

建立发电系统停运容量模型的实用算法

王淳,胡奕涛

(南昌大学信息工程学院,江西 南昌 330029)

摘要: 分析了现有建立发电系统停运容量模型的方法存在着计算繁琐的问题。提出了发电系统停运容量预备表的概念,并据此给出了先形成发电系统停运容量预备表,再建立发电系统停运容量模型的实用算法。所提算法着力于减少发电系统停运容量表形成过程中的状态数及计算工作量,提高计算效率。数值算例表明,该文提出的算法是正确的,具有快速方便的特点。

关键词: 可靠性; 发电系统停运容量模型; 算法

中图分类号: TM712

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2006)04-0031-04

0 引言

发电系统可靠性指标可以分为确定性和概率性两类^[1]。概率性指标比较全面地综合了与发电系统可靠性有关的各种影响因素,其评估技术已经成熟^[2,3],并广泛开展了将其应用在互联系统负荷的错峰和备用共享而带来的互联系统可靠性效益分析^[4]、远景电力系统规划^[5~7]、电力市场下的机组组合^[8]及市场力评估^[9]等许多方面的研究,同时还开展了可靠性经济评估方面^[10]的研究。

发电系统可靠性的概率性指标计算主要由三部分组成:建立发电系统停运容量模型;建立发电系统可靠性负荷模型;将发电系统停运容量模型和发电系统可靠性负荷模型结合形成发电系统裕度模型并据此计算出一系列可靠性指标^[11]。对于一个有 n 台发电机组的电力系统,现有建立发电系统停运容量模型的方法是首先取一个计算步长,每隔一个步长取一个离散点,采用递推公式依次计算二台机组合并、三台机组合并...直到所有机组合并为止发电系统在各个停运状态的确切概率、累积概率和累积频率,这也就是通常所说的发电系统停运容量表的形成过程^[12]。事实上,对可靠性计算来讲,我们需要的只是所有机组合并后的发电系统在各个停运状态的确切概率、累积概率和累积频率;并不需要二台机组合并、三台机组合并...直到 $n-1$ 台机组合并为止等这些中间过程的停运容量表;只要在机组合并过程中保存计算所有机组合并后的停运表所需要的信息就可以了。另外,一个系统中的单机容量一般

差别较大,这使得在发电系统停运容量表的形成过程中计算和保存了大量的不存在的状态的数据(确切概率和增量频率都为0的状态)。从上述思路出发,本文采用递推公式依次计算二台机组合并、三台机组合并...直到所有机组合并为止发电系统在一些状态的确切概率和增量转移率(元件在某一状态的向上转移率减去向下转移率),这些数据以表格的形式表示,本文将其称之为发电系统停运容量预备表。然后将所有机组合并后形成的发电系统停运容量预备表按停运容量从小到大的顺序进行一次排序。最后根据给出的计算步长,利用排序后的发电系统停运容量预备表的信息,一次性地形成发电系统停运容量表。

1 用递推公式建立发电系统停运容量预备表

若发电系统原来已有一定数量的机组,后来又新增一台机组。新增机组后系统的状态总数,各个状态的停运容量、确切概率和增量转移率分别按式(1)~(4)计算。

$$m = 2^n \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_{N_{ew}}^s(i) = C_{O_{ld}}^s(i) & i < 2^{n-1} \\ C_{N_{ew}}^s(i) = C_{O_{ld}}^s(i \cdot 2^{n-1}) + C_j & i > 2^{n-1} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} P_{N_{ew}}^s(i) = P_{O_{ld}}^s(i) A_j & i < 2^{n-1} \\ P_{N_{ew}}^s(i) = P_{O_{ld}}^s(i \cdot 2^{n-1}) \bar{A}_j & i > 2^{n-1} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} d_{N_{ew}}^s(i) = d_{O_{ld}}^s(i) - j & i < 2^{n-1} \\ d_{N_{ew}}^s(i) = d_{O_{ld}}^s(i \cdot 2^{n-1}) + \mu_j & i > 2^{n-1} \end{cases} \quad (4)$$

式中: m 为系统状态总数; n 为发电机的台数; i 为状态序号; C_j 为新增机组的容量; $C_{N_{ew}}^s(i)$ 为新增机组

基金项目:江西省教育厅资助项目(Z02828)

后状态 i 的停运容量, $C_{Oid}^s(i)$ 为新增机组前状态 i 的停运容量; A_j 为新增机组 j 的有效度 (运行状态的概率), \bar{A}_j 为新增机组 j 的强迫停运率 (无效度); $P_{New}^s(i)$ 为新增机组后状态 i 的确切概率, $P_{Oid}^s(i)$ 为新增机组前状态 i 的确切概率; $d_{New}^s(i)$ 为新增机组后状态 i 的增量转移率, $d_{Oid}^s(i)$ 为新增机组前状态 i 的增量转移率; λ_j 为新增机组 j 的故障率, μ_j 为新增机组 j 的修复率。

对第一台机组, 共有两个状态, 即:

$$m = 2$$

$$C_{New}^s(1) = 0$$

$$C_{New}^s(2) = C_1$$

$$P_{New}^s(1) = A_1$$

$$P_{New}^s(2) = \bar{A}_1$$

$$d_{New}^s(1) = -\lambda_1$$

$$d_{New}^s(2) = \mu_1$$

2 发电系统停运容量表的形成

对形成的发电系统停运容量预备表按停运容量从小到大的顺序进行一次排序。在此基础上, 给出计算步长, 按照给出的计算步长, 补齐一些中间状态, 也就是确切概率和增量频率为 0 的状态。最后按增量频率与增量转移率之间的关系式 (5), 累积概率和确切概率之间的关系式 (6), 累积频率和增量频率之间的关系式 (7), 即可形成发电系统停运容量表。

$$f(k) = p(k) d(k) \quad (5)$$

$$P^*(k) = \sum_{m=1}^k P(m) \quad (6)$$

$$F^*(k) = \sum_{m=1}^k f(m) \quad (7)$$

式中: $f(k)$ 为状态 k 的增量频率; $P(k)$ 为状态 k 的确切概率; $d(k)$ 为状态 k 的增量转移率; $P^*(k)$ 为状态 k 的累积概率; $F^*(k)$ 为状态 k 的累积频率。

3 算例

为了证明本文的观点, 采用 VB6.0 编程, 用本文所提算法对文献 [12] 中的一个 3 机系统进行了计算, 计算原始数据参见文献 [12], 计算结果如表 1 所示, 这个结果与文献 [12] 中的计算结果完全吻合。同时, 用本文所提算法及文献 [11, 12] 中的现有算法分别对一个 10 机、14 机及 18 机系统进行了计算, 以验证所提算法的适应性及对两种算法的效率进行比较。10 台机组的构成是: 单机容量 100 MW、125 MW、200 MW、300 MW 及 350 MW 各 2 台, 合计容量为 2 150 MW。14 台机组的构成是: 单机容量 100 MW、125 MW、200 MW 及 350 MW 各 2 台, 单机容量 300 MW、600 MW 各为 3 台, 合计容量为 4 250 MW。18 台机组的构成是: 单机容量 100 MW、125 MW、200 MW 及 350 MW 各 2 台, 单机容量 300 MW、600 MW 分别为 6 台和 4 台, 合计容量为 5 750 MW, 各类型机组原始数据如表 2 所示, 计算步长取 5 MW。表 3 列出了采用二种算法对三个系统的计算时间, 从中可以看到, 与现有算法相比, 本文所提算法的计算时间大为减小, 从而说明了所提算法在改善计算效率方面的有效性。为进一步说明所提算法的正确性, 表 4 给出了两种算法所得的 18 机系统发电系统停运容量表, 受篇幅限制, 表中只给出了累积概率和累积频率两个指标, 并且只列出了部分停运状态。表 4 的计算结果表明: 两种算法的计算结果完全一致。

表 1 3 台机组成的发电系统停运表

Tab 1 Generation system outage capacity mode of 3 generators

i	C_i	P_i	d_i	f_i	P_i^*	F_i^*
1	0	8.302 080E-01	-5.061 780E-03	-4.202 330E-03	1.000 000E+00	-2.800 000E-09
2	10	0.000 000E+00	1.000 000E+00	0.000 000E+00	1.697 920E-01	4.202 327E-03
3	20	0.000 000E+00	1.000 000E+00	0.000 000E+00	1.697 920E-01	4.202 327E-03
4	30	3.459 200E-02	2.233 548E-02	7.726 289E-04	1.697 920E-01	4.202 327E-03
5	40	5.299 200E-02	2.291 840E-02	1.214 492E-03	1.352 000E-01	3.429 699E-03
6	50	7.219 200E-02	2.352 667E-02	1.698 437E-03	8.220 800E-02	2.215 207E-03
7	60	0.000 000E+00	1.000 000E+00	0.000 000E+00	1.001 600E-02	5.167 693E-04
8	70	2.208 000E-03	5.031 566E-02	1.110 970E-04	1.001 600E-02	5.167 693E-04
9	80	3.008 000E-03	5.092 393E-02	1.531 792E-04	7.808 000E-03	4.056 723E-04
10	90	4.608 000E-03	5.150 685E-02	2.373 436E-04	4.800 000E-03	2.524 932E-04
11	100	0.000 000E+00	1.000 000E+00	0.000 000E+00	1.920 000E-04	1.514 959E-05
12	110	0.000 000E+00	1.000 000E+00	0.000 000E+00	1.920 000E-04	1.514 959E-05
13	120	1.920 000E-04	7.890 411E-02	1.514 959E-05	1.920 000E-04	1.514 959E-05

表 2 发电系统的机组可靠性指标

Tab 2 Reliability indices of generating units in a power system

编号	容量 /MW	强迫停运率	故障率 /次·年 ⁻¹
1	100	0.030	0.169 1
2	125	0.032	0.169 1
3	200	0.035	0.169 1
4	300	0.065	0.169 1
5	350	0.070	0.169 1
6	600	0.100	0.169 1

表 3 现有算法和本文算法计算时间的比较

Tab 3 Comparison on calculation time between the two algorithms

算法	10机系统	14机系统	18机系统
现有	701 ms	2 907 ms	9 193 ms
本文	50 ms	431 ms	5 335 ms

4 结论

本文提出了发电系统停运容量预备表的概念,并据此给出了在发电系统停运容量预备表的基础上

表 4 18台机组组成的发电系统停运表

Tab 4 Generation system outage capacity mode of 18 generators

停运容量 /MW	本文算法		现有算法	
	累积概率	累积频率	累积概率	累积频率
0	1.000 000 E+00	0.000 000 E+00	1.000 000 E+00	0.000 000 E+00
250	6.247 317 E-01	7.986 010 E-01	6.247 309 E-01	7.986 004 E-01
500	4.216 009 E-01	7.447 205 E-01	4.216 008 E-01	7.447 200 E-01
750	2.029 439 E-01	6.604 156 E-01	2.029 437 E-01	6.604 152 E-01
1 000	1.000 351E-01	4.338 604 E-01	1.000 350 E-01	4.338 601 E-01
1 250	4.765 764E-02	2.527 792 E-01	4.765 760 E-02	2.527 792 E-01
1 500	2.851 266E-02	1.451 792 E-01	2.851 264E-02	1.451 790 E-01
1 750	9.204 660E-03	5.751 881E-02	9.204 653E-03	5.751 877E-02
2 000	2.748 128E-03	2.126 019E-02	2.748 125E-03	2.126 018E-02
2 250	7.001 913E-04	6.600 753E-03	7.001 903E-04	6.600 754E-03
2 500	1.853 359E-04	2.018 843E-03	1.853 358E-04	2.018 843E-03
2 750	6.125 748E-05	6.721 291E-04	6.125 737E-05	6.721 293E-04
3 000	1.455 973E-05	1.705 267E-04	1.455 972E-05	1.705 267E-04
3 250	2.058 153E-06	2.904 850E-05	2.058 148E-06	2.904 849E-05
3 500	2.438 994E-07	4.090 353E-06	2.438 995E-07	4.090 350E-06
3 750	2.532 210E-08	4.960 480E-07	2.532 209E-08	4.960 475E-07
4 000	3.576 011E-09	6.944 010E-08	3.576 008E-09	6.944 003E-08
4 250	2.602 681E-10	5.631 018E-09	2.602 680E-10	5.631 018E-09
4 500	1.410 446E-11	3.498 419E-10	1.410 447E-11	3.498 418E-10
4 750	3.839 101E-13	1.077 402E-11	3.839 101E-13	1.077 402E-11
5 000	1.195 331E-14	3.756 902E-13	1.195 331E-14	3.756 904E-13
5 250	6.571 146E-17	2.393 656E-15	6.571 148E-17	2.393 658E-15
5 500	2.525 852E-19	1.134 290E-17	2.525 852E-19	1.134 290E-17
5 750	4.172 100E-23	2.322 433E-21	4.172 100E-23	2.322 433E-21

一次性建立发电系统停运容量模型的一个实用算法。与现有算法相比,所提算法简单方便,计算量大为减少,且物理概念更加清晰。并根据所提算法编制了相应的程序,用算例验证了算法的正确性。

参考文献:

- [1] 王秀丽,陈皓勇,甘志,等.应用随机生产模拟的发电系统可靠性评估方法[J].电力系统自动化,1999,23(17):15-19.
WANG Xiu-li, CHEN Hao-yong, GAN Zhi, et al Reliability Evaluation of Generation System Based on Probabilistic Production Simulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(17): 15-19.

- [2] Billion R, Allan R N. Reliability Assessment of Large Electric Power Systems[M]. K Laver Academic Publishers, 1998.
[3] Endrenyi J. Reliability Modeling in Electric Power Systems[M]. John Waley & Sons, 1978.
[4] 王秀丽,曹成军,王锡凡.互联系统可靠性效益评估方法[J].电网技术,2000,24(7):1-5.
WANG Xiu-li, CAO Cheng-jun, WANG Xi-fan Reliability Benefits Evaluation Method for Power System Interconnection[J]. Power System Technology, 2000, 24(7): 1-5.
[5] 张焰.电网规划中的模糊可靠性评方法[J].中国电机工程学报,2000,20(11):77-80.
ZHANG Yan The Evaluation Method of Fuzzy Reliability in Electric Power Network Planning[J]. Proceedings of the CSEE, 2000,

- 20(11): 77-80.
- [6] 蔡亮, 向铁元, 黄辉. 发电系统可靠性评估的盲数模型和指标 [J]. 电网技术, 2003, 27(8): 29-32.
CAI Liang, XIANG Tie-yuan, HUANG Hui Blind-number Model and Indices for Power Generating System Reliability Assessment [J]. Power System Technology, 2003, 27(8): 29-32.
- [7] 冯永青, 丁明, 宋云亭. 电源规划概率评估软件的设计与应用 [J]. 电网技术, 2004, 28(4): 6-10.
FENG Yong-qing, DING Ming, SONG Yun-ting Design and Application of Probabilistic Evaluation Software for Generation Planning [J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 6-10.
- [8] 杨梓俊, 丁明, 孙昕. 电力市场下综合考虑系统可靠性和旋转备用效益的机组组合 [J]. 电网技术, 2003, 27(6): 13-18.
YANG Zi-jun, DING Ming, SUN Xin Unit Commitment Problem Under the Condition of Electricity from Spinning Reserve [J]. Power System Technology, 2003, 27(6): 13-18.
- [9] 贺晓柏, 陈允平. 基于电力不足概率的市场力评估 [J]. 电网技术, 2004, 28(9): 67-70.
HE Xiao-bai, CHEN Yun-ping A New Approach to Assess Market Power Based on Loss of Load Probability [J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 67-70.
- [10] 张鹏, 王守相. 电力系统可靠性经济评估的区间分析方法 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 71-77.
ZHANG Peng, WANG Shou-xiang Power System Technology Novel Interval Methods in Power System Reliability Economics [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 71-77.
- [11] 郭永基. 电力系统可靠性分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
GUO Yong-ji Power System Reliability Analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [12] 王锡凡. 电力系统规划基础 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
WANG Xi-fan Foundation of Power System Planning [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1994.

收稿日期: 2005-07-01; 修回日期: 2005-10-17

作者简介:

王 淳 (1963 -), 男, 博士, 副教授, 从事电力系统规划、可靠性与电力市场方面的研究。E-mail: cwang_ncu_cn@163.com

A practical algorithm for building generation system outage capacity model

WANG Chun, HU Yi-tao

(School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract: The drawbacks of the method for building generation system outage capacity model are analyzed. A new concept, the generation system outage capacity probabilistic model, is presented. Based on this concept, a practical algorithm for building generation system outage capacity model is proposed. The practical algorithm aims at decreasing the amount of state and the quantity of calculation and raising calculating efficiency. The numerical examples show that the algorithm presented is correct and convenient.

Key words: reliability; generation system outage capacity model; algorithm

许继集团一科研成果荣获国家科学技术进步奖

为深入贯彻党的十六大和十六届五中全会精神,全面落实科学发展观,进一步实施科教兴国战略和人才强国战略,大力推进自主创新,国务院决定,对为我国科技事业进步、经济社会发展、国防现代化建设作出突出贡献的科学技术人员和组织给予奖励。在1月9日召开的全国科学技术大会上,许继集团公司“牵引供电自动化系统成套技术及应用项目”荣获国家科学技术进步二等奖。

该系统是根据铁道部科研开发计划项目“牵引变电所安全监控及综合自动化成套技术研究(编号:99J32)”和“秦沈客运专线牵引变电所安全监控及综合自动化设备的研制(编号:2000J004-C)”研制的。该系统采用分层分布式结构、方案设计合理、功能完善。现场总线网络采用双环自愈 Lonworks 光纤网络,信息传输高速、可靠;保护、测量与控制装置采用 ADSP 高速数据采集系统和 32 位微处理机构成的双 CPU 模式,保证了负荷与故障录波的高采样率、电量测量的高精度和保护动作的快速。