

高速动车组辅助变流器的并联控制

魏 凯, 张志学, 尚 敬

(南车电气技术与材料工程研究院, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 以高速动车组项目为背景, 研究和实现了辅助变流器并联系统的控制策略。利用 PQ 下垂法, 通过计算各辅助变流器的输出有功功率和无功功率, 对其输出电压和频率进行下垂特性控制, 以实现无互联线的辅助变流器并联。从高速动车组辅助变流器并联满功率地面组合试验结果来看, 该并联系统运行稳定, 动态响应快, 均流效果良好。

关键词: 辅助变流器; 并联控制; PQ 下垂特性; 三相软件锁相环

中图分类号: TM46; U266.5*6

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2014)05-0017-07

doi: 10.13889/j.issn.2095-3631.2014.05.004

Parallel Control of Auxiliary Inverters for High-Speed EMU

WEI Kai, ZHANG Zhixue, SHANG Jing

(CSR Research of Electrical Technology & Material Engineering, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The control strategy of parallel inverters was analyzed and implemented with the background of high-speed EMU program. By calculating positive power and negative power, output voltage and frequency of auxiliary inverters were controlled with the PQ droop method to implement auxiliary inverters in parallel with no control interconnection. Result of the full-power ground combination experiment to high-speed EMU parallel inverters show that the parallel system has stable operation, fast transient response and good current-sharing.

Keywords: auxiliary inverter; parallel control; PQ droop characteristic; three-phase software phase-locked loop

0 引言

相对于单台大功率辅助变流器(下文简称: 辅变), 采用多台辅变并联不仅可以扩大系统的容量, 而且具有减小单台辅变容量、提高安全性和可靠性等众多优点。目前, 辅变并联控制主要有: 集中控制、主从控制、分散控制和无互联线控制。集中控制需要设置公共模块进行同步和管理, 一旦公共模块出故障, 整个并联系统将瘫痪^[1]。主从控制是将公共模块替换成主模块, 其他从模块受控于主模块; 其缺点是, 主从模块互联线较多, 易受干扰^[2]。分散控制取消主从模块之分, 各模块

地位平等且均向其他模块传递信号, 导致模块之间的互联线更多, 且难以扩展, 控制单元预算复杂。无互联线控制取消了各模块之间的互联线, 借鉴同步发电机的自同步特性和电压下垂特性, 实现无信号线的并联, 该控制模式结构简单、抗干扰能力强、易于扩展、完全实现模块化设计、并联系统各模块的硬件和软件设计完全相同。基于此, 结合高速动车组项目的实际情况, 本文论及的辅变采用无互联线并联控制方式。

1 系统介绍

列车辅助供电系统简图如图1所示。图1中, 4台辅变均从直流侧母线获取中间直流电压, 再经辅助变压器降压和滤波, 然后通过辅助接触器与电网母线相连。每台辅变的容量为280 kVA(过载能力160%/10 s), 输出

收稿日期: 2013-08-02

作者简介: 魏凯(1982-), 男, 工程师, 主要从事交流传动控制研究与应用工作。

380 V/50 Hz 三相交流送至三相交流辅助供电母线。

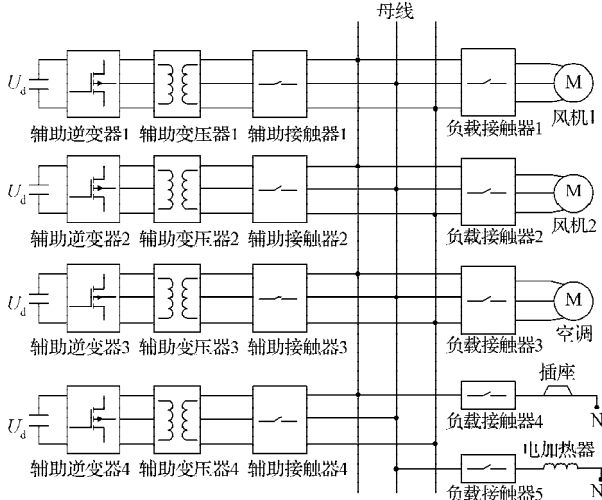


图1 整车辅变系统框图

Fig. 1 Block diagram of auxiliary inverter system of total vehicle

整车的负载均从供电母线取电，通过各自的负载接触器与母线相连或隔离。整车的交流负载主要有主变压器油泵、主变压器冷却风机、牵引变流器冷却风机、牵引电机冷却风机、空调等三相交流设备，以及220 V的插座、电加热器等单相交流负载。

列车辅助供电系统的工作逻辑顺序为：首先启动作为主机的辅变，输出正常的三相交流电，闭合辅助接触器使供电母线得电，接着固定负载作为第一批设备立即投入；其次启动其他辅变，依次并网；辅变并联完成后，以车为单位，逐车投入除客室空调和客室电加热器以外的所有交流负载；最后投入所有客室空调和电加热器。

2 关键技术

采用以下4个关键技术，可实现辅变并联控制。

2.1 单台辅变的稳定运行

单台辅变要求输出稳定的单相220 V、三相380 V/50 Hz的交流电，并能在负载突投、突切工况下快速恢复输出电压的稳定，其控制框图如图2所示。

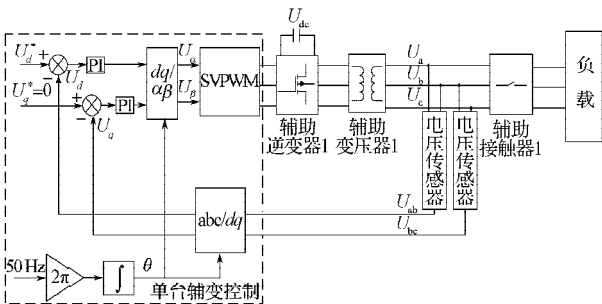


图2 单台辅变控制框图

Fig. 2 Control block of single auxiliary inverter

图2中，从安装在变压器二次侧的电压传感器中采

集线电压 U_{ab} 和 U_{bc} 信号，经过坐标变换，把三相正弦电压转换成旋转坐标下的 U_d 和 U_q 直流分量。通过PI调节器控制 U_d 和 U_q 跟随给定，将PI输出量通过反Park变换转换成静止坐标系下的 U_α 和 U_β ，以此作为SVPWM（空间电压矢量脉宽调制）的参考电压值。由SVPWM输出调制脉冲，驱动辅变输出稳定的电压。坐标变换中所要用到的相位角 θ 可通过给定角频率进行积分运算得到。这种控制方式不仅能够实现恒频恒压的输出功能，而且通过调整输入给定值还能实现变频变压或恒压频比的输出功能，外部突投、突切负载时系统能够快速恢复稳态，系统鲁棒性很强。

2.2 辅变输出功率的估算

对单台辅变的输出功率值进行估算是辅变并联控制的关键步骤之一，它为并联控制系统提供反馈控制量。图3为单台辅变输出端的系统布局简图。

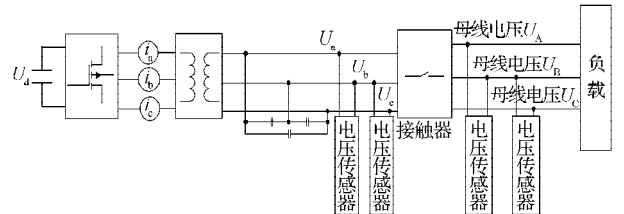


图3 单台辅变输出布局图

Fig. 3 System layout of single auxiliary inverter output

由于辅变布线设计以及空间局限性等约束，系统在辅变输出端安装了3个相电流传感器用于检测辅变输出电流，在辅助变压器后端安装了两个电压传感器用于检测变压器二次侧线电压 U_{ab} 和 U_{bc} 。用于功率计算的电流和电压分布在变压器的一次侧和二次侧，因此必须把二次侧的线电压折算到一次侧。电压有效值按变压器变比直接折算；相位折算则需要根据变压器一次侧和二次侧的联结方式算出一、二次侧线电压的相位差。用折算后的电压有效值和相位重构变压器一次侧线电压。

有功功率 P 为：

$$P = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c \quad (1)$$

式中： i_a 、 i_b 、 i_c ——分别为变压器一次侧线电流； u_a 、 u_b 、 u_c ——分别为变压器一次侧相电压。

无功功率 Q 为：

$$Q = \sqrt{1/3}(u_{bc} i_a + u_{ca} i_b + u_{ab} i_c) \quad (2)$$

式中： u_{ab} 、 u_{bc} 、 u_{ca} ——分别为变压器一次侧线电压。

由于辅变输出电压为调制脉冲波，因此一次侧线电流存在的谐波会导致有功、无功功率估算值存在很大的波动。将有功、无功值用于控制算法反馈之前，需要添加诸如一阶低通滤波和平均值滤波等算法还原较