机车电传动 2017 年第 6 期 (2017-11-10)
ELECTRIC DRIVE FOR LOCOMOTIVES №6, 2017(Nov. 10, 2017)

文章编号：1000–128X(2017)06–0041–04

HXN6 型大功率混合动力内燃机车传动控制

李学明[1,2]，彭　辉[1]，谭永光[1]，廖　亮[1]

（1. 株洲中车时代电气股份有限公司，湖南 株洲　412001；
2. 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室，湖南 株洲　412001）

摘　要：为适应绿色、节能、环保的轨道交通运输要求，开发了 HXN6 大功率混合动力内燃机车，对该机车交流传动控制系统传动控制单元硬件架构及各项控制功能进行了详细阐述。型式试验和现场运用结果表明，该控制系统具有优良的控制性能。

关键词：传动控制系统；混合动力；硬件架构；控制功能；HXN6 型内燃机车

中图分类号：U267.1；U262　　**文献标识码：**A

doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2017.06.009

Traction Control System of HXN6 High-power Hybrid Diesel Locomotive

LI Xueming[1,2], PENG Hui[1], TAN Yongguang[1], LIAO Liang[1]

(1.Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;
2. State Key Laboratory for Traction and Control System of EMU and Locomotive, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: In order to meet the rail transportation requirements of green, energy-saving and environmental protection, HXN6 high-power hybrid diesel locomotive was developed. The AC drive control system of HXN6 high-power hybrid diesel locomotive was introduced from hardware structure and control functions of drive control unit in detail. Tests and field applications showed that the control system had excellent control performance.

Keywords: drive control system; hybrid power; hardware structure; control function; HXN6 hybrid diesel locomotive

0　引言

HXN6 大功率混合动力内燃机车为一款目前世界上功率大、技术领先的绿色环保型机车，是在中国铁路总公司的总体策划指导下，为中国内燃机车转型升级，更加适应世界节能环保低碳要求而推出的可替换传统内燃机车的新产品。作为机车交流传动的核心部件—传动控制单元（Traction Control Unit, TCU），主要负责机车传动系统的逻辑控制、牵引制动特性控制、逆变器及牵引电机控制、辅助逆变器控制、蓄电池充放电控制、防空转 / 滑行控制、传动系统故障诊断及保护、MVB 通信等功能。本文对传动控制系统的传动控制单元硬件架构和控制功能进行详细阐述。

收稿日期：2017–09–18；修回日期：2017–10–19
项目基金：中国铁路总公司科研计划项目（2013J011-K）

1　传动控制单元硬件架构与数据流

HXN6 机车传动控制框图如图 1。传动控制单元（TCU）机箱采用无边插的插箱，传感器、脉冲等信号通过插件前面板引入。机箱与 IGBT 变流器模块之间通过屏蔽电缆传输触发脉冲和反馈信号，实现对 IGBT 变流器模块的控制；机箱内部的 PCC 插件（完成 IGBT 故障反馈信号和 IGBT 控制脉冲转换），APA、APB 插件（完成电压、电流、温度和水压采集）及 PWU 插件（电源插件）采用背板绕线方式与其他插件连接，其余插件（MSC 插件完成电机速度采集以及过压过流硬件保护功能，MCC 插件完成电机控制，ACC 插件完成辅逆控制以及蓄电池斩波控制，SMC 插件完成系统管理与通信功能、时序逻辑控制，故障诊断与保护等功能，DIO 插件完成接触器等状态采集以及接触器控制命令输出，MVB 插件完成 MVB 通信功能）

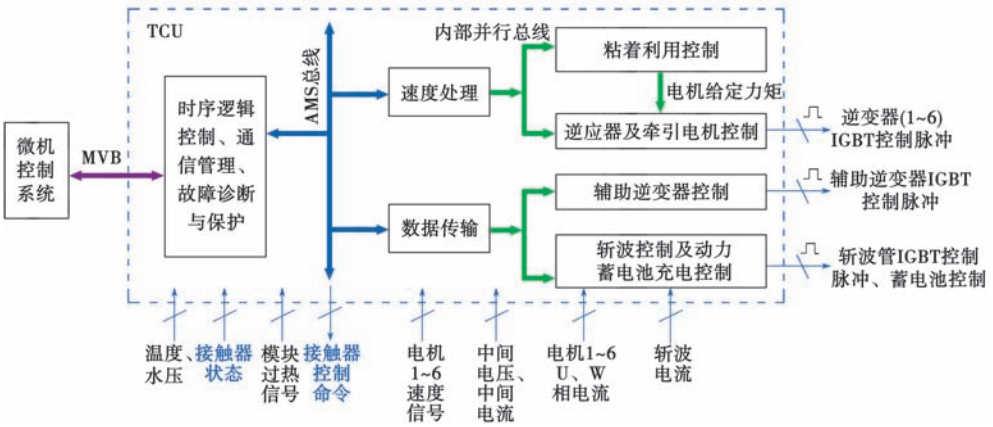


图 1　传动控制框图

通过 AMS 总线实现连接，整个 TCU 的硬件架构如图 2 所示。

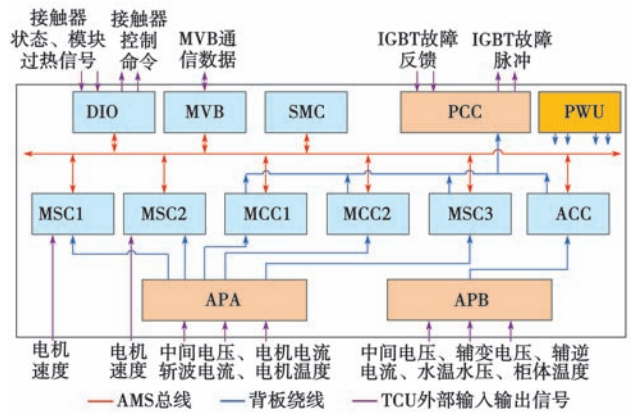


图 2　TCU 的硬件架构

2　TCU 控制功能

HXN6 机车 TCU 控制功能框图如图 1 所示，TCU 采集温度、水压、电压、电流、速度等传感器采样信息以及接触器状态、变流器模块过热等状态信息并进行综合处理，并通过 MVB 通信接收微机控制系统下传的手柄级位、牵引制动命令等控制命令，实现牵引变流器的时序逻辑控制、逆变器及牵引电机控制、粘着利用控制、辅助逆变器控制、斩波控制及蓄电池充电控制、故障诊断与保护等功能。

2.1　牵引变流器的时序逻辑控制

逻辑控制实现的主要功能：

1）上电 / 复位顺序逻辑控制

TCU 上电之后，SMC 首先维持主电路各外部接触器处于安全状态，然后执行系统自检，同时发故障清除命令，对电机信号插件进行故障解锁，通过脉冲转换插件对变流模块进行复位操作。

2）主电路接触器逻辑控制

TCU 通过 MVB 通信接收来自司机控制台的各项控制指令，结合系统状态进行综合判断，控制传动系统主电路中各接触器及变流模块的启停，使变流器处于相应的运行模式。

3）牵引 / 制动特性控制

根据中间电压、牵引电机转矩包络线、机车速度（牵引电机转速）、牵引 / 制动级位、变流器水温，综合计算出牵引电机应该发挥的牵引或制动转矩。牵引 / 制动转矩的上升 / 下降按设定的斜率变化，保证机车加速度在限制范围内。

4）放电控制逻辑

变流器主电路的放电通过开通斩波电路来进行，TCU 在收到司机室钥匙拔出状态信号，且判断 K1、K4 接触器为断开后，发出“快速放电”命令，开通斩波电路使支撑电容器上的电能通过斩波电阻快速释放。

2.2　逆变器及牵引电机控制

HXN6 机车 TCU 基于直接转矩控制的分段控制策略[1]，在低速段时采样间接定子量控制[2]，在高速段采用直接转矩控制，在弱磁阶段采用弱磁功率控制[3]。

1）间接定子量控制

低速段由于定子供电频率较低，可以充分利用变流器开关频率，使定子磁链近似按照圆形轨迹旋转。此时控制器以定子磁链（电压）为直接控制对象，使其按照转矩调节的需求而变化，以此间接地达到控制转矩的目的，如图 3 所示。

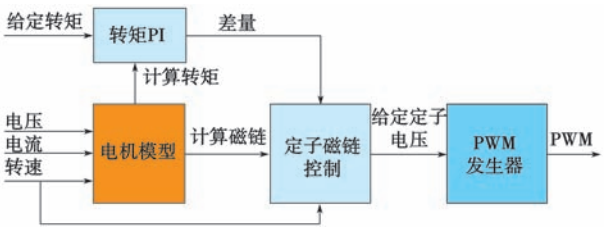


图 3 低速段控制策略图

2）直接转矩控制

高速段采用直接转矩控制，使用给定转矩和计算转矩进行 Bang-Bang 控制，快速响应力矩变化，定子磁链按照带折角的十八边形磁链旋转，如图 4 所示。

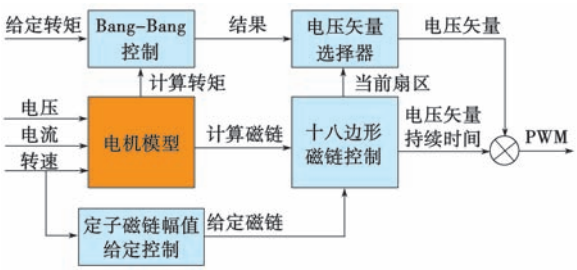


图 4　直接转矩控制策略图

3）弱磁功率控制

电机进入恒功和自然特性阶段后，控制器采用弱磁功率控制策略，如图 5 所示。弱磁功率控制策略主

要是通过动态调节定子磁链幅值来控制变流器的输出功率，从而间接地达到对转矩进行控制的目的。该策略的基本架构和直接转矩控制相似，不同之处为定子磁链幅值给定由当前的电机功率和转速决定；该控制策略仅在转矩突变的时候插入零矢量，而非根据转矩 Bang-Bang 控制的结果来选择使用零矢量或者有效矢量。

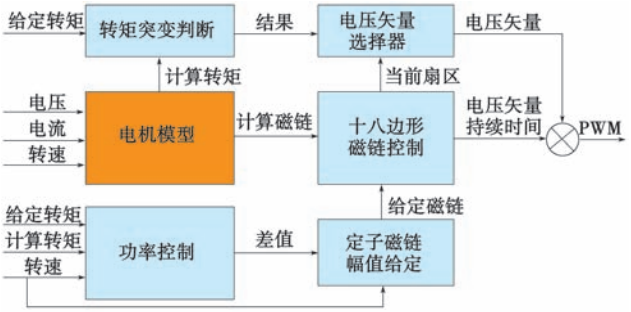


图 5　弱磁功率控制策略图

2.3　粘着利用控制

粘着利用控制根据线路状况不断变化的情况，向电机控制系统发出合适的电机转矩给定，使轮轨粘着系数接近线路当前最大可用粘着系数，从而获得最大的粘着利用率[4]。粘着利用控制实现蠕滑程度控制与防空转 / 防滑保护两大类功能。

蠕滑程度控制功能的被控对象为蠕滑率或蠕滑速度，使实际蠕滑率或蠕滑速度动态保持在参考值附近。程序正常运行时，优先使用蠕滑程度控制功能，当蠕滑程度偏差过大（控制失效）时进入防空转 / 防滑保护功能。

防空转 / 防滑保护功能的保护对象为同一车辆下的动力轮对最大速度差、各轮对加 / 减速度、各轮对蠕滑速度。出现明显的空转或滑行时，防空转 / 防滑保护功能将产生作用，输出的典型粘着力矩曲线如图 6 所示。力矩曲线的减载量、减载斜率、曲线恢复斜率、直线恢复斜率均随空转 / 防滑程度动态调节。

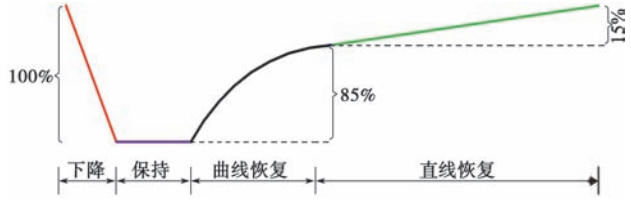


图 6　典型的防空转 / 防滑保护力矩曲线

2.4　辅助逆变器控制

HXN6 采用主辅一体化结构，辅助逆变器控制功能一般在 TCU 中实现。 TCU 采集中间电压、辅变输出电压传感器信号，利用空间矢量调制（SVPWM）技术[5]，实现对辅变输出电压的变压变频（VVVF）或恒压恒频（CVCF）控制，其控制原理框图如图 7 所示，变频启动过程电压 - 频率波形如图 8 所示。

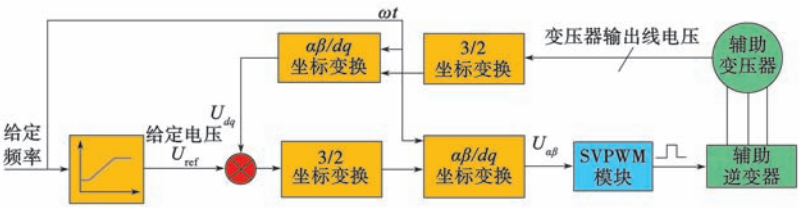


图 7　辅助逆变器控制原理图

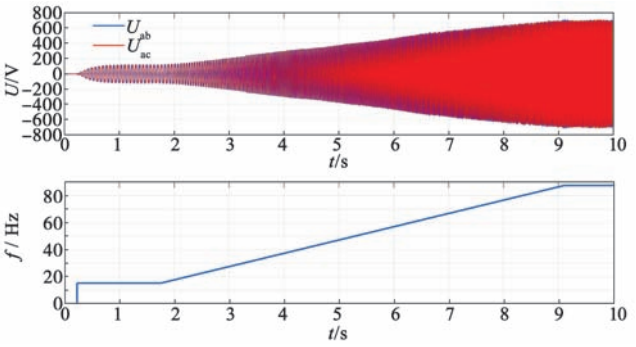


图 8　变频启动过程电压 - 频率波形

2.5　故障诊断与保护及容错控制功能

TCU 实时采集系统电压、电流、温度和冷却水压信号，基于对象特性模式对传动系统当前工况进行实时状态监控和异常检测；当出现异常时，根据异常工况的严重程度，执行不同的保护动作。

TCU 对故障实行等级分类，轻微故障设为“自恢复故障”，中等故障设为“可复位故障”，严重故障设为“不可复位故障”。在状态检测过程中，发现“可自动恢复故障”，则在条件满足时自动进行“故障消除”；发现“可复位故障”，则可接受通过列车控制和诊断系统传递的“故障消除”命令，故障消除后重新工作；若为“不可复位故障”，则停机，直到上电复位才能清除此故障。

TCU 系统保护分为硬件保护和软件保护。硬件保护功能由 MSC 插件完成。主要包括 IGBT 元件故障保护、直流电压过压保护、直流电流过流保护、斩波回路过流保护、逆变过流保护、主电路接地保护、电源故障保护等。

软件保护通过 MCC 插件和 SMC 插件完成，参数保护门槛可以通过软件灵活设置。主要有变流器温度与水压异常、电机超温、直流电压对电机输出力矩的限制、空转 / 滑行减载等。

同时，TCU 具备完善的故障记录功能，当系统出现异常时，能对故障前后一定周期的相关数据进行记录，便于后续分析故障原因。同时 TCU 具备事件记录功能，能对机车运用工况数据进行不间断记录。

3　型式试验与运用考核

该车目前已完成并通过所有型式试验项点以及半年的运用考核。其中与传动控制系统相关的不同挡位下的最大启动牵引性能试验结果如图 9 所示。从图 9 可以看出，各挡位下牵引力发挥稳定，效果良好。

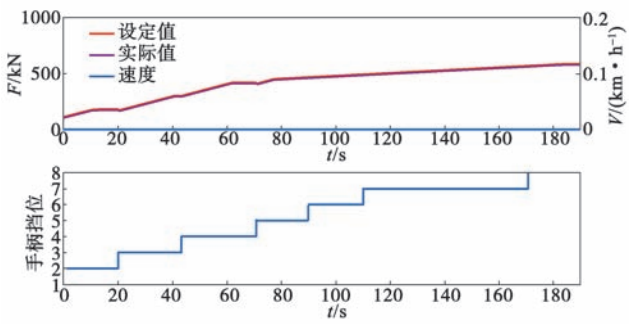


图 9　不同挡位下最大启动牵引性能试验结果

4　结语

从设计理论和运用考核情况来看，该车具备蓄电池供电模式且制动工况下可进行能量回收，该型机车比 DF_4C 型机车节约燃油 40％ ~45％；从调车情况来看，该机车比 HX_N3 型、HX_N5 型机车节约燃油 20％ ~30％，且每 24 h 节省燃油 200~300 L。如果长期运用，司乘人员将能够充分利用机车动力制动性能优势，进一步提高节约燃油比率。

参考文献：

［1］冯江华，陈高华，黄松涛，等 . 异步电动机的直接转矩控制［J］. 电工技术学报，1999，14(3)：29–33.

［2］尚敬，刘可安 . 电力牵引异步电动机无速度传感器间接定子量控制 [J]. 电工技术学报，2007，22(2)：22–27.

［3］李夙 . 异步电机直接转矩控制 [M]. 北京：机械工业出版社，1994.

［4］鲍维千 . 关于机车粘着的一些概念及提高机车粘着性能的措施［J］. 内燃机车 , 1999(1)：8–10.

［5］王潞钢，陈林康 . 基于 MATLAB/Simulink 的电压空间矢量脉宽调制 (SVPWM) 逆变器的仿真［J］. 电机电器技术，2001 (4)：32–35.

作者简介：李学明（1985–），男，硕士，工程师，主要从事传动控制单元系统设计与软件开发工作。

（上接第 40 页）

［4］彭长福 . CKD6E5000 混合动力机车的设计与试验［J］. 内燃机车，2012(10)：21–23.

［5］孟玉发 . CKD6E5000 混合动力交流传动内燃调车机车的研制［J］. 铁道机车车辆，2011：31(4)：1–4.

［6］田睿 . 国内外混合动力机车的发展［J］. 内燃机车，2012（10）：1–3.

作者简介：刘顺国（1972–），男，高级工程师，从事混合动力机车电气控制系统研究。

动态消息

《机车电传动》编辑部声明

为顺应网络环境下期刊出版的新要求，推进期刊网络出版传播，凡向本刊投稿并被本刊录用，在著作权法的框架内，该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、翻译权、汇编权等权利在全世界范围内转让给本刊及本刊授权的相关数据库。凡被本刊录用的稿件将同时通过因特网、手机等进行网络出版或提供信息服务，根据本刊编辑部稿酬标准一次性支付作者著作权使用报酬（即稿费，包含印刷版、光盘版和网络版等各种使用方式的报酬）。

《机车电传动》编辑部