



“十三五”普通高等教育规划教材

XIANDAI DIANYUAN JISHU JICHU

现代电源技术基础

杨 飞 夏 丹 编
裴云庆 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

现代电源技术基础

杨 飞 夏 丹 编
裴云庆 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

本书首先介绍了电源的基本概念及其主要指标,然后分别阐述了线性直流稳压电源、开关直流稳压电源、逆变电源、交流调压电源、变频交流—交流电源、电池、燃料电池、UPS/EPS等电源技术的基本原理与应用,还介绍了当前新兴的绿色能源及其发电利用技术。本书最后还对供电系统、配电网及安全用电等进行了介绍,其中通过对智能电网的专门介绍反映了当今供用电技术的发展趋势。

本书涵盖基础、内容全面、通俗易懂且反映电源技术的最新动态,不仅适合作为本科院校电气工程专业的教材,也适合作为自动化、机械电子工程、测控技术与仪器、电子信息工程、能源与动力工程等专业和其他非电类专业的选修教材,亦可作为从事相关领域技术人员的参考书籍,还可作为一般的通识读本供普通读者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

现代电源技术基础/杨飞,夏丹编. —北京:中国电力出版社,2016.4

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7 5123-8898-7

I. ①现… II. ①杨… ②夏… III. ①电源—技术—高等学校—教材 IV. ①TM91

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第026806号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016年4月第一版 2016年4月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 8.75印张 210千字
定价 23.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

前 言

电源是工业的基础产品，经济建设和社会生活的各个方面都离不开电源，电源技术和电源产业的发展在国家制订的各类产业和科技发展规划中始终处于核心位置。电源现已被广泛应用于工业制造、交通运输、航空航天、国防军事、广告装潢等各行各业，电源技术的发展带动了相关行业的进步与发展，而电力电子、能源动力等相关行业的发展反过来又推动了电源技术和产业的发展。

电源技术是一类涉及众多学科的复杂技术，它的应用范围很广，根据不同应用领域可分为很多不同门类。关于各类电源的技术原理都有专门的书籍进行介绍，如开关电源、变频电源等，目前市面上流通的电源技术类书籍大都如此。然而，这些书籍往往对读者的专业基础要求较高，比较适合从事各类电源设备研发的专业人员和研究生学习和参考，不太适合作为高校非电类专业和电类专业低年级学生的教材，也不适合作为从事电源产品生产、营销、宣传和其他工作人员的通识读本，因此特别需要能满足此类需求的书籍。另外，随着科技的进步和社会的发展，各门类学科的交叉和融合已成为一种普遍现象，非专门从事电源研发的技术人员和普通民众对涵盖基础、内容全面、通俗易懂且能反映电源技术最新动态的电源技术书籍也有很强的需求。

本书由杨飞和夏丹编写，由西安交通大学裴云庆教授主审。本书在编写过程中参阅了大量文献，包括诸多公开出版的电力电子技术和电源技术相关书籍和资料、一些单位和个人提供的技术资料、本书未能一一列出的参考文献以及未能查找到来源的文献资料，在此对这些文献的作者表示感谢。

限于编者水平，书中难免出现疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者
2016年1月

目 录

前言

第1章 电源基础	1
1.1 电源概述	1
1.2 电源的常用技术指标体系	6
1.3 电源技术发展趋势	10
思考与复习	13
第2章 线性直流稳压电源	14
2.1 整流电路	14
2.2 滤波电路	21
2.3 稳压电路	24
思考与复习	31
第3章 开关直流稳压电源	32
3.1 Buck 变换器	33
3.2 Boost 变换器	38
3.3 Buck-Boost 变换器	42
3.4 DC/DC 开关变换器分类简述	45
思考与复习	46
第4章 逆变电源	47
4.1 逆变器的类型和性能指标	48
4.2 逆变电路换流方式	49
4.3 电压型逆变电路	51
4.4 电流型逆变电路	57
4.5 正弦脉冲宽度调制逆变电路	61
4.6 有源逆变电路	63
思考与复习	65
第5章 交流—交流变换电源	66
5.1 交流调压电源	66
5.2 交流—交流变频电源	73
思考与复习	76
第6章 电池与备用电源	77
6.1 电池	77

6.2	铅酸蓄电池 (Lead - Acid Battery)	79
6.3	镍镉电池和镍氢电池	85
6.4	锂电池	87
6.5	燃料电池	91
6.6	UPS	95
6.7	EPS	97
	思考与复习	98
第7章	新能源发电技术	99
7.1	风能	100
7.2	太阳能	103
7.3	海洋能	109
7.4	核能	111
	思考与复习	115
第8章	供电和用电技术	116
8.1	三相交流电源	116
8.2	交流供电系统	118
8.3	城市配电网规划设计	121
8.4	智能电网	126
8.5	用电安全	128
	思考与复习	132
	参考文献	133

第1章 电源基础

从“神舟号”飞船上九天揽月到“蛟龙号”潜水器下五洋捉鳖，从“和谐号”动车飞驰神州大地到夜幕降临时万家灯火通明，人们的衣、食、住、用、行等各种活动都离不开电能。电能为人类创造丰富多彩的物质财富和精神生活提供了基础，人类已经如此地离不开电能，倘若没有电能，人类社会将濒于瘫痪，城乡将一片黑暗……尽管电源在日常生活中随处可见，然而很多人对电源其实仍然缺乏系统和全面的认识。作为一名电力电子、能源动力等相关专业的学生或从业人员，更是有必要深入地了解电源的相关基础理论知识和常用产品技术。

1.1 电源概述

1.1.1 认识电源

首先，从家家户户都安装了的电源插座开始说起。在国内，几乎所有人都非常熟悉图1-1和图1-2所示的设备，因为它们是日常生活中常常需要用到的电源装置，只要将电器插头插入其中，就能立即获得电源，就能看电视、吹空调、用电饭煲煮饭……总之，这些电器就可以工作了。

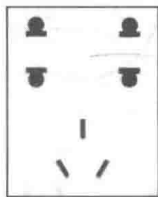


图 1-1 墙壁电源插座

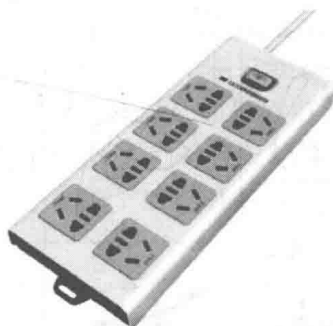


图 1-2 电源插排插线板

以上两种插座是我国现行的标准插座，插入到这两种插座的插头我们也非常熟悉。那么图1-3所示的这些世界上主要使用的各种插头都见过吗？这些插头我们都能在国内使用吗？

通过仔细观察图1-3所示的各种插头，不难发现，并不是所有插头都能插入图1-1和图1-2所示的插座中，然而这些插头确实都是真实存在的，而且在境外不同地区广泛地使用。那么倘若这些插头能顺利地插入图1-1和图1-2所示的插座中，这些插头另一端所连接的电器插入获得电源后就一定能开始正常工作吗？

答案是否定的。因为世界上并不是所有国家和地区提供的市电都和中国大陆地区的技术标准是完全一致的。世界部分国家或地区的电源标准见表1-1。如美国规定的家用交流电源额定电压为120V，日本规定的为100V，加拿大规定的为110V，英国规定的为220~240V。

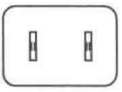

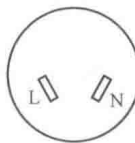
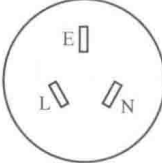
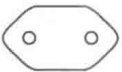





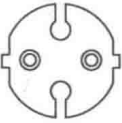
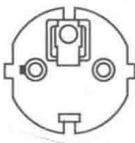
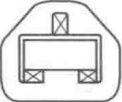

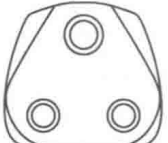








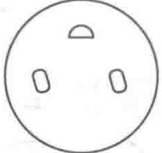
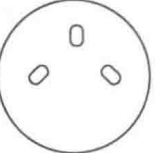





插头型式					
实物图片					
型号	A	B	C	D	E
插头型式					
实物图片					
型号	F	G	I	J	K
插头型式					
实物图片					
型号	L	M	N	O	P

图 1-3 世界上主要使用的各种插头

各国或地区除了电压不完全相同，交流电源的额定频率也分为 50Hz 和 60Hz 这两种不同标准。因此，倘若随意给不符合本地市电电压和频率要求的电器供上本地电源，很有可能会导致电器的损坏或用电事故的发生。

表 1-1 世界部分国家或地区的电源标准

国家地区	电压 (V)	频率 (Hz)	插座型号
中国大陆	220	50	D、J
中国台湾	110	60	A、B
中国香港	220	50	I
中国澳门	220	50	E、G
日本	100	50/60	A、B
韩国	220	60	E、G
新西兰	220	50	C、D
新加坡	220	50	I
美国	120	60	A、B
法国	220	50	E、F、G
加拿大	110	60	A、B
英国	220~240	50	I
德国	220	50	E、F、G
芬兰	230	50	E、F、G
南非	220	50	K、L
意大利	220~230	50	E、N

除了电源的电压和频率在各个国家和地区有所不同,使用交流电源时往往还要关心电源的输入相数等问题,譬如单相二线制或三相三线制,还是单相三线制或三相四线制。在我国普遍使用的有单相 220V 交流电源和 380V 三相交流电源,如果搞错了接线也有可能导致电器的损坏或用电事故的发生。通过以上分析,不免让人们对每天都在使用的电源产生了疑问:到底自己懂不懂电源?会不会正确使用电源?因此,即使作为普通人也是需要好好地认识一下电源的。

1.1.2 电源的定义和分类

电源 (Power Supply) 就是提供电能的装置,把其他形式的能量转换成电能的装置也常被称为电源。按此定义,图 1-4 和图 1-5 中的装置就是一些我们常见到的电源。



图 1-4 将风能和太阳能转换成电能



图 1-5 将化学能转换成电能

另外，人们通常把能将电能的形式进行控制和转换的装置也统称为电源，如在生活中常用的手机充电器和电子镇流器，分别如图 1-6、图 1-7 所示。



图 1-6 手机充电器

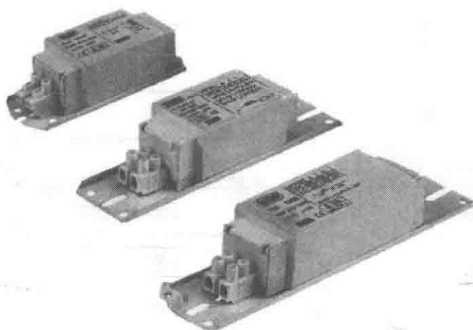


图 1-7 电子镇流器

手机充电器可将 220V/50Hz 工频交流电源转换成稳定的 5V 直流电源给手机充电。电子镇流器则是将 220V/50Hz 工频交流电源转换成 20~100kHz 高频交流电源使日光灯管正常发光，同时它还有限制电流过大的控制功能。需要指出的是，也有人把这类将电能的形式进行控制和转换的装置单独称为电源转换器（Power Converter），以区别于其他电源装置。

电源在满足人类的各种需求方面发挥着重要的作用，其种类繁多多样，但主要有两种划分方法。

1. 按能量来源分类

若根据能量的来源来划分，电源可以分为一次电源、二次电源。

(1) 一次电源主要是指将其他能量（比如热能、水能、风能或核能）转换为电能的装置，俗称电网或者市电。一次电源的电能常通过电力输配电线路供给人类直接使用。

(2) 二次电源是指为满足用电设备对不同电能形式的需求，将原始电能转换成另一种形式的电能，或在电能传输的过程中，在供电电源与负载之间对电能进行变换或者稳定化处理的装置，常见的二次电源主要是一些电源转换器或装置。它们包括了以下四大类。

- 1) AC-DC（交流一直流）电源，如整流器、直流开关电源等；
- 2) DC-DC（直流一直流）电源，如线性稳压电源、电荷泵等；
- 3) DC-AC（直流一交流）电源，如逆变器、UPS 不间断电源等；
- 4) AC-AC（交流一交流）电源，如变压器、交流变频器等。

2. 按电源输出的电压信号波形分类

若根据电源输出的电压信号波形来划分电源就可将其分为直流电源、交流电源和特种电源。

(1) 直流电源（DC Power）有正、负两个电极，正极的电位高，负极的电位低，当两个电极与负载连通过后，能够使负载电路两端之间维持恒定的电位差，从而在外电路中形成由正极到负极的电流。直流电源常被简称为直流电。通常直流电源输出的电压波形接近于一条水平直线，而它的输入可以是直流电源也可以是交流电源。

(2) 交流电源（AC Power）是指输出电压的幅值大小和波形方向都发生周期性变化的电源，常被简称交流电。不同于直流电源，交流电源的输出电压波形通常为正弦曲线，生活中使用的市电就是具有正弦波形的交流电。交流电具有容易产生、传送和使用的优点，因而

被广泛地采用。例如，一般的发电机都是三相交流发电机，因为成本低、结构简单而得到了普及应用；使用交流远距离输电时可利用变压器把电压升高，减小输电线中的电流来降低损耗以获得经济的输电效益；在用电场合，可通过变压器降低电压，保证用电安全；而且交流电动机与直流电动机相比，有结构简单、成本低廉、工作安全可靠、使用维护方便等优点。鉴于以上诸多优势，所以交流电在国民经济生活中获得了广泛的使用。

(3) 特种电源主要是指运用电力电子技术及其他技术手段，将发电厂或蓄电池输出的电能转换成能满足某些对电能具有特殊需求的负载或应用场合的专用电源。特殊需求包括输出电压特别高或输出电流特别大，对稳定度、动态响应及纹波要求特别高，要求电源输出的电压或电流是脉冲或其他一些非正弦波形等。其主要技术衡量指标不同于常用交流或直流电源。这就使得在设计及生产此类电源时有比普通电源更特殊甚至更严格的要求，因此这类电源常被称为特种电源。特种电源的主要应用有电镀电解、阳极氧化、感应加热、电力试验、环保除尘、空气净化、食品灭菌、激光红外、光电显示等。可见，在工业制造、环境治理、医疗、粒子加速及核技术研究等领域中特种电源的应用比较普遍，而在某些国防和科研领域，特种电源更是具有普通电源不可取代的用途。以下举例介绍几种具有代表性的特种电源。

1) 电子束焊机用高压电源。电子束焊接因具有不用焊条、不易氧化、工艺重复性好及热变形量小的优点而广泛应用于航空航天、原子能、国防及军工、汽车和电工仪表等众多行业。电子束焊机的基本原理是电子枪中的阴极由于直接或间接加热而发射电子，该电子在高压静电场的加速下通过电磁场的聚焦可形成能量密度极高的电子束，用此电子束去轰击工件，巨大的动能转化为热能，使焊接处工件熔化，形成熔池，从而实现对工件的焊接。高压电源是电子束焊机工作的关键设备之一，它主要为电子束焊机工作的电子枪提供加速电压，其性能好坏直接决定电子束焊接工艺和焊接质量。电子束焊机用高压电源与其他类型的高压电源相比，具有不同的技术特性，其技术指标主要为纹波系数和稳定度，纹波系数小于1%，稳定度为 $\pm 1\%$ ，甚至纹波系数小于0.5%，稳定度为 $\pm 0.5\%$ ，同时重复性小于0.5%。以上指标均由电子束斑和焊接工艺所决定。电子束焊机用高压电源的操作必须与有关系统进行连锁保护，主要有真空连锁、阴极连锁、闸阀连锁、聚焦连锁等，以确保设备和人身安全。高压电源必须符合电磁兼容标准，具有软起动功能，防止突然合闸对电源的冲击。这种电源功率大（达30kW），输出电压高（150kV），工作频率较高（20kHz），而且对电压稳定度、纹波系数及输出电流等均有较高的要求。

2) 雷达用高压电源。在现代雷达发射机中，行波管作为微波功率放大器件占有很大的比例，作为高功率部分，它的可靠性与技术指标如何，对雷达发射机乃至整个雷达有着直接的影响，而支撑行波管的高压电源更显得至关重要。雷达行波管所用的高压电源要求整体性能良好，稳定度好，并且具有各种保护功能。另外，雷达一般都需要发射不同频率的高电压窄脉冲信号，这种强功率脉冲一般是通过高压电源模块将市电升至几千伏甚至几万伏的直流高压，然后由调制器将直流高压调制为所需脉宽及频率的脉冲供发射管使用。

3) 污水处理和食品杀菌用大功率高压脉冲电源。用大功率高压脉冲处理污水是在水中施加高电压（3万~5万V）和大电流（几万安）的脉冲放电，利用产生的等离子体（自由基和紫外辐射）及等离子体迅速膨胀时产生的冲击波使得污水中有机化合物的等离子体发生物理及电化学的复杂反应，进而降解为二氧化碳和水等简单小分子，以达到处理污水的目的。

的。高压脉冲杀菌技术也常应用于液态食品（如饮料、牛奶等）的杀菌，经高压脉冲电场杀菌加工后的饮料不但更为安全，而且颜色、口感和营养都不会受到大的影响。

4) 医疗设备中用的高压脉冲电源。在医学领域，许多医疗设备都需要高压脉冲电源，典型的装置如 X 射线机、计算机 X 射线断层扫描系统（CT）和核磁共振成像系统（MRI）等。另外高压脉冲电源还被用于经络穴位理疗仪和经颅磁刺激治疗系统中。

1.2 电源的常用技术指标体系

电能在各行业发挥着重要作用，提供电能的电源产品的质量则是一个国家工业生产能力、科技水平的重要表现。在选用电源产品前，通常需要判断该种电源产品是否适用，有时还需要比较不同厂家的电源产品并从中挑选最令人满意的产品。那么具体应该从哪些方面去比较辨别呢？可以查看电源产品是否使用了优质元器件。此外，还需要有一套完整的技术指标体系用来评价电源产品的质量和应用场合。需要指出的是，由于电源产品种类繁多，不可一概而论，本节主要针对的是那些日常工作生活中常用或常见的电源产品，这些电源基本上可归属于二次电源类别，因此本节所述的技术指标体系并不涉及发电、输电等一次电源类别范畴。在大多数电源技术相关书籍中，电源常特指开关电源这类应用最广泛的电源产品，所述的技术指标也仅针对此类产品，而本书则着重介绍具有更广泛适用性的技术指标。

1.2.1 安全质量的认证

电源产品是一类特殊的商品，各个国家和地区对其使用安全性和质量都有严格的要求，为此还专门设立了一些认证机构来认证评价产品的安全性和质量。通常来讲一款电源产品获得认证项目越多，说明该电源产品的质量越可信。以下简单地介绍世界上几种主要的认证项目。

(1) CCC 认证常被称为“3C”认证，它是中国国家强制性产品认证（China Compulsory Certification）的简称。PC 电源上常见的“3C”认证有两个版本：CCC（S）和 CCC（S&E）。CCC（S）只代表通过了安全标准认证，只有同时取得安全及电磁兼容标准认证的产品才会被授予 CCC（S&E）标志。CCC 认证标识如图 1-8（a）所示。

(2) UL 是美国保险商实验室（Underwriter Laboratories Inc.）的简称，它是美国最具权威性、非盈利性的民间安全测试机构，主要对各种设备、系统和材料进行安全性试验和检查，确认是否对生命财产存在危险，并将检验结果公布出来。UL 出版了几百种标准，其中大多数被美国国家标准协会（ANSI）采纳。现在 UL 认证已成为全球最严格的认证之一。UL 认证标识如图 1-8（b）所示。

(3) CSA 是加拿大标准协会（Canadian Standards Association）的简称，它是加拿大首家专门制定工业标准的非盈利性机构，也是世界上最著名的认证机构之一。在北美市场上销售的电子、电器等产品都要取得 CSA 安全方面的认证。该标准协会主要对产品、工艺、材料的测试手段、服务的安全性和材料等方面做出了规定。CSA 认证标识如图 1-8（c）所示。CSA 标志底部左右两边加印有“C”和“US”表示通过该 CSA 认证的产品同时满足加拿大和美国市场销售的标准，如果底部仅有“US”则表示其仅满足在美国国内销售的标准，如果底部既没有“C”也没有“US”，则默认为其仅满足在加拿大国内销售的标准。

(4) FCC 是美国联邦通信委员会（Federal Communications Commission）的简称。许

多无线电应用产品、通信产品和数字产品要进入美国市场，都要通过 FCC 的认可。FCC 调查和研究产品安全性的各个阶段以找出解决问题的最好方法，同时也包括对无线电装置、航空器的检测等。FCC 的工程技术部 (Office of Engineering and Technology) 负责 FCC 的技术支持，同时负责设备认证方面的事务。对于电源产品来说，FCC 主要是针对电磁干扰的认证。电源在工作时可能会产生较强的电磁干扰，如果不加以屏蔽就可能对负载设备和其他周边设备造成影响，甚至给附近人体带来危害，所以国际上对电磁干扰有严格的规定，通用的标准有 FCC - A 工业标准和 FCC - B 民用标准两种，只有符合后者的电源才是安全无害的。FCC 认证标识如图 1-8 (d) 所示。

(5) CE (Conformite Europeenne) 代表欧洲统一认证，在欧盟市场“CE”标志属强制性认证标志，不论是欧盟内部企业生产的产品，还是其他国家生产的产品，要想在欧盟市场上自由流通，就必须加贴 CE 标识，以表明产品符合欧盟《技术协调与标准化新方法》指令的基本要求。这是欧盟法律对产品提出的一种强制性要求。CE 标识也是电源生产制造的基本认证标准之一，它要求电源产品必须保护使用者的健康安全及符合环保基本要求。CE 认证标识如图 1-8 (e) 所示。

(6) CB 体系 [电工产品合格测试与认证 IEC (International Electrotechnical Commission) 体系, Certification Bodies' Scheme] 是 IECEE 运作的一个国际体系，IECEE 是国际电工委员会 IEC 电工产品合格测试与认证组织 (The IEC System for Conformity Testing and Certification of Electrical Equipment) 的简称。IECEE 各成员国认证机构以 IEC 标准为基础对电工产品安全性能进行测试，其测试结果 (即 CB 测试报告和 CB 测试证书) 在 IECEE 各成员国得到相互认可。因此，CB 体系是第一个真正的电工产品安全测试报告互认的国际体系。IECEE 各成员国的国家认证机构 (NCB) 之间形成多边协议，制造商可以凭借一个 NCB 颁发的 CB 测试证书获得 CB 体系的其他成员国的国家认证。CB 体系的主要目标是促进国际贸易，其手段是通过推动国家标准与国际标准的统一协调以及产品认证机构的合作，而使制造商更接近于理想的“一次测试、多处适用”的目标，可减少由于必须满足不同国家认证准则而产生的国际贸易壁垒。CB 体系认证标识如图 1-8 (f) 所示。

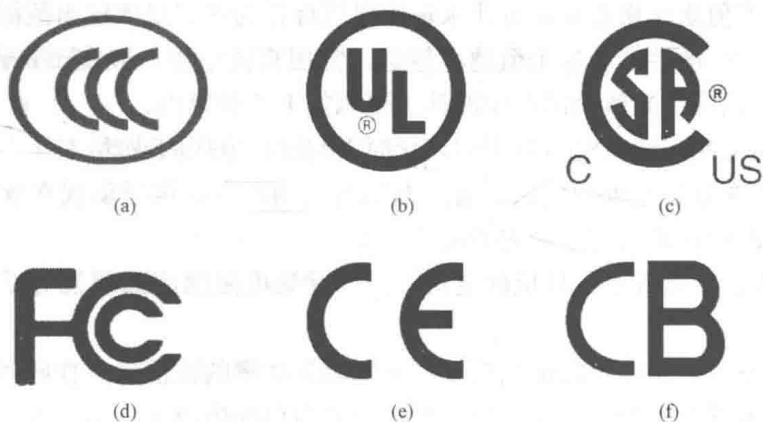


图 1-8 通过相关认证后的产品印上的相应认证标识
(a) CCC; (b) UL; (c) CSA; (d) FCC; (e) CE; (f) CB

以上这些认证主要针对电源产品的安全性和质量进行检测和验证，其中还包括了少数性

能指标。以下将系统性地对电源产品技术指标进行介绍。

1.2.2 电源产品技术指标

1. 输入技术指标

(1) 额定输入频率。市电是人们经常使用的最主要的电源，其频率通常为 50Hz 或 60Hz，但是频率并不是恒定不变的，其在 48~63Hz 范围内变化往往不太影响电源的特性。如果输入电源是直流电源，其输入频率通常不加以考虑。有些特种电源产品的输入频率可能是 400Hz 或其他频率。

(2) 额定输入电压范围。它是指当输入电压发生变化时，电源本身可维持正常工作状态且使输出基本保持不变的输入电压变化范围。这个范围越宽，表示该电源产品适应外界电压变化的能力越强，电源可应用的场合也就越广。目前不少开关电源的输入电压范围已经做到 90~270V，属于宽电压输入电源产品。

(3) 额定输入电流。它是指在额定输入电压下保持正常工作状态的连续输入电流。

(4) 最大输入电压。它是指在某个设定的耐受时间后，电源产品仍然能继续正常工作而不至于损坏的输入电压最大值。

(5) 最大输入电流。它是指输入电压为额定输入电压下限值、输出电压及电流为额定上限值时的输入电流。

(6) 峰值电流。它是指输入的最大瞬时电流，通常出现在对输入电压进行通断而输入电流达到稳定状态之前。

2. 输出技术指标

(1) 额定输出电压。它是指按额定输入电压范围供电，在额定功率工作范围内产品设计的输出电压值。

(2) 额定最大输出电流。它是指电源能提供给负载的最大平均电流，与额定输出电压一起决定了电源的最大输出功率。为了保证电源的安全一般要求实际最大输出电流与额定最大输出电流相比要留有一定的裕量。

(3) 输出电压稳定度也称为输出电压精度或电压调整率，通常用电源输出电压的变化值与额定输出电压的比之来衡量，且要求输出电流保持为额定最大输出范围内的任何值。它可以反映出电源产品的性能，这个值越小越好，常用直流电源一般在±1%以内，常用交流电源一般在±5%以内。导致输出电压波动主要有如下几种原因。

1) 输入电压在额定输入电压范围内变化时引起输出电压的波动；

2) 输出电流在规定范围内变化时输出电压的波动，主要包括负载在规定范围内变化以及在多路输出电路中可能会有非稳定输出的情况；

3) 由于温度、湿度等工作环境的变化，或因受到电磁感应或辐射等干扰导致输出电压的波动。

(4) 转换效率。它是指电源输出功率与电源输入功率的比值。工作时散热量大的电源往往电能转换效率就低，因为不少电能以热量的形式白白损失掉了，目前开关电源的转换效率可达到 90%以上。

(5) 输出噪声。它是指在输入电压和负载均保持不变的情况下，在输出端呈现的除所需输出信号以外的交流分量，输出纹波和谐波都可视作一种噪声。狭义上的纹波是指附着于直流电平之上的包含周期性与随机性成分的杂波信号，而谐波就是一定频率的电压或电流作用

于非线性负载时会产生不同于原频率的其他频率的正弦电压或电流的现象。输出噪声有很大的危害,需要尽量避免,但想完全消除却很难实现,只能将其控制在一个允许的范围之内,不对环境和负载设备产生大的影响就算达到目标了。

3. 保护功能

(1) 自我监测功能。它用于在工作时对自身的电压、电流和温度等参数进行实时监测,以实现对工作状态的自我监测和故障自诊断的目的。

(2) 过电流保护。它用于输出短路或电流过载时对电源或负载进行保护。超限电流的设定值一般为额定电流的 $110\% \sim 130\%$ 。但在不损坏电源与负载的前提下,不规定过电流保护超限值的情况也很多,这种情况下电路一般可使用快恢复熔断器(带自恢复功能)等器件实现过电流时自动限流,当电流降到超限值以下后电路自动恢复工作。

(3) 过电压保护。它用于当输出端出现过高电压时对负载进行保护。过电压一般规定为额定输出电压的 $130\% \sim 150\%$ 。发生过电压时应该控制电源立即停止工作,迅速断开输出,并根据需要发出报警信号。

(4) 欠压保护。电压检测电路检测到输入电压和输出电压低于设定值时为保护负载或防止负载误动作,它控制电源迅速停止工作,并根据需要发出报警信号。

(5) 过热保护。因电源内部出现故障或使用不当而导致电源温度超过设定值,它应立即启动强制降温措施,如若温度仍不能降到合理范围内,电源应立即停止工作,并根据需要发出报警信号。

4. 绝缘耐压

电源产品的带电部分与接地部分之间,或与其他非等电位的带电体之间,都需要采用绝缘结构使它们互相隔离,以保证电源正常运行。通常可使用绝缘电阻表来测量绝缘结构上两点之间的绝缘电阻,但这并不能得到整体绝缘电阻,这是因为电源设备往往是由多种材料和结构组合而成,绝缘结构上任一局部点的破坏都可能导致电源设备整体丧失绝缘性能。一般用电源设备能耐受试验电压的高低来评价其整体绝缘能力,绝缘耐压试验电压值可表示设备能耐受的电压水平,但并不等同于该设备所实际具有的绝缘强度。CSA、UL和CCC等各种电器安全标准都要求对电源产品进行耐压测试,耐压水平是电器安全标准的一个重要组成部分,与之相关的还有爬电距离和泄漏电流等技术指标。

5. 机械结构

电源产品的本体是由各种各样的机械结构组成的,在设计或使用电源时必须要考虑产品的形状、外形尺寸、装配位置、装配孔及螺钉的长度等,各部件使用的材料及表面处理工艺、通风散热方式及开口尺寸、接口位置及端子标记、操作部件的位置及文字显示的位置、电源设备的质量等也都需要予以仔细考虑。

6. 使用环境条件

电源产品通常有一定的使用环境条件要求,一般包括温度和湿度要求,有的产品还对使用地的海拔、周围粉尘和易燃、易爆、腐蚀性气体及所受振动条件做出了明确的要求。电源使用温度范围随使用场所而异,一般为 $-5 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。在高海拔地区由于空气稀薄散热能力变差,因此电源对工作温度要求更为苛刻。在温度急剧变化的场所使用时,还有必要规定温升速率,一般要求每小时升温幅度在 15°C 以内。规定的使用湿度范围一般为 $20\% \sim 85\%$,保存湿度范围一般为 $18\% \sim 90\%$,结露时要有相应的指示。还有耐振动的要求,耐振动的规

定因电源产品不同而异，一般是对振动频率和加速度进行限制。如果使用环境条件不能达到电源产品设计要求，应该禁止使用或视情况进行降额使用。

7. 电磁兼容性

电磁兼容性 (Electromagnetic Compatibility, EMC) 是指电子设备或系统在其电磁环境中能正常工作并且不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。因此, EMC 包括两个方面的要求: 一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰 (Electromagnetic Interference, EMI) 不能超过一定的容忍值; 另一方面是指设备对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰能力, 即电磁敏感性 (Electromagnetic Susceptibility, EMS)。EMI 是指电磁波与电子元件作用后而产生的干扰现象, 主要分为传导干扰和辐射干扰两种。传导干扰是指通过导电介质把一个电网络上的信号耦合 (干扰) 到另一个电网络上。辐射干扰是指干扰源通过电磁空间辐射把其信号耦合 (干扰) 到另一个电网络上。在高速 PCB 及系统设计中, 高频信号线、集成电路的引脚、各类接插件等都可能成为具有天线特性的辐射干扰源, 可能会发射电磁波并影响到其他系统或本系统内其他子系统的正常工作。EMC 这个术语包括的内容非常广, 常常难以通过检测手段来全面评价, 如电磁能量的检测、抗电磁干扰性试验、电磁能量辐射抑制技术、雷电和地磁等自然电磁现象、电场或磁场对人体的影响、电场或强度的国际标准、电磁能量的传输途径、相关标准及限制等均包含在 EMC 含义内。另外, 那些与初始设计意图不符的电磁现象, 也都应看成是 EMC 问题。

从地球表面到人造卫星活动的空间处处存在着电磁波, 电和磁时刻都在影响着人们的生产生活, 电能和电器的广泛应用使工业技术的发展日新月异, 也带来一定的危害, 形成了复杂的电磁环境。不断研究和解决电磁环境中设备之间以及系统间相互关系的问题, 促进了电磁兼容技术的迅速发展。国际上对电子、电器、工业设备产品的抗干扰性能测试也日益重视, 且趋向以 IEC 国际规格为测试标准, 欧盟率先制定了 EMC 法规, 于 1996 年起全面实施抗电磁干扰测试。这些法规要求各个公司确保它们的产品符合严格的磁化系数和发射准则, 符合这些要求的产品电磁兼容性合格。任何一个合格的电源产品, 都要针对 EMC 做一定的处理。这包含了两个方面的内容: 一是防止外部电磁干扰的侵入, 以免影响自身的工作; 二是保证产品自身产生的电磁谐波不外泄到电网和周围环境中, 以免影响其他电器的正常工作。譬如在日常生活中, 经常会看到这样一些现象: 当手机有呼入时附近的音响设备或收音机会突然发出杂音; 在电机开启后附近其他的电器, 如电视机、视频监控设备的显示器会出现雪花、滚动网纹等显示不稳定的现象……这些都有可能是电磁干扰产生的影响。

1.3 电源技术发展趋势

电力电子技术的发展包括各种先进电力电子器件材料的诞生带动了电源技术的发展, 而电源技术的发展有效地促进了电源产业的发展。电源产品的稳定性和可靠性已经得到大幅提升, 同时, 电源在为电子信息产业服务的同时, 电子信息技术的发展又对电源技术提出了更高的要求, 从而促进了电源技术的发展, 两者相辅相成才有了现今蓬勃发展的电子信息产业和电源产业。从日常生活到最尖端的科学研究都离不开电源技术的参与和支持, 而电源技术及其产业对提高一个国家劳动生产率的水平和单位能耗的产出水平具有举足轻重的作用。在

这方面我国与世界先进国家还有较多差距,还必须通过各种信息渠道及时掌握电源技术最新发展方向,相关的电力电子器件、原材料的最新发展动态和生产工艺等,才能设计出世界一流的电源产品。

1. 向更多元化方向发展

电源设备实现了电能的变换和功率传输,是一种技术含量高、更新换代快的产品,现今已广泛应用到工业、能源、交通运输、航空航天、国防、教育、文化等各个领域。在当今社会,上述各行各业都在迅猛地发展,它们在发展的同时又对电源产品提出了更多更高的要求,如节能、节材、减重、小型化、防止电磁污染、安全可靠等。这就得不断地研制出能满足各种新需求的电源技术,并利用各种相关新器件,做出符合要求的电源产品。显然,电源技术的发展将带动相关技术的发展,而相关技术的发展反过来又推动了电源产品向更为多元化的方向快速发展。

2. 向更节能高效方向发展

为了建设低碳可持续型社会,人们对节能型电源提出了更高的要求。在此背景下,电源产品也正面临着前所未有的挑战,这些挑战来自两个方面:一方面环境的恶化迫使人们不得不考虑采用更加清洁的替代能源;另一方面电子设备的迅猛发展使得现有电源系统的转换效率亟须得到提升,在满足政府及相关组织提出的节能标准和认证[如1W计划、美国能源之星(Energy Star)、80 PLUS等]的同时,还应考虑消费者的需求和成本因素。从当前的技术水平来看,改善电源转换效率,在各种不同负载情况下降低功耗仍然是电源厂商所关注的焦点。以开关电源为例,随着各种功率开关元件的研制成功和各种类型专用集成电路、磁性元件、高频电容等的研制应用,如今开关电源的工作频率已从20kHz提高到了1MHz以上,功率也从最初的几瓦、几十瓦提高到了几千瓦、几十千瓦甚至更高,效率可以达到90%以上。目前90%以上的电子设备都采用了开关电源供电,只有少数音响功放为了追求更高的音质而采用环形变压器供电方式。开关电源是实现节能的重要手段,进一步提升其转换效率也是今后相当长一段时间内高效节能电源的发展方向。再例如,针对风机、水泵、工业窑炉等方面的应用,已经设计出了不少具有智能节电功能的电源装置,它们可通过优化不同工况下的供电方式以达到精细化供电,最终实现节电的目的。

3. 向更安全环保方向发展

电源产品是一类特殊的商品,各个国家和地区对其使用安全性都有严格的要求,还专门设立了诸如UL、CCC、CSA等认证机构来认证电源产品的安全性,主要是要求电源产品在使用时尽量避免产生电击危险、热危险、着火危险、机械危险等风险。在某些易燃易爆环境(如在煤矿井下)中,还要求电源产品具备本质安全性。本质安全性是指通过设计等手段使生产设备或生产系统本身具有安全性,即使在误操作或发生故障的情况下也不会造成事故,具体包括失误—安全(误操作不会导致事故发生或自动阻止误操作)、故障—安全(设备发生故障时也不会导致事故发生)。电源产品向更安全的方向发展是社会高度发展的必然需求,从某种意义上来说,环境保护最终也是保护人类自身的生存安全,对电源产品的环保要求也日渐重视。

电源产品在使用时除了要求尽可能低的噪声污染外(最好是完全静音),还要求对所在环境产生尽可能小的电磁干扰。减小电磁干扰的方法有:加电源滤波器,采取无源补偿方案,以有效地抑制传导干扰;加各种屏蔽措施,以抑制辐射干扰;于电路的适当部位加RC