

⑤ 21-25

用并联 APF 对换流站直流侧谐波进行补偿的研究

Shunt Active Power Filter for Harmonic Compensation in DC Side of HVDC Transmission System

TM 721.1

文 曹

Wen Cao

王官浩

Wang Guanjie

任 震

Ren Zhen

唐卓尧

Tang Zhuoyao

(重庆大学电气工程系, 重庆, 630044; 第一作者 26 岁, 男, 硕士)

摘 要 介绍了一种高压直流换流站直流侧并联有源滤波器(APF)的谐波治理方法, 分析了该方式的工作原理及主接线图。讨论了控制原理及其实现方式。并进行了数字仿真, 结果表明加装有源滤波器是一种有效的谐波治理措施。

关键词 高电压直流输电; 直流滤波器; 有源滤波器 / 电话干扰

中国图书资料分类法分类号 TM721.1

HVDC
直流制输电

ABSTRACT A shunt active power filter (APF) used for harmonic treatment is introduced in this paper. Basic circuit-theory and main configuration are analyzed. Control scheme and its realization are discussed. Computer simulation is used to verify theoretical analysis. It shows that APF is an interesting alternative for harmonic treatment compared with conventional passive filter.

KEYWORDS high-voltage direct current transmission; direct current filter; active filters / telephone interference

0 引 言

随着超高压, 远距离, 大功率输电越来越成为现代电网的特征, 高电压直流输电 (HVDC) 也越来越受到广泛地重视。此外, 在多端互联系统, 电力系统稳定方面, HVDC 也发挥了极为重要的作用。

HVDC 有许多优点, 但也有许多不足, 其中之一是在整流和逆变过程中要产生谐波电压和谐波电流。如果进入交流电网和直流线路中的谐波分量过大, 就会带来下列影响^[1]:

1) 使交流电网中发电机和电容器由于谐波的附加损耗而发热; 2) 对通讯线路产生干扰, 特别是在临近的电话线上产生杂音; 3) 影响晶闸管控制设备的正常工作; 4) 引起测量表计的误差及某些电力设备保护装置的误动; 5) 可能引起系统中局部谐振。

* 收文日期 1995-06-30

作者现在成都电业局工作

在这些影响中,消除对电话线的干扰最为困难,因此必须采取必要措施限制换流器谐波输出。

近些年来,HVDC工程对直流线路上的谐波限制了越来越严格的要求,谐波治理已经成为一个不可忽视的突出问题。

1 谐波抑制

为保证供电质量,防止谐波污染和危害,应采取必要措施来解决供电系统的高次谐波,这些措施可分为两类^[2]:

1.1 电源的治理

治理谐波源本身,如对电力电子设备采取如下措施:

1) 增加换流相数; 2) 采取多重化接线技术; 3) 采用先进的控制技术,如PWM技术,谐波消去优化法等; 4) 限制变流装置的容量。

尽管这些做法取得了一些效果,但由于电力半导体的工作机理所决定必然要产生一些高次谐波。同时,为取得谐波含量很小的正弦波形,接线及设备会变得极为复杂,且投资规模增大。为了更好地解决这一问题,第二种方法被提出来了。

1.2 畸变电源的滤波和补偿

目前大量应用由交流电抗器和电容器组成的所谓LC无源滤波器(Passive Power Filter),它是利用LC无源滤波器谐振特性在阻抗分流回路中对谐波形成低阻通路。

但是,尽管LC无源滤波器结构简单,在吸收高次谐波方面有明显效果,也存在下述难以克服的缺点:

- 1) 如果电源系统中谐波电流超量时,滤波器将过载;
- 2) 由于高次谐波的范围较大,需要设置多个LC滤波支路。造成装置庞大,损耗增加,占地较大,这将造成HVDC工程总造价增高;
- 3) 现行的HVDC直流侧无源滤波器对非特征谐波(其中的18次谐波对电话线路干扰最为严重)不起作用;
- 4) 如果滤波器的元件值随诸如温度等外界环境条件的变化而变化,或者当谐波频率发生偏差时,滤波器将失调;
- 5) 由于在谐波频率下,网络的阻抗并非远大于滤波器的阻抗,从而导致滤波效果不彻底。

有源滤波器弥补了上述LC无源滤波器的不足,它能在负载发生变化时,补偿系统自动跟随,完成动态补偿,同时不与电网发生谐振,且具有占地少,价格便宜,易于维修等优点。

1969年,B. M. BIRD首次提出了向交流电源注入三的倍数次谐波以减少电源中的谐波,改善电流波形。虽然这种方法还不足以使电源波形成为正弦波,但却奠定了有源滤波器的基本思想。从这一基本思想出发世界各国专家学者进行了深入广泛的研究。1976年,美国西屋电气公司的L. GYUGYI和E. CSTRYSULA提出了PWM逆变器构成有源滤波器,但由于器件原因没有取得较大进展。

尽管人们对HVDC中有源滤波器作了许多研究,但却没有取得鼓舞人心的结果。直到最近才取得一些进展。这是因为^[3]: 1) 过去十几年中,HVDC工程对谐波治理未引起足够的

重视；2) 大功率低损耗的脉冲宽度调制(PWM)功率放大器的研制未取得实质性的进展；3) 以谐波信号进行高速处理的数字信号处理器(DSP)也是最近才研制成功。

2 并联联接形式

2.1 并联有源滤波器的工作原理

HVDC 系统直流侧可简化为如图 1 所示的电路,其中 \dot{U}_r 为由 HVDC 换流装置所产生的等效谐波电压源; L_r 为平波电抗器; Z_L 为直流传输线路阻抗; C_f, L_f 构成一个阻抗为 Z_f 的单调谐滤波支路; i_h 为进入直流系统的电流; i_s 为滤波前由 HVDC 换流装置所产生的电流; i_f 为通过直流滤波器的电流。如果线路元件均考虑为线性,那么:

$$i_h = \frac{Z_f}{Z_f + Z_h} i_s \quad (1)$$

在谐振频率时, Z_f 很小, i_h 则很小,但仅为单调谐,所以在其它频率时, i_h 都很大。

加装 APF 的电路作用由图 2 所示, \dot{U}_f 为一个有源滤波器的等效电压源, i_h 为进入直流系统的谐波电流:

$$i_h = G \dot{U}_f \quad (2)$$

其中 G 为 \dot{U}_f 与 i_h 之间的传递函数,它受无源滤波器和传输线路的阻抗特性所影响。

加装了 APF 的 HVDC 系统的电路示于图 3,其中 i_h 为进入系统的电流

$$i_h = i_h + i_h \quad (3)$$

只要调整 $i_h = -i_h$,则在理论上可以实现全补偿,工程实践中,也可以使谐波电流非常小。

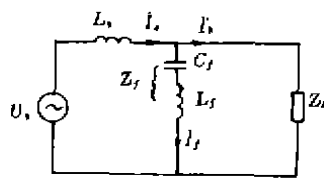


图 1 直流侧等效电路

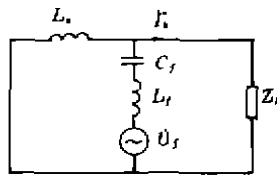


图 2 APF 工作电路原理

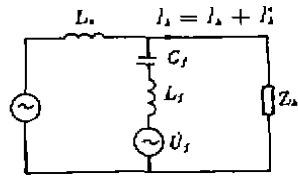


图 3 叠加作用下直流侧等效电路

3 原理接线

并联形式的原理接线如图 4 所示:

其中虚线框内为有源滤波器,它包括熔断器 $S1, S2, S3$, PWM 功率放大器 A , 直流能量提供源 DC , 高频变压器 T 。该有源滤波器通过避雷器 $V3$, 耦合装置(包括接地开关 $J1, J2$, 切断开关 F) 与无源滤波器相连。电容 $C1$ 、电感 $L1$ 、电容 $C2$ 、电阻 R 、电感 $L2$, 构成 12/24 次的无源滤波器, 接于中性线上的由 $C3, C4, L4$ 构成的 12 次无源高通滤波器为谐

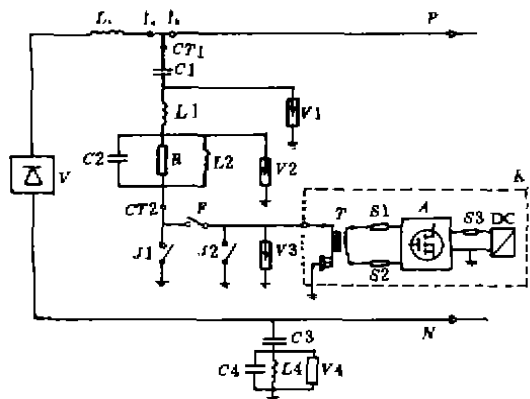


图 4 并联形式主接线图

波电流提供了一个通路。

4 APF 的控制

4.1 控制功能图

APF 的主要设计是在适当的时候向线路注入适当的电流。否则,谐波电流不是减小,而是加大了。线路上谐波电流的监测使用了罗果夫斯基线圈。线路上的畸变电流被测量后反馈到控制系统,以便能通过控制 PWM 功率放大器来不断地调整注入电流的大小和幅值。

原则上讲,控制器包括五个主要函数式“模块”:

图 5 有源滤波器控制模块图

该控制器由软件在计算机上实现,计算机控制的核心是一个高速数字信号处理器 DSP,该控制器被设计为仅对线路上谐波电流是灵敏的,并且所有的直流分量和不希望的系统偏差都将在第一模块被过滤掉。

控制器的第二模块包含了控制系统所隐含的动态模型。目的在于输出“标准化”或“独立站”的输出行为。

第三模块是一个实际控制模块。例如,它有用以减少线路谐波电流控制偏差的功率控制。谐波信号包含有一系列各种确定好的频率的信号之和,同时也意味着每一基本周期信号将重复其方式,因此,该模式被设计为对于谐波频率有一衰减阻尼。

第四模块类似于第一模块。用于消除一些低频信号,以减少对 PWM 功率放大器的压力。

第五模块主要是对 PWM 功率放大器起监视限制作用。

4.2 控制功能的实现

控制的实现如图 6 所示:

由图可见,谐波电流由磁放大器 HCT 测得,经过 E/O 转换为光信号,经过光缆传输,再经过 O/E 转换为电信号,送到控制 DSP 中。控制 DSP 是用于控制 PWM 功率放大器的输出。为使控制过程同步,同步 DSP 用于测量交流网络频率,并将其转换为 31.5 kHz 的时钟信号。保护用 SBC 是对整个有源滤波器进行监控和保护。

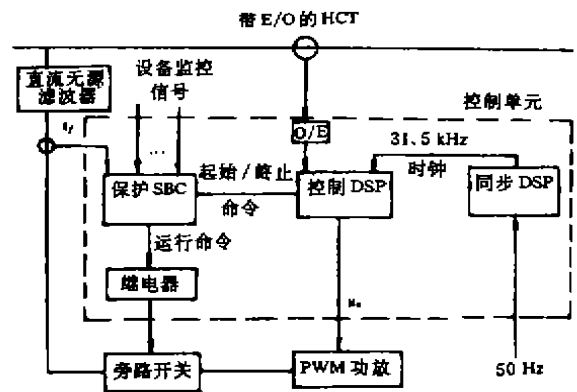


图 6 控制功能实现图

5 仿真计算

该仿真程序是基于“HVDC 系统直流侧谐波潮流的三脉冲模型”^[1]的 HAP 程序,计算例中交流电压为 250 kV,输出功率为 250 MW. 仿真结果如下:

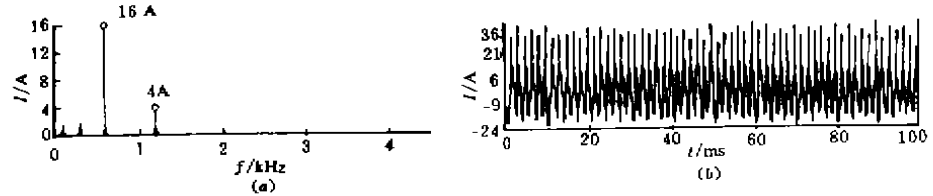


图 7 仅有直流滤波器时的谐波电流

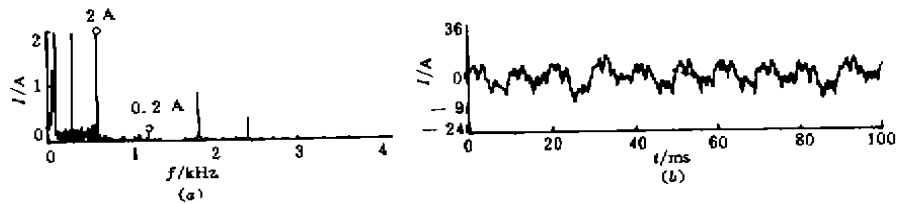


图 8 未加 APF 时的直直流线路上的谐波电流

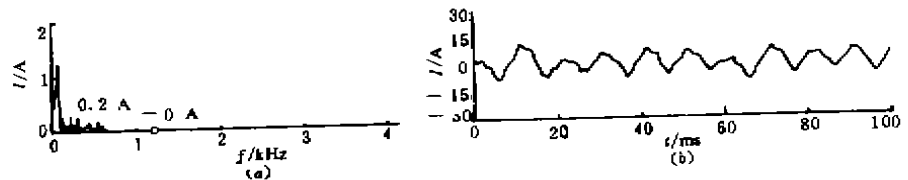


图 9 装加 APF 时的直直流线路上的谐波电流

6 结 论

- 1) 装设 APF 后,进入直流线路上的谐波电流已经减少到可以接受的水平;
- 2) 对谐波抑制效果不受系统频率偏差及滤波元件值变化等外界因素的影响;
- 3) 可以对非特征谐波进行补偿,从而降低无线电干扰;
- 4) 不仅不会产生谐振现象,而且能抑制由于外电路谐振所产生的谐波放大电流;
- 5) 用一台装置就能实现对多次谐波补偿。

参 考 文 献

- 1 浙江大学发电教研室. 直流输电. 北京: 电力工业出版社, 1980. 222~248
- 2 J·阿律莱加著, 任震等译. 高压直流输电. 重庆: 重庆大学出版社, 1987. 65~88
- 3 Wong C. Feasibility Study on AC and DC-Side Active Filters for HVDC Converter Terminals. IEEE Trans on Power Deliver, 1989, 4(4): 2067~2075
- 4 Shore N L. A Three-Pulse Model of DC Side Harmonic Flow in HVDC System. IEEE Trans on Power Deliver, 1989, 4(3): 1945~1954