

一种消除 CVT 暂态超越的新方法

张延鹏, 李一泉, 何奔腾

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 300027)

摘要: 高压线路保护中, 当系统发生故障时, 由于电压的降落, CVT 将产生暂态效应, 可能引起正方向距离保护的暂态超越。传统消除 CVT 暂态超越的方法是延时, 这样就牺牲了保护的速动性。论文发现不同保护算法产生暂态超越的时刻是不同的, 据此提出基于多种傅氏算法相配合来消除 CVT 暂态超越的新方法, EMTP 仿真表明区外故障时, 新方法可以在较短时内做出正确判断, 可靠保证保护不误动; 而区内故障时, 新方法相较传统保护更为速动, 从而全面提升了其性能。

关键词: CVT; 暂态超越; $1-\frac{1}{2}$ 波傅氏算法

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)13-0001-05

0 引言

目前, 电容式电压互感器 (CVT) 已广泛地应用于电力系统中, 但是由于其内部电容、电感等储能元件的存在, 当一次电压由于故障等原因发生突变时, 二次电压将不能有效地线性传变。对于用 CVT 作为电压信号的距离保护, 当正方向区外发生故障时, 有可能发生暂态超越误动作。对此国内外展开了大量的研究^[1-3], 但目前主要的解决办法还是延时。如果延时时间过长, 必然会直接影响保护的動作速度, 这对系统的安全稳定运行是很不利的。为了进一步缩短延时环节的延时长度, 提高距离保护的動作速度, 本文提出了一种基于多种傅氏算法相配合的新方法, 文末利用 EMTP 进行了仿真, 证实了其性能。

1 故障发生时 CVT 的模型

当系统发生故障时, 常常伴随着电压的降低, 因此可认为 CVT 中间变压器的磁芯工作在磁化曲线的线性段, 此时整个 CVT 电路可看成一线性系统。忽略铁芯的励磁电感和铁耗, 忽略中间变压器一、二次侧的漏感, 漏阻, 并将二次侧阻抗归化到一次侧, 可得 CVT 的简化电路如图 1 所示。

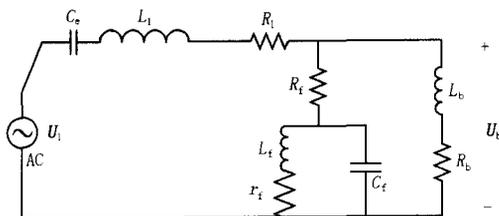


图 1 CVT 的等值电路

Fig 1 Equivalent circuit of CVT

CVT 由分压电容、补偿电抗器、中间电抗器、阻尼器等部分组成。图 1 中 C_0 为等效分压电容; L_1 为补偿电感和中间变压器的漏感之和, R_1 是相应的电阻; R_r 、 C_c 、 L_r 和 r_i 为谐振型阻尼器的参数; L_b 和 R_b 则是负载电感和电阻。具体参数见文献 [4]。

2 仿真计算

2.1 距离保护算法

距离保护算法是在得到基频电压向量和基频电流向量的基础上, 取两者的比值计算出保护安装处到故障点之间的故障阻抗, 即 $Z = U/I$ 然后根据测量阻抗判断保护是否动作。为了消除故障暂态过程中非周期分量和高次谐波分量对测量阻抗的影响, 通常采用傅氏算法。

1) 半波傅氏算法

基频向量的实部和虚部分别为:

$$X_r = \frac{4}{N} \sum_{k=-\frac{N}{2}+1}^0 x(k) \sin(k)$$

$$X_i = \frac{4}{N} \sum_{k=-\frac{N}{2}+1}^0 x(k) \cos(k)$$

其中: $= \frac{2}{N}$ 。

2) 全波傅氏算法

基频向量的实部和虚部分别为:

$$X_r = \frac{2}{N} \sum_{k=-N+1}^0 x(k) \sin(k)$$

$$X_i = \frac{2}{N} \sum_{k=-N+1}^0 x(k) \cos(k)$$

其中: $= \frac{2}{N}$ 。

对于距离保护,不妨假设测量电流准确,那么测量电压的暂态即反映了测量阻抗的暂态。对故障后的电压用各种傅氏算法进行变换,就可以得到不同的傅氏算法下的各种故障情况的暂态超越起始点和暂态超越结束点。

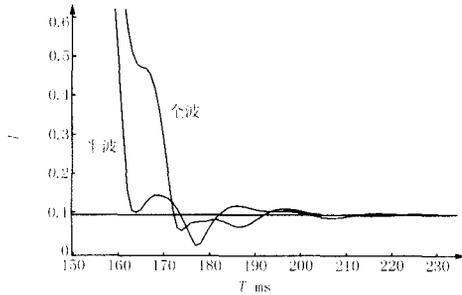


图 2 各种傅氏算法下的暂态超越情况

Fig 2 Transient overreach of different Fourier algorithms

图 2反映了某个系统 150 ms 发生故障时 CVT 二次侧电压经过全波和半波变换后的情况。其中纵坐标 U 为测量电压与故障前稳态电压的比值,横坐标 T 为时间,直线是故障后 CVT 电压的稳态值。图中出现了变换电压低于故障后稳态电压的情况,这正是距离保护发生超越的根本原因。有些时候甚至会出现两次超越,第一次出现超越不妨称之为一次超越,第二次出现超越称之为二次超越。

通过图 2 还可以发现全波傅氏变换和半波傅氏变化的超越点出现在不同时刻,这是由于两者数据窗长不同导致其进行计算的数据不一样,且两者频率响应本身不一样,当然在基波处都是准确的。根据全波傅氏变换和半波傅氏变换不同时发生暂态超越这一现象,当取全波傅氏变换和半波傅氏两者变换结果较大值时,就有可能消除或者减小暂态超越持续时间。

但不幸的是,大量仿真发现,很多情况下全波和半波综合仍然不能完全消除暂态超越,只能减小部分暂态超越的持续时间,因此考虑再引进其他傅氏算法,从而进一步消除 CVT 的暂态超越。本文实际引入了 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法。

2.2 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法及其特点

通理全波和半波傅氏算法,进行 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法的推导如下:

设输入信号为:

$$f(x) = a \cos x + b \sin x$$

$$\int_0^{\frac{3}{2}T} f(x) \cos x dx = \int_0^{\frac{3}{2}T} (a \cos x + b \sin x) \cdot$$

$$\cos x dx = \int_0^{\frac{3}{2}T} a \frac{\cos 2x + 1}{2} dx = \frac{3}{4} a T$$

所以

$$a = \frac{4}{3T_0} \int_0^{\frac{3}{2}T} f(x) \cos x dx$$

同理

$$b = \frac{4}{3T_0} \int_0^{\frac{3}{2}T} f(x) \sin x dx$$

则基频向量的实部和虚部分别为:

$$X_r = \frac{4}{3N} \sum_{k=-\frac{3N}{2}+1}^0 x(k) \sin(k)$$

$$X_i = \frac{4}{3N} \sum_{k=-\frac{3N}{2}+1}^0 x(k) \cos(k)$$

其中: $\frac{2}{N}$ 。

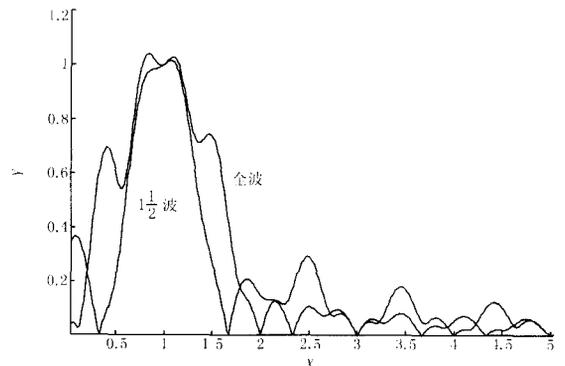


图 3 全波傅氏算法和 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法的幅值频谱

Fig 3 Fourier algorithm's response of one period and $1\frac{1}{2}$ period

图 3 给出了全波和 $1\frac{1}{2}$ 波的幅值频谱,其中纵坐标 Y 为频率响应,横坐标 X 为频率。可见 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法的频率响应一般都要低于全波傅氏。由文献 [5], CVT 暂态噪声分为低频 (17 Hz 左右) 和 高频 (90 Hz 左右) 两部分,其中高频噪声衰减快,低频噪声是主导。如图 3 所示为 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法的频谱,可以恰好滤除低频噪声。这样产生的噪声影响就要比全波傅氏小,计算的电流、电压就更稳定。

$1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法的特点是数据窗较长,与全波傅氏算法相比超越起始点更靠后(数据窗长,用到了故障前稳态的数据),超越时间更短(数据窗长,采用了更多暂态不严重时刻的数据)。

2.3 ATP模型和仿真方法

由于 CVT主要用于高压线路上,故仿真计算中采用了 500 kV;不妨假设故障发生在下一段线路的出口,因为距离保护在下一段出口附近故障时最可能发生超越,系统结构如图 4所示:

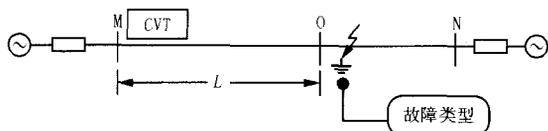


图 4 故障线路的模型

Fig 4 Model of fault circuit

其中发电机模型为:零序参数 $Z_0 = 0.833 + j78$,正序参数 $Z_1 = 2.5 + j226$;线路参数模型为:正序参数 $Z_1 = 0.0178 + j0.8971$ /km,零序参数 $Z_0 = 0.1148 + j2.626$ /km;故障类型分为单相短路接地、两相短路接地、两相相间短路、三相短路接地。CVT采用如图 1所示的模型,具体参数见文献 [6]。

作者在 EMTP实现了上述系统,仿真时考虑到了不同的故障类型、不同的电源线路阻抗比(SR)、不同的故障时的初相角和不同的负载的影响。其中,通过改变 L 的长度模拟不同的 SR比;通过改变故障时刻模拟不同的故障时的初相角,故障时刻电压相角变化频率为 ± 0.1 ;通过改变 CVT模型的负载来模拟真实负载的投退。

假设线路 L 的 I段保护的可靠系数为 0.9,通过模拟不同的情况下的故障,利用不同的傅氏算法可以得到各种傅氏算法下的暂态超越的超越起始点、超越结束点。通过大量仿真的比较可以求出各种傅氏算法下的最大超越持续时间,从而确定最终的延时时间。

3 仿真结果分析

3.1 仿真方法和仿真结果

采用上述的仿真计算方法,以 A相为特殊相,得到接地继电器和相间继电器的计算结果如下。

表 1 接地阻抗继电器的暂态超越情况

Tab 1 Transient overreach of ground impedance relay

ms

故障类型	半波傅氏算法下最大超越持续时间	全波傅氏算法下最大超越持续时间	$1-\frac{1}{2}$ 波傅氏算法下最大超越持续时间	全波和半波配合下的最大超越时间	三种傅氏算法下最大超越持续时间
AG	20	19	19	9	0
ABG	15	15	15	7	0
ACG	17	16	16	7	0
ABCG	18	17	17	8	0
综合	20	19	19	9	0

其中,AG为 A相单相接地短路,ABG为 AB两相接地短路,ACG为 AC两相接地短路,ABCG为三相接地短路。

表 2 相间阻抗继电器的暂态超越情况

Tab 2 Transient overreach of phase-to-phase impedance relay

ms

故障类型	半波傅氏算法下最大超越持续时间	全波傅氏算法下最大超越持续时间	$1-\frac{1}{2}$ 波傅氏算法下最大超越持续时间	全波和半波配合下的最大超越时间	三种傅氏算法下最大超越持续时间
BC	17	16	17	7	0
BCG	17	16	17	7	0
ABCG	17	16	17	7	0
综合	17	16	17	7	0

其中,BC为 BC相间短路,BCG为 BC两相接地短路,ABCG为三相短路接地。

相间继电器的暂态超越情况如表 2所示。从表 1和表 2可以看出,半波傅氏和全波傅氏相配合下的最大超越持续时间有明显下降,而三种傅氏算法相配合下的最大超越持续时间为 0,这就意味着完全克服了暂态超越。同时,从表 2可以发现,对于相间继电器,其所使用的回路电压 U_{bc} 在不同算法下的最大超越持续时间不受故障类型影响。这一点可经理论证明,从而间接支撑了我们仿真的正确性。

上述仿真过程中并没有考虑过渡电阻的影响。事实上,当有过渡电阻存在的时候,故障后线路残压越高,CVT暂态影响就越轻微,极端地,当过渡电阻为无穷大时就等于系统并无发生故障,因此,过渡电阻对于我们防超越是有利的。仿真证实了这一点。

3.2 傅氏算法相配合的保护方案

因为各种不同的傅氏算法的频率响应不同和数据窗长不同,各种傅氏算法的超越起始点和超越的

结束点也不相同。可以利用这一点,用多种傅氏算法相配合缩短暂态超越持续时间或者消除暂态超

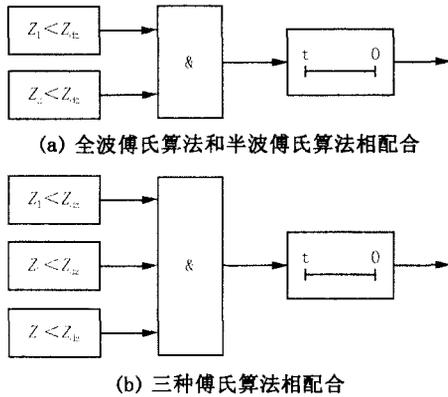


图 5 保护算法逻辑图

Fig 5 Logic diagram of relay protection

越。图 5 是多种傅氏算法相配合的保护方案的逻辑图。其中图 5(a)是全波傅氏算法和半波傅氏算法配合的逻辑图;图 5(b)是半波傅氏算法、全波傅氏算法和 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法相配合。图中所用距离继电器为全阻抗继电器。真实使用中不妨将图 5 所示保护逻辑的结果与常规保护经“与”门输出。采样信

号先通过不同的傅氏算法,当全部的傅氏算法计算值都低于距离保护整定值时,时间继电器开始计时。如果继电器动作持续时间超过时间继电器的整定值时,保护动作,反之继电器复位。时间继电器按各种故障方式下故障持续时间的最大值进行整定,如接地继电器,当采用全波与半波配合时,其值就整定为 9 ms。

3.3 保护方案的效果分析

为验证保护方案的正确性,利用 EMTP 仿真软件对 500 kV 线路的 CVT 进行了仿真试验。仿真模型如图 4。

先考虑接地继电器,仿真表明,故障负载对暂态超越影响不大,因此仿真时取额定负载。

当区外故障时,主要考虑不同的 SIR 对距离保护的影响。假设邻线出口处 106 ms 时发生单相金属性接地短路,距离保护 I 段的可靠系数取 0.9,考虑不同的 SIR ,故障前后的 CVT 输出电压曲线如下,其中直线为继电器起动的门槛值,半波、全波和 $1\frac{1}{2}$ 波傅氏算法下的 CVT 输出电压则如图 6 所示,假设测量电流准确,可以认为其反映了距离保护的线路计算阻抗的变化。

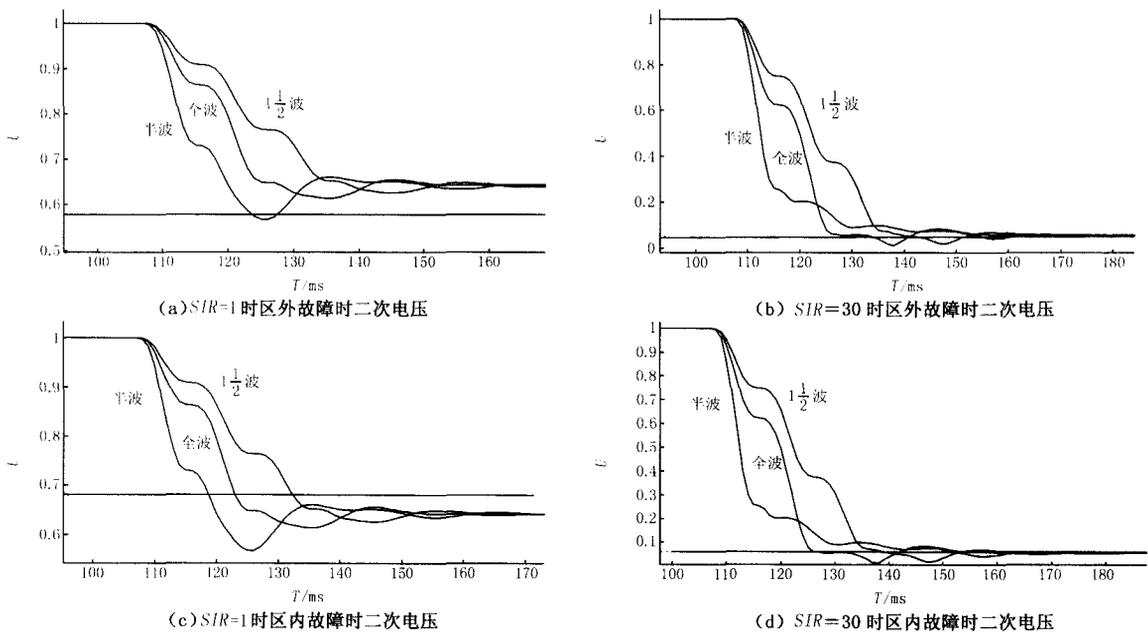


图 6 不同傅氏算法下的故障电压波形

Fig 6 Fault voltage waves with different Fourier algorithms

$SIR = 1$ 时区外故障时 CVT 输出电压波形如图 6 所示,坐标参照图 2。如果采用半波傅氏算法,在故障后 16 ms 发生超越,用延时方法来躲避超越,则

在故障后 $16 + 20 = 36$ ms 时刻继电器回复正常。而全波傅氏算法和采用多种傅氏相配合的方法,没有超越发生,继电器不动作。 $SIR = 30$ 时区外故障时

CVT输出电压波形如图 6(b)所示,在单一傅氏算法下,用半波傅氏算法继电器在故障后 53 ms 启动,在故障后 $53 + 20 = 73$ ms 回复。全波傅氏算法下继电器在故障后 62 ms 启动,在故障后 $62 + 19 = 81$ ms 回复。而在全波和半波傅氏算法配合下继电器在故障后 62 ms 启动,在故障后 $62 + 9 = 71$ ms 回复,三种傅氏算法相配合下,没有发生超越,继电器不启动。

可以发现在区外故障时,多种傅氏算法相配合的方法要比使用单一傅氏算法更有利于防止暂态超越。其中效果最好的是三种傅氏算法相配合的方案,消除了暂态超越。

当区内发生故障时,要求保护能够速动。显然,故障点越接近保护安装处,保护越容易动作,因此仿真时取在线路全长的 85% 处发生故障。

$S/R = 1$ 时区内故障时 CVT 输出电压波形如图 6(c)所示,在单一傅氏算法方案下,对于半波算法继电器在故障后 11 ms 启动,而保护在故障后 $11 + 20 = 31$ ms 动作。在全波傅氏算法下,继电器在故障后 18 ms 启动,在故障后 $18 + 19 = 37$ ms 动作。在全波和半波傅氏算法配合下,继电器在故障后 18 ms 启动,保护在故障后 $18 + 9 = 27$ ms 动作,在三种傅氏算法配合下,继电器在故障后 25 ms 启动,保护在故障后 25 ms 动作。 $S/R = 30$ 时区内故障时 CVT 输出电压波形如图 6(d)所示,在半波傅氏算法下,继电器在故障后 51 ms 启动,保护在故障后 $51 + 20 = 71$ ms 动作;在全波傅氏算法下,继电器在故障后 59 ms 启动,保护在故障后 $59 + 19 = 78$ ms 动作;在全波和半波傅氏算法配合下,继电器在故障后 59 ms 启动,保护在故障后 $59 + 9 = 68$ ms 动作;在三种傅氏算法配合下,继电器在故障后 69 ms 启动,保护在 69 ms 动作。

可以发现在区内故障时,多种傅氏算法相配合要比单一的傅氏算法动作时间要短。其中效果最好的是全波和半波相配合的方案。与三种傅氏算法相比,两者效果相差不多。

对于相间继电器,仿真结果和接地继电器类似。三种傅氏算法配合时可以完全消除暂态超越,延时环节延时为 0,区内故障时保护动作情况也稍好。

4 结论

1) 由于不同的傅氏算法采用的数据窗不同,同时不同的傅氏算法的频率响应不同(整次频除外),从而不同的傅氏算法变换出的 CVT 二次电压的超

越时刻也不同。所以利用多种傅氏算法相配合,可以有效地减小或者消除暂态超越。

2) 区外故障时,多种傅氏算法相配合可以在短时间内判断出区外故障,可靠地保证保护不会误动作。区内故障时,多种傅氏算法相配合较之单一的半波傅氏算法或全波傅氏算法更为速动。可见多种傅氏算法相配合的方案各项特性明显好于传统方法。

参考文献:

- [1] Lzykowski J, Kaszteny B, Rosolowski E, et al Dynamic Compensation of Capacitive Voltage Transformers [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 13(1).
- [2] HOU Da-qing, Roberts J. Capacitive Voltage Transformer. Transient Overreach Concerns and Solutions for Distance Relaying [A]. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 1996 119-125.
- [3] Kaszteny B, Shaples D, Asaro V. Marzio Pozzuoli Distance Relays and Capacitive Voltage Transformers—Balancing Speed and Transient Overreach [A]. 53rd Annual Conference for Protective Relay Engineers
- [4] 李一泉,何奔腾,黄瀛. 基于 CVT 暂态误差估计的自适应距离保护 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 72-76
LI Yi-quan, HE Ben-teng, HUANG Ying An Adaptive Distance Relay Based on Transient Error Estimation of CVT [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(10): 72-76
- [5] 梅德冬,王文雄,何奔腾,等. 电容式电压互感器暂态误差的研究 [J]. 继电器, 2003, 31(6): 19-22
MEI De-dong, WANG Wen-xiong, HE Ben-teng, et al Research on Transient Noise of CVT [J]. Relay, 2003, 31(6): 19-22
- [6] 郁惟镛,吴小建. 电容式电压互感器暂态响应的数字仿真研究 [J]. 继电器, 1998, 26(1): 27-32
YU Wei-yong, WU Xiao-jian The Research into Digital Simulation of CVT's Transient Response [J]. Relay, 1998, 26(1) 27-32

收稿日期: 2004-10-15; 修回日期: 2004-11-18

作者简介:

张延鹏(1979-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护研究; E-mail: zhybird@163.com

李一泉(1979-),男,博士研究生,主要从事电力系统继电保护研究;

何奔腾(1959-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护和控制研究。

(下转第 63 页 continued on page 63)

是比较合适的。

参考文献:

- [1] IEEE Standard 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality [Z]. Piscataway (NJ): 1995.
- [2] 倪伟,杨京燕,肖湘宁. 计及电压骤降的配网可靠性评估中负荷停运的处理方法 [J]. 现代电力, 2003, 20 (6): 40-43.
NI Wei, YANG Jing-yan, XIAO Xiang-ning Method of Load off in the Reliability Analysis of Distribution Network Taking into Voltage Sags [J]. Modern Electric Power, 2003, 20 (6): 40-43.
- [3] Sullivan M J, Vardell T. Interruption Costs, Customer Satisfaction and Expectations for Service Reliability [J].

- IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11 (2): 989-995.
- [4] Tollefson G, Billinton G, Wacker G, et al. A Canadian Customer Surety to Assess Power System Reliability Worth [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9 (1): 443-450.

收稿日期: 2004-10-10; 修回日期: 2004-11-10

作者简介:

高 效 (1980 -),女,博士研究生,主要从事电能质量、电力经济方面的研究工作; E-mail: gaoxiao_9802@yahoo.com.cn

彭建春 (1964 -),男,博士生导师,从事电力电子、电力市场、电力系统优化运行、规划、及其应用软件的开发等方面的研究工作。

Voltage sags' compensation to customers from power providers

GAO Xiao, PENG Jian-chun

(College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The power supply companies should compensate the customers for much economy loss resulted by the power quality problem. A method compensating for voltage sags to the customers is presented in this paper. Based on the power acceptability curves which reflect the equipment sensitivity to voltage sags of the customers and on the drop costs which denote the customers' economy loss, considering the relation between the frequency and duration of voltage sags and the customers' loss, a reasonable compensating method is provided, by which the power supply companies figure out the compensation. This method evaluates the compensation when the electricity commodity quality is bad, by which the power providers and the customers can make a fair shake.

Key words: voltage sag; system average RMS variation frequency index; ITC curves; drop cost; suffering sag customer ratio

(上接第 5 页 continued from page 5)

A way to eliminate the transient overreach of CVT

ZHANG Yan-peng, LI Yi-quan, HE Ben-teng

(School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 300027, China)

Abstract: In the protection of HVPS (High Voltage Power Supply), the transient effect of CVT time by the fall of voltage in fault is likely to lead to the transient overreach of the protection. The usual approach to solve this problem is time delay which should make protection slowly. In this paper, the deference of the transient overreach time depending on deferent Fourier algorithms in use is found. Based on the cooperation of the deferent Fourier algorithms, a novel approach to eliminate the transient overreach of CVT is proposed. The EMTP simulation results indicate that the effectiveness and rapidness of new approach including the in-zone and out-zone faults.

Key words: CVT; transient overreach; Fourier algorithm of $1\frac{1}{2}$ periods

启 事

继电杂志社网址变更为 <http://www.powerkingdom.com/rep ress>, 欢迎登录访问