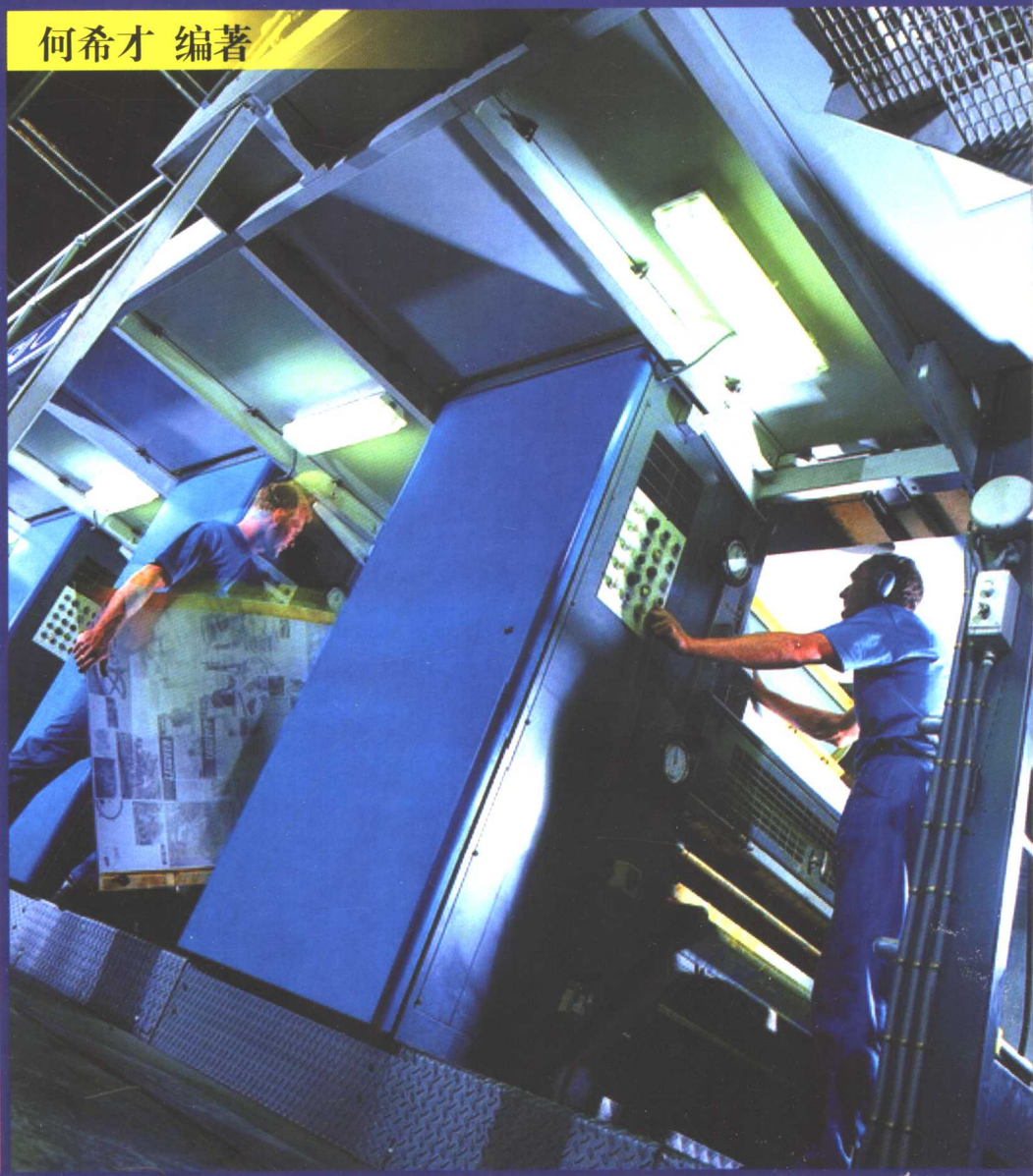


现代电源设计与应用丛书

稳压电源电路的 设计与应用

何希才 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

现代电源设计与应用丛

稳压电源电路的 设计与应用

何希才 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



内容提要

本书较全面地介绍了电子设备中常用稳压电源的基本原理、设计原则及应用实例,包括晶体管稳压电源、线性集成稳压器、开关电源基本构成及控制方式、开关电源主控元器件、开关电源设计基础及设计实例、软开关电源、开关集成稳压器和充电器电路等,内容丰富,实用性强。书中所提供的应用实例及电路,结构合理,设计新颖,性能优良。

本书主要供电源设计与应用的工程技术人员使用,也可以作为大中专院校电子类专业师生的教学参考书,对电子爱好者也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

稳压电源电路的设计与应用 / 何希才编著. —北京:中国电力出版社, 2006

(现代电源设计与应用丛书)

ISBN 7-5083-3662-3

I. 稳… II. 何… III. 稳压电源—电源电路 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 122288 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 B5 开本 22.25 印张 455 千字

印数 0001—4000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序 言



随着经济的发展和科技的进步，自上世纪 90 年代至今，我国以计算机、移动通信、信息网络为代表的信息产业高速发展；以电力系统、铁路系统、通信系统为代表的传统工业需要进行全面改造；节约型社会的建设工作正在进行。所有这些都成为中国电源产业和电源技术大发展的推动力。

目前世界排名前列的电源设计、制造企业的主体部分都设在中国，并在北京和上海等城市建有研发中心。中国企业已从原来简单的仿制向自主设计、研发转型，因此电源产品的研发设计人员需求猛增。而对于大部分的研发人员，设计与应用都是工作中的难点，本套丛书力图解决他们的难题。丛书由中国电源学会组织电源行业的专家、学者、工程技术人员共同编写，并不断吸纳符合要求的作者参加编写。丛书由中国电力出版社陆续出版。

本套丛书有如下特点：

1. **全面** 涵盖现代电源技术的各个方面。
2. **实例** 丛书在阐述设计思想、设计方法的同时，在应用部分辅以完整的设计实例，使读者在学习的基础上，根据实例就能做出相应的电源产品，这样就能解决他们的应用难题。
3. **先进** 涉及到最新电路拓扑、功率器件和控制集成电路，力争体现出国内电源设计与应用领域的最高技术水平。
4. **作者** 作者绝大部分是在研发一线工作多年，有丰富实践经验的专家、工程师，他们能带来最新的技术和对实际工作有指导意义的方案。

本套丛书以电源设计、研发的工程技术人员为主要读者对象，也可供科研人员和大专院校的师生参考。

现代电源技术和产品向高效率、低损耗、小型化、集成化、智能化、高可靠性方向不断发展，我们顺应发展组织了这套丛书，希望能对您的工作和学习有一定帮助。

我们衷心希望广大读者对这套丛书提出宝贵的意见和建议。我们的联系方式是 ding_zhao@cepp.com.cn。

《现代电源设计与应用》编委会

前 言



电源是各种电子设备的核心，电源系统出故障就会使整个电子设备不能正常工作，因此，电源系统质量的优劣和可靠性的 高低决定着整个电子设备的质量。另外，电子设计师设计电子产品都要考虑节能的问题，否则方案再好也不会通过，对于多数电子设备而言，节能的潜力主要在于电源系统，而各国正在加紧研究开发的新型开关电源正是节能的主要举措之一。实际中，电子设备的故障约 60% 来自电源系统，所以，电源越来越受到人们的重视，出现了一些新的电路理论、新的器件和新的电路方案。为此，我们根据科研与教学实践，并参考了国内外最新资料编写了此书，希望能为读者提供有益的帮助。

全书共 9 章。第 1 章晶体管稳压电源，介绍了稳压电源技术指标及组成，整流和滤波电路，稳压二极管稳压电路，晶体管稳压电路的设计及电路实例。第 2 章线性集成稳压器，内容包括三端固定式与可调式集成稳压器，低压降型集成稳压器，CMOS 系列稳压器与交流直接输入型稳压器等。第 3 章开关电源的基本构成与控制方式，主要内容有开关电源的技术指标，基本原理，基本电路及控制方式等。第 4 章开关电源主控元器件，这些元器件包括开关电源集成控制器，功率晶体管，功率 MOS 场效应晶体管，绝缘栅双极晶体管，高频整流二极管和磁性元件等。第 5 章开关电源设计基础，介绍了开关电源设计步骤，印制电路板图的设计，变压器与扼流圈的设计，整流平滑电路的设计，开关电源的噪声及抑制，电源的散热设计等。第 6 章开关电源设计实例，包括同步整流，高效率、隔直式、正向激励等直流 - 直流变换器设计实例，开关电源设计实例等。第 7 章软开关电源，主要介绍开关电源的损耗，软开关电源的基本电路，软开关电源设计实例，ZVS/ZCS 方式开关电源的设计等。第 8 章开关集成稳压器，内容包括降压型斩波式、升压型斩波式和反转型斩波式集成稳压器的应用，自激开关电源集成控制器，多用途回扫型集成稳压器的应用等。第 9 章充电器电路，介绍了充电电池的充放电特性，充电电路的设计与实例等。

在本书编写过程中，参考了何川、王桂琴、侯春明、何涛、王慧艳、侯莉、侯玉军、王英剑和徐茜等作者的资料，在此表示感谢。由于水平有限，书中会有不当之处，请读者批评指正。

编著者

目 录



序

前言

绪论	1
----------	---

第一章 晶体管稳压电源

5

第一节 稳压电源技术指标及组成	5
第二节 整流和滤波电路	8
第三节 稳压二极管稳压电路	15
第四节 晶体管稳压电路	17
第五节 晶体管稳压电路的设计	20
第六节 晶体管稳压电路实例	29

第二章 线性集成稳压器

34

第一节 概述	34
第二节 三端固定式集成稳压器	36
第三节 三端可调式集成稳压器	39
第四节 低压降型集成稳压器	43
第五节 CMOS 系列稳压器	58
第六节 交流直接输入型稳压器	64

第三章 开关电源的基本构成与控制方式

71

第一节 开关电源的技术指标	71
第二节 开关电源的基本原理	72
第三节 开关电源的基本电路	73
第四节 开关电源的控制方式	79

第四章 开关电源主控元器件

83

第一节 开关电源集成控制器	83
第二节 功率晶体管	91
第三节 功率 MOS 场效应晶体管	102
第四节 绝缘栅双极晶体管	118
第五节 高频整流二极管和可调并联稳压器	128
第六节 磁性元件	131

第五章 开关电源设计基础

136

第一节 开关电源设计步骤	136
第二节 印制电路板图的设计	137
第三节 变压器与扼流圈的设计	146
第四节 整流平滑电路的设计	150
第五节 开关电源的噪声及抑制	155
第六节 电源的散热设计	166

第六章 开关电源设计实例

170

第一节 同步整流直流-直流变换器设计实例	170
第二节 高效率直流-直流变换器设计实例	179
第三节 隔离型直流-直流变换器设计实例	193
第四节 正向激励直流-直流	

变换器设计实例	197	第二节 升压型斩波式集成	
第五节 恒功率开关电源设计		稳压器	286
实例	204	第三节 反转型斩波式集成	
第六节 开关稳压电源的典型		稳压器	293
电路	207	第四节 自激开关电源集成	
第七章 软开关电源	212	控制器	297
第一节 开关电源的损耗	212	第五节 多用途回扫式集成	
第二节 软开关电源的基本		稳压器的应用	298
电路	217	第九章 充电器电路	307
第三节 软开关电源设计		第一节 充电电池的充放电	
实例	224	特性	307
第四节 ZVS/ZCS 方式开关		第二节 充电电路的设计	320
电源的设计	254	第三节 集成控制器构成的	
第八章 开关集成稳压器	268	充电电路	325
第一节 降压型斩波式集成		第四节 简单实用的充电	
稳压器	268	电路	339
		参考文献	348

绪 论

任何电子设备都需要电源，电源的一次电能大致有两种，一种是由发电厂生产发送的，称为市电；另一种是由电池等提供的直流电。所谓电源就是利用电能变换技术将市电或电池等一次电能转换成适合各种用电对象的二次电能的系统或装置。电能变换技术大致有以下几种：

(1) 交流 - 交流 (AC - AC) 变换技术，这是基本的电压变换 (升压/降压)，它将交流输入直接变换为交流输出，其电路框图如图 0-1 (a) 所示，实际电路如图 0-1 (b) 所示。这种变换的频率不变，采用变压器，只是改变交流电压的大小。交流 - 交流变换关系为

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1 = N U_1 \quad (0-1)$$

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1 = \frac{I}{N} I_1 \quad (0-2)$$

$$Z_2 = \frac{N_2}{N_1} Z_1 \quad (0-3)$$

式中， $N = N_2/N_1$ 为匝比； Z_2 和 Z_1 分别为变压器 T1 的二次和一次阻抗。

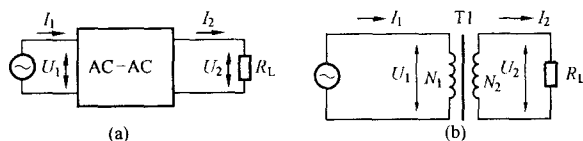


图 0-1 交流 - 交流变换技术

(a) 电路框图；(b) 实际电路

(2) 直流 - 直流 (DC - DC) 变换技术，这是将直流输入变换为直流输出的系统，也称为直流变压器。由于直流不能直接变换为直流，因此，实际上常采用直流 - 交流 - 直流的变换形式，即先要将直流变换为交流，再将交流变换为直流，其电路框图如图 0-2 (a) 所示，图 0-2 (b) 所示为降压方式的分压电路。其变换关系为

$$U_2 = \frac{R_2 R_L}{R_2 R_L + R_1 (R_2 + R_L)} U_1 \quad (0-4)$$

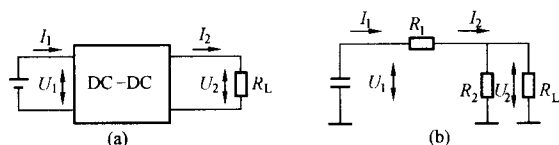


图 0-2 直流-直流变换技术

(a) 电路框图; (b) 分压电路

(3) 交流-直流 (AC-DC) 变换技术, 这是将交流电压变换为正或负输出的直流电压的电路, 也称为整流电路, 其电路框图如图 0-3 (a) 所示, 实际应用的整流电路如图 0-3 (b) 所示。

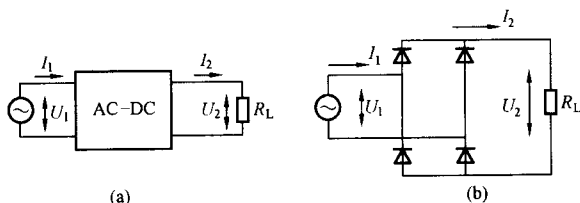


图 0-3 交流-直流变换技术

(a) 电路框图; (b) 整流电路

(4) 直流-交流 (DC-AC) 变换技术, 这是将直流电压变换为交流电压的电路, 实现这种功能的有逆变电路、斩波电路和充电泵电路等, 电路框图和逆变器电路如图 0-4 (a)、(b) 所示。

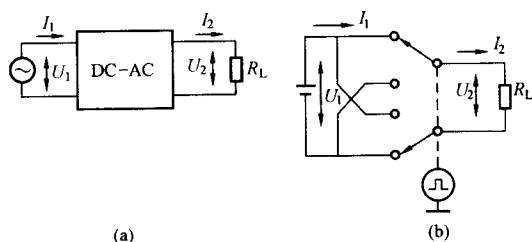


图 0-4 直流-交流变换技术

(a) 电路框图; (b) 逆变器电路

(5) 交流-直流-交流 (AC-DC-AC) 变换技术, 这是在交流-交流变换功能的中间接入直流电路的结构, 主要用于变频电路, 即将 50Hz 的交流市电变换为高频交流电源, 如交流电动机的转速控制、旋转编码器和变频空调的控制等, 其变换框图如图 0-5 所示。

(6) 直流-交流-直流 (DC-AC-DC) 变换技术, 这是在直流-直流变换功能的中间接入交流电路的结构, 多用于移动电话等电池供电的便携式电子设备

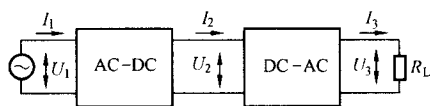


图 0-5 交流 - 直流 - 交流变换技术

中，其变换框图如图 0-6 所示。

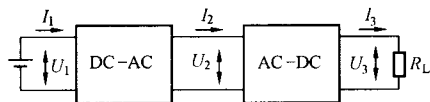


图 0-6 直流 - 交流 - 直流变换技术

(7) 交流 - 直流 - 交流 - 直流 (AC - DC - AC - DC) 变换技术，这是在交流 - 直流电压变换功能的中间接入直流 - 交流电路的结构，其变换框图如图 0-7 所示。目前，很多办公电子设备中的开关电源都采用这种变换方式。

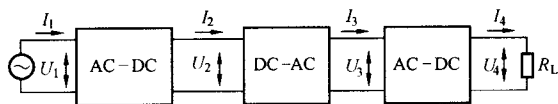


图 0-7 交流 - 直流 - 交流 - 直流变换技术

(8) 直流 - 交流 - 直流 - 交流 (DC - AC - DC - AC) 变换技术，这是在直流 - 交流 - 直流变换功能中增设放大器或反相器的电路结构，其变换框图如图 0-8 所示。目前，汽车的后备电源、高功率输出的音频设备电源和室外逆变器大都采用这种变换方式。

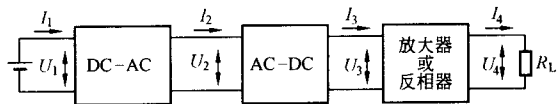


图 0-8 直流 - 交流 - 直流 - 交流变换技术

本书主要介绍交流 - 直流变换技术和交流 - 直流 - 交流 - 直流变换技术的应用，即整流电路和开关稳压电源。

现代电子设备使用的电源大致有线性稳压电源和开关稳压电源两大类。所谓线性稳压电源就是其调整管工作在线性放大区，这种稳压电源的最主要的缺点是变换效率低，一般只有 35% ~ 60% 左右。开关稳压电源的开关管工作在开关状态，其主要的优越性就是变换效率高，可高达 70% ~ 95%。目前，计算机、通信设备、雷达、电视及家用电器等现代电子设备中的稳压电源已基本采用了开关稳压电源，因此，本书的大部分篇幅将介绍这种稳压电源电路的设计与应用。

开关稳压电源的优越性还表现在以下几方面:

功耗小——由于开关管功耗小,不需要采用大散热器。而且,功耗小使得电子设备内温升也低,周围元器件不会因长期工作在高温环境下而损坏,有利于提高整个电子设备的可靠性和稳定性。

稳压范围宽——在开关稳压电源输入的交流电压在 150 ~ 250V 范围内变化时,都能达到很好的稳压效果,输出电压的变化在 2% 以下,而且在输入电压发生变化时,始终能保持稳压电路的高效率。因此,开关稳压电源能适用于市电电压波动比较大的地区。

体积小、重量轻——开关稳压电源可将市电输入的交流电压直接整流,再通过高频变压器获得各组不同交流电压,这样就可省去笨重的工频变压器,从而节省了大量的漆包线和硅钢片,使电源的体积大大缩小,重量减轻。

安全可靠——开关稳压电路一般都具有自动保护电路,当稳压电路、高压电路和负载等出现故障或短路时,能自动切断电源,保护功能灵敏可靠。

开关稳压电源的主要问题是电路比较复杂,输出电压的纹波较大,瞬态响应差等,因此,开关稳压电源的应用也受到一定限制。

第一章 晶体管稳压电源

第一节 稳压电源技术指标及组成

一、稳压的必要性

大部分电子设备的机内电源的功能都是通过单向导电性元器件将交流变换为直流，并用储能元器件组成的各种滤波电路滤除直流中的脉动成分，但这些功能仍不能满足一些电子设备对直流电源的要求，主要原因有二：其一，当负载变化时，整流滤波的输出电压将要随之而变；其二，当市电电压变化（变化 $\pm 10\%$ ）时，输出电压也要随之而变。这样会对电子设备的工作造成不良影响，其影响有以下几方面：

（1）电压不稳定的影响。例如，示波器的电源必须稳定，以保证光点的偏转灵敏度、扫描时间等的准确；又如，数字电压表中要求内部有极精确的稳定电源，以保证电压/数字的转换精度。

（2）输入电压范围的影响。当输入电压过高时，会使某些元器件所加电压过高或消耗功率过大而损坏，当输入电压过低时，又会使某些元器件性能下降，甚至不能工作。

（3）电源噪声的影响。例如，电源噪声对通信质量影响很大，在通话中出现交流声的干扰，妨碍远距离通话的清晰度，又如，扩音机中哼声、电视机图像上的黑色横道、图像线条不直等，直接影响视听效果。

（4）电源内阻的影响。例如，当电源的内阻较大，某一负载电流增大时，使电源电压降低从而影响另一负载设备的工作；又如，一台放大倍数很大的放大器，其某级（功率级）电流变化时影响到电源电压的变化，有可能影响到前级，形成了一个正反馈的路径而造成自激振荡，无法正常工作。

（5）短暂停电的影响。例如，市话通信不能瞬时停电，否则全局通信中断，造成重大事故；又如，计算机等采用交流供电时，要采用交流不间断电源。

（6）输出端过电压的影响。例如，电源输出电压超过集成电路额定电压的30%以上时，可能造成集成电路大量损坏。

二、稳压电源的技术指标

稳压电源技术指标大致包括以下几方面,即额定指标、质量指标、自动化程度及经济指标等。

1. 额定指标

额定指标用以说明电源能提供的功率、电压和电流的范围等,此外,还有额定工作条件,包括环境温度、湿度和气压等。

2. 质量指标

(1) 稳定度:用来说明在各种不稳定因素变化时,对输出直流电压的影响,用输出电压变化的百分率来表示。

电压稳定度 S_U , 又称电压调整率,它表征当输入电压 U_I 变化时稳压器输出电压 U_O 的稳定程度,指在负载电阻 R_L 不变的情况下,输入电压的相对变化引起输出电压的相对变化,即在市电电压变动 $\pm 10\%$ 的情况下测出输出电压的变化量。

$$S_U = (\Delta U_O / U_O) / (\Delta U_I / U_I) \quad |_{R_L = \text{常数}} \quad (1-1)$$

负载稳定度 S_I , 又称负载调整率,它表征当输入电压不变时,稳压器对由于负载电流(输出电流)变化而引起的输出电压脉动的抑制能力。在规定的负载电流变化值条件下, S_I 通常以单位输出电压下的输出电压变化值的百分率表示,或以输出电压变化的绝对值表示,即

$$S_I = \frac{\Delta U_O}{U_O} \times 100\%, \text{ 或 } S_I = |\Delta U_O| \quad (1-2)$$

电源内阻 R_O , 是指在输入电压不变的情况下,输出电压的变化量 ΔU_O 与负载电流的变化量 ΔI_O 之比,即

$$R_O = -\frac{\Delta U_O}{\Delta I_O} \quad (1-3)$$

式中,负号表示输出电压的变化和负载电流的变化方向相反,即当 I_O 增大时, U_O 将减小。

由式(1-3)可知,电源内阻越大,当负载电流增大时,在内阻上的压降增大,输出电压就要明显地下降,这样,电源带负载的能力就越弱。因此,要求电源的内阻越小越好。

纹波电压 ΔU_{OP-P} , 是指叠加在输出电压 U_O 上的交流分量,常采用峰-峰值表示,一般为毫伏级,也可以用有效值表示。

(2) 动态性能:用来说明当输入电压和输出电流突然变化时,输出电压是否能很快地恢复到正常值。

(3) 保护性能:这里主要是指对输出端的保护,包括是否具有自动限制过电流的性能,是否具有过电压自动切断电源的性能等。

此外,还有干扰电平及抗干扰能力、机械噪声的大小和可靠性等。

3. 自动化程度

自动化程度用来说明维护人员离开时电源设备的自动控制和故障检测能力，是否具有自动开机、停机性能，是否具有各种信号、故障检测功能等。

4. 经济指标

经济指标主要有效率和功率因数等。

晶体管线性稳压电源的主要技术指标如表 1-1 所示。

表 1-1 晶体管线性稳压电源的主要技术指标

精度等级 指标名称	I		II			III		
电压稳定度	$\leq 10^{-4}$ (+0.5mV)		$\leq 10^{-3}$ (+5mV)			$\leq 10^{-2}$		
负载稳定度	$\leq 5 \times 10^{-4}$ (+2mV)		$\leq 5 \times 10^{-3}$ (+20mV)			$\leq 5 \times 10^{-2}$		
纹波电压 $\Delta U_{p-p}/\text{mV}$	1	2	1	2	3	1	2	3
	≤ 0.5	≤ 1	≤ 1	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 50	≤ 100
相对温度系数	$\leq 5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$		$\leq 5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$					

注 表中，+0.5mV、+2mV 等绝对值是输出电压允许变化的基数，可使低压稳压器的稳定度适当增大。

三、稳压电源的组成

直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路所组成，如图 1-1 所示，各部分功能如下：

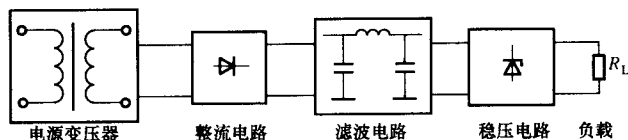


图 1-1 直流稳压电源的组成

(1) 电源变压器。由于各种电子设备要求直流稳压电源提供不同幅值的直流电压，而市电提供的交流电压一般为 220V（或 380V），因此需要利用变压器先将市电的电压变换成所需要的交流电压，再将变换后的交流电压整流、滤波和稳压，最后获得所需要的直流电压。

(2) 整流电路。整流电路是利用具有单向导电性的整流器件（如整流二极管、晶闸管），将大小、方向变化的正弦交流电转换成单向脉动的直流电。这种单向脉动直流电压含有很大的纹波成分，一般不能实用。

(3) 滤波电路。滤波电路的主要任务是将整流后的单向脉动直流电压中的纹波成分尽可能滤除掉，使其变成平滑的直流电。滤波电路通常由电容、电感等储能元件组成。

(4) 稳压电路。稳压电路的作用是采取某些措施,使直流稳压电源输出的直流电压在市电电压或负载电流发生变化时保持稳定。

第二节 整流和滤波电路

一、整流电路

(一) 单相半波整流电路

常用的小功率整流电路有单相半波整流电路、单相全波整流电路和单相桥式整流电路,由于单相桥式整流电路特性好,因此,它是最常用的一种整流电路。

图 1-2 所示为单相半波整流电路及工作波形。图 1-2 (a) 所示电路中,变压器 T1 将市电交流 220V 电压 u_1 降为整流电路所需要的交流电压 u_2 ,整流二极管 VD 将变压器二次电压 u_2 变为单方向流通的直流电压。

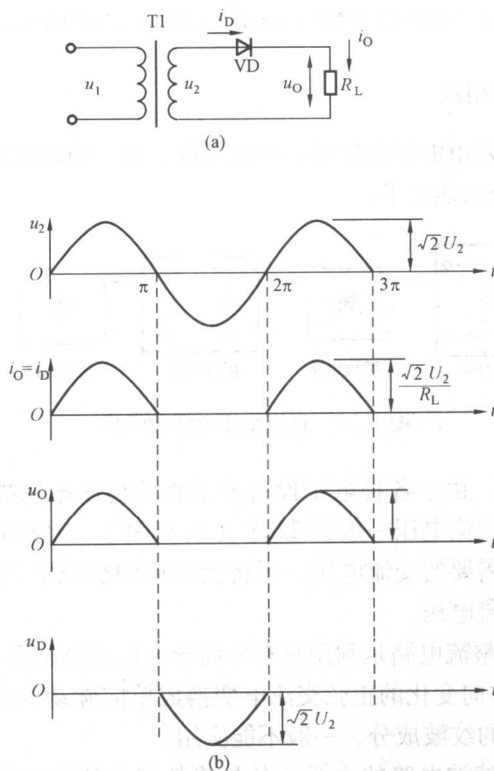


图 1-2 单相半波整流电路及工作波形

(a) 单相半波整流电路; (b) 工作波形

电路的工作过程简述如下：在 u_2 的正半周，即上正下负时，整流二极管 VD 加正向电压而导通，若忽略整流二极管本身电压降，则输出电压 $u_o = u_2$ 。在 u_2 的负半周，即上负下正，整流二极管 VD 受反向电压而截止，整流二极管和负载 R_L 中无电流，因此 $u_o = 0V$ 。电路工作波形如图 1-2 (b) 所示。

直流输出电压 U_o 是指整流输出电压在一个周期内的平均值，其计算公式为

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = 0.45 U_2 \quad (1-4)$$

式中， U_2 为变压器二次电压有效值。

电路中整流二极管根据平均电流 I_D 和最大反向电压进行选择。半波整流电路中流过整流二极管的电流 i_D 与输出电流 i_o 相等，其平均电流 I_D 为

$$I_D = I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-5)$$

整流二极管的最大反向电压是指其不导通时能承受的最大反向电压，选管时应选耐压比该值高的管子，以免管子被击穿。整流二极管承受的最大反向电压 $U_{RM} = \sqrt{2} U_2$ 。

(二) 全波整流电路

图 1-3 所示为全波整流电路及工作波形。由图 1-3 (a) 所示电路可知，这是在变压器 T1 的二次绕组中间抽头接入两只整流二极管使其轮流工作的电路，* 为变压器的同名端，变压器的两个二次电压大小相等。

电路工作过程简述如下：在 u_1 正半周，即上正下负时，VD1 受正向电压而导通，VD2 受反向电压而截止，负载电流 i_o 的路径为 $a \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow o$ ，若忽略整流二极管的正向电压降，则输出电压 $u_o = u_2$ 。在 u_1 负半周，即上负下正时，VD1 受反向电压而截止，VD2 受正向电压而导通，负载电流 i_o 的路径为 $b \rightarrow \text{VD2} \rightarrow R_L \rightarrow o$ ，若忽略整流二极管的正向电压降，输出电压 $u_o = -u_2$ 。由此可见，在交流电的正负半周，流过负载电流的方向一致，因此输出电压的极性不变。电路的工作波形如图 1-3 (b) 所示。

全波整流波形是半波整流的 2 倍，因此，直流电压也是半波整流的 2 倍，即 $U_o = 0.9 U_2$ 。全波整流电路中流经二极管的电流是负载电流的一半，即 $I_{D1} = I_{D2} = I_o / 2$ 。整流二极管承受的反向电压 $U_{RM} = 2 \sqrt{2} U_2$ 。

(三) 桥式整流电路

图 1-4 所示为桥式整流电路及工作波形。图 1-4 (a) 所示为桥式整流电路，由图可知，它由四只整流二极管组成一个电桥，电桥的两组相对节点分别接变压器二次绕组和负载。

电路工作过程简述如下：在 u_2 的正半周，即上正下负时，VD1 和 VD2 受正向电压而导通，而 VD3 和 VD4 受反向电压而截止，负载电流 i_o 的路径为 $a \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD2} \rightarrow b \rightarrow a$ ，若忽略整流二极管的正向电压降，则输出电压 $u_o =$

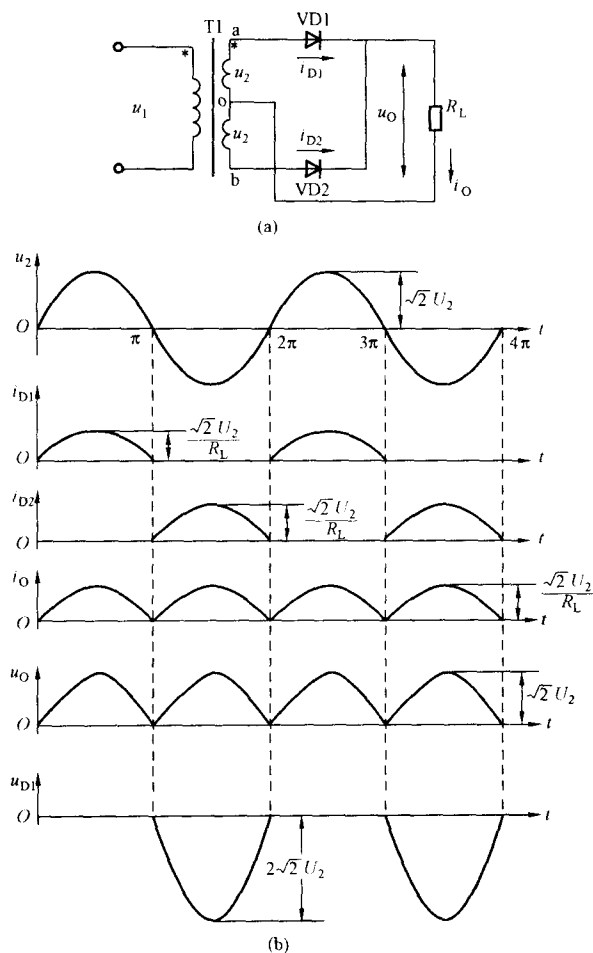


图 1-3 单相全波整流电路及工作波形

(a) 单相全波整流电路; (b) 工作波形

u_2 ; 在 u_2 负半周, 即上负下正时, VD3 和 VD4 受正向电压而导通, 而 VD1 和 VD2 受反向电压而截止, 则负载电流 i_o 的路径为 $b \rightarrow \text{VD3} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD4} \rightarrow a \rightarrow b$ 。若忽略整流二极管的正向电压降, 输出电压 $u_o = -u_2$ 。由此可见, 不论哪两只二极管导通, 负载电流的方向都始终保持不变。电路的工作波形如图 1-4 (b) 所示。

由桥式整流电路的工作波形可知, 其输出电压与流过整流二极管的电流与全波整流的相同, 即 $U_o = 0.9U_2$, $I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = I_o/2$ 。各整流二极管承受的反向电压与半波的相同, 即 $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$ 。

通过以上分析可知, 单相半波整流电路的结构简单, 用的元器件少, 但是输出