

# Technical White Paper

## HVAC 系统控制器前端架构选型指南



Brian Dempsey and Joseph Wendt

### 摘要

供暖、通风和空调 (HVAC) 控制器的应用非常广泛，从简单的阀门驱动到为智能楼宇管理和预测性维护进行高级处理，不一而足。本应用手册讨论了 HVAC 控制器的层次结构、系统要求和示例，以及用于处理、模数转换 (ADC) 和以太网 PHY 的器件比较。

### 内容

<b>1 引言</b>	1
<b>2 子系统要求</b>	2
2.1 处理	2
2.2 模拟前端	5
2.3 以太网	7
2.4 应用示例	8
<b>3 总结</b>	11
<b>4 参考资料</b>	11

### 插图清单

图 1-1. HVAC 系统架构	2
图 2-1. Sitara AM62x 架构	3
图 2-2. Sitara AM243x 架构	4
图 2-3. MSPM0G350x 架构	5
图 2-4. 楼宇自动化中利用单线对以太网的 SPE 检测图	8
图 2-5. 系统控制器 - 处理中心图	9
图 2-6. 系统控制器 - 接口中心图	10
图 2-7. 单元控制器 - 边缘节点图	10

### 表格清单

表 2-1. 处理选件比较	2
表 2-2. 选件比较	6
表 2-3. 集成 12 位 ADC 选项的比较	6

### 商标

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

低功耗蓝牙® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

### 1 引言

供暖、通风和空调 (HVAC) 控制器充当气候控制系统的中枢神经系统，协调供暖、制冷和通风之间复杂的操作。从小型住宅到大型企业建筑的广阔环境，HVAC 控制器在保持能效与居住舒适度之间的平衡方面起着关键的作用。

这些控制器可以有很多不同的功能和要求。低电平单元控制器可用于获取输入温度读数并相应地打开或关闭通风口阻尼器，而更复杂的系统控制器则需要更高的处理能力、更多的 ADC 和数模转换器 (DAC) 通道数以及多种通信方法来协调多个房间甚至整个楼宇的 HVAC。

鉴于 2020 年建筑物能源性能指令 (EPBD) 等新的楼宇效率标准比以往任何时候都更加重视智能能源管理，因此这种集成非常重要。在可能的 HVAC 配置之间通常会有很多重叠，如图 1-1 所示。

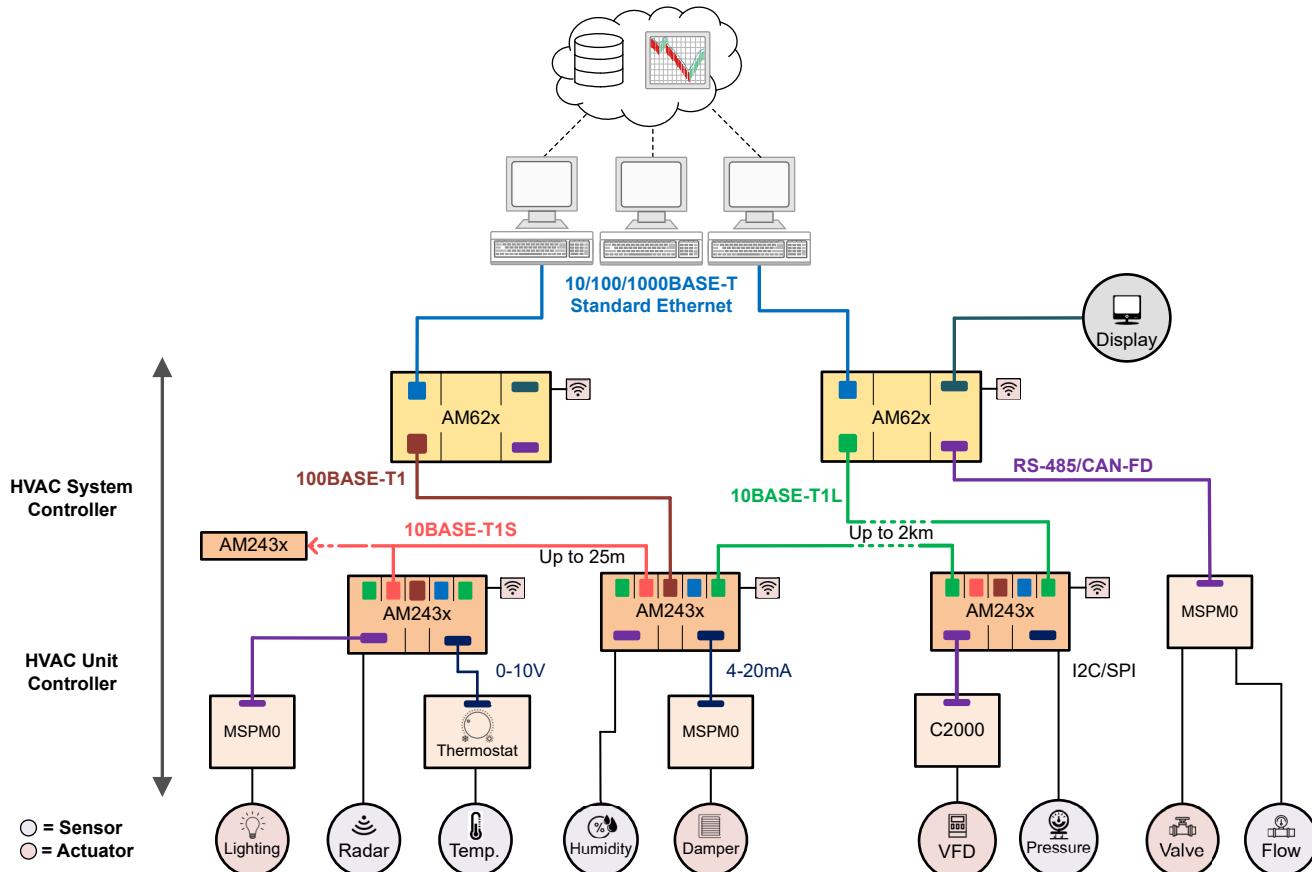


图 1-1. HVAC 系统架构

## 2 子系统要求

本子系统部分主要重点介绍处理器、模数转换器 (ADC) 和以太网接口器件的选择。这些器件可以通过多种不同的方式进行混搭，有关示例将在节 2.4 中展示。

### 2.1 处理

在控制器的核心通常有一个微处理器单元 (MPU) 或微控制器单元 (MCU)，具体取决于所需的处理能力。选择相应器件时，需要考虑的重要规格包括处理速度、内核、存储器和功能安全特性。本文介绍了围绕三个主要处理器构建的架构：功能卓越的 Sitara AM62x MPU、具有丰富外设的 Sitara AM243x MCU 和具有成本效益的 MSPM0G350x MCU。有关这些处理器选件的比较，请参阅表 2-1。

表 2-1. 处理选件比较

	Sitara AM62x MPU	Sitara AM243x MCU	MSPM0G350x MCU
Arm Cortex 内核	四核 A53, 1 个 M4F	2 个双核 R5F, 隔离式 M4F	M0, 带 MATHACL
操作系统	64 位	32 位	32 位
时钟速度	1400MHz	800MHz	80MHz

表 2-1. 处理选件比较 (续)

	<b>Sitara AM62x MPU</b>	<b>Sitara AM243x MCU</b>	<b>MSPM0G350x MCU</b>
<b>闪存存储器</b>	高达 8GB 外部 LPDDR4 或 DDR4	高达 2GB 外部 LPDDR4 或 DDR4	128KB
<b>RAM</b>	816KB	2MB	32kB
<b>以太网 MAC<sup>1</sup></b>	2 端口 10/100/1000	5 端口 10/100/1000	---
<b>USB</b>	2 个 USB2.0	1 个 USB3.1 DRD	---
<b>CAN-FD</b>	3 个 CAN-FD	2 个 CAN-FD	1 个 CAN-FD
<b>模拟外设</b>	---	1 个 12 位 4MSPS ADC	2 个 12 位 4MSPS ADC、DAC、 3 个 COMP、3 个运算放大器

#### 1. 符合 TSN 标准的端口

每个 MPU 或 MCU 架构都有其独特的功耗和外设要求，如图 2-1 所示。模拟前端部分在这些图表中留作了通用块，在节 2.2 中详细讨论。

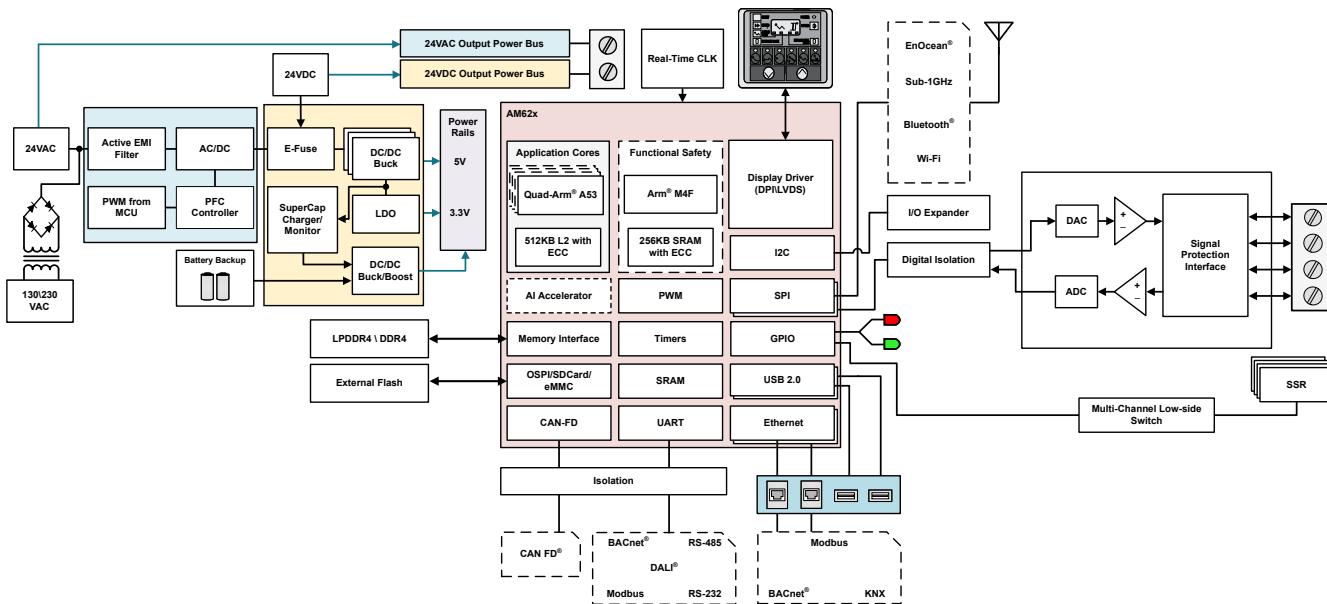


图 2-1. Sitara AM62x 架构

作为三者中唯一的 MPU，Sitara™ AM62x 提供最广泛的处理能力。64 位四核 Arm® Cortex®-A53 处理能力最高可达 1400MHz。单核 Arm Cortex-M4F 处理能力最高可达 400MHz，可轻松管理大多数 HVAC 控制和辅助控制任务。内置的 10/100/1000 以太网 MAC 和 USB2.0 端口支持通过控制器网络进行高速通信。

集成显示驱动程序支持与外部显示器进行 DPI/LVDS 通信，存储器通信接口支持高达 8GB 的外部 LPDDR4 或 DDR4 存储器。在 [使用 TPS65219 PMIC 为 AM62x 供电时选择了 TPS65219 PMIC 作为理想的电源解决方案。](#)

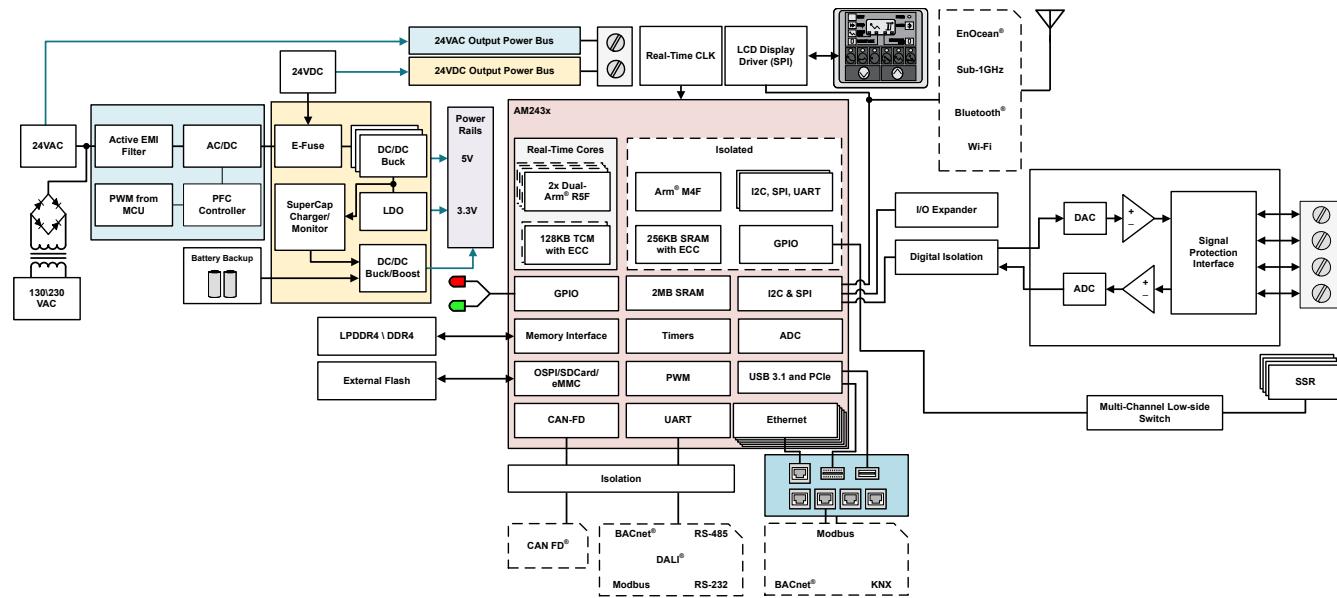


图 2-2. Sitara AM243x 架构

Sitara AM243x MCU 将采用两个 800MHz 双核 Arm Cortex-R5F MCU 内核和一个隔离式 400MHz 单核 Arm Cortex-M4F MCU 来满足功能安全要求。它还配备功能更强大的外设，例如五个以太网端口、一个更新的 USB3.1 DRD 端口以及一个集成的支持多达八个内部多路复用输入的 12 位 4MSPS ADC。

如果不需要 AM62x 的完整处理能力，应用需要以太网和 USB 等高级接口，并且希望获得通常在 MCU 开发过程中的功能安全性和易用性，则 AM243x 即可满足要求。它有两个千兆位工业通信子系统 (PRU\_ICSSG)，支持五个 RGMII/RMII/MII 以太网端口，因此特别适合用作接口集线器。

有关为 AM243x 供电，请参阅 [使用 LP8733xx 和 TPS65218xx PMIC 为 AM64x 和 AM243x Sitara 处理器供电](#)，该文建议使用 LP87334D PMIC。

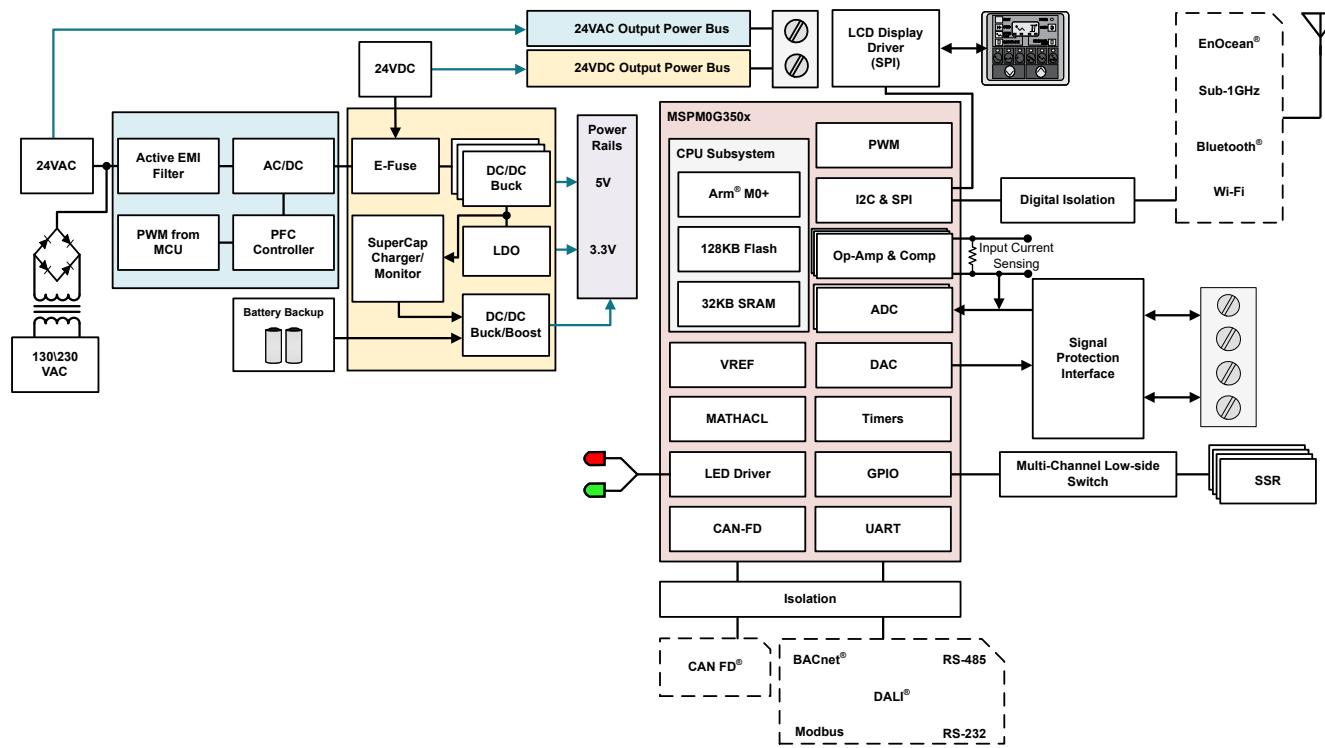


图 2-3. MSPM0G350x 架构

具有成本效益的选项是 TI 的全新 MSPM0G350x 80MHz Arm 32 位 Cortex-M0 MCU。对于低功耗优化型系统而言，它也是理想选择，在最大计算运行模式下功耗只有  $7.6 \mu\text{A}$ 。

它具有 MATHACL 计算辅助功能和大量模拟外设，包括两个支持多达 17 个外部通道输入的 12 位 4MSPS ADC、一个具有集成输出缓冲器的 12 位 1MSPS 数模转换器 (DAC)、两个零漂移和零交叉运算放大器、一个通用放大器，以及三个带 8 位基准 DAC 的高速比较器。

这些外设之间带有可编程模拟连接，可实现许多不同的模拟配置。ADC 还配备相邻的电压基准、温度传感器和电源监控器。有关外设及其不同使用方式的更多详细信息，请参阅 [使用 MSPM0 精密模拟简化系统设计](#)。

## 2.2 模拟前端

选定用于完成中央处理的 MPU 或 MCU 后，下一个关键步骤是决定系统如何处理输入。在选择 ADC 时，有许多技术考虑因素，例如输入类型和范围、通道数、单端还是差分、准确度、精度、速度、保护和故障检测。这些考虑因素以及可能的模拟前端配置在 [PLC 模拟输入前端架构](#) 中进行了详细讨论。

在 HVAC 控制器中，最重要的规格往往是通道数、分辨率和成本。采样率通常不那么重要，因为许多系统只需要约 1KSPS 的 ADC 采样速率。

本应用手册推荐四种不同的 ADC 解决方案，如表 2-2 所示，其中包括两个 12 位分辨率选件，一个 16 位产品系列和一个 24 位产品系列。

表 2-2. 选件比较

	12 位		16 位	24 位
	集成 ADC MSPM0C/L/G、AM243x	ADS1015/8	ADS114S06/6B/8/8B	ADS124S06/8
输入通道数	8-17	4	6-12	6-12
架构	SAR	$\Delta - \Sigma$	$\Delta - \Sigma$	$\Delta - \Sigma$
转换率	1.5 – 4MSPS	3.3KSPS	4KSPS	4KSPS
输入类型	差分或单端	差分或单端	差分或单端	差分或单端
PGA	1-32x	1-24x	1-128x	1-128x
集成特性	温度和电源检测	VREF、COMP、温度检测	2xiDAC、VREF、温度检测、GPIO	2xiDAC、VREF、温度检测、GPIO
接口类型	SPI、I2C、UART、CAN	I2C/SPI	SPI	SPI

当需要 12 位分辨率时，最具有成本效益的解决方案是在 MSPM0 或 AM243x 中使用集成式 ADC，对于 AM62x，则需要额外添加 MSPM0。有关更多信息，请参阅 [MSPM0 – 使用 SPI 在 AM62x 上连接 ADC](#)，其中讨论了如何使用速度较低的 MSPM0L ADC 实现较低的价格目标。ADC 模块在 MSPM0 的成本优化型 (MSPM0C)、低功耗 (MSPM0L) 和性能优化型 (MSPM0G) 系列以及 AM243x 之间各不相同。有关这两个微控制器之间不同集成 ADC 选项的比较，请参阅表 2-3。

表 2-3. 集成 12 位 ADC 选项的比较

	MSPM0C	MSPM0L	MSPM0G	AM243x
ADC 数目	1 个	1 个	2 个	1 个
外部输入	10	10	17	8
架构	SAR	SAR	SAR	SAR
转换率	1.5MSPS ( 10 位时为 1.7MSPS )	1.68MSPS	4MSPS ( 14 位时为 250KSPS )	4MSPS
PGA	---	1-32x	1-32x	---
模拟外设	---	COMP、OPA	COMP、OPA、DAC	---

如果需要具有更高的分辨率、更好的偏移和增益误差，或者需要分立式实现的 ADC，那么分立式模拟 ADC 更为适合。ADS1015 和 ADS1018 是可集成到 MCU 的理想 12 位分辨率替代产品，因为它们具有更好的性能，并具有可支持所有四个通道的集成 PGA。它们还配有类似的集成外设（如振荡器、电压基准、温度传感器和比较器），并且尺寸小，允许增装多个器件来满足通道数需求。ADS114S0x ( 16 位分辨率 ) 和 ADS24S0x ( 24 位分辨率 ) 系列非常适合需要较高分辨率 ADC 的 HVAC 控制器。这些器件具有 6 通道或 12 通道，并且在各种分辨率规格下共用一个通用封装，可在要求不断变化的项目中实现 16 位和 24 位分辨率选件之间的无缝切换。

MSPM0G 具有强大的集成模拟功能，但所有选项都提供至少 8 个 12 位外部输入。MSPM0G 还可以利用硬件取平均值功能，以 250KSPS 的速率实现 14 位的分辨率，这仍然比 HVAC 应用通常所需的采样率高。

MSPM0L 和 MSPM0G 中的 PGA 功能以集成运算放大器的形式实现，这些集成运算放大器使用与 ADC 相同的输入引脚，可直接输出到其他 ADC 输入引脚。这意味着，每使用一个运算放大器输入，就会减少一个可用的 ADC 外部输入通道。此外，每个运算放大器输出均在内部连接至特定的 ADC 存储器配置，为 17 个可用输入中的 2 个输入实现 PGA 至 ADC 的组合。

如果 ADC 需要更高的分辨率、更好的偏移和增益误差补偿性能，或者需要分立式实现，那么可以选择分立式模拟 ADC。与集成在 MCU 中的 ADC 相比，分立式精密 ADC 在规格随时间漂移方面稳定性更强，这对于长期工业 HVAC 应用非常重要。

ADS1015 和 ADS1018 是可集成到 MCU 的理想 12 位分辨率替代产品，因为它们性能更好并具有可以支持所有四个通道的集成式 PGA。此类器件配有类似的集成外设（如振荡器、电压基准、温度传感器和比较器），并且尺寸小，允许增装多个器件来满足通道数需求。

ADS114S0x ( 16 位分辨率 ) 和 ADS124S0x ( 24 位分辨率 ) 系列非常适合需要较高分辨率 ADC 的 HVAC 控制器。这些器件具有 6 通道或 12 通道，并且在各种分辨率规格下共用一个通用封装，可在要求不断变化的项目中实现 16 位分辨率和 24 位分辨率选件之间的无缝切换。

该器件系列集成了许多特性，其中包括：50/60Hz 抑制、用于 RTD 偏置的励磁电流源 (iDAC)、1-128x PGA、振荡器、电压基准、温度和电源传感器以及 GPIO 引脚。另外还有 ADS114S06B/8B 器件系列，适用于成本优化型应用，价格更低。B 器件系列具有所有相同的集成功能，但性能降低。有关性能差异的详细细目，请参阅 [比较 ADS114S06 和 ADS114S08 与成本较低的 ADS114S06B 和 ADS114S08B](#)。

## 2.3 以太网

以太网越来越流行用作 HVAC 控制器之间的通信接口。新的楼宇效率标准越来越注重智能能源管理协议和预测性维护，因此需要比以往更加互联的 HVAC 系统。标准以太网支持高带宽，并且单线对以太网 (SPE) 数据和电力输送能力不断增长，因此以太网非常适合传输 HVAC 中必须管理的越来越多的数据。

尽管标准以太网已多次迭代，但较常见的协议为：

- IEEE 802.3.i (10Mbps)
- IEEE 802.3.u (100Mbps)
- IEEE 802.3.ab (1,000Mbps)

SPE 大致分为三类：

- IEEE 802.3.cg (10Mbps)
- IEEE 802.3.bw (100Mbps)
- IEEE 802.3.bp (1,000Mbps)

IEEE 802.3.cg 还有两个分类，分别定义了 10BASE-T1L 和 10BASE-T1S。10BASE-T1L 是远距离以太网，可在长达 2000 米的单根双绞线上实现点对点连接。10BASE-T1S 是短距离以太网，可在长达 25 米的距离实现多点连接。10BASE-T1L 还添加了数据线供电 (PoDL)，也称为单线对以太网供电 (SPoE)。该供电模式可降低解决方案成本，降低电力损耗，缩短部署时间。

图 1-1 中显示了 10/100/1000 标准以太网、100BASE-T1、10BASE-T1L 和 10BASE-T1S 协议的组合。通过以太网进行通信的每个控制面板都包含外部以太网 PHY 以及带有集成媒体访问控制器 (MAC) 的 AM62x 或 AM243x 处理器。

10/100/1000 标准以太网在高吞吐量连接中表现优异，通常用于与高级服务器通信或系统控制器之间的通信。

10/100/1000 标准以太网向后兼容并广泛用于现有系统。如果系统革新后，需要减少布线，增加信号质量指示器 (SQI) 和时域反射计 (TDR) 等其他功能，则可以使用 1000BASE-T1 SPE。

TI 的 DP83TG720S 是一款功能强大且支持 RGMII 和 SGMII 的 1000BASE-T1 SPE PHY，此外，DP83TC813S 等 100BASE-T1 SPE PHY 可用于较低带宽要求。在需要 10/100/1000 标准以太网 PHY 的企业级系统中，DP83869 PHY 支持铜缆和光纤之间的媒体转换，并提供低延时 MII、RGMII 和 SGMII 接口，而 DP83822 10/100 标准以太网 PHY 具有 FX 支持，是严苛工业环境中的超稳健选项。

对于像连接到现场传感器或执行器这样的较低吞吐量连接，10BASE-T1L 和 10BASE-T1S SPE 协议特别有用。在 10BASE-T1L 支持的 2km 范围内，远场节点可以发送和接收高保真数据，从而进一步实现中央控制器的智能管理。10BASE-T1S 中的多点功能适用于许多不同控制器或电路板之间非常短距离的连接（常见于 HVAC 控制机柜中），或支持同一总线上的多个终端节点。

DP83TD510E 10BASE-T1L PHY 可在 2km 处启用 T1L 连接，同时超低功耗可满足能效要求。联系我们获取更多有关 10BASE-T1S 产品的信息。有关单线对以太网的优势、应用和器件的更多信息，请参阅 [在楼宇自动化领域利用单线对以太网](#)。

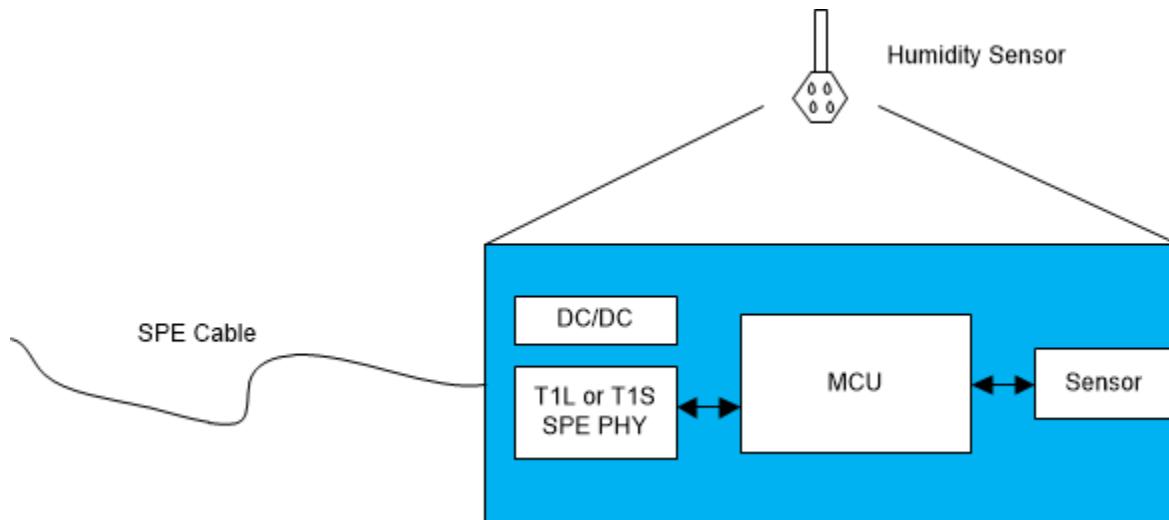


图 2-4. 楼宇自动化中利用单线对以太网的 SPE 检测图

在应用手册中，该 HVAC 控制器应用示例仅显示与系统的一次连接的 SPE 检测。SPE 提供全双工数据传输和电力输送，因此只需使用 10BASE-T1L 或 10BASE-T1S PHY，使用数据线提供的电源进行直流/直流转换，启用以太网 MAC 的 MCU（如 AM243x），以及选择一个或多个传感器，即可实现整个检测板。

## 2.4 应用示例

HVAC 控制器功能通常分为几个常见类别。在下文中，将展示从图 2-5 衍生的三个示例系统：系统控制器 - 处理中心、系统控制器 - 接口中心，以及单元控制器 - 边缘节点。选择图中的器件是为了满足性能和通道数要求，同时进行优化以实现楼宇自动化市场通常所需的低成本。

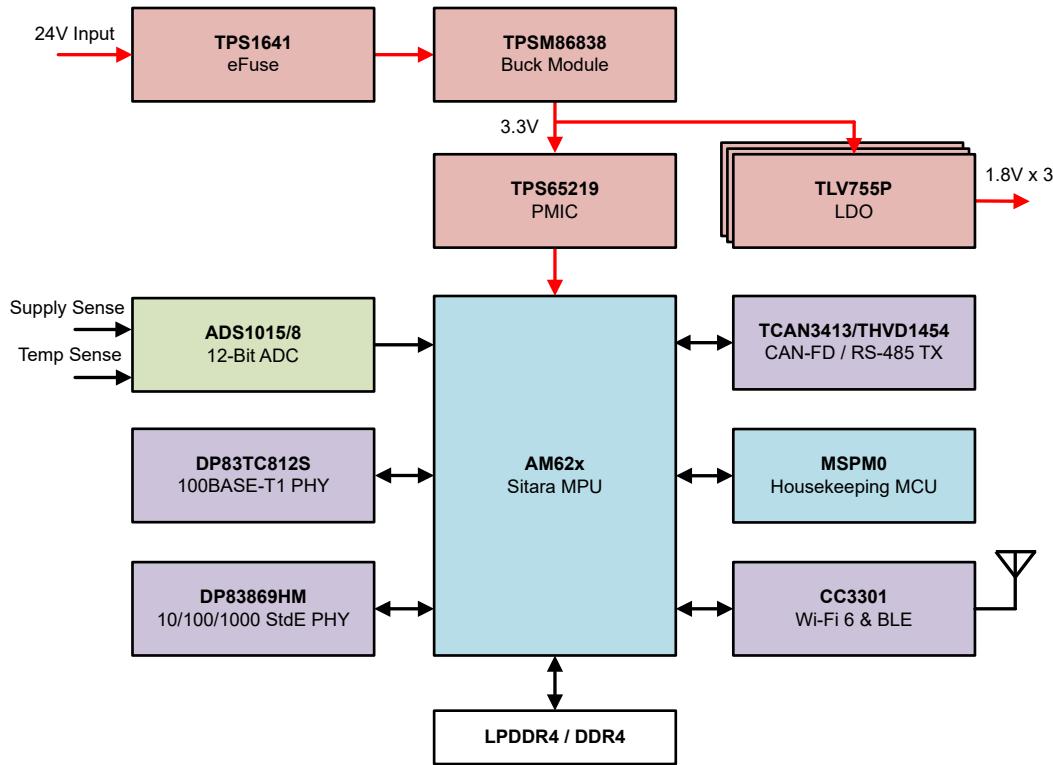


图 2-5. 系统控制器 - 处理中心图

顶级系统控制器需要卓越的处理能力、高速接口和尽可能少的模拟硬件。该控制器板通常位于方便访问的控制面板中，用于管理和支持楼宇的 HVAC 系统。在该处理中心控制器附近通常会安装一个模块化 I/O 板。

以太网通常是这些控制器与其周围环境之间进行通信的理想方式，此外，还可以通过 Wi-Fi 6 和低功耗蓝牙® (BLE) 进行无线连接，保持与更广泛的 IT 网络的连接。至于模拟硬件，通常在这个级别不需要 ADC 进行检测，但如果需要监控电源供应和环境温度以满足可靠性和安全性要求，则可能需要 ADC。

对于电源树，24V 直流输入电压经过电子保险丝保护器件，提供 15W 功率限制，以符合 IEC60335 和 UL60730 安全标准。然后，带有集成开关和电感器的降压模块将 24V 转换为 3.3V 直流输出。Sitara MPU 可由 TPS65219 PMIC 和分立式 LDO 供电，并且允许添加额外的 LDO 为外部存储器和连接外设供电。

[AM62x 功耗估算工具](#)和 [AM62x 最大额定电流](#)资源在设计估算功耗和设置电源要求时提供指导，而 [WEBENCH Power Designer](#) 有助于找到适合系统需求的理想电源转换解决方案。

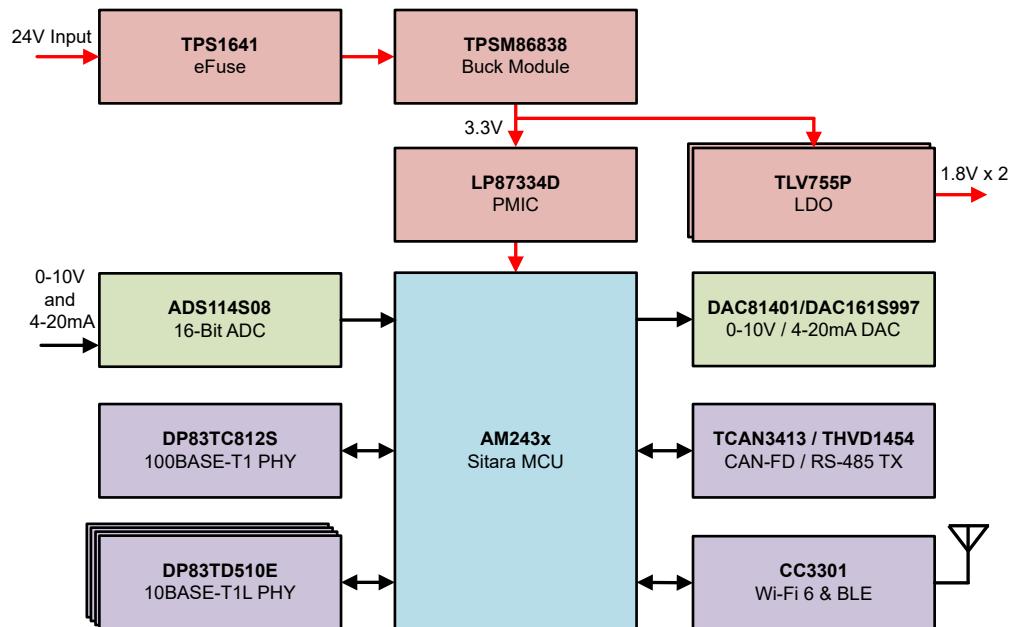


图 2-6. 系统控制器 - 接口中心图

中级系统控制器通常是连接 HVAC 网络不可或缺的关键。它需要适用于不同接口类型的高通道数、可在传统的 0-10V 和 4-20mA 线路上实现通信的模数转换和数模转换，以及 Wi-Fi 和 BLE 等可选无线连接。

16 位 ADC 和 DAC 可实现高保真传统通信，但在这种以接口为主的级别下，可能不需要大量的边缘检测。如果 DAC 性能不关键，可以结合 AM243x 中的内部 PWM 计时器与外部滤波器来产生模拟输出。对于其他类型的接口，AM243x 可支持多达 5 个以太网通道，以及常见的 CAN-FD 接口和 RS-485 接口。

电源树与 AM62x Sitara MPU 类似，同样有一个具有 15W 功率限制功能的电子保险丝，一个降压电源模块和一个带有 LDO ( 为 AM243x 和 CC3301 连接器件供电 ) 的 PMIC。有关计算 MCU 功耗的信息，请参阅 [AM243x 功耗估算工具](#)。

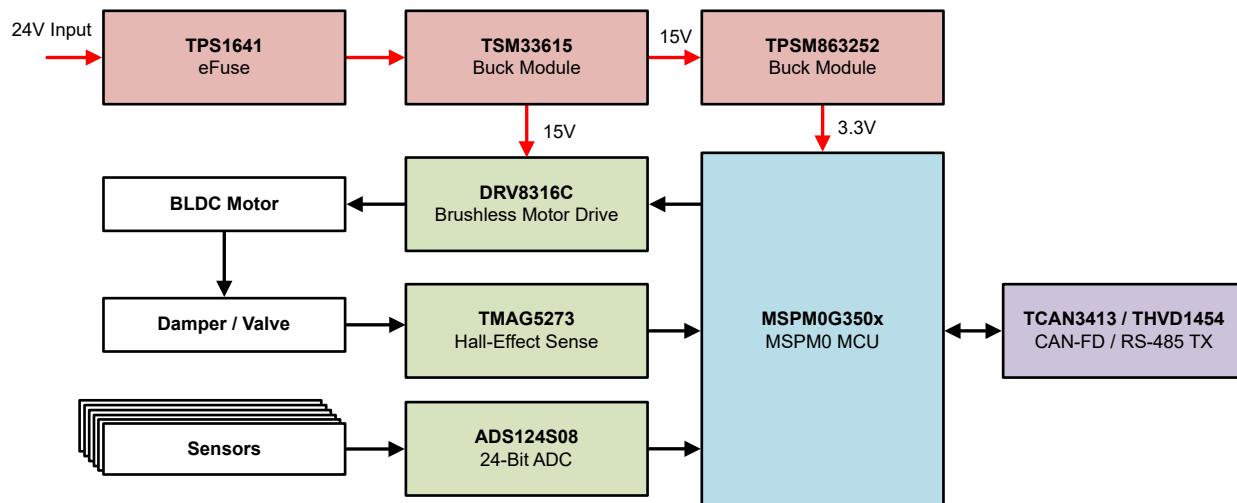


图 2-7. 单元控制器 - 边缘节点图

边缘节点单元控制器将更侧重于模拟功能，其主要目的是执行所有检测操作，将这些输入转换为可与更高级别的控制器进行通信的有用数据，并根据这些数据驱动阻尼器或阀门等机械装置。大型楼宇通常会有许多这样的单元控制器，因此它们必须在出色的检测和驱动性能与低成本之间找到平衡，这正是 **MSPM0** 的出色之处。

高 ADC 通道数通常是首要关注点，另外，对分辨率的要求也在不断提高。对于接口，**MSPM0** 可以通过 CAN-FD 或 RS-485 与相应的收发器器件进行通信，并且集成了用于在 0-10V 或 4-20mA 数据线上实现通信的 12 位 DAC。

**MSPM0** 的电源树更简单，因为它可以使用更通用的降压模块，而不需要专用的 PMIC。电子保险丝功率限制高达 64W，因此可对其进行调整以满足电机的较高电流需求，或者在降压模块将电源电压转换到 15V 后再使用。

## 3 总结

随着能效标准的提高和预测性维护需求的增加，HVAC 控制器越来越普遍，也越来越智能。这些系统和单元控制器管理着复杂的建筑层次结构，并且可以提供许多不同的功能。德州仪器 (TI) 在这些应用领域具有独特的优势，致力于提供理想的系统解决方案。本应用手册重点介绍了构成这些系统的处理器、ADC 和以太网 PHY 的理想组合。

## 4 参考资料

- 德州仪器 (TI)：[使用 TPS65219 PMIC 为 AM62x 供电](#)
- 德州仪器 (TI)：[使用 LP8733xx 和 TPS65218xx PMIC 为 AM64x 和 AM243x Sitara 处理器供电](#)
- 德州仪器 (TI)：[借助 MSPM0 精密模拟，轻松进行系统设计](#)
- 德州仪器 (TI)：[比较 ADS114S06 和 ADS114S08 与成本较低的 ADS114S06B 和 ADS114S08B](#)
- 德州仪器 (TI)：[在楼宇自动化领域利用单线对以太网](#)

## 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出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 © 2024, 德州仪器 (TI) 公司