

研
究
开
发

LCL 输出滤波器参数变化对 D-STATCOM 补偿特性的影响

张兴儒

(乌鲁木齐铁路局, 新疆 乌鲁木齐 830000)



作者简介: 张兴儒(1964—), 男, 从事机车检修技术工作。

摘要:针对 D-STATCOM 动态补偿装置输出的补偿电流中含有大量的开关纹波等问题, 设计 LCL 输出滤波器以滤除纹波。重点研究 LCL 输出滤波器各元件参数对滤波器特性的影响, 综合考虑 D-STATCOM 无功补偿容量、补偿电流开关纹波、电网 THD、电阻功耗等因素, 提出了一种 LCL 输出滤波器的综合设计方法, 并就 LCL 输出滤波器对 D-STATCOM 补偿特性的影响进行了仿真研究。结果表明: 采用该方法设计的输出滤波器对高频开关纹波有很好的抑制效果, 可有效改善 D-STATCOM 的补偿性能。

关键词: D-STATCOM; 输出滤波器; 开关纹波; 补偿特性; 滤波器特性; 元件参数; 纹波抑制
中图分类号: U223.5⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2015)04-0038-04
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.04.010

Influence of LCL Output Filter Parameter Changing on D-STATCOM Compensation Characteristics

ZHANG Xingru

(Urumchi Railway Administration, Urumchi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: Aim at the problem of D-STATCOM output containing plenty of switching ripple, LCL filter was designed. Influence of LCL filter parameters on the compensation characteristic of D-STATCOM was studied. Considering the compensation capacity of the D-STATCOM, the compensation current switch ripple, the grid THD, the resistance loss and the other factors, a method of designing LCL filter was presented, and the compensation characteristic of the D-STATCOM with the LCL filter was researched with simulation. The results proved that the output filter designed in this method had very good inhibitory effect on high-frequency switch ripple, and greatly improved the compensation performance of the D-STATCOM.

Keywords: D-STATCOM; output filter; switching ripple; compensation characteristic; filter characteristic; device parameter; ripple suppression

0 引言

配电网静止同步补偿器(D-STATCOM)是并联于电网的电力电子装置,通过控制 IGBT 不断地导通与关断来完成对系统的动态补偿。IGBT 频繁的导通与关断势必会导致输出电流中含有大量的开关纹波,如果不加滤除,较大的开关纹波随连接电感注入到电网会对用户及负荷产生危害,甚至会引起电网谐振^[1-6]。所以为了滤除这些高频毛刺,避免其注入到电网,一般在逆变器的输出端配置输出滤波器。传统的输出滤波器有 L 型、LC 型和 LCL 型。由于系统网侧阻抗不确定, L、LC 滤波器难以获得理想的滤波效果,而 LCL 滤波

器能够克服由于电网阻抗不确定性而影响滤波效果这一缺点,可以在较低的开关频率下获得比 L、LC 更优异的滤波效果^[7],所以其应用越来越广泛。目前已经有多篇涉及 APF 和 STATCOM 输出滤波器的文献,提出了一些有意义的设计研究方法^[7-11],但大多数文献只提到需要配置输出滤波器,或介绍巴特沃斯滤波器设计方法,而研究输出滤波器各元件对滤波器特性及对系统补偿特性影响的文献较少;而 D-STATCOM 对输出滤波器又具有较强的灵敏度,两者之间的影响是不容忽视的。

针对上述存在问题,本文首先通过分析 LCL 输出滤波器的各元件参数对滤波器性能的影响及各元件之间的关系,并在综合考虑 D-STATCOM 的补偿容量、

电网 THD, 逆变器输出电流的开关纹波, 电阻功耗等因素条件下, 提出一种 LCL 输出滤波器的综合设计方法, 采用该方法设计一组适用于 20 kVA D-STATCOM 的输出滤波器, 最后, 通过仿真分析验证理论分析及设计方法的正确性和有效性。

1 LCL 输出滤波器拓扑结构及原理

采用 LCL 型输出滤波器的三相四线制 D-STATCOM 装置结构如图 1 所示, 其单相等效电路如图 2 所示, 其中 U_s 为网侧电压, Z_s 为网侧线路阻抗, C_{dc} 为直流侧电容, U_{inv} 为逆变器输出电压, L_1 、 L_2 和 C 构成逆变器输出滤波器的主结构。其基本原理是 L_2 支路和 C 支路对流过 L_1 支路的电流 i_{L1} 中含有的高频开关纹波进行分流, 电容 C 支路为高频成分提供低阻通路, 这样就有效减少了从 L_2 注入电网电流的高频含量, 同时, 电容 C 串联阻抗 $X_{R/L0}$, 基波频率下的 L_0 的取值较小, 则基波电流从电感流过, 以减小电阻上的损耗。

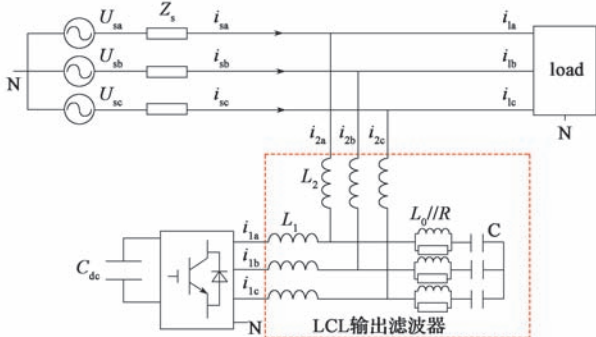


图 1 D-STATCOM 结构框图

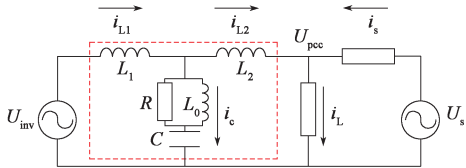


图 2 D-STATCOM 单相等效电路

为分析滤波器对系统的影响, 编写 i_{L1} 关于 U_{inv} 的传递函数

$$G_{inv} = \left| \frac{i_{L1}}{U_{inv}} \right| = \frac{1}{(Z_s // Z_L + Z_{L2}) // Z_C + Z_{L1}} \times \frac{Z_C}{Z_C + (Z_s // Z_L + Z_{L2})} \quad (1)$$

滤波器的输出特性传递函数如下

$$G_{LCL} = \left| \frac{i_{L2}}{U_{inv}} \right| = \frac{1}{Z_C // Z_{L2} + Z_{L1}} \times \frac{Z_C}{Z_C + Z_{L2}} \quad (2)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} Z_s &= j\omega L_s \\ Z_L &= j\omega L_L \\ Z_{L1} &= j\omega L_{L1} \\ Z_{L2} &= j\omega L_{L2} \\ Z_C &= j\omega L_0 // R + 1/(j\omega C) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

2 输出滤波器特性及各参数设计

LCL 滤波器的设计除了对注入网侧电流 i_{L2} 中的高频开关纹波有要求之外, 对逆变桥输出电流 i_{L1} 及电容 C 的无功容量也是有要求的, 这些参数的变化都会影响滤波器的输出特性。

2.1 滤波器各参数对滤波器特性的影响

为观察输出滤波器的滤波特性, 绘制 G_{inv} 和 G_{LCL} 频谱曲线如图 3 和图 4 所示, 其中构成滤波器各元件参数和系统阻抗参数如表 1。

根据表 1 给出的滤波器各元件参数、系统阻抗参数和式 (1)、式 (2) 可获得该滤波器的 G_{inv} 、 G_{LCL} 频谱特性曲线。

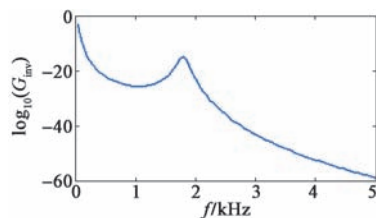


图 3 G_{inv} 幅频特性曲线

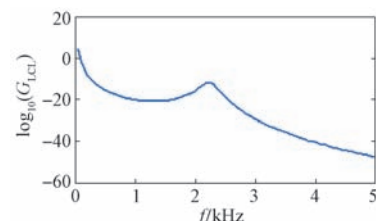


图 4 G_{LCL} 幅频特性曲线

表 1 LCL 滤波器参数表

元件参数	数值	元件参数	数值
滤波电感 L_1	1 mH	线路电阻 R_s	0.003 Ω
滤波电感 L_2	0.8 mH	线路电感 L_s	0.003 mH
滤波电容 C_0	10 μ F	负载电阻 R_L	12 Ω
串联电阻 R	1 Ω	负载电感 L_L	0.02 H

由图 3 和图 4 可知, 在 2 000 Hz 谐波附近有一个明显的谐振点, 但对于高次谐波, dB 值远远小于 0, 有很好的抑制作用^[6-7]。

为研究 L_1 、 L_2 、 C_0 、 R 参数变化对整个系统的影响, 现改变单个参数值如表 2, 保持其他参数为组合 3 的值, 绘制 G_{inv} 频谱曲线, 分析结果如图 5 至图 8 所示。

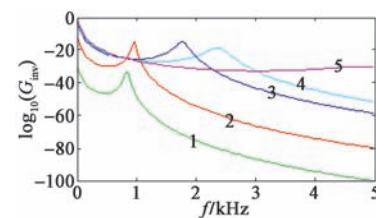


图 5 不同 L_1 值 G_{inv} 幅频特性曲线

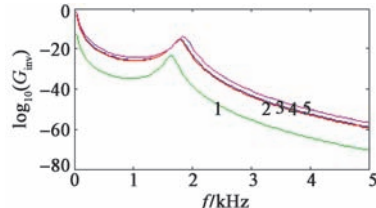


图 6 不同 L_2 值 G_{inv} 幅频特性曲线

表 2 LCL 滤波器参数变化表

变量组合	1	2	3	4	5
滤波电感 L_1 /mH	100	10	1	0.1	0.01
滤波电感 L_2 /mH	10	1	0.8	0.1	0.08
滤波电容 C_0 / μ F	100	50	10	5	1
串联电阻 R / Ω	5	2	1	0.5	0.1