

计及检修需求不确定性的电力系统检修备用容量评估

郑秀波¹, 张永凯², 别朝红², 林勇¹

(1. 广东电网公司 电网规划研究中心, 广东 广州 510080;

2. 西安交通大学 电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 针对电力系统规划中评估系统检修备用容量的迫切需求和机组检修需求的不确定特性对评估造成的影响, 提出一种评估电力系统检修备用容量的方法。该方法建立考虑检修需求不确定特性的检修备用容量评估模型, 以累计负荷最小为原则确定检修时段, 求解该评估模型。在此基础上, 基于蒙特卡洛模拟方法提出检修备用容量不足概率和检修备用容量不足期望值 2 个检修备用容量充裕度指标, 以此确定系统检修备用容量, 进而确定系统装机容量需求。以某省电力系统机组检修的实际数据为例进行计算, 证明了所提检修备用容量评估方法的正确性和有效性。

关键词: 检修; 备用容量; 检修需求不确定; 蒙特卡洛方法; 检修备用容量不足概率; 检修备用容量不足期望值; 电力系统; 规划

中图分类号: TM 862

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.10.024

0 引言

电力工业是国民经济的基础产业, 对可靠性的要求非常高。因此, 要求对发电机组定时进行检修, 保障发电机组的安全运行, 提高发电机组寿命, 进而保障系统的可靠性。无论在电力系统规划设计还是运行调度中都很重视发电机组的检修问题。发电机组检修停运涉及到许多方面的问题, 计划安排不当, 会带来诸多不利影响。

为了使电力系统中的设备能按计划进行检修, 在规划和设计电源装机容量时, 必须提供一定比例的检修备用容量 MRC (Maintenance Reserve Capacity)。合理确定检修备用容量, 是进行电力平衡分析、拟定电源方案和电网方案的重要前提。检修备用容量一般应当结合系统负荷特点、水火电比重、设备质量和检修水平等情况来确定^[1-3], 一般为最大发电负荷的 5%~10%, 目前并没有一个明确的评估方法。随着电力系统用电负荷的增长, 检修备用容量的选择对电力平衡分析结果和电网方案的影响日益增大, 因此, 有必要根据各电力系统的特点, 研究科学的检修备用评估方法。

检修备用容量评估与发电机组检修计划 GMS (Generator Maintenance Scheduling) 研究既有一定的相似性, 又有明显的不同。前者要针对不确定性的检修需求, 研究得出合理的电力系统检修备用容量, 目的在于在规划阶段确定装机容量需求等信息; 后

者是针对确定的机组检修需求, 寻求最优的机组检修计划, 目的在于在生产运行阶段为机组检修计划安排提供指导。目前, GMS 问题研究方面已经有大量成果^[4-11], 而检修备用容量评估问题^[12]则鲜有文献涉及。

在电力系统规划中, 确切的机组检修需求不能提前得到, 只能根据系统的发电容量和负荷水平, 以及以往的运行经验, 得到不同容量和不同电厂机组各类检修需求特点, 并无法给出未来几年的机组的准确检修需求, 这对检修备用容量评估造成了一定的困难。

基于此, 本文以等备用原则^[13-14]为基础, 对等备用法进行改进, 即充分考虑检修需求不确定性, 并以累计负荷最小的原则确定检修时段。将改进的等备用法用于求解计及检修需求不确定性的检修备用容量评估模型。在求解模型的基础上, 根据蒙特卡洛模拟方法^[15-17]提出了检修备用容量充裕度指标——检修备用容量不足概率和检修备用容量不足期望值, 并通过计算得到充裕度指标与系统提供的检修备用容量关系曲线, 进而确定系统的检修备用容量 SSMRC (System Supplied Maintenance Reserve Capacity)。装机容量需求可以根据装机控制旬(月)的电力平衡结果得到。采用某省算例证明了所提评估方法的正确性与有效性。

1 发电机组检修原则

根据发电企业检修设备导则^[18], 检修需求是以机组检修规模和停用时间为原则, 将发电企业机组的检修分为 A、B、C、D 这 4 个等级, 不同发电集团机组检修规程略有不同。

收稿日期: 2013-11-16; 修回日期: 2014-07-26

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA050201)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA-050201)

a. A 级检修。

A 级检修是指对发电机组进行全面的解体检查和修理,以保持、恢复或提高设备性能。

b. B 级检修。

B 级检修是指针对机组某些设备存在问题,对机组部分设备进行解体检查和修理。B 级检修可根据机组设备状态评估结果,有针对性地实施部分 A 级检修项目或定期滚动检修项目。

c. C 级检修。

C 级检修是指根据设备的磨损、老化规律,有重点地对机组进行检查、评估、修理、清扫。C 级检修可进行少量零件的更换、设备的消缺、调整、预防性试验等作业以及实施部分 A 级检修项目或定期滚动检修项目。

d. D 级检修。

D 级检修是指当机组总体运行状况良好,而对主要设备的附属系统和设备进行消缺。D 级检修除进行附属系统和设备的消缺外,还可根据设备状态的评估结果,安排部分 C 级检修项目。

由于 A、B、C 级检修涉及到机组的停机,D 级检修并不涉及机组的停机,因此在进行检修备用容量评估时不考虑 D 级检修。

2 计及检修需求不确定性的 SSMRC 评估模型

该模型以各检修时间系统净备用相等为目标函数,充分考虑了规划年份机组检修需求不确定的特点,将电厂检修需求约束和不同类型机组检修需求约束加入到目标函数的约束条件中,使检修需求从一个确定量变为一个不确定量。模型的数学表达式如下。

目标函数:

$$R_i(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}) = R_j(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}) \quad i, j = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

其中, T 为检修周期,若以旬为单位, $T=36$; R_i 为时间 i 内系统净备用容量,即系统装机扣除时间 i 负荷和检修备用容量后的容量; R_j 为时间 j 内系统净备用容量; $\tilde{A}$ 、 $\tilde{B}$ 、 $\tilde{C}$ 分别为系统进行 A 级检修、B 级检修、C 级检修的机组集合,由于检修需求不确定, $\tilde{A}$ 、 $\tilde{B}$ 、 $\tilde{C}$ 都是随机量。

约束条件如下。

a. 发电厂机组的检修需求分布特性:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_r &\in (m_{ra}, n_{ra}) \\ \tilde{B}_r &\in (m_{rb}, n_{rb}) \\ \tilde{C}_r &\in (m_{rc}, n_{rc}) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, r 为电厂编号; $\tilde{A}_r$ 、 $\tilde{B}_r$ 、 $\tilde{C}_r$ 分别为电厂 r 进行 A 级检修、B 级检修、C 级检修机组数; m 、 n 分别为机组

数的上限和下限。该约束条件表示一个电厂中进行 A、B、C 这 3 级检修的机组数目有范围,不能随意进行。

b. 不同类型发电机组的检修需求分布特性:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_g &\leq A_{g\max} \\ \tilde{B}_g &\leq B_{g\max} \\ \tilde{C}_g &\leq C_{g\max} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, g 表示机组类型; $\tilde{A}_g$ 、 $\tilde{B}_g$ 、 $\tilde{C}_g$ 分别为不同类型机组的 A 级检修机组数、B 级检修机组数、C 级检修机组数; $A_{g\max}$ 、 $B_{g\max}$ 、 $C_{g\max}$ 分别为其对应的上限值。

c. 一台机组开始检修后必须在一个连续的时间段内完成:

$$\sum_{t=t_k}^{t_k+S_k-1} c_{kt} = S_k \quad (4)$$

其中, k 为发电机组编号; c_{kt} 为机组检修状态,取 0 表示在时间 t 内无检修,取 1 表示在时间 t 内检修; t_k 为检修开始时间; S_k 为检修持续时段。

d. 同一机组 2 次检修之间的间隔适当:

$$t_{k2} - (t_{k1} + S_{k1}) \geq Y \quad (5)$$

其中, k 为发电机组编号; t_{k2} 为第 2 次检修开始时间; t_{k1} 为第 1 次检修开始时间; S_{k1} 为第 1 次检修持续时段; Y 为 2 次检修之间的间隔。

e. 水电机组不安排在丰水期检修:

$$M_h \cap W_h = \emptyset \quad (6)$$

其中, M_h 为水电机组可安排检修时段; W_h 为丰水期时段。

f. 检修班组约束,即一个电厂不同时进行 2 台及以上机组的检修,即 $V_n=1$ 。

$$\sum_{k=1}^{V_r} m_{kt} \leq V_n \quad (7)$$

其中, k 为发电机组编号; V_r 为发电厂 r 机组台数; m_{kt} 为第 k 台发电机组在时间 t 的检修状态,取 1 表示检修,取 0 表示不检修; V_n 为发电厂 r 可以同时检修的发电机组最多台数。

该模型充分考虑了规划年份机组检修需求不确定的特点,将电厂检修需求约束和不同类型机组检修需求约束加入到目标函数的约束条件中,使检修需求从一个确定量变为一个不确定量。

3 检修备用容量充裕度评估

3.1 模型求解

3.1.1 发电机组检修需求抽样

根据发电企业检修设备导则^[18],发电机组停机检修需求分为 A、B、C 3 级。在规划年份,对发电机组检修需求抽样的约束条件如下:

$$p_A + p_B + p_C = 1 \quad (8)$$

$$g(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (9)$$

$$h(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (10)$$

其中, p_A, p_B, p_C 分别为机组进行 A、B、C 3 级检修的概率, 概率之和为 1; $\mathbf{x}$ 为机组检修需求组成的需求向量。式(9)表示机组检修需求的电厂分布特性, 表达式见式(2); 式(10)表示机组检修需求的机组类型分布特性, 表达式见式(3)。

基于此, 将区间 $[0, 1]$ 按照机组检修需求概率划分为 3 段, 根据蒙特卡洛方法, 通过判断生成的服从均匀分布的 $[0, 1]$ 之间随机数的大小确定机组检修需求, 同时进行机组类型分布特性和电厂分布特性的校验, 最终得到系统机组检修需求向量 $\mathbf{x}_i (i=1, 2, \dots, N)$ (第 i 次抽样)。

3.1.2 每次抽样下检修备用容量的计算

在得到第 i 次抽样的系统机组检修需求向量 $\mathbf{x}_i$ 后, 以待检修时间内累计负荷最小作为检修时段, 运用改进的等备用法计算系统的检修备用容量, 以避免在负荷变化很大时可能在“填谷”的同时又“增峰”。设系统的装机控制旬为时间 t , 则系统的检修备用容量 $F_i(\mathbf{x}_i, P_L)$ 表达式为:

$$F_i(\mathbf{x}_i, P_L) = \sum_{k=1}^M p_k X_{kt} \quad (11)$$

其中, P_L 为检修时间 t 的负荷; M 为系统中机组数目; p_k 为第 k 台机组的额定容量; X_{kt} 为第 k 台机组在检修时间 t 的检修状态, $X_{kt}=1$ 表示该检修时间正在检修, $X_{kt}=0$ 表示该检修时间不进行检修。

该模型的每一次求解都对应着一个可行的检修备用容量序列, 作为检修备用容量充裕度评估的数据。

3.2 检修备用容量充裕度指标

给定一个 SSMRC 值, 将 SSMRC 与第 i 次抽样对应的 $F_i(\mathbf{x}_i, P_L)$ 进行比较。若 $SSMRC \geq F_i(\mathbf{x}_i, P_L)$, 表明该次抽样下检修备用容量充足; 若 $SSMRC < F_i(\mathbf{x}_i, P_L)$, 表明该次抽样下检修备用容量不足。检修备用容量不足值 δ_{MRCNS_i} 表达式见式(12)。

$$\delta_{MRCNS_i} = \max \{0, F_i(\mathbf{x}_i, P_L) - SSMRC\} \quad (12)$$

对检修需求进行 N 次抽样, 计算得到每次抽样下的 δ_{MRCNS_i} 。据此计算检修备用容量不足概率 LOMRCP (Loss Of Maintenance Reserve Capacity Probability) 和检修备用容量不足期望值 EMRCNS (Expected Maintenance Reserve Capacity Not Supplied), 表达式见式(13)和式(14)。

$$\delta_{LOMRCP} = \frac{\sum_{i=1}^N I_i(\delta_{MRCNS_i})}{N} \quad (13)$$

$$\delta_{EMRCNS} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{MRCNS_i}}{N} \quad (14)$$

其中, $I_i(\cdot)$ 为一个指示变量, 表达式见式(15)。

$$I_i(\delta_{MRCNS_i}) = \begin{cases} 0 & \delta_{MRCNS_i} = 0 \\ 1 & \delta_{MRCNS_i} > 0 \end{cases} \quad (15)$$

检修备用容量充裕度评估指标的方差系数可以按照式(16)计算, 选取的抽样次数 N 必须使得充裕度指标的方差系数^[19-20]收敛。

$$\delta_{CV} = \frac{\sigma}{\sqrt{N} E(X)} \quad (16)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [X_i - E(X)]^2}$$

其中, N 为抽样次数; X 代表 LOMRCP 或 EMRCNS; $E(X)$ 为变量 X 的期望值; σ 为变量 X 的标准差。

3.3 检修备用容量确定方法

不同的 SSMRC 对应的检修备用容量充裕度指标 LOMRCP 与 EMRCNS 的值不同, 因此, 可以得到 LOMRCP 与 SSMRC、EMRCNS 与 SSMRC 的关系曲线。根据 2 条曲线均可以得到 SSMRC, 其中前者可由系统历年运行模拟经验得到 LOMRCP 的最低要求值, 后者可由系统的检修风险承受水平确定 EMRCNS 的最低要求。根据指标的最低要求, 就可以根据相应的曲线确定 SSMRC。

对系统进行检修备用容量充裕度评估的目的是为了确定规划年份的装机容量, 因此, 需要取装机控制旬(月), 通常为负荷最大旬(月)进行计算。根据系统规划中的检修备用容量充裕度指标要求选取对应的 SSMRC, 进而确定系统装机容量需求。计算流程见图 1。

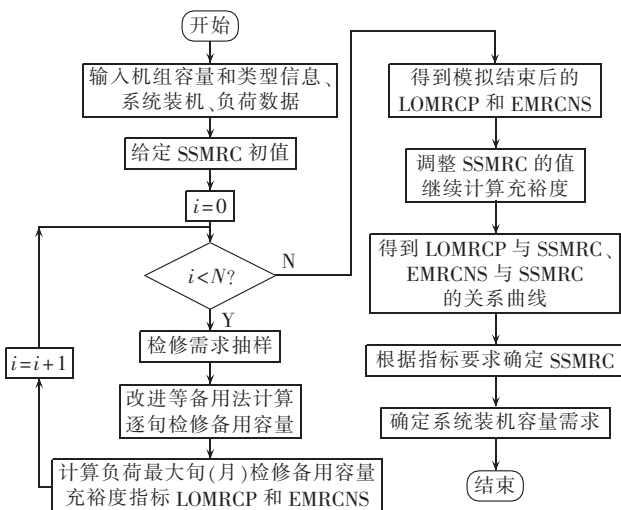


图 1 检修备用容量充裕度评估流程图

Fig.1 Flowchart of maintenance reserve capacity adequacy evaluation

根据《电力系统设计技术规程》^[3], 将电力系统备用容量分为负荷备用容量、事故备用容量和检修备用容量。负荷备用容量约为系统负荷的 2%, 事故备用容量约为系统负荷的 10%, 根据得到的 SSMRC 计算系统的备用容量, 进而根据负荷水平确定系统装机容量。

4 算例与结果分析

本文采用某省电力系统数据进行计算,该省总共有 43 个火电厂、16 个气电厂、5 个水电厂、2 个核电厂、2 个抽水蓄能电厂,共 335 台机组。鉴于该省的发电机组以火电机组为主,将火电机组按容量 P 再细分为 3 类: $P>600$ MW 机组(火电机组 1), 350 MW $\leq P\leq 600$ MW 机组(火电机组 2)和 $P<350$ MW 机组(火电机组 3)。从该省历年检修需求中寻找普遍规律,得到不同类型机组的检修需求约束和电厂机组检修需求约束,分别见表 1 和表 2,各种机组检修需求见表 3。系统原始负荷数据见图 2。系统丰水期时间为 8 月份和 9 月份,同一机组 2 次检修之差不小于 10 旬,检修班组约束中 $V_n=1$ 。

系统负荷最大旬为第 22 旬。该旬的系统装机容量、负荷、负荷备用容量、事故备用容量、减扣容量见表 4。

表 1 机组检修需求的机组类型分布特性

Table 1 Unit type distribution of unit maintenance demands in unit quantity

机组类型	机组数		
	A 级检修	B 级检修	C 级检修
火电机组 1	$\leq n_1/2$	$\leq n_1/10$	其余机组
火电机组 2	$\leq n_2/5$	$\leq n_2/5$	其余机组
火电机组 3	$\leq n_3/3$	$\leq n_3/8$	其余机组
水电机组	≤ 5	≤ 3	其余机组
气电机组	≤ 6	≤ 12	其余机组
核电机组	人工指定换料时间,换料和检修同时进行		
抽水蓄能机组	≤ 2	≤ 2	其余机组

注: $n_g(g=1,2,3)$ 为火电机组 g 数目。

表 2 机组检修需求的电厂分布特性

Table 2 Power plant distribution of unit maintenance demands in maintenance type

电厂	电厂检修需求分布特性
火电厂	机组数目至少 3 台的电厂,至少安排 1 次 A 级检修和 1 次 C 级检修
水电厂	机组数目至少 3 台的电厂,至少进行 1 次 A 级检修和 1 次 C 级检修
气电厂	机组数目至少 3 台的电厂,至少进行 1 次 B 级检修和 1 次 C 级检修
核电厂	人工指定换料时间,换料和检修同时进行
抽水蓄能电厂	电厂至少进行 1 次 A 级检修和 1 次 B 级检修

表 3 机组检修需求分类

Table 3 Unit type distribution of unit maintenance demands in maintenance duration

机组类型	检修需求时间/d		
	A 级检修	B 级检修	C 级检修
火电机组 1	70	45	30
火电机组 2	60	40	20
火电机组 3	45	35	15
水电机组	100	40	10
气电机组	50	40	15
核电机组	人工指定换料时间,换料和检修同时进行		
抽水蓄能机组	100	40	15

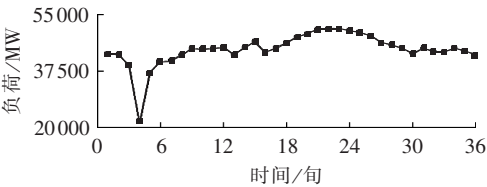


图 2 系统负荷数据
Fig.2 System load data

表 4 系统容量数据

Table 4 System capacity data

参数	数值	MW
装机容量	65 060	
负荷	50 640	
负荷备用容量	1 010	
事故备用容量	5 060	
减扣容量	8 250	

如果设定的 SSMRC 不同,则通过 N 次抽样后根据改进的等备用法计算得到的检修备用容量充裕度指标 LOMRCP 和 EMRCNS 的值不同。对于不同的 SSMRC,可以得到 LOMRCP 与 SSMRC、EMRCNS 与 SSMRC 关系曲线,见图 3、图 4。选取的使充裕度指标方差系数收敛的 N 为 40 000。由图 3 可知,当 SSMRC 在 0~400 MW 变化时, $\delta_{\text{LOMRCP}}=0.1$ 不变,所提供的检修备用容量不足;SSMRC>400 MW 时, δ_{LOMRCP} 随着 SSMRC 的增大迅速减小。由图 4 可知,随着 SSMRC 的增大, δ_{EMRCNS} 迅速减小。

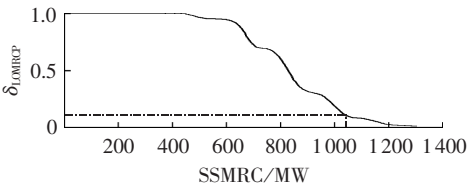


图 3 SSMRC 与 LOMRCP 关系曲线
Fig.3 Relationship between SSMRC and LOMRCP

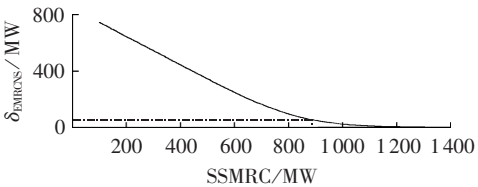


图 4 SSMRC 与 EMRCNS 关系曲线
Fig.4 Relationship between SSMRC and EMRCNS

在得到检修备用容量充裕度指标 LOMRCP、EMRCNS 与 SSMRC 关系曲线后,可以根据指标要求确定 SSMRC 和系统的装机容量需求。

a. 根据 LOMRCP 确定检修备用容量与装机需求。根据该省电力系统近 5 年来实际模拟经验,选取 $\delta_{\text{LOMRCP}}=0.1$ 作为指标的最低要求。此时根据图 3 可以确定 SSMRC=1 050 MW,根据表 4 可以确定系统所需装机容量为 66 010 MW,系统需要增加的装机容量为 950 MW。

b. 根据EMRCNS确定检修备用容量与装机需求。根据该省电力系统承受检修风险程度的大小,选取 $\delta_{\text{EMRCNS}} = 50 \text{ MW}$ 作为指标的最低要求。此时根据图4可以确定 $\text{SSMRC} = 880 \text{ MW}$,根据表4可以确定系统所需装机容量为 65840 MW ,系统需要增加的装机容量为 780 MW 。

可见,选取不同充裕度指标情况下,得到的检修备用容量与系统装机容量需求不同。为了同时满足LOMRCP与EMRCNS指标要求,选取SSMRC和装机容量需求的最大值作为检修备用容量评估和装机容量需求的最终结果,即 $\text{SSMRC} = 1050 \text{ MW}$,系统装机需求为 66010 MW 。

评估得到的系统SSMRC与负荷的比例为1.99%,相比规程规定的5%~10%实现了可靠性与经济性之间的协调。

5 结论

合理确定检修备用容量,是进行电力平衡分析、拟定电源方案和电网方案的重要前提。本文针对电力系统规划中评估SSMRC的迫切需求和机组检修需求的不确定性对评估造成的影响,提出了一种评估SSMRC充裕度的方法,并用某省实际数据进行验证,所得结论如下:

a. 针对规划年份检修需求不确定的特点,将不同类型发电机组的检修需求特性和各个电厂的检修需求特性加入到检修备用容量评估模型的约束条件中,提出了考虑需求不确定性的检修备用容量评估模型;

b. 提出了检修备用容量不足概率和检修备用容量不足期望值2个检修备用容量充裕度指标,并根据蒙特卡洛模拟评估得到充裕度指标,根据指标要求确定系统可提供的检修备用容量,进而确定系统的装机容量需求。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利电力部. SD131—84 电力系统技术导则(试行)[S]. 北京:水利电力出版社,1984.
- [2] 中华人民共和国水利电力部. SDJ161—85 电力系统设计技术规程(试行)[S]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [3] 中华人民共和国国家能源局. DL/T5429—2009 电力系统设计技术规程[S]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [4] DOPAZO J F, MERRILL H M. Optimal generator maintenance scheduling using integer programming[J]. Power Apparatus and Systems, 1975, 94(5): 1537-1545.
- [5] KESHAV P D, NOPASIT C. Generator maintenance scheduling in power systems using metaheuristic-based hybrid approaches[J]. Electric Power Systems Research, 2007, 77(7): 771-779.
- [6] 陈竞成,于尔铿,刘广一,等. 检修计划新模型与算法的研究[J]. 电网技术,1997,21(11):66-69.

- CHEN Jingcheng, YU Erkeng, LIU Guangyi, et al. Research of a new optimization module and algorithm for maintenance schedule problem[J]. Power System Technology, 1997, 21(11): 66-69.
- [7] 冯长有,王锡凡. 电力市场环境下发电机组检修规划研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(13): 138-147.
- FENG Changyou, WANG Xifan. Review of unit maintenance scheduling in market environment[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(13): 138-147.
- [8] 王建学,王锡凡,冯长友. 基于市场公平性的发电机组检修规划[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(20): 15-20.
- WANG Jianxue, WANG Xifan, FENG Changyou. Unit maintenance schedule based on equity of market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(20): 15-20.
- [9] 全宏兴,刘俊勇. 电力市场下火电厂机组检修计划的研究[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 35-39.
- QUAN Hongxing, LIU Junyong. Research for maintenances scheduling of a turbine power plant in the electricity power market[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2002, 26(14): 35-39.
- [10] 李刚,程春田,廖胜利,等. 省级电网发、输设备检修优化系统研究与开发[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(5): 142-146.
- LI Gang, CHENG Chuntian, LIAO Shengli, et al. Optimal maintenance system of generation and transmission devices for provincial power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5): 142-146.
- [11] 冯长有,王锡凡,王文博. 考虑机组故障的发电厂商检修计划策略[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(10): 98-102.
- FENG Changyou, WANG Xifan, WANG Wenbo. Power plant maintenance scheduling considering unit failures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(10): 98-102.
- [12] 广东电网公司电网规划研究中心,西安交通大学. 电力系统规划中检修备用容量评估方法: 中国, 201310269667.7[P]. 2013-12-23.
- [13] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社,1990: 185-191.
- [14] 白杨. 山东电力系统发电机组检修计划优化研究[D]. 济南:山东大学,2008.
- BAI Yang. Study on optimal plan of generator maintenance in Shandong Power System[D]. Ji'nan: Shandong University, 2008.
- [15] 王世香,高仕斌. 蒙特卡罗方法在变电站综合自动化可靠性评估中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 96-100.
- WANG Shixiang, GAO Shibin. Application of Monte Carlo method in reliability evaluation of integrated substation automation[J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 96-100.
- [16] 别朝红,王锡凡. 蒙特卡洛法在评估电力系统可靠性中的应用[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(6): 68-75.
- BIE Zhaohong, WANG Xifan. The application of Monte Carlo method to reliability evaluation of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(6): 68-75.
- [17] 吴义纯,丁明. 基于蒙特卡罗仿真的风力发电系统可靠性评价[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(12): 70-73.
- WU Yichun, DING Ming. Reliability assessment of wind power generation system based on Monte-Carlo simulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 24(12): 70-73.
- [18] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T838—2003 发电企业检修设备导则[S]. 北京:中国电力出版社,2003.

[19] 石文辉,别朝红,王锡凡. 大型电力系统可靠性评估中的马尔可夫链蒙特卡洛方法[J]. 中国电机工程学报,2008,28(4):9-15.
SHI Wenhui,BIE Zhaohong,WANG Xifan. Applications of Markov chain Monte Carlo in large-scale system reliability evaluation [J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(4):9-15.

[20] 赵渊,周家启,刘志宏. 大电网可靠性的序贯和非序贯蒙特卡洛仿真的收敛性分析及比较[J]. 电工技术学报,2009,24(11):127-133.
ZHAO Yuan,ZHOU Jiaqi,LIU Zhihong. Convergence analysis and comparison of sequential and nonsequential Monte-Carlo simulation for bulk power system reliability assessment [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2009,24(11):127-133.

作者简介:



郑秀波(1984—),男,山东聊城人,工程师,硕士,从事电力系统规划方面的研究(E-mail: zhengxiubo@gd.csg.cn);
张永凯(1990—),男,山东潍坊人,硕士研究生,从事电力系统备用容量评估、电力系统可靠性评估方面的研究;
别朝红(1970—),女,山东潍坊人,教授,博士研究生导师,博士,从事电力系统规划及可靠性评估、新能源接入系统方面的研究;
林 勇(1973—),男,四川广安人,高级工程师,硕士,从事电力系统规划与运行方面的研究。

Maintenance reserve capacity evaluation considering uncertainty of maintenance demands for power system

ZHENG Xiubo¹,ZHANG Yongkai²,BIE Zhaohong²,LIN Yong¹

(1. Power Grid Planning Center,Guangdong Power Grid Company,Guangzhou 510080,China;
2. State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment,Xi'an Jiaotong University,Xi'an 710049,China)

Abstract: Since the power system planning needs urgently the maintenance reserve capacity evaluation but the uncertainty of unit maintenance demands influences greatly the evaluation,a method of maintenance reserve capacity evaluation is proposed,which builds a model of maintenance reserve capacity evaluation considering the uncertainty of maintenance demands and adopts the minimum accumulated load principle to determine the maintenance period for solving the model. Two maintenance reserve capacity adequacy indices based on Monte Carlo simulation method are proposed for determining the system maintenance reserve capacity and further the system capacity requirement. They are the loss of maintenance reserve capacity probability and the expected maintenance reserve capacity not supplied. A case study based on the actual unit maintenance data of a power system verifies the correctness and effectiveness of the proposed method.

Key words: maintenance; reserve capacity; uncertainty of maintenance demands; Monte Carlo methods; loss of maintenance reserve capacity probability; expected maintenance reserve capacity not supplied; electric power systems; planning

(上接第 132 页 continued from page 132)

Contactless detection of multi-point grounding in CT secondary circuit

ZHANG Jiamin,YUAN Yubo,BU Qiangsheng,SONG Shuang

(State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute Co.,Ltd.,Nanjing 211100,China)

Abstract: Since the multi-point grounding in the secondary circuit of CT(Current Transformer) may cause the misoperation of relay protections,a detection method without any contact is proposed for it,which exerts the varying magnetic field on the secondary-circuit of CT and detects the induced current. If multi-point grounding exists,the induced current will be detected in the neutral line between two grounding points,and the larger the current is,the more obviously the multi-point grounding exists. An auxiliary frequency criterion is proposed to prevent the misoperation of relay protections caused by the large inductive current. Experimental results verify the correctness of the proposed method.

Key words: relay protection; current transformers; secondary circuit; electric grounding; fault detection; magnetic fields; inductive currents