

开关电源环路控制：手动计算还是自动化计算

安森美半导体 Christophe Basso

环路控制是开关电源设计的重要一环。但基于各种原因，这个环节经常被忽视。设计的最后阶段，已经选好主要元器件，并开始组装原型时才想及环路控制。设计工作存在潜藏的杂散(stray)和寄生元件，在原型测试期间通常不会显现出来。而工厂打来的电话会残酷地将设计人员带回现实，这些杂散的参数再结合不同批次硅芯片的差异问题，使转换器在最终批量测试时不能过关。要避免这种潜在的紧张状况，最好是花时间具体分析环路。

稳定CCM 65W反激转换器

采用电流模式控制工作的反激转换器在笔记本适配器市场很普及，这种转换器极适合低成本的强固结构应用。图1显示的是这类转换器的典型应用。采用的控制器是安森美半导体的NCP1271，这器件使用固定频率电流模式控制工作，具多种有用特性，如基于定时器的短路保护、用于提供低电磁干扰(EMI-friendly)信号的频率调制技术，以及在软模式工作能符合新的待机能耗要求(无可听噪声)的跳

周期功能。一般情况下，这些转换器的设计采用低线路电压供电，以连续导电模式(CCM)工作，从而降低导电损耗，但它们在交流线路电压工作时，会自然地转换到不连续导电模式(DCM)工作。在我们的示例中，假定硬件设计已经完成，表示变压器初级电感 L_p 、变压器的匝数比 N 及其他剩余元件已经选好：就剩下TL431，只待补偿元件。

首先要做的事包括找出这电流模式反激转换器的控制到输出传递函数。这就是所谓的开环“控制体”(plant)传递函数。有几种不同的选择可用于实现这个目标：

1 分析被考虑的转换器的小信号模型，使用自动数学计算工具取得电源段响应的幅度和相位。CCM电流模式反激转换器幅度的公式相当复杂，如下面的等式(1)所示。公式中涉及不同的极点/零点，还有频率为开关频率 f_n 一半、受品质系数(quality coefficient, Q_p)影响的两个次谐波极点。

$$|G(f)| = 20 \log \left[\frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{p1}}\right)^2}} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{p2}}\right)^2}} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{p3}}\right)^2}} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{p4}}\right)^2}} \right] \quad (1)$$

相位也需要单独计算，确保产生完整的波特图。等式(2)中第二项中的负号显示 f_{z2} 实际是右半平面零点(RHPZ)：

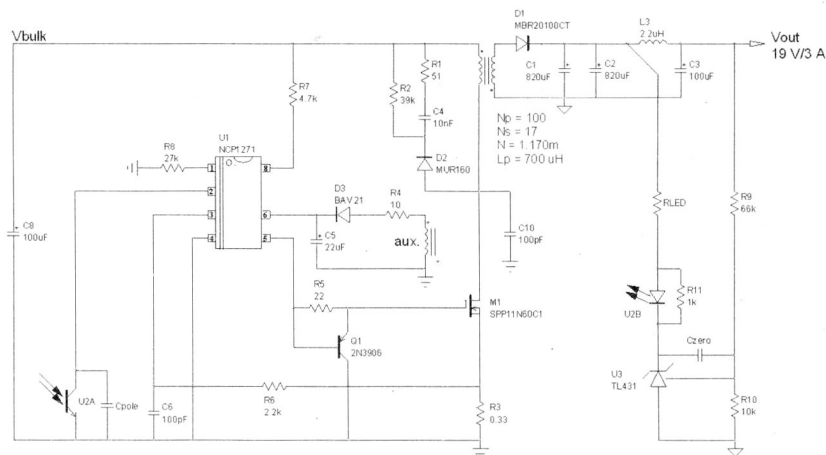


图1 采用基于集成频率抖动振荡器的NCP1271的典型反激转换器

表格计算出等效品质系数 Q_p ，并核需要对需要多少斜坡补偿来将这品质系数降低至1。理论上，它降低了仅仅依靠电感向下斜坡及考虑了100%占空比漂移的其他计算方法导致的过补偿风险。然后，用户需要输入光耦合器特性参数，其中包含电流传递比(CTR)和由上拉或下拉电阻决定的极点。在给定的示例中，CTR为30%，其中所见到的极点在4kHz。

如图4所述，2类补偿器在635Hz频率放置零点，并在1.5kHz频率放置极点(见图左侧)，提供所需的25°相

位提升。这软件应用k因数技术，此技术涉及在所选极点和零点频率的几何平均值设置交越频率。最后，如图4右侧所确认的，环路增益显示出临近1kHz的交越点，并具有充足的相位裕量。右上角的按钮让您能够改变工作点，特别是输入电压和输出电流。按下“更新(Update)”按钮，软件重新计算电源特性，保持补偿器参数的一致性，然后显示环路增益，展现您所要求的改变。最后就能够快速地检查电源在从CCM转换至DCM时是否保持稳定。输出电容等效串联电阻(ESR)

和光耦合器CTR也是能够扫描出来的其中一些参数。

最后，图5提供了TL431的示图及计算出来的相关补偿元件值。图的右侧显示了实际应用斜坡补偿的方法。由于选择了NCP1271，在感测元件与电流感测引脚间插入1颗简单电阻在瞬间就完成了这项工作。如前面所强调的，最后连接这个电阻及1颗100pF电容来接地，从而改善电流感测引脚的噪声免疫性。这两个元件都将位于紧邻控制器引脚的地方。

我们已经做过几个实验来检查这电子表格中采用的补偿策略的有效性。经验显示采用网络分析仪实际采集的最终结果非常接近于最终目标。大部分差异源自电容ESR或光耦合器特性。在运行软件前要极为注意这些特性，这样一来，环路控制对于您而言将不再是一个头疼问题！

结论

本文介绍了几种可用在您下一个电源项目中稳定环路的方案。无论您选择哪种方案，重要的是理解设计基于TL431的补偿器时涉及的参数。如果设计软件或仿真工具能够快速地为您揭示有效的电路，理解补偿器计算背后的解析步骤对您有利。这样一来，您不单能够校验所提供的结果及查找您所用方法的缺点，还能够将重点放在对您设计更重要的指定参数，改善最终结果。这就是成功的诀窍！

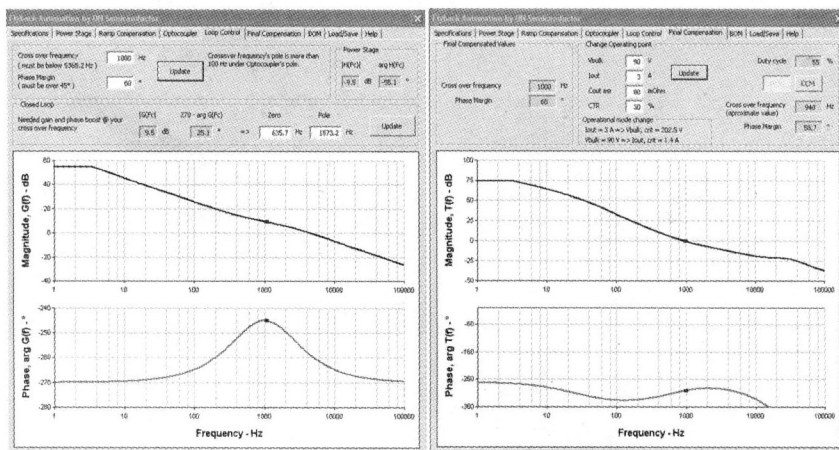


图4 反馈调整

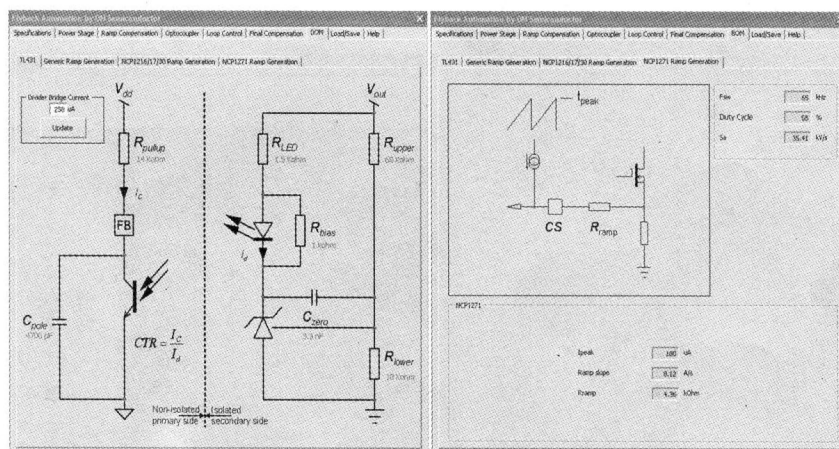


图5 TL431配置及其相关的元件(左图)