6	22,9	18,5
16 Constante de temps mécanique	ms	5,80	5,33	5,23	5,19	5,19	5,18	5,17	5,15	5,15	5,14	5,13	5,12	5,11	5,11	5,11
17 Inertie du rotor	gcm²	65,5	65,5	69,6	65,0	64,5	62,7	62,8	62,8	60,7	59,9	57,9	57,2	57,2	55,5	54,5
18 Inductivité	mH	0,09	0,34	0,62	0,87	1,04	1,29	2,04	3,16	4,65	6,89	10,3	17,1	26,9	39,3	59,7
19 Résistance therm. carcasse/ambiant	K/W	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
20 Résistance therm. rotor/carcasse	K/W	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Tableau 1- Moteur à courant continu

- Données complémentaires : $J_{gp} = 6.25\ 10^{-6}$ kgm^2 $J_{pp} = 1.73\ 10^{-6}$ kgm^2 $k = 1.5$

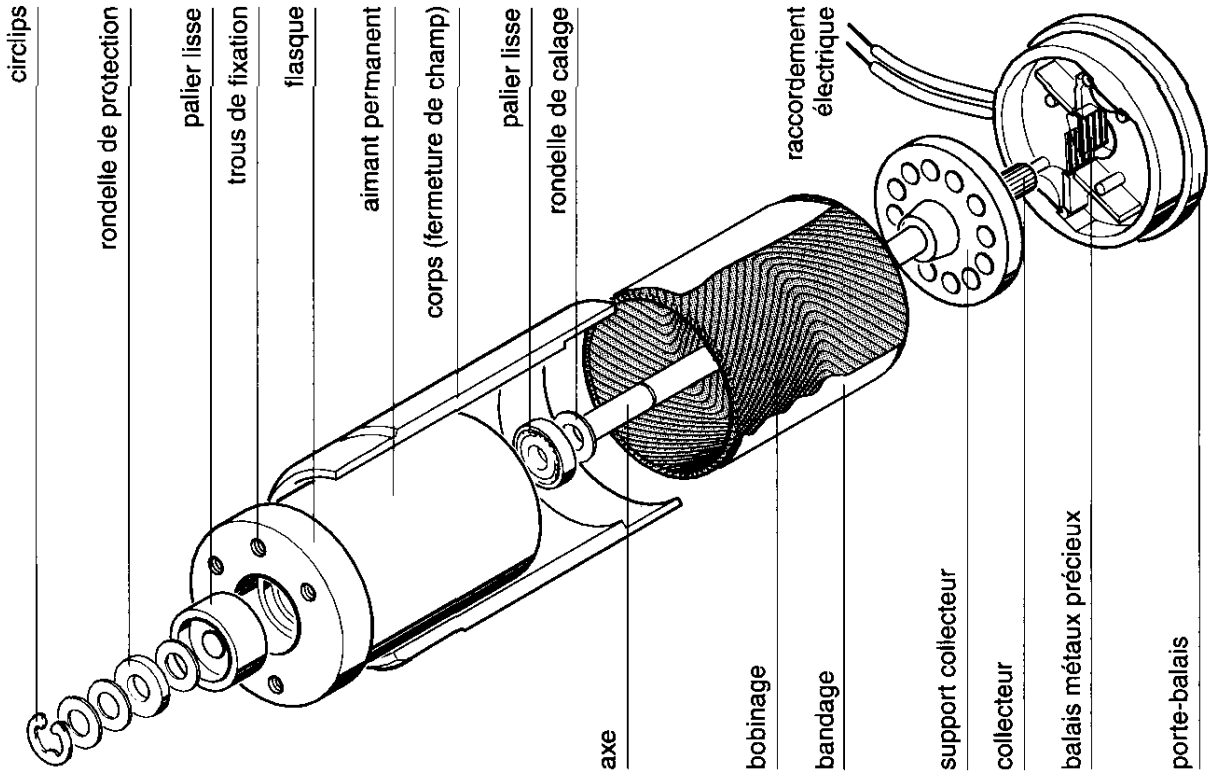


Figure 7 - Moteur à courant continu

2.1.2 Aspects généraux

- Commenter et expliquer le schéma d'alimentation du moteur MCC. Définir les séquences d'allumage des transistors en fonctionnement moteur.

- Calculer les temps d'enclenchements (t_e) et de déclenchement (t_d) des transistors pour obtenir une tension moyenne de U_m = 10 V. La tension continue du circuit intermédiaire est fixée à 24V. La fréquence de hachage est de 100 kHz

- A vitesse constante, comment passe-t-on d'un moteur à un générateur ? Quelles sont les grandeurs à modifier du fonctionnement en moteur à celui en générateur?

2.1.3 Equations principales en régime statique

Ecrire les équations principales caractérisant le moteur à courant continu en régime statique

- Tension d'alimentation U_{mcc}
- Couple mécanique M_{mcc} ou couple utile.

Le couple de frottement total du système est donné par l'équation :

$M_{résmcc} = A_{mcc}+B_{mcc}\Omega_{mcc}$ avec $A_{mcc} = 1 .10^{-2}$ Nm $B_{mcc} = 1.91 .10^{-5}$ Nms

2.1.4 Prédétermination des caractéristiques statiques en charge

A partir des équations 2.1.3, pour une tension d'alimentation U_{mcc} = 10V, tracer les caractéristiques suivantes:

- $I = f(M_{mcc})$
- $\Omega_{mcc} = f(M_{mcc})$
- $P_{elmcc} = f(M_{mcc})$
- $P_{emmcc} = f(M_{mcc})$
- $P_{mécmcc} = f(M_{mcc})$
- $\eta_{mécmcc} = f(M_{mcc})$
- $\eta_{emcmcc} = f(M_{mcc})$

2.1.5 Equations en régime transitoire

Ecrire les équations permettant de caractériser le moteur en régime transitoire.

2.1.6 Constantes de temps

- Calculer la constante de temps électrique
- Calculer la constante de temps mécanique
- Comparer ces 2 constantes – Commentaire

2.1.7 Prédétermination des caractéristiques de démarrage

A partir des équations 2.1.5, pour un saut de tension (U_{mcc} = 5 V), tracer les caractéristiques suivantes:

- $\Omega_{mcc} = f(t)$ $I_{mcc} = f(t)$

2.1.8 Prédétermination des caractéristiques pour un saut de charge

A partir du point 2.1.5, pour un saut de couple (Memmcc=30mNm $\rightarrow$ 80mNm.) calculer et tracer les caractéristiques suivantes:

- $\Omega = f(t)$
- $I_{mcc} = f(t)$

2.2 Expérimentation

2.2.1 Observation

- Visualisation à l'oscilloscope de la tension U_{mcc}, du courant I_{mcc}. En déduire les valeurs efficaces ; comparer avec un voltmètre et un ampèremètre pour différentes vitesses et cas de charge.

  Mode de fonctionnement : MCC réglage en tension, sens positif.
  MS réglage en courant, boucle fermée, capteur interne, sens négatif

  Oscilloscope : base de temps 50 µs + zoom

- Vérifier le point 2.1.2, en particulier les séquences d'enclenchement et de déclenchement des transistors.

2.2.2 Tension induite

- Mesurer la tension induite en fonction de la vitesse, en déduire le coefficient de tension induite.

Ui_{mcc}	n_{mcc}	Ω_{mcc}	$k_{\phi mcc}$
V	tr/min	rad/s	Vs

Coefficient de tension induite $k_{\phi mcc}$ moyen = ……

- Comparer avec le coefficient de tension induite donné par le fabricant.
- Comparer le coefficient de tension induite avec le coefficient de couple.

2.2.3 Caractéristiques statiques en charge

- Pour 2 tensions d'alimentation U_{mcc} (10 et 15V) mesurer en fonction de la charge le courant rotorique, la vitesse, la puissance électrique, le couple électromagnétique, la puissance électromagnétique. En déduire le couple utile et le rendement du bloc convertisseur-moteur.

  Mode de fonctionnement : MCC réglage en tension, sens positif.
  MS réglage en courant, boucle fermée, capteur interne, sens négatif

I_{mcc}	n_{mcc}	P_{elmcc}	M_{emmcc}	P_{emmcc}	U_{mcc}	M_{emms}	M_{mcc}	P_{mecmcc}	η_{mcc}

2.2.4 Comparaison calculs-mesures

- Comparer les résultats théoriques obtenus sous 2.1.4 avec les mesures effectuées sous 2.2.4
- Expliquer les différences.
- Situer les pertes (moteur, alimentation, …)

2.2.5 Démarrage à vide

- Enregistrer vitesse et courant lors de 2 sauts de tension U_{mcc} = 5 et 10 V.

- Comparer avec les prévisions théoriques pour **5V** (§ 2.1.7)

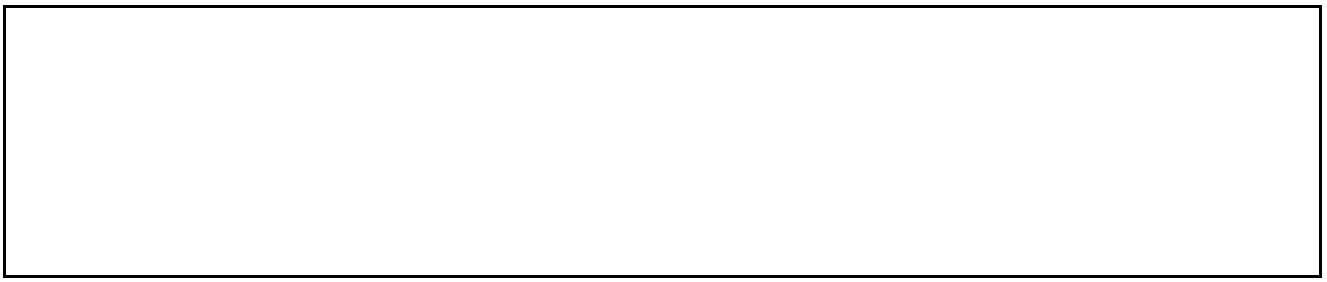
2.2.6 Saut de charge

- Enregistrer vitesse et courant pour un saut de couple.

U_{mcc} = 10 V M_{emmcc} : 30 mNm $\Rightarrow$ 80 mNm

Mode de fonctionnement : MCC réglage en tension, sens positif.
MS réglage en courant, boucle fermée, capteur interne.

- Comparer avec les prévisions théoriques (§ 2.1.8).



3. Moteur à courant continu sans collecteur

3.1 Préparation

3.1.1 Descriptif du système

- L'alimentation du moteur synchrone est un onduleur bidirectionnel à pulsation (fig.8)

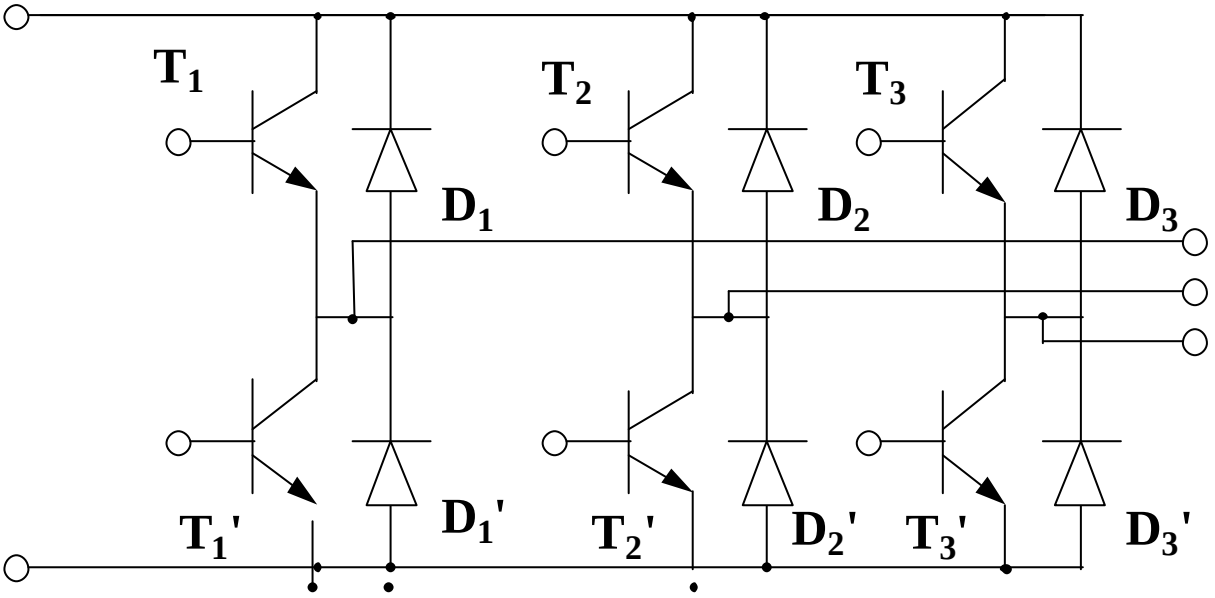


Figure 8 - Alimentation du moteur synchrone.

- Le moteur synchrone est un moteur Maxon de type : 136198 . Il est à aimants permanents (fig.9).
- Les données principales du moteur synchrone fournies par le fabricant se trouvent dans le tableau n° 2.

Type moteur: **Codification**
maxon EC motor ∅45 mm, à com. électronique... **Caractéristiques moteur** (provisories)

...	«couplé en étoile», 120 W, roulements à billes		136196	136197	136198	136200	136201					
...	«couplé en triangle», 120 W, roulements à billes							136202	136203	136204	136205	136206
1	Puissance conseillée	W	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
2	Tension nominale	Volt	12,00	18,00	24,00	36,00	48,00	12,00	18,00	24,00	36,00	48,00
3	Vitesse à vide	tr/min	6430	6750	6430	6140	6670	11180	11750	11180	10680	11600
4	Couple de démarrage	mNm	804	837	788	804	847	1392	1450	1364	1392	1466
5	Pente vitesse/couple	tr/min/mNm	8,10	8,20	8,30	7,80	8,00	8,10	8,20	8,30	7,80	8,00
6	Courant à vide	mA	667	474	333	209	175	1436	1029	718	448	379
7	Résistance aux bornes (phase-phase)	Ohm	0,26	0,54	1,07	2,47	3,84	0,09	0,18	0,36	0,82	1,28
8	Vitesse limite	tr/min	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
9	Courant permanent max. à 5000 tr/min	A	5,71	3,98	2,82	1,86	1,49	9,88	6,89	4,89	3,22	2,58
10	Puissance dissipée permanente adm.	W	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20
11	Rendement max.	%	78	78	77	78	78	81	81	81	81	81
12	Constante de couple	mNm/A	17,60	25,10	35,10	55,20	67,70	10,10	14,50	20,30	31,90	39,10
13	Constante de vitesse	tr/min/V	543,8	380,7	271,9	173	141	941,9	659,3	471	299,7	244,2
14	Constante de temps mécanique	ms	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	Inertie du rotor	gcm²	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
16	Inductivité (phase-phase)	mH	0,08	0,17	0,34	0,83	1,25	0,03	0,06	0,11	0,28	0,42
17	Résistance therm. carcasse/ambiant	K/W	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
18	Résistance therm. bobinage/carcasse	K/W	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
19	Constante de temps thermique bobinage	s	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
20	Constante de temps thermique stator	s	1602	1602	1602	1602	1602	1602	1602	1602	1602	1602

Tableau 2 - Moteur synchrone

La résistance aux bornes donnée par le fabricant est égale, pour une alimentation à 120 degrés, à 2 fois la résistance de phase.

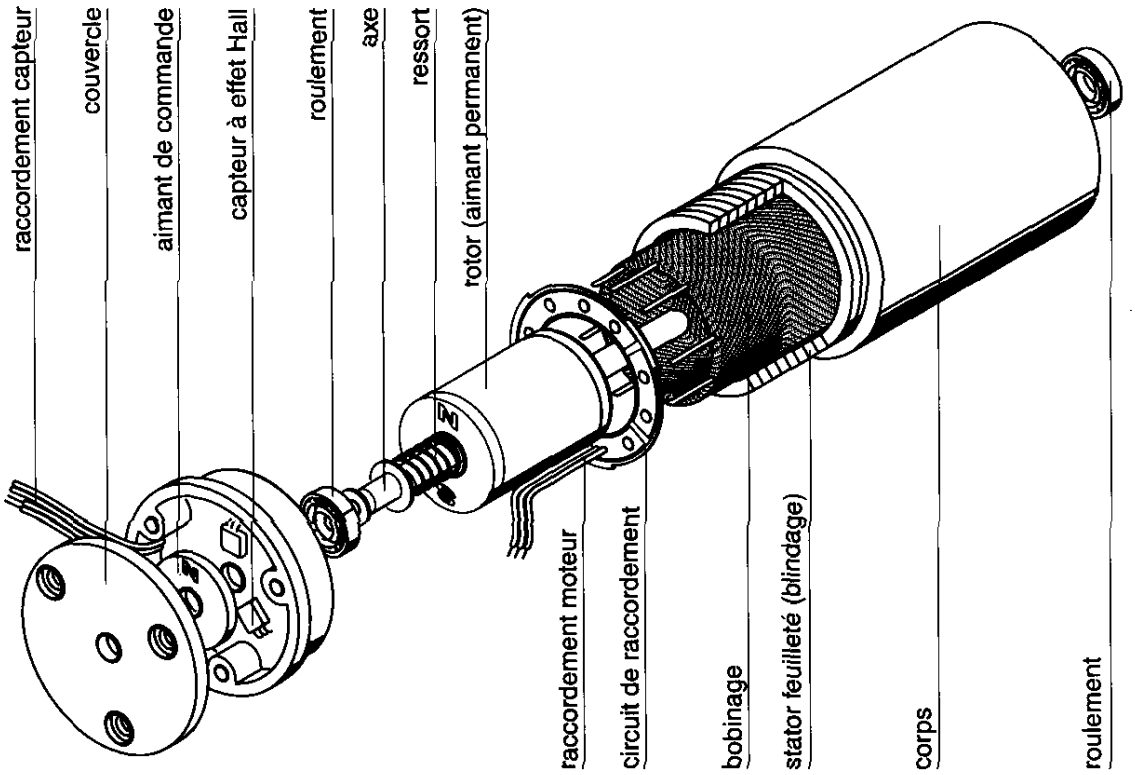


Figure 9 – Moteur synchrone

3.1.2 Aspects généraux

Commenter et expliquer le schéma d'alimentation du moteur MS dans les deux modes de fonction-nement (moteur et générateur).

- Commentaires sur le fonctionnement en boucle fermée et en boucle ouverte.

Avantages : Inconvénients :

- Commentaires sur l'alimentation MLI (PWM)

Avantages :

Inconvénients :

3.1.3 Caractéristiques en boucle ouverte

Prédéterminer les caractéristiques suivantes en fonction de Ψ, avec $0<\Psi< 90°$:

- M_{emms}, P_{elms}; $P_{emms} = f(\Psi)$ pour I_{ms} =2A et n_{ms}=3000tr/min

3.1.4 Diagramme vectoriel

- Tracer un diagramme vectoriel pour le cas de charge suivant et pour un fonctionnement en boucle ouverte :

I_{ms} = 2A ; M_{emms}=60mNm; n_{ms}=3000tr/min fonctionnement moteur

3.1.5.1 Domaine de fonctionnement en boucle fermée

- Prédéterminer la caractéristique limite $M_{emms} = f(n)$ du moteur synchrone et de son alimentation.

Rappel : Courant nominal $I_{ms} = 2$ A

Tension du circuit intermédiaire $U_{dc} = 26$ V

- Préciser le taux du PWM
- En déduire la caractéristique $P_{emms} = f(n)$.
- Calculer la puissance maximale.
- Que faut-il faire pour atteindre la puissance conseillée par le fabricant (120W) ?

3.1.5.2 Caractéristiques de charge en boucle fermée

Pour un courant de I_{ms} de 1.5 A, tracer les caractéristiques de couple $M_{emms} = f(n)$ pour des angles $\psi = 0°$, 20° et 40°. Respecter les valeurs limites de l'alimentation.

3.2 Expérimentation

3.2.1 Tension induite

- Observer à l'oscilloscope la tension induite à vide ainsi que le signal délivré par le capteur correspondant (capteur 1).
- Comparer la valeur de crête avec la valeur efficace mesurée à l'aide d'un voltmètre.

- Mesurer $U_{ims}= f(\Omega_{ms})$. En déduire le coefficient de tension induite. Comparer avec la valeur donnée par le fabricant.
- Comparer le coefficient de couple avec le coefficient de tension induite.

n_{ms}	U_{ims}	Ω_{ms}	$k_{\phi ms}$
tr/min	V	rad/s	Vs

3.2.2 Observation

- Visualisation de la tension U_{ms}, et du courant I_{ms} à l'oscilloscope pour différentes vitesses et cas de charge. En déduire les valeurs efficaces, comparer avec I_{ms} donné par l'affichage.
- En réglage de tension, visualiser la tension d'alimentation avec un réglage du taux de PWM de 100%.

- Observer le signal du capteur 1, le courant I_{ms} à l'oscilloscope pour :

- $\Psi = 0°$
- $\Psi = -60°$

Comparer avec l'enregistrement capteur – tension induite (§ 3.2.1).

3.2.3 Mesure des caractéristiques en boucle ouverte

- Mesurer les caractéristiques demandées sous 3.1.3. (*Mesurer la tension U_{ms} , P_{elms} à l'aide de l'oscilloscope)*

M_{emms}	I_{ms}	Ψ	P_{elms}	P_{emms}	U_{ms}	M_{emmcc}

- Observation du décrochage : valeurs approximatives de l'angle et du couple de charge.

- Comparer calculs-mesures.

3.2.4 Diagramme vectoriel

- Pour le cas de charge ci-dessous, en déduire du point 3.2.3 le diagramme vectoriel correspondant.

I_{ms} = 2A ; M_{emms}=60mNm ; n_{ms}=3000tr/min

3.2.5 Mesures des caractéristiques en boucle fermée

- Mesurer les caractéristiques demandées sous 3.1.5.1 et 3.1.5.2

Caractéristique limite $M_{emms} = f(n_{ms})$

M_{emms}	I_{ms}	Ψ	P_{elms}	P_{emms}	n_{ms}

Caractéristique de charge $M_{emms} = f(n_{ms})$ pour un courant I_{ms} = 1.5 A ; Υ **= 0°**

M_{emms}	I_{ms}	Ψ	P_{elms}	P_{emms}	Ω_{ms}

Caractéristique de charge $M_{emms} = f(n_{ms})$ pour un courant $I_{ms} = 1.5$ A ; $\Upsilon = 20°$

M_{emms}	I_{ms}	Ψ	P_{elms}	P_{emms}	Ω_{ms}

Caractéristique de charge $M_{emms} = f(n_{ms})$ pour un courant $I_{ms} = 1.5$ A ; $\Upsilon = 40°$

M_{emms}	I_{ms}	Ψ	P_{elms}	P_{emms}	Ω_{ms}

Mode de fonctionnement :

- MS mode tension
- MCC mode courant

- Comparer calculs-mesures.

3.2.6 Commentaire boucle ouverte - boucle fermée

Avantages, inconvénients

4. Groupe

4.1 Préparation

4.1.1 Bilan théorique de puissance

- Pour M_{emms} = +60mNm à 3200tr/min, calculer et situer les pertes de tout le système.

I_{ms}	Ω_{ms}	P_{emms}	P_{jms}	P_{jalms}	$P_{elUccms}$	P_{elms}		
A	rad/s	W	W	W	W	W		
				6				

I_{mcc}	Ω_{mcc}	P_{emmcc}	P_{jmcc}	P_{jalmcc}	$P_{elUccmcc}$	P_{elmcc}		
A	rad/s	W	W	W	W	W		
				9				

P_{cc}	η_{tot}
W	%

4.2 Expérimentation

4.2.1 Bilan de puissance

- Vérifier le point 4.1.1

Mode de fonctionnement :

U_{refms} = 15V ; M_{emms} = +60mNm (moteur) capteur interne, boucle fermée, réglage tension

Alimentation MCC en réglage de courant mode générateur

I_{ms}	Ω_{ms}	P_{emms}	P_{jms}	P_{jalms}	$P_{elUccms}$	P_{elms}		
A	rad/s	W	W	W	W	W		
				6				

I_{mcc}	Ω_{mcc}	P_{emmcc}	P_{jmcc}	P_{jalmcc}	$P_{elUccmcc}$	P_{elmcc}		
A	Rad/s	W	W	W	W	W		
				9				

P_{cc}	η_{tot}
W	%

4.2.2 Comparaison calculs-mesures

Comparer les résultats obtenus sous 4.1.1 avec les mesures effectuées sous 4.2.1. Discuter les différences.

Liste des symboles

Moteur synchrone (MS)

U_{ms}	tension efficace d'alimentation
I_{ms}	courant efficace de phase
I_{ccms}	courant du moteur côté alimentation, circuit intermédiaire
f	fréquence d'alimentation
U_{ims}	tension induite
M_{emms}	couple électromagnétique
n_{ms}	vitesse de rotation MS (tr/min)
$M_{emmsrapporté}$	couple électromagnétique MS rapportée à MCC
M_{ms}	couple à l'arbre moteur synchrone
P_{emms}	puissance électromagnétique (M_{emms}* Ω_{ms})
P_{elms}	puissance électrique
P_{mecms}	puissance à l'arbre
$P_{elUccms}$	puissance électrique côté alimentation (U_{cc}*I_{ccms}) au circuit intermédiaire
P_{jms}	pertes Joules moteur
P_{jalms}	pertes Joules de l'alimentation
η_{ms}	rendement pont + moteur
η_{mecms}	rendement mécanique (P_{emms}/P_{emmcc}) ou (P_{emmcc}/P_{emms})
η_{emms}	rendement électromagnétique (P_{emmcc} / P_{elmcc}) ou (P_{elmcc} / P_{emmcc})
A_{ms}	couple de frottement sec
B_{ms}	coefficient de frottement visqueux
Ω_{ms}	vitesse angulaire du moteur synchrone
ω_{ms}	pulsation du moteur synchrone
ψ	angle entre tension induite de phase et courant de phase
ε	angle entre tension induite de phase et tension d'alimentation de phase
φ_s	angle de déphasage interne
φ	angle entre la tension et le courant
L_{ms}	inductance phase – phase donnée par le fabricant
L_s	inductance d'un phase L_{ms} = L_s*2
R_{ms}	résistance phase – phase donnée par le fabricant
R_s	résistance d'un phase R_{ms} = R_s*2
$k_{\phi ms}$	coefficient de tension induite, coefficient de couple
J_{ms}	inertie moteur synchrone
J_{totms}	inertie totale du système côté machine synchrone
J_{pp}	inertie poulie moteur synchrone

Moteur à courant continu (MCC)

U_{mcc}	tension d'alimentation du moteur à courant continu
I_{mcc}	courant du moteur à courant continu
I_{ccmcc}	courant du moteur côté alimentation, circuit intermédiaire
U_{imcc}	tension induite
n_{mcc}	vitesse de rotation MCC (tr/min)
P_{emmcc}	puissance électromagnétique (M_{emmcc}* Ω_{mcc})

P_{mecmcc}	puissance à l'arbre
P_{elmcc}	puissance électrique du moteur
$P_{elUccmcc}$	puissance électrique côté alimentation (U_{cc}*I_{ccmcc}) au circuit intermédiaire
P_{jmcc}	pertes Joules moteur
P_{jalmcc}	pertes Joules de l'alimentation
Ω_{mcc}	vitesse angulaire
η_{mecmcc}	rendement mécanique (P_{emmcc}/P_{emms}) ou (P_{emms}/P_{emmcc})
η_{emmcc}	rendement électromagnétique (P_{emmcc} / P_{elmcc}) ou (P_{elmcc} / P_{emmcc})
η_{mcc}	rendement pont + moteur
A_{mcc}	couple de frottement sec
B_{mcc}	coefficient de frottement visqueux
L_{mcc}	inductance de l'induit
R_{mcc}	résistance de l'induit
$k_{\phi mcc}$	coefficient de tension induite, coefficient de couple
J_{mcc}	inertie moteur courant continu
J_{totmcc}	inertie totale du système côté machine courant continu
J_{gp}	inertie poulie moteur courant continu
$M_{résmcc}$	couple résistant du système côté moteur à courant continu
M_{emmcc}	couple électromagnétique
M_{mcc}	couple à l'arbre moteur à courant continu
t_d	temps de déclenchement des transistors
t_e	temps d'enclenchement des transistors
f_p	fréquence d'échantillonnage
α	taux de hachage ($t_e/(t_e+ t_d)$)
U_{cc}	tension continue du circuit intermédiaire
I_{cc}	courant continu du circuit intermédiaire
P_{cc}	puissance électrique au niveau du circuit intermédiaire
k	rapport du réducteur (poulies)
η_{tot}	rendement total du système

Annexes

Annexe 1 panneau frontal

Annexe 2 Prescription d'utilisation