

Risk Assessment on Transmitting Power Limit Affected by the Static Load Proportion

Hualiang Fang¹, Qian Chen^{1,2}, Yaowen Wu^{1,3}, Xiyuan Ma¹

¹ School of Electrical Engineering, Wuhan University,

² Dispatch Center, Henan Electric Power Company

³ Department of Development and Planning, Hubei Electric Power Company, China, 430072

Email: hl_fang@21cn.com, chenqian3170@sohu.com, wyw@hb.sgcc.com.cn, maxiyuan1986@163.com,

Abstract: The risk assessment was applied to analyzed the affect of transmitting power limit with the static load proportion parameter, based on the uncertain factor of load characteristic and parameter change. The Monte Carlo method may simulate the load characteristic change, and sample the static load proportion parameter at random, according to the load characteristic change. A set of risk index system, which described the influence of the load parameter change resulting in the transmitting limit, was put forward. The index system includes probability and loss risk of instability, probability and income risk of stability, total income risk. Then, the algorithm of risk assessment was studied based on stochastic load parameter. The transmission Cross-Section of one province power network was used as the example, and the risk index was received by simulation computing.

Keywords: risk assessment; Monte Carlo; risk index; static load proportion

静态负荷比例参数对输送功率极限影响的风险评估

方华亮¹, 陈 迁^{1,2}, 吴耀文^{1,3} 马溪原¹

¹ 武汉大学电气工程学院, ² 河南省电力公司调度中心, ³ 湖北省电力公司发展策划部, 中国, 430072

Email: hl_fang@21cn.com, chenqian3170@sohu.com, wyw@hb.sgcc.com.cn, maxiyuan1986@163.com,

摘 要: 针对影响负荷特性及参数变化的不确定因素, 应用风险评估方法研究典型综合负荷模型参数静态负荷比例对输电功率极限影响进行了研究。采用 Monte Carlo 法模拟负荷特性的随机变化过程, 按照负荷特性变化情况来对静态负荷比例参数的实际变化规律进行随机抽样, 得到负荷参数的变化情况。建立了一整套能够反映负荷参数的变化对输电极限影响的风险指标体系, 包括系统失稳概率及失稳损失风险、系统稳定概率及稳定收益风险、系统总收益风险。研究了随机抽样的负荷参数序列进行风险评估分析的算法。以某省电网输电断面为例, 进行了仿真计算, 得到了风险指标。

关键词: 风险评估; 蒙特卡罗法; 风险指标; 静态负荷比例

1 引言

电力系统的运行环境存在着许多不确定性因素会干扰电网的安全稳定运行, 负荷的不确定性也是影响电网安全性的非常重要一类随机性因素。负荷与气候、经济发展、国家政策、人们生活水平等不确定性因素关系密切, 随机性很大, 无法进行准确的仿真计算, 也就无法准确把握和预测电网的运行情况。如何把握负荷特性的动态变化的不确定性对电力系统造成的严重性影响, 对电力系

统规划设计、分析计算、运行控制与调度等方面具有重大意义^[1-2]。

当前研究表明负荷模型的不确定性对系统潮流、暂态稳定、低频振荡、电压稳定有着重要影响, 如何量化分析负荷模型及参数的不确定性对系统稳定性的影响还正在研究之中。风险评估方法在电力系统获得广泛的应用, 如电力系统规划设计、运行控制及调度管理^[3-5]。

本文应用风险评估方法, 采用基于蒙特卡罗 (Monte Carlo) 法模拟静态负荷比例参数 (K_{lm}) 不确定性变化情况, 提出了反映不确定性参数对输电断

国家科技部十一五支撑计划项目: 大电网安全监测、预警与防御体系研究 (2008BAA13B04)

面极限影响的风险指标, 并研究了风险分析的计算方法, 最后以某省电网为例进行了仿真计算。

2 基于蒙特卡罗法的 K_{lm} 抽样

负荷参数每时每刻都在变化, 现有的仿真计算中负荷参数是确定的, 显然不符合实际情况。Monte Carlo 法是一种比较好的模拟随机过程的手段, 不同于确定性数值方法, 是用一序列随机数来近似解决问题的一种方法, 是通过寻找一个概率统计的相似体并用实验取样过程来获得该相似体的近似解的处理数学问题的一种手段^[6-7]。

(1) 负荷参数的概率密度函数

K_{lm} 的变化可用正态分布来近似模拟, 概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

式中, μ 和 σ^2 是正态分布的均值和方差。

$$\text{令 } z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

则 (1) 式变为

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] \quad (2)$$

式 (2) 为标准正态分布的概率密度函数。

(2) 负荷参数随机变量的产生

对 K_{lm} 进行调研分析得到参数变化的概率性分布规律曲线, 然后产生符合概率分布函数的随机变量, 即可得到符合此概率规律的负荷参数序列, 根据这些参数进行仿真计算。

Monte Carlo 程序中通常需要产生服从给定概率分布 $F(x)$ 的随机变量 X 。该步骤可用直接法实现, 转换与随机变量 X 相关的累积概率函数 $F(x) = \text{prob}(X \leq x)$ 。 $0 \leq F(x) \leq 1$ 表明, 通过产生 (0,1) 内均匀分布随机数 U , 经转换可得服从 $F(x)$ 分布的随机样本 X 。为了得到这样的具有概率分布 $F(x)$ 的随机数 X , 不妨设 $U = F(x)$, 即可得

$$X = F^{-1}(U) \quad (3)$$

3 风险指标及计算方法

基于对负荷参数的多次抽样, 对每次抽样值进行计算此时的输送功率, 可得到一序列的负荷参数的分布及相应的输送功率极限的概率分布。根据负荷参数的分布概率及计算出的输送功率进行深入的分析, 定义了以下风险指标:

(1) 基于 K_{lm} 不确定性的系统失稳概率及失稳损失风险

系统失稳的概率, 是指某一参数 (用 θ 表示, 本文中指 K_{lm}) 抽样值按照某一概率分布函数进行抽样, 在一定数量的抽样次数情况下, 用某些抽样值进行仿真计算时可能会导致系统失去稳定占总的抽样次数的比例即为系统失稳概率, 用 P_l 表示。系统失稳时, 可减少断面输送功率 ΔP_{ml} 使系统稳定, 系统的风险指标的计算则应该综合考虑失稳的概率和此时不减少断面输送功率, 以及可能的经济损失 (用 λ_{li} 表示)。

系统的失稳损失 $R_{isk}^l(\theta)$ 如下计算公式:

$$R_{isk}^l(\theta) = \sum_{i=1}^n P_{li} \times \Delta P_{mli} \cdot \lambda_{li} \quad (4)$$

(2) 基于 K_{lm} 不确定性的系统稳定概率及稳定收益风险

系统稳定的概率, 是指在一定数量的抽样次数情况下, 用这些抽样值进行仿真计算时使系统能保持稳定占总的抽样次数的比例即为系统稳定概率, 用 P_s 表示。这时, 可通过适当的增加断面输送功率 ΔP_{ms} , 提高系统稳定极限功率, 提高的功率后带来的经济效益可用 λ_{si} 表示。提高输送功率所承担的风险指标, 即稳定收益 $R_{isk}^s(\theta)$ 可以下式表示:

$$R_{isk}^s(\theta) = \sum_{i=1}^n P_{si} \times \Delta P_{msi} \cdot \lambda_{si} \quad (5)$$

(3) 基于 K_{lm} 不确定性的系统总收益风险

对抽样参数的总的分布情况, 可能失稳, 也可能保持稳定, 此时计算系统总的风险指标, 除了考虑系统失稳的风险外, 还应该考虑系统增加输送功率带来的收益, 系统总的风险指标可定义为系统总风险 $R_{isk}(\theta)$, 用如下计算公式表示:

$$R_{isk}(\theta) = \left(\sum_{i=1}^n P_{li} \times \Delta P_{mli} \cdot \lambda_{li}\right) + \left(\sum_{i=1}^n P_{si} \times \Delta P_{msi} \cdot \lambda_{si}\right) \quad (6)$$

一般系统失稳造成的损失远大于稳定时增加功率所带来的经济收益，所以 $\lambda_l > \lambda_s$ 。

4 风险分析方法

计算流程如图 1 所示，基于夏大运行方式下，在对某省电网的详细分析基础上，选择 ANPH 输电断面进行分析。采取蒙特卡罗法对 K_{lm} 进行抽样，针对每次抽样进行仿真计算，判断其稳定性。根据多次抽样的仿真计算结果，建立 K_{lm} 与系统不稳定之间的关系，结合概率性及每次仿真结果来计算风险指标。下面对几个关键步骤进行分析：

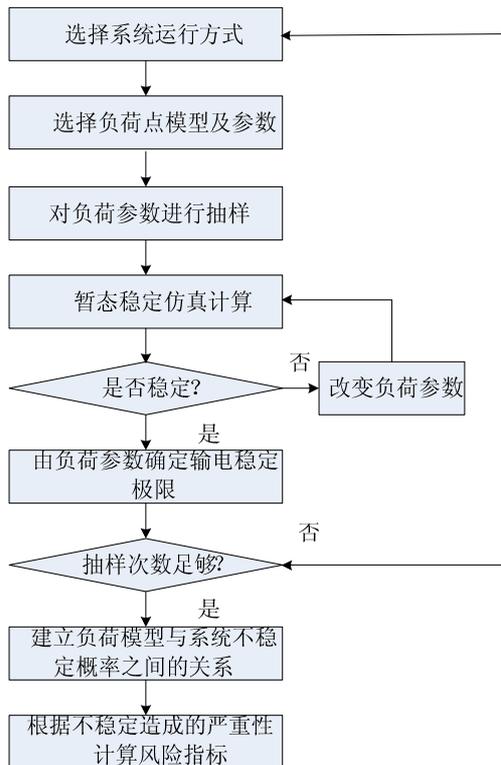


Figure 1. flow chart of risk assessment

图 1 风险分析的计算流程

- (1) K_{lm} 的抽样。 K_{lm} 的抽样是风险评估的关键部分，抽样概率要符合电网实际 K_{lm} 的变化规律。采用 Monte Carlo 法，按照正态分布概率函数进行抽样，模拟实际负荷的变化情况。
- (2) 多次抽样仿真计算。对 1000 次的抽样样本进行仿真计算后，分析 K_{lm} 的不确定性与系统稳定之间的关系及与输电功率极限之间的关系。
- (3) 风险指标结果分析。综合考虑 K_{lm} 的概率性及对输电断面的影响，可得到 K_{lm} 变化时其概率

性与输电极限之间的关系、 K_{lm} 变化的概率性与系统稳定性之间的关系、系统承担的风险与 K_{lm} 概率性关系等。

5 仿真计算

以实际输电断面的功率极限为参考，计算 K_{lm} 对功率极限的影响，分析 K_{lm} 对输送功率的影响程度。对 ANPH 断面选择 K_{lm} 进行风险分析计算，可得到负荷参数对输电断面功率极限影响的风险指标。

(1) 静态负荷比例参数抽样情况

将 K_{lm} 变化情况分为十个区间，区间内的所有抽样情况的功率极限变化的平均值，区间内的系统的稳定性概率，及系统累计在抽样范围内的稳定概率。抽样次数的分布符合正态分布，也比较符合实际负荷参数的情况，大部分都集中在 0.35 附近，即 K_{lm} 在 0.35 附近出现的概率比较大，参数值偏大或者偏小的出现的可能性比较小，即概率性也小，具体抽样情况如图 2 所示。

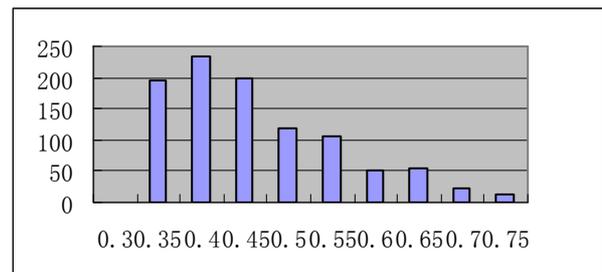


Figure 2. the number of sampling

图 2 K_{lm} 抽样次数

(2) 基于 K_{lm} 不确定性的系统失稳概率及失稳损失风险

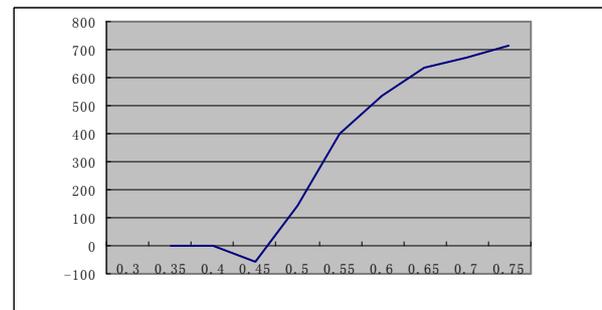


Figure 3. power limit based on K_{lm}

图 3 K_{lm} 变化引起的功率极限的变化

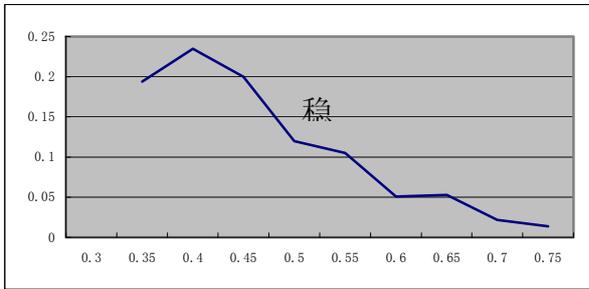


Figure 4. the stable/instable probability based on K_{lm}
图 4 K_{lm} 变化引起的系统失稳/稳定概率的变化

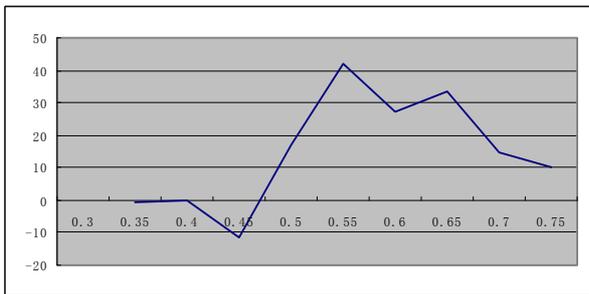


Figure 5. the income/loss risk based on K_{lm}
图 5 K_{lm} 变化引起的收益/损失风险的变化

从图 3 中可以看出,随着 K_{lm} 的变大, ANPH 断面的功率传输极限先变小,再越来越大。从图 5 中可以看出,随着 K_{lm} 的变大,经济风险首先为负收益风险,然后变为正风险,在 0.55 附近达到最大值,然后慢慢降低。

K_{lm} 在 0.45—0.75 范围内变化时,系统可能失稳,其总失稳概率是 0.629;系统的累计稳定概率是在逐渐增加。由此可见,系统如果不愿意承担 19.4% 的失稳风险,则需要减少 2.6431MW 的输送功率;不承担 62.9% 的失稳风险,则需要减少 58.0016MW 的输送功率。系统失稳时的风险指标可用式 (4) 计算:

$$-12.1131 = (-2.6431 \times 0.194) + (0 \times 0.2350) + (-58.0016 \times 0.2)$$

(3) 基于 K_{lm} 不确定性的系统稳定概率及稳定收益风险

K_{lm} 增大时,系统稳定概率如图 4 所示,可增加输送功率,计算系统总的风险指标时需要考虑这部分的增加的功率,系统增加输送功率的风险指标可用式 (5) 计算:

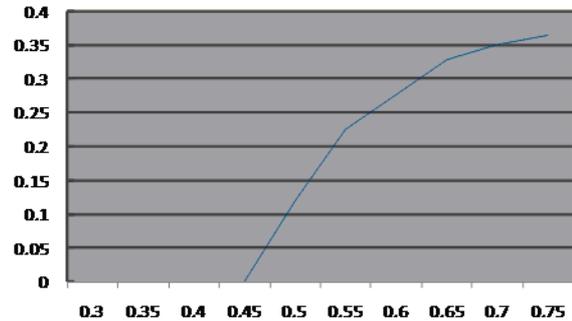


Figure 6. the total stable probability based on K_{lm}
图 6 K_{lm} 变化的系统累计稳定概率

$$145.0959 = (142.6246 \times 0.12) + (399.9189 \times 0.105) + (537.8451 \times 0.051) + (636.4054 \times 0.053) + (673.0657 \times 0.0220) + (715.8859 \times 0.0140)$$

(4) 基于 K_{lm} 不确定性的系统总收益风险

系统总的风险指标应综合考虑在总的抽样次数中包括系统失稳和保持稳定两种情况下的损失及收益。计算系统总的风险指标时还需考虑减少、增加输送功率时的权值,一般来说,系统失稳时造成的损失远大于系统增加功率带来的效益,这里将减少输送功率时权值取为 3、增加输送功率时取 1,加权值的选取可根据实际情况确定,加权值的量纲可以是经济指标,此时总的风险指标可用式 (6) 计算:

$$145.0959 - 12.1131 \times 3 = 108.7566$$

这个数值只是根据输送功率折算的简单值,实际应用中可根据情况选择权值大小得到更合实际的收益风险值。

6 结论

基于风险分析方法,静态负荷比例参数的随机性、动态性、时变性等不确定性可用 Monte Carlo 法来模拟。建立了一整套能够综合描述安全性和经济性的风险指标评价体系,能够从安全性和经济性方面综合对电网输电能力进行风险评估。提出了一整套系统的风险评估方法,针对负荷模型的不确定性对电网输电能力造成的风险,进行仿真计算,计算了电网输电能力的风险指标。

References (参考文献)

[1] Wang Le. Application Study on Vulnerability Assessment in Power System Security Defense System. North China Electric Power University, 2005

- 王乐.脆弱性分析在电力系统安全防御中的应用研究[D]. [硕士]. 华北电力大学, 2005.
- [2] Chicco G, Gross G, Shu Tao. Allocation of the reactive power support requirements in multi-transaction networks (Republished). IEEE Transactions on Power Systems, Vol.17 No.4, Nov 2002 pp. 1283-1289.
- [3] CHEN Wei-hua; JIANG Quan-yuan; CAO Yi-jia; HAN Zhen-xiang. Risk-based vulnerability assessment in complex power systems Power. System Technology. 2005, 29(4): 12-17.
陈为化, 江全元, 曹一家, 等. 基于风险理论的复杂电力系统脆弱性评估[J]. 电网技术, 2005, 29(4): 12-17.
- [4] Lu Bo; Tang Guoqing. Application of risk-based security assessment in power system Automation of Electric Power Systems. 2000, 21(12): 61-64
- 陆波, 唐国庆. 基于风险的安全评估方法在电力系统中的应用[J], 电力系统自动化, 2000, 21(12): 61-64.
- [5] Rajat K. Deb, Lie-Long Hsue, R. Albert, et al. Multi-Market Modeling of Regional Transmission Organization Functions, The Electricity Journal, Vol.14, No.2, March, 2001, pp. 39-54.
- [6] M. Shaaban. Calculation of available transfer capability of transmission networks including static and dynamic security. Doctoral dissertation, University of Hong Kong, 2002.
- [7] Li Wenyuan. Risk assess the model, method and application in power system. Science Press, 2006
李文沅. 电力系统风险评估模型、方法与应用. 科学出版社, 2006.