

配电网谐波量测装置最优配置方法

李 炜¹, 仇志华², 隋国正³, 孙 东¹, 曲泽奇²

(1. 中国石化股份胜利油田分公司技术检测中心, 山东 东营 257000;

2. 中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 山东 青岛 266580;

3. 胜利油田河口采油厂, 山东 东营 257200)

摘要:为满足油田节能减排与工艺调整要求,变频器等非线性电力电子设备的应用日益广泛,油田配电网谐波污染日趋严重。谐波在线监测系统为测量和分析油田配电网谐波分布特征奠定了基础;但受应用经济性约束,谐波量测终端安装数量有限,有必要对其安装位置进行优化。本文综合考虑谐波状态估计可观测度与冗余度,提出了一种量测终端优化定址方法。采用谐波状态估计可观性逻辑判断法,利用节点关联矩阵计算不同谐波量测终端配置方案下系统可观测度与冗余度;在保证系统可观测度最大的前提下,以冗余度最大为目标优化量测终端安装位置。实现在终端数量有限的情况下提高油田配电网谐波状态估计的可观测度与精度,建模仿真结果证明了该方法的有效性。

关键词:油田配电网;谐波在线监测系统;可观测度;冗余度

中图分类号:TM73

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)06-0109-06

0 引言

近年来,为实现节能减排与生产工艺灵活调整要求,油田电网中变频器等非线性电力电子设备日益增加,且有随机接入系统的网电钻机、网电修井机等设备,导致油田电网谐波源数量和类型不断增加,谐波分布日趋复杂。谐波含量超标易造成补偿电容器无法投入甚至爆炸、谐波谐振以及保护误动作等问题,直接影响油田供电系统的安全可靠运行。所以,研究油田电网中谐波产生的机理、总结在油田生产设备中典型谐波源发生特性,分析谐波产生的影响十分必要。谐波在线监测系统为分析和掌握油田电网谐波发射与传递规律,提供了有效手段。谐波量测装置费用高昂,从经济角度考虑不可能所有节点全部安装。同时,谐波状态估计的可观性和估计精度与量测量的数量、性质、位置以及系统网络的拓扑结构密切相关。

Heydt 等人提出利用系数矩阵最小条件数法进行谐波量测配置优化^[1],但此法仅能得到保证量测方程有解的最小量测点数量,没有涉及可观性等。文献[2]提出了关联矩阵可以判断可观性,但未给出具体方法。文献[3]利用增广关联矩阵判断系统可观性,且说明了冗余度对谐波状态估计精度的影响,但其状态量需要多次搜索,运算量大。文献[4]提出了逻辑判断法判断可观性,但只能判断

电流量测支路对侧节点的可观性。文献[5]利用了网络拓扑分析可观性的方法,但其默认支路量测与节点电压量测分离,运算量大,不适合现有装置。

本文在文献[5]的基础上,一方面利用谐波量测装置可以测量节点电压及相关的所有支路电流的特点,改进了可观性分析的算法,提高了运算效率;另一方面,引入可观测度与冗余度的概念,达到了提高谐波状态估计可观测度与精度的目的。

1 谐波状态估计基础理论

谐波量测装置量测量为节点电压、支路电流和节点注入电流,状态量为节点电压。在电网络的拓扑结构、支路参数以及量测装置安装布局已知的条件下,谐波状态估计表达式为^[6-7]:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

式中: \mathbf{Z} 为量测量,通过量测装置直接读取; \mathbf{H} 为量测方程,与线路的拓扑结构、线路的参数以及量测装置的安装布点有关; $\boldsymbol{\varepsilon}$ 为量测误差; \mathbf{X} 为要求解的状态量。量测方程表示量测量与状态量之间的关系,由以下三部分构成:

(1) 电压量测方程:

$$\mathbf{V}_{m,i} = \mathbf{I}\mathbf{V}_{T,i} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{V}_{m,i}$ 为节点*i*谐波电压量测量; $\mathbf{V}_{T,i}$ 为节点*i*谐波电压状态量; \mathbf{I} 为适当维数的单位矩阵。

(2) 节点注入量测方程:

$$\mathbf{I}_{m,i} = \sum_{j=1}^N y_{i,j} \mathbf{V}_{T,j} \quad (3)$$

式中: $\mathbf{I}_{m,i}$ 为节点*i*谐波注入电流量测量,中间节点

收稿日期:2018-07-21;修回日期:2018-09-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51177096)

的谐波注入电流值为 0; V_{Tj} 为节点 j 谐波电压状态量; $y_{i,j}$ 为节点导纳矩阵中对应节点 i 和 j 的分块导纳矩阵元素; n 为网络节点总数。

(3) 支路量测方程:

$$I_{i,j} = Y_{i,j}(V_i - V_j) \quad (4)$$

式中: $I_{i,j}$ 为节点 i 到 j 之间支路的电流; V_i 和 V_j 为节点 i 和节点 j 的节点电压; $Y_{i,j}$ 对应节点 i 和 j 之间的导纳矩阵。

2 谐波状态估计的可观性逻辑判断方法

谐波量测配置理论基于谐波状态估计可观性分析。可观性分析就是在已知系统网络拓扑结构和量测装置配置的基础下,通过利用量测装置提供的数据来确定未知节点状态的能力^[8-9]。若基于量测装置提供的数据通过量测方程能够得出整个系统节点的电压或电流相量,即通过对系统状态估计可以使系统各节点状态已知,此时系统网络视为完全可观。若基于量测装置提供的数据通过量测方程不能得到整个系统的节点电压或电流相量,则此时系统网络不可观或不完全不可观。

谐波状态估计的可观性逻辑判断方法主要基于前文的 3 类量测方程。由于谐波量测装置不仅可测所安装节点的电压,还可测与该节点相关联的所有支路的电流,因此谐波状态估计的可观性有下列特点^[10-14]:

(1) 若节点存在量测装置,则该节点的状态完全可观;(2) 在本侧节点电压可观时,支路电流量测使与该量测支路互联的对侧节点的状态可观;(3) 若某支路两端的节点电压均可观时,则该支路的电流可观;(4) 若某节点无可疑谐波源,且该节点没有配置量测装置,若该节点相连所有支路电流仅有一个未知,则可根据基尔霍夫电流定律对该支路电流进行求解,该支路电流可观。

可见,当量测配置选在包含支路关联关系最多的节点时,其可观的范围最大。

3 量测配置优化方法

量测装置的优化布点根据优化目的的不同,大体可以分为几类:(1) 出于经济性考虑,配置最少的量测装置,达到最大程度的可观。(2) 配置较少的量测装置,优先考虑使谐波状态估计达到一定精度,其次达到最大程度的可观。(3) 配置一定的量测装置,优先考虑达到最大程度的可观,其次使谐波状态估计达到一定精度。

系统可观测范围可由可观测度表示,可观测

度^[15]是指可观测的节点数与电网络中总节点数的比值,可观测度为 1 则表示系统完全可观。同时在可观的情况下,考虑系统的冗余度,冗余度^[15]为量测点被重复测量的次数。文中量测装置的优化布点,是通过配置一定数量的量测装置,使其达到系统的最大可观,当不同量测配置方案的可观性一致时,优先选择冗余度最大的方案。

根据谐波状态估计可观性的特点,文中将节点的可观性分为直接可观和间接可观^[16-22]。直接可观判断依据可观性特点(1)、(2)、(3),通过关联矩阵进行一次运算即可判断;间接可观判断依据可观性特点(4),须对关联矩阵进行二次运算得到。综上,量测配置优化分为 2 个步骤:

(1) 直接可观节点判断。以系统的可观测度为目标,假设系统的节点数为 n ,有 k 个量测配置方案,建立量测装置的优化布点函数:

$$F_i^T = AX_i^T \quad (5)$$

式中: $F_i^T \in \mathbf{R}^{1 \times n}$, $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$, $X_i^T \in \mathbf{R}^{1 \times n}$, F_i^T , X_i^T 分别表示 F_i , X_i 的转置。 F_i 表示在第 i 个方案下系统的可观测性表达矩阵函数, F_i 中某一元素为 1,则表示该元素对应节点可观,元素为 0 则表示该节点不可观,若大于 1,则大于 1 的部分为重复测量次数即冗余度。 X_i 表示在第 i 个方案下系统的量测配置情况,若 X 中某一元素为 1,则表示该点装有量测装置,若 X 中某一元素为 0,则表示该点不装有量测装置。 A 为系统的关联矩阵,定义如下:当节点 i 与节点 j 相关联时, $A_{ij} = 1$;当节点 i 与节点 j 不相关联时, $A_{ij} = 0$;当 $i = j$ 时, $A_{ij} = 0$ 。

通过此步骤,可以判断出每种量测配置方案下除本身装有量测装置的节点外直接可观的节点,即新增直接可观节点,以及各直接可观节点重复测量的次数即冗余度。

(2) 间接可观节点判断。对于第 i 个量测配置方案下新增的直接可观节点 m ,有:

$$f_m = A_m - X_i \quad (6)$$

式中: A_m 为关联矩阵的第 m 行,表示 m 节点与各节点之间的关联关系; X_i 为第 i 种量测配置方案。

若 f_m 中,除第 m 列外,仅有一列元素为 1,则该列对应节点可观, F_i 中该列元素加 1;对各量测配置方案的所有新增直接可观节点重复执行步骤(2)。

完成所有步骤后,分析 F 中的每一行(即每种量测配置方案)的元素,对每种量测配置方案下的可观测度和冗余度进行比较,选择可观测度最大的量测配置方案为最优配置方案,若有多个量测配置方案可观测度同时最大时,选择冗余度最大的量测

配置方案。上述过程流程图如图 1 所示。

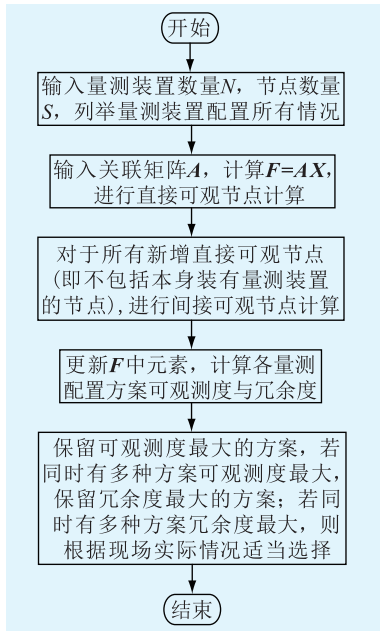


图 1 量测配置优化流程

Fig.1 Flow chart of measurement configuration optimization

4 算例分析

本算例以胜利油田河口采油厂大一变电所某馈线为研究对象, 在线路上选取节点布置量测装置。对该线路模型进行简化, 简化图如图 2 所示。根据线路模型简图, 关联矩阵 A 如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(1) 当量测装置数量分别为 3 和 4 时, 对关联矩阵进行可观性分析, 得到量测配置优化布点结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出, 当量测装置数目为 3 时, 共有 2 种配置方案可供选择, 2 种策略可观

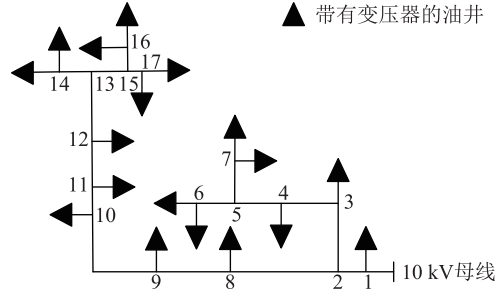


图 2 线路模型简化图

Fig.2 Simplified schematic of Oilfield distribution network line

测度和冗余度相同, 均为系统部分可观且达到系统最大可观测度, 且量测冗余度均为 0, 可根据油田现场实际情况选择合适的配置方案; 当量测装置数量为 4 时, 共有 3 种配置方案可供选择, 系统最大可观测度达到 0.882 353, 且量测冗余度均为 0。

表 1 量测装置布点方案

Tab.1 Measuring device layout scheme

量测装置所布节点	可观测度	冗余度
2,5,13	0.705 882	0
2,5,15	0.705 882	0
2,5,10,13	0.882 353	0
2,5,10,15	0.882 353	0
2,5,11,15	0.882 353	0
2,5,12,15	0.882 353	0

(2) 当量测装置数量为 5 时, 利用关联矩阵进行可观性分析, 量测配置优化布点结果如表 2 所示。

表 2 考虑系统可观测度最大的量测优化布点方案

Tab.2 Optimized layout scheme considering the maximum observability of the system

方案	量测装置所布节点	可观测度	冗余度
I	2,5,9,12,15	1	2
II	2,5,10,12,15	1	1
III	2,5,10,13,15	1	2
IV	2,5,10,13,16	1	1
V	2,5,10,13,17	1	1
VI	2,5,10,14,15	1	1

由表 2 可以看出, 当量测装置数量为 5 时, 系统可以达到完全可观的布点方案有 6 种, 但其冗余度并不相同, 此时, 从状态估计精度角度考虑, 选择冗余度最大的方案, 即方案 I 与方案 III。

由于油田现场实际情况复杂, 有些节点施工难度高, 不便于安装量测装置, 且不同节点负载特性不同, 因此可适当选择量测配置方案。

(3) 当量测装置为 5 时, 采用表 2 中方案 I 作为谐波量测装置配置方案, 进行谐波状态估计, 以 5

次谐波为例,量测量如表 3、4 所示,表 4 中支路编号“2—1”指节点 2 与节点 1 之间支路编号,支路电流测量方向为节点 2 指向节点 1,其他支路同理。状态估计结果如表 5 所示,其中误差指估计值相对于仿真值的误差。

表 3 节点电压量测量

Tab.3 Measurement of node voltage

节点编号	电压幅值/V	电压相位/(°)
2	266.94	149.16
5	456.32	128.99
9	223.35	146.55
12	508.45	126.72
15	521.82	126.08

表 4 支路电流测量

Tab.4 Measurement of branch current

支路编号	电流幅值/V	电流相位/(°)
2—1	3.62	92.91
2—8	2.16	-85.99
2—3	1.50	-77.30
5—4	6.31	-158.83
5—6	6.41	24.33
5—7	0.36	-83.29
9—8	9.34	-122.52
9—10	0.27	-92.12
12—11	2.74	-164.88
12—13	3.41	-163.54
15—13	6.52	-149.68
15—16	4.22	-85.00
15—17	6.25	18.27

表 5 5 次谐波电压幅值和相位误差对比

Tab.5 5th harmonic voltage amplitude and phase error comparison

节点编号	幅值仿真值/V	幅值估计值/V	幅值误差/%	相位仿真值/(°)	相位估计值/(°)	相位误差/%
1	259.65	259.75	0.04	148.15	148.15	-0.01
8	268.67	268.64	-0.01	149.39	149.39	0.01
3	267.54	267.46	-0.03	149.26	149.26	0.02
4	479.71	479.82	0.02	128.01	128.01	0.04
6	331.18	330.46	-0.22	135.39	135.39	-0.34
7	456.68	456.69	0.00	129.05	129.05	0.00
10	180.77	180.47	-0.16	146.13	146.13	0.60
11	509.38	509.32	-0.01	126.83	126.83	0.00
13	502.93	502.90	-0.01	126.96	126.95	-0.01
14	527.77	527.82	0.01	125.80	125.81	0.01
16	257.78	257.91	0.05	142.41	142.50	0.06
17	256.59	256.30	-0.11	147.69	147.75	0.04

可以看出,根据表 2 的方案 I,系统达到了完全可观,且精度较高,误差较小。

5 结语

由于油田配电网网络拓扑结构复杂,节点支路众多,谐波源分布不规律,较为分散,使得谐波状态估计量测装置配置不要求实现全局可观。本文的量测装置最优配置方法,在给定量测装置数量的情况下,可以实现最大程度的可观。且本方法通过关联矩阵进行计算,由于关联矩阵的稀疏性,使得量测装置配置原则简洁明了。当不同的量测装置配置方案可观测度相同时,优先选取量测冗余度最大的量测装置配置方案,提高状态估计的精度。并针对胜利油田河口采油厂大一变电所某馈线进行量测装置配置优化,分别给出了当量测装置数目为 3、4、5 时的量测装置配置方案,并根据配置方案,给出了量测装置数目为 5 时的谐波状态估计结果,结果表明系统达到完全可观,且误差较小。算例验证了本方法的有效性。

参考文献:

- [1] HEYDT G T. Identification of harmonic sources by a state estimation technique[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989,4(1):569-575.
- [2] CHO K S, SHIN J R, HYUN S H. Optimal placement of phasor measurement units with GPS receiver[C]//2001 Power Engineering Society Winter Meeting. Columbus, OH, USA, 2001: 258-262.
- [3] 彭疆南,孙元章,王海风. 考虑系统完全可观测性的 PMU 最优配置方法[J]. 电力系统自动化,2003,4(3):10-16.
PENG Jiangnan, SUN Yuanzhang, WANG Haifeng. An optimal PMU placement algorithm for full network observability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,4(3):10-16.
- [4] 姚玉斌,王丹,吴志良,等. 方程求解法网络拓扑分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(1):79-83.
YAO Yubin, WANG Dan, WU Zhiliang, et al. Particle swarm optimization-based integrated optimal configuration for measuring point of harmonic state estimation[J]. Power System Technology, 2010,30(1):79-83.
- [5] 刘小江,蔡维,杨洪耕. 基于网络拓扑的谐波状态估计量测点最优配置[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(18):42-44.
LIU Xiaojiang, CAI Wei, YANG Honggeng. Network topology analysis based optimal measuring device placement [J]. Power System Protection and Control, 2010,38(21):233-236.
- [6] 吴笃贵,徐政. 基于相量量测的电力系统谐波状态估计(I)—理论、模型与求解算法[J]. 电工技术学报,2004,19(2):63-67.
WU Dugui, XU Zheng. Power system harmonic state estimation based on phasor measurements (I): theory, model and solution algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004,19(2):63-67.

- [7] 吴笃贵,徐 政. 基于相量量测的电力系统谐波状态估计(II)—可观性算例研究[J]. 电工技术学报, 2004, 19(3): 76-82.
WU Dugui, XU Zheng. Power system harmonic state estimation based on phasor measurements (II): observability analysis, quality evaluation algorithm and example studies[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(3): 76-82.
- [8] 吴 杰,杨 刚,卢志刚. 应用粒子群算法的谐波状态估计量测点综合最优配置[J]. 电网技术, 2010, 34(9): 117.
WU Jie, YANG Gang, LU Zhigang. Particle swarm optimization-based integrated optimal configuration for measuring point of harmonic state estimation [J]. Power System Technology, 2010, 34(9): 117.
- [9] 王艳松,韩美玉,谭志勇. 基于遗传算法的PMU配置对谐波状态估计质量影响的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 233-236.
WANG Yansong, HAN Meiyu, TAN Zhiyong. Study on the effect of PMU allocation on the quality of harmonic state estimation [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 233-236.
- [10] LIAO H. Power system harmonic state estimation via sparsity maximization [C] // 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. Montreal, Que, Canada. 2006.
- [11] 纳少华,马彩虹. 电力系统同步相量测量装置(PMU)应用及分析[J]. 中国科技信息, 2011, 45(5): 116-119.
NA Shaohua, MA Caihong. Application and analysis of synchronous phasor measurement device(PMU) in power system [J]. China Science and Technology Information, 2011, 45(5): 116-119.
- [12] DEHKORDI, BEHZAD M, FESHARAKI, et al. Optimal measurement placement for static harmonic state estimation in the power systems based on genetic algorithm[J]. Journal of Electrical Engineering and Technology, 2009, 4(2): 175-184.
- [13] YU KENT K C, WASTON N R, ARRILLAGA J. Error analysis in static harmonic state estimation; a statistical approach[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(2): 1045-1050.
- [14] ARRUDA E F, KAGAN N. Estimation of harmonic states using evolutionary strategies [J]. Controley Automacao, 2009, 20(2): 177-191.
- [15] RAD M S, MOKHTARI H, KARIMI H. An optimal measurement placement method for power system harmonic state estimation[C]//International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering. IEEE, 2013: 1514-1521.
- [16] 吴笃贵,徐 政. 电力系统谐波状态估计技术的发展与展望[J]. 电网技术, 1998, 22(1): 75-77.
WU Dugui, XU Zheng. Review of power system harmonic state estimation[J]. Power System Technology, 1998, 22(1): 75-77.
- [17] 吴永云,陈 适,尹绍阳,等. 系统谐波阻抗估计的自适应K均值聚类方法[J]. 广东电力, 2016, 29(7): 111-116.
WU Yongyun, CHEN Shi, YIN Shaoyang, et al. Self-adaptive K-means clustering method for estimation on system harmonic impedance[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(7): 111-116.
- [18] 刘 东,张 弘,王建春. 主动配电网技术研究现状综述[J]. 电力工程技术, 2017, 36(4): 2-7.
LIU Dong, ZHANG Hong, WANG Jianchun. Review on the state of the art of active distribution network technology research[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2017, 36(4): 2-7.
- [19] 朱 超,张兆君,倪玉玲,等. 智能变电站PMU通信服务结构研究[J]. 电力工程技术, 2016, 35(5): 48-52.
ZHU Chao, ZHANG Zhaojun, NI Yuling, et al. Research on communication service structure of PMU in intelligent substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(5): 48-52.
- [20] 王小匆,刘亚东,盛戈皞,等. 基于改进BPSO算法的PMU优化配置新方法[J]. 广东电力, 2018, 31(1): 62-67.
WANG Xiaocong, LIU Yadong, SHENG Gehao, et al. New method for PMU configuration based on improved BPSO algorithm[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(1): 62-67.
- [21] 孟德强,游宏宇,薛安成. 基于PMU的输电线路参数在线抗差最小二乘辨识[J]. 广东电力, 2018, 31(3): 49-54.
MENG Deqiang, YOU Hongyu, XUE Ancheng. Least square identification for online robust estimation of phase parameters of power transmission lines based on PMU[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(3): 49-54.
- [22] 王川化,余鹏飞. 一种基于可靠性分析的输电线路路径设计方法[J]. 电力工程技术, 2017, 36(5): 149-154.
WANG Chuanhua, YU Pengfei. A transmission line path design method based on reliability analysis[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2017, 36(5): 149-154.

作者简介:



李 炜

李 炜(1981—),男,硕士,工程师,从事配电系统电能质量分析与控制技术相关工作;
仇志华(1977—),男,博士,副教授,研究方向为智能配电网故障自愈技术、配电网电能质量监测分析与优化治理等(E-mail: zzh-upc@163.com);

隋国正(1970—),男,硕士,高级工程师,从事油田电力系统运行管理与维护工作。

The Optimal Allocation Method of Harmonic Measuring Device in Distribution Network

LI Wei¹, ZHANG Zhihua², SUI Guozheng³, SUN Dong¹, QU Zeqi²

(1. Shengli Oilfield Technology Inspection Center, Sinopec, Dongying 257000, China;

2. College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

3. Hekou Oil Extraction Plant, Shengli Oilfield, Dongying 257200, China)

Abstract: In order to satisfy the requirements of energy saving and process adjustment in oil field, the frequency converters and other non-linear power electronic equipments are widely used, and the harmonic pollution of oil field distribution network is raising serious. The harmonic on-line monitoring system lays a foundation for measuring and analyzing the harmonic distribution characteristics of oil field power distribution network. However, due to the economic constraints of application, the installation quantity of harmonic measuring terminal is limited, so it is necessary to optimize its installation position. Considering both the observability and the redundancy of harmonic state estimation, a method for the optimization of measuring terminal addressing is proposed. The observability and redundancy of the system under different harmonic measurement terminal configurations are calculated by using node correlation matrix and observability logic judgment method of harmonic state estimation. On the premise of ensuring the maximum observability of the system, the installation position of the measuring terminal is optimized with the maximum redundancy. In the case of limited number of terminals, the considerable measure and precision of harmonic state estimation of oilfield power distribution network can be improved. Simulation results show that the method is effective.

Key words: oil field distribution network; harmonic on-line monitoring system; considerable measure; redundancy

(编辑 方 晶)

(上接第 79 页)

Ultrasonic Phased Array Detection of Composite Insulator Internal Defects

XU Tianyong¹, DONG Xiaohu¹, LI Rongchao¹, LIU Guoqiang², XIA Hui², XIA Zhengwu²

(1. Maintenance Company, State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan 430000, China;

2. Institute of Electrical Engineering of CAS, Beijing 100190, China)

Abstract: In order to eliminate the risk on the safe operation of power grid caused by the internal defects of composite insulators. A water capsule flexible coupling method based on ultrasonic phased array is proposed for small diameter composite insulator. This method uses the silicone rubber film and the coupling device to achieve good ultrasonic coupling. The defects detection experiments of the plane silicone rubber, composite insulator sheath and core were carried out respectively. Experimental results show that the linear scanning imaging is better than the sector scan and defects of the diameter of 0.8 mm can be detected, which provides a new method for the ultrasonic defects detection of composite insulator umbrella group. For the composite insulator sheath and core, the method of water capsule coupling can detect defects with a diameter of 0.8 mm and 1.0 mm through the phased array sector scanning. It provides the possibility for the on-line detection of composite insulator.

Key words: composite insulator; ultrasonic wave; phased array; nondestructive testing; internal defect

(编辑 钱 悦)

(上接第 108 页)

Research and Application of Program Remote Upgrade for Sub-modules in VSC-HVDC Converter

WANG Tao, LI Hanjie, ZHANG Maoqiang, LI Lele, TIAN Jie, FANG Taixun

(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Modular multilevel converter (MMC) has been widely applied in the VSC-HVDC (voltage source converter-high voltage direct current transmission) field. In MMC application, it is very difficult to upgrade the program of the sub-modules of MMC. The structure of VSC-HVDC control system and sub-module of MMC is described, the program function of sub-module controller is analyzed. A method of program remote upgrade for MMC is introduced, the design of main hardware modules and software flowchart of the program upgrading system is presented. Safety and reliability evaluation of program remote upgrade for MMC is also described. This work is applied and verified based on dynamic simulation experiment platform for MMC research.

Key words: modular multilevel converter; remote upgrade; sub-module

(编辑 钱 悦)