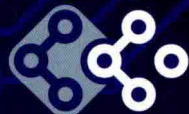
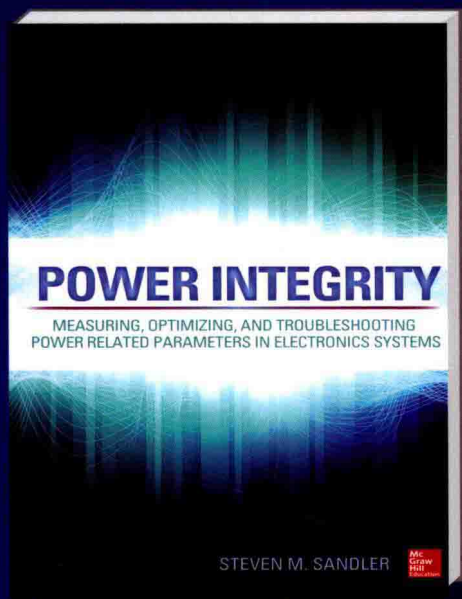


业界第一本完整阐述电源完整性理论和测试的书籍，从不同的角度介绍并对比了电源完整性的测试
原著作者拥有近40年电子行业工作经历，用亲身项目实践经验告诉工程师如何正确地进行电源完整性测量
本书由国内一线工程师通力合作翻译，并由国内大型电子论坛EDA365网友倾情推荐



电子与嵌入式系统
设计译丛



Power Integrity
Measuring, Optimizing, and Troubleshooting Power
Related Parameters in Electronics Systems

电源完整性

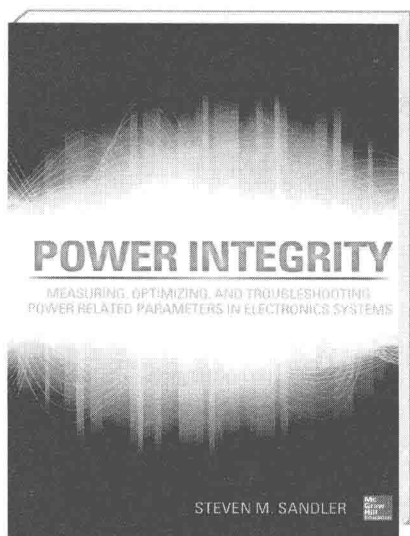
[美] 史蒂文 M. 桑德勒 (Steven M. Sandler) 著
梁建 羊杨 蒋修国 等译



机械工业出版社
China Machine Press



电子与嵌入式系统
设计译丛



Power Integrity
Measuring, Optimizing, and Troubleshooting Power
Related Parameters in Electronics Systems

电源完整性

[美] 史蒂文 M. 桑德勒 (Steven M. Sandler) 著

梁建 羊杨 蒋修国 等译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电源完整性 / (美) 史蒂文 M. 桑德勒 (Steven M. Sandler) 著; 梁建等译. —北京: 机械工业出版社, 2016.9

(电子与嵌入式系统设计译丛)

书名原文: Power Integrity: Measuring, Optimizing, and Troubleshooting Power Related Parameters in Electronics Systems

ISBN 978-7-111-54623-8

I. 电… II. ①史… ②梁… III. 电源电路-电路设计 IV. TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 198786 号

本书版权登记号: 图字: 01-2015-5211

Steven M. Sandler: Power Integrity: Measuring, Optimizing, and Troubleshooting Power Related Parameters in Electronics Systems (ISBN 978-0-07-183099-7)

Copyright © 2014 by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2016 by McGraw-Hill Education and China Machine Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可, 对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播, 包括但不限于复印、录制、录音, 或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和机械工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权 © 2016 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与机械工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

电源完整性

出版发行: 机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 刘立卿

责任校对: 董纪丽

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm × 240mm 1/16

印 张: 17 (含 0.75 印张彩插)

书 号: ISBN 978-7-111-54623-8

定 价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

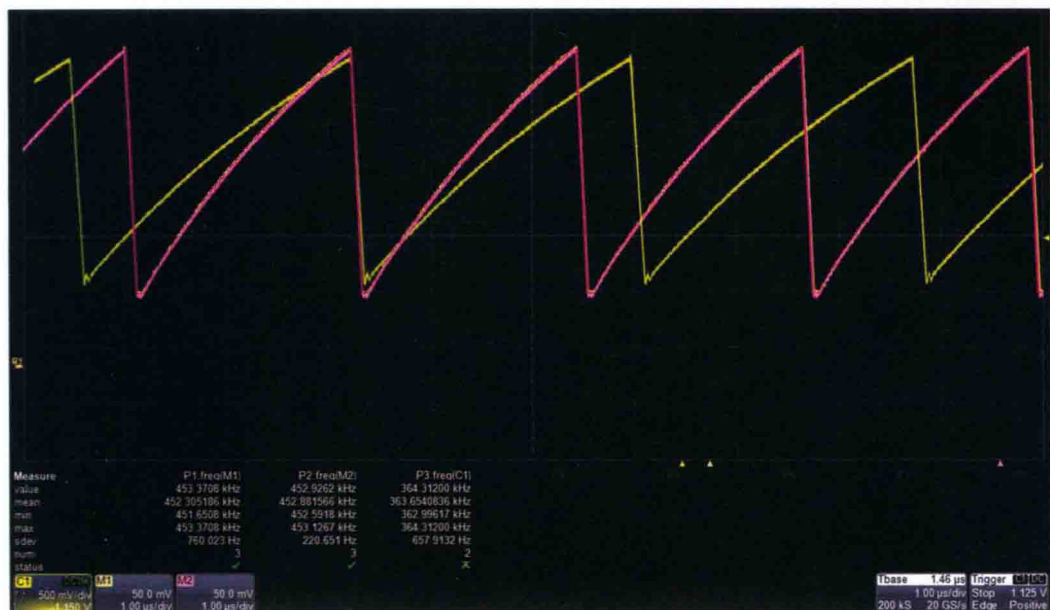


图 2.1 PWM 锯齿频率测量，1X 探头用黄色迹线，10X 探头用浅黄色迹线，2.5GHz 有源探头用粉色迹线。
1X 探头的负载效应明显带来了测量误差

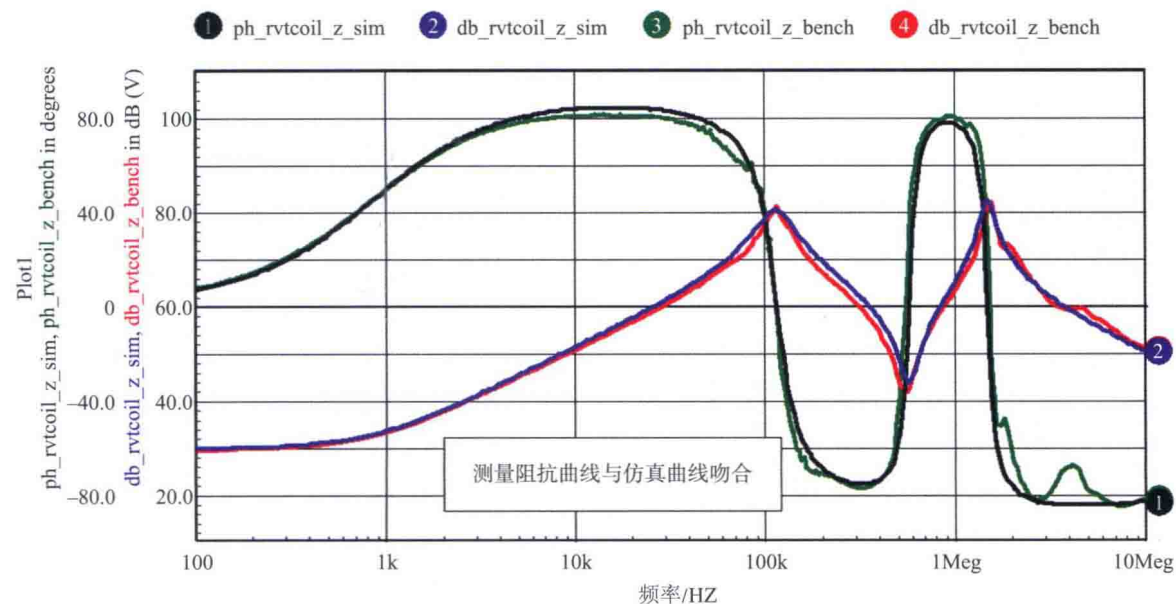


图 2.6 阻抗相位和幅度的测量结果（红色、绿色迹线）和预期（仿真）结果（黑色、蓝色迹线，AEi System 版权）对比

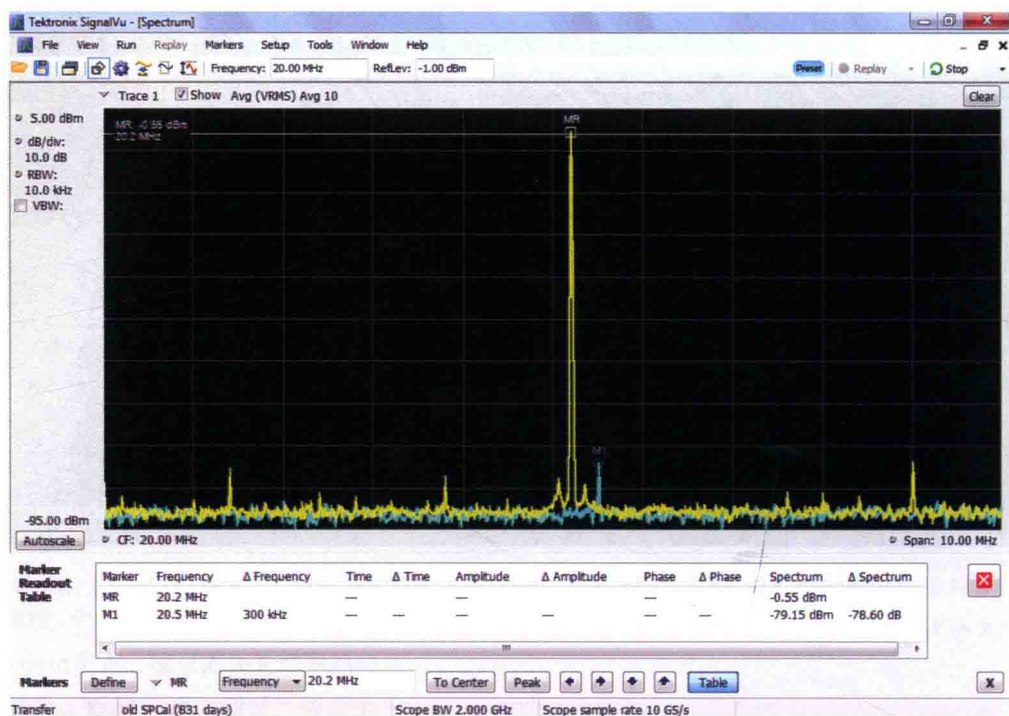


图 3.10 SignalVu® 测量显示出 10dB 噪声容限的动态范围

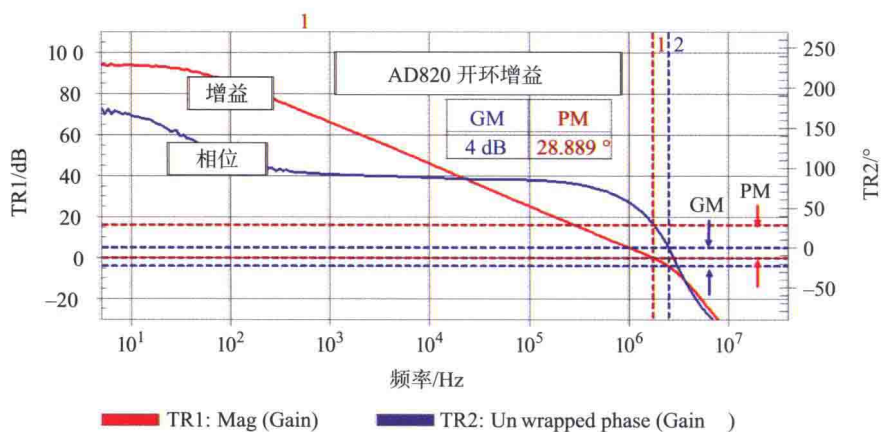


图 8.4 运放 AD820 开环伯德图。相位裕量用红色光标标出，增益裕量用蓝色光标标出

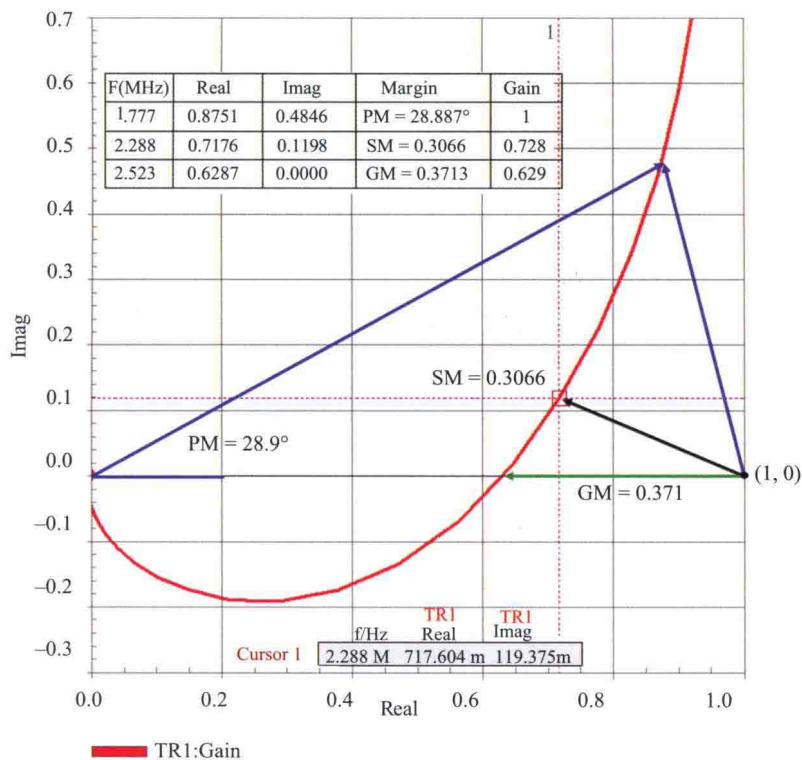


图 8.5 图 8.4 中伯德图的结果以奈奎斯特图表示。增益裕量（绿线），相位裕量（蓝线），以及稳定性裕量（黑线）都有标出

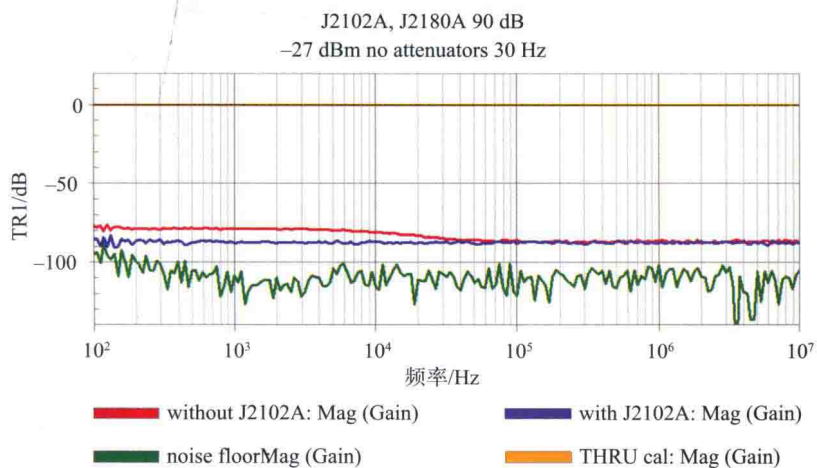


图 9.11 装有 Picotest J2180A 前置放大器 90dB 衰减器测量

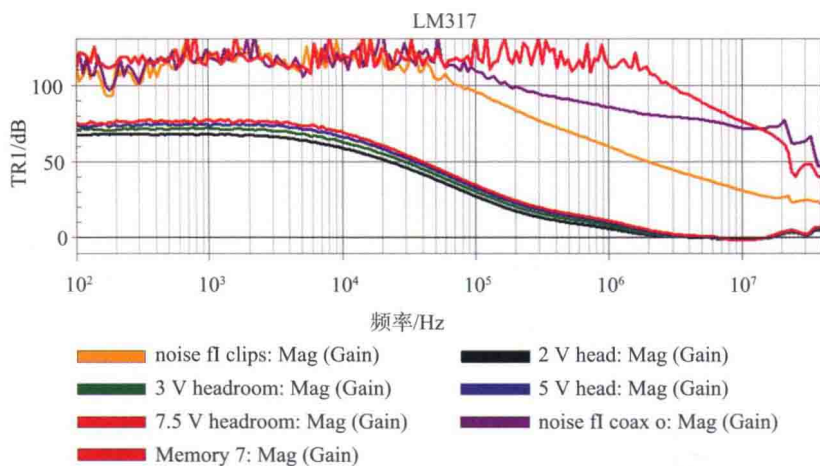


图 9.14 LM317 PSRR，几种 headroom 电压在底部迹线 2.5V（黑）、3V（绿）、5V（蓝）和 7.5V（红）。本底噪声是上部迹线。使用 2 个示波器探头（橙色），50 Ω 同轴线缆和 VNA 之间用 50 Ω 同轴线缆连接 Picotest J2102A 共模变压器替代输出探头

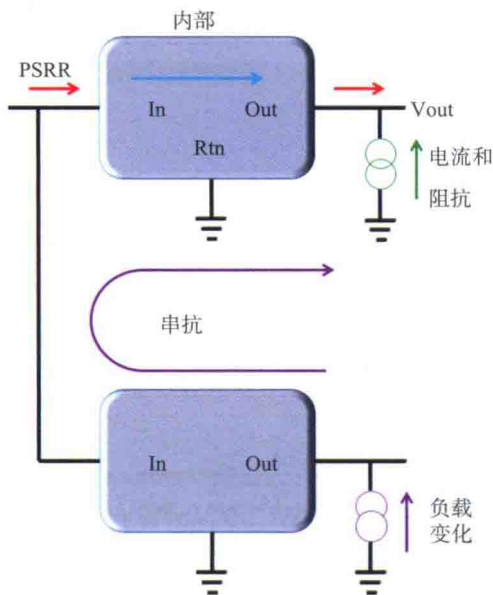


图 10.1 由于反向传输的作用，经过调制的输出电流出现在了稳压器的输入端，图中显示为紫色。有限的输入阻抗使稳压器的输入电流表现为一个电压。然后这个电压以 PSRR 的形式通过第二个稳压器，图中显示为红色

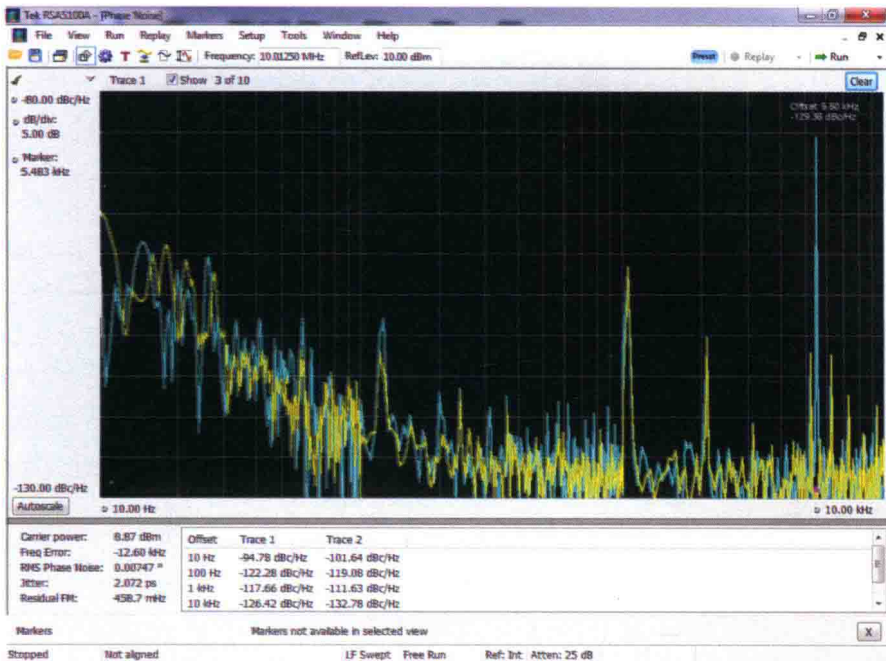


图 10.20 未经调制（黄色）和经过调制（蓝色）的基线相位噪声的测量结果。注意出现在调制和未调制测量结果上的杂散信号，如 120Hz 和 1kHz 处。这些噪声信号来自于供电电源、时钟和 PCB 上其他工作的电路。信号在 5.5kHz 处的偏移是 -129.04dB，总的抖动是 2.07ps

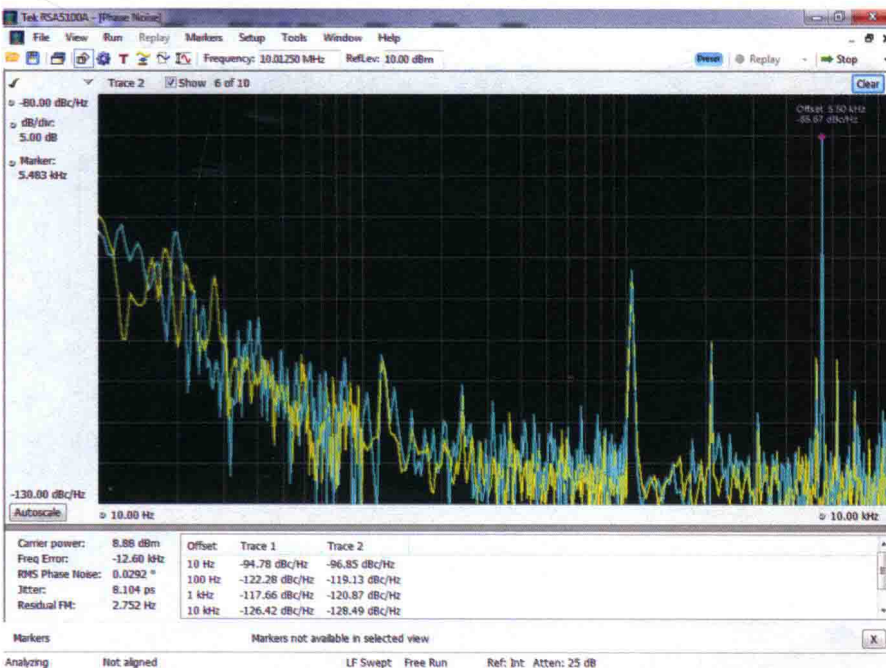


图 10.21 未经调制（黄色）和经过调制（蓝色）的相位噪声的测量结果。从这个图可以看出，信号在 5.5kHz 的偏移是 -85.7dB，总抖动明显增加到 8.1ps

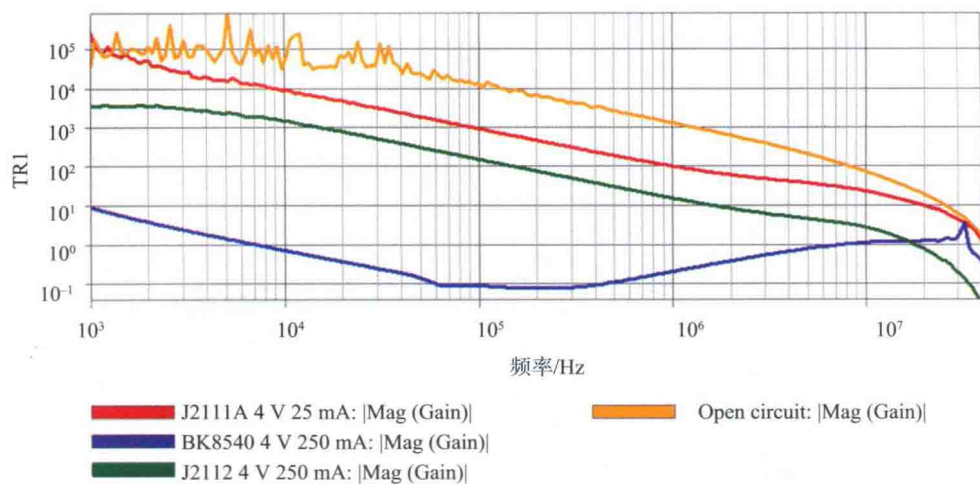


图 11.1 阻抗测量结果: Picotest J2111A (红色), J2112A (绿色), B&K 8540 型 (蓝色) 注意, 这些数据是在 4V 时测量的。开路 (橙色)

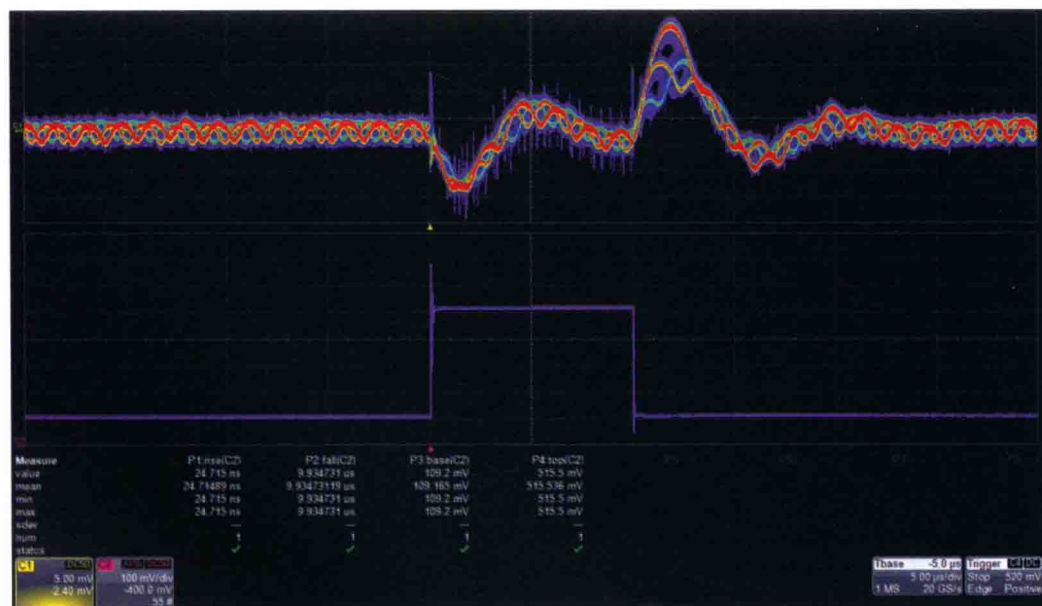


图 11.5 这个 POL 阶跃负载响应显示了在正向电压偏移上几个不同的大信号响应。上面波形是电压响应, 下面波形是电流脉冲。颜色表示响应发生的概率, 蓝色概率最小, 红色概率最大



图 11.8 两个不同的采集数据如图上绿色和黄色波形，蓝色波形是轨迹平均值的结果，电流阶跃是粉色波形



图 11.16 通过一个 SMA T 型转接头将 Picotest J2112A 和 LDO 演示板相连。负载的峰值大约为 1A，上升时间分别为 5.7 ns（黄色）、50ns（红色）和 100ns（蓝色）

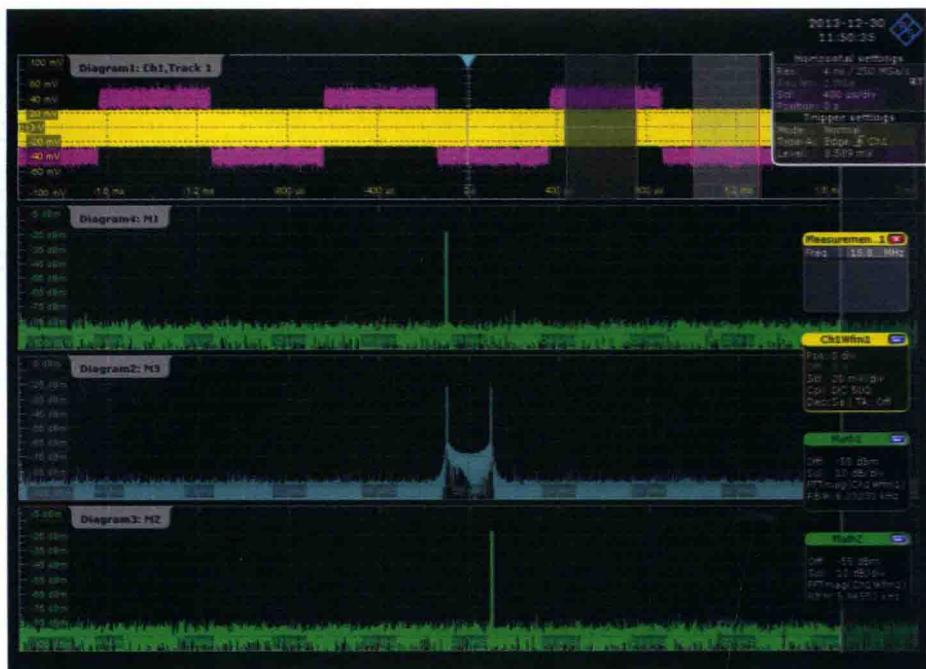


图 14.9 顶部的曲线（黄色）是 20MHz 调频信号，粉红色曲线是频率随时间变化曲线，蓝色曲线是整个窗口的快速傅里叶变换波形，包括两个频率。两个门限窗口可有效地分离这两个频率

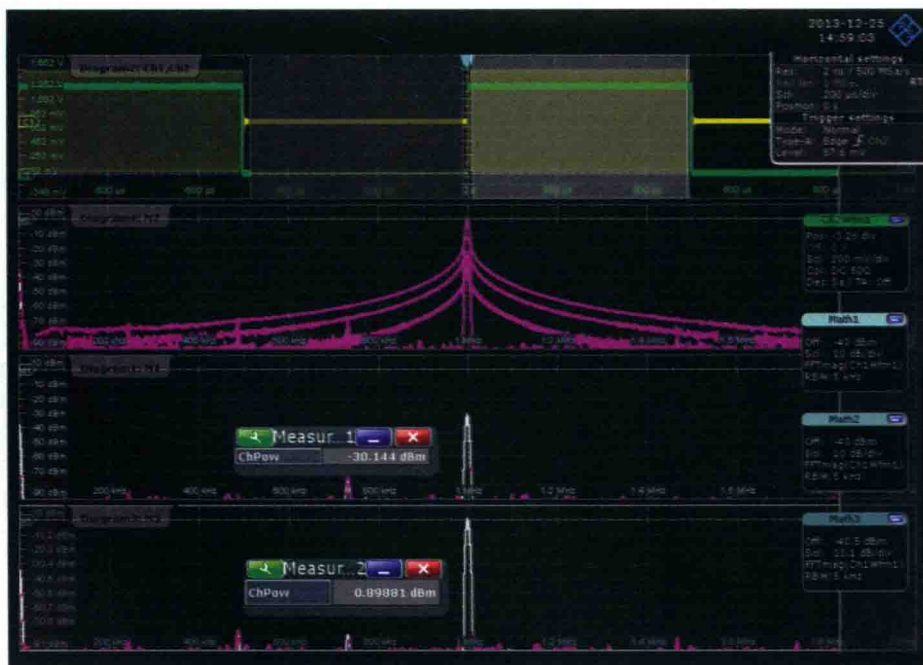


图 14.10 顶部的曲线（黄色）是 1MHz 调幅信号，粉红色曲线是整个窗口内的 FFT，显示了所有幅度。两个门限窗口可有效分析这两个幅度。顶部的绿色曲线是调制触发信号

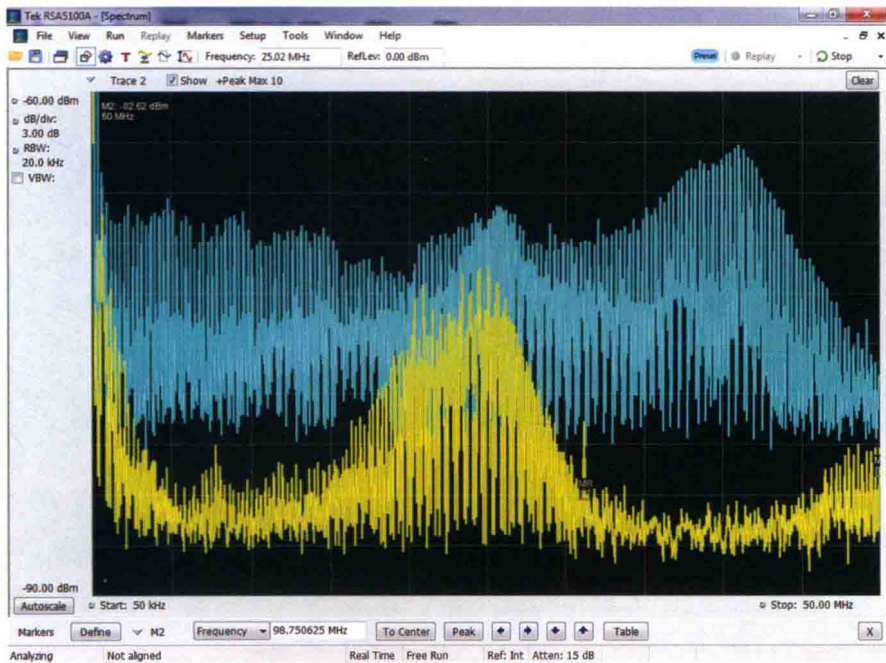


图 14.21 在 MOSFET 和驱动器附近分别用 1cm 磁场探头 (黄色) 和球形电场探头 (蓝色) 测量, 结果显示 25MHz 的信号主要源于 MOSFET 电流, 40MHz 的信号主要源于 MOSFET 电压

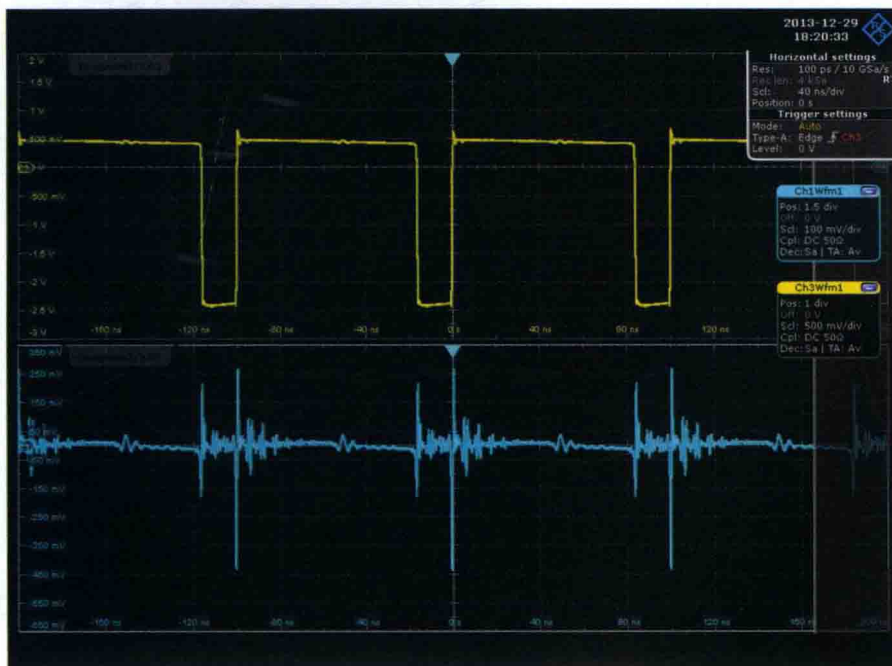


图 14.23 顶部的波形 (黄色) 是 10MHz 时钟缓冲器输出波形, V_{cc} 管脚处的 AC 耦合电压 (蓝色) 在下方。这个测量结果使用的是 10X 传输线探头

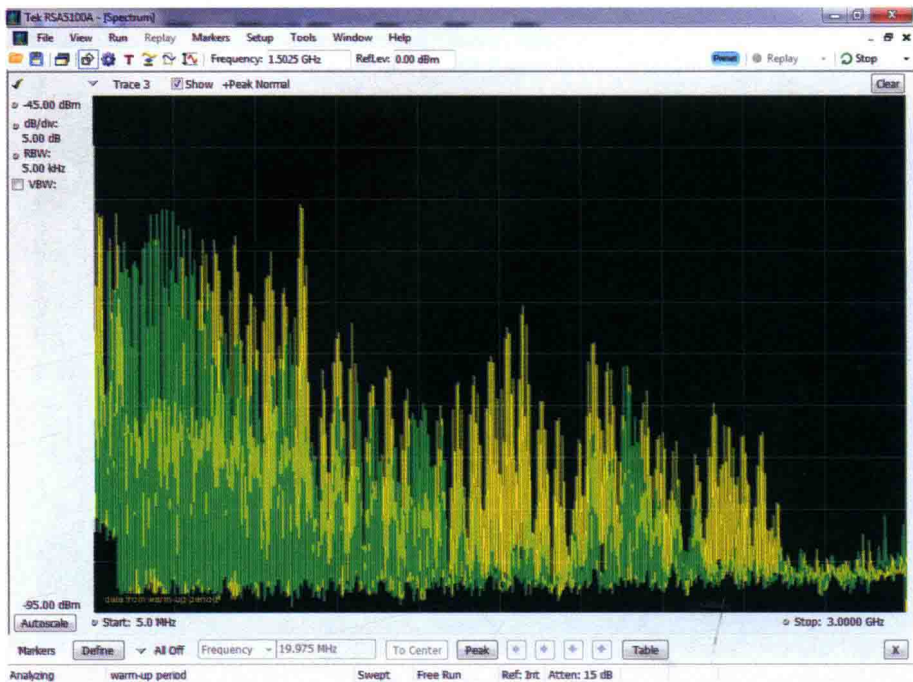


图 14.26 电场（黄色）和磁场（绿色）测量结果

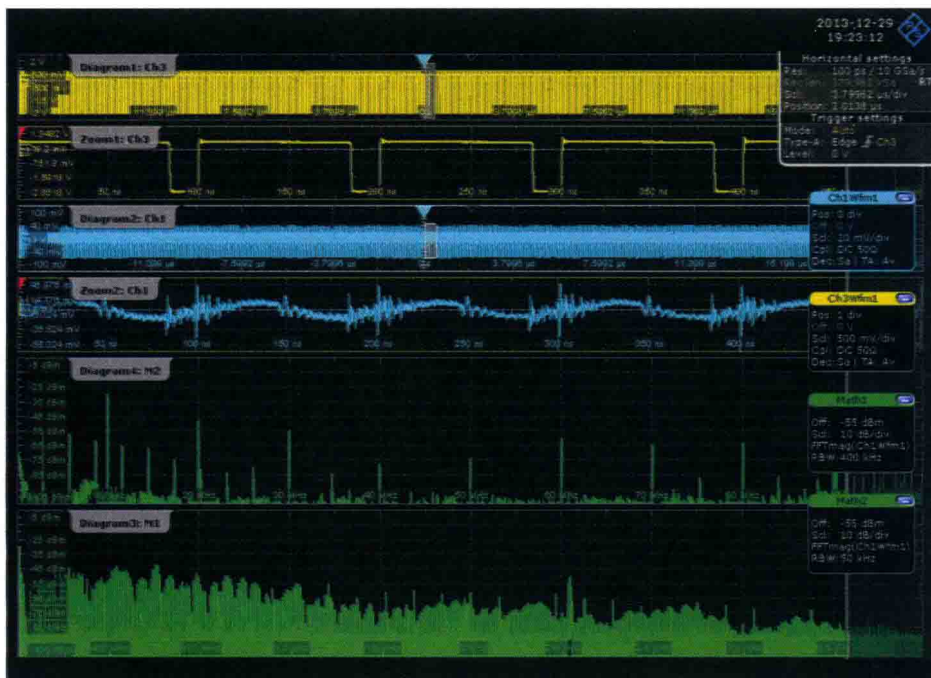


图 14.27 顶部曲线（黄色）是 10MHz 时钟信号和细节放大图。蓝色曲线是近场探头信号和细节放大图。绿色曲线是两个频谱曲线，上面的频谱是 10MHz 和其谐波的频谱，下面的是频率范围高达 4GHz 的响应

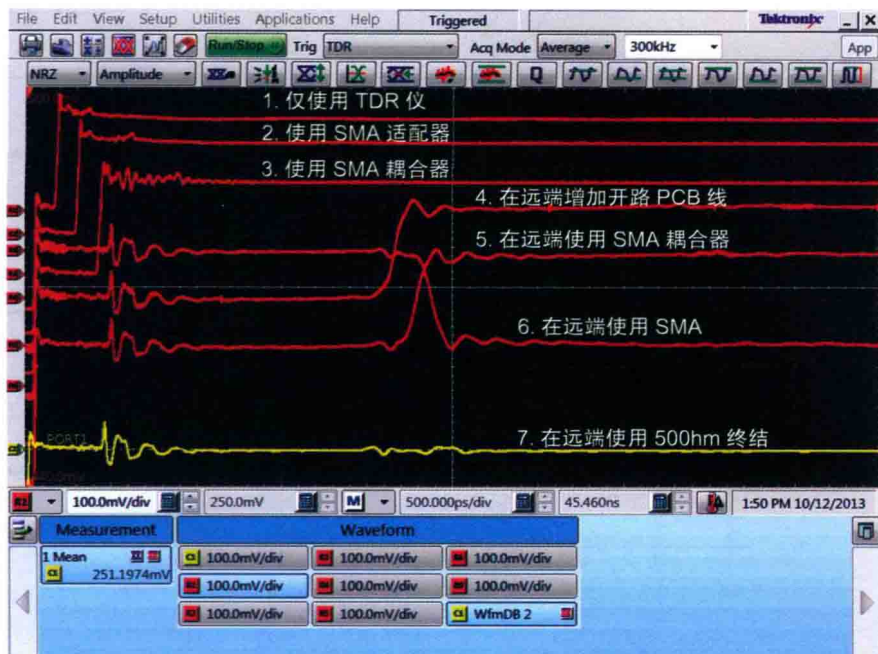


图 15.6 该测量结果显示了随着传输路径长度的增加，参考面的移动情况。从接入 PCB 引起的振铃可以很明显地看出低性能的 PCB 连接器的对应位置。黄色的线表示了使用 50Ω 端接后相对稳定的 50Ω 阻抗路径。在这条线上可以很清晰地看出低性能的 PCB 连接器的对应位置

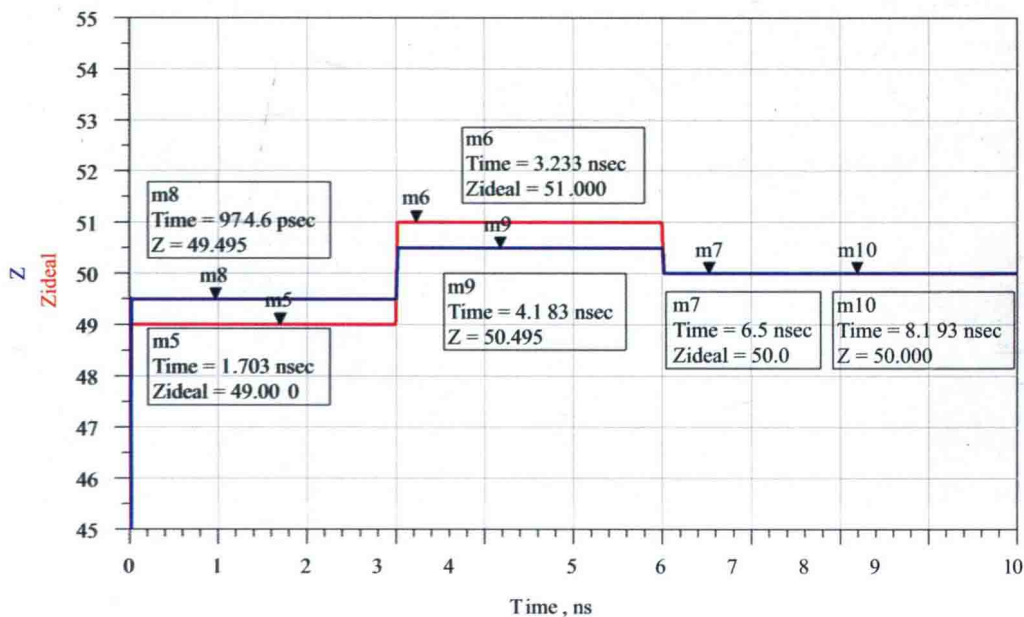


图 15.9 红色曲线表示阻抗值为 49Ω 和 50Ω 时理想传输线的阻抗曲线。由于反射的相互作用导致了在实际 TDR 测量中结果稍有不同

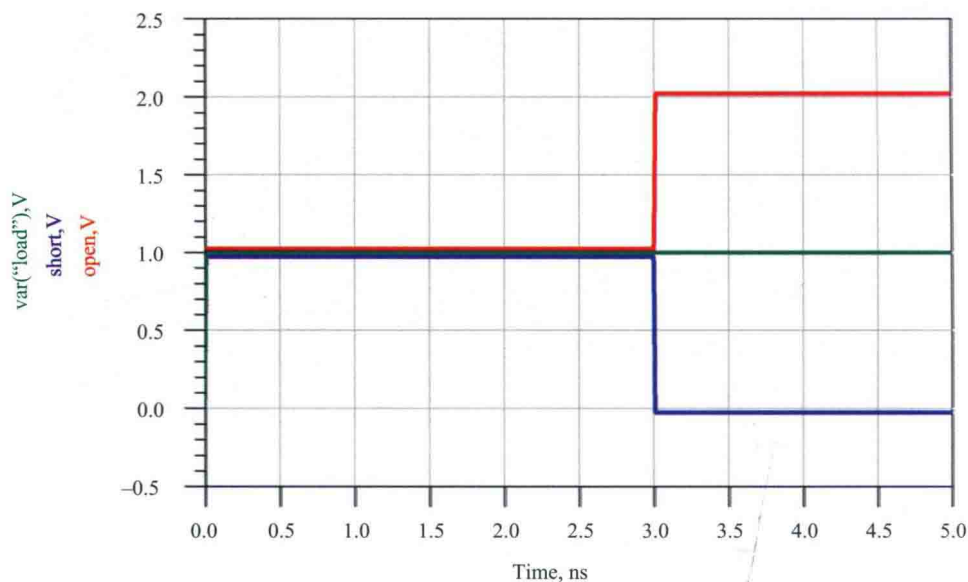


图 15.10 50 Ω 理想传输线接有不同负载时的 TDR 测量结果。50 Ω 端接负载 (绿色线)、0 Ω 短路端接 (蓝色线)、开路 (红色线)

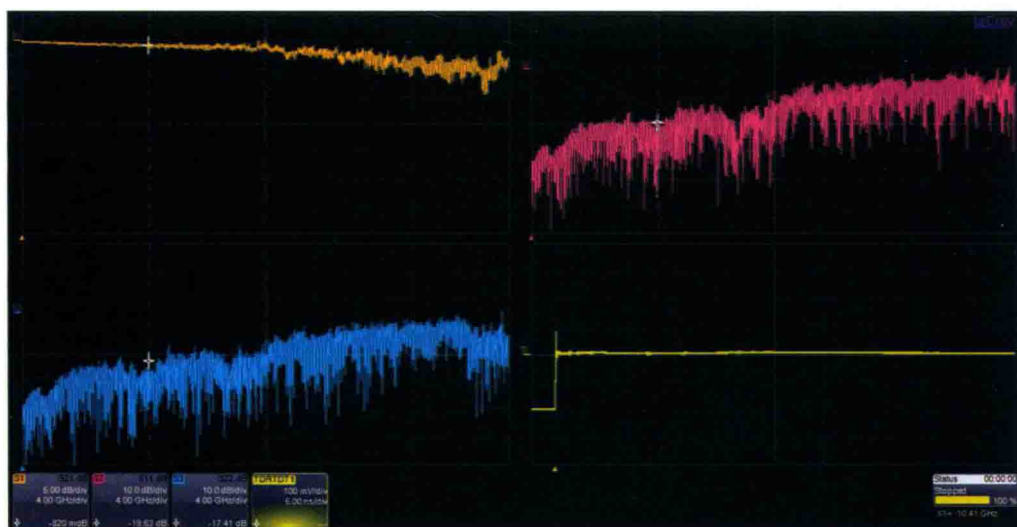


图 15.20 基于 S 参数的 18GHz 高性能同轴电缆的 TDR 测量结果。TDR 的黄色线在右下方, 插入损耗 (S21) 的橘黄色线在左上方。蓝色线是输出回波损耗 (S22) 和粉红色线是输入回波损耗 (S11)

译者序

正如本书作者所说,写这本书是一项重大的任务,组织翻译本书也不简单。机械工业出版社的张国强和我是认识多年的朋友,有一天他问我有没有兴趣翻译市场上最新出版的一本电源完整性方面的书籍。对于我这个从未著书立说过的凡夫俗子来说,当然有兴趣一试。虽然在多年之前博客盛行的时候,我也从俗写过几年的博客,其中也花心思翻译了一些文章,但终归是不成体系。另一方面,几年前也曾经组织翻译另一本关于电源配送网络的书籍(作者是 Istvan Novak),可惜半途而废。这一次想着通过翻译本书,对翻译一本完整的书籍多少算是一点交代。

国内关于这类主题的第一本流行和普及开来的书是 Howard Johnson 写于 1993 年的《高速数字设计》,这本书可以说是真正意义上的信号完整性的开篇之作。这本书出版后的 20 年恰好是高速数字电路蓬勃发展的 20 年,它也因此成了无数工程师的工具书和引经据典的必然参考。这本书最早在国内翻译出版是 10 年以后的事,也就是 2004 年,跟国内的高速发展现状和需求基本是同步的。当时,华为的高速实验室刚组建不久,国内还没形成高速互连这一较细的分工。当然,在此后的几年里,高速的概念开始渐渐普及,各种信号完整性书籍陆续翻译出版。

到目前为止,几乎稍有规模的通信企业都或多或少地组建了高速互连团队,对信号完整性的认识也相对比较完善了,而电源完整性的一些问题则渐渐凸显,开始提上台面。相对于信号完整性来说,电源完整性是既陌生又熟悉的领域。说熟悉是因为所有的电子系统都需要电源,大家每时每刻都在跟电源打交道;说陌生,是因为对于电源有高要求的场合,比如低纹波、低噪声、快速响应等,电源又会成为棘手的问题。对于目前已很常见的高速高密度应用来说,如何满足电源完整性要求已成为一个挑战。

对于当下的应用来说,低电压、大电流已成为一个基本趋势,但恰恰是这一现状,对电源完整性提出了非常高的要求。你不得不从整个电源配送路径上考虑问题,尤其是高速芯片 BGA 区域的电源路径。这一区域的电源平面阻抗要求非常苛刻,但你又必须在因密集的扇出过孔而造成的支离破碎的电源平面和很难在引脚处加上去的去耦电容现实面前做出选择。也

许选用电容材料是个解决思路，但瞬间提高的成本又成为拦路虎。同时，如何很好地确定电源平面的目标阻抗也是一个难题，并不像书上说得那么理想，去耦效果和成本之间必须做出很好的折中。

当然，本书并没有纠缠在电源平面阻抗这一细节里，而是从测量的角度出发，全面阐述了电源对系统所产生的影响，使得原本比较有针对性的电源完整性这一专业术语，扩展到整个供电路径上的电源品质和影响这一层面上。作为一名有10年以上测量经验的同行来说，我深知测量的意义，尤其是这几年负责兴森快捷的高速实验室，得益于公司的大力支持，每年花费几百万元经费，详细研究了PCB技术对高速链路的影响，对于一些书本或网络上似是而非的结论，完全体会了“纸上得来终觉浅，绝知此事须躬行”的古训。当然，这些研究工作的价值已经在25Gb/s高速互连的各种应用上体现出来。

作为一本基于大量实验和测试数据的工程书籍，本书的作者并没有以自己几十年的工作经验作为依据，而是为此书付出了大量的精力和金钱，这种出书的严谨态度是值得学习的。尤其是在当下快文泛滥的风气下，能潜下心来，投入巨大资源，写一本书是不容易的。恰好这几年国内的高速芯片也获得比较快速的发展，封装和芯片的电源完整性设计已成为专门的职业。本书虽然不是针对封装和芯片设计来的，但是对于芯片应用层面来说，仍然具有典型参考意义。

当然，得益于这几年芯片的巨大进步，测量技术也获得了长足的进展，本书中关于测量设备的一些结论有些已经过时，针对这些内容，我们也已做了相关的勘误和补充，以期让读者能更全面更正确地认识电源完整性测量技术。

本书的翻译分工如下：第1章，邓宝明（网名stupid，下同）；第2、9章，羊杨（阿笨）；第3章，郝亚东（xyd20405）；第4、5章，杨安毅（coziness_yang）；第6、12章，蒋修国（菩提老树）；第7章，谈炯尧（True）；第8章，李劲松（Colin）；第10、15章，梁建（qingdalj）；第11章，王泽龙（agrilseven）；第13章，张迪（ingwt）；第14章，蒋方（若华）。最后，全书由梁建、蒋修国、邓宝明审校。

本书有多位译者，每位译者的水平和行文风格很难完全一致，导致审校小组尽力做了修正，但限于译者水平，书中难免有错误和疏漏，恳请读者批评指正。

最后，感谢所有为本书出版做出努力的人，同时希望本书能给大家的工作带来帮助。

邓宝明