

开关电源

理论及设计

(第2版)

周洁敏 陶思钰 编著

百万人气社区电源网强力推荐，短期即可提高的优秀技术用书

- 设计宝典，依靠深厚行业经验，透析工程技术原理
- 来于实践，详解典型应用实例，提升工程设计能力
- 高于实践，强调理论基础讲解，提升分析问题能力



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

开关电源理论及设计

(第2版)

周洁敏 陶思钰 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书在实用和理论兼顾的情况下介绍了开关电源的理论和设计方法,是专门为从事开关电源技术、电力电子技术的科研人员及工程技术人员编写的书籍。书中系统地介绍了开关电源的基础理论知识、基本概念与原理,内容包括开关电源设计的一般考虑、拓扑的应用选择、常用元器件的选择、磁性元件的设计、辅助电路设计、闭环设计、损耗与散热设计、开关电源安全考虑和开关电源EMI控制。附录中有关于磁性元件和电容器的设计数据,便于学习和使用本书。本书是再版书,相比旧版,本书对部分内容进行了修改。

本书可以供从事开关电源的研发设计人员,以及从事电气工程自动化的设备制造与维修的工程技术人员和工程管理人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源理论及设计 / 周洁敏,陶思钰编著. -- 2
版. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2019.5
ISBN 978-7-5124-2993-2

I. ①开… II. ①周… ②陶… III. ①开关电源—理
论②开关电源—设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第071775号

版权所有,侵权必究。

开关电源理论及设计(第2版)

周洁敏 陶思钰 编著

责任编辑 胡晓柏 张楠

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1000 1/16 印张:28.75 字数:647千字

2019年5月第2版 2019年5月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-2993-2 定价:89.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:010-82317024

序 言

随着电力电子技术的高速发展，电力电子设备与人们工作、生活的关系日益密切，而几乎所有电力电子设备都离不开可靠的电源。开关电源技术的出现极大地提高了电源转换效率，带来了电源行业的大变革。20世纪70年代末，几位搞计算机电源的前辈将开关电源技术引进我国后，开关电源技术像雨后春笋般在神州大地普及开来。

全球大部分电源都产自中国，很多大的电源公司也都将研发中心转移到了中国，中国迫切需要研究开关电源的人才。开关电源是一门理论和实践要求都比较高的技术，但是，长期以来我们的大学教育并没有专门开设开关电源专业。近几年有的学校在这方面有所加强，并在研究生阶段开设了这个研究方向，但是从人才培养上来说还是远远不能满足产业需求的。

电源网从2002年开设电源技术论坛以来，现已成为中国最大的电源技术在线交流平台。很多年轻一代的电源工程师都是伴随着网站的成长而成长的，但是网络上的交流毕竟是碎片化的，很难从中系统、深入、完整地学习这门技术。

南京航空航天大学一直以来在开关电源领域的研究都是比较领先的，我和南京航空航天大学的多位电源泰斗都有很好的私交。在和周老师认识的这些年，一直感受到她对于技术的精益求精，教学上更是与时俱进。这本《开关电源理论及设计》凝聚了她多年的智慧与汗水，是一本不可多得的技术书籍。我相信这本书的出版，对大家学习开关电源技术会有很大的帮助，对推动中国开关电源人才培养也将有非常积极的意义。

我们在网站的论坛（bbs.dianyuan.com）上公布了本书的大纲后，引起了网友们的热议。网友们普遍反映本书中提到的技术要点非常贴近实际，大家也都非常期待这本书的出版。

《开关电源理论及设计》需要我们仔细地研读，对书中的一些技术问题也欢迎大家去电源网的BBS论坛讨论，我们也会请周老师定期去论坛和大家交流。

在这里我们祝愿大家学习愉快。

电源网（www.dianyuan.com）总经理 兰波

2012年2月于深圳

前 言

电能具有清洁、安静、容易实现自动控制等特点，随着利用电能工作的设备越来越多，不仅在所有的军用、工业和一般的民用电子设备上需要电能，而且在许多场合，如焊接、冶炼、电解、电镀、热处理、环保除尘等设备中也需要各种特殊规格的电能，把这种供给用电设备工作的装置称为电源。目前，只要用电的地方都有电源的存在。

水力发电、火力发电、光伏发电、风能发电及核电等各种发电形式构成的电网所提供的电能是不能直接用来给电子设备上的电子元件供电的，因为电子元件的技术要求与电网提供的技术指标不同。电网上的电也称为“粗电”；用电设备所需要的电是根据具体设备要求提出的，也称为“精电”。如何将电网上的“粗电”转变成电子设备所需的“精电”，这个变换装置常称为二次电源，或直流变换装置，也可以直接称为电源。现在用得最多的是开关电源，对组成开关电源的各个部分进行理论分析设计，重点器材选型就是本书要讨论的问题。

电源就如新鲜的“血液”一样通过电流向用电设备输送优质的电能，所以电源性能的好坏直接影响到整个用电设备的运行质量。

用电设备就如饭店的顾客，有不同的胃口；电源的技术指标就如同菜谱，必须遵守各种食品安全等法律、法规。接入电网的电源设备必须遵守各种安规标准。

从事电源技术与产品开发的人员，必须有十分宽广的知识面，因为电源涉及到多门学科的知识，例如磁性材料、电子元器件、集成电路、计算机技术、发热与冷却等工程应用知识。除此之外，电源本身是自成一体的闭环系统，只有闭环负反馈系统才能提高电源品质，但是功率处理开关工作在非线性状态，所以形成的闭环系统是一个典型的非线性系统。

电源中要用到许多磁性材料，磁性材料是非线性的且会饱和的，磁导率不是无穷大，磁性元件周围总有漏磁存在；电路中寄生的电感和电容到处存在，工作频率改变，相应地，性能参数立即发生变化。磁性元件设计时总是要经过多次校验和优化。磁性元件不易集成，即使磁集成技术也只是相对而言，也无法进行标准化、机械化流水线生产，它是劳动力相对密集的产业。即使是经过充分试验的电源产品，要进行批量生产，还需大量的调试试验，因为元器件的参数有离散性，随温度变化离散性还会加剧。要交付使用的电源要进行许多接入电网的试验，还要考虑用电设备对电源的影响。

由于电源的刚性需求及产品生产研发的特点，需要的技术人员多，而且培养一名电源技术人员，经济成本和时间成本较高。研制电源必须建立在足够的试验基础上，研发电源具有“只有更好没有最好”的特点，永无止境。

电源还受到用电设备技术发展的激励，例如，CPU 的频率高了；用电设备体积小了，比如超薄电视、笔记本电脑、掌上电脑产品的出现，电源设计也要进行相应的改变。因此，电源问题的解决起着关键作用。

电源的可靠性和生命力应摆在首位，一个系统如果没有正常电源，就无法工作，



即使是最优秀的设计也无法展现,就如人断了食物一样。

国内的开关电源经历了30多年的发展,有相当的成就。本书收集了各种文献资料,并对长期的电源教学、科研实践进行了总结、归纳和提炼。

作为电源工程师的培训教学用书,以讲解电源的基本原理和组成结构为主,不可能穷尽电源的各种形式原理,本书希望培养读者“渔”的能力,而不是赠予“鱼”。书中的分析例子选自常用电源的部分线路图,以说明工作原理。学习者掌握了基本原理,就应着力培养举一反三和融会贯通的能力。

考虑到读者已经具备工科的数理基础,并且已具备电路分析基础、数字电路、模拟电路、自动控制原理、电气原理、磁场理论及电力电子技术等基础和专业知识,所以涉及的有关定理、公式推导与证明,本书不再详述,只对物理概念作了简略讲述。在编著体系和叙述方法上除考虑教学要求外,还顾及到自学的需要,便于读者掌握和运用所讲述的内容,编入了各种电路图例及分析。

磁性元件不像其他电路器件那样是选用的,在开关电源设计中是需要由研究人员专门设计的,电路器件可以根据要求直接查阅生产厂家的产品手册选用。因此,在附录中提供了构成变压器的常用的导线、磁芯、绝缘材料等产品参数与规格,尽管想更详尽地告诉读者,但篇幅有限,磁芯材料的厂家与种类太多不能穷尽,只列出使用频度高些的数据,供使用者参考。

另外,电容也是储能元件之一,电容品种繁多、结构参数差异较大,应用场合不同,电容的选取也不一样,所以提供了一些开关电源中使用的电容,供读者选用参考。

书中所选的内容适用于科研和生产部门的电源技术人员及相关科技人员参考,也可作为电源技术专业、电力电子专业、电气自动化专业本科生和研究生的专业课教学参考书。

书中涉及的一些电气和电子方面的名词术语、计量单位,力求与国际计量委员会、国家技术监督局颁发的文件相符。

本书部分内容是作者科研工作的总结,在编写过程中得到南京航空航天大学赵修科教授的指导,赵老师提供了相当多的原始素材。书中有些资料来自杂志上公开发表的论文、各种相关的博士和硕士学位论文。在编写过程中,东南大学电气学院陶思钰博士进行了部分内容的修订,作者的研究生殷成彬、杜泽霖、朱紫菡、吴中豪、李涛等进行了详细的文字校对与编排,作者的同事宫淑丽和郑罡给予了各方面的帮助。南京航空航天大学严仰光教授为全文审稿,并在审稿过程中提出了非常宝贵的有建设性的建议,以及对作者在编写过程中给予不断的鼓励和支持。本书出版过程中得到了北京航空航天大学出版社的鼎力支持,编辑为本书的顺利出版做了大量的工作,作者在此一并向他们表示衷心感谢。

本书内容适用教学学时数为60~80学时,如果条件允许,还可以开设相应的试验和观摩试验,以缩小书本理论学习与工程应用实践方面的差距。

由于作者经验和水平的局限,书中难免还有不足之处,恳请读者批评指正。

周洁敏

2019年5月

于南京航空航天大学

目 录

第 1 章 开关电源设计的一般考虑	1
1.1 概 述	1
1.2 开关电源的技术指标	2
1.3 国内外的工频电网	5
1.4 蓄 电 池	6
1.4.1 铅蓄电池的工作原理	6
1.4.2 铅蓄电池的放电原理	8
1.4.3 铅蓄电池的充电原理	8
1.4.4 铅蓄电池的放电特性	9
1.4.5 容 量	11
1.4.6 铅蓄电池的充电特性和充电方法	11
1.4.7 铅蓄电池的主要故障	13
1.5 负 载	14
1.5.1 计算机电源	14
1.5.2 电话电源	15
1.5.3 LED 照明电源	16
1.5.4 荧光灯电源	16
1.6 开关电源设计准备	17
1.6.1 拓扑选择	17
1.6.2 工作频率选择	17
1.6.3 效率与损耗分配	17
第 2 章 拓扑的应用选择	19
2.1 引 言	19
2.2 开关电源常用拓扑	19
2.2.1 Buck 电路	20
2.2.2 反激变换器	25
2.2.3 正激变换器	43
2.2.4 推挽变换器	50
2.2.5 半桥式功率电路	58
2.2.6 全桥功率电路	60
2.3 有源功率因数校正	62
2.3.1 功率因数的概念	62
2.3.2 功率因数校正目的与意义	63
2.3.3 功率因数校正技术及其实用电路	64



2.3.4	Boost 型 PFC 的工作原理与控制方法	67
2.4	谐振变换器	73
2.4.1	半桥零电压准谐振变换器	74
2.4.2	半桥零电流准谐振变换器	78
2.4.3	不对称半桥谐振变换器	81
2.4.4	LLC 谐振变换器	92
2.5	开关电源的选择方法	97
第3章	常用元器件的选择	99
3.1	电阻	99
3.1.1	电阻的类型	99
3.1.2	电阻值与公差	100
3.1.3	最大电压	103
3.1.4	功率定额	103
3.1.5	可变电阻	105
3.1.6	电阻的电感和电流检测电阻	105
3.1.7	表面贴装元件	107
3.1.8	压敏电阻	107
3.2	电容器	110
3.2.1	基本原理	110
3.2.2	电容量计算	111
3.2.3	电路中的电容	112
3.2.4	电容器的主要参数	113
3.2.5	电容类型和应用场合	115
3.2.6	开关电源中电容器选择和使用	124
3.3	功率半导体器件	133
3.3.1	功率二极管	134
3.3.2	功率开关晶体管	143
3.3.3	功率开关晶体管比较和选择	167
3.4	光电耦合器件	168
3.4.1	光电耦合器的工作原理	168
3.4.2	线性光电耦合器	170
3.5	运算放大器	171
3.5.1	结构封装	171
3.5.2	运算放大器的主要参数	172
3.5.3	运算放大器的使用和选择	174
3.6	比较器	174
3.6.1	单门限比较器	175
3.6.2	双门限比较器——迟滞比较器	176
第4章	磁元件的设计	179
4.1	电磁的单位	179

4.1.1	磁感应强度	179
4.1.2	磁导率	179
4.1.3	磁场强度	180
4.1.4	磁 通	180
4.2	两个基本定律	180
4.2.1	安培定律	180
4.2.2	电磁感应定律	181
4.2.3	能量守恒关系	182
4.3	电感与互感	182
4.4	单位之间的换算	183
4.5	变压器	184
4.5.1	理想变压器	184
4.5.2	实际变压器	185
4.5.3	反激变压器	186
4.6	磁性材料	186
4.6.1	材料的特性	187
4.6.2	剩磁感应	188
4.6.3	其他特性限制	189
4.7	磁性元件设计	192
4.7.1	磁性元件设计一般问题	192
4.7.2	变压器设计	204
4.7.3	电感设计	211
4.8	平面磁元件设计	234
4.8.1	平面变压器	234
4.8.2	扁平变压器的设计	236
4.8.3	集成磁技术	247
第 5 章	辅助电路设计	249
5.1	控制电路	249
5.1.1	电压型集成控制电路	249
5.1.2	电流型集成控制电路	253
5.1.3	PFC 和 PWM 控制的组合芯片	257
5.1.4	谐振控制芯片	264
5.1.5	高频开关电源软开关控制器	271
5.2	单片开关电源芯片	280
5.3	辅助电源	286
5.3.1	自举供电	286
5.3.2	独立辅助电压源	289
5.4	缓冲电路	292
5.4.1	缓冲电路的作用	293
5.4.2	RCD 和 RLD 缓冲电路	293

5.4.3	无损缓冲电路	295
5.4.4	二极管缓冲电路和缓冲电路中电容选择	302
5.4.5	缓冲元件参数选择	306
第6章	闭环设计	307
6.1	负反馈	308
6.1.1	负反馈的基本概念	308
6.1.2	负反馈基本关系	308
6.1.3	反馈深度与深度负反馈	309
6.1.4	环路增益	309
6.1.5	负反馈放大器的类型	309
6.2	频率响应	314
6.2.1	频率响应基本概念	314
6.2.2	基本电路的频率响应	315
6.3	负反馈自激振荡	319
6.3.1	负反馈放大器稳定工作条件	319
6.3.2	放大器频率特性的校正	321
6.4	开关电源闭环设计	324
6.4.1	概述	325
6.4.2	环路增益	326
6.4.3	误差放大器的幅频特性曲线的设计	329
6.4.4	考虑输出电容有 R_{esr} 以及电路经过 LC 滤波器的相移	330
6.4.5	设计举例	331
6.4.6	Ⅲ型误差放大器和传递函数	333
6.4.7	设计举例	334
6.4.8	反馈环路的条件稳定	336
6.4.9	断续模式反激变换器的稳定	337
6.4.10	断续模式反激变换器的误差放大器的传递函数	339
6.5	开关电源环路稳定的试验方法	341
6.5.1	开环响应测试	341
6.5.2	交流和直流信号叠加电路	343
6.5.3	在闭环情况下测量变换器环路响应	344
6.6	电流型控制变换器	346
6.6.1	电流型变换器的基本原理	346
6.6.2	非最小相位系统	349
6.6.3	系统稳定的一些概念	349
第7章	损耗与散热设计	353
7.1	热传输	353
7.1.1	传导	353
7.1.2	辐射传热热阻	357
7.1.3	对流热阻	357

7.1.4	散热器计算举例	359
7.1.5	强迫对流	360
7.2	半导体器件结温和损耗	360
7.2.1	结 温	360
7.2.2	功率元器件损耗	361
7.2.3	功率BJT损耗	364
7.2.4	半导体器件损耗测试	364
7.2.5	电容器损耗	364
7.3	变换器效率	365
7.3.1	效率的定义	365
7.3.2	总损耗	365
第8章	开关电源安全考虑	368
8.1	安全规范	368
8.2	安全标准中需要防止的危害	368
8.2.1	交流配电系统	369
8.2.2	电源结构体系(负载)内两类电路	370
8.2.3	安全电路	371
8.2.4	绝缘保护	371
8.2.5	工作电压	373
8.2.6	空间要求	373
8.2.7	接 地	375
8.2.8	其他危险	377
8.3	电源安全考虑	378
8.3.1	元器件选择	378
8.3.2	变压器	378
8.3.3	PCB安全要求	380
8.3.4	安全对结构设计的要求	381
8.4	基本测试	381
8.4.1	电气强度(耐压)试验	382
8.4.2	接触(漏电流)电流测试	382
8.5	安全认证	383
第9章	开关电源EMI控制	384
9.1	电磁兼容基本知识	384
9.1.1	名词术语	384
9.1.2	电磁噪声的传播	385
9.1.3	电磁兼容标准	386
9.2	传 导	388
9.2.1	传导噪声分类	388
9.2.2	噪声源	389
9.2.3	传导噪声的抑制	390



9.3	辐 射	401
9.3.1	传输线	401
9.3.2	屏 蔽	402
9.4	共阻干扰	405
9.4.1	接地阻抗干扰	405
9.4.2	减少地阻抗的措施	407
9.4.3	接地环路干扰	407
9.4.4	减少源阻抗干扰	408
9.5	印刷电路板布线规则	409
9.5.1	基本规则	409
9.5.2	几个具体问题	409
附录 A	导 线	412
A.1	变压器导线规格	412
A.2	铜带规格	415
附录 B	磁 芯	416
B.1	概 述	416
B.1.1	磁性材料	416
B.1.2	铁氧体尺寸规格	422
B.2	中外磁芯对照	425
B.3	平面磁芯	425
B.4	磁粉芯	428
B.4.1	磁粉芯的主要性能和规格	428
B.4.2	磁粉芯电感估算	428
B.4.3	国内外磁粉芯规格	429
B.5	矩形磁滞回线磁芯	430
B.5.1	非晶合金	430
B.5.2	噪声抑制器件	432
B.5.3	矩形磁滞回线铁氧体磁芯	432
B.6	各种磁性材料的性能比较	434
附录 C	电 容	436
C.1	瓷介电容	436
C.2	有机薄膜介质电容	437
C.3	云母电容	439
C.4	钽电容	441
C.5	POSCAP 电容器	442
参考文献	444
后 记	446

1.1 概 述

20 世纪下半叶,电力电子技术得到突飞猛进的发展。其中,尤以 DC/DC 变换器或电网交流整流后再接 DC/DC 变换器为中心的开关电源得到极其广泛的应用,几乎在所有用电的领域都有开关电源的身影。它可以是终端产品,但更多情况下是针对不同设备要求,为适应负载条件设计的。例如,一种计算机要求的电源与另一种计算机的电源经常是不相同的,电源必须根据服务的计算机要求来设计;又如,同样是 48 V 充电机,给铅酸电池与镍镉电池的充电机技术条件是不同的。据称标准化开关电源产品只占总量的 30%,因此,从事开关电源研发和生产的人员是一个非常庞大的队伍。

开关电源通常是指以功率器件工作在开关方式的 DC/DC 或 AC/DC,再经 DC/DC 变换器为核心,有负反馈闭环控制和完善保护,且满足负载使用要求的电源系统。以通信电源充电模块为例,其电路组成框图如图 1.1.1 所示。

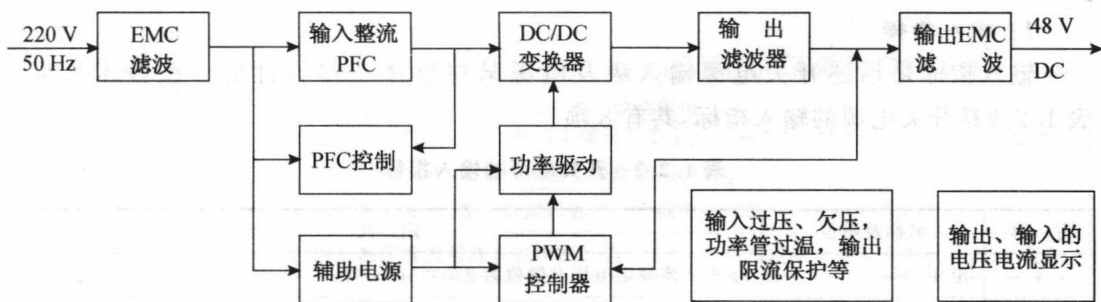


图 1.1.1 开关电源方框图

输入交流电经整流成为单向脉动直流,送到功率因数校正电路,将脉动直流通过控制和输出滤波变换成稳定的直流电压,同时使交流输入电流跟踪输入电压,达到输入功率因数为 1。功率因数校正电路的输出送到主 DC/DC 功率变换器,经控制和输出滤波达到要求的电压和电流。同时满足电磁兼容和各种保护(输入过压和欠压、输出限流、启动电流冲击和过温和显示)等。另外,由单独的辅助电源给控制和驱动电路供电。

不同用途的开关电源的组成也不同。在小功率电源中,输入部分没有 PFC 级,仅仅是整流加电容滤波;装在其他印刷电路板上的电源只有 DC/DC 变换一级,甚至没有独立的辅助电源和外壳。

开关电源不只是一个变换器、一个电路,它是一个系统,是一个产品。不仅有电路



问题,很多情况下,还有可靠性、成本、工艺、结构等问题。对于开关电源来说,变换器拓扑是非常重要的,但对于电源产品,成本、工艺、结构和可靠性或许更重要。

以下列出一个某开关电源模块的技术规范,推向市场的产品必须有一定的技术规范。这也是技术协议书,研发人员在产品研发、设计和生产中,应努力实现这些规范。

1.2 开关电源的技术指标

以某通信电源模块为例,介绍有关电源的电气性能指标,如表 1.2.1 所列。

表 1.2.1 通信电源的电气性能指标

序号	名称	技术指标	序号	名称	技术指标
1	额定电压/V	54.9	5	调压范围 1/V	52.55~52.75
2	输出电流/A	28	6	调压范围 2/V	45.7~45.9
3	限流范围/ I_{max}	110%	7	效率/%	>87
4	过压范围/V	58.8~61.2			

注:所有参数是在输入电压为 220 V、交流为 50 Hz 以及环境温度为 25 °C 下测试和规定的。

1. 开关电源的电气性能指标

开关电源的电气性能指标可分为输入、输出、保护、显示和指示功能、系统功能、电气绝缘和电磁兼容等。

1) 输入指标

输入指标是描述开关电源输入级及电源某些整体工作特性的一些技术指标,表 1.2.2 是开关电源的输入指标,共有 8 项。

表 1.2.2 开关电源的输入指标

序号	名称及单位	定义
1	电压/V	单相交流额定电压有效值为 $220 \times (1 \pm 10\%)$
2	频率范围/Hz	45~65
3	电流/A	满载,输入 220 V,小于 8 A;264 V 时,冲击电流不大于 18 A
4	效率	负载由 50%~100%,为表 1.2.1 值
5	功率因数	0~50%负载,大于 0.90;50%~100%负载,大于 0.95
6	谐波失真	符合 IEC 1000-3-2 要求
7	启动延迟	在接通电源 3 s 内输出达到它的额定电压
8	保持时间/ms	输入 176 V 有效值,满载,大于 10 ms

2) 输出指标

输出指标是描述开关电源输出级的一些技术指标,它们的数值是用户设备选择的依据。表 1.2.3 是开关电源的输出技术指标。

表 1.2.3 开关电源的输出指标

序号	名称	定义
1	电压/V	$54.9 \times (1 \pm 0.2\%)$
2	输出电流/A	0~28 A, 过流保护开始时是恒流, 当电压降低到一定值时, 电流截止
3	输入电流/A	满载运行时, 输入 220 V, 小于 8 A; 在 264 V 时, 冲击电流不大于 18 A
4	稳压特性	负载变化由零变到 100%, 输入电压由 176 V 变到 264 V, 最坏情况下输出电压变化不超过 200 mV
5	瞬态响应	在没有电池连接到输出端时, 负载由 10% 变化到 100%, 或由满载变化到 10%, 恢复时间应当在 2 ms 之内, 最大输出电压偏摆应当小于 1 V
6	静态漏电流	当模块关断时, 最大反向泄漏电流小于 5 mA
7	温度系数	模块在整个工作温度范围内(小于或等于) $\pm 0.015\%$
8	温升漂移	在起初 30 s 内, 温度漂移小于 $\pm 0.1\%$
9	输出噪声	输出噪声满足通信电源标准, 衡重杂音小于 2 mV

3) 保护

开关电源必须有完备的保护措施, 常有的保护是过流保护、短路保护、过压保护、反接的极性保护和过热保护等, 表 1.2.4 是开关电源的保护指标。

表 1.2.4 开关电源的保护指标

序号	名称	定义
1	输入过流	输入端保险丝额定为 13 A
2	输出过压	按表 1.2.1 设置过压跳闸电压, 输出电压超过这个电平时, 将使模块锁定在跳闸状态, 通过断开交流输入电源使模块复位
3	输出过流	过流特性按表 1.2.1 的给定值示于图 1.1.1, 过流时, 恒流到 60% 电压, 然后电流电压转折下降(最后将残留与短路相同的状态)
4	输出反接	在输入反接时, 在外电路设置了一个保险丝烧断($< 32 \text{ A}/55 \text{ V}$)
5	过热	内部温度检测器禁止模块在过热下工作, 一旦温度减小到正常值以下, 自动复位

4) 显示和指示功能

开关电源必须具有对重要参数的显示功能, 以便判断设备是否正常工作, 具体指标如表 1.2.5 所列。

表 1.2.5 开关电源的显示和指示

序号	名称	定义	备注
1	输入监视	输入电压正常显示	
2	输出监视	输出电压正常显示	过压情况关断
3	限流指示	限流工作状态显示	
4	负载指示	负载大于低限电流显示	
5	继电器工作指示	输出和输入正常, 同时显示	
6	输出电流监视	负载从 10% 到 100%, 指示精度为 $\pm 5\%$	
7	遥控调节	提供遥控调节窗口	



5) 系统功能

开关电源还设置一些系统指标,以适应某些输入/输出装置的特性,或具备某些特殊功能,如表 1.2.6 所列。

表 1.2.6 开关电源的系统功能

序号	名称	定义
1	电压微调	为适应电池温度特性,可对模块的输出电压采取温度补偿
2	负载降落	为适应并联均流要求,应能够调节外特性。典型电压下降 0.5%,使得负载从零增加到 100%,输出电压下降 250 mV
3	遥控关机	可实现遥控关机

6) 电气绝缘

开关电源的电气绝缘是安全指标中的重要内容,出厂的开关电源必须经过电气绝缘试验,才能投入运行,具体指标如表 1.2.7 所列。

表 1.2.7 开关电源的电气绝缘指标

序号	名称	定义	备注
1	电网绝缘	火线(L)和中线(N)之间及其他端子试验直流电压为 6 kV	
2	输出端对地绝缘	所有输出端和 L、N、地之间试验直流电压为 2.5 kV	输出和地之间的绝缘
3	地连续性	以 25 A, 1 min 检查,确认安全接地的阻抗小于 0.1 Ω	

7) 电磁兼容

电磁兼容应符合部颁通信电源规范,有关电磁兼容的理论知识请参考第 9 章。

2. 开关电源的机械规范

开关电源的机械规范除质量、尺寸外,还有:

- ① 安装方向:模块设计安装方向是面板垂直放置,使空气垂直通过模块。
- ② 通风和冷却:模块的顶部和底部都有通风槽,使空气流通过模块,经过散热器。

因此在系统中应当没有阻碍对流冷却模块,并应强迫冷却装置使冷却空气经过模块自由流通。

3. 环境条件

开关电源的运行与存储的温度如表 1.2.8 所列。

表 1.2.8 开关电源的主要环境条件指标

序号	名称	定义
1	环境温度	在 0~55 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,满功率工作,在模块下 50 mm 处模块的入口测量温度
2	存储温度	-40~85 $^{\circ}\text{C}$
3	湿度	5%~80%,不结冰
4	高度	-60~2000 m

4. 可靠性

MTBF 大于 100 000 h。

“开关电源的电气性能指标”中的输入、输出、保护、电气绝缘和电磁兼容是电源的基本要求,显示和指示功能、系统功能是通信的特殊要求。在一般电源规范中,还有电源工作的环境条件、结构尺寸和质量等,由此决定电源的冷却和结构设计以及元器件的选择。

电源设计者必须充分研究以上的技术条件,设计过程自始至终贯彻技术规范,并且充分考虑研制的电源的生产成本和制造方法,所设计的电源才能获得成功。因此,产品设计不同于理论研究,这里电路先进是远远不够的。产品应当采用成熟的先进电路技术,最低的生产成本,包括器件、制造、结构、劳动力、设备等,直至维护成本,同时要达到最高的可靠性。这样的产品才能够生存。

1.3 国内外的工频电网

要安全使用国外购进的电子电气设备,应当知道国外电网电源的种类和相关标准。如果设计的产品是提供出口,就必须了解该地区的电网相关标准。

国际上工频主电网的交流电源频率有两种,即美国是 60 Hz,中国和欧洲是 50 Hz。实际上,频率也有一定的变化范围,电网负荷重的时候,50 Hz 可能降低到 47 Hz;如果负荷很轻时,60 Hz 可能上升到 63 Hz。这是因为带动发电机的发动机转速不可能是没有调节公差恒速运行。50 Hz 供电的电源必须使用比 60 Hz 供电更大的滤波元件,供电工频变压器铁芯更大或线圈匝数更多。

电源电压在不同地区也不同。在中国,家用电器和小功率电气设备由单相交流 220 V 供电,供电功率大的场合如工业用电是三相 380 V。在美国,民用电源为 110 V (有时是 120 V),家用电器,如洗衣机电源是 208 V;工业用电是 480 V,但是照明却是 277 V,也有用 120 V 的。在欧洲为 230 V,而在澳大利亚却是 240 V。在设计电源产品时,一定要了解使用方的供电电压和频率。

电网随负荷变化时产生较大波动,20 世纪末我国电网改造前,电网电压波动范围高达 30% 以上。后来建立大量电厂,供电量充足,同时经过电网改造,合理输配电,供电质量明显提高,一般电网电压波动范围在 10% 以内,即在 198~242 V 之间;但在铁道系统或边远地段,变化范围仍可能达到 30%。因此,开关电源设计时应考虑即使遇到极端情况,也能够安全运行。有时电网也可能丢失几个周波,要求有些电源能够不间断(保持时间)地工作,这就要求较大的输出电容或足够大容量的并联电池。

电网还存在过压情况,雷击和闪电在 $2\ \Omega$ 阻抗上,产生的线与线电压和共模干扰电压可高达 6 000 V 电压。闪电可能是短脉冲,上升时间小于 $1.2\ \mu\text{s}$,衰减时间小于 $50\ \mu\text{s}$;也可能是高能量信号,衰减时间大于 1 ms。电网还有瞬态电压,峰值达 750 V,持续半个电网周期,这主要是大功率负载的接入或断开造成的,或高压线跌落引起电网的瞬变。