

Switch Mode Power Supply Current Sensing—Part 2:

开关模式电源电流检测——第二部分:

何处放置检测电阻

Henry Zhang和Kevin B. Scott
ADI公司

电流检测电阻的位置连同开关稳压器架构决定了要检测的电流。检测的电流包括峰值电感电流、谷值电感电流（连续导通模式下电感电流的最小值）和平均输出电流。检测电阻的位置会影响功率损耗、噪声计算以及检测电阻监控电路看到的共模电压。

放置在降压调节器高端

对于降压调节器，电流检测电阻有多个位置可以放置。当放置在顶部MOSFET的高端时（如图1所示），它会在顶部MOSFET导通时检测峰值电感电流，从而可用于峰值电流模式控制电源。但是，当顶部MOSFET关断且底部MOSFET导通时，它不测量电感电流。

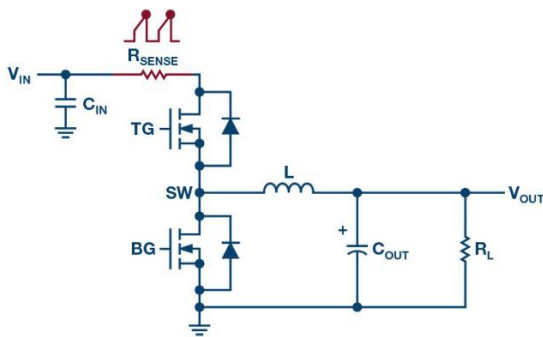


图1. 带高端RSENSE的降压转换器

在这种配置中，电流检测可能有很高的噪声，原因是顶部MOSFET的导通边沿具有很强的开关电压振荡。为使这种影响最小，需要一个较长的电流比较器消隐时间（比较器忽略输入的时间）。这会限制最小开关导通时间，并且可能限制最小占空比（占空比 = V_{OUT}/V_{IN} ）和最大转换器降压比。注意在高端配置中，电流信号可能位于非常大的共模电压(V_{IN})之上。

放置在降压调节器低端

图2中，检测电阻位于底部MOSFET下方。在这种配置中，它检测谷值模式电流。为了进一步降低功率损耗并节省元件成本，底部FET R_{DS(ON)} 可用于检测电流，而不必使用外部电流检测电阻R_{SENSE}。

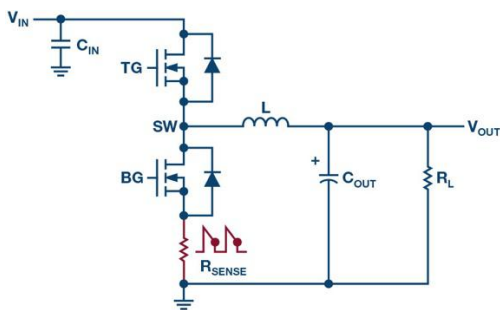


图2. 带低端RSENSE的降压转换器

这种配置通常用于谷值模式控制的电源。它对噪声可能也很敏感，但在这种情况下，它在占空比较大时很敏感。谷值模式控制的降压转换器支持高降压比，但由于其开关导通时间是固定/受控的，故最大占空比有限。

降压调节器与电感串联

图3中，电流检测电阻 R_{SENSE} 与电感串联，因此可以检测连续电感电流，此电流可用于监测平均电流以及峰值或谷值电流。所以，此配置支持峰值、谷值或平均电流模式控制。

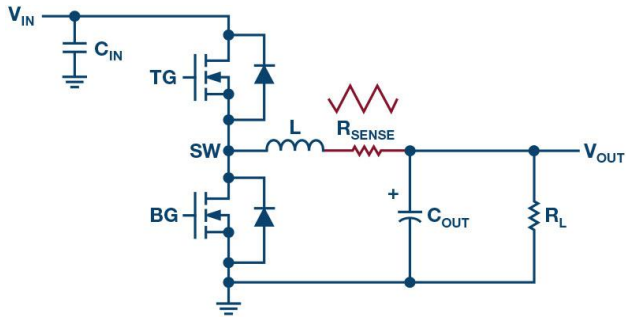


图3. R_{SENSE} 与电感串联

这种检测方法可提供最佳的信噪比性能。外部 R_{SENSE} 通常可提供非常准确的电流检测信号，以实现精确的限流和均流。但是， R_{SENSE} 也会引起额外的功率损耗和元件成本。为了减少功率损耗和成本，可以利用电感线圈直流电阻(DCR)检测电流，而不使用外部 R_{SENSE} 。

放置在升压和反相调节器的高端

对于升压转换器，检测电阻可以与电感串联，以提供高端检测（图4）。

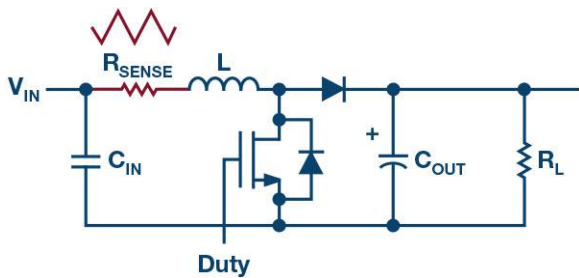


图4. 带高端 R_{SENSE} 的升压转换器

升压转换器具有连续输入电流，因此会产生三角波形并持续监测电流。

放置在升压和反相调节器的低端

检测电阻也可以放在底部MOSFET的低端，如图5所示。此处监测峰值开关电流（也是峰值电感电流），每半个周期产生一个电流波形。MOSFET开关切换导致电流信号具有很强的开关噪声。

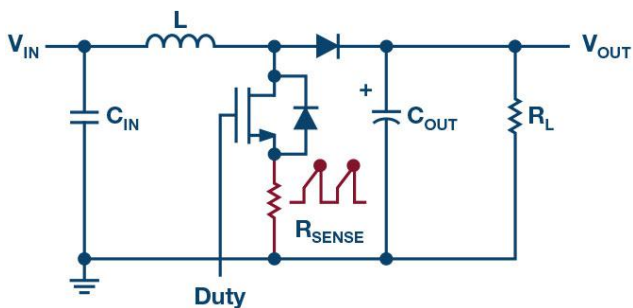


图5. 带低端RSENSE的升压转换器

SENSE电阻放置在升降压转换器低端或与电感串联

图6显示了一个4开关升降压转换器，其检测电阻位于低端。当输入电压远高于输出电压时，转换器工作在降压模式；当输入电压远低于输出电压时，转换器工作在升压模式。在此电路中，检测电阻位于4开关H桥配置的底部。器件的模式（降压模式或升压模式）决定了监测的电流。

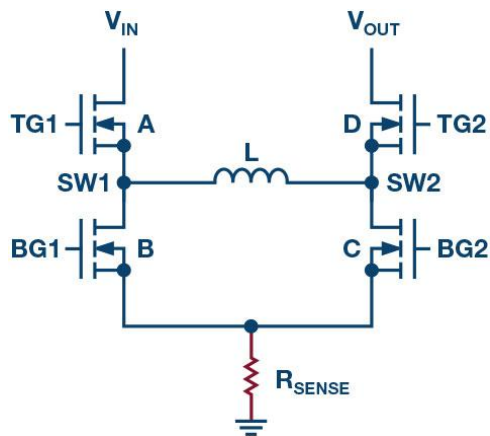


图6. RSENSE 位于低端的升降压转换器

在降压模式下（开关D一直导通，开关C一直关断），检测电阻监测底部开关B电流，电源用作谷值电流模式降压转换器。

在升压模式下（开关A一直导通，开关B一直关断），检测电阻与底部MOSFET (C)串联，并在电感电流上升时测量峰值电流。在这种模式下，由于不监测谷值电感电流，因此当电源处于轻负载状态时，很难检测负电感电流。负电感电流意味着电能从输出端传回输入端，但由于这种传输会有损耗，故效率会受损。对于电池供电系统等应用，轻负载效率很重要，这种电流检测方法不合需要。

图7电路解决了这个问题，其将检测电阻与电感串联，从而在降压和升压模式下均能连续测量电感电流信号。由于电流检测RSENSE连接到具有高开关噪声的SW1节点，因此需要精心设计控制器IC，使内部电流比较器有足够长的消隐时间。

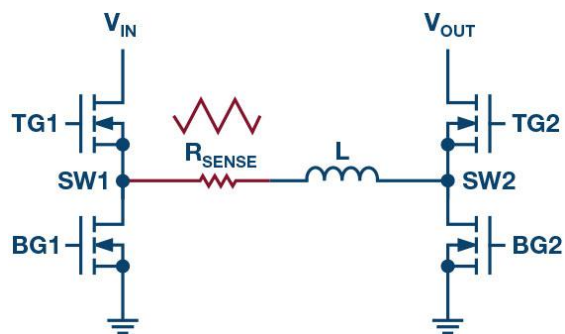


图7. LT8390升降压转换器，RSENSE与电感串联

输入端也可以添加额外的检测电阻，以实现输入限流；或者添加在输出端（如下图所示），用于电池充电或驱动LED等恒定输出电流应用。这种情况下需要平均输入或输出电流信号，因此可在电流检测路径中增加一个强RC滤波器，以减少电流检测噪声。

上述大多数例子假定电流检测元件为检测电阻。但这不是强制要求，而且实际上往往并非如此。其他检测技术包括使用MOSFET上的压降或电感的直流电阻(DCR)。这些电流检测方法在第三部分“电流检测方法”中介绍。

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。

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。

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，负责制定技术培训内容，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。