

开关电源EMI的五大抑制策略

开关电源是一种应用功率半导体器件（IC）并综合电力变换技术、电磁技术、自动控制技术等电力电子产品。因其具有功耗小、效率高、体积小、重量轻、工作稳定、安全可靠以及稳压范围宽等优点，而被广泛应用于计算机、通信、电子仪器、工业自动化控制、国防及家用电器等领域。

但是开关电源瞬态响应较差、易产生电磁干扰，且EMI信号占有很宽的频率范围，并具有一定的幅度。这些EMI信号经过传导和辐射方式污染电磁环境，对通信设备和电子仪器造成干扰，因而在一定程度上限制了开关电源的使用。

1, 开关电源产生电磁干扰的原因

电磁干扰(EMI Electromagnetic Interference)是一种电子系统或分系统受非预期的电磁扰动造成的性能损害。它由三个基本要素组成:

- 1) 干扰源，即产生电磁干扰能量的设备;
- 2) 耦合途径，即传输电磁干扰的通路或媒介;
- 3) 敏感设备，即受电磁干扰而被损害的器件、设备、分系统或系统;

基于此，控制电磁干扰的基本措施就是:抑制干扰源、切断耦合途径及降低敏感设备对干扰的响应或增加电磁敏感性电平。

开关电源的工作原理及其干扰杂波形成

- 1) 开关电源首先将工频交流电整流为直流电，再逆变为高频交流电，最后经过整流滤波输出，得到稳定的直流电压。
- 2) 在电路中，功率三极管、二极管主要工作在开关管状态，且工作在微秒量级。
- 3) 三极管、二极管在开一闭翻转过程中，在上升、下降时间内电流变化大、易产生射频能量，形成干扰源。同时，由于变压器的漏感和输出二极管的反向恢复电流造成的尖峰，也会形成潜在的电磁干扰。
- 4) 开关电源通常工作在高频状态，频率在20kHz以上，因而其分布电容不可忽略。
- 5) 散热片与开关管的集电极间的绝缘片的分布电容：由于其接触面积较大，绝缘片较薄，因此，两者间的分布电容在高频时不能忽略。高频电流会通过分布电容流到散热片上，再流到机壳地，产生共模干扰；

另一方面脉冲变压器的初次级之间存在着分布电容：可将初级绕组电压直接耦合到次级绕组上，在次级绕组作直流输出的两条电源线上产生共模干扰。

因此，开关电源中的干扰源主要集中在电压、电流变化大，如开关管、二极管、高频变压器等元件，以及交流输入、整流输出电路部分。

2, 抑制开关电源电磁干扰的措施

通常开关电源EMI控制主要采用：滤波技术、屏蔽技术、密封技术、接地技术等。

EMI干扰传播途径：传导干扰和辐射干扰。

传导干扰：是开关电源的主要传播途径，传导干扰的频率范围最宽，约为10kHz—30MHz，抑制传导干扰的对策基本上在以下的三个频段来解决。

10kHz—150kHz：主要是常态干扰，一般采用通用LC滤波器来解决。

150kHz—10MHz：主要是共模干扰，通常采用共模抑制滤波器来解决。

10MHz以上频段：改进滤波器的外形以及采取电磁屏蔽措施。

交流电源输入线上存在以上两种干扰：

低频段差模干扰：幅度小、频率低、造成的干扰小；
高频段共模干扰：幅度大、频率高，还可以通过导线产生辐射，造成的干扰较大。

抑制对策1:在交流电源输入端采用适当的EMI滤波器

电源线EMI滤波器基本原理如图1所示，其中差模电容C1、C2用来短路差模干扰电流，而中间连线接地电容C3、C4则用来短路共模干扰电流。共模扼流圈是由两股等粗并且按同方向绕制在一个磁芯上的线圈组成。如果两个线圈之间的磁耦合非常紧密，那么漏感就会很小，在电源线频率范围内差模电抗将会变得很小；当负载电流流过共模扼流圈时，串联在相线上的线圈所产生的磁力线和串联在中线上线圈所产生的磁力线方向

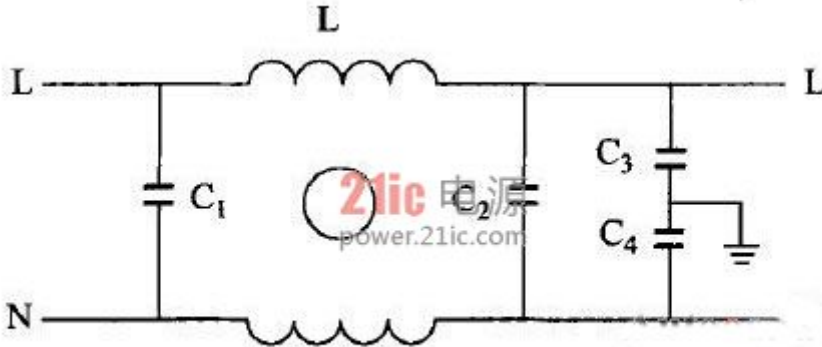


图1 电源线滤波器基本电路图

相反，它们在磁芯中相互抵消。因此即使在大负载电流的情况下，磁芯也不会饱和。共模扼流圈要采用导磁率高、频率特性较佳的铁氧体磁性材料。

抑制对策2：利用吸收回路改善开关波形

开关管或二极管在开通和关断过程中，由于存在变压器漏感和线路电感，二极管存储电容和分布电容，容易在开关管集电极、发射极两端和二极管上产生尖峰电压。通常情况下采用RC/RCD吸收回路，RCD浪涌电压吸收回路如图2所示。

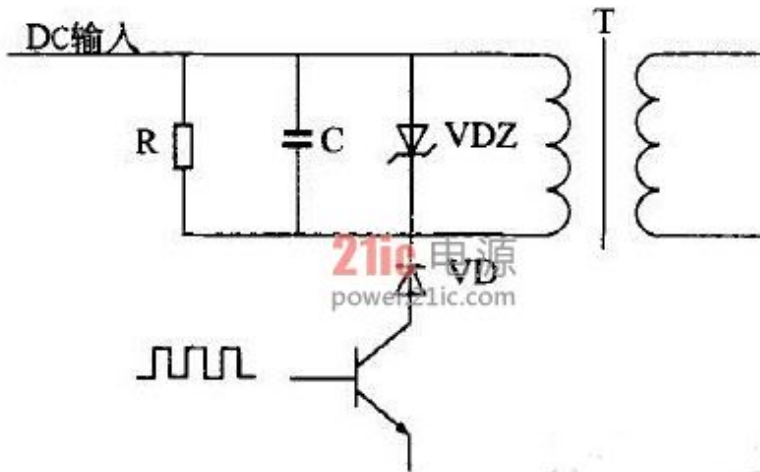


图2 RCD浪涌电压吸收回路

当吸收回路上的电压超过一定幅度时，各器件迅速导通，从而将浪涌能量泄放掉，同时将浪涌电压限制在一定的幅度。在开关管集电极和输出二极管的正极引线上串接可饱和磁芯线圈或微晶磁珠，材质一般为钴(Co)，当通过正常电流时磁芯饱和，电感量很小。一旦电流要反向流过时，它将产生很大的反电势，这样就能有效地抑制二极管VD的反向浪涌电流。

抑制对策3：利用开关频率调制技术、频率控制技术

是基于开关干扰的能量主要集中在特定的频率上，并具有较大的频谱峰值。如果能将这些能

量分散在较宽的频带上，则可以达到降低干扰频谱峰值的目的。通常有两种处理方法:随机频率法和调制频率法。

随机频率法是在电路开关间隔中加入一个随机扰动分量，使开关干扰能量分散在一定范围的频带中。研究表明，开关干扰频谱由原来离散的尖峰脉冲干扰变成连续分布干扰，其峰值大大下降。

调制频率法是在锯齿波中加入调制波(白噪声)，在产生干扰的离散频段周围形成边频带，将干扰的离散频带调制展开成一个分布频带。这样，干扰能量就分散到这些分布频段上。在不影响变换器工作特性的情况下，这种控制方法可以很好地抑制开通、关断时的干扰。

抑制对策4：采用软开关技术

开关电源的干扰之一是来自功率开关管通/断时的 du/dt ，因此，减小功率开关管通/断的 du/dt 是抑制开关电源干扰的一项重要措施。而软开关技术可以减小开关管通/断的 du/dt 。

如果在开关电路的基础上增加一个很小的电感、电容等谐振元件就构成辅助网络。在开关过程前后引入谐振过程，使开关开通前电压先降为零，这样就可以消除开通过程中电压、电流重叠的现象，降低、甚至消除开关损耗和干扰，这种电路称为软开关电路。

根据上述原理可以采用两种方法，即在开关关断前使其电流为零，则开关关断时就不会产生损耗和干扰，这种关断方式称为零电流关断;或在开关开通前使其电压为零，则开关开通时也不会产生损耗和干扰，这种开通方式称为零电压开通。在很多情况下，不再指出开通或关断，仅称零电流开关和零电压开关，基本电路如图3和图4所示。

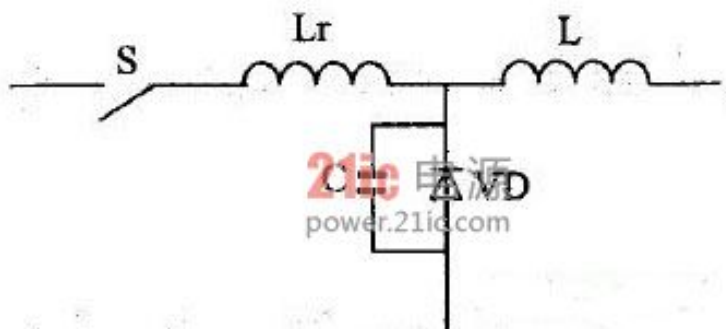


图4 零电流开关谐振电路

通常采用软开关电路控制技术，结合合理的元器件布局及印制电路板布线、接地技术，对开关电源的EMI干扰具有一定的改善作用。

抑制对策5：采用电磁屏蔽措施

一般采用电磁屏蔽措施都能有效地抑制开关电源的电磁辐射干扰。

开关电源的屏蔽措施主要是针对开关管和高频变压器而言。

开关管：工作时产生大量的热量，需要给它装散热片，从而使开关管的集电极与散热片间产生较大的分布电容。因此，在开关管的集电极与散热片间放置绝缘屏蔽金属层，并且散热片接机壳地，金属层接到热端零电位，减小集电极与散热片间耦合电容，从而减小散热片产生的辐射干扰。

高频变压器：首先应根据导磁体屏蔽性质来选择导磁体结构，如用罐型铁芯和EI型铁芯，则导磁体的屏蔽效果很好。变压器外加屏蔽时，屏蔽盒不应紧贴在变压器外面，应留有一定的气隙。如采用有气隙的多层屏蔽物时，所得的屏蔽效果会更好。另外，在高频变压器中，常常需要消除初、次级线圈间的分布电容，可沿着线圈的全长，在线圈间垫上铜箔制成的开路带环，以减小它们之间的耦合，这个开路带环既与变压器的铁芯连接，又与电源的地连接，起到静电屏蔽作用。如果条件允许，对整个开关电源加装屏蔽罩，那样就会更好地抑制辐射干扰。

Summary

随着开关电源的体积越来越小、功率密度越来越大，EMI控制问题成为开关电源稳定性的一

个关键因素。由上述分析可知，采用EMI滤波技术、屏蔽技术、密封技术及接地技术等，可以有效地抑制、消除干扰源及受扰设备之间的耦合和辐射，切断电磁干扰的传播途径，从而提高开关电源的电磁兼容性。