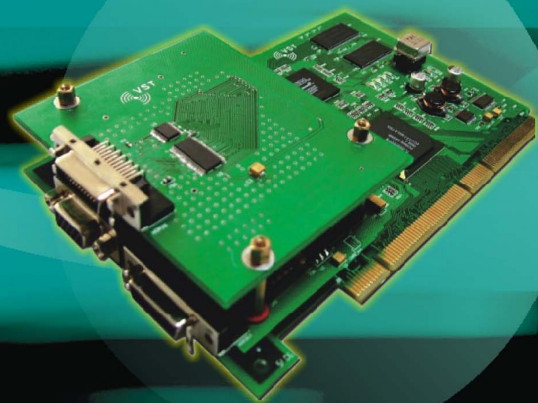
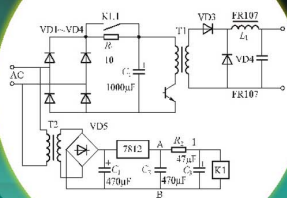


电力电子工程应用技术丛书

开关电源工程设计 快速入门

乔恩明 张双运 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力电子工程应用技术丛书

开关电源工程设计 快速入门

乔恩明 张双运 编著
徐远根 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

本书以开关电源实用电路设计与制作为主线，介绍了单端开关电源的主电路和控制电路，并讨论了主电路元器件的参数计算与选择，然后通过应用电路实例，分步骤对开关电源电路的设计过程进行了剖析。书中主要内容包括：开关电源主电路的计算、PWM集成控制电路、保护电路、高频开关变压器的设计与制作、开关电源的干扰与抑制、印制电路板的设计、开关电源的计算机辅助设计、开关电源的测试、开关电源的设计实例等。

本书内容丰富，深入浅出，通俗易懂，具有很高的实用价值。本书适用于开关电源初学者和开关电源从业者学习使用，也可供电气工程及其自动化专业、电子技术以及其他相关专业的本科生阅读，还可作为相关专业工程技术人员与维修人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

开关电源工程设计快速入门/乔恩明，张双运编著. —北京：中国电力出版社，2010.3

ISBN 978-7-5123-0002-6

I. ①开… II. ①乔…②张… III. ①开关电源-设计
IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 007754 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)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年4月第一版 2010年4月北京第一次印刷

1000毫米×1400毫米 B5开本 13.5印张 293千字

印数 0001—3000册 定价 28.00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

Preface

前 言

开关电源的原理已经应用了 100 多年。然而，随着开关电源的磁性元件、开关器件和整流器三大主要元器件的快速发展，开关电源才进入快速发展的阶段。到了 20 世纪 80 年代，开关电源已开始广泛应用。何谓开关电源，就是利用半导体功率器件作为开关，将一种电源形态转变为另一种形态的电路，在转变时用自动控制闭环并有保护环节稳定输出电压的装置。

近年来，国内直流开关电源技术无论是理论研究，还是生产应用已有相当的成果和规模。高频、高效、高功率密度、高功率因数、高可靠性、高电气指标等特征，使开关电源具有更强的竞争力，应用领域不断扩大。各种开关电源设备在家庭、工业、医疗、交通、国防领域已广泛应用，取得了显著的社会效益和经济效益。开关电源涉及多个学科，如电子技术、电力电子技术、计算机技术、集成电路技术、控制理论、变换技术、电磁材料等，开关电源是一个技术密集型产品，不再是一个普通电源。但是目前用户对其了解甚少，维护使用方面存在问题较多，因此越来越多开关电源产品的使用，与多数用户对开关电源知识的缺乏这一矛盾日渐突出。所以，快速普及开关电源的原理知识势在必行。

为使读者能迅速了解开关电源的原理，并制作小型开关电源，本书作者在结合十几年来从事开关电源设计、制造实际工作经验的基础上，并参阅了国内外大量开关电源设计及功率电子学等方面的图书、资料编写了本书。为适应读者的需要，特别是刚走出校门的大学生以及电器维修工程师的需求，我们在编写中既对开关电源的原理进行了分析，又详细论述了开关电源设计、制作和调试的各个步骤，并给出了详尽的计算过程、工艺设计过程和整机测试方法。文中突出讲述了主电路的参数设计、计算和变压器参数计算、绕制工艺及多种实用保护电路；同时还进行了基本技能训练，如开关电源的 PCB 设计技术、测试技术、抗干扰技术、计算机仿真技术。文中最后一章是实例。

本书旨在为广大读者提供一些基本的实践素材和基本技能训练，试图为入门的读者起到抛砖引玉的作用。

本书第一、二、八、九、十章由乔恩明编写；第四、五、六、七章由张双运编写；第三章由祁程超编写。空军雷达学院徐远根教授参与了本书的写作计划和提纲确定，并审阅了全部书稿。由于编写时间仓促，难免有不妥之处及错误存在，望广大读者批评指正。

在本书的编写过程中，得到了武汉雷升电子有限责任公司黄玉龙和武汉普欣电子有限公司祁东育等同仁的支持和帮助。另外，郝晓冬等对本书提出了宝贵意见，在此表示感谢。

编 者

Contents

目 录

前言		
第一章 概述	1	
第一节 开关电源的特点	1	
第二节 开关电源的分类	3	
第三节 开关电源的主要 技术要求	4	
第二章 开关电源主电路的计算 ..	10	
第一节 串联降压式开关电源 ..	10	
第二节 单端正激式开关电源 ..	13	
第三节 自激单端反激式 开关电源	17	
第四节 他激单端反激式 开关电源	22	
第三章 开关电源的计算机 辅助设计	33	
第一节 开关电源的计算机 仿真技术	33	
第二节 MATLAB 语言在开关 电源仿真中的应用	35	
第三节 应用 EXCEL 电子表格设计 反激式开关电源	45	
第四章 高频开关变压器的 设计与制造	50	
第一节 概述	50	
第二节 软磁材料的分类 及特点	50	
第三节 高频变压器磁心 的选择	55	
第四节 高频变压器的 参数设计	58	
第五节 高频变压器的设计与 制作举例	60	
第五章 开关电源控制用集成 电路	69	
第一节 开关电源 PWM 控制 原理电路	69	
第二节 开关电源用 PWM 集成 控制电路	72	
第三节 自带控制电路的三端 高压开关器件	81	
第四节 隔离反应用光耦合器 ..	85	
第五节 TL431 精密可调基准 电源	88	
第六节 数字开关电源控制器 ..	90	
第六章 开关电源的保护	95	
第一节 开关电源输入电路的 保护	95	
第二节 开关管的限流保护	99	
第三节 输出过电压、欠电压 保护电路	104	
第四节 负载短路与过载 保护	110	
第七章 开关电源的干扰与 抑制	115	
第一节 开关电源的干扰 分类	115	
第二节 采用 EMI 滤波抑制 传导干扰	117	
第三节 采用接地技术抑制 声频干扰	121	
第四节 采用屏蔽技术抑制 辐射干扰	124	
第五节 减小输出纹波的 方法	127	

第八章 印制电路板 PCB 的设计	132
第一节 印制电路板的分类选择	132
第二节 Protel 99SE 印制电路板设计软件简介	135
第三节 通用 PCB 设计与 Protel 99SE 的使用技巧	143
第九章 开关电源的测试	158
第一节 常用数字万用表	158
第二节 模拟示波器的使用方法	162
第三节 开关电源的测试方法	172
第十章 开关电源电路设计实例	180
第一节 卫星接收机用开关电源—RCC 电路	180

第二节 由 TOP233Y 构成的 35W 多路机顶盒电源	183
第三节 单端正激式开关电源设计实例	186
第四节 准谐振反激式软开关电源设计实例	190
第五节 非隔离降压型 (Buck) 稳压电源设计实例	193
第六节 非隔离升压型 (Boost) 稳压电源设计实例	194
第七节 单端反激式开关电源设计实例	194
第八节 超宽输入电压单端反激式开关电源设计实例	196
第九节 半桥式开关电源设计实例	199
第十节 有源功率因数校正电路 (PFC) 设计实例	202
参考文献	208

Chapter 1

第一章

概 述

在现代高科技时代，随着高新技术的不断深入，在科学实践中攻克一些技术难关往往来自于高品质的电源，一个达不到高标准的电源甚至会影响到整个科研项目的进程。那么怎样才能使电源的质量和技术标准不断满足现代科学实践的要求呢？我们必须从电源本身特有的特点出发，从基本理论和技术关键点入手去研究它。电源犹如人体的心脏，是所有电设备的动力，但电源却不像人体心脏那样形式单一。因为：①标志电源特性的参数有功率、电压、电流、频率、噪声、纹波、失真度及带负载时的参数变化率等；②在统一参数要求下，又有体积、数量、形态、效率、可靠性、适应环境能力等指标。因此，作为一名电子、电气信息类的专门人才，一定要把研究电源作为科学体系中的一部分，去专门研究电源理论和开发完美的电源产品。

第一节 开关电源的特点

一、开关电源的定义

从广义上说，凡用半导体功率器件作为开关，将一种电源形态转变为另一种形态的主电路都叫做开关变换器；转变时用自动控制闭环、稳定输出并有保护环节则称为开关电源（Switching Power Supply）。开关电源主要组成部分是 DC-DC 变换器（见图 1-1），因为它是转换的核心，涉及频率转换和电压转换。

二、开关稳压电源的基本工作原理

开关电源原理示意图如图 1-1 所示。

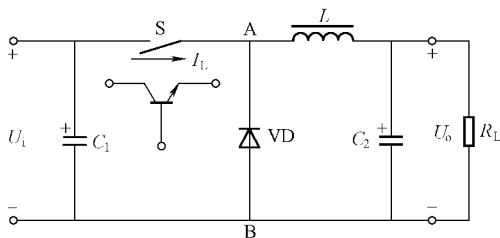


图 1-1 开关电源原理示意图

开关 S 以一定的时间间隔重复地接通和断开，在开关 S 接通时，输入电源 U_i 通过开关 S 和电感 L 滤波电路提供给负载 R_L ，在整个开关接通期间，电源 U_i 向负载提供能量，同时电感 L 储存能量；当开关 S 断开时，储存在电感 L 中的能量通过二极管 VD 释放给负载，使负载得到连续而稳定的能量。在滤波电路 AB 间得到的电压平均值 U_{AB} 可用下式表示，即

$$U_{AB} = \frac{t_{ON}}{T} U_i \quad (1-1)$$

式中： t_{ON} 为开关每次接通的时间， T 为开关通断的工作周期（即开关接通时间 t_{ON} 和关断时间 t_{OFF} 之和）。

由式 (1-1) 可知，改变开关接通时间和工作周期的比例，AB 间电压的平均值也随之改变。因此，随着负载及输入电源电压的变化自动调整 t_{ON} 和 T 的比例便能使输出电压 U 维持不变。改变开关接通时间 t_{ON} 和工作周期 T 的比例亦即改变脉冲的占空比，这种方法称为“时间比率控制”。

三、开关稳压电源的调制方式

按时间比率控制原理，开关电源有三种调制方式，即脉冲宽度调制方式、脉冲频率调制方式和混合调制方式。

1. 脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, PWM)

脉冲宽度调制方式指开关周期恒定，通过改变脉冲宽度来改变占空比的方式。因为周期恒定，滤波电路的设计容易；但受最小未通时间的限制，输出端需接假负载。

2. 脉冲频率调制 (Pulse Frequency Modulation, PFM)

脉冲频率调制方式是指导通脉冲宽度恒定，通过改变开关工作频率来改变占空比的方式。因为 t_{ON} 和 T 可以在很宽的范围内变化，输出电压的可调范围也较 PWM 方式大，同时，只需极小的假负载。当然，滤波电路要能在较宽的频率范围内正常工作，因而，滤波器体积较大是其不足之处。

3. 混合调制

混合调制方式是指导通脉冲宽度和开关工作频率均不固定，彼此都能改变的方式，它是上两种方式的混合。 t_{ON} 和 T 相对地发生变化，在频率变化不大的情况下，可以得到可调范围非常大的输出电压，因此，用来制作要求能宽范围调节输出电压的实验室用电源非常合适。

四、开关稳压电源的特点

1. 效率高

开关稳压电源的调整开关管工作在开关状态，截止期间，开关管无电流，因此不消耗功率，可大大提高效率，通常可达到 80%~90%。而传统的调整串联型稳压电源的晶体管一直工作在放大区，全部负载电流都通过晶体管，功耗就较大，因而效率很低，一般只在 50% 左右。

2. 功耗小

由于开关管在开关状态，功率消耗小，不需要采用大散热器。而且功耗小使得机内温升亦低，周围元件不会因长期工作在高温环境下而损坏，有利于提高整机的可靠性和稳定性。

3. 稳压范围宽

当开关稳压电源输入的交流电压在 110~250V 范围内变化时, 都能达到很好的稳压效果, 输出电压的变化在 1% 以下。而且在输入电压发生变化时, 始终能保持稳压电路的高效率, 因此开关稳压电源适用于电网电压波动很大的地区。

4. 体积小质量小

开关电源可将电网输入的交流电压直接整流, 再通过脉冲变压器获得各组不同的脉冲电压, 这样就可省去笨重的电源变压器 (为了和脉冲变压器相区别, 电源变压器又称为工频变压器), 节省了大量漆包线和硅钢片, 使电源的体积大大缩小, 质量减小。

5. 安全可靠

开关稳压电路一般都具有自动保护电路。当稳压电路、高压电路、负载电路等出现故障或短路时, 能自动切断电源, 保护功能灵敏可靠。

6. 纹波和噪声大

由于开关电源的调整元件工作处于开关状态, 其电源纹波系数较大, 会产生尖峰干扰和谐波干扰。近年来开关电源的工作频率越来越高, 所以开关电源的高频干扰也很严重。随着开关电路的改进和抑制干扰措施的加强, 开关电源的这一缺点已得到较满意的解决, 但比起线性稳压电源, 其纹波和噪声仍要差一些。

第二节 开关电源的分类

开关稳压电源的构成方法很多, 其分类方法有很多, 下面介绍给读者参考。

一、按输出能量的形式分类

- (1) 直流开关电源。其输出是高质量的直流电能。
- (2) 交流开关电源 (也称逆变电源)。其输出是高质量的交流电能。

二、按控制方式分类

- (1) 脉冲宽度调整型 (PWM)。
- (2) 脉冲频率调整型 (PFM)。
- (3) 混合调整型。

它们统称为时间比率控制方式, 其中尤以脉冲宽度调整型最为盛行。时间比率控制也称为占空比控制。

三、按变换器电路分类

- (1) 自激单端反激式变换器电路。
- (2) 单端反激式变换器电路。
- (3) 单端正激式变换器电路。
- (4) 推挽式变换器电路。
- (5) 半桥式变换器电路。
- (6) 全桥式变换器电路。

四、按驱动方式分类

- (1) 自激式开关电源。其借助于变换器自身的正反馈控制信号, 实现开关自动周

期性开关。开关管起着振荡器件和功率开关的作用。如单管振铃扼流圈变换器，即称RCC变换器、双管单变压器罗耶尔（Royer）电路、双管双变压器詹森（Jensen）变换器电路。

（2）他激式开关电源。其电源内部备有专门独立的振荡电路，与振荡器同步的控制信号驱动开关管。如图1-2所示的单端正激式开关电源电路就是其中一例，它使用专用的脉冲调宽控制器PWM芯片或分立电路。

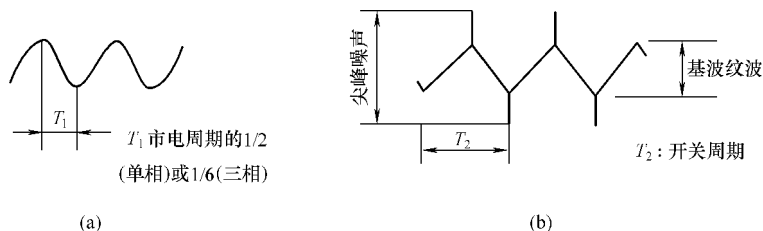


图1-2 开关电源的纹波电压波形

(a) 低频纹波；(b) 高频纹波

五、按能量转换过程的类型分类

（1）直/直（DC/DC）变换器。它是将一种直流电转换成另一种或几种直流电。DC/DC变换器是直流开关电源的核心部件，也是非隔离式或隔离式变换器直流电源的重要组成部分。

（2）逆变器（DC/AC）。它是将直流电转换成交流电的开关变换器，有的称其为变流器，是交流输出开关电源和不间断电源（UPS）的主要部件。

（3）开关整流器（AC/DC）。它是将交流电转换成直流电能的一种电源装置，这种变换器其变换过程应该理解为交/直/交/直（AC/DC/AC/DC）。图10-2所示的开关电源就是这种电能转换的装置。

（4）交/交变频器（AC/AC）。它是将一种频率的交流电直接转换成另一种恒频或可变频率的交流电，或是将变频交流电直接转换成恒频交流电的变换装置。

六、按输入与输出是否隔离分类

（1）隔离式开关变换器。它是高频变压器将变换器的一次侧（输入）与二次侧（输出）隔离。这种变换器结构主要有单端正激式变换器、单端反激式变换器、中心抽头式（推挽）变换器、半桥式变换器、全桥式变换器。

（2）非隔离式开关变换器。它是在电气上输入与输出不隔离的，输入与输出共用一个公共端。这种变换器结构主要有降压型（Buck）变换器、升压型（Boost）变换器、降压-升压型（Buck-Boost）变换器以及它们的组合变形电路，如Cuk变换器、Zeta变换器、Sepic变换器等。

第三节 开关电源的主要技术要求

电源是一切电子设备的动力源，是保证电子设备正常工作的基础部件。据相关统计，电源故障约占电子设备整机故障率的40%~50%。为此，对电源必须提出一些基

本要求，包括使用性能要求和电气性能要求。

一、使用性能要求

1. 高的可靠性

平均无故障工作时间 $MTBF$ 是衡量电源可靠性的重要指标，在通用电源的标准中规定，可靠性指标 $MTBF \geq 3000h$ 是最低要求。某些领域如通信电源、航空航天电源、电力操作电源要求可靠性指标比较高，否则无法满足用户的使用要求。目前由于元器件制造技术与工艺的不断成熟，设计技术的完善与精密，电源模块的平均无故障工作时间 $MTBF$ 可达到 500 000h 以上。

2. 高的安全性

设计制造出的开关电源，应符合相关标准或规范中规定的安全性指标要求，如绝缘要求、抗电强度要求、防人身触电要求等，以防止在极限状态或恶劣环境条件下，出现电源故障并危及人身和设备安全。

3. 好的可维修性

平均故障维修时间 $MTTR$ 是衡量电源可维修性的重要指标。电源出现故障时，应能及时诊断出故障现象及部位，无需使用专用工具或不需熟练技工就能在较短的时间内排除故障、替换故障部件或模块。一般要求 $MTTR < 30min$ 。这除了要求电源有故障自诊断功能外，必须采用先进的设计、制造技术和工艺，如标准化、模块化、电力电子集成等设计制造工艺。

4. 高的功率密度

提高电源单位体积的功率容量 (W/cm^3) 及单位质量的功率容量 (W/g)，以减少电源的体积和质量，便于用户安装、集成、移动及使用。实现高功率密度的关键是提高开关频率、减少损耗，与此相应的是要求应用低损耗功率器件、高导热、高绝缘性能的绝缘材料，应用软开关电路结构。

5. 高性价比

低使用维修费用、高的性价比是电源制造商和用户双方都追求的目标，更是市场经济条件下竞争的主要条件。低的使用与维修费用，是用户投资与回报必须关注的问题。

6. 环境适宜性要求

环境适宜性要求包括工作温度、储存温度范围、环境温度、对源电压品质及周围环境净化程度等。高品质的电源对环境的适应能力强，要求比较宽松，这些要求应符合相关标准或满足合同要求为前提。

二、电气性能指标

1. 输入技术指标

电源输入技术指标有：输入电源相数、额定输入电压及输入电压变化范围、频率、输入电流等。输入电源一般为单相二线制和三相三线制，还有单相三线制及三相四线制等。电源的额定输入电压因国别或地区而异，例如：美国规定的交流输入电源电压为 120V，欧洲为 220~240V，日本为 100V 及 200V，中国为 220V 及 380V。输入电压的变化范围一般为 $\pm 10\%$ ，加上配线路径及各国的具体情况，输入电压的变化范围多

为 $-20\% \sim +15\%$ 。

(1) 输入频率。市网为 50Hz 或 60Hz，在频率变化范围不影响电源的特性时多为 48~63Hz，特殊电源频率为 400Hz。

(2) 最大输入电流。输入电压为下限值，输出电压及电流为上限值时的输入电流。

(3) 额定输入电压。瞬时跌落或瞬时断电时，在额定输出电压与电流条件下规定的输入电压。

(4) 额定输入电流。输入电压、输出电压及电流为额定时的输入电流。

(5) 峰值电流。在规定的的时间间隔对输入电压进行通断而输入电流达到稳定状态之前流经的最大瞬时电流，一般为 $3 \sim 5I_m$ 。

(6) 漏电流。流经输入侧地线的电流，从安全考虑一般规定为 0.5mA。

(7) 效率。输入、输出为额定值时，其输出功率 P_o 与输入有效功率 P_i 之比，效率的计算公式为

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{U_o I_o}{U_i I_i \cos\varphi} 100\% \quad (1-2)$$

效率因输出电压、电流、输出路数及开关方式而异，多为 $80\% \sim 90\%$ ，效率越高越好；可节约能源，降低损耗，减轻功率器件发热，从而促使开关电源可靠性和功率密度的提高。

(8) 功率因数。开关电源的源电流波形与源电压相位差的余弦与电流波形畸变因子的乘积即为功率因数。它反映出开关电源装置接入电网后对电网产生影响的程度，同时也影响开关电源的效率，一般功率因数 $PF \geq 0.9$ 。

(9) 源效应（电网电压调整率）。是指在额定或规定的负载范围内，输入电压在规定的允许范围内变化时，引起输出电压变化量与输出额定电压整定值之比的百分数。输入电压一般应取波动下限、标称值和上限三点。测量输出电压的变化量，则源效应为

$$C_v = |V_{ON} - V_o| / V_{ON} \times 100\%$$

式中： V_{ON} 为源电压在额定标称值时的输出电压； V_o 为源电压波动时的输出电压。对恒流源而言，源效应是指输入电网电压在规定的允许范围内变化时，引起输出电流变化量与输出电流设置值之比的百分数，即 $C_c = (\Delta I_o / I_{ON}) \times 100\%$ 。

2. 输出技术指标

(1) 输出额定电压。输出额定电压值是指在规定的输入电压下，满载时整定的输出电压值。恒压性能好的电源在负载由空载到满载变化时，应该保持输出电压不变。

(2) 输出额定电流。输出端供给负载的最大平均电流，根据电子设备的不同，多路输出电源中某路输出电流增大，其他几路输出电流就得减小，以保持总的输出电流不变。

(3) 负载效应（负载调整率或稳压精度）。是在规定的源电压（可以是标称值源电压，也可以是源电压的允许下限或上限）下，负载电流从空载（也可以按产品标准规定的某一轻载）至满载变化时，引起输出电压的变化量与输出整定值之比的百分数。直流电源常用的精度一般 $\leq \pm 1\%$ ，交流电源常用的精度一般 $\leq \pm 5\%$ 。稳压精度也称为输出电压精度或电压调整率，输出电压的变动有如下几种原因。

1) 静态输入电压引起的变动。其他指标为额定条件下，在规定范围内输入电压缓慢变动时输出电压的变动。

2) 静态负载引起的变动。其他指标为额定条件下, 输出电流在规定范围内缓慢变动时输出电压的变动。在规定负载变动范围内及多路输出的条件下, 可能有非稳定输出的情况。因此, 还应包括规定最高负载电流。最高负载电流下的规定精度, 一般是指保护功能尚未发挥作用时的情况。另外, 对于多路输出的电源, 电路方式的不同也会受到其他输出负载变动的影响。

3) 动态输入电压引起的变动。输入电压以规定的幅度急剧变化时输出电压的变动, 一般是把输入电压的上限与额定输入电压及输入电压的下限作为变动幅度。

4) 动态负载引起的变动。输出电流按规定的幅度急剧变化时输出电压的变动, 动态负载引起的变动不包括恒定脉冲负载引起的变动。

(4) 输出电压可调范围。在保证电压稳定精度条件下, 外部可调整的输出电压范围一般为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 。条件是输入电压为下限时输出电压取最大值, 以及输入电压为上限时输出电压取最小值。

(5) 线路调整率。输入电压的波动范围与输出电压的波动范围之比。随着技术的发展, 线路调整率不断提高。电源对电网的适应能力很重要, 尤其是现在我国的电网相对来说还不太稳定, 有时电网电压会有较大波动。

(6) 输出纹波与噪声。开关电源的输出纹波电压除了输入整流脉动成分外, 主要是开关频率基波纹波, 呈锯齿波状, 同时还有功率开关管在导通-截止过渡状态产生的尖峰开关噪声重叠在锯齿波上, 如图 1-2 所示。用示波器观察输出纹波, 当扫描频率低时, 可能只观察到整流脉动的低频成分, 开关频率基波纹波被低频所调制。观察基波纹波, 扫描频率应与开关频率相匹配。

纹波是直流稳压电源输出端呈现交流成分的分量, 用峰-峰值表示, 一般为输出电压的 0.5% 以内。噪声是输出端呈现的除纹波以外频率的分量, 也用峰-峰值表示, 一般为输出电压的 1% 。当噪声与纹波没有明确区分时, 应规定纹波与噪声的总合成值。多数场合中规定纹波与噪声的总合成值为输出电压的 2% 以内。在产品标准中, 纹波电压可用峰-峰值 V_{P-P} 或有效值 V_{RMS} 表示。

(7) 电源输出内阻(输出阻抗)。电源的内阻 R_o 表示为当输入电压、环境温度等不变的条件, 输出电压变化相对于负载电流变化的比值, 即

$$R_o = - \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \quad (1-3)$$

3. 保护功能

(1) 过电流保护。输出短路或过载时对电源或负载进行的保护, 即为过电流保护。过电流保护的设定值一般为额定电流的 $110\% \sim 130\%$ 。但在不损坏电源与负载的前提下, 不规定短路保护时电流值的情况也很多, 这种情况下电路一般为自动恢复型。

(2) 过电压保护。当输出端出现过电压时对负载进行保护的功能。过电压保护值一般规定为额定输出电压的 $130\% \sim 150\%$ 。发生过电压时应使开关电源停止工作, 并断开输出, 一般可通过再接通输入电源或加复位信号, 使开关电源恢复正常工作状态。

(3) 欠电压保护。当输出电压低于规定值时为保护负载及防止负载误动作, 电压监测电路发出电源停止工作信号, 并发出报警信号。

(4) 过热保护。因电源内部异常或使用方法不当而使电源温升超过规定值时, 使

电源停止工作，并发出报警信号，同时进行强制风冷；当冷却功能异常，部件温度超过规定使用部件最高温度时电源关闭。

(5) 输入过电压、欠电压保护。当输入端出现过高电压或过低电压时对电源进行保护的功能。过电压保护值一般规定为额定输入电压的 $+10\% \sim +20\%$ ，发生过电压时应使开关电源不能启动；欠电压保护值一般规定为额定输入电压的 $-20\% \sim -10\%$ ，发生欠电压时应使开关电源不能启动。一般要待输入电源恢复正常后，开关电源才能正常工作。

4. 外部检测与控制功能

(1) 远程通/断控制。规定由外部信号控制通/断电源的输出所采用的装置。如采用 TTL 等半导体器件或继电器与开关等开环通/断控制。这种控制还要规定采用继电器与开关时的机械振荡持续时间。

(2) 顺序与指示。一般开关电源都设有输入电压和输出电压软启动功能，也就是说电源是按照一定顺序开机或关机的。这就不仅要规定输出电压的上升与下降时间，还要规定电源准备就绪的各种信号。并通过指示面板进行指示，通常指示的信号有：输入电压、输出电压、输出电流、输出频率、过电流保护、过电压保护、欠电压保护、过热保护等。

(3) 远程检测。用输出端到电压检测点输出引线的电压降对电压降进行补偿。但这种功能对于大电流与高精度输出的电源不太适用。该功能的补偿电压降一般为额定电压的 5% ，在输出电压的可调范围内。补偿时要根据负载条件而定，以免引起振荡等故障。

(4) 接口。规定输入、输出及信号等的端子，除标记端子形状、配列形式与接插件的名称以外，还要标记使用端子的编号，使输入与输出及信号端子很好地分离开，有接插件时还要标记好对方的编号且有防接错功能。

三、安全性能

1. 绝缘电阻

用 500V 绝缘电阻表测得输入端与框体间、输入与输出端子间的绝缘电阻一般在 $50\text{M}\Omega$ 以上，用 100V 绝缘电阻表测得输出与框体间绝缘电阻一般在 $100\text{M}\Omega$ 以上。

2. 耐压

输入与框体间、输入与输出端子间的每分钟绝缘耐压值为交流 1000 、 1250V 或者 1500V 。输出与框体间一般设有其他的特殊规定，必要时输出端子间需规定特殊的绝缘。

3. 漏电流

泄漏电流是流经电源输入侧地线的电流，一般规定为 $0.5 \sim 1\text{mA}$ 。

四、环境适应性

1. 机械结构

机械结构规定的项目有：机箱的形状、外形尺寸与公差、装配位置、装配孔及螺钉的长度等，框体的材料及表面处理、冷却条件、通风方向与风量及开口尺寸、机外温升、接口位置及显示、操作部件的位置及文字显示的位置、电源设备的质量等。

2. 环境条件

(1) 工作温度。0~40℃。

(2) 储存温度。-25~+70℃，在温度急剧变化的场所使用时，有必要规定温升斜率，其值一般为15℃/h以内。

(3) 相对湿度。 $\leq 90\%$ (35℃ $\pm 2^\circ\text{C}$)，保存湿度范围一般为18%~90%，结露时必须要有相应的指示。一般规定常温与常湿的环境：温度15~35℃，湿度25%~85%。

(4) 大气压力。70~106kPa。

(5) 海拔高度。一般规定应低于海拔3000m。

3. 耐振动

对于耐振动的规定，多是在振动频率为15~55Hz时。工作时耐振动力为0.5~1.0g，不工作时为2.5~4.0g。耐冲击的规定随电源产品不同而异，为10~100g。

4. 电磁传导干扰 (EMI)

任何一个合格的电器产品，都要对电磁传导干扰作一定的处理。这包含了两个方面的内容：①防止外部电磁干扰的侵入，以免影响自身的工作；②保证产品本身产生的电磁谐波不外泄到电网和周围环境里，以免影响其他电器的正常工作。在日常使用中，显示器产生雪花、滚动、显示不稳定；打手机、无绳电话时电视机、收音机发出杂音；在计算机开机后，附近其他的电器，如电视机、音响等不能正常使用，都很可能是因为电磁干扰而产生的影响。国家将电磁传导干扰分为A、B级。A级是工业标准，要求相对宽松一些；B级为家用标准，也是目前民用的最高标准。

Chapter 2

第二章

开关电源主电路的计算

电力电子变换器是开关电源的核心部分，也称为主电路。它是电路设计的重点部分，但是正确选取某类变换器用于特定的负载却是不容易的。随着电力电子技术的发展，高性能器件的涌现，控制手段的改进，对主电路拓扑结构的合适选取，所产生的效果是完全不一样的。因此，选用某主电路时需要遵循一些设计经验。在非隔离变换器中，常用 Buck、Boost 变换器，例如有源功率因数校正，功率在 1kW 以下就常用它。如果要求输出电路和输入电路电气绝缘，或者要求多路输出，在小功率情况下一般选用单端反激式或单端正激式变换器。在 DC/DC 变换器中，为了直接驱动场效应管可采用推挽变换器，推挽电路存在直流偏磁问题且变压器一次侧有两个绕组。在中功率开关电源中常采用半桥变换器，因为它不易出现直流偏磁且变压器一次有 1 个绕组，所以半桥变换器被经常使用，大功率情况下多使用全桥变换器。下面分别介绍这些主电路的组成及主电路参数计算方法。

第一节 串联降压式开关电源

一、串联降压式开关电源主电路

降压式开关电源的主电路如图 2-1 所示，图 2-2 给出其有关波形。

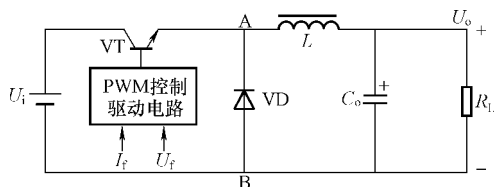


图 2-1 降压式开关电源主电路

降压式开关电源（也叫 Buck 变换器）主电路是由起开关作用的功率晶体管 VT、储能电感 L 、续流二极管 VD、滤波电容 C_o 和负载电阻 R_L 组成的。其输入端的电压 U_i 是从电网电压直接整流得到的直流电压。晶体管基极加的是一个周期为 T 的方波信号（此方波信号由控制回路提供）。当方波信号为高电平时，晶体管 VT 导通，续流二极

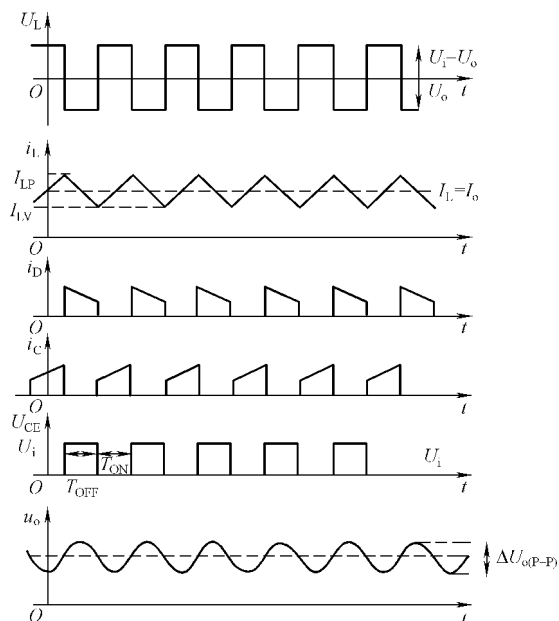


图 2-2 降压式开关电源主电路波形图

管 VD 因反偏而截止，晶体管的集电极电流便通过储能电感 L 向负载电阻 R_L 供电，并同时向滤波电容 C_o 充电，此时储能电感 L 处于储能状态（电能转换成磁能）；当方波信号为低电平时，晶体管截止，由于通过储能电感 L 的电流不能突变，所以在它两端便感应出一个左负右正的自感电势，使续流二极管导通。此时储能电感 L 便把原先储存的磁能转换成电能供给负载电阻 R_L 。滤波电容 C_o 是为了降低输出电压 U_o 的脉动而加入的。

续流二极管 VD 的作用为：当晶体管截止时，提供一条通路，使储能电感 L 中的电流能继续流通，故称它为续流二极管。此二极管是必不可少的器件，如果无此二极管，降压式开关电源不仅不能正常工作，还会在储能电感两端感应出很高的自感电势，使功率晶体管击穿和损坏其他元器件。

二、降压式开关电源主电路参数计算

1. 输入电压 U_i 和输出电压 U_o 之间的关系

由图 2-1 可知，当晶体管 VT 导通时，在稳态情况下，储能电感 L 两端的电压为

$$u_L = U_i - U_o$$

极性为左正右负。在 DC/DC 变换器中，由于储能电感的时间常数远远大于开关周期，因而流过储能电感的电流 i_L ，可以近似认为是线性增长的，其规律为

$$i_{L(T_{ON})} = \frac{U_i - U_o}{L} t$$

在晶体管导通期间 T_{ON} ，其电流增量为

$$\Delta I_{L(T_{ON})} = \frac{U_i - U_o}{L} T_{ON}$$