

消弧线圈接地电网的有功选线

杜丁香, 徐玉琴

(华北电力大学, 河北 保定 071003)

摘要: 结合自动补偿电网的特征, 对利用零序电流的附加有功分量进行单相接地故障选线进行了研究与分析。并利用 EMTP 电磁暂态仿真程序对所述原理进行了验证。提出了合适的实施方案。结果表明该方法选线准确, 耐过渡电阻能力强, 并且易于实现与消弧线圈自动调谐装置的一体化协调运行。从而实现谐振接地配电网的灵活有效的控制, 提高整个配电网的供电可靠性与安全性。

关键词: 配电网; 消弧线圈; 自动补偿; 有功选线; EMTP

中图分类号: TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)05-0033-04

1 引言

目前, 我国 3 ~ 60kV 中压电网一般采用中性点不接地方式或经消弧线圈接地方式。当系统总的电容电流大于相应电压等级中规程规定的数值时, 为满足熄弧及系统安全、稳定运行的要求, 应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。为达到灵活、快速、及时、准确的调谐, 我国很多地方已安装了自动调谐消弧线圈成套装置。这种情况下, 单相接地选线变得困难。于是我们就要利用配电网加入消弧线圈自动调谐装置后呈现出来的一些新特征, 寻找适用于自动补偿电网的选线方法。本文就是利用消弧线圈自动调谐装置有并联或串联电阻这一特点, 利用各出线的有功大小进行故障选线。并提出对阻尼电阻实时在线调节以控制残流中的有功分量, 达到既能由各出线的有功进行选线又不使残流由于有功电流的增大而超过熄弧界限的要求。寻求消弧线圈自动调谐与单相接地故障选线一体化的最优方案, 进而达到对配电网的灵活优化控制。

2 自动补偿电网

所谓自动补偿电网是指加入消弧线圈自动调谐装置的中低压配电网。

国内外电力系统以前多采用传统消弧线圈进行人工调节分接头补偿, 这已满足不了电力系统日益发展的要求。由于电力系统电容电流随系统电压、运行方式、天气等多种因素影响而变化频繁, 正常运行时无法监测系统的电容电流, 因而很难将消弧线圈调整在合适的位置, 甚至起不到应有的补偿作用。

消弧线圈自动调谐装置, 可实时在线测量系统电容电流, 根据实时测量结果自动调整消弧线圈。这样不仅可以免除人工调谐的诸多麻烦, 而且显著

提高调谐精度。目前消弧线圈自动调谐有两类^[1]: 一类是预调谐, 一类是动态调谐。前者的调谐方式为, 系统正常运行时实时测量电容电流的大小, 调节消弧线圈至合理补偿位置, 发生单相接地故障后不再进行调节。这种方式下为避免系统正常运行时由于脱谐度调得太小而出现中性点谐振过电压, 通常要求在消弧线圈中并联或串联阻尼电阻, 即通过提高系统的阻尼率来限压。动态调谐方式下, 在理论上可以实现全补偿。因为这种调谐方式速度快, 可以在系统正常运行时, 调节消弧线圈使其远离谐振点, 也就是脱谐度较大, 避免出现谐振过电压, 而在检测到系统发生故障后, 快速调节消弧线圈到全补偿, 也就是脱谐度接近于零, 减小接地点的残流, 促进电弧自熄, 确保系统的安全稳定运行。

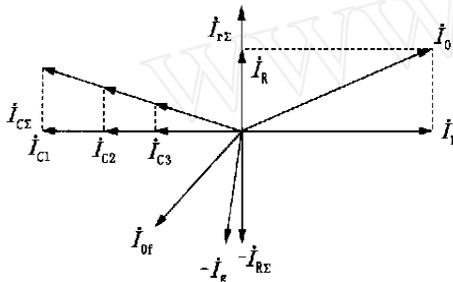
自动补偿装置在电弧自熄、限制弧隙恢复电压等方面起到了积极的作用。然而它对单相接地故障选线却产生消极的影响。由于消弧线圈自动调谐装置的加入, 使得传统的零序过流保护及零序功率方向保护都失去了作用。所以需要寻找适合自动补偿电网的行之有效的选线方法^[1]。五次谐波无功功率方向法, 主要是测量故障后各出线零序电流中五次谐波电流的流向。可靠地检测接地故障要求谐波分量至少占基波分量的0.5%以上, 这在很大程度上取决于网络的特殊情况及系统负荷, 在应用此方法前应先测量谐波分量。暂态零序功率法, 主要是依据系统发生单相接地故障的瞬间, 故障线路的暂态零序电流与零序电压极性相反, 而非故障线路的暂态零序电流与零序电压极性相同。这种方法受故障时刻的影响, 电压过零点故障时可能会出现保护动作的“死区”。群体比幅比相法, 其原理可以说是从经验得出来的, 加上人们主观的一些直觉加以整理、归纳而成形的, 缺乏严密的分析论证。在一些特定的

情况下也有可能不正确动作。注入法是一种利用外加信号来源选线的方法,需要附加设备,同时会给系统带来一定的影响。本文提出的自动补偿电网动态有功选线法,克服了上述方法的不足之处,原理简单明了,实施方便可行,且易于和消弧线圈自动调谐成套装置进行一体化开发。

3 自动补偿电网有功选线原理

如前所述,预调谐式自动调谐装置中通常还在消弧线圈上并联或串联阻尼电阻来限制电网正常情况下的谐振过电压。动态调谐式如调容式自动调谐装置中消弧线圈有一个低压的副边绕阻,也可在此副边绕阻并联阻尼电阻。这些并联电阻的存在是有功选线的基础^[3]。

由电路分析(如图1)可知,并联电阻增大了消弧线圈补偿部分的有功电流 \dot{I}_R ,而这个有功电流又只流过故障线路且其方向与非故障线路的零序有功漏电流相反,所以可以据此进行故障选线。图1中各电气量之间的关系如下:



图中, i_0 、 i_L 、 i_R 分别为中性点电流及其感性分量、阻性分量;
 i_{Ci} 、 i_{Li} ($i=1,2,3$)分别为各线路的对地电容电流和泄漏阻性电流;
 $i_{r\Sigma}$ 、 $i_{c\Sigma}$ 分别为线路的泄漏阻性电流之和及对地电容电流之和;
 i_{Of} 为故障线路零序电流;
 $i_{R\Sigma}$ 为系统总的对地阻性电流;
 i 为接地点残流的无功分量;
 i_g 为接地点残流

图1 自动补偿电网有功选线原理图

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{I}_R + \dot{I}_L & (1) \\ \dot{I}_{r\Sigma} &= \dot{I}_{r1} + \dot{I}_{r2} + \dot{I}_{r3} & (2) \\ \dot{I}_{c\Sigma} &= \dot{I}_{c1} + \dot{I}_{c2} + \dot{I}_{c3} & (3) \\ \dot{I}_g &= \dot{I} + \dot{I}_{R\Sigma} & (4) \\ \dot{I}_{R\Sigma} &= \dot{I}_R + \dot{I}_{r\Sigma} & (5) \\ \dot{I} &= \dot{I}_L + \dot{I}_{c\Sigma} & (6) \end{aligned}$$

若线路3上发生单相接地故障则故障线路的零序电流 i_{Of} (即 i_{O3})为:

$$\dot{I}_{Of} = -\dot{I}_g + \dot{I}_{C3} + \dot{I}_{r3} \quad (7)$$

其中 i_g 前加负号是由于其方向为由地流向母线。

将式(4)代入式(7)可得:

$$\dot{I}_{Of} = -\dot{I} + \dot{I}_{C3} + (-\dot{I}_{R\Sigma}) + \dot{I}_{r3} \quad (8)$$

而非故障线路 i 的零序电流 i_{0i} 为:

$$\dot{I}_{0i} = \dot{I}_{Ci} + \dot{I}_{ri} \quad (9)$$

由式(8)、(9)可知故障线路零序电流 i_{Of} 中的有功电流分量为 $-\dot{I}_{R\Sigma} + \dot{I}_{r3}$,而非故障线路的零序电流中的有功电流分量为 \dot{I}_{ri} (其中 i 代表第 i 条非故障线路的序号)。在一般情况下由于 R_L 的存在使得 $|\dot{I}_{R\Sigma} + \dot{I}_{r3}| \gg |\dot{I}_{ri}|$,因此故障线路的零序有功远大于非故障线路的零序有功。从而可据此选出故障线路。

为便于分析,将图1中的残流部分提取出来,如图2所示。

其中 $\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_0}{R_L}$, $\dot{I} = \dot{I}_C \% = \dot{U}_0 j3 C \%$, $\dot{I}_{r\Sigma} = 3 \% \dot{I}_C$ 且 $\dot{I}_{R\Sigma} = \dot{I}_R + \dot{I}_{r\Sigma}$ 。可见影响残流 i_g 大小的因素有中性点电压、消弧线圈并联电阻、消弧线圈的脱谐度。而残流的大小正是衡量自动补偿效果的一个重要指标。

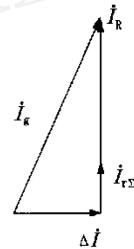


图2 残流组成向量图

在没有并联 R_L 前,只考虑 i 和 $i_{r\Sigma}$ 对残流的贡献,再由计算得的脱谐度的大小决定消弧线圈的档位。而在并联了电阻 R_L 后,就要考虑 i_R 的影响了。其值既不能太小又不能太大,如果 R_L 太小则使得残流中的有功电流增大,不利于电弧自熄。如果 R_L 太大,使得残流中的有功分量太小,不利于有功选线的实施。所以建议将 R_L 设为可调电阻,使它可以象消弧线圈一样实时自动地调节,从而使选线与熄弧可以兼顾,成套装置的性能可达到最佳。另一方面,当过渡电阻增大时中性点电压 U_0 会随之减小,残流中的有功分量 $i_{R\Sigma}$ 也会减小,这对选线是很不利的。所以需要考虑过渡电阻对有功选线性能的影响,也就是耐过渡电阻的能力。

4 实验数据分析

利用电磁暂态仿真程序 EMTF 对某自动补偿电网进行仿真^[4]。具体为分段单母运行,第一段母线带三条出线,第二段母线带七条出线。调容式消弧

线圈自动调谐装置安装在第二条母线上。如图3所示 O_2 为第二条母线引出的中性点; K1、K2、K3、K4、K5 为可控硅开关, 控制电容器组及其并联电阻的投切; R_L 为二次侧接入的并联电阻。变压器的原副边变比为 15:1。

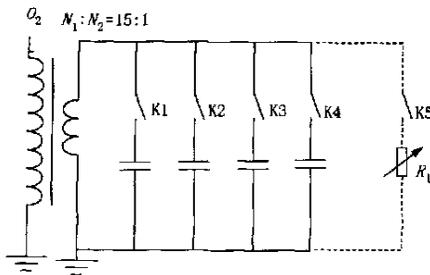


图3 调容式消弧线圈结构图

本文中电网电容电流为23.4A, 如 K1、K3、K4 闭合则可补偿的电感电流为 24A, 此时当电网发生金属性接地时残流中的无功电流为0.6A, 电网的脱谐度为2.5%。如同时取残流中有功电流的设定为2A (即 $I_{R\Sigma}$ 为2A), 计算后可取 R_L 为20.75。此时残流全电流计算得的最大值为2.09A。在不同过渡电阻下线路2故障时的实验数据如表1。

表1 不同过渡电阻下各线路有功大小

$R_g(\Omega)$	P1(W)	P2(W)	P3(W)	P4(W)	P5(W)	P6(W)	P7(W)	P8(W)	P9(W)	P10(W)
0	19.95	7981.23	3.37	47.38	3.93	0.009	0.39	3.73	0.42	10.89
1000	13.43	5330.25	2.63	32.87	2.67	0.002	0.35	2.87	0.23	6.98
5000	5.03	1693.10	0.84	10.42	0.86	0.003	0.15	0.80	0.02	2.26
8000	2.20	949.58	0.35	5.71	0.38	0	0.012	0.23	0.02	1.00
10000	1.57	695.93	0.22	4.13	0.23	0	0.002	0.38	0.03	0.75

由表1可见, 故障线路2的有功远大于其它非故障线路的有功。理论上此方法的耐过渡电阻可达几十甚至几百千欧, 但实际上由于过渡电阻太大时, 非故障线路的零序电流很小, 故耐过渡电阻的能力还受到实际系统中装置的测量精度的影响。

表2 中性点电压及残流

$R_g(\Omega)$	$U_0(V)$	$I_g(A)$	$I_{g\text{ real}}(A)$	$I_{g\text{ imag}}(A)$
0	6045.97	1.504	1.313	0.733
1000	4941.29	1.229	1.070	0.606
5000	2785.49	0.692	0.586	0.368
8000	2086.72	0.443	0.408	0.298
10000	1786.57	0.518	0.328	0.319

表2是与表1相对应的不同过渡电阻下的中性

点电压及残流(有功部分为 $I_{g\text{ real}}$, 无功分量为 $I_{g\text{ imag}}$)。由表2可见, 残流在最大的情况下小于2.09A, 满足要求。中性点电压和残流都随过渡电阻的增大而减小。

母线故障与线路故障的明显区别是: 线路故障时有功的最大值(也即故障线路的有功)远大于非故障线路的有功值。而母线故障时线路有功的最大值与其它线路有功值的大小差别没有前者大。可据此特点区分母线故障与线路故障。具体为先求出各线路有功值的大小, 找到其中的最大值 P_{\max} , 再求出其余线路有功值大小的平均值 mean , 利用比值 $R = (P_{\max} - \text{mean}) / \text{mean}$ 的大小来区分是母线故障还是线路故障, 如判断为线路故障则再根据各线路有功值的大小选出具有最大有功值的线路为故障线路。

表3为线路2故障及母线故障时计算得的 R 值。由表3可见在母线故障时的 R 值远小于线路故障时的 R 值, 因此可以设置一个门槛值(如设为50), 当 R 值超过此门槛值时判断为线路故障, 并进一步根据有功值的大小(表1)决定故障线路; 当 R 值小于此门槛值时判断为母线故障。结果表明由这种方法可以准确地判断出母线故障, 并在线路故障时选线出故障线路。

表3 线路2故障及母线故障的 R 值

R	0(Ω)	1000(Ω)	5000(Ω)	8000(Ω)	10000(Ω)
线路故障	796.67	772.42	746.48	847.78	874.80
母线故障	6.17	6.51	7.10	7.97	6.99

5 结论

本文在对补偿电网介绍分析的基础上着重讨论了有功选线的原理及实现方法, 并利用 EMTP 仿真结果验证了原理方法, 得出了有益结论。

采用有功法进行故障选线耐过渡电阻能力强, 至少可达千欧级; 由于比较的是基波有功的大小, 故要求的采样频率不高, 只要能准确提取出基波零序电流、电压即可; 同时由于采用的是故障后的稳态值, 所以与故障时刻及暂态过程无关, 但需要等系统进入稳态后才可计算; 由于 R_L 的加入使得故障线路与非故障线路有功大小的差别增大, 提高了有功法的灵敏度, 而且 R_L 的加入增大了系统的阻尼率, 使故障后的暂态过程缩短, 提高了该选线方法的响应速度; R_L 可在确定为永久性故障后并入系统, 以避免由于残流中的有功电流的增大而使电弧不易熄灭, 而且可将 R_L 设置为可变电阻使装置对系统的

调节与控制更加方便灵活。从而达到对整个自动补偿电网的灵活、有效的控制。

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月. 谐振接地技术新发展[J]. 中国电力, 2000,23(10):55-57,80.
- [2] 郭自励. 消弧线圈接地系统单相接地的选线方法[J]. 供用电,2000,17(2):31-33.
- [3] 牟龙华. 零序电流有功分量方向接地选线保护原理[J]. 电网技术,1999,23(9).

- [4] MicroTran Reference Manual—Transients Analysis Program for Power and Power Electronic Circuits[Z]. Microtran Power System Analysis Corporation, Published September 1992, Vancouver, B. C.
- [5] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京:水利电力出版社,1993.

收稿日期: 2001-09-10

作者简介: 杜丁香(1977-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统微机保护; 徐玉琴(1964-),女,硕士,副教授,从事电力系统继电保护与控制的的教学研究工作。

Faulted line detecting with active power in an auto-compensated distribution network

DU Ding-xiang, XU Yu-qin

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The paper made research and analysis on the topic of faulted line selecting in an auto-compensated distribution network in use of the active part of residual currents. Meanwhile with the help of EMTP, we verified the principle and bring forward the proper application schema. As the result, the method can correctly select the faulted line even with very high fault resistance. With the integration of the method into the automatically regulated arc suppression coil compensation devices we can make feasible and effective control to the resonant grounded distribution network, thus to improve the reliability and security of the general power supply.

Key words: distribution network; arc suppression coil; automatically compensate; faulted line selecting; active power; EMTP

许继日立电气有限公司

许继日立电气有限公司是由许继电气股份有限公司和日本日立公司共同出资于1999年11月成立的集研发、生产、销售为一体的高科技合资公司。

公司宗旨: 引进日立公司具有世界先进水平的继电保护软硬件设计平台,结合许继集团在中国电力系统30多年的设计经验和先进可靠的保护原理,开发出具有国内领先水平并适合中国国情、高可靠性的电力系统继电保护和变电站综合自动化系列产品,为我国电力工业的发展做出贡献。

许继日立公司产品包括: CBZ-5000变电站综合自动化系统;110~500kV数字式线路及变压器成套保护装置;10~35kV馈线及电容器保护装置;母线保护装置;电气化铁道成套保护设备(含馈线、变压器、并补)等系列产品。

产品特点: ●32位CPU技术 ●16位ADC技术 ●统一的软硬件平台 ●图形化编程技术 ●完善的系统自检功能(高次谐波监视,AD精度监视,ECC指令检测,跳闸回路监视) ●大液晶显示,PC支持工具 ●超强的抗干扰能力
自2001年4月**许继日立公司**的产品在河南安阳、开封、宁夏等地投入试运行以来,许继日立公司的成套设备相继在河南、宁夏、广东、广西、四川等地投入运行,并以灵敏性好,可靠性高,界面友好,运行维护方便,完善的售后服务等优点赢得了用户的好评和信赖。

许继日立公司汇集了许继和日立双方的技术精英,拥有一批具有多年继电保护和变电站自动化系统产品设计经验的高级设计员,公司现有的60余名设计人员中,有博士4名,硕士15名,资深设计师3名,日籍专家3名。公司本科以上学历人员占全体员工的比例在80%以上。

许继日立全体员工将时刻以用户需求为己任,用饱满的热情、奋发的精神、过硬的技术和丰富的经验,以最快的速度 and 效率为广大用户提供技术领先、性能优越、运行可靠的新一代继电保护、自动化系统产品和完善的服务。

用户的支持是我们工作的动力,期待着与您携手共同创造美好的未来。