

## 基于 VICOR 电源模块的电源滤波器设计

郑宇翔

(中国科学院声学所数字系统集成部 北京 100080)

**摘要:**本文介绍了基于 VICOR 电源模块的输出滤波器设计方案,并讨论了开关电源噪声消除的办法,既适合于不同厂商生产的开关电源的输出滤波,也适用于其他要求高稳定度、高精度电源的电路的输入滤波。

**关键词:**开关电源 DCDC 电源模块 准谐振零电流开关技术 EMI EMC 共模 差模

VICOR 公司是美国著名的开关电源生产厂商,其标志产品是直流-直流变换器(DC-DC),以高的功率密度( $7.3 \text{ W/cm}^3$ ),效率高于 80% 和优异的可靠性指标著称,广泛用于航空航天领域。

VICOR 的 DC-DC 模块采用的是准谐振零电流开关技术(ZCS-QRCs),利用 LC 谐振回路使开关管在开通期间内谐振,流过开关管的电流为半波正弦波。而开关过程发生在电流为零的时刻,实现零电流开关,在关断期间内,开关管两端承受的电压等于电源电压。

ZCS-QRCs 技术也称为软开关技术,开关过程中的电流为零,已经大大减小了功率损耗、提高了转换效率和可能产生的电压尖峰,但是由于器件本身的原因,仍然有两个主要的途径产生噪声。

(1) 由于开关器件、整流管同基板之间存在寄生电容  $C_s$ , 该电容在开关器件断开期间将存储的能量 ( $C_s V_{in}^2/2$ ) 通过开关器件泻放掉,一方面使电路损耗增大,另一方面由于电压变化率过大,将引起米勒效应,产生严重的开关噪声,如图 1 所示。

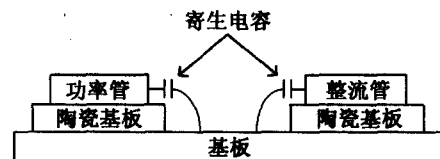


图 1 开关电源噪声产生示意图

(2) 整流管在恢复期间的反向电流曲线可能存在的较大的斜率 ( $dI/dt$ ), 也会产生高频噪声, 因此对 EMI 抑止的要求就更加严格。开关电源输出波形示意图 (如图 2 所示)。



图 2 开关电源输出波形示意图

尖峰之间的时间间隔由开关电源主开关管的开关频率决定, VICOR 的开关频率高达

本文于 2002-12-26 收到, 2003-06-24 收到修改稿。

1MHz, 因此可以达到很高的转换效率, 从图中可以看到, 尖峰噪声的频率比开关频率高的多, 一般在 20~70MHz。

功率场效应管在开关过程中电压变化 ( $dV/dt$ ) 经过两个串连电容的微分过后, 产生一个频率为 50~70MHz 的尖峰噪声电流, 这个噪声电流是共模的, 和差模噪声相反, 在直接的意义说, 不应该影响系统的工作。但是在测试电源的输出纹波时, 由于示波器的噪声抑制能力有限, 采用较长的接地线时, 检测出较大的噪声纹波, 一般要大出 6~8dB。

这个共模噪声的抑止方法是在 DC-DC 的输入地线处接一个电容, 旁路共模电流, 对这个电容的安全要求是 Y 级的, 耐压与铝基板的耐压是相同的。同时高频 ESR/ESL 也要尽量小, 例如陶瓷、云母电容。

开关电源的噪声简单分类示意图如图 3 所示。这里重点讨论开关电源的电磁兼容性 (EMC), 其中, 共模噪声是研究和抑止的重点, 这种形态的噪声很难发现和抑止, 最终又会由于电路的不平衡转换成共模噪声而干扰电路。图 3 是设计的试验电路图。VICOR 公司的应用手册认为共模滤波器应该装在模块的输入端, 但是在要求电源纹波极小的电路中, 共模滤波器装在前端是不能满足要求的, 这样可以抑止前级传导过来的共模电流, 但是不能消除在 DC-DC 转换过程中产生的共模电流, 经过实验发现应该接在输出端能够得到更好的噪声抑止效果。

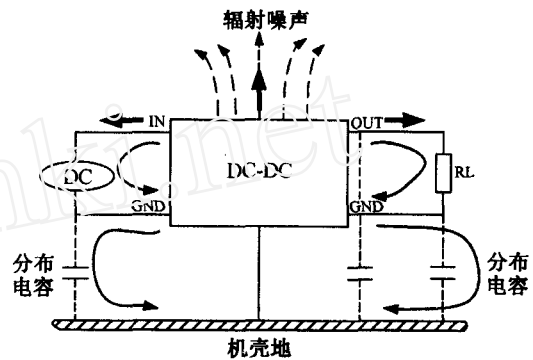


图3 以开关电源为中心的噪声分类

由于输出的共模电流是由电源模块内部的结构决定的, 因此减小共模噪声更重要的是在输出电路中注意保持电路的平衡性和使用共模滤波器。典型设计接上如图 4 所示。

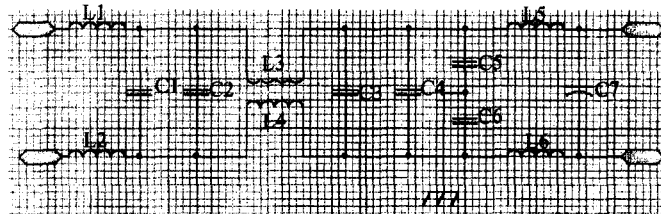


图4 实用开关电源输出滤波器

$L_3$ 、 $L_4$ 、 $C_5$ 、 $C_6$  用于滤除共模噪声。作为共模扼流圈的  $L_3$ 、 $L_4$  是绕在一个磁芯上的两组绕组, 电感量一般几百微亨至几毫亨, 其磁通方向相反, 扼流圈的磁芯要求选用较难饱和和导磁率稳定的材料, 使用时严格控制电流, 否则较大的电流使得磁芯饱和, 滤波效果大大下降。 $C_5$ 、 $C_6$  的作用是使电路中的共模电流有一个出口可以泻放到机壳/大地, 一般选择容值为 2200~6800pF, 安全级为 Y, 若是容值太大, 在高频下 ESR 变得很大, 出现漏电, 不仅降低了可靠性, 而且对操作人员造成威胁。

$C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $L_5$ 、 $L_6$  用于滤除差模噪声, 这里  $C_1$ 、 $C_3$  为 0.1 $\mu$ F 的独石电容,  $C_2$ 、 $C_4$  为 1 $\mu$ F 的钽电容,  $L_5$ 、 $L_6$  为 4.7 $\mu$ H。这里滤除的主要噪声频段位于几千赫至 10MHz。至于更高或更低频段的噪声它们就无能为力了。

较低的频段采用的方法是在最靠近负载的地方加上大容量电容, 最好选择损耗小, 性能稳定的钽电容。

推荐使用  $L_1$ 、 $L_2$  铁氧体磁珠滤波器, 磁珠是一个对高频有很大的损耗, 对低频和直流几乎没有损耗的器件, 主要衰减带位于 10MHz 以上, 使用磁珠可以弥补电感、电容滤波器在高频衰减性能上的不足。使用时要注意电流限制, 超过磁珠的允许电流, 导致磁芯饱和, 对高频噪声的衰减能力大大下降。

对电源滤波器进行频谱分析可以发现, 电源滤波器理论上应该是一个低通滤波器, 只能通过直流 ( $f=0\text{Hz}$ ) 以及有限的低频段, 对其他频率又有极大的衰减。实际上的电源滤波器在低频区衰减量随频率增加而增加, 衰减量在 80~100dB 达到极值, 维持一个较小的频段, 衰减量又开始下降。特别对于开关电源, 存在较高频率的噪声, 这样要求使用的滤波器在较高的频段也要有较高的衰减量, 至少在 20MHz 处有足够的衰减。但是任何滤波器的频率特性显示, 当频率升高时, 衰减曲线必定下降, 这主要是由于电感、电容的分布参数的影响。为了获得较好的高频衰减效果, 可以在  $C_5$ 、 $C_6$  接往大地处串连一个磁珠, 这样可以增加高频衰减量, 但是带来的副作用就是低频段的衰减量会有一定的减小。

最终的实验结果表明该电源滤波器方案应用于多种 DCDC 电源模块均能达到很好的滤波效果。

结论, 本文所讨论的滤波器设计虽然是基于 VICOR 公司出品的开关电源, 但是对噪声产生的分析以及消除噪声的方法却是具有普遍意义的, 使得 DC-DC 电源模块能够用于对电源要求较高的模拟电路。

## 参 考 文 献

- 1 诸邦田. 电子线路抗干扰技术手册. 北京:北京科技出版社, 1995
- 2 李爱文. 现代通信基础开关电源的原理和设计. 北京:科学出版社, 1999
- 3 王 聪. 软开关功率变换器及其应用. 北京:科学出版社, 1999

### (上接 295)

mousemove()事件代码如下:

```
int row_count, column_count, y0, x0//记录当前行列数
```

```
constant int column = 160//首列坐标
```

```
constant int row = 204
```

```
for row_count = 1 to 15//设目的区共有 15 行
```

```
for column_count = 2 to 22//共有 22 列, 第一列用于显示列数(已经存在)
```

```
x0 = row + (row_count - 1) * 96//记录每个行列的左上坐标
```

鼠标弹起时, mouseup()事件代码如下:

```
dwB.setText(a)//设置当前行内容为所选 dwA 的内容
```

以上代码在 PB8. 0 中调试通过。

```
y0 = column + (column_count - 2) * 183
if (xpos <= y0 + 183) and (xpos >= y0) and
(ypos <= x0 + 96) and (ypos >= x0) then
dwB.setrow(row_count)//设置鼠标所在位置
为当前行
dwB.setcolumn(column_count)
exit
end if
next
next
```

```
dwB.modify("datawindow.pointer = ''")//恢复
DataWindowB 连接对象的鼠标指针正常。
```

周香凝 (烟台海军航空工程学院 烟台 264001)