

车辆用可控整流稳压式永磁发电装置的研究

张学义, 史立伟, 徐政欣

(山东理工大学交通与车辆工程学院, 淄博 255049)

摘要: 多块钕铁硼永磁材料由极靴通过非导磁螺钉固定在钕铁硼永磁发电装置转子铁芯上, 相邻的钕铁硼永磁材料极性相反, 即 N 极 S 极间隔排列, 组成钕铁硼永磁转子, 当转子转动时, 磁场旋转, 线圈切割磁力线, 产生电动势。研发出了三相半控桥式整流稳压器, 当钕铁硼永磁发电装置的输出电压低于目标稳压值时, 整流稳压器为三相全波桥式整流输出, 当钕铁硼永磁发电装置的输出电压高于目标稳压值时, 电压信号采样比较电路自动使三相全波整流桥桥臂瞬时断开, 降低输出电压, 当钕铁硼永磁发电装置的输出电压再低于目标稳压值时, 三相全波整流桥再恢复工作, 周而复始, 整流稳压器通过移相、削波、整流, 使输出电压稳定在一定范围内, 解决了车辆用永磁发电装置在宽转速、宽负载范围内输出电压保持稳定的问题以及给蓄电池充电的问题。

关键词: 车辆; 稀土永磁; 发电装置

中图分类号: TM 313

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)11-0104-04

张学义, 史立伟, 徐政欣. 车辆用可控整流稳压式永磁发电装置的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 104-107.

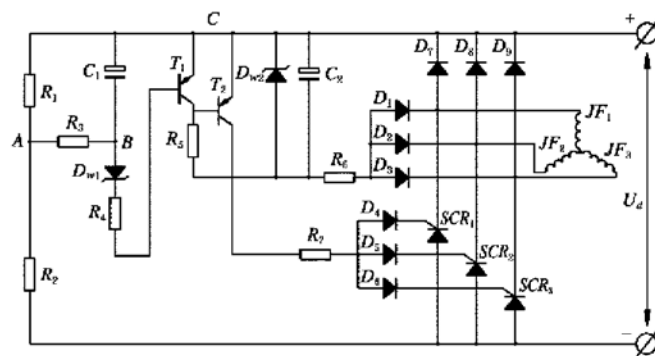
Zhang Xueyi, Shi Liwei, Xu Zhengxin. Permanent-magnet generating set of the controlled commutation and stabilizing voltage for vehicles[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 104-107. (in Chinese with English abstract)

0 引言

目前国内车辆使用的发电机按激磁方式不同大致分为 3 类: 一类为永磁交流发电机, 由于该发电机输出交流电, 不能给车辆的用电设备提供直流电源和给蓄电池充电, 而且发电机输出电压随转速的升高成正比例的增加, 用电设备使用寿命缩短或烧毁; 第二类为硅整流发电机, 该发电机由电励磁绕组产生磁场, 通过电励磁绕组的电能只有很少一部分转换为用于发电的磁能, 大部分电能由于励磁绕组发热而消耗掉, 而且转子的励磁绕组易烧毁、断线, 必须由蓄电池提供励磁电流才能发电, 这样势必增加了车辆成本, 一种带有碳刷滑环结构的硅整流发电机, 滑环直径大, 线速度高, 碳刷容易磨损, 寿命短, 故障率高, 另一种是无刷硅整流发电机, 该机增加了磁场气隙, 漏磁大, 材料利用率低, 成本高^[1-6]; 第三类为永磁与电磁混合励磁的发电机, 在低速时永磁与电磁联合励磁提高输出电压, 高速时主要依靠永磁发电, 结构复杂, 成本高。本文研究的车辆用可控整流稳压式永磁发电装置, 无电励磁绕组、无碳刷滑环结构, 故障率低, 采用电流或电压传感器, 在发电机低负载、高转速工作时, 控制发电机一相或多相工作, 实现智能控制, 发明了三相半控桥式整流稳压技术, 解决了车辆用永磁发电装置在变转速、变负载工况下的输出电压保持稳定的问题。

1 电子稳压器工作原理

电子稳压器主要由电子元件、线路板、压铸铝壳、引线等组成^[7]。把焊接好的线路板固定在压铸铝盒内, 用不饱和树脂浇注成一体, 防尘、防潮、抗振动、抗冲击, 以适应不良的环境。电子稳压器电路图如图 1 所示。



$R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ ——电阻 $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ ——二极管
 D_7, D_8, D_9 ——整流二极管 D_{W1}, D_{W2} ——稳压管 C_1, C_2 ——电容 T_1, T_2 ——三极管 SCR_1, SCR_2, SCR_3 ——可控硅
 JF_1, JF_2, JF_3 ——交流发电机完全相同的三个线圈绕组

图 1 电子稳压器电路图

Fig. 1 Rectification voltage stabilizer circuit

通过调整 R_1 的阻值, 可改变 A 点的电势, 从而设置电子稳压器目标稳压值 $U_0 = 14 \text{ V}$ 。

JF_1, JF_2, JF_3 为三相永磁交流发电机完全相同的三个线圈绕组, 其相位差为 120° , 按“Y”型接法, 尾端接于一点。当发电机低速运转时, 主要采用高剩磁感应强度、高矫顽力、高磁能积的钕铁硼永磁材料, 对发电机进行优化设计, 增加极对数, 以及增加电枢绕组匝数等保证发电机输出较高电压。

收稿日期: 2005-11-28 修订日期: 2006-03-04

基金项目: 国家科技成果重点推广计划(2005EC000195); 山东省自然科学基金项目(2004ZX20); 山东理工大学科技基金资助项目(2005KJZ04)

作者简介: 张学义, 男, 教授, 主要从事汽车电子电气技术、发电装置的研发工作。淄博 山东理工大学交通与车辆工程学院, 255049。

Email: zhangxueyi@sdut.edu.cn

当发电机转速较低时, 输出电压 U_d 也低, 小于目标稳压值 U_0 , 三极管 T_1 的发射极与 A 点的电压小于稳压管 D_{W1} 的击穿电压 U_{W1} , 三极管 T_1 处于截止状态。由于稳压管 D_{W1} 、电容 C_2 为三极管 T_2 提供正向偏压, 三极管 T_2 的发射极与基极之间的电压大于 0.7 V , 因此三极管 T_2 导通, 集电极电流通过电阻 R_7 、二极管 D_4 、 D_5 、 D_6 分别向可控硅 SCR_1 、 SCR_2 、 SCR_3 的栅极提供触发电流, 使可控硅导通, 可控硅 SCR_1 、 SCR_2 、 SCR_3 与整流管 D_7 、 D_8 、 D_9 构成三相桥式整流电路, 输出直流电。

随着发电机转速的升高, 输出电压 U_d 也随着升高, 三极管 T_1 发射极与 A 点的电压也升高。当输出电压 U_d 大于设定的目标稳压值 U_0 时, 三极管 T_1 发射极与 A 点的电压大于稳压管 D_{W1} 的击穿电压 U_{W1} , 三极管 T_1 由截止状态变为导通状态, 发射极与集电极之间的电压为 $0.2 \sim 0.3\text{ V}$, 小于三极管 T_2 发射极与基极之间的门坎电压 0.7 V , 三极管 T_2 由导通变为截止, 不再向可控硅 SCR_1 、 SCR_2 、 SCR_3 的栅极提供触发电流, 可控硅延时至无正向电压时截止, 三相半控桥式整流电路瞬时断开, 形成开路, 输出电压 U_d 下降, 三极管 T_1 发射极与 A 点的电压也下降。当输出电压 U_d 低于设定的目标稳压值 U_0 时, 三极管 T_1 截止, T_2 导通, 可控硅再次导通, 整流电路恢复工作。当输出电压 U_d 再升高, 大于设定的目标稳压值 U_0 时, 稳压管 D_{W1} 击穿, 三极管 T_1 再导通, T_2 再截止, 周而复始, 三极管 T_1 、 T_2 反复处于通断状态。通过移相、削波、整流, 保证了发电机输出电压稳定的直流电, 给车辆的用电设施提供直流电源或给蓄电池充电。

2 主要参数的确定

2.1 输出功率、转速和稳压范围

该发电机主要为车辆夜间照明、转向指标、电喇叭、刮雨器、暖风机等提供直流电源以及给蓄电池充电, 一般车辆的用电总量为 480 W 左右, 因此设计发电机的输出功率为 500 W , 转速在 $2000 \sim 4800\text{ r/min}$ 范围内变化时, 输出电压值在 $12 \sim 14.5\text{ V}$ 之间。

2.2 主要参数的确定

钕铁硼永磁发电装置结构示意图如图 2 所示。

2.2.1 发电机电枢绕组匝数的计算

根据电磁学原理公式, 计算出发发电机电枢绕组匝数^[8-10]

$$N = \frac{E_0}{4k_B f k_w \Phi} \quad (1)$$

式中 E_0 ——发电机空载时的电动势; k_B ——波形系数, 当空气隙磁场为正弦分布时, 取 $k_B = 1.11$; f ——频率, $f = \frac{pn}{60}$; p ——极对数, 本设计为 12 极永磁发电机, $p = 6$; n ——转速, r/min ; k_w ——电枢绕组的绕组系数, 取 $k_w = 0.92$ 。

$$\Phi = \frac{Q}{\sigma_0} \quad (2)$$

式中 Q ——通过定子绕组的有效磁通量, 韦伯, 其中

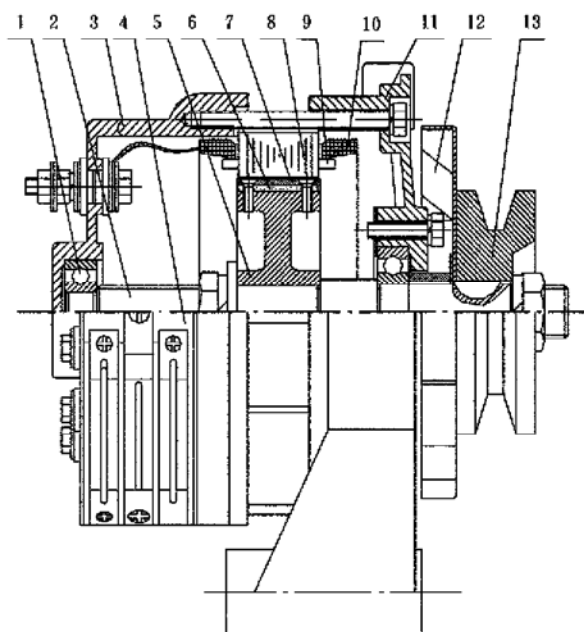
σ_0 ——漏磁系数, 有极靴星形转子 $\sigma_0 = 1.2 \sim 1.5$, 本设计取 $\sigma_0 = 1.3$; Q ——空气隙中每极的磁通量。

$$Q = \alpha B_\delta S_\delta = \alpha B_\delta \tau L_\delta \quad (3)$$

式中 α ——极弧系数, 有极靴星形转子的发电机 $\alpha = 0.75 \sim 0.85$, 本设计 $\alpha = 0.8$; B_δ ——空载时磁感应强度, $B_\delta = (0.75 \sim 0.85) B_r$, B_r ——剩磁感应强度, T 。

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \quad (4)$$

式中 τ ——极距, m ; D ——定子铁芯内径, m ; L_δ ——空气隙轴向计算长度, m 。



1. 轴承 2. 转轴 3. 后端盖 4. 电子稳压器 5. 转子铁芯
6. 钕铁硼永磁钢 7. 极靴 8. 定子铁芯 9. 竹楔 10. 电枢绕组 11. 前端盖 12. 风扇 13. 皮带轮

图2 钕铁硼永磁发电装置结构示意图

Fig. 2 Structural diagram of Nd-Fe-B permanent-magnet generator

2.2.2 永磁体尺寸的确定

利用短路三角形法可计算出永磁材料的体积^[11]

$$V = \frac{P_N \sigma_0 C_F k_\alpha}{3.54 k_B f B_\delta H_\delta} \cdot \frac{k_i^2}{k_i - 1} \times 10^{-2} (\text{m}^3) \quad (5)$$

式中 P_N ——当发电机的功率因数 $\cos \varphi = 0$ 时的视在功率, W , 当 $\cos \varphi > 0$ 时, 电枢反应对永磁体的去磁作用减小, 永磁体体积可缩小, $P_N = P'_N \cos \varphi$, P'_N 为 $\cos \varphi > 0$ 的发电机的视在功率, W ; C_F ——磁势系数, 当磁路不饱和时 $C_F = 1.1 \sim 1.15$, 本设计 $C_F = 1.1$; k_α ——纵轴电枢反应折算系数, $k_\alpha = \frac{\alpha \pi + \sin \alpha \pi}{4 \sin \frac{\alpha \pi}{2}}$; H_δ ——短路磁场

强度, $H_\delta = (0.6 \sim 0.7) H_c$; H_c ——磁场强度, kA/m ;

$k_i = \frac{I_n}{I_N}$, k_i ——短路电流倍数, 本设计 $k_i = 2$; I_n ——短路电流, A ; I_N ——工作电流, A 。

3 性能试验

车辆用钕铁硼永磁发电机采用 12 极有极靴星形转子式三相永磁同步发电机^[12-14], 发电机额定电压 14 V, 额定功率 500 W, 额定转速 4000 r/min。磁性材料选用

钕铁硼 NTP30H, 其剩磁感应强度 $B_r = 1.12 \text{ T}$, 磁场强度 $H_c = 790 \text{ kA/m}$, 最大磁能积 $(BH)_{\max} = 224 \sim 256 \text{ kJ/m}^3$ 。在负载功率分别为 480、500 和 520 W 的条件下, 对新研制的三相半控桥式整流稳压钕铁硼永磁发电机从低速到高速进行性能试验, 试验结果如表 1。

表 1 发电机输出电压试验结果
Table 1 Test results of the generator output voltage

样机编号	2000 r/min			4000 r/min			4800 r/min		
	480 W	500 W	520 W	480 W	500 W	520 W	480 W	500 W	520 W
1	13.60	13.26	12.39	14.15	14.14	14.13	14.21	14.20	14.19
2	13.80	13.63	12.64	14.12	14.17	14.18	14.33	14.29	14.25
3	13.46	12.60	12.16	14.20	14.18	14.16	14.26	14.24	14.23
4	13.64	13.46	12.52	14.13	14.16	14.17	14.24	14.22	14.18
5	13.72	13.18	12.42	14.18	14.16	14.15	14.23	14.21	14.19

注: 试验时间: 2005 年 3 月 30 日; 地点: 山东理工大学车辆实验室; 试验样机: 5 台。

从表 1 中看出, 当发电机转速由 2000 r/min 变化到 4800 r/min 时, 负载功率由 480 W 变化到 520 W 时, 输出电压稳定在 12.16~14.33 V 之间, 该性能指标达到了设计要求, 并优于中华人民共和国机械行业标准^[15]。

4 结 论

1) 钕铁硼永磁发电装置的转速由 2000 r/min 变化到 4800 r/min 时, 负载功率由 480 W 变化到 520 W 时, 其输出电压在 12.16~14.33 V 之间, 稳压性能好。

2) 三相半控桥式整流稳压器, 集稳压、整流于一体, 解决了车辆用永磁发电装置在宽转速、宽负载范围内输出电压保持稳定的问题。

3) 钕铁硼永磁发电装置的转子为永磁转子, 无碳刷滑环结构, 故障率低, 无电励磁绕组, 铜材消耗少, 发电效率高。

[参 考 文 献]

- [1] 黄延允. 汽车永磁发电机综述[J]. 微特电机, 2000, (4): 25-28.
- [2] 徐卫, 何全陆. 稀土永磁汽车发电机的开发现状与前景展望[J]. 微特电机, 1998(5): 44-45.
- [3] 梁昌勇. 我国车用永磁发电机的发展前景及现状[J]. 微电

机, 1998, (2): 34-36.

- [4] 史立伟, 张学义, 耿松亮, 等. 具有开发前途的车用永磁发电机[J]. 农机化研究, 2004(2): 47-49.
- [5] 麻友良, 丁卫东. 汽车电器与电子控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003, 1: 486.
- [6] 张学义, 杜钦君, 谭德荣, 等. 农用运输车用张紧轮式永磁恒压发电机[J]. 农业机械学报, 2000, (6): 98-100.
- [7] 秦曾煌. 电工学下册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 10: 381.
- [8] 刘景林, 李钟明. 小型稀土永磁同步发电机分析及应用[J]. 中小型电机, 2001, (5): 14-16.
- [9] 窦一平, 陈海镇, 严仰光. 组合励磁稀土永磁同步发电机的基本原理和 design 方法[J]. 中小型电机, 2001(4): 20-24.
- [10] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000, 4: 273-307.
- [11] 陈峻峰. 永磁电机下册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983, 4: 1-70.
- [12] 李钟明, 刘卫国, 刘景林. 稀土永磁电机[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999, 7: 8-38.
- [13] 田汉民. 磁性材料[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001, 4: 363.
- [14] 韩加蓬, 翟庆志. 永磁发电机用永磁材料的选择[J]. 山东理工大学学报, 2003(3): 35-37.
- [15] 中华人民共和国机械行业标准. JB/T 8582.6—2001. 农用运输车发电机[S].

Permanent-magnet generating set of the controlled commutation and stabilizing voltage for vehicles

Zhang Xueyi, Shi Liwei, Xu Zhengxin

(School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: Abstract: The rotor of Nd-Fe-B permanent-magnet generating set is made up of a rotor core and much of the permanent-magnet material and pole shoes fixed on the core with non-magnetic screw. When the rotor rotates, N poles and S poles alternately pass the stator coils, and it generates electricity. With the developed three-phase half-controlled regulator, the generator will output rectified direct current from the regulator when the rotate speed is low and the output voltage is too low to achieve the target value. With the rise of the rotate speed, the output voltage is higher than the target value. And the comparator's voltage of the regulator is high enough to make the trigger turn off the three-phase half-controlled rectifier. The generator's voltage drops down quickly after the rectifier shuts off until there is no current through it. Then the output voltage is lower than the target value again, and the rectifier restores to work. Circularly, the generator will output stable direct current and solves the vehicle's problem of generating in low speed and the requirement of direct current.

Key words: vehicles; Nd-Fe-B permanent-magnet; generating set