

实用电子电路设计

● 李哲英 余文龙 朱红 郭薇 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

T11757

实用电子电路设计

李哲英 余文龙 编著
朱 红 郭 薇

404/24

电子工业出版社

内 容 提 要

本书是作者根据多年在电子电路设计方面的教学与研究成果编写的教材。书中讲解了电子电路所必要的基本理论知识,介绍了各类应用电路及其电路参数与计算方法。这些电路具有一定的代表性和先进性。由于提供了电路的工作原理和参数说明,读者可十分容易地使用新的器件来设计和实现电路功能。

本书适合于理工科大学生,电路工程技术人员以及电子电路爱好者阅读。

实用电子电路设计

李哲英 余文龙 朱红 郭微 编著
责任编辑 宋玉升

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:13.25 字数:300千字

1997年1月第一版 1997年1月第一次印刷

印数:1-5000册 定价:18.00元

ISBN 7-5053-3632-0/TN·969

序 言

电子电路设计的目的，是把设想的功能和性能技术指标要求变成实际的电路。电子电路设计的内容包括电路选择、参数分析计算、元器件选择、调试方法设计以及工艺要求设计等，这必将会牵涉到多种理论与技术。

电子电路的设计有各种不同的方法。目前，复杂的系统大多采用 CAD 和 EDA 技术，这需要昂贵的设备和专门的理论知识。对于一般的电子电路设计人员和电子电路爱好者来说，更多的是使用比较成熟的电路来达到自己的预定目的。所以，各种电路手册就成了广大电子电路技术工作者的常备工具书。

目前市场上的电子电路手册有集中类型。一种是百科全书，这种手册包括的内容十分广泛并附有简单的介绍。另一种是厂家提供器件手册。还有的就是各种电路“集锦”、“大全”等。这些电子电路手册的共同点就是只提供针对某个条件下的具体电路，大多数不涉及设计参数。这给使用者带来了不便，特别是对那些仅具有一定理论基础或仅具有一定实际经验的人来说，使用起来更是不易。同时，由于微电子器件的更新速度非常快，这些手册中电路使用的器件固定，由于没能提供简单的原理及参数的说明，使读者难以用能找到的器件实现电路。如果能在提供电路的同时，还能指出各种类型实用电路的基本特点和参数，以及简单使用的计算公式，则对使用者来说是相当有益的。因为这可以使使用者在很短的时间内就可以完全掌握电路的基本使用方法和基本特征，可以使用适当的器件快速地实现电路。本书就是基于这种想法而编写的。

本书的第一章是为读者提供一些必要的基本理论知识，以便于读者理解其他各章的内容。其他各章的内容包括某一类电路的基本特点、基本参数和必要的简单计算公式，以及具体的实用电路，每一个具体的电路都附有说明以便读者掌握。

本书所提供的电路都是经过时间考验，具有一定的代表性和先进性。同时，由于提供了基本原理和基本参数的说明及计算，读者可以十分容易地使用新型器件代替过时的器件实现电路功能。使读者设计的电路具有先进性，这同时也提高了电路的可实现性。

本书的读者是理工科电类三年级以上的大学生和研究生，具有一定理论基础或实际工作经验的电子电路工程技术人员，以及有一定能力的电子电路业余爱好者。

本书的第一、七、十、十四、十七、二十和二十二章由李哲英编写，第二、三、四、六和十三章由余文龙编写，第五、八、十二、十五和二十一章由郭薇编写，第九、十一、十六、十八和十九章由朱红编写。全书由李哲英主编，余胜同志审校。

本书的编写过程中得到了北方交通大学电子电路实验中心全体同志的热情支持和帮助，作者在此表示衷心的感谢。

编者

1996年7月 于北方交通大学

目 录

第一章 实用电子电路的基本设计原则和方法	1
§ 1-1 电子电路设计基础	1
§ 1-2 电子电路系统设计的基本原则	5
§ 1-3 电子电路设计的基本方法	6
§ 1-4 电子电路设计中的电磁兼容技术	7
§ 1-5 电子电路设计中的可靠性分析技术	8
第二章 信号发生电路	10
§ 2-1 正弦波发生电路	10
§ 2-2 脉冲发生电路	11
§ 2-3 函数发生器电路	12
§ 2-5 压控振荡器电路	14
§ 2-6 AM 和 FM 信号发生电路	15
第三章 放大电路	16
§ 3-1 小信号放大电路	16
§ 3-2 高频信号放大电路	17
§ 3-3 高精度放大电路	17
§ 3-4 选频放大器	18
§ 3-5 脉冲信号放大电路	19
§ 3-6 对数放大电路	19
§ 3-7 仪器放大电路	20
§ 3-8 隔离放大电路	20
第四章 滤波电路	22
§ 4-1 低通滤波电路	22
§ 4-2 高通滤波电路	23
§ 4-3 带通滤波电路	24
§ 4-4 陷波滤波器	25
第五章 电信号与电参数测量电路	26
§ 5-1 直流电桥	26
§ 5-2 交流电桥	27
§ 5-3 RLC 测量电路	27
§ 5-4 电压、电流测量电路	30
§ 5-5 频率测量电路	32
§ 5-6 功率因数测量电路	34
第六章 功率放大电路	35
§ 6-1 音频功率放大电路	35

§ 6-2 伺服放大电路.....	36
§ 6-3 高频功率放大电路.....	38
第七章 模拟运算电路.....	40
§ 7-1 加减法电路.....	40
§ 7-2 高精度乘法运算电路.....	42
§ 7-3 除法电路.....	44
§ 7-4 对数与反对数电路.....	45
§ 7-5 积分电路.....	46
§ 7-6 微分电路.....	47
§ 7-7 峰值检测电路.....	48
§ 7-8 常见信号的有效值检测电路.....	49
§ 7-9 真有效值检测电路.....	49
第八章 电子仪器表头电路.....	51
§ 8-1 直流数字电压表头电路.....	51
§ 8-2 电子表头驱动电路.....	52
§ 8-3 信号显示电路.....	54
第九章 数字通信接口电路.....	56
§ 9-1 调制解调电路.....	56
§ 9-2 编/译码电路.....	58
§ 9-3 RS232 接口.....	63
§ 9-4 RS-422 接口.....	63
第十章 信号处理电路.....	65
§ 10-1 磁卡信号识别电路.....	65
§ 10-2 语音压缩-扩展电路.....	65
§ 10-3 IC 卡读写电路.....	66
§ 10-4 条形码读出与识别电路.....	67
第十一章 语音电路.....	69
§ 11-1 语音合成电路.....	69
§ 11-2 语音记录重播电路.....	70
§ 11-3 声控电路.....	73
§ 11-4 音频信号合成电路.....	74
第十二章 显示电路.....	75
§ 12-1 LED 数码显示电路.....	75
§ 12-2 LCD 显示电路.....	78
§ 12-3 灯光控制电路.....	79
第十三章 振荡电路.....	81
§ 13-1 低频振荡电路.....	81
§ 13-2 高频振荡电路.....	81
§ 13-3 频率合成电路.....	82

§ 13-4 检波电路.....	84
§ 13-5 受控振荡电路.....	84
第十四章 传感器及信号检测电路.....	86
§ 14-1 速度、加速度传感器电路.....	86
§ 14-2 转速测量电路.....	87
§ 14-3 压力测量电路.....	88
§ 14-4 声音传感电路.....	91
§ 14-5 光传感器电路.....	92
§ 14-6 磁场测量电路.....	93
§ 14-7 温度测量电路.....	93
§ 14-8 湿度测量电路.....	95
§ 14-9 红外测量电路.....	96
第十五章 直流稳压电源电路.....	98
§ 15-1 线性电源电路.....	98
§ 15-2 开关电源电路.....	100
§ 15-3 DC-DC 转换电路.....	101
§ 15-4 极性变换电路.....	103
§ 15-5 电源监视电路.....	104
§ 15-6 功率因数监视控制电路.....	105
图 15-16 175W 多功能输入功率因数控制电路.....	105
§ 15-7 电流源电路.....	105
第十六章 音响电路.....	108
§ 16-1 音频功率放大电路.....	108
§ 16-2 音调调整电路.....	110
§ 16-3 录音和放音电路.....	112
§ 16-4 音响显示电路.....	115
第十七章 汽车电子电路.....	117
§ 17-1 电子点火器.....	117
§ 17-2 汽车交流发电机控制器.....	119
§ 17-3 步进电机控制电路.....	120
§ 17-4 安全气囊控制电路.....	121
§ 17-5 防抱死刹车控制电路.....	122
§ 17-6 反光镜控制电路.....	122
§ 17-7 自动计价器电路.....	123
§ 17-8 汽车防盗报警电路.....	124
§ 17-9 汽车方向指示灯控制电路.....	125
§ 17-10 汽车雨刷控制器电路.....	125
第十八章 无线发送接收电路.....	127
§ 18-1 FSK 接收器电路.....	127

§ 18-2 MC145750 QPSK 编码器	128
§ 18-3 FM 接收电路和发送电路	130
§ 18-4 VHF FM 接收电路	134
第十九章 电话电路	137
§ 19-1 模拟电话机电路	137
§ 19-2 数字电话机电路	139
§ 19-3 多功能电话	141
§ 19-4 PC 机电话卡	144
第二十章 医用电子电路	146
§ 20-1 心电信号放大器	146
§ 20-2 心率监视电路	147
§ 20-3 呼吸监视电路	149
§ 20-4 脑电信号放大器	150
§ 20-5 医用信号和脉冲发生电路	150
§ 20-6 血压测量电路	152
§ 20-7 助听器电路	153
§ 20-8 闪光率测定电路	153
第二十一章 日用电子电路	155
§ 21-1 玩具控制电路	155
§ 21-2 门铃电路	157
§ 21-3 报警电路	158
§ 21-4 家用电器电源保护电路	160
第二十二章 单片机应用电路	163
§ 22-1 住宅多功能控制器	163
§ 22-2 家用电器保护器	166
§ 22-3 声音提示器	167
§ 22-4 儿童守护者	169
§ 22-5 商品监测系统	171
§ 22-6 多功能函数发生电路	172
§ 22-7 危重病人监视电路	173
§ 22-8 多功能低频信号测试仪	175
§ 22-9 带温度计和湿度计的走步计数器	176
§ 22-10 计算机原理实验教学系统	178
§ 22-11 组装式电子钟	179
附录一 常用电子器件数据	181
附录二 部分集成电路管脚图	184
附录三 部分单片机介绍	196
参考书目	203

第一章 实用电子电路的基本设计原则和方法

电子电路设计的目的,是把设计对象的功能和性能技术指标要求变成实际电路。

电子电路设计的内容包括电路选择与设计、参数分析计算、元器件选择、调试方法以及工艺要求设计等,所以,电子电路的设计必将牵涉到多种有关的基础理论与技术。

本章将简略地叙述与电子电路设计有关的基础理论知识,并讨论电子系统的基本设计原则和设计方法。

§ 1-1 电子电路设计基础

电子电路设计是一种多学科理论与技术综合应用的实践。因此,要能顺利完成设计调试任务,设计者就必须具备相应的理论基础。

一、系统分析理论

系统分析理论的作用是,使设计者能掌握所设计电路各部分之间的关系、各参数之间以及参数与性能指标之间的关系。应用系统分析理论的直接结果是建立起正确的电路系统模型,获得清晰的系统概念,进而能完成系统分析、设计(综合)及计算任务。请注意,这里所说的系统分析理论是指连续时间系统的分析理论。

在系统分析理论中,下面几个概念是十分重要的:

系统函数——电子电路的系统函数是在复频域 s 中对电路输入与输出关系的描述,是系统分析和设计的基础。实际设计时,比较常见的是根据已知的设计要求和性能技术指标条件提出系统的传递函数,以及根据设计结果分析得出传递函数,以检查设计的正确性。

传递函数的定义是:输出函数的拉普拉斯变换式 $Y(s)$ 与输入函数的拉普拉斯变换式 $X(s)$ 之比。即

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (1-1)$$

一般情况下,输出与输入函数都是电压函数。

零点和极点——传递函数分子多项式的根(s 的解)叫做零点,分母多项式的根叫做极点。

稳定性判别——稳定性判别是电子电路系统分析的重要内容。系统稳定的定义是:设系统的输入为 x , 输出为 y , 当输入的增量为 $\Delta x < \infty$ 时有

$$\Delta y = f(x + \Delta x) - f(x) < \infty \quad (1-2)$$

则称系统稳定。

式(1-2)说明,对于稳定系统,当系统输入发生有限的变化时,系统输出变化也是有

限的。稳定性判别的准则是系统传递函数的所有极点均处于 s 平面的左半部。

对于电子电路系统，在考虑系统稳定时除采用上述方法对系统函数进行判别以外，还必须考虑模拟系统的输出饱和问题，由此确定系统输入信号的幅度变化范围。

时域分析——时域分析是指用时间函数描述和分析系统的方法。时域分析实际也就是常用的微分方程法，微分方程包括节点方程、回路方程以及状态方程。对较复杂的电子电路系统通常使用状态方程进行分析。

频域分析——频域分析是用频率函数描述分析系统的方法。频域分析的基本思想是，使用傅立叶变换、 Z 变换以及拉普拉斯变换把时域函数变换成频域函数、把时域内微分方程变换成频域内的代数方程。

二、电路分析理论

电路分析理论用于列写方程、传递函数以及对电路参数的分析计算，也是电路调试方案和工艺设计的基本理论与方法。电子电路系统设计时常用的电路分析理论有欧姆定律、基尔霍夫定律、节点电位方程、回路电流方程、功率计算公式、正弦交流以及复数计算方法、振荡电路的谐振条件等。

三、数字电路系统的基本理论

数字电路是现代电子电路的重要组成部分，电路系统的数字化是电子系统发展的趋势。数字电路的优点是抗干扰能力强、保密性好、可靠性高以及便于实现智能化系统等。数字系统的不足之处在于占用的频带比较宽。

数字系统的基本理论包括数字集成电路的基本特性(包括不同种类器件的逻辑电平、功耗、信号传递速度等)、数字逻辑设计方法以及动态时序设计与分析方法。

四、电子电路测量技术

电子电路测量技术是电子电路设计与调试的基础。电子测量技术为电子电路的调试提供了基本方法，其中包括功率电路的测试技术、高频电路测试技术和一些间接的测量方法。作为测量技术，电子测量技术还提供了测量误差分析的理论与技术。同时，电子测量技术还提供了有关仪器的使用技术和使用条件限制。

由于电子电路在设计时必须考虑到调试和测量，所以，电子测量技术也是电子电路的设计基础。

对电子电路进行调试和测量时必须注意一个基本测量原则，就是不能因测量设备的引入而改变电路原有的状态。

五、电磁兼容理论

电磁兼容的理论与方法是现代电子电路设计、调试的基本理论和方法之一，是保证电子电路正常运行的基础。电磁兼容理论被用于系统的电磁兼容设计，以保证系统函数的正确实现和系统的安全运行。

电子电路系统的电磁兼容特性是指确保仪器或系统正常工作时，对周围电磁环境和内部电路相互之间电磁作用的限制、要求和特点。不能把电子系统的电磁兼容特性与系统的抗干扰能力混为一谈，系统的抗电磁干扰特性仅是系统电磁兼容特性的一个方面。有很强的抗干扰能力不一定是可用的和安全的系统，因为抗干扰能力不能说明电子电路系统对其它设备及环境的影响，也不能表明仪器或系统本身不是一个干扰源。

与电磁兼容设计有关的基本概念有：

电磁噪声——电子电路系统中除正常运行所需要和产生的电磁信号以外的所有电磁信号，都叫做电磁噪声，电磁噪声会干扰和破坏系统的正常信号，使系统工作状态发生变化，严重时甚至不能工作。

干扰源——产生电磁噪声的物理实体。干扰源不一定是电子系统以外的其他设备或系统，也可能是电子系统自身的某一部分，例如电子电路系统中的大功率电子器件、开关器件和电路、高频电路等。干扰源可以分为高频干扰源、低频干扰源、危险干扰源(使电子系统的遭到不可恢复性破坏的干扰源，如高压电源)。

干扰路径——干扰进入电子电路系统的途径。干扰路径分直接路径和耦合路径。直接路径是指干扰信号通过各种电路连线和信号线进入系统的途径，例如通过信号线直接进入电子系统、电源线和地线串扰等。耦合路径是指干扰信号通过电磁耦合方式进入电子系统的途径，例如高频辐射、系统连线之间的耦合等。

辐射——电子系统通过大气空间发出电磁波功率的现象叫做辐射。

噪声容限——电子电路系统正常工作时所能承受的电磁噪声环境指标以及对电子电路系统自身所产生的电磁噪声限制指标。

接地与屏蔽——抗电磁干扰的基本方法。接地是指电子电路系统中参考电位、保护电路以及大地之间的连接。屏蔽则是一种电子电路系统防止外部电磁辐射干扰信号进入系统的方法，一般是以金属网或金属板把电子电路系统封闭起来，形成对系统外部电磁辐射的阻断保护层。

隔离——切断不同电子电路之间电气联系的方法叫做隔离。隔离是电子电路抗干扰的重要方法。隔离的方法主要有变压器和光电耦合两种。相互隔离的电子系统不能直接共用一个电源。

六、可靠性理论

可靠性理论是电子电路系统设计的另一个重要基础。运用可靠性理论可以在设计阶段对电路的可靠性进行分析，确保设计电路的质量。可靠性分析有如下的基本概念：

元器件和系统的可靠度——元器件和系统的可靠性是指元器件和系统在给定的时间期限和条件下正常工作的概率。

系统可靠性计算——系统可靠性是指元器件在给定条件下故障工作的概率。

失效概率——系统或器件在规定的的时间和条件下发生失效的可能性。系统的失效概率是所有元器件失效概率的函数。

平均无故障时间——元器件或系统失效概率的倒数。与失效概率相同，计算平均无故障时间时应考虑系统的整体。

七、电源技术

电源是电子电路工作的基本保障。随着电子电路日趋微型化和节能化，电源技术也在不断地发展。实际上，电源电路的设计已经成为电路设计不可分割的一部分。

电子电路系统设计中电源的设计应着重考虑以下参数：

功率——电源的功率是指电子系统电源所能提供的功率，而不是电源的输入功率。一般电子电路系统电源的输出功率应在系统实际需要功率的 1.5 倍以上。电源的输入功率是电源输出功率与电源消耗功率之和。

电压——电源的电压参数包括输入电压和输出电压两个。电源必须保证在规定的最

低输入电压时仍能有所要求的输出电压。

纹波系数——纹波系数是指输出直流电压中交流分量的有效值。这是一个很重要的参数。如果电源输出的纹波系数超过了电路的允许值，就会干扰电路的正常工作。实际上，电源输出的纹波也是一种干扰源。

电压调整率——电压调整率是指，当负载不变、电网电压波动 $\pm 10\%$ 时，直流稳压电源输出电压的相对变化量。对于电子电路而言，电压调整率越小越好。

稳压系数——稳压系数也反应了电网电压波动对直流稳压电源输出电压的影响。稳压系数的定义是：负载固定的条件下，直流稳压电源输出的相对变化值与输入直流电压相对变化值之比。

电压调整率和稳压系数既相似又有很大的区别。电压调整率直接反映了直流输出电压变化的大小，而稳压系数则反映了输入输出之间电压变化的相对关系。实际工程中，人们更关心的是实际输出电压的变化。

接地——接地是指电子电路系统与电源的接地连接，必须安全可靠，高压与低压、交流与直流、数字电路与模拟电路不能混合接地。接地系统必须保证不影响电子器件正常工作。

效率——电子电路系统的电源必须有较高的工作效率，特别是便携系统更是如此。一般在 20W 以下、输出电压固定的系统可以考虑使用线性电源，20W 以上的系统则应考虑使用开关电源以提高全系统的电源效率。

电源种类——一个系统应尽量避免使用多种电源。必须使用多种电源时，应当采用分布方式进行电源变换以提高电源的效率和系统的工作可靠性。

八、微电子技术

微电子技术是指微电子学中的模拟电路技术、数字电路技术以及系统集成技术。电子电路设计中的微电子技术主要包括以下参数的选择与应用设计：

直流特性——直流特性一般指器件的直流工作特性，例如器件对输入直流电平的要求，输出的直流电平的幅度，对输入偏置的要求等。

交流特性——实际就是之器件或系统的时间特性，例如电平的上升下降速度。

频率特性——这是器件和系统的重要技术指标。任何一个电子系统都具有一定的工作频率范围，超过这个范围系统和器件就不能完成规定的任务。

动态特性——模拟电子电路的动态特性直接关系到系统对输入的跟踪速度，特别是对规定频率范围内幅度较大的输入信号，系统能否正常工作主要取决与系统的动态特性。数字系统的动态特性是指系统的时序关系，数字系统的动态特性必须能保证在规定时钟条件和延迟要求下系统正常的工作时序。

静态特性——系统在输入为零时的工作特性叫做静态特性。由系统的静态特性分析可以得到有关系统的噪声、频移等特性。

阻抗匹配——系统各部分之间连接时，信号能否顺利通过主要依赖系统的阻抗匹配。对功率电路而言，阻抗匹配是最重要的。

功率——电子电路的系统功率是设计及使用中的一个重要参数。功率可以分为系统输入功率、输出功率以及系统消耗功率三部分，系统的输入功率应当等于系统输出功率和消耗功率之和。同时系统设计时也必须考虑留有一定的功率裕度。

温度特性——电子电路系统中的器件在工作时会消耗一定的能量，这些能量都是以热的形式散发的，所以，系统的温度特性直接关系到系统的运行。设计电子电路系统时应当充分注意各种器件对环境温度以及自身工作温度的要求，并采取相应的措施解决散热问题和系统温度环境问题。

线性度与失真度——线性度和失真度是模拟系统的重要特性。由于电子器件本身具有非线性，所以设计时必须考虑补偿问题。失真度是针对模拟系统输出信号提出的一个参数，其定义是实际输出信号与理想信号之间最大误差的百分数。随着数字化和智能化系统的不断应用，系统整体的线性度和失真度也开始与系统的数字部分有关了。数字电路的线性度和失真度问题包括两个方面，一个方面是如果系统的模拟电路部分不能保证系统的线性度和失真度要求，如何通过数字电路部分进行补偿，另一个方面是，如果模拟系统已经很好地解决了系统对线性度和失真度的问题，数字部分如何对此加以保证。

系统集成——系统集成是现代电子技术的重要概念。其核心内容是最大限度地实现系统集成化，减少独立器件的个数。与系统集成技术有关的是单片机技术(CSIC)、门阵列技术(ASIC)和专用集成电路技术。

§ 1-2 电子电路系统设计的基本原则

电子电路系统设计时应当遵循的基本原则是：

1，满足系统功能和性能指标要求。好的设计必须是能完全满足设计要求的功能特性和技术指标。这也是电子电路系统设计时必须满足的基本条件。

2，电路简单。在满足功能和性能要求的情况下，简单的电路对系统来说不仅是经济的，同时也是可靠的。所以，电路的应尽量简单。值得注意的是，系统集成技术是简化系统电路的最好方法。

3，电磁兼容性好。电磁兼容特性是现代电子电路的基本要求，所以，一个电子系统应当具有良好的电磁兼容特性。实际设计时，设计的结果必须能满足给定的电磁兼容条件，以确保系统正常工作。

4，可靠性高。电子电路系统的可靠性要求与系统的实际用途、使用环境等因素有关。任何一种工业系统的可靠性计算都是以概率统计为基础的，因此电子电路系统的可靠性只能是一种定性估计，所得到的结果也只能是具有统计意义的数值。实际上，电子电路系统可靠性计算方法和计算结果与设计人员的实际经验有相当大的关系，设计人员应当注意积累经验，以提高可靠性设计的水平。

5，系统集成度高。最大限度地提高集成度，是电子电路系统设计应当遵循的一个重要原则。高集成度的电子电路系统，必然具有电磁兼容特性好、可靠性高、制造工艺简单、质量容易控制以及性能价格比高等一系列优点。

6，调试简单方便。这要求电子电路设计者在电路设计的同时，必须考虑调试的问题。如果一个电子电路系统不易调试或调试点过多，这个系统的质量是难以保证的。

7，生产工艺简单。生产工艺是电子电路系统设计者应当考虑的一个重要问题，无论是批量产品还是样品，生产工艺对电路的制作与调试都是相当重要的一个环节。

8，操作简单方便。操作简便现代电子电路系统的重要特征，难以操作的系统是没有生命力的。

9, 性能价格比高。

§ 1-3 电子电路设计的基本方法

电子电路设计是对上述各种技术综合应用的过程。通常设计过程中包括以下几方面的内容。

一、功能和性能指标分析

一般设计题目给出的是系统功能要求、重要技术性能指标要求。这些是电子系统设计的基本出发点。但仅凭题目所给要求还不能进行设计,设计人员必须对题目的各项要求进行分析,整理出系统和具体电路设计所需要的更具体、更详细的功能要求和技术性能指标数据,这些数据才是进行电子电路系统设计的原始依据。同时,通过对设计题目的分析,设计人员还可以更深入的了解所要设计的系统的基本特性。

功能和性能指标分析的结果必须与原题目要求进行对照检查,以防止遗漏。

二、系统设计

系统设计包括初步设计、方案比较和实际设计三部分内容。

有了功能和性能指标分析的结果,就可以进行初步的方案设计。方案设计的内容是选择实现系统的方法、拟采用的系统结构(例如系统功能框图),同时还应考虑实现系统各部分的基本方法。这时应当提出两种以上方案进行初步对比,如果不能确定,则应当进行关键电路的分析,然后再做比较。方案确定后,系统的总体设计就已完成,这时必须与功能、性能指标分析的结果数据和题目要求进行核实,以免疏漏。

三、原理电路设计

系统设计的结果提出了具体设计方案,确定了系统的基本结构,进一步的工作是进行各部分功能电路以及分电路连接的具体设计。这时要注意局部电路对全系统的影响,要考虑是否易于实现,是否易于检测,以及性能价格比等问题。因此,设计人员平时要注意电路资料的积累。

四、可靠性设计

电子电路系统的可靠性指标,是根据电子电路系统的使用条件和功能要求提出的,具有极强的针对性和目的性。任何一个电子电路系统的可靠性指标和设计要求,都只能是针对一定的条件和目的,脱离具体条件谈可靠性是没有任何意义的。不讲条件和目的,一味地提高系统可靠性,其结果只能是设计出一个难以实现或成本极高的电子电路系统。

可靠设计包括三个方面,一是系统可靠性指标设计,二是系统本身可靠性必须满足设计要求,三是系统对错误的容忍程度即容错能力。

可靠性设计实际在系统设计中就已经有所体现,系统的方案设计和电路设计中必须考虑可靠性因素(如器件的选择、电路连接方式的选择等),同时还应当对全系统的可靠性进行核实计算。

五、电磁兼容特性设计

电磁兼容设计实际也体现在系统和电路的设计过程中。系统设计的各种电磁特性指标是系统电磁兼容设计的基本依据,而电路的工作条件则是电磁兼容设计的基本内容。

电磁兼容设计要解决两方面的问题,一是提出合理的系统电磁兼容条件,二是如何

使系统能满足电磁兼容条件的要求。电子电路电磁兼容设计的任务是，对电子电路系统的电磁特性(特别是电磁耦合特性)进行分析、计算，再根据分析、计算的结果确定系统电磁兼容结构和特性。

要提高电子电路电磁兼容特性，在电路设计时应注意

- 1，选择电磁兼容特性好的集成电路。
- 2，尽量使关键电路数字化，就是使重要电路数字化。
- 3，尽量提高系统集成度。
- 4，只要条件允许，尽量降低系统频率。
- 5，为系统提供足够功率的电源。
- 6，电路布线合理，做到高低频分开、功率电路与信号电路分开、数字电路与模拟电路分开，以及远距离传输信号使用电隔离技术等。

六、调试方案设计

电子电路系统设计的另一个重要内容是设计一个合理的调试方案。调试方案的目的是为设计人员提供一个有序、合理、迅速的系统调试方法，使设计人员在系统实际调试前就对调试的全过程有清楚的认识，明确要调试的项目、目的、应达到的技术指标、可能发生的问题和现象、处理问题的方法、系统各部分调试时所需要的仪器设备等。

调试方案设计还应当包括测试结果记录的格式设计，测试结果记录的格式必须能明确地反映系统所实现的各项功能特性和达到的各项技术指标。

§ 1-4 电子电路设计中的电磁兼容技术

解决电子电路系统电磁兼容问题的技术都具有很强的针对性，设计人员必须针对不同的噪声、不同的噪声传播方式采用不同的方法和技术。以下是电子电路系统常用的几种电磁兼容技术。

1，噪声补偿技术。这是一种抑制噪声的方法，用系统内部电路机制对噪声进行补偿抑制(例如信号抵消、器件补偿等)，最大限度地减少噪声对设备或系统的影响，同时也最大限度地抑制系统本身产生的噪声。

2，辐射干扰及其抑制。辐射干扰是电磁兼容设计的一个主要分析对象，分析的内容有能否形成辐射干扰、能否接收辐射干扰、辐射干扰的噪声强度和带宽、辐射是否具有方向性以及辐射空间估计等。一般辐射干扰的定性计算比较复杂，必须建立一定的数学模型。对于比较小的电路系统可以用定性估计和实际测试的方法确定。对辐射干扰一般均采用屏蔽技术。

3，有效屏蔽方法。所谓有效屏蔽是指采用适当的屏蔽技术减少电磁辐射引起的干扰。之所以叫做有效屏蔽，是因为屏蔽措施(如对设备的某些电路用金属网屏蔽起来)只能抑制外界对电子电路系统的干扰，但对电子电路系统自身的电磁辐射却没有大的抑制或去除效果。

4，串扰及其抑制。串扰是指系统不同电路的信号通过系统连线(如地线、电源线等)形成的相互干扰(例如电话电路的串音、地线波动干扰等)，因此串扰是噪声直接传递的通道。电子电路系统中的串扰通道主要是电源线和地线。一般的集成电路芯片(特别是数字集成电路)对来自电源的噪声都有很强的抑制能力(例如运算放大器输入失调都很小)，相

反,对系统地电位的波动却十分敏感。抑制串扰隔离方法有电源隔离、信号隔离、电源线地线分离和滤波四种。最简单的是电源线地线分离方法,这种方法是把系统不同电路部分的电源线和地线分开,每个电路部分的电源线和地线都从系统电源直接引入,这种方法在抑制高频和低频电路之间以及大功率和小功率电路之间的串扰时十分有效。电源隔离法则是不同电路的电源完全独立,实现不同电路之间的电气隔离,当然,这时有关的电路之间的信号也必须采用隔离电路传递。

5,环路耦合干扰及其消除。环路耦合是指因信号或电源线形成环路而引起的干扰。环路干扰不仅引起连接在环路上的电路工作异常,而且会形成电磁辐射,以致于干扰其它的仪器设备。消除的方法就是解开环路。

§ 1-5 电子电路设计中的可靠性分析技术

系统可靠性设计的任务就是计算已设计好的系统的可靠度和故障率,通过必要的调整设计改善系统的可靠性,使其达到设计要求。

一、元器件的可靠性设计

元器件的可靠性设计是指选择可靠度高(故障率低)的元器件,这可以通过生产厂家提供的可靠性数据和元器件安装前的筛选来保证。

1,元器件可靠性指标及意义。厂家能提供的集成电路元器件的指标参数有如下几项:

平均无故障间隔——平均无故障间隔是集成电路的一项十分具体的可靠性指标,但中小功率器件的技术手册中一般并没有具体的数据。同时此项指标主要是针对复杂电路(如单片机等)和大功率器件而提出的。对一般的集成电路,普遍关心的是器件的使用寿命。对元器件的平均无故障间隔,可参照国际或国内的有关标准确定。

平均使用寿命——这也是一个不易确定的参数,只能参考有关标准或直接询问生产厂家。集成电路的使用寿命与封装形式和使用环境(特别是放射线环境)有很大关系。放射线环境恶劣的条件下会极大地降低集成电路的使用寿命、缩短平均无故障间隔。必须注意,电子电路系统整体的平均使用寿命,应当按所有元器件(包括电路板)中平均使用寿命最低的数值计算。

标准工作环境——标准工作环境也叫典型工作环境。厂家提供的技术手册中一般不会直接给出标准工作环境,而是通过各种特性数据的测试条件和性能图表反映出来。因此在元器件可靠性设计时应当仔细阅读数据手册,从中找到标准工作环境指标。

极限参数——极限参数有温度(分工作温度和存放温度)、电压、电流、消耗功率和频率五种。这是进行元器件可靠性设计时必须认真考虑的几个参数。这几个参数的选择能否满足系统要求直接关系到元器件的可靠使用寿命。

2,元器件筛选方法及测试仪器。电子电路系统使用的元器件在安装前必须经过筛选,筛选的目的是保证器件的完好性。筛选工作有两部分,一部分是器件来源筛选,就是要保证器件供应商是可靠的。另一部分是元器件使用前的测试筛选,一般说来这是一项比较困难的工作,原因是器件种类繁多,不可能有通用的测试仪器,工程实际中多采用元器件生产厂家提供的数据手册中的测试电路对元器件进行测试,以确保器件正常。对一般的数字电路,可以使用数字电路测试仪测试其逻辑性能的好坏。

二、电子电路系统的整体可靠性分析

这一部分要完成的工作是，通过对系统各部分的可靠度计算核实系统是否满足了可靠性设计要求，如有必要则提出具体的调整设计方案。

系统可靠性计算分串联计算和并联计算两种。

1，串联计算。设系统是由 N 个子系统(子系统也可以是各部件)串联而成。

设各子系统的可靠度为 R_i ($i=1\sim N$)， R_i 是时间 t 的函数。各子系统可靠度必须是相互无关的，则整个系统的可靠度为

$$R = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_N \quad (1-3)$$

整个系统的故障率为

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N \quad (1-4)$$

2，并联计算。设系统是由 N 个子系统(子系统也可以是各部件)并联而成。

设各子系统的可靠度为 R_i ($i=1\sim N$)，各子系统可靠度必须是相互无关的，则整个系统的可靠度为

$$R = 1 - (1-R_1) \times (1-R_2) \times \dots \times (1-R_N) \quad (1-5)$$

系统的故障率为

$$\lambda(t) = \frac{1}{R(t)} \left(\frac{-dR}{dt} \right) \quad (1-6)$$

可见，并联系统的可靠度要比串联系统的可靠度高。这实际也是一种提高系统可靠度的有效方法。