

基于 MATLAB 的牵引供电系统故障仿真

程宏波¹, 王银乐¹, 陈智健², 陈伟¹

(1. 华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 成都铁路局重庆供电段, 重庆 400053)

摘要:在分析牵引网等效电路及其等值阻抗的基础上, 利用 MATLAB 的电力系统工具箱建立牵引网短路时牵引供电系统的仿真模型, 进行仿真, 得出了故障时的电压、电流波形及其序分量、谐波, 测量了牵引网短路阻抗随短路点位置变化的曲线, 分析了其故障特征。对牵引供电系统的故障分析、继电保护整定具有指导意义。

关键词:牵引供电系统; 故障; 等值电路; Matlab 仿真; 故障特征

中图分类号: TP15

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2009)04-0025-03

随着铁路整体运行速度的提高, 对牵引供电系统的运行可靠性提出了越来越高的要求。本文利用仿真软件对牵引供电系统各种运行状态进行仿真, 得到各种状态尤其是故障状态下的运行参数, 对于牵引供电系统的设计、各种保护的整定等都有重要的意义。

MATLAB 提供的电力系统工具箱在 Simulink 环境下使用, 它操作简单, 便于建模, 用户只需要拖放, 连接元件, 设置参数, 进行仿真即可。用户一般不需编程, 不需深入研究算法^[1]。

1 牵引供电系统短路故障仿真模型的建立

牵引供电系统故障类型很多, 其中短路故障最为常见且影响最为严重。短路故障又可分为牵引网短路故障, 母线短路故障, 变压器内部短路故障等。本文主要以牵引网短路故障为例说明 MATLAB 在牵引供电系统故障仿真中的应用。

1.1 牵引网的等效电路

牵引网是接触网、馈电线、轨道、回流线的统称。其等值阻抗与接触网结构、选用导线的型号规格、钢轨的型号、长度、轨距、供电方式、大地土壤电导率等因素有关。

牵引网向电力机车的供电方式常见的有直接供电方式(DN)、带回流线的直接供电方式(DF), 自耦变压器(AT)供电方式、吸流变压器(BT)供电方式^[3]。

本文以 DF 供电方式为例, 介绍其故障情况下的仿真方法, 其他供电方式可参照得到。

根据 DF 供电方式按接触网悬挂方式的不同可分为简单悬挂、单链型悬挂、带加强导线的单链型悬挂等。它们具有不同的牵引网结构, 不同的导线数目, 因而具有不同的等效电路, 但其等效时的原则都是相同的: 在考虑地电流的影响下, 可以将相互并联、相互感应的多个导线-地回路等效成一个单导线-地回路。

在带回流线的直接供电方式的单线牵引网中, 等值电路可看成有两部分组成: 钢轨-地回路 I 和接触网-地回路 II 图 1 中, g_1, g_2 表示两钢轨的自阻抗, H 表示回流线自阻抗, M_{gg} 表示两钢轨之间的互感, M_{hg} 表示回流线与两钢轨的等值导线的互感, 回流线结构模拟开关 sw_h 用来配置有无回流线 H , 当配置有回流线时, sw_h 的电阻为无限小; 当配置无回流线 H 时, sw_h 的电阻为无限大。

模型中用到了函数 $QiuD(PD)$, 它是自定义函数, 其作用是求各导线之间的几何互均距, 参数 PD 是由各导线之间的距离组成的矩阵。

单线 DF 牵引网的接触网-地回路的仿真模型如图 2 所示。图中, j, c, a 分别代表接触线、承力索和加强导线, M_{jac} 代表它们之间的互感, 结构模拟开关 sw_c, sw_a 用来配置有无承力索 c 、加强导线 a , 也可用来模拟它们断线。实现方法

收稿日期: 2009-03-20

作者简介: 程宏波(1979-), 男, 湖北随州人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为牵引供电系统综合自动化。

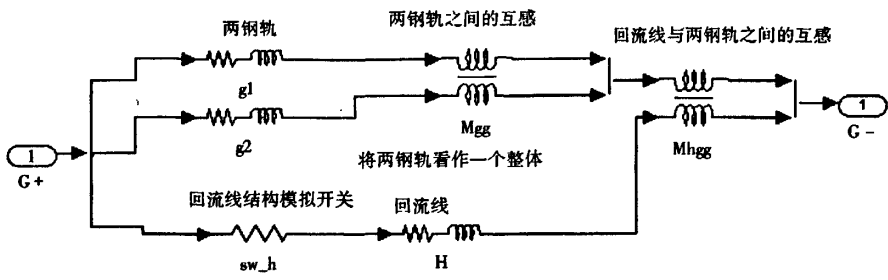


图 1 DF 牵引网的轨道 - 地回路等效图
Fig. 1 Model of traction network's rail - ground circuit

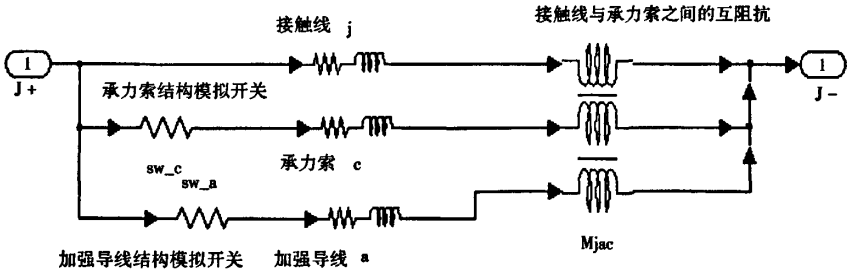


图 2 DF 牵引网的接触线 - 地回路等效图
Fig. 2 Model of traction network's contactline - ground circuit

上述钢轨 - 地回与路的 sw_h 相似。

1.2 牵引网短路故障的仿真模型

综合上述分析,在 MATLAB 中构建带回流的直供(DF)方式下牵引网一臂短路时的仿真模型如图 3 所示。图中, Z_s 是电力系统侧等效阻抗,仿真时取其值为 $1.6 + j10.08\Omega$,牵引变压器 T 采用 Y,d11 接线,VIM 为三相电压、电流测量装置。接触网的等效模块由前述的钢轨 - 地回路及接触线 - 地回路关联后封装而成。

2 仿真结果及分析

牵引网短路时,短路点的电流情况是我们关

注的重点之一,它中间包含有丰富的信息,可用来对故障的性质做出判断,并可作为系统保护装置整定的依据。图 3 所示的牵引网故障时,短路电流的波形如图 4 所示。从图中可以看出,短路点电流有明显暂态过程。使用 MATLAB 自带的 FFT(快速傅里叶变换)模块可以很方便的对短路电流进行分析,得到其直流量,如图 5 所示。由于线路中电感的存在,短路时电流因不可突变而感应出该分量,它是按指数形式衰减的。

牵引网一臂短路时,变电所一次侧正序、负序及零序电流如图 6 所示。

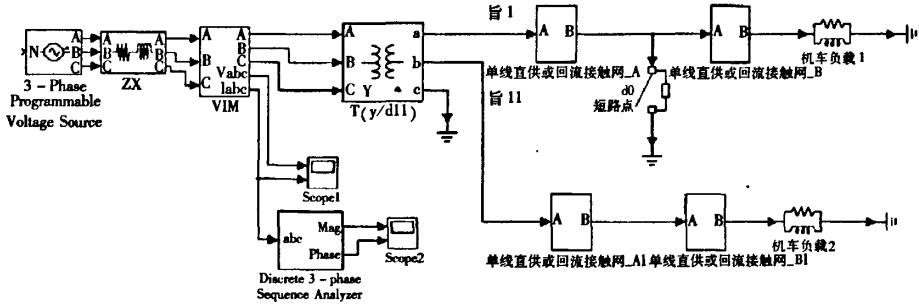


图 3 DF 牵引网一臂短路仿真模型图
Fig. 3 Model of short circuit of traction network's feeding section

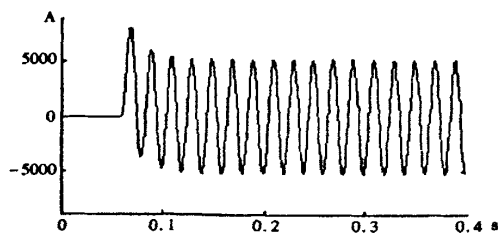


图4 短路点电流波形图

Fig. 4 Short point's current waveform

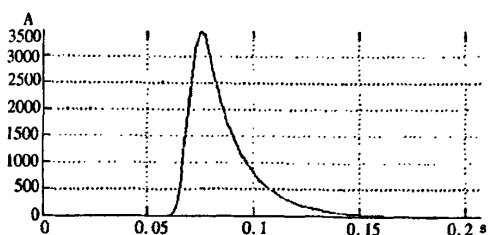


图5 短路电流的直流分量图

Fig. 5 DC component of short point's current

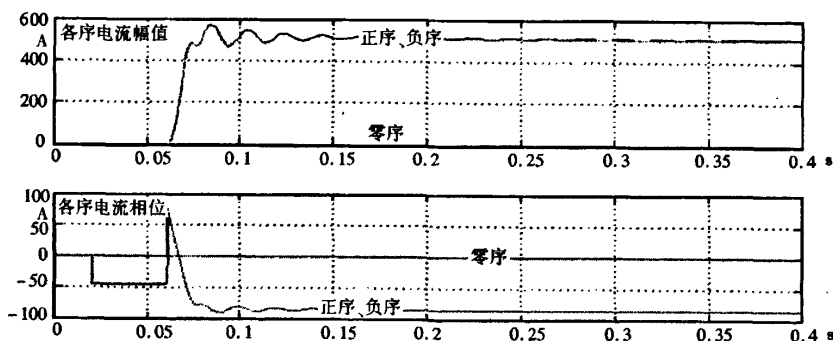


图6 短路电流的各序分量

Fig. 6 Sequence component of short current

因为牵引网短路多是不对称短路,它会在牵引变电所的一次侧引入负序电流,产生负序功率,将会增大线路的损耗。零序电流会给电力系统中的发电机、异步电机等带来严重的影响。

图7给出了BT(吸流变压器)供电方式下,牵引网短路阻抗的变化情况,从图中可以看到,在越

过吸流变压器所在位置之后,由于BT变压器的影响,牵引网短路阻抗显著增大。

图8则给出了AT(自耦变压器)供电方式下,短路阻抗的变化情况,由于AT变压器并联在线路中,其短路阻抗较小,短路点可同时从两边AT变压器获取电流,所以牵引网短路阻抗在距离

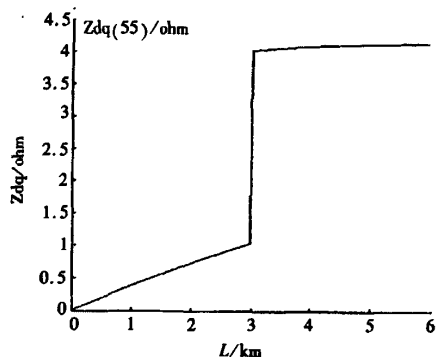


图7 BT供电分区的短路阻抗变化情况

Fig. 7 Short impedance of BT power supply section

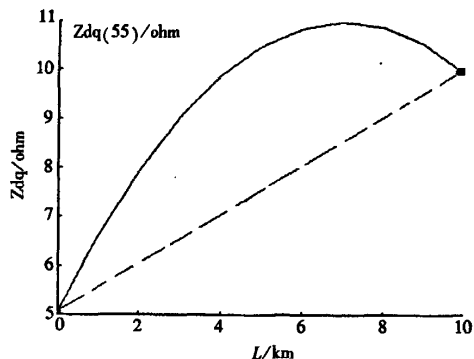


图8 AT供电分区的短路阻抗变化情况

Fig. 8 Short impedance of AT power supply section

(下转第31页)

Self – adaptive Control of Magnetic Suspension Train Track Gap Control System

ZUO Yuan-hua¹, CHEN Fu-yang², QI Rui-yun²

(1. Department of Mechanical Engineering, Eastchina Petroleum Technician College, Jiangsu Yangzhou 225129, China;
2. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Jiangsu Nanjing 210016, China)

Abstract: The model of magnetic suspension train is founded according to the method of self – adaptive control. Magnetic suspension train track gap control system is investigated using state feedback control. Simulation results show that state feedback controller is designed to guarantee the stability of magnetic suspension train system and model reference adaptive control based on Lypunov's Second Method has high precision and speed.

Keywords: magnetic suspension train; track gap control; state feedback control; self – adaptive control

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)

(上接第27页)

AT 变压器附近时较小,呈现抛物线形状。

3 结束语

本文通过对 DF 供电方式下一臂牵引网短路的建模、仿真,分析了牵引供电系统在短路情况下牵引馈线电压、电流的变化情况,以及在有 AT 及 BT 时牵引网短路时的故障特征。实践证明,应用

MATLAB 的电力系统工具箱,可以很方便的通过拖动鼠标,放置、连接组件来构建牵引供电系统的仿真模型;从而可以避免传统的繁琐的人工建模、分析算法、编制程序等工作。使工程人员可以集中精力研究牵引供电系统本身的特性。为结构复杂的牵引供电系统的故障分析提供了一种方便、灵活的新方法。

参考文献:

- [1] 谭秀炳,刘向阳. 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.
- [2] 于万聚. 高速化电气化铁路接触网[M]. 成都:西南交通大学出版社,2002.

The Simulation of Traction Power Supply System's Fault based on MATLAB

CHENG Hong-bo¹, WANG Yin-le¹, CHEN Zhi-jian², CHEN Wei¹

(1. School of electrical and electronic engineering, East China Jiaotong University, Jiangxi Nanchang 330013, China;
2. Chengdu Railway Bureau Chongqing Power Supply Section, Chongqing 400053, China)

Abstract: This paper introduces the traction power supply system, and analyses its equivalent circuit and equivalent impedance. The short – circuit fault's simulation model has been established using the MATLAB toolbox. The waves of voltage and current which occurred at the fault point were got. The impedance curve along with the distance of tractionnet's breakpoint has been measured. The characteristic at fault was analysed.

Keywords: traction power supply system; fault; equivalent circuit; Matlab simulation; fault characteristics

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)