

基于 VSC 的柔性直流输电技术研究

高永慧

(吉林师范大学信息技术学院, 吉林 四平 136000)

摘要: 介绍了基于 VSC 的柔性直流型输出电力系统的基本结构、基本工作原理和技术特点, 并使用 ATP-EMTP 软件仿真建立其模型, 得出其正常工作时的谐波及其不同故障情况下的运行特点. 最后总结了柔性直流型输电系统需重点研究的几个基础理论问题及其发展前景.

关键词: 柔性直流输电; ATP-EMTP; 谐波分析

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-1492 (2010) 01-0015-04

On HVDC Flexible Technology Based on VSC

GAO Yong hui

(College of Information Technology, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin, China)

Abstract: The basic structure of HVDC flexible technology based on VSC is briefly introduced, as well as the basic working principle and technical characteristics. The ATP-EMTP simulation software is used to build its model, getting the the harmonic analysis under normal operation and the operating characteristics under different failure. Finally, the key basic theoretical researching issues of HVDC flexible technology and its development foreground are summarized.

Key words: HVDC; ATP-EMTP; harmonic analysis

1 引言

随着能源日益紧张和环境污染日益严重, 目前中国在极力开发和利用可再生的清洁型能源. 由于风能、太阳能等可再生能源利用规模的日益增大, 其分散性、小规模性、离供电中心较远等问题, 使得采用传统的交流输送电力系统或传统的直流输电系统显得不是很经济^[1-3]. 相关电子技术的迅猛发展以及控制技术的突飞猛进使得采用直流型输电系统即可解决上述问题. 采用基于可关断型电压源换流装置和 PWM 技术进行直流电输送, 适合应用于可再生能源并网、分布式发电并网、孤岛供电、城市区域电网供电等诸多领域^[4]. 根据实际情况, 特别是西电东送、全国电网联网迫在眉睫的情况下, 研发直流型输电系统, 建设新一代直流型输电联网系统, 将会促进大规模电网合并, 并逐步完善城市供电和孤岛供电等技术.

2 柔性直流型输电的系统结构和基本原理

与传统自然换相技术的直流型输电系统不同, VSC-HVDC (Voltage Source Converter High Voltage Direct Current) 是一种以电压源换流器、可控关断装置和脉宽调制 (PWM) 技术为基础的新型的直流型输电技术. 该技术能在短时间内实现有功功率和无功率的独立解耦控制, 能够自主地向无源电网供电, 极易于构成多端直流型电力系统, 能极大的增加供电系统的稳定性, 提高电力系统的输电能力. 下面将介绍 VSC-HVDC 的系统基本结构和基本的工作原理.

2.1 系统结构

图 1 为柔性直流型输出电力系统的基本原理框图, 两端的换流站全部采用 VSC 基本结构, 由换流站、

来稿日期: 2009-11-02

作者简介: 高永慧(1980-), 男, 辽宁大连人, 现为吉林师范大学信息技术学院教师, 硕士研究生.

换流变压设备、换流电抗设备、直流电容和交流滤波电路等部分组成。

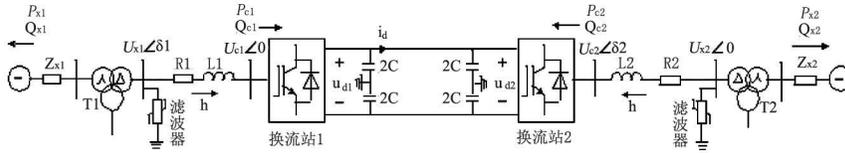


图1 柔性直流输电单线原理图

在 ATP-EMTP 中建立模型如下所示 (图2):

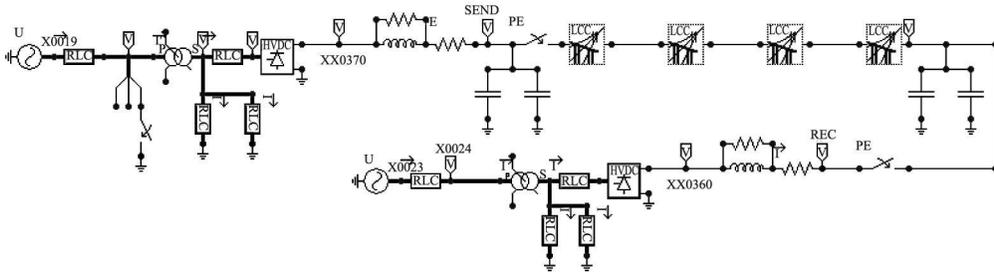


图2 ATP-EMTP 软件仿真电路

其中各部分的基本作用如下^[5]:

电压源换流器 VSC: 电压源换流器的桥由功率比较大的可控制关断电子器件和反并联的二极管构成。在本论文仿真设计中,电压源换流设备采用 HVDC 型模块,其基本结构为 12 脉动控制整流装置。

变压器: 变压器可采用常规的单相变压器或者三相变压器,常见的是采用 Y/Δ 接法。

换流电抗: 换流电抗是 VSC 与交流电力系统之间的功率传送的桥梁,它决定换流设备功率的大小。

直流电容: 直流电容是 VSC 的基本储能元器件,缓冲桥开断的冲击电流的能量,减小直流电压谐波分量。

交流滤波装置: 改善输出的交流电压中高次谐波分量,其容量及参数的设定依据换流器开关的频率来选定。

2.2 工作原理

直流型输电系统可分为端对端直流型供电系统和多端型直流型系统两类,目前已成功运行的直流型系统基本全是两端型系统,图1所示即为两端型直流系统原理图。

与传统的晶闸管直流型供电有所差别,柔性直流型供电采用电压源型换流电路和 PWM 技术,利用 IGBT 可以在高速的情况下进行通断,可将 PWM 技术引入到 VSC 的基本模型中。由调制载波和三角型载波比较,产生相对应的触发脉冲,使 VSC 上端桥和下端桥的高频开关开通和关断,则桥中端电压 u_c 在两端稳定电压 $+u_d$ 和 $-u_d$ 之间进行快速转换, u_c 再经过电抗电路滤波后则转换为电网一侧的交流输出电压 u_s 。

VSC 的基本控制工作原理公式^[6]:

$$P = \frac{u_c u_s}{X_T} \sin d \quad (1)$$

$$Q = \frac{u_s}{X_T} (u_c \cos d - u_s)$$

公式(1)中, u_c 为电流转换器输出端电压的基波分量; u_s 为电网一侧的交流输出电压; d 为 u_c 和 u_s 的相位差; X_T 为换流电抗电路的同效电抗。从式(1)中可看出,通过调控 u_s , d 即可较方便地控制电路输送的有功功率和无功功率。如果利用 PWM 技术, u_c 同 PWM 调制度 M 成正比关系, d 是 PWM 调制波相位差,因此可利用 PWM 调制幅度 M 和 PWM 调制波相位差 d , 在瞬间改变电网一侧交流输出电压的相位和幅值,进而实现有功功率和无功率的单独控制。

3 谐波分量分析

柔性直流型输电系统影响供电电压的质量, 其主要的影响因素就是谐波分量. 电压源换流电路在正常工作时, 其直流电压一端和交流电压一端会同时产生相应的谐波分量; 当工作电压不平衡时或交流供电系统发生不对称的故障时, 直流电压一端和交流电压一端会产生很多非特征要求的谐波分量, 这将使电力系统产生大量的过电压和过电流, 最终影响电路和整个系统的正常运行与安全工作^[7].

柔性直流型输电系统的控制谐波分量的一个方法是在控制电力系统中采用 PWM 技术. 在开关的频率要求相对较高的情况下, 换流电路在比较高的开关频率下工作, 其输出的交流电压和交流电流中含有的低次谐波分量比较少, 本文使用 12 脉动换流装置, 同 6 脉动换流装置相比较 12 脉动换流装置谐波分量特性有很大的改善, 目前换流站大部分只采用 12 脉动换流装置作基本的换流单元. 另一个方法就是在换流设备交流电一端装配换流站交流滤波装置, 用来吸收谐波分量的电流, 使流入交流供电系统的谐波电流变小, 从而进一步的降低了谐波分量电压. 依据高电压状态直流型输电系统的模型, 利用滤波器的相关滤波特性进行了一定的研究. 选取适当的滤波器设置参数, 得出在 ATP-EMTP 环境下整流一端和逆变一端的电压波形, 如图 3 和图 4 所示:

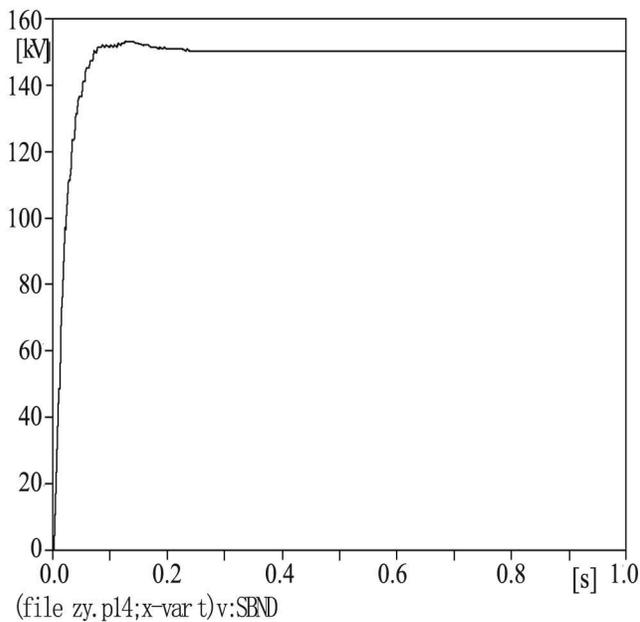


图3 ATP-EMTP 仿真换流器整流一端输出电压波形

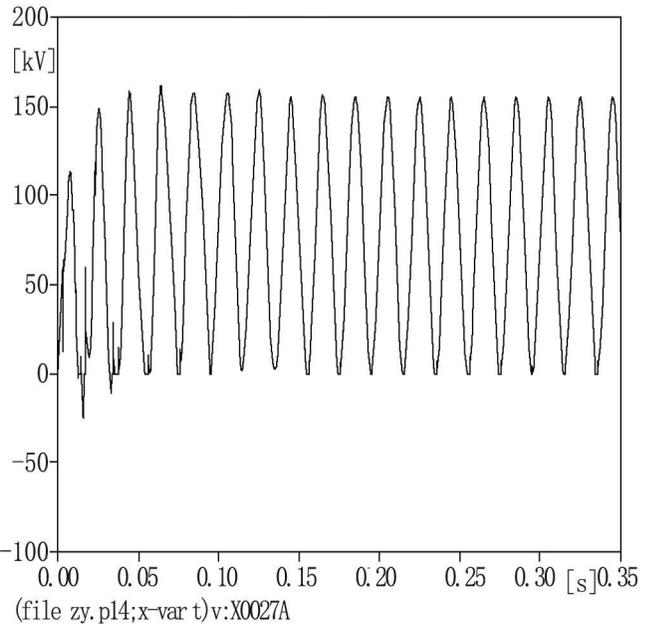


图4 ATP-EMTP 仿真换流器逆变一端输出电压波形

从图 3 和图 4 可看出: 电流转换站在比较高的开关频率下运行, 在交流电压一端和直流电压一端装设相应滤波设备后, 其相应的输出电压含有低次谐波分量很少, 较容易达到谐波分量标准, 可基本正常工作.

4 不同状态的故障分析

同传统的直流输电型输电系统相比较, 柔性直流型输电系统还有另外一个显著的优点: 连接两个独立交流系统的柔性直流型输电系统, 一端交流系统产生故障时, 但并不影响另一端交流系统和换流电路设备的正常运行.

利用 ATP-EMTP 软件仿真结果如下:

由图 5 与图 6 可看出: 如果在一端交流系统出现单相的故障或远端出现三相短路故障时, 柔性直流输电系统仍具备一定的有功功率传输能力. 因此, 在柔性直流型输电的控制系统中, 我们利用合理有效的控制来提高系统在出现故障情况时不间断运行能力.

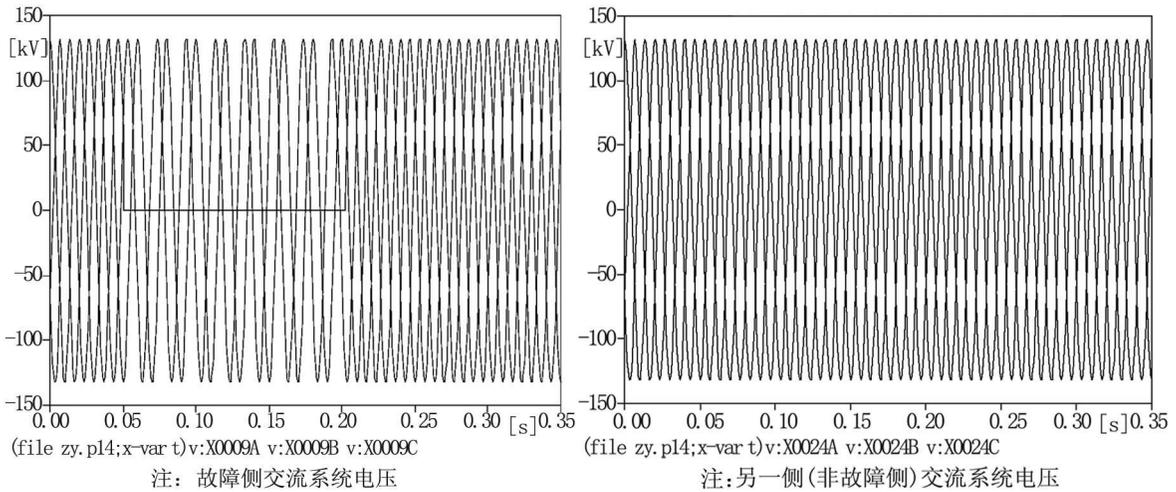


图5 ATP-EMTP 仿真一端交流系统发生单相短路故障时的情况

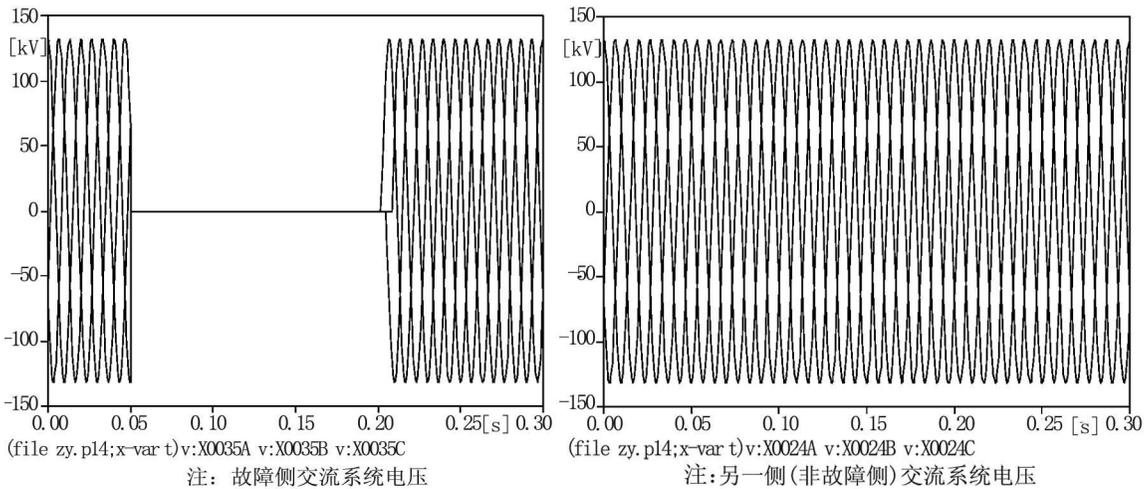


图6 ATP-EMTP 仿真一端交流系统发生远端三相短路故障时的情况

5 结论

本文研究和总结了现有电压源型供电基本模型,通过 ATP-EMTP 软件建立了基于 VSC 的柔性直流输电系统的基础模型,对柔性直流输电系统交流端和直流端进行谐波分量分析、仿真分析及其相应的优化,为交流端与直流端滤波系统的设计、PWM 控制系统的设计及其优化等提供有效的仿真。同时对 VSG-HVDC 输电系统异常工作状况下的仿真并进行了相应的分析,得出供电系统在故障状态下的运行特性,提出了相应的解决办法,确保系统安全可靠运行。

参考文献:

- [1] 唐键,刘天琪,李兴源.新型直流输电数学模型和控制方式研究综述[J].继电器,2006,34(14):75-80
- [2] Xu L, Andersen BR, Cartwright P. Multilevel converter based VSC transmission operating under fault AC conditions, [J]. IEE Transm Distrib, 2005, 152(02): 185-193
- [3] 李庚银,吕鹏飞,李广凯,等.轻型高压直流输电技术的发展和展望[J].电力系统自动化,2003,27(04):77-81
- [4] 郑健超.中国电力百科全书输电与配电卷(第二卷)[M].北京:中国电力出版社,2001:534-557
- [5] Stendius L, Eriksson K. HVDC Light an excellent tool for city center infeed [R]. Singapore: PowerGen Conference, 1999: 1-80
- [6] 郑超,周孝信,李若梅,等.VSG-HVDC 稳态特性与潮流算法的研究[J].中国电机工程学报,2005,25(06):1-5
- [7] 李国栋,毛承雄,陆继明,等.AC/DC 混合输电系统分散协调控制[J].中国电机工程学报,2005,25(19):37-42

[责任编辑:刘守义]