

Télécom Physique Strasbourg

Technologie des Asservissements

Variateurs de vitesse

Bernard BAYLE

Ce document évolue grâce à votre concours. Pour l'améliorer, communiquez moi vos remarques ou corrections par mail : bernard.bayle@unistra.fr

Bernard Bayle

Introduction

Le principe de fonctionnement des variateurs de vitesse est présenté dans ce cours. L'étude détaillée n'est menée que dans le cas du moteur à courant continu (mcc) à excitation indépendante. Néanmoins les principes exposés restent valables et permettent de comprendre la conception des variateurs de vitesse des machines à courant alternatif. Les résultats présentés s'inspirent largement des articles sur la mcc et sa commande publiés dans les Techniques de l'Ingénieur et cités dans la bibliographie, tant pour certaines illustrations que pour les notations.

Un variateur de vitesse est un dispositif permettant de réaliser l'alimentation et la commande d'un moteur. Son schéma de principe est donné à la figure 1. On distingue dans un variateur deux niveaux de commande. La *commande rapprochée* est celle qui détermine les modes de fonctionnement et de commutation du convertisseur statique. La *commande éloignée* s'intéresse quant à elle aux problèmes de commande d'axe : asservissements de courant, de position ou de vitesse.

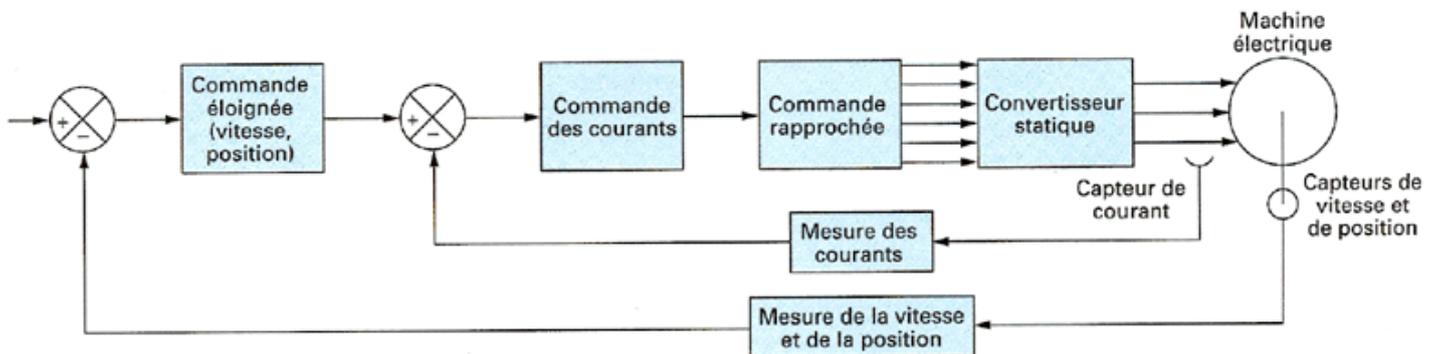


FIGURE 1 – Schéma général d'un variateur de vitesse [Louis 02b]

Nous allons dans les paragraphes suivants présenter les problèmes d'asservissement de courant et de vitesse propres aux variateurs, ainsi que des exemples pratiques.

Modélisation

Principe et modélisation du convertisseur statique

L'étage de puissance permettant d'alimenter un mcc à partir d'un réseau électrique alternatif est constitué d'un redresseur (conversion alternatif/continu), suivi par un hacheur (conversion continu/continu). Différents cas se présentent selon la source d'énergie (monophasé, triphasé) et la technologie des convertisseurs statiques utilisés (pont redresseur commandé ou non, hacheur 1, 2 ou 4 quadrants). La figure 2 illustre l'étage de puissance d'un moteur alimenté à partir du réseau triphasé avec un pont redresseur en commutation naturelle et un hacheur quatre quadrants.

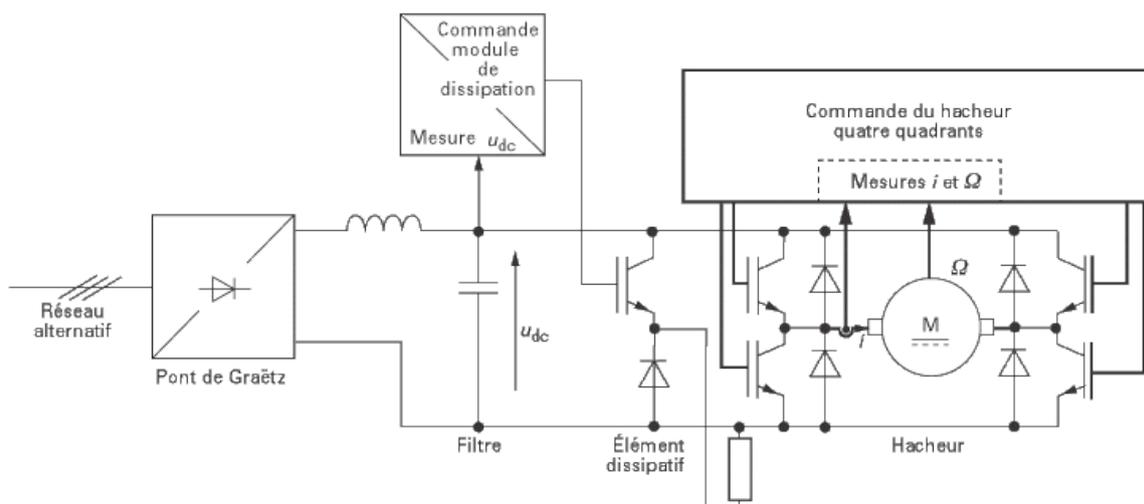


FIGURE 2 – Schéma du convertisseur statique [Louis 02c]

Le choix de la source d'alimentation dépend généralement des besoins en termes de puissance. Dans le cas de systèmes embarqués l'ensemble réseau+redresseur est remplacé par des batteries. Le choix le plus important pour la variation de vitesse concerne le hacheur. L'utilisation d'un hacheur quatre quadrants permet d'envisager un fonctionnement dans les différents modes possibles en variation de vitesse. Le moteur pourra fonctionner en vitesse dans les deux sens de rotation et le freinage sera rendu possible quand le courant sera renvoyé vers le module de dissipation. Dans ce cas, un module de dissipation est nécessaire. Ces principes déjà vus dans ce cours sont rappelés à la figure 3.

Le hacheur fournit une tension de valeur moyenne réglable par le biais de son rapport cyclique $\alpha \in [0 \ 1]$. Le choix de la fréquence de commutation du hacheur dépend de l'application. Dans le cas d'applications de faible puissance ($P \leq 1 \text{ kW}$) la fréquence de commutation est choisie élevée, au-delà du seuil audible par l'homme, soit environ 20 kHz. En pratique la fréquence de commutation est plutôt de 50 kHz. Fonctionnant de manière échantillonnée à fréquence élevée, le hacheur peut être considéré en première approximation comme une source de tension continue de valeur réglable. Ainsi, la relation entre la tension d'alimentation du moteur et la tension de commande du rapport cyclique du hacheur peut être considérée comme un simple gain.

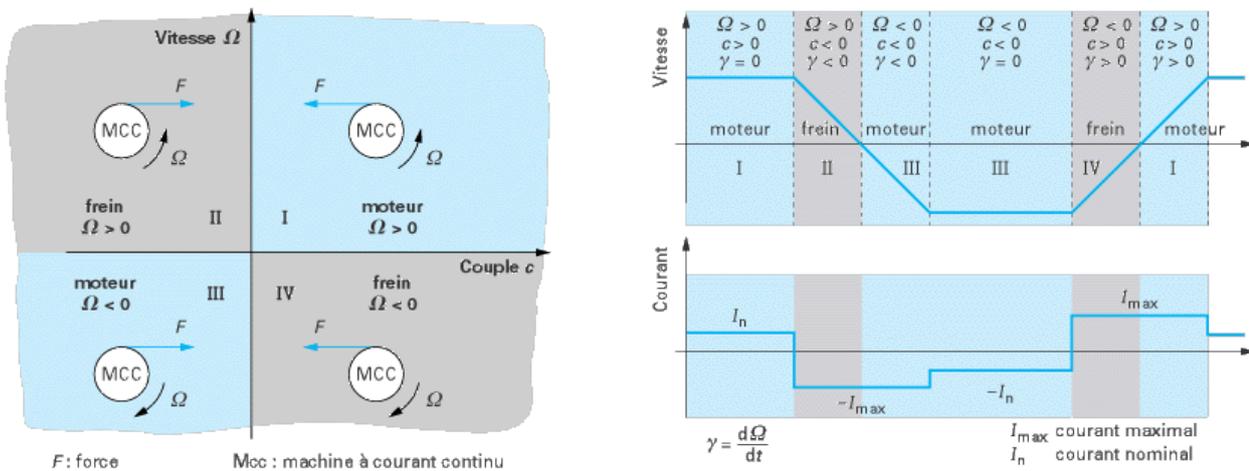


FIGURE 3 – Fonctionnement 4 quadrants du hacheur [Louis 02c]

Principe et modélisation du mcc

Principe

Un mcc est un dispositif électromécanique qui convertit une énergie électrique d'entrée en énergie mécanique, selon le principe de la figure 4.

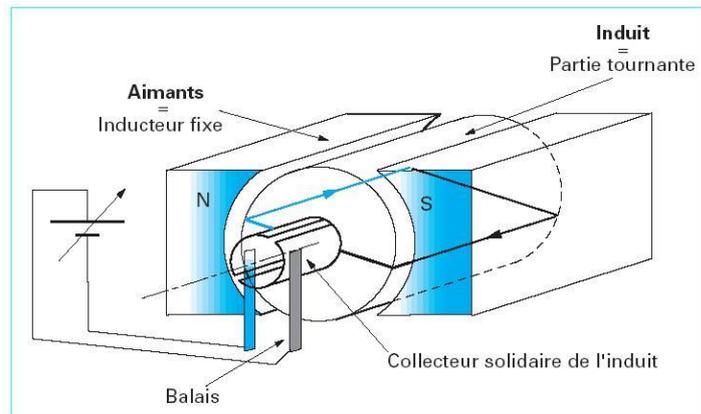


FIGURE 4 – Principe de fonctionnement d'un mcc [Bernot 99]

L'énergie électrique est apportée par l'électronique de puissance évoquée au paragraphe précédent. Le hacheur alimente le bobinage disposé sur l'induit mobile (rotor). Ce bobinage est placé dans un champ magnétique, permanent ou non, produit par l'inducteur (stator). On supposera pour simplifier que cette excitation est séparée et constante, comme c'est le cas, notamment lorsque l'inducteur est constitué d'aimants. Le courant circulant dans les spires de l'induit du moteur, des forces électriques lui sont appliquées et, grâce à un dispositif adapté (balais et collecteur), les forces s'additionnent pour participer à la rotation.

Mise en équation du mcc

Le schéma équivalent d'un mcc est donné à la figure 5.

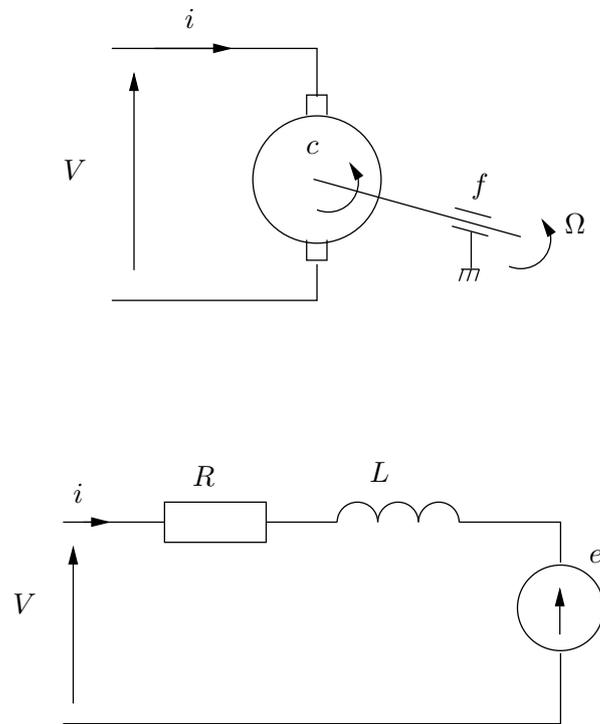


FIGURE 5 – Schéma d'un mcc

L'équation électrique, liant la tension $V(t)$ aux bornes de l'induit (rotor) et le courant d'induit $i(t)$ s'écrit :

$$Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) = V(t), \quad (1)$$

où R est la résistance de l'induit du mcc, L son inductance et $e(t)$ la force électromotrice, qui est proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor :

$$e(t) = K_e \Omega(t). \quad (2)$$

L'équation mécanique rendant compte des couples agissant sur le rotor s'écrit :

$$c(t) - c_0(t) - f\Omega(t) = J \frac{d\Omega(t)}{dt}, \quad (3)$$

où $c(t)$ est le couple moteur, $c_0(t)$ est le couple résistant (charge et perturbations), f le coefficient de frottement visqueux et J le moment d'inertie du rotor. Par construction, le couple $c(t)$ est proportionnel au courant d'induit $i(t)$:

$$c(t) = K_m i(t). \quad (4)$$

En règle générale les coefficients K_e et K_m sont si proches qu'il est raisonnable de les considérer égaux, négligeant alors les pertes durant la conversion électromécanique de puissance. On pose $K_{em} = K_e = K_m$.

Le mcc peut être vu comme un système à contre-réaction. Pour s'en apercevoir, il faut reprendre les équations précédentes et les représenter sous forme de schéma-bloc. On aboutit à la figure 6.

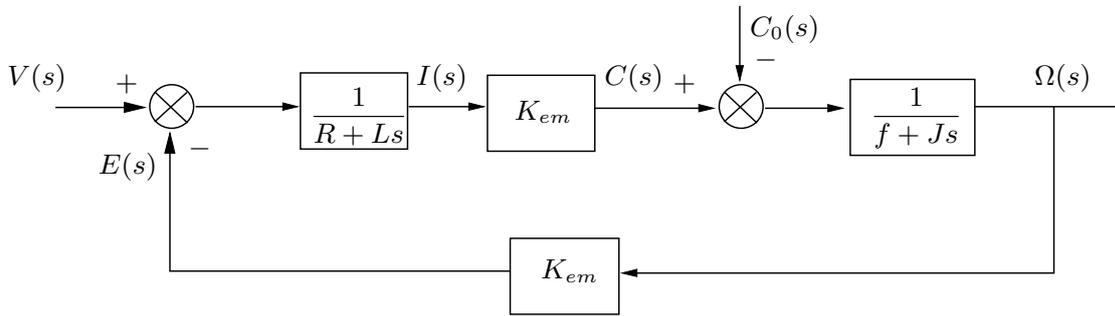


FIGURE 6 – Schéma de principe d'un moteur à courant continu

Modèles pour l'asservissement de vitesse du mcc

En supposant $c_0(t) = 0$ les équations (3) et (4) donnent :

$$K_{em}i(t) = f\Omega(t) + J\frac{d\Omega(t)}{dt}. \quad (5)$$

En dérivant (5), il vient :

$$K_{em}\frac{di(t)}{dt} = f\frac{d\Omega(t)}{dt} + J\frac{d^2\Omega(t)}{dt^2}. \quad (6)$$

En combinant (5) et (6) avec (1) et (2) :

$$\frac{R}{K_{em}}\left(f\Omega(t) + J\frac{d\Omega(t)}{dt}\right) + \frac{L}{K_{em}}\left(f\frac{d\Omega(t)}{dt} + J\frac{d^2\Omega(t)}{dt^2}\right) + K_{em}\Omega(t) = V(t). \quad (7)$$

Modèle d'ordre un

On néglige l'influence de l'inductance d'induit. L'équation (7) se simplifie en :

$$\frac{Rf + K_{em}^2}{K_{em}}\Omega(t) + \frac{RJ}{K_{em}}\frac{d\Omega(t)}{dt} = V(t),$$

soit :

$$\Omega(t) + \frac{RJ}{Rf + K_{em}^2}\frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{K_{em}}{Rf + K_{em}^2}V(t).$$

La fonction de transfert reliant la commande en tension du mcc $V(s)$ et sa vitesse $\Omega(s)$ est :

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{1 + \tau_{em}s}, \quad (8)$$

si l'on définit la *constante de temps électromécanique du système* :

$$\tau_{em} = \frac{RJ}{Rf + K_{em}^2},$$

et son *gain statique* :

$$K = \frac{K_{em}}{Rf + K_{em}^2}$$

Le système ainsi modélisé est donc d'ordre un. Il possède un pôle stable $p = -1/\tau_{em}$.

Modèle d'ordre deux

On lève maintenant l'hypothèse du paragraphe précédent pour obtenir un modèle plus fin du m.c.c. Deux expressions intéressantes de la fonction de transfert sont alors possibles :

1. En ordonnant (7) de façon à avoir un coefficient de un devant le degré de dérivation le plus élevé, il vient :

$$\frac{d^2\Omega(t)}{dt^2} + \frac{RJ + Lf}{LJ} \frac{d\Omega(t)}{dt} + \frac{Rf + K_{em}^2}{LJ} \Omega(t) = \frac{K_{em}}{LJ} V(t). \quad (9)$$

ce qui conduit à la fonction de transfert sous la forme :

$$G(s) = \frac{\frac{K_{em}}{LJ}}{s^2 + \left(\frac{R}{L} + \frac{f}{J}\right)s + \frac{Rf + K_{em}^2}{LJ}}.$$

Cette écriture est intéressante pour identifier la fonction de transfert sous la forme canonique :

$$G(s) = \frac{K \Omega_n^2}{s^2 + 2\xi\Omega_n s + \Omega_n^2}.$$

2. En ordonnant (7) de façon à avoir un coefficient de un devant le degré de dérivation le plus faible (i.e. $\Omega(t)$), il vient :

$$\Omega(t) + \frac{RJ + Lf}{Rf + K_{em}^2} \frac{d\Omega(t)}{dt} + \frac{LJ}{Rf + K_{em}^2} \frac{d^2\Omega(t)}{dt^2} = \frac{K_{em}}{Rf + K_{em}^2} V(t). \quad (10)$$

ce qui conduit à la fonction de transfert sous la forme :

$$G(s) = \frac{K}{1 + (\tau_{em} + \mu\tau_{el})s + \tau_{el}\tau_{em}s^2}, \quad (11)$$

si l'on définit la *constante de temps électrique du système* :

$$\tau_{el} = \frac{L}{R}.$$

On note encore que :

$$\mu = \frac{Rf}{Rf + K_{em}^2}$$

est petit devant un (terme lié au frottement). Enfin, comme on peut raisonnablement supposer que $\tau_{el} \ll \tau_{em}$:

$$\tau_{em} + \mu\tau_{el} \simeq \tau_{em} \simeq \tau_{em} + \tau_{el}.$$

Cela permet d'écrire finalement la fonction de transfert sous la forme :

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{(1 + \tau_{el}s)(1 + \tau_{em}s)}.$$

Les pôles du système $p_1 = -1/\tau_{el}$ et $p_2 = -1/\tau_{em}$ apparaissent alors clairement.

Modèles pour l'asservissement de position du m.c.c

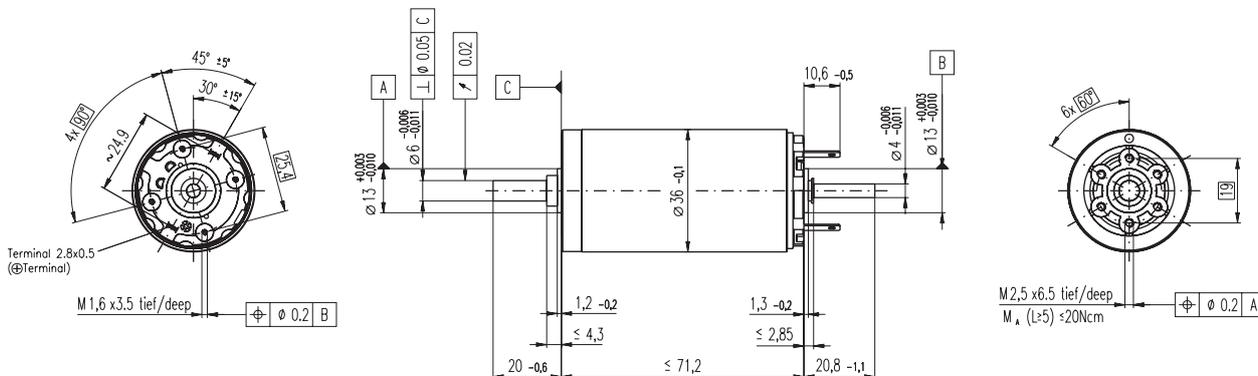
La position du rotor se déduisant de sa vitesse par intégration on obtient aisément la fonction de transfert reliant la tension d'induit $V(s)$ et sa position $\Theta(s) = \mathcal{L}\{\theta(t)\}$, d'après les résultats du paragraphe précédent. D'après le cas le plus général étudié précédemment, il vient :

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(1 + \tau_{el}s)(1 + \tau_{em}s)}.$$

Le système possède trois pôles $p_1 = 0$, $p_2 = -1/\tau_{el}$ et $p_3 = -1/\tau_{em}$.

Ce chapitre se termine par la documentation technique (tableau 1) d'un m.c.c Maxon Maxon RE36 118800 (source <http://www.maxonmotor.com/>) qui sert à titre d'exemple dans ce cours. Le guide des grandeurs utilisées dans cette doc est également joint au tableau 2. On notera les variations sensibles entre les grandeurs choisies par le constructeur pour décrire le modèle du moteur et celles présentées précédemment. On fera également attention à l'usage des unités non SI.

RE 36 Ø36 mm, Commutation Graphite, 70 Watt



M 1:2

- █ Programme Stock
- Programme Standard
- Programme Spécial (sur demande!)

Numéros de commande

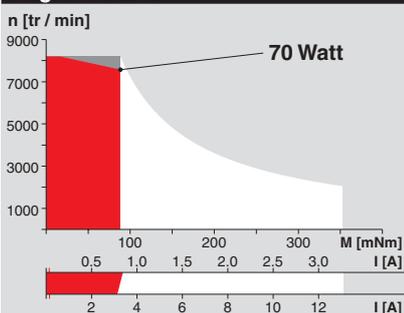
118797 118798 118799 118800 118801 118802 118803 118804 118805 118806 118807 118808 118809 118810

Caractéristiques moteur		118797	118798	118799	118800	118801	118802	118803	118804	118805	118806	118807	118808	118809	118810
1	Puissance conseillée	W	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
2	Tension nominale	Volt	18.0	24.0	32.0	42.0	42.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
3	Vitesse à vide	tr / min	6610	6210	6790	7020	6340	6420	5220	4320	3450	2830	2280	1780	1420
4	Couple de démarrage	mNm	730	783	832	865	786	785	627	504	403	326	258	198	158
5	Pente vitesse / couple	tr / min / mNm	9.23	8.05	8.27	8.19	8.14	8.25	8.41	8.65	8.67	8.80	8.96	9.17	9.21
6	Courant à vide	mA	153	105	89	70	61	55	42	33	25	20	15	12	9
7	Courant de démarrage	A	28.6	21.5	18.7	15.3	12.6	11.1	7.22	4.80	3.06	2.04	1.30	0.784	0.501
8	Résistance aux bornes	Ohm	0.628	1.11	1.71	2.75	3.35	4.32	6.65	10.00	15.7	23.5	36.8	61.3	95.8
9	Vitesse limite	tr / min	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200
10	Courant permanent max.	A	3.18	2.44	1.99	1.59	1.44	1.27	1.03	0.847	0.679	0.556	0.445	0.346	0.277
11	Couple permanent max.	mNm	81	88.8	88.5	89.8	90.4	90.1	89.8	89.0	89.2	88.8	88.1	87.3	87.2
12	Puissance max. fournie à la tension nom.	W	123	125	146	157	129	131	84.9	56.4	36.0	23.9	15.2	9.09	5.78
13	Rendement max.	%	84	85	86	86	86	86	85	84	82	81	79	77	75
14	Constante de couple	mNm / A	25.5	36.4	44.5	56.6	62.6	70.7	86.9	105	131	160	198	253	315
15	Constante de vitesse	tr / min / V	375	263	215	169	152	135	110	90.9	72.7	59.8	48.2	37.8	30.3
16	Constante de temps mécanique	ms	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
17	Inertie du rotor	gcm ²	60.2	67.7	65.2	65.4	65.6	64.6	63.3	61.5	61.3	60.3	59.2	57.8	57.5
18	Inductivité	mH	0.10	0.20	0.30	0.49	0.60	0.76	1.15	1.68	2.62	3.87	5.96	9.70	15.10
19	Résistance therm. carcasse / air ambiant	K / W	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
20	Résistance therm. rotor / carcasse	K / W	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
21	Constante de temps thermique du bobinage	s	38	43	41	41	41	41	40	39	39	38	37	36	35

Spécifications

- Jeu axial 0.05 - 0.15 mm
 - Charge maximum des **roulements**
 - axiale (dynamique) 5.6 N
 - non pré-contraint 2.4 N
 - pré-contraint 28 N
 - radiale (à 5 mm de la face) 110 N
 - Force de chassage (statique) 1200 N
 - Jeu radial avec **roulements** 0.025 mm
 - Température ambiante -20 ... +100°C
 - Température rotor max. +125°C
 - Nombre de lames au collecteur 13
 - Poids du moteur 350 g
 - Aimant permanent à 2 pôles
 - Les caractéristiques moteur du tableau sont des valeurs nominales.
- Voir en page 43 les plages de tolérances.
Des informations détaillées se trouvent sur le maxon selection program du CD-ROM ci-joint.
- ⚠ Pour ce moteur, les tolérances diffèrent de celles qui figurent dans notre spécification standard.

Plages d'utilisation



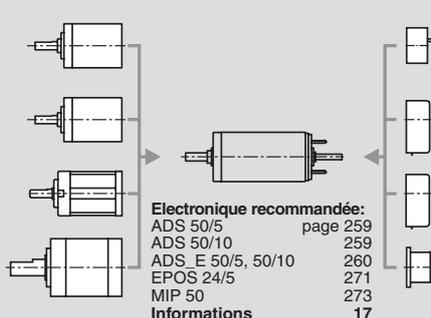
Légende

- Plage de puissance conseillée**
 - Plage de fonctionnement permanent**
Compte tenu des résistances thermiques (lignes 19 et 20) la température maximum du rotor peut être atteinte au valeur nominal de couple et vitesse et à la température ambiante de 25°C.
= Limite thermique.
 - Fonctionnement intermittent**
La surcharge doit être de courte durée.
- 118804 Moteur avec bobinage à haute résistance
118797 Moteur avec bobinage à basse résistance

Explications page 49

Construction modulaire maxon

- Réducteur planétaire**
Ø32 mm
0.75 - 4.5 Nm
Voir page 219
- Réducteur planétaire**
Ø32 mm
1.0 - 6.0 Nm
Voir page 220
- Réducteur planétaire**
Ø32 mm
0.4 - 2.0 Nm
Voir page 222
- Réducteur planétaire**
Ø42 mm
3 - 15 Nm
Voir page 224



Aperçu à la page 17 - 21

- Codeur MR**
256 - 1024 imp.,
3 canaux
Voir page 239
- Codeur HEDS 5540**
500 imp.,
3 canaux
Voir page 242
- Codeur HEDL 5540**
500 imp.,
3 canaux
Voir page 244
- Génératrice DCT**
Ø22 mm
0.52 V
Voir page 252

Explications sur les pages 50 - 146

Dessin dimensionnel

Sur le CD-ROM, les croquis de dimension sont disponibles en format DXF en vue de leur importation dans n'importe quel système CAD. Présentation des vues conforme à la méthode E (ISO).  Toutes les dimensions sont exprimées en [mm].

Taraudage de montage dans le plastique

La réalisation de connexions vissées sur des flasques plastiques nécessite une attention spéciale.

M_A Couple de serrage maximal [Ncm]

Un tournevis automatique doit être ajusté à cette valeur d'étalonnage.

L Profondeur active de vissage [mm]

La relation entre la profondeur de vissage et le diamètre du pas de vis doit être au moins de 2 : 1. La profondeur de vissage ne doit en aucun cas dépasser la longueur utile de taraudage!

Caractéristiques du moteur:

Ligne 1 ● Puissance conseillée P_{2T} [W]

C'est la puissance max. fournie, dans la plage de puissances conseillée. Elle dépend des types et correspond à la représentation du Guide de Sélection (voir également pages 50-146 «Plages d'utilisation»).

Ligne 2 Tension nominale U [Volt]

C'est la tension à laquelle se réfèrent toutes les valeurs nominales (lignes 3, 4, 6, 7, 12, 13). Elle est fixée pour que la vitesse à vide ne dépasse pas la vitesse maximale admissible. Mais l'utilisation du moteur n'est pas limitée par cette tension. Pour atteindre la puissance assignée (ligne 1), il est possible d'utiliser une tension de service plus haute. La puissance maximale de sortie est alors plus élevée (ligne 12).

Ligne 3 Vitesse à vide n_v [tr / min]

C'est la vitesse atteinte par le moteur sans charge additionnelle et alimenté à la tension nominale. Elle est pratiquement proportionnelle à la tension appliquée.

Ligne 4 Couple de démarrage M_H [mNm]

Ce couple est appliqué sur l'arbre pour obtenir l'arrêt à tension nominale. La croissance rapide de la température du moteur provoque la baisse du couple de démarrage (Voir page 38 «Comportement thermique»).

Ligne 5 Pente vitesse/couple Δn / ΔM [tr / min / mNm]

La pente vitesse / couple indique la force du moteur. Plus cette courbe est plate, moins la vitesse est sensible aux variations de la charge. La pente vitesse / couple est calculée à une température de bobinage de 25°C.

Ligne 6 Courant à vide I₀ [mA]

C'est le courant qui s'établit lorsque le moteur est à vide. Il dépend du frottement des balais et du frottement à l'intérieur des paliers, il se modifie légèrement avec la vitesse.

Ligne 7 Courant de démarrage I_A [mA], [A]

C'est le rapport de la tension nominale (tension aux bornes) et de la résistance du moteur. Il est obtenu au couple de blocage.

Ligne 8 Résistance aux bornes R [Ω]

C'est la résistance mesurée à 25°C aux bornes de connection. Elle détermine, sous une tension U donnée, le courant de démarrage. Dans le cas de balais en graphite, la résistance de contact varie en fonction de la charge.

Ligne 9 Vitesse limite n_{max} [tr / min]

La vitesse limite ne doit pas être dépassée en fonctionnement normal, un dépassement intempestif endommagerait la commutation, mettant ainsi le moteur en panne.

Ligne 10 Courant permanent max. I_{cont} [mA], [A]

C'est le courant qui, à une température ambiante de 25°C, fait monter la température du rotor à sa limite max. admissible.

Ligne 11 Couple permanent max. M_{cont} [mNm]

C'est le couple délivré en permanence ou en valeur moyenne, qui élève la température du bobinage jusqu'à sa valeur max. admissible. On se base sur une température ambiante de 25°C.

Ligne 12 Puissance max. fournie P_{max} [mW], [W]

C'est la puissance max. disponible à la tension nominale et à une température rotor de 25°C. Les valeurs d'utilisation se situent en-dessous de cette puissance (voir «courant max. permanent» et «vitesse limite»).

Ligne 13 Rendement max. η_{max} [%]

Le rendement dépend du courant ou de la vitesse (voir page 35 «Caractéristique de rendement»). Le rendement maximal est dérivé de la relation entre la marche à vide et le courant de démarrage.

Ligne 14 Constante de couple k_M [mNm / A]

La constante de couple, ou couple spécifique, est le quotient du couple fourni et du courant s'y rapportant.

Ligne 15 Constante de vitesse k_v [tr / min / V]

Elle indique la vitesse spécifique par Volt de la tension appliquée, sans tenir compte des pertes par frottement. La valeur inverse de la constante de vitesse est la constante de tension, aussi appelée constante FEM.

Ligne 16 Constante de temps mécanique τ_m [ms]

C'est le temps nécessaire au rotor (sans charge extérieure), pour passer de la vitesse 0 à 63 % de sa vitesse à vide.

Ligne 17 Moment d'inertie du rotor J_R [gcm²]

C'est le moment d'inertie de masse du rotor, basée sur l'axe de rotation.

Ligne 18 Inductance terminale L [mH]

C'est l'inductivité du bobinage lorsque le rotor est à l'arrêt, mesurée à l'aide d'une tension sinusoïdale à 1 kHz.

Ligne 19 Résistance thermique R_{th2} [K / W]

C'est la résistance thermique entre la carcasse et l'air ambiant. Valeur théorique sans aucun refroidisseur additionnel. L'addition des lignes 19 et 20 permet de définir la puissance dissipée max. Admissible. Sur les moteurs à flasque métallique, la résistance thermique R_{th2} peut être réduite jusqu'à 50 %, à condition que le moteur soit couplé directement à un bon conducteur thermique (métallique) au lieu d'une plaque en matière synthétique.

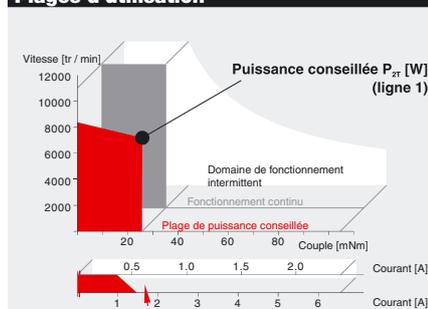
Ligne 20 Résistance thermique R_{th1} [K / W]

Idem entre rotor et carcasse.

Ligne 21 Constante de temps thermique du bobinage τ_w [s]

C'est le temps nécessité par le bobinage pour modifier sa température.

Plages d'utilisation



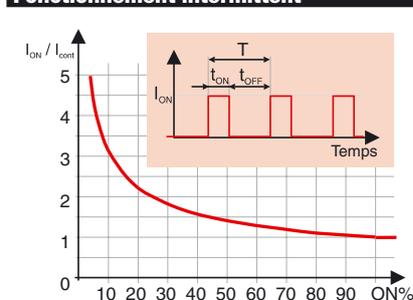
Le diagramme du domaine de fonctionnement décrit la plage de puissance mécanique livrable par le bobinage. Il illustre les points de fonctionnement possibles en fonction de la vitesse et du couple. Pour deux bobinages sélectionnés, l'un à faible, l'autre à forte résistance, le couple figure en échelle de puissance (Ligne 8).

Légende

Exemple de la page 78

	Plage de puissance conseillée
	Plage de fonctionnement permanent Compte tenu des résistances thermiques (lignes 19 et 20) la température maximum du rotor peut être atteinte au valeur nominal de couple et vitesse et à la température ambiante de 25°C = Limite thermique.
	Fonctionnement intermittent La surcharge doit être de courte durée (voir page 36).
118757	Moteur avec bobinage à haute résistance (Ligne 8)
118749	Moteur avec bobinage à haute résistance (Ligne 8)

Fonctionnement intermittent



ON	Moteur en service
OFF	Moteur stationnaire
I _{ON}	Courant de pointe max.
I _{cont}	Courant max. admissible en service continu (Ligne 10)
t _{ON}	Temps d'enclenchement, à ne pas dépasser τ _w (Lg. 21)
T	Temps de cycle t _{ON} + t _{OFF} [s]
t _{ON%}	Temps d'enclenchement en % du temps de cycle
Pendant une durée d'enclenchement de X %, le moteur peut être surchargé dans le rapport I _{ON} / I _{cont}	

$$I_{ON} = I_{cont} \sqrt{\frac{T}{t_{ON}}}$$

Variation de vitesse du mcc

D'après le modèle dynamique du moteur obtenu au chapitre précédent, on peut étudier la réponse du système en boucle ouverte. Si l'on impose un échelon de tension de consigne au moteur les réponses indicielles en vitesse et en courant ont les allures décrites par la figure 7 (le cas considéré est celui d'un moteur Maxon F2260) pour lequel :

$$\begin{aligned} K_{em} &= 100 \text{ Nm/A}, \\ R &= 1,44 \Omega, \\ L &= 0,56 \text{ mH}, \\ J &= 129,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2, \\ f &= 7,19 \cdot 10^{-5} \text{ Ns}. \end{aligned}$$

On observe un dépassement du courant qui peut atteindre des valeurs très importantes lors des

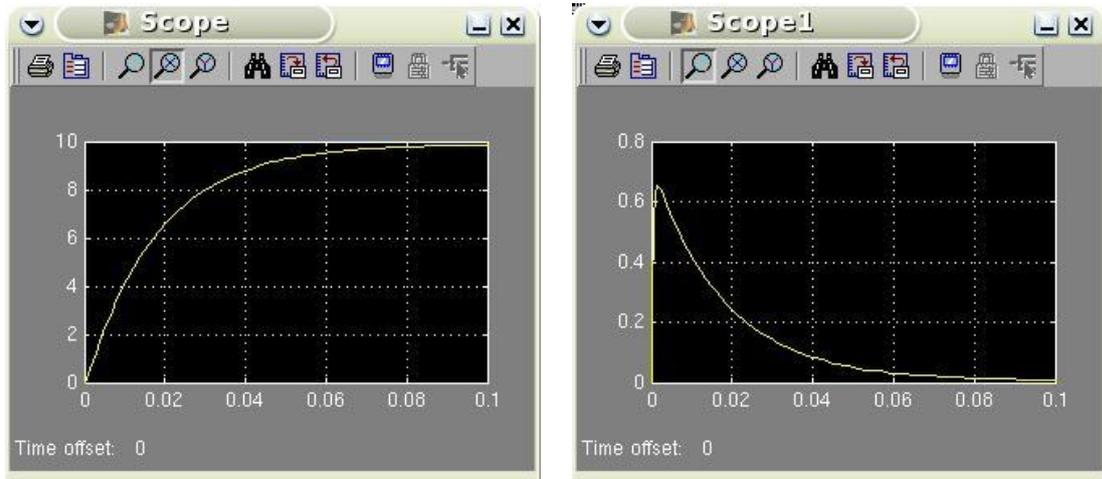


FIGURE 7 – Réponse en boucle ouverte du mcc (non chargé)

transitoires. Ceci s'explique par la présence d'un zéro dans la fonction de transfert :

$$G_I(s) = \frac{I(s)}{V(s)}.$$

Cette fonction de transfert s'obtient aisément à partir du schéma de la figure 6 (analogie avec le calcul du signal d'erreur d'un asservissement). On obtient :

$$G_I(s) = \frac{Js + f}{LJs^2 + (RJ + Lf)s + Rf + K_{em}^2}.$$

Le diagramme de Bode correspondant est représenté à la figure 8.

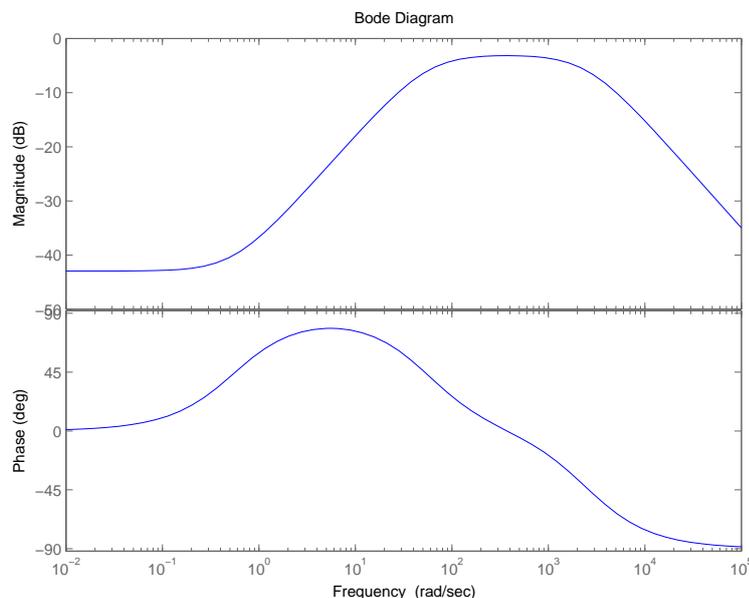


FIGURE 8 – Diagramme de Bode de $G_I(s)$

Asservissement de courant

Les dépassements de courant observés précédemment constituent un véritable problème, tant pour le convertisseur statique que pour le moteur. Si le système (convertisseur+moteur) a été dimensionné pour une utilisation nominale, les transitoires de courant risquent de détruire les composants de puissance du convertisseur statique. Par ailleurs, dans le cas où l'on utilise des éléments commerciaux, il arrive que le convertisseur soit surdimensionné, car pouvant fonctionner avec une gamme de moteurs de différentes puissances. Alors le convertisseur pourra délivrer le courant appelé. Ce sont alors les conducteurs du moteur qui risquent d'être détruits par une surintensité. Pour ces raisons il convient donc :

1. d'asservir le courant pour avoir la maîtrise des dépassements ;
2. de limiter le courant maximum pour protéger le moteur dans tous les cas.

L'étude de l'asservissement de courant du mcc peut se faire sous deux angles. Soit on fait une synthèse en utilisant la fonction de transfert complète $G_I(s)$. Soit on fait le raisonnement approché suivant. La force électromotrice étant une grandeur proportionnelle à la vitesse de rotation, ses variations sont lentes devant celles du courant d'induit. On peut donc la considérer comme une perturbation dans le transfert tension-courant, d'après le schéma de la figure 6. Sous ces hypothèses la fonction de transfert $G_I(s)$ se résume à :

$$G_I(s) = \frac{1}{R + Ls} = \frac{1}{R} \frac{1}{1 + \tau_e s}$$

La fonction de transfert étant celle d'un premier ordre une simple correction PI :

$$C_I(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \right)$$

conduit à :

$$C_I(s)G_I(s) = \frac{K_p}{R\tau_i} \frac{1 + \tau_i s}{s(1 + \tau_e s)}$$

Le choix le plus simple consiste alors à compenser le pôle électrique en choisissant $\tau_i = \tau_e$, ce qui conduit à un système en boucle fermée d'ordre un de fonction de transfert :

$$G_{IBF}(s) = \frac{1}{k_i} \frac{1}{1 + \frac{R\tau_i}{K_p k_i} s}$$

où k_i est le gain du capteur assurant la mesure de courant. Le temps de réponse de la boucle de courant se règle alors aisément en choisissant K_p .

Remarque 1 En fait l'étude précédente est effectuée sans tenir compte du hacheur. La modélisation proposée pour le hacheur (qui est un système échantillonné) occulte le fait qu'entre la tension de commande du hacheur et sa sortie il existe en fait un retard, dit *statistique*, d'une demi-période d'échantillonnage. La prise en compte de ce retard se fait dans certains cas en représentant son effet par une fonction de transfert du premier ordre (passe-bas de constante de temps la demi-période de commutation). Ceci n'est bien sûr valable que lorsque le temps de retard reste petit devant la dynamique du système, si bien que l'on préférera ne pas tenir compte de l'effet retard du hacheur dans la synthèse du correcteur et considérer simplement que la bande passante du système est limitée.

Remarque 2 Pour des raisons de coût et pour obtenir un temps de réponse très court pour l'asservissement de courant on réalise la boucle de courant d'un mcc de manière analogique.

Asservissement de vitesse

L'asservissement de vitesse du mcc est réalisé une fois réglée la boucle de courant. On a donc un asservissement avec boucles imbriquées ou asservissement cascade, répondant au schéma de principe présenté en introduction. Pour réaliser l'asservissement de la vitesse du rotor d'un mcc, la tension image de la vitesse mesurée est comparée à une tension de référence V_r , image de la vitesse désirée Ω_r . La vitesse du rotor est mesurée par l'un ou l'autre des capteurs possibles (génératrice tachymétrique, synchro-résolveur, codeur) et la tension image est directement obtenue en sortie du procédé dans le cas des capteurs analogiques, ou après comptage dans le cas des codeurs incrémentaux. En faisant abstraction du mode de mesure qui est ici assimilé à un simple gain k_ω le schéma-bloc de l'asservissement de vitesse est représenté à la figure 9.

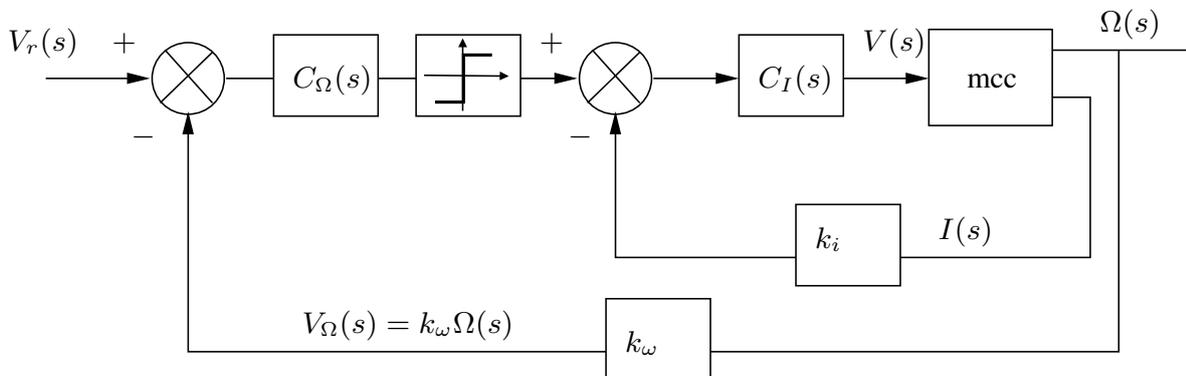


FIGURE 9 – Asservissement de vitesse d'un mcc avec boucle interne de courant

Si la boucle de courant est réglée comme suggéré précédemment, elle a alors une fonction de transfert du premier ordre et il est facile de régler la boucle de vitesse. En toute rigueur, il faudrait réécrire les équations dynamiques du mcc asservi en courant. Ceci étant, on peut considérer que le bloc de fonction de transfert $\frac{1}{R+Ls}$ du schéma 6 est simplement remplacé par la fonction de transfert en boucle fermée $G_{IBF}(s)$. Dans ce cas, la constante de temps de la boucle de courant étant très petite devant la constante de temps électromécanique du système, on obtient un modèle d'ordre deux de classe 0, très proche d'un système du premier ordre. On peut donc à nouveau effectuer une correction PI.

Asservissement de position Il est le plus souvent possible d'utiliser les variateurs en mode asservissement de position, que la fonction soit intégrée ou que l'on réalise l'asservissement à partir du système asservi en courant. Du fait de l'intégration au passage vitesse–position, la classe du système

augmente et un correcteur proportionnel pourra convenir. Eventuellement on utilisera un correcteur à avance de phase pour assurer stabilité et performance. Par ailleurs, certaines fonctions avancées pour l'asservissement de la position de l'axe moteur peuvent venir s'ajouter. Il s'agit en particulier de la génération de profils d'accélération en trapèze pour permettre d'obtenir des consignes de courant continues.

Analogique ou numérique ? En pratique le choix d'une commande numérique ou analogique dépend du type de moteur dont on dispose. Dans le cas d'un mcc, une commande analogique est généralement suffisante car elle reste relativement simple et peu onéreuse. Ce n'est plus le cas pour d'autres moteurs, typiquement les moteurs à courants continus sans collecteur (moteur synchrones autopilotés), pour lesquels la réalisation des asservissements peut nécessiter le recours à des fonctions non linéaires plus complexes qui seront aisément réalisées par un processeur.

Protections

La structure à boucles imbriquées du schéma 10 permet d'introduire des éléments de protection du moteur. Une limitation de courant sera ainsi simplement réalisée en saturant la valeur de la commande

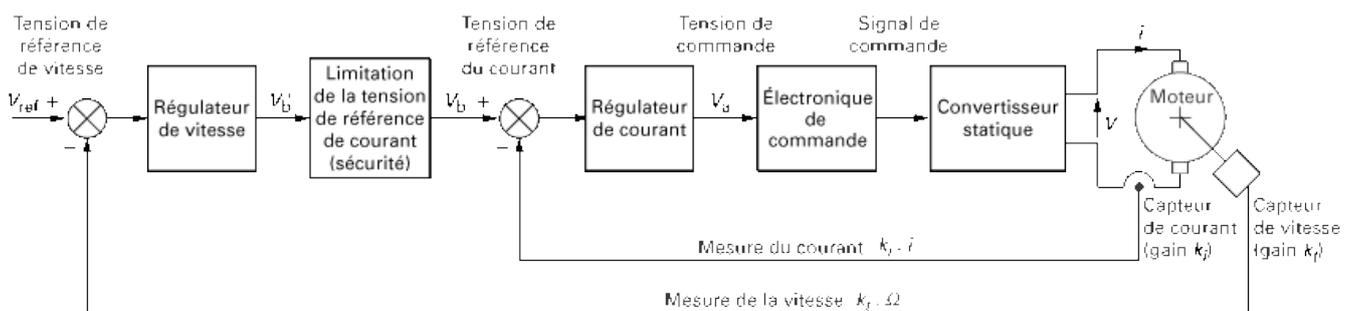


FIGURE 10 – Schéma général d'un variateur de vitesse [Louis 02c]

de la boucle de courant par une tension égale à $\pm k_i I_M$, I_M représentant la valeur maximale du courant préconisée par le constructeur. Ce réglage est donc effectué par une simple fonction seuil analogique, la valeur du seuil étant ajustée par un potentiomètre. Si la boucle de courant est réglée convenablement (rapide et sans dépassement), les seules saturations proviendront alors d'un appel de courant trop fort, par exemple dû à une modification brutale de la charge ou un changement brutal du sens de rotation.

Des raffinements dans ce mode de protection sont cependant généralement prévus. Les moteurs peuvent en effet le plus souvent supporter des courants transitoires largement supérieur à la valeur maximale continue (typiquement 5 fois le courant maximum pendant 50 à 200 ms ou dans le cadre d'un fonctionnement intermittent).

En revanche un certain nombre de protections ne sont pas présentes sur un variateur de vitesse. Notamment la mise en court-circuit de la sortie du variateur (par exemple court-circuit à l'entrée du moteur) détruira systématiquement le variateur, un dispositif de type fusible étant inutile vu le temps de réponse du variateur. Par ailleurs, les variateurs ne sont généralement pas protégés contre une inversion des tensions d'alimentation.

Exemple de variateur

Ce chapitre se termine par différentes documentations, dont la documentation technique 4, présentant un variateur pour mcc Maxon ADS 50 (source <http://www.maxonmotor.com/>) recommandé pour le mcc Maxon RE36 118800 vu au chapitre précédent.

Technique – sans détour

Le programme des asservissements de moteurs maxon contient une gamme de servoamplificateurs pour commander les moteurs DC et EC hautement dynamique.



Grandeurs commandées

Vitesse

La tâche d'un servoamplificateur pour régulation de vitesse consiste à maintenir la vitesse de rotation aussi constante que possible quelles que soient les variations de couple demandées au moteur. Pour atteindre ce but, l'électronique de régulation du servoamplificateur compare en permanence la valeur de consigne (vitesse désirée) avec la valeur réelle instantanée (vitesse effective). La différence entre les deux valeurs sert à piloter l'étage de puissance du servoamplificateur de telle manière que le moteur amenuise la différence de vitesse. On dispose ainsi d'un circuit de régulation de vitesse en boucle fermée.

Position

Le régulateur de position s'efforce de faire coïncider la position actuelle mesurée avec la position désirée - de la même manière que le régulateur de vitesse - en donnant au moteur les valeurs de correction. L'information sur la position est généralement délivrée par un codeur digital.

Courant

Le régulateur de courant alimente le moteur avec une intensité proportionnelle à la valeur de consigne. Ainsi le couple du moteur est proportionnel à la consigne. Le régulateur de courant améliore aussi la dynamique d'un circuit de régulation de position ou de vitesse supérieur.

Régulation par codeur digital

Le moteur est équipé d'un codeur digital qui délivre un nombre donné d'impulsions à chaque tour du rotor. Les impulsions rectangulaires des canaux A et B sont décalées de 90° pour permettre de déterminer le sens de rotation.

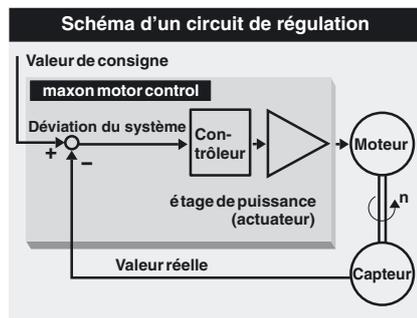
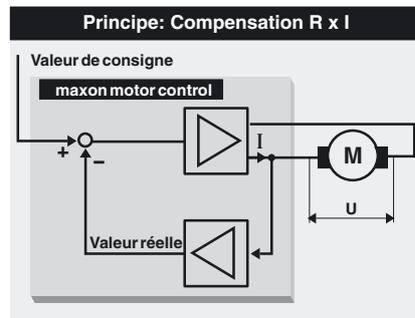
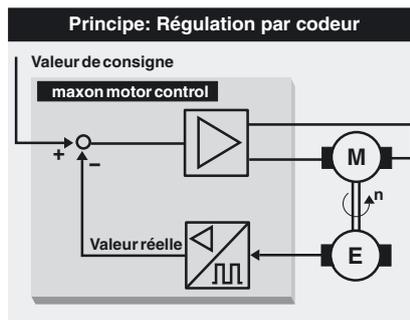
- Les codeurs digitaux sont surtout utilisés pour assurer le positionnement et pour détecter un déplacement angulaire.
- Les codeurs digitaux ne sont soumis à aucune usure.
- En liaison avec un régulateur digital, ils ne provoquent aucun effet de dérive.

Compensation R x I

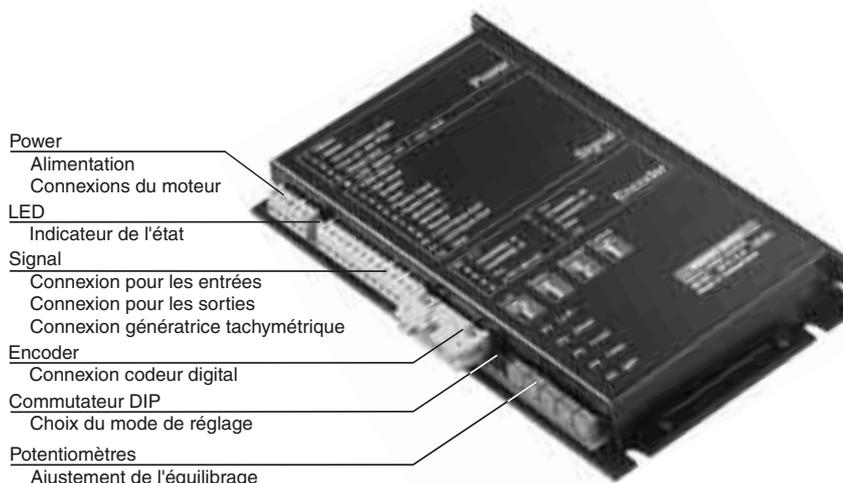
Une tension proportionnelle à la valeur de consigne est appliquée au moteur. Si la charge augmente, la vitesse de rotation diminue. Le circuit de compensation augmente alors la tension de sortie, avec un accroissement du courant dans le moteur. Cette compensation doit être ajustée à la résistance interne du moteur. Cette résistance varie avec la température et avec la charge appliquée.

La précision du réglage de la vitesse que l'on peut obtenir dans de tels systèmes est de l'ordre de quelques pour cents

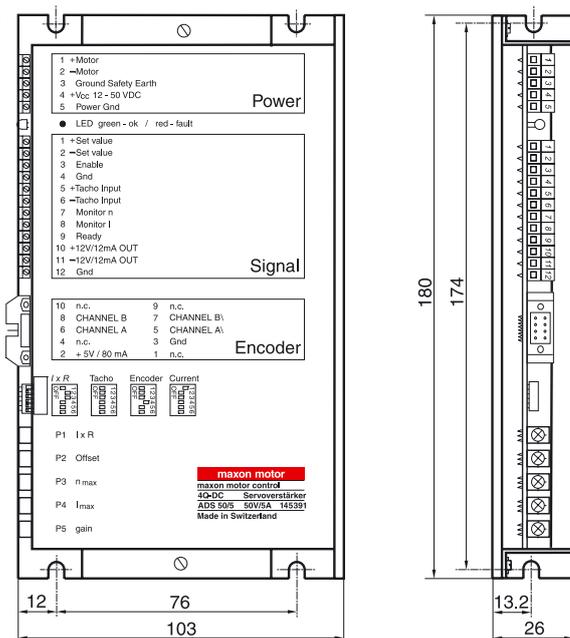
- Économie en prix et en place
- Pas de génératrice DC ou de codeur nécessaire
- Régulation peu précise en cas de forte variation de la charge
- Régulation de vitesse uniquement
- Idéal pour les applications «Low Cost» qui n'exigent pas une vitesse très précise



4-Q-DC Servoamplificateur ADS en boîtier modulaire



Dimensions en [mm]



Numéros de commande

ADS 50/10 Servoamplificateur 4-Q-DC
201583 Version POWER
en boîtier modulaire

ADS 50/5 Servoamplificateur 4-Q-DC
145391 Version STANDARD
en boîtier modulaire

Accessoires

235811 Chopper de frein

Données électriques

- Tension de service V_{CC} ondulation résiduelle < 5 % 12 - 50 VDC
- Tension de sortie max. $0.9 \times V_{CC}$
- Courant de sortie I_{max} :
ADS 50/10 POWER 20 A
ADS 50/5 STANDARD 10 A
- Courant de sortie continu I_{cont} :
ADS 50/10 POWER 10 A
ADS 50/5 STANDARD 5 A
- Cadence de l'étage final 50 kHz
- Rendement max. 95 %
- Largeur de bande de réglage 2.5 kHz
- Self interne du moteur:
ADS 50/10 POWER 75 μ H / 10 A
ADS 50/5 STANDARD 150 μ H / 5 A

Entrées

- Valeur de consigne «Set value» -10 ... +10 V ($R_i = 20 \text{ k}\Omega$)
- Circuit libre «Enable» +4 ... +50 V ($R_i = 15 \text{ k}\Omega$)
- Générateur DC min. 2 VDC, max. 50 VDC ($R_i = 14 \text{ k}\Omega$)
- Signaux codeurs Canal A, Av, B, Bv, max. 100 kHz, TTL

Sorties

- Moniteur courant «Monitor I», protégé contre les courts-circuits -10 ... +10 VDC ($R_o = 100 \Omega$)
- Moniteur vitesse «Monitor n», protégé contre les courts-circuits -10 ... +10 VDC ($R_o = 100 \Omega$)
- Message de surveillance «READY» Open collector max. 30 VDC ($I_L < 20 \text{ mA}$)

Sorties de tension

- Voltagés auxiliaires, protégé contre les courts-circuits +12 VDC, -12 VDC, max. 12 mA
- Alimentation codeur +5 VDC, max. 80 mA

Régulateur

- Compensation $I \times R$
- Offset
- n_{max}
- I_{max}
- gain

Affichage

- LED 2 couleurs READY / ERROR
vert = READY, rouge = ERROR

Plages de température et d'humidité

- Exploitation -10 ... +45°C
- Stockage -40 ... +85°C
- non condensé 20 ... 80 %

Données mécaniques

- Poids environ 400 g
- Fixation Flanc pour vis M4

Connexions

- Bornes LP (plaquette enfichable de bornes)
Alimentation (5 pôles), Signaux (12 pôles)
Pas de 3.81 mm
Recommandée du câble:
0.14 - 1 mm² fil fin
0.14 - 1.5 mm² fil simple
- Codeur connecteur selon DIN 41651 pour câble plat en trame de 1.27 mm avec AWG 28

Note

Voir page 258 pour les caractéristiques générales sur le 4-Q-DC variateur de vitesse ADS.

2 Données techniques

2.1 Caractéristiques électriques

Tension d'alimentation V_{CC} (ondulation tolérée < 5%)	12 - 50 VDC
Tension de sortie max	$0.9 \cdot V_{CC}$
Courant de sortie max I_{max}	10 A
Courant de sortie permanent I_{cont}	5 A
Fréquence de commutation	50 kHz
Rendement	95 %
Bande passante du régulateur de courant	2.5 kHz
Self de lissage intégrée	150 μ H / 5 A

2.2 Entrées

Valeurs de consigne "Set value"	-10 ... +10 V ($R_i = 20 \text{ k}\Omega$)
Enable	+4 ... +50 VDC ($R_i = 15 \text{ k}\Omega$)
Tension DC tacho "Tacho Input"	min. 2 VDC, max. 50 VDC ($R_i = 14 \text{ k}\Omega$)
Signaux codeur "Canaux A, A', B, B'"	max. 100 kHz, Niveau TTL

2.3 Sorties

Image du courant "Monitor I", protégé du court-circuit	-10 ... +10 VDC ($R_o = 100 \Omega$)
Image de la vitesse "Monitor n", protégé du court-circuit	-10 ... +10 VDC ($R_o = 100 \Omega$)
Message de surveillance "READY"	
collecteur ouvert, protégé du court-circuit	max. 30 VDC ($I_L \leq 20 \text{ mA}$)

2.4 Tension de sortie

Tension auxiliaire, protégée du court-circuit	+12 VDC, -12 VDC, max. 12 mA ($R_o = 1 \text{ k}\Omega$)
Tension d'alimentation du codeur	+5 VDC, max. 80 mA

2.5 Potentiomètres de réglage

Compensation $I \times R$	
Offset	
n_{max}	
I_{max}	
gain	

2.6 Indicateur LED

LED 2 couleurs	READY / ERROR
vert = ok, rouge = défaut	

2.7 Température / Humidité

Exploitation	-10 ... +45°C
Stockage	-40 ... +85°C
Humidité relative	20 ... 80 % non condensée

2.8 Caractéristiques mécaniques

Poids	ca. 400 g
Dimensions	voir dessin
Plaque de fixation	pour vis M4

2.9 Connexions

Bornes PCB	"Power" (5 pôles), Signal (12 pôles)
Pas	3.81 mm
Convenant pour sections de fils	0.14 - 1 mm ² fil fin torsadé ou 0.14 - 1.5 mm ² à un conducteur
Codeur	connecteur DIN41651 pour câble plat, pas de 1.27 mm, AWG 28

TABLE 5 – Variateur Maxon ADS 50 (<http://www.maxonmotor.com/>)

3 Câblage externe minimal pour les différents modes de fonctionnement

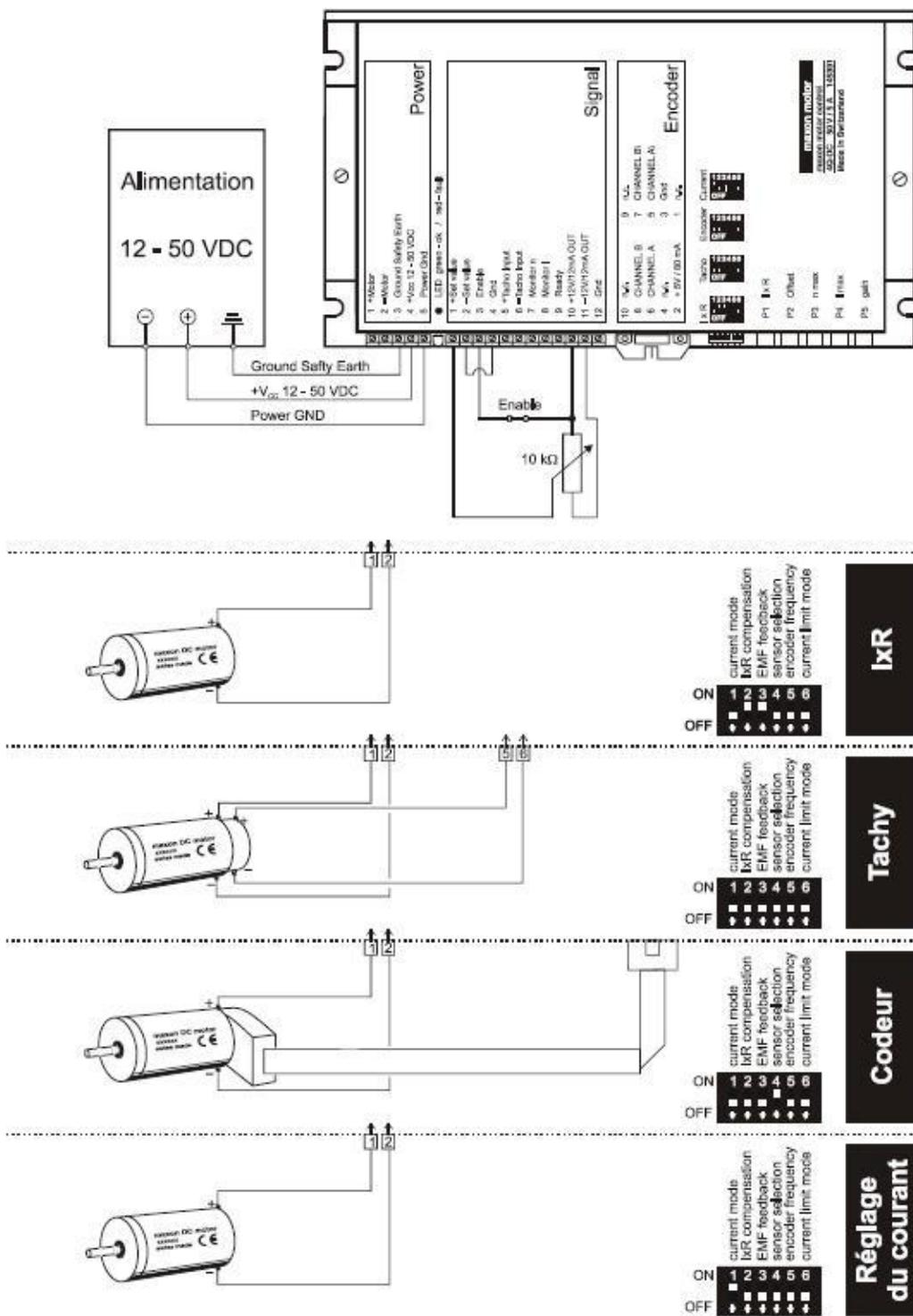
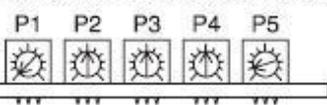


TABLE 6 – Variateur Maxon ADS 50 (<http://www.maxonmotor.com/>)

4.3 Ajustement des potentiomètres

4.3.1 Réglage de base

Le positionnement de base des potentiomètres permet d'obtenir un fonctionnement idéal.
Les appareils sous emballage original sont déjà préajustés en usine.



Réglage de base des potentiomètres		
P1	I _{xR}	0 %
P2	Offset	50 %
P3	n _{max}	50 %
P4	I _{max}	50 %
P5	gain	10 %

4.3.2 Ajustage

Mode: Réglage codeur
Réglage génératrice
tachymétrique
Réglage compensation
I_{xR}

1. Imposez la vitesse maximale (env. 10 V), puis tournez le potentiomètre **P3 n_{max}** jusqu'à l'obtention de la vitesse désirée.
2. Mettez le potentiomètre **P4 I_{max}** à la valeur limite désirée.
Le potentiomètre P4 permet d'ajuster le courant maximal dans le domaine de 0 ... 10 A de manière linéaire.
Important: La valeur limite I_{max} doit se trouver au-dessous du courant permanent maximum, figurant sur la fiche des caractéristiques du moteur et n'ose dépasser 5 A en permanence.
3. Augmentez le gain du potentiomètre **P5 gain** lentement, jusqu'à ce que l'amplification soit suffisante.
Attention: Si le moteur vibre ou fait du bruit, l'amplification est ajustée sur une valeur trop élevée.
4. Imposez une vitesse nulle, par exemple en court-circuitant la valeur de consigne d'entrée. Amenez la vitesse de rotation du moteur à zéro à l'aide du potentiomètre **P2 Offset**.

De plus, uniquement en cas de compensation I_{xR}:

5. Augmentez lentement le potentiomètre **P1 I_{xR}** jusqu'à ce que la compensation soit suffisante pour permettre au moteur de garder sa vitesse ou de la baisser très peu, en cas de forte charge.
Attention: Si le moteur vibre ou fait du bruit, l'amplification est ajustée sur une valeur trop élevée.

Mode:
Réglage du courant

1. Mettre le potentiomètre **P4 I_{max}** à la valeur limite désirée.
Le potentiomètre P4 permet d'ajuster le courant maximal dans le domaine de 0 ... 10 A de manière linéaire.
Important: La valeur limite I_{max} doit se trouver au-dessous du courant permanent maximum, figurant sur la fiche des caractéristiques du moteur et n'ose dépasser 5 A en permanence
2. Appliquer la tension prévue de 0 V et régler à l'aide du potentiomètre **P2 Offset** le courant du moteur à 0 A.

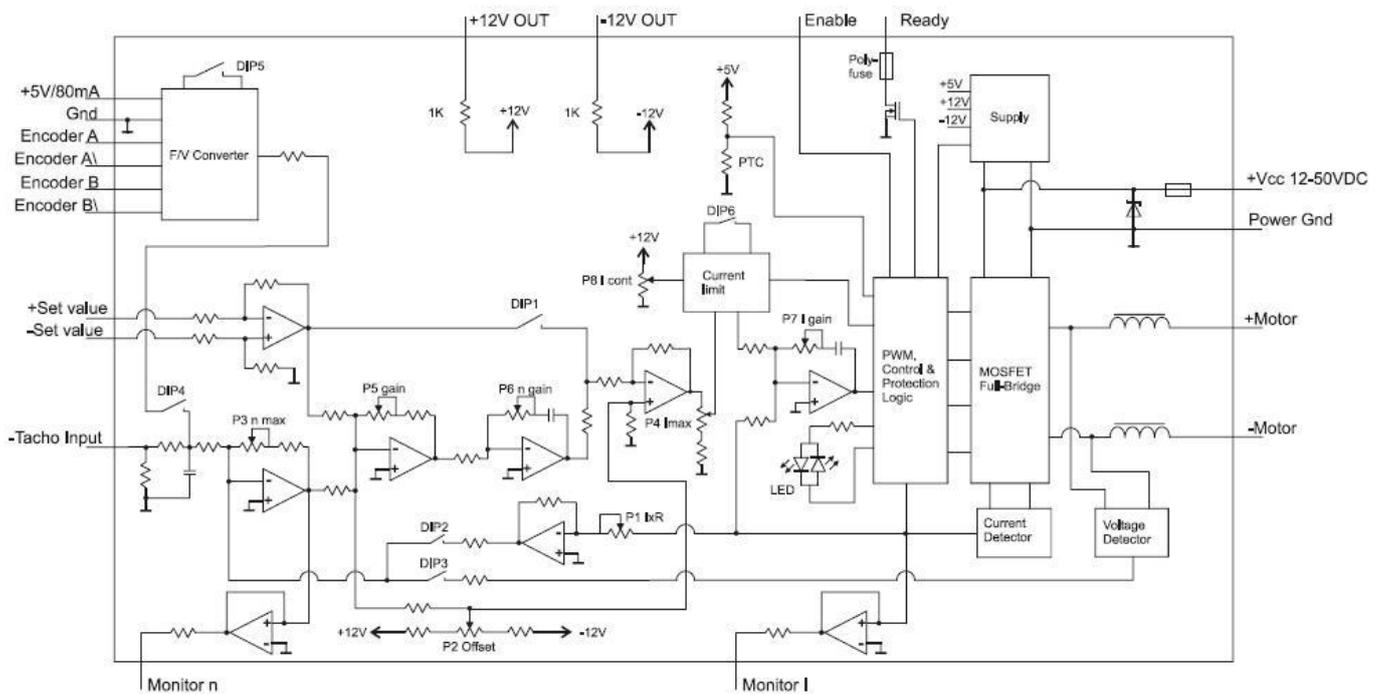
Remarque 1:

Valeur -10 ... +10 V correspond à un courant moteur de +I_{max} ... -I_{max}.

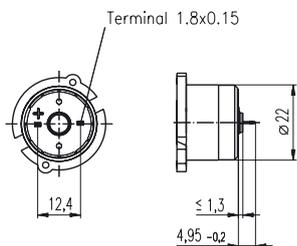
Remarque 2:

En fonctionnement comme régulateur de courant, les potentiomètres P1, P3 et P5 gain sont inactifs.

10 Schéma bloc

TABLE 8 – Variateur Maxon ADS 50 (<http://www.maxonmotor.com/>)

Génératrice DCT 22, 0.52 Volt



Informations importantes

- Génératrice équipée du rotor sans fer maxon.
- Génératrice avec commutation en métaux précieux.
- Inertie du système = inertie rotor moteur + inertie rotor génératrice.
- Le rotor génératrice tourne dans le même sens que le rotor moteur (la rotation du moteur en sens horaire, vu en bout d'axe, fournit une tension positive sur la cosse marquée +).
- Il est recommandé d'utiliser un amplificateur à haute impédance d'entrée.
- La génératrice ne doit pas être trop chargée en courant.
- La fréquence de résonance donnée provient des systèmes rotor-moteur et rotor-TG.

- Programme Stock
- Programme Standard
- Programme Spécial (sur demande!)

Numéros de commande

118908	118909	118910
--------	--------	--------

Type	2	3	4
Diamètre de l'arbre (mm)			

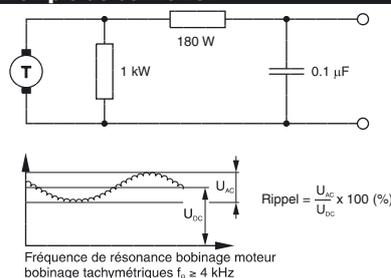


Combinaison				Longueur totale [mm]	voir: + Réducteur
+ Moteur	Page	+ Réducteur	Page		
RE 25, 10 W	77			76.8	
RE 25, 10 W	77	GP 26, 0.5 - 2.0 Nm	216	•	
RE 25, 10 W	77	GP 32, 0.75 - 4.5 Nm	218	•	
RE 25, 10 W	77	GP 32, 1.0 - 6.0 Nm	220	•	
RE 25, 10 W	77	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222	•	
RE 25, 20 W	78			76.8	
RE 25, 20 W	78	GP 26, 0.5 - 2.0 Nm	216	•	
RE 25, 20 W	78	GP 32, 0.75 - 4.5 Nm	218	•	
RE 25, 20 W	78	GP 32, 1.0 - 6.0 Nm	220	•	
RE 25, 20 W	78	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222	•	
RE 26, 18 W	79			79.8	
RE 26, 18 W	79	GP 26, 0.5 - 2.0 Nm	216	•	
RE 26, 18 W	79	GP 32, 0.75 - 4.5 Nm	218	•	
RE 26, 18 W	79	GP 32, 1.0 - 6.0 Nm	220	•	
RE 26, 18 W	79	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222	•	
RE 35, 90 W	81				89.0
RE 35, 90 W	81	GP 32, 0.75 - 4.5 Nm	219	•	
RE 35, 90 W	81	GP 32, 1.0 - 6.0 Nm	220	•	
RE 35, 90 W	81	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224	•	
RE 36, 70 W	82			89.3	
RE 36, 70 W	82	GP 32, 0.75 - 4.5 Nm	219	•	
RE 36, 70 W	82	GP 32, 1.0 - 6.0 Nm	220	•	
RE 36, 70 W	82	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222	•	
RE 36, 70 W	82	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224	•	

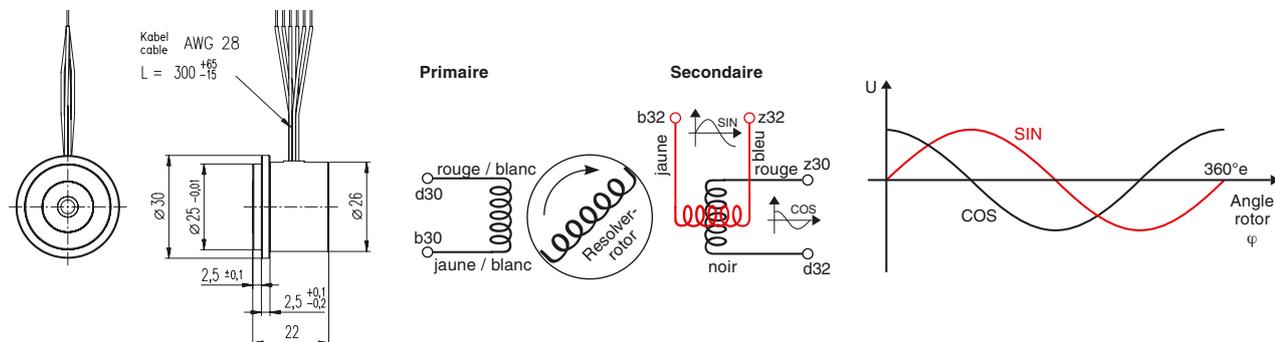
Données techniques

Tension de sortie par 1000 tr / min	0.52 V	Courant max. conseillé	10 mA
Résistance connectée tachymétrique	56.6 Ω	Tolérance de la tension de sortie	± 15 %
Ondulation moyenne effective crête à crête	≤ 6 %	Inertie du rotor génératrice	< 3 gcm ²
Nombre d'ondulations par tour	14	Fréq. de résonance avec le mot. des p. 77 - 79	> 2 kHz
Linéarité entre 500 et 5000 tr / min à vide	± 0.2 %	avec le moteur des pages 86, 88	> 3 kHz
Linéarité avec résistance de charge de 10 kΩ	± 0.7 %	avec le moteur des pages 81, 82	> 4.5 kHz
Erreur d'inversion	± 0.1 %	Plage de températures	-20 ... +65°C
Coefficient de température de la FEM (aimant)	-0.02 % /°C		
Coefficient de temp. sur résistance d'induit	+0.4 % /°C	Option: également livrable avec des fils de connexion.	

Exemple de connexion



Résolveur Res 26, 10 Volt



- Programme Stock
- Programme Standard
- Programme Spécial (sur demande!)

Numéros de commande

166488	133405	268912	216287
--------	--------	--------	--------

Type	4	6	6	6
Diamètre de l'arbre (mm)	4	6	6	6



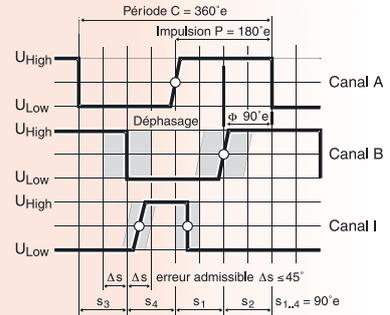
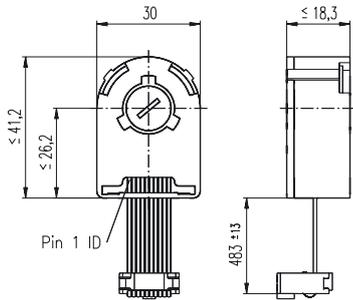
Combinaison				Longueur totale [mm] / • voir: + Réducteur
+ Moteur	Page	+ Réducteur	Page	
EC 32, 80 W	159			80.1
EC 32, 80 W	159	GP 32, 0.75 - 4.5 Nm	219	•
EC 32, 80 W	159	GP 32, 1.0 - 6.0 Nm	221	•
EC 40, 120 W	160			96.6
EC 40, 120 W	160	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224	•
EC 40, 120 W	160	GP 52, 4.0 - 30 Nm	227	•
EC 45, 150 W	161			111.2
EC 45, 150 W	161	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224	•
EC 45, 150 W	161	GP 52, 4.0 - 30 Nm	227	•
EC 45, 250 W	162			144.0
EC 45, 250 W	162	GP 42, 3.0 - 15 Nm	225	•
EC 45, 250 W	162	GP 52, 4.0 - 30 Nm	227	•
EC 45, 250 W	162	GP 62, 8.0 - 50 Nm	229	•
EC 60, 400 W	165			177.3
EC 60, 400 W	165	GP 81, 20 - 120 Nm	230	•

Données techniques

Tension d'entrée	10 V peak, 10 kHz	Moment d'inertie du rotor	6 gcm ²
Transformation	0.5	Poids	40 g
Erreur électrique	± 10 minutes	Plage de températures	-55 ... +155°C

maxon tachometer

Codeur HEDL 5540, 500 impulsions, 3 canaux, avec Line Driver RS 422



- Programme Stock
- Programme Standard
- Programme Spécial (sur demande!)

Nombres de commande

110512	110514	110516	110518
--------	--------	--------	--------

Type	110512	110514	110516	110518
Nombre d'impulsions par tour	500	500	500	500
Nombre de canaux	3	3	3	3
Fréquence impulsionnelle max. (kHz)	100	100	100	100
Diamètre de l'arbre (mm)	3	4	6	8



Combinaison

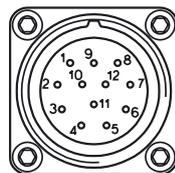
+ Moteur	Page	+ Réducteur	Page	+ Frein	Page	Longueur totale [mm] / voir: + Réducteur
RE 25, 10 W*	77					75.3
RE 25, 10 W*	77	GP 26, 0.5 - 2.0 Nm	216			•
RE 25, 10 W*	77	GP 32, 0.75 - 6.0 Nm	218/220			•
RE 25, 10 W*	77	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222			•
RE 25, 20 W*	78					75.3
RE 25, 20 W*	78	GP 26, 0.5 - 2.0 Nm	216			•
RE 25, 20 W*	78	GP 32, 0.75 - 6.0 Nm	218/220			•
RE 25, 20 W*	78	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222			•
RE 26, 18 W*	79					77.2
RE 26, 18 W*	79	GP 26, 0.5 - 2.0 Nm	216			•
RE 26, 18 W*	79	GP 32, 0.75 - 6.0 Nm	218/220			•
RE 26, 18 W*	79	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222			•
RE 35, 90 W*	81					91.9
RE 35, 90 W*	81	GP 32, 0.75 - 6.0 Nm	219/220			•
RE 35, 90 W*	81	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224			•
RE 35, 90 W*	81			AB 40	279	124.1
RE 35, 90 W*	81	GP 32, 0.75 - 6.0 Nm	219/220	AB 40	279	•
RE 35, 90 W*	81	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224	AB 40	279	•
RE 36, 70 W*	82					92.2
RE 36, 70 W*	82	GP 32, 0.75 - 6.0 Nm	219/220			•
RE 36, 70 W*	82	GP 32, 0.4 - 2.0 Nm	222			•
RE 36, 70 W*	82	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224			•
RE 40, 150 W*	83					91.7
RE 40, 150 W*	83	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224			•
RE 40, 150 W*	83	GP 52, 4.0 - 30 Nm	227			•
RE 40, 150 W*	83			AB 40	279	124.2
RE 40, 150 W*	83	GP 42, 3.0 - 15 Nm	224	AB 40	279	•
RE 40, 150 W*	83	GP 42, 4.0 - 30 Nm	227	AB 40	279	•
RE 75, 250 W	84					241.5
RE 75, 250 W	84	GP 81, 20 - 120 Nm	230			•
RE 75, 250 W	84			AB 75	282	281.4
RE 75, 250 W	84	GP 81, 20 - 120 Nm	230	AB 75	282	•

*Connectique voir page 245

Données techniques

Tension d'alimentation	5 V ± 10 %
Signal de sortie	EIA Standard RS 422
Drives utilisées:	DS26LS31
Déphasage Φ (nominal)	90°e
Distance entre flancs s	min. 45°e
Temps de montée du signal (typique avec C _L = 25 pF, R _L = 2.7 kΩ, 25°C)	180 ns
Temps de descente du signal (typique avec C _L = 25 pF, R _L = 2.7 kΩ, 25°C)	40 ns
Largeur (nominale) d'impulsion d'index	90°e
Plage de températures	0 ... +70°C
Moment d'inertie du disque	≤ 0.6 gcm ²
Accélération angulaire max.	250 000 rad s ⁻²
Courant par canal	min. -20 mA, max. 20 mA
Option	1000 impulsions, 2 canaux

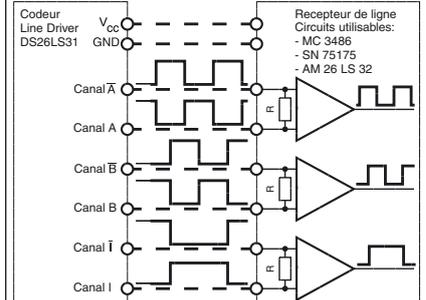
Connectique pour moteur RE 75



Connectique Type SOURIAU 8GM-QL2-12P

- 1 V_{CC}
 - 2 N.C. (non utilisé)
 - 3 GND
 - 4 N.C. (non utilisé)
 - 5 Canal I (Index)
 - 6 Canal I
 - 7 Canal B
 - 8 Canal B
 - 9 Canal A
 - 10 Canal A
 - 11 N.C. (non utilisé)
 - 12 N.C. (non utilisé)
- Connecteurs conseillés
Type SOURIAU 8GM-DM2-12S (métal sortie droite)
maxon Art. No. 2675.538 ou 8G-V2-12S ((plastique, angle à 90°: maxon Art. No. 2675.539)

Exemple de connexion



Résistance terminale R = typique 100 Ω

Bibliographie

- [Bernot 99] F. Bernot. *Machines à Courant Continu. Constitution et fonctionnement*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, pages D 3555 1–14, 1999.
- [Louis 02a] J.-P. Louis et C. Bergmann. *Commande Numérique. Convertisseur- Moteur à Courant Continu*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, pages D 3641 1–33, 2002.
- [Louis 02b] J.-P. Louis et C. Bergmann. *Commande Numérique des Machines. Evolution des Commandes*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, pages D 3640 1–17, 2002.
- [Louis 02c] J.-P. Louis, B. Multon, Y. Bonnassieux et M. Lavabre. *Commande des Machines à Courant Continu (mcc) à Vitesse Variable*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, pages D 3610 1–17, 2002.
- [Louis 02d] J.-P. Louis, B. Multon, Y. Bonnassieux et M. Lavabre. *Régulation des mcc. Structure générale*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, pages D 3612 1–12, 2002.