

# ZD—6A 型接地检测装置误动作原因分析及改进意见

潘贞存 桑在中 张尔桦 山东工业大学(250014)

**摘要** 对 ZD—6A 型接地检测装置的工作原理和装置构成进行了详细的剖析,找出了该装置误动率较高的原因,提出了改进意见。

## 0 引言

ZD—6A 型接地检测装置,是按照五次谐波功率方向原理实现的集成电路型选线装置。它适用于中性点不接地及中性点经消弧线圈接地的小接地电流系统,作为检测单相接地故障线路之用,该装置自 80 年代投入现场运行以来,在许多电力部门和大中型工矿企业的供电系统中得到应用,对提高接地选线的自动化程度,减少接地故障造成的损失,起到了一定的积极作用。但从近几年的统计资料看,该装置的运行效果并不十分理想,误检率和漏检率都比较高,致使有些地方已将其退出运行。因此,对该装置的工作原理、电路构成及运行条件等进行详细的分析,找出存在的问题,提出改进的意见,将会对该产品的更新换代及运行设备的技术改造,起到了一定的推动和指导作用。

## 1 ZD—6A 型接地检测装置的原理分析

理论分析表明<sup>[1]</sup>,在中性点不接地的小接地电流系统中,发生单相接地时,系统中的电压、电流具有以下的特点:

(1)整个系统出现零序电压,且各点处的零序电压基本相等,均等于接地相接地前的对地电压;

(2)接地线路和非接地线路上均会出现零序电流,非接地线路中的零序电流等于自身线路对地电容电流,接地线路中的零序电流等于所有非接地线路零序电流之和,所以,接地线路中的零序电流大于任何一条非接地线路中的零序电流;

(3)非接地线路中零序电流的相位超前零序电压  $90^\circ$ ,接地线路中零序电流的相位滞后于零序电压  $90^\circ$ ,即所有非接地线路中零序电流的相位相同,都与接地线路中零序电流的相位相反。

对中性点不接地的系统,上述三条对基波零序电压、电流和五次谐波零序电压、电流都是适用的。

对经消弧线圈接地的系统,由于消弧圈的过补偿作用,上述三条中后两条对基波零序电压、电流不再适用,此时非接地线路中零序电流的幅值和相位均不会改变,但接地线路中的零序电流变为消弧圈提供的感性过补电流,其量值会大大减小,相位也将与非接地线路相同。

消弧圈的过补作用是相对工频基波而言的,对于五次谐波信号,由于对地电容的容抗为工频的  $1/5$ ,而消弧圈的感抗为工频的 5 倍,所以它的接入,对系中的五次谐波零序电压、电流的分布几乎不会产生影响,即对五次谐波来说,上述的三条特点仍然适用。

ZD—6A 型接地检测装置,就是利用上述的第三条特点,即单相接地时接地线路的五次谐

波零序电流滞后零序电压  $90^\circ$ ，而非接地线路的五次谐波零序电流超前零序电压  $90^\circ$  这一特点而工作的。其原理框图如图 1 所示。

PT 开口三角输出的零序电压  $3u_0$ ，首先送入移相电路，向超前方向移相  $90^\circ$ ，然后经过 YLH 变换器和灵敏度调节器获得一个合适的电压信号，再经基波阻波和五次谐波选频放大得到一个反应系统中五次谐波零序电压相位的交变电压信号，并送入比相电路参与比相。各条出线的零序电流滤序器或零序电流互感器输出的零序电流  $3i_0$ ，分别送至各自的 LH 变换器和灵敏度调节电路得

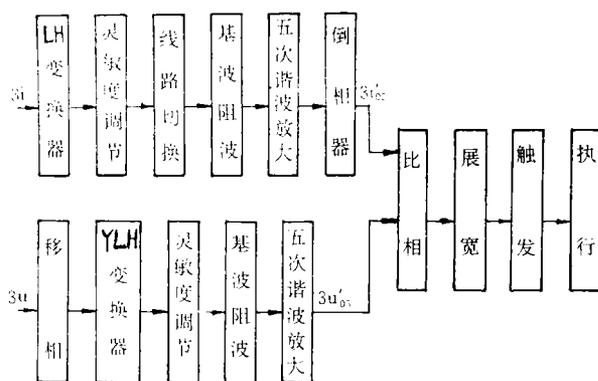


图 1 ZD-6A 原理框图

到与它们相对应的电压信号，然后送至一手动切换开关，在系统单相接地时依次分别将这些电压信号送至基波阻波，五次放大电路，再经倒相后送比相回路进行比相。

根据前面的讨论，系统单相接地时接地线路中五次谐波零序电流滞后零序电压  $90^\circ$ ，即相位关系如图 2a 所示。

电压移相  $90^\circ$ ，电流倒相后送至比相电路的五次谐波零序电压  $3u'_{05}$  和电流  $3i'_{05}$  之间的相位关系如图 2b 所示。可见两者的相位相同，比相电路动作，经展宽，触发后推动执行元件动作，给出接地指示。

同理可以证明，对非接地线路，送至比相电路中的  $3u'_{05}$  与  $3i'_{05}$  相位相反，比相回路不会动作，不会发出接地指示信号。

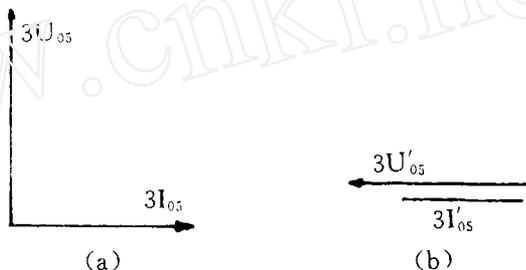


图 2 接地线路五次谐波相位

## 2 ZD-6A 型接地检测装置存在的问题

通过上面的分析可以看出，从理论上讲，ZD-6A 型接地检测装置的基本原理和构成都是正确的，应该能够检测接地线路。但从实用的效果来看，正确动作率却比较低，误检率和漏检率都较大，造成这些问题的原因，可以从以下几个方面加以剖析。

### 2.1 检测信号较弱，信噪比较低

ZD-6A 型接地检测装置所采用的测量信号是接地后零序电压、电流中的五次谐波量。在小接地电流系统中单相接地时，会出现较大的零序电压，相应的五次谐波值也较大，因而对其进行加工、处理尚比较方便。但对于电流信号，由于接地时零序电流自身就比较小，而五次谐波量一般不会超过零序电流的百分之三，所以其值更小，并且其含量受系统运行方式、负载情况、变压器位置等因素的影响很大，在不同的运行情况下，五次谐波的量值有较大的变化。

现以出线总长度为 100 公里的 10kV 架空线系统为例，来分析五次谐波的含量情况。

对 10kV 系统，发生单相接地时每公里线路可以提供 0.025A 电容电流，所以总长 100 公

里的系统单相接地时接地电流不大于 2.5A, 而其中五次谐波电流不大于 75mA ( $0.03 \times 2.5A = 0.075A = 75mA$ ), 若 CT 变比为 300/5, 则变换到 CT 二次侧的五次谐波电流不大于 1.25mA. 若检测装置内部电压形成回路的转移阻抗为  $5\Omega$  (其定义为辅助变流器二次输出电压与一次输入电流之比), 则对应的最大五次谐波电压只有 6.25mV. 考虑到谐波含量的变化情况, 在某些情况下, 该电压可能会降至 1~2mV, 最严重的情况下可能会在 1mV 以下 (实际测量结果表明, 在供电负荷基本不变的情况下, 五次谐波量可在数倍至十几倍的范围内变化). 而这个微小的五次谐波电压又是淹没在数伏级的工频 (还含有三次等其它谐波) 信号中, 要想无失真地将这个信号滤取出来, 必须采用放大倍数高, 选频特性好的滤波电器。

另外, 五次谐波量变化大, 变化速率高, 要求滤波电路应有较高的响应速度。

## 2.2 滤波特性不够理想

上述的分析表明, 在小接地电流系统中单相接地时, 接地电流中的五次谐波成份是非常微小的, 为了正确地对其进行检测, 必须采用性能良好的滤波电路。

在 ZD-6A 型接地检测装置中, 滤波电路由两级组成, 第一级为无源双 T 阻波器, 阻波中心频率为 50Hz, 第二级为有源双 T 选频放大器, 用于放大五次谐波信号。

用无源双 T 阻波电路来抑制工频信号, 其优点是电路简单, 频率稳定性高, 且不会因输入信号太大而产生饱和现象。其缺点是品质因数较低, 阻波效果较差, 对有用的五次谐波信号也会产生较大的衰减, 使本来已经十分微弱的有用信号进一步减少。按照 ZD-6A 给出的技术指标, 该双 T 的阻波比为 50 倍, 这样五次谐波含量为基波的百分之二, 的情况下, 计及它对五次谐波的衰减, 在双 T 的输出量中, 仍以工频信号为主, 此外还包含三次谐波等无用信号。第二级有源双 T 选频放大器对五次谐波的放大倍数为 180 倍, 这样, 在输入五次谐波电压为 6.25mV 的情况下, 其输出为 1.125V, 由于只有一级二阶双 T, 所以, 选频放大的品质因数也不可能太高, 该有源双 T 对三次谐波、残余基波也会有一定的反应。这样, 该双 T 的输出量就是以五次谐波量为主、包含一定量的其它干扰信号的电压信号, 由于五次谐波信号自身较小, 干扰信号的存在可能会导致总输出信号相位发生偏移, 对比相回路的正确工作产生不利的影响。

可见, 在输入的有用信号量值非常小, 而信噪比又较低的情况下, 仅用简单的一级工频阻波和一级五次谐波选频放大, 难以彻底剔除输入信号中的工频信号及三次谐波信号, 致使送至比相回路的信号中, 不仅含有有用的五次谐波信号, 而且还含有一定量的有干扰作用的工频及三次谐波信号。

此外, 由于电压信号和电流信号的信噪比不同, 两滤波回路的参数也会存在一定的差异, 所以干扰信号对滤波器输出信号 (即要参与比相的信号) 的相位会有不同的影响。

## 2.3 比相电路不甚合理

ZD-6A 的比相电路如图 3 所示

电流回路滤波输出经  $BG_1$  倒相后, 送至由  $BG_2$ 、 $BG_3$  组成的比相回路中, 与电压信号进行比相。

系统正常运行时, 零序电压、电流均为零, 所以相应的滤波电路的输出也为零, 此时  $BG_1$ 、 $BG_3$  因无偏流而截止,  $BG_2$  导通, 使 F 点的电位为 0V, 电容 C 不充电, 触发电路不动作。

发生单相接地时, 系统中出现零序电压和零序电流, 电压、电流回路的滤波器都会有输出。根据前面的分析, 对于接地线路, 倒相后的五次谐波电流信号与移相后的五次谐波电压信号同相位, 所以  $BG_2$ 、 $BG_3$ 、基极信号基本上同相位 (不计干扰影响), 两者同时为负时,  $BG_2$ 、 $BG_3$  均截止, F 点高电位, 电容 C 充电, 经预定延时后推动触发电路动作。对于非接地线路, 从理论上

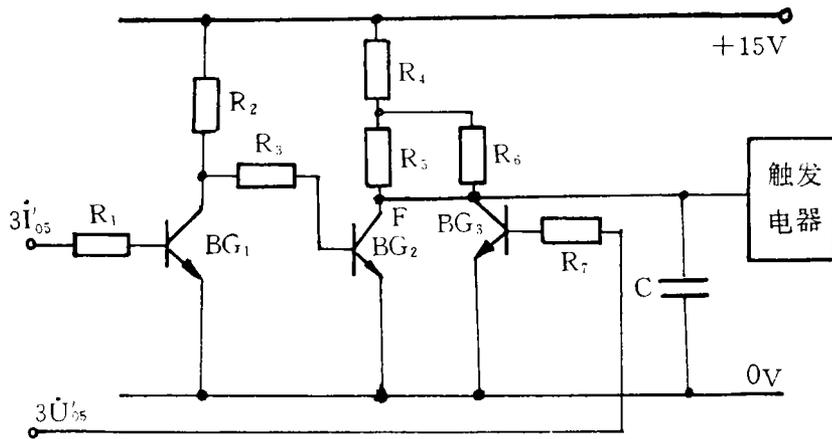


图3 ZD-6A 比的相电路

讲,  $BG_2$ 、 $BG_3$  的基极信号是反相位的, 这样  $BG_2$ 、 $BG_3$  交替导通、截止, F 点永远为低电位, C 不会充电, 触发回路不会动作。考虑到各种传变误差及干扰信号的存在, 送至比相回路的两信号不可能完全反相, 这样,  $BG_2$ 、 $BG_3$  就会有一定的同时导通和同时截止的时间, 两者同时截止时, 电容 C 充电。电容器 C 充电延时的时间应对应为五次谐波的  $90^\circ$  (这是对功率方向继电器的一般要求), 即为  $1\text{ms}$ 。当  $BG_2$ 、 $BG_3$  同时截止的时间小于  $1\text{ms}$  时, 触发电路不会动作, 不会出现误指示, 当该时间大于  $1\text{ms}$  时, 就会误发信号。

在该电路的设计上, 是将滤波电路的交流输出信号直接送至晶体管比相回路。由于要使比相三极管由截止变为导通, 需要克服其发射结上的管压降 (约  $0.7\text{V}$ ), 由导通变截止时, 只要低于  $0.7\text{V}$ , 无须到达过零点, 这样比相三极管导通, 截止的时间就是不对称的, 特别是在输入交流信号的幅值较小时, 不对称的情况就更为严重。在这种情况下, 比相的结果就难以真实地反映输入信号之间的相位关系, 就有可能导致错误的比相结果。

在积分延时回路上, 该装置采用的是简单 RC 充放电回路, 该电路很难精确地调出  $1\text{ms}$  的延时, 此外, 比相三极管并不完全工作在开关状态, 从导通到截止及由截止到导通的过程中, 都会有一定的放大区, 该放大区持续的时间随输入信号大小的不同而不同。该放大区的存在, 对电容 C 的充放电时间都有很大的影响。这样, 积分延时的时间就不是一个恒定的值, 比相的结果就会出现较大的偏差, 甚至会出现错误的比相结果。

### 3 改进意见

通过上述的分析可以看出, ZD-6A 中采用的简单的滤波电路, 很难无失真地捕捉到量值非常小、信噪比又比较低的五次谐波信号, 这样滤波电路的输出就难以正确地反映一次系统中五次谐波电压、电流的幅值及他们之间的相位关系, 所以用它们去参加比相, 就可能会导致错误的比相结果。为了解决该问题, 必须对滤波电路加以改进, 应选用滤波特性更好, 相频特性一致的滤波电路来取代原装置中的简单的两极滤波器。具体电路设计, 可参阅有关滤波器方面的文献、资料, 此处不再细论。

比相回路的主要问题是, 两比相三极管导通、截止的时间不对称, 特别是在输入信号较小时尤为严重。解决这个问题的主要方法是不直接用滤波电路输出的交流信号去 (下转 77 页)

- 3.7 装置具有自检功能。当主要部位出现故障时，可自动显示故障芯片。  
3.8 当装置出现异常或直流电源消失时，装置将给出告警信号，并有触点输出。

#### 4 装置的主要技术参数

##### 4.1 额定参数

- a 交流电压：100V
- b 交流电流：1A
- c 额定频率：50Hz
- d 直流电源：110V 或 220V

##### 4.2 零序电压整定范围：5~30V

##### 4.3 输入装置的故障线路的最小电流

- a 基波电流：15mA（特别要求可为 10mA）
- b 5 次谐波电流：10mA。

#### 5 装置结构

本装置采用许继 JJX-12 系列机箱，嵌入安装方式，整机由十个插件构成，外形美观，插拔方便、可靠。外形尺寸：720×180×340

#### 6 订货

本装置目前已开始小批量生产，欢迎广大用户朋友垂询、订货。

通讯地址：河南许昌市许继电气股份有限公司许继四方分公司，邮编：461000。联系人：檀国彪、陈大鹏。电话：0374-2334554-250 或 0374-2620032（直拨）。

---

（上接 64 页）比相，而是先将它们变换成方波以后再去比相，只要选择比较灵敏的方波电路，就可以保证比相三极管导通、截止的时间基本对称，比相结果的可信度会有较大的提高。

比相回路的另一个问题是积分延时的时间不准确，要解决此问题，必须采用更精密的延时方法。

在方波形成电路后，采用目前集成电路继电保护装置中常用数字式积分比相法，可以较好地解决上述两个问题，使比相电路完全按照预定的要求进行比相，装置的性能会有很大的改善。

#### 4 结论

综合以上分析可以看出，ZD-6A 型接地检测装置，就其采用的基本原理和电路的基本构成都是正确的，造成目前的选线装置不正确工作的主要原因，是装置内部的滤波电路和比相电路不够完善，不能正确地反映一次系统中信号量的相位关系。本文提出了改进意见，相信通过这些改进，装置的技术性能必定会有很大的提高，可望能够彻底解决现有装置的误动问题。

#### 参考文献

- 1 马长贵主编．继电保护基础．北京：电力工业出版社
- 2 西北电力设计院编．电力工程设计手册．北京：水利电力出版社，1981