

高压直流输电系统双调谐直流滤波器设计

王峰,李颖,王春宁

(南京供电公司,江苏南京 210019)

摘要:论述了高压直流系统直流滤波器设计的原则和具体流程,并以双调谐直流滤波器设计为例,研究了一种适用于工程实际的直流滤波器设计方法,推导了双调谐滤波器与两个单调谐滤波器等效的数学表达式。通过调整两个等效单调谐直流滤波器的参数,进而设计出满足要求的双调谐直流滤波器。根据该设计方法,可以方便地调整双调谐直流滤波器的参数,并能保持双调谐滤波器的主电容值和调谐次数不变,节省了直流滤波器设计时间,提高了效率。最后,通过一个计算实例,验证了本文所述设计方法的有效性。

关键词:高压直流输电;直流滤波器;双调谐滤波器;性能计算;定值计算

中图分类号:TM721.1

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)06-0061-04

直流滤波器设计是高压直流系统基本设计的重要内容之一。装设直流滤波器的目的是滤除注入到直流极线和直流接地极线路中的谐波电流,以保证直流系统在各种运行方式下对邻近通信线路的干扰满足相关标准^[1,2]。由于要求在各种运行方式及负荷水平下,直流滤波器性能定值都要满足一定的标准,相应的要求较多,其设计过程较为复杂。因此,在设计直流滤波器的过程中,采用一种合适而高效的设计方法很重要。多数相关文献仅讨论特定高压、特高压直流输电工程的谐波特性,并为其推荐一组直流滤波器参数,但都未具体论述如何选择直流滤波器参数^[3,4]。虽有文献论及参数计算,但参数调整较为困难,在反复迭代的计算中工作量难以承受,故在实际工程设计中适用性不大^[5]。

1 直流滤波器型式

直流滤波器包括无源和有源滤波器。无源滤波器型式有单调谐、双调谐、三调谐以及高通等之分。无源滤波器具有结构简单、可靠性高和维护方便等特点,但其频率特性易受电气元件老化等影响^[6]。有源滤波器按照结构不同主要分为并联型、串联型两类。虽然有源滤波器具有滤波性能好和占地小等优点,但在实际直流工程中实现商业投运的不多,其技术尚不很成熟^[7]。

1.1 单调谐滤波器

单调谐滤波器结构和阻抗特性如图1所示。单调谐滤波器的优点是结构简单,对单一次谐波滤除能力强,损耗和维护要求都较低。缺点是当滤除多个谐波时需装设多组滤波器,如此占地面积、投资以及维护成本相应都要上升。随着技术与滤波器

设计制造能力的提高,在新近的直流输电工程中,直流滤波器一般不再考虑装设单调谐滤波器。

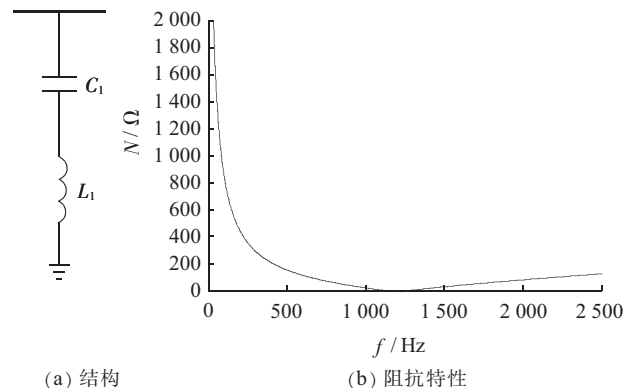


图1 单调谐滤波器结构和阻抗特性

1.2 双调谐滤波器

双调谐滤波器结构和阻抗特性如图2所示。双调谐滤波器^[8]的主要优点是可以同时滤除两个特定谐波。与两个单调谐滤波器相比,只需一个高压电容器,占地小,投资少,损耗低,滤波器数量减少,便于备用和维护。主要缺点是谐振作用可能导致低压元件的暂态定值较高,并且由于电气元件数目较多,通常需要两组避雷器。双调谐滤波器在国内早期直流工程中得到普遍采用,如葛南、天广、三常和三广直流工程都采用了该种滤波器。

1.3 三调谐滤波器

三调谐滤波器结构和阻抗特性如图3所示。三调谐滤波器与双调谐滤波器相比,其优点更为突出,占地、投资更少,损耗也更低,也便于备用和维护。但现场调谐比较困难。国内新近的直流工程都采用该种滤波器形式。

1.4 有源滤波器

有源直流滤波器接线如图4所示。目前有源直流滤波器的研究仍然是热点,其发展前景也很好。如

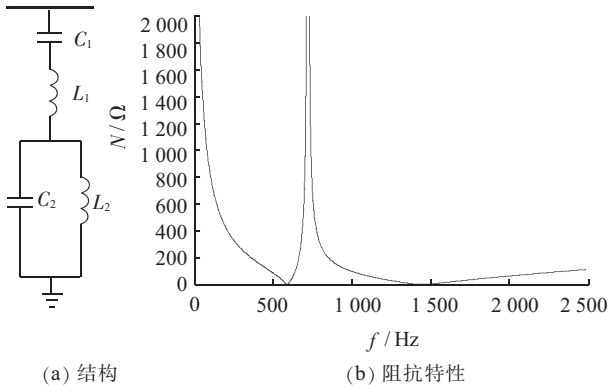


图2 双调谐滤波器结构和阻抗特性

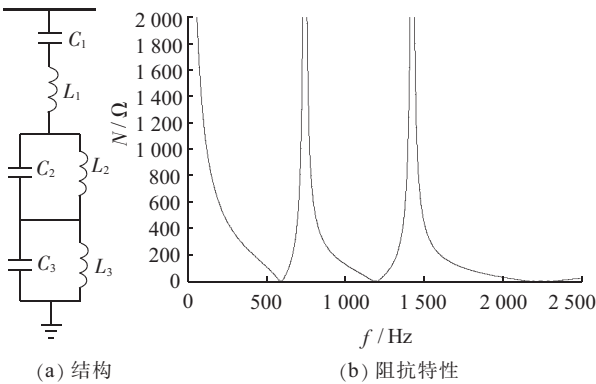


图3 三调谐滤波器结构和阻抗特性

果控制器设计得当,以及相关技术满足要求,有源直流滤波器可有效消除直流侧谐波。但由于其技术尚不很成熟,我国天广直流工程采用了该种直流滤波器形式^[9],但是运行情况并不理想,其相关技术有待进一步的研究。

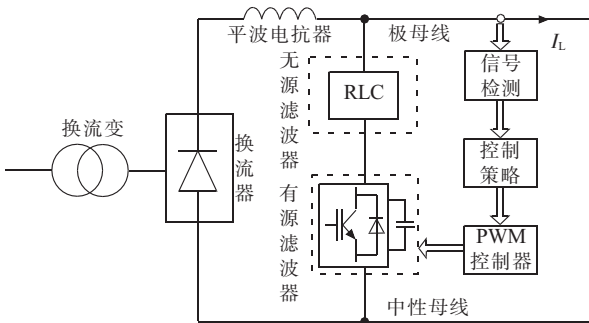


图4 直流有源滤波器接线

2 直流滤波器设计原则和流程

直流滤波器的设计原则:在直流滤波器性能和定值得到满足的前提下,使直流滤波器的投资费用最少^[10]。通常采用等效干扰电流来衡量直流滤波器的性能。

工程上确定直流滤波器参数和方案是一个不断试凑的过程^[11]。首先,参考以往工程直流滤波器的参数,并结合经济性,确定滤波器的主电容值和所采用的滤波器型式,然后再计算直流滤波器的性

能与定值等指标,校验滤波器配置是否满足要求。在直流滤波器性能得到满足的前提下,高压电容器的电容值越小越经济。在实际直流工程设计中,直流滤波器设计通常考虑1~50次谐波。

在初步选定了直流滤波器的型式、主电容值以及调谐次数之后,确定一组滤波器元件参数,然后计算各种运行方式下的各个负荷水平的滤波器性能,即等效干扰电流(I_{eq})。若性能超标,则查看计算谐波结果,明确主要由哪次谐波引起的,然后调整直流滤波器元件参数,使对应次的谐波阻抗减小。如多次调整之后仍有负荷水平不能满足性能要求,则需改变调谐次数重复上述的过程。改变调谐次数仍不满足,则需考虑增大主电容值继续上述的过程。直流滤波器设计具体流程如图5所示。

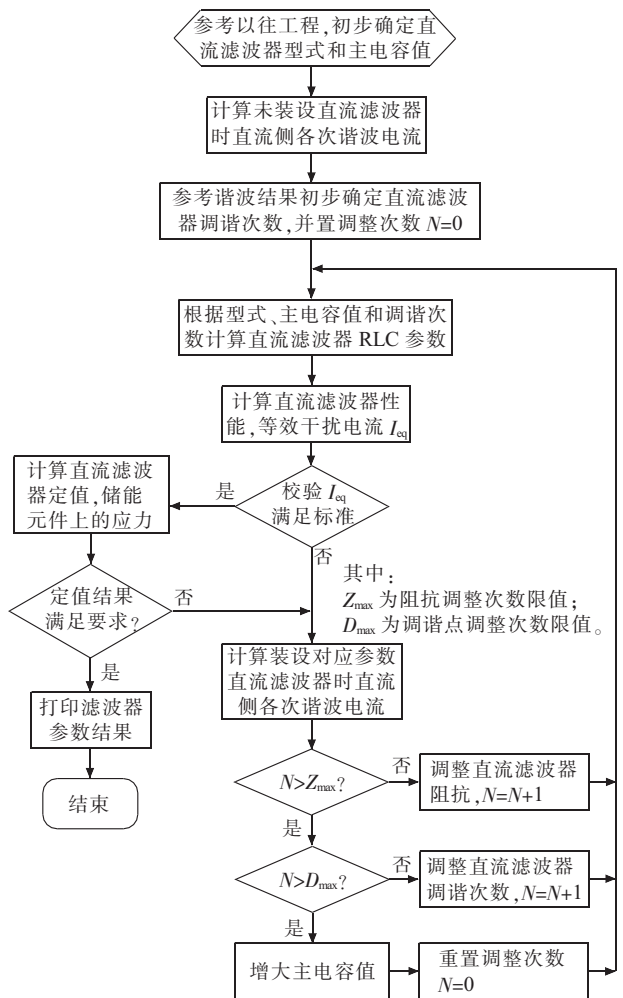
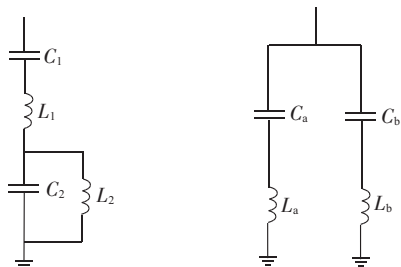


图5 直流滤波器设计流程图

3 双调谐直流滤波器参数设计方法

由之前的设计流程可知,为方便滤波器设计,在设计过程中需保持主电容值和调谐次数不变。1个基本双调谐滤波器和等效的2个单调谐滤波器结构如图6所示。



(a) 双调谐滤波器 (b) 等效2个单调谐滤波器

图6 双调谐滤波器和等效2个单调谐滤波器

双调谐滤波器的导纳为:

$$Y_{DT1} = 1 \left/ \left[\left(j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) + \left(\frac{j\omega L_2 / j\omega C_2}{j\omega L_2 + 1/j\omega C_2} \right) \right] \right. \quad (1)$$

2个单调谐滤波器导纳为:

$$Y_{DT2} = \frac{1}{j\omega L_a + \frac{1}{j\omega C_a}} + \frac{1}{j\omega L_b + \frac{1}{j\omega C_b}} \quad (2)$$

由于两者等效,有:

$$Y_{DT1} = Y_{DT2} \quad (3)$$

经化简合并得:

$$a\omega^6 + b\omega^5 + c\omega^4 + d\omega^3 + e\omega^2 + f\omega + g = 0 \quad (4)$$

为使式(4)在任何角频率下都成立,而且仅当 $a=b=c=d=e=f=g=0$ 时,可得双调谐滤波器和2个单调谐滤波器储能元件之间的关系:

$$C_1 = C_a + C_b \quad (5)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b) (L_a + L_b)^2}{(C_a L_a - C_b L_b)} \quad (7)$$

$$L_2 = \frac{(C_a L_a - C_b L_b)^2}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)} \quad (8)$$

假设双调谐滤波器的调谐次数为 N_1, N_2 , ω_0 为基波角频率,则有:

$$N_1 \omega_0 = 1 / \sqrt{L_a C_a} \quad (9)$$

$$N_2 \omega_0 = 1 / \sqrt{L_b C_b} \quad (10)$$

为了获得一组初始的滤波器参数,可令 $C_a = C_b = C_1/2$,根据式(9)和式(10)求得 L_a 和 L_b ,然后由式(5—8)可得双调谐滤波器的 L 值和 C 值。

4 双调谐直流滤波器参数计算实例

设计1个基本的双调谐直流滤波器,假定调谐次数为 $N_1=12, N_2=24$ 。主电容值 $C_1=1.6e-6$ F。针对该主电容值和调谐次数,应用第4节的参数计算方法,计算两组单调谐直流滤波器参数。

组1:

组2:

$C_a=0.800e-6$ F	$C_a=0.600e-6$ F
$L_a=8.7952e-2$ H	$L_a=1.173e-1$ H
$C_b=0.800e-6$ F	$C_b=1.000e-6$ F
$L_b=2.199e-2$ H	$L_b=1.7590e-2$ H

通过式(5—8),可计算获得对应的两组双调谐直流滤波器参数。

组1:

组2:

$C_1=1.60e-6$ F	$C_1=1.60e-6$ F
$L_1=1.7592e-2$ H	$L_1=1.5296e-2$ H
$C_2=4.4449e-6$ F	$C_2=6.2696e-6$ F
$L_3=9.8938e-3$ H	$L_3=8.0663e-3$ H

2组双调谐直流滤波器的阻抗特性比较见图7。

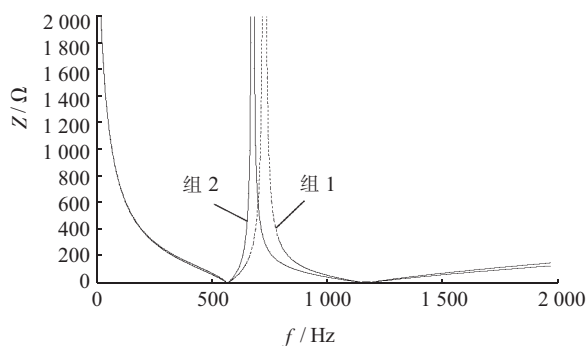


图7 两组双调谐滤波器阻抗图比较

由图7可看出,两组滤波器主电容值和调谐次数一样,而工作特性的阻抗不一样,其结果是改变滤波器性能与定值。具备表现为,某些频率段阻抗有所改变,可起到调整特定频率段谐波的作用,使1~50次谐波综合等效干扰效果满足性能要求。因此,采用本文所述的调节方法,可保持双调谐滤波器的主电容值和调谐次数不变,方便调节滤波器参数,提高滤波器设计效率。参数具体如何优化选择,仍然是需要进一步研究的问题。

5 结束语

本文论述了直流滤波器的型式和设计原则,总结了直流滤波器设计流程。研究了一种基于等效原则,并适用于实际工程的双调谐直流滤波器的设计方法,推导了其相应的等效计算公式。该方法可有效提高直流滤波器的设计效率。本文仅重点研究了一种参数的调节方法,而如何具体获得最优的滤波器参数,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈东,张凌,熊万洲.特高压直流滤波器滤波标准初步研究[J].高电压技术,2006,32(9):125-128,139.
- [2] 熊万洲.±800 kV 直流输电等效干扰电流指标分析[J].电网技术,2008,32(2):81-84.

- [3] 郑 劲, 张小武, 孙中明, 等. 特高压直流输电工程的谐波限制标准及滤波器设计[J]. 电网技术, 2007, 31(13): 1-6.
- [4] 段玉倩, 黎小林, 饶 宏, 等. 云广特高压直流输电系统直流滤波器性能的若干问题[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(8): 90-94.
- [5] 宋 蕾, 文 俊, 闫金春, 等. 高压直流输电系统直流滤波器的设计[J]. 高电压技术, 2008, 34(4): 647-651, 677.
- [6] 肖 遥, 尚 春, 林志波, 等. 低损耗多调谐无源滤波器[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 69-72.
- [7] IRAVANI M R, LAVERS E D, LEHN P W, et al. A Benchmark System for Digital Time-domain Simulation of an Active Power Filter[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 234-241.
- [8] 吴国沛, 任 震, 唐卓尧. 高压直流输电系统双调谐滤波器特性研究[J]. 电网技术, 1999, 03(8): 32-34.
- [9] 周 健, 代保明. 高压直流输电新技术在天广直流工程中的应用[J]. 广东电力, 1997(5): 5-9.
- [10] EPRI. High Voltage Direct Current Handbook, First Edition [M]. Electric Power Research Inst, 1994.
- [11] 张万荣, 任军辉, 王蔚华. ± 800 kV 特高压直流输电工程直流滤波器设计研究[J]. 高压电器, 2007, 43(6): 431-433, 443.

作者简介:

王 峰(1984), 男, 浙江青田人, 工程师, 从事高压直流输电系统基本设计工作;

李 颖(1963), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事供电企业情报管理及研究工作;

王春宁(1966), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事供电企业科技开发及管理工作。

Design of Double-tuned DC Filters in HVDC Transmission System

WANG Feng, LI Yin, WANG Chun-ning

(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210013, China)

Abstract: The design principles and specific process of dc filters in HVDC system were discussed in the paper. Taking the double-tuned dc filter as an example, a design method which is applicable to engineering practice was proposed for dc filter, and mathematical expressions were deduced to prove that double-tuned filter is equivalent to two single-tuned filters. By adjusting the parameters of the two equivalent single-tuned dc filter, the double-tuned filter as required was designed. According this design method, it is easy to adjust the parameters of the double-tuned dc filter, maintain the capacitor's value and the tuning frequency of the filter, saving time and raising efficiency. Lastly, the effectiveness of this design method was proved by an instance.

Key words: HVDC transmission; dc filter; double-tuned filter; performance calculation; fixed value calculation

(上接第 60 页)

在天津电网中的应用[J]. 中国电力, 2002(5): 21-23.

[4] 黄 玲, 文习山. RTV 涂层和增爬裙对绝缘子电场分布的影响[J]. 高电压技术, 2007(3): 32-33.

[5] 陈 浩, 石和平, 杨爱民. RTV 防污闪涂料在导线防覆冰中的应用[J]. 河南电力, 2006(3): 9-10.

张佰庆(1978), 男, 江苏沛县人, 工程师, 从事输电线路运行检修及带电作业工作;

崔艳东(1979), 男, 河北衡水人, 工程师, 从事输电线路运行检修工作;

童维占(1982), 男, 湖北鄂州人, 助理工程师, 从事输电线路运行检修工作。

作者简介:

Spray Painting Technology and Gist of Anti-pollution-flashover RTV Silicone Rubber

ZHANG Bai-qing, CUI Yan-dong, TONG Wei-zhan

(Jiangsu Electric Power Company's Maintenance Branch, Xuzhou 221000, China)

Abstract: The anti-pollution-flashover silicone rubber is a kind of liquid paint of special functions with RTV process characteristics. It is the cured coating that can prevent pollution flash. Obviously, the conversion from liquid paint into cured coating -namely spray painting- is the key part to decide the quality of protection. There are few normative terms about spray painting in present standards and the level of construction teams is uneven. Therefore every-time the quality of the coating formed by the site spray painting is not the same. According to the experience of site supervisions in past years, the key node that must be controlled in the spray painting of the anti-pollution-flashover silicone rubber is summed up to improve the quality of the spray painting process and the final coating quality.

Key words: anti-pollution-flashover RTV silicone rubber; spray painting; quality; control