

IEC61850 通讯标准中的编码规范 ASN.1

李永亮¹, 葛维春², 王芝茗³

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100085; 2. 鞍山供电公司, 辽宁 鞍山 114022; 3. 辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: ASN.1 规范是广泛应用在 ISO/OSI 七层开放互联模型的网络通讯中的国际标准, 由于它具有丰富且规范的语义表达和统一的编码规则等优点, 许多的国际通讯标准都采用 ASN.1 作为协议描述和编解码的规范。本论文简要介绍了 ASN.1 规范的语法、标记和编解码规则, 并根据它的标记特点和编码规则, 应用一种程序源代码自动生成的翻译工具-ASN.1 Compiler, 自动生成标准的 C 代码, 从而快速集成到应用系统中, 缩短开发时间, 提高可靠性。IEC61850 作为实施数字化变电站的国际标准, 其制订的通讯协议栈就采用了 ASN.1 来描述和编解码的, ASN.1 是实现数字化变电站的核心技术之一。

关键词: 抽象语法标记; IEC61850; 数字化变电站; 标记语法; 编码规则; 代码翻译工具

ASN.1-the encoding specification of IEC61850 communication standard

LI Yong-liang¹, GE Wei-chun², WANG Zhi-ming³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China; 2. Anshan Electric Power Company, Anshan 114022, China; 3. Liaoning Electric Power Company, Shenyang 110006, China)

Abstract: ASN.1 is widely applied in network communication based on ISO/OSI 7 layers network connection model, which has rich and specific notating syntax to define and describe the complex communication protocol, and convert the communication PDU to octets flow depending on the selected encoding rule. This paper briefly introduces the syntax, notation and encoding rule of ASN.1. Other is about a source code generating tool-ASN.1 Compiler. ASN.1 Compiler can automatically translate the ASN.1 Module description file to the C source code, which is great help for the programmers. As the international communication standard, IEC61850 uses ASN.1 as its encoding rule. ASN.1 is the kernel technology to realize the digital substation system.

Key words: ASN.1; IEC61850; digital substation; notating syntax; encoding rule; ASN.1 compiler

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)22-0066-06

0 引言

IEC61850, 变电站内的通讯网络和系统 (Communication networks and systems in substations) 是实施数字化变电站的唯一国际标准, 它定义了变电站内智能电子设备 IED (Intelligent Electric Device) 之间信息交换的数据模型和互操作规范。在具体的通讯过程中, IEC61850 标准所要求遵循的编解码规范就是 ASN.1。

ASN.1 是抽象语法标记 (ASN.1: Abstract Syntax Notation One) 的英文缩写, 是一种 ISO/ITU-T 标准, 描述了一种对结构化信息对象进行表示、编码、传输和解码的数据格式。它提供了一整套正规的格式用于描述信息对象的结构, 而不管机器语言上如何执行及这些数据的具体指代, 也不用去管到底是什么样的应用程序, 或者采用什么规范的接口或通信介质。作为一种异构计算机系统

之间的信息交换的国际标准, 它已经被广泛应用在各种各样的计算机通信协议中。

由于 ASN.1 规范了结构化信息对象的描述和编解码过程, 使得在通信协议中传递带有语义的信息对象成为可能, 程序设计者所关注的目标, 已不再是繁琐的编解码流程, 而是如何定义和描述异构系统之间通信过程中的信息对象, 至于具体的编解码过程, 则有统一的 ASN.1 编码器和解码器来实现。

1 关于 ASN.1 规范

ASN.1 规范位于 ISO/OSI 七层开放互连模型的第六层-表示层, 包括以下国际标准:

ISO/IEC 8824-1:1999, Information technology – Abstract Syntax Notation One (ASN.1): Specification of basic notation 基本标记规范。

ISO/IEC 8824-2:1999, Information technology – Abstract Syntax Notation One (ASN.1): Information object specification 信息对象规范。

ISO/IEC 8824-3:1999, Information technology – Abstract Syntax Notation One (ASN.1):Constraint specification 规范约束。

ISO/IEC 8824-4:1999, Information technology – Abstract Syntax Notation One (ASN.1):Parameterization of ASN.1 ASN.1 参数化。

ISO/IEC 8825-1:2000, Information technology – ASN.1 encoding rules: Specification of Basic Encoding Rules (BER), Canonical Encoding Rules (CER) and Distinguished Encoding Rules(DER)

ASN.1 编码规则: 基本编码规则 BER, 典型编码规则 CER, 区分编码规则 DER。

ISO/IEC 8825-2:2000, Information technology – ASN.1 encoding rules: Specification of Packed Encoding Rules (PER) ASN.1 编码规则: 压缩编码规则 PER。

ISO/OSI 七层互连模型中的应用层协议大量使用了 ASN.1 来描述它们所传输的协议数据单元 PDU, 这些协议包括: 用于传输电子邮件的 X.400、用于目录服务的 X.500、用于 VoIP 的 H.323 和用于网络管理的 SNMP; 用于实时通讯的制造报文规范 MMS 等等。

2 ASN.1 的标记与语法

ASN.1 的标记和语法, 如同程序开发人员所熟悉的高级语言一样, 在理解和掌握上是很简单的。

(1) 标记类型

ASN.1 定义了许多的通用的数据标记类型, 比如像整型、字符串、实型等原子级的数据类型。这些类型是不可再分的。

除了简单类型, ASN.1 也规范了一些结构化标记类型, 例如:

结构 (SEQUENCE): 由不同的变量类型组成的有序的结构。这个就如同“C”语言中的结构类型 (struct)。

结构列表 (SEQUENCE OF): 同一个结构类型构成的有序的结构列表。

集合 (SET): 由不同的变量类型组成的无序的结构, 用来描述复杂的信息对象。

类型选择 (CHOICE): 在不同的变量类型中选择之一。

表 1 列举了一些 ASN.1 的数据类型, 每个数据类型都有唯一的标记值与之对应, 这个标记值将是编解码过程中的类型识别码, 它将决定具体的编解码规则。更详细的标记类型, 请参考 ASN.1 的有关

规范。

表 1 ASN.1 标记的数据类型

Tab.1 The data type of ASN.1

类型	关键字	标记值 (十进制表示)
布尔	BOOLEAN	1
整形	INTEGER	2
位串	BITSTRING	3
八进制字符串	OCTETSTRING	4
空类型	NULL	5
对象标识符	OBJECT IDENTIFIER	6
对象描述符	OBJECT DESCRIPTOR	7
引用的外部类型	EXTERNAL	8
实形	REAL	9
枚举	ENUMERATED	10
结构和结构列表	SEQUENCE, SEQUENCEOF	16
集合和集合列表	SET, SET OF	17
可打印字符串	PrintableString	19
ASCII 码字符串	IA5String	22
统一时间	UTCTime	23

(2) ASN.1 模块描述文件

ASN.1 规范中的基本构造模块 Module, 是指采用 ASN.1 的标记语法, 对应用信息模型进行定义和标记的模块称之为 ASN.1 模块。用来存储 ASN.1 模块的文件称之为 ASN.1 模块描述文件。

一个模块的典型格式如下:

```
<ModuleReference> DEFINITIONS ::=
BEGIN
EXPORTS
IMPORTS
AssignmentList
END
```

其中:

::=为赋值符号;

具体的描述和标记信息就是由位于 BEGIN 和 END 之间的语句所构成;

EXPORTS 这个模块中的定义可能被其他模块引入;

IMPORTS 定义由其他模块引入;

AssignmentList 这个模块中将定义类型分配、值分配及宏定义。

3 ASN.1 的基本编码规则

从标准中我们就可以看到, ASN.1 主要有以下几种编码规则: 基本编码规则(BER, Basic Encoding Rules), 规范编码规则(CER, Canonical Encoding Rules), 区分编码规则(DER, Distinguished Encoding Rules), 压缩编码规则(PER, Packed Encoding Rules) 和 XML 编码规则(XER, XML Encoding Rules)等。

每种编码规则各有特点, 可以应用不同的场合。BER 编码规则的每个标记符号都有特定格式, 编码简单, 但较占字节; CER 和 DER 是从 BER 派生出来的, CER 针对不定长格式, 常应用在需要传输大量数据的应用, DER 针对定长格式, 适合安全数据传输, 特别是数字签名; PER 可大大缩短编码后的字节数, 常应用在视频电话、多媒体、3G 等需要高速数据传输的领域。

ASN.1 的传输, 是基于八位位组的字节序列来进行的, 因此, 它的编码规则遵循着标记 TAG、长度 LENGTH、值 VALUE 的格式, 简称 TLV, 示意图如图 1。

TAG	LENGTH	VALUE
标记	长度	值

图 1 ASN.1 编码的格式

Fig.1 The encoding code format of ASN.1

其中: TAG: 标记, 是该段编码的头字节, 描述该段编码所代表的信息类型, 通常占据 1-2 个字节。当标记值小于 32 时, 占据一个字节; 当标记值大于等于 32 时, 则 TAG 字段的第一个字节被置为 16 进制的 1F, 第二个字节则是实际的标记值。

为了保证数据在传送时被接收方正确解码, ASN.1 对标记 TAG 定义了 4 种类型: UNIVERSAL、ContextSpecific、APPLICATION、PRIVATE)。UNIVERSAL 表示 ASN.1 定义的标准数据类型, APPLICATION 为显式 (EXPLICIT) 定义, 而隐式 (IMPLICIT) 后面紧接着的类型 TAG 将不进行编码。若未注明 Tag 类型即为 Context-specific 类型。

当 TAG 小于 31 时:

表 2 TAG ≤ 31, TAG 的编码方式

Tab.2 The encoding code when TAG ≤ 31

字节 1			
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4~0
00: UNIVERSAL 通用		0: PRITITIVE	TAG
01: APPLICATION 应用			
10: Context-Specific 上下文相关		1: Constructed	
11: PRIVATE 私有			

当 TAG 大于等于 31 时:

表 3 AG > 31, TAG 的编码方式

Tab.3 The encoding code when TAG > 31

字节 1				字节 2	
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4~0	Bit7	Bit6~0
00: UNIVERSAL 通用		0: PRITITIVE	11111	1	
01: APPLICATION 应用		1: Constructed			
10: Context-Specific 上下文相关					
11: PRIVATE 私有					

LENGTH: 长度。描述在后续的 VALUE 值是由多少个字节数所构成, 根据 VALUE 的长度不同, LENGTH 所占据的字节也不同。一般, 小于等于 127 个字节的 VALUE 时, LENGTH 占据一个字节; 大于 127 时, 则 LENGTH 的第一个字节表示 LENGTH 字段占据的实际字节数, 并且第 7 位置位, 后续的字节则表示实际的 VALUE 长度。

表 4 LENGTH 的编码方式

Tab.4 The encoding code format of LENGTH

	字节 1				
	Bit7	Bit6~0			
LENGTH ≤ 127	0	LENGTH	字节 2	...	字节 n + 1
LENGTH > 127	1	LENGTH 的字节长度 n	LENGTH		

VALUE: 值。实际所要传递的编码内容, 具体的编码规则, 则根据不同的标记类型, 采用不同的编码规范。

4 ASN.1 Compiler

(1) ASN.1 标记语法与高级语言之间的对应关系

正如上个章节中我们介绍的那样, 要理解 ASN.1 的标记与语法, 就如同我们理解高级编程语言当中的语法或者类型声明一样, ASN.1 中规范的编辑和类型, 我们很容易的就可以在高级语言中找到与它相对应的类型和语法。下面就是一个简单的例子 (以 C 语言为例):

PersonName 是一个用 ASN.1 规范来标记的数据结构, 来记录有关人名的信息, 一共有 3 个元素来描述这个人名: 分别是本名 (givenName)、原名 (initial)、家族名 (familyName)。以下是其用 ASN.1 规范的描述:

```
PersonName ::= [APPLICATION 1] IMPLICIT SEQUENCE
```

```

{
    givenName IA5String,
    initial IA5String,
    familyName IA5String
}

```

相对应的,我们可以用“C”语言来描述这个 PersonName:

```

typedef struct PersonName
{
    IA5String givenName;
    IA5String initial;
    IA5String familyName;
} PersonName;

```

通过这个例子,给我们深刻的印象是在 ASN.1 标记语法之间和高级语言之间,有一个明确而且唯一的映射关系,那么,只要知道了这个唯一的对应关系,我们是否可以采用一个自动化编码的处理流程,来自动生成 ASN.1 规范所对应的高级语言的编解码过程呢?

答案是肯定的,这就是目前在通讯领域广泛应用的 ASN.1 代码翻译工具-ASN.1 Compiler。

(2) ASN.1 Compiler 自动翻译器

一个典型的 ASN.1 Compiler 的输入输出如图 2。

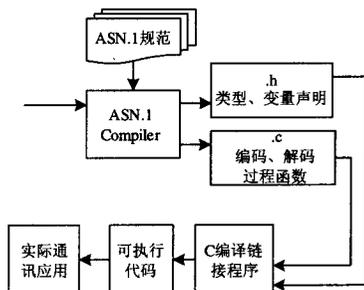


图 2 ASN.1 Compiler 工作流程

Fig. 2 Data flow of ASN.1 compiler

图中的 ASN.1 Compiler 在输入需要翻译的 ASN.1 模块文件之后,根据对应和翻译规则,生成了描述和定义类型、变量及函数原型的.h 文件,以及具体的编码、解码函数代码的.c 文件,经过 C 语言编译链接程序的编译链接,生成了可执行代码供实际的应用通讯调用。

以下为应用 ASN.1 Compiler 翻译成的 C 语言代码:

PersonName.h

表 5 ASN.1 Compiler 生成的 C 代码头文件

Tab.5 C header file generated by ASN.1 compiler

```

/*结构类型声明*/
typedef struct PersonName /* [APPLICATION 1]
IMPLICIT SEQUENCE */
{
    IA5String givenName; /* IA5String */
    IA5String initial; /* IA5String */
    IA5String familyName; /* IA5String */
} Name;
/*编码函数原型声明*/
AsnLen BEncPersonNameContent PROTO ((BUF_TYPE
b, PersonName *v));
/*解码函数原型声明*/
void BDecPersonNameContent PROTO ((BUF_TYPE b,
AsnTag tagId0, AsnLen elmtLen0, PersonName *v,
AsnLen *bytesDecoded, ENV_TYPE env));

```

PersonName.c

表 6 ASN.1 Compiler 生成的 C 文件

Tab.6 C File generated by ASN.1 compiler

```

#include "asn-incl.h"
#include "PersonName.h"
/*编码函数的源代码*/
AsnLen
BEncNameContent PARAMS ((b, v), BUF_TYPE b
_AND_ PersonName *v)
{
    .....
    return totalLen;
} /* BEncPersonNameContent */
/*解码函数的源代码*/
Void BDecNameContent PARAMS ((b, tagId0,
elmtLen0, v, bytesDecoded, env),
BUF_TYPE b _AND_ AsnTag tagId0 _AND_ AsnLen
elmtLen0 _AND_ PersonName *v _AND_ AsnLen
*bytesDecoded _AND_ ENV_TYPE env)
{
    .....
} /* BDecNameContent */

```

很显然,只要在应用中调用相应的编码函数,所要传送的信息内容就被编成字节流的形式;或者在网络通讯中接收到一串字节流后,调用相应的解

码函数，就会得到一个具体的信息内容，至于具体的编解码过程，则是我们不再需要考虑的了。

(3) 应用 ASN.1 Compiler 的优势

由于采用了机器的自动识别和翻译，不仅缩短了编程时间，而且生成的代码在可读性、效率和准确性都有大幅度的提高，减少了人为的错误，使得实际通讯变得简单高效起来。

目前，已经有众多的 ASN.1 Compiler 的成熟产品可供选择，用户可以根据不同的需求选择不同的工具生成如 C/C++/JAVA/XML 等语言的源代码，从而缩短开发周期。可以说，ASN.1 Compiler 的出现，使得程序开发人员不再担心通讯过程中的编码、解码流程，而把更多的精力投放到通讯应用的本身，ASN.1 Compiler 无疑是一个针对开发者的高效的辅助工具。

5 ASN.1 在数字化变电站系统中的应用

数字化变电站的研究和实施在国内正方兴未艾，IEC61850 作为其唯一的国际通讯标准，克服了在传统的自动化设备间互联时封闭的、针对特定应用、语义简单的通讯模式，而是建立在开放式互联模型 ISO/OSI 7 层规范的应用层协议上，丰富的而又规范的语义表达，统一的编解码规则，使得更多的传输信息成为可能。应用配电载波线路的配电自动化的国际标准 IEC61334 (Distribution Automation using Distribution line carrier systems) 等也都采用了 ASN.1 规范作为其标记和编码规则。

以 IEC61850 标准为例，IEC61850-8-1、IEC61850-9-1 和 IEC61850-9-2 是规范其通讯协议栈的部分。在 IEC61850-8-1 中，通讯协议栈映射到制造报文规范 MMS，而 MMS 是建立在 ISO/OSI 7 层互联模型的应用层的协议，让我们看一下采用 ASN.1 规范书写的 MMS 的模块文件内容：

```
MMS DEFINITIONS ::=BEGIN
```

```
MMSpdu ::= CHOICE{
```

```
    confirmed-RequestPDU      [0]
```

```
    IMPLICIT Confirmed-RequestPDU,
```

```
    confirmed-ResponsePDU     [1]
```

```
    IMPLICIT Confirmed-ResponsePDU,
```

```
    confirmed-ErrorPDU        [2]
```

```
    IMPLICIT Confirmed-ErrorPDU,
```

```
    unconfirmed-PDU           [3]
```

```
    IMPLICIT
```

```
.....
```

```
Initiate-RequestPDU,
```

```
    initiate-ResponsePDU     [9]
```

```
IMPLICIT Initiate-ResponsePDU,
```

```
    initiate-ErrorPDU        [10]
```

```
IMPLICIT Initiate-ErrorPDU,
```

```
    conclude-RequestPDU      [11]
```

```
IMPLICIT Conclude-RequestPDU,
```

```
    conclude-ResponsePDU     [12]
```

```
IMPLICIT Conclude-ResponsePDU,
```

```
    conclude-ErrorPDU        [13]
```

```
IMPLICIT Conclude-ErrorPDU}
```

```
Confirmed-RequestPDU ::= SEQUENCE {
```

```
    invokeID      Unsigned32,
```

```
    ConfirmedServiceRequest }
```

```
.....
```

```
END
```

根据 ASN.1 的标记及语法不难理解，上面所定义的 MMS 协议数据单元 PDU 共有 confirmed-RequestPDU、Confirmed-ResponsePDU 等多个可选项，具体到 confirmed-RequestPDU，它是一个结构化的信息体，包括一个 32 位的无符号整数和结构体 ConfirmedServiceRequest 组成，至于 ConfirmedServiceRequest 还会在上面的模块文件中得到标记和描述。

同样的，在 IEC61850-9-1 和 IEC61850-9-2 中，也采用 ASN.1 的标记语法对其协议数据单元进行了定义：

```
IEC61850 DEFINITIONS ::= BEGIN
```

```
IMPORTS Data FROM ISO-IEC-9506-2
```

```
IEC 61850-9-2 Specific Protocol ::= CHOICE {
```

```
    9-1-Pdu [0] IMPLICIT OCTET STRING,
```

```
    savPdu [APPLICATION 0] IMPLICIT SavPdu,
```

```
    }
```

```
.....
```

```
END
```

6 结束语

ASN.1 是一个开放性的异构系统之间的编码规范。采用一个高效的代码生成工具—ASN.1 Compiler，就可以很容易地生成基于 ASN.1 规范的编码/解码流程的源代码（例如最常见的 C/C++ 语言），经过编译链接后变成可执行代码。

ASN.1 规范的应用，对计算机通讯来说，是一个具有里程碑意义的变革，它使得通讯双方关注信息交换的内容，而非具体的编解码过程。这也是新一代的自动化通讯标准 IEC61850 在实用性、规范性、灵活性和易扩展上都强于传统的远动归约的原因之一。

正是采用了 ASN.1 的编码规范, IEC61850 标准已不再关心具体的通讯过程, 而是大量的研究和规范了数字化变电站内 IED 设备间的数据交换模型和互操作规范, 因此, 要实现和实施好数字化变电站系统, 研究透彻 ASN.1 规范就是非常重要的了, 这也是实现 IEC61850 的核心技术之一。

参考文献

- [1] ISO/IEC 8822:1994, Information Technology – Open Systems Interconnection – Presentation Service Definition[S].
- [2] ISO/IEC 8825-1:2000, Information Technology – ASN.1 Encoding Rules: Specification of Basic Encoding Rules (BER), Canonical Encoding Rules (CER) and Distinguished Encoding Rules(DER)[S].
- [3] IEC 61850-7-1, Communication Networks and Systems in Substations – Part 7-1: Basiccommunication Structure for Substation and Feeder Equipment-Part 7-1: Principles and Models[S].
- [4] IEC 61850-8-1, Communication Networks and Systems in Substations – Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3[S].
- [5] IEC 61850-9-1, Communication Networks and Systems in Substations – Part 9-1: Specific Communication

Service Mapping (SCSM) – Sampled Values over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link[S].

- [6] Olivier Dubuisson. ASN.1 Communication Between Heterogeneous Systems[S].
- [7] 李永亮,袁志雄,陈斌,等. 对基于 TCP / IP 的 IEC61850 特定通信服务映射 MMS 的分析与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(24): 33-38,42.
LI Yong-liang, YUAN Zhi-xiong, et al. Analysis and Implementation of TCP/IP Based Specific Communication Service Mapping MMS in IEC61850[J]. Power System Technology, 2004, 28(24): 33-38,42.
- [8] 李贺禄,蒋凡,等.基于面向对象方法的 ASN.1 编解码的设计与实现[J]. 计算机工程, 2002, 28(12): 101-103.
LI He-lu, JIANG Fan, et al. Design and Implementation of Encoding and Decoding for ASN.1 Based on Object-oriented Method[J]. Computer Engineering, 2002, 28(12): 101-103.

收稿日期: 2008-01-21

作者简介:

李永亮 (1969-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为数字化变电站技术与实现; E-mail:liyl@epri.ac.cn

葛维春 (1961-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事电力系统分析计算及科技管理工作。

(上接第 60 页 continued from page 60)

- [8] 王慧, 范正林, 桑在中. S 注入法与选线定位[J]. 电力自动化设备, 1999, (3): 18-20.
WANG Hui, FAN Zheng-lin, et al. The "S Signal Injection Method" and Its Application in Single Phase-to-earth Fault Line Identification and Fault Point Location[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, (3): 18-20.
- [9] 卢兴旺. 线路故障指示器的分类及应用[J]. 电器设备, 2006, (1): 60-61.
LU Xing-wang. The Classification and Application of Electrical Line Fault Indicator[J]. Electric Equipment, 2006, (1): 60-61.
- [10] 张斌, 等. 配电线路故障指示器现状分析[J]. 供用电,

2005, 22(5): 29-30.

ZHANG Bin, et al. Actuality of Distribution Lines Fault Indicator[J]. Distribution & Utilization, 2005, 22(5): 29-30.

收稿日期: 2008-01-22;

修回日期: 2008-05-19

作者简介:

杨鹏 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制, 小电流接地电力系统故障定位; E-mail: yangpeng8461@sina.com

杨以涵 (1927-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制, 数字电力系统等;

杨景 (1987-), 女, 学士, 研究方向为电子信息技术。

(上接第 65 页 continued from page 65)

参考文献

- [1] 高景德,王祥珩,李发海.交流电机及其系统的分析[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
GAO Jing-de, WANG Xiang-heng, LI Fa-hai. Analysis of Alternative Current Machine and Its System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.
- [2] 夏勇军,尹项根,陈德树,等. 大型水轮发电机内部故障暂态仿真模型简化及仿真验证[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(12):70-74.
XIA Yong-jun, YIN Xiang-gen, CHEN De-shu, et al. Simplification and Validation of Transient Simulation Model of Large Hydraulic Generator Internal Short Circuit Faults[J]. Automation of Electric Power Systems,

2006, 30(12):70-74.

- [3] 张龙照. 同步电机定子绕组不对称状态的研究(博士学位论文)[D]. 北京:清华大学,1989.

ZHANG Long-zhao. Analysis of Synchronous Machines with Asymmetrical Armature Windings, Doctoral Dissertation[D]. Beijing: Tsinghua University, 1989.

收稿日期: 2008-02-20

作者简介:

夏勇军 (1978-), 男, 博士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护研究及工程应用工作; E-mail:xiayj@hbepc.com.cn

刘句良 (1971-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事发电厂设备的检修维护工作。