

基于 MATLAB/SIMULINK 的 CVT 铁磁谐振过程的仿真研究

马朝华, 杨育霞

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

Simulation of CVT's Ferroresonance Process Based on MATLAB/SIMULINK

MA Chao-hua, YANG Yu-xia

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

摘要: 利用 MATLAB 中的电气系统模块库 POWER-SYSTEMBLOCKSET(PSB)建立了 CVT 的铁磁谐振过程仿真模型, 仿真分析了二次侧短路以及消除该短路激励情况下的 CVT 铁磁谐振过程。仿真结果表明, 不同的短路时刻和消除短路的时刻对 CVT 的铁磁谐振有不同的影响, 甚至还出现了持续的振荡过程, 对设备的绝缘和系统的稳定运行造成不良后果。

关键词: 电容式电压互感器(CVT); MATLAB 仿真
短路时刻; 铁磁谐振

中图分类号: TM864

文献标志码: A

Abstract: Using power system block-set(PSB) of MATLAB, a simulation model of the ferroresonance process of capacitor voltage transformer was built. CVT's ferroresonance processes were analyzed when short circuit was occurred and eliminated in secondary side. The simulation results show that different moment of the short circuit and the elimination short circuit cause different influence to CVT's ferroresonance process, even the continuous oscillation process have appeared, which will do harm to insulation and stability of the system.

Key words: capacitor voltage transformer (CVT); MATLAB simulation; short circuit time; ferroresonance

0 引言

近年来, 电容式电压互感器(CVT) 由于绝缘性能优良、价格低、不与开关断口电容产生串联谐振等优点, 在电力系统中得以广泛应用。然而 CVT 内部的电容和电感元件组成的振荡回路, 在一定激励作用下可能激发铁磁谐振。发生铁磁谐振时, 往往产生

较高的过电压和较大的过电流。谐振电压虽不直接损害其它主设备, 却可导致 CVT 自身故障, 影响二次设备, 严重威胁到系统安全稳定。

到目前为止, 国内外对 CVT 铁磁谐振的理论研究^[1]和数值仿真计算^[2-4]都是在 CVT 简化的等值电路基础上进行的。就 CVT 铁磁谐振的激发来说, CVT 的铁磁谐振常出现在一次合闸, 但在实验室要模拟这种环境显然不太现实。因此, 目前实验室是通过对 CVT 二次端子实施短路又突然消除短路的操作来激发铁磁谐振的。传统的理论认为, 这样激发的铁磁谐振最严重, 在这种极端条件下的试验结果应该涵盖其他。但实际情况并非如此, 由于故障在二次电压波形上出现的时刻和消除故障的时刻都是随机的, 不受 CVT 设计者及使用者的控制, 因此, 有必要对不同的故障时刻和消除故障的时刻进行仿真和分析, 从而全面找出 CVT 出现铁磁谐振的情况, 为今后的 CVT 设计和分析提供一个相对可靠、准确的系统仿真模型, 以提高预测的准确性。

1 CVT 的结构原理

CVT 的基本结构见图 1, 由电容分压器、补偿电抗器、中间变压器、阻尼器、负载组成。额定状态下, 中间变压器工作在其磁化特性的线性段, 输出 $110/\sqrt{3}$ V 的电压供保护和测量仪器使用。当线路投运或者从故障状态下恢复时, CVT 一次电压迅速上升, 从而会引起其中间变压器的铁心迅速饱和, 非线性的铁心与分压电容器发生铁磁谐振, 输出大大高于额定水平的电压, 危害 CVT 的绝缘及二次侧的保护、测量仪器。阻尼器的作用就是抑制铁磁谐振水平, 使之不至于危害绝缘和仪器设备。

收稿日期: 2007-02-05; 修回日期: 2007-04-23

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金项目[高压输电的重要设备-电容式电压互感器(CVT)暂态特性的分析](2006470007)。

作者简介: 马朝华(1980-), 女, 河南新野人, 回族, 硕士研究生, 研究方向为电工理论与新技术。

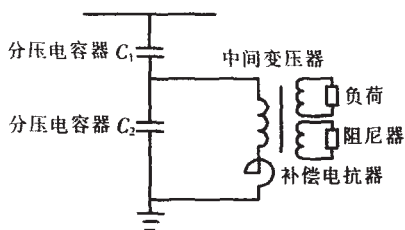


图 1 CVT 的原理接线图

2 CVT 的铁磁谐振现象

2.1 CVT 的谐振机理

尽管 CVT 从一次侧看呈容性, 能够有效地规避电磁式电压互感器(一次侧呈感性)同电源侧开关的断口电容等所构成的串联谐振回路以及电磁式电压互感器抗饱和(耐过电压)能力差的弱点^[5]。但是, CVT 的补偿电抗器和低压电容在设备内部构成了一个完整的谐振回路。在系统操作出现过电压时, 会导致 CVT 的中间变压器铁心饱和。铁心饱和的变压器激磁支路相当于非线性电感, 而非线性电感的存在破坏了 CVT 正常情况下一次和二次之间的线性关系, 使二次电压中激发了不同频率的谐波分量并出现波形畸变。此时, 二次输出电压与一次电压之间已不是正常意义上的降比关系了, 这就是 CVT 的铁磁谐振。铁磁谐振在中间电压回路中会产生大电流和过电压, 其过电压幅值可达 2~3 倍额定电压, 将危害互感器的绝缘, 并且会引起二次侧继电保护的误动作。因此在电容式电压互感器中必须采用阻尼装置对铁磁谐振进行抑制。

2.2 现场判断 CVT 产生铁磁谐振的主要依据

主要依据^[6]: ①若各相的 CVT 的二次输出接成开口三角形, 发生谐振时, 开口三角出线间存在数十伏以上的谐波电压; ②CVT 伴随着明显的铁磁震动噪音; ③谐振 CVT 的二次输出电压的波形产生畸变, 电压表指针持续晃动。对上述 3 种特征综合判断, 才能确定是否发生了铁磁谐振。

3 仿真模型的建立

MATLAB 是一种功能强大的数学计算和仿真分析软件。利用该软件中的电力系统工具箱(PSS)结合 MATLAB 本身所擅长的高精度的数值计算特

点, 可对电力系统的各种运行方式进行精确、直观、高效的仿真^[7,8]。笔者结合 MATLAB(PSS)/SIMULINK 的特点, 对 CVT 的铁磁谐振过程进行了仿真研究^[9,10]。

利用 MATLAB(PSS) 所建立的用于 CVT 铁磁谐振过程仿真分析的系统模型见图 2, 图中的变压器、电源、负荷、电容、电感、开关以及测量模块都是 MATLAB(PSS) 模块库中的标准模型^[11,12]。CVT 中各元件的参数和中间变压器的伏安特性见文[4]。

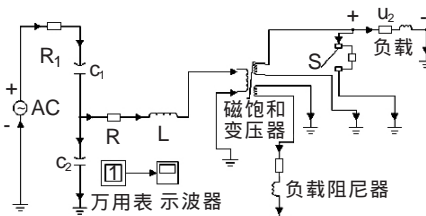


图 2 仿真系统接线

4 铁磁谐振仿真结果及分析

CVT 在使用时, 比较常见的开关操作就是接入系统时的合闸过程。而铁磁谐振试验时采用的是二次短路又开路的激发方式。在 CVT 二次侧短路时, 中间变压器一次线圈中将流过很大的短路电流, 而短路现象消失后, 中间变压器一次线圈中的短路电流不会发生突变。由于全部电流用来励磁, 使中间变压器的电感急剧下降, 从而激发铁磁谐振。并且故障在二次电压波形上出现的时刻和消除故障的时刻都是随机的, 因此应在不同的故障时刻和消除故障的时刻进行仿真, 从而全面找出 CVT 出现铁磁谐振的情况。

4.1 二次短路又突然开路时的过渡过程

图 2 是 CVT 一次侧施加 110 kV 的额定电压, 计算二次侧输出电压 u_2 的铁磁谐振仿真模型。在仿真模型中通过设置电源初相角和开关 S 的开关时间来控制二次电压短路时刻和消除短路的时刻。在仿真模型中其它参数不变的前提下, 分别计算不同短路时刻和消除短路时刻的情况。图 3、4 是其中两种典型的谐振波形。

4.2 铁磁谐振仿真结果及分析

(1) 电压过峰值时短路, 又突然消除短路的二次侧输出电压波形图见图 3。

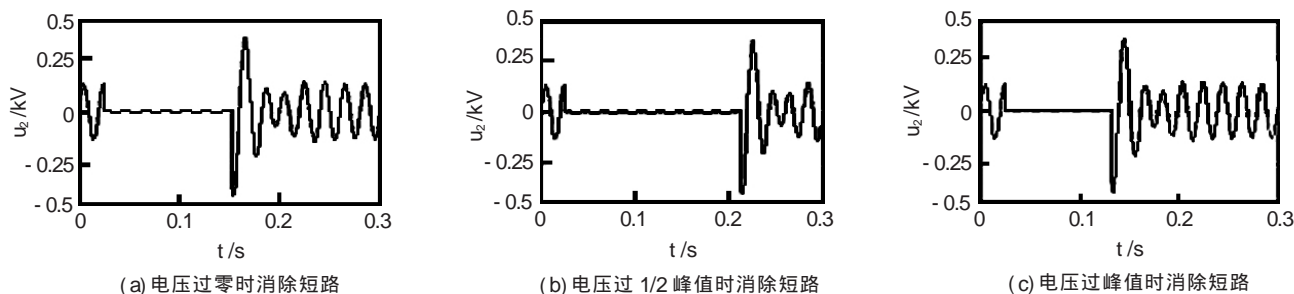


图 3 二次侧短路又突然消除短路的二次侧输出电压

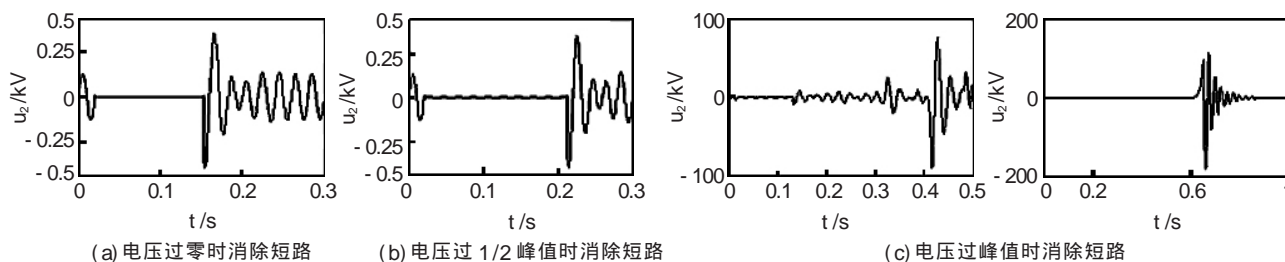


图4 二次侧短路又突然消除短路的二次侧输出电压

从图3可看出,在CVT发生二次侧短路故障后一个周波(20ms)内,在图3(a)~(c)的3种消除短路时刻,二次电压均降至额定电压的5%以下,能满足继电保护快速、准确动作的要求,而在短路消除后3个周波内,二次电压均能恢复正常波形。

(2)电压过零时短路,又突然消除短路的二次侧输出电压波形炉图见图4。

从图4可看出,在CVT发生二次侧短路故障后一个周波(20ms)内,图4(a)、(b)为二种消除短路时刻的情况下,二次电压均降至额定电压的5%以下,能满足继电保护快速、准确动作的要求,而在短路消除后3个周波内,二次电压均能恢复正常波形。而图4(c)却不同,在二次电压过零时短路同时又在过峰值时消除短路的情况下(前一幅为0~0.5s的波形图,后一幅为0~1s的波形图),在短路消除后出现了持续的振荡过程。起初的谐振过电压幅值达到了额定电压的3倍,但经过几个周波后又出现了更为严重的铁磁谐振现象,谐振过电压幅值达到了额定电压的十几倍。振荡过程持续时间达0.8s,足以引起二次侧高速继电保护误动。

仿真计算时发现,通过二次短路又消除短路这种方式所激发的铁磁谐振,谐振过电压幅值达到了额定电压的3倍,而且出现了持续的振荡过程(见图4(c)),此时的谐振过电压幅值达到了额定电压的十几倍,对设备的绝缘和系统的稳定运行不利。随着短路时刻和消除短路时刻的变化,同样可以激发出铁磁谐振,仿真结果与图3基本相似。

5 结论

(1)利用MATLAB软件中的电力系统工具箱可准确、直观、高效地仿真CVT铁磁谐振过程,其内建的饱和和变压器模型充分考虑了铁心线圈的铁损、漏抗的作用,在仿真中较真实地模拟了实际的中间变

压器的特性,从而取得了更准确的仿真结果,实现了对CVT铁磁谐振现象的准确预测。

(2)由仿真结果可知:在二次短路又消除短路的铁磁谐振激发方式下,不同的短路时刻和消除短路的时刻对CVT的铁磁谐振有影响,而且在二次电压过零时短路、又在其过峰值时消除短路的情况下,出现了持续的振荡过程。

参考文献:

- [1] 谢广润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [2] 王德忠. 电容式电压互感器准确度的研究[J]. 电力电容器, 1998(1): 5-13.
- [3] 李红斌, 刘延冰, 叶国雄, 等. 电容式电压互感器铁磁谐振的数值仿真[J]. 高压电器, 2004, 40(2): 124-125, 128.
- [4] 穆淑云. 电容式电压互感器(CVT)暂态性能的仿真计算[D]. 西安: 西安交通大学, 2000.
- [5] 赵翠宇, 管益斌. 电压互感器与开关断口电容铁磁谐振的分析与预防[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(2): 72-74.
- [6] 房金兰, 蔺跃宏, 王香芳. 速饱和阻尼器在CVT中的应用研究[J]. 电力电容器, 1998(1): 1-4.
- [7] 张玲, 郝春娟. 电压互感器铁磁谐振过电压及防止[J]. 电力自动化设备, 2000(3): 29-31.
- [8] 王德忠, 王季梅. 电容式电压互感器误差特性的研究[J]. 高压电器, 2001, 37(1): 5-9.
- [9] 杜志叶, 阮江军, 王伟刚. 应用MATLAB/SIMULINK仿真研究铁磁谐振[J]. 高电压技术, 2004, 30(9): 30-32, 40.
- [10] 黄绍平, 李永坚. 基于MATLAB的变压器空载合闸瞬变过程仿真研究[J]. 继电器, 2004, 32(8): 19-21.
- [11] TZIOUVARAS D A, McLAREN P. Alexander (8) George. Mathematical Models for Current, Voltage, and Coupling Capacitor Voltage Transformers [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2000, 15(1): 62-72.
- [12] MARTI J R, LINARES L R. Dornmel HW Current Transformers and Coupling-capaction Voltage Transformers in Real-time Simulation [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1997, 12(1): 164-168.

(上接第208页)

(3)超高速开关装置的合理应用,可以节约电力系统建设的投资,可以节能降耗,可以提高电能质量及供电可靠性。

(4)超高速开关装置具有优良的限流特性,可以解决电力系统中低压领域的限流问题;为电力系统及电力主设备的安全保障提供了全新的手段。

参考文献:

- [1] 李品德. 一种实用化的混合式高压限流开断器[J]. 西北电力技术, 2000, 28(2): 24-27, 55.
- [2] 李品德. 电力系统故障电流限制器的应用和研究现状[J]. 高压电器, 2000, 36(3): 31-36.