

## 活动电压设置可减少输出电容器

Robert Sheehan

### 导言


电源性能是满足当前微处理器对低电压、大电流要求的关键所在，尤其是瞬态相应。为了努力将负载跳变(load step)期间的电压偏差减至最小，最近有一项被冠以“活动电压设置”(Active Voltage Positioning)的技术正在引起人们浓厚的兴趣，并在便携式电脑市场上赢得用户的欢迎。这种技术的优点包括，对于一定的负载跳变，无需增加输出滤波电容，就能得到较低的峰到峰输出电压偏差。换句话说，在减少输出滤波电容的同时，也可以维持相同的峰到峰瞬态响应。

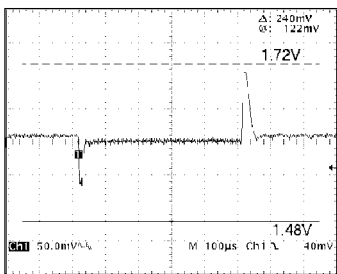
### 基本原理

“活动电压设置”(AVP)这个术语指的是将电源输出电压设置在与负载电流相关的一个点上。在最小负载的情况下，输出电压被设置得比标称值稍高。在满负载的情况下，将输出电压设置得比标称值稍低。如此一来，尽管DC负载的稳压性变差了，但负载瞬态电压偏差显著得到改善。这并不是一个新理念，许多文章在之前已有过报道，有新意的是这原理用于解决微处理器电源的瞬态响应。让我们通过一些数据来看一看它是如何工作。

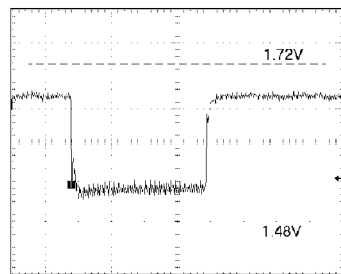
假定一个标称1.5V的输出能够为负载提供15A的电流，并具有一个 $\pm 6\%$  ( $\pm 90\text{mV}$ )瞬态窗口。第一种情况，以一个具有完美DC稳压的经典转换器作考虑。采用一个转换速率为 $100\text{A}/\mu\text{s}$ 的10A负载级，初始电压尖峰仅取决于输出电容器的等效串联电阻(ESR)和电感(ESL)。由8只 $470\mu\text{F}$ 、 $30\text{m}\Omega$ 、 $3\text{nH}$ 钽电容所组成的电容组，其ESR和ESL将分别为 $3.75\text{m}\Omega$ 和 $375\text{pH}$ ，而初始电压降将为 $(3.75\text{m}\Omega \cdot 10\text{A}) + (375\text{pH} \cdot 100\text{A}/\mu\text{s}) = 75\text{mV}$ 。这为设置点的准确性留下了一个1%的裕量。对于满负载到最小负载的瞬态变化以及最小负载到满负载的瞬态变化，将会看到电压摆幅是双向的。最后计算出峰到峰的偏差为 $2 \cdot 75\text{mV} = 150\text{mV}$  (参见图2a)。

现在来看一看采用活动电压设置的同一瞬变。在最小负载时，有目的地将输出设置高3% ( $45\text{mV}$ )。在满负载时，输出电压将设置低3%。对于最小负载到满负载的瞬变，输出电压开始高 $45\text{mV}$ ，然后下降到低于标称值 $75\text{mV}$ ，接著稳定在标称值 $45\text{mV}$ 的水平。对于满负载到最小负载的瞬变，输出电压开始低 $45\text{mV}$ ，然后上升 $75\text{mV}$ 至高于标称值 $35\text{mV}$ ，接著稳定在比标称值高 $45\text{mV}$ 的水平上。这样峰到峰的最后偏差只有 $2 \cdot 45\text{mV} = 90\text{mV}$

 LTC和LT是凌特公司的注册商标。



(1a) 没有AVP — 4只输出电容器



(1b) 具有AVP — 3只输出电容器

图1：负载从0A跳变到12A的瞬态响应

# 设计方案10

(图2b)。现在输出电容器的数量由8只减少到6只。ESR=5mΩ和ESL=500pH。瞬态电压跳变现为(5mΩ • 10A)+(500pH • 100A/μs)=100mV。对于45mV的偏移，所引起的变化是离中心轴±55mV或峰到峰110mV(参见图2c)。不仅容易满足初始规格，而且使输出电容器的数量减少25%。

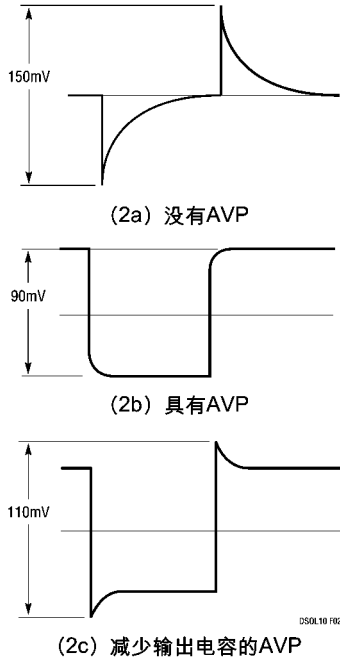


图2：瞬态响应比较图

电压调节的另一个优点是逐渐减少CPU的功耗。当电流为15A时，若将输出电压设置成1.50V，负载功率则为22.5W。若输出电压降为1.47V，负载电流则为14.7A，负载功率则为21.6W。因此，功率净节省了0.9W。

## 基本实现方法

为了实现电压设置，需要一种检测负载电流的方法。该负载电流必须转换为一个电压值，并用来将输出电压向正确的方向移动。图3是一个在正常配置的简化降压调节器。R1和R2通常用来设置输出电压，并且近

乎达到完美的DC负载稳压。让输出电压随负载电流下降的最简单方法是在输出端加一些电阻，或使用已经在那里的电阻。这一点可从图4中反映出来。采用电流检测电阻将导致V<sub>OUT</sub>下降，具体压降数值等于R<sub>S</sub>乘以负载电流。调整R1和R2可使标称输出电压位于所要求偏差值的中间位置。电流检测电阻的方法已经被许多电流模式的控制器采用。须注意连线电阻R<sub>W</sub>也将负载端引

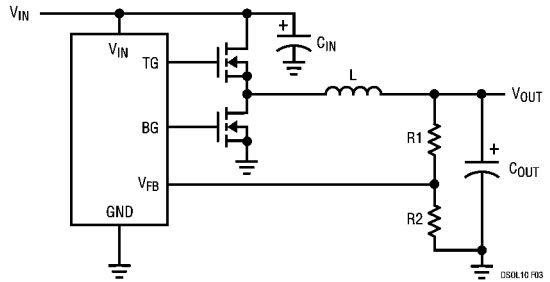


图3：简化的降压调节器

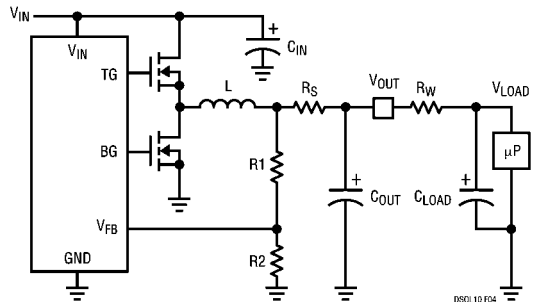


图4：具有电流感测和连线电阻的简化降压调节器

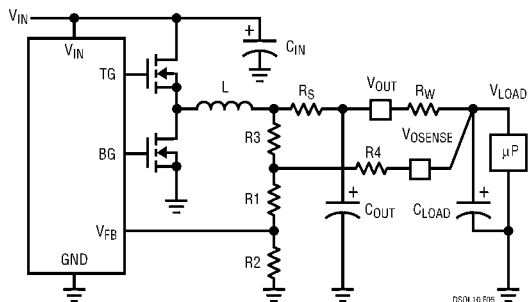


图5：具有远程感测的简化降压调节器

起另外的电压降。图5给出了一个同样的降压调节器，这里采用的是远程感测。如果负载电压下降过大，可通过调节R3和R4选择正确的电压设置。

## IC特定实现方法

### 电流模式控制举例 – LTC<sup>®</sup>1736

图6 给出了LTC1736的基本功率级和反馈补偿电路。图1a给出了在20V输入和1.6V输出条件下相应的瞬态响应。为了实现电压设置，我们要控制I<sub>TH</sub>端的误差放大器增益。内部放大器是一个跨导型的放大器，增益由g<sub>m</sub> • R<sub>O</sub>给定，这里的g<sub>m</sub>是以mmho为单位的跨导，而R<sub>O</sub>是以kohm为单位的输出阻抗。I<sub>TH</sub>引脚的电压与负载电流成正比，0.48V=最小负载，1.2V=半负载，而2V=满负载。在这应用中，R<sub>O</sub>=600kΩ，而g<sub>m</sub>=1.3mmho。通过从5V的INTV<sub>CC</sub>将分压器设置成1.2V，则能限制增益而不影响半负载时的标称DC设置点。Thevenin 等效电阻可看成与放大器R<sub>O</sub>并联。采用图7给出的数值，R<sub>O</sub>有效值为600k || 91k || 27k=20.12kΩ。放大器输入电压偏差ΔV<sub>FB</sub>=ΔV<sub>I<sub>TH</sub></sub>/(g<sub>m</sub> • R<sub>O<sub>eff</sub></sub>)。ΔV<sub>FB</sub>=(2.0V-0.48V) / (1.3mmho • 20.12kΩ)=58mV，即偏离标称半负载设置点±29mV。

须注意放大器输入偏离应不能超过其标称值±30mV，否则可能导致非线性行为。V<sub>FB</sub>端的DC参考

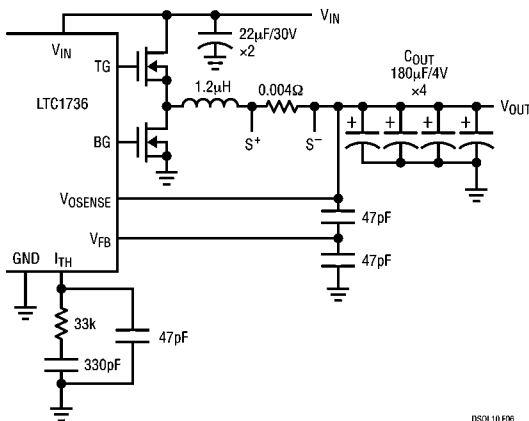


图6：没有AVP的LTC1736

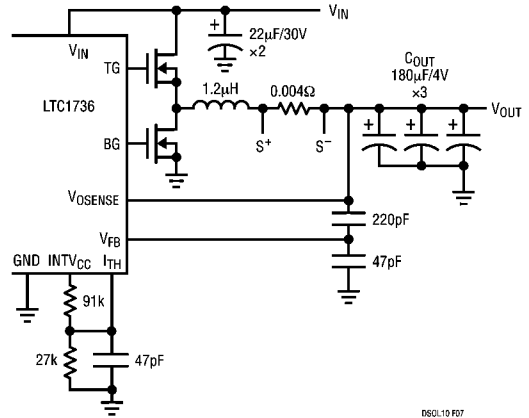


图7：具有AVP的LTC1736

电压是0.8V，而V<sub>OUT</sub>设置为1.6V，所以ΔV<sub>OUT</sub>=2 • ΔV<sub>FB</sub>=116mV。峰到峰的纹波电压也加在里边。由此产生的瞬态响应由图1b中给出。瞬态性能已经有所改善，而且使用了较少的输出电容器。

AVP偏移的优化量等于ΔI • ESR。其情况由图1b给出。在某些例子里，静态调节不允许有这样大的偏移量，其结果将会像图12那样。

### 电压模式控制举例 – LTC1703

由于在反馈回路内得不到负载电流的信息，电压模式控制就向活动电压设置提出了一些有趣的挑战。图8给出了LTC1703的基本反馈通道，图9展示了其瞬态响应。如图10所示，设置输出的最简单方法是增加R<sub>AVP</sub>。虽然它能工作得很好，但增加额外的功率消耗(I<sub>OUT</sub><sup>2</sup> • R<sub>AVP</sub>)及降低了效率。图11给出了一个更有效的解决方

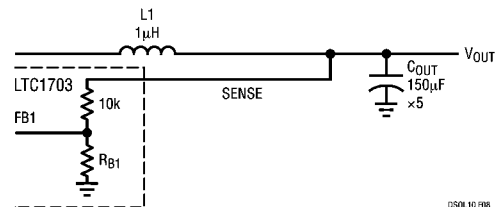


图8：没有AVP的LTC1703

# 设计方案10

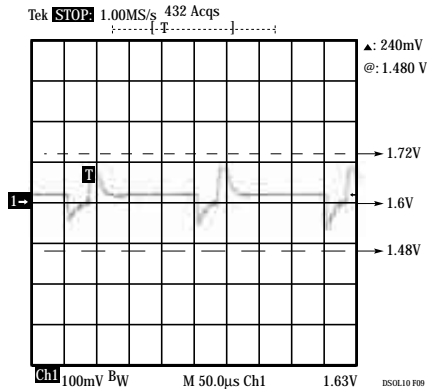


图9：没有AVP的LTC1703瞬态响应—5只输出电容及负载从0A跳变到14A

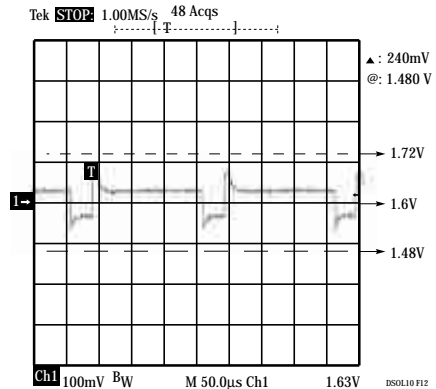


图12：具有AVP的LTC1703瞬态响应—4只输出电容及负载从0A跳变到14A

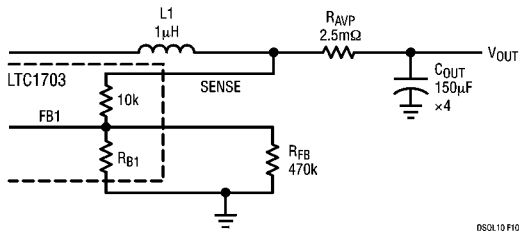


图10：LTC1703 AVP电路I

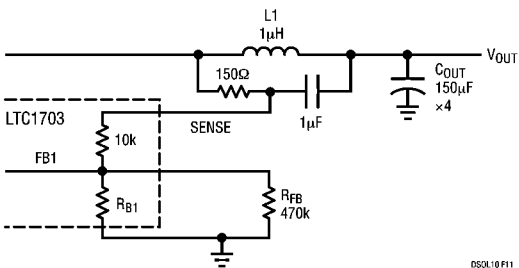


图11：LTC1703 AVP电路II

案。电感电阻被检测，并被 $150\ \Omega$ 电阻器和 $1\ \mu\text{F}$ 电容器积分。这种技术最适合输入电压较低的情况，而在输入电压较高时，电阻消耗的功率就变得很显著。RC积分器的时间常数应当相对小一些，因为它将影响系统响应负载跳变时的性能。结果显示在图12，它在提高瞬态性能和减小输出电容方面再有所改善。

## 检测MOSFET $R_{DS(ON)}$

这种技术采用MOSFET开关的导通电阻为活动电压设置提供电流信息。由于集成在IC上，故可采用电压模式或电流模式。不过， $R_{DS(ON)}$ 千差万别，在不同元件上可能相差大于 $\pm 20\%$ ，在不同温度下，可能超过 $\pm 50\%$ 。若你为最恶劣的情况而设计，在标称条件下的电压设置量几乎使这种方法无效。

## 参与作者

- 1 Craig Varga，基本实现方法，电流模式和电压模式控制， $R_{DS(ON)}$ 检测。
- 2 Wei Chen，LTC1736电路和性能。
- 3 Ajmal Godil，LTC1703电路和性能。

## 参考

- 1 Robert Sheehan, "Simple Technique Improves Transient Dynamics," EDN, June 12, 1999。
- 2 Ron Lenk, "Summing-Mode Control," PCIM, May, 1999。
- 3 Lloyd Dixon, "Switching Power Supply Control Loop Design," Unitorde SEM-800 Topic 7, October, 1991。