

四通道 16 位电压/电流输出 DAC 节省多通道 PLC 的空间、成本和功耗

作者: Colm Slattery

概述

可编程逻辑控制器(PLC)使用逻辑、时序控制、定时、计数和算术算法等快速、确定性的功能来控制机器和过程。PLC使用模拟和数字信号与终端节点通信,例如读取传感器和控制执行器。典型的通信方法包括电流/电压环路、Fieldbus¹和工业以太网²协议。

随着工业远程应用领域传感器和控制节点数的不断增加,控制器中 I/O 模块节点数也相应增加,一些分布式控制系统(DCS)能够处理成千上万的节点。如此密集节点使温度相关的挑战难度越来越大,尤其是对于 4mA 至 20mA 环路通信标准的系统。

对系统设计人员而言,最大且最密切相关的挑战是提高效率并降低功耗,因为现有系统的低效率导致电能浪费,运营成本增加。本文将说明设计更高效系统面临的挑战,并介绍一款多功能、4 通道、16 位数模转换器(DAC) AD5755,它作为一种集成度更高的解决方案有助于解决这些问题。

系统

典型工业控制系统的通信分层情况如图 1 所示。直到最近,分布式输入/输出(远程 I/O 和 PLC)通常仍然使用 Modbus³、PROFIBUS⁴(过程现场总线)或 Fieldbus 等开放或专有协议进行连接。如今,业界对使用 PROFINET⁵的兴趣日渐增强,它是一种设计用于在以太网设备之间快速交换数据的工业以太网协议。

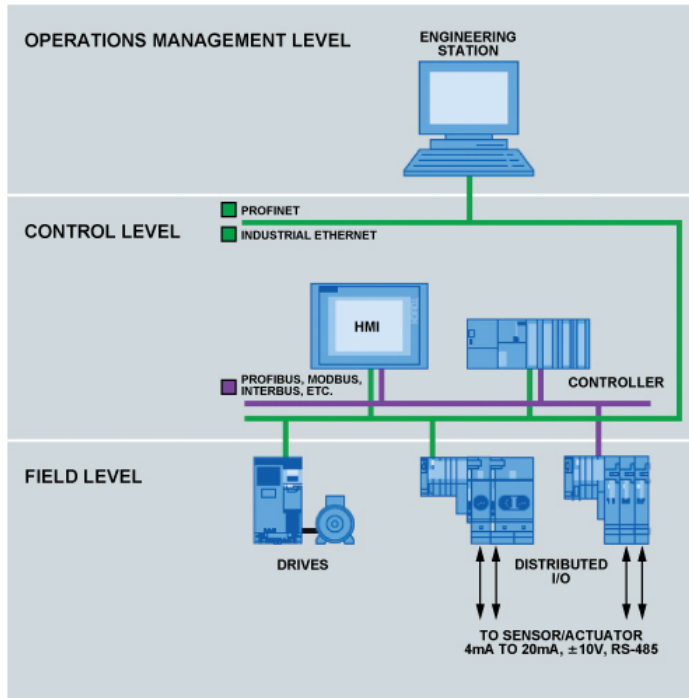


图 1. 控制系统的层级结构

PROFINET 的优势包括:

- 速度更快,从 RS-232 的 9.6 kbps 提高到 1 Gbps。
- 改进的整体性能。
- 距离更长。
- 能够使用标准接入点、路由器、交换机、集线器、电缆和光纤,这比等效串行端口设备便宜得多。
- 一条链路可以有两个以上的节点。这对于 RS-485 是可行的,但对于 RS-232 则不可行。

在“现场”级,用于将工业驱动器、电机、执行器、控制器与 PLC/DCS I/O 系统互连的现场总线协议为数众多,包括 DeviceNetTM、CAN⁶、InterBus^{®7}和上述 PROFIBUS、Fieldbus。

输入输出(I/O)控制器连接工厂或过程环境中的传感器和控制执行器,并通过上述模拟和数字方式与多个终端节点通信。本身安全的系统通过 4mA 至 20mA 电流环路进行连接,一些系统则使用隔离技术。控制处理器通常为 8 位至 32 位处理器,性能最高可达 100 DMIPS (Dhrystone 百万条指令/秒)。工厂自动化设备结实耐用,能在恶劣的工业环境中工作而不需要风扇。

图 2 显示了几个 8 通道模拟 I/O 模块的例子。由于其尺寸小,因此功耗有限,有些甚至不到 5 W。



图 2. I/O 模块

模拟 4mA 至 20mA 电流环路常用于工业过程控制的信号传输,4mA 代表范围的低端,20mA 代表范围的高端。电流环路的主要优势在于信号精度不受互连线路的压降影响,而且环路可以提供最高 4 mA 电流为器件供电。即使线路电阻很大,电流环路变送器也会在其电压能力范围内维持适当的电流。

通过 4mA 所代表的“活动—零”状态,接收仪表可以检测环路的一些故障(例如:0mA 表示开环,3mA 表示传感器发生故障),双线变送器设备也能通过环路电流供电。此类仪表用于测量压力、温度、流量、pH 值和其它过程变量,以及控制阀门定位器或其它输出执行器。模拟电流环路中的电流可以在环路中的任一点,通过一个串联精密电阻转换为电压输入。仪表的输入端可能会将电流环路的一端连接到机壳(大地),因此当串联连接多个仪表时,可能需要模拟隔离器。

功耗考虑

在图 3 所示的系统中，一个通道配置为 4mA 至 20mA 通信（本例中为从 DAC 驱动一个执行器负载）。执行器的端接电阻决定环路所需的最大电源电压。例如，100Ω 电阻至少需要 2 V 电压才能提供 20 mA 电流。如今的系统必须能够驱动最高达（有时甚至超过）1 kΩ 的负载，这是很常见的要求。对于这一负载阻抗和 20 mA 的满量程电流，电源需要提供至少 20 V 电压。所产生的功率为：

$$P = V \times I = 20 \text{ V} \times 0.02 \text{ A} = 0.4 \text{ W}$$

如果负载阻抗变为 100 Ω，使用同一电源（有效条件）时，即使只需要 0.04 W 功率，功耗仍将为 0.4 W。这种情况下，系统的效率损失为 90%，360 mW 功率遭到浪费。

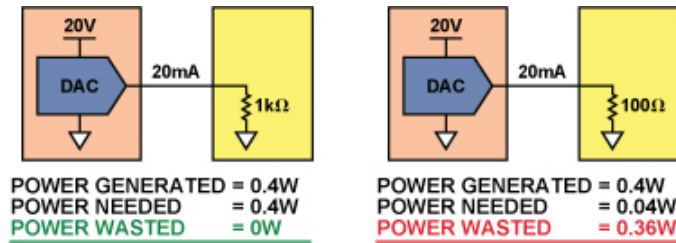


图 3. 当满量程输出远低于电源电压时，功率被浪费

对于一个 8 通道模块，20 V 电源下的总功耗将为 3.2 W，其中多达 2.88 W 的功率遭到浪费（如果所有负载均为 100 Ω）。这种情况下，自热效应和功耗预算的提高开始演变成问题。模块内的温度升高可能导致系统误差增大，各个器件的漂移特性需要纳入系统整体的误差预算中加以考虑。

设计人员会考虑各种办法来解决这些问题：

- 增大模块尺寸以支持更多功耗，但成本会增加，因而这种解决方案的竞争力不强。
- 使用散热和/或风扇控制，这是一种昂贵的解决方案，同时会增大空间。事实上，在一些安全关键应用中，不允许使用这种温度控制设备。
- 减小最大负载阻抗，以便限制电路的整体功耗。在一些应用中，这会限制性能，导致系统的市场竞争力下降。

无论如何，在更小的空间中提供更多的通道这一趋势会给许多系统设计人员带来散热和功耗方面的困扰。

一种有助于解决此问题的方法是从 5V 电源入手。监控输出负载电压，然后根据需要有效升压并调节输出电压。图 4 显示 5V 电源和一款高效率 DC/DC 升压转换器利用反馈控制提供适当的输出电压，使片内功耗最小。

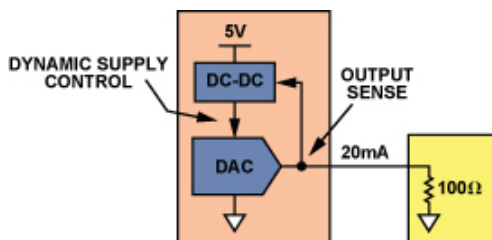


图 4. 动态电源控制原理

AD5755 系列 4 通道、16 位、串行输入、电压和电流输出 DAC 能够提供这种闭环动态电源能力（见附录—图 A）。它的每个通道都能以 16 位分辨率提供电流或电压，输出端由动态电源控制下的 DC/DC 转换器供电，因此该器件相当于在一个非常紧凑的 9mm × 9mm × 0.8mm 封装中提供 4 个低功耗节点。

图 5 的简化电路显示了使用感性升压电路的动态电源控制工作原理。每个通道都能提供 30 V 以上的升压输出电压。动态电源控制机制利用反馈调节输出电压，然后经过电阻分压器分压后与内部误差放大器中的基准电压进行比较，产生一个误差电流。开关周期开始时，MOSFET 开关接通，电感电流缓升，然后测量转换为电压的 MOSFET 电流。当电流检测电压大于误差电压时，MOSFET 断开，电感电流缓降，直到内部时钟启动下一个开关周期。在电流模式下调节输出电压采用类似方案，此时使用的是反馈误差电流。

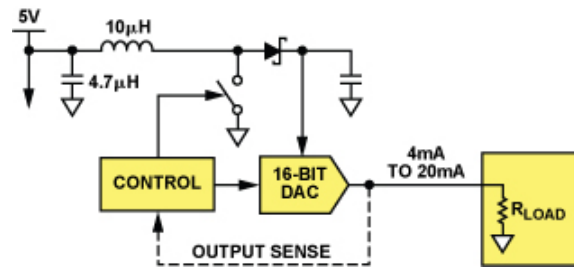


图 5. 具有电源控制功能的升压电路

用户可以切换各通道的 DC/DC 转换器开关信号的频率和相位，以实现电路和器件的优化。

可编程开关频率：	可编程 DC/DC 时钟相位：
能够改变 DC/DC 开关频率，支持系统优化和更灵活地选择外部器件	能够改变各 DC/DC 模块的时钟沿相位，支持系统优化
<ul style="list-style-type: none"> • 333 kHz • 400 kHz • 500 kHz • 667 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 所有四个通道的时钟沿同相 • A、B 通道的时钟沿同相，C、D 通道的时钟沿同相但与 A、B 通道相反 • A、C 通道的时钟沿同相，B、D 通道的时钟沿同相但与 A、C 通道相反 • A、B、C、D 通道的时钟沿彼此错相 90°（0°、90°、180° 和 270°）

对输出驱动器实行动态电源控制的目的是使封装功耗最小。典型IC的内部结温(T_{JMAX})最高可达 125°C。假设系统的环境温度 T_A 为 85°C。LFCSP封装的热阻 θ_{JA} 典型值为 28°C/W。容许的片内功耗可以通过下式计算:

$$\frac{T_{JMAX} - T_A}{\theta_{JA}} = \frac{125^\circ - 85^\circ}{28^\circ\text{C/W}} = 1.42 \text{ W}$$

不采用动态电源控制时, 假设使用 24V 电源, 则每个通道的最差情况功耗可以通过下式计算:

$$\begin{aligned} \text{功耗} &= \text{电源电压} \times \text{最大电流} \\ &= 24 \text{ V} \times 20 \text{ mA} \\ &= 0.48 \text{ W} \end{aligned}$$

在同样的条件下, 4 个通道的功耗将接近 2 W, 这会给模块和半导体电路带来问题。启用动态电源特性时, AD5755 调节电源, 使片内功耗降至最低。图 6 显示了启用和禁用动态电源(固定电源)两种情况下每个通道的功耗对比。

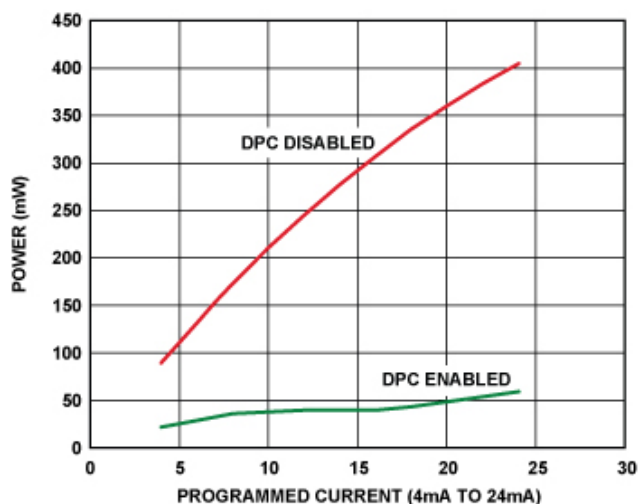


图 6. 启用和禁用动态电源控制两种情况下的功耗对比

启用动态电源功能时, 在 24 mA 输出电流下片内功耗约为 50 mW, 而无调节时的片内功耗则为 400 mW。这种控制片内功耗的能力非常有用, 系统设计人员在提高系统通道数的同时可以使模块功耗降至最低, 从而不需要考虑繁琐而昂贵的方法来控制系统温度。

故障状况下的系统差错校验与诊断

对于工业应用, 必须能够监控并报告系统级故障, 在故障状况下拥有尽可能多的系统控制权至关重要。AD5755 包括许多片内诊断特性, 能够为用户提供系统级差错校验功能。

发生故障时, 一个重要考虑是控制 DAC 的 MCU/DSP 会如何。由于不能控制输出, 用户将完全失去对系统的控制。AD5755 有一个看门狗定时器(超时可编程设定), 如果它在超时期限内没有收到 SPI 接口传来的命令, 就会设置警告标志(高电平有效)。需要时, 此 ALERT 引脚可以直接连到清零引脚(也是高电平有效), 以便将输出设置为已知的安全状态(图 7)。

AD5755 的每个通道都有一个 16 位可编程清零码寄存器, 用户可以灵活地将输出清零为任意码。

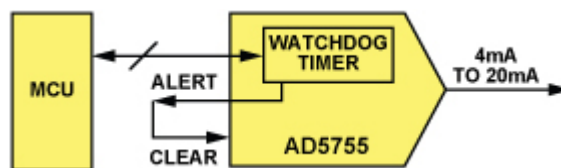


图 7. 看门狗定时器设置控制信号丢失标志并使 DAC 返回到清零设置

在高噪声工业环境中, 即使 MCU 正常工作, 通信信号也可能遭到破坏。为了应对这种可能性, AD5755 具有可选的分组差错校验(PEC)功能, 它实施一种 CRC8 多项式例程。该功能可以通过软件使能或禁用, 确保输出不会错误地更新。

输出端接线错误常会导致连接开路或短路, 有可能会造成系统损坏。(即使没有发生损坏, 问题也往往难以诊断。AD5755 具有开路和短路检测功能, 可以即时设置故障标志, 提醒技术人员处理相关问题。)此外, 当发生短路时, 短路保护功能可以限制输出电流。所有故障都可以通过 SPI 接口或硬件故障引脚传达, 以便用户即时采取处理措施。

灵活的输出范围编程功能

为了处理所需的各种电压和电流, AD5755 的各通道都可提供许多可编程范围, 包括: 4 mA 至 20 mA、0 mA 至 24 mA、0 mA 至 20 mA、0 V 至 5 V、0 V 至 10 V、±5 V、±10 V 和 ±12 V。用户也可以对各通道的各种范围的增益和失调进行数字化编程。这些增益和失调寄存器具有 16 位分辨率。例如, 为了设置 0V 至 10.5V 输出范围(如图 8 所示), 首先选择 0V 至 12V 范围, 然后编程设置增益码, 将范围调整到 10.5 V。完成增益调整后, 输出范围即为 0V 至 10.5V, 并具有 16 位分辨率。失调的编程设置方式与此相似。

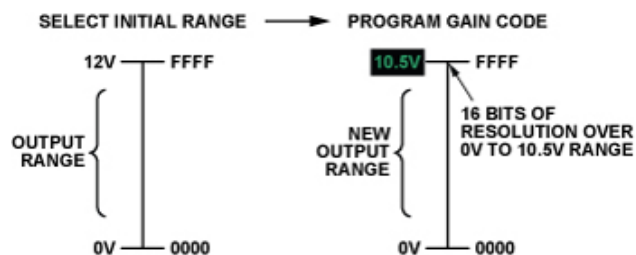


图 8. 任意范围缩放

通过 4mA 至 20mA 电流环路传输附加信息

纯 4mA 至 20mA 电流环路的缺点是只能单向传输单个过程变量, 这对于现代工业控制系统是个限制。可寻址远程传感器高速通道(HART)标准的发展为 4mA 至 20mA 通信线路开启了新的可能。

HART 提供数字双向通信机制, 兼容 4mA 至 20mA 电流环路。在 4mA 至 20mA 模拟电流信号之上叠加一个 1mA 峰峰值频移键控(FSK)信号。基于 BELL 202 通信标准, 所用的两个频率为 1200 Hz (逻辑 1) 和 2200 Hz (逻辑 0), 如图 9 所示。

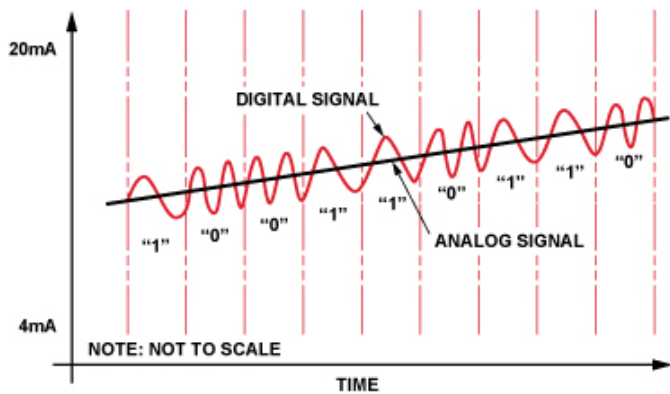


图 9. 叠加于不断增大的环路电流之上的 HART 信号

AD5755 可以配置为仅利用两个外部器件来传输 HART 信号。HART 调制解调器的输出经过衰减后，交流耦合至 AD5755 的 CHART 引脚；这导致调制解调器输出在 4mA 至 20mA 模拟电流上进行调制，而不会影响该电流的“直流”电平。图 10 中的电路显示 AD5755 如何与 HART 调制解调器接口以实现这种双向通信形式。

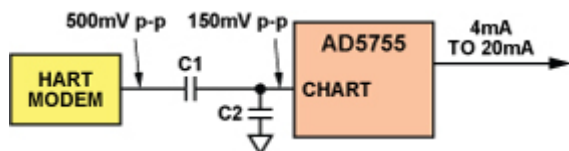


图 10. AD5755 用于 HART 通信

HART 规范要求模拟电流的最大变化速率不得干扰 HART 通信。很显然，电流输出的步进变化可能会中断 HART 信号传

输。幸运的是，AD5755 提供可控制的压摆率，启用该功能后，用户可以通过数字方式限制电流输出的压摆率。

AD5755 完整解决方案

图 11 显示采用 AD5755 的典型设置。(图中显示了一个 HART 调制解调器通道，但有四路 HART 输入可用，每个通道一路输入。) 当使能动态电源控制特性时，每个通道需要四个外部器件：一个饱和电流约为 1A 的电感、一个开关二极管和两个具有低等效串联电阻(ESR)的电容。利用极少的外部器件，AD5755 提供一款集成的单芯片、高性能系统解决方案。总非调整误差(TUE)典型值为 0.01%，其中包括 25°C 时的所有增益和失调误差。

结论

随着所需通道数和各模块通道密度同步提高，系统设计人员面临着许多问题：如何在提高通道数量的同时保持较小的模块尺寸？如何提高通道数量并设计高效率系统，同时使系统的自热效应和漂移误差保持最小？就输出编程性能而言，如何为客户提供最大的灵活性？提供哪些安全特性和诊断功能，以确保系统稳定可靠并能够轻松找出问题所在？

AD5755 是一款采用 9mm × 9mm CSP 封装的 4 通道器件，能够大幅减小系统的电路板面积并提高通道密度。其动态电源控制特性能够调节片内功耗，使模块功耗降至最低。此外还有片内诊断功能，包括看门狗定时器、PEC 差错校验及开路/短路检测和保护的，稳定可靠的设计使它能在恶劣的工业环境中工作，让最终用户更有信心。AD5755 是一款真正的片上系统解决方案。

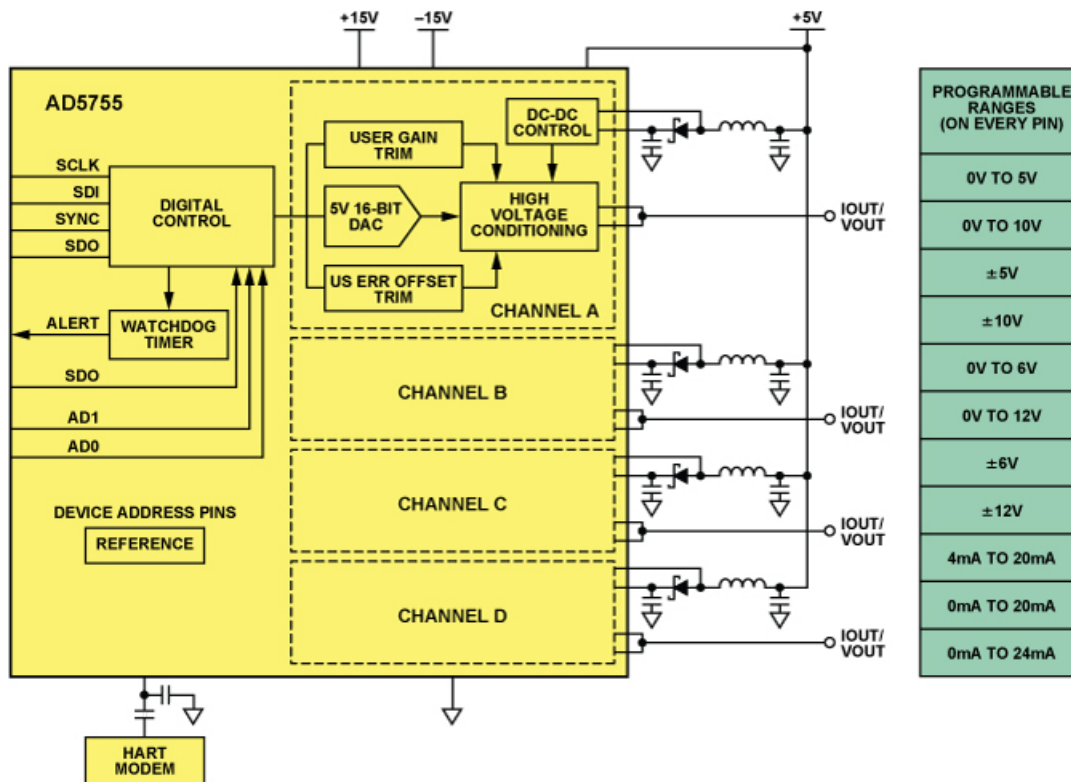


图 11. AD5755 设置

附录

有关四通道 DAC AD5755 的更多信息

四通道电压和电流输出DAC AD5755⁸采用-26V至+33V电源供电。在电流模式下，片内动态电源控制功能可以在7V至30V范围内调节输出驱动器的电压，使封装功耗最小。

AD5755 采用多功能三线式串行接口，能够以最高30MHz的时钟速率工作，并与标准SPI[®]、QSPI[™]、MICROWIRE[™]、DSP和微控制器接口标准兼容。该接口还提供可选的CRC-8 分组差错校验功能，以及用于监控接口活动的看门狗定时器。

AD5755 具有16位分辨率和单调性，同一引脚提供电压或电流输出，并具有用户可编程的失调和增益、片内诊断功能和片内5 ppm/°C（最大值）基准电压源，工作温度范围-40°C至+105°C。可用电流输出范围为0mA至20mA、4mA至20mA和0mA至24mA±0.05%，可用电压范围为0V至5V、0V至10V、±5V、±10V、±6V和±12V±0.05%。

参考文献

1. www.fieldbus.org.
2. www.cisco.com/web/strategy/docs/manufacturing/industrial_ethernet.pdf.
3. www.lammertbics.nl/comm/info/modbus.html.
4. www.profibus.com.
5. www.anybus.com/technologies/profinet.shtml.
6. www.interfacebus.com/Design_Connector_CAN.html.
7. www.interfacebus.com/INTERBUS_Field_Bus_Description.html.
8. www.analog.com/pr/AD5755.

作者简介

Colm Slattery [colm.slattery@analog.com]

1995年毕业于爱尔兰利默里克大学，获得电子工程学士学位。他曾在Microsemi的测试和开发工程部门工作，后于1998年加入ADI公司。他曾在上海从事应用工作三年，目前是工业和仪器仪表部门的一名系统应用工程师。

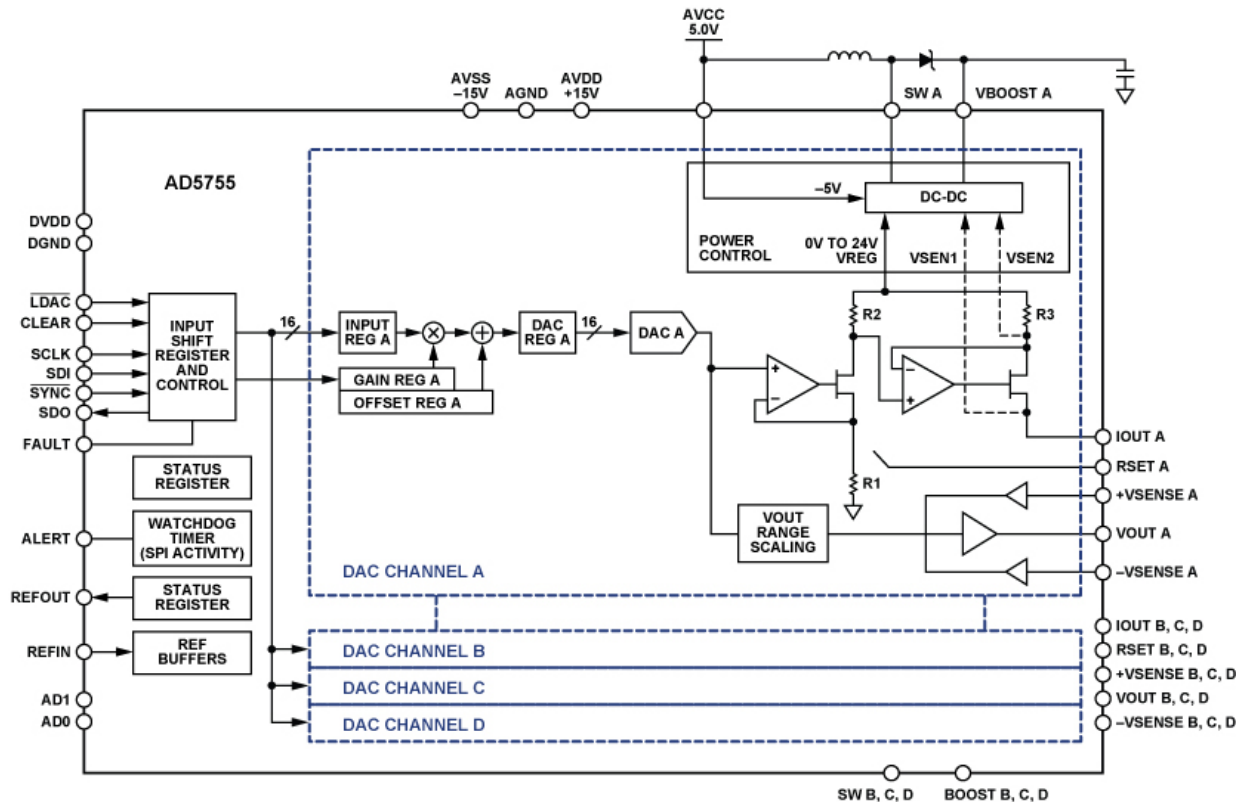


图 A. 四通道 DAC AD5755 功能框图，所有四个通道完全相同