

与基于电感器的开关稳压器相比，高压充电泵可简化电源转换

Steve Knoth

(凌力尔特公司 电源产品部)

1 背景信息

充电泵(或称开关电容器电压转换器)填补了线性稳压器和基于电感器的开关稳压器之间的性能空白,为不喜欢电感器的工程师提供了另一种设计选择。与 LDO 相比,充电泵需要一个额外的电容器(“浮动”电容器)才能工作,但一般来说成本仅略有增加,同时充电泵具有更高的输出噪声电平,而且输出电流能力通常较弱。不过,充电泵也有一些线性稳压器所没有的优势,例如效率更高、由于较高效率工作而产生更好的热量管理、能够升压和降压或者产生负电压。当与常规开关稳压器相比较时,充电泵的输出电流能力较弱,效率较低。但是充电泵更简单,易于设计,而且不需要电感器。最近在工艺技术领域取得的进步使得能够相对于以前各代产品扩大了充电泵的输入电压范围。表 1 比较了上述各种拓扑的关键性能参数。

充电泵 IC 用电容器作为储能元件来产生输出电压。例如,考虑图 1 所示的基本“倍压器”充电泵电路。该电路采用单个浮

动电容器(图中的 C_{FLY})和 4 个由两相时钟驱动的内部开关(内有“x”的圆圈),产生比输入电压大一倍的输出电压。在时钟的第一个相位(图中的 $\theta 1$),一对开关给浮动电容器充电,使其达到输入电压(V_{IN})。在时钟的第二个相位(图中的 $\theta 2$),第三个开关将该电容器的负端连接至 V_{IN} ,在电容器的正端有效地产生 $2 * V_{IN}$ 。第四个开关将浮动电容器的正端连接到输出电容器。在无负载情况下,电荷将在每个周期中传送到输出电容器,直至输出充电至 $2 * V_{IN}$ 为止,从而产生等于两倍输入电压。当存在输出负载时,输出电容器(图中的 C_{OUT})在第一个相位上提供负载电流,而在第二个相位上,浮动电容器提供负载电流,并给输出电容器充电。为了传送电荷,输出将稳定在一个略低于 $2 * V_{IN}$ 的电压上。

表 1 LDO、充电泵和开关稳压器的性能比较

特点	LDO 稳压器	开关电容器电压转换器	基于电感器的开关稳压器
设计复杂性	低	低到中	中到高
成本	低到中	中到高	中到高
噪声	最低	低	低到中
效率	低到中	中到高	高
热量管理	差到中	中到好	最好
输出电流	低到中	低到中	高
需要磁性元件	否	否	是
限制	不能升压	V_{IN}/V_{OUT} 之比	布局考虑

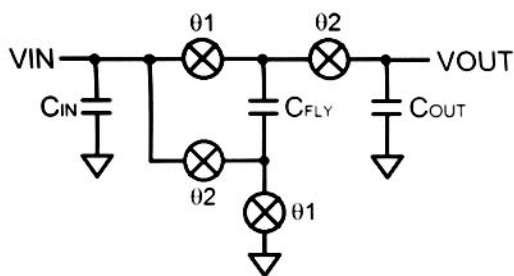


图1 基本的充电泵倍压器电路

输出电容器在两个时钟相位上的充电和放电产生了输出纹波,该纹波是输出电容器值、时钟频率和输出负载电流的函数,其他所有充电泵电路拓扑都是以这一基本电路为基础的,只是增加/改变开关和电容器以及时钟相位数量而已。视控制器和电路拓扑的不同而不同,充电泵可以产生任意大小的输出电压,例如2倍、3倍于输入电压的输出电压,等于输入电压一半的输出电压、负输出电压,与输入电压成分数比例的输出电压,如等于输入电压 $3/2$ 、 $4/3$ 、 $2/3$ 的输出电压。在接近理想充电比时,充电泵的效率可以非常高。在上述的倍压器例子中,理想情况下,输入电源电流等于输出负载电流的两倍,输入功率等于输出功率。现实情况是,由于静态工作电流和其他损耗,效率略低于理想情况。充电泵用途广泛,可用于多种应用和细分市场。充电泵由于采用了创新性设计方法而更加坚固,为应用于严酷的工业和汽车环境创造了机会。

2 汽车和工业设计面临的挑战

为汽车应用设计电子系统极富挑战性,原因有很多,包括宽工作温度范围、严格的EMI(电磁干扰)和瞬态要求以及汽车OEM(原始设备制造商)所要求的高质量。汽车仪表板内非常拥挤,塞满了电子产品。雪上加霜的是,还有从蓝牙到基于手机的网络连接等各种无线系统。因此,当务之急是,给这种散热受限的环境增加任何组件,都要注意不能产生过多的热量或太大的EMI。对于辐射型和传导型电磁干扰、抗辐射和传导性或辐射和传导敏感性

以及静电放电(ESD),都有严格的电磁兼容性(EMC)要求。能否满足这些要求影响到IC设计的多种性能。充电泵(无磁性元件,无电感器)的低EMI和低噪声输出使其成为理想选择。充电泵一般比电感性开关的EMI低,因为浮动电容器的连接线可以最大限度地缩短,以减轻容性耦合和天线效应。电感器往往比电容器大,其作用如同天线,尤其是未屏蔽时。在现实情况下,与典型数字输出相比,浮动电容器输出根本不会产生更高的EMI。实际上,它们产生的EMI反而更低,因为电路板走线被尽量缩短了。

先来看一下宽工作温度范围这个问题,电源IC在两个方面受到了挑战。首先是电源转换,即使在中高效率时,电源转换也要消耗一定量的功率,将其转化为热量。再加上很宽的环境工作温度范围这一挑战,这类IC的最高结温常常能超过 125°C 。即使车身中的电子产品不在汽车的引擎罩内,密封塑料封装的电子控制模块内部的环境温度也能达到 95°C 。由于这些温度挑战,许多额定工作温度为 85°C 甚至 125°C 的IC都不足以在高温下持续工作。因此,在许多这类应用中,要求IC能够在温度高达 $+150^{\circ}\text{C}$ 时正常工作。

然而,在汽车环境中还有进一步的挑战(例如较寒冷的工作环境),这就要求能够升压至5V或者安然度过低压冷车发动($\sim 3\text{V}$)至5V的转换,在这种情况下,输入可能低于所希望的输出。这时通常需要既能够降压又能够升压的器件。此外,连接到汽车电池输入的DC/DC转换器必须承受由交流发电机电压的偶然偏移或汽车猛然启动引起的宽电压摆幅。因此,这里需要提供输入电压瞬态保护功能的器件。工业市场与汽车市场有类似的要求,在极端温度和宽电源电压范围方面要求尤其苛刻。

总之,汽车和工业系统设计师面临的主要挑战如下:

- 平衡功耗与高温工作
- 抵抗辐射和传导噪声,具有低辐射
- 处理大的电压瞬态摆幅

7.4mA DC Supply from 4mA to 20mA Current Loop

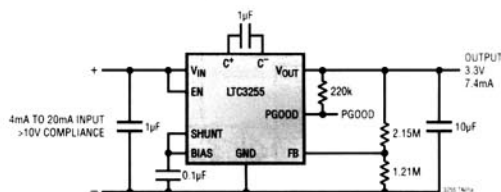


图 3 LTC3255 应用电路——4mA~20mA 电流环路

时,突发模式工作将 V_{IN} 静态电流降至仅为 $16\mu A$,2:1 的容性充电泵增强了输出电流能力,使其达到输入电流的两倍左右。LTC3255 适用于多种应用,例如工业控制、工厂自动化、传感器和监察控制以及数据采集 (SCADA) 系统、内务处理电源,以及适用于 4mA 至 20mA 工业电流环路的电流提升型稳压器。参见图 3。

LTC3255 或者作为通用降压型充电泵使用,转换率为 2:1 或 1:1,或者作为电流倍增并联稳压器使用。以通常模式工作时,根据 V_{IN} 、 V_{OUT} 和负载情况选择转换率,这时转换模式之间的切换是自动进行的。以并联模式工作时,该器件被强制进入 2:1 模式,从而能从电流源输入提供稳定的输出电压,可提供将近两倍于输入电流至负载。例如,这种功能使 4mA 电流环路能够以 3.3V 的稳定输出电压连续提供 7.4mA 负载电流。LTC3255 能够承受低至 -52V 的反向输入电源和输出短路而不被损坏。安全功能包括输出电流限制和过压保护,这进一步增强了坚固性。

LTC3255 采用扁平 (0.75mm) 3mm x 3mm 10 引线 DFN 和 10 引线 MSOP 封装,两种封装都有底面金属焊盘,以增强导热性能。E 级和 I 级版本的工作结温为 -40℃ 至 +125℃。H 级版本的工作结温为 -40℃ 至 +150℃,而高可靠性 MP 级版本规定在 -55℃ 至 +150℃ 的温度范围内工作。

表 3 总结了 LTC3255 的功能和优势。

表 4 总结了凌力尔特最新高压充电泵系列产品。

表 3 LTC3255 的功能和优势

功能	优势
宽 V_{IN} 范围: 4V 至 48V	汽车和通用应用
降压型拓扑	高效率降压型转换
总 IC 输出电流: 50mA	各种通用应用
16µA 静态电流	微功率工作; 延长电池工作时间
高效率: 81% (在 12V _{IN} 至 5V _{OUT})	可与非同步开关稳压器相比
多模式工作 (2:1, 1:1), 具自动模式切换	根据 V_{IN} 和负载工作点优化效率。在宽 V_{IN} 范围内保持稳定。
500kHz 开关频率	最大限度地降低开关噪声, 避开干扰频段。
小停机电流 = 3µA	延长电池工作时间
正瞬态 (60V) 和反向输入 (-52V) 保护	坚固性
无电感器设计	最大限度地减少占板面积 / 外部组件, 降低成本
仅需 3 个外部组件	最大限度地减少 BOM 并降低成本
10 引线 (3mm x 3mm x 0.75mm) DFN 封装和 10 引线 MSOP 封装	占板面积紧凑和扁平的解决方案

表 4 凌力尔特下一代高压充电泵系列

产品	V_{IN} 范围	V_{OUT} 范围	I_q	最大 I_{OUT}	拓扑	封装
LTC3255	4V ~ 48V	2.4V ~ 12.5V	20µA	50mA	降压	3 x 3 DFN-10, MSOP-10E
LTC3245	2.7V ~ 38V	2.5V ~ 5V, 3.3V, 5V	18µA	250mA	降压-升压	3 x 4 DFN-12, MSOP-12E
LTC3260	4.5V ~ 32V	1.2V 至 + V_{IN} , -1.2V 至 V_{IN} , - V_{IN} (未稳压)	100µA	100mA	双输出 / 负输出	3 x 4 DFN-14, MSOP-16E
LTC3261	4.5V ~ 32V	- V_{IN} (未稳压)	60µA	100mA	负输出	MSOP-12E

5 结论

充电泵现在已经走向成熟。由于有限的电压范围以及历史上其性能处在 LDO 和开关稳压器之间,所以在某些方面,充电泵几乎被遗忘了。然而,创新设计方法已经提升了充电泵的性能和功能,其中包括降压 - 升压型架构、广泛的输入瞬态保护以及能够在 4mA 至 20mA 环路应用中倍增电流。视工作条件的不同而不同,充电泵达到了接近开关稳压器的效率。因此,确实没有理由不在高压设计中使用充电泵。CIC

作者简介

Steve Knoth, 凌力尔特公司电源产品部高级产品市场工程师。