

[变电所]

基于电磁影响的10 kV/0.4 kV 室内变电所电流特性分析

文/安亚超^{1, 2} 李志^{1, 2}

1. 中交第二公路勘察设计院有限公司; 2. 武汉中交交通工程有限责任公司

为定量分析变电所电气系统对弱电系统的电磁影响，必须首先确定电气系统正常运行及短路故障电流值。因此通过建立PSCAD仿真模型，模拟10 kV/0.4 kV变压器、电缆及开关设备在正常运行和接地故障下的电流特性，重点分析和计算了中性点不接地系统两相不同点接地故障电流值。

受空间及建设成本限制，变电所与消防控制室等弱电设备间有可能邻近布置，文献[1]第3.4.7条规定“消防控制室不应设置在电磁场干扰较强及其他影响消防控制室设备工作的设备用房附近”；文献[2]第2.0.1条规定“变电所不宜设在对防电磁干扰有较高要求的设备机房的正上方、正下方或与其贴邻的场所，当需要设在上述场所时，应采取防电磁干扰的措施”；文献[3]第23.2.1条规定“智能化系统机房应远离强电磁场干扰场所，当不能避免时，应采取有效的电磁屏蔽措施”。虽然以上规范对强、弱电设备之间布置有定性要求，但无10 kV/0.4 kV变电所与弱电房屋安全间距的直接规定。根据电磁场理论，电力线路与弱电线路在平行接近情况下，有影响电流在弱电线路上产生的纵感应电动势与电力线路电流成正比，因此精确计算电力线路中的正常及故障电流非常必要。

为此，本文通过建立PSCAD仿真模型，对10 kV/0.4 kV室内变电所正常工作电流及故障电流特性进行分析。通过设定元件参数，模拟变压器、电缆及开关设备在正常运行、单相接地故障和两相接地故障下的电流特性，为进一步研究变电所与弱电房屋间距布置提供参考和指导。

10 kV/0.4 kV变配电系统对弱电系统磁场影响的工况分析

参照文献[4]的规定，强电设备及线路对弱电系统的电磁干扰主要应考虑以下工况电流值：正常工作电流；中性点不同接地方式下的故障电流：中性点直接接地或小电阻接地方式下的单相接地短路，中性点不接地或经消弧线圈接地方式下的两相在不同地点同时短路接地及单相接地短路。对于10 kV/0.4 kV室内变电所而言，电力系统故障电流对弱电设备磁场的影响主要包括两种工况：对于10 kV中性点经小电阻接地系统，短路电流较大，一旦单相接地故障就瞬时跳闸；而对于两相短路，由于两线路流过的电流大小相等、方向相反，电力线路产生磁场几乎抵消，会小于单相接地短路；而三相短路时电流虽然很大，但相位在空间对称，因此只需计算单相接地电流。对于中性点不接地系统或经消弧线圈接地系统，单相接地主要是线路电容电流，10 kV系统电流值一般在150 A以下，而两相不同点对地短路则不是电容电流，而是两相对地短路电流，短路电流大幅增加^[5]，因此，中性点不接地系统应计算两相不同点同时接地短路电流。由于0.4 kV系统按规范要求采用TN-S或TN-C-S系统，单

相接地故障时,故障电流通过PE线返回到变压器中性点,故障相电流与PE线电流大小相等、方向相反,低压电力线路产生磁场比高压侧单相接地短路磁场小。因此,原则上低压侧短路电流对弱电系统的磁场影响比高压侧小,变电所同时有高低压系统时,应重点计算高压侧短路电流。

电流特性分析及建模

1. 模型建立

考虑到大部分10 kV/0.4 kV室内变电所电源线都是电缆线路,本文仿真线路采用电缆方式,PSCAD中电缆的模型有三种:Bergeron模型、Frequency Dependent (Mode)模型和Frequency Dependent (Phase)模型。

考虑到电弧的瞬态特性,本文选择Frequency

Dependent (Phase)模型,如图1所示。由于室内变电所电缆长度很短且为埋地敷设引入引出,因此,电缆参数的设置对电流的影响很小可忽略。

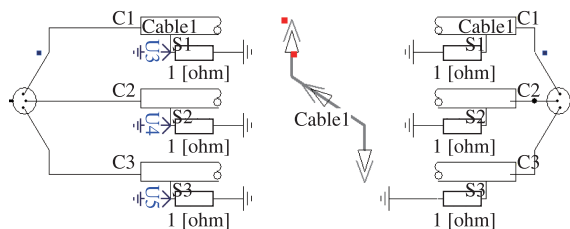


图1 电缆的模型

模型依据典型10 kV/0.4 kV某室内变电所电气主接线图,如图2所示。10 kV系统中性点采取经10 Ω电阻接地方式。

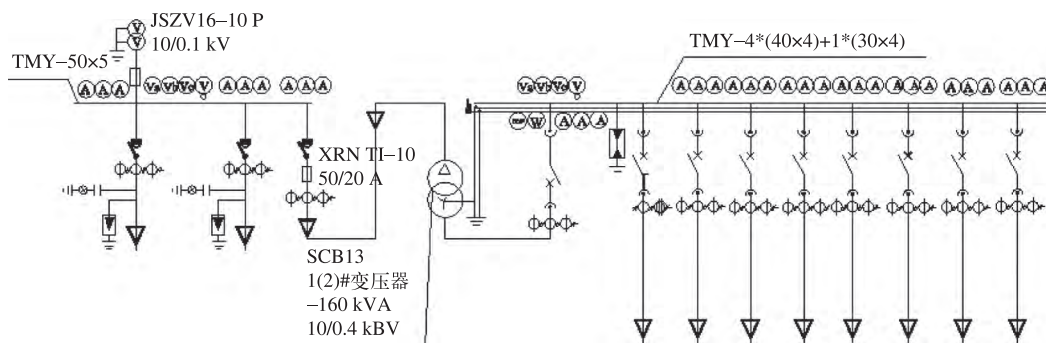


图2 典型10/0.4 kV室内变电所电气主接线

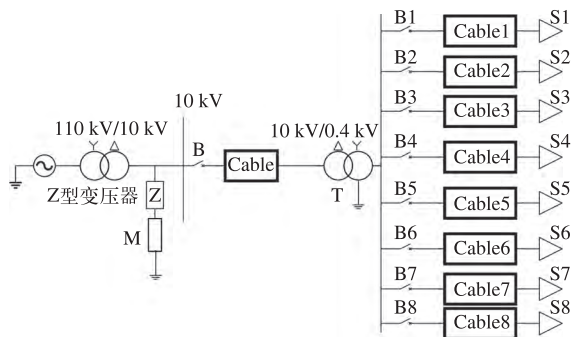


图3 电流仿真电路模型

在PSCAD软件中建立由变压器、电缆、断路器和负载所组成的模型,如图3所示。建模时采取一母线多馈出系统:变压器0.4 kV低压侧由8回路并联连接,各回路皆是通过电缆与负载连接,但是在实际过程中,这些电缆都是1 m左右(很短),其对电压电流的影响可忽略。

变压器10 kV高压侧采用通过1 km电缆连接至

上级110 kV/10 kV变压器。其中两变压器模型如图4、图5所示。

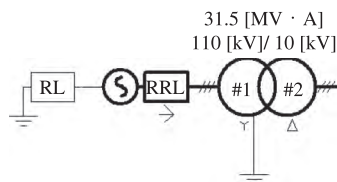


图4 110 kV/10 kV变压器模型

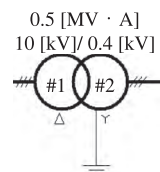


图5 10 kV/0.4 kV变压器模型

仿真步长设置为0.5 s,电压/流在0.3 s时刻已经稳定。上级主变压器接地网电阻取0.5 Ω,高压故

障接地电阻设置为1 Ω，低压故障接地电阻设置为0.1 Ω。

在PSCAD平台中建立的全电缆线路变电所正常

与单相接地故障仿真模型如图6所示，不接地系统两相异地接地故障仿真模型如图7所示。

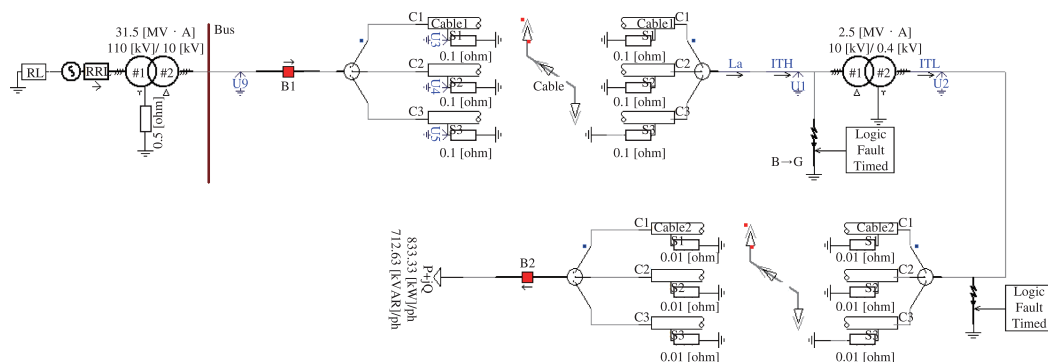


图6 全电缆线路变电所正常与单相接地故障仿真模型图

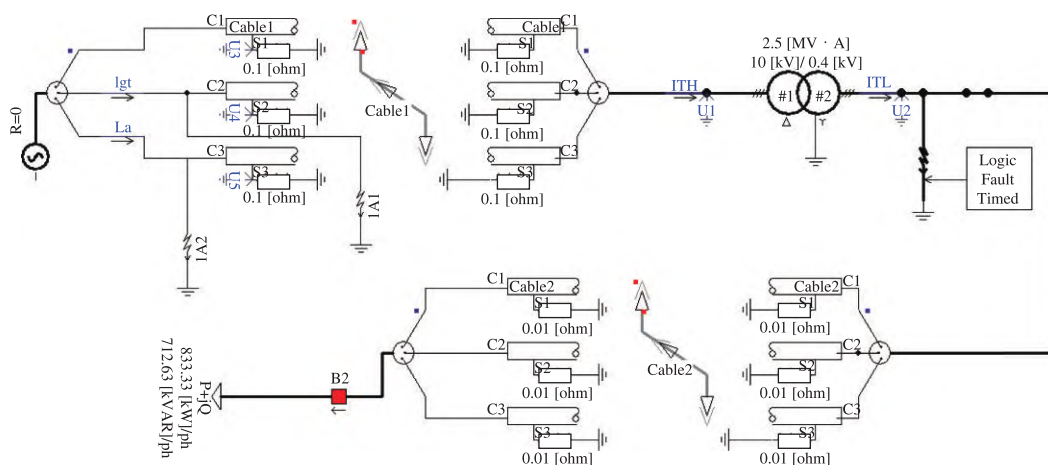


图7 10 kV不接地系统两相异地接地故障分析模型

在负载参数设定时，由式（1）、式（2）可得出各回路计算电流。

$$S = 1.732UI \quad (1)$$

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (2)$$

其中信号回路计算容量为55 kW，计算电流为104.5 A，通信回路计算容量为40 kW，计算电流为76 A，RBC回路计算容量为40 kW，计算电流为76 A，UPS回路计算容量为2.4 kW，计算电流为13.6 A。

2. 模型验证

采用PSCAD软件对电路进行仿真计算，选取第一回路进行验证，第一回路计算电流为104.45 A，通过仿真计算得出如图8所示。

从图8中可得出仿真相电流幅值在150 A左右，

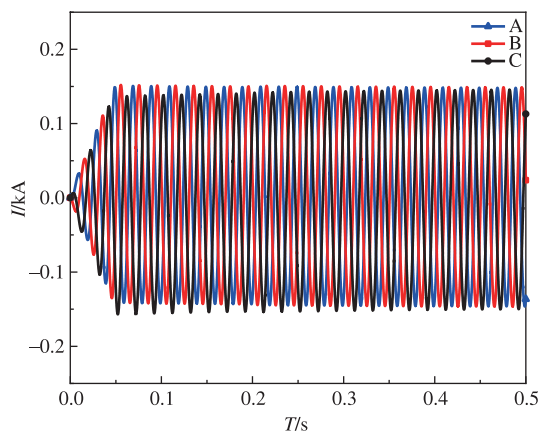


图8 信号回路电流仿真计算示意图

有效值为106.08 A，与理论计算值104.45 A接近。对变压器高压侧和低压侧进行仿真计算，高、低压侧电流如图9、图10所示。

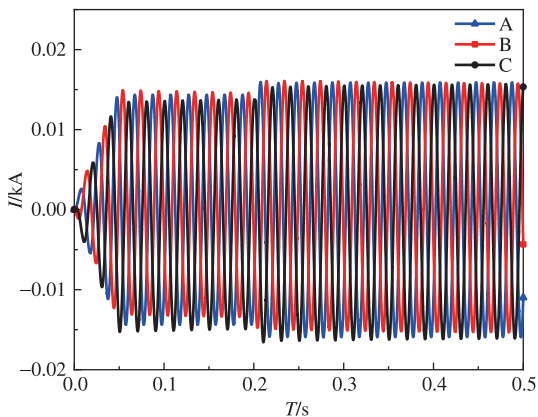


图9 高压侧电流

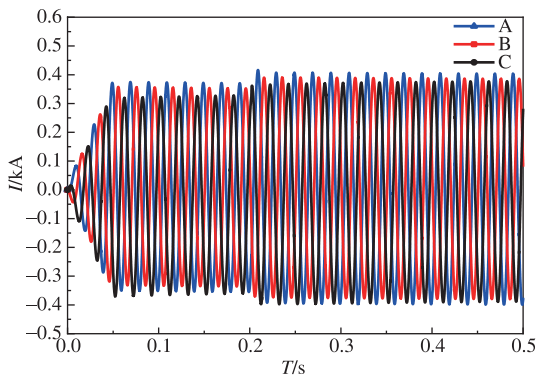


图10 低压侧电流

通过上述仿真计算可得出正常运行时电流幅值为16 A左右。由此可见，电流转换成有效值为11 A左右。正常运行时，仅就通信、信号、RBC以及UPS供电时，变压器高压侧相电流幅值在16 A左右，而低压侧相电流幅值在380 A左右，说明模型建立及参数设置合理。

电流特性分析

1. 正常运行电流

变压器满载率，取最大相电流为参考依据，仿真结果为相电流幅值有效值，见表1、表2。

表1 10 kV/0.4 kV室内变电所工况正常运行电流

变压器容量/(kV·A)	高压侧电流/A	低压侧电流/A
160	8.14	223.55
500	30.00	720.32
1 000	53.49	1 394.54
1 250	71.92	1 767.69
1 600	86.77	2 245.99
2 000	111.62	2 794.60
2 500	135.77	3 560.17

表2 10/0.4 kV室内变电所额定电流

变压器容量/(kV·A)	高压电缆电流/A	低压电缆电流/A
160	9.24	230.95
500	28.87	721.71
1 000	57.74	1 443.42
1 250	72.17	1 804.27
1 600	92.38	2 309.47
2 000	115.47	2 886.84
2 500	144.34	3 608.55

2. 故障电流

(1) 高压电缆线路单相接地故障分析

对于10 kV中性点不接地系统，其单相接地故障电流如图11所示，C相接地短路40 A左右。

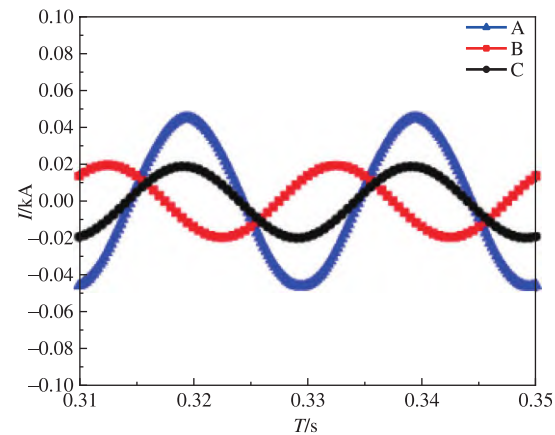


图11 10 kV不接地系统单相接地故障电流

对于中性点小电阻接地系统，高低压侧单相接地故障电流见表3。

表3 10 kV/0.4 kV室内变电所电缆线路单相接地故障电流

变压器容量/(kV·A)	高压母线单相接地故障电流/A	低压母线单相接地故障电流/A
160	279.01	3 090.76
500	298.10	4293.55
1 000	323.56	5 151.98
1 250	324.97	5 435.53
1 600	332.75	5 740.29
2 000	338.40	6 009.70
2 500	346.18	6 276.28

从表3可看出，10 kV中性点小电阻接地系统的下级变压器容量增大，对单相接地故障电流影响并不大。低压系统的单相接地故障电流随着变压器容量的增大而增大。

(2) 高压侧异地两相相接地故障分析

10 kV变电所变压器容量设置为2 500 kV·A（满

负载率)，第一种情况：B相接地点设置在上级外部引入10 kV电源侧出口（电缆始端），C相故障点设置在上级外部引入10 kV电源侧出口；第二种情况：B相接地点设置在距10 kV电源20 km电缆终端，C相故障点设置在距10 kV电源20 km电缆终端；可得出如图12、图13所示故障相电流。

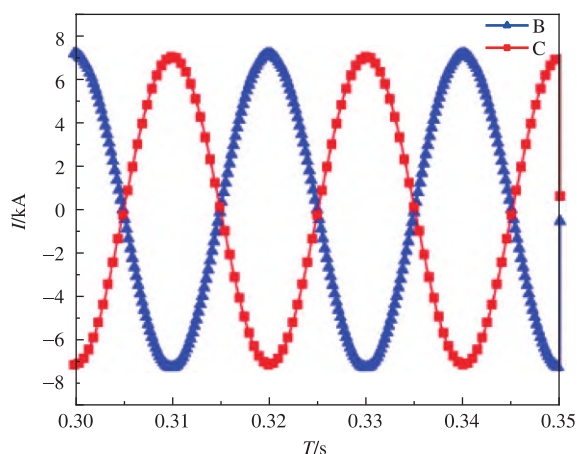


图12 电缆始端异地两相接地故障分析

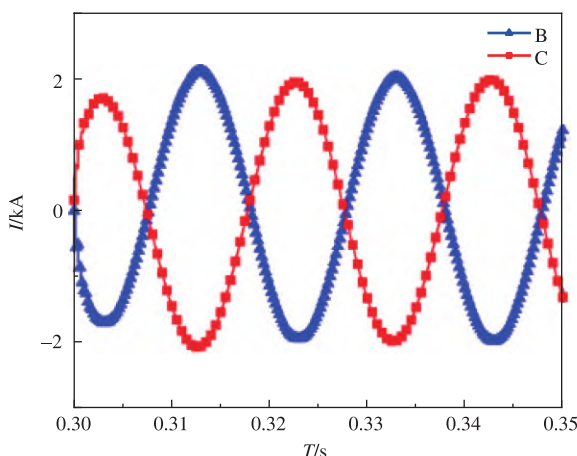


图13 电缆终端异地两相接地故障分析

由图12可知，异地两相接地故障发生在电缆始端时，B相最大故障电流为5 011.97 A，C相最大故障电流为5 108.85 A。由图13可知，异地两相接地故障发生在电缆终端时，B相最大故障电流为1 489.17 A，C相最大故障电流为1 476.44 A。从上述分析可知，对于中性点不接地系统：在电缆终端发生异地两相接地故障时的故障电流比在电缆始端发生异地两相接地故障时的故障电流小。两相接地故障电流见表4。

表4 10 kV电缆线路异地两相接地故障电流

变压器容量/ (kV·A)	电缆始端异地两相接地 /A	电缆末端异地两相接地 /A
160	5 101.80	1 485.50
500	5 103.11	1 485.98
1 000	5 105.20	1 486.63
1 250	5 106.47	1 487.07
1 600	5 106.66	1 487.79
2 000	5 107.35	1 488.74
2 500	5 108.85	1 489.17

从表4可知，10 kV不接地系统高压电缆故障时，短路电流与变压器容量无明显关系。其主要与电缆线路的长度有关。

结束语

本文结合某典型10 kV/0.4 kV变电所电气主接线，在PSCAD软件中建立10/0.4 kV室内弱电变电所的电路模型，分析了10 kV/0.4 kV变配电系统对弱电系统磁场影响的应考虑的电工况，计算了10 kV/0.4 kV在正常运行、单相接地、两相异地接地时的电流变化规律，指出基于变电所对弱电系统的磁场影响时，中性点经小电阻接地系统应计算单相接地短路电流；中性点不接地系统应计算两相不同点同时接地短路电流，且其故障电流大小与短路点位置有关。EA

(收稿日期：2024-12-28)

参考文献

- [1] 中华人民共和国公安部. 火灾自动报警系统设计规范: GB50116—2013 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [2] 20 kV及以下变电所设计规范: GB50053—2013[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑物电子信息系统防雷技术规范: GB50343—2012[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [4] 国家标准局. 电信线路遭受强电线路危险影响的容许值: GB6830—1986 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [5] 熊伟. 高速铁路10~35 kV 电力电缆与信号电缆平行间距研究[J]. 铁道标准设计, 2021 65(8): 139-143.