

广义安全域模型及其在电表状态估计中的应用*

程瑛颖¹ 肖冀¹ 周峰¹ 杨华潇¹ 金志刚²

(1. 国网重庆市电力公司电力科学研究院 重庆 401120; 2. 天津大学 天津 300072)

摘要: 为了保证供电可靠性需要准确、可靠的电能计量手段。随着智能电表的大量安装,电力企业可通过网络获得大量计量信息。基于计量数据,可以有效对电表状态进行估计,提高电网可靠性。在安全域基础上,提出了面向计量装置网络的广义安全域模型。通过安全域分析计算了计量系统的安全性。进一步基于层次分析法和 TOPSIS 算法,对电表状态进行了分类,获得了分析得到影响计量装置可靠性的关键因素。新方法提高状态估计的准确性,为保证供电可靠性和装置替换周期决策等提供了依据。

关键词: 计量装置;状态估计;安全域;层次分析

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4020

General model of security region and its application in energy meters' status estimation

Cheng Yingying¹ Xiao Ji¹ Zhou Feng¹ Yang Huaxiao¹ Jin Zhigang²

(1. EPRI of State Grid Chongqing Branch, Chongqing 401120, China; 2. Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: With a large number of smart meters installation, the power utility can get a variety of information such as meter metering device via a communication network. Considering the needs of grid state estimation for metering device, we propose a general security domain model. The algorithm of calculating the network security domain by using metering device is designed in this paper. Through the security domain model and AHP in obtaining network security at the same time measuring device, given the state of metering devices affect the reliability of the key factors is estimated to improve the state estimation accuracy.

Keywords: metering device; status estimation; security region; AHP

1 引言

电能是现代社会的基礎能源,为了保证供电可靠性,从发电、输电到配电以及用电,都需要准确、可靠的电能计量手段^[1]。智能电网是现代化的电力供应系统,能够监控、保护和优化其内部包括智能电表在内的互联元件的运行^[2]。

为了实现及时有效的进行电网调度和能源管理,需要首先保证智能电表等计量系统的可靠性,及时获得计量装置的状态,对装置的可靠性、计量准确性进行估计。

2 电力系统的安全域

近年来由于安全稳定破坏而导致的大停电等事故不断出现,电力大系统的安全性需要有效模型和方法来进行估计和分析。长期以来电力系统安全性与稳定性的分析方法一般都是按系统场景(运行方式,即运行点)在一种或几

种故障方式下通过仿真计算来获得系统安全性、稳定性结论,这类方法被称为逐点法^[3]。逐点法及其改进方法未有效利用智能电网中的大量计量和其他传感设备获取的大数据,难以对新型的智能电网的运行状态提出整体评价。

安全域(security region, SR)方法是在逐点法基础上发展起来的新方法,描述的是整体可安全稳定运行的区域(图1)^[3]。电力系统的综合安全域 Ω 是潮流安全域 Ω_{ss} 、保证小扰动稳定的安全域 Ω_{sd} 和保证暂态稳定的动态安全域 Ω_d 的交集,即 $\Omega = \Omega_{ss} \cap \Omega_{sd} \cap \Omega_d$ (图2),处于 Ω 内的运行点才是安全的。

3 面向计量状态估计的广义安全域

3.1 状态估计

电力系统的状态估计通过测量数据的冗余度来提高估计数据的精度,其一般过程如下。

收稿日期:2015-07

* 基金项目:国家电网公司科技计划(SG1312)资助项目

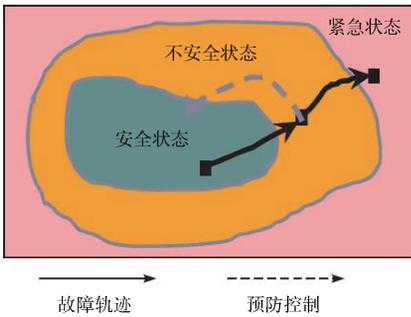


图1 安全域概念

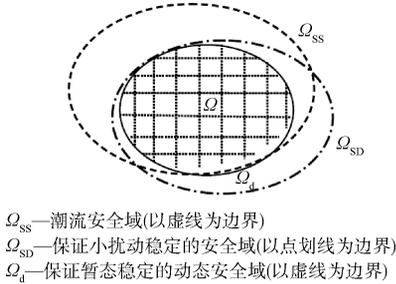


图2 综合安全域表达范围

- 1) 基于计量装置的量测精度和基尔霍夫定律进行估计,得到最近似于系统真实状态的估计值;
- 2) 进行数据检测辨识,删除不良数据;
- 3) 推算出准确的系统各种重要参量;
- 4) 根据遥测量估计系统的实际状态,纠正出现错误的系统状态信息。

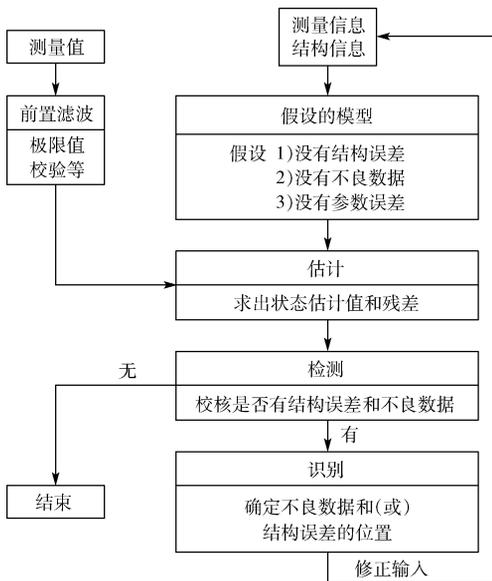


图3 状态估计的步骤

但是,对于低压电能计量装置的状态评估很难按照上面的步骤进行,主要原因如下。

1) 根据对一些城市配电网的计量数据远程采集情况进行调研和分析,发现大部分通过系统采集的电表每天只采集一个全天累计数据;

2) 采集的数据,累计和回传的时间节点不一致,而且漏采集比较常见;

3) 尽管一些区域已经大量换装了具有双向传输能力的智能电表,但是通过低速载波系统很难大量、及时获得居民电表的计量数据。

针对上述影响计量装置状态评估的相关的分析,本文提出了一些针对性的技术手段来解决数据不够,影响因素众多、相互关联等不利问题,并且给出了改进的电表状态评估过程。

1) 根据日数据,结合居民生活特点,常见家用电器,用户购电、变电站负荷曲线等数据,生成实验用的初始数据;

2) 根据电表厂商和计量专家的生产制造、故障处理和状态评估经验,给出可能对电表计量准确性、状态评估有较大影响的因素;

3) 对计量装置自身误差、网损进行网络整体处理和虚拟负荷、虚拟网损分析;

4) 进行基于安全域方法的分析,获得整体状态评估可靠性判断;

5) 采用 AHP 等方法进行关键影响因素分析,然后进行基于关键因素的状态评估,给出电表的评估状态。

3.2 计量装置的广义安全域模型

基本系统安全域针对大型骨干电网,随着用电可靠性要求的提高,计量信息获取的数据的增加,本文提出面向计量装置网络的广义安全域模型。

首先将电网抽象为能量传输的有向图 $G=(M_e, C)$, M 为装置集合, C 为连接的边的集合。从能量流来看,某一系统中的电表集群是树形拓扑或者通过算法转为树形结构,如图 4 所示^[4]。

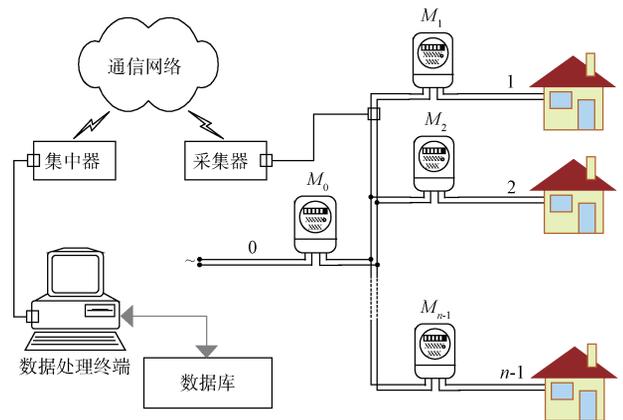


图4 电表集群

电网中往往存在网损及计量误差,可以将这些损失/误差看做特殊的虚拟支路。虚拟支路进一步分成虚拟负荷和

虚拟电表,同样加入上面的有向图 G ,形成广义的安全域模型拓扑。采用本文的广义扩展的安全域模型,将系统安全域扩展为支持计量网络状态估计,包括各种损耗的广义安全域模型,这样就提高了大系统的估计精度和估计范围。

定义 M_n 是虚拟电表,在系统封闭曲面 S 中形成电表集群(表示为 M_j)。定义 $x_{i,j}$ ($i=0,1,\dots$, 是每个测量间隔的序号)为测量间隔 T_i 内流过 M_j 的电能,根据能量守恒得到公式(1)。

$$\sum_{j=0}^n x_{i,j} = 0 \tag{1}$$

根据网络树形拓扑约束, $y_{i,j}$ 与 $x_{i,j}$ 满足式(2)。

$$y_{i,j} = (1 + \delta_j)x_{i,j} \tag{2}$$

定义 δ_j 为 M_j 的相对误差如下:

$$\epsilon_j = \frac{1}{1 + \delta_j} \tag{3}$$

式(1)变换得到下式

$$\sum_{j=0}^n y_{i,j}\epsilon_j = 0 \tag{4}$$

不失一般性,可以将式(4)简化为:

$$y_{i,0}\epsilon_0 + \sum_{j=1}^{n-1} y_{i,j}\epsilon_j + x_{i,n} = 0 \tag{5}$$

通过求解该方程,可以得到电表相对误差,获得系统的广义安全域下的状态估计。

在上面的分析步骤之后,为了及时获得计量装置网络的状态可靠性,提出了下面的算法获得装置的安全域。主要步骤如下。

1)将计量装置按照电压等级分类,高压高的作为高等类别。

2)去除所有连接符合的线路和负荷装置,替换为虚拟负荷顶点。

3)用图的顶点代表计量装置,边代表装置间剩余的连接线路,构成虚拟网络模型。然后对每个计量装置考虑电压等级、使用时间、计量精度、误差测试、检定周期等参数,按照预期寿命,计划检定等确定广义域模型。再进行下面的步骤进行处理,得到状态估计关键因素。

4)如果步骤 3)获得的整体装置状态正常,就不需要后续步骤,否则步骤 5)。

5)对每个装置分别计算可靠性,并且按照可靠性从高到低排序。

6)对于给定比例的排序在后的装置进行关键影响进行层次分析法关键因子分析。

2.3 采用 AHP 分析关键影响

匹茨堡大学 Saaty 教授提出了层次权重决策分析方法(AHP)^[5]。对于电网中的电表网络状态估计问题来说,AHP 方法可以发现不同计量装置对于系统可靠性的影响差异,找到其中的关键影响因素,提高系统的整体安全性。

TOPSIS 法是面向理想目标相似性的顺序选优技术^[6],在进行电网状态估计和安全性分析时可以采用

TOPSIS 计算出各评价目标与理想解的“距离”,按根据“距离”贴程度对相关影响因素进行排序,然后根据排序结果和工作需要得到安全性的指导工作模型。本文提出的电表状态估计算法,对估计准确性和系统安全性 2 个目标分别排序。

根据对电能表计量影响因素的分析,得出利用 AHP 分析影响因素所需的指标体系^[6-7]:计量装置自身的影响状态的指标体系和计量装置形成网络结构的指标体系。

要构造 TOPSIS 中的决策矩阵必须将实际的计量装置状态不同范围的描述性指标转化为定量的数字指标^[7],因此,建立一个统一的参数转化标准是关键^[8-9]。

具体估计时,采用了比较判断矩阵来对下面的居民小区变电站计量表的计量精度参数下的参评因素相对与 B1 的权重计算为算例^[10],如图 5 所示。

	C1	C2	C3	C4	WB1
C1	1	3	7	2	wB1,1
C2	1/3	1	5	1/2	wB1,2
C3	1/7	1/5	1	1/6	wB1,3
C4	1/2	2	6	1	wB1,4

图 5 B1-C 判断矩阵

进一步通过模型和计算得到权重矩阵 $WB = (WB1, WB2)^{[8]}$;利用矩阵运算求出 C 层指标层次总排序 $WC = WB \cdot WA = (0.425, 0.217, 0.063, 0.296)^T$ 。

4 广义安全域方法算例

以某小区 15 个低压电能表为评估对象,根据第 2 节的算法进行评分,如表 1 所示。

表 1 计量装置参评指标

电能表编号	环境影响指标				安全域指标			
	C1	C2	C3	C4	F1	F2	F3	F4
1	7	3	9	6	7	4	1	6
2	2	8	3	3	3	4	2	4
3	2	1	3	3	3	4	2	4
4	7	3	9	6	7	4	7	6
5	7	3	9	2	7	4	7	6
6	6	3	8	6	7	4	2	6
7	6	4	9	5	6	4	2	6
8	3	5	8	6	4	4	1	6
9	7	4	4	6	5	3	2	5
10	8	2	3	4	6	4	2	5
11	9	4	5	3	6	4	1	4
12	7	4	9	6	5	3	2	5
13	8	2	3	4	6	4	1	4
14	9	2	5	3	5	3	2	5
15	7	3	6	5	5	4	3	5

分别构建环境影响决策矩阵 $UA = (u_{ij})_{15 \times 4}$ 和安全域模型决策矩阵 $UD = (u_{ij})_{15 \times 4}$, 然后得到评估值 $H = C_A^T \times C_D = (h_1, h_2, \dots, h_m)$ 。

$H = (0.1647, 0.0794, 0.0164, 0.6039, 0.4710, 0.3024, 0.0819, 0.1354, 0.0198, 0.4781, 0.0279, 0.0195, 0.6510, 0.0546, 0.5244)$

为了方便使用,将 h 值进行变换处理 $H = (1-h)$, 将 0.5 作为是否正常的判断阈值。对于低于 0.5 的判断为注意/异常。参照正态分布,将 0.2(考虑到计算的误差和应用方便性,将 0.683 在应用中修改为 0.7)以下的判断作为异常,将 0.2~0.5 的判断为需要注意。

表 2 状态分类表

H 值范围	<0.2	0.2—0.5	0.5—0.7	>0.7
状态类型	异常	注意	正常	良好

按照说明的状态分类表,可以得到上述 15 个装置的状态判断结果:5,6,10 号正常;4,13,15 需要注意,出现异常的可能性高,其他的状态良好。

5 结 论

论文分析了电网安全性以及安全域模型。针对其中计量装置的状态估计,提出了电表网络状态评估的新模型和关键方法。给出了相关算法和实例。引入了 AHP 层次分析法和 TOPSIS 技术,即时有效获得了状态估计中的关键影响因素,为提高电网安全性提供了参考。

参考文献

- [1] 栾文鹏. 高级量测体系[J]. 南方电网技术, 2009(2): 6-10.
- [2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(34): 1-8.
- [3] 刘怀东, 石世锋, 高天亮, 等. 基于动态安全域的电力系统安全概率评估模型[J]. 中国电力, 2012(5): 1-5.
- [4] GUO J T, JIN Z J. Autonomous algorithm for relative error of generalized flow meters in tree topology[J]. Measurement, 2011, 44(9): 1592-1597.
- [5] 江逸楠, 李瑞莹, 黄宁, 等. 网络可靠性评估方法综述[J]. 计算机科学, 2012, 39(5): 9-13.
- [6] 张先起, 梁川, 刘慧卿, 等. 改进的 TOPSIS 模型及其在黄河置换水量分配中的应用. 四川大学学报: 工程科学版, 2006, 38(1): 30-33.
- [7] 俞淑婷. 基于 WLAN 嗅探攻防的安全技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [8] 俞淑婷, 金志刚, 刘永磊. 基于 TOPSIS 的无线嗅探安全评估模型[J]. 计算机工程, 2013(3): 157-161.
- [9] 郭景涛, 金志刚. 基于互联网的通用远程校准平台[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(4): 932-940.
- [10] 孙春志, 孙静, 王威廉. 基于 CS5463 智能单向电表的设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(3): 28-31, 41.

作者简介

程瑛颖(通讯作者), 1976 年出生, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为电能计量装置技术研发。