

---

## 开关电源 EMC 知识全面汇总

本文是对开关电源 EMC 知识的全面汇总，包括开关电源 EMC 的分类及标准，常用的 EMC 标准及实验配置，关于制订电磁兼容标准的组织和标准的介绍，开关电源电磁干扰的产生机理及其传播途径。

### EMC 的分类及标准：

EMC (Electromagnetic Compatibility) 是电磁兼容，它包括 EMI (电磁骚扰) 和 EMS (电磁抗骚扰)。EMC 定义为：设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中的任何设备的任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。EMC 整的称呼为电磁兼容。EMP 是指电磁脉冲。

EMC=EMI+EMSEMI:电磁干扰 EMS:电磁相容性(免疫力)

EMI 可分为传导 Conduction 及辐射 Radiation 两部分，Conduction 规范一般可分

为:FCC Part 15 Class B; CISPR 22 (EN 55022, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3) Class B; 国标 IT 类 (GB 9254, GB 17625) 和 AV 类 (GB 13837, GB 17625)。FCC 测试频率在 450K-30MHz, CISPR 22 测试频率在 150K-30MHz, Conduction 可以用频谱分析仪测试, Radiation 则必须到专门的实验室测试。其中 EN 55022 为 Radiation Test & Conduction Test (传导&辐射测试); EN 61000-3-2 为 Harmonic Test (电源谐波测试); EN 61000-3-3 为 Flicker Test (电压变动测试)。CISPR 22 (Comite Special des Perturbations Radioelectrique) 应用于信息技术类装置, 适用于欧洲和亚洲地区; EN 55022 为欧洲标准, FCC Part 15 (Federal Communications Commission) 适用于美国, EN 30220 欧洲 EMI 测试标准, 功率辐射测试标准是 EN 55013 频率在 30MHz-300MHz。

EN 55011 辐射测试标准是：有的频率段要求较高，有的频率段要求较低。传导 (150KHz-30MHz) LISN 主要是差模电流, 其共模阻抗为 100 欧姆 (50+50); LISN 主要是共模电流, 其总的电路阻抗为 25 欧姆 (50//50)。

4 线 AV60dB/uV 150KHz-2MHz start 9KHz

5 线 PEAK 100dB/uV 150KHz-3MHz

6 线 PEAK 100dB/uV 2MHz-30MHz

7 线 QP70dB/uV 150KHz-500KHz

Radiated (30MHz-1GHz): ADD 4N7/250V YCAP 90dB/uV 30MHz-300MHz

EMI 为电磁干扰, EMI 是 EMC 其中的一部分, EMI (Electronic Magnetic Interference) 电磁干扰, EMI 包括传导、辐射、电流

---

谐波、电压闪烁等等。电磁干扰是由干扰源、耦合通道和接收器三部分构成的，通常称作干扰的三要素。EMI 线性正比于电流，电流回路面积以及频率的平方即： $EMI=K*I*S*F^2$ 。I 是电流，S 是回路面积，F 是频率，K 是与电路板材料和其他因素有关的一个常数。

EMI 是指产品的对外电磁干扰。一般情况下分为 ClassA&ClassB 两个等级。ClassA 为工业等级，ClassB 为民用等级。民用的要比工业的严格，因为工业用的允许辐射稍微大一点。同样产品在测试 EMI 中的辐射测试来讲，在 30-230MHz 下，B 类要求产品的辐射限值不能超过 40dBm 而 A 类要求不能超过 50dBm(以三米法电波暗室测量为例)相对要宽松的多，一般来说 CLASSA 是指在 EMI 测试条件下，无需操作人员介入，设备能按预期持续正常工作，不允许出现低于规定的性能等级的性能降低或功能损失。

EMI 是设备正常工作时测它的辐射和传导。在测试的时候，EMI 的辐射和传导在接收机上有两个上限，分别代表 ClassA 和 ClassB，如果观察的波形超过 B 的线但是低于 A 的线，那么产品就是 A 类的。EMS 是用测试设备对产品干扰，观察产品在干扰下能否正常工作，如果正常工作或不出现超过标准规定的性能下降，为 A 级。能自动重启且重启后不出现超过标准规定的性能下降，为 B 级。不能自动重启需人为重启为 C 级，挂掉为 D 级。国标有 D 级的规定，EN 只有 A，B，C。EMI 在工作频率的奇数倍是最不好过的。EMS (Electromagnetic Susceptibility) 电磁敏感度一般俗称为“电磁免疫力”，是设备抗外界骚扰干扰之能力，EMI 是设备对外的骚扰。EMS 中的等级是指：ClassA，测试完成后设备仍在正常工作；ClassB，测试完成或测试中需要重启后可以正常工作；ClassC，需要人为调整后可以正常重启并正常工作；ClassD，设备已损坏，无论怎样调整也无法启动。严格程度 EMI 是 B>A，EMS 是 A>B>C>D。

EMS 部份为 EN55024 包含 7 项测试：

EN61000-4-2:1998;EN61000-4-3:1998;EN61000-4-4:1995, EN61000-4-5:1995;EN61000-4-6:1996;EN61000-4-8:1993;EN61000-4-11:1994。

EMC 检测主要项目：

空间辐射 (Radiation) :EN55011, 13, 22FCCPart15&18, VCC

传导干扰 (Conduction) :EN55011, 13, 14-1, 15, 22, FCCPart15&18, VCCI

喀喇声 (Click) :EN55014-1

功率辐射 (PowerClamp) :EN55013, 14-1

磁场辐射 (MagneticEmission) :EN55011, 15

低频干扰 (LowFrequencyImmunity) :EN50091-2

---

静电放电 (ESD) : IEC61000-4-2、EN61000-4-2、GB/T17626.2

辐射抗扰度 (R/S) : IEC61000-4-3、EN61000-4-3、  
GB/T17626.3e;TEXT-INDENT:2em;MARGIN:10px25px0px;PADDING-LEFT:0px;PADD  
ING-RIGHT:0px;FONT:14px/22px 宋  
体, Georgia, verdana, serif;WHITE-SPACE:normal;ORPHANS:2;LETTER-SPACING:  
normal;COLOR:rgb(68,68,68);WORD-SPACING:0px;PADDING-TOP:0px;-webkit-t  
ext-size-adjust:auto;-webkit-text-stroke-width:0px">脉冲群抗扰度  
(EFT/B) : IEC61000-4-4、EN61000-4-4、GB/T17626.4

浪涌抗扰度 (SURGE) : IEC61000-4-5、EN61000-4-5、GB/T17626.5

传导骚扰抗扰度 (C/S) : IEC61000-4-6、EN61000-4-6、GB/T17626.6

工频磁场抗扰度 (M/S) : IEC61000-4-8、EN61000-4-8、GB/T17626.8

电压跌落 (DIPS) : IEC61000-4-11、EN61000-4-11、GB/T17626.11

谐波电流 (Harmonic) : IEC61000-3-2、EN61000-3-2

电压闪烁 (Flicker) : IEC61000-3-3、EN61000-3-3

辐射干扰 (Radiated Interference) 是通过空间并以电磁波的特性和规律传播的。但不是任何装置都能辐射电磁波的。传导干扰 (Conducted Interference) 是沿着导体传播的干扰。所以传导干扰的传播要求在干扰源和接收器之间有一完整的电路连接。电磁兼容三要素：任何电磁兼容性问题都包含三个要素，即干扰源、敏感源和耦合路径，这三个要素中缺少一个，电磁兼容问题就不会存在。

产生电磁干扰的条件：突然变化的电压或电流，即  $dV/dt$  或  $dI/dt$  很大；辐射天线或传导导体。

电磁兼容标准对设备的要求有两个方面：一个是工作时不会对外界产生不良的电磁干扰影响，另一个是不能对外界的电磁干扰过度敏感。前一个方面的要求称为干扰发射要求，后一个方面的要求称为敏感度要求。电磁能量从设备内传出或从外界传入设备的途径只有两个，一个是以电磁波的形式从空间传播，另一个是以电流的形式沿导线传播。因此，电磁干扰发射可以分为：传导发射和辐射发射；敏感度也可以分为传导敏感度和辐射敏感度。

电磁兼容标准分为基础标准、通用标准、产品类标准和专用产品标准。基础标准：描述了 EMC 现象、规定了 EMC 测试方法、设备，定义了等级和性能判据。基础标准不涉及具体产品。产品类标准：针对某种产品系列的 EMC 测试标准。往往引用基础标准，但根据产品的特殊性提出更详细的规定。通用标准：按照设备使用环境划分的，当产品没有特定的产品类标准可以遵循时，使用通用标准来进行 EMC 测试。对使设备的功能完全正常，也要满足这些标准的要求。

---

## 关于制订电磁兼容标准的组织和标准的介绍:

IEC(国际电工委员会): 有两个平行的组织制订 EMC 标准, CISPR 和 TC77。

CISPR(国际无线电干扰特别委员会): 1934 年成立。目前有七个分会: A 分会(无线电干扰测量方法与统计方法)、B 分会(工、科、医疗射频

设备的无线电干扰)、C 分会(电力线、高压设备和电牵引系统的无线电干扰)、D 分会(机动车和内燃机的无线电干扰)、E 分会(无线接收设备干扰特性)、F 分会(家电、电动工具、照明设备及类似电器的无线电干扰)、G 分会(信息设备的无线电干扰)。

TC77(第 77 技术委员会):1981 年成立。目前有 3 个分会:SC77A(低频现象)、SC77B(高频现象)、SC77C(对高空核电磁脉冲的抗扰性)。

CENELEC(欧洲电工标准化委员会): 由欧共体委员会授权制订欧洲标准。EN 标准中引用了很多 CISPR 和 IEC 标准, 其对应关系如下:

EN55×××=CISPR 标准, (例: EN55011=CISPRPub. 11)

EN6××××=IEC 标准, (例: EN61000-4-3=IEC61000-4-3Pub. 11)

EN50×××=CENELEC 自定标准, (例: EN50801)

FCC(联邦通信委员会)全名为 FederalCommunicationsCommission: 是管理电脑, 周边及通信产品等销售美国之审核授权机构, 主要制订民用产品标准, 关于电磁兼容的标准主要包括在 FCCPart15 和 FCCPart18 中。

FCCPart15subpartB 规定: 凡利用数位技术之电子装置或系统, 及使用或产生脉波频率超过 10KHz 之器材, 皆须依规定进行测试认证后, 才可以在美国市场销售。

MIL-STD(美军标): 典型的是 MIL-STD - 461D。这个标准不仅规定了最大辐射发射和传导发射的限制, 还规定了系统对辐射和传导干扰的敏感度要求。配套标准 MIL-STD-462 规定了必要的测试装置。商业公司经常将 MIL-STD-461 中的某些部分作为产品内部 EMC 规范。

VCCI(干扰自愿控制委员会): 民间机构, 其标准与 CISPR 和 IEC 一致。

GB(中国国家标准): 基本采用 CISPR 和 IEC 标准, 目前已发布 57 个。

GJB(中国军用标准): 基本采用美军标, 例如 GJB151A=MIL-STD - 461D。军用设备

为军用设计的电子系统必须满足 MIL-STD-461D 的要求, 另一个关于 EMI 的军用标准是保密的 TEMPEST 计划, 这是用来保证保密通信系统安全的。现在可以

---

接收并复现出大多数电子设备正常工作时所发射的功率很低的射频信号。象对电子窃听很脆弱的 CRT 终端那样的军用产品就属于 TEMPEST 的范畴。在实践中，TEMPEST 控制设备和系统的发射，使无法解译携带信息的信号。

CE 标示:源自欧共体各会员国(EuropeanCommunity)缩写的总称,并以此为标志。规范产品是否符合欧体为保障民众安全健康以及环境保护等利益所订定之基本安全要求。

CE=EMC+LVDEMC:电磁干扰及电磁相容性 LVD:低电压指令

测量场地: GB 要求在开阔场地中测量, GJB 要求在屏蔽半无反射室中测量, 由于电磁环境日趋恶化, 开阔场中的背景干扰往往严重影响测量, 因此, GB 测量也开始在屏蔽半无反射室中做, 但要求半无反射室中的电磁场分布与开阔场近似。

25px0px;PADDING-LEFT:0px;PADDING-RIGHT:0px;FONT:14px/22px 宋体, Georgia, verdana, serif;WHITE-SPACE:normal;ORPHANS:2;LETTER-SPACING:normal;COLOR:rgb(68, 68, 68);WORD-SPACING:0px;PADDING-TOP:0px;-webkit-text-size-adjust:auto;-webkit-text-stroke-width:0px">天线到 EUT (受试设备)的距离: GB 要求为 3 米、10 米或 30 米, GJB 要求为 1 米;

测量内容: GB 仅测量电场辐射发射, GJB 对电场辐射和磁场辐射都要测量;

测量频率范围: GB 规定的测量范围为 30MHz~1GHz, 随着时钟频率的升高, 有扩展到 18GHz 的趋势, GJB 规定的测量频率范围为 10kHz~18GHz。

EUT 的布置: GB 和 GJB 都要求 EUT 按照实际工作状态布置(互联电缆和所连接的外部设备全部按实际状态连接), GB 要求 EUT 放置在木制测试台上, GJB 要求 EUT 放置在金属板上。距离地面的距离为 0.8 米;

检波方式: 干扰测量仪的读数与检波方式有关, 因此标准中都明确规定检波方式, GB 要求准峰值检波, GJB 要求峰值检波;

最大辐射点: 与处理电磁兼容问题的原则相同, 仅关心最坏情况。因此, 以 EUT 的最大辐射值为测量结果。最大辐射值的含义有 4 个, 第一: EUT 的工作状态处于最大辐射状态, 第二: EUT 最大辐射面对着天线, 第三: 天线的极化方向为接收最大场强的方向, 第四: 天线的高度为接收最大场强的位置。GJB 中, 没有第四点的要求, 即, 天线的高度是固定的。

### 测量设备:

骚扰测量设备: 用来定量计量骚扰强度的设备, 可以是 EMI 测量接收机, 也可以是频谱分析仪, 频率范围要覆盖 150KHz~30MHz, 具有峰值、准峰值和平均值检波功能。

---

线路阻抗稳定网络(LISN):由于电源端子传导发射的强度与电网的阻抗有关,因此为了使测量具有唯一性,必须在特定的阻抗条件下测量,LISN就提供了这样一个环境,GB9254标准中使用的LISN为 $50\Omega/50\mu\text{H}$ 。

接地平板:受试设备要放置在接地金属板上进行试验,该金属板比被测设备边框大0.5米,最小尺寸为 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 。

电快速脉冲试验模拟电网中的感性负载断开时产生的干扰。这种干扰不仅会出现在电源线上,而且会耦合到信号线上。因此,这个试验要对电源线和信号线做。设备能够通过浪涌试验,并不意味着也能通过电快速脉冲试验。一方面是因为后者的频率成份远高于前者,具备不同的干扰机理,另一方面是因为电快速脉冲试验中施加的干扰是重复性,这对电路具有一种积分效应,是电路中的积分型抗干扰电路实效。频谱分析仪能够快速地在较宽的频率范围内扫描,因此是诊断电磁干扰发射的方便工具。使用频谱分析仪时需要注意的问题:频谱分析仪不能观测瞬间干扰,如静电放电、雷电等;频谱分析仪的扫描时间不能设置得太短,即不能使扫描速度太快;从频谱分析仪屏幕上读取频率与幅度数据时,其精度与频谱仪的扫描范围有关,范围越窄,精度越高;当输入信号过大时,频谱分析仪会发生过载,使读取的幅度数据比实际的小,用输入衰减器可以避免过载;减小频谱仪的中频带宽可以提高仪器的灵敏度(和选择性),但扫描时间会更长;宽带信号的幅度会随着中频分辨带宽的增加而增加。

电磁干扰(EMI)接收机是另一种测量电磁干扰的设备,许多人在选购仪器时搞不懂接收机与频谱仪之间的区别,下面做一简单比较:

所有的接收机都标准配置预选器(频谱仪需要选配),能够有效地抑制带外噪声;所有的接收机用基频混频方式(频谱仪使用基频和谐频混频),具有较高的灵敏度;接收机的中频滤波器为矩形(频谱仪的中频滤波器为高斯形),具有更好的选择性;接收机适合于正式测量,不适合于诊断。

EMC 试验室有华测(CTI)、SGS、信测、信华、华通威、冠准、莫特、广州 ETL、广州五所、东莞经续、东莞沃特、厚街北南、长安世鸿、长安硕信(ATT)、大朗信宝、塘夏欧标、摩尔实验室、经续检验技术有限公司等。像美国的 FCC 只测 EMI 中的辐射和传导,不测 EMS。有些国家 EMI 和 EMS 是分开测的,有些国家是一起像 CCC 认证 CE 认证。现在很多电器类产品做 CE 还要加测电磁波骚扰 EMF,标准是 EN-50336。电源 EMI 技术就算能达到标准,有的产品要求要达一定的湿度测试。在深圳湿试控制都比较难做。深圳几家大实验室,都比较难,空间问题。EMI 不只包括传导,辐射,电流谐波与电压闪烁也是 EMI 的部分。谐波和闪烁是设备对外的,而不是外界对设备的,所以是 EMI,不是 EMS。

### 开关电源电磁干扰的产生机理及其传播途径

功率开关器件的高额开关动作是导致开关电源产生电磁干扰(EMI)的主要原因。开关频率的提高一方面减小了电源的体积和重量,另一方面也导致了更为严重的 EMI 问题。开关电源工作时,其内部的电压和电流波形都是在非常短的时间

---

内上升和下降的,因此,开关电源本身是一个噪声发生源。开关电源产生的干扰,按噪声干扰源种类来分,可分为尖峰干扰和谐波干扰两种;若按耦合通路来分,可分为传导干扰和辐射干扰两种。使电源产生的干扰不至于对电子系统和电网造成危害的根本办法是削弱噪声发生源,或者切断电源噪声和电子系统、电网之间的耦合途径。现在按噪声干扰源来分别说明:

### 1、二极管的反向恢复时间引起的干扰

交流输入电压经功率二极管整流桥变为正弦脉动电压,经电容平滑后变为直流,但电容电流的波形不是正弦波而是脉冲波。由电流波形可知,电流中含有高次谐波。大量电流谐波分量流入电网,造成对电网的谐波污染。另外,由于电流是脉冲波,使电源输入功率因数降低。

高频整流回路中的整流二极管正向导通时有较大的正向电流流过,在其受反偏电压而转向截止时,由于PN结中有较多的载流子积累,因而在载流子消失之前的一段时间里,电流会反向流动,致使载流子消失的反向恢复电流急剧减少而发生很大的电流变化( $di/dt$ )。

### 2、开关管工作时产生的谐波干扰

功率开关管在导通时流过较大的脉冲电流。例如正激型、推挽型和桥式变换器的输入电流波形在阻性负载时近似为矩形波,其中含有丰富的谐波分量。当采用零电流、零电压开关时,这种谐波干扰将会很小。另外,功率开关管在截止期间,高频变压器绕组漏感引起的电流突变,也会产生尖峰干扰。

### 3、交流输入回路产生的干扰

无工频变压器的开关电源输入端整流管在反向恢复期间会引起高频衰减振荡产生干扰。开关电源产生的尖峰干扰和谐波干扰能量,通过开关电源的输入输出线传播出去而形成的干扰称之为传导干扰;而谐波和寄生振荡的能量,通过输入输出线传播时,都会在空间产生电场和磁场。这种通过电磁辐射产生的干扰称为辐射干扰。

### 4、其他原因

元器件的寄生参数,开关电源的原理图设计不够完美,印刷电路板(PCB)走线通常采用手工布置,具有很大的随意性,PCB的近场干扰大,并且印刷板上器件的安装、放置,以及方位的不合理都会造成EMI干扰。这增加了PCB分布参数的提取和近场干扰估计的难度。

Flyback 架构 noise 在频谱上的反应

0.15MHz 处产生的振荡是开关频率的 3 次谐波引起的干扰。

---

0. 2MHz 处产生的振荡是开关频率的 4 次谐波和 Mosfet 振荡 2(190.5KHz) 基波的迭加, 引起的干扰; 所以这部分较强。

0. 25MHz 处产生的振荡是开关频率的 5 次谐波引起的干扰;

0. 35MHz 处产生的振荡是开关频率的 7 次谐波引起的干扰;

NG-BOTTOM:0px;WIDOWS:2;TEXT-TRANSFORM:none;TEXT-INDENT:2em;MARGIN:10px 25px 0px;PADDING-LEFT:0px;PADDING-RIGHT:0px;FONT:14px/22px 宋体, Georgia, verdana, serif;WHITE-SPACE:normal;ORPHANS:2;LETTER-SPACING:normal;COLOR:rgb(68, 68, 68);WORD-SPACING:0px;PADDING-TOP:0px;-webkit-text-size-adjust:auto;-webkit-text-stroke-width:0px">0. 39MHz 处产生的振荡是开关频率的 8 次谐波和 Mosfet 振荡 2(190.5KHz) 基波的迭加引起的干扰;

1. 31MHz 处产生的振荡是 Diode 振荡 1(1.31MHz) 的基波引起的干扰;

3. 3MHz 处产生的振荡是 Mosfet 振荡 1(3.3MHz) 的基波引起的干扰;

开关管、整流二极管的振荡会产生较强的干扰

#### 设计开关电源时防止 EMI 的措施:

1. 把噪音电路节点的 PCB 铜箔面积最大限度地减小; 如开关管的漏极、集电极, 初次级绕组的节点, 等。

2. 使输入和输出端远离噪音元件, 如变压器线包, 变压器磁芯, 开关管的散热片, 等等。

3. 使噪音元件(如未遮蔽的变压器线包, 未遮蔽的变压器磁芯, 和开关管, 等等)远离外壳边缘, 因为在正常操作下外壳边缘很可能靠近外面的接地线。

4. 如果变压器没有使用电场屏蔽, 要保持屏蔽体和散热片远离变压器。

5. 尽量减小以下电流环的面积: 次级(输出)整流器, 初级开关功率器件, 栅极(基极)驱动线路, 辅助整流器。

6. 不要将门极(基极)的驱动反馈环路和初级开关电路或辅助整流电路混在一起。

7. 调整优化阻尼电阻值, 使它在开关的死区时间里不产生振铃响声。

8. 防止 EMI 滤波电感饱和。

9. 使拐弯节点和次级电路的元件远离初级电路的屏蔽体或者开关管的散热片。



- 
10. 保持初级电路的摆动的节点和元件本体远离屏蔽或者散热片。
  11. 使高频输入的 EMI 滤波器靠近输入电缆或者连接器端。
  12. 保持高频输出的 EMI 滤波器靠近输出电线端子。
  13. 使 EMI 滤波器对面的 PCB 板的铜箔和元件本体之间保持一定距离。
  14. 在辅助线圈的整流器的线路上放一些电阻。
  15. 在磁棒线圈上并联阻尼电阻。
  16. 在输出 RF 滤波器两端并联阻尼电阻。

17. 在 PCB 设计时允许放 1nF/500V 陶瓷电容器或者还可以是一串电阻, 跨接在变压器的初级的静端和辅助绕组之间。

18. 保持 EMI 滤波器远离功率变压器; 尤其是避免定位在绕包的端部。

19. 在 PCB 面积足够的情况下, 可在 PCB 上留下放屏蔽绕组用的脚位和放 RC 阻尼器的位置, RC 阻尼器可跨接在屏蔽绕组两端。

20. 空间允许的话在开关功率场效应管的漏极和门极之间放一个小径向引线电容器(米勒电容, 10 皮法/1 千伏电容)。

21. 空间允许的话放一个小的 RC 阻尼器在直流输出端。

22. 不要把 AC 插座与初级开关管的散热片靠在一起。

### 开关电源 EMI 的特点

作为工作于开关状态的能量转换装置, 开关电源的电压、电流变化率很高, 产生的干扰强度较大; 干扰源主要集中在功率开关期间以及与之相连的散热器和高平变压器, 相对于数字电路干扰源的位置较为清楚; 开关频率不高(从几十千赫和数兆赫兹), 主要的干扰形式是传导干扰和近场干扰; 而印刷线路板(PCB)走线通常采用手工布线, 具有更大的随意性, 这增加了 PCB 分布参数的提取和近场干扰估计的难度。

1MHZ 以内----以差模干扰为主, 增大 X 电容就可解决

1MHZ---5MHZ---差模共模混合, 采用输入端并一系列 X 电容来滤除差模干扰并分析出是哪种干扰超标并解决;

5M---以上以共模干扰为主, 采用抑制共摸的方法. 对于外壳接地的, 在地线上用一个磁环绕 2 圈会对 10MHZ 以上干扰有较大的衰减(diudiu2006); 对于 25--30MHZ 不过可以采用加大对地 Y 电容、在变压器外面包铜皮、改变 PCBLAYOUT、

---

输出线前面接一个双线并绕的小磁环,最少绕 10 圈、在输出整流管两端并 RC 滤波器。

30---50MHZ 普遍是 MOS 管高速开通关断引起,可以用增大 MOS 驱动电阻, RCD 缓冲电路采用 1N4007 慢管, VCC 供电电压用 1N4007 慢管来解决。

100---200MHZ 普遍是输出整流管反向恢复电流引起,可以在整流管上串磁珠

100MHz-200MHz 之间大部分出于 PFC MOSFET 及 PFC 二极管,现在 MOSFET 及 PFC 二极管串磁珠有效果,水平方向基本可以解决问题,但垂直方向就很无奈了

开关电源的辐射一般只会影响到 100M 以下的频段.也可以在 MOS,二极管上加相应吸收回路,但效率会有所降低。

### **1MHZ 以内---以差模干扰为主**

1. 增大 X 电容量;
2. 添加差模电感;

-SPACING:0px;PADDING-TOP:0px;-webkit-text-size-adjust:auto;-webkit-text-stroke-width:0px">3. 小功率电源可采用 PI 型滤波器处理(建议靠近变压器的电解电容可选用较大些)。1MHZ---5MHZ---差模共模混合,采用输入端并联一系列 X 电容来滤除差模干扰并分析出是哪种干扰超标并以解决:

1. 对于差模干扰超标可调整 X 电容量,添加差模电感器,调差模电感量;
2. 对于共模干扰超标可添加共模电感,选用合理的电感量来抑制;
3. 也可改变整流二极管特性来处理一对快速二极管如 FR107 一对普通整流二极管 1N4007。

### **5M---以上以共模干扰为主,采用抑制共模的方法**

对于外壳接地的,在地线上用一个磁环串绕 2-3 圈会对 10MHZ 以上干扰有较大的衰减作用;可选择紧贴变压器的铁芯粘铜箔,铜箔闭环.处理后端输出整流管的吸收电路和初级大电路并联电容的大小。

### **对于 20--30MHZ,**

1. 对于一类产品可以采用调整对地 Y2 电容量或改变 Y2 电容位置;
2. 调整一二次侧间的 Y1 电容位置及参数值;

---

3. 在变压器外面包铜箔;变压器最里层加屏蔽层;调整变压器的各绕组的分布。

4. 改变 PCBLAYOUT;

5. 输出线前面接一个双线并绕的小共模电感;

6. 在输出整流管两端并联 RC 滤波器且调整合理的参数;

7. 在变压器与 MOSFET 之间加 BEADCORE;

8. 在变压器的输入电压脚加一个小电容。

9. 可以用增大 MOS 驱动电阻。

**30—50MHZ 普遍是 MOS 管高速开通关断引起,**

1. 可以用增大 MOS 驱动电阻;

2. RCD 缓冲电路采用 1N4007 慢管;

3. VCC 供电电压用 1N4007 慢管来解决;

4. 或者输出线前端串接一个双线并绕的小共模电感;

5. 在 MOSFET 的 D-S 脚并联一个小吸收电路;

6. 在变压器与 MOSFET 之间加 BEADCORE;

7. 在变压器的输入电压脚加一个小电容;

8. PCB 心 LAYOUT 时大电解电容, 变压器, MOS 构成的电路环尽可能的小;

9. 变压器, 输出二极管, 输出平波电解电容构成的电路环尽可能的小。

**50—100MHZ 普遍是输出整流管反向恢复电流引起,**

1. 可以在整流管上串磁珠;

2. 调整输出整流管的吸收电路参数;

3. 可改变一二次侧跨接 Y 电容支路的阻抗, 如 PIN 脚处加 BEADCORE 或串接适当的电阻;

4. 也可改变 MOSFET, 输出整流二极管的本身向空间的辐射(如铁夹卡 MOSFET; 铁夹卡 DIODE, 改变散热器的接地点)。

---

5. 增加屏蔽铜箔抑制向空间辐射.

200MHZ 以上开关电源已基本辐射量很小, 一般可过 EMI 标准。

OFweek电子工程网