

现代电子系统 小功率直流稳压电源设计

李哲英 李晓光 陈同占 著

WENYAN
DIANJIYUAN

中国铁道出版社



284022

现代电子系统

小功率直流稳压电源设计

李哲英 李晓光 陈同占 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1996 年 · 北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

鉴于当前我国电子工业中微、小功率电源设计和工艺水平落后的情况,本书以近年来应用于电源设计中的高新技术为基础,向读者详细介绍了微、小功率直流稳压电源的设计技术。本书以实用设计为目的,突出新技术、新器件和实用设计三个方面,为工程设计人员、电子系统维修人员、高等院校有关电源设计和实验教学的师生提供了一本极有实用价值的手册和参考书。

现代电子系统小功率直流稳压电源设计

李哲英 李晓光 陈同占 编著

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区南菜园街甲 72 号)

责任编辑 刘 波 封面设计 马 利

各 地 新 华 书 店 经 销

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7 字数: 170 千

1996 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—1500 册

ISBN 7-113-02305-3/TP·236 定价: 48.50 元

前 言

电源是各种微电子设备的重要组成部分。随着微电子技术的发展,现代电子系统对各种小功率、微功率直流稳压电源的需求量越来越大,对各种电源的质量也提出了不同的要求。

现代电子系统对小功率直流稳压电源的主要要求如下:

1. 能满足系统对功率的要求,有一定的过载能力。
2. 能满足系统对电压稳定度的要求。
3. 能满足系统对电压纹波系数的要求。
4. 具有较高的抗干扰能力和可靠性。
5. 具有良好的节能特性。

此外,还有某些特殊要求,例如要有良好的电压调整特性、较好的电磁兼容特性、灵活的变换能力以及不间断供电能力等。

就目前国内的情况而言,无论是设计技术还是工艺技术,微小功率直流稳压电源的应用技术水平已经落后于电子工业的发展,直接影响到我国电子系统产品的整体质量。同时,高等院校电子电路教学中几乎没有有关微小功率电源的内容。造成这种现象的主要原因是没能充分认识小功率、微功率电源的重要性,认为电源比较简单。实际上,微小功率直流稳压电源技术已经成为现代电子系统中不可缺少的基本技术,各种高新技术在电源的设计中均有应用。

本书的目的,就是要以近年来应用于电源设计的高新技术为基础,向读者详细介绍有关小功率和微功率直流稳压电源的设计技术,为国内读者提供一本有实用价值的参考书。

本书以实用设计为目的,突出电源设计基本理论、新技术、新器件和实用设计方法这四个方面,因此不仅可以满足工程设计人员的需要,也可以为电子系统维修人员提供有益的帮助。同时,还可以作为工科院校有关电源设计和实验的教学参考书。

全书共分 11 章。第一章介绍了电子系统中有关电源的基本概念。第二、三章比较详细地讨论了线性和开关型两种不同类型直流稳压电源的基本工作原理。第四、五两章介绍了微小功率电源电路中有关滤波和变压器的分析和设计技术。第六、七章比较详细地介绍了线性和开关型直流稳压电源设计方法和设计技术。第八章对微电子系统中微功率电源的设计技术进行了讨论,第九章的内容是某些特殊要求的电源设计技术和实例。第十章较详细地介绍了电子系统中分布式电源体系的基本概念和设计技术。第十一章介绍了两个先进的微小功率电源控制集成电路。此外,本书的附录中收入了一些微小功率电源中常用的器件、导线和开关变压器基本参数,可以作为读者设计时的参考数据。

本书的第一、八、九、十章由李哲英编写，第二、五、六章和附录由陈同占编写，第三、四、七、十一章由李晓光编写。

在本书编写过程中，作者得到了北方交通大学电子电路实验中心全体同志的热情支持和帮助，作者在此表示衷心的感谢。

作 者

1996年3月于北方交通大学

目 录

第一章 电子系统中的直流稳压电源	1
§ 1-1 现代电子系统对直流稳压电源的要求	1
§ 1-2 小功率和微功率直流稳压电源技术	3
§ 1-3 小功率和微功率直流稳压电源的元器件	3
第二章 线性直流稳压电源分析	9
§ 2-1 线性直流稳压电源的结构与设计参数	9
§ 2-2 线性直流稳压原理分析	10
§ 2-3 小功率线性直流稳压电路的结构设计与参数计算	11
第三章 开关型直流稳压电源分析	15
§ 3-1 基本结构与分类	15
§ 3-2 开关型直流稳压电源基本工作原理	17
§ 3-3 正激开关变换电路	19
§ 3-4 反激开关变换电路	22
§ 3-5 推挽开关变换电路	26
§ 3-6 半桥开关变换器	28
§ 3-7 全桥开关变换电路	28
§ 3-8 开关控制方式	29
§ 3-9 开关型稳压电源设计参数与主要器件的选择条件	31
第四章 变压器的选择与设计方法	34
§ 4-1 线性直流稳压电源变压器的设计参数计算与选择	34
§ 4-2 开关变压器设计技术	37
§ 4-3 挽式开关变换电路的开关变压器设计	38
§ 4-4 反激开关变换电路的开关变压器设计	41
§ 4-5 储能电感设计	44
§ 4-6 开关变压器和电感器设计举例	46
第五章 整流与滤波电路设计	50
§ 5-1 整流电路分析及设计	50
§ 5-2 电容滤波电路设计	54
§ 5-3 电感滤波电路	56
第六章 线性直流稳压电源设计	58
§ 6-1 基本设计方法	58
§ 6-2 基本设计技术	59
§ 6-3 设计举例	61
§ 6-4 提高小功率线性直流稳压电源效率的方法	66

第七章 开关型直流稳压电源设计	67
§ 7-1 开关型稳压电源设计内容	67
§ 7-2 电路形式选择技术	69
§ 7-3 功率开关管电路的参数计算与选用	71
§ 7-4 高频整流滤波电路设计	74
§ 7-5 保护电路设计	74
§ 7-6 小功率开关电源设计举例	76
第八章 微功率电源	78
§ 8-1 微功率电源的基本特点	78
§ 8-2 线性微功率稳压技术	79
§ 8-3 开关型微功率稳压技术	79
§ 8-4 实用电路设计方法与器件	80
第九章 特殊要求电源设计	84
§ 9-1 隔离直流电源	84
§ 9-2 小功率直流电机电源	86
§ 9-3 步进电机控制电源	86
§ 9-4 程控输出直流稳压电源	87
第十章 分布式电源系统设计技术	89
§ 10-1 分布式电源设计原则	90
§ 10-2 分布式电源系统设计中的电磁兼容技术	91
§ 10-3 分布式电源系统设计中的安全可靠技术	91
§ 10-4 分布式电源的优化设计技术	92
§ 10-5 分布式电源方案设计举例	93
第十一章 开关型直流稳压电源控制集成电路	96
§ 11-1 高性能电流模式开关控制集成电路 UC3842A	96
§ 11-2 高性能门控振荡器模式开关控制集成电路 MC34063A	98
附录 1 小功率直流稳压电源常用器件	100
附录 2 导线与开关变压器铁心材料	103

第一章 电子系统中的直流稳压电源

直流稳压电源是现代电子系统中的重要组成部分。没有一个好的直流电源系统,就没有一个高质量的现代电子系统。实际上,电源设计已成为现代电子技术中的一个重要分支。

从输出功率上看,直流稳压电源可以分为大功率(几百瓦以上)、小功率(几十瓦以下)和微功率(毫瓦级)三种。大功率的直流稳压电源用于较大功率的工业设备,例如直流电机的电源、大型通信设备等。大功率直流稳压电源实际上是一套完整的、独立的电气设备。微小功率直流稳压电源用于一般的电子设备,例如小型或便携式电子仪器、小功率直流电机驱动设备、一般的民用电器等。微功率直流稳压电源用于各种便携式电子设备,例如无线通信设备、电子表、计算器、BP机等。大功率直流稳压电源与小功率和微功率直流稳压电源相比,不仅输出功率差别大,电路结构、各项技术指标要求和稳压控制原理的差别也比较大(本书不涉及大功率直流稳压电源的设计技术)。小功率和微功率直流稳压电源的电路结构、各项技术指标要求和稳压控制原理十分接近。另一方面,现代电子系统更多地是使用逐级稳压、分布式供电的电源方式,因此,小功率和微功率电源技术是电子系统设计的一个相当重要的组成部分。

电源设计技术涉及到相当多的现代科学技术,例如控制理论、信号理论、系统理论、非线性理论、微电子技术、微机技术、可靠性技术以及电磁兼容技术等。本章将就现代电子系统对小功率和微功率直流稳压电源的要求以及电源设计技术进行一般性的论述,以使读者对小功率和微功率电源技术有比较全面的了解。

§ 1-1 现代电子系统对直流稳压电源的要求

现代电子系统是一个极为复杂的系统,这个复杂的大系统中有着种类繁多的设备(直流稳压电源也是其中之一)。电子系统中的设备一般都需要直流稳压电源,并且各种设备对电源的要求各不相同,电源的好坏将直接影响系统能否正常工作。例如,模拟信号测量设备要求电源稳定可靠、低噪声,数字系统则要求电源可靠、耐冲击性较好。一般地说,模拟系统对电源的技术要求较高,而数字系统对电源的技术要求相对较低。这是因为模拟电子系统对电源的稳定性十分敏感,数字系统(数字器件)是以电平来表示和传递信号的,因此对电源波动有较强的抑制能力。

电子系统的直流稳压电源可以通过对交流电源进行整流变换而得到,也可以经DC-DC变换或直接由蓄电池供电。直流稳压电源可以分大功率和小功率(微功率)两种。

随着微电子技术的发展,现代电子系统正在向节能型分布式电源系统发展。节能型分布式电源系统的主要优点是:

1. 由于各用电设备有独立的直流稳压电源,因此减少了直流输电线路,提高了系统整体可靠性,避免了低电压、大电流总线引起的电磁兼容问题,从而使系统损耗降低,达到节约能源的目的。

2. 以高效率的小功率和微功率直流稳压电源为基础, 使系统各设备的电源相互独立, 不仅可以使灵活多样的电源形式(从复杂的直流稳压电源到普通电池), 还可以降低系统的整体造价, 实现系统的最佳电源配置方案。

实际上, 由于电子系统的应用领域越来越宽、电子设备的种类越来越多, 要想对一个电子系统实行统一的直流供电不仅不安全、不可靠, 而且是完全不可能的。所以分布式供电也是一种必然的趋势。目前, 分布式电源正发展成为现代电子系统电源的基本结构, 特别是那些需要电源种类多、功率电平灵活的系统(例如较复杂的数字系统), 已完全采用分布式电源。

从技术的角度看, 一方面由于集成电路技术的发展, 现代电子系统对直流电源的精度、稳定性、噪声水平等要求正在逐步下降, 这为降低直流稳压电源的复杂性创造了有利的条件。另一方面, 又对直流稳压电源的可靠性、节能特性等提出了更高的要求。例如使用电池供电的移动电话和寻呼机, 在 $2.7V \sim 7.5V$ 的电压范围内都能正常工作, 但必须能做到在较长的时间内不更换电池, 这不仅要求电池要有足够的能量, 系统本身也必须采取一定的节能和提高电池利用率的措施。由此能够看出, 现代电子系统的电源设计已经不再是一个简单的供电问题, 而是系统设计的一个重要方面。这完全打破了对直流稳压电源设计的传统观念。传统的电源设计与系统设计是相互独立的, 系统设计时只是对电源的电压种类、功率、使用环境等技术指标提出相应的要求, 电源设计时只要能满足这些技术指标就可以了。而现代电子系统在系统设计的时候, 必须同时考虑系统电源的配置、用电方式以及节能措施等问题, 否则就不可能实现系统的设计要求。电源设计是系统设计的一个重要组成部分, 这是每一个现代电子系统设计者必须明确的一个重要概念。

现代电子系统对电源一般有如下要求:

1. 稳压范围宽。在输入电压发生较大范围的变化时, 稳压电源能始终保持稳定的输出(电压和输出电阻稳定)。这实际上是所有电源(例如发电机、蓄电池、直流稳压电源等)必须具有的技术特性, 因为所有的用电设备都是在一定的电源电压下才能安全、可靠、高效的工作, 因此直流稳压电源的输出电压、功率以及输出电阻都必须满足一定的稳定要求。

2. 过载能力强。短时的过载是电子系统十分常见的现象。过载能力并不仅仅是要求直流稳压电源能在短时内提供超出额定功率的电流, 同时还要求电源有足够的自保护能力。现代电子系统电源设计时还必须考虑有足够的耐冲击性。

3. 自身功耗低。降低电源自身损耗历来是电源设计的一个重要目标, 这不仅可以提高电源的工作效率。还会缩小电源体积, 降低系统成本。现代电子系统中电源变换技术使用得相当广泛, 因此电源自身损耗是电子系统设计中的一个大问题。

4. 较强的环境适应能力。要求电源不仅在系统要求的环境下能正常工作, 而且在超出环境要求的某些情况下不会造成自身或负载的破坏。

5. 良好的电磁兼容特性。良好的电磁兼容特性一方面是指电源自身的电磁兼容特性(如对电网波动的抑制能力、自身不会产生有害的电磁辐射等), 另一方面是指直流稳压电源的输出电压要满足一定的净化要求(纹波系数、电磁噪声限制等)。

6. 较高的安全可靠。安全可靠包含三个意义。一是直流稳压电源对自己有良好的保护措施, 一旦因负载电路发生故障(如负载电路元器件短路、器件性能下降引起过大的电流或高反压、电路板上电源线路短路、电网电压异常等), 直流稳压电源能在遭到破坏之前实行有效的自我保护。二是当直流稳压电源内部异常或发生故障时(如交直流短路、稳压电

路因器件损坏而产生输入输出之间短路、稳压失灵等), 能在负载系统遭到破坏之前自行封闭, 从而使负载系统得到保护。三是直流稳压电源能在额定负载情况下长期稳定工作。

7. 价格合理。对现代电子系统的设备或电路来说, 电源的性能价格比是至关重要的。电源成本在电子设备或电路总成本中所占的比重会直接影响设备或电路的实用性。合理的价格包括性能价格比和成本比例两个方面的因素。

以上仅是现代电子系统对直流稳压电源的一般性要求。实际上, 不同的电子系统对电源的要求不会完全相同, 甚至同一系统的不同部分对电源的要求也会有所不同。因此, 设计系统的直流稳压电源时必须区别对待, 这样才能设计出系统可以接受的、有较高性能价格比的直流稳压电源。

§ 1-2 小功率和微功率直流稳压电源技术

小功率和微功率直流稳压电源是一种用量极大的电源, 同时也是与电子电路系统设计紧密相关的一种电源, 其设计本身就是系统电路设计工作的一部分。小功率和微功率直流稳压电源技术包括直流电源技术和系统电源技术两个方面的内容。

一、直流电源技术

这是指通常意义上的直流电源技术, 也就是一般所说的直流稳压电源设计与制造技术。直流电源技术是现代微电子技术的一个重要组成部分(包括稳压、恒流和 DC-DC 变换), 包括了几乎所有的现代微电子技术, 例如智能控制技术、直流变换技术、光电耦合技术、高频技术、精密放大技术、滤波技术等。直流电源技术的目的是设计制造出符合不同要求的直流稳压电源(包括恒流源和 DC-DC 变换)。

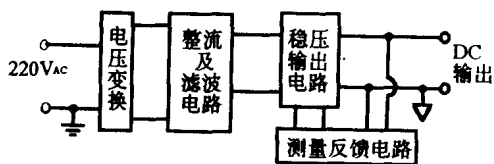


图1-1 直流稳压电源的基本原理

直流稳压电源从稳压原理上看, 可分成线性和开关两种。直流稳压电源的基本原理如图1-1所示, 线性和开关型直流稳压电源的区别在于稳压控制方式和输出电路不同。线性电源的稳压特性由稳压电路中的调整管实现, 调整管也是输出管, 电路工作在调整管的线性区,

因此叫做线性直流稳压电源。开关电源的稳压电路由电子开关组成, 用开关的工作状态(非线性)实现稳定输出电压, 因此叫做开关电源。开关型电源有专门的输出电路。

在电子系统或设备中, 除了有把交流市电转换成稳定的低压直流电源外, 还需要进行 DC-DC 变换。所谓 DC-DC 变换是指把一种电压等级或电压极性的直流电源变换成另一种电压等级或极性的直流稳压电源, 例如把 +12V_{DC} 变换成 +5V_{DC}, 把 -48V_{DC} 变换成 +12V_{DC} 等。其实, 无论是线性还是开关型直流稳压电源, 其核心都是 DC-DC 变换电路。这种 DC-DC 变换电路的输入是直流电压, 输出也是直流电压。DC-DC 变换电路可分为转换型和隔离型两种。转换型的功能是把输入的直流电压转换成另一种直流电压(例如把 +48V_{DC} 转换成 12V_{DC}、把 +5V_{DC} 转换成 ±12V_{DC})。隔离型则不仅要进行电压种类转换, 同时还对输入输出之间实行电气隔离, 使输入与输出之间没有电联系。

值得指出的是, 微电子技术的发展为电源技术提供了大量的集成电路元器件, 正确使用这些元器件是直流电源技术的一个重要组成部分。

二、系统直流电源技术

这是一个随着微电子技术不断发展而出现的一个新技术。系统直流电源技术的目的,是针对不同电子系统的系统特性(例如电磁兼容性、分布性、可靠性、安全性、复杂性等)以及系统的技术特点(运行速度、延时、功率或滤波、印刷电路),为系统设计出一个符合要求的直流稳压电源系统。这是实际上也是系统设计的一部分。根据系统实际情况,合理安排系统各部分的电源(包括形式、种类、性质、技术指标等),是系统直流电源技术的核心。

系统直流电源技术以安全、可靠、节能为目的,以分布式、系列化为核心的一项系统技术。系统电源技术要解决的不仅是如何向系统提供直流稳压电源,更主要的是要解决系统如何通过电源部分获得更高的安全可靠性和节能特性(节能特性对小功率和微功率系统尤为重要)。

在进行现代电子系统设计时,一般比较重视直流电源技术而容易忽视系统直流电源技术,这是造成某些电子系统工作不可靠、使用寿命短的一个重要原因。任何一个电子系统,都是由不同的电子元器件组成的,都必须安装在各种电路板上。系统的直流稳压电源必须同时满足不同元件、器件或印刷电路板的要求,这是系统安全可靠工作的基本保证。不同的元器件或印刷电路板对电源的要求是不尽相同的,因此,系统设计人员必须十分重视系统直流电源设计技术。另一方面,系统直流电源技术的基础之一是直流电源技术,不懂得直流电源技术是不可能圆满地完成系统电源设计任务的。由此可知,既掌握直流电源技术,又掌握系统直流电源技术对一个系统设计者来说是十分重要的。

§ 1-3 小功率和微功率直流稳压电源的元器件

直流稳压电源的技术性能与所使用的电路形式有直接关系,而一旦选定了电路形式,元器件对实现稳压电路的性能技术指标就具有决定性的意义。因此,掌握各种不同元器件的技术性能和使用方法是直流电源和系统直流电源技术的基本内容之一。

目前,用于小功率和微功率直流稳压电源的电子元器件很多,本节仅对常用稳压器件的基本原理做简要介绍。

一、二极管

二极管是各种直流稳压电源的基本器件之一。用于直流稳压电源的二极管有稳压二极管、整流二极管以及保护二极管等。无论何种二极管,都必须同时满足直流稳压电源的电压、电流、功率以及频率这四项基本要求。

1. 稳压二极管。稳压二极管(也叫齐纳二极管)简称稳压管,一般用于电位钳制、提供参考电压、输入或输出保护,也用于微小功率、稳压要求不是很高的直流稳压场合。稳压管的使用方法是与负载并联,这时,负载电流由电源提供,电压是稳压管的稳压值。

稳压二极管提供的电压稳定值是固定的,这个电压值又叫做齐纳电压。选择使用稳压二极管时要注意三个主要参数,一个是稳定电压(齐纳电压)值 V_Z ,另一个是产生稳定电压需要的齐纳电流值,最后是二极管功率。稳压二极管要实现稳压功能,就必须有足够的稳压电流,系统中使用稳压二极管应当考虑最大功率消耗的问题。对批量生产的产品还要注意稳压值的偏差。

用稳压二极管提供稳定直流电压时的电路如图 1-2 所示。图中直流电源提供的电流 I_{cc} 。

是 I_0 与 I_z 之和, I_0 是稳压电路的负载电流, I_z 是齐纳电流, V_z 是稳压输出, R 是限流电阻。由图 1-2 可以得出

$$V_{cc} - V_z = RI = R(I_0 + I_z) \quad (1-1)$$

即

$$R = (V_{cc} - V_z) / (I_0 + I_z) \quad (1-2)$$

实际应用中选择 R 的原则是, 保证输出电流最大时, 仍能向稳压二极管提供必须的齐纳电流。可以看出, 这种稳压电路的输出电流小、效率低。

稳压管的种类、型号比较多。国产型号主要是 W 系列, 国外产品有 1N 系列, BZX 系列等。

稳压管的功率(稳压管自身消耗功率的允许值)有 200mW, 500mW, 1W, ... 5W 等, 齐纳电流从零点几毫安到几十毫安, 齐纳电压从 1.8V 到几百伏。随着微电子技术的发展, 目前稳压二极管的稳压偏差精度(实际稳压值与标称值的相对偏差)为 0.0005% ~ 8.5%, 带温度补偿的稳压管, 其稳压偏差精度可达 0.005%。附录 1 的表 1 列出了部分稳压管的技术参数, 详细的技术数据读者可参阅有关的二极管技术手册。

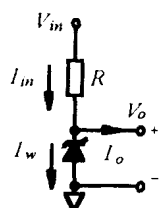


图 1-2 用稳压二极管的稳压电路

2. 整流二极管。整流二极管有时也叫做功率二极管(包括肖特基二极管), 是小功率和微功率直流稳压电源中整流电路的基本元器件, 同时又是组成直流稳压电源中各种保护电路的基本元器件。

直流稳压电源对整流二极管的基本要求有四个, 即电压、电流、功率和频率。电压是指整流二极管的正向工作电压和所能承受的反向电压。电流是指整流二极管的工作电流、反向漏电流以及所能承受的最高正向瞬时电流。功率是指整流二极管工作时所允许的自身耗散功率。频率是指保证整流二极管正常工作时的交流电压频率。对线性直流稳压电源的整流电路来说, 整流二极管的电压、电流和功率这三个参数是主要的, 而对开关型直流稳压电源和线性直流稳压电源中的某些保护电路来说, 电压、电流、功率和频率都是电路的基本参数。

由于小功率和微功率直流稳压电源的输出电流是经整流电路提供的, 所以整流二极管的功率对直流稳压电源的技术指标非常重要。值得指出的是必须对直流稳压电源中各种保护电路的电流值给以充分的注意, 这对选择保护电路的二极管十分重要。

直流稳压电源中使用的整流二极管分普通型和快恢复型两种。普通型整流二极管的结电容比较大, 反向恢复时间长, 适用于低频整流电路和响应速度低的保护电路。快恢复型整流二极管(如肖特基二极管)的反向恢复速度快, 恢复时间短(一般在 ns 数量级), 适用于高频整流电路和响应速度快的保护电路。

附录 1 的表 1、表 2 和表 3 列出了部分小功率和微功率直流稳压电源常用的稳压、整流和快恢复二极管特性参数, 可供读者设计整流电路时参考。

二、三端集成稳压器

三端集成稳压器是各种线性直流稳压电源的主要器件, 实际上就是一个完整的直流稳压电源。按输出电压的方式, 三端稳压器可分成固定与可调两种。固定式的输出电压(即稳

压输出值)是固定不变的, 可调式的输出电压则可以通过简单的反馈电路在一定的范围内调整变化。

固定式三端稳压器的电压调整、输出保护等电路完全集成在一个芯片内, 因此使用方便, 只要在输入端加上适当的直流电压, 输出端就会有稳定的直流电压输出。常用的固定式三端稳压器主要是 78 系列(用于正电源)和 79(用于负电源)两个系列。如 7805、7905 等。

可调式三端稳压器内部有稳压电路、输出保护电路, 只要适当调制反馈电阻, 就能实现输出电压连续可调。典型的有 LM317/327 等。

附录 1 的表 4 列出了部分三端线性稳压器集成电路的型号和主要技术参数。

三、功率开关管

功率开关管是开关型直流稳压电源的能量传输器件。开关功率器件的工作条件比较差, 对整个开关变换电路的特性有十分重要的影响。

1. 双极功率开关管

功率开关管是开关稳压电源中的关键器件之一, 它直接关系到整机的可靠性、效率及工作频率等。因此, 要提高开关稳压电源的质量, 必须选择性能优良的功率开关管。选择功率开关管时, 除了要考虑电压、电流、功率等极限参数以外, 还应满足如下要求:

1) 开关速度快。功率开关管的开关速度直接影响电源效率, 上升沿和下降沿的时间要尽量短, 特别是存储时间要小。若存储时间长将会引起双端变换电路的功率管共同导通。在单端开关变换电路的变压器单向偏磁, 轻者导致损耗增大, 重者导致器件损坏。此外, 存储时间的存在, 也影响开关稳压电源输出电压的调节范围以及对电网电压波动范围的适应能力。因此, 其存储时间越短越好。

2) 饱和压降小。当变换器的工作频率确定之后, 除了功率开关管的存储时间越短越好之外, 开关管在导通期间的损耗取决于饱和压降。因此, 为了减少变换器的损耗, 功率开关管的饱和压降愈小愈好。

3) 耐压高。在无工频变压器的稳压电源中, 全桥与半桥开关变换电路, 加在功率开关管 c-e 间的电压为电网单相交流电压的最大值, 即为 $1.414 \times 220\text{V}$, 再考虑电网的波动及尖峰电压的影响, 电压高达 450V 左右。推挽电路功率管承受的电压更高, 为上述电压的二倍。因此, 功率开关管的耐压要满足逆变电路的要求。

综上所述, 在设计中对功率开关管的要求主要是开关速度、耐压、饱和压降和电流能力。应该强调的是, 在实际应用中晶体管参数不要用到极限参数, 必须考虑一定的余量储备。近几年来功率 MOS 管、达林顿管, TIP 管的出现, 使开关稳压电源面临新的突破。使开关频率大大提高, 从目前的几十千赫提高到几百千赫。不仅大大缩小了开关稳压电源的体积, 而且其制造难度下降、质量提高。所以说, 功率 MOS 管(或叫场效应功率管)是大功率三极管的更新换代产品。

2. 场效应功率管 MOSFET

双极型晶体管是电流驱动元件。通过改变基极注入电流 I_b 可改变集电极电流, 从而达到控制的目的。场效应功率管是电压驱动元件, 对于金属氧化物场效应管(MOSFET)而言, 栅极和源极是由氧化层来进行隔离的。当栅极和源极之间无电压时, MOSFET 的漏-源极之间具有很高的阻抗, 只要其漏极和源极之间所加的电压小于元件额定电压, 那么漏极中只有微安级的漏电流流过。

当在栅极和源极之间加上电压时,在 MOSFET 的内部就建立了电场,这个电场可以调节漏极和源极之间的电阻,使漏极中流过的电流随着加到栅漏极电压的变化而变化,达到用栅极的电压调节 MOSFET 的总电流的目的。

MOSFET 实质上在电路中是作为电阻元件工作的。当栅极电压足够时, MOSFET 如同开关一样(类似于双极型晶体管饱和导通的状态)。其漏电流是由漏极的外电路电压和 MOSFET 的阻抗决定的。因为栅极只消耗很小的电流,所以 MOSFET 具有很高的直流电流增益(达 10^9 数量级)。这点比双极型晶体管和达林顿器件来的优越。在 MOSFET 导通时漏极和源极之间存在电压降,此压降和流过的电流成比例。

MOSFET 功率管同双极型晶体管相比,主要优点还在于 MOSFET 不会遭受二次击穿。双极型晶体管在高压下,由于电流集中,在基区产生热点,它们的负温度系数又引起热点的电流增加,此电流反过来使晶体管的热点更加热,以至于毁坏器件,出现二次击穿现象。而 MOSFET 具有正温度系数,趋向于使电流在整个片子上达到平衡,不具有二次击穿的机理。它们的直流安全工作区,在整个漏极-源极的额定电压范围内,仅仅由其功耗所决定。

MOSFET 的直流安全工作区基本上超过了双极型晶体管,更适应于大功率工作状态。MOSFET 需要的驱动功率非常小,开关电流可以很大,所以对驱动电路的功率要求不高。

另一个问题是开关时间,双极型晶体管从饱和状态到关断状态,由于要将过量的少数载流子从基区除去,所以有一个过渡的存储时间(一般达到微秒级),只有经过此存储时间后,功率晶体管才能开始关断。因此限制了双极型晶体管的工作频率不可能很高。而 MOSFET 功率管不含有少数载流子,就不会出现少数载流子的存储时间。只要从 MOSFET 栅极除去驱动电压,器件就关断,其漏极上就可以承受电压。用简单的栅极驱动电路就可以得到 MOSFET 的下降时间为几十纳秒(而双极型晶体管的下降时间典型值可达到数百纳秒或更大)。MOSFET 的漏电流上升时间也很容易短到只有几十纳秒。

MOSFET 易于并联使用,它具有自动地在器件中分配电流的性能,而不需要平衡电阻。

此外, MOSFET 的电流增益和开关时间有良好的温度稳定性。开关时间只取决于电路的输入电容,不会随温度明显变化。

四、开关型稳压控制器

开关型稳压控制器是指开关电源的控制器件,实际上是一个功能齐全的电子开关电路。开关型稳压控制器的输入信号来自电源输出端的反馈信号和控制电源输出电压幅度的参考电压信号。开关型稳压控制器件分脉宽调制(PWM)输出、脉冲频率调制(PFM)输出和混合调制输出三种类型。

脉宽调制型的控制输出脉冲频率固定,但脉冲的占空比在反馈信号和参考电压控制下发生变化,以控制输出电路产生稳定的直流输出电压。脉宽调制型电路使用的频率从几十赫兹到 1MHz 以上。使用频率低,则开关变压器体积大,但输出电路可以使用频率较低的器件。反之,使用频率高,则开关变压器体积小,但输出电路必须使用高频特性好的器件。

频率调制型的控制输出脉冲占空比固定,但输出脉冲的频率在反馈信号和参考电压的控制下发生变化,以此达到控制输出电路产生稳定的直流输出电压。频率调制型使用的频率较高(几百千赫或 1MHz 以上),因此开关变压器的体积较小,但输出电路要使用频率较高的器件。

混合调制型是把脉宽调制和频率调制结合在一起,输出脉冲的脉冲占空比和频率在反

馈信号和参考电压的控制下均发生变化，以此达到控制输出电路产生稳定的直流输出电压的目的。混合调制型一般使用的频率也比较高，因此开关变压器的体积较小，但输出电路要使用频率较高的器件。

附录 1 的表 5 列出了部分开关电源控制器集成电路的型号和部分特性参数。

五、DC-DC 变换器件

DC-DC 变换是现代电子设备和系统中常用的器件，目的是为满足设备和系统中不同器件的需要。特别是使用电池作为电源的电子系统，DC-DC 变换器件的使用更为广泛。

DC-DC 变换器件有线性和开关两大类。线性变换器件的外接电路比较简单，与普通的三端线性稳压器件不同的是，线性变换器件的压降和输出电流的能力都比较低。普通的三端稳压器也可以作为 DC-DC 变换器件使用。开关变换器件的外接电路比较复杂，一般需要电感，但变换效率比线性变换器件高，输出能力也比较大。同时，既可以升压，也可以降压，因此是电池作电源的电路中必不可少的器件。

目前，DC-DC 变换的器件品种很多，制造厂商也比较多，例如美国的 MAXIM 公司、MOTOROLA 公司、TI 公司等。

在一个电子设备或系统中，各部分所需要的电源种类往往不同，这是由于器件对电源要求不同所引起的。一般情况下，设计电路系统时应当使系统各部分所使用的电源种类尽量相同，以减少系统所使用的 DC-DC 转换电路。实际上，线性和开关型直流稳压器件也可以属于 DC-DC 变换器件。

附录 1 的表 6 列出了几种 DC-DC 变换器件的型号和部分参数。

六、变压器

变压器是直流稳压电源中的重要器件。目前，线性稳压电源使用的普通变压器可以直接购买，而开关电源使用的开关变压器一般要自己制作或向厂家定做。制作开关变压器时要特别注意铁芯的工作频率范围。附录 2 列出了小功率和微功率开关变压器常用的导线和铁芯的技术资料。

七、参考电源器件

参考电源器件在系统中的作用是，提供所需要的参考电压，以满足系统精度的需要。参考电源不能提供功率，所以，参考电源器件是不能作为电源器件使用的。

八、RLC 器件

电阻 R 、电感 L 、电容 C 是电子电路中不可缺少的元件。直流稳压电源对 RLC 元件的要求与其他电子电路相同，但使用中要特别注意元件的耐压值、功率、频率特性以及温度系数。不同形式的直流稳压电源对 RLC 器件的上述特性要求是不一样的。有时即使是在同一个直流稳压电路中，电路不同部分对 RLC 器件的要求也是不同的。设计时要十分小心。

九、印制电路板

小功率和微功率直流稳压电源都是安装在印制电路板上的，所以设计人员应对所设计的印制电路以及所使用的印制电路板材料有所了解。要特别注意的是印制电路板的分布参数、功率承受能力、重量承受能力、温度以及物理化学环境等。

第二章 线性直流稳压电源分析

线性直流稳压电源是电路简单、性能可靠、使用最早、应用极为广泛的一种直流稳压电源。目前,线性直流稳压电源无论在理论上还是在技术上都已经十分成熟。特别是微电子技术的发展,为线性直流稳压电源提供了各种体积小、使用方便的三端稳压器件,使电路制作十分容易,因此得到了广泛的应用(特别是电子仪器与设备中)。

线性直流稳压电源的优点是电路结构简单,调整方便,输出电压纹波小(纹波系数低),缺点是效率低(一般低于 50%),大功率时电源体积大。因此适用于小功率(20W 以下)或微功率 DC-DC 的场合。

本章从基本工作原理开始,对小功率线性直流稳压电源的稳压原理和设计参数进行理论分析,以使读者能够较全面地认识和掌握线性直流稳压电源分析和设计技术。

§ 2-1 线性直流稳压电源的结构与设计参数

目前电子系统设备所需要的小功率线性直流稳压电源,大多是通过交流市电进行降压,然后通过整流滤波和稳压输出而得到的。也有部分小功率线性直流稳压电源是通过对已有的直流电源(输入较高的直流稳压电源或蓄电池)进行稳压来实现的,例如 DC-DC 变换电源。绝大多数微功率电源是通过对电池进行稳压输出实现的(即 DC-DC 变换)。

小功率线性直流稳压电源的基本结构原理如图 2-1 所示。降压变压器把 220V 的交流市电降到适当的低电压,整流滤波电路把变压器输出的交流电压变换成比较平稳的直流脉动电压,稳压输出电路对直流脉动电压稳压后形成无脉动、稳定的直流输出。由于线性稳压电路是利用调整管的线性区实现的,因此叫做线性直流稳压电源。

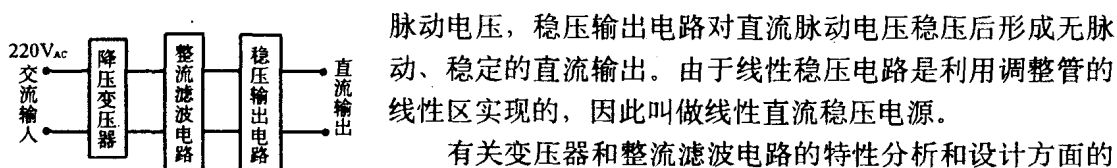


图2-1 线性直流稳压电源基本结构

有关变压器和整流滤波电路的特性分析和设计方面的问题请参看第四章和第五章的有关内容。

根据稳压电源的定义,在设计允许的输入电压和负载波动范围内,线性直流稳压电源必须保持稳定的、满足设计要求的直流输出电压。

线性直流稳压电源的设计参数一般有:

1. 输入电压。对交流市电供电的线性直流稳压电源,输入电压是指降压变压器输入端输入的交流电压、整流电路的输入电压(变压器的输出电压)、直流稳压电路的输入电压(整流滤波电路的输出电压)。对 DC-DC 变换电源,是指直流稳压电路的输入电压(例如电池提供的电压)。

2. 输出电压。在设计给定的输入电压条件下,直流稳压电路输出的直流电压。

3. 输出电流。在设计给定的输入电压条件下,直流稳压电路能提供的负载电流。

4. 稳压系数。输出电压最大和最小值的比值与输入电压最大值和最小值的比值之比。

5. 负载调整度。电源空载和满载时的输出电压之比, 是衡量直流稳压电源的重要性能技术指标。

6. 纹波系数。输出电压中所含交流分量的有效值或幅值。

7. 输出功率。稳压电源所能提供的最大功率。

8. 电源效率。稳压电源的输入功率和输出功率之比。

上述设计参数, 实际就是对线性直流稳压电源提出的设计要求, 线性直流稳压电源的设计内容, 就是要通过分析, 选择合理的电路满足上述这些要求。

§ 2-2 线性直流稳压原理分析

电子系统对直流稳压电源的要求是, 当输入电压和负载在给定范围内(输入电压和负载电阻的变化幅度与频率)变化时, 输出电压始终保持不变或仅在很小的范围内变化。这实际上就是直流稳压电源的定义。

根据控制系统理论可知, 稳压电源应当是一个工作点稳定的负反馈系统。对于一个系统, 为使输入变化时输出不变, 就必须使输出按一定的比例向着输入变化相反的方向变化。作为功率电路, 当负载变化时, 由于输出电阻的影响, 输出电压也会发生变化, 这时要求电源的输出能向着负载变化相反的方向变化。因此, 必须使用负反馈系统。

电源与负载可以等效为图 2-2 所示的电路。输出电压的表达式如下:

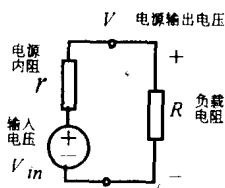


图2-2 电源与负载等效电路

$$\begin{aligned} V &= V_{in} - I \cdot r \\ &= V_{in} \left(1 - \frac{r}{r+R}\right) \end{aligned} \quad (2-1)$$

当输入电压发生变化时, 如果电源内阻 r 不变, 则输出电压 V 将发生变化。反之, 设输入电压和 r 不变, 负载电阻发生变化, 则因负载电流随 R 变化, 输出电压 V 也将发生变化。对稳压电源而言, 输入电压的波动是稳压电源不能控制的, 而输出负载不可能是固定的。稳压电源的目的就是要在输入电压和输出负载变化时, 保持电源输出电压在一定范围内稳定不变, 因此, 输入电压和负载电阻的变化范围是稳压电源设计的基本依据。从图 2-2 可以看出, 输入电压的变化和负载的变化都可以等效为电源输出电阻的变化。当输入电压和负载电阻发生变化时, 如果 r 也能随之变化, 输出电压就有可能稳定不变。这就是设计直流稳压电源的指导思想。

线性直流稳压是通过使三极管工作在放大区(线性区)和利用电压负反馈, 实现调整稳压电源内阻使输出电压稳定不变的。线性直流稳压电路的基本原理如图 2-3 所示。输出电压 V_o 的稳定值(稳压电源的输出电压设计值)由稳压二极管、三极管 T 和电位器组成的反馈电路确定, 直流稳压电路的电源内阻 r 的调整, 是通过改变调整管的集电极-发射极电压 V_{ce} 实现。调整管的基极-发射极电压 V_{be} 是反馈电压, 当输出电压因负载或输入电压的波动发生变化时, 三极管 T 的集电极电位发生与之相反的变化, 从而形成负反馈控制信号 V_b , 使 V_{ce} 发生变化, 输出电压稳定即可稳定在设计要求的电压值上。图 2-3(b)是线性直流稳压电源的系统框图。 $K(s)$ 是系统传递函数, 由调整管、稳压二极管等决定。 $B(s)$ 是反馈函数, 由反馈控制管 T 、 R_w 以及稳压管等决定。