

开关模式电源电流检测—— 第三部分：电流检测方法

Henry Zhang和Kevin B. Scott
ADI公司

开关模式电源有三种常用电流检测方法是：使用检测电阻，使用MOSFET $R_{DS(ON)}$ ，以及使用电感的直流电阻(DCR)。每种方法都有优点和缺点，选择检测方法时应予以考虑。

检测电阻电流传感

作为电流检测元件的检测电阻，产生的检测误差最低（通常在1%和5%之间），温度系数也非常低，约为100 ppm/°C (0.01%)。在性能方面，它提供精度最高的电源，有助于实现极为精确的电源限流功能，并且在多个电源并联时，还有助于实现精密均流。

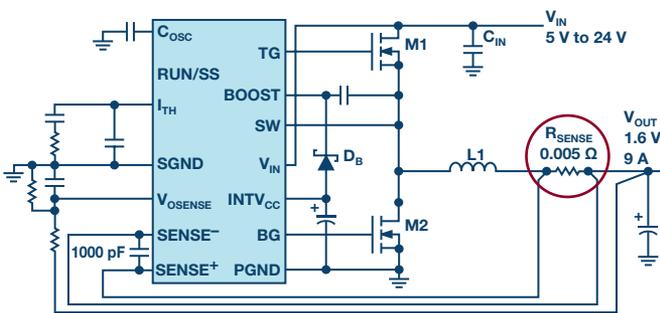


图1 R_{SENSE} 电流检测

另一方面，因为电源设计中增加了电流检测电阻，所以电阻也会产生额外的功耗。因此，与其他检测技术相比，检测电阻电流监测技术可能有更高的功耗，导致解决方案整体效率有所下降。专用电流检测电阻也可能增加解决方案成本，虽然一个检测电阻的成本通常在0.05美元至0.20美元之间。

选择检测电阻时不应忽略的另一个参数是其寄生电感（也称为有效串联电感或ESL）。检测电阻可以用一个电阻与一个有限电感串联来正确模拟。

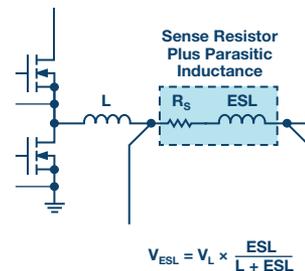


图2 R_{SENSE} ESL 模型

此电感取决于所选的特定检测电阻。某些类型的电流检测电阻，例如金属板电阻，具有较低的ESL，应优先使用。相比之下，绕线检测电阻由于其封装结构而具有较高的ESL，应避免使用。一般来说，ESL效应会随着电流的增加、检测信号幅度的减小以及布局不合理而变得更加明显。电路的总电感还包括由元件引线和其他电路元件引起的寄生电感。电路的总电感也受到布局的影响，因此必须妥善考虑元件的布局，不恰当的布局可能影响稳定性并加剧现有电路设计问题。

检测电阻ESL的影响可能很轻微，也可能很严重。ESL会导致开关栅极驱动器发生明显振荡，从而对开关导通产生不利影响。它还会增加电流检测信号的纹波，导致波形中出现电压阶跃，而不是预期的如图3所示的锯齿波形。这会降低电流检测精度。

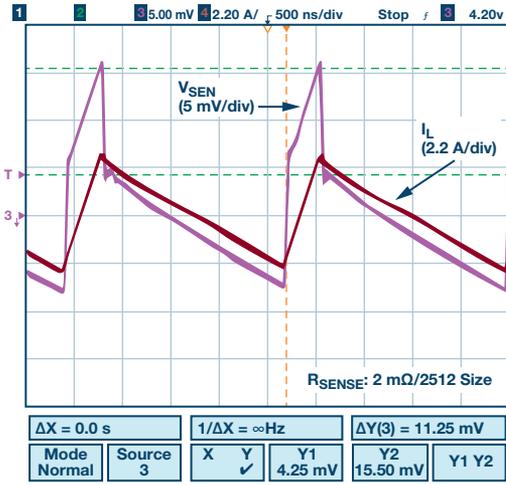


图3. R_{SENSE} ESL可能会对电流检测产生不利影响

为使电阻ESL最小，应避免使用具有长环路（如绕线电阻）或长引线（如厚电阻）的检测电阻。薄型表面贴装器件是首选，例子包括板结构SMD尺寸0805、1206、2010和2512，更好的选择包括倒几何SMD尺寸0612和1225。

基于功率MOSFET的电流检测

利用MOSFET $R_{DS(ON)}$ 进行电流检测，可以实现简单且经济高效的电流检测。LTC3878是一款采用这种方法的器件。它使用恒定导通时间谷值模式电流检测架构。顶部开关导通固定的时间，此后底部开关导通，其 R_{DS} 压降用于检测电流谷值或电流下限。

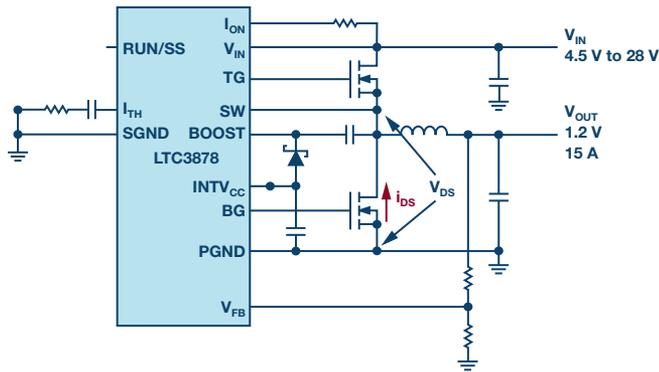


图4. MOSFET $R_{DS(ON)}$ 电流检测

虽然价格低廉，但这种方法有一些缺点。首先，其精度不高， $R_{DS(ON)}$ 值可能在很大的范围内变化（大约33%或更多）。其温度系数可能也非常大，在100°C以上时甚至会超过80%。另外，如果使用外部MOSFET，则必须考虑MOSFET寄生封装电感。这种类型的检测不建议用于电流非常高的情况，特别是不适合多相电路，此类电路需要良好的相位均流。

电感DCR电流检测

电感直流电阻电流检测采用电感绕组的寄生电阻来测量电流，从而无需检测电阻。这样可降低元件成本，提高电源效率。与MOSFET $R_{DS(ON)}$ 相比，铜线绕组的电感DCR的器件间偏差通常较小，不过仍然会随温度而变化。它在低输出电压应用中受到青睐，因为检测电阻上的任何压降都代表输出电压的一个相当大部分。将一个RC网络与电感和寄生电阻的串联组合并联，检测电压在电容C1上测量（图5）。

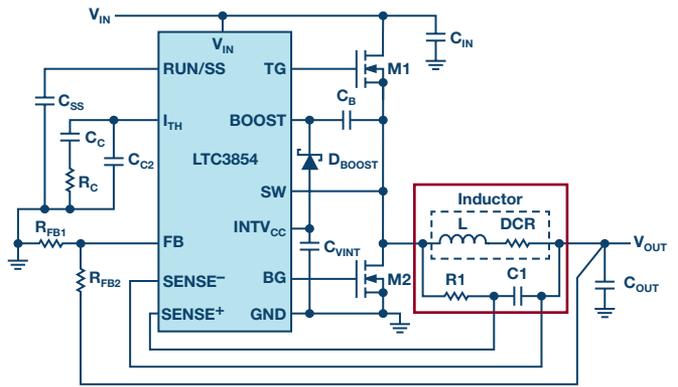


图5. 电感DCR电流检测

通过选择适当的元件($R1 \times C1 = L/DCR$)，电容C1两端的电压将与电感电流成正比。为了最大限度地减少测量误差和噪声，最好选择较低的R1值。

电路不直接测量电感电流，因此无法检测电感饱和。推荐使用软饱和的电感，如粉芯电感。与同等铁芯电感相比，此类电感的磁芯损耗通常较高。与 R_{SENSE} 方法相比，电感DCR检测不存在检测电阻的功率损耗，但可能会增加电感的磁芯损耗。

使用 R_{SENSE} 和DCR两种检测方法时，由于检测信号较小，故均需要开尔文检测。必须让开尔文检测痕迹（图5中的SENSE+和SENSE-）远离高噪声覆铜区和其他信号痕迹，以将噪声提取降至最低，这点很重要。某些器件（如LTC3855）具有温度补偿DCR检测功能，可提高整个温度范围内的精度。

表1. 电流检测方法的优缺点

检测方法	检测误差 25°C (%)	温度变化 (%/°C)	检测电感饱和	可靠性/保护	电流和热平衡	元件成本	电源效率
R_{SENSE}	1或5	~0.01	是	最高	最佳	R_{SENSE} (0.05至0.20美元)	基准值
电感DCR	≥10	~0.39		中	中	不适用	较高
MOSFET $R_{DS(ON)}$	≥30	~0.8		较低	最差	不适用	较高

表1总结了不同类型的电流检测方法及其优缺点。

表1中提到的每种方法都为开关模式电源提供额外的保护。取决于设计要求，精度、效率、热应力、保护和瞬态性能方面的权衡都可能影响选择过程。电源设计人员需要审慎选择电流检测方法和功率电感，并正确设计电流检测网络。ADI公司的LTpowerCAD设计工具和LTspice®电路仿真工具等计算机软件程序，对简化设计工作并获得最佳结果会大有帮助。

其他电流检测方法

还有其他电流检测方法可供使用。例如，电流检测互感器常常与隔离电源一起使用，以跨越隔离栅对电流信号信息提供保护。这种方法通常比上述三种技术更昂贵。此外，近年来集成栅极驱动器(DrMOS)和电流检测的新型功率MOSFET也已出现，但到目前为止，还没有足够的数据来推断DrMOS在检测信号的精度和质量方面表现如何。

软件

LTspice

LTspice软件是一款强大、快速、免费的仿真工具、原理图采集和波形查看器，具有增强功能和模型，可改善开关稳压器的仿真。[点击此处下载LTspice](#)。

LTpowerCAD

LTpowerCAD设计工具是一款完整的电源设计工具程序，可显著简化电源设计任务。它引导用户寻找解决方案，选择功率级元件，提供详细效率信息，显示快速环路波特图稳定性和负载瞬态分析，并可最终设计导出至LTspice进行仿真。[点击此处下载LTpowerCAD](#)。

作者简介

Henry Zhang是ADI公司电源产品应用工程总监。他于2001年加入凌力尔特（现为ADI公司一部分），担任电源应用工程师，开始其职业生涯。他于2004年成为应用部门主管，并于2008年成为应用工程经理。他的团队支持广泛的产品和应用，从小尺寸集成功率模块到大型kW级高功率、高电压转换器。除了支持电源应用和新产品开发以外，他的团队还开发了LTpowerCAD电源设计工具程序。Henry对电源管理解决方案和模拟电路有着广泛的兴趣。他发表了20多篇技术文章，发布了许多研讨会和视频，并有10多项电源专利已获授权或在申请中。

Henry毕业于弗吉尼亚理工学院和弗吉尼亚州布莱克斯堡州立大学，获得电气工程硕士和博士学位。联系方式：henry.zhang@analog.com。

Kevin Scott是ADI公司电源产品部门的产品营销经理，负责管理升压、升降压和隔离转换器、LED驱动器和线性稳压器。他曾担任高级战略营销工程师，负责制定培训内容，培训销售工程师，并撰写了大量关于公司众多产品技术优势的网站文章。他在半导体行业已有26年从业经验，历任应用、业务管理和营销职务。

Kevin于1987年毕业于美国斯坦福大学，获得电气工程学士学位。联系方式：kevin.scott@analog.com。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。



请访问ezchina.analog.com

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA16750sc-0-4/18

analog.com/cn

