

# 180dB动态自适应量程电流测试

## 白皮书

作者: Martin Riedel 与 Marwin Schwarzbach

翻译: 何治桥 王金

### 50nA - 50A量程——高精度不间断测量

在设备及零部件产品开发和试验过程中，因产品由电池或其他DC电源供电，所以对于产品工作电流的检测与分析显得至关重要。由于采用复杂的电源管理机制，产品往往需要在不同工作模式之间连续切换，从而导致工作电流值范围跨度极大。针对此类电流测试，常规测量方法有着很大局限性，而自适应量程测量技术让该类测试成为可能。德国imc测试测量有限公司攻克各项技术难点，将自适应量程技术应用于其数据采集模块中，采用CAN总线传输试验数据，从而为实验室、台架和车载的大动态范围电流测试提供了更加精确便捷的解决方案。

### 整车电子系统台架测试分析

随着技术的不断进步，现代车辆逐步集成越来越多的电子设备：从各种装饰车灯、娱乐系统到传动系ECU控制单元……。无论功能大小，都不断配备越来越智能化的电子元件。所有电子设备通过车辆电池供电进行工作，构成庞大的汽车电子系统。在车辆开发过程中，将所有电子设备安装于试验台架的模拟面板上，并通过切换不同的工作模式和工作流程，从而准确地测量各电子元件工作状态，实现整个电子系统的性能评估。



图1: 基于台架模拟面板的整车电子系统测试分析

在整个电子系统连续工作过程中，停车睡眠模式下的nA级渗透电流与满载时的工作电流值差异巨大，且需要完整精确地采集不同工作模式切换过程中的瞬态信息。当以这种方式系统地采集电子系统工作电流信号时，动态自适应量程测试技术便体现出强大的优势。

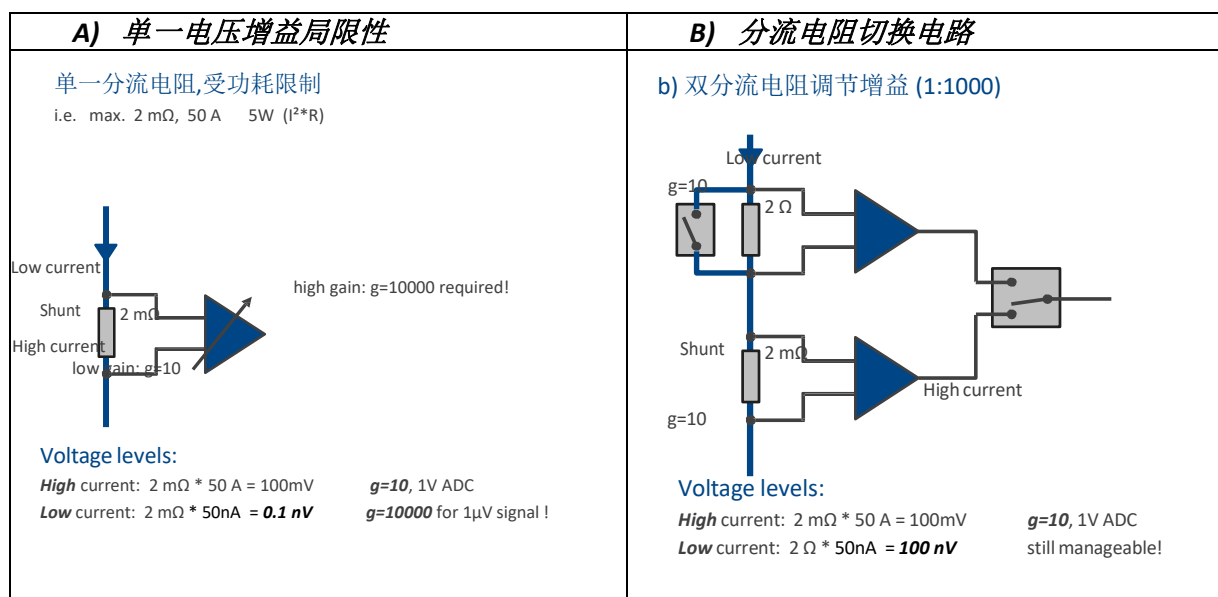
## 测量中的动态自适应量程

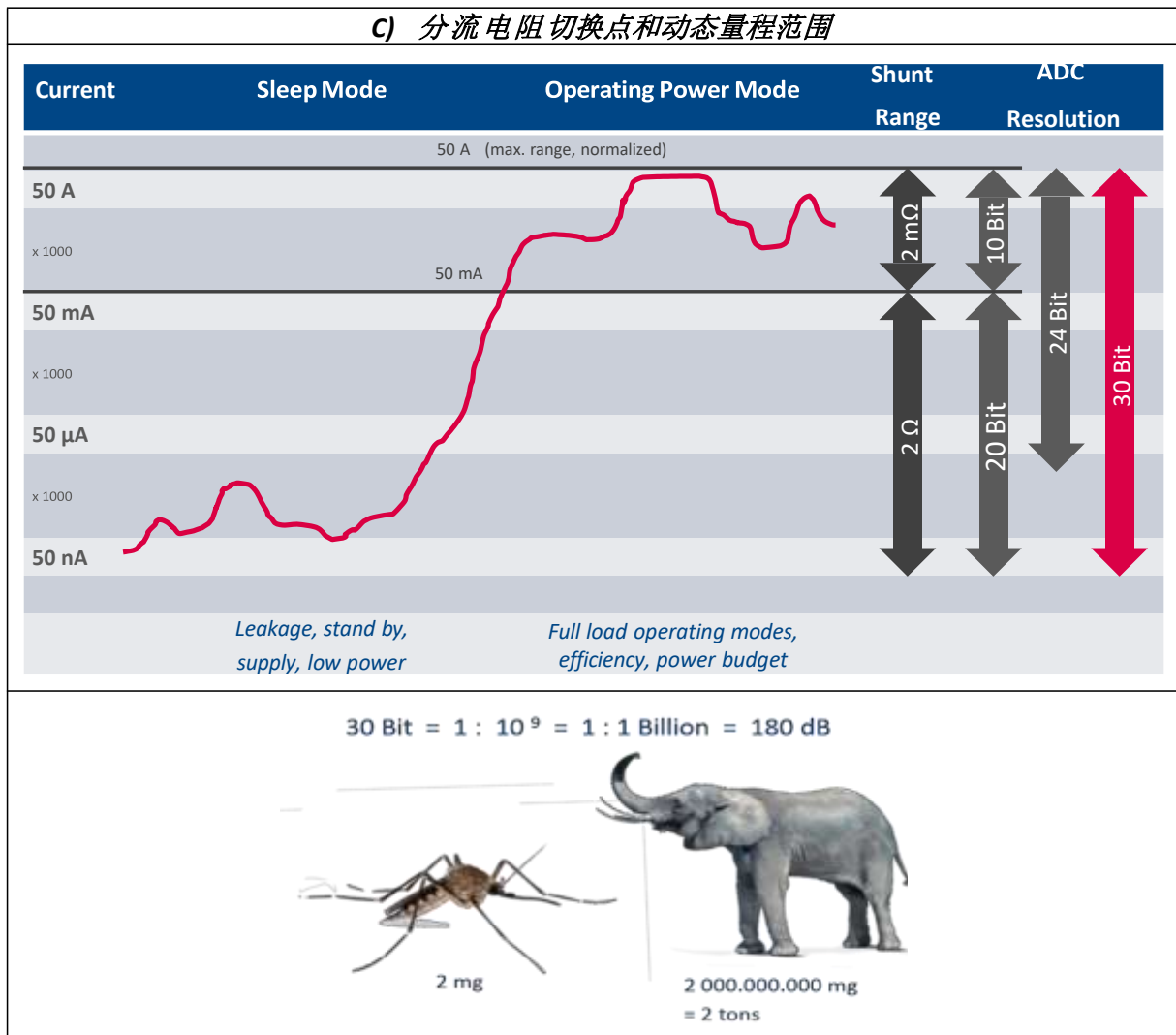
针对以上测试需求，尽管24位高分辨率模数转换器足以覆盖相当大的测量范围，然而对于上述试验所需的高达30位的动态范围，常规测试技术仍然存在极大的局限性。因此，前置放大器的调节是必要的。实现前置放大器增益调节并不足为奇，更为关键的是，需要在测试进行中，根据采集信号的数值大小实现量程的实时全自动调节，且不受信号变化趋势影响。此外，该自动调节过程不能引入外部干扰信号：由于不间断测量会采集包含切换过程中的所有实时信号，因此，一切由量程自动调节造成的对被测信号的干扰都要避免。

## 切换分流电阻实现增益调节

与直接电压测量模式相比，采用分流电阻调理的电流测量不能只依靠单一的前置放大器放大：当测试电流值非常微弱时，前置放大器放大噪声信号，很容易被噪声掩盖，造成测量值不准确。因此，针对小电流测试，需要采用高阻抗分流电阻提升被测信号的电压输出值，这样，便需要在测试过程中，在保证被测信号不受干扰的前提下，实现分流电阻的动态切换。

如下图b所示，将两个分流电阻以串联方式连接于工作电路中。当由于被测电流值增大使输出电压值达到某一阈值时，短路开关快速闭合，完成高阻抗分流电阻短接。这样，被测电压信号通过两条单独的路径进行传输。





**图 2: 单一流分电阻 vs. 可调分流电阻 – 动态量程**

### 30 Bit - 180 dB 动态量程

基于上述设计理念，技术路线已相当明确：首先，分流电阻值作为电路设计中的关键参数，该阻值必须达到足够大，以保证较大的调理电压，从而使被测信号不被噪声干扰。其次，由于较大的工作电流导致设备功耗提升，因此需要采用更加先进的热管理技术，提升相应硬件指标。

对于50A（量程）电流测量，分流电阻应不大于2 mΩ，此时功耗已经达到5W。这样，最大测量电流对应的调理电压为100 mV，采用24位AD转换器可以很好地量化编码（如：g = 10，1 V ADC）。

然而，如果仍然以相同的配置同时采集50 nA 分辨率的电流信号，如渗透电流等，显然已经远远超过该配置的物理极限。2 mΩ × 50 nA = 0.1 nV的输出电压根本无力抵抗噪声信号的干扰，即便采用1000倍增益因子实现输出电压放大仍然无济于事（图.2a）。因此，须采用较大的分流电阻实现调理电压信号的放大。阻值为2 Ω的分流电阻可将电阻增益因子提升1000倍，且该分流电阻只能在低电流模式下才参与工作。当被测电流值升高至某一限值(> 100mA)时，该电阻立即被短接，如图.2b所示。

这样，即可实现高达30 bits（最大测量值与最小测量值的比值）的动态量程，分辨率可达1:1 billion (10<sup>9</sup>)（图.2c）。

imc CANSAS-IHR 模块基于上述理念设计，每个测量通道配置两条电流测量路径，实现量程自适应调节，其供电电压为9-18VDC。基于完全隔离设计，该测量模块可连接于测量电路中的任何位置：高电势位、低电势位；子系统或整个系统测试均可满足。

当信号过载时，可逆式固态保险丝将快速切断测试电路，保证测试的安全性。同时，可选配外部连接开关，用于同外部试验电路和设备进行连接，从而完成更加复杂和灵活的试验。

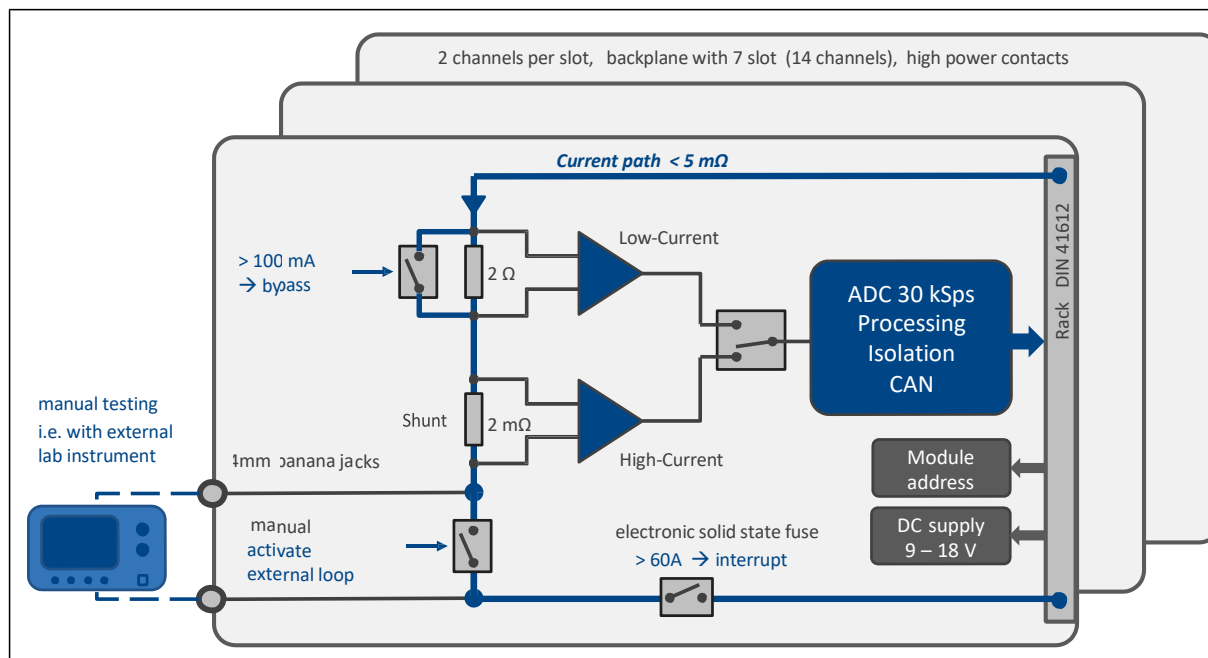


图3:每个模块插槽配置两个相互隔离的测量通道 (图中仅显示一个通道)

两路信号均以30 kSps 的采样速度采样，采用24-bit AD数字化，并通过处理单元自动完成信号选择、放大及标定。采用CAN总线进行数据输出，输出频率范围为1 Hz - 1 kHz。

除自动计算信号平均值以外，同样可分析信号最大值、最小值等其他参数。和平均值计算一样，最大值和最小值基于设备内部30 kHz 采样率并参照设置的数据输出速度进行计算。

该模块可安装于特制的19寸机架中，机架背板可配置多个大功率连接点，用于和被测对象直接连接（插拔式或焊接式）。

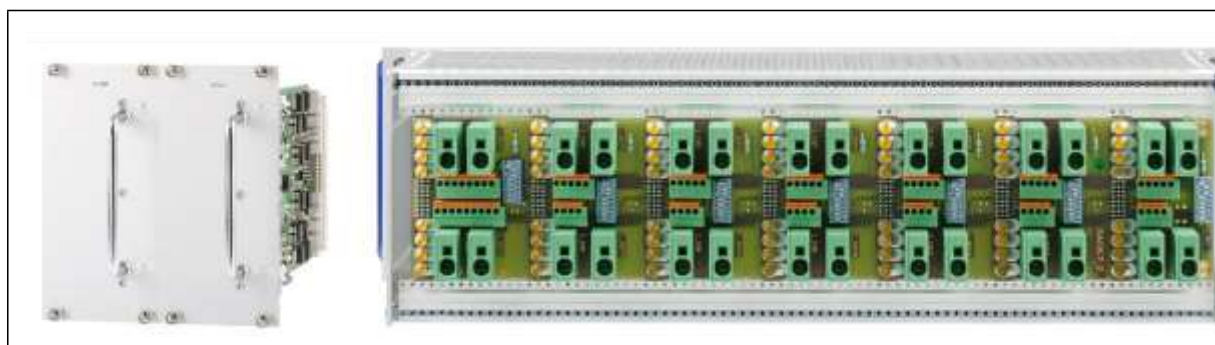


图 4:机架背板配有大功率连接点

同时，测量数据可通过任何基于CAN总线的数据采集设备及其他测试系统记录和分析，从而极大地提高了整个测试系统的灵活性和扩展性。

除了针对台架应用的机架式安装以外，还可选择独立的移动式模块，每个模块配备两个相互隔离的测量通道，集成于铝制外壳中，携带非常方便，非常适用于空间分布式测量及车载移动式测量。



图 5: 适用于分布式测量的独立 imc CANSAS-IHR 模块

#### **imc CANSAS-IHR 高精度电流测量模块**

- 电气隔离型电流测量，使用分流电阻
- 测量对象：最大可到**18V**的直流供电负载
- 高电流工况下，使用两路分流电阻动态切换电流路径（短接）
- 动态范围选择：**自适应量程**
- 30bit动态量程：50 nA - 50A
- 可获取以及输出**平均值**以及**最大、最小值**
- 输出频率可选择**1 Hz/10 Hz/100 Hz**，内部采集和处理频率30 kHz
- 静态测量量程模式下（50A，无自适应量程）数据采样频率可达1kHz

## 动态切换

在实际的测量中，分流电阻切换响应必须要足够快，如果电流突然增大，必须立即短接高阻抗分流电阻，不仅可以防止电路烧掉，同时也避免了负载电路中的负载电压峰值。由于负载电路中的（瞬态）压降，会影响甚至断开测试的负载组件。因此，分流电阻短接通过一个快速比较器控制，重新切换成高阻抗分流电阻会有延迟（图6）。分流的快速启用（ $<1\mu\text{s}$ ）以及缓慢停用（ $<1\text{ms}$ ）的迟滞水平（切换阈值）和时间滞后保证了安全和稳定的状态过渡。

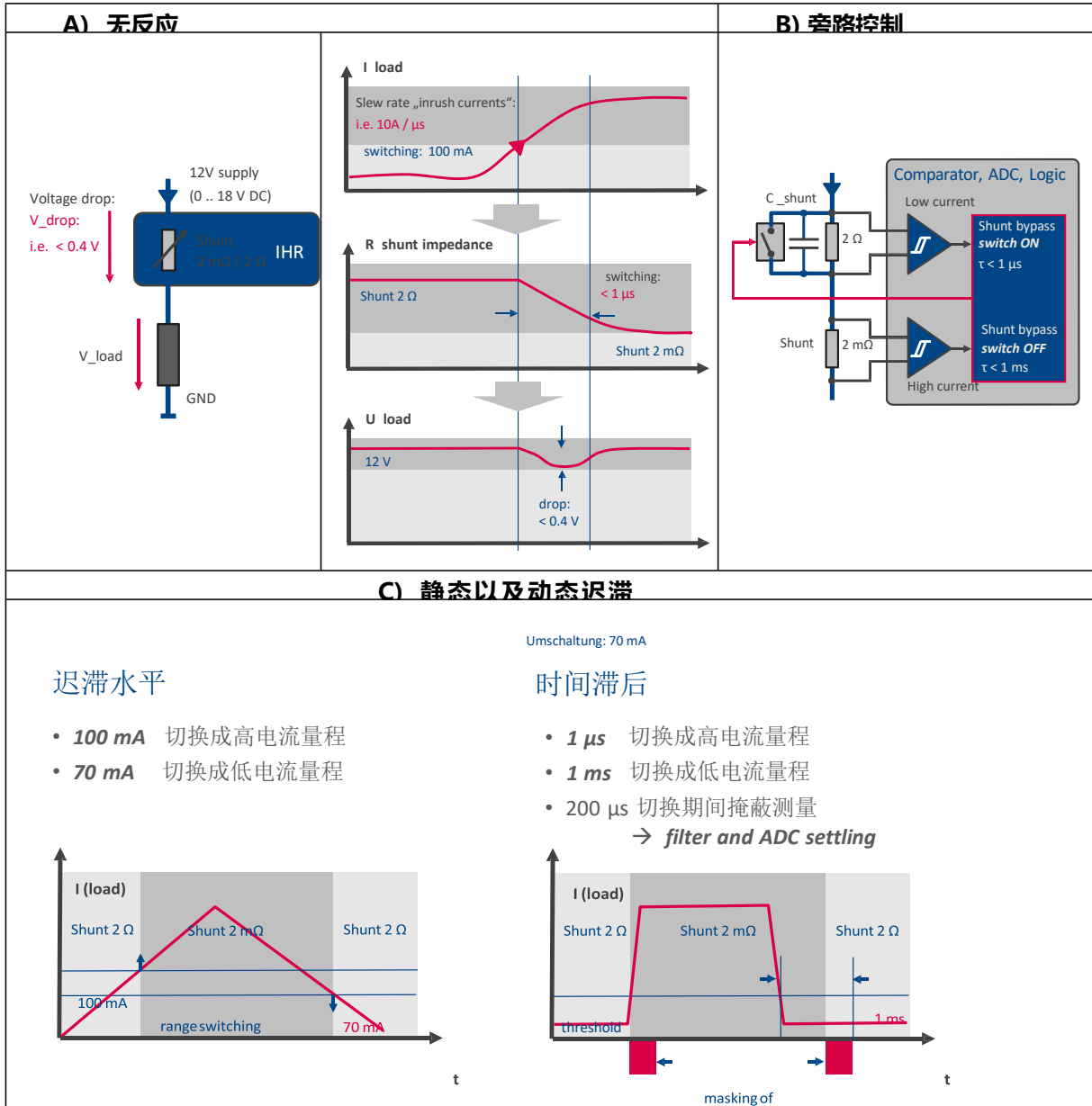


图6：动态分流电阻切换

因此，即使在电流以 $10\text{A}/\mu\text{s}$ 的速率快速增加（浪涌，冲击）的情况下，把通过负载的压降限制到大约 $400\text{mV}$ ，仍然可以实现无干扰切换。在分流电路中，一个合适的电容有利于平缓过渡区域的电压瞬变，直到比较器做出响应（图7）。这个概念也适应于具有高动态特性的测试对象。

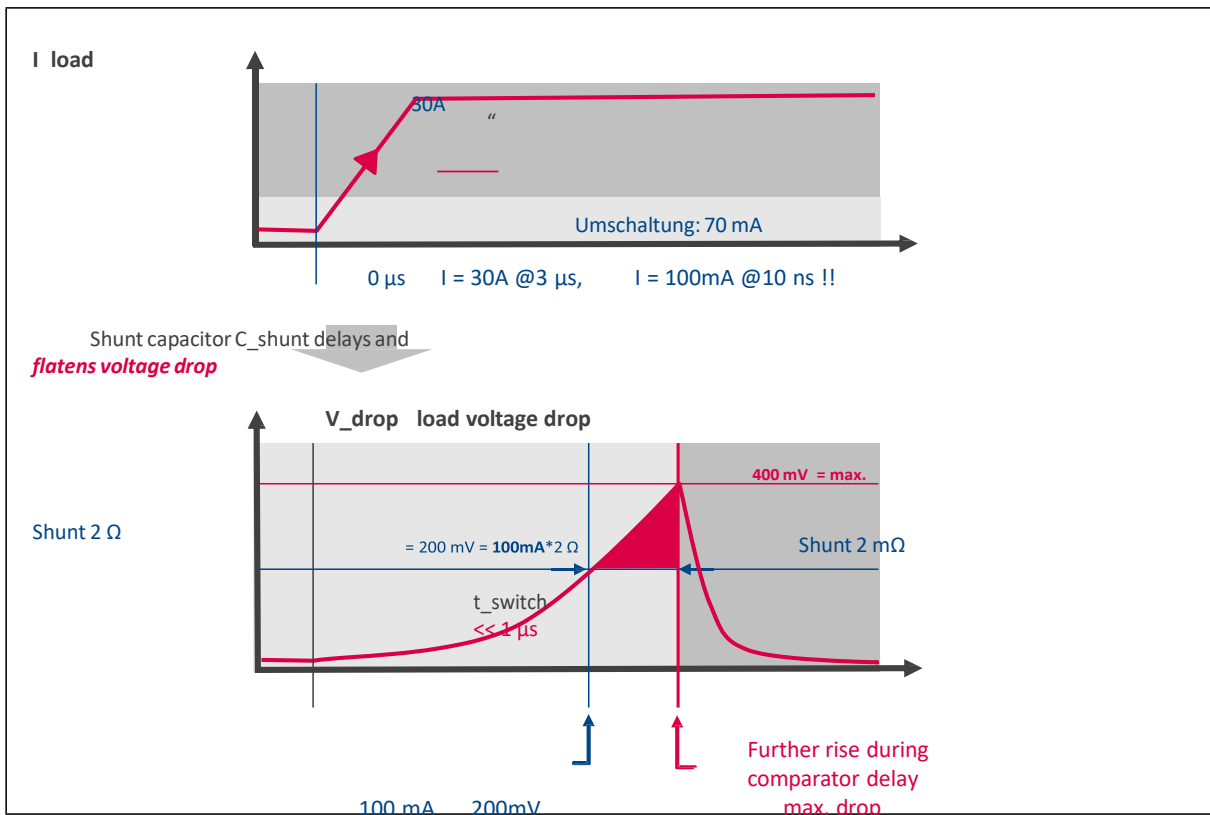


图7：浪涌情况下通过负载的最大压降

迟滞截止时间和并行测量路径(ADC)的建立时间一样被掩盖了，数据输出频率被限制到 $100\text{Hz}$ ，但是，在“固定模式”下，自适应量程分流电阻切换可能失效，最大数据输出频率可到 $1\text{kHz}$ 。

### 自适应量程是否是通用的解决方案？

一般来说，自适应量程方法是有效的，尤其是对于这里描述的这些应用：涉及连续穿过以及仍在分离工作区域（图8b）的应用。事实证明，采用低噪声和适当增益对微弱的被测信号进行优化处理，从而获得有效的数据分辨率，其效果是显而易见的。

自适应量程不是对任何测量情形都是有效的。对于周期信号，例如，其通过FFT进行频谱分析，以下应该注意：如果信号范围内的部分，即小振幅的部分，使用自适应增益处理（例如， $g=1000$ ），低噪声级也只在总时间的一小部分中有效，即 $1/1000$ （图9）背景噪声FFT的影响（噪声本底），由粗糙量程的信噪比(SNR)控制。因此，自适应量程对于频谱数据的信噪比作用可以忽略不计。

自适应量程有效性的进一步必要先决条件是其精确或缩小范围必须是零对称分布。处理的信号因此必须位于单极或者双极信号范围的零点周围。因为我们不关心交流耦合，而关心自适应线性增益。当在这种类型的电流测量下，它不适应于完全不同的应用，比如使用应变片进行桥路测量，因为在这种情况下信号通常被初始偏移量影响，需要加以补偿。

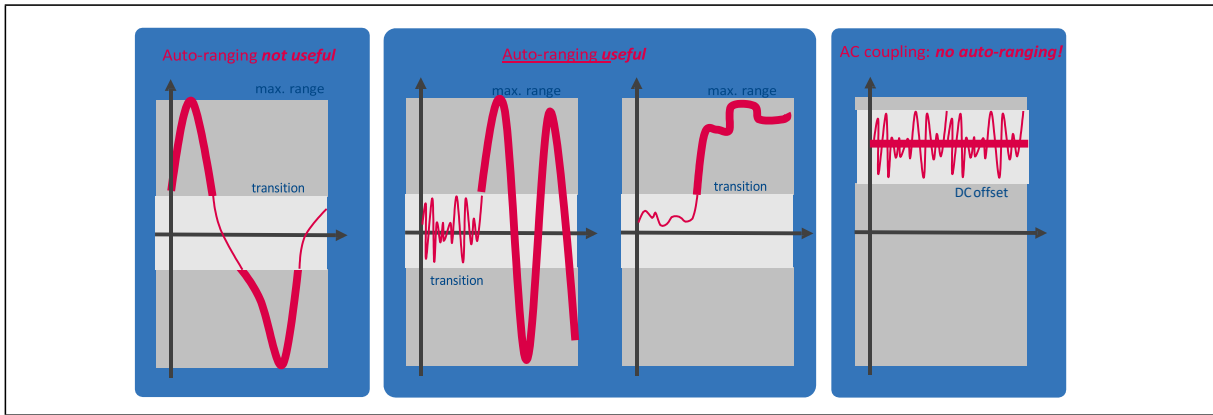


图8：自适应量程什么时候有效？

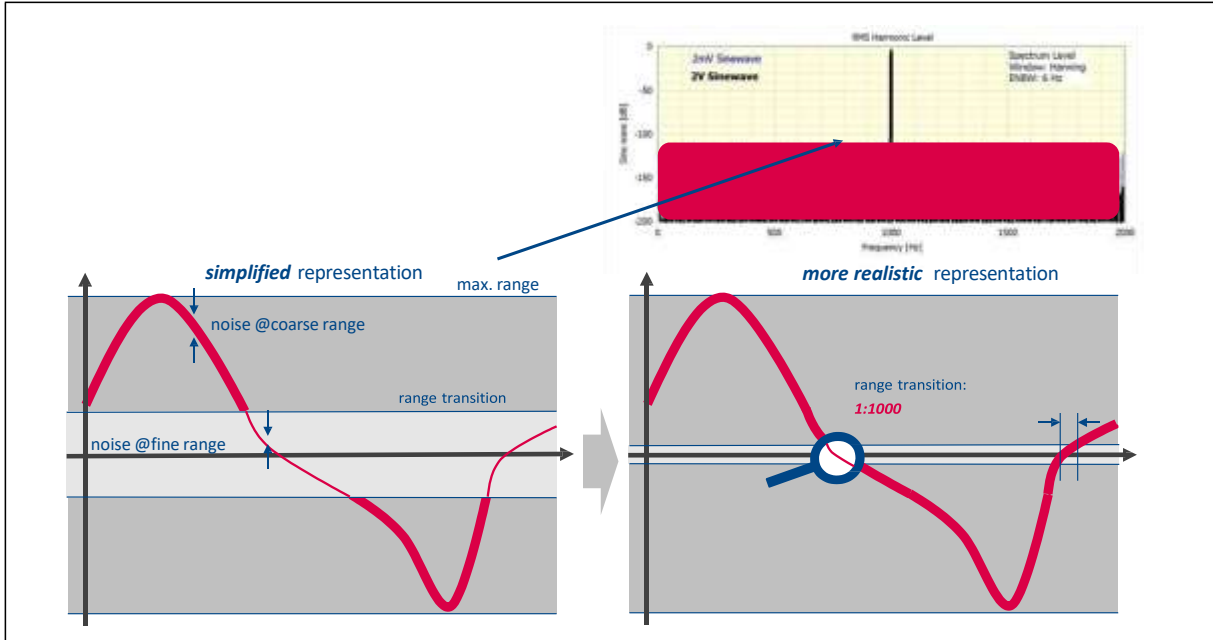


图9：周期信号限制使用自适应量程

## 自适应量程电流测量可以实现什么功能？

### 用在什么场合？

- 动态量程（满功率以及睡眠模式）
- 组件和系统的上电测试
- 划定工作区域/操作点
- 周期信号限制使用

### 如何使用？

- 在线自适应量程
- 连续数据采集
- 负载电路无干扰



## 附加信息

### imc Test & Measurement GmbH

Voltastr. 5  
13355 Berlin, Germany  
Telephone: +49 (0)30-46 7090-0  
Fax: +49 (0)30-46 31 576  
E-Mail: [hotline@imc-berlin.de](mailto:hotline@imc-berlin.de)  
Internet: [www.imc-tm.com](http://www.imc-tm.com)

德国imc测试测量有限公司，以多年专业经验，融合精湛的德国工艺、先进的制造技术与多项开发专利，设计制造专业的测试测量系统，致力于为全球工程技术领域提供包含硬软件的解决方案。

无论是整车测试、高铁车辆与轨道安全联调联试，还是工厂或机械设备的自动化监控——imc数据采集系统的优势获得测量业界的广泛认同，易于操作、性价比高，令测试更有效率！无论是研究、开发、测试还是试运行，imc可提供标准化的测量设备和软件产品，以及完整的交钥匙解决方案。

对于机械/电子类测试应用，imc测量系统提供高达每通道100kHz的采样频率，支持物理量测量的各种传感器，如压力、力、速度、振动、噪声、温度、电压或电流等信号。imc的产品系列集成了信号调理和硬件的实时分析，并结合软件分析和测试管理产品，涵盖测量控制工作流程的所有方面，从信号调理单元、实时分析与控制，到自动化测试控制和生成测试报告。

imc成立于1988年，总部设在柏林，拥有约200名员工，在全球28个国家或地区拥有25家合作伙伴。我们不断努力，为地面交通工具（汽车、商用车辆和铁路机车等）、航空航天、能源和土木工程等工业领域的客户创新提供最佳的测量解决方案！



### imc 中国

#### 北京

西城区裕民路18号北环中心1110室 100029  
电话: 010-6552 8700 传真: 010-6552 1600

#### 上海

长宁区新华路728号华联发展大厦M10室200052  
电话: 021-5230 1156 传真: 021-5230 1117

#### 重庆

北部新区赛迪路2号金山商业中心A座6楼 401122  
电话: 023-8131 6242

询价热线: [hotline.1@imcaccess.com](mailto:hotline.1@imcaccess.com)  
技术热线: [service@imcaccess.com](mailto:service@imcaccess.com)  
中文网站: [www.imc-tm.cn](http://www.imc-tm.cn)

我们竭诚为您提供快速、准确、及时的技术支持和服务：

1. 周到和专业地产品咨询服务，如产品的详细技术指标、硬件的方案配置；
2. 系列化的培训服务，从产品的硬件连接到软件的使用操作，以及结合应用的高级技术培训；
3. 快捷方便的沟通平台，如您在产品使用过程中有任何问题或需要，均可与我们专业的技术支持工程师取得联系；
4. 客制化服务，针对用户的实际需要，可谓客户完善现有分析功能，以及二次开发定制界面和功能；
5. 已有设备的定期校准、系统检查、系统升级等服务。



更多资讯，欢迎关注  
官方微信公众账号



#### 使用条款:

本档版权归imc Test & Measurement GmbH所有, 并保留一切权利。未经书面许可, 任何公司或个人不得对此档内容进行编辑、修改或以任何方式改变。该档可以出版或复制。如果单独发表, 我们要求必须包含我公司名称和网页链接[www.imc-tm.cn](http://www.imc-tm.cn)。尽管内容已精心准备, 档内容仍有可能包含错误。若有任何信息不正确, 请通过[info@imcaccess.com](mailto:info@imcaccess.com)告知我们。如因档使用不当造成的直接或间接损失, 本公司不承担任何责任。

## 关于 imc

富有效率的测试, 对 imc 全球客户获得成功至关重要——也是我们不断前行的驱动力。

自 1988 年以来, 我们一直致力于通过最理想的测量解决方案来支持用户的工业创新。

由位于德国柏林的总部生产制造高效的测试测量系统, 并在欧洲、美国、亚洲及世界各地开展业务。

imc Test & Measurement 是 Axiometrix Solutions 的一部分, 这是一家技术领先的测试解决方案提供商, 由全球公认的测量品牌组成。

**AXIOMETRIX SOLUTIONS**  
Sense. Measure. Insight.