

南方电网多直流馈入系统的 NETOMAC 仿真研究

许爱东, 饶 宏, 洪 潮

(中国南方电网技术研究中心, 广东省 广州市, 510620)

STUDY OF MULTI INFEEED DC SYSTEM IN CHINA SOUTHERN POWER GRID USING NETOMAC

XU Ai-dong, RAO Hong, Hong Chao

Technology Research Center of China Southern Power Grid Co. Ltd.,
Tianhe Road 116 Guangzhou Guangdong Province, 510620 China

ABSTRACT: This paper model the Multi Infeed DC system in China Southern Power Grid for system study by NETOMAC. Based on the model, the study of the interaction of AC and DC system under many faults has been made, and conclusion about the dynamic character of China Southern Power Grid has been drawn.

KEYWORDS: MIDC; HVDC; NETOMAC

摘要: 利用 NETOMAC 建立了 2004 年丰大方式下的南方电网完整的多直流馈入系统模型, 基于此研究模型, 对各种直流故障及交流故障下南方电网多直流馈入系统的交直流相互影响进行了深入的研究, 得到南方电网多直流馈入系统动态特性的相关结论。

关键词: 多直流馈入; 高压直流; NETOMAC

1 引言

为了实施国家西电东送的战略, 实现资源能源的优化配置和促进东西部经济可持续发展, 南方电网自 1993 年实现云南、贵州、广西和广东四省区及港澳地区的电网联网以来, 西电东送的主干网架和各省区电网结构逐年加强, 目前已形成“五条交流、两条直流”的西电东送大通道, 并且通过三广直流与华中电网实现非同步联网。南方电网在国内第一个形成远距离、大容量、超高压输电, 交直流并联运行的大电网。

电网规模的扩大, 在带来巨大经济效益的同时, 使得电网的运行和管理更为复杂, 尤其是天广、贵广、三广三条直流同时落点广东, 也给电网的安全运行带来了许多新的技术问题, 有必要对此问题进行研究。文献[1]做过这方面的研究, 但仍存在着一定的不足。

本文基于 NETOMAC 建立了南方电网多直流馈入系统的完整模型, 并在此模型上, 对各种南方电网内各种直流和交流故障下南方电网交流系统的电压、频率、功角稳定性及直流系统的换相失败

发生、时间和恢复进行计算分析, 研究多直流馈入系统交直流系统间相互作用的动态特性。

2 南方电网多直流馈入系统简介

到目前为止, 南方电网内共有三条直流: 天广直流、贵广直流及三广直流。其中天广直流起点天生桥, 落点广州北郊, 全长 960km, 额定电压 $\pm 500\text{kV}$, 额定输电容量 1800MW; 贵广直流起点贵州安顺高坡, 落点广东肇庆, 全长 936km, 额定电压 $\pm 500\text{kV}$, 额定输电容量 3000MW (现在是单极运行, 传输容量 1500MW); 三广直流起点湖北荆州, 落点广东惠州, 全长 1067km, 额定电压 $\pm 500\text{kV}$, 额定输电容量 3000MW。三条直流均落点于广东电网, 形成了多直流馈入系统。多直流馈入系统如图 1 所示:

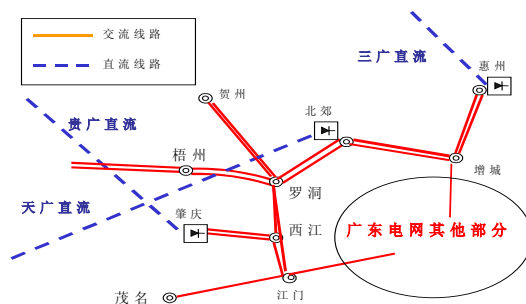


Fig. 1 sketch map of multi infeed system

由于三条直流的换流站之间的电气距离很短, 所以在换流母线附近的故障可能会在三条直流中同时引起较大的影响。为了了解和掌握多落点直流运行的特性, 研究直流故障及西电东送主通道和广东网内交流系统故障对整个系统稳定的影响, 需要对多馈入直流的动态性能和交直流相互影响进行深入的研究。

3 研究工具

目前有很多电力系统仿真工具, 但对南方电网

这样一个复杂的多回交直流并联输电系统,许多仿真工具均不够理想:BPA 等电力系统机电暂态仿真程序可模拟的系统规模足够大,但它的直流控制和 FACTS 的计算模型都不够完善,与 SIEMENS 的实际模型有较大差异,不能准确地模拟这些控制功能的动态行为;而 EMTDC 程序虽然对直流系统的模拟较精确,但所能模拟的系统规模较小,需要将整个系统做等值化简,交流系统只能保留很少的等值元件,给仿真结果带来较大误差。

本研究中以 NETOMAC 软件作为分析研究工具。NETOMAC 是西门子公司和柏林工业大学联合开发的大型电力系统分析软件,它能够进行机电暂态、电磁暂态和稳态等各种电力系统过程的仿真计算。元件模型全,可以模拟电力系统中几乎所有的元件(包括 HVDC 和 FACTS 以及避雷器、晶闸管等非线性元件),能够模拟从频率为 0.01Hz 的汽轮发电机的调节过程,到频率为 10^6 Hz 的雷电波侵入过程,是一个可对包含网络、电机、开环和闭环控制器的电力系统进行各种仿真计算的大型程序。

NETOMAC 能够进行电磁及机电暂态仿真,可以模拟的系统规模没有限制,不需要做任何等值简化,而且由于本文采用的直流模型是西门子公司提供的实际的天广、贵广直流系统的详细模型,可以精确地模拟直流系统在暂态过程中的响应以及整个交直流并联系统的动态特性。

4 元件的模型

4.1 交流系统模型

发电机采用考虑次暂态过程的 E_q'' 和 E_d'' 变化模型,并考虑励磁系统和调速系统的作用。

稳定计算研究中,负荷模型采用由恒定阻抗、恒定电流和恒定功率组成的综合模型,并计及负荷频率因子的影响。其中恒定阻抗,恒定电流,恒定功率的比例如下:广东、广西、贵州均为 30% : 40% : 30%,云南为 30% : 30% : 40%,香港为 40% : 0% : 60%。频率因子 dP/df 广西、贵州、云南均为 1.2,广东、香港为 1.8, dQ/df 所有联网省区均为 -2.0。

4.2 直流模型

天广、贵广直流采用的是西门子公司提供的实际控制模型,具有多种控制功能[2][3]。整流侧可以有定功率、定电流、定电压控制,逆变侧可以有定电流、定电压或者定熄弧角控制。提供大方式、小方式调制(Power Oscillation Damping)功能(信号可选

功角,频率或功率)、频率控制(Frequency Limiter Control)、功率提升和功率回降功能(Power Runup/Runback)等附加控制。提供分接头自动控制方式。三广直流采用的是 CIGRE 通用模型。正常状况下均采用整流侧定功率,逆变侧定电压的控制方式。不考虑调制功能。

5 研究的运行方式

本文的研究采用南方电网 2004 年的丰大运行方式作为计算分析的对象。电网结构简图如下图 2 所示:

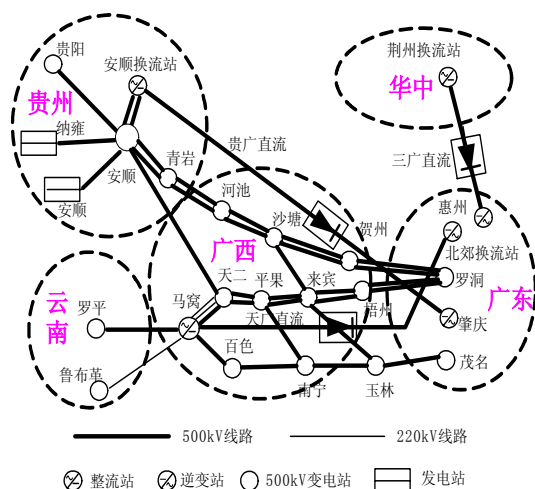


图 2 电网结构简图

Fig. 2 brief structure of CSG

南方电网区外、省间各断面交换功率如下:

贵州交流送出(安天线+天兴线双回+青河线双回)总计为 1550MW,云南送出(罗马线+鲁马线双回)为 1800MW,西电东送交流送出(天平线双回+马百线+青河线+天隆线)3950MW,广东交流入口(梧罗线双回+玉茂线+贺罗线双回)为 3000MW,天广直流为 1800MW,贵广直流为 1500MW,三广直流为 1800MW。

6 多直流馈入系统研究

6.1 直流故障计算分析

考虑直流单极/双极闭锁故障,经过计算,由于交流系统容量较大,贵广直流发生单极闭锁损失 1500 MW 时、天广直流发生单极闭锁损失 900MW 时或者双极闭锁损失 1800MW 时以及三广直流发生单极闭锁损失 900MW 时或者双极闭锁损失 1800MW 时系统均可以保持稳定,没有发生电压、频率、功角失稳的情况。而且一条直流故障,不会引起其他直流换相失败。

典型的直流故障波形图见图 3,4 的天广直流双极闭锁波形图。

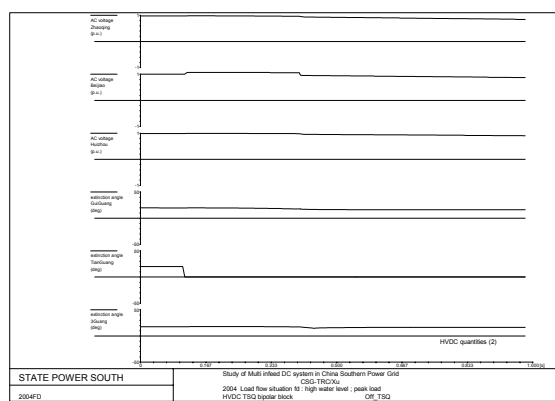


图 3 交流母线电压及熄弧角

Fig. 3 AC voltage of commutation bus and extinguish angle

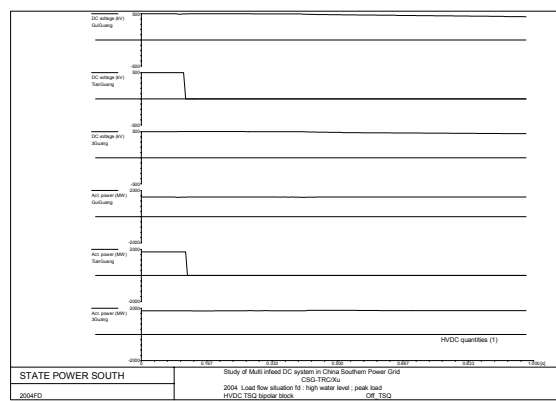


图 4 直流电压及直流功率

Fig. 4 DC voltage and DC active power

6.2 交流故障计算分析

经多大量的计算验证,南方电网内单一元件故障,系统均能够保持稳定,所以下面主要就交流系统的严重故障进行多直流馈入系统的研究。

(1) 西电东送交流通道中的一回三永故障,故障后双回线同时跳

模拟了西电东送交流通道中在一回线路两端 0.1 秒发生三相金属性接地短路永久故障,0.2 秒跳开两回故障线路。

潮流较重的青河线发生故障时,安天线、罗马线、天马线等区域联络线上的功率振荡幅度较大,贵州、云南有部分机组会有小幅振荡。但系统仍然稳定。安顺—青岩线两侧三相永久短路故障后,罗马线、天马线、安天线会发生较大幅度的功率振荡,但逐渐衰减。安顺—高坡线两侧三相永久短路故障后,罗马线、天马线、安天线会发生较大幅度的功率振荡,但逐渐衰减。总的说来是安顺站附近的故障比较严重,对系统的冲击比较大,但都不会对系

统的稳定造成破坏。

西电东送的主通道上发生的交流故障不会造成直流的换相失败。典型的故障波形图见图 5,6,天平线天侧三相短路后跳天平线双回的波形图。

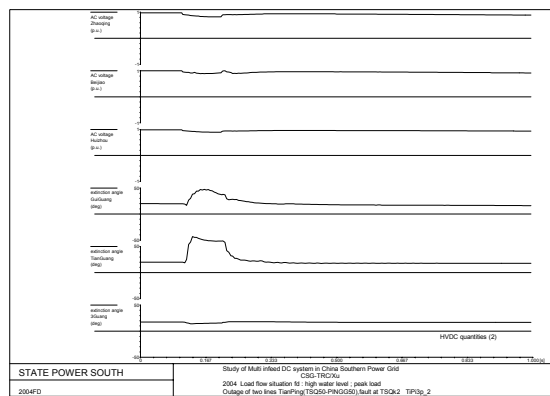


图 5 交流母线电压及熄弧角

Fig. 5 AC voltage of commutation bus and extinguish angle

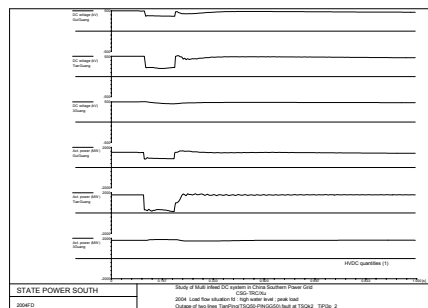


图 6 直流电压及直流功率

Fig. 6 DC voltage and DC active power

(2) 广东电网内双回线中的一回三永故障,故障后双回线同时跳

模拟了西电东送交流通道中在一回线路两端 0.1 秒发生三相金属性接地短路永久故障,0.2 秒后跳开两回故障线路。

惠汕线两侧故障跳双回线后,汕头站电压失稳、汕头电厂及枫树坝电厂均出现功角失稳,频率越限。需要切除部分机组。北曲线两侧三相永久短路故障跳双回线后,系统电压、频率、功角均失稳,需切除粤北或鲤鱼江的机组。另外江门—西江线江门侧故障,横增线横侧故障,蓄增线蓄侧故障,横鹅线横侧故障,横东线横侧故障跳双回线后,部分节点会出现频率越限。

在广东电网内的 500kV 交流线路上距离直流较近的地方发生三相故障,一般均会导致直流发生换相失败。故障点距各换流站的电气距离越近,导致直流换相失败的时间越长,较严重的情况发生在内环网上,换相失败时间较长,具体来说,在肇庆、

西江、罗洞站发生的故障会导致贵广直流长时间换相失败,直到故障清除才恢复,同时会导致三广直流短时换相失败。在增城、横沥、博罗、东莞站发生的三相接地会导致三广直流发生长时间换相失败,直到故障清除才恢复。天广直流发生换相失败的概率相对来说小一些,只有在北郊站发生故障才会导致天广直流发生换相失败,同时导致三广直流短时换相失败。而且故障清除后所有直流均能够很快恢复换相。典型的故障波形图见图 7,8,罗北线北侧三相短路后跳罗北线双回的波形图。

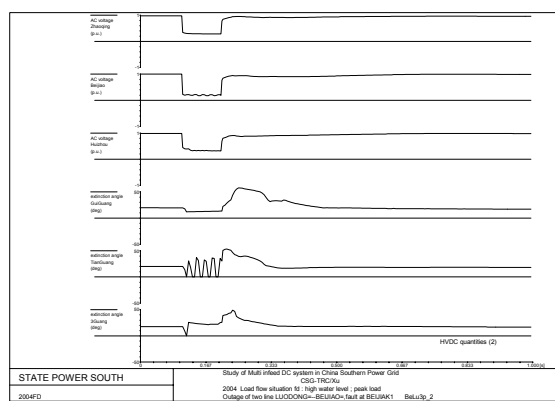


图 7 交流母线电压及熄弧

Fig.8 AC voltage of commutation bus and extinguish angle

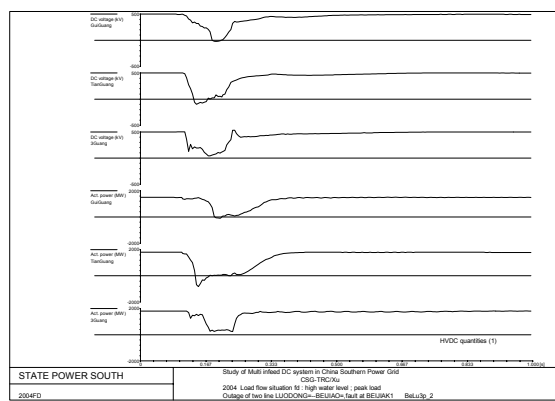


图 8 直流电压及直流功率

Fig.8 DC voltage and DC active power

7 结论

本文首先对 2004 年的南方交直流并联和多直流馈入的系统进行了简要的描述,然后采用 NETOMAC 程序建立了 2004 年丰大方式下完整的南方电网多直流馈入系统研究模型。基于

NETOMAC 上的研究模型,对南方电网多直流馈入系统的交直流相互影响进行了深入的研究,主要包括:(1)各种直流故障下系统是否稳定,直流输电系统是否会发生换相失败,故障切除后换相失败后能否恢复,恢复换相所需要的时间等;(2)各种交流故障下系统是否稳定,直流输电系统是否会发生换相失败,故障切除后换相失败后能否恢复,恢复换相所需要的时间等;(2)故障切除后交流系统中的功角稳定、电压稳定和频率稳定能否维持等。

通过计算分析,研究在直流或交流故障下的南方电网多馈入系统交直流系统间相互作用的动态特性,得到以下几点结论:

(1)任一回直流双极闭锁或单极闭锁,均会对其余两回直流产生影响,但每回直流发生故障时,整个电网都可以保持稳定。

(2)南方电网是一个落点较近的多直流馈入系统,受端广东网内靠近换流站的线路发生三相故障,均可能会导致多回直流逆变器同时换相失败。各回直流逆变器是否换相失败以及换相失败持续的时间与故障点距逆变站换流母线的电气距离有关,距故障点电气距离越近的直流逆变站换相失败的时间越长。

(3)单一交流故障后,随着交流系统电压的恢复,直流能够恢复换相,不会发生因交流故障后持续换相失败导致直流停运的情况。

参考文献

- [1] 中国电力科学研究院. 南方电网多回交/直流混合运行对电网安全稳定性的影响的研究.
- [2] 西门子. 天广直流输电工程手册.
- [3] 西门子. 贵广直流输电工程手册.

作者简介:

许爱东 男,主要研究方向为高压直流输电、交直流电力系统的运行控制。

饶宏 男,从事交直流电力系统的研究工作。

洪潮 男,博士,主要研究领域为交直流电力系统仿真、高压直流输电及其控制。