

9-14-2020

An improved resonance measurement method of grounded parameters for distribution networks

Xiangjun ZENG

Hunan Province Key Laboratory of Smart Grids Operation and Control, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China

Yuling LIU

Hunan Province Key Laboratory of Smart Grids Operation and Control, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China

Kun YU

Hunan Province Key Laboratory of Smart Grids Operation and Control, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China

Follow this and additional works at: <https://jepst.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

ZENG, Xiangjun; LIU, Yuling; and YU, Kun (2020) "An improved resonance measurement method of grounded parameters for distribution networks," *Journal of Electric Power Science and Technology*: Vol. 35: Iss. 3, Article 1.

DOI: 10.19781/j.issn.16739140.2020.03.001

Available at: <https://jepst.researchcommons.org/journal/vol35/iss3/1>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electric Power Science and Technology. It has been accepted for inclusion in Journal of Electric Power Science and Technology by an authorized editor of Journal of Electric Power Science and Technology.

改进的配电网对地参数谐振测量方法

曾祥君, 刘玉玲, 喻 锐

(长沙理工大学智能电网运行与控制湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘 要:在配电网中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地方式下现有对地参数测量方法测量误差较大,因此,提出一种改进的配电网对地参数谐振测量方法。该文分析消弧线圈串联阻尼电阻方式下现有对地参数测量方法的局限性,并通过分别构建消弧线圈串联、并联阻尼电阻 2 种接地方式下的谐振测量等效回路,推导了 2 种接地方式下配电网对地电容和对地泄漏电导数学表达式。通过在中性点接入变频恒流信号源,向配电网注入特征电流信号并实时测量零序电压互感器开口三角形处特征电压信号,可测得系统谐振频率;进而依据对地参数表达式实现配电网对地参数的快速、准确测量。PSCAD/EMTDC 仿真分析和模拟实验验证了所提方法的正确性,仿真分析与实验结果均表明该方法测量对地参数精度高、适用范围广。

关 键 词:谐振测量;配电网;对地参数;变频信号;阻尼电阻

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.03.001 中图分类号:TM835 文章编号:1673-9140(2020)03-0003-09

An improved resonance measurement method of grounded parameters for distribution networks

ZENG Xiangjun, LIU Yuling, YU Kun

(Hunan Province Key Laboratory of Smart Grids Operation and Control, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In the distribution power system with its neutral point grounded by an arc suppression coil connected with the damping resistance in series, the existing method for the grounded parameter measurement is not accurate enough. Therefore, an improved resonance measurement method of grounded parameters is proposed for distribution power systems. In this paper, the influence from the damping resistance on the arc-suppression coil compensation is analyzed. And then, the equivalent circuit of resonance measurement is constructed respectively for two grounding modes whose arc suppression coils connect a damping resistance in series and parallel. In addition, the mathematical expressions of the distribution power system's grounded capacitance and grounded leakage conductance are derived respectively. A current signal with characteristic frequency is directly injected into the distribution network through the neutral point connected to the constant current signal source with the variable frequency, and the characteristic voltage signal is measured through the triangular side of zero-sequence voltage transformer. In terms of the grounded

收稿日期:2019-03-11;修回日期:2019-04-24

基金项目:国家自然科学基金重点项目(51737002);国网湖南省电力有限公司科技项目(5216A01700AH)

通信作者:曾祥君(1972-),男,博士,教授,博士生导师,长江学者,主要从事电力系统保护与控制研究;E-mail:eejzeng@qq.com

parameter expressions, the fast and accurate grounded parameter measurement in distribution power system is realized by exploring the system resonance frequency. The correctness of proposed method is verified by PSCAD/EMTDC simulation. It is shown that this method has the high precision and wide application.

Key words: resonance measurement; distribution network; grounded parameters; variable signal; damping resistance

中性点经消弧线圈接地方式是中国中低压配电网的主要接地方式之一。配电网发生故障后,消弧线圈能快速补偿故障电流,促进故障电弧熄灭,防止故障蔓延^[1]。由于消弧线圈工作在谐振点附近,易在中性点处形成过电压,中国电力规程对于 6~66 kV 谐振接地配电网正常运行状况下的中性点位移电压有严格限制,其长时间工作电压不得超过额定相电压的 15%^[2]。因此,在实际工程应用中,消弧线圈处通常串联或并联一阻尼电阻来限制中性点位移电压,降低过电压对电网造成的损失^[3-4]。

随着城市配电网线路中电缆比重的持续增长,线路对地电容电流也不断增加,造成故障灭弧失败,故障范围进一步扩大^[5]。而决定接地故障电流水平、消弧线圈容量以及电流全补偿容量的参数主要是馈线对地参数,对地电容及对地泄漏电导^[6-8]。因此,精准测量配电网对地参数,有助于选定消弧线圈容量以保证故障灭弧效果^[9-10],并为故障电流全补偿技术提供技术支撑。

目前配电网对地电容测量方法主要分为直接法和间接法^[11-12]。直接法因其危及设备与作业人员的安全,在实际中较少应用^[13-14]。间接法主要有注入信号法^[15-16]与中性点参数扰动法^[17-18],而目前能同时测量对地电容和对地泄漏电导的方法只有中性点参数扰动法。注入信号法是利用电压互感器注入信号和测取返回电压来求解对地电容,主要受到注入信号频率选取以及互感器内阻抗影响,且由于忽略阻尼电阻影响,测量精度有限,无法满足实际工程要求。中性点参数扰动法通过改变包括阻尼电阻与消弧线圈在内的中性点电气参数,利用中性点位移电压的变化来获取对地参数,但该方法本身对系统具有一定要求,需要系统存在一定不对称度^[19]。此外,扰动的参数选取上也存在考量,既要满足其扰动不影响电网正常运行,又需要保证参数扰动后的中性点位移电压具有明显变化。

为此,该文提出通过中性点接入变频恒流信号

源直接向配电网注入特征电流信号,通过零序电压互感器开口三角形侧测量特征电压信号,再分别构建 2 种接地方式下计及阻尼电阻的谐振测量等效回路,利用谐振原理求解得出配电网对地电容与对地泄漏电导。在 PSCAD/EMTDC 仿真软件中分别搭建中性点经消弧线圈串、并联阻尼电阻接地配电网对地参数测量模型,并进行实验模拟测试,仿真分析与实验结果验证了所提方法的有效性。

1 阻尼电阻对消弧线圈补偿的影响分析

在工程实际中,一般采用消弧线圈串联阻尼电阻接地的形式进行配电网中性点过电压抑制^[3]。消弧线圈串联的阻尼电阻配备开关或可控硅短接装置,在系统正常运行情况下,通过阻尼电阻分压作用限制中性点位移电压;在系统发生故障后,为限制故障残流有功分量,防止阻尼电阻被烧坏,确保消弧线圈补偿效果,阻尼电阻将被短接退出运行。

典型 10 kV 中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地配电网拓扑结构如图 1 所示,其中, E_A 、 E_B 、 E_C 为配电网三相电源电动势; g_0 为配电网单相相对地泄漏电导; C_0 为配电网单相对地电容; L_p 为消弧线圈; R 为阻尼电阻; 配电网中性点配备有用于实时监测中性点位移电压的零序电压互感器。现有对地参数谐振测量法通过零序电压互感器二次侧向配

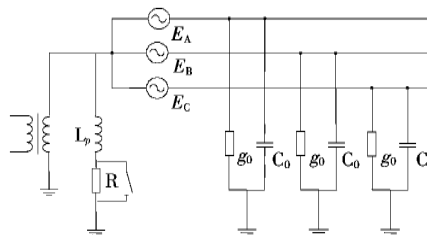


图 1 中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地系统拓扑

Figure 1 Topology diagram of neutral point grounded through arc suppression coil in series with damping resistance

电网注入变频电流信号,调节注入电流频率,使消弧线圈与对地电容发生并联谐振,对地电容表达式^[20]:

$$C_0 = \frac{1}{3\omega_0^2 L_p} \quad (1)$$

式中 ω_0 为谐振频率。

当阻尼电阻 R 串联接入消弧线圈接地回路后,原有谐振回路被破坏,导致系统谐振频率发生偏移,式(1)中的并联谐振关系失效,现有基于谐振频率的对地参数测量方法不再适用。而对地电容测量误差将造成谐振接地配电网消弧线圈定容产生较大偏差,影响消弧线圈准确调谐,在某些情况下甚至导致消弧线圈补偿后的电流幅值超越系统固有容性接地电流幅值的不利情况。

以图 1 所示中压配电网为例,取系统参数: $L_p = 330 \text{ mH}$, $C_0 = 10 \text{ } \mu\text{F}$, $g_0 = 100 \text{ } \mu\text{S}$ 。将阻尼电阻由 $0 \text{ } \Omega$ 逐渐调节至 $75 \text{ } \Omega$,采用传统谐振测量法测量线路对地电容,测量误差变化趋势如图 2(a)所示。当阻尼电阻为零时,传统谐振测量法能够准确地测量线路对地电容值;随着阻尼电阻阻值增大,对地电容测量误差呈指数式上升,当阻尼电阻增至 $74.2 \text{ } \Omega$ 时,测量误差达到 100% 。

基于传统谐振测量法的对地电容结果,以脱谐度 -10% 设置消弧线圈补偿容量,考察发生单相接地故障时故障相线路的故障电流水平,并与对地参数相同的中性点不接地配电网接地故障电流进行对比,测量结果如图 2(b)所示。由图可知,当配电网未接入消弧线圈时,接地故障电流高达 54.42 A ,经消弧线圈补偿后接地故障电流减小至 5.71 A ,能够有效促使故障电弧过零熄灭。然而,随着阻尼电阻

阻值增大,对地电容测量误差迅速上升,进一步导致消弧线圈补偿容量过剩,使单相接地故障电流在补偿电流的作用下反向增大。当 $R > 70 \text{ } \Omega$ 时,补偿后的故障电流甚至高于中性点不接地系统故障电流,使故障电弧的燃烧进一步加剧,增大故障消弧难度。

传统对地参数测量方法虽仍适用于消弧线圈串联阻尼电阻系统,但由于实际应用中消弧线圈串联阻尼电阻接地系统较为普遍,且其无法测量对地泄漏电导,因此传统对地参数测量方法应用局限性日益突显,面临的新问题逐渐增多。因此,有必要研究能够有效考虑阻尼电阻的配电网对地参数测量新方法。

2 对地参数测量原理

2.1 中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地系统

当配电网采用中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地方式时,对地参数测量原理如图 3 所示。由中性点的变频恒流信号源直接向配电网注入一特征电流信号 I_i , 频率为 ω , 由于信号不通过电压互感器二次侧注入,因此,注入信号不会受到电压互感器短路阻抗影响;通过中性点处安装的零序电压互感器开口三角形侧实时测量特征电压信号 U_i 的幅值与相位。零序电压互感器测量等效电路如图 4 所示,其中, R_1 、 L_1 分别为零序电压互感器一次侧漏电阻和漏电感, R'_2 、 L'_2 分别为二次侧漏电阻和漏电感的一次侧归算值, R_m 、 L_m 分别为励磁电阻和励磁电感。此时,由于测量回路中励磁阻抗远远大于短路阻抗,励磁回路等效为开路,开口三角形侧无电流流通,测得的返回电压即为中性点电压。因此,该文利用电压互感器测量等值电路的特性,规避了电压互感器短路阻抗对返回电压信号测量的影响。

根据图 3、4 得到特征信号流通回路如图 5 所示,其中, $U'_i = k_1 U_i$, k_1 为零序电压互感器变比。

为了避免阻尼电阻造成的对地参数测量误差,正确表征系统谐振关系,将消弧线圈接地回路中串联的消弧线圈 L_p 和阻尼电阻 R 进行串并联等效,转化为一个等效电感 L'_p 和一个等效电阻 R' 并联的形式,得到如图 6 所示的谐振等效回路。其中, $R' = (R^2 + \omega^2 L_p^2) / R$, $L'_p = (R^2 + \omega^2 L_p^2) / \omega^2 L_p$ 。

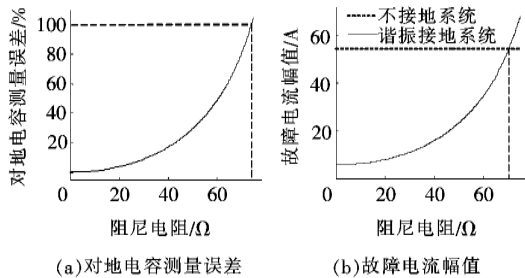


图 2 传统谐振测量法测量误差与补偿结果

Figure 2 Measurement error and compensation result based on traditional resonance measurement method

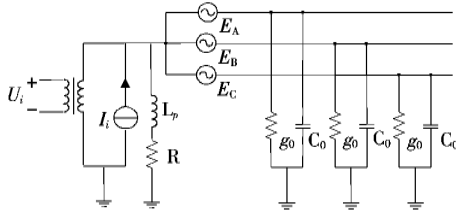


图3 中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地系统测量原理

Figure 3 Measurement principle diagram of neutral point grounded through arc suppression coil in series with damping resistance

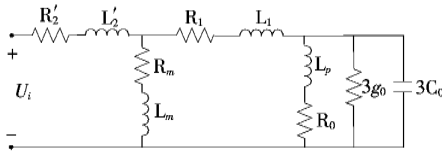


图4 零序电压互感器测量等效电路

Figure 4 Zero-sequence voltage transformer measurement equivalent circuit diagram

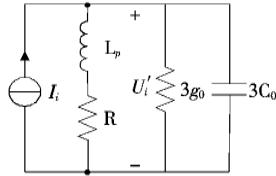


图5 串联阻尼电阻系统特征信号流通回路

Figure 5 Characteristic signal circulation circuit of series damping resistance system

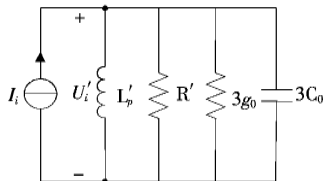


图6 串联阻尼电阻系统谐振等效回路

Figure 6 Resonant equivalent circuit of series damping resistance system

根据图6所示的串联阻尼电阻系统谐振等效回路,利用谐振关系可得:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{3C_0 L'_p} \quad (2)$$

将式(2)化简整理后可得到串联阻尼电阻系统配电网对地电容的表达式:

$$\sum C = \frac{L_p}{R^2 + \omega_0^2 L_p^2} \quad (3)$$

由于消弧线圈等效电感与对地电容发生并联谐振,谐振元件可等效为开路,信号仅通过阻尼电阻等效电阻与对地泄漏电导返回,因此,在谐振频率下可得到如式(4)所得的关系式:

$$\frac{I_i}{U'_i} = \frac{1}{R} + 3g_0 \quad (4)$$

根据式(4)可得串联阻尼电阻系统配电网对地泄漏电导:

$$3g_0 = \frac{I_i}{k_1 U_i} - \frac{R^2 + \omega_0^2 L_p^2}{R} \quad (5)$$

2.2 中性点经消弧线圈并联阻尼电阻接地系统

当配电网采用中性点经消弧线圈并联阻尼电阻接地方式时,对地参数测量原理如图7所示,信号流通回路如图8所示。在中性点经消弧线圈并联阻尼电阻接地配电网中,传统谐振测量法的谐振关系仍然成立,因此,利用如式(1)所示的谐振关系式可得:

$$3C_0 = \frac{1}{\omega_0^2 L_p} \quad (6)$$

同理,在谐振频率下,根据并联阻尼电阻系统的谐振等效结果,可得关系式:

$$\frac{I_i}{U'_i} = \frac{1}{R} + 3g_0 \quad (7)$$

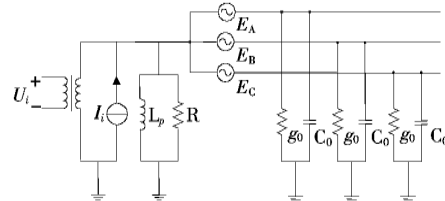


图7 中性点经消弧线圈并联阻尼电阻接地系统测量原理

Figure 7 Measurement principle diagram of neutral point grounded through arc suppression coil in parallel with damping resistance

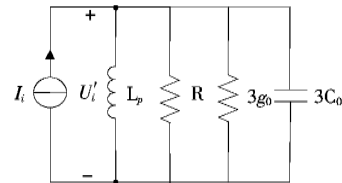


图8 并联阻尼电阻系统特征信号流通回路

Figure 8 Characteristic signal circulation circuit of parallel damping resistance system

化简式(7)可得到并联阻尼电阻系统的对地泄漏电导表达式:

$$3g_0 = \frac{I_i}{k_1 U_i} - \frac{1}{R} \quad (8)$$

3 仿真分析与实验验证

3.1 仿真分析

为了验证论文所提测量方法的正确性,利用 PSCAD/EMTDC 仿真软件搭建如图 9 所示的 10 kV 谐振接地配电网模型,开关 K_1 、 K_2 均断开时为系统经消弧线圈串联阻尼电阻接地,开关 K_1 、 K_2 均导通时为系统经消弧线圈并联阻尼电阻接地,配电网参数设置如表 1 所示,由表 1 参数可知,系统总对地电容值 ΣC 为 3 条线路对地电容之和,即 $\Sigma C = 3C_1 + 3C_2 + 3C_3$,系统总对地泄漏值 Σg 为 3 条线路对地泄漏电导之和,即 $\Sigma g = 3g_1 + 3g_2 + 3g_3$ 。

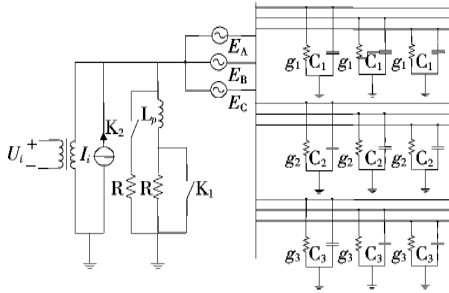


图 9 谐振接地配电网仿真模型

Figure 9 Simulation model of resonant grounded distribution network

表 1 谐振接地配电网参数

Table 1 Resonant grounded distribution network parameters

参数名称	单位	参数值
消弧线圈 L_p	mH	260
阻尼电阻 R	Ω	15
零序电压互感器变比 k_1	—	100
线路 1 总对地电容 $3C_1$	μF	12
线路 1 总对地泄漏电导 $3g_1$	μS	120
线路 2 总对地电容 $3C_2$	μF	10
线路 2 总对地泄漏电导 $3g_2$	μS	130
线路 3 总对地电容 $3C_3$	μF	14
线路 3 总对地泄漏电导 $3g_3$	μS	170

由式(4)、(7)可知,谐振频率下电感与对地电容发生并联谐振,等效为开路,注入电流与返回电压比值呈纯阻性,因此,该文采用注入电流与返回电压比值相位过零点判断系统谐振频率。

采用中性点经消弧线圈串联阻尼电阻接地时,注入电流信号 $I_i = 0.1 \angle 0^\circ A$,改变注入信号频率,监测注入电流与返回电压比值相位,搜索系统谐振点。注入电流与返回电压比值相位随注入信号频率变化趋势如图 10 所示。根据图 10 中相位零点,可得系统谐振频率为 51.24 Hz。由此,根据所提对地参数测算公式求得串联阻尼电阻系统总对地电容为 $35.95 \mu F$,总对地泄漏电导为 $420.11 \mu S$ 。由测量结果可知,对地电容和对地泄漏电导的测量误差分别为 -0.14% 、 0.03% 。系统采用中性点经消弧线圈并联阻尼电阻接地时,注入电流仍设置为 $I_i = 0.1 \angle 0^\circ A$,得到注入电流与返回电压比值相位随注入信号频率变化趋势如图 11 所示。由图 11 中相位

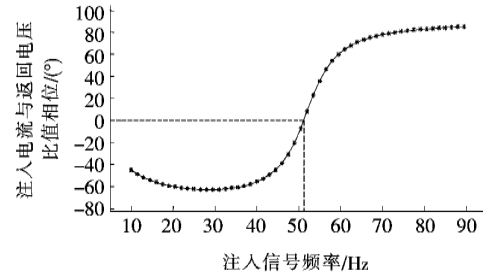


图 10 串联阻尼电阻系统注入电流与返回电压比值相位随注入信号频率变化趋势

Figure 10 Injection current to returned voltage ratio phase change trend with injected signal frequency in series damping resistance system

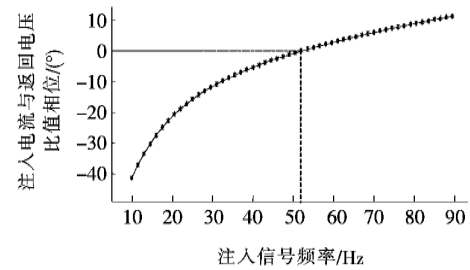


图 11 并联阻尼电阻系统注入电流与返回电压比值相位随注入信号频率变化趋势

Figure 11 Injection current to returned voltage ratio phase change trend with injected signal frequency in parallel damping resistance system

零点可得谐振频率为 51.90 Hz,由此进一步求得并联阻尼电阻系统总对地电容为 36.17 μF ,总对地泄漏电导为 420.13 μS 。由仿真结果可知,当消弧线圈串联阻尼电阻接地时,对地电容和对地泄漏电导测量误差分别为 0.47%、0.03%。因此,通过注入变频信号,构建计及阻尼电阻的谐振测量等效回路,搜索系统真实谐振频率,能够精确测量不同接地方式配电网对地参数,误差均低于 0.5%。

分别在消弧线圈串联和并联阻尼电阻接地方式下,改变阻尼电阻取值,对系统对地参数进行多组测量,测量结果如表 2 所示。分析表 2 数据可知,对于消弧线圈串联及并联阻尼电阻接地方式,该文所提出方法均能够有效消除系统阻尼电阻的影响,通过建立变频信号的谐振等效回路,获取系统真实谐振频率,实现配电网对地参数的准确测量,测量误差均低于 0.5%,具有较高的精确度。

表 2 2 种接地方式下不同阻尼电阻值对地参数测量结果

Table 2 Grounded parameters measurement results of two grounding modes with different damping resistance

阻尼电阻 R/Ω	消弧线圈串联阻尼电阻			消弧线圈并联阻尼电阻		
	谐振频率 ω_0/Hz	系统总对地电容 $\Sigma C/\mu\text{F}$	系统总对地泄漏电导 $\Sigma g/\mu\text{S}$	谐振频率 ω_0/Hz	系统总对地电容 $\Sigma C/\mu\text{F}$	系统总对地泄漏电导 $\Sigma g/\mu\text{S}$
5	51.98	35.93	420.31	52.08	35.92	420.11
10	51.63	36.04	420.15	52.04	35.97	420.10
15	51.24	35.95	420.11	51.90	36.17	420.13
20	50.61	35.93	420.17	51.98	36.06	420.11
30	48.58	36.12	420.26	51.97	36.07	420.15

3.2 实验验证

为进一步验证该文所提方法的可靠性,搭建了 10 kV 配电网系统进行实验验证,系统总接线如图 12 所示,实验环境如图 13 所示,图 13(a)为 10 kV 配电网系统,系统包括:电源、接地变压器、升压变压器、隔离变压器、调压器、消弧线圈、操作台、对地电容器组和对地泄漏电导等设备,电源通过 380 V 电源进线经调压器和升压变压器升压至 10 kV,消弧线圈接在由 ZNyn11 型接地变压器引出的中性点上,中性点处安

装有一零序电压互感器,系统设置 3 条出线,线路 I、II、III 的对地参数均可调,图 13(b)为 3 条出线可调节的对地电容器组与对地泄漏电导。

在实际问题中,配电网的对地电容与对地泄漏电导均是分布参数。实验系统模拟配电网真实测量

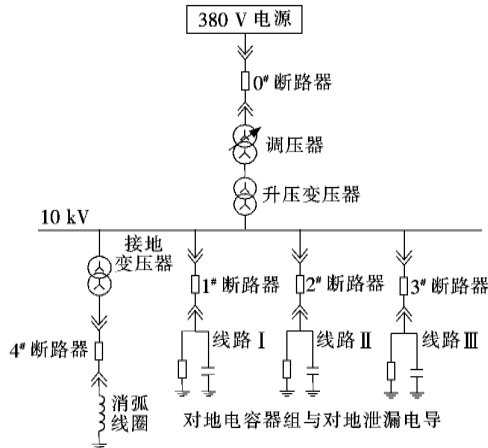
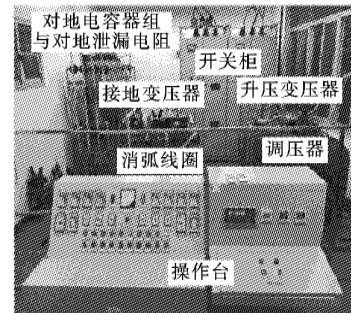


图 12 系统结构

Figure 12 System structure diagram



(a)真型 10 kV 配电网系统



(b)对地电容器组与对地泄漏电阻

图 13 模拟实验环境

Figure 13 Simulated experimental environment

时采用了集中参数,无法等同实际配电网对地参数测量,但配电网馈线一般长度较短,在该种情况下可忽略这种分布性质,以便简化实验系统的搭建过程,且实验系统设置的对地电容与对地泄漏电导是已知量,可方便的将测量结果与设置的参数值进行对比,以从原理上更好地验证方法的可行性和准确性。

实验时首先将阻尼电阻并联接入消弧线圈接地回路,然后将信号源接入配电网中性点,平滑调节注入信号频率,监测注入电流与返回电压比值相位,通过搜索注入电流与返回电压比值相位过零点来获取谐振频率,并根据谐振频率与谐振频率下的返回电压值计算对地参数,完成一组测量实验,然后调节阻尼电阻值、消弧线圈档位以及对地参数进行多组测量实验,结果如表 3 所示。改变阻尼电阻接入方式,将阻尼电阻串联接入消弧线圈接地回路,采用同样步骤调节参数完成多组实验,结果如表 4 所示。

根据改变消弧线圈档位与对地参数测量得到的多组实验结果可知,不论是经消弧线圈串联阻尼电阻接地系统还是并联阻尼电阻接地系统,该文所提方法均能准确测得对地参数,测量相对误差均在

2%以内,精度较高,满足工程实际应用需求,进一步验证了所提方法的可靠性和准确性。

该文所提测量方法利用了电压互感器测量等值电路的特性,从而消除了测量过程中电压互感器短路阻抗的影响,在测量过程中忽略了励磁电流。而随着注入信号频率的增大,测量返回电压时零序电压互感器中磁密与磁阻将减小,励磁阻抗变大,励磁电流随之减小,可以更有效地抑制由励磁阻抗造成的测量误差,提高测量精度。因此,当所提方法真实用于配电网对地参数测量时,注入频率信号越高,测量结果误差能相对减小;而注入电流幅值越小,能保证注入信号不会干扰电网正常运行,且不会在中性点产生较大的位移电压,但注入信号频率过高或注入电流幅值过小,将造成返回信号微弱不易检测,导致测量误差增大。综合考虑以上情况,并结合实验室长期测量结果以及多次在实际变电站中的测量反馈结果,当该文所提方法用于实际配电网对地参数测量时,为了适应现场测量需求,选取信号频率在 20~80 Hz、幅值在 0.1~1.2 A 范围间的电流信号,可取得较好的工程应用效果。

表 3 并联阻尼接地系统实验结果

Table 3 Experiment results of parallel damping resistance system

序号	阻尼电阻/ Ω	投入总电容值/ μF	投入总对地泄漏电导值/ μS	谐振频率/Hz	消弧线圈电流/A	总对地电容测量值/ μF	总对地泄漏电导测量值/ μS
1	10	6	22.50	55.08	13.6	5.89	22.94
2	10	7	30.06	60.60	19.3	6.90	30.50
3	15	8	30.06	56.78	19.3	7.86	30.62
4	15	10	70.13	56.95	25	10.12	71.44
5	20	10	70.13	57.01	25	10.10	71.37

表 4 串联阻尼接地系统实验结果

Table 4 Experiment results of series damping resistance system

序号	阻尼电阻/ Ω	投入总电容值/ μF	投入总对地泄漏电导值/ μS	谐振频率/Hz	消弧线圈电流/A	总对地电容测量值/ μF	总对地泄漏电导测量值/ μS
1	10	6	22.50	54.91	13.6	5.92	22.81
2	10	7	30.06	60.62	19.3	6.89	30.65
3	15	8	30.06	55.71	19.3	8.15	30.38
4	15	10	70.13	56.78	25	10.15	71.03
5	20	10	70.13	56.81	25	10.11	70.98

4 结语

为解决谐振接地系统中消弧线圈串、并联阻尼电阻接地造成的配电网对地参数测量误差问题,提出了一种改进的配电网对地参数谐振测量方法,通过变频恒流信号源向配电网中性点注入一小特征电流信号,同时在零序电压互感器开口三角形侧测量特征电压信号,利用电压互感器测量等值电路的特性,消除电压互感器短路阻抗的影响;构建不同经阻尼电阻接地方式下的谐振测量等效回路,确立计及阻尼电阻的系统谐振关系,同时求取对地电容和对地泄漏电导,从原理上消除了对地参数测量过程中阻尼电阻的影响。通过 PSCAD/EMTDC 仿真分析与模拟实验验证了所提测量方法的有效性与适用性,可显著提升配电网对地参数测量精度。

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [2] GBT 50064—2014,交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范[S].
- [3] 杨锐,姜铁卫,夏磊. 应用于配电网谐振接地系统的阻尼电阻研究[J]. 陕西电力,2015,43(2): 64-67.
YANG Rui, JIANG Tiewei, XIA Lei. Application research of damping resistance in resonant grounded system for distribution network[J]. Shaanxi Electric Power,2015,43(2): 64-67.
- [4] 滕昊. 带阻尼电阻的谐振接地系统电容电流精确测量方法[J]. 电力科学与技术学报,2017,32(1): 97-102.
TENG Hao. Accurate measurement method of capacitive current in resonant grounding system with damping resistance[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2017,32(1): 97-102.
- [5] 靳汪一,曾祥君,伍智华,等. 基于 IGBT 新型消弧线圈自动调谐系统[J]. 电力科学与技术学报,2010,25(2): 56-60.
JIN Wangyi, ZENG Xiangjun, WU Zhihua, et al. A novel IGBT based arc-suppression coil automatic tuning system[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2010,25(2): 56-60.
- [6] 彭沙沙,曾祥君,喻琨,等. 基于二次注入的配电网接地故障有源电压消弧方法[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(20): 142-149.
PENG Shasha, ZENG Xiangjun, YU Kun, et al. Active arc-suppression method of grounding fault for distribution network based on secondary injection[J]. Power System Protection and Control,2018,46(20): 142-149.
- [7] 刘宝稳,马宏忠,沈培锋,等. 新型接地故障基波电流全补偿柔性控制系统[J]. 中国电机工程学报,2016,36(9):2322-2330.
LIU Baowen, MA Hongzhong, SHEN Peifeng, et al. New Flexible Control System of Full Compensation Single-phase Ground Fault Fundamental Current[J]. Proceedings of the CSEE,2016,36(9):2322-2330.
- [8] 杨磊,曾祥君,喻琨,等. 新型谐振接地系统接地故障全补偿方法[J]. 电力自动化设备,2018,38(11): 57-62.
YANG Lei, ZENG Xiangjun, YU Kun, et al. Novel method of full compensation for grounding fault of resonant grounding system[J]. Electric Power Automation Equipment,2018,38(11): 57-62.
- [9] 李玲玲,孙鹤旭,王晓宏. 谐振接地电力网自动调谐的新方法[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6): 77-80.
LI Lingling, SUN Hexu, WANG Xiaohong. A new automatic tuning method for resonance grounding power network[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(6): 77-80.
- [10] 李明贤,解洪光,张喜玲,等. 基于谐波分量的配电网相对地参数辨识新方法[J]. 智慧电力,2019,47(4): 93-98.
LI Mingxian, XIE Hongguang, ZHANG Xiling, et al. A new method for relative parameter identification of distribution network based on harmonic component[J]. Smart Power,2019,47(4): 93-98.
- [11] 闫腾飞,李康,李晓波,等. 基于牛顿-拉夫逊法的配电网电容电流测量新方法[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(7): 1-5.
YAN Tengfei, LI Kang, LI Xiaobo, et al. A new capacitive current measurement method of distribution network based on Newton-Raphson method[J]. Power System Protection and Control,2017,45(7): 1-5.
- [12] 贺良华,葛来,孙宝金. 基于谐振频率预测模型的配电网电容电流测量方法[J]. 电力系统自动化,2018,42(2): 143-147+159.

- HE Lianghua, GE Lai, SUN Baojin. Capacitive Current Measuring Method for Distribution Networks Based on Resonant Frequency Prediction Model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(2): 143-147+159.
- [13] 刘力, 孙结中. 一种测量配电网电容电流的新方法[J]. 电网技术, 2001, 25(5): 63-65.
- LIU Li, SUN Jiezhong. A new method to measure the capacitance current of distribution network[J]. Power System Technology, 2001, 25(5): 63-65.
- [14] 黎新吉, 张平, 陈博, 等. 中性点不接地配电网电容电流在线测量方法比较[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(2): 66-71.
- LI Xinji, ZHANG Ping, CHEN Bo, et al. Capacitive current on-line measurement methods comparing for unearthed distribution systems[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2008, 23(2): 66-71.
- [15] 曾祥君, 尹项根, 于永源, 等. 基于注入变频信号法的经消弧线圈接地系统控制与保护新方法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(1): 30-33+37.
- ZENG Xiangjun, YIN Xianggen, YU Yongyuan, et al. New methods for control and protection relay in a compensated medium voltage distribution network based on injecting various frequency current[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(1): 30-33+37.
- [16] 宋晓燕, 孙岩洲, 宋紫嫣, 等. 基于零序 PT 二次侧注入信号的配电网电容电流测量新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(19): 134-138.
- SONG Xiaoyan, SUN Yanzhou, SONG Ziyang et al. A new method of distribution network capacitive current measurement based on injecting signals into the secondary side of the zero sequence PT[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(19): 134-138.
- [17] 靳维, 袁朋生, 张洋, 等. 基于调整中性点接地阻抗的配电网电容电流测量方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 37-41.
- JIN Wei, YUAN Pengsheng, ZHANG Yang, et al. A method of measuring capacitive current in distribution network based on adjusting the neutral grounding impedance[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 37-41.
- [18] 朱珂, 殷鹏, 刘颖英, 等. 利用电力电子扰动技术的系统对地电容检测方法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(23): 150-156.
- ZHU Ke, YIN Peng, LIU Yingying, et al. Detection method for system grounding capacitance using power electronic disturbance technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(23): 150-156.
- [19] 杨帆. 基于有源工频电流注入的配电网对地参数精确测量[J]. 电力科学与技术学报, 2018, 33(1): 81-87.
- YANG Fan. Ground parameters accuracy measurement in distribution network based on active current injection with power frequency[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2018, 33(1): 81-87.
- [20] Zeng X J, Xu Y, Wang Y Y. Some novel techniques for insulation parameters measurement and Petersen-coil control in distribution systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(4): 1445-1451.