

TURING

图灵电子与电气工程丛书

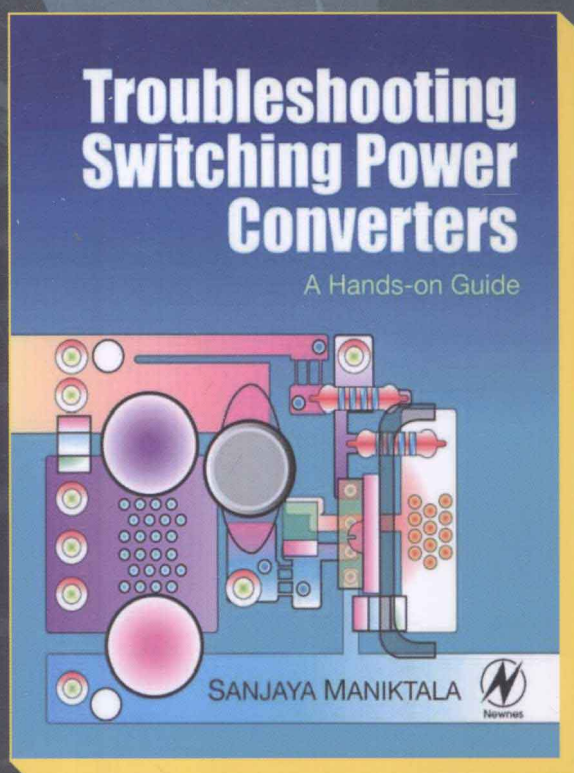


开关电源故障诊断与排除

Troubleshooting Switching Power Converters

A Hands-on Guide

[美] Sanjaya Maniktala 著
王晓刚 谢运祥 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

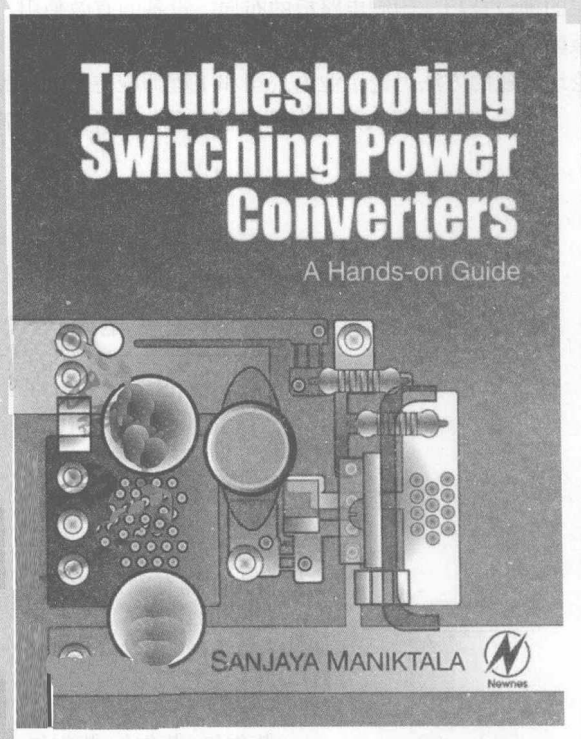
图灵电子与电气工程丛书

开关电源故障诊断与排除

Troubleshooting Switching Power Converters

A Hands-on Guide

[美] Sanjaya Maniktala 著
王晓刚 谢运祥 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

开关电源故障诊断与排除 / (美) 马尼克塔拉
(Maniktala, S.) 著; 王晓刚, 谢运祥译. —北京: 人民邮电出版社, 2011.2

(图灵电子与电气工程丛书)

书名原文: Troubleshooting Switching Power

Converters

ISBN 978-7-115-24550-2

I. ①开… II. ①马… ②王… ③谢… III. ①开关电源-故障诊断 ②开关电源-故障修复 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 253145 号

内 容 提 要

本书基于作者多年从事开关电源设计工作过程中收获的经验与教训, 利用大量真实的事例论述了开关电源故障和排除过程中应遵循的原则, 以及高频环境下的去耦、输出噪声和滤波、电容的选用、接地层的铺设技巧、印制电路板的布局、设备的有效使用、提高效率的手段、EMI 和噪声等基础知识和上述原因造成的故障及其排除方法, 并视角独特地提出开关电源故障诊断的一家之言。书中还利用解答网络论坛问题的方法讨论了业内公司和工程师应持有的态度及与数据手册相关的一些实际问题。

本书可供各层次开关电源工程人员、设计人员、高校相关专业师生阅读和参考。

图灵电子与电气工程丛书

开关电源故障诊断与排除

-
- ◆ 著 [美] Sanjaya Maniktala
 - 译 王晓刚 谢运祥
 - 责任编辑 马晓燕
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787 × 1092 1/16
印张: 13.25
字数: 339 千字 2011 年 2 月第 1 版
印数: 1-3 500 册 2011 年 2 月北京第 1 次印刷
 - 著作权合同登记号 图字: 01-2010-6903 号

ISBN 978-7-115-24550-2

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)51095186 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010)67171154

版权声明

Troubleshooting Switching Power Converters by Sanjaya Maniktala, ISBN: 978-0-7506-8421-7.

Copyright © 2008 by Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-272-182-2.

Copyright © 2011 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

3 Killiney Road

#08-01 Winsland House I

Singapore 239519

Tel: (65)6349-0200

Fax: (65)6733-1817

First Published 2011

2011年初版

Printed in China by POSTS & TELECOM PRESS under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授权人民邮电出版社在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区和台湾地区）出版与销售。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

前 言

几个星期前，我发现我急需找到些灵感。当初，我甚至怀疑写一本主题这么特殊的书是否真的有必要。因此，尽管在这个伟大的构想上徘徊了 5 年之久，我最终还是买了“另一本”书——Robert Pease 的 *Troubleshooting Analog Circuits*。我很庆幸我买到了这本书，因为它满足了我的两个要求——我不仅认识到这本书的确是激动人心的资源（毫无疑问，这是一本可以让你在旅途中、手里拿着脆饼干和咖啡边笑边欣赏的书），还了解到它与功率变换无关。以这本书封面中的著名图片为例，其中难解难分纠缠在一起的物体明显是一个著名的 V-F(电压-频率) 变换电路。但实际上，它甚至连基本的开关变换器都不是。举例来说，面包板对于开关变换器来说就是一个大忌。如果你仔细思考一下，就会发现图片传递的正是在功率变换中不应尝试的禁忌。令人鼓舞的是，这本书也承认“开关模式调节器与之截然不同”。

当我得知这本关于模拟电路故障诊断的书原本计划当作另一本关于开关功率变换器的书的其中一章时，我十分惊讶。也许这个计划是随着时间的流逝而流产了，也许是因为风险太大——市面上几乎没有其他该类书籍，这一事实在一定程度上说明了上述假设的合理性。（为你手中捧着的这本书欢呼吧！）但我还是相信如果那本书按照原来的设想出版，那么它将极具误导性，原因与这本关于模拟电路故障诊断的书的封面如出一辙。有一段时间，我曾百思不得其解：“这到底是谁的好主意呢？”后来我认识到当时功率变换仍处在萌芽阶段。谁会知道以后的事呢？

在 20 世纪 70 年代早期，计算速度高达 2MHz 的 Intel 8080 微处理器曾让全世界的工程师们惊异不已。“数字化”成为对新一代电气工程毕业生的赞美之词。事实上在那 10 年间（以及下一个 10 年），当询问来公司面试的人希望做什么时，几乎所有的人都会眼睛不眨地答道——“微处理器！”我想我改行从事电力电子的原因就是，对于这些“好东西”我做得不够好。但是不久之后，我认为事情肯定会因这场数字竞赛中的落后者而变了味，无论他是个人还是公司。在由此造成的颠倒性混乱中，一切非数字化的事物都被冠以“模拟的”。

我想知道这究竟是如何发生的。像“模拟电子的功率”这种吸引人的词句可能激发了人们的想象力，但它们充其量只是一种矛盾修饰法 (oxymoron) (单词中包含“moron”(傻子) 真是恰如其分)。因为尽管表面上看来，“模拟电子”和“功率”显得如此亲密和相似，但实际上它们只是一对陌生的伙伴，你不能在题为“你不需要了解数字电路……尽管问”的总体纲要中将两者相提并论。模拟电子和功率之间的确有一些共性，本质上二者都是“非数字”的，它们的相似性正在于此。现代开关功率变换器的显著特征是电压和电流因特性神秘的电感而有着很陡的边沿，大量的高频分量使迄今为止的各种手段都显得无能为力（这么说毫不夸张）。

“模拟电子或功率，名称意味着什么？”你完全有理由这样问。由于两者并不完全对立，所以许多公司中都有这样一个实际问题：高级管理人员突然出现在你的面前，充满想象力且

满怀热情地期望将开关 IC 的大生意推向新的高峰，但问题是他只熟悉运算放大器。来看近期发生的一件事，故事发生在总部设在加利福尼亚州圣克拉拉的一家大型模拟电子公司，他们的“电源管理”和“便携式电源”两个生产线曾大获成功，新上任的高级副总裁满腹怀疑地问他的职员：“为什么你们说我们的开关 IC 很‘简单’？”他相信这种说法彻底贬低了他们的产品——也许像个简单的汉堡，或者想法太简单。一个毋庸置疑的事实是这种开关 IC 是过去 10 年公认的品牌。我们应该称它们“高性能开关 IC”，或者是“创新性的开关 IC”？“复杂开关 IC”或“热情的开关 IC”听上去如何？（这会使工程师们争先恐后地购买它们！）随后会议室安静了下来，几位野心家还在点着头，态度令人敬畏地放肆，但没有人敢于站出来告诉他们的皇帝，他现在确实需要一个好裁缝。

再来向下观察食物链（或许我应该说“向上”）。仅在几年前，功率变换还是一个令大多数工程师望而却步的利基市场（niche market），如今这个市场变得大多数人没有能力去做。但是，写一篇与功率变换有关的漂亮文章，或者整理出一本令人激动的教材是一回事，在实验台上制作出一台能工作的变换器则完全是另一回事。别忘了，你还必须令它非常可靠而且成本低，这是问题的关键。造成这种不幸现状的原因很多，有一点可以肯定，那就是几乎没有培养工程师的学校会讲授大量的电力电子学知识，尤其是开关电源（SMPS）的知识。这就是缺乏开关电源知识的电气工程专业。很不幸，这还不是唯一的原因，每家公司都在奋力争夺少数几所在电气工程专业具有优势的学校的毕业生。情况必须有所改变，以适应对经过专门训练的毕业生规模日益庞大的需求。

功率变换领域不仅变得非常重要，而且越来越复杂。一位极力模仿他人的专家如果仅对模拟电路故障诊断与排除的书进行敏锐而深入的研究是不会轻易成功的——“如果你站在一个大型演讲台上并且夸夸其谈，通常人们会认为你知道自己在说什么，他们不再寻找错误……这本身就是一个错误。”我还记得大厦 D 座的复印机发出的雷鸣般的响声不时地被我在太平洋这一边听到过的最动听的词句所打断，我绝对不会记错！幸好我很快由我的经历明白了这样一条道理：在你犯错前帮你发现错误的人是你在公司中最好的朋友，在你犯错后帮你找出错误的人是支持你的人，在你犯错前后都只字不提的人确实让你看走了眼。要学会明辨是非。

在当今科学与工程界，我们都越来越多无一例外地受到同级的严格检查和反复核对。我们已经无法隐藏于别人错误的背后，或者大声抱怨着试图将人们的注意力从自己的错误上移开。因此我们必须学会在必要时坦白承认错误，并且承认越快越好，以避免由错误的行为或建议带来的严重后果，因为这是推动大家进步的动力。同样，我们还必须以相同标准来要求与这一领域相关的所有人。不应再把漂亮的广告宣传单、媒体演示或华而不实的在线工具当真。必须尽快提高标准。功率变换是一个复杂的领域，不仅会出现大量无心之失（这种错误我每天都会犯），并且还涌现出大量奇特的术语、可怕的公式以及那些所谓的“无奈的平衡”，听起来振振有词，实则在掩盖自己的错误——如果错误是有意而为的话。所以，就算是供货商，无论他们多么趾高气扬，也必须与我们一样做同样认真的检查。这就是我理解的工程学。如果不这样做的话，我认为所有有关的成本将迅速增加。世界正变得越来越小，实际上我们已经紧密联系在一起。我们还能再滥竽充数下去吗？

最后，该说再见了。三本书已经足够，你会认同这一点。我不会再写了。所以，本书是

我向你讲述人生经验的最后一次机会。我还希望这个过程能激发你的兴趣，让你有亲身经历的感觉。相信这种方式能够令你在看故事的同时也不会忘记与之相关的专业知识。因此在我最终搁笔之际，我感谢你们一直以来给予我的巨大支持。我真诚希望这本书不仅让你有所收获，还能让你爱不释手，就像我写这本书的时候一样。我估计读者会认为本书有几处过于直言不讳了，但我可以向你保证其真实性，一点也没掺假。

Sanjaya Maniktala

致 谢

我要感谢我的导师、副总裁和朋友 G. T. Murthy 博士，多年前在孟买是他一直鼓励着我。当我还年轻时他为我树立了榜样，直至今日我仍努力向他看齐。除此之外，我还从博士身上学到了关于工程的真谛，至少学到了工程应该是什么样的。毫不夸张地讲，我清楚地认识到没有人或者公司能够超越诚实这一基本底线，否则，其提供的任何数据、声明或产品都是值得怀疑的。当然，真正的错误是自然产生而且可以被原谅的，我们毕竟是人。但是证明错误确实是无意而为之的方法只有一种，那就是犯错误的人曾反复核对过数据，并在发现问题时，立即毫不犹豫地从头开始解决问题，而且这个过程是公开的。真正的工程师（或工程组织）不应该也没有必要对错误百般隐瞒（“有本事来抓住我。”或“嘿，你说什么？”）。此外，不能指望任何一个 ISO 质量标准能取代这一基本和必需的工程态度。本书相当强烈地反映了这一个人信仰。感谢 Murthy 博士！

还要感谢我最近遇到的几位朋友，他们为我解决了许多个人问题。特别感谢 Travis Meek，他是一位年轻且思虑缜密的律师，就职于 Fairchild 的移民顾问公司 Pierce Atwood LLP，他在我完成这本书的过程中提供了相当大的支持。没有他的帮助，无疑我会无法集中精力。当然，我还要感谢阿勒格尼学院 (Allegheny College) 的 Shafiq Rahman 博士。

我有一些特殊的读者，他们不辞辛苦地为我的前两本书写了大量的评论。也许他们不知道，这对于像我这样的作者来说意义非同寻常，我尤其要感谢 Robert Rauck 和 Paul Mathews。还要感谢美国国家半导体公司的老同事 Dipak Patel。

感谢 Elsevier 公司的 Carol Mohr 和 Jeff Freeland，他们在非常短的时间内为本书做了非常专业的检查（我晚了两个月交稿）。

非常感谢 Disha、Aartika 和 Munchi，当我奋力撰写本书的时候，他们又在家度过了几个月没有我陪伴的日子。去年（在我写第二本书的时候）我就向他们保证那是我写的最后一本书。这一次我至少可以心口如一地再次告诉他们这次真的是最后一本，但我想他们在几年前就不再相信我了。

目 录

第 1 章 关于电源的思考	1	2.6 高频输入去耦	33
1.1 实践与理论: 硬币的两面	1	2.7 别忘记紧邻 IC 放置 0.1 μ F 的陶 瓷电容	34
1.2 抛开成见	2	2.8 你也需要大容量电容	34
1.3 谨慎地选择朋友	3	2.9 “缺少的” 电流来自何处	35
1.4 寻找解决问题的方法	7	2.10 检查你的实验电源	38
1.5 电源中的连锁反应	7	2.11 未使用大容量电容以及电容的 <i>ESR</i> 过大会引起严重问题	38
1.6 经验很重要, 对此没有假设、拖延 或反对	8	2.12 只用一个电容来抑制噪声和 纹波?	40
1.7 不要忽视任何一个问题, 问题发生 时已经为时太晚	9	2.13 控制 IC 也需要无噪声的电源 走线	41
1.8 熟练使用仪器	10	2.14 升压变换器的去耦稍有不同	42
1.9 对症下药的故障排除方法	10	第 3 章 输出噪声与滤波	43
1.10 因果关系是第一个灾难	14	3.1 测量输出噪声和纹波	43
1.11 从 (别人的) 错误中获取经验	17	3.1.1 输出噪声和纹波, 及其与输入 噪声和纹波的关系 (<i>PSRR</i>)	44
1.12 与解决问题有关的问题	18	3.1.2 接受噪声, 但不接受振荡	45
第 2 章 高频的影响与输入去耦的重要性	23	3.1.3 噪声太严重了? 尝试降低 MOSFET 的速度	47
2.1 大谎言与原理图	23	第 4 章 明智地使用电容	53
2.1.1 PCB 走线的阻抗	23	4.1 简介	53
2.1.2 IC 内部的接地反弹	23	4.2 第 1 部分: 铝电解电容	53
2.1.3 接地层	23	4.2.1 elko 电容的结构和类型	53
2.1.4 分压器及其正确布局	24	4.2.2 免费获得阻尼电阻 (<i>ESR</i>)	54
2.1.5 效率的测量与直流电阻	26	4.2.3 谨慎使用 elko 电容	54
2.1.6 开尔文感测法	27	4.2.4 elko 电容能容忍滥用	55
2.1.7 电源与地之间走线的电感	28	4.2.5 elko 电容的谐振频率	56
2.1.8 避免使用绕线电阻	29	4.2.6 振动测试的牺牲品	56
2.2 职业性危害	29		
2.3 细心观察反馈走线	30		
2.4 物理距离成为关键	31		
2.5 估计谐波的幅值	33		

4.2.7	elko 电容的预期寿命	57	7.4	真正的“调换”(switch)	103
4.3	第 2 部分: 陶瓷电容	62	第 8 章	故障诊断策略的一家之言	105
4.3.1	MLCC 的结构	62	8.1	剥洋葱	105
4.3.2	陶瓷电容的分类	62	8.1.1	提出正确的问题	106
4.3.3	电容/电阻的标准尺寸	63	第 9 章	让设备有效地工作	124
4.3.4	不同的材料的 ESR	64	9.1	简介	124
4.3.5	揭开 X7R 电容的面纱	65	9.2	基本设备	124
4.3.6	X7R 电容的温度系数	65	9.2.1	实验室须知	124
第 5 章	使接地层的效用最大化	73	9.2.2	时钟的稳定性和抖动	126
5.1	并联输出电容以实现均流	73	9.2.3	理解示波器显示的波形	127
5.2	两种解决方案的对比: 开关 IC 与控制 IC	76	9.2.4	变换器不稳定: 与控制环 有关	129
5.3	快速地检验铝电解电容的电流	76	9.2.5	单次捕获模式示波器的捕 捉问题	131
5.4	二次侧走线电感及其对效率的影响	76	9.2.6	电流尖峰测试	132
5.5	接地层中电流的返回路径	78	9.2.7	高 dV/dt 测试	133
5.6	并联走线以降低电感	80	9.2.8	锡焊技巧	133
5.6.1	多层板及其接地层	81	9.2.9	世上最快的故障诊断工具	133
5.6.2	同步控制器和开关 IC 的 死区时间	82	9.2.10	杂项	134
第 6 章	AC-DC 与 DC-DC 变换器的 印制电路板布局	83	第 10 章	效率原则	135
6.1	简介	83	10.1	确保足够的驱动电压	135
6.2	评估板 (EVB)	83	10.2	使电容寄生参数最小	138
6.2.1	降压变换器的 PCB	84	10.3	合理设计缓冲电路和钳位电路	138
6.2.2	升压变换器的 PCB	85	10.4	改变频率	141
6.2.3	升降压变换器的 PCB	86	10.5	分时原理	142
6.2.4	正激变换器的 PCB	87	10.6	正确理解降压变换器的效率曲线	143
6.2.5	反激变换器的 PCB	87	10.7	估计通态损耗与开关损耗之比	145
6.2.6	布局时的一些要点	88	第 11 章	磁性元件、电磁干扰和噪声	151
6.2.7	热管理问题	91	11.1	愿望	151
6.2.8	制作便于故障诊断的电路板	92	11.2	改变处理 EMI 问题的方式	154
第 7 章	不使用接地层	98	11.3	钳位电路的位置同样能影响噪声	157
7.1	基于 384x 系列控制器的单层板	98	11.4	EMI 故障诊断备忘录	157
7.2	一次侧电流回路	99	第 12 章	论坛、数据手册以及其他实际 问题	163
7.3	二次侧电流回路	100	12.1	思考很关键	163

12.2	反复核对一切	163	12.5.8	问题 8	182
12.3	产品责任问题	165	12.5.9	问题 9	183
12.4	全新全意为客户	165	12.5.10	问题 10	184
12.5	问题与解答	166	12.5.11	问题 11	188
12.5.1	问题 1	167	12.5.12	问题 12	190
12.5.2	问题 2	168	12.5.13	问题 13	190
12.5.3	问题 3	170	12.5.14	问题 14	192
12.5.4	问题 4	171	12.5.15	问题 15	193
12.5.5	问题 5	173	12.5.16	问题 16	194
12.5.6	问题 6	177	附录		198
12.5.7	问题 7	178			

第1章 关于电源的思考

“休斯顿，出问题了。”^①

对于单词 Problem(问题)，德国人和瑞典人的拼写方法与美国人一样，西班牙人、葡萄牙人、俄罗斯人、希腊人、意大利人在后面加一个字母“a”，荷兰人和法国人加了一个字母“e”。但是我们都认同一个观点，那就是问题的存在，而且问题普遍存在。

这也是本书所要讨论的内容，具体来说，本书讨论的是开关电源的问题。本书因而可能会絮絮叨叨地罗列一些细节，对以往发生的事故也会毫不留情地给予批评，以儆效尤。当然，最关键的还是要对我们可能会面临的各种缺陷不厌其烦地作出讲解。

这些都很有必要！因为我们身处一个影之宫，里面是想象，外面是现实。每个事物都有可能出故障，即使是几秒钟前认为不可能的事情都有可能发生。据我所知，这就是开关电源的王国。

然而，因为没有一本书（或者像现在这种讽刺性评论）可以详细列举出故障的无数种可能性，所以我们应当正确地树立目标。下面列出的只能是部分有代表性的事例，但无疑有助于人们以正确的方向迅速地找出问题所在。

我希望这对你有帮助，因为如果帮不了你，那我们确实就出问题了。

1.1 实践与理论：硬币的两面

诊断开关电源故障时，需要知道的一点是必须以理论的视角去看待实际问题，必须从实际出发去理解理论。我们最终必须学会在理论与实践之间作出合乎逻辑且没有差错的过渡，每前进一小步，都要停下来审视合理性。因为在开关电源领域，理论与实践是相互融合的，两者都不能完全靠自身解决问题。例如，目前可以在理论上实现 100MHz 的功率变换器，但显然，从实际角度来看，这么高的频率迄今为止是无法实现的。同样，你还可以提出完美的布局和热管理方案，甚至让你的教授惊异不已；但如果你检查一下你所采用的开关拓扑的基本原理，你会发现你曾经在实验室徒劳地工作了几个月甚至几年。

在试验阶段，应牢记于心的是自己是一名坚韧不拔、实践至上的工程师，而普通的技术人员和纯粹的学者都不能单独胜任实际的工作。写一篇关于开关电源的漂亮文章是一回事，而制作出一台能正常运行的开关电源又是另一回事。在这一认识的基础上，本书将通过大量的实践来突出理论基础，从而为读者提供更为有效的指导。

本书不会以逐步操作说明的体例给出简单机械的 DIY 式技术指导，比如：检查第 5 个引脚的电压、检查电容 C21 的电解液是否泄漏、更换烧焦的电阻 R16 等。要是这样来对待这一不寻常、令人激动的领域就失之肤浅了，也难以全面地说明问题。我们必须学会借助于基本原理、推理和经验（有时是别人的经验）来解决我们面对的新问题（话音未落，又涌现出

^① 摘自《阿波罗 13 号》。——译者注

了很多新问题)。这就是本书所持的观点，因为从长远来看，只有这些方法才能带我们脱离困境。

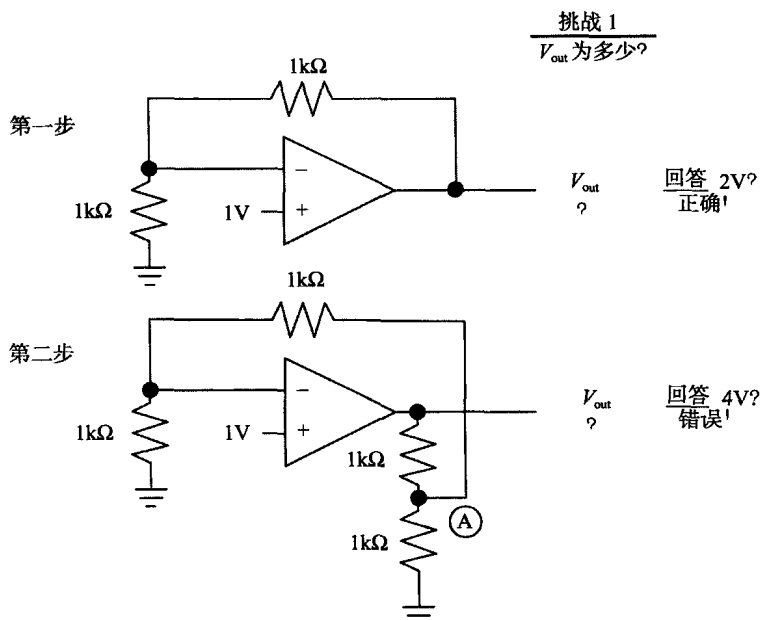
必须指出的是，本书没有用太多篇幅介绍书中涉及的基本概念和术语，因此你可能首先应读几本基础书籍。当然，我优先向你推荐我之前出版的一本书，《精通开关电源设计》^①，它能很快地让你进入开关电源的殿堂，最终使你变得跟你的 4MHz 的开关一样炙手可热。

1.2 抛开成见

当我们迈出故障诊断第一步的时候，必须设法将过去的看法、推测和直觉统统抛开。必须毫无成见地与默默无闻地奉献而又一丝不苟的工程师一起重新分析面前的一切问题，因为开关电源的问题不会摆在表面上。

我想你已经开始觉得这没有必要了，至少就你而言如此。我现在分两部分提出一个具有挑战性的问题，该问题不仅与功率变换无关，而且还不需采用任何精妙的分析。问题十分简单，与直流偏置运算放大器有关，在面试的时候我经常向求职者提出这个问题。令人惊讶的是许多有经验的工程师为此挠破头皮都想不出来（甚至我有时不小心也会被难住）。

挑战 1 观察图 1-1，第一步，运放输出端的电压是多少？很简单，2V。答对了！现在进入第二步，可能你会不假思索地脱口而出： $V_{out} = 4V$ 。但是你错了，原因见图中的解释。实际上，几年前，我向原来任职的电源 IC 公司电源管理组著名的 IC 设计专家（现在为设计经



解答 A点电压为2V，运放反相端电压1V，因此上方反馈电阻中的电流为1mA（流向反相端）。同样，分压器下端1kΩ电阻的电流为2mA，方向是流入接地端。因此分压器上端1kΩ电阻中必然有方向向下的3mA电流，所以两端电压为3V。由于A点电压为2V，所以 V_{out} 必然为3+2=5V

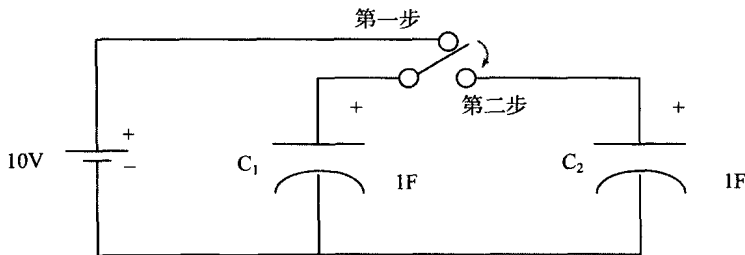
图 1-1 检验你的直觉（第一个挑战性问题）

① 本书已经由人民邮电出版社出版。——编者注

理) 提了这个问题, 他一开始也答错了, 随后露出尴尬的笑容。对于看上去显而易见的问题, 我们必须认识到动动笔以及仔细检查的重要性。

挑战 2 在图 1-2 中, 两个电容完全相同。其中一个电容充电至 10V, 然后直接接在另一个电容两端, 最终两个电容的电压为多少?

挑战 2
电压最终为多少?



C_1 和 C_2 的初始电压均为0V。随后 C_1 充电至10V, 扳动开关后 C_1 向 C_2 部分放电。
 C_1 和 C_2 的最终电压是多少?

图 1-2 检验你的直觉 (第二个挑战性问题)

“正确”答案是 5V。但如果让你说出其中的原因呢 (假设你事先不知道答案)? 有几个网站讨论了这个问题, 请随意用 Google 搜索。当你知道 C_1 初始能量的一半消失了之后, 你会觉得很有趣。能量去哪了? 为什么消失了? 怎样消失的? 我必须要说的是, 最近, 我的一位级别较高的同事对这一问题常规的解答持不同意见。这是好事, 因为无论多么显而易见的事物, 最后还是要拿到实验台上来试一试, 我们这样做了。我们将一个大电解电容充至 10V, 并立刻将其与另一个未充电的电容连接, 电压最后为多少? 约为 5.7V, 并非 5V。我仍然不理解为什么, 但我怀疑这与电容的公差及相互之间不匹配有关。

1.3 谨慎地选择朋友

我对身边某些圆滑的媒体和营销报告越来越警惕。作为工程师, 我们可能会花几个月的时间排除元器件的故障, 甚至要冒着丢掉工作的危险。因此, 意识到有些公司竟然依靠别人的无知来赚钱, 对我们来说变得越来越重要。没错, 大多数媒体从业人员对功率变换所知甚少。这并不出人意料, 也不是什么难为情的事。许多从事开关电源工作的人也经常意识到自己所知甚少。正因为如此, 制造商们才会发放大量的广告宣传单, 制作出花哨的 Flash 或 HTML 网页, 目的是希望人们不假思索地购买他们的产品, 这是他们一贯的伎俩。

我最近见到一则广告宣称对一款 IC 进行了最大限度的改进, 使用该 IC 后, 电路板的元器件数目由 65 个减少至 40 个。这个广告来自于一家很受欢迎的制造商, 他们生产用于 AC-DC 变换领域的高压单片 IC。我手上的广告版本如图 1-3 所示, 对此我有以下几个问题。1) 在新型电路板上找不到大型散热片。散热片怎么会不见了? 如果两种电路板的功能一样, 开关的损耗应大致相同。2) 旧电路板上有一些体积很大的 EMI 滤波器元件, 而新电

电路板没有 EMI 滤波器。由于这款 IC 不是软开关型, 开关的转换速率也不可控, 因此新电路板与旧电路板的 EMI 也基本相同, 滤波还是必不可少的。3) 旧板采用了标准的保险丝, 而新电路板使用的是小型径向保险丝, 看来保险丝的尺寸居然与所用的开关 IC 没有关系。以上问题很容易从他们的电路板上看出来, 但是广告上的图片比较模糊, 让人看不清楚。我认为这个公司采取这种手段是不合适的, 因为他们的器件已经足够好了, 应采取更好的方式推销它。

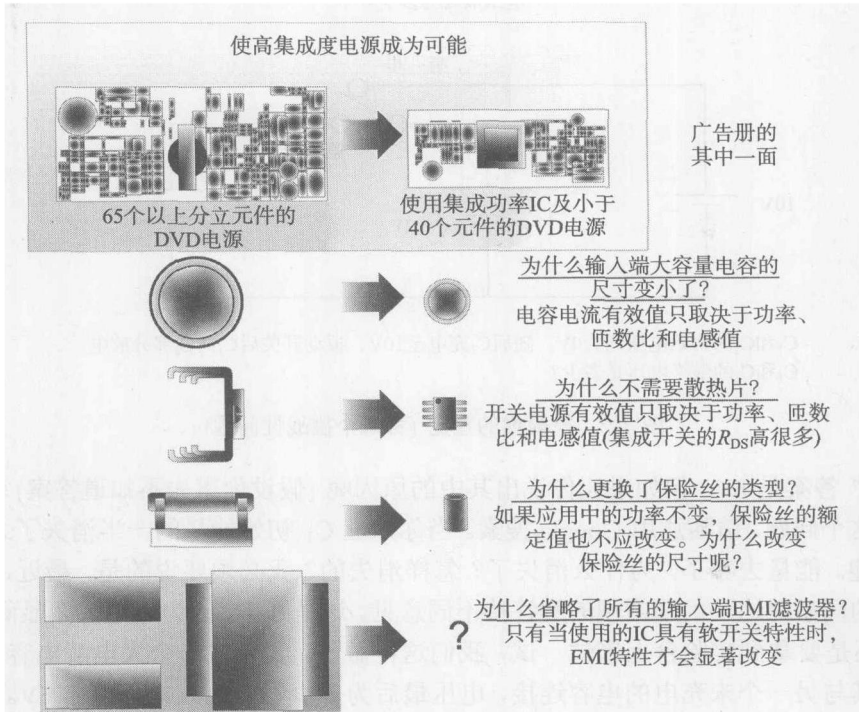


图 1-3 某些广告不会向你透露的信息

我们应该对制造商的真正承诺 (相对于未承诺的) 以及发布的信息 (可能没有被宣传和强调) 持怀疑态度, 并进行详细的分析。这些迟早会影响我们的设计, 也许影响要比一开始想象的大得多。对他们元件的不完全了解或想当然会让我们付出代价。所以, 与其浪费宝贵的时间去阅读应用修订 (应用阶段的解决方案) 和不可信的补救措施, 还不如在设计初期做足功课, 选择合适的 IC (和其余元器件), 明确我们到底要做什么, 这样才能避免以后的困境。我们将会发现, 有些制造商将对深入的工程审查和分析崇拜地竖起大拇指; 但还有一些制造商会为此而崩溃, 上面那则误导性的广告就是这样一个例子。如何评价一家公司呢? 不在于他们制作的小型评估板尺寸有多么小, 也不在于过分渲染的媒体展示, 事实就是如此。例如, 许多像 TI (德州仪器) 这样的公司因其简单易懂、尽善尽美的数据手册及相关产品信息而受到人们的尊敬。多年来, 这些公司显然得到了许多业内人士的认同。不幸的是, 有一些中小规模的公司想成为 TI; 更有甚者, 有些公司甚至暗示他们是信息权威, 从而代表着事物的本质。我的经验是, 见到制造商精心设计的广告时, 要保持警惕。像“模拟电子的功率”这种令人眼花缭乱的广告语句只是为了迷惑我们。也许还有更好的理由, 一个我们不想费力

去发现的理由。种种迹象表明，公司花费在营销上的精力很可能比花在主要工作，即工程开发上的精力多得多。

不过还是有些公司很谨慎，尽可能地避免误导客户，因而相当注意器件的性能，这是一条令人振奋的消息。例如，如果他们的器件在某一应用中并不合适，或存在特殊的缺陷，他们宁可告诉你事实，也不会把器件卖给你（希望待时机成熟时你再来光顾）。这相当公平。

硬币的另一面我们称之为市场炒作，与功能错误的 IC（我有时称其为硅树脂（silicone）芯片）有关，这是一个令人遗憾的问题。这样的产品在迅速扩散，而制造商很少将它们召回，甚至连错误都不肯承认。作为潜在客户，如果你能事先知道你挑选的 IC 是耐心等待着你的泥潭，也许会避免令人头痛的调试。我所指的不是有轻微制造公差或是一些古怪小故障的 IC，因为这些问题太常见了，我指的是一开始就存在概念性错误的 IC。电能不会宽恕人，如果你不遵守基本原理，有朝一日它会回来纠缠你。这种事如果真的发生，包括本书在内，没有一本书会支持你的想法。

让我们来看几个半导体公司犯过的代表性错误。

- **峰值电流模式控制的 PFC 控制 IC。**这是 Microlinear 公司十多年前的早期产品，尽管它是业内第一款该类型的 IC，但这家公司并未认识到校正来自于壁上插座平均电流波形的唯一方法是采用平均电流模式控制，而不是峰值电流控制。Unitrode 公司（现在属于 TI 公司）正确地认识到了这一点，因此虽然起步较晚，但还是迅速成为了市场主导者。Microlinear 公司逐渐退出了市场，不可避免的是，该公司的许多工程师陷入了悲伤，当时他们肯定以为公司清楚自己在做什么。但很不幸，事实并非如此。多年前我还在德国工作时，当 Microlinear 公司的销售代表向我推销这种 IC 时，这一历史上的错误才引起了我的注意。对了，也许我不该仓促地建议公司雇佣他。
- **最大占空比为 100% 的反激变换器控制 IC。**一家大型的模拟 IC 制造商于 2000 年发售了这款 IC，也许世界上不少工程师都还记得它。对于反激拓扑，需要保证开关的最小关断时间，使变压器的能量经输出侧续流，同时使漏感复位。因此，如果控制电路希望输出电压上升，使开关一直导通（100% 占空比），那么变压器没有时间将能量传递至输出端，从而陷入了两难的困境。在该公司的在线论坛中，这种 IC 引起全世界众多激动而愤怒的工程师的质疑，本书就不逐一细说了，可以告诉你的是，在此 IC 发售的当年，我就向该公司反映了上述问题。
- **电压模式控制的现代推挽式 IC。**这是由一家大型 IC 制造商于 2003 年发售的。幸运的是，目前大部分人已经知道，避免推挽式变换器变压器磁芯饱和以及不平衡的方法是采用电流模式控制，而不是电压模式控制。因此当听说这家公司只制造出半桥式电源的评估板（也称为 EVB），并不提供推挽式电源评估板时，你就不会觉得奇怪了。电压模式控制的确适合于半桥式拓扑。但出人意料的是，显然没有人被警告过“不要用这种推挽式 IC 制作推挽式电源”。
- **1MHz 的“仿电流模式控制”降压式 IC。**2006 年，由一家著名的 IC 制造商高调推出，这款 IC 在 1MHz 时的占空比只有 50%，因为它需要 500ns 的较大关断时间（off-time）以进行二极管电流的采样（为了形成 IC 内部开关电流斜坡的仿“直流电平”）。（顺便提一下，大多数制造商设法使他们的降压 IC 的最大占空比达到

98%~100%。)结果是即使在最基本的应用中, IC 的频率也不得不降至 300kHz。现在我终于明白 IC 的频率为什么设计为可调的, 最初你是否曾认为这是一种优良的特性, 并值得为其支付额外的费用呢? 此外, 如果硅谷中尽人皆知的传闻是可信的, 那么仅在几个月之前, 该公司本应发售的是一款没有直流电平的“仿电流斜坡”IC。整个设计团队似乎是在无数次的设计复查之后, 才彻底相信他们设计的是一款致命的电流模式 IC(即一种不具备常规带噪声抑制功能的电流模式控制)。最后由波特图可见, IC 具有典型的 LC 双极点响应特性, 因此实际上采用的是电压模式控制! 在这件事情之后, 他们做的第一件事当然是解雇了他们的高级应用工程师——一个不称职的家伙。后来, 他们费了很大的力气才将局面挽回。500ns 的关断时间就这样产生了决定性的影响。顺便提一句, 几个月后, 在另一家公司中, 我在桌子上发现一份有趣的简历——来自于那位被解雇的工程师。现在, 他自己也有足够长的待业时间了。

你可能认为以上几个例子仅仅说明与开关电源有关的问题是十分复杂的, 即使是专家也难免犯错。事实的确如此, 但只要这些专家具备迅速发现错误所必需的知识, 并将故障产品从市场中召回进行重新设计, 那么公司仍可以正常运转。夸夸其谈设计不出优秀的 IC。

为了说明这一点, 我们再来看上面最后一个例子。如今, 这家公司无知地将注意力从该系列 IC 较大的 500ns 最小关断时间转移到较小的 80ns 最小开通时间上来。这完全是两码事, 它们的影响取决于具体的应用。无论如何, 公司都应事先提醒潜在客户 500ns 最小关断时间对他们应用的潜在影响。

很不幸, 情况后来变得更糟了。在该系列 IC 所有数据手册的电气特性表中, 都有这种产品的应用限制, 其中 500ns 只不过是“典型值”(对于大多数电源设计者来说意义不大)。此后, 大多数此系列 IC 数据手册的后几页, 都用了一段话再一次简要地提到这个问题, 并建议工作频率低一些。实际上, 对于 50kHz~500kHz 的 IC(于 2005 年末发售), 数据手册甚至并没有提及必须降频。但有趣的是数据手册的设计实例将频率选为 300kHz。原因何在? 原话是这样的:“本例中工作频率选为 300kHz, 这是小尺寸与高效率间合理的折中。”注意这只不过是对于所有变换器都适用的包罗万象的声明。为什么在此例中 300kHz 被认为是最优值? 为什么不是 500kHz 呢? 实际上, 频率的选择与效率和尺寸都没有关系, 之所以选择 300kHz, 唯一的原因肯定是受 500ns 关断时间的限制。显然, 铁锹不再是铁锹了, 它变成一种“由星体核合成材料制作的先进的农耕器具”(根据维基百科中铁和镍的来源)。事实上, 在这份长达 22 页详细的数据手册中, 完全没有提及 500ns 关断时间的限制。更正一下, 有一句话除外, 但并不坦诚, 它隐藏在第 13 页:“当 PWM 占空比较高时, 降压变换器中的开关将被强迫关断 500ns, 以保证自举电容能够再次充电。”这更加令人惊讶, 我从未见过任何制造商生产的任何 IC 无法在 50ns~100ns 的时间内为微不足道的 22nF 自举电容充满电, 为什么需要 500ns 呢? 我突然意识到, 公司还乘机利用这一具有创造性的解释将 500ns 的关断时间取了“强迫关断时间”这种独一无二的名字。我猜这种有趣的命名方式会让人本能地认为 500ns 是因正当的理由有意引入的, 而且显然大多数客户会将最小关断时间理解为一种主要的限制。很明显, 营销成为了一项技能。我希望在解雇了应用工程师或经理之后, 公司的 IC 设计者能够同样有创造性地很快修复这个关断时间问题。

我记起一位前任销售经理(2005 年)作出了非常巧妙的(尽管乍一看有点轻率, 但很直