

电源反馈设计速成篇之一: 建模篇 (Voltage mode, CCM)

以 buck 为例. Buck 最简单, 容易理解. 电压模式, 电流连续为最基础的工作方式, 也是其他方式的基础.

图 1 为 Buck 电路, 开关的占空比为 D . R_C 为电容 C 的 ESR. 电感 L 的 ESR 为 R_L . R 为负载电阻. 虚线中的部分为开关工作方式, 如果将其等效平均电路模型替换, 既可得到整个电路的平均电路模型. 其中 a 为 active 有源端接开关, p 为无源端接二极管, c 为公共端接电感. 图 2 为虚线中的部分等效平均电路模型, V_{ap} 为 ap 电压, I_c 为 c 端电流. D 为 DC 占空比, d 为 AC 扰动占空比. 图 3 为 Buck 的等效平均电路模型.

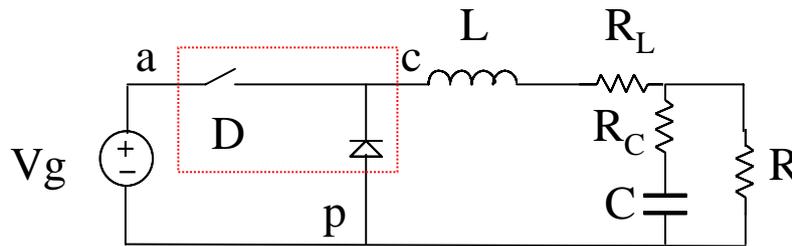


图 1.

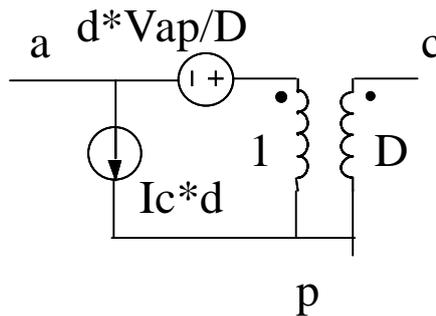


图 2.

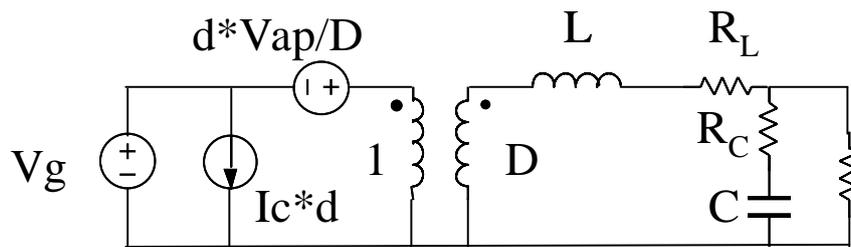


图 3.

开环控制到输出传递函数 G_{vd} :

$$G_{vd} = V_g \cdot \frac{R}{R + R_L} \cdot \frac{1 + s/\omega_z}{1 + s/\omega_0 Q + s^2/\omega_0^2},$$

$$\omega_z = \frac{1}{R_C C}, \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_L}{R}}{1 + \frac{R_C}{R}}}, Q = \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{1}{\frac{L}{R + R_L} + C \cdot (R_C + \frac{R \cdot R_L}{R + R_L})}$$

有 LC 双极点和一个电容 ESR 零点。

锯齿波电压峰峰值为 V_m , 则调制部分为:

$$F_m = \frac{1}{V_m}$$

补偿器设计为 A_s , 则开环回路增益为:

$$T = -A_s F_m G_{vd}$$

反馈设计的目的是设计 A_s 得到希望的 T , 因为 F_m 和 G_{vd} 是决定于其他因素的(效率, 频率等等).

例子: 30V/15V buck 参数如下

$$V_{in} := 30 \quad D := 0.5 \quad L := 50 \cdot 10^{-6} \quad R := 5 \quad C := 100 \cdot 10^{-6} \quad f_s := 100 \cdot 10^3 \quad R_C := 50 \cdot 10^{-3}$$

$$V_m := 3 \quad V_o := 15 \quad f_s := 10^5 \quad T_s := \frac{1}{f_s} \quad T_s = 1 \times 10^{-5} \quad R_L := 50 \cdot 10^{-3}$$

开环控制到输出传递函数 G_{vd} : 双极点使相位接近 180 度而电容 ESR 零点拉回 90 度。幅值斜率双极点后为 -40db/dec, ESR 零点后为 -20db/dec.

