

电流型变换器的斜率补偿

通过内部或电流控制回路，电流型控制器调整电感峰值电流。一个连续型的变换器 (BUCK)，输出电流等于平均电感电流。在调整中，输出电压和电感是恒定值，所以， V_{OUT}/L_{SEC} 和 dL/dT ，次级纹波电流，也是恒定值。根据 PWM 特性，在输出电压的恒定时， dT 随输入电压的变化。根据恒定值 $V_{OUT}L_{SEC}$ ，这个 AC 纹波电流 dI 也随 dT 变化而改变。

平均电流

当输入电压最大时，在初级和次级的 AC 电流也将达到最大值。见图 1，占空比 D_1 对应平均电流 I_1 ，和纹波电流 $d_{(I1)}$ 。当输入电压减小到最小，纹波电流也达到最小值。同理，占空比 D_2 ，对应平均电流 I_2 ，和纹波电流 $d_{(I2)}$ 。当输入电压最小时，纹波电流也达到最小。调整初级峰值电流将产生不同的平均输出电流 I_1 和 I_2 。平均电流跟随占空比增加，当峰值电流和固定电压误差进行比较。

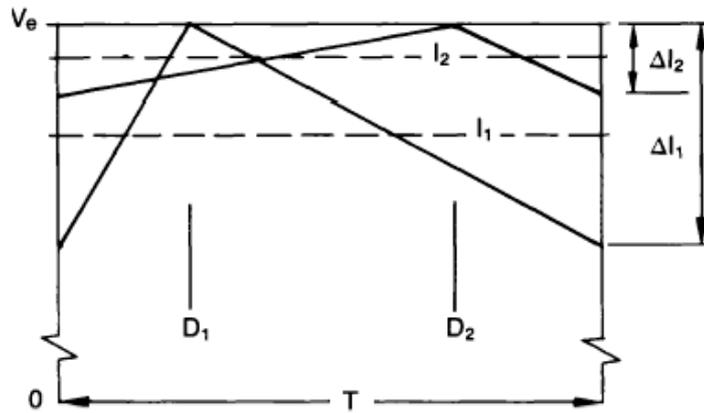


图 1 平均电流误差

恒定输出电流

为了获得一个恒定的平均电流，不受占空比的变化而改变，因此要求斜率补偿。精确的减低电压误差将会更快的加快脉冲宽度。不考虑 T_{ON} 和 V_{IN} ，这个缩小了占空比，产生了一个恒定的输出电流。这个斜率简单的补偿了从峰值电流到平均电流。现在，输出电流 I_1 (对应 D_1) 和 I_2 (对应 D_2) 是相同的了。

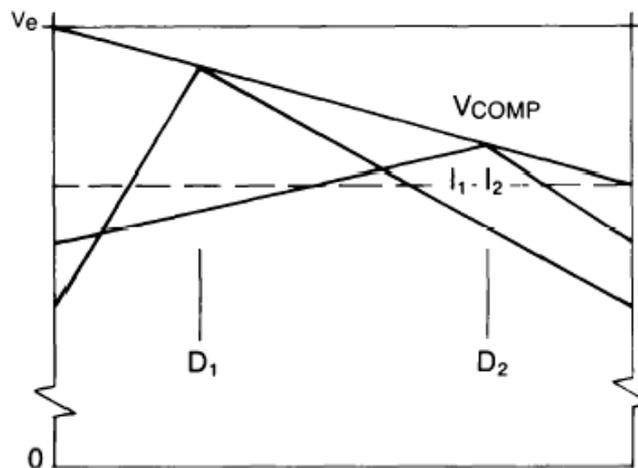


图 2 恒定的平均电流

确定斜率补偿

从数学公式上看，补偿斜率必须等于输出电感下降斜率的50%。关于这个论点可以看文章“Modelling, Analysis and Compensating of the Current Mode Controller,” (Unitrode publication U-97 and its references)。当占空比大于50%时，开环工作电流就存在不稳定的问题。如果在开环上加一个斜率补偿信号，则变换器可以在任何占空比情况下正常工作。从经验上说，75%的斜率补偿是比较常用的。

电路的实施方案

在一个电流型PWM控制IC中，误差电压是通过误差放大器的输出和初级检测电流叠加得到的。从这一点来说，这个斜坡电压既可以从误差电压中减去补偿斜率，也可以加到初级检测电流上，两个方法得到相同的影响：降低脉宽宽度。增加补偿斜率到初级检测电流是非常的方便的，就是把振荡器定时脚（RC）的电流检测信号和斜率补偿信号直接相加。

电路中斜率补偿的参数计算

- 控制： T_{on} （最大）振荡器
 ΔV_{osc} 是锯齿波形的峰-峰幅度
 I 电流检测阈值（最大）
- 输出： V_{sec} 次级最小电压
 L 输出
 I_{AC} 次级纹波电流
- 其他： R_{sec} 电流检测电阻
 M 斜率补偿量
 N 转换比 (N_p/N_s)

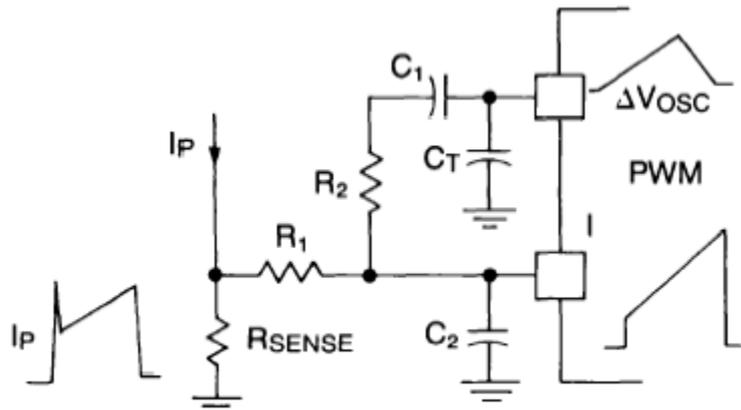


图3 一般斜率补偿电路

由图3中振荡器输出至电流输入限电阻 R_1 和 R_2 构成电压分压器，叠加在初级电流波形上。电容 C_1 是交流耦合电容，允许振荡器不用附加偏置电路，交流电压摆动，电容 C_2 与 R_1 组成滤波器，抑制初级电流波形的前沿闪烁。 R_2 对 R_1 的比率决定增加斜率补偿精确的大小。

为了确定电阻 R_2 和 R_1 ，电路中定时电容 C_T 、耦合电容 C_1 、滤波电容 C_2 从电路图中除去。振荡器电压 V_{osc} 是锯齿波形的峰-峰幅度。这个简化的模型为图4。

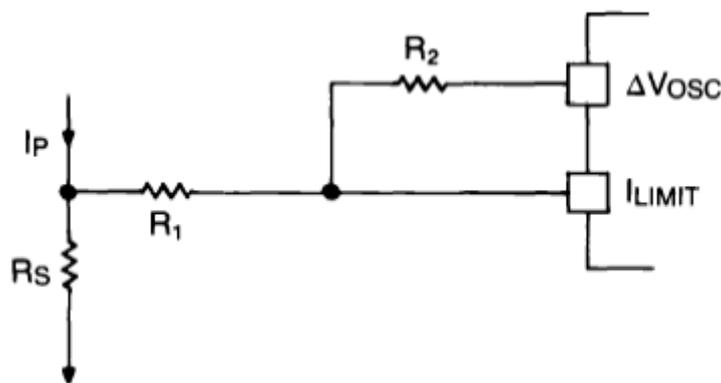


图 4 简化电路图

这些计算适用于电流型变换器用一个类似斜率补偿电路图。

第一步：计算电感下降斜率

$$S_{(L)} = di/dt = V_{SEC} / L_{SEC}$$

第二步：计算对初级的反射下降斜率

$$S_{(L)'} = S_{(L)} / N$$

第三步：计算测试下降斜率斜坡电压

$$V S_{(L)'} = S_{(L)'} * R_{sense}$$

第四步：计算振荡器充电斜率

$$V S_{(OSC)} = d(v_{osc}) / T_{on}$$

第五步：产生斜坡电压等式

利用叠加原理，电路简化为图 5。

$$V_{(RAMP)} = \frac{V S_{(L)'} \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V S_{(OSC)} \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

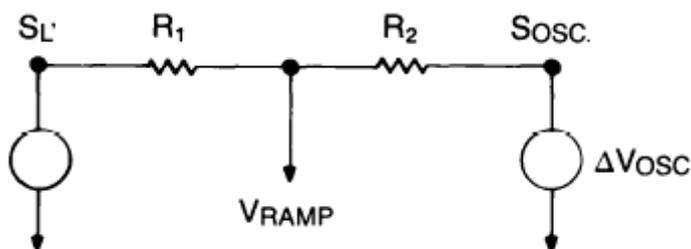


图 5 叠加原理简化电路

简化为 $V_{(RAMP)} = V S_{(L)'} + V S_{(COMP)}$

其中，

$$V S_{(COMP)} = \frac{V S_{(OSC)} \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

和

$$V S_{(L)''} = \frac{V S_{(L)'} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

第六步：计算斜率补偿

$$V_{S(\text{COMP})} = M \cdot V_{S(L)}$$

其中M是电感下降斜率引入量。

$$\frac{V_{S(\text{OSC})} \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{M \cdot V_{S(L)} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

求出 R_2

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{V_{S(\text{OSC})}}{V_{S(L)} \cdot M}$$

斜率补偿计算设计举例

电路拓扑：半桥变换器

输入电压：85~132V AC

输出：5V DC/45A DC

频率：200KHZ，T（周期）=5.0us

T（空载时间）：500ns， T_{on} （最大）=4.5us（ T_{on} 导通时间）

转载比率：15/1（ N_p/N_s ）

V（初级电压）：90V DC 最小，186 最大

V_{SEC} 最小：6V DC

R_{SENSE} ：0.25Ω

I_{SEC} （AC）：3A（<10% I_{DC} ）

L（输出）：5.1uH

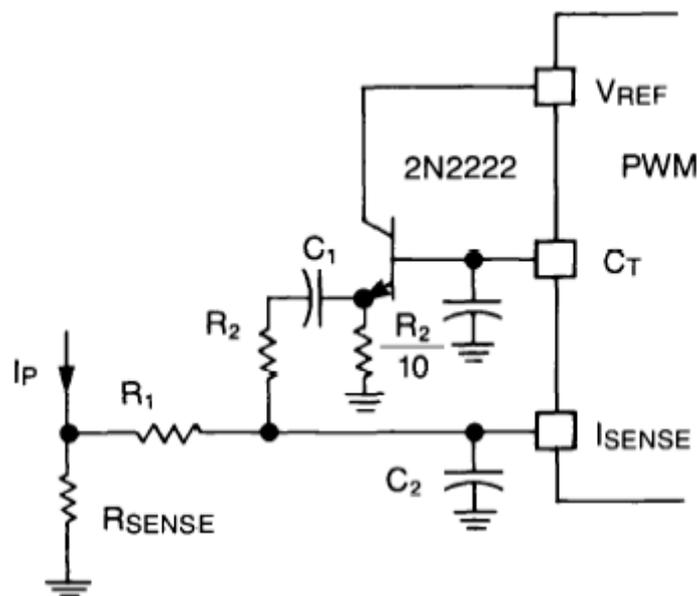


图 6 射极跟随器

1、 计算电感在次级边下降斜率:

$$S(L) = di/dt = V_{SEC}/L_{SEC} = 6 \text{ v}/5.16 \mu\text{h} = 1.16 \text{ A}/\mu\text{s}$$

2、 计算电感对初级变换斜率:

$$S(L)' = S(L) \cdot N_s/N_p = 1.16 \cdot 1/15 = 0.0775 \text{ A}/\mu\text{s}$$

3、 计算在检测电阻上变换斜率电压:

$$V S(L)' = S(L)' \cdot R_{sense} = 7.72 \cdot 10^{-2} \cdot 0.250 = 1.94 \cdot 10^{-2} \text{ V}/\mu\text{s}$$

4、 计算在定时电容上振荡器斜率:

$$S(\text{osc}) = d V_{osc}/T_{on \text{ max}} = 1.8/4.5 = 0.400 \text{ V}/\mu\text{s}$$

5、 设置斜率补偿量 (M) =0.75和 $R_1 = 1\text{K}$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{V S(\text{osc})}{V S(L)' \cdot M} ; R_2 = \frac{1\text{K} \cdot 0.400}{0.0192 \cdot 0.75} \\ = 27.4 \text{ K ohms}$$

注: 本文是U-111中斜率补偿的翻译 (PRACTICAL CONSIDERATIONS IN CURRENT MODE POWER SUPPLIES)。译文的后半部非本人翻译 (译者不详)。由于本人是电源新手, 因此许多地方翻译生硬。不足之处, 希望各位同行能及时指出, 以便本人及时改正。