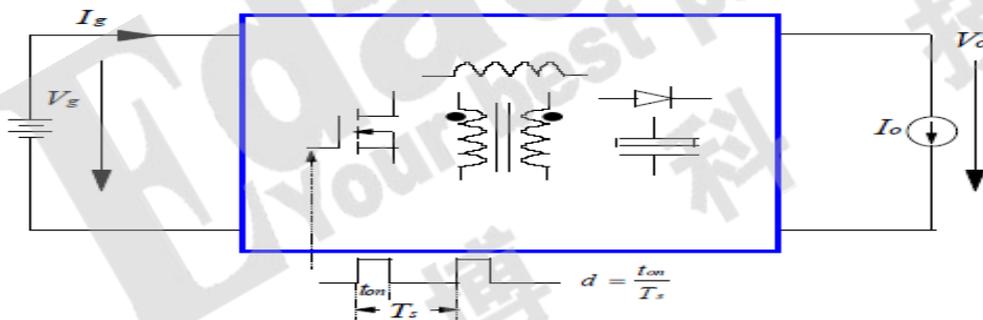


【高速先生原创|电源系列】开关电源-任性升降压

作者：黄刚 一博科技高速先生团队队员

接着最近围殴开关电源的势头，继续趁热打铁。之前涉及比较多的是关于它的布局布线部分，现在讲下它的一些原理性的东东。开关电源按不同的标准可以分成不同的类型，其中按输出电压来分，我们知道一般可以分为 buck 电路（降压），boost 电路（升压），buckboost 电路（可升可降）。任性的升压和降压，其实这就是开关电源区别于线性电源的一大优势。本文就讲下开关电源输出升降压时与输入的关系。

开关电源的核心组成无非就是下列四个元器件，包括有源开关（Mos 管），无源开关（二极管），储能电感 L，滤波电容 C。然后就是通过这几个器件的排列位置不同，达到了任性升降压的目的。而这个利用 PWM 模式工作的电压转换，基本原理就是根据开关的不同占空比而改变升降压的幅度，下面研究下这几种类型输入占空比和输出电压的关系。



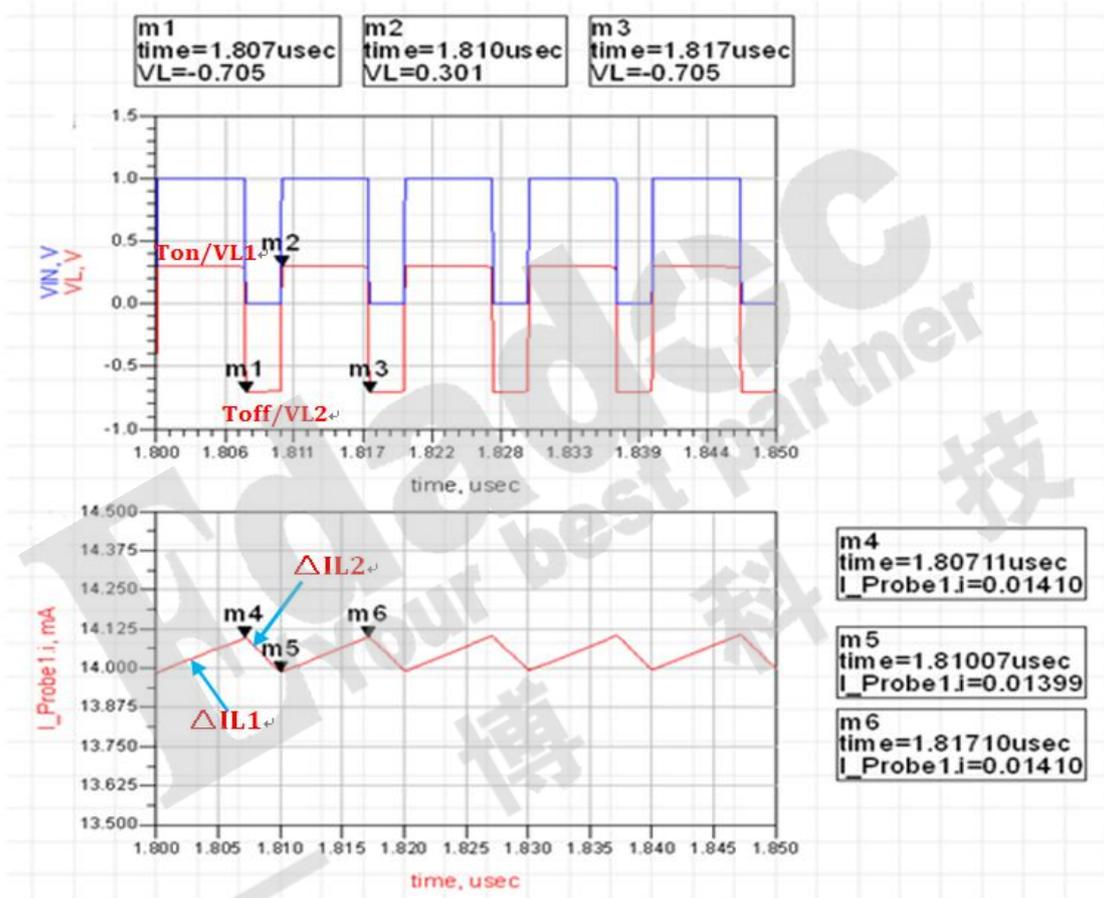
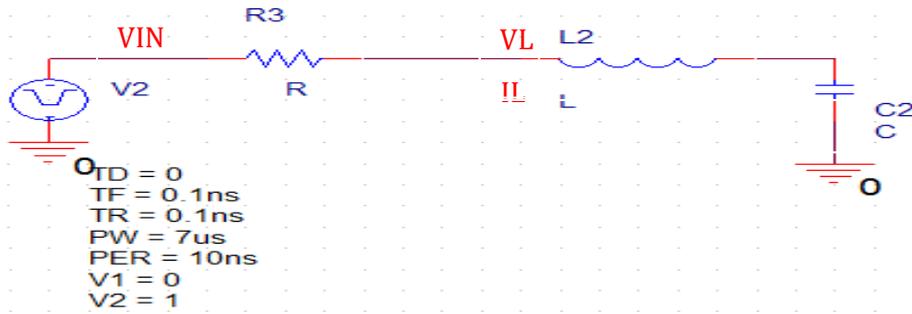
对很多新接触开关电源原理的人来说，要清晰描述出经过每个元器件在不同时刻的 I-t 和 V-t 的变化情况是有难度的，而如何通过输入电压和占空比得到输出电压的精确幅度则是我们设计电源的最终目的。其实在电路分析上，各种形式的电路都有一些分析的基本原则或者是定律，像欧姆定律，基尔霍夫定律等等。而在开关电源分析中，用到的定律是伏秒平衡定律。下面描述下这个定律：

我们建立下面这个简单的电路模型来说明，开关的占空比是 70%，通过调节 RLC 的值，得到稳定后的波形如下：

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





根据 $V = L \frac{di}{dt}$ ，得到：

在导通期间内有 $V_{L1} = L \frac{\Delta I_{L1}}{T_{on}}$ ，推出 $\Delta I_{L1} = V_{L1} \frac{T_{on}}{L}$

在截止期间有 $V_{L2} = L \frac{\Delta I_{L2}}{T_{off}}$ ，推出 $\Delta I_{L2} = V_{L2} \frac{T_{off}}{L}$

根据在稳态时必定有 $\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2}$ （大小相等，方向相反），不然的话电感的电流会朝着一个趋势扩大，则无法达到稳态。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



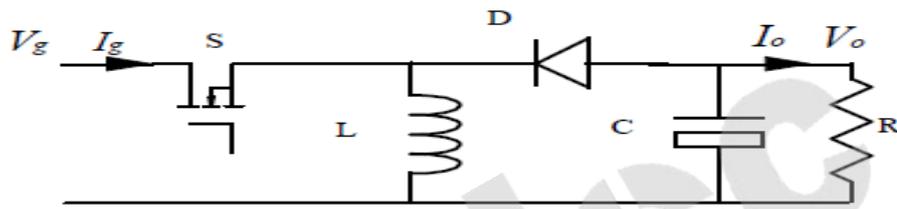
因此得到 $V_{L1} * \frac{T_{on}}{L} = V_{L2} * \frac{T_{off}}{L}$ ，最后推出 $V_{L1} * T_{on} = V_{L2} * T_{off}$

在上面的电路中，有 $0.705V * 3ns \approx 0.301V * 7ns$ （有小数点后面位数的误差）。

这就是所谓的开关电源的伏秒平衡定律，描述的是在稳态时电感两段导通和截止时电压和导通时间的关系。

有了这个定律，就可以绕开繁琐的定性定量分析，直接得到各种类型的开关电路的输出电压了。

下面以相对较复杂的 buckboost 电路进行分析验证，该电路一般形式如下：



在 MOS 管 S 导通时，由于 V_g 会通过电感流向地进行储能（二极管方向使电压截止），于是得到导通的伏秒为： $V_g * T_{on}$ 。

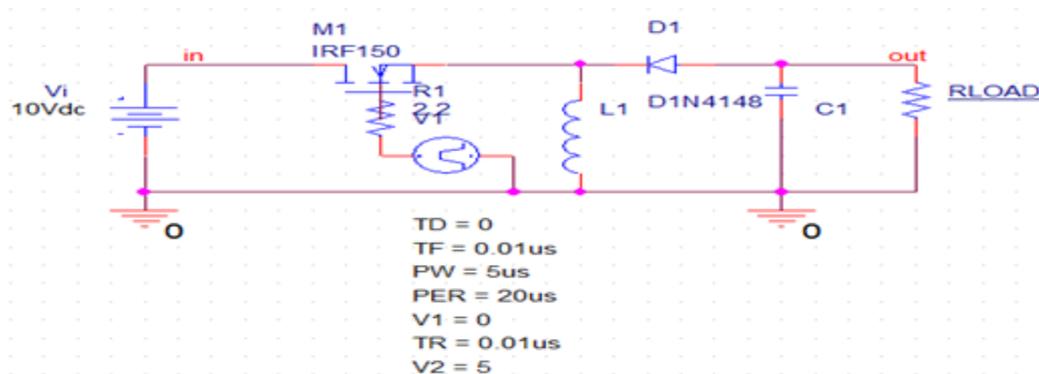
在 MOS 管 S 截止时，由于 L 会对电容和 R 释放能量（电感的电动势方向下正上负），由于二极管的方向，电感两端的电压为： $-V_o * T_{off}$ 。（-号表示方向相反）

根据伏秒平衡定律，因此有 $V_g * T_{on} = -V_o * T_{off}$ ，由占空比 $D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$ 。

最后得到 buckboost 电路的输出电压 $V_o = -\frac{D}{1-D} * V_g$ 。

通过公式可以看到，在占空比小于 50% 时为降压电路，等于 50% 时，输入输出幅值相等，大于 50% 时为升压电路。另外需要注意的是，在哪种占空比情况下，输出电压和输入电压的方向是相反的。

我们可以搭一个大致电路仿真下，占空比为 25%。



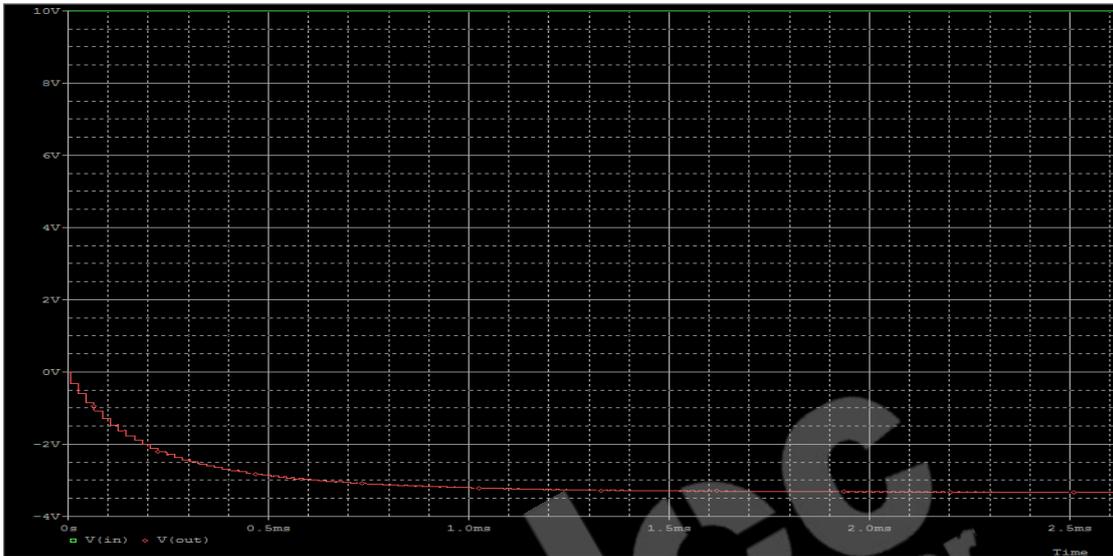
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



根据公式计算，输出电压应该为 $-0.25 / (1 - 0.25) * 10V = -3.33V$

仿真结果如下：符合要求

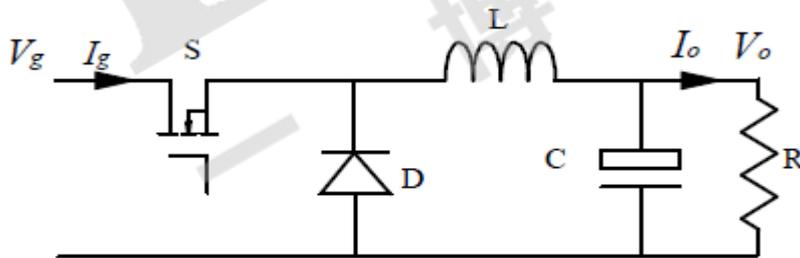


CURSOR 1,2	V(in)	10.000
	V(out)	-3.3330

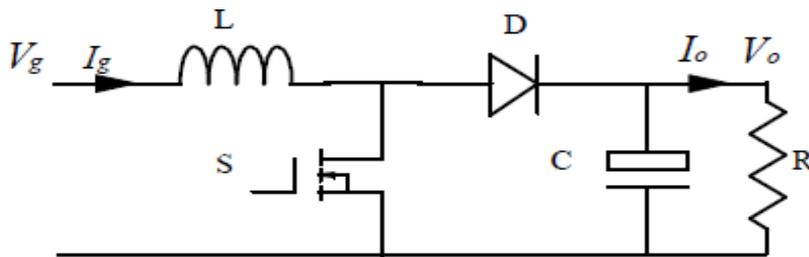
好了，相对最难的 buckboost 电路的输出电压就分析到这里，那么问题就是，请推导出 buck 电路和 boost 电路稳态时输出电压的公式吧（最好能简单描述下过程）。

降低下难度，给出 buck 电路和 boost 电路的结构分别如下：

Buck



Boost



如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



【关于一博】

一博科技专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、焊接加工、元器件供应等服务。作为全球最大的高速 PCB 设计公司，我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 500 余人。超大规模的高速 PCB 设计团队，引领技术前沿，贴近客户需求。

一博旗下 PCB 板厂成立于 2009 年，位于广东四会（广州北 50KM），采用来自日本、德国的一流加工设备，TPS 精益生产管理以及品质管控体系的引入，致力为广大客户提供高品质、高多层的制板服务。

一博旗下 PCBA 总厂位于深圳，并在上海设立分厂，现有 12 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉等高端设备，并配有波峰焊、AOI、XRAY、BGA 返修台等配套设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。

【关于高速先生】

高速先生由深圳市一博科技有限公司 R&D 技术研究部创办，用浅显易懂的方式讲述高速设计，成立至今保持每周发布两篇原创技术文章，已和大家分享了百余篇呕心沥血之作，深受业内专业人士欢迎，是中国高速电路第一自媒体品牌。



扫一扫，即可关注

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

