

新型高效永磁汽车发电机

汽车使用的发电机主要是硅整流发电机，通过电励磁绕组的励磁电流产生磁场，通过励磁绕组的电能只有一小部分转换为用于发电的磁能，电能利用率低、消耗量大，转子的励磁绕组易出现烧损、断线等故障，这就必然增加了汽车维护成本。硅整流发电机有两种类型，一种是有刷硅整流发电机，发电机存在电刷滑环结构，因电刷滑环容易磨损而大大缩短了发电机的寿命，故障率较高；另一种是无刷硅整流发电机，取消了电刷滑环结构，但它增加了磁路气隙的长度，故使发电机效率降低，增加了励磁电流的消耗。

目前国内城市的所有公交车辆，普遍采用电励磁式硅整流汽车发电机。由于城市公交人多车挤，以及众多的红绿灯和停靠站，发电机一般都处于低速（1000~1200r/min），甚至怠速（800r/min）运转，而传统的汽车发电机额定转速均较高（2500~3500r/min及以上），低转速下发电机输出电压和输出功率均达不到额定值。这样，发电机既不能为蓄电池充电，也无力向点火系统和其他用电设备供电，整个汽车所需要的电能只能由蓄电池来提供，导致蓄电池本身频繁充/放电操作而大幅度缩短使用寿命。

为解决这个问题，我们自主研发了两款新型永磁汽车发电机，在保持原发电机定子结构基本不变的情况下，对关键技术的转子结构进行了改进，由稀土永磁NbFeB励磁取代过去的电励磁，取消了滑环碳刷系统，消除了碳足迹及火花等故障点和污染源，节省了铜线材，减轻了维护量，整体结构简化，效率提高。尤其重要的是，新型高效永磁汽车发电机零电流转速很低，具有优越的低速充电性能。

新型永磁汽车发电机结构

1. 径向磁通空心转子式永磁发电机

永磁发电机转子通常为实心结构，如内置式永磁型（IPM），表面永磁型（SPM）以及镶嵌式永磁型（ISPM）等，质量较大，比功率（W/kg）相对较小。要提高比功率必须减轻质量，我们研制的发电机转子采用空心结构，转子铁心由圆环形硅钢片叠压而成，通过压板和贯穿螺栓上下压紧。为防止轴向漏磁，在压板与铁心端面之间用上下铝合金片加装隔磁。压板的中间圆孔与转轴配合，并焊接固定。铁心外圆周均匀径向配置着极性交替相间的永磁钢（磁极）。为使结构紧凑、工艺简单化，磁极与铁心的尺寸、形状均经过优化设计，不仅磁钢用量少，磁性能好，而且质量减轻，转子与定子之间气隙均匀，加工安装简单可靠。整个发电机的比功率高，在质量相同情况下能输出更大的功率。

2. 切向磁通高气隙磁密永磁发电机

径向磁通的转子结构，永磁钢工作于串联状态，永磁体仅一侧截面提供发电机每极的气隙磁通。这里所述的切向磁通转子结构是轴向漏磁小、气隙磁密高、输出功率大的永磁发电机转子，包括铁心、磁极和转轴。铁心由冷轧硅钢片冲制叠压而成，硅钢片叠压后，由螺栓贯穿固定。铁心外圆开有若干个梯形极槽，极槽内嵌置有稀土永磁钢（NbFeB），磁钢与极槽采用轻压配合，梯形槽能防止运转中磁钢因离心力被甩出。铁心内部开有扇形孔，旨在减小轴向漏磁，起到隔磁作用，同时也减轻了转子质量。

该永磁发电机转子采用优化的切向配置磁钢结构, 永磁体是并联的, 有两个截面对气隙提供每极磁通, 故充分发挥了永磁钢的磁性能, 可提高气隙磁密, 从而可提高输出功率。

上述两种转子结构的永磁发电机, 其定子绕组均可采用双层链式绕组。在定子铁心的36个槽中, 分上下两层嵌放线圈的两个有效边。线圈的一个有效边放在某一槽的上层, 另一个有效边放在相隔槽数 $Y=4$ 的下层。双层绕组的线圈数目恰好等于定子槽数36。

这一双层链式绕组中, 为改善电动势和磁动势的波形(接近正弦波), 选用了合适的短距绕组, 不仅能提高电动机的电气性能, 而且可节省电磁线和减小绕组的漏电抗。此外, 双层绕组的所有线圈形状和尺寸都相同, 便于绕制, 端部排列整齐, 有利于散热和增加机械强度。线圈分布紧凑, 有效利用率高。对比相同功率的机组, 质量轻、尺寸小、节省铜线、硅钢片等, 降低了造价, 性价比高。

新型永磁汽车发电机的优越性

1. 节能省油

零电流转速是指发电机输出额定电压时的最低转速。这是汽车发电机的一项重要性能指标, 零电流转速优, 说明汽车发电机转子结构和工艺先进。以郑州宇通客车的2kW发电机(JFZ276w4)为例, 经过实测其零电流转速 $n_0=1300\text{r/min}$, 改进后的新型永磁发电机 n_0 则下降到600r/min。也即在0~1300r/min转速范围内, 原发电机虽由发动机带动(带传动)运转, 但不能输出给蓄电池充电的功率, 相当于做无用功, 浪费发动机在此转速范围的耗油量。新型电动机在600r/min时就达到额定电压, 开始给蓄电池充电, 将做无用功的转速范围缩短一半以上。600~1300r/min范围内发动机为驱动发电机所消耗的油不再浪费, 也减小了有害的发热量。提前向蓄电池充电和向负载供电, 发电机输出的无用功变为有用功, 大幅度节约了汽油和提高了能源的利用效率。

有的厂家采取减小发电机带轮直径的方法, 来满足零电流转速要求。作为发动机负载的发电机, 其转速和输入功率是成比例的, 也就是说, 转速、电压虽达到要求, 此时发动机上所消耗的汽油也增加了。故此法治标不治本, 未能根本解决节油、节能问题。

2. 延长蓄电池的使用寿命

现在汽车上的蓄电池大多数采用技术成熟的铅酸蓄电池。据统计, 铅酸蓄电池完全充/放电循环寿命为300次左右。或通常使用情况下可用1.5~2年。城市公交车因较多行驶在偏低的转速下, 以郑州市公交总公司数千公交车的统计数据为例, 一般的更换周期为1年。

发电机零电流转速偏高, 势必导致蓄电池工作强度大。蓄电池的频繁充/放电或长时间为负载供电, 因而导致过度的放电。当过度放电到其电压超过允许值后, 会使得蓄电池内部大量的硫酸铅被吸附到蓄电池的阴极表面, 在阴极形成硫酸盐化。作为绝缘体的硫酸铅必然对蓄电池的充/放电性能产生负面影响。因此, 在阴极上形成的硫酸盐越多, 蓄电池内阻越大, 电池的充放电性能就越差, 使用寿命必然会缩短。

采用新型高效永磁汽车发电机, 因其零电流转速显著降低, 具有优越的低速充电性能, 使蓄电池的充放电特性大幅度改善, 能确保蓄电池经常处于充足电状态, 有效防止了电池的极板硫化, 可确保延长蓄电池的使用期限, 大量节约了维修费用。

3. 显著的经济效益

我们开发的新型高效永磁汽车发电机, 在原励磁汽车发电机的基础上, 利用永磁技术进行改进, 使整体结构紧凑坚固、质量轻; 比功率、输出功率、运转效率等各项指标参数均明显改善, 具有优越的低速充电性能。

结语

此产品保留原来发电机的定子结构, 仅对转子的铁心、磁钢的形状尺寸及其配置进行优化设计。加工工艺简单, 易于安装、批量生产, 成本低廉。此外, 勿需添置昂贵的OEM设备, 可节省大量投资。

估计每台发电机新产品的价格较原励磁发电机低15%~20%, 但性能上却大大超过原发电机。如果仅对城市公交车发电机进行改造, 制造新型永磁发电机转子, 每台转子的造价可限制在100元以内, 而公交公司就可避免每年更换一台造价1000多元的蓄电池, 每座城市均拥有数千辆公交车, 因此, 仅改造这一项节约的经费就非常大。

关键词:

永磁 发电机 蓄电池

(收稿日期20130828)