

1000 kV 特高压变压器调压原理及其仿真分析

冯 顺, 曲 欣, 王 毅, 焦海龙, 张军永, 封永才

(国网河南省电力公司检修公司, 河南 郑州 450006)

摘 要:1000 kV 特高压南阳站是我国特高压交流示范工程,特高压变压器是特高压变电站内的重要设备。变电站内2台不同厂家生产的变压器分别采用完全补偿和非完全补偿的调压方式。文中介绍了2台不同原理变压器的绕组连接方式及调压原理,分别建立了调压补偿原理的 Simulink 仿真模型,并通过变压器电压仿真数据证实了仿真模型的正确性,最后对2台主变的中低压侧电压进行了对比分析,并根据对比结果针对特高压电网建设提出建议,以期为后期特高压建设提供参考。

关键词:特高压;南阳站;调压补偿变压器;仿真分析

中图分类号:TM41

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)01-0109-04

0 引言

1000 kV 特高压变压器是完成国家“三纵三横”特高压输变电建设工程的重要设备,考虑其设备绝缘问题,其调压原理与500 kV 常规自耦变压器有较大区别^[1-3],因此特高压变压器调压原理的理解及其仿真分析具有重要意义。文献[4-6]介绍了特高压主变调压原理,但均未对其进行仿真建模分析。1000 kV 特高压南阳站是我国特高压交流示范工程,站内运行1号、2号主变分别为西安西电(简称西电)和特变电工(简称特变)生产,2台主变分别使用目前常见的2种特高压主变调压方法。文中分析了2台主变的调压原理,并分别对其调压原理进行 Simulink 建模仿真对比分析,并根据仿真结果提出特高压建设建议。

1 特高压南阳站主变调压原理

1.1 主变结构特点

特高压南阳站变压器和常规500 kV 变压器一样,由3个单相自耦变压器组成,每个单相自耦变压器都是由主体变压器(简称主体变)和调压补偿变压器(简称调补变)两部分组成,主体变和调补变之间通过铜母排连接。1号西电主变绕组连接如图1所示,2号特变主变绕组连接如图2所示。图中:HV 为主体变公共绕组;MV 为主体变串联绕组;LV 为主体变低压绕组;BV 为调补变调压励磁绕组;TV 为调补变调压绕组;LE 为调补变补偿励磁绕组;PV 为调补变补偿绕组,其中 BV 和 TV 共铁心,PV 和 LE 共铁心。从图1和图2可以看出1号、2号主变都采用中性点调压方式,因此调压时主磁通会发生

变化,导致低压绕组电压发生变化,而调补变中 LE 和 PV 绕组的存在将会对低压侧电压进行负反馈调节使其电压输出稳定。

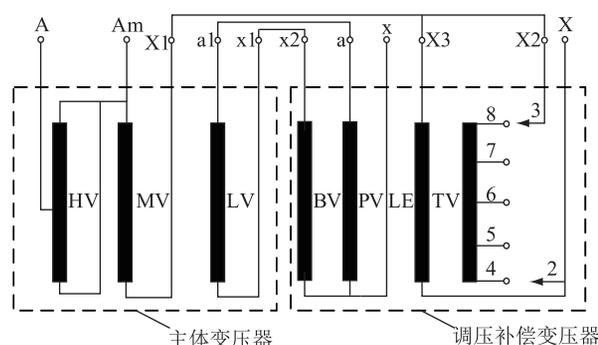


图1 1号西电主变绕组连接

Fig.1 Winding connection diagram of No.1 XD transformer

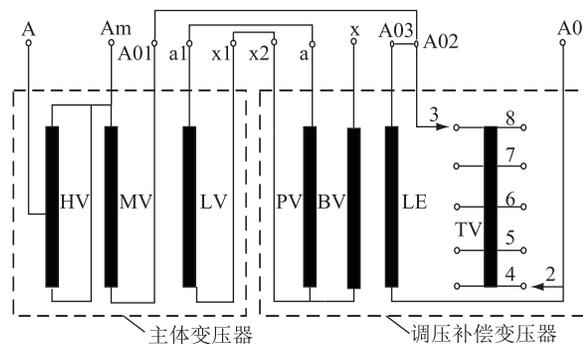


图2 2号特变主变绕组连接

Fig. 2 Winding connection diagram of No.2 TBEA transformer

绕组连接显示1号西电主变调补变调压励磁绕组 BV 励磁电源取自主体变低压绕组 LV 和调补变补偿绕组 PV 串联电压之和(即为低压侧电压),通常称为完全补偿方式;2号特变主变调补变调压励磁绕组 BV 励磁电源取自主体变低压绕组 LV 电压,

通常称为非完全补偿方式。

1.2 主变绕组电磁关系及调压原理

根据主变的结构特点^[7-9]可知,1号西电主变绕组电磁关系矩阵方程为:

$$\begin{bmatrix} N_{LV} & -N_{BV} & N_{PV} \\ 0 & N_{TV} & -N_{LE} \\ N_{HV} + N_{MV} & N_{TV} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_H \end{bmatrix} \quad (1)$$

2号特电主变绕组电磁关系矩阵方程为:

$$\begin{bmatrix} N_{LV} & -N_{BV} & 0 \\ 0 & N_{TV} & -N_{LE} \\ N_{HV} + N_{MV} & N_{TV} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_H \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据2台主变绕组连接原理可知,2台主变中低压电压矩阵方程均为:

$$\begin{bmatrix} N_{MV} & N_{TV} & 0 \\ N_{LV} & 0 & N_{PV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_M \\ U_L \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(1—3)中: U_H 为已知量高压侧电压有效值; U_M , U_L 分别为中,低压侧电压; N_{HV} , N_{MV} , N_{LV} , N_{BV} , N_{LE} , N_{PV} , N_{TV} 为1号、2号主变中各绕组自对应匝数; e_1 为主体变绕组每匝电动势; e_2 为调补变绕组BV,TV为绕组每匝电动势; e_3 为调补变绕组PV、LE绕组每匝电动势。

特高压南阳站1号西电主变、2号特变主变的各绕组匝数如表1所示,主变调节档位调节抽头和TV关系如表2所示。调补变调压绕组有9档调节。1号主变每级40匝调节,2号主变每级45匝调节,

由式(1—3)及绕组匝数可得出中低压侧电压与调补变调压绕组不同档位之间关系^[10-13]。

表1 1号和2号主变绕组匝数

Tab.1 Number of turns of No.1 and No.2 transformer winding

主变	N_{HV}	N_{MV}	N_{LV}	N_{BV}	N_{LE}	N_{PV}	N_{TV}
1号	687	687	249	592	325	59	$\pm 40 \times 4$
2号	854	854	310	649	460	86	$\pm 45 \times 4$

表2 1号和2号主变调压档位

Tab.2 Chart of No.1 and No.2 transformer tap position

档位	1号主变抽头	1号TV匝数	2号主变抽头	2号TV匝数
1	2-4 3-8	+160	3-8 2-4	+180
2	2-4 3-7	+120	3-8 2-5	+135
3	2-4 3-6	+80	3-8 2-6	+90
4	2-4 3-5	+40	3-8 2-7	+45
5	2-4 3-4	0	3-4 2-4	0
6	2-5 3-4	-40	3-4 2-5	-45
7	2-6 3-4	-80	3-4 2-6	-90
8	2-7 3-4	-120	3-4 2-7	-135
9	2-8 3-4	-160	3-4 2-8	-180

2 特高压南阳站主变调压仿真分析

2.1 主变调压原理 Simulink 建模

由于 Simulink 中没有单独的特高压变压器模型,故采用 powerlib 模块中的 Multi-Winding Transformer(多绕组变压器)变压器模型,主体变设置 tapped winding(抽头绕组)为中压侧电压。调补变分别建立调压变压器和补偿变压器模型,其中调压变模型设置抽头绕组进行调压^[14-17]。模型具体参

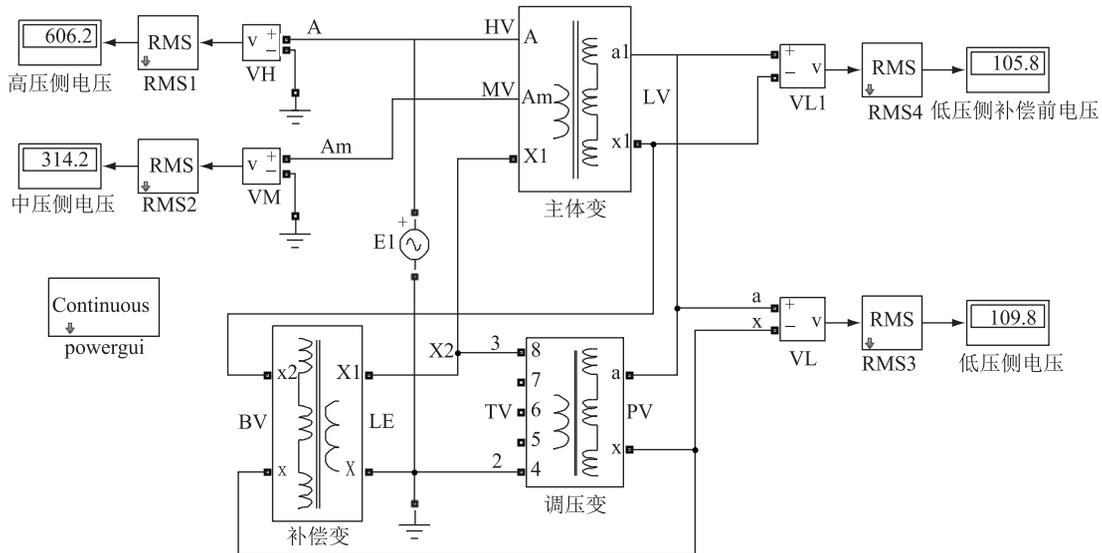


图3 1号西电主变仿真模型

Fig.3 Themodel of No.1 XD transformer simulation

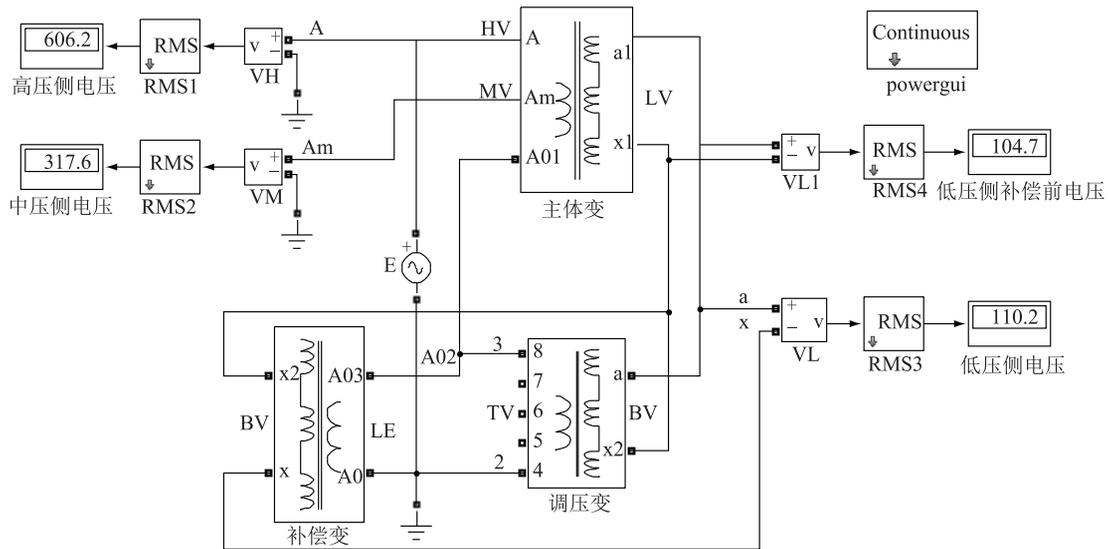


图 4 2号特变主变仿真模型

Fig.4 Themodel of No.2 TBEA transformer simulation

数按表 1、表 2 进行设置,建立的 1 号西电主变仿真模型,2 号特变主变仿真模型分别如图 3、图 4 所示。其中,RMS 为交流电压有效值输出;VH 为主变高压侧交流电压;VM 为主变中压侧交流电压;VL 为主变低压侧交流电压;VL1 为主变低压侧补偿前交流电压;powergui 采用离散设置。

2.2 主变调压原理仿真结果分析

按照表 2 调压档位对应调压抽头分别进行仿真,并输出低压侧补偿前电压进行分析,对仿真结果和主变铭牌中低压电压进行对比,1 号西电主变、2 号特变主变仿真及对比数据分别如表 3、表 4 所示。从仿真结果来看,仿真数据和主变铭牌数据基本吻合,验证了 Simulink 仿真模型的正确性。从仿真数据我们看到 1 号、2 号主变低压侧补偿前电压最大调压波动在 10 kV 左右,而补偿后电压波动基本控制在 0.2 kV 之内,补偿绕组效果明显。

表 3 1号主变仿真数据

Tab.3 The date of No.1 transformer simulation

分接位置	高压侧电压	中压侧仿真电压	主变铭牌中压侧电压	低压侧仿真电压	主变铭牌低压侧电压	低压侧补偿前仿真电压
1	606.2	317.9	318.26	109.8	110	104.4
2	606.2	314.2	314.47	109.8	110	105.8
3	606.2	310.5	310.67	109.8	110	107.1
4	606.2	306.8	306.89	109.8	110	108.5
5	606.2	303.1	303.11	109.8	110	109.8
6	606.2	299.4	299.32	109.8	110	111.2
7	606.2	295.7	295.53	109.8	110	112.5
8	606.2	292	291.74	109.8	110	113.8
9	606.2	288.3	287.95	109.8	110	115.2

表 4 2号主变仿真数据

Tab.4 The date of No.2 transformer simulation

分接位置	高压侧电压	中压侧仿真电压	主变铭牌中压侧电压	低压侧仿真电压	主变铭牌低压侧电压	低压侧补偿前仿真电压
1	606.2	317.6	317.05	110.2	110.01	104.7
2	606.2	314.1	313.69	110.1	110.00	106
3	606.2	310.5	310.25	110.1	109.99	107.3
4	606.2	306.9	306.72	110	109.98	108.6
5	606.2	303.1	303.11	110	109.97	110
6	606.2	299.2	299.41	109.9	109.96	111.4
7	606.2	295.3	295.62	109.9	109.95	112.8
8	606.2	291.2	291.74	109.8	109.94	114.3
9	606.2	287.1	287.75	109.8	109.93	115.8

对比 1 号西电主变、2 号特电主变低压侧电压可知,1 号西电主变在主变调压时低压侧电压更加稳定。对比 1 号和 2 号主变中压侧数据,发现同一调压档位时,中压侧电压有电压差,因此当 1 号、2 号主变并联运行时,中压侧会产生电流环流。

3 结语

特高压南阳站 1 号和 2 号主变仿真数据和铭牌数据的基本吻合说明了仿真模型的正确性。数据显示 2 台主变同一调压档位时中压侧电压有偏差,且 1 号主变调压时低压侧电压更加稳定,因此建议特高压建设时同一变电站使用同一调压原理的变压器以防止中压侧环流,建议使用低压侧电压更加稳定的完全补偿方式原理的特高压主变。

参考文献:

[1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京:中国经济出版社,2005.

- LIU Zhenya. Ultrahigh voltage grid [M]. Beijing: China Economic Press, 2005.
- [2] 郭慧浩, 付锡年. 特高压变压器调压方式的探讨[J]. 高电压技术, 2006, 32(12): 112-114.
- GUO Huihao, FU Xinian. Inquire into voltage regulating method for UHV transformer[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(12): 112-114.
- [3] 孙 昕, 丁 扬, 印永华, 等. 中国特高压交流试验示范工程建设的基本原则[J]. 电力建设, 2007, 28(10): 12-16.
- SUN Xin, DING Yang, YIN Yonghua, et al. Basic principles of China's UHV AC demonstration Project [J]. Electric Power Construction, 2007, 28(10): 12-16.
- [4] 高文彪, 赵宇亭, 赵成运. 特高压变压器两种调压方法及补偿保护浅析[J]. 变压器, 2013, 50(1): 38-41.
- GAO Wenbiao, ZHAO Yuting, ZHAO Chengyun. Analysis of two kinds of UHV transformer regulation method and voltage regulation compensation transformer protection [J]. Transformer, 2013, 50(1): 38-41.
- [5] 车 薪, 郭天啸. 特高压晋东南变电站调压补偿变压器运行分析[J]. 电力建设, 2009, 30(10): 23-25.
- CHE Xin, GUO Tianxiao. Operation analysis of regulation compensation transformer in Jindongnan substation [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(10): 23-25.
- [6] 原敏宏, 李忠全, 田 庆. 特高压变压器调压方式分析[J]. 水电能源科学, 2008, 26(14): 172-174.
- YUAN Minhong, LI Zhongquan, TIAN Qing. Analysis on problems of voltage regulation for UHV transformer [J]. Water Resources and Power, 2008, 26(14): 172-174.
- [7] 李建生. 基于 PSCAD/EMTDC 的 1000 kV 特高压变压器仿真[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(6): 18-21.
- LI Jiansheng. Simulation of 1000 kV transformers based on PSCAD/EMTDC [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(6): 18-21.
- [8] 金 梦, 李修金, 刘一丹, 等. 基于 PModel 的江苏电网机电-电磁混合仿真[J]. 电力工程技术, 36(3): 36-41.
- JIN Meng, LI Xiujin, LIU Yidan, et al. Electromechanical-electromagnetic hybrid simulation of Jiangsu Power Grid using PModel [J]. Electric Power Engineering Technology, 36(3): 36-41.
- [9] 柳维衡, 郑 涛. 基于不同故障情况的特高压变压器差动保护仿真研究[J]. 现代电力, 2010, 27(1): 12-16.
- LIU Weiheng, ZHENG Tao. Simulation research on UHV transformer DIFP based on different fault conditions [J]. Modern Electric Power, 2010, 27(1): 12-16.
- [10] 冯 顺, 曲 欣, 王 毅, 等. 某变电站 500 kV 母线保护 TA 断线保护闭锁分析[J]. 电气技术, 2017, 18(7): 113-116.
- FENG Shun, QU Xin, WANG Yi, et al. The analysis on 500 kV bus-differential protection latch of a substation because of TA break [J]. Electrical Engineering, 2017, 18(7): 113-116.
- [11] 冯 顺, 曲 欣, 王 毅, 等. 浅析 500 kV 智能变电站三跳失灵回路的设计[J]. 电气技术, 2017, 18(6): 120-122.
- FENG Shun, QU Xin, WANG Yi, et al. Brief analysis the genera circuit design of failure protection of three-phase trip in 500 kV smart substation [J]. Electrical Engineering, 2017, 18(6): 120-122.
- [12] 石吉银. 特高压变电站 TPY 级电流互感器暂态特性现场校核方法研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(5): 83-87.
- SHI Jiyin. Field checkout method of TPY class current transformer transient characteristics in UHV substation [J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(5): 83-87.
- [13] 田秋松, 张劲光, 张健毅, 等. 两种不同芯柱特高压变压器的差异分析[J]. 河南电力, 2013(1): 1-4.
- TIAN Qiusong, ZHANG Jinguang, ZHANG Jianyi, et al. Difference analysis on the two different core column UHV transformer [J]. Henan Electric Power, 2013(1): 1-4.
- [14] 朱 翊, 房大中, 王庆平. 考虑变压器励磁非线性电磁暂态仿真算法[J]. 电网技术, 2015, 36(4): 116-120.
- ZHU Yi, FANG Dazhong, WANG Qingping. An approach for electromagnetic transient simulation of power transformers with nonlinear exciting branch [J]. Power System Technology, 2015, 36(4): 116-120.
- [15] 曾麟钧, 林湘宁, 黄景光, 等. 特高压自耦变压器的建模和电磁暂态仿真[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(1): 91-97.
- ZENG Linjun, LIN Xiangning, HUANG Jingguang, et al. Modeling and electromagnetic transientsimulation of UHV auto-transformer [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(1): 91-97.
- [16] 陈继瑞, 邓茂军, 樊占峰, 等. 1000 kV 特高压调压补偿变压器保护方案[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 110-114.
- CHEN Jirui, DENG Maojun, FAN Zhanfeng, et al. Protection scheme for 1000 kV UHV regulation and compensation transformer [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 110-114.
- [17] 李岩军, 周春霞, 肖远清, 等. 特高压有载调压变压器差动保护特性分析[J]. 中国电力, 2014, 47(9): 112-117.
- LI Yanjun, ZHOU Chunxia, XIAO Yuanqing, et al. Analysis of differential protection characteristic for on-load-tap-changer transformer of UHV [J]. Electric Power, 2014, 47(9): 112-117.

作者简介:



冯 顺

冯 顺(1989—),男,本科,工程师,从事超(特)高压继电保护与控制工作(E-mail: 849827439@qq.com);

曲 欣(1978—),男,硕士,高级工程师,从事超(特)高压继电保护与控制工作;

王 毅(1977—),男,本科,高级工程师,从事超(特)高压继电保护与控制工作。

Design and Implementation of Virtual Operation Platform for Protection and Control Device

CHEN Hongjun, ZHOU Qiang, WEN Jifeng, XU Dongfang, LI Jiuhu, ZHOU Lei
(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The design architecture and key technologies of the PC virtual operation platform for a protection and control device are designed in this paper. The device is classified into management process, several real-time components and non-real-time components. The management process reads the configuration files, loads the real-time and non-real-time components libraries of each processor, and completes the initial interaction via virtual CAN bus and FIFO communication. The management process initiates the real-time thread, sets the relationship as per the task cycle, and executes the real-time tasks serially; the management process initiates several non-real-time threads, calls up non-real-time component cycle tasks, and realizes concurrent communication with several debugging clients. Data interaction between components is realized via virtual data bus and shared memory. The platform-based development method supports the simulated testing of the complete set function. Device configuration and program may be operated in the physical device and the virtual device, thus improving the development efficiency.

Key words: protection and control; virtual operation; device emulation; visualization configuration

(编辑 钱悦)

(上接第 112 页)

Regulation-compensation Principle and Simulation Analysis in 1000 kV UHV Transformer

FENG Shun, QU Xin, WANG Yi, ZHANG Junyong, FENG Yongcai

(State Grid Henan Electric Power Corporation Maintenance Company Operation, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: 1000 kV UHV Nanyang substation is a UHV AC demonstration substation engineering project in our country. The UHV transformer is an important equipment in the substation. There are two transformers, which were produced by different companies, using fully compensated and non-fully compensated regulation-compensation principle. The winding connection method and regulation-compensation principle of the two transformers are introduced. The Simulink simulation models of the two transformers are established. The simulation data of the voltage of the transformer confirms the correctness of the simulation model. Finally, some suggestions on the construction of UHV are put forward according to the comparison results, which provide reference for the construction of UHV at later stage.

Key words: UHV; Nanyang substation; regulation-compensation transformer; simulation analysis

(编辑 方晶)