

基于简化序分量法的分析

黄兴平¹, 谢珍贵²

(1. 厦门大学 机电系 福建 厦门 361000; 2. 福建水利电力职业技术学院 福建 永安 366000)

摘要: 分析了对称分量存在不足, 结合平衡线路的模变换数学特性, 得出简化序分量法在输电线路的故障分析原理。提出了简化序分量法在短路和断线故障分析及选相原理, 解决了距离保护作为 Yd 变压器远后备保护存在的问题。

关键词: 对称分量; 简化序分量; 故障特征; 选相; 远后备保护

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3886.2013.06.033

[中图分类号] TM773 [文献标志码] A [文章编号] 1000-3886(2013)06-0090-03

Analysis Based on the Simplified Sequence Component Method

HUANG Xing-ping¹, XIE Zhen-gui²(1. *Electro-mechanical Department, Xiamen University, Fujian Xiamen 361000, China;**2. Fujian Water Conservancy and Power Professional Technical College, Yong'an Fujian 366000, China*)

Abstract: On the basis of an analysis of the disadvantages of symmetrical component, under consideration of mathematical characteristics of the modular transformation of a balance line, this paper obtains the principle of application of the simplified sequence component method for fault analysis on the power transmission line. It further discusses the principle of application of the simplified sequence component method in short-circuit and open-circuit fault analysis and phase selection, and solves existing problems in using distance protection as distant backup protection for Yd transformers.

Keywords: symmetrical component; simplified sequence component; fault characteristics; phase selection; distant backup protection

0 引言

零序、负序电流选相不能正确选出相间对称短路、无法正确判别转换性接地故障相^[1-2]。对称分量法具有理论成熟、应用经验丰富等优点, 但仅适用于工频稳态量; 稳态量选相原理虽不受时间限制, 但不能适应各种故障要求^[3-4]。线路相间距离保护无法作为 Yd 变压器远后备保护。简化序分量法故障判别原理简单、解决了 Yd 变压器远后备保护灵敏性。

1 并联故障变换

电力系统元件特性分为集中参数和分布参数, 变压器、发电机、电抗器为集中参数; 分布参数如输电线路及电缆。输电线路各相间存在电磁耦合关系, 用简化序分量实现解耦。电力系统对称运行时, 以一相为基础解算网络, 系统不平衡时用对称分量变换、克拉克变换等。

1.1 简化序分量法

系统不对称时常用对称分量法求解, 若正序网络和负序网络的阻抗相等, 即 $Z_1 = Z_2$, 以对称分量法为基础解不对称电路的简化序分量法。对称分量法电流方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

将式(1)的第2行与第3行相加后代替第2行, 第2行与第3行的差代替第3行, 得:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_{A\Sigma} \\ \dot{I}_{A\Delta} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & j\sqrt{3} & -j\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $\dot{I}_{A\Sigma}$ 正序与负序相量和、 $\dot{I}_{A\Delta}$ 正序与负序相量差。式(2)建立了一个零序方程及两个正序方程的数学描述, 电压方程与电流方程相似。

1.2 单相接地故障

设 A 相经过渡电阻 R_F 发生接地短路, 其相边界条件为 $\dot{I}_B^{(1)} = \dot{I}_C^{(1)} = 0$, $\dot{U}_A^{(1)} = \dot{I}_F R_F$, 其序网如图 1(a) 所示。

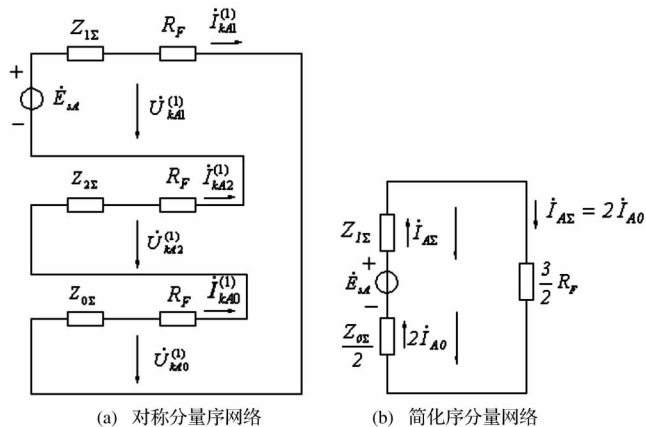


图1 单相接地故障序等效网络
由式(2)反变换得:

收稿日期: 2013-05-28

$$\begin{cases} \dot{I}_B = \dot{I}_{A0} - \frac{1}{2}\dot{I}_{A\Sigma} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\dot{I}_{A\Delta} = 0 \\ \dot{I}_C = \dot{I}_{A0} - \frac{1}{2}\dot{I}_{A\Sigma} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\dot{I}_{A\Delta} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

将方程(3)相加减得 $2\dot{I}_{A0} = \dot{I}_{A\Sigma}$ 、 $\dot{I}_{A\Delta} = 0$ 将电流 $2\dot{I}_{A0} = \dot{I}_{A\Sigma}$ 代入相边界条件得 $\dot{U}_{A0} + \dot{U}_{A\Sigma} = \frac{3}{2}R_F \dot{I}_{A\Sigma}$ 简化后等效单相接地故障网络如图1(b)所示。

由图2得 $2\dot{I}_{A0} = \frac{\dot{E}_{sA}}{\frac{Z_0}{2} + Z_1 + \frac{3R_F}{2}}$ 即 $\dot{I}_{A0} = \frac{\dot{E}_{sA}}{Z_0 + 2Z_1 + 3R_F}$ 与对称分量法结论一致。将图2的 R_F 短接,则为金属性故障。

同理将其它类型金属性短路边界条件代入(2)式,得BC两相金属性短路 \dot{I}_{A0} 、 $\dot{I}_{A\Sigma}$ 为零; BC两相金属性接地短路, $\dot{I}_{A0} = -\dot{I}_{A\Sigma}$; 三相短路 $\dot{I}_0 = 0$ 、 $\dot{I}_{A\Sigma}$ 和 $\dot{I}_{A\Delta}$ 不为零。

断线故障与金属性短路故障有对偶关系,其故障特征一相电流为零和两相电流为零两种情况,简化序分量与故障特征关系如表1所示。

表1 简化序分量与故障特征关系

一相电流为零序、和量、差量电流		两相电流为零		零序、和量、差量电流	
$\dot{I}_A = 0$	$\dot{I}_{A0} + \dot{I}_{A\Sigma} = 0$	$\dot{I}_B = \dot{I}_C = 0$	$2\dot{I}_{A0} = \dot{I}_{A\Sigma}$		
	$j\sqrt{3}\dot{I}_{A\Delta} = \dot{I}_B - \dot{I}_C$	$\dot{I}_{A\Delta} = 0$			
$\dot{I}_B = 0$	$\dot{I}_{A0} + \dot{I}_{A\Sigma} = \dot{I}_A$	$\dot{I}_A = \dot{I}_C = 0$	$\dot{I}_{A0} + \dot{I}_{A\Sigma} = 0$		
	$j\sqrt{3}\dot{I}_{A\Delta} = \dot{I}_C$	$\dot{I}_{A\Delta} = j\sqrt{3}\dot{I}_{A0}$			
$\dot{I}_C = 0$	$\dot{I}_{A0} + \dot{I}_{A\Sigma} = \dot{I}_A$	$\dot{I}_B = \dot{I}_A = 0$	$\dot{I}_{A0} + \dot{I}_{A\Sigma} = 0$		
	$-j\sqrt{3}\dot{I}_{A\Delta} = \dot{I}_B$	$\dot{I}_{A\Delta} = -j\sqrt{3}\dot{I}_{A0}$			

2 选相原理

输电线路均匀换位情况下,其参数矩阵为平衡矩阵,对于任意3阶矩阵,只要其元素关系满足 $s_{11} = s_{21} = s_{31}$ 、 $s_{12} + s_{22} + s_{32} = 0$ 、 $s_{13} + s_{23} + s_{33} = 0$ 的条件,则该矩阵可作为平衡矩阵的变换矩阵。凯伦鲍厄-克拉克变换等满足此关系^[5-6]。对称分量变换含有复数,适用于频域稳态下相量分析;克拉克变换、凯伦鲍厄变换阵元素为实数^[7-8]既适用于频域分析,也适用于时域分析。本文提出时域和频域变换都适用的变换阵简化为:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{i}_b \\ \dot{i}_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_0 \\ \dot{i}_{a\Sigma} \\ \dot{i}_{a\Delta} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dot{i}_0 \\ \dot{i}_{a\Sigma} \\ \dot{i}_{a\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{i}_b \\ \dot{i}_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中将 \dot{i}_0 、 $\dot{i}_{a\Sigma}$ 、 $\dot{i}_{a\Delta}$ 定义以A相为特殊相的零模(零序分量)、和模、差模。式(4)变换与反变换阵都是实数,提高保护快速反映故障的能力。

将短路边界条件代入(4)式得A相接地故障时, $\dot{i}_0 = 3\dot{i}_a$ 、 $\dot{i}_{a\Sigma} = 2\dot{i}_a$ 、 $\dot{i}_{a\Delta} = 0$; BC两相短路时 $\dot{i}_0 = 0$ 、 $\dot{i}_{a\Sigma} = 0$ 、 $\dot{i}_{a\Delta} = 2\sqrt{3}\dot{i}_b$; BC两相接地短路时 $\dot{i}_0 = -\dot{i}_{a\Sigma}$ 、 $\dot{i}_{a\Delta} = \sqrt{3}(\dot{i}_b - \dot{i}_c)$; 三相短路故障 $\dot{i}_0 = 0$ 、

$\dot{i}_{a\Sigma}$ 和 $\dot{i}_{a\Delta}$ 不为零。表2给出了以A相为特殊相接地和相间故障分量 \dot{i}_0 、 $\dot{i}_{a\Sigma}$ 与 $\dot{i}_{a\Delta}$ 的特征量。表3以B或C为特殊相时,简化序分量与故障相的关系。

表2 A相为特殊相的特征量

故障类型	AG	BCG	BC	ABC
零模 \dot{i}_0	$\dot{i}_0 = \dot{i}_a$	$\dot{i}_0 = \dot{i}_b + \dot{i}_c$	$\dot{i}_0 = 0$	$\dot{i}_0 = 0$
和模 $\dot{i}_{a\Sigma}$	$\dot{i}_{a\Sigma} = 2\dot{i}_a$	$\dot{i}_{a\Sigma} = -(\dot{i}_b + \dot{i}_c)$	$\dot{i}_{a\Sigma} = 0$	$\dot{i}_{a\Sigma} = 3\dot{i}_a$
差模 $\dot{i}_{a\Delta}$	$\dot{i}_{a\Delta} = 0$	$\dot{i}_{a\Delta} = \sqrt{3}(\dot{i}_b - \dot{i}_c)$	$\dot{i}_{a\Delta} = 2\sqrt{3}\dot{i}_b$	$\dot{i}_{a\Delta} = \sqrt{3}(\dot{i}_b - \dot{i}_c)$

表3 简化序分量与故障相别关系

特征量	和模 \dot{i}_{Σ}	差模 \dot{i}_{Δ}	故障相
$\dot{i}_0 \neq 0, \dot{i}_{\Delta} = 0$	$2\dot{i}_0 = \dot{i}_{\phi\Sigma}$	$\dot{i}_{\Delta} = 0$	当 ϕ 分别取 a、b、c 时, 依次判 A、B、C 相接地故障
$\dot{i}_0 \neq 0, \dot{i}_{\Delta} \neq 0$	$\dot{i}_0 + \dot{i}_{\phi\Sigma} = 0$	$\dot{i}_{\Delta} \neq 0$	当 ϕ 分别取 a、b、c 时, 依次判 BC、CA、AB 接地故障
$\dot{i}_0 \neq 0, \dot{i}_{\phi\Sigma} = 0$	$\dot{i}_{\phi\Sigma} = 0$	$\dot{i}_{\Delta} \neq 0$	当 ϕ 分别取 a、b、c 时, 依次判 BC、CA、AB 相间故障
$\dot{i}_0 = 0$	$\dot{i}_{a\Sigma} = 3\dot{i}_a$	$\dot{i}_{a\Delta} = \sqrt{3}(\dot{i}_b - \dot{i}_c)$	三相故障

3 Y,d11 变压器两相短路测量阻抗

设变压器d侧发生金属性BC两相短路,经Y,d11变压器变换后Y侧三相短路电流大小不相等,最大相是其余两相的2倍。BC金属性短路对称序分量电流、电压相量如图4所示。采用0°接线的相间距离保护的测量阻抗不等于被保护线路和变压器的正序阻抗,不能作为Y,d11变压器远后备保护^[9]。

由相量图2知,变压器d侧BC短路转化为Y侧的边界条件为: $\dot{I}_{CY1} = \dot{I}_{CY2}$ 、 $\dot{I}_{CY} = -2\dot{I}_{AY} = -2\dot{I}_{BY}$; $\dot{U}_{CY} = 0$ 、 $\dot{U}_{AY} = -\dot{U}_{BY}$ 、 $\dot{U}_{FBC} \neq 0$ 。

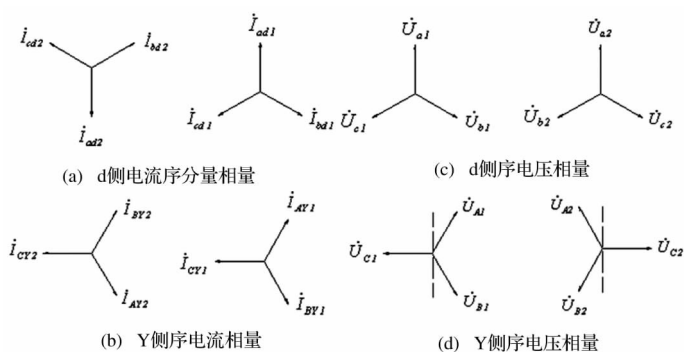


图2 变压器d侧BC金属性短路序电流、电压相量将边界条件代入式(4)得:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_{A\Sigma} \\ \dot{I}_{A\Delta} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\dot{I}_C \\ j\sqrt{3}\dot{I}_B \end{bmatrix} \quad (5)$$

因 $\dot{I}_{C\Sigma} = a\dot{I}_{A\Sigma} = a2\dot{I}_{A1}$, 保护装置M母线测量到的C相电压为:

$$\dot{U}_{MC\Sigma} = a2\dot{I}_{A1}(Z_{L1} + Z_{T1}) + \dot{U}_{FC} \quad (6)$$

式中 Z_{L1} 被保护线路正序阻抗; Z_{T1} 变压器正序阻抗; 故障处C相电压 $\dot{U}_{FC} = 0$; a 对称分量算子。C相测量阻抗为:

$$Z_{mC} = \frac{\dot{U}_{mC\Sigma}}{\dot{I}_{C\Sigma}} = \frac{\dot{U}_{mC\Sigma}}{a2\dot{I}_{A1}} Z_{L1} + Z_{T1} \quad (7)$$

式(7)表明当测量元件用简化序分量的和量,BC 相间短路 C 相测量阻抗能正确反映保护安装处至故障点间的正序阻抗,与变压器联接组别无关,也能正确反映三相短路故障。其它两种相间短路故障可采用相同方法解决,由图 2 知变压器低压侧发生两相短路故障,当发生 AB、CA 两相短路距离,C 相测量阻抗比 $Z_{L1} + Z_{T1}$ 大,但 B、A 相测量元件能正确反应 Yd11 低压侧故障点至保护安装处的阻抗。

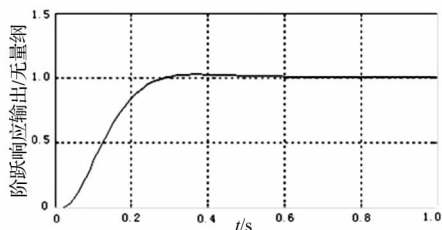
4 结束语

简化的序分量法只存在零序和正序分量,序网络数目从三个减少为两个;输电线路均匀换位情况下,简化序分量法可简化计算,频域变换、时域变换均适用;简化序分量法可用于分析各种短路故障和断线故障;时域选相原理简单,计算速度快,有利于保护的快速动作;解决了相间距离保护不能作为 Yd 变压器远后备保护的缺点。

(上接第 83 页)

4 实验分析

利用 MATLAB 对遗传算法整定的 PID 控制和普通 PID 控制进行仿真。被控对象半导体激光器温度的变化是个缓慢漂移的过程,是一个典型的一阶滞后环节,可表示为 $G(s) = \frac{1}{s+1}$ ^[7]。半导体制冷器的传递函数近似为 $G(s) = \frac{2.2}{12s+1}$,据此算出系统传递函数进行仿真。输入为阶跃信号,采样时间为 10 ms,图 5 为遗传算法整定的 PID 控制下的相应响应,整定后 PID 的参数分别为 $K_p=8.1062$ $K_i=0.9688$ $K_d=0.6193$ 。图 6 为利用 Simulink 仿真的普通 PID 控制下的阶跃响应,从仿真图形对比可以清楚的看出,通过遗传算法优化后,控制的超调量明显降低,调整时间也明显减少,系统的动、静态性能都有所改善。



5 遗传算法整定的 PID 控制下的阶跃响应

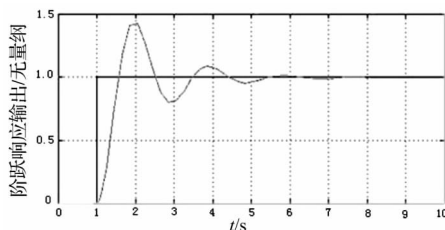


图 6 普通 PID 控制下的阶跃响应

由于半导体激光器的实验环境较严格,本实验中利用可调的

参考文献:

- [1] 宋国兵,李广,与叶云,等.基于相电流差突变量的配网单相接地故障区段定位[J].电力系统自动化,2011,35(21):84-86.
- [2] 黄瑞梅,张国良,许建安.输电线路故障选相方案探讨[J].水电能源科学,2009,27(3):193-195.
- [3] 索南加乐,许庆强,李小斌,等.电力系统振荡过程中序分量选相元件动作行为分析[J].电力系统自动化,2003,27(7):50-54.
- [4] 柏红,王毅.一种新型序分量高压线路保护选相元件[J].电力系统自动化,2007,31(12):65-68.
- [5] 徐振宇,杨奇逊,万顺,等.一种新型数字式故障选相元件[J].中国电机工程学报,1997,17(3):214-216.
- [6] 汤俊,王晓茹,桑丙玉.稳态量分相电流差动保护判据制动特性的改进[J].电力系统自动化,2008,32(11):64-66.
- [7] 葛耀中.新型继电保护和故障测距的原理与技术[M].西安:西安交通大学出版社,2007.
- [8] 王国兴,黄少锋,刘千宽.一种利用电压模故障分量的选相元件[J].电力系统自动化,2008,32(9):42-46.
- [9] 许正亚.输电线路新型距离保护[M].北京:中国水利水电出版社,2002.

【作者简介】黄兴平(1992-)男,福建尤溪人,本科生,电力工程专业。谢珍贵(1965-)男,副教授,福建仙游人,从事电力系统故障分析教学与研究。

发热源作为系统测试的热源。发热量调整为 1 W 左右,环境温度为 24.2℃,实际测量结果表如下。

表 1 实验时间与温度对应表

时间(min)	0	1	3	5	7	10
温度(℃)	24.2	25.5	25.0	24.9	25.1	25.0

实际测量中系统在 1.5 min 左右开始稳定,使用 1 W 恒定功率发热系统的温控误差在 ±0.2℃之内。

5 结束语

本温度控制系统采用了遗传算法整定的 PID 控制以及 PWM 调节制冷器输出的方法,从仿真结果和实验结果可以看出,该系统取得了良好的控温效果。系统运行稳定,集成度高、精度高、控温效果好,温度采集和温度控制精度都可达到 ±0.1℃,满足实际激光光源的投影显示中温度控制要求。

参考文献:

- [1] 张悦玲,杨绍岩,张晓娟.基于 MSP430F449 的半导体激光器温控系统设计[J].光电技术应用,2012,31(3):10.
- [2] 董汉维.半导体制冷器温度控制系统的设计与实现[D].河北:华中科技大学,2010:3-4.
- [3] 彭雨田,杨机贵,杜平.薄膜铂电阻温度传感器研究[J].电子元件与材料,1996,15(4):37-40.
- [4] 马良柱,霍佃恒.半导体 DFB 激光器的自动温度控制[J].信息与电子工程,2009,7(5):443.
- [5] 范淑敏.遗传算法在 PID 控制中的应用[D].北京:北方工业大学,2007:9-12.
- [6] 张先武,陈胜石.通信用大功率半导体激光器的温控系统[J].应用光学,2000,21(5):5.
- [7] 李茜.半导体激光器温度控制系统的研究[D].河北:燕山大学,2010:19-21.

【作者简介】方瑾孜(1988-)女,浙江人,研究生在读,研究方向为信息与通信系统。