增大升压转换器的效用：以更低电压驱动更重负载

Simon Bramble，现场应用工程师

摘要

自举这项技术适用于大部分升压转换器，可以在转换器的电压降低时保持驱动重负载。许多便携式设计要求升压转换器将低电池电压转换为更高电压，但是，随着电池电压逐渐衰减，对升压转换器FET的驱动力会降低，有时候会降低传输到输出的电流。自举技术克服了这一问题，不但延长了电池使用寿命，还增强了在驱动重负载时的效率。

这些升压转换器专为提高效用而设计

ADP1612是一款低成本高效率升压转换器，采用1.3 MHz，非常适合必须保持尺寸小巧的消费电子电路。其中内置关断引脚，可以将静态电流降低至低于2 µA，并以低至1.8 V的输入电压运行，因此非常适合电池供电的电子器件。但是，随着电池电压降低，其峰值电流也会下降。如果在电池使用的最后几小时内，需要平缓处理，这是有利的，但是，在以低电池输入电压驱动重负载时，这会导致出现问题。自举技术克服了这个问题，在提供高输出电流和高效率的同时，允许电池电压降低至更低的水平。

通过升压转换器延长电池寿命

图1显示了ADP1612的标准评估套件。其中增加了一个200 mΩ电流检测电阻，与电池输入串联，用于测量输入电流。在电池输入电路中增加了一个大型电解电容，用于平滑电感器的电流峰值，以便能够高度准确地测量检测电阻上的平均电池电流。电池电压由数字电压表进行测量，因此，可以用电池电压乘以输入电流来计算输入功率。在输出端增加阻性负载，用输出功率除以输入功率，计算得出转换器的效率。

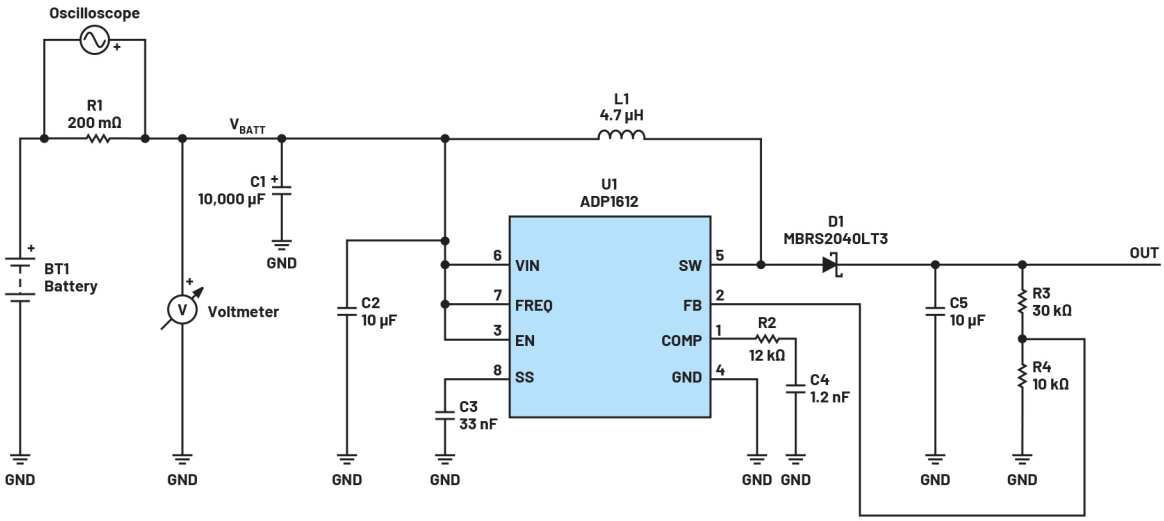

图1. ADP1612的评估套件。

通过探测开关节点(SW)，可以深入了解DC-DC转换器是如何工作的。在FET接通时，电感电流升高，导致开关节点的底部电压升高，幅度与FET的导通电阻成正比。此电压越低，FET的导通电阻越低。因此，在给定电流下，FET中的损耗也越低。图2显示了采用非自举配置的开关节点，电池电压为2 V。开关节点的底部电压峰值约为180 mV。

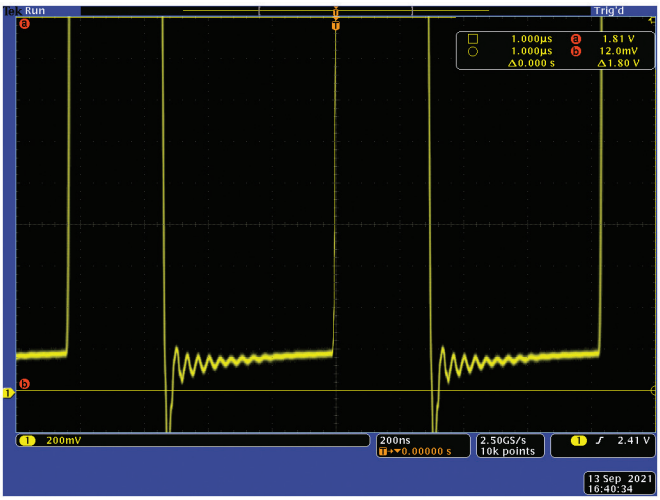

图2. 开关节点电压，2 V输入，非自举。

将电池电压增大到3 V，可以得出图3所示的开关节点波形。我们注意到，随着电池电压升高，占空比走低，此外，开关节点下半部的电压明显更低，峰值为约80 mV。但是，由于3 V电池电压的FET电流低于2 V电池电压，所以很难看出导通电阻是否确实降低。

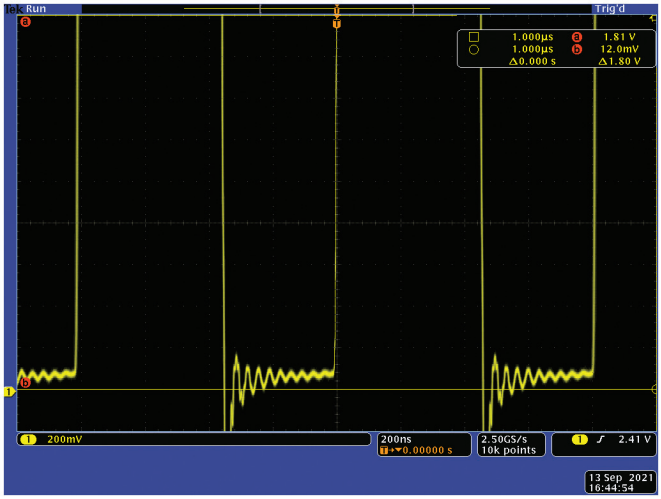

图3. 开关节点电压，3 V输入，非自举。

之后，将图1所示的电路转换为自举配置。自举涉及到将ADP1612的V_{IN}引脚连接至输出电压。该部分启动后，由更高的输出电压供电，因此会产生更强的驱动力来驱动FET，但ADP1612并不知道电池的电压水平。经过修改的电路如图4所示。

使能引脚可以连接至电池电压V_{BATT}，或连接至输出电压。如果电池电压降至低于约1.7 V，将其连接至电池电压会置位欠压保护(UVLO)，但是，在将其连接至输出电压时，即使电池电压降到远低于此电压的水平，ADP1612也可以继续进行开关。

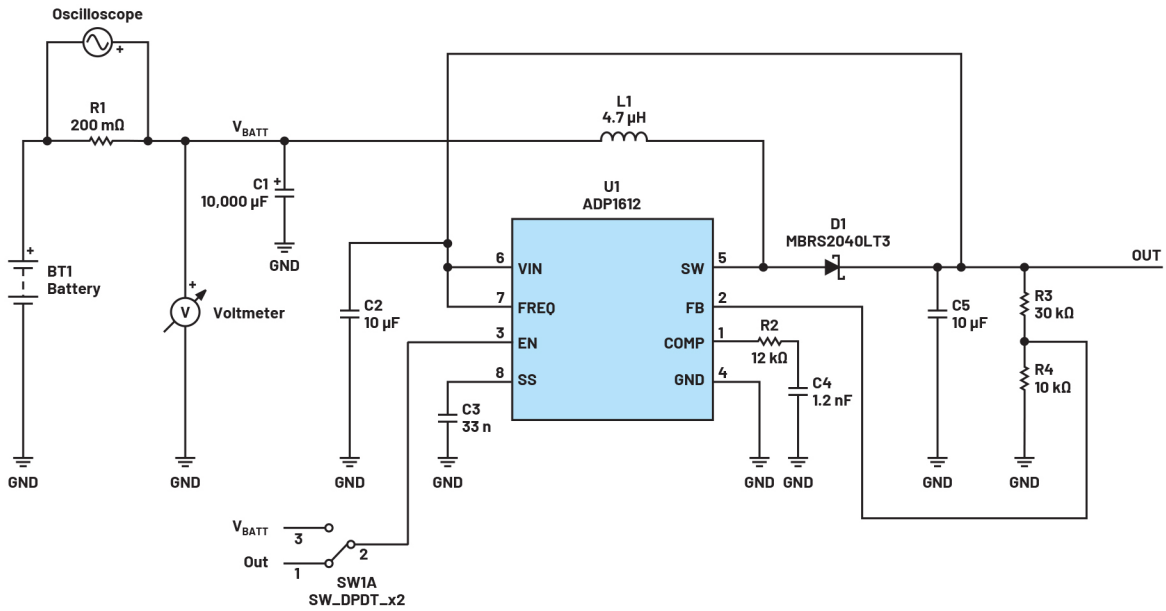

图4. 从输出电压自举V_{IN}引脚。

图5显示在电池电压为2 V，测量输出电压为4.95 V时，非自举和自举配置的效率结果。

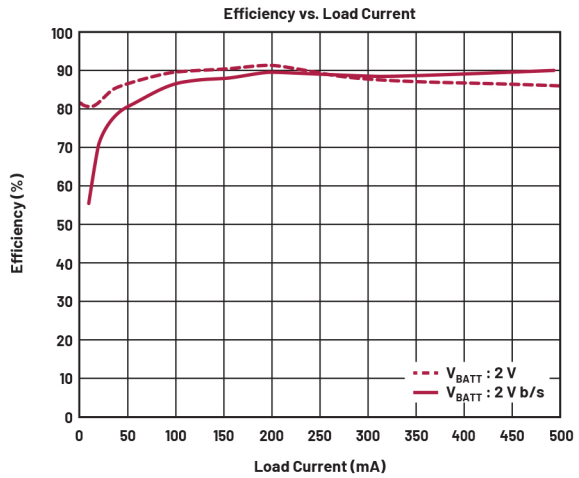

图5. 输入电压为2 V时，ADP1612在非自举配置和自举(b/s)配置下的效率。

在图5中，自举配置的效率曲线用实线表示，在轻负载时明显较低。这主要是因为，器件的静态电流（约4 mA）现在来自于输出电压，实际上乘以了因数

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times Efficiency} \quad (1)$$

我们还可以看出，在电池电压降低时，因为FET驱动力更高，所以自举电路的重负载电流（高于约260 mA）的效率开始改善。

图6和图7显示在自举模式下，开关节点底部的电压。需要注意的是，自举电路只影响控制器IC的电源电压，不会影响功率路径（电感器和输出二极管）。所以，现在我们可以直接比较2 V自举和非自举开关节点电压（图6和图2），以及3 V自举和非自举开关节点电压（图7和图3）。

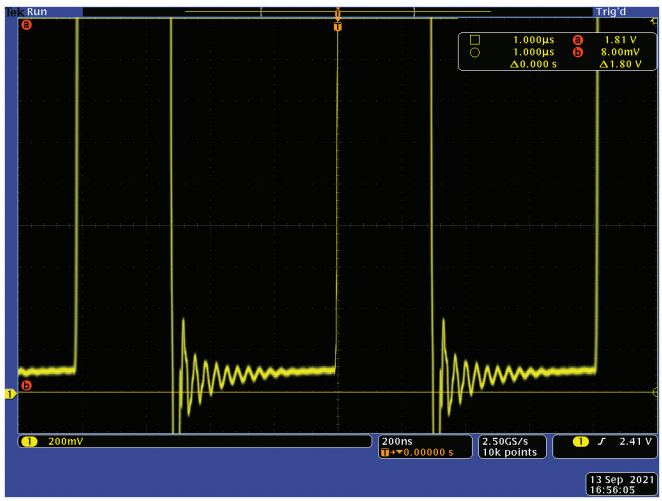

图6. 开关节点电压，2 V输入，自举。

在低电池电压下，自举电路具有明显的优势。在2 V电池电压下，非自举开关节点电压的峰值为180 mV，自举电路的峰值仅为100 mV，表示导通电阻FET更低，导致的损耗也更低。在3 V电池电压下，自举电路似乎改善甚微乃至无改善，两个开关节点波形的峰值均为约80 mV。

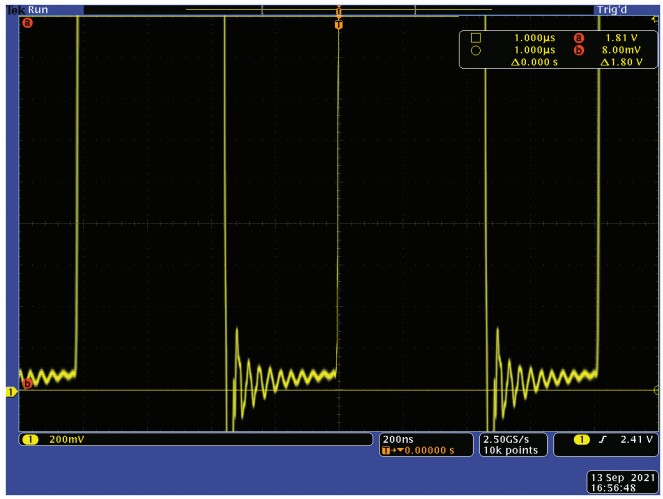

图7. 开关节点电压，3 V输入，自举。

最低可降至多低?

另一个有用实验是，在输出电压开始丧失稳压性之前，查看电池电压可降低至多低。图8显示自举和非自举模式之间的比较。

在非自举电路中，我们可以看到，在电池电压低于约1.7 V（如蓝色曲线所示）时，UVLO电路激活。与之相反，图4中所示的自举电路的使能和V_{IN}引脚均连接至输出电压(5 V)，所以，UVLO电路不会激活，允许电路以更低电压运行。但是，该电路无法凭空产生功率。ADP1612提供峰值限流功能；所以，负载电流越高，所需的电池电压也越高，才能达到固定峰值开关电流所需的负载电流。也因此，图8中的红色曲线会在负载电流升高时，几乎成线性增长。

最低工作电压由转换器的最大占空比（约为90%）决定。根据公式

$$Duty\ Cycle \approx \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}} \quad (2)$$

5 V输出电压和90%最大占空比表示最小电池电压为0.5 V，这与图表中所示的结果一致。

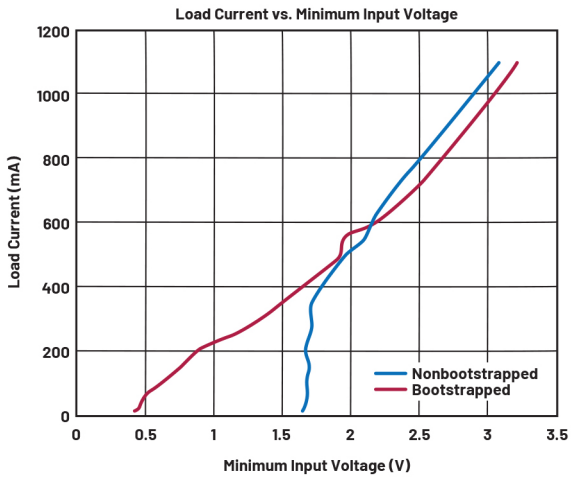

图8. 负载电流与最小输入电压。

令人惊讶的是，在图8中，当电池电压高于2.2 V时，非自举电路可以提供比自举电路更高的负载电流。这是因为在由输出电压供电时，ADP1612在自举模式下具有更高的静态电流。此外，ADP1612的效率低于100%，这会进一步增大在给定的负载电流下电路所需的输入电流。因此，在自举模式下，所需的输入电压（约150 mV）会稍高于在非自举模式下所需的电压。如之前所述，在更高的电池电压下，自举电路的优势并不明显，而更高的栅极驱动带来的优势并不足以抵消自举电路的静态电流升高导致的损耗增加。

其他优点和缺点

自举配置也会影响电路的启动电压。现在，ADP1612的V_{IN}引脚由输出供电，其电池电压需要比非自举电路高出一个肖特基二极管压降。肖特基二极管中的压降随电流在约100 mV（电流约为50 µA）到高于200 mV（电流更高）之间变化。通过实验发现，非自举电路的启动电压为约1.75 V（等于UVLO阈值），自举电路的启动电压则升高至约1.95 V。

结论：升压转换器是否已就绪？开始提高效用

Nancy Sinatra会很自豪。*自举技术适用于在启动时不会断开电池电压和输出之间连接的任何升压转换器。可以通过使用具有非常低的静态电流的器件来消除低下的轻载效率带来的影响。更高的启动电压并不总是问题，因为在电池耗尽的情况下并不常需要启动电路。

如果在大部分使用情况下或高电池电压下，电路的负载电流都相当轻，那么使用自举技术可能徒劳无益。但是，如果是重负载，且电路需要继续运行，直至电池电量耗尽那一刻，那么可以考虑使用自举电路。

** "These Boots Are Made for Walkin'" —Nancy Sinatra, 1966年*

作者简介

Simon Bramble于1991年毕业于伦敦布鲁内尔大学，拥有电气工程和电子学学位，专门从事模拟电子器件和电源工作。他的职业生涯主要从事模拟电子器件工作，就职于凌力尔特（现为ADI公司的一部分）。联系方式：simon.bramble@analog.com 。

在线支持社区

ADI EngineerZone™ 中文技术论坛

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ez.analog.com/cn

ANALOG DEVICES 超越一切可能™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问ez.analog.com/cn。

©2022 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

"超越一切可能"是ADI公司的商标。

TA23531sc-2/22

请访问analog.com/cn