

快速配网风险评估

赵书强, 李 聪

(华北电力大学, 河北 保定 071000)

摘要: 简单介绍城市电网风险评估的意义和背景。建立停运模型得到元件的停运概率。通过蒙特卡罗法得到系统各故障状态发生的概率, 以各负荷点的变化情况, 分析每种故障的危害程度, 再根据不同的危害度提出了风险指标。该方法主要针对复杂电网进行风险评估, 采取了改进的截断抽样法, 并在 2 000 次抽样后再判断是否终止抽样分析。极大地提高了计算速度, 尽快地为运行人员提供预警信息。

关键词: 调度预警; 蒙特卡罗; 风险评估

Rapid risk assessment for the distributed grid

ZHAO Shu-qiang, LI Cong

(North China Electric Power University, Baoding 071000, China)

Abstract: This paper briefly introduces the background and the significance of urban power grids, builds the model of components outage probability, and obtains the probability of the system of all the failed state with the Monte Carlo method. According to the changes of the loads about power grid, the harm degree of all kinds fault is analyzed. On the basis of different harm degree, the risk index is gotten. By taking the improved interceptive sample method and deciding whether stops sampling after 2000 times of sampling, this method is mainly used to solve complex power grid assessment problem. It improves greatly computing speed.

Key words: dispatch pre-warning; Monte Carlo; risk assessment

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)10-0058-04

0 引言

现代电网的特殊性, 使事故能够迅速波及整个网络, 并在相连的巨大电网间传递。1998 年新西兰奥克兰市的商贸中心大停电, 导致了市中心 30 个区的长达两个月的大停电, 直接经济损失高达 7 亿美元; “9·28”意大利大停电, 使大城市顷刻间陷入彻底瘫痪, 经济损失难以计数。因此, 电力系统风险评估已成为了今天电力事业发展过程中必须考虑的一个重要课题了。风险是指潜在损失的变化范围与变动幅度, 对于电网来说是故障概率和影响的综合, 它应能够辨识电网失效事件发生的可能性, 以及这些事件后果的严重程度。以寻找一个合理且经济的措施来降低风险较大失效事件的发生^[1-2]。配电网经常是辐射网和环网并存, 而且电压等级多, 负荷种类繁杂, 重要程度不同, 对电能质量的要求也不尽相同。区域特征明显, 例如高负荷区, 低负荷区, 生活区, 工业区, 商业区等。网络各个部分的可靠程度也有差异。而且一次故障事件可能会影响

到城市的经济, 环境, 社会, 生产, 生活, 治安, 市政管理, 交通运输, 电网的稳定等各个方面。

城市电网是大电网和用户之间的接口, 它能否安全稳定运行直接关系到整个电力系统是否安全稳定以及效益的高低。因此对城市电网进行风险评估, 找到薄弱环节并给予增强稳固来提高电网的整体可靠性, 将风险尽最大可能降低具有重要现实意义^[3-4]。

1 城市电网风险评估的具体过程

1.1 建立元件停运模型

城市电网风险评估首先要用 Monte Carlo 模拟法建立一个元件停运的概率模型, 对每个元件的运行状态进行抽样^[5]。

1) 计划停运和强迫停运的总停运概率:

$$U_t = \frac{\lambda_p \mu + \lambda_p \mu + \lambda_p \lambda}{\lambda_p \mu + \lambda_p \mu + \mu_p \mu + \lambda_p \lambda}$$

式中: μ_p 和 μ 分别为从计划停运状态和强迫停运状

态修复的修复率; λ 和 λ_p 分别为强迫停运状态和计划停运状态的转移率^[6]。

2) 共因停运模型:

$$P_j = \prod_{i \in s_u} P_{iu} \cdot \prod_{i \in s_d} P_{id} \cdot \max\{kP_{cd}, (1-k)P_{cu}\}$$

$$k = \begin{cases} 1 & \text{发生共因停运} \\ 0 & \text{不发生共因停运} \end{cases}$$

式中: P_j 为任何一个组合状态 j 的概率; P_{iu} 和 P_{id} 分别为第 i 个元件处于运行和停运状态的概率; P_{cd} 和 P_{cu} 分别为共因停运发生和不发生的概率; s_u 和 s_d 分别为状态 j 中不发生和发生独立停运的元件的两个集合; 下标 i 表示总共 n 个元件中的第 i 个元件; 下标 c 表示 c 个元件的共因停运^[7-9]。

1.2 获取可靠性参数

所有元件的状态抽取完后, 判断系统的状态。只要有元件发生故障就要进行潮流计算, 分析一个或多个元件失效后的潮流分布和母线电压, 识别是否发生系统解列、线路过载、电压越限等问题^[10]。

然后计算各故障状态下的相对期望缺供电量 $CCENS$ 。所谓相对期望缺供电量, 即当电压、容量越限时, 对于可切负荷用户的相对期望缺供电量记为 $EENS$, 对于不可切负荷用户的相对期望缺供电量记为 $3EENS$; 而当系统解列时对用户的相对期望缺供电量记为 $6EENS$ 。然后再让它与故障发生的概率相乘得到风险指标 rv 。即: $rv = ceens \times plp$ 。

分析风险值较高的几个状态查找出引起此状态发生的故障元件, 并提出处理建议。具体过程见图 1。

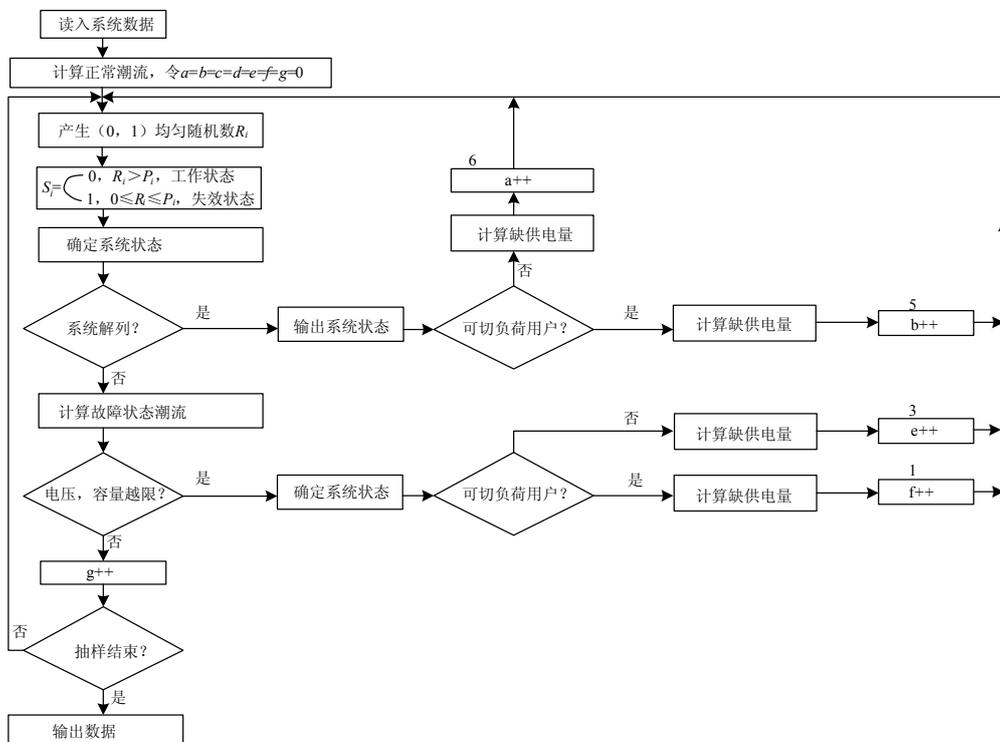


图 1 电网风险评估总流程

Fig.1 Total process of the risk assessment about power grid

1.3 标准差减少技术

本文采用改进的截断抽样法来减小标准差以提高模拟速度。

假设一个元件的故障率是 P , 从区间 $[0, 1]$ 生成一个均匀分布的随机数 R 。将 $[0, 1]$ 区间分成 S 个等距离间隔, S 为不大于 $1/P$ 的最大整数, 每一分格的长度就为 P 。在截断抽样法中, 每一个分格对应于元件的一次抽样结果。如果产生的随机数落入第 i 分格中, 就假定该元件故障在第 i 次试验发生, 而

不会发生在其他的 k 次试验中。若该随机数落入所有分格以外的剩余部分, 则在 s 次试验中元件就没有发生故障。对系统中的不同元件进行截断抽样, 合并不同元件的同一次抽样结果, 可得该次抽样的系统状态。假定 Z_1, Z_2, \dots, Z_n 是截断抽样获得的 N 个系统向量, 则系统的不可用率就可以用以下公式估算:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X(Z_i) \quad (i=1, \dots, n)$$

$X(Z) = 0$, Z 是非故障状态向量;

$X(Z)=1$, Z 是故障状态向量。
 Q 的方差可以由以下公式得出:

$$V(Q) = \frac{1}{N^2} \left\{ \sum_{i=1}^N V[X(Z_i)] + \sum_{i \neq j} \text{cov}[X(Z_i), X(Z_j)] \right\}$$

在此基础上结合重要抽样方法, 保持原有样本期望值不变的条件下, 改变现有样本空间的概率分布, 使其方差减小, 以达到减小运算时间的目的。

令 $F^i(X) = F(X)P(X) / P^i(X)$ 时有

$$E(F) = \sum F^i(X)P^i(X) = E(F^i)$$

式中: $F^i(X)$ 为新的概率分布下的系统状态函数。如果选择新的分布, 即重要分布函数 $P^i(X)$ 能够突出“重要事件”, 则能够证明 $F^i(X)$ 的方差将小于 $F(X)$ 的方差。本文采用迭代法来搜索重要分布函数。

$$P^i(X_i = x_i) = \begin{cases} kf_i, & x_i = 0 \quad (\text{元件停运}) \\ 1 - kf_i, & x_i = 1 \quad (\text{元件运行}) \end{cases}$$

式中: f_i 为第 i 个系统元件的强迫停运率; k 为最优乘子; x_i 为第 i 个系统元件状态变量 X 的取值。

设 $P^i(X) = mP(X)$, 则

$$F^i(X) = F(X)/m \quad (1)$$

$$m = \prod_i [(1 - x_i)k + x_i \frac{1 - kf_i}{1 - f_i}] \quad (2)$$

$$k = -(B + \sqrt{B^2 - AC}) / A$$

$$\begin{cases} A = \lambda \bar{f} - (1 - \lambda) \bar{f}(1 - \bar{f}) \\ B = -\lambda \bar{f} \\ C = \lambda \end{cases}$$

$$\begin{cases} \lambda = N_0 / (N_0 + N_1) \\ \bar{f} = \sum (P_{Gi} f_i) / \sum P_{Gi} \end{cases}$$

考察系统所有元件的状态, 利用式(2)计算得到 m 的值, 将其代入式(1)得到新的状态函数值, 多次抽样后统计其均值即可得解。

式中 λ 是对系统进行抽样时停运的元件数 N_0 与系统元件总数 $N_0 + N_1$ 的比值; \bar{f} 是以机组量为权重的系统元件强迫停运率的加权均值; P_{Gi} 为第 i 台机组的额定功率。

2 算例分析

本文以 IEEE30 节点电网为例验证所提出的风险算法。如图 2 所示。算例采用蒙特卡罗法对每个节点和线路分别多次抽样得到系统的各种状态, 对

相对缺负荷量相近且出现次数比较多的故障状态采用直流潮流进行模拟计算, 以两万次计算为例, 如图 3 所示, x , y , z 和 rv 分别代表电网的停电频率, 缺供电量, 故障恢复速度和电网风险。易见 26 节点风险最大, 其次是节点 5, 再次是节点 30。故障多发生在 5、26 节点, 26 节点虽然重要程度不高, 但是发生故障的次数却非常多, 所以节点 26 的风险要比节点 5 大得多。30 节点的重要程度较高但是故障率低风险比较小。因此节点 26 急需改进, 节点 26 本身可靠性较低但是提高 26 节点的可靠性代价太高可以考虑增建线路。经济状况允许的话 5 节点也应该加以改进, 5 节点本身与周围线路的可靠性很高但是布局不合理。30 节点虽然失效率比较高但是风险不大, 可以暂时不用考虑对它改进。

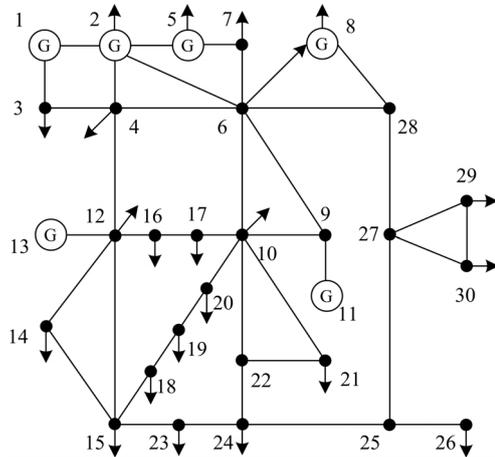


图 2 IEEE30 节点电网接线图

Fig.2 Power grid wiring chart about 30 node of IEEE

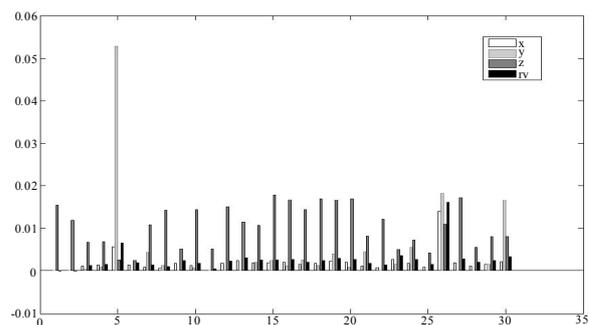


图 3 电网风险评估结果

Fig.3 Result of the risk assessment about power grid

表 1 给出了方法 1 不用改进的截断抽样法和方法 2 采用改进的截断抽样法风险评估比较结果。虽然在精度即标准差较小的时候偏差太大, 但是随着精度的变大偏差也减小很多。结果表明改进截断抽样在保证精度的前提下减少了抽样次数, 极大地提高了收敛速度。

表 1 相同精度下用不同评估方法得到的 *ceens*Tab.1 Results of *ceens* using different assess method with the same precision

方法	精度	<i>Ceens</i> /WMh	<i>Ceens</i> /WMh 偏差/ %	抽样 次数
1	0.100 0	6.063 8	0.000 0	113
2		2.952 6	51.307 8	19
1	0.025 0	6.336 6	0.000 0	28 954
2		6.247 0	1.414 0	6 521
1	0.010 0	6.533 7	0.000 0	185 648
2		6.467 9	1.007 1	27 584
1	0.002 5	6.328 6	0.000	2 945 613
2		6.384 1	0.877 0	512 365

3 结论

1) 城市电网的风险评估是建立在一定的可信度基础上的概率性评估, 它能发现传统的可靠性分析理论不能发现的隐患。快速的运算可以很好地应对复杂电网的短期规划问题。

2) 在实际运行中, 快速的风险评估能短时间内得到各个负荷的风险情况, 为调度运行人员分析处理问题赢取宝贵的时间。

参考文献

- [1] Amdahl T. 挪威风险评估的新准则[J]. 水利水电快报, 2001, 22 (21): 15-18.
Amdahl T. New standard of risk assessment in Norway[J]. Express Water Resources and Hydropower, 2001, 22 (21): 15-18.
- [2] 许谨良. 风险管理[M]. 北京: 中国金融出版社, 2006.
XU Jin-liang. Risk management[M]. Beijing: China Financial Publishing House, 2006.
- [3] 陈汉龙. 用模糊综合评价方法进行网络安全风险评[J]. 现代商贸工业, 2007, 19 (2): 135-136.
CHEN Han-long. The risk assessment of net by the method of fuzzy comprehensive assessment[J]. Modern Business Industry, 2007, 19 (2): 135-136.
- [4] 魏远航, 刘思革, 苏剑. 基于枚举抽样法的城市电网

风险评估[J]. 电网技术, 2008, 32(18): 62-66.

WEI Yuan-hang, LIU Si-ge, SU Jian. The risk assessment of urban power grid, based on sampling and enumeration[J]. Power System Technology, 2008, 32(18): 62-66.

- [5] 李文沅. 电力系统风险评估: 模型、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

LI Wen-yuan. Risk assessment of power systems: models, methods and applications [M]. Beijing: Science Press, 2006.

- [6] 裴尔明, 刘保旭. 一种有效的风险评估模型、算法及流程[J]. 计算机工程, 2006, 23 (32): 15-17.

FEI Er-ming, LIU Bao-xu. One kind of effective model, algorithm and process in risk assess[J]. Computer Engineering, 2006, 23 (32): 15-17.

- [7] NI Ming, Mccalley James D, Vittal Vijay, et al. Online risk based security assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18 (1): 258-265.

- [8] 周家启, 赵霞. 电力系统风险评估方法和应用实例研究[J]. 中国电力, 2006, 39 (8): 77-81.

ZHOU Jia-qi, ZHAO Xia. Research about the application and method with risk assess of power system[J]. Electric Power, 2006, 39 (8): 77-81.

- [9] Ivey, Akhil A, Robinsond, et al. Grid of the future: white paper on accommodating uncertainty in planning and operations[R]. Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, 1999.

- [10] Wan H, Mccalley J D, Vittal V. Increasing thermal rating by risk analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14 (3): 815-828.

收稿日期: 2009-06-26; 修回日期: 2009-09-09

作者简介:

赵书强 (1964-), 男, 博士, 主要研究方向为电力系统分析与控制、电力系统规划与可靠性;

李 聪 (1986-), 男, 研究生, 主要研究方向为电力系统规划与可靠性. E-mail: gs000365@163.com