

农用车用离心式永磁直流发电机的设计开发

张学义¹, 高明玲¹, 康保江¹, 耿松亮¹, 史立伟¹, 白颖²

(1. 山东理工大学; 2. 兰州轴承有限公司)

摘要: 离心式永磁直流发电机把皮带轮与离心式转子外壳设计为一体, 转子外壳内侧嵌有多块永磁材料, 由非导磁材料间隔, 通过螺钉固定在离心式转子外壳上, 定子绕组固定在安装支架中心孔轴上, 当转子转动时, 磁场旋转, 线圈切割磁力线, 产生电动势。该文研究开发出了具有节能稳压作用的电子稳压器, 当发电机输出电压低于目标稳压值时, 电子稳压器为全波桥式整流输出, 当发电机输出电压高于目标稳压值时, 电压信号取样回路自动使全波整流桥双臂瞬时断开, 降低输出电压, 当发电机输出电压再低于目标稳压值时, 整流桥再恢复工作, 周而复始, 通过移相、削波、整流, 使发电机输出电压稳定在一定范围内, 解决了小型农用车的低速照明问题和用电设施需用直流电的问题。

关键词: 离心式发电机; 永磁; 直流发电机

中图分类号: S24

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2002)06-0074-03

随着农村经济的不断发展, 我国农用柴油三轮车、四轮车的生产批量不断增加, 每年生产量在 300 万辆以上, 这对搞活农村经济带来了极为有利的条件。目前农用柴油三轮车所采用的发电机主要是永磁交流发电机, 仍然存在着“低速灯不亮, 高速烧灯泡”的现象。因此在夜间行驶、路面差、会车和转向时, 柴油机转速低, 照明灯暗, 容易发生交通事故, 并且不能直接给三轮车驾驶棚的刮雨器、暖风机等提供直流电源。农用四轮车用发电机主要是硅整流发电机, 该发电机带有碳刷滑环装置, 滑环直径大, 容易磨损, 寿命短, 而外壳盖为压铸铝件, 成本高。因此研制一种电压输出稳定, 成本低, 性能可靠, 既能用于农用三轮车, 又能用于四轮车的离心式永磁直流发电机十分有必要。本研究采用高磁性的 Y30BH 铁氧体永磁材料和具有节能稳压作用的串联式电子稳压器研制而成的机电一体化产品, 解决了小型农用车的低速照明和用电设施需用直流电的问题。

1 主要参数的确定

1.1 输出功率、转速和稳压范围

小型农用车用于夜间照明、转向指标、电喇叭、刮雨器、暖风机等的用电总量为 180 W 左右, 因此发电机输出功率选定为 200 W。

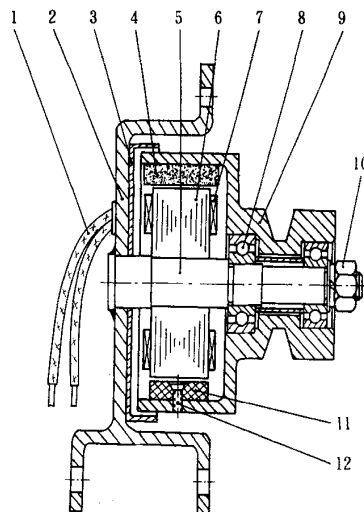
我国小型农用车所采用的柴油机一般为 5.9~13.2 kW, 怠速一般在 800~1000 r/min, 最高转速为 2200 r/min, 发电机皮带轮直径与柴油机皮带轮直径比为 1:2, 因此转速范围为 2000~4400 r/min。

根据《拖拉机、内燃机用永磁交流发电机产品质量分等》JB/T 51084-1999 国家机械行业标准要求, 发电机转速在 2000~4400 r/min 范围内, 其输出电压在 9.0~15.5 V 之间。而目前所使用的永磁交流发电机, 柴油机在怠速时, 其输出电压在 5.0~6.0 V 之间, 不能满足

小型农用车的低速照明要求。因此当发电机转速在 2000~4400 r/min 时, 其稳压范围应选择为 11.0~14.5 V 之间。

1.2 主要参数的设计

离心式永磁直流发电机结构示意图如图 1 所示。



1. 引线 2. 安装支架 3. 防尘防水盖 4. 永磁材料 5. 轴
6. 定子铁芯 7. 线圈 8. 轴承 9. 皮带轮式离心式转子外壳 10. 螺母 11. 非导磁固定块 12. 螺钉

图 1 离心式永磁直流发电机结构示意图

Fig 1 Schematic diagram of centrifugal permanent magnet direct-current generator

农用车用离心式永磁直流发电机采用 10 极无极靴星形转子单相永磁同步发电机, 主要技术指标为: 额定电压 14 V, 额定功率 200 W, 额定转速 4000 r/min。为了解决小型农用车的低速照明问题, 要求发电机转速在 2000 r/min 时, 空载电压要求达到 12 V。

磁性材料选用 Y30BH 铁氧体永磁材料, 其剩磁感应强度 $B_r = 0.41\text{T}$, 矫顽力 $H_c = 220\sim 240\text{ kA/m}$, 最大磁能积 $(BH)_{\max} = 27.1\sim 30.3\text{ kJ/m}^3$ 。

1.2.1 线圈匝数的计算

根据电磁学原理, 计算出发电机绕组匝数, 发电机空载时电动势为

收稿日期: 2002-01-28

作者简介: 张学义(1963-), 男, 教授, 从事汽车设计及汽车电子技术的研究开发工作。山东省淄博市 山东理工大学车辆与工程学院, 255012

$$E_0 = 4k_B f N k_w \Phi \times 10^{-8} \text{ (V)}$$

式中 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, $f = pn/60$; p —— 极对数, 本设计为 10 极永磁发电机, $p = 5$; n —— 转速, r/min; N —— 电枢绕组匝数; k_w —— 电枢绕组的绕组系数, 取 $k_w = 0.92$; Φ —— 通过定子绕组的有效磁通量;

$$\Phi = \frac{Q}{\sigma_0}$$

式中 σ_0 —— 漏磁系数, 无极靴星形转子 $\sigma_0 = 1.05 \sim 1.12$, 本设计取 $\sigma_0 = 1.05$; Q —— 空气隙中每极的磁通量;

$$Q = \alpha B \delta \delta = \alpha B \tau L \delta$$

式中 α —— 极孤系数, 无极靴星形转子的发电机 $\alpha = 0.6 \sim 0.7$, 本设计 $\alpha = 0.65$; 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, 高斯; τ —— 极距, cm, $\tau = \pi d / (2p)$, 其中 d —— 定子铁芯外径; L_δ —— 空气隙轴向计算长度, cm。

1.2.2 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 V (cm³) 为

$$V = \frac{P_N \sigma_0 C_F k_\alpha}{3.54 k_B f B \delta H_\delta} \cdot \frac{k_i^2}{k_i - 1} \times 10^8$$

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 $\cos\varphi > 0$ 时发电机的视在功率, 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, $k_\alpha = \frac{\alpha \tau + \sin \alpha \tau}{4 \sin \frac{\alpha \tau}{2}}$

H_δ —— 短路磁场强度, $H_\delta = (0.6 \sim 0.7)H_c$; H_c —— 永磁体矫顽力, kA/m; k_i —— 短路电流倍数, 本设计 $k_i = 2$ 。

$$k_i = \frac{I_n}{I_N}$$

I_n —— 短路电流, A; I_N —— 工作电流, A。

2 电子稳压器工作原理

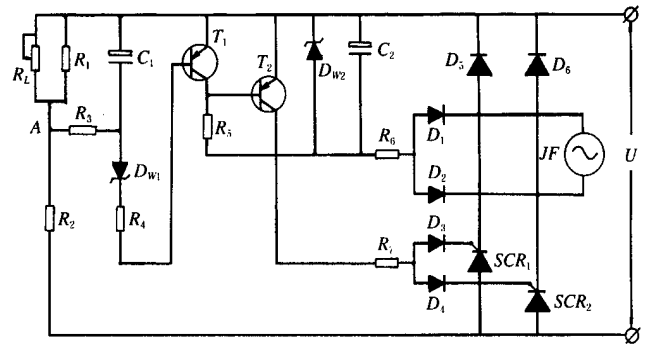
串联式电子稳压器电路图如图 2 所示。

通过调节可调电阻 R_L 的阻值, 可改变 A 点的电势, 从而设置电子稳压器的稳压值 $U_0 = 14 \text{ V}$ 。

当发电机低速运转时, 主要采用高剩磁强度的永磁材料, 改进电机结构设计, 增加极对数, 以及增加线圈绕组匝数等保证较高的输出电压。

发电机开始转动时, 由于转速低, 输出电压 U 也低, 小于稳压值 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_1 , 三极管 T_1 处于截止状态。而三极管 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_3 、 D_4 分别向可控硅 SCR_1 、 SCR_2 的栅极提供触发电流, 使可

控硅导通, 可控硅与二极管 D_5 、 D_6 构成全波整流桥, 输出直流电。



R_L —— 可调电阻 $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ —— 电阻 C_1, C_2 —— 电容 $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ —— 二极管 D_{w1}, D_{w2} —— 稳压管 T_1, T_2 —— 三极管 SCR_1, SCR_2 —— 可控硅 JF —— 交流发电机

图 2 串联式电子稳压器电路图

Fig 2 Circuit diagram of series voltage stabilizer

当发电机转速进一步升高, 输出电压 U 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 大于设定的稳压值 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_1 , 三极管 T_1 由截止状态变为导通状态。三极管 T_1 导通后, 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槛电压 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 提供触发电流, 可控硅瞬时截止, 使整流桥双臂断开, 形成开路, 输出电压 U 迅速下降, 三极管 T_1 发射极与 A 点的电压也下降。当输出电压 U 低于设定的稳压值 U_0 时, 三极管 T_1 截止, T_2 导通, 可控硅再次导通, 全波整流桥恢复工作。当输出电压 U 再升高, 大于设定的稳压值 U_0 时, 稳压管 D_{w1} 再击穿, 三极管 T_1 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, 从而保证了发电机输出电压稳定的直流电。电子稳压器稳压前、后输出电压的波形如图 3 所示。

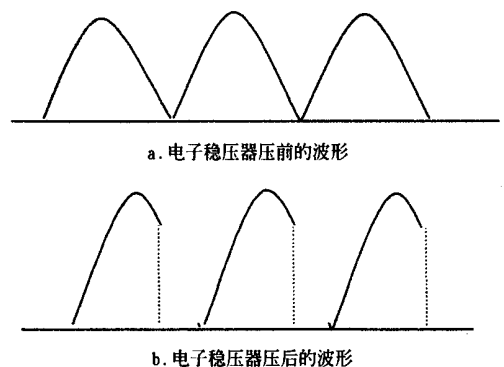


图 3 电子稳压器稳压前、后输出电压波形曲线

Fig 3 Output voltage waveforms of the voltage stabilizer before and behind voltage-steady

3 性能试验结果

根据《拖拉机、内燃机用永磁交流发电机产品质量

分等》B/T 51084-1999 国家机械行业标准要求,在负载功率分别为 150W、200W 和 220W 的条件下,对农用车用离心式永磁直流发电机从低速到高速进行性能试验,其结果如表 1。

表 1 发电机输出电压试验结果

样机 编号	2 000 r/m in 时			4 000 r/m in 时			4 400 r/m in 时		
	150W	200W	220W	150W	200W	220W	150W	200W	220W
1	12.8	12.1	11.6	14.2	14.1	14.1	14.2	14.1	14.1
2	12.5	11.9	11.5	14.3	14.2	14.2	14.3	14.2	14.2
3	12.7	12.0	11.5	14.2	14.1	14.1	14.2	14.1	14.1
4	12.9	12.2	11.8	14.2	14.1	14.1	14.2	14.1	14.1
5	12.6	12.1	11.7	14.3	14.1	14.1	14.3	14.1	14.1

从表中看出,当发电机转速由 2 000 r/m in 变化到 4 400 r/m in 时,负载功率由 150W 变化到 220W 时,输出电压稳定在 11.5~14.3V 之间,该性能指标达到了设计要求,并优于国家机械行业标准。

4 结 论

1) 发电机转速由 2 000 r/m in 变化到 4 400 r/m in 时,负载功率由 150W 变化到 220W 时,其输出电压在 11.5~14.3V 之间,稳压性能良好。

2) 电子稳压器通过移相、削波输出电压稳定的直流电,解决了小型农用车用的低速照明问题和用电设施需用直流电的问题。

3) 皮带轮与离心式转子设计为一体,体积小,重量

轻,磁场得到了充分利用,成本低,并提高了使用可靠性。

[参 考 文 献]

- [1] 唐任远 现代永磁电机理论与设计[M] 北京:机械工业出版社,1997:273~307.
- [2] 陈峻峰 永磁电机[M] 机械工业出版社,1981:1~70
- [3] 胡明义 汽车、拖拉机、摩托车交流发电机结构原理与检修[M] 北京:北京理工大学出版社,1998:128~185
- [4] 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
- [5] 许实章 电机学(下册)[M] 北京:机械工业出版社,1981:205~239
- [6] 刘振闻,陈幼平 汽车电器与电子技术[M] 北京:人民交通出版社,1998:17~42
- [7] Mizuno et al Basic principle and design of hybrid excitation synchronous machine [A] Nat Conf I E E, Japan on Industrial Application, No. 25, 1994
- [8] David L Trumper Design and analysis framework for linear permanent magnet machines [A] IAS Mar/Apr 1996 371~379
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 中华人民共和国机械行业标准 JB/T51084-1999 拖拉机、内燃机用永磁交流发电机产品质量分等[S]

Design of the Centrifugal Permanent-Magnet Direct-Current Generator in Farm Transport Vehicles

Zhang Xueyi¹, Gao Mingling¹, Kang Baojiang¹, Geng Songliang¹, Shi Liwei¹, Bai Ying²

(1. College of Vehicle & Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255012, China;

2. Lanzhou Limited Company of Bearing, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The pulley of the centrifugal permanent-magnet direct-current generator is designed for the rotor of the centrifugal. Much of the permanent-magnet material separated by the non-conducting magnet material is fixed on the rotor of the centrifugal by bolts. The windings of the stator are fixed on the center pin of the installed bracket. The windings incised the magnetic line of force and produced the electromotive force when the rotor ran and the magnetic field circumrotated. The electric regulator can stabilize the output voltage and save energy. When the output of voltage is lower than the target value, the regulator outputs the full wave. Otherwise, the voltage signal sampling circuit automatically makes both arms of the commutation bridge cut. When the output of voltage is lower than the target value again, the commutation bridge works again. It goes round and round and makes the output voltage stable through the shifting phase, cutting wave form and commutation. Illumination of vehicle at a low speed can be solved and output of direct-current can meet requirements.

Key words: centrifugal generator; permanent-magnet; direct-current generator