

为电过应力事件 提供高效浪涌保护

作者: Steve Munns, 凌力尔特公司市场经理

过大的电压或电流被加至集成电路(IC)所产生的电过应力(EOS)是诱发IC故障的主要起因之一,而且还会导致所谓“带伤运行”产品的出现,此类产品虽能继续工作,但构成了一种可靠性危险,并有可能引起过早的系统故障。

EOS事件会引起局部发热效应并造成芯片级敷金属或结点受损,但一开始或许并不存在明显的缺陷。随着时间的推移以及温度和电压偏置的加速作用,此类损坏将改变性能特征,并有可能造成电迁移、热点和热失控,从而导致全面的IC故障。

长久以来人们就认识到了这类风险，因此负责保证设备安全性、可靠性和性能的机构及标准化组织已经制定了多种规范，以针对各种潜在的压力过大问题保护电子电路。

这类风险之一与上游电源干扰有关，本文中我们集中探讨美国国防部接口标准MIL-STD-1275，该标准与28V DC军用车辆电源有关，还有其他一些类似的国家级规范，例如英国的DEFSTAN 61-5 Part 6。飞机有自己的标准，例如，DO-160面向民用飞机，MIL-STD-704

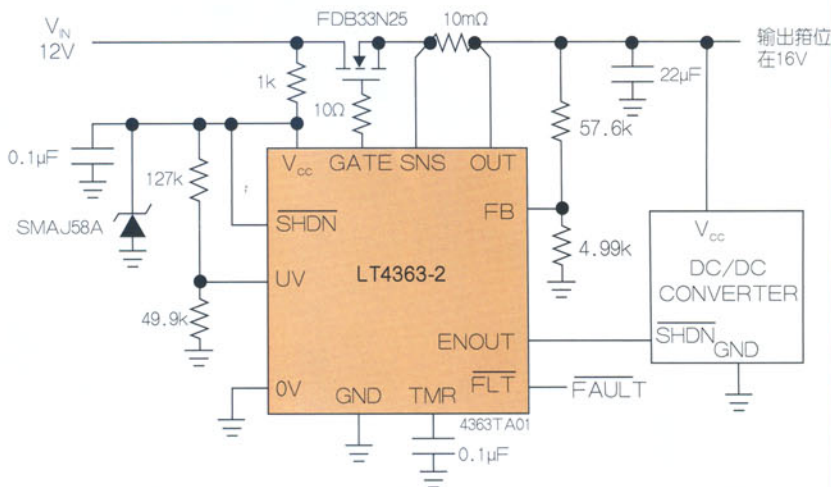


图2: 具电流限制的LT4363浪涌抑制器。

面向军用飞机。虽然特定的脉冲特性发生了变化，但它们在概念上都是非常相似的，因此适用于同样的原理。

尽管芯片内置的ESD保护功能可以在某种程度上针对电源干扰引起的EOS事件提供保护，但是这类事件也许根本就不是异常情况，而是系统典型工作范围的一部分，这也许表示，会有反反复复超出IC最大绝对额定值的事件发生。

针对电压浪涌、尖峰和纹波提供保护

电压尖峰的特点是持续数十微秒及高达几百伏的电压，由雷击或负载阶跃的感应耦合产生。目前应用的解决方案是有效的，这种解决方案通常采用瞬态电压抑制器，辅以所需的 EMI 滤波电路和电源电缆电感。

电压浪涌一般高达100V，持续数十或数百毫秒，由抛载引起。负载电路或电池断接会导致交流发电机两端的电压在短时间内快速上升，并因此导致使用同一电源的其他负载遇到同一电压浪涌。正如我们稍后会看到的那样，这可能是一个富挑战性及难以解决的问题。

叠加在输入电源的稳态电压轨上的电压纹波会造成进一步的设计挑战。适度振幅的纹波可由输入电容器滤波至保护电路,但是在较大纹波和

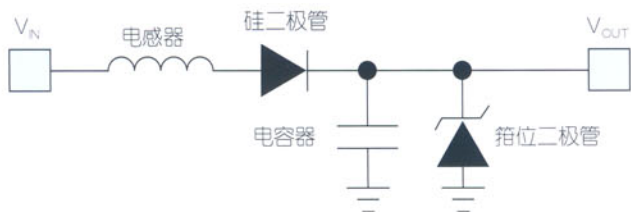


图1: 无源过压保护电路。

较大电流情况下，通过保护电路将纹波传送到下游稳压级的做法会更实用且效率更高。

过压保护电路

传统的无源过压保护电路(图1)需要相对较大和笨重的器件，这样的器件会引入插入损耗，从而可能因功率需求增加而成为一个问题。将很大的能量分流到地这种做法不能确保向下游供电，且可能由于重复操作而导致无源器件损坏。

一种较好的解决方案是采用线性浪涌抑制器IC，这可提供更佳性能、过流保护和更多功能，同时减少了所需电路板面积。一个例子是LT4363高压浪涌抑制器(图2)。这款器件之所以被称之为线性浪涌抑制器，是因为其操作与线性稳压器类似。

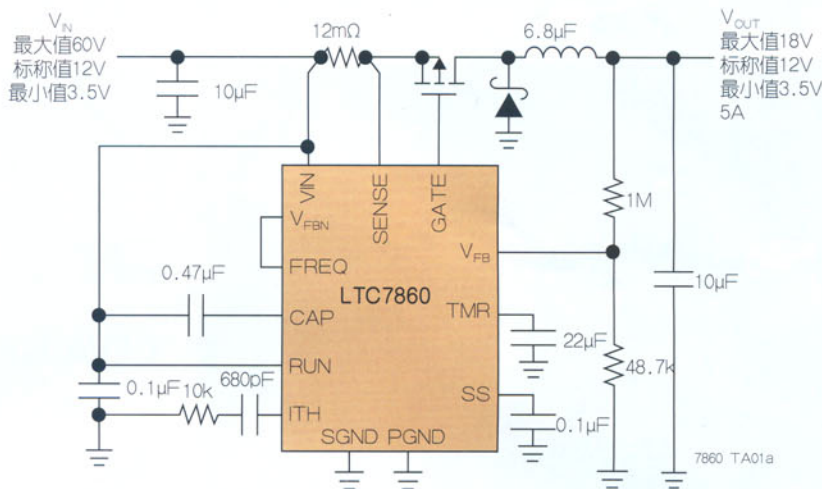
在正常操作情况下，外部N沟道MOSFET被驱动至完全导通，并充当一个具非常小电压降的导通器件。如果输出电压上升至高于FB引脚上电阻分压器设定的稳压值，MOSFET就调节OUT引脚上的电压，从而使负载电路能够在瞬态事件发生期间继续运行。

SNS和OUT引脚之间的可选电阻器用来控制过流事件，电流限制环路控制MOSFET上的栅极电压，以将电阻器两端的检测电压限制到50mV。

无论过压还是过流事件都会启动一个电流源给连至TMR引脚的电容器充电。充电电流与输入至输出电压差有关，以使定时器周期随着日益严重的故障而缩短，从而确保MOSFET保持在其安全工作区之内。

开关浪涌抑制器

线性浪涌抑制器为需要高达约4A电流的系统提供了一种非常出色的解决方案——当超出这个电流范围时，该电路有效穿越长时间浪涌的能力会受



Protective PWM: 在 V_{IN} 浪涌期间， V_{OUT} 钳位至18V

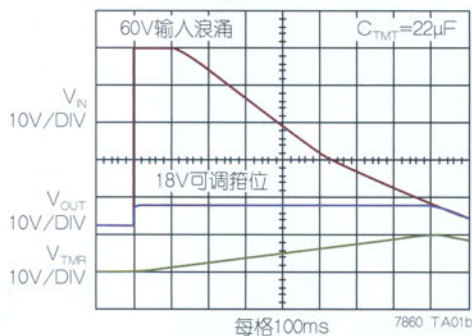


图3: LTC7860高效率开关浪涌抑制器。

到MOSFET安全工作区的限制。对于较大的电流，通过采用专用的开关稳压器技术如今可提供一种更有效的解决方案，在该技术中，限制主要变成了系统热质量和相关的最大结温考虑因素之一。

LTC7860专为用作高效率开关浪涌抑制器和/或输入浪涌电流限制器而设计(图3)。在正常操作期间，LTC7860处于压差或SWITCH-ON模式，并持续驱动外部MOSFET，从而将输入电压传递至输出。

LTC7860在启动或响应输入过压或输出短路事件时切换进入PROTECTIVE PWM(保护性PWM)模式，输出电压调节至安全值，从而使负载

能够在发生输入过压事件时继续正常工作。外部比较器限制电流检测电阻器两端的电压，调节最大输出电流，以针对过流故障提供保护。

可调定时器限制LTC7860可用于过压或过流调节的时间。当定时器到期时，外部MOSFET断开，直到LTC7860经过冷却期后重启为止。通过在功率损耗很高时严格限制处于PROTECTIVE PWM模式的时间，器件和热设计可以针对正常工作情况而优化，并在发生高压输入浪涌和/或过流故障时安全地工作。还可以增加一个PMOS以提供电池反向保护。

通过给LTC7860的电源偏置增加一个简单的并联稳压器，就可以将

MIL-STD-1275E	要求	LTC7860性能/观测数据
工作电压	$20V < V_{IN} < 33V$ (包括纹波)	$3.5V > V_{IN} > 60V$
电压纹波	MIL-STD-461-F CS101-1 50Hz至5kHz, 136dBuV, (6.31Vrms) 150kHz, 106.5dBuV, (211mVrms) 扩展至250kHz	布设计对纹波的输入滤波器是不切实际的, 在理想情况下, 把纹波传递至下游降压型稳压器, 而该稳压器的电感器起一个滤波器的作用。
起动干扰	12V、1s的初始接合浪涌 16V、30s的发动浪涌	可在低至6V(最小值)的电压下工作, 不会出现性能下降或受损。
注入的电压尖峰	250V(持续70μs)和100V(持续1ms) 最大上升时间为50ns 最大能量含量为2J	一般来说EMI滤波器和电源电缆电感可消除窄尖峰。保护电路在有源组件上将需要250V+的额定电压值。
注入的电压浪涌	100V(持续50ms)和33V(持续500ms) 上升时间1至10ms, 5个脉冲 最大能量含量为60J	正常工作并没有性能劣化或受损情况出现, 选择具有高峰值脉冲电流的MOSFET以满足大输出负载的要求。

表1: MIL-STD-1275E要求和LTC7860性能。

V_{IN} 至 S_{GND} 最大范围从60V扩大到超过200V。

效率比较

就上述LT4363这类线性浪涌抑制器和LTC7860开关浪涌抑制器而言, 一旦开始调节, 功率损耗就会显著上升。在线性浪涌抑制器中, 功率损耗是起调节作用的MOSFET的功耗。而在高效率浪涌抑制器或开关浪涌抑制器中, 内部功率损耗由转换效率决定。

线性浪涌抑制器功率损耗

$$= V_{OUT} \times I_{OUT} \times (V_{IN}/V_{OUT} - 1)$$

开关浪涌抑制器功率损耗

$$= V_{OUT} \times I_{OUT} \times (1/\text{效率})$$

瞬时功率损耗例子:

线性

$$= 30V \times 4A \times (40V/30V - 1)$$

$$= 40.0W$$

开关

$$= 30V \times 4A \times (1/92\% - 1)$$

$$= 10.4W$$

由于功率损耗降低, 因此与同级别的线性解决方案相比, 开关浪涌抑制器将允许更高的输出电流和功率级别。在开关浪涌抑制器中, 内部浪涌功率损耗会比正常功率损耗增加10倍之多。如果停留在PWM模式调节的时间受限, 则运行功率会超越稳态操作中所能实现的水平。

浪涌抑制器保护的结果是, 下游器件可具有较低的额定电压, 但在高 V_{IN} 降压型稳压器可用时, 为什么不使用其中一款而免除保护电路呢? 虽然这或许很吸引人, 但是此类降压型稳压器电路将需要针对最坏情况而确定的器件, 并将必需采取显著增多的散热措施。另外, 这也许还会把上游电源置于容易遭受输出短路故障损坏的境地。

MIL-STD-1275要求和性能

在军用车辆应用中, LTC7860保护采用28V车辆电源总线工作的设备, 并用评估电路板进行了测试。

MIL-STD-1275版本E定义了各种电源变化情况, 从稳态工作到启动干扰、尖峰、浪涌和纹波, 并针对每

一种情况规定了要求, 表1概述了这些情况。

凌力尔特之前开发的演示电路DC2150A-C也提供线性浪涌抑制器解决方案, 该解决方案满足之前的MIL-STD-1275修订版D规范的要求。

结论

专用浪涌抑制器IC为无源保护电路提供了卓越的性能, 有助于满足未来系统减小尺寸、重量和功率的要求。

线性模式浪涌抑制器提供了具备低插入损耗的出色解决方案, 适合输出电流高达4A左右的系统。开关浪涌抑制器将输出电流能力扩展到4A以上, 同时解决方案尺寸很小, 效率很高。 **EDN**

关键字:

高效率浪涌保护, IC, 电过应力(EOS), ESD, MIL-STD-1275, 凌力尔特(Linear)