

城市电网用户停电损失及其估算方法的研究

陈晓,王建兴,臧宝锋

(昆明理工大学 电力工程学院,云南 昆明 650051)

摘要:介绍了用户停电损失的概念及影响因素,以城市电网为研究对象,通过构造用户停电损失函数和通过近似构造停电损失评价率,分别给出两种估算停电损失的方法,以实例验证了所给方法的可行性,并从实际应用的角度出发对这两种方法进行了分析和比较,所得结论可供系统运行人员参考。

关键词:电力系统;可靠性;停电损失;估算

中图分类号:TM71 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-855X(2003)01-0053-04

Research on the Power Outage Cost and its Estimation in the Electric Power Network

CHEN Xiao, WANG Jian-Xing, ZANG Bao-Feng

(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: This paper introduces the concept of power outage cost and the influencing factors. Two different methods of evaluating customer outage costs in distribution system are described. One is presented by constructing customer damage function, and the other is formed by the development of factors designated as the approximate interrupted energy assessment rate (IEAR). The experiment shows that these methods are feasible, and some related conclusions can be reached through comparative study.

Key words: power system; reliability; customer outage cost; estimation

0 引言

电力企业的根本宗旨是向用户提供安全、经济、可靠、优质的电能,但是在实际运行中,往往会因为各种原因发生向用户供电不足或供电中断的情况,给国民经济和人民生活带来损失.随着电力系统规模的不断扩大,系统结构的日趋复杂,电力系统的可靠度问题将越突出.

在电力市场不断发展的今天,研究人员已经开始采用技术和经济相结合的手段,从如何经济合理地提高电力系统可靠度水平确保供电质量的角度来研究系统可靠度问题.评估可靠度效益是研究的重要部分.在工程实际中,可通过估算电力供应中断对用户造成的经济损失即用户停电损失来评估可靠度效益,通常这也是一种最有效的方法.可见,研究用户停电损失,对于评估和优化电力系统可靠度,合理地进行电网扩展规划,有着重要意义.

1 用户停电损失

停电损失是指电力供应不完全可靠或预期不完全可靠时(即由于电力供应中断或不足而发生断电或限电时)社会所承担的全部经济损失.它不仅包含电力用户的经济损失,也包括电力企业的经济损失,本文就用户的停电损失进行了研究.它一般分为直接停电损失和间接停电损失^[1].前者是指实际发生停电时及以后一段时间内承担的损失,后者是指用户为减少停电影响而调整其活动因而支付的额外费用,或采用备

收稿日期:2002-09-25.

第一作者简介:陈晓(1978~),女,在读研究生;主要研究方向:电力系统可靠性与规划.

用能源而承担的费用.直接停电损失通常是由未曾预期到的停电的短期效应决定的;而间接停电损失则是预期将发生停电的更长期考虑所产生的,故停电损失又有短期和长期之分.

用户的停电损失主要受以下几个因素的影响:

(1) 用户的类别.不同类别的用户,其用电方式和停电特性不同,在研究停电损失时应微观定向地针对具体用户而言.即使对于同一类型的用户,每缺一度电所导致的停电损失也可能不同.

(2) 停电发生的时间.因为用户用电具有时间性,所以停电损失也和停电的具体时间有关.如对于住宅用户,因为其一天的主要用电时间在夜间的前半段,所以白天或后半夜停电给居民带来的损失与不便要明显低于前半夜停电造成的影响.对于生产具有季节性特点的工业用户,停电损失会随着季节的改变而改变.

(3) 停电频率.很明显,停电次数越多,造成的损失越严重.

(4) 停电持续时间.一般情况下,停电损失随停电时间的延长而增大.

在此还应强调的是,突然或没有准备的停电所造成的后果要比计划停电或得到预先通知的停电对用户造成的后果要严重得多.因为,如果预先被告知会停电,那么用户可采用调整活动、加强防范或是借助其它形式的能源等措施,将可能产生的直接停电损失降低为间接停电损失.

2 用户停电损失的估算方法

下面的两种估算方法都是建立在对用户调查的基础上的,调查应该是分类别,根据各类用户的停电特性设计调查表,并微观定向地针对不同用户进行调查,同时两种方法还需要用到相关的系统及负荷点的可靠度指标.

2.1 构造函数直接求解法^[2]

此种方法的求解过程中需要三类数学模型即负荷模型、系统模型和费用模型,其中前两类模型的构造可以利用以往的已经很成熟的电力系统可靠度评估技术,而费用模型则是通过调查获得相关数据并对其进行处理而建立起来的.此种方法的具体求解步骤如下:

(1) 通过调查,获取不同用户在不同停电持续时间下的经济损失估计值.

(2) 求不同用户每次停电的经济损失估计值与其年耗电量或年峰荷的比值,将采集到的数据归一化.在对原始数据进行处理的过程中应当着重说明的是,单是调查得到的数据,不足以说明停电使用户蒙受的损失的严重程度,因此根据我国将用电负荷按其可靠度的要求划分为不同的重要级别这一实际情况,在调查所得的原始数据的基础上再乘上一个反映用户重要特性的负荷级别系数,以修正调查结果使其趋近真实.

(3) 对上一步求得的数据,按不同用户类别分别取平均值,并以此建立各类用户停电损失函数 SCDF (sector customer damage function),以表征各类用户停电损失与停电时间的关系.

(4) 根据建立的 SCDF 及各类用户年峰荷或年耗电量,求出以母线节点为单位的综合用户停电损失函数 CCDF (composite customer damage function),以说明综合用户停电损失和停电时间的关系.

(5) 最后,在一定的研究时期内(一般为一年),系统的停电损失 OC(outage cost),可通过以下式子求得:

$$COC_i = (\sum E) \times C_i(r) \times \lambda_i \quad (1)$$

$$OC = \sum_{i=1}^N COC_i \quad (2)$$

式中, COC_i 表示由母线节点*i*供电的区域的停电损失; $\sum E$ 表示连接在母线节点*i*的所有负荷的年耗电量; λ_i 表示母线节点*i*的平均故障率; $C_i(r)$ 表示停电持续时间为*r*时,相应的单位停电损失(量纲为元/kWh),可由 CCDF 求得; N 是系统中母线节点的个数, OC 为系统的停电损失.

2.2 利用 IEAR 指标求解法

IEAR(interrupted energy assessment rate)即停电损失评价率,它定义为由于电网供电中断造成用户

因得不到单位电量而引起的经济损失,是评价系统可靠度水平的指标.利用 *IEAR* 指标,系统在研究期间的停电损失 *OC* 可按照下式计算:

$$OC = IEAR \times EENS \tag{3}$$

其中,*EENS*(expected energy not supplied) 是系统在研究期间内的电量不足期望值.

IEAR 指标的确定可以针对负荷点而言,也可以针对系统而言.本文主要是以城市电网中的某一级配电系统为研究对象,通过估算各个负荷点的 *IEAR* 指标来获得系统的 *IEAR*.为了使估算过程不至于太复杂,可以不用具体估算每次故障下的 *IEAR* 值^[3],而直接采用一种近似的办法.

(1) 确定负荷点 *p* 的 *IEAR_p*

这种方法直接利用每个负荷点的可靠度指标,它们分别是 λ_p 、 r_p 、 $L_{av,p}$. λ_p 为负荷点 *p* 的平均故障率; r_p 为负荷点 *p* 的平均故障持续时间; $L_{av,p}$ 为故障时负荷点 *p* 的平均缺负荷量即连接在点 *p* 的平均负荷.根据 *IEAR* 的定义,可得任意负荷点 *p* 的停电损失评价率:

$$IEAR_p = \frac{L_{av,p} \cdot \lambda_p \cdot c_p(r_p)}{L_{av,p} \cdot \lambda_p \cdot r_p} = \frac{c_p(r_p)}{r_p} \tag{4}$$

(4) 式中,分母表示故障下负荷点的缺电量,分子表示相应的停电损失期望值, c_p 是负荷点 *p* 在故障持续时间 r_p 下的单位停电损失,可由方法 2.1 得到的负荷点 *p* 的用户停电损失函数 *SCDF* 求得.

对于负荷点可靠度指标的求解,可利用以元件组合关系为基础的故障模式后果分析法.在估算过程中,要充分考虑到外界环境对元件可靠性的影响,因此需要引入一个元件自身状况系数来修正元件的可靠度指标值,以确保最终估算的负荷点可靠度指标的准确性.

(2) 确定系统的停电损失

将所得的负荷点的 *IEAR_p* 按该点负荷在系统中的用电比例加权,得到系统的 *IEAR_{sys}*,再利用(3)式估算系统的停电损失.

3 算例和分析

本文以参考文献[4]所给的 IEEE - RBTS 母线 2 配电系统为例,分别采用上述两种估算方法研究城网中某一配电系统的用户停电损失问题.研究所需的系统详细数据见文献[4~5].母线 2 的年平均负荷为 12.291 MW,有 22 个负荷节点,负荷类型包括:住宅类、商业类、小工业类和政府机关类.

表 1 母线 2 配电系统负荷模型

用户类别	平均负荷/MW	峰荷/MW	负荷率
住宅类	4.475	7.2504	0.6172
小工业类	2.15	3.5	0.6143
政府机关类	3.396	5.5002	0.6174
商业类	2.27	3.75	0.5893
总计	12.291	20.00	0.6116

3.1 构造函数直接求解法

由 2.1 所述,需要建立三个数学模型.由参考文献[4~5]的数据,该系统的负荷模型可由表 1 表示,系统的综合用户停电损失函数 *CCDF* 列于表 2 中,对于母线节点 2,其可靠度指标见表 3.

表 2 系统综合用户停电损失函数

停电持续时间/min	1	20	60	240	480
损失/元·kW ⁻¹	6.671	19.067	49.357	162.724	399.674

表 3 母线 2 可靠度指标(系统模型)

指标	λ	r	U (年无效度)
数值	0.056	1.036	0.058 01

从表 2 可以求出母线节点 2 在停电持续时间为 1.036 h 的 $C_2(1.036)$ 值,为 50.72 元/kW.因此,由式(1),停电损失 COC_2 可求得:

$$COC_2 = (\sum E) \times C_2(r) \times \lambda_2 = 12.231 \times 1000 \times 50.72 \times 0.056 = 34\ 739.95(\text{元})$$

3.2 利用 *IEAR* 指标求解法

该配电系统各负荷节点的可靠度指标及各类用户的停电损失函数(*SCDF*)分别见文献[4]和文献[5],利用(4)式,可分别求得 22 个负荷节点的 *IEAR_p* 值,列于表 4 中.

表4 22个负荷点各点的IEAR值

负荷点 p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IEAR _p (元/kWh)	23.01	22.87	22.87	40.03	39.73	115.19	114.92	63.17	63.94	22.96	22.87
负荷点 p	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
IEAR _p (元/kWh)	22.84	39.60	39.53	115.40	115.08	22.97	22.96	22.82	39.63	39.60	114.76

按照各负荷点负荷在母线2系统中的年耗电量比例(见表5,可由文献[4]中的数据求得),将22个IEAR_p值加权起来,即有母线2系统的IEAR_{BUS2}值为52.65元/kWh.根据表3和表1的数据有:

表5 各负荷点负荷的年耗电量比例

负荷点 p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
年耗电量比/%	4.35	4.35	4.35	4.60	4.60	3.69	3.69	8.14	9.36	4.35	4.35
负荷点 p	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
年耗电量比/%	3.66	4.60	4.60	3.69	3.69	3.66	3.66	3.66	4.60	4.60	3.69

$EENS = (\text{连接在母线2的平均负荷量}) \times \text{母线2的故障率} \times \text{母线2的故障持续时间}$

$$= \left(\sum_{p=1}^{22} L_{av,p} \right) \times \lambda_{BUS2} \times r_{BUS2}$$

$$= 12.231 \times 10^3 \times 0.056 \times 1.036 = 709.594 \text{ (kWh)}$$

$$OC = IEAR_{BUS2} \times EENS = 52.6 \times 709.594 = 37324.64 \text{ (元)}$$

3.3 分析比较

对两种方法计算结果的比较见表6,由表6可知两种方法的计算结果相差不大,说明在实际工程计算中它们均是可行的.但是相比之下,第二种方法更有价值.它可以同时获得各负荷节点及系统的IEAR值,利用各自的IEAR值,可以使得估算系统或任意负荷点在任何一种停电事故下的经济损失变得方便有效.电力系统实际运行中,当有事故发生时,运行人员可以根据各负荷点IEAR值的大小,采取必要的削减负荷措施,以遏制事故的蔓延.同时,研究人员也可根据IEAR指标来制定最优的系统改建方案.

表6 结果比较

3.1的结果/元	3.2的结果/元	以3.1的结果为基准的相对误差/%	以3.2的结果为基准的相对误差/%
34739.95	37324.64	7.44	6.92

4 结论

通过估算电力系统不可靠时对用户造成的经济损失这一方法,来研究电力系统可靠度效益问题,是很奏效的.本文给出了两种估算用户停电损失的方法,它们大都能考虑到各种因素对停电损失的影响.本文还通过实例验证了方法是可行的,并对这两种方法加以分析和比较.我国在这方面的的工作还做得较少,对于估算方法的科学性和可操作性还有待进行大量的深入的研究.

参考文献:

- [1] 毛钧焘译.电力系统可靠度和计划的经济性理论和实例分析[M].水利水电出版社,1987.
- [2] K.K.Kariuki, R.N.Allan. Evaluation of reliability worth and value of lost load[J]. IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib, 1996,143(2):171~180.
- [3] 张焰.电网规划中的可靠性成本—效益分析研究[J].电力系统自动化,1999,23(15):20.
- [4] R.N.Allan, R.Billinton et al. A Reliability Test System For Educational Purpose - Basic Distribution system data and results [J]. IEEE Transactions on Power System, 1991,6(2):813~820.
- [5] R.Billinton, S.Kumar, et al. A Reliability Test System For Educational Purpose - Basic data[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, 1989, 4(3):1238~1244.