

提高脉冲比相可靠性的途径及其实现

孟润泉, 梁翼龙, 宋建成

(太原理工大学, 山西 太原 030024)

【摘要】 在基于零序电流方向原理的矿井低压电网选择性漏电保护中, 比相误差是导致保护误动的主要因素。文章在分析比相误差产生原因的基础上提出用有源移相与宽度可调的正弦波/矩形波变换电路相结合的方法来提高脉冲比相环节的容错能力。重点讨论了其电路组成及工作原理, 还介绍了实验结果和应用情况。

【关键词】 零序电流方向; 比相误差; 移相; 波形变换

1 引言

在矿井低压电网的选择性漏电保护系统中, 基于零序电流方向判别原理实现横向选择性者居多, 具体判别相位的方法有许多种, 其中一种典型的实现方案是通过脉冲比相法进行相位鉴别以选出故障支路^[1]。在这种方案中, 如果波形处理不当就会造成误判率增加, 致使整个保护系统可靠性下降。本文在分析产生比相输出错误原因的基础上, 提出用信号移相与波形处理相结合的方法对脉冲比相环节的性能进行改善, 有效地提高了脉冲比相电路的容错能力。此方法已应用于BKD₃-200/660矿用隔爆型真空馈电开关智能化综合保护系统中, 大大提高了该保护系统漏电动作的可靠性。

2 比相误差原因分析

零序电流方向型选择性漏电保护的工作原理是: 当电网某一相发生漏电时, 故障支路零序电流 I_{0f} 与非故障支路零序电流 I_{0n} 相位相反, 相对零序电压 \dot{U}_0 而言, I_{0f} 滞后 \dot{U}_0 90° 而 I_{0n} 超前 \dot{U}_0 90°。这样, 以 \dot{U}_0 为基准进行比相可以识别出故障支路^[2]。实际系统中是将 \dot{U}_0 前移一定角度, 并将所有零序电流互感器二次输出端子反接。这样处理后, 非故障支路零序电流 I_{0n} 与零序电压 \dot{U}_0 反相, 故障支路零序电流 I_{0f} 与 \dot{U}_0 同相, 经逻辑门电路即可区分出故障或非故障支路。但是, 这仅为理想化情况。实际中 \dot{U}_0 、 I_0 的相位还跟电网参数及传感器特性等因素有关, 以下主要从这两方面分析其对 \dot{U}_0 、 I_0 相位的影响。

煤矿井下电网采用电缆线路, 电缆的长度和每相对地绝缘电阻是影响线路中 \dot{U}_0 、 I_0 相位的主要因素。电缆的长度通过影响电网每相对地分布电容

而起作用, 分布电容和绝缘电阻一起构成了电网的绝缘阻抗, 绝缘阻抗直接决定着 \dot{U}_0 、 I_0 间的相位差。以三条分支线路的情况为例, 设支路 1、2、3 的绝缘电阻分别为 r_1 、 r_2 、 r_3 , 对地电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 , 当支路 1 发生单相漏电时, 各支路零序电流和零序电压间关系可表示为:^[2]

$$\dot{I}_{01} = \dot{U}_0(1/r_1 + j C_1) \quad (1)$$

$$\dot{I}_{02} = \dot{U}_0(1/r_2 + j C_2) \quad (2)$$

$$\dot{I}_{03} = \dot{U}_0(1/r_3 + j C_3) \quad (3)$$

故障支路的零序电流为:

$$\dot{I}_{0f} = -\dot{I}_0 = -(I_{02} + I_{03}) = -\dot{U}_0[1/r_2 + 1/r_3 + j(C_2 + C_3)] \quad (4)$$

由(1)~(4)式可以看出电缆的绝缘电阻和与其长度有关的对地分布电容直接影响 \dot{U}_0 、 I_0 的相位差, 为简化分析, 通常假设电网绝缘电阻为无穷大, 但实际上它随电网的运行时间及运行环境的变化而变化。随着运行时间的加长电缆绝缘强度会逐渐降低, 特别在煤矿井下潮湿环境中绝缘电阻更不宜按无穷大考虑, 这时, 各支路零序电流和 \dot{U}_0 的相位差便不再是 90°, 而是 I_{0n} 超前 \dot{U}_0 角度小于 90°, I_{0f} 滞后 \dot{U}_0 的角度大于 90°, 并且其相角差随电网绝缘电阻和电缆长度的变化而变化。其向量关系如图 1 所示。^[2]

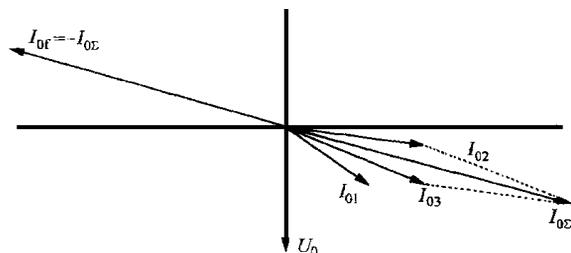


图 1 漏电故障时 \dot{U}_0 、 I_0 向量关系图

注:图中示出了三条分支线路的情况,并设支路1为故障支路, i_{0f} 为流过故障支路零序互感器的电流, i_{01} 为支路1本身的阻抗电流。

迄今为止,反映电网零序电流的传感器通常还是采用零序电流互感器,即传统的电磁型传感器,而零序电流互感器初、次级之间总存在一定的角误差,对于电阻性负载而言,其二次电流相位往往超前一次电流,且超前的角度随一次电流的变化而变化,这就增加了零序电流相角的变化范围,给比相带来一定困难。

由以上分析可见,采集到的 i_0 、 U_0 信号,其相位差实际上并不是一个定值,而是随着电网参数的变化和传感器特性的不同在一定范围内变化。如果仍然按理想化情况处理,就可能误选故障支路而导致误动。为了提高比相环节的可靠性,必须从两方面采取措施:其一是对 U_0 或 I_0 进行适当的移相处理,其二是对移相后的 U_0 及 I_0 进行波形变换以使当 U_0 、 I_0 相角在一定范围内变化时比相结果仍能正确区分故障支路和非故障支路,即对相位误差有一定的容错能力。

3 比相可靠性设计

3.1 移相电路设计

在选择性漏电保护系统中,一般是对零序电压 U_0 进行移相,并且采用 RC 移相电路,这种电路虽然形式简单、成本低,但其相移范围窄,若要增加移相角度必须多节 RC 电路串联,另外它还存在着衰减严重和调节不便等缺点。本文提出用有源移相器代替无源 RC 电路对零序电压信号移相,该有源移相器电路如图 2 所示。图中 R_i 为输入电阻, R_f 为反馈电阻,电容 C 和电位器 R_a 为移相元件,OP 为运算放大器,由图可列出电路方程如下:

$$(U_{in} - U_+) / R_i = (U_+ - U_{out}) / R_f \quad (5)$$

$$(U_{in} - U_+) \cdot j C = U_+ / R_a \quad (6)$$

$$U_+ = U_- \quad (7)$$

将电路传输比设置成 1:1,即令 $R_i = R_f$,由方程 (5) (6) (7) 可求得:

$$U_{out} = (j C R_a - 1) U_{in} / (j C R_a + 1) \quad (8)$$

设 U_{out} 与 U_{in} 相位差为 θ ,则由 (8) 可得:

$$\theta = \arccos[(1 - C^2 R_a^2) / (1 + C^2 R_a^2)] \quad (9)$$

式中 $\omega = 2\pi f = 314 \text{ rad/s}$ 是信号角频率,电容 C 为定值,当电位器 R_a 在 $0 \sim \infty$ 间变化时, θ 在 $180^\circ \sim 0^\circ$ 间变化。其波形如图 3 所示,图中 (a) 为输入的

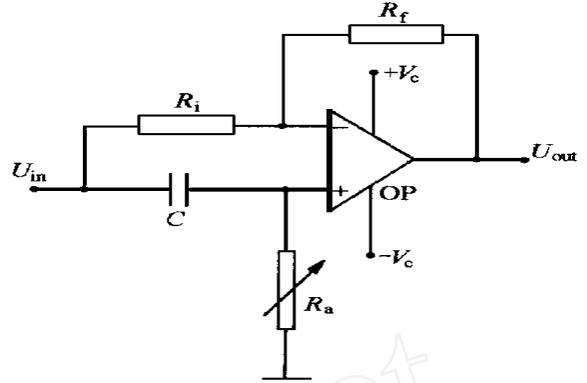


图 2 有源移相器电路

零序电压信号, (b) 为 $R_a \rightarrow 0$ 时移相后的波形, (c) 为 $R_a \rightarrow \infty$ 时移相后的波形, (d) 为 $0 < R_a < \infty$ 时移相后的波形。在实际电路中当取 $C = 0.33 \mu\text{F}$ 时, R_a 用 500k 电位器调节即可达到理想的移相效果。

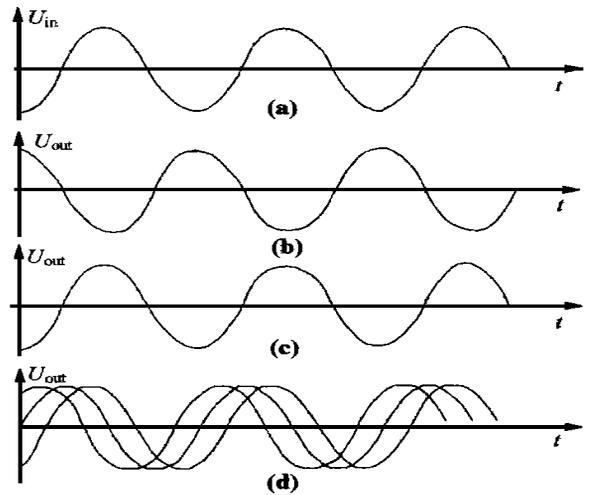


图 3 移相波形示意图

3.2 波形变换电路设计

为了使零序电流 I_0 的相位在一定范围内变化时保持比相结果的正确性,需要对 I_0 波形进行变换。在保证波形宽度能被微机可靠检测到的前提下,比相电路输入端反映零序电流相位的矩形波信号愈窄则其在时间轴上的可变动范围愈宽,这时就可以放宽对零序电流信号相位的要求。本文提出用模拟集成比较器构成波形变换电路,其原理电路如图 4 所示。

整个电路由初级比较、积分、次级比较三部分组成。比较器 CP_1 为同相输入形式, CP_2 为反相输入形式,分别对正、负半周信号进行过零比较。电容 C_1 作为被变换信号的容性负载兼有净化信号的作用。

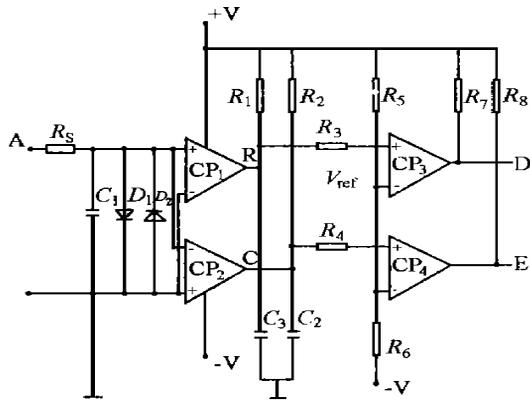


图4 正弦波/矩形波变换电路

用 R_s 为限流电阻,反向并联二极管 D_1 、 D_2 用以对大信号限幅以保护比较器, R_1 、 R_2 为上拉电阻, C_2 、 C_3 为积分电容,它们将两比较器输出的方波变换为锯齿波,输出的两路锯齿波分别由电阻 R_3 、 R_4 耦合到由比较器 CP_3 和 CP_4 构成的次级比较单元,在此与参考电平 V_{ref} 比较,其各点的波形如图5所示。

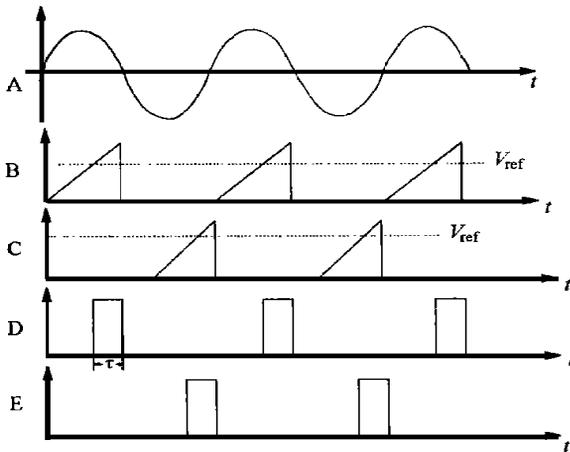


图5 波形变换电路各点信号波形图

由图5可见,通过调节 V_{ref} 的大小,就能改变输出矩形波的宽度或有无。如用逻辑门电路对 U_0 、 I_0 比相,则当 I_0 相位误差 $180^\circ -$ (为输出矩形波宽度)时,输出均可正确区分故障支路和非故障支路。

4 实验结果与应用

图2和图4的电路经过实验室多次调试,然后置于保护系统中进行了模拟试验。在调试过程中,为了克服波形畸变的缺点,将电路改用双电源供电,结果不仅改善了信号较强时严重的波形畸变现象,

而且使波形对称性更好。由于这两个电路的作用,放宽了对来自取样电路的零序电压、零序电流信号相位的要求,提高了整个硬件电路的容错能力,最终使比相结果的正确率达100%。实验方案如图6所示(虚线表示零序互感器二次端子反接),波形如图7(A)、(B)所示,图中虚线所示脉冲为由于电网参数和互感器等因素而导致相位变化后的情况。可见,尽管取样输出信号的相位有所变更,比相输出仍能正确区分出故障与非故障支路。

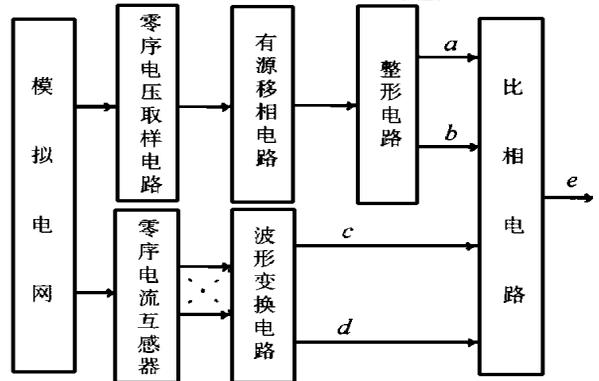


图6 模拟试验原理框图

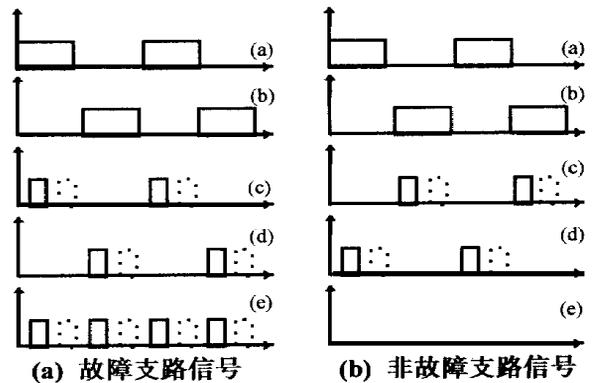


图7 模拟试验信号波形图

以上有源移相和波形变换电路应用于BKD₃-200/660矿用隔爆型真空馈电开关智能化综合保护系统中,被保护的660V电网各分支电网为普通橡套电缆,长度范围1~4km,运行中选择性漏电保护单元灵敏、可靠,没有出现过误动、拒动现象。

5 结论

本文提出用有源移相器和波形变换电路相结合的方法来解决现行选择性漏电保护系统中由于零序电压和零序电流相位不稳而导致的判相错误,模拟试验和现场运行都表明,这是一种行之有效的提高脉冲比相环节可靠性的途径。(下转第23页)

4) 基于 GPS 的同步采样既可以满足采用双端信号的输电线路精确故障定位系统对信号同时性的要求,也可以满足保护、控制、监测等的要求。本文所提出硬件设计完全可以实现基于 GPS 同步采样的功能,从而确保故障定位的高精度。经进一步扩展后,本装置还可以实现故障录波、事件顺序记录等功能。

[参考文献]

- [1] Johns A T et al. Accurate Fault Location Technique for Power System Lines. IEE Proc ,1990 ,137(pt. c).
- [2] Erikson L et al. An Accurate Fault Locator with Compensation for Apparent Reactance in Fault Resulting from Remote-End Infeed. IEEE Trans on PAS ,1985 ,PAS-104(2).
- [3] Takagi T et al. Development of a New Type Fault Locator Using the one-Terminal Voltage and Current Data. IEEE Trans on PAS ,1982 ,PAS-101(8).

- [4] 陈允平. 自适应保护系统和同步相量测量技术. 水利电力科技 ,1994 ,10.
- [5] Chen Yunping , Gong Qingwu. An Accurate Fault Location for Transmission Line Using Local and Remote Signals. Proceeding of IPEC 97 ,vol. 2. Singapore ,1997 :605 ~ 609.
- [6] 杨奇逊. 微型机继电保护基础. 北京 :水利电力出版社 ,1988.
- [7] 刘乐善等. 微型计算机接口技术及应用. 武汉 :华中理工大学出版社 ,1993.
- [8] Dommel. H. W 著 ,李永庄等译. 电力系统电磁暂态计算理论. 北京 :水利电力出版社 ,1991.

收稿日期 :1998—11—11 改回日期 :1999—04—16

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (59437100)

作者简介 :龚庆武 (1967 -) ,男 ,博士 ,讲师 ,主要从事电力系统继电保护和自动化研究 ; 雷庆生 (1972 -) ,男 ,博士 ,讲师 ,主要从事电力系统稳定与 FACTS 研究。

AN ACCURATE FAULT LOCATION SYSTEM FOR TRANSMISSION LINE USING TWO-TERMINAL SIGNALS

GONG Qing-wu , LEI Qing-sheng , WANG Zhi-mei , CHEN Yun-ping

(Wuhan University of Hydraulic & Electric Engineering , Wuhan Hubei 430072 , China)

Abstract A new fault location system using two terminal currents and voltages is presented in the paper , which can remove the error caused by fault resistance. The mathematical model of the new fault location algorithm is explained in the first part of the paper , then the numerical scheme is given in the second part , as GPS (Global Positioning System) is used as synchronization signal of the local and remote signals , the structure and functions of GPS is also briefly explained in the part. After that the hardware structure and software flow chart are presented in the third part. Then the numerical simulation results and some analysis are presented , from the simulation results we can see the accuracy and effectiveness of the new method. Some conclusions are drawn in the final part in the paper.

Keywords two-terminal signal ; accurate fault location system ; GPS

(上接第 13 页)

[参考文献]

- [1] 宋建成 ,谢恒坤 ,杨同敏 ,李安平. 基于零序电流方向的选择性漏电保护系统的研究. 电网技术 ,1998 ,9.
- [2] 胡天禄. 矿井电网的漏电保护. 煤炭工业出版社.

- [3] 郝鸿安. 常用模拟集成电路应用手册. 人民邮电出版社.

收稿日期 :1998—12—28

作者简介 :孟润泉 (1968 -) ,男 ,硕士研究生 ,研究方向为微型计算机在煤矿供电系统中的应用。

A WAY TO IMPROVE THE RELIABILITY OF PHASE COMPARISON AND ITS REALIZATION

MENG Run-quan , LIANG Yi-long , SONG Jian-cheng

(Taiyuan University of Science & Technology , Taiyuan 030024 , China)

Abstract The phase comparison error is the primary factor leading to mistaken action in the selective leakage protective system of underground LV networks based on zero sequence current direction. On the basis of analyzing the reasons of the error , a way to improve the capacity of error tolerance of phase comparison is presented in this paper , which combines the active phase shifter with the sine/rectangle transformation circuit. The structure and principle of the circuits are emphatically discussed. Additionally , the testing results and the application of the method are described.

Keywords zero sequence current direction ; phase comparison error ; shift phase waveform transformation