

团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

电源变换器电磁兼容风险评估指南

Guide for electromagnetic compatibility risk assessment of power
converters

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	3
5 EMC 风险评估机理和模型	4
5.1 电源变换器传导骚扰风险要素	4
6 风险要素影响程度等级与风险分类	8
7 风险评价单元划分	10
8 EMC 风险评估程序	10
9 EMC 风险识别	11
9.1 电源转换器的机械架构 EMC 风险识别	11
9.2 PCB 的 EMC 风险识别	11
10 EMC 风险分析	12
11 EMC 风险评价	12
11.1 风险评价单元的 EMC 风险评估值计算和等级确定	12
12 整机 EMC 风险等级确定与结果应用	12
13 风险评估报告要求	14
参 考 文 献	15

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会电磁兼容与天线（专业）工作组归口。

本标准起草单位：上海电器设备检测所有限公司、上海电器科学研究所（集团）有限公司、上海电器科学研究院、上海添唯认证技术有限公司。

本标准主要起草人：陈灏、XXX。

电源变换器电磁兼容风险评估指南

1 范围

本文件给出了电源变换器电磁兼容（EMC）风险评估概念和目的、EMC 风险评估机理、风险要素影响程度等级与风险分类、风险等级、EMC 风险评估程序、EMC 风险识别、EMC 风险分析、EMC 风险评价、整机 EMC 风险等级确定与结果应用和报告要求。

本文件适用于各类电源变换器的电磁兼容风险评估，包括应用在工业、科学、医疗、轨道交通、家用电器及类似器具、多媒体设备、道路车辆中的 AC/DC 开关电源、AC/DC 电源适配器、DC/DC 开关电源、DC/DC 电源适配器、DC/AC 逆变器、变频器等。

电磁兼容风险评估的结果是代表电源转换器 EMC 能力设计的水平，可作为评价产品的 EMC 测试通过率的参考。

本标准结合电源转换器的机械架构设计、电路板设计、应用场所类型等因素，对电源转换器电磁兼容设计的风险评估提供指导。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4365 电工术语 电磁兼容

GB/T 4943.1-2011 信息技术设备 安全 第1部分：通用要求

GB/T 6113.201-2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第2-1部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量）

GB/T 23694 风险管理 术语

GB/Z 37150-2018 电磁兼容可靠性风险评估导则

GB/T 38659.1-2020 电磁兼容 风险评估 第1部分：电子电气设备

GB/T 38659.2-2021 电磁兼容 风险评估 第2部分：电子电气系统

3 术语和定义

GB/T 4365 和 GB/T 38659（所有部分）界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电磁兼容风险 electromagnetic compatibility risk

产品因设计而导致出现电磁兼容问题的概率，在测试环境下为通不过电磁兼容测试的概率。

[来源：GB/T 38659.1—2020，3.1]

3.2

电源变换器 POWER CONVERTER

利用电感及电容滤波配合高频开关作用，而将直流输入电压转换为不同直流输出电压的电路。

注：或包括功率因素校正或其它功能。

3.3

桥式转换器 BRIDGE CONVERTER

直流一直流转换器的一种电路结构。在功率变压器两端的桥式结构中，采用两或四只有源开关器件。

3.4

AC-DC变换器 AC-DC CONVERTER

一个把交流电转到直流电的器件，通常是指离线变换器，当中交流电压被整流为直流电。

3.5

DC-DC转换器 DC-DC CONVERTER

把直流电从一个电压转换到另一个电压的电路。

3.6

DC-DC电源 DC-DC POWER SUPPLY

供一个或多个直流输出电压的电源系统。

3.7

驱动器模块 DRIVER MODULE

在单独的或驱动器/倍增器模块组合结构中的主控模块。驱动器模块中含有全部控制电路。

3.8

安全超低电压 SAFETY EXTRA LOW VOLTAGE (SELV)

人员可以触及并且不会引起伤害的最高电压，该电压的数值为30VAC或42.4VDC。

3.9

初级 PRIMARY

隔离电源的输入部分，它接到交流电源，因此带有危险的高电压。

3.10

次级 SECONDARY

隔离电源的输出部分。

3.11

开关频率 SWITCHING FREQUENCY

在开关电源中，直流电压接通和关断的速度。

3.12

X-电容器 X-CAPACITOR

为短路两导线间的干扰电压而接在两电源线间的电容器

3.13

Y-电容器 Y-CAPACITOR

电源转换模块一般要求在线与底盘(大地)间加上旁路电容，以旁路共模噪声及局限其于转换器内。但当转换器在交流整流电压工作，而旁路电容损坏时，则可能引致严重漏电至电器底盘，触发接地故障及触电危机。因此，需使用一类专门应用的电容(称为Y-电容)。此等电容内置一种“自行痊愈”之介质

特性,可避免过量漏电。要符合EMC要求,怀格建议采用Y-电容于所有转换模块。Y-电容符合IEC384-14、IEC132400及UL1283标准。

3. 14

逆变器 Inverter

一种输入为直流输出为交流电源。

3. 15

PWM脉冲宽度调制 Pulse Width Modulation

一种开关电源使用的电压调整方法,指仅通过改变脉冲序列的宽度控制输出。

3. 16

风险评估值 risk assessment value

采用定性和定量方法等到的用来表达风险大小的量值,通常在0-100之间。

3. 17

共模电流 common-mode current

指定“几何”横截面穿过的两根或多根导线上的电流矢量和。

[GB/T 6113.201-2018, 定义 3.1.14]

3. 18

共模干扰 common-mode interference

干扰电压在信号线及其回线(一般称为信号地线)上的共模电压引起的电磁干扰,方向相同。

注1:共模干扰电压以附近任何一个物体(大地、金属机箱、参考地线板等)为参考电位,其干扰电流回路则是在导线(信号线及其回线)与参考物体构成的回路中流动。

注2:共模干扰在信号线与参考地之间传输,属于不对称性干扰。

3. 19

差模干扰 differential-mode interference

作用于信号线和信号回线之间的差模电压引起的电磁干扰,其作用于信号回路时,在信号线及其信号回线上幅度相等,方向相反。

注1:主要由空间电磁场的耦合感应及共模干扰被不平衡电路转换后形成,这种干扰加载于有用信号上,直接影响测量与控制的精度。

注2:差模干扰在信号线及其回线之间传输,属于对称性干扰。

3. 25

高速信号 high-speed signal

对数字信号而言,由信号的边沿速度决定,一般认为信号上升/下降时间小于4倍信号传输时延的信号。

3. 33

脉冲宽度调制 PWM pulse width modulation

使用具有调制的高频开关以产生特定波形的一种变换器运行(工作)技术。

4 概述

EMC 风险评估旨在为有效的 EMC 风险应对提供基于物理模型的分析和建议。电源变换器的 EMC 风险评估基于设备的信息证据，分析其潜在的 EMC 风险。本标准中的 EMC 风险与产品测试失败风险相对应。

EMC 风险评估的依据是通过分析产品的机械架构和 PCB 状况，以评估产品 EMC 设计存在的风险，并预测通过 EMC 测试的可能性。电源变换器的 EMC 风险评估一般包括两部分内容：

- 电源变换器的机械架构 EMC 风险评估；
- 电源变换器 PCB 的 EMC 风险评估。

按照目标，EMC 风险评估可以分为 EMS 风险评估和 EMI 风险评估。

正确使用本标准规定的 EMC 风险评估方法，可实现以较高的置信度对电源变换器的 EMC 性能的评价，也可以与 EMC 测试结果结合对产品进行综合的 EMC 评价。

产品的设计者或使用者，通过正确的 EMC 风险评估方法，就可以清楚地发现产品设计在 EMC 方面存在的优点、缺陷与风险。

本标准中涉及给出主要的 19 个 EMC 风险要素，也可以作为产品的检测、认证实施过程中，判别产品设计变更后是否需要重新进行 EMC 测试评估的关键要素。

成功的电源变换器 EMC 风险评估依赖于对被评估电源变换器产品设计信息的充分了解和相关风险要素的充分理解。

5 EMC 风险评估机理和模型

5.1 电源变换器传导骚扰风险要素

5.1.1 机械架构传导骚扰风险评估机理

当电源变换器处于正常工作状态时，由于内部的高频信号（如，开关频率信号、时钟信号）传递到电源端口或信号端口，就产生传导骚扰（在进行传导骚扰测量时，传递至测量设备线性阻抗稳定网络（LISN）时，就产生传导骚扰测试问题），产品机械架构设计的改变会改变这种电流的传递路径与大小，较好的机械架构设计可以使得传递至电源端口或信号端口的电流（包括共模电流和流过 LISN 的差模电流）最小化，即风险最小，反之则大。机械架构设计中影响传导骚扰电流大小的因素即为产品机械架构传导骚扰风险要素。

从机械架构设计上看，如果产品的设计导致有较大的传导骚扰电流流过电源端口或信号端口（传导骚扰测量时，为 LISN），则将意味着该产品的机械架构设计具有较大的传导骚扰风险。

机械架构传导骚扰风险评估将发现机械架构设计的缺陷和不足，提供风险应对措施，进而指导机械架构设计或评价产品现有的机械架构设计的方案。

5.1.2 传导骚扰机械架构理想模型

传导骚扰机械架构理想模型表示一个具有完美的无传导骚扰问题的设计方案，没有传导骚扰风险存在。理想模型是一个在架构设计上相关风险要素都能设计完美的方案。理想模型可参考图1。

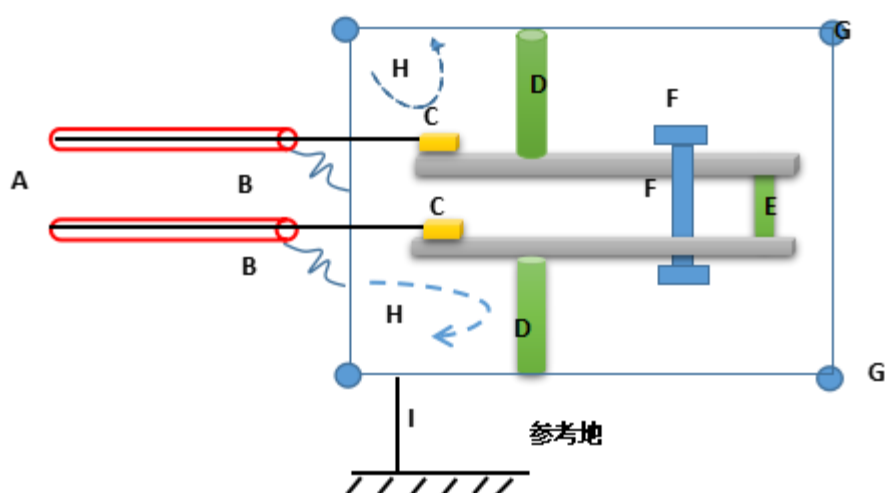


图1 传导骚扰机械架构理想模型

结合设备机械架构对传导骚扰影响特点，可对机械架构中每个风险要素对应的设计内容给出解释，并可以分析其对于理想模型的实现度，具体见表1：

表1 机械架构的每个风险要素对应的设计内容和理想模型的实现度

风险要素属性	风险要素代号 X	风险要素信息	风险影响程度等级	风险类型	风险要素对应的设计内容描述	实现程度描述
机械架构	X ₃₁	A: 连接器位置 (CP)	III	b	电源输入/输出连接器在 PCB 中的相对位置	可以实现
	X ₂₁	B: 电缆屏蔽 (CS)	II	a	电源输入/输出线的屏蔽	一般不能实现
	X ₁₁	C: 端口 EMI 装置 (I/O-EID)	I	a	电源输入/输出的滤波与防护	可以实现
	X ₂₂	D: 电路板接地 (PG)	II	a	初级回路和次级回路的 0V 与金属外壳之间的连接	SELV 电路并且是金属外壳时可以实现，非 SELV 电路的 0V 只能通过 Y 电容互连
	X ₂₃	E: 电路板间地互连 (GCBP)	II	b	若存在多块电路板时，两电路板 0V 之间的互连	可以实现
	X ₂₄	F: 板间互连信号 EMI 处理 (ISP-I)	III	b	若存在多块电路板时，互连连 接中信号的频率	可以实现
	X ₄₁	G: 金属部件搭接 (MPB)	IV	a	组成外壳的金属部件之间的搭 接	很难实现

	X ₄₂	H: 电路板接地 环路 (PGL)	IV	a	电源输入线进入壳体后的电 缆、连接器、PCB (可能有)、 PCB 板的“0 V”工作地与金属 壳体之间的互连及产品金属壳 体之间所组成的回路面积;	很难实现
	X ₃₂	I: 设备接地 (EG)	II	a	外壳的接地线	很难实现

5.2 电路板风险要素

5.2.1 PCB 的传导骚扰风险评估机理

电子电气产品中 PWM 信号或时钟信号在“0 V”地上回流时,也会产生压降。该压降会引起流向外部的共模电流,引起图 1 所示的辐射,可见评估 PCB 中“0 V”地阻抗 Z_0 是评估 PCB 的 EMI 水平的要素。

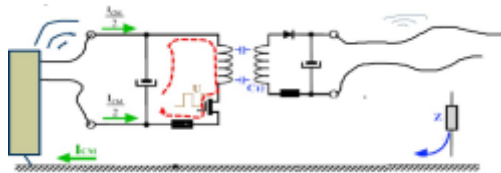


图2 地阻抗引起的辐射

同时, PCB 内部的 PWM 信号也会因为 PCB 中印制线之间的寄生电容(串扰),如图 2 所示,及 PCB 板中印制线与参考接地板之间的寄生电容形成回路如图 3 所示,这些回路中存在等效发射天线时,即产生辐射。

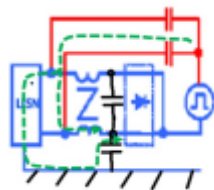
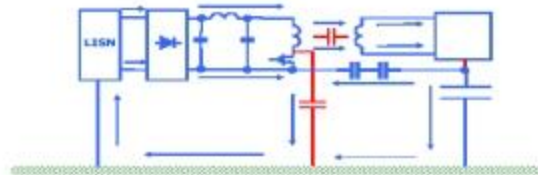


图3 串扰引起的辐射



说明: 图中箭头分别代表共模电流的路径。

图4 寄生电容引起的辐射

可见, PCB 中印制线之间的寄生电容(串扰),及 PCB 板中印制线与参考接地板之间的寄生电容的大小直接影响 PCB 对外的辐射大小,有效降低这些寄生电容将有效降低 PCB 的 EMI 水平,评估 PCB 中印制线之间的寄生电容(串扰)及 PCB 板中印制线与参考接地板之间的寄生电容的大小也是评估 PCB 板的 EMI 水平的要素之一。

5.2.2 PCB 的传导骚扰要素

PCB 的传导骚扰理想模型是一种具有完美的传导骚扰设计方案的 PCB 板,在这种方案下,当共模电

流流过 PCB 板时,不会产生对内部电路影响的干扰电平。同时,内部电路在正常传递工作时,也不会引起 EMI 电流。它是基于 6.1.2.1 所述原理上建立的,一块满足 EMC 理想模型的 PCB 中,可将印制线、元器件分为 5 类。这 5 类印制线、元器件的分类方法可参见产品《EMC 分析方法与风险评估技术》【1】。PCB 的 EMC 理想模型可参考如图 5。

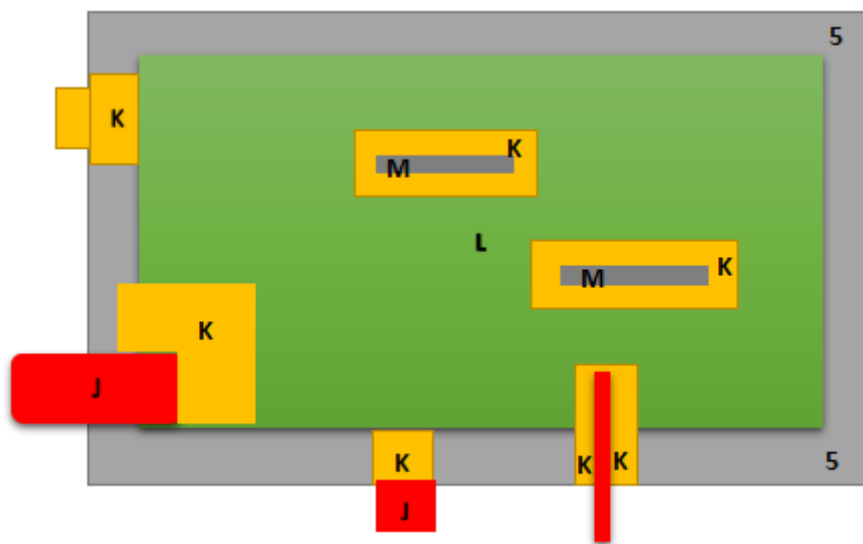


图5 PCB 的 EMC 理想模型

结合传导骚扰与机械架构影响的特点,对 PCB 的每个风险要素对应的设计内容进行描述,并可以分析其对于理想模型的实现度,具体见表 2:

表2 产品原理图风险要素代号信息

风险要素属性	风险要素代号 X	风险要素信息	风险影响程度等级	风险类型	风险要素对应的设计内容描述	实现程度描述	风险要素之间的相关性描述
原理图	X ₁₂	J: EMI 相关性“脏”信号/电路区域的处理	I	a	板卡输入输出信号/电路区域的处理	可以实现	当电缆为非屏蔽电缆,内部电路存在开关型功率电路时,若无 EMI 滤波电路,一定会导致传导骚扰测试失败
	X ₂₅	K: 噪声信号/电路区域的处理	II	b	时钟信号、PWM 信号、UVW 信号、晶振等易产生电磁发射骚扰的信号或元器件的信号/电路	可以实现 如 PWM 信号降低上升沿,增加去耦电容	芯片电源端口去耦合,周期信号滤波(降低上升沿)
	X ₄₃	L: “干净”信号/电路区域的处理	IV	a	输入输出信号、时钟信号、PWM 信号、UVW 信号、晶振、低电平的模拟信号之外的不会产生明显电磁干扰噪声的信号	可以实现	
	X ₃₃	M: 隔离区域的处理	III	b	隔离区域的 0V 地处理	可以实现	

PCB 布局 布线	X ₂₆	N: “脏” - “干净” 信号/电路的串扰防止	II	a	板卡输入/输出信号与输入输出信号、时钟信号、PWM 信号、UVW 信号、晶振、低电平的模拟信号之外的不会产生明显电磁干扰噪声的信号	可以实现	
	X ₁₃	O: “脏” - 噪声信号/电路的串扰防止	I	b	板卡输入/输出信号与时钟信号、PWM 信号、UVW 信号、晶振等易产生电磁发射骚扰的信号或元器件的信号	可以实现	EMI 信号源（如：晶振或时钟线）与电缆发生串扰时，就会导致测试失败
	X ₄₄	P: 噪声- “干净” 信号/电路的串扰防止	IV	b	时钟信号、PWM 信号、UVW 信号、晶振等易产生电磁发射骚扰的信号或元器件的信号与输入/输出信号、PWM 信号、低电平的模拟信号之外的信号	可以实现	此项风险高时，相关机械架构所有的风险要素
	X ₃₄	Q: 特殊敏感-特殊噪声信号/电路的串扰防止	III	b	PWM、时钟信号与低电平的模拟信号之间	可以实现	此项主要为内部电路的相互干扰
	X ₂₇	R: EMI 相关性地平面的处理	II	b	信号层、电源层与地平面的位置及地平面的设计	可以实现（取决于 PCB 层数）	非金属外壳设备时，时钟信号线下方及 PWM 下方没有地平面一定会导致测试失败
	X ₃₅	S: EMI 相关性信号层与电源层边缘处理	III	b	信号层与电源层在 PCB 边缘的处理方式以及 PWM、UVW 和时钟信号线等噪声信号线的非底层边缘布置	可以实现（边缘包地处理，降低与参考地中间的寄生电容）	此项风险高时，相关机械架构所有的风险要素

6 风险要素影响程度等级与风险分类

参考标准GB/T 38659.1电源变换器的EMC理想模型中的EMC风险要素共19个，其中机械架构相关的风险要素是9个，PCB相关的风险要素是10个。按风险要素的影响程度等级进行划分可分类为如下几级：

I级：特定条件下不能满足时，一定会导致某项测试失败，风险系数为 $K_1=0.4$ ；

II级：不能满足时，必须有其它特定的弥补措施才能避免测试失败，风险系数为 $K_2=0.3$ ；

III级：不能满足时，不一定会导致测试失败，但影响是直接的，而且相对较大，风险系数为 $K_3=0.2$ ；

IV级：不能满足时，不一定会导致测试失败，但影响是间接的，且影响较小，风险系数为 $K_4=0.1$ 。

EMC风险系数是一个表达风险要素影响程度的归一化量值，也是此类风险要素在产品整机风险评估值中的权重。

按如下类型对风险要素产生的风险效应进行分类，可分为两类：

a类：那些产品中无该风险要素相关信息，但认为是最高风险的风险要素；

b类：那些产品中无该风险要素相关信息，但认为是最低风险的风险要素。

如：屏蔽电缆的屏蔽搭接方式，如产品采用的是非屏蔽电缆，则认为本风险要素为最高风险。不同 PCB 板之间的“0 V”工作地的互连，如产品只有单一 PCB 板，则认为本风险要素为最低风险。

表3用来描述电源变换器各EMC风险要素的风险影响程度等级和风险分类。

结合风险要素的风险影响程度及风险评估的公式对每个风险点设定相应的代号。

表3 产品 EMC 风险要素等级描述

风险要素属性	风险要素代号 X	风险要素信息		风险影响程度等级	风险类型	EMS相关性	EMI相关性	风险要素之间的相关性描述
机械架构	X ₃₁	A: 电缆连接器在 PCB 中的相对位置, 包含有信号线和电源线;		Ⅲ	b	√	√	此项风险高时, 相关风险要素 C
	X ₂₁	B: 屏蔽电缆的屏蔽搭接方式;		Ⅱ	a	√	√	此项风险高时, 相关风险要素 C
	X ₁₁	C	C ₁ : PCB 外部的电源和信号输入端口的滤波和防护;	I	a	√	--	电缆为非屏蔽电缆, 且信号为非差分信号时缺失该要素一定要导致 EMS 测试失败
			C ₂ : PCB 外部的开关型功率电路电源端口的 EMI 滤波;	I	a	--	√	电缆为非屏蔽电缆, 且当内部电路存在开关型功率电路时缺失该要素, 一定会导致 EMI 测试失败
	X ₂₂	D: PCB 板的“0 V”工作地与金属壳体之间的互连 (存在互连时);		Ⅱ	a	√	√	此项风险高时, 相关 PCB 中所有的风险要素
	X ₂₃	E: 不同 PCB 板之间的“0 V”工作地的互连 (通常通过结构件实现);		Ⅱ	b	√	√	此项风险高时, 相关风险要素 F 和 I
	X ₂₄	F	F1: 产品内部 PCB 互连信号端口的滤波和防护;	Ⅱ	a	√	--	此项风险高时, 相关风险要素 E
			F2: PCB 间的互连信号	Ⅱ	b	--	√	
	X ₄₁	G: 壳体中各个金属部件之间的搭接 (考虑阻抗与缝隙处理) 方式;		Ⅳ	a	√	√	此项风险高时, 相关风险要素 C、D 和 PCB 中所有的风险要素

表 3 续

风险要素属性	风险要素代号 X	风险要素信息		风险影响程度等级	风险类型	EMS相关性	EMI相关性	风险要素之间的相关性描述
机械架构	X ₄₂	H: 进入壳体后的电缆、连接器、PCB (可能有)、PCB 板的“0 V”工作地与金属壳体之间的互连及产品金属壳体之间所组成的回路面积;		Ⅳ	a	√	√	此项风险高时, 相关 PCB 中所有的风险要素
	X ₃₂	I: 壳体接地线;		Ⅲ	a/b	√	√	当 PCB 中“脏”信号/电路与内部噪声信号/电路区域重合时, 此项等级上升 I 级

原理图	X ₁₂	J	J ₁ : “脏”信号/电路-区域的抗干扰处理;	I	a	√	--	此项风险高时, 相关机械架构; 处理方式为滤波与防护区域处理; 当电缆为非屏蔽电缆, 且信号为非差分信号时一定要导致 EMS 测试失败
			J ₂ : “脏”信号/电路-区域的 EMI 处理;	I	a	--	√	当电缆为非屏蔽电缆, 内部电路存在开关型功率电路时, 若无 EMI 滤波电路, 一定会导致 EMI 测试失败
	X ₂₅	K	K ₁ : 敏感信号/电路区域的处理	II	a	√	--	滤波与防护
			K ₂ : 噪声信号/电路区域的处理	II	b	--	√	芯片电源端口去耦和周期信号滤波 (降低上升沿)
	X ₄₃		L: “干净”信号/电路区域的处理	IV	a	√	√	
	X ₃₃		M: 隔离区域的地处理	III	b	√	√	
PCB 布局布线	X ₂₆		N: “脏” - 干净区域的串扰防止	II	a	√	√	
	X ₁₃	O	O ₁ : “脏” - 敏感信号/电路区域的串扰防止;	I	a	√	--	敏感信号/电路与电缆发生串扰时, 就是导致 EMI 测试失败
			O ₂ : “脏” - 噪声区域的串扰防止	I	b	--	√	EMI 信号源 (如: 晶振或时钟线) 与电缆发生串扰时, 就是导致 EMI 测试失败
	X ₄₄	P	P ₁ : 噪声- “干净”信号/电路区域的串扰防止	IV	b	--	√	此项风险高时, 相关机械架构所有的风险要素
			P ₂ : “干净”-敏感信号/电路区域的串扰防止	IV	b	√	--	
	X ₃₄		Q: 敏感—噪声信号/电路区域的串扰防止	III	b	√	√	此项主要为内部电路的相互干扰
	X ₂₇	R	R ₁ : EMS 相关地平面的处理	II	a	√	-	此项风险高时, 相关机械架构所有的风险要素 非金属外壳产品时, 没有地平面一定会导致测试失败
			R ₂ : EMI 相关地平面的处理	II	b	-	√	非金属外壳产品时, 时钟信号线下方及 PWM 下方没有地平面一定会导致 EMI 测试失败
	X ₃₅	S	S ₁ : EMS 信号层和电源层的边缘处理	III	b	√	--	此项风险高时, 相关机械架构所有的风险要素
			S ₂ : EMI 信号层和电源层的边缘处理	III	b	--	√	此项风险高时, 相关机械架构所有的风险要素

7 风险评价单元划分

风险评估单元的划分参见GB/T 38659.1-2020第8章节。

8 EMC 风险评估程序

风险评估程序参见GB/T 38659.1-2020第9章节。

9 EMC 风险识别

9.1 电源转换器的机械架构 EMC 风险识别

机械架构 EMC 风险识别是基于 GB/T 38659.1 已建立的 EMC 机械架构理想模型上，对电源转换器进行相对应的识别而进行的。EMC 风险识别之前，生产者需要给出电源转换器的机械架构信息，它可以是产品的具体机械架构图，配以表格来描述机械架构中产品接地情况、电缆类型及数量、壳体的材料、壳体有无缝隙等信息。

具体列出信息应包括产品机械架构 EMC 理想模型中所包含所有风险要素（评估点），并对具体采用方式加以说明。

电源转换器机械架构EMC风险要素需要列出关键信息见表4所示：

表4 产品机械架构 EMC 风险要素信息表

风险要素属性	风险要素代号X	风险要素	风险要素关键信息
机械架构	X ₃₁	A	电源电缆的数量、相对物理位置、电缆类型等
	X ₂₁	B	是否存在屏蔽层、屏蔽层的搭接方式、连接器类型（如果有）、屏蔽层连接线（Pigtail）长度等
	X ₁₁	C	C ₁ 电源类型（AC或DC）、电压等级、滤波和防护电路原理图、元器件参数等
			C ₂ EMI滤波电路和参数
	X ₂₂	D	互连的位置和方式（连接线长度、互连导体类型和尺寸）等
	X ₂₃	E	互连的位置和方式（连接线长度、互连导体类型和尺寸）等
	X ₂₄	F	F ₁ 互连信号类型、滤波和防护电路原理图、元器参数等
			F ₂ 信号类型（特别关注是否有时钟信号、PWM信号）、PWM信号频率等
	X ₄₁	G	壳体材料、几何尺寸、连接点位置和搭接方式等 塑料壳体表面与产品中电路相关导体的绝缘间距
	X ₄₂	H	配合机械架构图给出壳体后的电缆、连接器、PCB(可能有)、PCB板的“0 V”工作地与金属壳体之间的互连及产品金属壳体物理位置
	X ₃₂	I	接地线几何尺寸、物理位置等

9.2 PCB 的 EMC 风险识别

PCB的EMC风险识别是基于GB/T 38659.1已建立的PCB的EMC理想模型上，对电源转换器进行相对应的识别而进行的。PCB在进行EMC风险识别之前，产品生产者需要提供PCB的电路原理图以及PCB布局布线文件、电路中时钟种类和频率、开关频率、PCB层数及堆叠情况、模拟电路电平、数字电路电平、模拟地与数字地的隔离措施、地的种类等相关信息。

风险评估人员首先需要对电路原理图进行属性划分，在属性划分的基础上，列出相关具体的信息，具体列出信息应包括PCB EMC理想模型中所涵盖的风险要素，并对具体采用方式加以说明。

PCB 的 EMC 风险要素需要列出关键信息见表 5 所示：

表5 PCB 的 EMC 风险要素关键信息表

风险要素属性	风险要素代号 X	风险要素		风险要素关键信息
电路原理图	X ₁₂	J	J ₁	是否存在电容，电容值 当电缆为非屏蔽电缆，且信号为非差分信号时，无滤波一定要导致 EMS 测试失败
			J ₂	当电缆为非屏蔽电缆，内部电路存在开关型功率电路时，若无 EMI 滤波电路,一定会导致 EMI 测试失败 EMI 滤波电路形式和参数；
	X ₂₅	K	K ₁	滤波与防护电路，电路参数
			K ₂	芯片电源端口去耦和 PWM 周期信号滤波（降低上升沿）
	X ₄₃	L		未用输入管脚处理
	X ₃₃	M		隔离地之间的处理，电容选型，容值。
PCB 布局布线	X ₂₆	N		两种信号线的确认，串扰的处理方式
	X ₁₃	O	O ₁	两种信号线的确认，串扰的处理方式
			O ₂	两种信号线的确认，串扰的处理方式
	X ₄₄	P	P ₁	两种信号线的确认，串扰的处理方式
			P ₂	两种信号线的确认，串扰的处理方式
	X ₃₄	Q		两种信号线的确认，串扰的处理方式
	X ₂₇	R	R ₁	是否有地平面，地平面是否完整，芯片地管脚之间的地完整性
			R ₂	时钟信号线下方及 PWM 下方有没有地平面，是否连续，地层是否与信号层电源层相邻，层间距，是否包地处理
	X ₃₅	S	S ₁	信号层边缘是否铺铜，或加屏蔽地线，敏感信号/电路是否有布置在信号层边缘
			S ₂	信号层边缘是否铺铜，或加屏蔽地线，时钟线，PWM 等高速线是否有布置在信号层边缘

10 EMC风险分析

电源变换器EMC风险分析是对产品中的每个EMC风险要素相对于理想模型的偏离度，赋予其一定的风险评估值。

本标准采用的适用于电源变换器EMC风险分析的方法是定性和定量结合的方法，设计者可以得到的每个风险要素的风险等级为“极高”、“高”、“中”、“低”、“极低”5类，同时，为了利用风险指数法，EMC风险评估专家或评估团队还需要对每个风险要素得出的5类等级赋予一定的值，即EMC风险要素的风险评估值。

电源变换器传导骚扰风险评估方法参见GB/T 38659.1。

11 EMC 风险评价

电源变换器的EMC风险评估计算和等级确定参见GB/T 38659.1。

12 整机 EMC 风险等级确定与结果应用

整机的EMC风险值代表电源变换器实际的EMC水平与理想模型之间的差距，它是一个客观值。电源变换器品EMC测试的要求是由产品所在应用场所类型决定的，当判断电源变换器是否通过EMC测试时，往往需要先确定电源变换器所应用产品的场所类型，不同的产品应用场所类型具有不同的EMC测试要求。因此，如果需要用整机的EMC风险值来评估产品EMC测试是否通过的风险，那么也应该先确定电源变换器所应用的产品及应用的场所类型。

电源变换器的应用场所（即场所决定产品EMC测试等级或EMC要求）参考GB/Z 18039.1-2019分为四类：

第一类：具有特殊保护的环境，如道路车辆内部；

第二类：居住场所；

第三类：商业/公共场所；

第四类：工业场所；

整机EMC风险等级是由产品的整机EMC风险评估值（包括EMS风险评估值和EMI风险评估值）和产品应用场所类型共同决定。

产品整机EMC风险等级：是产品整机EMC测试失败事件发生的概率，从高到低可分为 T、U、V、W四级：

T：高度风险（测试不能通过，而且项目较多）；

U：显著风险（测试不能通过，但项目较少）；

V：一般风险（测试基本通过）；

W：稍有风险（测试通过，并有余量）。

基于以上11产品整机EMS风险值结果，再根据产品所选择的应用场所类型，按表6最终确定产品整机EMS风险等级。

表6 产品整机 EMS 风险等级表

应用场所	风险等级			
	T	U	V	W
第一类	>80	70~80	60~70	<60
第二类	>70	60~70	50~60	<50
第三类	>60	50~60	40~50	<40
第四类	>50	40~50	30~40	<30

基于产品整机EMI风险值结果，再根据产品所选择的应用场所类型，按表7产品整机EMI风险等级表最终确定产品整机EMI风险等级。考虑到具有特殊保护的环境中可能还存在细分，在EMI风险等级确认时，可增加第X类应用场所（如，第X类应用场所可对应按GB/T18655中规定的4、5级EMI测试要求，第一类应用场所可对应按GB/T18655中规定的1、2、3级EMI测试要求）。

表7 产品整机 EMI 风险等级表

应用场所	风险等级			
	T	U	V	W
第X类	>50	40~50	30~40	<30
第一类	>60	50~60	40~50	<40
第二、三类	>70	60~70	50~60	<50
第四类	>80	70~80	60~70	<60

考虑到风险指数法的局限性，每个风险要素的具体得分建议经评估小组讨论得出，减少人为因素的影响。

整机EMC风险等级除了把电源转换器整机的EMC风险等级分为EMS风险等级和EMI风险等级外，EMC风险评估专家或评估团队还可以将产品整机的EMC风险等级与电源转换器所需要考虑的每一个EMC测试项目对应，对每个测试项目进行逐个分析。

13 风险评估报告要求

风险评估的过程和结果都应进行记录。要素应以可理解的术语来表达，同时风险等级也应清晰表述。

评估结果应记录在一份综合的评估报告中，该评估报告应具有足够多的细节以保证评估正确性。评估报告应包含至少以下信息：

- 目标和范围；
- 被评估对象与测试项目的关联情况；
- 所使用的风险准则及其合理性；
- 列出产品的品牌、规格、型号以及具体的产品的关键信息；
- 评估方法描述；
- EMC风险识别过程与结果；
- 风险分析的结果及评价；
- 结论和建议。

参 考 文 献

- [1] 郑军奇, ISBN 978-7-121-37275-9 产品EMC设计方法和风险评估技术 电子工业出版社 2019