

一种基于 DS 证据理论的电网故障诊断方法

张阳, 何正友, 林圣

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 提出的基于 DS 证据理论的电网故障诊断方法可解决由不知道所引起的不确定性。确立电网故障诊断的识别框架后, 基于贝叶斯方法实现 DS 证据的表达, 应用 Dempster 法则得到合成的信度函数, 以此判断电网故障元件。基于 Matlab 编程实现了该算法, 分析了单重故障且保护与断路器工作正常, 单重故障伴有保护误动与断路器拒动, 多重故障伴有保护、断路器误动与拒动三种典型故障情况。算例测试结果表明该方法能够有效地识别故障元件。

关键词: 电网故障诊断; DS 证据理论; 信息扩散; 信息融合; 贝叶斯

A power system fault diagnosis method based on DS evidence theory

ZHANG Yang, HE Zheng-you, LIN Sheng

(School of Electric Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A power system fault diagnosis method based on DS evidence theory is proposed, which can deal with uncertainty brought by unknown. After constructing frame of discernment, DS evidences are expressed based on Bayesian method, and a combined belief function is obtained in terms of Dempster Rule, in accordance with which, the fault elements are recognized. The algorithm is realized by programming based on Matlab, and three typical fault conditions which are single fault with protection and circuit breaker working normally, single fault with misoperation of protection and refuse of circuit breaker, multiple faults with misoperation and refuse of protection and circuit breaker are analyzed. The testing results demonstrate that this method can recognize the fault elements efficiently.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No.50407009), Excellent Youth Fund of Sichuan Province (No.06ZQ026-012) and New Century Excellent Talents of Ministry of Education (NCET-06-0799).

Key words: power system fault diagnosis; DS evidence theory; information diffusion; information fusion; Bayesian

中图分类号: TM711; TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)09-0005-06

0 引言

随着电力系统的规模日趋庞大, 结构更加复杂, 当电网发生故障时, 大量的报警信息在短时间内涌入调度中心, 远远超过运行人员的处理能力, 往往使调度员误判、漏判, 因此需要电力系统故障诊断系统进行决策参考。

但是, 保护或断路器误动、拒动以及电网信息受干扰、畸变或丢失等因素, 导致了信息的不确定性与不完备性, 给电网故障诊断带来了较大困难。

专家系统、人工神经网络、优化技术、Petri 网络、模糊集理论、粗糙集理论等取得了一些有价值的研究成果, 但在解决信息的不确定性方面仍然存在不足^[1-7]。

DS 证据理论(Dempster-Shafer Evidence Theory)在处理由不知道所引起的不确定性方面具有独特的优势。本文提出了一种基于 DS 证据理论的电网故障诊断方法。将动作的断路器围成的闭合或近似闭合区域中可能故障的元件确立为识别框架; 基于贝叶斯概率推理可得出元件故障的后验概率公式, 用元件故障的先验概率, 继电保护、断路器的拒动、误动概率对其赋值; 将元件故障后验概率处理成基本可信度分配, 形成各条证据; 根据 Dempster 合成法则融合各条证据, 得出对故障元件的判断。分析

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 50407009); 四川省杰出青年基金项目 (No. 06ZQ026-012); 教育部优秀新世纪人才支持计划项目 (NCET-06-0799)

了输电网局部的三种典型故障情况。测试结果表明该方法能够有效地判别故障元件。

1 DS 证据理论

DS 证据理论是 1967 年由 Dempster 提出的,他首先提出了上、下界概率的定义,后由 Shafer 于 1976 年加以推广和发展,故人们也把证据理论称为 DS 理论。证据理论可处理由不知道所引起的不确定性。

对一个判决问题,设所能认识到的可能结果用集合 U 表示, U 称为识别框架。如果有一批针对该框架的证据,那么依据证据理论,可以在框架 U 上产生一个信度函数。信度函数是该批证据作用的结果。它反映了根据该批证据对框架 U 可识别的各个命题所赋予的真值。如果有多批证据同时作用于框架 U ,可以用 Dempster 合成法则合成依据每批证据所得到的信度函数,该信度函数可以表示以上各批证据的联合作用。

定义 1: 设 U 为一些互斥且穷举的元素组成的命题的集合,称为识别框架, \emptyset 表示空的命题 A 的集合,若有函数 $m: 2^U \rightarrow [0,1]$ (2^U 为 U 的幂集)满足^[8]:

$$m(\emptyset) = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{A \subseteq U} m(A) = 1 \quad (2)$$

则称 m 为识别框架 U 上的基本可信度分配 (Basic Probability Assignment); $\forall A \subseteq U$, $m(A)$ 称为 A 的基本可信数,反映了证据对 A 本身的信度大小。式(1)反映了对于空集(空命题)不产生任何信度;式(2)反映了虽然可以给一个命题赋任意大小的信度值,但要求给所有命题赋的信度值的和等于 1,即总信度为 1^[9]。

当 $A=U$ 时, $m(U)$ 表示 m 不知怎么分配;当 A 为 U 的子集且 $m(A) \neq 0$ 时,称 A 为 m 的焦元 (Focal Function)。

定义 2: 设 m_1, m_2, \dots, m_n 是识别框架 U 上的基本概率,多概率分配函数的正交和 $m = m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n$ 由下式表示^[10]:

$$\left. \begin{aligned} m(\emptyset) &= 0 \\ m(A) &= K \sum_{\substack{\cap A_i = A \\ 1 \leq i \leq n}} \prod m_j(A_i), \quad A \neq \emptyset \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{式中: } K^{-1} = 1 - \sum_{\substack{A_i \neq \emptyset \\ 1 \leq i \leq n}} \sum m_j(A_i) \quad (4)$$

该公式即为 Dempster 合成法则,它是 DS 证据理论的核心,通过它可以把若干条独立的证据结合起来,它满足交换律和结合律。 K 称为冲突权值,当 $K < \infty$ 时,表示这多组证据一致或部分一致,这时可以给出证据的组合结果。当 $K = \infty$ 时,意味着这多组证据是完全矛盾的,这时就不能用 DS 证据理论进行组合。

2 基于 DS 证据理论的电网故障诊断模型

2.1 识别框架的确立

电网故障诊断需要使用三种信息:保护配置信息、设备邻接信息和故障信息。

当电网发生故障时,首先是电网各节点电压、支路电流等电气量的变化,之后是保护装置依据电气量信息对故障判断生成的继电保护动作信息,然后是继电保护跳开相应的断路器来隔离故障的断路器动作信息。这些故障信息会从故障元件出发沿各个方向传输,距离故障元件近的保护会先动作,距离远的保护在同一支路近保护没有动作时才会动作^[11]。

为了简化研究,不影响电网故障的本质,重点突出故障信息的扩散过程,故本文作以下假设:

假设 1: 电网元件故障所产生的故障信息会在与该元件相连的所有通路上传输,信息传输的距离不会超过两级。电网发生故障时,由某故障元件所触发的断路器可能围成一个严格的闭合区域或由于部分保护拒动等因素的影响只能得到一个近似闭合区域。

假设 2: 故障元件所产生的信息在不同通路上传输时,不同通路上的保护状态是相互独立的;信息在同一通路上传输时,通路上的各保护装置的状态是相互影响的。

假设 3: 当电网发生故障时,各种保护的触发时间存在先后顺序,主保护最先,近后备保护其次而远后备保护再次,可以根据这一特点和接收到的保护信息的相对关系来修正错误时序故障信息。

根据以上假设,由动作的断路器围成的区域,称之为 F ,将包含若干元件,而引发故障信息的元件就存在于其中。由此,该电网故障诊断模型的识别框架 U 就建立了。简言之,就是 F 中包含的所有元件的集合。

如图 1 所示,若母线 B_6 发生故障,故障信息将沿与之相连的各条通路传播,动作的断路器 CB_{10} , CB_{15} , CB_{18} 所围成的区域 F 中包含有元件 B_6 , L_8 和 L_9 ,则本例的识别框架 U 为 $\{B_6, L_8, L_9\}$ 。

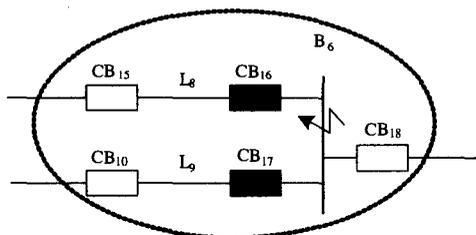


图1 识别框架示意图

Fig.1 Frame of discernment diagram

2.2 基于贝叶斯方法的 DS 证据表达

概率论是人工智能中处理不确定性的基础理论之一,也被认为是数学中最强的不确定性处理理论。贝叶斯定理是概率论中的一个重要定理,是一种概率计算方法,即一个事件会不会发生取决于该事件在先验分布中已经发生过的次数^[12]。

在电网故障诊断中,电网元件集合 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ 故障是产生继电保护和断路器集合 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 动作的原因,电网故障诊断就是利用 X 的状态来识别 Y 的状态。

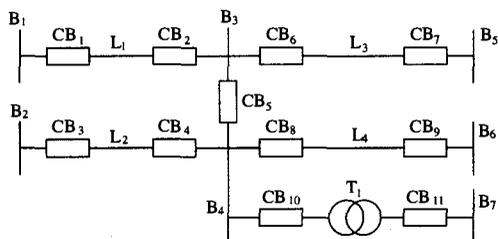


图2 局部电力系统示意图

Fig.2 Diagram of partial power system

以图 2^[13]所示的局部电力系统为例,假设母线 B_1 发生故障,那么它必定引起继电保护和断路器的一系列动作时序,记为 V_{ij} 。

即获得了一个继电保护和断路器的信息集 V_{ij} ,据此来推断母线 B_1 发生故障的后验概率为:

$$P(B_1=1|V_{ij}) = \frac{P(B_1=1, V_{ij})}{P(B_1=1, V_{ij}) + P(B_1=0, V_{ij})} \quad (5)$$

可用通过专家知识、试验数据、历史信息、统计数据计算得到的电网元件集合 Y 中元件故障的先验概率^[14]以及继电保护和断路器集合 X 中保护和断路器的拒动、误动概率对式(5)电网故障诊断贝叶斯后验概率公式进行赋值。

具体的不确定性指标的取值如下:

1) 一次设备故障的不确定性指标

一次设备故障的不确定性指标就是设备发生故

障的先验概率。可通过一次设备的年故障频率 μ 来计算。设备在连续运行一段时间 t 后,发生故障的概率就是故障时间间隔为 t 的概率。

$$P\{T \leq t\} = 1 - e^{-\omega t} \quad (6)$$

T 是设备连续无故障运行的时间。按设备每年检修 2 次, $t=0.5$ 为例,以文献[15]中的数据为依据取 ω ,可计算出部分设备的故障先验概率。

表 1 元件故障先验概率表

Tab.1 Prior probability of fault elements

元件	线路/百公里	母线/条	变压器/台
故障概率	0.1629	0.0058	0.0039

2) 继电保护动作的不确定性

继电保护动作的不确定性指标主要是保护装置拒动和误动的概率。继电保护拒动的概率可用拒动次数与要求动作次数之比来计算;其误动概率,可先计算出继电保护装置的年平均误动频率 μ ,然后按照式(6)计算误动概率。以文献[15]中的数据为依据,可计算出拒动、误动概率。

在线路保护中,有些保护(如作为线路主保护的 I 段电流速断保护)不能保护线路全长。在线路发生故障时,这种保护在原理上可能不动作。对此类保护,可定义故障发生时保护拒动的概率为:

$p_0 = 1 - d + p_0$, 其中, p_0 为继电保护装置拒动的概率; d 为保护装置保护的范,例如 $d = 0.8$ 时,表示保护范围为本线路的 80%。

表 2 继电保护装置的拒动、误动概率表

Tab.2 Refuse and misoperation probability of protective relay

	线路保护/ 台	母线保护/ 台	变压器保 护/台	断路器/ 台
误动/(%)	0.23	0.06	0.14	0.48
拒动/(%)	0.07	3.08	0.62	0.83

用贝叶斯方法计算出的后验概率值不能直接作为基本可信度分配,因为它不满足 $\sum_{A \in U} m(A) = 1$,

这些数据需要经过如下的处理:

设针对某识别框架形成 k 条证据,识别框架中待识别元件的个数为 n 。

$$m_j(A_i) = P_j / n \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

式中: $m_j(A_i)$ 为第 j 条证据中第 i 个元件的基本可信数; P_j 为第 j 条证据中第 i 个元件发生故障的后验概率。

$$m_j(U) = 1 - \sum_{i=1}^n m_j(A_i) \quad (8)$$

式中： $m_j(U)$ 为第 j 条证据中全集 U 的基本可信数。

2.3 证据的合成

Dempster 合成法则是反映证据的联合作用的一个法则。给定几个同一识别框架上基于不同证据的信度函数，如果这几批证据不是完全冲突的，那么就可以利用 Dempster 合成法则计算出一个信度函数，而这个信度函数就可以作为在那几批证据的联合作用下产生的信度函数。该信度函数称为原来那几个信度函数的正交和。

在该电网故障诊断模型中，各条证据可用式(3)的 Dempster 合成法则进行融合，最后得出一个合成的信度函数。

3 算例分析

下面就以图 2 局部电力系统为例，检验算法的效果。假设故障之前图中所有断路器均在合闸位置。

1) 单重故障且保护与断路器工作正常

假设 L_3 线路发生永久性两相短路故障，保护与断路器行为正确，故障由 L_3 两侧纵联方向保护切除，跳开相应的断路器。SCADA 系统接收到的故障信息如表 3 所示^[13]。

表 3 算例 1) 的故障信息

Tab.3 Fault information of example 1)

序号	发生时间	故障信息	序号	发生时间	故障信息
1	09:00:00:100	L_3 右侧纵联方向	3	09:00:00:170	CB_6 跳闸
2	09:00:00:109	L_3 右侧纵联方向	4	09:00:00:180	CB_7 跳闸

故障后网络拓扑如图 3 所示。

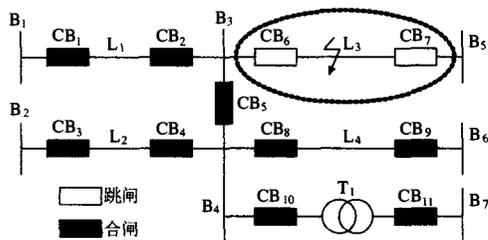


图 3 算例 1) 故障后网络拓扑

Fig.3 Network topology of example 1) after fault

识别框架 U 为： $\{L_3\}$

针对此简单故障，DS 方法给出了唯一的可能

故障元件 L_3 。

2) 单重故障伴有保护误动与断路器拒动

L_3 线路故障情况同上， L_3 两侧纵联方向保护拒动，故障由两侧后备距离一段切除， CB_7 跳开、 CB_6 失灵，引发 B_3 母线断路器失灵保护动作，跳开 CB_2 、 CB_5 ；同时 L_1 左侧后备接地距离二段保护误动，跳开 CB_1 。SCADA 系统接收到的故障信息如表 4 所示^[13]。

表 4 算例 2) 的故障信息

Tab.4 Fault information of example 2)

序号	发生时间	故障信息	序号	发生时间	故障信息
1	10:00:00:008	L_3 右侧相间距离一段	6	10:00:00:410	CB_2 跳闸
2	10:00:00:019	L_3 左侧相间距离一段	7	10:00:00:418	CB_5 跳闸
3	10:00:00:107	CB_7 跳闸	8	10:00:00:404	L_1 左侧接地距离二段
4	10:00:00:328	L_3 左侧失灵启动	9	10:00:00:490	CB_1 跳闸
5	10:00:00:330	B_3 母线断路器失灵			

故障后网络拓扑如图 4 所示。

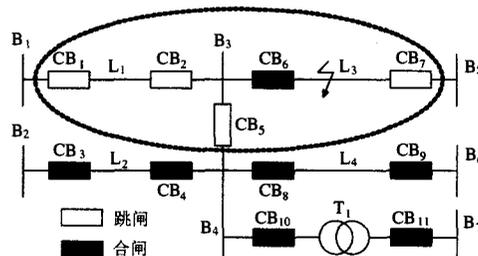


图 4 算例 2) 故障后网络拓扑

Fig.4 Network topology of example 2) after fault

识别框架 U 为： $\{B_3, L_1, L_3\}$

基于贝叶斯方法得出各条证据，如表 5 所示。

表 5 算例 2) 基于贝叶斯方法得出的证据

Tab.5 Evidences based on Bayesian method of example 2)

	B_3	L_1	L_3	U
m_1	0.0001	0.0000	0.3209	0.6790
m_2	0.0000	0.0000	0.3294	0.6706
m_3	0.0001	0.0000	0.3333	0.6666

证据合成结果如表 6 所示。

表 6 算例 2) 的证据合成结果

Tab.6 Combination result of evidences of example 2)

	B_3	L_1	L_3	U
证据合成结果 m	0.0001	0.0000	0.6964	0.3035

这个案例中, L_3 的基本可信数为 0.6964, 而其它元件的基本可信数都非常小。因此可以肯定地判断故障元件是 L_3 。

3) 多重故障伴有保护、断路器误动与拒动
假设 T_1 主变故障, 差动保护动作跳开 CB_{11} , 但 CB_{10} 失灵导致故障不能切除, 随后故障发展至 B_4 , B_4 母线差动保护动作跳开 CB_4 、 CB_5 和 CB_8 ; 同时 L_2 左侧后备过流二段保护误动, 跳开 CB_3 。SCADA 系统接收到的故障信息如表 7 所示^[13]。

表 7 算例 3) 的故障信息

Tab.7 Fault information of example 3)

序号	发生时间	故障信息	序号	发生时间	故障信息
1	13:00:00:008	T_1 主变差动	6	13:00:03:112	CB_4 跳闸
2	13:00:00:100	CB_{11} 跳闸	7	13:00:03:118	CB_8 跳闸
3	13:00:00:300	T_1 主变失灵启动	8	13:00:02:804	L_2 左侧相间距离二段
4	13:00:03:028	B_4 母差	9	13:00:03:090	CB_3 跳闸
5	13:00:03:110	CB_5 跳闸			

故障后网络拓扑如图 5 所示。

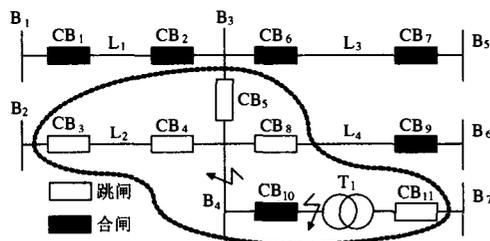


图 5 算例 3) 故障后网络拓扑

Fig.5 Network topology of example 3) after fault

识别框架 U 为: $\{B_4, L_2, T_1\}$

基于贝叶斯方法得出各条证据, 如表 8 所示。

表 8 算例 3) 基于贝叶斯方法得出的证据

Tab.8 Evidences based on Bayesian method of example 3)

	B_4	L_2	T_1	U
m_1	0.3014	0.0000	0.3279	0.3707
m_2	0.3014	0.0000	0.3279	0.3707
m_3	0.0184	0.0000	0.2451	0.7365
m_4	0.3014	0.0000	0.3279	0.3707

证据合成结果如表 9 所示。

在这个案例中, L_2 的基本可信数相当小, 几乎为 0, 而 B_4 与 T_1 的基本可信数都很大。由此可以判断, 发生故障的元件是 B_4 与 T_1 。

表 9 算例 3) 的证据合成结果

Tab.9 Combination result of evidences of example 3)

	B_4	L_2	T_1	U
证据合成结果 m	0.3641	0.0000	0.5646	0.0713

4 结论

本文提出了一种基于 DS 证据理论的电网故障诊断方法。将其应用于电力系统故障实例, 得出以下结论:

1) 该方法可在不确定性和不完备信息下实现电网故障诊断。利用贝叶斯方法, 在保护误动、拒动和信息丢失、误报的情况下, 仍可得到在已知故障信息时序下某电网元件发生故障的后验概率。

2) 该方法可简化电网故障诊断问题模型。识别框架的确立, 使待识别的故障元件限定在动作的断路器围成的区域内, 可以有效地减少运算量, 提高算法的速度。

3) 该方法在复杂故障情况下仍然适用。

算例测试结果表明该方法能够有效地识别故障元件, 可望在电网故障诊断中得到应用。针对大型电网, 结合电网分割算法, 实现实用化的电网故障诊断软件将是本文下一步的工作。

参考文献

- [1] Tan J C, Crossly P A, Goody J, et al. Fault Section Identification on a Transmission Network Using Action Factors and Expert System Technology[A]. In:13th Power Systems Computation Conference (PSCC'99)[C]. Trondheim (Norway):1999.
- [2] 刘青松, 等. 基于正反向推理的电力系统故障诊断专家系统[J]. 电网技术, 1999, 29(9):66-68, 71. LIU Qing-song, et al. Expert System of Power System Fault Diagnosis Based on Forward and Backward Reasoning[J]. Power System Technology, 1999, 29(9):66-68, 71.
- [3] Navarro V D, Silva A L, de Carvalho L A V, et al. Artificial Neural Networks for Power Systems Diagnosis[A]. In: IEEE International Conference on Neural Networks[C]. 1994. 3738-3743.
- [4] Aygen Z E, Seker S, Bagnyanik M, et al. Fault Section Estimation in Electrical Power Systems Using Artificial Neural Network Approach[A]. In: IEEE Transmission and Distribution Conference[C]. 1999.466-469.
- [5] Narendra K G, Sood V K, Khorasani K, et al. Application of a Radial Basis Function(RBF) Neural Network for Fault Diagnosis in a HVDC System[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998,13(1):177-183.

- [6] Yang Hong-tzer, Chang Wen-yeau, Huang Ching-lien. Power System Distributed On-line Fault Section Estimation Using Decision Tree Based Neural Nets Approach[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995,10(1):540-546.
- [7] 束洪春, 孙向飞. 基于粗糙集理论的配电网故障诊断研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10):74-78,83. SHU Hong-chun, SUN Xiang-fei. A Study of Fault Diagnosis in Distribution Line Based on Rough Set Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(10):74-78,83.
- [8] 张池平, 张英俊, 等. 一种基于神经网络和证据理论的信息融合算法[J]. 计算机工程与应用, 2006,(1): 178-180,183. ZHANG Chi-ping, ZHANG Ying-jun, et al. An Algorithm of Data Fusion Based on Neural Networks with DS Evidence Theory[J]. Computer Engineering and Applications, 2006,(1):178-180,183.
- [9] Foucher S, Germain M, et al. Multisource Classification Using ICM and Dempster-Shafer Theory[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2002, 51(2).
- [10] 许丽佳. D-S 理论在信息融合中的改进[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(6):9-12. XU Li-jia. Improvement of D-S Theory in an Information Fusion System[J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(6):9-12.
- [11] 文福拴, 钱源平, 韩祯祥, 等. 利用保护和断路器信息的电力系统故障诊断与不可观测的保护的状态识别的模型与 Tabu 搜索方法[J]. 电工技术学报, 1998, 13(5):1-8. WEN Fu-shuan, QIAN Yuan-ping, HAN Zhen-xiang, et al. A Tabu Search Based on Approach to Fault Section Estimation and State Identification of Unobserved Protective Relays in Power Systems Using Information From Protective Relays and Circuit Breakers[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1998, 13(5): 1-8.
- [12] 刘海燕. 概率论与数理统计(第2版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004. LIU Hai-yan. Probability Theory and Mathematical Statistics, Second Edition[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004.
- [13] 周兆庆. 基于 SCADA 及保护信息系统的电网故障诊断(硕士学位论文)[D]. 南京: 河海大学, 2005. ZHOU Zhao-qing. Power Network Fault Diagnosis Based on Information of SCADA and RMS, Thesis[D]. Nanjing: Hohai University, 2005.
- [14] 吴欣. 基于改进贝叶斯网络方法的电力系统故障诊断研究(硕士学位论文)[D]. 杭州: 浙江大学, 2005. WU Xin. Study on Power System Fault Diagnosis Based on Improved Bayesian Network, Thesis[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [15] 周玉兰, 王俊永, 等. 2002 年全国电网继电保护与安全自置运行情况[J]. 电网技术, 2003, 27(9):55-60. ZHOU Yu-lan, WANG Jun-yong, et al. Statistics and Analysis of Operation Situation of Protective Relaying's and Automation Devices of Power System in China in 2002[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 55-60.

收稿日期: 2007-09-24; 修回日期: 2007-10-29

作者简介:

张阳(1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向是信息理论及其在电力系统故障诊断中的应用; E-mail: dayandni ght1984@yahoo.com.cn

何正友(1970-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事信号处理和信息理论在电力系统故障诊断中的应用、新型继电保护原理、配电网自动化等方向的研究工作。

书讯:

《城市电网规划与改造 (第二版)》出版

《城市电网规划与改造 (第二版)》2007年8月已经由中国电力出版社出版。陈章潮主编、程浩忠副主编、傅正财、刘东、辛洁晴参与编写, 杨冠城教授审阅了全文。全书共13章, 第1章介绍我国城市电网的状况和对城网规划、改造的要求; 第2章介绍几种常用的负荷预测方法; 第3章阐述新的城市电网规划主要技术原则; 第4章详细讨论城市电网发展规划中的接线方法和优化规划方法; 第5章详尽讨论城市电网的无功补偿规划优化方法; 第6章介绍城市电网自动化规划内容和功能; 第7章介绍城市电网设施; 第8章介绍城市电网中性点接地方式; 第9章论述电能质量的基本概念; 第10章论述城市电网可靠性; 第11章讨论城市电网建设和环境保护; 第12章介绍电力需求侧管理技术; 第13章介绍城市电网规划评估指标和评价体系。

本书是高等院校电气工程及其自动化专业师生的参考书, 也是从事城市电网规划、设计、施工和管理等工作的工程师的参考书。全书475千字, 定价: 35元。书号: ISBN 978-7-5083-5247-3, 新华书店和中国电力出版社有售。