

文章编号: 1000-128X(2017)04-0117-03

HXd1C 机车辅助变流器直流过压抑制

吕建光

(乌鲁木齐机务段 技术科, 新疆 乌鲁木齐 830023)

摘要:为解决 HXd1C 机车运用过程中发生的辅助变流器中间直流电压过高的问题,分析了 HXd1C 机车辅助变流器的配置及其输出电压与输出频率关系,根据三相异步电机再生制动的原理,找出辅助变流器中间直流过压的原因,采取优化软件参数使机车主断路器断开之后将辅助变流器的输出频率维持不变的措施,彻底解决了 HXd1C 机车过分相时辅助变流器直流过压的故障。

关键词: HXd1C 机车; 辅助变流器; 三相异步电机; 再生制动; 中间直流过压

中图分类号: U269.6; U264.3⁺72 **文献标识码:** B
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.04.029

0 引言

在大功率 HXd1C 机车上装载了 2 台具有完全自主知识产权的辅助变流器,正常情况下 2 台辅助变流器同时工作,异常情况下互为冗余。在系统方案设计过程中为了增强辅助系统的可靠性和节能减排,将一路设计为恒频恒压(CVCF)输出方式,另一路设计为变频变压(VVVF)输出方式。每路辅助变流器具有带整车辅助负载的能力,当任一路辅助变流器发生故障时,由另一路辅助变流器承担机车所有辅助负载正常运行的供电任务^[1]。

自 2010 年 10 月之后, HXd1C 机车在兰州西机务段运用过程中,由于极端的天气条件,当环境温度低于 -5°C ,在行车过程中,经常出现机车过分相断开主断路器时, VVVF 辅助变流器出现中间直流电压过高保护而 CVCF 辅助变流器正常的现象。过分相后, VVVF 辅助变流器需等待中间电压低于过压保护门限值并进行复位后, VVVF 才能正常工

作,影响了机车的正常运行,为此必须找到一种解决办法。

1 辅助变流器特性

辅助变流器通过牵引变压器的二次侧绕组,将 25 kV 的网压降压到单相 AC 470 V,通过四象限升压整流,得到 DC 850 V 的电压,再经过三相桥式逆变输出三相 AC 440 V (线电压) PWM 波,通过 LC 低通滤波器将 PWM 波变为电压谐波含量小于 5% 的准正弦波给机车三相辅助负载供电^[2]。辅助变流器的输出电压经过低压电气柜中的 2 个正常接触器、1 个冗余接触器向辅助负载供电。其中 VVVF 辅助变流器给 6 台牵引风机、2 个冷却塔风机等负载供电; CVCF 辅助变流器给空气压缩机、变压器水泵、变压器油泵、司机室空调、变流器风机等负载供电^[3-4],具体电路见图 1,辅助变流器内部电路原理图见图 2。

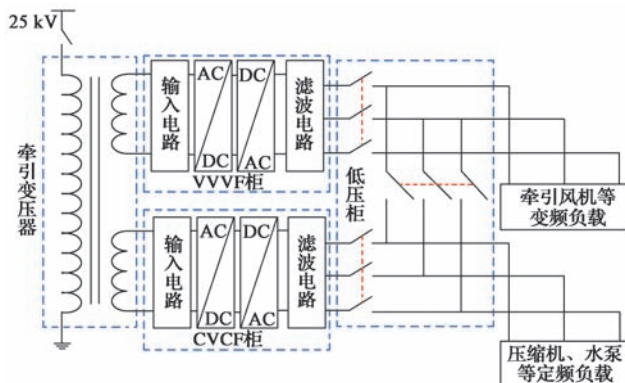


图1 机车辅助系统电路图

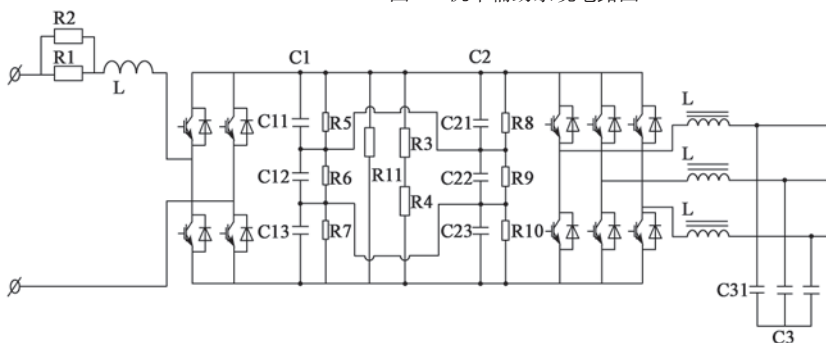


图2 辅助变流器内部电路原理图

收稿日期: 2016-12-23; 修回日期: 2017-05-09

1.1 输出电压 / 频率特性

为了满足机车在线上运行及停站等候信号灯时节能减排、降噪等要求,将一台辅助变流器设计为VVVF。有的型号机车其辅助变流器的输出电压频率只存在几个频率点,并未实现全频率段的连续性变化。如SS7E机车辅助变流器的VVVF输出频率为50 Hz、37.5 Hz以及25 Hz。但HXD1C机车上配置的辅助变流器输出频率在10~60 Hz之间,频率最小变化步长为1 Hz。V-F曲线如图3所示,其中U表示输出线电压的有效值。

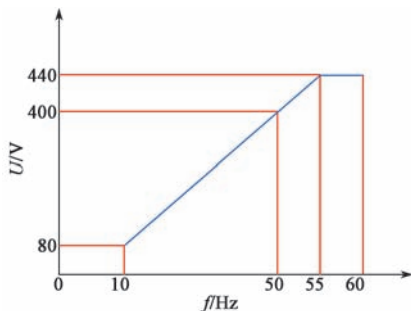


图3 输出电压频率曲线

机车控制系统CCU(网络控制单元)根据牵引电机的温度、变压器油循环冷却支路的油温和牵引变流器水循环冷却支路的水温,计算得出冷却风机运行电压和频率,用其改变风机的转速,以使风量适合于牵引电机、变压器、牵引变流器当时的冷却需要。输出频率信号通过MVB(多功能车辆总线)传递给VVVF辅助变流器,VVVF辅助变流器再根据给定的频率输出最终的频率与电压。

1.2 CCU 频率设定方法

VVVF辅助变流器输出频率由机车上主变流器水循环温度、牵引变压器油循环温度和牵引电机温度决定。每个负载根据其允许的上限和下限温度按图4确定所需的频率给定值,选取各部件频率给定值中的最大值作为VVVF辅助变流器负载的频率给定值。如果某一个部件的温度信息无效,则认为这个部件处于最高温度或当CVCF辅助变流器故障时,输出频率给定60 Hz^[5]。

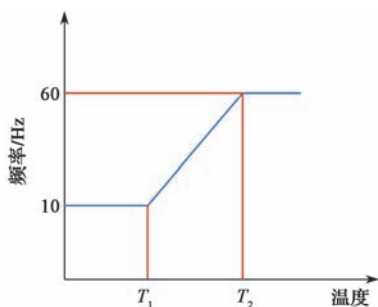


图4 温度与频率曲线

2 异步电动机再生能量产生原理

当异步电机处于再生制动状态时,若不封锁逆变模块的脉冲,三相逆变就转化为三相整流,三相异步电机工作在发电机状态,造成VVVF辅助变流器的中间直流电压发生泵升,导致直流电压过高,使得系统无法正常工作,恶劣情况下会造成功率器件IGBT的过压烧损。

异步电动机一相的电压方程^[6](归算后)可以表示为

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + jX_{1\sigma}) - \dot{E}_1$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 (R_2/s + jX_{2\sigma})$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -\dot{I}_m Z_{1m}$$

$$\dot{I}_m = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

式中: U_1 为电机的输入电压; E_1 为定子绕组电动势; E_2 为归算后转子绕组电动势; I_m 为励磁电流; I_1 为定子绕组电流; I_2 为归算后转子绕组电流; R_1 为定子绕组电阻; $X_{1\sigma}$ 为定子绕组漏抗; R_2 为归算后转子绕组电阻; s 为转子转差率; $X_{2\sigma}$ 为归算后转子绕组漏抗; Z_{1m} 为主磁路磁阻抗; n_1 为同步转速; n 为转子转速。

由上面的式子可以看出,当 $s < 0$ 时,其他参数不变的情况下, \dot{E}_2 降低,则 $-\dot{E}_1$ 增加,得出 \dot{U}_1 电压增加,也就是电机定子电压升高。

只要使 $s < 0$,电机就能产生再生制动,主要有以下2种表现形式:

①减小同步转速 n_1 ,使 $n > n_1$

在减小电动机的转速,即降低定子频率,定子磁场先于转速变化,造成转速大于定子旋转磁场转速。

②增大转速 n ,使 $n > n_1$

在位能负载的作用下,可使电动机的转速超过同步转速,实现再生制动。

可以看出在VVVF辅助变流器降频的过程中,符合条件①,能使它的运行速度高于同步转速,也就是 $n > n_1$,因此使转差率 $s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0$,异步电动机进入发电状态。再生制动时,电动机从轴上吸收功率后,一部分转换为铜耗,大部分则通过气隙进入定子,并在供给定子铜耗和铁耗后,全部回馈到VVVF辅助变流器的直流电容侧。

3 过压原因分析

当VVVF辅助变流器的直流电压大于直流过压保护门槛值时,将触发控制系统的硬件过压保护。当机车回库后,下载VVVF的故障记录信息,用地面解析软件分析故障数据^[7],通过查看故障前后的波形,发现每次发生故障时,输入电压逐渐减低到最小,主断路器反馈信号为低电平,其他信号均正常。说明“中间直流过压故障”都是发生在主断路器断开后的一段时间,具体故障波形见图5。

机车在线路上运行时,由于供电网存在分相区,机车将要到达分相区时,无论采用手动还是采用自动过分相的方式,司机都需要先将机车速度控制器的运行状态由“牵引”或“制动”位转到“0”位,也就是

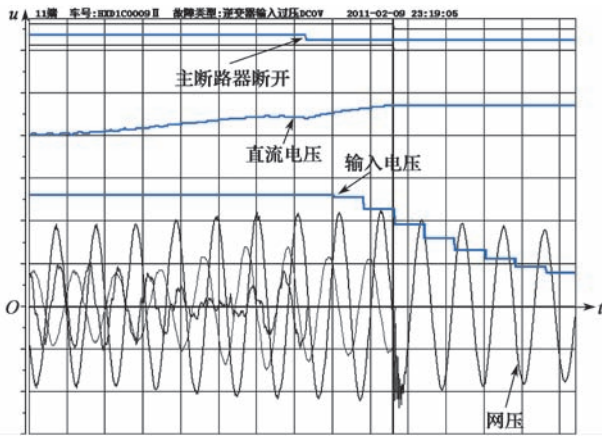


图5 故障记录分析

既不“牵引”也不“制动”，机车惰行通过无电区。既不“牵引”也不“制动”时，牵引电机、牵引变流器都不需要发出功率，相应的部件不产生功率损耗，当牵引风机、冷却塔风机已处于高转速、高流量的状态，以致牵引变流器模块、牵引电机的定子温度以及冷却塔水温迅速下降，CCU检测到温度已下降，根据图3的关系曲线，将降低VVVF辅助变流器的输出频率。输出频率降低相当于减小风机定子的同步转速 n_1 ，风机产生的能量存储在VVVF辅助变流器的直流电容中，电容不消耗能量，会造成能量的积累，导致中间直流过压。直流过压保护设计门槛值为950 V，当直流电压大于门槛值时，辅助变流器则产生保护动作。现场测试的VVVF辅助变流器中间电压波形如图6所示，保护时刻的直流电压为952 V。

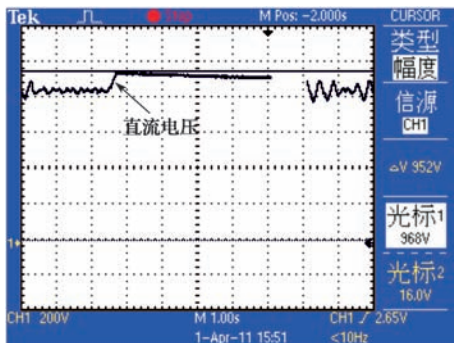


图6 实测直流电压波形(1个检测周期)

4 解决措施与验证

由于辅助变流器主电路与牵引变流器不一样，中间直流环节无过压“斩波电路”，只有在故障情况下，才启动快速放电电路。因此需解决过压问题，主要有以下方法：

方法1：从电机再生制动原理可以看出，电机的运行速度高于同步转速，同步转速由电机的输入电源的频率决定。电源频率降低，同步转速就下降，而机车运行速度不能突变。因此主断路器断开之后，CCU网络控制单元要求VVVF辅助变流器的输出频率降低，此时VVVF辅助变流器可以不变频，而维持当前频率。这样就避免了同步转速低于电机转子的对应旋转速度，再生制动的条件不能满足，就不会造成中间直流过压。

方法2：如果逆变模块的IGBT能承受1700 V的电压，就可以考虑在封锁四象限模块的同时封锁逆变器。但直接封锁逆脉冲，由于VVVF辅助变流器后端存在滤波电容，此时滤波电容与异步电机之间形成自激，导致输出过压保护^[8]；同时会对输出滤波电容造成一定的影响。

方法3：参照牵引变流器的处理方式，当直流电压大于900 V时，闭合快速放电接触器，避免直流过压。由于接触器断开需要机械动作时间，可能会造成直流欠压或放电电阻烧损。

综合上述3种方法，最终采用方法1。机车主断路器断开之后将辅助变流器的输出频率维持不变。按上述方法优化软件参数后，解决了机车辅助变流器直流过压问题。过分相时测得直流电压波形如图7所示。

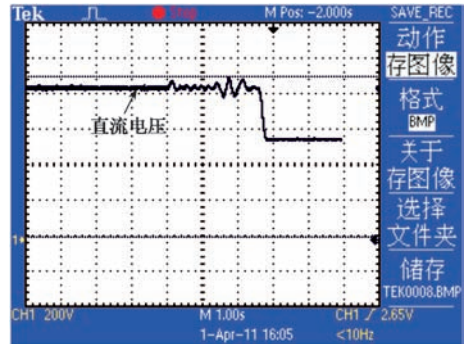


图7 改进后实测直流电压波形

5 结语

HXd1C 机车在过分相时，VVVF 辅助变流器的输出频率不再跟随 CCU 的命令，将输出电压频率维持过分相前的频率，避免由于异步电机“泵生电压”的作用造成的直流过压。后续在兰州西机务段将机车的软件全部更新后，彻底解决了过分相时的过压故障，为 HXd1C 机车的稳定可靠运行提供了保障。

参考文献：

- [1] 刘长清, 王佳佳, 蹇芳, 等. HXd1C 型电力机车辅助变流器的设计[J]. 大功率变流技术, 2010(4): 9-11.
- [2] 刘敏安, 刘长清. HXd1C 机车辅助变流器系统及特性分析[J]. 机车电传动, 2011(3): 20-22.
- [3] 刘华, 蓝正生. HX_D1C 型大功率交流传动电力机车辅助电路[J]. 电力机车与城轨车辆, 2011(3): 9-11.
- [4] 吴建雄, 陈湘, 钱勇亮. 高原型 HXd1C 机车辅助变流器预加热系统[J]. 大功率变流技术, 2012(6): 23-25.
- [5] 温中建, 蔡海翔. HX_D1C 型大功率交流传动电力机车网络控制系统[J]. 电力机车与城轨车辆, 2011(6): 10-14.
- [6] 辜承林. 电机学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [7] 王佳佳, 刘长清. 辅助变流器故障诊断技术[J]. 大功率变流技术, 2010(4): 12-15.
- [8] 王世平, 黄志国, 李党盈, 等. 电机与 LC 自激现象的分析及抑制[J]. 机车电传动, 2013(3): 78-80.

作者简介：吕建光（1973-），男，工程师，现从事电力机车检修技术工作。