

使用 DAC8740H 替代 HART® 调制解调器器件竞争产品的电路



Precision DAC: Factory Automation and Control

Joseph Wu

设计目标

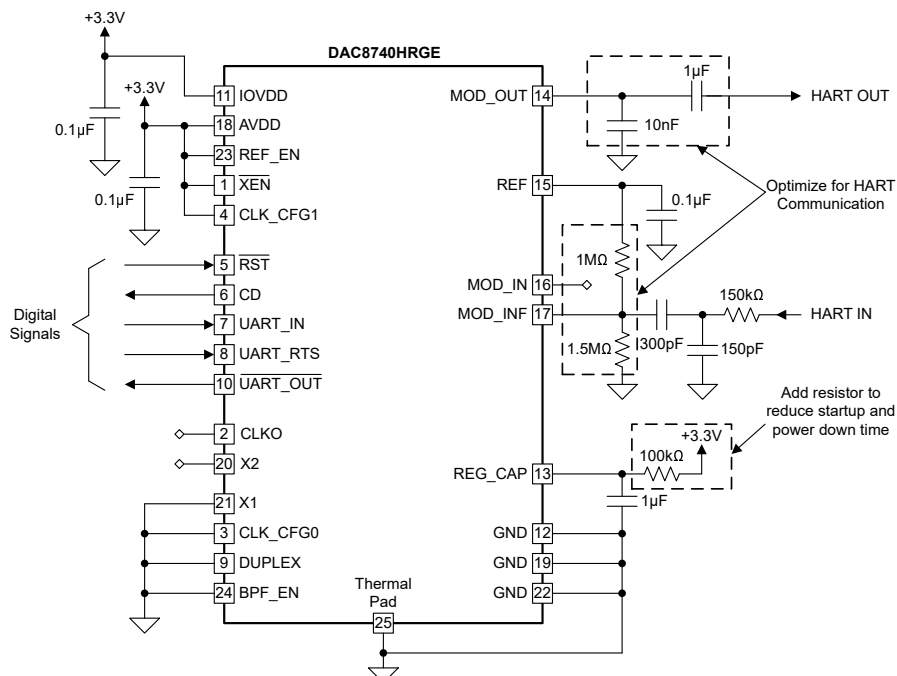
电源电压	HART® 信号输入电压	HART® 信号输出电压	推荐器件
3.3V	120mV _{pp} - 1.5V _{pp} (500mV _{pp} 标称电压)	460mV _{pp} 标称电压	DAC8740H

目标

使用 DAC8740H 可寻址远程传感器高速通道 (HART®) 调制解调器替代竞争调制解调器器件。

设计说明

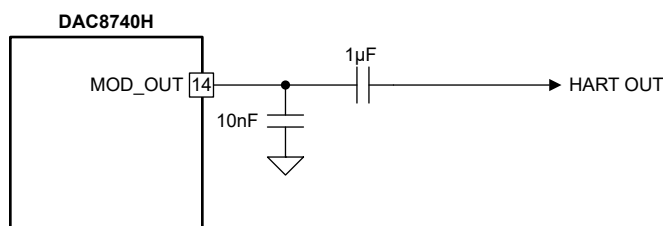
当使用 DAC8740H 替代同类竞争 HART 调制解调器时，该器件周围元件的选型非常重要。即使竞争 HART 调制解调器与 DAC8740H 引脚对引脚兼容，也需要对调制解调器周围的电阻器和电容器进行更改才能通过某些 HART 测试。本模拟工程师电路手册介绍了设置 DAC8740H 时需要进行的电路更改，以通过重要 HART 物理层测试。DAC8740H 是该电路中的调制解调器，适用于现场变送器和可编程逻辑控制器 (PLC) 等支持 HART 的器件。



设计说明

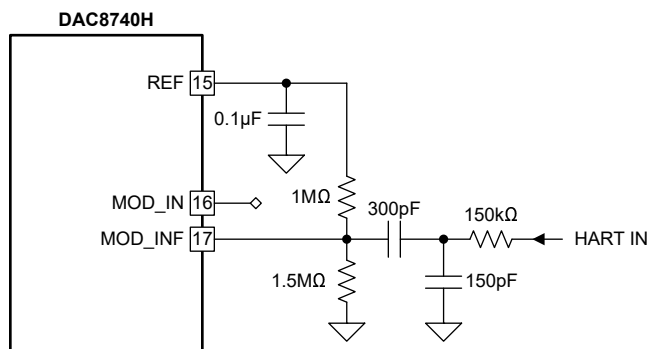
1. DAC8740H 使用的电源引脚、基准引脚和内部 LDO 引脚上需要要去耦电容器。AVDD 和 IOVDD 引脚各自使用 0.1 μ F 最小电容。内部基准 REF 引脚处需要 0.1 μ F 电容,内部 LDO 在 REG_CAP 处需要一个 1 μ F 电容器。

2. 在该电路中，内部振荡器设置器件的时序。如果使用晶体振荡器，请查看 [DAC874xH HART® 和 FOUNDATION™ 现场总线](#) 和 [PROFIBUS® PA 调制解调器](#) 数据表，以了解器件设置和电路更改。
3. REF 引脚上的内部基准电压为 1.5V，通过连接高电平的 REF_EN 引脚启用。
4. 下图显示了 DAC8740H HART 调制器的输出信号路径。

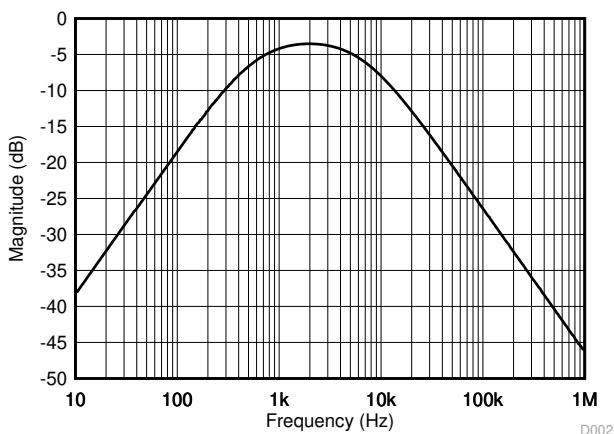


5. DAC8740H 数据表显示了一个 22nF 的 HART 输出并联电容器。将该值作为范围的上限值，且、首选值为 10nF。对于 HART 信号的直通电容，数据表显示了一个 4700pF 电容器。将该值视为电容的下限。1μF 或更大的值可用作输出将 HART 信号插入环路。
6. 当使用外部滤波器接收 HART 信号时，在 HART 输入与 MOD_INF 引脚之间布置一个由无源器件构成的带通滤波器。下图显示了该带通滤波器。请使用 X7R 或 NP0 电容器，因为容差、漂移和电压系数会改变滤波器的频率响应。

DAC8740H MOD_INF 输入设置为与其他竞争器件不同的直流电平。此处，分压器包括 REF 引脚使用 1MΩ 和 1.5MΩ 电阻器获得的不同电阻比。



下图展示了此 HART 模式外部带通滤波器的频率响应。



7. 如果外部带通滤波器的分压器分压比没有改变（如 6 中所述），仍然可以正确接收信号。但是，如果存在噪声，HART 通信可能会失败。

对于物理层测试，HART 器件必须通过噪声灵敏度等级测试。在这些测试中，会在不同的频率振幅下产生正弦干扰噪声。HART 器件必须在抑制正弦噪声的同时，检测和解码使用移频键控 (FSK) 正弦信号发送的 HART 传输内容。下表介绍了 HART 器件必须抑制的不同干扰噪声。

HART® 噪声灵敏度等级测试

干扰幅度规格	波形	频率 (Hz)	HART® 信号幅度值 (mV _{pp})
55mV _{pp}	正弦	1700	175
220mV _{pp}	正弦	250	175
880mV _{pp}	正弦	125	175
3.52V _{pp}	正弦	63	175
16V _{pp}	正弦	29	175

根据之前的测试，如果电阻分压器未设置为建议值（1MΩ 和 1.5MΩ），则低频、高压干扰信号更有可能失败。880mV_{pp} (125Hz)、3.52V_{pp} (63Hz) 和 16V_{pp} (29Hz) 的噪声信号可能会干扰 HART 传输。

8. 在 REG_CAP 与电源之间添加一个 100kΩ 的电阻器。添加该电阻有助于对电容器进行充电和放电，从而缩短器件的启动和断电时间。
9. 用 DAC8740H 替代 HART 调制解调器后，运行一整套 HART 测试。这些测试包括 FSK 物理层测试，涵盖波形特性、信号完整性和幅度、载波检测、器件输入和输出阻抗以及存在噪声时的性能。其他 HART 测试包括数据链路层测试 (DLL)、通用命令测试 (UAL) 和常见做法命令测试 (CAL)。这些测试验证协议时序、通信指令并检查应用层命令响应。

HART® 时序

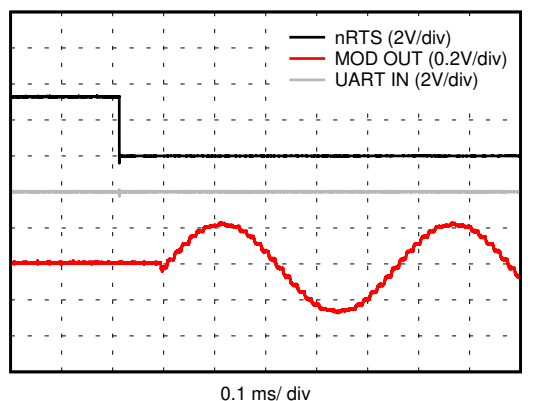
即使进行前文所述的原理图变更，仍然可能存在时序差异，对运行造成干扰。查看下表中 DAC8740H 的 HART 模式时序。

HART® 时序模式

参数	说明	最小值	最大值	单元
t_{cstart}	载波启动时间。从 $\overline{RTS}$ 下降沿到发送载波达到第一个峰值的时间。		5	位验时间
t_{cstop}	载波停止时间。从 $\overline{RTS}$ 上升沿到发送载波幅度降至低于接收幅度的时间。		3	位验时间
t_{cdecay}	载波衰减时间。从 $\overline{RTS}$ 上升沿到载波幅度降至零的时间。		6	位验时间
t_{cdeton}	载波检测开启。从接收路径上的有效载波到 CD 上升沿的时间。		6	位验时间
$t_{cdetoff1}$	载波检测关闭。从接收路径上的有效载波移除到 CD 下降沿的时间。		3	ms
$t_{cdetoff2}$	存在恒定有效接收载波的情况下，从发送模式切换到接收模式时，载波检测开启。	2.1		ms

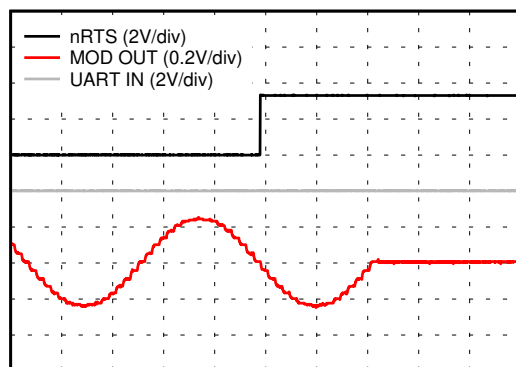
HART 信号的时序以位时间或毫秒为单位进行描述。对于 HART 信号，传输速率为 1200 波特。这意味着每个位时间为 833 μ s。上表中的时序描述了 DAC8740H 启动或停止传输的最长时间，或该器件开始或停止检测来自另一个器件的载波 HART 信号的最长时间。

以下示波器图显示了上表中描述的 HART 时序参数。首先，DAC8740H 使用请求发送 ($\overline{RTS}$) 信号启动传输。当 $\overline{RTS}$ 信号变为低电平时，HART 正弦波出现在 MOD_OUT 引脚上。以下示波器图显示了基于 $\overline{RTS}$ 输入的传输启动和停止的时序。第一幅图显示了基于 $\overline{RTS}$ 转换为低电平的 MOD_OUT 的典型载波启动时间 (t_{cstart})。



D008

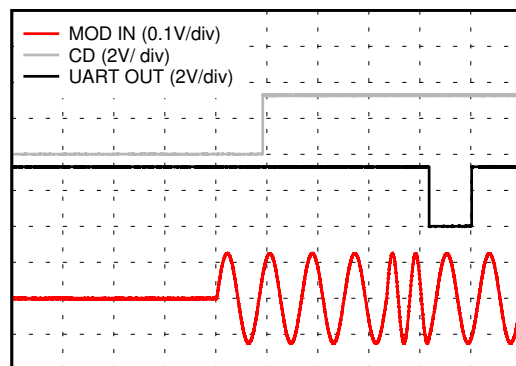
载波停止时间 (t_{cstop}) 是传输信号降至 $80mV_{PP}$ 最小可接收 HART 信号电平以下所需的时间。同样, 载波衰减时间 (t_{cdecay}) 是 HART 信号从最小可接收 HART 信号电平降至最大噪声幅度 $6.16mV_{PP}$ 所需的时间。第二幅图显示了两者的时间, 基于 $\overline{RTS}$ 上升至 MOD_OUT 完成。虽然该图没有专门显示确切的时序, 但该图显示器件符合规格。



0.1 ms/div

D009

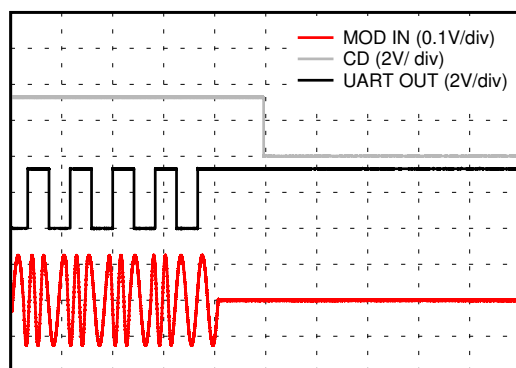
DAC8740H 使用载波检测 (CD) 信号来显示在 MOD_INF (如果使用了内部滤波器, 则为 MOD_IN) 上检测到 HART 信号。以下示波器图显示了基于 MOD_INF 或 MOD_IN 上的信号, 典型的 CD 启动和停止传输时序。第一幅图显示了典型的载波检测开启 (t_{cdeton}) 时间, 其中当检测到 HART 信号时 CD 会上升。



1 ms/div

D011

该最后一幅图显示了载波检测关闭 ($t_{cdetoff1}$) 时间, 其中当 HART 信号完成让 DAC8740H 载波检测停止时 CD 会下降。



0.5 ms/div

D010

HART 时序模式表的最后一行是从发送模式转换到接收模式时的载波检测时序 ($t_{cdetoff2}$)。RTS 完成后，使用该最小值检测是否存在来自另一个变送器的 HART 信号。

在大多数情况下，用 DAC8740H 替代竞争器件不需要对栈时序进行任何更改。但是，如果测试存在问题，则可以检查时序差异。

器件兼容性

DAC8740H 器件旨在耦合不同 HART 变送器产品中 MOD_OUT 上的信号。DAC8760、DAC7760、DAC8771、DAC8775、DAC161S997 等器件和 DAC161P997 都具有专用 HART 输入引脚，这些引脚可以将 HART 信号耦合到 DAC 输出。要将 HART 信号耦合到上面列出的任何 DAC 的输出，请查看相应器件的数据表。

此外，即使 DAC 没有专用 HART 输入引脚，也可以使用 DAC8740H 使环路供电的 4-20mA 现场变送器支持 HART。DAC8830 和 DAC8740H 在 [采用 HART 调制解调器的高精度环路供电 4mA 至 20mA 现场变送器参考设计](#) 中作为支持 HART 的变送器一起显示。此拓扑可用于通过来自任何通用电压输出 DAC 的 HART 信令创建的环路变送器。

有关 HART 协议的详细信息，请参阅 [HART 协议基本指南](#)。有关 HART 兼容型 DAC 器件和 HART 协议测试的信息也可在以下文档中找到：

- [支持 HART 的 PLC 模拟输入模块参考设计](#)
- [适用于 4-20mA 环路且支持 HART 的现场变送器的设计和测试](#)
- [基于评估模块设计且支持 HART 的变送器](#)

设计中采用的器件

使用 [参数搜索工具](#) 查找其他可能的 DAC 器件。

器件	主要特性	链接
DAC8740H、DAC8741H	DAC874xH HART® 和 FOUNDATION™ 现场总线和 PROFIBUS® PA 调制解调器	DAC8740H
DAC8742H	DAC8742H、HART 和 FOUNDATION 现场总线/PROFIBUS PA 调制解调器	DAC8742H
DAC8760、DAC7760	DACx760 适用于 4mA 至 20mA 电流环路应用的单通道、12 位和 16 位可编程电流和电压输出数模转换器	DAC8760
DAC8750、DAC7750	DACx750 适用于 4mA 至 20mA 电流环路应用的单通道、12 位和 16 位可编程电流输出数模转换器	DAC8750
DAC8775	DAC8775 具有自适应电源管理功能的四通道 16 位可编程电流输出和电压输出数模转换器	DAC8775
DAC8771	DAC8771 具有自适应电源管理功能的单通道 16 位电压和电流输出数模转换器	DAC8771
DAC8830	DAC8830 16 位、单通道、超低功耗、电压输出 DAC	DAC8830
DAC161S997	DAC161S997 4-20mA 环路用 16 位 SPI 可编程 DAC	DAC161S997
DAC161P997	DAC161P997 4mA 至 20mA 环路用单线 16 位 DAC	DAC161P997

设计参考资料

有关 TI 综合电路库的信息，请参阅[模拟工程师电路说明书](#)。

其他资源

- 德州仪器 (TI)，[HART 协议基本指南应用手册](#)
- 德州仪器 (TI)，[适用于 4-20mA 环路且支持 HART 的现场变送器的设计和测试应用手册](#)
- 德州仪器 (TI)，[基于评估模块设计且支持 HART 的变送器应用手册](#)
- 德州仪器 (TI)，[采用 HART 调制解调器的高精度环路供电式 4mA 至 20mA 现场变送器参考设计](#)
- 德州仪器 (TI)，[支持 HART 的 PLC 模拟输入模块参考设计](#)
- 德州仪器 (TI)，[TI 高精度实验室 - DAC](#)

如需 TI 工程师提供直接支持，请登陆 TI E2E™ 社区：

e2e.ti.com

商标

FOUNDATION™ is a trademark of Fieldbus Foundation.

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

HART® is a registered trademark of FieldComm Group, Inc..

PROFIBUS® is a registered trademark of PROFIBUS Nutzerorganisation e.V..

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月