

A detailed image of a Microchip PIC18F4450 microcontroller chip, showing its pin connections and the Microchip logo.

单片机

DANPIANJI
XITONG SHEJI JIANGZHICHU
YU KAIFA JISHU

系统设计、仿真 与开发技术

王春阳 主编

任敏 王燕 副主编



國防工業出版社

National Defense Industry Press

单片机系统设计、仿真 与开发技术

王春阳 主编
任敏 王燕 副主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从工程应用的角度详细介绍了单片机在开发应用系统的具体应用,分为设计篇、仿真篇、开发篇三大部分。即设计篇介绍了单片机最小系统的设计、单片机前道电路的设计、单片机人机交换界面电路设计、单片机后道电路的设计等内容。仿真篇介绍了基于伟福仿真器的单片机硬件仿真、基于 Keil 单片机软件仿真、基于 PROTEUS 单片机软件仿真。开发篇介绍了系统开发以及 10 个典型开发案例。

本书是作者多年教学和实际工作经验的总结和积累,书中所引实例都经过充分的仿真验证和实际应用,读者在学习时很容易掌握。本书的特色是从工程应用的眼光来看待单片机在系统中的应用,不拘泥用复杂的菜单和语言指令来困扰学生;内容选取和编排上充分体现“课堂结构模块化、教学手段一体化、组织教学项目化、培养能力综合化”特点。

本书结构清晰、语言通俗易懂,可作为高等职业技术学院、技工院校、广播电视大学电路设计与仿真类课程的教材及电子技术和单片机教学课程设计与实验教材,也可作为广大电子爱好者以及单片机系统开发者的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机系统设计、仿真与开发技术/王春阳主编. —北京:国防工业出版社,2012.5
ISBN 978-7-118-08018-6

I. ①单... II. ①王... III. ①单片微型计算机 - 系统设计②单片微型计算机 - 系统仿真 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 082965 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 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 246 千字

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

单片机控制技术作为一项新型的工程应用技术在自动控制领域有着十分广泛的应用,如大到汽车、航空、通信、工业自动化设备生产等领域,小到许多电子产品之中,如鼠标、遥控器、洗衣机、空调等。并随着单片机结构发展与开发手段的完善,单片机系统会向更广领域、更高层次、更大规模方向发展。

单片机控制技术发展与应用至今,它不再只是少数工程技术人员“专利”了,它应成为广大自动控制领域中从业人员的必备知识和技能。因此,从提升从业人员岗位职业能力和工程应用角度来看,在高等职业技术学院、技工院校,电子爱好者以及企业单片机系统开发者中培养高素质、高技能的单片机应用系统设计开发人才是一项刻不容缓的事情。

单片机应用系统设计与开发并不是用传统的外围电子元器件与微处理器的简单结合,而是一种通过综合考虑后的重新设计,体现了前道信号采集电路、后道执行电路、人机交换界面与微处理器一体化系统设计开发的思想。要进行不同领域的单片机系统的设计开发与实践,仅有单片机方面的基础知识,如结构和指令是不够的。设计开发者除需掌握单片机及检测、控制通道硬件组成的结构特点以及针对具体应用对象特点的软件设计方法外,还需熟悉硬件接口电路、传感器和执行机构的具体应用特点以及掌握先进的开发和仿真工具等。

参与编写本书的作者都是多年工作在职业教育、科研、生产技术开发的一线人员,本书从工程应用的眼光来看待单片机在系统中的应用,不拘泥用复杂的菜单和语言指令来困扰学生,对于单片机的结构、基本原理与指令不作详细介绍。在内容选择上努力做到够用、实用、新颖。

全书分为设计篇、仿真篇、开发篇三大部分。设计篇介绍了单片机最小系统的设计、单片机前道电路的设计、单片机人机交换界面电路设计、单片机后道电路的设计等内容。仿真篇介绍了基于伟福仿真器的单片机硬件仿真、基于 Keil 单片机软件仿真、基于 PROTEUS 单片机软件仿真等内容。开发篇介绍了系统开发以及 10 个典型开发案例。

本书结构清晰、语言通俗易懂,可作为高等职业技术学院、技工院校、广播电视大学电路设计与仿真类课程的教材及电子技术和单片机教学课程设计与实验教材,也可作为广

大电子爱好者以及单片机系统开发者的自学用书。

本书由王春阳、任敏、王燕编写,王春阳任主编并统稿。

由于单片机应用系统设计开发技术知识面广,而作者水平有限,错误之处在所难免,望读者不吝赐教。

编者

2012 年

目 录

【设计篇】

第1章 基于单片机最小系统的设计	2
1.1 电源	2
1.1.1 线性稳压供电电源	2
1.1.2 DC/DC 供电电源	5
1.1.3 AC/DC 供电技术	6
1.1.4 基准电源的产生方法	6
1.2 时钟电路	8
1.2.1 外部时钟接法	8
1.2.2 内部时钟接法	9
1.3 复位电路	10
1.3.1 基本复位电路的设计	10
1.3.2 看门狗型复位电路的设计	11
1.3.3 ARM 单片机的复位电路设计	12
1.4 输入/输出接口电路	12
1.4.1 输入/输出接口的作用	12
1.4.2 端口功能	13
1.5 片内、片外 ROM 选择设计	16
1.6 第二功能引脚的使用方法	16
第2章 单片机前道电路的设计	17
2.1 数字量输入接口设计	17
2.1.1 光电耦合隔离器	17
2.1.2 数字量输入通道	17
2.2 模拟量输入接口技术	19
2.2.1 基本概念	19
2.2.2 常用的传感器(变换器)及选择	20
2.2.3 A/D 转换器的选择	26

第3章 单片机人机交换界面电路设计	31
3.1 键盘及其接口	31
3.1.1 独立式键盘接口	31
3.1.2 行列式键盘	31
3.2 显示器接口	35
3.2.1 LED 显示器接口	35
3.2.2 液晶显示器接口	37
3.2.3 典型键盘/显示器接口实例	41
3.3 拨码盘及语音接口	44
3.3.1 拨码盘接口及应用实例	44
3.3.2 ISD1420 语音接口芯片及其应用	47
第4章 单片机后道电路的设计	50
4.1 概述	50
4.1.1 输出通道及其特点	50
4.1.2 输出通道的基本结构	50
4.1.3 输出应解决的问题	51
4.2 单片机的功率接口电路设计	51
4.2.1 单片机外围集成数字驱动电路	51
4.2.2 MCS-51 的开关型功率接口	52
4.3 输出通道中的 D/A 电路设计	57
4.3.1 D/A 转换器的选择要点	57
4.3.2 D/A 转换器接设计的几点实用技术	57
4.4 执行器类型	58
4.5 应用举例	59

【仿真篇】

第5章 基于伟福仿真器的单片机硬件仿真	64
5.1 常用仿真头介绍	64
5.1.1 POD8X5XP 仿真头	64
5.1.2 PODH8X5X / PODH591 仿真头	65
5.2 伟福仿真器与 PC 的连接及相关注意事项	66
5.3 WAVE6000 软件的安装	67
5.4 编译器安装	68
5.5 伟福仿真系统的开发环境	68

5.5.1	仿真器的设置	69
5.5.2	文件的操作	70
5.5.3	编辑操作	70
5.5.4	搜索操作	71
5.5.5	项目操作	71
5.5.6	执行操作	71
5.5.7	窗口的观察	72
5.5.8	对外设的操作	75
5.6	仿真器的使用方法	76
5.7	快速入门举例	77
第 6 章	基于 Keil 单片机软件仿真	82
6.1	仿真器设备连接	82
6.2	使用仿真器软件——Keil 调试	82
6.2.1	安装 Keil 软件	82
6.2.2	编写源程序代码	83
6.2.3	编译源程序	83
6.2.4	参数设置	83
6.2.5	调试程序	84
第 7 章	基于 PROTEUS 单片机软件仿真	85
7.1	启动 PROTEUS 单片机软件的原理图设计工具	85
7.2	选择设计文档模板	85
7.3	选取与摆放元件	87
7.4	改变元件摆放方向	89
7.5	摆放电源与接地终端	90
7.6	布线	90
7.7	输入电源电压值	91
7.8	添加编译的目标文件	93
7.9	启动仿真	94

【开发篇】

第 8 章	系统开发概述	96
8.1	公司单片机系统开发一般流程	96
8.2	可行性论证	96
8.3	系统硬件设计原则	96

8.4	系统软件设计特点	97
8.5	可靠性设计	97
第9章	开发案例	99
9.1	电子琴	99
9.1.1	硬件设计	99
9.1.2	程序设计	99
9.1.3	调试与仿真	104
9.2	汽车转弯信号灯模拟设计	105
9.2.1	硬件设计	105
9.2.2	程序设计	106
9.2.3	调试与仿真	110
9.3	数字钟设计	110
9.3.1	硬件设计	110
9.3.2	程序设计	111
9.3.3	调试与仿真	116
9.4	计算器设计	117
9.4.1	硬件设计	117
9.4.2	程序设计	118
9.4.3	调试与仿真	125
9.5	电子密码锁设计	125
9.5.1	硬件设计	125
9.5.2	程序设计	126
9.5.3	调试与仿真	132
9.6	驱动直流电动机的设计	132
9.6.1	硬件设计	132
9.6.2	程序设计	133
9.6.3	调试与仿真	135
9.7	驱动步进电动机的设计	136
9.7.1	硬件设计	136
9.7.2	程序设计	137
9.7.3	调试与仿真	139
9.8	单片机间的多机通信的设计	139
9.8.1	硬件设计	139
9.8.2	程序设计	140

9.8.3	调试与仿真	146
9.9	水温控制系统的设计	147
9.9.1	硬件设计	147
9.9.2	程序设计	148
9.9.3	调试与仿真	155
9.10	水温 24 × 24 点阵 LED 汉字显示的设计	156
9.10.1	硬件设计	156
9.10.2	程序设计	157
9.10.3	调试与仿真	165

设计篇

第1章 基于单片机最小系统的设计

第2章 单片机前道电路的设计

第3章 单片机人机交换界面电路设计

第4章 单片机后道电路的设计

第 1 章 基于单片机最小系统的设计

1.1 电 源

单片机系统电源设计是单片机应用系统设计中的一项重要工作，电源的精度和可靠性等各项指标，直接影响系统的整体性能。

单片机系统的数字和模拟两部分电路对电源的要求有所不同。

(1) 数字部分：以脉冲方式工作，电源功率的脉冲性较为突出，如发光二极管(LED)显示器的动态扫描会引起电源脉动。因此，为数字部分供电要考虑有足够的余量，大系统按实际功率消耗的 1.5 倍~2 倍设计，小系统按实际功率消耗的 2 倍~3 倍设计。此外，有时还需要多路电源或直流/直流(DC/DC)供电。

(2) 模拟部分：对电源的要求不同于数字部分，模拟放大电路和模拟/数字(A/D)电路对电源电压的精度、稳定性和纹波系数要求很高，如果供电电压的纹波较大，回路中存在脉冲干扰，将直接影响放大后信号的质量和 A/D 转换精度。一些模拟电路的偏置电压和基准电压也需要有很高的精度和稳定性。

有些场合需要隔离电源，将信号传输通路完全隔离，以提高系统的安全性和抗干扰性能。例如，光电耦合器输入输出电路的供电，模拟信号隔离放大器输入输出电路的电源。

如果模拟和数字部分使用同一个电源，会使数字部分产生的高频有害噪声耦合到模拟部分。因此，在模拟电路和数字电路混合的单片机系统中，需要注意考虑两种电路独立供电。

1.1.1 线性稳压供电电源

线性稳压电源是指调整管工作在线性状态下的直流稳压电源。线性稳压电源是较早使用的一类直流稳压电源。线性稳压电源由调整管、参考电压、取样电路、误差放大电路等几个基本部分组成，有些还包含保护电路、启动电路等部分。

图 1-1 是一个比较简单的线性稳压电源原理图(图 1-1 中省略了滤波电容等元件)，取样电阻通过取样输出电压，并与参考电压比较，比较结果由误差放大电路放大后，控制调整管的导通程度，使输出电压保持稳定。优点是反应速度快，输出纹波较小，工作产生的噪声低；缺点是输出电压比输入电压低，效率较低，负载大时发热量大，间接地给系统增加热噪声。

常用的线性集成稳压器大致可以分为 3 类：三端固定输出集成稳压器、三端可调集成稳压器和低压差线性集成稳压器。

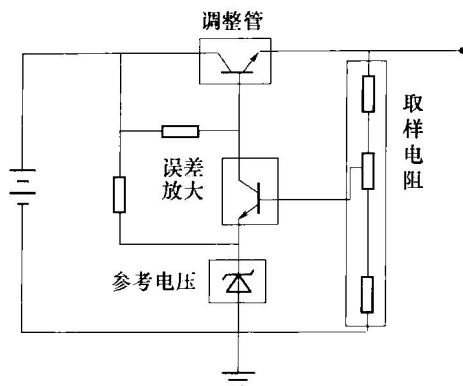


图 1-1 线性稳压电源原理图

1. 三端固定输出集成稳压器

三端固定输出集成稳压器是一种串联调整式稳压器，它将调整、输出和反馈取样等电路集成在一起形成单一元件，只有输入、输出和公共接地 3 个引出端，通过外接少量元器件即可实现稳压，使用非常方便，故称为三端固定输出集成稳压器。典型产品有 78xx 正电压输出系列和 79xx 负电压输出系列。其封装及外形如图 1-2 所示。正负输出型的引脚排列不同。78xx 系列为 1 脚输入，2 脚接地，3 脚输出；79xx 系列为 1 脚接地，2 脚输入，3 脚输出。

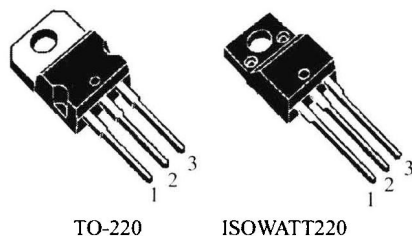


图 1-2 78xx 和 79xx 电压输出系列封装及外形图

输出电压有 5、6、9、12、15、18 V 和 24 V 等多种，如 7805、7905、7815 和 7915 等。

78xx(79xx)系列的输出电流为 1 A；78Mxx(79Mxx)系列输出电流为 0.5 A；78Lxx(79Lxx)系列输出电流为 0.1 A。

78xx(79xx)系列属于线性稳压器，要求输入电压比输出电压高出 2 V~3 V，否则就不能正常工作。

78xx(79xx)系列稳压器的优点是使用方便，不需作任何调整，外围电路简单，工作安全可靠，适合制作通用型、标称输出的稳压电源。其缺点是输出电压不能调整，不能直接输出非标称值电压，与一些精密稳压电源相比，其电压稳定度还不够高。

图 1-3 所示为采用三端稳压器设计的单片机系统电源电路，可以提供+5V 的数字电路电源和±15V 的模拟电路电源，注意二者的“地”电位不同，在印制电路板(PCB)电路设计中应遵循单点接地的原则。

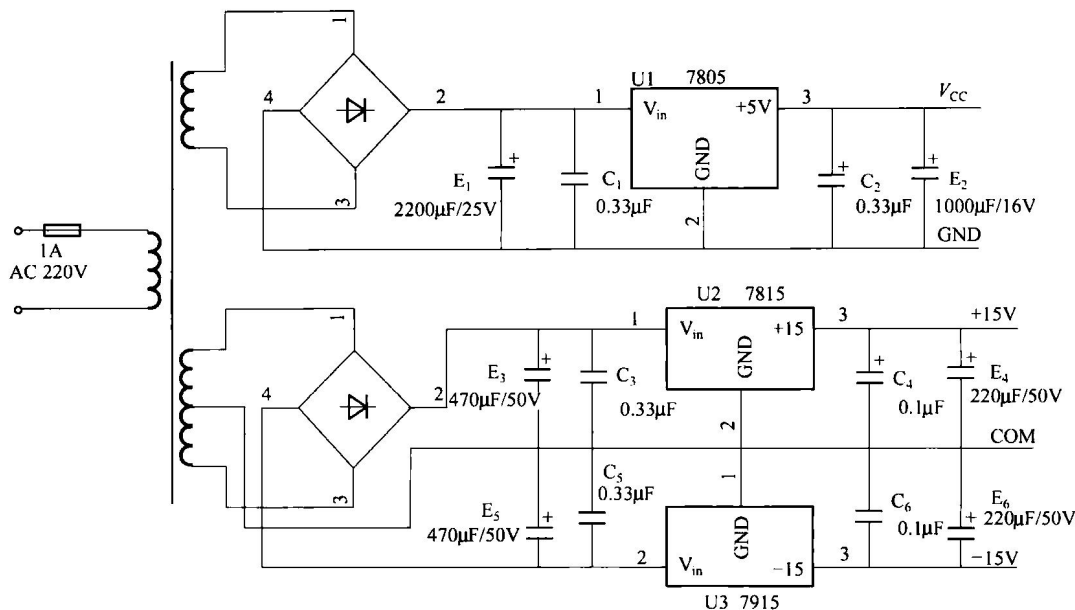


图 1-3 采用三端稳压器设计的单片机系统电源电路

2. 三端可调集成稳压器

78xx(79xx)系列是固定电压输出型，还有一类三端可调集成稳压器是输出可调型，如 LM317 和 LM337。LM317 是正电压输出，其输出电压范围为 1.2V~37V；LM337 是负电压输出，其输出电压范围为 -1.2~-37V。

三端可调集成稳压器输出电流能力根据系列不同可以从 0.1A~5A。例如：LM317L 为 0.1A；LM317H 为 0.5A；LM317 为 1.5A；LM318 为 5A(电压为 1.2V~32V)。

负电压系列与此类似。

三端可调集成稳压器正负电压输出型的引脚排列不同。LM317(正输出型)为 1 脚调整，2 脚输出，3 脚输入；LM337(负输出型)为 1 脚调整，2 脚输入，3 脚输出。

三端可调集成稳压器的外形(TO-220)和应用电路如图 1-4 所示。图 1-4 中的滤波电容最好采用钽电容，如果采用电解电容可选 10μF~1000μF。

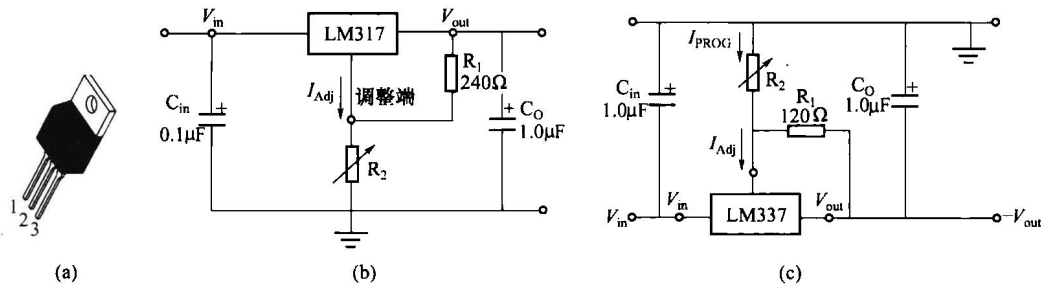


图 1-4 三端可调集成稳压器的外形(TO-220)和应用电路

(a) 外形；(b) LM317 应用电路；(c) LM337 应用电路。

该电路的输出电压与输入电压的关系为

$$V_{\text{out}} = \pm 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{Adj}} R_2$$

3. 低压差线性稳压器

三端集成稳压器输入/输出电压差在 2V~3V, 有的要达到 4V 以上。

有时系统中的输入电压、转换效率、散热条件等难以满足压差要求, 如电池供电系统利用 3.6V 产生 3V 的电压, 压差只有 0.6V, 且转换效率也要求很高, 显然前述三端稳压器难以满足。

低压差线性稳压器(Low Dropout Regulator, LDO)在逐步取代传统的线性稳压器。

优点是输出噪声低, 纹波系数小, 电源电压影响小, 负载变化时输出电压相应变化速度快; 外部元件少(一般是输入/输出端各有 1 个~2 个电容器); 尺寸小; 在输出电流较小时, LDO 的成本只有开关电源成本的几分之一。

缺点是效率相对较低, 会随着输出电压的降低而降低。例如, 某款 LDO 稳压器, 在输入电压为 3.6V, 输出电压为 3V 时效率为 83%, 而当输出电压差低到 1.6V 时, 效率降低为 43%。此外, LDO 只能用于降压场合。

LDO 的种类较多, 如 LP3871 系列芯片是超低压差线性稳压器, 输入范围为 2.5V~7V, 输出电压规格有 5.0V、3.3V、2.5V 和 1.8V。在 0.8A 满载输出时压差为 0.24V, 在输出电流为 80mA 时压差只有 24mV。具有关断和故障输出功能, 关断后静态电流只有 10nA, 便于系统内部电源管理。其封装和应用电路如图 1-5 所示。

$\overline{\text{SD}}$ 是关断引脚, 不使用时需要接到 V_{in} 。

$\overline{\text{ERR}}$ 引脚在输出电压低于正常值 10% 时输出低电平。

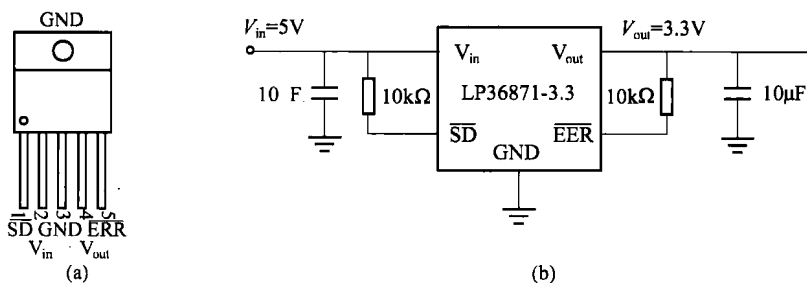


图 1-5 LDO 的外形(TO220-5)和应用电路

(a) TO220-5 封装外形; (b) 应用电路。

1.1.2 DC/DC 供电电源

(1) DC/DC 模块是直流/直流转换器, 其功能是: 将直流电源电压转换为与之相同或不同的若干个直流电源电压, 以满足单片机系统对供电电源降压、升压及隔离的要求。

(2) 其工作原理是通过振荡电路和开关管把输入的直流电压转变为交流电压, 通过变压器变压之后, 再经过整流、滤波、稳压转换为直流电压输出, 如图 1-6 所示。

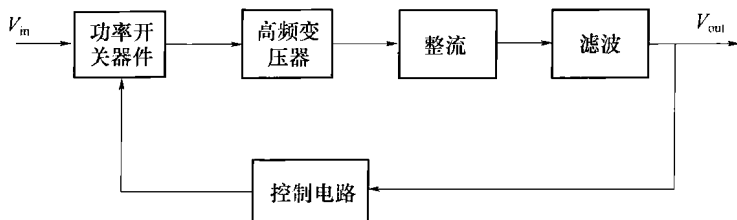


图 1-6 DC/DC 供电电源工作原理框图

(3) 在一些小功率电路中可不采用高频变压器，而直接对功率开关器件输出的脉冲电压信号进行滤波。

(4) 从输入输出的关系而言，DC/DC 转换器有降压、升压及隔离 3 种形式的电路。

1.1.3 AC/DC 供电技术

随着电子设备体积不断缩小和质量不断减轻，从而要求供电电源也要小型化。近年来国际上著名的芯片厂家竞相推出各类单片集成转换芯片，已成为国际上开发中、小功率开关电源及电源模块的优选集成芯片。

采用单片集成转换芯片构成 AC/DC 开关电源日益增多，广泛应用于办公自动化设备、仪器仪表、无线通信设备及消费类电子产品中。

采用这类芯片可以实现直接的 AC/DC 变换，具有效率高、成本低的特点。下面以安森美(On Semiconductor)公司推出的 NCP101X 芯片为例，介绍 AC/DC 电源供电技术。AC/DC 直接电源变换的原理框图如图 1-7 所示。

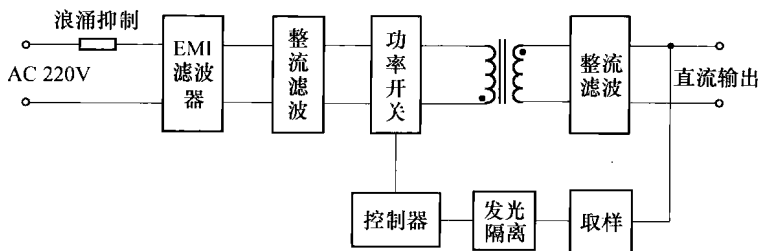


图 1-7 AC/DC 电源变换的原理框图

输入的交流 220 V 电压经过浪涌电压抑制和 EMI 滤波后，经过整流电路转换成高压直流电压，在控制器的控制下高压功率开关将直流电压变为高频脉冲电压信号，经过高频变压器并整流滤波稳压形成直流电压输出。当输入电压或外接负载变化时，取样电路检测到输出电压变化，经过反馈通道给控制器，经过脉宽调制(PWM)电路，再经过驱动电路控制功率开关管的占空比，从而达到稳定输出电压的目的。

1.1.4 基准电源的产生方法

单片机系统中的模拟放大和 A/D 转换等电路需要高精度、高稳定性的供电电源和参

考电压源。基准电源是一种可以产生高精度、高稳定性电压的器件或电路，它产生的电压给特定部件作为参考电压使用。

基准电源使用广泛，其精度和可靠性直接决定着系统的精度和可靠性。常用的基准电源按基本组成可分为稳压管基准电压源电路和集成块基准电压源电路两大类。

1. 稳压管基准电压源电路

稳压管基准电压源电路如图 1-8 所示。其中 VD_z 是稳压管， R 是限流电阻， V_i 是输入直流电压。 V_o 为输出电压，等于稳压管两端的电压 V_z ，即为基准电压。

稳压管的电流调节作用是这种稳压电路能够稳压的关键，即利用稳压管端电压 V_z 的微小变化，引起电流 I_z 较大的变化，通过电阻 R 起着电压调节作用，保证输出电压基本恒定。

由于稳压管和负载电阻是并联的，故这种电路也叫并联式稳压电路。

2. 集成块基准电压源电路

常用的精密集成稳压电路有 TL431、MAX6035、ICL8069、AD584 等芯片。在这里只介绍 TL431 芯片。

(1) TL431 系列芯片是有良好的热稳定性能的三端可调分流基准源。它的输出电压用两个电阻就可以任意地设置或从 $V_i(2.5\text{V})$ 到 36V 范围内的任何值。

(2) TL431 的内部结构框图如图 1-9 所示。 V_i 是一个内部的 2.5V 基准源，接在运放的反相输入端。由运放的特性可知，只有当 REF 端(同相端)的电压非常接近 $V_i(2.5\text{V})$ 时，三极管中才会有一个稳定的非饱和电流通过，而且随着 REF 端电压的微小变化，通过三极管的电流将从 $1\text{mA} \sim 100\text{mA}$ 变化。

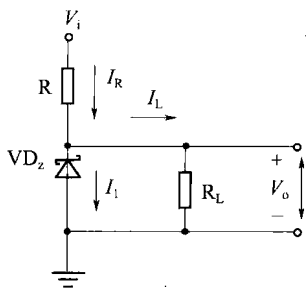


图 1-8 稳压管基准电压源电路

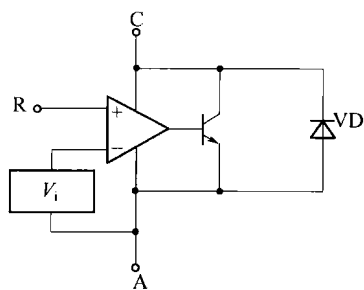


图 1-9 TL431 的内部结构框图

(3) 图 1-10 所示为 TL431 器件的符号及引脚图，3 个引脚分别为阴极 C(CATHODE)；阳极 A(ANODE)；参考端 R(REF)。

由 TL431 构成的 5V 稳压器的典型应用电路如图 1-11 所示。 R_0 取 $1.5\text{k}\Omega$ ， R_1 、 R_2 分别取 $10\text{k}\Omega$ ，输入电压 V_i 为 $12\text{V} \sim 24\text{V}$ 时，输出电压均为 5V ，因此，此种稳压器的精度很高。但是当在 C、A 端并接负载电阻时，电阻值应大于 $2\text{k}\Omega$ ，否则不能正常输出。

图 1-12 是 TL431 应用电路。用 TL431 制成的高精度稳压直流电源的纹波很小，精度较高，可以给高精密仪器供电。