

# Research on Single-Phase Grounding Overvoltage Protection of Power Distribution Network Based on the Voltage Bias

Haiyun Yang<sup>1\*</sup>, Guoliang Qiu<sup>1</sup>, Zhihui Jia<sup>1</sup>, Zhigang Zhang<sup>1</sup>, Yanchao Gong<sup>1</sup>, Yuguo Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Grid Handan Electric Power Supply Company, Handan Hebei

<sup>2</sup>Hebei Weizheng Electric Power Technology Company, Handan Hebei

Email: \*yanghaiyun008@126.com

Received: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Jan. 18<sup>th</sup>, 2019; published: Jan. 25<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In view of the threat of arc-over voltage to power equipment insulation when the single phase grounding fault in the medium voltage distribution network of industrial and mining enterprises, an active pressure regulating arc suppression limiting voltage protection method using voltage bias theory is presented in this paper. And the traditional concept of ground compensation has been changed. Firstly, the mechanism of arc overvoltage in low current grounding system of medium voltage distribution network is analyzed, and the necessity of full current compensation is put forward. Secondly, the principle of active pressure regulating arc suppression and pressure limiting protection is introduced, and the feasibility of the method is analyzed. Finally, an active pressure-regulating arc-suppressing protection scheme is designed, and the correctness of the method is proved in theory.

## Keywords

Single-Phase Ground Fault, Arc Overvoltage, Voltage Bias, Neutral Ungrounded System, Full Current Compensation

---

# 基于电压偏置的配电网单相接地过电压保护研究

杨海运<sup>1\*</sup>, 邱国良<sup>1</sup>, 贾志辉<sup>1</sup>, 张志刚<sup>1</sup>, 宫艳朝<sup>1</sup>, 李玉国<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网邯郸供电公司, 河北 邯郸

<sup>2</sup>河北伟正电力技术有限公司, 河北 邯郸

Email: \*yanghaiyun008@126.com

\*通讯作者。

文章引用: 杨海运, 邱国良, 贾志辉, 张志刚, 宫艳朝, 李玉国. 基于电压偏置的配电网单相接地过电压保护研究[J]. 电气工程, 2019, 7(1): 1-6. DOI: 10.12677/jee.2019.71001

## 摘要

针对工矿企业中压配电网单相接地故障时，弧光过电压对电力设备绝缘的威胁，改变了接地补偿的传统观念，提出一种利用电压偏置原理灭弧的有源调压型消弧限压保护方式。首先，分析了中压配电网小电流接地系统弧光过电压产生的机理，提出全电流补偿的必要性；其次，通过介绍有源调压型消弧限压保护的原理，分析了方法的可行性；最后，设计出有源调压型消弧限压保护的电气方案，从理论上论证了方法的正确性。

## 关键词

单相接地故障，弧光过电压，电压偏置，小电流接地系统，全电流补偿

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国配电网结构复杂，随着配电系统的扩大及电缆使用的增多，系统电容电流显著增大。对于工矿企业广泛使用的中压配电网来讲，主要以小电流接地运行方式为主，系统发生单相接地故障时，通常经历间歇性电弧接地 - 稳定性电弧接地 - 金属性接地这样的过程，由此产生的弧光过电压已逐渐成为中压电力设备绝缘的主要威胁，危害系统的安全运行[1] [2]。

我国配电网中性点运行方式主要有：中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经电阻接地等，在中压配电网中较多采用中性点经消弧线圈接地[3] [4] [5] [6]，系统发生单相接地时，工程上规定仍可运行 2 个小时，从而提高了供电的连续性和可靠性[7] [8] [9]。利用消耗线圈可以实现快速补偿电容电流而自动熄灭电弧，达到降低单相接地过电压的目的。但在实际应用中，一旦发生弧光接地故障时，消弧线圈只能补偿 50 Hz 的工频电流，对于高达 300~3000 Hz 的间歇性弧光放电电流几乎没有补偿作用，也就无法消除由间歇性弧光放电产生的弧光过电压和高频振荡过电压[10]。另外，当自动调谐消弧线圈与系统配合不当，自动调谐消弧线圈在投入时易发生谐振过电压。为了适应我国中压配电网的发展需要，从根本上消除单相接地初期的间歇性高频振荡电流引起的弧光过电压，有些城市网已经把中性点不接地系统改为小电阻接地系统和大电阻接地系统[11] [12]，但效果也不是太理想。在中压配电网中，如何减少单相接地故障时的电容电流及弧光过电压几率，是中性点非有效接地系统的关键。因此，研究一种新的补偿方式来消除系统单相接地弧光过电压是十分必要的。

文中提出一种用于小电流接地系统的有源调压型消弧限压保护，当系统发生单相接地故障时，装置能够检测故障点绝缘耐受电压，通过有源调压组件将故障相电压限制在故障点绝缘耐受电压以下，从而避免弧光过电压的产生，达到消弧限压的目的。

## 2. 配电网单相接地过电压机理分析

### 2.1. 中性点不接地系统间歇性放电现象

配电网中性点不接地系统发生单相故障时，故障相电流等于非故障相对地电容电流的总和。由于流

发过故障点电流不大,不需要立即切除故障电路,对用户供电影响不大,工程允许继续运行 2 个时间[13]。

配电系统发生单相接地故障时,低阻接地和金属性接地是由间歇性电弧接地发展而成的,表现特征为故障相对地电压几乎为零,非故障相对地电压接近线电压,三相之间维持线电压基本不变。对于电缆线路来讲,若对地绝缘没有完全被破坏,则能承受一定幅值的相电压,每半个周期内放电区间理论上是以  $90^\circ$  ( $270^\circ$ )位置为中心的扇形区,形成间断性不连续的放电现象。间歇性放电电流的特性是不连续的间歇性高频振荡电流如图 1 所示。

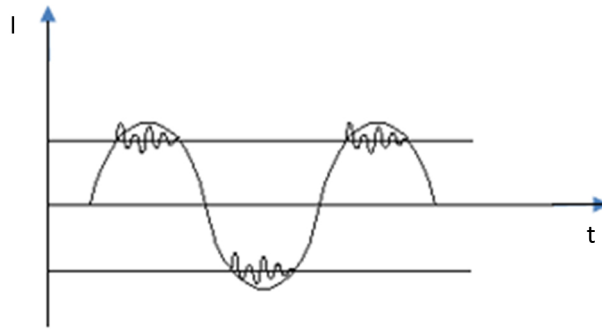


Figure 1. Gap discharge principle  
图 1. 间隙性放电原理

随着绝缘破坏程度加深,电缆绝缘只能承受很低的相电压,甚至不能承受任何幅值的电压,即形成了低阻接地或金属性接地。这时,放电电流就不再是间断性的,而成为稳定的持续电流。

## 2.2. 弧光过电压的产生

弧光过电压的产生是指接地电弧在燃弧、断弧交替过程中,分布电容导致大量电荷积聚在电网上无处泄放,形成的对地过电压。随着电弧重燃的次数增多,弧光过电压的数值也逐渐升高,理论上可达到无穷大,实际上由于电网分布参数作用,该过电压一般为 3~5 倍相电压,或者更高一些。弧光过电压产生机理如图 2 所示。

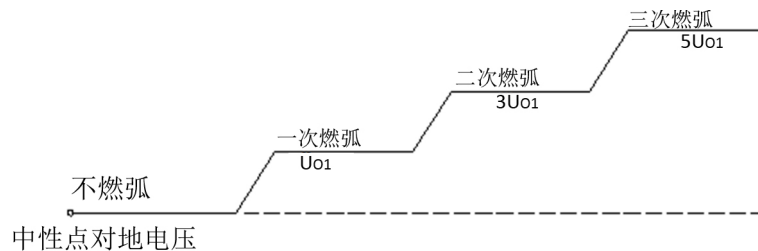


Figure 2. The generation mechanism of arc light overvoltage  
图 2. 弧光过电压产生机理

电力系统单相接地事故率很高,占电网故障的 70%以上[11][12]。中压配电网,由于中性点不接地,发生单相接地时并不立即跳闸,往往不被重视。对于一些工矿企业配电网,虽然中性点装有消弧线圈,但是在单相接地初期间歇性电弧接地阶段,伴随有很高弧光过电压的产生,有时消弧线圈起不到补偿的作用也无法消除弧光过电压,故障点电弧会不断燃烧,根本停不下来,达不到预想的灭弧效果,这种现象曾在山西某矿务局发生。最终导致继电保护拒动、误动现象,造成了很多重大事故。

## 3. 有源调压型消弧限压保护原理

从工矿企业现场的实际运行数据来看,消弧线圈对限制固体绝缘电缆上的过电压的效果一直都不太

理想。系统发生单相接地初期的间歇性电弧接地阶段，通过接地点的电流是高频振荡电流，消弧线圈的频率特性与电网分布电容的频率特性相差悬殊，也是无法进行调谐和补偿的。因此，随着固体绝缘电缆的使用增多，原规程规定难以适应现在的运行环境，需要建立新的安全运行观念。

为了解决这个问题，在查阅大量科技文献的基础上，改变了接地补偿的传统观念，提出一种有源调压型消弧限压保护方式，即宽频补偿技术。有源调压型消弧限压保护是一种根据电压偏置原理灭弧的电压型补偿装置，根据电压偏置原理灭弧。这种电压补偿方式是一种全电流补偿，无论工频电流还是高频电流、分频电流；也不论是持续性电流还是间歇性振荡电流都能补偿，都能消除。当系统发生单相接地故障时，根据接地性质的不同，通过自动调整装置可控硅的导通角，从而调节故障相对地阻抗的大小，控制中性点位移电压(偏置电压)，使故障相对地电压低于相对地绝缘耐受电压，避免故障点二次放电，达到熄弧和限压的目的。通过控制故障相对地电压与故障点绝缘程度的配合关系，使故障点电弧避免重燃，不存在频率特性问题，具有宽频响应特性，能够达到更加理想的灭弧和限流效果。有源调压型消弧限压保护工作原理图如图3所示。

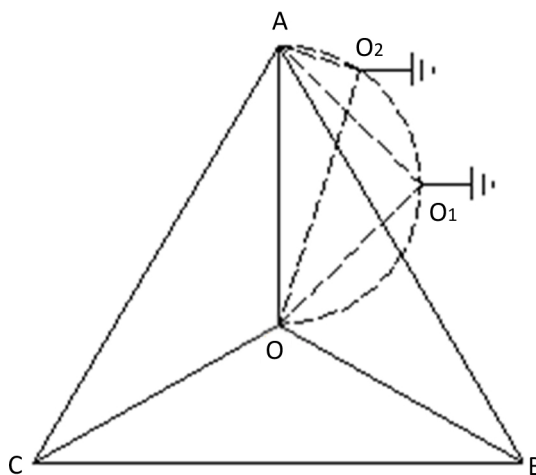


Figure 3. The principle diagram of active regulating arc suppression pressure limiting protection

图3. 有源调压型消弧限压保护工作原理图

当系统发生单相接地时(假设A相接地)，随着接地电阻的变化，中性点位移电压末端(接地点)的轨迹是以故障相至中性点O(- $U_A$ )为直径的半圆。若接地点落在 $O_1$ 点，则 $U_{OO_1}$ 就是故障时中性点位移电压，故障相对地电压 $U_{AO_1}$ 就是放电电压( $U_{AO_1}$ 为A相绝缘耐受电压)。微机控制器通过检测系统三相电压和开口三角电压，根据它们的大小、方向以及相序关系，确定出故障特征和故障点放电电压的量值，驱动装置动作，调节各相有源调压装置的导通角，将中性点位移电压调到 $U_{OO_2}$ 。调整后故障相电压变为 $U_{AO_2}$ 。很明显 $U_{AO_2} < U_{AO_1}$ ，则故障点就不再放电。

例如：当电缆某一相绝缘遭到一定程度的破坏，随着电源电压做正弦周期性变化，在某一电压幅值时电源会对地突然放电，这一电压我们称之为绝缘耐受(放电)电压。相电压与该电压的矢量差就是系统故障时中性点的位移电压。通过电压偏置方式，控制中性点位移电压，保持其略高于故障时中性点位移电压，使得故障相的对地电压始终低于绝缘耐受(放电)电压，电源就不会再在故障点对地放电，所有接地放电引起的危害也就不复存在。

#### 4. 有源调压型消弧限压保护设计方案

有源调压方式用来抑制小电流接地系统发生单相接地故障时的弧光放电，消除弧光过电压，在系统

正常工作时不会放大系统中性点位移电压，不对系统产生任何影响。在接地点绝缘恢复后，要能够自动退出保护状态。故障线路退出后，能自动退出保护状态，方便故障线路的查找。根据这样的设计理念，电气设计方案如图4所示。

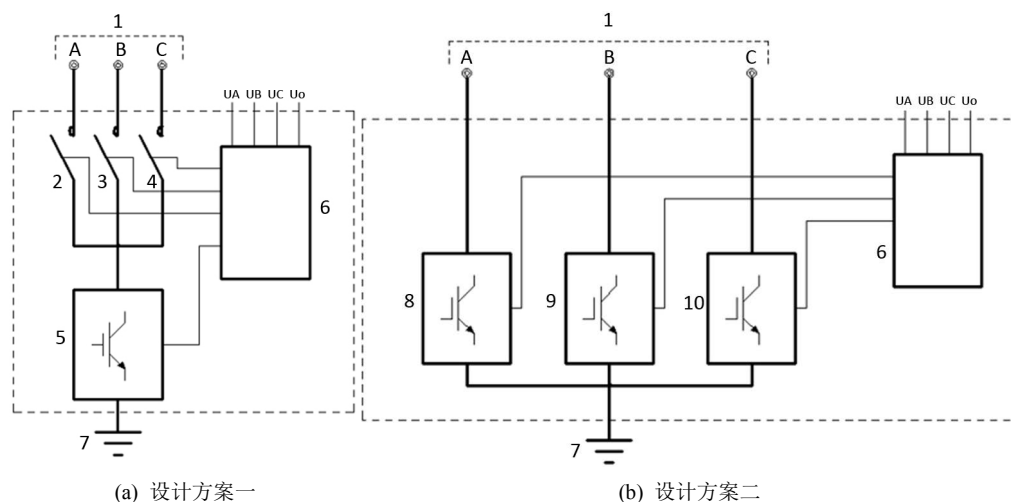


Figure 4. Electrical design scheme

图4. 电气设计方案

设计方案由装置进线端、有源调压组件、装置接地端和智能控制器等四部分组成。宽频补偿技术是一种电压型补偿方式，摒弃了近百年来用感性电流抵消容性电流的电流补偿方式，具有以下优势：

1) 利用可控硅的高速开关特性，根据控制器实时检测到的放电角度，瞬时投入运行，可快速消除各种高频放电现象(可控硅动作是微秒级，间歇放电现象是毫秒级)。克服了故障早期的间歇弧光过电压的产生；

2) 可以在全频谱范围控制故障点接地电流大小，减少故障电流对绝缘的进一步破坏作用，降低单相接地造成的跳闸率；

3) 最大程度地缩短单相接地燃弧时间，对煤矿、化工等易爆场所来讲，可降低瓦斯与粉尘爆炸的风险；

4) 可实现高度自动化，投入和退出无需人为干预，接地故障的排除也可以用传统的拉路方式；

5) 安装方式与自动跟踪消弧线圈一样，但无需专用基建设施，节省投资。

## 5. 结论

采用电压偏置原理调节中压配电系统的中性点位移电压，将接地故障相电压钳制在故障点绝缘耐受电压之下，使故障点不再发生弧光放电，既消除了工频放电电流，也消除了高频放电电流，理论上消除了弧光过电压对系统的危害，消弧限压效果可以到达质的飞跃。

## 参考文献

- [1] 符信勇, 万军彪. 消弧线圈在配电网的应用及其效果[J]. 江西电力, 2004, 28(2): 4-8.
- [2] 李志东. 35 KV 系统接地故障分析及对策[J]. 中国高新技术企业, 2012(27): 105-107.
- [3] Chen, Z.R., Zhang, B. and Mei, N. (2009) Study on the Arc-Suppression Coil Based on Sectional TCR. 2009 *IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 1, 46-52.
- [4] 郭勇刚, 寇洪宇. 自动调谐消弧线圈在供电系统中的应用[J]. 电气时代, 2004(9): 92-99.

- 
- [5] 李润先. 谐振接地是我国中压配电网最理想的接地方式[J]. 高电压技术, 1994, 20(1): 40-44.
- [6] Huang, W.Y., Kaczmarek, R. and Bastard, P. (2004) An Efficient Treatment of Transient Residual Currents in Distribution Networks Grounded with Petersen Coil. *8th IEE International Conference on Developments in Power System Protection*, Amsterdam, 5-8 April 2004, Vol. 2, 685-688.
- [7] 要换年, 曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 第二版. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [8] 陆国庆, 姜新宇, 欧阳旭东, 等. 高短路阻抗变压器式自动快速消弧系统——配电网中性点新型接地方式的实现[J]. 电网技术, 2000, 24(7): 25-28.
- [9] 张雪梅. 自动调谐动态补偿消弧系统的应用[J]. 华东电力, 2008, 36(12): 150-152.
- [10] 何颀. 自动调谐消弧线圈投入引起谐振过电压的原因[J]. 高电压技术, 2007, 33(9): 216-217.
- [11] 徐涛, 李媛. 35kV 电阻接地系统故障分析与保护措施[J]. 供用电, 2009, 26(1): 42-44.
- [12] 曾荣华. 10 kV 配网中性点接地方式改造探讨[J]. 高电压技术, 2005, 31(6): 89-90.
- [13] 李景禄. 实用配电网技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)