

配电系统可靠性评估及实际工程应用

郭晓蓓

施耐德电气(中国)有限公司

DOI: 10.18282/hwr.v1i3.869

摘要: 本文介绍了一种配电系统可靠性研究的方法及其应用。配电系统可靠性研究首先通过对工厂生产工艺流程进行分析, 建立一个工厂运行的模型, 从供电角度确定关键的工艺环节, 从而确定配电网络的“意外事件”, 即“关键供电母线”, 其定义为由于设计、设备故障、电压突降、谐波等因素引起停电而对生产造成重大影响的供电母线。文中结合一个工程实例介绍了配电系统可靠性研究的方法及意义。

关键词: 配电网; 可靠性; 故障率; 故障逻辑树状图; 失效率

配电系统可靠性研究即用概率统计方法对配电系统保证按规定的电能质量标准连续供电能力进行定量分析或评估。分析研究配电系统可靠性的目的在于, 从配电系统各个环节和侧面研究使系统失效的因素, 提出量化的评价准则, 寻求提高配电网络可靠性的途径和方法。研究分析配电系统可靠性有助于提高系统的安全、稳定运行水平, 促进可靠性管理, 有利于提高配电网的经济效益。因此, 具有实用性的配电系统可靠性评估方法具有重要的意义。

1 可靠性理论

可靠性研究的第一步是确定“意外事件”发生的位置, 即确定能导致严重后果的关键供电母线。“意外事件”(UE) 是一个在可靠性领域里的典型术语, 用来识别将导致灾难性的毁坏(人员、金钱、社会…)的关键故障。在电网领域的应用中, 一个“意外事件”常常指一条供电母线: “意外事件”代表给这条母线供电的中断。

针对用户现场的电网, 通过用户现场专家与评估专家之间的共同讨论, 根据用户现场流程的需要来定义“意外事件”, 即关键供电母线。可靠性分析是建立在可靠性计算模型方法的基础之上的。建立“意外事件”(关键供电母线)的可靠性计算模型, 即建立关键供电母线的“故障逻辑树状图”。下图为一简单的供电网络, 通过对此供电网络进行分析来说明如何建立可靠性计算模型, 以及如何分析及计算。

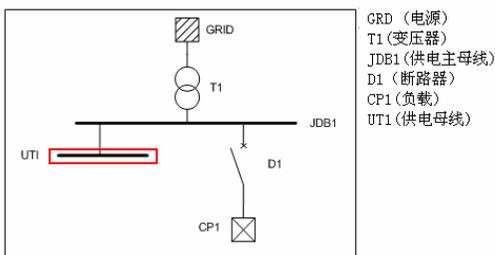


图1 供电网络及其组成元件

假设 UT1 供电母线发生故障, 我们可以将导致 UT1 母线故障的因素分解并使用下面的逻辑关系图来表示。为了设计必须知道的“故障逻辑树状图”, 对于每一个“意外事

件”, 必须分析出“意外事件”及关键供电母线的所有可能的供电路径, 一般假定电源为起点, 以关键供电母线为终点; 同时还应考虑电网结构及所有可能的运行模式, 包括电网的重新配置。

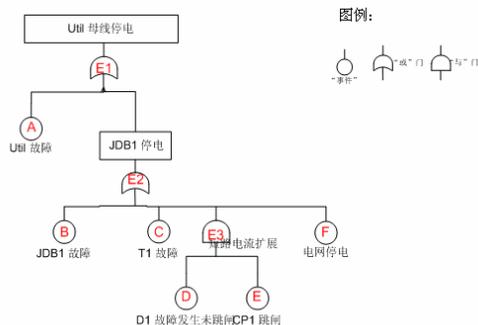


图2 可靠性计算模型(关键供电母线的“故障逻辑树状图”)

下面列出了导致 UT1 供电母线故障的各因素之间的逻辑关系:

$$E3=D * E$$

CP1 故障且 D1 断路器未跳闸, 导致 E3 即断路器电流扩展;

$$E2=B+C+E3+F$$

JDB1 供电母线故障, 或 T1 变压器故障, 或 E3 下级短路电流扩展, 或电网停电, 上述每个原因均能单独导致 E2 即 JDB1 母线故障停电;

$$E1=A+E2$$

即: JDB1 供电母线故障, 或 T1 变压器故障, 或 CP1 故障且 D1 断路器未跳闸同时发生, 或电网停电, 上述每个原因均能单独导致 E2 即 JDB1 母线故障停电;

$$E1=A+E2$$

UT1 母线故障或 JDB1 母线停电均能导致 E1 即 UT1 母线停电;

$$E1=A+B+C+D * E+F$$

即: UT1 母线故障, 或 JDB1 供电母线故障, 或 T1 变压器故障, 或 CP1 故障且 D1 断路器未跳闸同时发生, 或电网

停电,上述每个原因均能导致 E1 即 UT1 母线故障停电;

对于每个“意外事件”,须根据“故障逻辑树状图”的结构,综合考虑故障率及各种电网设备的维修时间,按照“逻辑树状图”的结构,来计算供电的失效率。每种类型的电气设备有不同的故障模式。他们代表了能影响此类设备并造成停电的不同种类故障。每种故障模式都有可能发生(故障率),且需要专门的时间去修理(修理时间)。

在实际应用中,由于供电网络复杂,组成网络的元件种类及数量多,因此可靠性研究计算通常是由基于以上理论的可靠性分析软件来完成计算的。

2 实例分析

2.1 流程描述

如同在关于可靠性研究方法论里所介绍的那样,为了精确地了解客户现场在供电有效性方面的需求,我们首先关注客户现场的工艺流程。

培训中心:某培训中心建筑面积达 8,200 平方米的培训中心,建立于 1996 年,装备了两台空客 320/340 航空模拟机。每台模拟机一年可以提供 5,000 小时,用以培训飞机驾驶员、技师以及其他航空人员。第三台模拟机系统正在进行建设。培训中心所拥有的航空模拟机属于世界最先进的模拟机,能够模拟世界各地的飞行条件。中心成立至今,已经有超过 1 万名学员在培训中心参加过不同的课程。

一个非常庞大的培训中心网络存在与三个培训中心之间。通过这个网络,北京培训中心时刻与其它两个培训中心保持联系,并交换数据。

支援中心:在 5,000 平米的库房中,该公司存放了 25,000 个零部件,用于应对中国客户的维修与维护需要。另外 21 个供应商也在支援中心设立了专门的服务办公室。

主要业务流程描述:

中央空调:1#,2# 制冷机为支持中心和培训中心空调系统提供冷水;3# 制冷机为办公楼空调系统提供冷水。消防水泵:将消防水管内的水增压,用于培训中心高层灭火。

电子车间:维修、测试用于飞机的电子测试设备。

培训中心数据间:培训网络服务器,通过 IT 中心与世界上其它培训中心交换培训数据;备件网络服务器,通过 IT 中心与世界上其它备件中心交换备件数据。

IT 中心:管理北京培训中心的局域网,并与该公司世界上其它的培训中心,备件库网络系统进行连接。

火警系统:及时监控火灾,并发出报警。

飞行模拟器 1#,2#:提供飞机培训,是最先进的,也是非常昂贵的设备(每台 2200 万美元),对差的供电质量比较敏感。

2.2 意外事件

可靠性研究的第一步是确定意外事件发生的位置。“意外事件”(UE)是一个在可靠性领域里的典型术语,用来识别将导致灾难性的毁坏(人员、金钱、社会…)的关键故障。在电网领域的应用中,一个 UE 常常指一条母线:UE 代表

给这条母线供电的中断。因此,我们将那些对工厂电网有真正致命危险的母线定义为意外事件(UE)。针对客户现场的电网,根据客户现场流程的需要来定义 UE,通过客户现场专家与施耐德专家之间的共同讨论认为。

配电系统最重要部分,会造成整个系统供电中断,是:1# 模拟机,2# 模拟机,消防泵及火灾报警控制,培训中心数据间,空客办公楼 IT 中心,对于其它负载,停电损失成本较低。因为仅是工厂的一部分设施停止工作并且能够恢复损失。做这个假设意味着,对客户现场来说,要绝对避免的事件是整个中心瘫痪。

2.3 可靠性评估

2.3.1 方法论

可靠性研究的第一步是确定意外事件发生的位置。“意外事件”(UE)是一个的关键故障。在电网领域的应用中,一个 UE 常常指一条母线:UE 代表给这条母线供电的中断。针对客户现场的电网,通过客户现场专家与施耐德专家之间的共同讨论,根据客户现场流程的需要来定义 UE。

对于每个“意外事件”,根据“逻辑树状图”的结构,综合考虑故障率及各种电网设备的维修时间,按照“逻辑树状图”的结构,来计算供电的失效率。每种类型的电气设备有不同的故障模式。他们代表了能影响此类设备并造成停电的不同种类故障。每种故障模式都有可能发生(故障率),且需要专门的时间去修理(修理时间)。

2.3.2 假定

为了进行可靠性研究,我们需要做一些关于每台设备故障率及修复时间的假设。关于故障率,我们假设的依据为 IEEE 统计数据(电气及电子工程师学会)。

修复时间根据客户现场维护规程及备件管理现状而定。

2.3.3 供电路径

对于每条定义为“意外事件”(UE)的母线,首先必须分析其所有的供电路径。一般假定电源为起点,以关键供电母线为终点,即电能是通过何种路径从电源流向“意外事件”供电母线的。并且考虑不同供电路径的备用等级(例如:某条母线有两条供电路径,但是只有两条供电回路中的一条对于被供电负荷的正常运行是真正必要的,则这条母线的备用等级为 1/2)。

2.3.4 可靠性分析结果

确定完各“意外事件”供电母线的供电路径后,通过对现场设备状况及设备维护情况的调研,并参考 IEEE 统计数据(美国电气及电子工程师学会)所推荐的设备故障率来确定该供电网络内每个元件的故障率及维修时间,并将这些参数输入到可靠性分析、计算软件中进行运算,从而得出可靠性分析结果。

对每台设备,用一个指数代表并概括它所要求的可靠性等级(RL)。这个指数可能的“值”是:

(1)RL1- 重大影响

这个值被赋予那些最影响供电失效率的设备。在下图里用深蓝色突出显示。

(2)RL2- 平均影响

这个值被赋予第二组设备, 在影响列表顶端第一组之后。在下图里用浅蓝色突出显示。

(3)RL3- 普通影响

可靠性研究的结果包括两个方面:对每个“意外事件”(UE)的供电失效率的统计平均值;每台电气设备对电气供电“失效率”的影响。换句话说,这个计算确定了此电气设备怎样影响“意外事件”发生的概率。通过可靠性分析软件计算,我们可以看到:其中22%的设备导致79%的供电失效率;另外30%的设备导致了13.7%的供电失效率;剩余的51%的设备导致了7.3%的供电失效率。

下表显示了可靠性研究结果,对于重要的母线,根据失效率统计平均值(统计的每年平均停电时间)。

表1 关键供电母线的“失效率”

意外事件	1#模拟机 供电母线	2#模拟机 供电母线	消防泵 供电母线	数据中心及消防控制 中心服务器供电母线	技术中心 供电母线	整个供电网 络
电网失效率 (分钟/年)	60	55	68	55	70	62

可靠性研究的结果是:

①对每个UE的供电失效率的统计平均值。

②是每台电气设备对电气供电失效率的影响。换句话说,这个计算确定了此电气设备怎样影响UE发生的概率。

2.3.5 供电网络升级改造建议

通过对该电网进行的可靠性研究表明:发电机在配电网中的配置是一个弱点,因此我们推荐对电网进行下列升级改造:将发电机的输出从中压母线移至低压母线。为了提高电网的可靠性,我们推荐一个新的网络结构,将发电机的输出从中压母线移至低压母线;两台中压发电机馈线及升压变压器作为备用。增加一组低压柜(低压柜应包括:两台发电机进线断路器,5路馈线给重要母线提供应急电源,及两路备用回路)可靠性研究清楚地表明了电网结构改造后的可靠性比现有的电网结构更可靠。现在整个电网的“失

效率”平均为62分钟/每年,电网结构改造后的整个电网“失效率”为11分钟/每年。对电网改造前后的供电网络结构进行了可靠性计算,下表列出了供电网络结构改造前后的可靠性计算结果:可靠性研究清楚地表明了电网结构改造后的可靠性比现有的电网结构更可靠。各“意外事件”关键供电母线的年失效率显著下降。

表2 电网改造前后关键母线的“失效率”对比

意外事件	1#模拟机 供电母线	2#模拟机 供电母线	消防泵 供电母线	数据中心及消防控制 中心服务器供电母线	技术中心 供电母线	整个供电 网络
改造前电网失效率 (分钟/年)	60	55	68	55	70	62
改造后电网失效率 (分钟/年)	7.8	7.8	14.7	8.3	17.4	11

3 结束语

本文结合工程实例介绍的配电系统可靠性评估方法主要包括以下步骤及内容:定义“意外事件”,即关键供电母线;通过分析“意外事件”的在供电网络中所有可能的供电路径,并考虑电网结构及所有可能的运行模式,包括电网的重新配置,从而设计出每一个“意外事件”的故障逻辑树;综合考虑故障率及各种电网设备的维修时间,按照“逻辑树状图”的结构,通过可靠性分析软件来计算各关键供电母线的“失效率”。

参考文献:

- [1]Jean Pierre Vial, Frederic Dumas, Christophe Andrieu. “MP4”配电系统咨询培训教材[M]. 法国施耐德电气有限公司,2006
- [2]郭永基.电力系统可靠性分析.北京:清华大学出版社,2003
- [3]谢开贵,周平,周家启(Xie Kaigui, Zhou Ping, Zhou Jiaqi).基于故障扩散地复杂中压配电系统可靠性评估算法(Reliability Evaluation Algorithm for Complex Medium Voltage Radial Distribution Network Based on Fault-Spreading-Method).电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),2001,25(4)
- [4]R.N. Allan, Billinton. Reliability Evaluation of Power Systems (电网可靠性评估)[M]. 1996