

一种在线动态安全分析事故扫描的综合性能指标法

王天施, 苑舜

(沈阳工业大学电气工程学院, 辽宁 沈阳 110178)

摘要: 暂态稳定性能指标的大小能够反映电力系统事故的严重程度, 可以作为事故选择的依据。该文提出一种以选出严重事故为目标; 通过快速计算性能指标的综合值进行事故扫描的综合性能指标法。该方法严重事故捕获率高、计算速度快, 能够满足动态安全分析系统在线应用的要求。通过 NEW ENGLAND 10 机系统的仿真算例, 验证了该方法的有效性。

关键词: 在线动态安全分析; 性能指标; 事故扫描; 综合性能指标法

An integrated performance index method of contingency screening in on-line dynamic security assessment

WANG Tian-shi, YUAN Shun

(School of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

Abstract: The transient performance index can reflect the degree of severity of the fault in the electric power system and be the criterion for contingency screening. An integrated performance index method of the contingency screening for filtering severe contingencies by directly calculating the integrated values of the performance indexes are proposed in this paper. The method can capture severe contingency correctly and quickly and can meet the requirement of online dynamic security analysis. The simulation on NEW ENGLAND 10 machines system testifies the validation of the proposed integrated performance index method.

Key words: on-line dynamic security assessment; performance index; contingency screening; integrated performance index method

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)21-0011-04

0 引言

对于大规模的复杂电力系统而言, 对每个预想事故都进行详细的分析是不必要和不切实际的, 准确、快速的事故筛选和排序可以将计算量降低到可以接受的水平。事故扫描就是对大量的预想事故进行选择 and 排序, 筛选出可能导致电力系统动态安全危机的故障, 提高分析效率。

事故扫描一般采用的方法是通过快速计算反映事故严重程度的性能指标, 选出严重事故或滤除不严重事故^[1-5]。正确定义与选择这些性能指标是动态安全分析事故扫描方法的基础, 通过单个性能指标进行事故筛选与排序得到了很多研究^[1,2], 只是准确程度有待提高; 研究表明, 根据性能指标的联合应用进行事故扫描用于选出严重事故, 具有很高的严重事故捕获率^[3,4], 应用效果好于仅利用单个指标的应用效果。不足之处是所定指标尚不够全面, 而且均难以满足在线动态安全分析快速性的要求。

文献[5]在惯量中心 COI (Center of Inertia) 坐

标系下比较全面定义了反映事故严重程度的性能指标, 选择了事故清除时刻发电机的转子速度、动能、事故清除后一瞬间发电机的加速功率等部分状态变量作为筛选指标, 并综合这些性能指标提出以滤出不严重事故为目标进行事故扫描的综合性能指标法, 该方法计算速度快, 可以满足在线动态安全分析快速性的要求。但采用对每个事故在不同性能指标下的序号之和 (综合性能指标下的序号) 进行排序, 缩小了指标值之间的差异程度, 所以不能准确的反映事故间的相对严重程度。

本文以选出严重事故为目标, 在文献[5]的事故扫描方法的基础上, 提出一种新的综合性能指标法, 将性能指标值规格化, 计算事故的综合性能指标值, 根据综合性能指标值选出严重事故, 使事故扫描结果更加准确、合理。

1 暂态稳定性能指标

一般从事事故切除时刻系统的状态和事故后系统结构的强弱两方面来考虑如何定义反映事故严重程

度的性能指标^[1]。文献[1]针对系统性事故和区域性事故给出2类共6种性能指标，一类是表征事故切除时刻系统状态与事故切除后稳定平衡点距离的性能指标；另一类是表征事故切除后系统结构变化大小的性能指标。文献[5]对文献[1]进行了取舍和补充，在其基础上考虑事故清除时刻的发电机动能和加速功率，在惯量中心坐标系下定义了14种性能指标。经过分析比较最终采用以下6种性能指标表征事故严重程度，并论述了其合理性。

1) 事故清除时刻与事故前发电机转子角度差值的绝对值之和：

$$PI_1 = \sum_{i=1}^{N_g} |\theta_{ci} - \theta_{oi}| \quad (1)$$

式中： N_g 为系统中的发电机数目； θ_{ci} 为事故切除时刻发电机 i 的转子角度； θ_{oi} 为事故前对应系统稳定平衡点的发电机 i 的转子角度。

2) 事故清除时刻与事故前发电机转子角度差值的绝对值的最大值：

$$PI_2 = \max_i \{|\theta_{ci} - \theta_{oi}|\} \quad (2)$$

3) 事故清除时刻发电机的动能之和：

$$PI_3 = \sum_{i=1}^{N_g} |V_{KEi}| = \sum_{i=1}^{N_g} \left| \frac{1}{2} M_i \tilde{\omega}_i^2 \right| \quad (3)$$

式中： $V_{KEi} = \frac{1}{2} M_i \tilde{\omega}_i^2$ 为发电机 i 的动能； M_i 是发电机 i 的惯性时间常数； $\tilde{\omega}_i$ 是发电机 i 的转子角速度。

4) 事故清除时刻发电机动能的最大值：

$$PI_4 = \max_i \{V_{KEi}\} = \max_i \left\{ \frac{1}{2} M_i \tilde{\omega}_i^2 \right\} \quad (4)$$

5) 事故清除后一瞬间发电机的加速功率与发电机惯性时间常数比值之和：

$$PI_5 = \sum_{i=1}^{N_g} P_{acc,i} / M_i = \sum_{i=1}^{N_g} \left(\frac{P_{mi} - P_{ei}}{M_i} \right) \quad (5)$$

式中： $P_{acc,i} = P_{mi} - P_{ei}$ 是事故清除后一瞬间发电机 i 的加速功率； P_{mi} 、 P_{ei} 分别是事故清除后一瞬间发电机 i 的机械功率和电磁功率。

6) 事故清除后一瞬间发电机的加速功率与发电机惯性时间常数比值的最大值：

$$PI_6 = \max_i \{P_{acc,i} / M_i\} = \max_i \left\{ \frac{P_{mi} - P_{ei}}{M_i} \right\} \quad (6)$$

本文采用以上6种性能指标，通过计算可以得出系统性事故或区域性事故发生后，事故对各发电机的影响和事故后网络吸收暂态能量的能力，以此说明事故对系统造成影响的严重程度。

2 综合性能指标法

采用选出严重事故或滤除不严重事故方法进行事故扫描，一般是通过快速计算反映事故严重程度的性能指标，综合这些指标对事故的严重性进行比较达到目的。

性能指标值 PI_{pq} (p 、 q 分别为事故跳闸支路数和性能指标数)反映的是电力系统元件 p 发生故障时不同侧面的严重程度，一般具有不同的量纲和数量级，若直接利用原始数据计算，就可能突出某些数量级特别大的性能指标对排序结果的作用，而降低甚至排斥某些数量级较小的性能指标的作用，导致一个指标只要改变一下单位，也会改变最终排序结果；若利用每个事故在不同性能指标下的序号来确定该事故的严重性，必然会改变原有指标值之间的差异，所以不能准确地反映事故之间的相对严重程度。因此，需要对指标值进行规格化处理，使每一指标值统一于某种共同的数据特性范围，将数据压缩到区间 $[0, 1]$ 上，再求得综合性能指标值。这样，既消除因各项指标的单位不同和数值数量级间的悬殊差别所带来的影响，又不会改变原有指标值之间的差异。

考虑到性能指标值的大小能够从不同侧面反映事故的严重程度，并且事故扫描时多个指标的联合应用效果好于单个指标的应用效果，参考文献[5]的事故扫描方法，直接将规格化的性能指标值求和，得到综合性能指标值，并按大小选出严重事故的综合性能指标法，具体做法为：

采用时域仿真法对系统从事前到事故后进行短时积分，计算性能指标 PI_1 至 PI_6 之后，对性能指标作规格化处理：

为了尽可能地反应实际情况，排除由于各项指标的单位不同以及其数值数量级间的悬殊差别所带来的影响，对性能指标作规格化处理：

$$PI_{pq}^* = \frac{PI_{pq} - m_q}{M_q - m_q} \quad (7)$$

$$p=1, 2, \dots, m, q=1, 2, \dots, 6$$

式中： $M_q = \max_p \{PI_{pq}\}$ ， $m_q = \min_p \{PI_{pq}\}$ ， p 、 q 分别为事故跳闸支路数和性能指标数， m 为系统支路总数。

下一步将处理后的性能指标值求和，得到综合性能指标值。

支路 p 事故跳闸后，反映其严重程度的综合性性能指标值为：

$$PI_p = \sum_{i=1}^q PI_{pq}^* \quad (8)$$

最后按照综合性能指标值的大小进行排序, 选出严重故障, 根据需要选取前 N 个事故, 待采用精确算法进行详细分析。

事故扫描的综合性能指标法程序框图见图 1。

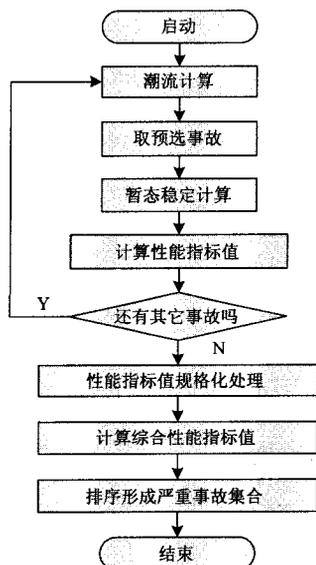


图 1 事故扫描的综合性能指标法框图

Fig.1 Framework for the contingency screening in on-line dynamic security assessment

对于大规模电力系统而言, 获得指标值需要进行的大量暂态稳定计算, 可以采用并行计算方式^[6]来提高计算速度。这种事故扫描方法所耗费的时间主要是对每个事故积分至事故清除后一小段时间所需的仿真时间, 因此比较快捷, 可以满足在线动态安全分析快速性的要求。

3 算例分析

本文以 NEW ENGLAND 10 机系统为测试系统, 以线路中点发生三相永久性接地故障为例, 其中的时域仿真计算采用中国电科院研制的综合程序 (PSASP) 为仿真工具, 利用综合性能指标法进行事故扫描分析, 各个性能指标值见表 1。

多数事故的严重性指标与事故的临界切除时间 CCT (Critical Clearing Time) 并不存在简单的线性关系, 因此不能根据事故的严重性指标对事故进行严格排序^[5], 但是可以选出一定数目的严重事故, 并利用临界切除时间进行校验。

利用改进的综合性能指标法进行事故扫描, 按式 (7) 对表 1 中各性能指标值进行规格化处理, 然后按式 (8) 计算综合性能指标值并排序, 结果见表 2, 3。

表 1 NEW ENGLAND 10 机系统三相永久性故障的性能指标

Tab.1 Performance indexes for three-phase permanent fault of NEW ENGLAND 10 machines system

支路号	事故支路 /deg.	PI1 /deg.	PI2 /p. u.	PI3 /p. u.	PI4 /p. u.	PI5 /p. u.	PI6 /p. u.	临界切除时间/ms
1	1-2	322.5062	53.7149	4.3468	1.2196	0.2757	0.0996	180
2	1-39	278.1640	42.5121	0.7113	0.2238	0.0759	0.0218	420
3	2-3	314.0209	48.2582	3.0070	0.9525	0.2232	0.0507	190
4	2-25	302.1577	60.8939	3.6030	2.4266	0.1778	0.0359	160
5	3-4	303.1071	43.1151	2.5079	0.7325	0.1712	0.0450	205
6	3-18	310.9727	49.4436	2.7186	0.7672	0.2091	0.0654	190
7	4-5	301.5029	41.5149	2.7127	1.2282	0.1731	0.0674	200
8	4-14	308.7928	46.5520	2.6081	0.8108	0.1697	0.0473	210
9	5-6	310.2958	43.3305	3.5327	1.4049	0.1840	0.0626	195
10	5-8	300.0603	42.4515	2.1828	0.6497	0.1514	0.0450	230
11	6-7	295.4044	41.8114	1.7362	0.5251	0.1257	0.0326	235
12	6-11	295.6716	42.4859	2.0003	1.0127	0.1327	0.0356	215
13	7-8	302.2028	42.9335	2.3629	0.7089	0.1593	0.0460	230
14	8-9	258.5616	37.8197	0.0228	0.0069	0.0501	0.0083	410
15	9-39	266.8376	40.3577	0.2125	0.0592	0.0691	0.0231	375
16	10-11	299.7579	42.4378	2.1245	0.6509	0.1527	0.0656	215
17	10-13	300.6240	44.5716	1.9267	0.6167	0.1425	0.0423	220
18	13-14	311.5017	47.5998	2.8599	0.9239	0.1895	0.0574	210
19	14-15	313.3523	52.1604	3.1461	0.8260	0.2366	0.0807	195
20	15-16	335.3443	58.6670	5.9192	1.4911	0.2907	0.1067	150
21	16-17	293.7803	48.1538	2.1745	1.0087	0.1861	0.0647	170
22	16-19	295.3087	65.5973	4.9693	2.5361	0.4257	0.2152	140
23	16-21	285.7339	40.4223	1.1088	0.4224	0.0975	0.0327	210
24	16-24	338.3296	58.1732	5.9141	1.6319	0.2896	0.1024	150
25	17-18	286.6693	42.6935	1.0828	0.3582	0.1190	0.0428	190
26	17-27	322.8788	53.9775	4.0525	1.1271	0.2201	0.0835	170
27	21-22	296.1389	41.9903	2.0706	0.8635	0.1336	0.0378	220
28	22-23	296.3296	46.1575	2.3446	1.5958	0.2214	0.1099	210
29	23-24	322.6277	53.2268	3.9691	1.1546	0.2191	0.0829	185
30	25-26	300.0462	54.5064	3.2561	2.2477	0.1842	0.0464	140
31	26-27	296.2488	46.4674	1.5885	0.4798	0.1642	0.0542	180
32	26-28	280.7316	52.6348	2.0647	1.8256	0.1137	0.0201	140
33	26-29	286.2815	57.2564	3.2512	2.9265	3.4292	3.3033	120
34	28-29	285.5397	57.3636	3.2519	2.9551	0.1082	0.0237	120

通过以上计算结果可以得出, 在 10 机系统中, 若定义 CCT 小于等于 210 ms 的事故为严重事故, 则根据 CCT 筛选出的 21 个严重事故, 有 19 个包含在利用综合性能指标法得出的 21 个严重事故之中; 若定义 CCT 小于等于 195 ms 的事故为严重事故,

则根据 CCT 筛选出的 18 个严重事故, 有 16 个包含在利用综合性能指标法得出的 18 个严重事故之中; 若定义 CCT 小于等于 190 ms 的事故为严重事故, 则根据 CCT 筛选出的 14 个严重事故, 有 11 个包含在利用综合性能指标法得出的 14 个严重事故之中, 排序结果见表 3。

表 2 NEW ENGLAND 10 机系统线路三相永久性

接地故障规格化的性能指标

Tab.2 Normalized performance indexes for three-phase permanent fault of NEW ENGLAND 10 machines system

支路 号	事故 支路	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5	PI6	ΣPI
1	1-2	0.8016	0.5722	0.7333	0.4113	0.0668	0.0277	2.6130
2	1-39	0.2457	0.1689	0.1168	0.0736	0.0076	0.0041	0.6167
3	2-3	0.6953	0.3758	0.5061	0.3207	0.0512	0.0129	1.9620
4	2-25	0.5465	0.8307	0.6072	0.8207	0.0378	0.0084	2.8513
5	3-4	0.5584	0.1906	0.4215	0.2461	0.0358	0.0111	1.4636
6	3-18	0.6570	0.4185	0.4572	0.2579	0.0471	0.0173	1.8550
7	4-5	0.5383	0.1330	0.4562	0.4143	0.0364	0.0179	1.5961
8	4-14	0.6297	0.3144	0.4385	0.2727	0.0354	0.0118	1.7024
9	5-6	0.6486	0.1984	0.5953	0.4742	0.0396	0.0165	1.9725
10	5-8	0.5202	0.1667	0.3663	0.2180	0.0300	0.0111	1.3125
11	6-7	0.4619	0.1437	0.2906	0.1758	0.0224	0.0074	1.1017
12	6-11	0.4652	0.1680	0.3354	0.3412	0.0244	0.0083	1.3425
13	7-8	0.5471	0.1841	0.3969	0.2381	0.0323	0.0114	1.4099
14	8-9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	9-39	0.1038	0.0914	0.0322	0.0177	0.0056	0.0045	0.2551
16	10-11	0.5165	0.1663	0.3564	0.2184	0.0304	0.0174	1.3053
17	10-13	0.5273	0.2431	0.3229	0.2068	0.0273	0.0103	1.3378
18	13-14	0.6637	0.3521	0.4812	0.3110	0.0413	0.0149	1.8641
19	14-15	0.6869	0.5163	0.5297	0.2778	0.0552	0.0220	2.0878
20	15-16	0.9626	0.7505	1.0000	0.5034	0.0712	0.0299	3.3176
21	16-17	0.4415	0.3720	0.3649	0.3398	0.0402	0.0171	1.5756
22	16-19	0.4607	1.0000	0.8389	0.8579	0.1112	0.0628	3.3314
23	16-21	0.3406	0.0937	0.1842	0.1409	0.0140	0.0074	0.7809
24	16-24	1.0000	0.7327	0.9991	0.5512	0.0709	0.0286	3.3825
25	17-18	0.3524	0.1755	0.1798	0.1192	0.0204	0.0105	0.8576
26	17-27	0.8063	0.5817	0.6834	0.3800	0.0503	0.0228	2.5245
27	21-22	0.4711	0.1501	0.3473	0.2906	0.0247	0.0090	1.2927
28	22-23	0.4735	0.3002	0.3938	0.5389	0.0507	0.0308	1.7879
29	23-24	0.8032	0.5547	0.6693	0.3893	0.0500	0.0226	2.4890
30	25-26	0.5201	0.6007	0.5484	0.7601	0.0397	0.0116	2.4804
31	26-27	0.4725	0.3113	0.2655	0.1604	0.0338	0.0139	1.2574
32	26-28	0.2779	0.5333	0.3463	0.6169	0.0188	0.0036	1.7969
33	26-29	0.3475	0.6997	0.5475	0.9903	1.0000	1.0000	4.5851
34	28-29	0.3382	0.7036	0.5476	1.0000	0.0172	0.0047	2.6113

表 3 综合评价法事故扫描结果比较 (前 21 个)

Tab.3 Comparison of the contingency screening results on NEW ENGLAND 10 machines system

依据 CCT 选出的严重事故 (CCT 由小到大顺序)	综合评价法选出的严重事故 (ΣPI 由大到小顺序)
26-29	26-29
28-29	16-24
16-19	16-19
25-26	15-16
26-28	2-25
15-16	1-2
16-24	28-29
2-25	17-27
16-17	23-24
17-27	25-26
1-2	14-15
26-27	5-6
23-24	2-3
2-3	13-14
3-18	3-18
17-18	26-28
5-6	22-23
14-15	4-14
4-5	4-5
3-4	16-17
4-14	3-4

计算结果可说明本文方法具有较高的严重事故捕获率, 不足之处是各性能指标值与综合性能指标值均不能绝对反映事故之间的相对严重性。

显然, 选出严重事故的数目不同, 严重事故的捕获率也不同, 所以确定合理的严重事故数目有待深入研究。

4 结语

本文提出的综合性能指标法采用直接利用反映事故严重程度的性能指标值计算综合性能指标值, 根据综合性能指标值选出严重事故进行事故扫描, 具有较高的严重事故捕获率, 并且能够满足动态安全分析系统在线应用的要求。

参考文献

- [1] 甘德强, 王锡凡, 杜正春, 等. 暂态稳定性分析的自动事故选择方法[J]. 电力系统自动化, 1994, 18(1): 25-30. GAN De-qiang, WANG Xi-fan, DU Zheng-chun, et al. Automatic Contingency Selection Method of Transient Stability Analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 1994, 18(1): 25-30.
- [2] GUANG Li, Steven M. Integral Square Generator Angle Index for Stability Ranking and Control[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 12(2): 926-934.

(下转第 76 页 continued on page 76)

Differential Protection While Single-phase Grounding [J].Relay ,2003,31(1):39-41.

[7] 苏永智, 李磊. 西门子 7UT513 变压器差动保护中零序电流的处理[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2004, 7(2): 53-56.
SU Yong-zhi, LI Lei. Analysis of Zero Sequence Current Handling of 7UT513 Transformer Differential Relay[J].Journal of Shangdong College of Electric Power,2004,7(2):53-56.

[8] 陈松林, 李海英, 乔勇, 等. RCS-978 变压器成套保护装置[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(22): 52-56.
CHEN Song-lin, LI Hai-ying, QIAO Yong, et al. RCS-978 Digital Transformer Protection Set[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(22):52-56.

[9] 袁宇波, 周栋骥, 陆于平, 等. 基于不同转角方式的变压器差动保护灵敏度分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 27-32.
YUAN Yu-bo,ZHOU Dong-ji,LU Yu-ping,et al.Analysis and Comparison of Sensitivity of Different Transformer Differential Protection Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(24):27-32.

[10] 朱声石. 变压器绕组短路接地故障的保护[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(8): 1-3.
ZHU Sheng-shi. Protection on Transformer Winding Grounding Fault[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002,22(8):1-3.

[11] 陆于平, 李玉海, 李鹏, 等. 差动保护灵敏度与启动电流、制动系数和原理的之间关系[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (8) :51-55.
LU Yu-ping, LI Yu-hai, LI Peng, et al. Discussion on Relationship of Pick-up Current, Restrained Factor and Principles to the Differential Protection Sensitivity[J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(8): 51-55.

[12] 吴大立, 尹项根, 张哲, 等. 基于负序电流判别的变压器差动保护零序电流自动补偿方法[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (2): 28-31.
WU Da-li,YIN Xiang-gen,ZHANG Zhe,et al. Zero-sequence Current Automation Compensation of Transformer Differential Protection Based on Negative-sequence Current[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(2):28-31.

[13] 刘志超. 三相变压器励磁涌流及保护方案[J]. 电力系统自动化,2006,30(10): 58-60.
LIU Zhi-chao. Analysis of Magnetic Inrush Current of Three-phase Transformer and the Differential Protection Scheme[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(10):58-60.

[14] 承文新, 刘志超. 变压器差动保护涌流制动原理分析[J]. 电力系统自动化, 2006,30(11): 90-92.
CHENG Wen-xin, LIU Zhi-chao. Analysis of Inrush Restraint Theory for Transformer Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(11): 90-92.

[15] 毕大强, 王祥珩, 杨恢宏, 等. 变压器差动保护中电流相位补偿方式的分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(18): 33-37.
BI Da-qiang, WANG Xiang-heng, YANG Hui-hong, et al. Analysis on the Current Phase Compensation Methods in Differential Protection for Transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(18): 33-37.

收稿日期: 2009-05-26; 修回日期: 2009-10-13

作者简介:

梁志坚 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的工作及研究; E-mail:lzhij@gxu.edu.cn

古斌 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究;

谭建成 (1963-), 女, 教授, 博士生导师, IEEE 会员, 主要从事电力系统运行规划及继电保护的研究。

(上接第 14 页 continued from page 14)

[3] Brandwajn V, Kumar A B R, Ipakchi A et al. Severity Indices for Contingency Screening in Dynamic Security Assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3): 1136-1142.

[4] Fu C, Bose A. Contingency Ranking Based on Severity Indices in Dynamic Security Analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(3): 980-985.

[5] 王守相, 张伯明, 郭琦. 在线动态安全评估中事故扫描的综合性性能指标法[J]. 电网技术, 2005, 29(1): 60-64.
WANG Shou-xiang, ZHANG Bo-ming, GUO Qi. Integrated Performance Index Method of Contingency Screening in Online Dynamic Security Assessment[J].Power System Technology,2005, 29(1): 60-64.

[6] 汪芳宗. 电力系统并行计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
WANG Fang-zong.Electric Power System Parallel Algorithm[M].Beijing: China Electric Power Press,1998.

收稿日期: 2008-11-12

作者简介:

王天施 (1970-), 男, 博士研究生, 从事电力系统保护、电能质量方面的研究; E-mail:wts55@126.com

苑舜 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电网安全、电力设备管理与诊断技术及电能质量等方面的研究。