

一种基于接线模式的中压配电网综合评价方法

潘锋, 张宇俊, 周敏

(上海市电力公司, 上海 201100)

摘要: 提出了一种配电网接线模式的综合评价体系, 该体系综合考虑了配电网接线模式的安全性、可靠性、经济性等因素, 并建立了各项指标隶属度函数, 按各指标值的加权平均对配电网接线模式进行综合评估。文中选用了上海某地区 10kV 中压配电网规划的实际案例, 对该地区的多个规划方案进行评价, 算例表明, 所提出的方法能有效量化描述配电网接线模式的优劣。

关键词: 配电网; 接线模式; 隶属度; 指标; 综合评价

A comprehensive evaluation hierarchy for MV distribution network based on connection modes

PAN Feng, ZHANG Yu-jun, ZHOU Min

(Shanghai Electrical Power Company, Shanghai 201100, China)

Abstract: A comprehensive evaluation hierarchy is introduced in this paper. Security, reliability, economic profit and other indices are included in this hierarchy. Functions of membership grade are constructed for the evaluation indices. The final evaluation is determined by the weighted average of each index. The 10kV distribution network planning of a district in Shanghai is selected as an actual example, in which several planning alternatives are evaluated based on this method. The results of the example show that the method proposed in this paper can give a quantitative evaluation on the connection modes effectively.

Key words: distribution network; connection mode; membership grade; index; comprehensive evaluation

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)19-0019-03

0 引言

随着全国范围内各类新兴工业区、开发区、新规划中心镇等的投资建设, 如何有效地做好上述区域的电网规划已成为目前的研究重点之一。配电网接线模式直接决定了电网经济性、可靠性以及电能质量等多方面的性能。对具有典型意义的特定区域的配电网采用何种接线模式最为合适是工程上非常关心的问题, 关于这一问题的两大难点在于: (1) 如何建立具有一般意义的指定接线模式下的典型区域电网; (2) 当考虑一系列侧重点各不相同甚至相互矛盾的性能指标时, 如何进行规划网络的综合评价。目前还缺乏针对这些问题系统的研究。

本文在计及接线模式的约束条件下, 建立一种较为全面的配电网综合评价体系, 对各类接线模式下的 10 kV 规划网络进行综合评价, 并以典型开发区的计算结果为算例, 推荐适用的最佳接线模式。

1 中压配电网常用接线模式

按配电网电压等级可分为高压配电网及中压配电网。高压配电网指 110 kV 及 35 kV 电压等级, 中压配电网一般为 10 kV 电压等级。中压配电网接线模式种类较多, 且较复杂, 主要有单侧电源辐射状接线、单侧电源 T 接模式、不同母线出线环式接线、不同母线出线连接开关站接线、“3-1”主备接线等。

2 中压配电网综合评价体系

2.1 中压配电网评价指标

本文主要计算了几个主要方面的配电网评价指标, 包括 1) 可靠性指标: 系统平均供电可靠率指标 (ASAI)、系统平均停电持续时间指标 (SAIDI)^[1]; 2) 经济性指标: 单位负荷年费用^[2]; 3) 电能质量指标: 节点最大电压偏移率、支路最大电压降落; 4) 相关运行指标: 线路有功损耗、高中压配电网最大短路电流、最大短路容量等几个方面。上述指标的计算以潮流的计算结果为基础, 潮流计算采用前推回代法^[3], 鉴于篇幅有限, 这里不列出具体的计算公式。

2.2 隶属函数的确定

在配电网综合评估中,为了能够较好地综合反映整个网络的供电能力,考虑到各项指标在量纲上的不一致性和矛盾性,本文建立基于隶属度函数的综合评价方法。进行规划网络的综合评优时,通过计算得到的配电系统各项指标的计算值和建立隶属度函数后得到的满意度值,引入权重因子进行综合评估,以最后综合评价指标最高的供电模式作为最优的供电模式。

按照经验公式以及实际工程项目的需要,按照式(1)~式(6)建立各项评价指标的隶属函数^[4], μ 为各项指标的满意度指标。

(1) 最大短路电流 I_m

本文认为短路电流指标在允许范围之内,则其满意度为 1,若短路电流指标超出允许范围,则其满意度为 0,因此有如式(1)所示的隶属度函数:

$$\mu = \begin{cases} 1 & I_m < I_{\max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

根据文献[5],10 kV 网络短路电流按照 16 kA 来控制,取 $I_{\max}=16$ kA。

(2) 最大支路电压降落 ΔU_{\max}

$$\mu = \begin{cases} \frac{1}{e^{b\Delta U_{\max}}} & 0 \leq \Delta U_{\max} \leq \Delta U_m \\ 0 & \Delta U_{\max} \geq \Delta U_m \end{cases} \quad (2)$$

式中: ΔU_m 为系统允许的最大电压降落,取 $\Delta U_m=2\%$; b 为一正实数,经调试,当 $b=0.25$ 时曲线较符合最大支路电压降满意度的变化趋势。

支路电压降为 0 时,其满意度为 1,而当支路电压降落超出上述允许的范围时,其满意度为 0。

(3) 电压偏移率 $a\%$

$$\mu = \begin{cases} \frac{1}{e^{\lambda a}} & 0 \leq |a| < a_m \\ 0 & |a| \geq a_m \end{cases} \quad (3)$$

式中: a 为节点最大电压偏移率; a_m 为电压允许超过极限值; λ 为一正实数,经调试,当 $\lambda=0.25$ 时曲线较符合电压偏移率的满意度的变化趋势。根据文

献[6],10 kV 电压偏移率不超过 $\pm 7\%$,取 $a_m=7\%$ 。

节点最大电压偏移为 0 时,其满意度为 1;而节点最大电压偏移超出电力系统允许的范围时,其满意度为 0。

(4) 系统平均供电可靠率指标 ASAI

ASAI 指标达到 100%时,满意度为 1;当 ASAI 低于电力系统运行要求时,满意度为 0,由此得到式(4)所示的隶属度函数:

$$\mu = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi}{2(100-x_0)}\right)(x-x_0), & x_0 \leq x \leq 100 \\ 0, & x \leq x_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: x 为系统平均供电可靠率指标, x_0 为系统平均供电可靠率参考值,取 $x_0=99.99\%$ 。

根据规划网络 ASAI 的平均水平,当系统平均 ASAI 为 100%时,最满意,隶属度为 1;当低于 $x_0=99.99\%$ 时,隶属度为 0。

(5) 系统平均停电持续时间指标 SAIDI

$$\mu = \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi}{2t_0}t\right) & 0 \leq t \leq t_0 \\ 0 & t \geq t_0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: t 为系统平均停电持续时间; t_0 为系统平均停电持续时间上限值,取 $t_0=0.5$ h,当系统平均停电时间为 t_0 时或者大于 t_0 时,满意度降为 0。

当 SAIDI 指标等于 0 时,满意度为 1;当 SAIDI 不满足电力系统运行要求时,满意度为 0。

(6) 单位负荷年费 C 的隶属函数

$$\mu = \begin{cases} 1 & , C \leq C_{\min} \\ \frac{C_{\max}-C}{C_{\max}-C_{\min}} & , C_{\min} \leq C \leq C_{\max} \\ 0 & , C \geq C_{\max} \end{cases} \quad (6)$$

式中: C 为单位负荷年费, C_{\min} 为最小年费用值, C_{\max} 为最大年费用值。

当单位负荷年费用小于等于 C_{\min} 时,满意度等于 1;当年费用高于 C_{\max} 时,满意度等于 0。根据规划电网单位负荷年费用的实际情况,10 kV 电网取 $C_{\min}=1$ 万元/MW, $C_{\max}=100$ 万元/MW。

2.3 指标权重的设定

权重因子体现了规划思路中对配电网各方面指标的侧重程度和指标之间的配合。

对各项指标进行归一化取值处理后得出此综合评估体系中各项评价因素的权重因子,如表 1 所示^[7]。

表 1 评价指标权重因子列表

Tab.1 List of the weighing coefficient of each index

指标名称	权重因子 ω_i
最大短路电流 I_{max}	0.18
支路电压降落 ΔU_{max}	0.06
节点电压偏移率 $\alpha\%$	0.06
系统平均供电可靠率指标 ASAI	0.20
系统平均停电持续时间指标 SAIDI	0.20
单位负荷年费 C	0.30
合计	1.00

综合指标是利用权重因子将各项指标的满意度值总和起来, 具体的计算方法如式(7)所示。

$$\text{接线模式综合评价指标} = \sum_{i=1}^6 \omega_i \times \mu_i \quad (7)$$

3 算例分析

基于类比的方法, 通过调研上海某开发区的建设情况, 得到表 2 所示该区各功能分区用地比例。

表 2 各功能分区建筑面积用地比例/(%)

Tab.2 Building area proportion of functional districts

功能块名称	高科技开发区	航天科技区	科研教育区	集中居住区	公共事业区	技术创新区
比例/(%)	32	18	15	25	2	8

表 3 各接线模式下 10 kV 配电网指标列表

Tab.3 Indices of different connection modes for 10 kV

distribution network

模式 指标	不同母线出线 连接开关站接 线	单电源辐射 接线	不同母线出 线的环式接 线
I_{max}/kA	10.762	10.766	10.762
$\Delta U_{max}/(\%)$	0.037	0.064	0.039 9
$\alpha\%(\%)$	0.044	0.161	0.114
ASAI/(%)	99.998 8	99.997 7	99.998 0
SAIDI/(h/a)	0.109	0.205	0.184
$C/万元$	14.477	10.962	10.927
综合满意度	0.942 (max)	0.910 (min)	0.922

结合各分类负荷的负荷密度参考值, 可形成整个地块的负荷方案(具体负荷预测过程此处从略)。在给定地块上进行各种接线模式下的配电网

规划。进而对规划网络进行指标计算和综合评价, 限于篇幅, 以上述开发区中高科技开发区为例, 表 3 列出了其中压配电网在各接线模式下规划网络的指标评价结果。

根据满意度综合指标的计算结果, 得到高科技开发区中压配电网的满意度综合指标最佳的接线模式, 进而得到整个开发区各分块的满意度综合指标最佳的接线模式, 如表 4 所示。

表 4 各功能分区满意度综合指标最佳的接线

Tab.4 The best connection mode configuration for functional

zones

分区名称	10 kV 满意度指标 最佳的接线模式
高科技开发区	不同母线出线 连接开关站接线
航天科技区	不同母线出线 连接开关站接线
科研教育区	不同母线出线 连接开关站接线
集中居住区	不同母线出线的 环式接线
公共事业区	单电源辐射状 接线(电缆)
技术创新区	不同母线出线 连接开关站接线

4 总结

本文通过理论计算得到各种接线模式限制下的规划网络。通过基于隶属度函数的综合满意度指标对各接线模式下规划网络进行了综合评价, 为未来的配电网规划工作提供了有益的指导和有参考价值的数据。

本文所得的结论是在一定的计算精度下, 考虑有限数量的供电模式, 计算了一定种类的评价指标, 根据计算结果, 以综合指标最优为标准, 得到最佳供电模式配置以及相应的规划网络。在所涉及到的评价指标、供电模式以及权重因子的设定条件下, 本文的最优接线模式的结论具有一定的参考和指导意义。当规划网络所关心的侧重点发生变化时, 计算评价指标的改变, 各项评价指标权重因子的改变以及所考虑的供电模式的改变, 都可能使得最终得出的结论发生相应的变化。

本文列举了六类判断指标, 并在上述指标计算基础上建立评价体系。实际上对于配电网规划特别

(下转第 35 页 continued on page 35)

的模型即可, 对于高频分量采用组合模型比较好, 本文做了关于传统线性组合模型和神经网络组合模型的对比研究, 结果表明神经网络组合模型优于线性组合模型。本文提出的该模型有效改善了高频分量的预测效果, 从而提高了整体预测精度。

参考文献

- [1] ZHU Zhi-hui, SUN Yun-lian, LI Huang-qiang. Hybrid of EMD and SVMs for Short-Term Load Forecasting[A]. in: IEEE International Conference on Control and Automation[C]. 2007.1044-1047.
- [2] 王洪波, 朱启兵. 基于 EMD 和 LS-SVM 的非平稳振动信号趋势预测[J]. 计算机工程与应用, 2008,44(16): 157-159.
WANG Hong-bo, ZHU Qi-bing. Trend Prediction of Non-stationary Vibration Signals based on Empirical Mode Decomposition and Least Square Support Vector Machin[J]. Computer Engineering and Applications 2008,44(16): 157-159.
- [3] 谢景新, 程春田. 基于经验模式分解与混沌分析的直接多步预测模型[J]. 自动化学报, 2008,34(6): 684-689.
XIE Jing-xin, CHENG Chun-tian. A New Direct Multi-step Ahead Prediction Model Based on EMD and Chaos Analysis[J]. Journal of Automation, 2008,34(6): 684-689.
- [4] 李媛媛, 牛东晓, 乞建勋, 等. 基于因散经验模式分解的电力负荷混合预测方法[J]. 电网技术, 2008,32(8): 58-62.
LI Yuan-yuan, NIU Dong-xiao, QI Jian-xun, et al. A Novel Hybrid Power Load Forecasting Method Based on Ensemble Empirical Mode Decomposition[J]. Power System Technology, 2008,32(8):58-62.
- [5] 胡国胜, 陈一天. 基于 HHT 变换的电机故障信号频率分析[J]. 电力学报, 2005,20(4): 327-330.
HU Guo-sheng, CHEN Yi-tian. The Study of Motor

Fault Signal Frequency Based on Hilbert-Huang Transform [J]. Journal of Electric Power, 2005,20(4): 327-330

- [6] 徐仁林, 安伟. 小波降噪在信号基于 EMD 的 Hilbert 变换中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2008,6(3): 74-77.
XU Ren-lin, AN Wei. Wavelet Denoise Application in the Signal Hilbert Transform Based on EMD[J]. Control of Noise and Vibration, 2008,6(3): 74-77.
- [7] 李林川, 吕东, 武文杰. 一种简化的电力系统负荷线性组合预测法 [J]. 电网技术, 2002,26 (10): 10-13.
LI Lin-chuan, Lü Dong, WU Wen-jie. A Linear Combination Based Simplified Load Forecasting Method for Power System[J]. Power System Technology, 2002,26(10): 10-13.
- [8] AlFuhaid A S. Cased Artificial Neural Networks For Short-Term Load Forecasting[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(4): 1524-1529.
- [9] Kwang-Ho. Short-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method[M]. IEEE Trans on Power Systems, 2000,15 (2): 559-565.
- [10] Bashir Z, El-Hawary M E. Short Term Load Forecasting by Using Wavelet Neural Networks [A]. in: Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering[C]. Halifax(Canada): 2000, 163-166.

收稿日期: 2008-10-23; 修回日期: 2009-03-16
作者简介:

白玮莉(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为 HHT 及其在电力系统中的应用; E-mail: bwl1986@163.com

刘志刚(1975-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为现代信号处理及其在电力系统中的应用;

彭权威(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为列车网络技术。

(上接第 21 页 continued from page 21)

是中压配网规划而言, 至今没有一套完善的、定量的评价体系, 需要我们归纳、提炼更恰当的评价指标组成评价体系, 这方面需要做进一步深入探讨。

参考文献

- [1] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] 陈立新. 电力工程技术经济知识[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [3] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 27-30.
SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, XIANG Nian-de. Study Convergence of Back/forward Sweep Distribution Power Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 1999,19(7):27-30.

[4] 王平洋, 胡兆光. 模糊数学在电力系统中的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

[5] 上海电网若干技术原则的规定[Z]. 上海: 上海市电力公司, 2004.

[6] 城市电力网规划设计导则. 能源电[1993]288 号 [Z]. 199317-18.

[7] 上海市电力公司供电分公司创一流同业对标 2004 年度指标评价报告[R]. 上海: 上海电力公司, 2005.

收稿日期: 2008-10-20; 修回日期: 2009-04-24
作者简介:

潘锋(1979-), 男, 硕士研究生, 工程师, 专业方向为高中压配电网规划; E-mail: bolza@tom.com

周敏(1973-), 男, 总工程师, 硕士研究生, 高级工程师, 从事配电网运行及规划管理工作。