



电子与电气 控制应用技术

王琳基 著

福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

电子与电气 控制应用技术

王琳基 著

福建科学技术出版社
Fujian Science & Technology Publishing House



图书在版编目 (CIP) 数据

电子与电气控制应用技术/王琳基著. —福州: 福建
科学技术出版社, 2009.9
ISBN 978-7-5335-3442-4

I. 电… II. 王… III. ①电子电路—技术手册②电气控
制—技术手册 IV. TN710—62 TM921.5—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 146041 号

书 名 电子与电气控制应用技术
著 者 王琳基
出版发行 福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址 www.fjstp.com
经 销 各地新华书店
排 版 福建科学技术出版社排版室
印 刷 福州晚报印刷厂
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 9.25
字 数 218 千字
版 次 2009 年 9 月第 1 版
印 次 2009 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5335-3442-4
定 价 38.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

序

王琳基同志大学毕业后一直从事电子与电气控制方面的技术工作，曾多次主持省级新产品研制开发工作，并获福建省新产品技术鉴定和科技成果鉴定。在水轮发电机组励磁技术，自动化柴油发电机组，大中型机械设备电气安装与调试、仪表设计及应用，PLC在工农业领域应用方面，积累较丰富的实践经验。他善于用理论知识分析解决实际问题，取得不少业绩。现兼任福建省电机工程学会、福建省机械工程学会电机电器分会理事、福建省工程建设质量安全协会工程技术专家。曾兼任福州大学电气与自动化学院硕士生导师。

《电子与电气控制应用技术》这本书着重实例分析，内容丰富、深入浅出、条理清楚。通过分析控制对象、控制策略，指出电子与电气控制应用技术在实践中应注意的问题和解决这些问题的具体方法，有一定的创新性，有较高的实际应用价值值得一读。本书可作为从事电子与电气控制专业技术人员提高业务水平的学习材料，也可作为电气信息类高年级本科生及研究生的教学参考书。

我很高兴为本书作序。希望王琳基同志能再接再厉，不断创新，在教学和科研中作出新的成绩。

福州大学电气与自动化学院博士生导师 陈冲

2009年2月于福州

前 言

在电子科学技术和电气自动化大学本科毕业设计教学以及带研究生进行科研活动中,我发现许多学生在课题面前常常感到非常茫然。他们一方面深切希望能用较短的时间进入主题,开展工作,但是每走一步总感到书本知识与实际课题要求有距离,他们渴望和迫切需要缩短这方面的差距。本书通过实例分析,连贯相关的知识,以期拓展读者思路,让读者尽快掌握电子与电气控制技术应用规律,定下控制策略,完成课题任务。读者通过学习本书,能对已学过的书本知识融会贯通,实现理论和实践的统一。

电子与电气控制应用技术是一门涵盖多学科、综合性、实践性很强的技术,不但要求使用者要有扎实的理论基础,还要求他们在细微处下功夫,在实践中发现问题,继续学习,寻找理性解决问题的方法。本书围绕控制对象这个主题,从控制策略分析,计算机在工农业领域应用注意事项,同构异名电路,测量、数据处理和显示技术等展开深入浅出的分析。就内容而言,大多属于成果总结和分析,但其中也有笔者自己的思考和见解。主要有:

- (1) 农村水电站无人值班、少人值守的控制策略。
- (2) 温室采用计算机监控系统若干问题的研究。
- (3) 单变量控制系统计算机应用问题的分析。
- (4) 它励-自励无刷励磁控制系统 AVR 设计控制策略。
- (5) 4 台水泵恒压供水系统控制策略。
- (6) 谐波状况下电容柜损坏原因的分析及补救措施。

上述的内容,对于近期从事相关领域研究的同仁有一定的借鉴作用,希望能达到举一反三的效果。

本书在编写过程,得到福州通用同溢电气有限公司、福建省轻工业安装公司的大力支持。漳州职业技术学院韩群勇助教、2006 级研究生韩群勇、福建省轻工业安装公司孙巧云工程师及潘仁梁工程师为本书的文字录入、绘图做了大量工作,福州大学电气与自动化学院博士生导师陈冲教授特为此书作序,在此一并深表谢意。

由于笔者水平有限,加上时间仓促,本书中论述疏漏及欠妥之处在所难免,殷切希望广大读者指正。

王琳基

2008 年 12 月于福州

目 录

第一章 电子电路结构名称和注意事项	(1)
一、几种同构异名电路介绍	(1)
1. 负积分电路结构和名称	(1)
2. 负微分电路与滞后环节	(2)
3. 一阶低通滤波电路与惯性环节	(3)
4. 一阶高通滤波电路与带有惯性环节的微分电路	(4)
二、电子电路应用中的注意事项	(5)
1. 电源与信号的问题	(5)
2. 电子电路中的零电位和接地	(5)
3. 电子电路中的抗干扰	(6)
三、电子系统有代表性的三种设计方法	(6)
第二章 PID 理论和应用	(7)
一、PID 控制基本原理	(7)
二、数字 PID 控制算法	(11)
1. 位置式 PID 控制算法	(11)
2. 增量式 PID 控制算法	(11)
3. 两种数字 PID 控制算法的特点及应用注意事项	(13)
第三章 控制对象的一般分析方法	(14)
一、从静态特性分析控制对象	(14)
1. 灵敏度	(14)
2. 线性度	(15)
3. 迟滞	(15)
4. 重复性	(16)
5. 漂移	(16)
6. 固有调整率	(16)
二、从传递函数来分析控制对象	(16)
1. 比例环节	(17)
2. 惯性环节	(17)
3. 积分环节	(18)
4. 微分环节	(19)

5. 振荡环节	(20)
6. 延滞环节	(20)
三、控制对象特性的实验测定方法	(21)
1. 测定动态特性的时域方法	(22)
2. 测定动态性的频域方法	(28)
3. 闭路测定法	(31)
第四章 控制策略的分析	(33)
一、控制策略的种类、划分和选用	(33)
1. 控制策略的分类	(33)
2. 控制策略选用要则	(33)
二、应用控制系统、控制策略选用实例分析	(34)
1. 4 台水泵恒压供水系统控制策略的分析	(34)
2. 它励—自励无刷励磁控制系统 AVR 设计控制策略分析	(41)
3. 农村水电站无人值班, 少人值守控制策略的分析	(44)
第五章 工农业领域计算机技术应用	(48)
一、计算机监控系统在工农业领域应用相关问题的分析	(48)
1. 单变量控制系统的计算机应用问题的分析	(48)
2. 计算机各机型特点及选用原则	(49)
二、温室采用计算机监控系统若干问题的研究	(50)
1. 小温室计算机监控系统设计要则	(50)
2. 大温室计算机监控系统设计要则	(51)
第六章 工农业领域中的测量显示技术	(54)
一、参数检测实用例的分析	(54)
1. 采用 PLC 实现功率因数 Φ 角检测的方法	(54)
2. 湿度检测电路的分析	(56)
二、数据显示处理实用例	(57)
1. ϕ 角检测电路的 $\cos\phi$ 显示方法	(59)
2. 测温仪表的显示处理方法	(63)
三、显示及其驱动电路的分析	(68)
1. LED 显示器及其驱动电路	(68)
2. LCD 显示器及其驱动电路	(77)
第七章 电子与电气控制技术在农业领域应用实例	(88)
一、新型相序检测和报警装置	(88)
1. 新型相序检测和报警装置的功能及用途	(88)

2. 装置工作原理	(88)
二、采用 PLC 实现温室变温控制的设计	(94)
1. 温室变温控制设计的依据	(94)
2. 温室变温控制系统的硬件电路	(94)
3. PLC 控制程序	(96)
4. 温室变温控制系统的工作原理	(99)
三、谐波状况下电容柜损坏原因分析及采取措施	(100)
1. 分析谐波状况下电容柜损坏原因的意义	(100)
2. 谐波状况下电容器柜元器件损坏原因的分析	(100)
3. 谐波状况下电容柜应采用的措施	(101)
四、隧道式微波装置的智能控制	(103)
1. 隧道式微波装置用途及存在问题	(103)
2. 隧道式微波装置改造措施	(103)
五、用于控制小型柴、汽油机组的数字密码锁	(107)
1. 数字密码锁硬件电路和软件的设计	(107)
2. 控制系统工作原理及机组接口电路	(111)
六、进口柴油发电机组带特殊负载频率和有功功率的振荡及其解决方法	(112)
1. 进口柴油发电机组带特殊负载振荡现象	(112)
2. 原因分析	(112)
3. 柴油发电机组进行改造采取的措施	(113)
七、使用电话网实现远程遥控电路的设计	(114)
八、无人值守自动并列双柴油发电机组的设计	(117)
1. 组成	(117)
2. 功能	(118)
3. 控制的实现	(118)
九、两台不同容量柴油发电机组并列运行优化控制的探讨	(120)
1. 优化控制的内容	(120)
2. 实例	(120)
十、小技巧解决大问题集锦	(122)
1. 电风扇外壳漏电高于 220V 的分析	(122)
2. 发电机灭磁电阻容量选择	(123)
3. 三相四线制的零线电流大于最大相电流的原因分析	(124)
4. 采用四极转换开关切换双电源应注意中性点接地	(125)
5. 闽东一本田带自动风门汽油发电机组控制改进	(125)
6. 低压开关屏内大容量低压断路器动、静触头接线的探讨	(126)
7. 水轮发电机晶闸管励磁装置中压敏电阻的计算	(127)

8. SFKL-ZJ 它励-自励无刷励磁控制系统电压振荡及其消除方法.....	(129)
9. PLC 控制的自动化柴油机消防泵	(131)
十一、一种不应补偿水电站无功不足.....	(134)
1. 系统电压过高的原因及其危害	(134)
2. 系统电压过高会引起发电机无功不足	(134)
3. 系统电压过高时小水电站应采取的措施	(134)
4. 从管理入手, 杜绝系统电压过高还要小水电站补偿无功的不合理现象 ...	(135)

第一章 电子电路结构名称和注意事项

电子电路是由电子器件构成电流通路的统称，组成电路有三要素：电源（有时为信号）、中间环节、负载。由于电子电路主要分析信号在不同系统有不同的表现特征，因此往往相同的电子电路在不同的应用场合有着不同的名称。本章将结合具体的电子电路，介绍这方面的实例，以加深对电子电路的理解。

一、几种同构异名电路介绍

1. 负积分电路结构和名称

图 1-1 电路为负积分电路，也可称为超前网络，对于电子电路动态分析而言，这是典型负积分电路：

$$u_o = u_c$$

$$u_i = -i \cdot R_i = -C \frac{du_c}{dt} \cdot R_i = -C \cdot R_i \frac{du_o}{dt}$$

$$u_o = -\frac{1}{C \cdot R_i} \int u_i dt$$

当把图 1-1 作为稳态电路分析频率信号作用时，这是典型超前网络：

$$\frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} = \frac{-(-j \frac{1}{\omega C})}{R_i} = +j \frac{1}{\omega C \cdot R_i} \quad (+j \text{ 算子为 } +90^\circ, \dot{U}_o \text{ 超前 } \dot{U}_i \text{ 为 } 90^\circ)$$

输出信号比输入信号超前 90° 角，并放大（或缩小）信号幅度。再看图 1-2，这是负比例器和积分器叠加电路，简称 PI 电路（比例、积分）：

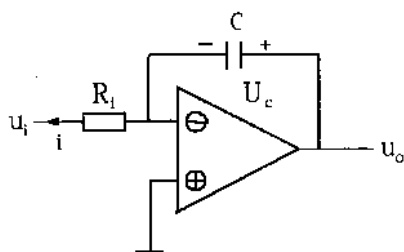


图 1-1 负积分电路（超前网络）

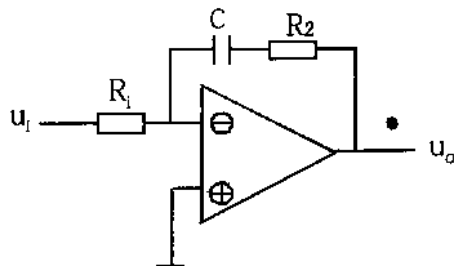


图 1-2 比例微分电路（超前网络）

$$u_o = iR_2 + cu_c = c \frac{du_c}{dt} + u_c$$

$$u_i = -iR_i = -c \frac{du_c}{dt} \cdot R_i$$

$$\therefore u_o = \frac{-R_2}{R_i} u_i - \frac{+1}{R_i \cdot c} \int u_i dt = -(\frac{R_2}{R_i} u_i + \frac{1}{R_i \cdot c} \int u_i dt)$$

若从稳态频率分析有:

$$\frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} = \frac{-(-j\frac{1}{\omega C} + R_2)}{R_1} = j\frac{1}{\omega C \cdot R_1} - \frac{R_2}{R_1}$$

$\dot{U}_o$ 超前 $\dot{U}_i$ 相角为 $90^\circ < \phi = \tan^{-1} \frac{b}{a} < 180^\circ$, 处在第二象限所以称为超前网络(见图 1-3)。

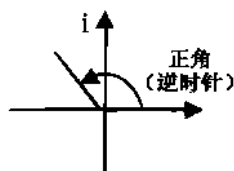


图 1-3 相角图

2. 负微分电路与滞后环节

图 1-4 电路为负微分电路。

$$u_i = u_c$$

$$u_o = -i \cdot R = -C \frac{du_c}{dt} \cdot R = -C \cdot R \frac{du_i}{dt}$$

当把图 1-4 作为稳态电路分析频率信号作用时, 有以下关系:

$$\frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} = \frac{-R}{-j\frac{1}{\omega C}} = -jRC\omega$$

($-j$ 算子为 -90° , $\dot{U}_o$ 滞后 $\dot{U}_i$ 为 90°)

再看电路图 1-5:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} &= -\frac{R}{R_1 - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{-R(R_1 + j\frac{1}{\omega C})}{R_1^2 + (\frac{1}{\omega C})^2} \\ &= \frac{-RR_1 - jR\frac{1}{\omega C}}{R_1^2 + (\frac{1}{\omega C})^2} \end{aligned}$$

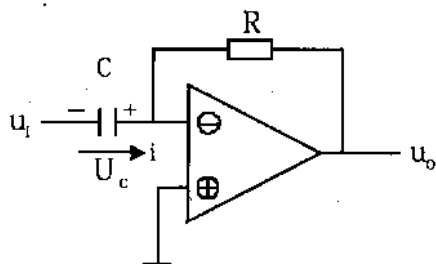


图 1-4 负微分电路 (滞后网络)

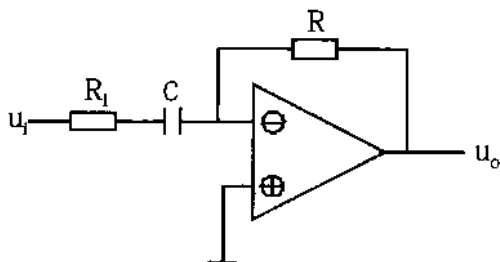


图 1-5 一阶高通滤波电路 (滞后网络)

所以 $\dot{U}_o$ 滞后 $\dot{U}_i$ 相角为 $-180^\circ < \phi = \tan^{-1} \frac{b}{a} < -90^\circ$, 处在第三象限所以称为滞后环节(图 1-6)。

特例: $C \rightarrow \infty$, $-j\frac{1}{\omega C} \rightarrow 0$, (一般短接电容, 理解为电阻 0, 并接电容 C 总电阻为 0)。

$$\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{R}{R_1}$$

可理解为反相器, 滞后超前都是 180° 。

图 1-7 为滞后网络电路:

$$\frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} = \frac{(R_2 - j\frac{1}{\omega C})}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} - j\frac{1}{\omega C \cdot R_1}$$

在第四象限, 为滞后环节 (图 1-8)。

图 1-9 为超前网络电路:

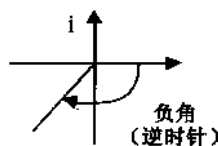


图 1-6 相角图

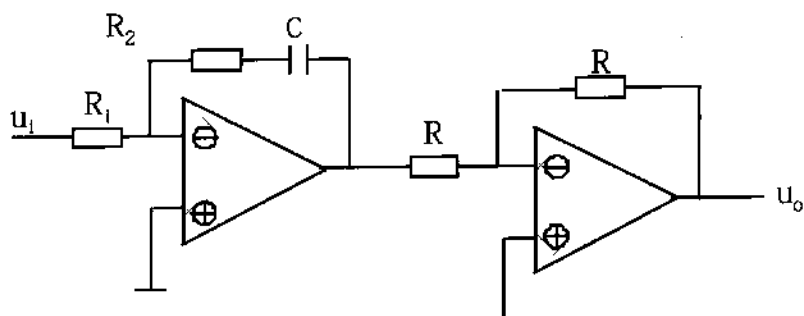


图 1-7 滞后网络

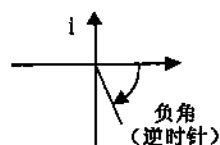


图 1-8 相角图

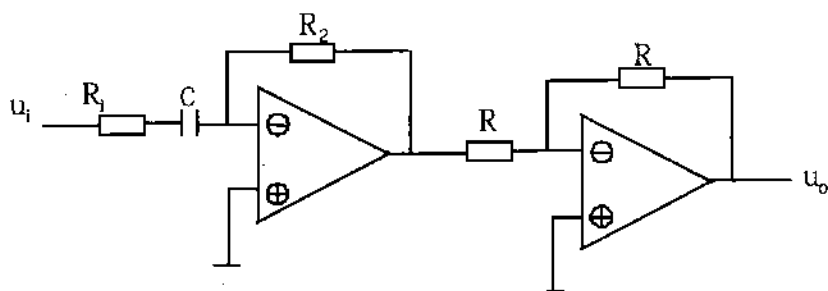


图 1-9 超前网络

$$\frac{\dot{U}_o(j\omega)}{\dot{U}_i(j\omega)} = \frac{R_2(R_1 + j\frac{1}{\omega C})}{R_1^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$$

在第一象限，为超前环节（图 1-10）。

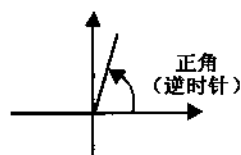


图 1-10 相角图

3. 一阶低通滤波电路与惯性环节

图 1-11 传递函数：

$$G(s) = \frac{u_o(s)}{u_i(s)} = \frac{R_f \frac{1}{sc}}{R_1 + \frac{R_f}{sc}} = -\frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_f}{1 + sC_f R_f}$$

$$= \frac{G_o}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$$

$G_o = -\frac{R_f}{R_1}$ 为零频增益。 $\omega_c = \frac{1}{R_f C_f}$ 为截止角频率。

从 $\frac{-R_f}{1 + C_f R_f s}$ 表达式看，这是一个惯性环节。

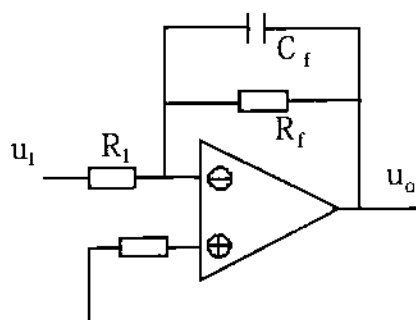


图 1-11 一阶低通滤波电路（惯性环节）

从 $\frac{G_o}{1+\frac{s}{w_c}}$ 表达式看, 这是一阶低通滤波环节

$$\Theta \frac{G_o}{1+\frac{s}{w_c}} \text{ 若用 } jw \text{ 代入, 则有 } \frac{G_o}{1+j\frac{w}{w_c}} = \frac{G_o}{\sqrt{1+(\frac{w}{w_c})^2}} \angle \text{tg}^{-1} \frac{w}{w_c}$$

分析幅频特性 $\frac{G_o}{\sqrt{1+(\frac{w}{w_c})^2}}$ 知。 $w \rightarrow \infty$, 幅值 $\rightarrow 0$ 。

因此这是一阶低通滤波环节。

4. 一阶高通滤波电路与带有惯性环节的微分电路

$$u_i = R_1 C \frac{du_c}{dt} + u_c \quad u_o = -cR \frac{du_i}{dt} \quad u_c = -\int \frac{u_o}{RC} dt$$

$$\therefore u_i = \frac{-R_1}{R} u_o - \int \frac{u_o}{RC} dt$$

$$\text{即: } \frac{u_o(s)}{u_i(s)} = -\frac{1}{\frac{R_1}{R} + \frac{1}{RCS}} = \frac{-R \cdot C \cdot S}{R_1 C \cdot S + 1} = \frac{G_o}{1 + \frac{W_c}{S}}$$

其中: $G_o = \frac{-R}{R_1}$ 为通带增益, $W_c = \frac{1}{R_1 C_1}$ 截止角频率。

从 $\frac{RC \cdot S}{R_1 C \cdot S + 1}$ 可看成带有惯性环节的微分环节。

从 $\frac{G_o}{1+\frac{W_c}{S}}$ 表达式看这是一阶高通滤波环节。

$$\Theta \frac{G_o}{1+\frac{W_c}{S}} \text{ 中 } S \text{ 用 } jw \text{ 代入则有 } \frac{G_o}{1-j\frac{W_c}{W}} = \frac{G_o}{\sqrt{1+(\frac{W_c}{W})^2}} \angle -\text{tg}^{-1} \frac{W_c}{W}$$

分析幅频特性, $\frac{G_o}{\sqrt{1+(\frac{W_c}{W})^2}}$ 知 $W \rightarrow \infty$, 幅值 $\rightarrow G_o$ 、 $W \rightarrow 0$ 、幅值 $\rightarrow 0$

因此它是一阶高通滤波单元。

通过这节的学习, 可以理解电路的结构是由元器件和接线方式所决定。电路的名称往往是根据电路在系统中作用特点来命名。这样就会出现相同的电路结构会有不同的电路名称, 在电子电路分析过程中要善于分析电路所起的作用。明确电路不同名称所要强调的物理意义, 保证电子电路的正确使用。例如: 比例、微分、积分、惯性电路侧重于分析电路的动态特征。超前、滞后环节侧重于分析单频率正弦信号作用下电路对信号相角位移所起的作用。滤波电路侧重分析多频率信号作用下的电路, 如何使有用频率信号通过, 抑制无用频率信号。因此, 正确理解电子电路的结构和名称, 对电子和电气控制的应用有着重要意义, 应通过分析加深理解。

二、电子电路应用中的注意事项

电子电路在应用中遇到的问题往往和一般书本的电路理论分析存有差异，这种差异有些是考虑各方面因素后存在着必然的结果。还有些是随机因素引发不确定现象。在工程应用上如何正确使用电子电路，如何用理论指导分析发生的现象，尽早采取措施，防患于未然，保证电子电路可靠工作也是很有实际意义的，下面介绍这方面相关的知识。

1. 电源与信号的问题

电子电路在使用上都必须外接直流电源，一般情况下模拟集成电路要求正负两种电源。若允许使用单电源，其输入输出特性跟双电源工作情况有一定的出入。例如，单电源工作的运算放大器，其无法放大交流信号，输入信号总是大于0。数字集成电路很少需要两种电源，一般只要正电源。电子电路的信号峰值一定要小于正负电源的数值。在电子电路设计和试验时一定要保证，先接通电源，再加入信号；先撤除信号再关掉电源。电子电路不用输入端一般不要悬空，尽量根据线路要求或逻辑关系进行连接，这也是有效的抗干扰措施之一。信号为0，一般是指电子电路输入端并接低阻（ $U_s=0$ ），而不是指信号开路。如图1-12所示。

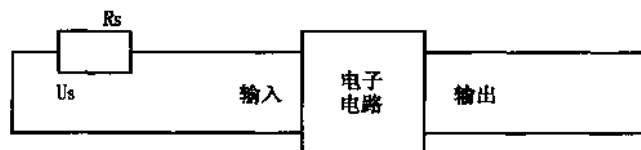


图 1-12 信号为 0 的相关电子电路的接法

2. 电子电路中的零电位和接地

电子电路的接地一般指保护接地和技术接地，保护接地是指供电系统预防金属外壳带有危险交流电压而进行低阻抗接地。技术接地是指保证电子电路正常所进行的接地。由于电子电路一般是控制功率元件组成的主回路。由于主回路各点电位不同。电子电路引入，稍有不慎会造成严重的后果。例如：双踪示波器的双踪探头，就无法直接检测不同电位的两种信号。电子电路中的零电位一般是指其所对应直流电源正、负端电位而言的，一个应用电子系统中可能需要多个直流电源，且互相间又是绝缘。因此，就有多个零电位，它们可分别采用 O_1 、 O_2 、 O_3 等标号予以区别。例如图1-13H桥逆变电路，就要使用三个独立相互绝缘的零电位控制电源，才能保证主电路的正常工作。

图1-14半桥零式逆变电路中，就要使用两个相互绝缘独立零电位的控制电源，才能确

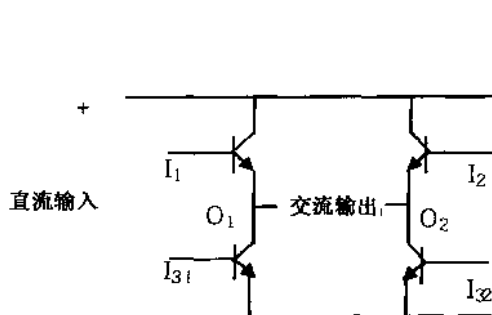


图 1-13 H 桥逆变电路

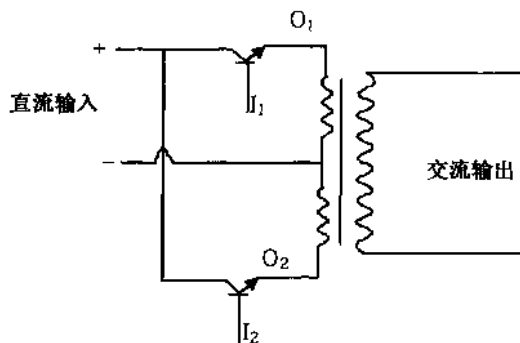


图 1-14 半桥零式逆变电路

保主电路正常工作。

3. 电子电路中的抗干扰

电子电路中的干扰既可来自系统内部，也可来自系统外部。一般防干扰措施有：合理设计印刷线路板和装置布局。加强电源去耦滤波，注意电路匹配，搞好屏蔽和接地，选择抗干扰能力强的器件。抗干扰主要难度在于干扰源的查找和干扰出现的随机性。因此，在工程应用上，在重要的电子应用场上，还是采用先例规则、经验防患等非理论做法，以确保重要系统的可靠工作。

一般情况下，电子装置采用铁壳比采用塑料外壳抗电磁干扰效果要好。但是，从安全用电角度出发，采用塑料外壳更好。因此，在工程实践中要综合考虑多种因素，分析利弊后，予以选择。

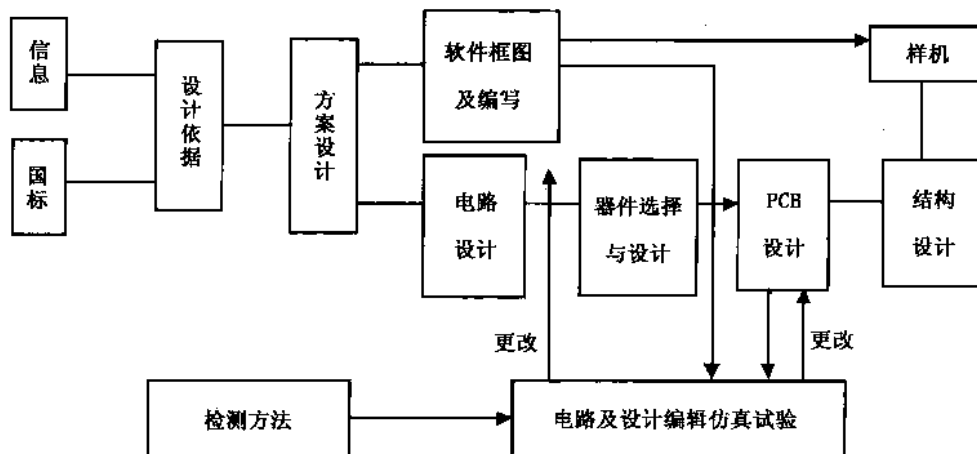
三、电子系统有代表性的三种设计方法

电子系统有以下三种代表性的设计方法：

(1) 功能-原理-结构，从抽象到具体的发散思维方法。先功能设计（方框图）、后原理设计（电气原理图应用软件）、结构设计（外观、机械结构工艺等问题）。

(2) 创造性设计学，在知识、手段和方法不充分条件下，运用创造技巧（仿真）。充分发挥想象进行辩证思维形成新的构思和设计。

(3) 经验，类比的设计方法过早进入具体方案，功能分析不充分，不系统，不强调创新，难得到最优方案。电子系统设计的流程：



在工程实际应用中，电气的控制应掌握以下的关键点：

- (1) 分析透彻控制对象是万事之首。
- (2) 合理精确的检测是保证质量的前提。
- (3) 选择匹配的动力源（液压，气动，电动）是工程性价关键。
- (4) 控制策略制定是研究的重点。
- (5) 调试，修改是必不可少的过程（试运行），要考虑诸多因素的影响（抗干扰，可靠性，非正常状态）。
- (6) 安全可靠长期运行和合理性价比是评价的重要内容。

第二章 PID 理论和应用

PID 控制理论源于可建立精确数学模型的确定性控制系统，在工程应用上因为许多受控对象大多可近似用一阶惯性加纯延迟环节（其传函表示为 $G(s) = K \cdot e^{-s} / TS + 1$ ）来表示，所以一方面在很宽的操作条件范围内，这种调节都能保持较好的稳定鲁棒性和动态品质鲁棒性。另一方面调整参数（ K_P 、 K_I 、 K_D ）较少，且各参数调节量对整个控制系统结果有定性的结论，例如： K_P 大可减少调节时间，减少静差，但是对稳定性不利； K_I 大，可消除静差，但是减少系统灵敏度，增加调节时间； K_D 大，加快系统动作速度，减小调节时间，但是对抗干扰效果不佳。因此，在工程应用 PID 控制策略被广泛应用。另一方面，随着现代控制理论（智能控制、自适应模糊控制和神经网络控制）、计算机技术应用发展和深入，PID 控制理论和技术也在不断完善和发展。对于不能建立数学模型的复杂对象（非线性、时变不确定）采用发展的 PID 理论和技术也能起到较好的控制效果，在冶金、机械、化工、农业应用的即时系统和生产过程系统都得到较好的应用。本章介绍 PID 控制的基本原理、电气线路、数字 PID 控制算法及其相关理论和技术。

一、PID 控制基本原理

任何一个闭环控制系统都可以用图 2-1 原理框图来表示。

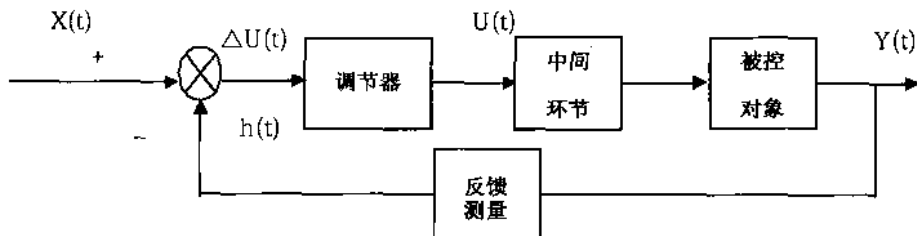


图 2-1 闭环控制系统框图

其中可设计调节器输出：

$$U(t) = K_P \Delta U(t) + K_I \int \Delta U(t) dt + K_D \frac{d\Delta U(t)}{dt} \quad (2-1)$$

这样调节器就称为 PID 调节器。

式中： K_P —比例系数

K_I —积分系数

K_D —微分系数

一般用模拟集成电路实现的 PID 电气线路如图 2-2 所示：



取拉氏变换得:

$$\frac{U_{\text{H}}(s)}{\Delta U(s)} = K_p + \frac{1}{R_1 C_1} \times \frac{1}{s} + R_2 C_2 s = K_p + K_I \frac{1}{s} + K_D s \quad (2-3)$$

在图 2-1 所示的系统中,一般中间环节可理解为小惯性环节 $\frac{K}{T_c S + 1}$, 反馈测量环节当

作比例器处理, 被控对象表示为: $\frac{K \cdot e^{-s}}{TS+1}$, 调节器可表示为: $K_p + K_i \frac{1}{S} + K_d S$, 因此整个闭环系统的开环传函可表示为:

$$G(S) = \frac{K_{\Sigma} e^{-\tau} \times (K_P + \frac{K_I}{S} + K_D S)}{(TS + 1)(T_e S + 1)} = \frac{K_{\Sigma} \cdot K_I e^{-\tau} (1 + \frac{K_P}{K_I} S + \frac{K_D}{K_I} S^2)}{S(TS + 1)(T_e S + 1)} \quad (2-4)$$

其中: $(1 + \frac{K_p}{K_I}S + \frac{K_p}{K_I}S^2)$ 可分解为: $(T_1S+1)(T_2S+1)$

两式有下列的关系:

$$\begin{cases} T_1 + T_2 = \frac{K_P}{K_I} \\ T_1 \cdot T_2 = \frac{K_D}{K_I} \end{cases} \text{一般工程上都会选择 } T_1 \text{ 约等 } T, T_2 \text{ 约等 } T_a,$$