

开关电源的安全 及EMC设计

陶显芳

2010.10.24

内容概要

1. 电子产品安全认证
 - 1-2. 几个常用安全认证
2. 开关电源安全设计
 - 2-1. 开关电源的漏电防护
 - 2-2. 开关电源的过热防护
 - 2-3. 影响开关电源安全的几个关键器件
3. EMC电路设计

1. 电子产品的安全认证

- 电子产品在出厂之前一般都需要经过安全认证和质量认证，只有符合标准的电子产品才能投放市场，但安全认证与质量认证在本质上有不同。安全认证大部份属于强制性认证，需要第三方做认证，而质量认证可以不需要第三方来做认证。
- 不安全的电子产品会造成人身伤害和财产损失，早在100年前，国外一些经销商为了减小索赔风险，在产品销售之前，先请一些技术行家来对其销售产品进行风险评估，所以从那时起，在国外就流行了要对电子产品进行安全认证的过程。现在这种安全认证活动已经被世界上很多国家的消费者接受，并且这种安全认证工作还逐步上升到政府的管理工作层面，这样就很容易造成安全认证被政治化。
- 安全认证的目地，就是为了防止家电产品在使用过程中可能产生的各种危险所造成的人身伤害和财产损失，包括电击或触电，温度过高或火灾，机械方面存在的危险，放射性危险，化学性危险等。
- 近年来，由于安全认证活动的不断扩大化和政治化，各国政府或贸易组织为了保护本国的利益，现在不断地对安全认证标准内容进行扩充，其中有些国家把EMC和环保、卫生标准也放到了安全认证标准里面。

1-1.几个常见安全认证

- ◆ 认证的官方含义是：由可以充分信任的第三方来证实某一经过鉴定产品或服务符合特定标准或规范性文件的活动。如果进一步仔细理解就是，发证的为第三方，而进行产品鉴定的并不一定属于第三方，也可以是第四方，但第四方必需取得第三方授权。常见的安全认证有下面几个：
 - **FCC认证**，FCC（Federal Communications Commission，美国联邦通信委员会）通过控制无线电广播、电视、电信、卫星和电缆来协调国内和国际的通信。
 - **CSA认证**，CSA（Canadian Standards Association）提供对机械、建材、电器、电脑设备、办公设备、环保、医疗防火安全、运动及娱乐等方面的所有类型的产品提供安全认证。
 - **CE认证**，CE（CONFORMITE EUROPEENNE）认证是目前世界上内容最全面和规范最多的安全认证，它是由总部位于欧盟成员国的认证机构来制定法规。CE认证规定，在其区域内销售的商品，必须符合欧盟一系列关于安全、卫生、环保、消费者保护等指令。

➤ **CCC认证**，CCC (China Compulsory Certification) 认证是我国**国家监督检验检疫总局和国家认证认可监督管理委员会**于2001年12月3日一起对外发布了《强制性产品认证管理规定》，对列入目录的19类132种产品实行“统一目录、统一标准与评定程序、统一标志和统一收费”的强制性认证管理。将原来的“中国商检CCIB”认证和“长城CCEE认证”统一为“中国强制认证”(英文名称为China Compulsory Certification)，其英文缩写为“CCC”，故又简称“3C”认证。

📖 以上认证大多数属于官方认证（强制认证），除此之外还有几个属于民间的安全认证（民间认证多为自愿性质的安全认证），举例如下：

➤ **UL认证**，UL (Underwriter Laboratories Inc.) 安全试验所是美国最有权威的，也是世界上从事安全试验和鉴定的较大的民间机构。它是一个独立的、非营利的、为公共安全做试验的专业机构。采用科学的测试方法来研究确定各种材料、装置、产品、设备、建筑等对生命、财产有无危害和危害的程度；确定、编写、发行相应的标准和有助于减少及防止造成生命财产受到损失的资料，同时开展实情调研业务。

➤ **GS认证**，GS (Geprüfte Sicherheit 安全测试) 认证是以德国产品安全法为依据，按照欧盟统一标准EN或德国工业标准DIN进行检测的一种自愿性认证，GS是欧洲市场公认的德国安全认证标志 5

1-2.几个常用安全认证机构

- 最早的安全认证诞生于欧洲，19世纪初，欧洲产生了工业革命，但一些黑心资本家经常生产一些不良产品，特别是一些不安全产品，使消费者的人身和财产遭受损失，于是就有一些权益维护者自发组织起来，请求一些技术专家对不良产品进行安全鉴定，并把鉴定结果向外公布，让消费者抵制这些不良产品在市场上销售，久而久之，这些维权组织的行为就成为了一种标准的商业行为，即：消费者对不经安全鉴定过的产品不买。
- ◆ 德国的**TÜV**（德国技术监督协会 Technische über wachungs vereine ）以及**VDE**（德国电气工程师协会 VDE Testing and Certification Institute ）所属的技术研究所就是这样诞生的。TÜV诞生于1866年1月6日，VDE成立于1920年。经TÜV和VDE进行GS（安全测试 Geprüfte Sicherheit）鉴定过的产品几乎可以在全欧洲通行。
- ◆ **UL**（underwriter laboratories）是美国保险商试验室的英文缩写，UL是美国最权威、最大的从事产品安全试验和鉴定的机构，始创于1894年，它是一个独立的、非营利性的为公共做产品安全试验证明的一家民营机构。

- 中国对安全认证认识比较晚，大约于1986年才开始与欧洲安全认证机构进行技术交流，并从欧洲引进一些与安全相关技术标准。
- 中国的大部分安全认证机构都是官方的，一般每个城市的技术监督中心的下面都有一个可从事安全认证的机构或部门。赛宝认证中心是中国最大的安全认证中心，赛宝认证中心的前身是电子部第五电子研究所。
- 从某种意义上来说，安全认证只是给安全产品出具一张证明，提示消费者购买产品时最好选购经过安全认证的产品。而国外最早的安全认证组织基本上都是从打假组织演变过来的，在法律上并没有要求所有产品都需要进行安全认证，或要求消费者必须购买经过安全认证的产品。如德国的TÜV和 VDE以及美国的UL，一开始都是以打假为己任，他们都是民间组织，打假出名之后，才引起越来越多的人重视，唯有中国的安全认证机构基本上都是属于官方机构，这种认证结构在性质上与国外认证机构会有很大区别。
- 对于中国的企业，最好要事先与国外从事安全认证的机构，或与已经取得国外安全认证机构授权的国内安全技术检测中心取得联系，只有让出口产品通过落地安全认证之后才可销售，否则就会引起贸易纠纷。

- ◆ 世界各主要地区的家电法规要求均以IEC标准IEC60335为基础，其中欧洲标准与国际标准最为接近。
- ◆ 欧洲标准分为两大部分，第一部分分EN60335-1是家用电器的综合要求；第二部分EN60335-2是对各类家用电器的特殊附加要求，这两部分多达几十条标准。
- ◆ 欧盟协调标准和其他标准的适用是自愿的，产品可以选择适用欧盟协调标准，也可以适用别的技术规范以满足指令规定的基本要求。
- ◆ 信息产品的欧洲电气安全标准是EN60950，这也是德国TüV信息产品GS认证的技术规范。对于电脑显示器，GS认证还包括EN50279标准和ISO9241系列标准。由于世界各国的信息产品安全标准均以国际电工协会的IEC950标准为基础，所以，当企业在申请德国TüV的GS认证时，应注意合并申请其他国家的安规认证，使产品可以在全世界通行。
- ◆ **一般需要对产品进行安全认定的单位，是不可能完全清楚安规内容的，必须要与得到安全认证授权的检测单位取得联系，并进行服务咨询。**

1-3. 世界各国的安全认证标志

国家 Country	认可标志 Mark	国家 Country	认可标志 Mark
中国 China	  CB	法国 France	
欧洲 Europe	  	荷兰 Holland	
德国 Germany	  	瑞士 Switzerland	
美国 USA	  	奥地利 Austria	
日本 Japan	  	意大利 Italy	 
加拿大 Canada	  	俄罗斯 Russia	
巴西 Brasil	 	澳洲 Australia	

国家 Country	认可标志 Mark	国家 Country	认可标志 Mark
挪威 Norway		韩国 Korea	
丹麦 Denmark		新加坡 Singapore	
芬兰 Finland		以色列 Israel	
瑞典 Sweden		南非 South Africa	
英国 England		阿根廷 Argentina	
比利时 Belium			



欧盟、美国、日本EMC认证

2.开关电源的安全设计

■ 开关电源的安全设计首先是针对安全认定内容，但同时也要考虑可靠性设计。一般包括下列内容：

- 1、防漏电；
- 2、防过热起火；
- 3、防爆；
- 4、防浪涌；
- 5、EMC（这部份留待后面单独讨论）；
- 6、平均无故障工作时间MTBF（mean time between failures）。

📖 进行开关电源设计时，最好先参考GB8898《电网电源供电的家用和类似一般用途的电子及有关设备的安全要求》的内容。

2-1.开关电源的漏电防护

- 2.1.1、**当开关电源的输入、输出电压交流超过36V,直流超过42V时,需要考虑触电问题。安规规定:任何两个可触及件或任何一个可触及件与电源的一极间漏电不要超过0.7mA_p或直流2mA。
- 2.1.2、**输入电压为交流220V的开关电源,冷热地之间的爬电距离必须大于6mm;两输入引线端口的爬电距离必须大于3mm。
- 2.1.3、**开关电源变压器出次级之间耐压要求大于交流2000V,并且开关电源变压器作为安全件需要事先进行安全认证。
- 2.1.4、**当开关电源的输出电压高于4000V时,要考虑静电问题。假设带电体对地的分布电容为1000PF,则带电体存储的电荷量就可能超过4.5微库仑。安规规定:任何可触及件所带电荷不允许超过4.5微库仑。
- 2.1.5、**当电源插头拔离插座时,插头两端电压在1秒钟之内应该低于42V(安全电压)。

2-2.开关电源过热防护

2.2.1、当开关电源的最大输出功率大于15瓦时，需要对线路做短路试验：

1、输出端短路时，任何器件不能引起发热起火，或起火时间不能超过3秒钟。

2、相邻线路的爬电距离小于0.2mm，就可以认为是短路，做短路试验时，任何器件发热起火，或起火时间不能超过3秒钟。

3、相邻线路的爬电距离小于 $X\text{mm}/300\text{V}$ ，小于此值时要做短路试验，做短路试验时，任何器件发热起火。

4、所有电解电容都要做短路试验，因为电解电容很容易失效使线路短路，做短路试验时，任何器件发热起火，或起火时间不能超过3秒钟。

◆防止短路起火的最好措施是在线路中串接保险丝或接保险丝电阻。

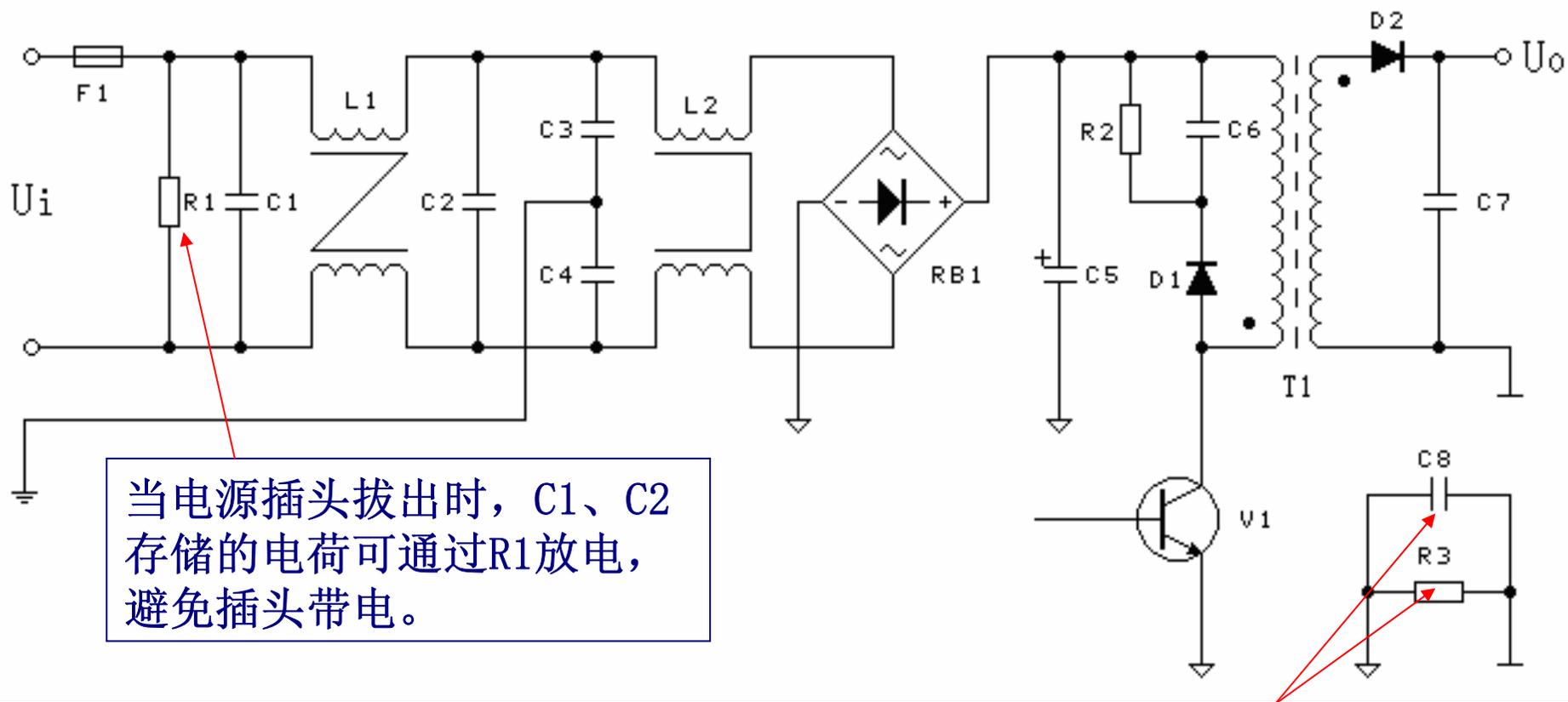
2.2.2、两种不同性质的金属导体互相接触时，会产生电腐蚀，禁止选用不同性质的金属材料作为接插件。

2.2.3、焊点与元件引脚的接触面积要大于引脚的截面积，否则就被判为虚焊。

2.2.4、焊点与元件引脚一般都不属于同一种金属材料，多少都会产生电腐蚀，因此，焊点与元件引脚接触面积处的电流密度应小于 $2.5\text{A}/\text{mm}^2$ 。

2.2.5、当流过印制板电路中的电流密度大于 $8\text{A}/\text{mm}^2$ 时，导体的温升会超过 $20\text{ }^\circ\text{C}$ ，在高温下PCB板会发黄碳化，因此流过印制板电路中的电流密度最好不要超过 $8\text{A}/\text{mm}^2$ 。

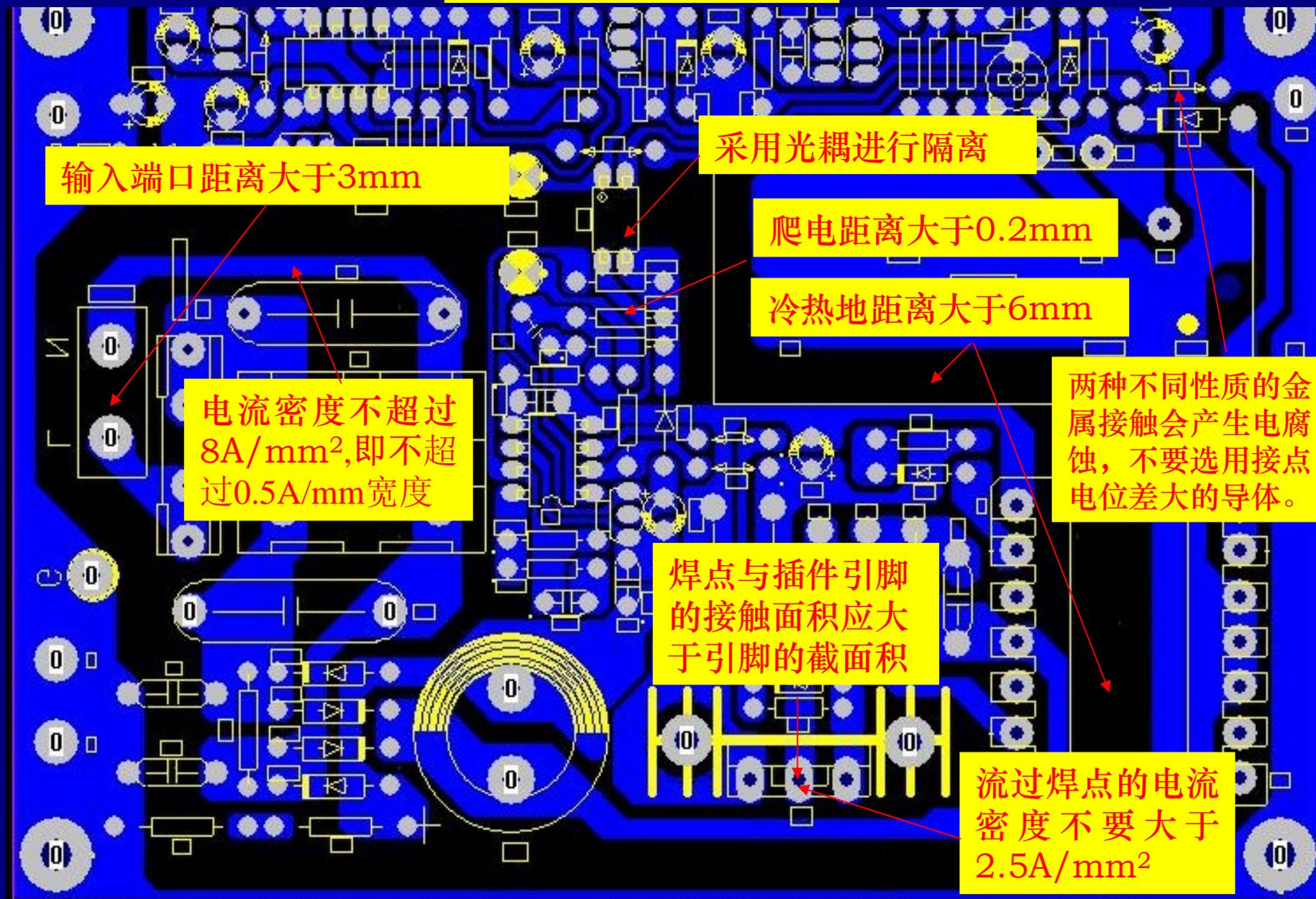
安全设计电路举例



特别注意：只有开关变压器次级线圈的中心或滤波电容的中心处才是0电位（浮地），其余地方，包括冷地，对大地均带电。

当电源输出电压高于4000V时，变压器次级电路的分布电容存储的电荷可能会大于4.5微库仑。解决办法是在冷热地之间跨接一个电阻(8.2M)和电容(2200P)。

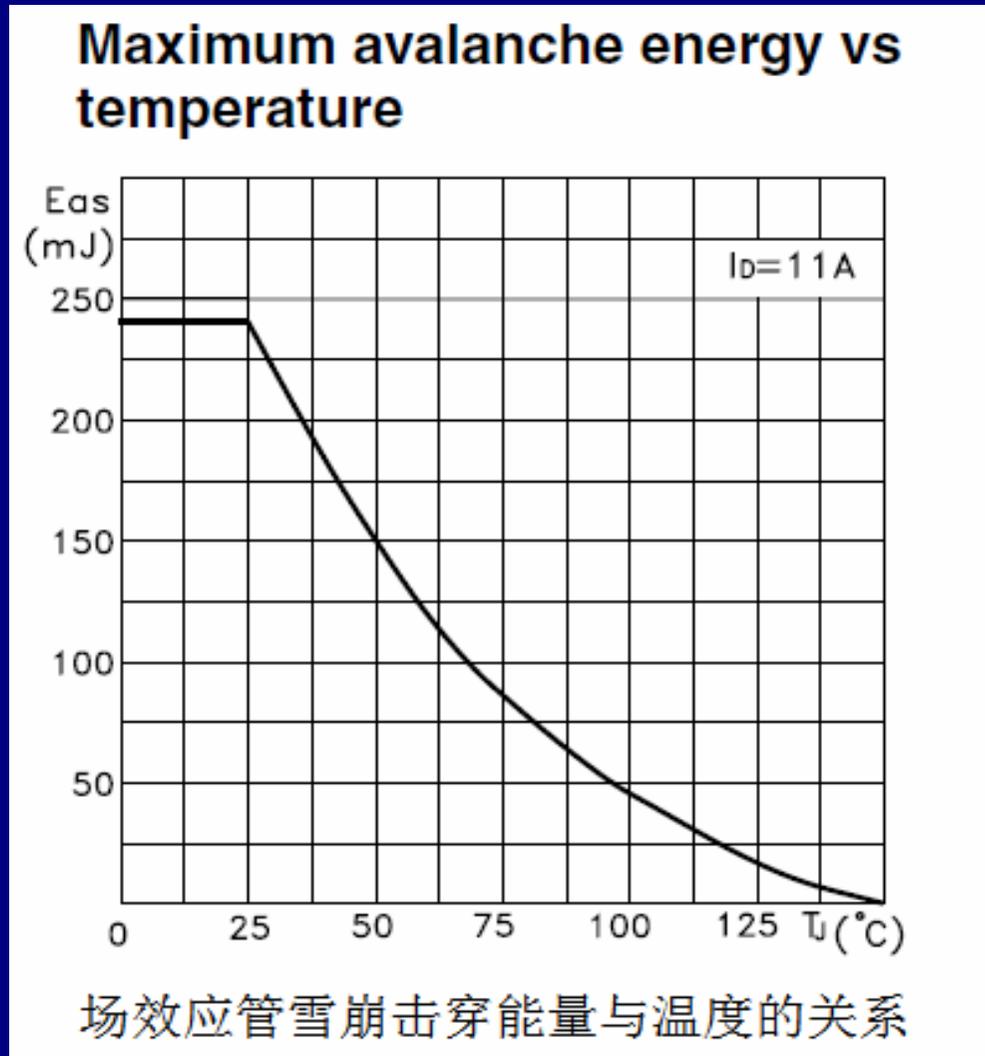
安全设计举例



2-3. 影响开关电源安全的几个关键器件

2.3.1、半导体器件

开关电源的工作环境温度一般都超过 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，如果机器的平均温升和半导体器件的温升均为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则功率器件的工作温都会达到 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，甚至更高，此时允许半导体器件输出功率或电流就会下降到只有最大值的三分之一，一旦输出过载，很容易损坏半导体器件。因此，半导体器件的温升不要超过 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。



2-3-2. 电解电容

- ◆ 电解电容是开关电源中最不安全和对开关电源平均无故障工作时间MTBF影响最大的器件。
- ◆ 电解电容使用一段时间之后，电容量会减小，纹波电压会增大，所以很容易发热失效。
- ◆ 大功率电解电容发热失效时，经常会引起爆炸，因此，直径大于10mm的电解电容，要具有防爆功能。具有防爆功能的电解电容是在电容器外壳的顶部开十字槽，并在引脚的底部还要留排气孔。
- ◆ 电容器的使用寿命主要由电容器内部的温度来决定，而电容器的温升主要与纹波电流与纹波电压大小有关，因此，一般电解电容器给出的最大纹波电流和纹波电压参数，都是在特定工作温度（85℃或105℃）和特定使用寿命（2000小时）条件下的纹波电流值，即：在此最大纹波电流和纹波电压的条件下，电解电容器的寿命只有2000个小时。当要求电容器的使用寿命大于2000小时以上时，需按下式来设计电容器的使用寿命。

下面是根据著名的阿列纽斯理论得出的电解电容使用寿命计算公式：

$$L = L_b \times 2^{\left(\frac{T_{\max} - T_a}{T_h}\right)} \times 2^{\left(\frac{\Delta T_{jo}}{T_h - 0.25 \times \Delta T_{jo}} - \frac{\Delta T_j}{T_h - 0.25 \times \Delta T_j}\right)}$$

式中：

L：实际使用平均寿命；

L_b ：最大工作温度下的基本寿命，一般为2000小时；

T_{\max} ：最大工作温度，一般为85℃或105℃；

T_a ：实际环境温度；

T_h ：寿命折半所需之温度量，一般为10℃或12℃；

ΔT_{jo} ：加上最大额定纹波电流后，电容器的内部温升与电容器的封装结构有关，取值范围：3.5~10℃

ΔT_j ：加入实际纹波电流后，电容内部的温升。

其中：

$$\Delta T_j = \Delta T_{j0} \times \left(\frac{I/F}{I_0} \right)^2$$

式中：

F：频率系数，频率系数在产品目录或规格书中列出，一般定义工作频率为120Hz或100kHz时F=1，其它工作频率时，F大于或小于1；

I₀：最高工作温度时的额定波纹电流；

I：实际波纹电流。

根据上面公式计算结果，电解电容器的温度每升高10℃～12℃，电解电容寿命就会降低一半。例如，如果要求电解电容器的使用寿命达到5万小时，则电解电容器的最高工作温度就不要超过55℃。

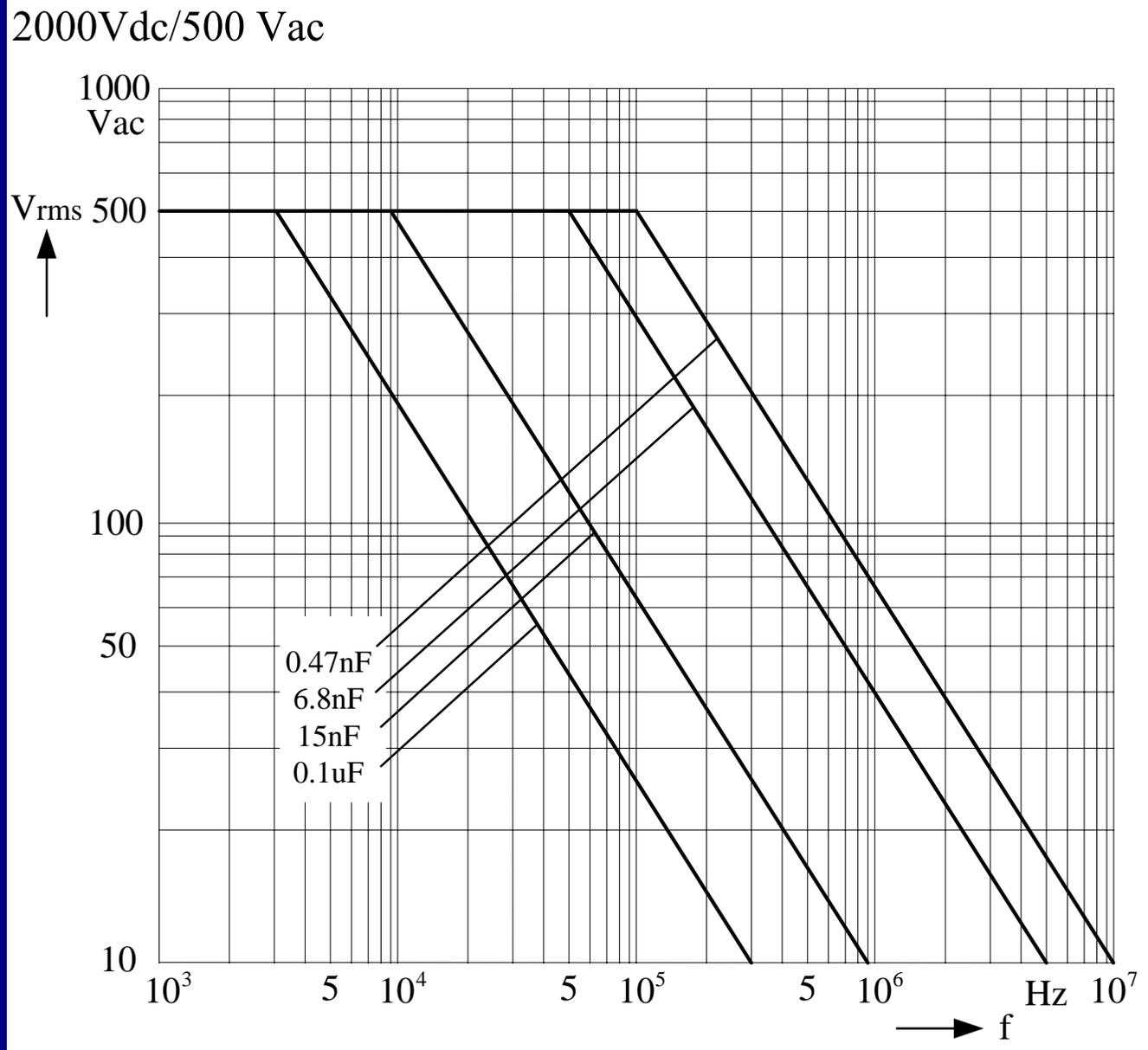
2-3-4. 电容器的安全特性

◆ 在开关电源中，电容器的安全使用是一个非常重要的事情，各种电容器的安全特性都是不一样的。选用电容器的时候必须考虑：

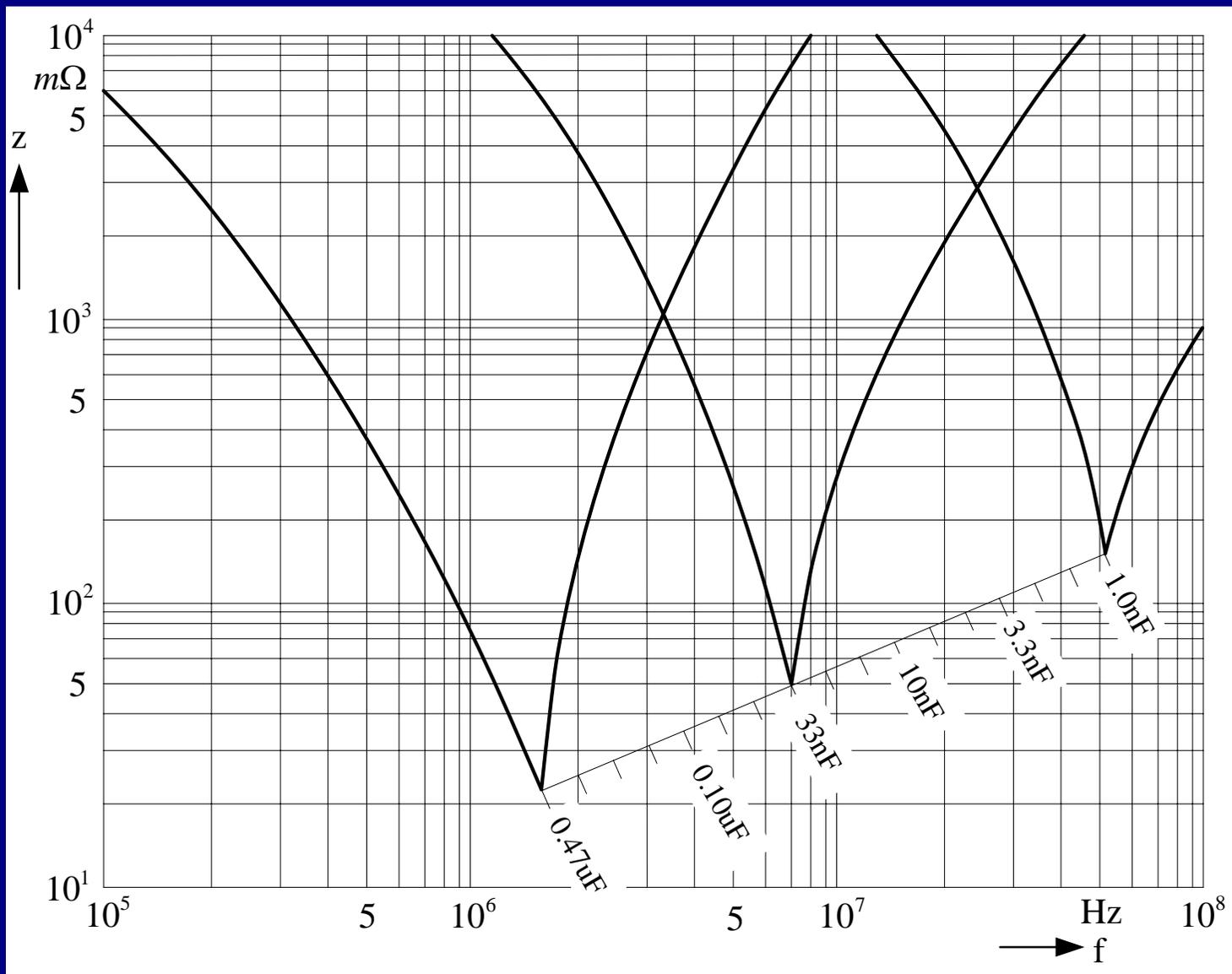
- 1、电容器的额定工作电压；
- 2、电容器最大的纹波电压；
- 3、电容器的最大纹波电流；
- 4、电容器的最高工作频率；
- 5、电容器的温度特性。

◆ 电容器的额定工作电压分直流额定工作电压和交流额定工作电压。由于电容器的交流额定工作电压与工作频率有关，所以，一般电容器都只标直流额定工作电压，只有工作频率固定（一般为50Hz）时，电容器才标出交流额定工作电压，如X电容。

◆ 电容器的交流额定工作电压一般都不能超过直流额定工作电压的二分之一，并且工作频率每增加一倍，交流额定工作电压最少也要下降一倍，并且电容器的容量越大，最高工作频率就越低。



CBB81电容器额定工作电压与频率的关系



MKP62电容器的阻抗与频率的关系

◆ 电容器与电阻器一样也是有功率大小之分的，电容器功率大小主要与电容器的额定纹波电压和纹波电流有关，还与工作频率有关。因此，电容器的额定功率要比电阻器的额定功率复杂很多。选用电容器的时候一定要考虑电容器额定工作功率，不要超出电容器的额定纹波电流和纹波电压，以及最高工作频率，否则电容器将会发热爆炸。

◆ 决定电容器最高工作频率的是电容器的介质损耗，即正切角的大小。一般介电常数越大损耗也越大，聚丙烯电容器的介质损耗比较小，在纹波电压和电流较大的地方，应优先使用。

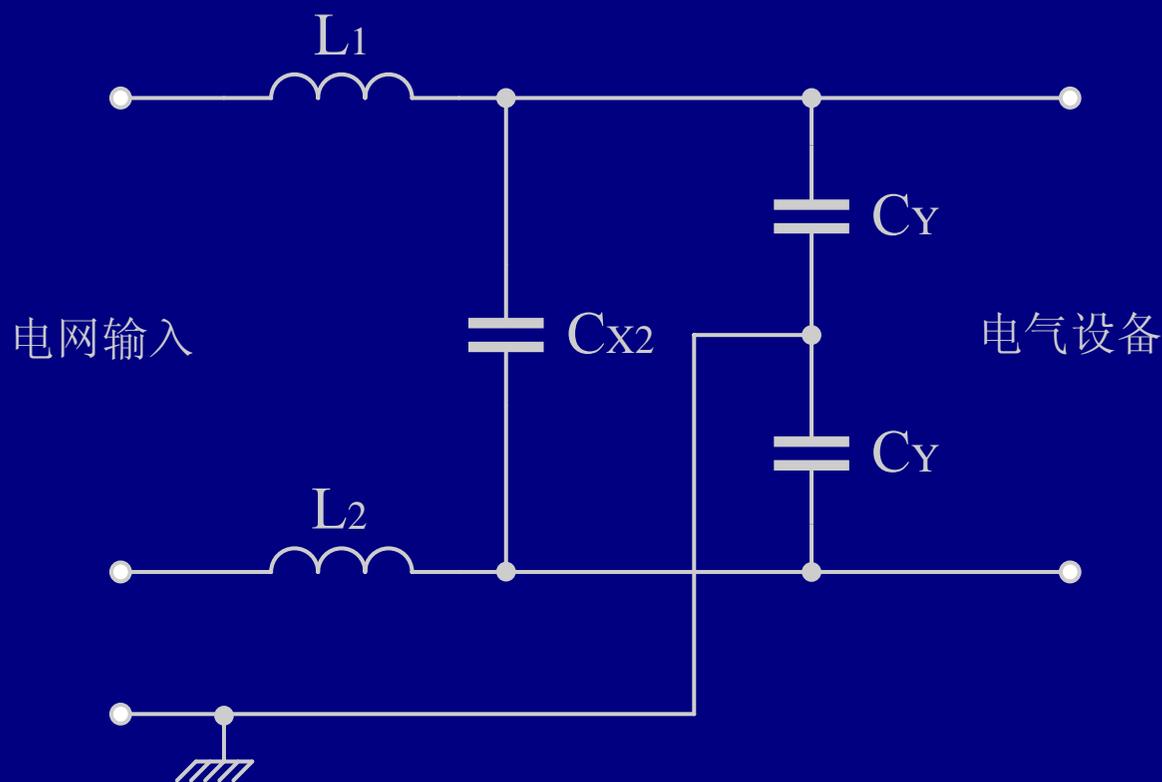
◆ 电容器的温度系数有正负之分，一般低频陶瓷电容和电解电容的温度特性都很差（温度系数很大），薄膜电容的温度系数较小，聚丙烯电容器在薄膜电容器中温度系数最小。

2-3-3.X电容和Y电容

- ◆ X类安全电容有X1、X2、X3三类之分，三类电容的额定工作电压基本都一样，均为AC250V，或AC275V，但它们可承受的脉冲电压幅值不一样。这三类电容对应的安全冲击脉冲电压分别是：4.0kV、2.5 kV、1.2 kV。如果不考虑防雷电，一般家用电器大部份都选用X2类安全电容器；如果考虑防雷电，必须选用X1类电容。
- ◆ Y类抗干扰高压瓷介电容器分Y1类和Y2类，两类电容的额定工作电压基本都一样，均为AC250V，或AC400V，但它们可承受的脉冲电压幅值不一样。Y1类电容可承受的脉冲电压幅值为8000Vpp，而Y2类电容可承受的脉冲电压幅值为5000Vpp。如果不考虑防雷电，一般家用电器大部份都选用Y2类安全电容器；如果考虑防雷电，必须选用Y1类电容。
- ◆ 为了防引起电子设备漏电或机壳带电，容易危及人身安全及生命，Y电容的值不能偏大，一般，工作在亚热带的机器，要求对地漏电电流不能超过0.7mA；工作在温带的机器，要求对地漏电电流不能超过0.35mA。因此，Y电容的总容量一般都不能超过4700PF。

3. EMC 电路设计

3-1、最简单的EMC滤波电路

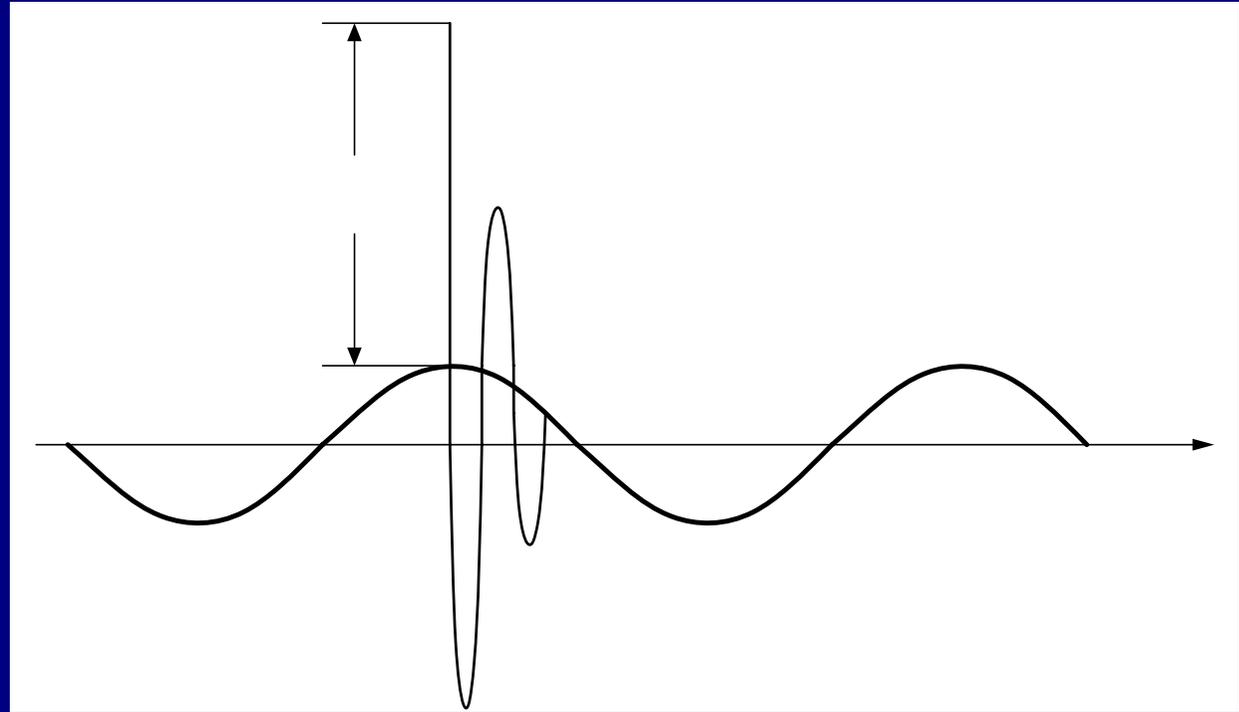


◆在EMC滤波电路中，X电容的作用主要是对差模传导干扰信号进行双向滤波，而Y电容的作用主要是对共模传导干扰信号进行双向滤波。

3-2.用X电容抑制浪涌电压与雷电

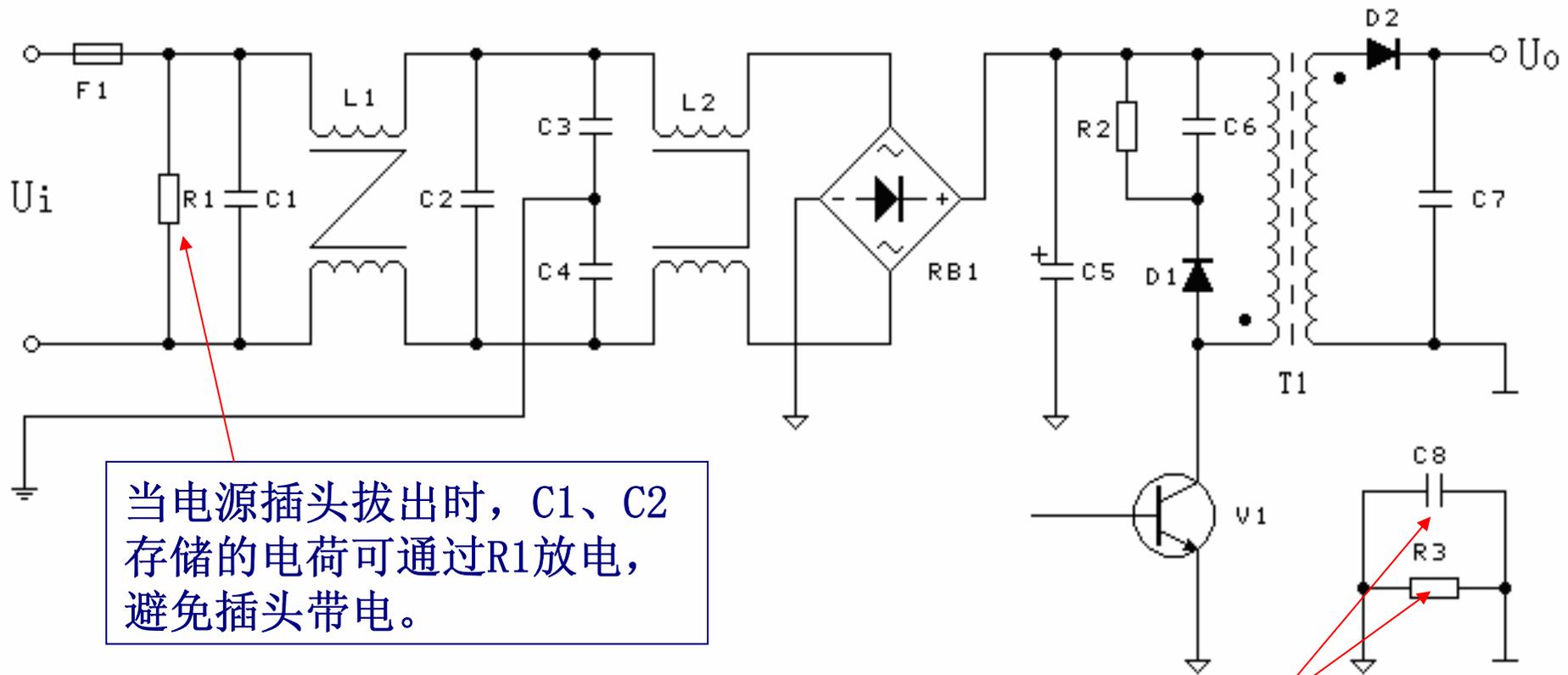
◆ X电容与限流电感组合具有很强的抑制浪涌电压和防雷的作用。X电容抑制浪涌电压的原理是通过与输入电感分压来实现的，其最高分压为2500V（二类电容），适当选择X电容与限流电感的大小，可以抑制浪涌电压高达10000V以上。

◆ 浪涌电压或雷电感应脉冲的宽度一般只有数微秒到数十微秒，只要X电容的容量足够大，就可以把输入浪涌电压和雷电感应脉冲印制在一个可以接受的范围之内。



X2电容可以承受2500V的浪涌电压

3-3.常用EMC滤波电路



上图EMC滤波电路对抑制本机开关电源产生的EMI电磁传导干扰作用很强，但C1很容易被雷电感应电压或浪涌电压（高于2500V）击穿，最好在C1的前面再加两个差分电感。

当电源输出电压高于4000V时，变压器次级电路的分布电容存储的电荷可能会大于4.5微库仑。解决办法是在冷热地之间跨接一个电阻（8.2M）和电容（2200P）。

A photograph of a field of tulips. In the foreground, two vibrant red tulips are in sharp focus, one slightly behind the other. The background is filled with a soft-focus sea of tulips in various shades of pink, orange, and yellow. The overall lighting is bright and warm, creating a cheerful and grateful atmosphere.

谢谢各位

陶显芳: taoxianfang@gmail.com