

配电网投资决策

万国成,任震,黄金凤

(华南理工大学电力学院,广东广州 510640)

摘要:配电网的投资决策问题应该从社会效益最佳的角度出发来考虑。将电网方与用户方的投资行为结合起来考虑,在分析供电可靠性指标的基础上考虑用户的停电损失,并将停电损失与投资费用相结合,从而得到年费用最低的投资方案。结果表明,最佳的投资方案根据用户及电网的具体情况的变化而变化。

关键词:配电网; 用户电力; 可靠性

中图分类号:TM715 文献标识码:A 文章编号:1003-4897(2002)10-0006-04

1 引言

长期以来,配电系统的可靠性指标一般都是以该地区网络总用户数或总供电容量为基础建立的,对配电网的投入研究也多是来自网络的角度来考虑的。其实,更深入地考虑每个用户的立场和需求,更细腻地为每个用户服务,作为配电公司来讲,将是一件十分有意义的工作。

目前,随着电力市场的逐步形成,电力电子技术以及用户电力(Customer Power)^[1,2]的发展,用户作为电力系统的一个重要环节,不再是处在被动从属的地位,电力公司和用户都有责任和义务使整个社会资源的利用率及社会效益得到最大限度的提高。

本文的研究重点放在配电网末端的投资策略的研究上。在研究配网末端的投资时与用户自身的反应相结合,即将考虑电网的投入和用户自身在电力设备上的投入相结合,并考虑最终用户的供电可靠性和停电损失,从而得到社会效益最优的前提下的投资策略。文中用决策树的方法来获得最终的投资策略,并给出一具体实例。

2 问题的提出

某新建用户的总容量为 P_t ,其中重要负荷的容量为 P_i ,一般负荷的容量为 P_n ,重要负荷所占比例为 α ,用户的平均负荷总量为 P ,用户的平均负荷系数为 β ,且认为重要负荷与一般负荷的负荷系数相同,重要负荷的年平均负荷为 P_i ,一般负荷的年平均负荷为 P_n ,则有 $P = P_t = (P_i + P_n)$, $P_i = \alpha P$, $P_n = (1 - \alpha) P$;其重要负荷的停电损失比一般负荷要大得多,重要负荷的停电损失为 d_i 元/kW·h,一般负荷的停电损失为 d_n 元/kW·h。根据具体的

地理环境及已有的配电网,离该用户最近的两条高压馈母线距离分别为 l_1 、 l_2 ,此二高压馈线的供电可用率均为 R 。现在的问题是如何进行投资,以使社会效益达到最优。

由于用户电力的成本一般比电网供电要高,因此不讨论不架设输电线路的情况。目前的用户采用的电力设备很多,有用户自备发电机、UPS 设备等,本文在讨论时所采用用户电力设备为 UPS 电源,其工作原理如图 1 所示(这里只是略图,图中省略了整流器、充电器等)。交流输入正常时由交流输入经整流后逆变输出交流电,若交流输入故障时由蓄电池逆变输出交流电;逆变器故障时其后的静态开关自动转到交流输入上^[3]。

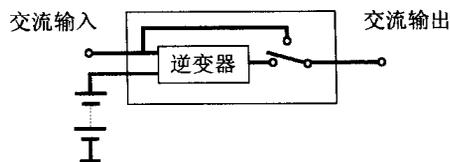


图 1 UPS 示意图

Fig. 1 The sketch map of UPS

3 决策分析

在实际应用中,供电线路一般不会超过两条,而在用户侧自备电源(分析中选为 UPS)又可分为三种情况:对所有用户都不配 UPS、只对重要用户配 UPS 以及对所有用户配 UPS。因此,对于以上问题,可能的投资方案有六种,分别为:(1)从高压馈线之一架设一输电线路至用户,所有的用户负荷均由电网供电,如图 2(a)所示;(2)从两条高压馈线分别架设一条输电线路至用户,所有的用户负荷均由电网供电,如图 2(b)所示;(3)架设一条输电线路至用户,但在用户侧,将一般负荷由电网直接供电,而重要负

荷则由电网经 UPS 供电,如图 2(c)所示; (4)从两条高压馈线分别架设一条输电线路至用户,但在用户侧,将一般负荷由电网直接供电,而重要负荷则由电网经 UPS 供电,如图 2(d)所示; (5)从一条高压馈线上架设一条输电线路至用户,将所有用户由电网经 UPS 供电(即所有负荷都配 UPS),如图 2(e)所示; (6)分别从两条高压馈线上设一条输电线路至用户,将所有用户由电网经 UPS 供电,如图 2(f)所示。

以年成本代价最小为目标函数,为了确定投资决策,应该对每种方案计算其投资及停电损失。其中,每种方案的投资为线路的投资、变压器的投资以及 UPS 的投资(如果有的话);而停电损失则由每种方案的可靠性指标求得。由于 UPS 的成本较高,第 5、6 种方案通常不被考虑,这在本文其后的例子中也可以得到验证。

设架设线路的成本为 d 元/km,变压器的成本

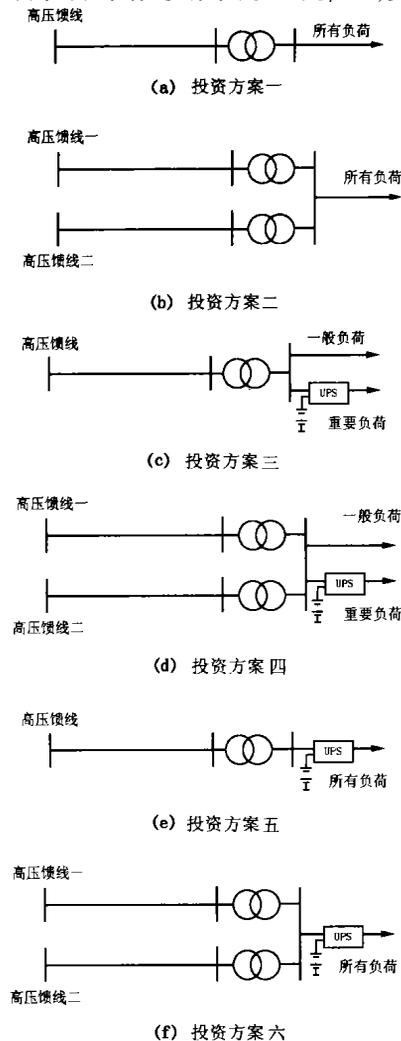


图 2 不同的投资方案

Fig. 2 Different investment schemes

为 C_1 元/台,UPS 电源的成本为 C_2 元/台。由于两条高压馈线的供电可靠性相同,因此如果是架设一条线路的话,肯定是从离用户近的那条高压馈线处获电。设用户离两条高压馈线距离分别为 l_1, l_2 ,且 $l_1 < l_2$,则以上四种策略的线路与变压器的投资费用之和分别为: $dl_1 + C_1, d(l_1 + l_2) + 2C_1, dl_1 + C_1, d(l_1 + l_2) + 2C_1$

若社会折现率 SRD (Social Rate of Discount) 为 p (在我国推荐取 10%左右)^[4],线路及变压器总投资费用在其寿命周期内(按 30 年计)的年均费用为其投资费用与系数 $p(1+p)^{29}/[(1+p)^{30}-1]$ 的乘积,如取 $p=10\%$,则此系数近似为 0.1;而对 UPS 电源而言,由于其设计寿命一般为 10 年,故其寿命周期内的年均费用为 UPS 的价格与系数 $p(1+p)^9/[(1+p)^{10}-1]$ 的乘积,当 $p=10\%$,则此系数近似为 0.15。

综上所述,前四种投资方案的年均投资成本代价分别为:

第一种方案: $0.1(d l_1 + C_1)$

第二种方案: $0.1[d(l_1 + l_2) + 2C_1]$

第三种方案: $0.1(d l_1 + C_1) + 0.15 C_2$

第四种方案: $0.1[d(l_1 + l_2) + 2C_1] + 0.15 C_2$

下面来考虑前四种投资方案下的年停电损失的费用。

为了方便,设两线路的故障率均为 λ_1 ,变压器(含隔离开关、断路器等)的故障率为 λ_2 ,由于线路与变压器串联,因此每回线的故障率 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$;设每回线的修复率为 μ ,则所架设的负荷支路的可用率为 $\mu/(\lambda + \mu)$,高压馈线的可用率为 R ,UPS 的可用率为 R_0

对方案一,用户获得的供电可用率为 $R\mu/(\lambda + \mu)$,则用户所有负荷的年停电时间均为 $8760 \times [1 - R\mu/(\lambda + \mu)]$,方案一的年停电损失为

$$(1 - R \frac{\mu}{\lambda + \mu}) \times 8760 \times (P_d d_i + P_n d_n) =$$

$$(1 - R \frac{\mu}{\lambda + \mu}) \times 8760 \times [P_d d_i + (1 - R_0) P_n d_n] \quad (1)$$

同样的分析可得方案二的年停电损失为

$$(1 - R \frac{\mu}{\lambda + \mu})^2 \times 8760 \times (P_d d_i + P_n d_n) =$$

$$(1 - R \frac{\mu}{\lambda + \mu})^2 \times 8760 \times [P_d d_i + (1 - R_0) P_n d_n] \quad (2)$$

式中: $[1 - R\mu/(\lambda + \mu)]^2$ 为系统对负荷供电的不可用率。

方案三的年停电损失为

$$(1 - R \frac{\mu}{+\mu}) \times 8760 \times P_n d_n + (1 - R \frac{\mu}{+\mu}) (1 - R) \times 8760 \times P_i d_i = (1 - R \frac{\mu}{+\mu}) \times 8760 \times (1 -) \cdot P d_n + (1 - R \frac{\mu}{+\mu}) (1 - R) \times 8760 \times P d_i \quad (3)$$

式(3)中 $[1 - R\mu / (+\mu)](1 - R)$ 为系统对重要负荷供电的不可用率,其原因是因为UPS与电网在结构上虽为串联,但在供电的逻辑关系上却是并联。

方案四的年停电损失为

$$(1 - R \frac{\mu}{+\mu})^2 \times 8760 \times P_n d_n + (1 - R \frac{\mu}{+\mu})^2 \times (1 - R) \times 8760 \times P_i d_i = (1 - R \frac{\mu}{+\mu})^2 \times 8760 \times (1 -) P d_n + (1 - R \frac{\mu}{+\mu})^2 (1 - R) \times 8760 \times P d_i \quad (4)$$

式(4)中 $[1 - R\mu / (+\mu)]^2(1 - R)$ 为系统对重要负荷供电的不可用率。

有了各方案下的停电损失,将它们与各方案的年均投资成本代价相加即得各方案的年费用,将这四种方案的年费用进行比较,即可得出最优的投资方案。

综上所述,求最优投资方案的步骤为

- (1) 求各方案的年平均投资成本代价;
- (2) 求各方案下各种负荷所得到的供电可靠性指标即供电不可用率;
- (3) 根据可靠性指标求各方案下所有负荷的年停电损失;
- (4) 求出各方案的年费用;
- (5) 画决策树,剪枝、决策。

4 实例分析

用户距2高压馈线的距离分别为1.8 km、2.7 km,架空线路的成本约为50万元/km,高压馈线上供电的可用率 R 为99.5%;用户负荷总量为160 kW,其中重要负荷为15 kW,一般负荷为145 kW,重要负荷的停电损失为125元/kW·h,一般负荷的停电损失为18.5元/kW·h;根据用户的容量,其配电变压器应选为200 kVA,其价格为40万元/台套;若用户选用UPS电源,则UPS电源的容量应选为20 kVA,其价格为21万元/台套;每回线(含线路和变压器)的故障率为0.1次/年,修复时间为48 h;UPS的平均无故障时间为5000 h,修复时间为8 h。

每回线路的修复率为 $8760/48 = 182.5$ 次/年,故

每回线路的可用率 $R_1 = 182.5 / (182.5 + 0.1) = 99.95\%$;UPS的可用率 $R = 5000 / (5000 + 8) = 99.84\%$ 。则

第一种投资方案的所有负荷的年停电时间为

$$8760 \times (1 - RR_1) = 48.15 \text{ h}$$

第二种投资方案的所有负荷的年停电时间为

$$8760 \times (1 - RR_1)^2 = 0.2647 \text{ h}$$

第三种投资方案下一般负荷的年停电时间与方案一相同即为48.15 h;重要负荷的年停电时间为

$$8760 \times (1 - RR_1) (1 - R) = 0.077 \text{ h}$$

第四种投资方案下一般负荷的年停电时间与方案二相同即为0.2647 h;重要负荷的年停电时间为:

$$8760 \times (1 - RR_1)^2 (1 - R) = 0.0005 \text{ h}$$

分别由式(1)~式(4)得到四种投资方案中的年投资成本如下:

投资方案一的年均投资成本代价为

$$0.1(50 \times 1.8 + 40) = 13 \text{ 万元}$$

投资方案二的年均投资成本代价为

$$0.1[50 \times (1.8 + 2.7) + 2 \times 40] = 30.5 \text{ 万元}$$

投资方案三的年均投资成本代价为

$$0.1(50 \times 1.8 + 40) + 0.15 \times 21 = 16.15 \text{ 万元}$$

投资方案四的年均投资成本代价为

$$0.1[50 \times (1.8 + 2.7) + 2 \times 40] + 0.15 \times 21 = 33.65 \text{ 万元}$$

则四种投资方案的年费用分别为:

$$\text{投资方案一的年费用为: } 130000 + 48.15 \times (125 \times 12 + 18.5 \times 116) = 306951 \text{ 元}$$

$$\text{投资方案二的年费用为: } 305000 + 0.2647 \times (125 \times 12 + 18.5 \times 116) = 305972 \text{ 元}$$

$$\text{投资方案三的年费用为: } 161500 + 48.15 \times 18.5 \times 116 + 0.077 \times 125 \times 12 = 266341 \text{ 元}$$

$$\text{投资方案四的年费用为: } 336500 + 0.2647 \times 18.5 \times 116 + 0.0005 \times 125 \times 12 = 337076 \text{ 元}$$

以上所费用计算中等式左边第二项分别为四种不同方案的年停电损失,由式5~式8得到。

为了决策方便,将以上过程画成决策树,如图3所示。

为了验证图2所说的投资方案五、六不可取,我们来计算一下这两种方案的年投资成本:如果所有负荷均配UPS电源,则至少需要10台20 kVA的UPS,则方案五、六的年投资成本分别将为: $13 + 0.15 \times 10 \times 21 = 44.5$ 万元及 $30.5 + 0.15 \times 10 \times 21 = 62$ 万元。显然,即使不算停电损失,其费用也远远高于其

它前四种方案。

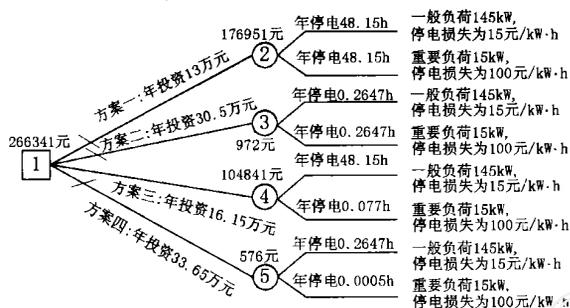


图3 决策图

Fig. 3 The figure of decision-making

下面,我们来讨论当其它参数不变时各种方案的年费用与重要负荷所占比重 α 的函数关系。如果每 16 kW 的重要负荷就需要配一台 20 kVA 的 UPS 电源则各方案的费用如下。

投资方案一的年费用为:

$$13 + 48.15 \times [0.01 \times 160 + 0.0015 \times 160(1 - \alpha)] = 24.6 + 65.4 \alpha \text{ (万元)}$$

投资方案二的年费用为:

$$30.5 + 0.2647 \times [0.01 \times 160 + 0.0015 \times 160(1 - \alpha)] = 30.56 + 0.36 \alpha \text{ (万元)}$$

投资方案三的年费用为:

$$13 + 3.15 \times 160 / 16 + 48.15 \times 0.0015 \times 160(1 - \alpha) + 0.077 \times 0.01 \times 160 = 24.6 + 20 \alpha \text{ (万元)}$$

投资方案四的年费用为:

$$30.5 + 3.15 \times 160 / 16 + 0.2647 \times 0.0015 \times 160(1 - \alpha) + 0.0005 \times 0.01 \times 160 = 30.56 + 31.44 \alpha \text{ 万元}$$

四种投资方案的年费用曲线如图 4 所示。

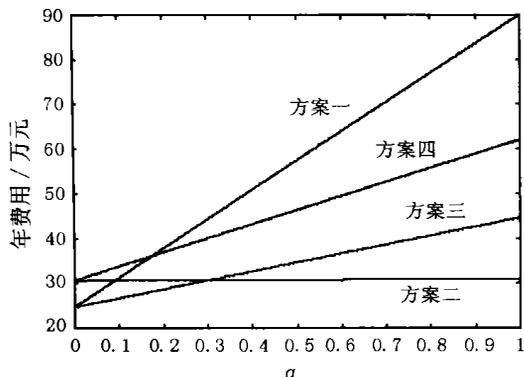


图4 四种方案的年费用曲线

Fig. 4 The cost curves of four different schemes

由图 4 可知,当 α 较小时以方案三为最佳方案;当 α 约为 0.3 左右时方案二与方案三的年费用相当;当 $\alpha > 0.3$ 时方案二成为最佳方案。

5 结论

本文的例子说明 UPS 电源的成本还是很高的,它只有在那些负荷极为重要的场合使用,才能取得较好的经济效益。如果重要负荷占的比重比较小,且重要负荷的停电损失远大于一般负荷的停电损失,一般来讲在负荷侧使用 UPS 电源可获得较好的经济效益。

投资决策不是一成不变的,如果重要负荷占总负荷的比重发生变化,则投资决策也会相应地发生变化;此外,各种负荷的停电损失发生变化甚至各可靠性参数、离母线的距离等发生变化,投资决策也会随之而变。因此,对于某个具体的子网的投资决策,应该具体问题具体分析,综合电网及用户的总体利益,以找出最佳的投资方案。

参考文献:

- [1] 何大愚. 用户电力技术及柔性交流输电技术[J]. 电网技术, 1995, 19(12): 59-63.
- [2] Campbell A, Mchattie R. Backfilling the Sinewave—A Dynamic Voltage Restorer Case Study [J]. Power Engineering Journal, 1999, 13(3): 153-158.
- [3] 任震,万国成,黄雯莹. UPS 电源双机热备用供电模式及其可靠性[J]. 低压电器, 2001, 3(222): 10-14.
- [4] 周惠珍. 投资项目经济评价[M]. 北京:中国审计出版社, 1997.

收稿日期: 2002-04-01; 修回日期: 2002-04-15

作者简介:

万国成(1970 -),男,博士研究生,研究方向为电力系统工程、可靠性与优化;

任震(1938 -),男,教授、博导,研究方向为电力系统可靠性,小波理论及其在电力系统中的应用,高压直流输电,谐波分析等;

黄金凤(1977 -),女,硕士研究生,研究方向为电力系统可靠性。

Study on decision-making of investment of distribution sub-system

WAN Guo-cheng, REN Zhen, HUANG Jin-feng

(Electrical Power College, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China)

(下转第 24 页)

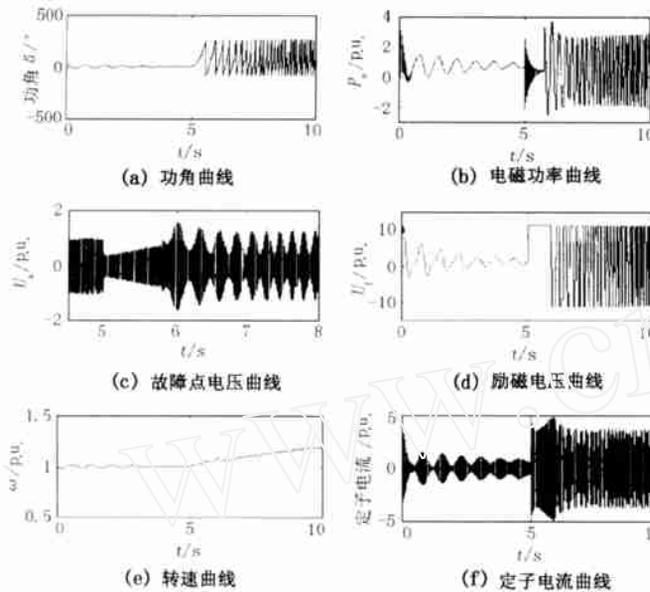


图6 故障方式2的系统仿真波形图

Fig.6 Simulated waveform of fault mode 2

5 结论

本文研究基于 MATLAB 的复杂电力系统动态仿真。在多机电力系统中,某些发电机模型须用详细模型,而且需要详细考虑发电机组的调速系统和励

磁调节系统,其他发电机只用经典模型或等值成发电机或无穷大系统。这种仿真方法主要是先把各种模型用结构图表示出来,然后选择基本模块,每一种模块都有相应的功能和算法,最后组成仿真程序。应用 MATLAB5.3 中 Power System Blockset 的模块可以很方便地通过人机会话来完成,使仿真系统整体精度提高,数值稳定性好。实践表明 MATLAB 仿真软件可以很容易地应用于电力系统仿真领域,是电力系统分析的有力工具。

参考文献:

- [1] 韩祯祥. 电力系统稳定[M]. 北京:中国电力出版社, 1995.
- [2] 何仰赞. 电力系统分析[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1985.
- [3] 杨冠城. 电力系统自动装置原理[M]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [4] 程卫国. MATLAB5.3 应用指南[M]. 北京:人民邮电出版社,1999.

收稿日期: 2001-11-20; 修回日期: 2002-03-12

作者简介:

王晓蔚(1970-),女,硕士,研究方向为电力系统继电保护、动态仿真;

张承学(1952-),男,教授,从事电力系统继电保护与自动化的教学与研究。

Dynamic simulation of complex electric power system based on MATLAB

WANG Xiao-wei, ZHANG Cheng-xue, HU Zhi-jian

(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Describes the basic concept of electric power system's transient stability. Many kinds of short circuit faults effects to electric power system's transient stability are studied. We use MATLAB, which is a simulation tool for power system, to simulate complex electric power system. We found maths models of every component firstly. Then simulated module is composed. The simulated result confirms that the time of removal fault is crucial for electric power system stability.

Key words: formula of equality area; curve of $\delta(t)$; principle of ode115; power system blockset

(上接第9页)

Abstract: The investment decision-making of distribution power sub-system should be considered under the best social benefit. The investment of the power system and the user are taken into consideration in this paper. The loss of power cut is also considered in this paper, which is based on the reliability of the power. Combined the loss and the investment, the lowest cost scheme is found. The result shows that the best scheme depends on the conditions both of the user and of the power system.

Key words: distribution system; customer power; reliability