

## 开关电源电磁干扰的产生机理与抑制技术

随着现代电子技术和功率器件的发展,开关电源以其体积小,重量轻,高性能,高可靠性等特点被广泛应用于计算机及外围设备通信、自动控制、家用电器等领域,为人们的生产生活和社会的建设提供了很大帮助。但是,随着现代电子技术的快速发展,电子电气设备的广泛应用,处于同一工作环境的各种电子、电气设备的距离越来越近,电子电路工作的外部环境进一步恶化。由于开关电源工作在高频开关状态,内部会产生很高的电流、电压变化率,导致开关电源产生较强的电磁干扰。电磁干扰信号不仅对电网造成污染,还直接影响到其他用电设备甚至电源本身的正常工作,而且作为辐射干扰闯入空间,造成电磁污染,制约着人们的生产和生活。

国内在 20 世纪 80—90 年代,为了加强对当前国内电磁污染的治理,制定了一些与 CISPR 标准、IEC801 等国际标准相对应的标准。自从 2003 年 8 月 1 日中国强制实施 3C 认证(china compulsory certification)工作以来,掀起了“电磁兼容热”,近距离的电磁干扰研究与控制愈来愈引起电子研究人员们的关注,当前已成为当前研究领域的一个新热点。本文将针对开关电源电磁干扰的产生机理系统地论述相关的抑制技术。

### 1 开关电源电磁干扰的抑制

形成电磁干扰的三要素是干扰源、传播途径和受扰设备。因而,抑制电磁干扰应从这三方面入手。抑制干扰源、消除干扰源和受扰设备之间的耦合和辐射、提高受扰设备的抗扰能力,从而改善开关电源的电磁兼容性能的目的。

#### 1.1 采用滤波器抑制电磁干扰

滤波是抑制电磁干扰的重要方法,它能有效地抑制电网中的电磁干扰进入设备,还可以抑制设备内的电磁干扰进入电网。在开关电源输入和输出电路中安装开关电源滤波器,不但可以解决传导干扰问题,同时也是解决辐射干扰的重要武器。滤波抑制技术分为无源滤波和有源滤波 2 种方式。

##### 1.1.1 无源滤波技术

无源滤波电路简单,成本低廉,工作性能可靠,是抑制电磁干扰的有效方式。无源滤波器由电感、电容、电阻元件组成,其直接作用是解决传导发射。开关电源中应用的无源滤波器的原理结构图如图 1 所示。

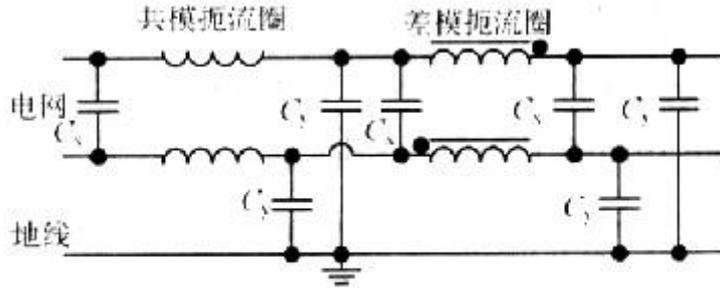


图 1 开关电源中使用的典型滤波器

由于原电源电路中滤波电容容量大，整流电路中会产生脉冲尖峰电流，这个电流由非常多的高次谐波电流组成，对电网产生干扰；另外电路中开关管的导通或截止、变压器的初级线圈都会产生脉动电流。由于电流变化率很高，对周围电路会产生出不同频率的感应电流，其中包括差模和共模干扰信号，这些干扰信号可以通过 2 根电源线传导到电网其他线路和干扰其他的电子设备。图中差模滤波部分可以减少开关电源内部的差模干扰信号，又能大大衰减设备本身工作时产生的电磁干扰信号传向电网。又根据电磁感应定律，得  $E=Ldi/dt$ ，其中： $E$  为  $L$  两端的电压降； $L$  为电感量； $di/dt$  为电流变化率。显然要求电流变化率越小，则要求电感量就越大。

脉冲电流回路通过电磁感应其他电路与大地或机壳组成的回路产生的干扰信号为共模信号；开关电源电路中开关管的集电极与其他电路之间产生很强的电场，电路会产生位移电流，而这个位移电流也属于共模干扰信号。图 1 中共模滤波器就是用来抑制共模干扰，使之受到衰减。

### 1. 1. 2 有源滤波技术

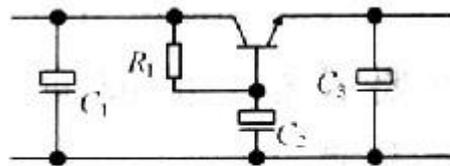


图 2 有源电源滤波器

有源滤波技术是抑制共模干扰的一种有效方法。该方法从噪声源出发而采取的措施(如图 2 所示)，其基本思想是设法从主回路中取出一个与电磁干扰信号大小相等、相位相反的补偿信号去平衡原来的干扰信号，以达到降低干扰水平的目的。如图 2 所示，利用晶体管的电流放大作用，通过把发射极的电流折合到基极，在基极回路来滤波。 $R_1$ 、 $C_2$  组成的滤波器使基极纹波很小，这样射极的纹波也很小。由于  $C_2$  的容量小于  $C_3$ ，减小了电容的体积。这种方式仅适合低压小功率电源的情况。另外，在设计和选用滤波器时应注意频率特性、耐压性能、额定电

流、阻抗特性、屏蔽和可靠性。滤波器的安装位置要恰当，安装方法要正确，才能对干扰起到预期的滤波作用。

## 1. 2 屏蔽技术和接地技术

采用屏蔽技术可以有效地抑制开关电源的电磁辐射干扰。屏蔽一般分为 2 种：一种是静电屏蔽，主要用于防止静电场和恒定磁场的影响；另一种是电磁屏蔽，主要用于防止交变电场、磁场以及交变电磁场的影响。屏蔽技术分为对发出电磁波部位的屏蔽和受电磁波影响的元器件的屏蔽。在开关电源中，可发出电磁波的元器件是指变压器、电感器、功率器件等，通常在其周围采用铜板或铁板作为屏蔽，以使电磁波产生衰减。

此外，为了抑制开关电源产生的辐射向外部发散，为了减少电磁干扰对其他电子设备的影响，应采取整体屏蔽。可完全按照对磁场屏蔽的方法来加工屏蔽罩，然后将整个屏蔽罩与系统的机壳和地连接为一体，就能对电磁场进行有效的屏蔽。然而在使用整体屏蔽时应充分考虑屏蔽材料的接缝、电线的输入 / 输出端子和电线的引出口等处的电磁泄露，且不易散热，结构成本大幅度增加等因素。

为使电磁屏蔽能同时发挥静电屏蔽的作用，加强屏蔽效果，同时保障人身和设备的安全，应将系统与大地相连，即为接地技术。接地是指在系统的某个选定点与某个接地面之间建立导电的通路设计。这一过程是至关重要的，将接地和屏蔽正确结合起来可以更好地解决电磁干扰问题，又可提高电子产品的抗干扰能力。

## 1. 3 PCB 设计技术

为更好地抑制开关电源的电磁干扰，其印制电路板 (PCB) 的抗干扰技术尤为重要。为减少 PCB 的电磁辐射和 PCB 上电路间的串扰，要非常注意 PCB 布局、布线和接地。如减少辐射干扰是减小通路面积，减小干扰源和敏感电路的环路面积，采用静电屏蔽。而抑制电场与磁场的耦合，应尽量增大线间距离。

在开关电源中接地是抑制干扰的重要方法。接地有安全接地、工作接地和屏蔽接地等 3 种基本类型。地线设计应注意以下几点：交流电源地与直流电源地分开；功率地与弱电地分开；模拟电路与数字电路的电源地分开；尽量加粗地线。

## 1. 4 扩频调制技术

对于一个周期信号尤其是方波来说，其能量主要分布在基频信号和谐波分

量中,谐波能量随频率的增加呈级数降低。由于  $n$  次谐波的带宽是基频带宽的  $n$  倍,通过扩频技术将谐波能量分布在一个更宽的频率范围上。由于基频和各次谐波能量减少,其发射强度也应该相应降低。要在开关电源中采用扩频时钟信号,需要对该电源开关脉冲控制电路输出的脉冲信号进行调制,形成扩频时钟(如图 3 所示)。与传统的方法相比,采用扩频技术优化开关电源 EMI 既高效又可靠,无需增加体积庞大的滤波器件和繁琐的屏蔽处理,也不会对电源的效率带来任何负面影响。

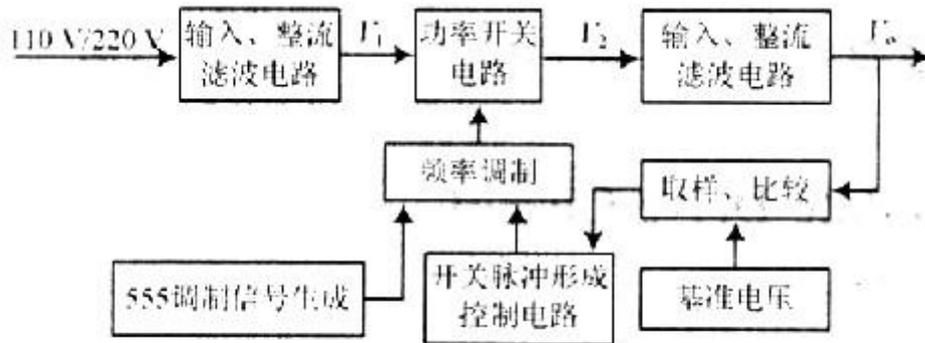


图 3 带扩频时钟的开关电源原理框图

### 1.5 一次整流电路中加功率因数校正(PFC)网络

对于直流稳压电源,电网电压通过变压器降压后直接通过整流电路进行整流,所以整流过程中产生的谐波分量作为干扰直接影响交流电网的波形,使波形畸变,功率因数偏低。为了解决输入电流波形畸变和降低电流谐波含量,将功率因数校正(PFC)技术应用于开关电源中是非常必要的。PFC 技术使得电流波形跟随电压波形,将电流波形校正成近似的正弦波,从而降低了电流谐波含量,改善了桥式整流电容滤波电路的输入特性,提高了开关电源的功率因数。其中无源功率因数校正电路是利用电感和电容等元件组成滤波器,将输入电流波形进行移相和整形过程来实现提高功率因数的。而有源功率因数校正电路是依据控制电路强迫输入交流电流波形跟踪输入交流电压波形的原理来实现交流输入电流正弦化,并与交流输入电压同步。两种方法均使功率因数提高,后者效果更加明显,但电路复杂。

## 2 结语

本文的设计方法正确,仿真结果正常,克服了传统方案中所存在的一些问题,使电磁干扰的抑制技术得到进一步优化。从开关电源电磁干扰产生的机理来看,有多种方式可抑制电磁干扰,除本文中分析的几种主要方法外,还可以采用光电隔离器、LSA 系列浪涌吸收器、软开关技术等。抑制开关电源的电磁干扰,目的是使其能在各领域得到有效应用的同时,尽量减少电磁污染,实现了对电磁污染问题的有效治理。而在实际设计时,应全面考虑开关电源的各种电磁干扰,选用

多种抑制电磁干扰的方法加以综合利用，使电磁干扰降到最低，从而提高电子产品的质量与可靠性。