

# LMP7721

*Application Note 1798 Designing with Electro-Chemical Sensors*



Literature Number: ZHCA349

# 应用电化学传感器的设计

美国国家半导体公司  
应用注解 1798  
Muna Acosta  
2008年6月24日



早在1950年电化学传感器就已用于氧（气）的监测；随着对于人生安全的重视与日俱增，便携式电化学传感器的需求显著增加。今天，电化学传感器已经普遍用在监测各种有害气体的便携设备中。

电化学传感器的原理是检测气体的化学反应所产生的电流，而这一电流与气体的浓度成比例。旧式电化学传感器基于两个电极配置；而为了达到优良的电化学稳定性，目前使用的是三电极系统。这三个电极彼此并联堆叠，由一个电解质薄层分隔，电解质在电极之间提供了离子的电接触。

## 传感器的功能

当某一气体与传感器接触时，会通过一层薄的阻挡隔膜到达电极表面，进入的气体所遇到的第一个电极是工作电极（WE），设计工作电极以优化电化学的氧化反应（或降解被测气体），并产生一个正比与气体浓度的电流。

由于工作电极上电势变化的连续电化学反应，传感器的性能会随时间的延续而劣化。为了减少退化并维持一个恒定的且线性良好的灵敏度，靠近工作电极放入一个参考电极（RE）。参考电极的用途是使工作电极固定在正确的电势上工作。为了使参考电极能维持恒定的电势，参考电极上不应该有电流。

第3个电极，即计数电极（CE），用于导入或导出传感器的电流。当工作电极氧化一氧化碳时，计数电极还原其它分子，如氧分子，从而产生电流。这个电流正好与工作电极极产生的电流相平衡。在工作电极和计数电极之间的离子电流由电解质传输。

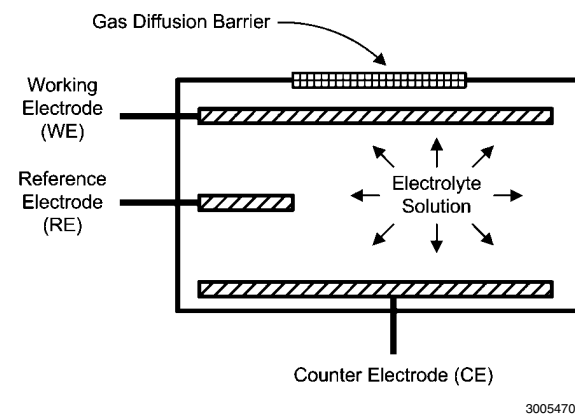


图1. 典型的电化学传感器

## 恒电势电路

电化学传感器需要控制电路来进行工作。这个控制电路被称之为恒电势电路。图2所示为一个简化的恒电势电路，由两个放大器和一个场效应晶体管所组成。在实现这个电路时，有一些小的变化，但功能和结果是一样的。

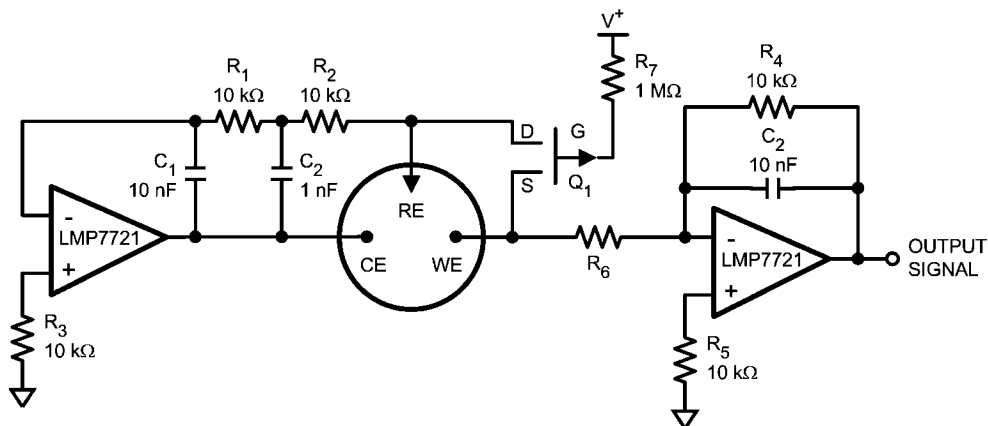


图2. 恒电势电路

恒电势电路的主要用途是在参考电极和工作电极之间保持一个电压，以便控制电化学反应并送出一个与工作电极的电流成比例的输出信号。

当传感器暴露于目标气体如一氧化碳时，在工作电极上的反应将一氧化碳氧化，生成的二氧化碳向传感器外扩散。传感器内产生出氢离子和电子。氢离子通过电解质向计数电极迁移，这一过程会留下负电荷，堆积在工作电极。电子从工作电极流出经过电阻R6到放大器（U2）的反向输入端，放大器配置成一个跨阻放大器，将工作电极送来的信号电流转换为一个与所加气体的浓度成比例的电压。

$$\text{输出电压} = I_{\text{sensor}} \times R_4$$

例如，10 ppm的一氧化碳气体样品产生的典型信号电流近似为500 nA，将产生5 mV的输出电压。向计数电极迁移的氢离子将提升参考电极和工作电极的电势，在参考电极上的这个微小电势提升能被控制放大器（U1）测量到，放大器会对计数电极吸收或释放适当的电流以平衡工作电极所需的电流。

用P型场效应晶体管作为一个开关，以防止电路未供电时传感器被极化。如果传感器被极化，这将使传感器须花费很长时间才能达到稳定平衡。仅当电源关断时场效应晶体管才生效，此时它短路工作电极和参考电极来确保工作电极维持在与参考电极同等的电势上。

## 放大器的选择是关键

恒电势电路的性能在很大程度上取决于所选放大器的电气参数。使用未精确规范的、高偏置电流的放大器来设计恒电势电路将会影响传感器的灵敏度，并加剧传感器个体间的差别。一个高精度、极低输入偏置电流的放大器，如美国国家半导体公司的LMP7721，可以改善恒电势电路的性能，使电化学传感器能高精度地测量较低的气体浓度。

LMP7721的设计有输入偏置消除电路，可以显著减小输入偏置电流，在室温下的整个共模电压范围内的典型值为2 fA。保证的规格是，在室温下最大为20 fA，85°C时最大为900 fA，这使LMP7721成为规定温度下偏置电流最低的放大器。

在恒电势电路中，控制放大器（U1）的输入偏流是关键指标之一。接到参考电极的放大器U1的反相输入端不得从参考电极吸取稍许电流。输入偏流极低的放大器LMP7721可以保证参考电极维持恒定的电势，并具有小于2 fA的偏置电流。

此外，气体传感器具有较大的电容，因此小的电势漂移会产生显著的电流；所以失调电压和随温度变化的失调电压漂移很重要。精密放大器如LMP7721的最大输入失调电压为180μV，温度漂移为4μV/°C，可用于更精确的电流测量。失调电压较大的放大器会加大传感器工作电极的偏压，从而引起较大的误差。

总之，主流气体传感器是有三个电极的电化学电池，它们产生与气体浓度成线性比例的电流。产生的电流被测量并由恒电势电路转换成电压。恒电势电路还对计数电极提供电流，以平衡工作电极所需的电流。电路所用的放大器的电气参数应该是偏置电流极低的精密放大器，如美国国家半导体公司的LMP7721。

# 注释

## 注释

For more National Semiconductor product information and proven design tools, visit the following Web sites at:

| Products                       |  | Design Support          |  |
|--------------------------------|--|-------------------------|--|
| Amplifiers                     | <a href="http://www.national.com/amplifiers">www.national.com/amplifiers</a>   | WEBENCH                 | <a href="http://www.national.com/webench">www.national.com/webench</a>             |
| Audio                          | <a href="http://www.national.com/audio">www.national.com/audio</a>             | Analog University       | <a href="http://www.national.com/AU">www.national.com/AU</a>                       |
| Clock Conditioners             | <a href="http://www.national.com/timing">www.national.com/timing</a>           | App Notes               | <a href="http://www.national.com/appnotes">www.national.com/appnotes</a>           |
| Data Converters                | <a href="http://www.national.com/adc">www.national.com/adc</a>                 | Distributors            | <a href="http://www.national.com/contacts">www.national.com/contacts</a>           |
| Displays                       | <a href="http://www.national.com/displays">www.national.com/displays</a>       | Green Compliance        | <a href="http://www.national.com/quality/green">www.national.com/quality/green</a> |
| Ethernet                       | <a href="http://www.national.com/ethernet">www.national.com/ethernet</a>       | Packaging               | <a href="http://www.national.com/packaging">www.national.com/packaging</a>         |
| Interface                      | <a href="http://www.national.com/interface">www.national.com/interface</a>     | Quality and Reliability | <a href="http://www.national.com/quality">www.national.com/quality</a>             |
| LVDS                           | <a href="http://www.national.com/lvds">www.national.com/lvds</a>               | Reference Designs       | <a href="http://www.national.com/refdesigns">www.national.com/refdesigns</a>       |
| Power Management               | <a href="http://www.national.com/power">www.national.com/power</a>             | Feedback                | <a href="http://www.national.com/feedback">www.national.com/feedback</a>           |
| Switching Regulators           | <a href="http://www.national.com/switchers">www.national.com/switchers</a>     |                         |  |
| LDOs                           | <a href="http://www.national.com/lido">www.national.com/lido</a>               |                         |  |
| LED Lighting                   | <a href="http://www.national.com/led">www.national.com/led</a>                 |                         |  |
| PowerWise                      | <a href="http://www.national.com/powerwise">www.national.com/powerwise</a>     |                         |  |
| Serial Digital Interface (SDI) | <a href="http://www.national.com/sdi">www.national.com/sdi</a>                 |                         |  |
| Temperature Sensors            | <a href="http://www.national.com/tempsensors">www.national.com/tempsensors</a> |                         |  |
| Wireless (PLL/VCO)             | <a href="http://www.national.com/wireless">www.national.com/wireless</a>       |                         |  |

THE CONTENTS OF THIS DOCUMENT ARE PROVIDED IN CONNECTION WITH NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION ("NATIONAL") PRODUCTS. NATIONAL MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES WITH RESPECT TO THE ACCURACY OR COMPLETENESS OF THE CONTENTS OF THIS PUBLICATION AND RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES TO SPECIFICATIONS AND PRODUCT DESCRIPTIONS AT ANY TIME WITHOUT NOTICE. NO LICENSE, WHETHER EXPRESS, IMPLIED, ARISING BY ESTOPPEL OR OTHERWISE, TO ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IS GRANTED BY THIS DOCUMENT.

TESTING AND OTHER QUALITY CONTROLS ARE USED TO THE EXTENT NATIONAL DEEMS NECESSARY TO SUPPORT NATIONAL'S PRODUCT WARRANTY. EXCEPT WHERE MANDATED BY GOVERNMENT REQUIREMENTS, TESTING OF ALL PARAMETERS OF EACH PRODUCT IS NOT NECESSARILY PERFORMED. NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY FOR APPLICATIONS ASSISTANCE OR BUYER PRODUCT DESIGN. BUYERS ARE RESPONSIBLE FOR THEIR PRODUCTS AND APPLICATIONS USING NATIONAL COMPONENTS. PRIOR TO USING OR DISTRIBUTING ANY PRODUCTS THAT INCLUDE NATIONAL COMPONENTS, BUYERS SHOULD PROVIDE ADEQUATE DESIGN, TESTING AND OPERATING SAFEGUARDS. EXCEPT AS PROVIDED IN NATIONAL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR SUCH PRODUCTS, NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, AND NATIONAL DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY RELATING TO THE SALE AND/OR USE OF NATIONAL PRODUCTS INCLUDING LIABILITY OR WARRANTIES RELATING TO FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。  
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：[www.national.com](http://www.national.com)。

#### 生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

#### 禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范 (CSP-9-111C2)》以及《相关禁用物质和材料规范 (CSP-9-111S2)》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。  
无铅产品符合RoHS指令。



**National Semiconductor**  
Americas Customer  
Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

|               | 产品   |        | 应用   |
|---------------|--|--------|--|
| 数字音频          | <a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>                               | 通信与电信  | <a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>       |
| 放大器和线性器件      | <a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>                     | 计算机及周边 | <a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>     |
| 数据转换器         | <a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>             | 消费电子   | <a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a> |
| DLP® 产品       | <a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>   | 能源     | <a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>               |
| DSP - 数字信号处理器 | <a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>                                   | 工业应用   | <a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a> |
| 时钟和计时器        | <a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>             | 医疗电子   | <a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>       |
| 接口            | <a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>                       | 安防应用   | <a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>     |
| 逻辑            | <a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>                               | 汽车电子   | <a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a> |
| 电源管理          | <a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>                               | 视频和影像  | <a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>           |
| 微控制器 (MCU)    | <a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>         |        |  |
| RFID 系统       | <a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>                           |        |  |
| OMAP 机动性处理器   | <a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>                                       |        |  |
| 无线连通性         | <a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a> |        |  |
|               | 德州仪器在线技术支持社区   |        | <a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>           |

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2011 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司