

开关电源电路中拓扑电感的仿真设计

The Simulation Design of Topology Inductance In SMPS Circuits

叶明 供稿

摘要: 文章介绍了利用Saber软件对开关电源电路中拓扑电感进行仿真辅助设计的理念和方法。

关键词: 开关电源电路, 拓扑电感, 仿真设计

中图分类号: TM55 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2015)10-2-122

1 引言

输入输出滤波网络在开关电源电路中的作用是大家熟知的: 拓扑电感(变压器)是电路拓扑的需要, 滤波电感是去除纹波的要求。因此, 只有当拓扑电感不足以满足降低纹波的需要时, 才会使用滤波电感, 即增加 LC 滤波网络, 这就表示: 如果拓扑电感满足纹波要求, 可以不用滤波电路, 即当拓扑电感不能满足纹波要求时, 才另外考虑波电路; 拓扑电感的主要作用是应对拓扑需要的能量转移, 而不是应对纹波, 滤波电路的唯一任务就是滤波。

2 滤波网络与拓扑的关系

所有的电压型拓扑都可以图(1)的图示表述。图(1)中, 输入电容 C_{in} 、输出电容 C_{out} 都是拓扑允许的, 甚至是拓扑必须的。同时 C_{in} 、 C_{out} 也可以理解为拓扑本身的、自带的滤波电路。图中, 虚线内的滤波网络现在是一个电容, 也就是二端滤波网络, 但是它也可以是三端甚至四端网络。

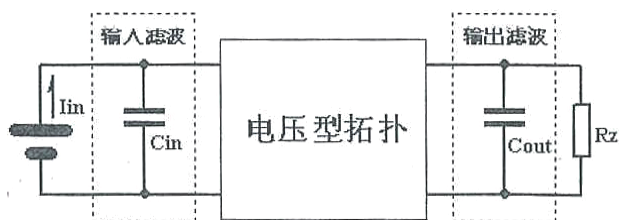


图 1

在图(1)中, 我们注意到其中没有任何电感, 这是由于拓扑的电感(或变压器)存在于拓扑模块内, 故图中没有画出来。

3 输出滤波网络

对于大多数电压型拓扑而言, 输出端总是有一个电容 C_{out} , 且这个电容就是用来滤波的。在一般情况下, 我们可以通过调整 C_{out} 的量值大小以满足任何的纹波要求。但是, 在某些情况下, 也没有办法通过调整 C_{out} 的大小来获得所需要的输出纹波。例如, 如果满足需要的纹波时, 需使用很大量值的 C_{out} , 这将使得产品成本和体积的大增而不允许; 设备(如电焊机和点焊机)在接近短路状态下运行时, 普通电容器的电流指标不能满足要求; 某些应用领域不允许太大的 C_{out} 存在, 比如逆变系统, 太大的 C_{out} 将会导致控制的困难; 在高精度的电源中, 由于电容 ESR 的存在, 因此始终达不到要求的输出纹波指标。

如何解决上述问题? 笔者的办法是: 找到能够被接受的电容器或者将该电容器一分为二; 电路中设置一个适当的电感器并调整这个电感器的量值达到满足输出纹波的要求。图 2 为以上办法的示意图。

图 2 的几点说明: ①一般电源都是输出有功功率, 即阻性负载。这时, 取 $C_{o1}=C_{o2}$ 将得到最佳滤波效果; ②即使负载有部分感性成分, 因为通常是 C_{o2} 比较大, 其容抗足以应付较大的感性负载冲击, 故一般情况下不必加大 C_{o2} ; ③容性负载(例如电解电源和充电电源)时, 可以减小 C_{o2} 的值, 从而突出 C_{o1} , 故 C_{o2} 可以大幅减小; ④电焊机电源可以取消 C_{o2} ; ⑤谐振性负载, 如超声波电源、感应加热电源等应慎用以上解决方法; ⑥不要把拓扑电感与滤波电感混为一谈; ⑦非特殊情况, 不建议使用两级或多级 LC 滤波。在总电容量和总用铜用磁量相当的情况下,

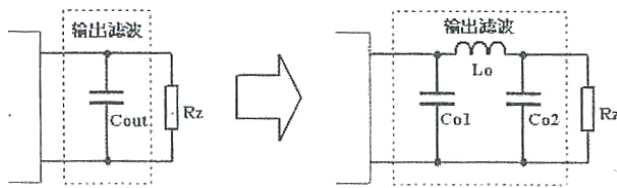


图 2

单级滤波的纹波效果最好，也不会产生驻波干扰。

4 设计举例

以图 3 所示的反激式电源的输出滤波为例：50kHz 100W。当前的纹波指标为 30mV，要求达到 2mV 的纹波精度。

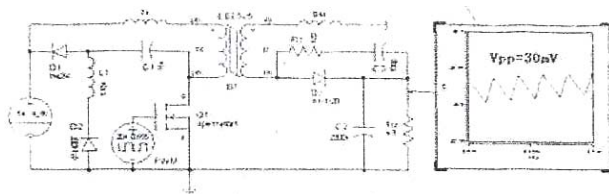


图 3

4.1 方法之一：加大输出滤波电容器的电容量

将原有的滤波电容器 C_2 的 2200 μ F 的容值增加 15 倍，即达到 33mF，则输出纹波将对应降低 15 倍（未考虑 ESR）即达 2mV 的纹波精度。

由于 33mF 25V 的大容量电解电容器难以落实，成本也高，为此可采用以下方法之二。

4.2 方法之二：增加一级 LC 滤波

图 4 为其方案示意图。当 $C_{o1}=C_{o2}=470\mu$ F 时，搭配一个 5A 1.3 μ H 的电感器，输出的与 PWM 同频率的纹波即可下降到 1.6mV 以下。

或者，当 $C_{o1}=C_{o2}=330\mu$ F 时，搭配一个 5A 2.2 μ H 的电感器，则输出纹波即可下降到 2.0mV 左右。由此可见，

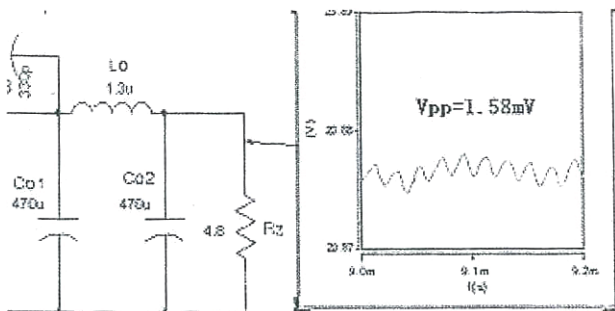


图 4

增加一个简单的 LC 滤波电路，对电源的输出纹波、成本、体积之改善都是十分显著的。

该滤波电感器的工作情况如图 5 所示。其电流的直流成分为 5.0A，交流成分 0.1A 左右，大约占 2%。也就是说，这个电感器基本上就是直流偏置电感，其交流成分很小。这表示制作这种电感器无需使用高级材料，也不必考虑集肤效应，用普通铁粉芯磁环及单股线绕制即可。

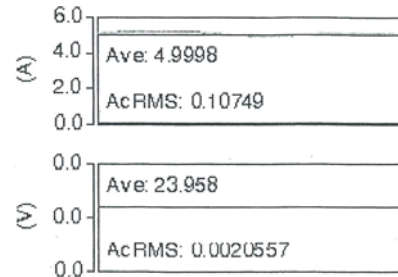


图 5

该电感器的参数见如下表 1。

表 1 电感器的设计参数

已知	偏置电流	I	A	5	5
拟订	匝数	N	n	11	7
选择	磁环型号		铁粉芯	T37-52	T32-52
	外径	ID	mm	9.53	8.31
	内径	OD	mm	5.21	4.29
	环高	H	mm	3.25	4.01
结构参数运行	最大导线截面积	A	mm ²	0.89	0.95
	最大导线直径		mm	1.06	1.1
	磁导率比	μ/μ_i	%	74.8999	82.4856
	环数	N		1	1
	计算电感值	L	μ H	2.17	1.3
	初始电感值	L ₀	μ H	2.89	1.58
	导线长度		mm	155	104
	导线直径		mm	1	1
多环参数	导线根数	N		1	1
	导线截面积		mm ²	0.79	0.79
	有效电流		A	5	5
	载流密度			6.33	6.33
	直流电阻	60	mohm	3.95	2.65
	铜损	P	W	0.1	0.07
	焊盘直径		mm	1.4	1.4
	窗口利用系数		%	88.8	83.2
	磁芯重量		g	1.029	1.008

5 小结

由以上的叙述可见，在电源的输出端增加 LC 滤波网络降低纹波，是很简单的设计，只要将滤波电容一分为二，任意插入一个电感器就能使滤波效果显著提升，其效果要比单电容滤波好很多。而且，这种办法不用计算、可降低成本、压缩体积以及 PCB 的面积，具有良好的实用性。