

连接/参考器件	
ADuCM355	搭载化学传感器接口的精密模拟微控制器
ADT7320	±0.25°C精度、16位数字SPI温度传感器

符合辐射抗扰度的有毒气体检测电路

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0425电路评估板\(EVAL-ADuCM355EMCZ\)](#)

设计和集成文件

[原理图](#)、[布局文件](#)、[物料清单](#)

电路功能与优势

有毒气体检测仪器广泛用于提醒人们高浓度危险气体。这些仪器有许多使用电化学气体传感器，其包含多个金属板、金属销和内部金属焊线。这些金属部件可能使传感器容易从附近的射频通信网络拾取能量，这可能导致仪器报告的气体浓度不正确，甚至误报。对于最终用户来说，误报而导致不必要的工作场所疏散或工厂停机可能会造成极其昂贵的成本。

欧洲标准EN 50270：2015年，《电化学兼容性—用于检测和测量可燃气体、有毒气体或氧气的电气设备》规定了有毒气体检测仪器必须支持的射频频率范围和功率水平。

在电波暗室中使用多个传感器对CN-0425电路进行广泛测试，以证明符合EN 50270辐射抗扰度规格。另外还在高功率无线电发射器附近进行了额外的测试，以证明其在抑制近场RF干扰方面的鲁棒性。

图1显示了连接的电化学气体传感器(M1)以及偏置和测量电化学有毒气体传感器的方法。本电路笔记还显示并说明了用于提高整个电路辐射抗扰度的滤波器。

Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

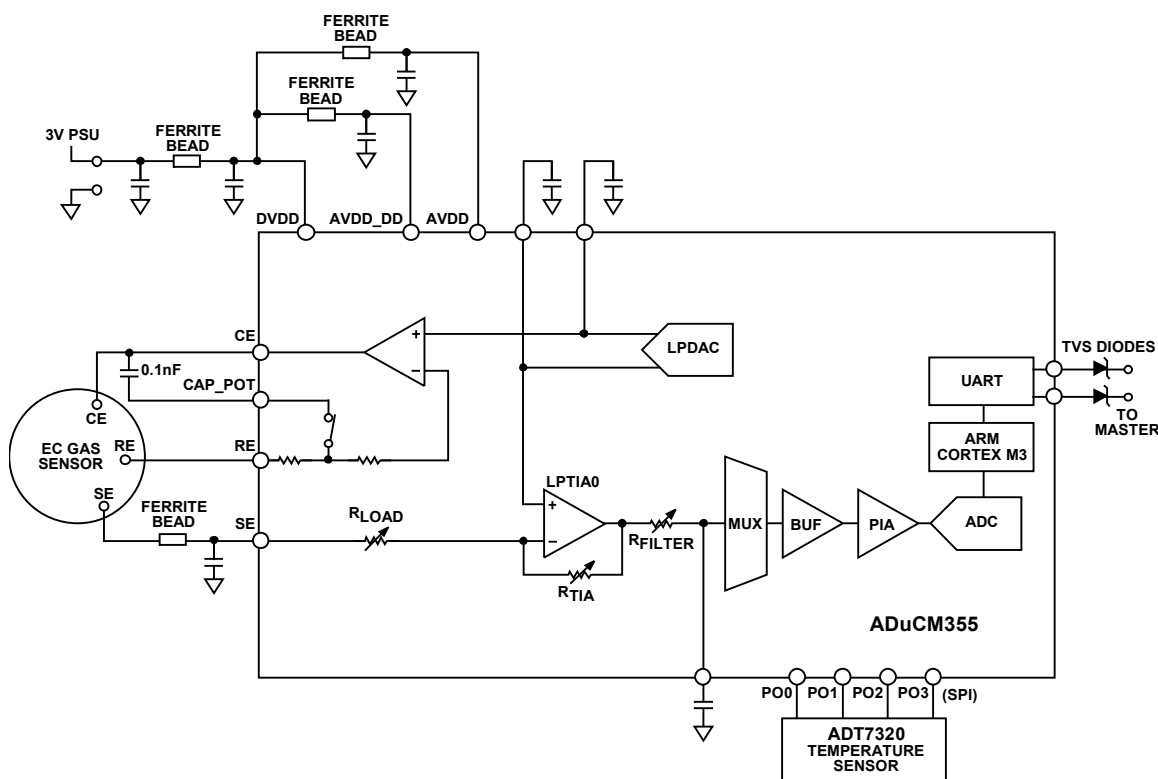


图1. EVAL-ADuCM355EMCZ的简化电路图

电路描述

图1显示了一款连接到ADuCM355的3引脚电化学(EC)有毒气体传感器。ADuCM355实现了气体传感器的恒电位仪功能。它在传感器的RE和SE引脚之间提供恒定且稳定的偏置电压源，同时提供电化学反应所需的吸电流/源电流。流入/流出传感器感测电极(SE)引脚的电流与传感器周围的空气中的目标气体量成比例。对于在测试该电路期间使用了Citicel一氧化碳传感器，则此为55nA/ppm的一氧化碳气体。传感器的SE引脚连接到ADuCM355的低功率TIA0通道。该低功耗TIA0通道由模数转换器(ADC)测量。该ADuCM355处理器用于将测得电流转换为PPM气体浓度，并定期将此结果发送到UART端口，以显示在PC上。

对于给定ppm的目标气体，在EC传感器中流动的电流随温度而变化。因此，要确定最终的ppm水平，就要对气体传感器的电流读数进行温度补偿。ADuCM355有一个片内温度传感器。图1所示为ADT7320，一款外部温度传感器，通过SPI端口连接到ADuCM355，这是一种更精确的温度测量选项。

为确保恒电位仪电路和EC传感器在存在射频场时保持稳定，增加了额外的外部滤波器。本电路笔记的后续各节将对此进行描述。

电化学气体传感器连接与EMC滤波

图2显示了3引脚电化学气体传感器与ADuCM355的通道0恒电位仪电路之间的连接。

气体传感器的数据表规定了传感器产生正常电化学反应所需要的偏置电压。偏置电压是参考电极(RE)与感测电极(SE)或工作电极(WE)之间的电压差。该差分电压由LPDAC0 (VBIAS0至VZERO0) 的输出设置。VBIAS0输出连接到放大器PA的同相端。PA放大器的输出直接连接到传感器的反电极(CE)上。PA放大器反相端的反馈来自传感器的RE引脚。因此，VBIAS0决定RE引脚电压。

传感器的感测/工作电极通过反相输入端连接到ADuCM355的LPTIA0放大器。LPTIA0放大器是一款跨阻放大器，带有可编程负载电阻(R_{LOAD})和可编程增益电阻(R_{TIA})。流入/流出传感器SE电极的电流反映传感器周围大气中的目标气体浓度。传感器数据手册则用电流/ppm表示。LPTIA0放大器将电流转换为电压，然后通过ADC进行缓冲和测量。微控制器可以计算流入/流出SE0引脚的电流，从而确定目标气体的ppm水平。



该电路解决的问题是确保传感器的偏置电压不受射频干扰。如果偏置电压受其建立的稳定电压干扰,则额外的电流流入/流出SE电极并且可能导致误报或漏报。

- 外部 100nF 的电容器 (C1) 连接到 [ADuCM355](#) 的 CAP_POT0 引脚。C1 电容的另一侧通过标为 E3 的磁珠连接到传感器的 CE 引脚。标为 SW3 的可编程内部开关允许 CE0 端子通过该电容连接到 RE0。这意味着在低频时，CE0 和 RE0 之间的连接是开路的；然而，在高频时，100 nF 电容表现为短路。而且，在高频率下，磁珠的电阻特性占主导，如图 7 所示。这有助于保护传感器免受通过反电极 (CE) 产生的干扰。

- 传感器的感测/工作电极通过图2中标为E5的磁珠连接到ADuCM355的SE0引脚。图中还显示了一个30 pF的GND电容(C5)。该电容和磁珠形成针对高频的RC滤波器。电容的性能需要高达2.7 GHz，因此建议使用村田制作所GJM0225C1C220JB01一类电容。在印刷电路板(PCB)的布置方面，需要将磁珠和电容尽可能靠近传感器的SE引脚放置。图5显示了该电容行为与频率关系的一些细节。
- 在传感器的RE电极附近放置了一个类似的磁珠和电容($\leq 30\text{pF}$)。磁珠和电容在图2中分别标记为E4和C3。
- LPTIA0的输出有一个可编程低通RC滤波器。电容是一个外部100 nF电容，连接到ADuCM355的AIN4_LPF0引脚。

电阻R标为 R_{LPF} ，其值可编程为 0Ω （旁路选项）至 $1M\Omega$ 。

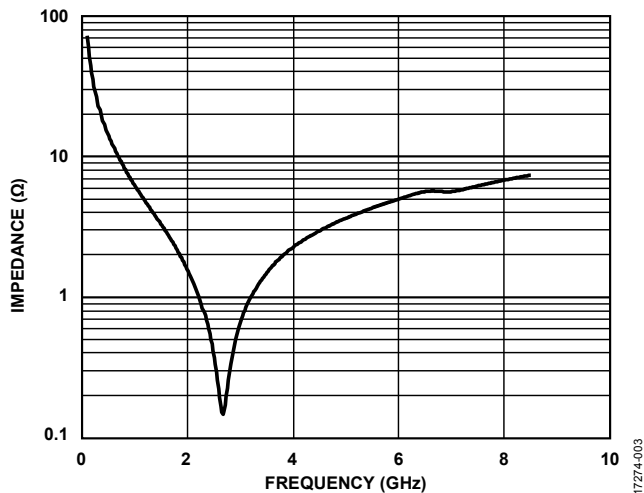


图3. GJM0225C1C220JB01 电容阻抗与频率的关系

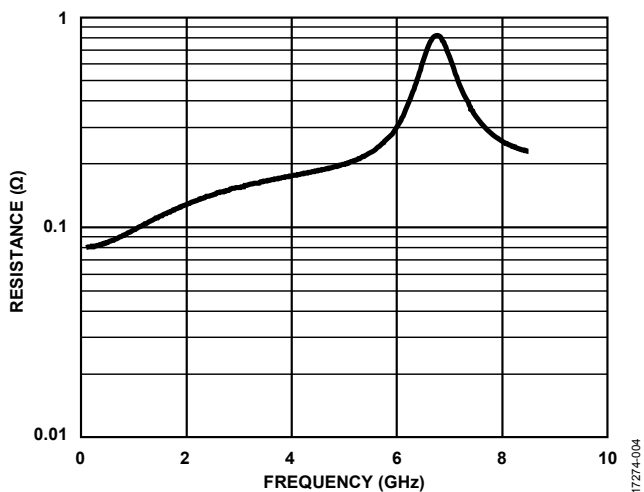


图4. GJM0225C1C220JB01 电容电阻与频率的关系

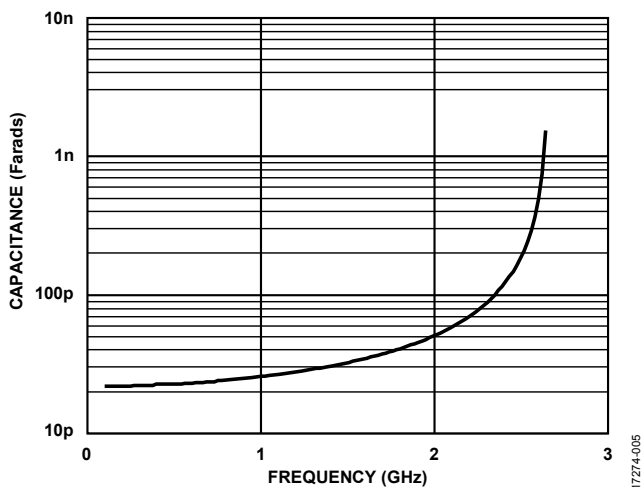


图5. GJM0225C1C220JB01 电容的电容与频率的关系

电源

该电路由3 V电源（电池或电源）供电。

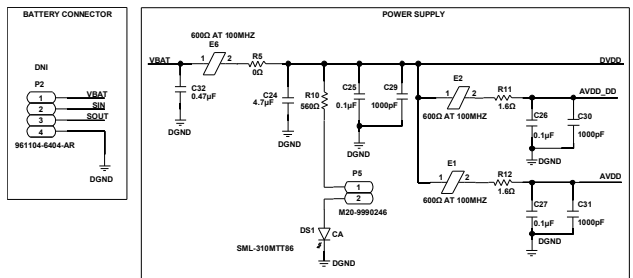


图6. EVAL-ADuCM355EMCZ板的电源部分

由铁氧体磁珠和 $0.1\mu F$ 电容组成的滤波器与主电源输入串联。额外的滤波器与AVDD和AVDD_DD电源电压串联。

这些滤波器用于限制耦合到电源的高频干扰，因为其电阻组分在高频时占主导，如图7所示。

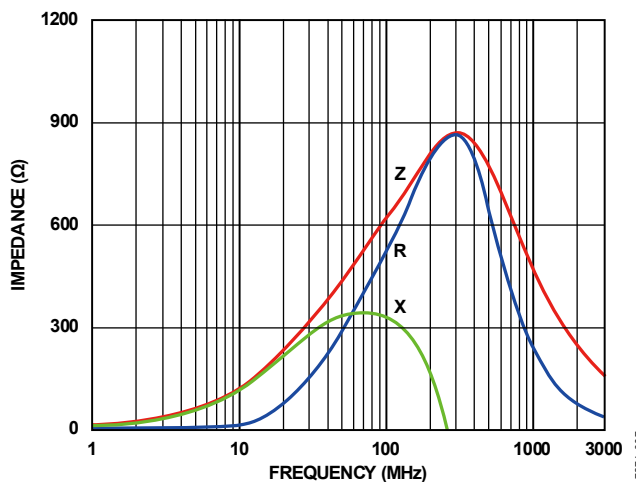


图7. BLM03AX601SN1的频率响应

RESISTANCE ELEMENT
BECOMES DOMINANT
AT HIGH FREQUENCIES

图8. BLM03AX601SN1的等效电路

外部温度传感器

电路板上提供了一个外部数字温度传感器ADT7320。该传感器通过SPI端口连接到ADuCM355。大多数电化学气体传感器的气体电流/ppm随温度变化；因此，需要对最终测量值进行温度补偿。虽然提供了内部温度传感器，但ADT7320（在 -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 范围内精度为 $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ ）具有更好的性能规格。

编程与通信接口

4引脚电源连接器P2也连接到ADuCM355 (SIN, SOUT) 的UART通信信号。SIN和SOUT信号均通过ESD保护二极管钳位到地。瞬变电压抑制器 (TVS) 二极管型号为SESD0201X1UN。这些二极管确保UART通信引脚符合标准EN 61000-4-2设置的三级静电放电测试要求。EN 50270表1引述了该标准, 额定电平方面, ESD接触放电测试为 ± 6 kV, 空气放电测试为 ± 8 kV。对于接触和空气放电测试, 二极管的额定电压为 ± 20 kV。未在EVAL-ADuCM355EMCZ板上执行ESD测试。

EVAL-ADuCM355EMCZ的示例代码将ADC和气体传感器测量结果发送到UART。可以使用诸如RealTerm之类的通信端口查看应用捕获该文本并将其显示在PC上。

ADuCM355微控制器可以通过串行线调试接口编程。P1连接到ADuCM355的SWDIO和SWCLK引脚。EVAL-ADuCM355EMCZ套件提供一块适配器板和一个编程仓, 用于支持编程和用户代码调试, 如图9所示。



图9. 将编程/调试POD连接到EVAL-ADuCM355EMCZ

常见变化

用一个3引脚电化学气体传感器 (CE、RE、WE) 对电路进行了测试。但该电路也支持4引脚 (CE、RE、WE1、WE2) 和2引脚传感器 (CE和WE)。对于带有第二工作电极的4引脚传感器, 在WE1和WE2传感器引脚上同时添加相同的磁珠和GND电容。

电路评估与测试

参见EN 50270: 2015表1, 其中规定了射频电磁抗扰度 (RF抗扰度) 的频率范围和功率水平。其引用的RF抗扰度规格为61000-4-3。目标规格为10 V/m (功率水平), 频率范围为80 MHz至1 GHz和1.4 GHz至2.0 GHz。在2 GHz至2.7 GHz的频率范围内, 目标规格为3 V/m。

这些是欧洲安全应用中使用的气体检测仪器的EMC要求。编程和通信接口部分中提到的TVS二极管涵盖了EN 50270:2015表1所列静电放电要求。本电路笔记特别注重80 MHz至2.7 GHz频率范围内的RF抗扰度。

在测试中, 使用了多个Citytech 4系列传感器: 一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)、硫化氢(H₂S)和氰化氢(HCN)。这些是3引脚传感器。对于CO传感器, 允许的最大干扰比失调测量值高3 ppm。这个3 ppm的值是标准文件EN 45544-2:2015附录A中规定的测量下限。每个传感器允许的最低干扰来自该表。

在辐射抗扰度测试中采用的是一氧化碳(CO)传感器。标准EN45544-2附录A表将CO传感器的测量下限规定为 ± 3 ppm。这种超低气体水平是RF干扰的目标规格。

EVAL-ADuCM355EMCZ 设置说明

图11显示了四块EVAL-ADuCM355EMCZ板, 每块板上都连接有一个4系列Citytech CO传感器。每个传感器都由自己的2x AA电池组供电, 电源电压为3 V。

图10所示为高功率无线电测试设置的功能框图。

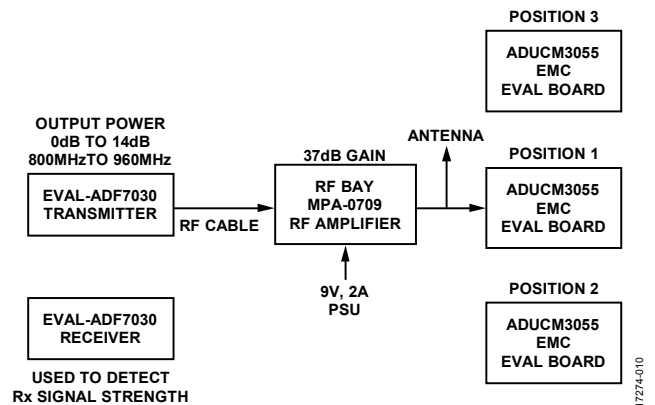


图10. 用于高功率无线电测试的设置框图

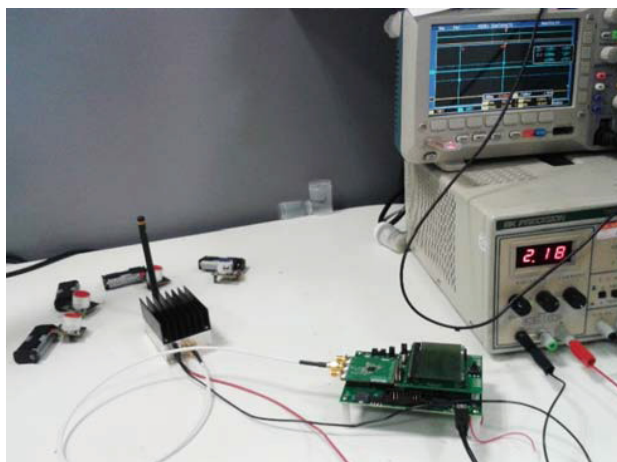


图11. 用于高功率无线电测试的设置照片

ADuCM355微控制器上运行的嵌入式代码配置恒电位器的0通道，将传感器偏置电压设为0 V，同时将低功耗DAC0输出（ V_{ZERO} 和 V_{BIAS0} ）设为1.1 V。始终为传感器引脚启用偏置电压。微控制器每500 ms对LPTIA0通道采集12个ADC样本。求出这些样本的均值，并将结果存储在闪存中。完成测试后，可以通过UART端口从设备读取测试结果。在测量之间，微控制器进入休眠模式以省电，但恒电位器0电路保持活动状态。

嵌入式辐射抗扰度测试代码随EVAL-ADuCM355QSPZ和EVAL-ADuCM355EMCZ评估软件包，作为示例应用工程提供。该代码位于examples目录下的M355_EMC_DemoBrd_Test目录中。有关评估软件包的更多详细信息，请参阅EVAL-ADuCM355QSPZ评估板用户指南。

电波暗室测试

EVAL-ADuCM355EMCZ板在电波暗室中测试，其中，电路板上传输的RF能量扫过整个频率，功率水平各异。

- 80 MHz至2 GHz。
 - 对10 V/m、20 V/m和30 V/m功率水平重复上述步骤。
 - 重复执行每个功率水平的测试，使电路板的方向水平并垂直于RF源。
- 2 GHz至2.7 GHz。
 - 对6 V/m和9 V/m功率水平重复上述步骤。
 - 重复执行每个功率水平的测试，使电路板的方向水平并垂直于RF源。

图12所示为电波暗室中的最差情况干扰。电波暗室中的所有测试都在CO传感器允许的 ± 3 ppm扰动水平以内。

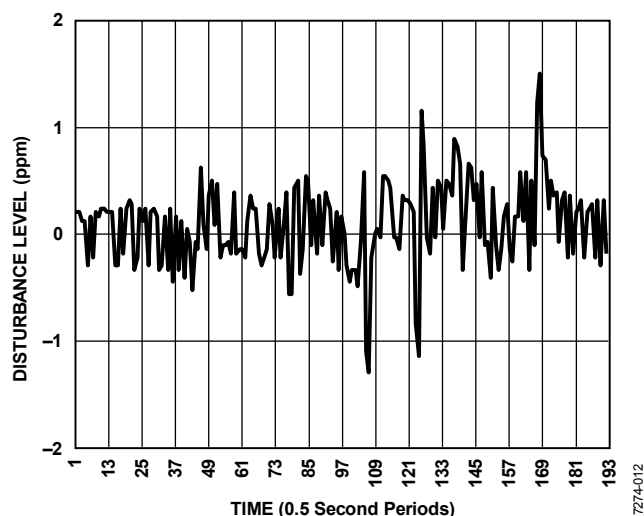


图12. 30 V/m 下80 MHz至2 GHz RF扫描的示例结果

近场无线电测试

许多气体检测仪器制造商还会测试其仪器在近场干扰源下的鲁棒性，例如900 MHz附近的ISM频段或2.4 GHz的Wi-Fi频率范围内通信的高功率无线电。在现实应用中，气体检测仪器可以放置在这里的高功率发射器旁边，并且仍能正常工作。

EVAL-ADuCM355EMCZ板需要进行两次近场测试。首先，使用带有外部RF放大器的可编程RF源进行频率扫描，然后使用便携式天线进行一组测试，测量发射功率。

RF放大器测试

在此测试中，可配置的ISM频段RF发射器(EVAL-ADF7030DB7Z)连接到37 dB RF增益放大器。

将EVAL-ADF7030DB7Z配置为周期性地发射，输出功率设置为0 dB至5 dB。天线连接接入RF放大器(MPA-0709)。该放大器具有37 dB的固定增益。将若干EVAL-ADuCM355EMCZ板放在放大器旁边。每个ADuCM355都使用与EVAL-ADuCM355EMCZ设置描述部分所述嵌入式代码进行编程。从图10所示框图可见一斑。所用设置的照片如图11所示。

另一块EVAL-ADF7030DB7Z ISM无线电评估板配置为接收器，以确保传输的信号有效。

天线和射频放大器设置为按最大值5 W辐射。

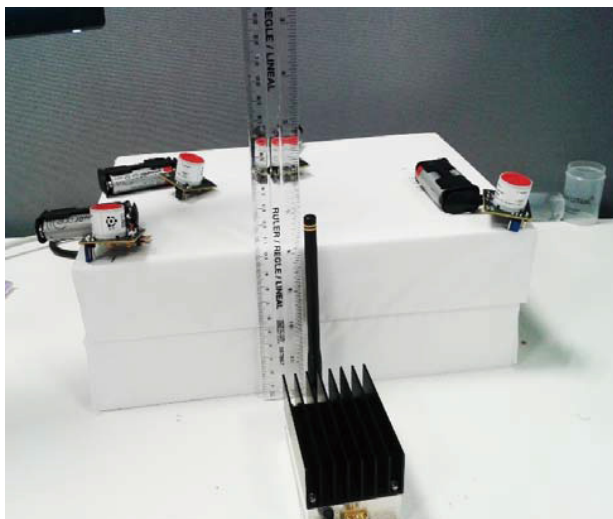


图13. 高功率无线电测试设置照片
(其中展示了发射器和传感器之间的距离)

使用射频放大器设置进行了大量测试，以确定最稳健的滤波器。测试频率为800 MHz、900 MHz和920 MHz。

来自气体传感器的电流通过ADC进行监测。同时监测传感器引脚电压 (V_{CE} 、 V_{RE} 和 V_{WE})。

其中一项早期测试以30分钟为周期，将射频场施加于传感器。在该测试中，没有磁珠与传感器引脚串联。E3、E4和E5被0Ω链路取代。图14和图15所示为结果。

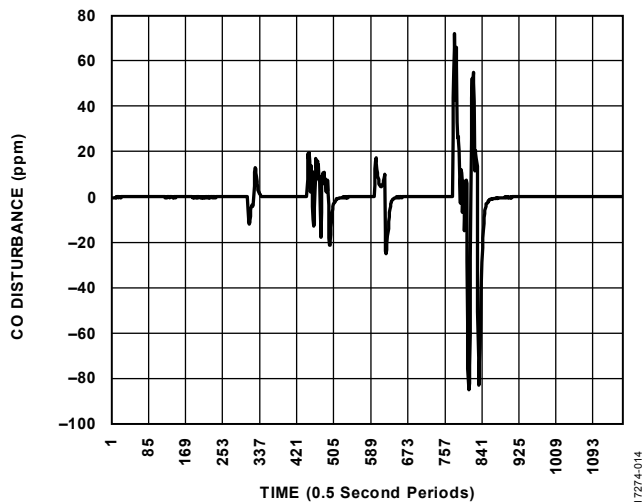


图14. 传感器电流 (无磁珠与CO传感器引脚串联) —— 产生了误报

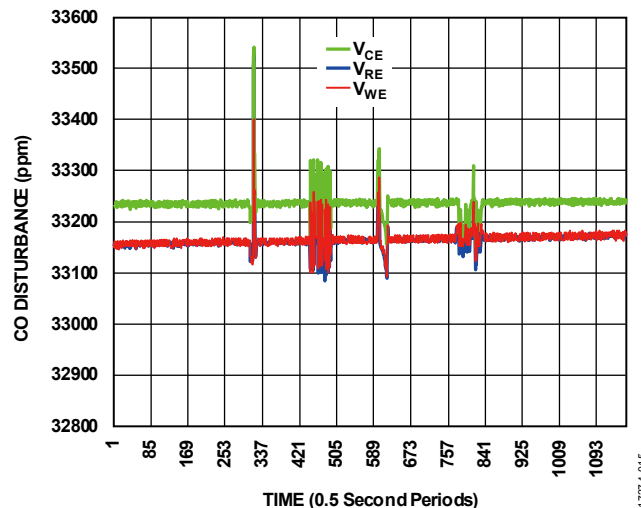


图15. 传感器引脚电压 (无磁珠与CO传感器引脚串联) —— 产生了误报

图14的y轴是CO气体的ppm水平，反映了从LPTIA0通道测量的电流。如图所示，检测到大于70ppm的水平。30 ppm CO是CO警报的阈值。3 ppm最大干扰是目标；因此，传感器和恒电位器电路受到了严重干扰。图15显示了在传感器参考电极(RE)、工作电极(WE)甚至反电极(CE)上测量的电压的ADC代码。

图16和图17显示了重复测试结果，但这次每个传感器引脚都有磁珠 (E3、E4和E5) 与22 pF电容 (C3和C4) 串联到GND。这次传感器引脚上的电压保持稳定，如图17所示。图16展现出轻微的干扰；但是，CO传感器的ppm水平 $<\pm 2$ ppm。

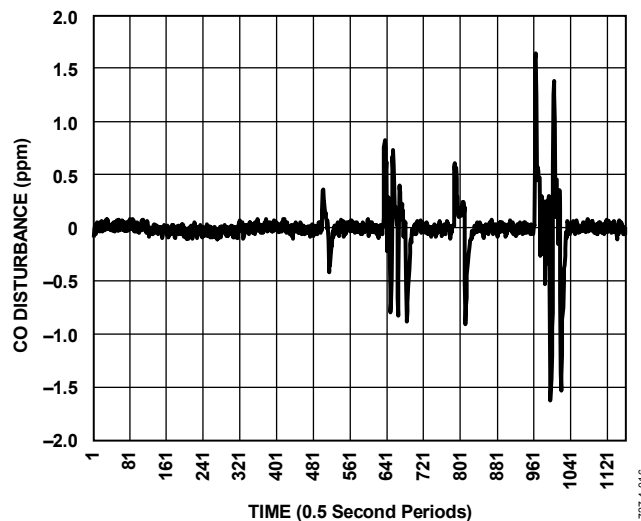


图16. 传感器电流 (磁珠与CO传感器引脚和每个传感器引脚上的GND电容串联)

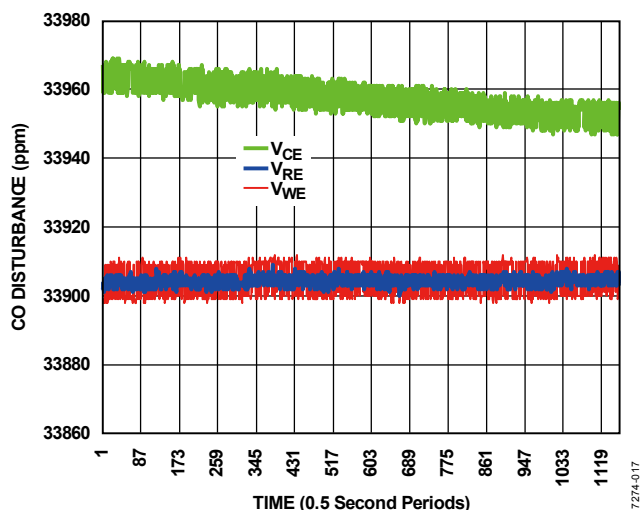


图17. 传感器引脚电压（磁珠与CO传感器引脚和每个传感器引脚上的GND电容串联）

以下是针对射频发射机测试的建议：

- 如果所用传感器的偏置电压要求为0 V，则通过设置LPTIASW0 [6] = 1配置SW6，如图2所示；确保LPTIA0同相引脚电压与RE传感器引脚电压相同。
- ADuCM355在传感器的SE/WE引脚和LPTIA0的反相输入之间提供一个可编程负载电阻。大多数电化学气体传感器出于稳定性需要，要求负载电阻 $\geq 10\Omega$ 。但是，由于传感器的内部电容非常大，负载电阻需要 $\leq 47\Omega$ 才能实现传感器的最优建立时间/响应时间。当 R_{LOAD} 设置为30 Ω 时，与10 Ω 设置相比，结果略有改善。
- ADuCM355在其TIA放大器上提供可编程增益电阻。在测试期间，使用较大的RTIA电阻值时，情况略有改善。因此，建议尽量使用尽可能大的RTIA增益电阻。

便利的天线射频放大器测试

使用一款十分便利的发射器另外进行了一组近场测试。这次测试是在电波暗室（ALSE室）中进行的，其中RF输出功率经过控制和校准。

所用天线是带有420nJ元件的宽带微型Schwarzbeck SBA 9113。

经过测试的频率范围为360 MHz至2620 MHz。发射器放置在EVAL-ADuCM355EMCZ板上方约50 mm处。每个频率点的停留时间为3秒。

每次测试都是使用EVAL-ADuCM355EMCZ板完成的，相对于天线的角度为0°和90°。表1中提供了进一步的细节。

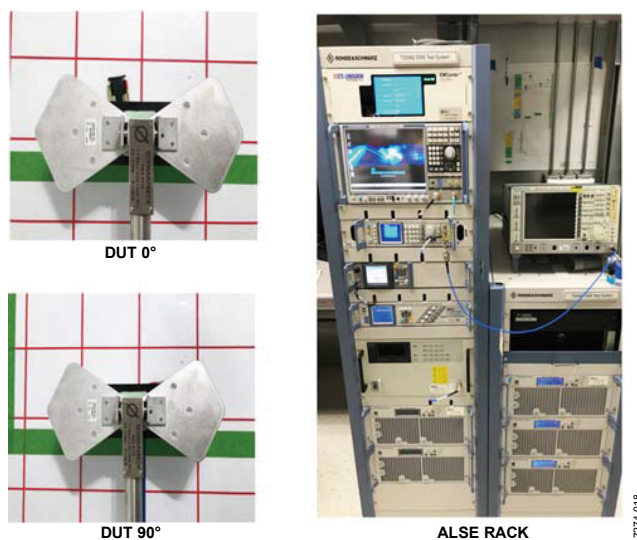


图18. 便利天线测试设备照片

表1. 便利天线测试清单和明细¹

测试编号	频率(MHz)	步长	电平 (瓦特)
1	360至530	2.0%	10
2	410至470	N/A	10
3	764至960	0.5%	8
4	1240至1300	0.5%	3
4	1429至1453	N/A	N/A
5	1626至2400	0.5%	6
6	1885至2025	N/A	2
7	2400至2620	N/A	6

¹ N/A表示不适用。

只有764 MHz至960 MHz范围内的频率范围测试报告CO ppm读数大于3 ppm。当在5 W功率水平下重复执行时，读数小于3 ppm。所有其他测试结果通过。

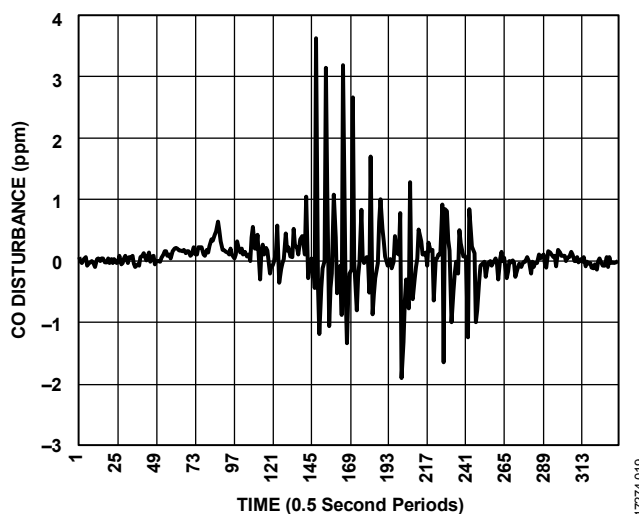


图19. 764 MHz至960 MHz、8 W便利天线统计结果

若在从气体传感器引脚移除磁珠和电容的条件下重复测试，则会检测到大于 $\pm 15\text{ppm}$ 的干扰。

更多资料

CN-0425设计支持包:

www.analog.com/cn/CN0425-DesignSupport

EVAL-ADuCM355EMCZ用户指南

数据手册和评估板

[ADuCM355数据手册](#)

[ADT7320数据手册](#)

[EVAL-ADuCM355QSPZ评估板](#)

修订历史

2018年12月—修订版0: 初始版

I²C指最初由Philips Semiconductors（现为NXP Semiconductors）开发的一种通信协议。

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab reference designs in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN17274sc-0-3/19(0)



www.analog.com/cn