

基于功率因数角突变的故障线路判别

罗军涛, 陈允平, 曹华珍

(武汉水利电力大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 该文提出一种利用“功率因数角突变量”快速判断与控制节点相联线路短路故障的方法。大型电力系统中, 紧急控制所需采集的信息量多, 对控制速度要求高, 因此准确迅速地判定故障位置非常重要。具有多条出线的电网节点仅取用就地信息, 通过以“鉴幅鉴相特性突变”为判据, 来判断短路故障线路。且不需要远端信息, 独立性强。经 PSASP 仿真结果表明, 本方法简单可靠, 判断迅速, 准确有效。

关键词: 功率因数角; 紧急控制

中图分类号: TM721

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)01-0006-04

1 引言

区域性紧急控制系统多装设在电网的枢纽节点上, 而枢纽节点一般出线较多, 且多有长距离输电线路。故障时紧急控制系统所传送的信息多, 通讯资源宝贵。在众多出线中要快速准确地选定故障线路, 就显得十分重要。本文针对区域性紧急控制系统的特点, 提出了基于单端电气量的以功率因数角和故障电流构成的鉴幅鉴相特性突变为判据的故障选线方法。并对此方法在某大型电力系统 500kV 主网上进行了仿真计算, 结果表明本文所提方法迅速有效。

2 鉴幅鉴相判别故障线路

如图 1 所示输电线路等值电路, 图 2 为短路故障下的等值电路^[1]。

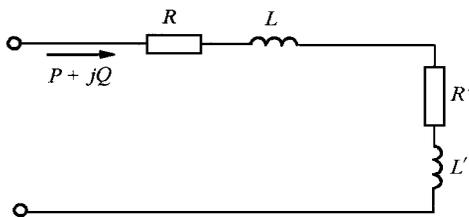


图 1 正常运行方式下等值电路

图 1、2 中, R 、 L 为输电线路电阻和电感; R' 、 L' 为等值负荷对应的电阻和电感; $P + jQ$ 是线路正常方式下输送的功率。

对应图 1 所测得的功率因数为:

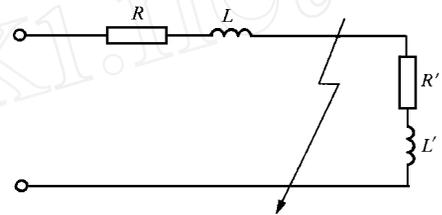


图 2 短路情况下等值电路

$$\cos \varphi = \frac{R + R'}{\sqrt{2(L + L')^2 + (R + R')^2}}$$

$$\text{或} \quad \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

对应图 2 所测得的功率因数为:

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{2L'^2 + R^2}}$$

电力系统正常运行方式下, 输电线路测得的功率因数基本上由负荷决定, 因而 $\cos \varphi$ 值较高。短路故障时功率因数由线路参数决定, 因输电线路 $L \gg R$, 则功率因数 $\cos \varphi$ 很小。在故障瞬间线路上测得的功率因数发生了突变。兼顾故障前后电流大小的变化(故障电流一般远大于正常运行电流), 构成如下特性:

$$I \sin \varphi = \text{Const} \quad (1)$$

其中 I 是电流幅值, 在故障前后工频电流幅值会发生突变。因此上面特性反应了功率因数、电流幅值两方面的突变, 比起单独过流保护特性灵敏度更高。

现将式(1)应用于多出线电网节点的故障线路判别, 如图 3 所示, 线路 AM 上发生故障, 图 4 是相应的等值电路图, 在节点 M 处根据采集来的电气量可判别出 AM 上发生的故障。

收稿日期: 1999-04-17; 修订日期: 1999-07-10

作者简介: 罗军涛(1974-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定性控制。

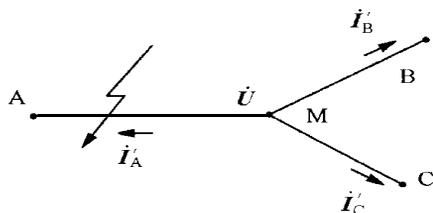


图3 线路AM上故障

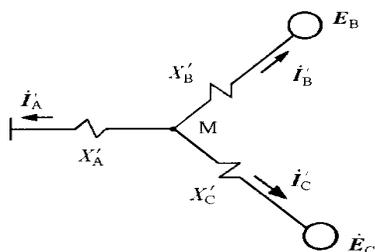


图4 线路AM故障等值电路

图中:

E_B, X_1 —节点B等值电源电势和电抗;

E_C, X_2 —节点C等值电源电势和电抗;

X_A —节点M到短路点线路电抗;

X_B, X_C —线路MB,MC电抗;

X —附加电抗,不同故障类型取不同值;

则: $X_A = X + X_A$

$X_B = X_B + X_1$

$X_C = X_C + X_2$

令: $X = X_A X_B + X_A X_C + X_B X_C$

简化计算得:

$$I_A = \frac{E_B X_C + E_C X_B}{X}$$

$$I_B = - \frac{E_B X_C + (E_B - E_C) X_A}{X}$$

$$I_C = - \frac{E_C X_B + (E_C - E_B) X_A}{X}$$

在实际电网中: $E_B \approx E_C; X_A, X_B, X_C$ 之值可比拟。由上面故障电流计算式可得:

$I_A > 0; I_B < 0; I_C < 0$

令:

$T_A = |I_A| \sin \alpha_A$ 或 $T_A = |I_A| \sin \alpha_A$;

$T_B = |I_B| \sin \alpha_B$ 或 $T_B = |I_B| \sin \alpha_B$;

$T_C = |I_C| \sin \alpha_C$ 或 $T_C = |I_C| \sin \alpha_C$;

这里 $|I_A|, |I_B|, |I_C|$ 分别是各短路电流的模值。显然满足:

$T_A > T_B; T_A > T_C$

因为正常运行时,电网输送的无功潮流比重不大,而短路故障时线路和变压器均为感性元件,故有:

$|\sin \alpha_i| > |\sin \alpha_j|; |I_i| > |I_j|$

对于超高压电网一般有:

$|T_i| \gg |T_j|, |T_i| = |I_i \sin \alpha_i|$

式中: I_i 是故障前电流, α_i 是所测得相应的功率因数角;下标 $i = A, B, C$

令:

$T_i = T_i - T_j$

图3中当线路MA上发生短路故障时,有如下判据:

$T_A > T_B; T_A > T_C; \quad (2)$

电网正常运行时, T_A, T_B, T_C 之间大小难定,故以 T_A, T_B, T_C 来作为判别量。另外以 T_i 作为短路故障起动判据比单纯电流突变起动判据灵敏度更高。

3 功率因数角测量

系统电压经传感器和波形变换后得到周期为 2π 的方波信号,如图5(a)、(c)所示^[2]。故障电流经电流传感器和波形变换后也是周期为 2π 的方波信号,如图5(b)、(d)所示,方波滞后角度为 α ,这就是功率因数角。电压、电流方波经波形逻辑处理,然后再经光电耦合、全波相位合成为周期是 2π 的脉冲序列,图5(e)所示的脉冲宽度即为要检测的功率因数角。

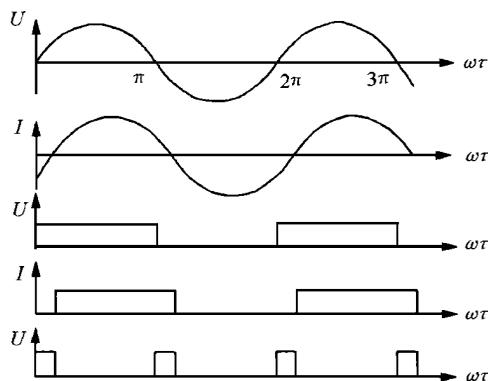


图5 功率因数角的测量

因为在 $-\frac{\pi}{2} \sim \frac{\pi}{2}$ 之间 \sin 是单调增函数以代替 \sin 不影响判据的正确性。

以上是模拟法决定 α 值,另外还可以采用数值法。

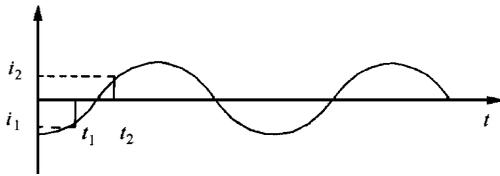


图6 数值法求过零点

对于图6中的正弦波形, t_1 与 t_2 时刻之值 i_1 、 i_2 发生变号, 则由线性插值方法(式3)求出过零时

刻。

$$t_i = \frac{t_1 i_2 - t_2 i_1}{i_2 - i_1} \quad (3)$$

由 $t = t_u - t_i$ 即可求出值。

4 算例

在华中电网某典型严重运行方式下, 对500kV主网线路进行计算, 每条线路中间分别发生单相短路接地、两相短路、两相短路接地、三相短路, 计算得相应节点各500kV出线的无功突变量, 现将葛洲坝节点处的仿真计算结果列出如表1。

表1 葛洲坝500kV节点出线上发生单相短路、两相短路、两相短路接地、三相短路故障时, 各线路出口 T 突变情况。

节点名	故障线路名	线路名	T 突变(以100MVA为基准)			
			单相接地短路故障	两相短路故障	两相接地短路故障	三相短路故障
葛洲坝	葛双	葛双	17.67	31.62	39.45	63.82
		葛宋	-1.66	-3.01	-3.73	-6.08
		葛岗	-4.51	-8.26	-10.06	-16.24
		葛凤	-1.65	-2.72	-3.5	-5.32
	葛岗	葛岗	14.85	28.85	35.01	57.9
		葛双	-2.66	-5.1	-6.24	-10.3
		葛宋	-1.06	-2.08	-2.52	-4.16
		葛凤	-1.54	-2.92	-3.59	-5.92
	葛宋	葛宋	39.04	56.73	78.06	114.68
		葛双	-8.3	-12.06	-16.61	-24.46
		葛岗	-9.24	-13.42	-18.44	-27.1
		葛凤	-4.72	-6.85	-9.44	-13.98
葛凤	葛凤	9.57	19.67	23.57	39.71	
	葛双	-0.81	-1.56	-1.89	-3.09	
	葛宋	-0.76	-1.61	-1.92	-3.24	
	葛岗	-2.04	-4.25	-5.05	-8.56	

根据短路故障计算结果, 对华中网500kV主网统计出: 以“鉴幅鉴相特性突变”为判据的准确率。内容见表2。

表2 短路故障线路判别准确率。

故障类型	单相接地短路	两相短路	两相接地短路	三相短路
鉴幅鉴相突变判断准确率	100%	100%	100%	100%

由仿真计算结果可见, 以鉴幅鉴相特性突变来判断故障线路对于单相短路接地、两相短路、两相短路接地、三相短路的故障判别均正确。且故障越严重判据的灵敏度越高。

5 滤波和间断角

在求取值时要对采集量进行滤波, 模拟法有由电阻、电感、电容构成的各种带通、带阻、隔直滤波

回路。数值法则有基于离散傅里叶变换(DFT)、快速傅里叶变换(FFT)各种滤波算法。此外, 也可以直接将故障信号输进来进行处理。如图7所示故障电流, 波形中含有非周期分量, 此时间断角(相隔两个过零点之间的夹角):

$$= (t_2 - t_1)$$

(其中 ω 是角频率) 不满足下面条件:

$$-180^\circ = 0$$

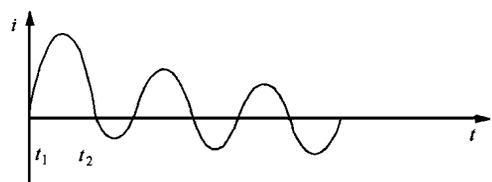


图7

因此可直接由式(4)判断线路上是否发生短路

故障。

$$| -180^\circ | > \quad (4)$$

式中 θ 为一阈值。

6 结论

本文提出了一种针对电网多出线节点来选定短路故障线路的方法,数字仿真计算结果证明该方法正确,我们还可以得到如下结论:

(1) 本判据只取用就地信息,不依赖通讯手段,易于实现。

(2) 由“鉴幅鉴相特性突变”作为选择短路故障

线路的判据,简单可靠,工程上运用方便。

(3) 故障越严重判据灵敏度越高。

(4) 经波形变换和脉冲合成,检测出电压、电流过零时的相角差,计算迅速。

(5) 此方法抗干扰力强,电网中冲击负荷对该判据没有影响。

参考文献:

- [1] 何仰赞等. 电力系统分析. 武汉:华中理工大学出版社, 1985.
- [2] 宋建成等. 基于功率因数检测的矿井低电压相敏保护的研究. 电网技术, 1999, (2).

Ascertain fault line based on the jump of angle of power factor

LUO Jun-tao, CHEN Yun-ping, CAO Hua-zhen

(Wuhan University of Hydraulic & Electric Engineering, the School of Electric Engineering, Wuhan 430072)

Abstract: In this paper, a new method is applied to ascertain the fault line by using "the jump of angle of power factor". In large-scale power systems, emergency control needs lots of information, the operation of controlling must be fast, it is very important to ascertain the fault location immediately and accurately. At the multi-line bus of power systems, we can ascertain the fault line by using "the jump of magnitude and power factor" as judgment. It needn't remote signals and is very independent. The simulation results show that this methods simple and reliable, to ascertain fault line quickly accurately and effectively.

Keywords: angle of power factor; emergency control

(上接第 5 页)

- [2] Liu C W, Thorp. Application of synchronised phasor measurements to real-time transient stability prediction. IEE Proceeding-C, 1995, 142(4): 355 ~ 360.
- [3] Haque M H, Msc, Phd, Rahim A H M A, Phd. Determination of first swing stability limit of multimachine power systems through Taylor series expansions. IEE Proceeding C, 1989, 136(6): 373 ~ 379.
- [4] 孙建华. 一种电力系统暂态稳定性快速实时预测方法. 中国电机工程学报, 1993, (6): 60 ~ 66.
- [5] 李国庆, 孙福军, 任强. 基于外部观测的电力系统暂态稳定性实时预测和控制方法. 电网技术, 1995, (1): 17 ~ 22.
- [6] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制理论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1996.
- [7] 夏道止. 电力系统分析(下册). 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [8] 电力系统分析综合程序(PSASP)稳定用户手册. 北京: 电力科学研究院, 1993.

Real-time transient stability prediction for multi machine power system based on phasor measurement units

L ÜZhi-lai, ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu

(Xi'an Jiaotong University, School of Electrical Engineering, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper presents a fast real-time transient stability prediction method based on synchronised phasor measurements. By collecting phasor data, then phasor change is obtained by polynomial approaching. At the same time, phasor is modified by intelligent control. If polynomial have extremum, first swing is stable, contrariwise it is unstable. The digital simulation verifies the high accuracy and effectiveness of provided algorithm.

Keywords: transient stability; phasor measurement unit (PMU); prediction; intelligent modify