FAULHABER

Moteurs C.C.
Informations Techniques

WE CREATE MOTION

FR

Micromoteurs C.C.

Informations techniques

Informations générales

La bobine FAULHABER :
Inventée à l'origine par Fritz Faulhaber Sr. et brevetée en 1958, la bobine à rotor sans fer, autoportante et à bobinage oblique est au cœur de chaque moteur C.C. FAULHABER. Cette technologie révolutionnaire a eu un impact profond sur de nombreux secteurs industriels et a ouvert de nouvelles possibilités d'application pour les moteurs C.C. en les adaptant aux systèmes exigeant les puissances les plus élevées, les performances dynamiques optimales, la plus petite dimension possible et le poids le plus minime. Les principaux avantages de cette technologie incluent les caractéristiques suivantes :

- Pas de couple de détente, ce qui permet un positionnement souple, le contrôle de la vitesse et une plus grande efficacité générale qu'avec d'autres types de moteurs C.C.
- Couple et puissance extrêmement élevés par rapport à la dimension et au poids du moteur
- Relation linéaire absolue entre la charge et le régime, le courant et le couple ainsi que la tension et la vitesse
- La très faible inertie du rotor assure d'excellentes caractéristiques dynamiques pour le démarrage et l'arrêt
- EMI et ondulation du couple extrêmement basses

Types de moteur C.C. :
Les moteurs C.C. FAULHABER sont construits avec deux types différents de systèmes de commutation: la commutation métaux précieux et la commutation graphite.

La « commutation métaux précieux » se rapporte aux matériaux qui sont utilisés dans les balais et dans le commutateur et sont constitués d'alliages de métaux précieux ultraperformants. Ce type de système de commutation est utilisé principalement en raison de sa très petite taille, de sa très faible résistance de contact et de son signal de commutation très précis. Ce système de commutation est particulièrement bien adapté aux applications à faible courant, tels que les appareils fonctionnant avec des batteries.

Dans la plupart des cas, les moteurs à commutation métaux précieux fournissent les meilleures performances générales en régime continu avec une charge correspondant précisément ou approximativement au point d'efficacité nominale maximale.

La « commutation graphite » se rapporte au matériau utilisé dans les balais en lien avec un commutateur en alliage de cuivre. Ce type de système de commutation est très robuste et convient mieux aux applications dynamiques à haute intensité avec démarrages et arrêts rapides ou conditions de surcharge périodiques.

Aimants :
Les moteurs C.C. FAULHABER sont conçus avec différents types d'aimants qui correspondent aux différentes puissances des types de moteur. Ces éléments comprennent des aimants AlNiCo et des types ultraperformants à terres rares comme le SmCo et le NdFeB.

Durée de fonctionnement :
La durée de fonctionnement d'un moteur C.C. FAULHABER dépend principalement du point de travail et des conditions ambiantes pendant le fonctionnement. Le nombre total d'heures de fonctionnement peut donc varier considérablement : de quelques centaines d'heures dans des conditions extrêmes à plus de 25 000 heures dans des conditions optimales. Dans des conditions de charge typique, la durée de fonctionnement d'un moteur C.C. FAULHABER est de 1000 à 5000 heures.

Généralement, la durée de fonctionnement d'un moteur C.C. FAULHABER est limitée par les effets de l'usure électrique et mécanique sur le commutateur et les balais. L'usure électrique (formation d'étincelles) dépend fortement de la charge électrique et de la vitesse du moteur. Si la charge électrique et la vitesse augmentent, la durée de fonctionnement typique du moteur diminue. Les effets de l'usure électrique sont plus significatifs pour les moteurs avec commutation métaux précieux et varient selon la tension nominale de la bobine. C'est pourquoi les moteurs C.C. FAULHABER sont équipés, si c'est nécessaire, d'un système de suppression des étincelles intégré afin de réduire au minimum les effets négatifs de la formation d'étincelles sur la durée de fonctionnement.

L'usure mécanique du système de commutation dépend de la vitesse du moteur et augmente parallèlement à celle-ci. Pour les applications avec vitesses et charges supérieures aux spécifications, les moteurs à commutation graphite assurent généralement une plus longue durée de fonctionnement. Il est également important de ne pas dépasser, en régime continu, les caractéristiques de charge pour les paliers du moteur indiquées dans la fiche technique. Tout excès réduirait la durée de vie possible du moteur.

Les autres facteurs limitant la longévité du moteur incluent les conditions ambiantes, telles que l'humidité et la température excessives, les vibrations et les chocs excessifs ainsi que les configurations de montage incorrectes ou non optimales du moteur dans l'application.

Il est également important de noter que la méthode d'entraînement et de commande du moteur a une grande influence sur la durée de fonctionnement du moteur. Pour une commande avec signal PWM, FAULHABER recommande une fréquence minimale de 20 kHz.

Modifications :
FAULHABER s'est spécialisé dans la configuration de ses produits standard en fonction des applications du client. Les modifications disponibles pour les moteurs C.C. FAULHABER incluent :

- nombreux autres types de tension nominale
- fils (PTFE et PVC) et connecteurs de moteur
- longueurs d'arbre configurables et deuxième extrémité d'arbre
- modifications de la dimension des arbres et des configurations des pignons, telles que des surfaces, des roues dentées, des poulies et des excentriques
- modifications pour fonctionnement à très haute et très basse température
- modifications pour fonctionnement dans le vide (à partir de 10^{-5} Pa)
- modifications pour applications avec vitesses et/ou charges élevées
- modifications pour moteurs avec tolérances électriques ou mécaniques plus étroites que les tolérances standard

Combinaisons de produits
Pour tous ses moteurs C.C., FAULHABER propose, dans sa branche, le plus large choix de produits sur mesure complémentaires, dont :

- des réducteurs de précision (planétaires, à étages et à faible jeu angulaire)
- des codeurs à haute résolution (incrémentaux et absolus)
- des systèmes électroniques d'entraînement ultraperformants (contrôleurs de vitesse, contrôleurs de mouvement)

Notes sur la fiche technique

Les valeurs suivantes sont mesurées ou calculées à la tension nominale et à une température ambiante de 22 °C.

Tension nominale U_N [V]
La tension nominale à laquelle toutes les autres caractéristiques indiquées sont mesurées et évaluées.

Résistance de l'induit R [Ω] ±12 %
La résistance mesurée aux bornes du moteur. Sa valeur varie selon la température de la bobine.
(Coefficient de température: α_{22} = 0,004 K^{-1}).
Ce type de mesure n'est pas possible pour les moteurs à commutation graphite en raison de la résistance de transition des balais.

Rendement $\eta_{max.}$ [%]
Le rapport maximal entre la puissance électrique absorbée et la puissance mécanique fournie par le moteur.

$$\eta_{max.} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_o \cdot R}{U_N}}\right)^2$$

Vitesse à vide n_o [min^{-1}] ±12 %
C'est la vitesse atteinte par le moteur sans charge après stabilisation et à une température ambiante de 22 °C. Sauf spécification contraire, la tolérance en régime à vide est présumée être de ±12 %.

$$n_o = \frac{U_N - (I_o \cdot R)}{2\pi \cdot k_M}$$

Courant à vide (typique) I_o [A]
C'est la consommation de courant typique du moteur sans charge à une température ambiante de 22 °C et après stabilisation.

Le courant à vide dépend du régime et de la température. Les changements de la température ambiante ou des conditions de refroidissement influent sur la valeur. De plus, les

modifications de l'arbre, des roulements, de la lubrification et du système de commutation ou des combinaisons avec d'autres composants, tels que les réducteurs ou les codeurs, influent sur le courant à vide du moteur.

Couple de démarrage M_H [mNm]
C'est le couple développé par le moteur à vitesse nulle (rotor bloqué) et à la tension nominale. Cette valeur peut varier en fonction du type d'aimant, de la température et de la température de la bobine.

$$M_H = k_M \cdot \frac{U_N}{R} - M_R$$

Couple de frottement M_R [mNm]
C'est le couple de pertes de causées par le frottement des balais, du commutateur et des paliers. Cette valeur varie en fonction de la température.

$$M_R = k_M \cdot I_o$$

Constante de vitesse k_n [min^{-1}/V]
C'est la variation de vitesse par volt appliqué aux bornes du moteur à charge constante.

$$k_n = \frac{n_o}{U_N - I_o \cdot R} = \frac{1}{k_E}$$

Constante FEM k_E [mV/min^{-1}]
C'est la constante correspondant à la relation entre la tension induite dans le rotor et la vitesse de rotation.

$$k_E = 2\pi \cdot k_M$$

Constante de couple k_M [mNm/A]
C'est la constante correspondant à la relation entre le couple développé par le moteur et le courant consommé.

Constante de courant k_I [A/mNm]
C'est la constante entre le courant de la bobine du moteur et le couple développé à l'arbre de sortie.

$$k_I = \frac{1}{k_M}$$

Pente de la courbe n-M $\Delta n/\Delta M$ [min^{-1}/mNm]
C'est le rapport de la variation de la vitesse et de la variation du couple. Plus cette valeur est faible, meilleure est la performance du moteur.

$$\frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{R}{k_M^2} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

Inductance du rotor L [µH]
C'est l'inductance mesurée aux bornes du moteur à 1 kHz.

Constante de temps mécanique τ_m [ms]
C'est le temps nécessaire au moteur pour atteindre 63 % de la vitesse finale à vide à partir d'une position arrêtée.

$$\tau_m = \frac{R \cdot J}{k_M^2}$$

Inertie de rotor J [gcm^2]
C'est le moment d'inertie dynamique du rotor.

Accélération angulaire $\alpha_{max.}$ [rad/s^2]
C'est l'accélération au démarrage sans charge et à la tension nominale.

$$\alpha_{max.} = \frac{M_H}{J}$$

Résistances thermiques R_{th1}, R_{th2}, $R_{th2\,p}$, $R_{th2\,m}$ [K/W]
R_{th1} correspond à la résistance thermique entre le bobinage et le boîtier. R_{th2} correspond à la résistance thermique entre le boîtier et l'air ambiant.
$R_{th2\,p}$ correspond à la résistance thermique d'un moteur fixé à la bride en plastique par rapport à l'environnement. $R_{th2\,m}$ correspond à la résistance thermique d'un moteur fixé à la bride métallique par rapport à l'environnement. Les valeurs R_{th2} peuvent être réduites en permettant un échange de chaleur entre le moteur et l'environnement (par exemple par une ventilation forcée).

Constantes de temps thermiques τ_{w1}, τ_{w2}, $\tau_{w2\,p}$, $\tau_{w2\,m}$ [s]
C'est le temps nécessaire à le bobinage (τ_{w1}) et au boîtier ($\tau_{w2\,p}$, $\tau_{w2\,m}$) pour atteindre une température égale à 63 % de la valeur finale après stabilisation.

Température d'utilisation [°C]
Indique la température minimale et maximale de fonctionnement du moteur standard, ainsi que la température maximale autorisée de la bobine du moteur standard.

Paliers de l'arbre
Les paliers utilisés pour les micromoteurs C.C.

Charge max. sur l'arbre [N]
La charge de l'arbre de sortie pour un diamètre d'arbre de sortie primaire spécifié. Les valeurs de charge et de durée de vie pour les moteurs munis de roulements à billes sont conformes aux valeurs indiquées par les fabricants de roulements. Cette valeur ne s'applique pas à la deuxième extrémité de l'arbre (arbre postérieur).

Jeu de l'arbre [mm]
Le jeu mesuré entre l'arbre et les paliers, y compris le jeu supplémentaire du palier dans le cas de roulements à billes.

Matériau du boîtier
Le matériau du boîtier et la protection de surface.

Masse [g]
La masse typique du moteur dans sa configuration standard.

Sens de rotation
Le sens de rotation vu côté face avant. Une tension positive appliquée au pôle (+) fait tourner l'arbre du moteur dans le sens des aiguilles d'une montre. Tous les moteurs sont conçus pour fonctionner dans le sens horaire (SH/CW) et dans le sens antihoraire (SAH/CCW) ; le sens de rotation est réversible.

Vitesse jusqu'à $n_{max.}$ [min^{-1}]
La vitesse max. recommandée du moteur en régime continu. Cette valeur est basée sur le régime de fonctionnement recommandé pour la bobine, le système de commutation et les paliers de moteur standard. Toutes les valeurs supérieures à celles-ci affectent négativement la durée de fonctionnement maximale possible du moteur.

Nombre de paires de pôles
Nombre de paires de pôles du moteur standard.

Matériau de l'aimant
Type de base de l'aimant utilisé dans le moteur standard.

Tolérances mécaniques non spécifiées :
Tolérances conformes à la norme ISO 2768.

≤	6	= ± 0,1 mm
≤	30	= ± 0,2 mm
≤	120	= ± 0,3 mm

Les tolérances de valeurs non spécifiées sont fournies sur demande.

Toutes les dimensions mécaniques liées à l'arbre du moteur sont mesurées avec une précharge axiale sur l'arbre dans la direction du moteur.

Valeurs nominales pour régime continu

Les valeurs suivantes sont mesurées ou calculées à la tension nominale et à une température ambiante de 22 °C.

Couple nominal M_N [mNm]

Pour moteurs C.C. à commutation métaux précieux :
Le couple maximal en régime continu à la tension nominale aboutissant à un courant stable et à une vitesse n'excédant pas la capacité des balais et du système de commutation. Le couple nominal est calculé à proximité de l'application avec le $R_{th2\,p}$ au niveau de la bride en plastique. Cette valeur peut être dépassée sans risque si le moteur fonctionne en mode intermittent, par exemple en mode S2 et/ou si le refroidissement est intensifié. À des fins de mesure, certains moteurs sont limités à la vitesse résultante mesurée (< 2500 min^{-1}) à la tension nominale.

En les choisissant, veuillez tenir compte du fait que les moteurs à commutation métaux précieux fournissent les meilleures performances générales en régime continu au point d'efficacité maximale ou à proximité de celui-ci. Pour les conditions de travail en régime continu telles que le moteur doit fonctionner à un niveau proche de ses limites thermiques, un moteur C.C. à commutation graphite est recommandé.

Pour moteurs C.C. à commutation graphite :
Le couple maximal en régime continu (mode S1) à la tension nominale aboutissant à une température stable n'excédant pas la température maximale de la bobine et/ou la plage de température de fonctionnement du moteur. La mesure est effectuée sur le moteur avec une réduction de la valeur R_{th2} de 25 %, ce qui correspond approximativement au refroidissement disponible avec une configuration de montage typique du moteur. Cette valeur peut être dépassée sans risque si le moteur fonctionne en intermittent, par exemple, en mode S2 et/ou si le refroidissement est intensifié.

Courant nominal (limite thermique) I_N [A]
C'est le courant continu maximal typique après stabilisation résultant du couple nominal en régime continu. Cette valeur inclut les effets d'une perte de k_m (couple constant) du fait qu'elle se rapporte au coefficient de température de la bobine ainsi qu'aux caractéristiques thermiques du matériau de l'aimant. Cette valeur peut être dépassée sans risque si le moteur fonctionne en intermittent, pendant le démarrage/l'arrêt, au cours des phases de montée en puissance du cycle de fonctionnement et/ou si le refroidissement est intensifié. Pour certaines séries et certains types à faible tension, ce courant est limité par la capacité du système de balais et de commutation.

Vitesse nominale n_N [min^{-1}]
La vitesse typique après stabilisation résultant de l'application d'un couple nominal donné. Cette valeur inclut les effets de l'échauffement du moteur sur la pente de la courbe de n/M. Il est possible d'atteindre des vitesses supérieures en augmentant la tension d'entrée du moteur ; cependant le courant nominal (limite thermique) reste identique.

Exemple : Diagramme de puissance pour les valeurs nominales en service permanent (commutation graphite)

Notes sur le diagramme de puissance

Le diagramme indique la vitesse recommandée en fonction du couple disponible sur l'arbre de sortie à une température ambiante donnée de 22°C. Le diagramme montre le moteur dans différentes conditions de couplage thermique, c.-à-d. monté respectivement sur une flasque plastique ou métallique.

La zone en pointillés désigne les points de fonctionnement possibles, permettant d'utiliser l'entraînement en mode intermittent ou dans des conditions de refroidissement accru.

Couple continu M_D [mNm]
Couple continu maximal recommandé après stabilisation, à la tension nominale et avec une réduction de la valeur R_{th2}, $R_{th2\,p}$ de 50 % pour la commutation graphite ou de 0 % pour la commutation métaux précieux. Pour les moteurs à balais, le couple continu correspond au couple nominal M_N. La valeur est indépendante de la puissance continue et elle peut être dépassée si le moteur fonctionne en mode intermittent et/ou si le refroidissement est intensifié.

Puissance continue P_D [W]
Puissance maximale possible en régime continu, après stabilisation et avec une réduction de la valeur R_{th2}, $R_{th2\,p}$ de 50 %. La valeur est indépendante du couple continu et elle peut être dépassée si le moteur fonctionne en mode intermittent et/ou si le refroidissement est intensifié.

Caractéristique de tension nominale U_N [V]
La courbe de tension nominale désigne les points de fonctionnement pour U_N avec et sans refroidissement. Après stabilisation, le point de départ correspond à la vitesse à vide n_0 de l'entraînement. Une augmentation de la tension nominale permet d'atteindre les points de fonctionnement situés au-dessus de cette courbe et une diminution de la tension nominale permet d'atteindre ceux situés en dessous de la courbe.

Comment choisir un micromoteur C.C.

Cette section indique une méthode systématique et très simple de sélection d'un micromoteur C.C. pour une application exigeant un fonctionnement avec couple continu sous charge et conditions ambiantes constantes. L'exemple indique les calculs nécessaires à la détermination d'une courbe de base de la puissance du moteur destinée à décrire le comportement du moteur dans l'application. Pour simplifier le calcul, l'exemple ci-après est supposé en régime continu, avec une durée de vie optimisée, sans prise en compte des influences de la température et des tolérances.

Paramètres d'application :

Les données de base nécessaires pour toute application sont :

Couple spécifié	M
Vitesse requise	n
Cycle de service	δ
Tension d'alimentation max.	U
Courant d'alimentation max.	I
Espace disponible max.	diamètre/longueur
Charge sur l'arbre	radiale/axiale
Température ambiante	

Pour l'exemple retenu, nous supposons les caractéristiques suivantes:

Couple spécifié	M	= 3	mNm
Vitesse requise	n	= 5 500	min^{-1}
Cycle de service	δ	= 100	%
Tension d'alimentation	U	= 20	V
Courant d'alimentation max.	I	= 0,5	A
Espace disponible max.	diamètre	= 25	mm
	longueur	= 50	mm
Charge sur l'arbre	radiale	= 1,0	N
	axiale	= 0,2	N
Température ambiante		= 22 °C	constante

Présélection
La première étape consiste à calculer la puissance mécanique du moteur.

$$P_2 = M \cdot 2\,\pi n$$

$$P_2 = 3\ \text{mNm} \cdot 5\,500\ \text{min}^{-1} \cdot 2\pi \quad = 1{,}73 \quad \text{W}$$

Deuxièmement, comparez les dimensions physiques (diamètre et longueur) avec les tailles de moteur fournies dans les fiches techniques. Ensuite, à partir des tailles de moteur disponibles, comparez le couple de sortie requis et le diagramme pour les zones de fonctionnement recommandées pour les types de moteur en question. Veuillez choisir un type de moteur pour lequel le couple de sortie requis et la vitesse sont bien à l'intérieur des limites fournies dans le diagramme. Pour un résultat optimal, il est recommandé de faire fonctionner le moteur proche du « point de fonctionnement à la valeur nominale » indiqué dans le diagramme. Veuillez noter que le diagramme dans

la fiche technique est un exemple représentatif d'un type de tension nominale et qu'il doit uniquement être utilisé à des fins d'orientation.

Le moteur sélectionné au catalogue pour l'application choisie est **la série 2224 U 024 SR** ayant les caractéristiques suivantes :

Tension nominale	U_N	= 24	V
Dimensions	Ø	= 22	mm
	L	= 24	mm
Charge sur l'arbre max.	radiale	= 1,5	N
	axiale	= 0,2	N
Courant à vide	I_o	= 0,007	A
Vitesse à vide	n_o	= 7 800	min^{-1}
Couple de démarrage	M_H	= 19	mNm

Optimisation des points de travail
Pour optimiser le fonctionnement du moteur et sa durée de vie, la vitesse demandée n doit être supérieure à la moitié de la vitesse à vide n_o à la tension nominale et le couple de demandé M doit être inférieur à la moitié du couple de démarrage M_H.

$$n \geq \frac{n_o}{2} \qquad M \leq \frac{M_H}{2}$$

Ainsi, les caractéristiques indiquées pour **la série 2224 U 024 SR** correspondent aux exigences demandées.

$$n = 5\,500\ min^{-1} \quad > \quad \frac{7\,800\ min^{-1}}{2} = 3\,900\ min^{-1} = \frac{n_o}{2}$$

$$M = 3\ mNm \quad < \quad \frac{19\ mNm}{2} = 9{,}5\ mNm = \frac{M_H}{2}$$

Ce moteur C.C. est une première option qui devra être testée dans l'application. Si la vitesse demandée n s'avère inférieure à la moitié de la vitesse à vide n_o et si le couple demandé M est inférieur à la moitié du couple de démarrage M_H, il faudra prendre le même moteur mais avec une tension nominale U_N supérieure. Si le couple demandé M est conforme mais la vitesse désirée n est inférieure à la moitié de la vitesse à vide n_o, il faudra choisir une tension d'alimentation plus basse ou un moteur plus petit.

Si la vitesse demandée est très inférieure à la moitié de la vitesse à vide et/ou le couple demandé M est supérieur à la moitié du couple de démarrage M_H, il faudra choisir un réducteur ou un moteur plus puissant.

Caractéristiques à tension nominale (24 V)
Une représentation graphique des caractéristiques du moteur peut être obtenue en calculant le courant de démarrage I_N et le couple au point maximum de rendement $M_{opt.}$. Tous les autres paramètres se trouvent dans la fiche technique du moteur choisi.

Courant de démarrage

$$I_H = \frac{U_N}{R}$$

$$I_H = \frac{24\ V}{36{,}3\ \Omega} = 0{,}661\ A$$

Couple au rendement max.

$$M_{opt.} = \sqrt{M_H \cdot M_R}$$

$$M_{opt.} = \sqrt{19\ mNm \cdot 0{,}2\ mNm} = 1{,}95\ mNm$$

Il est maintenant possible d'en faire une représentation graphique (diagramme 1).

Diagramme 1

Calcul des principaux paramètres
Dans cette application, la tension d'alimentation est inférieure à la tension nominale du moteur choisi. Le calcul en charge est fait à 20 V.

Vitesse à vide n_o à 20 V

$$n_o = \frac{U - (I_o \cdot R)}{2\pi \cdot k_M}$$

ce qui donne

Tension d'alimentation	U	=	20	V
Résistance à l'induit	R	=	36,3	Ω
Courant à vide	I_o	=	0,007	A
Constante de couple	k_M	=	29,1	mNm / A

$$n_o = \frac{20\ \text{V} - (0{,}007\ \text{A} \cdot 36{,}3\ \Omega)}{2\pi \cdot 29{,}1\ \text{mNm / A}} = 6\,481\ \text{min}^{-1}$$

Courant de démarrage I_H

$$I_H = \frac{U}{R}$$

$$I_H = \frac{20\ \text{V}}{36{,}3\ \Omega} = 0{,}551\ \text{A}$$

Couple de démarrage M_H

$$M_H = k_M \left(\frac{U}{R} - I_o\right)$$

$$M_H = 29{,}1\ \text{mNm / A} \cdot \left(\frac{20\ \text{V}}{36{,}3\ \Omega} - 0{,}007\ \text{A}\right) = 15{,}83\ \text{mNm}$$

Rendement, max. $\eta_{max.}$

$$\eta_{max.} = \left(1 - \sqrt{I_0 \cdot \frac{R}{U}}\right)^2$$

$$\eta_{max.} = \left(1 - \sqrt{0{,}007\ \text{A} \cdot \frac{36{,}3\ \Omega}{20\ \text{V}}}\right)^2 = 78{,}9\ \%$$

Au rendement max., le couple délivré est :

$$M_{opt.} = \sqrt{M_H \cdot M_R}$$

ce qui donne

Couple de frottement	M_R	=	0,2	mNm
et				
Couple de démarrage à 20 V	M_H	=	15,83	mNm

$$M_{opt.} = \sqrt{15{,}83\ \text{mNm} \cdot 0{,}2\ \text{mNm}} = 1{,}78\ \text{mNm}$$

Calcul du point de travail à 20 V
En considérant le couple demandé (M = 3 mNm) au point de travail, on peut calculer I, n, P_2 et η :

Courant au point de travail

$$I_{Last} = \frac{M + M_R}{k_M}$$

$$I_{Last} = \frac{3\ \text{mNm} + 0{,}2\ \text{mNm}}{29{,}1\ \text{mNm / A}} = 0{,}11\ \text{A}$$

Vitesse au point de travail

$$n = \frac{U - R \cdot I_{Last}}{2\pi \cdot k_M}$$

$$n = \frac{20\ \text{V} - 36{,}3\ \Omega \cdot 0{,}11\ \text{A}}{2\pi \cdot 29{,}1\ \text{mNm / A}} = 5\,253\ \text{min}^{-1}$$

Puissance de sortie au point de travail

$$P_2 = M \cdot 2\pi \cdot n$$

$$P_2 = 3\ \text{mNm} \cdot 2\pi \cdot 5\,253\ \text{min}^{-1} = 1{,}65\ \text{W}$$

Rendement au point de travail

$$\eta = \frac{P_2}{U \cdot I}$$

$$\eta = \frac{1{,}65\ \text{W}}{20\ \text{V} \cdot 0{,}11\ \text{A}} = 75{,}0\ \%$$

Dans cet exemple, la vitesse calculée au point de travail est différente de la vitesse requise, aussi la tension d'alimentation doit être changée et le calcul recommencé.

Tension d'alimentation au point de travail
La tension d'alimentation exacte au point de travail peut être maintenant obtenue grâce à l'équation suivante :

$$U = R \cdot I_{charge} + 2\pi \cdot n \cdot k_M$$

$$U = 36{,}3\ \Omega \cdot 0{,}11\ \text{A} + 2\pi \cdot 5\,500\ \text{min}^{-1} \cdot 29{,}1\ \text{mNm / A} = 20{,}75\ \text{V}$$

Dans cet exemple, les paramètres au point de travail se présentent comme suit :

Tension d'alimentation	U	=	20,75	V
Vitesse	n	=	5 500	min^{-1}
Couple	M_N	=	3	mNm
Courant	I	=	0,11	A
Puissance de sortie	P_2	=	1,73	W
Rendement	η	=	75,7	%

Évaluation de la température de la bobine du moteur :
Pour s'assurer que le moteur fonctionne dans la plage de température autorisée, il est nécessaire de calculer la température du bobinage et du boîtier sous charge.
Calculez tout d'abord les pertes approximatives du moteur à l'aide de la formule suivante :

$$P_{perte} = I_{charge}^2 \cdot R$$

ce qui donne

Courant	I_{charge}	= 0,11 A
Résistance	R	= 36,3 Ω

$$P_{perte} = (0{,}11\ \text{A})^2 \cdot 36{,}3\ \Omega = 0{,}44\ \text{W}$$

Multipliez ensuite la valeur pour les pertes de puissance par les résistances thermiques combinées du moteur pour évaluer le changement de la température du moteur dû à la charge. Pour le 2233…S, ces valeurs sont les suivantes :

$$\Delta T = P_{perte} \cdot (R_{th1} + R_{th2})$$

ce qui donne

Résistance thermique 1	R_{th1}	= 5 K/W
Résistance thermique 2	R_{th2}	= 20 K/W

$$\Delta T = 0{,}44\ \text{W} \cdot (5\ \text{K/W} + 20\ \text{K/W}) = 11\ \text{K}$$

Ajoutez le changement de la température obtenu ΔT à la température ambiante pour évaluer la température de la bobine du moteur sous charge.

$$T_{bobinage} = \Delta T + T_{amb}$$

$$T_{bobinage} = 11\ \text{K} + 22\ °\text{C} = 33\ °\text{C}$$

Ce calcul confirme que la température se situe bien dans la plage de température de travail standard spécifiée, de même que la température maximale de la bobine.

Le calcul donné ci-dessus n'a pour objet qu'une évaluation rapide. Il n'a pas été tenu compte des effets non linéaires de la température sur la résistance de la bobine et de la constante de couple (k_M) du moteur résultant du coefficient de température du matériau d'aimant utilisé ; ces paramètres peuvent avoir un effet important sur la performance du moteur aux températures élevées. Un calcul plus précis doit être effectué avant de faire fonctionner le moteur à proximité de ses limites thermiques.

Courbes caractéristiques
Pour un couple spécifique, les divers paramètres peuvent être trouvés sur le diagramme 2.

Pour simplifier les calculs, il n'a pas été tenu compte de l'influence de la température et des tolérances.

Diagramme 2

Micromoteurs C.C.

Structure principale

FAULHABER SR

① Capot
② Contacts
③ Balais avec couvercle balais
④ Collecteur
⑤ Bobinage
⑥ Arbre
⑦ Boîtier
⑧ Aimant avec palier fritté et bague de tenue

FAULHABER CR

① Balais graphite avec couvercle balais et roulement à billes
② Bague d'isolation
③ Collecteur
④ Bobine
⑤ Arbre
⑥ Aimant
⑦ Support aimant
⑧ Boîtier avec roulement à billes
⑨ Contacts

Micromoteurs C.C. plats

Structure principale

FAULHABER SR-Flat

① Capot avec platine
② Couvercle balais avec palier en métal fritté
③ Bobinage avec collecteur
④ Boîtier avec réducteurs à étages et palier en métal fritté
⑤ Plaque intermédiaire avec palier
⑥ Arbre
⑦ Couvercle avec palier

Micromoteurs C.C. à commutation par métaux précieux

La particularité la plus remarquable de cette famille de produits est avant tout le rotor, composé d'un enroulement en cuivre autoportant à bobinage oblique sans noyau en fer. Le faible poids qui en résulte minimise l'inertie. Avec leur fonctionnement sans réluctance, ces moteurs se distinguent par une dynamique unique.

La compacité, la faible consommation de courant, un signal de commutation silencieux précis ainsi que la contrôlabilité simple font de cette famille de produits la solution idéale pour une utilisation dans les secteurs de marché les plus divers tels que les appareils portables motorisés, les pompes, la technologie d'automatisation, l'optique et la fabrication d'équipement.

Grâce aux combinaisons possibles avec un grand nombre de réducteurs, codeurs et contrôleurs, FAULHABER est toujours en mesure de proposer le système qui convient le mieux, même aux applications les plus exigeantes.

Variantes de la série

0615 … S	1219 … G
1516 … S	1624 … S
2230 … S	2233 … S

Particularités clés

Diamètre du moteur	6 ... 22 mm
Longueur du moteur	15 ... 33 mm
Tension nominale	1,5 ... 40 V
Vitesse	jusqu'à 24.000 min^{-1}
Couple en régime	jusqu'à 5,9 mNm
Puissance de sortie	jusqu'à 8 W

Code de produit

22	Diamètre du moteur [mm]
30	Longueur du moteur [mm]
T	Type de sortie
012	Tension nominale [V]
S	Famille de produits

FAULHABER S/G

Avantages de cette série en un coup d'œil

- Aimants puissants
- Large plage de températures de fonctionnement
- Boîtier entièrement en acier avec revêtement résistant à la corrosion
- Sans réluctance, dynamique élevée, contrôle de vitesse précis
- Faible consommation de courant – faible tension de démarrage
- Conception extrêmement compacte et légère

Micromoteurs C.C. à commutation par métaux précieux

Les micromoteurs C.C. compacts à commutation par métaux précieux et la technologie de codeur haute résolution utilisés dans la série SR, ainsi que la gamme complète de réducteurs planétaires et à étages haute précision, forment une combinaison parfaitement harmonisée pour les tâches de positionnement précis.

Ce type de système de commutation se caractérise par sa petite taille, la résistance de contact extrêmement faible et le signal de commutation silencieux précis. Il est idéal pour une utilisation dans des systèmes avec une faible charge électrique et dans les applications alimentées par batterie.

Les caractéristiques linéaires des moteurs ainsi qu'une inertie minimale du rotor assurent un contrôle simple mais hautement dynamique.

Grâce aux combinaisons possibles avec un grand nombre de réducteurs, codeurs et contrôleurs, FAULHABER est toujours en mesure de proposer le système qui convient le mieux, même aux applications les plus exigeantes.

Variantes de la série

0816 … SR	1016 … SR
1024 … SR	1224 … SR
1319 … SR	1331 … SR
1516 … SR	1524 … SR
1717 … SR	1724 … SR
2224 … SR	2232 … SR

Particularités clés

Diamètre du moteur	8 ... 22 mm
Longueur du moteur	16 ... 32 mm
Tension nominale	3 ... 36 V
Vitesse	jusqu'à 17.000 min^{-1}
Couple en régime	jusqu'à 10 mNm
Puissance de sortie	jusqu'à 8,5 W

Code de produit

15	Diamètre du moteur [mm]
24	Longueur du moteur [mm]
T	Type de sortie
012	Tension nominale [V]
SR	Famille de produits

FAULHABER SR

Avantages de cette série en un coup d'œil

- Puissants aimants en terres rares
- Large plage de températures de fonctionnement : -30 °C à +85 °C (en option jusqu'à +125 °C)
- Boîtier entièrement en acier avec revêtement résistant à la corrosion
- Sans réluctance, dynamique élevée, contrôle de vitesse précis
- Faible consommation de courant – faible tension de démarrage
- Conception extrêmement compacte et légère avec codeur intégré

Micromoteurs C.C. à commutation graphite

La série CXR allie puissance, robustesse et contrôle dans un format compact. Ces propriétés sont garanties par la commutation graphite, les aimants en néodyme de haute qualité et l'enroulement éprouvé du rotor FAULHABER.

L'aimant puissant en néodyme procure aux moteurs une haute densité de puissance avec un couple continu allant de 3,6 à 40 mNm. Les données de performance remarquables et la taille compacte ouvrent un large éventail d'applications possibles à un rapport prix/performances optimal. L'entraînement standard peut être combiné avec des codeurs optiques ou magnétiques haute résolution pour les applications avec des tâches de contrôle de vitesse ou de positionnement précis. Un grand choix harmonisé de réducteurs est disponible pour compléter l'étendue des exigences auxquelles cette série peut répondre.

Variantes de la série

1336 … CXR	1727 … CXR
1741 … CXR	2237 … CXR
2642 … CXR	2657 … CXR

Particularités clés

Diamètre du moteur	13 ... 26 mm
Longueur du moteur	27 ... 57 mm
Tension nominale	6 ... 48 V
Vitesse	jusqu'à 10.000 min^{-1}
Couple en régime	jusqu'à 40 mNm
Puissance de sortie	jusqu'à 34 W

Code de produit

26	Diamètre du moteur [mm]
57	Longueur du moteur [mm]
W	Type de sortie
024	Tension nominale [V]
CXR	Famille de produits

FAULHABER CXR

Avantages de cette série en un coup d'œil

- Performance hautement dynamique grâce à une faible inertie du rotor
- Boîtier antichoc entièrement en acier avec revêtement résistant à la corrosion
- Puissant aimant en terres rares
- Large plage de températures de fonctionnement : -30 °C à +100 °C (en option -55 °C)
- Commutation graphite durable
- Sans réluctance
- Densité de puissance très élevée

Micromoteurs C.C. à commutation graphite

Une commutation graphite très stable et à faible usure, des aimants en néodyme extrêmement puissants et une teneur en cuivre particulièrement élevée dans l'enroulement du rotor FAULHABER procurent à la série CR son incroyable puissance. La plage de puissance remarquable de 19 à 224 mNm est idéale pour les applications haute performance avec un fonctionnement marche/arrêt rapide ou des conditions de surcharge périodiques. Grâce à la densité de puissance extrêmement élevée et à la dynamique impressionnante avec un inertie minimale du rotor, la famille CR est la famille de produits la plus puissante de toute la gamme C.C. de FAULHABER. L'entraînement standard peut être combiné avec des codeurs optiques ou magnétiques haute résolution pour les applications avec des tâches de contrôle de vitesse ou de positionnement précis. Un grand choix harmonisé de réducteurs est disponible pour compléter l'étendue des exigences auxquelles cette série peut répondre.

Variantes de la série

2342 … CR	2642 … CR
2657 … CR	2668 … CR
3242 … CR	3257 … CR
3272 … CR	3863 … CR
3890 … CR	

Particularités clés

Diamètre du moteur	23 ... 38 mm
Longueur du moteur	42 ... 90 mm
Tension nominale	6 ... 48 V
Vitesse	jusqu'à 11.000 min^{-1}
Couple en régime	jusqu'à 224 mNm
Puissance de sortie	jusqu'à 160 W

Code de produit

32	Diamètre du moteur [mm]
72	Longueur du moteur [mm]
G	Type de sortie
024	Tension nominale [V]
CR	Famille de produits

WE CREATE MOTION

FAULHABER CR

Avantages de cette série en un coup d'œil

- Meilleure performance dynamique possible grâce à une faible inertie du rotor
- Boîtier antichoc entièrement en acier avec revêtement résistant à la corrosion
- Puissant aimant en terres rares
- Plage de températures de fonctionnement extrêmement étendue -30 °C à 125 °C (en option -55 °C, enroulement jusqu'à 155 °C)
- Commutation graphite durable
- Sans réluctance
- Densité de puissance maximale

Micromoteurs C.C. plats et motoréducteurs C.C.

Les micromoteurs C.C. à commutation par métaux précieux dotés d'une technologie de bobine particulièrement plate avec trois enroulements plats autoportants en cuivre utilisés dans la série SR-Flat constituent la base des systèmes d'entraînement dans les applications où l'espace est extrêmement limité. Avec leurs puissants aimants en terres rares, les moteurs fournissent une puissance continue de 0,8 W à 4 W, et ce avec une inertie minimale. Les moteurs sont disponibles avec des réducteurs et des codeurs optiques intégrés, tous deux dotés d'une conception extrêmement plate adaptée aux moteurs. Combinés à des réducteurs et codeurs intégrés, ils forment un système d'entraînement très compact avec un couple de sortie accru.

Variantes de la série

1506 … SR	1506 … SR IE2-8
1512 … SR	1512 … SR IE2-8
2607 … SR	2607 … SR IE2-16
2619 … SR	2619 … SR IE2-16

Particularités clés

Diamètre du moteur	15 ... 26 mm
Longueur du moteur	6 ... 19 mm
Tension nominale	3 ... 24 V
Vitesse	jusqu'à 16.000 min^{-1}
Couple en régime	jusqu'à 100 mNm
Puissance de sortie	jusqu'à 4 W

Code de produit

15	Diamètre du moteur [mm]
12	Longueur du moteur [mm]
U	Type de sortie
006	Tension nominale [V]
SR	Famille de produits
324:1	Réduction du réducteur

WE CREATE MOTION

FAULHABER SR-Flat

Avantages de cette série en un coup d'œil

- Conception extrêmement plate. Longueurs allant de 6 mm à 19 mm
- Conception à 4 pôles
- Moment d'inertie minimal
- Des réducteurs à étages intégrés de longueur minimale avec un rapport de réduction élevé sont disponibles
- Disponible avec codeurs optiques intégrés

FAULHABER

Plus d'informations

faulhaber.com

faulhaber.com/facebook

faulhaber.com/youtube

faulhaber.com/linkedin

faulhaber.com/instagram

Version:
18ième édition, 2023

Copyright
Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG
Faulhaberstraße 1 · 71101 Schönaich

Tous droits réservés, également ceux de la traduction. Sauf autorisation préalable écrite et formelle accordée par la société Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, aucune partie de ce document ne peut être copiée, reproduite, enregistrée ou traitée dans un système informatique, ni transmise sous quelque forme que ce soit.

Ce document a été élaboré avec soin. Cependant, la société Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG n'assume aucune responsabilité pour les éventuelles erreurs qu'il contient ni pour ses conséquences. De même, la société n'assume aucune responsabilité pour les dommages directs ou ésultant d'une utilisation incorrecte des produits.

Sous réserve de modifications. Vous pouvez retrouver la version la plus récente de ce document sur le site internet de FAULHABER: **www.faulhaber.com**

DFF_TI_08-2023_FR