

开关电源EMI及其滤波电路设计

The Design of Switch power supply EMI and Its Filter Circuits

高适 编译, 姜劲 校

中图分类号: TN86 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2011)09-2-143

1 开关电源的电磁干扰源

开关电源产生电磁干扰 (EMI) 的最根本原因是它们在工作过程中产生的高 di/dt 和高 dv/dt , 高 di/dt 和高 dv/dt 产生的浪涌电流和尖峰电压形成了干扰源。开关电源中的电压和电流波形大多是接近矩形的周期波。矩形波周期的倒数决定波形的基波频率。脉冲边沿的上升时间或下降时间的倒数决定着这些边沿产生的频率分量的频率值, 其典型的频率在 MHz 范围, 由此可见它们的谐波频率就更高了。这些高频信号都会对开关电源的基本信号尤其是对控制电路的信号产生干扰。对开关电源产生电磁干扰的噪声源可以分为两大类: 一类是外部的电磁噪声, 例如通过电网传输进入的共模噪声和差模噪声, 以及外部电磁辐射对开关电源控制电路的干扰等等。另一类是开关电源本机产生的电磁噪声, 诸如开关管和整流管的电流尖峰产生的谐波及电磁辐射干扰。

1.1 由电源线引入的电磁噪声

电源线噪声是电网系统中的各种用电设备产生的电磁骚扰沿着电源线传播造成的。电源线噪声被分为两类: 共模噪声与差模噪声。

共模干扰 (Common-mode Interference): 一般指在两根信号线上产生的幅度相等、相位相同的噪声。共模干扰被定义为任何载流导体和参考接地之间的不希望有的电位差, 属于非对称性干扰, 而且其频率高, 幅值大, 所以干扰强度也大。

差模干扰 (Differential-mode Interference): 差模噪声是在任何两个载流导体之间传输产生的不希望有的电位差, 差模噪声属于对称性干扰, 同时其频率低, 幅值小, 故造成的干扰也小。图 1 所示为共模噪声和差模噪声的回路。

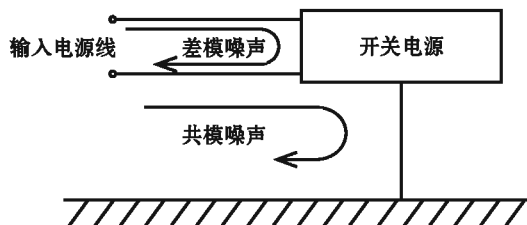


图 1 共模噪声与差模噪声的回路

1.2 输入电流畸变产生的噪声

开关电源的输入普遍采用桥式整流、电容滤波型整流电源。在没有 PFC 功能的输入级, 由于其整流二极管的非线性特性和滤波电容器的储能作用, 造成二极管的导通角变小, 输入电流 I_{in} 成为一个时间很短、峰值很大的周期性尖峰电流。这种被畸变的电流除了包含基波分量以外, 还包括有丰富的高次谐波分量。这些高次谐波分量进入到电网将引起严重的谐波污染, 对电网上其它的电器电子装置产生干扰。为了控制开关电源对电网的污染同时实现高功率因数, 功率因数校正 (PFC) 电路是不可或缺的部分。

1.3 开关管与变压器产生的电磁干扰

主开关管是开关电源的核心器件, 但同时它又是干扰源。其工作频率直接与电磁干扰的强度密切相关。随着开关管的工作频率升高, 开关管电压和电流的切换速度就加快, 因此其传导干扰和辐射干扰也随之增加。此外, 主开关管上反并联的箝位二极管的反向恢复特性不佳, 或者电压尖峰吸收电路的参数选择不当也会造成电磁干扰。

开关电源在工作过程中, 由初级滤波电容器、高频变压器初级线圈以及开关管构成了一个高频电流回路, 这个回路会产生较强的辐射噪声。开关回路中开关管的负载是高频变压器的初级线圈, 这是一个电感性负载, 所以在开关管通断切换时, 在高频变压器的初级两端则会出现尖峰

噪声, 它们的强度弱时会造成干扰, 强度大时则会击穿开关管。主变压器各个绕组之间的分布电容和漏电感也是引发电磁干扰的重要因数。

1.4 输出整流二极管产生的电磁干扰

理想的二极管在承受反向电压时即截止, 不会有反向电流通过。而实际使用的二极管在正向导通时, PN 结内的电荷被积累起来, 当二极管承受反向电压时, 在 PN 结内积累的电荷被释放并形成为一个反向恢复电流, 它恢复到零点的时间与结电容值等因素有关。反向恢复电流在变压器的漏电感和其它分布参数的作用下会产生较强烈的高频衰减振荡。为此, 输出整流二极管的反向恢复噪声也就成了开关电源中的一个主要的电磁噪声干扰源。对于这种噪声, 可以采用在二极管的两端并联 RC 缓冲抑制其反向恢复噪声。

2 滤波电路设计及元器件选择

从上述开关电源电磁干扰源的分析中可知, 任何开关电源都会产生电磁干扰。为了尽可能减少电磁干扰, 满足电磁兼容的技术标准和指令, 通常在开关电源电路中添加滤波电路。滤波电路的设计分为两部分: 一种是输入滤波电路, 另一种是输出滤波电路, 这两种滤波电路互相制约, 相辅相成, 共同影响电磁干扰的特性。

2.1 输入滤波电路设计

输入滤波电路可分为整流前的交流滤波电路和整流后的直流滤波电路。

a. 整流前的交流滤波电路一般是由一个安规电容器、一个共模电感器、一个差模电感器、两个接地电容器组成。共模电感是绕在磁环上的两个独立线圈, 其缠绕匝数相同、绕向相反, 这使得扼流线圈接入电路后, 对于正常信号而言, 两个线圈内电流产生的磁通在磁环内相互抵消, 不会使磁环内达到磁饱和状态, 故对正常信号不发生作用。但对于通过电源线和地线之间的电流, 由于两个线圈的磁通方向相同, 产生了磁通迭加, 因而电感量迅速增大, 从而对共模信号产生很大感抗, 大大削弱了共模噪声的干扰。

为了使共模电感获得尽可能大的绕组电感值, 应采用高磁导率和低损耗的铁氧体材料磁心, 通常使用 $\mu_r=7000\sim 12000$ 的 MnZn 系铁氧体材料。目前共模电感器有插针型和表面安装型 (SMD) 两大类。前者通常采用 UF 型组合磁心, 也有采用闭合环形磁心或日字磁心结构的, 它

们有更优越的磁特性。

共模电感器的电感量与 EMI 滤波器的额定电流有关, 当额定电流较大时, 共模电感线圈的线径也要相应增大, 以便能承受更大的电流。此外, 适当增加电感量也可改善低频衰减特性。

整流前交流滤波电路中安规电容器的电容量范围大致是 $0.01\mu\text{F}\sim 0.47\mu\text{F}$, 电压是 $275V_{ac}$, 其作用是主要滤除串模干扰, 同时可以使电路满足安规认证的要求。安规电容器与普通电容器的区别在于它的内部有一个自放电回路, 它可以在 2 秒钟范围之内使其两端的电压泄放到人体安全的范围内。

接地电容器跨接于 L 相与 N 相之间, 可分为两种: 一种 X1Y1 (TRIGON CCD-1 系列), 其电容量从 100PF 到 4700PF, 额定电压 X1: $400V_{ac}$; Y1: $250V_{ac}$; 另一种 X1Y2 (TRIGON CCD-2 系列), 其电容量从 5.1PF 到 1500PF, 额定电压: X1: $400V_{ac}$; Y2: $250V_{ac}$ 。限制其电容量的范围主要是为了减少漏电流。差模电感器主要用作滤除一些差模信号。

b. 整流后的直流滤波电路一般由两个电解电容器、一个差模电感器构成 Ω 型滤波器。这种滤波电路的作用是使整流后的直流更加平滑, 使其脉动系数尽可能小 (<0.01)。由于这部分的脉动电压频率是几百 Hz, 充放电时间在毫秒级范围, 所以其电容量、损耗角正切值以及漏电流是鉴别其优劣的主要参数, 电容量的大小一般是根据输出负载的大小来进行选择的, 输出负载大时, 电容量的选择相应的就会大, 同样, 输出负载小时, 电容量的选择就应相应小些。

输出滤波器的电解电容器选择与输入端电解电容器的选择很不相同, 因为其锯齿波电压的频率高达数十 kHz, 甚至数十 MHz, 这时的电容量并不是其主要指标。衡量高频铝电解电容器优劣的标准是“阻抗—频率”特性, 即要求在开关电源的工作频率范围内有较低的等效阻抗, 同时对半导体器件工作中产生的高频尖峰信号具有良好的滤除作用。

电源滤波器一般用来抑制 30MHz 以下频率范围的噪声, 但对于 30MHz 以上频率的干扰即辐射发射干扰也有一定的抑制作用。根据实践经验, 在该频率范围又大致可以分成 3 个频段: 在 5kHz 以下, 主要是抑制差模干扰为主; 在 5kHz~1MHz 范围内, 主要是抑制共模干扰为主; 而在 1MHz~30MHz 范围内主要抑制共模干扰外, 还需要注意与周围的电磁波耦合问题以及根据情况考虑加地线接地等辅助抑制手段相结合。对于在 30MHz 以上的频率噪声则要考虑滤波器的高频特性。