

电力电子工程应用技术丛书

开关电源工程

调试技术

戴志平 主编
乔恩明 副主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力电子工程应用技术丛书

开关电源工程 调试技术

戴志平 主 编

乔恩明 副主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书在介绍开关电源基本电路和常用元器件的基础之上，重点讲解了开关电源的技术指标及测试和调试方法。编者结合工程实践，用大量篇幅针对一些典型应用电路详细介绍了具体的测试方法和调试的过程、步骤。

本书适用于开关电源生产厂家从事开关电源设计和维修的技术人员阅读，也可作为各类电子技术人员的培训教材或自学参考读物，同时还可作为大中专院校相关专业的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

开关电源工程调试技术/戴志平主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8875-5

I. 开… II. 戴… III. 开关电源-调试 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 083348 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

*

2009年8月第一版 2009年8月北京第一次印刷

1000毫米×1400毫米 B5开本 16.25印张 355千字

印数 0001—3000册 定价 30.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

Preface

前 言

科学技术发展到今天，我们已经越来越离不开电子产品，而广泛应用于通信、航空航天、国防、冶金、信息技术、电力以及教育等行业的电子设备，都需要高品质的电源为其提供电能。现代电子设备使用的电源大致有线性稳压电源和开关电源两大类。所谓线性稳压电源，就是其调整管工作在线性放大区，这种稳压电源的主要缺点是变换效率低，一般只有35%~60%；而开关稳压电源的调整管工作在开关状态，主要的优越性就是变换效率高（最高可达98%）、体积小、控制灵活，因此在空间技术、计算机、通信、雷达、电视及家用电器中的稳压电源已逐步被开关电源所取代。

在日常生活和工作中，高品质开关电源对我们非常重要，如何保证开关电源的高品质，又如何知道其具有高品质，这就涉及开关电源的技术指标、质量标准、测试和调试等环节。生产厂家关心的是如何生产出满足各种技术指标和质量标准的合格电源，电源用户和电源的客户服务关心的是如何检测出电源有何故障和哪些指标不符合要求，最终如何调试电路使其达到合格。

本书编者通过自己的工程实践，在介绍开关电源基本电路和常用元器件的基础上，根据自己的丰富实践经验，重点讲解了开关电源的技术指标及其测试和调试方法。全书用大量篇幅针对一些典型应用电路详细介绍了具体的测试方法和调试过程、步骤。

本书适用于开关电源生产厂家从事开关电源设计和维修的技术人员阅读，也可作为各类电子技术人员的培训教材或自学参考读物，同时还可作为大中专院校相关专业的参考教材。

本书第一、二、三章由戴志平编写，第四章由牛全民编写，第五章由赖向东编写，第六、七章由乔恩民编写，第八章由赵国林编写。戴志平负责全书的统稿。

由于编者水平有限，书中谬误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

Contents

目 录

前言		第一节 概述	93
第一章 开关电源基础知识	1	第二节 开关电源的基本 电路	94
第一节 概述	1	第三节 驱动电路	106
第二节 开关电源的新技术	2	第四节 PWM 信号产生与反馈 控制电路	116
第三节 开关电源的技术指标	5	第五章 单端反激式直流电源制作 与调试	130
第二章 开关电源测试技术	11	第一节 单端反激式开关稳压电 路的基本工作原理	130
第一节 开关电源测试技术 指标	11	第二节 高频变压器的绕制与 性能测试	138
第二节 开关电源主要技术指标 测试方法	18	第三节 50W 反激式电源调试与 实验	142
第三节 测试报告要求的 项目	28	第六章 310V/6A 半桥式直流电源 制作与调试	161
第四节 测试仪表的应用	31	第一节 电源的主电路结构及 工作原理	162
第三章 开关电源常用元器件	35	第二节 电源的控制电路设计与 调试	165
第一节 快速功率二极 管 VD	35	第三节 主电路参数设计	182
第二节 功率场效应晶体管 MOSFET	39	第四节 高频超微晶开关电源 变压器的设计	184
第三节 绝缘栅双极型晶体管 IGBT	43	第五节 电源调试的方法 步骤	189
第四节 智能功率模块 IPM	47	第七章 28V/300A 全桥开关电源 制作与调试	197
第五节 功率集成电路 PIC	54	第一节 电源的主电路结构及 工作原理	197
第六节 磁性材料与元件	60	第二节 电源的控制电路和保护 电路	199
第七节 开关电源中使用的 电容器	75	第三节 主电路参数设计	208
第八节 光电耦合器	79		
第九节 几种特殊的基准电 压源	84		
第十节 霍尔传感器	87		
第十一节 瞬态电压抑制器 TVS	90		
第四章 开关电源中的应用电路	93		

第四节	高频变压器设计	210	电路	220	
第五节	电源调试的方法		第二节	单级功率因数校正	
	步骤	211		电路	226
第八章	功率因数校正电路的		第三节	功率因数校正芯片及	
	调试	220		调试	238
第一节	单相功率因数校正		参考文献		252

Chapter 1

第一章

开关电源基础知识

第一节 概 述

电源是电子设备的心脏部分,其质量的好坏直接影响到电子设备的可靠性,而且电子设备的故障 60% 来自电源,因此,电源越来越受到人们的重视。现代电子设备使用的电源大致有线性稳压电源和开关电源两大类。所谓线性稳压电源,就是其调整管工作在线性放大区。这种稳压电源的主要缺点是变换效率低,一般只有 35%~60%;开关电源的调整管工作在开关状态,主要的优越性就是变化效率高,可达 70%~95%。因此,目前空间技术、计算机、通信、雷达、电视及家用电器中的稳压电源逐步被开关电源所取代。

开关电源是利用现代电力电子技术,控制开关管开通和关断的时间比率,维持稳定输出电压的一种电源,开关电源一般由脉冲宽度调制(PWM)控制 IC 和 MOSFET 构成。开关电源和线性电源相比,两者的成本都随着输出功率的增加而增长,但两者增长速率各异。线性电源成本在某一输出功率点上,反而高于开关电源,这一点称为成本反转点。随着电力电子技术的发展和创新,使得开关电源技术也在不断地创新,这一成本反转点日益向低输出电力端移动,这为开关电源提供了广阔的发展空间。

开关电源的优越性还表现在:

(1) 功耗小。由于开关管功率损耗小,因而不需要采用大散热器。功耗小使得电子设备内温升也较低,周围元件不会因长期工作在高温环境下而损坏,这有利于提高整个电子设备的可靠性和稳定性。

(2) 稳压范围宽。

(3) 体积小,质量轻。

(4) 安全可靠。

开关电源的主要问题是电路比较复杂,输出的纹波电压较高,瞬态响应差等。因此,开关稳压电源的应用受到一定的限制。

开关电源的三个条件为:

- (1) 开关。电力电子器件工作在开关状态而不是线性状态。
- (2) 高频。电力电子器件工作在高频而不是接近工频的低频。
- (3) 直流。开关电源输出的是直流而不是交流。

人们在开关电源技术领域是边开发相关电力电子器件，边开发开关变频技术，两者相互促进推动着开关电源每年以超过两位数字的增长率，向着轻、小、薄、低噪声、高可靠、抗干扰的方向发展。开关电源可分为 AC/DC 和 DC/DC 两大类，DC/DC 变换器现已实现模块化，而且设计技术及生产工艺在国内外均已成熟和标准化，并已得到用户的认可，但 AC/DC 的模块化，因其自身的特性使得在模块化的进程中，遇到较为复杂的技术和工艺制造问题。

开关电源的发展方向是高频、高可靠、低耗、低噪声、抗干扰和模块化。由于开关电源轻、小、薄的关键技术是高频化，因此国外各大开关电源制造商都致力于同步开发新型智能化的元器件，特别是改善二次整流器件的损耗，并在功率铁氧体 (Mn、Zn) 材料上加大科技创新，以提高在高频率和较大磁通密度 (B_s) 下获得高的磁性能，而电容器的小型化也是一项关键技术。SMT 技术的应用使得开关电源取得了长足的进展，在电路板两面布置元器件，以确保开关电源的轻、小、薄。开关电源的高频化就必然对传统的 PWM 开关技术进行创新，实现 ZVS、ZCS 的软开关技术已成为开关电源的主流技术，并大幅提高了开关电源的工作效率。对于高可靠性指标，美国的开关电源生产商通过降低运行电流，降低结温等措施以减少器件的应力，使得产品的可靠性大大提高。

模块化是开关电源发展的总体趋势，可以采用模块化电源组成分布式电源系统，可以设计成 $N+1$ 冗余电源系统，并实现并联方式的容量扩展。针对开关电源运行噪声大这一缺点，若单独追求高频化，其噪声也必将随着增大，而采用部分谐振转换电路技术，在理论上既可实现高频化又可降低噪声，但部分谐振转换技术的实际应用仍存在着技术问题，故仍需在这一领域开展大量的工作，以使得该项技术得以实用化。

电力电子技术的不断创新，使开关电源产业有着广阔的发展前景。

目前，世界各国正在大力研制开发新型开关电源，包括新理论、新型电路、新型功率器件及相关的集成控制芯片，以适应各种电子设备的小型化、高效率化的需要。

由于开关电源使用较多的开关器件，并且应用于较高的频率环境，如何使开关电源稳定的工作，如何调试电路使各项指标达到要求是一项非常重要的工作，也是当前开关电源研制开发和故障维修中的一个重要环节。

第二节 开关电源的新技术

一、微型化技术

1. 开关频率与损耗

决定开关电源体积的主要因素是电抗器、变压器等磁性器件和平滑电容器。若

提高开关电源的开关频率，这些元器件就会小型化。然而，开关频率提高时，不但有磁损耗，而且电路的损耗也会增大。一般来说，损耗随着开关频率成比例地增加。

2. 软开关的应用与同步整流

谐振或者软开关等方式可以有效地降低伴随着高频化带来的损耗。这时，开关损耗只不过是全部损耗中的一部分，若在高频领域，磁性器件的损耗所占的比例较大。开发低电压的集成电路是一种趋势，因此，低压大电流的电源显得非常重要。对于这样的电源，二极管正向压降的损耗几乎占总损耗的一半，为此，希望采用 FET 构成同步整流方式。然而，采用 FET 时，由于管内二极管的恢复特性与变压器漏感等的影响，提高频率是有限的，对于目前的技术，开关频率为 300kHz 左右。除了损耗与开关频率以外，决定开关电源体积的还有构成电源的元器件。为了减少电源的元器件数目需要开发电源模块，有效利用漏磁通的寄生参量。另外，从节省能量来看，也需要在低电压领域降低损耗，这样一来，控制电路的低电压化成为重要课题。谐振、软开关等方式的开关电源已实用化了，其中，可变频率的电流谐振开关电源已率先实用化。在美国、日本和一些发达国家高频率、低噪声和高效率的电源已批量生产。

3. 超薄型电源的研制成功

最近，通信与便携式电子设备都要薄型化，其电源需要采用薄型电源，影响这种电源薄型化的是电感、变压器等磁性元器件。作为薄型变压器，正在研究采用薄膜技术，但现在已经实用化的薄型变压器是在铁氧体磁芯上绕制铜片式片状绕组的变压器。这时，降低损耗的方法就是使通过基片磁芯的磁通和通过绕组的电流均匀。另外，磁性薄膜的采用提高了占空比，如何解决薄膜化带来的矫顽力增加是实用化的关键，为此，期望利用矫顽力增加较小的非晶型铁氧体片。

二、谐波电流抑制技术

1. 扼流圈输入方式

这种方式是在电源的输入即增设扼流圈，静噪滤波器或电抗器等，所用元器件数量最少、电流最简单、成本低，但体积大而且笨重，仅适用于一些对体积和质量没有严格要求的产品。不过，可用于抑制谐波电流和电磁干扰两者的混合小型扼流圈和小型电抗器以及专用谐波电流抑制的小型静噪滤波器，目前正在开发之中。

2. 部分平滑方式

这种方式是利用无源元件的组合来扩展电流导通角，它本身是为防止换流器照明闪烁而开发的，当用于处理功率的开关电源时，需要增设所用元器件数量以提高性能。

3. 单变换器方式

这是最近各国生产厂家积极进行研究开发的方式，其电路设计简单，输入级无需接入电抗器，交流输入可以直接接至负载使用，PWM 变换器不需要修改，只要增设若干元器件，就可以实现以往的双变换器方式所具有的功能，稳定直流输出电压，实现一次、二次的隔离，减少谐波电流，改善功率因数。

4. 双变换器方式

这是一种传统的电路方式。采用两个变换器分别用于稳定直流输出电压和改善功率因数，其变换器的设计自由度大，从减小谐波电流和改善功率因数的角度来说，是一种较理想的电路方式，而且这种电路技术已经成熟。

三、元器件性能的改善

1. 功率 MOSFET

随着电子设备的小型化，大规模集成电路的性能不断提高，相应地 DC/DC 变换器的输出电压也将降到 1V 以下。这时，用于 DC/DC 变换器输出端的二极管需要采用低导通电阻的功率 MOSFET，以便尽可能地降低损耗。

2. 平滑电容

对于铝电解电容，采用聚吡咯或有机半导体的固体电解质技术已经有了长足地进步，而对于这类电容器而言，缩小体积、提高纹波电流和延长寿命则是永恒的课题。在目前的市场上，用户十分需要能耐 105℃ 高温而寿命长达 7000~10000h 的产品和高度较低的产品。

对于钽电容器，继续在增加其单位体积的容量并降低阻抗，阴极材料采用聚吡咯的高分子型产品也已经开发成功并被市场所接受。

对于薄膜电容器，用户需要的是阻抗低、承受纹波电流大而体积小的品种，并且要求符合安全标准。目前，这种技术已取得相当进展。

四、引人注目的新技术

1. 软开关方式

软开关方式包括零电流开关方式、零电压开关方式及两者兼用的方式。这种方式的优点是产品体积小、效率高、噪声小、成本低。实现软开关方式的手段有谐振型开关电源技术和部分谐振开关电源技术，而后者很可能成为今后开关电源采用的主流技术。目前，市场已经有了许多用于软开关方面控制的芯片。

当今软开关技术使得 DC/DC 发生了质的飞跃，美国 VICOR 公司设计制造的多种 ECI 软开关 DC/DC 变换器，其最大输出功率有 300、600、800W 等，相应的功率密度为 6.2、10、17W/cm³，效率为 80%~90%。日本 NemicLambda 公司最新推出的一种采用软开关技术的高频开关电源模块 RM 系列，其开关频率为 200~300kHz，功率密度已达到 27W/cm³，采用同步整流器（MOSFET 代替肖特基二极管），使整个电路效率提高到 90%。

2. 组件化技术

所谓组件化技术，就是预先将电源中所需使用的 DC/DC 变换器、用于谐波电流抑制的功率因数改善电路、整流平滑电路已经静噪滤波电路等部分分别制成微型或薄型组件，再根据用户需要制作成半定制型电源，或者根据用户要求，与 AC/DC 前端电路配合，构成适应大功率输出或多路输出等用途的系统电源。

3. 控制技术

在有些开关电源产品中，以模拟方式控制输出电源，并以数字方式进行开关，同时稳定控制输出电压。从控制技术角度来说，采用数字技术控制，目的并不仅仅在于

稳定输出电压，而在于继续扩展应用范围，以实现节约电力、放宽输入电压范围（适应各国不同的市电交流电压）、进行系统对应控制等。

利用数字控制技术，可以根据发送/接受模式时负载变化量的大小，对升压斩波器的通/断控制进行连续模式和不连续模式的转换，从而提高开关电源的效率并延长电池的寿命。在其控制电路的记忆电路中，可将开关的导通时间等作为数据存储起来。

4. 交流适配器

便携式电子设备的兴起，使得交流适配器的市场越来越大。以往的交流适配器采用降压电路，体积大而且笨重，目前已有采用开关方式的小型交流适配器上市。

3W 或 5W 的小功率开关方式交流适配器，外形小巧扁薄，质量轻，使用时像插头一样，面向个人机的 35~45W 量级的开关方式交流适配器，采用的是谐振换流器电路，也已经开始进入市场。有些厂家供应的开关方式交流适配器系列产品，其最大功率已高达 60W 左右。

第三节 开关电源的技术指标

一、开关电源的各种标准

开关电源的标准是以国际电工委员会标准 IEC 为基础，标准之一是信息处理设备（含办公设备）的安全性 IEC 950 标准。当然，IEC 待定标准本身并不具有强制性，但各国在制订标准时，都是以 IEC 的标准为基础。

目前，各国政府都从一般人使用开关电源或装有开关电源的电子设备时的生命与财产安全可以得到保证的角度制订出安全标准，据以认定有关产品是否符合要求。对于不符合安全标准的产品，则不准出售。

一些地区和国家都根据 IEC 950 制订出更加严格的安全标准来替代旧标准。例如，在欧盟地区，旧的安全标准 VDE 0805/0806 到 1995 年废止，取而代之的是新标准 EN 60950；在加拿大，旧标准 1402C 可以一直适用到 2005 年，但是新上市的机型必须符合新标准 CSA、C22. 2No. 234；在美国，旧标准 UL 478 和 UL 1950D3 可以一直使用到 2000 年，但是新上市的机型必须符合新标准 UL 1950。

准备出口开关电源的企业，必须接受产品出口国的公共机构的认证并取得认证号，如 UL 认证和 CAS 认证等。而且，处理产品的性能与加工应满足主要要求条件外，还必须对电源采取绝缘措施、抑制噪声措施，并进行必要的质量控制等。

尤其是打算在欧盟地区范围内销售开关电源及装有开关电源的电子设备时，出口厂家有义务在产品上贴 CE 标志，以标明该产品符合安全和质量控制等要求，并且不至于对环境造成危害。在欧盟地区内，自 1995 年 1 月 1 日开始强制执行机械安全指令，其后，1996 年 1 月 1 日开始强制执行了包括电磁干扰 EMI 抑制、电磁抗扰性 EMS 以及谐波电流抑制 PFHC 要求在内的电磁兼容 EMC 指令，从 1997 年 1 月 1 日起开始强制执行了相当于安全标准的低电压 LVD 指令。其他国家和地区也相继采取类似的行动，建立类似的限制行规范。有关 CE 标志的体系如下，适用于各种电子产品的主要 EMI 标准如表 1-1 所示。

		适用产品	EC 指令要求符合的标准
CE 标志	低电压指令 (1997年1月1日实施)	内置型电源、组件型电源 (非独立的最终产品)	EN 60950 包括电动办公设备的信息技术设备的安全性(相当于办公自动化设备等)
		台式电源、实验室电源及 独立电源(最终产品)	EN 61011 用于测量、控制及实验等的电气设备的安全性要求
		不间断电源(最终产品)	EN 50091-1
	EMC 指令 (1996年1月1日实施)	内置型电源、组件型电源 (非独立的最终产品)	(对电源单元不作要求)
		台式电源、实验室电源及 独立电源(最终产品)	EMI: EN 50081(通用标准) EMS: EN 50082(通用标准)
		不间断电源(最终产品)	EMI: EN 50081(通用标准) EMS: EN 50082(通用标准)

EMI	EMS	PFHC
EN 55011	EN 61000-4	EN 60555
(工业、科学及医疗用射频设备标准)	(目前包括静电放电、辐射性射频电磁场、初始瞬态、脉冲串、雷电涌、射频电磁场感应、电源频率磁场、输入电压降等项目)	(家用电气设备的谐波电流抑制)

表 1-1 主要 EMI 标准示例

适用电子产品	国际标准	美国标准	欧洲标准	日本标准
电视机、收音机及音响设备	CISPR Pub. 13 Subpart B Subpart C	FCC Part 15	EN 55013	电气用品管理法
磁带录像机	CISPR Pub. 13	FCC Part 15 Subpart B	EN 55013	电气用品管理法
信息技术设备、复印机	CISPR Pub. 22	FCC Part 15 Subpart B	EN 55022	VCCI
电话机、传真机	CISPR Pub. 22 CCITT	FCC Part 15 FCC Part 68	EN 55022	VCCI
无线通信设备	CCIR	FCC Part 15 FCC Part 68	ETS 300/33	电气用品管理法 电磁波法 VCCI
家用电气设备、便携式电动工具	CISPR Pub. 14		EN 55014	电气用品管理法

EMC 指令的适用对象是涉及所有产生电磁干扰的产品、受到电磁干扰而可能发生故障的产品及可能产生谐波电流的产品；低电压指令适用于交流 50~1000V 的产品和直流 75~1500V 的产品。

因此，开关电源生产厂家必须在充分了解有关指令、标准及规范的基础上，实施相应的严格管理，设计和制造可以满足相关要求的各种电源产品。当然，非生产开关电源厂家在自行设计和制造开关电源时，必须熟悉相关的指令、标准及规范。不过，考虑到开关电源产品需要通过认证过程及成本效率等因素，除非有特殊必要，还是从开关电源的专业生产厂家购买比较合算。在选购时，不论是购买电源单机还是装入电子产品的内置电源单元，都应当注意选择可以满足有关指令、标准及规范的产品。

二、开关电源的技术指标

1. 电气技术指标

(1) 输入技术指标。作为开关电源输入的技术指标有输入电源相数、额定输入电压及电压的变化范围、频率、输入电流等。输入电源一般为单相二线制和三相三线制，还有单相三线制及三相四线制等。电源的额定输入电压因各国或地区不同而异，例如，美国规定的交流输入电源电压为 120V，欧洲为 220~240V，日本为 100V 及 200V，我国为 220V 及 380V。输入电压的变化范围一般为 $\pm 10\%$ ，加上配线路径及各国的具体情况，输入电压的变化范围多为 $-15\% \sim +10\%$ 。

开关电源的输入几乎都是用电容进行滤波的电容输入方式，因此，有高次谐波失真带来的电压尖峰的问题，但通常在正弦波的情况下能保证上述给定的指标。三相输入时虽有相电压的不平衡，但输入电压在规定变化范围之内。

工频为 50Hz 或 60Hz，在频率变化范围不影响开关电源的特性时多半为 48~63Hz，还有船舶用的特殊电源频率为 400Hz，但因输入电容滤波器的电容电流及输入整流二极管的损耗增加等，降低了效率，若考虑要满足 EMI 的规定，可以采取减小此影响。

开关电源最大输入电流是表示输入电压为下限值时，输出电压及电流为上限值时的输入电流。额定输入电流是在输入电压及输出电压、电流为额定时的电流。开关电源的输入滤波方式是电容输入方式，有较大的峰值电流，要有考虑电流的波峰系数（最大值/有效值之比，通差为 3.5）以及功率因数的规定。

输入电压瞬时跌落或瞬时断电时，在额定输出电压与电路条件下规定的输入电压是额定输入电压。瞬时断电时间为 10ms 与 20ms，在实用中按规定瞬时断电，多数情况下不会有问题。在输入的下限，输出保持时间变得很短，但在 100% 输出时，在较低额定输入条件下，实用上问题也不是很大。

在规定的间隔对输入电压进行通断时，输入电路达到稳定状态之前流经的最大瞬时电流为冲击电流。对于开关电源是输入电压接通时与其后输出电压上升时流经的电流，这由输入开关的承受能力所限制，峰值电流一般为 30~50A。

一般情况下，当输入电源跌落与瞬时断电时，要防止冲击电流的对电路的影响。用热敏电阻只能防止冷启动时的冲击电流，而对每隔几十秒的瞬时通断不起什么作用，因此，也要规定通断的重复时间。

漏电流是流经输入侧地线的电流，从安全考虑一般为 $0.5\sim 1\text{mA}$ 。

效率是指输入、输出为额定值时，其输出功率与输入有效功率之比值。

效率随输出电压、电流与输出路数及开关方式不同而异，多为 $70\%\sim 80\%$ ，并随输入与输出的条件而变化，因此，要注意电子设备的散热条件等。

(2) 输出技术指标。输出端的直流电压的公称值称为额定输出电压，对于其公称电压有精度与纹波系数等。

额定输出电流是指输出端供给负载的最大平均电流。依据电子设备的不同，多路输出的电源中某路输出电流增大，另外几路输出电流就得减小，以保持总的输出电流不变。市场上的开关电源产品为使其有更好的通用性，多是在一次侧允许功率范围内，增大二次侧各路输出功率。

稳压精度也称为输出电压精度或电压调整率。输出电压变动有多种原因：

1) 静态输入电压引起的变动。这是指在其他指标为额定情况下，在规定的范围内输入电压缓慢变动引起输出电压的变动。

2) 静态负载引起的变动。这是指其他指标为额定条件下，输出电流在规定的范围内缓慢变动时的输出电压的变动。在规定负载变动范围内及多路输出的条件下，可能有非稳定输出的情况，因此，还应该包括规定最低负载电流。最低负载电流下的规定精度，一般是指保护功能发挥作用时的情况，另外，对于多路输出的电源，电路方式的不同也会受到其他输出负载变动的影晌。

3) 环境温度引起的变动。这是指在规定的温度范围内，其他指标为额定值时输出电压的变动。

4) 初始特性的变动。这是指在输入、输出为额定值时，接入输入电源之后到规定时间（多为 30min ）时输出电压的变动。

5) 长时间特性的变动。这是指输入、输出为额定值时，从接入输入电源后的规定时间到下一次规定时间输出电压的变动，一般多为接入输入电源后 $30\text{min}\sim 8\text{h}$ 的变化值。

6) 动态输入电压引起的变动。这是指输入电压以规定的幅度急剧变化时输出电压的变动。

7) 动态负载引起的变动。这是指输出电流按规定的幅度急剧变化时输出电压的变动，后述的脉冲负载等情况除外。

输出电压可调范围是指在保证电压稳定精度条件下，由外部可能调整的输出电压范围，一般为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ ，条件是在输入电压的下限时输出电压的最大值，以及在输入电压上限时输出电压的最小值。

纹波是输出端呈现的与输入频率及开关变换频率同步的分量，用峰—峰值表示，一般为输出电压的 0.5% 以内，噪声是输出端呈现出的纹波以外频率的分量，也用峰—峰值表示，一般为输出电压的 1% ，但噪声与纹波没明显区别时，规定纹波与噪声的总合值。多数场合中规定纹波噪声的总合值为输出电压的 2% 以内。

(3) 附属功能。

1) 过电流保护。输出短路或过负载时，对电源或负载要进行保护，即为过电流保

护。保护特性有额定电流下垂特性、恒流特性、恒功率特性，大多数为下垂特性。过电流的设定值一般为额定电流的 110%~130%。但在不损坏电源与负载的前提下，不规定短路保护时的电流值的情况也很多。一般为自动恢复型。

2) 过电压保护。过电压保护就是输出端出现过电压时对负载进行保护的功能。过电压保护值一般规定为额定输出电压的 130%~150%。对于输出电压可调范围比较大的电源，过电压保护值规定为在电压上限时不会发生误动作即可。发生过电压时使开关电源停止工作。恢复的方法一般是再接通输入电源或加复位信号，使开关电源恢复正常工作状态。

3) 欠压保护。在输出电压达到规定值以下时，检测输出电压下降值，为保护负载以及防止负载误动作，使电源停止工作，并送出报警信号。

4) 过热保护。电源内部异常或使用方法不当，电源温升超过规定值以上时，使电源停止工作，并送出报警信号。强制风冷情况下，当冷却功能异常时，多数情况规定使用部件在最高温度以内使电源动作。

5) 远程通/断控制。规定由外部信号通/断电源的输出所采用的装置，例如，采用 TTL 等半导体器件与开关等开环通/断控制。还必须规定采用继电器与开关时的机械振荡持续时间。

6) 顺序。不仅要规定输出电压的上升与下降时间，还要规定电源准备就绪的各种信号。

7) 远程检测。用输出端到电压检测点之间的输出引线电压降对电压进行补偿。但对于大电流与高精度输出的电源，这种功能不太适用。该功能的补偿电压降一般为额定电压的 5%，在输出电压的可调范围内，补偿是要根据负载条件而定，以免引起振荡等故障。

8) 接口。规定输入、输出以及信号等端子，除端子形状与接插件的名称以外，还要标记端子的编号。这时输入、输出及信号端子要很好地分开。有接插件时要标记对方的编号，以免弄错。

9) 绝缘。用 500V 绝缘电阻表测得输入端子与机壳间以及输入、输出端子间绝缘电阻，一般为 50MΩ 以上；用 100V 绝缘电阻表测得输出端子与机壳间的绝缘电阻一般要为 10MΩ 以上。

绝缘耐压根据输入电压的不同而异，但除各种安全规格规定以外，输入端子与输出端子间以及输入与机壳间为交流 1000、1250V/min 或者 1500V/min。输出端子与机壳间一般没有其他特殊规定。输出端子间必要时按规定特殊地绝缘。

2. 机械结构

机械结构规定的项目有：机箱的形状，外形尺寸与公差，装配位置、装配孔及螺钉的长度等，机箱的材料及表面处理，冷却条件（如强制风冷还是自然冷却），通风方向与风量即开口尺寸，机外温升，接口位置及显示，操作部件的位置及文字显示的位置，电源设备的质量等。

3. 环境等条件

规定的使用温度范围随使用场所不同而异，一般为 -5℃~+50℃，保存温度一般

为 $-25^{\circ}\text{C}\sim+75^{\circ}\text{C}$ 。在温度急剧变化的场所使用时，有必要规定温度斜率，一般为 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以内。

规定的使用湿度范围为 $20\%\sim 85\%$ ，保存湿度范围一般为 $18\%\sim 90\%$ ，结露时必须有相应指示。一般规定常温与常湿的环境为 $15\sim 35^{\circ}\text{C}$ 及 $25\%\sim 85\%$ 。

对于耐震动的规定，多是在震动频率为 $10\sim 55\text{Hz}$ 时，工作时振动力为 $(0.5\sim 1.0)\text{g}$ ，不工作时为 $(2.5\sim 4)\text{g}$ 。耐冲击的规定随电源产品不同而异，为 $(10\sim 100)\text{g}$ 数量级。

对于噪声的规定有输入噪声、雷击浪涌以及静态噪声等。输入噪声是由叠加在工频上的脉冲状电压造成的，脉冲宽度一般为 $100\sim 800\mu\text{s}$ ，加的电压为 1000V ，最近也有规定脉冲宽度为几毫秒，电压为几百伏。雷击浪涌的规定对于通信设备为几千伏一般为 1200V 。静态噪声的规定随电容容量与串联电阻值不同而异。

一个高质量的开关电源要达到一定的技术指标首先是要能测到这些指标，其次是调整使其达到这些指标，这就涉及测试和调试技术，也是本书关注的问题。

Chapter 2

第二章

开关电源测试技术

近几年,电力电子设备与人们的工作、生活的关系日益密切,程控交换机、通信、电子设备、控制设备等都已广泛地使用了开关电源,大大促进了开关电源技术的迅速发展。在开关电源向高频、高可靠、低耗、低噪声、抗干扰和模块化方向发展的同时,也对产品设计验证和功能测试提出了更为严格的要求。本章将介绍一些开关电源的测试技术指标和常用测试方法。

第一节 开关电源测试技术指标

一、描述输入电压影响输出电压的几个指标

1. 绝对稳压系数

绝对稳压系数:表示负载不变时,稳压电源输出直流变化量 ΔU_o 与输入电网变化量 ΔU_i 之比。既

$$K = \Delta U_o / \Delta U_i$$

相对稳压系数:表示负载不变时,稳压器输出直流电压 U_o 的相对变化量 $\Delta U_o / U_o$ 与输入电网 U_i 的相对变化量 $\Delta U_i / U_i$ 之比。即

$$S = (\Delta U_o / U_o) / (\Delta U_i / U_i) = (\Delta U_o / \Delta U_i) \times (U_i / U_o)$$

2. 电网调整率

电网调整率表示输入电网电压由额定值变化 $\pm 10\%$ 时,稳压电源输出电压的相对变化量,有时也以绝对值表示。

3. 电压稳定度

负载电流保持为额定范围内的任何值,输入电压在规定的范围内变化所引起的输出电压相对变化 $\Delta U_o / U_o$ (%) ,称为稳压器的电压稳定度。

二、负载对输出电压影响的几种指标

1. 负载调节率(也称电流调节率)

在额定电网电压下,负载电流从零变化到最大时,输出电压的最大相对变化量,常用百分数表示,有时也用绝对变化量表示。

输入电压为额定值时,因变换负载引起的输出电压波动不应超过规定的范围。