

# 一种电力通信传输网可靠性指数计算方法

王雅娟<sup>1</sup>, 高会生<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;

2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 保定 071003)

**摘要:** 为了量化评估电力通信传输网的可靠性, 提出了一种电力通信传输网综合可靠性指数的计算方法, 其主要思想是基于可维修网元的有效性指数, 得到简单通信系统的可靠性指数, 进一步推演到复杂的电力通信传输网的可靠性指数, 该指数可直接反映网络集中型业务的年度故障时间期望值。本方法符合电力传输网的业务分布特点, 适合通过计算机仿真和计算, 可用于电力传输网的可靠性评估、比较和优化效果验证等。

**关键词:** 电力传输网; 可靠性; 网络评估; 网络优化

中图分类号: TM744

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)02-0111-04

## A Method of Calculation Reliability Index in Grid Transmission Network

WANG Yajuan<sup>1</sup>, GAO Huisheng<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. College of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** This paper proposes a new calculation method of transmission network reliability index, to estimate reliability of electrical transmission network. First of all, the reliability index of series-and-parallel system is calculated based on the effectiveness index of the maintainable network elements, and then the reliability index of the complex transmission network is calculated, which directly reflects the average annual fault time of centralized business. This approach is consistent with the transmission network, and the calculation is simple. Using this method, it is intuitive and quantifiable to verify the effectiveness of network optimization on improving network reliability.

**Key words:** electrical transmission network; reliability; network estimation; network optimization

随着电力系统对通信网络的依赖性越来越大, 其对电力通信系统可靠性的期望值也会越来越高, 电力通信系统可靠性问题已经引起了各级调度机构的高度重视。

从电力通信系统本身来说, 在系统设计、工程实施和网络运行过程中, 都考虑了必要的可靠性措施, 但是对传输通信网络的可靠性水平评估, 目前还缺少综合的评价指标体系和评价方法, 以至于无法对某个区域电力通信系统可靠性进行有效评价。

## 1 传输网综合可靠性指数计算原理

### 1.1 网元可靠性

对于可靠性, 学术界有多种定义。由于通信网

是一个可维修系统, 因此本文有效性测度表示其可靠性。下文提及的可靠性等同于有效性。

有效性是指网络在运行状态下, 在给定时刻完成规定功能的概率。有效性也可以解释为网络运行时间与某个指定时间段的比值。有效性指标主要如下:

1) 平均故障时间 MTTF (Mean Time To Failure)。

2) 平均维修时间 MTTR (Mean Time To Repair)。

3) 平均故障间隔时间 MTBF (Mean Time Between Failure)。

其中  $MTBF = MTTF + MTTR$ 。

假设失效和维修服从指数分布<sup>[1]</sup>, 并且失效率为常数, 则利用 Markov 模型得到瞬态有效性<sup>[9]</sup>。

$$A(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp[-(\lambda + \mu)t] \quad (1)$$

收稿日期: 2014-12-01

作者简介: 王雅娟(1983), 女, 山东济南人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力通信网络规划和研究(e-mail) wangyajuan@gedi.com.cn。

式中： $\lambda$  和  $\mu$  分别为失效率和修复率，且  $\lambda = 1/MTTF$ ， $\mu = 1/MTTR$ 。

此时，稳态有效性为：

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2)$$

利用 MTBF 和 MTTR 可以将有效性表示为：

$$R = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF} = 1 - \frac{MTTR}{MTBF} \quad (3)$$

根据大量设备参数的统计结果<sup>[2-7]</sup>，对光缆和通信设备的 MTBF/MTTR 取值如下：

1) 1 km 光缆的 MTBF： $5.324 \times 10^6$  h。

2) 1 km 光缆的 MTTR：13.8 h。

因此得到： $L$  km 光缆的有效性  $R = (R_i)^L = [9.74 \times 10^{(-5)}]^L$ 。

1) 传输设备的 MTBF： $2.987 \times 10^5$  h。

2) 传输设备的 MTTR：5.172 h。

因此得到传输设备的有效性  $R = 9.82 \times 10^{-4}$ 。

### 1.2 简单通信系统的可靠性计算

在网元可靠性评估的基础上，首先分析由  $n$  个网元组成的通信系统的可靠性。通信系统是指由一对收端和发端节点和传输通道构成的系统模型。根据 RBD(Reliability Block Diagram) 算法，可将其视作多个网元串联和并联构成的系统。其中：

1) 串联系统的可靠性见图 1 和式(4)：

$$R = R_1 \times R_2 \cdots \times R_n \quad (4)$$

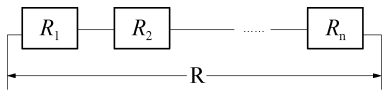


图 1 串联系统及其可靠性示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Series System and its Reliability

2) 并联系统的可靠性见图 2 和式(5)：

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \cdots (1 - R_n) \quad (5)$$

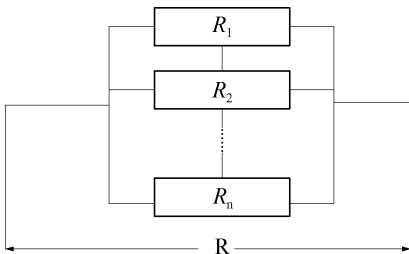


图 2 并联系统及其可靠性示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Parallel System and its Reliability

通信系统中，根据信源  $s$  与信宿  $t$  之间的网元

串并联关系，即可从上述基础公式求得  $s$  与  $t$  之间的连接可靠性  $R(s, t)$ 。

### 1.3 复杂通信系统的可靠性计算

当网络规模庞大，结构复杂时，信源  $s$  与信宿  $t$  之间可能有上百种路径。在工程实际中，如果对两点间的所有最小路集一一求取可靠性，工作量巨大且不可行。因此，工程中有以下四种方法近似计算两点间的连通可靠性。

1) UR(Unique Route)方法：单条最短路集可靠性。

计算所有最小路集的“长度”，并按“长度”由小到大排序，排在最前面的一条最小集作为最短路集，最短路集的可靠性作为两节点间的可靠性。该方法最明显优势是计算简单，不足之处在于计算精度较差。

2) DR(Double Routes)方法：双条最短路集可靠性。

计算所有最小路集的“长度”，并按“长度”由小到大排序，排在最前面的两条最小集作为最短路集，两节点间的可靠性等于所选出的两条最小路集的并联。该方法与 UR 方法相比，计算量较小，但计算精度明显提高。

3) DDR(Double Distributed Route)方法：双条不相交最短路集可靠性。

计算所有最小路集的“长度”，并按“长度”由小到大排序，首先选择“长度”最短的一条路集为主路径  $M$ ，然后选择与之最大限度不相交的路径中最短的一条路集为保护路径  $P$ 。该方法与 UR 方法和 DR 方法相比，计算量小，计算精度高，并且符合传输网工程实际中，主路径与保护路径配置的一般规律。

4) TR(Twenty Routes)方法：20 条最短路集可靠性。

计算所有最小路集的“长度”，并按“长度”由小到大排序，选择“长度”最短的前 20 条最小路集，两节点间的可靠性等于所选出的 20 条最小路集的并联。该方法的计算量较大，但计算精度高。

实际计算证明：TR 方法的计算结果，与 DDR 相比，效果几乎一样。比较分析可知，DDR 方法是比较实用，而且计算准确度较高的方法。因此，本方法采用 DDR 方法对  $R(s, t)$  进行近似计算，即首先选择“长度”最短的一条路径为主路径  $M$ ，然后选择与之最大限度不相交的路径中最短为保护路径  $P$ 。根据 1.3 节的算法，借助计算机程序，对

所有存在业务关联的  $(s, t)$  组分别计算  $R(s, t)$ , 求取平均值即为网络的整体可靠性指数。

### 1.4 电力传输网整体可靠性计算

传输网和通信系统的主要区别是: 通信系统具有明确的收端和发端, 而传输网的节点众多, 业务流向复杂。为了综合评价全网的可靠性, 首先进行网络的业务流向分析。

电力传输网承载的业务分为分散型和集中型两种。其中分散性业务为线路保护业务, 一般都在相邻节点之间传输, 受网络拓扑影响不大; 因而受网络拓扑影响较大的传输网业务是集中型业务, 即各厂站到中心局的业务。因此, 本模型用各厂站到中心局的通道连接可靠性去评价传输网的综合可靠性。同时, 考虑到不同等级站点的业务重要性等级不同, 引入站点权重的概念。

假设网络中共计有  $n$  个厂站, 分别表示为  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ; 假设网络中有  $m$  个中心局, 分别表示为  $T_1, T_2, \dots, T_m$ ;  $S_i$  与  $T_j$  之间的连接可靠性表示为  $R(S_i, T_j)$ ; 其中  $R$  采用 1.3 所述的 DDR 算法计算。 $S_i$  与  $T_j$  之间的连接重要性(权重)表示为  $V(S_i, T_j)$ ; 则网络的综合可靠性指数  $R$  定义为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R(S_i, T_j) \times V(S_i, T_j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V(S_i, T_j)} \quad (6)$$

### 1.5 电力传输网可靠性计算在网络评估中的应用

在南方电网某市局传输网优化项目中, 主要优化措施包括: 部分骨干环双归改造; 节点数量大于 4 个的链路成环改造; 单链接入的 110 kV 站点随光缆成环进行双链路改造; 部分假环进行重路由改造, 等等。如某骨干环, 优化前后的对比如图 3 所示。

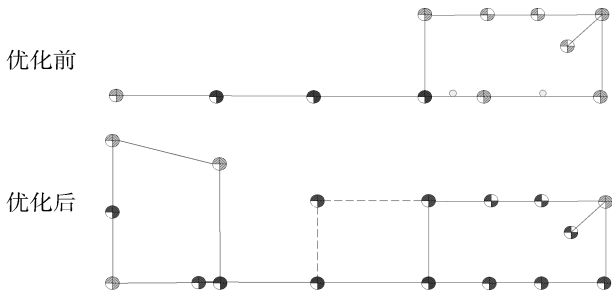


图 3 某骨干环优化前后对比图

Fig. 3 A Backbone Ring Comparison Chart of Before and After Optimization

为了对该供电局传输网优化后的可靠性提高程

度进行评价, 结合该局传输 A 网的拓扑图和 ODF 跳纤表, 将传输链路映射到光缆路由, 从而将传输 A 网建模成由通信设备与光缆两种网元串并联组成的网络。该电力传输网只有一个中心局, 即市供电局。公式简化为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R(S_i, T) \times V(S_i)}{\sum_{i=1}^n V(S_i)} \quad (5)$$

本模型中, 假设 500 kV 厂站的权重  $V(S_i) = 3$ , 220 kV 厂站的权重  $V(S_i) = 2$ , 110 kV 厂站的权重  $V(S_i) = 1$ , 35kV 厂站、供电所的权重  $V(S_i) = 0.5$ 。

根据该网络的拓扑图(包括光缆链路长度信息), 利用 2.1 中得出的  $L$  km 光缆和单台传输设备的有效性指数, 并采用 2.2 的 RBD 算法、2.3 中的 DDR 算法和 2.4 中的公式(6), 计算该网络优化前后的综合可靠性指数  $R$ , 利用先进的网络级仿真工具 Opnet, 建模并计算  $R(S_i, T)$  的分布。

计算得到该传输网优化前的综合可靠性指数  $R_1$  为 0.999 900 5, 优化后的综合可靠性指数  $R_2$  为 0.999 930 9。

图 4、图 5 是优化前后传输 A 网各节点到中心局的连接的可靠性分布图, 可见优化前, 有多个节点的可靠性在 0.999 3 ~ 0.999 6 之间, 而优化后, 节点的可靠性全部在 0.999 7 以上, 绝大部分节点可靠性在 0.999 9 以上。可直观地看出优化后传输 A 网的可靠性得到了大幅提高。该方法除了用于网络可靠性的评估、优化效果的验证, 也可用于不同网络之间可靠性的横向比较。

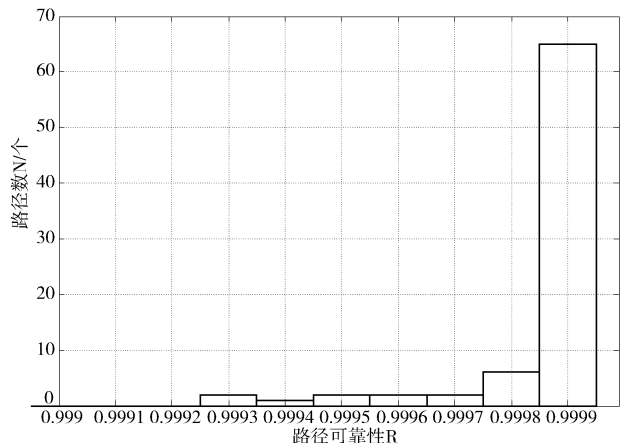


图 4 传输网优化前可靠性分布图

Fig. 4 Reliability Distribution Map before Network Optimization

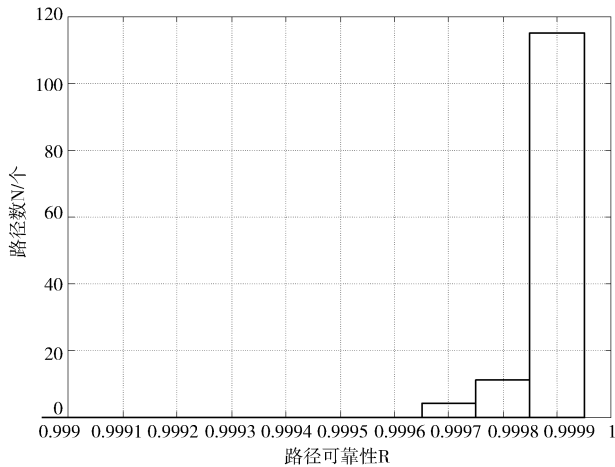


图5 传输网优化后可靠性分布图

Fig. 5 Reliability Distribution Map After Network Optimization

## 2 结论

本文提出了一种传输网络综合可靠性指数的计算方法,该方法分别求取所有厂站到中心局的双条不相交最短路集并联组成的电路的可靠性,再对各厂站到中心局的电路可靠性求取加权均值去评价传输网的综合可靠性。本方法符合传输网的业务流向特征,符合业务及保护路径配置的一般原则,易于用计算机求解,且得到的综合可靠性指数可以直接反映单位节点的集中型业务的年度故障持续时间,具有较强的实际意义。本方法可用于传输网的可靠性评估、比较和优化效果验证,在实际应用中,直观量化的验证了网络优化对网络可靠性提高的作用。

## 参考文献:

- [1] 张志华. 可靠性理论及工程应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2012年.
- [2] ANTONOPOULOS A, O'REILLY J J, LANE P. A framework for the Availability Assessment of SDH Transport Networks [C]. Proceeding of the Second IEEE Symposium on Computers and Communications, 1997: 666-670.
- [3] WAYNE G. High Availability Path Design in Ring-Based Optical Networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(4): 558-574.
- [4] RADOS I, TURALIJA P, SUNARIC T. Availability Model of Bidirectional Line Switched Ring Transparent Optical Networks. In: Proceedings of the 3rd International Conference, 2001: 312-316.
- [5] DONG T, TRIVEDI K S. Hierarchical Computation of Interval Availability and Related Metrics [C]. Proceeding of Dependable Systems and Networks, 2004 International Conference, 2004: 693-698.
- [6] Massimo T, Guido M, Achille P. Availability Design of Optical Transport Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(8): 1520-1532.
- [7] VERBRUGGE S, COLLE D, DEMEESTER P. General Availability Model for Multilayer Transport Networks [C]. Design of Reliable Communication Networks, 2005: 85-92.
- [8] 高会生, 赵建立, 王宇, 等. SDH自愈环网有效性模型的研究 [J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2009, 36(1): 91-94.  
GAO Huisheng, ZHAO Jianli, WANG Yu. Research on Availability Module in SDH Self-healing Ring Network [J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2009, 36(1): 91-94.

(责任编辑 郑文棠)

(下接第123页 Continued from Page 123)

- [6] CHILDS E C, BYBORDI M. The Vertical Movement of Water in Stratified Porous Material-1 Infiltration [J]. Water Resources Research, 1969, 5: 446-459.
- [7] FOK Y S. One-Dimensional Infiltration into Layered Soils [J]. Irrigation and Drainage Division, ASCE, 1970, 90: 121-129.
- [8] MOORE I D. Infiltration Equation Modified for Subsurface Effects [J]. Irrigation and Drainage Division, ASCE, 1981, 107: 71-86.
- [9] CHEN L, YOUNG M H. Gren-Ampt Infiltration Model for Sloping Surfaces [J]. Catena, 1991, 1(18): 91-111.
- [10] SUNG Euncho. Infiltration Analysis to Evaluate the Surficial Stability of Two-Layered Slopes Considering Rainfall Characteristics [J]. Engineering Geology, 2009, 105: 32-43.
- [11] GENUCHTEN M T Van. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44: 892-898.

- [12] 吕特, 张洁, XUE Jianfeng. Green-Ampt模型渗透系数取值方法研究 [J]. 岩土力学(增刊)录用, 2015.
- [13] TE L V, ZHANG Jie. On Permeability Coefficient of Green-Ampt Model [J]. Rock and Soil Mechanics, Accepted.
- [14] MEIN R G, FARRELL D A. Determination of Wetting Front Suction in the Green-Ampt Equation [J]. Soil Science Society of America Journal, 1974, 38: 872-876.
- [15] FREDLUND D G, MORGENSTERN N R, WIDGER R A. The Shear Strength of Unsaturated Soils [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1978, 15(3): 313-321.

(责任编辑 林希平)