

基于电压比较的牵引供电系统异相短路保护

李辉,李钢,安林,马继政

(国电南瑞科技股份有限公司,江苏南京 210061)

摘要:首先通过测量阻抗轨迹法对异相短路故障的测量阻抗的进行分析,得出牵引网发生异相高阻电弧短路故障时,常规原理的阻抗保护将拒动的结论。在异相短路故障特性的基础上,利用电压向量图法对故障电压进行了分析,发现两供电臂电压和相间电压的幅值和相位发生有规律的变化,根据电压变化特征,建立了基于两供电臂电压和相间电压的相关比较,同时结合电流增量保护来实现异相短路故障的保护。通过已有的仿真分析和实际相间短路故障数据分析表明,该方法对异相短路故障具有良好的识别能力,可在牵引变电所保护系统中配置该保护。

关键词:阻抗轨迹法;异相短路;电压向量图法;电分相绝缘器

中图分类号:TM744

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2011)02-0038-03

在单相交流电气化铁路牵引网中,电力机车不降弓通过牵引变电所出口处的电分相绝缘器时,很容易产生受电弓飞弧并最终导致异相高阻电弧短路故障。根据文献[1],交流单相电气化铁路牵引网相邻两供电区接触导线间发生的异相短路,是一种破坏性极大的近区故障。

对于常规的方向距离保护,本文用线性电阻代替电弧实际电阻,对异相短路时测量阻抗轨迹进行了定性分析,得出常规的方向距离保护在牵引供电系统发生异相短路时,不能可靠动作的结论。文献[2]通过对异相短路故障详细分析,提出了电流速断保护和特殊阻抗保护相配合的方案,但电弧电阻较大时,电流速断不能有效识别异相短路而拒动,此外即使能够动作,其动作时间的不同,最终导致电弧异相短路故障不能断开,这是不允许的。文献[3]提出的通过检测两供电臂相间电压的方法鉴别异相短路的保护方案和文献[4]提出的自适应电压增量保护,都存在灵敏度低、难于整定等缺陷。文献[5]提出了两供电臂相间电压幅值变化及其3次谐波含量比较高这一特点提出的保护方案,因增加了电压互感器提高了经济成本。

1 异相短路故障分析(阻抗轨迹法)

本文以普遍采用的Y/△-11接线的三相变压器为例,其他接线形式的变压器模型可类似建立。牵引变压器模型采用归算到27.5 kV三相三角形对称等效电路的参数,电弧电阻用 R_g 表示,等效电路如图1所示。在馈线保护中, b 供电臂引入的电压为 \dot{U}_{ba} ,电流为 \dot{I}_b ; c 供电臂引入的电压为 \dot{U}_{ca} ,电流为 \dot{I}_c 。其中: $\dot{U}_{ba|0|} = \dot{U}_{bc|0|} \times e^{-j60^\circ}$, $\dot{U}_{ca|0|} = \dot{U}_{bc|0|} \times e^{-j120^\circ}$ 。

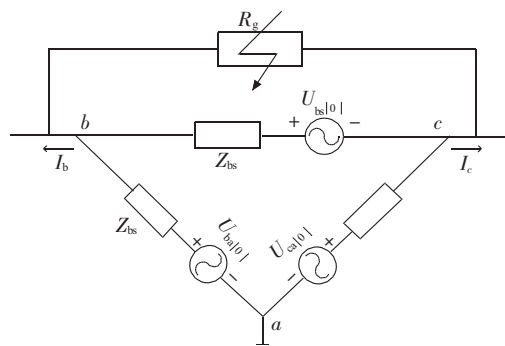


图1 牵引变压器异相短路等效电路示意图

基于图1异相短路等效电路模型,在不考虑机车负荷情况下,利用电路原理分析,异相短路后各主要电气量之间存在以下关系:

$$\begin{cases} \dot{I}_b = \frac{3}{2Z_{bs} + 3R_g} \times \dot{U}_{bc|0|} \\ \dot{I}_c = \frac{3}{2Z_{cs} + 3R_g} \times \dot{U}_{bc|0|} \\ \dot{U}_{bc} = \frac{R_g}{2Z_{bs} + 3R_g} \times (\dot{U}_{bc|0|} + \dot{U}_{ba|0|}) + \frac{Z_{bs} + R_g}{2Z_{bs} + 3R_g} \times (\dot{U}_{ba|0|} + \dot{U}_{ca|0|}) \\ \dot{U}_{ca} = \frac{R_g}{2Z_{cs} + 3R_g} \times (\dot{U}_{ca|0|} + \dot{U}_{bc|0|}) + \frac{Z_{cs} + R_g}{2Z_{cs} + 3R_g} \times (\dot{U}_{ba|0|} + \dot{U}_{ca|0|}) \end{cases} \quad (1)$$

根据式(1)计算得出两供电臂的测量阻抗式(2):

$$\begin{cases} Z_b = R_g \times e^{-j60^\circ} - j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{bs} \\ Z_c = R_g \times e^{-j60^\circ} + j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{bs} \\ \angle(Z_b + j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{bs}) = -60^\circ \\ \angle(Z_c - j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{bs}) = 60^\circ \end{cases} \quad (2)$$

利用阻抗轨迹法,根据式(2)在阻抗平面上画出测量阻抗 Z_b 和 Z_c 的轨迹,如图2所示。

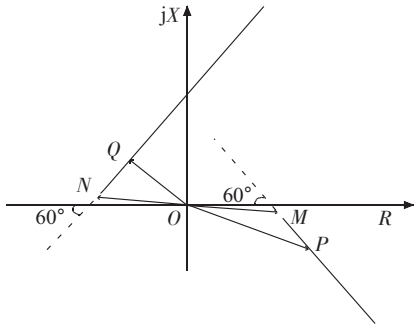


图2 异相短路时测量阻抗在阻抗平面上的轨迹

其中当 $R_g=0$ 时, $Z_b=\overline{OM}=-j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{bs}$, $Z_c=\overline{ON}=j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_{bs}$; 当 $R_g \neq 0$ 时, $Z_b=\overline{OP}$, $Z_c=\overline{OQ}$, 并且随着 R_g 的增大, P 点的轨迹是沿着直线 \overline{MP} 在第四象限内远离 R 轴, Q 点的轨迹是沿着直线 \overline{NQ} 从第二象限进入第一象限 (实际上电弧电阻远小于系统阻抗和变压器阻抗, 实测中 Q 点均分布在第二象限内)。

比较文献[5]的仿真结果, 如表1所示数据, 也与上述分析的结果一致。

表1 不同弧长时两供电臂测量阻抗

弧长/cm	Z_c/Ω	$\Psi_c/(\circ)$	Z_b/Ω	$\Psi_b/(\circ)$
540	7.612	156.9	10.04	-15.00
720	7.692	149.5	11.00	-18.90
1 000	8.498	135.1	13.03	-23.10
1 200	10.430	123.2	15.17	-24.37

可见, 异相短路时两供电臂的测量阻抗远远偏离现行馈线两供电臂的方向阻抗继电器的保护范围, 因此现行方向阻抗保护无法对异相短路起到保护作用。

2 异相短路故障电压分析

理论分析, 由式(1)变换得式(3):

$$\begin{cases} \dot{U}_{ba} = \dot{U}_{ba|0|} - \frac{Z_{bs}}{Z_{bs} + \frac{3}{2}R_g} \times \frac{1}{2} \dot{U}_{bc|0|} \\ \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ca|0|} + \frac{Z_{bs}}{Z_{bs} + \frac{3}{2}R_g} \times \frac{1}{2} \dot{U}_{bc|0|} \end{cases} \quad (3)$$

由式(3)画出异相短路时两供电臂及其相间的电压向量图, 见图3。 \dot{U}_{ba} 的轨迹是在 $\dot{U}_{ba|0|}$ 的电压上叠加一个以 $-\frac{1}{2}\dot{U}_{bc|0|}$ 为弦的一个圆弧上, \dot{U}_{ca} 的轨迹是在 $\dot{U}_{ca|0|}$ 的电压上叠加一个以 $\frac{1}{2}\dot{U}_{bc|0|}$ 为弦的一个圆弧上, 其圆周角都是 $(180^\circ - \theta_{Z_{bs}})$ 。当 $R_g=0$ 时, \dot{U}_{ba} 和 \dot{U}_{ca} 落到同一点 O' , 此时 $\dot{U}_{ba} = \dot{U}_{ca} = \frac{1}{2}(\dot{U}_{ba|0|} + \dot{U}_{ca|0|})$ 。

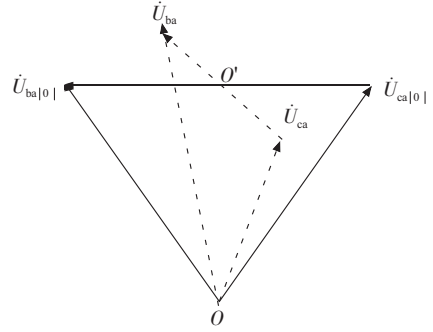


图3 异相短路时故障点的电压向量全图

根据图3所示, 考察异相短路故障时两供电臂电压 \dot{U}_{ba} 和 \dot{U}_{ca} 的幅值和相位以及两供电臂相间电压 \dot{U}_{bc} 的变化。当电弧电阻 R_g 有限时, 供电臂超前相电压 \dot{U}_{ba} 的有效值始终大于滞后相电压 \dot{U}_{ca} 的有效值, 只有 $R_g=0$ 时 (事实上电弧电阻不可能等于0), 两者相等, 相间电压为0; 随着 R_g 的增大, 超前相电压先增加后减小, 滞后相电压先减小后增加, 相间电压 \dot{U}_{bc} 一直增大, \dot{U}_{ba} 和 \dot{U}_{bc} 之间的相位差一直减小; 当 $R_g = \infty$ 时, 各端口电压回归正常, \dot{U}_{ba} 和 \dot{U}_{ca} 之间的相位差为 60° 。

对于 Y/ Δ -11 接线的三相变压器, 故障电压有如下关系:

$$\begin{cases} \angle \dot{U}_{ba} - \angle \dot{U}_{ca} < 60 \\ U_{ba} > U_{ca} \\ U_{bc} > U_{ba|0|} \end{cases} \quad (4)$$

比较文献[5]的仿真结果, 如表2所示数据, 也与式(4)相吻合。

表2 不同弧长时故障测量电压

弧长/cm	U_{ba}/kV	U_{ca}/kV	U_{bc}/kV	$\angle U_{ba} - \angle U_{ca}/(\circ)$
540	27.16	20.69	7.37	8.11
720	28.17	19.70	9.72	11.60
1 000	29.33	19.13	13.58	21.80
1 200	29.34	20.19	16.38	32.41

3 异相短路保护

由异相短路时故障电压之间的特征分析, 结合电流增量保护, 构成其如下动作判据的异相短路的保护:

$$\begin{cases} \dot{U}_{ba}^2 + \dot{U}_{ca}^2 - 2 \times U_{ba} \times U_{ca} \cos(\angle \dot{U}_{ba|0|} - \angle \dot{U}_{ca|0|}) > U_{bc}^2 \\ U_{ba} > k U_{ca} \\ U_{bc} > U_{zd} \\ \Delta I_b \text{ 或 } \Delta I_c > I_{dz} \end{cases} \quad (5)$$

式中： U_{ba} 为超前相供电臂 b 的故障电压基波有效值； U_{ca} 为滞后相供电臂 c 的故障电压基波有效值； U_{bc} 为两供电臂的故障相间电压基波有效值，此电压可通过两供电臂电压向量计算获得； k 为可靠系数，根据经验取 $k=1.2$ ； U_{zd} 为整定电压值，文献[5]根据经验值取 $U_{zd}=0.8U_n=22\text{ kV}$ ， U_n 为供电臂线电压； I_{dz} 为整定电流值，根据文献[6]，结合一台机车的启动电流，同时考虑异相短路时容许的最大电弧过渡电阻确定的最小电流值来进行整定。

此异相短路保护的供电臂相间 U_{bc} 电压是通过两馈线保护装置互相引入对方电压计算得出。当异相短路发生时，当式(4)满足条件后，识别到异相短路故障，两供电臂馈线保护装置根据自身的电流增量保护能可靠动作切除故障。

针对本文提出的基于电压比较的异相短路保护，利用文献[3]仿真数据和现场故障数据对该保护进行了动作情况分析，结果见表3、表4，其分析结果可以得出此保护方案是可靠的、灵敏的。

表 3 异相短路保护的動作情况

各种运行情况		U_{ba}/kV	U_{ca}/kV	U_{bc}/kV	$\angle U_{ba}-\angle U_{ca}/(^{\circ})$	保护动作情况
正常运行情况	ba 臂空载 ca 臂负载电流 871 A	24.49	23.88	28.25	77.26	不动作
	ca 臂空载 ba 臂负载电流 954 A	23.9	28.55	24.59	55.26	不动作
	ca 臂负载电流 592.2 A ba 臂负载电流 702.4 A	21.45	24.43	25.72	67.94	不动作
	ba 臂空载 ca 臂接地出口 10 km 处	23.42	13.52	26.02	85.29	不动作
	ba 臂空载 ca 臂接地出口 0 km 处	23.81	0	23.81	90.15	不动作
	ba 臂负载电流 51 A ca 臂接地出口 0 km 处	21.66	0	21.66	82.69	不动作
供电臂发生接地短路	ca 臂空载 ba 臂接地出口 0 km 处	13.49	26.01	23.46	64.04	不动作
	ca 臂空载 ba 臂接地出口 0 km 处	0	23.82	23.82	30	不动作
	ca 臂负载电流 464 A ba 臂接地出口 0 km 处	0	21.83	21.83	35.89	不动作
	电弧长度 1 200 cm ba 臂负载电流 538 A ca 臂空载	28.01	21.13	18	37.8	动作
	电弧长度 1 200 cm ba 臂负载电流 732 A ca 臂负载电流 267 A	25.35	19.75	18	42.53	动作

表 4 合武线金寨牵引变电所发生异相短路的实测数据

记录	U_{ba}/kV	U_{ca}/kV	U_{bc}/kV	$\angle U_{ba}-\angle U_{ca}/(^{\circ})$
异相短路记录 1	28.67	21.98	6.70	5.60
异相短路记录 2	25.50	22.85	4.04	7.40

4 结束语

通过对牵引供电系统异相短路故障特征的分析，提出了一种借助于两供电臂电压以及相间电压的异相短路识别方法，结合仿真和实测数据分析表明，该方案对异相短路具有较好的识别能力。在馈线保护装置中引入这种异相短路识别信号，结合馈线保护装置中已有的电流增量判据构成的异相短路保护方案，能够可靠地判别异相短路故障，克服了传统方向阻抗保护的缺陷。此异相短路识别方法也适合其他接线方式牵引变压器。该保护方案在传统保护装置的基础上，不需要增加额外的硬件设备，只需在软件上增加异相短路识别逻辑就可实现，具有很好

的可靠性、经济性。

参考文献：

[1]贺俊威.电力牵引网异相短路保护动作特性分析[J].铁道学报,1986,8(1):36-46.
 [2]高仕斌,王毅非,张 劲.牵引变电所异相短路故障及常规馈线保护动作行为分析[J].铁道学报,2000,22(4):24-27.
 [3]李冀昆.牵引供电系统异相短路保护原理的研究[D].成都:西南交通大学,2004.
 [4]高仕斌.高速铁路牵引供电系统新型保护原理研究[D].成都:西南交通大学,2004.
 [5]张艳霞,周营营,陈鸿雁.牵引供电系统异相短路保护的新方案[J].电力系统自动化,2008,32(7):53-56.
 [6]林国松,高仕斌,李群湛.基于故障分量相关分析的供电牵引网异相短路保护[J].电力系统自动化,2007,31(6):82-85.

作者简介：

李 辉(1978-),男,河南鹿邑人,工程师,从事电力系统自动化及继电保护的研究与开发工作;

(下转第 44 页)

4 结束语

本文提出了一种基于微粒群辨识算法的综合负荷模型辨识方法,该方法能够有效的辨识出负荷模型的参数,并通过数字仿真实验进行了验证,实验结果能够很好的拟合负荷的有功和无功曲线,证实了该辨识算法的有效性。

参考文献:

- [1] 周文,贺仁睦,章建,等. 电力负荷建模问题研究综述[J]. 现代电力,1999,16(2):83-88.
- [2] 程颖,鞠平,吴峰. 负荷模型参数辨识的粒子群优化法及其与基因算法比较[J]. 电力系统自动化,2003,27(11):25-29.
- [3] 张东霞,汤涌,张红斌,等. 负荷模型的应用与研究调查报告[J]. 电网技术,2007,31(4):16-23.
- [4] 石景海,贺仁睦. 动态负荷建模中的负荷时变性研究[J]. 中国电机工程学报,2004,24(4):85-90.

- [5] 鞠平,卫志农. 电力负荷特性的在线测辨—模型及辨识[J]. 电力系统自动化,1992,16(4):15-21.
- [6] PSASP7.0 图模平台用户手册[S]. 北京:中国电力科学研究院,2007.
- [7] 武朝强. 电力系统动态仿真误差评价指标研究[C]. 华北电力大学硕士学位论文,2008.
- [8] 鞠平,马大强. 电力系统负荷建模(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [9] 张进,贺仁睦. 基于参数灵敏度分析的负荷建模研究[J]. 现代电力,2005,22(5):29-32.

作者简介:

谷鹏(1977-),男,山东济南人,工程师,主要从事电力系统运行与控制研究工作。

石国萍(1977-),女,天津人,讲师,主要从事电力系统教学培训

Power System Load Modeling and Simulation Based On PSO Algorithm

GU Peng¹, SHI Guo-ping²

(1. Shandong Electric Power Construction No.1 Company, Jinan Shandong 250100, China;

2. School of Information and Electric Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong 250101, China)

Abstract: This paper introduced particle swarm optimization (PSO) algorithm, which is efficient and quite immune to local optima. The paper applies PSO algorithm to electrical load parameter identification, and the results verify that PSO algorithm is fairly good in both efficiency and global superiority. The load model based on the algorithm is of high accuracy. In the end, simulation experiments of engineering example are carried on, and the results confirm the availability of both PSO algorithm and the load model.

Key words: power systems; load modeling; PSO algorithm; parameter identification

(上接第 40 页)

李钢(1964-),男,山东新泰人,高级工程师,从事电力系统自动化及继电保护的研究与开发工作;

安林(1974-),男,安徽怀远人,工程师,从事电力系统自动化

及继电保护的研究与开发工作;

马继政(1976-),男,山西孝义人,工程师,从事电力系统自动化及继电保护的设计与研究

Protection Against Wrong-phase-coupling of Traction Power Supply System Based on Comparison of Voltage

LI Hui, LI Gang, AN Lin, MA Ji-zheng

(NARI Technology Development Limited Company, Nanjing 210061, China)

Abstract: Conventional impedance relay will refuse to trip according to an analysis of measuring impedance by means of impedance locus method when wrong-phase-coupling of traction power supply system occurs. Based on the characteristics of wrong-phase-coupling faults, by means of voltage vector diagram, variations of two power supply voltage and phase voltage are regular. According to this feature combined with current incremental protection, a new protection scheme is developed. The existing simulation results and the analysis of actual data on the faults show that, with its good ability of fault identification, this protection scheme can be equipped in the traction power supply system.

Key words: power traction system; wrong-phase-coupling; voltage vector diagram; phase insulator

欢迎投稿, 欢迎订阅!