

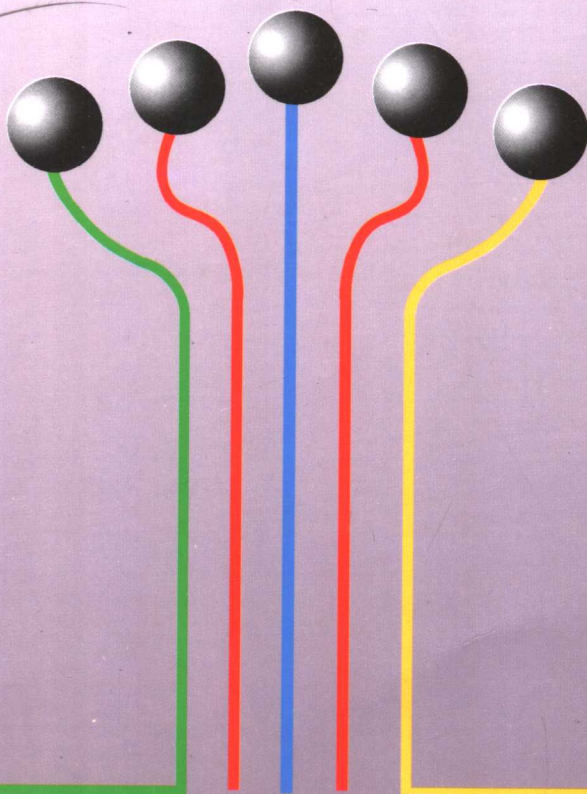
KAIGUANDIANYUANFENCE

实用电源技术手册

SHIYONG DIANYUAN
JISHU SHOUCHE

开关电源分册

分册主编 / 陆治国



辽宁科学技术出版社

LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

TN86-62/5

2008

实用电源技术手册

开关电源分册

分册主编 陆治国

辽宁科学技术出版社

· 沈阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

实用电源技术手册. 开关电源分册/陆治国主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008.1

ISBN 978 - 7 - 5381 - 4937 - 1

I. 实… II. 陆… III. ①电源 - 技术手册②开关电源 - 技术手册 IV. TN86—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 149603 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 15.5

字 数: 350 千字

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2008 年 1 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 枫 岚

封面设计: 庄庆芳

版式设计: 于 浪

责任校对: 王春茹

书 号: ISBN 978 - 7 - 5381 - 4937 - 1

定 价: 32.00 元

联系电话: 024—23284360

邮购热线: 024—23284502

E - mail: lkzsb@mail.lnpgc.com.cn

http://www.lnkj.com.cn

总 前 言

《实用电源技术手册》，这里的“电源技术”，是指采用功率电子技术，将一种（直流或交流）电源，转换成另一种或另一规格大小的电源技术。这种经过变换的电源，将能更好地适用于各种用电设备的不同要求。电能（源）经过功率电子技术处理，又能获得良好的节能效果。发达国家作为电源的电能，已有80%经过这种技术处理，节能效果达15%~40%。预计到2000年经过处理再应用的电能将达到95%。

近20年来，电源技术经过了迅速而又长足地发展。作为电源技术的关键元件——大功率半导体器件，从半控型的晶闸管，发展到可关断晶闸管（GTO）以及全控制型功率晶体管（GTR），绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、功率场效应晶体管。电源变换技术，也从开始采用线性变换发展到开关电源，高频开关电源；并且还用“硬开关”、“软开关”技术。功率等级也从几十瓦，发展到几十千瓦（伏安）或几百千瓦（伏安）。应用则涉及到计算机、通讯、工业自动化、电子或电工仪器和家用电器等，几乎包括科学技术的各个领域和社会生活的各个方面。应用范围如此之广，一方面已形成了庞大的专业技术队伍，全国具有技术职称的专业人员，大约不少于8万人，这里包括研究、设计、生产、维修人员，其中中等或中等以上专业技术人员占多数；另一方面，也形成了广大的电源用户队伍。

《实用电源技术手册》的出版，正是面对当前这样的形势。《实用电源技术手册》将介绍不同种类电源的基本工作原理、单元的组成、性能与主要技术指标、典型产品的剖析介绍；电源的使用与维护、性能的测试要求与测试方法；不同类型电源的优缺点与适用场合、使用中应注意的问题，等等。对于某些电源，还介绍了一些基本的设计计算方法。这些内容，对于用户如何从型号繁多的各种电源中正确地选用电源，如何正确地使用与维护电源，无疑是会有很大帮助的。对于广大的维修人员也将是一本重要的可以直接借鉴的参考书。对于设计与研究人员，在电源技术的工程实现方面，包括电源电路的方案选择、主要元件选用与基本计算和确定、加工与调试等，也希望本书能成为一本不可缺少的工具书。

《实用电源技术手册》按电源种类或专题，以“分册”形式出书。第一批四个分册：《电源元器件分册》、《模块式电源分册》、《交流稳定电源分册》、《UPS电源分册》已先后出版。后边的《磁性元器件分册》、《特种电源分册》、《开关电源分册》将陆续与读者见面。

本书的读者对象为具有电类中专以上水平，并有一定电源实际工作经验的工程技术人员，对于大专院校师生、业余电子爱好者都有参考价值。

由电源行业组织编写系统而又完整的《实用电源技术手册》，对于我们是初次尝试，限于水平，错漏难免，欢迎读者不吝赐教，批评指正。

《实用电源技术手册》总主编 丁道宏

分册前言

开关电源是各种精密电子设备的供电单元，它是电力电子技术应用最广泛、最深入的领域之一。开关电源具有控制灵活、效率高、体积小、重量轻等特点，广泛应用于通讯、计算机、工业特种电源、自动控制、电力系统和各种电子设备中。

近年来，数字控制技术发展十分迅速，已经渗透到了工业控制的各个领域，给开关电源的设计提出了新的要求，例如，低压大电流、低电磁干扰、高效率、高可靠性、高功率密度、高功率因数、动态响应快、长寿命等。为此，在开关电源设计中引入了一些新的设计方法，更加注重整体优化设计，包括稳定性设计、热设计和电磁兼容性设计。从电源的整体布局、电路板的布局、线路的布局到分布参数的影响，都是开关电源设计必须仔细考虑的课题。

本书编写的目的在于给开关电源设计的工程技术人员一个简明的指南，因此，在编写过程中力求做到以下三点：

- 在本书中能够找到开关电源设计的基本概念、基本方法和设计示例。
- 在本书中出现的基本设计公式都有简单明了的推导过程和使用说明。
- 能够反映开关电源设计的一些实用成果，给涉及该领域的工程技术人员、大学高年级学生和研究生提供借鉴。

随着电力电子技术的发展、新器件的应用，开关电源技术也是与时俱进的。本书共分7章。第1章介绍了开关电源的组成与特点、开关电源的分类与发展趋势，并阐述了开关电源设计指标和设计的一般要求。第2章介绍了开关电源常用的电力电子变换器，并简单介绍了软开关技术及其应用。第3章介绍了开关电源常用集成控制器，分析了控制器结构、工作原理、内部单元、外围元件和工程应用的方法。第4章介绍了开关电源高频变压器及电感设计的方法，包括磁性材料的选择、变压器和电感的铁心选择，并给出了设计示例。第5章介绍了开关电源系统稳定性设计方法，阐明了开关电源闭环系统调节器的工程设计方法，并给出了具体设计示例。第6章介绍了开关电源的热设计，主要阐述稳态热设计。第7章介绍了开关电源的电磁兼容设计。

侯振程教授规划了本书的基本框架和全部内容。全书由陆治国编写。研究生丘兴云、彭容、林凤、石磊、翟阳、舒畅、邓文东、余昌斌、胡红琼、叶雪辉、刘小将和李杨参加了编写工作。周锥维和王明渝教授在编写过程中给予了大力支持和帮助。

中国电源学会赵修科教授审阅了本书全部书稿，并提出了十分重要的修改意见。本书得以出稿，自始至终得到了赵修科教授的鼓励和鞭策。辽宁科学技术出版社的马凤兰老师为了本书的出版付出了辛勤的汗水。作者在此表示衷心的感谢。

因作者水平有限，对于书中存在的不足和错误，恳请读者批评指正。

陆治国

2007年10月于重庆大学电气工程学院

内容简介

开关电源具有效率高、体积小、重量轻等优点，广泛应用于通讯、计算机、工业特种电源、自动控制、电力系统和各种电子设备中。本书系统地介绍了开关电源设计的基本概念、基本方法。主要内容包括开关电源使用的电力电子变换器、常用集成控制器、高频变压器及电感设计、开关电源系统稳定性设计方法及电磁兼容性设计。

本书编写的目的在于给开关电源设计的工程技术人员一个简明的指南，常用的设计公式也都有基本的推导和说明。本书对电气工程学科大学高年级学生和研究生也具有参考价值。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 开关电源的组成与特点	1
1.2 开关电源的分类	2
1.3 开关电源的发展趋势	3
1.4 开关电源的技术指标与基本设计要求	4
1.4.1 开关电源的主要技术指标	5
1.4.2 开关电源设计的基本要求	6
第2章 电力电子变换器	10
2.1 概述	10
2.2 Buck 变换器	10
2.2.1 Buck 变换器基本工作原理	10
2.2.2 Buck 变换器设计	15
2.3 Boost 变换器	17
2.3.1 Boost 变换器基本工作原理	17
2.3.2 典型应用:功率因数校正	20
2.4 Buck/Boost 变换器	22
2.5 Cúk 变换器	23
2.6 单端正激变换器	25
2.6.1 基本原理	25
2.6.2 输出滤波器参数的设计方法	26
2.6.3 应用设计举例	27
2.7 双端正激变换器	28
2.8 交错正激变换器	29
2.9 推挽变换器	30
2.10 单端反激变换器	32
2.10.1 基本原理	32
2.10.2 主回路参数设计	35
2.11 交错反激变换器	37
2.12 双端断续模式反激变换器	38
2.12.1 工作原理	39
2.12.2 双端反激变换器中漏感的影响	39
2.13 半桥变换器	39

2.13.1	半桥变换器电路原理	39
2.13.2	半桥变换电路的主要数量关系	40
2.14	单相全桥变换器	41
2.15	软开关技术	42
2.15.1	软开关变换器的分类	42
2.15.2	零电流准谐振开关电路(ZCS-QRC)	43
2.15.3	零转换 PWM 软开关技术	45
2.15.4	有源钳位正激变换器	50
2.15.5	移相控制 ZVS PWM DC/DC 全桥变换器	53
第3章	开关电源常用集成控制器	58
3.1	电压型 PWM 控制器 TL494	59
3.1.1	内部结构和工作原理	59
3.1.2	TL494 使用中应注意的问题	63
3.1.3	典型应用	64
3.2	电压型 PWM 控制器 SG3525	65
3.3	电流型 PWM 控制器 UC3842	70
3.3.1	内部结构和工作原理	71
3.3.2	UC3842 使用中应注意的问题	76
3.3.3	典型应用	77
3.4	电流型 PWM 控制器 UCC3802	79
3.4.1	内部结构和工作原理	80
3.4.2	UCC3802 使用中应注意的问题	84
3.4.3	典型应用	85
3.5	电流型功率因数控制器 MC34262/MC33262	87
3.5.1	内部结构及工作原理	87
3.5.2	主要设计公式	92
3.5.3	应用举例	93
3.6	功率因数校正控制器 UC3853	94
3.6.1	内部结构和工作原理	95
3.6.2	UC3853 使用中应注意的问题	97
3.6.3	典型应用	98
3.7	功率因数校正和脉宽调制(PWM)组合控制器 ML4803	102
3.7.1	内部结构和工作原理	102
3.7.2	典型应用	108
3.8	隔离型 PFC 预调节控制器 UCC3857	112
3.8.1	UCC3857 内部结构和工作原理	114
3.8.2	UCC3857 的典型应用	117
3.9	零电压转换功率因数校正控制器 UC3855	119

3.9.1	引脚的名称、功能和用法	119
3.9.2	内部结构和工作原理	122
3.9.3	UC3855 使用中应注意的问题	128
3.10	移相谐振全桥变换控制器 UC3875	128
3.10.1	内部结构和工作原理	128
3.10.2	典型应用	138
3.11	改进型移相谐振全桥变换控制器 UC3879	139
3.11.1	内部结构和工作原理	140
3.11.2	UC3879 应用中应注意的问题	148
第4章	开关电源的变压器及电感设计	150
4.1	概述	150
4.2	磁性材料与磁芯	150
4.2.1	磁性材料及磁芯的磁性能	150
4.2.2	磁性材料的特性参数	152
4.2.3	磁芯几何结构	152
4.2.4	磁芯的工作状态	154
4.2.5	磁芯气隙的作用	155
4.3	变压器设计	156
4.3.1	确定变压器磁芯尺寸的面积乘法——AP 法	157
4.3.2	变压器设计举例	160
4.4	电感设计	167
4.4.1	电感设计的面积乘法——AP 法	167
4.4.2	Boost 型 PFC 变换器的电感设计	168
4.5	变压器的损耗	175
4.5.1	集肤效应	175
4.5.2	邻近效应	176
4.5.3	变压器铜耗的计算方法	181
第5章	开关电源系统稳定性设计	182
5.1	闭环负反馈	182
5.2	开关电源闭环各环节的增益特性	183
5.2.1	LC 输出滤波器的增益特性	183
5.2.2	脉宽调制器增益	185
5.3	误差放大器增益特性及设计	185
5.3.1	构造误差放大器增益特性	185
5.3.2	误差放大器传递函数、极点和零点	186
5.4	正激变换器闭环系统稳定性设计	188
5.4.1	采用第一种误差放大器	188
5.4.2	采用第二种误差放大器	191

5.5	工作在断续模式的反激变换器稳定性设计	194
5.5.1	误差放大器输出电压到变换器输出电压的直流电压增益	194
5.5.2	误差放大器输出电压到变换器输出电压的交流电压增益	195
5.5.3	工作在断续模式的反激变换器误差放大器传递函数	196
5.5.4	设计举例——工作在断续模式的反激变换器稳定性	197
5.6	跨导型误差放大器	200
第6章	开关电源的热设计	202
6.1	热路与温度计算	202
6.2	散热器的选择和设计	210
6.2.1	概述	210
6.2.2	散热器的选择	212
6.3	其他散热方式与热设计	217
6.3.1	强迫风冷	217
6.3.2	热电器件	218
6.3.3	压电风扇	219
6.3.4	热管散热器	219
6.3.5	变压器和电抗器的热设计	220
6.3.6	电解电容器发热的处理	220
6.3.7	集成电热仿真方法	220
第7章	开关电源的电磁兼容性设计	222
7.1	电磁兼容性的概念、标准和设计	222
7.1.1	电磁兼容性(EMC)及其标准	222
7.1.2	整体结构布局和布线的EMC设计	224
7.2	开关电源中的主要电磁干扰源	227
7.2.1	开关电路产生的电磁干扰	227
7.2.2	二极管整流电路产生的电磁干扰	228
7.2.3	dv/dt 与负载大小的关系	228
7.3	开关电源抑制噪声的方法	228
7.3.1	开关电源抑制传导噪声的方法	229
7.3.2	开关电源抑制辐射噪声的方法	229
7.3.3	开关电源抑制输出噪声的方法	230
7.4	开关电源传导噪声的分析与测量方法	230
7.5	传导EMI滤波器	233
	参考文献	235

第 1 章 绪 论

1.1 开关电源的组成与特点

开关电源具有效率高、体积小、重量轻、控制灵活等特点，因此，近年来得到了迅速的发展，广泛应用于通讯、计算机、工业特种电源、自动控制、电力系统和各种电子设备中。

大功率半导体器件工作于导通和截止两种状态，成为控制方便的电子开关，从而构成各种开关式变换器，如采用单开关管的 Buck、Boost、Buck-Boost 等基本型 DC/DC 变换器。这些单管变换器电路简单，开关管的作用就是将输入的直流变成占空比可以调节的高频脉冲，再经整流滤波后得到其直流成分，再以直流电的形式输出。通过调节占空比，可以得到负载要求的不同电压或电流，于是称这些变换器为 DC/DC 变换器。基本型 DC/DC 变换器所能传输的功率小，且输出与输入无电的隔离，由于占空比的限制，输出电压的范围也不能很好地满足负载要求，因此，具有隔离变压器的单端正激变换器和单端反激变换器得到了实际应用。单端正激变换器是在 Buck 变换器的输出与输入之间加变压器。由于变压器的加入，使输出与输入的电压比范围增大，就更容易满足负载对输出电压的要求。但变压器的磁芯工作在磁化曲线的第一象限，所以磁芯的利用率低且易进入饱和，传输功率也小，所以在大功率的场合，如几百瓦以上的 DC/DC 变换器则采用多开关管的变换器结构，如全桥型、半桥型和推挽型等。它们通常都带变压器，将输出与输入隔离和变压，这样得到占空比可以调节的高频交变脉冲，经整流和滤波就得到所需的直流电压或电流。多开关管变换器的功率处理能力大，适用于大功率场合，如通讯机一次电源、直流焊机等。在开关电源中，将变换器输出电压（或电流）的取样值作为反馈量，它与误差放大器的给定值相比较后得到控制量，控制量输入脉冲宽度调制（PWM）控制器后，由 PWM 控制器输出驱动脉冲，经驱动放大后去驱动功率开关，由此构成一个闭环系统。这个由变换器和闭环控制系统构成的装置称为开关电源。通过控制开关管的通断，从而达到按给定要求（实际负载工作要求）对开关电源输出稳压或稳流进行控制，且其输出值大小可调（也可按一定规律进行调整）。开关电源组成框图如图 1-1 所示。

通讯机一次电源普遍采用开关电源。这里所说的通讯机一次电源是指由交流市电（或油机发电机）供电到提供通讯机内部各种电压电源之间的直流供电电源，它通常包含将交流电整流的整流器和滤波器，再经 DC/DC 变换和二次整流滤波，得到输出直流电压。纵横交换机电压范围为 $-40.5 \sim -57V_{DC}$ ，其基础电压为 $-48V_{DC}$ ，而微波机为 $-24V_{DC}$ 。通讯机一次电源也称开关整流器。通常配备蓄电池组，作为不间断供电系统。

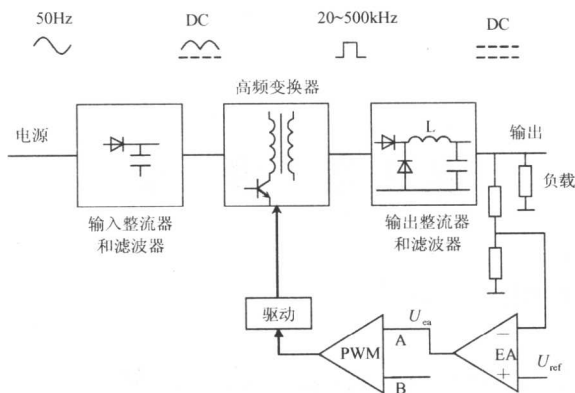


图 1-1 开关电源组成框图

图 1-2 为采用 PWM 方式的通讯机一次电源框图。

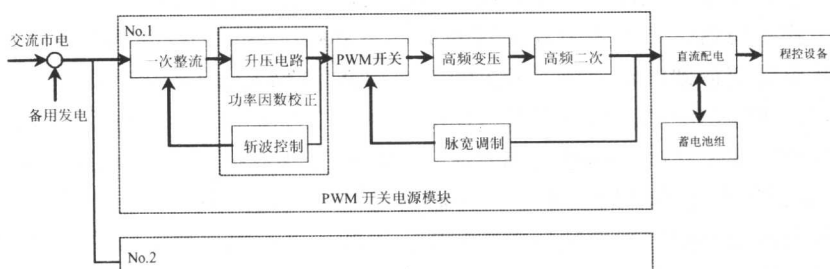


图 1-2 通讯机一次电源模块框图

1.2 开关电源的分类

开关电源以其采用的变换器拓扑结构可以分为 Buck、Boost、Buck - Boost、Cúk、单端正激、双端正激、交错双端正激、单端反激、推挽、半桥和全桥型等多种模式。在这些拓扑结构的变换器中，又可以分为工作于 PWM 硬开关方式和工作于软开关方式两大类。

PWM 硬开关变换器的开关管按外加脉冲控制其通断，与开关管的电流及电压无关。因此它通常在高电压或大电流下被迫开通或强迫关断，当开关频率较高时，有较大的 dv/dt 和 di/dt ，且开关过程中，开关损耗较大，此种方式称为硬开关工作模式。

另一类为软开关变换器，它是通过在前述的各种变换器拓扑结构的功率电路中，与开关管和二极管串联或并联一适当的电感和电容，由于电感和电容的作用，使开关管在电压为 0 时开通、电流为 0 时关断，从而可以减小 dv/dt 和 di/dt ，且开关过程损耗很小，接近为 0。由于开关过程损耗小，所以开关频率可以大大提高，使得无源元件的体积减小，电源功率密度增大。为实现开关管在零电压下开通或关断和电流为 0 时关断或开通，电路中增加的电感和电容（其中包含线路和开关管的分布电感和电容）在控制脉冲作用下，在一个开关周期的某一段时间内形成谐振；谐振可以使开关管的端电压或

流过的电流按正弦规律变化，从而满足软开关条件，将这种谐振工作模式的变换器称为谐振变换器。谐振变换器分为准谐振、谐振和多谐振变换器。它特别适合于要求体积小、重量轻及输出电压较固定的场合，如通讯机的二次模块电源（满足通讯机内部各种要求的电源模块）就采用谐振变换器结构，其开关频率一般用 400kHz 和 500kHz，功率密度很大。在现有的通讯机一次电源中，很少采用谐振式变换方式，仍以 PWM 工作模式为主。近几年来，将软开关的思路与 PWM 控制有机结合的变换器在大功率场合得到了广泛应用。它是在 PWM 电路中，增加一个辅助的谐振开关电路，在主开关管发生状态变化的很短一段时间内发生谐振，开关管在此期间实现零电压或零电流，因此开关管实现软开关下通断，在其他时间按 PWM 方式工作，从而构成零电流开关（ZCS）PWM 变换器和零电压开关（ZVS）PWM 变换器。这种电路具有软开关的特点，开关过程损耗小，从而可以提高开关频率；同时又具有脉宽调制恒频系统容易控制的优点，是一种较有应用前景的变换器结构。

开关电源因负载要求电压稳定或是电流稳定而成为稳压源或是稳流源。例如，通讯机一次电源，它给通讯机二次电源供给 -48V 和 -24V 较稳定的直流电，是稳压源；直流逆变型手工弧焊电源要求焊接电流稳定，属于稳流源。根据反馈控制原理，稳压源需要对输出电压取样，而稳流源需要对输出电流取样。开关电源由于它供给不同的负载，就有不同的技术参数要求，但主要的都有电压或电流的稳定度（电源及负载变化的影响）、输出电压或电流范围、效率、可靠性及电磁兼容等要求。此外，各种开关电源均应有各种必须的保护，以使开关电源能可靠地稳定工作。

1.3 开关电源的发展趋势

电源是能量供给的保证，随着开关电源应用范围日益广泛，它的可靠性变得非常重要。如通讯机一次电源供给大量二次模块电源能量，如果一次电源故障，将造成大量线路不能工作，所以一次电源都采用多个模块并联，并在数量上有冗余，以保证供电的可靠。随着新器件的发展和电路拓扑结构研究成果的应用以及开关电源的技术参数要求的提高，开关电源应在以下一些方面发展。

①优化电路设计是保证开关电源性能指标的重要前提。应用已有的电力电子电路分析和设计软件并进一步开发开关电源专用软件，在设计上进行电路优化。

②重视结构设计是保证开关电源产品质量的生命。重视热设计、电磁兼容设计和电源的可靠性分析，保证在正常运行环境下的使用寿命。

③在开关变换器中选用具有驱动和自检保护的智能模块，使控制线路简单，保护更可靠。研制和开发功率集成单元，实现高可靠性。

④采用软开关技术。软开关技术减少开关损耗，提高开关频率，减少开关电源的体积和重量，也可减少开关过程的电磁干扰。现有开关器件在一般 PWM 方式的开关电源中，开关频率从几十千赫兹到几百千赫兹，这些电源装置在可靠性、控制方便、效率、体积及价格等方面目前认为是最好的，因此现在开关电源市场上，特别是通讯电源市场上，PWM 型占 80% 以上。若进一步提高效率减轻体积和重量应该采用软开关技术，现

在许多通讯机二次电源模块采用了软开关技术。由于大功率器件软开关控制较难的原因，在大功率装置中软开关技术用得少。由于软开关变换器效率可高达 95% 以上，散热所需体积小，功率密度大，因此今后在大功率开关电源中采用软开关技术提高效率和提高开关频率是个发展方向，例如采用 ZCS-PWM 和 ZVS-PWM 方式就是有前途的。

⑤采用微处理器对开关电源控制，实现开关电源数字化。随着微处理器功能越来越强大，其控制技术越来越成熟，它将使开关电源的性能更好，保护更方便。采用智能模块和微处理器构成的开关电源系统，将使系统更加简单可靠，设计更容易，装置的性价比更高。

⑥尽量利用新器件使开关电源的性能更好。如采用同步整流替代高频整流管或肖特基二极管，其压降现可降至 0.23V，使整流器的损耗成倍下降，特别在输出 1~5V 的场合，同步整流技术的应用尤为重要。采用 CoolMOS 代替 MOSFET，可减小饱和导通电阻，采用 SiC 二极管代替功率二极管，可减小因反向恢复引起的损耗。其他如采用新的磁性材料，新的高频电容等，都可使开关电源的性能得到提高。

⑦在从交流市电整流为直流时（在通讯机一次电源中又称为一次整流）采用功率因数校正技术，减少由于整流滤波所产生的谐波污染。

其他如通讯机一次电源模块化，由多台并联供电，台数冗余，采用并联均流技术等来提高系统运行的可靠性，这些都是很有效的。

随着开关电源的应用范围越来越广，对它的技术性能要求也日益提高，所以对电路拓扑的研究、计算机仿真和优化设计、结构设计等各方面仍需要进行大量的研究工作。将现有技术优化整合，也是提高开关电源水平的一个有效途径。

1.4 开关电源的技术指标与基本设计要求

开关电源通常是“直接离线”式的，其输入功率直接取自交流电网，不采用低频（50~60Hz）整流变压器。

尽管各种开关变换技术在电路设计上差别很大，但是对开关电源的技术指标、基本设计要求、开关电源实现的基本功能和特性几乎是相同的，并且已经形成了工业界接受的标准。

此外，为满足国家和国际安全规定、电磁兼容和输入线路暂态要求，在电路布线、元件的空间安排、滤波器设计以及暂态保护等方面都采用了相对标准的技术。

在决定设计策略之前，设计者必须考虑到设计指标的每一个细节。如果在设计的初期忽略了某些细小的系统要求，设计方法可能完全无效。例如，供电正常与故障的指示信号需要有辅助电源，如果不设计这个辅助电源，则当变换器故障时，设计方法将完全无效。在设计和开发结束的时候，再要满足那些被忽略的细小的要求是非常困难的。

再有，或更重要的是，产品设计不同于科学研究，要更注重成本（元器件、制造和维护成本）和可靠性。这些有可能成为方案选择的决定因素。

1.4.1 开关电源的主要技术指标

开关电源的技术指标指电气性能指标、机械设计规范、环境条件和可靠性。针对不同的应用,技术指标可能差别很大,设计之前必须仔细讨论。

1. 电气性能指标

(1) 输入 包括电压范围、频率范围、电流(包括冲击电流)、效率、谐波失真、启动延迟、输出保持时间等。

开关电源的输入电压可以是交流电压,也可以是直流电压。输入电压范围一般表示为“电压形式 输入电压 \pm 百分比范围(%)”或“电压形式 输入电压 \pm 电压范围”,例如,“AC220 \pm 10% V”或“AC 220 \pm 22 V”,“DC 48 \pm 10% V”或“DC 48 \pm 5 V”。输入电压必须在规定的范围内,否则,可能使电源不能正常工作或损坏电源。

开关电源启动时,因为要向输出侧的电容器充电,因此,在较短的时间内会出现过大的电流,称为冲击电流。开关电源需要设置冲击(浪涌)电流限制电路,见图1—3。

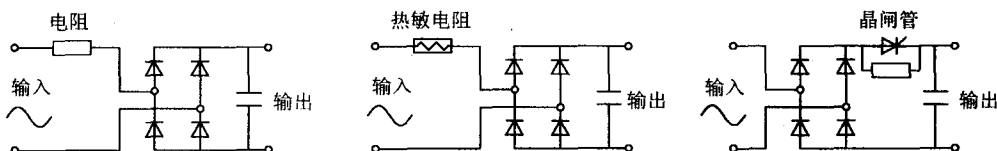


图1—3 冲击电流限制的方式

开关电源的效率比线性电源高得多。随着开关电源小型化、轻量化的发展要求,希望效率愈高愈好。为了提高开关电源效率,可采用软开关技术、同步整流技术或采用新器件。

启动延迟指开关电源的输入开关接通后,输出电压要过一段时间才会达到规定的稳态电压,见图1—4。在要求严格的情况下,开关电源应该给负载提供一个“准备好”(Ready)信号,表示开关电源输出电压已经达到规定的稳态电压,负载可以工作了。

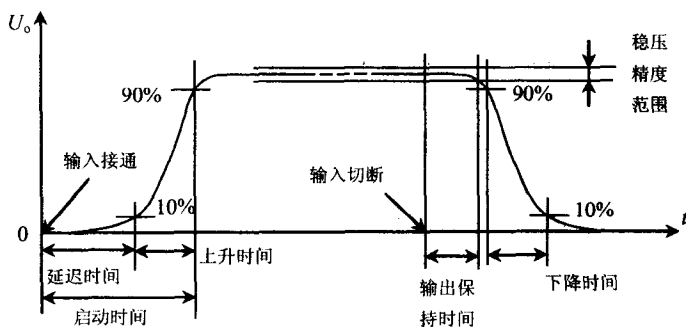


图1—4 开关电源输出电压的时间

(2) 输出 包括电压、电流、稳压特性、负载降落、瞬态响应、静态漏电流、温度系数、温升漂移、输出噪音等。

(3) 保护 包括输入限流、输出过压、输出过流、输出反接、过热等。

(4) 显示和指示功能 包括输入监视、输出监视电压、限流指示、负载指示、输出电流监视、遥控等。

(5) 电气绝缘。

(6) 电磁兼容。

2. 机械设计规范

尺寸、重量、安装方向、通风和冷却等。

3. 环境条件

环境温度、存储温度、湿度等。

4. 可靠性

可靠性是任何电子设备所要求的，为电子设备供电的开关电源也不例外。可靠性的基本指标包括平均故障间隔时间（无故障工作时间）MTBF（Mean time between failure）、平均维修时间 MTTR（Mean time to repair）、可用度 A 和不可用度 U（A 和 U 之和为 1）。

通常要求 MTBF 大于 100 000h（小时）。与 MTBF 相似的还有平均失效前时间 MTTF（Mean time to failure）。

1.4.2 开关电源设计的基本要求

1. 输入暂态电压保护

不管是人为的还是自然发生的电现象，都将时刻在电源进线上产生很大的暂态电压。

IEEE 587—1980 标准给出了在不同地方发生这一现象的一个调查结果。这些不同的地方被分为三类：低强度 A 类、中强度 B 类和高强度 C 类。很多电源都安装在低等和中等强度的地方，强度水平可高达 6 000V、3 000A。

电源和终端设备在这些强度条件下，为满足要求，需要特别的保护装置，进行保护。

2. 电磁兼容

开关电源是电气噪声源，为满足国家和国际射频干扰（RFI—Radio Frequency Interference）抑制传导噪声（conducted mode noise）的要求，开关电源输入端通常都串联一个共模和差模噪声滤波器。噪声滤波器的衰减因子决定于开关电源的大小、开关频率、设计方案、应用方式以及环境。

对于家用和办公用设备，例如计算机、视频系统等，其要求比工业应用更加严格。

差模噪声指存在于输入或输出两条线的高频电气噪声分量，即存在于输入端口和输出端口的分量。

共模噪声指同时存在于输入两条线路与大地之间的高频电气噪声分量。对于输出，位置更加复杂，因为存在隔离与未隔离连接方式。一般地，输出共模噪声指任何输出端与公共点，如机架或返回线之间的高频电气噪声分量。

某些应用场合，特别是医疗电子设备，严格限制了每条输入线与大地之间的返回电流。大地返回电流通常在滤波器电容和对地漏电容中流过。返回电流的限制将显著影响

电源的设计和滤波器电容的大小。在任何情况下，很多安全标准都不允许在进线和地之间的电容超过 $0.01\mu\text{F}$ 。

输出滤波、共模噪声及输入输出隔离是相互影响的。在开关电源中，高电压和大电流以很大的变化率开关，开关频率越来越高。这将引起电磁耦合和电磁辐射。高压开关器件与输出电路或地之间的电磁耦合会引起严重的共模噪声问题（ dv/dt 通过寄生电容引起共模电流， di/dt 通过寄生互感引起干扰电压）。

共模噪声是导致系统问题的一个十分直接的原因。在电源设计时，应尽量减小开关器件与机架之间的电容，在功率变压器一次和二次侧间设置法拉第屏蔽。为了冷却，开关器件会安装在机架上，开关器件和安装表面之间应设置与之绝缘的法拉第屏蔽。该法拉第屏蔽和其他变压器中的法拉第屏蔽要与输入直流电源的一条输入线相连，以便容性耦合电流返回电源。在许多情况下，变压器需要一个连接到地或机架的附加安全屏蔽。这个安全屏蔽应该放在 RF 法拉第屏蔽和输出绕组之间。

在有些情况下（输出电压很高），在安全屏蔽和输出绕组之间还需要第二个法拉第屏蔽，以减小输出共模电流。这个屏蔽必须连接到输出公共线上，并尽量靠近变压器公共线连接端。

这些屏蔽以及必需的绝缘都会增大变压器一次和二次绕组之间的距离，使漏感增大，并降低变压器的性能。值得注意的是，法拉第屏蔽不像安全屏蔽，不需要流过大电流，所以可以采用轻型材料和导线。

3. 冲击（浪涌）电流限制

当电源启动时，为了减小流入输入端的过电流，需要设置冲击电流限制。它不能与“软启动”混淆，后者是一个单独的功能，它控制功率变换器启动开关动作的方法。

为了减小重量和体积，几乎所有的开关电源使用半导体整流器和低阻抗电解电容输入滤波器。这种系统的输入电阻很低且由于电容的初始状态为未充电，开通时会出现很大的冲击电流。

冲击电流限制的典型形式是在输入线路上串联一只限流电阻，如图 1—3（a）、（b）所示。在大功率系统中，当输入电容或滤波电容充电结束后，限流电阻需要由 SCR、双向可控硅或开关切除，如图 1—3（c）所示。在小功率系统中，限流器件通常采用负温度系数的热电阻。

冲击限流电阻值的选择通常要在可接受的冲击电流幅值和启动延时之间进行折中考虑。负温度系数的热敏电阻经常被用在小功率系统中，但是它不能提供完全冲击电流限制。例如，开关电源运行足够长时间，热敏电阻已经被加热后，输入突然停止，然后又恢复，热敏电阻仍然是热的，保持低阻状态，冲击电流将很大。规格说明书中应该反映出这个问题，以便使用者考虑是否这种限流方式会引起操作问题。不过，即使热敏电阻已经被加热，冲击电流将很大，通常也不会损坏电源，所以热敏电阻经常被用于小功率应用中。

4. 启动方法

在“直接离线”式开关电源中，因为没有用低频（50 ~ 60Hz）变压器，所以存在启动问题。困难之处在于高频功率变压器在变换器启动之前不能提供辅助电源。必须采