

# 电力系统单相接地电流自动补偿装置

陈晓宇, 郑建勇, 聂成新

(东南大学电气工程系, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 通常情况下, 在中压配电网中, 当电网发生单相接地故障时, 在接地点会流过较大的全系统对地电容电流, 并进而容易引起相间短路, 对电网造成很大危害。研制的该装置通过一系列的测量值实时计算出故障时的电网对地电容电流, 并通过控制装置调节消弧线圈实现跟踪补偿。经论证本装置能够在较短的时间内将接地电流减至规定的范围内, 进而实施完全补偿。

**关键词:** 消弧线圈; 跟踪补偿; 自动控制

**中图分类号:** TM714.3

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1003-4897(2002)02-0054-03

## 1 引言

长期以来, 我国 6-10kV 中压配电网都是采用中性点不接地或经消弧线圈接地的方式。近年来随着中压配电网容量不断扩大, 并且城市配电网大量采用电缆线路代替原来的架空线路, (电缆线路的对地电容约为架空线路的 30 倍) 致使电网对地电容电流大大增加。当中性点不接地时, 在接地点将通过全系统的对地电容电流, 使非故障相的绝缘破坏而造成相间短路, 对电网造成很大的危害。在中性点经消弧线圈接地方式下, 单相接地时通过接地点的总电流  $i$  为电感电流与全系统电容电流的向量和, 即  $i = \dot{I}_L + \dot{I}_C$ , 但因为电网的对地电容电流随电网运行方式的变化而变化, 也受环境的影响, 要很好地实现对地电容电流的补偿, 消弧线圈的电感值应随电容电流的变化而调节, 实现最佳补偿。

本文介绍的自动跟踪补偿装置可以实时根据测量值采用相应算法计算出电容电流, 通过自动控制系统对消弧线圈进行调节, 从而将接地残流降至安全范围以内。

## 2 装置的组成

自动跟踪补偿消弧设备包括消弧线圈本体、控制系统两大部分, 消弧线圈本体包括接地变压器, 可调消弧线圈和串联电阻, 控制部分由单片机及相关芯片组成。

### 2.1 消弧线圈部分

消弧线圈部分由接地变压器、消弧线圈、串联电阻组成, 如图 1 所示。

一般情况下无消弧线圈的不接地系统发生单相接地短路时易引起其它故障, 如相间短路等等, 但

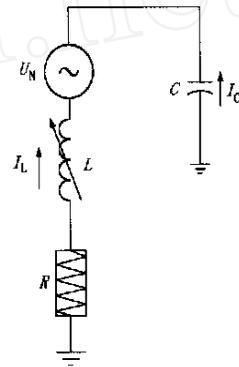


图 1 消弧线圈部分原理图

在正常运行时的不平衡电压一般较小。在加装了消弧线圈以后, 发生单相短路时接地电流减小, 但在正常运行状态下的系统不平衡电压往往会增加。

加装了消弧线圈后在正常运行状态下的系统不平衡电压 (即中性点位移电压) 为

$$U_N = \frac{K_{0C}}{\sqrt{V^2 + D^2}} U_\phi \quad (1)$$

式(1)中  $K_{0C} = \frac{C_a + C_b + C_c}{C_a + C_b + C_c}$  为电网的不对称度  $= e^{-j120^\circ}$ ;

$U_\phi$  为电源相电压;  $V = \frac{I_C - I_L}{I_C}$  为脱谐度;

$D = \frac{1}{R_w (C_a + C_b + C_c)}$  为阻尼率,  $C_a$ 、 $C_b$ 、 $C_c$  分别为电网三相对地电容。

对于消弧线圈接地系统来说, 一般要求的是脱谐度  $V$  越小越有利, 但由公式(1)可见, 加装了消弧线圈后随着脱谐度  $V$  的减小, 中性点位移电压  $U_N$  往往会增加, 而且很可能会超出安全范围, 因此需要加装串联电阻以减少正常状态下的中性点位移电

压。

当存在串联电阻时,在正常运行状态下电网的不平衡电压为

$$U_N = K_0 C \sqrt{\left(\frac{1}{3 C_0 R}\right)^2 + 1} U_\phi \quad (2)$$

式(2)中的  $3 C_0$  为线路对地总电容,通过式(1)与式(2)的比较,可见通过接入适当阻值的串联电阻,可以将中性点位移控制在规定的 15% 的范围内,在系统发生单相接地时通过控制系统将串联电阻切除,以取得较好的补偿效果。串联电阻采用漆包镍铬电阻丝绕制而成,电阻值稳定。阻尼电阻太大会使正常运行中调节回路电流太小,不能满足微机输入信号要求,调节灵敏度降低,并且会增加接地残流。

## 2.2 自动控制系统硬软件设计

### 2.2.1 自动控制系统工作原理

#### a) 中性点位移电压的监测

在装置中根据  $U_N$  的变化来判断是否有单相接地。当  $U_N$  的变化超过一定数值  $U_\phi$  时,控制系统会自动测量电容电流,然而  $U_N$  的值受很多因素的影响(如绝缘泄漏的变化,式(1)中各参数的变化等等),在本系统中采用以固定时间间隔采集,分析其变化量,根据测量值若确定其对地电容发生变化则测量电容电流。

#### b) 电容电流的实时测量

当根据  $U_N$  的变化值判断发生单相接地时,要实时测量电容电流并据此调节消弧线圈,尽量实施完全补偿。在本装置中采用中性点位移电流相位角法测电容电流。在系统初始化时调节一次档位,根据测量值计算电容电流。在消弧线圈的初始档位测量此时的电流得  $I_i$ , 电流相位角为  $\alpha_i$ , 再调节一次档位测得此时的电流值  $I_{i+1}$ , 电流相位角为  $\alpha_{i+1}$ , 并测出相电压  $U$ , 为调节一次档位后电流与电压的夹角。测得的两个相位角代入  $\alpha = \alpha_{i+1} - \alpha_i$  中算出两次的相位差<sup>[1]</sup>。系统中采用富氏短数据窗算法得到相位信号的值。为了实现精确计算,以下计算部分的程序均用 C 编写,并嵌套在汇编中。

$$\text{tg} = \frac{I_i - I_{i+1} \cos \alpha}{I_{i+1} \sin \alpha} \quad (3)$$

$$X_c = \frac{(X_{Li} - X_{Li+1})(\text{tg} \alpha - \text{tg} \alpha_i)}{\text{tg} \alpha (1 + \text{tg}^2 \alpha)} + X_{Li} \quad (4)$$

$$I_c = \frac{U}{X_c} \quad (5)$$

$$\text{脱谐度} = V = \frac{I_c - I_L}{I_c} \quad (6)$$

根据输入量由公式(5)计算的电容电流  $I_c$

由公式(6)计算脱谐度。

#### c) 对地电容电流的补偿

当确定为单相接地时,单片机控制系统会立即切除串联电阻,同时根据上面计算部分所得的电容电流值对消弧线圈的档位进行调节。然后再次测量电容电流,若此时计算所得的电容电流值,则继续调节消弧线圈,反复这个控制过程直至对地电容电流减小至 5A 以下。

### 2.2.2 自动控制系统硬件结构(如图 2 所示)

系统硬件结构主要由四个部分组成:

#### a) 数据处理单元

数据处理单元是微机保护装置的核心部分,其组成主要包括 CPU、存储器、时钟电路等。在本系统中采用 80C196KC。在此系统中 196 芯片与 XILINX 的 9572 芯片共同构成了系统的核心,并完成大部分的数据暂存、逻辑判断、时序分离和总线驱动等功能。存储器 DS1644 (RAM)、27256 (EPROM) 用来存放程序、采样数据、中间运算结果和整定值的。采用 EPROM 来存放程序和整定值,用 RAM 来存放采样数据、中间运算结果等需要随时存取的数值。本系统中采用的 DS1644 为带有非易失 SRAM 的时钟芯片(包含有晶振和锂电池),32K 字节的 RAM 的最高的 8 字节是存放时间信息的,包括年、月、日、星期、小时、分、秒及控制位,其数据格式 BCD 码。系统中采用的 watchdog 芯片是 X5043,具有可选看门狗溢出定时器,并且有 4kbits 的 EEPROM。该 EEPROM 具有写保护功能,只有正确输入了写允许命令后才能被正确写入,一旦写操作动作完毕,大自动回复写保护,极大地提高了系统的可靠性。

#### b) 模拟量采集单元

模拟量采集单元是将电流互感器和电压互感器二次侧输出电流和电压的模拟量,转换成数据处理单元能够接受的数字量,其中包括信号调理、低通滤波、采样保持、A/D 转换等几个部分。在本系统中采用 AD7891 芯片,该芯片具有多路开关和采样保持功能,是一个 8 通道 12bits 的数据采集系统,数据输出选择为并行输出,单通道转换时间为 1.6 $\mu$ s,满足系统的采样速度要求。因为系统外部总线采用的是 8 位方式,但 AD7891 是 12 位并行输出的,其中有一个总线宽度转换问题,考虑到总线宽度频繁转换会带来一些负面影响,所以决定系统总线宽度不变,每

次读 AD7891 时直接读入低 8 位,而将高 4 位放在 CPLD 中进行锁存,然后通过另外一个地址的访问读出该 4 位(其中所用到的译码电路均由 CPLD 内部实现)。

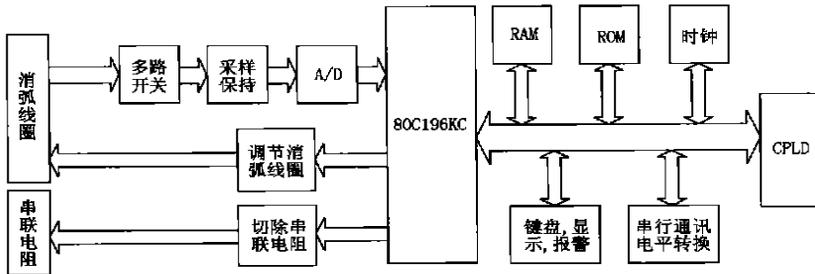


图 2 系统硬件结构框图

### c) 开关量输出单元

开关量输出单元主要是将微机处理后的输出量以需要的形式输出,以起到控制作用。因其可能会将外部干扰带入装置,所以继电器与微机系统需要经过光耦隔离,并采用独立的电源。系统中对开出量口的扩展功能集成在 CPLD 中,并挂在 CPLD 内部的地址/数据总线上。

### d) 通信单元

键盘、显示器、并行口、串行口和打印机主要作为人机交流的接口,是操作人员控制和监测装

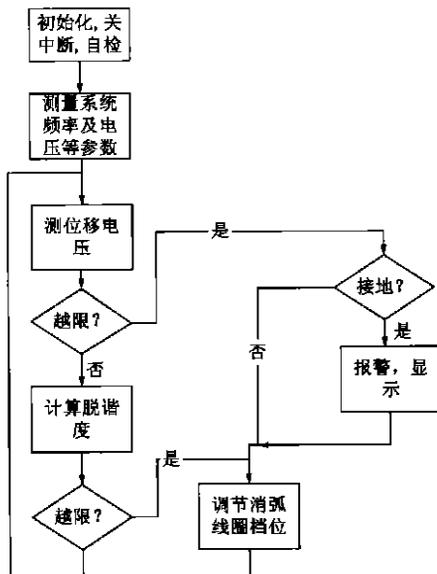


图 3 主程序流程图

置工作状态的桥梁。并且可以通过串行口与通讯管理机之间实现通讯。键盘直接接入 CPU 的 P1 口,作为外部中断。显示采用液晶显示模块 MGLS12864T,显示屏点阵 128 × 64 点,可以实现文

本、图形、文本图形合成方式显示。字体为 8 × 8。LCM 属于低速器件,CPU 对它进行访问时要加入等待周期。装置采用 MAXIM 公司的 RS - 485 光电隔离接口芯片 MAX1480B。只要在逻辑侧提供单一 + 5V 电源就可以通过 DC/DC 变换器为接口两侧提供电源,通信方式为半双工,传输速率可达到 250kbps,并有传输速率限制电路,有过载保护。

### 2.2.3 自动控制系统主程序流程(如图 3 所示)

## 3 结束语

通过原理阐述及相关测试表明本装置能完成对中性点位移电压的监测以及电容电流的实时测量和补偿,使系统始终运行在最佳状态,在增强系统过电压能力的同时,大大减少了原有消弧线圈的调整操作,使运行安全可靠性和进一步提高,也降低了运行和调度人员的工作强度。可以大大减少故障点工频无功电流,并且减少了单相接地故障发展为相间短路的几率。

### 参考文献:

- [1] 李润先. 自动补偿消弧装置在煤矿高压配电网中的应用[J]. 北京:中国电力,1991,(10):25 - 46.
- [2] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京:水利水电出版社,1993.
- [3] 顾精彩. 智能型接地补偿装置的研究及应用[J]. 北京:中国电力,1996,(5):24 - 28.
- [4] 蔡旭. 自动跟踪电网电容电流动态补偿系统研究[J]. 南京:电力系统自动化,1995,(8):57 - 61.

收稿日期: 2001-10-26

作者简介: 陈晓宇(1979 - ),男,硕士研究生,研究方向为电力电子; 郑建勇(1966 - ),男,教授,副系主任,研究方向为电力电子。

## A kind of auto-compensation single-phase earthing current device of electric power system

CHEN Xiao-yu, ZHENG Jian-yong, NIE Cheng-xin  
(Southeast University, Nanjing 210096, China)

# 变电站自动化系统中安全自动装置关键技术的探讨

王立宁, 张忠宇, 刘志军

(烟台东方电子公司, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 对变电站自动化系统中安全自动装置的四个方面的问题进行了探讨, 列举了作者的一些研究心得和思考, 以供大家参考。

**关键词:** 同期合闸; 自适应; 模式识别

**中图分类号:** TM63; TP23      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1003-4897(2002)02-0057-03

## 1 同期合闸

### 1.1 概要说明

同期合闸是变电站中经常遇到的操作, 对减小冲击, 提高系统稳定性具有重要作用。同期的条件有三点: 频差、压差、角差合格<sup>[1]</sup>。

同期要求为安全、准确、快速。三个条件中安全最重要, 同期装置必须有完善的闭锁功能, 宁拒动不误动。对差频同期, 在系统角差为0时合闸, 对系统的冲击最小; 电厂中作为发电机的并网, 快速性也很重要, 捕捉第一次0角度合闸可以节省大量能源。

### 1.2 环网并列与差频同期

差频同期是指两个没有电气联系的系统的并列, 包括发电机的并网及两个无联系电网的并列; 两侧的频率不同, 有可能捕捉到0角度合闸时机。环网并列是指两个本已有电气联接的系统, 再在该点增加一个联络开关; 两侧频率相同, 相角差即为系统在这两点之间的功角, 该角度在网络拓扑及负荷没有大变动时基本保持不变。

国内有的称之为检同期与捕捉同期, 有的称之为检同期与准同期, 有的叫同频同期与差频同期。两个系统若频率相差在测量误差范围内, 是同频, 但却不能按同网来同期, 为了物理概念上的清晰, 本文定义这两种方式为环网并列与差频同期。

差频同期的目标是捕捉第一次的零相角差时机合闸, 即自动准同期; 环网并列相角差为两端的功角, 仅是一个压差和功角的闭锁功能。

### 1.3 同期遥控方式及自适应识别

环网并列和差频同期的要求不同。装置虽然可以自适应地判断出是同频还是差频, 但对频差很小的系统, 这样作意味着牺牲一些时间来判断, 会对合闸的时机带来延误。而调度员是了解系统的运行结构的, 知道欲合闸的断路器是处于同频还是差频同期的位置, 在发命令的时候即区分开同频同期、差频同期、遥控合闸命令会更好。装置的自动识别功能, 是指在合闸命令下发后, 自动判断是差频、同频还是无压状态, 并由不同的约束条件进行操作。

### 1.4 合闸导前时间的计算

装置出口到断路器合上闸的动作时间准确获得直接关系到同期点角差的准确性。常规方法是通过开入量的方式, 即通过接入断路器的辅助触点, 来计算发出合闸命令到该信号变位的时间。该方法思路直接, 容易实现; 但是当断路器合上电流的时刻与辅助触点变位不一致的时差会引入误差, 另外触点抖动也影响精度。

本文提出一种模拟量检测导前时间的方法, 即用电流的从无到有的检测。若采样装置采样速率能达到64点/周波(DF1700模块采样速率), 则时间分辨率约为0.3ms, 可以满足要求。这种方法要求引入电流的检测, 分布式的同期系统一般是将同期功能融合在断路器的测控单元中, 能满足这种要求。该方法物理概念更为清晰: 从无流变为有流(而不是辅助触点变位)时, 才算真正合闸成功。

### 1.5 同期算法

**Abstract:** In the middling voltage electric power system, when the net meet the single-phase earthing malfunction, there would be so much earthing current of electric power system and it would evoke the short circuit between phase and phase. This device can calculate the passing earthing current and regulate the arc-extinguishing coil to reduce the earthing current. By the demonstration the device can cut down the earthing current to the stated extent.

**Keywords:** arc-extinguishing coil; tracking compensation; automatic controlling