

thinkMOTION

Portescap
A Danaher Motion Company

有刷无铁心直流电机 技术说明书



Simon Pata , 部门经理 - 无刷直流技术

MOTION SOLUTIONS THAT MOVE LIFE FORWARD.™



有刷无铁心直流电机 技术说明书

Simon Pata , 部门经理 - 无刷直流技术
丹纳赫传动旗下 Portescap 公司
West Chester, PA 19382

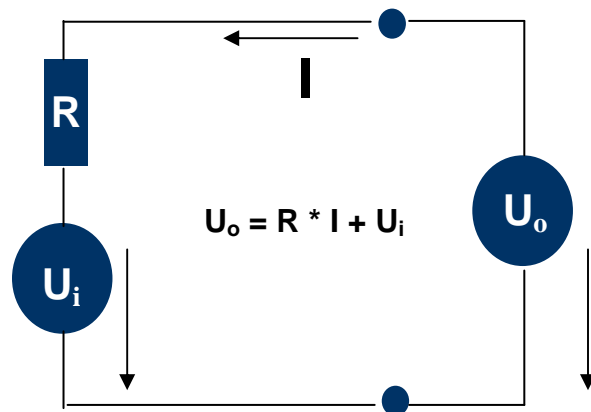
有刷无铁心直流电机广泛地应用于各种产品和系统，如医疗、机器人、工厂自动化、安全与访问、民航和航空产品。

无铁心技术所达到的性能远远超过传统的铁心有刷直流电机。这是一种独特的设计概念，其主要优点包括：无铁心损耗、低磨擦和良好的散热性，实现了电机的高效率，是电池供电型设备的理想选择。低惯量转子设计实现了非常高的加速度和较快的反应时间。最后，线性转矩速度特性使电机极易驱动。

这份技术说明书将简要介绍无铁心直流电机。其目的是帮助工程师更好地了解有刷无铁心直流电机的基本原理，帮助他们为各种应用选择最佳的电机。

1. 有刷无铁心直流电机的基本公式

采用无铁心转子的电机可通过以下简图来表示。



U_o : 电源电压

I : 电流

U_i : 转子中的感应电压

R : 绕组电阻



转子中的感应电压与转子的角速度成正比

$$U_i = k * \omega$$

k: 转矩常数

ω : 角速度

因此，可以得出以下公式：

$$U = R * I + k * \omega \quad (1)$$

(V) (Ω) (A) (Nm/a) (rd/s)

无铁心直流电机的特别之处是其速度和转矩函数是线性的。速度与电压成正比，并且转矩与电流成正比。

$$T = k * (I - I_0) \quad (2)$$

(Nm) (Nm/A) (A) (A)

I: 电枢电流

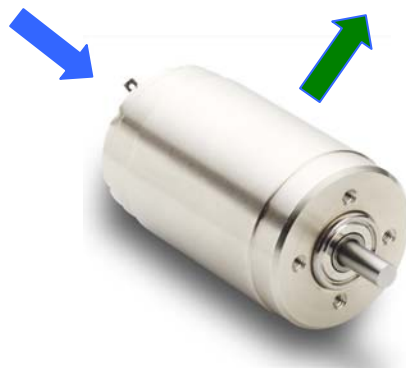
I_0 : 空载电流

2. 如何计算机械功率、电功率和效率？

电机的机械功率等于电机的电功率和（热）耗散功率之和： $P_{elect} = P_{mech} + P_J$

输入 (3)

$$P_{elect} = U * I$$



损耗 (4)

$$P_J = R * I^2 + k * I_0 * \omega$$

输出 (5)

$$P_{mech} = T * \omega$$



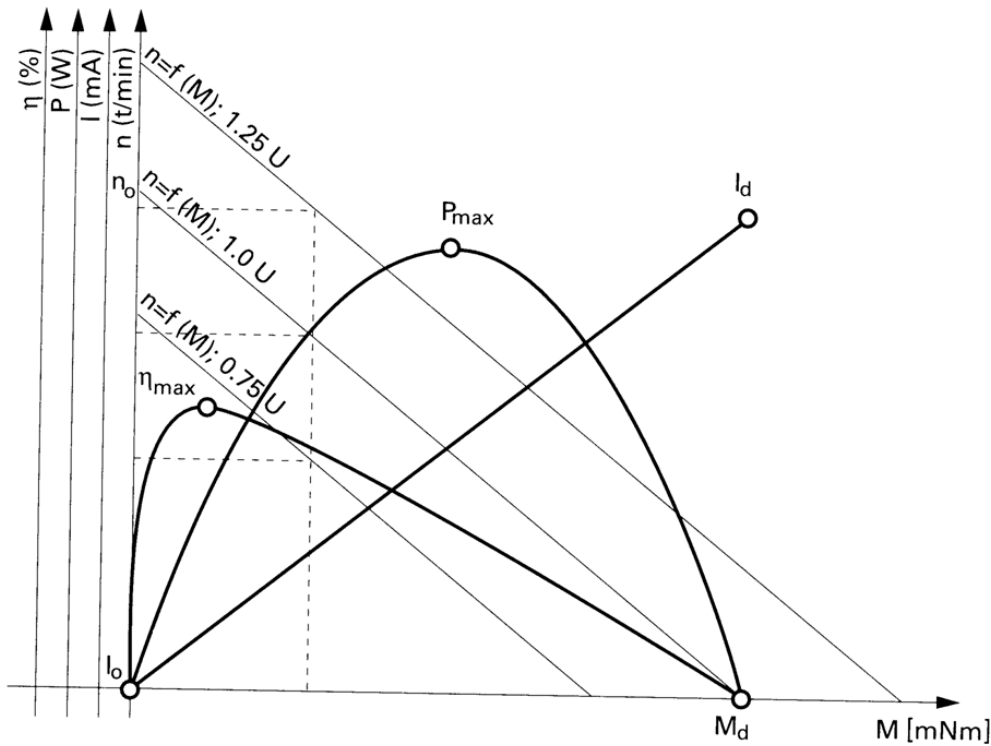
效率等于机械功率和电功率之比。

$$\eta = P_{\text{mech}} / P_{\text{elect}} \quad (6)$$

有刷无铁心直流电机的效率可高达 90%。

注意：最高的效率在高速度时获得。

3. 理解这些公式 – 需要记住 4 个要素：



η : 效率

n : 速度

P : 功率

I : 电流

#1: 电机中的电流与电机转矩成正比。

#2: 电机的速度与电源电压成正比。

#3: 最高的效率在高速度时获得。

#4: 当负载转矩等于失速转矩的一半时，机械功率达到最大值。



4. 如何计算转子温度以及该温度条件下的转子电阻

(有刷无铁心直流电机的最大绕组温度通常为 155° C)

$$T_r = \frac{R_{22} * I^2 * (R_{th1} + R_{th2}) * (1 - 22 \alpha) + T_a}{1 - \alpha * R_{22} * I^2 * (R_{th1} + R_{th2})} \quad (7)$$

$$R = R_{22} * (1 + \alpha * \Delta_{Temp}) \quad (8)$$

T_r : 转子温度 (°C)

R_{22} : 22° C 时的电机电阻 (欧姆) - 目录值

I : 电流 (安培)

R_{th1} : 转子到机壳的热阻抗(°C/W) - 目录值

R_{th2} : 机壳到环境的热阻抗(°C/W) - 目录值

α : 铜的热阻系数(0.0039/°C)

T_a : 环境温度(°C)

R : 电阻(欧姆)

$\Delta_{Temp} = T_r - 22$

5. 如何计算系统的时间常数和有刷无铁心直流电机的启动时间 (电压驱动)

$$\tau = \tau_M * (1 + J_L / J_M) \quad (9) \quad t = \tau * \ln (\omega_1 / (\omega_1 - \omega)) \quad (10)$$

τ : 电机加负载的时间常数 (毫秒)

τ_M : 电机的时间常数 (毫秒) - 目录值

J_L : 负载惯量(千克平方米)

J_M : 电机惯量(千克平方米) - 目录值

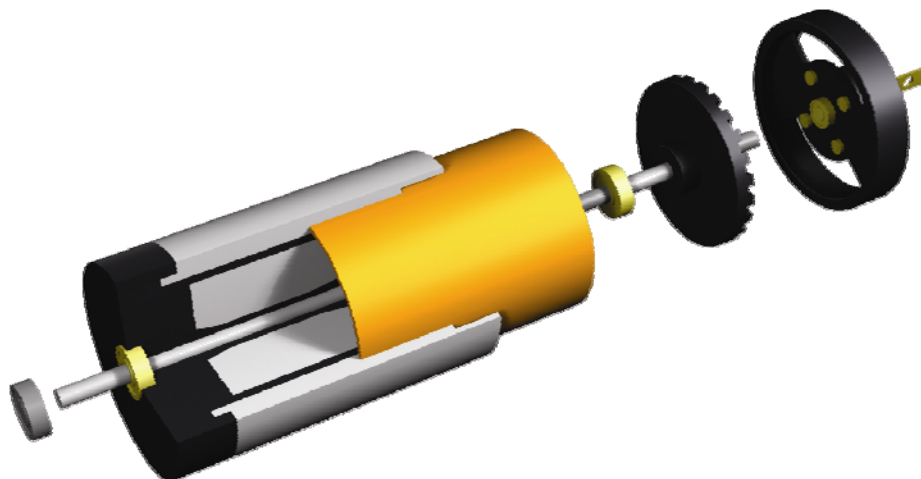
t : 启动时间 (毫秒)

ω_1 : 时间无穷大时的角速度(弧度/秒)

ω : s 一段时间 t 后的角速度(弧度/秒)



6. Portescap 无刷无铁心直流技术简介



概念信息	电机特性	应用优势
无铁芯转子	较低的转动惯量	较高的加速度，最适合增速转动 线性的转矩速度功能，抗震
	无磁滞现象和涡流损耗	效率高，较低的磨擦损耗 最适合电池供电
	无磁饱和	较高的峰值转矩，无退磁风险
中央定子磁体	单位尺寸和重量的功率较高	最适合便携/小型设备或要求小尺寸的应用
小型轴承	较小的粘性阻尼系数	较高的峰值速度，由速度导致的损耗较小
	较低的启动电压	
贵金属整流系统	较小的磨擦，较低的电噪声	低损耗、低磨损、低电磁干扰
Ratafente™ 系列 Copper-Graphic 整流	可整流的较高的电流密度	较大的连续转矩和峰值转矩，无电机退磁风险。较长的使用寿命。最适合载波驱动
	额定电机温度高达 155°C	在同等尺寸的电机中连续转矩最高，重量轻，尺寸小，简化了冷却系统
	非常紧凑的整流系统	极佳的抗冲击性和抗震性
	较大的转矩惯量比	较高的加速度，较小的机械时间常数



7. 举例 - 微型气泵应用

装有一节 6 伏 0.6 安电池的微型气泵，所需的流量范围为 850 - 2500 毫升/分钟，这相当于转矩 $T = 3\text{mNm}$ (每分钟 9000 转时, $\omega = 942.5$ 弧度/秒)

所要求的机械功率为：

$$P_{\text{mech}} = T * \omega = 0.003 * 942.5 = 2.82 \text{ W}$$

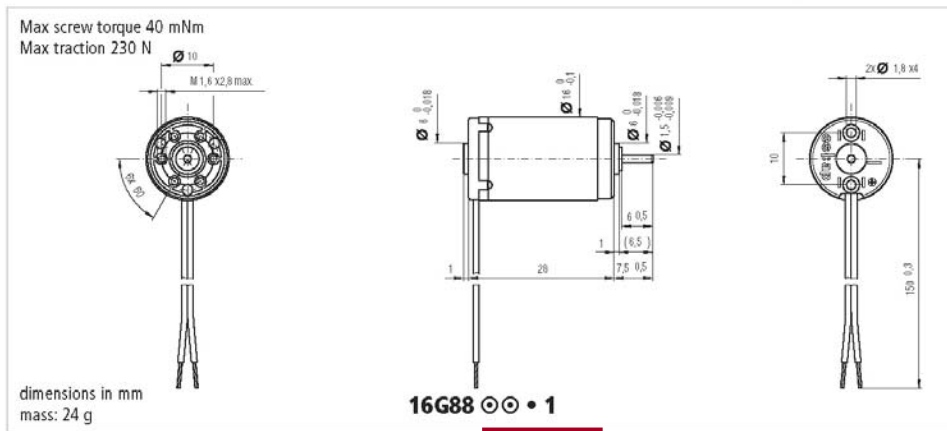
Portescap 16G 有刷直流电机系列的最大额定输出功率为 5W。

我们来看一下 16G88-220E1 (额定绕组电压为 6 伏)

escap 16G88

5 Watt

Precious Metal Commutation System - 9 Segments



Winding Type	○○	-220P	-220E	213E	-211E	-210E	-208E
Measured Values							
Measuring voltage	V	3	6	12	12	15	24
No-load speed	rpm	10600	10900	11000	8700	9000	10400
Stall torque	mNm (oz-in)	16 (2.3)	19.9 (2.8)	27 (1.80)	12.1 (1.71)	12.2 (1.73)	14.3 (2.0)
Average No-load current	mA	45	17	12	6.5	5.5	3.5
Typical starting voltage	V	0.02	0.05	0.12	0.18	0.20	0.30
Max. Recommended Values							
Max. continuous current	A	2.0	1.21	0.55	0.42	0.35	0.25
Max. continuous torque	mNm (oz-in)	5.2 (0.74)	6.3 (0.89)	8 (0.82)	5.4 (0.76)	5.4 (0.76)	5.4 (0.76)
Max. angular acceleration	10^3 rad/s^2	282	277	92	273	291	272
Intrinsic Parameters							
Back-EMF constant	V/1000 rpm	0.28	0.55	1.2	1.37	1.65	2.3
Torque constant	mNm/A (oz-in/A)	2.67 (0.38)	5.3 (0.74)	0.7 (1.51)	13.1 (1.85)	15.8 (2.23)	22 (3.11)
Terminal resistance	ohm	0.5	1.6	6	13	19.5	37
Motor regulation R/k^2	$10^3/\text{Nms}$	70	58	6	76	79	77
Rotor inductance	mH	0.01	0.045	0.15	0.26	0.40	0.72
Rotor inertia	$\text{kgm}^2 \cdot 10^{-7}$	0.8	0.91	0.8	0.8	0.74	0.8
Mechanical time constant	ms	5.6	5.3	3	6.1	5.8	6.1



第一步是计算上述条件下输送至电机的电流。

$$T = k * (I - I_0) \rightarrow I = T / k + I_0 = 0.003 / 0.0053 + 0.017 = 0.583 \text{ A}$$

第二步是计算达到所需速度 (转速为 9'000 转/分钟 , 角速度为 942.5 弧度/秒) 的电源电压。

$$U = R * I + k * \omega = 1.6 * 0.583 + 0.0053 * 942.5 = 5.93 \text{ V} < 6 \text{ V}$$

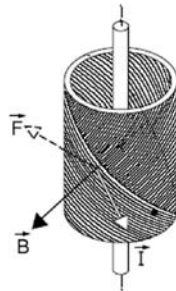
因此 , 电机可在电池限度内在特定转矩条件下达到所需的速度。

现在 , 我们就可以来计算电机的效率

$$P_{\text{elect}} = U \times I = 5.93 * 0.583 = 3.45 \text{ W}$$

$$\text{效率} = P_{\text{mech}} / P_{\text{elect}} = 2.82 / 3.45 = 81\%$$

电机的效率大于 80% , 这使得电池具有很长的使用寿命。只有使用 Portescap 先进的有刷无铁心直流电机技术 , 才能获得如此高的效率。



设想一下该泵需要在 15 毫秒内达到每分钟 5000 转以上。

$$\text{负载惯量} : 1 \times 10^{-7} \text{ kg.m}^2$$

$$\text{电机惯量} : 0.91 \times 10^{-7} \text{ kg.m}^2$$

$$\tau = \tau_M * (1 + J_L / J_M) \quad t = \tau * \ln (\omega_1 / (\omega_1 - \omega))$$

$$\tau = 5.3 * (1 + 1 / 0.91) = 11.12 \text{ ms}$$

$$t = 11.12 * \ln (9000 / (9000 - 5000)) = 9 \text{ ms} < 15 \text{ ms}$$

气泵将在 9 毫秒后达到每分钟 5000 转。

这种卓越的动力特性要归因于无铁心电机的设计概念。转动惯量较小的电机能够达到非常高的加速度。



Portescap, A Danaher Motion Company
110 Westtown Road
West Chester, PA USA 19382
www.portescap.com

© 2009. 丹纳赫传动旗下公司 Portescap 版权所有

MOTION SOLUTIONS THAT MOVE LIFE FORWARD.™

