

文章编号:1005-0523(2013)03-0017-04

宽电刷直流电机感应电动势算法

刘敏军,叶春华,罗会源

(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感应电动势的影响是很大的,因此,在未考虑电刷宽度的条件下所推导出的感应电动势计算式都不够精确,对直流电机尤其是宽电刷直流电机的设计缺乏指导意义。详细分析了电刷宽度对直流电机的感应电动势的影响,给出了宽电刷直流电机感应电动势的计算方法。分析了电刷宽度变化引起感应电动势和电枢电流变化情况,得出了电机在运行中经常出现烧损故障的原因。

关键词:直流电机;感应电动势;算法;电刷宽度;影响

中图分类号:TM301.3

文献标志码:A

根据传统直流电机理论^[1-8],直流电机感应电动势的计算式为

$$E_g = C_e \phi n \quad (1)$$

式中: E_g 为感应电动势,V; ϕ 为磁极主磁通,Wb; n 为电机转速, $r \cdot \min^{-1}$; C_e 为电机结构常数, $C_e = \frac{pN}{60a}$; p 为磁极对数; N 为电机总的导体数; a 为支路对数。

在推导计算式(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)都会产生感应电动势。但电枢绕组多为短距绕组,而且通过对宽电刷直流电机的换向过程进行分析发现^[9],在电机换向的任何瞬间,都会有不少元件被短路。因此第一、第二两个假设并不成立。

对于中、大型直流电机,大部分采用的是宽电刷。因此,利用计算式(1)获得的结果与实际情况存在较大误差,正因为这个误差使得设计比较完美的电机在实际运用中仍然经常出现烧损故障。

1 电刷宽度对直流电机感应电动势的影响

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 为相邻两个换向片在换向器表面的跨距,即换向片节距, $Y_h = B_y + B_n$; B_y 为云母片在换向器表面的跨距; B_n 为换向片在换向器表面的跨距。

1.2 当 Y_h 一定, B_d 变化时电阻换向过程分析

电阻换向是指换向元件中的电流仅与换向回路的电阻有关,是一种理想的换向情况。

当 $B_d = Y_h$,即 $C_s = 1$ 时,换向元件中电流发生方向改变的时间为一个时间点,只有在该时间点换向元件被短路,电流为0,换向元件中电流的变化如图1(a)所示。在一个换向周期内有4个元件在时间点 b 被短路。

收稿日期:2013-04-21

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。

当 $B_d = 2Y_h$, 即 $C_s = 2$ 时, 换向元件中电流发生方向改变的时间为一个时间段, 在该时间段内换向元件被短路, 电流始终为 0, 换向元件中电流的变化如图 1(b) 所示。在一个换向周期内, 有时 4 个元件在时间段 bc 被短路, 有时 8 个元件在时间段 bc 被短路。

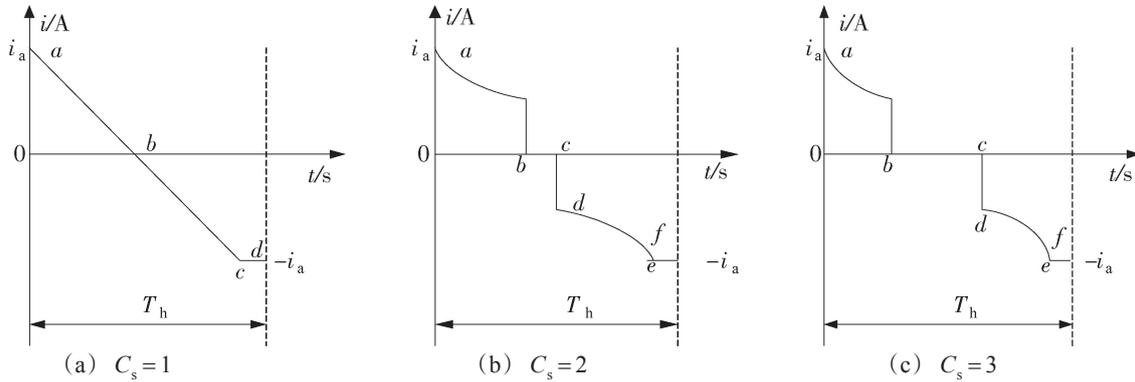


图1 换向元件中电流的变化规律
Fig.1 Current curve of commutation component

当 $B_d = 3Y_h$, 即 $C_s = 3$ 时, 换向元件中电流发生方向改变的时间为一个时间段, 在该时间段内换向元件被短路, 电流始终为零, 换向元件中电流的变化如图 1(c) 所示。在一个换向周期内, 有时 8 个元件在时间段 bc 被短路, 有时 12 个元件在时间段 bc 被短路。

1.3 电刷宽度对直流电机感应电动势的影响

通过对不同的 B_d 值分析可知, 当刷片比 $C_s \leq 1$ 时, 换向元件中电流发生方向改变的时间为一个时间点, 只有在该时间点换向元件被短路, 电流为 0; 当 $C_s \geq 2$ 时, 换向元件中电流发生方向改变的时间为一个时间段, 在该时间段内换向元件被短路, 电流始终为 0, 从而影响了直流电机感应电动势的大小。

当刷片比 $C_s \leq 1$ 时, 这样的直流电机称为窄电刷直流电机; $C_s \geq 2$ 时, 这样的直流电机称为宽电刷直流电机。

对于宽电刷直流电机, 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, 在这些元件中产生的感应电动势一部分在换向回路产生环流, 另一部分通过电刷输出。因此, 在计算感应电动势时需要考虑短路因素的元件数取 $2a(C_s - 1)$ 。

2 宽电刷直流电机感应电动势算法

2.1 宽电刷直流电机感应电动势算法

一个有效边在磁场中产生的电动势 e 为

$$e = blv \quad (2)$$

式中: e 为一个有效边在磁场中产生的电动势, V; b 为气隙磁通密度, T; l 为元件有效边长度, m; v 为电枢表面线速度, $m \cdot s^{-1}$ 。

一个有效边在磁场中产生的平均电动势 e_p 为

$$e_p = b_p lv \quad (3)$$

式中: e_p 为一个有效边在磁场中产生的平均电动势, V; b_p 为气隙平均磁通密度, T。而

$$b_p = \frac{\phi}{l\tau} \quad (4)$$

$$v = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2p\tau n}{60} \quad (5)$$

式中: ϕ 为每极磁通, Wb; τ 为极距, m。所以

$$e_p = \frac{2p}{60} \phi n \quad (6)$$

电机的感应电动势等于每条支路电动势 E_g 。设宽电刷直流电机的总导体数为 N , 参与产生感应电动势的支路导体数为 $\frac{N-2a(C_s-1)}{2a}$, 这样电机的感应电动势为

$$E_g = \frac{N-2a(C_s-1)}{2a} e_p = C_k \phi n \quad (7)$$

式中: a 为支路对数; C_k 为宽电刷直流电机电动势常数, $C_k = \frac{p}{60a} [N-2a(C_s-1)]$ 。

2.2 绕组节距的影响和延迟换向情况分析

上述(8)式考虑的是整距绕组, 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, 则电机的感应电动势会有所减小, 但减小的数值很小, 几乎可以忽略不计。

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

$$e_f = e_k + e_s - e_h \quad (8)$$

式中: e_f 为附加电动势, V; e_k 为电抗电动势, V; e_s 为电枢反应电动势, V; e_h 为换向电动势, V。

但 e_f 不会从电刷输出, 故对电机的感应电动势不会产生大的影响, 电机的感应电动势仍然可按(8)式进行计算。

3 电刷宽度变化对电机运行的影响

通过对(8)式与(1)式的比较可知, 宽电刷直流电机的感应电动势有所减小, 而大、中型直流电机都是宽电刷电机, 其内阻是非常小的, 这样感应电动势稍有下降, 就会造成电枢电流的大幅上升。图2和图3就是根据ZQDR-410型牵引电动机^[17]的额定技术参数^[10], 在保持额定电压和额定转速下获得的感应电动势 E_g 和电枢电流 I_s 变化曲线。

从图2、图3可以看出, 在额定电压和额定转速下, C_s 的增大会使 E_g 减小, 使 I_s 增大。ZQDR-410型直流牵引电动机采用DS74S4分裂式电刷, 尺寸为2(12.5 mm×50 mm×65 mm), 即电刷宽度 $B_d = 25$ mm, 而换向节距 $Y_h = 6.28$ mm, 云母片表面宽度为 $B_y = 1.2$ mm, 换向片表面宽度为 $B_h = 5.08$ mm, $B_d \approx 4 Y_h$, 即 $C_s \approx 4$, 按(8)式计算得 $E_g = 521$ V, $I_s = 823$ A, 而按(1)式计算得 $E_g = 521.8$ V, $I_s = 800$ A。显然, 由于该电机采用宽电刷, 使感应电动势下降了0.8 V, 而电枢电流增大了23 A。根据直流电机换向理论, 超出了额定电流23A的电枢电流必然导致换向进一步恶化, 这是该电机在运用中经常被烧损的重要原因之一。

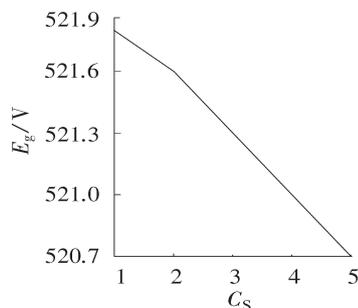


图2 $E_g = f(C_s)$ 曲线
Fig.2 Curve of $E_g = f(C_s)$

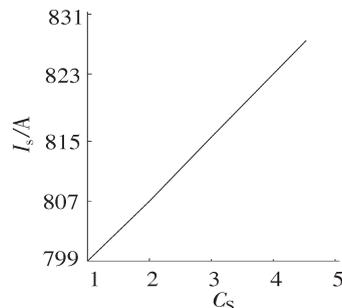


图3 $I_s = f(C_s)$ 曲线
Fig.3 Curve of $I_s = f(C_s)$

4 结束语

对于窄电刷直流电机,电刷宽度对直流电机的感应电动势的影响很小,可以忽略不计,直流电机的感应电动势可按(1)式进行计算;对于宽电刷直流电机,电刷宽度对直流电机的感应电动势的产生较大影响,而且 C_s 的数值越大影响越大,因此直流电机的感应电动势应该按(8)式进行计算。

宽电刷直流电机使感应电动势下降,而电枢电流增大,导致换向进一步恶化,容易烧损电机。

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] 倪红,李海峰. 直流电机换向火花的电磁原因解析. 内燃机车,2011(4):41-44.
- [9] 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.
- [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.

Calculation Method of Induced Electromotive Force of DC Motor with Wide Brushes

Liu Minjun, Ye Chunhua, Luo Huiyuan

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

Abstract: The effect of brush width on induced electromotive force of DC motor is obvious. Therefore, the calculation of induced electromotive force without considering the brush width is not precise enough, which results in the lack of guiding significance for the design of DC motor, especially DC motor with wide brushes. This paper firstly analyzes the effects of the brush width on induced electromotive force of DC motor, and then proposes the algorithm for induced electromotive force of DC motor with wide brushes. Through the changes of induced electromotive force and armature current caused by the change of the brush width, the reason for burning fault during DC motor running is obtained.

Key words: DC motor; induced electromotive force; algorithm; brush width; effect