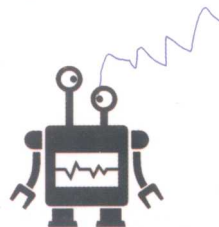


- 大学老师和一线资深工程师联合撰写
- 流程化学习思路，图文并茂，通俗易懂，快速上手Saber仿真设计
- 一本有技术支持的EDA实战书籍，书友QQ群：59429184



EDA

设计智汇馆 高手速成系列

Saber

电路仿真 及开关电源设计

© 柯福波 宋文君 雷冬良 林超文 赵基建 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

EDA 设计智汇馆高手速成系列

Saber 电路仿真及开关电源设计

柯福波 宋文君 雷冬良 林超文 赵基建 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要包括开关电源的工作原理、开关电源的设计技术指标、开关电源干扰和抑制、Saber 开关电源仿真工具应用、开关电源变压器的设计、RCD 吸收回路分析和计算、输出滤波电解器的设计、开关电源环路分析和计算、自动控制原理基础、BUCK 电路小信号分析和反激电源的等效数学模型、电磁理论和磁性材料及感量计算、MOS 管的等效小信号数学模型、特性曲线、主要参数、通断过程分析和开关损耗计算、电力电子器件建模、MAST 语言建模仿真和电阻的建模实例、BUCK 电路 Saber 仿真计算和波形分析、BOOST 电路 Saber 仿真计算和波形分析、反激开关电源 Saber 仿真计算和波形分析、正激开关电源 Saber 仿真计算和波形分析、半桥开关电源 Saber 仿真计算和波形分析，最后还结合了一个降压式开关电源设计实例介绍了开关电源 PCB 设计实例

书中的技术问题、不尽详细之处及后期推出的一系列其他作品，都会通过读者 QQ 群：59429184 进行交流和公布。

本书内容适用于科研和研发部门电子技术人员及相关科技人员参考，也可以作为高等学校相关专业的教学参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

Saber 电路仿真及开关电源设计 / 柯福波等编著. —北京：电子工业出版社，2017.3

(EDA 设计智汇馆高手速成系列)

ISBN 978-7-121-30949-6

I. ①S… II. ①柯… III. ①电子电路—计算机仿真—应用软件 ②开关电源—设计—应用软件
IV. ①TN702.2 ②TN86-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 029839 号

策划编辑：张 迪 (zhangdi@phei.com.cn)

责任编辑：张 迪

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：北京京科印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：18.5 字数：474 千字

版 次：2017 年 3 月第 1 版

印 次：2017 年 3 月第 1 次印刷

印 数：3 000 定 价：58.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：zhangdi@phei.com.cn，88254469

前 言

随着现代科技的飞速发展，开关电源作为一种新型的稳压电源，应用越来越广泛，不仅包括仪器仪表、测控系统和计算机系统的供电，还广泛应用于各类消费电子产品中，开关电源具有高效率、低功耗、体积小、重量轻等显著特点，已经成为稳压电源的主流产品。

开关电源的设计涉及模拟电子技术、数字电子技术、电力电子技术、自动控制原理等学科，因此理论复杂、设计难度很大，无论对于初学者还是有多年开发经验的研发工程师，设计一款高效率、低功耗、动态性能优良、纹波小的电源都是一件很困难的事。而开关电源对于电气设备的稳定运行来说至关重要。毫不夸张地说，开关电源就是电气设备稳定运行的“定海神针”，一旦开关电源出现了异常，轻则引起 MCU 工作的混乱、工业通信的中断异常，重则设备起火造成重大的人身伤亡！所以开关电源的设计至关重要，对于我们的生产生活来说具有不可估量的重大意义！对于开关电源的仿真来说，更是难上加难。目前市面上主流的开关电源仿真软件有 MATLAB Simulink、Saber、Cadence PSpice 等，各有各的优点。在电力领域，公认的仿真软件就是 Saber。Saber 仿真软件是美国 Synopsys 公司的一款 EDA 软件，被誉为全球先进的系统仿真软件，可用于电子、电力电子、机电一体化、机械、光电、光学、控制等不同类型系统构成的混合系统仿真，可以解决从系统开发到详细设计验证等一系列问题。

但仿真软件都有一定的局限性，如很多控制 IC 的模型都没有，变压器的实际模型又过于复杂，加之本人水平有限，国内资料缺乏，所以本书只能是一个引导，希望以后业界专家能够推出更多经典书籍，来推动中国开关电源事业的发展。

参加本书编写的有柯福波、宋文君、雷冬良、林超文、赵基建。沈旭、刘庚桥、蓝国亮、王忠良、张强、王小元、柯明文、彭雄辉、刘长享、张万凌等同志也提供了很多宝贵意见，在此表示衷心感谢！

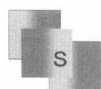
柯福波

牛尔街-中国机器人创客联盟

目 录

第1章	开关电源导论	1
1.1	简 介	1
1.2	开关电源原理	4
1.2.1	DC/DC 变换	4
1.2.2	AC/DC 变换	5
1.3	开关电源设计指标	8
1.3.1	描述输入电压影响输出电压的几个指标形式	8
1.3.2	负载对输出电压影响的几种指标形式	9
1.3.3	纹波电压的几个指标形式	9
1.3.4	冲击电流	9
1.3.5	过流保护	9
1.3.6	过压保护	10
1.3.7	输出欠压保护	10
1.3.8	过热保护	10
1.3.9	温度漂移和温度系数	10
1.3.10	漂移	10
1.3.11	响应时间	10
1.3.12	失真	10
1.3.13	噪声	11
1.3.14	输入噪声	11
1.3.15	浪涌	11
1.3.16	静电噪声	11
1.3.17	稳定度	11
1.3.18	电气安全要求 (GB 4943—90)	11
1.4	开关电源的干扰及其抑制	12
1.4.1	开关电源干扰的产生	12
1.4.2	开关电源干扰耦合途径	14
1.4.3	抑制干扰的一些措施	15
1.5	开关电源的发展	17
第2章	Saber 仿真工具介绍	19
2.1	DC Operating Point Analysis (直流工作点分析)	19
2.2	Small-Signal AC Analysis (交流小信号分析)	21





2.3	Time-Domain Analysis (瞬态分析)	23
2.4	DC Transfer Analysis (直流扫描分析)	25
2.5	Monte Carlo Analysis (蒙特卡罗分析)	26
2.6	Pole-Zero Analysis (零极点分析)	28
2.7	参数扫描分析	29
2.8	Fourier Transform (傅立叶分析)	30
2.9	Saber 电力电子元件库翻译	33
第3章	开关电源设计	40
3.1	变压器设计	40
3.1.1	变压器的工作原理	40
3.1.2	变压器的等效模型	42
3.1.3	高频变压器设计原则	43
3.2	RCD 吸收回路	46
3.3	输出滤波电解器设计	50
3.4	开关电压设计实例	52
第4章	开关电源环路设计	55
4.1	绪 论	55
4.2	自动控制理论基础	56
4.3	BUCK 电路小信号分析	57
4.4	反激电源的数学模型	64
第5章	磁性材料及其建模仿真	69
5.1	磁的基本概念	69
5.2	电磁理论及磁性材料	72
5.2.1	电磁定律	72
5.2.2	磁性材料	74
5.3	磁性器件电气参数计算	76
第6章	电力电源开关器件	85
6.1	MOS 管简介	85
6.2	MOS 管特性曲线	87
6.3	MOS 管重点参数	89
6.4	MOS 管的通断过程	93
6.5	MOS 管的小信号模型	95
6.6	功率 MOS 管的开关损耗	96
第7章	电力电子器件建模与 MAST 应用实例	99
7.1	计算机仿真概述	99

7.2	计算机仿真方法	101
7.3	基本器件模型	102
7.4	MAST 语言建模与仿真	110
第8章	BUCK 电路仿真实例分析	130
8.1	BUCK 电路结构	130
8.2	BUCK 电路工作原理基本关系式	130
8.3	电感电流在连续模式下工作原理和关系式	137
8.4	电感电流断续模式下电路原理和关系式	139
8.5	BUCK 电路 Saber 仿真	140
第9章	BOOST 电路仿真建模	144
9.1	BOOST 电路结构	144
9.2	工作原理与基本关系式	144
9.3	BOOST 电路仿真	148
第10章	反激式开关电源仿真	156
10.1	反激式开关电源概况	156
10.2	反激开关电源的工作原理	157
10.3	反激开关电源 Saber 仿真	161
第11章	正激开关电源仿真	172
11.1	正激开关电源简介	172
11.2	正激开关电源结构	172
11.3	正激开关电源工作原理	173
11.4	正激开关电源 Saber 仿真	176
第12章	半桥开关电源仿真	184
12.1	半桥电源概述	184
12.2	半桥变换器电路结构及作用	184
12.3	半桥电源的工作原理及相关参数关系式	185
12.4	半桥开关电源 Saber 仿真	189
第13章	开关电源 PCB 设计技术	195
13.1	PCB 技术	195
13.1.1	PCB 的功能与特点	195
13.1.2	PCB 的分类	197
13.1.3	PCB 的基本组成元素	198
13.2	PCB 设计	200



13.2.1	PCB 设计流程	200
13.2.2	PCB 布局设计	201
13.2.3	飞线与 PCB 布局	204
13.2.4	PCB 布线设计	205
13.3	开关电源 PCB 设计指导	211
13.3.1	PCB 设计指导	211
13.3.2	PCB 工艺设计	219
13.3.3	开关电源整体设计原则	226
13.3.4	安规作业	229
第14章	开关电源 PCB 设计实例	232
14.1	降压式开关电源设计实例	232
14.1.1	电路原理图	232
14.1.2	工作原理	232
14.1.3	变压器绕制方式	235
14.1.4	PCB 设计	236
14.2	升压式开关电源设计实例	237
14.2.1	电路原理图	237
14.2.2	工作原理	239
14.2.3	PCB 设计	242
14.3	数控稳压电源设计实例	243
14.3.1	电路工作原理	244
14.3.2	PCB 设计	249
第15章	一天学会用 PADS 设计开关电源	251
15.1	元件库设计	251
15.2	原理图设计	273
15.3	网表导入	274
15.4	导入结构图确定板框	275
15.5	与原理图交互布局	277
15.6	手工布线	278
15.7	设计验证	279
15.7.1	安全间距验证	279
15.7.2	连接性验证	280
15.8	丝印调整及尺寸标注	280
15.9	输出文件	282
参考文献		288

第1章 开关电源导论

开关电源（Switch Mode Power Supply, SMPS）具有高效率、低功耗、体积小、重量轻等显著特点，代表了稳压电源的发展方向，成为现代稳压电源的主流产品，广泛应用于能源、电力、工控、交通、水利等行业，是能源电力行业发展的重要方向。

1.1 简介

电是当今社会中不可缺少的能源。无论是在工业控制、轨道交通、能源电力、新能源汽车、工程机械和军事通信都离不开电。自从 1831 年英国物理学家法拉第发现了电磁感应现象，电能的开发或活动就与人类息息相关。现代社会已经不仅仅满足于有电，现代科学技术对电能质量的要求越来越高，各种不同的装置和设备要求有不同的电源，需要对电能进行变换和控制，例如交流电和直流电的互相变换，对电压、电流和交流电频率进行控制等，以提高电能的品质和用电的效率，对这些电能的变换和控制也提出了很高的节能和环保要求。

开关电源技术的应用极其广泛，在它出现的短短几十年的时间内，已经广泛应用于人类社会的各个行业，对人类社会科技的进步、生产力的发展都有积极的推动作用。下面介绍几个常见应用。

独立光伏发电也叫离网光伏发电，主要由太阳能电池组件、控制器、蓄电池组成，如图 1-1 所示。若要为交流负载供电，还须要配置交流逆变器。独立光伏电站包括边远地区的村庄供电系统，太阳能户用电源系统，通信信号电源、阴极保护、太阳能路灯等各种带有蓄电池的可以独立运行的光伏发电系统。

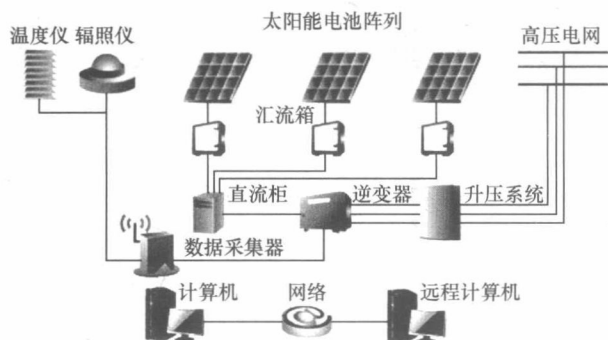


图 1-1 光伏发电系统

传统行业中，如银行、电力、化工行业，主要用的是不间断电源（UPS），来防止突发停电时数据丢失，维持设备稳定运行。如图 1-2 所示。

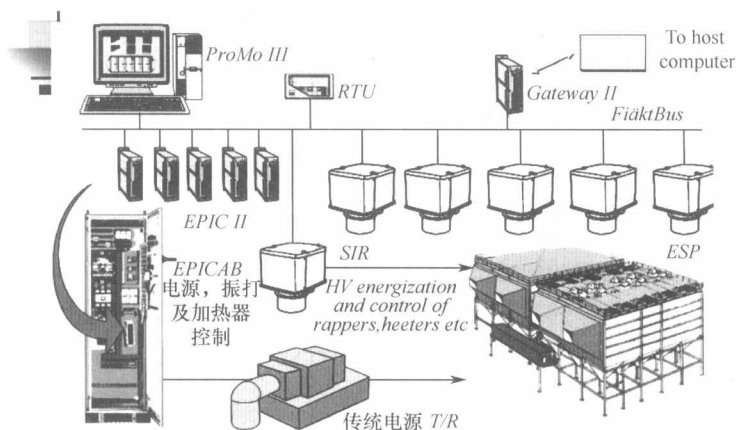


图 1-2 传统电源领域

计算机电源是把 220V 交流电转换成直流电，并专门为计算机配件（如主板、驱动器、显卡等）供电的设备，是计算机各部件供电的枢纽，是计算机的重要组成部分。如图 1-3 所示。

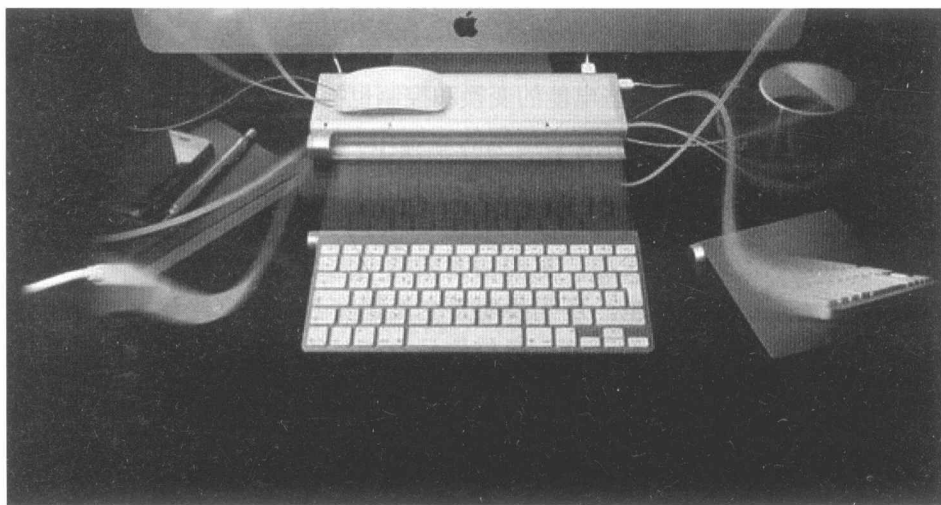


图 1-3 计算机鼠标和键盘

电动汽车（BEV）是指以车载电源为动力，用电动机驱动车轮行驶，符合道路交通、安全法规等各项要求的车辆。由于对环境影响相对传统汽车较小，其前景被广泛看好，但当前技术尚不成熟。工作原理：蓄电池—电流—电力调节器—电动机—动力传动系统—驱动汽车行驶（Road）。

纯电动汽车，相对燃油汽车而言，主要差别（异）在于 4 大部件：驱动电动机、调速控制器、动力电池、车载充电器；相对于加油站而言，它有公用超快充电站。纯电动汽车的品质差异取决于这 4 大部件，其价值高低也取决于这 4 大部件的品质。纯电动汽车的用途也与 4 大部件的选用配置直接相关。电动汽车供电系统如图 1-4 所示。

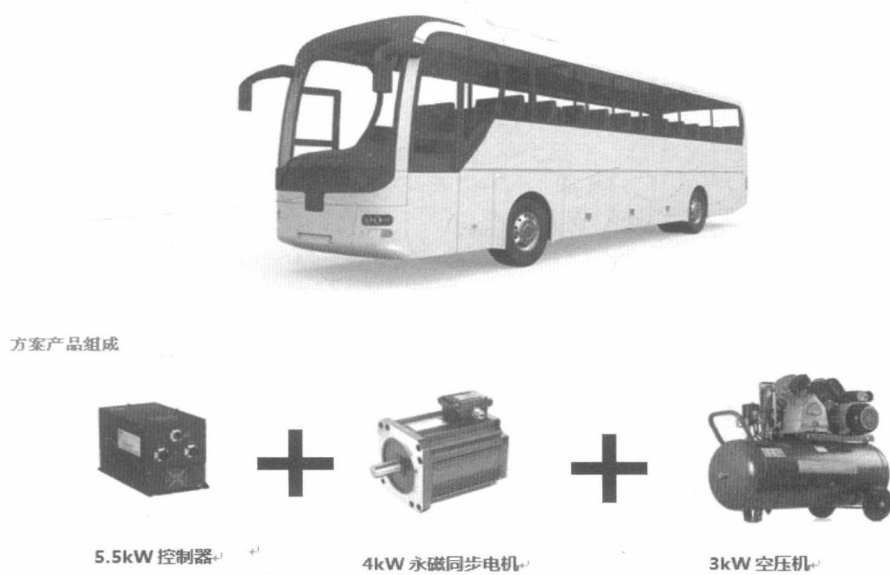


图 1-4 电动汽车供电系统

新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源（或使用常规的车用燃料，采用新型车载动力装置），综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车。新能源汽车供电系统如图 1-5 所示。

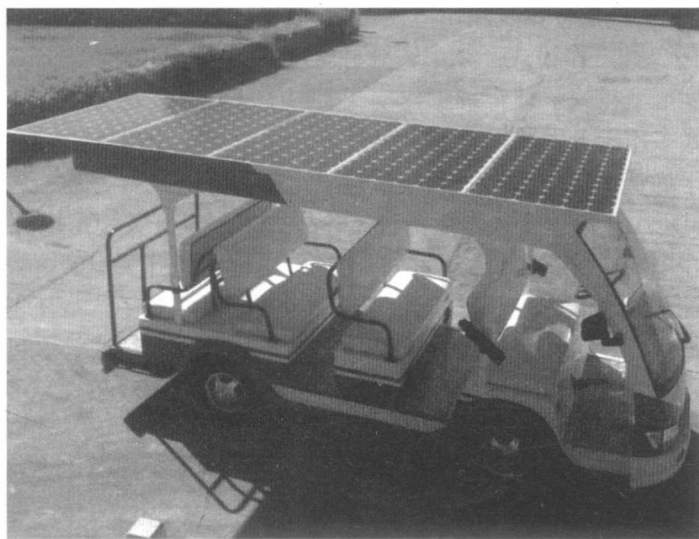


图 1-5 新能源汽车供电系统

手机充电适配器是给手机充电的，保持手机的正常使用，电路主要由自激振荡电路、调宽稳压保护电路、充电输出电路等组成，其输入电压 AC220V、50 / 60Hz、40mA，输出电压 DC5V、输出电流在 150~180mA，如图 1-6 所示。

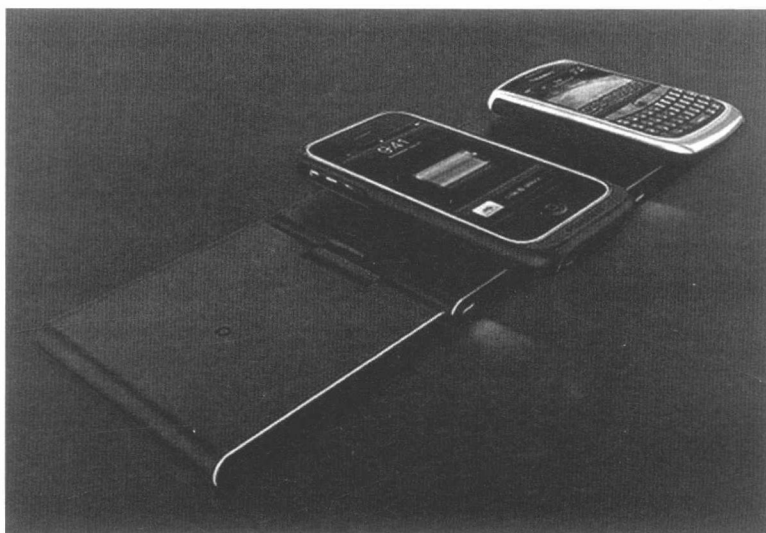


图 1-6 手机充电适配器

1.2 开关电源原理

开关电源利用电子开关器件（如晶体管、场效应管、晶闸管等），通过控制电路，使电子开关器件不停地“导通”和“关断”，让电子开关器件对输入电压进行脉冲调制，从而实现 DC/AC、DC/DC 电压变换，以及输出电压可调和自动稳压。

开关电源一般有 3 种工作模式：频率、脉冲宽度固定模式，频率固定、脉冲宽度可变模式，频率、脉冲宽度可变模式。前一种工作模式多用于 DC/AC 逆变电源或 DC/DC 电压变换；后两种工作模式多用于开关稳压电源。另外，开关电源输出电压也有 3 种工作方式：直接输出电压方式、平均值输出电压方式和幅值输出电压方式。同样，前一种工作方式多用于 DC/AC 逆变电源或 DC/DC 电压变换；后两种工作方式多用于开关稳压电源。

根据开关器件在电路中连接的方式，目前比较广泛使用的开关电源，大体上可分为串联式开关电源、并联式开关电源、变压器式开关电源等 3 大类。其中，变压器式开关电源（后面简称变压器开关电源）还可以进一步分成推挽式、半桥式、全桥式等多种；根据变压器的激励和输出电压的相位，又可以分成正激式、反激式、单激式和双激式等多种。如果从用途上来分，还可以分成更多种类。

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，并且设计技术及生产工艺在国内外均已成熟和标准化；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。

1.2.1 DC/DC 变换

DC/DC 变换将固定的直流电压变换成可变的直流电压，也称为直流斩波。斩波器的工作方式有两种：一是脉宽调制方式 T_s 不变，改变 t_{on} （通用）；二是频率调制方式， t_{on} 不

变, 改变 T_s (易产生干扰)。其具体的电路由以下 4 类。

- (1) Buck 电路——降压斩波器, 其输出平均电压 U_o 小于输入电压 U_i , 极性相同。
- (2) Boost 电路——升压斩波器, 其输出平均电压 U_o 大于输入电压 U_i , 极性相同。
- (3) Buck-Boost 电路——降压或升压斩波器, 其输出平均电压 U_o 大于或小于输入电压 U_i , 极性相反, 电感传输。
- (4) CUK 电路——降压或升压斩波器, 其输出平均电压 U_o 大于或小于输入电压 U_i , 极性相反, 电容传输。

当今软开关技术使得 DC/DC 发生了质的飞跃, 美国 VICOR 公司设计制造的多款 ECI 软开关 DC/DC 变换器, 其最大输出功率有 300W、600W、800W 等, 相应的功率密度为 $6.2\text{W}/\text{cm}^3$ 、 $10\text{W}/\text{cm}^3$ 、 $17\text{W}/\text{cm}^3$, 效率为 80%~90%。日本 NemicLambda 公司推出了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 $27\text{W}/\text{cm}^3$, 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%。

1.2.2 AC/DC 变换

AC/DC 变换将交流变换为直流, 其功率流向可以是双向的, 功率流由电源流向负载的称为“整流”, 功率流由负载返回电源的称为“有源逆变”。AC/DC 变换器输入为 50Hz 的交流电, 由于必须经整流、滤波, 因此体积相对较大的滤波电容器是必不可少的, 同时因遇到安全标准 (如 UL、CCEE 等) 及 EMC 指令的限制 (如 IEC、FCC、CSA), 交流输入侧必须加 EMC 滤波及使用符合安全标准的元件, 这样就限制了 AC/DC 了电源体积的小型化。另外, 由于内部的高频、高压、大电流开关动作, 使得解决 EMC 电磁兼容问题难度加大, 也就对内部高密度安装电路设计提出了很高的要求。由于同样的原因, 高电压、大电流开关使得电源工作损耗增大, 限制了 AC/DC 变换器模块化的进程, 因此必须采用电源系统优化设计方法才能使其工作效率达到一定的满意程度。

AC/DC 变换按电路的接线方式可分为半波电路和全波电路。按电源相数可分为单相、三相和多相。按电路工作象限又可分为一象限、二象限、三象限和四象限。

开关电源主要包括输入电网滤波器、输入整流滤波器、逆变器、输出整流滤波器、控制电路和保护电路。它们的功能如下。

(1) 输入电网滤波器: 消除来自电网 (如电动机的启动、电器的开关、雷击等) 产生的干扰, 同时也防止开关电源产生的高频噪声向电网扩散。

(2) 输入整流滤波器: 将电网输入电压进行整流滤波, 为变换器提供直流电压。

(3) 逆变器: 开关电源的关键部分。它把直流电压变换成高频交流电压, 并且起到将输出部分与输入电网隔离的作用。

(4) 输出整流滤波器: 将变换器输出的高频交流电压整流滤波得到需要的直流电压, 同时还防止高频噪声对负载的干扰。

(5) 控制电路: 检测输出直流电压, 并将其与基准电压比较, 进行放大, 调制振荡器的脉冲宽度, 从而控制变换器以保持输出电压的稳定。

(6) 保护电路: 当开关电源发生过电压、过电流短路时, 保护电路使开关电源停止工作

开关电源的作用是将交流电先整流成直流电,再将直流电逆变成交流电,最后整流输出所需要的直流电压。这样开关电源省去了线性电源中的变压器及电压反馈电路。而开关电源中的逆变电路完全采用数字调整,同样能达到非常高的调整精度。开关电源原理图如图 1-7 所示。



开关电源是通过电子技术实现的，主要环节：整流成直流电——逆变成所需电压的交流

电（主要来调整电压）——整流成直流电压输出。

由于开关电源的结构中没有笨重的变压器和散热片，因而体积非常小。同时，开关电源内部都是电子元器件，效率高、发热小。虽然具有电磁干扰大等缺点，但现在开关电源抗电磁干扰滤波器和屏蔽技术已经非常到位。

开关电源大体可以分为隔离和非隔离两种，隔离型的必定有开关变压器，而非隔离的未必一定有。

简单地说，开关电源的工作原理如下。

- (1) 交流电源输入经整流滤波成直流电；
- (2) 通过高频 PWM（脉冲宽度调制）或脉冲频率调制（PFM）控制开关管，将直流电加到开关变压器一次侧；
- (3) 开关变压器二次侧感应出高频电压，经整流滤波供给负载；
- (4) 输出部分通过一定的电路反馈给控制电路，控制 PWM 占空比，以达到稳定输出的目的。

交流电源输入时一般要经过电感、电容、滤波器一类的元器件，过滤掉电网上的干扰，同时也过滤掉电源对电网的干扰；在功率相同时，开关频率越高，开关变压器的体积就越小，但对开关管的要求就越高；开关变压器的二次侧可以有多个绕组或一个绕组有多个抽头，以得到需要的输出；一般还应该增加一些保护电路，如空载、短路等保护，否则可能会烧毁开关电源。

以上说的就是开关电源的大致工作原理。

其实现在已经有了集成度非常高的专用芯片，可以使外围电路非常简单，甚至做到免调试。

例如 TOP 系列的开关电源芯片（或称模块），只要配合一些阻容元件和一个开关变压器，就可以做成一个基本的开关电源。

普通半桥开关电源的主要工作原理就是上桥和下桥的开关管（频率高时开关管为 VMOS）轮流导通，首先电流通过上桥开关管流入，利用电感线圈的存储功能，将电能集聚在线圈中，最后关闭上桥开关管，打开下桥的开关管，电感线圈和电容持续给外部供电。然后又关闭下桥开关管，再打开上桥让电流进入，就这样重复进行。因为要轮流开关两开关管，所以称为开关电源。

而线性电源就不一样了，由于没有开关介入，使得上下管一直在放电，如果有多的，就会漏出来。这就是我们经常看到的某些线性电源的调整管发热量很大，用不完的电能全部转换成了热能。从这个角度来看，线性电源的转换效率就非常低了，而且热量高时，元器件的寿命势必下降，影响最终的使用效果。

开关电源和线性电源的区别主要是它们的工作方式。

线性电源的功率调整管总是工作在放大区，流过的电流是连续的。因为调整管上损耗较大的功率，所以需要较大功率调整管并装有体积很大的散热器，发热严重，效率很低，一般在 40%~60%，这还是很好的线性电源。线性电源的工作方式，使它从高压变低压必须有降压装置，一般用的都是变压器，也有别的（像 KX 电源）再经过整流输出直流电压。这样一来它的体积也就很大，比较笨重，效率低、发热量也大。它也有它的优点：纹波小，调整率好，对外干扰小，适合用于模拟电路、各类放大器等。

开关电源的功率器件工作在开关状态，在电压调整时能量通过电感线圈来临时储存，这样它的损耗就小，效率也就高，对散热的要求低，但它对变压器和储能电感也有了更高的要求，要用低损耗高磁导率的材料来做。它的变压器体积很小。总效率在 80%~98%，开关电源的效率高且体积小，但是和线性电源比，它的纹波、电压电流调整率就有一定的折扣了。

下面介绍一下业余电台等无线电通信设备专用电源的特殊要求。

(1) 电台使用比较规范的室外天馈系统，同轴电缆屏蔽层不参与无线电收发是主要考虑电源的 ESD 和电源稳压部分的抗干扰能力。原因是发射时电源负载阻抗瞬时变化很大，如果处理不当会造成稳压系统取样和执行紊乱，因此须在稳压系统取样与输出间加装低通滤波器。

(2) 电台使用很随意的室外天馈系统，同轴电缆屏蔽层参与无线电收发。此时还需要在 220V 输入端加装低通滤波器抑制干扰。

(3) 因昂贵的电台维修费用高，故须加装并联型限压电路以确保在任何时候电台得到的电压不超过额定电压 25%。

开关电源产品如图 1-8 和图 1-9 所示。

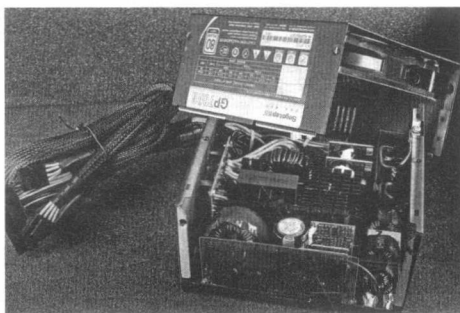


图 1-8 开关电源产品（一）

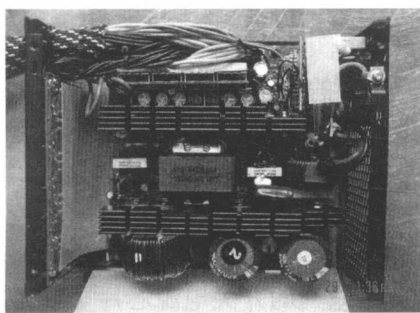


图 1-9 开关电源产品（二）

1.3 开关电源设计指标

1.3.1 描述输入电压影响输出电压的几个指标形式

1. 绝对稳压系数

绝对稳压系数：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，即 $K = \Delta U_o / \Delta U_i$

相对稳压系数：负载不变时，稳压器输出直流电压 U_o 的相对变化量 ΔU_o 与输入电网 U_i 的相对变化量 ΔU_i 之比，即 $S = \frac{\Delta U_o}{U_o} \times \frac{U_i}{\Delta U_i}$

2. 电网调整率

它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 $\Delta U_O / U_O$ (百分值), 称为稳压器的电压稳定度。

1.3.2 负载对输出电压影响的几种指标形式

1. 负载调整率 (也称电流调整率)

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。

2. 输出电阻 (也称等效内阻或内阻)

在额定电网电压下, 由于负载电流变化 ΔI_L 引起输出电压变化 ΔU_O , 则输出电阻为 $R_O = |U_O / \Delta I_L| \Omega$ 。

1.3.3 纹波电压的几个指标形式

1. 最大纹波电压

在额定输出电压和负载电流下, 输出电压的纹波 (包括噪声) 的绝对值的大小, 通常以峰峰值或有效值表示。

2. 纹波系数 y (%)

在额定负载电流下, 输出纹波电压的有效值 U_{rms} 与输出直流电压 U_O 之比, 即 $y = U_{rms} / U_O \times 100\%$ 。

3. 纹波电压抑制比

在规定的纹波频率 (例如 50Hz) 下, 输入电压中的纹波电压 $U_i \sim$ 与输出电压中的纹波电压 $U_O \sim$ 之比, 即纹波电压抑制比 $= U_i \sim / U_O \sim$ 。

这里声明一下: 噪声不同于纹波。纹波是出现在输出端子间的一种与输入频率和开关频率同步的成分, 用峰-峰 (peak to peak) 值表示, 一般在输出电压的 0.5% 以下; 噪声是出现在输出端子间的纹波以外的一种高频成分, 也用峰-峰 (peak to peak) 值表示, 一般为输出电压的 1% 左右。纹波噪声是二者的合成, 用峰-峰 (peak to peak) 值表示, 一般为输出电压的 2% 以下。

1.3.4 冲击电流

冲击电流是指输入电压按规定时间间隔接通或断开时, 输入电流达到稳定状态前所通过的最大瞬间电流。一般是 20~30A。

1.3.5 过流保护

过流保护是一种电源负载保护功能, 以避免发生包括输出端子上的短路在内的过负载输