

煤矿自适应微机电流速断保护的研究

田书, 张胜朝

(河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454150)

摘要: 针对煤矿 6 kV 下井线比较短, 灵敏度和保护范围直接受电网系统运行方式和短路类型影响, 常规微机电流速断定值整定方案往往导致线路没有保护范围, 发生短路故障常引起越级跳闸这种情况。利用自适应技术, 通过对每条线路的电压、电流进行实时监视和分析、自动识别系统运行方式来改变微机保护的整定值和特性。分析表明自适应速断保护用作相间保护不用判断故障类别, 且能够使保护装置始终获得最佳保护性能, 可对提高矿井的安全供电提供技术支持。

关键词: 电流速断保护; 自适应整定; 运行方式; 故障类型; 安全供电; 煤矿

Research on microcomputer-based current instantaneous trip protection with self-adaptiveness in coal mine

TIAN Shu, ZHANG Sheng-chao

(Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454150, China)

Abstract: The common setting calculation of microcomputer-based current instantaneous trip protection results in the circuitry without extent of protection sometimes, then bring about jump the over trip when occur short circuit faults of circuitry. For the line of 6 kV is short in underground mine, besides the sensitivity and extent of protection are affected by operation mode and fault type of power system directly. According to the existing problems, a new method that the operation mode of electric power system is able to be identified automatically with adaptive technique was used, which can change the set point auto-turning and the characteristic of protection, through the surveillance and analysis to voltage and current of each line with real time, and it is not necessary to judge fault type as phase faults protection, which makes the function of microcomputer current instantaneous trip protection relays is always best, it could provide technical source for improving safety power supply in mine.

This project is supported by Coal Youth Scientific Fund of China (No.117160).

Key words: instantaneous overcurrent protection; adaptive setting; operation mode; type of fault; safe power supply; coal mine

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)24-0001-05

0 引言

煤矿是一个特殊的用电行业, 要求供电绝对地安全可靠, 当电力系统出现故障时微机保护装置应该快速、有选择性地切除故障以确保生命财产的安全。简单可靠、动作迅速是电流速断保护的最大优点^[1], 这对煤矿供电的安全性具有十分重要的意义, 所以至今在矿井 6 kV 线路中做为相间故障保护还广泛应用, 但是这种微机保护存在以下问题:

(1) 不能自动识别电力系统运行方式的变化
常规微机电流速断保护整定值是按电力系统在

最大运行方式下整定的, 整定值输入微机后是固定的。但是电力系统的运行方式处于频繁变化中, 由最大运行方式变为最小运行方式或是其它方式时微机保护装置的整定值没有改变, 导致输电线路的被保护范围缩小, 特别对于短线路可能没有保护范围。

(2) 不能自动识别输电线路的故障类型

统计数字表明, 矿井两相短路发生的几率远大于三相短路, 而且大部分三相短路故障也是因两相短路未及时切除造成的^[2]。常规微机电流速断保护的整定值是根据本线路末端发生三相短路进行整定的, 如果线路发生两相短路, 则短路电流下降, 而保护装置的整定值仍然不变, 那么将会严重降低保护装置的灵敏度。

基金项目: 煤炭青年基金(No. 117160)

(3) 定值整定需要人工参与计算, 计算量大误差多, 并且整定值的调整必须在装置离线的条件下进行, 影响了保护的有效运行。

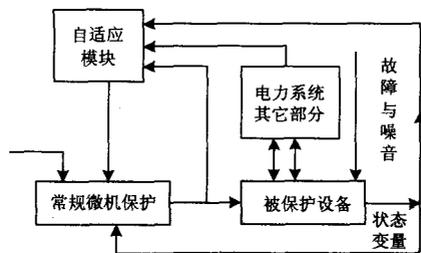


图1 自适应微机电流保护模型图

Fig.1 The model of microcomputer current protection with self-adaptiveness

下井电缆较短, 首、末两端的短路电流相差无几, 传统的整定方法使保护范围几乎为零, 速断保护相当于虚设, 常导致越级跳闸造成大面积停电, 严重时引起井下瓦斯急速增加, 威胁矿井和人身安全。目前自适应控制理论与微机保护结合产生的自适应微机保护^[3~7]为解决上述问题提供了可能, 其模型如图1所示。

自适应控制回路的主要作用是根据被保护线路和系统所提供的输入量, 识别系统所处的状态, 进一步作出自适应的控制决策。

1 自适应微机电流速断保护系统整定方案

自适应微机电流速断保护的基本原则: 根据电力系统运行方式和故障状态的变化信息, 在线计算并修改微机保护的整定值, 使保护装置始终获得最佳保护性能, 真正达到选择性、灵敏性、可靠性和安全性的要求。

1.1 在线自动定值整定方法

在系统运行于任意运行方式时, 保护背侧系统等效为一等效电源, 电源阻抗为保护在此运行方式下系统电源侧等效阻抗, 电源等效电势为该运行方式下保护测量电流与系统阻抗的乘积加上保护测量电压, 对于任何保护都存在图2等效电路。

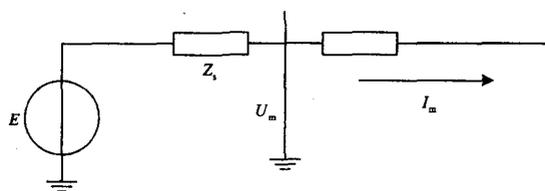


图2 保护背侧等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of protection backsides

图2中: E 为等效电势(kV), U_m 、 I_m 分别为被保护线路故障时保护安装处的电压(kV)、电流(kA), Z_s 为系统电源侧等效阻抗(Ω), 与运行方式有关, 由图2可得:

$$E = U_m + Z_s \times I_m \quad (1)$$

三相短路电流和两相短路电流之间存在关系:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} \quad (2)$$

式中: $I_k^{(2)}$ 为两相短路电流(kA); $I_k^{(3)}$ 为三相短路电流(kA)。

取标准量为: $I_k = I_k^{(3)}$, 则 $I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k$ (3)

三相短路时, 三相电流是对称的, 则两相电流差

$$|I_{AB}| = |I_A - I_B| = \sqrt{3} I_k \quad (4)$$

式中: I_A 为 A 相故障电流(kA); I_B 为 B 相故障电流(kA)。

两相短路(假设 AB 两相)时, 两故障相故障电流大小相等相位相反, 则两相电流差为:

$$|I_{AB}| = |I_A - I_B| = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k - (-\frac{\sqrt{3}}{2} I_k) = \sqrt{3} I_k \quad (5)$$

所以三相短路和两相短路时, 两相电流差大小相等, 不受故障类型的影响, 可得做为相间保护时不受故障类型限制的自适应电流速断保护的整定值为:

$$I_{DZ}' = \frac{K_k E \sqrt{3}}{Z_s + Z_1} \quad (6)$$

其动作条件为: $I_k \geq I_{DZ}'$ (7)

式中: I_k 为短路时的相电流差(kA); Z_1 为被保护线路的阻抗值(Ω); K_k 为可靠系数, 取 1.2~1.3。

做为相间保护, 该整定方案不需要进行故障选相, 不计算故障类型系数, 具有故障类型“自适应”的功能, 提高了实时性。

1.2 电力系统运行方式的识别

电力系统实际运行方式以系统的综合阻抗 Z_s 来表征, 在线性电路的假设前提下, 可用叠加原理来研究故障的特性^[8], 因为故障信息在非故障状态下不存在, 仅在电力系统发生故障时才出现, 可把电力网络内发生的故障视为非故障状态与故障附加状态的叠加。对于短路故障可用图3所示的复合序网图来分析, 即图(a)可分解为图(b)和图(c)。

附加状态中 K 点的附加电势 U_{mg} 称为保护安装处的工频电压变化量, 由 U_{mg} 产生的 I_{mg} 称为工频电流变化量, 工频变化量 U_{mg} 和 I_{mg} 就是保护安装处的故障信息, 分析可知图 (b) 故障点 K 处的电压为 U_k , 图 (c) 故障点的工频变化电压为 $-U_k$, 由图 3 可知:

$$U_{mg} = U_m - U_d \quad (8)$$

$$I_{mg} = I_m - I_d \quad (9)$$

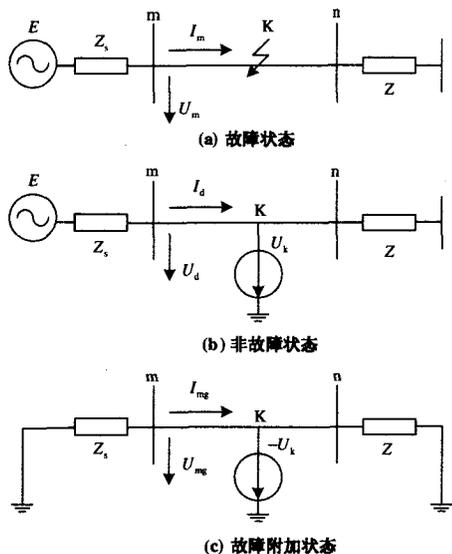


图 3 复合序网图

Fig.3 Network of compound sequence

U_d 、 I_d 为被保护线路正常运行时, 保护安装处实测电压 (kV)、电流 (kA)。由故障附加状态可得:

$$Z_s = \frac{-U_{mg}}{I_{mg}} \quad (10)$$

当输电线路运行时, 自适应微机电流速断保护装置的数据采集系统连续不断地采集实时的 U_d 、 I_d 、 U_m 和 I_m , 根据式 (8) ~ (10) 在线计算出 Z_s , 再由式 (1) 和 (6) 自动完成保护的整定计算。

2 实例计算

崔蒙 (西风井) 技术资料: 矿井下井电缆电路的简化图如图 4 所示。

$$X_{s.min} = 6.96 \Omega, X_{s.max} = 2.51 \Omega, X_T = 10.27 \Omega$$

互换到 6 kV 侧:

$$X_{s.max}^* = (X_{s.max} + X_T) \times \left(\frac{6.3}{37}\right)^2 = 0.37 \Omega \quad (11)$$

$$X_{s.min}^* = (X_{s.min} + X_T) \times \left(\frac{6.3}{37}\right)^2 = 0.4995 \Omega \quad (12)$$

下井电缆单位电阻和电抗分别为:

$$R_0 = 0.143 \Omega/\text{km} \quad X_0 = 0.06 \Omega/\text{km} \quad (13)$$

则下井电缆总电阻和电抗分别为:

$$\begin{cases} X = 3 \times 0.06 = 0.18 \Omega \\ R = 3 \times 0.143 = 0.492 \Omega \end{cases} \quad (14)$$

煤矿井下供电网络为电缆线路, 其电阻比电抗大, 所以在计算井下电网时电阻不能忽略, 电流速断保护主要用来保护线路的首端和中部的故障, 在此将故障点设置在线路的中点。

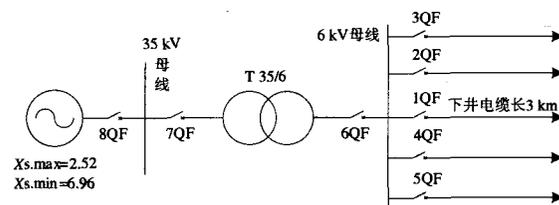


图 4 下井电缆电路简化图

Fig.4 Simplified figure of cable circuit in mine

2.1 常规微机电流速断保护的整定

(1) 在最大运行方式下, 本线路末端发生三相短路时的三相短路电流为:

$$Z_{min} = \sqrt{(X_{s.max}^* + X)^2 + R^2} = 0.631 \Omega \quad (15)$$

$$I_d^{(3)} = \frac{E}{\sqrt{3}Z_{min}} = \frac{6.3}{\sqrt{3} \times 0.631} = 5.215 \text{ kA} \quad (16)$$

(2) 微机装置的电流整定值为:

$$I_{DZ} = K_k \times I_d^{(3)} = 1.3 \times 5.215 = 6.258 \text{ kA} \quad (17)$$

(3) 在最小运行方式下, 本线路中点发生两相短路时的两相短路电流为:

$$Z_{max} = \sqrt{\left(X_{s.min}^* + \frac{X}{2}\right)^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2} = 0.6273 \Omega \quad (18)$$

$$I_d^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{E}{Z_{max} \times \sqrt{3}} = 5.022 \text{ kA} \quad (19)$$

$$I_d^{(2)} = 5.022 \text{ kA} < I_{DZ} = 6.258 \text{ kA} \quad (20)$$

可见微机保护装置不能对本线路中点发生的故障作出反应。

(4) 实际最小保护范围的计算:

$$6.258 = \frac{6.3}{2\sqrt{(0.4995 + 0.06L_{\min})^2 + (0.143L_{\min})^2}} \quad (21)$$

可得: $L_{\min} = 0.06 \text{ km}$

$$L_b \% = \frac{L_{\min}}{L} \times \% = \frac{0.06}{3} = 2\% < 15\% \quad (22)$$

没有达到《继电保护和安全自动装置技术规程》规定的最低要求。

2.2 自适应微机电流速断保护的整定方案

应用 Matlab 的 SIMPOWERSYSTEM 工具箱进行建模仿真, 其简化模型如图 5 所示。

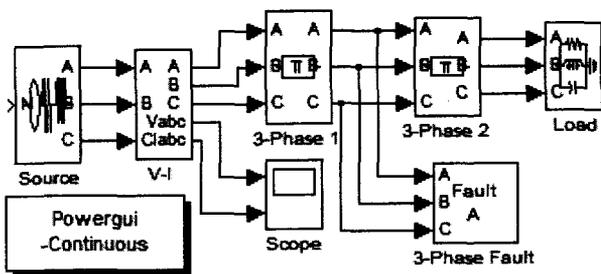


图 5 简化模型图
Fig.5 Simplified model

(1) 正常工作时的三相电流波形如图 6 所示。

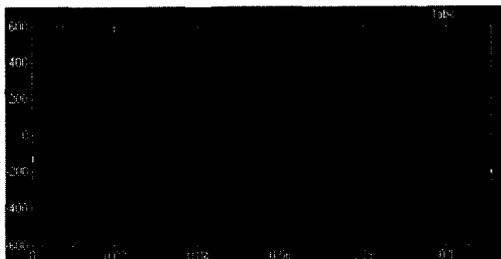


图 6 正常三相电流波形图
Fig.6 The 3-phase current waveform for normal condition

(2) 在线路的中点发生 AB 两相短路时, 三相故障电流波形如图 7 所示。

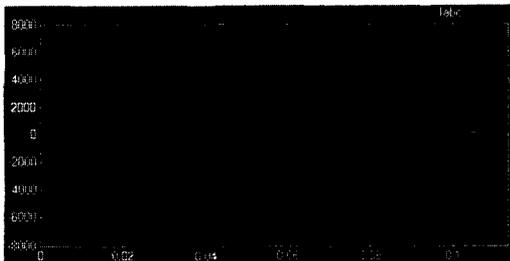


图 7 两相短路电流波形图

Fig.7 Current waveform for 2-phase short circuit

(3) 在线路中点发生三相短路时, 三相故障电流波形如图 8 所示。

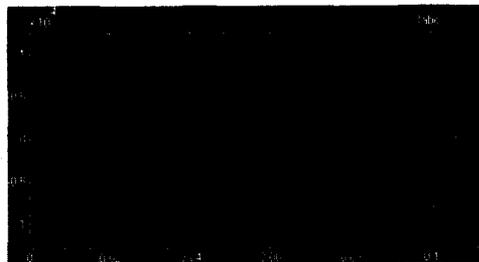


图 8 三相短路电流波形图

Fig.8 Current waveform for 3-phase short circuit

(4) 电力系统实际阻抗 Z_s 的确定

不管是三相短路还是两相短路, 只要测出保护安装处故障前后的电压和电流即可确定实际系统阻抗。根据仿真结果在保护安装处故障时实际测量的故障电压、电流:

$$U_m = 1.213 \text{ kV} \quad I_m = 5.581 \text{ kA} \quad (23)$$

(假设为 AB 两相短路), 故障前保护安装处正常电压、电流:

$$U_d = 3.461 \text{ kV} \quad I_d = 0.365 \text{ kA} \quad (24)$$

由公式 (8) 和 (9) 可计算出保护安装处的电压、电流故障分量:

$$U_{mg} = U_m - U_d = 1.213 - 3.461 = -2.248 \text{ kV} \quad (25)$$

$$I_{mg} = I_m - I_d = 5.581 - 0.365 = 5.216 \text{ kA} \quad (26)$$

由公式 (10) 可得电力系统实际阻抗 Z_s :

$$Z_s = \frac{-U_{mg}}{I_{mg}} = -\frac{-2.248}{5.216} = 0.431 \Omega \quad (27)$$

(5) 自适应微机电流速断保护的定值整定

将以上计算结果 $K_k = 1.2$ 、 $Z_s = 0.431 \Omega$ 、

$$U_m = 1.213 \text{ kV}、I_m = 5.581 \text{ kA}、U_d = 3.461 \text{ kV}、$$

$I_d = 0.365 \text{ kA}$ 代入式 (1) 和式 (6) 可得:

$$I_{DZ} = 10.056 \text{ kA} \quad (28)$$

可知: $I_k^{(2)} = I_m$ (29)

$$I_k = |I_A - I_B| = 2I_k^{(2)} = 11.162 > I_{DZ} = 10.056 \text{ kA} \quad (30)$$

表 1 常规整定与自适应整定计算结果对比表

Tab.1 The calculation result contrast between common setting and self-adaptive setting

	常规微机电流速 断保护	自适应微机电流 速断保护
电流测量值	5.022 kA	11.162 kA
电流整定值	6.258 kA	10.056 kA
保护装置动作性能	拒动	正常动作

分析可知:在最不利的状态下,自适应微机保护装置能正确动作,且保护范围超过 50%,符合《继电保护和自动装置技术规程》的要求,与常规电流速断保护相比优越性明显^[9,10]。

3 结语

(1) 比传统电流速断保护保护范围大,超过 50%,不用判断故障类型提高了保护动作的实时性。

(2) 电流速断保护在矿井 6 kV 线路上的实现,有利于纵向保护系统的形成,在线整定的启动值保证了选择性,为解决井下电网短路故障引发越级跳闸的安全隐患提供了可能。

(3) 短线路阻抗值小,为确保计算精确,保护 CPU 建议用 32 位机。

参考文献

- [1] 张保会,尹项根.电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2005.
ZHANG Bao-hui, YIN Xiang-gen. Power System Protective Relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [2] 宋建成,石宗义,等.矿井电网过流特征分析及其保护系统的研究[J].煤炭学报,2001,26(1):81-86.
SONG Jian-cheng, SHI Zong-yi, et al. Study on the Overcurrent Character Analysis and it's Protective System of Underground LV Distribution Networks[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(1): 81-86.
- [3] 欧阳兵,吕艳萍,等.配电网网格式自适应电流保护研究[J].电网技术,2003,27(7):52-55.
OUYANG Bing, LIU Yan-ping, et al. Research on Network-based Adaptive Current Protection Principle for Distribution Network[J]. Power System Technology, 2003, 27(7): 52-55.
- [4] 朱永利,宋少群.基于广域网和多智能体的自适应协调保护系统的研究[J].中国电机工程学报,2006,26(16):15-20.
ZHU Yong-li, SONG Shao-qun. Study on Multi-agent and WAN Based Adaptive Coordinated Protection System[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(16):

15-20.

- [5] 涂轶昀.自适应电流保护[J].上海电力学院学报,2005,21(1):32-36.
TU Yi-yun. Adaptive Current Protection[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2005, 21(1): 32-36.
- [6] 索南加乐,张健康,等.不同故障类型下具有相同灵敏度的配电网自适应电流保护[J].西安交通大学学报,2005,39(2):182-186.
SUONAN Jia-le, ZHANG Jian-kang, et al. Adaptive Current Protection with Sensitivity Independent of Different Type of Faults[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(2): 182-186.
- [7] 吴君,邹有明,江均.井下高压电网选择性联锁自适应过流保护系统的研究[J].工矿自动化,2006,2(1):14-16.
WU Jun, ZOU You-ming, JIANG Jun. Study on the Over-current Protection System with Selective Interlock and Self-adaption for Underground High-voltage Distribution Network [J]. Industry and Mine Automation, 2006, 2(1): 14-16.
- [8] 袁兆强,等.自适应电流速断保护中实时计算系统参数算法研究[J].电力自动化设备,2004,24(9):21-23.
YUAN Zhao-qiang, et al. Algorithm Study of Real-time Calculating System Parameters for Adaptive Current Fast-tripping Protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 21-23.
- [9] 葛耀中,杜兆强,刘浩芳.自适应速断保护的動作性能分析[J].电力系统自动化,2001,25(18):28-32.
GE Yao-zhong, DU Zhao-qiang, LIU Hao-fang. Analysis on Performance of the Adaptive Instantaneous Trip protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 25(18): 28-32.
- [10] 葛耀中.对自适应电流速断保护的评价[J].电力自动化设备,2000,20(6):1-5.
GE Yao-zhong. Evaluation of Adaptive Current Instantaneous Trip Protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(6): 1-5.

收稿日期:2007-03-29;

修回日期:2007-05-24

作者简介:

田书(1963-),女,副教授,从事电力系统继电保护及其自动化、电气安全的教学和研究;E-mail:tianshu@hpu.edu.cn

张胜朝(1980-),男,研究生,研究方向为微机距离保护。