

# 应用 ObjectARX 的中压配电网可靠性评估模块的设计与实现

黄宇峰<sup>1</sup>, 刘文霞<sup>1</sup>, 盛洁<sup>1</sup>, 张鑫<sup>1</sup>, 牛卫平<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 河南省电力公司开封供电公司, 河南 开封 475000)

**摘要:** 设计了一种复杂中压配电网可靠性评估的通用模块, 以馈线为基本单位, 无需简化等值, 利用深度优先搜索算法和广度优先搜索算法进行拓扑搜索。提出了基于受故障影响相同的面向断路器的一级分区以及基于相同故障影响的面向隔离类开关的馈线二级(最小化)分区, 一次性形成由各分区构成的系统正常供电区域, 可操作恢复供电区域和不可操作恢复供电区域。模块基于 AutoCAD 可视化界面, 采用 ObjectARX 二次开发技术进行数形一体化建模, 结合大型数据库, 以实际配电网为例, 快速地评估系统可靠性指标并找出薄弱环节, 证实了其有效性和工程实用性。

**关键词:** 配电网; ObjectARX 技术; 可靠性评估模块; 馈线分区; 数形建模

## Design and implementation of reliability evaluation module for medium voltage distribution networks by ObjectARX technology

HUANG Yu-feng<sup>1</sup>, LIU Wen-xia<sup>1</sup>, SHENG Jie<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>1</sup>, NIU Wei-ping<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Electronics Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;  
2. Henan Kaifeng Power Supply Company, Kaifeng 475000, China)

**Abstract:** A general reliability evaluation algorithm for complex medium voltage distribution networks (MVDNs) is proposed, in which each feeder is a basic unit and without simplifying the network equivalent, the depth-first search algorithm and breadth-first search algorithm are used to search each feeder in topologies. Then circuit breakers oriented first-class zone based on the same influences by the failure and isolating switches oriented feeder second-class which is also the minimum zone based on causing the same failure impact are formed. System's normally power supply area, system's operational recovery of power supply area and system's unoperational recovery of power supply area can be formed by each at one time. Based on the AutoCAD visualization platform, and using ObjectARX secondary development technique and large-scale database, the paper has completed the design and implementation of reliability evaluation module under the graphical interface applications. The module has been tested on the practical MVDNs to calculate the system reliability index quickly and find out the weak link, which verifies the effectiveness and the practicability of the proposed methods and applications in practical engineering.

This work is supported by Transformation and Industrialization Project of Technical Achievement of Beijing Municipal Education Commission in 2008.

**Key words:** distribution networks; ObjectARX; reliability evaluation module; feeder partition; digital/figure modeling

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)17-0070-06

## 0 引言

配电系统结构复杂、元件繁多。据国外电力公司统计<sup>[1]</sup>, 大约 80%~95% 的用户停电事故是由配电系统的故障引起, 因此快速准确地进行配电系统可靠性评估十分重要。目前求取可靠性指标的方法主要有模拟法和解析法两大类。模拟法灵活简单, 其中较为典型的是蒙特卡罗模拟法<sup>[2-3]</sup>。虽然它不受系统规模和复杂程度的限制, 但耗时多且精度受到影响,

在配网可靠性评估中应用较少。解析法又可分为状态空间法和网络简化法两类。状态空间法根据系统的状态以及它们之间可能发生的转移, 建立系统的状态空间模型, 并进行求解得到系统的状态参数, 然后根据系统故障判据, 对各状态进行分类, 计算某一类状态参数, 最后得到系统可靠性指标, 计算十分繁琐<sup>[4]</sup>。网络简化法有故障模式后果分析法<sup>[5]</sup>、最小割集法<sup>[6]</sup>、最小路法<sup>[7]</sup>、故障遍历<sup>[8-9]</sup>、网络等值<sup>[10]</sup>、网络分块<sup>[11]</sup>、馈线分区<sup>[12]</sup>等多种算法。

这些方法均以单个元件为研究基础, 根据各元件状态, 综合计算负荷点和系统可靠性指标。当配

基金项目: 北京市教委 2008 年科技成果转化与产业化项目

电系统规模较大时,以元件为单位的分析方法将变得十分复杂。

馈线分区方法以最小隔离区为单位分析故障模式,计算速度有了明显提高<sup>[12]</sup>,但是当网络中含有较多开关元件(尤其是熔断器)时,分区前、后的网络等效元件数量大致相当,不能显著提高计算速度,且最小隔离区忽略了开关的故障率,不够精确。

针对以上问题,结合中压配电网多分支、互联、自备用的复杂特点,本文根据馈线分区思想,提出了一种改进的分区分块的复杂中压可靠性评估方法,该方法考虑了熔断器的特殊性,将含熔断器的分支线包含在二级分区内,同时将熔断器及其支线的故障率计入负荷点,减少了分区数目。运用 ObjectARX 技术以及 AutoCAD, Microsoft Visual Studio.NET, Oracle 等软件建立了可靠性评估模块,实现了配电网可靠性的定量评估。

## 1 面向分区的中压配电网可靠性评估方法

### 1.1 拓扑分析方法

电网的拓扑分析是电力系统各类计算的基础,它的实质就是求解电网在一定运行方式下网络的连通性问题。通过拓扑分析得到实际运行的包含节点和线路的放射状网络。基于配电网闭环设计,开环运行的方式,常见的拓扑分析有以下两种方式。

(1) 深度优先搜索 (DFS): 在访问图中某个起始节点  $v$  后,由  $v$  出发访问它任一邻接节点  $w_1$ ,再从  $w_1$  出发访问与  $w_1$  邻接但还没有访问过的节点  $w_2$ ,然后以  $w_2$  为新的出发点继续进行深度优先遍历,直到找到目标节点为止。

深度优先搜索法的特点是尽可能先对纵深方向进行搜索,设图 1 为某供电系统电气接线简化图,则以 1 为始发点的 DFS 序列为 1, 2, 5, 7, 4, 6, 3, 8。深度优先遍历过程是个递归过程,后访问的顶点其邻接点被先访问,在递归调用过程中使用堆栈(系统运行时刻栈)来保存已访问的顶点。可通过设置一个标志位  $flag$  来判断各个点是否被访问,从而访问图中所包含的各个节点。

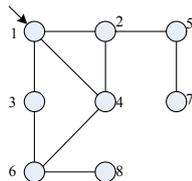


图 1 某供电系统电气接线简化图

Fig.1 A simplified electrical wiring diagram

以馈线电源点为起点进行深度遍历搜索,遇到含有开关的线段,则停止该方向的搜索,同时标记  $flag=1$ ,从相邻的其他节点继续遍历,直至都被访问过。

(2) 广度优先搜索(BFS): 在访问图中某个起始节点  $v$  后,由  $v$  出发依次访问  $v$  的所有未曾访问过的邻接节点  $w_1, w_2, \dots$ ,然后再顺序访问  $w_1, w_2, \dots$  的所有未曾访问过的邻接节点,再从这些访问过的节点出发,再访问它们所有还未访问过的邻接节点,直到找到目标节点为止。

广度优先搜索法的特点是尽可能先对横向进行搜索。以图 1 为例,则以 1 为始发点的 BFS 序列为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8。

### 1.2 馈线分区方法

典型的中压配电系统一般由主干线、分支线、隔离类开关(断路器、负荷开关、分段开关)、熔断器、配电变压器及联络开关等组成,其典型馈线结构如图 2 示。

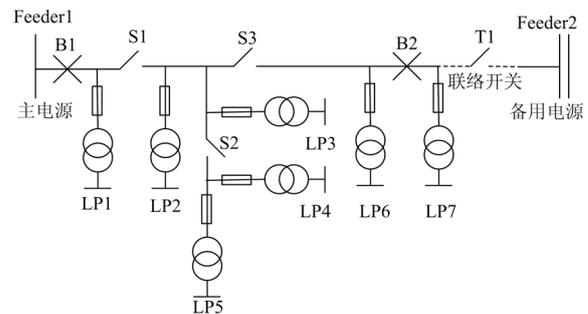


图 2 中压配电系统典型馈线结构图

Fig.2 A typical feeder structure chart of MVDNs

根据上述拓扑分析和故障扩散原理<sup>[13]</sup>,面向开关进行馈线分区。分区方式如下:以断路器为边界将本馈线分为多个一级分区,原理是一级分区外的故障对区内的任何元件影响相同;在各个一级分区内以隔离类开关为边界将一级区域再分为若干个二级分区,原理是二级区内的元件(除含熔断器的分支线)故障,造成相同的故障影响,即有相同的故障率。图 3 为配电系统典型的馈线分区示意图。

图 3 中,以断路器  $B_1$  和  $B_2$  为边界,将馈线 I 分为 ZONE I 和 ZONE II 两个一级分区。在一级分区内,以断路器  $B_1$  和  $B_2$ , 负荷开关(分段开关)  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  为边界,将 ZONE I 分为 ZONE1、ZONE2、ZONE3、ZONE4 这 4 个二级分区。

目前,我国的供电系统可靠性统计主要是基于中压配电变压器的统计方式。在计算配电网可靠性指标时,以一台 10 kV 的配变作为一个中压用户统计单位<sup>[14]</sup>。

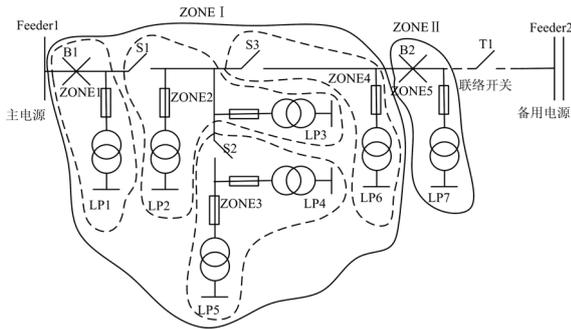


图3 中压配电系统典型馈线分区示意图

Fig.3 A typical feeder zone structure chart of MVDNs

### 1.3 故障分类与指标计算

#### (1) 区域故障类型

结合以上馈线分区理论，当系统发生故障，根据区域负荷停电时间的不同，将区域分成4类<sup>[13]</sup>。

A类：正常区域，即故障发生后，通过开关正确动作，该区域不受故障影响；

B类：故障时间为隔离操作时间的区域；

C类：可通过其他供电电源恢复供电，故障时间为隔离操作加联络切换操作时间的区域；

D类：不可通过其他供电电源恢复供电，故障时间为元件修复时间的区域。

#### (2) 二级分区

内部只含有一个隔离类开关的隔离区域称为二级分区，二级分区即最小分区。

#### (3) 负荷固有故障率

$$\lambda_{load-self} = \lambda_{line} + \lambda_{fuse} + \lambda_{trans}$$

$\lambda_{load-self}$  表示负荷所在支线固有故障率，它只影响负荷本身。其中： $\lambda_{line}$  为支线路故障率； $\lambda_{fuse}$  为熔断器故障率； $\lambda_{trans}$  为配电变压器的故障率。

#### (4) 二级分区固有故障率

除去负荷固有故障率的二级分区等效故障率，即不包含熔断器支线的故障率。设区域中含有  $N$  个元件， $\lambda_i$ 、 $\gamma_i$  分别为第  $i$  个元件的故障率和修复时间， $\lambda_{sec}$ 、 $\gamma_{sec}$  分别为二级分区的固有故障率和修复时间，则

$$\lambda_{sec} = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad \gamma_{sec} = \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma_i / \lambda_{sec}$$

#### (5) 指标计算

本模块的可靠性评估指标为：系统平均停电频率指标（SAIFI）、系统平均停电持续时间指标（SAIDI）、平均供电可用率指标（ASAI）、系统总电量不足指标（ENSI）和用户平均停电持续时间指标（CAIDI），指标计及了主干线和分支线的故障影响，还考虑了馈线上所有开关设备的故障率以及各馈线在相互负荷转移过程中潮流是否过载的问题。

本模块还考虑了各网络的配电自动化程度不同的因素，手动投入备用电源时，时间按 1 h 考虑；半自动化（馈线自动化）投入备用电源时，时间按 0.5 h 考虑；全自动化（智能分布式自动化）投入备用电源时，按 0.05 h 考虑。

### 1.4 算法流程设计

馈线二级（最小化）分区思想：从馈线的出口节点（出口处含断路器）开始，按开关编号升序排列（无开关、负荷开关、熔断器）深度优先遍历至最相邻的开关的始节点，记为 1 区。遇到负荷开关或分段开关，返回。流程图见图 4。

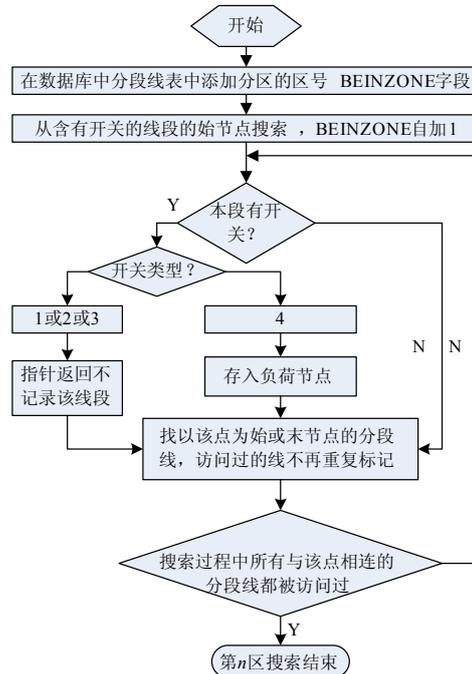


图4 馈线二级分区流程图

Fig.4 Flow chart for feeder second-class partitioning

其中：1 代表断路器；2 代表负荷开关；3 代表分段开关；4 代表熔断器。

馈线区域故障分类思想：由于相同区号中的任一线段（不含带熔断器的负荷支线）故障，造成的影响相同，且每一区只含有一个负荷开关（或断路器或分段开关）。故取每区中含有开关的线段讨论，通过各区域之间的关联关系，利用广度优先搜索，完成区域分类。流程图见图 5。

## 2 可靠性评估模块的设计

### 2.1 ObjectARX 技术选择

中压配电网规模庞大，结构复杂，需要借助于图形平台进行可靠性评估，电力系统常用图形都是 AutoCAD 的，因此该模块采用基于 CAD 的图形界

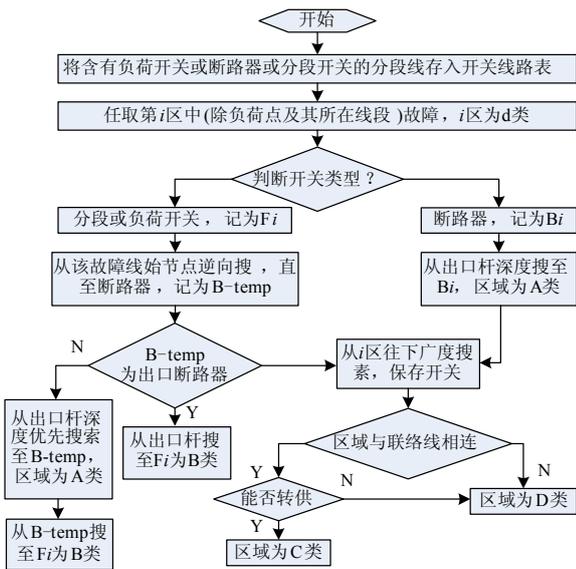


图 5 馈线区域故障分类流程图

Fig.5 Flow chart for identifying classes of zones

面进行二次开发。AutoCAD 二次开发的工具很多, 有 AUTOLISP、ADS、ObjectARX, 由于 ObjectARX 编程环境提供了一个面向对象的 C++ 应用程序开发界面, 使开发者能够使用、定做和扩展 AutoCAD<sup>[15]</sup>。ObjectARX 库包括各种各样的工具, 可以使应用程序开发者方便地利用 AutoCAD 的开放结构, 这些工具可以方便应用程序对 AutoCAD 数据库结构、图形系统和本地命令进行直接访问。使用 ObjectARX 的用户可以完成各种开发工作, 例如:

- 1) 直接访问 AutoCAD 的图形数据库。
- 2) 和 AutoCAD 编辑器进行交互。
- 3) 使用 MFC 创建标准 Windows 用户界面。
- 4) 支持 AutoCAD 的多文档接口。
- 5) 在应用程序中自定义类。
- 6) 与 Visual LISP、ActiveX、COM 等编程接口通信。

综上, 文章选择 ObjectARX 作为 AutoCAD 的二次开发工具, 来进行可靠性评估模块的设计。

### 2.2 基于 ObjectARX 的数形一体化建模

ObjectARX 应用程序是动态链接库, 可以和 CAD 共享地址空间, 直接调用 AutoCAD 的内部函数。而数据图形一体化建模, 可以保持图形与数据库数据一致。由于一个实体是一个具有图形表示的数据库对象, 电网结构通常表示为一个有向图, 每个电气元件由图形句柄、电气特性和关系特性三类数据表示。每个电气元件都与数据库设备表的 1 个设备实体相对应。配电网的数据关系如图 6 所示。由 ObjectARX 类派生来的 AcDbEntity 类是图形表

示类的基础类, 提供了常用的修改及操作对象的函数。程序中创建了以下几个元件类: 馈线类 Cline, 包括主干线、分支线、联络线; 节点类 Cnode, 包括杆塔、分支箱、环网柜、开闭站、配电室、配电变压器; 开关类 Cswitch, 包括断路器、分段开关、负荷开关、熔断器。

根据一体化建模技术, 可靠性模块数据建模的内容为: 录入变电站, 建立变电站站内模型, 选出线间隔; 录入馈线, 馈线表中有线路编号、名称、型号、所属变电站编号、线路首末节点编号、主干线长度、配电变压器台数、容量; 与分段线路表, 中压馈线节点表、配电变压器信息表等相关联; 插入杆塔、分支箱、环网柜、开闭站等设备; 连接分段线, 插入开关信息, 编辑线段属性; 插入配电变压器, 编辑配电信息表。

中压配电网可靠性的分析计算需要大型数据库的支持, 本模块采用 Oracle 数据库集中管理数据, 数据库主要包含以下内容: 中压馈线表、分段线路表、联络线路表、中压馈线节点表、线路类型表、配电变压器信息表、配电变压器类型表、简化分段线数据表、简化节点表、分区表、故障分类表和故障类型表, 它们为可靠性模块提供可靠性计算的基础数据信息、中间变量、临时数据和最终指标。

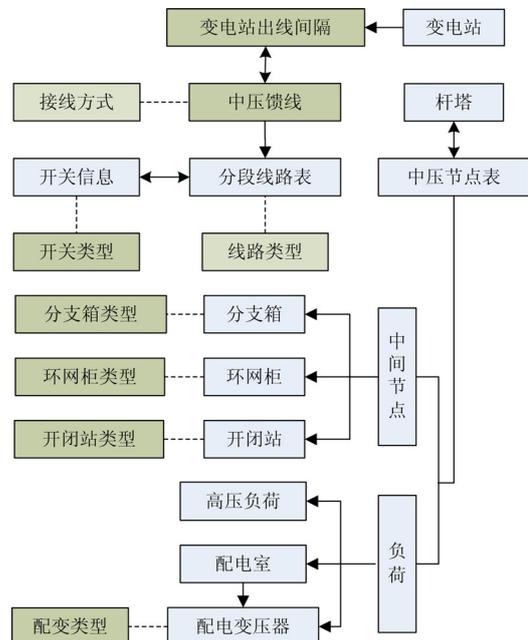


图 6 配电网数据关系图

Fig.6 Data relation chart of distribution networks

### 2.3 可靠性评估模块软件构架

本文利用以上算法, 在 Visual Studio.NET 环境下编译了 ObjectARX 的应用程序, 链接生成 .arx 文

件后，在 AutoCAD 中加载、运行，结合 Oracle 数据库，实现可靠性的计算。模块软件结构图见图 7。

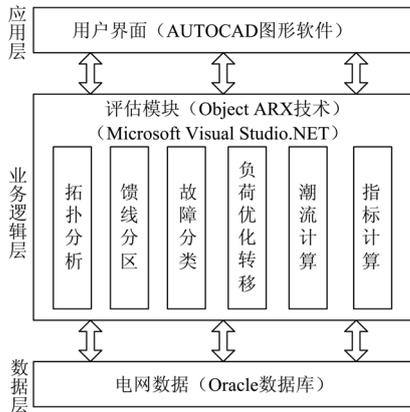


图 7 模块软件结构图

Fig.7 Module software frame

### 2.4 模块工作流程

利用该中压配电网可靠性评估模块可对配电系统用户供电可靠性指标进行预测，流程如下：

(1) 在 AutoCAD 图形化界面上，利用各种电气设备图元绘制配电网电气接线图，设置或修改相关设备参数和属性。

(2) 对中压配电网进行拓扑结构分析，获取各节点、线路间的连接信息，利用馈线分区原理，形成各级分区。

(3) 设置系统的运行方式，根据待评估的实际供电系统要求，通过改变设备运行状态的设置来改变供电系统的运行方式，并进行比较。

(4) 选择供电可靠性准则，如供电安全 N-1 准则、检修方式下的 N-1 准则。

(5) 枚举任意一个二级分区故障，确定各区域的故障类型。

(6) 调用配网潮流程序检验带联络的区域在故障下能否转移。

(7) 确定各个区域的故障恢复时间。

(8) 计算配电网可靠性指标。

(9) 可靠性指标的灵敏度分析，找出影响指标的主要因素及供电系统薄弱环节。

(10) 计算分析结果显示与打印。

### 3 算例分析

本文将该模块应用于某 372 节点、895 节点、1 216 节点等三个 10 kV 配电网。这三个实际系统的电气设备参数按中电联统计的全国 2006 年 10 kV 配电网数据，见表 1，配电网基础数据见表 2，系统可靠性指标计算结果见表 3。

表 1 配电网元件参数

Tab.1 Component parameters

元件	$\lambda$ (次/百公里年或次/百台年)	$\gamma$ /h	$\gamma'/h$	S/h
架空线	11.656	5	---	1.0
电缆	4.115	15	---	3.0
断路器	3.263	---	10	---
配变	1.024	---	10	---

注： $\lambda$  为永久故障率； $\gamma$  为故障平均修复时间； $\gamma'$  为故障平均替换时间；S 为故障切换时间。

表 2 三个实际配电网基础数据

Tab.2 System basic data for three practical MVDNs

配电网	节点数	负荷数	馈线数	断路器数	分段开关数	联络开关数	二级分区数	线路总长/km	线路类型	有功负荷/MW
系统 1	372	212	4	4	7	2	13	18.86	0	16.9
系统 2	895	488	8	10	18	6	34	93.57	1	30.5
系统 3	1 216	639	14	17	25	8	50	113.74	2	54.1

注：线路类型：0 为架空线；1 为电缆；2 为架空电缆混合线

表 3 三个实际系统可靠性指标及计算时间

Tab.3 System reliability indices and calculating time for three practical MVDNs

配电网	SAIFI/(次/(户·年))	SAIDI/(h/(户·年))	ASAI	ENSI/(MW·h)/年	CAIDI/(h/(户·年))	计算时间/s	
						本模块	常规方法
系统 1	1.93	2.66	0.999 696	28.6	1.4	1.82	3.27
系统 2	2.74	3.71	0.999 638	81.5	1.35	3.29	7.3
系统 3	2.59	3.55	0.999 595	147.2	1.37	5.76	18.7

调用灵敏度分析，得出对可靠性指标影响最大的影响因素是架空线的平均长度。计算总耗时 5.76 s，充分体现了该模块的有效性及其工程实用性。

通过分析可以看出，由于配变支线都安装了熔断器，显著提高了系统的供电可靠性，公用线路的部分主干长度超过 3 km，这是影响指标的主要原

因,建议在较长的主干线上增加分段开关。

#### 4 结论

(1) 本文针对目前配电网开关数目较多,尤其是几乎每个配电变压器都配有熔断器的情况,提出一种改进的馈线分区方法,可以减少分区数目,提高计算速度。

(2) 与文献[12]相比,讨论了熔断器、配电变压器等开关的故障影响情况,提高了计算精度。

(3) 考虑了负荷转移。利用已有的分区、分区的容量以及分区拓扑位置,计算故障时的配电网潮流,判断各区域负荷能否转供,如果多区域不能同时转移,可按优先级逐级转移,以达到最优,提高了可靠性。

(4) 文章使用 ObjectARX 二次开发技术进行数形一体化建模,开发了中压配电网可靠性评估模块,提供了良好的人机界面,高效的数据处理,具有很好的应用性能,为电网规划及运行人员分析配电网可靠性提供了平台和依据。

#### 参考文献

- [1] Billinton R, Billinton J E. Distribution system reliability indices[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4 (1) : 561-568.
- [2] Billinton R, Wang P. Teaching distribution system reliability evaluation using Monte Carlo simulation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14 (2) : 397-403.
- [3] 霍利民,朱永利,张在玲,等. 贝叶斯网络在配电系统可靠性评估中的应用[J]. 电工技术学报, 2004, 19 (8) : 113-118.  
HUO Li-min, ZHU Yong-li, ZHANG Zai-ling, et al. Bayesian networks application to reliability evaluation of electric distribution systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19 (8) : 113-118.
- [4] 国家电网公司组. 供电可靠性管理实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [5] 别朝红,王秀丽,王锡凡. 复杂配电系统的可靠性评估[J]. 西安交通大学学报, 2000, 34 (8) : 9-13.  
BIE Zhao-hong, WANG Xiu-li, WANG Xi-fan. Reliability evaluation of complicated distribution systems[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2000, 34 (8) : 9-13.
- [6] 杨文字,余健明,同向前. 基于最小割集的配电系统可靠性评估算法[J]. 西安理工大学学报, 2001, 17(4) : 287-391.  
YANG Wen-yu, YU Jian-ming, TONG Xiang-qian. Reliability assessment algorithm of power distribution system based on minimal cut sets[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2001, 17 (4) : 287-391.
- [7] 戴雯霞,吴捷. 基于最小路的配电网可靠性快速评估法[J]. 电力自动化设备, 2002, 2 (7) : 29-31.  
DAI Wen-xia, WU Jie. Fast evaluation for distribution network reliability based on minimal path[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 2 (7) : 29-31.
- [8] 李志民,李卫星,刘迎春. 复杂辐射状配电系统可靠性评估的故障遍历算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (2) : 53-56.  
LI Zhi-min, LI Wei-xing, LIU Ying-chun. Fault-traversal algorithm of complex radial distribution-system-reliability evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (2) : 53-56.
- [9] 李卫星,李志民,刘迎春. 复杂辐射状配电系统的可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (3) : 69-73.  
LI Wei-xing, LI Zhi-min, LIU Ying-chun. Evaluation of complex radial distribution system reliability[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (3) : 69-73.
- [10] Billinton R, Wang P. Reliability network equivalent approach to distribution system reliability evaluation[J]. IEE Proceedings on Generation, Transmission, and Distribution, 1998, 145 (2) : 149-153.
- [11] 刘柏私,谢开贵,马春雷,等. 复杂中压配电网的可靠性评估分块算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (4) : 40-45.  
LIU Bo-si, XIE Kai-gui, MA Chun-lei, et al. Section algorithm of reliability evaluation for complex medium voltage electrical distribution networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (4) : 40-45.
- [12] 谢莹华,王成山. 基于馈线分区的中压配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (5) : 35-39.  
XIE Ying-hua, WANG Cheng-shan. Reliability evaluation of medium voltage distribution system based on feeder partition method[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (5) : 35-39.
- [13] 谢开贵,周平,周家启,等. 基于故障扩散的复杂中压配电系统可靠性评估算法[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (4) : 45-48.  
XIE Kai-gui, ZHOU Ping, ZHOU Jia-qi, et al. Reliability evaluation algorithm for complex medium voltage radial distribution networks based on Fault-spreading-method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (4) : 45-48.
- [14] 郭团军,程浩忠,周敏,等. 中压配电网实用规划方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15 (6) : 25-28.  
GUO Tuan-jun, CHENG Hao-zhong, ZHOU Min, et al. A practicable method for mid-voltage power system planning[J]. Proceedings of CUS-EPSSA, 2003, 15 (6) : 25-28.

(下转第81页 continued on page 81)

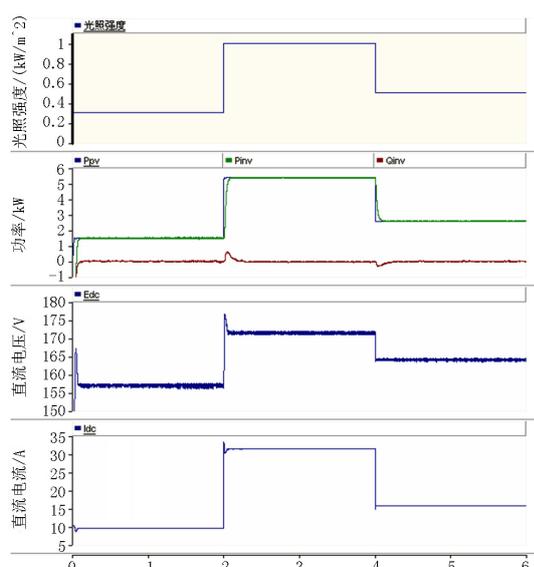


图 13 光照强度变化时光伏并网系统的响应

Fig.13 Responses of GCPS for changes in solar irradiance

## 5 结论

仿真结果表明本文所开发的光伏阵列控制元件可以模拟各个温度和光强下的 I-V, P-V 关系特性曲线, 用该控制元件去触发一恒流源可以很好地模拟光伏阵列装置, 该方法可以用来进行三相光伏并网发电系统的仿真研究。本文所开发的 MPPT 控制元件可以准确地跟踪系统最大输出功率。因此本文所建立的三相光伏并网仿真系统为光伏并网发电的进一步研究提供了有利基础。

## 参考文献

- [1] Park M, Yu I. A novel real-time simulation technique of photovoltaic generation systems using RTDS[J]. IEEE T Energy Conver, 2004, 19 (1): 164-169.
- [2] Masom M, Dehbonei H, Fuchs E F. Theoretical and explanation analysis of photovoltaic systems with voltage and current based maximum power point tracking[J]. IEEE T Energy Conver, 2002, 17 (4): 514-522.
- [3] Zhang L, Al-Amoudi A, Bai Y. Real-time maximum power point tracking for grid-connected photovoltaic systems[C]. //Power Electronics and Variable Speed Drives. 2000.

- [4] Aris T I, Kourtesi S, Ekonomou L, et al. Modeling of a shingle-phase photo voltaic inverter[J]. Sol Energy Mat Sol C, 2007, 91: 1713-1725.
- [5] Tsai Huan-Liang, Tu Ci-Siang, Su Yi-Jie, et al. Development of generalized photovoltaic model using Matlab/Simulink[C]. //Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. 2008.
- [6] Nattapong Chauyawatto, Krissanapong Kirtikara, Veerapol Monyakul, et al. DC-AC switching converter modelings of a PV grid-connected system under islanding phenomena[J]. Renewable Energy, 2009, 34: 2536-2544.
- [7] 孙自勇, 宇航, 严干贵, 等. 基于 PSCAD 的光伏阵列和 MPPT 控制器的仿真模型[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (19): 61-64.  
SUN Zi-yong, YU Hang, YAN Gan-gui, et al. PSCAD simulation models for photovoltaic array and MPPT controller[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (19): 61-64.
- [8] Hussein K H, Muta I, Hoshino T, et al. Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions[J]. IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 1995, 142 (1): 59-64.
- [9] CHEN Hai-rong, WANG Chao. Transient model for VSC-HVDC and its control design[C]. //The 7th IEE International Conference on Advantage in Power System Control, Operation and Management. 2006: 1-5.

收稿日期: 2010-01-02; 修回日期: 2010-05-25

作者简介:

姚致清 (1960-), 男, 博士研究生, 教授级高工, 从事电力电子与智能控制研究;

张茜 (1984-), 女, 硕士研究生, 从事多端直流输电系统、新型电力拖动系统及智能控制研究; E-mail: zq0407310118@@163.com

刘喜梅 (1961-), 女, 教授, 博士, 硕士研究生导师, 从事智能控制、复杂系统的建模及优化控制、软测量技术等研究。

(上接第 75 页 continued from page 75)

- [15] 李长勋. AutoCAD ObjectARX 程序开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

收稿日期: 2009-11-08; 修回日期: 2009-12-15

作者简介:

黄宇峰 (1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系

统规划及可靠性; E-mail: huangyufeng12@sina.com

刘文霞 (1967-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统通信、电力系统智能规划; E-mail: liuwenxia001@163.com

盛洁 (1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统通信。