

引用格式:束云豪,苏正华,候姝斌,等.基于串联谐振电路的感应电弧抑制接地装置研究[J].电力科学与技术学报,2026,41(1):289-297.

Citation: SHU Yunhao, SU Zhenghua, HOU Shubin, et al. Grounding device with induced arc suppression function based on series resonant circuit [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2026, 41(1): 289-297.

# 基于串联谐振电路的感应电弧抑制接地装置研究

束云豪<sup>1</sup>, 苏正华<sup>1</sup>, 候姝斌<sup>1</sup>, 钱语涵<sup>1</sup>, 申震佳<sup>2</sup>, 公 铮<sup>2</sup>

(1. 国网常州供电公司, 江苏 常州 213000; 2. 中国矿业大学电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:**在强电磁感应环境下,同塔双回线路中的停运线路会产生感应电压和感应电流,人工挂设接地线时产生的电弧会严重影响设备安全运行。提出一种具备感应电弧抑制功能的接地装置,该装置基于串联谐振电路实现了对普通接地装置的改进。首先,从理论上推导了同塔双回线路感应电的计算公式,分析了串联谐振型电弧抑制接地装置的工作原理,介绍了装置的动作时序;其次,针对该拓扑结构,分析了各部件的作用及参数设计方法;最后,通过在 ATP-EMTP 中搭建 220 kV 同塔双回线路仿真模型,验证了所提串联谐振型接地装置在感应电弧抑制方面的有效性。

**关 键 词:**感应电;电弧抑制;接地装置;串联谐振

DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2026.01.027 中图分类号: TM723 文章编号: 1673-9140(2026)01-0289-09

## Grounding device with induced arc suppression function based on series resonant circuit

SHU Yunhao<sup>1</sup>, SU Zhenghua<sup>1</sup>, HOU Shubin<sup>1</sup>, QIAN Yuhan<sup>1</sup>, SHEN Zhenjia<sup>2</sup>, GONG Zheng<sup>2</sup>

(1. State Grid Changzhou Power Supply Company, Changzhou 213000, China; 2. School of Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** In a strong electromagnetic induction environment, the outage line in the double-circuit line on the same tower will produce induced voltage and induced current. The arc generated when the ground wire is manually installed will seriously affect the safe operation of the equipment. Therefore, this paper proposes a grounding device with induced arc suppression function, which improves the ordinary grounding device by utilizing a series resonant circuit. Firstly, the calculation formula of induced electricity of the double-circuit line on the same tower is deduced theoretically. The working principle of the series resonant grounding device with arc suppression function is analyzed, and the action sequence of the device is introduced. Then, according to the topology, the function of each component and the parameter design method are analyzed. Finally, a simulation model of 220 kV double-circuit line on the same tower is built in ATP-EMTP, which verifies the effectiveness of the proposed series resonant grounding device in induced arc suppression.

**Key words:** induced electricity; arc suppression; grounding device; series resonant

随着中国电力负荷的快速增长,大量 220 kV 及以上网架的加强工程稳步实施,架空线路“交叉跨越”现象进一步凸显,线路普遍处于高负荷运行状态,致使单回线路停运检修时,传统相邻带电线路配停方案不再适用<sup>[1]</sup>。在单回线路停运闭合接地刀

闸过程中,若出现接地刀闸故障,须手动挂接地线以确保线路有效接地。由于架空线路排布紧密,运行线路通过静电及电磁耦合作用在停运线路上产生感应电压或感应电流<sup>[2-3]</sup>,当进行人工挂接地线操作时,导线端线夹处会产生瞬时大电弧,严重威

收稿日期:2024-11-07;修回日期:2025-03-10

基金项目:国网江苏省电力有限公司常州供电分公司项目(SGJSCZ00KJJS2401130)

通信作者:公 铮(1990—),男,博士,副教授,主要从事电力电子变换与控制研究;E-mail: zgo@cumt.edu.cn

作业人员及相关设备的安全。因此,如何有效抑制挂接瞬间电弧,对保证工作人员安全与降低设备损坏风险具有重要意义,但同时也对作业人员装设接地线的设备、时间、角度等提出了更高的技术要求<sup>[4-10]</sup>。

实现电弧抑制的关键在于如何有效降低电流的变化率,目前常采用故障限流器来抑制激增的故障电流。文献[11]设计了一种串联谐振限流装置,详细分析了保护装置的换流过程,但存在电容器回路的过流冲击问题。文献[12]通过引入双分裂电抗器改变电容器旁路的方法,改进了串联谐振型限流器拓扑的结构,但成本增高,装置体积庞大。文献[13]设计了一种利用整流电容电流自然换流的新型短路电流限制器,投入运行后可有效提高母线电压稳定性,改善限流效果。文献[14]提出了一种新型快速断路器,通过引入智能控制系统,利用串联在线路中的电流互感器变化信息,对快速断路器发出命令,有效避免故障期间由于短路电流的增大而引起的电力系统失稳。文献[15]提出了一种泄能型故障限流器,能够加快短路电流暂态分量的衰减,有效抑制短路电流的零点漂移现象。

上述研究中的限流器大都串联在电路中,用于系统中发生短路故障时的电流抑制,无法作为接地装置使用,因此针对具备电弧抑制功能的感应电接地装置的研究较少。文献[16]综述了目前电力系统接地技术的现状,指出须根据现场土壤湿度、接地电阻大小设计合理的接地装置,以降低故障率。工程中有借助外围开关的灭弧功能和所属刀闸实现接地的设计,但会导致停电范围扩大<sup>[17]</sup>。文献[18]针对330 kV超高压输电线路绝缘架空地线,设计了一种专用串接大电阻、带有硬质轻型绝缘杆、可灵活调节接地状态的新型接地装置。文献[19]设计了一款具备检测感应电流功能的经消弧开关接地的装置,有效转移电弧至开关断口,避免了转移电弧对导线和线夹的损伤。上述接地装置仅在传统接线方式的基础上,通过增设辅助装置或添加单一结构进行升级。文献[20]基于检修过程中可能存在的接地刀闸故障情况,提出一种运用限流电抗器的接地线切换系统作为接地刀闸应急替代装置,但并未对装置内部器件参数进行详细的设计说明。

因此,目前面向感应电弧抑制装置的设计并不成熟,存在拓扑设计复杂、参数整定困难等问题。针对上述情况,本文首先分析了基于分布参数的同塔双回线路感应电特性,推导了不同位置感应电压

与感应电流的表达式;其次,提出一种串联谐振型感应电接地灭弧装置,该装置可以防止内部电容器在接地装置挂接瞬间因过压而损坏,利用晶闸管控制限流电感接入放电回路中以降低故障电流的变化率,从而起到抑制电弧的作用,并且待电弧熄灭后实现停运线路的直接可靠接地;再次,通过分析放电回路的特性,确定装置内各参数的设计方法;最后,在ATP-EMTP中搭建220 kV同塔双回线路仿真模型,验证了所提装置的有效性。

## 1 感应电理论分析

在220 kV同塔双回架空输电线路中,当对其中一回线路进行停运检修时,由于停运线路与正常运行线路间存在静电耦合和电磁耦合作用,停运检修线路上会产生感应电势。本文根据检修回路接地状态分为以下3种工况。

1) 工况1:检修线路两端均不接地,线路产生静电感应电压。

2) 工况2:检修线路两端仅一端有效接地,接地端对应存在静电感应电流,非接地端对应存在电磁感应电压。

3) 工况3:停运检修线路两端均有效接地,线路中存在电磁感应电流<sup>[21]</sup>。

图1展示了同塔双回架空输电线路,以停运线路一相为例,A、B、C代表正常运行的三相线路,a、b、c代表停运检修的三相线路; $C_{Aa}$ 、 $C_{Ba}$ 、 $C_{Ca}$ 分别为单位长度下运行线路对线路a相的相间电容; $M_{Aa}$ 、 $M_{Ba}$ 、 $M_{Ca}$ 分别为单位长度下运行线路与检修线路a相的相间互感; $C_{a0}$ 为单位长度下检修线路a相对地的电容; $M_{a0}$ 为单位长度下检修线路a相对地电感。

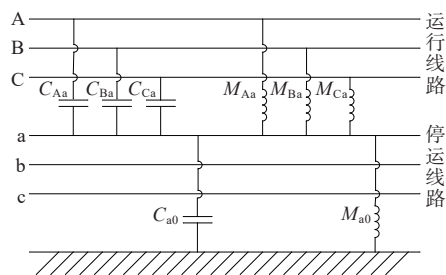


图1 同塔双回架空输电线路

Figure 1 Schematic diagram of overhead double-circuit line on the same tower

为了便于计算,本文忽略线路电阻、停运线路另外两相的感应电压、电流对a相的二次感应以及正常线路对地的电容对感应电压、电流的影响。

根据线路分布参数特性,列出停运检修线路单位长度上的感应电压  $U$ 、感应电流  $I$  的计算方程<sup>[22-23]</sup>:

$$-\frac{\partial U}{\partial l} \approx j\omega M_{a0} I_a + j\omega M_{Aa} I_A + j\omega M_{Ba} I_B + j\omega M_{Ca} I_C \quad (1)$$

$$-\frac{\partial I}{\partial l} \approx j\omega C_{a0} U_a + j\omega C_{Aa} (U_a - U_A) + j\omega C_{Ba} (U_a - U_B) + j\omega C_{Ca} (U_a - U_C) \quad (2)$$

式中,  $U_A, U_B, U_C$  分别为正常运行线路的三相电压;  $I_A, I_B, I_C$  分别为正常运行线路的三相电流;  $U_a$  为停运线路 a 相的相电压;  $I_a$  为流过停运线路 a 相的电流;  $\omega$  为角频率;  $l$  为线路长度。

运行线路三相电压与电流相位相差  $120^\circ$ , 则停运线路首末两端感应电压、感应电流分别为

$$U_2 = U_1 \cos \gamma l + (\alpha/\gamma^2) U_A (1 - \cos \gamma l) - j I_1 Z_c \sin \gamma l - j (M/M_{a0}) Z_c I_A \sin \gamma \quad (3)$$

$$I_2 = I_1 \cos \gamma l + j (\alpha/\gamma^2 Z_c) U_A \sin \gamma l - j (U_1/Z_c) \sin \gamma l - (M/M_{a0}) I_A (1 - \cos \gamma l) \quad (4)$$

式中,  $U_1, I_1$  分别为停运线路首端感应电压、电流;  $U_2, I_2$  分别为停运线路末端感应电压、电流;  $\alpha$  为等效电容,  $\gamma$  为线路传播参数,  $Z_c$  为线路波阻抗,  $M$  为等效电容, 具体表达式如下:

$$\alpha = -\omega^2 M_{a0} \left[ C_{Aa} + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) C_{Ba} + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) C_{Ca} \right] \quad (5)$$

$$\gamma = j\omega \sqrt{M_{a0} (C_{a0} + C_{Aa} + C_{Ba} + C_{Ca})} \quad (6)$$

$$Z_c = \sqrt{M_{a0} / (C_{a0} + C_{Aa} + C_{Ba} + C_{Ca})} \quad (7)$$

$$M = M_{Aa} - \left( \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) M_{Ba} - \left( \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) M_{Ca} \quad (8)$$

当停运检修线路两端均不接地时, 停运线路首末两端电流  $I_1 = I_2 \approx 0$ , 对常规线路有  $\gamma l \ll 1$ , 可得停运线路首末两端电压如下:

$$U_1 = U_2 \approx \frac{\alpha}{\gamma^2} U_A = \frac{C_{Aa} U_A + C_{Ba} U_B + C_{Ca} U_C}{C_{a0} + C_{Aa} + C_{Ba} + C_{Ca}} \quad (9)$$

此时停运线路产生的电压主要为静电感应电压, 其与线路运行电压成正比, 与回路相间电容和停运回路对地电容的比值相关。

当停运检修线路仅末端接地时, 有  $I_1 = 0, U_2 = 0$ , 此时末端产生静电感应电流  $I_2$ , 首端由于电磁耦合作用产生电磁感应电压  $U_1$ :

$$I_2 \approx |j\omega l (C_{Aa} U_A + C_{Ba} U_B + C_{Ca} U_C)| \quad (10)$$

$$U_1 \approx |j\omega l (L_{Aa} I_A + L_{Ba} I_B + L_{Ca} I_C)| \quad (11)$$

当停运检修线路两端均有效接地时, 停运线路首末两端电压  $U_1 = U_2 \approx 0$ , 可得停运线路首末两端电流如下:

$$I_1 = I_2 \approx -(M_{Aa} I_A + M_{Ba} I_B + M_{Ca} I_C) / M_{a0} \quad (12)$$

此时停运线路产生的电流主要为电磁感应电流, 其与停运回路自感成反比, 与线路输送功率及回路间互感有关。

## 2 具有电弧抑制功能的接地装置

### 2.1 串联谐振型接地装置拓扑结构

本文所提出的具有电弧抑制功能的接地装置拓扑结构如图 2 所示。限流电感  $L$  和电容器  $C$  构成串联谐振支路, 金属氧化物避雷器 (metal oxide varistor, MOV) 与电容器  $C$  并联构成过压保护支路, 反并联晶闸管阀组与阻尼装置电感  $L_b$  及电阻  $R_b$  串联构成电容器旁路支路, 快速开关  $K$  构成直接接地支路。

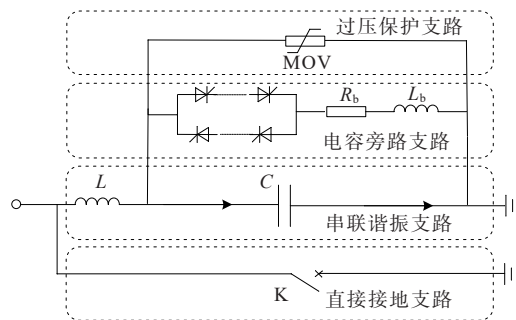


图 2 具有电弧抑制功能的接地装置拓扑结构  
Figure 2 Topology of grounding device with arc suppression function

在图 2 中, 限流电感  $L$  主要用于抑制挂接操作时由停运线路感应电引起的瞬时大电流。电容器  $C$  被用于储存能量, 并为 MOV 导通提供条件<sup>[24]</sup>。MOV 并联在电容器  $C$  两端, 可在出现过电压时迅速导通, 为电流提供旁路通道, 从而有效限制电容器两端的瞬时过电压, 防止电容器  $C$  过压损坏。反并联晶闸管阀组被用于控制限流电感  $L$  串入接地回路, 进而限制接地瞬间电流的变化率, 起到电弧抑制的作用; 反并联晶闸管阀组还可转移流经 MOV 的电流, 防止 MOV 过热损坏<sup>[25]</sup>。  $R_b$  用于减小接地电流峰值,  $L_b$  用于消耗电容上存储的能量, 限制放电电流。快速开关  $K$  在不存在较大电弧危险时可直接进行接地操作。

### 2.2 装置工作原理

接地装置电路状态如图 3 所示,接地装置动作时序图如图 4 所示。

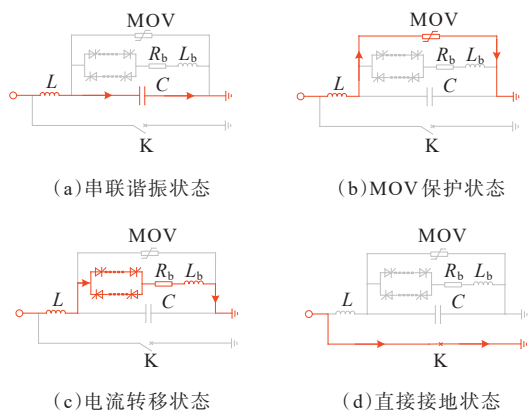


图 3 接地装置电路状态

Figure 3 Circuit status diagram of grounding device

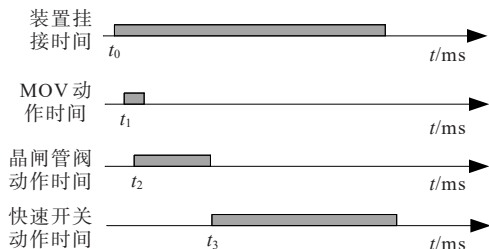


图 4 接地装置动作时序图

Figure 4 Operation sequence diagram of grounding device

具体工作原理如下。

1) 由于停运线路上存在巨大的感应电压,接地装置挂接到停运线路的瞬间,将会在装置上产生瞬时过电压。接地初始, $L$ 和 $C$ 处于串联谐振状态, $C$ 储存能量,其两端电压 $U_c$ 急剧上升。

2) 若 $U_c$ 过大,达到并联在 $C$ 两端的MOV启动电压时,MOV呈低阻状态, $C$ 被旁路,可有效抑制装置挂接操作时产生的瞬时过电压。此时接地装置 $L$ 和 $C$ 的谐振状态被打破, $L$ 直接作用于接地回路,抑制流经装置的电流。

3) 在挂接装置后,延迟 3 ms 触发反并联晶闸管阀组。若MOV导通,则MOV支路中电流转移至晶闸管支路,避免MOV长时间导通,能量积累过量,造成MOV过热危险;若 $C$ 两端电压未达到MOV开通条件,MOV呈高阻状态,则由晶闸管支路直接旁路 $C$ 。 $L_b$ 与 $R_b$ 用于进一步释放 $C$ 中存储的能量,衰减支路电流,达到在接地装置挂接时防弧的目的。

4) 最后,闭合快速开关 $K$ ,装置切换至直接接地支路,完成整个停运线路接地装置挂接操作。

### 3 接地装置数学分析模型

接地装置的工作模式按照动作时间主要分为谐振工作模式与限流工作模式。

瞬时挂接状态下,装置处于谐振工作模式,电路主要由电容 $C$ 、电感 $L$ 以及装置内线路等效电阻 $R_0$ 组成,装置等效电路如图 5 所示。

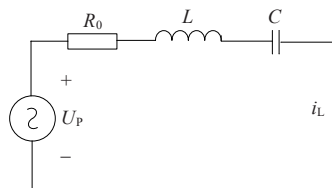


图 5 谐振状态等效电路

Figure 5 Equivalent circuit diagram for resonant state

根据基尔霍夫电压定律得:

$$R_0 i_L + L \frac{di_L}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i_L dt = \dot{U}_p \quad (13)$$

式中, $\dot{U}_p$ 为瞬时挂接状态下等效电源电压。

此时,由于 $LC$ 处于谐振状态, $L$ 与 $C$ 数值满足:

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} \quad (14)$$

当晶闸管触发导通后,电流转移到反并联晶闸管支路,装置进入限流工作模式,此时电路主要由装置内线路等效电阻 $R_0$ 、主支路电感 $L$ 及反并联晶闸管支路电感 $L_b$ 、电阻 $R_b$ 组成。限流状态等效电路如图 6 所示。

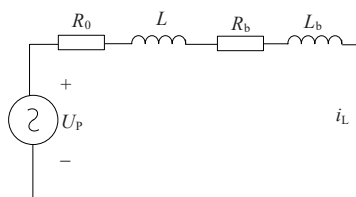


图 6 限流状态等效电路

Figure 6 Equivalent circuit diagram for current limiting state

根据电路定理有:

$$(R_0 + R_b) i_L + (L + L_b) \frac{di_L}{dt} = \dot{U}_p \quad (15)$$

由上述电路定理可知,在限流状态下,流经装置内的电流主要由装置内电阻与电感决定。其中,装置内线路等效电阻 $R_0$ 较小,装置电阻主要由反并联晶闸管支路电阻 $R_b$ 决定。而主支路电感 $L$ 在串联谐振状态下影响着电容 $C$ 两端电压,进而影响过压保护支路的动作。因此,电感 $L$ 不宜过小,装置电感主要由主支路电感 $L$ 决定。

## 4 仿真分析

### 4.1 仿真条件

本文在 ATP-EMTP 中搭建同塔双回线路系统仿真模型,对接地装置的有效性进行验证。该系统电压等级为 220 kV,路径长 15.17 km,导线采用 6×LGJ-630/45 双分裂钢芯铝绞线,地线逐基接地。设正常运行线路起始端电压为 242 kV,运行线路的电流为 330 A。其中一回线路正常运行,另一回线路停运检修,停电回路不同接地方式下沿线感应电压最大值如表 1 所示<sup>[26-28]</sup>。

表 1 停电回路不同接地方式下沿线感应电压最大值  
Table 1 Maximum value of induced voltage along outage circuit for different grounding methods

接地方式	感应电压有效值最大值/V		
	A 相	B 相	C 相
两端均不接地	11 012.89	2957.48	10 766.14
单端接地(左端接地)	89.96	60.32	129.46
单端接地(右端接地)	89.05	60.23	129.85
两端接地	8.06	16.71	23.28

本文以 A 相为例,分别研究了 3 种接地方式下,在感应电压最大点处挂接地线后流经线路的电流,如图 7 所示。

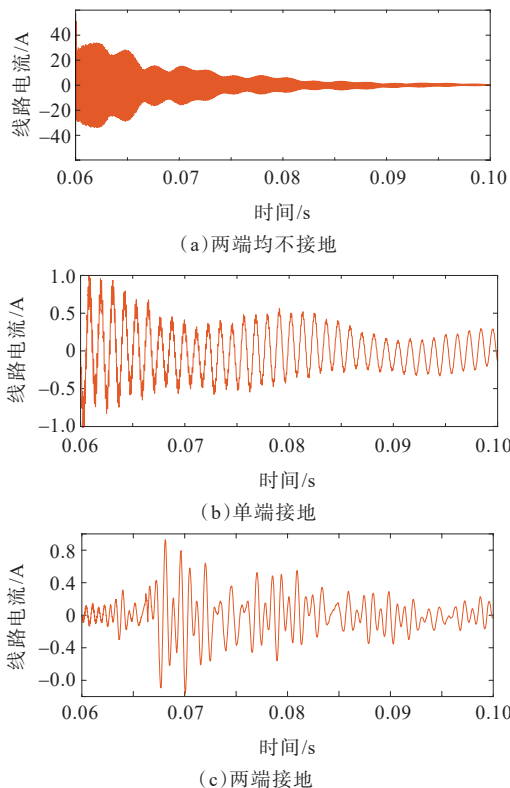


图 7 在感应电压最大点挂接地线时流经线路电流  
Figure 7 Line current when ground wire is installed at the point of maximum induced voltage

由图 7 可知,感应电压的大小与挂接地线产生的瞬时电流值呈正相关,感应电压越大,则瞬时电流值越大,产生电弧的可能性越高,危险性越强。因此,应重点关注在感应电压较大处,挂接停运检修线路所需接地装置时的有关工况。

### 4.2 经普通接地线直接接地

传统方式主要通过直接挂接地线将线路强制为地电位。在仿真模型中,设置在  $t=0.060$  s 时接地线接入停运线路,流经线路电流如图 8 所示。在接地瞬间,接地线与停运线路挂接点上产生峰值近 45 A 的电流,之后电流逐渐衰减。在  $t=0.083$  s 时,三相接地线上的电流降至 10 A 以内,在  $t=0.100$  s 时,三相接地线上的电流衰减至 2.5 A 左右。

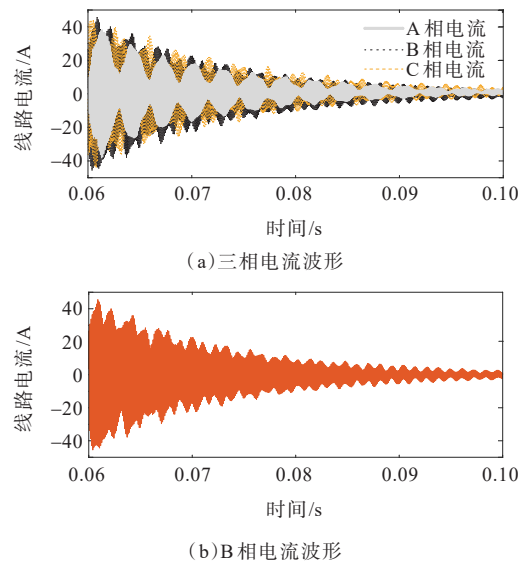


图 8 接地线直接接地方式下流经线路电流  
Figure 8 Line current under direct grounding of ground wire

### 4.3 经本文所提接地装置接地

停运线路采用本文所提接地装置接地,对接地装置线路上电流进行仿真分析。设置装置内电感  $L$  分别为 2、10、20 mH,在  $t=0.06$  s 时挂接至停运线路,3 ms 后反并联晶闸管阀组触发导通,限流电感作用于放电回路,具体仿真结果如图 9 所示。

当接地装置挂接至停运线路的瞬间,接地装置内部流过瞬时大电流,峰值可达 46 A。随着反并联晶闸管阀组的导通,电容被旁路,装置内电流迅速衰减。当  $L$  为 2 mH 时,在  $t=0.065$  s 时,三相接地装置内电流均衰减至 10 A 以内,电流衰减速度较直接挂接地线方式下的内部电流衰减速度大幅提升。在  $t=0.08$  s 时,装置内部电流降至 1 A,进入安全电流范围以内。在  $t=0.063$  s 前,由于装置处于串联

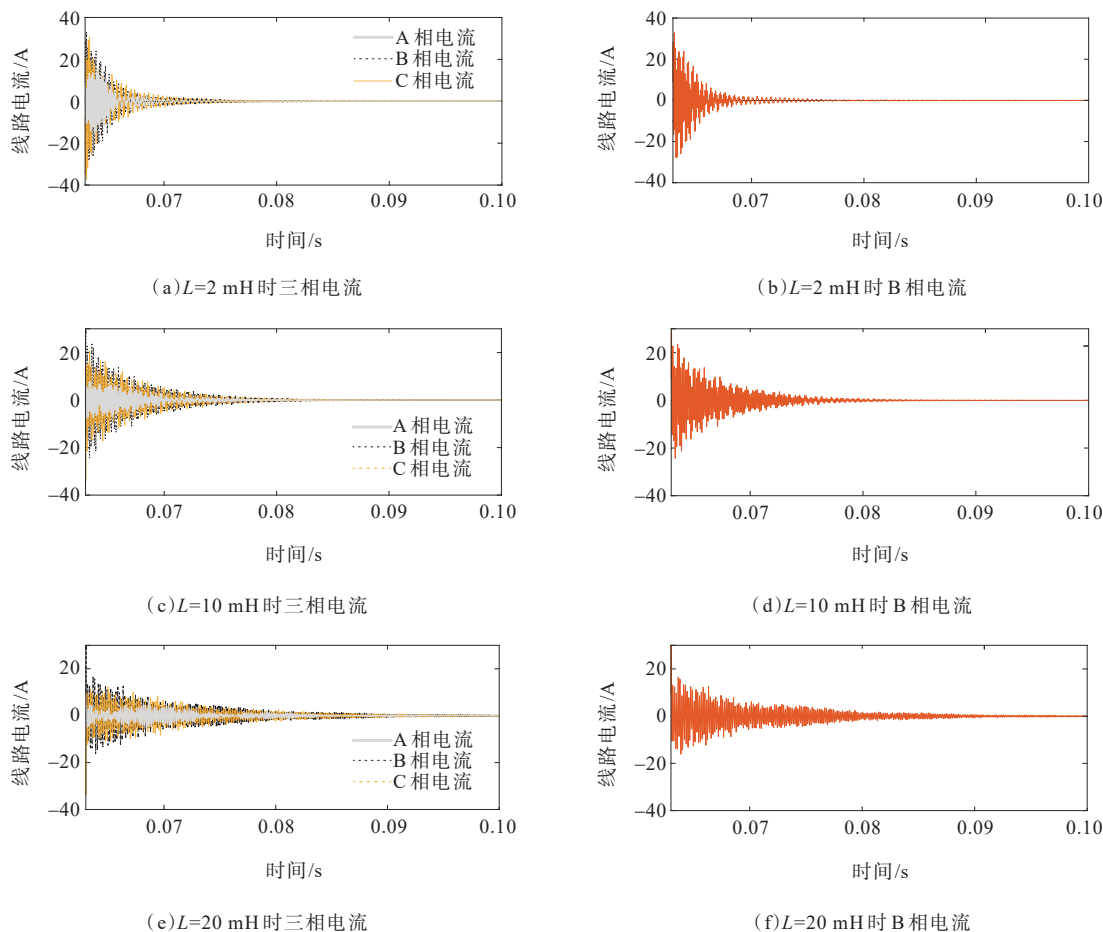


图 9 经接地装置接地方式下流经线路的电流

Figure 9 Line current under grounding device grounding

谐振状态,  $L$  的增加对装置内电流影响较小; 在  $t=0.063\text{ s}$  后, 电容器被旁路,  $L$  开始作用于接地支路, 随着  $L$  的增加, 装置内电流峰值减小, 但电流衰减速度也随之减慢。本文综合考虑装置的便携性与经济性, 将装置的主支路电感  $L$  设置为  $2\text{ mH}$ 。

#### 4.4 与其他限流接地装置进行性能对比分析

目前, 市面上的普通接地装置仅由串联谐振支路与电容旁路支路构成, 既未设过压保护支路, 也未在电容旁路支路中增设电阻  $R_b$ , 致使设备可靠性较弱。搭建仿真观察普通接地装置接地方式下流经线路的电流, 如图 10 所示。由图 10 可知, 电流衰减时间更长, 装置处于危险工况时间更久。

在本文所提接地装置的电容旁路支路中, 设置电阻  $R_b$  分别为  $10、20、40\ \Omega$ , 测量电容旁路支路中的电流, 如图 11 所示。由图 11 可知, 随着  $R_b$  的增加, 电流峰值不断减小, 电流衰减时间不断缩短。本文综合考虑装置的安全性与经济性, 将装置的电阻  $R_b$  设置为  $20\ \Omega$ 。

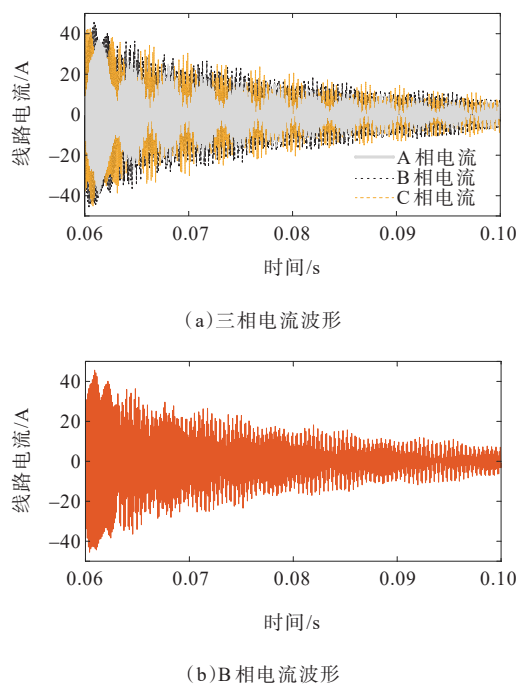


图 10 经普通接地装置接地方式下流经线路的电流

Figure 10 Line current under common grounding device grounding

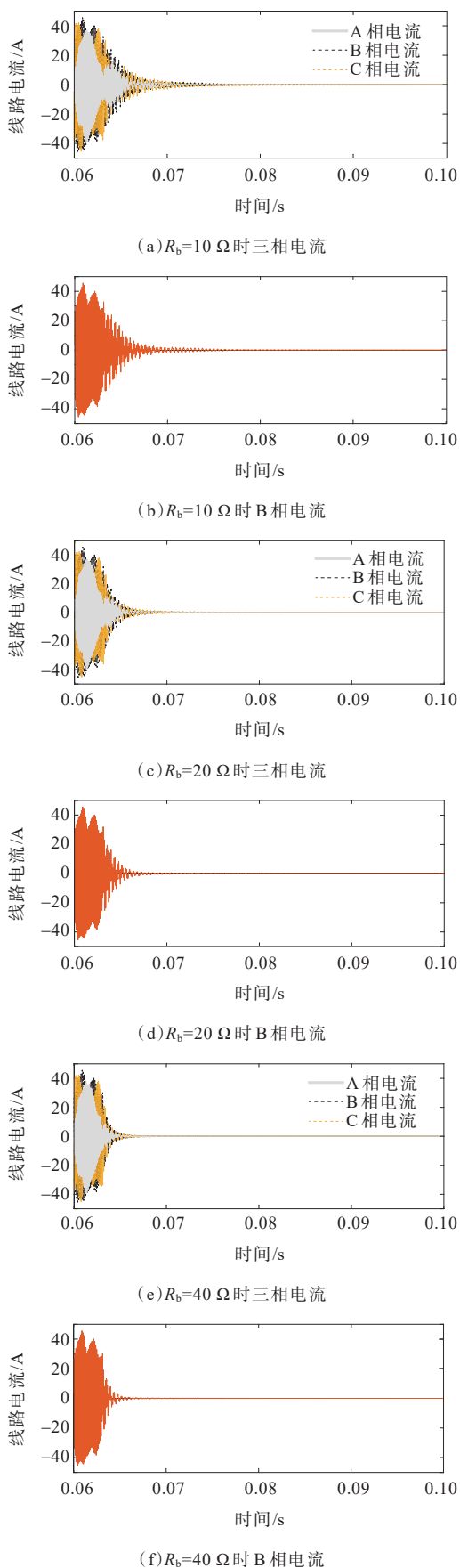


图 11 经接地装置接地方式下流经线路的电流  
 Figure 11 Line current under grounding device grounding

### 4.5 不同位置接地效果验证

为验证接地装置的有效性,在线路左端、中部、右端分别任选一点挂接装置,仿真分析装置内电流的特性。不同挂接位置下流经线路的电流如图 12 所示。

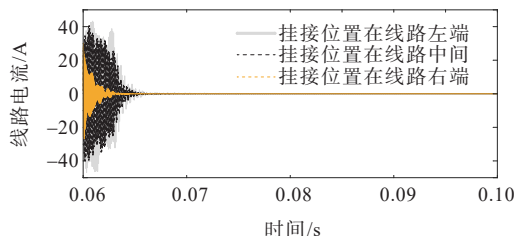


图 12 不同挂接位置下流经线路的电流  
 Figure 12 Line current at different grounding connection positions

由图 12 可知,以停运线路右端接地,挂接线路 B 相为例,在不同的挂接位置,接地装置挂接瞬间产生的瞬时电流值有所差异。靠近停运线路接地端的挂接装置时产生的瞬时电流最大值为 30.20 A;而远离停运线路接地端的挂接装置时产生的瞬时电流最大值为 43.29 A。在 3 个不同位置挂接接地装置,最终流经接地装置的电流均可衰减至 1 A 以内,实现了接地装置的可靠挂接。

## 5 结语

针对同塔双回线路挂接地线时,停运线路存在感应电,导致在挂接过程中可能产生电弧带来安全隐患的问题,本文设计了一种具有感应电弧抑制功能的接地装置:

- 1)详细推导了同塔双回线路感应电压与感应电流的表达式,分析了影响感应电特性的因素;
- 2)所提串联谐振型接地装置通过控制电感接入电路的模式,可以有效抑制挂接操作时流经装置的瞬时大电流,抑制感应电弧,确保接地过程中作业人员的人身安全。

### 参考文献:

[1] 寇磊. 架空输电线路的规划设计和施工研究[J]. 光源与照明, 2022(6): 196-198.  
 KOU Lei. Planning, design and construction research of overhead transmission lines[J]. Lamps & Lighting, 2022 (6): 196-198.

[2] 吴姜,樊飞,肖景良. 220 kV 双回线路同塔占比与感应电流和感应电压的关系研究[J]. 吉林电力, 2017, 45 (1): 13-16+27.

- WU Jiang, FAN Fei, XIAO Jingliang. Research on the relationship of ratio of 220 kV double circuit lines on the same tower and induced current and voltage[J]. *Jilin Electric Power*, 2017, 45(1): 13-16+27.
- [3] 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.
- [4] 马辉, 丁祖善, 赵守强, 等. 新型高压架空输电线路专用接地线的研制[J]. *电力安全技术*, 2015, 17(10): 36-39.
- MA Hui, DING Zushan, ZHAO Shouqiang, et al. The development of special grounding wires for new high-voltage overhead transmission lines[J]. *Electric Safety Technology*, 2015, 17(10): 36-39.
- [5] 史华勃, 丁理杰, 彭施语, 等. 110 kV 同塔双回路感应电压和感应电流对人体的危害研究[J]. *四川电力技术*, 2017, 40(3): 52-55+94.
- SHI Huabo, DING Lijie, PENG Shiyu, et al. Research on harms of induced voltage and induced current of 110 kV double-circuit transmission line on same tower to human body[J]. *Sichuan Electric Power Technology*, 2017, 40(3): 52-55+94.
- [6] 胡伟, 杨帆, 雷杨, 等. 基于电压暂降特征与 Hausdorff 距离算法的串联电弧故障检测方法[J]. *供用电*, 2024, 41(6): 64-74.
- HU Wei, YANG Fan, LEI Yang, et al. Series arc fault detection method based on voltage sag feature and Hausdorff distance algorithm[J]. *Distribution & Utilization*, 2024, 41(6): 64-74.
- [7] 郑峰, 王威东, 刘宝谨, 等. 计及柔性限流装置与直流断路器协同动作的电弧抑制暂态特性研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2024, 52(2): 59-69.
- ZHENG Feng, WANG Weidong, LIU Baojin, et al. Research on transient characteristic of arc suppression considering the joint operation of a flexible current limiting device and a DC circuit breaker[J]. *Power System Protection and Control*, 2024, 52(2): 59-69.
- [8] 王硕, 何柏娜, 程婷, 等. MMC-HVDC 双极故障条件下自适应限流控制策略[J]. *电力工程技术*, 2024, 43(6): 53-63.
- WANG Shuo, HE Baina, CHENG Ting, et al. Adaptive current limiting control strategy for MMC-HVDC under bipolar fault conditions[J]. *Electric Power Engineering Technology*, 2024, 43(6): 53-63.
- [9] 李明, 赵峥, 滕尚甫, 等. 半桥型 MMC 直流侧故障限流设备设计研究[J]. *电网与清洁能源*, 2025, 41(3): 18-26.
- LI Ming, ZHAO Zheng, TENG Shangfu, et al. Research on the design of half-bridge MMC DC side fault current limiting equipment[J]. *Power System and Clean Energy*, 2025, 41(3): 18-26.
- [10] 薛士敏, 李翔宇, 陈文杰, 等. 一种基于修正电压的新型暂态量保护原理[J]. *电力建设*, 2024, 45(4): 89-99.
- XUE Shimin, LI Xiangyu, CHEN Wenjie, et al. Novel transient protection principle based on corrected voltage[J]. *Electric Power Construction*, 2024, 45(4): 89-99.
- [11] 赵永熹, 王华昕. 串联谐振型限流器主电路的设计[J]. *上海电力学院学报*, 2012, 28(5): 443-447.
- ZHAO Yongxi, WANG Huaxin. Research on main circuit of series resonance fault current limiter[J]. *Journal of Shanghai University of Electric Power*, 2012, 28(5): 443-447.
- [12] 张志丰, 肖立业, 邱清泉, 等. 一种改进串联谐振型限流器[J]. *电工技术学报*, 2015, 30(6): 169-177.
- ZHANG Zhifeng, XIAO Liye, QIU Qingquan, et al. An improved series-resonant type fault current limiter[J]. *Transactions of China Electrotechnical Society*, 2015, 30(6): 169-177.
- [13] 魏新劳, 王梦娇, 孙槐. 整流电容电流自然换流型短路故障电流限制器[J]. *电机与控制学报*, 2020, 24(5): 26-33.
- WEI Xinlao, WANG Mengjiao, SUN Huai. Short-circuit fault current limiter based on unforced transition of rectified capacitive current[J]. *Electric Machines and Control*, 2020, 24(5): 26-33.
- [14] 彭寅章, 王海云, 王开科, 等. 新型快速断路器旁路电抗器的限流智能控制系统[J]. *高压电器*, 2021, 57(2): 84-89+96.
- PENG Yinzhang, WANG Haiyun, WANG Kaike, et al. Current-limiting intelligent control system for new fast circuit breaker bypass reactor[J]. *High Voltage Apparatus*, 2021, 57(2): 84-89+96.
- [15] 刘嘉伟, 袁佳歆, 周航, 等. 考虑短路电流暂态分量的高压交流系统短路故障限流器参数设计[J]. *高电压技术*, 2024, 50(8): 3769-3785.
- LIU Jiawei, YUAN Jiaxin, ZHOU Hang, et al. Parameter design of fault current limiter for high voltage AC system considering transient component of short circuit current[J]. *High Voltage Engineering*, 2024, 50(8): 3769-3785.
- [16] 张波, 何金良, 曾嵘. 电力系统接地技术现状及展望[J]. *高电压技术*, 2015, 41(8): 2569-2582.
- ZHANG Bo, HE Jinliang, ZENG Rong. State of art and prospect of grounding technology in power system[J]. *High Voltage Engineering*, 2015, 41(8): 2569-2582.
- [17] 李运旺, 陈俊德, 张大平, 等. 基于 S 变换相关度的配电网单相接地自适应有源消弧法[J]. *电气传动*, 2024, 54(7): 86-92.
- LI Yunwang, CHEN Junde, ZHANG Daping, et al.

- Adaptive active arc suppression method for single phase grounding in distribution network based on S-transform correlation degree[J]. *Electric Drive*, 2024, 54(7): 86-92.
- [18] 伍弘, 杨佳睿, 刘世涛, 等. 330 kV 输电线路绝缘架空地线专用接地装置的设计与实现[J]. *宁夏电力*, 2019(6): 46-51.
- WU Hong, YANG Jiarui, LIU Shitao, et al. Design and implementation of grounding device used to the insulated overhead ground wire of 330 kV transmission line[J]. *Ningxia Electric Power*, 2019(6): 46-51.
- [19] 蒋卫东, 蒋其武, 俞晓辉, 等. 同塔双回特高压输电线路智能化接地线研制[J]. *电气时代*, 2017(12): 95-97.
- JIANG Weidong, JIANG Qiwu, YU Xiaohui, et al. Development of intelligent grounding wire for double-circuit UHV transmission line on the same tower[J]. *Electric Age*, 2017(12): 95-97.
- [20] 张云翔, 王煜, 盛欢, 等. 强感应电环境下 500 kV 变电站接地线防弧装置[J]. *湖南电力*, 2023, 43(2): 85-89.
- ZHANG Yunxiang, WANG Yu, SHENG Huan, et al. Device of earth wire arc preventing in 500 kV substation under strong induced electricity environment[J]. *Hunan Electric Power*, 2023, 43(2): 85-89.
- [21] 徐党国, 李亚美, 黄诗洋, 等. 500 kV/220 kV 同塔混压四回输电线路感应电压及电流的计算与测量分析[J]. *高压电器*, 2025, 61(4): 203-210+218.
- XU Dangguo, LI Yamei, HUANG Shiyang, et al. Calculation and measurement analysis for induced voltage and current of 500 kV/220 kV mixed-voltage four-circuit transmission line on the same tower[J]. 2025, 61(4): 203-210+218.
- [22] 郑云龙, 罗日成, 邹明, 等. 330 kV 同塔双回输电线路下平行运行的 380 V 线路感应电压电流仿真计算[J]. *电力科学与技术学报*, 2021, 36(1): 216-222.
- ZHENG Yunlong, LUO Richeng, ZOU Ming, et al. Induced voltage and current simulation of 380 V line parallel operating under 330 kV double-circuit transmission lines[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2021, 36(1): 216-222.
- [23] 王乐之, 李云阁, 王源, 等. 平行线路感应电压电流的矩阵精确计算[J]. *电网与清洁能源*, 2023, 39(7): 9-16+26.
- WANG Lezhi, LI Yunge, WANG Yuan, et al. Accurate matrix calculation of the induced voltage and current in parallel lines[J]. *Power System and Clean Energy*, 2023, 39(7): 9-16+26.
- [24] 袁帅, 唐宗华, 丁建明, 等. 复合型故障限流器对断路器瞬态恢复电压特性的影响与分析[J]. *电气工程学报*, 2016, 11(9): 15-24.
- YUAN Shuai, TANG Zonghua, DING Jianming, et al. Impact of comprehensive fault current limiter on the transient recovery voltage property of circuit breakers and its analysis[J]. *Journal of Electrical Engineering*, 2016, 11(9): 15-24.
- [25] 赵冬一, 胡淑慧, 李凡, 等. 基于晶闸管保护串联谐振型高压故障限流器用 MOV 工况分析及其关键技术的研究[J]. *电瓷避雷器*, 2017(6): 86-91.
- ZHAO Dongyi, HU Shuhui, LI Fan, et al. Condition analysis and its key technology research of MOA used for the thyristor protection series resonant type high voltage fault current limiter[J]. *Insulators and Surge Arresters*, 2017(6): 86-91.
- [26] 冯瑞发, 蔡汉生, 廖民传, 等. 变电站跳通段雷电过电压特性仿真[J]. *电力科学与技术学报*, 2021, 36(3): 148-156.
- FENG Ruifa, CAI Hansheng, LIAO Minchuan, et al. Simulation study on lightning overvoltage characteristics of equipment in the substation connection section[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2021, 36(3): 148-156.
- [27] 孔佳琦, 夏志坚, 王巨丰, 等. 35 kV 输电线路灭弧间隙的仿真分析与试验[J]. *电力科学与技术学报*, 2022, 37(1): 202-210.
- KONG Jiaqi, XIA Zhijian, WANG Jufeng, et al. Simulation analysis and experimental research on arc-extinguishing gap of 35 kV transmission line[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2022, 37(1): 202-210.
- [28] 姚铮, 杨鑫, 蒋凌峰, 等. 35 kV 架空线路中并联间隙的单相同线安装方式[J]. *电力科学与技术学报*, 2023, 38(3): 241-251.
- YAO Zheng, YANG Xin, JIANG Lingfeng, et al. The single-phase installation mode of parallel gaps in 35 kV overhead lines[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2023, 38(3): 241-251.