

# 直流输电系统PLC噪声滤波器的设计

曾庆蕊

国网内蒙古东部电力有限公司检修分公司 ±500kV伊敏换流站

**[摘要]**直流输电系统为大规模远距离传输电能和大区电网互联提供了技术上可靠、经济上可行的方法,随着我国电力系统的快速发展和西电东送战略的实施,直流输电技术得到了广泛应用,我国已成为世界上直流输电应用前景最为广阔的国家。直流输电系统在进行电网互联以及电能的远距离输送方面具有经济上以及技术上的优势,在我国电力系统不断发展的背景下,直流输电系统得到了良好的推广与运行,国内高压直流(HVDC)输电系统的建设前景广阔,其中,直流换电站PLC(电力线载波)滤声器技术的设计应用也越来越被关注。对直流换流站交流PLC噪声滤波器的设计、评估整治提出了相应的建议措施。

**[关键词]**直流输电系统;滤波器;设计

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.2182

## 一、PLC噪声滤波器工作原理

如果换流器产生的PLC干扰噪声过大,可以考虑加装PLC噪声滤波器来减小干扰噪声。这种滤波器既可以减小载波通信频段(PLC)的干扰噪声,也可以减小无线电频段(黠)频段的干扰噪声,因此称为PLC/RI噪声滤波器最为合适,但常被简称为PLC噪声滤波器。两个因素影响着PLC噪声滤波器的滤波效果:一个是作为换流变压器负载的PLC噪声滤波器输入阻抗,另一个是PLC噪声滤波器内部的分压效果。PLC噪声滤波器是由一系列高阻抗的串臂元件和低阻抗的并臂元件组成,其中串臂上阻波器电感多带并联调谐装置,并臂电容不带或只带串联调谐装置。这些元件组成了一个电压分压器,通常PLC噪声滤波器的输出电压 $V_b$ 要低于输入电压 $V_a$ ,至少在PLC频段内如此。设计PLC噪声滤波器时需要注意不要使其PLC频段外的输出电压 $V_b$ 过大。因为串臂阻波器电阻的原因,PLC噪声滤波器会产生损耗,因此,设计PLC噪声滤波器时需要在滤波器损耗和滤波效果间进行平衡。

PLC噪声滤波器的负载阻抗包括以下方面:谐波滤波器、无功控制元件、交流开关场和交流出线,其滤波效果与这些相连元件的阻抗密切相关。然而,在PLC频段内,很难根据第一性原理确定这些元件精确的阻抗值,其值不是固定不变的。这些元件在PLC频段的阻抗值与其在基频下的阻抗值没有任何联系。以并联电容箱为例,其高频阻抗主要由电容器和内部连线的离散电容决定。高频下,谐波滤波器中的电阻会因为线圈绕组而呈感性,电感器甚至会呈容性。在PLC频段内,分布式布局的开关场和谐波滤波器可能会在某些频率下发生谐振,这些谐振会极大地影响PLC噪声滤波器的负载阻抗值及PLC噪声从PLC噪声滤波器到交流出线间的传导。在某些频率下发生谐振时的PLC噪声水平会极大地偏离没有谐振情况下的噪声水平。这些谐振主要受与系统相连的并联电容器和谐波滤波器影响,当电容器和谐波滤波器为了满足基频下

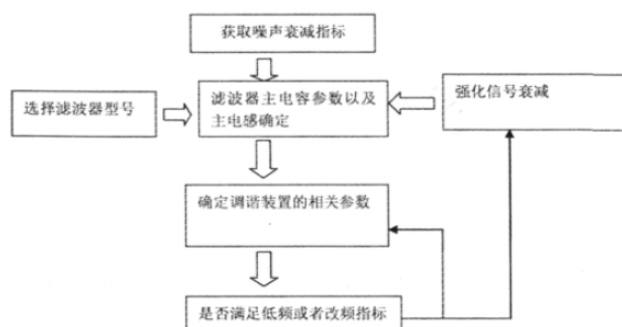
的无功要求而不断投切时,直流场的布局就会不断地发生变化,所以进行PLC噪声滤波器设计时应考虑到直流场的这种变化,避免出现直流场和PLC噪声滤波器间的不良谐振。

## 二、PLC噪声滤波器设计

在直流输电系统换流阀进行关断以及导通过程中会产生电压突变,换流器会产生高频以及低频分量的谐波,所谓PLC电线载波噪声即是大于20k赫兹的高频分量谐波。PLC高频噪声沿着直流电路,或者沿着换流变压器的直流电网实现噪声的传导,在一定的载波频段范围内对通讯造成干扰。

1、PLC噪声滤波器拓扑设计。EMI滤波器有着与PLC滤波器相似的特点,二者都是为处理高频型号而产生的,EMI主要是0.15m至30m赫兹频段,PLC为30至500k赫兹。实际上,PLC噪声滤波器为LC无源网络,设计PLC滤波器时可以应用EMI滤波器阻抗原理。在匹配PLC滤波器拓扑时需选择适合的函数传递以及使用环境。在确定滤波器电路结构时,主要基于的原则包括:电容器与源阻抗或者较高的负载阻抗实现并联,电抗器与负载阻抗或较低的源阻抗串联,保证在滤波器的LC电路在保证谐振滤波上的特性,对负载阻抗一个像滤波器特性方面进行足够程度的削弱或者补充<sup>[1]</sup>。

2、设计PLC噪声滤波器的相关步骤。从PLC噪声滤波器工作原理以及具有特征出发,制定了PLC噪声滤波器的流程及步骤图。



关于PLC噪声滤波器衰减。PLC噪声滤波器衰减能够用一个等式进行确定，这一等式表示为 $L_a=L_m-L_1$ ，其中， $L_1$ 表示的是测试点位置的噪音值， $L_m$ 表示的是在测试过程中回路位置的高频噪声。直流输电功率按照规定须保持在0.1至1.1取值范围中，而噪声限值则不能超过相关规定的标准。直流输电系统可以在实际测试的条件下，在耦合位置处获取高频噪声，而在拟建的直流输电系统中无法进行实际测试时，可以通过多种途径获得PLC噪声频谱。可以利用EMTDC或者PSCAD多种仿真手段构建换流站，在系统稳定运行情况下分解电压波形获得高频噪声参数；另外，也可以在换流阀的脉动电流换流桥位置，利用相关的修正公式对噪声源的强度进行计算。确定PLC噪声滤波器调谐参数以及主参数对于滤波器的设计至关重要。确定单级LC滤波器主参数，如果负载阻抗以及噪声源组的阻抗是电阻形式，各个数值保持一致，在匹配阻抗的条件下可以借用 $f_0=1/2\pi LC$ 公式进行确定。

在PLC噪声滤波系统中，单级LC滤波器为40dB/10倍的衰减频。在调谐装置的设计中，PLC噪声滤波器调谐装置中并臂以及串臂的设计十分重要。并臂调谐装置对滤波器高频段的频率点特点产生影响；调谐串臂对高频段的整体特性产生影响，在设计中可以发现，滤波器如果带阻，则具有阻抗相关特性。在该设计中，串臂的主回路主要由构件C1以及L共同构成，C1组成调谐支路；L代表的是串臂结构中的主电感；串臂结构的调谐回路，即副回路，主要由LS、RS以及CS共同构成。完成串臂调谐结构之后，一旦PLC噪声滤波器达到了一定的噪声限值，由于并臂结构容易导致事故的发生，可以不再安装并臂调谐结构，如，曾经广州天广直流输电系统换流站由于并臂结构出现过自燃事故。而串臂结构安装完成后仍然出现谐振点噪声超出标准情况，则可安装并臂装置改善这一情况。

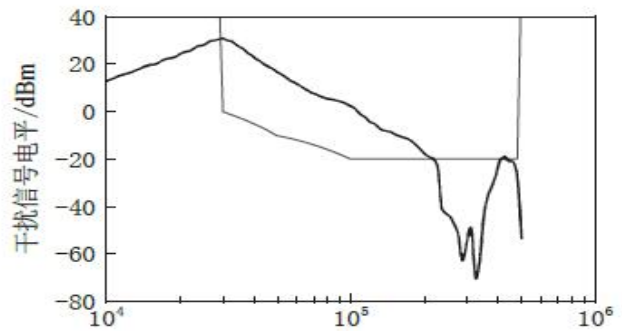
### 三、直流输电工程噪声滤波器

直流输电系统发生操作故障等暂态过程中将产生高频谐波干扰信号，为抑制高次谐波信号对换流站交直流进出线电力载波通信系统的影响<sup>[1]</sup>，换流站内一般配置有交流PLC噪声滤波器。在开展±500kV溪洛渡直流输电工程交流PLC滤波器性能评估时发现该工程可研阶段在开展交流PLC滤波器性能研究。

1、噪声滤波器性能需求。±500kV溪洛渡直流工程研究报告中规定的电力线路载波干扰限制水平，根据电力载波干扰限制水平要求，溪洛渡直流工程送端昭通换流站单回双极

直流PLC滤波器现场设置方案示意图及设备参数，配置方式为每极各配置1组交流噪声滤波器，每组噪声滤波器包含2个带调谐装置的电抗器和1个不带调谐装置的电容器；直流极母线及直流中性母线上不设置噪声滤波器。因从化换流站交流线路均未采用载波通信，故不配置交流噪声滤波器<sup>[2]</sup>。

2、噪声滤波器性能分析评估。根据溪洛渡右岸电站送电广东±500kV同塔双回直流输电工程交/直流PLC噪声滤波器研究报告研究结果，昭通换流站换流阀高频电压信号频谱。



图为昭通换流站安装噪声滤波器前、后交流线路侧电力线路载波干扰水平的结果可知，在无噪声滤波器时交流线路上的电力线路载波干扰水平超过了限制要求，配置噪声滤波器后交流线路侧干扰水平可满足设计要求。因此昭通换流站现有噪声滤波器设计方案和参数能满足线路电力线路载波干扰抑制要求。

### 结束语

综上所述，直流输电系统中PLC噪声滤波器具有重要作用，当前取得较为广泛的应用，在对噪声滤波器进行设计时须充分对滤波器特色进行考虑，利用PLC的多个功能灵活设计，全面改善直流输电系统PLC高频噪音干扰现状。研究得出±500kV溪洛渡直流输电工程交流PLC滤波器滤波性能满足PLC干扰抑制要求。

### 参考文献

[1]刘振亚.特高压直流输电技术研究成果专辑[M].北京:中国电力出版社,2018.  
 [2]夏道止,沈赞坝.高压直流输电系统的谐波分析及滤波[M].北京:水利电力出版社,2019.  
 [3]王聪博,贾科,毕天姝,等.基于暂态电流波形相似度识别的柔性直流配电线路保护[J].电网技术,2019,43(10):3823-3832.