

稳压电源实用设计软件丛书 ①



含设计软件光盘

# 单片开关电源计算机 辅助设计软件与应用

主 编 沙占友  
副主编 许云峰 王彦朋 张妍 等



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

稳压电源实用设计软件丛书①

# 单片开关电源计算机 辅助设计软件与应用

主编 沙占友

副主编 许云峰 王彦朋 张妍 等



机械工业出版社

本书为“稳压电源实用设计软件丛书”的第1部,全面深入地阐述了单片开关电源计算机辅助设计软件与应用技术。全书共九章。第一章为单片开关电源及设计软件概述。第二~四章分别介绍了当今国际上最流行的PI Expert 6.5专家系统(汉化菜单)使用入门、优化设计及PI Transformer Designer 6.5(汉化菜单)使用指南。第五章介绍单片开关电源设计要点及设计实例。第六、七章分别介绍微型及峰值功率输出式单片开关电源的原理、应用及设计实例。第八章介绍PI Expert 2.0和2.5专家系统及应用实例。第九章阐述了单片开关电源的测试技术。这是国内第一本专门介绍单片开关电源设计软件的著作,它充分反映了该领域的国内外最新研究成果。在配书光盘中包含了PI Expert 2.0/2.5/6.5专家系统及10个典型设计实例,是不可多得的珍贵工具软件库。为便于读者使用,作者还对主要软件的菜单进行了汉化,可帮助读者在几分钟之内就完成单片开关电源的最佳拓扑电路设计。

本书题材新颖、内容丰富、深入浅出、图文并茂,具有很高的实用价值,可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片开关电源计算机辅助设计软件与应用/沙占友主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 8

(稳压电源实用设计软件丛书)

ISBN 978-7-111-21731-2

I. 单… II. 沙… III. 单片电路-开关电源-电路设计: 计算机辅助设计-应用软件 IV. TN86-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第093227号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:罗莉 版式设计:霍永明 责任校对:王欣

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2007年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·456千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21731-2

ISBN 978-7-89482-234-5(光盘)

定价:38.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379762

封面无防伪标均为盗版



**沙占友** 1968年毕业于南开大学，现任河北科技大学教授（享受国务院政府特殊津贴），校级教学名师，河北省优秀教师，河北省精品课程主讲教师。已出版《内燃机测试仪器的原理与维修》、《数字化测量技术与应用》、《单片机外围电路设计》（2003年获全国优秀畅销书奖）、《智能传感器系统设计与应用》、《中外集成传感器实用手册》（“十五”国家重点图书出版规划项目）、《新型单片开关电源设计与应用》、《特种集成电源设计与应用》等28部著作，发表学术论文282篇。曾先后获得河北省普通高校优秀教学成果一等奖、河北省科技进步奖、河北省十大发明奖和'97布鲁塞尔尤里卡银奖。

---

---

# 序 言

稳压电源是各种电子、通信设备和计算机系统的动力之源。

稳压电源的种类很多，大致可分为开关电源（Switch Mode Power Supply, SMPS）、线性稳压电源两大类。开关电源又分 AC/DC 变换器、DC/DC 变换器两种类型。其中，DC/DC 变换器亦称开关稳压器（Switching Voltage Regulator, 简称 Switching Regulator），它是开关电源的核心部分。线性稳压电源也有多种类型，既有传统的线性稳压器（Linear Voltage Regulator, 简称 Linear Regulator），也有新型低压差稳压器（LDO）、准低压差稳压器（QLDO）和超低压差稳压器（VLDO）。

进入 21 世纪以来，随着电源技术的迅速发展和计算机应用的日益普及，利用计算机设计开关电源和线性稳压电源已成为国际上电源领域的一项新技术。基于 PC 的各种专用工具软件已成为设计各种稳压电源的强大工具。利用这些软件不仅能完成稳压电源的优化设计，还能对稳压电源的电路进行仿真，彻底改变了依赖于人工计算、样机制作和调试的传统设计模式。如今，设计高效、节能型稳压电源已不再是专业工程技术人员才能完成的任务。以软件作支撑，设计将不再困难，即使初学者或电子爱好者，通过学习和不断实践也能掌握这项高新技术，自行设计各种高性价比的稳压电源，逐渐成为稳压电源设计的行家里手。

鉴于目前国内尚未出版过全面介绍稳压电源设计与仿真软件的书籍，为满足广大读者的急需，作者撰写了“稳压电源实用设计软件丛书”，从实用角度出发，全面、系统、深入地阐述了稳压电源计算机辅助设计与仿真软件的应用技术，以飨广大读者。

该丛书包括以下 3 本书：①《单片开关电源计算机辅助设计软件与应用》；②《开关稳压器计算机辅助设计与仿真软件的应用》；③《低压差线性稳压器设计原理与应用》。每本书侧重于稳压电源的一个应用领域，不仅重点突出，而且各书之间互相衔接，融为一体，基本涵盖了稳压电源各种设计与仿真软件的应用技术。

为便于广大读者使用，在每本书中都附有配书光盘，包括书中所介绍的全部免费软件，可为读者设计稳压电源提供极大的方便。

沙占友教授任丛书主编。马洪涛副教授、王彦朋教授、许云峰老师等任副主编。

软件的强大生命力在于应用。我们相信，稳压电源计算机辅助设计软件在我国的推广应用必将获得更加丰硕的成果。

沙占友

2007 年 6 月于河北科技大学

# 前 言

开关电源 (Switch Mode Power Supply, SMPS) 被誉为高效节能型电源, 它代表着稳压电源的发展方向。由美国 PI 公司 (Power Integrations, Inc.) 在世界上率先推出的单片开关电源, 具有高集成度、高性价比、最简外围电路、最佳性能指标等特点, 成为开发中、小功率开关电源及开关电源模块的优选集成电路, 在我国已获得广泛应用。

设计一个具有高性价比的单片开关电源, 所涉及的知识面很广。设计人员不仅要掌握各种开关电源的工作原理和应用电路, 了解通用及特种半导体器件、模拟与数字电路、电磁兼容性、热力学等方面的知识, 还必须积累丰富的实践经验, 掌握大量的实验数据。开关电源的设计是多个变量的迭代过程, 只有不断地调整这些变量, 才能最终实现优化设计。按照传统方法, 开关电源要全部靠人工设计, 不仅工作量大, 效率低, 而且因设计时的变量多, 难以准确估算, 使得设计结果与实际情况相差较大, 需要多次修正。

利用计算机设计开关电源正成为国际上电源领域的一项新技术。本书详细阐述了国际上最流行的基于 PC 的单片开关电源计算机辅助设计软件, 包括 PI 公司于 2006 年 11 月 20 日最新推出的 PI Expert 6.5 专家系统的界面风格、设计方法和使用指南。PI Expert 6.5 是采用图形用户界面 (Graphical User Interfaces, GUI)、面向初学者和专业技术人员、能完成单片开关电源设计的实用工具软件。利用上述软件能充分发挥高科技的优势, 实现开关电源的优化设计, 大大减轻设计人员的工作量。目前, 软件已成为优化开关电源设计的关键技术, 设计开关电源已不再是专家的任务, 任何设计人员都能设计出自己满意的开关电源。

本书是国内第一部专门介绍单片开关电源设计软件的著作, 主要有以下特点:

第一, 全面、深入地阐述了单片开关电源计算机辅助设计软件的新技术和新成果。主要包括 PI 公司推出的 PI Expert 6.5 专家系统 (汉化菜单)、PI Expert 2.0/2.5 专家系统。此外, 还介绍了几种新型单片开关电源集成电路 (TinySwitch-III、LinkSwitch-XT、LinkSwitch-LP 和 PeakSwitch 系列)。有关 TOPSwitch-GX、TinySwitch-II、LinkSwitch、LinkSwitch-TN、LinkSwitch-HF 和 DPA-Switch 系列产品的工作原理与应用, 读者可参考作者编著的《新型单片开关电源设计与应用技术》(电子工业出版社, 2005 年) 和《单片开关电源最新应用技术 (第 2 版)》(机械工业出版社, 2006 年)。

第二, 全书以软件为主, 硬件电路为辅, 结构严谨、条理清晰、逻辑性强, 内容由浅入深、循序渐进。例如, 首先介绍 PI Expert 6.5 入门, 然后分别介绍其设计指南和设计要点, 可满足初学者和专业技术人员的不同需要。各章之间保持相对的独立性, 读者既可通读全书, 亦可选读部分章节的内容。

第三, 信息量大, 知识面宽, 具有很高的实用价值。为便于国内广大读者使用, 作者已对 PI Expert 6.5 和 PI Transformer Designer 6.5 软件的菜单完成了汉化工作。利用该软件, 可帮助读者在短短几分钟内就完成反激式、正激式、降压式或降压/升压式单片开关电源的最佳拓扑电路设计, 包括选择最合适的单片开关电源集成电路及输入滤波电容, 完成整个高频变压器的设计, 并给出了许多设计实例。本书对广大读者研制新型开关电源及电源模块, 开

发电子、计算机、通信、现代办公设备、家用电器等领域的新产品具有重要参考价值。

第四，鉴于高频变压器的设计是开关电源的关键技术，也是最困难、最花费时间的一项工作，它直接影响到开关电源的工作性能、安全性和抗电磁干扰特性，本书详细介绍了 PI Transformer Designer 6.5 软件（汉化菜单）的设计指南，这对于正确设计高频变压器至关重要。

第五，在配书光盘中，包含了 PI Expert 6.5 专家系统及 PI Transformer Designer 6.5（均为汉化菜单）、PI Expert 2.0、PI Expert 2.5 专家系统和 10 个典型设计实例，是不可多得的珍贵工具软件库。

因软件的原因，书中部分电气图形符号与国家标准不一致。

沙占友教授任本书主编，许云峰、王彦朋、张妍、马洪涛、睢丙东、安国臣任副主编。沙占友撰写了第一章、第三章、第五章和第七章，并完成了全书的审阅和统稿工作。许云峰撰写了第二章，张妍撰写了第四章，安国臣、李然撰写了第六章，王彦朋撰写了第八章，马洪涛、睢丙东合撰了第九章。沙占友和许云峰共同完成了 PI Expert 6.5、PI Transformer Designer 6.5 软件菜单的汉化工作，设计并制作了配书光盘。李学芝、沙江、韩振廷、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉同志也参与了本书的编写工作。

本书及配书光盘中所使用的全部软件，已得到美国 Power Integrations (PI) 公司的授权。在本书撰写过程中，PI 公司总部及 PI 公司中国及香港区总经理杨骏先生和工程师们给予了大力支持和热情帮助，谨表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作者

# 目 录

## 序言

## 前言

<b>第一章 单片开关电源及设计软件概述</b> .....	1
第一节 单片开关电源的发展简况 .....	1
第二节 单片开关电源的主要特点 .....	3
第三节 单片开关电源的工作原理 .....	5
一、脉宽调制器的工作原理 .....	5
二、单片开关电源的两种工作模式 .....	6
三、单片开关电源反馈电路的4种基本类型 .....	6
第四节 单片开关电源的产品分类 .....	7
一、第二代单片开关电源的产品分类 .....	7
二、第三代单片开关电源的产品分类 .....	8
三、第四代单片开关电源的产品分类 .....	9
四、第一、二、三代微型单片开关电源的产品分类 .....	9
五、高效节能微型单片开关电源的产品分类 .....	11
六、峰值功率输出式单片开关电源的产品分类 .....	12
第五节 单片开关电源的应用领域 .....	13
第六节 PI Expert 专家系统简介 .....	14
一、PI Expert 专家系统发展概况 .....	14
二、PI Expert 6.5 的主要特点及辅助软件 .....	15
第七节 PI Expert 6.5 专家系统的使用注意事项 .....	16
<b>第二章 PI Expert 6.5 专家系统（汉化菜单）使用入门</b> .....	19
第一节 PI Expert 6.5 专家系统的主要功能及自定义元件库 .....	19
一、PI Expert 6.5 专家系统的主要功能 .....	19
二、自定义元件库 .....	20
第二节 PI Expert 6.5 选择指南的使用方法 .....	23
一、PI Expert 6.5 选择指南的设计流程 .....	23
二、PI Expert 6.5 选择指南的使用方法 .....	24
第三节 PI Expert 6.5 的4种用户面板 .....	29
第四节 PI Expert 6.5 的主菜单和工具栏 .....	32
一、PI Expert 6.5 的主菜单 .....	32
二、PI Expert 6.5 的工具栏 .....	36
第五节 4种导航工具的使用方法 .....	39
第六节 PI Expert 6.5 专家系统的设计向导 .....	40
一、设计选项面板 .....	41
二、AC/DC 输入类型面板 .....	42
三、DC 输出面板 .....	43



四、设计设置面板	44
五、设计负压输出的方法	45
第七节 PI Expert 6.5 专家系统的用户首选项	47
一、颜色编码定义	47
二、新建默认设置	48
三、添加用户自定义整流二极管	48
四、更新服务	49
<b>第三章 单片开关电源优化设计指南</b>	<b>50</b>
第一节 反激式单片开关电源的设计要点	50
一、反激式变换器的拓扑结构及主要特点	50
二、选择适合设计反激式单片开关电源的 PI 器件	52
第二节 正激式单片开关电源的设计要点	54
一、正激式变换器的拓扑结构及主要特点	55
二、正激式同步整流器的拓扑结构及主要特点	57
三、适合设计正激式单片开关电源的 PI 器件	59
第三节 单片开关电源的自动优化设计	59
一、单片开关电源的自动优化设计	59
二、优化设计的更新	60
第四节 反激式单片开关电源参数的选择	63
一、PI 器件的选择	63
二、PI 器件高级参数的选择	65
三、高频变压器磁心和骨架的选择	67
四、高频变压器高级参数的选择	69
第五节 正激式单片开关电源参数的选择	71
一、PI 器件的选择	71
二、高频变压器磁心和骨架的选择	71
三、高频变压器高级参数的选择	73
第六节 反馈电路的选择	73
一、反馈类型及偏置参数的选择	73
二、控制环路的选择	75
三、控制环路的幅频特性与相频特性	78
第七节 对 PI Expert 6.5 设计结果的分析	82
一、对结构框图的分析	82
二、对设计结果表格的分析	84
三、目标搜索功能	85
第八节 PI Viewer 6.5 浏览器 (汉化菜单)	86
一、PI Viewer 6.5 浏览器简介	86
二、PI Viewer 6.5 浏览器的使用方法	87
第九节 PI Xls 6.5 软件 (汉化菜单)	89
一、PI Xls 6.5 软件简介	89
二、PI Xls 6.5 软件的使用方法	90
<b>第四章 PI Transformer Designer 6.5 (汉化菜单) 使用指南</b>	<b>93</b>
第一节 PI Transformer Designer 6.5 的主要特点	93

第二节 PI Transformer Designer 6.5 的工具选项 .....	95
一、PI Transformer Designer 6.5 的主菜单 .....	95
二、PI Transformer Designer 6.5 的工具栏 .....	95
三、PI Transformer Designer 6.5 的导航工具 .....	97
第三节 PI Transformer Designer 6.5 的使用方法 .....	97
一、PI Transformer Designer 6.5 的启动方法 .....	97
二、多路输出式高频变压器的结构 .....	98
第四节 高频变压器的参数选择 .....	99
第五节 设计高频变压器时的注意事项 .....	105
第六节 高频变压器设计实例 .....	108
一、多路输出式开关电源的设计指标 .....	108
二、利用 PI Expert 6.5 设计单片开关电源 .....	108
三、利用 PI Transformer Designer 6.5 设计高频变压器 .....	110
<b>第五章 通用单片开关电源设计要点与设计实例 .....</b>	<b>113</b>
第一节 PI Expert 6.5 专家系统的设计要点 .....	113
一、选择 PI 器件的原则 .....	113
二、降低电磁干扰 (EMI) 的方法 .....	114
三、印制板的设计要点 .....	116
四、高频变压器的损耗 .....	118
第二节 多路输出反激式开关电源的设计要点 .....	119
一、使用 PI Expert 6.5 设计多路输出反激式开关电源 .....	119
二、设计二次绕组时的注意事项 .....	120
三、其他注意事项 .....	121
第三节 多路输出式单片开关电源的设计 .....	122
一、多路输出式单片开关电源的电路设计方案 .....	122
二、多路输出式高频变压器的设计 .....	124
三、多路输出式单片开关电源的改进方案 .....	125
第四节 提高单片开关电源效率的方法 .....	126
一、设计高效率单片开关电源的原则 .....	126
二、提高单片开关电源效率的方法 .....	126
第五节 复合型开关电源的设计 .....	129
一、复合型开关电源的设计方案 .....	129
二、由单片开关电源和低压差稳压器构成的复合型开关电源 .....	129
三、多路输出式复合型开关电源的设计 .....	130
第六节 54W 同步整流式 DC/DC 电源变换器设计实例 .....	131
一、PI Expert 6.5 的设计步骤 .....	131
二、PI Transformer Designer 6.5 的设计步骤 .....	136
三、54W 同步整流式 DC/DC 电源变换器的电路设计 .....	136
第七节 43W 多路输出式单片开关电源设计实例 .....	139
一、PI Expert 6.5 选择指南的设计步骤 .....	140
二、PI Transformer Designer 6.5 的设计步骤 .....	144
三、43W 多路输出式单片开关电源的电路设计 .....	144
第八节 250W 通用单片开关电源设计实例 .....	147

一、PI Expert 6.5 导航树的设计步骤 .....	147
二、PI Transformer Designer 6.5 的设计步骤 .....	152
三、250W 通用单片开关电源的电路设计 .....	152
第九节 PI Expert 6.5 专家系统的错误提示一览表 .....	154
<b>第六章 微型单片开关电源的应用及设计实例 .....</b>	<b>160</b>
第一节 TinySwitch-III 系列微型单片开关电源的工作原理 .....	160
一、TinySwitch-III 系列微型单片开关电源的性能特点 .....	160
二、TinySwitch-III 系列微型单片开关电源的工作原理 .....	161
第二节 TinySwitch-III 系列微型开关电源的典型应用 .....	162
一、TinySwitch-III 系列微型开关电源的典型应用 .....	162
二、由 TNY276P 构成的 4.5W 恒压/恒流式充电器 .....	164
三、由 TNY275P 构成的 9.65W 双路输出式开关电源 .....	166
四、由 TNY279P 构成的 15W 电源适配器 .....	167
五、由 TNY280P 构成的 28W 多路输出式开关电源 .....	167
六、由 TNY279P 构成的 18W 大功率白光 LED 照明电源 .....	169
第三节 用 PI Expert 6.5 设计 TinySwitch-III 系列单片开关电源的实例 .....	173
第四节 LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的工作原理与应用 .....	178
一、LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的性能特点 .....	179
二、LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的工作原理 .....	179
三、LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的典型应用 .....	181
四、LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的设计要点 .....	182
第五节 用 PI Expert 6.5 设计 LinkSwitch-XT 系列单片开关电源的实例 .....	184
第六节 LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源的工作原理与应用 .....	191
一、LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源的性能特点 .....	191
二、LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源的典型应用 .....	192
三、LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源的设计要点 .....	193
第七节 用 PI Xls Designer 设计 LinkSwitch-LP 系列单片开关电源的实例 .....	193
<b>第七章 峰值功率输出式单片开关电源的应用及设计实例 .....</b>	<b>197</b>
第一节 PeakSwitch 系列单片开关电源的性能特点 .....	197
一、PeakSwitch 系列单片开关电源的主要用途及产品分类 .....	197
二、PeakSwitch 系列单片开关电源的性能特点 .....	197
第二节 PeakSwitch 系列单片开关电源的工作原理 .....	198
一、PeakSwitch 系列单片开关电源的引脚功能 .....	198
二、PeakSwitch 系列单片开关电源的工作原理 .....	199
第三节 PeakSwitch 系列单片开关电源的典型应用 .....	202
一、由 PKS606Y 构成的 32W (峰值功率 81W) 通用单片开关电源 .....	202
二、由 PKS606P 构成的 33W (峰值功率 60W) 精密单片开关电源 .....	205
三、由 PKS606Y 构成的 35W (峰值功率 75W) 直流调速电动机驱动器 .....	207
第四节 PeakSwitch 系列单片开关电源的设计要点 .....	210
第五节 用 PI Xls Designer 设计 PeakSwitch 系列单片开关电源的实例 .....	213
一、设计步骤 .....	214
二、过电流及过电压保护电路的设计 .....	219
第六节 用 PI Expert 6.5 设计 PeakSwitch 系列单片开关电源的实例 .....	220

<b>第八章 PI Expert 2.0/2.5 专家系统及设计实例</b> .....	232
第一节 PI Expert 2.0 专家系统的使用方法 .....	232
第二节 PI Expert 2.0 专家系统的设计实例 .....	242
第三节 PI Expert 2.5 专家系统的使用方法 .....	244
第四节 PI Expert 2.5 专家系统的设计实例 .....	247
一、用 PI Expert 2.5 设计 TOPSwitch-II 系列单片开关电源的实例 .....	247
二、用 PI Expert 2.5 设计 TOPSwitch-FX 系列单片开关电源的实例 .....	251
第五节 使用 PI Expert 2.0/2.5 的常见错误分析及解决方法 .....	255
一、软件错误提示及解决方法 .....	255
二、操作错误及解决方法 .....	256
三、在优化过程中出现的错误和解决方法 .....	258
<b>第九章 单片开关电源测试技术</b> .....	260
第一节 单片开关电源测试技术 .....	260
一、主要参数测试 .....	260
二、功率测量技术 .....	261
第二节 单片开关电源的性能测试 .....	263
一、测试仪表 .....	263
二、单片开关电源的性能测试 .....	263
三、高频变压器的电气性能测试 .....	264
第三节 单片开关电源的波形测试及分析 .....	265
一、被测单片开关电源的典型电路 .....	265
二、测量单片开关电源的启动特性 .....	266
三、测量一次侧的电压/电流波形 .....	267
四、测量二次侧的电压/电流波形 .....	269
第四节 利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法 .....	270
一、高频变压器磁饱和特性及其对单片开关电源的危害 .....	271
二、利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法 .....	272
第五节 单片开关电源的检测方法 .....	274
一、TOPSwitch-II 系列单片开关电源的检测方法 .....	274
二、TOPSwitch-FX 系列单片开关电源的检测方法 .....	275
三、TOPSwitch-GX 系列单片开关电源的检测方法 .....	276
四、PeakSwitch 系列单片开关电源的测试电路 .....	278
五、TinySwitch-III 系列单片开关电源的检测方法 .....	278
六、LinkSwitch-XT 系列单片开关电源的检测方法 .....	279
第六节 单片开关电源关键外围元器件的检测方法 .....	279
一、检测线性光耦合器的方法 .....	279
二、检测 TL431 的方法 .....	281
<b>参考文献</b> .....	282
<b>配书光盘目录</b> .....	283

# 第一章 单片开关电源及设计软件概述

目前,单片开关电源以其优良特性受到人们的青睐并获得广泛应用,已成为设计中、小功率开关电源的优选产品。而单片开关电源计算机辅助设计软件的问世,给设计人员提供了强大的工具,为实现单片开关电源的优化设计创造了有利条件。

## 第一节 单片开关电源的发展简况

开关电源已有几十年的发展历史。早期产品的开关频率很低,成本昂贵,仅用于卫星电源等少数领域。20世纪60年代出现过晶闸管(旧称可控硅)相位控制式开关电源,70年代由分立元器件制成的各种开关电源,均因效率不够高、开关频率低、电路复杂、调试困难而难于推广,使之应用受到限制。70年代后期以来,随着集成电路设计与制造技术的进步,各种开关电源专用芯片大量问世,这种新型节能电源才重获发展。目前,开关频率已从20kHz左右提高到几百千赫至几兆赫。与此同时,供开关电源使用的元器件也获得长足发展。MOS场效应晶体管(MOSFET)、肖特基二极管(SBD)、超快恢复二极管(SRD)、瞬态电压抑制器(TVS)、压敏电阻器(VSR)、熔断电阻器(FR)、自恢复熔丝(RF)、线性光耦合器、可调式精密并联稳压器(TL431)、电磁干扰滤波器(EMI Filter)、高磁导率磁性材料、由非晶合金制成的磁珠(Magnetic Bead)、三重绝缘线(Triple Insulated Wire)、玻璃珠(Glass Bead)、胶合剂等一大批新元器件、新材料正被广泛采用。所有这些,都为开关电源的推广与普及提供了必要条件。

近30年来,集成开关电源沿着下述两个方向不断发展。第一个发展方向是对开关电源的核心单元——控制电路实现集成化。1977年国外首先研制成功PWM(Pulse Frequency Modulation,脉冲宽度调制,以下简称脉宽调制)控制器集成电路。在此基础上还研制出开关频率达1MHz的高速PWM、PFM(Pulse Frequency Modulation,脉冲频率调制,以下简称脉频调制)芯片。

第二个发展方向则是对中、小功率开关电源实现单片集成化。1994年,美国电源集成(Power Integrations,简称PI)公司在世界上率先研制成功三端隔离式脉宽调制型单片开关电源,它属于AC/DC电源变换器。其第一代产品为1994年问世的TOPSwitch系列,第二代产品是1997年问世的TOPSwitch-II系列,第三代产品是在2000年1月推出的TOPSwitch-FX系列单片开关电源,第四代产品是2000年11月推出的TOPSwitch-GX系列单片开关电源,详见表1-1-1。该公司还于1998年开发出高效、小功率、低价位的TinySwitch系列微型单片开关电源,2001年又推出了TinySwitch-II系列产品,参见表1-1-2。

在2002~2004年期间,PI公司还推出了LinkSwitch系列高效率恒压/恒流式三端微型节能单片开关电源、LinkSwitch-TN系列四端隔离式微型节能单片开关电源、LinkSwitch-HF系列四端隔离式增强型高效微型单片开关电源和DPA-Switch系列高效率单片DC/DC电源变换器,参见表1-1-3。

表 1-1-1 通用型单片开关电源的产品分类

第一代产品	第二代产品	第三代产品	第四代产品
TOPSwitch 系列	TOPSwitch-II 系列	TOPSwitch-FX	TOPSwitch-GX
TOP100/TOP200	TOP221 ~ TOP 227	TOP232 ~ TOP234	TOP242 ~ TOP250
1994 年	1997 年	2000 年 1 月	2000 年 11 月
三端器件		五端器件 适配微控制器 (MCU)	六端/五端器件 适配微控制器 (MCU)
最大输出功率 $P_{OM} \leq 150W$		$P_{OM} \leq 75W$	$P_{OM} \leq 290W$
开关频率 $f = 100kHz$		$f = 130kHz/65kHz$	$f = 132kHz/66kHz$
交流输入电压范围 $U = 85 \sim 265V$ (宽范围输入) 或 $220 (1 \pm 15\%) V$ (固定输入)			
电源效率 $\eta \approx 80\%$			

表 1-1-2 微型单片开关电源的产品分类

第一代产品		第二代产品	
TinySwitch 系列		TinySwitch-II 系列	
TNY253 ~ TNY 255	TNY256	TNY264 ~ TNY268	
1998 年	1999 年	2001 年 3 月	
四端器件			
$P_{OM} \leq 10W$	$P_{OM} \leq 19W$	$P_{OM} \leq 23W$	
$f = 44kHz$	$f = 130kHz$	$f = 132kHz$	

表 1-1-3 4 种高效节能型单片开关电源的产品分类

LinkSwitch 系列	LinkSwitch-TN 系列	LinkSwitch-HF 系列	DPA-Switch 系列
恒压/恒流式单片开关电源	隔离式节能单片开关电源	隔离式增强型单片开关电源	单片 DC/DC 电源变换器
LNK500、LNK501、LNK520	LNK304P ~ LNK306	LNK353、LNK354	DPA423 ~ DPA426
2002 年 9 月 ~ 2004 年 3 月	2004 年 1 月	2004 年 10 月	2002 年
三端器件	四端器件	四端器件	六端器件
$P_o < 5.5W$	$I_o < 360mA$	$P_o < 5W$	$P_o < 100W$
$f = 42kHz$	$f = 66kHz$	$f = 200kHz$	$f = 400kHz/300kHz$

2005 ~ 2006 年, PI 公司最新推出了 LinkSwitch-XT 系列隔离式、节能型单片开关电源, LinkSwitch-LP 系列隔离式、节能型单片开关电源, TinySwitch-III 系列微型单片开关电源, PeakSwitch 系列峰值功率输出式单片开关电源, 见表 1-1-4。

表 1-1-4 4 种新型单片开关电源的产品分类

LinkSwitch-XT 系列	LinkSwitch-LP 系列	TinySwitch-III 系列	PeakSwitch 系列
隔离式、节能型 单片开关电源	隔离式、节能型 单片开关电源	微型单片 开关电源	峰值功率输出式 单片开关电源
LNK362P/G ~ LNK364P/G	LNK562P/G ~ LNK564P/G	LNK274 P/G ~ LNK280 P/G	PKS603P、PKS603P/Y/F ~ PKS606P/Y/F
2005 年 12 月	2005 年 10 月	2006 年 4 月	2006 年 6 月

(续)

LinkSwitch-XT 系列	LinkSwitch-LP 系列	TinySwitch-III 系列	PeakSwitch 系列
四端器件	四端器件	四端器件	六端器件
$P_o < 9W$	$P_o < 3W$	$P_o < 36.5 W$	$P_o < 117W$
$f = 132kHz$	$f = 66kHz、83kHz、100kHz$ (与产品型号有关)	$f = 132kHz$	$f = 277kHz$

## 第二节 单片开关电源的主要特点

单片开关电源集成电路具有高集成度、高性价比、最简外围电路、最佳性能指标、能构成高效率无工频变压器的隔离式开关电源等特点。目前,由 PI 公司生产的单片开关电源已形成了 14 大系列、100 多种型号的产品。各系列产品的主要特点见表 1-2-1。

表 1-2-1 单片开关电源的主要特点

产品系列或型号	主要特点
TOPSwitch 系列	三端单片开关电源的第一代产品。内含振荡器、误差放大器、脉宽调制器、门电路、高压功率开关管 (MOSFET)、偏置电路、过电流保护电路、过热保护及上电复位电路、关断/自动重新启动电路。能以最简方式构成无工频变压器的反激式开关电源。交流输入电压范围是 85 ~ 265V, 或 220 (1 ± 15%) V。开关频率为 100kHz, 占空比调节范围是 1.7% ~ 67%。最大输出功率为 150W, 电源效率为 80% 左右
TOPSwitch-II 系列	三端单片开关电源的第二代产品。内部功率开关管的耐压值均提高到 700V, 适宜制作 150W 以下的普通型和精密型开关电源或电源模块
TOPSwitch-FX 系列	单片开关电源第三代产品。具有多功能、使用灵活、效率高、适配微控制器等优点。与 TOPSwitch-II 相比, 主要增加了下述功能: 从外部设定极限电流值、软启动、频率抖动、过电压关断、欠电压保护、过热滞后关断、遥控、同步。能配微控制器或局域网, 远程启动或关断开关电源。最大输出功率为 75W
TOPSwitch-GX 系列	单片开关电源第四代产品。最大输出功率从 75W 扩展到 290W。新增加了线路检测端 (L) 和从外部设定极限电流端 (X) 这两个引脚, 用来代替 TOPSwitch-FX 的多功能端 (M) 的全部控制功能, 使用更加灵活、方便。将开关频率提高到 132kHz, 这有助于减小高频变压器及整个开关电源的体积。当开关电源的负载很轻时, 能自动将开关频率从 132kHz 降低到 30kHz (半频模式下则由 66kHz 降至 15kHz), 可降低开关损耗, 进一步提高电源效率。采用了被称作 EcoSmart® 的节能新技术, 显著降低了在远程通/断模式下芯片的功耗
PeakSwitch 系列	适用于对峰值输出功率与连续输出功率的比值要求很高的领域。最大连续输出功率、最大峰值输出功率范围分别为 13 ~ 68W、25 ~ 110W。开关频率达到 277kHz, 允许选择尺寸较小的高频变压器, 并能减少外围元件数量。采用自适应电流极限调整技术, 来降低输出过载功率; 采用自适应开关周期导通时间控制技术, 提高低输入电压时的峰值输出功率, 并减少输入滤波电容的电容量; 利用智能化交流电压检测及重新上电后快速复位的技术, 能降低过载输出功率。采用简单的开/关控制, 无须环路补偿, 能简化外围电路

(续)

产品系列或型号	主要特点
TinySwitch 系列	四端小功率、低成本单片开关电源, 比 TOPSwitch-II 增加了使能端, 利用该端可从外部关断 MOSFET。它用开/关控制器来代替脉宽调制器 (PWM), 可等效为脉频调制器 (PFM)。适合构成 10W 以下的电源适配器、电池充电器和待机电源。TNY256 还增加了自动重启计数器、欠电压检测电路和频率抖动特性, 并将最大输出功率提高到 19W
TinySwitch-II 系列	最大输出功率提高到 23W, 进一步降低了芯片的功耗。开关频率从 44kHz 提高到 132kHz, 这不仅能提高电源转换效率, 还允许使用低价格、小尺寸的磁心, 减小高频变压器的体积。芯片内部增加了自动重启计数器、极限电流状态机和输入欠电压检测电路。一旦发生输出短路、控制环开路或者掉电故障, 均能保护芯片不受损坏。将 TinySwitch 的使能端 (EN) 改为双功能引出端“使能/欠电压端” (EN/UV)。增加了开关频率抖动功能, 能有效抑制音频噪声和开关噪声。此外, 它还降低了功率 MOSFET 漏极极限电流的容许偏差
TinySwitch-III 系列	高效节能、高度集成、低成本等特点, 输出功率范围是 5~28.5W。采用开/关控制方式, 能在任何负载要求下达到恒定的电源效率。通过选择 BP/M 端的电容量, 可从外部设定极限电流值。在用相邻型号进行替换时, 无须重新设计高频变压器, 也不用改变外围元件。具有输入欠电压保护、输出过电压保护功能。降低了最大过载功率, 从而可降低高频变压器、钳位电路及二次侧元器件的成本。空载功耗低于 150mW; 增加偏置绕组后可降到 50mW 以下
LinkSwitch 系列	采用 EcoSmart® 节能技术, 适合构成具有恒压/恒流 (CV/CC) 输出特性的特种开关电源。用作电源适配器时, 芯片工作在恒压区, 可为负载提供稳定的电压, 此时恒流区用来提供过载保护及短路时的自动重启保护。用作电池充电器时, 芯片工作在恒流区, 充电完毕自动转入恒压区。在宽范围输入 (交流 85~265V) 时, 最大输出功率为 3W, 交流 230V 固定输入时, 最大输出功率为 4W。外围电路简单, 成本低廉, 价格能与线性电源相媲美
LinkSwitch-TN 系列	能以最少数量的外围元件构成非隔离式微型节能开关电源。与传统的“无源 (靠电容降压)”解决方案相比, LinkSwitch-TN 能达到比电容降压式线性稳压电源更高的效率。其外围电路简单, 使用灵活, 既可设计成正压输出的降压式 (Buck) 电路, 亦可设计成负压输出的升降压式 (Buck-Boost) 电路、降压式 LED 恒流驱动电路, 可满足不同用户的需要。输入电压范围宽。有两种工作模式可供选择: 连续模式 (CUM), 不连续模式 (DUM)。抗干扰能力强, 利用频率抖动技术能将电磁干扰降低 10dB。最大输出电流为 360mA, 适用于家用电器中的控制电源以及 LED 点阵驱动器
LinkSwitch-HF 系列	采用 EcoSmart® 节能技术, 适合构成恒压/恒流输出式开关电源, 交流输入电压范围宽, 最大输出功率一般为 3W, 开关频率达 200kHz, 能减小高频变压器的体积与成本。具有短路和开路保护功能。采用频率抖动技术, 以降低电磁干扰。高效节能, 在 AC265V 的输入下, 功耗低于 300mW。不需要环路补偿, 即可实现 ON/OFF (通/断) 控制。外围电路简单, 成本低廉。适用于 3W 以下的手机、无线电话、个人数字助理 (PDA)、数码相机、MP3 及便携式音频设备的充电器, 或用于 5W 以下的备用电源
LinkSwitch-XT 系列	它具有全世界通用的输入范围, 适配 230 (1±15%) V 或 85~265V 的交流电, 最大输出功率为 9W, 可取代小功率线性电源。其外围电路简单, 不需要使用钳位保护电路, 也不需要反馈绕组及环路补偿电路, 成本低廉, 电源效率高, 安全性好。采用频率抖动技术, 具有自动重启、过热保护等功能



(续)

产品系列或型号	主要特点
LinkSwitch-LP 系列	它具有外围元件数量少、不需要使用钳位保护电路、稳压性能好、电源效率高、成本低廉等优点,最大输出功率为3W。LinkSwitch-LP采用频率抖动技术来抑制电磁干扰,允许使用低成本的EMI滤波器;它通过简单的开/关控制,无须环路补偿。适配230(1±15%)V或85~265V的交流电,可取代小功率线性电源。适合构成手机、PDA、电动工具、MP3、电动剃须刀的充电器
DPA-Switch 系列	采用CMOS工艺制成的高集成度DC/DC电源变换器,直流输入电压的允许范围是16~75V。可采用正激式、反激式两种工作模式。在PI公司的产品中,以DPA-Switch系列的开关频率为最高,能减小高频变压器的体积,提高环路带宽。开关频率可设定为400kHz或300kHz。电源效率高,低功耗。能实现同步功能,使DPA-Switch的工作频率与外部时钟保持同步。利用外部逻辑信号还可遥控开关电源的通/断

### 第三节 单片开关电源的工作原理

开关电源分脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)、脉频调制(Pulse Frequency Modulation, PFM)两种工作方式。脉宽调制的特点是固定开关频率,通过改变脉冲宽度来调节占空比;脉频调制则是将脉冲宽度固定,通过改变频率来调节占空比的,两者均可实现稳压的目的。目前生产的单片开关电源均采用PWM方式。

#### 一、脉宽调制器的工作原理

脉宽调制式开关电源的工作原理如图1-3-1所示。220V交流电首先经过整流滤波电路变成直流电压,再由功率开关管VT斩波、高频变压器T降压,得到高频矩形波电压,最后通过整流滤波后获得所需要的直流输出电压 $U_o$ 。脉宽调制器能产生频率固定而脉冲宽度可调的驱动信号,控制功率开关管的通断状态,进而调节输出电压的高低,达到稳压的目的。输出电压 $U_o$ 经 $R_1$ 、 $R_2$ 取样后,送至误差放大器的反相输入端,与加在同相输入端的基准电压 $U_{REF}$ 进行比较,得到误差电压 $U_r$ ,再用 $U_r$ 的幅度去控制PWM比较器输出的脉冲宽度,最后经过功率放大和降压式输出电路使 $U_o$ 保持不变。 $U_J$ 为锯齿波发生器的输出信号。

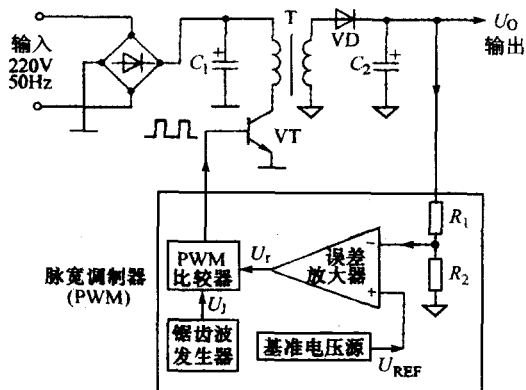


图 1-3-1 脉宽调制式开关电源的工作原理

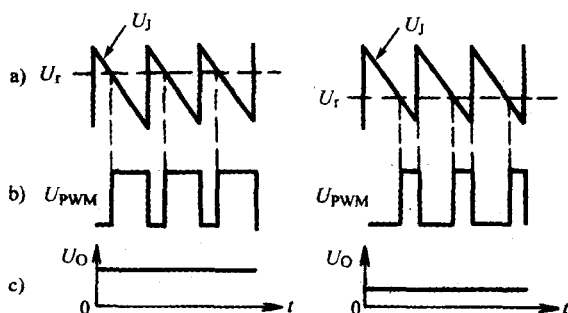


图 1-3-2 自动稳压过程的波形图