

## Application Brief

# 利用 ADS9219 为数字控制环路设计低延迟信号链



Rahul Kulkarni and Michael Saul

## 引言

电源等闭环系统采用具有控制逻辑的反馈环路。控制算法可以使用模拟或数字电路来实现。模拟控制环路使用固定的电路硬件，因此能够优化特定负载的控制反馈。相比之下，数字控制环路可以针对各种负载进行优化。此外，由于数字控制环路不容易受到无源元件容差的影响，因此数字控制环路可提供更高的精度。本文讨论了一种低延迟控制电路，该电路使用模数转换器 (ADC) 和数模转换器 (DAC) 来实现数字控制环路。文中分别讨论了针对电流和电压测量进行优化的反馈电路。

## 数字控制环路

数字控制环路通过模数转换器 (ADC) 进行感应，利用处理器或 FPGA 进行控制，并通过数模转换器 (DAC) 来调节实验室仪器（例如电源、源测量单元和电子负载）的输出。仪器中数字控制环路的主要目标是，在负载条件或输入电压发生变化时保持稳定的输出电压或电流。可以根据负载调整控制算法，尽可能缩短仪器输出的稳定时间。

仪器中的典型数字控制环路包括以下元件，如图 1 中所示：

1. 测量单元：该元件测量仪器的输出电压和/或电流，并将测量值转换为可由控制器处理的数字信号。
2. 控制器：控制器接收仪器输出的数字测量结果，并计算误差信号，即测得的输出与参考信号之间的差异。然后，由控制算法对误差信号进行处理，以便确定需要应用于仪器的控制输入。
3. 控制算法：该元件处理错误信号，以便确定应用于仪器的控制输入。该控制算法可以基于简单的比例积分微分 (PID) 控制器，或更复杂的控制算法（如线性或非线性控制器）。
4. 数模转换器 (DAC)：DAC 负责将数字控制信号转换为可应用于仪器的模拟信号。

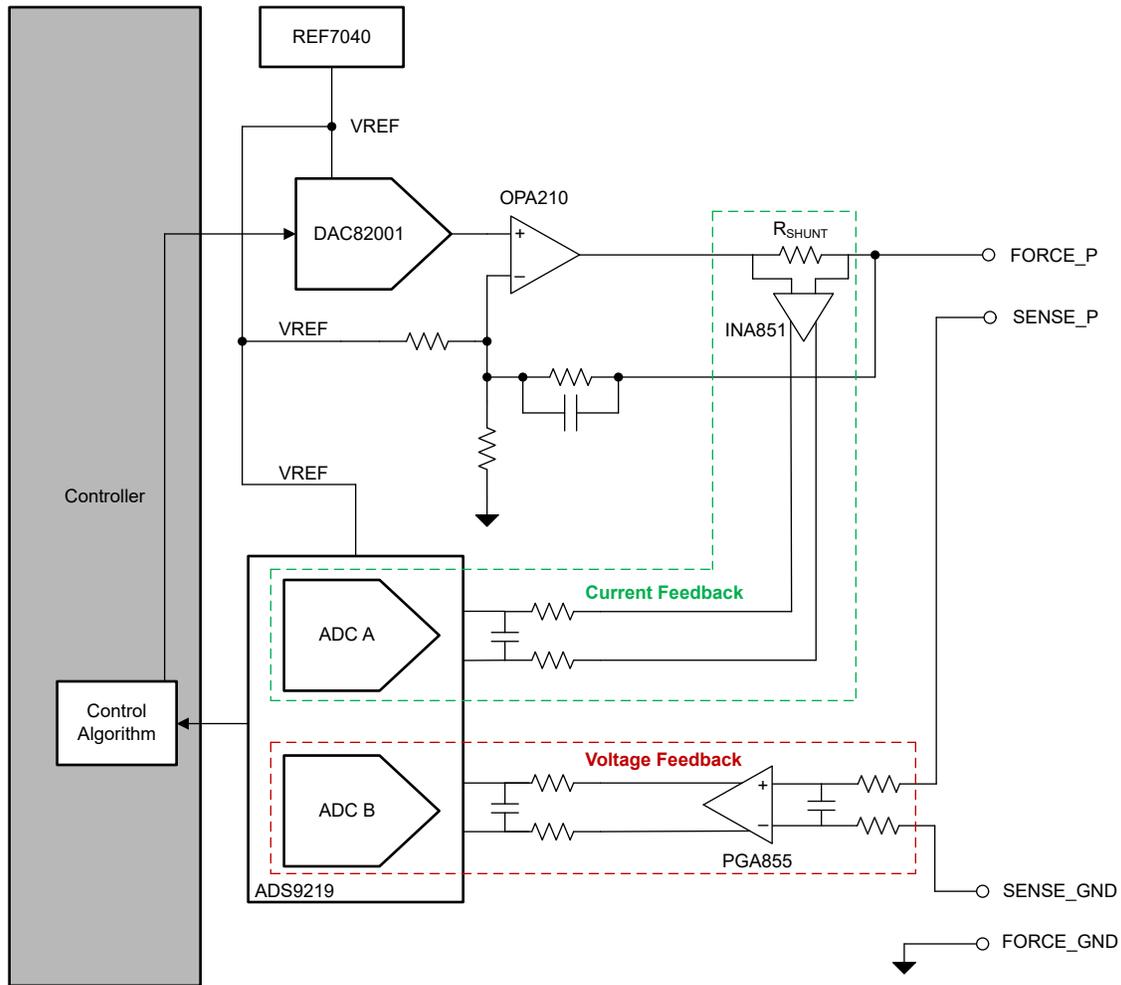


图 1. 数字控制环路方框图

数字控制环路的稳定时间或响应时间取决于控制算法调整 DAC 输入来补偿输出电压变化的速度。调整 DAC 输出电压的总延迟包括以下几部分：

1. 测量单元测量输出信号所需的时间
2. 控制算法为 DAC 生成新设置所需的时间
3. DAC 输出稳定至所需精度所需的时间

为了尽可能减少输入信号与控制环路响应之间的延迟，测量路径中需要一个用于测量电流和电压的低延迟信号链。测量单元信号链的主要规格如下：

1. 直流精度：由于测量信号用于调节 DAC 输出信号，因此精确的测量单元可提高系统精度。
2. 宽模拟带宽：这使系统能够快速响应输入信号中的瞬变和负载变化。

### 电流反馈信号链

如图 1 所示，电流反馈路径由一个精密分流电阻器、一个电流检测或仪表放大器以及一个低延迟精密模数转换器组成。

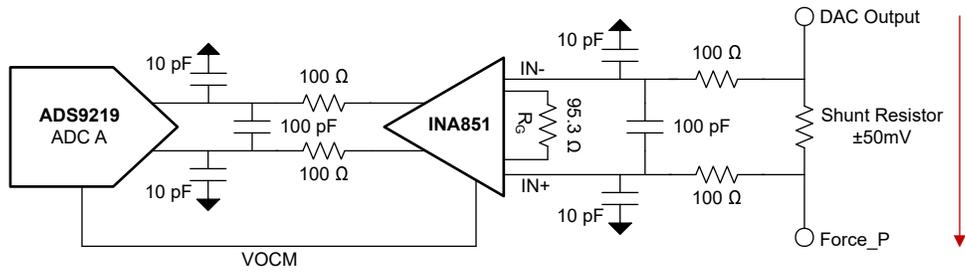


图 2. 电流反馈电路

示例电路使用了 **INA851** 和 **ADS9219**。INA851 是一款具有全差分输出的低噪声、高速仪表放大器。图 1 和图 1 分别显示了该电路在过采样率 (OSR) 为 1 和 16 时的直流直方图和阶跃稳定图。

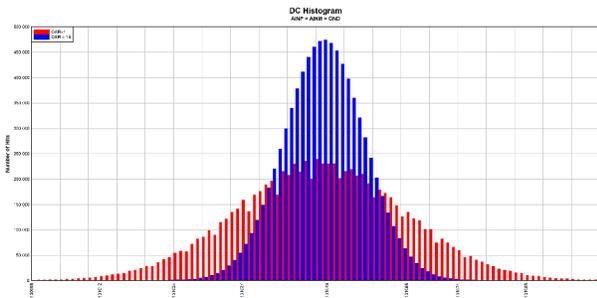


图 3. 电流反馈电路直流直方图

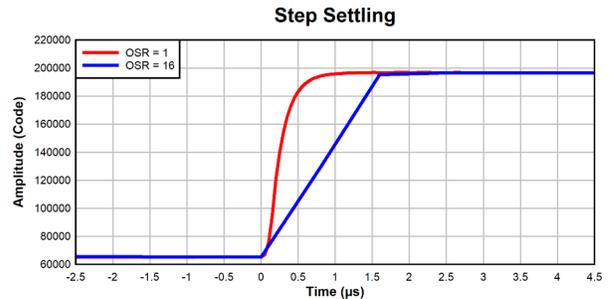


图 4. OSR = 1 和 OSR = 16 时的电流反馈电路阶跃稳定

表 1. 电流反馈电路直流直方图结果

OSR 设置	标准差	信噪比
OSR = 1	14.87LSB	75.89dB
OSR = 16	7.07LSB	82.35dB

### 电压反馈信号链

如图 1 所示，电压反馈路径由一个可编程增益放大器 (PGA) 和一个低延迟精密 ADC 组成。

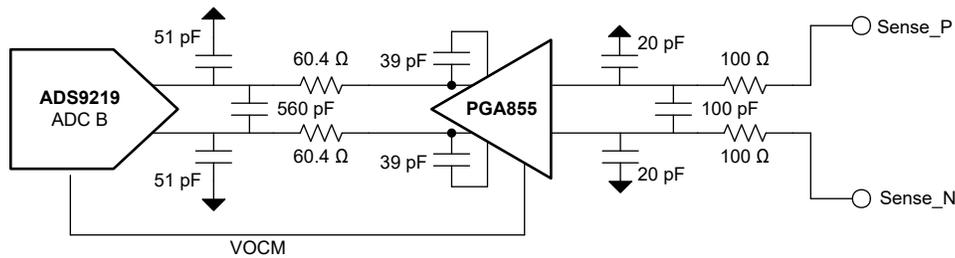


图 5. 电压反馈电路

示例电路使用了 **PGA855** 和 **ADS9219**。PGA855 是一款具有全差分输出的低噪声、高带宽、精可编程增益仪表放大器。此电路的直流直方图和阶跃稳定图分别如图 1 和图 1 所示。

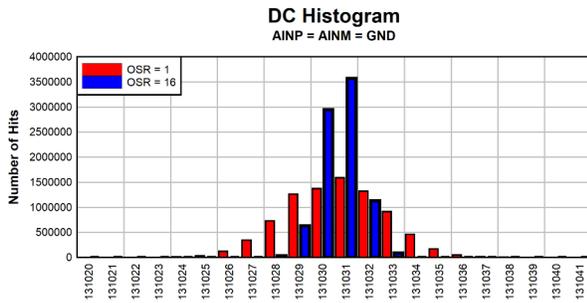


图 6. 电压反馈电路直流直方图

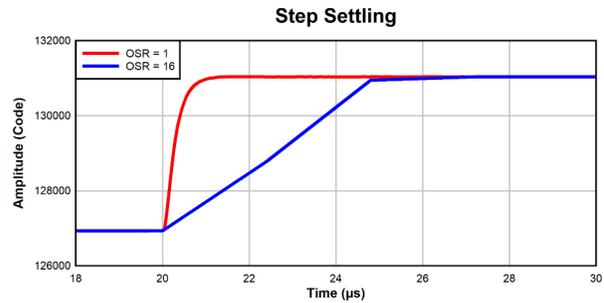


图 7. 电压反馈电路阶跃稳定

表 2. 电压反馈电路直流直方图结果

OSR 设置	标准差	信噪比
OSR = 1	2.08LSB	92.98dB
OSR = 16	0.86LSB	100.6dB

### 精密高速模数转换器

在图 1 和图 1 所示的两个电路中，ADS9219 用于准确快速地测量系统输出信号。通过将测得的模拟信号高速转换为数字值，ADC 有助于尽可能减少输入信号与控制器响应之间的延迟。低延迟 ADC 让系统能够快速准确地响应输入信号的变化，从而有助于提高控制环路的性能。

ADS9219 是一款基于逐次逼近寄存器 (SAR) 架构的 18 位 20MSPS ADC，可将模拟信号转换为以 50ns 为单位的数字值。控制器必须从 ADC 读取数值，此通信会增加 50ns 的时间。因此，控制器可以在 100ns 的总时间内从基于 ADS9219 的测量单元获取一个数字值。

ADC 的精度会影响仪器输出的精度。测量精度取决于测量单元中误差的热漂移和工作温度范围。测量中的偏移和增益误差可在仪器加电后使用校准电路进行校准，以便提高精度。ADS9219 的 18 位分辨率可实现高精度测量，如表 3 中所示。

表 3. ADS9219 的测量精度

条件	INL (ppm)	失调电压误差 (ppm)	增益误差 (ppm)	TUE (ppm)	精度
25°C	3.8	76.3	100	125.8	0.0125%
校准后 25°C	3.8	0	0	3.8	0.0003%
校准后 25°C ±5°C	3.8	5	10	11.81	0.0011%
校准后 25°C ±25°C	3.8	25	50	56.03	0.0056%

### 结语

数字控制环路针对各种不同的负载进行了优化，与模拟控制环路相比，可实现更高精度的系统。为了启用数字控制环路，测量路径中需要高精度、高带宽信号链。INA851 和 PGA855 是全差分仪表放大器，可与 ADS9219 配合使用来在数字控制环路中实现高带宽、高精度信号链。

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司