

并联型电能质量调节装置的启动充能策略研究

刘书铭, 郭春林, 徐永海, 肖湘宁

(华北电力大学柔性电力与电能质量研究所, 北京 102206)

摘要: 阐述了并联型电能质量调节装置启动时变流器直流侧电容电压由稳态值突然上升到设定值的瞬时变化引起的电容上电流冲击过大的问题及其危害。比较了在充电瞬间为了避免上述情况, 采用附加限流电阻充电和利用辅助电路充电两种解决方案的优劣, 并且对这两种方案进行了仿真验证。通过比较分析, 得出两种方案各有优点, 都能有效地保证电能质量装置安全的投入运行的结论。

关键词: 并联型电能质量调节装置; 启动充电; 限流电阻; 轮换充电

Research of shunt power quality conditioner start-up charge strategy

LIU Shu-ming, GUO Chun-lin, XU Yong-hai, XIAO Xiang-ning

(Flexible Electric Power Technology and Power Quality Research Institute,
North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: This paper expounds the problems and dangers of excessive current impulse through the capacitor which caused by the instantaneous changes when the parallel power quality conditioner starts charging. This instantaneous change appeared when capacitor voltage of converter DC side changes from steady value to set value. In order to prevent such a situation, two control strategies are discussed and compared. One method uses a current limiting resistor at the charging circuit and the other uses an auxiliary charging circuit, both of which are verified by simulation. By comparing and analyzing, this paper concludes that two control strategies have its own advantages, and both of the methods can effectively guarantee the safety of the device when they are put into operation.

Key words: shunt power quality conditioner; start-up charge; current limiting resistor; alternative charge

中图分类号: TP274 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)22-0087-04

0 引言

目前, 我国大型电弧炉有1700座以上, 电气化铁路已达2.4万公里, 牵引变电站超过480个。这些场合都需要大容量的电能质量调节装置。为使我国完全自主掌握高压、大容量复合型电能质量装置的设计、试验及制造技术, 国家科技部设置专项资金进行了深入的研究。并联型电能质量调节装置主要用于电流补偿, 适用于负荷侧电流源干扰的场合。根据所采用的控制策略和算法, 并联型电能质量调节装置具有动态无功补偿、有源滤波、消除三相不平衡等多种功能。而装置的启动充能策略是装置实用化过程中的一项关键技术, 本文结合国家科技支撑计划“电能质量复合控制技术及其装置”课题, 研究了并联型电能质量调节装置的启动充电策略。

在实际系统中, 当装置投入运行的瞬间, 由于直流侧电容电压突然由之前的稳定值在极短的时间内上升至一个较高的设定值, 从而造成了较大的电压变化 ΔU_d , 由于直流侧电容电压的变化引起电容上的电流出现较大的冲击, 造成装置不能正常投入运行甚至出现电力电子器件损坏的现象。为了避免这种问题, 大多文献采用软启动策略^[1-3]即将直流侧电压 U_d 与一较低设定的电压参考值 U_{ref} 进行比较, 并将结果送入PI控制器, PI控制器的输出就是电源侧电流期望值。但现有文献对加限流电阻充电和利用辅助电路充电的研究较少, 本文对上述这两种启动充能方法进行了研究, 并通过仿真进行了验证。

1 并联型电能质量装置的参数设计

并联型电能质量调节装置采用差异参数级联H桥方式, 由一个高频模块和九个基频模块级联构成,

基金项目: 十一五”国家科技支撑计划项目资助(2007BAA12B03)

并联接入 10 kV 的配电系统母线上, 装置最大容量为 1 MVA。每个 H 桥模块的 IGBT 元件按电压等级 1 700 V 设计, 额定电流为 100 A。单个 H 桥的直流母线电压 $U_{dc} = 1000 \text{ V}$, 直流侧电容值为 $4000 \mu\text{F}$, 其单相示意图如图 1 所示。

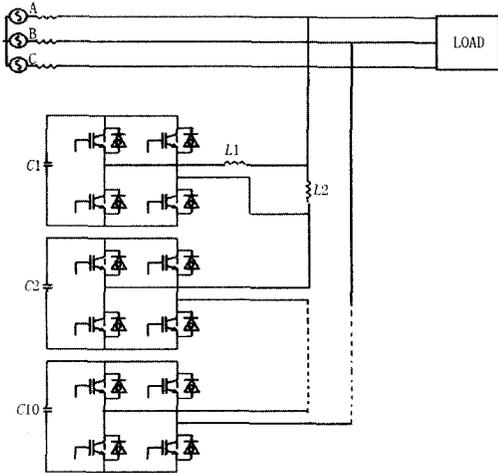


图 1 并联型电能质量调节装置示意图

Fig.1 Shunt power quality equipment topography

图 1 中第一个模块为高频模块, 补偿谐波电流。其余的为基频模块, 补偿基波电流。按照上述拓扑结构在 PSCAD 软件中进行仿真, 在不加任何限流措施的情况下, 启动瞬间电容上的冲击电流可达 1500 A 以上, 远远超过 IGBT 器件所能承受的最高电流, 其仿真结果如图 2 所示。

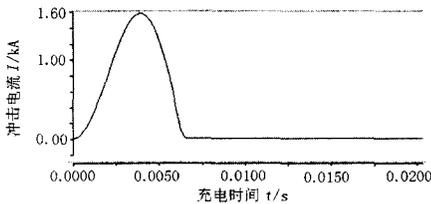


图 2 电容上的冲击电流

Fig.2 Current impulse on the capacitance

因此必须加入限流措施, 避免充电瞬间电流冲击过大。

2 利用限流电阻及自身反并联二极管充电

充电时不对 IGBT 开关进行控制, 利用逆变器自身的二极管给电容器充电, 当电容电压达到某一设定值时再将装置投入运行。由于装置直接接在 10 kV 的系统, 为了避免充电瞬间过大的电流冲击需要加入限流电阻。由于采用二极管方式充电, 二

极管导通时相当于短路, 限流电阻的位置加在直流侧和交流侧的效果是一致的, 本文限流电阻加在了第一个工频模块的直流侧, 充电时先给工频部分充电, 在工频模块的电容电压建立起来以后再通过调节工频模块的电压给高频模块充电。充电过程的等效电路如图 3 所示。

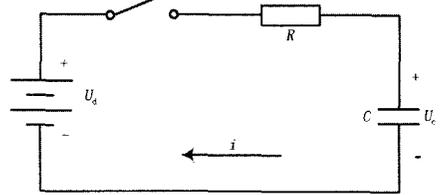


图 3 电容充电示意图

Fig.3 Capacitor charging circuit

其中: R 为限流电阻, U_c 为电容电压, U_d 为经单相桥的整流电压, 电路的约束方程为:

$$\begin{aligned} iR + U_c &= U_d \\ i &= C \frac{dU_c}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

解得:

$$\begin{aligned} U_c &= U_d - U_d e^{-t/RC} \\ i &= \frac{U_d}{R} e^{-t/RC} \end{aligned} \quad (2)$$

电阻上消耗的能量为:

$$W_R = \int_0^{\infty} i^2 R dt = \int_0^{\infty} \left(\frac{U_d}{R} e^{-t/RC} \right)^2 R dt = \frac{1}{2} C U_d^2 \quad (3)$$

电容器设计的额定电流为 100 A, 为了保持直流侧充电时的电流冲击不过流, 在工频模块中加入限流电阻。限流电阻的选择要考虑电阻值、电阻容量、冲击电流的大小以及充电时间等多方面因素^[4]。通过仿真限流电阻为不同值时所得数据如表 1 所示。

表 1 限流电阻的对冲击电流的影响

Tab.1 Choice of current limiting resistor

限流电阻值/ Ω	工频部分	
	充电时间/s	最大冲击电流瞬时值/A
100	1.2	75
150	1.8	52
200	2.4	38
300	3.6	25
500	6.0	16
750	9.0	10
1 000	12.0	8
1 200	14.4	6.4
1 500	18	5.4

限流电阻值与电容上冲击电流的关系如图 4 所

示。

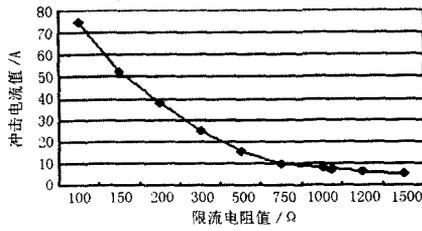


图4 限流电阻值与电容上冲击电流的关系图

Fig.4 Relationship between the current limiting resistor and current impulse on capacitance

为了避免充电瞬间冲击电流过大将电阻烧毁, 在选择电阻功率时按电阻上流过最大的冲击电流时所需的功率, 即:

$$P = I_{\max}^2 R \quad (4)$$

考虑, 所得电阻功率如图5所示。

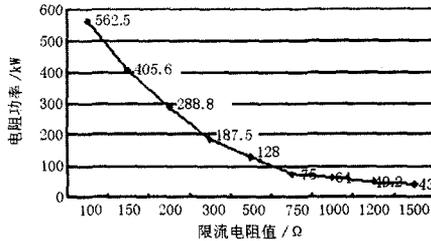


图5 电阻功率图

Fig.5 Resistance power

通过对比选限流电阻值为 1 000 Ω 时比较合适, 所得仿真图如图6所示。

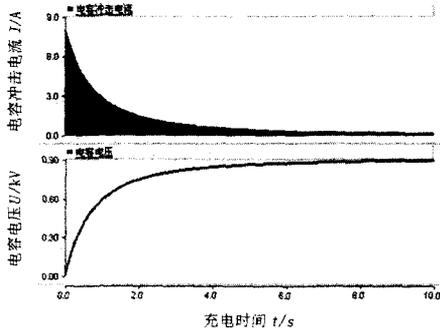


图6 限流电阻为 1000 Ω 时的仿真图

Fig.6 Simulation chart when current limiting resistor is 1000 Ω

由图6可知, 限流电阻为 1 000 Ω 时, 电阻上的冲击电流为 8 A, 充电时间为 12 s, 所需的电阻功率为 64 kW, 由于实际工程中电阻功率一般不会太大, 可考虑将几个电阻串联的方式来达到要求。

经过限流电阻充电后工频模块的直流侧电压达到一定值, 此时再经过开关将限流电阻旁路, 再接通高频模块, 通过控制使高频模块直流电容的电

压慢慢增大, 防止造成大的电流冲击, 从而完成对高频模块的充电。

3 利用辅助整流电路充电

由于装置直接接入 10 kV 的母线上, 为了减小启动时的电流的冲击, 可以利用低压 220 V 系统辅助电源为装置充电。辅助整流充电的电路图如图7所示。

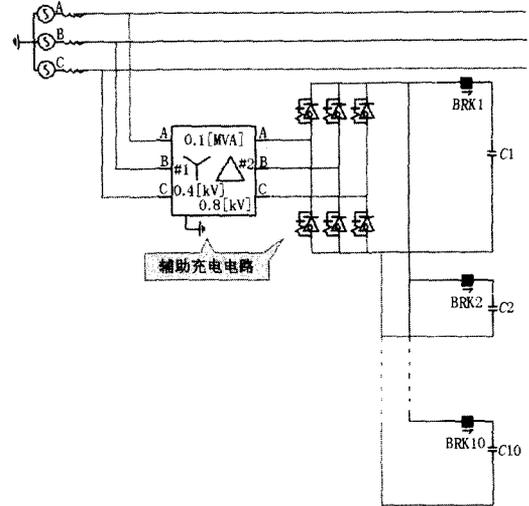


图7 辅助整流充电电路

Fig.7 Auxiliary rectifier charge circuit

本部分所采用的辅助电路的充电过程是利用二极管整流轮换依次充电。辅助电源为从 220 V 侧引线经一个变比为 1: 2 的变压器升为线电压为 800 V 的交流电源, 变压器接法为星三角变换, 容量为 0.1 MVA, 变压器的漏抗可根据实际需要选择, 仿真中按标幺值的 0.05 倍考虑。同时采用了轮换充电方式, 当前一个模块的电容电压充到设定值 1 000 V 时使开关动作将充电电路切换到下一个直流电容上进行充电, 直到所有模块的电容电压都充到 1 000 V 为止。仿真中一共考虑了十个充电模块, 图8仅给出其中四个模块的充电过程, 四条线分别为四个模块的电容电压变化曲线。

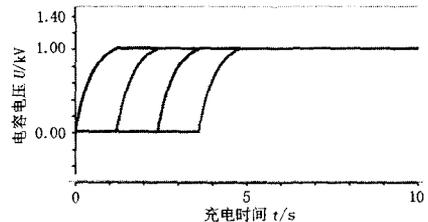


图8 轮换依次充电的电容电压充电过程

Fig.8 Capacitor voltage process when followed by charge

第一个直流电容 C_1 上的冲击电流变化如图 9 所示, 后面模块的电容上冲击电流的变化和第一个一致。

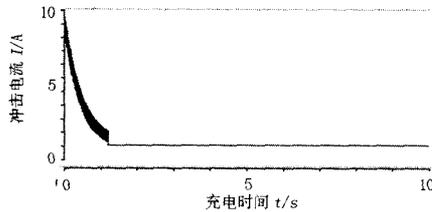


图 9 电容 C_1 上的冲击电流

Fig.9 Current impulse on the capacitance C_1

由图 9 可知, 电容上的冲击电流为 9 A, 远远低于电容器的额定电流。由图 8 可知, 一个模块充电时间为 1.1 s, 按照十个模块轮换依次充电, 整个充电过程需要 11 s 左右。充电完成后再通过控制措施使直流电容电压维持在 1 000 V, 该法由于没有加入限流电阻, 因此无有功消耗, 利于电容电压的稳定。

4 结语

装置利用附加限流电阻充电和利用辅助整流电路充电都能有效地避免充电瞬间电容上电流冲击过大的问题, 保证装置能够安全投入运行。

两种充电方法进行比较, 在满足直流侧电容电压保持 1 000 V 且避免过大的电流冲击的情况下, 加限流电阻电路简单, 但为了保证电容电压维持在 1 000 V 需要通过 PWM 整流环节进行控制, 控制系统比较复杂。相比利用辅助整流电路进行充电, 可以直接使电容电压充到 1 000 V, 但由于需要附加变压器等辅助设备, 从经济性上考虑逊于加限流电阻的方法。

参考文献

[1] 程汉湘, 顾媛媛, 刘艺. 并联型电力有源滤波器的启动特性研究[J]. 电气应用, 2007, 26 (3): 53-56.
CHENG Han-xiang, GU Yuan-yuan, LIU Yi. The Start-up

Characteristic Research of Shunt Active Power Filter[J]. Electrical Applications, 2007, 26 (3): 53-56.

[2] 孙茜, 李萍, 张带润. 并联型有源电力滤波器软启动控制研究[J]. 电力电子技术, 2007, 41 (7): 19-20.
SUN Qian, LI Ping, ZHANG Dai-run. Research on the Soft-starting Control Strategy of Shunt Active Power Filters[J]. Power Electronics, 2007, 41 (7): 19-20.

[3] 刘文华, 宋强, 等. ± 20 MVar StatCom 装置他励启动整流器[J]. 电力电子技术, 2000, (3): 3-4, 8.
LIU Wen-hua, SONG Qiang, et al. Independent-excited Start-up Rectifier for a ± 20 MVar Statcom[J]. Power Electronics, 2000, (3): 3-4, 8.

[4] 张俊杰, 张文学. 大功率电源上电冲击电流限制电阻的设计[J]. 现代电子技术, 2006, 9: 140-141.
ZHANG Jun-jie, ZHANG Wen-xue. Design of Resistance for Restricting Pulse Current in High Power Source[J]. Modern Electronic Technology, 2006, 9: 140-141.

[5] 姜旭, 肖湘宁, 等. H 桥级联式 SSSC 直流侧电容值选择及自励启动充能策略[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (3): 41-46.
JIANG Xu, XIAO Xiang-ning, et al. Selection of DC Capacitance and Schemes of Self-excitation Startup Charge for the H-bridge Cascading SSSC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (3): 41-46.

收稿日期: 2008-11-17; 修回日期: 2008-12-19

作者简介:

刘书铭 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电能质量分析与控制、电力系统谐波分析与综合治理; E-mail: losuwing@126.com

郭春林 (1975-), 男, 讲师, 从事电能质量、电力电子技术在电力系统中的应用方面的研究工作;

徐永海 (1966-), 男, 教授, 从事电力系统谐波、电能质量方面的研究工作。