

基于故障暂态电流主频分量的矿山电网暂态保护

张鑫, 牟龙华

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 针对矿山电网提出一种基于故障暂态电流主频分量的保护方案。分析了井下 6/10 kV 配电线路的故障暂态电流主频频段, 并在线路边界处并联通频带为该主频频段的带通滤波装置, 利用该装置对通频带内暂态电流分量的衰减作用, 强化区内、外故障时故障暂态电流主频频带内能量差异。利用 PSCAD/EMTDC 软件对所提方案进行仿真验证, 并依据结果合理选择保护整定值。仿真结果表明: 带通滤波装置使得区内、外故障暂态电流主频频带内能量产生了明显的差异; 保护方案不易受故障类型、过渡电阻以及故障初相角的影响。

关键词: 暂态电流; 主频; 滤波器; 矿山电网; 暂态保护; 继电保护

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.07.013

0 引言

我国煤矿井下 6/10 kV 配电线路, 因受经济、技术等各种因素的限制, 大都是由多段短电缆 (100~1200 m/段) 所组成的逐级控制干式纵向网络。传统的短路保护方法, 因各段短路电流幅值相差较小, 时限设定受上级供电部门继电保护时限与《煤矿安全规程》的约束, 故不能构成有效的纵向选择性短路保护系统, 发生短路故障常导致越级跳闸是不可避免的。

自 20 世纪 90 年代以来, 基于故障暂态高频电流分量的单端保护已在高压、超高压输电线路中应用^[1-8], 主要是利用母线及其连接设备的对地等效电容 (简称为母线等效电容) 在某一特征频段内对故障电流行波有较大衰减的特点, 来实现区内外故障的判别。该方法存在 2 个问题: 母线等效电容可能较小, 仅有 2000~15000 pF^[9], 这样造成故障电流行波在数百千赫兹的频带内才有较大的衰减, 显然, 待测信号频率的增加会为检测带来不便; 产生电流行波衰减较大的频段未必是故障暂态电流主频频段, 即该频段内信号相对非常微弱, 易受其他因素干扰。

为解决上述 2 个问题, 本文提出一种基于故障暂态电流主频频谱分析的暂态保护方案, 通过分析井下 6/10 kV 配电线路的故障暂态电流主频, 并在线路边界处并联通频带为该主频频段的带通滤波装置, 使得区外故障时, 故障主频频带的电流行波流经带通滤波装置发生较大衰减, 而区内故障的电流行波衰减较小, 以此区分区内、外故障。

收稿日期: 2012-07-16; 修回日期: 2013-05-13

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (2013M531210); 国家火炬计划项目 (2008GH040894)

Project supported by China Postdoctoral Science Foundation (2013M531210) and the National Torch Plan Project (2008-GH040894)

1 故障电流主频分析

线路发生短路时, 根据叠加原理整个系统可以看作正常运行系统和故障分量系统的叠加, 暂态噪声分量只存在于故障分量系统中。故障分量系统如图 1 所示。

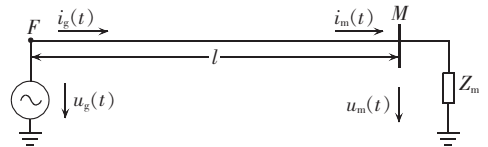


图 1 故障分量系统模型

Fig.1 Model of fault component system

M 为保护装设点, 系统阻抗为 Z_m , 线路采用分布参数模型。线路单位长度电阻、电感、对地电容分别为 R_0 、 L_0 、 C_0 。 $u_g(t)$ 、 $i_g(t)$ 分别为故障点电压、电流的故障分量; $u_m(t)$ 、 $i_m(t)$ 分别为保护测量点电压、电流的故障分量; 设故障点到保护测量点 M 的距离为 l , 故障点电压的正常分量为 $U_{g(0)} \sin(\omega_0 t + \theta)$, 根据叠加原理可得其故障分量 $u_g(t) = -U_{g(0)} \sin(\omega_0 t + \theta)$, 其中, $U_{g(0)}$ 为故障发生初始时刻故障点的电压。

假设故障点电压 $u_g(t)$ 和电流 $i_g(t)$ 为已知, 则保护测量点电压、电流为^[10]:

$$\begin{bmatrix} u_m(t) \\ i_m(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma l) & -Z_c \text{sh}(\gamma l) \\ -\frac{\text{sh}(\gamma l)}{Z_c} & \text{ch}(\gamma l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_g(t) \\ i_g(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其拉氏变换的象函数为:

$$\begin{bmatrix} U_m(s) \\ I_m(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(\gamma l) & -Z_c \text{sh}(\gamma l) \\ -\frac{\text{sh}(\gamma l)}{Z_c} & \text{ch}(\gamma l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_g(s) \\ I_g(s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, $\gamma = \sqrt{(R_0 + sL_0)sC_0}$, 为线路传播常数; $Z_c = \sqrt{(R_0 + sL_0)/(sC_0)}$, 为线路波阻抗。

根据边界条件:

$$U_m(s) = Z_m I_m(s)$$

$$U_g(s) = -U_{g(0)}(\omega_0 \cos \varphi + s \sin \varphi) / (s^2 + \omega_0^2)$$

可得:

$$I_m(s) = \frac{-U_{g(0)}(\omega_0 \cos \varphi + s \sin \varphi)}{(s^2 + \omega_0^2)[Z_m \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_c \operatorname{sh}(\gamma l)]} \quad (3)$$

其极点方程为:

$$s^2 + \omega_0^2 = 0 \quad (4)$$

$$Z_m \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_c \operatorname{sh}(\gamma l) = 0 \quad (5)$$

其中, ω_0 为基波角频率。由式(4)、(5)可以看出, 方程的每个根对应 $i_m(t)$ 中一个频率分量, 显然有一对共轭虚根 $\pm j\omega_0$ 和一个实根 $-\delta$, 这代表了故障电流中的基波分量和衰减非周期分量; 同时还有无数对共轭复根, 它们就是故障电流中的高频分量。文献[11-12]指出, 如果故障电流高频分量中某一频率成分 f_1 的能量远大于其他频率成分, 可将 f_1 称为故障电流主频。

由于式(5)是一个超越方程, 无法求得解析解; 且本文是在已知线路长度、参数的基础上, 求取区内、外故障时故障主频分量的大致频段, 用以调整带通滤波装置的参数, 因此可用 PSCAD/EMTDC 仿真的办法求取区内、外故障暂态电流主频频段。

典型的井下 6/10 kV 供电系统是单侧电源干线式纵向网络, 本文以井下中央变电所至采区变电所 10 kV 配电线路作为研究对象, 线路全长为 2 km, 仿真模型如图 2 所示。线路单位长度分布参数如下: $R_0 = 0.178 \Omega/\text{km}$, $L_0 = 1.136 \text{ mH}/\text{km}$, $C_0 = 0.167 \mu\text{F}/\text{km}$; F_1 、 F_2 、 F_3 分别代表区内近端、正向区外首端、正向区外末端的故障点。

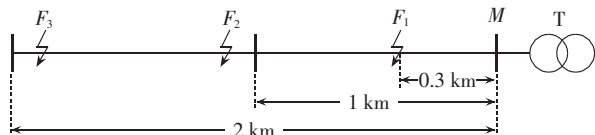
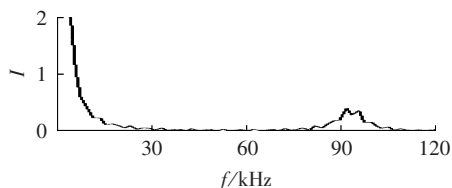


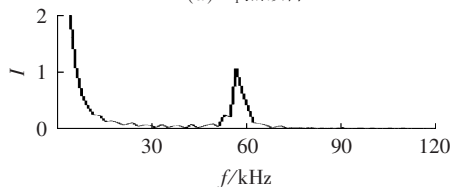
图 2 仿真模型

Fig.2 Simulative model

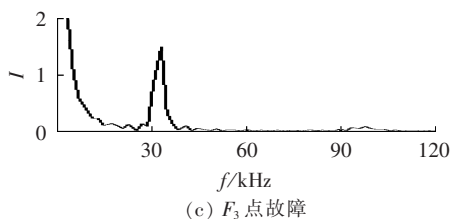
不同故障点发生相间短路故障后, 保护测量点 M 所检测到的故障暂态电流频谱如图 3 所示, 图中电流幅值为标么值。



(a) F_1 点故障



(b) F_2 点故障



(c) F_3 点故障

图 3 故障电流频谱

Fig.3 Spectrum of fault current

由图 3 可知, 故障暂态电流主频随故障距离的增大而减小; 上述仿真模型, 可将 $[30 \text{ kHz}, 100 \text{ kHz}]$ 作为研究线路的主频频段。

2 基于故障暂态电流主频分量的暂态保护理论

2.1 保护的基本原理

对图 4 所示的系统, 在被保护线路 MN 的两端并联接入带通滤波装置 BPF_1 、 BPF_2 。带通滤波器在通频带内呈现低阻抗, 可以滤除部分的高频分量。区内故障时, 安装在 M 侧的保护检测到的通频带内电流分量几乎没有衰减; 区外故障时, 保护检测到相同频带内的电流分量发生较大衰减。根据这一特点, 可以构成线路的保护方案。

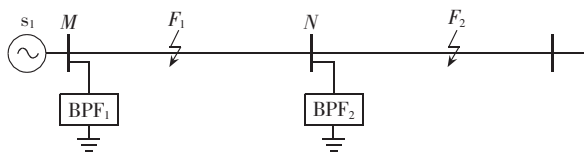


图 4 系统仿真模型

Fig.4 Simulative model of system

2.2 带通滤波装置

根据故障主频频段设计的带通滤波装置如图 5 所示。

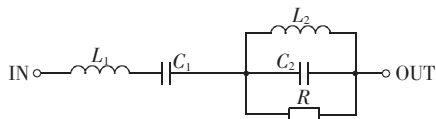


图 5 带通滤波装置

Fig.5 Band-pass filter

图 5 中, C_1 、 L_1 构成的串联臂与 C_2 、 L_2 构成的并联臂都调谐于中心频率 f_0 , R 为滤波器特性阻抗。当一定频带的信号经过时, 选择适当的 C_1 、 L_1 、 C_2 、 L_2 和 R 的参数, 可以使宽频带通滤波装置对该信号呈低阻抗, 而对远离这一频带的信号呈高阻抗。 C_1 、 L_1 、 C_2 、 L_2 决定带通滤波装置通频带的上、下限频率, R 决定通频带阻抗大小。

本文取 $C_1 = 0.47 \mu\text{F}$, 通带频段 $[f_1, f_2] = [30 \text{ kHz}, 100 \text{ kHz}]$, 可以得到中心频率 $f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \approx 55 \text{ kHz}$, $L_1 = 1 / (2 \pi f_0 C_1)^2 \approx 0.018 \text{ mH}$, $R = (f_2 - f_1) / (2 \pi f_0^2 C_1) =$

$7.9\ \Omega, L_2 = 1/(2\pi f_0 C_2)^2 \approx 0.03\ \text{mH}, C_2 = L_1/R^2 = 0.29\ \mu\text{F}$ 。

根据以上参数,带通滤波装置的幅频特性如图 6 所示。可见,在[30 kHz,100 kHz]频段内,滤波装置阻抗下降明显。

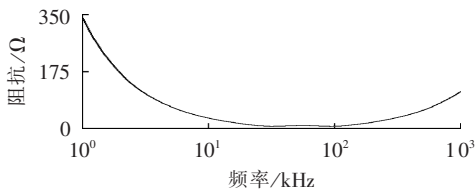


图 6 带通滤波装置的幅频特性
Fig.6 Amplitude-frequency characteristic of BPF

2.3 线路边界的折射、反射系数

根据行波理论,故障后暂态电流行波的波形取决于线路波阻抗、故障点位置及波阻抗不连续点的折、反射系数。图 7 为线路发生短路故障时的故障分量附加电路,取故障点 F 经阻抗不连续点 N 到保护测量点 M 的一段均匀传输线进行分析,线路在点 N 有 n 条出线,设各条出线的线路波阻抗相等。图 7 中, Z_c 为线路波阻抗; Z_B 为在线路边界点 N 接入的带通滤波装置的等效集中阻抗; Z_f 为故障等效阻抗; u_f 为故障附加电压源; u_E, u_R 和 u_T 分别为点 N 入射、反射和折射电压波; i_E, i_R 和 i_T 分别为点 N 入射、反射和折射电流波^[13-14]。

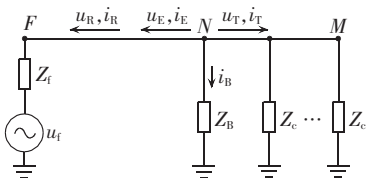


图 7 故障分量电路
Fig.7 Circuit of fault component

在点 N 有:

$$\begin{cases} u_T = u_E + u_R \\ i_T + i_B = i_E + i_R \end{cases} \quad (6)$$

同时有:

$$\begin{cases} u_T = i_T \frac{Z_c}{n} \\ u_R = -i_R Z_c \\ u_E = i_E Z_c \\ i_B = \frac{u_T}{Z_B} \end{cases} \quad (7)$$

式(6)、(7)联立可得线路边界 N 的电流反射系数 K_f 和折射系数 K_z 为:

$$K_f = \frac{i_R}{i_E} = \frac{Z_c - (1-n)Z_B}{(1+n)Z_B + Z_c} \quad (8)$$

$$K_z = \frac{i_T}{i_E} = \frac{2Z_B}{Z_c + (n+1)Z_B} \quad (9)$$

图 5 所示带通滤波装置的 $Z_B = \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1 +$

$\frac{1}{j\omega C_2} // j\omega L_2 // R$ 。线路参数确定时, Z_c 为一个定值,设 $Z_c = 80\ \Omega, n = 2$,点 N 反射系数频谱、折射系数频谱分别如图 8(a)、(b)所示。

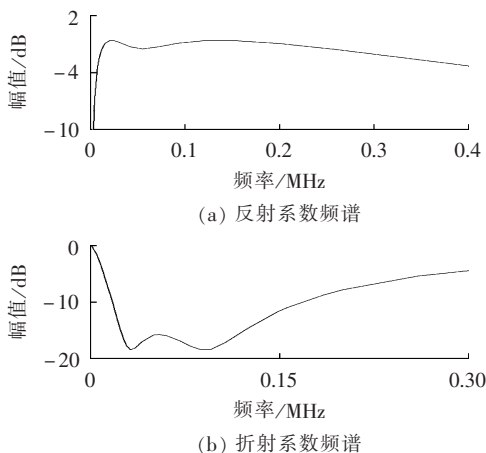


图 8 线路边界折、反射系数的频谱
Fig.8 Spectrum of reflective/refractive coefficient of line boundary

由图 8(a)、(b)可以看出,反射系数在带通滤波器通频带[30 kHz,100 kHz]趋近 1;折射系数在此频带衰减比较大,这意味着电流行波主频成分经过并联带通滤波器的线路边界后幅值大幅衰减。对于远离故障主频的其他电流成分,经过线路边界后衰减不大。

煤矿井下 6/10 kV 配电线路是单电源干线式纵向网络,其网架结构的特点是在不同区段的边界处出线数不同,出线数 n 不同时,折射系数的幅频特性如图 9 所示。

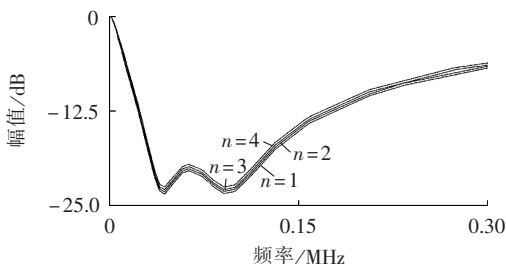


图 9 不同出线数条件下的折射系数幅频特性
Fig.9 Amplitude-frequency characteristic of refractive coefficient for different outline numbers

由图 9 可以看出,不同的边界出线数下,边界折射系数的衰减相差不大,这是由于带通滤波装置在通频带波阻抗很小,因此边界出线数对折射系数的影响很小。

2.4 基于故障电流主频的暂态保护原理

利用上述特征,可以构造基于电流故障主频的暂态保护原理:对已知线路长度、参数的井下配电线路,根据分析得出的故障暂态电流主频频段设计带通滤波装置,并将其并联在各供电区段边界处。故

障发生时,各保护装置提取故障主频频带电流成分,同时选取一个远离故障主频的电流成分作为参考。区外该频带电流分量经过带通滤波装置后大幅衰减,而区内该频带电流分量未有明显衰减,因此,可通过分析故障主频频带与参考频带的电流频谱能量比来构成暂态保护判据。

3 故障暂态电流频谱能量的计算

3.1 小波基的选择

本文选择具有紧支撑的正交 db4 小波进行故障暂态信号的分析 and 能谱的提取。

当实际采样频率为 200 kHz 时,对暂态信号进行 5 层分解,可得到小波系数 $d_1(k)$ 、 $d_2(k)$ 、 $d_3(k)$ 、 $d_4(k)$ 、 $d_5(k)$ 和尺度系数 $a_5(k)$,对应频段分别为 50~100 kHz、25~50 kHz、12.5~25 kHz、6.25~12.5 kHz、3.125~6.25 kHz、0~3.125 kHz。

3.2 频谱能量的计算方法

根据 Parseval 定理可知:对于正交小波基,原始信号的能量和展开系数的能量存在等价关系^[15]。第 j 尺度高频信号能量 E_j 和最大尺度分解后的低频信号能量 E_{S+1} 分别为:

$$E_j = \sum_{k=1}^H |d_j(k)|^2 \tag{10}$$

$$E_{S+1} = \sum_{k=1}^H |a_S(k)|^2 \tag{11}$$

其中, H 为采样点数, S 为小波分解最大尺度。

3.3 保护判据

根据保护原理,构建特征频带能量与参考频带能量比 λ :

$$\lambda = \frac{E_j}{E_{S+1}} \tag{12}$$

根据线路状况,以外部故障时保护可靠不动作为原则,选取阈值为:

$$\lambda_b = K_{\text{rel}} \max(\lambda_{\text{ex}}) \tag{13}$$

其中, K_{rel} 为可靠系数,一般取 1.2; λ_{ex} 为区外故障时故障暂态电流主频频带能量与参考频带能量比。

以图 2 所示线路为例,本文选取的故障暂态电流主频频带为 [30 kHz, 100 kHz], 采样率为 200 kHz, 小波分解尺度为 5, 高频能量 E_1 、 E_2 对应第 1、2 尺度的高频能量, 分别对应暂态电流主频频带 [50 kHz, 100 kHz] 和 [30 kHz, 50 kHz]; 低频能量 E_5 对应第 5 尺度的低频能量, 对应频带为 [0, 3.125 kHz]。选择高频能量和 $E_1 + E_2$ 与低频能量 E_5 之比 λ ($\lambda = (E_1 + E_2)/E_5$) 作为保护判据, 若 $\lambda > \lambda_b$, 则判断为区内故障。

4 PSCAD/EMTDC 仿真及结果分析

为验证本文提出的基于电流故障主频的暂态保护方案的有效性,使用 PSCAD/EMTDC 软件搭建井下 10 kV 局部配电系统,仿真模型如图 10 所示。取

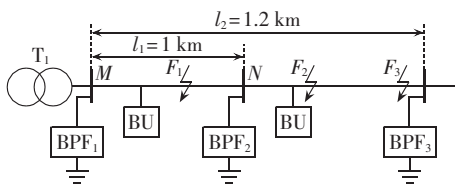


图 10 基于小波能量谱的暂态保护仿真模型
Fig.10 Simulative model of transient protection based on wavelet energy spectrum

井下中央变电所至采区变电所间的线路进行分析,线路采用 FD(Frequency Dependent)模型,线路边界接入带通滤波器 BPF₁、BPF₂、BPF₃,通频带为 [30 kHz, 100 kHz], 信号采样频率为 200 kHz, 每个采样时间段为 2 ms。

仿真将重点考查线路 MN 的 M 侧保护元件 BU 的保护性能, MN 为其保护范围。在不同故障条件下,对 M 侧保护元件 BU 的采样信号进行仿真计算,结果如表 1 所示(过渡电阻 $R_g = 10 \Omega$)。其中 F_1 、 F_2 、 F_3 代表不同故障点位置, CG、BC、ABC 分别表示 C 相接地、BC 相间短路和 ABC 三相短路故障。根据仿真结果,区外故障时电流行波主频频带能量和参考频带能量比 λ_{ex} 的最大值出现在正向区外 F_2 处(MN 下级线路首端)发生三相短路故障时,且 $\max\{\lambda_{\text{ex}}\} = 0.0246$ 。根据式(13)可得阈值:

$$\lambda_b = 1.2 \times 0.0246 = 0.02952$$

当 $\lambda = (E_1 + E_2)/E_5 > \lambda_b$ 时,判断为区内故障。

表 1 M 侧暂态信号能量比仿真结果

Tab.1 Simulative results of transient energy ratio at M-side

故障形式	$E_1 + E_2$	E_5	$(E_1 + E_2)/E_5$
区内	F_1 (CG)	0.9274	8.7148
	F_1 (BC)	1.8264	9.0321
	F_1 (ABC)	3.1679	7.6211
正向区外 (线路首端)	F_2 (CG)	0.1580	8.8116
	F_2 (BC)	0.1740	9.2265
	F_2 (ABC)	0.1945	7.8796
正向区外 (线路末端)	F_3 (CG)	0.0647	8.5042
	F_3 (BC)	0.0686	9.0224
	F_3 (ABC)	0.0746	7.7750

需要指出的是,电流故障主频由线路长度、参数决定。对于线路长度、参数已知的供电线路,可以根据分析出的故障主频频带合理调整带通滤波器的参数用以改变通频带;同时,由于线路电缆类型确定,线路的波阻抗即为一定值。为保证区外故障时电流行波在边界点的衰减程度近似,可以调整带通滤波器的参数,使折射系数近似等于一个定值,这样就使区外故障时 M 侧保护点测到最大的行波能量近似于一个定值,并将其作为保护阈值,使 λ_b 等于或近似等于一个定值,保证了保护装置的通用性。

表 2 描述了在过渡电阻改变情况下,区内故障时 M 端保护的能能量比 λ 。可以看出,即使在过渡电阻

表 2 不同过渡电阻条件下的故障暂态信号能量比
Tab.2 Transient energy ratio for different transition resistances

R_g/Ω	E_1+E_2	E_5	$(E_1+E_2)/E_5$
0	9.6811	9.7956	0.9883
50	0.7540	8.7555	0.0861
1000	0.2577	7.9257	0.0325

很大(1 kΩ)的情况下,λ 仍大于 λ_b。

由于小波变换对信号的突变很敏感,除电压过零点故障外,其他故障初相角不会影响保护判据的准确性。表 3 给出了区内发生相间短路故障时 M 端保护的 能量比 λ 在故障初相角 θ₁₀ 不同时的仿真结果,可见故障初相角并不影响故障位置的判断。

表 3 不同故障时刻的暂态信号能量比
Tab.3 Transient energy ratio for different fault instants

$\theta_{10}/(^{\circ})$	E_1+E_2	E_5	$(E_1+E_2)/E_5$
15	1.6780	27.9130	0.0601
30	1.7030	15.8030	0.1078
60	1.7830	9.4065	0.1895

表 1—3 的仿真结果表明:

- a. 对于正方向区内、外故障,电流行波的高频段能量特征(特别在带通滤波器通频带内)明显不同,而低频段能量特征变化不大,根据高频段与低频段暂态行波能量比 $\lambda = (E_1+E_2)/E_5$,可以正确区分正方向区内、外故障;
- b. 故障类型、故障初相角和过渡电阻不会影响区内外故障判断结果。

5 结论

本文提出了一种基于故障暂态电流主频频谱分析的暂态保护方案,特点如下:

- a. 对井下 6/10 kV 配电线路区内、外故障时的暂态电流主频进行了分析,并在已知线路长度、参数的前提下,通过仿真选取电流故障主频频段,有效地避免了研究频段能量过低而带来的问题;
- b. 根据选取的暂态电流主频频段,在线路边界处并联接入带通滤波装置,使区内、外故障时,暂态电流主频频带内电流能量差别最大;
- c. 以故障暂态电流主频频带与低频频带的能量比作为保护判据,仿真证明在大部分的故障条件下所提方案都能够保持较高的可靠性;
- d. 线路参数对阈值 λ_b 影响很大,但当系统确定,只需通过调整带通滤波装置参数即可得到满意的边界效果,并能使阈值 λ_b 近似于一个定值,满足保护通用性的要求;
- e. 保护方案利用内、外故障时电流暂态分量的频谱能量差异进行保护判断,用以解决阶段式保护

难以处理的越级跳闸问题;
f. 保护方案是以井下 6/10 kV 配电线路作为应用对象的,但也可以推广到相似架构的配电线路保护中。

参考文献:

[1] BO Z Q. A new non-communication protection technique for transmission lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1998,13(4): 1073-1078.

[2] 段建东,张保会,任晋峰,等. 超高压输电线路单端暂态量保护元件的频率特性分析[J]. 中国电机工程学报,2007,27(1):37-43. DUAN Jiandong,ZHANG Baohui,REN Jinfeng,et al. Single-ended transient-based protection for EHV transmission lines basic theory[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(1):37-43.

[3] ZHANG Nan,KEZUNOVIC L. Transmission line boundary protection using wavelet transform and neural network[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2007,22(2):859-869.

[4] 林湘宁,刘沛,杨春明,等. 基于小波分析的超高压输电线路无通信全线速动保护方案[J]. 中国电机工程学报,2001,21(6):9-14. LIN Xiangning,LIU Pei,YANG Chunming,et al. A wavelet analysis based non-communication protection scheme for transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(6):9-14.

[5] 董新洲,葛耀中,徐丙垠. 输电线路暂态电流行波的故障特征及其小波分析[J]. 电工技术学报,1999,14(1):59-62. DONG Xinzhou,GE Yaozhong,XU Bingyin. Fault characteristic of transient current travelling waves and its analysis with wavelet transform[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,1999,14(1):59-62.

[6] 陈皓. 基于故障暂态电流的无通信保护研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(7):10-14. CHEN Hao. Non-communication protection based on transient current[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(7): 10-14.

[7] 哈恒旭,张保会,吕志来,等. 超高压输电线路新型单端超高速保护研究[J]. 电力自动化设备,2001,21(4):6-9. HA Hengxu,ZHANG Baohui,LÜ Zhilai,et al. A novel ultra-high speed non-unit protection for EHV transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(4):6-9.

[8] 王增平,刘浩芳. 基于小波包变换的单端全线速动暂态电流保护性能探讨[J]. 中国电机工程学报,2005,25(25):151-156. WANG Zengping,LIU Haofang. Research on the performance of wavelet packet transform based on non-unit transient current protection[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(25):151-156.

[9] 徐青山,陈锦根,唐国庆. 考虑母线分布电容影响的单端行波测距法[J]. 电力系统自动化,2007,31(2):70-73. XU Qingshan,CHEN Jingen,TANG Guoqing. Single ended fault location approach considering bus distributed capacitance effect [J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(2):70-73.

[10] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 3 版. 北京:中国电力出版社,2005:4.

[11] 黄斌,何奔腾. 基于高频噪声主频估计的最小二乘算法[J]. 中国电机工程学报,2004,24(7):68-73. HUANG Ying,HE Benteng. High frequency noise main frequency evaluation based adaptive least error square algorithm [J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(7):68-73.

[12] 张波,何奔腾. 特高压输电线路暂态特征估算方法[J]. 电力自动化设备,2010,30(5):1-5.

- ZHANG Bo, HE Benteng. Estimation of transient character for estimation of transient character for UHV transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(5): 1-5.
- [13] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 7.
- [14] 史燕琨, 肖湘宁, 邹积岩. 基于边界保护的配电网故障区段无通信定位方法[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 87-93.
- SHI Yankun, XIAO Xiangning, ZOU Jiyan. A non-communication fault section location method for power distribution system based on boundary protection[J]. Power System Technology, 2009, 33(4): 87-93.

- [15] MEGAHED A I, MONEM MOUSSA I, BAYOUMY A E. Usage of wavelet transform in the protection of series-compensated transmission lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21(3): 1213-1221.

作者简介:

张鑫(1979-), 男, 河北怀安人, 博士后, 研究方向为电力系统微机保护(E-mail: zxl1979@163.com);

牟龙华(1963-), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电力系统微机保护和电能质量(E-mail: lhmu@vip.163.com)。

Transient protection based on main frequency component of transient fault current for mine power network

ZHANG Xin, MU Longhua

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: A kind of protection scheme based on the main frequency component of transient fault current is proposed for mine power network. The main frequency band of transient fault current of 6/10 kV distribution line for mine is analyzed and a corresponding band-pass filter is connected in parallel at the line boundary, which is used to attenuate the transient fault current components within that band for strengthening the difference of transient current spectrum energy within main frequency band between internal fault and external fault. The proposed scheme is simulated with PSCAD/EMTDC and the setting value is selected according to the simulative results, which show that, the spectrum energy difference between internal fault and external fault is obvious due to the filter, and the proposed scheme is immune to the fault type, transition resistance and fault initial phase angle.

Key words: transient current; main frequency; electric filters; mine power network; transient protection; relay protection

(上接第69页 continued from page 69)

- [15] 李琼林, 刘会金, 张振环, 等. 基于互调原理的交直流系统中的谐波分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(34): 107-114.
- LI Qionglin, LIU Huijin, ZHANG Zhenhuan, et al. Interharmonic analysis in the AC/DC/AC system based on intermodulation theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(34): 107-114.

为配电系统优化和电能质量分析与控制(E-mail: wangcoven7@163.com);

刘会金(1952-), 男, 湖北大冶人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为电能质量分析与控制(E-mail: hjliu@whu.edu.cn);

刘春阳(1987-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 研究方向为电能质量分析与控制(E-mail: liuchunyang@whu.edu.cn)。

作者简介:

王建勋(1984-), 男, 湖北随州人, 博士研究生, 研究方向

Identification of harmonic and interharmonic sources based on composite criterion

WANG Jianxun^{1,2}, LIU Huijin¹, LIU Chunyang¹

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: A method to identify harmonic and interharmonic sources is proposed based on composite criterion, which analyzes the sign of active power and takes the ratio of reactive power and active power as a reference to judge the credibility of power angle measurement. Furthermore, it also takes the absolute impedance, which is normally far larger than the system impedance, as an additional criterion to identify the unreliable data and determines the co-existence of background harmonic sources and inter-harmonic sources according to the amount of active power. A time-domain measuring method is proposed to extract the harmonic and interharmonic parameters for getting more data samples. As the interharmonic appears in pairs, a supplementary criterion is added. Simulation proves that, the combination of different identification methods increases the identification robustness.

Key words: harmonic and interharmonic sources; identification; active power; reactive power; absolute impedance; interharmonic pair