Power 技术问题解答

ADI 中国技术支持中心
版本：Rev.0
发布日期：2020.12.31
技术支持电话：4006-100-006
技术支持邮箱：CHINA.SUPPORT@ANALOG.COM

Contents1——LDO 问题.....5
Q1.1 LDO 有哪些关键指标，其定义是什么？.....5
Q1.2 LDO 的旁路电容为什么很重要，应该如何选择？.....6
Q1.3 LDO 与 DC-DC 器件的区别？.....7
Q1.4 导致 LDO 产生振荡最常见的原因是什么？.....7
Q1.5 如何选择合适类型的 LDO？.....8
Q1.6 有没有一种大压差，高输出电流，并且体积有优势的线性电源呢？.....8
Q1.7 按照数据手册进行设计，实测中发现 LT3092 输出纹波过大。设计输出为 10mA，纹波峰峰值达到 2mA，请问是什么原因?.....8
Q1.8 LDO 用于数字负载需要关注哪些指标？.....8
Q1.9 LDO 用于模拟和射频负载需要关注哪些指标？.....9
Q1.10 LDO 的噪声来源及如何抑制噪声？.....9
Q1.11 LTC3025-1 芯片输入电压+3.6V 输出电压要求：+3.2V，实际输出为+2.8V,将输入电压+5V，输出 +3.2V 正常， 请问输入输出是否有压差要求？.....9
Q1.12 LTC3025-1 在 VIn 和 Vbais 之前获得使能输入会有影响吗？.....9
Q1.13 Input Vol：2.5~6V 左右，Output Vol：1.8V~3.3V， Output Imax = 100mA。要求负载 Iout 在变化时，输出的 Vout 的抖动尽可能小，如何选型 LDO？.....9
Q1.14 ADP222 芯片损坏可能是什么原因？.....9
Contents2——开关稳压器问题.....10
Q2.1 什么是开关电源？.....10
Q2.2 开关电源有哪些拓扑结构？.....10
Q2.3 什么是纹波？主要来源有哪些？有何影响？.....10
Q2.4 纹波如何测试？.....10
Q2.5 开关电源输出纹波主要来源是什么？如何抑制？.....10
Q2.6 开关电源产生电磁干扰的原因？.....11
Q2.7 开关电源的 EMI 如何抑制？.....11
Q2.8 什么是 Silent Switcher？.....12
Q2.9 开关电源的纹波都与哪些因素有关？.....13
Q2.10 开关电源为何负载轻是纹波比负载重时纹波大？.....13

Q2.11 ADP5070 ,输入 12V，可以输出±12V 吗？这样的设计是否 OK？ 13

Q2.12 LT8331 按照参考电路设计，把 24V 电压升压到 240V，测了输出只有 24V。把二级升压电路去掉，上电瞬间 LT8331 升压器 SW1 和 SW2 引脚与 GND 短路，是怎么回事？ 13

Q2.13 什么是四象限电源？ 13

Q2.14 有什么低 EMI 方法可以产生负电压？ 14

Q2.15 有什么好的解决方案可以产生只有几百毫伏的微型直流电源电压？ 14

Q2.16 什么是反激式转换器（Flyback converters）？ 15

Q2.17 什么是 DC/DC 的动态环路响应？ 15

Q2.18 有哪些开关电源电流检测方法？ 15

Q2.19 LTC3863 的 VFBN 管脚或者 SS 管脚能否用运放或者 DAC 驱动，实现输出电压动态调节？ 17

Q2.20 LTM4644 芯片输出电压不稳？ 17

Q2.21 LT8705 略微烫手，电流 50MA。是否为芯片损坏，设计需要注意哪些地方？ 17

Q2.22 LTC3882+FDMF5820DC 的 Channel0 输出正常，channel1 输出 0V，是什么原因？ 17

Q2.23 LT8645 在焊接及输出电压调整时损坏几率高，此芯片需要什么保护手段？ 17

Q2.24 LTC3115MPFE-1 焊接温度如何控制 ？ 17

Q2.25 输入电压 2.5~5V，输出电压正负 15V 或可调最大正负 18V，电流 200mA，输出精度控制在正负 5%，效率在 80%以上，如何选型？ 18

Q2.26 LT3751 如何调整输出电压？ 18

Q2.27 输入电压范围为 13-130V，有没有什么好的办法可以解决输入电压过低会跟随的现象，使输出一直稳定在 24V？ 18

Q2.28 LT1934 板上测得的静态电流与手册数值相差较大，什么原因？ 18

Q2.29 LTC3777 过流保护后，输出电流和电压表现是什么？ 18

Q2.30 LT7803 如何调整输出电压？ 18

Contents3——uModule 问题 19

Q3.1 什么是 uModule 电源模块？ 19

Q3.2 uModule 电源模块与分立设计相比有何特点？ 19

Q3.3 LTM4661 不升压是什么原因？ 19

Q3.4 四通道 LTM4644 只用三路，不用的通道如何处理？ 19

Q3.5 LTM4633 部分电压异常问题，测 VFB 引脚电压为 0.86V 高于手册 0.8V，是否可以判断芯片损坏？ 焊接有可能造成芯片损坏吗？ 19

Q3.6 LTM4607 电路上电后，输入的直流电源上产生不需要的干扰脉冲，以及直流输入毛刺，输出仍有毛刺，如何解决？ 20

Q3.7 LTM8063 输出负电压时，RUN 引脚如何实现控制？ 20

Contents4——LED Driver IC 问题 21

Q4.1 什么是 LED 驱动 IC？ 21

Q4.2 LED 驱动 IC 的原理是什么？ 21

Q4.3 典型 LED 驱动 IC 的类型有哪些？ 21

Q4.4 LED 调光的方法有哪些？ 21

Q4.5 照明设计中使用 LED 驱动器时，如何降低其电磁干扰？ 22

Q4.6 LED 驱动 IC 烧掉是什么原因？ 22

Q4.7 LT3932 做脉冲恒流驱动时前 5ms 内电压不稳定，是什么原因？ 22

Q4.8 LT3932 是依靠反馈电阻完成恒流控制的吗？ 22

Q4.9 ADD5211 驱动 led 有是线性调光，无闪烁的吗？ 22

Q4.10 脉冲激光器驱动电路方案推荐？ 22

Q4.11 LTC4013 恒流充电状态时异常 23

Contents5——Power Monitor 问题 24

Q5.1 什么是“热插拔”？ 24

Q5.2 通过 USB 给 PCB 底板供电 5V，为每个模块接口分配了 200mA 的供电，但每插入一个模块，电压即下降。对 ADS 产生了影响，如何选择一款电源 IC？ 24

Q5.3 LTC4415 是否可以并联？ 24

Q5.4 LT1923 的驱动电压能不能改成 24V 驱动？ 24

Q5.5 LTC2950-1 干扰问题 24

Q5.6 电源监控芯片 ADM706 数据手册 Figure 15 中的肖特基二极管的作用是什么？ 24

Q5.7 什么是浪涌抑制器？ 24

Q5.7 对电压瞬变和浪涌有哪些防护措施？ 25

Q5.8 浪涌测依据的是什么标准？ 25

Q5.9 针对浪涌输入防护，有什么具体的方案？ 25

Contents6——Power Tools 问题 26

Q6.1 ADI 有哪些电源管理工具？ 26

Q6.2 LTpowerCAD 中图中的几个参数是什么意思？ 27

Q6.3 LTpowerCAD 软件是不是不能选开关电源的拓扑结构，比如一个 DC 电源可以设置成升压/反向等等，但是在选项拓扑 Topology 中只有一个默认值，请问比如我想设计反向输出，该如何选择？ 28

Q6.4 是否有工具可以辅助电路设计，将环路补偿如何设置一个最佳值？ 28

Q6.5 使用 LTpowerCAD 设计基于 LTC3861 的一个电路，现在有个问题想咨询一下，在进行环路补偿的设计时，环路带宽和相位裕量的选取上一般选择多大比较合适呢，有没有个一般的经验值呢？ 29

Q6.6 关于 ADM1278 的 ADISimpower excel 文件参数设置的相关问题。 29

Q6.7 当启动 LTpowerCadII (v2.5.5)进行同步/更新时，显示“Updating ReleaseInfo.txt…Error”, 尝试使用 LTpowerPlanner 工具时，点击 F2 打开方案时，显示“The datasheet file was not found”，是什么原因，该如何解决？ 29

Contents1——LDO 问题

Q1.1 LDO 有哪些关键指标，其定义是什么？

A: 输入电压范围：LDO 的输入电压范围决定了最低的可用输入电源电压。指标可能提供宽的输入电压范围，但最低输入电压必须超过压降加上想要的输出电压值。例如，150mV 的压降对于稳定的 2.8V 输出来说意味着输入电压必须大于 2.95V。如果输入电压低于 2.95V，输出电压将低于 2.8V。

接地（静态）电流：静态电流 lq 就是输入电流 IIN 和负载电流 IOUT 之间的差值，在规定的负载电流条件下测量。对于固定电压稳压器，lq 等于接地电流 lg。对于可调稳压器，如 ADP171，静态电流等于接地电流减去来自外部分压电阻网络中的电流。

关断电流：这是指设备禁用时 LDO 消耗的输入电流，对便携 LDO 来说通常低于 1.0 μA。这个指标对于便携设备关机时长待机期间的电池寿命来说很重要。

输出电压精度：ADI 公司的 LDO 具有很高的输出电压精度，在工厂制造时就被精确调整到±1%之内（25℃）。输出电压精度在工作温度、输入电压和负载电流范围条件下加以规定。误差规定为±x%最差情况。

线路调整率：线路调整率是指输出电压随输入电压变化而发生的变化率。为了避免由于芯片温度变化引起的误差，线路调整率的测量通常在低功耗状态或使用脉冲技术进行。

动态负载调整率：只要负载电流缓慢变化，大多数 LDO 都能轻松地保持输出电压接近恒定不变。然而，当负载电流快速改变时，输出电压也将发生改变。当负载电流发生变化时输出电压会改变多少就决定了负载瞬态性能。

压差：压差指保持电压稳定所需的输入电压和输出电压之间的最小差值。也就是说，LDO 能够在输入电压降低时保持输出负载电压不变，直到输入电压接近输出电压加上压差，在这个点输出电压将“失去”稳定。压差应尽可能小，以使功耗最小，效率最高。当输出电压降低到低于标称值 100mV 的电压时，通常被认为达到了这个压差。负载电流和结点温度会影响这个压差。最大压差值应在整个工作温度范围和负载电流条件下加以规定。

启动时间：启动时间被定义为使能信号的上升沿到 VOUT 接近其标称值的 90%时的时间。这个测试通常是接上 VIN、使能引脚从断开到接通的触发条件下进行测量。备注：在使能引脚连接 VIN 的某些情况下，启动时间可能会大幅增加，因为带隙参考需要一定的稳定时间。在稳压器需要频繁关闭和启动以节省功耗的便携系统中，稳压器的启动时间是一个重要的考虑因素。

限流阈值：限流阈值被定义为输出电压下降到给定典型值的 90%时的负载电流。例如，3V 输出电压的限流阈值被定义为造成输出电压下降到 3.0V 的 90%或 2.7V 时的负载电流。

工作温度范围：工作温度范围可以由环境温度和结点温度加以规定。由于 LDO 会发热，因此 IC 的工作温度总是超过环境温度，比环境温度高出多少取决于工作状态和 PCB 热设计。数据手册上规定有最大结点温度（TJ），因为在最大结点温度之上工作过长的时间会影响器件的可靠性——统计学上称为平均故障时间（MTTF）。

热关断（TSD）：大多数 LDO 具有自动温度调节装置，用于防止 IC 发生热失控。当结点温度超过规定的热关断阈值时，这个装置将关断 LDO。为了在重启之前让 LDO 冷却下来，要求一定的滞后时间。TSD 很重要，因为它不单单保护 LDO；过多的热量影响的不止是稳压器。从 LDO 传导到 PCB（或从电路板上更热的元件传导到 LDO）的热量随着时间的推移可能破坏 PCB 材料和焊接可靠性，也会破坏附近元件，进而缩短便携设备的寿命。另外，热关断将影响系统的可靠性。因此，用于控制电路板温度的热设计（散热器、冷却装置等）是重要的系统考虑因素。

使能输入：LDO 使能信号以正和负逻辑的形式提供，用于关闭和启动 LDO。高电平有效逻辑在使能端电压超过逻辑高电平门限时使能器件，低电平有效逻辑在使能端电压低于逻辑低门限电平时使能器件。使能输入允许外部控制 LDO 的关闭和启动，这是多电压轨系统中调整电源上电顺序的一个重要特性。一些 LDO 具要相当短的启动时间，因为它们的带隙参考在 LDO 禁用时是打开的，允许 LDO 更快地启动。

欠压闭锁：欠压闭锁（UVLO）可以确保只有在系统输入电压高于规定阈值时才向负载输出电压。UVLO 很重要，因为它只在输入电压达到或超过器件稳定工作要求的电压时才让 LDO 器件上电。

输出噪声：LDO 的内部带隙电压参考是噪声源，通常用给定带宽范围内的毫伏有效值表示。例如，ADP121 在 VOUT 为 1.2V 时，在 10kHz 至 100kHz 的带宽范围内有 40μV rms 的输出噪声。在比较数据手册指标时，给定的带宽和工作条件是重要的考虑因素。

电源抑制比：电源抑制比（PSR）用分贝表示，代表了 LDO 在宽的频范围（1kHz 至 100kHz ）内对来自输入电源的纹波的抑制能力。在 LDO 中， PSR 可以用两个频段表征。频段 1 从直流到控制环路的单位增益频率，这时的 PSR 取决于稳压器的开环增益。频段 2 在单位增益频率之上，这时的 PSR 不受反馈环路的影响， PSR 取决于输出电压以及从输入到输出引脚的任何泄漏路径。选择一个适合的高值输出电容通常会改善后个频段的 PSR 。在频段 1， ADI 公司专有的电路设计可以减少由于输入电压和负载变化引起的 PSR 变化。为了获得最佳的电 源抑制性能， PCB 版图设计时必须考虑减小从输入到输出的泄漏，而且要有鲁棒性的接地性能。

最小输入和输出电容：最小输入和输出电容应大于在各种工作条件 （尤其是工作电压和温度）下的规定值。在器件选型时必须考虑应用中的各种工作条件，确保满足最小的电容规格。推荐使用 X7R 和 X5R 型电容。Y5V 和 Z5U 电容不推荐在任何 LDO 电路中使用。

反向电流保持特性：采用 PMOS 传输管的典型 LDO 在 VIN 和 VOUT 之间有一个本征体二极管。当 VIN 大于 VOUT 时，这个二极管将处于反偏状态。如果 VOUT 大于 VIN，这个本征二极管将变成前向偏置，产生从 VOUT 到 VIN 的电流，进而造成破坏性的功耗。一些 LDO，如 ADP1740/ADP1741，有额外的电路防止从 VOUT 到 VIN 的反向电流流动。反向电流保护电路检测到 VOUT 超过 VIN 时，将反转本征二极管连接的方向，使二极管仍处于反偏状态。

软启动：可编程软启动有助于减小启动时的浪涌电流和提供上电顺序。对于启动时要求浪涌电流受控的应用，有些 LDO（如 ADP1740/ADP1741）提供了可编程的软启动（SS）功能。为了实现软启动，在 SS 和地引脚之间需要连接一个小的陶瓷电容。

Q1.2 LDO 的旁路电容为什么很重要，应该如何选择？

A: 所有电子器件一样，电容并不是十全十美的，相反，电容会带来寄生等效串联电阻(ESR)和电感(ESL)的问题，其电容值会随温度和电压而变化，而且电容对机械效应也非常敏感。设计人员在选择旁路电容时，以及电容用于滤波器、积分器、时序电路和实际电容值非常重要的其它应用时，都必须考虑这些因素。若选择不当，则可能导致电路不稳定、噪声和功耗过大、产品生命周期缩短，以及产生不可预测的电路行为。

ADI 低压差调节器(LDO)可以与节省空间的小型陶瓷电容配合使用，但前提是这些电容具有低等效串联电阻(ESR)；输出电容的 ESR 会影响 LDO 控制环路的稳定性。为确保稳定性，建议采用至少 1 μF 且 ESR 最大为 1 Ω 的电容。输出电容还会影响调节器对负载电流变化的响应。控制环路的大信号带宽有限，因此输出电容必须提供快速瞬变所需的大多数负载电流。

输入和输出电容必须满足预期工作温度和工作电压下的最小电容要求。陶瓷电容可采用各种各样的电介质制造，温度和电压不同，其特性也不相同。对于 5 V 应用，建议采用电压额定值为 6.3 V 至 10 V 的 X5R 或 X7R 电介质。Y5V 和 Z5U 电介质的温度和直流偏置特性不佳，因此不适合与 LDO 一起使用。

电容的封装尺寸和电压额定值对其电压稳定性影响极大。一般而言，封装尺寸越大或电压额定值越高，电压稳定性也就越好。X5R 电介质的温度变化率在-40°C至+85°C 温度范围内为±15%，与封装或电压额定值没有函数关系。

要确定温度、元件容差和电压范围内的最差情况下电容，可用温度变化率和容差来调整标称电容，公式：CEFF = CBIAS × (1 – TVAR) × (1 –TOL)；其中，CBIAS 是工作电压下的标称电容；TVAR 是温度范围内最差情况下的电容变化率（百分率）；TOL 是最差情况下的元件容差（百分率）。

Q1.3 LDO 与 DC-DC 器件的区别？

A: DCDC 的意思是直流变(到)直流(不同直流电源值的转换)，DC-DC 转换器包括升压、降压、升/降压和反相等电路。DC-DC 转换器的优点是效率高、可以输出大电流、静态电流小。随著集成度的提高，许多新型 DC-DC 转换器仅需要几只外接电感器和滤波电容器。但是，这类电源控制器的输出脉动和开关噪音较大、成本相对较高。

LDO 是低压降线性稳压器，压降低，成本低，噪音低，静态电流小，这些是它的突出优点。它需要的外接元件也很少，通常只需要一两个旁路电容。

如果输入电压和输出电压很接近，最好是选用 LDO 稳压器，可达到很高的效率。如果输入电压和输出电压不是很接近，就要考虑用开关型的 DCDC 了，因为 LDO 的输入电流基本上是等于输出电流的，如果压降太大，耗在 LDO 上能量太大，效率不高。

LDO 与 DC/DC 相比：

1、从效率上说,DC/DC 的效率普遍要远高于 LDO,这是其工作原理决定的。

2、DC/DC 有 Boost、Buck、Boost/Buck 等各种类型.而 LDO 只有降压型。

3、DC/DC 因为其开关频率的原因导致其电源噪声很大,远比 LDO 大的多，大家可以关注 PSRR 这个参数。所以当考虑到比较敏感的模拟电路时候，有可能就要牺牲效率为保证电源的纯净而选择 LDO。

4、通常 LDO 所需要的外围器件简单，占面积小，而 DC/DC 一般都会要求电感，二极管，大电容，有的还会要 MOSFET，特别是 Boost 电路，需要考虑电感的最大工作电流，二极管的反向恢复时间，大电容的 ESR 等等，所以从外围器件的选择来说比 LDO 复杂，而且占面积也相应的。

Q1.4 导致 LDO 产生振荡最常见的原因是什么？

A: 输出电容器存在 ESR，其 ESR 给 LDO 环路添加了一个零点，同时引入一个极点。输出电容器的 ESR 过高或者过低，都会增加环路的不稳定性。所以输出电容器的 ESR 必须处在制造商规定的最小/最大值范围内以确保稳定性。

电质量欠佳的钽电容器及铝电解电容器在低温条件下将具有高 ESR，当选用该高 ESR 电容作为输出电容时，高 ESR 将零点移至一个较低的频率，增大了环路带宽，因而允许极点 PPWR 在 0dB 频率之前增加更多的相移，由其他极点产生的相移使得 >10Ω 的 ESR 值往往会造成环路的不稳定。

同样的，许多表面贴装型陶瓷电容器、钽、 OSCON、 SP、 POSCAP、薄膜电容器均具有低 ESR。低 ESR 将零点移至一个较高的频率，零点出现的频率比 0dB 频率高 1 个十倍频程以上，由于零点在 0 dB 下未添加任何正相移，因此两个低频极点将导致相移达到 -180°(不稳定)。

Q1.5 如何选择合适类型的 LDO？

A: 为特定的应用选择合适的稳压器，需要考虑输入电压的类型和范围（例如稳压器前面的 DC/DC 变换器或开关电源的输出电压）。其它重要考虑因素是：需要的输出电压、最大负载电流、最小压差、静态电流和功耗。通常，稳压器的附加功能可能很有用，例如待机引脚或指示稳压失效的错误标志。

为了选择合适类型的 LDO，需要考虑输入电压源。在电池供电应用中，当电池放电时，LDO 必须维持所需的系统电压。如果 DC 输入电压是由经过整流的 AC 电源提供，那么压差并不重要，因此标准稳压器可能是更好的选择，因为其更价格较低并且可以提供较大的负载电流。但是如果需要较低功耗或较精密的输出电压，则 LDO 是合适的选择。

当然，稳压器应该在最坏工作环境达到规定精度的条件下能够为负载提供足够大的电流。

Q1.6 有没有一种大压差，高输出电流，并且体积有优势的线性电源呢？

A: 大压差，高输出电流，并且体积有优势这样的电路，不科学，也很难满足散热要求。

LDO 通常具有较低的 Dropout，而且 LDO 输出电流都很小。当需要一款适用于大压差和高输出电流的电源时，使用 LDO 会具有较低的效率。若遇到该种使用场景，可以考虑以下两种方式：

1.可以看下 LM117 的芯片;

2.或者考虑使用降压的 DC-DC 转换芯片将电压降压至略高于 3.3V 时，然后使用精密 LDO 降压。

Q1.7 按照数据手册进行设计，实测中发现 LT3092 输出纹波过大。设计输出为 10mV，纹波峰峰值达到 2mV，请问是什么原因?

A: 1.需要考虑芯片的来源渠道，是否正规 ADI 官方授权渠道采购（包括 Digikey）？

2.若渠道正规，该现象看起来是震荡了，检查滤波电容。

3. 用高精度电阻代替 1634，试试看是否正常输出。

Q1.8 LDO 用于数字负载需要关注哪些指标？

A: 像 ADP170 和 ADP1706 这类数字线性稳压器设计用于支持系统的主要数字要求，通常是微处理器内核和系统输入/输出（I/O）电路。用于 DSP 和微控制器的 LDO 必须具有较高的效率，并能处理快速变化的大电流。更新的应用要求给数字 LDO 造成了巨大的压力，因为处理器内核为了节能而经常改变时钟频率。为了响应软件导致的负载变化而发生的时钟频率变化对 LDO 的负载调整功能提出了严格的要求。

数字负载的重要特征有线路调整率和负载调整率，以及瞬态下冲和过冲。在给低电压的微处理器内核供电时，精确的输出控制总是非常重要，没有足够的调整率将致使内核闭锁。数据手册中并不总是提供上述参数，瞬态响应图形也许表现出对瞬态信号不错的上升和下降响应速度。线路和负载调整率有两种方式表述：一种是输出电压随负载变化的偏离百分比，实际的 V/I 值，或者在规定负载电流条件下同时用两者表示。

为了节省功耗，数字 LDO 需要具有较低的 Iq 以延长电池寿命。便携系统有很长时间软件处于空闲状态，这段时间系统处于低功耗状态。在不活动时，系统将进入睡眠状态——要求 LDO 关闭，消耗电流不到 1 μA。当 LDO 处于睡眠模式时，所有电路（包括带隙参考）都将被关闭。当系统回到活动模式时，要求快速启动 ——在此期间数字供电电压必须不产生过高的过冲。过高的过冲将导致系统闭锁，有时需要拔出电池或按下主复位按钮才能解决问题，并重启系统。

Q1.9 LDO 用于模拟和射频负载需要关注哪些指标？

A: 像 ADP121 和 ADP130 具有的低噪声和高电源抑制（PSR）性能对模拟环境中使用的 LDO 来说非常重要，因为模拟器件比数字器件对噪声更敏感。模拟 LDO 需求的主要来自无线接口要求——不损伤接收器或发送器，并在音频系统中不产生爆破音或嗡嗡声。无线连接非常容易受噪声的影响，如果噪声干扰到信号，接收器的效果将大打折扣。在考虑模拟线性稳压器时，器件要能抑制来自上游电源和下游负载的噪声，而且自身不增加噪声，这一点很重要。

模拟稳压器噪声的测量值用电压有效值（rms）和 PSR 表示，后者代表了抑制上游噪声的能力。增加额外的滤波器或旁路电容可以减小噪声，但增加了成本和体积。仔细和灵活的 LDO 内部设计也有助于噪声降低和电源噪声抑制。在选择 LDO 时，对涉及每个系统所需的总体性能的产品细节进行检查很重要。

Q1.10 LDO 的噪声来源及如何抑制噪声？

A: LDO 的噪声分为 LDO 内部的噪声和 LDO 外部的噪声。LDO 内部的噪声来自于内部电路的带隙基准源，放大器以及晶体管。LDO 外部的噪声来自于输入。在一些 LDO 手册中，PSRR 是表征 LDO 抑制外部噪声的能力。LDO 的噪声分为 LDO 内部的噪声和 LDO 外部的噪声。LDO 内部的噪声来自于内部电路的带隙基准源，放大器以及晶体管。LDO 外部的噪声来自于输入。

为了抑制带隙基准源产生的噪声，有三种办法。1、是降低误差放大器的带宽，抑制了带隙基准源的高频噪声。但是降低带宽会使 LDO 的动态性能降低。2、是在带隙基准源和误差放大器之间加低通滤波。高性能的 LDO 都会有一个噪声抑制 NR 管脚，CNR 并联在带隙基准源和 GND 之间，起到低通滤波的作用。3、在反馈电阻 R1 上增加前馈电容 CFF 。

Q1.11 LTC3025-1 芯片输入电压+3.6V 输出电压要求：+3.2V，实际输出为+2.8V,将输入电压+5V，输出+3.2V 正常， 请问输入输出是否有压差要求？

A: 是的，输入输出有压差要求，规格书中有 Bias 电压对 Vin to Vout 的曲线。如果要实现 3.6V 输入，3.2V 输出，Bias 电压范围为 2.5V-5V。https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/30251234ff.pdf

Q1.12 LTC3025-1 在 V_{in} 和 V_{BAIS} 之前获得使能输入会有影响吗？

A: 直到 V_{in} 高于 0.65V，SHDN 电路才有效。当 Vin 低于 0.65V 时，由于从 Vin 到 Vout 的泄漏电流，在上电期间输出电压可能会上升。请参阅数据表第 9 页的详细说明。https://www.analog.com/en/products/ltc3025-1.html。

Q1.13 Input Vol：2.5~6V 左右，Output Vol：1.8V~3.3V， Output Imax = 100mA。要求负载 Iout 在变化时，输出的 Vout 的抖动尽可能小，如何选型 LDO？

A: ADM7170 已经是不错的选择，如果需要进一步缩减瞬态响应电压波动，可以在用电端添加低阻抗陶瓷电容。

Q1.14 ADP222 芯片损坏可能是什么原因？

A: 芯片损坏，和以下几个方面有关:1、焊接前的静电损坏；2、电路过流超过芯片工作承受能力：3、电源接入端的导线长度，稳压电源的启动电压稳定性，电源的接入方法。可能会导致接入端的浪涌电压超过 5.5V, 这个电压是瞬间的， 万用表无法观测到，需要用示波器验证。需要结合具体情况进行具体分析。

Contents2——开关稳压器问题

Q2.1 什么是开关电源？

A: 开关电源是利用现代电力电子技术，控制开关管开通和关断的时间比率，维持稳定输出电压的一种电源，开关电源一般由脉冲宽度调制（PWM）控制 IC 和 MOSFET 构成。在电流进入变压器之前，通过晶体管的开关功能，将我们通常 50HZ 的电流频率提升到数万 HZ，在这么高的频率下，磁场变化频率也达到几万 HZ，那么，就可以减少线圈匝数、铁芯体积获得同样的电压转化比，由于线圈匝数、铁芯体积的减少，损耗大大降低，一般开关电源效率达到 90%，而体积可以做的非常小，并且输出稳定。具有功耗小、效率高、体积小、重量轻、工作稳定、安全可靠以及稳压范围宽等优点，但是开关电源电路复杂，维修困难，对电路的污染严重。电源噪声大，不适合用于某些低噪声电路。其瞬态响应较差、易产生电磁干扰，且 EMI 信号占有很宽的频率范围，并具有一定的幅度。

Q2.2 开关电源有哪些拓扑结构？

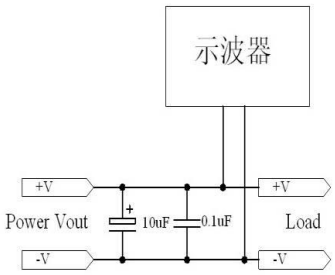
A: 常见的基本拓扑有 Buck（降压）、Boost（升压）、Inverter（反向升降压）、Buck-Boost（升降压）、Flyback（反激）、Forward（正激）、Two-Transistor Forward（双晶体管正激）、Push-Pull（推挽）、Half Bridge（半桥）、Full Bridge（全桥）、SEPIC、C’uk 结构。

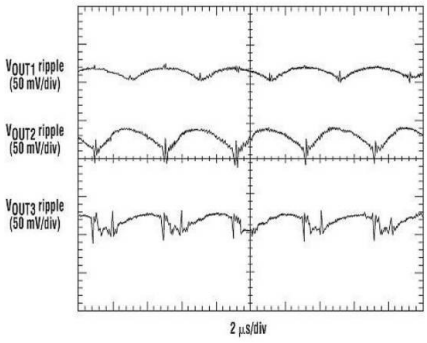
Q2.3 什么是纹波？主要来源有哪些？有何影响？

A: 纹波(ripple)的定义是指在直流电压或电流中，叠加在直流稳定量上的交流分量。 纹波的产生易引起谐波，谐波会对电路产生危害；同时其降低电源效率；较强的纹波会造成浪涌电压或电流的产生，导致烧毁用电器；会干扰数字电路的逻辑关系，影响其正常工作；会带来噪音干扰，使图像设备、音响设备不能正常工作。纹波可以用有效值、峰值或者绝对量和相对量表示，单位为 mV 或者 uV。

Q2.4 纹波如何测试？

A: 以 20M 示波器带宽为限制标准，电压设为 PK-PK 或有效值。去除示波器控头上的夹子与地线，因为这个本身的夹子与地线会形成环路，像一个天线接收杂讯，引入一些不必要的杂讯，使用接地环，用示波器的探针直接进行测试；如果示波器探头不是直接接触输出点，应该用 50Ω 同轴电缆方式测量。





Q2.5 开关电源输出纹波主要来源是什么？如何抑制？

A: 开关电源输出纹波主要来源于：

1）输入低频纹波。输出电路的滤波电容容量的非理想导致了输出低频纹波的残留。输出纹波与输出电容的关系为：Vripple=Imax/(Co×f)。DC/DC 变换器对交流纹波衰减后，在开关电源输出端表现为低频噪声，其大小由

DC/DC 变换器的变比和控制系统的增益决定。抑制：（a）可通过加大输出电容值或者采用并联的方式减小 ESR 值，或者使用 Low ESR 电容减少电流进出电容时 ESR 上的 I*R 电压降量。（b）采用 feed forward control (FFC) 前馈控制方法，其按照扰动产生校正作用进行调节，对于一些纯滞后或容量滞后较大的被控参数进行控制改善，可以加速系统响应速度，改善系统的调节品质。

2）高频纹波。使用功率器件对输入直流电压进行高频开关变换后整流滤波后再实现稳压输出时，其输出端韩由于高频开关工作频率相同频率的高频纹波。其对外电路的影响大小主要与开关电源的变换频率、输出滤波器的结构和参数相关。其纹波电流 $\triangle I = \frac{(Vir-Vout)*Vout}{L*Vir*f}$ 抑制：（a）提高开关电源工作频率以提高纹波频率或增加 L 值，可减小电感内的电流波动。（b）加大输出高频滤波器。（c）采用多级滤波以更好的抑制纹波。

3）寄生参数引起的共模纹波噪声。功率器件与散热器地板和变压器原、副边存在寄生电容，导线存在寄生电感，当矩形波电压作用于功率器件时，开关电源的输出端因此会产生共模纹波噪声。抑制：（a）输入、输出采用专门设计的 EMI 滤波器。（b）降低开关毛刺幅度。选用反向恢复性能好的二极管作为主开关管上的反并联钳位二极管。合理选择电压尖峰吸收电路的参数。

4）功率器件开关过程中产生的超高频谐振噪声。其来源主要有高频整流二极管反向恢复时二极管反向恢复电流的影响，其与其结电容等因素有关，在变压器漏感及其他分布参数的影响下将产生较强烈的高频衰减振荡。开关电源的分布参数也是多数干扰的因素。抑制：（a）可通过在输出整流管上串联一个饱和电感来抑制。（b）选用软恢复特性二极管、结电容小的开关管和减少布线长度等措施可以减少超高频谐振噪声。（c）通过改进绕制工艺和结构、增加绕组之间的绝缘、采用法拉第屏蔽等方法来减小绕组间的分布电容。（d）采用带有屏蔽的绝缘衬垫可以减小开关管与散热器之间的分布电容。（e）采用合理的 PCB 布局。

5）闭环调节控制引起的纹波噪声。抑制：（a）在调节器输出增加对地的补偿网络，调节器的补偿可抑制调节器自激引起的纹波增大。（b）合理选择闭环调节器的开环放大倍数和闭环调节器的参数。调试中要根据负载状况进行调节，以获得足够的环路稳定裕量。（c）在反馈通道中不增加纯滞后滤波环节，使延时滞后降到最小。以增加闭环调节的快速性和及时性，可以有效抑制输出电压纹波。

Q2.6 开关电源产生电磁干扰的原因？

A: 电磁干扰 (EMI，Electromagnetic interference)是一种电子系统或分系统受非预期的电磁扰动造成的性能损害。根据开关电源工作原理 知:开关电源首先将工频交流电整流为直流电，再逆变为高频交流电，最后经过整流滤波输出，得到稳定的直流电压。在电路中，功率三极管、二极管主要工作在开 关管状态，且工作在微秒量级;三极管、二极管在开一闭翻转过程中，在上升、下降时间内电流变化大、易产生射频能量，形成干扰源。同时，由于变压器的漏感和 输出二极管的反向恢复电流造成的尖峰，也会形成潜在的电磁干扰。

开关电源通常工作在高频状态，频率在 02 kHz 以上，因而其分布电容不可忽略。一方面散热片与开关管的集电极间的绝缘片，由于其接触面积较大，绝缘片较薄，因此，两者间的分布电容在高频时不能忽 略，高频电流会通过分布电容流到散热片上，再流到机壳地，产生共模干扰;另一方面脉冲变压器的初次级之间存在着分布电容，可将初级绕组电压直接祸合到次级 绕组上，在次级绕组作直流输出的两条电源线上产生共模干扰。

因此，开关电源中的干扰源主要集中在电压、电流变化大，如开关管、二极管、高频变压器等元件，以及交流输人、整流输出电路部分。

Q2.7 开关电源的 EMI 如何抑制？

A: 通常开关电源 EMI 控制主要采用滤波技术、屏蔽技术、密封技术、接地技术等。

采用交流输入 EMI 滤波器。电源线 EMI 滤波器基本原理如图所示， 其中差模电容 C1、C2 用来短路差模干扰电流，而中间连线接地电容 C3、C4 则用来短路共模干扰电流。共模扼流圈是由两股等粗并且按同方向绕制在一个磁芯 上的线圈组成。如果两个线圈之间的磁藕合非常紧密，那么漏感就会很小，在电源线频率范围内差模电抗将会变得很小;当负载电流流过共模扼流圈时，串联在相线上的线圈所产生的磁力线和串联在中线上线圈所产生的磁力线方向相反，它们在磁芯中相互抵消。 因此即使在大负载电流的情况下，磁芯也不会饱和。而对于共模干扰电流，两个线圈产生的磁场是同方向的，会呈现较大电感，从而起到衰减共模干扰信号的作用。 这里共模扼流圈要采用导磁率高、频率特性较佳的铁氧体磁性材料。

利用吸收回路改善开关波形。开关管或二极管在开通和关断过程中，由于存在变压器漏感和线路电感，二极管存储电容和分布电容，容易在开关管集电极、发射极两端和二极管上产生尖峰电压。通常情况下采用 RC/RCD 吸收回路，RCD 浪涌电压吸收回路。

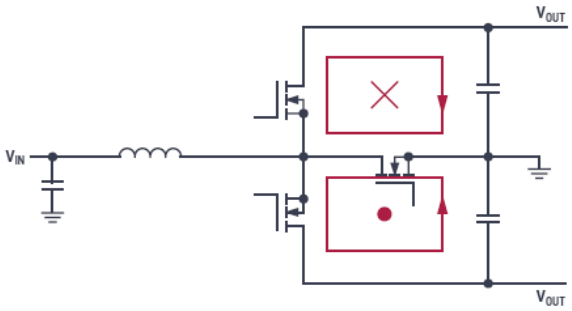
利用开关频率调制技术。频率控制技术是基于开关干扰的能量主要集中在特定的频率上，并具有较大的频谱峰值。如果能将这些能量分散在较宽的频带上，则可以达到降低于扰频谱峰值的目的。通常有两种处理方法:随机频率法和调制频率法。随机频率法是在电路开关间隔中加人一个随机扰动分量，使开关干扰能量分散在一定范围的频带中。调制频率法是在锯齿波中加人调制波(白噪声)，在产生干扰的离散频段周围形成边频带，将干扰的离散频带调制展开成一个分布频带。这样，干扰能量就分散到这些分布频段上。在不影响变换器工作特性的情况下，这种控制方法可以很好地抑制开通、关断时的干扰。

采用软开关技术。开关电源的干扰之一是来自功率开关管通/断时的 du/dt，因此，减小功率开关管通/断的 du/dt 是抑制开关电源干扰的一项重要措施。而软开关技术可以减小开关管通/断的 du/dt。在开关电路的基础上增加一个很小的电感、电容等谐振元件就构成辅助网络。在开关过程前后引人谐振过程，使开关开通前电压先降为零，这样就可以消除开通过程中电压、电流重叠的现象，降低、甚至消除开关损耗和干扰，这种电路称为软开关电路。

采用电磁屏蔽措施。开关电源的屏蔽措施主要是针对开关管和高频变压器而言。可在开关管的集电极与散热片间放置绝缘屏蔽金属层，并且散热片接机壳地，金属层接到热端零电位，减小集电极与散热片间藕合电容，从而减小散热片产生的辐射干扰。在高频变压器中，常常需要消除初、次级线圈间的分布电容，可沿着线圈的全长，在线圈间垫上铜箔制成的开路带环，以减小它们之间的祸合，这个开 路带环既与变压器的铁芯连接，又与电源的地连接，起到静电屏蔽作用。如果条件允许，对整个开关电源加装屏蔽罩，那样就会更好地抑制辐射干扰。

Q2.8 什么是 Silent Switcher？

A: 通过磁场相互抵消的方法减少电磁干扰，如图所示。此拓扑对称排列，顶部红色环路中产生的磁场与 底部红色环路中产生的磁场大小相同，但方向相反，因而彼此抵消。ADI 公司称技术为 Silent Switcher。



除此创新外，所有关键线段的寄生电感都大大降低，导致辐射场显著减弱。Silent Switcher 拓扑利用专有功率晶体管布局来实现这种磁场抵消效果。升压转换器的功率晶体管和输出电容之间的路径（热环路）长度决定了该磁场相关的电感。在 Silent Switcher 2 技术中，此路径的长度大大缩短。这是通过所谓的倒装芯片技术实现

的。开关稳压器 IC 中的硅不是通过焊线而是通过铜柱连接到 IC 外壳。这些铜柱的电感要低得多。因此，在电流开关速度相同的情况下，电压失调要低得多，由此便可降低辐射发射水平。

Q2.9 开关电源的纹波都与哪些因素有关？

A: 和纹波相关的几个因素，有电感感值，输出电容容值，布局和走线等关系较大，温度变化也会导致器件参数变化，从而影响纹波。

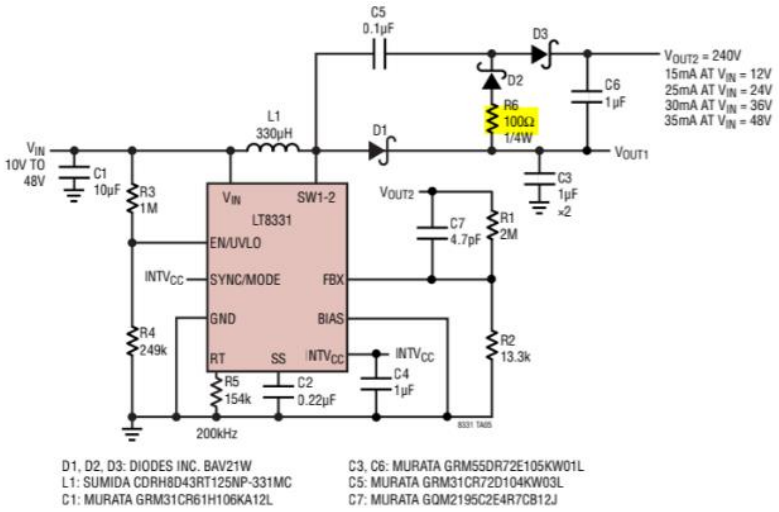
Q2.10 开关电源为何负载轻是纹波比负载重时纹波大？

A: 轻载时，纹波比较大，是由于开关器件的工作模式从 CCM 变成了 DCM。如果对轻载纹波要求较高，建议切换成固定频率模式，但是静态电流会增加。

Q2.11 ADP5070 ,输入 12V，可以输出±12V 吗？这样的设计是否 OK？

A: ADP5070 可以实现 12V 输入，+/-12V 输出。

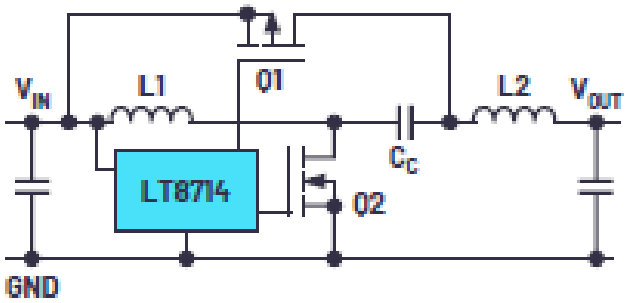
Q2.12 LT8331 按照参考电路设计，把 24V 电压升压到 240V，测了输出只有 24V。把二级升压电路去掉，上电瞬间 LT8331 升压器 SW1 和 SW2 引脚与 GND 短路，是怎么回事？



A: 如果短路，可能芯片已经击穿了，原因可能开关节点电压过高。将 10 欧姆电阻的值更改为 100 欧姆。同时去掉大输出 47uF 的输出电容。并且，不要对单级转换器进行测试。

Q2.13 什么是四象限电源？

A: 虽然简单电压转换器可以从输入电压生成固定的输出电压，但在某些应用中，这种特性是不够的。比如控制与电容相连的电压节点，这些电容可以充电至任何电压。如果需要降低其电压，则其必须部分放电。因此，在这样的应用中，电源必须能够根据需要提供或吸收电流。这种转换器称为四象限 DC-DC 转换器。 简单来说，即可以吸收和提供正负电流和电压的电源。四象限电压转换器拓扑结构的简化电路图如下图所示：



也有替代四象限稳压器的方法，例如开关稳压器拓扑，其必须并联连接以支持多象限功能。然而，与使用专用四象限解决方案相比，这些方法的成本常常更高。ADI 公司的 LT8714 是用于四象限稳压器的控制器。它拥有此类调节所需的全部功能。详情请参阅手册 https://www.analog.com/en/products/lt8714.html。

Q2.14 有什么低 EMI 方法可以产生负电压？

A: 通常采用电感开关稳压器或使用电荷泵的方法产生负电压。

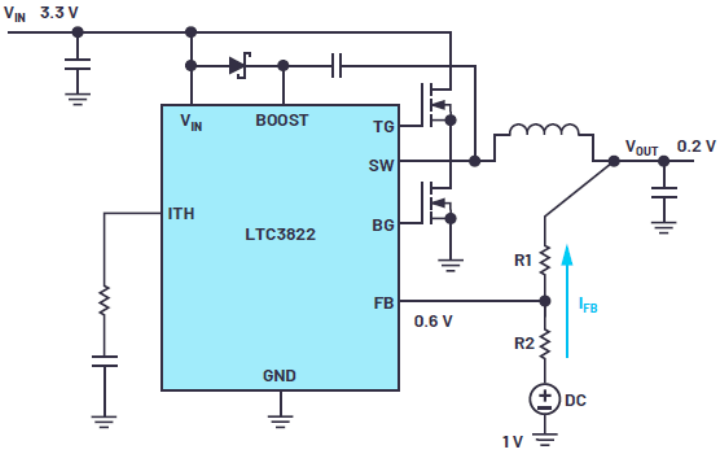
电感开关稳压器利用电感或变压器产生负电压。这些磁转换器拓扑的例子有：反相降压、反相降压-升压和 Ćuk。在解决方案尺寸、成本、效率、噪声产生和控制环路复杂性方面，每种拓扑都有其优点和缺点。一般而言，基于磁性元件的转换器适合需要较高输出电流(>100 mA)的应用。

对于所需输出电流小于 100 mA 的应用，电荷泵正转负（反相）DC-DC 转换器可以非常小，并且 EMI 低，因为不需要电感或控制环路。它们只需要通过开关在电容之间移动电荷——将产生的电荷提供给输出。

相较而言，电荷泵由于不适用任何磁性元件，其 MI 通常比感性开关拓扑要低。且电荷泵可以用短走线轻松布线，以减少天线面积和容性耦合，从而降低 EMI。

Q2.15 有什么好的解决方案可以产生只有几百毫伏的微型直流电源电压？

A: 通过将一个干净的外加正电压连接至 DC-DC 转换器的反馈电阻，即可使开关或线性稳压器产生低于反馈电压的电压。这样，电阻分压器构成了一个电压分压器，电流从外部基准电压源经由电阻分压器流向输出电压。如图所示：



IC 的反馈电压(VFB)、所需的输出电压(VOUT)、外加正极直流偏置电压(VOFFSET)，以及电阻分压器的电阻 R1 和 R2 之间关系如下式：

$$\frac{V_{FB}-V_{OUT}}{V_{OFFSET}-V_{OUT}}=\frac{R1}{R1+R2} \quad (1)$$

对于电阻分压器的阻值选择，建议 R1、R2 的总和介于 100 kΩ 和 500 kΩ 之间。这使得偏置电流在功率效率方面足够低，但又高到可以防止过多的噪声耦合到敏感的反馈路径。

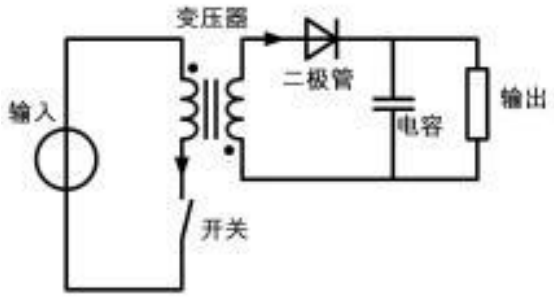
注意：外加的基准电压源应在 DC-DC 转换器开启之前启动和运行。如果该辅助电压为 0 V 或具有高电阻，DC-DC 转换器可能会产生过高的电压并损坏负载电路。同时，设置一个最小负载以避免当开关稳压器尚未开启但辅助电压已经施加时，流经电阻分压器的电流 IFB 将为输出电容充电，使其电压高于设置电压的情况。

Q2.16 什么是反激式转换器（Flyback converters）？

A: 反激式转换器是一种输入及输出电路之间有电气隔离的变换器，可以用在交流直流（AC/DC）和直流直流（DC/DC）转换，广泛用于电气隔离电源设计。

下图为这类调节器的典型设计，核心部件包括开关，变压器，二极管和电容。采用的是稳定性很好的双环路反馈的控制系统。可以通过开关电源的 PWM 迅速调整脉冲占空比，从而在每一个周期内对前一个周期的输出电压和低级线圈充磁峰值电流进行有效调节，达到稳定输出电压的目的。这种反馈控制电路的最大特点是：在输进电压和负载电流变化较大时，具有更快的动态响应速度，自动限制负载电流，补偿电路简单。

反激式转换器在控制电路上同样具有绝缘隔离的作用，常用的两种控制模式是电压反馈控制和电流反馈控制。这两种控制模式都需要将信号从次级线圈一侧传递到初级线圈一侧，通常采用光电耦合器或者在变压器磁芯上增加一个单独绕线的方法实现隔离信号传递。



Q2.17 什么是 DC/DC 的动态环路响应？

A: DC-DC 转换器通过反馈控制系统，将不断变化的输入电压转换为（通常）固定的输出电压。反馈控制系统应尽量保持稳定，以避免出现振荡，或者发生最糟糕的情况：输出未经调节的输出电压。控制系统的速度应尽可能快，以响应动态变化，例如快速输入电压变化或输出端的负载瞬态，并最大程度地减少调节后的输出电压偏差。为了表示控制环路的行为，可以使用典型的 Bode 图来显示环路的相移和增益随频率的变化，此控制环路可以通过模拟或数字技术实现。

Q2.18 有哪些开关电源电流检测方法？

A: 开关模式电源有三种常用电流检测方法有：

1、基于采样电阻的电流检测；在电源输入端串入高精密电阻，对其两端电压进行检测。该方法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 100ppm/°C(0.01%)。在性能方面，它提供很高的精度，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，还有利于实现精密均流。但是，该采样电阻上会产生额外的功耗。因此，与其他检测技术相比，采样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。专用电流采样电阻也可能增加解决方案成本。同时采样电阻的寄生电感（ESL）也可能会对检测结果造成影响，影响其精度。

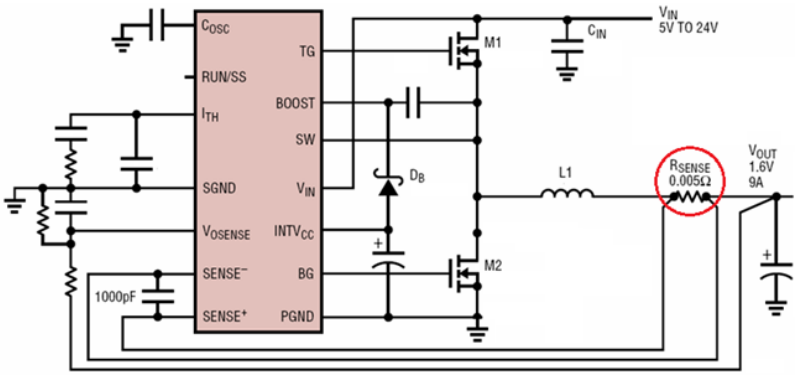


图 1. Rsense 电流检测

2、使用 MOSFET RDS(ON)进行电流检测，可以实现简单且经济高效的电流检测。比如 ADI 的 LTC3878 就是采用 RDS(ON)进行电流检测，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 RDS 压降用于检测电流谷值或电流下限。其价格低廉，但首先，其精度不高， RDS(ON)值可能在很大的范围内变化（大约 30%或更多）。同时其温度系数可能也非常大，在 100℃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。

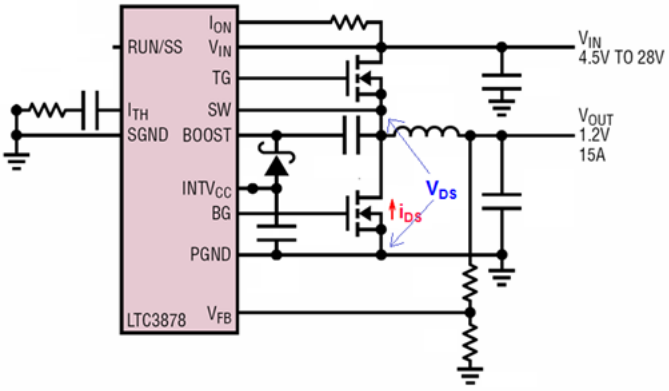


图 2. MOSFET $R_{DS(ON)}$电流检测

3、使用电感的直流电阻(DCR)。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 RDS(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较多，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。

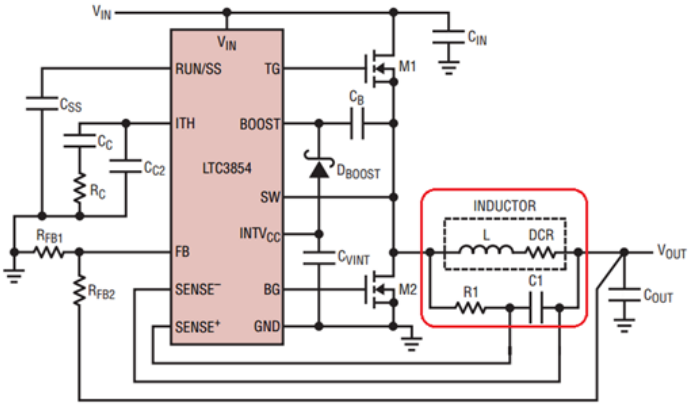


图 3. 电感 DCR 电流检测

Q2.19 LTC3863 的 VFBN 管脚或者 SS 管脚能否用运放或者 DAC 驱动，实现输出电压动态调节？

A: 因为是负压，所以用 DAC 驱动不容易实现，可以考虑数字电位器代替反馈电阻。同时其 SS 引脚不能用于控制输出电压。

Q2.20 LTM4644 芯片输出电压不稳？-----当输入为 5.32V~12V,输出稳定在 4.95V；当输入是 5V，输出下降为 4.63V。因为本模块的使用环境是 5V，我想问下有办法可以提高输出的电压吗？输入是 5V,输出最多可以达到多少伏？

A: 这个现象也是正常的，输入 5V，输出不可能是 5V，这是一个降压芯片，有最大占空比限制，你可以看下输入电压在 8V-12V 变化，输出是否变化。根据你的测试数据，芯片工作都是正常的，没有问题，你如果想要实现 5V-12V 输入，输出要 5V 的话，就必须使用升降压芯片。

Q2.21 LT8705 略微烫手，电流 50mA。是否为芯片损坏，设计需要注意哪些地方？

A: 检查输出电压是否正常，以及略烫手要看具体温度是多少？控制器在小电流和大电流下是有温差，但温差也不大。所以轻载下略烫手并不能说明芯片有问题。另外，请检查 LT8705 肚皮焊盘是否以及可靠焊接到地。

Q2.22 LTC3882+FDMF5820DC 的 Channel0 输出正常，channel1 输出 0V，是什么原因？

A: 仔细核对 Channel0 和 channel1 之间是否有区别，并看看 PWM1 是否有驱动。

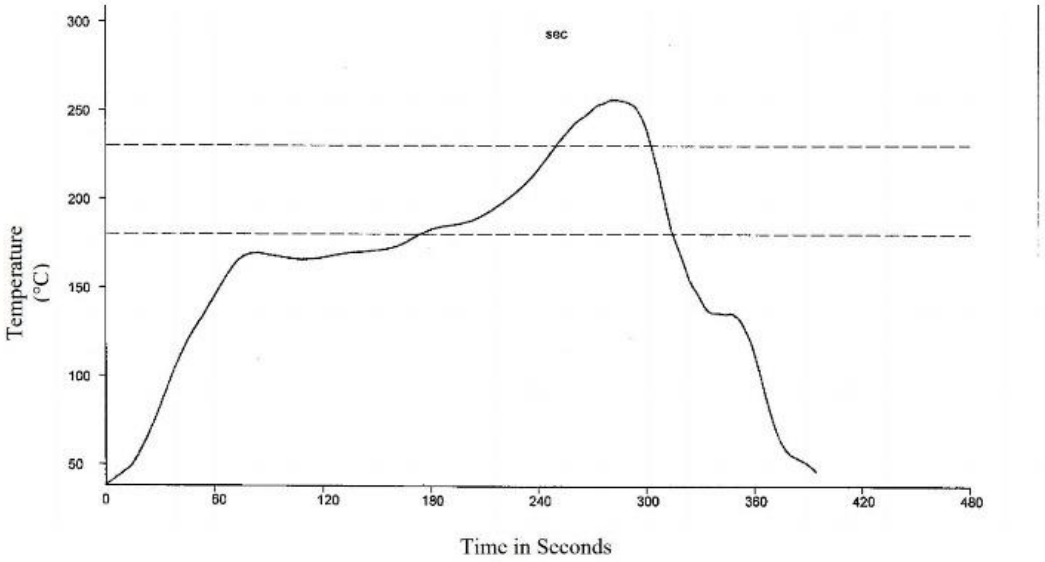
Q2.23 LT8645 在焊接及输出电压调整时损坏几率高，此芯片需要什么保护手段？

A: 需要分析具体的应用条件，另焊接请注意回流焊温度是否超出规格，还有生产过程中静电防护等。另外，焊接前，芯片应该按照 IPC 标准烘烤后再焊接。

Q2.24 LTC3115MPFE-1 焊接温度如何控制 ？

A: LTC3115 的封装较小，焊接曲线并无特别之处，跟随使用板上核心芯片的焊接曲线即可。

以下无铅设置曲线供参考。



Q2.25 输入电压 2.5~5V，输出电压正负 15V 或可调最大正负 18V，电流 200mA，输出精度控制在正负 5%，效率在 80%以上，如何选型？

A: 如果可以接受最低 2.7V 工作电压，可以使用 LT3002，电路设计可以参考规格书中的标准电路图。也可以考虑选择非隔离的升压芯片实现，那路负压在升压电路上加 2 个二极管和电容构成电荷泵即可。

Q2.26 LT3751 如何调整输出电压？

A: 输出电压有两种调整方法。A、隔离设计，FB 接地，通过 RVOUT 和 RBG 设置； B、非隔离设计， RVOUT 和 RBG 接地，FB 通过反馈分压电阻接 Vout。

Q2.27 输入电压范围为 13-130V，有没有什么好的办法可以解决输入电压过低会跟随的现象，使输出一直稳定在 24V？

A: 建议使用 LTC3895 做第一级，输出电压设置在 13V，然后再添加一级升压电路，输出设置在 24V，这样，13-130V 均可获得 24V。或者选择 LTC3779 升降压拓扑。

Q2.28 LT1934 板上测得的静态电流与手册数值相差较大，什么原因？

A: 请检查二极管的反向漏电流，如果这两个器件不是真品，可以工作，但是电流会增加。同时请检查输出电容的漏电流，如果输出电容漏电流较大，也会增加静态电流。还要看测试方法有没有问题。

Q2.29 LTC3777 过流保护后，输出电流和电压表现是什么？

A: LTC3777 过流保护后，其会切换到 BUCK 模式并维持低占空比震荡，直到过流消除。详情请参阅数据手册。https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC3777.pdf。

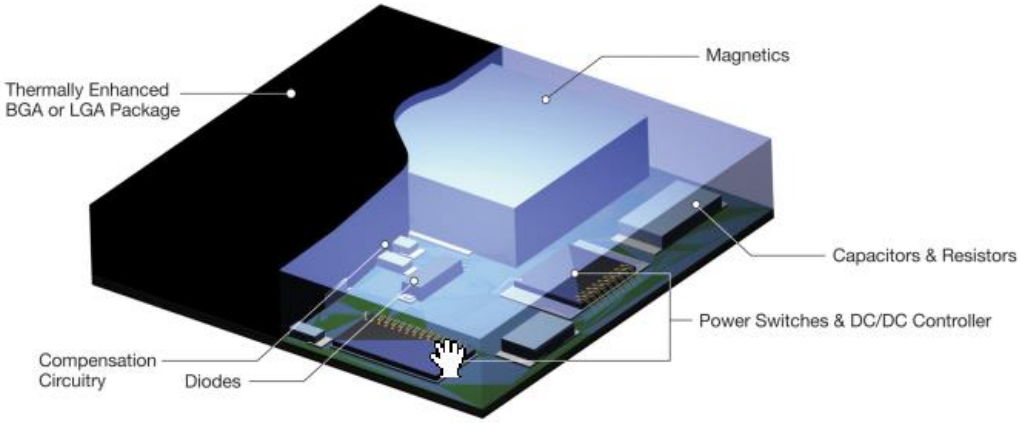
Q2.30 LT7803 如何调整输出电压？

A: 参阅规格书中典型电路及公式，微调反馈电阻调整输出电压即可。https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc7803.pdf。

Contents3——uModule 问题

Q3.1 什么是 uModule 电源模块？

A：µModule® 电源产品配有电源开关、DC / DC 控制器、二极管、电容器、电阻器和磁性元件，采用封装热增强型 BGA 或 LGA 封装（如图），是完整电源管理解决方案中的优秀产品，通过把电源功能电路集成在紧凑的模制塑料封装中，简化了复杂电源电路的实现、验证和制造，可最大限度地减少工程师从头开始设计系统的需求。



Q3.2 uModule 电源模块与分立设计相比有何特点？

A：与分立设计相比，

1、 电路板空间减少了 60％并降低 PCB 复杂性；
2、 散热性能以小型封装形式提供；
3、 增强的 EMI / EMC 性能；
4、 集成控制器，电感器和 MOSFET，简化设计，具有灵活的输出配置，更少的外部组件提高了可靠性；
5、 优化的引脚排列，便于布局和组装；
6、 坚固的封装设计，具有热性能，抗振动和防潮性能；
7、 模块有更高的可靠性和更短的产品设计周期。

Q3.3 LTM4661 不升压是什么原因？

A： LTM4661 模块的工作异常，大部分是因为芯片非正规渠道采购，没有在真空环境下运输和存储。焊接前，需要 125°C 烘烤 48 小时。

Q3.4 四通道 LTM4644 只用三路，不用的通道如何处理？

A：不用的一路通道的 RUN 接地，其它 pin 悬空即可。

Q3.5 LTM4633 部分电压异常问题，测 VFB 引脚电压为 0.86V 高于手册 0.8V，是否可以判断芯片损坏？ 焊接有可能造成芯片损坏吗？

A：焊接有可能会导致损坏，VFB 为 0.86V 并不能判断芯片已经损坏，因为 VFB 是个输入脚，还是要找一下为什么 VFB 电压高于 0.8V。

Q3.6 LTM4607 电路上电后，输入的直流电源上产生不需要的干扰脉冲，以及直流输入毛刺，输出仍有毛刺，如何解决？

A： 1、检查 12V 输入端电容是否正确摆放在芯片临近位置（参考手册 Figure 13. Recommended PCB Layout）LTM4607 - 36Vin, 24Vout High Efficiency Buck-Boost DC/DC µModule Regulator (analog.com)；

2、在输入端 12V 上增加一个 Pai 型滤波器即可抑制这个毛刺；

3、后续设计可以考虑替换为 LTM8055 系列器件。

Q3.7 LTM8063 输出负电压时，RUN 引脚如何实现控制？

A： LTM8063 用作负压输出时，RUN 的参考地要做 level shift 处理，因为 LTM8063 芯片地是接在负压上地，不可以直接参考 GND。

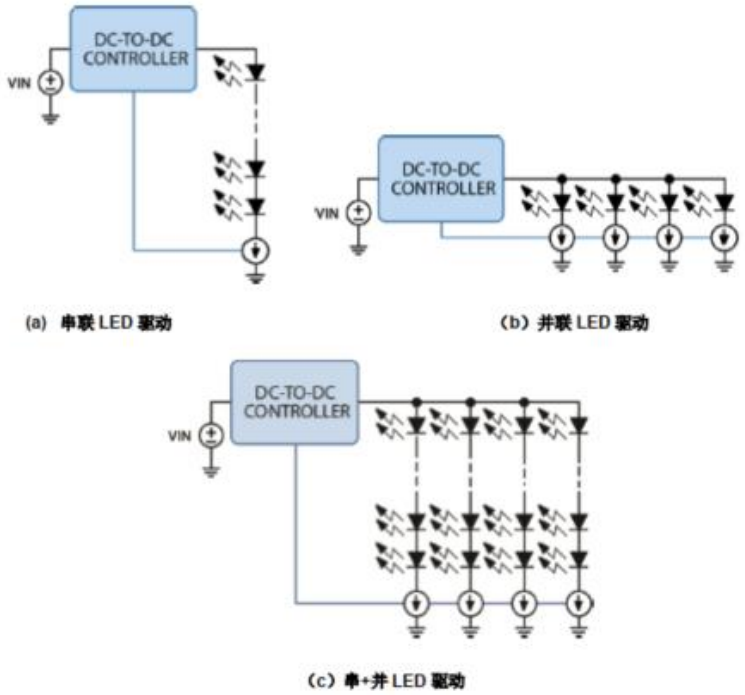
Contents4——LED Driver IC 问题

Q4.1 什么是 LED 驱动 IC？

A: LED 就是发光二极管，当二极管的数量多或者管子比较耗电量大时就需要驱动了，而且是几级驱动，把这几级驱动做到一个集成的电子芯片里，这个芯片就叫驱动 IC，简单说就是发挥给二极管提供补偿电流的作用。LED 驱动 IC 带恒流控制，以及 LED 模拟数字调光。

Q4.2 LED 驱动 IC 的原理是什么？

A: LED 作为一种发光器件， 需要特定的驱动电路去控制其电流，从而控制发光。按照 LED 的连接方式，常用典型连接有三种：串联 LED 驱动器，并联 LED 驱动器以及串+并 LED 驱动。典型示例连接如图：



串联连接可以提供非常好的匹配性，但要求的驱动电压高；并联连接的匹配性通常小于 2%，所需驱动电压小；串+并连接结合了前两者的优势，对于升压型的控制器更容易实现高效率（因为驱动电压相对较小），而且可以灵活地配置成单纯的串联连接或者并联连接。

有源吸/源电流控制 LED 驱动器吸电流工作电压通常在 200mV～1V 之间，在同一驱动电源下，允许同时连接多串 LED，更容易实现模拟调光。

Q4.3 典型 LED 驱动 IC 的类型有哪些？

A:典型 LED 驱动器有两种控制方式：电阻电流控制和吸/源电流控制。电阻电流控制是通过控制与 LED 串联的电阻上的电压来达到控制通过 LED 电流的目的。这种控制方式只能用于串联连接的 LED。检测电压通常小于 200mV，因此，精度，offset 以及噪声就尤为重要。

Q4.4 LED 调光的方法有哪些？

A: 有两种方式可以实现 LED 调光： PWM 调光和模拟调光。

PWM 调光指的是通过调节流过 LED 电流的占空比实现亮度调节的方式，通常该 PWM 波的频率大于 120Hz；PWM 调光作为最传统的 LED 调光方式，易于实现（只需要控制 LED 电流的导通与关断）； 此种方式可以很容易地加到通用 DC-DC 转换器（非专用 LED 驱动器）上。但其局限在于：电学噪声（开关信号产生），声学噪声以及光学噪声。

模拟调光指的是通过 LED 的电流是在 0～100%之间线性变化的。通过调节 LED 的电流来调节亮度。模拟调光的特点有：无噪声；功率级易于处理（因为 LED 电流是连续的）；能效更高：主要体现在光能（流明/mA）在低电流时会增加，由于低电流时 LED 的正向压降更低，导致相同亮度时，模拟调光比 PWM 调光所需功耗更低。

Q4.5 照明设计中使用 LED 驱动器时，如何降低其电磁干扰？

A: 使用 Silent Switcher®电源来优化 LED 驱动器 IC 以达到大幅降低 EMI 的目的是可行的。在某些情况下，甚至可以在不使用 EMI 滤波器的情况下保持在一定的 EMI 限值内。

Q4.6 LED 驱动 IC 烧掉是什么原因？

A: LED 电源驱动 IC 烧掉的原因有元件 IC 本身有问题，也可能是电流电压过高。请使用正规渠道采购的芯片。

Q4.7 LT3932 做脉冲恒流驱动时前 5ms 内电压不稳定，是什么原因？

A: 系统上电，需要一个稳定时间。所以芯片启动瞬间至建立稳定的工作状态中会出现电流减小的现象，直至电流稳定，是正常的芯片启动调整机制。

Q4.8 LT3932 是依靠反馈电阻完成恒流控制的吗？

A: 反馈电阻用来设置 LED 最高工作电压，防止过压烧毁 LED，FB 电压接近 1V 时， 系统会开始限流，FB 的电压超过 1.05V，系统会保护，停止工作。LED 的电流，是通过 ISP， ISN 之间的 Rsense 来设置的。

Q4.9 ADD5211 驱动 led 有是线性调光，无闪烁的吗？

A: 从芯片结构来看，控制 LED 电流大小的电流源 是受线性模拟控制的，不会发生频繁开断。具体请参考数据手册的介绍。https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADD5211.pdf。

Q4.10 脉冲激光器驱动电路方案推荐？------电路的参数为上升沿<2ns，下降沿<3ns ，脉宽<=10ns ，电压 10v，瞬间电流>10A ，是否有好的方案推荐？

A: 可以看看 MOSFET 驱动芯片：http://www.analog.com/en/power-management/mosfet-drivers/products/index.html

还有后面里面的高速比较器：http://www.analog.com/en/special-linear-functions/comparators/products/index.html

上面的器件可以帮助你对信号整形，但是要注意像这种电路里面最怕的就是寄生电容和寄生电感，哪怕一点点都会对系统有很大的影响的，另外雪崩三极管可以搜索 avalanche transistor，不用找 Ic 特别大的晶体管，只要 Ic plus 能满足就行，注意 di/dt，别烧了。

Q4.11 LTC4013 恒流充电状态时异常------设计+37V 输入，+33V 输出，一旦开始恒流充电，INFET 输出引脚驱动波形震荡，导致 INFET 不是一直处于低阻抗导通状态，同时发现 INTVCC 由静态时的+5V 上升到+6.5V 左右，一旦退出恒流充电状态，一切恢复正常，是什么原因？

A: 请测试下 SW 的波形和 INFET 驱动的波形，看是不是进入 MPPT 了。

Contents5——Power Monitor 问题

Q5.1 什么是“热插拔”？

A: 热插拔 （Hot Swap） 即带电插拔，指的是在不关闭系统电源的情况下，将模块、板卡插入或拔出系统而不影响系统的正常工作，从而提高了系统的可靠性、快速维修性、冗余性和对灾难的及时恢复能力等。对于大功率模块化电源系统而言，热插拔技术可在维持整个电源系统电压的情况下，更换发生故障的电源模块，并保证模块化电源系统中其他电源模块正常运作。

Q5.2 通过 USB 给 PCB 底板供电 5V，为每个模块接口分配了 200mA 的供电，但每插入一个模块，电压即下降。对 ADS 产生了影响，如何选择一款电源 IC？

A: 你可以使用 ADP198。

Q5.3 LTC4415 是否可以并联？------我现在在使用 ltc4415 这个料，用于双电池供电。但是觉得导通阻抗 50ohm 比较大。我能使用 2 个 ltc4415 并联的方式来实现减少阻抗的目的不？还有就是 LTC44550，LTC4451，LTC4452 为什么在贵司网站上面搜不到资料？

A: LTC4415 可以并联，LTC4450/1/2 还没有量产，所以网上没有资料。

Q5.4 LT1923 的驱动电压能不能改成 24V 驱动？

A：24V 电压可以参考规格书中的 Figure15。https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/1923f.pdf。

Q5.5 LTC2950-1 干扰问题------打 ESD 时，LTC2950-1 会导致系统 reset，有时甚至 PB 脚对地短路无法开机的问题。/PB 用 10K 上拉了。我们打 8KV/4KV，我看说明书上写的是 10KV，为何打 8K 还是会损坏呢？

A：测试的标准不一样，我们是针对 IC 而言 HBM 模型，内阻较大，能量较小。你们 8KV/4KV 是空气/接触放电，二者不能等同。如果有损坏，可能需要在 PB 加 ESD 防护才行。

Q5.6 电源监控芯片 ADM706 数据手册 Figure 15 中的肖特基二极管的作用是什么？

As the voltage on the PFI pin is limited to V_{CC} + 0.3 V, it is recommended to connect the PFI pin with a Schottky diode to the $\overline{RESET}$ pin as shown in Figure 15. This helps clamping the PFI pin voltage during device power up and operation.

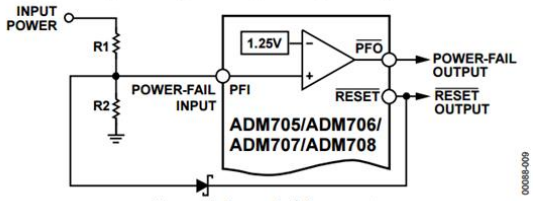


Figure 15. Power Fail Comparator

A：连接二极管，有助于保持 PFI 电压，使之嵌位在安全电压（高于 reset 一个 二极管电压）， 不会产生过高的电压。

Q5.7 什么是浪涌抑制器？

A: 浪涌（surge）是指瞬间超出稳定值的峰值，包括浪涌电压和浪涌电流，是一种上升速度高、持续时间短的尖峰脉冲。供电系统的浪涌主要来自外部（雷电原因）和内部（负载瞬态变化，电器设备启停和故障等）两大方面

的原因。多数情况下，有害的浪涌电压来自静电放电（ESD），电子产品在使用过程中遭遇浪涌和电压瞬变，会导致电子产品的损坏。ADI 的浪涌抑制器允许在电压浪涌期间进行不间断的系统操作，而在出现故障时，我们的保护控制器会立即将输入与输出断开，通过小巧、易于设计的低功耗解决方案提供稳健的前端保护，从而提高了系统可靠性。

Q5.7 对电压瞬变和浪涌有哪些防护措施？

A: 1、使整机和系统接地，整机和系统的地(公共端)和大地应分开，整机和系统中的每个子系统均应有独立的公共端，在子系统之间需传输数据或信号时，应以大地为参考电平，接地线(面)必须能流过很大的电流，如几百安培。

2、在整机和系统中的关键部位(如电脑的显示器等)采用电压瞬变和浪涌的防护器件，使电压瞬变和浪涌通过防护器件旁路到子系统地和大地，从而让进入整机和系统中的瞬变电压和浪涌幅度大大降低。

3、对重要和昂贵的整机和系统采用几个电压瞬变和浪涌防护器件的组合形式，以构成多级防护电路。

Q5.8 浪涌测依据的是什么标准？

A: 电源模块的浪涌测试标准是参照 IEC61000-4-5。该标准适用于电气和电子设备在规定的工作状态下工作时，对由开关或雷电作用所产生的有一定危害电平的浪涌电压的反应。该标准不对绝缘物耐高压的能力进行试验，也不考虑直击雷。该标准的试验等级分类如下：

等级	试验电压（±10%）KV
1	0.5
2	1
3	2
4	4
X	待定

汽车电子会参照 ISO7637 和 ISO16750 标准。

Q5.9 针对浪涌输入防护，有什么具体的方案？

A: 传统的输入防护包括：TVS 二极管、保险丝、电感电容、串联二极管的方式。TVS（Transient Voltage Suppressor）利用二极管的雪崩击穿特性，击穿电流为$\mathbf{i} = \frac{V_{BATT}-V_{CLAMP}}{R_i}$，且 TVS 关键参数如 Stand-off 电压、钳位电压、允许功率等于温度、电压、脉冲、次数等因素相关。其击穿点离散性较大 (±20% tolerances)、击穿特性不陡、短路失效模式、较大尺寸等限制了其应用；机械保险丝的反应速度慢（秒级），有比较大的器件容差（±50%）不准确，高阻抗，通常是不可恢复的且尺寸大。电子保险丝分立方案复杂、尺寸大，精度取决于器件选择。

采用 MOS 管是一种更好的输入防护措施。采用利用 MOS 管的线性区来钳位尖峰（类似 LDO 工作)、其可变电阻区来有效抑制电流，从而降低功率。同时还可增加更多保护: 输入欠压，输入稳态过压，可恢复过流保护，理想二极管，斜率控制等。如 ADI 的 LT4356 浪涌抑制器可保护负载不受高电压瞬态的影响。它可在过压事件（例如汽车负载突降）期间通过控制外部 N 通道 MOSFET 来调节输出。输出将被限制为安全值，从而允许负载继续正常运行。LT4356 还可监控 VCC 和 SNS 引脚之间的电压降，以防止发生过流故障。内部放大器可将电流检测电压限制为 50 mV。在任一故障条件下，将会根据 MOSFET 应力按比例反向启动计时器。如果计时器终止，FLT 引脚将会拉低以警告即将关断。如果该状况持续存在，则会关闭 MOSFET。经过一段冷却期后，GATE 引脚将会上拉，重新接通 MOSFET。详情请参阅数据手册 https://www.analog.com/cn/products/lt4356-1.html#product-overview。

Contents6——Power Tools 问题

Q6.1 ADI 有哪些电源管理工具？

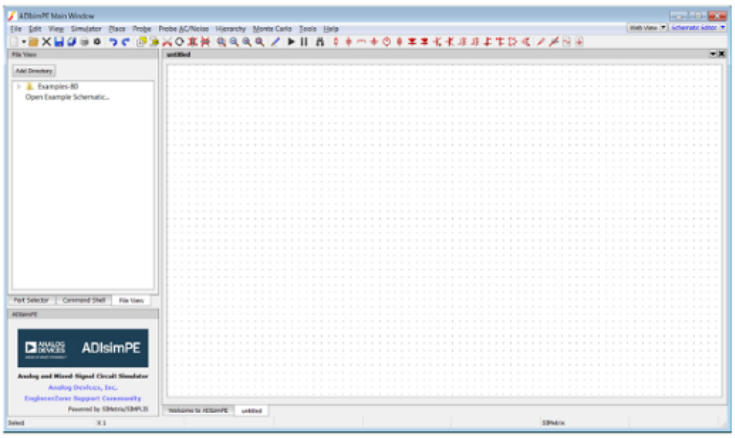
A: 目前 ADI 为大家免费提供的四款电源管理工具：LTpowerPlay、LTpowerCAD、ADIsimPE、ADIsimPower。

LTpowerPlay 是一个强大的、基于 windows 的开发环境，支持模拟设备的数字电源系统管理(PSM)产品。LTpowerPla 使用教程：http://www.analog.com/en/education/education-library/videos/5579257019001.html。下载 LTpowerPlay 请点击：http://www.analog.com/cn/design-center/ltpower-play.html。

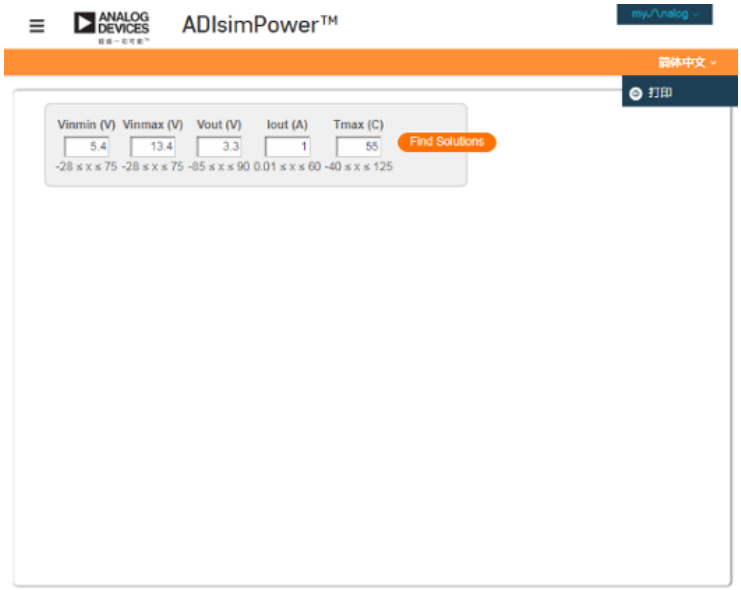
LTpowerCADRegistered 设计工具是一个完整的电源设计工具程序，可以使用 µModule 稳压器和许多其他产品（主要是单片降压型降压稳压器）极大地简化电源设计任务。 与传统的仿真工具不同，此 LTpowerCAD 工具可以在整个供应设计过程中指导用户：它根据用户的供应规格搜索合适的器件；通过建议和警告通知用户选择和优化电路元件值。该工具可显示反馈环波特图的实时结果以及功率级性能。 可以导出到 LTspice 仿真电路，以供用户进一步验证其设计。该工具还提供了 PCB 布局示例。当前，该设计工具可在具有 Excel 2000、2003、2007、2010 和 2013 的基于 Microsoft Windows 的 PC 上运行。通过 Internet 连接，用户可以实时更新程序及其组件库。LTpowerCAD 使用教程：http://www.analog.com/en/education/education-library/videos/5579257020001.html。下载 LTpowerCAD 请点击：http://www.analog.com/cn/design-center/ltpowercad.html。

ADIsimPE 由 SIMetrix/SIMPLIS 供电，是针对模拟和混合信号电路设计和开发而优化的电路仿真套件。SIMetrix 模式适合用来仿真通用非开关电路。 它能完全兼容 Pspice，用于工业标准 SPICE 模型中。 SIMPLIS（仿真分段线性系统）模式可仿真开关电路的工作情况，相比标准 SPICE 极大地改善了稳定性、速度和精度。它尤为适合开关电源、PLL 和 ADC/DAC 应用。ADIsimPE 面向没有完整 SIMetrix/SIMPLIS 程序许可的 ADI 公司

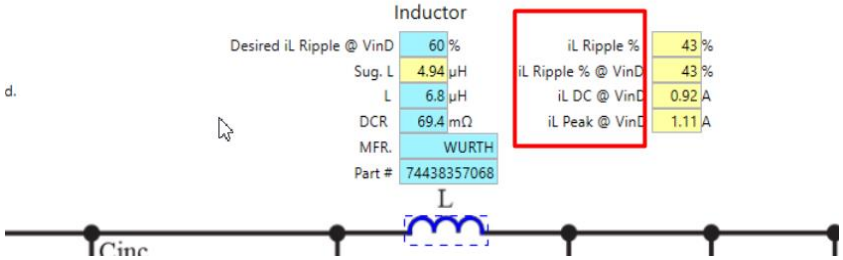
客户。 它可读取 ADI 公司加密原理图，以及未加密的兼容原理图介绍。下载 ADIsimPE 请点击：http://www.analog.com/cn/design-center/interactive-design-tools/adisimpe.html。



最快、最精确的电源管理设计工具 ADIsimPowerTm Voltage Regulator Design Tool。ADIsimPower 设计中心让您通过简单的三个步骤设计电源电路：1）器件选型；2）设计和优化；3）仿真。ADIsimPower 选择器根据您的特定应用要求，比较超过 300 个电源管理器件和超过 10 种不同拓扑架构的解决方案。每个解决方案都考虑了 IC、外部器件和工作条件，以匹配期望性能。下载或在线使用 ADIsimPower 请点击：http://www.analog.com/cn/design-center/interactive-design-tools/adisimpower.html。



Q6.2 LTpowerCAD 中图中的几个参数是什么意思？@VinD 是什么？Desired iL Ripple @ VinD 60%是期望纹波电流是 Vin 的 60%？

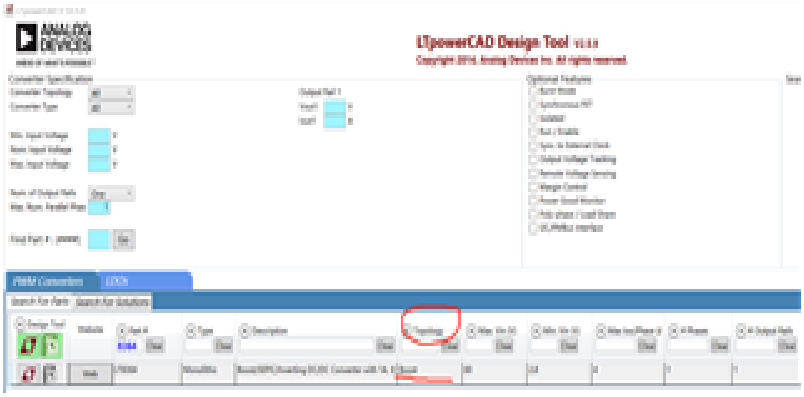


A: 在这个设计界面有个备注，有几个参数是随着 Vin 在变化的，一般是 Vin 最小值的时候最差，所以这个 VinD 就是你自己应用的输入电压的最小值。

Note : Boost converter iL, Io-limit, Vo-ripple change with Vin.
Derating at low Vin may be necessary.
Click "Design Curves" button for details.

Desired iL Ripple @ VinD 60%是电感的电流峰峰值/电感平均电流的百分比。一般的正常电压情况下，这个百分比设为 30%-40%，最坏的就会比 40%大，这里是设了个上限，你也可以修改的小一些，太大了电感的交流损耗就变大了。一般升压型的 DC/DC，在 50%占空比的时候，电感电流纹波最大，但是输入电压最低的时候，情况最恶劣。

Q6.3 LTpowerCAD 软件是不是不能选开关电源的拓扑结构，比如一个 DC 电源可以设置成升压/反向等等，但是在选项拓扑 Topology 中只有一个默认值，请问比如我想设计反向输出，该如何选择？



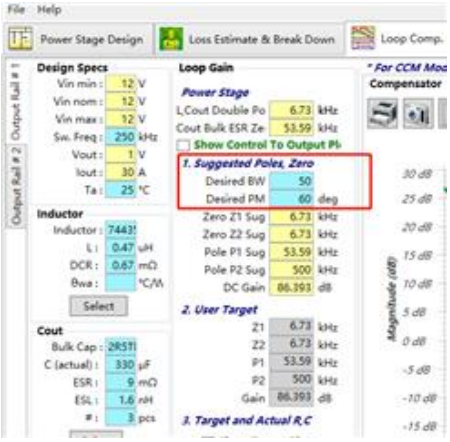
A: LTpowerCad 里收录的器件和拓扑相对而言没有那么全，规格书上有反向拓扑的计算方法和一些推荐电路，当然不一定能满足现有应用，但是可以做个参考，如果还不直观，可以用 LTspice 去搭个电路跑一下，会有个相对直观的认识。

LTpowerCAD 可以选择拓扑结构，包含 BUCK、BOOST、BUCKBOOST、SEPIC、CUK、Inverting BUCKBOOST、FLYBACK、LDO 等。

Q6.4 是否有工具可以辅助电路设计，将环路补偿如何设置一个最佳值？

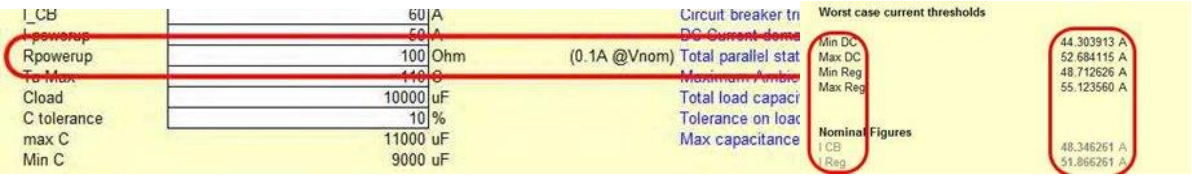
A: 下载 LTpowerCAD 工具，可以直观调整环路响应，并有相关设计指南及 PCB 设计参考，以及模拟 EMI 分析。看是不是最优，要看动态负载特性（过冲较小，同时要有一定的相位裕度）。

Q6.5 使用 LTpowerCAD 设计基于 LTC3861 的一个电路，现在有个问题想咨询一下，在进行环路补偿的设计时，环路带宽和相位裕量的选取上一般选择多大比较合适呢，有没有个一般的经验值呢？



A：选择带宽为开关频率 fsw 的 1/7-1/10，相位裕度≥55°。

Q6.6 关于 ADM1278 的 ADISimpower excel 文件参数设置的相关问题。Q1:系统规范的加电:如果这个寄存器设置 100Ω 或 1KΩ，对系统将有何影响？Q2:电流限制设置: Min/Max DC & Min/Max Reg , DC&Reg 有什么区别吗? 如果我的系统连续电源:50A，我应该使用哪一个作为标准设置? Q3: ADM1278 有启动设置。我如何测试它? 我的系统设置是 start:50A, power on continuous power:50A,IMax:60A，有参考资料吗?



A: 1. Rpower 与 Ipowerup 一起使用，它们都表示输出上的静态负载。如果输出有 20×1K 的电阻，则值为 50R。该电阻将消耗在启动和故障恢复期间转移的能量。电阻值越低，效果越好。

2.当定时器打开时，系统可以通过 ICB 关机。请将此作为您所需的电流限制。Ireg 用于对设计进行 SOA 分析。
3.istart 通常比 ISET 低得多。在启动过程中，当 PWRGD 为低时，ISTART 即为当前的电流限制。所以 ISTAR 通常设置高于浪涌电流并留有一些余量。其与 PSET 限制同时作用，所以很难测试。如果你将其设置为 50A，它将不会被使用，因为在此种情况下，PSET 总是占主导地位，所以它将被有效地禁用，将不需要测试。

Q6.7 当启动 LTpowerCadII (v2.5.5)进行同步/更新时，显示“Updating ReleaseInfo.txt…Error”, 尝试使用 LTpowerPlanner 工具时，点击 F2 打开方案时，显示“The datasheet file was not found”，是什么原因，该如何解决？

A: 显示的警告信息指向 LTpowerCAD2 安装目录之外的位置，应该是安装相关的问题。如果正确安装程序，其安装目录应该在“C:\Program Files (x86)\LTC\LTpowerCAD2“下。建议重新卸载 LTpowerCAD 程序，再次安装时，右键单击 setup.exe 文件，选择“以管理员身份运行”或“运行升级”。