

汽车发电机双三相波绕组的分析和设计

黄会平¹, 郑凌娟²

(1. 浙江安美德汽车配件有限公司, 浙江 湖州 313000; 2. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为提高汽车发电机的绕组性能,以96槽16极爪极电机定子绕组为例,分析和设计了一种由两组三相波绕组构成的定子绕组。通过Ansoft有限元分析软件,对该绕组通入三相对称电流产生的气隙磁场和总谐波畸变率值(THD)进行了计算分析,并与传统三相波绕组的整距和短距接法的结果进行了比较。分析比较结果表明,采用该方法生成的三相定子绕组产生的磁场波形和谐波含量都满足设计要求。按该设计方案生产的汽车发电机绕组实物图验证了该设计方法能满足大功率和结构紧凑的要求。

关键词: 汽车发电机;定子绕组设计;两组三相绕组;磁场分析;总谐波畸变率

中图分类号: U461;TM313

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0718-03

Design and analysis of two three-phase windings of automotive generator

HUANG Hui-ping¹, ZHENG Ling-juan²

(1. Zhejiang Add Auto-parts Limited Company, Huzhou 313000, China;

2. School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to improve the properties of automotive generator, a design method of automotive generator stator windings -96 slots and 16 poles claw generator, for example, was analyzed. With finite element analysis software Ansoft, the flux density waveform generated by three-phase symmetrical current in the stator windings and its total harmonic distortion(THD) value were calculated. Compared with the traditional full-pitch windings and short-pitch windings, the analysis results show that the magnetic field waveform and harmonic content can meet the design requirement. The prototype of an automotive generator windings was also given to verify that the design method can achieve the high power and compact structure requirements.

Key words: automotive generator; stator winding; two three-phase windings; magnetic field analysis; total harmonic distortion(THD)

0 引言

随着汽车技术的进步,人们对汽车的使用性能日益注重,汽车上的电子控制装置和用电设备相应增加。作为汽车的主要电源,发电机在汽车发动机正常运转时,为所有用电设备供电,同时向蓄电池充电,功率随着车上用电设备的增加而增加。汽车发电机可以分为直流发电机和交流发电机,由于交流发电机在许多方面的优点明显而成为主流。为提高发动机驱动转矩,发动机的部件与交流发电机连接的支架一般直接连附于发动机部件上,要求发电机体积小、防震性能好而输出功率大。此外,还需要改善交流发

电机的热阻,以便抵御发动机室的升温^[1]。

爪极发电机由于制造简单且成本低而得到广泛应用。

本研究以爪极定子绕组的应用设计为研究对象,将定子线圈设计成多层两组三相定子绕组,通过减少线圈交叉和缩短端部连接,紧凑绕组结构、改善端部热阻。并通过Ansoft有限元方法对定子线圈产生的电枢磁场进行谐波分析,证明三相线圈设计的有效性^[2]。

1 绕组设计

爪极发电机目前主要有电励磁和混合励磁两种结构^[3-4]。其主磁路由转子磁轭、爪极、气隙、定子齿和

定子轭几部分组成。

当转子运转时,转子磁场就形成旋转磁场,它不断切割定子三相绕组,在三相绕组中感应出三相交流电势。当发电机带有负载时,三相绕组中流过的电流又产生电枢磁场,对转子磁场产生影响。因此无论是哪一种结构的爪极发电机,其定子绕组的结构对电机的性能和体积都有较大的影响。大功率汽车交流发电机具有低电压、大电流的特点,为了减小电机的体积,在绕组设计时,需要考虑提高槽利用率、减小端部的焊接、减小电阻、改善发电机的热阻。

波绕组可以减少线圈组之间的连接线,它把同极性下的线圈依次串联起来,每次前进一对极距,是目前汽车发电机中用得比较多的一种绕组形式。按照普通波绕组构成方法,在汽车发电机对绕组紧凑结构要求高的情况下,会带来下线困难的问题。因此本研究设计了一种相移一个槽距角的多组三相整距波绕组构成方法,简化了波绕组的构成,同时可减少线圈交叉和缩短端部连接,紧凑绕组结构。

本研究以96槽定子铁芯、16极爪极三相大功率交流发电机为例进行分析。电机的极距为6槽,每极每相槽数为2。线圈采用整距波绕组线圈时,其第1节距为极距,合成节距为一对极距。在应用中,为了改善端部结构,提高结构的紧凑性,本研究首先采用一根导线绕制构成整距波绕组线圈。

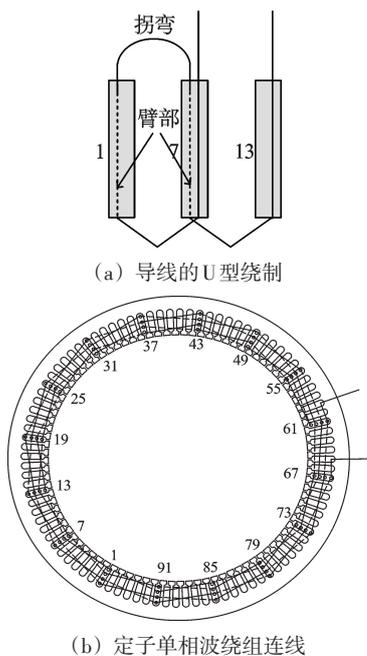


图1 定子绕组连线示意图

如图1(a)所示,一根预定长度的连续导线在一半处被弯折,从而构成两个臂部和一个拐弯部分。两个臂部彼此平行地形成,其间的距离等于一个极距,即6个槽。然后两个臂分别沿绕制方向错开一个磁极间

距,以层叠的方式绕制。由此交替,在整个圆周内可构成两层波形线圈。为了增加串联的线圈匝数,本研究增加槽内的导体数,当线圈完成一圈后再逆着原来的绕制方向,重复一次,这样基本呈U形的导线被制成在定子每个槽内有4层导线的的一个波绕组线圈,如图1(b)所示。在与前一根导线初始位置错开 120° 电角度的槽里,本研究分别放置另两根U型导线(分别超前第1根导线 120° 电角度和滞后第1根导线 120° 电角度),采用同样的方法,构成另两个波绕组线圈,由此构成A1、B1、C1三相。

经过这样的绕制,与第1组槽错开一个槽距角即 30° 电角度的1组槽仍空缺,为此本研究以同样的方法,用另3根呈U形的导线,产生第2组三相绕组(A2、B2、C2)。这两组三相绕组可以独立地输出,也可将两组三相绕组的对应相串联,按照要求接成三角形或星形连接。

2 电枢磁场的分析

为了分析这样绕制的电机绕组产生的电枢磁场情况,本研究基于Ansoft/Maxwell 2D有限元分析软件^[5],建立了96槽定子的交流发电机模型。一对极下各相绕组分布的槽星形图^[6]如图2所示。

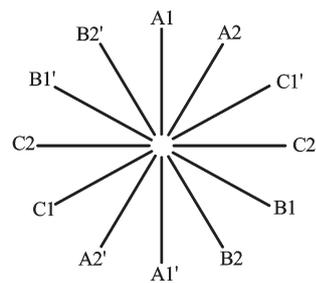


图2 槽星形图

本研究将A1、B1、C1和A2、B2、C2两套三相绕组的对应相串联后,设定三相定子电流分别为:

$$\begin{cases} i_A = I_m \sin \omega t \\ i_B = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_C = I_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases} \quad (1)$$

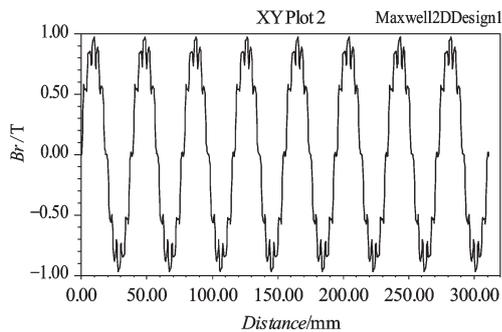
其中: $I_m = 100 \text{ A}$, $\omega = 2\pi f = 100\pi$ 。

三相定子绕组产生的气隙磁密波和对应的FFT频谱分析^[7]如图3所示,图3(a)中,横坐标为沿定子轭部气隙圆环路径的空间位置;纵坐标为沿该路径的径向磁密。计及定子槽开口时,有:

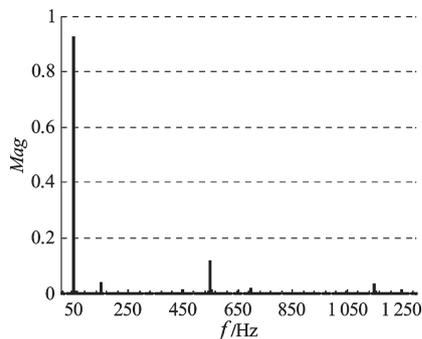
$$\text{THD} = \frac{U_h}{U_1} \times 100\% = 15.04\% \quad (2)$$

式中: $U_h = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}$ 。

定子三相绕组按传统波绕组设计方法,在整距和



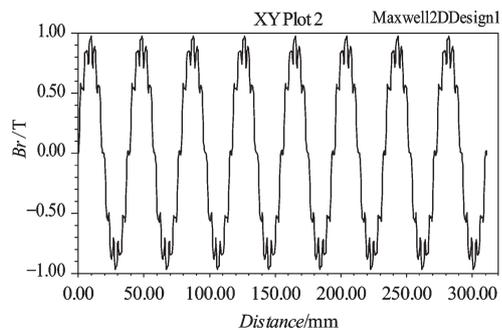
(a) 磁密波的空间波形



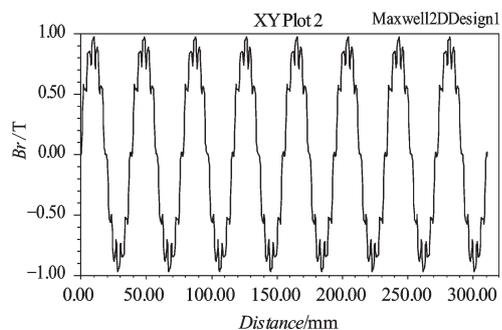
(b) FFT分析(THD=15.04%)

图3 两组三相绕组磁密波及其FFT分析

$5\tau/6$ 短距时得出的气隙磁密波^[8]和对应的FFT频谱分析所得的THD值如图4所示,其中,横坐标为沿气隙路径的空间位置;纵坐标为沿该路径的径向磁密。可以看出,当传统绕组采用整距绕组时,由于两种方法的各相绕组在定子槽的分布完全相同,所得磁密波形和THD值完全相同。线圈节距采用 $5\tau/6$ 时,由于短距对谐波的抑制作用,得出:



(a) 整距绕组(THD=15.04%)



(b) 短距绕组(THD=14.84%)

图4 传统绕组绕制方法的磁密波形

$$THD = \frac{U_h}{U_1} \times 100\% = 14.84\% \quad (3)$$

因此可以得出,当电机绕组按两组三相绕组的方法进行绕制时,能保证与传统整距波绕组产生同样正弦性电枢磁场,结构紧凑,制造工艺上更易于实现。但对谐波抑制要求较高的场合,该方法有一定的局限性。

安美德公司按照上述方法绕制后,将两组绕组对应相串联后三相输出的实物照片如图5所示。

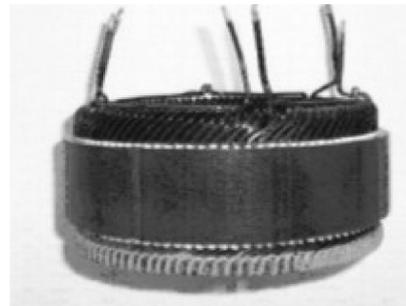


图5 两组三相定子绕组绕制实物

整个定子绕组采用6根导线层叠绕制,输出部分的位置相互连接,减少了需要焊接的数量,减少连接的成本,也降低了线圈端部的高度,使得由线圈端电阻减到最小,实现了大功率和紧凑的设计。

3 结束语

本研究通过采用Ansoft软件,对所设计的电机定子绕组产生的电枢磁场进行了有限元分析,其分析结果表明,当采用简单波绕组绕制技术,结合两套多相绕组错开预定电相角的设计,在保证性能的同时可以减少线圈的交叉和缩短端部的连接,在紧凑绕组结构的同时改善端部热阻。

参考文献(References):

- [1] 燕来荣. 现代汽车电机的发展状况[J]. 电机技术, 2009(5):41-44.
- [2] 车义. 现代汽车发动机技术的发展趋势[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学动力工程系, 2007.
- [3] 倪有源. 汽车用爪极发电机的分析与研究[D]. 合肥:合肥工业大学电机与电器系, 2006.
- [4] 王群京, 倪有源, 李国丽. 爪极电机的结构、理论及应用[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2006.
- [5] 陈世坤. 电机设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [6] 潘再平, 章玮, 陈敏祥. 电机学[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2008.
- [7] 赵博, 张洪亮. Ansoft 12在工程电磁场中的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
- [8] 刘国强, 赵凌志, 蒋继娅. Ansoft工程电磁场有限元分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.

[编辑:李辉]