

文章编号: 1005-0523(2007)05-0067-03

# ZPW-2000 无绝缘轨道电路分路电流仿真研究

张永贤<sup>1</sup>, 余江松<sup>2</sup>, 甘方成<sup>1</sup>

(1. 华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 南昌铁路局电务处, 江西 南昌 330002)

**摘要:**运用均匀传输线和电路四端网理论,建立了ZPW-2000无绝缘轨道电路分路电流的计算模型,利用MATLAB软件实现了分路电流的数值算法,仿真了轨道电路正常情况、补偿电容开路和短路故障情况下分路电流的分布,仿真数据对轨道电路故障诊断有较大价值.

**关键词:**无绝缘轨道电路;分路电流;仿真;故障诊断

**中图分类号:**U284.26

**文献标识码:**A

## 0 引言

轨道电路是铁路信号系统的重要组成部分,它能否正常工作直接关系到列车行车安全和行车效率.为适应铁路运输的需要,实现跨越式发展,铁道部将ZPW-2000无绝缘轨道电路确定为我国铁路自闭的技术发展方向.ZPW-2000系统以高可靠和适应性广等优良性能,为实现机车信号主体化创造了必备条件.由于轨道电路工作于室外,受外部环境因素影响较大,轨道电路参数偏移,将影响信号设备的正常工作,因此,轨道电路的故障监测及故障诊断非常重要.

在轨道电路研究中,计算机仿真系统由于修改参数方便、计算精度高、重复性好等优点,已经开始逐渐取代传统的物理仿真系统.应用计算机仿真技术,研究不同参数条件,如钢轨阻抗、道床漏泄导纳和补偿电容配置方式、轨道电路长度等,及各种工作状态,如调整状态、分路状态、某些部件失效状态等情况下轨道电路传输特性,可以有效地促进轨道电路的优化设计和故障诊断.

## 1 ZPW-2000 无绝缘轨道工作原理

ZPW-2000无绝缘轨道电路的电气绝缘节由调谐单元、空芯线圈及29 m钢轨组成,用于实现两相

邻轨道电路间的电气隔离.如图1所示,发送A发出信号的载频为 $f_1$ ,接收A对频率 $f_1$ 为并联谐振,呈现较高阻抗,相当于开路,减少了对本区段信号的衰耗.接收C对频率 $f_1$ 为串联谐振,呈现较低阻抗,相当于短路,阻止了相邻区段信号进入本轨道电路区段.

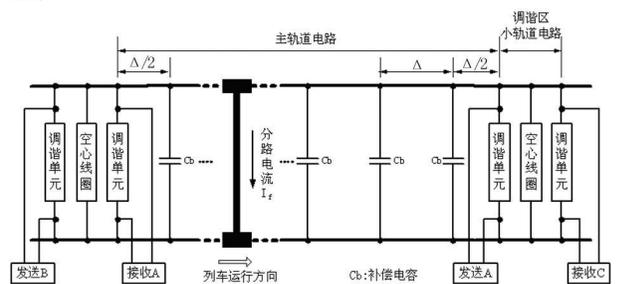


图1 ZPW-2000 无绝缘轨道工作原理

对于1700~2300 Hz的移频信号,钢轨呈现较高的感抗值,对轨道电路信号的传输产生较大的影响.为此采取分段加补偿电容的方法减弱电感的影响,加补偿电容后,轨道电路趋于阻性,增加了轨道电路的传输距离,改善了轨道电路信号传输,加大了轨道入口端短路电流,减小了送受电端钢轨电流比,从而保证了轨道电路入口端信号、干扰比,改善了接收器和机车信号的工作.

补偿电容设置密度加大,有利于改善列车分路,减少轨道电路中列车分路电流的波动范围,有利于

收稿日期: 2007-08-18

基金项目: 华东交通大学校立科研基金资助(编号:06ZKXX02)

作者简介: 张永贤(1975年-),男,山西临汾人,华东交通大学电气与电子工程学院讲师,硕士,主要从事自动控制和数字信号处理方面的研究.

延长轨道电路传输长度, 过密设置又增加了成本, 带来维修的不便, 要适当考虑. 补偿电容的设置方式在区间采用“等间距法”, 即将主轨道电路的长度  $L$  按补偿电容总量  $N$  等分, 其步长  $\Delta = L/N$ , 轨道电路两端按半步长  $\Delta/2$ , 中间按全步长  $\Delta$  设置电容, 以获得最佳传输效果.

补偿电容由于雷电、风吹、日晒、雨淋、自然老化及人为损坏等原因, 经常失效. 电容失效时, 该区段信号会产生波动, 干扰增加, 使信号的有效传输距离变短, 导致轨道电路发生红光带故障. 失效的电容越多, 波动越大, 干扰越严重, 发生红光带故障的几率也越高. 机车运行时, 分路电流可由安装于机车头部的感应线圈检测到, 通过对分路电流的分析, 获取轨道电路及补偿电容工作状态信息. 本文应用计算机仿真技术, 仿真研究轨道电路正常工作及故障状态下分路电流的分布, 可以为轨道电路的故障诊断提供依据.

## 2 ZPW-2000 无绝缘轨道电路建模

将钢轨的电阻  $R$ 、电感  $L$ 、轨间泄漏电容  $C$ 、泄漏电导  $G$  看成是沿线均匀分布的, 可利用均匀传输线理论来分析研究轨道电路中电压电流的传输过程. 但是 ZPW-2000 无绝缘轨道电路每隔一定的距离安装有补偿电容, 致使轨道电路参数在补偿电容处发生突变, 整个轨道电路成为一个非均匀分布参数电路, 无法用传统的轨道电路分析方法来分析.

$N$  个补偿电容将轨道电路分成  $N+1$  段, 每段轨道电路看作一个参数均匀分布的轨道四端网, 将补偿电容也作为一个四端网, 则整个轨道电路可看作一系列四端网的级联, 如下图所示.

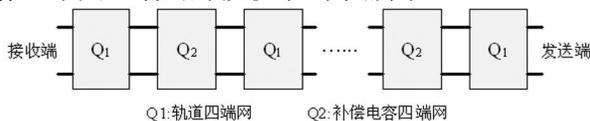


图2 轨道电路等效网络图

图2中轨道四端网  $Q_1$  和补偿电容四端网  $Q_2$  的传输矩阵如式(1)和式(2),

$$Q_1 = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma x) & -Z_c \sinh(\gamma x) \\ -1/Z_c \sinh(\gamma x) & \cosh(\gamma x) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j\omega C_b & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(1)中  $\gamma$  为轨道电路的传输常数,  $Z_c$  为轨道电路的特性阻抗,  $x$  为轨道四端网轨道长度, ZPW-2000 轨道电路两端的四端网轨道长度为  $\Delta/2$ , 其它为  $\Delta$ . 式(2)中  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  为钢轨上传输信号的频率,  $C_b$  为补偿电容.

列车在轨道电路上运行时, 分路点至发送端之间轨道电路由若干个轨道四端网和补偿电容四端网级联而成, 可等效为图(3)所示的电路. 分路电阻由

列车车轴、车轮电阻及车轮与钢轨的接触电阻共同构成, 阻值一般在  $0.04 \sim 0.15 \Omega$  范围内变化.

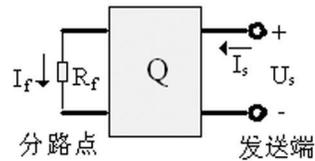


图3 分路点至发送端之间轨道电路等效网络图

图3中  $Q = Q_1 * Q_2 * Q_1 * \dots * Q_2 * Q_x$ ,  $Q_x$  为分路点至最近一个补偿电容之间的轨道四端网的传输矩阵, 其长度  $x$  随着列车不断接近发送端而逐渐变小, 在分路电流计算中为变量. 发送端电压  $U_s$  电流  $I_s$  与分路电流  $I_f$  关系如式(3).

$$\begin{bmatrix} I_f R_f \\ I_f \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中  $Q_{11}$ 、 $Q_{12}$ 、 $Q_{21}$ 、 $Q_{22}$  为传输矩阵  $Q$  的四个元素. 消去  $I_s$  得分路电流

$$I_f = \frac{Q_{11} Q_{12} - Q_{21} Q_{12}}{Q_{22} R_f - Q_{12}} \quad (4)$$

## 3 ZPW-2000 无绝缘轨道电路分路电流仿真结果

随着列车运行, 分路点不断接近发送端, 分路点每移动  $\Delta x$ , 就要重新计算传输矩阵  $Q$ , 为计算每个点的分路电流  $I_f$ , 需要大量的矩阵运算. MATLAB 是用于科学工程计算的高级语言, 具有强大的矩阵运算和数值计算能力, 本文利用 MATLAB 建立了轨道电路分路电流仿真环境, 只需设置相关的参数, 即可完成各种情况下的仿真.

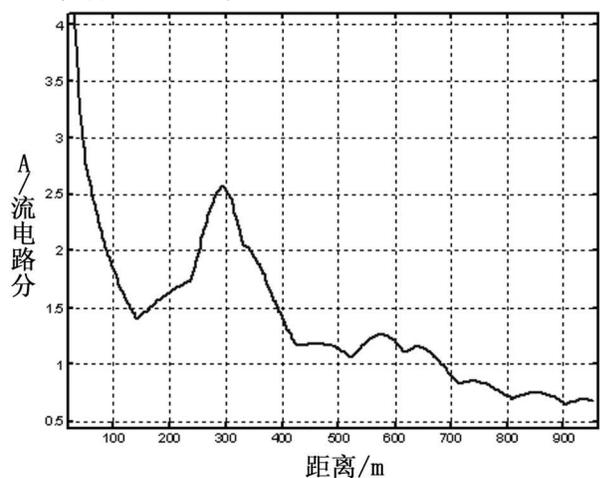


图4 轨道电路正常工作情况下分路电流分布情况

以 950 m 长的轨道电路为例, 当载频为 2 000 Hz 时, 需要安装 10 个 50  $\mu\text{F}$  的补偿电容, 间隔  $\Delta$  为 95 m. 轨道电路正常工作情况下, 分路电流分布情况如图4所示. 图4中分路电流共 10 个突变点, 分别对应 10 补偿电容的安装位置, 从图中可以看出补偿电

容的作用非常明显,补偿电容改变了分路电流距离发送端越远而逐渐衰减的趋势,由于其与钢轨阻抗产生的谐振,在有些位置分路电流反而有增加趋势,从而使轨道电路传输距离增加,机车信号得到有效可靠地传输。

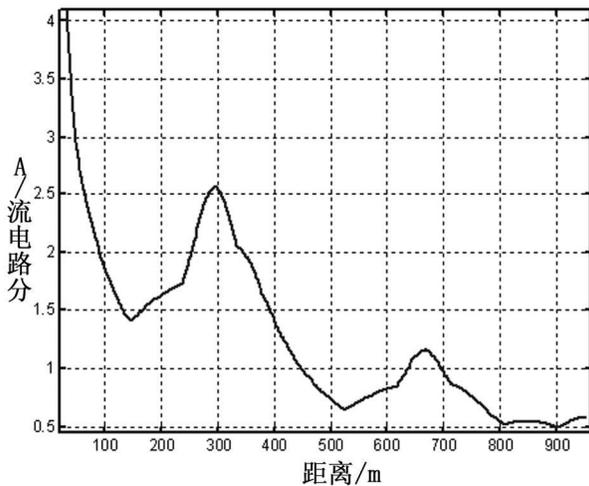


图5 第5个补偿电容开路故障时分路电流分布情况

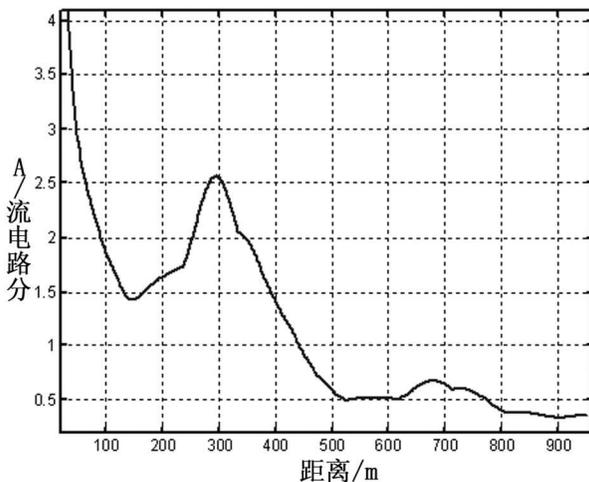


图6 第5个补偿电容短路故障时分路电流分布情况

第5个补偿电容(距离发送端427.5 m)发生开路故障时,分路电流分布情况如图5所示,失去补偿作用后,开路故障点后的信号持续衰减,影响故障点后信号的正常传输,当故障点距离接受端较近时,对信号接收影响较小,故障比较隐蔽,不易发现。图6所示第5个补偿电容短路故障时,分路电流分布情况。补偿电容发生短路故障后,不但失去补偿作用,短路使故障点后的信号衰减加剧,会导致轨道电路发生红光带故障。

## 4 结束语

由于补偿电容安装较分散,测试、检查补偿电容劳动强度大,本文通过对分路电流分布仿真研究,找到了一种轨道电路故障诊断及补偿电容检测方法。为及时发现、定位补偿电容故障及轨道电路其它故障,保证信号传输安全,利用电务测试车,记录机车信号接收线圈采集的分路电流波形,通过波形分析,找出分路电流异常点,可有效地定位并判别补偿电容故障。

## 参考文献:

- [1] 费锡康. 无绝缘轨道电路原理及分析[M]. 北京:中国铁道出版社,1993.
- [2] 毛广智,解学书. S型电气绝缘节的建模与仿真[J]. 铁道学报,2004,26(1):45~48
- [3] ZPW-2000A型无绝缘移频自动闭塞系统培训教材[Z]. 上海:上海铁路通信工厂,2004.4
- [4] 郑利,殷继宏. 补偿电容的测试与分析[J]. 铁道通信信号,2005,41(6):26~27.
- [5] 陈永生,陈凌安,吴汶麒. 计算轨道电路的有限元准对角线矩阵法. 铁道学报[J],1999,21(6):54~57
- [6] 林瑜筠等. 铁路信号新技术概论[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.

## Simulation of ZPW-2000 Jointless Track Circuit Shunt Current

ZHANG Yong-xian<sup>1</sup>, YU Jiang-song<sup>2</sup>, GAN Fang-cheng<sup>1</sup>

(1.School of Electrical and Electronic Eng., East China Jiaotong Uni., Nanchang 330013;

2.Nanchang Railway Administration Electricity Department, Nanchang 330002, China)

**Abstract:** Based on the theory of uniform transmission line and four-terminal net circuit, this paper presents a simulation model of ZPW-2000 jointless track circuit shunt current. A kind of numerical algorithm of shunt current is established with MATLAB. Simulation calculation is carried out based on the conditions such as track circuit in normal state, shunt current distribution in open or short circuit failure. The results of simulation are valuable to track circuit fault diagnosis.

**Key words:** jointless track circuit; shunt current; simulation; fault diagnosis