

# 新能源汽车电机驱动系统控制技术分析

孟游

江西江特电机有限公司, 江西 宜春 336000

**[摘要]** 汽车在人类生活中的所占比例越来越高, 汽车消耗了大量的油气能源, 同时对空气排放出大量尾气, 对周围生态环境破坏极大, 因此当前人们开始研制新能源汽车。文章对新能源汽车的概念简要介绍, 从新能源汽车电机驱动系统结构设计开始分析, 阐述集成系统电机和电池发电下的工作模式。

**[关键词]** 新能源汽车; 电机驱动系统; 控制技术

DOI: 10.33142/aem.v2i5.2131

中图分类号: U469.7

文献标识码: A

## Control Technology Analysis of Motor Drive System for New Energy Vehicles

MENG You

Jiangxi Jiangte Motor Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 336000, China

**Abstract:** The proportion of automobile in human life is getting higher and higher. The automobile consumes a lot of oil and gas energy, at the same time, it emits a lot of tail gas to the air, which damages the surrounding ecological environment greatly. Therefore, people begin to develop new energy vehicles. This paper briefly introduces the concept of new energy vehicle, analyzes the structure design of motor drive system of new energy vehicle, and describes the working mode of integrated system motor and battery power generation.

**Keywords:** new energy vehicle; motor drive system; control technology

### 引言

电机的驱动系统是汽车的核心, 而新能源汽车的电机驱动系统更加重要, 新能源汽车使用的是电能, 而传统汽车的驱动系统使用的是油气能源, 所以新能源汽车的电机驱动系统需要重新研发。当前新能源汽车的电机驱动系统还存在电能的转化率不高等很多问题, 新能源汽车的驱动系统还在不断优化改善。

### 1 新能源汽车

新能源汽车与传统能源汽车是相对的, 传统能源汽车使用的是以油气为主的化石能源作为燃料的汽车, 而新能源汽车是使用非化石能源作为燃料的汽车。新能源汽车主要以纯电动汽车为主, 汽车使用电能作为主要燃料, 不向空气中排放任何有害气体。传统汽车的电机驱动系统使用的内燃机系统通过燃烧化石燃料产生能量推动活塞运动为汽车提供转矩, 而新能源汽车则使用电机驱动系统将电能转化为动能为汽车运动提供能量, 与内燃机系统相比较电机驱动系统的能源转化效率更高。但是当前新能源汽车的发展才刚刚起步, 还有很大发展空间。

### 2 新能源汽车电机驱动系统结构设计

#### 2.1 双有源桥式 DC-DC 变换器结构

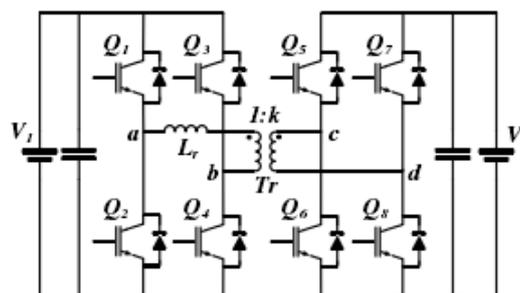


图 1 双有源桥式 DC-DC 变换器结构图

某品牌新能源汽车设计电机驱动系统时考虑到电气隔离以及双向功率设计出双有源桥式 DC-DC 变换器结构。该变换器如图 1 所示。

由图 1 可以看出该变换器由一个高频变压器  $T_r$ 、H 桥以及高频变压器组成，H 桥由两个 IGBT 组成。H 桥先将电压转换成高频交流电压，再通过高频变压器传递出去，高频变压器的体积越小，实际功率密度提升得越大。当电机驱动系统发电时为移相全桥工作模式，此时 H 桥将移相电压转换成高频直流电压，高频变压器的功率方向为电池到电网，该变换器结构可以通过调整工作模式调整变换器的功率方向。

## 2.2 三相四桥臂变换器结构

某品牌新能源汽车设计电机驱动系统时为实现 PFC 功能设计出三相四桥臂变换器结构。该变换器如图 2 所示：

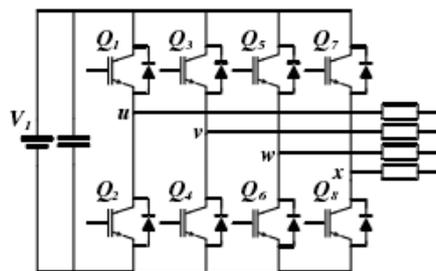


图 2 三相四桥臂变换器结构图

由图 2 可以看出该变换器由四个桥臂和三相电机组成，每个桥臂都与三相电机相连接，该电机通过调整逆变器改变工作模式。在电机驱动模式下第四桥臂未工作，其他三个桥臂共同构成了电压矢量平面。只有电机故障时第四桥臂与相机相连接，实现对电机转矩的控制，即使电机故障也可以保证新能源汽车的使用时间。在电池工作模式下，电机不会与其他设备生成电磁转矩，电机静止。

## 2.3 电机驱动集成系统

某品牌新能源汽车根据双有源桥式 DC-DC 变换器和三相四桥臂变换器设计出电机驱动集成系统。该系统如图 3 所示：

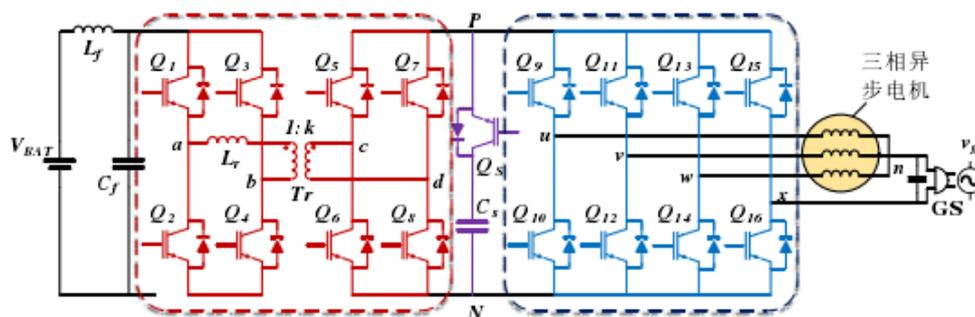


图 3 电机驱动和充电机集成系统

由图 3 所示该电机驱动集成系统使用的三相异步电机，该电机驱动系统中显示在电机驱动时，三相异步电机控制新能源汽车运动，在电池模式下三相异步电机成为滤波器过滤电网电流。该电机驱动系统可以使用薄膜电容延长电池使用寿命。

## 3 集成系统电机驱动工作模式

### 3.1 双有源桥式 DC-DC 变换器控制

电机驱动模式下电机处于移相全桥的工作方式下，该模式下电机在 H 桥与高频变压器生产三电平方波电压，然后与缓冲电路并联保持直流侧电压的稳定。母线电压升高之后缓冲电路出现 IGBT 信号，母线电压下降时缓冲电路的电容和电路断开，将缓冲电路中的能量回馈到电路中为驱动提供能量。直流母线并联电解电容的工作方式下，变换器的体积会变大，此时可以通过控制直流母线的开关来控制 ZVS。直流母线电压不变的情况下，三相四桥臂 DC-AC 变换器控制直流母线电压的反馈，再控制反馈的能量使电机运转。

### 3.2 直接转矩控制

电机驱动模式下三相四桥臂 DC-AC 变换器可以产生 8 种定子电压, 6 种定子电压有效, 三相异步电机的磁链和转矩可以通过控制输出电压来实现。三相异步电机定子的磁链的大小与电压有关, 而电机定子的方向则与电压的矢量有关。三相异步电机可以通过控制定子的电压大小和方向控制磁链和转矩的大小。电磁转矩增加则电机转速增加, 所以可以根据电压矢量来控制三相四桥臂 DC-AC 变换器来实现调整电机转速的目的。

## 4 集成系统电池发电工作模式

### 4.1 三相四桥臂 DC/AC 变换器控制

三相四桥臂 DC/AC 变换器可以看作一个直流电压, 可以使用脉宽调制法、重复控制法以及比例谐振法控制开关, 从而调整电机驱动的工作模式。

本次实验中某品牌新能源汽车使用 DAB 实验波形的方式验证电机驱动系统的控制效果。电机驱动的模式可以看作直流母线的波形, 所以可以将高频电压器的感应电流和三相四桥臂 DC/AC 变换器的驱动信号以图表的形式显示, 该波形图如图 4 所示:

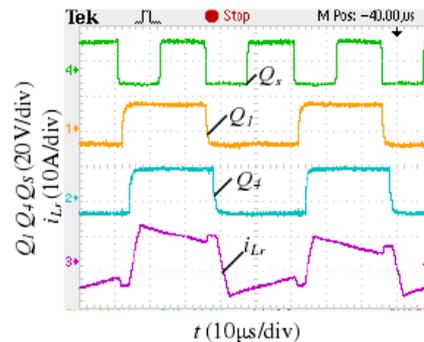


图 4 高频变压器漏感电流波形图

由图 4 可知, 缓冲电路  $Q_s$  中的电压随直流母线的电压变换, 直流母线电压下降则高频变压器漏感电流增加, 此时可以适当增加 H 桥的 IGBT 开关范围切换电机工作模式, 待电机工作状态切换完成后漏感电流下降, 此时三相四桥臂与缓冲电路的电容产生谐振, 此时三相四桥臂的等效电路与高频变压器的漏感电流保持一致。

### 4.2 电池发电工作模式

某品牌新能源汽车采用 FS-MPC 控制工作模式, DAB 直流母线零点时可以通过控制 IGBT 来控制 ZVS, 电池发电工作模式的控制原则还是移相全桥, 电机驱动系统可以将电池电流和电网电压的波动周期分为不同的模式。

本次实验中该品牌新能源汽车使用三相四桥臂 DC-AC 变换器测试实验结果。该实验将电池发电的变换器功率因素调整为 1, 然后可以得到电机驱动系统的电池电流和电网电压波形图如图 5 所示:

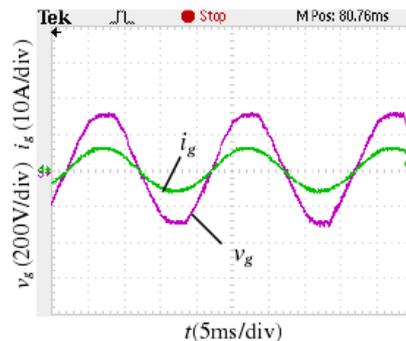


图 5 电机驱动系统的电池电流和电网电压波形图

由图 5 可知, 紫色波  $v_g$  为电网电压的波形图, 绿色波  $i_g$  为电流波形图。电压电网波形图中: 周期为 20ms, 振幅为 300V, 当  $t=7.5\text{ms}$  时电压电网最大为 300V; 电池电流波形图中: 周期为 20ms, 振幅为 5A, 当  $t=7.5\text{ms}$  时电池电流

最大为 5A。

所以从图 5 可以得到以下结论：电池电流和电网电压不存在相位差，电池电流的波形曲线完整平滑，电机驱动中谐波的影响较小，该电机驱动系统适合电池运行。

本次实验对电池的功率的参考值做突变检测，可以得到电机驱动系统电池功率突增时电流波形如图 6 所示：

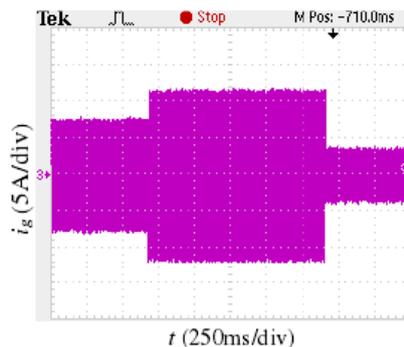


图 6 电机驱动系统电池功率突增时电流波形

由图 6 可知，电池发电后电流突然由 7.5A 增加到 11.25A，然后又从 11.25A 降到 3.75A，电流先增加 0.5 倍又缩小 4 倍，电池周期为 1250ms，但是电流的振幅保持不变，所以可以认为电流没有失稳。

本次实验对电池的功率的参考值做突变检测，可以得到电池电流突增动态波形图如图 7 所示：

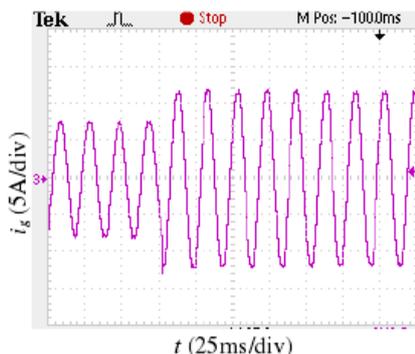


图 7 电池电流突增动态波形图

由图 7 可知，电池发电后电流的幅值突然由 7.5A 增加到 11.25A，然后又从 11.25A，电池发电之前的时间为 75ms，发电后电流的变化非常快，并没有发生超调或者振荡现象，所以可以认为 FS-MPC 控制工作模式比较优秀。

本实验又将三相四桥臂 DC-DC 变换器的驱动频率设置成 5kHz，可得控制电池电压电流波形图如图 8 所示：

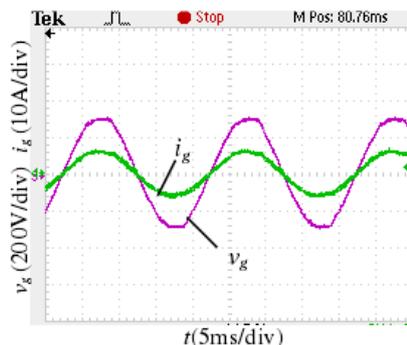


图 8 控制电池电压电流波形图

由图 8 可知, 电池电压电流波的周期均为 20ms, 且当  $t=7.5\text{ms}$  时, 电压和电流的幅值均最大, 电压幅值最大为 300V, 电流幅值最大为 5A。控制电池电流的正弦度比较高, 电流与电压不存在相位差, 所以可以认为电流跟踪了电网电压的相位。

将电池的两种控制方案下的电流波形做傅里叶变换, 可得电池谐波分析的有限集模型预测谐波分析图和 PR 控制谐波分析图分别如图 9 和图 10 所示:

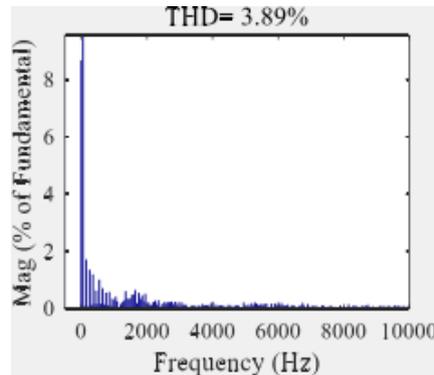


图 9 有限集模型预测谐波分析图

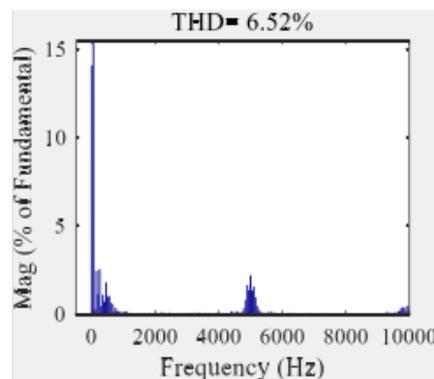


图 10 PR 控制谐波分析图

由图 9 和图 10 可知, 有限集模型预测谐波分析的 THD (畸变率) 为 3.89%, PR 控制谐波分析的 THD (畸变率) 为 6.52%, PR 控制谐波分析的 THD 比有限集模型预测谐波分析的 THD 大; 电池谐波频率比较分散而且畸变几率比较小, 电池谐波的开关频率为 5kHz。

本实验中某品牌新能源汽车对电机驱动系统的控制效率进行测试, 实验人员在电机集成系统电池发电工作模式下分别测试功率在 300W~1200W 时电机驱动系统的控制效率。本实验分别采用模型预测控制和 PR 控制效率比较、集成系统和传统结构效率比较的方法得到图 11 和图 12 如下所示:

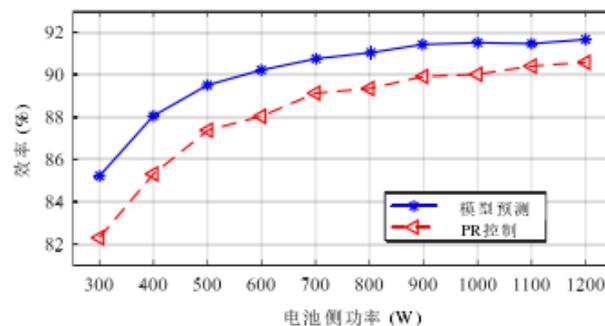


图 11 模型预测控制和 PR 控制效率对比图

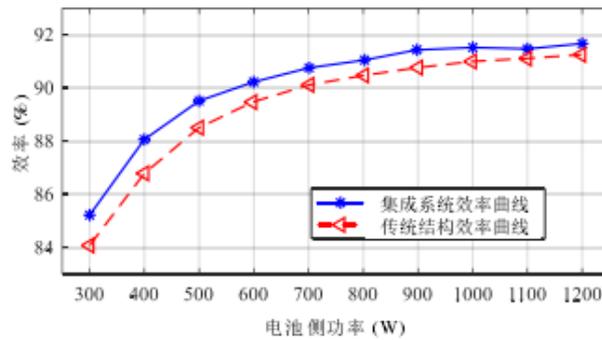


图 12 集成系统和传统结构效率对比图

由图 11 和图 12 可知，模型预测控制方法下电池侧功率比 PR 控制更高，集成系统效率比传统结构效率更高，控制效率均在 90%~92%之间。

### 结论

综上所述，新能源汽车电机驱动系统可以从三相四桥臂 DC/AC 变换器控制和电池发电工作模态等方式进行控制，其中三相四桥臂 DC/AC 变换器模型预测和集成系统控制效果更好。

### [参考文献]

- [1]陈跃. 新能源汽车电机驱动系统控制技术分析[J]. 决策探索(中), 2020(02): 49.
- [2]廖新锋. 北汽新能源纯电动汽车驱动电机控制系统故障维修[J]. 汽车维修, 2019(04): 8-10.
- [3]游帅. 用于新能源汽车的电机驱动和充电机集成系统控制策略研究[D]. 江苏: 东南大学, 2019.

作者简介：孟游（1987-），男，江西江特电机有限公司新能源技术部长，主任工程师，从事新能源永磁电机研发、制造等工作。