

直流电机转速与电流换向脉动频率关系新表达

刘曼兰, 张千帆, 崔淑梅

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001)

摘要: 通过对直流电机换向机理的分析, 仅利用直流电机的换向片数和电刷对数两个参数推导出了直流电机转速与换向脉动频率之间的定量关系, 并对所有型号的直流电机给出了统一的表达式; 为间接测量直流电机转速提供了理论依据。

关键词: 直流电机; 换向机理; 换向脉动频率; 电机转速

A New Expression Between the Rotate Speed and Current Commutating Pulsant Frequency of DC Motor

LIU Man-lan, ZHANG Qian-fan, CUI Shu-mei

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

ABSTRACT: The quantitative relationship between the frequency of current fluctuating caused by commutation and the rotating speed of DC motors was found according to the number of commutator and brush after deeply analyzed the commutating mechanism of DC motors in this paper. What's more, the uniform expressions for all types of DC motors have been found and these provide a new theoretic base for measuring the rotating speed indirectly.

KEY WORDS: DC electric machine; Commutating mechanism; Commutating fluctuating frequency; Rotating speed

0 引言

直流电机的换向是指用机械方法强制改变电路连接, 使绕组元件在极短时间内从一条支路进入另一条支路, 绕组元件的电流从一数值变为另一数值。对于直流电机而言, 电流大小不变, 方向改变, 即电流换向。直流电机无论作电动机运行还是作发电机运行, 因为换向关系, 都要引起电流的脉动, 所以直流电机的直流电枢电流上会叠加一个高频分量。该分量的频率与电机转速的关系, 目前国内许多文献对其有不同的论述。笔者经过研究发现, 目前国内许多文献中根据换向片和电刷对数(极对数)以及它们的奇偶关系得到的电流电枢电流脉动频率与转速之间关系的表达式具有片面性, 并不适合所有型号的直流电机。

1 直流电机转速与电流换向脉动频率的关系

文献[1]总结了换向片为奇数时电机转速与电枢电流脉动频率之间的定量关系。该文献认为当电刷为奇数对时, 它们之间的关系为:

$$f = \frac{2kn}{60} \quad (1)$$

当电刷为偶数对时, 它们之间的关系为:

$$f = \frac{kn}{60} \quad (2)$$

式中, k 为换向片数; n 为电机转速; f 为电流脉动频率。

文献[2]认为一个二极直流电机换向所产生的电流脉动频率为:

$$f = \frac{ckn}{60} \quad (3)$$

式中, c 为由 k 决定的奇偶系数, 当 k 为奇数时, $c=2$, 为偶数时, $c=1$ 。此公式对一对电刷以上的情况没有考虑。

文献[3]总结出的关系式如下:

$$f = \frac{ckpn}{60} \quad (4)$$

式中, c 为由 k 决定的奇偶系数, 当 k 为奇数时, c

收稿日期: 2005-09-13

=2, 为偶数时, $c=1$; p 为极对数。

文献[3]的总结相对文献[1]和[2]要全面一些, 对目前很多型号的电机都是适用的, 因此得到了很多同行的公认。如文献[4]直接引用了文献[3]中的公式, 由电枢电流的脉动频率来间接得到电机转速信息。

但笔者经过研究发现, 上述根据换向片和电刷对数(极对数)以及它们的奇偶关系得到的表达式并不适合所有型号的直流电动机。对上述直流电机电枢电流脉动频率与电机转速之间的关系做不同论述, 给出了适用于所有型号的直流电机的统一表达式。

2 直流电机换向机理分析

假设换向前换向元件中的电流为 i , 则在换向

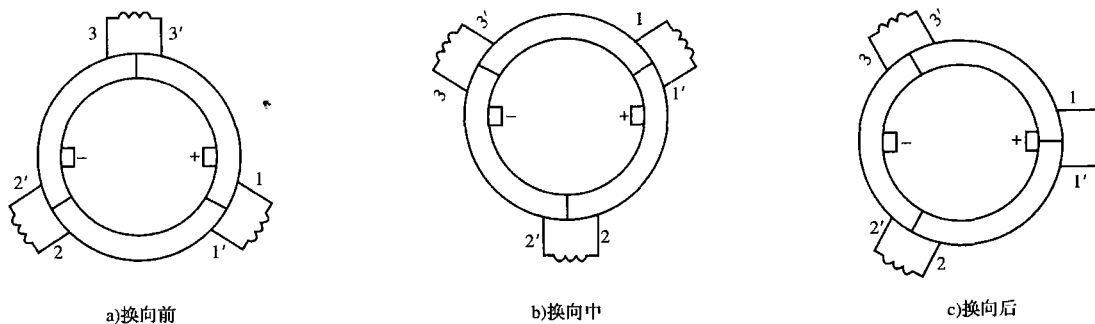


图1 直流电动机的换向过程示意图

如图1 a) 所示瞬间, 元件1和元件2串联组成支路1, 电流流向为: 电刷1→1→1'→2→2'→电刷2。该支路的电压平衡方程式为:

$$u = i_1 r_1 + e_1 + e_2 \quad (5)$$

元件3单独构成支路2, 电流流向为: 电刷1→3'→3→电刷2。支路2的电压平衡方程式为:

$$u = i_2 r_2 + e_3 \quad (6)$$

当电刷旋转至如图1 b) 所示瞬间, 元件1被短路, 元件2和元件3分别构成支路1和支路2。支路1电流流向为: 电刷1→2→2'→电刷2。支路1的电压平衡方程式为:

$$u = i_1 r_1 + e_2 \quad (7)$$

支路2电流流向和电压平衡方程式不变。此时, 支路1仅有元件2, 支路1的电势将在元件1被短路的瞬间突然减小。由于电枢端电压保持不变, 该支路的电流将大大增加, 而支路2的电流变化不大, 这将导致电枢电流大大增加。

当电刷旋转至如图1 c) 所示瞬间, 支路1由

结束时, 该电流将变为 $-i$ 。由于换向元件中的电流变化, 存在自感电势, 由于与其相邻的元件中的电流变化, 存在互感电势, 另外, 由于它在磁场中转动, 还有旋转电势。假设电机按照逆时针方向转动, 将标有“+”的电刷称为电刷1, 标有“-”的电刷称为电刷2, 同时规定, 从电刷1出发, 按顺时针方向到达电刷2的支路为支路1, 从电刷1出发, 按逆时针方向到达电刷2的支路为支路2。支路1的电流和电阻分别为 i_1 和 r_1 , 支路2的电流和电阻分别为 i_2 和 r_2 。元件1、2和3的旋转电势分别为 e_1 、 e_2 和 e_3 。由于各个元件所产生的自感电势和元件之间的互感电势与旋转电势相比都非常小, 忽略不计。则电枢电流满足: $i = i_1 + i_2$ 。

元件2构成, 电流流向和电压平衡方程式保持不变, 此时其电流大小变化不大。支路2由元件3和元件1构成, 电流流向为: 电刷1→1'→1→3'→3→电刷2。电压平衡方程式为:

$$u = i_2 r_2 + e_1 + e_3 \quad (8)$$

此时, 支路2的电势为元件3和元件1的电势之和, 支路2的电流将在换向结束后突然减小, 从而导致电枢电流将减小。按照同样的方法分析可得出结论, 即在永磁直流电动机转动1周的过程中, 电枢电流将脉动6次。

3 结论

经过前面的分析不难看出, 当直流电动机换向时, 电枢电流将发生脉动, 而且任意1台直流电机在转动1周的过程中电枢电流脉动的次数是一致的。假设电机有 k 个换向片和 p 对极, 如果不存在几个电刷同时经过换向片片间绝缘槽的情况, 那么当1个电刷经过1个绝缘槽将发生1次换向, 电

枢电流产生1次脉动,在电机转动1周的过程中,该电刷将脉动 k 次,又因为总共有 $2p$ 个电刷,所以电机每转动1周将会产生 $2pk$ 次脉动。进一步推导,可得以下结论:

1) 当不存在几个电刷同时经过换向片片间绝缘槽时,即 $2p$ 和 k 之间不存在公约数时,则有

$$f = \frac{2pkn}{60} \quad (9)$$

2) 若几个电刷同时经过换向片片间绝缘槽时,即 $2p$ 和 k 之间存在公约数 M 时,可由上述分析方法得到电机转动1周电枢电流脉动的次数,并可知两者之间的关系表达式为:

$$f = \frac{2pkn}{60M} \quad (10)$$

其中,式(9)和式(10)中的 p 、 f 、 n 、 k 均同上。

参考文献

- [1] 张文海. 直流电机转速的特殊测试方法 [J]. 电工技术杂志, 1997, 29 (3): 40-42.
- [2] 陈雅文. 直流电机测速新方法 [J]. 微电机, 1999, 32 (1): 36-37.
- [3] 黄进, 黄建华. 基于小波分析的电机转矩转速特性测试 [J]. 中小型电机, 2001, 28 (2): 49-52.
- [4] Cuishumei, Chaifeng, Wuhongxing. Virtual test system for permanent-magnet DC motor [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35 (2): 13-20.

作者简介: 刘曼兰, 女, 1971年生, 讲师, 在读博士生, 研究方向为电机测试与故障诊断应用。

崔淑梅, 女, 1964年生, 博士生导师, 从事电机测试与故障诊断及电动车驱动控制系统研究。

(上接第9页)

参考文献

- [1] 李永东. 交流电机数字控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] Kubota H, Matsuse K, Nakano T. Dsp-based speed adaptive flux observer of induction motor [J]. Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 29, Issue 2, March-April, 1993: 344-348.
- [3] Atkinson D. J, Acarnley P. P, Finch J. W. Observers for induction motor state and parameter estimation [J]. Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 27, Issue 6, Nov.-Dec, 1991: 1119-1127.
- [4] Tajima H, Guidi G, Umida H. Consideration about problems

and solutions of speed estimation method and parameter tuning for speed-sensorless vector control of induction motor drives [J]. Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 38, Issue 5, Sept.-Oct, 2002: 1282-1289.

- [5] 洪家平. 电压/频率转换器 BG382 的原理与应用 [J]. 国外电子元件, 2004, (12) 68~69.

作者简介: 沈安文 (1967—), 男, 教授, 博士后, 主要研究方向为电力电子与运动控制, 复杂工业过程的流程控制, 计算机网络控制等。

李涛 (1982—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力电子与运动控制。