

# 开关电源 设计入门

● 沙占友 庞志峰 周万珍 王彦朋 李 玮 等著



◎ 设计方法 ◎ 设计要点 ◎  
◎ 电路分析 ◎ 典型实例 ◎



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 开关电源 设计入门

● 沙占友 庞志峰 周万珍 王彦朋 李 玮 等著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书全面、深入、系统地阐述了开关电源设计的入门知识,并给出典型设计实例。本书遵循先易后难、化整为零、突出重点和难点的原则,在介绍开关电源基本原理与构成的基础上,首先将开关电源划分成若干个基本单元电路,依次阐述开关电源一次侧、二次侧电路及反馈电路的设计,再阐述高频变压器的设计,然后介绍整机电路设计的关键技术,最后对30种开关稳压器、交/直流开关电源及特种开关电源的电路做了深入分析。所述内容可帮助读者快速、全面、系统地掌握开关电源的设计与制作知识。

本书融实用性、科学性于一体,内容由浅入深,循序渐进,通俗易懂,图文并茂,是一本开关电源的入门指南,适合开关电源行业中的工程技术人员和初学者阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

开关电源设计入门/沙占友等著. —北京:中国电力出版社,2012.7  
ISBN 978-7-5123-3256-0

I. ①开… II. ①沙… III. ①开关电源—设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第151694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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

2013年1月第一版 2013年1月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 17印张 358千字

印数0001—3000册 定价36.00元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
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

开关电源是重要的动力之源。尽管开关电源的电路可以千变万化，其基本构成却大致相同。主要包括一次侧外围电路（含输入端保护电路、输入整流滤波器和钳位保护电路）、主控制芯片（PWM 控制器或单片开关电源集成电路）、高频变压器、二次侧输出电路、反馈电路、偏置电路及其他保护电路。

随着我国电源产业的飞速发展，目前有许多读者迫切需要能全面、系统地掌握开关电源的入门知识、从单元电路到整机电路的设计方法、设计实例及注意事项。为此，作者曾撰写《开关电源设计入门与实例解析》，该书于 2009 年出版后已先后经过 4 次印刷，深受广大读者欢迎。鉴于近几年来开关电源技术发展很快，各种新型开关电源专用芯片也不断涌现，为适应新形势、新技术的发展需要，现以原著部分内容为基础，补充了作者近年来积累的许多新经验后撰成此书，定名为《开关电源设计入门》，以飨广大的新、老读者。

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，题材新颖，编排合理。本书遵循先易后难、化整为零、突出重点和难点的原则，在介绍开关电源基本原理与构成的基础上，将开关电源划分成若干个基本单元电路，依次阐述开关电源一次侧、二次侧电路及反馈电路的设计、高频变压器的设计，然后介绍整机电路设计。

第二，全面、系统地阐述了开关电源的基本设计方法和设计要点。以第三章为例，所介绍开关电源单元电路的设计，不仅包括输入保护电路、电磁干扰滤波器和输入整流滤波电路，还包括漏极钳位保护电路的设计、功率开关管的选择、输出整流滤波电路的选择、光耦反馈电路的设计等内容，给读者以完整、清晰的概念。

第三，深入浅出，通俗易懂，实用性强。例如，第一、二章分别讲述开关电源的基础知识和基本电路，作为初学者的入门篇。第四章专门介绍高频变压器的设计，第五章详细阐述设计开关电源整机电路的关键技术，还介绍了开关电源散热器实用设计方法及设计实例。这对读者学习设计和制作开关电源具有重要参考价值。

第四，信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通，举一反三，灵活运用。

沙占友教授撰写了第一章、第三章和第五章，并完成了全书的审阅和统稿工作。庞

志峰教授、周万珍教授、王彦朋教授、李玮副教授合撰了第二章、第四章、第六~八章。李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、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、李新华同志也参加了本书撰写工作。

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

前言

<b>第一章 开关电源的基础知识</b> .....	1
第一节 开关电源名词解释 .....	1
第二节 集成稳压电源的分类 .....	9
一、集成稳压电源的分类 .....	9
二、开关电源的分类 .....	10
第三节 开关电源与线性电源的性能比较 .....	11
一、开关电源的主要特点 .....	11
二、开关电源与线性电源的性能比较 .....	11
第四节 开关电源的基本原理 .....	14
一、开关电源的工作方式 .....	14
二、脉宽调制控制器的基本原理 .....	15
三、单片开关电源的构成与基本原理 .....	16
第五节 开关电源集成电路的产品分类 .....	18
一、PWM 控制器集成电路的产品分类 .....	18
二、单片开关电源集成电路的产品分类 .....	19
三、开关稳压器集成电路的产品分类 .....	20
<b>第二章 开关电源的基本电路</b> .....	22
第一节 基准电压源电路 .....	22
一、传统基准电压源的基本原理 .....	22
二、带隙基准电压源的基本原理 .....	23
第二节 误差放大器电路 .....	24
第三节 电压控制型开关电源的基本电路 .....	26
第四节 电流控制型开关电源的基本电路 .....	27
第五节 电荷泵式开关电源的基本电路 .....	28
第六节 基于电感电流连续导通模式的恒流驱动电路 .....	29
第七节 反馈电路的基本类型 .....	32
第八节 开关电源的过热保护电路 .....	33

<b>第三章</b>	<b>开关电源单元电路的设计</b>	35
第一节	输入保护电路的设计	35
一、	输入保护电路的基本构成	35
二、	熔丝管	36
三、	熔断电阻器	38
四、	负温度系数功率热敏电阻器	39
五、	压敏电阻器	41
第二节	电磁干扰滤波器的设计	42
一、	电源噪声及其抑制方法	42
二、	简易电磁干扰滤波器的设计	43
三、	复杂电磁干扰滤波器的设计	46
第三节	开关电源输入整流滤波电路的设计	48
一、	输入整流管的选择	48
二、	输入整流桥的选择	49
三、	输入滤波电容器的选择	52
四、	倍压整流及交流输入电压转换电路的设计	53
第四节	开关稳压器输入整流滤波电路的设计	55
一、	输入整流滤波器的选择与设计曲线	55
二、	输入整流滤波器的设计步骤	57
三、	输入整流滤波器的设计实例	59
第五节	功率开关管的选择	60
一、	双极型功率开关管的选择方法	61
二、	MOSFET 功率开关管的选择方法	62
三、	IGBT 功率开关管的选择方法	64
第六节	漏极钳位保护电路的设计	68
一、	漏极上各电压参数的电位分布	68
二、	漏极钳位保护电路的基本类型	68
三、	漏极钳位保护电路的设计方法及实例	70
第七节	输出整流管的选择	71
一、	快恢复及超快恢复二极管的选择	72
二、	肖特基二极管的选择	74
三、	几种整流管的性能比较	75
第八节	输出滤波电容器的计算与选择	76
一、	输出滤波电容器的容量计算	76

二、选用输出滤波电容器的注意事项	79
三、实现无电解电容器的方法	81
第九节 磁珠的选择	82
一、磁珠的性能特点	82
二、磁珠的选择方法	83
第十节 稳压管的选择	86
第十一节 光耦合器的选择	89
一、光耦合器的工作原理	89
二、线性光耦合器的选择	90
第十二节 可调式精密并联稳压器的选择	91
一、TL431 型可调式精密并联稳压器	92
二、NCP100 型可调式精密并联稳压器	93
第十三节 普通光耦反馈电路的设计实例	94
一、待机电源的光耦反馈电路	94
二、通用开关电源的光耦反馈电路	95
三、大功率音频功率放大器电源的光耦反馈电路	96
第十四节 精密光耦反馈电路的设计实例	97
一、由 TL431 构成的精密光耦反馈电路	97
二、由 NCP100 构成的精密光耦反馈电路	99
第十五节 控制端补偿及偏置电路的设计实例	100
一、控制端补偿电路的设计	100
二、偏置电路的设计	100
<b>第四章 高频变压器的设计</b>	102
第一节 根据经验公式或输出功率表格选择磁心的方法	102
一、磁性材料的分类	102
二、根据经验公式选择磁心的方法	104
三、根据输出功率表格选择磁心的方法	105
第二节 高频变压器电路的波形参数分析	107
一、波形系数 $K_f$	107
二、波形因数 $k_f$	107
第三节 采用 AP 法（面积乘积法）选择磁心的方法	108
一、用 AP 法选择磁心的计算公式	109
二、用 AP 法选择磁心的注意事项	110
第四节 高频变压器导线的选择	110



一、漆包线的选择 .....	110
二、三层绝缘线的选择 .....	112
第五节 反激式开关电源的高频变压器设计 .....	115
一、反激式开关电源的高频变压器设计方法 .....	115
二、反激式开关电源的高频变压器设计实例 .....	119
第六节 设计高频变压器的基本公式 .....	121
第七节 设计高频变压器的注意事项 .....	124
第八节 防止高频变压器磁饱和的方法 .....	129
一、磁饱和对开关电源的危害及避免方法 .....	129
二、检测高频变压器磁饱和的简便方法 .....	130
第九节 利用软件设计开关电源及高频变压器的实例 .....	131
一、PI Expert 8.5 的主要特点 .....	132
二、利用软件设计开关电源的实例 .....	133
三、查阅并修改高频变压器参数的方法 .....	139
<b>第五章 开关电源整机电路设计的关键技术 .....</b>	<b>143</b>
第一节 开关电源的设计方法与步骤 .....	143
第二节 提高开关电源效率的方法 .....	150
一、开关电源功率损耗的成因 .....	150
二、设计高效率开关电源的原则 .....	151
三、提高开关电源效率的方法 .....	151
第三节 降低开关电源空载及待机功耗的方法 .....	154
一、开机后消除泄放电阻功率损耗的方法 .....	154
二、开机后消除热敏电阻功率损耗的方法 .....	156
三、消除待机模式下检测电阻功率损耗的方法 .....	157
第四节 功率因数校正 (PFC) 电路的设计 .....	158
一、功率因数与总谐波失真 .....	158
二、无源 PFC 电路的设计 .....	160
三、有源 PFC 变换器的原理分析 .....	163
第五节 输出电压可从 0V 起调及用均流法设计的开关电源 .....	166
一、输出电压可从 0V 起调的隔离式开关电源的设计方法 .....	166
二、均流式开关电源的设计方法 .....	167
第六节 开关电源保护电路的设计 .....	169
一、开关电源芯片保护电路的分类及保护功能 .....	169
二、过电压及欠电压保护电路的设计 .....	170

三、过电流保护电路的设计 .....	175
四、其他保护电路的设计 .....	176
第七节 开关电源印制电路板的设计 .....	177
一、印制板常用参数表 .....	177
二、开关电源印制板的设计要点 .....	179
第八节 单片开关电源的散热器设计 .....	180
一、散热器的基本知识 .....	181
二、散热器的工作原理 .....	182
三、开关电源散热器实用设计方法 .....	184
四、单片开关电源散热器设计实例 .....	185
第九节 功率开关管 (MOSFET) 的散热器设计 .....	188
一、功率开关管散热器设计方法 .....	188
二、功率开关管散热器设计实例 .....	189
三、设计功率开关管散热器的注意事项 .....	190
<b>第六章 开关稳压器及直流开关电源的电路分析</b> .....	191
第一节 降压式开关稳压器 .....	191
一、降压式开关稳压器的基本原理 .....	191
二、降压式开关稳压器的电路分析 .....	192
第二节 升压式开关稳压器 .....	194
一、升压式开关稳压器的基本原理 .....	194
二、升压式开关稳压器的简化电路分析 .....	195
三、升压式开关稳压器的电路分析 .....	196
第三节 降压/升压式开关稳压器 .....	197
一、降压/升压式开关稳压器的简化电路分析 .....	197
二、降压/升压式开关稳压器的电路分析 .....	198
第四节 负压输出式开关稳压器 .....	199
一、负压输出式开关稳压器的电路分析 .....	199
二、正压开关稳压器做负压输出的电路分析 .....	200
第五节 大电流输出式开关稳压控制器 .....	201
第六节 高压开关稳压器 .....	202
第七节 多路输出式开关稳压器 .....	204
第八节 复合开关稳压器 .....	205
第九节 反激式直流开关电源 .....	207
一、反激式直流开关电源的基本原理及简化电路 .....	207

二、反激式直流开关电源的电路分析 .....	209
第十节 正激式同步整流直流开关电源 .....	211
一、正激式直流开关电源的基本原理 .....	211
二、同步整流的基本原理 .....	212
三、正激式直流开关电源的电路分析 .....	212
<b>第七章 AC/DC 式开关电源的电路分析 .....</b>	<b>215</b>
第一节 由脉宽调制器 UC3842 构成的 35W 开关电源 .....	215
第二节 3W 单片精密开关电源 .....	216
第三节 5W 单片精密开关电源 .....	218
第四节 12W 单片精密开关电源 .....	219
第五节 17.7W 多路输出式单片开关电源 .....	220
第六节 30W 单片精密开关电源 .....	223
第七节 50W 单片精密开关电源 .....	224
第八节 52W 单片精密开关电源 .....	226
第九节 70W 双路输出式单片精密开关电源 .....	229
第十节 180W 多路输出式单片精密开关电源 .....	231
<b>第八章 特种开关电源的电路分析 .....</b>	<b>236</b>
第一节 1W 微型开关电源 .....	236
第二节 1.25W 低压输入式工业控制开关电源 .....	237
第三节 10W 电池充电器 .....	238
第四节 7W 多路输出式微型开关电源 .....	240
第五节 7.5W 恒压/恒流式开关电源 .....	242
第六节 14W 精密恒流式 LED 驱动电源 .....	244
第七节 30W 精密恒压/恒流式开关电源 .....	247
第八节 33W/60W 具有峰值功率输出能力的开关电源 .....	250
第九节 80W 带 PFC 的高压输出式开关电源 .....	253
第十节 347W 升压式单片大功率 PFC 电源 .....	255
<b>参考文献 .....</b>	<b>259</b>

# 开关电源的基础知识

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。目前，单片开关电源集成电路以其高集成度、高性价比、最简外围电路、最佳性能指标的显著优点，获得广泛应用，已成为设计中、小功率开关电源的优选产品。本章专门阐述开关电源的基础知识。首先介绍了开关电源的名词解释、集成稳压电源的分类、开关电源与线性电源的比较，然后分别阐述开关电源的工作方式、脉宽调制（PWM）控制器和单片开关电源的基本原理，最后介绍开关电源集成电路的产品分类。



## 第一节 开关电源名词解释

### 1. 线性稳压电源（Linear Regulated Power Supply，简称 Linear Power Supply）

线性稳压电源简称为线性电源，因其内部调整管工作在线性工作区而得名。线性稳压器调整管与负载相串联，电源的输入电流与输出电流基本相等。其优点是稳压性能好，输出的纹波电压和噪声电压很小，电路简单、成本低廉。主要缺点是调整管的压降较大，功耗高，稳压电源的效率低，一般仅为 35%~45%。

### 2. 线性稳压器（Linear Voltage Regulator，简称 Linear Regulator）

线性稳压器是线性电源的核心电路，只需配上工频变压器和输入整流滤波电路，即可构成线性电源。

### 3. 开关电源（Switching Mode Power Supply，简称 SMPS）

开关电源是开关稳压电源的简称，一般指输入为交流电压、输出为直流电压的 AC/DC 变换器。开关电源内部的功率开关管工作在高频开关状态，本身消耗的能量很低，电源效率可达 75%~90%，比普通线性稳压电源提高近一倍。

### 4. 单片开关电源（Single-chip SMPS）

它是将开关电源的主要电路都集成在一个芯片中，能实现脉宽调制、输出隔离及多种保护功能，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。单片开关电源一般属于 AC/DC 电源变换器。

### 5. 数字电源（Digital Power Supply）

它是数字信号处理器（DSP）或微控制器（MCU）为核心，将数字电源驱动器、PWM 控制器等作为控制对象，能实现控制、管理和监测功能的电源产品。



## 6. 离线式开关变换器 (Off-line Switching Converter)

AC/DC 变换器的输入端经过整流滤波器接交流电网。

## 7. 高频开关变换器 (High-frequency Switching Converter)

目前一般指开关频率在几百千赫兹甚至 1MHz 以上的开关变换器。

## 8. DC/DC 变换器 (DC-DC Converter)

DC/DC 变换器是通过开关器件将一种直流电压转换成另一种 (或几种) 直流电压的装置。

## 9. 开关稳压器 (Switching Voltage Regulator, 简称 Switching Regulator)

开关稳压器一般特指低压 DC/DC 变换器。给开关稳压器配上工频变压器、输入整流滤波器, 即可构成开关电源。

## 10. 复合式稳压器

由开关电源 (或开关稳压器) 与线性稳压器构成的一种复合式稳压电源, 它以开关电源作为前级, 线性稳压器 (含低压差线性稳压器) 作为后级, 兼有开关电源、线性电源之优点, 不仅电源效率较高, 而且稳压性能好, 输出的纹波噪声很小。

## 11. 硬开关 (Hard Switching)

当功率开关管上的电压或电流尚未过零时, 就强迫功率开关管导通 (或关断), 此时功率开关管的电压下降 (或上升) 与电流上升 (或下降) 有一个交叠过程, 会造成开关损耗。这种开关方式称为硬开关。

## 12. 软开关 (Soft Switching)

其特点是功率开关管仅在其电压 (或电流) 为零时导通, 使管子的开关损耗接近于零。这种开关方式称为软开关。软开关变换器主要包括零电压变换器 (简称 ZVT 变换器) 和零电流变换器 (简称 ZCS 变换器)。

## 13. 拓扑 (Topology)

原指研究与地形、地貌相类似的地志学。在拓扑学里不讨论两个图形全等的概念, 仅讨论拓扑等价的概念。

## 14. 电路的拓扑结构 (Circuit Topology)

电路的拓扑结构是指电路中能反映出电路中各部分连接最本质特点的节点、支路及回路的数量。同一种拓扑结构可对应于不同的电路图。常用的电源变换器拓扑结构有降压式、升压式、反激式、正激式、半桥式、全桥式、谐振式等。

## 15. 降压式变换器 (Buck Converter)

降压式变换器亦称 Buck 变换器, 其特点是输出电压低于输入电压, 它具有降低电压的作用。

## 16. 升压式变换器 (Boost Converter)

升压式变换器简称 Boost 变换器。其特点是输出电压高于输入电压, 它具有提升电压的作用。

### 17. 降压/升压式变换器 (Buck-Boost Converter)

降压/升压式变换器亦称 Buck/Boost 电源变换器。其特点是当输入电压高于输出电压时变换器工作在降压式, 当输入电压低于输出电压时变换器工作在升压式。

### 18. 电荷泵式变换器 (Charge Pump Converter)

亦称极性反转 (Inverting Converter) 式变换器, 或开关电容式变换器。其特点是输出电压的极性与输入电压相反, 且输出负电压的幅度既可高于输入电压, 也可低于或等于输入电压。因此亦可将其列入降压/升压式变换器。

### 19. 单端一次侧电感式变换器 (Single Ended Primary Inductor Converter)

单端一次侧电感式变换器简称 SEPIC 变换器, 电路中使用两只电感器  $L_1$  和  $L_2$ ,  $L_1$  和功率开关管 V 起到升压式变换器的作用, 而  $L_2$  和整流管 VD 起到反激式降压/升压式的作用。它属于“升压+降压/升压式”变换器, 输出电压既可以高于输入电压, 也可以低于输入电压, 使用非常灵活。

### 20. 反激式 (亦称回扫式) 变换器 (Flyback Converter)

反激式变换器亦称回扫式变换器 (Flybackrd Converter)。其特点是仅在功率开关管截止期间向负载输出能量的统称为反激式变换器。

### 21. 正激式变换器 (Forward Converter)

当功率开关管导通时, 除向负载供电之外, 还有一部分电能储存在  $L$  和  $C$  中; 当功率开关管关断时, 储存在  $L$  中的电能就向负载供电, 维持输出电压不变。

### 22. 双开关正激式变换器 (2 Switch Forward Converter)

双开关正激式变换器需使用两只 MOSFET ( $V_1$ 、 $V_2$ ) 作为开关器件, 在 PWM 信号控制下同时导通或关断。

### 23. 半桥式变换器 (Half Bridge Converter)

半桥式变换器是用两只功率开关管构成半桥, 适合构成大功率开关电源。

### 24. 全桥式变换器 (Full Bridge Converter)

全桥式变换器需要使用 4 只功率开关管构成全桥, 适合构成大功率开关电源。

### 25. 推挽式变换器 (Push-pull Converter)

推挽式变换器是利用两只交替工作的功率开关管来完成电源变换的。

### 26. 半桥 LLC 谐振变换器 (Half-bridge LLC Resonant Converter)

半桥 LLC 谐振变换器包含半桥、两只谐振电感和一只谐振电容。它属于一种变频转换器, 其稳压原理为当输出电压升高时, 通过降低工作频率及电压增益使输出电压趋于稳定。

### 27. 脉宽调制 (Pulse Width Modulation, 简称 PWM)

开关电源中常用的一种调制控制方式。其特点是保持开关频率恒定, 即开关周期不变, 改变脉冲宽度, 使电网电压和负载变化时开关电源的输出电压变化最小。

### 28. 占空比 (Duty Cycle)

占空比 ( $D$ ) 表示脉冲宽度 (信号高电平持续时间  $t$ ) 与周期 ( $T$ ) 的百分比, 计算



公式为  $D=(t/T) \times 100\%$ 。在测试脉宽调制 (PWM) 式开关电源及变频调速系统时, 经常需要测量脉冲信号的占空比。

### 29. 波形因数 ( $k_f$ )

波形因数表示有效值电压 ( $U_{\text{RMS}}$ ) 与平均值电压 ( $\bar{U}$ ) 之比, 计算公式为  $k_f=U_{\text{RMS}}/\bar{U}$ 。

### 30. 波形系数 ( $K_f$ )

在开关电源中, 定义正弦波的波形系数  $K_f=\sqrt{2}\pi=4.44$ 。

### 31. 波峰因数 ( $k_p$ )

波峰因数表示峰值电压 ( $U_p$ ) 与有效值电压 ( $U_{\text{RMS}}$ ) 之比, 计算公式为  $k_p=U_p/U_{\text{RMS}}$ 。

### 32. 同步整流 (Synchronous Rectification, 简称 SR)

它是采用通态电阻极低的专用功率 MOSFET, 来取代整流二极管以降低整流损耗的一项新技术, 能显著提高开关电源在低电压、大电流输出时的效率。

### 33. 连续导电模式 CUM (Continuous Mode)

连续模式的特点是高频变压器在每个开关周期, 都是从非零的能量储存状态开始的。

### 34. 不连续模式 DUM (Discontinuous Mode)

不连续模式的特点是, 储存在高频变压器中的能量在每个开关周期内都要完全释放掉。

### 35. 电源管理 (Power Management)

电源管理是指如何将电源有效地分配给系统的不同组件。电源管理技术是将电力变换、现代电子、网络组建、自动控制等多学科融为一体的边缘交叉学科。

### 36. 电源管理集成电路 (Power Management Integrated Circuit, 简称 PMIC)

### 37. 电源管理模式 (Power Management Mode, 简称 PMM)

### 38. 电源电压监视器 (Supply Voltage Supervisor, 简称 SVS)

### 39. 不间断电源 (Uninterrupted Power Supply, 简称 UPS)

当交流供电突然中断时, 将蓄电池输出的直流电变换成交流电, 继续给负载供电的电源设备。

### 40. 电压调整率 (Voltage Regulation 或 Line Regulation)

电压调整率 ( $S_v$ ) 亦称线性调整率 (或线路调整率), 一般用百分数表示, 但也有用 mV 来表示。它表示当输入电压在规定范围内变化时, 输出电压的变化率。测量电压调整率的方法是给开关电源接上额定负载, 首先测出在标称输入电压时的输出电压值  $U_0$ , 然后连续调节输入电压, 使之从规定的最小值一直变化到最大值, 记下输出电压与标称值的最大偏差  $\Delta U_0$  (可取绝对值), 最后代入下式计算电压调整率

$$S_v = \frac{\Delta U_0}{U_0} \times 100\% \quad (1-1-1)$$

#### 41. 负载调整率 (Load Regulation)

负载调整率 ( $S_I$ ) 亦称电流调整率, 一般用百分数表示, 也有的用 mV 表示。它是衡量开关电源在负载电流发生变化时, 使输出电压保持恒定的一种能力。测量负载调整率的方法是将输入电压调至标称值, 分别测出开关电源在满载与空载时的输出电压值  $U_1$ 、 $U_2$ , 再代入下式计算负载调整率

$$S_I = \frac{U_2 - U_1}{U_O} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

需要指出, 开关电源的负载调整率通常是在  $I_O$  从满载的 10% 变化到 100% 情况下测得的, 此时应将式 (1-1-2) 中的  $U_2$  换成  $I_O = 10\% I_{OM}$  时的输出电压值。

#### 42. 输出电压精度 (Output Voltage Accuracy)

输出电压精度亦称准确度, 它主要受开关电源的电压调整率、负载调整率、内部基准电压的温度漂移量 (以下简称温漂)、误差放大器的温漂、取样电阻的精度及温度系数的影响。输出电压精度的表达式为

$$\gamma = S_V + S_I + \frac{\sqrt{\Delta U_{(REF)}^2 + \Delta U_{(OG)}^2 + \Delta U_{(\alpha T)}^2 + \Delta U_{(OTC)}^2}}{U_O} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

式中  $\gamma$ ——输出电压精度;

$S_V$ ——电压调整率 (取绝对值);

$S_I$ ——负载调整率 (取绝对值);

$\Delta U_{(REF)}$ ——基准电压的精度所引起输出电压的变化量;

$\Delta U_{(OG)}$ ——增益误差所引起输出电压的变化量;

$\Delta U_{(\alpha T)}$ ——取样电阻的精度所引起输出电压的变化量;

$\Delta U_{(OTC)}$ ——当环境温度从最低温度  $T_{min}$  变化到最高温度  $T_{max}$  时, 对输出电压的影响。

举例说明: 某开关稳压器的电压调整率  $S_V = 0.5\%$ , 负载调整率  $S_I = 1\%$ 。基准电压  $U_{REF} = 1.25V$ , 基准电压的精度为 1%。输出电压的表达式为

$$U_O = 1.25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (1-1-4)$$

取样电阻  $R_1$ 、 $R_2$  的精度均为  $\pm 0.25\%$ 。当  $R_1 = R_2 = R$  时,  $U_O = 3.3V$ 。该开关稳压器在  $0 \sim 125^\circ C$  温度范围内的温度系数  $\alpha_T = 100 \times 10^{-6} / ^\circ C$ 。增益误差所引起输出电压的变化量可忽略不计, 即  $\Delta U_{(OG)} \approx 0V$ 。不难算出

$$\Delta U_{(REF)} = \frac{2R}{R} \cdot \frac{U_O}{2} \times 1\% = 2 \times \frac{3.3}{2} \times 1\% = 33(mV)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{(\alpha T)} &= [(0.25\%/V)U_O + (0.25\%/V)U_O]U_{REF} \\ &= [(0.25\%/V) \times 3.3V + (0.25\%/V) \times 3.3V] \times 1.65V = 27mV \end{aligned}$$

$$\Delta U_{(OTC)} = \alpha_T (T_{max} - T_{min})U_O = 100 \times 10^{-6} / ^\circ C \times (125^\circ C - 0) \times 3.3V = 41.2mV$$

利用式 (1-1-3) 计算该开关稳压器输出电压的总精度为

$$\gamma = 0.15\% + 0.3\% + \frac{\sqrt{(33mV)^2 + (27mV)^2 + (41.2mV)^2}}{3.3V} \times 100\% = 3.0\%$$





测量输出电压精度的方法是给开关稳压器接上标称输入电压和额定负载，用直流电压表测出实际输出电压  $U'_o$ ，再与标称输出电压  $U_o$  进行比较，最后用下式计算输出电压的精度

$$\gamma_v = \frac{U'_o - U_o}{U_o} \times 100\% \quad (1-1-5)$$

### 43. 电源效率 ( $\eta$ )

电源效率是指开关电源或开关稳压器的转换效率，即输出功率与输入功率的比值，通常用百分数表示，效率愈高，能量损耗愈小。开关电源的总功率  $P$  就等于输出功率  $P_o$  与总功耗  $P_D$  之和

$$P = P_o + P_D \quad (1-1-6)$$

因此，开关电源的转换效率为

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_D} = \frac{P_o}{P} \times 100\% \quad (1-1-7)$$

### 44. 能效

开关电源的能效就等于额定输出功率 ( $P_o$ ) 与空载功耗 ( $P_K$ ) 之比

$$K = \frac{P_o}{P_K} \times 100\% \quad (1-1-8)$$

### 45. 待机电流 (Standby Current)

待机电流是指开关电源被关断时所消耗的电流。此时开关电源处于待机 (备用) 模式。

### 46. 结温 (Junction Temperature)

由于芯片是由半导体 PN 结所构成的，因此通常将芯片温度简称为结温，通常用  $T_j$  表示。

### 47. 最高结温

单片开关电源或开关稳压器所允许的最高结温用  $T_{jM}$  表示，超过此温度时将关闭输出，以免造成永久性损坏。不同芯片的最高结温也不相同，常见的最高结温为  $125^\circ\text{C}$  或  $150^\circ\text{C}$ 。

### 48. 过热保护 (Over Temperature Protection, 简称 OTP)

当温度超过芯片的最高允许工作温度时，开关电源立即关断输出，起到保护作用。

### 49. 过电压保护 (Over Voltage Protection, 简称 OVP)

当输入电压 (或输出电压) 超过最大值时，开关电源能自动关断输出的功能。

### 50. 欠电压保护 (Under Voltage Protection, 简称 UVP)

当输入电压低于最小值时，开关电源能自动将电源关断的功能。

### 51. 过电流保护 (Over Current Protection, 简称 OCP)

过电流保护亦称限流保护，它是指当输出电流超过规定电流极限值时，开关电源自动限制或关断输出电流的功能。