

从传统变电站转向智能变电站



Kallikuppa Sreenivasa
System Architect,
Texas Instruments

TI POWER

公用事业公司专注于使用绿色电力、提高效率和采用智能电网技术，正在从传统变电站升级到数字变电站。

变电站互连不同的电压水平，构成传输、分配和消耗之间的关键环节。位于变电站开关站的电源变压器、断路器和断路器开关等主要设备可进行变压，并保护和管理电网电源。保护继电器和终端装置等辅助设备通常远离开关站，位于控制室的面板内，用于保护、控制和监控主要设备。

测量传统变电站中的电气参数

电压互感器 (PT) 和电流互感器 (CT) 等常规仪用互感器可测量流经主要设备的高电压和大电流。铜线将变压器的模拟输出连接到辅助设备，铜线的数量根据应用而增加。

图 1 所示为用于保护、控制和监控的独立 CT 和 PT，由于铜线多而导致安装和维护较为复杂，并使得潜在故障增加，进而导致成本更高。此外，多个变压器的使用造成了设备内的初级电流和电压数字值不同，从而限制了系统性能和可靠性。

数字变电站

数字变电站属于二级系统，包括与主过程相关的所有保护、控制、测量、状态监视、记录和监控系统。数字变电站使用少数光纤电缆取代了开关站与智能电子器件 (IED) 之间的数百（有时是数千）米铜线。

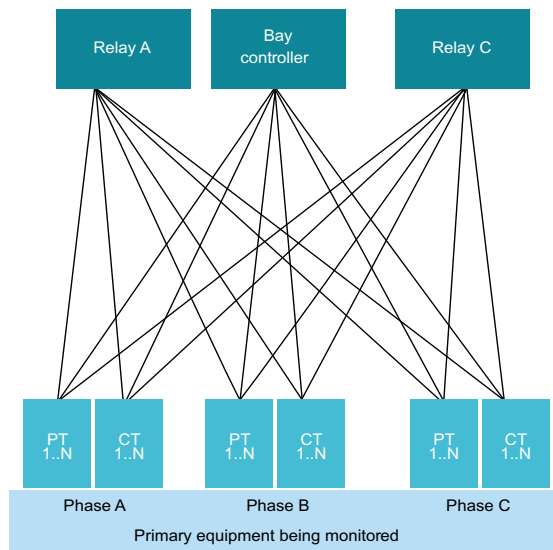


图 1. 传统变电站中使用铜线进行 CT 和 PT 接线。

使用光纤电缆进行通信的数字化变电站通过使用常规或非常规仪用互感器 (NCIT) 和合并单元，将与正在测量的过程参数相关的数据数字化。减少铜线的使用可使数字变电站更简易、更紧凑、更高效。

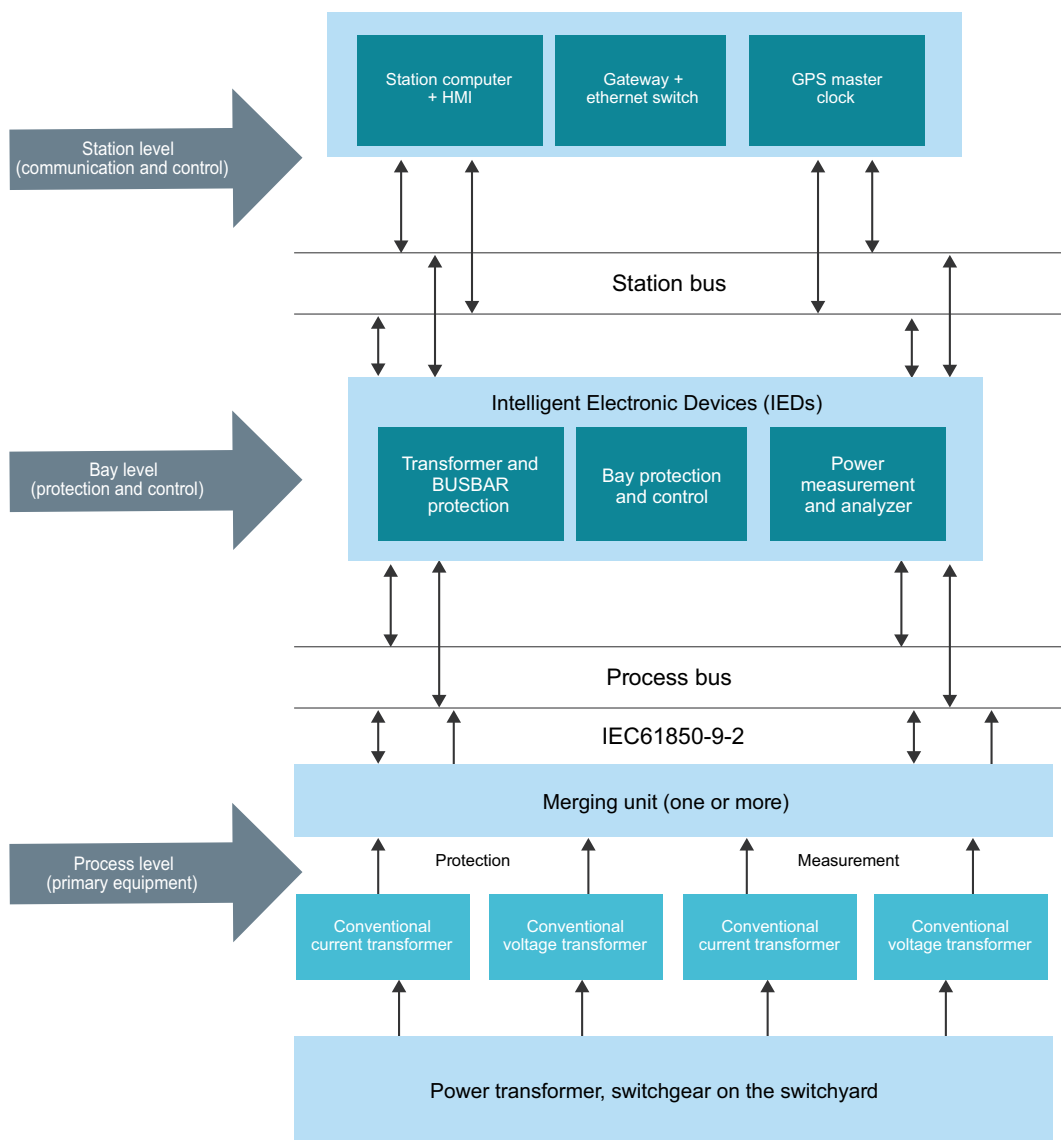


图2. 数字变电站架构。

数字变电站架构

根据国际电工委员会 (IEC) 61850 标准的定义，数字变电站架构包含三层：过程层、间隔层和站控层，如图 2 中所示。

每一层都执行特定功能，各应用互相配合，共同执行数字变电站功能。

过程层包括电源变压器、仪用互感器和开关设备。

过程层是主要设备和辅助（保护和控制）设备之间的接口。在传统变电站中，该接口是通过铜电缆进行硬接线的；电流和电压会以可接受的标准化辅助信号电平经过保护和控制面板，并控制电缆发送和接收状态信息。在数字变电站中，所有数据（模拟数据和二进制数据）均在接近源的位置数字化，并使用 IEC 61850-9-2 协议通过光纤电缆发送到 IED。

间隔层包括辅助设备或 IED，例如间隔控制器、保护继电器、故障记录仪和能量计。IED 不再有模拟输入，因为数据采集是在过程层发生的。合并输入还能减少或消除二进制输入的需要，因此器件比较紧凑，通常只有传统设备占地面积的一半。IED 处理保护和控制算法和逻辑，做出跳闸/不跳闸决策，并根据 IEC 61850 为下层（过程）和上层（站控）以太网提供通信功能。通信网络冗余是典型要求，可确保最高的可用性和可靠性。两项 IEC 62439 标准 – 高可用性无缝冗余 (HSR) 和并行冗余协议 (PRP) – 可促进 IED 互操作性和不同供应商在变电站网络中的集成。

站控层包括站控计算机、以太网交换机和网关。站控总线允许多个客户端交换数据，可在传统的监控和数据采集 (SCADA) 之外提供额外的通信功能：支持对等器件通信；链接到网关，以实现变电站间的广域通信。站控层的设备可能包含变电站人机接口 (HMI)、用于 IED 访问或在本地集中和归档电力系统数据的工程工作站、SCADA 网关、链接到远程 HMI 的代理服务器或控制器。

使用合并单元测量电气参数

合并单元将仪用互感器输出转换为标准化的基于以太网的数据输出，实现了 IEC 61850。

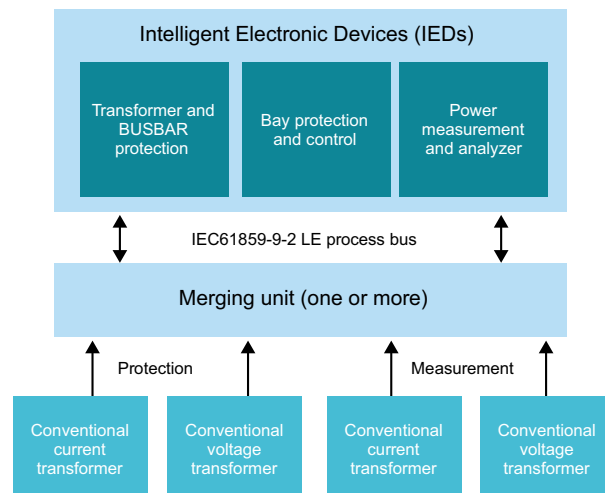


图3. 与常规互感器连接的合并单元

在数字变电站中，不是将传感器输出连接到间隔层的保护和控制设备，而是将合并单元放置在与过程层的主要设备连接的传感器附近。

合并单元将模拟信号（电压、电流）转换为基于 IEC 61850-9-2 的采样值，用于保护、测量和控制，并通过数字通信与变电站中的 IED 通信，如 图 3 所示。一些关键的合并单元功能包括模数转换、重采样、与全球时间基准的同步、将样本转换为 IEC 61850-9-2 协议以及使用光纤以太网接口与 IED 通信。

合并单元执行必要的处理，以根据 IEC 61850-9-2 标准生成精确的、按时间校准的采样值输出数据流。这些处理包括模拟值的采样；精确的实时参考；消息格式化为采样值；并将单一数据源发布到测量、保护和控制设备。

合并单元的关键技术推动因素：

- 具有出色的 AC 性能规格、高输入阻抗、较低的测量精度漂移和较低功耗的高性能精密 ADC。
- 用于实时处理采样值，还能够实施标准变电站通信协议的信号处理器。
- 具有光纤接口的高速以太网物理层（通常为 100Mbps，正在过渡到 1Gb）。
- 精确时间同步（微秒），包括基于 GPS 的每秒一次的脉冲输入和 IEEE 1588 精确时间协议。
- 使用更安全和准确的 NCIT。
- IEC 61850 标准，包括 IEC 61850-8-1（通用的面向对象变电站事件消息）和 IEC 61850-9-2LE（采样值）。
- IEC 62439-3 冗余，包括用于环形冗余架构的 HSR 和用于星形冗余架构的 PRP。
- 用于保护通信和增强安全性的网络安全。

设计合并单元的关键挑战

在设计合并单元时存在多种挑战。影响架构和性能的一些关键挑战包括：

- 选择可缩放采样率，并将采样与精确全局时序参考同步的 ADC。
- 将多个 ADC 连接到主处理器并实时捕获数据，以增加模拟输入通道的数量。
- 实时捕获采样，以满足保护和测量采样要求。
- 使用带光纤接口的以太网通信。
- 根据 IEC 61850-9-2 实现通信协议，并使采样数据能够与多个订户通信，而不会丢失数据包。
- 使协议栈能够用于实现冗余协议，包括基于电气和电子工程师协会 (IEEE) 1588 精确时间协议 (PTP) 的 HSR、PRP 和时间同步。
- 实现多个 I/O，包括二进制输入（16 个或更多输入），覆盖宽 AC/DC 输入和 DC 传感器输入和输出，并具有扩展选项。
- 在恶劣的开关站环境中可靠运行，可承受高瞬态、更高的环境温度和磁场。

应对合并单元的设计挑战

德州仪器 (TI) 的集成电路和参考设计可帮助设计人员应对这些挑战。图 4 展示了合并单元的功能方框图。

下文将介绍合并单元中包含的一些互连子系统，用于执行信号扩展/捕获、处理和通信功能。TI 推荐的器件（在括号中）具有独特特性和功能，可简化关键元件的选择，并尽可能减少设计工作量。

- 处理器模块（使用 AM3359、AM4372、AM5706 或 AM6548），使用可编程实时单元和工业通信子系统 (PRU-ICSS) 连接到 ADC，包括一个用于处理电气参数

和算法的数字信号处理器 (DSP) 内核，以及一个用于外部通信、用户界面和变电站通信协议执行的 Arm® Cortex®-A15 微处理器子系统。

- 以太网接口（DP83822、DP83840），能够利用可连接到主机（采用媒体独立接口 (MII) 或简化版 MII 和基于硬件辅助 IEEE 1588 PTP 的时间同步）的光纤电缆或铜线实现速度为 100Mbps 的通信。
- AC/DC（使用 UCC28600、UCC28740、UCC24630）宽输入、高效率、基于同步整流器的电源。

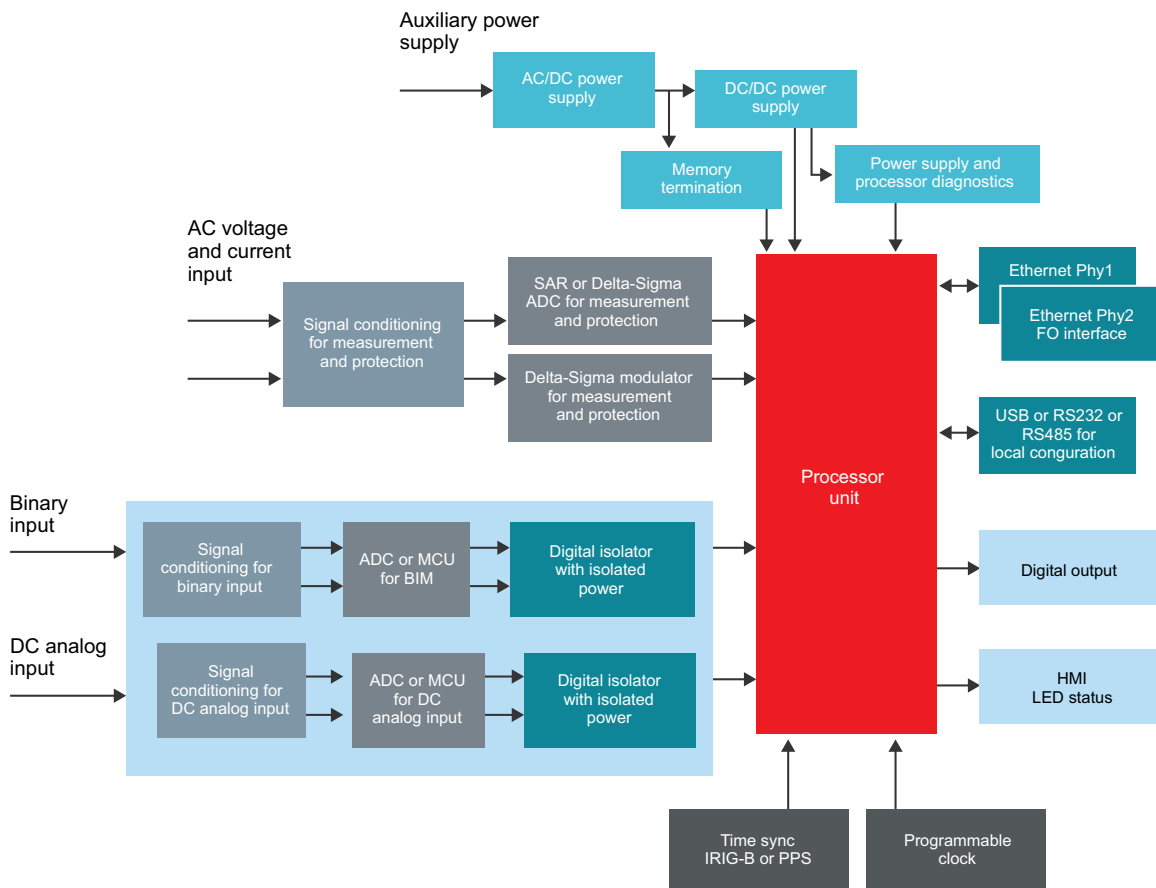


图 4. 合并单元方框图。

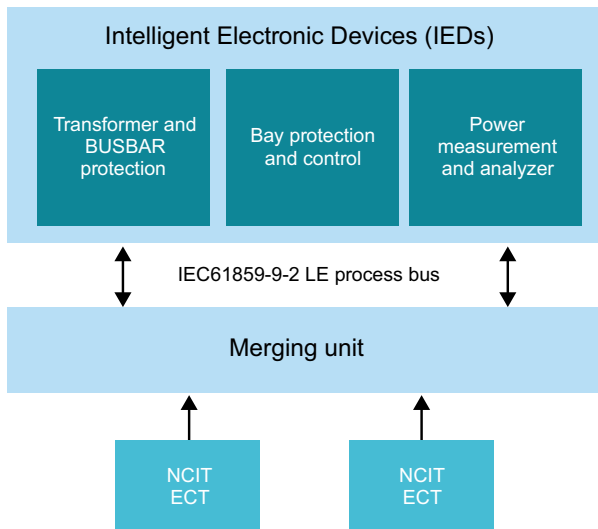


图5. 与非常规仪用互感器连接的合并单元。

- 直流/直流电源树（使用 LMZM33604、TPS82085），包括外形小巧的高效电源模块、集成电感器和 >2A 的负载电流，由于在一个封装中集成了控制器、高侧和低侧 FET 和电感器，瞬态响应速度快，电磁干扰 (EMI) 较低。
- 存储器终端（使用 TPS51200、TPS51116），使用符合 JEDEC 的拉电流或灌电流型双倍数据速率 (DDR) 终端 LDO 或具有同步降压控制器、LDO 和缓冲基准的完整 DDR 电源管理器件。
- 交流模拟输入模块（使用 OPA4188、THS4541、ADS8588S、ADS8688、AMC1306x），包括交流电压和电流输入，用于保护、监控和测量。增益放大器可将传感器输出放大到 ADC 输入范围。16、18 或 24 位高精度逐次逼近寄存器或 Δ - Σ ADC，以每周期 80 或 256（或更高）次采样速率采集样本，使用每秒脉冲数或 Inter-Range Instrumentation Group 与全球时间基准同步。
- 直流模拟输入或 RTD 模块（ADS1248、ADS124S08），用于双向或单向直流电压或电流控制操作，可实现器件间的远程通信。24 位高精度 Δ - Σ ADC 可改善测量范围和精度。
- 二进制输入模块（ADS7957、ISO7741、ISOW7841），可监控电池，提供设备间互锁，并指示配置更改和状态。与基于光耦合器和齐纳二极管的设计

相比，ADC 外加基于数字隔离器的架构使用的器件较少，可提升测量精度并降低电路复杂性。

- 继电器型或高速型数字输出模块（使用 TPS7407、DRV8803），用于报警和外部断路器操作。
- 模拟输入的板载瞬态保护（使用 TVS3300 或 TVS3301）和电路板级诊断（使用 HDC2010、TMP423 和 TMP235），用于测量环境温度/湿度，从而测量漂移补偿。

合并单元与不同类型的变压器连接，以进行测量，包括传统仪用互感器、NCIT（例如光学电流互感器，或用于电流的 Rogowski 以及用于电压的阻容式电压互感器 [RCVT]）。如图 5 所示，连接到合并单元的 NCIT 提供了在单一器件中计量、保护和控制精度的选项。NCIT 技术可缩小变压器的尺寸并减轻其重量，节省空间和成本。

NCIT 可提供：

- 更高的测量精度，而且传感器的非饱和效果会带来较宽的动态范围。
- 测量瞬变和谐波时精度更高。
- 降低了内部电弧和二级开路故障的风险，提升了安全性。

结论

合并单元是公共事业部门从传统变电站过渡到数字变电站所需的关键设备。它通过减少铜线数量降低了安装复杂度，还提升了测量精度，因为它的安装位置更接近主要设备。合并单元还可与 NCIT 连接。NCIT 更安全、更小巧、精度更高、量程更广且成本更低。光纤通信接口可提升抗扰度，以应对开关站中的干扰，尽量减少通信故障。

合并单元的其他优势包括延长主要设备的寿命，增加主要设备的可靠性和可用性。TI 的模拟、电源、接口、时钟和嵌入式处理器产品、特性和参考设计有助于减轻合并单元设计人员的工作量并优化成本。

参考文献

1. [使用多个 ADC 的同步相干 DAQ 的灵活接口 \(PRU-ICSS\) 参考设计](#)
2. 采用单电源并提供双极性输入的 [ADS8588S](#) 16 位高速 8 通道同步采样 ADC。
3. 具有加速多媒体和工业通信功能的 Sitara™ [AM57x](#) Arm Cortex-A15 + DSP 处理器。
4. [使用 16 位 SAR ADC 且具有 ±10V 测量范围的高精度模拟前端参考设计。](#)

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2019 Texas Instruments Incorporated



ZHCY178

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021，德州仪器 (TI) 公司