

◆ 大功率机车 ◆

和谐 HXD₁ 型大功率交流电力机车电传动系统

李晓春, 毛业军, 廖洪涛

(中国南车集团株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 详细介绍 HX₀₁ 型大功率交流电力机车主电路和辅助电路的结构组成、工作原理、技术基础、冗余设计理念以及故障保护机理与实施情况。

关键词: 交流电力机车; 主电路; 辅助电路; 四象限变流器; 脉宽调制

中国分类号: U264.2+23;U264.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-1187(2007)01-0011-03

Electric drive system of type HX_b1 high-power AC electric locomotive

LI Xiao-chun, MAO Ye-jun, LIAO Hong-tao

(CSR Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China)

Abstract: This article presents the comprise, working concept, technical basic, redundancy design conception and circuit protection of the main circuit and auxiliary circuit of type HX₁ AC electric locomotive.

Key words: AC drive electric locomotive; main circuit; auxiliary circuit; 4-quadrant converter; pulse-width modulation

1 概述

HX01 型交流传动电力机车是中国南车集团株洲电力机车有限公司和西门子公司合作开发的重载机车。每台 HX01 型机车由两节车组成,它们的网侧电路通过高压连接器相连,既可固定重联运用,也可解编后各自独立运用,同时具有外重联功能。其主传动系统采用交—直—交方式。结构上多种冗余设计措施的综合应用,使得机车在主传动部件发生严重故障时能保留 3/4 的牵引(电制动力),发生重大故障时能保持一半牵引(电制动力)。智能化的保护措施能为机车提供完善的保护。

2 主电路结构

HX01 型机车主变压器的原边通过受电弓、主断路器得电。主变压器 4 个独立的次边牵引绕组分别向 4 个四象限脉冲整流器供电,每 2 个四象限脉冲整流器并联输出,共用一个中间直流电路。这个中间直流电路同时向 2 个电压型 PWM 逆变器(1 个牵引逆变器和 1 个辅助逆变器)供电,每个牵引逆变器分别向一个转向架

的 2 台异步牵引电动机供电,实现牵引电机架控。再生制动过程相反。其主变流器内包含机车辅助供电电源模块。

主电路结构如图 1 所示。主电路按其主要功能和电压等级可分为:网侧电路、四象限变流电路、中间直流电路、PWM 逆变电路、保护电路等几部分。

3 网侧电路

网侧电路原理如图 2 所示, 其主要功能是由网侧获

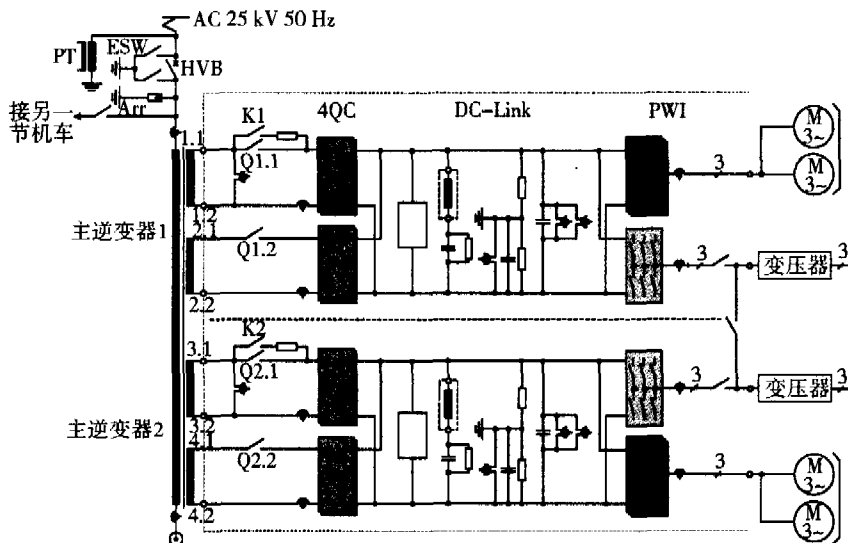


图 1 单节车主电路结构图

收稿日期: 2006-12-20

作者简介: 李晓春, 2001 年毕业于西南交通大学电气工程与自动化专业, 现从事电力机车总体设计工作。

取电能,属于 25 kV 电路。每节机车网侧电路由一台受电弓、一台带高压接地装置的主断路器、一台避雷器、一台高压电压传感器、一台高压电流传感器、一台高压隔离开关、主变压器原边、回流侧互感器和接地碳刷等组成。两节机车间网侧电路通过高压连接器相连。

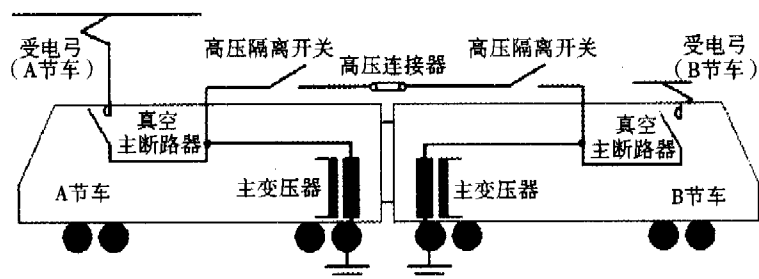


图2 网侧电路原理图

3.1 网侧受流过程

3.1.1 升起本节机车受电弓的受流过程

本节机车:接触网电流通过受电弓,经本节主断路器,通过本节机车的主变压器的原边绕组高压端子给本节机车电路供电,再由本节机车的主变压器原边低压端子经接地碳刷、轮对、钢轨,返回变电所。

他节机车:在本节机车主断路器闭合后通过本节机车高压隔离开关,经高压连接器、他节机车高压隔离开关,由他节机车的主变压器的原边绕组高压端子给他节机车电路供电,再由他节机车的主变压器原边低压端子经接地碳刷、轮对、钢轨,返回变电所。

3.1.2 升起两个受电弓的受流过程

在此模式下两节机车中至少要有 1 节机车的高压隔离开关处于断开位置。此时,接触网电流通过受电弓,经主断路器,通过机车的主变压器的原边绕组高压端子给机车电路供电,再由机车的主变压器原边低压端子经接地碳刷、轮对、钢轨,返回变电所。在此模式下,两节机车的主断路器分别控制各自机车电路的供电。

3.2 网侧电路保护

3.2.1 网侧短路保护

当流经高压电流互感器的电流超过整定值时,主断路器将进行分断保护。

3.2.2 网侧过压保护

网侧装有避雷器,主要用于抑制操作过电压及运行时的雷击过电压。

3.2.3 网压监测保护

通过高压电压互感器的检测,在网压 $< 15 \text{ kV}$ 或 $> 32 \text{ kV}$ 的情况下,主断路器将进行分断,保护主电路相关设备的正常工作。

3.2.4 网侧过流保护

通过高压电流互感器的检测,在电流超过整定值时,

主断路器将分断保护。

3.2.5 原边接地保护

检测原边电流和回流电流的差值,当大于整定值时,判定为原边接地,主断路器进行分断保护。

3.2.6 主变压器次边和主变流器短路保护

如果变压器二次线圈或主变流器发生短路,则在检测到短路的瞬间断开主断。由于变压器的高短路阻抗,从而限制了短路电流。

4 四象限变流电路

四象限变流器在牵引工况下进行交一直变换,为中间直流电路提供电能;在再生制动工况时,通过中间直流电路进行直—交变换,将电能回馈给电网。

4.1 四象限变流电路构成

如图 1 所示,四象限变流器通过主变压器的牵引绕组得电,每组四象限变流电路由 1 个充电电阻、3 个交流接触器及 2 个四象限变流器构成,两个变流器将交流电变换成直流电,并联向中间回路供电。四象限脉冲整流器每一臂由两个 IGBT 模块并联组成。

4.2 工作原理

充电过程如图 1 所示。当中间电压为零,充电时,牵引绕组 1.1 和 1.2 通过充电电阻向四象限变流器供电,给并联的中间直流回路支撑电容充电。充电完成后,充电接触器切除充电电阻,两个牵引绕组通过线路接触器同时向两台相应四象限变流器供电。充电电阻起限制充电电流的作用。四象限变流器原理图及牵引和再生制动电压电流矢量图见图 3。

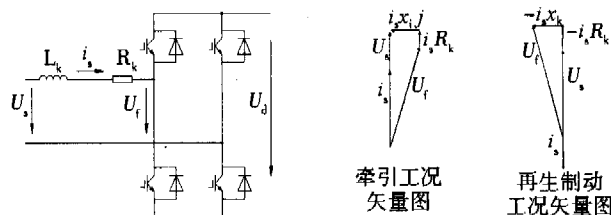


图3 四象限变流电路原理图

四象限电路使得中间直流环节的电压保持恒定,变压器次边的功率因数接近于 1。

5 中间直流电路

5.1 中间直流回路构成

中间直流电路由中间电压支撑电容、二次滤波 LC 谐振电路、硬短路保护电路和接地保护电路组成。

5.2 二次滤波电路

二次滤波电路由二次滤波电抗器 L 和二次滤波电容器 C 组成谐振电路,谐振频率为 100 Hz。谐振电抗器置于

主变压器中,谐振电容器置于主变流器柜中。

5.3 硬短路保护电路

中间直流电路中装有短路保护装置。在出现贯穿短路时,主断路器将分断网侧电流;TCU 将封锁四象限和 PWM 逆变器的触发脉冲,并触发硬短路保护装置,用来吸收短路回路释放的能量。

5.4 接地保护电路

接地保护电路由跨接在中间电路的两个串联电阻和一个接地信号检测器组成。如果检测到接地故障,主断路器(HVB)将断开,然后故障中间直流环节电路也将断开,但机车仍可以在降功率的条件下继续运行。

6 PWM 逆变电路

HX_d1 型机车 PWM 逆变电路的原理简图见图 4。

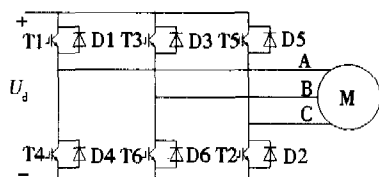
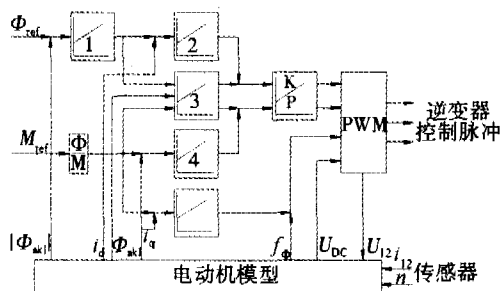


图 4 PWM 逆变电路原理简图

6.1 PWM 控制原理

PWM 逆变电路采用磁场定向控制策略,此策略是一种基于动态模型按转子磁链定向的矢量控制技术,通过对定子电流的励磁分量和转矩分量的解耦控制,达到分别控制电机磁链和转矩,实现快速响应的目的^[1]。通过正弦脉宽调制技术控制 PWM 变流器的输出,根据电机特性曲线要求优化变流器的输出特性,使得在牵引和制动工况下,对牵引电动机的电流最大值限制进行控制。系统调节框图见图 5。



1—磁通调节器;2—形成磁通的电流分量调节器;3—退耦和预控制;4—形成转矩的电流分量调节器。

图 5 磁场定向调节框图^[2]

6.2 四象限变流器和 PWM 逆变器模块的保护

6.2.1 过压保护

在直流回路电压大于整定值时,触发软短路器,断开主断路器 HVB。

6.2.2 过流保护

每个 4QC 和 PWM 的支路有两个并联的 IGBT 模块。在短路和其它故障情况下,在达到最大支路电流前自动封锁相关的模块触发脉冲。

6.2.3 牵引电机的短路保护

当牵引电机端子或绕组内发生短路时,PWM 的触发脉冲将被封锁。

7 辅助电路和库用动车电路

7.1 辅助电路

在牵引变流器中系统集成两个辅助逆变器,分别由一路中间直流回路供电,在正常状况下,这两个辅助逆变器一个工作在变频变压模式,一个工作在恒频恒压模式,为各自所带负载供电。这样,简化了电路结构,减少了部件数量,从而有效降低系统故障概率,提高系统稳定性。辅助供电采用冗余设计,当一个辅助逆变器模块出现故障,另一个将承担所有负载。此时所有辅助设备都以恒频恒压方式工作。

图 6 是该辅助电源系统简图及其输出 U/f 特性曲线。

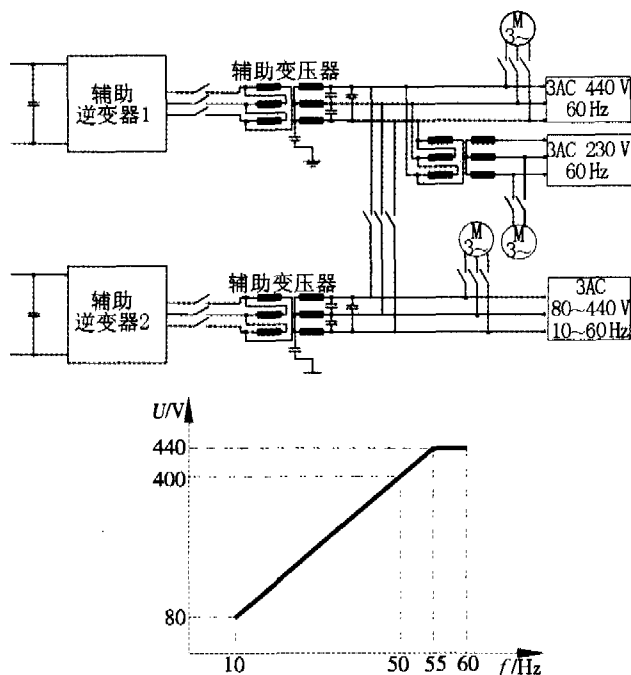


图 6 辅助电源系统简图及其输出 U/f 特性曲线

辅助电路提供以下几个电压等级:

- 1) 3AC 440 V 60 Hz;
- 2) 3AC 80 ~ 440 V, 10 ~ 60 Hz;
- 3) 3AC 230 V 60 Hz;
- 4) 1AC 230 V 60 Hz。

恒频恒压负载主要包括变压器油泵、逆变器水泵、机械间风机、逆变器风机、空调加热器、司机室后墙加热器、空气压缩机、蓄电池充电器、屏柜风机等。

变频负载主要包括:牵引风机、冷却塔风机。

(下转第 17 页)

2.7 辅助系统控制

由两组辅助变流器给机车辅机供电,其中牵引风机和冷却塔风机采用变频变压供电,其它辅机采用恒频恒压供电。机车具有辅助电路自检功能。

2.8 机车保护及故障诊断

HX₀₁ 型机车采取了很多保护措施以防止过电流、过电压及过热对部件及系统造成破坏,保护形式大致分为硬件禁止和指令封锁。硬件禁止主要是在网侧高压保护方面,分为主断禁止(HVB_SP)和高压禁止(HV_SP)。前者对应本节车的受电弓或主断出现故障,但是可以通过车顶隔离开关从另一节车接入网压;后者对应本节车出现严重故障,不允许接入网压,本节车失去牵引力。指令封锁具体表现为牵引封锁,当机车出现异常情况的时候,禁止司机给出牵引指令,防止故障扩大。

CCU 对各部分电路的电源控制开关及各辅机接触器的状态进行实时检测。如果开关或接触器断开,在司机显示器上可以看到相关信息,同时在 CCU 里面会记录该信息,例如:如果接触器 34-Q01 断开,马上会显示“牵引风机 1 的接触器 34-Q01 断开”。

各种故障对应不同的代码,显示在司机显示器上。在事件总览页面,可以查看每个故障对应的故障代码、故障等级(A~D 四级)、部件类别、事件简短描述、故障出现在动车或不动车时司机分别应该采取的措施、其它有关信息。

(上接第 13 页)

每条辅助电路支路的自动开关对辅助负载的过压、过流和缺相进行保护。系统具有接地保护功能,当电路中 1 点接地时,可以通过接地检测装置进行检测,通过 CCU 进行隔离。

单节车的辅助电源采取冗余设计,当其中 1 个辅助逆变器故障情况下,可以通过开关转换使得另 1 个辅助逆变器对本节车的所有辅助负载供电,在此模式下采用 60 Hz 的电源输出。

7.2 库用动车电路

HX₀₁ 型机车具有库用动车功能,可以不用调车也能在库内或车间内无接触网区移动。此时机车应置于“库内动车”模式,机车的所有仪器和控制都应处于工作状态。车体底架两侧转向架之间装有插座,用于将库内三相 380 V 交流电通过电缆及插头引入到车上作为动车电源。通过主变流器中的辅助电路电源将中间直流回路充电至大约 500 V 直流电压。这个电压通过 PWM 逆变器在牵引电机上所产生的力矩,足以驱动双节机车以约 5 km/h 的

3 机车调试软件

HX₀₁ 型机车常用的调试工具软件有 Hyper Terminal 9600 和 SIBAS32 monitor 等,其作用如下:

1) 软件安装:包括 TCU 和 CCU 的操作系统及应用软件, MVB 配置文件, GATEWAY 配置文件, 显示器软件等。

2) 对各种计数器、日期、时间等设置初始值,包括 TCU 和 CCU 的工作小时数、主断的操作次数等清零,校正日期及时间,设置轮径、里程数、车号、轴重类型(23 t 或 25 t)。

3) I/O 测试:检查 SKS3 各模块输入接点、输出接点的通断情况;查看开关量的幅值及模拟量的波形。

4) 执行调试指令,检查机车的相应功能。

4 结束语

HX₀₁ 型机车采用先进的交流传动控制技术和 TCN 通讯网络,机车按照列车级、车辆级和传动级 3 级控制,机车的自动化、信息化程度高,具有很强的保护功能和诊断功能。

参考文献:

- [1] IEC 61375.1:1999,铁道电气设备列车总线(第 1 部分):列车通信网络[S].
- [2] IEEE 1473:1999,列车通信协议[S].

速度运行。此时机车由司机台的主控制器进行操作。

8 结束语

HX₀₁ 型机车基于西门子公司“欧洲短跑手”(Eurosprinter)技术平台,其主传动系统的结构紧凑,冗余设计和保护措施极大地提高了机车的运行可靠性;其集成辅助逆变器在主逆变器结构中的设计符合当代交流技术的发展趋势,具有先进技术水平。

参考文献:

- [1] 刘连根. 交流传动牵引变流器的技术发展[J]. 机电传动, 2001(2).
- [2] D.HORSTMANN. 电气化铁路传动技术 100 年的发展(二)[J]. 交流技术与电力牵引, 2004(2).
- [3] D.HORSTMANN. 电气化铁路传动技术 100 年的发展(一)[J]. 交流技术与电力牵引, 2004(1).
- [4] 黄济荣. 电力牵引交流传动与控制[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.
- [5] 沈本荫. 现代交流传动及其控制系统[M]. 北京:中国铁道出版社, 1997.