

集成电流和电压测量的直接射频功率注入法

DPI With Integrated Current and Voltage Measurement

Dipl. Ing. Sven König, Langer EMV-Technik GmbH

为了评定集成电路芯片（IC）对射频骚扰信号的抗扰性能，需要使用特别的测试方法，将规定的射频干扰信号通过确定的网络途径注入到芯片中。

按照集成电路电磁抗扰度标准 IEC62132，有三种典型的IC抗干扰测量方法，即直接射频功率注入法（DPI- Direct Power Injection），TEM小室法（Transverse Electromagnetic Cell）和集成电路带线法（IC Stripline）。

直接射频功率注入法是以传导的方式将骚扰功率注入到IC中，而TEM小室法或集成电路带线法主要是将在标准小室内传播的电磁场直接作用到IC表面。

本文将详细讨论DPI方法，并介绍其局限性以及对DPI方法必要的改进和扩展。通过对该方法进行扩展，能够获取电磁兼容性参数，更好地描述芯片的抗扰性能。对芯片用户而言，这些电磁兼容性参数既是电路设计过程中选定芯片的依据，也是印刷电路板组件电磁兼容设计的基础。此外，通过分析这些参数，芯片生产商就能够定位和排除芯片中的薄弱点。

本文以LIN收发器为实例，讨论直接射频功率注入（DPI）的扩展方法。

DPI方法的进一步扩展

实践证明，IEC62132-4规定的直接射频功率注入法（图1）能够有效地评定芯片的抗扰性能。

通过传导耦合将射频信号注入到芯片的

单个引脚。射频功率放大器放大后的射频电流通过50欧姆导线和一个耦合电容注入到芯片的相应引脚。射频骚扰信号的强度由定向耦合器测量的正向功率来判定。譬如如果因射频电流而导致芯片发热和功能异常，该功率就是一个正确的物理评价参数。

然而，有的射频干扰过程也可能与该注入功率毫不相关。具体的例子有振荡器的停振，运算放大器、晶体管或者二极管的解调等。这些干扰过程仅仅在很低的程度受到芯片消耗功率的影响。相反，它们更多是由于基本的物理量而产生的，譬如射频电流或射频电压导致射频电流的解调等。在电磁兼容测试的其他领域，譬如猝发测试或静电放电测试，骚扰电压或骚扰电流就是导致受测件产生异常的基本量参数。高电流或高电压不一定意味着高功率。

如果对半导体进行测试，匹配情况取决于换向状态。此外还要考虑切换边沿本身具有的失配特征。测量的平均功率P正向和P反向都不包含与物理量 $u(t)$ 和 $i(t)$ 相关的重要系统信息。为了获得新的认识和信息，譬如识别发现芯片中的薄弱点，或者确定芯片设计及平面电路板开发过程的薄弱环节，必需了解射频电流和射频电压随时间的变化情况。

电流计和电压计对测量的影响

微处理器电源引脚的欧姆电阻通常很小，一般在毫欧至欧姆的范围内。芯片中可能还有几个nF的内部电容，它们在100MHz或更高的频率下也会产生欧姆范围的阻抗。芯



专业高频微波基板制造商



中英高频微波基板 ZYFxxxD/ZYFxxxCA

① 产品特性

- Dk:2.14~2.65(ZYFXXXD); 2.55~3.50(ZYFXXXCA)
- 低损耗
- 执行标准IPC-4103
- 较低的Z-axis CTE , 有助于金属化孔的信赖性
- 与同类型产品相比有明显价格优势
- 安定的尺寸稳定性
- Lead free, 满足RoHS要求
- 快速批量交货

② 应用领域

- 军事雷达
- 电子狗
- 基站天线
- 航天
- 无源器件
- 卫星电视
- 数字广播天线
- GPS,北斗

地址: 中国江苏省常州市钟楼区飞龙西路28号
 电话: (+86-519)83253355
 传真: (+86-519) 83253350
 邮箱: pcb@czzyst.cn;
 sd@czzyst.cn;
 sd08@czzyst.cn

www.czzyst.cn

TechnicalFeature 技术特写

片线路的电感也会产生类似大小的阻抗。由此可见，芯片的内部电阻非常低，远远小于功率放大器的50欧姆源。这意味着，功率放大器是在短路状态下运作而提供其最大的电流。注入的电流使芯片功能受到影响，而功率表却仅仅显示几个毫瓦的功率，其结果是基于功率评估的芯片被认为过于薄弱而被错误分类。

芯片的其他引脚的阻抗可能在毫欧和千欧之间。如果芯片阻抗小于50欧姆，系统就近似于短路，而当阻抗大于50欧姆时，系统近似于开路状态。高电压技术工程中所常见的准开路电压抗扰测试，是无法通过向芯片注入射频进行的。引脚处的电压和电流取决于整体系统，因而必须直接在引脚处测量（图2）。通过该电短测量装置，可以避免功率放大器线路由

于可能的驻波而产生的测量困难。

该例子清楚地表明，射频电流和射频电压是评价芯片的关键参数。图3所示为“P500系列探头测试系统”。功率放大器输出的射频骚扰信号通过P500系列探头注入到受测芯片的引脚。此外，该探头内置一个电流表和电压表，通过与示波器连接可以测量和显示电流、电压以及相位差，从而计算出譬如功率、阻抗以及受测物的其他参数。利用这些获得的参数，可以对电子系统中该芯片的电磁兼容性能做出更准确的评估。譬如，在高电流值的情况下产生功能故障的原因通常是磁场，而高电压值情况下的故障则往往是电容耦合的缘故。新的P500方法能够测量常规方法无法检测到的无功电流，从而能够发现新的详细的物理现象。

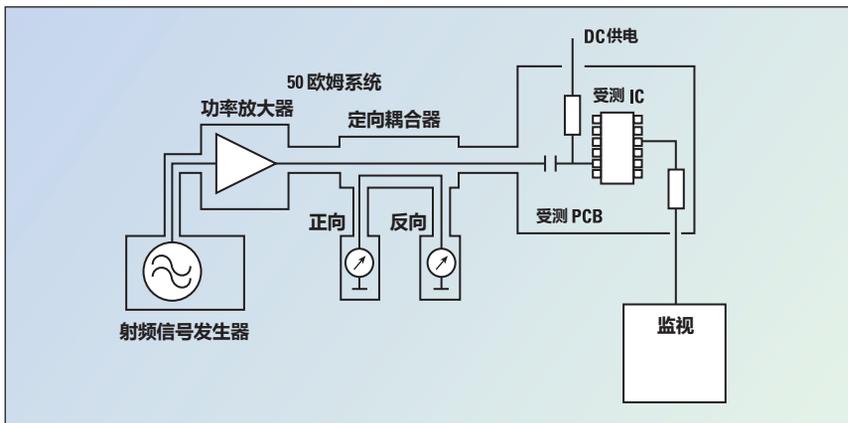


图1. 依据IEC62132-4的直接射频功率注入法 (DPI)

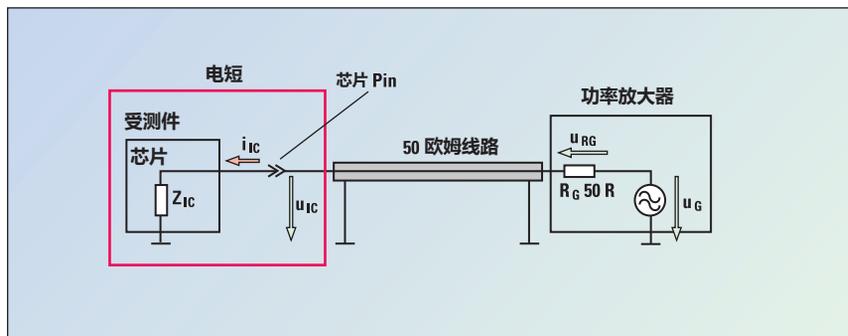


图2. 在引脚处直接测量电流和电压的测量设置

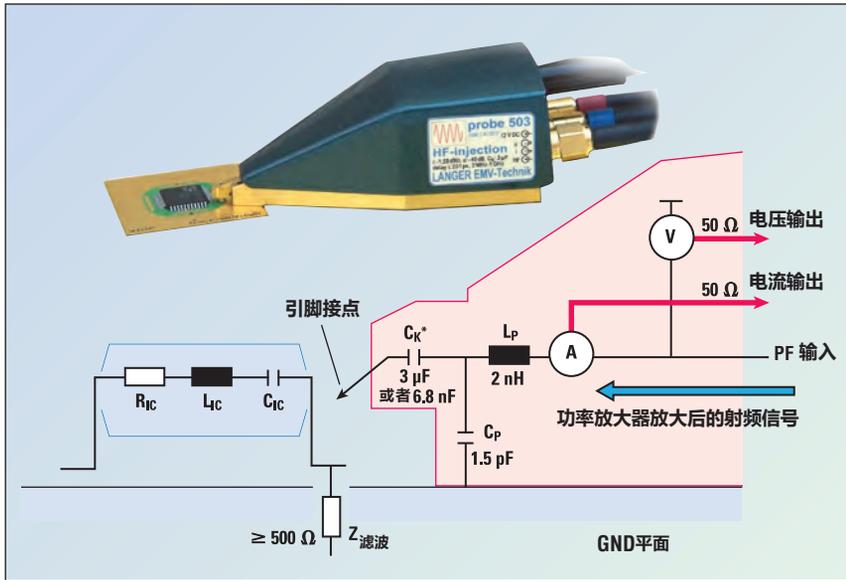


图3. 使用P500探头测量的示意图

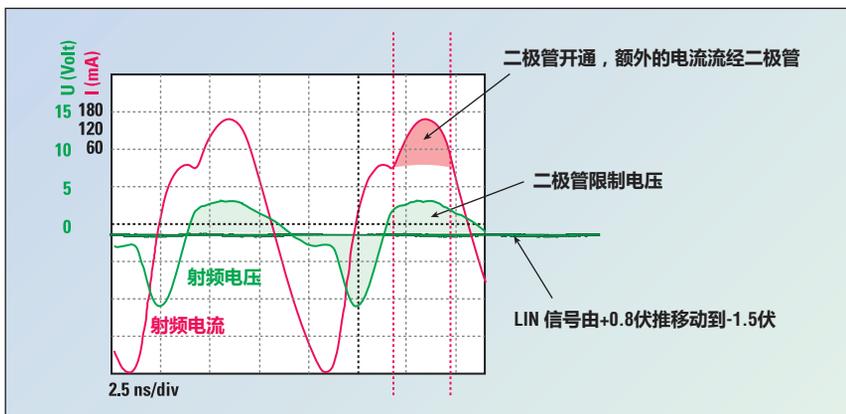


图4. 使用P500测量系统测定的射频电流与射频电压的非正弦波形

对LIN收发器的分析研究

以P500系列探头为基础的测量系统可以通过确定等效元件的方法为芯片的每个引脚导出一个射频等效电路。引脚的阻抗不仅取决于信号的换向状态，还受射频信号发生器电压的影响。使用P500探头可以将低电平的射频信号注入引脚。这些骚扰信号必须非常微弱，以确保不会导致保护二极管开通与额外电流路径及元件生效。利用示波器测量的U值、I值以及φ值，可以计算出不同频率下的有功阻抗和无功阻抗。如果不存在主导性

电容或电感部分，可以通过计算将电抗分解为 X_C 和 X_L ，为此需要在不同的频率下测量。通过分析芯片引脚处的高频/低频电流和电压，可以获取芯片薄弱点的信息。譬如射频电压可以开通二极管路径，从而改变阻抗。

P500测量系统可用于各类实际的分析，譬如使用该测量系统可以观察到射频电流及射频电压的非正弦波形（图4）。若达到内部二极管的正向电压，额外的电流路径会自动开通，芯片的阻抗下降，电流增加，而电压会受到限制（网络反馈作用）。

二极管开通后，芯片中的其他骚扰路径生效，流经二极管的电流进入其他网络段，并产生整流电流的效果。这些电流或电压与有用信号如LIN驱动程序的触发或控制信号叠加，并导致场效应管（FET）进入锁定、开启或未定义状态。通过对时域电流和电压的分析，能够解释芯片内部的其他机制，就可以有针对性地改进芯片和确定其应用中的对策。

对模块开发的意义

通过布局设计内部耦合路径对敏感的引脚注入射频电流，可以影响敏感的芯片，譬如汽车电源插头的射频信号通过相应的线路流入LIN收发器的 V_{bat} 引脚。同样，射频电流可能通过GND系统，尤其是双层印刷电路板模块的分段GND系统，进入GND引脚。通过相应的面接触接地系统，可以阻塞这一耦合路径。同样，还必须为 V_{bat} 设计相应的阻塞电容器。建议采用含有一个电感器和两个滤波电容（PI-滤波）结构的滤波器。这种滤波器结构可以阻止射频电流进入敏感的引脚。如果已知 V_{bat} 引脚非常敏感，应该在开发之初就考虑采取这些措施。

在实际应用中对含有LIN收发器的模块进行干扰抑制，往往难以确定具体是芯片的哪个引脚受到了干扰影响。如果多个引脚敏感并导致芯片功能故障，这个问题就更加复杂。个别措施的有效性往往会被其他引脚的耦合掩盖。如果了解芯片的敏感引脚，就可以及时地，甚至可以在具体的电磁兼容测试之前，在芯片相应的位置采取应对措施，这样就可以更迅速、更容易地控制芯片的电磁兼容问题。■