

## 双回路电缆-架空线混合线路感应电压电流计算

汪惟源<sup>1</sup>, 程锦闽<sup>1</sup>, 孙义<sup>2</sup>, 刘景晖<sup>2</sup>, 鲍爱霞<sup>2</sup>, 史大军<sup>2</sup>

(1. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024;

2. 中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司, 上海 200063)

**摘要:**双回路同沟电缆-同塔架空线混合线路感应电压和感应电流的计算是检修时接地刀闸选型的关键。电缆回路间感应电压电流的计算不同于架空线路。电缆金属护套对线芯具有静电屏蔽作用,根据护套接地方式不同其对线芯也具有不同的电磁屏蔽效果。文中针对220 kV双回路电缆-架空线混合线路开展运行线路对检修线路的电磁感应研究。首先根据电磁耦合推导出混合线路的感应电压、电流计算公式。其次仿真计算分析,分别研究混合线路中电缆段长度占比的变化对感应电压电流的影响;电缆护套单端接地、双端接地以及交叉互联两端接地3种接地方式对于感应电流的影响;接地刀闸等效接地电阻对于感应电流的影响。结果可为混合线路接地刀闸选型提供理论计算参考。

**关键词:**混合线路;感应电压;感应电流;接地刀闸;护套接地方式

**中图分类号:** TM726

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2096-3203(2021)04-0089-06

### 0 引言

随着电力电缆使用率的增加,电网中电缆-架空线混合输电的敷设方式增多<sup>[1]</sup>。以同沟双回路电缆-同塔双回路架空线混合线路为例,一回线路正常运行,另一回线路检修,导线间存在电磁场耦合,检修线路上会产生一定量的感应电压和感应电流。感应量值对于接地刀闸的选型、运维操作安全有重要影响。

现阶段已充分开展了针对同塔多回架空线路感应电压和感应电流计算的研究。导线间静电感应是导致检修线路上产生容性感应电压的主要因素,而电磁感应是产生感性感应电流的主要因素<sup>[2-5]</sup>。对于同塔多回路线路,检修线路上容性感应电压与运行线路的电压成正比,而与线路长度、潮流无关。感性感应电流和输送功率成正比,与线路长度无关<sup>[6-9]</sup>。线路不同相序排列影响相间互阻抗的大小,也会对感应电压电流产生影响<sup>[10-11]</sup>。已有众多学者针对不同排列形式线路间的互感互容值计算开展研究。对于敷设距离较近的多回路电缆,相间空间电磁耦合情况与架空线不同。电缆存在金属护套,对于线芯具有完全的静电屏蔽作用,因此电缆线芯间不存在静电感应<sup>[12-15]</sup>。而金属护套的不同接地方式会对工频电流产生不同的电磁屏蔽效果<sup>[16]</sup>。学者们的研究重点更多地集中在电

缆金属护套上产生的感应电压和电流<sup>[17-18]</sup>。

综上,现阶段对于多回路电缆-架空线混合线路导线间产生的感应电压、电流研究较少,而这种混合线路大量应用于实际工程中。混合线路两端接地刀闸选型等问题迫使此方面研究进一步开展。

文中基于一条实际的双回路同沟电缆-同塔架空线混合线路进行了感应电压、电流计算公式推导和仿真建模分析,研究了混合线路中电缆段长度占比、电缆护套接地方式和地刀接地电阻大小对检修线路上感应电压、电流的影响规律。

### 1 混合线路感应电压和感应电流计算

同沟双回路电力电缆和同塔双回路架空线混合线路静电感应和电磁感应如图1所示, $R_s$ 为电缆护套接地电阻; $C_{sa}$ 为电缆护套对地电容。图中右半段为同塔双回路架空线,上方线路正常运行,下方线路停电检修。架空导线间存在静电耦合和电磁耦合。以检修线路A相为例,运行线路三相对其存在空间分布电容, $C_{oAa}$ ,  $C_{oBa}$ ,  $C_{oCa}$ 分别为单位长度的线路间分布电容; $C_{oa}$ 为检修线路A相单位长度对地电容; $M_{oAa}$ ,  $M_{oBa}$ ,  $M_{oCa}$ 分别为单位长度的线路间互感。

图中左半段为同沟双回路高压单芯电缆,电力电缆的金属护套具有静电屏蔽作用,运行线路线芯与检修线路线芯间无静电感应,因此电缆段相间分布电容为零。电缆线芯、金属护套和大地相当于3个具有电势差的电容极板。由于电缆结构紧凑且埋于地下,电容极板间距离很小,因此电缆具有较

收稿日期:2021-01-30;修回日期:2021-03-27

基金项目:国家重点研发计划资助项目“特高压设备安全运行与风险评估方法”(2017YFB0902700)

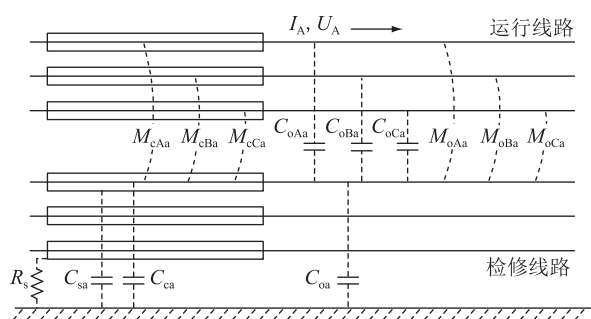


图1 电缆-架空线混合线路静电感应和电磁感应

Fig.1 Electrostatic induction and electromagnetic induction of cable-overhead hybrid line

大的对地电容,  $C_{ca}$  为单位长度电缆线芯对地电容。金属护套的电磁屏蔽作用与其接地方式密切相关。对于长度较短的电缆线路护套,多采用单端直接接地,另一端经保护器接地的方式。此时金属护套未和大地构成回路,不具有电磁屏蔽的作用。对于长度较长的电缆线路护套,多采用交叉互联每3段两端直接接地的方式。此时金属护套和大地构成回路,对于频率较低的工频电流具有一定的电磁屏蔽作用。无论是否考虑金属护套的电磁屏蔽,单位长度线路的互感均可用  $M_{cAa}, M_{cBa}, M_{cCa}$  表示。当需要考虑电磁屏蔽作用时,可引入屏蔽系数<sup>[12]</sup>,削弱运行线路在检修线路上的电磁感应。

以短电缆线路和架空线混合线路为例进行感应电压和感应电流计算说明。短电缆线路护套单端接地,不具备电磁屏蔽作用。对于同塔双回架空线路,运行线路在检修线路上产生的感应电压和感应电流已有大量文献详述<sup>[6-11]</sup>。

当检修线路首末端的接地刀闸断开时,静电感应电压分量在感应电压中占主导作用,电磁感应电

压分量数值较小。因此检修线路上首末端感应电压为:

$$U_1 \approx U_2 \approx \frac{C_{oAa}U_A + C_{oBa}U_B + C_{oCa}U_C}{C_{oAa} + C_{oBa} + C_{oCa} + C_{oa}} \quad (1)$$

当检修线路首末端的接地刀闸闭合时,电磁感应电流分量在感应电流中占主导作用,静电感应电流分量数值较小,一般忽略。因此检修线路上首末端感应出的接地电流如下,其中  $L_o$  为架空线单位长度电感。

$$I_1 \approx I_2 \approx - \frac{M_{oAa}I_A + M_{oBa}I_B + M_{oCa}I_C}{L_o} \quad (2)$$

当架空线与电缆线路混合时,由于电缆护套的静电屏蔽,电缆线芯间不存在静电感应,仅存在电磁感应。感应电压和感应电流计算公式如下,其中  $x$  为电缆段长度; $l$  为架空线段长度; $L_c$  为电缆上单位长度自感。

$$U_1 \approx U_2 \approx \frac{C_{oAa}lU_A + C_{oBa}lU_B + C_{oCa}lU_C}{C_{oAa}l + C_{oBa}l + C_{oCa}l + C_{oa}l + C_{ca}x} \quad (3)$$

$$I_1 \approx I_2 \approx - [(M_{oAa}l + M_{cAa}x)I_A + (M_{oBa}l + M_{cBa}x)I_B + (M_{oCa}l + M_{cCa}x)I_C] / (L_o l + L_c x) \quad (4)$$

## 2 混合线路电磁感应仿真分析

### 2.1 电缆-架空线混合模型搭建

利用 PSCAD 搭建仿真模型,计算电力电缆-架空线混合线路中检修线路上感应电压和感应电流的变化规律。基于实际线路参数设计一条 220 kV 同沟双回路电缆和同塔双回路架空线混合线路模型,线路仿真模型如图 2 所示。

图 2 为短电缆线路模型示意,若电缆长度大于

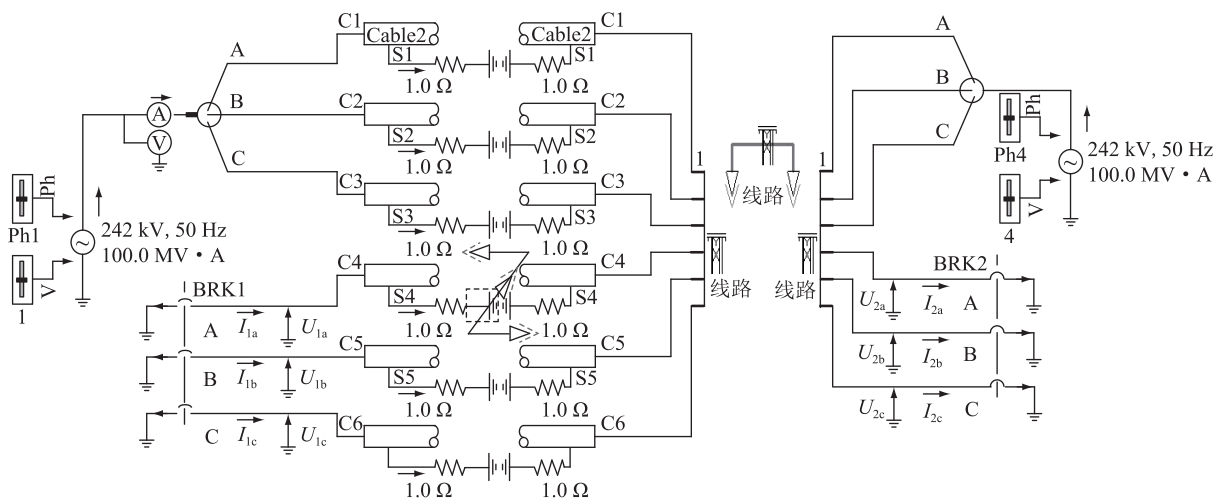


图2 电缆-架空线混合线路仿真模型

Fig.2 Simulation model of cable-overhead hybrid line

1.5 m 则采用电缆护套交叉互联两端直接接地方式敷设。电缆为  $2\ 500\ \text{mm}^2$  截面单芯电缆,采用沟槽敷设方式。每回电缆竖一字型排列,相间距为 0.35 m。两回电缆之间平行排列,水平相间距为 0.7 m。各回电缆从上至下相序依次为 A 相,B 相,C 相。架空线路采用  $2\times 630\ \text{mm}^2$  截面分裂导线。采用典型尺寸的双回路杆塔,杆塔的相关尺寸参数如表 1 所示,其中水平距离为相对杆塔中心线。该截面线路输送限额约为 700 MW,在计算中保证运行线路输送功率达到限额时再读取检修线路上感应电压或电流数值。

表 1 220 kV 双回路杆塔参数  
Table 1 Parameters of 220 kV double circuit tower

线路相序	水平距离	竖直距离	弧垂
A	-5.2	46.03	15
B	-6.9	39.63	15
C	-5.9	33.53	15
a	5.2	46.03	15
b	6.9	39.63	15
c	5.9	33.53	15
地线 1	-7.7	53.5	12
地线 2	7.7	53.5	12

## 2.2 线路长度占比的影响

由于架空线和电缆线路阻抗参数的差异,电力电缆-架空线混合线路中,电缆段长度占总线路长度的比例会影响检修线路上感应电压和感应电流的数值。为研究线路长度占比的影响,在仿真中搭建一条总长度为 9 km 的电缆-架空线混合双回线路。改变电缆段在其中所占长度比例,计算相应容性感应电压和感性感应电流数值。在模型中设置地刀接地电阻为  $1\ \Omega$ 。电缆护套采用交叉互联两端直接接地方式。计算结果如图 3 所示,其中电压、电流值均为峰值。

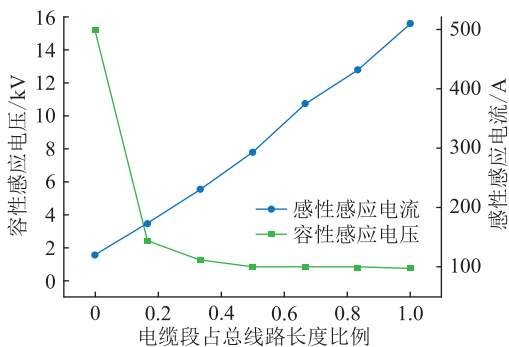


图 3 检修线路中感应电压和电流与线路占比关系  
Fig.3 The relationship between induced voltage, current and the proportion of cable length

纯架空线线路,检修回路上容性感应电压最大,感性感应电流最小。随着电缆段在整条线路中长度占比的提升,检修回路上感性感应电流近似正比例增加。而容性感应电压随着线路中引入电缆段骤减。根据电缆段和架空线段线路阻抗矩阵可得,电缆自电容远大于架空线,而电缆的金属护套屏蔽了外界电场,电缆线芯之间互电容为 0。由式(3)可知,一条线路中引入电缆段,使得公式分母数值大幅度增加,而分子数值减小。因此在电缆-架空线混合线路中检修回路上容性感应电压小于纯架空线路。各回电缆敷设间距远小于杆塔上各回架空线架设间距,金属导线之间互感大小与相对距离成反比例关系,因此电缆线路之间互感一般大于架空线路。由式(4)可知,一条线路中电缆段长度占比越多,感性感应电流数值越大,即呈现图 3 中感性感应电流随电缆段长度占比增加而增大的趋势。

根据式(3),当线路为纯电缆段时,容性感应电压约等于零。仿真结果不为零是因为在仿真中没有忽略感应电压的电磁感应分量,即图中纯电缆线路检修回路上感应电压 0.767 kV 是受运行线路电流影响的电磁感应分量。

## 2.3 护套接地方式的影响

电缆金属护套不同的接地方式会对工频电流产生不同的屏蔽效果从而影响感性感应电流的数值。选取混合线路中电缆长度为 1.5 km,架空线路为 7.5 km 的线路进行研究。电缆段护套设置 3 种不同接地方式:单端直接接地,双端直接接地以及分 3 段交叉互联并且两端接地。感应电流计算结果如表 2 所示。可知检修线路上产生的感性感应电流在单端接地时最大,交叉互联时略小一些,双端接地时最小。感应电流变化幅度最大约为 4%。

表 2 护套接地方式对感应电流的影响  
Table 2 Influence of sheath grounding mode on induced current

护套接地方式	感应电流 / A
单端接地	175
双端接地	168
交叉互联	173

在仿真中依次记录各种方式下检修回路各相护套上电流:单端接地时,护套中电流约为 0;双端接地时,护套中电流约为 101 A;交叉互联两端接地时,护套中电流约为 17 A。从护套电磁屏蔽角度进行分析:运行线路在检修线路芯中产生感应电流,当护套两端接地时,护套与大地、检修线路芯构成回路,运行线路在护套和大地构成的回路中感

应出磁链,产生感应电动势及感应电流,此电流与检修线路芯中的感应电流方向相同,相互抵消。但护套阻抗远大于线芯阻抗,护套中起抵消作用的感应电流较小。而交叉互联两端接地时护套中电流由于相位叠加几乎被抵消,所以对线芯电磁屏蔽作用大大削弱。护套单端接地时,检修线路护套中电流近似为0,不具备任何屏蔽效果<sup>[19-22]</sup>。

无论哪种接地方式,护套对检修线路上感性感应电流影响幅度均不大。

### 2.4 地刀等效接地电阻的影响

检修线路两端接地刀闸均闭合时,金属导线与大地构成回路,地刀会在回路中引入接地电阻。该阻值在一定程度上会影响感性感应电流的大小。在仿真模型中,通过设置接地刀闸阻值的大小来模拟实际中地刀引入接地电阻的不同。每侧刀闸引入的接地电阻值依次设置为0.005 Ω,0.1 Ω,0.5 Ω,1 Ω,2 Ω。分别计算相应条件下检修回路上感性感应电流值,计算结果如图4所示。

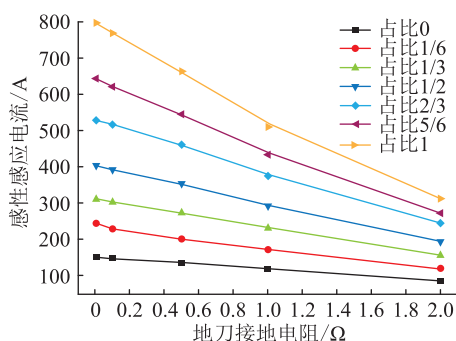


图4 感应电流随地刀接地电阻变化规律

Fig.4 Law of induced current changing with grounding resistance of grounding switch

混合线路检修回路上感性感应电流随地刀接地电阻的增大而减小。对于纯架空线线路,感性感应电流随地刀接地电阻变化,呈近似线性关系,而纯电缆线路,感性感应电流随地刀接地电阻的增大呈非线性递减趋势,减小的斜率逐渐变小。将图4中各曲线均近似为线性递减,从纯架空线线路到纯电缆线路,各类型线路感性感应电流随地刀接地电阻变化率依次为:-33 A/Ω,-63 A/Ω,-77 A/Ω,-105 A/Ω,-143 A/Ω,-186 A/Ω,-244 A/Ω。

根据式(4)分析得,地刀接地电阻  $R$  的引入,相当于增加了公式分母的数值,即使得感性感应电流流经回路的电阻增大,导致计算结果变小。加入地刀接地电阻的感性感应电流计算公式如下:

$$I \approx - [ (jM_{oAa}l + jM_{cAa}x)I_A + (jM_{oBa}l + jM_{cBa}x)I_B + (jM_{oCa}l + jM_{cCa}x)I_C ] / (2R + jL_0l + jL_cx) \quad (5)$$

随着地刀接地电阻的增大,检修线路上产生感

性感应电流减小的同时,线路两端的感性感应电压略有增加。当两侧地刀均闭合时,对于纯架空线线路,地刀电阻由0.005 Ω增加至2 Ω,两端感性感应电压由0.75 V增加至170 V,而纯电缆线路两端感性感应电压由4 V增加至620 V,计算结果见表3。

表3 接地电阻对感性感应电压的影响

Table 3 Influence of grounding resistance on inductive voltage

线路类型	感性感应电压				
	0.005 Ω	0.1 Ω	0.5 Ω	1 Ω	2 Ω
纯架空线	0.75	9	43	85	170
纯电缆	4	33	157	311	620

### 3 结论

文中针对同沟双回路电缆和同塔双回路架空线混合线路,计算研究了影响检修线路上容性感应电压和感性感应电流大小的因素。首先根据导线间静电感应和电磁感应机理推导出了混合线路容性感应电压和感性感应电流计算公式。并通过仿真计算得出以下结论:

(1) 混合线路中电缆段占比越多,容性感应电压越小,感性感应电流越大。纯架空线路容性感应电压最大,感性感应电流最小。

(2) 电缆护套单端接地时,检修线路上感应电流最大,交叉互联两端接地次之,双端接地时感应电流最小。但护套接地方式对于检修线路上感应电流总体影响幅度较小。

(3) 检修线路两侧地刀等效接地电阻的大小影响线路中感性感应电流值,接地电阻越大,感应电流越小。但接地电阻的增大也会使得线路两端感应电压略有抬升。

本阶段研究只计算了一种电缆空间排布的工况,为得出普适性结论指导工程计算,需进一步研究不同电缆空间排布、相序等因素对混合线路感应电压、电流的影响。

#### 参考文献:

[1] 张怿宁,方苏,国建宝. 架空-海缆混合高压输电线路自适应重合闸方案的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(16):115-121.  
ZHANG Yining, FANG Su, GUO Jianbao. Research on adaptive reclosing scheme for overhead-submarine hybrid high-voltage transmission line [J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(16):115-121.

[2] 吴倩,薄鑫,吴杨勇,等. 220 kV 同塔双回路线路感应电压电流影响因素敏感性分析[J]. 电工电气, 2019(11):11-16.  
WU Qian, BO Xin, WU Yangyong, et al. Sensitivity analysis on

- influence factors of induced voltage and current of 220 kV double-circuit transmission lines on the same tower[J]. *Electrotechnics Electric*, 2019(11):11-16.
- [3] 张瑞. 500 kV 同塔双回线路感应电压和感应电流的仿真分析[J]. *计算技术与自动化*, 2019, 38(3):48-54.  
ZHANG Rui. Simulation analysis of induced voltage and current for 500 kV double circuit line[J]. *Computing Technology and Automation*, 2019, 38(3):48-54.
- [4] 李兴, 李洛, 李鑫. 基于 EMT-ATP 的 330 kV 全线同塔双回线路感应电压及感应电流计算建模[J]. *电工技术*, 2019(17):10-11.  
LI Xing, LI Luo, LI Xin. Computing modeling of induced voltage and induced current for 330 kV double-circuit lines on the same tower based on EMT-ATP[J]. *Electric Engineering*, 2019(17):10-11.
- [5] 伍弘, 张利花, 何宁辉, 等. 架空线路交叉穿越对超高压线下感应电压的影响研究[J]. *智慧电力*, 2019, 47(7):104-110.  
WU Hong, ZHANG Lihua, HE Ninghui, et al. Influence of overhead line crossing on induced voltage under UHV transmission line[J]. *Smart Power*, 2019, 47(7):104-110.
- [6] 马爱清, 袁雪元. 降低地线感应电压方法及绝缘间隙电压分析[J]. *电瓷避雷器*, 2018(2):48-53.  
MA Aiqing, YUAN Xueyuan. Analysis on voltage of insulation gap and methods to reduce induced voltage for ground wires[J]. *Insulators and Surge Arresters*, 2018(2):48-53.
- [7] 潘俊文, 罗日成, 吴东. 500 kV 同塔双回输电线路下平行排列油气管道上的感应电压和感应电流仿真分析[J]. *高压电器*, 2017, 53(10):209-214.  
PAN Junwen, LUO Richeng, WU Dong. Simulation analysis for induced voltage and induced current in the oil & gas pipeline parallel under 500 kV AC double-circuit transmission lines on same tower[J]. *High Voltage Apparatus*, 2017, 53(10):209-214.
- [8] 牛浩然, 谭杰, 周杰, 等. 同塔六回输电线路感应电压与感应电流的计算分析[J]. *电力学报*, 2019, 34(2):123-129.  
NIU Haoran, TAN Jie, ZHOU Jie, et al. Calculation and analysis of induced voltage and current in six-circuit on one tower[J]. *Journal of Electric Power*, 2019, 34(2):123-129.
- [9] 史志强, 邹德华, 俞乾, 等. 750 kV 同塔双回输电线路感应电压和电流的研究[J]. *高压电器*, 2018, 54(8):120-126, 132.  
SHI Zhiqiang, ZOU Dehua, YU Qian, et al. Study on the induced voltage and current on the 750 kV double circuit transmission line on the same tower[J]. *High Voltage Apparatus*, 2018, 54(8):120-126, 132.
- [10] 于开坤. 同塔线路中单回线路长度对感应电压、感应电流的影响研究[J]. *电力系统装备*, 2019(16):228-229.  
YU Kaikun. Study on the influence of the length of single circuit line on the induced voltage and induced current in the same tower line[J]. *Electric Power System Equipment*, 2019(16):228-229.
- [11] 师宝安, 李倩. 500 kV 同塔四回输电线路的感应电压和感应电流[J]. *电力建设*, 2012, 33(9):31-34.  
SHI Baoan, LI Qian. Induced voltage and current of transmission line of 500 kV quadruple-circuit in one tower[J]. *Electric Power Construction*, 2012, 33(9):31-34.
- [12] 赵鹏, 陈铮铮, 胡凯, 等. 交直流电缆混合敷设的基频电磁感应特性计算与分析[J]. *高电压技术*, 2020, 46(2):576-585.  
ZHAO Peng, CHEN Zhengzheng, HU Kai, et al. Calculation and analysis of the fundamental frequency electromagnetic induction of hybrid laying AC and DC cables[J]. *High Voltage Engineering*, 2020, 46(2):576-585.
- [13] 季明丽. 基于 EMT-ATP 的埋地电力电缆的雷电感应过电压分析[J]. *电瓷避雷器*, 2017(2):39-43.  
JI Mingli. Analysis of lightning induced overvoltage in buried power cables based on EMT-ATP[J]. *Insulators and Surge Arresters*, 2017(2):39-43.
- [14] 陈科技, 齐炜. 混合排列方式对双回路 XLPE 电缆护层环流的影响[J]. *高电压技术*, 2018, 44(11):3736-3742.  
CHEN Keji, QI Wei. Effect of mixed arrangement on current in sheaths of two-circuit arranged XLPE cables[J]. *High Voltage Engineering*, 2018, 44(11):3736-3742.
- [15] 谭壹方. 基于有限元的高速铁路馈线电缆护层感应电压及环流分析[D]. 成都:西南交通大学, 2015.  
TAN Yifang. High-speed rail feeder cable sheath induced voltage and circulation based on finite element analysis[D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University, 2015.
- [16] 王雅芳. XLPE 电力电缆接地系统与感应环流分析[D]. 杭州:浙江大学, 2012.  
WANG Yafang. Analysis of grounding induced circulating current of XLPE power cable[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2012.
- [17] 朱宁西, 杨帆, 刘刚. 高压电缆金属护套多点接地情况下的环流模型及参数计算[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(10):15-23, 49.  
ZHU Ningxi, YANG Fan, LIU Gang. Sheath currents model and parameter calculation method on high voltage cable sheath multipoint grounding[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2018, 46(10):15-23, 49.
- [18] 刘科, 张亮平, 温晓舫. 同通道敷设多回单芯电缆金属护套感应电压与环流计算模型研究[J]. *四川电力技术*, 2016, 39(1):23-25, 72.  
LIU Ke, ZHANG Liangping, WEN Xiaofang. Research on calculation model of induced voltage and circulating current in metallic sheaths of multiloop single-core cable laying in the same cable channel[J]. *Sichuan Electric Power Technology*, 2016, 39(1):23-25, 72.
- [19] 葛小宁, 庞福滨, 嵇建飞, 等. 采用六相输电技术优化双回高压输电线路电磁环境的研究[J]. *电力工程技术*, 2019, 38(1):1-5.  
GE Xiaoning, PANG Fubin, JI Jianfei, et al. Improving the electromagnetic environment of a double-circuit high-voltage transmission line using the six-phased technology[J]. *Electric Power Construction*, 2019, 38(1):1-5.

Power Engineering Technology, 2019, 38(1):1-5.

[20] 潘伟,王浩,童斌,等. 高压电缆接地电流的计算及其影响因素分析[J]. 电力工程技术, 2019, 38(2):147-151.  
PAN Wei, WANG Hao, TONG Bin, et al. Calculation and analysis of grounding current and its influence factors of high-voltage power cables[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(2):147-151.

[21] 曹京荣,查显光,陈杰,等. 220 kV 电缆线路终端故障及仿真分析[J]. 电力工程技术, 2018, 37(6):151-155.  
CAO Jingying, ZHA Xianguang, CHEN Jie, et al. Terminal fault and simulation analysis of 220 kV cable line[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(6):151-155.

[22] 姚金霞,郭志红,朱振华,等. 500 kV 同塔双回线路感应电压,电流的研究[J]. 华北电力技术, 2006(1):23-25,28.

YAO Jinxia, GUO Zhihong, ZHU Zhenhua, et al. Research on inductive voltage and inductive current of 500 kV double-circuit transmission line[J]. North China Electric Power, 2006(1):23-25,28.

作者简介:



汪惟源

汪惟源(1975),男,硕士,高级工程师,从事电网规划研究、电网项目前期管理工作;  
程锦闽(1984),男,硕士,高级工程师,从事电网规划研究、电网项目前期管理工作;  
孙义(1994),男,硕士,工程师,从事系统规划、过电压计算相关工作。

### Calculation of induced voltage and induced current of double circuit cable-overhead hybrid line

WANG Weiyuan<sup>1</sup>, CHENG Jinmin<sup>1</sup>, SUN Yi<sup>2</sup>, LIU Jinghui<sup>2</sup>, BAO Aixia<sup>2</sup>, SHI Dajun<sup>2</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China;

2. East China Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** The calculation of the induced voltage and current of the double circuit cable-overhead hybrid line is the key to the selection of the grounding switch during the maintenance. The metal sheath of the cable has the function of electrostatic shielding on the wire core, and has different electromagnetic shielding effect on the wire core according to the different grounding mode of the sheath. Therefore, the calculation of induced voltage and current between the cable circuits is different from that of overhead lines. The electromagnetic induction of the operation line to the maintenance line is studied for the typical 220 kV double circuit cable-overhead hybrid line. Firstly, according to the electromagnetic coupling, the calculation formula of the induced voltage and current of the hybrid line is derived. Secondly, the simulation model is built to analyze the influence of the length proportion of the cable section on the induced voltage and current, the influence of the three grounding modes of the cable sheath (single terminal grounding, double terminal grounding and cross interconnection terminal grounding on the induced current), and the influence of the equivalent grounding resistance of the grounding switch on the induced current. The results can provide a theoretical reference for the selection of grounding switches in hybrid line.

**Keywords:** hybrid line; induced voltage; induced current; grounding switch; sheath grounding mode

(编辑 方晶)