

# 通过变压器电容式套管末屏获取过电压信号的方法

明志强, 许 虎

(南充电业局, 四川 南充 637000)

**摘 要:** 电网过电压是影响电网安全的重要因素。对电网过电压进行在线监测, 实时获取电网过电压波形及其特征参数, 对分析电网事故原因、改进电网绝缘配合等方面具有十分重要的指导作用。现有的过电压在线监测系统多采用高压分压器来获取电压信号, 但是, 由于高压分压器自身特性, 限制了其在更高电压等级电网下的应用。针对这一问题, 提出了一种利用安装在变压器电容式套管末屏的特制电压传感器组成套管分压系统, 从电容式套管的末屏抽头处获取电压信号的过电压在线监测实现方案。

**关键词:** 电网; 过电压; 套管; 在线监测; 电压传感器

**Abstract:** Overvoltage is a critical factor influencing the security of power grid. It is necessary to carry out online monitoring of overvoltage in power grid and obtain the waveform and characteristic parameters of overvoltage which is very helpful in analyzing the power grid accident and improving the insulation cooperation. Most of the existing overvoltage monitoring systems adopt the divider to obtain signal. But for the reasons of the deficiencies of the divider, its application under higher voltage grade is limited. Aiming at this problem, the key technologies of overvoltage online monitoring system are studied systematically and a method that using a special designed voltage sensor which is installed at the tap of bushing to obtain the voltage signal from the power grid is presented. Also a new type of overvoltage monitoring system model/machine based on this method is developed.

**Key words:** power grid; overvoltage; bushing; online monitoring; voltage sensor

**中图分类号:** TM531 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2009)04-0065-04

## 1 当前过电压监测存在的问题

电力系统中的过电压类型多种多样, 其产生原因和危害也各不相同。当出现过电压事故时, 虽然电力系统中安装了大量的故障录波装置, 但由于过电压信号往往幅值高、陡度大、持续时间短, 而故障录波器的电压信号通常取自电磁式电压互感器, 由于铁磁饱和, 频率特性比较差, 无法获取电网过电压的真实信息, 无法满足暂态过电压的测量要求。

由于没有有效的过电压监测手段, 难以快速准确记录电网过电压发生、发展过程, 无法获取事故发生时的过电压特征, 严重制约了对事故原因的准确分析。

目前对于电网过电压的机理研究以及系统绝缘配合的确定绝大部分都是采用电磁暂态数值仿真的方法, 仿真中的系统设备的数学模型是在一定的简化基础上建立起来的, 模型过于简单, 不能真实地反映电网实际的波过程。

## 2 套管电压传感器的结构和基本原理

套管是用来把电流引入或引出变压器、断路器、电容器或其他电器设备的金属外壳的设备, 也用于导体或母线穿过建筑物或墙壁 (电站用套管)。

电容式套管是目前高压、超高压系统中最常用的型式。电容式套管的绝缘采取内绝缘与外绝缘相结合的结构, 电容套管的导杆常采用铜杆或铜管。通常的油纸电容式套管的电容芯子以电缆纸浸以矿物油为绝缘, 在导杆上包以多层绝缘, 在层间按设计所要求的位置上夹有铝箔, 其等效电路为一串同轴圆柱形电容器串联, 其电容量大小主要受到环境温度、介质间绝缘强度、局部放电等因素影响, 正常情况下其值变化不大。

套管末屏电压传感器安装于变压器电容式套管末屏测量抽头处, 传感器的安装示意图如图 1 所示。

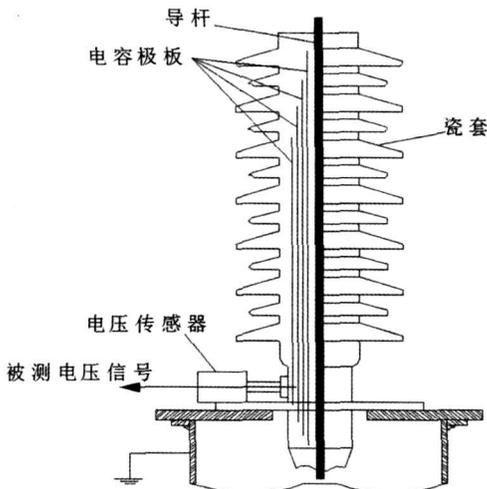


图 1 套管末屏电压传感器安装示意图

套管末屏电压传感器电路原理图如图 2 所示。图中  $C_s$  为分压电容,  $R_s$  为分压电阻,  $R_p$  为匹配电阻, PS 为保护单元。

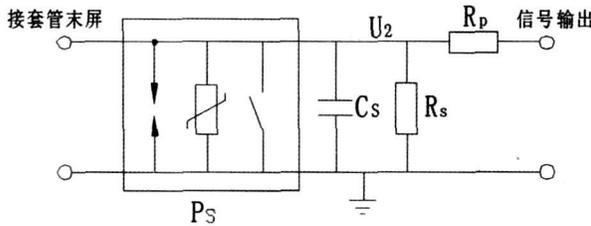


图 2 套管末屏电压传感器电路原理图

图 3 为传感器结构示意图。传感器由分压单元、保护单元以及信号传输电缆接口等几部分组成。分压单元由分压电容和分压电阻组成, 分别构成电路高频响应和低频响应通路。为了减小分压单元元件与输出回路之间的磁耦合, 最大限度地减少残余电感对传感器响应特性的影响, 传感器结构采用了同轴圆柱结构。匹配电阻穿过传感器中心与信号传输电缆接口连接。阻容分压元件并联连接, 并沿圆周对中心均匀对称排列。整个传感器最外层为金属外壳, 通过接地的金属外壳实现对核心部件的电磁屏蔽。

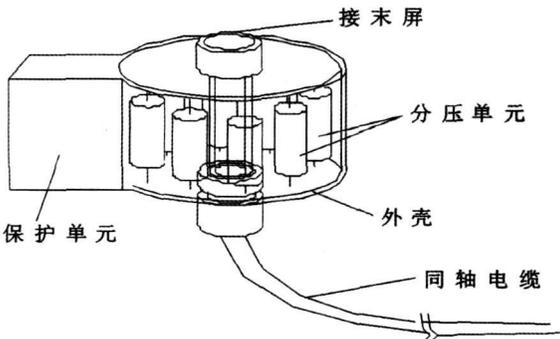


图 3 套管末屏电压传感器结构示意图

为了简化分析, 将电容式套管以纯电容来等效。图 4 为整个系统电路模型, 图中  $C_1$  为套管主电容,  $C_2$  为电压传感器等效分压电容,  $R_1$  为套管导杆对末屏绝缘电阻,  $R_2$  为等效分压电阻,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  共同构成一个电容分压电路, 由于套管绝缘电阻  $R_1$  和分压电阻  $R_2$  通常很大, 且测量单元电路的输入阻抗为兆欧级, 为分析方便, 可采用图 5 简化电路模型。

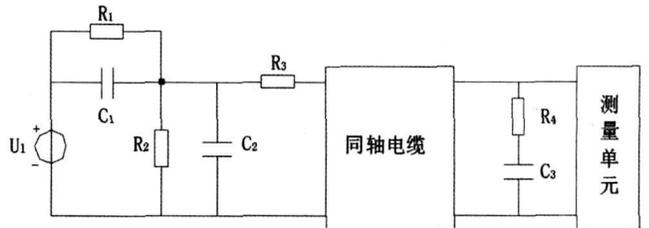


图 4 系统电路模型

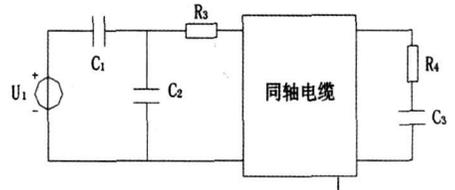


图 5 系统电路简化模型

图 5 中, 同轴电缆的匹配采用首末两端匹配。 $R_3$ 、 $R_4$  为匹配电阻, 其阻值均等于电缆波阻抗  $Z$ 。  $C_c$  为电缆的分布电容。由于  $C_c$  很小, 约几千 pF, 故可以忽略。进入电缆的波为

$$U_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{Z}{Z + R_3} = U_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{Z}{Z + Z} = \frac{1}{2} \frac{C_1 U_1}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

同轴电缆末端连接  $R_4$ 、 $C_3$ ,  $R_4$  等于电缆波阻抗  $Z$ ,  $C_3 \approx C_2$ , 由于进入波到达末端时不发生反射, 故初始分压比为

$$\frac{U_1}{U_2} \Big|_{t=0} = \frac{2(C_1 + C_2)}{C_1} \quad (2)$$

到达稳定后的最终分压比为

$$\frac{U_1}{U_2} \Big|_{t=\infty} = \frac{(C_1 + C_2 + C_3 + C_c)}{C_1} \quad (3)$$

电路中选择  $C_1 + C_2 = C_3 + C_c$ , 可得电路的初始分压比等于最终分压比。

为保证套管末屏回路在运行中不会断开, 同时抑制系统有害过电压对二次侧系统的侵入, 为此在传感器上设计了一个保护单元电路, 保证在传感器发生故障时, 钳制测量端子上的电压保持在安全范围内, 保护单元可靠动作, 使末屏可靠接地。

保护单元采用压敏电阻、放电管和继电器共同组成的混合保护电路。

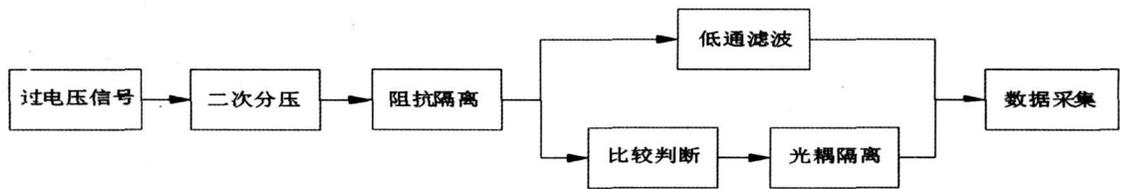


图 6 过电压在线监测数据采集系统原理框图

### 3 过电压采集的方法和原理

电压传感器安装于 110 kV 电容式套管末屏测量抽头处,当过电压信号到来时,首先传感器将高压的过电压信号变换为对应的低压信号,通过同轴电缆传送到信号处理前置电路,前置电路对传感器输出的信号进行必要的调理后,将输出的信号送至数据采集卡进行采集。整个过电压数据采集系统主要由信号调理电路、触发电路、保护单元控制电路、数据采集卡以及相应的采集软件组成,其组成原理框图如图 6 所示。从传感器输出的信号经过二次分压电路分压后,分成两路,一路通过阻抗隔离输入到数据采集通道;另一路进入触发电路,输入到比较逻辑电路,再通过高速光耦隔离后输入到采集单元的触发通道以便启动采样。只要有任一相电压超过预先设定的电压阈值,采集电路就开始采样。

#### 3.1 二次分压电路

二次分压的作用是将输入的较大幅值信号按比例减小。二次分压的要求是有足够宽的幅值调节范围与频率范围、准确的分压系数和高值且恒定的输入阻抗,信号经过二次分压后不产生非线性失真。为达到上述基本要求,采用了阻容补偿式二次分压网络,其基本结构如图 7 所示。

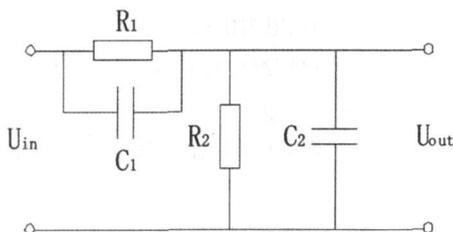


图 7 二次分压电路基本结构

图 7 中  $C_1$  为提升电容,  $C_2$  为延迟电容,当  $C_1 R_1 < C_2 R_2$  时,输出波形仍出现边沿局部变坏的现象,当  $C_1 R_1 > C_2 R_2$  时,输出波形出现过冲,说明  $C_1$  的加速作用超过了  $C_2$  的延迟作用。如果  $C_1$  的数值调整得合适,则加速作用和延迟作用互相抵消,达到最佳补

偿。要得到最佳补偿效果,就必须使输出波形的初始值  $U_{out}(0^+)$  和稳态值  $U_{out}(\infty)$  相等。

$$U_{out}(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{in} \quad (4)$$

式 (4) 表示稳态时,电路输出表现为电阻分压的结果。输出电压初始值  $U_{out}(0^+)$  的确定:当信号加入瞬间,电容呈短路,电流主要通过  $C_1$  和  $C_2$  并对  $U_{out}(0^+)$  分压,因为在跳变的瞬间流过  $C_1$  和  $C_2$  的电流相等,两者所充的电荷也相等,即:

$$Q = C_1 U_1(0^+) = C_2 U_{out}(0^+) \quad (5)$$

按回路电压定律:

$$U_{in} = U_1(0^+) + U_{out}(0^+) \quad (6)$$

得

$$U_1(0^+) = \frac{C_2}{C_1} U_{out}(0^+) \quad (7)$$

于是有

$$U_{out}(0^+) = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_{in} \quad (8)$$

式中,  $\frac{C_1}{C_1 + C_2}$  为电容分压比,若稳态值  $U_{out}(\infty)$  和初始值  $U_{out}(0^+)$  相等,则必使电阻分压比和电容分压比相等,即:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (9)$$

$$C_1 R_1 = C_2 R_2 \quad (10)$$

只有满足  $C_1 R_1 = C_2 R_2$  时,二次分压后信号才可能不失真。

#### 3.2 触发电路

触发电路是将调理电路的输出信号与预先设定的触发电平进行比较,判断电网是否出现过电压,以便能实时启动采集单元进行数据采集。由于电网过电压信号的随机性,事先无法确定发生过电压的极性,因此触发电路采用了双比较器组成窗口检测电路,实现不同极性过电压的触发判断。触发电路原理图如图 8 所示。

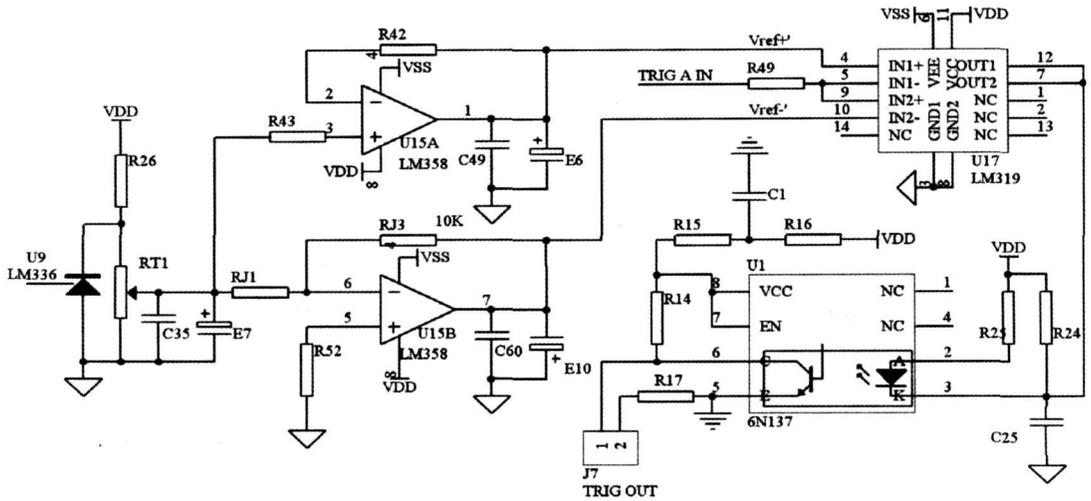


图 8 触发电路原理图

## 4 结 论

在总结国内外过电压在线监测领域已有研究成果,分析现有技术所存在的不足之处的基础上,针对高压电网过电压在线监测系统的关键技术进行了研究,提出了一种基于套管电容分压的高压过电压在线监测系统整体设计方案和实现方法,为进一步提高过电压信号实时监测手段做了有益的探讨。

### 参考文献

- [1] 孙才新,司马文霞,赵杰,等.特高压输电系统的过电压问题[J].电力自动化设备,2005,25(9):5-9.
- [2] 刘振亚.特高压电网[M].北京:中国经济出版社,2005.

- [3] 胡学浩.美加联合电网大面积停电事故的反思和启示[J].电网技术,2003,27(9):1-6.
- [4] 葛睿,董昱,吕跃春.欧洲“11.4”大停电事故分析及对我国电网运行工作的启示[J].电网技术,2007,31(3):1-6.
- [5] 王梦云,薛辰东.1995~1999年全国变压器类设备事故统计与分析[J].电力设备,2001,2(1):11-19.
- [6] 关根志.高电压工程基础[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [7] 赵自刚,赵春雷.国产故障录波器现状分析及新型录波器展望[J].电网技术,1999,23(3):44-47.
- [8] 姚陈果,孙才新,王士彬,等.配电网过电压在线监测系统的设计与实现[J].电力系统自动化,2004,28(9):74-76.

(收稿日期:2009-03-10)

(上接第 51 页)

经逻辑判别作用于保护装置跳闸。电弧光保护系统由主单元、辅助单元和弧光传感器 3 部分组成。采用弧光做为主判据、过流为辅判据,能以最快速度切除故障回路,减少设备财产的损失,保护工作人员的人生安全<sup>[7]</sup>。

(2)通过在 35 kV 元坝变电站、35 kV 羊木变电站、35 kV 中子变电站电弧光保护系统试运行,在试运行中整个系统软、硬件系统全部投入运行的情况下,对其进行了全面考查、监测和记录,运行实践证明,电弧光保护系统的运行稳定、可靠,未发生过误动、误发信号或通信中断等影响运行的现象。全部性能均已满足要求,通过在电弧光保护可应用于中低压母线保护、电缆保护、箱式变电站保护等多个领域。

### 参考文献

- [1] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 王梅义.高压电网继电保护运行与设计[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [3] 刘介才.工厂供电(第4版)[M].北京:机械工业出版社,2004.5.
- [4] <http://www.aptechina.com/club/showtopic-64915.html>
- [5] Study and Application of Arc Protection Relay 电力勘测设计 Electric power survey Design
- [6] The Arc Protection system and Its Application to the Internal Fault of Switchgear and the Busbar
- [7] 王唯之.高压开关技术通讯[M].北京:中国电力出版社,2004.

(收稿日期:2009-03-09)