

doi: 10.7690/bgzdh.2013.12.010

基于 DSP 控制的大功率开关电源抗干扰设计

罗凌

(四川信息职业技术学院, 四川 广元 628017)

摘要: 为了减小 DSP 控制的开关电源产生的电磁干扰, 设计一种基于 DSP 控制的大功率开关电源抗干扰方法。以某军用雷达和侦察车的 DSP 控制开关电源系统框图和工作原理为基础, 从输入整流电路、开关电路、高频变压器和输出整流二极管 4 个干扰源进行分析, 并通过软、硬件措施实现了抗干扰设计。实践结果证明, 该开关电源在抗干扰性方面符合设计标准。

关键词: 开关电源; DSP; 电磁干扰; 滤波; 抑制

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Anti-Interference Design of High-Power Switching Power Supply Based on DSP Control

Luo Ling

(Sichuan Information Technology College, Guangyuan 628017, China)

Abstract: A method to anti-interference of the high-power switching power supply is designed based on DSP control to reduce electromagnetic interference caused by this supply. Based on DSP control switch power supply system chart and working principle of certain type military radar and reconnaissance vehicle, analyze four interference sources which including input rectifier circuit, switch circuit, high frequency transformer and output rectifier diode, and realize anti-interference design by software and hardware. The practice has proved that this supply meets the standard in anti-interference.

Key words: switching power supply; DSP; electromagnetic interference; filtering; suppression

0 引言

DSP 控制的开关电源实现了数字控制, 不仅可以得到稳定的输出电压和输出电流, 还能克服模拟控制系统中元件老化、热漂移等问题。但随着开关频率的提高和功率密度的增大所产生的电磁干扰 EMI, 对电源本身及周围电子设备的正常工作会造成威胁^[1]。电磁干扰的产生是由开关电源本身的特点所决定的, 难以避免, 关键是如何采取有效的措施来减小干扰程度, 使开关电源在 DSP 稳定的控制参数作用下获得很好的一致性和高可靠性。

基于此, 笔者以用于某军用雷达和侦察车的大功率开关电源为例(其输出 $U_0=28\text{ V}$, 功率 $P_0=2\text{ kW}$, 开关频率 $f_{\lambda}=25\text{ kHz}$), 分析电路电磁干扰的来源, 并在电路的软硬件实现时采取了针对性的抗干扰设计措施。

1 系统构成

该 DSP 控制的开关电源系统框图如图 1 所示, 主要由功率主电路和控制电路组成^[2]。其中功率主电路由输入 EMI 滤波器、输入整流滤波电路、高频

逆变电路、高频变压器、输出整流滤波电路组成。控制电路由 DSP 数字控制电路、IGBT 驱动电路、采样电路、保护电路以及辅助电源组成。控制电路是一个实时检测和控制系统, 主要对开关电源输出电压、电流和 IGBT 温度的检测, 对收集信息的分析和运算处理, 对电源工作参数的设置和显示等。

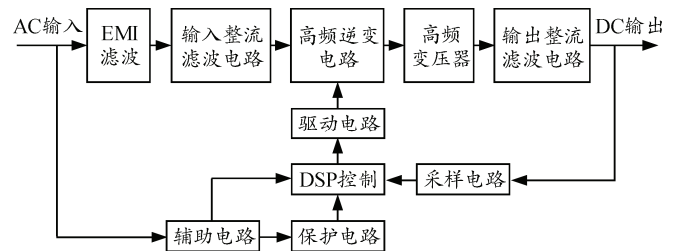


图 1 DSP 控制开关电源系统框图

功率主电路采用 AC-DC-AC-DC 变换结构^[3], 原理框图如图 2, 输入交流电压经 EMI 滤波, 输入整流滤波电路后得到非稳定直流电压, 该直流电压通过高频逆变电路转换成高频交流电压, 再经高频变压器隔离变换, 输出所需要的高频交流电压, 最后经过输出整流滤波电路, 得到所需要的稳定的直流电压。

收稿日期: 2013-08-01; 修回日期: 2013-09-26

作者简介: 罗凌(1972—), 女, 四川人, 硕士, 讲师, 工程师, 从事电力电子技术及开关电源研究。

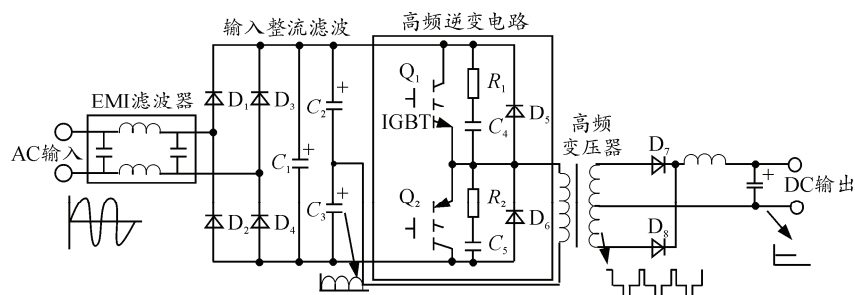


图2 功率主电路原理框图

2 开关电源的 EMI 干扰源分析

开关电源产生电磁干扰的根本原因，是其在工作过程中产生了非常高的 di/dt 和 du/dt ，它们产生的浪涌电流和尖峰电压形成了强烈干扰源。笔者讨论的 DSP 开关电源的干扰源主要来自以下方面。

2.1 输入整流电路的干扰

该部分电路干扰来自 2 方面：一是电源线引入的电磁干扰，电源线引入的电磁干扰是电网中各种用电设备产生的电磁骚扰沿着电源线传播所造成的。对开关电源两根进线而言，存在共模干扰和差模干扰^[4]。二是输入电流畸变造成的电磁干扰。交流输入电压 u_1 经整流桥变为正弦脉动电压，被电容 C_1 平滑后变为直流电压，而流过电容 C_1 的电流波形是脉冲波，含丰富的高次谐波。高次谐波电流沿传输线路产生传导干扰和辐射干扰，倒流入电网，使电网电压（原来是正弦波）发生畸变，对电网造成谐波污染，易造成电路故障。同时脉冲电流使电源输入功率因数降低。

2.2 开关电路产生的干扰

开关管 IGBT 是开关电源的核心器件，同时也是干扰源。开关电源工作过程中，开关管处于高频通断状态，由高频变压器初级线圈、开关管和初级滤波大电容构成了一个高频电流环路，高频变压器初级线圈是开关管的负载，它是一个感性负载。所以，开关管在导通或关断时，高频变压器的初级线圈两端将产生很高尖峰电压或尖峰电流，轻者造成干扰，重者击穿开关管^[5]。同时，由于高频变压器存在漏电感和分布电容，开关管在高频开通和关断时，常常产生高频高压的尖峰谐波振荡。

2.3 高频变压器产生的干扰

高频变压器在开关电源中起能量储存、隔离、电压变换的作用，其初、次级绕组之间的分布电容和漏感是引起电磁干扰的重要因素^[6]。一方面漏感越大，产生的尖峰电压幅值愈高。另一方面高频变压器初、次级之间的分布电容是产生共模干扰的主

要来源之一。共模干扰是一种相对大地的干扰，不会通过变压器来传递，而是通过变压器绕组间的耦合电容来传递，高频变压器初、次级之间的共模干扰通道如图 3。 Z 为绕组间的耦合阻抗， Z_2 为负载对地的等效阻抗， e_1 为初级干扰（共模电压）， e_2 为次级干扰（共模电压）。

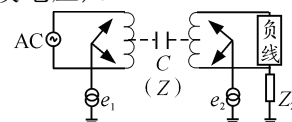


图3 高频变压器初、次级之间的共模干扰通道

2.4 输出整流二极管产生的干扰

开关电源工作时，输出端整流二极管处于高频通断状态。二极管正向导通时，其 PN 结内的电荷被积累。当二极管承受反向电压截止时，PN 结积累的电荷释放形成反向恢复电流。在反向恢复过程中，流过二极管内的电流发生剧烈变化，尽管电流非常小，但是二极管由导通到截止的时间非常短暂；因此， di/dt 较大。在变压器漏感和其他分布参数的影响下，反向恢复电流将产生较强烈的高频衰减振荡；因此，输出整流二极管的反向恢复噪声也成为开关电源中一个主要干扰源。

3 开关电源的 EMI 设计措施

3.1 DSP 开关电源的硬件抗干扰设计

DSP 开关电源的硬件抗干扰设计能有效地抑制干扰源，切断干扰的传输路径。采取的措施主要包括：EMI 滤波器、RC 吸收电路、屏蔽技术、接地技术等。

3.1.1 EMI 滤波器

在电源输入端加 EMI 滤波器，防止开关电源的共模和差模噪声传递到电源线中，影响电网中其他用电设备，同时也抑制来自电网的噪声。其电路如图 4 所示。图中差模电容 C_X 用来短路差模噪声电流，共模电容 C_Y 用来短路共模噪声电流，共模扼流圈 L 是由两股相同并且按同方向绕制在一个磁芯上的线圈组成。当差模噪声电流流过共模扼流圈

时, 串联在火线上的线圈所产生的磁通和串联在零线上的线圈所产生的磁通方向相反, 在磁芯中相互抵消, 磁芯中没有磁通, 线圈电感几乎为 0, 因此不能抑制差模干扰信号。对于共模噪声电流, 两线圈产生的磁通方向相同, 有相互加强的作用, 每一线圈电感值为单独存在时的 2 倍, 对共模干扰有强的抑制作用。

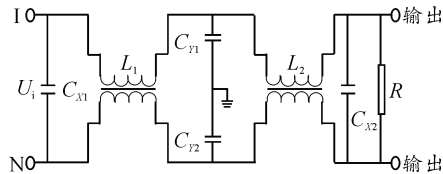


图 4 EMI 滤波器

3.1.2 RC 缓冲吸收电路

在本电源的设计中, 采用 IGBT 管来作为功率开关器件, 既具有 MOSFET 的通断速度快、输入阻抗高、驱动电路简单及驱动功率小等优点, 又具有 GTR 的容量大和阻断电压高的优点。但是在 IGBT 开通和关断过程中, 会产生反向尖峰电流和尖峰电压, 为了减小 IGBT 开通和关断时产生的尖峰电流及尖峰电压, 在 IGBT 的集电极间接 RC 缓冲吸收网络, 如图 2 所示。

3.1.3 屏蔽措施

屏蔽是抑制开关电源辐射干扰的有效方法, 目的是切断电磁波的传播路径, 分电屏蔽、磁屏蔽和电磁屏蔽 3 种, 用导电率良好的材料对电场进行屏蔽, 用导磁率高的材料对磁场进行屏蔽。对于开关电源来说, 主要是做好高频变压器屏蔽, 开关管、高频整流二极管的屏蔽和机壳屏蔽。在屏蔽设计时应考虑散热和通风问题, 屏蔽盒上的通风孔最好为圆形, 接缝处最好焊接, 以保证电磁的连续性, 同时还要保证屏蔽设施可靠接地。

3.1.4 光耦隔离

由于 DSP 控制电路对干扰非常敏感, 一旦有干扰, 控制电路中的控制信号会发生紊乱, 影响电源的正常工作^[7]。为了保证开关电源工作, 控制电路必须具有很高的精度和稳定性, 为此, 将主电路与控制电路从电气上隔离开来。在本电路设计中, 采样电路采取光耦隔离措施, 使主电路强电和 DSP 控制系统弱电之间保持控制信号的联系, 切断电气的联系, 防止干扰通过传导的途径传入到控制电路。

在硬件电路的抗干扰设计中, 除了采取上述技术措施外, 在设计开关电源的印制电路板时, 应尽量降低电源线和地线的阻抗, 尽量将相互关联的元器件摆放在一起, 避免因器件离得太远而造成印制

线过长所带来的干扰, 并将输入信号和输出信号尽量放置在引线端口附近, 以避免因耦合路径而产生的干扰。此外, 还应尽量选用时钟频率低的单片机, 以减小电路高频噪声, 提高电路的抗干扰性能。

3.2 DSP 开关电源的软件抗干扰设计

在 DSP 开关电源中, 软件抗干扰设计与硬件的抗干扰设计同等重要, 在许多情况下, 开关电源的抗干扰设计不可能完全依靠硬件来解决。而对软件采取抗干扰设计, 往往成本低, 见效快, 起到事半功倍的效果。本设计中, 选用 TI 公司生产的 TMS320LF2407A 芯片作为 DSP 控制电路, 采用的软件抗干扰技术有: 数字滤波、指令冗余、软件陷阱和“看门狗(WATCHDOG)”技术。

3.2.1 数字滤波技术

在实时数据采集系统中, 数字滤波技术能有效地消除输入信号的噪声。数字滤波技术有中值法、算术平均值法、比较舍取法和一阶递推数字滤波法。具体选取何种方法, 必须根据信号变化的规律进行选择, 该电路系统中采用算术平均值滤波, 对目标参数进行连续采样, 然后求其算术平均值作为有效采样值, 这样就能滤除干扰和噪声信号, 减小数据采集误差, 加强有用信号, 避免由输入干扰而引起的输出控制错误, 提高控制系统的性能。

3.2.2 指令冗余

当 DSP 系统受干扰后, 往往将一些操作数当作指令码来执行, 引起程序“乱飞”而脱离正常轨道。若程序乱飞到某条单字节指令上时, 便自动纳入正轨; 若程序乱飞到某条双字节或三字节指令上时, 有可能落到其操作数上而继续出错。为此, 在对程序流向起决定作用指令前插入 2 条 NOP 指令, 这样即使乱飞程序飞到操作数上, 由于空操作指令 NOP 的存在, 避免后面的指令被当作操作数执行, 程序自动纳入正轨。此外, 在对系统流向起重要作用的指令, 如 RET、CALL、BCND 等指令前插入 2~3 条 NOP 指令, 也可将乱飞程序纳入正轨。

3.2.3 软件陷阱

TMS320LF2407A 片内有高达 32 KB 的 FLASH 程序存储器, 经过扩展, 程序存储空间可达 64 K。在其闲置未使用的程序区设置一段引导程序, 当程序受到干扰乱飞进入此区域时, 引导程序将强行拦截乱飞的程序, 将其迅速引向一个指定位置, 在那里有一段专门对程序出错进行处理的程序, 将乱飞的程序迅速纳入正轨。