

考虑小水电接入的配电系统可靠性评估

刘宗兵¹, 束洪春¹, 韩武², 朱文涛²

(1. 昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650051; 2. 昆明供电局, 云南 昆明 650051)

摘要: 小水电分布式接入配电系统必然对其可靠性产生影响。建立了小水电的停运概率模型, 结合负荷和其他各元件的概率模型, 提出了基于时序蒙特卡罗模拟法, 考虑小水电接入的配电系统可靠性评估方法。以此方法对接有小水电的 IEEE RBTS 改进系统进行了可靠性评估, 验证了该方法的有效性。并且通过与原系统可靠性指标的比较, 分析了小水电的接入对配电网可靠性指标的影响及这种影响的特点, 分析结果对小水电的设计工作者在 SHP 的建设选址方面能起到一定的参考作用。

关键词: 小水电; 可靠性评估; 配电系统; 蒙特卡罗模拟; 径流量; 元件状态持续时间抽样

Reliability evaluation of distribution system including small hydro power

LIU Zong-bing¹, SHU Hong-chun¹, HAN Wu², ZHU Wen-tao²

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;

2. Kunming Power Supply Bureau, Kunming 650051, China)

Abstract: With the small hydro power considered, the reliability of the distribution system will be effected consequently. The probability model of small hydro power is established firstly. Combined with other elements model, based on sequential Monte-Carlo simulation, a reliability evaluation method for distribution system with small hydro power is proposed. Applying this method, reliability indices of the IEEE RBTS distribution system including small hydro power is calculated. It is proved that the proposed method is effective. Besides, the effect and its characteristic for evaluation indices of distribution network are analyzed. The analyzed results can supply some references for designer that designs small hydro power in its location election.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No.50347026 and No.50467002), Scientific and Technological R&D Project of Yunnan Province (No.2003GG10), and National Natural Science Foundation of Yunnan Province (No.2005F0052).

Key words: small hydro power; reliability evaluation; distribution system; Monte-Carlo simulation; radial flow amount; duration sampling of components states

中图分类号: TM732

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)02-0055-05

0 引言

根据我国国情, 按国家计委规定, 到 2000 年, 小水电 SHP (Small Hydro Power) 的装机容量范围统计为 2.5 万 kW, 到 21 世纪初, 统计范围又扩大到 5.0 万 kW^[1]。具有建设工期短、接近用户, 输变电设备简单等特点。

我国小水电资源丰富, 主要分布在两湖、两广、

河南、浙江、福建、江西、云南、四川、新疆和西藏等。这 13 个省区的可开发的小水电资源约占全国 90% 左右。就云南而言, 据新华网统计, 从第七个“五年计划”开始, 云南省各级政府、水利水部门和群众集资投入 140 亿元资金, 加快了小水电发展。目前, 全省已经建设 2 090 座中小水电站, 总装机容量 283 万 kW, 发电量达到 112 亿 kWh。由于潜在容量问题, 这些新电厂将直接连接中压或低压配电网, 于是辐射式的网络将变为一遍布电源和用户互联的网络, 潮流也不再单向地从变电站母线流向各负荷, 配电网将发生根本性的变化^[2]。SHP

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50347026, 50467002); 云南省科技攻关项目 (2003GG10); 云南省自然科学基金项目 (2005F00052)

新的连接上网必须进行评估以确定其对当地供电安全和质量的不利影响。SHP 的接入对配电网可靠性的影响及如何影响是本文主要关心的问题。

水轮机组停运可能有两种原因：机组故障强迫停运或者缺乏水能。于是本文在建立 SHP 可靠性评估模型时，考虑了水轮机组一次能源不足的问题。且提出了基于蒙特卡罗模拟法 MCS (Monte-Carlo Simulation)，考虑 SHP 接入的配电网可靠性评估方法。以此方法对接有 SHP 的 IEEE RBTS 改进系统进行了评估。

1 配电网可靠性评估指标体系

配电网可靠性评估指标分为负荷点指标和系统指标两类，负荷点指标是对系统中的每一个负荷点而言，表明故障的局部影响性。系统指标则是全局性的，表明故障对整个系统的影响。

常用的负荷点指标包括各负荷点的故障率 λ_k (次/年)、负荷点每次故障平均停电持续时间 r_k (h/次)、负荷点年平均停电时间 U_k (h/年)，这里 k 是指负荷点。计算时采用以下公式^[3]：

$$\lambda_k = N_{fk} / \sum T_{uk} \quad (1)$$

$$r_k = \sum T_{dk} / N_{fk} \quad (2)$$

$$U_k = \lambda_k r_k \quad (3)$$

式中： N_{fk} 为故障事件的总次数； $\sum T_{uk}$ 和 $\sum T_{dk}$ 分别为负荷点 k 的正常运行总时间和故障停运总时间。

基于以上的负荷点指标，可以定义如下系统指标^[4]：

1) 系统平均停电频率指标 I_{SAIFI}

$$I_{SAIFI} = \frac{\sum_{k=1}^{N_L} \lambda_k M_k}{\sum_{k=1}^{N_L} M_k} \quad (4)$$

2) 系统平均停电持续时间指标 I_{SAIDI}

$$I_{SAIDI} = \frac{\sum_{k=1}^{N_L} U_k M_k}{\sum_{k=1}^{N_L} M_k} \quad (5)$$

3) 用户平均停电持续时间指标 I_{CAIDI}

$$I_{CAIDI} = \frac{\sum_{k=1}^{N_L} U_k M_k}{\sum_{k=1}^{N_L} M_k \lambda_k} \quad (6)$$

4) 平均供电可用率指标 I_{ASAI}

$$I_{ASAI} = \frac{8760 \sum_{k=1}^{N_L} M_k - \sum_{k=1}^{N_L} U_k M_k}{8760 \sum_{k=1}^{N_L} M_k} \quad (7)$$

5) 平均供电不可用率指标 I_{ASUI}

$$I_{ASUI} = 1 - I_{ASAI} \quad (8)$$

式中： N_L 为配电系统负荷点总数； M_k 为第 k 个负荷点的用户数。

2 系统模型

2.1 小水电模型

水轮机组的停运可能有两种原因：机组故障强迫停运或者一次能源不足引起停运，这两种停运都是随机的。

中小型水电站一般是径流式的^[5]，无法对天然径流进行重新分配。在不考虑机组故障的情况下，任意小时 t 的出力取决于河道中当时的天然流量，只有在汛期天然流量超过水轮机所能通过的最大流量时，水电站才按最大过水能力工作。根据日径流资料进行统计分析，利用下式可以计算电站的出力^[1]：

$$N = KQH \quad (9)$$

式中： K 为出力系数，对于 SHP 一般取 6.0~7.5，本文取 7.0； H 为水电站额定水头； Q 为日平均流量。SHP 的出力曲线如图 1 所示，图中 Q_{max} 为水轮机所能通过的最大流量； Q_p 为相应于 SHP 设计保证率的日平均流量； N_Y 为 SHP 的装机容量； N_p 为 SHP 符合设计保证率的日平均出力，即保证出力。当考虑机组的故障强迫停运时，SHP 的出力由当时河道的径流量和正常运行的机组确定。

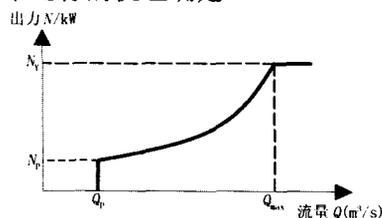


图 1 小水电的出力曲线

Fig.1 SHP power output curve

假设水轮机组的强迫停运率为 r ，对于有 n 台机组的 SHP，则有 k 台机组强迫停运的累计概率为：

$$P_k = \sum_{i=1}^k C_n^k r^i (1-r)^{n-i} = \sum_{i=1}^k \frac{n!}{i!(n-i)!} r^i (1-r)^{n-i} \quad (10)$$

机组的随机故障模拟: 抽取一服从[0,1]区间均匀分布的随机变量 U 与发电机组的停运概率比较来决定当前的发电机出力。当 U 满足 $P_k < U \leq P_{k-1}$ 时, 认为该发电机组的出力为河道流量决定的出力值减去机组的停运容量。

2.2 负荷模型

利用电力部门提供的统计数据 and 典型日负荷、月负荷、年峰荷, 用下式计算各个负荷点在小时 t 的负荷值^[6], 可以形成全年的 8 760 h 负荷。

$$L(t) = L_y P_w P_d P_h(t) \quad (11)$$

式中: L_y 为负荷点每年的峰荷; P_w 为每星期负荷占年峰荷的百分比; P_d 为每天负荷占星期峰荷的百分比; $P_h(t)$ 为每小时负荷占日峰荷的百分比。各个百分比参考文献[7]中提供的数据。

2.3 元件模型

配电系统的变压器、馈线、分支线等元件, 利用两状态模型来描述, 即工作状态和故障状态。元件的状态转移过程可以对符合相应概率分布的状态持续时间进行抽样产生。本文假定元件的状态持续时间服从为指数分布。对于保护元件, 例如熔断器、断路器、开关等, 假设它们均 100%可靠工作。

3 可靠性指标仿真计算

3.1 元件状态持续时间抽样法^[8]

当前对配电网可靠性的评估方法很多^[9-16], 而在配电系统的结构、功能、调度方式日益复杂化的今天, 蒙特卡罗模拟法更具有适应性^[13-16]。元件状态持续时间抽样法是一种时序蒙特卡罗模拟法。假定元件工作时间和故障状态下修复时间服从某种概率分布, 通常电力系统可靠性评估常用指数分布, 然后根据元件的故障率和修复率确定该元件在给定时间段内的状态和状态持续时间。当给定时间段内所有元件的状态和状态持续时间确定后, 就可以获得系统的状态序列和持续时间。

3.2 随机数的产生

元件状态持续时间是服从指数分布的, 而在计算机上产生的随机数都是在[0,1]区间的均匀分布序列, 为了产生服从指数分布的随机变量, 最常用的方法是反函数变换法^[17]。指数分布的累积概率分布函数:

$$F(T) = 1 - e^{-\lambda T}$$

则 $T = -\ln \gamma / \lambda$

式中: γ 为服从[0,1]区间的均匀分布随机数; T 为服从指数分布的随机数。

3.3 可靠性评估算法流程

基于元件状态持续时间抽样法和系统模型, 提出的评估算法流程如图 2 所示。

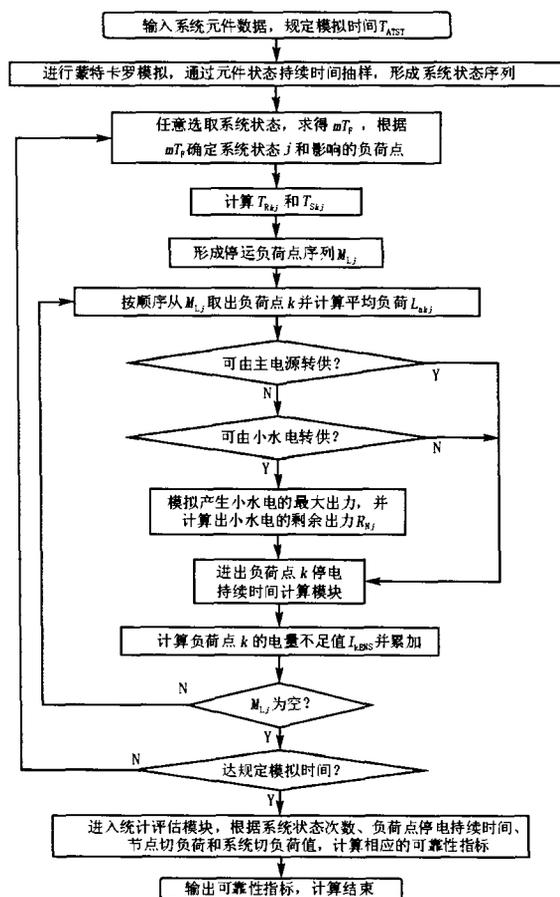


图 2 小水电接入的配电系统可靠性评估算法流程图
Fig.2 Flow chart of reliability evaluation for distribution system considered small hydro power

图中 U 为服从[0,1]区间均匀分布的随机变量; mT_F 为系统中所有元件在给定模拟年限内某个状态的最小运行时间, 故障状态 j 为由元件 j 引起的系统故障 (本文只考虑系统单重故障); T_{Rkj} 和 T_{Skj} 分别为系统状态为状态 j 时, 为使停运负荷点 k 恢复供电的故障元件的修复时间和负荷点转供的切换时间; L_{akj} 为负荷点 k 在故障时间内的平均负荷, 可由下式计算得出:

$$L_{akj} = \frac{\sum_{t_s}^{t_e} L_k(t)}{t_e - t_s + 1} \quad (12)$$

式中: t_s 为故障开始时刻; t_e 为故障结束时刻; $L_k(t)$

为负荷点 k 的每小时的负荷, 由式 (11) 可求得。

其中几个主要计算模块有:

a. 负荷点 k 停电持续时间计算模块。假设对于能由主电源转供又能由小水电转供的负荷点优先由前者转供且不考虑容量约束问题。当由小水电恢复负荷点供电不满足容量约束时, 就应当采取切负荷策略。切负荷策略应在考虑网络重构约束的基础上按负荷点的优先等级进行, 从负荷等级最低的负荷开始切除直到满足容量约束为止。

计算分 3 种情况: 1) 由主电源转供的负荷点 k 的停运时间 $r_{kj} = T_{Skj}$; 2) 对于由小水电转供的负荷点 k , 当 $L_{akj} \leq R_{Nj}$ 时, $r_{kj} = T_{Skj}$; 当 $L_{akj} > R_{Nj}$ 时, 采取切负荷策略, $r_{kj} = T_{Rkj}$; 3) 对于不能转供的负荷点 k , 只能采取切负荷策略, $r_{kj} = T_{Rkj}$ 。

b. 统计评估模块。根据系统状态数、各负荷点停电持续时间、节点切负荷值和系统切负荷值, 运用式 (1) ~ (8) 分别计算可靠性指标。负荷点 k 的电量不足期望值(Expected Energy Not Supply)指标 I_{kEENS} 和系统电量不足期望值(System Expected Energy Not Supply)指标 I_{SEENS} 可按下式计算:

$$I_{kEENS} = I_{kENS} / T_{TST} \quad (13)$$

$$I_{SEENS} = \sum_{k=1}^{N_k} I_{kEENS} \quad (14)$$

4 算例分析

本文采用 IEEE RBTS 母线 6 的主馈线 4 系统(系统数据见文献[18, 19]), 在其中加入 SHP, 进行该算法的仿真计算。系统(系统 1)接线如图 3 所示。小水电的数据资料采用云南省某地方河流一级水电站资料, 该 SHP 为径流式的, 该水电站坝址某年的日平均流量见表 1(限于篇幅, 这里只给出 1 月份的日平均流量), 额定水头 H 为 342.0 m, 采用 4 台机组, 装机为 2.0 万 kW。

表 1 研究的小水电的日平均流量
Tab.1 Average daily flow of the SHP

日期	0101	0102	0103	0104	0105	0106	0107	0108
流量	2.93	5.34	5.46	4.36	3.25	2.59	3.16	2.64
日期	0109	0110	0111	0112	0113	0114	0115	0116
流量	2.35	2.29	2.39	1.99	2.34	2.29	2.68	4.35
日期	0117	0118	0119	0120	0121	0122	0123	0124
流量	3.25	3.15	2.26	2.38	3.58	5.88	5.38	4.35
日期	0125	0126	0127	0128	0129	0130
流量	3.96	3.56	2.67	2.29	2.38	3.16

注: 日期的单位为月日, 流量的单位为 m^3/s 。

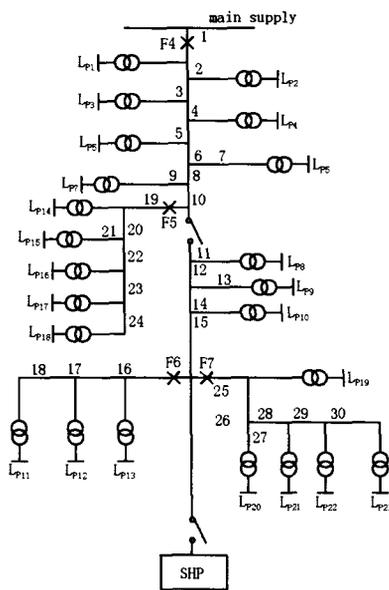


图 3 研究的辐射状配电系统

Fig.3 Radial distribution system under study

为了确保可靠性指标收敛, 模拟时间定为 100 000 年。为了分析 SHP 接入对配电网可靠性的影响, 对原系统(系统 2)可靠性指标也进行了计算。可靠性指标计算结果如表 2、3 所示(限于篇幅, 这里只列出几个负荷点的计算结果)。

表 2 二系统可靠性指标比较

Tab.2 Comparison of system indices for the two systems

系统	I_{CAIDI}	I_{SAIFI}	I_{SAIDI}	I_{ASAI}	I_{SEENS}
系统 1	2.682 43	0.036 6	0.090 2	0.999 9	6 853.6
系统 2	3.726 63	0.036 6	0.136 4	0.999 9	10 445.5

注: 指标 I_{CAIDI} 、 I_{SAIFI} 、 I_{SAIDI} 、 I_{SEENS} 的单位分别为 $h/户 \cdot 次$ 、 $次/户 \cdot 年$ 、 $h/户 \cdot 年$ 、 $MWh/年$ 。

从表 2 可以看出, SHP 的接入, 增加了系统的电源点, 提高了系统的供电能力, 明显提高了用户和系统的平均停电持续时间指标, 大概在四十多个百分比左右; 由于停电频率只和系统元件的故障率有关, 所以系统的停电频率指标保持在原来的水平; 由于 SHP 接入在一定程度上能承担部分负荷, 提高了系统的充裕度水平, 所以电力不足期望值将明显降低。

从表 3 可以看出, 负荷点的可靠性指标跟负荷点在网络中的位置有很大关系: 接近于主电源的负荷点, SHP 的接入对其指标影响不大, 但对接近于 SHP 的负荷点, 负荷点指标明显下降。这是由于 SHP 的接入提升了系统的充裕度, 提高了负荷点转供能力。所以对 SHP 的建设应考虑尽量靠近负荷点。

表 3 系统 1 与系统 2 负荷点可靠性指标对比

Tab.3 Comparison of load points indices for system 1 and 2

负荷点	系统 2 负荷点指标 / 系统 1 负荷点指标					
	λ /次·年 ⁻¹		r /h·次 ⁻¹		U /h·年 ⁻¹	
LP1	0.029 9	0.029 9	2.265 7	2.265 5	0.067 7	0.067 7
LP4	0.030 9	0.030 8	3.330 7	3.328 6	0.102 9	0.102 7
LP11	0.045 2	0.042 5	4.025 3	3.998 6	0.181 9	0.165 7
LP16	0.042 2	0.037 6	5.580 5	3.350 8	0.235 5	0.123 6
LP19	0.044 5	0.040 8	5.102 8	3.010 6	0.227 1	0.118 5
LP23	0.049 9	0.044 2	6.158 6	3.552 5	0.307 3	0.161 8

5 结论

1) 本文首先建立了 SHP 的可靠性概率模型, 再结合负荷和其他各元件的概率模型, 提出了基于蒙特卡罗模拟法, 考虑 SHP 接入的配电系统可靠性评估方法。

2) 通过对接有 SHP 的 IEEE RBTS 改进配电系统的负荷点及系统可靠性指标进行了计算, 分析了 SHP 接入配电系统对其可靠性的影响及这种影响的特点。结果表明, SHP 的接入能提高系统的可靠性水平; 而且, 负荷点在网络中的位置的不同, SHP 的接入对其可靠性的影响程度会不同, 越接近 SHP 的负荷点, 可靠性指标提升幅度就越大。本文的研究结果对 SHP 的设计工作者在 SHP 的建设选址方面能起到一定的参考作用。

参考文献

- [1] 赵超. 水电能源开发利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
ZHAO Chao. Development and Utilization of Hydro Power Resources[M]. Beijing: China Chemistry Press, 2005.
- [2] 加莱斯 P, 哈里森, 等. 小水电的新纪元 [J]. 国际水力发电, 2003:18-23.
- [3] Billinton R, Wang P. Teaching Distribution System Reliability Evaluation Using Monte Carlo Simulation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(2): 397-403.
- [4] Billinton R, Allan R N. Reliability Evaluation of Power System[M]. New York(USA): Plenum, 1984.
- [5] 陈星, 胡扬斌. 小水电站发电量计算的分析探讨[J]. 小水电, 2003, 3: 16-17.
- [6] Wang P, Billinton R. Time-sequential Simulation Technique for Rural Distribution System Reliability Cost/Worth Evaluation Including Wind Generation as Alternative Supply[J]. IEE Proceedings-C, 2001, 148(4): 355-360.
- [7] IEEE Reliability Test System[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1979, 98(6): 2047-2054.
- [8] 郭永基. 电力系统可靠性分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [9] GUO Yong-ji. Power System Reliability Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [9] 谢莹华, 王成山. 基于馈线分区的中压配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(5): 35-39.
- [9] IE Ying-hua, WANG Cheng-shan. Reliability Evaluation of Medium Voltage Distribution System Based on Feeder Partition Method[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(5): 35-39.
- [10] 李卫星, 李志民, 刘迎春. 复杂辐射状配电系统的可靠性评估 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 69-73, 79.
- [10] LI Wei-xing, LI Zhi-min, LIU Ying-chun. Evaluation of Complex Radial Distribution System Reliability[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 69-73, 79.
- [11] 万国成, 任震, 田翔. 配电网可靠性评估的网络等值法模型研究 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(5): 48-52.
- [11] WAN Guo-cheng, REN Zhen, TIAN Xiang. Study on Model of Reliability-network-equivalent of Distribution System Reliability Evaluation[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 69-73, 79.
- [12] 刘柏私, 谢开贵, 等. 复杂中压配电网的可靠性评估分块算法 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(4): 40-45.
- [12] LIU Bo-si, XIE Kai-gui, et al. Section Algorithm of Reliability Evaluation for Complex Medium Voltage Electrical Distribution Networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(4): 40-45.
- [13] 丁明, 张静, 李生虎. 基于序贯蒙特卡罗仿真的配电网可靠性评估模型 [J]. 电网技术, 2004, 28(3): 38-42.
- [13] DING Ming, ZHANG Jing, LI Sheng-hu. A Sequential Monte-Carlo Simulation Based Reliability Evaluation Model for Distribution Network[J]. Power System Technology, 2004, 28(3): 38-42.
- [14] 丁明, 张瑞华. 发输电组合系统可靠性评估的蒙特卡罗模拟 [J]. 电网技术, 2000, 24(3): 9-12.
- [14] DING Ming, ZHANG Rui-hua. Monte-Carlo Simulation of Reliability Evaluation for Composite Generation and Transmission System[J]. Power System Technology, 2000, 24(3): 9-12.
- [15] da Silva A M L, Schmitt W F, et al. Analytical and Monte Carlo Approaches to Evaluate Probability Distribution of Interruption Duration[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1341-1348.
- [16] 万国成, 任震, 吴日昇, 等. 混合法在复杂配电网可靠性评估中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 92-98.
- [16] WAN Guo-cheng, REN Zhen, WU Ri-sheng, et al. Hybrid Method for the Reliability Evaluation of the Complex Distribution System[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 92-98.
- [17] 任震, 黄雯莹, 冉立. 高压直流输电系统可靠性评估 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [17] REN Zhen, HUANG Wen-ying, RAN Li. High Voltage Direct Current Transmission System Reliability Evaluation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

Logical Device Directory 的服务内容不相符。采用的方法是: 在启动 GetNameList 服务时, 将 objectScope 指定为给定的 Domain-Specific 范围, 在实际发送的 PDU 中, 虽没有 Domain Name 这个参数, 但可以从 Get Name List-Request 定义的服务原语中找到。只是需要在服务原语中的 Object Scope 参数选定为 Domain-Specific。在发送 GetNameList-Request 的 PDU 时, MPM 将 Domain Name 的值导出赋给 domainSpecific, 实现确定一个域名的目的。

2 小结

整个 IEC61850 到 MMS 的映射工作是繁重且琐碎的, 上述只是部分例子。总之, 基本数据类型的映射较为简单直接, 也是所有映射的基础。其它类模型映射可归结为两种: 一种是直接映射, 在这种情况下主要是 IEC61850 中较高层次的类模型可以相对应地映射到 MMS 中较高层次对象类, 如 Server 类模型对应 MMS 中的 VMD 对象类等, 在实际映射中可能出现 MMS 中定义的对象类模型, 有很多字段是没有被映射到的, 对于这些字段, 在不影响通信服务的情况下将其省略掉, 其他能够被 IEC61850 类属性映射的字段予以保留, 并在初始化阶段根据要求赋予相应的初值。第二种情况就是间接映射, 在这种情况下需要将 IEC61850 中类的属性结构映射到 MMS 类的一个或多个字段的值, 如 LN 中 DATA 类映射到 MMS 的命名变量的 typeDescription 的一个值。

对于 ACSI 服务的映射比较困难, 需要对 ACSI 中的服务过程和 MMS 中的服务过程进行相应的分析, 有时是一个 ACSI 服务可以通过映射到一个 MMS

服务来达到同样的服务结果; 有时一个 ACSI 服务需要分解分别映射到多个 MMS 服务上才能实现最后需要的结果; 同时还有更多的情况是就是多个 ACSI 服务映射到 MMS 的一个服务上, 最为突出的就是 MMS 中的 Read 和 Write 服务。MMS 中定义的 Read 和 Write 服务的抽象级很高, 使得其可以满足很多需求要求。当然只要能够满足 ACSI 服务的规范要求, 对于 ACSI 服务到 MMS 服务的映射, 可以有选择的。

参考文献

- [1] IEC 61850 变电站通信网络和系统系列标准译文汇编(上下册)[Z]. 2004.
IEC 61850. Communication Network and Systems in Substations[Z]. 2004.
- [2] ISO/IEC 9506-1, Service Definition[S].
- [3] ISO/IEC 9506-1, Protocol Specification[S].
- [4] 章坚民, 朱炳铨, 赵舫, 等. 基于 IEC61850 的变电站子站系统建模与实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(21): 43-48.
ZHANG Jian-min, ZHU Bin-quan, ZHAO fang, et al. Moedling and Implementation of the Subsystem in Substations Based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(21): 43-48.
- [5] 王文龙. MMS 在符合 IEC61850 标准的变电站自动化系统中的应用[A]. 中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十二届学术年会论文集[C].

收稿日期: 2006-08-14; 修回日期: 2006-10-27

作者简介:

林知明(1959-), 男, 教授, 研究方向为变电站自动化系统、计算机测控及通信; E-mail: lzm@4y.com.cn

扬丰萍(1965-), 女, 副教授, 研究方向为变电站自动化系统、计算机测控及通信;

余 瑛(1984-), 男, 硕士, 研究方向为变电站自动化技术。

(上接第 59 页 continued from page 59)

- [18] Billinton R, Wang P. A Generalized Method for Distribution System Reliability Evaluation[A]. In: Proceedings of IEEE WESCANEX'95[C]. Winnipeg (Canada): 1995. 349-354.
- [19] Allan R N, Billinton R, Sjarief I, et al. A Reliability Test System for Educational Purposes Basic Distribution System Data and Results[J]. IEEE Trans on power Systems, 1991, 6(2): 813-820.

收稿日期: 2006-07-07; 修回日期: 2006-10-17

作者简介:

刘宗兵(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统可靠性、安全性方面的研究; E-mail: rainow520@163.com

束洪春(1961-), 男, 博士后, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为新型继电保护和故障测距、数字信号处理及 DSP 应用、电力系统 CTI 技术等;

韩 武(1968-), 男, 高工, 主要从事调度自动化方面的工作。