

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.201630

云端平台对 ATP-EMTP 的计算性能提升探究

郭劲东¹, 李云阁², 王敏³, 付周兴¹

(1. 西安科技大学电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 国网陕西省电力公司电力科学研究院, 陕西 西安 710100; 3. 国网陕西省电力公司经济技术研究院, 陕西 西安 710075)

摘要: 目前针对电力系统云计算的相关研究主要集中于大型计算中心的构建与相关调度策略的设计, 对于云端平台与电力仿真软件相结合方面并未开展相关应用研究。为了探究在计算大规模电网时云计算技术对电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 实时计算性能的提升效果, 通过将云端平台同 ATP-EMTP 相结合, 使用不同规模的仿真模型对比仿真软件在本地计算机与云端平台的计算效率。经过实际对比, 云端平台对 ATP-EMTP 的计算效率有一定的提升作用, 但由于软件自身的限制, 云计算技术并不能从本质上提升 ATP-EMTP 的实时计算性能。由所得结论, 针对如何通过云计算技术提升 ATP-EMTP 的实时计算性能, 提出了相应的研究方向。

关键词: 云计算技术; ATP-EMTP; 云端平台; 计算效率; 实时计算

Research on computing performance improvement of ATP-EMTP by cloud platform

GUO Jindong¹, LI Yunge², WANG Min³, FU Zhouxing¹

(1. School of Electrical and Control Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
2. Electric Power Research Institute, State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710100, China;
3. Economic Research Institute, State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710075, China)

Abstract: The current research on power system cloud computing mainly focuses on the construction of large-scale computing centers and the design of related scheduling strategies, and there is no relevant application research on the combination of cloud platform and power simulation software. In order to explore the improvement effect of cloud computing technology on real-time computing performance of electromagnetic transient simulation software ATP-EMTP when calculating large-scale power grids, we combine cloud platform with ATP-EMTP and use simulation models of different scales to compare the computing efficiency of the simulation software in local computer and cloud platform. After actual comparison, cloud platform can improve the computing efficiency of ATP-EMTP to some extent, but because of the limitation of the software itself, cloud computing technology cannot essentially improve the real-time computing performance of ATP-EMTP. From conclusions obtained, the corresponding research direction is proposed on how to improve the real-time computing performance of ATP-EMTP through cloud computing technology.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. U1766208).

Key words: cloud computing technology; ATP-EMTP; cloud platform; computing efficiency; real-time computing

0 引言

随着电力行业的发展, 新型电力网络在规模与结构复杂程度上同传统电网相比, 均有了极大的提升^[1-2]。电力工作者所需分析的电网模型规模与数据量也随之迅速增长, 庞大的数据处理工作对软件操

作环境与硬件配置要求不断提升。云计算技术以其强大的计算能力在计算机行业取得了巨大的成功, 众多公司均建立了自己的云计算中心^[3-5]。

面对云计算技术的广泛前景, 电力行业针对电力系统云计算也开展了相关研究。文献[6]对基于弹性分布数据集和有向无环图的潮流优化云计算系统进行了设计研究; 文献[7]基于云平台设计了发电机组节能减排实时监控; 文献[8]提出了针对电力

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(U1766208)

云数据中心的任务调度策略;文献[9]提出了基于云理论的智能变电站二次设备评估方法;文献[10]将灰色理论和云模型相结合,提出了一种智能变电站二次设备评估的新方法;文献[11]基于云模型理论,建立了考虑风电高阶不确定性的分布式鲁棒优化调度模型。目前针对电力系统云计算开展的相关研究,主要是大型计算中心的构建与相关调度策略的设计,对于云端平台与电力仿真软件相结合方面并未开展相关应用研究。

电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 在分析现代大型电网时,存在运算时间长、效率低下的弊端。在一些对计算实时性具有一定要求的场合,较长的运算时间不能很好地满足实时性的要求。当前,云计算相关技术为电力仿真软件的运行操作提供了一个新机遇。在云计算平台中,只需支付少量费用,便可以直接将超高性能主机、服务器及其他虚拟资源布置在云端,有望通过超高性能主机提升仿真软件的实时计算性能。本文将云端平台与电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 相结合,从检验云计算技术是否有助于 ATP-EMTP 提升实时计算性能的角度,来探究云计算技术在电力仿真软件领域的发展潜力。

1 云端平台相关优势

云计算作为一种新型的分布式计算模式,通常被认为是包含有大量软硬件资源的一种特殊资源池。由于云环境中的资源是充满变化且动态的,可以根据用户的需要将一部分资源提供给用户[12-13]。而由于现代电网在规模大型化与结构复杂化的趋势下不断发展,电力仿真软件所需的运行环境与硬件配置需要不断地升级,所以将电力仿真软件配置在云端运行是极为合适的。从原理上,电力仿真软件在云端平台下运行具有以下优势:

1) 可充分降低基础配置的购置与维护成本。云计算技术可实现将硬件资源虚拟化并布置在远程云端服务器上,且虚拟资源的维护工作均由云服务商来完成[14-15],用户仅需支付少量费用后便可直接使用,从而可充分减少资源的购置与维护成本。

2) 能根据需求灵活调节计算能力与存储空间。针对不断扩大化、复杂化的电网,电力仿真软件用户可以对操作环境与资源进行灵活调整,根据实际计算需求合理分配计算资源[16-17],以不断适应对复杂电网系统的计算要求。

3) 数据安全性高。复杂电力网络分析结果包含极为庞大的数据量,在传统操作环境下,庞大的数

据被存储在本地硬盘中,一旦发生硬件故障,就很有可能导致存储的数据丢失。而在云端平台,数据被存储在云端服务器,用户可在云端虚拟环境下对数据进行备份,提高数据的安全性[18-19]。

2 仿真模型简介

本文探究工作通过使用三个不同规模的仿真模型来对比云端服务器对仿真软件 ATP-EMTP 计算效率的提升效果,三个仿真模型按照规模由小到大依次如下。

仿真模型 1: 单相桥式滤波电路。其主要由一个全桥式整流电路及一个滤波电容结合而成,其结构如图 1 所示。

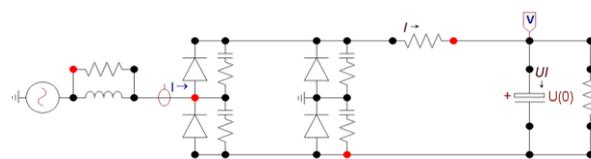


图 1 仿真模型 1 结构图

Fig. 1 Schematic diagram of simulation model 1

仿真模型 2: 750 kV 架空线路的三相时控合闸开关应用模型。其主要由系统电源、为架空线路提供电压初值的非系统电源、三相时控开关、连接首末两端的 479 km 架空线路组成,其结构如图 2 所示。

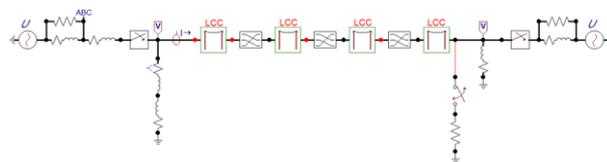


图 2 仿真模型 2 结构图

Fig. 2 Schematic diagram of simulation model 2

仿真模型 3: ± 500 kV 宝鸡换流站—德阳换流站直流线路工程的 ATP 仿真模型。该工程为 12 脉动双极大地返回式高压直流输电工程[20],其模型主要由电气主回路与控制部分组成。电气主回路由 12 脉动整流桥电路与 12 脉动逆变桥电路各两组以双极接线方式组成,整流桥电路与逆变桥电路模型结构如图 3、图 4 所示。

该系统的整流侧与逆变侧之间由长度为 574 km 的直流线路连接,其电气主回路整体结构如图 5 所示。

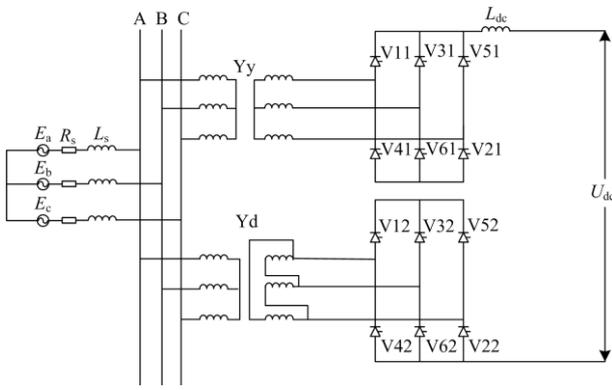


图 3 仿真模型 3 整流桥电路结构图

Fig. 3 Schematic diagram of rectifier bridge circuit of simulation model 3

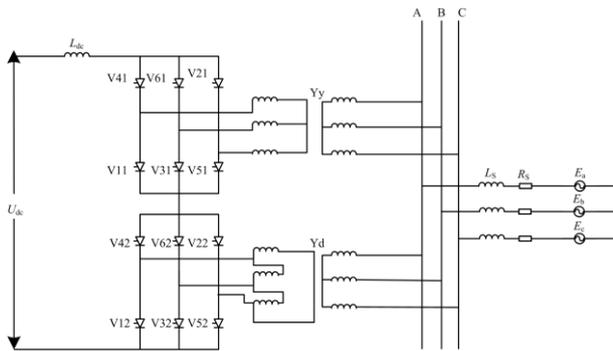


图 4 仿真模型 3 逆变桥电路结构图

Fig. 4 Schematic diagram of inverter bridge circuit of simulation model 3

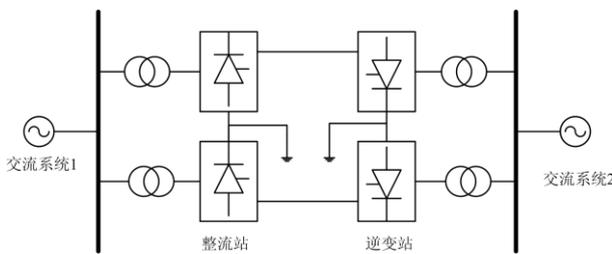


图 5 仿真模型 3 电气主回路结构图

Fig. 5 Schematic diagram of electrical main loop of simulation model 3

仿真模型 3 的控制系统分为控制触发脉冲产生的阀控制系统与控制电气主回路整体的极控制系统^[21-22]。阀控制系统主要由锁相环、延时模块与触发脉冲生成模块组成，其结构如图 6 所示。

极控制系统为采用闭环定电流控制的整流侧控制系统和采用闭环定电流控制结合定关断角 γ 控制的逆变侧控制系统^[23-24]。因本文工作重心在于比较

云端服务器与本地计算机的计算效率，故对各仿真模型的具体参数设置与仿真结果不再加以赘述。

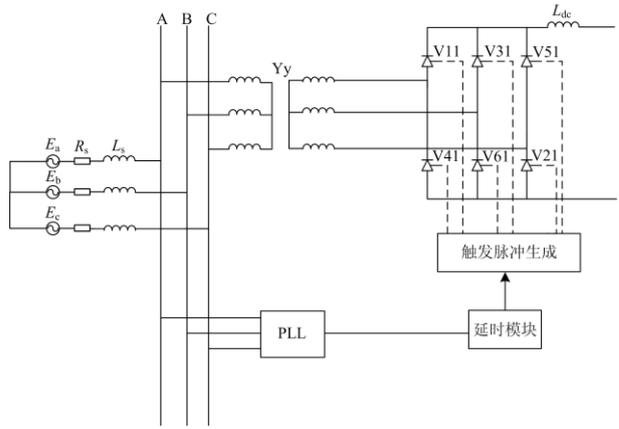


图 6 仿真模型 3 阀控制系统结构图

Fig. 6 Schematic diagram of valve control system of simulation model 3

3 仿真计算时间对比与分析

3.1 仿真计算时间对比

本文探究工作使用两个云端服务器对云端服务器性能进行检验与对比。1 号云端服务器与本地计算机配置相近，目的在于检验相近配置下的云端服务器与本地计算机的计算能力是否接近，以作为检验工作的平衡性基础；2 号云端服务器所选择的配置则远远高于本地计算机，以此来检验高性能云端服务器对软件实时计算性能的提升效果。

按照相同的仿真参数(仿真总时长: 0.5 s; 仿真步长: 1×10^{-5} s), 利用本地计算机对三个仿真模型分别进行 10 次仿真计算, 本地计算机相关配置信息如下: (1) 操作系统, Windows7 旗舰版 32 位 SP1(DirectX 11); (2) 处理器, 英特尔第四代酷睿 i5-4200M 双核处理器; (3) 处理器主频, 2.5 GHz; (4) 运行内存: 4 GB。

仿真计算时间统计结果如表 1 所示。由表 1 可以看出: 仿真模型 1 和 2 的平均仿真计算时间均小于预设仿真总时长, 均实现了实时仿真计算。仿真模型 1 的平均仿真计算时间占仿真总时长的 12.88%, 仿真模型 2 的平均仿真计算时间占仿真总时长的 65.2%, 而仿真模型 3 的平均仿真计算时间则远远超过预设仿真总时长 10 倍以上。由该组对比可以看出: ATP-EMTP 在计算中、小型仿真模型时, 能够实现实时计算, 但随着仿真模型规模与复杂程度不断增加, ATP-EMTP 进行相应仿真计算的实时性也随之不断下降。当计算大规模仿真模型时, ATP-EMTP 则不能实现实时计算。

表 1 本地计算机仿真计算时间统计表
Table 1 Local computer simulation calculation time statistics table

计算次数	仿真模型 1/s	仿真模型 2/s	仿真模型 3/s
1	0.078	0.296	6.926
2	0.047	0.343	6.895
3	0.062	0.328	6.817
4	0.047	0.296	6.833
5	0.094	0.281	6.911
6	0.078	0.359	6.817
7	0.051	0.343	7.004
8	0.062	0.312	6.802
9	0.078	0.359	6.833
10	0.047	0.343	6.755
平均时间/s	0.064 4	0.326	6.859 3
平均时间与仿真 总时长比值	0.128 8	0.652	13.718 6

按照相同的仿真参数, 在 1 号云端服务器上对三个仿真模型分别进行 10 次仿真计算, 1 号云端服务器相关配置信息如下: (1) 操作系统, 2019 数据中心版 64 位中心版; (2) 处理器, Intel Xeon(Skylake) Platinum 8163 双核处理器; (3) 处理器主频, 2.5 GHz; (4) 运行内存, 4 GB。

仿真计算时间统计结果如表 2 所示。

表 2 1 号云端服务器仿真计算时间统计表
Table 2 Cloud server 1 simulation calculation time statistics table

计算次数	仿真模型 1/s	仿真模型 2/s	仿真模型 3/s
1	0.068	0.344	6.875
2	0.074	0.313	6.813
3	0.068	0.328	6.906
4	0.053	0.313	6.822
5	0.047	0.344	6.891
6	0.074	0.328	6.853
7	0.068	0.359	6.875
8	0.053	0.344	6.891
9	0.074	0.375	6.797
10	0.068	0.328	6.844
平均时间/s	0.064 7	0.337 6	6.856 7
平均时间与仿真 总时长比值	0.129 4	0.6752	13.713 7

由表 2 可以看出: 在云端服务器配置与本地计算机相近的前提下, 仿真软件 ATP-EMTP 在两种操作环境下的仿真计算时间相差不大。由此可以验证相近配置的云端服务器具有与本地计算机相当的计算能力, 此结论可作为本次对比验证的平衡性基础。

在相同仿真参数设置下使用高配置的 2 号云端服务器对三个仿真模型分别进行 10 次仿真计算, 以验证高配置云端服务器是否有助于大幅度加快 ATP-EMTP 的仿真计算速度, 以实现在计算大规模电网时的实时计算, 2 号云端服务器相关配置信息如下: (1) 操作系统, 2019 数据中心版 64 位中心版; (2) 处理器, Intel Xeon Gold 6149 32 核处理器; (3) 处理器主频, 3.1 GHz; (4) 运行内存: 64 GB。

仿真计算时间统计结果如表 3 所示。

表 3 2 号云端服务器仿真计算时间统计表
Table 3 Cloud server 2 simulation calculation time statistics table

计算次数	仿真模型 1/s	仿真模型 2/s	仿真模型 3/s
1	0.016	0.203	5.406
2	0.078	0.250	5.234
3	0.047	0.266	5.172
4	0.063	0.234	5.219
5	0.078	0.250	5.203
6	0.047	0.219	5.125
7	0.031	0.234	5.266
8	0.063	0.203	5.141
9	0.016	0.266	5.188
10	0.031	0.219	5.203
平均时间/s	0.047	0.234 4	5.215 7
平均时间与仿真 总时长比值	0.094	0.468 8	10.431 4

由表 3 统计结果可以看出: 3 个仿真模型在 2 号云端服务器的仿真计算时间均小于在本地计算机上的仿真计算时间。1 号、2 号与 3 号仿真模型的平均仿真计算时间分别提高了 0.017 4 s、0.091 6 s 与 1.643 6 s。通过对比仿真计算结果, 可验证较高配置的云端服务器对该电力仿真软件的计算效率确实具有一定的改善效果, 且随着电网规模与复杂程度的增加, 改善效果越明显。但 3 号仿真模型的平均仿真计算时间依然为预设仿真时长的 10 倍左右, 其改善效果与预期的实时计算效果依然存在较明显差距。

3.2 抑制效率提升原因分析

在计算对比结束后, 针对 ATP-EMTP 在高配置云端服务器下计算效率未明显提升的原因进行了分析。ATP-EMTP 在进行仿真计算时所调用的程序为一名称为 tpbig.exe 的执行程序^[25-26], 在仿真软件进行计算的同时, 利用计算机的任务管理器查看该执行程序对应的进程信息。经查看相关进程信息, ATP-EMTP 在进行仿真计算时所调用的计算程序 tpbig.exe 为单线程程序, 其无法在多核系统下进行

多线程计算。故由于软件自身限制，即使配置了核数多达 32 核的高性能云端服务器，也无法大幅提升单线程程序的计算效率。在本次对比中对计算效率具有提升效果的因素为云端服务器较高的主频，在执行同一单线程程序时，处理器主频越高，计算速度越快，即仿真计算时长与处理器主频成反比关系。

4 结论

本文将云端平台与电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 相结合以探究云计算技术对该软件仿真计算效率的提升效果。经过实际验证，得到如下结论：

1) 云端平台对该软件的仿真效率具有一定的提升效果，但由于软件自身存在限制，ATP-EMTP 在云端平台上进行仿真计算时并不能完全发挥云计算技术的强大优势，故云计算技术不能从本质上帮助 ATP-EMTP 实现在计算大规模电网时的实时计算；

2) 若想借助云端平台大幅提升 ATP-EMTP 的计算效率，可以在未来的软件开发工作中，针对 ATP-EMTP 开发能够实现多线程计算的计算程序，由此充分结合云端平台多核系统的强大优势，实现在计算大规模电网时的实时计算；

3) 电力工作者在进行相关软件同云端平台结合的实际工作时，要注意提前查看软件执行程序的线程数，单线程程序并不能有效同云端平台结合以提升其计算性能。

参考文献

[1] 田芳, 黄彦浩, 史东宇, 等. 电力系统仿真分析技术的发展趋势[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(13): 2151-2163.
TIAN Fang, HUANG Yanhao, SHI Dongyu, et al. Developing trend of power system simulation and analysis technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(13): 2151-2163.

[2] 肖湘宁. 新一代电网中多源多变换复杂交流系统的基础问题[J]. 电工技术学报, 2015, 30(15): 1-14.
XIAO Xiangning. Basic problems of the new complex AC-DC power grid with multiple energy resources and multiple conversions[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(15): 1-14.

[3] 沐连顺, 崔立忠, 安宁. 电力系统云计算中心的研究与实践[J]. 电网技术, 2011, 35(6): 171-175.
MU Lianshun, CUI Lizhong, AN Ning. Research and practice of cloud computing center for power system[J]. Power System Technology, 2011, 35(6): 171-175.

[4] 周宇, 陈江兴, 付俊峰, 等. 基于云计算的电力任务调度优化策略研究[J]. 电测与仪表, 2020, 57(13): 28-32.

ZHOU Yu, CHEN Jiangxing, FU Junfeng, et al. Research on optimization strategy of power task scheduling based on cloud computing[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(13): 28-32.

[5] 杨延昊. 基于云计算的智能电网调度系统研究[J]. 电网与清洁能源, 2019, 35(9): 7-11.
YANG Yanhao. Design of intelligent grid scheduling system based on cloud computing[J]. Power System and Clean Energy, 2019, 35(9): 7-11.

[6] 化振谦, 卢世祥, 阙华坤, 等. 基于弹性分布数据集和有向无环图的潮流优化云计算系统设计研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(23): 160-165.
HUA Zhenqian, LU Shixiang, QUE Huakun, et al. Design and research of power flow optimization cloud computing system based on elastic distribution data set and directed acyclic graph[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(23): 160-165.

[7] 郑中原, 赵鹏, 姜玲, 等. 基于云平台的发电机组节能减排实时监控[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 148-154.
ZHENG Zhongyuan, ZHAO Peng, JIANG Ling, et al. A real-time monitoring and control system for energy saving and emission reduction of generator set based on cloud platform[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7): 148-154.

[8] 王德文, 刘洋. 一种电力云数据中心的任务调度策略[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(8): 61-66.
WANG Dewen, LIU Yang. A task scheduling strategy of cloud data center in electric power corporation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(8): 61-66.

[9] 王月月, 陈民铀, 姜振超, 等. 基于云理论的智能变电站二次设备状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 71-77.
WANG Yueyue, CHEN Minyou, JIANG Zhenchao, et al. A state assessment method for secondary equipment in intelligent substation based on cloud model[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 71-77.

[10] 叶远波, 谢民, 黄太贵, 等. 基于灰色理论和云模型的智能变电站二次设备状态评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(9): 105-111.
YE Yuanbo, XIE Min, HUANG Taigui, et al. A state assessment method for intelligent substation secondary equipment based on grey theory and cloud model[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(9): 105-111.

[11] 夏鹏, 刘文颖, 张尧翔, 等. 考虑风电高阶不确定性的分布式鲁棒优化调度模型[J]. 电工技术学报, 2020,

- 35(1): 189-200.
- XIA Peng, LIU Wenying, ZHANG Yaoxiang, et al. A distributionally robust optimization scheduling model considering higher-order uncertainty of wind power[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2020, 35(1): 189-200.
- [12] 王浩, 李聪革, 郝磊, 等. 云计算在配电网用电信息采集系统的应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(12): 88-94.
- WANG Hao, LI Congge, HAO Lei, et al. Research and application of cloud computing in power consumption information acquisition system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(12): 88-94.
- [13] GUO Zhaoming, REN Xincheng, REN Feng. Better realization of mobile cloud computing using mobile network computers[J]. Wireless Personal Communications, 2020, 111(2): 1805-1819.
- [14] 朱征, 顾中坚, 吴金龙, 等. 云计算在电力系统数据灾备业务中的应用研究[J]. 电网技术, 2018, 16(3): 43-50.
- ZHU Zheng, GU Zhongjian, WU Jinlong, et al. Application of cloud computing in electric power system data recovery[J]. Power System Technology, 2018, 16(3): 43-50.
- [15] 王石玉. 探究云计算在电力系统的应用前景[J]. 软件, 2013, 34(9): 133-134.
- WANG Shiyu. Explore cloud computing application prospects in the power system[J]. Software, 2013, 34(9): 133-134.
- [16] 王忠杰, 文乐, 杨新民. 大数据在智能化电厂中的应用研究与展望[J]. 中国电力, 2019, 52(3): 133-139.
- WANG Zhongjie, WEN Le, YANG Xinmin. Applied research and prospect of big data in power plant intelligence[J]. Electric Power, 2019, 52(3): 133-139.
- [17] DENG Feng, ZENG Xiangjun, PAN Lanlan. Research on multi-terminal traveling wave fault location method in complicated networks based on cloud computing platform[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(1): 199-210. DOI: 10.1186/s41601-017-0042-4.
- [18] LORI M K. Data security in the world of cloud computing[J]. IEEE Security & Privacy, 2009, 7(4): 61-64.
- [19] MISHRA K N. A proficient mechanism for cloud security supervision in distributive computing environment[J]. International Journal of Computer Network and Information Security, 2020, 12(6): 57-77.
- [20] 段建东, 汪鑫鑫, 卢俊, 等. 基于 ATP 的 HVDC 系统建模及谐波分析[J]. 智慧电力, 2019, 47(11): 9-15.
- DUAN Jiandong, WANG Xinxin, LU Jun, et al. ATP based HVDC system modeling and harmonic analysis[J]. Smart Power, 2019, 47(11): 9-15.
- [21] 王颖, 马聪, 魏文辉, 等. 高压直流输电控制系统仿真模型研究[J]. 宁夏电力, 2011(4): 22-25.
- WANG Ying, MA Cong, WEI Wenhui, et al. Simulation model research on HVDC power transmission control system[J]. Ningxia Electric Power, 2011(4): 22-25.
- [22] 万磊, 丁辉, 刘文焯. 基于实际工程的直流输电控制系统仿真模型[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 629-634.
- WAN Lei, DING Hui, LIU Wenzhuo. Simulation model of control system for HVDC power transmission based on actual project[J]. Power System Technology, 2013, 37(3): 629-634.
- [23] KARLECLK M F. A new closed loop control method for HVDC transmission[J]. IEEE Power Engineering Review, 1996, 17(13): 66-67.
- [24] 刘颖, 戴栋, 汪娟娟, 等. 基于逆变侧定电压控制的 HVDC 系统稳态和暂态响应特性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(24): 1-8.
- LIU Ying, DAI Dong, WANG Juanjuan, et al. Transient and steady responses in HVDC system based on constant voltage control at inverter side[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(24): 1-8.
- [25] 李云阁. ATP-EMTP 及其在电力系统中的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [26] Rule book: alternative transient program[M]. Canadian/American EMTP User Group, 1995.
-
- 收稿日期: 2020-12-28; 修回日期: 2021-01-13
- 作者简介:
- 郭劲东(1996—), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统电磁暂态仿真与建模; E-mail: 3198528880@qq.com
- 李云阁(1967—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为电力系统电磁暂态模拟和仿真实验。E-mail: yunge_li@163.com
- (编辑 葛艳娜)