

无线电爱好者丛书

集成开关电源的 设计制作调试 与维修

胡存生 胡 鹏 编著



人民邮电出版社

TN 86
H 56

381461

无线电爱好者丛书

集成开关电源的设计制作 调试与维修

胡存生 胡鹏 编著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了开关电源的原理、设计、制作以及调试方法,给出了详尽的计算过程。对开关电源中几种基本电路结构的输入电路、主变换器电路、控制电路、保护电路、输出电路等都进行了详细的分析;对高频变压器的设计,开关电源中所使用的新型集成控制电路和元器件在电路中的应用也做了系统介绍,并向读者推荐了开关电源的有关安全标准。

本书还包括常用微机系统实用开关电源的原理分析、故障现象及排除方法等内容。

本书可供从事开关电源设计和维修的工程技术人员、电子技术爱好者学习使用,也可作为大专院校学生的参考书。

无线电爱好者丛书

集成开关电源的设计制作

调试与维修

Jicheng kai guan dian yuan de she ji zhi zuo

diao shi yu wei xiu

胡存生、胡鹏 编著

责任编辑 孙中臣

人民邮电出版社出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同111号

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 787×1092 1/32 1995年4月 第一版

印张: 9.125 页数: 146 1995年4月 北京第1次印刷

字数: 206千字 插页: 2 印数: 1—8000册

ISBN7-115-05496-7/TN·838

定价: 8.50元

中国电子学会 《无线电爱好者丛书》编委会

名誉主编：孟昭英

主 编：牛田佳

副 主 编：宁云鹤

编 委（以姓氏笔划为序）：

王尔乾 王明臣 刘 诚

刘宪坤 安永成 孙彦昕

郑人杰 武世鹏 赵连凯

执行编委：李树岭 刘宪坤 孙中臣

无线电爱好者丛书前言

众所周知，迅速发展着的无线电电子技术，是一门应用十分广泛的现代科学技术。它的发展水平和普及程度是现代化水平的重要标志。为了普及电子技术知识，培养更多的无线电爱好者，适应现代化建设的需要，中国电子学会和人民邮电出版社约请有关专家编写了这套《无线电爱好者丛书》。

本丛书从无线电爱好者的实际条件出发，按照理论联系实际的思想，深入细致地讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理；介绍各种家用电器、电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、录像机、电子计算机、计算器、复印机、电子相机、常用电子仪器仪表、电子钟表、电冰箱、空调器、洗衣机、吸尘器、电风扇、电热器具等）的工作原理、制作技术、使用和维修方法，为无线电爱好者提供所需的各种技术资料及有关工具书，使读者通过阅读本丛书和不断动手实践，能逐步掌握应用电子技术的基本技能。本丛书的读者对象是各行各业的广大无线电爱好者。

我们衷心希望广大电子科学技术工作者、专家、学者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版工作提出宝贵意见，给予帮助，让我们共同努力，为普及无线电电子技术，为实现我国现代化做出贡献。

前 言

近年来,开关电源的应用在国内已十分普遍,各类电子报刊杂志都大量刊登有关开关电源的原理分析、维修实例等内容。但内容琐碎,缺乏系统性,不能满足广大读者的需求。

为适应读者的需要,我们及时地编写了这本书。书中既对开关电源的原理进行了分析,又详细地论述了开关电源的设计、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调试方法。

本书是在结合几年来的设计实践工作的基础上,并参阅了国内外大量有关开关电源设计及功率电子学等方面的资料编写成的,对研制、设计和维修开关电源设备的技术人员均有一定的参考意义。

随着半导体技术的飞速发展,尤其是大规模集成电路的广泛应用,使得电子设备向着小型化、固态化方向发展。同时,也对电源设备提出了更高的要求,要求电源设备同样向着小型化、高效化方向发展。开关电源的出现,成为电源领域的一次革命,尤其是自70年代以来,开关电源技术在世界各发达国家得到广泛的应用。这种电源由于功率变换器工作在20kHz以上的高频,且开关晶体管工作于开关状态,因而甩掉了笨重的工频变压器,使电源的体积和重量大大减轻,而效率却比采用工频变压器的线性电源大大的提高了。

近年来,开关电源不断向高频化方向发展,并不断涌现出功能完备的集成控制电路,使得开关电源线路日益简单化,在

与线性电源的市场竞争中呈先导之势。自 80 年代以来,用于开关电源的功率器件也得到了长足的发展,出现了 VDMOS 功率场效应晶体管、绝缘栅双极管以及功率模块等多种器件,使得开关电源的工作频率提高到 200-700kHz,其效率大大提高,并为电源小型化提供了广阔的前景。

目前,电子电源技术正酝酿着新的突破,尤其是“谐振式”电源的出现,使电源的工作频率提高到数兆赫兹。使得开关电源日益高效化、小型化、高频化。许多采用“软开关”技术的产品已经初见端倪,随着开关电源技术的不断发展,高频开关电源在设计上所遇到的难题均会得到妥善的解决,使现代电子设备日益满足人们不断发展的要求。

本书旨在为广大读者提供一些基本的实践素材,试图起到抛砖引玉的作用。

本书第一、二、三、四、五、六、八、十二章由胡存生同志编写;第七、九、十、十一章由胡鹏同志编写。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,得到了周志锁、姜怀浩、王炎、江远强等的支持和帮助,另外,郭成军、杨新成、林楠、李成林、张新同、高山岩等对本书提出了宝贵意见,在此表示感谢。

编著者

1994 年 8 月

目 录

第一章 开关电源概述	1
第一节 开关电源的产生与发展.....	1
第二节 隔离式高频开关电源.....	2
第三节 开关电源所用的术语.....	4
第二章 输入电路	6
第一节 电压倍压整流技术.....	6
第二节 元件选择和电路设计.....	7
一 输入整流器.....	7
二 输入滤波电容.....	8
第三节 输入保护器件.....	9
一 浪涌电流.....	9
二 输入瞬间电压保护	11
第三章 高频电源变换器的基本类型	13
第一节 高频电源变换器的基本类型	13
第二节 隔离单端反激式变换器电路	16
一 单端反激式变换器电路中的开关晶体管	18
二 单端反激式变换器电路中的变压器绕组	19
三 基本的单端反激式变换器电路的变形	20
第三节 隔离单端正激式变换器电路	21
一 单端正激式变换器电路中的开关晶体管	24
二 单端正激式变换器电路的传输变压器	25
三 单端正激式变换器电路的变形	26

第四节	推挽式变换器电路	27
一	推挽式变换器电路中的高频变压器	29
二	推挽式变换器电路中的晶体管	30
三	推挽式变换器电路的主要缺点	30
第五节	半桥式变换器电路	31
一	半桥式变换器电路结构	31
二	串联耦合电容	33
三	阻尼二极管	37
第六节	全桥式变换器电路	38
第七节	新型的零波纹输出变换器	39
第四章	变换器设计中功率管的选择	44
第一节	晶体管的选择	44
第二节	作为开关使用的双极功率晶体管	45
第三节	晶体管的开关时间定义 (电阻性负载)	46
第四节	感性负载与开关时间的关系	47
第五节	晶体管的抗饱和电路	49
第六节	双极型晶体管的基极驱动器	51
一	恒流源电路	51
二	比例基极驱动电路	56
三	基极驱动电路中的抗饱和电路	59
第七节	双极晶体管二次击穿的考虑	60
一	正偏压的二次击穿	60
二	反偏压的二次击穿	62
第八节	开关晶体管的保护网络——RC 吸收回路	65
第九节	作为开关使用的功率 MOSFET 管	68
一	基本的 MOSFET 管定义	68
二	MOSFET 管栅极驱动的考虑	69

三	MOSFET 管的静态工作特性	71
四	MOSFET 管的安全工作区 (SOA)	73
五	驱动功率 MOSFET 管电路的设计	75
六	驱动功率 MOSFET 管所采用的电路	77
七	功率 MOSFET 管的开关保护电路	83
第五章	高频电源变压器的设计	85
第一节	电磁的基本原理	85
第二节	磁滞回线	87
第三节	变压器的基本原理	91
第四节	磁芯材料及磁芯的选择	93
第五节	用于 PWM 半桥式变换器中电源变压器的 设计	96
第六节	实际应用中应考虑的问题	100
第七节	反激式变换器中变压器的设计	101
一	设计过程	103
二	实例介绍	107
第六章	开关电源的输出电路	111
第一节	输出整流和滤波电路	111
第二节	开关电源设计中功率整流器的特点	114
一	快速恢复和超快恢复二极管	115
二	肖特基势垒整流二极管	116
三	瞬时过压抑制电路	117
四	反激式、正激式和推挽式变换器中的整流 二极管峰值电流的计算	120
第三节	输出功率电感的设计	123
一	电感设计的基本原则	123
二	输出电感的设计	124

第四节	输出滤波电容的设计·····	128
第七章	开关电源的控制电路·····	131
第一节	开关稳压系统的隔离技术·····	131
第二节	PWM 系统·····	133
一	由分立元件构成的单端 PWM 控制电路·····	133
二	一种集成的 PWM 控制器·····	135
第三节	单片 PWM 控制器及其应用·····	137
一	TL494PWM 控制器·····	139
二	UC1840 可编程、隔离式 PWM 控制器·····	143
三	UC1842/UC2842/UC3842PWM 控制器·····	148
四	SG3525A 型 PWM 控制器·····	156
第八章	开关电源辅助电路·····	163
第一节	光电耦合器·····	163
第二节	开关电源主振回路所使用的自举式 辅助电源·····	165
第三节	光电耦合电路的设计·····	167
第四节	开关电源中的软启动电路·····	171
第五节	限流电路·····	173
一	用于变压器初级直接驱动电路中的限流 电路·····	174
二	用于基极驱动电路的限流电路·····	175
三	通用的限流电路·····	179
第六节	过压保护电路·····	180
一	用齐纳二极管和单向可控硅组成的 OVP (过压保护) 电路·····	181
二	集成化的 OVP 电路·····	182
第七节	交流线欠压检测·····	188

第九章 集成开关稳压电源设计实例	191
第一节 单端反激式变换器开关稳压电源的设计	191
一 输入部分电路的设计.....	194
二 启动电阻和电容的计算.....	195
三 高频变压器的设计和计算.....	196
四 高频变压器工艺制作过程.....	201
五 功率开关管的选择.....	204
六 缓冲保护电路的设计.....	204
七 低压输出电路的设计.....	206
第二节 高频开关电源的加电试验过程	207
第十章 功率场控器件及其应用	209
第一节 功率场控器件的分类	209
第二节 VMOS 管的特点及其应用	210
第三节 高压高速大功率半导体器件—IGBT	211
第四节 逆导型快速可控硅 RCA S3900MF	215
第十一章 电磁干扰和射频干扰 (EMI-RFI) 的考虑	
及有关电源的电气安全标准	218
第一节 电磁干扰和射频干扰 (EMI-RFI) 的考虑 ...	218
一 FCC 和 VDE 标准关于噪声抑制的条款	219
二 开关电源中的 RFI 产生源	221
三 交流输入线路噪声滤波器对 RFI 的抑制 ...	221
第二节 有关电源的电气安全标准	223
一 电源结构的安全要求.....	224
二 对电源变压器结构的安全要求.....	226
第十二章 微机系统常用开关电源的原理与维修	230
第一节 单端反激式变换器实用电源的原理	230
一 输入部分电路.....	230

二	主变换器电路的工作原理	232
三	稳压电路的构成	234
四	保护电路	237
五	输出电路	241
第二节	半桥式变换器实用电源原理	242
一	输入部分电路	242
二	主变换器电路	243
三	开关控制电路	245
四	过压、过流保护电路	248
五	“电源好”信号生成电路	249
第三节	LQ-1600K 打印机的开关电源原理	250
一	输入噪声滤波电路	250
二	整流、滤波和浪涌抑制电路	252
三	电源主变换器电路	255
四	5V 直流开关稳压器电路	260
五	±12V 直流半波整流-滤波电路	264
第四节	PC 系列微机常用开关电源的维修	265
一	PC 系列微机开关电源的特点	265
二	PC 系列微机开关电源的常见故障分析	266
三	常见故障的处理方法	268
第五节	开关电源中专用元器件的代换	273
一	功率电阻的代换	273
二	电解电容的代换	274
三	整流二极管的代换	275
四	功率开关管的代换	277
	参考文献	280

第一章 开关电源概述

第一节 开关电源的产生与发展

随着大规模和超大规模集成电路的快速发展，特别是微处理器和半导体存储器的开发利用，孕育了电子系统的新一代产品。显然，那种体积大而笨重的使用工频变压器的线性调节稳压电源已经过时。取而代之的是小型化、重量轻、效率高的隔离式开关电源。

隔离式开关电源的核心是一种高频电源变换电路。它使交流电源高效率地产生一路或多路经调整的稳定直流电压。

早在 70 年代，随着电子技术的不断发展，集成化的开关电源就已被广泛地应用于电子计算机、彩色电视机、卫星通信设备、程控交换机、精密仪表等电子设备。这是由于开关电源能够满足现代电子设备对多种电压和电流的需求。

随着半导体技术的高度发展，高反压快速开关晶体管使无工频变压器的开关电源迅速实用化。而半导体集成电路技术的迅速发展又为开关电源控制电路的集成化奠定了基础，适应各类开关电源控制要求的集成开关稳压器应运而生，其功能不断完善，集成化水平也不断提高，外接元件越来越少，使得开关电源的设计、生产和调整工作日益简化，成本也不断下降。目

前已形成了各类功能完善的集成开关稳压器系列。近年来高压 MOS 大功率管的迅速发展，又将开关电源的工作频率从 20kHz 提高到 150~200kHz，其结果是使整个开关电源的体积更小，重量更轻，效率更高。开关电源的性能价格比达到了前所未有的水平，使它在与线性电源的竞争中具有先导之势。当然开关电源能被工业所接受，首先是它在体积、重量和效率上的优势。在 70 年代后期，功率在 100W 以上的开关电源是有竞争力的。到 1980 年，功率在 50W 以上就具有竞争力了。随着开关电源性能的改善，到 80 年代后期，电子设备的消耗功率在 20W 以上，就要考虑使用开关电源了。过去，开关电源在小功率范围内成本较高，但进入 90 年代后，其成本下降非常显著。当然这包括了功率元件，控制元件和磁性元件成本的大幅度下降。此外，能源成本的提高也是促进开关电源发展的因素之一。

第二节 隔离式高频开关电源

隔离式开关电源的变换器具有多种形式。主要分为半桥式、全桥式、推挽式、单端反激式、单端正激式等等。在设计电源时，设计者采取那种变换器电路形式，主要根据成本、要达到的性能指标等因素来决定。各种形式的电源电路的基本功能块是相同的，只是完成这些功能的技术手段有所不同。隔离式高频开关电源电路的共同特点就是具有高频变压器，直流稳压是从变压器次级绕组的脉冲电压整流滤波而来。开关电源的基本功能方框如图 1-1 所示。

在图 1-1 中，交流线路电压无论是来自电网的，还是经过变压器降压的，首先要经过整流、滤波电路变成含有一定脉动电

压成分的直流电压，然后进入高频变换部分。高频变换部分的核心是有一个高频功率开关元件，比如开关晶体管、场效应管(MOSFET)等元件，高频变换部分产生高频(20kHz以上)高压方波，所得到的高压方波送给高频隔离降压变压器的初级，在变压器的次级感应出的电压被整流、滤波后就产生了低压直流。为了调节输出电压，使得在输入交流和输出负载发生变化时，输出电压能保持稳定，在这里采用一个叫做脉冲宽度调制器(PWM)的电路，通过对输出电压采样，并把采样的结果反馈给控制电路，控制电路把它与基准电压进行比较，根据比较结果来控制高频功率开关元件的开关时间比例(占空比)，达到调整输出电压的目的。

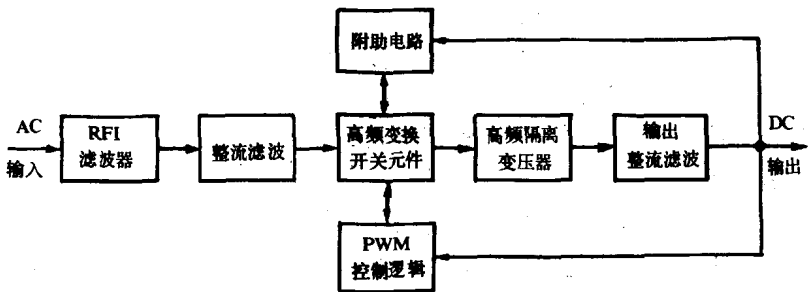


图 1-1 隔离式开关电源的方框图

当然控制电路还有调频方式的，本文不予讨论。

在方波的上升沿和下降沿，有很多高次谐波，如果这些高次谐波反馈到输入交流线，就会对其它电子设备产生干扰。因此，在交流输入端，必须要设置无线频率干扰(RFI)滤波器，把高频干扰减少到可接收的范围。

此外，为了使整个电路安全可靠地工作，还要设计辅助电

路，主要包括过压、过流保护电路等。

第三节 开关电源所用的术语

下面列出一些本书所使用的开关电源术语，并给出解释，以供读者参考。

效率：电源的输出功率与输入功率的百分比。其测量条件是满负载，输入交流电压为标准值。

ESR：等效串联电阻。它表示电解电容呈现的电阻值的总和。一般情况下，ESR 值越低的电容，性能越好。

输出电压保持时间：在开关电源的输入电压撤消后，依然保持其额定输出电压的时间。

启动浪涌电流限制电路：它属于保护电路。它对电源启动时产生的尖峰电流起限制作用。为了防止不必要的功率损耗，在设计这一电路时，一定要保证滤波电容充满电之前，就起到限流作用。

隔离电压：电源电路中的任何一部分与电源基板地之间的最大电压。或者能够加在开关电源的输入端与输出端之间的最大直流电压。

线性调整率：输出电压随输入线性电压在指定范围内变化的百分率。条件是负载和周围的温度保持恒定。

负载调整率：输出电压随负载在指定范围内变化的百分率。条件是线电压和环境温度保持不变。

噪音和波纹：附加在直流输出信号上的交流电压和高频尖峰信号的峰值。通常是以 mV 度量。

隔离式开关电源：一般指高频开关电源。它从输入的交流