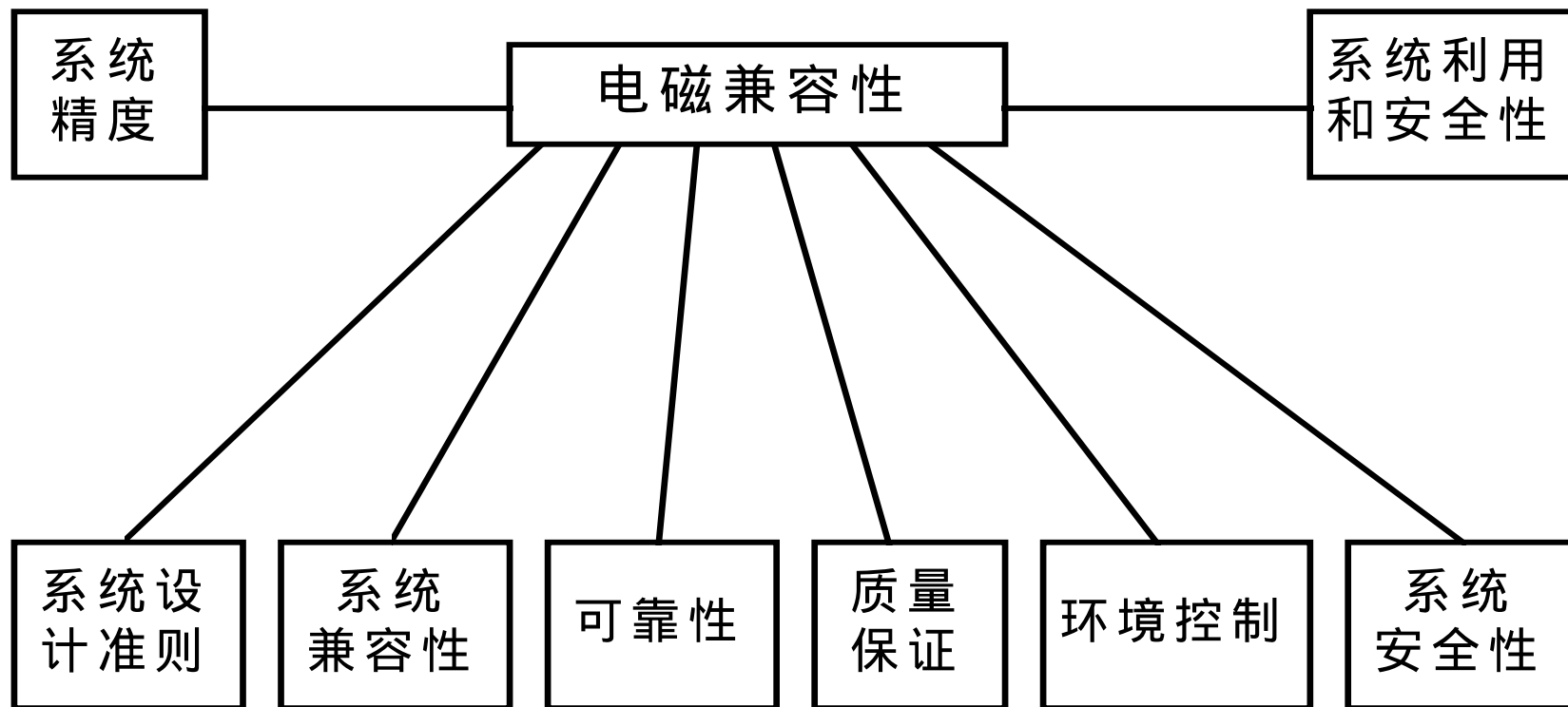


电磁兼容概论

电磁兼容研究的重要性



电磁兼容影响效能的范围

电磁兼容技术的发展(1)

- 1833年法拉第的电磁感应定律，变化的磁场产生电动势；
- 1864年麦克斯韦引入位移电流的概念，变化的电场将激发磁场，预言电磁波的存在，这种电磁场的相互激发并在空间的传播，正是电磁干扰存在的理论基础。
- 1881年英国科学家希维赛德“论干扰”--最主要的早期文献；
- 1887年柏林电气协会成立干扰问题委员会；
- 1888年赫兹用实验证明了电磁波的存在，指出各种打火将向空间发出电磁干扰，从此开始了对干扰问题的实验研究。
- 1889年英国邮电部门也研究了通信干扰问题；
- 1934年英国有关部门对一千例干扰问题进行分析，发现其中50%是电气设备引起的。
- 随着广播等无线电事业的发展，国际无线电干扰特别委员会(CISPR)，以及其他有关学术组织及专业委员会的成立，开始了对电磁干扰问题进行世界性的有组织地对抗。
- 在干扰问题的长期研究中，人们从理论上认识了电磁干扰产生的原因，明确了干扰的性质及数学物理模型。逐渐完善了干扰传输及耦合的计算方法，提出了抑制干扰的一系列技术措施，建立了电磁兼容的各种组织及电磁兼容系列标准和规范，解决了电磁兼容分析、预测设计及测量等方面一系列理论问题和技术问题，逐渐在电子学中形成一个新的分支——电磁兼容。

电磁兼容技术的发展(2)

- 八十年代以来，许多国家在电磁兼容标准与规范分析预测、设计、测量及管理等方面均达到了很高水平，有高精度的电磁干扰(EMI)及电磁敏感度(EMS)自动测量系统，可进行各种系统间的EMC试验，研制出系统内及系统间的各种EMC计算机分析程序，有的程序已经商品化，形成一套较完整的EMC设计体系，在电磁干扰的抑制技术方面，已研制出许多的新材料、新工艺及规范的设计方法。一些国家还建立了对军品和民品的EMC检验及管理机构，不符合EMC质量要求的产品不准投放市场。
- 我国有关电磁兼容第一个标准是1966年由原第一机械工业部制定的部级标准JB - 854 - 66《船用电气设备工业无线电干扰端电子电压测量方法与允许值》。
至今已制定国家标准及军用标准四十余个，为考核进出口电子、电气产品的干扰特性提供了一定条件，使我国在电磁兼容标准与规范方面有了较大的进展。国家有关部门对电磁兼容技术十分重视，有关电磁兼容的学术组织纷纷成立，国内不少单位在最近几年也建设或改造了EMC实验室，在各地区建立了测量中心，引进了较先进的电磁干扰和电磁敏感自动测试系统和设备，目前已具备按照国家标准、国家军用标准和国际其他一些标准进行EMC测量和试验的能力。

电磁兼容的基本概念

我国军用标准(GJB72 - 85)中给出电磁兼容性的定义：

“设备(分系统、系统)在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态。即：该设备不会由于受到处于同一电磁环境中其它设备的电磁发射导致或遭受不允许的降级；它也不会使同一电磁环境中其它设备(分系统、系统)因受其电磁发射而导致或遭受不允许的降级。”

国际电工技术委员会(IEC)所给出的定义：

“电磁兼容是一种能力，它在其电磁环境中能完成它的功能，而不至于在其环境中产生不能容忍的干扰。”

可见除了要求设备能完成其功能,还有两点要求：

- A、有一定的抗干扰能力；
- B、不产生超过限度的电磁干扰。

电磁兼容基本原理与技术

- **电磁干扰**：由干扰源发出干扰电磁能量，经过耦合途径将干扰能量传输到敏感设备，使敏感设备的工作受到影响，这一作用过程称为电磁干扰效应。
- 形成电磁干扰必须具备下列三个基本要素：
 - **电磁干扰源**：指产生电磁干扰的任何元件、器件、设备或自然现象。
 - **耦合途径**或称耦合通道：指将电磁干扰能量传输到受干扰设备的通路或媒介。
 - **敏感设备**：指受到电磁干扰影响，或者说对电磁干扰发生响应的设备。

Definitions

□ **EMC: Electromagnetic Compatibility**

□ **EMI : Electromagnetic Interference**

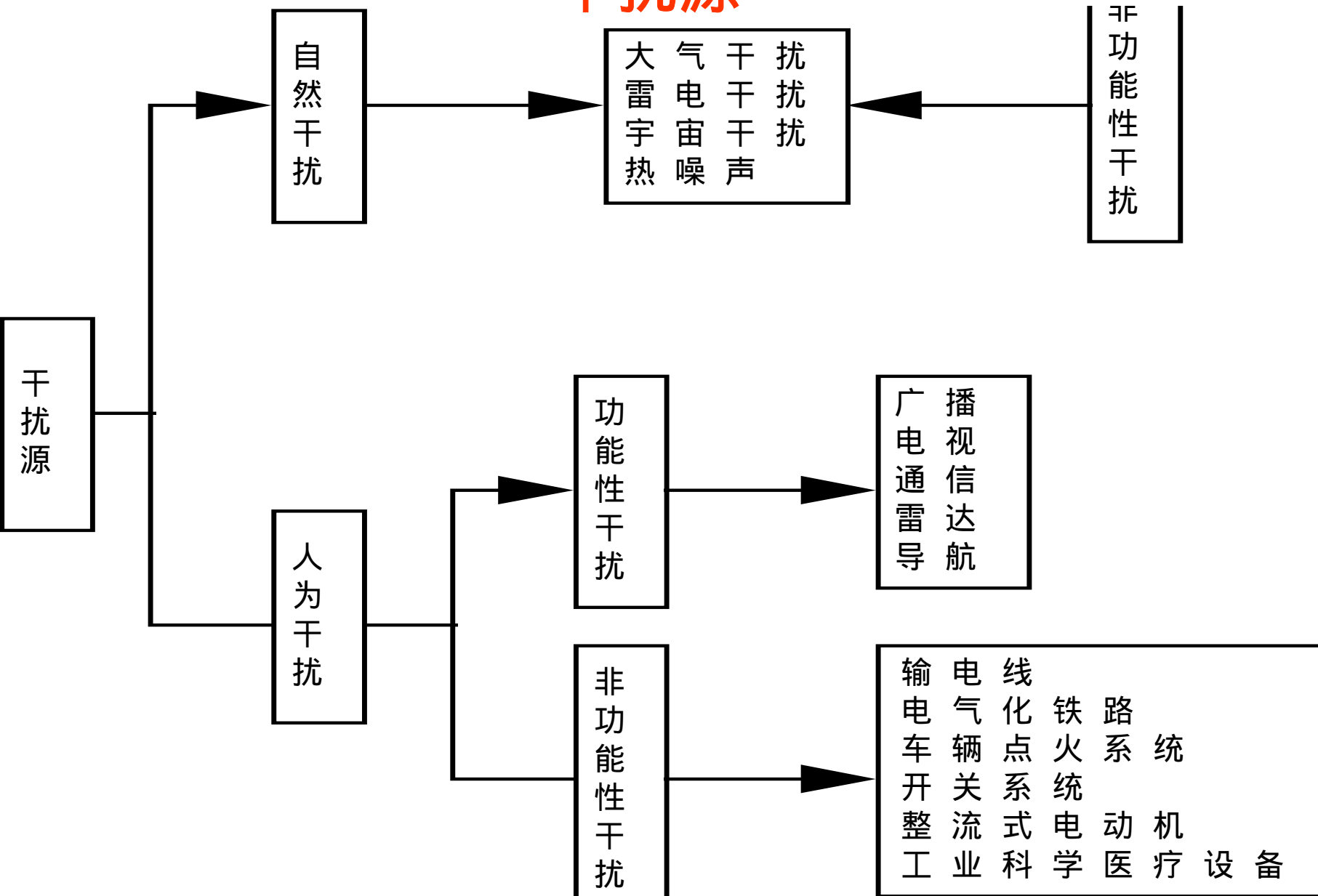
□ **RFI: Radio Frequency Interference**

A specific form of EMI. By FCC definition it must have the following characteristics :

- Tx or Rx is to be carrier operated
- Frequency range must be between 10kHz and 300GHz

□ **EMS: Electromagnetic Susceptibility**

干扰源



抑制干扰的技术措施（1）

- 接地

- 接地是电路或系统正常工作的基本技术要求，因为电流需经过地线形成回路，而地线或接地平面总有一定的阻抗，该阻抗使两接地点间形成一定的电压，产生接地干扰。而恰当的接地方式可以给高频干扰信号形成低阻抗通路，从而抑制了干扰。接地技术是至关重要的，其中包括接地点的选择，电路组合接地的设计和抑制接地干扰措施的合理应用等。

- 隔离

- 隔离是抑制干扰耦合的技术措施，这包括电路的空间隔离和电位隔离。空间隔离是减少电路间电磁耦合的最简单而有效的方法；所谓电位隔离是指两个或多个系统的电路去耦，以及基准电位不同的系统互相绝缘，电位隔离主要用于抑制电平相差较大的两回路间的耦合，例如信号回路功率回路间的电路性耦合。电位隔离的典型方法是将电信号转变为其他物理量，通常用磁场和光辐射作为中间变量，例如隔离变压器和光电耦合器。

- 搭接

- 搭接是指导体间的低阻抗连接，只有良好的搭接才能使电路完成其设计功能，使干扰的各种抑制措施得以发挥作用，而不良搭接将向电路引入各种电磁干扰，因此在电磁兼容设计中，必须考虑搭接技术，以保证搭连的有效性、稳定性及长久性。

抑制干扰的技术措施（2）

滤波

滤波是压缩信号回路干扰频谱的一种方法，当干扰频谱成分不同于有用信号的频带时，可用滤波器将无用的干扰信号滤去。滤波器对与有用信号频率不同的那些频率成分有良好的抑制作用，借助滤波器可明显减小传导干扰电平，若滤波器把有用信号和干扰信号的频谱隔离的越完善，它对减少有用信号回路内的干扰信号的效果就越好，因此恰当地设计、选择和正确地使用滤波器对抑制干扰是非常重要的。

屏蔽

屏蔽是通过各种屏蔽材料吸收及反射外来电磁能量来防止外来干扰的侵入(被动屏蔽)，或将设备辐射的电磁能量限制在一定区域内，以防止干扰其它设备(主动屏蔽)。屏蔽不仅对辐射干扰有良好的抑制效果，而且对静电干扰和干扰的电容性耦合、电感性耦合均有明显的抑制作用，因此屏蔽是抑制电磁干扰的重要技术，在实际工程设计中，必须在保证通风、散热要求的条件下，实现良好的电磁屏蔽。

PCB设计及工艺

电路去耦，阻尼、阻抗匹配，合理布线和捆扎，以及应用各种抑制干扰的电路和器件等措施。

电磁兼容性分析与设计(1)

总体要求,电磁兼容性分析与预测

- 给出满足系统总体技术指标和电磁兼容要求的最佳参数选择及最佳配置方式，对系统进行优化设计。
- 给定设备组合体的电磁兼容性情况，预报分系统、设备可能出现的干扰问题并标出干扰问题的范围，以便在设计早期采取合适的干扰抑制措施。
- 给出改变设备工作频率的影响，提供系统最佳频率资料。
- 预测在设备组合体中，增加一个发射机的影响，以及增加一个接收机时，对该接收机的干扰，判断发射机和接收机几个可能的定位中，哪一种配置引起的干扰最小。
- 判定干扰问题的干扰源和各种敏感设备，指出各种耦合路径的传输损耗，给定真正的干扰极限值和敏感极限值。
- 给出接收机敏感度资料，修正特定干扰情况所需的干扰抑制量。
- 在研制过程中，不断以实际参数代替模拟参数，可对系统进行电磁兼容控制，评定系统所采用抑制电磁干扰技术措施的实际效果。
- 全面评价系统的电磁兼容性能，确定系统的电磁干扰安全系数。

电磁兼容性分析与设计(2)

分析方法

按其发展过程，通常分为三种方法，即问题解决法、规范法和系统法。其中系统法是电磁兼容设计的近代方法，它集中了电磁兼容方面的研究成果，根据电磁兼容要求给出最佳工程设计方法。系统法从设计开始就预测和分析电磁兼容性，并在系统设计、制造、组装和实验过程中不断对其电磁兼容性进行预测和分析，由于系统中相互关系很多，因此用系统法进行电磁兼容性预测时必须用计算机来完成。

典型的电磁兼容分析应包括下列步骤：

- 列出可能形成干扰的所有干扰源及接受器(敏感设备)；
- 选择一个可能受到干扰的接受器；
- 确定由该干扰源到该接受器的所有耦合通道；
- 计算该干扰通过所有耦合通道耦合到接受器的电磁干扰能量；
- 对所有的干扰源重复上述过程，并确定接受器受到的干扰程度；
- 对每个源、接受器和耦合途径的有关参数赋值，进行具体计算。

电磁兼容性分析与设计(3)

计算机分析软件

电磁兼容性分析软件的研制是目前电磁兼容领域中重要的研究课题，自1968年由W. R. Johnson和A. K. Thomas提出电磁兼容性的计算机辅助分析以来，至今已研制出各种不同规模的计算程序，从需要大型数字计算机才能处理的大型飞机和武器系统的程序，到用小型计算机就能解决给定问题的简单程序，都已经研制出来，影响较大应用较广的软件有SEMCAP、IPP - 1、IAP等。这些软件在功能、范围、输入特性、输出特性和模拟方法等方面各有其特点，用户可根据要求予以选择。

电磁兼容设计内容及设计要点(1)

· 设计内容

- 分析系统所处的电磁环境,选择频谱及频率
- 制定电磁兼容要求与控制计划

为了保证系统内及系统之间的电磁兼容，须制定电磁兼容性大纲，在大纲中应规定系统的电磁兼容性要求，选取电磁兼容标准与规范以及电磁兼容的保证措施，制定电磁兼容控制计划及试验计划。控制计划的内容包括对系统参数提出要求；对系统提出电磁干扰及电磁兼容性要求，例如减小发射频谱及接收机带宽，控制谐波量、边带及脉冲上升时间以及对结构电缆网、电气与电子电路设计等提出要求。试验计划的内容包括测量仪表、实验设施、被测对象的状态、测试项目，试验步骤、试验报告等。

· 设备及电路的电磁兼容设计

设备及电路的电磁兼容设计是系统电磁兼容设计的基础，是最基本的电磁兼容性设计，其内容包括控制发射、控制灵敏度、控制耦合以及接线、布线与电缆网的设计、滤波、屏蔽、接地与搭接的设计等。在设计中可针对设备、分系统及系统中可能会出现电磁兼容问题，灵活地运用这些技术，并要同时采取多种技术措施。

电磁兼容设计内容及设计要点(2)

- 主要参数

- 电磁干扰安全系数
- 敏感度敏感度门限和干扰允许值
- 阈值
- 失效干扰电平
- 费用效益比

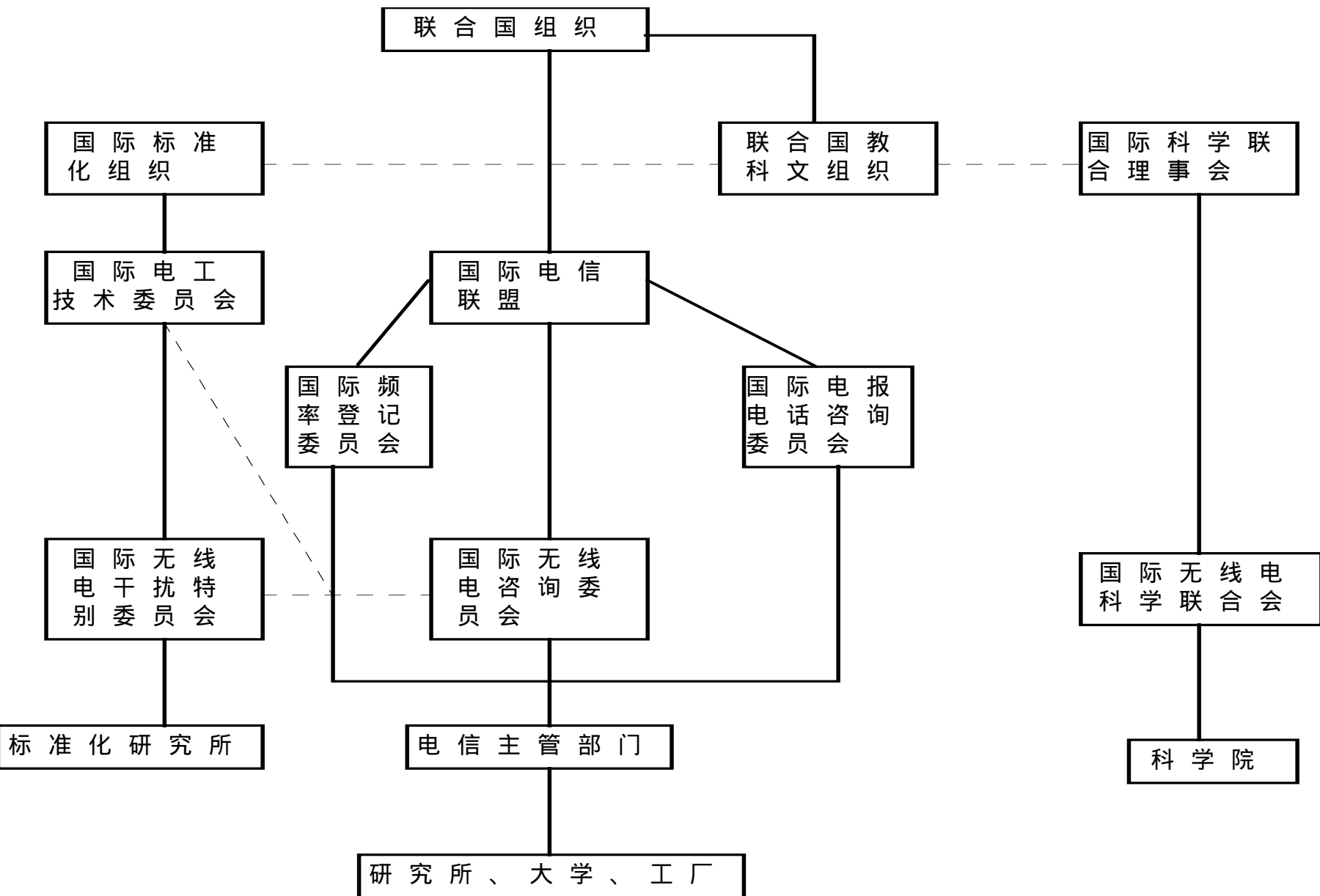
- 设计要点

- 抑制干扰源
- 抑制干扰耦合
- 敏感设备的设计
- 选择恰当的搭接、接地、屏蔽等技术措施

电磁兼容的国际组织与合作

为了实现电磁兼容，各种世界性组织和地区性组织进行国际间的协调行动是十分重要的。例如，在全世界范围内进行合理的管理，对人为干扰提出规定性限制，对一些固定业务进行合理地保护等，这对于推动电磁兼容技术的发展，实现系统的电磁兼容是很必要的。

电磁兼容的国际组织与合作，国际组织与管理联系图



电磁兼容的国际组织与合作

国际电信联盟 (ITU) 是最早、最大的国际组织之一，拥有150多个小成员国，1974年以来该组织已成为联合国的一个专门机构，这意味着它对实现联合国在通信领域内的决定负有责任。该组织主要从事电磁频谱管理和通信系统的协调工作。

国际电工技术委员会 (IEC) 该组织是1906年于英国伦敦创建的，其宗旨是对电工和电子工程领域内标准化和相关事宜的所有问题进行国际协作，促进国家间的互相了解和信任，通过发行出版物发表在达成国际协议之前作为中间步骤的报告，为各国家标准化工作奠定基础。该组织下设八十一个技术委员会，其中有TC12，TC17 ~ 18，TC22 ~ 23等二十多个技术委员会与电磁干扰问题有关。

国际无线电干扰特别委员会 (CISPR)，它是国际电工委员会的下属组织，其宗旨是促进制定有关工业干扰方面国际协商的建议，并鼓励各国共同遵守，CISPR的组成成员有：IEC每个成员国委员会，欧洲广播联盟 (EBU)，国际无线电和电视组织 (OIRT)，大电系统的国际会议 (CIGRE)，电力发电者和配电者国际联盟 (UNIPED)，铁路运输国际联盟 (UIC)，公共运输国际联盟 (UITP)，电设备批准规则国际委员会 (CEE)。

国际无线电科学联盟 (URSI)，**跨国电气电子工程师学会电磁兼容专业委员会 (IEEE - EMC)** 等组织，对电磁干扰、系统与设备的电磁兼容、电磁干扰抑制、电磁兼容标准、电磁兼容测量技术、电磁兼容分析、设计与管理等方面均进行了大量的研究工作。

电磁兼容标准与规范

标准和规范的内容主要有以下几个方面：

- 规定了各种非预期发射的极限值
- 定了测量方法
- 定电磁兼容领域内的名词术语
- 规定了设备、系统和电磁兼容性要求及控制方法

我国的电磁兼容标准与规范(1)

■ EMC标准名称	标准代号
■ 军用设备和分系统电磁发射及敏感度要求	GJB151-86
■ 军用设备和分系统发射及敏感度测试方法	GJB152-86
■ 电磁干扰和电磁兼容名词术语和单位制	GJB72-85
■ 微波辐射安全限制	GJB7-84
■ 敏感电起爆器通用设计规范	GJB344-87
■ 敏感度试验用升降方法	GJB77-87
■ 军工品可靠性评价方法	GJB376-86
■ 军用飞机电搭接技术要求	GJB358-87
■ 飞机布线通用要求	GJB1014-90
■ 飞机供电特性及对用电设备的要求	GJB181-86
■ 预防电磁场对军械危害的一般要求	GJB786-89
■ 舰载雷达通用技术条件：电磁兼容性要求和测量	GJB403.7-87
■ 微波辐射生活区安全限制	GJB475-88
■ 生活区微波辐射测量方法	GJB476-88
■ 超短波辐射测量方法	GJB1001-90
■ 军用眩外机定型试验规程：电磁干扰试验方法	GJB968.7-90
■ 舰船搭接、接地、屏蔽、滤波及电缆电磁兼容性要求和方法	GJB1064-90
■ 飞机设备电磁兼容性要求及测量方法	HB5662-81
■ 机载火控雷达抗干扰能力试验	GJB86.4-86

我国的电磁兼容标准与规范(2)

- 电动工具、家用电器和类似器件的无线电干扰特性测量方法和允许值GB4343-84
- 无线电干扰名词术语 GB4365-84
- 工业、科学和医疗射频设备无线电干扰的允许值 GB4824.1-84
- 工业、科学和医疗射频设备无线电干扰特性 测量方法 GB4824.2-84
- 电器设备的抗干扰特性基本测量方法 GB4859-84
- 电磁干扰测量仪 GB6113-85
- 广播接收机干扰特性测量方法 GB6114-85
- 静态继电器及保护装置的电器干扰试验 GB6162-85
- 车辆、机动船和火花点火发动机驱动装置无线电干扰特性的测量方法及允许值 GB6279-86
- 航空无线电导航台站电磁环境要求 GB6364-86
- 电子测量仪器电磁兼容性试验规范 GB6833-86
- 广播接收机干扰特性限额值 GB7236-87
- 高压架空输电线、变电站无线电干扰测量方法 GB7349-87
- 同轴电缆载波通信系统抗无线电广播和通信干扰的指标 GB7432-87
- 对称电缆载波通信系统抗无线电广播和通信干扰的指标 GB7433-87
- 信息技术设备的无线电干扰极限值和测量方法 GB9254-088
- 船舶电气与电磁兼容 GB10250 - 88

国外电磁兼容标准与规范

有关电磁兼容的国际标准

国家(或机构)	家用电器	工、科、医设备
CISPR	CISPR14	CISPR11
EEC	EEC/82/499	
澳大利亚	AS1044	DR 73117
比利时	RC14. 2. 58	RC1 6. 61966
加拿大	CSAC108. 54	SOR 75-629
德国	VDE0875/7. 71	VDE 0871/6. 78
匈牙利	KPKZP263. 6	KPMSZ 263. 2
日本	JRTC	PTT第65项
荷兰	NEN10001	NEN 10001
瑞典	SEN471004	SIND - FS74 - 72
瑞士	SSV	SSV
俄罗斯	SS1-72部分	5 - 72部分
英国	BS800	BS 4809, BS 800
美国	FCC第15部分 ,	第18部分

电磁兼容性测量实验室



TMC China

电磁兼容性测量



KMW in Germany



EMC test in Germany

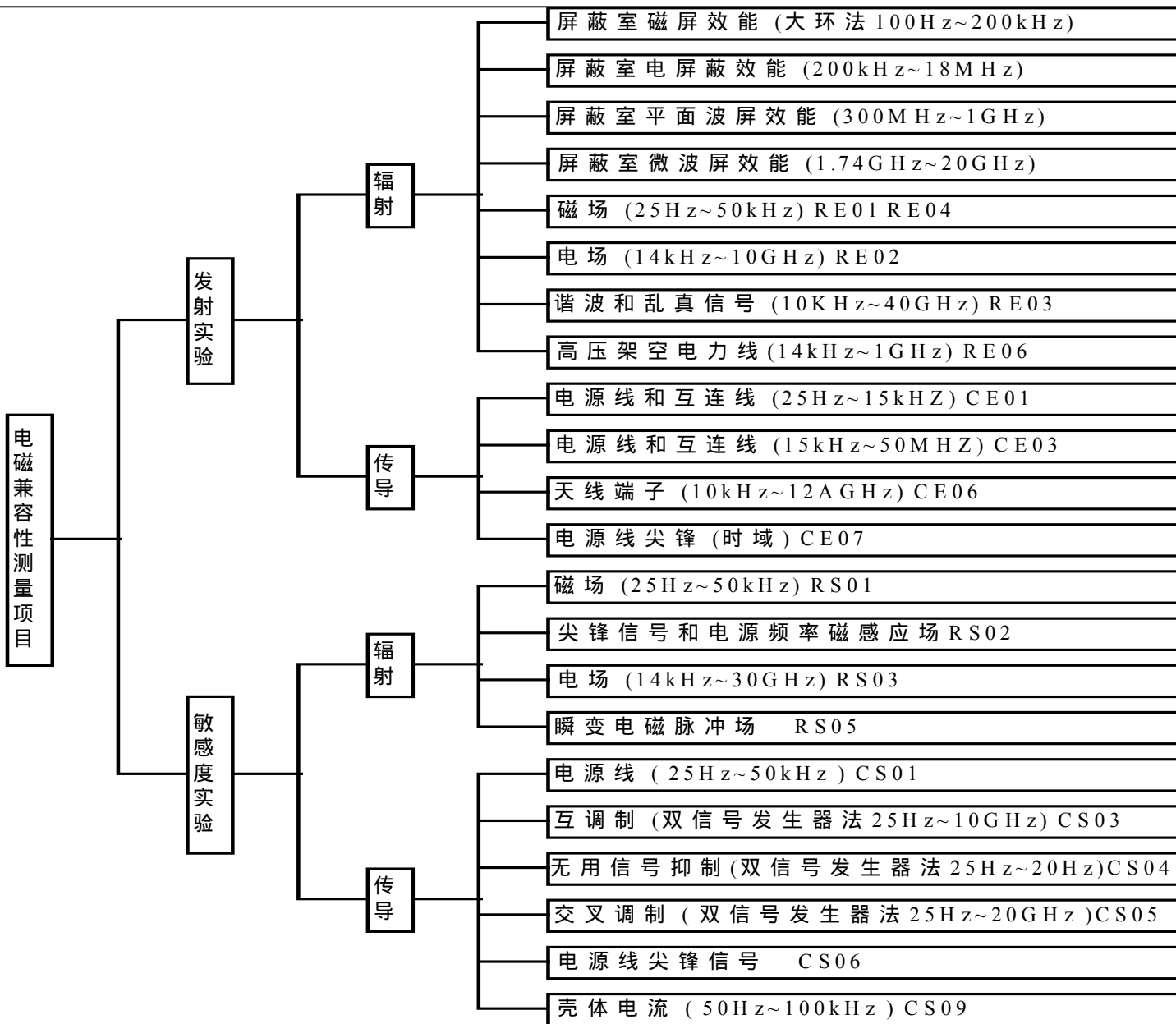


Samsung in UK

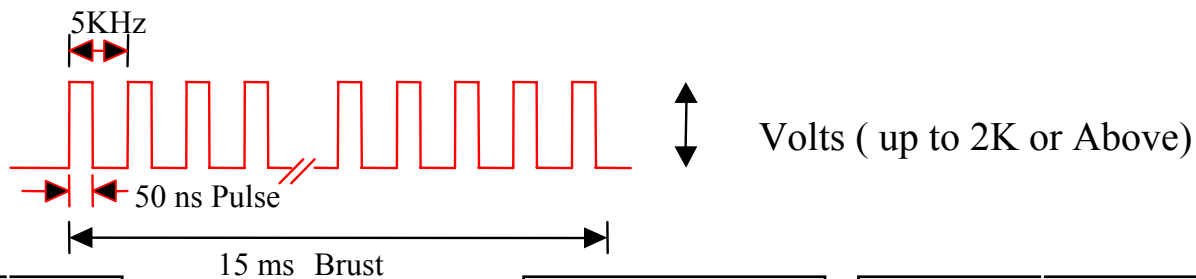
系统的电磁兼容测试

- 一个大系统、大工程不可能由一个单位独立完成，通常是把工程分割为几个子系统，而子系统及设备又有可能是由其它部门制造或是从市场上购买的，为了使整个系统都能正常工作，组织者要对子系统提出电磁兼容性要求，而且子系统的承担者要对每个设备提出电磁兼容性要求，这样就能使子系统和系统不会出现电磁兼容性问题，而且即使出现了问题，也容易解决的。
- 因此作为系统的组织者，有必要制定一个电磁兼容的标准，以控制各子系统的电磁兼容性能；而子系统的承担者也有必要制定一套对设备的电磁兼容标准。标准的制定可以参照国内外已发布的电磁兼容标准，如果这些标准不能满足要求，也可以自行制定标准。
- 对于一个大系统，往往包含几千台设备，原则上这些设备都要进行电磁兼容测试。如果是从市场上购买的产品，那么可以根据产品的指标来确定设备是否满足电磁兼容标准，而不需对它进行测试，因为这种测试应在出厂前完成。但如果设备是自行制造的，那么就必须要做电磁兼容测试。这取决于对价格的综合考虑。
- 目前，国内各省都有自己的电磁兼容检测中心，可以进行国标以及军标中所包含的各种电磁兼容测试。从价格上考虑，一般做国标中的干扰测试需1600元左右，其中包括两项测试；而军标的测试需6000元左右，其中包括5~10项。如果做抗扰测试，则价格将更贵一些。一般的检测设备为几万美元一套。

典型的电磁兼容性测量项目



Electrical Fast Transient (EFT) / Burst Immunity Test



EFT Machine

Classical Supply
7805

Typical PCB layout for Appliances application,
with Relay and LED

MCU

Control board

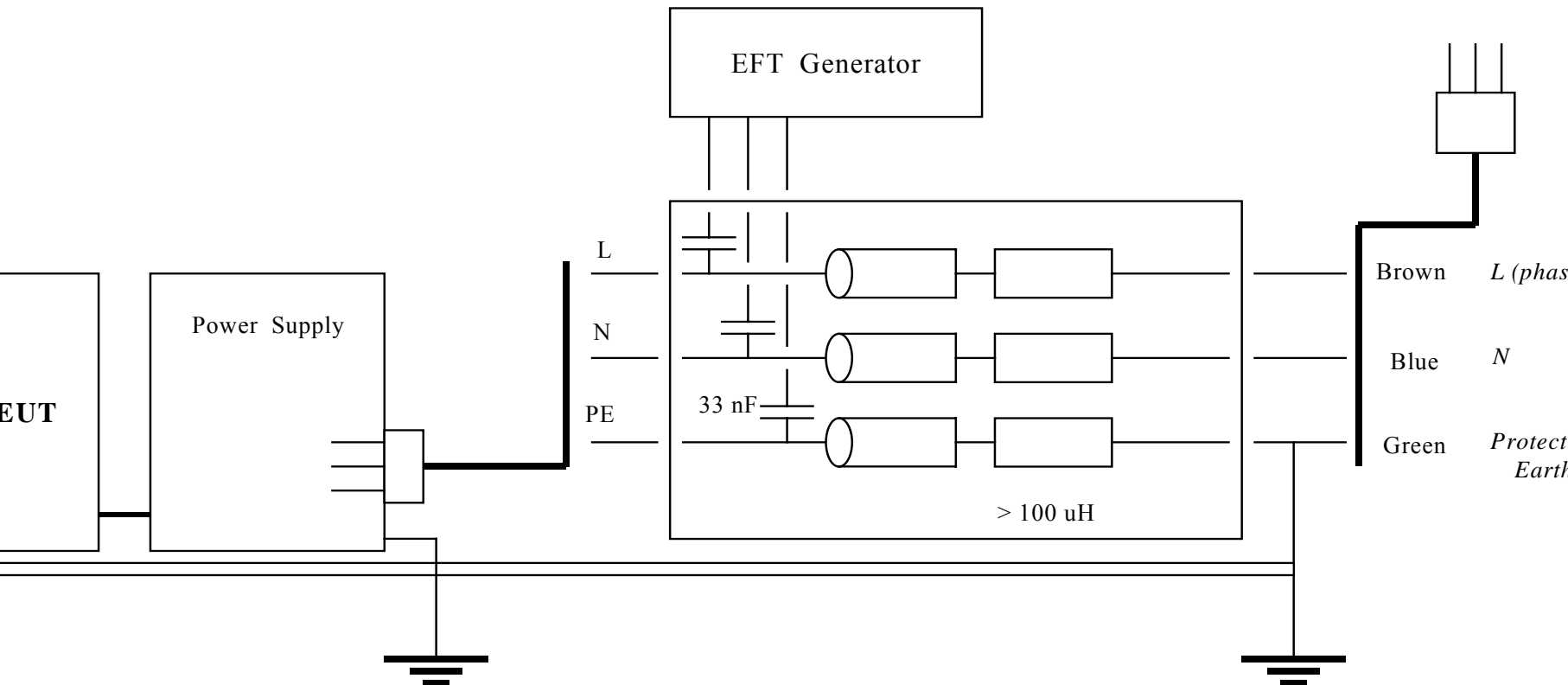
1 meter

ND plate

Level	To Power Supply	To I/O Signal,Data and Control
1	0.5 KV	0.25 KV
2	1.0 KV	0.5 KV
3	2.0 KV	1.0 KV
4	4.0 KV	2.0 KV
X	Special	Special

est Voltage +/- 10 %

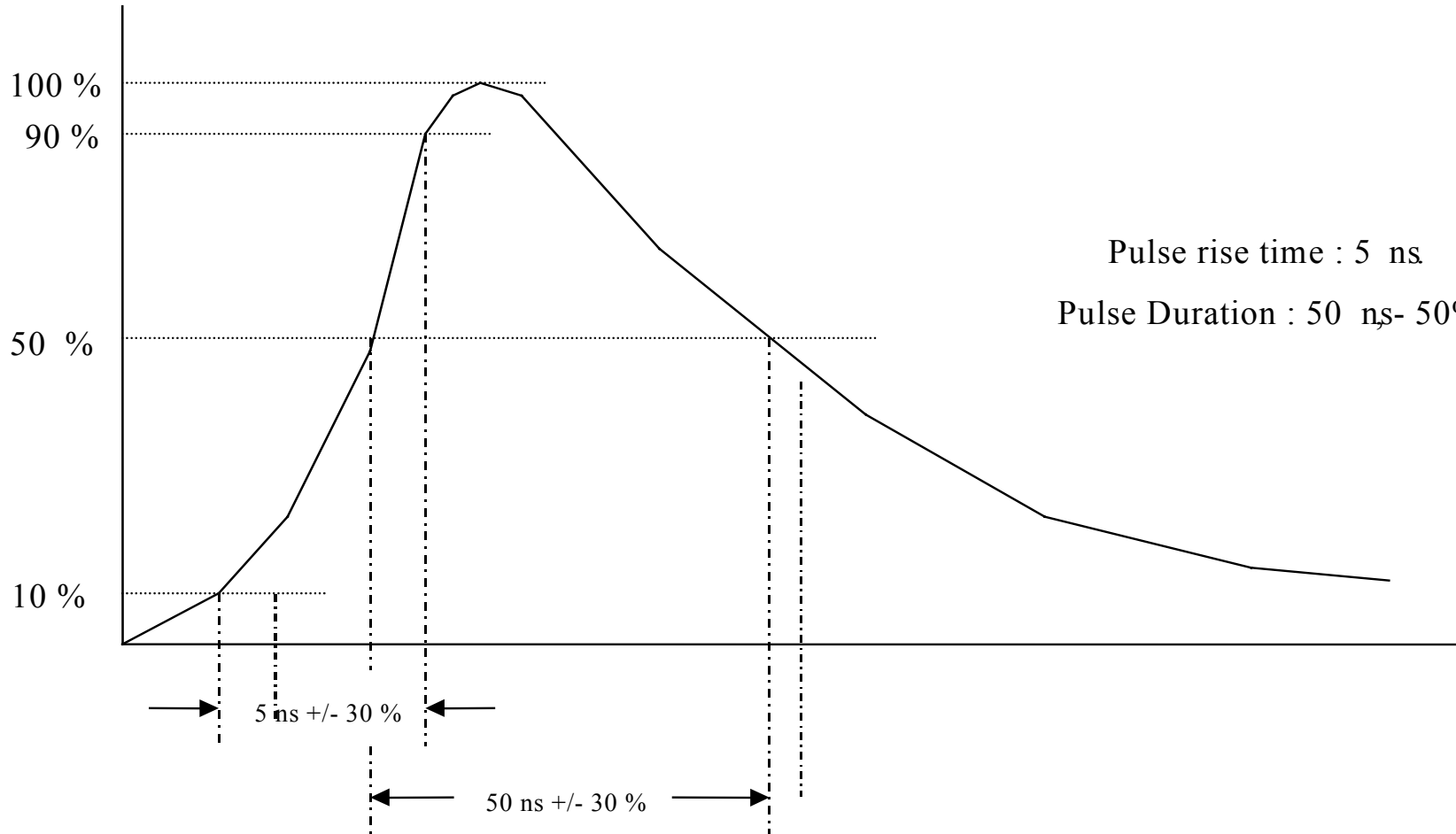
Electrical Fast Transient (EFT) Tester



EMC Tester Bench Setup



Fast Transient Single Pulse Wave-shape into 50 ohm



有关电磁敏感度的内容简介(1)

■ IEC 801-1 概论

- 干扰侵入系统的界面：a. 电源线 b. 信号输入线 c. 信号输出线 d. 设备外壳
- 耦合机理：a. 公共阻抗 b. 电感 c. 电容 d. 电磁辐射
- 干扰源：类型（电，磁，电磁）频率（50-500M）持续时间（10nS-Secs）

■ IEC 801-2 静电放电的敏感度测定(84年制定，90年修订)

- 对受试设备的要求
- 严酷等级（1~4 级：2KV, 4KV, 8KV, 15KV）
- 试验程序

■ IEC 801-3 辐射电磁场敏感度测定

- 测试结果评定：
 - a 在规定极限内正常
 - b 功能暂时降低或丧失，但能自行恢复
 - c 功能暂时降低或丧失，但须人工干预或系统重调
 - d 因元件损坏而不可恢复的功能降低或丧失

有关电磁敏感度的内容简介 (2)

■ IEC 801-4快脉冲群干扰的测试方法

- 严酷等级：

	1	2	3	4	X
电源上	0.5	1	2	4	用户自定
信号线上	0.25	0.5	1	2	用户自定
- 环境等级：1级（机房），2级（控制室），3级（工业环境）
- 方法：信号特性（50nS, 15mS.....）

■ IEC 801-5雷电浪涌干扰的测试方法

- 严酷等级：
 - 0 得到良好保护的电气环境
 - 1 部分得到良好保护的电气环境
 - 3 电缆隔离良好的电气环境
 - 4 电子和电气线路多导线电缆的电气环境
 - 5 非人口稠密区设备架空线等电气环境
 - X 用户与厂商特定的条件
- IEC 801-6 9KHz以上的传导高频干扰的测试方法
(类似 IEC801-4)

单片机自身的抗干扰措施

- 降低外时钟频率
- 低噪声系列单片机
- 时钟监测电路、看门狗技术与低电压复位
- EFT技术(Electrical Fast Transient)
 - 当振荡电路的正弦波信号受到外界干扰时，其波形上会叠加一些毛刺。以施密特电路对其整形时，这种毛刺会成为触发信号干扰正常的时钟信号。交替使用施密特电路和RC滤波可以使这类毛刺不起作用，这就是EFT技术。
- 软件方面的措施
 - 非法指令复位或非法指令中断
 - 最后对不用的ROM要做处理。原则是万一程序落到这里可以自恢复。

用于单片机系统的干扰抑制元件

■ 去耦电容

- 要选高频特性好的独石电容或瓷片电容作去耦电容
- 电源引入的地方要安放一只大容量的储能电容。由于电解电容的缠绕式结构，其分布电感较大，对滤除高频干扰信号几乎不起作用。使用时要与去耦电容成对使用。钽电容则比电解电容效果更好。此外还有穿心电容、三端电容等。

■ 抑制高频的电感

- 用粗漆包线穿入轴向有几个孔的铁氧体芯，就构成了高频扼制器件
- 必须放在该区储能电容与电源之间而不能放在储能电容与用电器件之间。

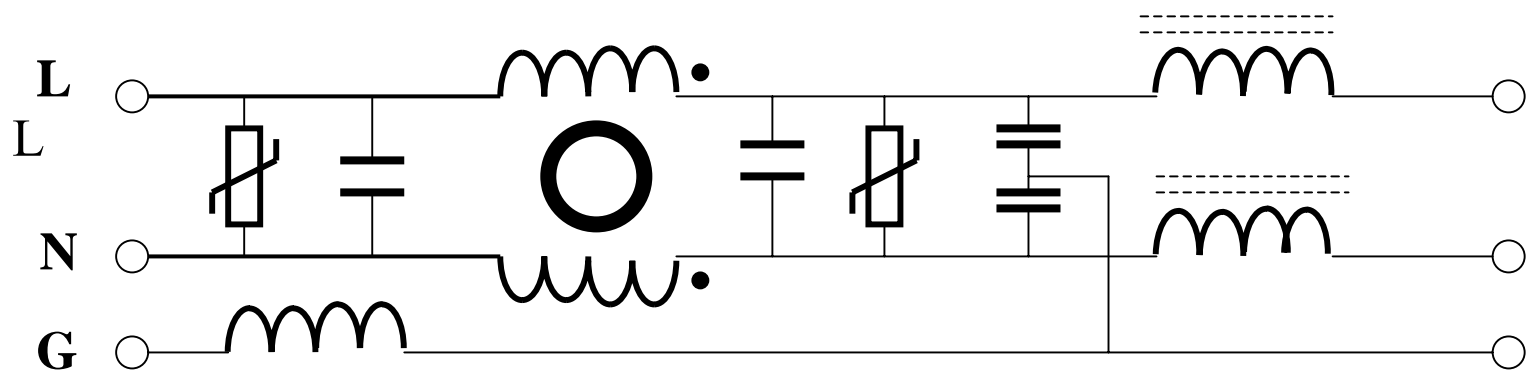
■ 自恢复保险丝

- 这是用一种新型高分子聚合材料制成的器件，当电流低于其额定值时，它的直流电阻只有零点几欧。而电流大到一定程度，它的阻值迅速升高，引起发热，而越热电阻越大，从而阻断电源电流。当温度降下来以后能自动恢复正常。这种器件可防止CMOS器件在遇到强冲击型干扰时引起所谓“可控硅触发”现象。

■ 防雷击器件

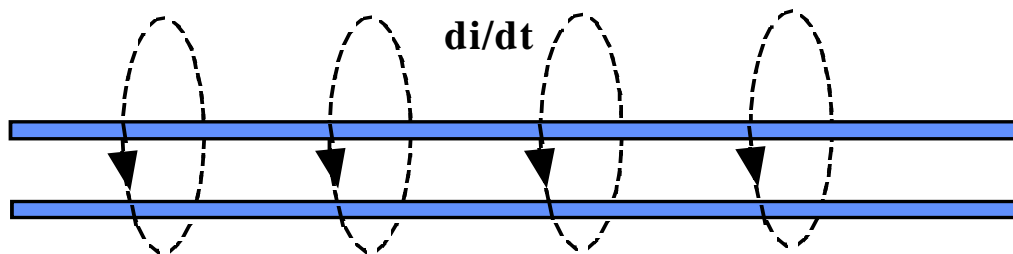
- 气体放电管，TVS(Transient Voltage Supervention)等，气体放电管是当电源电压大于某一值时，通常为数十伏或数百伏，气体击穿放电，将电源线上强冲击脉冲导入大地，TVS可以看成两个并联且方向相反的齐纳二极管，当电两端电压高于某一额定值时导通。其特点是可以瞬态通过数百乃至上千安培的电流。这类元器件要和抗共模和抗差模干扰的电感配合使用

低通滤波器



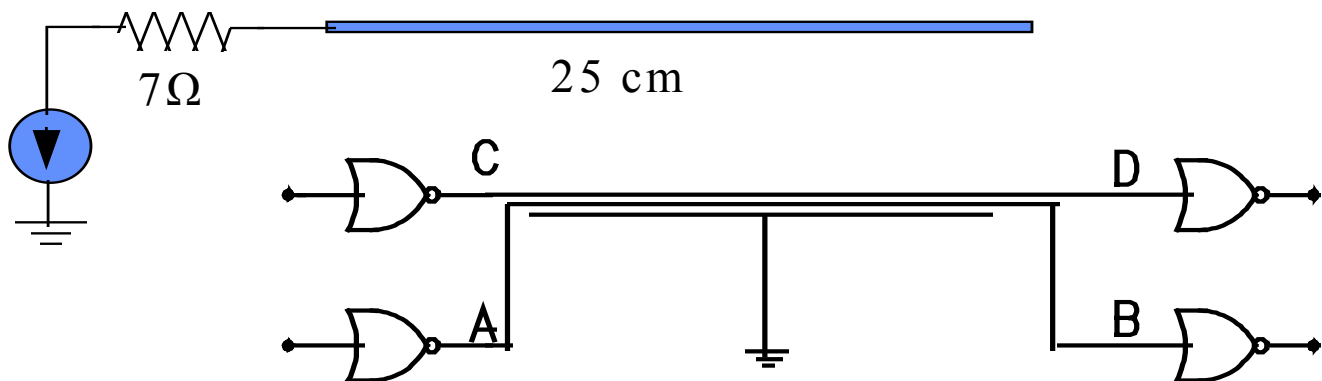
印刷线路板设计与工艺

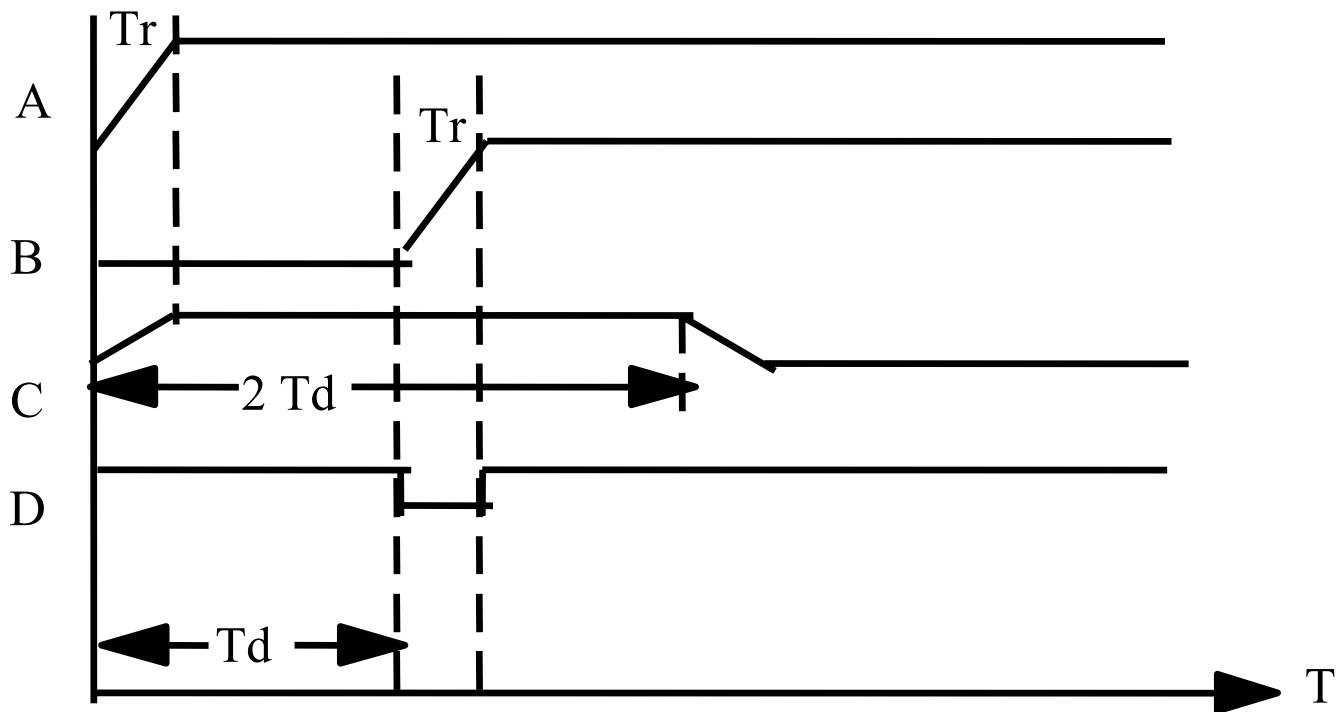
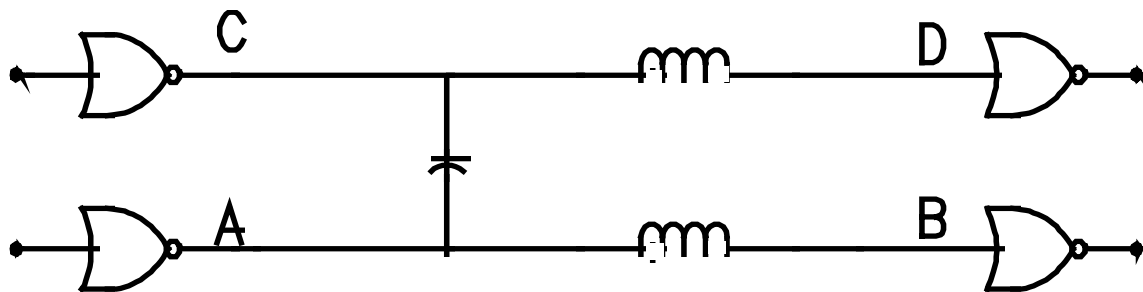
- 元 件 布 置 要 合 理 分 区
- 注 意 印 刷 线 路 板 与 元 器 件 的 高 频 特 性
 - 电容的分布电感不可忽视，电感的分布电容不可忽视。电阻产生对高频信号的反射，引线的长度大于噪声频率相应波长的 $1/20$ 时，就产生天线效应，即噪声通过引线向外发射。
 - 印刷线路板上的一个过孔大约引起 0.6pF 的电容。
 - 一个集成电路本身的封装材料引入 $2 - 10\text{ pF}$ 的分布电容；
 - 一个线路板上的接插件，有 $5 - 20\text{nH}$ 的分布电感。
 - 一个双列直插的24引脚插座，引入 $4 - 18\text{nH}$ 的分布电感
- 处 理 好 接 地 线
- 减 小 信 号 线 间 交 叉 干 扰
- 用 好 去 耦 电 容
- 减 小 来 自 电 源 的 噪 声

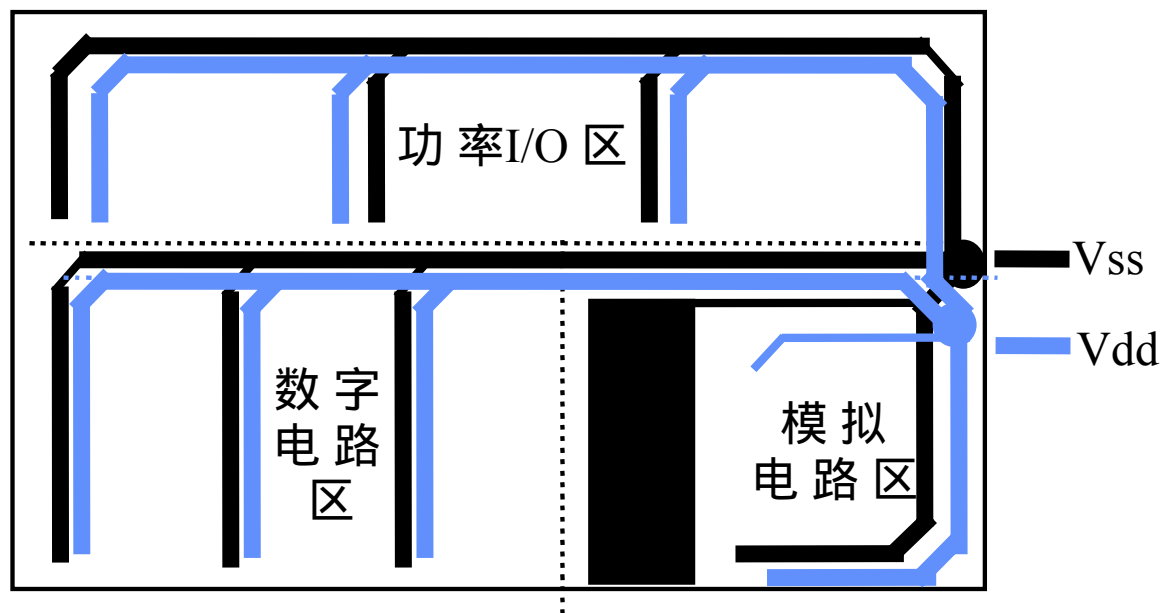
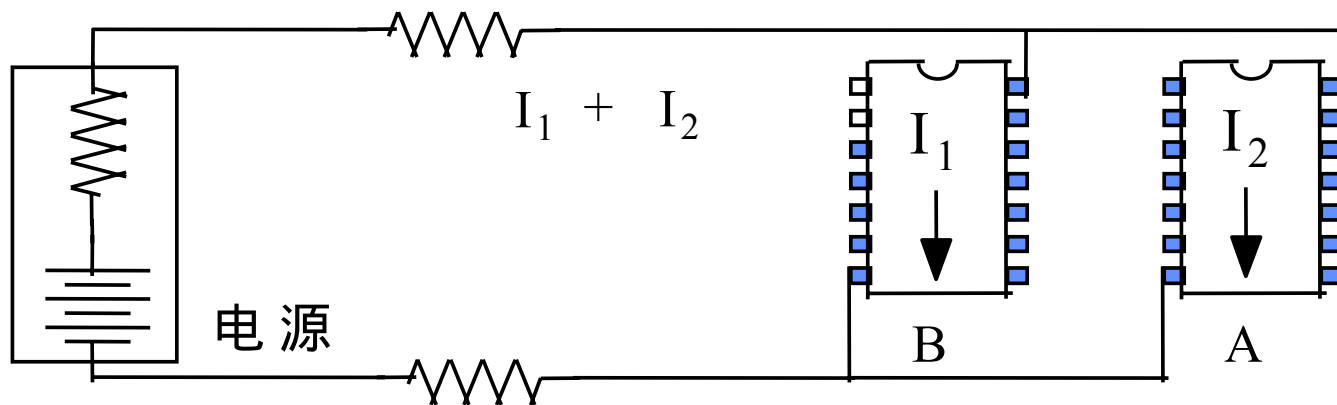


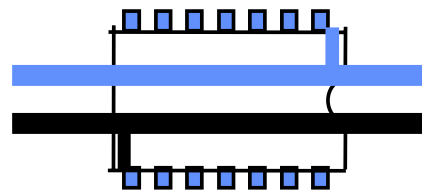
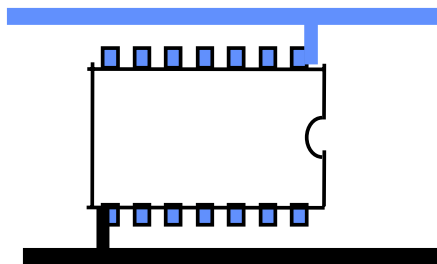
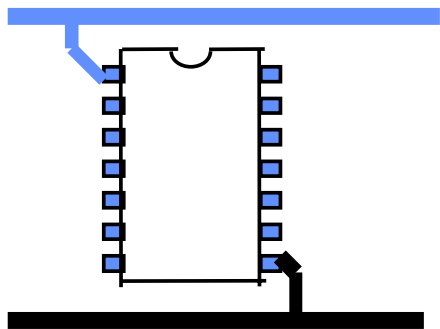
逻辑电路	上升时间 T_r (nS)
GaAs	0.1
ECL	0.75
74F	3
74AS	3
74AC	4
74ALS	6
74LS	8
74HCT	8
74HC	18

引脚长度	1/4英寸	1/2英寸
10,000pF	12MHz	11MHz
1000pF	35MHz	32MHz
100pF	150MHz	120MHz
10pF	500MHz	350MHz

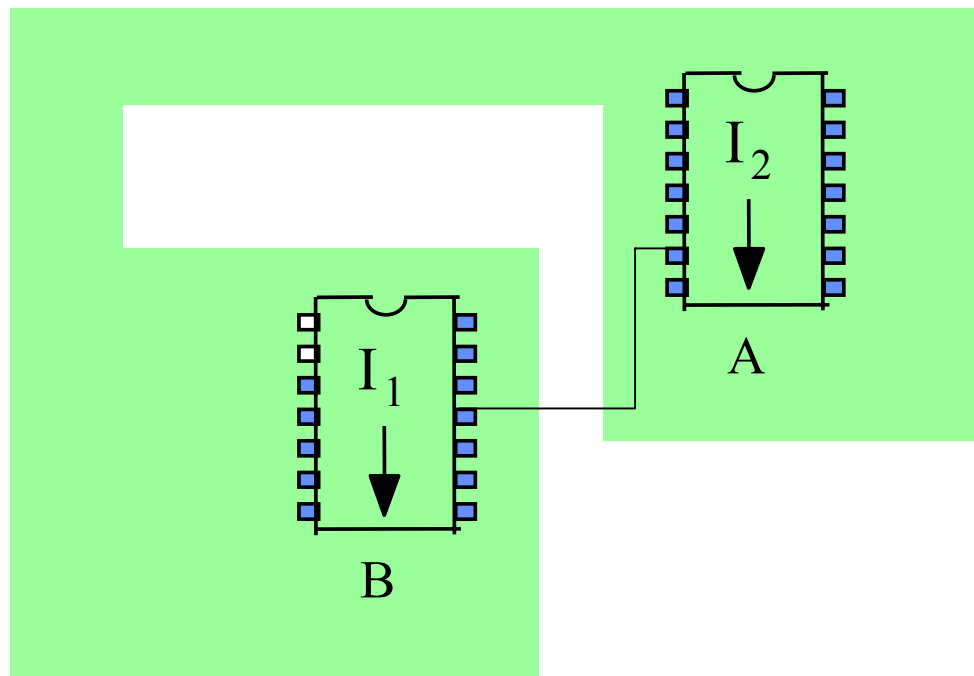








环路面积与接地层断裂



控制噪声源

- 能用**低速**芯片就**不用高速**的，高速芯片只用在关键地方。
- 一片74HC04中有6个非门，如果时钟电路用掉了其中的两个，另外四个尽量用在不重要的地方，尤其不要用在I/O 驱动上。
- 可用串一个电阻的办法，**降低**控制电路沿上下**跳变速率**。
- 尽量为继电器等提供某种形式的**阻尼**。
- 使用满足系统要求的**最低频率的时钟**。
- 时钟产生器尽量**靠近**用到该时钟的器件。
- 石英晶体振荡器**外壳要接地**
- 尽量让时钟信号回路周围电场趋近于零。**用地线将时钟区圈起来**，时钟线要尽量短，不要引得到处都是。
- I/O **驱动电路**尽量靠近印制板边，让它**尽快离开印制板**。
- 对进入印制板的信号要加**滤波**。
- 从高噪声区来的信号也要加**滤波**。
- 闲置不用的门电路**输入端不要悬空**，闲置不用的运算放大器正输入端要接地，负输入端接 输出端。
- 使用**45°折线**而不要用90°折线布线以减小高频信号对外的发射。

减小噪声的耦合

- 在印刷线路板上按频率和电流开关特性分区，噪声元件与非噪声元件要离得远一些。
- 对特殊高速逻辑电路部分用地线圈起来。
- I/O 片子靠近印刷线路板边，靠近引出插头。
- 经济条件允许的话用多层板以减小电源、地的寄生电感。
- 单面板或双面板用单点接电源和单点接地。
- 电源线、地线尽量粗。
- 时钟、总线、片选信号要远离I/O 线和接插件。
- 模拟电压输入线、参考电压端要尽量远离数字电路信号线，特别是时钟线。
- 对A/D 类器件，数字部分与模拟部分宁可绕一下也不要交叉。
- 时钟线垂直于I/O线比平行于I/O线干扰小，时钟元件引脚远离I/O电缆。
- 元件引脚要尽量短，去耦电容引脚要尽量短。
- 关键的线要尽量粗，并在两边加上保护地。
- 对噪声敏感线不要与大电流、高速开关线平行。
- 高速线要短要直。
- 石英晶振下面和对噪声特别敏感的器件下面不要走线。
- 敏感信号与噪声携带信号要通过一个接插件引出的话，例如用扁带电缆引出，要使用地线—信号线—地线的引出法。
- 弱信号电路、低频电路周围地线不要形成环路。
- 携带高噪声的引出线要绞起来。最好屏蔽起来。
- 集成电路上该接电源、地的端都要接，不要悬空。

减小噪声接收

- 使用高频、低寄生电感的瓷片电容或多层陶瓷电容作去耦电容。
- 每个集成电路一个去耦电容。
- 用大容量的钽电容或聚酯电容而不用电解电容作电路充放电储能电容。
- 每个电解电容边上都要加一个小的低频旁路电容。
- 需要时，线路中加铁氧体高频扼流环分离信号、噪声、电源、地。
- 可能的话，加频率可选的带通滤波器。
- 使用管状电容时，外壳要接地。
- MCU无用端要接高、接地、或定义成输出端。
- A/D 参考电平要加旁路电容。用串终端匹配电阻减小信号传输反射。
- 尽量不用IC 插座，将集成电路直接焊在印刷电路板上特别是高性能的模拟电路器件和数字、模拟混合的集成电路。
- 任何信号都不要形成环路，如不可避免，让环路区尽量小。

参考文献

- 顾希如编著，《电磁兼容的原理、规范和测试》，国防工业出版社，1988年
- 吴本炎、李道凯等编著，《电子电路的电磁兼容性》，人民邮电出版社，1982年
- 【苏】A. C. 米哈伊洛夫著，冯家玲译，《无线电电子设备电磁兼容性参考测量》，航空工业出版社，1988年
- 卢礼芬编著，《环境电磁兼容控制》，兵器工业出版社，1989年
- 【德】D. 斯托尔主编，姜孟文译，《工业抗干扰的理论与实践》，国防工业出版社，1985年
- B · E · 凯瑟著，肖华庭等译，《电磁兼容原理》，电子工业出版社，1985
- 维 · 罗特歇维兹著，冯竞等译，《无线电工程中的电磁兼容》，人民邮电出版社，1990年
- 白同云、赵姚同，《电磁干扰与兼容》，国防科技大学出版社，1991
- E · L · Bronaugh and P · A · Sidora, “Automated EMC Measurement An overview” EMC symposium & Exhibition, Zurich 1985
- GJB72 - 85国家军用标准，《电磁干扰与电磁兼容名词术语》
- 齐全尚，“系统电磁兼容性设计”92 EMC会议论文集
- B · A · Kinningham and D · M · Yenni. “Test Methods for Electromagnetic Shielding Materials”, IEEE International Symposium on Electromagn. Compatib. , PP223 ~ 227, 1988
- 朱满座、刘鹏程等，“电磁兼容测量方法分析”，天线及电磁兼容测量会议论文集，1992
- 刘鹏程，“电磁兼容学科发展及研究内容”，《西部电子》，1993年第一期