

插箱的抗干扰设计

韩造林 肖娟 保定继电器厂 (071000)

【摘要】 随着现代科学技术的发展, 电力、电子、仪器仪表行业中的各种设备越来越多地采用插箱结构来布置电子元器件。为减小设备及环境所产生的电磁波、静电等干扰源对于设备功能造成的影响, 本文就电器产品所用插箱的设计中, 在材料选用、接地设计、插件屏蔽及摆放位置和通风孔设计等方面, 如何提高抗干扰功能和可靠性进行分析和探讨。

【关键词】 插箱 抗干扰设计 屏蔽

1 材料的选用

从静态电器产品使用环境来分析, 大多数静态电器产品, 使用在电厂变电站以及过程控制及保护的环节当中。这些场所由于有电流的输入、输出以及大小变化, 并经常有突变发生, 无疑那些运行的产品被笼罩在电磁场和电磁辐射之中, 若 要保证正常运行就应使插箱具有良好的抗干扰性能。做为外壳具有抗干扰性能就要有良好的屏蔽作用, 为了达到最佳屏蔽效果, 设计插箱选材时应进行慎重考虑。

在设计中, 插箱材料可选用钢材、铝材及其它金属材料, 同时也可采用塑料外壳。插箱的屏蔽作用可分为静电屏蔽, 低频电磁屏蔽和高频电磁屏蔽三方面。

静电干扰主要是通过感应到外壳上的感应电压干扰插箱内部的元器件, 以及高达 8~10kV 的高压静电击穿敏感元件, 因此插箱应起到对静电的屏蔽作用。降低外壳的接地电阻并保持外壳接地的连续性, 就会降低外壳上的感应电位, 选择金属材料就可以降低接地电阻以达到使用要求。

低频电磁波在垂直碰到机箱外壳(导电媒质或铁磁物质)时, 交变电磁场能在导电媒质中产生感应电流, 电磁波所携带的能量转换成热能而耗散。同时电磁波振幅随着其逐渐深入导电媒质而按指数规律衰减。工程上规定振幅衰减到原值的 $1/e = 1/2.718 = 36.8\%$ 时所穿行距离为波透入深度(见表 1)。

如果选择材质厚度不合适或者机箱外壳不是导电媒质或铁磁物质, 那么低频电磁波就会穿过机箱外壳对其内部元器件形成干扰。同时对于低频磁场而言, 材料磁导率越高, 屏蔽效果就愈强。因此选材时就需要选用磁导率高的材料。在钢材、铝材、铜材中, 钢材的磁导率最高, 铜、铝不导磁, 也起不到磁屏蔽作用。

高频电磁波的屏蔽作用表现在两方面, 一方面屏蔽体与介质的波阻抗不同, 因此在界面上会产生反射现象, 也就是说, 当干扰源的能量向被干扰物体传播时, 会在屏蔽体与介质

表 1 几种导电媒质内不同频率时透入深度 (mm)

		f (Hz)	50	10^6
铜	$\gamma = 5.08 \times 10^8 \quad 1/\Omega \cdot m$		9.35	0.067
	$\mu = \mu_0$			
铝	$\gamma = 0.37 \times 10^8 \quad 1/\Omega \cdot m$		11.7	0.083
	$\mu = \mu_0$			
铁	$\gamma = 0.1 \times 10^8 \quad 1/\Omega \cdot m$		0.72	0.0051
	$\mu = 1000\mu_0$			

分界面上产生反射,这样就减少了干扰能量。另一方面,由于高频电磁场会在金属中形成涡流,引起损耗这又使干扰能量进一步减弱。对厚度为 b 的平面型屏蔽体有下列公式:

$$\alpha = \frac{4N}{(N+1)^2 e^{-\gamma b} - (N-1)^2 e^{\gamma b}} = \frac{1}{\operatorname{ch} \gamma b} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} (N + 1/N) \operatorname{th} \gamma b}$$

$$B = \ln \left| \frac{1}{\alpha} \right| = \ln \left| \operatorname{ch} \gamma b \cdot \left[1 + \frac{1}{2} (N + 1/N) \operatorname{th} \gamma b \right] \right|$$

其中: α ——高频屏蔽系数

N ——介质波阻抗与屏蔽体波阻抗之比

$$(N = Z_g / Z_m = Z_g \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \quad Z_{\text{空气}} = 377\Omega)$$

γ ——屏蔽体的传播系数 ($\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma}$) (ω ——角频率 μ ——屏蔽体导磁率 σ ——屏蔽体导电率)

B ——屏蔽衰减值

由以上公式不难看出,高频屏蔽系数或屏蔽衰减值决定于 $(\gamma \cdot b)$ 和 N , 其中 γb 代表屏蔽体内涡流引起的屏蔽效果,而 N 则反映了折反射引起的屏蔽效果。从前者看,钢屏蔽效果最好,铜铝次之。而从后者考虑,铜的屏蔽效果最好,钢最差,因此,实际应用中,采用多层不同金属材料屏蔽效果最好。所以在设计插箱时,要具体分析插箱的使用环境,对于必须严格进行屏蔽的插箱,选材时可采用在钢板表面镀铜形式,或插箱外壳用钢板而内部易被干扰的插件用铜板或铝板另加屏蔽,这样既简化了工艺,且可达到较好的屏蔽效果。

以上讨论的材料都为金属材料。那么非金属材料是否就没有使用价值了呢?也不尽然,对于塑料材料的插箱或外壳,成本较低,外表美观,加工简便。但如果单纯使用塑料材料,屏蔽效果显然不佳,同时这些材料由于摩擦等原因易产生静电,如果装置内的电子器件靠近可能被静电击穿而损坏。静电产生的一般情况见表2,静电敏感元件及其静电敏感电压等级见表3。

从表2和表3中可以看出,静态电器产品使用塑料插箱,在某种情况下产生的静电电压足以击穿该产品使用的电子器件。

在塑料中填充一定比例的金属化玻璃纤维或铝箔、碳粒、碳纤维等导电材料,一般含有25%~35%左右的导电填充材料的复合塑料,就有一定的电磁屏蔽效果。美国的以铝箔为导电填充材料的DP-2-1001中聚碳酸酯/ABS塑料复合材料,含有40%的铝箔,电阻率为 $10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 。在1~100MHz频率范围内,电磁辐射衰减为

表2 静电产生的一般情况

静电产生的方式	静电电压 (V)	
	湿度 10%~20%	湿度 65%~90%
人走过塑料地板	12000	250~750
工作台前的工作人员	6000	1000
在毯子上滑动塑料壳	18000	15000
从印制板上撕胶布	12000	1500
启动吸锡器	8000	1000
用氟里昂喷洗印制板	15000	5000
用橡皮摩擦印制板	12000	1000

表3 静电敏感元件及其静电敏感电压等级

元器件名称	敏感电压 (V)
MOS 场效应管	100~200
结型场效应管	140~700
CMOS 集成电路	250~2000
TTL 集成电路	300~2500

42~ 62dB。另一类填充材料是不锈钢或黄铜纤维, 占其总体积的 1% 时, 复合材料对电磁辐射衰减达到 40dB。美国研制的 R—5147 导电聚碳酸酯材料, 含有占总体积约 1% 的不锈钢纤维, 在几乎全频率范围内, 电磁辐射衰减率在 40dB 左右。一般认为, 工业静态电器设备结构上所用屏蔽材料的

表 4 结构电磁屏蔽要求

特性水平	电场频率范围	最小屏蔽特性 dB
1		20
2	30MHz~ 1GHz	40
3		60

屏蔽效果达到中等水平时, 电磁辐射衰减应达到 30~ 40dB。IEC SC48D 已规定了电磁屏蔽要求 (表 4)。传统的金属材料完全可以达到这个水平, 而以上列出的以导电材料做为填充物的复合塑料, 也能达到中等水平的屏蔽效果。因此在一些情况下, 可选用这些新型塑料做外壳或插箱。当采用这些复合材料时, 电阻率大大降低, 产生的静电也能及时泄漏 (一般防静电电阻控制在 $10^5 \sim 10^8 \Omega$ 为佳)。

综上所述: 在进行插箱设计时, 就可以根据不同设计要求选用不同的材料。

2 接地设计

从以上讨论中可知, 插箱对静电屏蔽要求有良好的接地。同时, 为了防止产生触电危险, 机柜、结构骨架和插箱的所有可触及的金属构件应当互连并可靠接地, 保护接地端子或保护接地导体与有要求的接地部件的电阻应小于 0.1Ω 。

现行许多产品使用的插箱, 结构形式多种多样, 有金属压铸成形的, 有塑料热压或注射成形的, 有用金属板材焊接成形的, 也有用螺钉连接成形的。其中, 金属压铸成形的插箱外壳为一整体, 不是由几种零件连接组装而成, 因此各部分之间不产生接触电阻, 可以满足良好的接地要求。对于塑料成形的插箱, 即使加入导电填充材料, 起到一定的屏蔽效果, 但本身导电性能比较差, 要想达到最佳屏蔽效果, 必须要对装置内部容易形成干扰源的部位和易被干扰的部件单独进行屏蔽, 以保证整机的抗干扰性能。用金属板材焊接成形的插箱, 因为连接处焊接在一起, 焊点处金属已熔为一体, 所以接触电阻非常小, 做为外壳的每个零件, 都可以达到良好接地。对于各零件用螺钉连接成形的插箱, 由于各部分连接时易产生接触电阻, 应采取可靠的电连接措施。

组装形式的插箱, 一般由多个零件用螺钉连接而成。因为零件表面存在漆膜、油膜、氧化膜、污物等, 独立的安装螺钉不能有足够可靠的电连接, 这就意味着插箱的部件间有可能达不到 0.1Ω 要求。因此设计插箱时要采用以下特殊的连接方式。

(1) 点焊螺母、齿形垫圈螺钉连接, 如图 1 所示。

点焊螺母外缘三个对称分布的凸出尖角, 与工件点焊时, 尖端放电与工件熔焊到一起。齿形垫圈在紧固时, 可以刺破连接件或螺钉外表面的漆膜、氧化膜等, 从而达到可靠的电连接。

(2) 压铆螺母、齿形垫圈螺钉连接, 如图 2 所示。

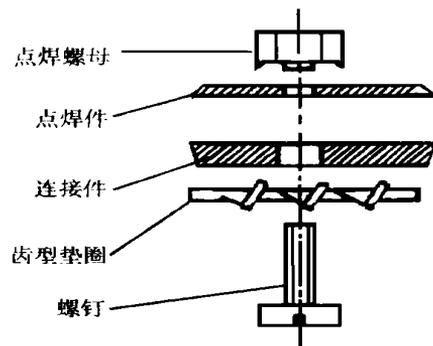


图 1

带有滚花的压铆螺母压入工件预制孔中，其配合过盈量约为 0.2~ 0.4mm，由于压入时螺母与工件过盈配合，同时滚花尖端部分刺破了工件表面，加入的齿形垫圈与图 1 中作用相同，刺破连接件间的绝缘物，增加了实际接触面积，从而使接触电阻降到最小。

(3) 压铆螺钉、齿形垫圈和螺母，如图 3 所示。

压铆螺钉头部的止口部位带有滚花，其长度一般比连接工件料厚小 0.3~ 0.5mm，滚花外径与工件预制孔的过盈量约 0.2~ 0.4mm，当螺钉压入工件中滚花尖端就要刺破工件表面，加入与图 1 中作用相同的齿形垫圈，从而达到良好的电连接性能。

(4) 盘头自锁螺钉，如图 4 所示。

压紧面制有沟槽，在紧固过程中，沟槽尖端可划破或刺破连接件的漆膜或氧化层，从而降低了接触电阻。

(5) 自攻螺钉加齿形垫圈，如图 5 所示。旋入连接件 1 时，通过切削或挤压变形产生预紧力，而达到连接目的，这同时既切破连接件 1，同时又增加了接触面积，而齿形垫圈又刺破了连接件 2，使连接件 1 和 2 达到良好的电连接目的。

以上几种连接方式，不但电连接性能好，而且做为紧固连接也方便可靠，快速便捷，其中齿形垫圈可按 GB 86.11—87、GB 861.2—87、GB 862.1—87、GB 862.2—87 选用。

对于插箱的面板，一般也应该与箱体实现导电互连，但由于其使用有特殊性，所以要特殊考虑。插箱面板一般分为两类，一类是插箱只采用一整块面板，其中又有用铰链连接的门式结构和用螺钉直接与箱体连接的两种方式。就门式结构来说，铰链的电连接性能差，因此应用软电缆线在铰链侧把门与箱进行电连接，这样门既开启方便，又达到了电连接的目的。对于用螺钉直接与箱体连接的方式则应采用以上介绍的连接方式联接。另一类则是分面板式，每一个插件都带一块面板，它又分为两种，一种是直接用螺钉把分面板与箱体联接到一起，另一种板面带有插拨器，最后用锁条压紧，这种方式实现电联接比较困难。因为印制板和其他

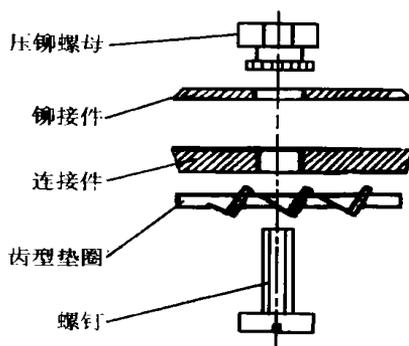


图 2

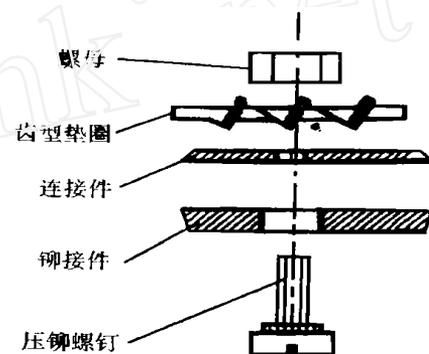


图 3

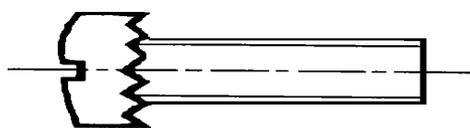


图 4

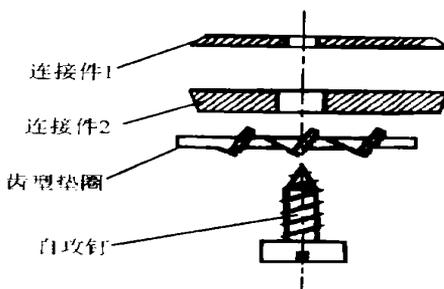


图 5

零件的制造误差, 一般情况下, 面板与箱体没有直接接触, 因此要做到良好的电联接可借助印制板印制线或在连接缝隙中加入弹性导电物, 从而解决电连接问题。

3 插件的位置摆放及其屏蔽

在一个电器装置内, 一般有这样几部分: 信号输入部分逻辑控制部分, 开关电源, 执行元件(输出)部分。通常这几部分都单独做成一个插件, 然后通过电连接器和总线把几部分联系到一起, 组成一个完整的电器产品。下面我们分析一个这几部分的特点。

在电力行业中信号输入, 都是通过电流或电压变换器(变流器或变压器)采集的。将大电流或高电压信号(强电)转换成小电流或低电压(弱电)信号, 以便由半导体器件组成的逻辑控制部分进行运算控制。在这种插件中, 强弱电的变化就可能形成干扰源, 同时电流或电压变换器由于存在漏磁现象也可能成为干扰源。

逻辑控制部分是一个弱电系统, 很容易受到干扰源的干扰。

开关电源是为弱电部分提供直流电源的, 它提供的直流电源是由强电变压整流而来, 无疑也会形成干扰源。

执行元件(输出)部分, 一般由中间继电器的触点做为出口, 它的通断常引起电压和电流的剧烈变化, 这些变化便可以形成干扰源, 特别是在故障状态, 中间继电器通断特别频繁, 因此这时形成干扰源的可能性更大。

通过以上分析可知, 容易被干扰的部件在插箱内部也同时形成了干扰源, 因此在插件位置摆放时要注意把易受干扰的逻辑控制部分远离干扰源。摆放的原则是: 具有变换器的交流插件和开关电源放在插箱的两侧, 分别用屏蔽板隔开, 逻辑控制部分放在当中, 并远离执行元件即输出部分。如果空间太小, 不能实现上述摆放, 应该把逻辑控制部分单独进行屏蔽, 以便提高装置的抗干扰能力。

4 通风孔的设计

由于插箱在安装电子器件之后, 运行过程中会产生一定的热量, 为保证运行的可靠性和设备安全, 所产生的热量要及时排除, 因此要在插箱外壁预制一些通风孔。

但在设计通风孔时, 为了保证插箱对电磁波的抗干扰能力, 应考虑电磁波穿过通风孔后对插箱内部器件形成干扰的现象。电磁波穿过通风孔有两种情况, 一是对于波长极短的电磁波, 如 300MHz 的电磁波, 波长只有 1cm。当预制通风孔尺寸大于 1cm 时, 电磁波就会直接穿过通风孔, 垂直入射内部, 如果能量比较大的话, 就会对内部器件形成干扰。但是, 频率超过 100MHz 的电磁波, 能量一般都很小, 因此这种情况也可以不必考虑。二是当电磁波波长远大于通风孔尺寸时, 电磁波在通风孔将产生衍射现象, 根据夫琅和费衍射理论可知, 衍射产生的能量分布如图 6。

衍射中心能量比较高, 通风孔若为圆孔, 衍射中心电磁波的能量约占电磁波总入射能量的 84%, 同时散射角 θ 与电磁波波长 λ 和圆孔直径 D 有下列关系: $\sin\theta = 1.22\lambda/D$, 这时中心能量虽然比入射总能量降低, 但散射后产生的干扰面积增大。

在设计插箱时, 理论上不设通风孔为好, 但在实际应用中, 为了散热等原因又必须设置, 因此在预制通风孔时, 孔尺寸要尽可能小, 以免电磁波直射进入插箱内部。尽量采用小尺寸的圆孔, 因为采用长方形孔时, 一般长边有几厘米, 短边几毫米, 在长边方向上, 电磁波就可以直射入内。在插箱壁开设通风孔时, 可以不在容易被干扰器件的部位上方开孔, 而把通

风孔设计在不易被干扰的器件上方或易发热器件上方,以便使易被干扰器件避开干扰源,保证装置的可靠性。

5 结论

随着大规模集成电路的飞速发展,插箱被越来越多的应用于装置中和装置可靠性要求的进一步提高,插箱的抗干扰功能将被越来越重视。本文对提高插箱抗干扰能力进行的探讨,旨在提高整机的电磁兼容性能。

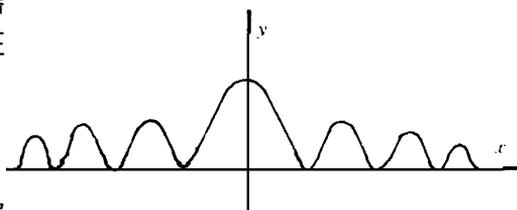


图 6

参考文献

- 1 孟庆龙·金克逵主编·电器结构、工艺及计算机辅助工艺规程设计·机械工业出版社
- 3 贺景亮编·电力系统电磁兼容·水利电力出版社
- 3 楼仁海等编·工程电磁理论·国防工业出版社
- 4 IEC917 和 IEC297 系列机柜、机架和插箱的电磁屏蔽性能试验
- 5 电机工程手册 第一卷·机械工业出版社

(上接 48 页)

式中 δ_1 ——振荡阻抗轨迹与大圆交点两侧电源夹角

δ_2 ——振荡阻抗轨迹与小圆交点两侧电源夹角

ΔT_{set} ——时间整定值,为了区分短路与振荡,取 30ms 。 $\delta_2 - \delta_1$ 一般在 50° 以下,故 $T_{min} > 200\text{ms}$, $f_{max} < 5$ 周/秒。双重圆振闭可用于振荡周期大于 200ms 或振荡频率小于 5 周/秒的线路上。

对于稳定较差的弱联系大环网或长距离重负荷的单回输电线,振荡频率可使 $\Delta T < \Delta T_{set}$,双重圆振闭失效,距离保护在此快振荡时会误跳闸。这种线路应用改进振闭的距离保护。

其次,在振荡频率小于 5 周/秒的线路应用

双重圆振闭时,由于先振荡后故障双重圆先闭锁会使距离保护拒动,应选用双重化的另一套不怕振荡的主保护,如线路电流差动保护,它在先振荡后故障时能快速切除故障。

最后指出,在装有综合重合闸的线路上,应用有完善振闭的距离保护更好,可减少距离保护的误动和拒动。

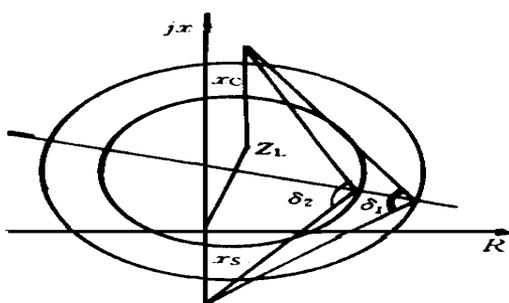


图 4 振荡阻抗图

YTF(S)-500 remote trip signal transmission device is a new generation of remote tripping device which is developed basing on the advanced technology of SWT-500F6 teleprotection signal audio transmission device and ES500 power line carrier of Siemens company. Differing with other remote tripping signal transmission devices in China, the device can simultaneously transmit the remote tripping signals of two independent systems. It has higher safety and reliability than that of other devices, because it adopts the patent techniques of Siemens company, the keyed frequency-shift F6 modulation technique and the pulse noise restraint technique.

Keywords: Remote trip Safety Reliability Keyed frequency-shift

Development of IC- Based Complete Protection Suitable for Small or Middle Scale Hydro (Thermal) Power Stations **Zhang Dawei et al(30)**

An IC- based protective device which is suitable for the small or middle scale hydro (thermal) power stations with the single generator capacity not more than 50MW and the outgoing voltage not higher than 35kV is introduced. The device uses digital dial setting and its main protective unit is equipped with element failure locking circuit. So it has higher reliability and flexibility.

Keywords: Protection digital setting IC- based Small and middle- scale hydro (thermal) power stations

GENERAL DESCRIPTION

Current State of fault Recorder and Discussion on New Scheme **Su Hongxun et al(33)**

The main functions and important features of the new generation of combined fault recorder and monitor device which is set up on IPC technique, LAN technique and communication technique are described in view of the shortcomings of fault recorder in China.

Keywords: Fault recorder Harmonic analysis On- line data analysis IPC LAN

Discussion on the Maloperation Cause of HF Blocking Type Protection **Zhang Keyuan et al(39)**

The influence of 150Hz line- frequency component which comes into the transceiver of HF protection via HF channel is analyzed. Combined with the analysis on the interrupted waves of receiver's HF signal recorded at two faults, the judgement is given that the maloperation results from the 50Hz line- frequency component which comes into the HF output circuit of the transceiver when the HF channel is not grounded well. This paper presents a method of restricting the line- frequency component and suggests to verify the correctness of the analysis by farther simulation combined with site experience.

Keywords: Receiving interrupt HF channel HF transformer saturation Lin- frequency component Ground potential rise

EXPERIENCE EXCHANGE

THR Distance Protection Applied in Dayawan Nuclear Power Station **Zhang Huagui(45)**

For the connections of 500kV one- and a- half CBs, line protection is equipped according to line layout and operates to two CBs. The available distance protections can be selected from domestic CKJ-1, LZ96 and RA ZFE of ABB company, 7SL 32 of Siemens company, TLS of GE company, and THR of Reyrolle company, etc. The THR distance protection used on the Dayawan nuclear power station to Zengcheng 500kV line is introduced.

Keywords: Static type Distance protection Swing blocking

Analysis and Countermeasure of Anomaly in Control Circuit **Yu Junfeng et al(49)**

The anomaly of control circuit is carefully analyzed in three aspects and the detailed solution is presented basing on some typical examples.

Keywords: Control circuit CB Tripproof relay System reliability

RELIABILITY RESEARCH

Study on the Testing and Assessment Method of Measurement Relay's Reliability **Han Tianxing et al(52)**

Because the failure of relay and protective device can lead great loss to power system and other industries, to rise the reliability of equipment used in the power system is very necessary. Measurement relay is a basic unit of relay protection for power system, so to study the reliability of measurement relay becomes more important. The reliability data system is set up basing on the operation feature of the relay. Many important questions, such as how to perform the verification, assessment and statistic of the reliability are discussed and the testing procedure is described. Basing on the above test theory of reliability, the reliability tester of measurement relay is studied.

Key words: Measurement relay Reliability data system Reliability test

The Designing of Resisting Disturbance of the Subrack **Han Zaolin, Xiao Juan(56)**

Along with the development of modern scientific technique, more and more equipment in power, electronic and apparatus industries use subrack structure to lay electronic elements. To decrease the influence of electromagnetic wave and static electricity produced from the equipment and environment on the function of the equipment, how to improve the function and reliability of resisting disturbance in aspects of material selection, earthing design, card screening, mounting location and ventage design are discussed.

Key words: Subrack Anti- interference design Screening