

集成稳压电源及其应用

陈景银 徐家权 编著

浙江大學出版社

内 容 简 介

全书共分九章, 主要介绍三部分内容: 第一部分详细讨论了各种半导体集成电压调整器的基本工作原理、具体电路, 以及与之相关的工艺、设计的综合分析, 并列举了大量的应用实例; 第二部分着重介绍集成电压调整器中元器件的特性、常用图形, 以及版图设计和制造; 第三部分介绍了集成电压调整器性能测试的基本方法与原理。

本书内容丰富, 结构严谨, 并配有适量的参考文献, 可作为高等院校及中等专业学校相应专业(无线电、半导体、微电子学、自动化、电工、科仪、计算机等)的教材; 也可作为从事集成电压调整器研制、生产和使用的科技人员的参考书; 还可供业余爱好者和其他有关人员参考。

集成稳压电源及其应用

陈景银 徐家权 编著

责任编辑 应伯根

* * *

浙江大学出版社出版

浙江大学印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

开本787×1092 1/16 印张: 15.25 字数: 359千字

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数1—5 000

ISBN 7 - 308 - 00018 - 4

TN·001 定价: 2.58元

(统一书号: 15337·031)

前 言

直流稳压电源在电子设备中占有非常重要的地位，它是电子设备的重要组成部分。凡是用电子设备的地方，几乎都离不开直流稳压电源，如电视机、收录机、电子显微镜、电子计算机、微处理机、雷达、电台和电子医疗设备等等，无一不是用直流电工作的。目前，直流稳压电源的使用范围之广，已遍及国民经济、国防建设和人民生活的各个领域，其使用数量之多是不可想而知的。

伴随半导体集成化整机的发展，具有体积小、重量轻、可靠性高等特点的集成电压调整器于六十年代末期问世，至今已成为半导体模拟集成电路中最重要的产品之一。成百种各类集成电压调整器以其各自的特长相互竞争又相辅相成，给千万种电子设备的直流稳压电源提供了极大的设计灵活性，从而迅速地代替了分立元件制成的电源。

由于教学、实验、科研工作的需要，我们有幸涉足这一领域，并在工作过程中感到：①在我国，由于半导体集成电压调整器发展历史较短，迄今为止所出版的各种《直流稳压电源》、《模拟集成电路》、《模拟组件》等书籍中，只用有限篇幅概要地介绍它们的基本概念和应用，还没有一本专门的书籍系统地详尽介绍它们的基本工作原理、电路分析、特点、性能、测试等；②广大读者，特别是从事集成电压调整器的研制、生产、使用的科技人员都迫切需要对它们进行了解，以解决推广和使用这类新器件过程中所出现的困难。基于上述两点，我们编著了这本书。虽然，使用者未必需要深入集成电压调整器内部电路的某些细节，但是，熟悉集成电压调整器的电路原理将有助于理解它的参数意义，以便合理选择和正确使用。特别是当运用条件接近其性能极限时，透彻了解集成电压调整器的行为机理对于电源设计者来说是很有必要的。

本书是在多年从事这一领域的科研、实验和教学的基础上，参考了大量国内外文献资料编著而成的。全书共分九章，大体上按专题内容安排，读者可直接选择其中感兴趣的有关章节。

第一章综述了直流集成稳压电源的一些基本概念；第二至第七章详细地讨论了各类集成电压调整器的基本工作原理、性能、电路分析及其应用；第八章简要地介绍集成电压调整器的设计与制造；第九章介绍集成电压调整器性能测试的基本原理与方法。

本书由陈启秀副教授审稿，并得到了南京工学院郑秋白教授和浙江大学信息与电子工程系叶润涛副教授、邵建中老师的热情而有益的帮助，在此表示衷心感谢。

由于业务理论水平有限，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

编著者

1986年8月

目 录

第一章 概述	1
第一节 引言.....	1
第二节 集成稳压电源的分类.....	3
第三节 集成稳压电源的组成.....	5
第四节 集成电压调整器的特点.....	6
第五节 集成电压调整器与开关电源集成控制器的选用.....	7
第二章 双极型线性集成电压调整器	9
第一节 双极型线性集成电压调整器的基本工作原理及其结构.....	9
第二节 基准电压源.....	11
第三节 比较放大器.....	11
第四节 恒流源.....	15
第五节 调整管.....	22
第六节 取样电路.....	25
第七节 保护电路.....	25
第八节 启动电路.....	32
第九节 双极型单片线性集成电压调整器的典型产品介绍.....	33
第十节 双极型集成电压调整器噪声的考虑.....	43
第十一节 双极型单片线性集成电压调整器的应用.....	46
第三章 双极型集成运放型电压调整器	55
第一节 集成运算放大器的一般概念.....	55
第二节 差动(差分)放大器.....	59
第三节 集成运算放大器电路分析及其应用.....	67
第四节 集成运算放大器在集成电压调整器中的应用.....	72
第五节 集成运算放大器与线性集成电压调整器的组合应用.....	75
第四章 CMOS线性集成电压调整器	79
第一节 模拟集成电路中的MOS场效应晶体管.....	79
第二节 MOS模拟集成电路的基本单元电路.....	84
第三节 CMOS线性集成电压调整器.....	89
第五章 集成基准电压源	93
第一节 硅稳压管集成基准电压源.....	93
第二节 双极型集成带隙基准电压源.....	103
第三节 NMOS 集成基准电压源.....	113
第四节 CMOS集成带隙基准电压源.....	117
第五节 结型场效应晶体管基准电压源.....	125

第六章 开关集成电压调整器	127
第一节 开关电压调整器的基本工作原理	127
第二节 双极型线性集成电压调整器在开关电源中的应用	136
第三节 双极型集成运算放大器在开关电源中的应用	141
第四节 脉宽调制型单片开关集成电压调整器	142
第五节 脉频调制型单片开关集成电压调整器	144
第七章 开关电源集成控制器	147
第一节 主回路	148
第二节 W3420/3520脉宽调制型开关电源集成控制器	155
第三节 W1524/3524脉宽调制型开关电源集成控制器	168
第四节 脉宽调制型开关电源集成控制器的应用	175
第八章 集成电压调整器的设计与制造	181
第一节 集成电路的制造工艺	181
第二节 集成小功率npn晶体管	184
第三节 集成大功率npn晶体管	186
第四节 集成横向pnp晶体管	193
第五节 集成纵向pnp晶体管	196
第六节 集成电路中的其它器件	198
第七节 集成电路中的无源元件	200
第八节 集成电压调整器版图设计	205
第九章 测试	208
第一节 单片线性集成电压调整器电参数的测试	208
第二节 开关电源集成控制器电参数的测试	217
附录	228
附录 I 国内外线性集成电压调整器主要系列	228
附录 II 国内外开关集成电压调整器及开关电源集成控制器主要系列	235
附录 III 国内外集成基准电压源主要系列	236

第一章 概述

第一节 引言

电子技术在军事、工业、农业、交通、医疗等各个领域应用的迅速发展,迫切要求有重量轻、体积小、耗电省、可靠性高并能大量生产的新型电子设备。为了实现微型化和减少各分立元件间焊点数目,相继发展了微膜组件、薄膜集成电路、厚膜集成电路和半导体集成电路等,其中以半导体集成电路性能为最佳。而半导体集成化整机的出现(电子设备自身的轻量化和小型化),对电源电路的小型化提出了要求。

六十年代末,成功地集成了电源电路,出现了双极型晶体管集成电路电压调整器(简称为双极型集成电压调整器或双极型集成稳压器),从而实现了电源电路的小型化。例如,78C00系列三端固定式正集电压调整器(输出电流为1.5A,固定输出电压有5V、6V、8V、12V、15V、18V、24V)。由于它性能优异、使用方便,生产厂家众多,因而形成了品名繁多的“7800”系列产品,如78L00、78M00、78T00等。目前集成电压调整器已成为半导体模拟集成电路中继集成运算放大器之后的又一重要分支。

由于双极型集成电压调整器中的调整管工作在线性放大区,故把它称为线性双极型集成电压调整器,并由它作为主要部件而构成的直流电源通常称为线性集成稳压电源。该电源具有精度高、纹波抑制比好、设计容易、电路结构简单、噪声小、不需要特别考虑调整管的开关特性等优点,加之本身技术比较成熟,因而,在国际电源市场上一直占优势。

虽然,利用线性双极型集成电压调整器可以获得小型化的线性集成稳压电源,但由于它的调整管本身耗散功率大,因而带来了两个问题:①耗散功率大,产生热量亦大,为了散热就要求有较大的散热器,因而阻碍了进一步小型化;②效率低,一般为20~40%,最好亦只能达到50%。

为了提高线性集成稳压电源的效率,并进一步缩减其体积与重量,七十年代中期,出现了双极型开关集成电压调整器(因它的调整管工作在开关状态而得名)。例如,Texas生产的TL497系列(单片、输出电流为750mA);Fairchild生产的 μ A78S40系列(单片、输出电流为1.5A)等。这种由双极型开关集成电压调整器作为主要部件而构成的直流电源通常称为开关集成稳压电源(简称开关电源)。由于该电源的开关调整管本身耗散功率小,相应所需散热器也小,因此,既缩减了体积与重量,又提高了效率。例如,输出功率同为100W,在输入电压相同的条件下,开关集成稳压电源内部最大仅消耗40W,而线性集成稳压电源内部则需消耗200W,相比之下,前者的效率比后者高几倍,即可达70%。

但是,值得指出的是,开关集成电压调整器尽管有许多优点,却并不能取代线性电压调整器,这是因为有些电子设备除需要直流电源供给能量外,更注重的是对其质量的要求。例如,通讯电子设备、计算机接口与外围设备(A/D与D/A转换器、取样—保持电路)以及一些电子测量仪器等,都要求有较低纹波和噪声的高精度直流电源。在这种情况下

下,开关集成稳压电源是难以胜任的,而需要采用线性集成稳压电源。由此可见,线性集成稳压电源尽管受到开关集成稳压电源的冲击,但在小信号小容量领域中的地位不但不会被消减,而且还有进一步发展的趋势。从各国发展各类集成稳压电源的情况来看,恰好证实了上述看法的客观性。

但是,大规模、超大规模集成电路的问世,使得电子设备更趋小型化。而电子设备的密集度更进一步提高,不仅要求电源的体积越来越小,而且要求其输出电流容量越来越大。为了适应这种形势的要求,线性集成稳压电源开始朝着大电流方向发展。因而促使线性集成电压调整器也朝大电流方向发展。例如, Micropac生产的42055系列三端固定式正集成电压调整器的最大输出电流为20A; 42051系列三端固定式负集成电压调整器的最大输出电流为5A; National生产的LM196/396可调式正集成电压调整器的最大输出电流为10A; Lambda生产的LAS39U可调式正集成电压调整器的最大输出电流为8A; Fairchild生产的 μ A79HG可调式负集成电压调整器的最大输出电流为5A等。虽然这些线性集成电压调整器(特别是三端固定式)的输出电流已达到相当高的水平,但还是满足不了对电流容量日益增加的要求。假如并联使用来解决这个矛盾,不仅体积增大、重量变重,更重要的是降低了电源本身和电子设备的可靠性。而在开关集成电压调整器中,由于开关功率调整管仍串联在负载回路里,而且还使用了电源变压器(亦称工频变压器),这就限制了输出电流的增加和体积重量的缩减。实践证明,它也不宜作并联运行。

显然,要适应电子设备的微小型化对电源在体积与电流容量方面的需求,唯一方法是进行电源自身的根本性变革,从而引发了一场“20kHz的电源技术革命”推出了“20kHz电源技术革命的时间比率控制变换器型稳压电源”。所谓时间比率控制变换器型稳压电源,指的是从交流电网直接整流、以高频变压器取代电源变压器、采用脉冲调制技术的直流一直流变换器型稳压电源,通常又称为“无电源变压器开关直流电源(因在该电源的主回路中省掉了电源变压器而得名)”。它革除了费料多、重量重、耗能大的电源变压器,因而不只缩减了体积与重量,而且降低了成本。

尔后,相继出现了MC3420/3520、SG1524/3524等开关电源集成控制器。这种控制器集成了时间比率控制变换器型稳压电源中的所有控制部分,不仅使这种稳压电源的线路大为简化,而且提高了它的可靠性,加上其它半导体器件如大功率肖特基势垒二极管(正向压降约0.6V、反向恢复时间约200ns、额定电流可达数百安培)的出现,使得该电源的效率大为提高,从而实现了20kHz高频化和小型化,促进了该电源的实用化。

此外,在七十年代后期,由于CMOS模拟集成电路的发展,出现了自身功耗极低的CMOS线性集成电压调整器,从而进入了功率控制领域。由它构成的直流电源亦属于线性集成稳压电源。

目前,世界各国正致力于发展使用方便的大电流集成电压调整器(包括线性和开关)和开关电源集成控制器以及由它们所构成的相应集成稳压电源。

由于各类集成电压调整器和开关电源集成控制器是直流集成稳压电源中最基本、最重要的组成部分,所以比较通俗的讲法往往把它们也称为集成稳压电源。虽然,本书的重点是详细介绍各种集成电压调整器和开关电源集成控制器的基本工作原理,具体线路分析,设计、制造以及性能测试;其次是简述与时间比率控制变换器型稳压电源有关的内容,如功

率转换电路等。但是,仍然使用了“集成稳压电源”作为书名。

第二节 集成稳压电源的分类

前面提到的线性与开关两种集成稳压电源是根据集成电压调整器中的调整管工作状态的不同来分类的。除此之外,集成稳压电源的分类方法还有多种。例如,根据控制调整工作的方式不同分为连续控制式和开关控制式;根据稳压方式的不同分为并联型、串联型和开关型;根据集成稳压电源自身精度的不同分为通用型和高精度型;根据集成稳压电源自身消耗能量的大小(效率高低)分为有耗和无耗;等等。这里将按最后一种分类,介绍其基本概况。

一、有耗集成稳压电源

有耗集成稳压电源包括由线性集成电压调整器、集成运放型电压调整器和集成基准源作为主要部件而构成的直流电源。它们都属于线性集成稳压电源,按其调整管与负载连接方式可分为串联和并联两种。

串联线性集成稳压电源与并联线性集成稳压电源相比,其主要优点是输出电压可任意调节而且精度高,输出电流大而且利用率高。例如,高精度串联线性集成稳压电源,其电压调整率 S_V 可小至 $0.01\%/V$;电流调整率 S_I 可达到 0.03% ;输出电压温度系数 S_T 可小至 $0.001\%/^{\circ}C$ 以下;纹波抑制比 S_R 高达 $70dB$ 以上等。所以,该种电源是当前应用最广泛的一种。其主要缺点是耐负荷短路能力差、效率低。而并联线性集成稳压电源的主要优点是耐负荷短路能力强,其主要缺点是电流利用率低,输出电压不能任意调节,故实际上很少应用。

二、无耗集成稳压电源

无耗集成稳压电源包括开关集成稳压电源和时间比率控制变换器型稳压电源。

(一) 开关集成稳压电源

与线性集成稳压电源一样,开关集成稳压电源也可分为串联与并联两种。在实际应用中,主要是用串联开关集成稳压电源,而很少用并联开关集成稳压电源。与串联线性集成稳压电源相比,该种电源的主要优点是效率高,一般能达到 70% ,而且还具有体积小、重量轻的特点。其主要缺点是容易对周围产生辐射干扰,输出纹波大即噪声大,所以不宜在空载或负载电流变化剧烈的场合下工作。另外,其响应速度也较慢。

开关集成稳压电源还可根据下列情况分类:按其输出与输入电压的相对关系可分为升压式、降压式和电压倒相式;按其电路的振荡形式可分为自激式和它激式等。自激式与它激式的主要区别在于:在开关集成稳压电源中,开关调整管本身是否参与脉冲形成的电路。

(二) 时间比率控制变换器型稳压电源

时间比率控制变换器型稳压电源,从广义讲,也是一种开关型稳压电源,在欧美,尤其是日本,通常就称它为开关电源。

按时间比率控制(TRC)原理,时间比率控制变换器型稳压电源可分为如下三种:

1. 脉宽调制(PWM)变换器型稳压电源

它是通过改变脉冲宽度（频率固定）来改变占空比的。因此，该稳压电源具有二个特点：①由于频率固定，滤波器容易设计；②由于调整管导通时间有最小值，即占空比（ t_{on}/T ）有最小值（ t_{on} 为开关每次导通的时间， T 为开关通断的周期），因此，一方面输出电压的调节范围受到一定限制，另一方面输出端必须要有一定数量的无效负载（俗称“死”负载）。在时间比率控制变换器型稳压电源中，它是最常用的一种。

2. 脉频调制（PFM）变换器型稳压电源

它是通过改变脉冲频率（脉宽固定）来改变占空比的。因此，该稳压电源具有二个特点：①由于频率不固定，因此要使输出滤波器适应较宽的频率段，则设计困难些；②由于占空比可以在很宽的范围内变化，故基本上可以克服脉宽调制型的缺点。

3. 混合调制变换器型稳压电源

它是通过改变导通脉冲宽度和工作频率来改变占空比的。由于 t_{on} 和 T 相对地发生变化，其占空比可以得到非常大的值，因此，输出电压能在很宽范围内进行调节。

综上所述，时间比率控制变换器型稳压电源具有效率高（有的高达90%）、稳压范围宽、输出功率大、重量轻、体积小、成本低等优点，因而尽管它比线性集成稳压电源要复杂得多，线路结构与分析设计方法和以往人们所熟悉的内容也颇不相同，但仍在许多领域（如电子计算机、自动控制系统）中得到了广泛应用，并将越来越显示出它的强大生命力。

三、有耗与无耗集成稳压电源的比较

有耗与无耗集成稳压电源主要指串联线性集成稳压电源和时间比率控制变换器型稳压

表1-1 有耗与无耗集成稳压电源的比较

	有耗(串联线性集成稳压电源)	无耗(时间比率控制变换器型稳压电源)
效 率	20~50%	70~90%
调整率(线、负载)	0.002~0.1%	0.1~1%
输出纹波电压	10mV _{P-P}	50mV _{P-P}
输出电压温度系数	±0.05~0.03%	
内 阻	0.005Ω(1kHz)	0.01Ω(100kHz)
稳 定 性	10mV/1h	
功率与体、重比	20~30W/kg 0.5~1.5W/cm ³	60~160W/kg 1.5~5.0W/cm ³
动态响应	15μs(负载变化50Ω回复到原值0.2%)	500μs(负载变化50Ω回复到原值0.2%)
维持时间	3ms(满载、总线发生故障后)	15~40ms(满载、总线发生故障后)
总线瞬变	灵敏度高	灵敏度低
输入电压范围	窄	宽
射频干扰	无	有
输出电流容量	小	大
价 格	100W以下比较便宜	100W以上比较便宜

电源两大类。为了对它们有一个基本了解，现将它们的主要性能加以比较，参见表1-1。

第三节 集成稳压电源的组成

纵观集成稳压电源的基本结构，大致可分为串联集成稳压电源和时间比率控制变换器型稳压电源两种基本结构。串联集成稳压电源包括串联线性与串联开关集成稳压电源。

串联集成稳压电源的基本结构同分立元件稳压电源一样，都是由电源变压器、整流器、能量贮存及滤波器和串联集成电压调整器(包括串联线性与串联开关集成电压调整器)等组成，如图1-1所示。图1-1中，电源变压器、整流器和贮能及滤波器的作用，是把220V的交流电转换成符合设计要求的比较平滑的直流电；而串联集成电压调整器的作用，是在交流电网电压波动和负载变化时，自动保持输出直流电压的稳定。由此可见，串联集成电压调整器是串联集成稳压电源中最基本、最重要的组成部分。因而，它的质量优劣直接决定串联集成稳压电源的主要技术性能。总之，串联集成稳压电源与串联集成电压调整器是整体与局部的关系，但又是一个不可分割的统一体。因此，可以说串联集成稳压电源的分类就是串联集成电压调整器的分类，而且，串联集成电压调整器的技术性能就是串联集成稳压电源的技术性能。

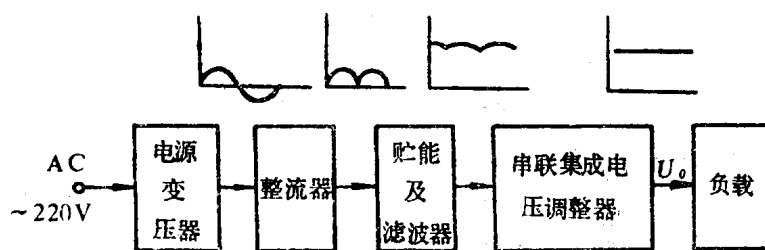


图1-1 串联集成稳压电源的方框图

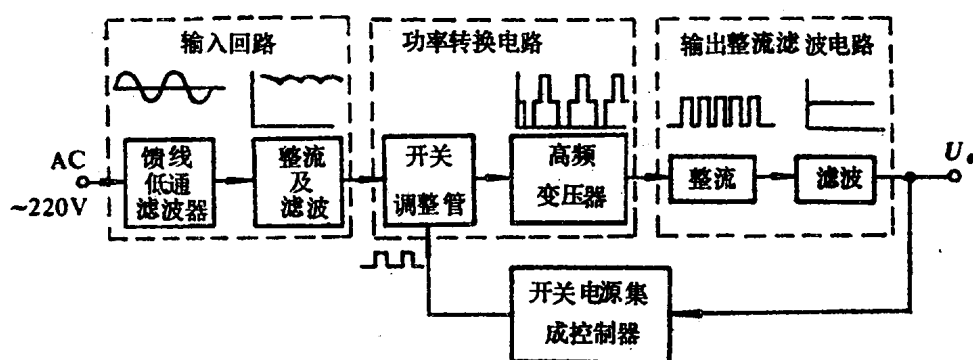


图1-2 时间比率控制变换器型稳压电源的方框图

时间比率控制变换器型稳压电源的基本结构，如图1-2所示。实际上，它是一种DC/DC变换器。它先将交流电直接转换成比较平滑的直流电，然后由高频功率转换电路和集成控制器把直流电转换成大于20kHz的脉冲电压(并可任意变换电压)，最后经高频整流、

滤波又把大于20kHz的脉冲电压转换成稳定的直流输出。

下面分别介绍串联集成稳压电源和时间比率控制变换器型稳压电源中的主要部件。

一、电源变压器和高频变压器

图1-1中的电源变压器和图1-2“高频功率转换电路”中的高频变压器在集成稳压电源中的作用是：①实现输入与输出的电隔离；②实现电压变换—降压或升压，使之次级输出的交流（或脉冲）电压符合设计要求。值得指出的是，在时间比率控制变换器型稳压电源中，以小而轻的高频变压器取代了笨重的电源变压器，从而使集成稳压电源体积和重量大为缩减。

二、整流器

图1-1和1-2中，输入整流器都采用了普通硅二极管（2CZ）。它具有单向导电性并能将交流电变成脉动直流电，其形式有桥式整流和全波整流等。

图1-2中，输出整流器与输入整流器不一样，它必需采用正向压降低而反向恢复时间短的开关整流二极管，如大功率肖特基整流二极管等，其形式有全波和单端变换器两种。

三、滤波器

图1-1和1-2中，输入滤波器都是采用电容输入式滤波电路。其作用是滤掉由输入整流器输出的脉动电流中的交流成分，即将交流成分减小到符合设计要求程度。

图1-2中，输出滤波器由滤波电感和电容所组成。它与输入滤波器不完全一样，其作用是将输出整流器输出的断续方波脉冲电压变换成平滑的低纹波直流，并使输出电流得以连续。

由于电源变压器、输入整流滤波器在一般教科书和参考书中均有详细说明，在此不再赘述。

现在，对这两种稳压电源中的集成电压调整器和开关电源集成控制器的特点进行介绍。

第四节 集成电压调整器的特点

集成稳压电源中，集成电压调整器和开关电源集成控制器的电路形式与分立元件电路大体相同，例如，串联线性集成电压调整器基本上也是由取样、比较放大、基准源、调整电路等部分所组成，但作为集成电路还有一些使串联线性集成电压调整器在电路形式上与分立元件电路有所不同的特点：

一、在集成电压调整器的电路中，比较放大部分均采用对称性好、温漂小的差动放大电路，以利于提高其质量。

二、集成电压调整器的输出功率大都超过1W，所以，它是一种功率集成电路。要使它具有良好的技术性能，热效应是一个必须考虑的重要因素。这就要求在基准电压源（参考电压源）设计时，必须设置零温度系数的输出基准电压（或参考电压）。

三、集成电压调整器的电路中，除限流、短路、安全工作区等保护外，为防止热破

坏, 还应有热保护电路, 即热关断电路。

四、因为就集成电路而言, 多增加几只晶体管并不难, 因此, 为了提高其电性能, 往往把集成电压调整器的电路设计得比分立元件电路稍微复杂一些。

五、为了扩大应用范围, 在集成电压调整器的电路设计中, 必须考虑使其具有外接元件的灵活性。

六、由于集成电路自身的特点, 在进行电路设计时, 一方面应尽量采用晶体管, 少用电阻、电容, 避免电感; 另一方面, 其性能应仅仅同电阻相对值有关即电阻比值有关, 避免与电阻绝对值有关。

第五节 集成电压调整器与开关电源集成控制器的选用

各种电子设备所需的电源电压高低不一, 但大多数电子设备所用的电源电压无非是如下几种: $\pm 5V$ 、 $\pm 6V$ 、 $\pm 12V$ 、 $\pm 15V$ 、 $\pm 24V$ 、 $\pm 48V$ 、和 $\pm 60V$ 等。在教学、科研、实验室中, 大多数要求电源电压在一定的范围(如 $0 \sim 45V$)内连续可调。

在集成稳压电源中, 常用的主要是串联线性与串联开关集成稳压电源以及脉宽调制变换器型稳压电源。它们输出电压值基本上能满足大多数电子设备所需的电源电压。电子设备中究竟采用何种集成稳压电源, 要从它对电源的具体要求, 再结合集成稳压电源自身的电性能考虑而定。例如, 电子计算机对电源的要求有: 输出电流容量大、体积小、重量轻、效率高、维持时间长, 同时应具有几组不同输出电压值等。脉宽调制变换器型稳压电源恰好符合它的要求。在采用何种集成稳压电源的基础上, 才能谈得上如何选用集成电压调整器和集成控制器的问題。然而, 这个问题涉及面广, 情况亦复杂, 难以在有限篇幅内讲清, 只能作一简介。

一、单片线性集成电压调整器的选用

单片线性集成电压调整器的电参数有: 输入电压范围、输出电压范围、输出电流容量、电压调整率、负载调整率、输出阻抗、输出电压温度系数、工作温度范围、瞬态响应、输入输出压差等。它的选用可作如下考虑。

首先从使用的功能方面来看, 一般有:

1. 输出电压是否可调, 即可调式还是固定式;
2. 内部基准电压值 U_{ref} ;
3. 能否外接功率晶体管以扩大输出电流;
4. 保护电路的形式(电流、电压、安全工作区、热等保护电路);
5. 对单片可调线性集成电压调整器, 还须知道取样晶体管的基极电流。

另外, 有否通/断或遥控电路。

其次从产品目录上寻找, 但因单片线性集成电压调整器的所有电参数的表示方式随制造厂家的不同而异, 从产品目录进行选用时, 应注意如下问题:

1. 在全输入电压范围内或在某一限定的输入电压范围内, 电压调整率是否符合规定值;
2. 负载调整率、输出阻抗从空载到满载的范围内是否符合规定值, 在多大的频率范围内符合规定

值或负载电流在小范围内变化时是否符合规定值;

3. 输出电压温度系数是否在全工作温度范围内符合规定值, 在多大的负载电流和输入电压符合规定值;

4. 纹波电压的大小;

5. 最大输入电压、输出电流和功耗间关系如何?

6. 在保护电路作用下, 负载长期短路时会不会引起热损坏?

7. 管壳封装形式。

二、开关电源集成控制器的选用

开关电源集成控制器目前有脉宽调制和脉频调制两种。国外从七十年代中期起已生产出一系列不同规格的产品供用户选用。目前, 国内还只有一、二种脉宽调制型开关电源集成控制器, 如W3420/3520 (或SW3420/3520)、W1524/3524等。这样, 就不存在如何选用的问题了。虽然品种少, 但在使用中仍然会遇到如下几个问题:

(一) 开关电源集成控制器有单端与双端之别。若输出电流不大可用单端式, 输出电流较大则用双端式。开关集成电压调整器只有单端式。

(二) 开关电源集成控制器输出管电流容量及其与外电路连接的问题。例如, W3420/3520输出管集电极开路, 因此只能向外接pnp功率开关管提供50mA基极驱动电流; W1524/3524输出管集电极、发射极均开路, 并可向外接npn或pnp功率开关管提供100mA基极驱动电流。

(三) 开关电源集成控制器内部的功能。W1524/3524内部功能要比W3420齐全, 并且使用更为方便。

(四) 开关电源集成控制器用于时间比率控制变换器型稳压电源时需加辅助电源—串联线性集成稳压电源。

当选用上述器件时, 应充分注意以上各点, 再根据实际使用条件选取适合的集成电压调整器和开关电源集成控制器。

参 考 文 献

[1] 徐德高、金刚。脉宽调制变换器型稳压电源。科学出版社, 1983

[2] 谭信。高效能低功耗线性晶体管稳压电源。科学出版社, 1983

第二章 双极型线性集成电压调整器

电压调整器是直流稳压电源中最基本、最重要的部分。不仅整个稳压电源的性能取决于所采用的电压调整器，而且其成本、重量、体积、总的可靠性等也取决于所采用的电压调整器。集成电路（IC）技术能够最大限度地满足直流稳压电源对电压调整器的要求。目前，使用最多的是双极型单片线性集成电压调整器。

该种电压调整器一般用于串联线性集成稳压电源。从制造和应用方面考虑，目前主要有两种基本类型：一种是除取样电路外，其余部分都集成在一块芯片上，但其调整管功率较小，输出电流最大为数百毫安。对于这种类型，若需要输出更大电流，可外接大功率调整管。由于其输出电压是可调，故又称可调式集成电压调整器。它有正、负电压之分，例如，W723等为正电压集成电压调整器；W1511等为负电压集成电压调整器。另一种是全集成化电压调整器，整个调整器只有三个引出端。目前最大输出电流可达20A，而输出电压值是固定的，故又称三端固定式集成电压调整器或大电流集成电压调整器。它也有正、负电压之分，例如，W7800系列等为正电压集成电压调整器，W7900系列等为负电压集成电压调整器。

此外，还有一种电压调整器，既具有三端固定式的优点（使用方便），又具有可调式的灵活性，称为三端可调式集成电压调整器。按照正、负电压之别又可为三端可调正电压集成电压调整器（如W317）和三端可调负电压集成电压调整器（如W337）。但它们都属于可调式线性集成电压调整器范畴。

第一节 双极型线性集成电压调整器的基本工作原理及其结构

集成电压调整器与分立元件电压调整器的工作原理是一样的。图2-1是串联反馈型晶体管电压调整器的原理图。其稳压过程是：如果由于输入电压 U_i 降低或负载电流加大引起输出电压 U_o 降低时，通过电阻 R_1 和 R_2 的分压作用，将使晶体管 T_2 的基极电位 V_{b2} 下降，而 T_2 管发射极电位 V_{e2} 被稳压二极管 D_w 钳位而基本不变，所以 T_2 管发射结正向压降 U_{be2} 减小，从而使 T_2 管集电极电流 I_{c2} 减小，集电极电位 V_{c2} 升高。而 V_{c2} 升高又使 T_1 管基极电流 I_{b1} 和集电极电流 I_{c1} 都增大，从而使 T_1 管集—射压降减小，最后使输出电压恢复到接近原来的数值。

以上过程可表示为：

$$\begin{aligned} U_o \downarrow &\rightarrow V_{b2} \downarrow \rightarrow U_{be2} \downarrow \rightarrow V_{c2} \uparrow \rightarrow \\ U_o \uparrow &\leftarrow U_{ce1} \downarrow \leftarrow I_{c1} \uparrow \leftarrow I_{b1} \uparrow \leftarrow \end{aligned}$$

同理，由于某种原因使 U_o 升高时，通过调整器内部的反馈作用，可使 U_o 下降，从而保持 U_o 基本不变。

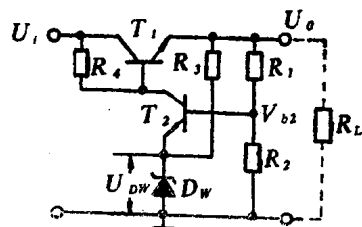


图2-1 串联反馈型晶体管电压调整器原理图

由图2-1可知, 取样电压 U_{b2} 为

$$U_{b2} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} U_o = \theta U_o \quad (2-1)$$

式中 θ 为取样电路分压比; U_{b2} 为基准电压 U_{DW} 和 T_2 管基—射极间压降 U_{be2} 之和, 即

$$U_{b2} = U_{DW} + U_{be2} \quad (2-2)$$

将式(2-2)代入式(2-1), 整理得

$$U_o = -\frac{R_1 + R_2}{R_2} (U_{DW} + U_{be2}) \quad (2-3)$$

通常 U_{be2} 只有零点几伏, 如将其忽略, 则式(2-3)可简化为

$$U_o \approx -\frac{R_1 + R_2}{R_2} U_{DW} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) U_{DW} \quad (2-4)$$

从式(2-4)可看出, 当基准电压一定时, 电阻 R_1 越大, R_2 越小, 则输出电压 U_o 就越高, 即输出电压 U_o 的大小取决于基准电压大小和取样电路分压比或负反馈系数 β_f [$\beta_f = (R_1 + R_2)/R_2$].

实际上, 图2-1所示的电路是一种负反馈放大器。也就是说, 它是一种将基准电压放大, 从而得到一个“放大”的稳定输出电压的电子器件。故它必须具有一定的电压增益 K_V 和电流增益 K_I 。

从式(2-4)可知, 该调整器还可作为一种具有一定输出功率的运算放大器的特殊闭环应用, 其输出电压变化完全取决于基准电压的稳定度和放大器增益的变化。若放大器增益足够大, 则它的变化对输出电压影响可忽略。然而, 基准电压的变化将全部加到放大器的输入端被放大, 并展现在输出端。这样, 该调整器又可作为具有两个输入端的功率运算放大器(或比例放大器)应用。典型的电压调整器可归结为图2-2所示的基本组成部分——基准电压源、比较放大器、反馈网络即取样电路以及功率输出级(又称作调整单元), 其中最关键的是基准电压源, 它直接决定电压调整器的基本性能的优劣。

假若采用集成电路技术把图2-2所示的电压调整器各部分集成在一块芯片上, 其性能将会进一步得到改善。根据集成电路的特点, 一个完整的集成电压调整器的方框图如图2-3所示。图中, 基准电压源、比较放大器(或误差放大器)、调整单元、取样电路等是基本部分, 而保护电路、切断电路、启(起)动电路等则是附属部分。

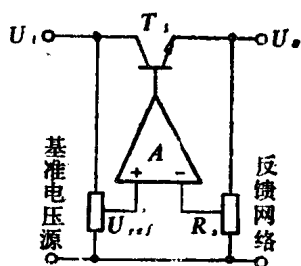


图2-2 典型的电压调整器的基本组成部分

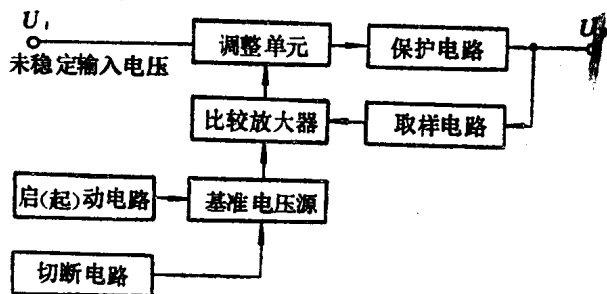


图2-3 完整的集成电压调整器的方框图

第二节 基准电压源

上节提到基准电压源在电压调整器中占有极重要的地位,它直接影响集成电压调整器的性能。因此,对基准电压源的总要求是:基准电压 U_{ref} 的温度系数应为零温度系数;电压值要准确,设计时应注意其值只与电路中的电阻比值有关,而与电阻绝对值无关;内阻要小,否则由于使用电流增加,会使基准电压下降,影响集成电压调整器的输出电压 U_o ,噪声要低等。

由于集成电路对温度的要求很高,因而必须重视集成电压调整器中基准电压的温度稳定性。为了获得内阻小而具有零温度系数的基准电压源,往往需要作很多考虑。

目前,在该电压调整器中常用的基准电压源有:硅稳压管基准电压源和双极型带隙基准电压源,其详细内容见第五章。

第三节 比较放大器

比较和放大本来是两个功能不同的部分,但在电路上常由一、二个晶体管做成为整体,总称为比较放大器。它的作用是把取样电压与基准电压比较;然后对它的差值进行放大(由于比较放大器只放大取样电压与基准电压的差值,故有时也称为误差放大器);最后控制调整管的基极使输出电压保持不变。

式(2-4)是集成电压调整器输出电压 U_o 的表达式。若以负反馈系数 β_f 替换 θ ($\beta_f = 1/\theta$),则使式(2-4)成立的充分条件是 $K_v \cdot \beta_f \gg 1$ 。因为 β_f 的极大值为1,所以就要求 $K_v \gg 1$,即要求电压增益足够大,输出电压值 U_o 才能由取样电阻的分压比来确定。

从电压调整器的几个主要性能指标来看,对比较放大器的要求有以下几点:

电压调整率 S_V 根据电压调整率的定义, S_V 可写成

$$S_V = - \frac{\Delta U_o / U_o}{\Delta U_i / U_i} \bigg|_{\substack{\Delta I_o = 0 \\ \Delta T_A = 0}} \times 100\% \quad (2-5)$$

由式可知, S_V 值小,稳定度高,因此要求 S_V 值越小越好。电路分析表明, S_V 与比较放大器电压增益 K_v 成反比,也就是说,要使 S_V 小,则必须增大比较放大器的电压增益 K_v 。

输出阻抗 Z_o (或 R_o) 根据输出阻抗的定义, Z_o 可写成

$$Z_o = - \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \bigg|_{\substack{\Delta U_i = 0 \\ \Delta T_A = 0}} \quad (2-6)$$

由式可知, Z_o 小,表示承受负荷能力大,因此要求 Z_o 越小越好。电路分析表明, Z_o 也与比较放大器电压增益 K_v 成反比。要使 Z_o 小,就得增大比较放大器电压增益 K_v 。

输出电压的温度系数 S_T 根据输出电压的温度系数的定义, S_T 可写成

$$S_T = \frac{U_{o\max} - U_{o\min}}{U_{o\text{标称值}} \cdot \Delta T} \bigg|_{\substack{\Delta U_i = 0 \\ \Delta I_o = 0}} \times 100\% \quad (2-7)$$

由式可知, S_T 小, 表示环境温度对输出电压的影响小, 因此要求 S_T 亦越小越好。输出电压之所以会随温度而变化, 原因较多, 其中主要是比较放大器电参数随温度漂移, 取样电阻的阻值和基准电压随温度变化而变化等。因此要使 S_T 小, 就得采用温漂小的电路作为比较放大器的电路。

综上所述, 为提高电压调整器的质量指标, 对比较放大器的要求是: 电压增益要尽可能高; 输入阻抗要低以及参数的温度漂移要小等, 同时还得考虑噪声的影响。由此可见, 比较放大器在电压调整器中亦占有重要的地位, 因而有时被称为电压调整器的第二个关键部分。

下面介绍几种常用的比较放大器。

一、单级共发比较放大器

图2-1中, T_2 管就是单级共发比较放大器, 电阻 R_4 是它的负载电阻, R_L 是射极跟随器 T_1 管的负载电阻 (它与 U_o/I_o 有关)。

根据电子线路的分析, 共发比较放大器电压增益 K_V 为

$$K_V = \frac{-\beta_2(R_4//R_{in1})}{R_s + h_{ie2}} \quad (2-8)$$

式中 β_2 为 T_2 管的直流电流放大系数;

R_{in1} 为 T_1 管的输入阻抗, 其值为 $R_{in1} = h_{ie1} + (1 + \beta_1)R_L$, 一般情况下, 满足 $(1 + \beta_1)R_L \gg h_{ie1}$ 条件, 故 $R_{in1} \approx \beta_1 R_L$;

h_{ie1} 、 h_{ie2} 为 T_1 、 T_2 管发射结输入阻抗, 其值 $h_{ie} = r'_{bb} + (1 + \beta_1) \frac{kT}{qI_e}$, 其中 r'_{bb} 为晶体管的基极电阻, k 为玻耳兹曼常数, T 为绝对温度, 单位为 K, q 为电子电荷, I_e 为晶体管发射极电流;

β_1 为 T_1 管的直流电流放大系数;

R_s 为基准电压源内阻。

设基准电压源内阻 R_s 为零, 且 $R_L \ll R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$, 则式(2-8)可改写为

$$K_V = -\beta_2 \frac{R_4 \beta_1 R_L / (R_4 + \beta_1 R_L)}{h_{ie2}} \quad (2-9)$$

上式表明, 对于一定的 $\beta_1 R_L$ (或 R_{in1}), K_V 与 β_2 、 R_4 及 h_{ie2} 有关。若 β_2 愈大, 同样的基极电流可以产生更大的集电极电流, 因而 K_V 亦愈大。若 R_4 愈大, 同样的集电极电流可以产生更大的输出电压, 因而 K_V 也愈大。若 h_{ie2} 愈小, 同样的输入信号电压可以产生更大的基极电流, 因而 K_V 亦愈大。

那么是不是任意增大 R_4 、减小 h_{ie} 和选用 β 值非常大的晶体管, 就能得到一个电压增益很高的单级共发比较放大器呢?

一般情况下, β 值非常大的晶体管 (如 $\beta > 200$), 其特性往往不稳定, 且受温度的影响较大。目前, 在集成电压调整器中 npn 晶体管 β 值一般在 100~150 之间。

电阻 R_4 的增大有无限制呢? 我们知道 R_4 大到一定数值 (I_c 、 I_b 、 U_{cc} 都不变) 时, 该晶