

电源滤波器抑制阻尼振荡波的试验研究

由 建¹, 刘 洋¹, 井延伟², 谷雪松¹
(1. 华北电力大学 电气工程学院, 河北 保定 071003;
2. 华北电力大学 自动化系, 河北 保定 071003)

摘要: 针对变电站一次回路开关操作产生的暂态干扰, 分析电源滤波器的插入损耗和特征阻抗, 进行电源滤波器抑制阻尼振荡波抗扰度试验, 研究了电源滤波器在抑制开关操作引起的电磁干扰方面的作用, 为在变电站电磁环境内选用电源滤波器提供了参考。

关键词: 开关操作; 阻尼振荡波; 电源滤波器

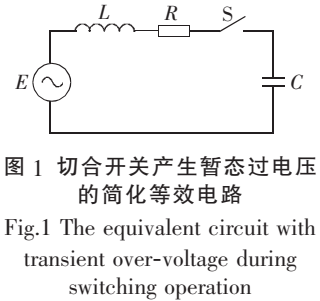
中图分类号: TM 712; TN 713 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2006)04-0047-03

0 引言

电力系统作为一个强大的电磁干扰源, 在运行时会产生各种电磁干扰。运行在电力系统中的各种以微电子和计算机技术为基础的自动化设备如继电保护、远动、通信设备等是干扰的敏感者, 极易受到干扰影响而出现误动、出错等不正常工作状态, 甚至会造成元件或设备的损坏, 而为这些保护、测控装置供电的工作电源大部分是从电网中交流 220 V 变换为直流供电, 因此 220 V 交流电源上的暂态干扰就可通过电源线^[1-2]传导进这些装置内部, 所以抑制电源的干扰是二次设备稳定可靠运行的基本前提^[3]; 针对变电站电磁环境, 经国家经贸委 2000.11.03 批准, DL/Z 713-2000《500 kV 变电所保护和控制设备抗扰度要求》已作为电力行业编制指导性技术文件执行, 本文针对抗扰度试验项目 GB/T 17626.12-1998 振荡波抗扰度试验中的关于电源端口的抗扰度, 利用电源滤波器作为抑制高频干扰的措施对电源滤波器进行性能研究。

1 由开关操作引起的暂态干扰

一次回路中, 当开关进行切合操作时, 引起回路的状态变化, 从一种稳定状态经过振荡达到新的稳定状况从而产生暂态过电压。图 1 所示为简化的等值电路。当闭合开关 S 时的振荡频率^[4]为



$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

如果回路参数 L 和 C 的数值都比较小, 如切合小电容负载等, 则产生频率很高的振荡。试验结果表明, 用隔离开关切合空载母线时, 开关触头间将产

生电弧重燃, 在回路中形成一系列高频振荡。分闸操作时, 振荡幅值随着重燃次数的增加而增大; 合闸操作时则相反, 振幅随着电弧重燃次数的增加而降低。

阻尼振荡波^[5]是高压隔离开关和断路器操作时, 所产生的暂态过程中最有代表性的波形。操作时由于触头间电弧的熄灭和复燃, 在被断开或充电的母线(短引线)上, 因电压突变而引起波前陡峭的暂态波。此暂态波在传播过程中, 因电路特性阻抗不匹配而引起反射, 形成高频阻尼振荡波。图 2 显示在保北 500 kV 变电站内实测的用隔离开关断开和闭合空载长母线时, TA 的共模电压变化的一段过程。

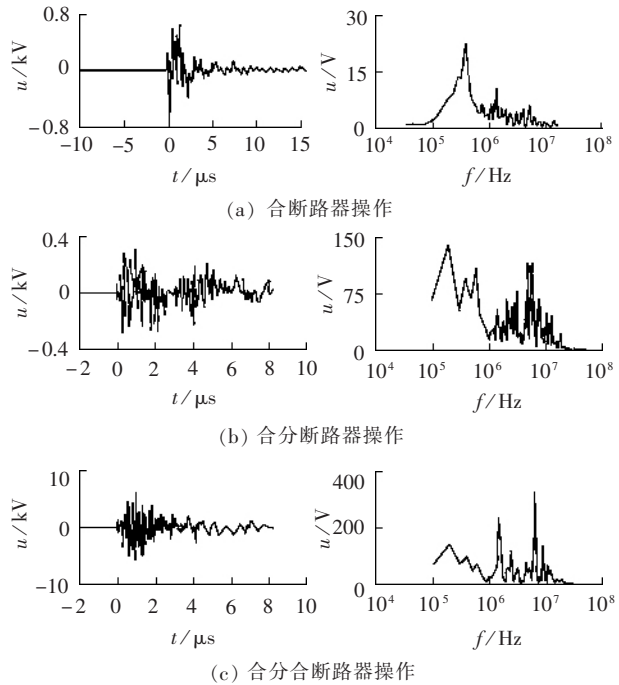


图 2 开关操作引起电流互感器共模电压
Fig.2 Common-mode voltage of CT during switching operation

在这样高频率下一次回路可以通过 3 种方式耦合到 220 V 交流电源：

a. 一次回路中的暂态高频振荡通过静电感应

- 在 220V 交流电源产生共模干扰电压；
- b. 高频电流产生的交变磁通和 220V 交流电源回路交链,在回路中引起电磁感应电势；
- c. 一次回路通过配电变压器的耦合方式进入 220V 交流电源回路。

图 3 绘出耦合方式的示意图(图中 u 为瞬态电压)。实际上,常常不是只有 1 种耦合方式起作用,而是几种耦合方式同时存在,共同产生干扰。

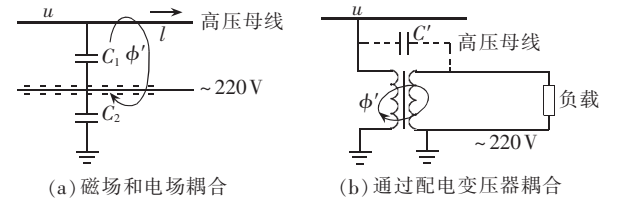


图 3 母线暂态电压耦合方式

Fig.3 Coupling modes of transient voltage on busbar

2 电源滤波器特性研究

2.1 插入损耗

文献[6]给出了商用电源滤波器标准,电路原理图如图 4 所示。

插入损耗是电源滤波器的最主要的指标,依据文献[7]标准,实测了电源滤波器的共模(CM)插入损耗和差模(DM)插入损耗特性,如图 5 所示(图中 η 为插入损耗)。因为插入损耗是在 50 Ω 系统内测得的,因此和实际使用时的效果有一定的差别,试验中,为了和插入损耗的负载阻抗一致,也采取了 50 Ω 负载。从共模插入损耗图可见,在 50 Ω 系统下,插入损耗的最大值均在 1~10 MHz 附近,可以预测在此处干扰电压能够得到最大衰减。

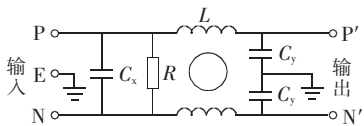


图 4 电源滤波器原理图
Fig.4 Principle diagram of power line filter

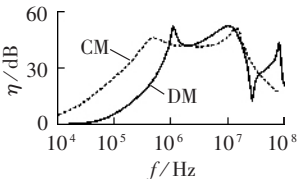


图 5 电源滤波器插入损耗
Fig.5 The insertion loss of power line filter

2.2 特征阻抗

滤波器的特征阻抗通常被认为是等于 L/C , 其中 L 是以亨利(Henry)为单位的全系列电感,而 C 是以法拉(Farad)为单位的总旁路电容。特征阻抗是以欧姆(Ohm)为量度的。

采用网络/频谱/阻抗分析仪(Agilent 4395A)测量电源滤波器的阻抗特性,表示式为

$$Z_C = \sqrt{Z_{open} Z_{short}}$$

式中 Z_{open} 是开路阻抗; Z_{short} 是短路阻抗。

可得出图 6、图 7 特征阻抗图。

由图 6 可见,输入端口在 400 kHz 时共模特征阻抗有最大值,输出端口在 10 MHz 时特征阻抗达到最小值,因此,在这 2 个频率点的反射系数[8]最大,插入损耗相应也最大,这和共模插入损耗曲线图 5

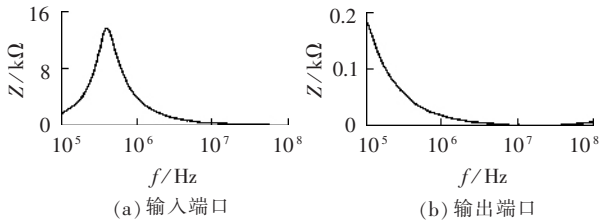


图 6 共模特征阻抗

Fig.6 Characteristic impedance of common-mode

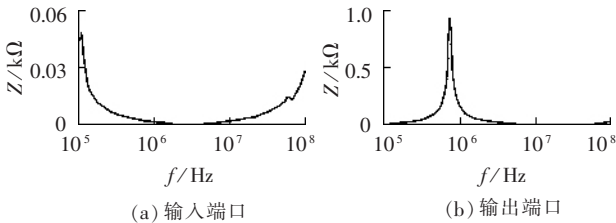


图 7 差模特征阻抗

Fig.7 Characteristic impedance of differential-mode

相对应;由图 7 可见:输入端口在 3 MHz 有最小值,输出端口在 1 MHz 附近有最大值,因此,在这 2 个频率点附近插入损耗可能最大,这还要看 2 个端口的互相影响程度,从图 5 差模插入损耗曲线可见,在 1 MHz 和 10 MHz 有最大衰减,所以输入端口和输出端口的相互影响较大。对共模等效电路而言,特征阻抗主要由 L 和 C_y 起作用,对差模等效电路来说,主要由 C_x 起作用。因此,可根据阻抗特性判断是哪些器件对电源滤波器起主要作用,这样才能有效地针对共模干扰或差模干扰设计电源滤波器。

3 试验研究

3.1 试验等级

试验信号采用 EMS 61000-12B 阻尼振荡波发生器,试验等级 3 级,发生器内阻 200 Ω ($\pm 20\%$),负载阻抗 50 Ω ,试验参数如表 1 所示。

表 1 试验波形参数

Tab.1 Parameters of the test waves

波形参数	共模	差模
试验电压/kV	2.5	1
振荡频率/MHz	1	1
重复率/(次·s ⁻¹)	400	400
脉冲持续时间/s	2	2
群间隔时间/s	1	1

3.2 共模抗扰度试验

图 8、9 为不加滤波器和加滤波器负载两端电压波形。

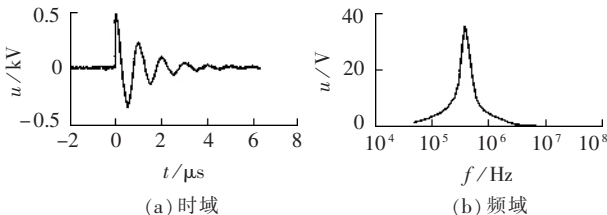


图 8 不加滤波器负载两端波形

Fig.8 Waves between load sides without filter at common mode

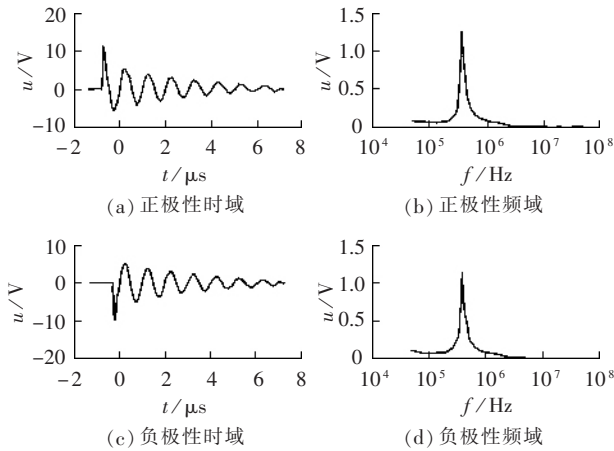


图 9 加滤波器后负载两端波形
Fig.9 Waves between load sides
with filter at common mode

由图可见:电源滤波器对正负极性阻尼振荡波的共模抑制相同,波形变化不大,但幅值有较大的变化,通过滤波器后幅值衰减了近 34 dB,在频率点 400 kHz 处,有 30 dB 的衰减。和插入损耗在此处的值有差别,主要是发生器内阻为 200 Ω 时的反射系数 0.75,比 50 Ω 情况下反射系数 0.93 小,导致插入损耗降低,因此,电源滤波器和使用环境的电源和负载阻抗有相当大关系^[9-10]。

3.3 差模抗扰度试验

图 10,11 为不加滤波器和加滤波器负载两端电压波形。

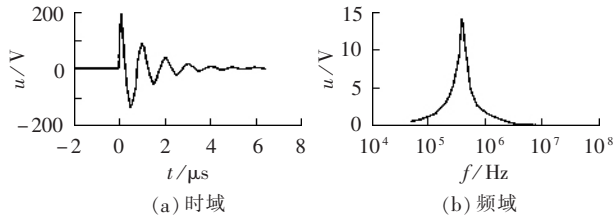


图 10 不加滤波器负载两端波形
Fig.10 Waves between load sides
without filter at differential mode

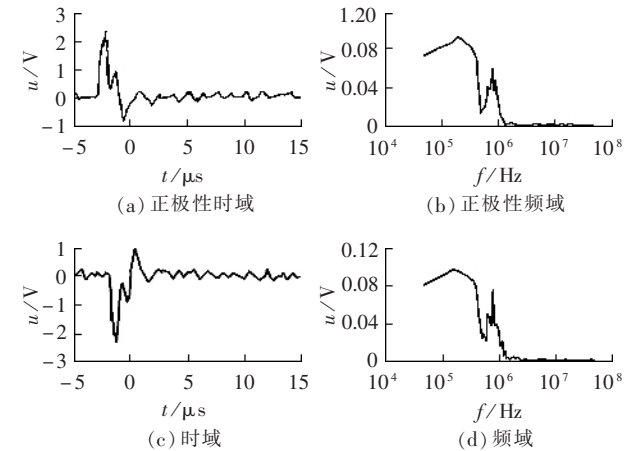


图 11 加滤波器后负载两端波形
Fig.11 Waves between load sides
with filter at differential mode

由图可见:电源滤波器对正负极性的阻尼振荡波的差模抑制相同,但波形有较大变化,电压最大幅值衰减了 40 dB,在 400 kHz 时电源端口反射系数 0.95,负载端口反射系数为 0.9,均达到最大,因此在此处的插入损耗最大,抑制干扰的能力就越强,这从频谱图上也可清晰地看出,在此处的干扰幅值最大,而通过滤波器后衰减了近 57 dB。

4 结语

本文在对电源滤波器的插入损耗和特征阻抗分析研究基础上,通过抑制开关操作产生的阻尼振荡波的试验,研究了制造商给出的插入损耗和本身阻抗特性的关系及抑制阻尼振荡波的作用,为在变电站电磁环境内选用电源滤波器提供了几点参考:

- a. 变电站开关操作产生的电磁干扰频率基本在 100 kHz~10 MHz;
- b. 根据使用环境的电源和负载阻抗来选用;
- c. 对极性不敏感。

参考文献:

[1] 蔡敏,吴蓉辉. 变电站二次设备抗干扰技术的探讨[J]. 湖北电力,2004,28(6):5-7.
CAI Min,WU Rong-hui. Discussion on the anti-inference technology for secondary equipment of substation [J]. Hubei Electric Power,2004,28(6):5-7.

[2] 张盛旺,林风. 电力系统微机保护装置的抗干扰措施[J]. 电力自动化设备,2005,25(2):93-96.
ZHANG Sheng-wang,LIN Feng. Anti-interference measures in microprocessor-based protective equipment of power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(2):93-96.

[3] 杨大欧,李霆. 分散式布置变电站的二次设备抗干扰特性研究[J]. 东北电力学院学报,2003,23(4):48-52.
YANG Da-ou,LI Ting. Research in anti-interference of secondary equipments in decentral arrangement substations[J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering,2003,23(4):48-52.

[4] 贺景亮. 电力系统电磁兼容[M]. 北京:水利电力出版社,1993.

[5] 国家质量技术监督局. GB/T17626.12-1998 电磁兼容试验和测量技术振荡波抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

[6] American National Standards Institute. ANSI C63.13-1991 American national standard guide on the application and evaluation of EMI power-Line filters for commercial use [S]. United States of America:Institute of Electrical and Electronics Engineers,1991.

[7] 国家标准局. GB/T7343-1987 10kHz~30MHz 无源无线电干扰滤波器和抑制元件抑制特性的测量方法[S]. 北京:中国标准出版社,1987.

[8] WANG Shuo,LEE F C,ODENDAAL W G. Using scattering parameters to characterize EMI filters[C]//**Power Electronics Specialists Conference,2004 IEEE 35th Annual.** Aachen,Germany:IEEE,2004:297-303.

[10] SHENG Ye,EBERLE W,LIU Yan-fei. A novel EMI filter design method for switching power supplies[J]. **IEEE Trans. on Power Electronic**,2004,19(6):1668-1678.

(责任编辑:柏英武)

[9] GARRY B,NELSON R. Effect of impedance and frequency variation on insertion loss for a typical power line filter[C]//**IEEE International Symposium on Electro-magnetic Compatibility.** Denver,CO: [s.n.],1998:

作者简介:
由建(1978-),男,河北定州人,硕士研究生,研究方向为电力系统电磁兼容(E-mail:tianwyuj@163.com)。

Experimental research on power line filter suppressing damp oscillatory wave

YOU Jian¹,LIU Yang¹,JING Yan-wei²,GU Xue-song²

(1. School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
2. Department of Automation, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The switching operation in substation primary circuit will cause transient interference. Both the insertion loss and characteristic impedance of power line filter are analyzed and its suppression performance of damp oscillatory wave is studied with experiment. Its effect in suppressing the electromagnetic interference caused by switching operation is investigated,which provides reference for power line filter selection in electromagnetic interference circumstance of substation.

Key words: switching operation; damp oscillatory wave; power line filter