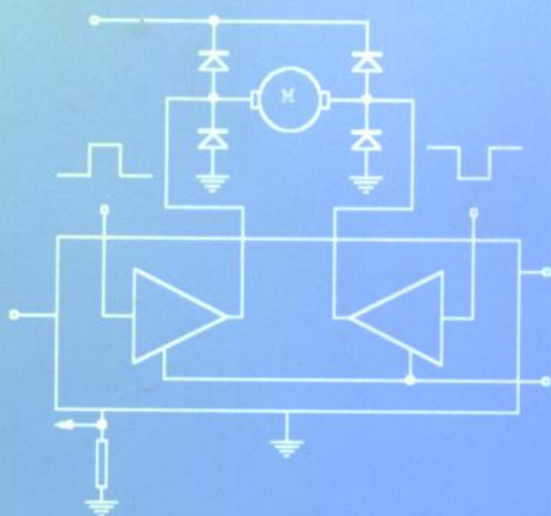
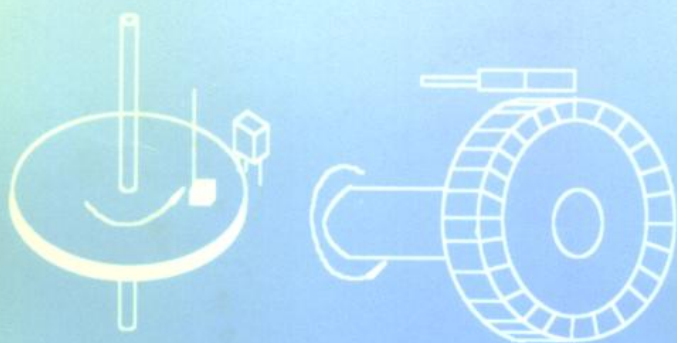


机械电子学

张立勋 王立权 杨 勇 编著



哈尔滨工程大学出版社

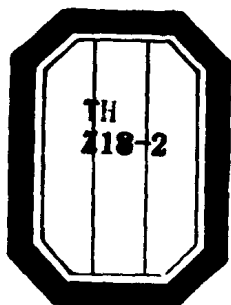
453262

TH
Z18-2

机电一体化系列

机械电子学

张立勋 王立权 杨勇 编著
张今瑜 主审



00453262

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

“机械电子学”是机电一体化技术的重要基础。本书共分六章,包括:常用集成稳压电源及抗干扰设计、基本电路、信号调理电路、调节器和滤波器电路、直流电动机的驱动与控制、步进电机的驱动与控制。

本书可作为高校机械电子工程专业的教材,也可供有关科技人员阅读参考。

机械电子学

JIXIE DIANZI XUE

张立勋 王力权 杨 勇 编著

责任编辑 宋旭东

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通街145号 哈工程大学11号楼

发行部电话(0451)2519328 邮编:150001

新 华 书 店 经 销

哈 尔 滨 工 业 大 学 印 刷 厂 印 刷

*

开本 850mm×1 168mm 1/32 印张 5.75 字数 143 千字

1999年2月第1版 1999年2月第1次印刷

印数:1~2 000册

ISBN 7-81007-926-3

TP·85 定价:6.80元

前 言

随着电子技术和大规模、超大规模集成芯片技术的发展,电子技术和微型机技术的应用日益广泛。这些技术逐渐渗透到机械工程技术领域中,使机械产品向着机电一体化的方向发展。把机械技术与电子技术有机结合,设计新型的机电产品是机械工程技术的主要发展方向。机械电子学是机械技术与电子技术有机结合的产物。机电一体化技术在我国越来越受到广大科技工作者的重视,而“机械电子学”是机电一体化技术的重要基础。为适应我国机电一体化这一学科的发展,我们编写了这本书,它可以作为机械电子工程专业的教材,也可以作为有关工程技术人员的参考资料。

全书共分六章,第一章介绍了由集成稳压芯片构成的直流稳压电源电路的工作原理及设计方法。第二章介绍了集成运算放大器、比较器的工作原理及由它们构成的基本应用电路。第三章介绍了实现传感器及控制对象与计算机之间接口的信号调理电路。第四章介绍了由运算放大器构成的滤波器电路及常用调节器电路。第五章介绍了由集成芯片构成的直流力矩电机驱动及控制电路。第六章介绍了步进电机控制电路。

本书的第三章由杨勇编写,第四章、第五章、第六章由王立权编写,其它章节由张立勋编写,并负责全书的统稿。路敦民参加了本书的编写工作并负责图表的制做工作。全书由张今瑜教授主审。本书在编写过程中得到了孟庆鑫教授、赵树鹏教授、吴兴臣副教授的指导与帮助,在此表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1998 年 7 月

目录

1	常用集成稳压电源及抗干扰设计	1
1.1	集成稳压器的基本工作原理及主要参数	1
1.2	常用直流稳压集成电路	7
1.3	地线系统和电源抗干扰技术	19
2	基本电路	29
2.1	线性放大器电路	29
2.2	模拟电压比较器	44
2.3	绝对值检测电路	57
2.4	峰值保持电路	62
2.5	电压-电流变换器	66
3	信号调理电路	69
3.1	开关式信号调理电路	69
3.2	模拟式信号调理电路	80
3.3	隔离放大器	90
4	调节器和滤波器电路	96
4.1	PID 运算电路	96
4.2	有源滤波器电路	103
5	直流电动机的驱动与控制	120
5.1	直流电机的结构及工作原理	120
5.2	基本电路设计	122
5.3	直流电机控制实例	141
6	步进电机的驱动与控制	149
6.1	步进电机驱动的特点	149
6.2	步进电机的工作原理	150
6.3	步进电机主要技术性能指标	152

6.4 功率放大电路	155
6.5 环形分配器	164
6.6 L297 两相步进电机控制器	170
参考文献	175

1 常用集成稳压电源及抗干扰设计

计算机控制系统与接口电路的可靠性及控制精度是由多种因素决定的,其中供电电源的质量好坏对其影响很大。本章将主要介绍由集成稳压器构成的直流稳压电源的工作原理和设计方法,还将介绍电源的干扰来源及抗干扰设计方法。

1.1 集成稳压器的基本工作原理及主要参数

1.1.1 基本工作原理

直流稳压器一般可以认为是一个带有负反馈的放大器(见图 1.1)。若加于直流稳压器电源的纹波电压变化值为 ΔV_i , 输出

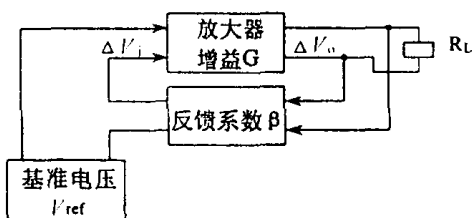


图 1.1 直流稳压器的等效电路

纹波电压变化值为 ΔV_o 。在基准源不变的情况下,由图 1.1 可得

$$G\Delta V_i = \Delta V_o + G\beta\Delta V_o. \quad (1.1)$$

式中 G ——为放大器的增益;

β ——为反馈系数。

由(1.1)式可得

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \frac{G}{1 + G\beta} \quad (1.2)$$

因 $G\beta \gg 1$, 由(1.2)式可知,当输入纹波电压变化 ΔV_i 时,输出电压变化值 ΔV_o 仅为 ΔV_i 值的 $1/\beta$ 倍。

直流稳压器的反馈单元由采样电路和比较电路组成(见图

1.2)。图中非稳定直流电源通过调整电路与负载相接。当输入电压变动或负载变动等因素引起输出电压变化时,由采样电路将其变动部分取出,并与内部基准电压相比较,得到一个差值。差值信号经过放大器放大后控制调整电路对输出电压进行补偿,从而达到稳定输出电压的目的。

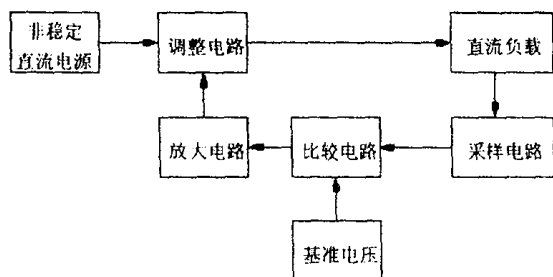


图 1.2 直流稳压器的基本原理

根据调整电路的工作状态及其与负载的连接方法,稳压器可以分为串联调整式,并联调整式和开关式三大类。

由于串联式稳压器具有电压调整率高、负载能力和纹波抑制能力强的特点,所以最符合电子设备的要求;又因其电路结构简单,便于集成,因此绝大部分集成稳压器都采用串联式结构。

1.1.2 极限参数

极限参数是反映集成稳压器所能承受的最大的安全工作的条件。一般是由生产厂家通过设计和制造给予保证的可靠性参数。

(1)最大输入电压 V_{imax}

集成稳压器最大输入电压,是指保证该器件能够安全工作的最大输入电压值。应用时,输入电压超过最大输入电压值会使该器件损坏。这个数值是由稳压器内部元器件击穿电压的高低和稳压器的最大功耗所决定的。

(2)最大输出电流 I_{omax}

集成稳压器的最大输出电流,是指该器件在安全工作的条件

下能够提供的最大输出电流。它受到调整管的最大允许功耗和最大允许电流的限制。

(3)最大耗散功率 P_{CM}

集成稳压器的耗散功率由两部分组成：一部分是稳压器内部电路工作时的静态功耗；另一部分是调整管送出电流时必需的压降所引起的功耗。在集成稳压器正常工作条件下，静态功耗较小。稳压器的最大耗散功率除了受稳压器的输入电压、输出电压和输出电流的限制外，还受到器件的散热特性和使用环境温度的影响。因此，在忽略了电路本身静态功耗后，集成稳压器调整管上的最大耗散功率可以表示为

$$P_{CM} = (V_i - V_o)I_o$$

根据器件安全工作的最高结温及环境温度的条件，可以得出最大功耗为

$$P_{CM} \leq \frac{T_{jM} - T_A}{R_{th}}$$

式中 T_A —— 工作的环境温度；

T_{jM} —— 允许的最高结温；

R_{th} —— 器件在规定散热条件下的热阻。

(4)最大瞬态功耗电量 P_{PM}

集成稳压器在瞬时所能承受的外加最大功率称为最大瞬态功耗。它反映了该器件工作在过渡过程中，可以承受的超出最大耗散功率的能力。

(5)最高结温 T_{jM}

根据半导体本体材料的温度特性，决定了半导体器件的最高结温。硅器件一般为 175°C 。但由于受到结温散热条件的限制，因此在集成稳压器内部电路的设计中采取了芯片过热保护措施来保证该器件不受损坏。

1.1.3 工作参数

工作参数反映了集成稳压器能够正常工作(“正常工作”是表示该器件能够达到所规定的输出精度)的范围和正常工作所必需的条件。

(1) 输出电压范围 $V_{\text{omin}} \sim V_{\text{omax}}$

对于固定输出的集成稳压器,输出电压值是由电路内部设定的,但由于设计和工艺上的偏差,往往造成实际输出电压值与设计值之间的偏差,本参数为用户提供了该器件正常工作的输出电压最小值到最大值的范围。

(2) 输出电流范围 $I_{\text{omin}} \sim I_{\text{omax}}$

对于任何一种集成稳压器,都必须具有一定的负载能力,同时该器件在其允许的输出电流范围内,都能达到正常工作的要求。

(3) 最小输入-输出电压差 $(V_i - V_o)_{\text{min}}$ 和最小输入电压 V_{imin}

对于任何一种集成稳压器,在它正常工作的情况下,调整管必须承受一定的压降,这就造成了输入与输出之间的差值。为了保证器件能达到正常工作的要求,必须提供最小的输入与输出电压差。当稳压器设定在固定的输出电压下工作时,用户可以根据最小的输入-输出电压差,确定最小的输入电压。

(4) 最大输入-输出电压差 $(V_i - V_o)_{\text{max}}$

集成稳压器在正常工作的前提下,最大输入-输出电压差也有一定的限制,这是由于受到调整管能够承受的电压特性和功率特性的限制。有些产品通过保护电路来限制最大输入-输出电压差。

(5) 最小输出电流(或泄放电流) I_{omin}

有些集成稳压器由于缺少泄放回路,因此为了保证集成稳压器能正常工作,通常在其输出端接有最小负载来提供泄放回路。

(6) 静态工作电流 I_d

集成稳压器内部电路在一定的工作电压下必有一定的工作电流,称为静态工作电流。通过恒流源的设计和应用,集成稳压器的静态电流可以不随或很少跟随输入输出电压的变化而变化。

1.1.4 集成稳压器的质量参数

集成稳压器的质量参数是反映器件基本特性的参数,它为用户提供了选择的依据。

(1) 电压调整率 S_v

该参数反映器件在输入电压变化时维持输出电压不变的能力。

$$S_v = \frac{\Delta V_o}{V_o \Delta V_i} \times 100\%$$

式中 V_o ——在固定输入电压 V_i 时,输出电压的测量值;

ΔV_o ——输入电压变化引起的输出电压的变化值;

ΔV_i ——输入电压变化值。

(2) 电流调整率 S_i

该参数反映器件在负载变化时维持输出电压不变的能力。

$$S_i = \frac{\Delta V_o}{V_o} \times 100\%$$

式中 V_o ——在固定的负载电流 I_o 下,规定的输出电压值;

ΔV_o ——在固定的负载电流 I_o 下,输出电压变化值。

(3) 纹波抑制比 S_{rip}

该参数反映器件对于输入端引入交流纹波电压的抑制能力。

$$S_{rip} = 20 \log \frac{V_{1P}}{V_{4P}}$$

式中 V_{ip} ——输入纹波电压峰-峰值;

V_{opp} ——输出纹波电压峰-峰值。

输入端纹波信号通常选用 50 Hz 或 100 Hz。

(4) 输出电压温度系数 S_T

它是指在集成稳压器所允许的工作温度范围内, 输入电压及输出电流保持不变时, 单位温度变化所引起的输出电压的相对变化。该参数反映器件输出电压随环境温度变化而变化的程度, 因此在测量时必须注意排除芯片本身的发热效应和外接元件特性随温度变化对被测器件输出电压的影响。输出电压温度变化系数为

$$S_T = \frac{V_o - V_{o1}}{V_o(T_2 - T_1)}$$

式中 V_o ——在规定的常温条件下, 固定输入电压所得到的输出电压值(或采用取样电阻调节到的规定值);

V_{o1} ——在较低的恒定温度 T_1 下测得的输出电压值;

V_{o2} ——在较高的恒定温度 T_2 下测得的输出电压值。

(5) 输出电压时漂(长期稳定性) S_t

它是指当输入电压和输出电流以及环境温度都保持不变时, 在规定时间内, 稳压器输出电压随时间的最大变化值。这一特性对于要求长期稳定工作的设备必须考虑。用在规定时间内测得的电压最大变化值表示

$$\Delta V_o = V_{omax} - V_o$$

式中 V_{omax} ——在规定时间内最大输出电压值;

V_o ——稳压器开始工作时的规定输出电压值。

(6) 输出噪声电压 V_N

它是指在规定的直流输入电压下, 所测得的稳压器输出端的噪声电压均方根。噪声电压频宽通常规定在 100 Hz ~ 10 kHz, 因此测试时所采用的带通滤波器频宽为 100 Hz ~ 10 kHz。

(7) 短路电流 I_{os}

它是在规定输入电压下, 稳压器输出端短路时的电流。该参

数给出了器件在瞬态短路时的输出电流,但瞬态短路的持续时间不得超过规定值。

(8)输出阻抗 Z_o 。

在规定的输入电压和输出电流条件下,输出端加上给定频率的交流电流源,然后测得的交流电压和交流电流之比为该器件的输出阻抗。该参数是反映器件在动态负载下的质量指标。对于外加的交流恒流源有一定的频率要求,一般可在 $1\text{kHz} \sim 10\text{kHz}$ 的范围内选择。

1.2 常用直流稳压集成电路

直流稳压集成电路芯片有很多种,本节将以其中最常用的三端型 78 系列固定型正输出稳压电路,79 系列固定型负输出稳压电路及输出电压可调型 317、337 系列集成稳压电路为例,介绍由这些集成芯片构成直流稳压电源的工作原理及其设计方法。

1.2.1 7800 系列固定型正电压输出稳压电路

7800 系列集成稳压块实现的功能是将一个未经稳压的直流电压变换为一个稳定的直流电压,其输入电压一般为 $(8 \sim 24)\text{V}$,输出稳压电压一般为 $(5 \sim 18)\text{V}$ 。常用的 7800 系列稳压块有小功率 78L00 系列、中功率 78M00 系列(7800 系列)及大功率 78H00、78P00 系列五种产品,输出电流分别为 100mA 、 500mA 、 1A 、 5A 、和 10A ,输出电压分别为 5V 、 6V 、 8V 、 10V 、 12V 、 15V 等固定电压。最小输入输出电压差为 2V 。其封装如图 1.3 所示。

(1)固定输出的一般应用

电路原理如图 1.4 所示。

在电路的输入端与公共地之间,加上经整流后的不稳定直流电压 V_i ,在输出端便能得到固定的输出电压 V_o 。为了改善纹波特性,在输入端加接电容 C_i ,一般 C_i 取值为 $0.33\mu\text{F}$,并紧接在稳压块的输入端;在输出端连接电容 C_o ,这样可以改善输出电压的

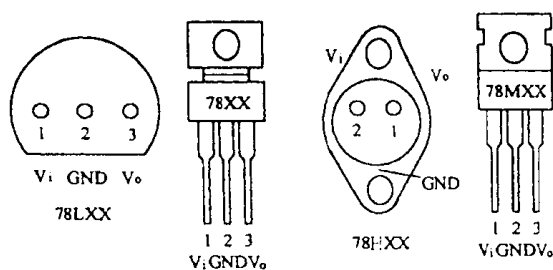


图 1.3 7800 系列封装及引脚功能

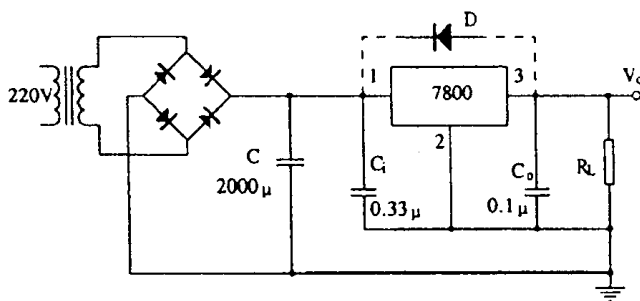


图 1.4 7800 系列稳压块的一般应用原理图

纹波特性,一般 C_o 选为 $0.1\mu\text{F}$ 。输入电压 V_i 的选择依据是

$$V_{i\max} > V_i > V_o + 2V \quad (1.3)$$

式中 $V_{i\max}$ ——稳压块允许的最大输入电压;

V_o ——稳压块的输出电压;

$2V$ ——稳压块输入与输出之间的最小压差。

在输入、输出之间外接二极管 D ,可以起到输出短路保护作用,防止输出短路时负载电容向 7800 放电。

(2) 提高输出电压应用

图 1.5 是采用稳压管 D_z 来提高输出电压 V_o ,此时输出电压 V_o 表示为

$$V_o = V_{o\text{固}} + V_z \quad (1.4)$$

式中 $V_{o\text{固}}$ ——选用稳压块产品的输出电压;

V_z ——外接稳压管的稳定电压。

电路中二极管 D 是输出保护二极管,一般处于截止状态,一旦输出电压低于 V_z 或输出对地短路时, D 将导通,将输出电流旁路,保护输出级不受损坏。

图 1.6 是采用电阻升压法来提高输出电压的电路原理图。因为 R_1 两端的电压稳定在稳压器固定输出电压 $V_{o\text{adj}}$, 在 R_1 上通过的电流为 $I_1 = \frac{V_{o\text{adj}}}{R_1}$, 而通过 R_2 上的电流为 I_2 , 此时 $I_2 = I_1 + I_d$, I_d 为电路的静态工作电流, 因此输出电压 V_o 为

$$\begin{aligned} V_o &= V_{o\text{adj}} + I_2 R_2 \\ &= V_{o\text{adj}} + (I_1 + I_d) R_2 \\ V_o &= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{o\text{adj}} + I_d R_2 \end{aligned} \quad (1.5)$$

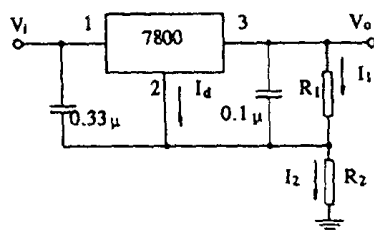
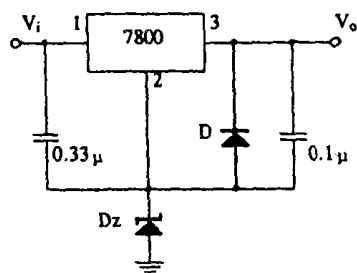


图 1.5 采用稳压管提高输出电压 图 1.6 采用电阻升压法提高输出电压
一般 I_d 为 5 mA, 在 R_2 取值较小时, 可以忽略 $I_d R_2$ 的影响, 所以

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{o\text{adj}} \quad (1.6)$$

(3) 扩大输出电流的应用

电路原理图如图 1.7 所示。在图 1.7 中, T_1 为外接扩流功率管, 它所能提供的输出电流为 I_{C1} , 而稳压器本身输出电流为 $I_{o\text{adj}}$, 则此电路输出电流为 $I_o = I_{C1} + I_{o\text{adj}}$ 。

T_2 和 R_2 组成限流保护电路, 当输出电流过大时, 由于 T_2 管

导通,使得 T_1 管输出电流减小,起到了保护功率管的作用。

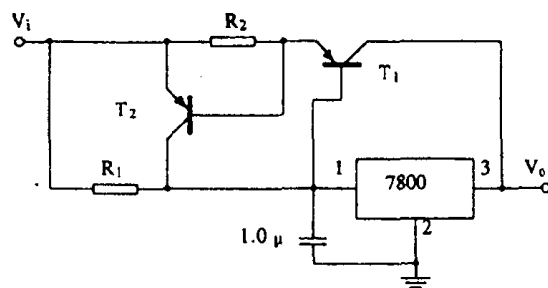


图 1.7 扩大输出电流应用原理图

(4) 提高输入电压的应用

对一般稳压器来说,最高输入电压 V_{imax} 要受到电路内部器件击穿电压的限制,因此 V_i 一般不能超过 V_{imax} 。在实际使用中,为了提高输入电压(超出 V_{imax} 范围),则可以采用

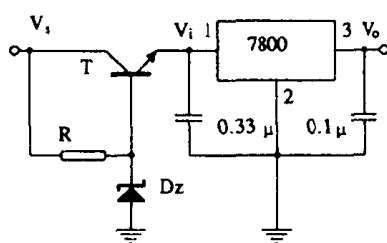


图 1.8 提高输入电压应用原理图

图 1.8 所示电路结构。在该电路中 $V_i = V_z + V_{be}$ 。

1.2.2 7900 系列固定型负电压输出稳压电路

与 7800 系列稳压块类似,7900 系列主要有 79L00 系列、79M00 系列和 7900 系列三种类型产品,其输入电压一般为 $(-8 \sim -24)$ V,输出电压为 $(-5 \sim -18)$ V,输出电流分别为 100 mA、500 mA、1 A。其封装及引脚功能如图 1.9 所示,随封装形式不同其引脚的功能也不同。

(1) 固定负输出的一般用法

对于 7900 系列产品,一般应用原理图类似于 7800 系列产品,如图

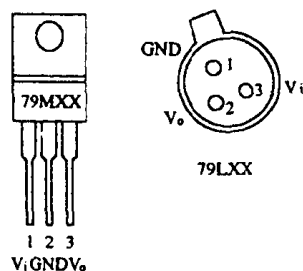


图 1.9 7900 系列稳压块封装及引脚功能

1.10 所示。对于输出、输入电容的选择,最好采用漏电流小的钽电容, C_i 为 $2.2\mu\text{F}$, C_o 为 $1\mu\text{F}$ 。当采用电解电容时,为了达到同等程度的抑制纹波效果,电容量要比钽电容增加 10 倍。

(2) 扩展输出电压的应用

图 1.11 是一种悬浮式扩展输出电压的结构原理图,通过选择 R_1 与 R_2 的值,就能得到所需要的输出电压值。当选择 R_2 使 $\frac{V_{\text{固}}}{R_2} > 3I_d$,

$$V_o = V_{\text{固}} \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (1.7)$$

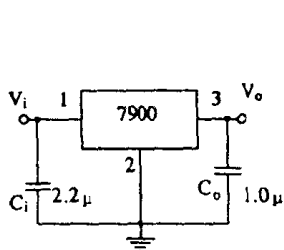


图 1.10 固定负输出的一般应用原理图

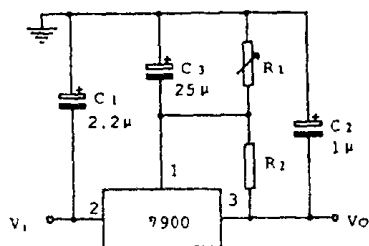


图 1.11 扩展输出电压应用原理图

式中 $V_{\text{固}}$ ——选用稳压器的固定输出电压；

I_d ——稳压器的静态工作电流。

(3) 扩展输出电流的应用

图 1.12 中,采用 T_1 来扩展输出电流,并有 T_2 管和 R_2 电阻组成限流保护电路。最大输出电流由 T_1 管的输出能力和限流控制电阻所决定。

(4) 正、负输出稳压器

图 1.13 是采用 7800 和 7900 组成的正、负电源原理图,在输出端接有保护二极管 D_1 和 D_2 。在正常情况下, D_1 和 D_2 均为截