

文章编号:1671-251X(2012)10-0047-05

马星河,闫炳耀,王永胜. 煤矿高压电网单相接地漏电故障选线方法研究[J]. 工矿自动化,2012(10):47-51.

煤矿高压电网单相接地漏电故障选线方法研究

马星河, 闫炳耀, 王永胜

(河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003)

摘要:新型高压电网单相接地漏电故障选线方法采用电流谐波故障诊断法、零序有功功率法和暂态零序电流互积求和法设定故障测度隶属函数和权重系数隶属函数;采用模糊理论将3种方法各自的隶属函数和权重系数隶属函数进行融合,计算出多判据选线方法下的线路故障测度,从而可判断出单相接地漏电故障线路。Matlab/Simulink 仿真结果验证了该方法的正确性。

关键词:煤矿高压电网;单相接地漏电故障;模糊理论;隶属函数;故障测度;权重系数;综合选线

中图分类号:TD612 文献标志码:A 网络出版时间:2012-09-25 14:16

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120925.1416.012.html>

Research of Line Selection Method of Single-phase Grounding Leakage Fault of Coal Mine High-voltage Grid

MA Xing-he, YAN Bing-yao, WANG Yong-sheng

(School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University,
Jiaozuo 454003, China)

Abstract: A new type of line selection method of single-phase grounding leakage fault of coal mine high-voltage grid uses fault diagnosis method of current harmonic, zero-sequence active power method and transient zero-sequence current mutual product sum method to set membership functions of fault measures and weight coefficient, uses fuzzy theory to fusion the above functions of the three methods to calculate fault measures of line under line selection method with multi criteria, so as to judge line of single-phase grounding leakage fault. The Matlab/Simulink simulation result validates correctness of the line selection method.

Key words: coal mine high-voltage grid, single-phase grounding leakage fault, fuzzy theory, membership function, fault measures, weight coefficient, comprehensive line selection

0 引言

煤矿高压电网单相接地漏电故障(以下称高漏)是煤矿小电流接地系统运行中长期存在的问题。在我国煤矿高压电网中,大多数配电网采用中性点不接地系统和中性点经消弧线圈接地系统,这些系统发生单相接地故障时,不会形成短路回路,接地短路电流很小,故障点电弧能够自行熄灭^[1],不影响电力

系统对负荷持续供电。但是,如果长时间带故障运行,则会导致故障扩大为2点或者多点接地短路,弧光接地还会造成配电网的过电压,从而损坏设备,降低配电网的稳定性,所以必须及时查找故障线路并予以切除。

本文采用电流谐波故障诊断法、零序有功功率法和暂态零序电流互积求和法设定故障测度隶属函数和权重系数隶属函数,采用模糊理论将3种方法

收稿日期:2012-07-30

基金项目:2009年河南省科技厅重点攻关项目(092102210356)

作者简介:马星河(1979-),男,河南焦作人,副教授,博士后,主要从事矿山电气控制新技术及现代矿山交流调速系统的研究工作,已发表文章20余篇。E-mail:ma_cumt@126.com

各自的隶属函数和权重系数隶属函数进行融合,计算出多判据选线方法下的线路故障测度,从而可判断出单相接地故障线路。3种方法的原理各有特色,适用于不同状况,具有良好的互补性,融合后能较大提高选线的精准度。

1 模糊理论

模糊理论在信息融合技术中得到越来越多的应用,它是用数学方法来解决具有“模糊”现象的一门技术^[2]。所谓模糊性是指相关事物迥异过渡的不确定性,模糊理论通过建立对应的隶属函数很好地解决这种模糊性,将不确定性转换为精确的数值描述。

1.1 模糊集合

论域 U 中模糊集合 F 是用一个闭区间 $[0, 1]$ 中取值隶属度 u_F 体现,即

$$u_F: U \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

式中: $u_F(u) = 1$, 表示 u 全部归于 F ; $u_F(u) = 0$, 表示 u 全部不归于 F ; $0 < u_F(u) < 1$, 表示 u 部分归于 F ; u 为 U 中的一个元素。

1.2 隶属度

隶属度 $u_F(u)$ 取值为闭区间 $[0, 1]$, $u_F(u)$ 取值大小体现 u 对于模糊集合 F 的归于程度。

1.3 模糊集表示方法

(1) 查德表示法

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i) / u_i \quad (2)$$

式(2)中的 $\sum$ 并不表示“求和”,只是借用来表示集合的一种方法;符号“/”也不代表分数,只是体现 u_i 与它对 F 的隶属度的关系。

(2) 序偶表示法

$$F = \{(u_1, \mu(u_1)), (u_2, \mu(u_2)), \dots, (u_n, \mu(u_n))\} \quad (3)$$

(3) 向量表示法

$$F = \{\mu(u_1), \mu(u_2), \dots, \mu(u_n)\} \quad (4)$$

式(4)中的元素 u 是按次排列,隶属度值等于零的项不能忽略。

模糊集的隶属函数可以通过多种方法来确定,这就使隶属函数的确认过程具有较大的主观性^[2]。不但同一论域的模糊集会由于不同的人采用不同的评价标准而使得到的隶属度相差很大,而且不同的隶属模式也会导致该模糊集出现不同的模糊性。在实际的应用中,可通过多种方法确定隶属函数,在需要时,可以先由这方面的权威人士判断决定某种隶属函数,回到实践中加以论证,再做相应的调整,以

确保隶属函数,符合实际需求。

2 模糊理论在煤矿高漏选线中的应用

在煤矿高漏选线中,如果能够把故障线路中体现故障程度的度量计算出来,并且通过技术手段把这种度量转换为可读的数据,那么就可以准确地选出是哪一条线路发生故障。为此,定义一个实数域内变量——故障测度。在某种判断条件下,故障测度可以体现出具有故障线路特征程度的度量^[3-5]。

在综合选线过程中,假如先求得单一判据下各条线路的故障测度,之后求和,便可获得综合判据选线方法下各条线路的故障测度:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^n \mu_{ij} \quad (5)$$

式中: μ_j 为多判据下第 j 条线路的故障测度; μ_{ij} 为第 i 个判据下第 j 条线路的故障测度; n 为线路个数。

比较由式(5)求得的各条线路的故障隶属度值的大小就可判断出故障线路。但是相对于实际情况来说,式(5)只是给出某一条线路在多判据情况下可能是故障线路的程度,并不能准确判断该线路是否为故障线路。所以,必须给单一判据提供一个稳定的函数——权重系数。

权重系数的范围和故障测度一样,都是体现一个故障样本在某一判据条件下选线的信誉程度。研究一个规定的故障样本,在某一判据原则下可以通过设定该判据的权重系数隶属函数来给予该判据的权重系数,求出多判据下每条线路的故障测度:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^n \mu_{ij} \eta_i \quad (6)$$

式中: η_i 为第 i 个判据的权重系数。

通过计算出的多判据选线方法下的线路故障测度,即可判断故障测度最大值对应的线路即是故障线路。

3 基于模糊理论的综合选线算法

选择参与综合选线的单一选线原理是多判据选线的最重要任务。故障选线原理主要考虑以下方面:适用不同故障相角能力;适用不同接地方式;反应瞬时性故障能力;适合过渡电阻能力;抗不稳定弧光接地;减小系统不稳定、电流互感器不稳定等不利影响^[6-11]。因此,选择参与多判据的选线判据需具有互补性。

本文选择电流谐波故障诊断法、零序有功功率

法和暂态零序电流互积求和法3种选线方法。3种方法的原理各有特色,适用于不同状况,具有良好的互补性,融合后能较大提高选线的精准度。以下对选择的3种方法分别进行研究,设定各自的故障测度隶属函数和权重系数隶属函数。

3.1 电流谐波故障诊断法

通过FFT级数分析,将非正弦波周期的电气量分解出基波分量和具有基波频率整数倍的谐波分量,采用FFT算法得出电网基波分量和各次谐波分量。周期性交流量中谐波含量的方均根值与基波分量的方均根值的比值为总谐波畸变率(D_{TH})^[12]:

$$D_{TH} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}}{I_1} \times 100\% \quad (7)$$

式中: I_1 为基波幅值; I_h 为 h 次谐波幅值。

中性点经消弧线圈接地系统发生接地故障时,故障线路产生感性电流和容性电流。在母线侧,感性电流通过中性点消弧线圈流出,容性电流流入非故障线路,故障线路中零序电流含有较多谐波分量。计算得出的各线路零序电流中总的 D_{TH} ,可作为判断中性点经消弧线圈接地系统的选线凭据。针对中性点经消弧线圈接地系统的 D_{TH} 特性,电流谐波故障诊断法的故障测度隶属函数定义为

$$\mu_{1j} = \begin{cases} 0, & x < a \\ 1, & x = a \end{cases} \quad (8)$$

式中: x 为第 j 条线路零序电流中总的 D_{TH} ; a 为最大的线路零序电流中总的 D_{TH} ; $j=1, 2, \dots, n$, n 为线路个数。

根据 D_{TH} 特性选线的信誉程度取决于故障线路与非故障线路中的 D_{TH} 差异程度,当线路中零序电流的 D_{TH} 差异越大,电流谐波故障诊断法的信誉度就越高,反之,信誉度就越低。根据差异程度的关系,该方法的选线判断权重系数隶属函数定义为

$$\eta_1 = \begin{cases} \frac{t_1}{2t_2}, & t_1 < 2t_2 \\ 1, & t_1 \geq 2t_2 \end{cases} \quad (9)$$

式中: t_1 和 t_2 为最大的2个线路零序电流的 D_{TH} ,且 $t_1 > t_2$ 。

3.2 零序有功功率法

对经消弧线圈接地系统和经电阻接地系统而言,某条线路的零序有功功率值越大,该线路是故障线路的机会就越大^[13]。所以定义零序有功功率法的故障测度隶属函数为

$$\mu_{2j} = \begin{cases} 0, & x < b \\ 1, & x = b \end{cases} \quad (10)$$

式中: x 为第 j 条线路上的零序有功功率绝对值; b 为线路上的最大的零序有功功率绝对值。

这时可以把零序有功功率绝对值最大的线路作为其他所有线路的故障测度隶属函数值,这种方法有利于损耗较多有功功率的线路得到较大的故障测度值。

因为零序有功功率的计算是通过零序电压和零序电流波形的积分求出,所以零序功率值的精准度与波形的质量大有关联,谐波的毛刺引入量越大,有功功率值就越不精确。所以零序有功功率法的选线判断权重系数隶属函数要通过线路最大电流总谐波畸变率 t 来确定。本文设计当 t 在50%以上,权重系数为0.5%以下权重系数为1,中间是一个单调降函数:

$$\eta_2 = \begin{cases} 1, & t \leq 0.05 \\ -\frac{20}{9}t + \frac{10}{9}, & 0.05 < t < 0.5 \\ 0, & t \geq 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

3.3 暂态零序电流互积求和法

暂态电流分量基本不受中性点接地方式影响,当接地电阻较小时,暂态电流分量远远大于稳态电流分量。但暂态电流分量的大小较易受到干扰,因此,在干扰信号很大情况下对比暂态电流分量幅值会带来较大影响^[7]。所以,本文在能量法的原则上,提出利用计算线路零序电流暂态分量与其他线路暂态分量之积后求和来判断故障线路,抗干扰能力大大加强。

暂态零序电流互积求和法的故障测度隶属函数定义为

$$\mu_{3j} = \begin{cases} 0, & x < c \\ 1, & x = c \end{cases} \quad (12)$$

式中: x 为第 j 条线路零序电流互积求和绝对值; c 为最大线路零序电流互积求和绝对值。

对于该选线算法,其判断权重系数取决于故障线路和非故障线路零序电流互积求和绝对值的差异程度。当差异程度越大,信誉度就越高,所以判断权重系数隶属函数可定义为

$$\eta_3 = \begin{cases} 1, & I_1 \geq nI_2 \\ \frac{I_1}{nI_2}, & I_1 < nI_2 \end{cases} \quad (13)$$

式中: I_1 和 I_2 为线路零序电流互积求和绝对值的最大2个值,且 $I_1 > I_2$; n 为线路个数。

4 基于Matlab/Simulink的综合选线仿真研究

首先用Matlab/Simulink建立一个算例模型:

一段母线(线电压为 6.5 kV)带 4 条出线,线路长度分别为 2 km、5 km、10 km、12 km。线路参数:正序电阻=0.024 Ω /km,正序感抗=1.171 4 mH/km,正序容抗=0.032 7 μ F/km,零序电阻=0.326 Ω /km,零序感抗=3.896 5 mH/km,零序容抗=0.017 5 μ F/km。采用过补偿方式,过补偿为 8%。

在仿真开始前,选择离散算法,仿真结束时间取 0.2 s,6 kV 中压电网在线路 L4 距离母线 2 km 处发生接地故障,接地电阻为 100 Ω ,故障发生时间为 0.04 s。Matlab/Simulink 中构建的模型如图 1 所示,电流谐波分析选择 Matlab 中的 FFT analysis 进行 D_{TH} 分析。

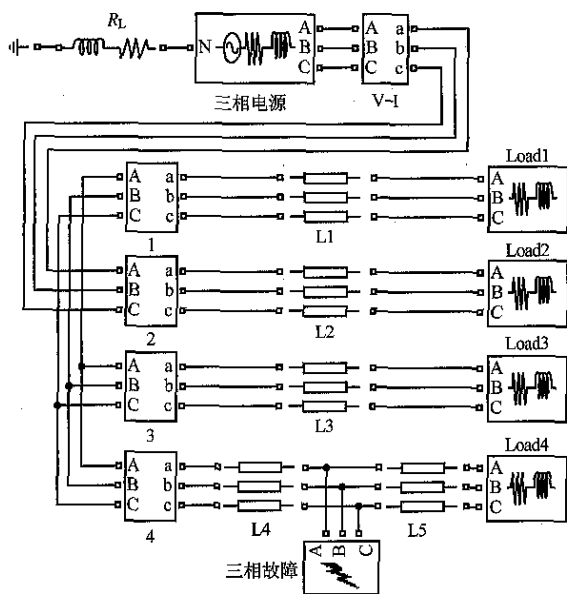


图 1 6 kV 中性点经消弧线圈接地系统仿真模型

设置好参数,运行 6 kV 中性点经消弧线圈接地系统仿真模型,得到零序电流波形(如图 2 所示)和仿真实验结果(见表 1)。表 1 中,算法 1 表示电流谐波故障诊断法,算法 2 表示零序有功功率法,算法 3 表示暂态零序电流互积求和法。

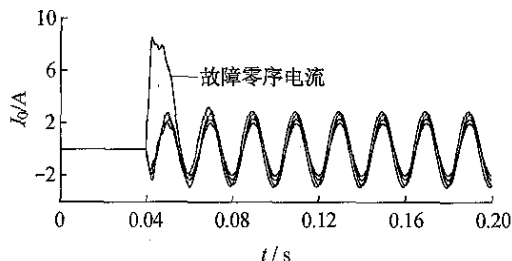


图 2 零序电流波形

根据表 1,由式(6)求出模糊故障测度,显示线路 L4 的模糊故障测度为 2.84,其他线路的模糊故障测度都为 0,很明显,线路 L4 的故障测度最大,表明线路 L4 为故障线路。

表 1 仿真实验结果

算法	权重系数	各线路故障测度隶属函数				
		L1	L2	L3	L4	母线
1	1	0	0	0	1	0
2	0.84	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	1	0
融合结果		0	0	0	2.84	0

对不同故障线路、不同故障合闸角、不同过渡电阻等多种故障类型进行仿真,仿真结果如表 2 所示,其中 L_i 为故障线路, X_i 为故障点距母线距离, R_i 为过渡电阻, θ 为故障合闸角。

表 2 综合仿真实验

故障类型	L_i	X_i /km	R_i / Ω	θ /($^\circ$)	模糊结果
线路故障	L1	1	100	0	正确
		2	500	60	正确
		2	5	0	正确
线路故障	L4	10	500	30	正确
		0	10	0	正确
		0	500	60	正确

从表 2 可看出,采用模糊理论将 3 种方法各自的隶属函数和权重系数隶属函数进行融合,可以精确地选出故障线路。

5 结语

建立了模糊理论推理模型,利用模糊理论将电流谐波故障诊断法、零序有功功率法和暂态零序电流互积求和法进行信息融合,提高了选线的精准度。Matlab/Simulink 仿真结果表明,基于模糊理论的高漏选线方法不受各种故障类型、接地电阻、故障时刻的影响,在上述条件下都可以准确地选出故障线路。

参考文献:

- [1] 束洪春. 配电网故障选线[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2000.
- [3] 曾祥君,LI K K,CHAN W L,等. 信息融合技术在故障选线中的应用[J]. 继电器,2002,30(9):17-22.
- [4] 胡敏. 信息融合技术及其在电力系统中的应用研究[D]. 成都:电子科技大学,2011.
- [5] 廖智贤. 基于多信息融合技术的继电保护研究[J]. 科技风,2009(18):263.

文章编号:1671-251X(2012)10-0051-04

姜建华,李盼,王洁,等.用于煤矿电缆绝缘参数在线测量的附加低频信号源设计[J].工矿自动化,2012(10):51-54.

用于煤矿电缆绝缘参数在线测量的 附加低频信号源设计

姜建华¹, 李盼¹, 王洁², 郭齐^{1,3}

(1. 西安科技大学电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学机械工程学院, 陕西 西安 710054; 3. 中煤科工集团常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

摘要:分析了附加低频信号源测量电缆绝缘参数的基本原理,详细介绍了该信号源中优化的SPWM驱动电路、输入和输出保护电路和RS232通信电路的设计,其中优化的SPWM驱动电路可输出 $-8\sim+12\text{ V}$ 的电压,保证了IGBT的可靠开通和关断。实验结果表明,该信号源输出电压幅值稳定、频率连续可调。

关键词:电缆绝缘参数;在线测量;附加低频信号源;SPWM驱动电路;IGBT;TMS320F2812

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:2012-09-25 14:16

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120925.1416.013.html>

Design of Additional Low-frequency Signal Source for Online Measurement of Insulation Parameters of Coal Mine Cable

LOU Jian-hua¹, LI Pan¹, WANG Jie², GUO Qi^{1,3}

(1. School of Electrical and Control Engineering of Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China. 2. School of Mechanical Engineering of Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China. 3. Changzhou Automation Research Institute of CCTEG., Changzhou 213015, China)

Abstract: The paper analyzed basic principle of measuring insulation parameters of cable by additional low-frequency signal source, and detailedly introduced design of optimal SPWM driving circuit, protection circuit of input and output and RS232 communication circuit of the signal source, in which the optimal SPWM driving circuit can output -8 V to $+12\text{ V}$ voltage to ensure reliable opening and closing of IGBT.

收稿日期:2012-07-03

作者简介:姜建华(1987-),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要研究方向为煤矿供电系统安全。E-mail:wj03113@163.com

- [6] 肖白,束洪春,高峰.小电流接地系统单相接地故障选线方法综述[J].继电器,2001,29(4):16-20.
- [7] 齐郑,杨以涵.中性点非有效接地系统单相接地选线技术分析[J].电力系统自动化,2004,28(14):1-5.
- [8] GRIFFEL D, LEITOFF V, HARMAND Y. A New Deal for Safety and Quality on MV Networks[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(4): 1428-1433.
- [9] 薛永端,冯祖仁,徐丙垠,等.基于暂态零序电流比较的小电流接地选线研究[J].电力系统自动化,2003, 27(9):48-53.
- [10] 齐郑.小电流接地系统单相接地故障选线及定位技术的研究[D].北京:华北电力大学,2005.
- [11] 达峰.基于小波分析的单相接地故障选线及行波定位研究[J].电气应用,2010(18):86-89.
- [12] 肖雁鸿,毛筱.电力系统谐波测量方法概述[J].电网技术,2002,26(6):61-64.
- [13] 申双葵.小电流接地系统单相接地故障选线的研究[D].重庆:西南交通大学,2009.