



电源设计与生产的安全结构与安规要求

电源, 英译文 Power Supply, Power Source 或 mains, 又称电源供应器, 是一种把电能供给电器的装置, 如电池、发动机等(《现代汉语词典》, 商务印书馆, 1980 年)。专业上电源是将电能从一种形式转化成另一种形式的部件、子系统或系统, 通常是把交流(AC)市电转成所需直流电(DC)的装置。电源作为电世界一项重要装置, 没有它所有的电器或电子设备会停止工作, 电世界将不复存在。电源产品的质量好坏直接影响设备的安全, 因此电源在设计和生产中的进行安全结构设计和满足安全规范至关重要, 本文由北京海洋兴业科技有限公司整理, 欢迎讨论 010-62178811。

一、电源结构上安全需求

1、空间需求(spacing requirements)

在活性组件之间和活性组件与固定金属组件之间, UL、CSA 与 VDE 安全标准强制规定了特定的空间需求。空间需求包括空间距离和沿面距离。空间距离在 VDE 中又叫间隙距离, 在 UL 标准规格中则叫分离距离; VDE 标准规格中的沿面距离, 在 UL 标准规格中则称为分隔距离。空间距离(Creepage distance): 在两个导电组件之间或是导电组件与物体界面之间经由空气分离测得最短的直线距离。

沿面距离(clearance): 沿绝缘表面测得两个导电组件之间或是导电组件与物体界面之间的最短距离。

2、电介质测试承受度(dielectric test withstand)或耐压测试

当装置上的额定电压为 250VAC 或更小时, 在 UL 与 CSA 标准规格中需要做输入至输出、输入至地端的高电压隔离测试(HI-POT isolation test)。

3、漏电流测量(leakage current measurement)

UL 与 CSA 标准规定所有露出的固定金属组件必须接到大端, 而且由连接至地端的 1500 Ω 电阻来测量漏电流。VDE 标准规定在 1.06 倍额定电压下, 由 1500 Ω 电阻与 150nF 电容并联测量漏电流。

4、绝缘电阻(insulation resistance)

在 VDE 标准规格中, 输入端与 SEL V 输出电路间需要有 7M Ω 的最小电阻值; 而且输入端与较容易受变动的金属组件间, 需要有 2M Ω 的最小电阻值, 其外施加电压则为 1 分钟 500Vac。

5、PC 板需求(PC board requirements)

UL 与 CSA 规格也提供了可燃性标准, 即所有 PC 板必被 UL 认可为 94V-2 或更好的材料, VDE 规格也接受这些标准。以下简单的说明一些材料防火等级优劣: 1、发泡塑料材料类: HF-1 等级较 HF-2 优, HF-2 等级较 HBF 优; 2、一般材料: 5V 优于 V-0, V-0 优于 V-1, V-1 优于 V-2, V-2 优于 HB。

二、电源内部变压器结构安规需求

在 VDE 标准规格中, 对于变压器的设计、制造与利用都有较严格的规定, 以满足大多数国家的安全需求; 在 UL 标准规格中, 要求用在变压器结构中的所有材料, 必须有 94V-2 或更好的额定值。

1、变压器的绝缘(transformer insulation)



变压器的绕组依照需求, 必须通过绝缘做物理上的分隔, 在绕组线上亮漆、瓷漆或洋漆涂料, 达到绝缘目的。

2、变压器的电介质强度(transformer dielectric strength)或耐压测试

当使用复合层的绝缘厚度时, 任何两层之间必须能够承受电介质强度或耐压大小, 测试时绝缘层接触在一起且测试电压加于外部表面。

3、变压器的绝缘电阻(transformer insulation resistance)

绝缘用在变压器的结构中, 且必须在绕组间、绕组与铁心和框架金属板间, 最小必须有 $10M\Omega$ 电阻值, 并在 1 分钟内提供 500Vac 电压。

4、变压器沿面与间隙距离(transformer creepage and clearance distance)

绕组之间, 绕组与端点、金属板、铁心、框架、绕组通过引线间, 端点之间, 端点-铁心与框架间必须满足一定的空间间隔。

5、变压器的水阻(transformer moisture resistance)

在 91~95%高湿度和 20~30℃温度情况下, 变压器必须保持绝缘阻抗及介电强度。

6、VDE 规格的变压器温度额定值(VDE transformer temperature rating)

在正常操作下对特定的绝缘等级而言, 最大的稳定化温度必须不超过绝缘等级的温度值。

7、UL 与 CSA 规格的变压器温度额定值(UL and CSA transformer temperature rating)

当升高至周围温度(25℃)以上时, UL 与 CSA 会规定变压器的温度, 可使用两种方法来做温度的测量: 热偶法和电阻值法(见下表)。

绝缘等级	升高至周围最大温度值℃	
	热偶法	电阻值法
A	65	75
B	85	95
F	110	120
H	125	135

三、电源安规设计注意事项

1. 零件选用

在零件选用上需要掌握如下方面:a. 安规零件有哪些?b. 安规零件的要求, 需要取得安规机构的认证或是符合相关安规标准; c. 安规零件额定值, 任何零件均须依 MANUFACTURE 规定的额定电压、额定电流、额定温度等额定值来使用。

注意零件的温升限制: a、一般电子零件: 依零件规格的额定温度值, 决定其温度上限。b、线圈类, 依其绝缘系统耐温来决定: Class A 为 $\Delta T \leq 75^{\circ}\text{C}$; Class E 为 $\Delta T \leq 90^{\circ}\text{C}$; Class B 为 $\Delta T \leq 95^{\circ}\text{C}$; Class F 为 $\Delta T \leq 115^{\circ}\text{C}$; Class H 为 $\Delta T \leq 140^{\circ}\text{C}$ 。c、人造橡胶或 PVC 被覆之线材及电源线类: 有标示耐温值时 $\Delta T \leq (T-25)^{\circ}\text{C}$; 无标示耐温值时为 $\Delta T \leq 50^{\circ}\text{C}$ 。d、Bobbin 类: 无固定值, 但需要做 125℃球压测试。e、端子类: $\Delta T \leq 60^{\circ}\text{C}$ 。f、温升限值: 如果有规定待测物的耐温值(T_{max})时 $\Delta T \leq T_{\text{max}} - T_{\text{mra}}$; 如果有规定待测物的温升限值(ΔT_{max})时 $\Delta T \leq \Delta T_{\text{max}} + 25 - T_{\text{mra}}$; 其中 T_{mra} =制造商所规定的设备允许操作室温或是 25℃。



使用耐燃零件:PCB 为 V-1 以上; FBT、CRT、YOKE 为 V-2 以上; WIRING HARNESS 为 V-2 以上; CORD ANONORAGE 为 HB 以上; 其它所有零件为 V-2 以上或 HF-2 以上; 例外情形:下述零件与电子零件(限在失误状况下, 因温度过高而引燃的电子零件)若相隔 13mm 以上, 或是相互间以至少 V-1 等级障碍物隔开, 则其耐燃等级要求如下:1、小型的齿轮, 凸轮, 皮带, 轴承及其它小零件, 不须防火证明; 2、空气载液的导管, 粉状物容器及发泡塑料零件, 防火等级为 HB 以上或 HBF 以上。

在应用中, 下述件不需要防火证明:1、胶带; 2、已获认证的零件; 3、密封于无开孔且体积小于 0.06m 金属壳内的零件; 4、仪表壳、仪表面、指示灯或宝石、置于至少 V-1 等级的 PCB 上的 IC、晶体管、光耦合器及其它小零件的外壳等。

2. 整体配置

(1) 安全距离(沿面距离和空间距离): 如果知道了工作电压及绝缘等级, 就可决定所需安全距离。

表 2 绝缘等级及各式绝缘适用情形

绝缘等级	适用情形
操作型 (OPERATIONAL INSULATION)	介于两不同电压的零件间
	介于ELV (SELV) 及接地导电零件间
基本型 (BASIC INSULATION)	介于具危险电压零件及接地导电零件间
	介于具危险电压零件及依赖接地SELV电路间
	介于PRI的电源导体及接地屏蔽物或主电源变压器的铁心间
	为双重绝缘的一部分
补充型 (SUPPLEMENTARY INSULATION)	介于可触及导体零件及在基本绝缘损坏后有可能带有危险电压的零件间
	为双重绝缘的一部分
双重或加强型 (DOUBLE/REINFORCED INSULATION)	介于PRI电路及可触及未接地导电零件间
	介于PRI电路及浮接的 SELV电路间
	介于PRI电路及TNV电路间
	凡是人体能触摸到的部分

表 3 安全距离的位置及要求

位置	测量电压
一次侧交流部分—接地部分	电源输入电压
一次侧直流部分—接地部分	实际测量一次侧与二次侧间电压, 或实际测量对地电压
一次侧交流部分—未接地可能触摸到部分	电源输入电压
一次侧直流部分—未接地可能触摸到部分	实际量测一次侧与二次侧间电压, 或实际量测对地电压
一次侧部分—二次侧部分	实际量测一次侧与二次侧间电压
二次侧危险电压部份— 接地	实际量测电压
保护装置前, 火线—中性线/火线	电源输入电压
保护装置后, 火线—中性线/火线	电源输入电压
桥式整流后, 临近相互两点间	实际量测电压

注意:1、测量时中性线、地线及二次侧 RETURN 须连接在一起。连接前, 请先确定电源输入端中性线及火线是否正确, 以免造成中性线及火线短路; 2、一次侧与二次侧间所测量出来的电压若低于电源输入电压,



则以电源输入电压为准；3、沿面距离 $\geq$ 空间距离，沿面距离若小于空间距离，则以空间距离为准。

测量时，工作电压通过以下要素决定：1、测量 dc 电压时，应包括任何重叠涟波（纹波）的峰值；2、非重复性的突波不予考虑；3、在决定空间距离及电气强度测试电压时，ELV 或 SELV 电路的电压应视为零，但在决定沿面距离时，则须按实际电压计算；4、可触及的未接地导体零件应视为接地；5、若变压器的绕组或其它部分为浮接，则视为接地，并因此获得最大的工作电压；6、在双重绝缘处，横跨基本绝级的工作电压值，应先将补充绝缘处定义为短路，而得出电压值，反之亦然；变压器绕组间的绝缘，先将其中一个绝缘短路，而在其它绝缘上有最高工作电压产生；7、变压器两绕组间的绝缘，其工作电压应取两绕组内任 2 点的最大电压值，可能连接至此绕组的外加电压，也应包括在内；8、变压器绕组与其它零件间的绝缘，其工作电压应取此绕组内任意一点至其它零件的最大电压值；9、可取外电源的额定值。

（2）结构设计，包含以下三个方面：a、稳定度：指终端系统设备不可失衡而导致使用者或维修者危险；b、机械强度：指内外壳的承受力如铁球撞击测试、落地测试、推力测试、TEST FINGER 测试、7 小时烤箱测试等；c、尖锐角：指在防止不当的设计导致人员的伤害及绝缘破坏。

（3）接地方法，包含以下两个方面：

a、接地方式，有以下六种：

- I. 机械式固定：不可由塑料连接，且须有防止松动作用（如 WASHER）的产品；
- II. 防腐蚀：指两种以上不同金属连接其电化学电位差不能 $>0.6V$ ；
- III. 接地线：至少为 18AWG 的绿滚黄线，如果 LINE/NEUTRAL $>18AWG$ ，则须使用与其同等号线的线材（AWG: AMERICA WIRE GAUGE 美国线规）；
- IV. 接地螺丝 / 螺栓要求至少为 NO. 6 或 M3. 5；
- V. 接地螺丝 / 螺栓的金属固定物厚度要求：螺丝直接锁在金属板上，则金属板必须有最小 2 倍的螺丝螺纹的厚度，若使用 NUT 方式固定则无厚度要求；
- VI. 接地螺丝 / 螺栓的固定扭力：最小 1.3 牛顿米。

b、接地确认测试：25A 或 30A 接地电流测试，时间为 2 分钟。

接地时间也需要注意：接地螺丝不可用自攻螺丝；若有其它的地线，欲锁在同一螺柱上，则须用另一螺母分开固定它。

（4）开孔方式，包含以下三个方面：

a、顶部（带有危险电压裸露组件的正上方），符合下列任一要求即可：1）任何一方向测量，尺寸不超过 5mm；2）宽度在 1mm 内，长度不限；3）尺寸大小不限，但须确保外物不会直接掉入孔内而碰到具有危险电压的零件。

b、侧面，符合下列任一项要求即可：1）任何方向尺寸必需 $<5mm$ ；2）宽度在 1mm 内，长度则不限；3）结构上采用百叶窗结构或类似的限制结构，可使外来的垂直掉落物向外偏离，以避免触及产品内部裸露组件；4）开孔位置适当，并在其投影 5° 范围内，没有危险电压零件存在。

c、符合下列任一项要求即可无任何开孔要求：

- I. 开孔大小不限，但须在下列物品下方：1）PVC，TFE，PTFE，TEP 及 NEOPRENE 做成绝缘导体及接头；2）具阻抗保护或过热保护的马达；3）符合防火外壳要求的



内部屏障或是细目金属网或是其余类似物;

- II. 若有 40mm 以下的开孔, 但须在防火等级 V-1 以上的零件之下;
- III. 孔大小不限, 但开孔上方须设遮蔽板;
- IV. 若为金属底壳, 开孔大小及孔距均应符合相关要求;
- V. 以细目金属网做屏蔽, 其网径大小不超过 2 mm*2mm, 且织网金属线直径不小于 0.45mm。

总之, 外壳开孔, 固然千变万化, 但是在 TEST PIN 测试时, 不可碰触到有危险电压的裸露零件

3. 标示方式

(1) 标示种类

电源接口标示: 设备外表应有的额定电力标示, 标示内容应包括: 1、额定电压或额定电压范围, 单位为 V; 2、输入电流为直流, 则需加上 “—” 符号; 3、额定频率或额定频率范围, 单位为 Hz; 4、若该设备须连接至多相电力系统, 则须另外标示相数, 如 2 ϕ 、3 ϕ 等; 5、额定电流, 单位为 A 或 mA; 6、制造商名称或商标符号或辨识符号 7、设备型号; 8、若设备为 class II, 则须加上等级符号。

电源输出端: 插座旁须清楚标示注明其所能承受最大负载。

电压切换开关: 应在使用手册中详细述明其用途及使用方法。

保险丝: 额定电流; 额定电压; 熔断特性 (FAST 标示为 “F”, SLOW 或 TIME LAG 标示为 “T”); 防爆特性 (LOW-BREAKING 标示为 “L”, HIGH-BREAKING 标示为 “H”); 范例 T2. 5AL, 250V 或 F3. 15AH, 250V。

端子: 接地保护端子旁, 应有接地保护标示; 零线 (中性线) 端子旁, 应有 “N” 标示。

在此之外可以有额外的标示, 但先决条件是可能造成误导或混淆。

(2) 标示要求: 标示不可置于可取下的物品上; 上述标示种类的各种标示, 经过酒精、汽油等有机溶剂及水测试后, 须依然清晰可见, 且为恒久标示。

4、设计中 EMC 问题

(1) EMC 介绍

EMC (ELECTRO-MAGNETIC COMPATIBILITY) 电磁兼容性指产品在优良设计下不干扰别的产品或能忍受外界电磁干扰的能力, EMC 包括 EMI (ELECTRO-MAGNETIC INTERFERENCE) 和 EMS (ELECTRO-MAGNETIC SUSCEPTIBILITY)。EMI 电磁干扰指含有电子电机零件的仪器, 装置整组设备或整套系统因动作而产生的一种电磁波噪声, 或装置本身不需要的信号, 经由辐射或传导路径影响其它装置, 造成其它装置不正常或失真。EMS 电磁耐受性是仪器、装置整组或整套系统本身具有抗拒外面噪声, 免除被外界噪声干扰的能力。

(2) EMI/EMC 管制

目前, 世界上很多国家或地区对于电子信息产品的 EMI/EMS 均有严格的管制措施, 如美国 FCC、欧盟的 CE、日本的 VCCI 及电气用品取缔法、澳洲的 SMA, 加拿大、韩国等国家或地区均有专司 EMI/EMS 管制法规条文, 对于销往这些国家或地区的产品都须先经过测试合格, 方可合法的销售。

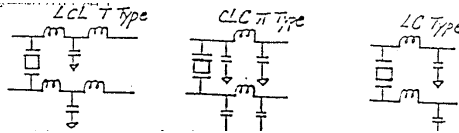


(3) IEC 801-2 TEST STANDARD FOR ESD(静电放电试验), 耦合方式: 1) 直接 ESD: 对待测物导体部分采用接触式放电和对待测物非导体部分采用空气式放电; 2) 间接 ESD, 均采用接触式放电处理: 水平耦合板(HCP)和垂直耦合板(VCP)。

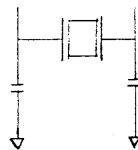
(4) IEC 801-4 TEST STANDARD FOR EFT(快速电性脉冲试验), 耦合方式: 1) 电容式耦合: 仿真传导耦合; 2) 空腔式耦合: 仿真辐射耦合

(5) 电磁干扰屏蔽电路设计注意事项

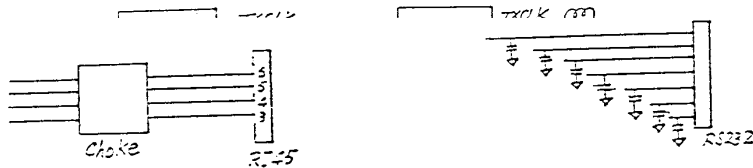
a. 振荡源输出处加 EMI 过滤电路组件如下:



b. 振荡源输出处加 EMI 过滤组件如 EMI BEAD 如下:

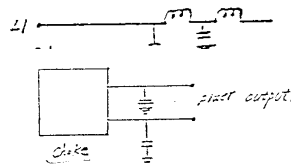


c. CLK 信号输出及输出处加 EMI 过滤组件 BYPASS TO GND 如下:



d. 信号输出接口处加 EMI 过滤组件 BYPASS TO GND 如下:

e. 电源输出处加 EMI 过滤电路组件 BYPASS TO GND;



f. 电源输出处加 EMI 过滤组件如下:

总之, 需要接地面积尽量加大和尽量使用多层板之设计。

6、LED 颜色: RED:危险或警告或+5V; YELLOW:注意或+3.3V; GREEN:安全或-12V; BLUE:特别讯息; WHITE:一般讯息或-5V; BLACK:GROUND 接地; ORANGE: 5VS。

7、相关术语:

SELV 安全特低电压电路 safety extra-low voltage circuit: 具有适当保护设计的二次电路, 即在任意两个可能碰触组件间或人体可能碰触到任意组件和产品的接地保护端子间电压不会超过 42.4Vac peak 或 60Vdc 的二次电路。

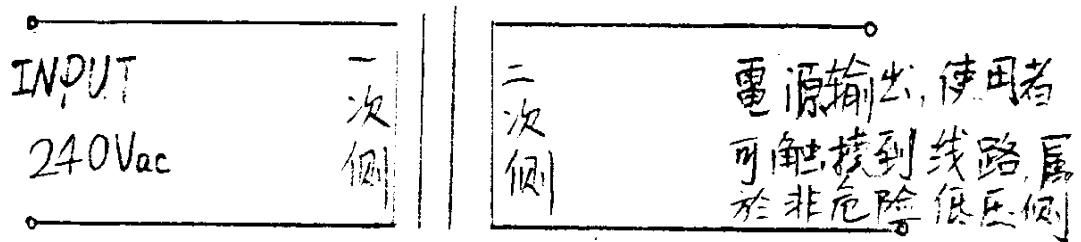
ELV 特低电压电路 extra-low voltage circuit: 在导体与导体间或导体对地间的交流电压峰值不超过 42.4Vac 或直流电压不超过 60Vdc 的二次电路。

危险电压 (hazardous voltage): 交流峰值超过 42.4Vac 或直流超过 60Vdc 的电压。

一次侧: 内部线路直接连接到主要电源或相关电源部分。



二次侧:电源输出部分主要不是由一次侧,而是透过变压器和其它隔离器转换而来,称为二次侧。



绝缘等级可分为七个等级, 每一个等级温度(℃)如下:

绝缘等级	Y	A	E(仅 50Hz)	B	F(仅 60Hz)	H(仅 60Hz)	C
最大温度	90℃	105℃	120℃	130℃	150℃	180℃	180℃ 以上

增益(dB)=10log10 输出功率/输入功率=20log10 输出电压/输入电压

损失(dB)=10log10 输入功率/输出功率=20log10 输入电压/输出电压

电压(dB μV)=20log10, 以 μV 度量的电压/标准强度(1 μV), 50 Ω 阻抗上测得: 以跨在 50 Ω 阻抗上的负载, 1 μV 均方根电压所产生功率为参考标准, 或 dB μV=20log10(50 Ω 阻抗上电压, 单位为 μV), dB μV 表示高出 1 μV 多少个 dB, 即以 dB 表示高出 1 μV/50 Ω 标准强度的多少。