

# 变电所接地阻抗的感性分量分析

窦 鑫, 何金良, 曾 嵘, 张 波

(清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084)

## Analysis of Inductive Component of Grounding Impedance at Substation

DOU Xin, HE Jin-liang, ZENG Rong, ZHANG Bo

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**摘要:** 接地网接地阻抗中感性分量与接地网规模、土壤电阻率、电流注入点位置等因素有关。但是否需要考虑接地阻抗中的感性分量,应根据地网规模和土壤电阻率加以判断。一般来说,地网的边长大于400 m,土壤电阻率小于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 时,应考虑感性分量。

**关键词:** 变电所; 接地阻抗; 感性分量; 土壤电阻率

中图分类号: TM862

文献标识码: A

**Abstract:** The inductive component of substation's grounding impedance is related to the size of the grounding system, soil resistivity and the injecting point of measuring current. Whether the inductive component should be considered is decided by the scale of the grounding system and soil resistivity. Ordinarily, when the side length of the grounding system exceeds 400 m, and soil resistivity is smaller than  $100 \Omega \cdot \text{m}$ , it should be considered.

**Key words:** substation; grounding impedance; inductive component; soil resistivity

## 1 引言

在通常情况下,由于接地网感性分量占接地阻抗总量比例较小,所以在《接地系统土壤电阻率、接地阻抗和地表电位测量导则》<sup>[1]</sup>中并没有要求对接地阻抗中的感性分量进行考虑。一般也将接地阻抗称为接地电阻。但由于在一定条件下(例如地网规模比较大,土壤电阻率比较低等),接地阻抗中的感性分量已大到不可忽视,这时就需要采取一定的方式将接地阻抗中的感性分量提取出来。这对接地电阻的准确测量具有一定的意义。笔者采用接地系统电气参数数值计算软件分析了各种条件下地网感性分量的大小,提出了需要考虑接地阻抗感性分量的条件。

影响接地阻抗感性分量的主要因素有接地网规模、土壤电阻率大小、电流注入点位置和接地网网格

密度、垂直接地极。

## 2 土壤电阻率对接地网接地阻抗的影响

接地阻抗的感性分量一般以阻抗角来表示。改变影响接地阻抗的各种因素进行模拟计算,了解这些因素对接地阻抗角的影响程度。分析采用的接地网为正方形,接地网导体间距为10 m。接地网埋深1 m,导体直径0.01 m。计算结果列于表1。

表1 土壤电阻率对阻抗角的影响(接地网中心注入电流)

接地网边长/m	电阻率 $20 \Omega \cdot \text{m}$		电阻率 $50 \Omega \cdot \text{m}$		电阻率 $100 \Omega \cdot \text{m}$	
	接地阻抗/ $\Omega$	阻抗角/ $^\circ$	接地阻抗/ $\Omega$	阻抗角/ $^\circ$	接地阻抗/ $\Omega$	阻抗角/ $^\circ$
10	0.770	0.048	1.924	0.020	3.847	0.010
50	0.179	0.919	0.445	0.384	0.888	0.198
100	0.094	3.424	0.232	1.452	0.461	0.752
200	0.053	12.030	0.123	5.416	0.240	2.857
400	0.040	31.450	0.073	18.000	0.132	10.330

接地网边长/m	电阻率 $200 \Omega \cdot \text{m}$		电阻率 $500 \Omega \cdot \text{m}$		电阻率 $1000 \Omega \cdot \text{m}$	
	接地阻抗/ $\Omega$	阻抗角/ $^\circ$	接地阻抗/ $\Omega$	阻抗角/ $^\circ$	接地阻抗/ $\Omega$	阻抗角/ $^\circ$
10	7.693	$5.210 \times 10^{-3}$	19.230	$2.150 \times 10^{-3}$	38.470	$1.100 \times 10^{-3}$
50	1.775	0.102	4.440	$4.230 \times 10^{-2}$	8.870	$2.170 \times 10^{-2}$
100	0.919	0.388	2.295	0.161	4.590	$8.280 \times 10^{-2}$
200	0.476	1.487	1.182	0.621	2.360	0.320
400	0.252	5.588	0.613	2.385	1.216	1.236
500	0.208	8.423	0.498	3.658	0.984	1.906

分析得到土壤电阻率对接地网阻抗角的影响见图1。可以看出,土壤电阻率小于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 时,接地阻抗基本上随土壤电阻率线性增加,而当电阻率大于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 时,接地阻抗增加很快,随土壤电阻率的增加而非线性增加。阻抗角与土壤电阻率也成非线性关系,当土壤电阻率大于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 时,如果接地网的边长小于 $200 \Omega \cdot \text{m}$ ,阻抗角小于 $5^\circ$ ,可以不考虑感抗的影响。而当土壤电阻率大于 $200 \Omega \cdot \text{m}$ 时,接地网的边长小于400 m,阻抗角小于 $5^\circ$ 。

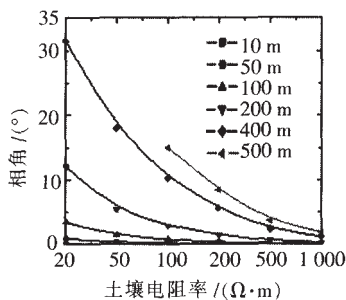


图1 土壤电阻率对接地网接地阻抗相角的影响

### 3 地网面积对接地网接地阻抗的影响

图2所示为地网面积对接地阻抗相角的影响,可以看出,当接地网的边长小于100m时,接地阻抗减小很快,随土壤电阻率的增加而非线性减小。而当接地网的边长大于100m时,接地阻抗基本上随土壤电阻率线性减小。

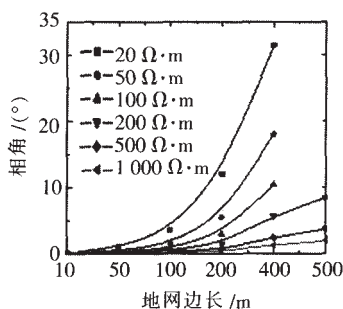


图2 不同土壤电阻率时地网大小对接地阻抗相角的影响

阻抗角与土壤电阻率也成非线性关系,当土壤电阻率大于500Ω·m时,即使接地网的边长为500m,阻抗角也小于5°,可以不考虑感抗的影响。而当接地网的边长小于100m,不同土壤情况下(即使土壤电阻率只有20Ω·m),阻抗角都小于5°。

### 4 电流注入点对接地网接地阻抗的影响

另外还分析了电流注入点对接地阻抗的影响。电流注入点含义:①中心注入:注入点在方形接地网正中;②边上注入:注入点在方形接地网一边的中点;③角上注入:注入点在方形接地网的一个角上。

分析计算结果列于表2~4。从表中可以看出,当接地网的边长小于400m时,注入点的改变对接地阻抗大小影响不大,当接地网的边长达到400m时,从边上注入与从角上注入电流时的接地阻抗基本相同,但二者与从地网中心注入的接地阻抗有较大的差别。从中心注入电流时的接地阻抗小,原因是它可以从4个方向经地网散流。电流注入点在边上和角上时阻抗角差别不大,而注入点在中心时的阻抗角比从边上或角上注入电流时要小。

### 5 需要考虑接地阻抗感性分量的条件

当阻抗角为18°时,接地电阻占接地阻抗的总

表2 土壤电阻率50Ω·m时的数据

接地网边长/m	中心注入		边上注入		角上注入	
	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)
10	1.924	1.978×10 <sup>-2</sup>	1.924	2.935×10 <sup>-2</sup>	1.924	3.096×10 <sup>-2</sup>
50	0.445	0.384	0.445	0.593	0.446	0.628
100	0.232	1.452	0.233	2.249	0.233	2.381
200	0.123	5.416	0.126	8.249	0.127	8.714
400	7.326×10 <sup>-2</sup>	18.000	8.316×10 <sup>-2</sup>	24.990	8.483×10 <sup>-2</sup>	26.130
600	6.453×10 <sup>-2</sup>	30.520	8.221×10 <sup>-2</sup>	37.550	8.518×10 <sup>-2</sup>	38.870

表3 土壤电阻率100Ω·m时的数据

接地网边长/m	中心注入		边上注入		角上注入	
	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)
10	3.847	1.015×10 <sup>-2</sup>	3.847	1.508×10 <sup>-2</sup>	3.847	1.591×10 <sup>-2</sup>
50	0.888	0.198	0.889	0.303	0.889	0.324
100	0.461	0.752	0.462	1.155	0.462	1.237
200	0.240	2.857	0.243	4.417	0.244	4.674
400	0.132	10.330	0.140	15.280	0.142	16.080
500	0.113	15.080	0.124	21.330	0.126	22.540
600	0.102	20.010	0.118	27.380	0.120	28.570

表4 土壤电阻率1000Ω·m时的数据

接地网边长/m	中心注入		边上注入		角上注入	
	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)	接地阻抗/Ω	阻抗角/(°)
10	38.470	1.100×10 <sup>-3</sup>	38.470	1.641×10 <sup>-3</sup>	38.470	1.732×10 <sup>-3</sup>
50	8.872	2.169×10 <sup>-2</sup>	8.873	3.360×10 <sup>-2</sup>	8.873	3.559×10 <sup>-2</sup>
100	4.588	8.282×10 <sup>-2</sup>	4.589	0.129	4.589	0.137
200	2.360	0.320	2.363	0.500	2.363	0.530
400	1.216	1.236	1.221	1.932	1.222	2.047
600	0.830	2.710	0.839	4.215	0.840	4.462

比例小于95%,此时接地电抗就不可忽略,即不能认为接地阻抗值只含有阻性分量。如果以此为标准的话,在接地阻抗测量时考虑感性分量应遵循以下原则:①当方形地网边长小于400m,对于各种土壤条件均可不考虑接地阻抗的感性分量。②当方形地网边长大于400m,对于土壤电阻率小于100Ω·m的土壤,一般应考虑接地阻抗的感性分量。

### 6 结论

接地网接地阻抗中感性分量比例与接地网规模、土壤电阻率、电流注入点位置等因素有关。但是否需要考虑接地阻抗中的感性分量,应根据地网规模和土壤电阻率加以判断。

接地网接地阻抗中感性分量随土壤电阻率增大而减小,随地网面积增大而增大。

分析表明,如果地网的边长大于400m,土壤电阻率小于100Ω·m时,应考虑感性分量。

### 参考文献:

[1] GB/T17949.1-1999. 接地系统的土壤电阻率,接地阻抗和地表电位测量导则[S].

作者简介: 龚鑫(1980-),男,天津人,硕士研究生,主要从事电力系统电磁兼容技术方面的研究工作。