

降压与升压

如何全模拟控制的降压和升压转换器实现输出稳压

**Microchip Technology Inc.
Mihnea Rosu**

可使用同一款单片机实现纯模拟控制的同步降压型电源和升压型电源。从而实现输出稳压。两种方案拥有一个共同的优点，即不占用任何处理器资源，这样内核就可以全力满足更为复杂的固件的需求。同时，模拟回路能够更快速地响应负载阶跃和输入电压变化，这对于不少应用而言是非常有用的。

本文讨论的单片机为 Microchip 旗下的 PIC16F753。无论是降压还是升压转换器所需的外设集是相同的：互补输出发生器、比较器、运算放大器、9 位模数转换器、固定参考电压、斜率补偿模块，以及捕捉和比较 PWM 模块。上述外设应通过固件实现内部连接，以减少所需的外部引脚数。

电路图

降压转换器的输入电压范围为 8 至 16V DC，输出端为 5V DC、2A 和 10W。代码大小 105 个字，RAM 容量 0 字节，可用代码大小 1943 字，可用 RAM 容量 128 字节。2A 条件下测定的效率为 94%。

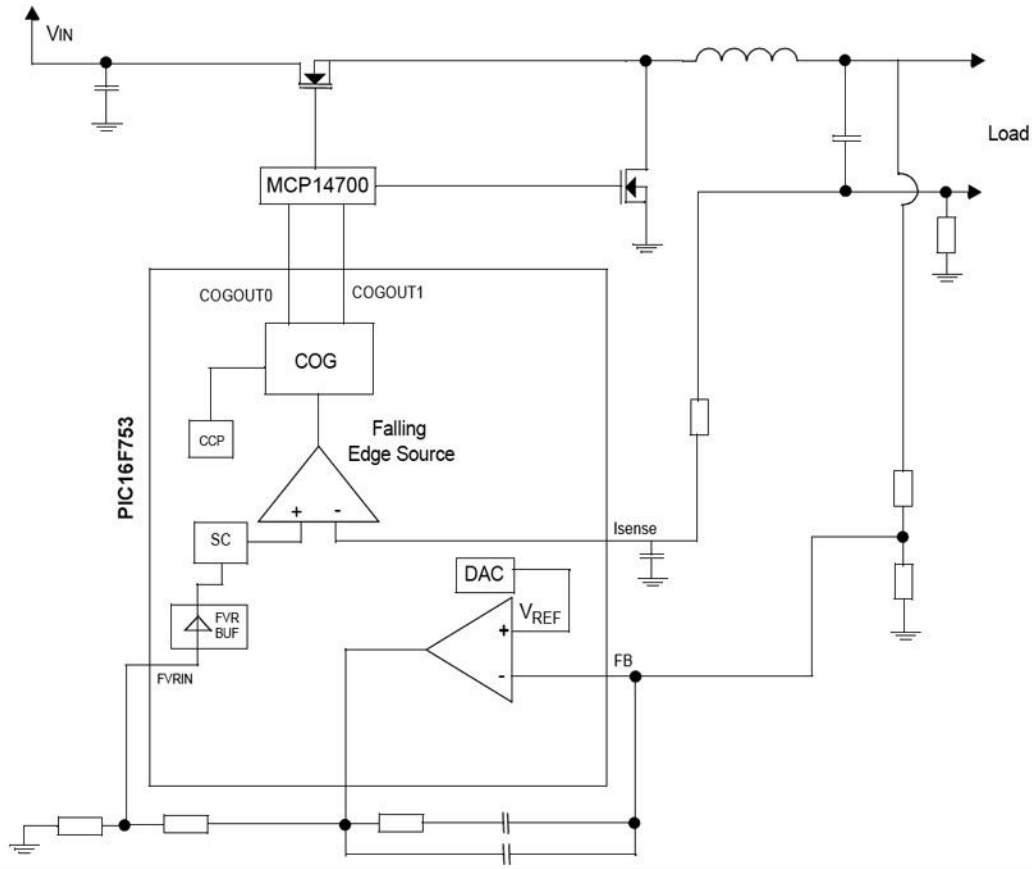


图1: 降压电源框图

图1所示的是一个同步降压电源框图。此处输出电压使用峰值电流模式控制进行稳压，并使用误差运算放大器（OPA）来与参考电压进行比较。然后将结果输入到峰值电流比较器中。内部斜率补偿模块会从误差放大器输出值中先减去一个软件可编程斜率，再输入到峰值电流比较器。CCP捕捉和比较PWM模块提供一个具有固定频率和固定占空比的控制信号，而峰值电流比较器输出会被选为互补输出生成器（COG）下降沿的另一个（分级）源。

升压转换器有着相同的工作原理，图2所示即其原理框图。不过在参数规格上略有不同。具体来说，升压转换器的输入电压范围为3至5V DC，而输出端和RAM容量与降压转换器相同。代码大小99字，可用代码大小1949字。2A条件下测定的效率为87%。

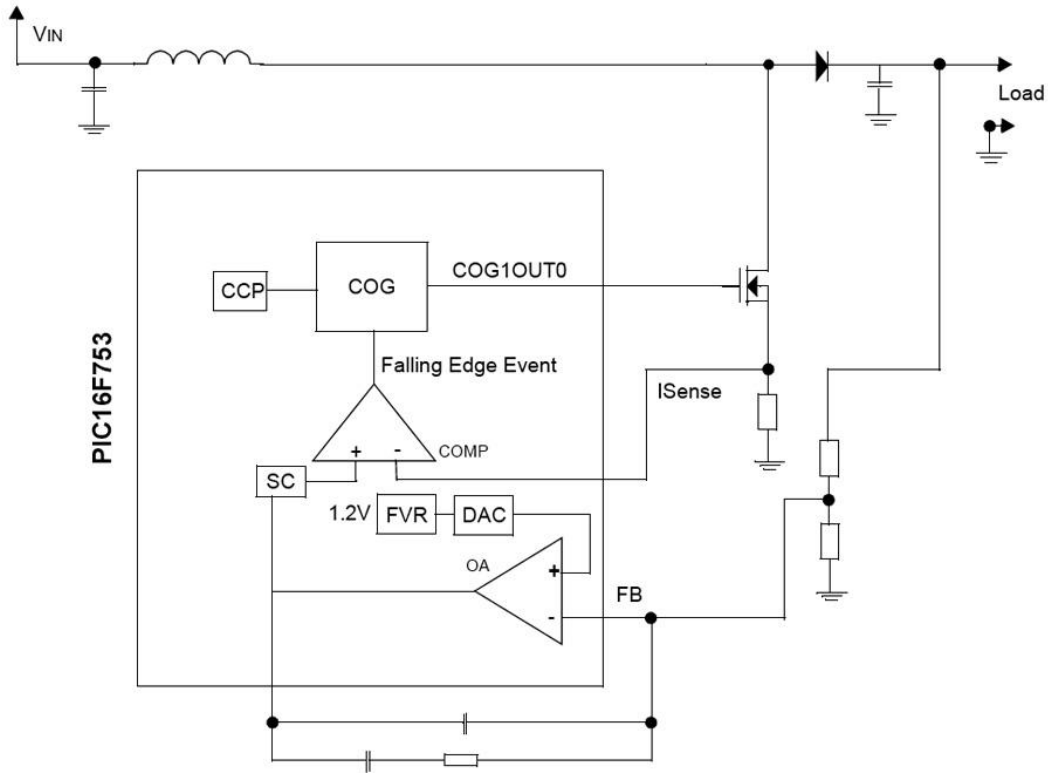


图2: 升压转换器框图

工作原理

配置完外设并将它们连接在一起后，控制环路会自动运行，无需占用处理器时间。占空比超过50%时，峰值电流控制方案需要斜率补偿以防止振荡。占空比较低时，如果电流检测电阻较小，斜率补偿还有助于稳定控制环路。PIC16F753具有一个内部斜率补偿模块，将误差放大器输出馈送至峰值电流比较器之前，可利用此模块从该输出中减去一个可编程的斜坡。

对于同步开关电源，晶体管控制信号需要一个较小的死区来避免产生直通电流。COG可根据振荡器频率或模拟延时链生成此信号。利用模拟延时链，用户可设置一个分辨率为5 ns的死区，该死区非常适合小晶体管。针对此特定应用，将死区设置为30 ns。

对于降压拓扑，电感电流等于负载电流。为了能够使用下桥臂电流检测电阻来测量峰值电感电流，需要进行一些修改。通常情况下，电流检测电阻得到的是峰值电流控制方案无法使用的滤波输出电流。通过电流检测电阻将输出电容接地后，ESR会增大，但生成的波形与电感电流波形非常相近。这种方法的缺点在于效率略低，但上桥臂电流检测电阻通常需要附加电路（电流镜或专用IC），而这会增加成本。

而在升压拓扑结构中，电感电流等于输入电流。电感峰值电流由放置在晶体管源极

和地之间的电阻直接测量。

输入和输出

控制环路中没有集成输出电流限制功能，因此应使用第二个比较器并将其选作COG的自动关断源。误差放大器输出即为电感峰值电流限值，因此通过电阻分压器使该值保持为较低值有助于避免浪涌电流问题和灾难性的短路状态。但是，这种方法的缺点在于系统增益的降低以及对瞬态的响应变慢。OPA输出引脚与斜率补偿模块输入引脚相同，因此这两个外设可以一起使用，无需任何其他外部连接。如果使用电阻分压器限制OPA输出电压，则必须将其从外部连接到FVR缓冲器输入引脚。

升压转换器的输入电压应通过小型二极管连接至单片机，并自举到输出端。这样，当输出电压上升时，它就会为单片机和MOSFET驱动器供电。这实现了效率的提升，因为更高的VGS将会改善RDS(ON)，而低于4.5V的间隔对大多数功率晶体管而言都是一个问题。同时，这使得FVR成为唯一现有的稳定参考电压，而电路也需要做出一些改变以确保回路的参考电压永远不受电源或输出电压影响。由于控制回路的参考电压来自于DAC，因而这一外设也需要一个稳定的基准。1.2V的FVR被选作DAC参考电压，可满足上述所有要求。

从电源经过电感和整流二极管再到输出端，升压拓扑结构有一个明确的DC电流通路，即使是在开关晶体管阻断的情况下。限流回路只在开关频率变为零之前能起到防止过流的作用。而这之后如果没有额外的保护开关，就可能会出现灾难性的短路事件。因此，我们可以在输出端下桥臂放置一个额外的晶体管以便在短路发生时切断负荷。

就基于比较器的短路保护应用而言，必须在整个工作电压范围内都确保有稳定的参考电压。由于输出电流分流电压通常都太小而无法直接与1.2V FVR一起使用，因此我们需要将其经由外部发送，先通过FVR缓冲器，然后通过电阻分压器，以获取比较器所需的基准电压。由于FVR缓冲器采取了这一应用方式，则运算放大器输出必须与斜率补偿模块一起直接使用，而不应使用额外的分压器。这样不仅不占用处理器时间，还应用了更多的引脚和外设。而就基于ADC的短路保护应用而言，电流监测电阻的电压和FVR值在固件中读取。需要读取FVR电压才能计算VDD值（在低于5V的条件下），在这种情况下即为ADC参考电压。虽然这不需要使用额外的比较器、I/O引脚或外部电阻，但是它却需要一些程序空间和处理器时间。

我们必须对转换器针对特定负载进行补偿，同时也必须在所有工作条件下验证其稳定性。

与使用专门的PWM控制芯片相比，性能是相似的，但是PIC单片机的使用提升了灵活性。此外，模拟控制回路可以独立运行，所以单片机内核可完全自由地运行用户的算法、测量各项电源参数或发送相关的信息。

应用

应用模拟控制回路的电源可以足够快地响应动态负载和输入电压的变化。对于诸如LED或热电电池等电流控制的负载而言，电压反馈可由平均电流反馈来替代。该电源还可用于需要对电压和电流进行控制的各种应用，例如CC和CV电池充电器等。PIC16F753 DAC具有9位分辨率，在降压转换器应用中可通过1/2输出分压器转换为20 mV的最小电压步阶，在升压转换器应用中可通过1/5输出分压器转换为50 mV的最小电压步阶。

该应用需要一个运算放大器、一个比较器和一个DAC。DAC输出端可由内部连接至运算放大器，因此这就节省了一个引脚。CCP模块会针对COG生成一个具有固定频率、固定占空比的信号。根据限制OPA输出的用户选项，电阻分压器需经由外部连接至FVR缓冲器输入端。如果不使用电阻分压器，那么就不需要使用两个引脚，一个就足够了。在这种情况下，与斜率补偿模块输入引脚为同一引脚的运算放大器输出引脚，即被配置为模拟引脚，并且不应被用于其它用途。我们可以将仅用作输入功能的数字引脚当作一个按键来使用或者用于其它类似用途。在运行期间，编程数据I/O引脚和其它两个引脚处于空闲状态，可用于用户特定的用途。

升压转换器替代设计

我们还可以使用PIC12F1501来创建数字控制升压电源。它在轻负载、硬件过压保护方面效率较高，并且只需使用少量的元件即可。所需的外设包括两个10位ADC通道、一个FVR、比较器、数控振荡器和互补波形发生器。上述外设通过固件进行内部连接，从而将所需的外部引脚数降低到了三个。该应用的框图如图3所示。

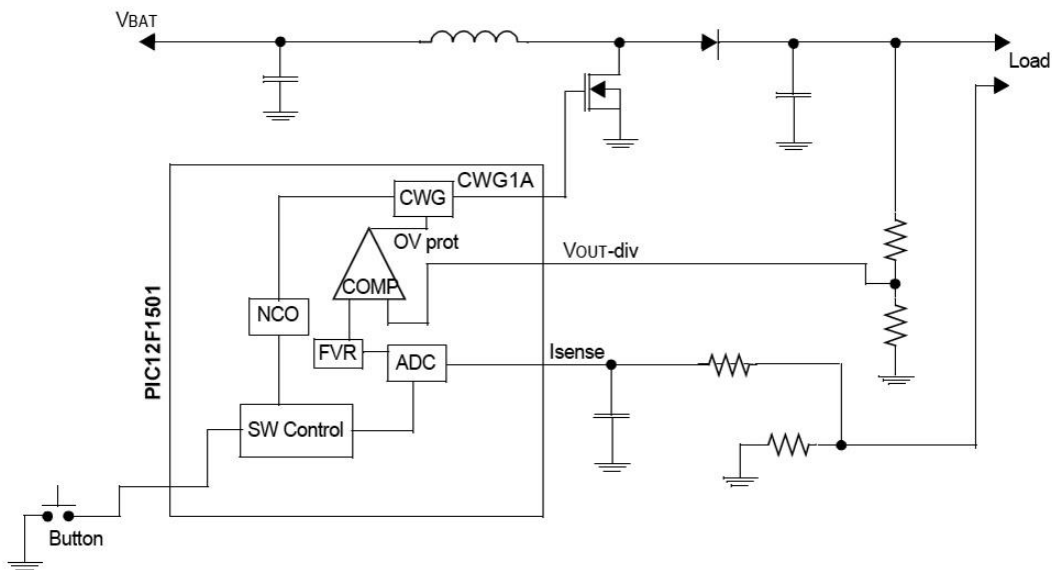


图3: 数字控制升压电源框图



我们应用比例控制回路来调节输出电压和电流。使用两个ADC通道来读取输出值，并对控制信号作相应的调整。数控振荡器使用频率可变的固定导通时间脉冲来进行占空比脉冲频率调制。

结论

本文展示了如何使用Microchip单片机在创建降压和升压转换器的同时节省一部分处理能力以便执行其它任务。文中的三个应用实例均只需要很小的一套外设即可实现各自的目标。