

配电系统实施自动化的可靠性投资评估

王 敏

(广东水利电力职业技术学院, 广东 广州 510635)

摘要: 供电可靠性每增加一个百分点, 供电企业为改善供电可靠性而增加的费用也将急剧增加。引用了国外对配电系统可靠性的一些参考指标及工程计算方法, 一个基本辐射型配电系统为算例, 分别介绍了配电系统实施自动化的主要手段——电缆故障指示器及配电管理系统, 从经济的角度对可靠性提高的影响进行了计算与分析。指出了当前实施配电自动化系统应采用的主要手段及理想的投资切入点。

关键词: 配电系统; 自动化; 可靠性; 投资评估

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)07-0031-04

0 引言

社会越来越依赖电力的供应, 几乎所有的用户都希望有 100% 的可靠性而不愿有哪怕是极短时间的停电。停电给用户造成的损失随着停电时间的延长而大幅增加。以法国为例: 当停电持续时间为 1 h, 损失为 18 马克/kW; 当停电持续时间为 3 h, 损失为 85 马克/kW^[1]。因此, 在国外比较发达的国家已广泛应用配电自动化技术以提高电力系统的可靠性, 缩短停电时间。

另一方面, 供电可靠性每增加一个百分点, 供电企业为改善供电可靠性而增加的费用也将急剧增加, 所以追求 100% 的供电可靠性在经济上和技术上都是不现实的。作为供电企业, 必须在用户用电可靠性要求及供电企业投资费用中寻找合适的平衡点, 从而对可靠性的投资进行评估。

1 配电系统提高可靠性的主要方式

配电系统自动化通过快速地清除故障和恢复供电, 获得较好的系统性能, 并提高向用户供电的可靠性。目前, 主要有两种方式:

1) 电缆故障指示器(CFI)的应用。在传统的配电系统中, 通过变电站继电保护的动作识别有故障的中压馈线(我国目前主要是 10 kV 线路), 难以准确地进行故障定位, 因此掉电用户难以在短时间内恢复供电。而在配电系统中引入能指示故障电流通过的设备——电缆故障指示器, 就能有效地协助确定故障位置和隔离故障段, 大大地缩短停电时间。

2) 配电管理系统(DMS)的应用。故障识别、故障隔离及恢复供电完全由计算机系统在极短的时间内完成。系统中由 FTU 代替电缆故障指示器。当

配电网 SCADA 系统发现某变电站的断路器跳闸, 根据系统中 FTU 发出的线路电流信息或开关状态信息便可逻辑判断故障点位置。故障所在位置识别清楚之后, 通过网络重构, 隔离故障段, 重新恢复供电。

2 供电可靠性及停电损失费用工程计算方法^[2]

在配电系统可靠性分析中, 最重要的因素是故障率期望值和停电时间期望值, 及不同网络结构下给各用户造成的少供电力总和。这些因素决定于运行和检修策略、网络结构、网络元件的组合方式以及元件的可靠性。在网络结构、网络元件的组合方式以及网络元件不变的基础上, 配电系统自动化的目的就是通过优化系统的运行、检修和故障排除方式, 从而提高系统的可靠性。配电系统主要有两种接线形式, 辐射型和环网型。由于我国在环网系统中多采用开环运行, 因此, 在计算中也可作为辐射型系统考虑。

假定元件 i 的平均故障率为 λ_i , 平均停电时间为 U_i , 年故障持续时间为:

$$U = \sum \lambda_i U_i \quad (1)$$

其中假设各个元件的故障是相对独立的。对于给定负荷 j 的平均停电率或每年的停电次数由下式给出

$$j = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum \lambda_i I \quad (2)$$

λ_i 是元件 i 每年的故障率, I 是造成给定负荷点 j 供电中断的所有故障元件的集合。

年停电时间的期望值反应供电的可靠性, 由下式给出:

$$U_j = \sum \lambda_{ij} U_i I \quad (3)$$

其中： t_{ij} 是由元件*i*的故障在给定负荷点*j*引起的供电中断时间。

平均停电持续时间由下式给出：

$$t_{ij} = U_j / f_j \quad (4)$$

电力系统中所发生的各种停电可能引起的“少供电量”(NDE)由下式给出：

$$E_j = \sum_i P_j t_{ij} \quad (5)$$

其中： P_j 是负荷点*j*停电引起的少供电力。

少供电量的费用由下式给出：

$$C_j = \sum_i \{ a_j(t_{ij}) + b_j(t_{ij}) \} P_j \quad (6)$$

其中： $a_j(t_{ij})$ 和 $b_j(t_{ij})$ 是当停电时间为 t_{ij} 时,对负荷点*j*少供电力和电量的单位费用值,如元/kW和元/kW·h^[2]。

3 配电系统实施自动化的可靠性投资分析

如何选择合适的方案对可靠性投资进行评估,通过以下算例加以说明。

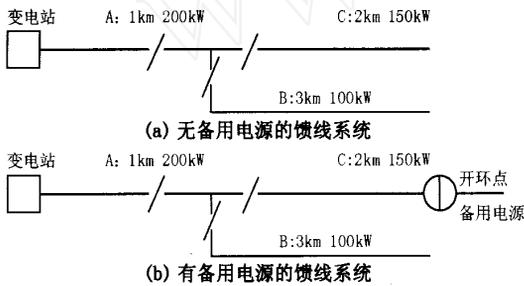


图1 可靠性计算的算例系统

Fig. 1 Sample of reliability calculation

大部分配电系统是辐射型系统,即使是环网结

构的系统,也通过网络中设置的正常开环点作为辐射型系统来运行。因此,下面的关于可靠性计算选择的算例网络为一个基本辐射型系统,如图1所示。

图1(a)所示的网络显示了从高压/中压变电站供电的中压馈线系统,图中所标数据为各段馈线的长度与所输送负载。图1(b)有一条来自邻近变电站的备用线路,可通过开环点投入备用电源。如图1所示这个系统被分成A、B、C三段,其目的是计算不同分段上的用户及整个系统的年停电时间期望值和停电损失费用。

3.1 为简化计算所做的假设

- 1) 发生故障的风险大约与线路的长度成正比,故障率为每年每公里0.1次;
- 2) 停电费用参数取 $a = 1$ 元/kW 和 $b = 20$ 元/(kW·h) (停电时间小于等于1h)及 $b = 60$ 元/(kW·h) (停电时间为3h)^[3];
- 3) 故障位置确定及开关倒闸时间是1h,故障修复时间是3h。加装CFI及加装DMS后该时间相应缩短为0.5h和0.1h。故障发生在某段时,该段需进行故障修复,而其它段需进行倒闸操作。
- 4) 备用电源能负担全部负荷。

3.2 求解过程

可靠性指标可以用串联系统的原则来估计。年停电时间期望值 U 可根据式(3)计算,停电费用 C 可根据式(6)计算。对不同分段上发生故障所导致的每一分段上的 U 和 C 的值分别进行计算,见表1到表4。

表1 辐射系统

Tab. 1 Radiation network

负荷段	故障段	f (次·年 ⁻¹)	t_{ij} /h	U_j (h·年 ⁻¹)	$\sum_i (a + bt_{ij}) \cdot P$	C (元·年 ⁻¹)
A	A	0.1	3	0.3	$0.1 \cdot (1 + 60 \cdot 3) \cdot 200$	3620
	B	0.3	1	0.3	$0.3 \cdot (1 + 20 \cdot 1) \cdot 200$	1260
	C	0.2	1	0.2	$0.2 \cdot (1 + 20 \cdot 1) \cdot 200$	840
	合计			0.8		5720
B	A	0.1	3	0.3	$0.1 \cdot (1 + 60 \cdot 3) \cdot 400$	1810
	B	0.3	3	0.9	$0.3 \cdot (1 + 60 \cdot 3) \cdot 400$	5430
	C	0.2	1	0.2	$0.2 \cdot (1 + 20 \cdot 1) \cdot 400$	420
	合计			1.4		7660
C	A	0.1	3	0.3	$0.1 \cdot (1 + 60 \cdot 3) \cdot 450$	2715
	B	0.3	1	0.3	$0.3 \cdot (1 + 20 \cdot 1) \cdot 450$	945
	C	0.2	3	0.6	$0.2 \cdot (1 + 60 \cdot 3) \cdot 450$	5430
	合计			1.2		9090
损失总计						22470

将表1中的 t_{ij} 分别用1h、0.5h、0.1h代入,其它如 U_j 、 bt_{ij} 作相应改变后得表2、表3、表4如下:

表2 环网系统

Tab.2 Loop network

负荷段	$U_j / (\text{h} \cdot \text{年}^{-1})$	$C / (\text{元} \cdot \text{年}^{-1})$
A(合计)	0.6	2520
B(合计)	0.6	1260
C(合计)	0.6	1890
损失总计		5670

表3 环网系统 + 电缆故障指示器

Tab.3 Loop network & CFI

负荷段	$U_j / (\text{h} \cdot \text{年}^{-1})$	$C / (\text{元} \cdot \text{年}^{-1})$
A(合计)	0.3	1320
B(合计)	0.3	660
C(合计)	0.3	990
损失总计		2970
增加投资		3000

表4 环网系统 + 配电管理系统

Tab.4 Loop network & DMS

负荷段	$U_j / (\text{h} \cdot \text{年}^{-1})$	$C / (\text{元} \cdot \text{年}^{-1})$
A(合计)	0.06	360
B(合计)	0.06	180
C(合计)	0.06	270
损失总计		810
增加投资		100000

3.3 计算结果

1) 对于基本辐射型系统,从表1可知,三个不同分段的年停电时间分别是0.8 h、1.4 h和1.2 h,全部停电费用是22 470元/年。

2) 对于有备用连接(环网)的系统,计算结果如表2所示。在这种情况下,分段A、B和C的可靠性指标被改善,停电时间为0.6 h,与没有备用连接时的损失差为16 800元/年。

3) 对于有备用连接(环网) + 电缆故障指示器的系统,计算结果如表3所示。在这种情况下,分段A、B和C的可靠性指标再次被改善,停电时间为0.3 h。与没有电缆故障指示器时的损失差为2700元/年,但需增加投资3000元。

4) 对于有备用连接(环网) + DMS的系统,计算结果如表4所示。在这种情况下,分段A、B和C的停电时间再次被缩短为0.06 h,与有备用连接(环网)没有电缆故障指示器时的损失差为4860元/年,但需增加投资100 000元。

3.4 算例小结

1) 根据上述数据,我们把少供电量单位费用系

数 b ,环网系统年损失费用 $C_{\text{环网}}$,带DMS的环网系统年损失费用 $C_{\text{环网}+\text{DMS}}$ 以及他们之差 C 列表5如下:

表5 C 与 b 的关系Tab.5 Relationship between C and b

b $/(\text{元} \cdot \text{kWh}^{-1})$	$C_{\text{环网}}$ $/(\text{元} \cdot \text{年}^{-1})$	$C_{\text{环网}+\text{DMS}}$ $/(\text{元} \cdot \text{年}^{-1})$	C $/(\text{元} \cdot \text{年}^{-1})$
10	2970	540	2430
20	5670	810	4860
30	8370	1080	7290
40	11070	1350	9720
50	13770	1620	12150
60	16470	1890	14580

假设所增加的投资在10年内收回,则每年大约需要10000元的回报。从表5可知,只有当 b 在40元/(kW·h)附近时,即对应于供电区域为重要的工业、商业、医疗、政府等时^[4],实施配电自动化系统才有良好的投资/收益比。

2) 把辐射型系统改为环网型系统,可以提高供电可靠性,把损失减少约75%。

3) 加装电缆故障指示装置,又可以把损失减少约48%,同时只需增加较少的投资。

4) 在系统环网的基础上,通过实施配电管理系统,可以把损失减少86%,并提高企业的管理水平,但需要较大的投资。

4 结论

从算例中知道,增加电缆故障指示器是一个投资少效果显著的方法,应该得到推广应用。同时,配电管理系统的规划必须与区域内经济发展水平相适应。配电管理系统的实施,不仅要求有较好的一次系统设备作为基础,同时要求有较大的一次投资。只有当停电费用损失系数达到一个较高的数值,如 $b = 40$ 元/(kW·h)或以上时,意味着该区域有很高的生产力水平、生活水平或商业价值时,投资配电管理系统才有适当的投资回报。对照国内的实际情况,就是应选择在某些高、新技术开发区,主要的工业区或商业区及高级住宅区域等先进行配电管理系统项目的实施。

参考文献:

- [1] Martel D P, Wellbow W H. 供电质量问题(Quality Problem of Electric Power Supply)[J]. 国际电力(International Electric Power for China), 1997, (2): 20-24.
- [2] Holmes L E J, 范明天, 张祖平, 岳宗斌(FAN Ming-tian, ZHANG Zuping, YUE Zong-bin). 配电网网络规

- 划与设计(第二版)(Plan and Design of Distribution Network, Second Edition) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 1999. 47-53.
- [3] 顾秀芳,王仁洲,梁志瑞(GU Xiufang, WANG Rerrzhou, LIANG Zhi-rui). 配电网开关设备选择定位及效益分析(Location Selection and Benefit Analysis of Distribution Circuit Breaker) [J]. 河北电力技术(Hebei Electric Power), 1999, 18(5): 1-4.
- [4] 刘洁,余熙(LIU Jie, YU Xi). 配电网自动化工程综合

效益分析(Economic Evaluation of Distribution Automation Project) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment), 2000, 20(3): 56-58.

收稿日期: 2003-07-15; 修回日期: 2003-09-05

作者简介:

王敏(1966-),女,工程硕士,讲师,研究方向为供电系统与继电保护。

Investment evaluation of reliability of distribution network automation

WANG Min

(Guangdong Technical College of Water Resources and Electric Engineering, Guangzhou 510635, China)

Abstract: The power supply enterprise will have a sharp increase on its cost on reliability improvement of power supply, when the reliability of power supply is increased by one percent. Some abroad reference indexes and engineering calculation methods are recommended in this paper. Meanwhile, through a calculation case of a basic radiation distribution network, and from the perspective of economy, the paper analyses and calculates the influence of the main means of distribution network automation, i. e. cable fault indicator (CFI) and distribution management system (DMS) on reliability improvement. Also, it puts forward the main means to realize distribution network automation and the ideal investment cut-in point.

Key words: distribution network; automation; reliability; investment evaluation

(上接第 30 页 continued from page 30)

参考文献:

- [1] Engberg K, et al. Thyristor Switched Capacitors (TSC) in Theory and Practice [A]. The Fourth International Conference on AC and DC Transmission. London: 1985. 183-186.
- [2] 徐爱钧(XU Ai-jun). 功率因数自动补偿装置(Power Factor Auto-compensation Device) [J]. 电气自动化(Electrical Automation), 1992, (5): 28-31.

- [3] 胡萌林,蔡蜀青(HU Meng-lin, CAI Shu-qing). 低压电容无功补偿装置的控制方式(Low Voltage Capacitor Reactive Compensation Control) [J]. 电工技术杂志(Electrotechnical Journal), 1995, (1): 5-7.

收稿日期: 2003-06-20; 修回日期: 2003-09-25

作者简介:

刘岸杰(1974-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统实时控制与安全;

宋伶俐(1978-),女,硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析与监测。

Thyristor switched capacitor reactive compensation device controlled by microcomputer

LIU An-jie, SONG Ling-li

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In this dynamic reactive power compensation device, 80C320 single-chip processor is employed as the control center, and a rapid reactive power detecting method with a special thyristor controlling technique is proposed. It can switch capacitors rapidly without any impacts, and the fast and real-time compensation characteristics can be obtained with this system on compensating the fundamental-wave reactive power in low-voltage networks. The control mode of the main circuit and the composition of the control circuit are also presented in detail. The relevant data of the simulated load switching test show that the device is available.

Key words: reactive compensation; thyristor; compensation capacitor; 80C320 single-chip processor