

# 单片开关电源的电磁兼容性设计

沙占友,王彦朋,唱春来,张英  
(河北科技大学,石家庄 050054)

摘要:介绍了单片开关电源的电磁兼容性(EMC)设计,内容包括对电磁干扰波形和电路模型进行分析,以及 EMI 滤波器的电路设计。

关键词:电磁兼容性;电磁干扰;共模;串模;EMI 滤波器

中图分类号:TN86;TN03 文献标识码:B 文章编号:1001-1390(2000)08-0017-03

## The electromagnetic compatibility (EMC) design of single-chip switching power supply

Sha Zhanyou, Wang Yanpeng, Chang Chunlai, Zhang Ying  
(Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054, China)

Abstract: The paper introduces the EMC design of single-chip switching power supply. In the first, it analysis the EMI wave and circuit model and then presents the circuit design of EMI filter.

Key words: EMC; electromagnetic interference (EMI); common mode; different mode; EMI filter

### 0 引言

单片开关电源工作在高频、高压、大电流的开关状态,所产生的电磁干扰亦分共模干扰、串模干扰两种,并以传导或辐射的方式向外部传播。单片开关电源的电磁兼容性设计,就是要把电磁干扰衰减到允许限度之内,使之不影响电子设备的正常工作。

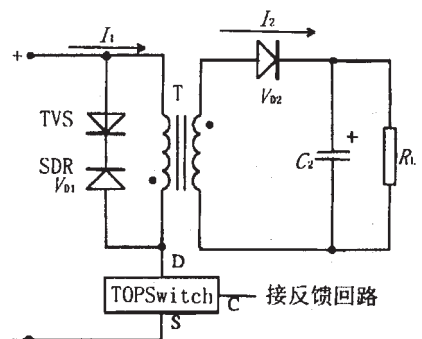
### 1 电磁干扰的波形分析

反馈式单片开关电源的简化电路和电磁干扰波形分别如图 1a、图 1b 所示。

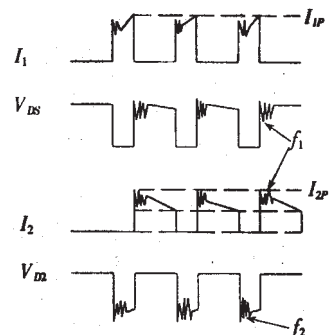
图 1a 中  $V_i$  为直流输入电压,  $I_1$  为高频变压器的初级电流。设 TOPSwitch 漏-源极电压为  $V_{DS}$ , 输出整流管上的电压为  $V_{D2}$ ,  $I_2$  是次级电流,  $R_L$  为负载。图 1b 中分别给出  $I_1$ 、 $V_{DS}$ 、 $I_2$  和  $V_{D2}$  的电磁干扰波形。

下面对这 4 种波形加以分析。

初级电流  $I_1$  是在 TOPSwitch 导通时开始形成并沿着斜坡上升,达到峰值  $I_{1P}$ 。  $I_{1P}$  值由直流输入电压  $V_i$ 、初级电感  $L_p$ 、开关频率  $f$  和占空比  $D$  来决定。该梯形电流波形的基频为开关频率,谐波即干扰波形。初级串模干扰电流经过初级绕组、TOPSwitch 和  $V_i$  形成回路。当电流环路面积较大时,  $I_1$  还能向外辐射



(a) 简化电路



(b) 4 种电磁干扰波形

图 1 单片开关电源简化电路及电磁干扰波形

共模干扰。

$V_{DS}$  电压波形的特点是,其电压变化率( $dV/dt$ )很高,受变压器漏感、TOPSwitch 输出电容和变压器分布电容等分布参数的影响, $V_{DS}$  在  $f_1=3\text{MHz}\sim 12\text{MHz}$  的频率范围内形成振铃。

当 TOPSwitch 关断时,次级上就有电流  $I_2$  通过,并且从峰值  $I_{2p}$  开始,然后线性下降,下降速率由次级电感  $L_s$  和输出电压  $V_0$  来决定。下降过程中形成

的振铃,在时间上与  $V_{DS}$  相对应,振铃频率仍为  $f_1$ 。

$V_{D2}$  也具有电压变化率高、上升沿和下降沿陡峭的特点。其峰值电压由变压器和输出整流管的分布电容所决定。振铃干扰波形的频率变化是  $f_2=20\text{MHz}\sim 30\text{MHz}$ 。

## 2 造成电磁干扰的电路模型

### 2.1 共模干扰的电路模型

造成共模干扰的电路模型如图 2 所示。

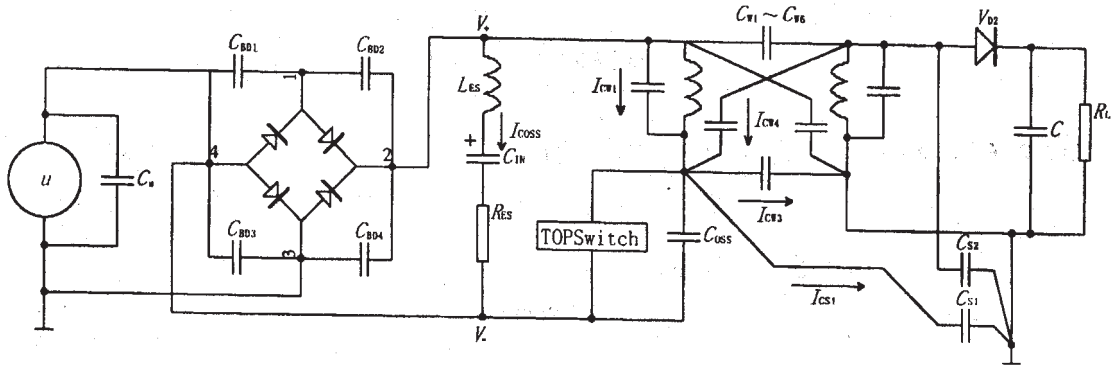


图 2 造成共模干扰的电路模型

共模干扰主要是由漏-源极电压  $V_{DS}$  和输出整流管电压  $V_{D2}$  而产生的。图 2 中,  $C_u$  是与交流电源输入端相并联的耦合电容; $C_{BD1}\sim C_{BD4}$  是整流桥中 4 只整流管的等效电容; $C_{IN}$  为输入滤波电容,其等效串联电感和等效串联电阻分别用  $L_{ES}$ 、 $R_{ES}$  表示; $C_{W1}\sim C_{W6}$  均为高频变压器的分布电容。其中,  $C_{W1}$  和  $C_{W6}$  分别为初级、次级绕组的分布电容,二者组合起来可产生  $400\text{kHz}\sim 2\text{MHz}$  的谐波频率。 $C_{W2}\sim C_{W5}$  是初级、次级绕组之间的各种分布电容。 $C_{OSS}$  为 TOPSwitch 的输出电容,  $C_{S1}$  和  $C_{S2}$  依次为漏极、次级对地的分布电容。上述电容会造成 5 个干扰电流  $I_{CS1}$ 、 $I_{CW1}$ 、 $I_{CW3}$ 、 $I_{COSS}$  和  $I_{CW4}$ 。这 5 个电流相叠加后,有一部分被抵消掉,剩下的高频电流即形成共模干扰。

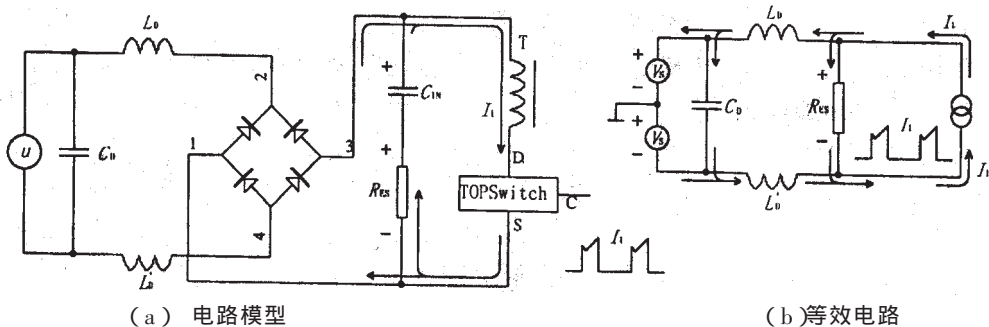
共模干扰可由 EMI 滤波器中的共模扼流圈进

行抑制。共模扼流圈的电感量通常取  $10\sim 33\text{mH}$ 。为减小分布电容,印制板上的相关导线应尽量短捷。

### 2.2 串模干扰的电路模型

串模干扰的电路模型如图 3a 所示,图 3b 为其等效电路。图 3a 中,  $C_D$  为串模电容,  $L_D$  和  $L'_D$  是两个串模扼流圈,  $R_{ES}$  为输入滤波电容  $C_{IN}$  的等效串联电阻。图 3b 中,两条电源线上对地的电压用  $V_S$  表示,正半周时电压极性如图所示。不难看出,串模干扰电流的方向是从一条电源线流入单片开关电源,再从另一条电源线流出的。由  $C_D$ 、 $L_D$  和  $L'_D$  构成的串模干扰滤波器能对串模干扰起到抑制作用。

举例说明,在  $7.5\text{V}$ 、 $15\text{W}$  开关电源模块中,实取  $C_D=0.1\mu\text{F}$ ,  $C_{IN}=33\mu\text{F}$ ,  $R_{ES}=0.375\Omega$ ,  $L_D=L'_D=74\mu\text{H}$ 。 $L_D$  和  $L'_D$  可以是分立电感,也可以是从共模干扰扼流



(a) 电路模型

(b) 等效电路

图 3 串模干扰的电路模型

圈上分离出来的等效串联电感。加串模干扰滤波器后,串模干扰的基波电压为 59.3mV,二次谐波降为 43.0mV。

注意,在测量共模扼流圈一个绕组的等效串模电感时,应将另一绕组短路,并且要将测量值除以 2 才是  $L_d$  (或  $L'_d$ ) 电感量。

### 3 EMI 滤波器的电路设计

#### 3.1 单片开关电源常用的 EMI 滤波器电路

为减小体积和降低成本,单片开关电源一般采用简易式单级 EMI 滤波器,典型电路如图 4a、图

4b、图 4c、图 4d 所示,图 4 中  $L$  为共模扼流圈。图 4a 中与图 4b 中的电容器  $C$  能滤除串模干扰,区别仅是图 4a 中将电容器  $C$  接在输入端,图 4b 则接到输出端。图 4c、图 4d 所示电路较复杂,抑制电磁干扰的效果更佳。图 4c 中的  $L$ 、 $C_1$  和  $C_2$  用来滤除共模干扰, $C_3$  和  $C_4$  滤除串模干扰。 $R$  为泄放电阻,可将  $C_3$  上积累的电荷泄放掉,避免因电荷积累而影响滤波特性;断电后还能使电源的进线端 L、N 不带电,保证用户的安全。图 4d 则是把共模干扰滤波电容  $C_2$  和  $C_4$  接在输出端。

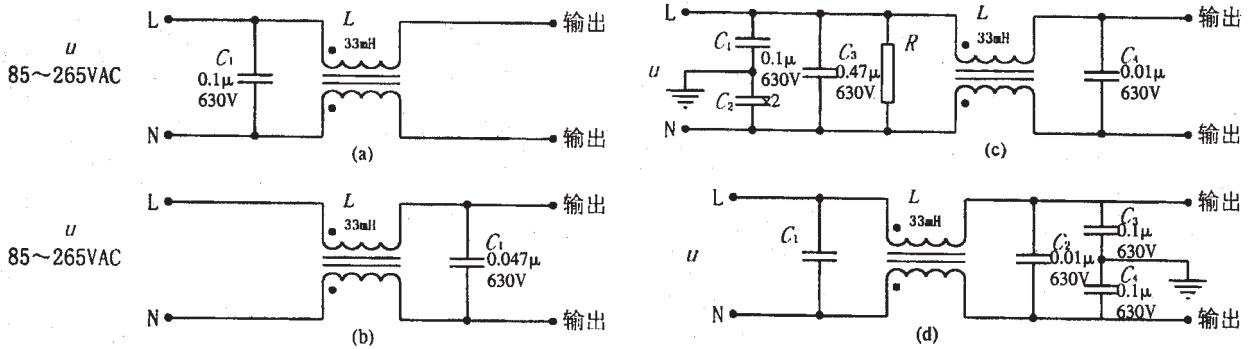
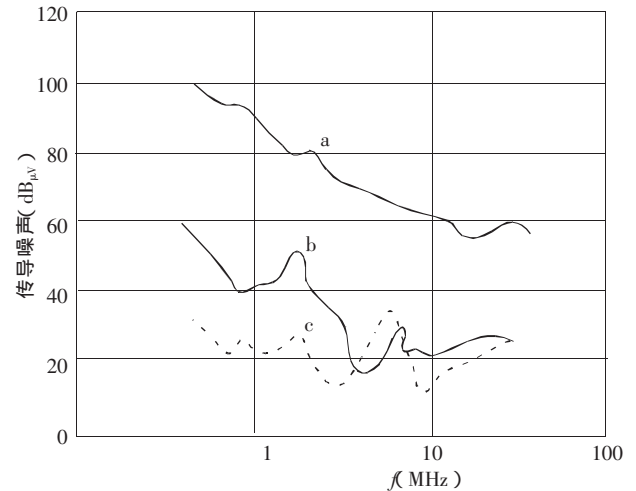


图 4 单片开关电源常用的 EMI 滤波器电路

EMI 滤波器能有效抑制单片开关电源的电磁干扰。图 5 中 a 为不加 EMI 滤波器时开关电源上 0.15MHz~30MHz 传导噪声的波形(即电磁干扰峰值包络线)。图 5 中 b 是插入如图 4c 所示 EMI 滤波器后的波形,电磁干扰大约被衰减 40dB $_{\mu V}$ 。图 5 中 c 为加上如图 4d 所示 EMI 滤波器后的波形,能衰减约 50 dB $_{\mu V}$ ~70 dB $_{\mu V}$ 。显然,后一种 EMI 滤波器的效果最佳。

#### 3.2 元器件选择

滤波电容应选自谐振频率很高的陶瓷电容器。电容器的耐压值应足够高,通常选 630V。输出端滤波电容上还加有尖峰电压,其耐压值可选 1000V。扼流圈分共模、串模两种,通常采用共模扼流圈。它实际是由共模电感、串模泄漏电感这两部分构成,因此它对串模干扰也有一定的抑制作用。其优点是能同时起到共模扼流圈、串模扼流圈两种作用,而成本并未增加。共模扼流圈的线径要能承受可能发生的浪涌电流。串模扼流圈仅适用于 5W 以下的低功率开关电源,它是两个分立的铁氧体磁环线圈或螺线管线圈构成的。



(a) 不加 EMI 滤波器 (b) 加 EMI 滤波器 c (c) 加 EMI 滤波器 d;

图 5 加 EMI 滤波前、后干扰波形的比较

[1] 美国 Power 公司产品资料,1998.

[2] 沙占友.实用数字化测量技术[M]国防工业出版社,1998.

作者简介:

沙占友(1944-),男,教授,1968年毕业于南开大学,主要从事数字化测量及仪器仪表领域的教学与科研工作。已出版专著 14 部,发表学术论文 120 余篇。

收稿日期 2000-06-04

(周广义 编发)

参 考 文 献: