

# 直流系统环路供电方式及环路接地问题研究

陈安伟<sup>1,2</sup>, 乐全明<sup>2</sup>, 于文斌<sup>3</sup>, 霍军超<sup>3</sup>

(1. 重庆大学, 重庆 400030; 2. 浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007; 3. 许继电源有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 对环路供电系统进行了描述, 着重分析了环路网络中通过二极管隔离时的电流分配状况, 从原理上进行了说明; 阐述了环路系统对直流系统安全性的影响以及给直流系统接地查找所带来的困扰。依据不同的系统状况与实施情况提出了三种工程解决方案: (1) 采用电气互锁的直流接触器或自动转换开关电器切换供电; (2) 把构成环路的两条馈线穿过同一个互感器供电; (3) 装置采用一主一备的两路隔离电源供电方案。并对这三种方案的优缺点进行了对比分析, 提出在实际工程中根据不同的负载和环路情况, 采取上述方案的组合来解决环路接地问题。

**关键词:** 环路供电; 绝缘监测; 环路接地

## Research on DC loop power supply mode and the loop grounding

CHEN An-wei<sup>1,2</sup>, YUE Quan-ming<sup>2</sup>, YU Wen-bin<sup>3</sup>, HUO Jun-chao<sup>3</sup>

(1. Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China;  
3. XJ Power Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper describes loop power supply system and emphasizes theoretically the loop network when the current through the diode distribution of isolation. And it furtherly elaborates the DC loop system of system security and difficulties caused by the DC system ground detecting. According to different system conditions and the implementation of three projects it proposes solutions: (1) using electrical interlocking DC contactor or switching power supply automatically to transfer switching equipment; (2) constituting a loop through the two feeder power supply with a transformer; (3) the device adopting a master-and-standby two-way isolated power supply program. The advantages and disadvantages of these three programs are compared. In the actual project and loop under different load conditions, a combination of the above programs is needed to solve ground loop problems.

**Key words:** loop powered; insulation monitoring; ground loop

中图分类号: TM715 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)11-0133-04

## 0 引言

直流系统是发电厂、变电站的一个重要组成部分, 是断路器控制回路、信号回路、继电保护和自动装置等二次回路所需的操作电源。直流系统的好坏, 直接影响发电厂、变电站的正常运行。

发电厂、变电站直流系统接地是一种常见且对电力系统危害较大的故障。直流系统接地可能造成继电保护误动, 因为跳闸线圈接直流电源, 系统绝缘不良或再有一点接地, 就可能引起保护误动、拒动, 危害电网的安全。因此, 不允许直流操作电源在一点接地的情况下长期运行。

对于一般的直流接地问题, 目前的直流绝缘监测技术能很好地检测出接地支路。但在实际工程应用中, 特别是电厂或较大的变电站中都存在着环路, 环路接地问题已经成为直流系统接地问题中较难解

决的问题。系统在负载侧两路进线的电源不隔离供电方式, 把两段母线连接起来构成环路。这样的接线方式给现场直流系统接地问题的查找造成了很大的困难。目前环路接地问题还没有成熟的解决方案, 为此, 本文对环路供电网络进行分析, 并着重分析了环路接地时整个环路接地网络中各个支路漏电流的分配状况, 并提出了应对措施及解决办法。

## 1 环路供电及直流接地问题分析

### 1.1 环路供电系统描述

图1是一工程的直流网络供电方式。直流系统的设计是两段母线运行, 重要负载从两段直流母线上取电, 在负载侧采用二极管隔离后同时向负载供电。这样的接线方式虽然可以避免两段母线的蓄电池组直接并联形成环流, 但导致两段母线不能完全电气隔离, 存在电气上的联系, 整个直流馈电系统

形成网络环流。导致直流馈电每个直流互感器(CT)都能检测到漏电流,使直流绝缘监测装置无法进行正常的支路绝缘检测。

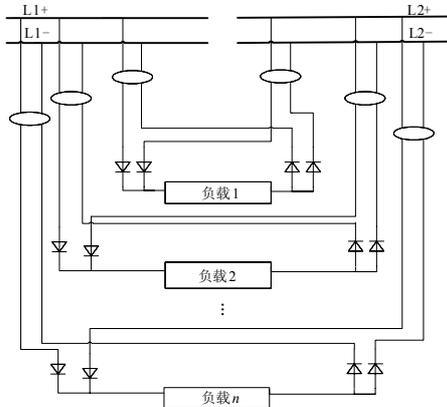


图1 环路供电的原理  
Fig.1 Principle of loop power supply

上述现象表面上是造成直流系统的支路绝缘检测不能正常工作,出现误报信号。如果从直流网络的供电安全考虑,还存在一些其它隐患:直流网络的设计原则是两段直流母线独立运行,对于重要负载可以设置两路隔离的供电电源进行切换,以增加系统的安全性。但图1的直流网络通过二极管把两段直流母线并联起来,实际上两段直流母线没有实现电气隔离,使得达不到设计的要求。并且当其中一段直流母线接地时,也会引起另一段直流母线接地,使直流供电网络复杂化,当发生接地故障时,无法快速查找接地的具体位置。另外,当发生负载短路故障时,会同时影响到两段直流母线的电压。

1.2 环路供电网络电流分布 (图2)

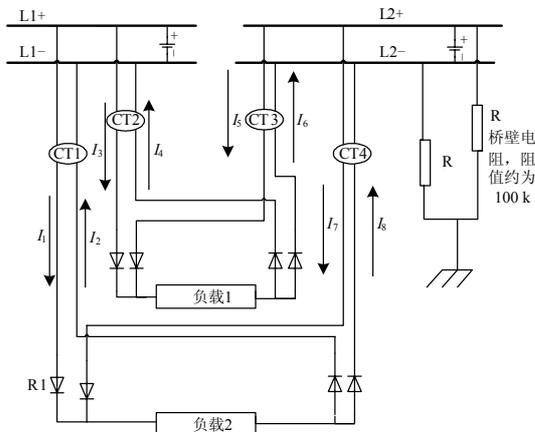


图2 环路供电网络电流分析  
Fig.2 Current analysis of loop power supply network

首先建立一个二极管的工作模型,如图3。

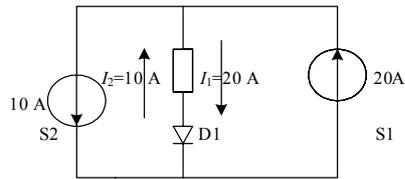


图3 二极管工作模型  
Fig.3 Diode working model

如图3所示两个电流源  $S1=20A$ ,  $S2=10A$ 。二极管相当于有一个理想二极管与一个等效电阻,二极管两段正向电压,所以二极管导通,流过二极管的电流  $I$  为  $I_1$  与  $I_2$  的矢量和,  $I=10A$ 。

在如图3所示的直流供电网络中,只要两段直流母线的电压接近,并且有一定的负载电流,就会出现两段母线都向负载供电的情况,由于杂散参数的存在,实际的二极管上有寄生电容和电阻,不能认为是理想二极管,也起不到任何电气隔离的作用。(可依据图3建立 matlab 的仿真模型,电流在上述网络中根据线路阻抗进行分配。仿真模型和实际的实验验证结果一致。)

根据基尔霍夫定律:

对负载1,存在关系式:

$$I_3 + I_5 = I_4 + I_6 \tag{1}$$

对负载2,存在关系式:

$$I_1 + I_7 = I_2 + I_8 \tag{2}$$

对于一段直流母线,存在关系式:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 \tag{3}$$

对于二段直流母线,存在关系式:

$$I_5 + I_7 = I_6 + I_8 \tag{4}$$

上述共可构建四个8元一次方程组,这是一个多解方程。而实际上具体的每条支路的电流值与线路的阻抗有关,由于电缆铺设后线路阻抗就确定了,所以,网络中实际的电流分配也是随阻抗分配的关系。

按照以上的关系式可以知道,即使在回路负载绝缘很好的情况下,回路电流也会根据回路导线和负载的阻抗进行再分配。对于单条馈线,从母线流入CT的电流与从互感器流回母线的电流不一定相等,就会产生电流差,所以,绝缘监察装置就有可能误报信号。

这是直流网络的部分接线方式的抽象分析,如果构成环路的负载越多,电流的分配越复杂,现场实际情况比上述模型有更多的环路负载。采用这样接线方式的所有负载构成了一个特殊的网络,电流根据负载的阻抗和导线的阻抗在网络中进行分配。

对某个单独的直流馈线,即使没有接地的情况发生,还是会有进出 CT 的电流不相等的情况,并且这个电流都会远远大于漏电流互感器的量程,对 CT 来讲,就会感应出电流差值信号。

### 1.3 直流接地问题分析

如图 4 所示,  $I_1$ 、 $I_2$  分别为负载穿过 CT 的正负极电流,  $I_3$  为接地电阻产生的漏电流, 它们之间有以下的关系成立:

$$I_3 = I_1 - I_2$$

当无接地现象, 即负载等效的接地电阻为无穷大时:

$$I_3 = I_1 - I_2 = 0$$

这时穿过 CT 的负载电流大小相等、方向相反, CT 的电流感应磁场相互抵消, 二次侧不会产生感应信号。

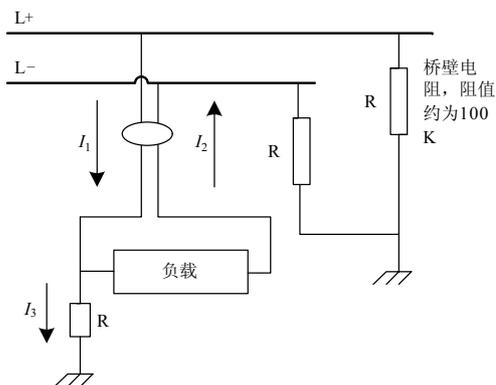


图 4 直流接地问题分析

Fig.4 Analysis of DC grounding problem

当有接地现象, 即存在一定的负载等效接地电阻时:

$$I_3 = I_1 - I_2 \neq 0$$

这时穿过 CT 的负载电流方向相反, 但大小不相等, 其差值反映的就是支路对地绝缘的漏电流信号, 在 CT 中形成漏电流感应磁场, 二次侧就会产生相应的感应信号。并且  $I_3$  为正值时, 表现为直流正极接地;  $I_3$  为负值时, 表现为直流负极接地。

一般情况下,  $I_3$  的变化范围不超过  $\pm 20$  mA, 作为绝缘监测的电流互感器为了保证测量精度, 设计的量程一般也都在  $\pm 20$  mA 的范围内。

## 2 环路供电工程解决方案

### 2.1 工程解决方案一分析

采用电气互锁的直流接触器或自动转换开关电器切换供电。

图 5 中只示意了一个环路供电负载的切换电路。实际的情况可以有两种选择: 一是工程上设置一个电源切换柜集中给冗余受电负载供电; 而在冗余受电负载侧分散加装这样的自动转换开关电器。

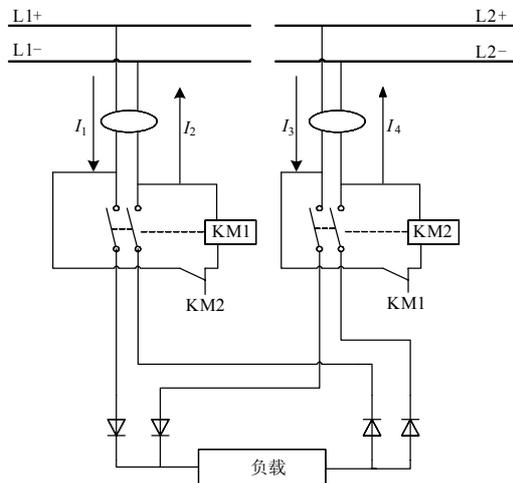


图 5 环路供电解决方案一

Fig.5 Program 1 of loop-powered solution

优点:

(1) 两路电源通过自动转换开关电器给负载供电, 能可靠避免直流网络形成无隔离环路供电情况, 实现电气完全隔离。

(2) 电路简单, 无需对绝缘监测装置做特殊的支路配对处理, 可靠性较高。

(3) 负载侧的短路故障只会影响其中一段母线, 不会造成事故扩大。

缺点:

(1) 两路电源的切换过程存在短时失压的情况, 对于信号负载回路, 需要装设电容储能装置, 以补偿切换过程电源电压的跌落。

(2) 设置电源切换柜集中供电, 对自动转换开关电器的可靠性要求很高, 其故障的影响面太大, 运行风险较高。

(3) 在冗余受电负载侧分散装设自动转换开关电器和储能装置, 增加控制保护信号装置的系统成本。

综上所述, 从保证直流供电安全可靠的要求看, 装设自动转换开关和储能装置的方案宜采用在冗余受电负载侧分散设置的方式, 不推荐设置电源切换柜集中供电的方式。

### 2.2 工程解决方案二分析

把构成环路的两条馈线穿过同一个互感器供电。

采用这种方案, 在工程设计时, 需要将构成环

路供电的支路（不管来自一段母线还是来自两段母线）CT 装设在一个机柜内，把构成环路的两条馈线穿过同一个 CT 向负载供电，这样可以有效解决负载环路供电时误报接地信号的问题。

这种方案的缺点是：

(1)直流网络形成无电气隔离环路供电状态，负载侧的短路故障会影响到两段母线。

(2)工程设计时，需要独立设置一个给冗余受电负载供电的环路馈电柜(见图 6)。而系统设计单位需要密切与控制、保护和电源生产厂家配合，将环路供电的负载事先统计清楚，并且改造成图 6 所示的直流供电网络。操作起来比较麻烦。

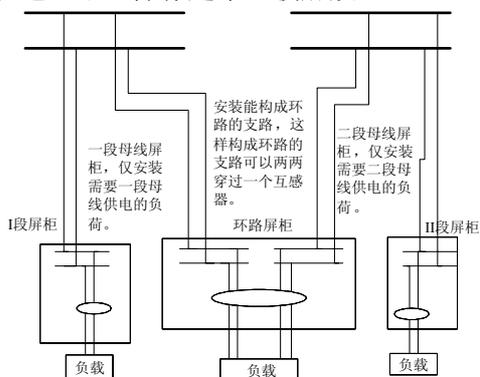


图 6 环路供电解决方案二

Fig.6 Program 2 of loop-powered solution

### 2.3 工程解决方案三分析

装置采用一主一备的两路隔离电源供电，如图 7。



图 7 环路供电解决方案三

Fig.7 Program 3 of loop-powered solution

这种方案的优点是既可以保证双路电源热备份供电，又可以解决环路供电的电气绝缘隔离问题，同时不需要对绝缘监测装置进行特殊的支路配对处理。

缺点是增加控制保护装置的系统成本，对于复杂的信号回路负载不适用。

### 3 上述方案在解决工程问题中的应用

通过综合比较，对于冗余受电负载，其直流供电网络的设计推荐以下两种方案：

(1)设置独立的环路负载馈电柜，系统成本较低，且适用于各类负载。缺点是供电环路无电气隔离措施。

(2)对于控制保护装置，采用方案三的 DC-DC

变换隔离的供电方式；对于信号回路，采用方案一的分散装设自动转换开关电器和储能装置的供电方式。显然，这种方案的系统成本较高。

### 4 结语

本文对直流系统环路问题进行了分析，并提出了以下三种解决方法：

(1)方案一采用电气互锁的直流接触器或自动转换开关电器切换供电。这样在同一时刻，只有一路直流电给负荷供电，实际上取消了环路；但这样可能造成短暂失压，增加了系统成本；

(2)方案二是把构成环路的两条馈线穿过同一个互感器的办法来解决环路接地检测的问题，可以有效解决这个问题。但这种方案下构成环路的两段母线不隔离，需要项目组织严密，多方良好配合才能达成；

(3)方案三是装置采用一主一备的两路隔离电源供电方案，优点是既可以保证双路电源热备份供电，又可以解决环路供电的电气绝缘隔离问题，同时不需要对绝缘监测装置进行特殊的支路配对处理；但对负载受隔离 DC/DC 模块功率限制。

上述环路问题解决方案在实际工程中根据不同的负载和环路情况，采取上述方案的组合可有效解决环路接地问题，并已经在变电站中得到实际应用。本文为新投运的变电站在系统方案设计时解决环路问题提出了意见，增加了可靠性和安全性，大大减少了直流系统接地问题查找的维护工作量，提高了变电站的运行维护水平。

### 参考文献

[1] GB/T 19826-2005 电力工程直流电源设备通用技术条件及安全要求[S].  
GB/T 19826-2005 general specification and safety requirements for DC power supply equipment of power projects[S].

[2] DL/T 5044-2004 电力工程直流系统设计技术规程[S].  
DL/T 5044-2004 technical code for designing DC system of power projects[S].

[3] 白忠敏. 电力工程直流系统设计手册[Z].

收稿日期：2009-10-20； 修回日期：2010-04-07

作者简介：

陈安伟 (1966-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力技术经济, E-mail: chen\_anwei@zj.sgcc.com.cn

乐全明 (1974-), 男, 工学博士, 高级工程师, 研究方向为智能电网、继电保护等;

于文斌 (1968-), 男, 高级工程师, 主要从事电力控制电源的研究与产品开发。