

DOI: 10.7667/PSPC152187

# 高压直流输电控制保护系统测控装置联锁图形化 二次编程功能研究

岳亚菲, 胡欢, 沈开奎, 曾丽丽, 李延龙, 王祺元

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 为了实现高压直流输电控制保护系统安全可靠的联锁功能, 通过对现场层装置应用场景深入研究, 提出一种新的测控装置软件架构及设计方法, 将测控装置的基本测控功能与需二次编程的逻辑联锁功能相分离, 利用系统周期调用的方式实现逻辑联锁程序与测控基本程序的融合。该方法基于成本低廉的软硬件平台, 测控装置基于英飞凌 C167 微处理器, 采用标准的 IEC61131 图形化设计语言, 程序设计简单且可靠性高, 不依赖特定硬件, 适合在不同的硬件平台上实现。基于该方法在观音岩直流输电工程的实验数据表明该软件控制策略具有维护成本低廉, 可靠性高, 移植方便的特点, 对于实现控制保护系统安全可靠的联锁功能具有重要的应用价值。

**关键词:** 高压直流输电; 测控功能; 二次编程; 逻辑联锁; 图形化设计

## Research on interlock schematic second programmable function in measurement & control device of control and protection system for HVDC

YUE Yafei, HU Huan, SHEN Kaikui, ZENG Lili, LI Yanlong, WANG Qiyuan  
(XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** In order to achieve the HVDC control and protection system safe and reliable interlocking function, based on the field level device application scenarios in-depth study, this paper proposes a new measurement & control device software architecture and design method. The basic measurement & control functions and logic interlock function to be the second programmed are separated from one another, system periodic calls are used to achieve the integration of logic interlock program and measurement & control basic programs. The method is based on low-cost hardware and software platform, its measurement & control device used is based on Infineon C167 microprocessor, the standard IEC61131 graphical design language is adopted, and the program design is simple and highly reliable, not dependent on specific hardware, and suitable for implementing on different hardware platforms. The experimental data of Guanyinyan HVDC Project shows that the software control strategy has a low maintenance cost, high reliability and easy migration characteristics, and it has an important application value for control and protection system to achieve safe and reliable interlock function.

**Key words:** HVDC; measurement & control functions; second programmed; logic interlock; schematic design

## 0 引言

在常规直流工程及特高压直流输电工程中, 其控制保护系统现场层测控装置负责对开关设备、断路器、滤波器及其他设备的控制与数据采集工作, 以及现场层一次设备各开关与断路器的逻辑联锁及“五防”功能<sup>[1-4]</sup>。由于直流输电工程系统庞大, 设备复杂, 设备类型多, 可靠性要求高, 控制保护功能异常复杂, 不同类型的场合其控制保护程序有较

大的区别, 而且现场层测控装置程序经常由于一次设备的改动面临频繁的修改及修改后测试工作异常繁重<sup>[5]</sup>。基于以上特点, 对现场层控制保护程序的设计提出了新的挑战, 要求现场层测控装置的开关控制, 逻辑联锁功能与其他测量与控制功能分离, 方便用户二次编程能力, 提高程序修改可靠性及工作效率。

本文通过对直流输电现场层装置应用场景深入研究, 提出一种新的测控装置软件架构及设计方法,

在软件架构上将测控装置的基本测控功能与需二次编程的逻辑联锁功能相分离，通过系统周期调用的方式实现逻辑联锁程序与测控基本程序的融合，基本测控功能使用常规的 C 语言开发方式且以 Firmware 的形式封装在特定区域，需二次编程的逻辑联锁功能以基于 IEC61131 语言的形式在图像化编程工具 ViRule 上由用户实现特定应用，相关图形化程序最终以特定方式和机器码的形式下载到测控装置特定区域，以周期调用的方式实现完整的测控及联锁功能<sup>[6-9]</sup>。该方法将逻辑联锁功能与其他测量与控制功能分离，方便了用户进行二次编程，提高了程序修改可靠性及工作效率。

该方法基于成本低廉的软硬件平台，采用了标准的 IEC61131 图形化设计语言，程序设计简单且可靠性高，维护成本低廉，可广泛应用于常规及特高压直流输电工程，实现控制系统安全可靠的联锁功能。该成果已经成功应用于观音岩直流工程中，运行稳定，为国家节省了大量的建设资金。

### 1 高压直流输电控制保护系统测控装置配置

如图 1 所示，高压直流输电控制保护系统通常划分为运行人员控制层、控制保护设备层和现场控制层三个层次<sup>[10-11]</sup>。

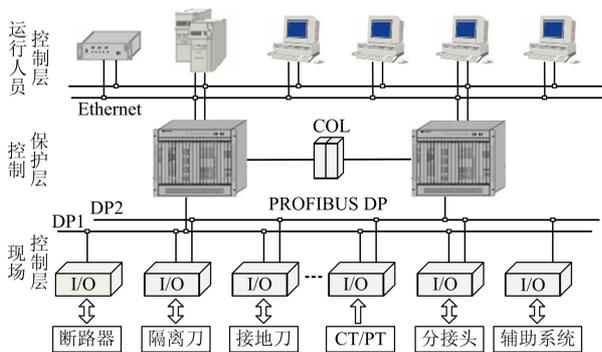


图 1 高压直流输电控制保护系统测控装置配置  
Fig. 1 Configuration of I/O unit in HVDC C&P system

测控装置位于系统的现场控制层，其主要功能是实现一次系统及设备运行数据的采集、计算存储和控制命令的输出。因控制保护系统冗余配置的需要，控制保护层设备与现场控制层之间一般配置双重化的现场总线，以便于构成需要的冗余结构<sup>[12-13]</sup>。在由 PROFIBUS DP 现场总线构成的现场级通信系统中，测控装置作为一种智能化的 I/O 从站，与控制保护层设备构成了多点双向的通信网络，以实现现场数据的采集和相关控制功能。

控制保护设备是直流输电系统工程中的核心设

备之一，所有控制操作需要设计有安全可靠的联锁功能，以保证系统及设备的正常运行和运行人员的人身安全<sup>[14-15]</sup>。本设计的目的在于为特高压直流输电控制系统联锁功能提供一种低成本，高可靠性，易于实现的工业设备图形化逻辑二次编程方法。

如图 2 所示，该图是一个典型的测控装置功能模块原理图，主要实现现场控制级的数据采集、预处理及数据上传，同时执行主控站的控制输出命令及现场层开关控制的逻辑联锁功能。

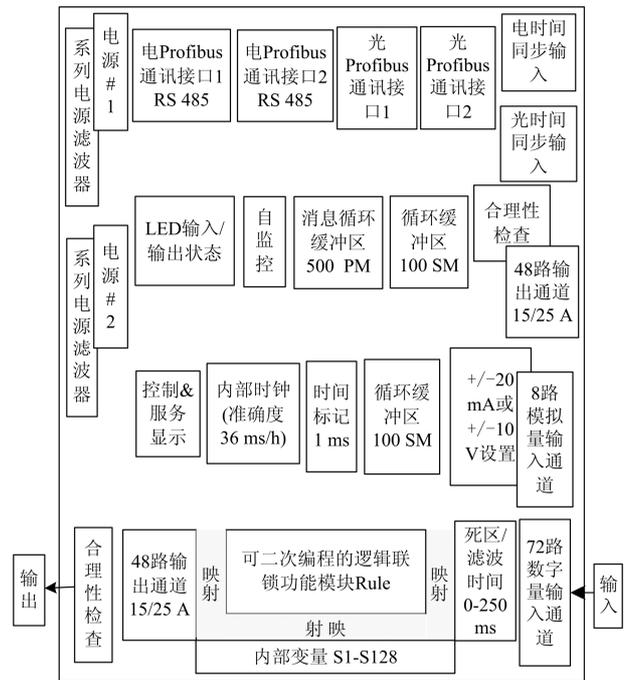


图 2 典型的测控装置功能模块原理图

Fig. 2 A typical schematic diagram of measurement & control device functional modules

其主要包含以下模块：冗余配置的电源，系统自检模块，带冗余配置的光、电 PROFIBUS 通讯接口，带死区时间及滤波时间配置的开关量采集及 SER 顺序时间记录，带自检功能的开关量输出功能，高精度的 16 位 A/D 采集模块，可二次编程的逻辑联锁功能模块 Rule。该方案是采用以英飞凌 C167 MCU 为核心的 CPU 板卡，开入板卡，开出板卡，模拟量采集板卡及 PROFIBUS DP 通讯模块可自由配置的硬件架构。

各功能模块以固件及可编程代码的形式存储于 C167 MCU 特定的存储空间中。其中，除 Rule 逻辑联锁等需二次编程外的所有程序都以固件形式存储于 Program Memory，Rule 等逻辑联锁程序在系统预留的 IEC Program Memory 存储。

## 2 高压直流输电测控装置联锁图形化二次编程功能的研究及实现方法

### 2.1 测控装置联锁图形化二次编程功能实现原理

本文采用的技术方案是: 采用 16bit/32bit 微处理器为核心, 协同 100V DC 开入模块, 带继电器操作回路的开出模块以及 16 路 AC 模拟量采集模块的硬件架构, 基于 C 等高级语言实现了工业 I/O 采集、输出等基础功能, 在此基础上, 将现场层测控装置的基本功能如开关量数据采集, 模拟量数据采集, 顺序事件记录生成, 辅助及调试, 与主控制设备 PROFIBUS DP 通讯等模块采用 Firmware 形式封装于测控装置 IEC Program Memory 中; 而将应用于应用场景有关需频繁修改的逻辑联锁功能以基于 IEC61131 LD 和 CFC 语言的形式, 按照 LD 语言生成自动以文本语言, 文本语言通过编译器与链接器链接生成机器码, 通过约定的通讯协议通过 RS232 下装到测控装置的 IEC Program Memory 中, 测控装置按照一定的方式周期调用该部分程序, 从而实现高压直流输电现场层设备逻辑联锁等二次编程需求。

逻辑联锁等需二次编程的程序通过上位机-目标机的交叉编译系统实现, 编译器实现原理图如图 3 所示, 其具体方式是: 基于 IEC61131 语言设计

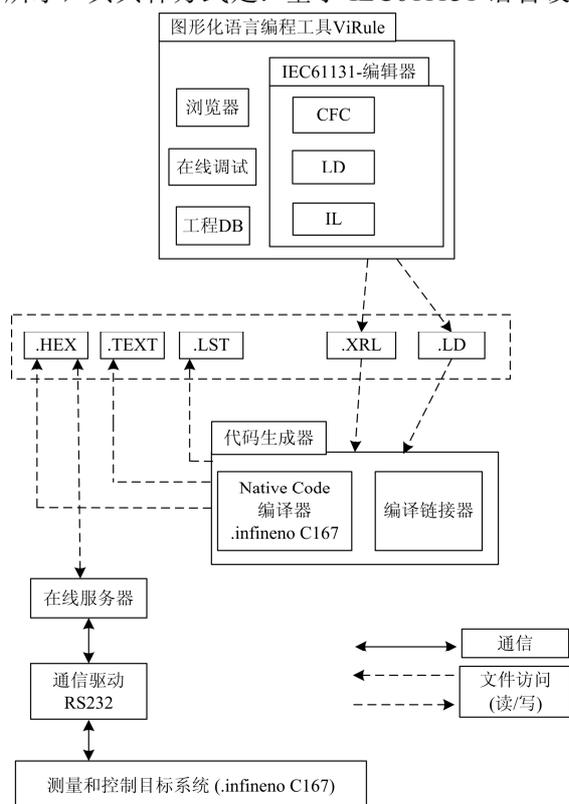


图 3 图形化语言生成文本语言功能介绍

Fig. 3 Features of graphic language to generate text language

一个图形化语言编程工具 ViRule, 实现 I/O 量的置位、复位、保持、与、或、非等逻辑与配置功能。该工具包含用户程序图形化编程界面, 图形化设计语言可采用 CFC 或者 LD 的形式, 编辑时可以拖动功能块到编辑界面, 然后进行连线操作, 图形化程序以 .XRL 文件存储, 通过其内置语言翻译器, 生成以 .TXT 文件形式的中间代码, .TXT 中间代码通过基于 .infineno C167 的 Native Code 编译器和链接器生成可供 MCU 识别的目标代码。该目标代码以 .HEX 文件形式存储, 至此, 上位机的编程工作完成。

上位机与目标系统(测控装置)通过基于 RS232 的方式, 采用一种可靠的通讯协议将 .HEX 文件下装至测控装置 IEC Program Memory 绝对地址中且固化。系统上电后, 其内部调度会去实现对 Rule 代码的周期调用。测控装置中以 Firmware 形式存贮的基本功能与 Rule 等二次编程功能以周期调用的方式实现调用, 数据交互以绝对地址映射的方式显示开入开出变量的映射关系。

### 2.2 联锁逻辑功能模块描述和规则设计方法

测控装置与联锁逻辑有关的数据主要有 3 类, 分别是开关量输入, 开关量输出和状态变量, 以上三种数据在 DFU410 内部存储, 内部数据的简介如表 1 所示。

表 1 DFU410 内部数据  
Table 1 DFU410 internal data

项目	解释
I1-I72	开关量输入, 由装置采集外部信号
S1-128	状态变量, 根据 ViRule 程序逻辑产生
O1-O48	开关量输出, 根据 ViRule 程序逻辑产生

测控装置提供的联锁逻辑控制功能, 主要利用设计规则的方法实现。所谓规则就是利用输入的数字量和内部状态变量控制测控装置的 RELAY 插件, 实现可编程的联锁控制功能。

规则具有如下特点:

- (1) 规则控制的 RELAY 输出不会接受现场总线主站的影响;
- (2) 正常操作时, 在测控装置上电和 4 ms 周期内, 规则会被执行一次;
- (3) 可以利用 Simulating the inputs 测试规则;
- (4) 当启动本地控制模式时, 规则控制的输出会被忽略; 取消本地控制后, 规则重新控制输出;
- (5) 规则产生的置位、复位、阻塞, 将不会产生发送到中心控制站的信息。

规则的功能模块主要包括表 2 中的几种。

表 2 规则函数

Table 2 Rule function types

函数	描述
SET	可编程条件为真时, 自动设定输出
RESET	可编程条件为真时, 自动 reset 输出
BLOCK	可编程条件为真时, 禁止输出改变
ENABLE	可编程条件为真时, 使能输出改变
AENABLE	可编程条件为真且主站请求时, 设置输出 (其他情况输出被复位)
ABLOCK	可编程条件为假且主站请求时, 设置输出 (其他情况输出被复位)

Rule可编程代码与测控装置基本功能代码的调用关系如图4所示。系统上电后, 经过自检程序后, 会启动1 ms和4 ms两个中断任务, 如图4(a), 4 ms任务主要开出命令, 将开入数据映射至Rule数据映射区, PROFIBUS DP通讯等所有测控基本功能; 此外, Rule程序的调用也是在这个任务中, 读取I1-I72开入变量和S1-S128内部变量数据, 然后通过绝对地址调用的方式跳转至IEC Program Memory执行Rule程序, 完成后将更新后的S1-S128和O1-O48等变量存储其映射表中实现对开出的逻辑控制, 这部分任务调用周期是4 ms, 如图4(b); 1 ms任务主要实现的是负责开入数据采集及SER顺序时间记录生成等对时间要求苛刻的功能, 如图4(c)。

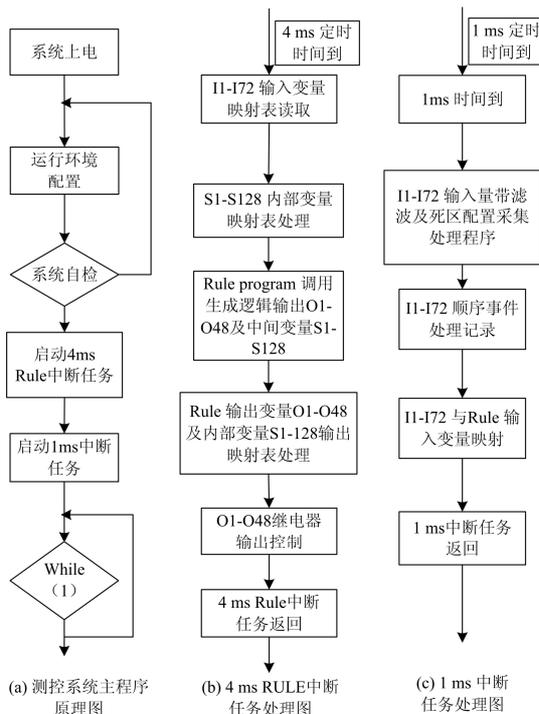


图 4 Rule 可编程代码与测控装置基本功能代码的调用关系  
Fig. 4 Relationship between Rule programmable codes and measurement & control device basic function codes

### 2.3 DFU410 内部逻辑联锁在线显示功能实现方案

图形化编程工具 ViRule, 具备编程、编译、下载和在线显示功能。

规则利用的输入变量包括输入的 1-72 路数字量 I1-72 以及装置内部的状态变量 S1-128, 均是二进制变量, 在线显示 0, 1。其中对于规则中利用的数字量输入有以下特点:

- (1) 对于 1-72 路输入, 任何一路都可以作为规则的输入。
- (2) 对数字信号跳变的检测不存在延时。
- (3) 规则进行编辑时, 不会考虑输入通道的死区时间和滤波时间。
- (4) 规则进行编辑时, 不会考虑输入通道的逻辑电平(正或者负)。

规则中利用到的装置内部状态变量如表 3 所描述。

表 3 规则中的状态变量

Table 3 State variables in Rules

状态变量	描述
1	DFU410 装置状态, 如果下面的条件都满足, 设置为“1”: (1) 存储器(RAM, EEPROM)正常; (2) 内部硬件看门狗不产生复位; (3) 双电源正常工作; (4) 在 30 min 的时间窗内, 正确接受时间同步信号。
2	如果消息缓存溢出, 设置为“1”。当消息缓存器中有 500 条未发送的消息, 新消息(非系统消息)到来会导致缓存溢出。如果按下“LED-TEST”按键, 该状态变量会复位。但是如果消息到来时, 状态变量会被立即置位, 因为当按下“LED-TEST”按键时, 消息缓存未清空。伴随着按键“LED-TEST”按下, 任何消息告警都会被报告。
3	该状态变量从不会被复位, 其余和变量 S2 相同。
4-128	可以在编辑规则时利用。

开关量输出 O1-O48 是字节数, 有具体含义, 见表 4。

当用户点击在线按钮后, ViRule 向装置发送请求数据报文, 装置收到后回复相应的数据, 实现双方数据交互, 同时 ViRule 显示接收到的数据。

表 4 规则中的输出变量

Table 4 Output variables in Rules

O1-O48 数据内容	含义	操作
0	No action to the relay outputs	无操作
0x2	Always reset the output	分开
0x3	Always set the output	闭合
0x4	Always set the output	闭合
0x5	Always reset the output	分开
0x9	Don't allow new orders to the output if expression TRUE	条件闭锁新开出动作
0x10	Don't allow new orders to the output if expression FALSE	条件闭锁新开出动作
0x20	Always reset the output	分开
0x21	Allow master output	允许主站
0x40	Allow master output	允许新开出动作
0x41	Always reset the output	分开

### 3 高压直流输电测控装置联锁图形化二次编程功能在 DFU410 测控平台的实现及实验研究

#### 3.1 ViRule 联锁逻辑编辑器工具栏和编辑窗口应用

ViRule 的主要功能是为了实现 DFU410 的联锁逻辑功能的可视化编辑, 编辑时可以拖动功能块到编辑界面, 然后进行连线操作, 以 XML 文件存储, 编译可以生成 Rule 文件, 包括 XRL 文件, TXT 文件, LST 文件, 以及 HEX 文件。Rule 文件里面是我们需要的各种规则, 最后这些规则生成机器码, DFU410 装置可以利用生成的机器码实现内部联锁逻辑功能。

在菜单栏 Edit 中, 可以添加和删除一条 Rule, 也可以点击工具栏中的 Insert/Delete 按钮添加和删除一条 Rule, 添加一条 Rule 后效果如图 5 所示。

编辑窗口可分为四个区域, 如下所述。

(1) Comment 区域, 双击 1 区域任何位置可以输入文本信息进行描述。

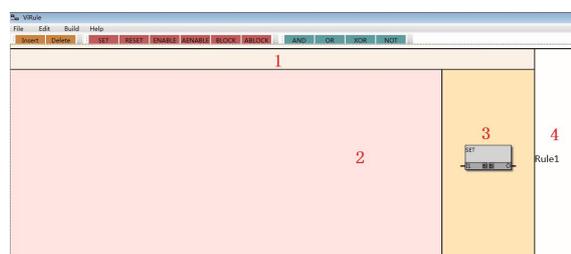


图 5 编辑窗口图

Fig. 5 Edit window figure

(2) Logic 区域, 在这个区域可以添加逻辑功能块(AND、OR、XOR、NOT 四个), 直接拖动工具栏中的 AND/OR/XOR/NOT 按钮到 Logic 区域即可, 在功能块的管脚之间可以连线, 如图 6 所示, 并且可以在管脚上添加变量或者直接写 TRUE 或 FALSE, 如图 7 所示。

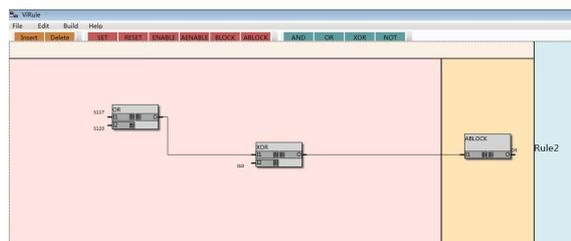


图 6 实例图

Fig. 6 Instance figure



图 7 变量窗口图

Fig. 7 Variables window figure

(3) Command 区, 添加一条 Rule 默认是 SET 功能块, 可以点击工具栏中 SET/RESET/ENABLE/AENABLE/BLOCK/ABLOCK 按钮, 选择需要的功能块进行替换。

(4) 编号区, 选中一条 Rule, 编号区会由白色变为蓝色, 这时就可以对这条 Rule 进行操作了。

当编辑连线完毕之后, 点击菜单中 Build, 即可编译生成 Rule 文件, 如果没有新建或打开文件, 会提示你先另存为本工程, 然后 Rule 文件会保存在工程的相同目录下, 如果已经新建或打开文件, Rule 文件会直接保存到工程的相同目录下, 然后把 Rule 文件编辑生成机器码下载到板子中即可。

#### 3.2 ViRule 联锁逻辑编辑器应用示例验证

对于以下逻辑:

$$\text{SET } O1 = I1 \& I2 | (!I3 \& (I4 \& I40))$$

利用联锁逻辑编辑器 ViRule 可以编辑为图 8 所示。

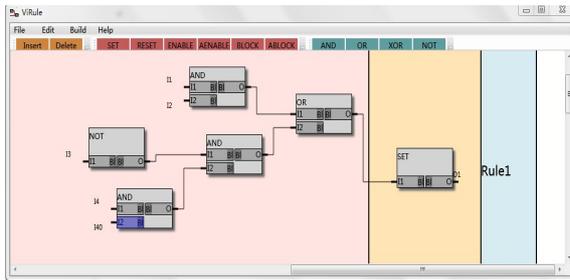


图 8 联锁逻辑功能编辑窗口

Fig. 8 Edit window of logic interlock function

图形化程序存储为 rule.xrl。点击菜单中 Build, 即可编译生成 Rule 文件, 首先通过其内置语言翻译器, 生成中间代码 rule.txt, 再通过 Native Code 编译器和链接器生成目标代码 rule.hex, 将 rule.hex 文件下载至测控装置, 可实现内部联锁逻辑功能。

如果一个输出被指定不只一次, 规则程序编译器不会进行检查。例如: 下面的规则程序被接受。

SET O1 = I1 & I2 (1)

RESET O1 = I1 & I2 (2)

如果这个规则程序被下载, 输入 I1 和 I2 都有高电平, 装置将会复位输出, 因为 RESET 规则在 SET 规则之后。

#### 4 结论

本文涉及一种高压直流输电控制保护系统测控装置联锁图形化二次编程功能的实现方法。

(1) 采用 16 bit/32 bit 微处理器为核心, 协同 100 V DC 开入模块, 带继电器操作回路的开出模块以及 16 路 AC 模拟量采集模块的硬件架构, 基于 C 等高级语言实现了工业 I/O 采集、输出等基础功能, 通过图形化的二次逻辑联锁功能, 实现用户对于采集量与输出量的逻辑功能开发。

(2) 在主板的底层固件中, 设计了基于 Native Code 的逻辑联锁功能解析器, 解析器与设备开入量与开出量的映射采用绝对地址映射方式。

(3) 二次逻辑编程语言采用图形化语言生成文本描述语言, 文本语言翻译成 Native Code 的方式。文本语言通过基于 C167 的汇编语言分析的词法分析器, 语法分析器, 代码生成器等生成机器能识别的 Native Code 代码, 通过工具下载至主板固定区域。

(4) 在 PC 机设计一种编程工具 ViRule, 结合了梯形图语言与 FB 语言的 IEC61131 编程语言, 通过友好的图像化编程语言, 实现 I/O 量的置位、复

位、保持、与、或、非等逻辑与配置功能。

#### 参考文献

- [1] 符国海. 可编程控制系统软、硬件互锁的设计[J]. 电气自动化, 1995(5): 52-53.  
FU Guohai. Design on interlocking of programmable control system software and hardware[J]. Electrical Automation, 1995(5): 52-53.
- [2] 韩伟. 换流站顺序控制和联锁[J]. 湖北电力, 2002, 26(5): 5-8.  
HAN Wei. Sequence control and interlocking for converter station[J]. Hubei Electric Power, 2002, 26(5): 5-8.
- [3] 陈希炜, 谢文涛, 张敏, 等. 基于 IEC61850 的超高压变电站联锁控制系统改造的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 123-160.  
CHEN Xiwei, XIE Wentao, ZHANG Min, et al. Application of interlocking control system modification in EHV substation based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 123-160.
- [4] 王彦宾, 张绍军, 杨广羽, 等. 特高压直流输电保护出口联锁回路研究[J]. 云南电力技术, 2014, 42(5): 35-37.  
WANG Yanbin, ZHANG Shaojun, YANG Guangyu, et al. Research and improvement on outlet interlocking circuit of DC protection in Yunguang UHVDC Project[J]. Yunnan Electric Power, 2014, 42(5): 35-37.
- [5] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.  
YU Gaowang. Research and application of multifunctional measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.
- [6] 黄国方, 梅德冬, 奚后玮, 等. IEC 61131-3 的可编程功能在变电站测控保护装置中的实现[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(3): 101-104.  
HUANG Guofang, MEI Dedong, XI Houwei, et al. Realization of programmable function based on IEC 61131-3 standard in measure-control and protection devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(3): 101-104.
- [7] 郭书杰, 马跃, 王品. 基于 IEC61131-3 的 IL 编译器的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(10): 2300-2307.  
GUO Shujie, MA Yue, WANG Pin. Design and implementation of IL language compiler based on IEC61131-3 standard[J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(10): 2300-2307.
- [8] 仲伟, 丁宁, 吴参林, 等. 图形化编程的继电保护软件

- 平台设计[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(3): 100-147.
- ZHONG Wei, DING Ning, WU Shenlin, et al. Software architecture and design of the schematic programmable development platform for protective relay[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(3): 100-147.
- [9] 卢娟, 李兆成, 陈钢杰, 等. 保护与测控领域通用可视化平台的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(4): 58-61.
- LU Juan, LI Zhaocheng, CHEN Gangjie, et al. Design and implementation of a universal visual platform in protection and M&C fields[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 58-61.
- [10] 傅亚光, 杨亚璞, 曾丽丽, 等. 基于 PROFIBUS DP 总线的换流站测控装置研制[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(19): 118-124.
- FU Yaguang, YANG Yapu, ZENG Lili, et al. Development of measurement & control device based on PROFIBUS DP for convertor stations[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19): 118-124.
- [11] 王伟, 周鹏鹏, 傅润伟, 等. 直流现场层模拟系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(8): 119-123.
- WANG Wei, ZHOU Pengpeng, FU Runwei, et al. Study on HVDC process field simulator system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(8): 119-123.
- [12] 张庆武, 潘卫明, 张靖, 等.  $\pm 1100$  kV 直流控制保护系统冗余设备故障处理的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 148-153.
- ZHANG Qingwu, PAN Weiming, ZHANG Jing, et al. Discussion on fault handles about redundant devices of control and protection system for  $\pm 1100$  kV UHVDC[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 148-153.
- [13] 胡欢, 王国玉, 曾丽丽, 等. 双系统双网络通道架构下的 HVDC 冗余网络通讯故障检测与控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(15): 103-110.
- HU Huan, WANG Guoyu, ZENG Lili, et al. Communication fault detection and control research in dual system with dual network channel architecture of HVDC control and protect system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(15): 103-110.
- [14] 陈宏君, 刘克金, 冯亚东, 等. 新一代保护测控装置配套工具软件设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 92-96.
- CHEN Hongjun, LIU Kejin, FENG Yadong, et al. Design and application of supporting tool software for new generation protection and measuring-control devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(20): 92-96.
- [15] 李轶群. 基于模块的可编程保护装置软件设计新概念[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(15): 66-69.
- LI Yiqun. The new software design method of module based programmable digital relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(15): 66-69.

收稿日期: 2015-12-17; 修回日期: 2016-03-18

作者简介:

岳亚菲(1988-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统自动化装置研发。E-mail: yueyafei\_xj@163.com

(编辑 张爱琴)