

# 短路电流非周期分量及其在继电保护与控制中的应用

黄思芳<sup>1</sup>, 宋泽亚<sup>2</sup>, 段强<sup>1</sup>, 董宇<sup>1</sup>

(1. 郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002;

2. 驻马店市驿城区公路管理局, 河南 驻马店 463000)

**摘要:** 针对如何准确判断电力系统短路故障以提高电力系统继电保护运行的可靠性、灵敏性, 提出了一种利用短路电流中的非周期分量作为短路故障判据的方法: 利用 Matlab 仿真提取短路电流的非周期分量, 依据非周期分量的特点将其应用于继电保护。运行结果表明, 非周期分量方向纵差保护不受线路对地电容的影响, 无论单独作为主保护, 或与其他保护相结合, 都能准确判断电力系统短路故障, 但非周期分量是一个暂态量, 存在时间较短的缺点, 在运用中需要使用信号保持器。

**关键词:** 短路电流; 非周期分量; 光电流互感器; 继电保护; Matlab 仿真

**中图分类号:** TP29    **文献标志码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.2095-476X.2015.02.019

## The short-circuit current non-periodic components and its application in relay protection and control

HUANG Si-fang<sup>1</sup>, SONG Ze-ya<sup>2</sup>, DUAN Qiang<sup>1</sup>, DONG Yu<sup>1</sup>

(1. College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

2. Yicheng District Highway Administration Bureau, Zhumadian 463000, China)

**Abstract:** Aiming at how to accurately determine the short circuit fault in power system in order to improve the reliability and sensitivity of the relay protection of power system, a method which used short-circuit current in a non-periodic component as a criterion in short-circuit fault was proposed. Using Matlab to extract short-circuit current of the non-periodic component, was then applied the features of the non-periodic component in the short circuit current to the relay protection of power system. The test run results showed that the directional differential protection of non-periodic components was not affected by the influence of line to ground capacitance. Either as a sole major protection, or as a part of the combined protections, it can always accurately identify the short fault of electric system. However, non-periodic components are transient signals with short existence, therefore a signal maintainer is needed during operation.

**Key words:** short-circuit current; non-periodic components; optical current transducer; relay protection; Matlab simulation

## 0 引言

在传统电力系统继电保护中, 发生短路故障时产

生的非周期分量电流会引起电流互感导致出现暂态磁饱和, 使电流发生严重畸变, 从而引起继电保护装置误动或拒动, 对电力系统造成重大影响<sup>[1-4]</sup>。为

收稿日期: 2014-11-19

作者简介: 黄思芳(1984—), 男, 河南省滑县人, 郑州轻工业学院硕士研究生, 主要研究方向为电力系统微机继电保护。

了消除非周期分量电流的不利影响,研究者提出了各种关于非周期分量电流的消除算法<sup>[5-12]</sup>。

继电保护需要充分利用短路后的各种信息,使继电保护能快速、准确、安全地排除故障,保护电气设备。非周期分量产生于短路后,在短路前没有这一信息。随着科技的发展,目前已生产出一种光电流互感器,能够完全克服非周期分量电流的不利影响<sup>[13-15]</sup>。因此本文拟研究非周期分量及其在继电保护与控制中的应用,并通过具体实例证明非周期分量保护的可行性。

### 1 短路电流分析

文献[16]指出,对于由无限大功率电源供电的三相对称电路,假设  $t=0$  时刻发生三相对称短路,则任意一相短路电流变化曲线如图 1 所示,其表达式为

$$i_k = I_{pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + [I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{pm} \sin(\alpha - \varphi_k)] e^{-\frac{t}{\tau}} = i_p + i_{np}$$

式中  $\alpha$  为电压初始角;  $I_m$  为正常工作时电流周期分量幅值;  $\varphi$  为正常工作时回路阻抗角;  $i_p$  为短路电流的强制分量,是由电源电动势作用产生的,与电源电动势有相同的变化规律,其幅值在暂态过程中保持不变,由于此分量是按照正弦规律周期变化的,故又称为周期分量;  $I_{pm}$  为短路电流周期分量的幅值;  $\varphi_k$  为短路回路的阻抗角;  $i_{np}$  为短路电流的自由分

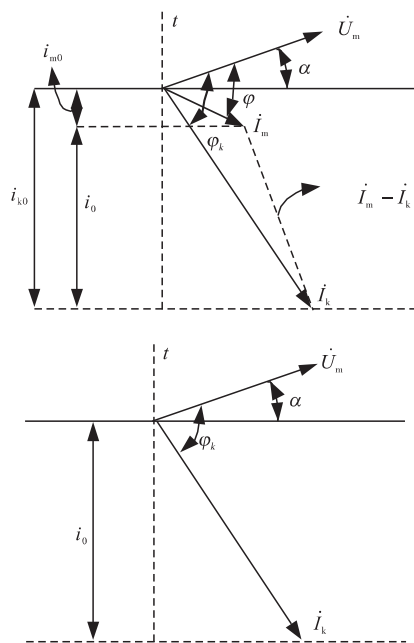


图 1 三相对称短路时短路电流的变化曲线

量,与外加电源无关,因电感回路中电流不能突变产生,且随时间而衰减至零,所以这是一个依指数规律而衰减的电流,通常称为非周期分量;  $\tau$  为短路回路的时间常数,是短路回路电感与电阻的比值,它的大小反映自由分量衰减的快慢。

由此可见,电力系统发生短路时,短路电流中包含两个电流分量,一个是周期分量  $i_p$ ,另一个是非周期分量  $i_{np}$ 。由于系统正常运行时只含有周期分量而且幅值较小,而系统短路后短路电流中的周期分量幅值很大,所以利用短路前后周期分量幅值(有效值)的显著变化可以判断是否发生了短路故障,这正是常用继电保护中把电流周期分量作为主要参量的原因,常见继电保护都把非周期分量电流作为不利因素加以消除。

事实上,电力系统在正常运行时没有非周期分量,但短路后会产生非周期分量,利用非周期分量这一特点,可以更好地判断短路故障是否发生。

### 2 建模与仿真

为了更加直观深入地分析短路电流非周期分量的特性,本文基于 Matlab 软件平台对短路电流进行仿真,并通过相量分析完善其特性分析。

图 2 为电网短路示意图,电路参数如图所示。假设短路前电路为空载,利用 Matlab 对  $k_1$  点、 $k_2$  点短路时的电流非周期分量进行仿真。

在 Matlab 软件的 Simulink 平台上搭建针对图 2 电网的电力系统三相短路仿真模型(见图 3)。在不同情况下,仿真结果如下所述。

采用改进型的最小二乘法提取非周期分量,不同  $\alpha$  下  $k_1$  点短路时的非周期分量如图 4 所示,相同  $\alpha$  下  $k_1$  点、 $k_2$  点短路时的电流非周期分量如图 5 所示。

### 3 仿真结果与分析

由以上所述,短路电流非周期分量有如下特点:

1) 同一地点发生短路,且某一相电压满足

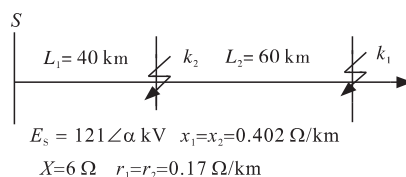


图 2 电网短路示意图

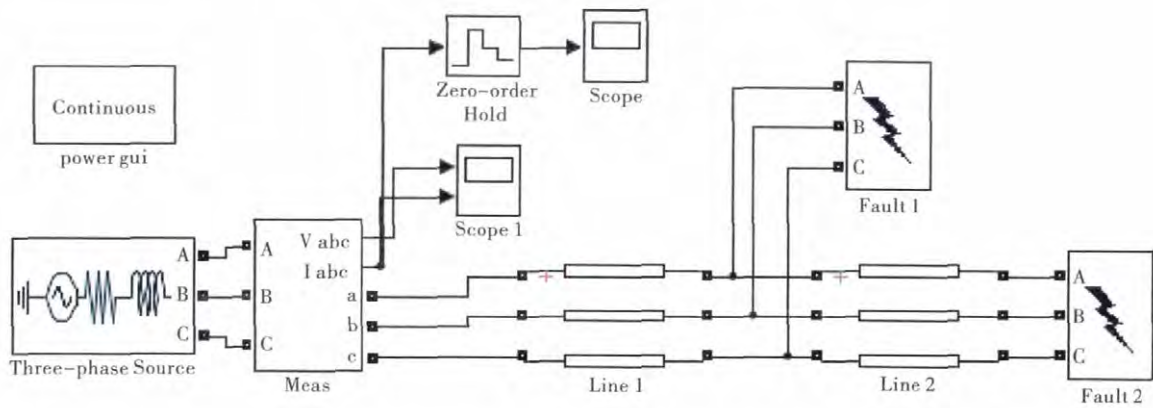


图3 电力系统三相短路仿真电路图

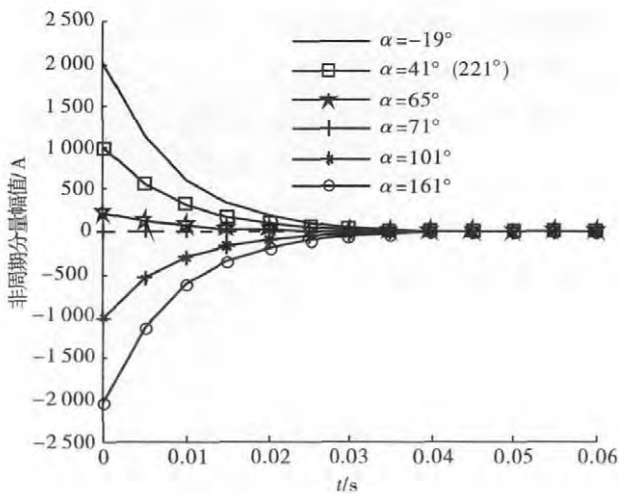


图4 不同电压  $\alpha$  下的非周期分量

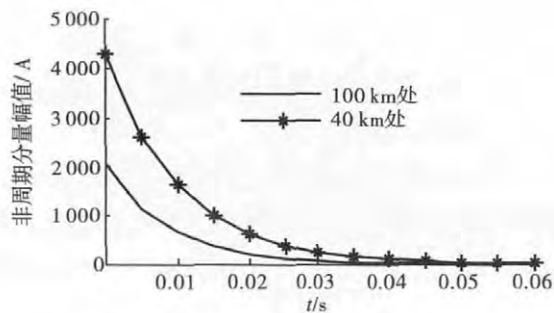


图5 同一电压  $\alpha$  不同地点的非周期分量

$|\alpha - \varphi_k| = 90^\circ$  时, 非周期分量初始值最大; 电压  $\alpha = \varphi_k$  时, 非周期分量为零, 即某一相在特定时刻发生短路, 该相的非周期分量电流为零; 通常非周期分量介于两者之间。

对于三相短路, 由于三相短路电压相位差为  $120^\circ$ , 当其中一相非周期分量为零时, 其余两相一定不为零, 因此, 三相对称短路至少有两相非周期分量电流存在。

对于中性点直接接地系统, 发生两相接地短路时, 至少有一相非周期分量电流不为零; 发生两相短路或单相接地短路时, 由于只有 1 个短路回路, 所以当短路时刻该回路电压  $\alpha$  等于该短路阻抗角时, 非周期分量为零, 通常非周期分量都会出现。

对于中性点不接地系统, 发生两相短路、两相接地短路时, 短路时刻电压  $\alpha$  为短路回路阻抗角时, 非周期分量为零, 通常非周期分量都会存在。

2) 同一地点不同时刻发生短路时, 非周期分量有正负之分, 但在某一固定时刻发生短路时, 非周期分量的正负不会发生改变, 只是大小会随时间发生指数衰减。

3) 非周期分量的时间常数  $\tau$  与短路回路中的阻抗有关。在低压电网中,  $\tau$  非常小, 非周期分量持续时间较短。例如, 10 kV 线路短路时,  $\tau \approx 0.004$  s。在高压输电线路中, 输电线路的阻抗角增大,  $\tau$  相应增大, 非周期分量持续时间较长。例如, 330 kV 线路短路时,  $\tau \approx 0.04$  s; 500 ~ 750 kV 线路短路时,  $\tau \approx 0.075$  s。由于非周期分量均在短路时出现, 在实际运用非周期分量时, 可以使用信号保持元件加以保持。

4) 同一时刻不同地点发生短路时, 除初始值大小不同外, 非周期分量电流的时间常数也不相同, 短路点距电源越近,  $\tau$  越大。本文仿真时间常数  $\tau_{k1} = 0.0086$  s,  $\tau_{k2} = 0.0103$  s。

#### 4 非周期分量在继电保护中的应用

根据非周期分量的特点, 将其应用于继电保护, 无论是作为独立的保护还是与其他保护手段相结合, 都能提高保护的可靠性和灵敏性。

#### 4.1 线路非周期分量电流方向纵差保护

利用非周期分量的正负特性,当发生区内故障时,线路两侧非周期分量电流方向相同;当发生区外故障时,线路两侧非周期分量电流方向相反.因此,通过比较判断线路两侧非周期分量电流的方向,可以正确判断线路故障.

#### 4.2 非周期分量电流和负序电压启动的过电流保护

复合电压启动的过电流保护由于利用了不对称短路时出现的负序电压,其灵敏度比低电压启动时的过电流保护灵敏度更高.但是,对于三相对称短路,其灵敏度与低电压启动时的过电流保护相同.考虑到三相对称短路时至少两相回路中出现非周期分量电流,可以利用非周期分量电流启动保护.由于非周期分量在发生三相对称故障后是从无到有的,因而可以提高三相对称短路时的检测灵敏度.非周期分量电流启动的过电流保护原理框图如图 6 所示.

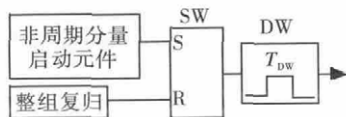


图 6 非周期分量电流启动的过电流保护原理图

图 6 中,非周期分量启动元件用于反应三相对称短路.由于非周期分量仅持续一段时间,其动作信号需由双稳态触发器 SW 记忆下来,再经由单稳态触发器 DW 输出固定时间宽度为  $T_{DW}$  的脉冲,在  $T_{DW}$  时间内,过电流继电器动作,从而启动时间继电器.经过预定的延时后自动跳闸.如果未跳闸,经  $T_{DW}$  时间后,整组复归,为下次保护动作做准备.

#### 4.3 利用非周期分量电流实现振荡闭锁

常用的距离保护,即振荡闭锁是利用电流的零序、负序分量实现的.它利用不对称短路时出现的零序或负序电流分量短时开放保护,而当系统振荡时则闭锁保护.由于通常三相对称短路由不对称短路发展而来,会短时出现零序或负序分量,故采取上述闭锁措施不会出现问题.但对于直接发生的三相短路,由于不存在零序或负序电流分量,将导致保护拒动.为此,可以利用电流非周期分量实现三相对称短路时保护的短时开放.利用电流非周期分量与零序或负序分量实现振荡闭锁的距离保护,其原理如图 7 所示.

当电力系统正常运行或因静态稳定被破坏时,由于启动元件都不会动作,所以保护装置的 I 段和 II 段被闭锁,保护不可能动作跳闸,即不会误动.当电力系统发生三相对称短路时,非周期分量启动元件立即动作,在输出固定时间宽度为  $T_{DW}$  的时间内,若阻抗判别元件的 I 段或 II 段动作,则允许保护无延时或有延时动作.若阻抗判别元件的 I 段或 II 段没有动作,经  $T_{DW}$  时间后,整组复归,准备下次开放保护.

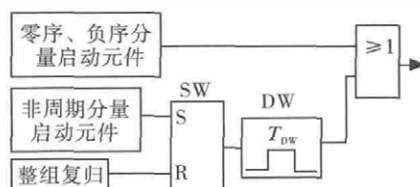


图 7 利用非周期分量与零序、负序分量实现振荡闭锁的距离保护原理图

## 5 结论

本文提出并研究了非周期分量电流的各种性质,并通过 Matlab 仿真对其在继电保护与控制中的应用进行了研究,得出如下结论:

- 1) 非周期分量电流能够准确判断出电力系统是否发生短路.利用电力系统短路前后非周期分量电流的有无,可以单独作为主保护,或与其他保护手段相结合,提高系统整体的灵敏性和可靠性.
- 2) 根据非周期分量的正负特性,可以构成非周期方向纵差保护.仿真结果表明,非周期分量方向纵差保护不受线路对地电容的影响,具有天然的良好特性.
- 3) 非周期分量是一个暂态量,其存在的时间较短,在实际应用中常常要使用信号保持器,使信号能够保持一段时间.
- 4) 电压最大时刻出现单相接地故障时,该线路方向纵差保护的動作行为等问题有待进一步研究.

#### 参考文献:

- [1] El-Hadidy A M, Mahfouz A A. Impact of decaying DC component on the characteristics of over-current protective relays [C]//20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Prague: IEEE, 2009: 56.
- [2] 李胜芳,刘钢,赵福平,等.非周期分量下电流互感器

- 的相位特性研究[J]. 电测与仪表 2012 49(1):8.
- [3] 李艳鹏,侯启方,刘承志. 非周期分量对电流互感器暂态饱和的影响[J]. 电力自动化设备 2006 26(8):15.
- [4] 景敏慧,孔霄迪,覃松涛,等. P类电流互感器饱和原因分析及对策[J]. 电力系统自动化 2007 31(21):94.
- [5] 张小鸣,费雨胜. 一种滤除衰减直流分量的电流估计新算法[J]. 电力系统保护与控制 2010 38(20):90.
- [6] 张秋丽,黄纯,贺建辉,等. 一种消除衰减直流分量影响的改进 DFT 递推算法[J]. 电力系统保护与控制, 2010 38(24):1.
- [7] 陈奎,孙常青,张丽,等. 一种新方法在监视线保护中的应用[J]. 电力系统保护与控制 2010 38(6):76.
- [8] Abdulah A, Konjicija A S. Algorithm for elimination of DC component from fault current [C]// IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Benalmadena: IEEE, 2006: 1118 - 1121.
- [9] Musa O, Aksamovic A. Comparative analysis of algorithms for elimination of exponentially decaying DC component [C]//19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Vienna: IEEE 2012:362 - 367.
- [10] Cho Y S, Lee C K, Jang G, et al. An innovative decaying DC component estimation algorithm for digital relaying [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(1):73.
- [11] 冯巧玲,牛月兰. 电力系统数字保护算法的仿真分析[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版, 2007, 22(4):49.
- [12] 唐建辉,吴在军,胡敏强. 一种精确滤除衰减非周期分量的新算法[J]. 继电器 2005 33(11):14.
- [13] 及洪泉,杨以涵,李岩松,等. 基于光学电流互感器的非周期分量线路纵差保护[J]. 中国电机工程学报, 2007 27(19):45.
- [14] 李岩松,郭志忠,杨以涵,等. 自适应光学电流互感器的基础理论研究[J]. 中国电机工程学报 2005 25(22):21.
- [15] 刘青,王增平,徐岩,等. 光学电流互感器对继电保护系统的影响研究[J]. 电网技术 2005 29(1):11-29.
- [16] 冯建勤,冯巧玲. 电气工程基础[M]. 北京:中国电力出版社 2010.
- [17] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,1995.

## (上接第76页)

- [9] Lei Y G, He Y L, Tian L T, et al. Hydrodynamics and heat transfer characteristics of a novel heat exchanger with delta-winglet vortex generators [J]. Chemical Engineering Science 2010 65(5):1551.
- [10] Zeng M, Tang L H, Lin M, et al. Optimization of heat exchangers with vortex-generator fin by taguchi method [J]. Applied Thermal Engineering 2010 30(13):1775.
- [11] Sun L, Zhang C L. Evaluation of elliptical finned-tube heat exchanger performance using CFD and response surface methodology [J]. International Journal of Thermal Sciences 2014(75):45.
- [12] 吴学红,苟秋平,吕彦力,等. 半球突开缝翅片传热特性模拟及(火积)分析[J]. 工程热物理学报, 2013(1):153.
- [13] Wu X H, Zhang W H, Lu Y L, et al. Performance evaluation and optimization of semi-dimpled slit fin [J]. Heat and Mass Transfer 2014 50(9):1251.
- [14] 苏石川,李光琛,陈明华,等. 圆弧形三角翼翅片管换热器流动与传热特性的数值模拟[J]. 动力工程学报, 2013(3):194.
- [15] Leu J S, Wu Y H, Jang J Y. Heat transfer and fluid flow analysis in plate-fin and tube heat exchangers with a pair of block shape vortex generators [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer 2004 47(19/20):4327.