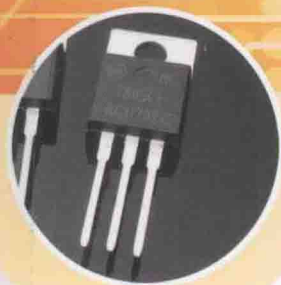


第二版

开关电源 外围元器件 选择与检测

沙占友 庞志锋 王彦朋 安国臣 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



第二版

开关电源 外围元器件 选择与检测

沙占友 庞志锋 王彦朋 安国臣 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

目前,被誉为绿色节能的开关电源正迅速获得推广与普及。正确选择与检测外围元器件是设计、制作开关电源的基础和保证。本书从实用角度出发,全面、系统、深入地阐述了开关电源各种外围元器件的工作原理,在开关电源中的典型应用、选择方法、检测技巧及测量注意事项。其中,既有基础类元件,也有大量的新型电子元器件。此外,还详细介绍了常用检测仪器、仪表的选择及使用注意事项。

本书内容丰富,深入浅出,通俗易懂。具有科学性、先进性与很高的实用价值,可供电子和电气工程技术人员,仪器仪表及家电维修人员,大专院校师生及电子爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源外围元器件选择与检测/沙占友等著. —2版. —北京:中国电力出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5123-4715-1

I. ①开… II. ①沙… III. ①开关电源—电子元件②开关电源—电子器件 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 162050 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

*

2009 年 6 月第一版

2014 年 1 月第二版 2014 年 1 月北京第三次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 23 印张 491 千字

印数 5001—8000 册 定价 55.00 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

电子元器件是信息产业的基础，各种电子产品都是由最基本的电子元器件构成的，开关电源也不例外。例如，一个中、小功率的集成开关电源就需要配上几十至上百个外围电子元器件。这些元器件的种类繁多、性能各异，涉及电子、电力、电工、热力学等多个领域，其质量好坏，直接影响到开关电源的性能指标。因此，正确选择和检测元器件是设计制作开关电源的基础工作和可靠保证。

鉴于国内介绍集成开关电源外围元器件的书籍还很少，作者曾撰写《开关电源外围元器件选择与检测》，该书于2009年出版后已经过多次印刷，受到广大读者欢迎。近年来，我国电子元器件产业获得飞速发展。据统计，2012年我国电子元器件的产量达25 494.88亿只，已成为继美国、日本之后的第三大生产基地。随着更多的新型电子元器件开始用于开关电源中，广大读者迫切需要能全面、系统地掌握这方面的知识。为此，作者对原书进行了修订，做了补充和修改，并增加了许多新内容，以满足广大读者的需要。

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，重点突出。以集成开关电源关键外围元器件为核心，全面、深入地阐述其工作原理、典型应用、选择方法、检测技巧及使用注意事项。

第二，内容丰富，几乎涵盖了集成开关电源所使用的各种类型外围元器件。其中，既有基础类元件，也有大量的新型电子元器件。此外，还详细介绍了常用检测仪器仪表的选择及使用注意事项。

第三，具有很高的实用价值。本书在介绍各种集成开关电源外围元器件的同时，还分别给出了它们在开关电源中的典型应用电路，便于读者触类旁通，举一反三，灵活应用。

第四，内容由浅入深，循序渐进。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。

沙占友教授撰写了第一章、第四章和第五章，并完成了全书的审阅和统稿工作。庞志锋教授、王彦朋教授、安国臣老师共同撰写了第二、三、六章。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、郑国辉同志也参加了本书的撰写工作。

由于作者水平所限，书中的缺点和不妥之处在所难免，敬请广大读者指正。

目 录

前言

第一章	开关电源及外围元器件概述	1
第一节	开关电源的基本原理	1
一、	集成稳压电源的分类	1
二、	开关电源的基本原理	2
三、	开关电源的控制类型	4
第二节	开关电源集成电路的选择	7
第三节	常用电子元器件的分类	8
第四节	集成开关电源中通用元器件的类型及主要功能	11
第五节	集成开关电源中特种元器件的类型及主要功能	13
第六节	集成开关电源保护电路的分类及功能	15
第七节	开关电源常用测试仪器仪表	16
一、	电子测量仪器的分类及型号命名法	16
二、	开关电源常用测试仪器仪表	18
第二章	电阻器、电容器和电感器的选择与检测	20
第一节	固定电阻器的选择	20
第二节	电阻器的检测	25
一、	用指针万用表检测电阻的方法	25
二、	用数字万用表检测电阻的方法	27
第三节	电流检测电阻的选择	29
一、	利用漆包线制作电流检测电阻	29
二、	利用 PCB 上的铜导线制作电流检测电阻	30
第四节	机械式电位器的选择与检测	34
一、	电位器的内部结构及产品分类	34
二、	电位器的检测方法	35
第五节	数字电位器的选择	36
一、	数字电位器的基本原理及典型应用	36
二、	数字电位器的产品分类	41
三、	数字电位器的选择	44
第六节	电容器的选择	46

一、电容器的分类及容量、误差表示法	46
二、电容器的基本用法	50
第七节 输入滤波电容器的选择	51
一、输入滤波电容器的选择方法	51
二、准确计算输入滤波电容器的方法	52
第八节 输出滤波电容器的选择	52
一、输出滤波电容器的容量计算	53
二、选用输出滤波电容器的注意事项	56
第九节 固态电容器和超级电容器的选择	57
一、固态电容器的选择方法	57
二、超级电容器的选择方法	59
第十节 安全电容的选择方法	61
一、选取 X 电容的方法	61
二、选取 Y 电容的方法	62
第十一节 电容器的测量	64
一、利用指针万用表测量电容	64
二、利用数字万用表测量电容	67
三、估算铝电解电容器内部中心温度的方法	69
第十二节 电感器的选择	70
一、电感器的特性	70
二、储能电感的选择方法	71
三、串模扼流圈和共模扼流圈的选择方法	71
第十三节 磁珠的选择	74
一、磁珠的性能特点	74
二、磁珠的选择方法	75
第十四节 电感器的测量	78
一、利用指针万用表测量电感	78
二、利用数字万用表测量电感	80
第十五节 高频变压器磁心的选择与检测	81
一、用经验公式选择磁心的方法	81
二、根据输出功率选择磁心的方法	86
三、高频变压器磁心的检测方法	88
第十六节 利用 AP 法选择高频变压器磁心的方法	88
一、波形系数与波形因数分析	88
二、开关电源中 6 种常见波形的参数	89
三、利用 AP 法选择磁心的计算公式	90
第十七节 高频变压器的设计要点	92
第十八节 高频变压器的检测	97

一、高频变压器的电气性能测试	97
二、利用示波器检测高频变压器的磁饱和特性	98
第三章 整流及功率器件的选择与检测	101
第一节 整流管的选择	101
一、整流管的产品分类	101
二、整流管在开关电源中的典型应用	102
第二节 整流管的检测	103
一、利用指针万用表检测整流管	103
二、利用数字万用表检测整流管	104
第三节 整流桥的选择与检测	106
一、整流桥的选择方法	106
二、整流桥的导通时间与选通特性	107
三、倍压整流及交流输入电压转换电路	108
四、整流桥的检测方法	110
第四节 输入整流滤波器的选择与设计	112
一、输入整流滤波器的选择与设计曲线	112
二、输入整流滤波器的设计步骤	115
三、输入整流滤波器的设计实例	116
第五节 高速开关二极管的选择与检测	117
一、高速开关二极管的选择	117
二、高速开关二极管的检测方法	118
第六节 快恢复、超快恢复二极管的选择与检测	119
一、快恢复及超快恢复二极管的选择方法	119
二、快恢复及超快恢复二极管的检测方法	122
第七节 肖特基二极管的选择与检测	123
一、肖特基二极管的选择方法	123
二、肖特基二极管的检测方法	126
第八节 升压式 PFC 二极管的选择	127
一、有源 PFC 升压式变换器的基本原理	127
二、升压式 PFC 二极管的选择方法	129
第九节 双极型小功率晶体管的选择与检测	130
一、双极型小功率晶体管的选择方法	131
二、利用指针万用表检测双极型晶体管的方法	132
三、利用数字万用表检测双极型晶体管的方法	135
四、在线测量双极型晶体管的方法	139
第十节 双极型功率开关管的选择与检测	140
一、双极型功率开关管的选择方法	140

二、双极型功率开关管的检测方法	141
第十一节 功率 MOSFET 的选择与检测	142
一、功率 MOSFET 的选择方法	142
二、功率 MOSFET 的检测方法	144
第十二节 IGBT 功率开关管的选择	144
一、IGBT 功率开关管的选择方法	144
二、IGBT 功率开关管的检测方法	148
第十三节 智能功率器件的选择	148
一、智能功率器件的特点及产品分类	148
二、智能功率集成电路的典型应用	149
三、智能功率模块的原理与应用	152
第四章 开关电源保护器件的选择与检测	154
第一节 熔丝管的选择与检测	154
一、熔丝管的工作原理及产品分类	154
二、熔丝管的使用与检测方法	156
第二节 熔断电阻器的选择与检测	157
一、熔断电阻器的选择方法	157
二、熔断电阻器的检测方法	158
第三节 自恢复熔丝管的选择与检测	158
一、自恢复熔丝管的选择方法	159
二、自恢复熔丝管的检测方法	162
第四节 软启动功率元件及启动电路的选择与检测	163
一、负温度系数热敏电阻器的特性与检测方法	163
二、软启动功率元件的选择与检测方法	165
三、开关电源启动电路的设计	167
第五节 压敏电阻器的选择与检测	169
一、压敏电阻器的选择方法	169
二、压敏电阻器的检测方法	172
第六节 瞬态电压抑制器的选择与检测	172
一、瞬态电压抑制器的工作原理	172
二、瞬态电压抑制器的选择方法及典型应用	175
三、瞬态电压抑制器的检测方法	176
第七节 气体放电管的选择	177
一、气体放电管的选择方法	177
二、气体放电管的典型应用	181
第八节 集成过电压及过电流保护器件	182
一、NCP345 型过电压保护器	182

二、MAX4843 系列过电压保护器	185
三、LTC4213 型过电流保护器	187
第九节 电磁干扰滤波器的选择与检测	188
一、EMI 滤波器的结构原理及选择方法	188
二、EMI 滤波器的检测方法	193
第十节 有源电磁干扰滤波器的选择	194
第十一节 人体静电放电保护器件	198
一、人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法	198
二、ESD 保护二极管的原理与应用	199
三、多路 ESD 保护器件的原理与应用	201
第十二节 温度熔丝管及温度保护器的选择	203
一、温度熔丝管及温度保护器的选择方法	203
二、温度熔丝管及温度保护器的检测方法	204
第十三节 单片开关电源散热器的设计	205
一、散热器的工作原理	205
二、单片开关电源的散热器设计方法	207
三、单片开关电源散热器设计实例	207
第十四节 开关稳压器散热器的设计	210
一、散热器的选择	210
二、散热器的使用注意事项	217
三、开关稳压器芯片总热阻的测量方法	220
第十五节 功率开关管 (MOSFET) 散热器的设计	221
一、功率开关管散热器设计方法	221
二、功率开关管散热器设计实例	222
三、设计功率开关管散热器的注意事项	223
第十六节 大功率 LED 照明灯的散热器设计	224
一、大功率 LED 的安全工作区与降额曲线	224
二、大功率 LED 照明灯散热器设计方法与设计实例	225
三、测量大功率 LED 结温的方法	227
第十七节 大功率 LED 照明灯的温度补偿	228
一、大功率 LED 照明灯的温度补偿原理	228
二、带温度补偿的可调光大功率 LED 驱动器	230
三、大功率 LED 温度补偿电路应用实例	232
第十八节 大功率 LED 照明灯的开路保护	234
一、NUD4700 型 LED 照明灯开路保护器	234
二、SMD602 型 LED 照明灯开路保护器	235
三、AMC7169 型 LED 照明灯开路保护器	237
第十九节 大功率 LED 照明灯的过电压、过电流保护	238

一、LED 照明灯的瞬态过电压保护电路	238
二、LED 照明灯的过电流保护电路	239
三、LED 照明灯的浪涌电流保护电路	240
第五章 特种元器件的选择与检测	243
第一节 稳压管的选择与检测	243
一、稳压管的选择方法	243
二、稳压管的检测方法	247
第二节 稳流管的选择与检测	249
一、稳流管的选择方法	249
二、稳流管的检测方法	251
第三节 光耦合器的选择与检测	252
一、光耦合器的基本原理	252
二、光耦合器的选择方法	254
三、光耦合器的检测方法	255
第四节 可调式精密并联稳压器的选择与检测	258
一、可调式精密并联稳压器	258
二、低压输出可调式精密并联稳压器	260
三、输出可从 0V 起调的精密低压差线性稳压器	263
第五节 光耦反馈控制环路的稳定性设计	266
一、对光耦反馈控制环路的基本要求	266
二、光耦反馈控制环路的稳定性设计	267
三、提升相位裕量的设计实例	271
第六节 X 电容零损耗放电器的选择	273
一、X 电容零损耗放电器的工作原理	273
二、X 电容零损耗放电器的选择方法	274
第七节 零损耗高压检测信号断接器的选择	276
一、零损耗高压检测信号断接器的原理与应用	277
二、电源配置及远程关断方式	278
第八节 单向晶闸管的选择与检测	279
一、单向晶闸管的选择方法	280
二、单向晶闸管的检测方法	285
第九节 双向触发二极管的选择与检测	287
一、双向触发二极管的选择方法	287
二、双向触发二极管的检测方法	287
第十节 双向晶闸管的选择与检测	289
一、双向晶闸管的选择方法	289
二、双向晶闸管的检测方法	290

第十一节 电磁继电器的选择与检测	293
一、电磁继电器的选择方法	293
二、电磁继电器的检测方法	294
第十二节 固态继电器的选择与检测	295
一、固态继电器的选择方法	295
二、固态继电器的检测方法	299
第十三节 三层绝缘线的选择	300
一、三层绝缘线的结构特点	300
二、三层绝缘线的使用注意事项	303
第十四节 电压条图指示计的选择	303
一、LED 条图显示驱动器的选择	304
二、电压条图指示计的应用电路	305
第十五节 电源监视器的选择	308
一、由 TL431 构成的电压监视器	308
二、由 LM3914 构成的欠电压和过电压监视器	308
三、由 HYM705 /706 构成的电源监视器	309
四、由 MCP1316 系列产品构成的电压监视器	313
第十六节 电子管的选择与检测	315
一、电子管的选择方法	315
二、电子管的检测方法	317
三、电子管的修复方法	319
第六章 常用检测仪器仪表的选择及使用注意事项	322
第一节 指针万用表的选择	322
第二节 指针万用表的使用注意事项	324
第三节 数字万用表的选择	330
第四节 数字万用表的使用注意事项	333
第五节 绝缘电阻表的选择及使用注意事项	339
一、绝缘电阻表的工作原理	340
二、绝缘电阻表的选择	341
三、绝缘电阻表的使用注意事项	342
第六节 通用示波器的选择及使用注意事项	343
一、通用示波器显示波形的原理	344
二、通用示波器的选择	348
三、通用示波器的使用注意事项	349
附录 开关电源及其外围元器件常用英文符号	355
参考文献	358

第一章

开关电源及外围元器件概述

本章首先介绍开关电源的基本原理及开关电源集成电路的选择方法,然后重点阐述集成开关电源外围电路中通用元器件、特种元器件的类型及主要功能,最后介绍开关电源常用测试仪器、仪表。

第一节 开关电源的基本原理

一、集成稳压电源的分类

集成稳压电源大致可分成线性稳压电源 (Linear Power Supply, LPS) 和开关电源 (Switching Power Supply, SPS; 又可译成 Switching Mode Power Supply, SMPS) 两大类。集成稳压电源的分类及特点见表 1-1-1。

表 1-1-1 集成稳压电源的分类及特点

集成稳压电源	线性电源 (LPS)	NPN 型标准线性稳压器	固定式	三端固定式	正压输出，负压输出	
				多端固定式	正压输出，负压输出	
			可调式	三端可调式	正压输出，负压输出，跟踪式	
				多端可调式	正压输出，负压输出，跟踪式	
		低压差线性稳压器	PNP 型低压差线性稳压器 (LDO) 准低压差线性稳压器 (QLDO) 超低压差线性稳压器 (VLDO)	三端或多端固定式	正压输出，负压输出，跟踪式	
				三端或多端固定式/可调式		
	开关电源 (SPS)	脉宽调制器 (PWM)	集成度较低，外围电路复杂，但可构成大功率开关电源			
		脉频调制器 (PFM)	集成度较低，外围电路复杂，开关频率可达 1MHz 以上，高效率			
		开关稳压器 (Switching Regulator)	集成度较高，内含功率开关管，构成开关电源时需配工频变压器			
		单片开关电源	集成度很高，外围电路简单，适合构成中、小功率开关电源			
		数字电源	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、PWM 控制器等作为控制对象，能实现电源控制、管理和监测功能			



线性稳压器因其内部调整管与负载相串联且调整管工作在线性工作区而得名, 又称作串联调整式集成稳压器。其优点是稳压性能好, 输出纹波电压小, 电路简单、成本低廉。主要缺点是调整管的压降较大, 功耗高, 稳压电源的效率较低, 一般为 45% 左右。线性集成稳压器主要包括两种: 一种是采用 NPN 调整管的标准线性稳压器 (Standard Linear Regulator), 亦称 NPN 型线性稳压器; 另一种是采用 PNP 调整管的 PNP 型低压差线性稳压器 (LDO)。此外还有准低压差线性稳压器 (QLDO) 和超低压差线性稳压器 (VLDO)。按照输出电压方式来划分, 又有固定输出、可调输出、正压输出、负压输出、多路输出 (含跟踪式输出) 等多种形式。传统的标准线性稳压器的效率仅为 45% 左右, 而 LDO、VLDO 在低压输入时的效率可达 80%~95%。

开关电源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。开关电源内部的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 70%~90%, 比标准线性稳压电源提高近一倍。开关电源集成电路主要有以下 4 种类型: 脉宽调制器、脉频调制器、开关稳压器、单片开关电源。

二、开关电源的基本原理

1. 开关电源的工作方式

开关电源按控制原理来分类, 有以下 4 种工作方式:

(1) 脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, PWM, 即脉宽调制) 式: 开关频率为恒定值, 通过调节脉冲宽度来改变占空比, 实现稳压目的。其核心是脉宽调制器。

(2) 脉冲频率调制 (Pulse Frequency Modulation, PFM, 即脉频调制) 式: 其占空比为恒定值, 通过调节开关频率来实现稳压目的。其核心是脉频调制器。

(3) 脉冲密度调制 (Pulse Density Modulation, PDM, 即脉密调制) 式: 脉冲宽度为恒定值, 通过调节脉冲数实现稳压目的。它采用零电压技术, 能显著降低功率开关管的损耗。

(4) 混合调制式: 它是 (1)、(2) 两种方式的组合。开关周期和脉冲宽度都不固定, 均可调节。它包含了脉宽调制器和脉频调制器。

以上 4 种工作方式统称为“时间比率控制” (Time Ratio Control, TRC) 方式, 其中以脉宽调制器的应用最为广泛。

需要指出的是, 脉宽调制器既可作为一片独立的集成电路使用 (例如 UC3842 型脉宽调制器), 亦可被集成在开关稳压器芯片中 (例如 L4960A 型开关稳压器), 或集成在开关电源芯片中 (例如 TOP250 型单片开关电源集成电路)。其中, 开关稳压器属于 DC/DC 电源变换器, 开关电源对应于 AC/DC 电源变换器, 但习惯上有时也将开关稳压器统称为开关电源。

2. 脉宽调制器的基本原理

脉宽调制式开关电源的工作原理如图 1-1-1 所示。220V 交流电 u 首先经过整流滤波电路变成直流电压 U_1 , 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，最后经过整流滤波后获得所需要的直流输出电压 U_O 。脉冲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，达到稳压目的。锯齿波发生器用于提供时钟信号。利用误差放大器和 PWM 比较器形成闭环调节系统。输出电压 U_O 经 R_1 、 R_2 取样后获得取样电压 U_Q ，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，最后经过功率开关管（VT）和降压式输出电路（VD 和 C_2 ）使 U_O 保持不变。 U_J 为锯齿波发生器的输出信号。

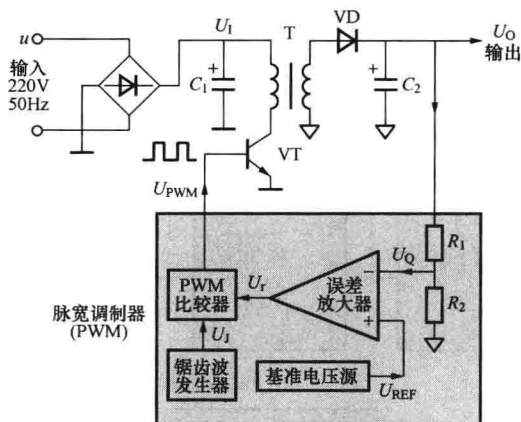


图 1-1-1 脉宽调制式开关电源的工作原理

需要指出，取样电压通常是接误差放大器的反相输入端，但也有的接同相输入端，这与误差放大器另一端所输入的锯齿波电压极性有关。一般情况下当输入的锯齿波电压为正极性时，取样电压接反相输入端；输入锯齿波电压为负极性时，取样电压接同相输入端（下同）。

令直流输入电压为 U_1 ，开关稳压器的效率为 η ，占空比为 D ，则功率开关管的脉冲幅度 $U_P = \eta U_1$ ，再经过整流滤波后获得的直流输出电压为

$$U_O = \eta D U_1 \quad (1-1-1)$$

这表明当 η 、 U_1 为一定时，只要改变占空比，即可自动调节 U_O 值。例如，当 U_O 由于某种原因而升高时， $U_r \downarrow \rightarrow D \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$ 。反之，若 U_O 降低，则 $U_r \uparrow \rightarrow D \uparrow \rightarrow U_O \uparrow$ 。这就是自动稳压的原理。自

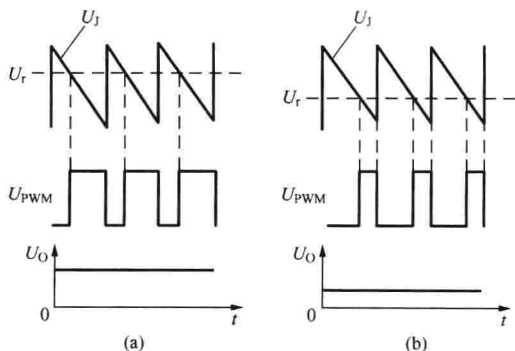


图 1-1-2 自动稳压过程的波形图

- (a) 当误差电压升高时输出电压随之升高；
(b) 当误差电压降低时输出电压随之降低



动稳压过程的波形如图 1-1-2 所示。图中, U_I 表示锯齿波发生器的输出电压, U_r 是误差电压, U_{PWM} 代表 PWM 比较器的输出电压, U_O 为开关电源的直流输出电压波形。

开关电源的基本构成及波形变换如图 1-1-3 所示。主要由以下 5 部分构成: ①输入整流滤波器: 将 50Hz 正弦波交流电压 u 变成直流电压 U_I ; ②功率开关管 (VT) 及高频变压器 (T): 实现 20kHz~1MHz 范围内的脉宽调制输出, 高频变压器的一次侧电压为 U_P , 二次侧电压为 U_S ; ③输出整流滤波器: 获得直流稳压输出 U_O ; ④取样电路: 获得取样电压 U_Q ; ⑤控制电路 (PWM 调制器), 含振荡器、基准电压源 (U_{REF})、误差放大器和 PWM 比较器: 用于产生脉宽调制信号 U_{PWM} , 其占空比受取样电压的控制。除此之外, 还需增加偏置电路、保护电路等。

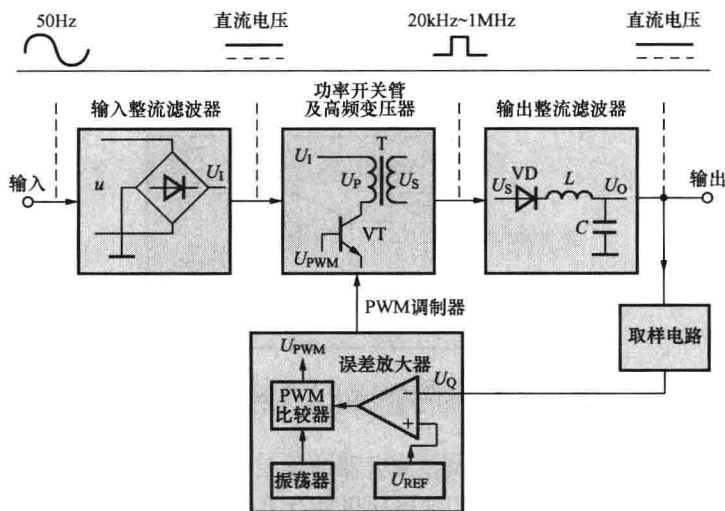


图 1-1-3 开关电源的基本构成及波形变换

三、开关电源的控制类型

开关电源有两种控制类型, 一种是电压控制型 (Voltage Mode Control); 另一种是电流控制型 (Current Mode Control)。二者有各自的优缺点, 很难讲某种控制类型对所有应用都是最优化的, 应根据实际情况加以选择。

1. 电压控制型

电压控制是开关电源最常用的一种控制类型。以降压式开关稳压器 (即 Buck 变换器) 为例, 电压控制型的基本原理及工作波形分别如图 1-1-4 (a)、(b) 所示。其特点是首先通过对输出电压进行取样 (必要时还可增加取样电阻分压器), 所得到的取样电压 U_Q 就作为控制环路的输入信号。然后对取样电压和基准电压 U_{REF} 进行比较, 并将比较结果放大成误差电压 U_r , 再将 U_r 送至 PWM 比较器与锯齿波电压 U_I 进行比较, 获得

脉冲宽度与误差电压成正比的调制信号。图 1-1-4 (a) 中的振荡器有两路输出，一路输出为时钟信号（方波或矩形波），另一路为锯齿波信号， C_T 为振荡电容。T 为高频变压器，VT 为功率开关管。降压式输出电路由整流二极管 VD_1 、续流二极管 VD_2 、储能电感 L 和滤波电容 C_O 组成。PWM 锁存器的 R 为复位端，S 为置位端。

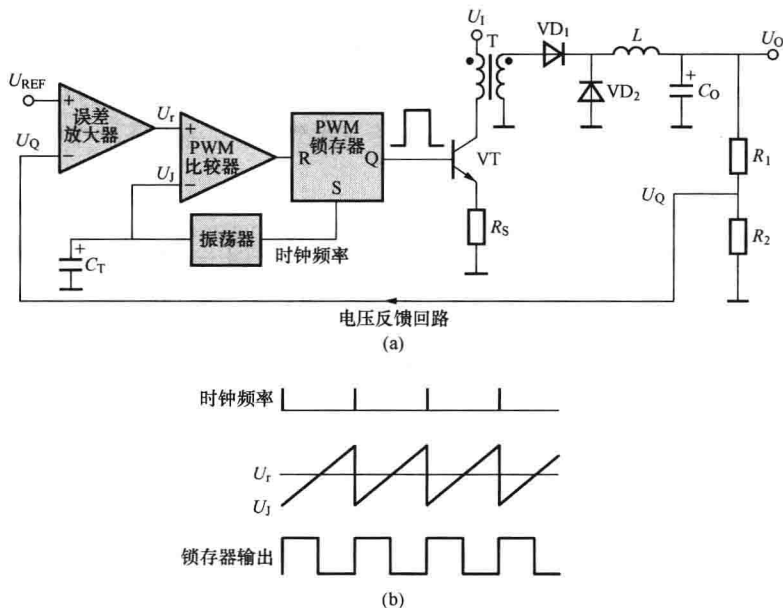


图 1-1-4 电压控制型的基本原理及工作波形
(a) 基本原理；(b) 工作波形

电压控制型具有以下优点：

- (1) 它属于闭环控制系统，且只有一个电压反馈回路（即电压控制环），电路设计比较简单。
- (2) 在调制过程中工作稳定。
- (3) 输出阻抗低，可采用多路电源给同一个负载供电。

电压控制型的主要缺点如下：

- (1) 响应速度较慢。虽然在电压控制型电路中使用了电流检测电阻 R_s ，但 R_s 并未接入控制环路。因此，当输入电压发生变化时，必须等输出电压发生变化之后，才能对脉冲宽度进行调节。由于滤波电路存在滞后时间，输出电压的变化要经过多个周期后才能表现出来。所以电压控制型的响应时间较长，使输出电压稳定性也受到一定影响。

- (2) 需另外设计过电流保护电路。
- (3) 控制回路的频率补偿较复杂，闭环增益随输入电压而变化。

2. 电流控制型

电流控制型是在电压控制环的基础上又增加了电流控制环,其基本原理及工作波形分别如图 1-1-5 (a)、(b) 所示。 U_s 为电流检测电阻的压降,此时 PWM 比较器变为电流检测比较器。电流控制型需通过检测电阻来检测电流,并且可逐个周期的限制电流,便于实现过电流保护。固定频率的时钟脉冲将 RS 锁存器置位,从 Q 端输出的驱动信号为高电平,使功率开关管 VT 导通,高频变压器一次侧的电流线性地增大。当电流检测电阻 R_s 上的压降达到并超过 U_r 时,电流检测比较器翻转,输出的高电平将锁存器复位,从 Q 端输出的驱动信号变为低电平,令开关管关断,直到下一个时钟脉冲使 RS 锁存器置位。

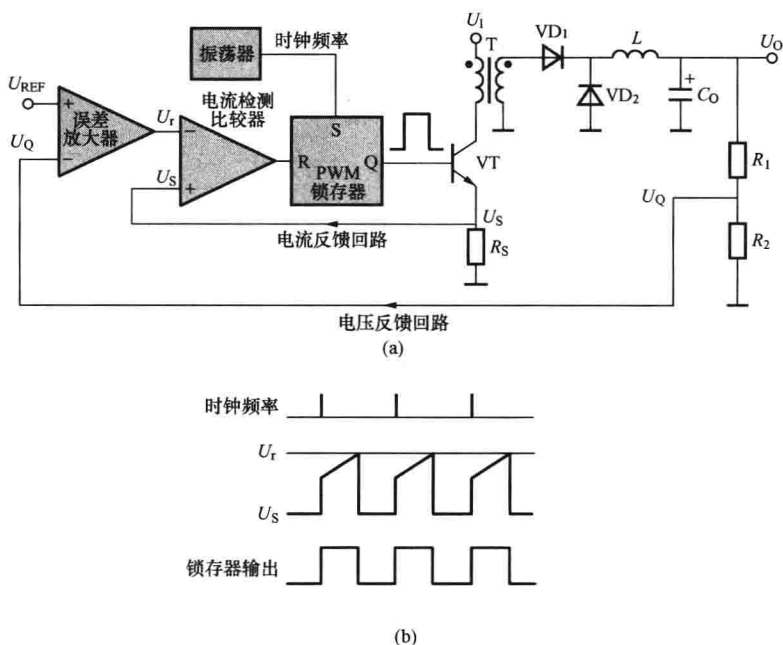


图 1-1-5 电流控制型的基本原理及工作波形
(a) 基本原理; (b) 工作波形

电流控制型具有以下优点:

(1) 它属于双闭环控制系统,外环由电压反馈电路构成,内环由电流反馈电路组成,并且电流反馈电路受电压反馈电路的控制。与电压反馈电路相比,电流反馈电路的增益带宽 (Gain Bandwidth) 更大。

(2) 对输入电压瞬态变化的响应速度快,当输入电压发生变化时能迅速调整输出电压达到稳定值。这是因为输入电压的变化会导致一次侧电感电流发生变化,进而使 U_s 改变,无须经过误差放大器,直接通过电流检测比较器就能改变输出脉冲的占