

研
究
开
发HXD1C 机车辅助变流器系统
及 特 性 分 析

刘敏安, 刘长清

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 刘敏安 (1983-), 男, 硕士, 主要从事机车辅助电源主电路及控制方面的研发工作。

摘 要: 阐述了HXD1C机车辅助变流器系统及主电路逻辑控制过程, 分析了主电路的等效阻抗、输入电感特性及中间直流环节特性, 提出一种开关电压电流估算方法, 并通过仿真对主电路电压电流波形进行分析, 为进一步确保辅助变流器的正常稳定运行和辅助变流器的优化改善提供参考。

关键词: 辅助变流器; 子系统; 二次侧绕组; 双口网络; IGBT 电压; 主电路仿真; HXD1C 机车

中图分类号: U264.3+.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2011)03-0020-03

Auxiliary Converter System and It's Characteristic Analysis of Locomotive HXD1C

LIU Min-an, LIU Chang-qing

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Auxiliary converter system of locomotive HXD1C and its logic control process was illustrated; the equivalent impedance of power circuit and characteristic of input inductance and DC-link circuit was analyzed; a method of estimating and computing the voltage and current on IGBT was proposed. Moreover, by simulation, the analysis of voltage/current waves for power circuit was done, reference was provided for ensuring the normal running and performance improvement of the auxiliary converter.

Key words: auxiliary converter; subsystem; secondary winding; dual-input network; IGBT voltage; main circuit simulation; HXD1C locomotive

0 引言

HXD1C是一种新的大功率六轴电力机车, 机车轮周牵引功率7 200 kW, 轴式C₀-C₀。该机车的辅助变流器也是一种新的国产化研究成果。每辆机车装载2台辅助变流器。单台辅助变流器视在功率为248 kVA, 其额定输入电压为单相AC 470 V, 逆变器输出电压为三相AC 440 V。机车辅助变流器负载包括6台牵引风机、2台冷却塔风机、2台压缩机, 还有空调、照明设备等辅助电气设备。2台辅助变流器并行工作, 一台输出恒频恒压(CVCF), 另一台输出变频变压(VVVF)。机车运行过程中, 任一台辅助变流器发生故障被隔离时, 另一台辅助变流器都能单独承担所有机车负载正常运行。

本文将通过分析辅助变流器系统及各种特性, 为辅助变流器的分析与研究提供参考。

1 辅助变流器系统及逻辑分析

1.1 整车系统中的辅助子系统

HXD1C电力机车辅助变流器的输入直接连接机车

牵引变压器的二次侧绕组A8、X8, 输入电压为单相AC 470 V/50 Hz, 即电网电压25 kV通过牵引变压器降为470 V, 为辅助变流器供电。每辆机车上的2台辅助变流器在牵引变压器二次侧绕组上取电。

如图1所示, 在牵引变压器二次侧绕组上, 2台辅助变流器并联连接。单相AC 470 V作为辅助变流器输入, 经过二电平单相桥式全控整流电路进行四象限整流, 输出恒定直流电压850 V。输入电压在输入电抗器的电网侧是一个正弦波电压:

$$V_s(\omega t) = 470\sqrt{2} \sin 100\pi t \quad (1)$$

在输入电抗器的整流器侧是PWM波电压。中间直流环节电压经过三相桥式逆变电路后输出PWM波, 经过LC滤波器后输出三相正弦电压。三相线电压为正弦波电压:

$$V_o(\omega t) = 440\sqrt{2} \sin 120\pi t \quad (2)$$

变压变频模式时, 输出电压有效值根据 $V/f=c$ (c为恒定值) 确定。

2台辅助变流器中一路输出VVVF, 另一路输出CVCF。2台辅助变流器内各有1个内置风扇, 都是由

收稿日期: 2010-09-02

CVCf 变流器供电。二路辅助变流器输出后分别经过接触器 K-10、K-20 连接至负载。二路之间还有 1 个接触器 K-02, 是起冗余转换作用的。当任一路出现故障停机, 都会将该路负载全部投切到另一路正常辅助变流器下, 保证机车正常行驶。

1.2 辅助变流器运行逻辑分析

辅助变流器主电路包含 2 路辅助变流电路系统, 如

图 1 所示。两路并联运行, 单路运行逻辑是一样的。当 CPU 检测到辅助变流器有输入电压时, 会判断输入电压是否在合适的范围, 如果不在, 就停止启动步骤。当输入正常时, 首先给中间电容组件充电。充电过程中, 电流经过 2 个并联的充电电阻给中间电容组件充电。当电容电压达到一定值时, CPU 就会断开 K2, 停止充电。

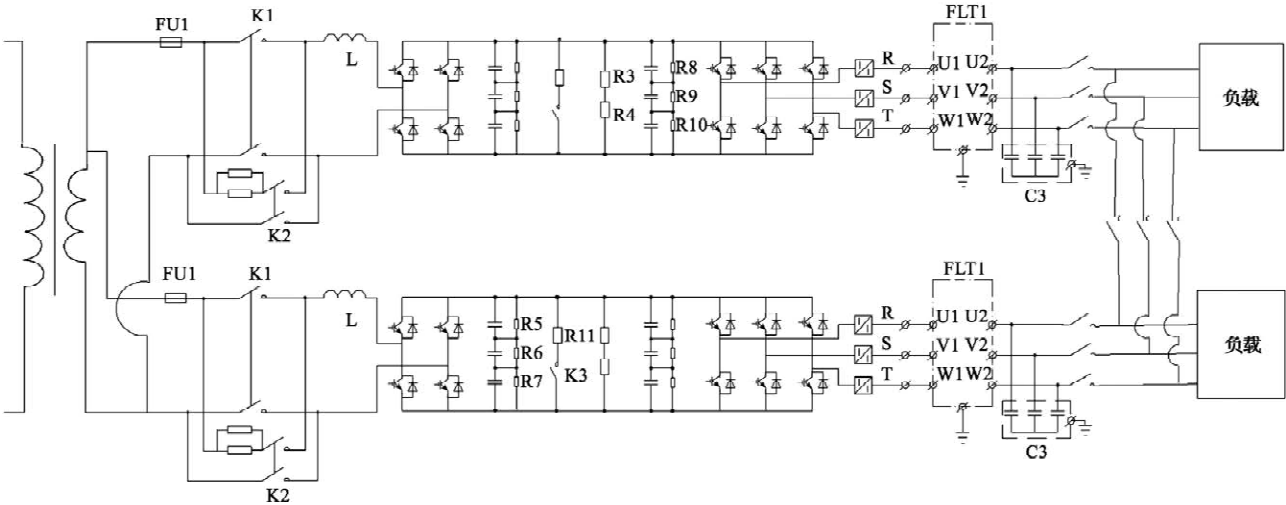


图 1 2 路辅助变流器联接关系

CPU 检测到充电完毕后, 整流器驱动模块就会释放脉冲, 开启整流器, 从而进入四象限整流过程。辅助变流器在四象限整流过程中, 电流工作在第一、第三象限。当电网侧电压在一定范围内波动时, 四象限整流器能使输出中间电压保持恒定。辅助变流器输入侧电压近似正弦波, 经过输入电感作用后, 整流器输入侧为 PWM 波电压, 如图 7 所示。

整流器开启后, 经过 1 h 的延时, 逆变器脉冲分配板释放脉冲, 开启逆变器。逆变器输出 PWM 波电压。经过正弦滤波器滤波后输出三相正弦波电压。该逆变器属于 VSI (电压源逆变器), 电流波形根据负载情况变

化。不过, CPU 会对逆变器输出三相电压电流不平衡进行实时检测。

2 辅助变流器特性分析

2.1 辅助变流器主电路电路端口网络的电阻特性

分析一种电器的等效阻抗可以知道该电器的某些电气性能, 如功率因数等。下面将详细计算一下辅助变流器主电路等效阻抗。

单从一路辅助变流器主电路计算, 等效电路如图 2 所示。

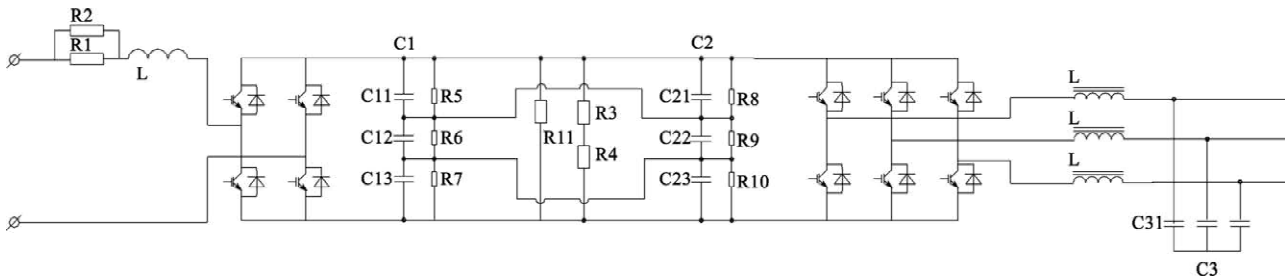


图 2 单路辅助变流器主电路简图

电路参数如下:

$R_1=R_2, R_3=R_4, C_{31}, L, R_{11}, R_5=R_6=R_7=R_8=R_9=R_{10}$

C11 是由 m 个电容器件并联组成的。电容值计算如

下:

$C_{11}=m \times C_1,$

$C_{11}=C_{12}=C_{13}=C_{21}=C_{22}=C_{23}$

图 2 电路简化后如图 3 所示。图 3 中单个电容和电阻的并联计算如下:

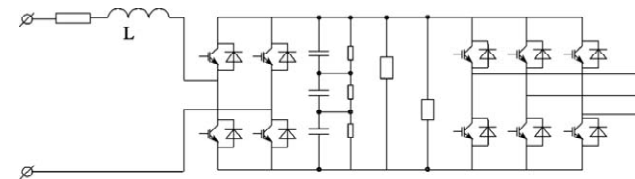


图 3 单路辅助变流器主电路等效图

$$Z_{RC} = \frac{R / j\omega C}{1 / j\omega C + R} = \frac{R}{1 + j\omega CR} \tag{3}$$

$$R_{12}=R_1/2 \quad (4)$$

$$R_{34}=R_3/2 \quad (5)$$

$$R_Z = \frac{R_{34} \times R_{11}}{R_{34} + R_{11}} \quad (6)$$

该双口网络总阻抗：

$$Z = R_{12} + j\omega L + \frac{3 \times Z_{RC} \times R_Z}{3 \times Z_{RC} + R_Z} \approx R_{12} + j\omega L \quad (7)$$

由式(3)~式(7)可以计算,当电路频率为 f ,根据 $f = \frac{\omega}{2\pi}$,将各个电路参数代入式(7),很容易算出

$Z=X+jY$,从而 $\cos\varphi = \frac{X}{\sqrt{X^2+Y^2}}$ 。通过计算可知,辅助变流器的网络呈现电阻特性。

2.2 辅助变流器中输入电感特性分析

在图2辅助变流器主电路中,输入电感起着多方面的作用。一方面,输入电感有滤波作用。电感输入侧是正弦波电压。电感靠近整流器侧是PWM波电压。在四象限整流过程中反馈回来的电压经过电感滤波成正弦波反馈给电网。

另一方面,输入电感蓄能,提升四象限输入电压,使整流器输出中间电压值能大于输入电压。电感蓄能的大小直接影响中间电压的可调控值。因为四象限开通前,先给中间电容充电。此时,输入电感上已经蓄积好能量。当四象限整流器释放脉冲时,输入电感等效于输入电源一起给四象限整流器供电。

第三方面,输入电感具有限流和续流作用,防止主电路输入端电流突变。电流突变会对电路器件产生不良影响。同时,电感续流使电路中电流得以连续不间断。

2.3 辅助变流器中间电路特性分析

首先分析均压电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 、 R_8 、 R_9 、 R_{10} 。电容组件C1对应一组均压电阻 R_5 、 R_6 和 R_7 。电容组件C2对应一组均压电阻 R_8 、 R_9 和 R_{10} 。均压电阻确保3个电容上承担的电压相等,一个均压电阻承担电压值为中间电压的三分之一。3个电容均压才能保证电容安全工作。

接地检测电阻 R_3 和 R_4 为主电路接地检测提供条件。中间直流电压正极和负极分别通过 R_3 和 R_4 接地。 R_3 和 R_4 共同承担中间电压,当主电路出现接地时, R_4 上的电压就会出现大的波动。当波动超出设定阈值时,辅助变流器CPU就会向机车网络模块传送接地故障。由于接地检测环节安装在主电路中间位置,因此,输入接地和输出接地均能够有效检测到。

放电电阻 R_{11} 能让辅助变流器停电后,中间电容组件快速释放电能,为快捷检修提供安全保障。

3 辅助变流器分析方法

3.1 IGBT 过压过流估算方法

辅助变流器中,可能存在杂散电感电容的地方比较多,分析起来也很不容易。下面介绍一种根据开关频率估算开关上电压降的方法。

大家都知道,电路中电感电流和电容电压是不能突变的。电路中电感电压和电容电压可以按如下计算:

$$\left. \begin{aligned} u_L &= L \frac{di}{dt} \\ i_C &= C \frac{du}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

在已知开关的开关频率 f_s ,可以根据电路中电感电压[由式(8)可以求得]来计算开关上的电压降。

在一个开关周期 T_s 内,电流的变化量为 Δi 。因为IGBT的C、E极分别通过低感母排连接中间电容,从而可以根据式(9)计算IGBT上的电压降,式(9)中 L 为开关电路上的电感值。

$$u_L = L \frac{\Delta i}{T_s} \quad (9)$$

例如,当电路开关频率为 f_s 时,则周期为 $T_s = \frac{1}{f_s}$,当电路中包含此开关,则电路中电感电压:

$$u_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (10)$$

在四象限整流过程中,在 $\Delta t = \frac{T_s}{2}$ 时间内,输入电流变化为 Δi (峰峰值),此时很容易算出 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$,代入式(10)中可以算出开关上的电压值。

根据估算,此电压值虽然不是很精确,但是可以大致知道电路中的电压情况,对保护IGBT等开关器件是有一定帮助的。

3.2 辅助变流器主电路仿真分析

仿真平台的搭建对分析现场故障具有很重要的指导意义。MATLAB中SIMULINK工具箱对主电路仿真很实用,脉冲分配部分也可以通过这个工具箱来构建。另外,也可以使用S-FUNCTION程序模板编程。

设置系统仿真参数如下:中间直流电压850 V,整流器开关频率设为1 650 Hz。逆变器部分开关频率设为2 340 Hz,输出频率60 Hz。采样时间0.3 s。

从图4可以看到,辅助变流器输入电压波形为正弦曲线波形。图5展示了辅助变流器启动后,中间电压很快趋于稳定。图6为辅助变流器的输出电压波形。图7是整流器输入侧电压波形,为PWM波。辅助逆变器输出也为PWM波形,经过正弦滤波后成为正弦波形。

(下转第48页)

条件下通过改变接线方式、更换变流器模块及DCU机箱就能方便实现车控和架控的互换,同时也能够满足在不同供电制式下的应用,极大地缩短了牵引逆变器的设计开发周期。

经过简化设计的地铁IGBT牵引逆变器现已经批量应用于上海地铁1号线、沈阳地铁2号线、北京地铁房山线、深圳地铁5号线、重庆地铁6号线等国产化地铁项目。从现场反馈的情况来看,该牵引逆变器的总体运行情况良好,完全能够满足地铁车辆交流电传动系统的要求,并且在轨道交通车辆牵引系统行业可以满足客户多样化的需求,打破了外国公司对国内城市

轨道交通牵引装备的技术垄断,填补了国内空白。

参考文献：

[1] 忻 力. 兆瓦级IGBT牵引逆变器的开发 [J]. 机车电传动, 2000 (5).
[2] 荣智林. TGN10型地铁车辆用DC1500V IGBT牵引逆变器 [J]. 机车电传动, 2004 (4).
[3] 翁星方. 北京地铁国产化列车IGBT牵引逆变器 [J]. 机车电传动, 2008 (4).
[4] 刘海涛. 地铁车辆用DC1500V IGBT牵引逆变器 [J]. 机车电传动, 2008 (5).

(上接第22页)

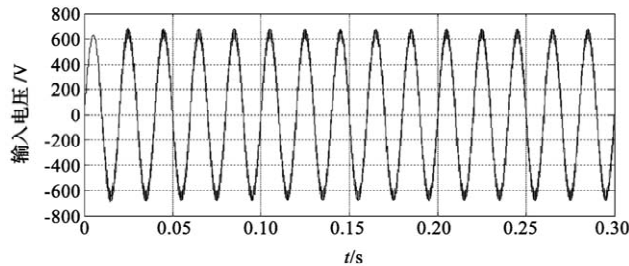


图4 辅助变流器输入电压波形

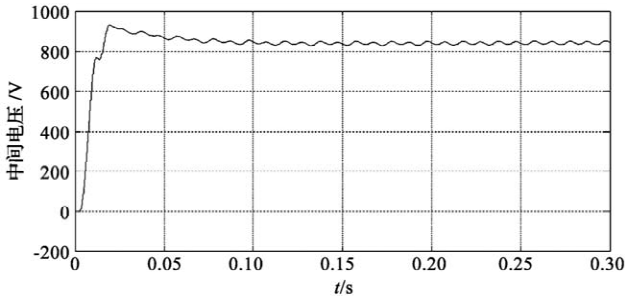


图5 辅助变流器中间电压波形

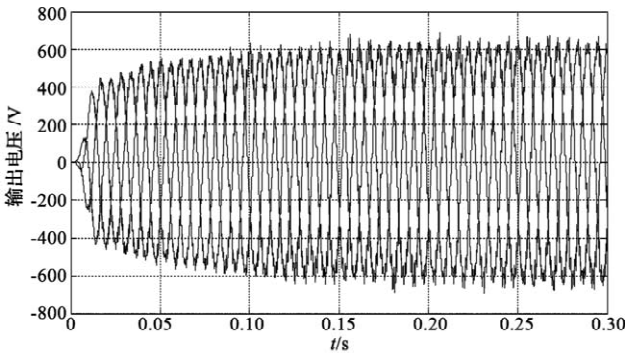


图6 辅助变流器输出电压波形

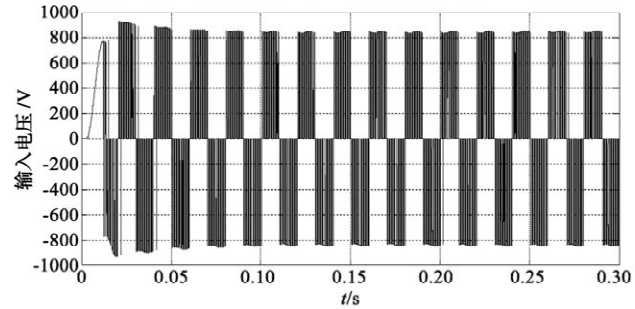


图7 整流器输入PWM波

4 结语

① 本文分析了辅助变流器子系统在整个HXD1C机车系统中所处位置和所起作用,为分析和解决辅助变流器在整车调试过程中碰到的系统问题提供一个系统平台。②详细阐述了主电路逻辑控制过程。为了更好地研究HXD1C辅助变流器的电气性能,详细地计算了该电器的阻抗值,为设计改善提供理论依据。同时,对输入电感的特性和电感在主电路中所起作用进行了较深入的分析,并分析了中间电路中各电路器件的作用。③提出了一种根据开关频率估算IGBT上电压降的数学方法。最后,对主电路进行仿真,并且给出了仿真波形。

参考文献：

[1] 陈 坚. 电力电子学 [M]. 北京：高等教育出版社, 2004.
[2] 邱关源. 电路 [M]. 北京：高等教育出版社, 1999.
[3] 刘长清. 电力机车四象限辅助变流器的研制 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2003, 26(6): 18-20.