

# 新型单片开关电源 的设计与应用



沙占友 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

# 新型单片开关电源的设计与应用

沙占友 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

单片开关电源集成电路于 20 世纪 90 年代中、后期问世以来,在国际上获得广泛应用,已成为开发中、小功率无工频变压器式高效开关电源的首选产品。本书从实用角度出发,全面系统深入地阐述了单片开关电源的设计与应用。全书共 10 章。第 1 至 4 章分别介绍了六大系列 TOPSwitch、TOPSwitch—II、TinySwitch、TNY256、MC33370、TOPSwitch—FX 等 67 种型号的单片开关电源集成电路的原理与应用。第 5 章讲述 L4960、L4970/4970A 系列 15 种型号的单片开关式稳压器。第 6 章介绍 16 种单片开关电源模块的设计。第 7 章阐述单片开关电源的特殊应用。第 8、9、10 章分别介绍单片开关电源的设计指南、电磁兼容性测试技术、外围电路关键元器件的选择。这是国内第一部关于单片开关电源的专著,充分反映了该领域的国内外最新研究成果。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,具有科学性、先进性与很高的实用价值,可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

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,翻版必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

新型单片开关电源的设计与应用/沙占友等编著. —北京:电子工业出版社,2001.6

ISBN 7-5053-4880-9

I. 新... II. 沙... III. 单片电路-开关电源 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 88374 号

书 名: 新型单片开关电源的设计与应用

编 著 者: 沙占友 等

责任编辑: 魏永昌

特约编辑: 李双庆

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 河北省涿州桃园装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.75 字数: 552 千字

版 次: 2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-4880-9  
TN·1184

印 数: 6 000 册 定价: 30.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

## 《新型单片开关电源的设计与应用》编委会

主 编 沙占友

副 主 编 庞志锋 王晓君 李春明 张 英 王彦朋 张苏英

沙 江 唱春来 武卫东

编 委 沙占友 李学芝 庞志锋 王晓君 李春明 张 英

王彦朋 张苏英 刘彦民 唱春来 武卫东 张华冲

陈书旺 郑 广 杨奎河 曲国明 沙 江 远松灵

蔡仲林 沙 莎 蔡云天 陈庆华 刘玉琪 宋毓敏

张文清 宋怀文 陈 明 张 玮

责任编辑 魏永昌

## 前 言

开关电源被誉为高效节能型电源,它代表着稳压电源的发展方向,现已成为稳压电源的主流产品。半个世纪以来,开关电源大致经历了四个发展阶段。早期的开关电源全部由分立元件构成,不仅开关频率低,效率不高,而且电路复杂,不易调试。20世纪70年代研制出的脉宽调制器集成电路,仅对开关电源中的控制电路实现了集成化。80年代问世的单片开关式稳压器,将脉宽调制器、功率输出级、保护电路等集成在一个芯片中,但需配工频变压器与电网隔离,从本质上讲它仍属于DC/DC电源变换器。直到90年代中、后期,随着各种类型单片开关电源集成电路(以下简称单片开关电源)的问世,AC/DC电源变换器的集成化才终于变成了现实。

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、最佳性能指标等优点,能构成高效率无工频变压器的隔离式开关电源。各种单片开关电源自1994~2000年陆续推出以来,逐渐显示出其强大的生命力,目前已成为国际上开发中、小功率开关电源、精密开关电源及开关电源模块的优选集成电路。它被广泛用于仪器仪表,办公自动化设备,无线通信设备,笔记本电脑,彩色电视机,摄、录像机,AC/DC电源适配器等领域。所构成的开关电源在成本上与相同功率的线性稳压电源相当,而其电源效率显著提高,体积与重量大为减小。这就为新型开关电源的推广与普及,创造了良好条件。

鉴于目前国内尚未出版过专门介绍单片开关电源的著作,而广大读者又迫切需要掌握该领域的新技术,我们专门就近年来在从事教学与科研工作中积累的经验及部分科研成果进行了系统总结,并参考国内外厂家提供的最新资料后撰成此书,以飨广大读者。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体,主要有以下特点:

第一,全面、深入地阐述了国内外在单片开关电源领域的新技术和新成果。主要包括TOPSwitch、TOPSwitch—II、TinySwitch、TNY256、MC33370、TOPSwitch—FX、L4960、L4970/4970A等八大系列80余种型号单片开关电源的设计原理、典型应用和特殊应用、设计方法与检测技术。特别是关于利用计算机设计单片开关电源的方法步骤,提高电源效率的方法,适配微控制器(MCU)的单片开关电源电路设计,精密开关电源及电源模块的设计,电磁兼容性设计,均反映出该领域的国际最新科技成果。

第二,结构严谨,条理清晰,逻辑性强。内容由浅入深,循序渐进。例如,首先介绍三端单片开关电源,然后分别介绍四端、五端单片开关电源。全书大致分成两部分:第1章至第5章详细介绍了各种单片开关电源的工作原理及应用电路,第6章至第10章重点阐述单片开关电源的设计。该书以原理为基础,把设计列为核心技术,将应用做为重点。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,具有很高的实用价值。全书不仅给出上百种单片开关电源及电源模块的电路,还详细介绍了改进方法、总电路设计及印制板设计、电磁兼容性设计、关键元器件的选择与代换、常见故障分析及检测方法。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、家用电器等领域的新产品,均具有重要参考价值。

第四,信息量大,知识面宽,便于读者触类旁通,灵活运用。

沙占友教授任本书主编,庞志锋、王晓君、李春明、张英、王彦朋、张苏英、沙江、唱春来、武卫东任副主编。沙占友撰写了第2章、第3章、第4章和第8章,并完成了全书的审阅与统稿工作。李学芝绘制并审阅了全部插图。庞志锋撰写了第1章。沙江、郑广、陈书旺合撰了第5章。王晓君、武卫东合撰了第6章,张英、刘彦民、远松灵合撰了第7章。李春明、唱春来、张华冲、蔡仲林合撰了第9章。庞志锋、王彦朋、曲国明、杨奎河合撰了第10章。参加本书撰写工作的还有沙莎、蔡云天、陈庆华、刘玉琪、宋毓敏、张文清、宋怀文、陈明、张玮同志。

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

|                                          |        |
|------------------------------------------|--------|
| 第 1 章 单片开关电源概述 .....                     | ( 1 )  |
| 1.1 开关电源的发展趋势 .....                      | ( 1 )  |
| 1.1.1 开关电源的发展历史 .....                    | ( 1 )  |
| 1.1.2 单片开关电源的发展趋势 .....                  | ( 1 )  |
| 1.2 开关电源的基本原理 .....                      | ( 2 )  |
| 1.2.1 开关电源的控制方式 .....                    | ( 2 )  |
| 1.2.2 脉宽调制式开关电源的基本原理 .....               | ( 3 )  |
| 1.3 单片开关电源的产品分类及主要特点 .....               | ( 4 )  |
| 1.4 单片开关电源的基本原理及反馈电路类型 .....             | ( 6 )  |
| 1.4.1 单片开关电源的基本原理 .....                  | ( 6 )  |
| 1.4.2 单片开关电源的两种工作模式 .....                | ( 7 )  |
| 1.4.3 反馈电路的四种基本类型 .....                  | ( 7 )  |
| 1.5 单片开关电源典型产品的技术指标 .....                | ( 8 )  |
| 第 2 章 三端单片开关电源的原理与应用 .....               | ( 10 ) |
| 2.1 TOPSwitch—II 系列的产品分类及性能特点 .....      | ( 10 ) |
| 2.1.1 TOPSwitch—II 的产品分类 .....           | ( 10 ) |
| 2.1.2 TOPSwitch—II 的性能特点 .....           | ( 10 ) |
| 2.2 TOPSwitch—II 系列单片开关电源的工作原理 .....     | ( 12 ) |
| 2.3 TOPSwitch—II 系列单片开关电源的典型应用 .....     | ( 17 ) |
| 2.3.1 4W 后备式开关电源 .....                   | ( 17 ) |
| 2.3.2 由 TOP227Y 构成的 150W 精密开关电源 .....    | ( 18 ) |
| 2.4 TOPSwitch—II 的使用注意事项 .....           | ( 20 ) |
| 2.5 TOPSwitch—II 的检测方法 .....             | ( 22 ) |
| 2.5.1 性能测试 .....                         | ( 22 ) |
| 2.5.2 测试漏-源击穿电压和关断时的漏极电流 .....           | ( 23 ) |
| 2.5.3 测量各管脚之间的电阻值 .....                  | ( 23 ) |
| 2.6 TOP100/200 系列单片开关电源的特点及应用 .....      | ( 24 ) |
| 2.6.1 TOP100 系列的产品分类及性能特点 .....          | ( 24 ) |
| 2.6.2 TOP100 系列的典型应用 .....               | ( 25 ) |
| 2.6.3 TOP200 系列的产品分类及性能特点 .....          | ( 27 ) |
| 2.7 TOP209/210 系列高效低功率单片开关电源的特点与应用 ..... | ( 28 ) |
| 2.7.1 TOP209/210 系列的产品分类及性能特点 .....      | ( 28 ) |
| 2.7.2 TOP210 的典型应用 .....                 | ( 29 ) |
| 2.8 WS157/106 系列单片开关电源的原理与应用 .....       | ( 30 ) |

|              |                            |             |
|--------------|----------------------------|-------------|
| 2.8.1        | WS157 型单片开关电源的性能特点         | (30)        |
| 2.8.2        | WS157、WS106 的原理与应用         | (31)        |
| 2.9          | 三端单片开关电源的故障分析              | (33)        |
| 2.9.1        | 一般性故障的检修方法                 | (33)        |
| 2.9.2        | 基本反馈电路的检修方法                | (36)        |
| 2.9.3        | 带 TL431 的精密光耦反馈电路检修方法      | (36)        |
| 2.9.4        | 功率因数校正电路的检修方法              | (37)        |
| <b>第 3 章</b> | <b>四端单片开关电源的原理与应用</b>      | <b>(38)</b> |
| 3.1          | TinySwitch 系列的产品分类及性能特点    | (38)        |
| 3.1.1        | TinySwitch 系列的产品分类         | (38)        |
| 3.1.2        | TinySwitch 系列的性能特点         | (38)        |
| 3.2          | TinySwitch 系列单片开关电源的工作原理   | (39)        |
| 3.2.1        | TinySwitch 系列的管脚排列         | (39)        |
| 3.2.2        | TinySwitch 系列的工作原理         | (39)        |
| 3.3          | TinySwitch 系列单片开关电源的典型应用   | (43)        |
| 3.3.1        | 彩色电视机用 1.3W 待机电源           | (43)        |
| 3.3.2        | 计算机用 10W 待机电源              | (44)        |
| 3.3.3        | 手机电池恒流充电器                  | (44)        |
| 3.3.4        | 220V 插头式 AC/DC 电源适配器       | (45)        |
| 3.4          | TinySwitch 的使用注意事项         | (46)        |
| 3.5          | TinySwitch 系列单片开关电源的其他应用电路 | (47)        |
| 3.5.1        | 3.6W 手机电池充电器               | (47)        |
| 3.5.2        | 1.5W 的 AC/DC 电源适配器         | (48)        |
| 3.5.3        | 1.3W 彩电待机电源                | (48)        |
| 3.6          | TNY256 系列单片开关电源的原理与应用      | (49)        |
| 3.6.1        | TNY256 系列的性能特点与工作原理        | (49)        |
| 3.6.2        | TNY256 系列单片开关电源的典型应用       | (50)        |
| <b>第 4 章</b> | <b>五端单片开关电源的原理与应用</b>      | <b>(52)</b> |
| 4.1          | MC33370 系列的产品分类及性能特点       | (52)        |
| 4.1.1        | MC33370 系列的产品分类            | (52)        |
| 4.1.2        | MC33370 系列的性能特点            | (53)        |
| 4.2          | MC33370 系列单片开关电源的工作原理      | (54)        |
| 4.2.1        | MC33370 系列的管脚功能            | (54)        |
| 4.2.2        | MC33370 系列单片开关电源的工作原理      | (55)        |
| 4.3          | 状态控制器的工作原理与接口电路            | (62)        |
| 4.4          | MC33370 系列单片开关电源的典型应用      | (66)        |
| 4.4.1        | 由 MC33374 构成的 52W 开关电源     | (66)        |
| 4.4.2        | 由 MC33374 构成的 90W 开关电源     | (67)        |
| 4.4.3        | 单片开关电源通用印制板的设计             | (68)        |
| 4.5          | MC33370 系列单片开关电源的特殊应用      | (69)        |

|                                               |             |
|-----------------------------------------------|-------------|
| 4.5.1 去掉反馈电路的方法 .....                         | (69)        |
| 4.5.2 其他特殊应用电路 .....                          | (70)        |
| 4.6 MC33370 系列的检测方法及使用注意事项 .....              | (72)        |
| 4.6.1 检测方法 .....                              | (72)        |
| 4.6.2 使用注意事项 .....                            | (72)        |
| 4.7 TOPSwitch—FX 系列单片开关电源的产品分类及性能特点 .....     | (74)        |
| 4.7.1 TOPSwitch—FX 系列单片开关电源的产品分类 .....        | (74)        |
| 4.7.2 TOPSwitch—FX 系列的性能特点 .....              | (75)        |
| 4.7.3 TOPSwitch—FX 与 TOPSwitch—II 的性能比较 ..... | (76)        |
| 4.8 TOPSwitch—FX 系列单片开关电源的工作原理 .....          | (77)        |
| 4.8.1 TOPSwitch—FX 系列的管脚功能 .....              | (78)        |
| 4.8.2 TOPSwitch—FX 系列的工作原理 .....              | (78)        |
| 4.9 开关频率选择端和多功能端的应用电路 .....                   | (85)        |
| 4.9.1 开关频率选择端的 3 种应用电路 .....                  | (85)        |
| 4.9.2 多功能端的 11 种应用电路 .....                    | (85)        |
| 4.10 TOPSwitch—FX 系列单片开关电源的典型应用 .....         | (89)        |
| 4.10.1 能进行外部限流的 12V、30W 开关电源 .....            | (90)        |
| 4.10.2 多路输出的 35W 机顶盒开关电源 .....                | (91)        |
| 4.10.3 5V 和 3.3V 输出的 17W PC 机待机电源 .....       | (92)        |
| 4.10.4 由微控制器控制的开关电源 .....                     | (93)        |
| 4.11 TOPSwitch—FX 系列的使用注意事项 .....             | (94)        |
| 4.11.1 关键元器件的选择 .....                         | (94)        |
| 4.11.2 印制板设计 .....                            | (95)        |
| 4.11.3 性能测试 .....                             | (96)        |
| <b>第 5 章 多端单片开关式稳压器的原理与应用 .....</b>           | <b>(98)</b> |
| 5.1 单片开关式稳压器的产品分类及性能特点 .....                  | (98)        |
| 5.1.1 产品分类 .....                              | (98)        |
| 5.1.2 性能特点 .....                              | (99)        |
| 5.2 由 L4960/4962 构成的单片开关电源 .....              | (99)        |
| 5.2.1 L4960 和 L4962 的工作原理 .....               | (99)        |
| 5.2.2 由 L4960 构成的单片开关电源 .....                 | (103)       |
| 5.2.3 使用注意事项 .....                            | (105)       |
| 5.3 由 L296 构成的大电流单片开关电源 .....                 | (106)       |
| 5.3.1 L296 的性能特点 .....                        | (106)       |
| 5.3.2 L296 的工作原理 .....                        | (106)       |
| 5.3.3 L296 的应用技巧 .....                        | (108)       |
| 5.4 由 L4970A 系列构成的大功率单片开关电源 .....             | (111)       |
| 5.4.1 L4970A 系列的性能特点 .....                    | (112)       |
| 5.4.2 L4970A 的工作原理 .....                      | (112)       |
| 5.4.3 由 L4970A 构成的单片开关电源 .....                | (115)       |

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| 5.5 单片开关式稳压器的检测方法 .....                      | (119) |
| 5.5.1 检测单片开关式稳压器 .....                       | (119) |
| 5.5.2 单片开关电源的性能测试 .....                      | (120) |
| 5.6 集成稳压器的散热器设计 .....                        | (121) |
| 5.6.1 散热器的设计原理 .....                         | (122) |
| 5.6.2 散热器的设计方法 .....                         | (122) |
| 5.6.3 散热器的设计实例 .....                         | (124) |
| 5.6.4 成品散热器的选择方法 .....                       | (125) |
| <b>第6章 单片开关电源模块的设计</b> .....                 | (127) |
| 6.1 开关电源模块的特点及产品分类 .....                     | (127) |
| 6.1.1 开关电源模块的特点 .....                        | (127) |
| 6.1.2 开关电源模块的产品分类 .....                      | (128) |
| 6.2 PS 系列 5W、3.44W 开关电源模块 .....              | (128) |
| 6.2.1 PS 系列单片开关电源模块的性能指标 .....               | (129) |
| 6.2.2 PS 系列开关电源模块内部电路原理 .....                | (130) |
| 6.3 由 TOP200Y 构成的 5V、5W 开关电源模块 .....         | (131) |
| 6.3.1 性能特点和技术指标 .....                        | (131) |
| 6.3.2 5V、5W 开关电源模块的电路设计 .....                | (132) |
| 6.3.3 电路改进方案 .....                           | (133) |
| 6.4 由 TOP202Y 构成的 7.5V、15W 开关电源模块 .....      | (133) |
| 6.4.1 性能特点和技术指标 .....                        | (134) |
| 6.4.2 7.5V、15W 开关电源模块的电路设计 .....             | (134) |
| 6.5 由 TOP204Y 构成的 15V、30W 精密开关电源模块 .....     | (136) |
| 6.5.1 性能特点和技术指标 .....                        | (136) |
| 6.5.2 15V、30W 精密开关电源模块的电路设计 .....            | (137) |
| 6.6 由 TOP209P 构成的三种开关电源模块 .....              | (138) |
| 6.6.1 性能特点 .....                             | (138) |
| 6.6.2 5V、2W 开关电源模块的设计 .....                  | (139) |
| 6.6.3 5V、500mW 及 5V、100mW 开关电源模块的电路设计 .....  | (140) |
| 6.7 由 TOP210P 构成的 5V、4W 开关电源模块 .....         | (142) |
| 6.7.1 性能特点和技术指标 .....                        | (142) |
| 6.7.2 5V、4W 开关电源模块的电路设计及改进电路 .....           | (142) |
| 6.8 由 TOP210P 构成的 12V、8W 开关电源模块 .....        | (144) |
| 6.8.1 性能特点和技术指标 .....                        | (144) |
| 6.8.2 12V、8W 开关电源模块的电路设计 .....               | (144) |
| 6.9 由 TOP221P 构成的 5V、3.5W 精密开关电源模块 .....     | (146) |
| 6.9.1 性能特点和技术指标 .....                        | (146) |
| 6.9.2 5V、3.5W 开关电源的设计原理与改进电路 .....           | (146) |
| 6.10 由 TOP223Y 构成的 5V、3.3V 两路输出的开关电源模块 ..... | (148) |
| 6.10.1 性能特点和技术指标 .....                       | (148) |

|        |                              |       |
|--------|------------------------------|-------|
| 6.10.2 | 15.3W 两路输出开关电源模块的电路设计        | (149) |
| 6.11   | 由 TOP224P 构成的 12V、20W 开关电源模块 | (150) |
| 6.11.1 | 性能特点和技术指标                    | (150) |
| 6.11.2 | 12V、20W 开关电源模块的电路设计          | (150) |
| 6.11.3 | 高频变压器的绕制方法及性能测试              | (153) |
| 6.12   | 由 TNY254P 构成的 9V、3W 开关电源模块   | (154) |
| 6.12.1 | 性能特点和技术指标                    | (154) |
| 6.12.2 | 9V、3W 开关电源模块的电路设计            | (154) |
| 第 7 章  | 单片开关电源的特殊应用                  | (156) |
| 7.1    | 复合式开关电源                      | (156) |
| 7.1.1  | 单路输出复合式开关电源                  | (156) |
| 7.1.2  | 多路输出复合式开关电源                  | (158) |
| 7.2    | 非隔离式开关电源                     | (158) |
| 7.3    | 恒压/恒流输出式开关电源                 | (160) |
| 7.3.1  | 恒压/恒流输出式开关电源的工作原理            | (160) |
| 7.3.2  | 恒压/恒流输出式开关电源的电路设计            | (161) |
| 7.4    | 精密恒压/恒流输出式开关电源               | (163) |
| 7.4.1  | 精密恒压/恒流输出式开关电源的工作原理          | (164) |
| 7.4.2  | 精密恒压/恒流输出式开关电源的电路设计          | (165) |
| 7.5    | 用于通信设备中的 DC/DC 电源交换器         | (166) |
| 7.5.1  | 输出功率范围与直流输入电压的关系             | (166) |
| 7.5.2  | 供通信设备用的三种 DC/DC 电源变换器        | (167) |
| 7.6    | 截流输出式开关电源                    | (169) |
| 7.6.1  | 截流输出式开关电源                    | (169) |
| 7.6.2  | 恒流/截流输出式开关电源                 | (171) |
| 7.7    | 恒功率输出式开关电源                   | (171) |
| 7.7.1  | 恒功率输出式开关电源的工作原理              | (171) |
| 7.7.2  | 恒功率输出式开关电源的设计要点              | (173) |
| 第 8 章  | 单片开关电源设计指南                   | (174) |
| 8.1    | 单片开关电源的设计要点                  | (174) |
| 8.2    | 单片开关电源工作模式的设定                | (180) |
| 8.2.1  | 连续模式与不连续模式的设定                | (180) |
| 8.2.2  | 两种工作模式的功耗比较                  | (181) |
| 8.3    | 两种工作模式的反馈理论分析                | (182) |
| 8.3.1  | 基本反馈过程                       | (182) |
| 8.3.2  | 理想情况下两种工作模式的反馈原理             | (183) |
| 8.3.3  | 实际情况下两种工作模式的反馈原理             | (185) |
| 8.4    | 单片开关电源保护电路的设计                | (186) |
| 8.4.1  | 保护电路的分类                      | (186) |
| 8.4.2  | 输出过压保护电路的设计                  | (187) |

|                                                        |       |
|--------------------------------------------------------|-------|
| 8.4.3 输入欠压保护电路的设计 .....                                | (188) |
| 8.4.4 软启动电路的设计 .....                                   | (190) |
| 8.5 单片开关电源的快速设计法 .....                                 | (190) |
| 8.5.1 TOPSwitch—II 的 $P_D$ 与 $\eta$ 、 $P_O$ 关系曲线 ..... | (191) |
| 8.5.2 正确选择 TOPSwitch—II 芯片的方法 .....                    | (191) |
| 8.5.3 根据输出功率比来修正等效输出功率等参数 .....                        | (193) |
| 8.5.4 注意事项 .....                                       | (195) |
| 8.6 利用计算机设计三端单片开关电源的程序流程图 .....                        | (196) |
| 8.7 利用计算机设计三端单片开关电源的方法与步骤 .....                        | (198) |
| 8.8 三端单片开关电源设计方法与步骤的说明 .....                           | (204) |
| 8.9 电子数据表格 .....                                       | (208) |
| 8.10 高频变压器的设计 .....                                    | (211) |
| 8.11 高频变压器设计注意事项 .....                                 | (214) |
| 8.11.1 高频变压器的设计步骤及参数分类 .....                           | (214) |
| 8.11.2 两种工作模式下的初、次级波形 .....                            | (216) |
| 8.11.3 其他注意事项 .....                                    | (217) |
| 8.12 多路输出单片开关电源的设计 .....                               | (218) |
| 8.12.1 电路设计方案 .....                                    | (218) |
| 8.12.2 多路输出高频变压器的设计 .....                              | (220) |
| 8.13 多路输出单片开关电源的改进方案 .....                             | (222) |
| 8.13.1 多路输出单片开关电源的改进方案 .....                           | (222) |
| 8.13.2 多路开关电源的特殊电路设计 .....                             | (224) |
| 8.14 多路输出单片开关电源的电子数据表格 .....                           | (225) |
| 8.15 单片开关电源的效率 .....                                   | (228) |
| 8.15.1 单片开关电源与分立开关电源的效率比较 .....                        | (229) |
| 8.15.2 单片精密开关电源模块的效率及功率损耗分析 .....                      | (231) |
| 8.16 提高单片开关电源效率的方法 .....                               | (232) |
| 8.16.1 设计高效率单片开关电源的原则 .....                            | (232) |
| 8.16.2 提高单片开关电源效率的方法 .....                             | (233) |
| 8.17 单片开关电源印制板的设计 .....                                | (239) |
| 8.17.1 TOPSwitch 在印制板上的布局与连线 .....                     | (239) |
| 8.17.2 检查印制板布局合理性的原则 .....                             | (239) |
| 8.18 利用计算机设计 TinySwitch 的程序流程图 .....                   | (240) |
| 8.19 利用计算机设计 TinySwitch 的方法与步骤 .....                   | (243) |
| 8.20 TOPSwitch—FX 的快速设计法 .....                         | (250) |
| 8.20.1 快速选择 TOPSwitch—FX 芯片的方法 .....                   | (250) |
| 8.20.2 关键元件的典型参数表 .....                                | (253) |
| 8.20.3 其他注意事项 .....                                    | (254) |
| 8.21 利用计算机设计 TOPSwitch—FX 的流程图 .....                   | (255) |
| 8.22 利用计算机设计 TOPSwitch—FX 的方法与步骤 .....                 | (258) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第 9 章 单片开关电源的电磁兼容性设计与测试技术  | (264) |
| 9.1 电磁兼容性及其测量设备            | (264) |
| 9.1.1 电磁兼容性的研究领域           | (264) |
| 9.1.2 电磁兼容性的设计与测量          | (266) |
| 9.2 单片开关电源的电磁兼容性设计         | (267) |
| 9.2.1 电磁干扰的波形分析            | (267) |
| 9.2.2 造成电磁干扰的电路模型          | (268) |
| 9.3 EMI 滤波器的电路及其元件配置       | (269) |
| 9.3.1 单片开关电源常用的 EMI 滤波器电路  | (269) |
| 9.3.2 EMI 滤波器的元件配置         | (270) |
| 9.4 抑制瞬态干扰及音频噪声            | (272) |
| 9.4.1 抑制瞬态干扰               | (273) |
| 9.4.2 抑制音频噪声               | (274) |
| 9.5 单片开关电源的测试技术            | (276) |
| 9.5.1 功率测量技术               | (276) |
| 9.5.2 主要参数测试               | (277) |
| 9.6 在线测量技术                 | (278) |
| 9.6.1 在线测量直流电流             | (278) |
| 9.6.2 在线测量电阻               | (280) |
| 9.6.3 在线测量晶体管的 $h_{FE}$ 值  | (282) |
| 9.7 单片开关电源模块的性能测试          | (283) |
| 9.7.1 测试仪表                 | (283) |
| 9.7.2 PS 系列单片开关电源模块的性能测试   | (284) |
| 9.7.3 DK 系列单片开关电源模块的性能测试   | (285) |
| 9.8 单片开关电源的安全性标准           | (286) |
| 9.8.1 安全性标准                | (286) |
| 9.8.2 IEC950 标准简介          | (287) |
| 第 10 章 单片开关电源外围电路中关键元器件的选择 | (288) |
| 10.1 TL431 型可调式精密并联稳压器     | (288) |
| 10.1.1 TL431 的性能特点         | (288) |
| 10.1.2 TL431 的工作原理         | (289) |
| 10.1.3 TL431 的应用技巧         | (290) |
| 10.1.4 TL431 的检测方法         | (292) |
| 10.2 电磁干扰滤波器               | (292) |
| 10.2.1 电磁干扰滤波器的构造原理及应用     | (293) |
| 10.2.2 电磁干扰滤波器的技术参数及测试方法   | (295) |
| 10.3 瞬态电压抑制器               | (296) |
| 10.3.1 瞬态电压抑制器的工作原理及产品分类   | (296) |
| 10.3.2 瞬态电压抑制器的典型应用及检测方法   | (297) |
| 10.4 快恢复及超快恢复二极管           | (298) |

|         |                           |       |
|---------|---------------------------|-------|
| 10.4.1  | 快恢复及超快恢复二极管的性能特点          | (299) |
| 10.4.2  | 检测方法                      | (300) |
| 10.4.3  | 单片开关电源常用超快恢复二极管的选取原则及产品型号 | (300) |
| 10.5    | 肖特基二极管                    | (302) |
| 10.5.1  | 肖特基二极管的工作原理               | (302) |
| 10.5.2  | 单片开关电源常用肖特基二极管的选取原则及产品型号  | (304) |
| 10.6    | 硅整流管及稳压管                  | (305) |
| 10.6.1  | 塑封硅整流管                    | (305) |
| 10.6.2  | 玻封高速开关硅二极管                | (305) |
| 10.6.3  | 玻封稳压管                     | (306) |
| 10.7    | 光耦合器                      | (308) |
| 10.7.1  | 光耦合器的分类及检测方法              | (308) |
| 10.7.2  | 单片开关电源常用光耦合器的选取原则及产品型号    | (311) |
| 10.8    | 自恢复保险丝                    | (312) |
| 10.8.1  | 自恢复保险丝的工作原理及典型应用          | (312) |
| 10.8.2  | 单片开关电源常用自恢复保险丝的选取原则及产品型号  | (316) |
| 10.9    | 熔断电阻器                     | (317) |
| 10.10   | 负温度系数热敏电阻器及软启动功率元件        | (319) |
| 10.10.1 | 负温度系数热敏电阻器及软启动功率元件简介      | (319) |
| 10.10.2 | 检测方法                      | (321) |
| 10.11   | 软磁铁氧体磁芯                   | (322) |
| 10.11.1 | 软磁铁氧体磁芯的性能与产品规格           | (322) |
| 10.11.2 | 单片开关电源中高频变压器磁芯的选择         | (324) |
| 10.12   | 漆包线与三重绝缘线                 | (325) |
| 10.12.1 | 漆包线                       | (325) |
| 10.12.2 | 三重绝缘线                     | (327) |
| 参考文献    |                           | (330) |

## 第1章 单片开关电源概述

单片开关电源自20世纪90年代中期问世以来,便显示出强大的生命力,并以其优良特性倍受人们的青睐。目前,它已成为开发国际通用的高效率中、小功率开关电源的优选IC,也为新型开关电源的推广和普及创造了条件。本章首先阐述开关电源的发展趋势和基本工作原理,然后简要介绍单片开关电源的产品分类、主要特点、工作模式及反馈电路类型,最后给出几种单片开关电源典型产品的技术指标。

### 1.1 开关电源的发展趋势

电源是各种电子设备必不可缺的组成部分,其性能优劣直接关系到电子设备的技术指标及能否安全可靠地工作。目前常用的直流稳压电源分线性电源和开关电源两大类。线性稳压电源亦称串联调整式稳压电源,其稳压性能好,输出纹波电压很小,但它必须使用笨重的工频变压器与电网进行隔离,并且调整管的功率损耗较大,致使电源的体积和重量大、效率低。开关电源SPS(Switching Power Supply)被誉为高效节能电源,它代表着稳压电源的发展方向,现已成为稳压电源的主流产品。开关电源内部关键元器件工作在高频开关状态,本身消耗的能量很低,电源效率可达80%~90%,比普通线性稳压电源提高近一倍。开关电源亦称无工频变压器的电源,它是利用体积很小的高频变压器来实现电压变换及电网隔离的,不仅能去掉笨重的工频变压器,还可采用体积较小的滤波元件和散热器,这就为研究与开发高效率、高密度、高可靠性、体积小、重量轻的开关电源奠定了基础。

#### 1.1.1 开关电源的发展历史

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功率开关管(MOS-FET)、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)、自恢复保险丝(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)、高导磁率磁性材料、由非晶合金制成的磁珠(magnetic bead)、三重绝缘线(Triple Insulated Wire)、玻璃珠(glass beads)胶合剂等一大批新器件、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。

#### 1.1.2 单片开关电源的发展趋势

近20多年来,集成开关电源沿着下述两个方向不断发展。第一个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脉宽调制(PWM)控制器集成电

路,美国摩托罗拉(Motorola)公司、硅通用(Silicon General)公司、尤尼特德(Unitrode)公司等相继推出一批 PWM 芯片,典型产品有 MC3520、SG3524、UC3842。90 年代以来,国外又研制出开关频率达 1MHz 的高速 PWM、PFM(脉冲频率调制)芯片,典型产品如 UC1825、UC1864。第二个方向则是对中、小功率开关电源实现单片集成化。这大致分两个阶段:80 年代初,意-法半导体有限公司(SGS-Thomson)率先推出 L4960 系列单片开关式稳压器。该公司于 90 年代又推出了 L4970A 系列。其特点是将脉宽调制器、功率输出级、保护电路等集成在一个芯片中,使用时需配工频变压器与电网隔离,适于制作低压连续可调式输出(5.1~40V)、大中功率(400W 以下)、大电流(1.5~10A)、高效率(可超过 90%)的开关电源。但从本质上讲,它仍属于 DC/DC 电源变换器。

1994 年,美国电源集成公司(Power Integrations Inc,简称 PI 公司或 Power 公司)在世界上首先研制成功三端隔离、脉宽调制型反激式单片开关电源,被人们誉为“顶级开关电源”。其第一代产品为 TOPSwitch 系列,第二代产品则是 1997 年问世的 TOPSwitch—II 系列。该公司于 1998 年又推出了高效率、小功率、低价格的四端单片开关电源 TinySwitch 系列,并于 1999 年开发出 TNY256 系列新产品。在这之后,Motorola 公司于 1999 年新推出 MC33370 系列五端单片开关电源,亦称高压功率开关调节器(High Voltage Power Switching Regulator)。2000 年初,PI 公司又研制出 TOPSwitch—FX 系列五端单片开关电源,充分展示出单片开关电源蓬勃发展的新局面和良好的应用前景。目前,单片开关电源已形成具有六大系列、67 种型号的产品。

单片开关电源属于 AC/DC 电源变换器。以 TOPSwitch—II 系列为例,它内部包含控制电压源、带隙基准电压源、振荡器、并联调整器/误差放大器、脉宽调制器、门驱动级、高压功率开关管(MOSFET)、过流保护电路、过热保护及上电复位电路、关断/自动重新启动电路和高压电流源。芯片的集成度很高,外围电路简单,通过输入整流滤波器,适配 85~265V、47~440Hz 的交流电,可构成世界通用的各种开关电源或电源模块。它在价格上完全可以和同等功率的线性稳压电源相竞争,而电源效率显著提高,体积和重量则大为减小。单片开关电源的迅速发展与应用,使人们多年来所追求的高性价比、无工频变压器式开关电源变成现实。

## 1.2 开关电源的基本原理

目前生产的开关电源大多采用脉宽调制方式,少数采用脉冲频率调制或混合调制方式。下面对开关电源控制方式及脉宽调制的基本原理作简要介绍。

### 1.2.1 开关电源的控制方式

无工频变压器开关电源的控制方式,大致有以下三种:

(1) 脉冲宽度调制方式,简称脉宽调制(Pulse Width Modulation,缩写为 PWM)式。其特点是固定开关频率,通过改变脉冲宽度来调节占空比。因开关周期也是固定的,这就为设计滤波电路提供了方便。其缺点是受功率开关管最小导通时间的限制,对输出电压不能作宽范围调节;另外输出端一般要接假负载(亦称预负载),以防止空载时输出电压升高。目前,集成开关电源大多采用 PWM 方式。

(2) 脉冲频率调制方式,简称脉频调制(Pulse Frequency Modulation,缩写为 PFM)式。它是将脉冲宽度固定,通过改变开关频率来调节占空比的。在电路设计上要用固定脉宽发生器来

代替脉宽调制器中的锯齿波发生器,并利用电压/频率转换器(例如压控振荡器 VCO)改变频率。其稳压原理是:当输出电压  $V_o$  升高时,控制器输出信号的脉冲宽度不变而周期变长,使占空比减小,  $V_o$  降低。PFM 式开关电源的输出电压调节范围很宽,输出端可不接假负载。

PWM 方式和 PFM 方式的调制波形分别如图 1.2.1(a)、(b)所示,  $t_p$  表示脉冲宽度(即功率开关管的导通时间  $t_{on}$ ),  $T$  代表周期。从中很容易看出二者的区别。但它们也有共同之处:① 均采用时间比率控制(TRC)的稳压原理,无论是改变  $t_p$  还是  $T$ ,最终调节的都是脉冲占空比。尽管采用的方式不同,但控制目标一致,可谓殊途同归。② 当负载由轻变重,或者输入电压从高变低时,分别通过增加脉宽、升高频率的方法,使输出电压保持稳定。

(3) 混合调制方式,是指脉冲宽度与开关频率均不固定,彼此都能改变的方式,它属于 PWM 和 PFM 的混合方式。由于  $t_p$  和  $T$  均可单独调节,因此占空比调节范围最宽,适合制作供实验室使用的输出电压可以宽范围调节的开关电源。

### 1.2.2 脉宽调制式开关电源的基本原理

脉宽调制式开关电源的基本原理如图 1.2.2 所示。交流 220V 输入电压经过整流滤波后变成直流电压  $V_1$ ,再由功率开关管 VT(或 MOSFET)斩波、高频变压器 T 降压,得到高频矩形波电压,最后通过输出整流滤波器 VD、 $C_2$ ,获得所需要的直流输出电压  $V_o$ 。脉宽调制器是这类开关电源的核心,它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,来调节输出电压的高低,达到稳压目的。锯齿波发生器提供时钟信号。利用误差放大器和 PWM 比较器构成闭环调节系统。假如由于某种原因致使  $V_o \downarrow$ ,脉宽调制器就改变驱动信号的脉冲宽度,亦即改变占空比  $D$ ,使斩波后的平均值电压升高,导致  $V_o \uparrow$ 。反之亦然。

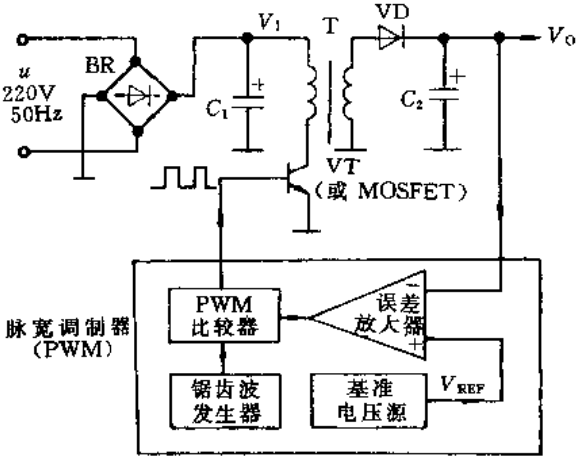


图 1.2.2 脉宽调制式开关电源的基本原理图

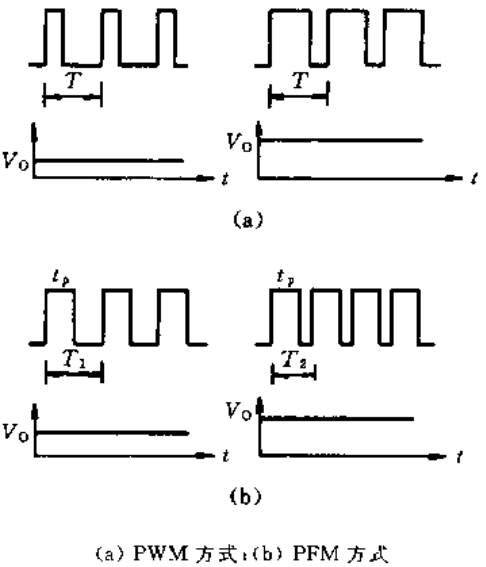


图 1.2.1 两种控制方式的调制波形