

开关稳定电源 设计与应用

(第二版)

KAIGUAN WENDINGDIANYUAN
SHEJI YU YINGYONG

李定宣 丁增敏 编著



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

开关稳定电源 设计与应用

(第二版)

KAIGUAN WENDINGDIANYUAN
SHEJI YU YINGYONG

李定宣 丁增敏 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是作者近二十年开关电源设计、制造及培训经验的总结。书中内容在讲解开关电源基础知识、变换器基本电路的基础上,针对开关电源的难点——稳定性的问题展开深入分析,给出了高频变压器、滤波电容器、滤波电感器、电流互感器、栅极驱动电路的稳定设计方法,对每一种设计方法都列举了设计实例以帮助读者理解应用。

同时本书重点对开关电源噪声抑制、散热系统、保护电路的设计方法做了较为详细的叙述,同样以实例说明。全书在最后列出了当前应用最多的近20个开关电源实用电路,在附录中收集了对于工程技术人员十分有用的15个技术资料,希望能对设计、研发工程师有所帮助。

本书可供从事开关电源设计、研发的技术人员及大专院校相关专业的师生参考、学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

开关稳定电源设计与应用 / 李定宣, 丁增敏编著. — 2版. — 北京: 中国电力出版社, 2011.7

ISBN 978-7-5123-1948-6

I. ①开… II. ①李… ②丁… III. ①开关电源: 稳定电源-设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第150523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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年8月第一版

2011年9月第二版 2011年9月北京第三次印刷

700毫米×1000毫米 16开本 22.5印张 432千字

印数7001—10000册 定价45.00元

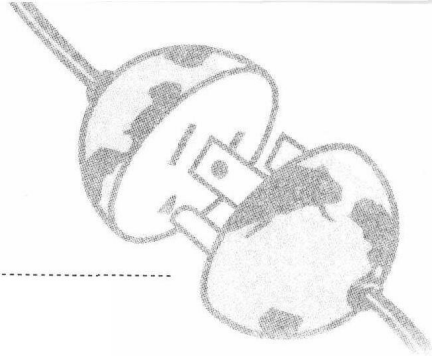
敬告读者

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

前 言

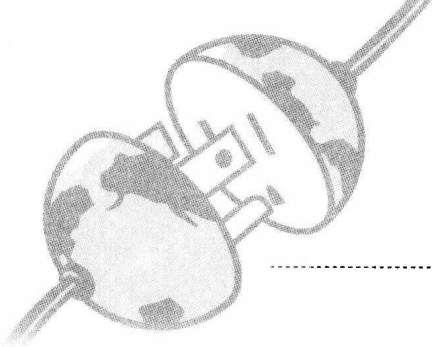


《开关稳定电源设计与应用》第一版自2006年出版至今已印刷两次。因其内容全面、简洁、实用，受到读者的青睐。考虑到开关电源技术及应用发展迅速，中国电力出版社与作者商议，对第一版进行必要的补充与修改，再版发行。

本书再版时，在保持第一版内容结构、基本框架的基础上，对部分章节内容进行了调整、补充、修改。考虑到开关电源技术及应用的发展，对第一章“开关电源基础知识”作了较大地修正，并对开关稳定电源的含义作了必要简述。第五章“开关电源滤波电感器设计”增加了“三相桥式整流电路滤波电感器的设计”一节。开关电源从总体上而言，由功率电路和控制电路组成，除了保持第七章、第八章、第十章取样、驱动、保护控制电路专述外，第十一章“开关电源常用控制电路”增加了PI、PWM、PLL控制电路的叙述，并将原第十一章的开关电源并联系统均流并入该章的第五节“开关电源并联系统均流控制电路”。考虑到未来控制技术由模拟向模数混合及纯数字控制发展，对数字控制技术应用于开关变换器作了原理上的概述。除上述较大修改外，对其他章节在内容上作了个别修改及错误修正。

本书再版时，丁增敏工程师参加了部分内容的修改及编写工作，故第二版编著者增加了丁增敏的署名，特此说明。

李定宣



第一版前言

本书是在作者多年培训授课经验，十余年从事电源设计、制造的实际工作经验和收集国内外有关开关电源的参考书籍、期刊文献中有益知识的基础上编著而成。

本书从第一章开关电源的基础知识、第二章开关电源变换器的基本电路入手，叙述了开关电源的基本特性、分类、性能参数、应用领域。这两章通过四个非隔离式基本 DC—DC 变换器，五个隔离式基本 DC—DC 变换器及自激式变换器的电路结构形态、工作原理及相关参数关系式，帮助读者理解开关电源的基础知识和基本电路的工作原理，构建一个框架，铺垫一个阶梯。然后，按照开关电源的基本组成单元，从第三章至第十二章有层次地介绍这些基本单元电路的设计原则、方法及相关参数选取的依据和计算公式，并列举了应用设计实例，以加深理解应用。其中对一般参考书上不多见的开关电源保护电路、噪声抑制、散热系统设计作了较为详细地叙述。开关电源效率是人们普遍关心的问题，第十三章简述了提高开关电源效率的一些主要途径。第十四章给出了几乎包括所有常见开关电源电路结构的实用电路，并对其工作原理作了简述，供读者参考。书后的附录收集了对从事开关电源设计、应用的工程技术人员十分有用的资料。

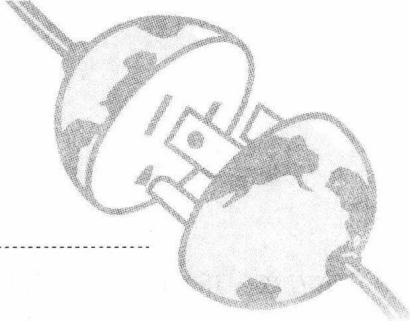
作者的初衷是想将本书作为一种实用性工具，奉献给从事开关电源设计、应用的工程技术人员。为此在编写过程中，在理论、工作原理简述的基础上，尽量侧重于实用性。能否达到此目的，只能由读者评判和实践证实。

本书的编著和出版得到中国电源学会季幼章、倪本来先生的鼓励、指导和帮助以及中国电力出版社的大力支持，相识和不相识的各位同行给予的教益，在此深表谢意。

由于开关电源所涉及的知识面和技术领域非常广，其技术发展和应用日新月异，加上本人能力和知识的局限，书中定有偏颇和表达不清之处，敬请各位专家、同行、读者批评指正。

编者

目 录



前言		参数一览表	52
第一版前言		第七节 自激式开关变换器	53
第一章 开关电源基础知识	1	第八节 单端正激式变换器	65
第一节 引言	1	第九节 单端反激式变换器	73
第二节 开关稳压电源和线性 串联稳压电源	1	第十节 推挽变换器	80
第三节 开关电源的分类	4	第十一节 半桥变换器	86
第四节 对开关电源的基本 要求	5	第十二节 全桥变换器	92
第五节 开关电源主要应用 领域	9	第十三节 五种隔离式 DC—DC 变换器综合 性能表	97
第六节 开关电源技术发展 概况	11	第三章 开关电源高频变压器 设计	101
第七节 开关稳定电源释义	15	第一节 变压器基础知识	101
第八节 开关电源中的功率 开关半导体器件	19	第二节 开关电源变压器 磁心的选择	104
第二章 开关电源变换器的 基本电路	26	第三节 高频变压器设计要求 与原则	108
第一节 概述	26	第四节 高频变压器设计 方法	116
第二节 降压型 (Buck) 变换器	26	第五节 小结	125
第三节 升压型 (Boost) 变换器	33	第四章 开关电源滤波电容器 设计	128
第四节 极性反转升降压 (Buck—Boost) 变换器	39	第一节 概述	128
第五节 Cuk 变换器	45	第二节 电解电容器的特性	128
第六节 四种基本变换器主要		第三节 开关电源滤波电容器 的选取原则与安装	130
		第四节 开关电源输入滤波 电容器设计计算	133

第五节	开关电源输出滤波 电容器设计计算	138
第五章	开关电源滤波电感器 设计	142
第一节	概述	142
第二节	开关电源输出滤波 电感器设计	144
第三节	输出滤波电感器设计 实例	149
第四节	三相桥式整流 <i>LC</i> 滤波 电路中滤波电感 设计	153
第六章	整流二极管及输出 整流电路	156
第一节	开关电源中的整流 二极管	156
第二节	整流二极管的特性 与参数	157
第三节	整流二极管参数选取 原则	160
第四节	整流电路的结构 形式	163
第五节	同步整流电路	166
第七章	开关电源电流取样 检测	168
第一节	电流取样的必要性 和作用	168
第二节	电流取样的基本模式 和方法	169
第三节	电流互感器设计	173
第四节	电流互感器设计 实例	176

第八章	栅极驱动电路设计	181
第一节	概述	181
第二节	栅极驱动电路参数设计 基本原则	183
第三节	脉冲变压器设计	187
第四节	栅极驱动应用电路结构 形态实例	193
第九章	开关电源噪声及抑制	199
第一节	概述	199
第二节	开关电源噪声	199
第三节	开关电源噪声 抑制	201
第四节	线路滤波器设计	212
第五节	噪声抑制对策实例 分析	213
第十章	开关电源保护电路	215
第一节	概述	215
第二节	防浪涌冲击电流 电路	215
第三节	开关电源过电压、欠 电压保护电路	220
第四节	过热保护电路	223
第五节	缺相保护电路	224
第六节	短路与过电流保护 电路	226
第七节	保护电路的运用与 验证	232
第十一章	开关电源常用控制 电路	234
第一节	概述	234
第二节	开关电源常用控制	

	调节器·····	235		稳压电源·····	278
第三节	开关电源 PWM 控制 电路及数字化 控制·····	237	第三节	MC3172 控制芯片构成 多路输出电源·····	280
第四节	开关电源中的频率跟踪 锁相控制·····	240	第四节	智能型功率开关 (BTS412) 构成 +12V/1A 开关 稳压器·····	280
第五节	开关电源并联系统均流 控制电路·····	243	第五节	双独立功能控制芯片 的正、负电源·····	281
第十二章	功率器件散热器的 安装·····	254	第六节	开关管压降作电流传感 器的单端反激式 变换器·····	282
第一节	概述·····	254	第七节	+5V/2A 准谐振电压 变换器·····	284
第二节	功率器件散热系统的 等效电路·····	254	第八节	5V/20A 推挽变换器 稳压电源·····	285
第三节	单体半导体器件的结温与 允许功耗·····	256	第九节	5V/20A 半桥 ZVC— QRCS 型变换器·····	287
第四节	功率器件安装散热器的 选取·····	257	第十节	12kV/0.2mA 小型高压 电源·····	288
第五节	散热器的安装·····	263	第十一节	+48V/50A 开关稳压 电源·····	289
第十三章	提高开关电源效率的 途径·····	265	第十二节	315 ~ 400A 逆变焊接 电源·····	292
第一节	效率及其测量 方法·····	265	第十三节	1000A/12V 移相控制 软开关全桥 变换器·····	295
第二节	引起开关电源效率 降低的原因·····	267	第十四节	5000V/0.5A 高压输出 全桥变换器·····	300
第三节	提高开关电源效率的 主要途径·····	269	附录 ·····		303
第十四章	开关电源实用电路·····	276	附录 A	主要名词解释·····	303
第一节	单片功率控制芯片构成 隔离式开关稳压 电源·····	276	附录 B	开关电源常用 PWM 控制 集成电路·····	309
第二节	MC33063/34063 单片 控制芯片构成非隔离		附录 C	开关电源常用 磁心·····	318

附录 D	开关电源中的三端 集成稳压器·····	326
附录 E	开关电源控制电路常用 调节器·····	328
附录 F	集肤效应与穿透 深度·····	332
附录 G	开关电源变压器设计参数 表 (见表 G-1)·····	334
附录 H	不同变换器电路中输入、 输出电容的纹波电流 (见表 H-1)·····	336
附录 I	开关电源中不同波形的 有效值与幅值的关系式 (见表 I-1)·····	338

附录 J	开关管的热损耗·····	339
附录 K	开关电源输入电网配电 容量·····	340
附录 L	IGBT 使用中的几个 问题·····	341
附录 M	常用稳压二极管标称值 (见表 M-1)·····	345
附录 N	TL431 程控并联 稳压器·····	346
附录 O	通过开关管集电极电压、 电流波形判断变换器工作 正常与否·····	349
参考文献·····		352

第一章

开关电源基础知识

第一节 引言

开关电源自 20 世纪 60 年代出现至今不过约 50 年的历史，其技术与应用发展特别迅速。从最初应用于民用电器已扩展到需要电源赋能的各个领域，工作频率从典型的 20kHz 到如今的数兆赫兹，功率容量从最初的数十瓦到现在的数兆瓦，开关电源所用的半导体功率开关器件从分离的双极型晶体管到目前的大功率场控智能模块。为什么开关电源设计和制造技术发展如此迅速呢？除了电力半导体器件制造技术、控制电路技术等对开关电源的支撑外，主要原因在于开关电源与传统的线性电源相比，自身具有独特的优良性能，加之市场应用需求的促使。

本章主要综述开关电源的基本特征、开关电源的分类、对开关电源使用性能和电气性能的基本要求、开关电源的主要应用领域、开关电源技术发展概况、开关电源中使用的半导体功率开关器件等，达到对开关电源基础知识的理解有一个大体框架。

作为对开关电源基本知识应知的有关开关电源常用术语，请参见本书附录 A 主要名词解释。

第二节 开关稳压电源和线性串联稳压电源

开关电源与线性稳压电源虽然都是通过电子线路负反馈控制技术，实现电源输出量的稳定（如稳定电压），但其工作原理是截然不同的。对线性串联稳压电源而言，输入或输出量变化时，通过电子线路中的负反馈控制，线性连续调节功率器件的管压降达到输出量的稳定。而开关电源虽然同样需要通过电子线路中的负反馈控制，但这种控制是通过调节功率开关器件的导通（或截止）时间或开关频率来达到输出量的稳定，开关功率器件在触发脉冲的作用下，一个周期内交替导通与截止，即一部分时间处于饱和导通状态，另一部分时间处于完全截止状态。开关电源功率器件的控制量是一个开关量，处于开、关两种工作状态，是一个非线性系统。而线性电源功率器件的控制量是一个线性连续变量，器件工作于线性放大状态，是一个线性系统。下面通过开关稳压电源和线性串联稳压电源图例，说明了两种电源工作原理上的区别及性能比较。

一、开关稳压电源与线性串联稳压电源的基本电路

图 1-1 为线性串联稳压电源的原理图, 简要说明如下。

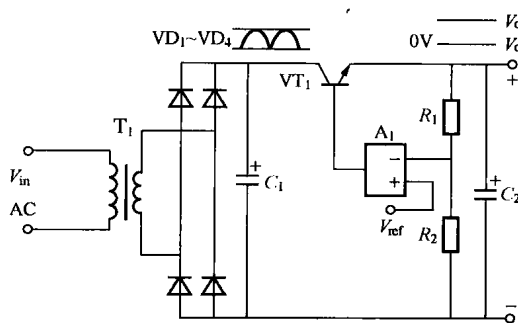


图 1-1 线性串联稳压电源原理图

市电经工频变压器 T_1 降压, 通过 $VD_1 \sim VD_4$ 和 C_1 整流滤波为直流电压, 提供稳压器的供电电源, 经 R_1 、 R_2 、 A_1 输出取样比较。 A_1 输出的误差电压加至调整管 VT_1 的基极, 改变 VT_1 的管压降。输出电压升高时, VT_1 的管压降增大, 使输出电压 V_o 重新恢复到原来的整定值。

这种电路的特点是: T_1 工作于市电频率, 体积大而且笨重, 效率低; 整流管流过与输出负载电流相同的

电流, 使损耗增大; 为减少纹波, 输入滤波电容量要求大, 否则脉动电压增大, 使 VT_1 的损耗增加; 通过线性调节 VT_1 的管压降, 维持输出电压稳定, VT_1 将无用功率以热能释放, 效率低 (VT_1 类似一个可变电阻用于调压, 电阻越大, 损耗的功率越大)。但这种电源结构简单、稳压性能好、无高频噪声污染。

图 1-2 为开关稳压电源的原理图, 简要说明如下。

图 1-2 是一个单端正激式开关变换电路, 市电经 $VD_1 \sim VD_4$ 全桥整流、 C_1 滤波形成高频逆变器的直流供电电压。 VT_1 在高频 PWM 驱动脉冲的作用下, 以高频 (通常在 20kHz 左右) 不断处于关断、接通状态。高频变压器一、二次侧两端产生与 VT_1 开关频率 f_s 相同的高频脉冲, 正脉冲 (VT_1 导通时间内) 时, 一次侧的能量因 VD_5 导通而传输至二次侧; 负脉冲 (VT_1 截止) 时, L_1 储能经续流二极管 VD_6 和负载形成回路为负载提供电能。 R_1 、 R_2 、 IC_1 构成输出取样比较放大电路。

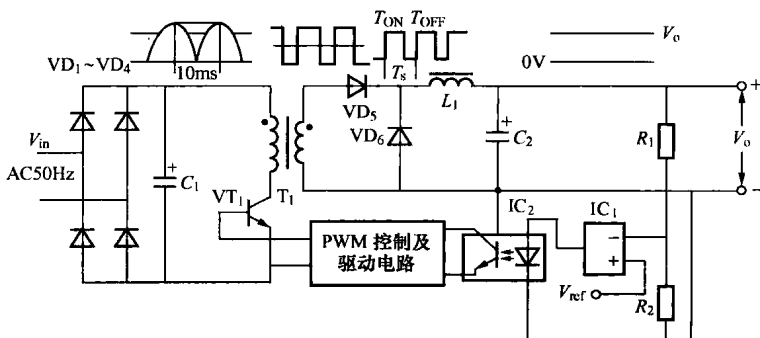


图 1-2 单端正激式开关变换电路

误差电压经光耦合器 IC₂ 隔离, 控制 PWM 驱动电路的脉冲宽度。当输出电压升高时, 使其驱动脉宽变窄, 平均值下降, 使输出电压恢复到原来的输出整定电压。

这种电路的特点是: ① 供给逆变器的直流电压直接由市电整流滤波获得, 无工频 50Hz 变压器, 流过整流桥的电流比输出电流小许多, 损耗小; ② 输入滤波电容 C₁ 因电压高、容量小, 不会影响对逆变器输入能量的供给及效率; ③ T₁ 工作于高频状态, 体小而轻; ④ VT₁ 工作于高频状态, 导通损耗小、效率高, 但增加了开关损耗及噪声, 通过脉宽调制, 把与脉宽成比例的方波电压加在变压器 T₁ 上, 维持输出电压的稳定; ⑤ 输出整流二极管 VD₅、VD₆ 工作在高频状态, 恢复时间的存在, 会产生噪声。电路结构相对于串联稳压电源而言较复杂, 一般情况下输出纹波及稳定精度不如串联稳压电源。

二、开关稳压电源与线性串联稳压电源主要性能比较

开关稳压电源和线性串联稳压电源主要性能比较见表 1-1。

表 1-1 开关稳压电源与线性串联稳压电源主要性能比较

序号	项目内容	线性串联稳压电源	开关稳压电源
1	控制方式及功率管工作状态	调整串联晶体管的压降, 串联调整管处于线性工作状态	调脉宽或频率, 功率管处于不断关断和接通状态
2	输入电压适应性	输入电压变化大时效率低	允许输入电压变化范围大
3	效率	效率低, 一般 < 70%, 损耗以热能耗散在调整管上, 输出电压一定时, 输入电压越高损耗越大, 效率越低	效率高, 一般在 80% ~ 90% 范围内, 功率管只有关断、开通损耗和导通损耗
4	电路结构	简单, 变压—整流—反馈稳压控制	较复杂, 输入整流—高频逆变—变压—高频整流—脉宽调制—驱动控制
5	纹波与噪声	纹波小 (0.1 ~ 10mV), 完全来自输入整流脉动成分, 高增益带宽放大器可使纹波降低	稍大 (几十毫伏至几百毫伏), 除低频脉动纹波外, 还有开关基频及过渡状态产生的尖峰开关噪声。放大器反馈系统的响应频率低, 一般不能降低 20kHz 以上的纹波成分, 需加滤波技术, 如差模 LC 滤波及共模滤波器
6	源效应	$\leq 1 \times 10^{-4}$	$\leq 1 \times 10^{-3}$
7	负载效应	$\leq 1 \times 10^{-4}$	$\leq 1 \times 10^{-3}$
8	尺寸	大, 有工频变压器及散热器	小, 无工频变压器, 是同等容量串联稳压电源的 1/4 ~ 1/10
9	质量	质量大, 有工频变压器及为调整管加装的散热器	质量小, 约是同等容量串联稳压电源的 1/4 ~ 1/10

续表

序号	项目内容	线性串联稳压电源	开关稳压电源
10	价格	便宜	较贵，功率越大价格相差越小，有接近趋势
11	可靠性	元器件少，可靠性较高（但要使调整管充分散热）	因温升高，元器件和控制技术成熟，可靠性与线性串联稳压电源相同
12	应用场合	高精度电源和实验室可变电源，用于输出功率在 20W 以下的场所	要求高效、尺寸小、质量小的各种机内电源、直流供电设备，功率为几瓦至数十千瓦

第三节 开关电源的分类

开关稳压电源的构成方法很多，其分类方法也多得使人无所适从，下面介绍其中的几种分类方法，供读者参考。

一、按输出能量的形式分类

- (1) 直流开关电源。其输出是高质量的直流电能。
- (2) 交流开关电源。其输出是高质量的交流电能。

二、按驱动方式分类

(1) 自激式开关电源。其借助于变换器自身的正反馈控制信号，实现开关自持周期性开关。开关管起着振荡器件和功率开关的作用，如单管振铃扼流圈变换器即称 RCC 变换器、双管单变压器罗耶尔（Royer）电路、双管双变压器詹森（Jensen）变换器电路。

(2) 他激式开关电源。其电源内部备有专门独立的振荡电路，与振荡器同步的控制信号驱动开关管。如图 1-2 所示的单端正激式开关电源电路就是其中的一种，它使用专用的脉冲调宽控制器 PWM 芯片或分立电路。

三、按能量转换过程的类型分类

(1) 直流—直流（DC—DC）变换器。它是将一种直流电转换成另一种或几种直流电。DC—DC 变换器是直流开关电源的核心部件，也是非隔离式或隔离式变换器直流电源的重要组成部分。

(2) 逆变器（DC—AC）。它是将直流电转换成交流电的开关变换器，有的称其为变流器，是交流输出开关电源和不间断电源（UPS）的主要部件。

(3) 开关整流器 (AC—DC)。它是将交流电转换成直流电能的一种电源装置, 这种变换器其变换过程应该理解为交流—直流—交流—直流 (AC—DC—AC—DC)。图 1-2 所示的开关电源就是这种电能转换的装置。

(4) 交流—交流变频器 (AC—AC)。它是将一种频率的交流电直接转换成另一种恒频或可变频率的交流电, 或是将变频交流电直接转换成恒频交流电的变换装置。

四、按输入与输出是否隔离分类

(1) 隔离式开关变换器。它是高频变压器将变换器的一次侧 (输入) 与二次侧 (输出) 隔离。这种变换器结构主要有单端正激式变换器、单端反激式变换器、中心抽头式 (推挽) 变换器、半桥式变换器和全桥式变换器。

(2) 非隔离式开关变换器。它是在电气上输入与输出不隔离的, 输入与输出共用一个公共端。这种变换器结构主要有降压型 (Buck) 变换器、升压型 (Boost) 变换器、降压—升压 (Buck—Boost) 变换器以及它们的组合变形电路, 如 Cuk 变换器、Zeta 变换器、Sepic 变换器等。

五、按功率开关管关断和开通工作条件分类

(1) 硬开关变换器。功率开关器件是在承受电压或电流应力的情况下接通或关断的。这样不但产生开关损耗, 而且形成开关尖峰干扰噪声, 需要附加屏蔽、滤波等抗噪声技术, 才能满足高精度、高性能用电设备的要求。

(2) 软开关变换器。功率开关器件是在不承受电压或电流应力的情况下接通或关断的, 或是加于开关管上的电压为 0, 称 0 电压开关 (ZVS); 或是流过开关管的电流为 0, 称 0 电流开关 (ZCS)。因开关过程中无电压、电流重叠 (理想情况), 开关损耗大大降低, 而且开关噪声电压小, 有利于开关变换器的高频化、小型化。

第四节 对开关电源的基本要求

电源是一切电子设备的动力源, 是保证电子设备正常工作的基础部件。据相关统计, 电源故障占电子设备整机故障率的 40% ~ 50%。为此, 对电源必须提出一些基本要求, 包括使用性能要求和电气性能要求。

一、使用性能要求

(1) 高的可靠性。平均无故障工作时间 $MTBF$ 是衡量电源可靠性的重要指标, 在通用电源的标准中规定, 可靠性指标 $MTBF \geq 3000h$ 是最低要求。某些领

域,如通信电源、航空航天电源、电力操作电源要求可靠性指标比较高,否则无法满足用户的使用要求。目前由于元器件制造技术与工艺的不断成熟,设计技术的完善与精密,电源模块的平均无故障工作时间 $MTBF$ 可达到 500 000h 以上。

(2) 高的安全性。设计制造出的开关电源应符合相关标准或规范中规定的安全性指标要求,如绝缘要求、抗电强度要求、防人身触电要求等,以防止在极限状态或恶劣环境条件下,出现电源故障并危及人身和设备安全。

(3) 好的可维修性。平均故障维修时间 $MTTR$ 是衡量电源可维修性的重要指标。电源出现故障时,应能及时诊断出故障现象及部位,无需使用专用工具或无需熟练技工就能在较短的时间内排除故障、替换故障部件或模块。一般要求 $MTTR < 30\text{min}$,这除了要求电源有故障自诊断功能外,必须采用先进的设计、制造技术和工艺,如标准化、模块化、电力电子集成等设计制造工艺。

(4) 高的功率密度。提高电源单位体积的功率容量 (W/cm^3) 及单位质量的功率容量 (W/g),以减少电源的体积和质量,便于用户安装、集成、移动及使用。实现高功率密度的关键是提高开关频率、减少损耗,与此相应的是要求应用低损耗功率器件、高导热、高绝缘性能的绝缘材料,应用软开关电路结构。

(5) 高性价比、低使用维修费用。高性价比是电源制造商和用户双方都追求的目标,更是市场经济条件下竞争的主要条件。低使用与维修费用,是用户投资与回报必须关注的问题。

(6) 环境适宜性要求。环境适宜性要求包括工作温度、储存温度范围、环境温度、对源电压品质及周围环境净化程度等。高品质的电源对环境的适应能力强,要求比较宽松,这些要求应以符合相关标准或满足合同要求为前提。

二、电气性能参数

电源的电气性能参数通常包括电源输入特性参数、输出特性参数以及必要的附加功能。

1. 源电压特性

(1) 源电压类型。直流或交流,交流输入时是单相或是三相交流电源。

(2) 源电压允许变化范围。源电压在此范围变化时,电源能保证正常工作,并且输出电压或输出电流等电气参数符合产品标准要求。通常在三相输入时取 $\pm 15\%$ 的波动率。

(3) 源电流。开关电源的源电流一般情况下不是正弦波,它的方均根值是正弦波的 2.12 倍(见附录 K)。指出电源的源电流是必要的,这样可以提供用户安装相应的配电盘。

(4) 源功率因数。开关电源的源电流波形与源电压相位差的余弦与电流波形畸变因子的乘积即为功率因数。它反映出开关电源装置接入电网后对电网产生

影响的程度，同时也影响开关电源的效率，一般功率因数 $PF \geq 0.8$ 。

2. 效率

电源的效率是指输入功率能传输到输出的程度，或者说是输出功率与输入功率之比的百分数。减少的那部分能量，通过热辐射和热传导耗散掉了。耗散的功率 P_L 可表示为

$$P_L = P_o \left(\frac{100}{\varphi} - 1 \right)$$

式中： P_o 为输出功率； φ 为效率。

3. 源效应（电网电压调整率）

源效应是指在额定或规定的负载范围内，输入电压在规定的允许范围内变化时，引起输出电压变化量与输出额定电压整定值之比的百分数。输入电压一般应取波动下限、标称值和上限三点。测量输出电压的变化量，则源效应为

$$CV = |V_{ON} - V_o| / V_{ON} \times 100\%$$

式中： V_{ON} 为源电压在额定标称值时的输出电压； V_o 为源电压波动时的输出电压。对恒流源而言，源效应是指输入电网电压在规定的允许范围内变化时，引起输出电流变化量与输出电流设置值之比的百分数，即

$$CC = (\Delta I_o / I_{ON}) \times 100\%$$

4. 负载效应（负载调整率）

负载效应是在规定的源电压（可以是标称值源电压，也可以是源电压的允许下限或上限）下，负载电流从空载（也可以按产品标准规定的某一轻载）至满载变化时，引起输出电压的变化量与输出整定值之比的百分数。

5. 输出电压额定值

输出电压额定值是指在规定的输入电压下，满载时整定的输出电压值。恒压性能好的电源在输出空载及满载条件下，应该保持输出电压不变，不允许输出电压在空载时有较大的上冲，以免危害供电设备。

对要求输出电压可调的电源产品，应规定输出电压可调范围。

6. 输出电流额定值

输出电流额定值是指电源产品在规定输入电压和整定输出电压条件下，可输出的最大负载电流值，该值不应低于产品标准规定。

对要求输出电流可调的电源产品，应规定输出电流可调范围，例如（3% ~ 100%）额定值。在调节范围内规定的各电流基准设置点上，应具有恒流特性。

7. 输出纹波与噪声

开关电源的输出纹波电压除了输入整流脉动成分外，主要是开关频率基波纹波，呈锯齿波状，同时还有功率开关管在导通—截止过渡状态产生的尖峰开关噪声重叠在锯齿波上，如图 1-3 所示。用示波器观察输出纹波，当扫描频率低时，

可能只观察到整流脉动的低频成分, 开关频率基波纹波被低频所调制。观察基波纹波, 扫描频率应与开关频率相匹配。在产品标准中, 纹波电压可用峰-峰值 V_{P-P} 或有效值 V_{Rms} 表示。

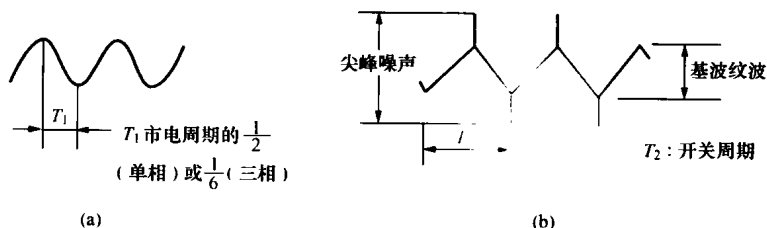


图 1-3 开关电源的纹波电压波形

(a) 低频纹波; (b) 高频纹波

8. 输入过电压保护

输入过电压保护是指当输入电压高于允许的波动上限值时, 电源应进入自动保护状态 (关机或警示, 由标准规定), 输入电压低于输入电压允许上限时能自行恢复。

9. 输入欠电压保护

输入欠电压保护是指当输入电压低于允许的波动下限值时, 电源应进入自动保护状态 (关机或警示, 由标准规定), 输入电压高于输入电压允许下限时能自行恢复。

10. 输出过电压保护

一般情况输出是不会出现过电压的, 只有当电源出现故障或失控时才会出现过电压现象。过电压会对设备造成危害, 必须采取保护措施。通常当输出电压 V_o 处于: $105\% \text{ 标称值} < V_o < 115\% \text{ 标称值}$ 时, 电源进入保护状态 (关机或警示, 由产品标准或用户合同规定), 同时切断输入电源, 对电源进行故障维修。

11. 输出欠电压保护

输出欠电压保护是对固定输出电压的电源, 当输出电压低于规定设置时, 电源进入自动保护状态。通常当输出电压小于 85% 额定输出电压时, 使电源进入保护。可调输出电压以及具有恒流限压的电源, 不设欠电压保护功能。

12. 输出过电流保护

输出过电流保护是指当负载电流超过电源整定的最大输出电流一定倍率或当输出出现短路时, 电源应自动进入保护状态, 或者是关机, 或者是恒流在一个允许的安全值内, 避免电源损坏。

13. 功率器件过热保护

开关电源功率器件过热是造成器件损坏和可靠性降低的重要原因, 尤其是大