

# 特高压双回路 GIL 感应电压电流计算分析

孙义, 刘景晖, 徐逸清, 史大军

(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:** 气体绝缘线路(GIL)回路间电磁感应关系不同于架空导线, 线路中存在 GIL 将会影响感应电压、电流的计算结果, 从而影响线路地刀的选型。文中以同塔双回架空线和 GIL 混合特高压线路为例, 研究回路间电磁感应的计算。首先对 GIL 进行电气参数计算, 并理论推导混合线路感应电压、电流计算公式; 其次利用 EMTP-ATP 仿真验证理论分析结果, 分别仿真研究了 GIL 在母线位置、在线路中间以及不含 GIL 3 种工况下的感应电压、电流变化规律, 并分析了 GIL 在线路中间时感应电流大幅度增加的原因; 最后研究了 GIL 在线路中长度占比的不同对感应电压、电流的影响。研究结果可为含 GIL 的混合线路地刀选型提供理论计算参考。

**关键词:** 特高压气体绝缘线路(GIL); 感应电压; 感应电流; 接地刀闸; 选型; 同塔双回线路

中图分类号: TM726

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2021)05-0171-06

## 0 引言

气体绝缘线路(gas insulated line, GIL)是一种气体绝缘金属封闭式输电线路, 其载流能力强, 损耗低, 敷设受地形限制小。随着电网发展和网架建设, 越来越多超特高压 GIL 应用于输电线路中, 例如苏通 GIL、白鹤滩水电站 GIL 等。以特高压同塔双回架空线-双回 GIL 混合输电线路为例, 线路中一回正常运行, 另一回检修时, 导线间存在电磁场耦合, 耦合产生的感应电压和感应电流是工程设计中接地刀闸选型的重要依据。GIL 两侧具有引接站, 站内额外配置了接地刀闸, 即含 GIL 的输电通道中单回线路使用了 4 把接地刀闸。而 GIL 回路间电磁感应关系与架空线路间不同, 因此需研究含 GIL 混合线路回路间电磁感应关系, 从而为 GIL 引接站以及架空线路两侧接地刀闸的选型提供理论依据。

目前国内外学者针对同塔多回架空线路感应电压和感应电流已展开大量计算研究<sup>[1]</sup>。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原因, 而电磁感应是导致感性感应电流产生的主要因素<sup>[2-4]</sup>。对于同塔多回线路, 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<sup>[5-6]</sup>。感性感应电流和输送功率成正比, 与线路长度无关<sup>[7-8]</sup>。目前针对 GIL 电磁感应关系的研究主要集中于 GIL 本身的结构<sup>[9-11]</sup>。GIL 具有金属外壳, 具备电场屏蔽作用, 因此 GIL 相间完全容性解耦<sup>[12-13]</sup>。由于 GIL 外壳尺寸设计特

殊, GIL 外壳电阻很小且感应有与导杆幅值相同、相位相反的电流, 因此对外界具有较好的磁场屏蔽作用<sup>[14-16]</sup>。现阶段对 GIL 设备本体电磁感应的研究已较为全面, 但针对 GIL 在实际输电线路的应用研究较少, 而未来将会有更多 GIL 应用在输电线路中。为指导含 GIL 混合输电线路地刀的选型, 亟需开展相关电磁感应研究。

文中基于含 GIL 的特高压同塔双回架空线路进行了感应电压、电流的理论计算和公式推导。并建模仿真研究了 GIL 在线路中不同位置、不同长度占比对感应电压、电流的影响。

## 1 GIL 电气参数

GIL 在结构上类似于单芯电力电缆。区别在于, GIL 的导杆为环形导体, 主绝缘为 SF<sub>6</sub> 气体, 外壳相当于非铠装电缆的金属护层, 无护层绝缘<sup>[17]</sup>。单回水平一字排列的 GIL 结构如图 1 所示。

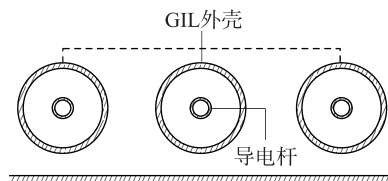


图 1 水平一字排列 GIL 结构

Fig.1 Structure of horizontal line up GIL

将 GIL 外壳也视为导体, 则 GIL 组成的输电线路由 6 根导体和大地构成, 6 根导体互相平行并与地面平行, 大地可作为回流的通路。利用卡松-克莱姆电磁波理论, 用 6 个平行的“导体-大地”回路代替三相系统<sup>[15-16]</sup>。

根据式(1)可求得单回 GIL 阻抗矩阵, 经换算可得电阻、电感矩阵。

收稿日期: 2021-03-13; 修回日期: 2021-05-27

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)

$$\begin{cases} z_{ii} = r_i + \pi^2 \times 10^{-4} f + j(4\pi) \times 10^{-4} f \ln \frac{D_{CA}}{G_{MR}} \\ z_{ij} = \pi^2 \times 10^{-4} f + j(4\pi) \times 10^{-4} f \ln \frac{D_{CA}}{d_{ij}} \end{cases} \quad (1)$$

式中： $z_{ii}$ 为导体*i*自阻抗； $z_{ij}$ 为导体*i*和导体*j*互阻抗，且*i*=1,2,3, *j*=1,2,3, *i*≠*j*； $r_i$ 为导体*i*单位长度电阻值，可计及导体的集肤效应和邻近效应； $f$ 为频率； $D_{CA}$ 为卡松深度； $G_{MR}$ 为导体几何平均半径； $d_{ij}$ 为导体*i*和导体*j*的中心距。

GIL 导杆和外壳之间电容为  $C_{cs}$ ，而外壳不仅与大地之间存在自电容  $C_{sis}$ ，还与其他相的外壳之间存在互电容  $C_{sij}$ ，如图 2 所示。

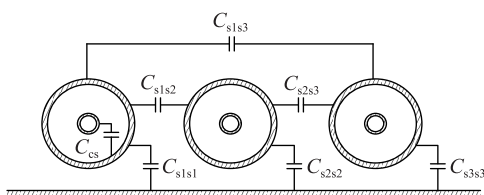


图 2 GIL 导杆外壳电容网络

Fig.2 Capacitance network of GIL core and shell

由于外壳均接地，导电杆除了与本相的外壳存在电容外，与其他相的外壳、导电杆均无静电联系，各相外壳起到静电屏蔽作用。因此三相 GIL 电容矩阵如式(2)所示。其中负号仅表示导杆与外壳之间互电容的含义，没有实际物理意义。根据同轴电缆电容计算公式(3)可得  $C_{cs}$ 。根据式(4)利用镜像法计算自电位系数和互电位系数，计算得到的电位系数构成电位矩阵后，对矩阵求逆便可得到外壳的电容矩阵，代入 GIL 电容矩阵即可计算得到 GIL 电容参数<sup>[18-20]</sup>。

$$C = \begin{bmatrix} C_{cs} & 0 & 0 & -C_{cs} & 0 & 0 \\ 0 & C_{cs} & 0 & 0 & -C_{cs} & 0 \\ 0 & 0 & C_{cs} & 0 & 0 & -C_{cs} \\ -C_{cs} & 0 & 0 & C_{cs} + C_{s1s1} & C_{s1s2} & C_{s1s3} \\ 0 & -C_{cs} & 0 & C_{s2s1} & C_{cs} + C_{s2s2} & C_{s2s3} \\ 0 & 0 & -C_{cs} & C_{s3s1} & C_{s3s2} & C_{cs} + C_{s3s3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C_{cs} = 2\pi\epsilon \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \alpha_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2h}{r_i} \\ \alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{4h^2 + d_{ij}^2}}{d_{ij}} \end{cases} \quad (4)$$

式中： $\alpha_{ii}$ 为导体*i*自电位系数； $\alpha_{ij}$ 为导体*i*和导体*j*互电位系数； $\epsilon$ 为介电常数； $r_1$ 为导电杆外半径； $r_2$

为外壳内半径； $h$ 为 GIL 中心与地平面的距离。

## 2 含 GIL 线路感应电压和电流计算

GIL 外壳截面很大，单位长度截面电阻很低，因此在外壳上感应的电流与对应的相电流几乎等幅，但方向相反<sup>[13-14]</sup>。在 GIL 外部一定位置，由导杆和外壳上电流产生的磁场基本可以抵消，因此 GIL 相间基本感性解耦。GIL 外壳每隔一段距离会紧固互联，且外壳接地，金属外壳有静电屏蔽的效果，因此 GIL 相间容性解耦。

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>[3-6]</sup>。以检修线路 A 相为例，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：

$$U_1 \approx U_2 \approx \frac{C_{oAa}U_A + C_{oBa}U_B + C_{oCa}U_C}{C_{oAa} + C_{oBa} + C_{oCa} + C_{oa}} \quad (5)$$

式中： $U_1, U_2$ 分别为线路首段、末端的电压； $U_A, U_B, U_C$ 为三相电压； $C_{oAa}, C_{oBa}, C_{oCa}$ 为单位长度线路间分布电容； $C_{oa}$ 为 A 相单位长度对地电容。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为：

$$I_1 \approx I_2 \approx - \frac{M_{oAa}I_A + M_{oBa}I_B + M_{oCa}I_C}{L_o} \quad (6)$$

式中： $I_1, I_2$ 分别为线路首段、末端电流； $I_A, I_B, I_C$ 分别为三相电流； $M_{oAa}, M_{oBa}, M_{oCa}$ 为单位长度线路间的互感； $L_o$ 为架空线单位长度自感。

当架空线路中存在 GIL 时，由于 GIL 相间近似完全解耦，即 GIL 相间不存在静电和电磁感应。因此含 GIL 的双回线路感应电压和感应电流计算如下：

$$U_1 \approx U_2 \approx \frac{C_{oAa}lU_A + C_{oBa}lU_B + C_{oCa}lU_C}{C_{oAa}l + C_{oBa}l + C_{oCa}l + C_{oa}l + C_{ga}x} \quad (7)$$

$$I_1 \approx I_2 \approx - \frac{M_{oAa}lI_A + M_{oBa}lI_B + M_{oCa}lI_C}{L_o l + L_g x} \quad (8)$$

式中： $x$ 为 GIL 段长度； $l$ 为架空线段长度； $L_g$ 为 GIL 单位长度自感； $C_{ga}$ 为 GIL 单位长度对地电容。

## 3 特高压 GIL 电磁耦合仿真分析

### 3.1 特高压线路模型

利用 EMTP-ATP 进行仿真建模计算。线路由

300 km 架空线路和 6 km GIL 组成,分别考虑 GIL 布置在变电站母线位置(右侧母线)、线路中间位置以及不布置 GIL 纯架空线路 3 种情况,线路示意图如图 3 所示。300 km 同塔双回架空线路完成一次完整换位。当 GIL 在线路中间时,GIL 两侧为引接站,站内各回线路均配置有接地刀闸,架空线路两侧也均配置有接地刀闸。因此 GIL 在线路中间时,检修的一回线路上共需要动作 4 把地刀,如图 3(a)所示。当 GIL 在变电站母线位置,接地刀闸由于位置重合减少 1 把,即共 3 把地刀,如图 3(b)所示。而对于全架空线路,在线路两侧共有 2 把地刀,如图 3(c)所示。

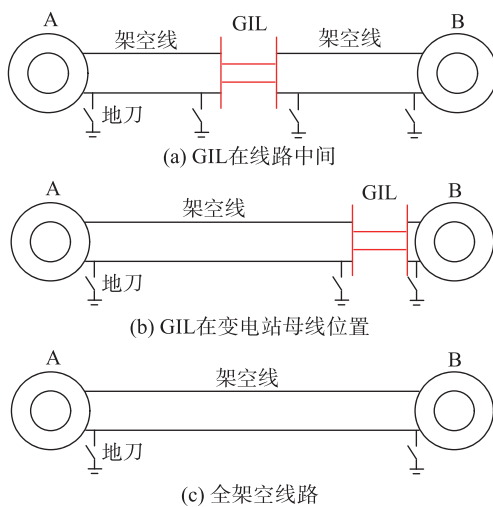


图 3 线路模型示意

Fig.3 Schematic diagram of line model

架空线路采用  $8 \times 630 \text{ mm}^2$  截面分裂导线,特高压杆塔挂线相关参数如表 1 所示,其中水平距离为相对杆塔中心线距离,竖直距离已扣除绝缘子串长度。该线路单回最大输送能力约 10 500 MW。GIL 空间布置如图 4 所示,GIL 导杆的内径、外径分别为 85 mm, 100 mm; 外壳内径、外径分别为 420 mm, 430 mm。

表 1 特高压双回杆塔挂线参数

Table 1 Hanging parameters of UHV double circuit tower

线路相序	水平距离	竖直距离	弧垂	m
A	-20.2	87.2		
B	-20.8	66.9		
C	-22.0	47.0		
a	20.2	87.2		10.4
b	20.8	66.9		
c	22.0	47.0		
地线 a	-17.3	103.3		
地线 b	17.3	103.3		6.2

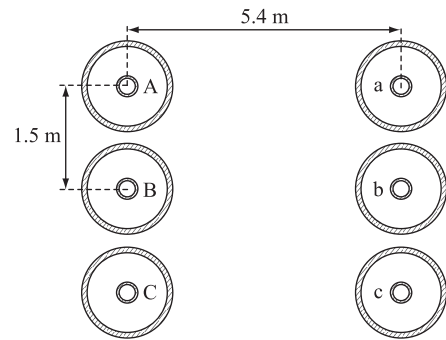


图 4 GIL 空间布置示意

Fig.4 Schematic diagram of GIL space layout

### 3.2 GIL 位置的影响

计算检修线路感应电压、电流时,考虑运行线路满载运行,即线路潮流达 10 500 MW。分别计算 GIL 在变电站母线位置、GIL 在线路中间以及无 GIL 线路 3 种情况下的感应电压、电流。容性感应电压以及感性感应电流计算结果如表 2 所示,分别记录了线路侧以及 GIL 侧最大的感应电压或电流值。

表 2 特高压线路感应电压和电流  
Table 2 Induced voltage and current of UHV transmission line

工况	容性感应电压/kV		感性感应电流/A	
	线路侧	GIL 侧	线路侧	GIL 侧
GIL 在边侧	52.8	52.0	239.7	237.6
GIL 在中部	54.5	45.3	309.8	307.9
无 GIL	64.2		240.4	

根据结果可得,当线路中存在 GIL 时,容性感应电压降低了约 17%。GIL 在边侧和 GIL 在中部时,容性感应电压变化不大,变化幅度约为 3%。GIL 单位长度电容值较于架空线更大,此算例中约大 3 倍,由式(7)可得,GIL 的加入使得分母电容值增加,对于分子部分容性感应分量没有贡献,因此存在 GIL 的线路相较于纯架空线路容性感应电压略低。

比较各工况感性感应电流,GIL 在边侧相较于无 GIL 工况其感应电流略低约 0.3%。GIL 单位长度电感值较架空线更小,此算例中约为 0.4 倍,根据式(8)分析,GIL 的加入使得分母电感值略有增加,而分子感性感应分量没有变化,因此 GIL 的存在会略微降低感应电流。

GIL 在中部感性感应电流增大幅度较大,从表面上看不符合式(8)分析原理,因此针对 GIL 在中部情况开展详细计算分析。从左至右依次以“合分合合”表示地刀动作情况,即线路两侧地刀闭合,GIL 左侧地刀打开,右侧地刀闭合。不同开关状态部分计算结果如表 3 所示。当地刀状态为“合分分

合”时,GIL 两侧地刀打开,架空线两侧地刀闭合,该工况感应电流值约 236.5 A,略低于无 GIL 工况结果,与 GIL 在边侧结果近似。而当 GIL 两侧地刀有闭合动作时,感应电流计算结果有较大幅度增加。

表 3 GIL 位于中部时感应电流  
Table 3 Induced current result of GIL in the middle A

开关状态	线路左侧	GIL 左侧	GIL 右侧	线路右侧
合合合合	306.2	307.6	291.4	292.1
合合合分	309.8	304.1	18.4	0.0
合合分分	309.8	301.3	0.0	0.0
合分合合	301.3	0.0	297.0	292.1
合分分合	236.5	0.0	0.0	236.4
分合合分	0.0	15.0	12.6	0.0

此现象由架空线路换位结构引起,以“合分合分”工况为例进行说明。如图 5(a)所示,算例中架空线路完成一次完整换位(50 km-100 km-(100 km+6 km)-50 km),由于 GIL 长度较短,在设计换位时忽略了其长度,目前苏州—泰州特高压通道(含苏通 GIL 段)与该换位方式类似;而如图 5(b)所示,GIL 在线路中间相当于一个节点,两侧的架空线路各完成一次完整换位(25 km-50 km-50 km-25 km)。对于图 5(a)的线路,当 GIL 右侧地刀和架空线左侧地刀闭合时,即“合分合分”工况。感应电流流经 I、II 段线路,由于 I、II 段线路并未构成完整换位,线路中感应电流不平衡度较大,感应电流约为 301.3 A。而对于图 5(b)的线路,GIL 两侧线路均为对称换位结构,“合分合分”工况感应电流约为 238.5 A,感应电流较大幅度降低。综上得出算例中 GIL 在中间位置感应电流较大幅度增加是由于架空线路不完全换位,而非 GIL 本身的影响。当 GIL 两侧线路完全换位时,感应电流变化规律符合式(8)。

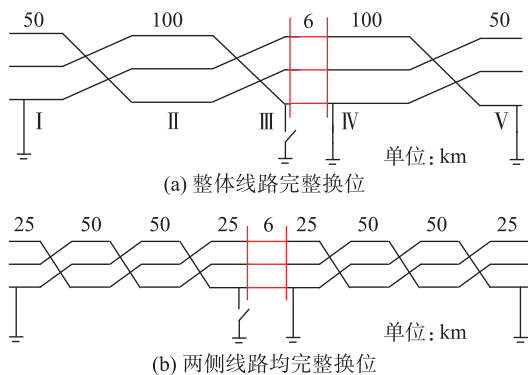


图 5 GIL 在线路中间位置示意

Fig.5 Schematic diagram of GIL in the middle of the line

### 3.3 GIL 占比的影响

以 GIL 在变电站母线侧工况为例,分别计算

GIL 长度为 6 km,18 km,36 km,54 km,72 km,即在整条线路中长度占比为 2%,5.7%,10.7%,15.3%,19.4%时运行线路对检修线路感应电压和感应电流影响情况。

计算中控制运行线路输送功率保持一致。感应电压、电流计算结果变化趋势如图 6 所示。根据计算结果可得感应电压和感应电流随 GIL 在线路中占比的增加而递减。GIL 在线路中长度占比增加约 10%,检修线路上感应电压降低约 8.3%,而感应电流降低约 4.4%。由于算例中 GIL 单位长度电容大于架空线而电感小于架空线,感应电压随占比增加的降低幅度高于感应电流的降低幅度,其变化趋势与理论分析基本一致。

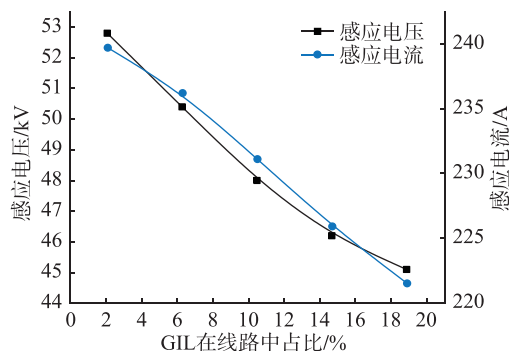


图 6 感应电压电流随占比变化情况

Fig.6 Variation of induced voltage and current with duty ratio

## 4 结论

文中对含 GIL 的特高压同塔双回架空线路开展了感应电压、电流计算研究,得出 GIL 的存在、安装位置以及长度占比对感应电压电流的影响。主要结论如下:

(1) GIL 设备本体相间几乎完全解耦,GIL 回路间几乎不提供电磁感应。当 GIL 应用在变电站母线出口位置时,相较于全架空线路,运行线路对检修线路上产生的感应电压和电流均略有减小。此类情况混合线路地刀的选型基本与全架空线路相同。

(2) GIL 在线路中间位置时,感应电流相较于 GIL 在变电站母线位置有较大幅度增加。这是因为整条架空线路完成一次完整换位,GIL 一侧线路并未构成完整换位。除架空线两侧地刀闭合外,GIL 两侧地刀闭合时,感应电流流经的回路没有完整换位,具有较大不平衡度,导致幅值增加。此类情况地刀选型将区别于全架空线路,工程设计中需重点计算。

(3) 特高压同塔双回架空线路中存在 GIL 时相

较于同等工况纯架空线路,其感应电压和感应电流更低。GIL 在线路中长度占比越大,降低幅度越大,且感应电压降低幅度大于感应电流降低幅度。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李兴,李洛,李鑫. 基于 EMTP-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 EMTP-ATP [J]. Electric Engineering,2019(17):10-11.
- [3] 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.
- [4] 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]. 电学学报,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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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 Engineering Technology,2019,38(1):1-5.
- [9] 罗遥,陈柏超,丁江峰. 关于气体绝缘传输线(GIL)的磁场屏蔽[J]. 电工电能新技术,2010,29(3):49-53.  
LUO Yao,CHEN Baichao,DING Jiangfeng. Magnetic shielding of gas-insulated transmission lines (GIL) [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy,2010,29(3):49-53.
- [10] 刘泽洪,王承玉,路书军,等. 苏通综合管廊工程特高压 GIL 关键技术要求[J]. 电网技术,2020,44(6):2377-2385.  
LIU Zehong,WANG Chengyu,LU Shujun,et al. Key technical parameters of UHV GIL in sutong utility tunnel project [J]. Power System Technology,2020,44(6):2377-2385.
- [11] 徐国政,关永刚. GIS 和 GIL 外壳环流及损耗的简化分析和估算[J]. 高电压技术,2009,35(2):247-249.  
XU Guozheng,GUAN Yonggang. Simplified analysis and calculation on circulating current and power loss in enclosure of GIS and GIL [J]. High Voltage Engineering,2009,35(2):247-249.
- [12] 王玉龙,徐渊,赵青春,等. 双回路 GIL 感应电流快速释放装置控制策略研究[J]. 电力工程技术,2020,39(4):127-133.  
WANG Yulong,XU Yuan,ZHAO Qingchun,et al. Control strategy of inductive current rapid release device for GIL with double-circuit lines [J]. Electric Power Engineering Technology,2020,39(4):127-133.
- [13] 汤亮亮,蔡炜,王琼芳,等. GIL 管廊接地系统环流特性及影响因素[J]. 高电压技术,2020,46(6):2098-2105.  
TANG Liangliang,CAI Wei,WANG Qiongfang,et al. Circulation characteristics and influencing factors of GIL grounding system [J]. High Voltage Engineering,2020,46(6):2098-2105.
- [14] 王亚楠,丁卫东,苟杨,等. 气体绝缘金属封闭输电线路(GIL)接地问题探讨[J]. 高压电器,2016,52(4):98-102.  
WANG Yanan,DING Weidong,GOU Yang,et al. Discussion of the grounding method of gas insulated transmission line [J]. High Voltage Apparatus,2016,52(4):98-102.
- [15] 王通德,王晓琪,万方华,等. 高压交流 GIL 的设计与应用[J]. 高压电器,2014,50(10):107-111.  
WANG Tongde,WANG Xiaoqi,WAN Fanghua,et al. Design and application of high voltage AC GIL [J]. High Voltage Apparatus,2014,50(10):107-111.
- [16] 何洁,崔博源,王浩,等. 特高压 GIL 技术综合标准化研究[J]. 中国电力,2019,52(7):78-83.  
HE Jie,CUI Boyuan,WANG Hao,et al. Research on integrated standardization of the UHV GIL technology [J]. Electric Power,2019,52(7):78-83.
- [17] 刘兆林. IEC/IEEE 关于 GIL 标准的差异及对我国应用的影响[J]. 高压电器,2019,55(10):232-236.  
LIU Zhaolin. Difference between IEC and IEEE standards about GIL and the influence on their applications in China [J]. High Voltage Apparatus,2019,55(10):232-236.

[18] 吴倩,薄鑫,吴杨勇,等. 220 kV 同塔双回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.

[19] 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.

[20] 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.

作者简介:



孙义

孙义(1994),男,硕士,科员,从事电力系统规划工作(E-mail:3130@ecepti.com);

刘景晖(1987),男,硕士,科员,从事电力系统规划工作;

徐逸清(1987),男,硕士,副主任工程师,从事电力系统规划工作。

## Calculation of induced voltage and current of UHV double loop GIL

SUN Yi, LIU Jinghui, XU Yiqing, SHI Dajun

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

**Abstract:** The electromagnetic induction relationship among gas insulated line (GIL) circuits is different from overhead conductors. The existence of GIL in the line affects the calculation results of induced voltage and current, thus impacting the selection of line grounding knife. The double-circuit overhead line on the same tower and the GIL hybrid UHV line are taken as examples to study the calculation of electromagnetic induction between loops. Firstly, the electrical parameters of GIL are calculated. The calculation formula of relationship between induced voltage and current of transmission line with GIL is analyzed theoretically. Secondly, the theoretical analysis results are verified by EMTP-ATP simulation, and the induced voltage and current change law of the GIL in the busbar position, in the middle of the line and without GIL are simulated separately, and the reason for the large magnitude of induced current when the GIL is in the middle of the line is analyzed. Finally, the influence of difference length proportion of GIL in line on the induced voltage and current is studied. The research results provide a theoretical calculation reference for the selection of ground switches on mixed lines with GIL.

**Keywords:** ultra high voltage gas insulated line (GIL); induced voltage; induced current; grounding switch; selection; double-circuit transmission line

(编辑 方晶)