



R&D Manager-Functional Electronics-曹黎星 Roy Cao

PCB布线中安全的电气间隙和爬电距离设置策略

The Layout Strategy of Safe Clearance and Creepage Distance in PCB

在电子产品的PCB 布线时，导线之间合适的电气间隙的设置是一件非常重要的工作，合适的线间距的设置可以防止产品工作中的各有关导体之间发生闪烙和击穿，并能顺利通过有关产品安全标准的审核。在各种产品工业标准和安全标准中，根据工作电压和不同的应用场合以及其他因素，对导体间的电气间隙和爬电距离有着不同的规定，PCB 布线工程师往往对此莫衷一是，无所适从。那么，我们到底如何设置PCB 导线之间的合适间距呢？

基于标准的安全要求

如果我们设计的产品必须要得到某个安全认证机构的承认，那么我们首先要考虑产品需要符合相应安全认证机构颁布的有关标准中所规定的绝缘和隔离要求。在这种情况下，我们就能够直接根据有关标准的要求进行PCB 布线的间距定义。例如，对于常见的交流电供电或电池供电的信息技术设备，大都依从IEC/EN/UL60950这一标准，那么其PCB 导线之间允许的最小的电气间隙和爬电距离的要求将可以直接从IEC/EN/UL60950—1标准的表2K，2L 和表2N 中查到。

实际上，电气间隙和爬电距离的设置是和工作电压，绝缘等级，污染等级，PCB 材料等级，甚至和产品工作的海拔高度等等相关。查表时，我们首先要搞清上述因素的界定。

Point 1: 如何确定工作电压？根据60950 的解释，我们在定义电气间隙时，应该使用峰值电压和可能出现的外部瞬态过电压。而定义爬电距离时，则使用均方根值电压。

Point 2: 如何确定绝缘等级？60950 的表2H 有详细的定义。简单地说来，在大多数应用中，我们可以凭借以下简单的分析来进行绝缘等级的定义：

如果在绝缘被破坏的情况下，会对人体易接触未接地的部件产生危险电压的，绝缘等级应该设置为双重绝缘或加强绝缘。

对于有连接保护地的导体，我们可以设置为基本绝缘。基于这个观点，在PE，金属外壳，金属固定件周围，我们一般都需要设置为基本绝缘。

对于电气间隙的定义，在输入电压相连的导体在保险丝之前可定义为基本绝缘，保险丝之后可定义为功能绝缘（除PE 以外）。这一观点来源于60950 的5.3.4 节的定义。但是这个结论不是一概都适用于其他标准，例如UL1310 和CSA C22.2 No 223 就不适用这个结论。

Point 3: 如何确定污染等级？首先根据产品定义，大多数情况下定义为II 级。其次，如果产品的防护等级达到IP65 或以上，我们可以认为是I 级。

Point 4: 如何定义PCB 的材料等级。可根据PCB 的CTI 指数，用60950 的2.10.4.2 进行定义。但大多数情况下，材料等级可以列为IIIa 和IIIb。

Point 5: 如何定义双重绝缘或加强绝缘的爬电距离？60950 的表2N 对爬电距离的定义仅适用于功能绝缘，基本绝缘以及增补绝缘。对于双重绝缘何加强绝缘，应该把表中查到的值乘以2。

Point 6: 海拔高度对电气间隙的影响？海拔高度只对电气间隙有影响，和爬电距离无关。使用60950 时查表G.2。对于IEC61010 的产品，要乘上表3 的系数。对适用于其他标准的产品，也要小心备查海拔高度对电气间隙设置的影响。

基于对上述因素进行归纳整理，有好事者编制了一套小软件，方便产品设计工程师进行基于60950 标准的电气间隙何爬电距离的设置，有兴趣者可访问<http://www.creepage.com/>，看看它使用起来是否方便？许多工程师在使用后证实，上述软件的计算结果在60950 标准的应用中基本上是可以信赖的。但是影响最终定义的因素很多，对于其他标准应用的产品，这里得到的结果只能作为参考使用，设计工程师最终还是根据产品的适用标准作出正确的决定。

Point 7: 如何开槽增加Creepage？根据污染等级来定义，查60950 表F—1。大多数情况下，开槽的宽度不得小于1mm。但如果如果Creepage 的查表值小于Clearance 的查表值，开槽无用。

基于产品安全运行的要求

上述有关标准中对于电气间隙何爬电距离的定义，是出于安全的考虑和需要。如果我们在PCB 设计时遵守了标准的中规定，当然是件好事情，起码在电气安全上不用考虑会出现电击穿的现象。

但是在实际工作中，PCB 的设计往往受到产品体积和尺寸的限制，完全按照标准的规定去设置导线之间的间距，往往使PCB 布线难以在希望的空间和尺寸内得以实现而陷入困境。

根据60950—1 中5.3.4 节的内容，工程师们这时往往会倾向于利用只要通过短路试验，电气间隙和爬电距离可以缩小的定义，来对初级电路中那些不要求电击防护部分的PCB进行密集布线。但是，在利用5.3.4节的定义的时候，记着不要无节制地应用，请参Point8。

Point 8: 要记着能够通过60950 短路的试验的条件，即：

短路产生的热量不能引起产品附近棉花纸的燃烧

短路产生的热量不能引起基本绝缘，增补绝缘或加强绝缘的破坏从而带来电击的危险。

所以，对于开架式结构或开通风窗的产品，设计时最好采用带灭弧功能的保险丝管产品或在玻璃保险管上配上防护套管防止短路试验时熔断的保险丝管芯引燃棉花纸。

除了考虑满足标准安全要求，PCB 的布线间距的设置还要考虑如何让产品的功能稳定可靠。如果一味追求60950-1 5.3.4 款的运用来缩小PCB 线的间距，在进行标准安全检查时，你虽然可以通过短路试验来获得安全标准认证机构的认可，但是产品会不会因此而容易在某些应用条件下引起较高概率的闪烙和电击穿而影响产品的可靠性？所以，虽然你的PCB 布线设计通过了5.3.4 中的短路试验，获得了安全标准的承认，但是从产品功能和可靠性方面来考虑，你还得需要进行5.2.2 中表5B 规定的电气绝缘强度试验，俗称打高压或Hipot 试验。只有通过了Hipot 试验，这样你布出的PCB 才能在标准安全，空间节省和产品可靠性之间得到兼顾和平衡。

这带来了一个新的问题，布线间距和试验耐压之间会是一个什么样的关系呢？有关指导PCB 布线的文献中鲜有这样的定义或描述。UL 的专家在镀银PCB 板的分析实验中发现，平行导体之间的耐压和导体间距完全是

一个线性函数关系，和导体表面处理工艺没有瓜葛。根据这一实验，UL 在UL796 标准中规定了印制线路板耐压的测试标准是40V/mil 或1.6KV/mm。这一数据对指导在PCB 导线之间设置能够承受Hipot 的耐压试验的安全间距非常有用。举例说，根据60950-1 表5B 的规定，500V 的工作电压之间的导体应该要满足1740Vrms 的耐压试验，而1740Vrms 的峰值应该是 $1740 \times 1.414 = 2460$ V。根据40V/mil 的设置标准，可以计算出PCB 两导体之间的间距应该不小于 $2460/40 = 62$ mil 或1.6mm。

对于哪些不要求遵守60950 或其他安全标准的产品，设计工程师可以参考IPC-2221 表6.1 来进行PCB 导线之间的电气间隙的设置，见以下表格。IPC-2221 是在世界上被广泛接受的一个用于商业或工业类产品的PCB 通用标准。

IPC-2221, 表6.1:

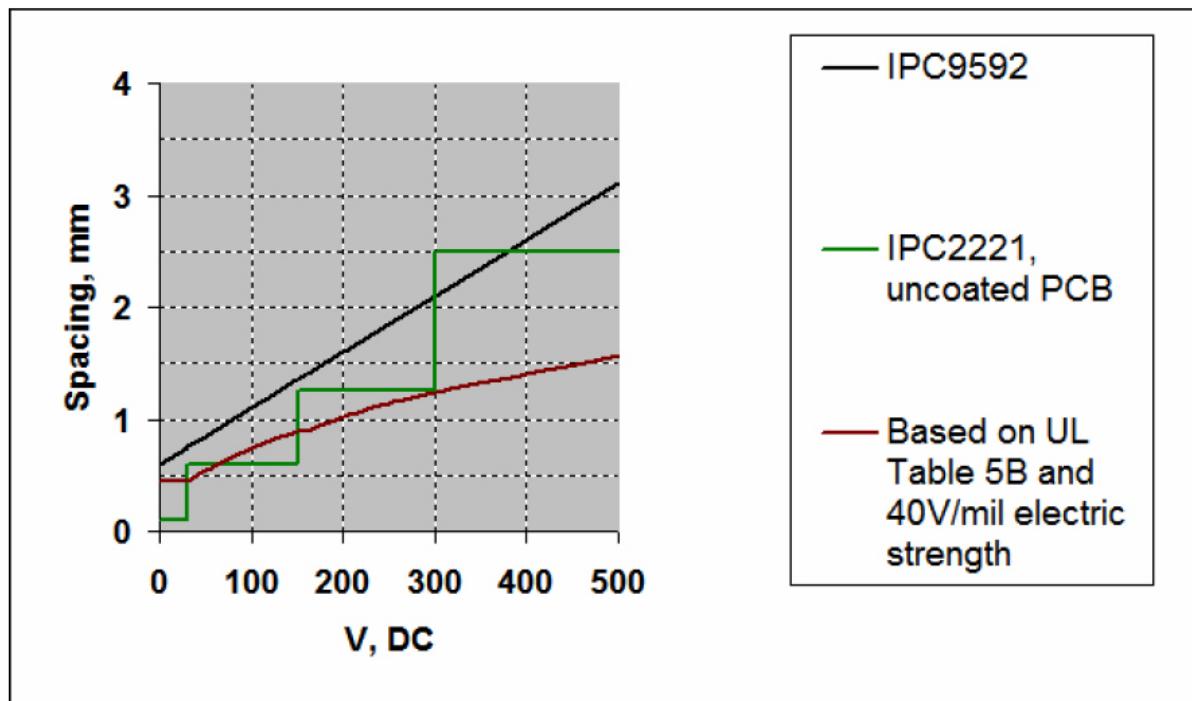
Vpk, V	Bare Board								Assembly							
	Internal layers		External conductors, uncoated		External conductors, uncoated, >3050 m		External conductors coated		External conductors with conformal coating		External component leads, uncoated		Component leads with conformal coating			
	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch
15	0.05	0.002	0.1	0.004	0.1	0.004	0.05	0.002	0.13	0.006	0.13	0.006	0.13	0.006	0.13	0.006
30	0.05	0.002	0.1	0.004	0.1	0.004	0.05	0.002	0.13	0.006	0.25	0.01	0.13	0.006	0.13	0.006
50	0.1	0.004	0.6	0.024	0.6	0.024	0.13	0.006	0.13	0.006	0.4	0.016	0.13	0.006	0.13	0.006
100	0.1	0.004	0.6	0.024	1.5	0.06	0.13	0.006	0.13	0.006	0.5	0.02	0.13	0.006	0.13	0.006
150	0.2	0.008	0.6	0.024	3.2	0.13	0.4	0.016	0.4	0.016	0.8	0.032	0.4	0.016	0.4	0.016
170	0.2	0.008	1.25	0.05	3.2	0.13	0.4	0.016	0.4	0.016	0.8	0.032	0.4	0.016	0.4	0.016
250	0.2	0.008	1.25	0.05	6.4	0.26	0.4	0.016	0.4	0.016	0.8	0.032	0.4	0.016	0.4	0.016
300	0.2	0.008	1.25	0.05	12.5	0.5	0.4	0.016	0.4	0.016	0.8	0.032	0.8	0.032	0.8	0.032
500	0.25	0.01	2.5	0.1	12.5	0.5	0.8	0.032	0.8	0.032	1.5	0.06	0.8	0.032	0.8	0.032
1000	1.5	0.06	5	0.2	25	0.99	2.33	0.092	2.33	0.1	3.03	0.12	2.33	0.092	2.33	0.092
2000	4	0.158	10	0.4	50	1.97	5.38	0.22	5.38	0.22	6.08	0.24	5.38	0.22	5.38	0.22
3000	6.5	0.256	15	0.6	75	2.96	8.43	0.34	8.43	0.34	9.13	0.36	8.43	0.34	8.43	0.34
4000	9	0.355	20	0.79	100	3.94	11.48	0.46	11.48	0.46	12.18	0.48	11.48	0.46	11.48	0.46
5000	11.5	0.453	25	0.99	125	4.93	14.53	0.58	14.53	0.58	15.23	0.6	14.53	0.58	14.53	0.58

Point 9: 在上述表格中我们发现了PCB 板内层布线的间距设置依据，这我们在进行多层板内层布线时有实际的指导意义。

另外根据最新颁布的IPC-9592，一个用于电源变换器电路的IPC 指导标准，推荐了PCB 导线之间的间距应该依从于一个线性公式：

$$\text{SPACING (mm)} = 0.6 + V_{\text{peak}} \times .005$$

通过比较后，我们可以看到60950 的表5B 和UL796 中40V/mil 的耐压测试标准对PCB 线间间距的计算结果最小，也就是条件最为宽松，见下图。然而，毕竟IPC-2221 和 IPC-9592 要照顾的产品范围更为宽泛，能够遵守其中的PCB 线间间距的定义，产品的安全余量和对其他安全标准的适应性相对而言就更有把握。



Point 10: UL60950-1 中的绝缘要求的频率要求上限是30K，对于30K 以上的工作频率的应用，UL60950-2005 允许暂时先按照30K 以下的相同要求进行控制，UL 不排除在不久的将来为高频电路在基于 IEC60664-1, IEC60664-4 的基础上制定更为严格的绝缘要求标准。