

提高电源滤波器插入损耗措施的研究

孙 振¹, 耿克强², 由 建², 祝盼江³

- (1. 保定电力职业技术学院 电气工程系, 河北 保定 071051;
2. 石家庄供电公司, 河北 石家庄 050051;
3. 保定市特种设备监督检验所, 河北 保定 071000)

摘要: 针对电源滤波器插入损耗受端接负载的影响, 在使用时很难匹配负载, 导致插入损耗和标准给出的性能相差很大。为提高滤波性能, 对电源滤波器端接负载情况下的共模和差模等效电路进行分析, 提出了利用并联电容或串联电感等补偿元件提高插入损耗的措施, 依据戴维南定理给出了连接补偿元件后的近似等效电路。通过分析和实验验证了并联电容阻抗是负载阻抗的 $1/N$ 或串联电感是负载阻抗的 N 倍时, 插入损耗将提高 N 倍估算方法的正确性。

关键词: 插入损耗; 共模电感; 差模电容

中图分类号: TN 713

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)01-0071-03

0 引言

变电站内电磁环境十分复杂, 电磁兼容是必须考虑的问题^[1-2]。要保证变电站二次设备的正常工作, 必须有效地抑制电源线的传导干扰, 这是二次设备稳定可靠运行的基本前提^[3]。电源滤波器用来降低电源线上的传导干扰^[4-5], 其抑制传导干扰的能力不仅取决于电源滤波器本身的结构, 而且和使用环境的源阻抗和负载阻抗有很大关系, 文献^[6-8]通过试验说明了源和负载阻抗的大小对插入损耗曲线有很大的影响。用于抑制电源线对用电设备传导干扰的电源滤波器通常把电源线的阻抗作为源阻抗, 设计者总是尽力增大阻抗失配, 使到达负载端的传导干扰的能量最小。文献^[9-11]中标准所规定的表示抑制干扰能力的方法是用源和负载为 $50\ \Omega$ 时的插入损耗曲线, 然而实际使用中, 源和负载并不是 $50\ \Omega$, 因此很难依据此插入损耗曲线来选择电源滤波器, 虽然电源滤波器品种繁多, 在选用时能够提供多种方案, 然而实际在使用上并不一定能够满足希望得

到的衰减量, 因此必须采取措施使现有的滤波器达到所需的衰减要求。

1 整改措施分析

选择的滤波器电路是一级滤波, 其结构见图 1。

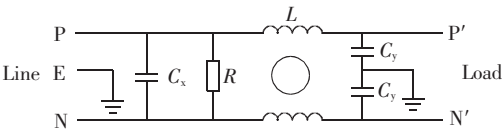


图 1 一级滤波电路

Fig.1 One order filtering circuit

为研究方便, 取源和负载均为 $50\ \Omega$ 的情况, 具体的测量设备内阻的方法可以用插入损耗的方法, 见文献^[12], 如果未能达到所需要的性能, 需采取必要的措施对其进行整改, 这里所说的整改不是结构的调整, 而是在滤波器输出端口加 1 个或 2 个抑制元件, 以使其满足所要求。共模等效电路见图 2。

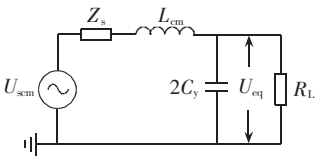


图 2 共模等效电路

Fig.2 Common mode equivalent circuit

根据戴维南定理,从 R_L 两端看过去的等效电路可以看作是等效电压源 U_{eq} 和等效电阻串联组成,如图 3 所示,等效电阻为当 U_{scm} 为零时,从 R_L 两端看过去的电路的输入阻抗,因为共模干扰的频率在高频 1 MHz 附近,在高频段共模电容 C_y 的阻抗很小,可近似看作等效阻抗,当采用串联共模电感提高插入损耗的方法时,串联共模电感后,等效电阻相对于负载阻抗 R_L 与共模电感的阻抗之和和很小,因此可以忽略不计,串联共模电感后的等效电路如图 4 所示。

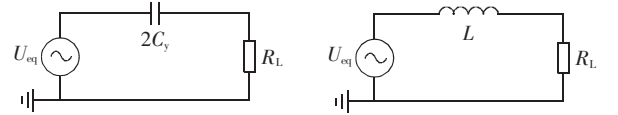


图 3 近似共模等效电路 图 4 串联共模电感后等效电路
Fig.3 Approximate common mode equivalent circuit Fig.4 Equivalent circuit with serial common mode inductor

从图 4 可看出,共模电感两端的噪声电平和负载 R_L 两端的噪声电平和它们的阻抗成正比,所以要使 R_L 两端在加入共模电感后的噪声电平衰减为 $1/N$,则串联共模电感 L 的阻抗近似是 R_L 的 N 倍。

对差模等效电路图 5,因为共模电感的漏感 L_e 很小,差模电容 C_x 比共模电容 C_y 大很多倍,所以在差模干扰频段,根据戴维南定理,从 R_L 两端看去,等效阻抗可近似看作 C_x 的阻抗,如图 6 所示,因为 C_x 较大,阻抗很小,当采用并联电容提高插入损耗的方法时,相对于并联电容和负载阻抗 R_L 的并联阻抗可忽略,并联电容后的等效电路如图 7 所示,从电路图看出,要想使 R_L 两端衰减为并联电容前的 $1/N$,则并联电容 C 的阻抗近似是 R_L 的 $1/N$ 。

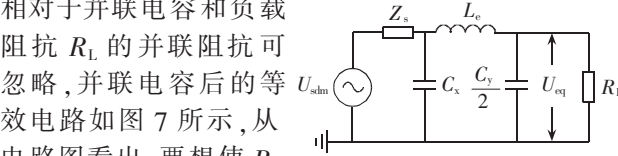


图 5 差模等效电路 图 6 近似差模等效电路 图 7 并联电容后等效电路
Fig.5 Differential mode equivalent circuit Fig.6 Approximate differential mode equivalent circuit Fig.7 Equivalent circuit with parallel capacitor

2 试验验证

实测共模插入损耗曲线如图 8 所示(实线为实际曲线,虚线为期望曲线)。假如,在 1 MHz 时共模衰减量不够,期望达到 80 dB,则可以采用串联共模

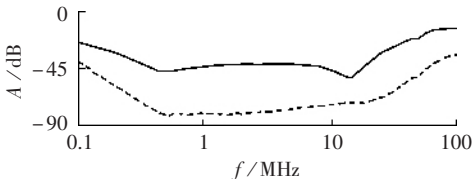


图 8 实际和期望的共模插入损耗
Fig.8 Actual and expected insertion losses

电感或并联电容的措施,但必须保证在此频点的阻抗能够达到最大失配,即感抗幅值比负载阻抗要大,容抗幅值比负载阻抗要小。

实际和期望相差 35 dB,即相差 56.2 倍,对于串电感而言,在此频点的幅值应该不小于 $50 \times 56.2 = 2810(\Omega)$,可以自制电感量为 $2810/2\pi f = 0.6(mH)$,测量的阻抗频谱如图 9 所示,在 1 MHz 幅值为 3700 Ω , $3700/50 = 74$,即 37 dB,从图 8 可看出加入共模电感后提高了滤波性能。

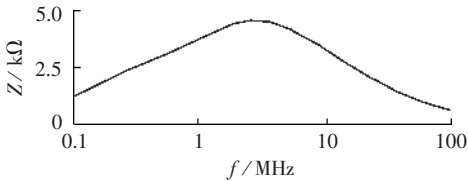


图 9 电感的阻抗频率特性
Fig.9 Impedance-frequency characteristic of inductor

由于 C_y 的大小决定了漏电流的大小,因此并联电容会增大漏电流,所以此方法在没有漏电流限制下可以采用而且体积小。例如,并联电容为 0.05 μF ,阻抗特性见图 10。

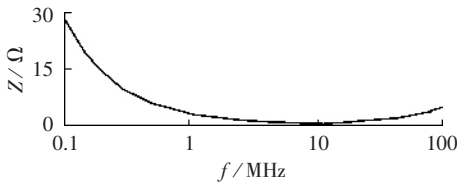


图 10 电容的阻抗频率特性
Fig.10 Impedance-frequency characteristic of capacitor

在 1 MHz 时电容阻抗约为 4 Ω ,是 R_L 的 $4/50 = 1/12.5$,加入电容后在此处损耗值将增加 $20\lg 12.5 = 22$ dB。实测如图 11 所示(实线为整改前,虚线为整改后),和实际计算相差不大。

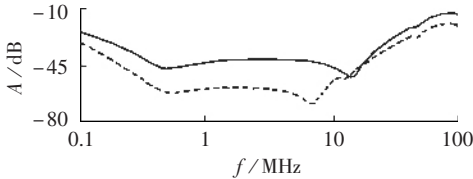


图 11 整改前后共模插入损耗
Fig.11 Common mode insertion losses before and after adjusting

对于差模等效电路,整改前如图 12 实线所示,要提高性能,通过并联电容实现,初步估测电容值,对

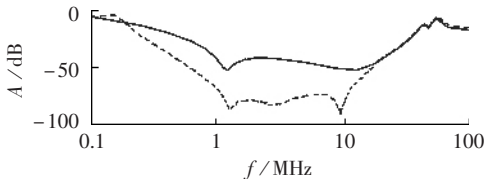


图 12 整改前后差模插入损耗
Fig.12 Differential mode insertion losses before and after adjusting

于 1 MHz 处,要把性能提高 25 dB(18),所需并联阻抗为 $50/18=2.7$,电容的阻抗特性见图 13,在 1 MHz 时为 $2\ \Omega$,整改后测得的性能如图 12 虚线所示。

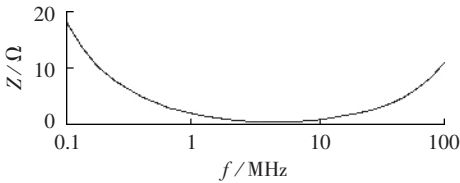


图 13 相间电容的阻抗频率特性
Fig.13 Impedance-frequency characteristic of inter-phase capacitor

3 结论

本文在分析电源滤波器端接负载情况下的共模和差模等效电路,依据戴维南定理给出了连接补偿元件后的近似等效电路,提出了提高插入损耗的补偿措施以及补偿元件参数的估测方法,并通过实验验证了分析的正确性,在改善滤波效果方面具有较好的工程应用价值,同时也有助于电源滤波器的设计和选用。

参考文献:

[1] 郭雄,张文亮. 电力系统电磁兼容的技术问题[J]. 高电压技术, 1997,23(2):53-55.
WU Xiong,ZHANG Wen-liang. Technical problems on EMC in power system[J]. High Voltage Engineering,1997,23(2):53-55.
[2] 林福昌,姚宗干,蒋政龙. 变电所强电设备与弱电线路的电磁兼容问题[J]. 中国电力,1996,29(1):37-40.
LIN Fu - chang , YAO Zong - gan , JIANG Zheng - long. Electro - magnetic compatiblness between substation equipment and secondary circuits[J]. Electric Power,1996,29(1):37-40.
[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] 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-interference technology for secondary equipment of substation[J]. Hubei Electric Power,2004,28(6):5-7.
[5] 张盛旺,林凤. 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.
[6] GARRY B,NELSON R. Effect of impedance and frequency variation on insertion loss for a typical power line filter[C]// IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility.Denver, USA:IEEE,1998:691-695.
[7] SHENG Ye,EBERLE W,LIU Yan-fei. A novel EMI filter design method for switching power supplies [J]. IEEE Transactions on Power Electronic,2004,19(6):1668-1678.
[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: [s.n.],2004:297-303.
[9] International Electrotechnical Commission. CISPR17:1981 Methods of measurement of the suppression characteristics of passive radio interference filters and suppression components[S]. Geneva: International Electrotechnical Commission,1981.
[10] 国家标准局. GB/T 7343-1987 10 kHz~30 MHz 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.
[11] American National Standards Institute. ANSI C 63.13-1991 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.
[12] ZHANG Dong-bing,CHEN D Y,NAVE M J,et al. Measurement of noise source impedance of off - line converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2000,15(5):820-825.
(责任编辑:李 玲)



孙 振

作者简介:

孙 振(1977-),男,河北沧州人,助教,主要从事电力拖动方面的教学工作(E-mail: tianwyouj@163.com);
耿克强(1978-),男,河北石家庄人,助理工程师,主要从事电力系统设计方面的工作;
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。

Research on measures to increase insertion loss of power line filter

SUN Zhen¹,GENG Ke-qiang²,YOU Jian²,ZHU Pan-jiang³

(1. Baoding Technical College of Electric Power,Baoding 071051,China;
2. Shijiazhuang Power Supply Company,Shijiazhuang 050051,China;
3. Baoding Special Equipment Supervision & Testing Center,Baoding 071000,China)

Abstract: As the insertion loss of power line filter is affected by terminal impedance,it is difficult to match,which causes great difference from the insertion loss stipulated in standard. To improve its filtering performance,the common and differential mode equivalent circuits of power line filter with terminal impedance are analyzed,and measures to increase insertion loss with parallel capacitor or serial inductor are provided. The approximate equivalent circuit with connected compensation component according to Thevenin theorem is put forward. Analysis and experiments validate that the insertion loss is improved by N times when the impedance of parallel capacitor is $1/N$ of load impedance or the impedance of serial inductor is N times of load impedance.

Key words: insertion loss; common mode inductor; differential mode capacitor