

电子电路

抗干扰实用技术

毛楠 孙瑛 编著

国防工业出版社

电子电路抗干扰实用技术

毛楠 孙瑛 编著

国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子电路抗干扰实用技术/毛楠,孙瑛编著. —北京:
国防工业出版社,1996.1
ISBN 7-118-01472-9

I. 电… II. ①毛… ②孙… III. 电子电路-电子防御措施-技术 IV. TN973.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 07813 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11½ 302 千字

1996 年 1 月第 1 版 1996 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:15.50 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

长期以来,有关电子电路理论与设计方面的书刊较多,相对而言,专门论述电子设备及其电路干扰抑制技术方面的书籍较少,尤其是以解决具体实际问题为目的的这类书籍则更少。近年来,随着电子技术的飞速发展,各类电子产品几乎涉足到整个社会生产和人民生活的所有方面,而电子产品的可靠性也越来越受到人们的普遍关注。

国外的一些工业发达国家,对电子电路抗干扰技术的研究起步较早,实验手段和研究水平也较高,工业生产中的工艺措施也日趋完善。从电路的抗干扰角度讲,早已走出了“手工业作坊”式的小生产阶段,而跨入了“大工业生产”的成熟阶段。

在国内,这方面的工作虽然起步较晚,但发展很快,并且越来越受到人们的重视。随着电子技术的不断发展和普及,半导体制造工艺的日趋完善,以及电子设备向小型化、集成化和数字化迅速地发展,电子电路的干扰问题越来越显得突出。因为它不仅直接影响到电子设备的技术性能、工作的可靠性及使用寿命,而且还可能造成设备的工作失误和导致事故的发生。所以不论是电子设备的电路设计,还是装配及维修工作中,对抗干扰问题必须给予足够的重视。

电子电路的抗干扰技术,是一门实践性很强的技术,从某种意义上讲,它是一种实验技术。从宏观上看,虽然没有十分深奥的理论,但却包含了相当丰富的内容,除了应从理论上进行研究外,大量的而且更重要的工作在于实践。从国内的情况看,目前有关这方面理论上的指导书籍较少,而且比较零碎和缺乏系统性,与日益发

展的电子技术很不适应。为此,对一些初学者来说,希望能有一种专门系统地介绍抑制电子电路干扰问题的书籍。鉴于此,作者基于长期的实践经验,并且结合国内外近年来在这方面的发展动态,从我国的实际情况出发,编著了这本册子。

本书较详细而系统地叙述了各类干扰产生的原因并作了分类。重点阐述电子系统的干扰抑制技术。其中对电路中具体使用的各类主要电子元器件所产生的噪声,以及电路的布线、工作温度、电源、寄生振荡、滤波、屏蔽、地线与接地、计算机接口电路和数字电路等技术环节对电子系统工作可能造成的干扰,进行了分门别类的叙述,并通过对各类干扰传递方式以及对电路的影响程度的探讨,提出相应的抑制方法及工艺措施;同时对工程实践中经常出现和可能遇到的各种实际干扰问题,提供了相应的解决办法。

本书尽量避免繁琐的理论推导,而偏重于物理概念的介绍,并以解决具体的实际问题为出发点,对各类抗干扰技术作了必要的归纳和整理,使之尽可能具有条理性。书中还列举了一些实例,其中有些是国内外有关专家和学者所极力推荐的,有些是被广大电路工作者所接受并被公认是可靠和实用的措施,有些是国外一些专业生产厂家定型产品中广泛使用的具体技术细节,还有些则是作者通过多年的实践并在实际中被证明是有效和实用的。为了便于说明问题和方便读者的分析理解,书中还附有大量的插图和表格。

全书各章自成体系,每章阐述一个方面的问题,而每节则说明一个相对具体的问题,既有一定的连贯性,又有相对的独立性。读者无需从头至尾按顺序阅读,而可根据需要选读。

尽管如此,由于抗干扰技术涉及的知识面较广,并延伸到许多专门的技术领域,同时由于作者水平所限,难免有不妥之处,希望读者批评指正。

内 容 简 介

本书主要讨论电子电路的抗干扰问题。书中对模拟和数字电路各类干扰现象产生的原因予以充分的叙述并作了系统的分类,对工程实践中经常碰到的和可能出现的干扰问题以及抑制方法均作了较详细的阐述,并对其中一些具体的技术方法及工艺措施作了进一步的说明。

为了便于读者分析理解,书中还附有大量图表,并对实际电路中的元器件使用问题作了较多的论述。

本书通俗易懂,较为实用,可供电路实验、设计以及维修人员参考,也可作为无线电爱好者、家电维修人员以及大专院校相关专业师生的参考读物。

目 录

第一章 干扰的产生及分类	(1)
第一节 干扰问题的重要性	(1)
第二节 噪声的产生及分类	(2)
第三节 干扰的分类	(3)
第四节 干扰的传递方式	(5)
第五节 差模干扰和共模干扰	(8)
第六节 噪声的度量	(12)
第七节 噪声抑制技术的基本思想	(14)
第二章 布线	(18)
第一节 强弱信号分开布线	(19)
第二节 交直流线路分开布线	(21)
第三节 高低压电路分开走线	(22)
第四节 减小布线的环路面积	(23)
第五节 导线和元器件的固定	(25)
第六节 印刷电路板的设计	(27)
第七节 焊接	(39)
第三章 湿度	(43)
第一节 温度对电子系统所形成的干扰影响	(43)
第二节 热噪声及其影响	(44)
第三节 热屏蔽与热隔离	(47)
第四节 恒温处理	(49)
第五节 选用对温度不敏感的元器件	(49)
第六节 采用对称平衡结构	(53)
第七节 温度的控制与补偿	(53)
第八节 元器件的降额使用	(56)

第九节	散热与通风	(64)
第四章	电源	(71)
第一节	电源系统的干扰形式	(71)
第二节	电源输入端的过电压保护及高频干扰的抑制	(72)
第三节	变压器的使用与防护	(84)
第四节	电源系统的稳定性	(88)
第五节	纹波	(95)
第六节	集成稳压器	(98)
第七节	计算机电源	(108)
第八节	电池供电系统	(118)
第五章	寄生振荡	(120)
第一节	寄生振荡产生的原因及特点	(120)
第二节	几种有源器件的固有噪声	(121)
第三节	寄生振荡的抑制	(126)
第六章	滤波	(153)
第一节	滤波的一般概念	(153)
第二节	无源滤波器	(154)
第三节	有源滤波器	(163)
第四节	数字滤波器	(175)
第五节	调制与编码技术	(180)
第七章	屏蔽	(188)
第一节	电场屏蔽	(188)
第二节	磁场屏蔽	(196)
第三节	电磁屏蔽	(203)
第四节	几种类型屏蔽的效果分析	(206)
第五节	屏蔽线	(215)
第六节	电感器件及磁性元件	(228)
第七节	传感器及放大器的屏蔽	(231)
第八节	对称电路的应用	(233)
第八章	地线与接地	(237)
第一节	接地的作用及分类	(238)
第二节	接地电阻及接地线	(239)

第三节	保护接地	(243)
第四节	工作接地	(244)
第五节	低频电路的接地	(249)
第六节	高频电路的接地	(258)
第七节	工业控制计算机的接地	(260)
第八节	放大器的接地	(267)
第九节	浮地	(271)
第十节	信号源及接地方式	(273)
第十一节	屏蔽线及屏蔽体的接地	(277)
第十二节	金属件及接插件的接地	(293)
第九章	计算机接口电路及数字电路	(301)
第一节	脉冲数字电路的特殊性	(303)
第二节	脉冲数字电路被干扰的一般情况	(306)
第三节	元器件的固有噪声容限	(309)
第四节	传输线的反射干扰	(321)
第五节	对传输信号的隔离整形与提取	(329)
第六节	传输脉冲的延迟	(348)
第七节	对干扰信号的衰减、削波与限幅	(352)
第八节	采用软件技术提高系统的抗干扰性	(354)
参考文献	(357)

第一章 干扰的产生及分类

第一节 干扰问题的重要性

在电子技术日益普及的今天,人们对电子产品提出了越来越高的要求。诚然,随着电子元器件质量的不断提高,电子线路设计方案的不完善,大规模集成电路的发展而使得电子系统中元器件数目的日趋减少,计算机及软件技术不断大量取代传统的硬件电路等等,使得电子系统的可靠性大幅度提高。但是,伴随着系统功能的增加而导致电子线路复杂程度的提高,以及电子设备应用领域的不断扩展,使用的环境也越来越恶劣等等,也带来许多新的不可靠因素。

任何一种电子产品,其在市场上是否具有竞争力,能否迅速地得到普及和推广应用,在很大程度上取决于其电路系统的抗干扰性能的优劣。这也是考核一个系统工作可靠性的重要指标之一。

日常生活中,我们随处可见电子设备受到干扰的情况:收音机如受到纹波干扰就可听到讨厌的交流嗡嗡声;电视机如受到电火花干扰则在图象上出现干扰雪花点,同时画面将翻滚、跳动;计数器受到干扰就会计错数;测量仪器如受到干扰将影响测量结果的准确性;控制系统如受到干扰将使系统工作紊乱,甚至发生故障;计算机系统受到干扰将使运算错误、数据丢失,如果控制着执行机构,将会使输出动作混乱,也可能造成事故;导弹、火箭等的电子系统因受到干扰而出现故障,后果将更加严重。

需要指出,干扰是一个广义的概念,而产生干扰的因素往往是多方面的,且其影响的范围和程度也会由于设备的使用条件及环

境的不同而千变万化。即使一个设备的电路设计相当合理和完善,也会由于装配工艺的不合理而带来意想不到的干扰因素,从而不能达到预期的效果。在研制电子设备时,完全按照理论所设计的电路图进行布线和装配,而不经任何现场调试就达到原设计性能的事例,几乎是没有的。尤其是复杂的电子设备系统更是如此。

对于大多数电子系统来讲,使用环境不可能都是实验室那样的理想环境。实际使用环境,总会经常不断地产生着这样或那样的干扰因素。特别是用于工业生产场合的一些电子系统,使用的条件往往更为恶劣,受到干扰的机会就更多。这要求设计人员在设计的初始阶段就必须充分考虑到干扰的可能性,从而采取必要的抗干扰措施,并且在设备整个系统的装配和调试时采用合理的工艺方法和手段,以提高电子系统的抗干扰性和实际使用效果。

第二节 噪声的产生及分类

如前所述,电子设备在工作时,除了有用的信号之外,往往还夹杂着一些无用的信号。而这种无用的、不规则变化的信号,将可能影响设备整个系统的正常工作,严重时将使设备无法正常工作。我们把这种在电子设备中出现的无用且不规则变化的信号,均称为“噪声”,而所谓的干扰则是噪声所形成的不良效应。

噪声就其来源而言,无外乎两类:一类是内部噪声;另一类是外部噪声。

一、内部噪声

内部噪声是由电子系统内部(也即本身)所产生的,也可称为固有噪声。它是一种物理性的无规则波动,具有随机性,因此只能用概率论的方法进行估计和预测来确定其有效值。几乎所有的电子元器件本身都存在着固有噪声。固有噪声主要包括热噪声、散粒噪声和接触噪声三种。

(1)热噪声 也叫做电子噪声或约翰逊噪声。它是由系统中的电子元器件工作时产生的热量所造成的温度波动,以及环境温度

的变化而引起的电阻类元件、半导体器件和其它一些元器件参数的变化所形成的。由于它是由电子的热运动所引起的,所以这种噪声随着温度的升高而增大。

(2)散粒噪声 散粒噪声是由电子(或空穴)的随机发射而产生的,主要存在于电子管和半导体两类元器件中。由于半导体中的载流子都是一个个彼此独立的,所以在各个暂短的瞬间,它们都是不连续和不规则的。这种不规则性所产生的电性能变化,就成为频谱范围很宽的噪声。

(3)接触噪声 接触噪声是由两种材料之间的不完全接触形成的电导率起伏所产生的。它包括开关件、接插件或继电器接点的接触不良产生的噪声,晶体管内部的动态噪声,元器件质量或特性不良产生的噪声,以及不同金属接合面所形成的电化噪声、接点噪声或松动引起的噪声等等。由于接触噪声多发生在低频段,所以是低频电路中最主要的噪声源。

二、外部噪声

外部噪声是由电子系统外部所产生的噪声,这类噪声主要有下列两类:

(1)自然界噪声 自然界噪声包括宇宙射线、雷电和大气电离等自然现象所产生的电磁波、各类射线以及电磁场引起的噪声。

(2)来自其它设备的噪声 这是一类最主要的噪声源,它是由人类的自身活动而有意或无意所形成的噪声,是一种人为的干扰现象。在一切生产环境中都不可避免地会产生这种噪声干扰。它包括电火花放电干扰、工频干扰、射频干扰、电子开关干扰等等;电动机的启动和停止,电磁阀及接触器的吸合与释放,电焊机及大功率机电设备的启停,以及跳闸等引起的电流涌动,中频或高频加热系统所形成的强电磁场等等,都会产生不同形式的噪声干扰。

第三节 干扰的分类

由噪声所形成的干扰,按照其产生和传播途径的不同,一般可

以划分为下列几种:

(1)热动干扰 这种干扰是由电阻元件在不合适的温度下热运动所形成的,它随着温度的升高而增大。

(2)元器件自身的噪声干扰 这种干扰包括由晶体管内部产生的动态噪声、元器件质量或特性不良产生的噪声,以及接插件和开关的接触不良及松动等所产生的噪声而形成的干扰。由于电子技术的发展和大规模集成电路的应用以及集成电路本身内在质量的提高,使得电路中晶体管和集成电路的数目大大减少,所以由晶体管质量不佳所引起的噪声已大为减小,但是由接插件和开关件所引起的噪声却不能忽视。

(3)自激振荡所形成的干扰 这种干扰是在具有放大功能的电路中由于不正当的正反馈耦合引起的自激振荡所产生的噪声干扰。

(4)尖峰及振铃噪声干扰 在有电感存在的电路以及其它电路中,由于电流的突变而形成的冲击或者电路产生衰减振荡时所形成的噪声干扰。

(5)交流纹波干扰 在由交流电源供电的电子设备中,因整流或滤波电路不良所形成的交流 50Hz 或 100Hz 纹波干扰。

(6)感应噪声干扰 由于电路布线或元器件安装位置不合理而形成的相互间的电场感应、磁感应以及电磁感应噪声所产生的干扰。

(7)振动噪声干扰 设备受到冲击或机械振动时,元器件或连线随之振动变形,导致电路结构参数变化或产生接触不良而形成的一类噪声干扰。

(8)反射噪声干扰 长线传输中,由于传输阻抗不匹配会产生反射噪声,而这种反射噪声会对其它电路形成噪声干扰。

(9)失真噪声干扰 信号在传输过程中,会由于电路工作的异常而导致信号波形发生畸变,当畸变波形的谐波分量较大时,将会对其它正常工作的电路形成一种噪声干扰。

(10)电源干扰 这种干扰的现象十分普遍,它是由于不同的

电子系统(或同一系统中的不同电路)共用同一个电源时,由公共阻抗(即电源的内阻)的耦合会形成自身噪声的输出或对外来干扰的接收,从而引起相互间的干扰。

(11)放电干扰 由各种放电现象所产生的噪声干扰统称为放电干扰。在放电过程中,会向周围辐射出从低频到超高频的频带很宽、谐波十分丰富的电磁波,并且传播距离很远,对电子设备的影响甚大。常见的放电现象有电弧放电、火花放电、辉光放电和电晕放电等等。

(12)光线干扰 由于现代电子系统中大量采用了光电转换器件、接收器件、光敏元件以及其它半导体器件等,这些由半导体材料构成的器件对光线十分敏感,当有光线作用于半导体材料上时,将会激发出电子-空穴对,使半导体器件产生感生电势或引起阻值的变化,从而影响其正常工作。

(13)射线辐射干扰 射线可使气体电离,使半导体激发出电子-空穴对,使金属逸出电子等等,从而影响电子系统的正常工作。射线辐射的防护技术是一门专门技术,主要用于核工业、核武器的生产等领域,本文不作论述。

第四节 干扰的传递方式

噪声源所产生的噪声之所以能够干扰正常工作的电子系统,是因为存在着一定的传播途径即耦合通道。图 1-1 所示为典型的噪声传播途径方框图。

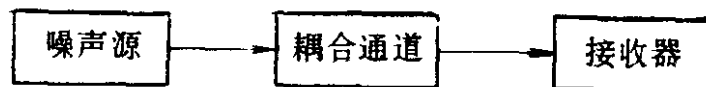


图 1-1 噪声传播途径方框图

在分析噪声干扰问题时,必须首先搞清楚噪声源是什么,接收电路是什么,噪声源和接收电路间是通过怎样的通道耦合的,这样

才有可能有的放矢地采取相应措施来抑制噪声所形成的干扰,进而提高电子设备工作的可靠性。

噪声的主要耦合方式有:电场耦合、磁场耦合、电磁耦合、公共阻抗耦合、传导耦合和漏电流耦合。

一、电场耦合

电场耦合又称为电容性耦合,它是由于两单元电路间存在的分布电容所引起的,是两电路间电场相互作用的结果。由于实际电路中杂散电容的存在是不可避免的,这就必然造成一个电路中的电荷变化影响到另一电路,或者形成两电路间的相互影响。

理论分析和实验都证明,电场耦合具有以下特点:

(1)在频率极高的射频段,电场耦合干扰最为严重;如果接收电路的工作电平很低,即使是在音频范围内,电场耦合干扰也不容忽视。

(2)降低接收电路的输入阻抗,可有效地抑制电场耦合形成的干扰。尤其是接收微弱信号的放大器,其输入阻抗应尽可能低,一般希望在数百欧姆以下。

(3)通过对电路的合理布线可显著减小电路间的分布电容。从而减小电场干扰。

(4)采取电场屏蔽措施来抑制电场耦合干扰是有效的。

二、磁场耦合

磁场耦合又称为电感性耦合,它是两电路间(或回路间)磁场相互作用的结果。也可称为互感耦合,即由于两电路(回路)间互感的存在,一个电路中的电流变化,将通过磁场交链的形式耦合到另一电路。

磁场耦合具有下述特点:

(1)对磁场耦合干扰不能用降低接收电路输入阻抗的方式来抑制,而只能通过设法减小接收器的环路面积的途径来抑制。

(2)减小噪声源与接收电路间的互感程度可明显减小磁场耦合干扰。

(3)采取磁场屏蔽措施抑制磁场耦合干扰是有效的。

三、电磁耦合

电磁耦合也称为辐射耦合,它是高频电磁场产生的电磁波在空间传播的结果。电磁耦合同时具有电场和磁场耦合的效果,它的传播一般更多地具有场的特点。

屏蔽与接地是抑制电磁耦合干扰最常用且最有效的方法。

四、公共阻抗耦合

它是由于多个电路共用同一公共线,其中任何一个电路中的电流波动将会通过公共线的阻抗在其它电路上产生干扰电压。当多个电路共用同一电源时,由电源的公共内阻形成的各电路间的相互干扰,就是一种典型的公共阻抗耦合干扰的例子。

共用电源、公共地线、多路输出的公共负载等,都是公共阻抗耦合干扰可能产生的主要方面。

五、传导耦合

当导线经过具有噪声干扰的环境时,即可能拾取噪声并传入到电路中来从而形成传导耦合干扰。这种耦合发生的最多场合是噪声经电源线传导到电路中去。一个典型的例子是采用交流供电线路的电子设备,由于交流供电线路在工作现场的分布,实际上构成了一种能拾取各种噪声干扰的网络,并经电源线传送到电路的各处。由于传导耦合是以路的方式直接传播,故对电子设备形成的干扰十分严重。

解决的办法之一是不让导线拾取噪声或使噪声源远离导线;另一个有效的方法是在干扰信号传导到接收电路之前即实施有效的去耦。

六、漏电流耦合

由于电路的绝缘不良,将会由流经绝缘电阻的漏电流而引起噪声干扰。显而易见,绝缘电阻愈小,干扰电压愈高,漏电流就愈大,因而引起的噪声干扰也就愈严重。

当电路中有直流高压存在或电路附近存在着高压直流电源时,以及当放大器的输入阻抗较高时,都可能产生漏电流耦合干扰的情况。特别是高输入阻抗的放大器,即便是极微弱的漏电流影

响,也可能造成严重的干扰后果。所以对放大器输入端的有关电路的绝缘问题应予以充分的重视。

第五节 差模干扰和共模干扰

由噪声源所产生的各类噪声,将会通过不同的耦合方式进入电子系统,从而对其形成干扰。根据噪声传入电子系统的方式及其对电路的干扰形式,一般可将噪声干扰分为差模干扰和共模干扰两大类。

一、差模干扰

差模干扰又可称为串联干扰、横向干扰、平衡干扰、正态干扰、常态干扰或常模干扰等。它是由两个相互交链的电路(包括相互靠近或平行的导线等)通过回路电流所产生的磁通,使两电路间形成互相感应的电动势而产生的干扰。它表现为接收电路的一个输入端电位相对于另一个输入端电位发生了变化(从噪声干扰的角度考虑,在这里我们把被干扰的电路统称为接收电路)。因为差模干扰和工作信号是以电势源的形式相串联而作用于接收电路输入端的,是一个叠加量,所以将直接对系统的工作形成影响。

一般情况下,我们可以把差模干扰源等效为电压源或电流源的形式来予以讨论。如果噪声源阻抗较低,可以将其看作是一个电压源和信号源相串联的形式,如图 1-2(a)所示;否则,如果噪声源阻抗较高,我们则可以将其看作是一个电流源和信号源相并联的形式,其等效电路如图 1-2(b)所示。图中, u_s 、 R_s 分别为信号源的电压和内阻, u_N 为噪声电压源, I_N 为噪声电流源, Z_N 为其等效阻抗, R_L 为其负载电阻(相当于接收电路的输入阻抗)。

一般来讲,当两电路间形成如图 1-3(a)所示的阴影部分交链面积时,两电路间产生的感应电动势将形成差模干扰;当两电路共用同一电流通路,由导线电阻产生的电压降正比于两电路电流之和时,如(b)图所示,也将产生差模干扰;(c)图所示为两个相互靠近的回路,例如导线捆扎成束或平行走线时,导线中的电流所产生