

OHM  
冬解

山崎弘郎 主编

(日) 山崎弘郎 仁田周一 齐藤成一 著  
古谷隆志 上野美幸

聂凤仁 秦晓平 译

# 数字电路 的 EMC



科学出版社  
www.sciencep.com

# 数字电路的 EMC

山崎弘郎 主编

〔日〕 山崎弘郎 仁田周一 齐藤成一 著  
古谷隆志 上野美幸  
聂凤仁 秦晓平 译

科学出版社  
北京

图字：01-2003-7983 号

## 内 容 简 介

随着电子技术的发展,电磁环境公害问题成为了人们关注的焦点。本书就围绕着数字电路中的 EMC 一一阐述。本书前四章主要介绍有关噪声的基础知识,后四章则一一介绍数字电路中的降低噪声技术、数字电子设备及系统的降低噪声技术、关于 EMC 的规范和评估以及噪声环境的动向和 EMC 的未来技术等。

本书供从事电子电路技术、电子设备设计及系统设计人员参考使用,也可供大学相关专业师生参考、学习。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电路的 EMC/(日)山崎弘郎主编;聂凤仁,秦晓平译。

—北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012611-4

I. 数… II. ①山…②聂…③秦… III. 数字电路-电磁兼容性  
IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 125400 号

责任编辑:崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:白 羽 / 封面设计:李 祥

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

2004 年 4 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2004 年 4 月第一次印刷 印张: 7 1/8

印数: 1—5 000 字数: 210 000

定 价: 21.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

# 译者的话

近些年来,随着经济的发展和技术的进步,使得 EMC——电磁兼容性这一术语越来越多地出现在我们的生活和工作中。

随着 IC 技术向超高速、超大规模集成方向的迅速发展和数字电路的广泛应用,关于电磁兼容性技术的现状及其重要性已经和正在引起各有关部门的密切关注。

虽然电磁兼容性问题由来已久,但目前在我国尚未能引起足够的重视。特别是在查阅有关方面的信息和资料时遇到了意外的困难,不仅有关的出版物严重不足,而且仅有少量的资料也多为内容粗浅贫乏,很难适应我国当前经济建设高速发展的需要。本书在这些方面正好弥补了我国的不足。不仅内容全面、由浅入深,而且理论联系实际。相信本书的出版对相关专业学生和技术人员定会有所裨益。

本书的另一特点是渐微发著,从我们身边常常遇到的噪声干扰问题出发,逐步引伸到噪声的产生源、降低噪声的设计以及提高设备的抗噪性等问题,从而使我们逐步理解 EMC 问题的核心内容是防止噪声的泄漏和提高设备的抗噪性。并且在具体的线路设计、布线走向、印制板制作、箱体制造、接地线连接等等方面都给出了兼顾降噪和抗噪两方面的设计方案,这些不仅从理论上给我们指出明确的思路,而且在具体的作业上也为我们提供了良好的解决方法。同时这些也正是我们能从本书中获得的重要启示,在提高对 EMC 问题的认识上,也给我们上了很好的一课。

该书内容的全面,不仅体现在对问题的解说中,而且还体现

在对检测标准和评估方法的详尽阐述及对未来发展方向的预测中,这对我们今后制定标准和深入研究 EMC 问题将会有很大的帮助。

由于我们水平所限,本书的翻译定会存在许多的不足和缺陷,谬误之处在所难免,敬请有关专家及各位读者不吝指教,我们将感激不尽。

最后,对在工作上曾给我们帮助和指导的同行以及科学出版社的同仁为本书的出版而付出的辛勤劳动表示深深的谢意。

译 者

# 前 言

现今日本正在以建设广泛的信息社会为目标,大力推行 IT 技术的普及和 IT 化教育的计划。在这里,“广泛的”一词来自“ubiquitous”,本意是“不论何时”“所到之处”。广泛的信息社会,就是不论是谁,也不论何时何地,都能获取或者发出必要信息的社会。也可以说是高密度地进行信息的发送和接收的社会。但是实际上,在广泛的信息社会到来之前,广泛的噪声社会已然到来。无论何时,所到之处,都有噪声源,谁都会受害,人们在不知不觉中增添了许多烦恼。

噪声,可以看作为电子电路的空间密度和信息的时间密度急速增加时产生的电磁环境公害。特别是在数字电路中,由于集成度提高,电路动作速度加快,环境问题日益突出。尤其是近年来以移动电话为首的无线设备的骤增,使我们的电磁环境问题更为突出。

环境公害问题,有着加害者也是受害者,受害者也具有加害者的特征。而噪声问题也与此完全相同。人们要求电子设备不放出噪声公害,又要求其对外部噪声有抗扰能力。我们在噪声环境中要谋求共生,而实现这一点的技术正是 EMC。

随着电子电路成为数字电路的主体,其噪声影响也因之发生很大变化。在模拟电路中噪声是暂时性的,而在数字电路中,由于噪声的影响会使电路的状态或数据被改变,出现长期效应,因而可能带来意想不到的严重后果。

在这方面,现在反复试验的作法已不能适应,而是要求必须采用预测可能的方法。可是,目前在大学里很少进行关于 EMC

的有组织的教育,而且能够教育的人才也非常少,所以,本书也就应运而生。

这是一本以电子电路技术人员、电子设备的设计者、系统设计者等处理数字电路的人们为对象,解说 EMC 问题的书。

本书有幸得到正活跃在国内外的优秀专家的支持,从作为 EMC 技术根据的理论,到实际问题的解决,在他们各自得意的领域里都作了阐述。其中,不乏无论何时也不失其价值、并且不受器件进步影响的普遍性理论。

噪声通常被认为不同于信号,是不能传递信息的;但在本书,则认为噪声是能传递解决问题的有效信息的信号。因此要重视理解噪声传递的信息。可以认为捕捉噪声特殊信息的工作,正引导着问题的解决方向。

噪声的传播路径,通常在电路图上是无法标记的,往往被认为是无用的耦合。但是正确地洞察它却可以使问题获得解决。对于这样的思路,本书各章的表现虽各异,但都是被强调的,这可以说是本书的特征之一。

本书无论从哪里读起都可以很容易理解,在各章的开始部分有其内容提要,敬请参照。本书第 1 章到第 4 章涉及整体的基础事项的解说。在第 5 章,以元件或配件及电路板的封装为中心,解说降低噪声技术。第 6 章介绍从基板的封装到系统集成的 EMC 技术,同时涉及数字电路特有的现象以及利用软件解决数字电路噪声的方法。第 7 章介绍关于正在向国际化发展的噪声规范和必须遵守的基准,并介绍作为其发展基础的测试方法。最后,在第 8 章,对电磁环境的变化和今后的技术进步趋势加以阐述。特别是在数字系统中,和安全直接相关的问题不断出现,因此,也涉及了关于重视安全,降低噪声影响的失效保护等的设计方法。

另外,作为在本书中与内容关系较深的“noise”“shield”及“grounding”的对应词,被确定为“噪声”、“屏蔽”、“接地”。声音

色彩较深的“杂音”，由于数字电路的普及而被定位于范围更为广泛的“噪声”。

作为编者，衷心希望这些内容能对读者在解决问题和知识的整理上发挥作用。

最后，谨对在百忙中倾心执笔的各位作者深表感谢，并对为出版本书而努力工作的欧姆社出版部各位同仁一并致谢。

山崎弘郎



# 目 录

<b>第 1 章 电路技术的进步和新的噪声问题</b> .....	1
1.1 电子设备的数字化	1
1.2 数字电路的进步(高集成、高速度、可移动)	2
1.3 电磁环境的高密度化	4
1.4 数字噪声抗扰度	5
1.5 新的噪声问题	6
<b>第 2 章 噪声问题的基础和 EMC</b> .....	8
2.1 噪声和信号	8
2.2 EMC 和噪声	9
2.3 EMC 的历史	11
2.4 噪声和数字电路的误动作	12
2.5 模拟电路和数字电路	14
2.6 噪声源和噪声环境	16
<b>第 3 章 噪声的物理模型</b> .....	20
3.1 噪声的产生和传播	20
3.2 噪声的描述	21
1. 频域表达法	23
2. 时域表达法	23
3. 噪声振幅的表达法	23
4. 分布的测定	24
5. 噪声的分类	25
3.3 脉冲噪声及其产生源	26
1. 脉冲噪声	26
2. 脉冲噪声的产生源	28
3.4 噪声的概率密度函数	29
1. 噪声的概率表示	29
2. 噪声的概率分布	30

3.5 噪声的耦合	31
<b>第4章 降低噪声的基本技术</b>	<b>41</b>
4.1 噪声及其传播路径	41
1. 空间传播的噪声	42
2. 由公共阻抗传播的噪声	43
3. 导线上传播的噪声	44
4.2 屏蔽	47
1. 静电屏蔽	47
2. 磁屏蔽	48
3. 电磁屏蔽	51
4.3 接地	58
1. 接地的目的和种类	58
2. 单点接地和多点接地	60
3. 电力电路和电子电路的接地	61
4. 外部信号线的接地	62
4.4 滤波器	63
1. 针对差模噪声和共模噪声的滤波器	63
2. 交流线路滤波器	66
4.5 电缆	67
1. 电缆的种类	67
2. 电缆的谐振和噪声感应	67
<b>第5章 数字电路中的降低噪声技术</b>	<b>73</b>
5.1 IC中的降低噪声技术	73
1. IC中的接地噪声	73
2. IC中的电源噪声	76
3. IC中的输入输出信号波形的改善	77
5.2 PC板封装设计中的降低噪声技术	81
1. PC板的基本特性	81
2. PC板的接地噪声	83
3. 电源噪声	84
4. 反射的产生原理和应对措施	88
5. 串音的产生和解决的方法	94
6. PC板中的EMI对策	98
5.3 电路设计中的降低噪声技术	101

1. 利用对噪声不易响应的元件作防护装置 101
2. 降低电路的阻抗 103
3. 信号的同步化 105
4. 注意上升缓慢的信号 107
5. 使用信号的高电平/低电平有效来提高抗噪声性能 108
6. 利用信号特征除去噪声的方法 108
- 5.4 利用软件降低噪声的技术 109
  1. 程序失控的解决方法 110
  2. 出错检查和校正 111
  3. 采用二次读取数据解决噪声的方法 112
  4. 数据采集和噪声产生的时间控制 114
  5. 利用 A/D 转换的数据处理提高抗噪声性能 114

## 第 6 章 数字电子设备及系统的

### 降低噪声技术 ..... 117

- 6.1 电子设备的形态 117
- 6.2 单台数字电子设备释放的噪声的抑制 118
  1. 噪声释放的机理 118
  2. 噪声源的确认和分离 120
  3. 电流的抑制 121
  4. 利用滤波器屏蔽噪声电流的方法 122
  5. 利用电磁屏蔽抑制电磁场的释放 124
  6. 抑制噪声向电源线的释放 126
  7. 抑制向电源线的谐波释放及闪烁 129
  8. 空中噪声释放和抑制 130
- 6.3 单台电子设备的抗噪性 135
  1. 外部噪声源的种类 135
  2. 噪声对电子设备的影响 137
  3. 解决从电源线侵入的噪声的解决方法 138
  4. 解决从信号线侵入的噪声的方法 140
  5. 解决从箱体、接地线侵入的噪声的方法 141
  6. 解决从空中直接侵入的噪声的方法 143
  7. 解决电源变动的方法 144
- 6.4 系统级的 EMC 设计技术 145
  1. 系统的定义 145
  2. 构成系统的单机的选定和配置 145

- 3. 系统的 EMC 适应性评估 148
- 4. 数字处理产生的噪声对策 149
- 6.5 设置环境和噪声的解决方法 150
  - 1. 设置环境和噪声 150
  - 2. 可移动设备和固定型设备 152

**第 7 章 关于 EMC 的规范和评估 ..... 156**

- 7.1 规范的目的 156
  - 1. 关注产品的全球化和产品的安全性 156
  - 2. 各国 EMC 规范种类和规范对象 157
  - 3. 适应性设计宣言发布的顺序 158
  - 4. 国际基准和国际标准 159
- 7.2 规范和标准 161
  - 1. 标准的位置 161
  - 2. 向电源线发射噪声的试验标准 161
  - 3. 向信号线发射噪声的试验标准 164
  - 4. 向电源线发出的谐波的试验标准 164
  - 5. 引起电源线上的电压波动和闪变的试验标准 165
  - 6. 向空中发射噪声的试验标准 166
  - 7. 耐受从电源线侵入噪声的试验标准 167
  - 8. 耐受从信号线侵入噪声的试验标准 168
  - 9. 耐受从空中侵入噪声的试验标准 171
  - 10. 耐受静电的试验标准 171
  - 11. 耐受磁场的试验标准 173
  - 12. 耐受电压波动、瞬间停电的试验标准 174
- 7.3 EMC 的测定和评估 174
  - 1. 确认适应性的 EMC 测定 174
  - 2. 辐射测定和检波方式 175
  - 3. 抗扰度的测定和噪声施加条件 177
  - 4. 耐受辐射的测试场地 180
  - 5. 辐射抗扰度的测试场地 185
  - 6. 在制造现场的测试 185
  - 7. 测试的不确定性 186
  - 8. EMC 测量基准和产品规格 191
- 7.4 诊断、解决问题用测试 192
  - 1. 诊断测试的位置 192

---

2. 向电源线辐射噪声源的确认	193
3. 向空中辐射的噪声源和辐射路径	194
4. 受噪声影响的模件的确认	196
7.5 EMC 测试的问题点	196
1. 测试的置信度	196
2. 最恶劣条件和运行条件	196
3. EMC 适应性评估的发展方向	197
<b>第 8 章 噪声环境的趋向和 EMC 的未来</b> .....	<b>198</b>
8.1 电磁环境的趋向	198
8.2 新的噪声源	199
8.3 元件的微型化、小功率化和噪声	200
8.4 系统危险的增大	201
8.5 功能安全和 EMC	202
8.6 降低噪声影响的技术	204
1. 通过冗长化降低噪声的影响	204
2. 利用失效保护降低噪声的影响	206
8.7 向安全数字电路的挑战	206
1. 抗噪声的混合系统	207
2. 非对称抗噪触发电路和失效保护	210

## 第 1 章

# 电路技术的进步和新的噪声问题

随着电子电路成为数字电路的主体,移动电话的数量在短期内急速增加而超过了有线电话,从而使电磁环境发生了很大的变化。本章将阐明,由于软件的存在和噪声给数字电路带来的特殊影响,改变了人们对提高电路抗噪性问题的认识;同时还指出,由于电磁环境的变化,新的噪声给电子设备或系统的安全所带来的巨大影响。

### 1 电子设备的数字化

近年来我们周围的各种电子设备的电路模式发生了很大的变化。其出发点是增强电子设备的功能,而推进这种变化的正是数字电路的快速进步。

例如,音频设备,从 1980 年前后的模拟 LP 盘,变成了数字式的 CD 盘;摄像机也从 20 世纪 90 年代中期的模拟式变成了数字式;移动电话最初也是模拟式的,而现在则以数字式为主流。

电视也随着 BS 数字播放的开始,其接收机的电路几乎都变成了数字电路。盒式磁带录像机也增加了数字式电路,代替盒式磁带的是经过数字记录的硬盘。照相机也由模拟的银盐胶卷向数字式转变。

就连计量控制的领域里,也用数字式示波器代替了模拟式的示波器。电压、电流检测仪表则早在 30 年前就已改换为数字式的了。

过程自动化用的计量控制系统也从同一时期开始变成了数字式控制。

以上所举的电子设备,由于采用了数字方式,不仅功能增强了,性能也有大幅度提高,并且价格也下降了不少。

而摄像机和移动电话,由于小型化,电池的使用寿命延长,增添了许多新的功能。

这些进步,完全凭借着基于数字电路的信息处理技术和 IC 的高集成化技术的支持。

但是,作为支持这些进步的另一技术成果是不应忘记的,那就是在数字电路中对各种噪声的挑战。

本书以技术为重点,从基础开始讲起,采用不同的切入点对相关内容加以阐述。

## 2 数字电路的进步(高集成、高速度、可移动)

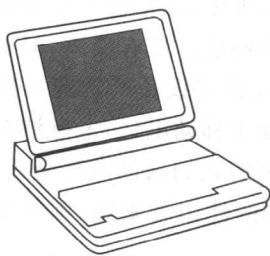
数字电路技术的进步,集中体现在高速度和高集成,以及可移动设备的省电技术和小型化技术。

以笔记本型个人计算机(以下简称 PC)为例,看一下技术进步的成果。如图 1.1 所示,A4 纸面大小的 PC,如果比较 5 年前的样品和 2000 年的样品,CPU(Central Processing Unit,中央处理单元)的时钟频率,从 120MHz 变成了 500MHz,主存储器容量从 32MB 变成了 64MB,到了 2002 年则分别变成了 1.3GHz,256 MB。

尽管功能增强了,而厚度却从 50mm 减少到 30mm 以下。这样看来进步是显著的,并且成果也是我们可以感觉到的。这些显著的技术进步及其成果,使得本书的主题——噪声和电磁环境问题更加显得意义不凡。

高集成化使产生噪声的部分和受其影响的部分在空间上更加靠近。高速度扩大了信号的带宽,同时也意味着受噪声影响的带宽也扩大了。如果作为省电技术的手段把信号的电压降低,当然也就更容易受到噪声的影响。

同时,随着数字电路技术的进步,许多新设备或服务项目也发展起来了。



(a) 1997年笔记本电脑之一例  
CPU120MHz, 内存32MB



(b) 2000年笔记本电脑之一例  
CPU500MHz, 内存64MB

图 1.1 个人计算机的进步

其中最显著的是移动电话、无线 LAN、可移动终端等无线通信技术和设备的迅速普及。如图 1.2 所示,移动电话的总数与固定电话的总数在 2000 年发生逆转,庞大的信息流不仅流动在固定的线路里,也充满在其外部空间。这些无线设备发送、接收的电波交错飞舞,形成了全新的电磁环境。但是,值得注意的是,这些电磁波对使用者来说是信号,而对其他人来说,则只能是噪声而已。

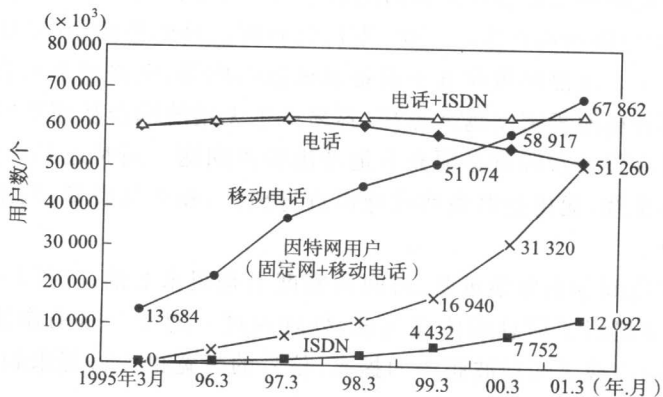


图 1.2 电话(固定线路)、移动电话、因特网等用户的变化(根据 NTT 提供的资料)

什么是信号,什么是噪声,这并不是一句话就能说得清的。它没有明



确的客观标准,而全凭主观的认识。对某人来说,如果包含必要信息的就是信号,包含不必要信息的则只不过是噪声而已。虽有噪声,但有时候往往被忽视,噪声可以妨碍必要信息的传递或损害设备的功能而造成不良影响的情况也时而有之。例如,在电车中使用移动电话,电磁波对使用者本人来说是进行信息交流的信号;而对周围的人们来说则是毫无关系的、不愉快的噪声;不仅如此,对于心脏起搏器的使用者来说,则是应当回避的危险的噪声。

由于数字电路技术的进步,我们在因设备性能提高而得到实惠的同时,噪声的发生源也急剧地扩大了。其结果便是对社会带来了新的公害。

### 3 电磁环境的高密度化

公害问题,随着产业和居民社会的空间密度的提高而日益明显。在排出有害物质的企业附近,如果没有居民,公害就不会显现。高度产业化的社会里,由于效率优先而造成的高密度化,有关大气或水质的公害就显现了,就连噪声或振动等也由于社会环境的高密度化而变成了新的公害。

对于电磁环境也存在同样的问题。随着电子设备或系统的高密度地应用,由于电磁场而产生的干扰,不仅会妨碍信号的传递,在特定场合还会产生危险。电磁环境在电子设备或机箱的内部、电路板上也存在。机箱的内部和电路板密度越来越高,容易产生无用的耦合从而形成噪声干扰。因此在设计阶段就必须充分地考虑噪声问题。同时还必须注意,通过机箱和配线,无用的电磁波或噪声进进出出,和外部设备、系统间也会产生耦合。

不仅空间的密度很重要,时间的密度也是很重要的。时间密度的增加,也就是提高了信息的传递速度、处理速度。随着电路动作速度的增加、时钟频率或无线载波频率的提高,信号的带宽也变得越来越宽,因而也越容易产生无用的干扰和耦合。

因此,如图 1.3 所示,由于数字电路技术的进步,空间的及时间的密度提高了,同时噪声问题也变得更为突出。随着时间的推移,因为电路的空间、时间的密度越来越高,环境问题也将变得更加严重。

对于噪声,由于有着与环境公害问题同样的规范存在,因此遵守这些