

文章编号:1005-0523(2014)03-0095-04

宽电刷直流电机电磁转矩算法

刘敏军, 罗会源, 叶春华

(华东交通大学轨道交通学院, 江西 南昌 330013)

摘要:电刷宽度对直流电机电磁转矩的影响是很大的, 因此, 在未考虑电刷宽度的条件下所推导出的电磁转矩计算式不够精确, 对直流电机尤其是宽电刷直流电机的设计缺乏指导意义。作者详细分析了电刷宽度对直流电机电磁转矩的影响, 给出了直流电机电磁转矩的计算方法。实验证明该计算方法更精确、对直流电机设计更具有指导意义。

关键词:直流电机; 电磁转矩; 算法; 电刷宽度

中图分类号: TM33

文献标志码: A

根据传统直流电机理论^[1-7], 电磁转矩的计算式为

$$T_d = C_t \phi I_d \quad (1)$$

式中: T_d 为电磁转矩, $N \cdot m$; I_d 为电机的电枢电流, A ; ϕ 为每极磁通量, Wb ; C_t 为电机结构常数, $C_t = \frac{pN}{2\pi a}$; p 为磁极对数; N 为电机总的导体数; a 为支路对数。

在推导式(1)时存在以下假设: 一是电枢绕组为整距绕组; 二是在电机运行过程中每个有效边(导体)都会产生电磁转矩。但直流电机的电枢绕组多采用短距绕组, 而且通过对宽电刷直流电机的换向过程进行分析发现^[8], 在电机换向的任何瞬间, 都会有不少元件被短路, 因此上述两个假设并不成立。

对于中、大型直流电机, 大部分采用的是宽电刷, 因此, 利用式(1)获得的结果与实际情况存在较大的差距。因此, 有必要研究宽电刷直流电机电磁转矩更为精确的计算式。

1 电刷宽度对电磁转矩的影响

1.1 实例

假设有一台双层、单叠、整距绕组直流电机, 磁极数 $2p=4$, 总导体数 $N=72$, 总换向片数 $K=36$, 总实槽数 $Z=36$ 。刷片比 $C_s = B_d/Y_h$, B_d 为电刷在换向器表面的跨距, 即电刷宽度, Y_h 为相临两个换向片在换向器表面的跨距, 即换向片节距, $Y_h = B_y + B_b$, B_y 为云母片在换向器表面的跨距, B_b 为换向片在换向器表面的跨距。

1.2 电刷宽度对电磁转矩的影响

在 Y_h 不变的情况下, 通过对不同的 C_s 值进行详细分析^[9], 可得流过换向元件中电流的变化规律如图1所示。当刷片比 $C_s \leq 1.0$ 时, 流过换向元件中的电流发生方向改变的时间为一个时间点, 如图1(a)所示的 b 点, 只有在 b 点换向元件被短路, 电流为0; 而当 $C_s > 1.0$ 时, 流过换向元件中的电流发生方向改变的时间为一个时间段, 如图1(b), (c)所示的 cd 段, 在 cd 段内换向元件被短路, 电流始终为0, 从而影响了直流电机所

收稿日期: 2014-01-05

基金项目: 华东交通大学科研基金项目(12GD04)

作者简介: 刘敏军(1966—), 男, 副教授, 硕士, 主要研究方向为电机及电气控制、电力传动。

产生的电磁转矩的大小。

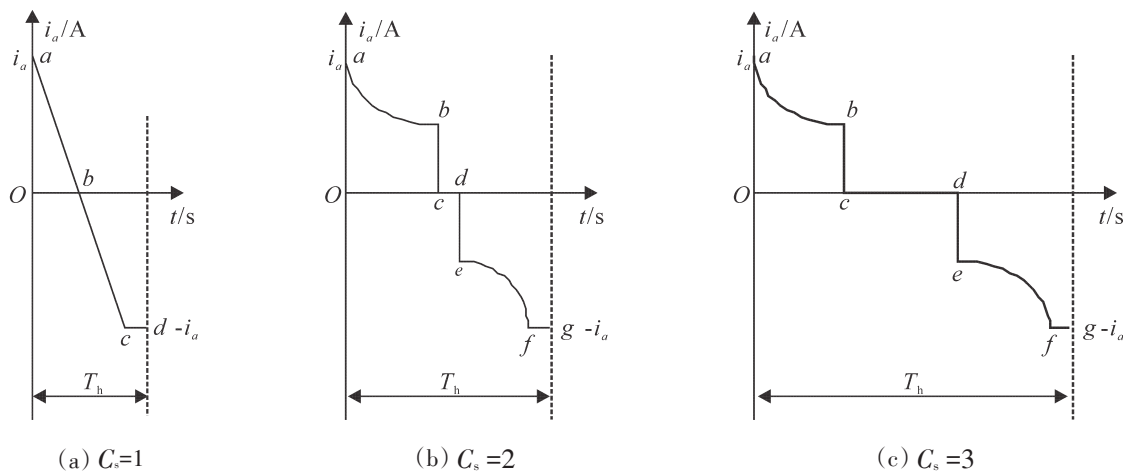


图1 换向元件中电流的变化规律

Fig. 1 Current curve of commutation component

对于宽电刷直流电机,虽然被短路的元件数平均值为 $2a(C_s - 0.5)$,但在这些元件中,有 a 个元件两接线端所连接的换向片与电刷的接触面积并不相同,因此它们不能被认为完全短路,在计算电磁转矩时需要剔除的元件数取 $2a(C_s - 1.0)$ 。

2 宽电刷直流电机电磁转矩算法

2.1 宽电刷直流电机电磁转矩算法

一个有效边在磁场中产生的电磁力 f 为

$$f = bli \quad (2)$$

式中: f 为一个有效边在磁场中产生的电磁力, N; b 为气隙磁通密度, T; l 为元件有效边长度, m; i 为支路电流, A。

一个有效边在磁场中产生的平均电磁力 f_p 为

$$f_p = b_p li \quad (3)$$

式中: f_p 为一个有效边在磁场中产生的平均电磁力, N; b_p 为气隙平均磁通密度, T。

一个有效边在磁场中产生的平均电磁转矩 t_p 为

$$t_p = b_p li \frac{D_d}{2} \quad (4)$$

式中: t_p 为一个有效边在磁场中产生的平均电磁转矩, N·m; D_d 为电枢直径, m。

设宽电刷直流电机的总导体数为 N , 而参与产生电磁转矩的导体数为 $[N - 2a(C_s - 1.0)]$; 另设电枢电流为 I_d , 则支路电流 $i = \frac{I_d}{2a}$ 。

由于

$$b_p = \frac{\phi}{l\tau} \quad (5)$$

式中: τ 为极距, $\tau = \frac{\pi D_d}{2p}$, m; p 为磁极对数。

这样电机的电磁转矩 T_d 为

$$T_d = \frac{P}{2\pi a} [N - 2a(C_s - 1.0)] \phi I_d = C_k \phi I_d \quad (6)$$

式中: T_d 为电机的电磁转矩, $N \cdot m$; C_k 为宽电刷直流电机电磁转矩常数, $C_k = \frac{P}{2\pi a} [N - 2a(C_s - 1.0)]$ 。

2.2 其它因素的影响

式(6)考虑的是整距绕组,而且是理想换向情况。

如果电枢绕组采用短距绕组或长距绕组,则电机所产生的电磁转矩会有所减小,但减小的数值很小,几乎可以忽略不计。

大多数直流电机都工作在延迟换向状态,如果考虑延迟换向情况,被短路的元件边会产生一个附加电动势 e_f ($e_f = e_k + e_s - e_h$, e_k 为电抗电动势, e_s 为电枢反应电动势, e_h 为换向电动势), e_f 的存在会在被短路的元件中产生一个附加电流 i_f , 从而电机会产生一个附加电磁转矩 T_f :

$$T_f = b_p l i_f \cdot \frac{D_d}{2} \cdot 2a(C_s - 1.0) = 2pa(C_s - 1.0) \phi i_f \quad (7)$$

式中: T_f 为附加电磁转矩, $N \cdot m$; i_f 为流过短路元件中的附加电流, $i_f = e_f / r_y$, A ; e_f 为短路元件边产生一个附加电动势, V ; r_y 为一个元件回路的电阻, 包括一个元件的电阻和两个换向片与电刷之间的接触电阻, Ω 。

由于宽电刷直流电机的换向极绕组与电枢绕组串联, 因此 $e_s \approx e_h$; 而在换向过程的 cd 段换向元件被短路, 因此 $e_k = 0$ 。所以 $e_f = 0$, $i_f = 0$, $T_f = 0$ 。

综上所述, 短距因素和延迟换向因素对宽电刷直流电机的电磁转矩影响很小, 几乎可以忽略不计, 电磁转矩可以按式(6)进行计算。

3 实验结果

为了验证式(6)的正确性, 本文分别对 ZQDR-410 型牵引电动机^[10]和 ZD115 型脉流牵引电动机^[11]进行了实验, 根据实验数据计算出电磁转矩结果如表 1 所示。

表 1 电磁转矩计算结果

Tab.1 Calculation results of electromagnetic torques

电机型号	计算依据	计算结果 $T_d / (N \cdot m)$	误差分析/%
ZQDR-410	据实验数据计算 $T_d = 9.55 \frac{E_d I_d}{n}$	604 3.4	
	根据传统理论计算 $T_d = C_k \phi I_d$	622 8.7	30.66
	根据本文理论计算 $T_d = C_k \phi I_d$	604 3.1	- 0.05
ZD115	据实验数据计算 $T_d = 9.55 \frac{E_d I_d}{n}$	699 5.3	
	根据传统理论计算 $T_d = C_k \phi I_d$	723 1.8	33.81
	根据本文理论计算 $T_d = C_k \phi I_d$	701 3.9	2.66

注: E_d 为电机的感应电动势; n 为电机的转速, $r \cdot \min^{-1}$ 。

从计算结果可知, 根据传统理论计算出的电磁转矩与根据实验数据计算出的电磁转矩之间存在较大误差, 而根据本文理论计算出的电磁转矩误差很小。

4 结束语

电刷宽度对直流电机的电磁转矩产生较大影响, 因此, 在对直流电机进行设计时, 窄电刷直流电机 ($C_s \leq 1.0$) 的电磁转矩可按式(1)进行计算, 而宽电刷直流电机 ($C_s > 1.0$) 的电磁转矩可按式(6)进行计算更为精确。

参考文献:

- [1] 徐德淦.电机学[M].北京:机械工业出版社,2004:30-32.
- [2] 王广惠,王铁光,李树元.电机与拖动[M].北京:中国电力出版社,2004:22-34.
- [3] 顾绳谷.电机及拖动基础 [M].上册.北京:机械工业出版社,2009:38-40.
- [4] 沈本荫.牵引电机[M].北京:中国铁道出版社,2010:28-45.
- [5] 张龙.电力机车电机[M].北京:中国铁道出版社,2011:19-21.
- [6] 朱行然.ZD315/134-5000kW 直流电机换向问题研究[J].上海大中型电机,2010(4):15-18.
- [7] HALL R D, KONSTANTY W J. Commutation of DC Motors[J]. Industry Applications Magazine, IEEE, 2010, 16(6):56-62.
- [8] 刘敏军,袁梅.宽电刷直流电机换向过程分析及电抗电势算法[J].华东交通大学学报,2012,29(4):19-23.
- [9] 刘敏军,叶春华,罗会源,等.宽电刷直流电机感应电动势算法 [J]. 华东交通大学学报,2013,30(3):17-20.
- [10] 刘达德.东风₄型内燃机车结构和原理 [M].下册.北京:中国铁道出版社,1986:26-29.
- [11] 余卫斌,韶山₃型电力机车[M].北京:中国铁道出版社,2005:210-211.

Calculation Method of Electromagnetic Torque of DC Motor with Wide Brushes

Liu Minjun, Luo Huiyuan, Ye Chunhua

(School of Railway Tracts and Transportation, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Brush width has great effects on the electromagnetic torque of DC motor, so the calculation of the electromagnetic torque without considering the brush width is not precise enough, which can not provide guidance for the design of DC motor, especially DC motor with wide brushes. This study discusses the effects of brush width on the electromagnetic torque of DC motor in details and proposes the calculation method of the electromagnetic torque of DC motor with wide brushes. The experiments show that the given calculation method is more accurate, and the calculation method for the design of DC motor with wide brushes is more instructive.

Key words: DC motor; electromagnetic torque; calculation; brush width