

[控制系统]

嵌入式软PLC在配电终端中的应用

文/积成电子股份有限公司 付连强

在配电终端通用微处理器系统上，采用C语言开发出一种方便移植的嵌入式软件平台，实现了PLC（可编程序控制器）功能。同时，该软件平台具有逻辑功能在线编程及图形化的开发界面。使设计人员和用户可以根据实际需要，利用图形化的开发环境，在线编写出所需的各种逻辑功能。在配电终端中实现PLC功能，使装置集PLC和通用微处理器的优点于一身，符合未来电力系统的应用。

随着电力市场和经济建设的发展，配电网供电可靠性已成为供电企业首先考虑的重要问题，实施配网自动化是提高供电可靠性、保障供电质量的有效手段。国家能源局在2015年发布了《配电网建设改造行动计划（2015—2020年）》，计划中提出：2015—2020年，配电网建设改造投资不低于2万亿元。配电网自动化建设进入大规模投资发展阶段。

配电终端主要实现“三遥”及简单故障诊断功能（相间短路、单相接地等），结合一次开关（断路器、负荷开关等），并与配电主站配合，可以完成10 kV配网线路的故障诊断、故障区段隔离、网络重构和非故障区段的正常供电，是配电网自动化系统中的重要组成部分，在整个系统中起到举足轻重的作用。

随着配电网的日益发展，特别是分布式能源接入、微网等技术的发展，使得配电网的故障判断越来越复杂，灵活改变判断逻辑等新的需求不断出现。目前，配电终端软件设计存在的问题是：程序一旦固化很难改变其判断逻辑，增加新功能更是不可能，除非重新改写程序。PLC具有逻辑在线编程、图形化设计等优点，其灵活性非常适合电力系统的发展，随着其在电力系统中的

应用，传统的配电终端将面临巨大挑战。

为了使配电终端也具有PLC的优点，本文在现有配电终端软件基础上开发出一套软件平台，实现了PLC的功能；并用VC++开发出使用功能块图（Function Block，FB）编制PLC功能的图形化设计环境，使设计人员和用户能够利用图形化的编程语言来描述需求，完成新功能开发并在线编程，不需要更新配电终端程序，简化了产品的开发过程，同时也大大提高了系统的稳定性、可靠性和可移植性。

PLC软件平台总体架构

本文设计的PLC软件平台包括两部分：运行在PC机上的图形编辑软件和运行在配电终端上的PLC解释程序。

1) 图形编辑软件运行于PC上，设计了采用功能块图编辑PLC逻辑的图形化开发界面，以及类似于西门子PLC的指令系统。该软件可以将图形化的逻辑示意图转化成指令表（IL），通过串口或网络将其下载到配电终端的非易失存储器中。采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”进行编程（功能块图），即使工程技术人员不熟悉PLC编程也能很快掌握使用。

2) PLC解释程序运行在配电终端上, 作为一个任务, 周期调用。配电终端上电初始化时把保存在非易失存储器中的指令表调入内存, 以加快程序运行速度。配电终端正常运行时, PLC解释程序每10 ms执行一次, 程序开始前把配电终端采集的模拟量及开关量数据及其他一些状态量放到输入影像暂存区中, 然后根据指令表执行逻辑功能, 结束后把执行结果放到输出影像暂存区, 根据输出影像区的内容执行相应的操作。比如刷新软遥信状态, 执行遥控输出等。

功能块图编辑软件

图形编辑软件依据IEC 1131-3相关标准并结合电子公司的配电终端特点进行设计。软件中包含了IEC 1131-3标准定义的基本逻辑功能元件和功能块。同时, 具有使用基本功能元件组合生成用户自定义功能块的功能。软件界面如图1所示。

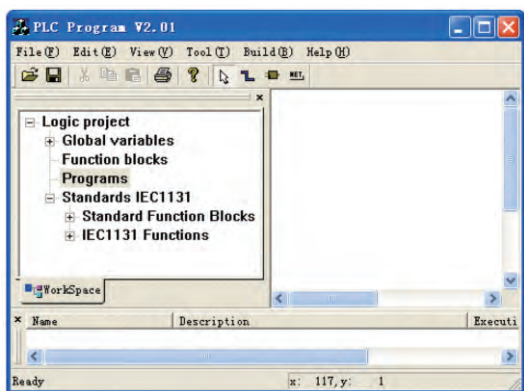


图1 图形编辑软件界面

图形编辑软件采用功能块图(FBD) 编程语言实现逻辑功能的编程。界面的右面空白区域为功能块图编辑区域。此区域为功能块图的输入和编辑提供了创建、移动、删除及链接等操作。以简单的遥控操作为例, 功能块图如图2所示。

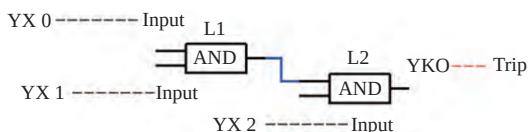


图2 遥控操作功能块图

如图2所示, 功能块图由功能块单元、连接线和标签组成。其中功能块单元以矩形表示, 矩形内的文字表示功能块的种类名称, 矩形上面的文字由软件自动生成功能单元的编号; 功能块

单元的左端为输入端, 右端为输出端; 连接线是从一个功能块的输出端到另一个功能块的输入端的一条蓝色连线, 用于表示功能块间的连接关系; 标签用于表示变量和功能块单元输入、输出间的链接关系, 变量可以是用户自定义的变量、配电终端的I/O量及常数。图3所示为标签属性设置界面。

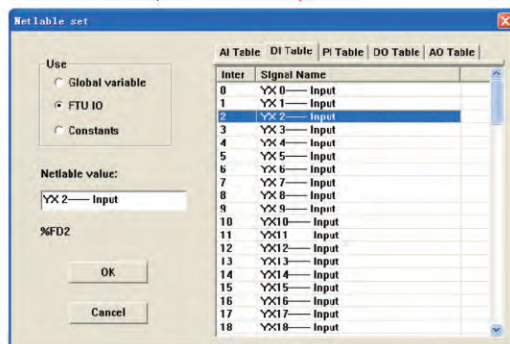


图3 标签属性设置窗口

图2所示的功能块图表示的逻辑关系为: $YK0\text{跳闸} = YX0 \& YX1 \& YX2$ 。此逻辑关系式表示: 当YX0、YX1、YX2都为TRUE (TRUE为合, FALSE为分) 时可以触发0路开关跳闸。

对应案例如下: 现场需要实现简单的保护功能, 当发生短路故障时开关自动跳闸, 跳闸有两个闭锁条件, 一是跳闸功能投入, 二是开关位置为合位。YX0采集跳闸功能投入压板状态, 当压板闭合时跳闸功能投入, YX0为合, 当压板打开时, 跳闸功能禁用, YX0为分; YX1接开关位置辅助触点, 当开关合位时, YX1为合, 当开关分位时, YX1为分; YX2信号来自故障指示器, 当发生短路故障时故障指示器动作, YX2为合, 正常运行时YX2为分; 图2的逻辑实现了如下保护功能: 当开关为合位且允许跳闸时, 线路发生短路故障, 开关自动跳闸。

以上功能块图通过编译生成如图4所示的指令表。

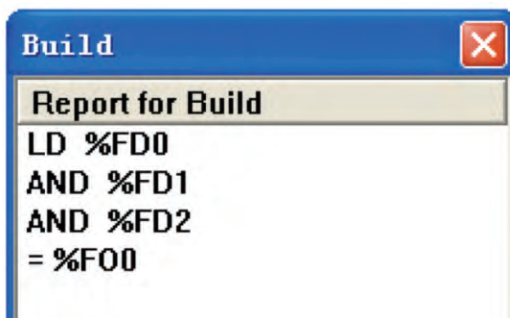


图4 指令表

其中，LD, AND, = 为操作符，其意义分别为取值、逻辑与操作、输出。%FD0、%FD1、%FD2、%FO0为操作数，其意义分别为YX0、YX1、YX2、YK0跳闸。上述指令表执行过程如下：读取YX0的状态与YX1进行与逻辑运算，再与YX2进行与逻辑运算，如果运算结果为真，则执行开关0跳闸操作，否则不执行。通过串口或网络把指令表下载到配电终端，配电终端通过PLC解释程序的运行，实现了上述保护功能。

在指令表中，用以下结构表示功能块图中的3种变量（用户自定义变量、配电终端的I/O量及常数）

%<Field1><Field2>[Field3]

其中，%号指示其后为变量；<>表示此域是必须的，[]表示此域是可选的；Field1为变量类型，长度为一个字符（M表示用户自定义变量，F表示配电终端的I/O量，C表示常量）；Field2根据Field1的取值不同意义不同，长度也不同。Field3根据Field1和Field2的取值而定。当Field1为M时，Field2取值为X、B、W、D用于表示此变量的数据类型分别为布尔、字节、单字、双字，此时Field3不存在。当Field1为F时，Field2取值为A、D、M、O、B分别表示遥测、遥信、遥脉、遥控、设点，Field3为其点号，每一个I/O量在配电终端中有唯一的点号相对应。当Field1为C时，Field2为常量的数值，Field3不存在。

用助记符表示取值、逻辑运算、输出等操作，比如LD代表取值；AND代表逻辑与运算；OR代表逻辑或运算；GE代表大于等于运算；MOVE代表赋值运算；NOT代表取反等。指令结构为

指令助记符[若干空格]操作数[回车换行]

一行仅执行一种指令，进行一种运算。

通过以上约定，使用功能块图编辑软件就能实现对配电终端的输入量及输出量的在线编程。配合配电终端上的解释程序，配电终端便具有了PLC功能。

PLC解释程序

由功能块图编辑软件生成的指令表通过串口或网络下载的配电终端的掉电不丢失存储器中。配电终端运行时，首先把指令表调入内存，然后，嵌入式操作系统周期调用解释程序，对指令

表进行解析，完成PLC功能。

在配电终端中由两个任务共同协作来完成PLC功能。一个任务2 ms执行一次，主要功能如下。

1) 把配电终端采集的模拟量及开关量数据及其他一些状态量放到输入影像暂存区中。此操作由一标志（输入影像区是否可以刷新标志）控制，只有当此标志为真时，才可以刷新输入影像区的内容。

2) 根据输出影像区的内容执行相应的操作。此操作由一标志（是否可以输出标志）控制，只有当此标志为真时，才可以输出。执行结束后置此标志为假。

另一个任务10 ms执行一次，主要功能是：逐行解析指令表，根据操作符执行相应的逻辑运算，根据操作数获取所要的数据。并把运算结果放到输出影像区。此任务进入时置输入影像区是否可以刷新标志为假，禁止刷新输入影像区的内容，实现数据锁存功能。并置是否可以输出标志为真，允许输出操作，并等待此标志为假时执行指令表解释工作。此任务退出时，置输入影像区是否可以刷新标志为真，可以刷新输入影像区的内容。

两个任务从宏观上实现了PLC的工作原理及特点。

1) 扫描工作方式。10 ms任务解释指令表时从第一条指令开始，按存储顺序的先后，逐条执行，直到结束。因此配电终端以10 ms为一个扫描周期，周而复始地重复进行。

2) 集中采样。10 ms任务没有运行期间，2 ms任务周期刷新输入影像区，即对输入状态进行采样。当10 ms任务运行期间2 ms任务不再刷新输入影像区。实现了在一个扫描周期中，对输入状态的采样只在扫描开始前执行。

3) 集中输出。10 ms任务刚进入时允许2 ms程序执行输出操作并等待其执行结束后，再进行指令表解释工作。指令表解释期间如果对输出结果多次赋值，也只有最后一次有效。因为在一个扫描周期将输出状态从输出映像寄存器中输出，只进行一次。

红色方框代表2 ms任务的执行时间。蓝色方框代表10 ms任务的执行时间。在蓝色所占时间内，2 ms任务不刷新输入影像区，其他时间2 ms任务刷新输入影像区，即在蓝色框左侧的红色框实现了集中采样。蓝色和红色重叠的时间，2 ms

（下转第93页）

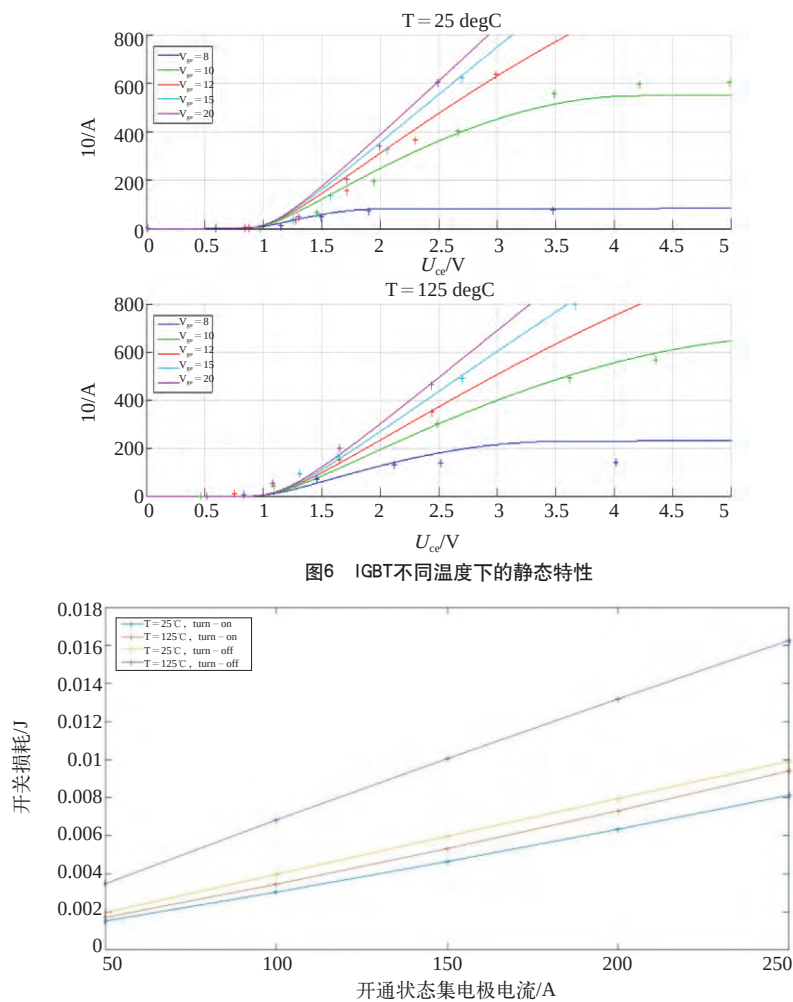


图6 IGBT不同温度下的静态特性

图7 IGBT不同温度下的开关损耗

结束语

通过在Matlab中搭建IGBT特性的测量电路，并对IGBT的静态特性、动态特性及热特性进行仿真，仿真结果能够较为准确地仿真IGBT

的各个特性，为进一步深入研究IGBT做了充分的准备工作。[EA](#)

(收稿日期：2016.09.30)

(编辑：杨得润)

(上接第90页)

任务执行输出操作，操作完成后，10 ms任务进行指令表解析，即在蓝色框中间的红色框实现了集中输出。

结束语

本文提出将软PLC的设计思想应用于配电终端，并设计了图形化的设计平台，通过设计功能块图，就可以不修改配电终端程序，而改变配电终端的功能。配电终端设计人员和电力用户可以

根据实际需要，利用图形化的开发环境，在线编写出所需的各种逻辑功能。在配电终端中实现PLC功能，使装置集PLC和通用微处理器的优点于一身，符合未来电力系统的应用。

在当前配电自动化不断升级、配电终端功能不断发展变化的形式下，配电终端中实现PLC功能必将成为趋势。[EA](#)

(收稿日期：2016.09.29)

(编辑：杨得润)