

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.03.002

轨道电路内屏蔽电缆多回路模型与其参数计算

谭瑞娟¹, 阳晋^{2,3}, 庞福滨⁴, 嵇建飞⁴, 邹军¹

- (1. 电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室(清华大学), 北京 100084;
2. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100073;
3. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100073;
4. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘要:内屏蔽数字信号电缆是高速铁路轨道电路的传输通路,其多回路仿真模型与参数计算对研究高速铁路轨道电路信号传输有重要意义。首先,文中考虑内屏蔽数字信号电缆的结构特点和信号传输路径,建立其考虑耦合的多回路电路仿真模型。其次,对多回路中涉及的参数,采用有限元方法,给出电缆电容、电感和电阻参数计算的一般方法,包含有限元计算各类参数的边值问题的详细描述、必要的计算公式和步骤。最后,以8芯内屏蔽电缆为例,建立其仿真模型,通过计算结果与测量结果对比,验证计算方法的正确性。文中建立的多回路模型可用于高速铁路轨道电路信号传输研究和故障诊断。

关键词:高速铁路;轨道电路;内屏蔽数字信号电缆;有限元方法

中图分类号:TM153

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)03-0008-05

0 引言

轨道电路是高速铁路控制系统的重要组成部分,通过电路中的传输信号自动、连续检测线路是否被机车占用,检查钢轨是否完整,保证行车的安全性。内屏蔽数字信号电缆是高速铁路轨道电路中信号传输的环节之一,其多回路仿真模型与参数计算对于研究轨道电路信号传输和故障诊断有重要意义^[1-3]。目前国内高速铁路轨道电路的信号电缆,呈多芯、多层屏蔽的结构。对于具有上述特点的电缆结构,如果考虑电缆的几何结构、介质分布等因素,通常无法采用解析公式计算其对应的电路参数^[4-7],此时,需采用电磁场数值计算技术计算相应的参数。

具体而言,对于电缆电容参数的求解,对于单芯电缆,可以采用解析公式求解,如镜像法、保角变换法^[8-9],但这些方法不能用于求解多芯电缆;对于多芯电缆,可采用矩量法求解^[10-12],但不适用于求解多层介质电缆。如果考虑任意电缆结构,可采用有限元方法计算^[13-15]。对于电缆电感参数计算,如果不考虑屏蔽层的涡流效应和钢带铠装的导磁特性,可采用解析公式计算电缆参数。但是若考虑这些因素,电缆电感参数计算必须采用数值方法进行计算。

文中首先简要介绍了以电缆作为信号传输路

径的轨道电路的工作原理,并以8芯内屏蔽数字信号电缆为例,考虑其结构特点和信号传输路径,建立了考虑其耦合的多回路电路仿真模型。再者,详细给出了基于有限元法的电缆电容、电感参数计算时的边值问题的描述以及必要的计算公式。最后,以8芯电缆为例,建立仿真模型,给出了其参数的仿真计算结果和测量结果的对比,验证了计算方法的正确性。

1 轨道电路电缆模型建立及参数求解

1.1 轨道电路电缆模型问题及建立

现在国内高速铁路轨道电路系统主要为ZPW-2 000 A型无绝缘轨道电路^[16-18],其电路系统如图1所示。ZPW-2 000 A型无绝缘轨道电路主要包括主轨道电路和调谐区小轨道电路,其工作原理简述如下:在轨道电路正常工作时,由本区轨道电路中的发送器发出移频信号,一方面通过主轨道电路传至本区的接收器;另一方面通过小轨道电路传至相邻区段轨道电路的接收器,并将处理结果形成小轨道电路继电器执行条件送至本区段接收器。本区段接收器同时接收到主轨道移频信号及小轨道电路继电器执行条件,动作于本区段轨道电路继电器。其中屏蔽双绞线(shielded twisted pair, SPT)电缆主要用于轨道电路信号的传输^[19],其模型对于轨道电路计算及电缆串音研究十分重要,下面以8芯内屏蔽电缆为例,研究建立其电路模型,并计算模型中参数矩阵。

收稿日期:2019-01-07;修回日期:2019-02-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51577103)

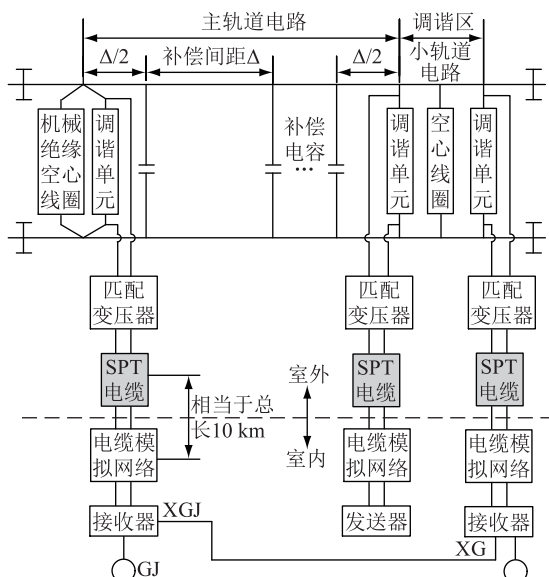


图1 ZPW-2 000 A型无绝缘轨道电路系统

Fig.1 ZPW-2 000 A non-insulated track circuit system

8芯线内屏蔽数字信号电缆主要由钢带铠装、铝护套、内屏蔽层、绝缘层及芯线等组成,其中芯线1和2、3和4、5和6、7和8分别组成回路1、2、3、4,而回路1、2和回路3、4分别组成一个内屏蔽4芯组,如图2所示。

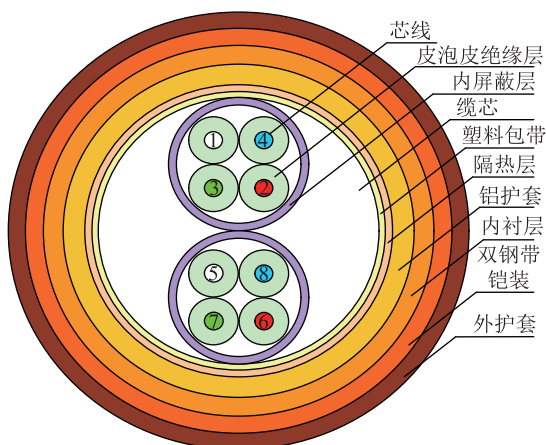


图2 8芯内屏蔽电缆

Fig.2 8-core cable with inner screens

由图2可知,由于内屏蔽层的作用,屏蔽层内芯线与屏蔽层外导体之间不存在部分电容,并且由于内屏蔽层、铝护套、双钢带铠装都接地,屏蔽层与铝护套之间的电容、铝护套与双钢带铠装之间的电容相当于被短接^[20]。即电容矩阵主要由4芯组内的部分电容组成,电感矩阵主要由回路自感和回路间互感组成,电阻矩阵由各芯线的电阻组成。

根据图2所示的物理模型,建立单位长度的8芯内屏蔽电缆电路参数模型如图3所示。其中 R_0 为各芯线的电阻, L_0 为各芯线的自感, M 为各回路之

间的互感, C 为4芯组内导体之间的部分电容。

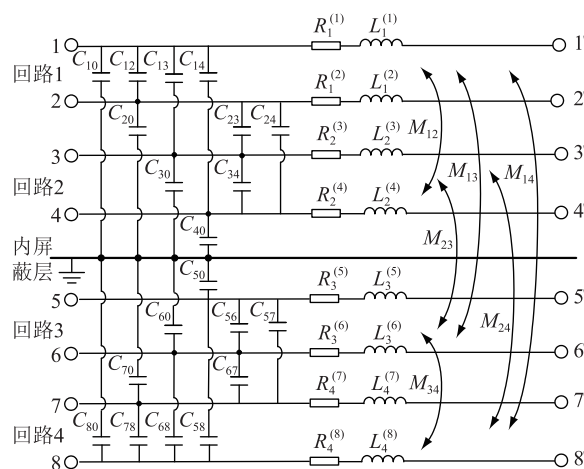


图3 8芯内屏蔽数字信号电缆电路模型

Fig.3 Circuit model of 8-core digital signal cable with inner screens

1.2 轨道电路8芯内屏蔽电缆电容矩阵求解

根据建立的电缆电路模型可知,电缆的部分电容主要分布在4芯组内,并且2个4芯组内的部分电容相同,因此对于8芯内屏蔽电缆电容矩阵求解,可以归于求解一个4芯组内的电容矩阵。由于电缆长度相对于电缆截面宽度可视为无限长,因此可以在二维空间内求解电缆电容矩阵,如图4所示,为一个4芯组内部分电容分布。

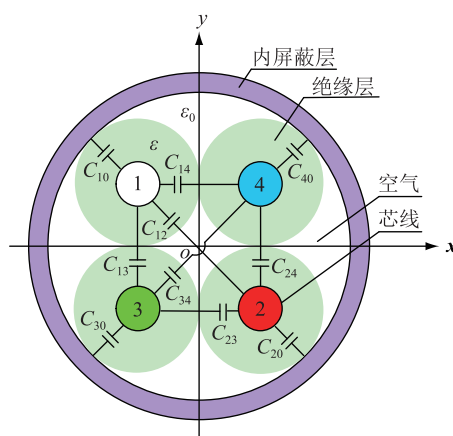


图4 4芯组内部分电容分布

Fig.4 Partial capacitance distribution in 4-core group

根据上述讨论,该边值问题为静电场,且整个场域内无自由电荷分布,设屏蔽层电位为0,通过有限元方法求解电容矩阵。以求导体芯线1的自有部分电容和互有部分电容为例,该边值问题的求解区域为空气和绝缘层,记为 Ω ,令导体芯线1上的电位为1V,则在区域 Ω 内,采用有限元方法求解时,不同介质分界面条件自动满足,相应的边值问题描述如下:

$$\begin{cases} \nabla^2 \varphi = 0 \\ \varphi_{\Gamma_1} = 1 \\ \varphi_{\Gamma_0} = 0 \\ \oint_{\Gamma_{2,3,4}} \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial n} d\Gamma = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: Γ_0 为屏蔽层内边界; $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ 分别为4个导体芯线的边界; ε 为绝缘层介电常数; n 为法向且由绝缘层指向导体; $\varphi_{\Gamma_0}, \varphi_{\Gamma_1}$ 分别为屏蔽层和导体芯线的电位。

根据式(1),求出场域中电位分布。根据电位分布,可得单位长度芯线1上的电荷量 q_1 为:

$$q_1 = \oint_{\Gamma_1} \varepsilon \frac{\partial \varphi_{\Gamma_1}}{\partial n} d\Gamma \quad (2)$$

式中: ε 为皮泡皮绝缘层介电常数; n 为法向且由绝缘层指向导体1。

根据以上计算可得导体芯线1单位长度的自有部分电容和互有部分电容分别为:

$$C_{10} = q_1 / (\varphi_{\Gamma_1} - \varphi_{\Gamma_0}) \quad (3)$$

$$C_{1i} = q_1 / (\varphi_{\Gamma_1} - \varphi_{\Gamma_i}) \quad i = 2, 3, 4 \quad (4)$$

同理,可以求得导体芯线2、3、4的自有部分电容和互有分布电容,进而求得4芯组的电容矩阵。

1.3 轨道电路8芯内屏蔽电缆电感矩阵求解

8芯内屏蔽电缆包括4个信号传输回路,它们之间的自感、互感不受绝缘层、隔热层等材质影响,因此可以将图2简化,主要包括芯线、内屏蔽层、铝护套、双钢带铠装,对8个导体芯线所在区域记为 Ω_1 至 Ω_8 ,其他不同介质区域分别记为 Ω_9 至 Ω_{15} ,如图5所示。

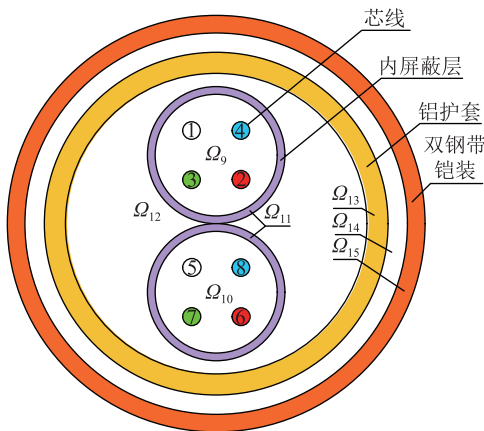


图5 8芯电缆简化模型

Fig.5 8-core cable simplified model

透入深度公式为:

$$d = \sqrt{2 / (\omega \mu \sigma)} \quad (5)$$

式中: d 为导体芯线的透入深度; ω 为信号角频率; μ 为芯线磁导率; σ 为芯线电导率。

由式(5)可求得导体芯线中信号频率为1700 Hz,导体芯线电导率为 5.8×10^7 S/m时,导体芯线的透入深度为1.6 mm,而导体芯线的半径为0.5 mm,因此可以认为电流在导体芯线上均匀分布,即导体芯线上的电流密度可以表述为:

$$J = I / (\pi r^2) \quad (6)$$

式中: I 为导体芯线中电流; r 为导体芯线半径。

图5所求解的边值问题为涡流场,当导体芯线回路中通入电流时,由于回路电流为一去一回,在周围产生的矢量磁位相互抵消,再考虑钢带铠装对能量的衰减作用,可以认为钢带铠装外边界上矢量磁位为0,同时由于采用有限元方法求解时,不同介质分界面条件自动得到满足,则相应的边值问题描述为:

$$\begin{cases} \nabla^2 A_{\Omega_i} + k_{\Omega_i} A_{\Omega_i} = -\mu_{\Omega_i} J_{\Omega_i} & i = 1, 2, \dots, 15 \\ A_r = 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中:

$$k_{\Omega_i} = \sqrt{-j\omega\mu_{\Omega_i}\sigma_{\Omega_i}} \quad (8)$$

式中: σ_{Ω_i} 为相应区域的电导率; μ_{Ω_i} 为相应区域的磁导率。

对自感的求解,以求解回路1自感为例,令导体芯线1通入电流 I ,电流大小为1 A,频率为1700 Hz,方向为垂直纸面向里,芯线2通入电流 $-I$,方向为垂直纸面向外,则式(7)中不同区域的电流密度为:

$$J_{\Omega_1} = I / (\pi r^2) \quad (9)$$

$$J_{\Omega_2} = -I / (\pi r^2) \quad (10)$$

$$J_{\Omega_{3,4,\dots,15}} = 0 \quad (11)$$

由式(7)、式(9)一式(11)得到场的矢量磁位分布,可以求得电缆单位长度内的能量为:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{15} \iint_{\Omega_i} |A_{\Omega_i} J_{\Omega_i}| d\Omega_i \quad (12)$$

由式(12)可得回路1单位长度的自感为:

$$L_1 = 2W / I^2 \quad (13)$$

对互感的求解,以求解回路1、2之间的互感为例,在导体芯线1、3中通入电流 I ,在导体芯线2、4中通入电流 $-I$,相应的边值问题如式(7)所示,式中不同区域的电流密度为:

$$J_{\Omega_{1,3}} = I / (\pi r^2) \quad (14)$$

$$J_{\Omega_{2,4}} = -I / (\pi r^2) \quad (15)$$

$$J_{\Omega_{5,6,\dots,15}} = 0 \quad (16)$$

由式(7)、式(14)一式(16)得到场的矢量磁位分布,并根据式(12)求出回路1、2之间互感为:

$$M_{12} = 2W - 1/2(L_1 + L_2) \quad (17)$$

式中: L_1, L_2 分别为回路1、2的自感。

同理,可以求出其他回路的自感和互感,进而得到电缆的电感矩阵。

1.4 轨道电路内屏蔽电缆电阻矩阵求解

根据式(5)可以认为导体芯线上电流密度均匀分布,所以导体芯线单位长度的电阻为:

$$R = 1/(\sigma S) = 1/(\sigma \pi r^2) \quad (18)$$

2 数值验证分析

为验证电缆参数计算的正确性,文中选择对8芯铜芯皮-泡-皮物理发泡聚烯烃绝缘铝护套双钢带铠装聚烯烃外护套内屏蔽铁路数字信号电缆进行计算,其型号为SPTYWPL23-8B×1.0,其尺寸参数如表1所示,其材料参数如表2所示,选择电缆计算长度为1 000 m,信号频率为1 700 Hz。根据表1、表2所示参数,采用以上计算电缆参数方法,并依托于Comsol 仿真软件,计算电缆的内屏蔽4芯组电容矩阵为:

$$C = \begin{bmatrix} C_{10} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{20} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{30} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{40} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 33.25 & 1.98 & 7.87 & 7.87 \\ 1.98 & 33.25 & 7.87 & 7.86 \\ 7.87 & 7.87 & 33.25 & 1.98 \\ 7.87 & 7.86 & 1.98 & 33.25 \end{bmatrix} \quad (19)$$

表1 电缆SPTYWPL23-8B×1.0尺寸参数

Table 1 Size parameters of cable SPTYWPL23-8B×1.0 mm

结构名称	数值	结构名称	数值
导电线芯直径	1.00	铝护套外径	19.50
绝缘线芯直径	2.75	铠装内直径	21.70
屏蔽层内直径	6.92	铠装外直径	23.70
屏蔽层外直径	7.80	铝护套内径	17.10
回路两导线中心间距离	3.89		

根据图4及式(19),求出芯线1与屏蔽层间工作电容 C'_{10} 、芯线1与芯线2间工作电容 C'_{12} 、芯线1与芯线4之间的工作电容 C'_{14} ,并与相应的测量值对比,如表3所示。电缆的单根芯线的电阻及一个回路的自感计算值与测量值对比如表4所示。高速铁路的工作频率是1 700~2 600 Hz,对于电缆电容和电感参数的测量可采用电桥法^[21]。

通过表3、表4可以看出,电缆电阻与自感的计算值与相应的测量值之间的相对误差分别为2.22%

表2 电缆SPTYWPL23-8B×1.0材料参数

Table 2 Material parameters of cable SPTYWPL23-8B×1.0

结构名称	电导率/ (S·m ⁻¹)	相对介 电常数	相对 磁导率
铜芯导线	5.8×10 ⁷	1	1
绝缘层	0	1.405	1
屏蔽层	5.8×10 ⁷	1	1
塑料包带	0	2.3	1
铝护套	3.5×10 ⁷	1	1
内衬层	0	2.3	1
钢带铠装	6×10 ⁶	1	400
其他部分	0	1	1

表3 电缆工作电容计算值与测量值对比

Table 3 Comparisons of calculated and measured capacitances of cables

工作电容	计算值/(nf·km ⁻¹)	测量值/(nf·km ⁻¹)	误差/%
C'_{10}	48.02	47.47	1.16
C'_{12}	26.48	26.64	0.60
C'_{14}	29.13	29.09	0.14

表4 电缆电阻与自感计算值与测量值对比

Table 4 Comparisons between calculated and measured values of cable resistance and self-inductance

参数	计算值	测量值
电阻/(Ω·km ⁻¹)	22.0	22.5
自感/(mH·km ⁻¹)	0.811	0.825

和1.70%,都在3%以下,满足工程计算精度要求,适用于对高度铁路轨道电路电缆参数的计算。

3 结语

文中主要建立了高速铁路轨道电路内屏蔽电缆考虑耦合的多回路电路模型。以8芯内屏蔽电缆为例,考虑其实际的结构特点和材料属性,得到了8芯内屏蔽电缆的简化模型和内部电容分布;采用有限元方法计算了模型中相应的电缆电容、电感、电阻参数;通过与实测值相比较,验证了参数计算方法的正确性。文中建立的多回路模型可用于高速铁路轨道电路信号传输研究和故障诊断。

参考文献:

- [1] 李智宇, 郑昇, 徐宗奇, 等. 高速条件下ZPW-2 000 A无绝缘轨道电路耦合干扰分析及对策[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(3): 99-106.
LI Zhiyu, ZHENG Sheng, XU Zongqi, et al. Analysis on the coupling disturbance of ZPW-2 000 A jointless track circuit under high speed condition and counter-measures [J]. China Railway Science, 2010, 31(3): 99-106.
- [2] 李世煜, 李开成. 移频轨道电路传输电缆串音模型的研究

- [J]. 北方交通大学学报, 2003, 27(3): 74-79.
LI Shiyu, LI Kaicheng. Study on the model of transmitting cable crosstalk in frequency-shift track circuit[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2003, 27(3): 74-79.
- [3] 禹志阳, 杨奎芳, 申凤鸣. 轨道电路在无砟轨道条件下传输特性的研究[J]. 铁道学报, 2007, 29(5): 122-126.
YU Zhiyang, YANG Kuifang, SHEN Fengming. Study on the transmission performance of ballastless track circuits [J]. Journal of China Railway Society, 2007, 29(5): 122-126.
- [4] 叶冠豪, 吕立翔, 洪露. 接地不良缺陷对高压 XLPE 电缆终端的影响[J]. 电力工程技术, 2018, 37(4): 137-142.
YE Guanhao, LYU Lixiang, HONG Lu. Effect of grounding defect on high-voltage XLPE cable terminal[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(4): 137-142.
- [5] LEVIN B M. Calculation of electrical parameters of two-wire lines in multiconductor cables[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2008, 50(3): 697-703.
- [6] 谭笑, 陈杰, 李陈莹, 等. 高压电力电缆增加段长关键技术研究展望及应用[J]. 电力工程技术, 2018, 36(3): 91-96.
TAN Xiao, CHEN Jie, LI Chenying, et al. Research prospect and application of technology to increase the length of high voltage power line [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 36(3): 91-96.
- [7] FARIA J A B, DAS N M G. Basic principles concerning the experimental evaluation of the frequency-dependent parameters of shielded and unshielded three-phase symmetric cables [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(2): 556-564.
- [8] 刘栓江. 单芯偏心电缆单位长度电容的计算[J]. 大学物理, 2003, 22(8): 17-18.
LIU Shuanjiang. A calculation of capacitance per unit length for an eccentric cable[J]. College Physics, 2003, 22(8): 17-18.
- [9] 王莉, 王庆禄. 保角变换法计算单芯偏心电缆单位长度的电容量[J]. 大学物理, 2005, 24(4): 31-32.
WANG Li, WANG Qinglu. Calculation of the capacitance per unit length for an eccentric cable by conformal mapping[J]. College Physics, 2005, 24(4): 31-32.
- [10] 孙蓓云, 郑振兴, 周辉. 多芯屏蔽电缆电容的矩量法求解[J]. 强激光与粒子束, 2000, 12(6): 749-752.
SUN Beiyun, ZHENG Zhenxing, ZHOU Hui. Method of moment for calculating capacitance of shield multiconductor cable [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2000, 12(6): 749-752.
- [11] 边晓燕, 周歧斌, 符杨. 有限长同轴电缆电容的数值计算方法[J]. 高电压技术, 2009, 35(8): 1920-1926.
BIAN Xiaoyan, ZHOU Qibin, FU Yang. Numerical method for capacitance matrix of coaxial cables of finite length[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(8): 1920-1926.
- [12] 唐泽群, 刘建新. 具有屏蔽层的多芯电缆部分电容的数值分析[J]. 中国空间科学技术, 1993(8), 25-33.
TANG Zequn, LIU Jianxin. Numerical analysis of partial capacitance of long multicore H-cable[J]. Chinese Space Science and Technology, 1993(8), 25-33.
- [13] 衣斌, 王泽忠. 屏蔽电缆参数计算及屏蔽层与芯线间的串扰[J]. 高电压技术, 2008, 34(4): 804-808.
YI Bin, WANG Zezhong. Parameters calculation of shield cable and crosstalk between shielding layer and core wires[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(4): 804-808.
- [14] GUSTAVSEN B, BRUASET A, BREMNES J J, et al. A finite-element approach for calculating electrical parameters of umbilical cables [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(4): 2375-2384.
- [15] DE L F, ANDERS G J. Effects of backfilling on cable ampacity analyzed with the finite element method[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(2): 537-543.
- [16] 刘正航. ZPW-2 000 A 无绝缘轨道电路技术应用研究[D]. 山东: 山东大学, 2006.
LIU Zhenghang. Study on research and application of ZPW-2 000 A jointless track circuit[D]. Shandong: Shandong University, 2006.
- [17] YANG S, YANG J, CUI Y, et al. Study on the EMI impact over the safety of railway signaling and case analysis[C] // System Reliability and Safety (ICSRs), 2017 2nd International Conference on. IEEE, 2017: 374-379.
- [18] QIAO Z, WANG Z, ZHANG L. Modeling of ZPW-2 000 A frequency-shift and pulse track circuit [C] // Intelligent Rail Transportation (ICIRT), 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016: 94-98.
- [19] 张子林, 黄强华. 一种可延长双拼接电缆中间接头的研究与应用[J]. 供用电, 2017, 34(6): 79-81.
ZHANG Zilin, HUANG Qianghua. Research and application of a prolonged double spliced cable intermediate joint [J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(6): 79-81.
- [20] 马信山, 张济世, 王平. 电磁场基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
MA Xinshan, ZHANG Jishi, WANG Ping. Fundamentals of electromagnetic fields[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [21] 朱启林, 李仁义, 徐丙垠. 电力电缆故障测试方法与案例分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
ZHU Qilin, LI Renyi, XU Bingyin. Power cable fault testing method and case analysis [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.

作者简介:



谭瑞娟

谭瑞娟(1988),女,博士,助理研究员,从事电磁场仿真计算及应用方面的研究工作;

阳晋(1985),男,硕士,高级工程师,从事铁路信号安全装备研发、雷电防护和电气化干扰等方面研究工作;

庞福滨(1987),男,博士,高级工程师,从事变电站电磁兼容研究工作。

Multi-level voltage control in active distribution network based on model predictive control

HAN Huachun¹, DOU Xiaobo², LI Qiang¹, CHANG Limin², SHEN Lu², DU Jianxiong²

(1. Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. School of Electrical Engineering Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: With more and more photovoltaic generations integrated into different voltage level distribution networks, the interaction between the various voltage levels of the distribution network is more complicated. It is a great challenge for the active distribution network to improve of system security and economy capacities. Considering the effect between different voltage levels, a multi-level voltage interaction control method for active distribution network based on model predictive control (MPC) is proposed in the paper. Considering on-load tap changers (OLTC) and shunt capacitor banks (CB) future-time action plan, a medium-high voltage association model is established. Coordinated control of continuous equipment in medium voltage distribution network and discrete equipment in high voltage distribution network is achieved. In the medium and low voltage distribution network, taking into account the uncertainty exchange power and their mutual influence, a low-middle voltage association model is established. It can realize the support of medium voltage distribution network to low voltage distribution network. Finally, a case study is carried out in Matlab and the results verify the effectiveness and feasibility of the proposed approach.

Keywords: photovoltaic; multi-level voltage control; model predictive control; feedback correction

(编辑 方晶)

(上接第 12 页)

A multi-loop model and its parameters calculation for the cable with inner screens of the track circuit

TAN Ruijuan¹, YANG Jin^{2,3}, PANG Fubing⁴, JI Jianfei⁴, ZOU Jun¹

(1. State Key Lab of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipments (Tsinghua University), Beijing 100084, China; 2. Beijing National Railway Research & Design Institute of Signal & Communication Co., Ltd., Beijing 100073, China; 3. Beijing High-speed Railway Operation Control System Engineering Technology Research Center, Beijing 100073, China; 4. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: The digital signaling cable with inner screens is transmission channel in the high-speed railway track circuit. Its multi-loop simulation model and parameters have important significance for the research of high-speed railway track circuit. Firstly, in this paper, the multi-loop model of the digital signaling cable with inner screens is set up based on its structure characteristics and transmission path. Furthermore, the parameters of cable included capacitance, inductance, resistance are calculated based on the finite element method, including a detailed description of the boundary value problem of various parameters for calculating the finite element, the necessary calculation formula and step. Finally, taking 8-core shielded cables as an example, the simulation model is established, and the validity of the calculation method is verified by the compare between the calculated values of cable and measured values. And the established multi-loop model can be used to research signal transmission and fault diagnosis of high-speed railway track circuit.

Keywords: high-speed railway; track circuit; digital signaling cable with inner screens; finite element method

(编辑 钱悦)