

新型稳压电源精品丛书 1

X I N X I N G W E N Y A D I A N Y U A N

J I N P I N C O N G S H U

# 开关稳压器 应用技巧

沙占友 马洪涛 睢丙东 等著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

新型稳压电源精品丛书 1

# 开关稳压器 应用技巧

沙占友 马洪涛 睢丙东 等著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 内 容 简 介

开关稳压器是将一种直流电压转换成另外一种或几种直流电压的高效率供电装置。它具有高效节能、经济实用等显著优点，其电源效率可比传统的线性稳压器提高近一倍。本书全面系统地阐述了新型开关稳压器及开关电源的工作原理、典型应用、设计要点、设计方法、应用技巧、测量方法及注意事项，并给出了开关电源（含开关稳压器）应用电路 50 例，读者可举一反三，灵活运用。本书为“新型稳压电源精品丛书”的第 1 部，该丛书还包括《标准线性稳压器应用技巧》和《低压差线性稳压器应用技巧》。

本书题材新颖，内容丰富，图文并茂，具有科学性、先进性及很高的实用价值，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

开关稳压器应用技巧/沙占友等著. —北京：中国电力出版社，2009

(新型稳压电源精品丛书)

ISBN 978-7-5083-8139-8

I. 开… II. 沙… III. 开关电源-稳压电源 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 190635 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 11.75 印张 326 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 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。而开关稳压器（Switching Regulator）是开关电源的核心部分。开关稳压器常用于非隔离式DC/DC变换器中，利用它可将一种直流电压转换成另一种或几种直流电压。若给开关稳压器配上整流滤波器、高频变压器、光耦合器等电路，即可构成与电网隔离的开关电源。

开关稳压器具有高效率、低功耗、低成本、体积小、重量轻等显著优点，其电源效率可达75%~90%，比传统的线性稳压器提高近一倍，因而深受广大电子工作者的青睐。开关稳压器在各种消费类电子产品、数字仪表、智能仪器、测控系统及计算机内部的供电系统中应用十分广泛。近年来，集成化开关稳压器获得了迅速发展和广泛应用，已成为电源管理半导体市场中增长最快的产品。据国外统计，2007年国际市场上开关稳压器的销售额比2006年增长了近23%。

目前，各种新型集成开关稳压器如雨后春笋般大量涌现，并获得广泛应用。为了推广新型开关稳压器及开关电源的应用技术，现将我们近年来在教学与科研工作中积累的经验加以系统总结，并参考国内外厂家提供的最新资料后撰写成此书，以飨广大读者。本书为“新型稳压电源精品丛书”的第1部，该丛书还包括《标准线性稳压器应用技巧》和《低压差线性稳压器应用技巧》。

本书主要有以下特点：

第一，在深入分析新型开关稳压器工作原理的基础上，重点阐述其典型应用、电路设计、应用技巧及使用注意事项，可满足初学者和专业技术人员的不同需要。

第二，详细介绍开关稳压器的电路设计要点、设计方法及设计实例，深入阐述散热器设计，并给出了开关电源（含开关稳压器）应用电路50例，可帮助读者解决在设计中遇到的一些技术难题。

第三，题材新颖，内容丰富，具有科学性、先进性及很高的实用

价值，可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

第四，叙述由浅入深，循序渐进，深入浅出，图文并茂。

沙占友撰写了第一章、第三章和第四章，与马洪涛合撰了第五章，并完成了全书的审阅和统稿工作。马洪涛撰写了第二章和第六章。睢丙东、孟志永合撰了第七章。在本书撰写工作中得到李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、魏跃平、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、郑国辉等同志的帮助，在此一并致谢。

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**

2008年7月于河北科技大学

# .....| 目 录 |.....

## 前言

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|  第一章 开关稳压器的基本原理 ..... | 1  |
| 第一节 开关电源的发展概述 .....                                                                                    | 1  |
| 一、开关电源的发展趋势 .....                                                                                      | 1  |
| 二、开关电源领域的新技术 .....                                                                                     | 3  |
| 第二节 开关电源的基本原理与构成 .....                                                                                 | 7  |
| 一、开关稳压器的基本原理 .....                                                                                     | 7  |
| 二、开关电源的基本构成 .....                                                                                      | 10 |
| 三、开关电源的控制类型 .....                                                                                      | 11 |
| 第三节 开关电源的主要特点 .....                                                                                    | 14 |
| 一、开关电源的主要特点 .....                                                                                      | 14 |
| 二、开关电源与线性稳压电源的性能比较 .....                                                                               | 15 |
| 第四节 DC/DC 变换器的拓扑结构与产品分类 .....                                                                          | 15 |
| 一、DC/DC 变换器的拓扑结构 .....                                                                                 | 15 |
| 二、DC/DC 变换器典型产品的分类 .....                                                                               | 23 |
| 第五节 降压式开关稳压器的基本原理 .....                                                                                | 23 |
| 一、降压式 DC/DC 变换器的基本原理 .....                                                                             | 23 |
| 二、降压式 DC/DC 变换器的简化电路 .....                                                                             | 24 |
| 第六节 升压式开关稳压器的基本原理 .....                                                                                | 26 |
| 一、升压式 DC/DC 变换器的基本原理 .....                                                                             | 26 |
| 二、升压式 DC/DC 变换器的简化电路 .....                                                                             | 27 |
| 第七节 极性反转式开关稳压器的基本原理 .....                                                                              | 28 |
| 第八节 反激式/正激式开关稳压器的基本原理 .....                                                                            | 29 |
| 一、反激式 DC/DC 变换器的基本原理 .....                                                                             | 29 |
| 二、正激式 DC/DC 变换器的基本原理 .....                                                                             | 33 |
| 第九节 推挽式 DC/DC 变换器的基本原理 .....                                                                           | 34 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 一、推挽式 DC/DC 变换器的基本原理 .....      | 34 |
| 二、推挽式 DC/DC 变换器的两种类型 .....      | 35 |
| 第十节 半桥/全桥式 DC/DC 变换器的基本原理 ..... | 36 |
| 一、半桥式 DC/DC 变换器的基本原理 .....      | 36 |
| 二、全桥式 DC/DC 变换器的基本原理 .....      | 37 |
| 第十一节 软开关 DC/DC 变换器的基本原理 .....   | 38 |
| 一、谐振式 DC/DC 变换器的基本原理 .....      | 38 |
| 二、准谐振式 DC/DC 变换器的基本原理 .....     | 39 |
| 三、全桥零电压 DC/DC 变换器的基本原理 .....    | 40 |

## 第二章 开关稳压器的的工作原理与应用技巧 .....

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第一节 降压式开关稳压器 .....                  | 41 |
| 一、LM2596 系列降压式开关稳压器的原理与应用 .....     | 41 |
| 二、LTC3409 型降压式开关稳压器的原理与应用 .....     | 47 |
| 第二节 同步降压式开关稳压器 .....                | 49 |
| 一、LTC3404 型同步降压式稳压器的的工作原理 .....     | 49 |
| 二、LTC3404 型同步降压式稳压器的典型应用及电路设计 ..... | 53 |
| 第三节 复合式超低压差线性稳压器 .....              | 55 |
| 一、TC1304 型复合式开关稳压器的的工作原理 .....      | 56 |
| 二、TC1304 型复合式开关稳压器的典型应用 .....       | 59 |
| 第四节 升压式开关稳压器 .....                  | 61 |
| 一、LM2577 系列升压式稳压器的的工作原理 .....       | 61 |
| 二、LM2577 系列升压式稳压器的典型应用 .....        | 63 |
| 三、LM2577 系列升压式稳压器的设计要点 .....        | 64 |
| 第五节 同步整流升压式开关稳压器 .....              | 68 |
| 一、MAX8627 型同步整流升压式开关稳压器的的工作原理 ..... | 69 |
| 二、MAX8627 型同步整流升压式开关稳压器的典型应用 .....  | 73 |
| 第六节 降压/升压式开关稳压器 .....               | 74 |
| 一、LTC3441 型降压/升压式开关稳压器的的工作原理 .....  | 74 |
| 二、LTC3441 型降压/升压式开关稳压器的典型应用 .....   | 76 |
| 第七节 大电流输出式开关稳压器 .....               | 77 |
| 一、LM2678/2679 系列大电流输出式开关稳压器的        |    |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 工作原理 .....                                                                                            | 78  |
| 二、LM2678/2679 系列大电流输出式开关稳压器的<br>典型应用 .....                                                            | 82  |
| 第八节 高压开关稳压器 .....                                                                                     | 83  |
| 一、LM5007 型高压开关稳压器的原理与工作原理 .....                                                                       | 83  |
| 二、LM5007 型高压开关稳压器的典型应用 .....                                                                          | 86  |
| 第九节 负压输出式开关稳压器 .....                                                                                  | 88  |
| 一、LT1931 型负压输出式开关稳压器的原理与工作原理 .....                                                                    | 88  |
| 二、LT1931 型负压输出式开关稳压器的应用技巧 .....                                                                       | 89  |
| 第十节 多路输出式开关稳压器 .....                                                                                  | 92  |
| 一、LT1940 型双路输出式开关稳压器的原理与应用 .....                                                                      | 92  |
| 二、MAX8855 型双路输出式开关稳压器的典型应用 .....                                                                      | 95  |
| 三、SC2463 型 4 路输出式稳压控制器的典型应用 .....                                                                     | 98  |
|  第三章 开关电源的优化设计 ..... | 101 |
| 第一节 开关电源的设计要点 .....                                                                                   | 101 |
| 一、开关电源的设计要求 .....                                                                                     | 101 |
| 二、开关电源拓扑类型的选择 .....                                                                                   | 103 |
| 三、开关电源的负载特性 .....                                                                                     | 104 |
| 四、设计开关电源的注意事项 .....                                                                                   | 107 |
| 第二节 开关电源关键外围元器件的选择 .....                                                                              | 109 |
| 第三节 开关电源的布局原则 .....                                                                                   | 138 |
| 第四节 可编程开关稳压器的电路设计实例 .....                                                                             | 141 |
| 第五节 开关电源的设计实例 .....                                                                                   | 145 |
| 一、通用 35W 开关电源的设计 .....                                                                                | 145 |
| 二、激光打印机用 60W 交流电源适配器的设计 .....                                                                         | 148 |
| 第六节 精密数控开关电源的设计 .....                                                                                 | 152 |
| 一、设计方案及系统框图 .....                                                                                     | 153 |
| 二、精密数控开关电源的设计 .....                                                                                   | 154 |
| 三、测试方法及测量数据 .....                                                                                     | 157 |
| 第七节 数字电源的电路设计 .....                                                                                   | 159 |
| 一、数字电源的主要特性 .....                                                                                     | 159 |

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| 二、数字电源的基本构成 .....                               | 162        |
| 三、数字电源的电路设计 .....                               | 164        |
| 第八节 高频变压器的设计 .....                              | 166        |
| 一、软磁铁氧体磁心的性能及产品规格 .....                         | 167        |
| 二、高频变压器设计实例 .....                               | 170        |
| 第九节 开关稳压器的散热器设计 .....                           | 173        |
| 一、热参数计算 .....                                   | 173        |
| 二、平板式散热器的设计 .....                               | 175        |
| 三、印制板式散热器的设计 .....                              | 181        |
| <b>第四章 新型单片开关电源的原理与应用 .....</b>                 | <b>184</b> |
| 第一节 TinySwitch-III 系列第三代微型单片开关电源 .....          | 184        |
| 一、TinySwitch-III 系列微型开关电源的工作原理 .....            | 185        |
| 二、TinySwitch-III 系列微型开关电源的典型应用 .....            | 188        |
| 第二节 PeakSwitch 系列峰值功率输出式单片开关电源 .....            | 191        |
| 一、PeakSwitch 系列单片开关电源的工作原理 .....                | 192        |
| 二、PeakSwitch 系列单片开关电源的典型应用 .....                | 197        |
| 第三节 TinySwitch-PK 系列峰值功率输出式微型单片<br>开关电源 .....   | 201        |
| 一、TinySwitch-PK 系列微型单片开关电源的工作原理 .....           | 202        |
| 二、TinySwitch-PK 系列微型单片开关电源的典型应用 .....           | 205        |
| 第四节 TOPSwitch-HX 系列第五代通用单片开关电源 .....            | 208        |
| 一、TOPSwitch-HX 系列单片开关电源的工作原理 .....              | 209        |
| 二、TOPSwitch-HX 系列单片开关电源的典型应用 .....              | 214        |
| 第五节 LinkSwitch-II 系列精密恒压/恒流式单片开关电源 .....        | 217        |
| 一、LinkSwitch-II 系列精密恒压/恒流式单片开关电源的<br>工作原理 ..... | 218        |
| 二、LinkSwitch-II 系列精密恒压/恒流式单片开关电源的<br>典型应用 ..... | 221        |
| <b>第五章 开关电源保护及监控电路的设计 .....</b>                 | <b>225</b> |
| 第一节 开关电源保护电路的设计 .....                           | 225        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 一、开关电源保护电路的分类 .....             | 225 |
| 二、输出过电压保护电路的设计 .....            | 225 |
| 三、输入欠电压保护电路的设计 .....            | 228 |
| 四、软启动电路的设计 .....                | 230 |
| 第二节 晶闸管过电压保护电路的设计 .....         | 231 |
| 一、晶闸管过电压保护电路的设计 .....           | 231 |
| 二、过电压检测电路的设计 .....              | 235 |
| 第三节 集成过电压保护器件的原理与应用 .....       | 240 |
| 一、NCP345 型过电压保护器件的原理与应用 .....   | 240 |
| 二、MAX4843 系列过电压保护器件的原理与应用 ..... | 244 |
| 第四节 集成过电流保护器件的原理与应用 .....       | 246 |
| 一、LTC4213 型过电流保护器件的工作原理 .....   | 246 |
| 二、LTC4213 型过电流保护器件的典型应用 .....   | 247 |
| 第五节 带看门狗的微处理器监控电路 .....         | 248 |
| 一、HYM705/706 的工作原理 .....        | 248 |
| 二、HYM705/706 的典型应用 .....        | 252 |
| 第六节 无源电磁干扰滤波器的原理与应用 .....       | 253 |
| 一、无源电磁干扰滤波器的构造原理及应用 .....       | 253 |
| 二、无源电磁干扰滤波器的技术参数 .....          | 255 |
| 三、特种无源电磁干扰滤波器的应用 .....          | 257 |
| 第七节 有源电磁干扰滤波器的原理与应用 .....       | 258 |
| 一、QPI-8L 型有源电磁干扰滤波器的工作原理 .....  | 258 |
| 二、QPI-8L 型有源电磁干扰滤波器的典型应用 .....  | 261 |
| 第八节 人体静电放电保护器件 .....            | 263 |
| 一、人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法 .....    | 263 |
| 二、ESD 保护二极管的原理与应用 .....         | 264 |
| 三、多路 ESD 保护器件的原理与应用 .....       | 266 |

## 第六章 开关电源测量技术 .....

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一节 开关电源测量技术 .....    | 270 |
| 一、开关电源主要参数的测试方法 ..... | 270 |
| 二、功率测量技术 .....        | 272 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第二节 开关电源的测量技巧 .....            | 274 |
| 一、准确测量输出纹波电压的方法 .....          | 274 |
| 二、测量开关稳压器效率的方法 .....           | 276 |
| 三、测量隔离式交流开关电源输入功率的简便方法 .....   | 277 |
| 四、准确测量占空比的方法 .....             | 278 |
| 第三节 开关电源的性能测试 .....            | 280 |
| 一、开关电源的性能测试 .....              | 280 |
| 二、高频变压器的电气性能测试 .....           | 282 |
| 第四节 开关电源的波形测试及分析 .....         | 283 |
| 一、开关电源典型电路的分析 .....            | 283 |
| 二、测量开关电源的启动特性 .....            | 285 |
| 三、测量一次侧的电压/电流波形 .....          | 287 |
| 四、测量二次侧的电压/电流波形 .....          | 290 |
| 第五节 利用示波器检测高频变压器磁饱和特性的方法 ..... | 291 |
| 一、高频变压器磁饱和特性及其对开关电源的危害 .....   | 291 |
| 二、利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法 .....     | 294 |
| 第六节 开关电源关键元器件的检测方法 .....       | 296 |
| 一、判定开关稳压器质量好坏的方法 .....         | 296 |
| 二、检测光耦合器的方法 .....              | 297 |
| 三、无源电磁干扰滤波器的检测方法 .....         | 300 |

## 第七章 开关电源应用电路 50 例 .....

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 应用电路一 由 LM2576 构成的固定输出式开关稳压器 ..... | 302 |
| 应用电路二 由 LM2576 构成的可调输出式开关稳压器 ..... | 303 |
| 应用电路三 正压输入、负压输出式开关稳压器 .....        | 303 |
| 应用电路四 具有欠电压锁定功能的开关稳压器 .....        | 304 |
| 应用电路五 能降低输出纹波的可调式开关稳压器 .....       | 305 |
| 应用电路六 大电流降压式开关稳压控制器 .....          | 305 |
| 应用电路七 负压输出式开关稳压器 .....             | 306 |
| 应用电路八 多路输出式开关稳压器之一 .....           | 307 |
| 应用电路九 多路输出式开关稳压器之二 .....           | 308 |
| 应用电路十 恒流驱动白光 LED 的升压式开关稳压器 .....   | 308 |

|         |                               |     |
|---------|-------------------------------|-----|
| 应用电路十一  | 7.5V、1A 恒压/恒流型开关电源 .....      | 310 |
| 应用电路十二  | 15V、2A 精密恒压/恒流型开关电源 .....     | 312 |
| 应用电路十三  | 12V 截流型开关电源 .....             | 314 |
| 应用电路十四  | 15W 恒功率型开关电源 .....            | 316 |
| 应用电路十五  | 具有直流欠电压保护功能的<br>复合型开关电源 ..... | 318 |
| 应用电路十六  | 具有交流掉电保护功能的复合型开关电源 ...        | 319 |
| 应用电路十七  | 多路输出复合型开关电源 .....             | 320 |
| 应用电路十八  | 微型开关电源之一 .....                | 321 |
| 应用电路十九  | 微型开关电源之二 .....                | 322 |
| 应用电路二十  | 微型开关电源之三 .....                | 323 |
| 应用电路二十一 | 微型开关电源之四 .....                | 324 |
| 应用电路二十二 | AC/DC 电源适配器之一 .....           | 325 |
| 应用电路二十三 | AC/DC 电源适配器之二 .....           | 326 |
| 应用电路二十四 | AC/DC 电源适配器之三 .....           | 327 |
| 应用电路二十五 | AC/DC 电源适配器之四 .....           | 329 |
| 应用电路二十六 | AC/DC 电源适配器之五 .....           | 329 |
| 应用电路二十七 | 待机电源之一 .....                  | 330 |
| 应用电路二十八 | 待机电源之二 .....                  | 332 |
| 应用电路二十九 | 待机电源之三 .....                  | 332 |
| 应用电路三十  | 待机电源之四 .....                  | 334 |
| 应用电路三十一 | 恒压/恒流式电池充电器之一 .....           | 335 |
| 应用电路三十二 | 恒压/恒流式电池充电器之二 .....           | 336 |
| 应用电路三十三 | 恒压/恒流式电池充电器之三 .....           | 337 |
| 应用电路三十四 | 恒压/恒流式电池充电器之四 .....           | 338 |
| 应用电路三十五 | 恒压/恒流式电池充电器之五 .....           | 339 |
| 应用电路三十六 | 恒压/恒流式电池充电器之六 .....           | 340 |
| 应用电路三十七 | 恒压/恒流式电池充电器之七 .....           | 341 |
| 应用电路三十八 | 恒压/恒流式电池充电器之八 .....           | 342 |
| 应用电路三十九 | 恒压/恒流式电池充电器之九 .....           | 343 |
| 应用电路四十  | 恒压/恒流式电池充电器之十 .....           | 344 |

|         |                                   |     |
|---------|-----------------------------------|-----|
| 应用电路四十一 | DC/DC 电源变换器模块之一 .....             | 345 |
| 应用电路四十二 | DC/DC 电源变换器模块之二 .....             | 346 |
| 应用电路四十三 | DC/DC 电源变换器模块之三 .....             | 348 |
| 应用电路四十四 | DC/DC 电源变换器模块之四 .....             | 350 |
| 应用电路四十五 | 由 TEA1522T 构成的 3W<br>精密开关电源 ..... | 352 |
| 应用电路四十六 | 由 TEA1501 构成的 3W 开关电源 .....       | 354 |
| 应用电路四十七 | 由 TEA1522 构成的 5W 开关电源 .....       | 354 |
| 应用电路四十八 | 由 VIPer22A 构成的 12W 开关电源 .....     | 356 |
| 应用电路四十九 | 能防止磁饱和的电能表开关电源 .....              | 356 |
| 应用电路五十  | 电磁炉辅助开关电源 .....                   | 358 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  参考文献 ..... | 360 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## 开关稳压器的基本原理

开关稳压器 (Switching Regulator) 亦称 DC/DC 变换器 (DC-DC Converters), 它属于高效率供电装置, 能将一种直流电压变换成另外一种或几种直流电压。开关稳压器既可以单独使用, 亦可构成开关电源。例如, 给开关稳压器配上输入变压器和整流滤波器, 即可构成与电网隔离的开关电源。此外通过高频变压器和光耦合器也能实现一次侧与二次侧的隔离。

### 第一节 开关电源的发展概述

开关电源已有几十年的发展历史。1955 年发明的自激推挽式晶体管单变压器直流变换器, 率先实现了高频转换控制功能; 1957 年发明的自激推挽式双变压器、1964 提出的无工频变压器式开关电源设计方案, 有力地推动了开关电源技术进步。1977 年脉宽调制 (PWM) 控制器集成电路的问世, 1994 年单片开关电源的问世, 为开关电源的推广和普及创造了条件。与此同时, 开关电源的频率也从最初的 20kHz 提高到几百千赫兹至几兆赫兹。目前, 开关电源正朝着高效节能、安全环保、短、小、轻、薄的方向发展。各种新技术、新工艺和新器件如雨后春笋, 不断问世, 开关电源的应用也日益普及。下面介绍开关电源的发展趋势。

#### 一、开关电源的发展趋势

##### 1. 绿色节能型开关电源

目前, 国外许多著名的 IC 厂家都在大力开发低功耗、节能型开关电源集成电路。例如, 美国 PI 公司采用 EcoSmart<sup>®</sup> 节能技术, 开

发的 TOPSwitch-GX 等系列的单片开关电源。PI 公司最近宣布, 由于使用该公司 EcoSmart® 技术的单片开关电源 IC, 可为全球消费者节省大约 20 亿美元的电费。荷兰 Philips 公司推出的 TEA1520 等系列的“绿色芯片”(Green Chip), 都将高效节能放在重要位置。与此同时, 绿色节能电源的国际标准也被普遍采用。例如, 美国早在 1992 年就制定了能源之星 (Energy Star) 计划, 以降低开关电源的空载功耗。美国加州能源委员会 (CEC) 制定的强制性节能标准已从 2006 年 7 月 1 日开始执行, 它要求电子产品必须大幅降低待机功耗和空载功耗。该标准涉及到所有使用外部电源适配器或充电器的电子产品, 包括手机、家用电器、便携式音乐播放器 (MP3)、掌上游戏机、电子玩具等。

## 2. 智能化数字电源及可编程开关电源

(1) 智能化数字电源。目前, 开关电源正朝着智能化、数字化的方向发展。在 21 世纪初刚问世的智能数字电源系统以其优良特性和完备的监控功能, 正引起人们的关注。数字电源提供了智能化的适应性与灵活性, 具备直接监控、处理并适应系统条件的能力, 能满足任何复杂的电源要求。此外, 数字电源还可通过远程诊断来确保系统长期工作的可靠性, 包括故障管理、过电流保护以及避免停机等。数字电源的推广, 为实现智能化电源系统的优化设计创造了有利条件。

数字电源系统具有以下特点:

1) 它是以数字信号处理器 (DSP) 或微控制器 (MCU) 为核心, 将数字电源驱动器及 PWM 控制器作为控制对象而构成的智能化开关电源系统。传统的由微控制器 (含微处理器  $\mu\text{P}$ 、单片机  $\mu\text{C}$ ) 控制的开关电源, 一般只是控制电源的启动和关断, 并非真正意义的数字电源。

2) 采用“整合数字电源”(Fusion Digital Power) 技术, 实现了开关电源中模拟组件与数字组件的优化组合。例如, 功率级所用的模拟组件——MOSFET 驱动器, 可以很方便地与数字电源控制器相连并对电源的保护及偏置电路进行管理, 而 PWM 控制器也属于数模模拟芯片。

3) 高集成度, 实现了电源系统单片集成化 (Power System on

Chip)。将大量的分立式元器件整合到一个芯片或一组芯片中。

4) 能充分发挥数字信号处理器及微控制器的优势,使所设计的数字电源达到高技术指标。例如,其脉宽调制(PWM)分辨力可达150ps(即 $10^{-12}$ s)的水平,这是传统开关电源所望尘莫及的。数字电源还能实现多相位控制、非线性控制、负载均流以及故障预测等功能,为研制绿色节能型开关电源提供了便利条件。

5) 便于构成分布式数字电源系统。2005年3月,美国德州仪器公司(TI)宣布推出具有创新性的数字电源产品,该公司还展示了Fusion Digital Power™解决方案。该方案包括以下3类芯片:UCD7K系列数字电源驱动器、UCD8K系列PWM控制器和UCD9K系列数字信号处理器。上述芯片已形成系列化产品。该产品支持包括从交流线路到负载的电源系统,可广泛用于电信设施、计算机服务器、数据中心电源系统及不间断电源(UPS)。

(2) 可编程开关电源。可调式开关电源都是通过手动调节电阻值来改变稳压器输出电压的,不仅调节精度低,而且使用不够方便。数字电位器(Digital Potentiometer)亦称数控电阻器(Digitally Controlled Potentiometers),可简称为DCP。利用数字电位器代替可调电阻,可构成由计算机控制的可编程开关电源。

由数字电位器构成可编程开关电源的电路设计方案如图1-1-1所示。图1-1-1(a)是用数字电位器(DCP)来代替可调电阻,DCP工作在可调电阻器模式。设调整后的电阻值为 $R_{DCP}$ , $R_{DCP}$ 和 $R_1$ 构成取样电路,取样电压送至开关稳压器的反馈端FB。单片机通过改变 $R_{DCP}$ 值,即可设定可调式开关稳压器的输出电压。第二种方案是用 $R_{DCP}$ 同时代替两只取样电阻,这样可节省一只电阻元件,其简化电路如图1-1-1(b)所示,其他部分与图1-1-1(a)相同。第三种方案是将数字电位器串联在 $R_1$ 、 $R_2$ 中间,简化电路如图1-1-1(c)所示,该电路适合在小范围内对输出电压进行精细调节。

## 二、开关电源领域的新技术

### 1. 有源钳位技术

钳位电路的作用是将开关电源在工作时产生的尖峰电压钳制在某

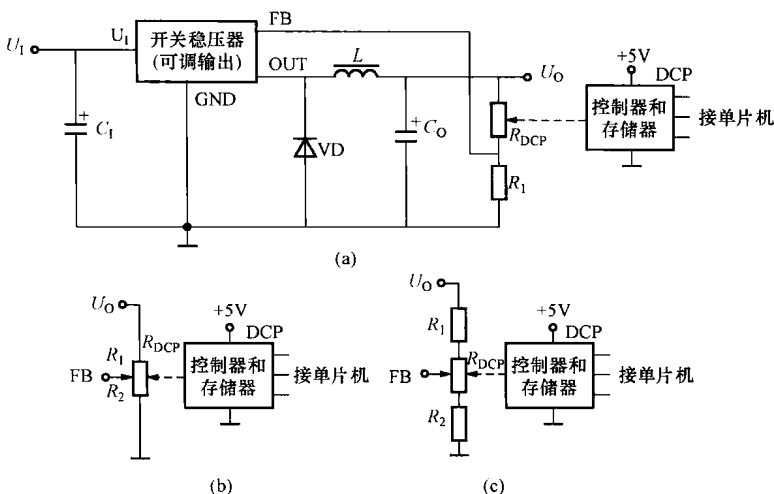


图 1-1-1 由数字电位器构成可编程开关电源的电路设计方案

(a) 电路之一；(b) 电路之二（简化电路）；(c) 电路之三（简化电路）

一范围之内，对功率开关管起到保护作用。这种钳位电路分无源钳位、有源钳位两种。普通的  $R$ 、 $C$ 、 $VD_z$  型钳位电路属于无源钳位，其优点是电路简单，能吸收由高频变压器漏感而产生的尖峰电压，但钳位电路本身所消耗的能量较大，使电源效率降低。

由美国 VICOR 公司发明的有源钳位（Active Clamp）电路，能显著降低开关电源的功率损耗。典型的有源钳位电路如图 1-1-2 所示。因电路中使用了有源器件 MOSFET ( $V_4$ ) 做钳位管，故称之为有源钳位电路。 $C_C$  为钳位电容。 $V_3$  为开关电源的功率开关管。由

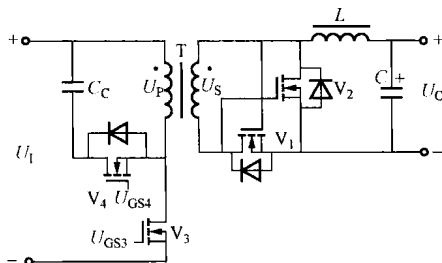


图 1-1-2 有源钳位电路

图 1-1-2 可见，当  $V_4$  导通时  $U_{GS3} = 0$ ，使  $V_3$  关断；当  $V_4$  关断时  $U_{GS3}$ ，使  $V_3$  导通。从而对高频变压器漏感所产生的尖峰电压起到钳位作用。

## 2. 同步整流技术

同步整流 (Synchronous