

文章编号:1005-0523(2013)06-0059-03

# 基于 Simulink 的高速铁路牵引供电系统仿真建模

刘仕兵, 袁琳

(华东交通大学电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:**按照已建高速铁路牵引供电系统的构成, 将整个牵引供电系统抽象成由外部电源、牵引变压器、牵引悬挂系统和电力机车等部分组成的电气系统。在 MATLAB/Simulink 软件中, 建立以上各部分模型, 通过仿真实验, 验证了模型的正确性, 为高速铁路的设计工作提供了一定的参考依据。

**关键词:**牵引供电系统; MATLAB/Simulink; 仿真模型

**中图分类号:**U224.8+1

**文献标志码:**A

高速铁路以其输送能力大、速度快、安全性能好、能源消耗低等特点, 已成为我国交通运输发展的必然选择。牵引供电系统保证电力机车能连续不断地获得符合要求的电能, 对于其运行情况起到了至关重要的作用, 因此, 对牵引供电系统进行仿真建模对于高速铁路的设计工作颇具指导意义。

## 1 牵引供电系统

### 1.1 系统组成

为达到仿真建模的目的, 将整个牵引供电系统简化为由外部电源、牵引变压器、牵引悬挂系统等部分组成的电力系统, 电力机车作为其负载。

整个电气化铁路系统可近似为一整体负载, 因此需要接入外部电源来提供高压电能。目前, 我国高速铁路一般接入 220 kV 电网。

牵引变压器作为牵引变电所的核心元件, 与普通变压器的作用基本相同, 即完成电压幅值的改变, 通常高压侧为 110 kV 或 220 kV, 低压侧为 27.5 kV 或 55 kV, 较常用的变压器接线类型有 V/v 接线和 Scott 平衡接线<sup>[1]</sup>。

牵引悬挂系统由馈电线、接触网、承力索、钢轨、回流线等组成, 其作用是保证电力机车随时能获得电能, 是一个不确定因素多, 复杂性高的综合系统。

### 1.2 供电方式

高速铁路与常速铁路相比, 鉴于安全、可靠的基础上, 对供电系统提出了更高的要求, 一般采用电压水平高、供电距离长、对通信线干扰小的全并联 AT 牵引供电方式, 如图 1 所示。AT 牵引网由接触线(T)、轨

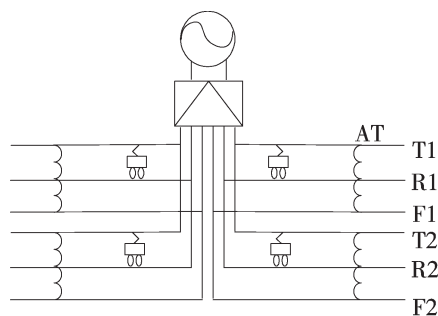


图1 全并联 AT 牵引供电方式示意图

Fig.1 Schematic diagram of AT power supply

收稿日期:2013-06-18

作者简介:刘仕兵(1970—),男,副教授,硕士,研究方向为电气化轨道交通接触网技术。

道(R)、正馈线(F)构成,沿线设置自耦变压器AT,保证牵引电流顺利回流,保证牵引网上电能质量满足牵引要求<sup>[2]</sup>。

## 2 系统模型的建立

### 2.1 外部电源模型

外部电源为电气化铁路提供电能,是保证电气化铁路正常运行的前提,在高速铁路牵引供电系统中进线采用220 kV三相电源为系统供电。在Simulink中,使用“3-Phase Source”模块作为外部电源仿真模型即可<sup>[3]</sup>。

### 2.2 牵引变压器模型

牵引变压器是牵引供电系统中保证电压转换的重要元件,因此,对其建模的准确性直接关系到整个系统的准确性。在Simulink中,使用“Linear Transformer”模块作为牵引变压器模型。

### 2.3 牵引悬挂系统模型

牵引悬挂系统是一个结构复杂的综合性系统,对其进行简化和等效是建模的必要环节。简化过程如下:两条钢轨平行对称,可等效为处于二者中间的单根导体;承力索与接触线都有传递电流的功能,且相对位置复杂,计算困难,故将承力索与接触线等效为一根导体;最终牵引悬挂系统等效为相互平行的3条导体(接触线T、钢轨R、正馈线F)。根据多导体电力传输线理论,复线结构牵引悬挂系统仿真模型如图2所示<sup>[4]</sup>,每条导体均由本身的自阻抗和与其他5条导体间的互阻抗组成,可将其做单位化处理,方便系统建模。

### 2.4 电力机车模型

我国高速铁路运营的电力机车多为CRH型动车组,均采用交直交传动系统,该系统的基本结构包括:网侧四象限脉冲整流器<sup>[5]</sup>、中间直流环节、脉宽调制电压源逆变器<sup>[6]</sup>、异步牵引电动机,其仿真模型如图3所示。

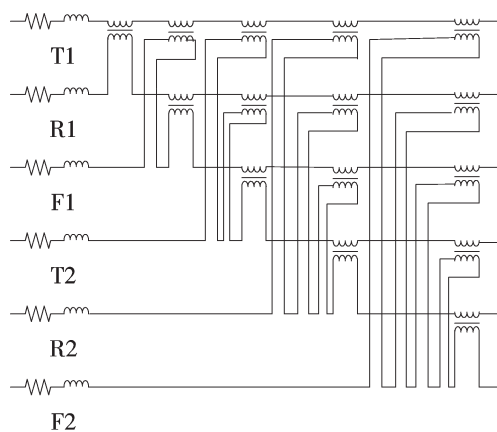


图2 悬挂系统仿真模型

Fig.2 Suspension system simulation model

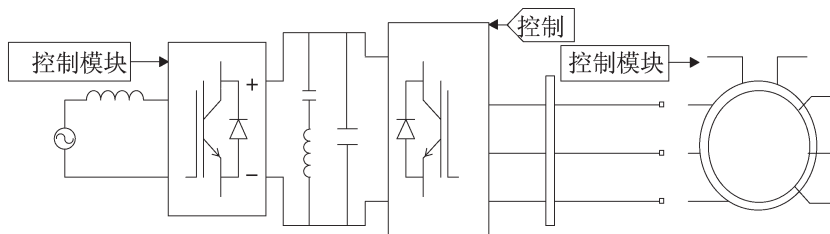


图3 CRH型动车组传动系统仿真模型示意图

Fig.3 Simulation model sketch of CRH type EMU transmission system

## 3 系统仿真分析

在MATLAB/Simulink中将以上各元件按照AT供电方式组合成完整的牵引供电系统,选择固定位置接入CRH型动车组模型,在牵引变电所和牵引网上均设置电流测量元件,根据速度与转速关系,给动车组模型设定转速目标函数,即可开始仿真,记录各测量元件波形。

图4为动车组以牵引工况运行于整个系统中时,交流侧电压与电流的波形,可见其相位基本相同,即功率因数接近1,达到了控制目标。

图5为动车组由启动到恒速( $v=200\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ )工况运行时,系统中的电流波形,可见电流波形逐渐趋于正弦曲线,证明该模型的稳定性良好。

图6为动车组处于牵引工况时,系统电流的频谱分析,其中3,5,7次谐波含量较高,与理论分析相符<sup>[7-8]</sup>,验证了模型的准确性。

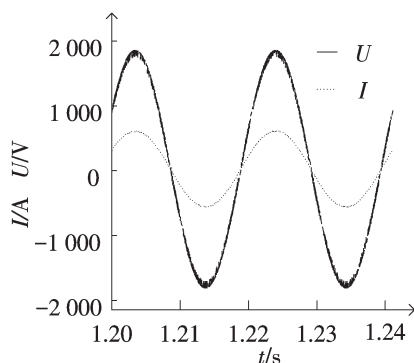


图4 牵引工况下动车组交流侧电压电流

Fig.4 EMU AC side voltage and current in traction conditions

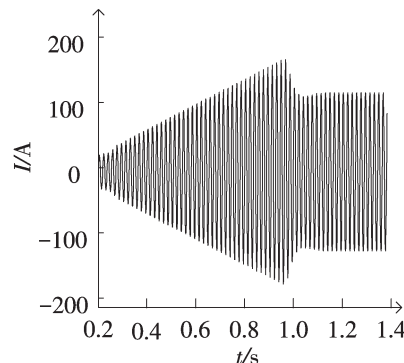


图5 动车组启动至恒速时系统中电流

Fig.5 System current from EMU's startup to the constant speed

## 4 结论

利用MATLAB/Simulink建立了我国高速铁路典型牵引供电系统模型,对AT供电方式的牵引供电系统进行了仿真分析,将仿真试验结果与理论分析结果进行比较分析,说明所建立的模型的正确性。本文所建立的模型简单实用,易于理解掌握,对于高速铁路牵引供电系统的设计和分析能起到一定的指导作用。

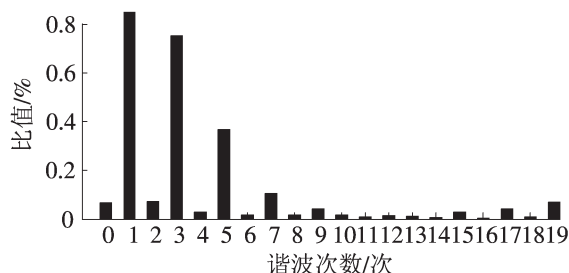


图6 系统电流频谱分析

Fig.6 System current spectrum analysis

## 参考文献:

- [1] 谭秀炳. 交流电气化铁道牵引供电系统[M]. 成都:西南交通大学出版社,2007:6-19.
- [2] 王奇,刘志刚,白玮莉,等. 基于PSCAD/EMTDC的牵引供电系统仿真模型研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(16):35-40.
- [3] 喻奇. 客运专线牵引供电系统电气模型的研究[D]. 成都:西南交通大学,2009:41-43.
- [4] 许大光. 客运专线牵引供电系统负载状态数字动模实验系统建模[D]. 成都:西南交通大学,2007:21-23.
- [5] 陈诚,王勋,程宏波. 三相PWM整流系统的研究[J]. 华东交通大学学报,2012,29(6):40-44.
- [6] 张大双,高海生. 基于MATLAB的矩阵变换器空间矢量调制策略仿真[J]. 华东交通大学学报,2008,25(1):73-76.
- [7] 朱世武,吴强,赛芳,等. 列车辅助变流器Matlab/Simulink仿真技术研究及应用[J]. 大功率变流技术,2011(1):17-22.
- [8] 郎兵,吴命利. 牵引网谐波模型及其仿真计算[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):76-80.

(下转第83页)

## Topological Optimization of Column Structure in Vertical Machining Center Based on Hypermesh

Zhou Xinjian<sup>1</sup>, Wang Ruofei<sup>1</sup>, Wu Zhiheng<sup>2</sup>, Ruan Hang<sup>1</sup>, Hu Weidong<sup>1</sup>

(1.Key Laboratory of Conveyance and Equipment of the Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2.Guangdong General Research Institute for Industrial Technology, Guangzhou 510651, China)

**Abstract:** Column, as a key component in vertical machining center, affects machining accuracy and structural properties, whose dynamic characteristics like natural frequency have large impact on the whole machine features. In this paper, single-objective and multi-objective topology optimization have been conducted on the column of GSVM6540L2 vertical machining center by the module OptiStruct in the finite element analysis software HyperWorks. According to the optimization results and experience, the static and dynamic characteristics of the column and the whole machine are improved.

**Key words:** vertical machining center; column; HyperWorks; topology optimization

---

(上接第61页)

## Simulation and Modeling of High Speed Railway Traction Power Supply System Based on Simulink

Liu Shibing, Yuan Lin

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Based on the composition of high-speed railway traction power supply system, the whole traction power supply system can be abstracted into an electrical system consisting of the power supply, traction substation, traction network and electric locomotives. By modeling these components in the MATLAB/Simulink software, this paper establishes the traction power supply system simulation model. The simulation results verify the correctness of the proposed model.

**Key words:** traction power supply system; MATLAB / Simulink; simulation model