

# 数字化保护采样值接口模块设计与实现

胡 国,姚德泉,张宏波,吴 海  
(国网电力科学研究院 / 南京南瑞集团公司,江苏 南京,210003)

**摘 要:**数字化变电站中保护装置采样由自我控制的模拟数据(AD)采样转变为间接的通讯获取。分析了这种转变对保护采样值(SV)接口模块研发的新要求,建立了 SV 模型,分析了其映射实现并研究了采样及采样同步技术。最后对基于大型可编程逻辑器件(FPGA)及同步串口(SPORT)总线技术研制的 SV 单元模块软、硬件结构进行了设计说明,该模块可根据装置需要多重配置,适用于各种类型数字化保护。

**关键词:**数字化保护;采样值;时钟同步;采样同步;可编程逻辑器件;同步串口

**中图分类号:**TM73;TM764**文献标志码:**B**文章编号:**1009-0665(2012)01-0042-04

数字化变电站中,电压、电流等信息采集由数字式互感器和合并单元配合完成实现数据共享,保护装置信息由合并单元通信输入,针对外部信息通道的不确定性,信息数据冗余性,信息到达的不均匀性,通信延时不一致及外部数据异常等特性,文中对保护装置信息采集模块进行研发。建立了符合工程应用的保护采样值(SV)模型,分析了其映射实现并研究了同步技术及其实现,最后描述了 SV 接口模块的软硬件结构。该模块与保护模块独立运行,可根据装置需要多重配置,适用于不同类型数字化保护。采用此 SV 接口保护装置已在洛川 750 kV 智能变电站挂网试运行。

## 1 SV 模型

IEC61850 标准要求装置必须建立模型,过去 SV 信息经常不在装置模型中体现,而是工程人员自己沟通后配置各自的 SV 配置文件。由于保护装置需要与多个合并单元或多个通道通信,且每个合并单元的通道内容顺序都不一致,导致了外部信息通道的不确定性。SV 信息不体现在装置模型中不利于系统集成商系统集成与通道拉线配置。因而国家电网颁布的《IEC 61850 工程继电保护应用模型》中对 SV 模型和实施规范就做出了明确要求。

SV 模型的建立满足了 IEC 61850 标准要求,确切描述了信号的含义。模型作为 SV 连线的依据,有助于系统集成。

IEC 61850 标准采用面向对象的建模方法对整个电力系统进行统一建模,其建立了完整的分层数据对象模型。基本信息模型包括访问点(AP)、服务器(server)、逻辑设备(LD)、逻辑节点(LN)、数据(DATA)及数据属性(DataAttribute)。每个信息单元都由属性和服务组成。

## 1.1 SV 模型的建立

按照 IEC 61850 面向对象的建模方法和国家电网《IEC 61850 工程继电保护应用模型》建立单个 SV 网络模型示意如图 1 所示。对于多个独立 SV 网络再增加访问点即可。

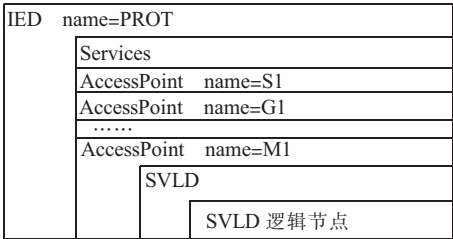


图 1 SV 模型示意图

图中:M1 为保护装置中 SV 访问点;SVLD 为保护 SV 逻辑设备,其逻辑节点根据保护设定。以单母线 24 间隔母线差动保护为例,其 SV 相关逻辑节点如表 1 所示。表中逻辑节点类在 IEC 61850 标准和国家电网《IEC 61850 工程继电保护应用模型》作了明确规定和建模。

表 1 SV 相关逻辑节点

逻辑节点	逻辑节点类
管理逻辑节点(Inputs 部分定义了该装置输入的 SV 连线)	LLN0
物理设备逻辑节点	LPHD
间隔 1 A 相保护电流互感器	TCTR
间隔 1 B 相保护电流互感器	TCTR
间隔 1 C 相保护电流互感器	TCTR
.....	
间隔 24 A 相保护电流互感器	TCTR
间隔 24 B 相保护电流互感器	TCTR
间隔 24 C 相保护电流互感器	TCTR
母线 A 相电压互感器	TVTR
母线 B 相电压互感器	TVTR
母线 C 相电压互感器	TVTR
采样输入(额定延时等)	GGIO
SV 告警	GGIO

1.2 SV 映射及实现

尽管 IEC 61850-9-2 支持向 MMS 映射, 支持对采样数据集的修改和直接访问数据。但由于 MMS 的复杂性, 在 SV 传输这部分暂不进行实现, 目前实现SV 传输都直接映射数据链路层。在有了《智能变电站继电保护技术规范》标准后, IEC 61850-9-1 标准基本不采用, 当前 SV 传输主要是 IEC 61850-9-2 及 IEC 60044-8 的实现。

IEC 61850-9-2 采用基于 ISO/IEC 8802-3 的以太网帧结构, 其中 IEC 61850-9-2 采样值 APDU 采用与基本编码规则(BER)相关的 ASN.1 语法对通过 ISO/IEC 8802-3 传输的 SV 信息进行编码。APDU 映射报文结构如图 2 所示。其中 SV 序列值内容由数据集决定。

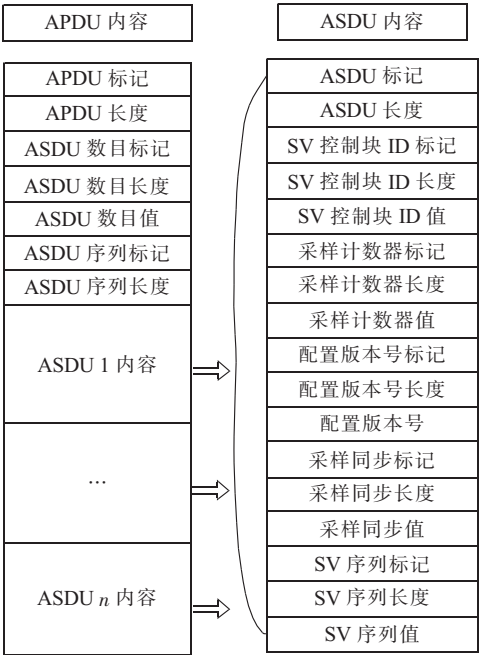


图 2 IEC 61850-9-2 MSV 中 APDU 格式

IEC 60044-8 链路层选择 IEC 60870-5-1 的 FT3 格式,采用曼彻斯特编码。应用层国网扩展报文参见国网公司《智能变电站继电保护技术规范》。

2 同步技术及实现

由于外部采样频率高于装置频率且采样频率可能不一致,决定了保护装置必须重采样。而重采样时间的选取一般以该装置时钟为基准。对于点对点通信模式, 由于每帧信息仅含有一个采样点数据, 保护装置可对该采样点打上该装置的时间戳。而组网 IEC 61850-9-2 信息, 由于一帧报文可能含有多个采样点信息, 只能通过报文中采样计数标识采样点时间, 故而要求装置时间与外部时钟同步。

2.1 时钟同步

标准<sup>[1]</sup>要求保护装置应不依赖于外部对时系统

实现其保护功能,对于点对点通信保护装置可以不依赖于外部时钟, 但对于采用 IEC61850-9-2 协议组网保护测控装置,在有效利用统一网络情况下装置时钟网络可能与 SV 网络复用, 如何提高同步的精度及可靠性,在同步源丢失情况下最大限度实现保护功能等新的问题需要研究。

当前与 SV 网络复用对时采用 IEC61588 V2。一般采用专用硬件在以太网媒体访问控制层(MAC)打时间戳并结合软件处理运算得出当地时间偏移,通过硬件进行时钟补偿和同步,同步精度可以达到亚微秒级<sup>[2]</sup>。

2.2 采样同步

由于合并单元采集频率(一般 4 K)高于装置数据处理频率(一般 1 K 或者 1.2 K),各合并单元数据到达装置时间不一致且一帧数据中可能包含多次采样信息, 另外单个 SV 模块有可能处理不了所有信息,需要多个 SV 模块处理等原因,如何实现装置采样的同步,满足保护模块处理能力及保护装置的快速性要求值得研究。另外由于数据采集,通信过程中受到干扰后不可避免地出现数据异常或无效的情况,处理不当可能引起保护的不正确行为,需要研究如何实现在数据异常情况下最大限度消除对保护本身的影响。

由于外部输入采样频率可能不一致且信号输入频率大于保护处理数据频率,需要将采样频率统一到保护处理频率,并且需要将数据重采样至同一时刻。一般采用插值方法进行同步处理,该接口采用拉格朗日插值实现采样同步,其插值精度满足保护要求<sup>[3]</sup>。

由于需要对高采样频率信号采样数据低通滤波,而不同频率低通滤波将引起不同的附加延时<sup>[4]</sup>,另外外部合并单元数据到达保护装置的延时也不一致,既要保证采样数据的同步性,又要最快速度向保护输送数据以保证保护的速动性要求,重采样时间选择成为了关键。

2.2.1 重采样时间

有些保护装置为保证数据同步采用增加预留缓冲区间方法在全部信息到达之后进行重采样<sup>[5]</sup>,而保护速动性要求数据到达之后尽快进行重采样,该接口重采样时间通过程序自动计算获取最快重采样时间。装置采样同步时序如图 3 所示。合并单元 1 在 samp 时刻采集的数据在  $S_1$  时刻向保护装置发送, 总共经过  $T_{n1}(L_1-S_1)$  延时在  $L_1$  时刻到达保护装置接口 1, 信号经过低通滤波后产生滞后时间  $T_{d1}$ ,再考虑到合并单元报文时间间隔  $T_{11}$  和相对裕度  $T$ , 对本地时间重采样时刻选为该 4 个时间的总和。

在获取 SV 通信延时及采样信号频率情况下, 可以计算出各个 SV 模块相对本地时刻的重采样时刻为:

$$T_s = \max_{\text{osin}} T_{ri} + \max_{\text{osin}} T_{di} + \max_{\text{osin}} T_{ui} + T \quad (1)$$

式中:  $T_{ri}$  为第  $i$  个信号到达保护通信延时;  $T_{di}$  为根据第  $i$  个信号采样频率算出的低通滤波延时;  $T_{ui}$  为根据第  $i$  个信号报文通信频率算出的报文间隔时间;  $T$  为延时裕度。装置综合各接口模块, 相对本地时刻的重采样时刻:

$$T_s = \max_{\text{osin}} T_{si} \quad (2)$$

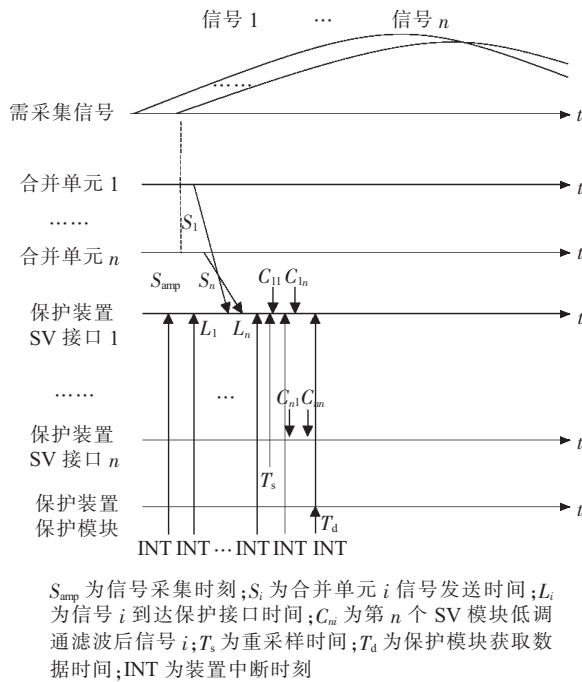


图3 采样同步示意图

### 2.2.2 采样同步实现

对于外部报文点对点输入, 模块硬件对报文到达时刻打上本地时间戳<sup>[2]</sup>, 该时间减去延时时间即为采样实际时刻, 低通滤波后, 通过上节得到的重采样时间, 对外部采样数据进行拉格朗日插值以实现采样同步。

对于接收组网 IEC 61850-9-2 报文, 由于输入信号频率大于保护装置信号频率, 仍需要进行重采样处理。可以将报文中采样计数转换为时间, 在保护装置与时钟同步时可以认为该时间为本地时标轴上时间, 即可进行插值计算。若保护装置时钟丢失, 在装置失步情况下, 由于本地时钟与外部时钟不一致, 将不能直接进行重采样, 这将造成保护性能的丢失。对于这种情况, 可采用外部数据调整时钟的办法保证后备保护仍能起作用。具体做法为判断主 SV 接口模块外部数据是否同步, 若同步则根据该同步计数调整装置的中断, 即可保证装置与外部数据基本

同步。该方法虽不能保证保护使用数据是与绝对实际时间相对应的数据, 但是可以保证是同一时刻数据, 使保护在该种情况下最大程度发挥作用。

对于外部采样数据品质异常或报文丢失, 若出现单点采样数据出错, 对拉格朗日插值采用降阶处理, 其精度满足一般保护计算精度要求<sup>[3]</sup>, 对于外部输入连续多点出现数据异常, 才将数据置为无效。采用该方法, 在采样偶尔出错或通信偶尔丢帧或报文传输延时偶尔异常时, 保护逻辑仍可正常运行, 有效避免保护瞬时闭锁, 延时开放可能带来的保护拒动。

## 3 软件及硬件设计

由 SV 接口模块采集、处理保护所需数据传送到保护模块, 对于信号量或外部通信端口较多的情形, 装置可以配置多个 SV 接口模块。SV 接口模块硬件采用低功耗, 32 位高性能 DSP, 利用大容量可编程逻辑器件 (FPGA) 技术及同步串口 (SPORT) 总线技术设计。单个模块硬件原理如图 4 所示。

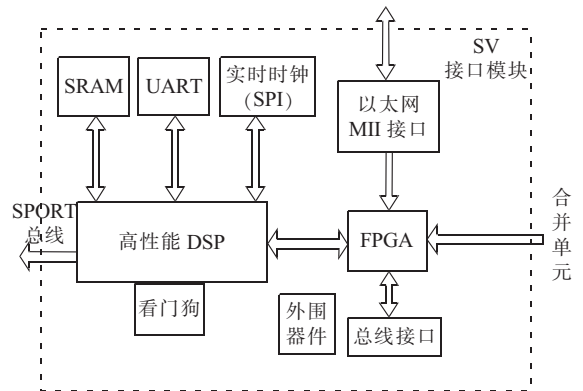


图4 硬件框图

FPGA 主要完成外围器件控制, 实现对外部 IEC 60044-8, IEC 61850-9-2 和 IEEE 1588 报文进行硬件解码, 解码同时锁存当前系统时钟, FPGA 总线接口用于各 SV 模块之间信息交互, SPORT 总线用于 SV 接口模块向保护模块传送数据。

SV 接口模块软件主要结构框架如图 5 所示。

装置同步模块: 读取 IEC 1588 报文和时钟进行逻辑处理, 对装置时钟进行同步。

低通模块: 对采集的原始信号进行低通滤波。

板件调度模块: 各个 SV 接口模块调度, 如主从时钟, 异常情况下重采样时间计算等。

重采样模块: 完成信号窗的选取、插值及品质异常等处理。

输出模块: 传送实时采集信息到保护模块。

信息交互模块: 各个 SV 接口模块之间信息交互, 如板件的异常信息等。

利用上述方案研制的 SV 接口模块, 其配置灵



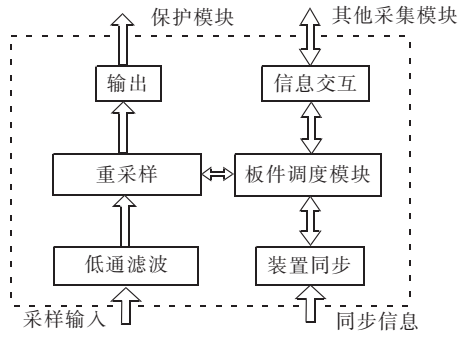


图 5 软件框架图

活，仅将传统保护的采样独立出来，不影响保护算法，减少了保护模块修改时间及修改带来的不确定性；缩短了固定设置重采样时间带来的数据滞后性，例如对于保护装置 24 点中断，外部信号 4 K 频率输入，重采样时间选在中断时刻情形下，采用该种方案设计，将使得保护获取到的数据提前 500 μs 左右。

4 结束语

文中对数字化变电站中保护 SV 接口关键技术与实现进行了研究与设计，建立了接口模型，分析了其映射实现，研究了时钟同步、采样及采样同步技术。最后采用大型 FPGA 及 SPORT 总线技术研制出该模块。使用该接口模块的保护装置于 2011 年在我国电压等级最高的智能变电站 750 kV 洛川变变

电站试运行，除为保护装置及时正确动作提供数据，对合并单元采样数据异常，通信异常等问题能及时响应，其运行稳定，各项技术参数令人满意。

参考文献：

[1] Q/GDW441—2010, 国家电网公司. 智能变电站继电保护技术规范[S].  
[2] 胡 国,唐成虹,徐子安,等.数字化变电站新型合并单元的研制[J].电力系统自动化,2010,34(24):51-54.  
[3] 曹团结,尹项根,张 哲,等.通过插值实现光差动保护数据同步的研究[J].继电器,2006,34(18):4-8,26.  
[4] 吴崇昊,陆于平,徐光福,等.适用于母线保护的电子互感器采样频率转换算法[J].电力系统自动化,2007,31(3):79-82.  
[5] 蒋雷海,陈建玉,俞拙非,等.数字化保护采样数据处理方案[J].电力系统自动化,2010,34(17):42-44.

作者简介：

胡 国(1977),男,江西抚州人,工程师,从事变电站综合自动化及嵌入式软件在电力系统内应用的相关研究与开发工作;  
姚德泉(1982),男,江苏连云港人,助理工程师,从事变电站综合自动化工作;  
张宏波(1975),男,吉林伊通人,工程师,从事嵌入式软件在电力系统内应用的相关研究与开发工作;  
吴 海(1978),男,江苏江都人,工程师,从事电力系统自动化开发工作。

Research on Sampling Value Interface module for Digital Protection devices

HU Guo, YAO De-quan, ZHANG Hong-bo, WU Hai

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** In digital protection, sampling methods changed by self-AD samples for indirect communication. This paper analyzes new requirements caused by shift to the protection of research and development of sampling value interface module. Though establishing sampling value models, analyzes its mapping and synchronization sampling techniques. At last software and hardware structure of sampling unit module based on large FPGA and SPORT technology is introduced. The module can apply to different types of digital protection according to appliance needs and multiple configurations

**Key words:** digital protection; sampling value; clock synchronization; sample synchronism; FPGA; synchronous serial interface

(上接第 41 页)

Design of DC Indoor Switch Yard of ±800 kV Zheng Zhou Converter Substation

DENG Guang-jing, SHAO Jun-wei, WANG Hong-bin

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The connections of DC switch yard and parameters of main electrical equipment of ± 800 kV Zheng Zhou converter substation are analyzed and optimized in this paper. Then the pollution class of substation is calculated and specific creepage distance of DC equipment is determined. In order to decrease the equipment's external insulation, the air gap of DC switch yard is calculated and indoor switch yard dimension is suggested combining with equipment placement. Considering of the characteristics of valve hall, the placement of indoor switch yard and valve hall is designed to be symmetric layout. This design can be a reference for instructing Zheng Zhou converter substation's design.

**Key words:** DC converter substation; thawing connection; creepage distance; DC indoor switch yard