

# 开关电源用电感器的选择分析

## Elected Analysis of The Inductor for SMPS

薛蕙 供稿

摘 要 : 文章阐述如何正确地为开关电源选择合适的电感器, 根据不同的开关电源类型提出了一些选择原则。

关键词 : 开关电源 (SMPS), 电感器, 选择

中图分类号 : TM55 文献标识码 : B 文章编号 : 1606-7517(2016)07-2-143

电感器是开关电源中常用的元件, 由于它们的电流、电压的相位不同, 所以其理论上的损耗为零, 电感器常用作储能元件, 也常与电容器一起用于输入滤波和输出滤波电路, 用作平滑电流。电感器也被称为扼流圈, 其特点是流经它的电流有很大的“惯性”。换言之, 由于其磁通的连续特性, 电感器中的电流必定是连续的, 否则会产生很大的电压尖峰。

电感器是磁性元件, 必然存在磁饱和的问题。有的应用中允许电感值饱和, 有的应用中允许电感值在一定的电流值开始进入饱和, 也有应用中不允许电感器出现饱和的, 这些不同要求都在具体的电路设计中进行区分。在大多数电路设计中, 电感器工作在“线性区”, 此时的电感值为一常数, 不随着端电压和电流而变化。但是, 在开关电源设计时, 则存在一个不可忽视的问题, 即电感器绕组会产生两个分布参数 (寄生参数), 一个是不可避免的绕组电阻, 另一个是与绕组绕制工艺、材料有关的分布式杂散电容。杂散电容在低频工作时没有大的影响, 但随着工作频率的提高而显现出来, 当频率高到某个值以上, 电感特性就可能变成电容特性了。如果将杂散电容“集中”为一个电容器, 则从电感的等效电路可以看出在某一频率后所呈现出的电容特性。

当分析电感器在电路中的工作状况或者绘制电压电流波形图时, 可以考虑以下几个特点:

当电感  $L$  中有电流  $I$  流过时, 电感储存的能量为:

$$E=0.5LI^2 \quad (1)$$

在一个开关周期中, 电感电流的变化 (纹波电流峰

峰值) 与电感两端电压的关系为:

$$V(L \cdot di)/dt \quad (2)$$

由此式 (2) 可以看出, 纹波电流的大小跟电感值有关。

犹如电容器有充电电流和放电电流一样, 电感器也有充、放电电压过程。电容上的电压与电流的积分 (安·秒) 成正比, 电感上的电流与电压的积分 (伏·秒) 成正比。只要电感电压变化, 电流变化率  $di/dt$  也将变化。正向电压使电流线性上升, 反向电压使电流线性下降。

为选用合适的电感器和输出电容器以获得最小的输出电压纹波, 计算出正确的电感值非常重要。流过开关电源电感器的电流由交流和直流两个分量组成, 因为交流分量具有较高的频率, 所以它会通过输出电容器流入地, 产生相应的输出纹波电压  $dv=di \times R_{ESR}$ 。这个纹波电压应尽可能低, 以免影响电源系统的正常操作, 一般要求峰峰值为 10mV~500mV。

纹波电流的大小同样会影响电感器和输出电容器的尺寸。纹波电流一般设定在最大输出电流的 10%~30%, 因此对降压型电源来说, 流过电感器的电流峰值比电源输出电流大 5%~15%。

### · 降压型开关电源的电感器选择

为降压型开关电源选择电感器时, 需要确定最大输入电压、输出电压、电源开关频率、最大纹波电流、占空比等参数。现首先说明降压型开关电源的电感值计算: 假设开关频率为 300kHz、输入电压范围为  $12V \pm 10\%$ 、输出电流为 1A、最大纹波电流为 300mA, 最大输入电压值为 13.2V, 对应的占空比为:

$$D=V_o/V_i=5/13.2=0.379 \quad (3)$$

式中,  $V_o$  为输出电压,  $V_i$  为最大输入电压。当开关管导通时, 电感器上的电压为 :

$$V=V_i-V_o=8.2V \quad (4)$$

当开关管关断时, 电感器上的电压为 :

$$V=-V_o-V_o=-5.3V \quad (5)$$

$$dt=D/F \quad (6)$$

将式 (3)、式 (6) 代入式 (2), 得出

$$L=\frac{8.2 \times 0.379}{300 \times 10^3 \times 0.3}=34.5 \mu H$$

: 升压型开关电源的电感器选择

对升压型开关电源的电感值计算, 除了占空比及电感电压的关系式有所改变外, 其它过程与降压型开关电源电感器的计算方法相同。例如, 假设开关频率为 300kHz、输入电压范围为  $5V \pm 10\%$ 、输出电流为 500mA、效率为 80%, 则最大纹波电流为 450mA, 对应的占空比为 :

$$D=1-V_o/V_i=1-5.5/12=0.542 \quad (7)$$

当开关管导通时, 电感器上的电压为 :

$$V=V_i=5.5V \quad (8)$$

当开关管断开时, 电感器上的电压为 :

$$V=V_o+V_d-V_i=6.8V \quad (9)$$

把公式 (6)、(7)、(8) 代入公式 (2) 得出 :

$$L=\frac{5.5 \times 0.542}{300 \times 10^3 \times 0.45}=22.1 \mu H$$

我们应注意到, 升压型电源与降压型电源不同, 升压型电源的负载电流并不是一直由电感电流提供。当开关管导通时, 电感电流经过开关管流入地, 而负载电流由输出电容提供, 因此, 输出电容必须有足够大的储能容量来提供这一期间负载所需的电流。但在开关管断开期间, 流经电感的电流除了提供给负载, 还给输出电容充电。

一般情况下, 电感值增大, 输出纹波会变小, 同时电源的动态响应也会相应变差, 所以, 开关电源电感值的选取应该根据电路的具体应用要求进行调整, 以使其达到最理想的效果。开关频率的提高可以让电感值变小, 从而让电感器的物理尺寸变小, 节省电路板的空间, 因此, 目前的开关电源有往高频发展的趋势, 以适应电子产品的体积越来越小的需求。