



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112677828 A

(43)申请公布日 2021.04.20

(21)申请号 201910987468.7

(22)申请日 2019.10.17

(71)申请人 中铁二院工程集团有限责任公司
地址 610031 四川省成都市通锦路3号

(72)发明人 邓云川 鲁小兵 李良威 徐剑
刘梅 陈殷

(74)专利代理机构 成都惠迪专利事务所(普通
合伙) 51215

代理人 王建国

(51) Int. Cl.

B60M 1/13(2006.01)

B60M 1/22(2006.01)

B60M 5/00(2006.01)

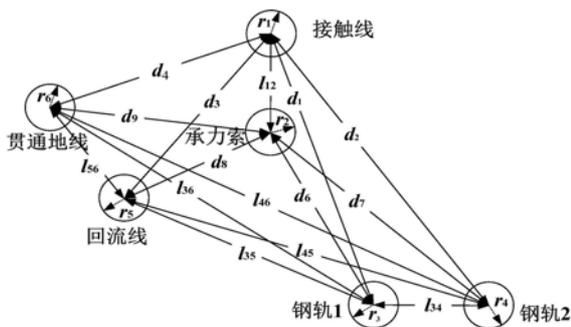
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法

(57)摘要

一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法,计算过程清晰、明确,且与实际情况相符合。包括如下步骤:(1)将带回流线直接供电方式牵引网中的导体按传输和回流功能分类,接触线和承力索为传输导体,两根并联的钢轨、回流线、贯通地线和大地为回流导体,然后由参与传输和参与回流的导体两两构成回路,将系统转化为多传输导体多回流导体的回路系统;(2)推导回路内自电位系数和回路间互电位系数,进而构建电位系数矩阵,求解电位系数矩阵的逆矩阵即可得到各回路单位长度电容矩阵;(3)根据单位长度电容矩阵与各个回路电荷以及产生电荷的各个回路电压之间的关系,最终得到带回流线直接供电方式牵引网的单位长度综合电容。



1. 一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法,包括如下步骤:

(1) 将带回流线直接供电方式牵引网中的导体按传输和回流功能分类,其中,接触线和承力索为传输导体,两根并联的钢轨、回流线、贯通地线和大地为回流导体,即系统为2个传输导体和5个回流导体组成的7导体传输线系统,然后由参与传输和参与回流的导体两两构成回路,将系统转化为多传输导体多回流导体的回路系统;

(2) 根据所构建的回路系统,基于空间电场分析,推导回路内自电位系数和回路间互电位系数,进而构建电位系数矩阵,求解电位系数矩阵的逆矩阵即可得到各回路单位长度电容矩阵;

(3) 根据单位长度电容矩阵与各个回路电荷以及产生电荷的各个回路电压之间的关系,最终得到带回流线直接供电方式牵引网的单位长度综合电容。

一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式 牵引网综合电容计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电气化铁路牵引供电系统,特别涉及一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法。

背景技术

[0002] 随着我国电气化铁路的发展以及“高铁走出去”战略的实施,电气化铁路牵引供电系统基础理论和精细化研究需求越来越迫切,牵引网综合电容计算是实现牵引网精确数学描述,进而开展牵引网谐振、牵引网过电压、牵引网电弧等研究的基础。电气化铁路牵引网中,带回流线直接供电方式广泛应用于现场实际,其由接触线、承力索、回流线和钢轨等多个导体组成,物理结构和电磁场关系非常复杂,导致电容参数计算十分困难。物理意义上,单位长度电容 c 为单位长度电荷 q 与感应电荷的导体之间电压 u 的比值,因此单位长度电容只有在明确电压值的情况下才有意义,而电压是导体电势与参考导体电势之间的电势差,脱离参考导体的单根传输导体,直接讨论其电容参数没有意义。过去基于多导体传输线理论的牵引网数学模型中,通常将大地视为参考导体,容易被误解为大地是所有导体的回流通道的。实际上,钢轨、回流线和贯通地线等均可作为回流通道的,因此,作为复杂多导体传输线系统的牵引网,如将大地视为参考导体,对其开展电磁空间描述研究,将带来诸多限制。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的问题是提供一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法,以使计算过程清晰、明确,且与实际情况相符合,避免传统上以大地为参考的牵引网模型容易被误解为大地是所有导体的回流通道的这一问题。

[0004] 本发明解决上述技术问题采取的技术方案如下:

[0005] 本发明一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法,包括如下步骤:

[0006] (1) 将带回流线直接供电方式牵引网中的导体按传输和回流功能分类,其中,接触线和承力索为传输导体,两根并联的钢轨、回流线、贯通地线和大地为回流导体,即系统为2个传输导体和5个回流导体组成的7导体传输线系统,然后由参与传输和参与回流的导体两两构成回路,将系统转化为多传输导体多回流导体的回路系统;

[0007] (2) 根据所构建的回路系统,基于空间电场分析,推导回路内自电位系数和回路间互电位系数,进而构建电位系数矩阵,求解电位系数矩阵的逆矩阵即可得到各回路单位长度电容矩阵;

[0008] (3) 根据单位长度电容矩阵与各个回路电荷以及产生电荷的各个回路电压之间的关系,最终得到带回流线直接供电方式牵引网的单位长度综合电容。

[0009] 本发明的有益效果是,基于多导体传输线系统回路法的牵引网综合电容计算方法物理意义明确,且与实际情况相符合,避免了传统上以大地为参考的牵引网模型容易被误

解为大地是所有导体的回流通道这一问题,计算过程更为简洁、清晰。

附图说明

[0010]

[0011] 图1是带回流线直接供电方式牵引网的系统结构示意图。

[0012] 图2是带回流线直接供电方式牵引网的传输与非大地回流导体示意图。

具体实施方式

[0013] 本发明提出了一种新的牵引网综合电容计算方法,该方法基于多导体传输系统回路法。下面结合附图,以设置有贯通地线并采用带回流线直接供电方式的牵引网为例详细阐述牵引网综合电容计算过程。

[0014] 本发明一种基于多导体传输线系统回路法的带回流线直接供电方式牵引网综合电容计算方法,包括如下步骤:

[0015] 1、将带回流线直接供电方式牵引网中的导体按传输和回流功能分类,其中,接触线和承力索为传输导体,两根并联的钢轨、回流线、贯通地线和大地为回流导体,即系统为2个传输导体和5个回流导体组成的7导体传输线系统,然后由参与传输和参与回流的导体两两构成回路,将系统转化为多传输导体多回流导体的回路系统。

[0016] 设置有贯通地线并采用带回流线直接供电方式牵引网的系统结构见附图1,其传输及回流导体示意图见附图2。其中,接触线和承力索为传输导体,钢轨1、钢轨2、回流线、贯通地线和大地为回流导体。因此,该牵引网系统为2传输导体5回流导体的多回路传输系统。如附表1所示,传输导体接触线与回流导体(钢轨1、钢轨2、回流线、贯通地线和大地)之间分别构成回路1~回路5,前四个回路中两导体之间的距离依次为 $d_1 \sim d_4$; 传输导体承力索与回流导体(钢轨1、钢轨2、回流线、贯通地线和大地)之间分别构成回路6~回路10,前四个回路中两导体之间的距离依次为 $d_6 \sim d_9$ 。接触线、承力索、钢轨1、钢轨2、回流线和贯通地线的半径分别为 $r_1 \sim r_6$ 。承力索与接触线、钢轨1与钢轨2、钢轨1与回流线、钢轨1与贯通地线、钢轨2与回流线、钢轨2与贯通地线和回流线与贯通地线之间的距离为 l_{12} 、 l_{34} 、 l_{35} 、 l_{36} 、 l_{45} 、 l_{46} 和 l_{56} 。

[0017] 2、根据所构建的回路系统,基于空间电场分析,推导回路内自电位系数和回路间互电位系数,进而构建电位系数矩阵,求解电位系数矩阵的逆矩阵即可得到各回路单位长度电容矩阵。

[0018] 记 p_{ii} 为回路 i 内的自电位系数。

[0019] (1)、以回路1为例说明非大地回流回路的自电位系数。

[0020] 在回路1中,假设接触线携带单位长度电荷 q_1 c/m,则钢轨1携带单位长度电荷为 $-q_1$ c/m,二者共同构成基本空间电场单元,按照构成回路的两导体间电位计算公式可得回路1内的自电位系数 p_{11} 为:

$$[0021] \quad p_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{(d_1 - r_1)(d_1 - r_3)}{r_1 r_3} \quad (1)$$

[0022] 式中, ϵ 为回路空间介电常数。

[0023] 因此,结合附表1和附图2所示的回路编号和导体编号,可得回路 1~回路4内的自

电位系数 p_{ii} ($i=1,2,3,4$) 为:

$$[0024] \quad p_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{(d_i - r_1)(d_i - r_{i+2})}{r_1 r_{i+2}} \quad (2)$$

[0025] 回路6~回路9内的自电位系数 p_{ii} ($i=6,7,8,9$) 为:

$$[0026] \quad p_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{(d_i - r_2)(d_i - r_{i-3})}{r_2 r_{i-3}} \quad (3)$$

[0027] (2)、以回路5为例说明大地回流回路的自电位系数。

[0028] 回路5 (即接触线与大地构成的大地回流回路) 中的自电位系数 p_{55} 为:

$$[0029] \quad p_{55} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D_g}{r_1} \quad (4)$$

[0030] 式中, D_g 为大地等值深度。

[0031] 同理,可得回路10中的自电位系数 p_{1010} 为:

$$[0032] \quad p_{1010} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D_g}{r_2} \quad (5)$$

[0033] 3、根据单位长度电容矩阵与各个回路电荷以及产生电荷的各个回路电压之间的关系,最终得到带回流线直接供电方式牵引网的单位长度综合电容。

[0034] 记 p_{ij} 为回路 i 和回路 j 之间的互电位系数, $p_{ij}=p_{ji}$ 。

[0035] (1)、以回路1和回路7为例说明架非大地回流回路之间的互电位系数。

[0036] 在回路1 (即接触线与钢轨1组成的回路) 中,假设接触线携带单位长度电荷为 q_1 c/m,则钢轨1携带单位长度电荷为 $-q_1$ c/m,此时接触线在回路7 (即承力索与钢轨2组成的回路) 中产生的电势 V_{c17} 为:

$$[0037] \quad V_{c17} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{l_{12}}{d_2} \quad (6)$$

[0038] 钢轨1在回路7中产生的电势 V_{h17} 为:

$$[0039] \quad V_{h17} = \frac{-q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{d_6}{l_{34}} \quad (7)$$

[0040] 则回路1在回路7中产生的电势 V_{Z17} 为:

$$[0041] \quad V_{Z17} = V_{c17} + V_{h17} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{l_{12}}{d_2} - \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{d_6}{l_{34}} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{l_{12}l_{34}}{d_2d_6} \quad (8)$$

[0042] 由此,可得到回路1在回路7之间的单位长度互电位系数 p_{17} 为:

$$[0043] \quad p_{17} = \frac{V_{Z17}}{q_1} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{l_{12}l_{34}}{d_2d_6} \quad (9)$$

[0044] (2)、以回路1和回路2的互电位系数推导结果 p_{12} 为例说明非大地回流回路之间共传输导体时的互电位系数。

$$[0045] \quad p_{12} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_1 l_{34}}{d_1 d_2} \quad (10)$$

[0046] (3)、以回路1和回路6的互电位系数推导结果 p_{16} 为例说明非大地回流回路之间共

回流导体时的互电位系数。

$$[0047] \quad p_{16} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_3 l_{12}}{d_1 d_6} \quad (11)$$

[0048] (4)、以回路1和回路10的互电位系数推导结果 p_{0110} 为例说明非大地回流回路与大地回流回路之间的互电位系数。

$$[0049] \quad p_{0110} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{l_{12}}{d_6} \quad (12)$$

[0050] (5)、以回路1和回路5的互电位系数推导结果 p_{15} 为例说明非大地回流回路与大地回流回路之间共传输回路时的互电位系数。

$$[0051] \quad p_{15} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_1}{d_1} \quad (13)$$

[0052] (6)、回路5和回路10的互电位系数推导结果 p_{0510} 为例说明大地回流回路之间的互电位系数。

$$[0053] \quad p_{0510} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{l_{12}}{D_g} \quad (14)$$

[0054] 各回路单位长度电容矩阵计算：

[0055] 通过上述步骤，即可得到 $n=10$ 维回路电位系数矩阵 P ，其中， p_{ii} 为回路 i 的自电位系数， p_{ij} 为回路 i 和回路 j 之间的互电位系数， $p_{ij}=p_{ji}$ 。

[0056] 进而可得各回路单位长度电容矩阵 $C=P^{-1}$ ，即：

$$[0057] \quad C = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \quad (15)$$

[0058] 步骤五：牵引网单位长度综合电容计算

[0059] 将各回路单位长度电容矩阵 C 与各回路电荷以及产生电荷的电压之间的关系式 $Q=CU$ 展开为：

$$[0060] \quad \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} \quad (16)$$

[0061] 可得，各回路总电荷为 $q=q_1+q_2+\cdots+q_n$ 。同时，由于带回流线直接供电方式牵引网各回路间为并联关系，则 $u=u_1=u_2=\cdots=u_n$ 。

[0062] 因此，可得设置有贯通地线并采用带回流线直接供电方式牵引网的单位长度综合电容 C 为：

$$[0063] \quad C = \frac{q}{u} = \frac{q_1 + q_2 + \cdots + q_n}{u} = \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=n} c_{ij} \quad (17)$$

[0064] 实施例：

[0065] 带回流线牵引供电系统牵引网的导体典型参数如表2所示,表中水平坐标和垂直坐标的坐标原点为轨面中心。表1是带回流线直接供电方式牵引网的回路编号表。计算结果如表3所示,表中第一行和第一列为回路编号,表中内容为通过步骤二和步骤三计算得到的回路自电位系数和互电位系数,表中最后一行为基于回路自电位系数和互电位系数通过步骤四得到的牵引网单位长度综合电容。

[0066] 表1

[0067]	导体名称	钢轨1	钢轨2	回流线	贯通地线	大地
	接触线	1	2	3	4	5
	承力索	6	7	8	9	10

[0068] 表2

[0069]	导体名称	直流电阻(Ω/km)	导体计算半径(cm)	水平坐标(cm)	垂直坐标(cm)
	接触线	0.15967	0.72	0	645
	承力索	0.242	0.7	0	785
	钢轨	0.135	1.279	-71.75	0
				71.75	
	回流线	0.1453	0.945	340	780
	综合地线	0.312	0.437	400	-246

[0070] 表3

(单位:10⁻¹²s/km)

[0071]	回路编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	0.1817	-0.006 7	-0.009 4	-0.007 5	-0.008 2	-0.007	-0.017 2	-0.065 6	-0.023 8	-0.032 2
	2	-0.006 7	0.1742	-0.009 3	-0.007 2	-0.008 2	-0.0172	-0.007	-0.060 8	-0.021 4	-0.032 2
	3	-0.009 4	-0.009 3	0.3601	-0.009	-0.008 9	-0.0958	-0.085 9	-0.008 1	-0.066 5	-0.062 7
	4	-0.007 5	-0.007 2	-0.009	0.1681	-0.007 7	-0.0245	-0.022	-0.053 8	-0.005 7	-0.026 9
	5	-0.008 2	-0.008 2	-0.008 9	-0.007 7	0.2053	-0.0363	-0.036 3	-0.057 9	-0.028 6	-0.008 6
	6	-0.007	-0.017 2	-0.095 8	-0.024 5	-0.036 3	0.21551	-0.006 4	-0.009 2	-0.007 2	-0.007 9
	7	-0.017 2	-0.007	-0.085 9	-0.022	-0.036 3	-0.0064	0.2027	-0.009 1	-0.006 9	-0.007 9
	8	-0.065 6	-0.060 8	-0.008 1	-0.053 8	-0.057 9	-0.0092	-0.009 1	0.2868	-0.008 9	-0.009
	9	-0.023 8	-0.021 4	-0.066 5	-0.005 7	-0.028 6	-0.0072	-0.006 9	-0.008 9	0.1802	-0.007 5
	10	-0.032 2	-0.032 2	-0.062 7	-0.026 9	-0.008 6	-0.0079	-0.007 9	-0.009	-0.007 5	0.1996
	单位长度综合电容					0.04279					

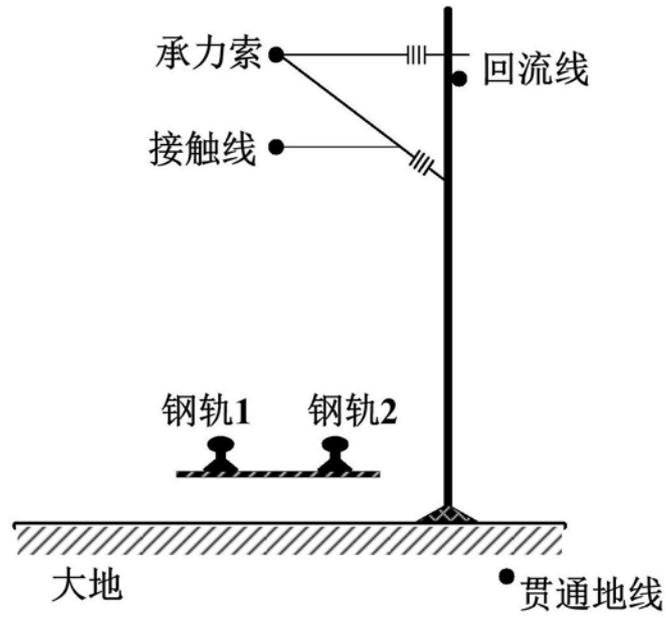


图1

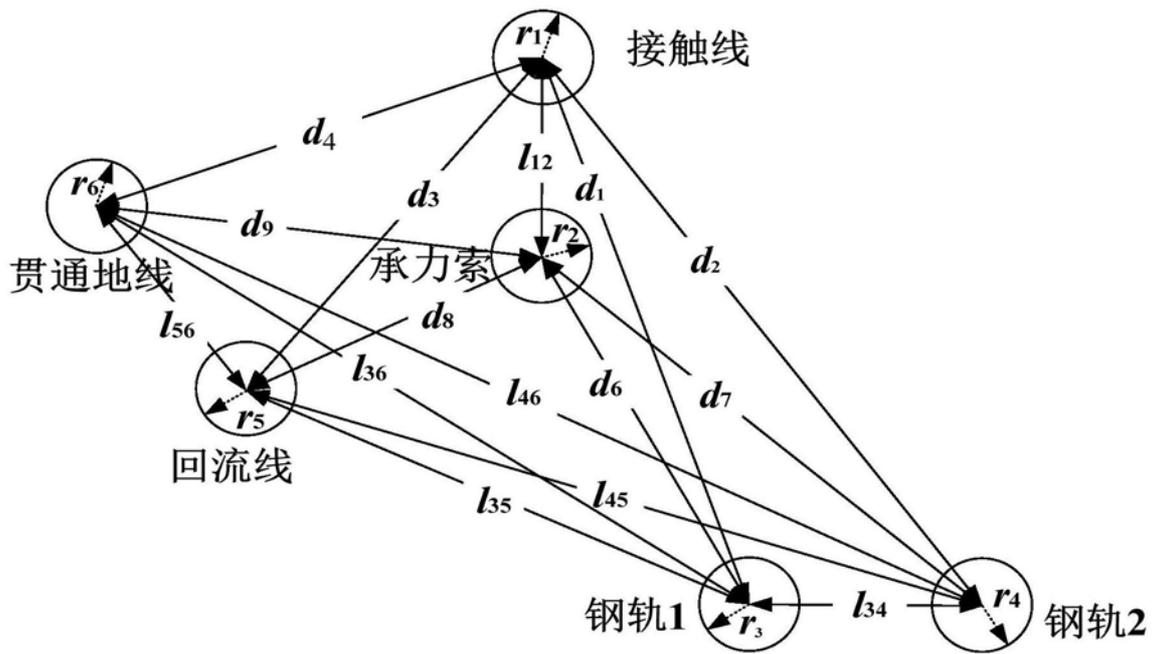


图2