

高频开关稳压电源

High Frequency Switching Stabilized Power Supply

张占松 编著



广东科技出版社



责任编辑：黄有新
封面设计：陈维德



ISBN 7-5359-0815-2/TM·5 定价：7.80 元

高频开关稳压电源

张占松 编著

广东科技出版社

内 容 简 介

本书介绍高频开关电源的工作原理、电路构成、设计计算方法、实际使用的器件及调整方法。全书分十二章，从降压、升压变换器讲到它们的派生、组合的变换器；从一般的脉宽调制控制讲到准谐振、多谐振开关，零电流、零电压开关的控制；从单端变换器讲到半桥、全桥变换器；从工作原理、波形讲到小信号模型、传递函数和闭环方法。为了加深理解，书中插有例题，书末还附有练习题及其答案(主要是计算题)。本书概念性强，设计应用方案多，内容新颖，叙述深入浅出，图文并茂，可供自动化、计算机、电气技术、通讯、仪表、航空、交通等专业工程技术人员研究电源之用，作相应专业专题课程的教材，也可供有一定电子线路基础知识的电视机、微型计算机、自动化办公设备维修人员阅读。

高频开关稳压电源

GAOPIN KAIGUAN WENYA DIANYUAN

张占松 编著

广东科技出版社出版发行

广东省新华书店经销

广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米16开本18印张1插页310,000字

1982年4月第1版 1982年4月第1次印刷

印数1—2300册

ISBN 7-5359-0815-2

TM·5 定价7.80元

前 言

近年来，随着科学技术的发展，特别是大规模集成电路、大功率晶体管、场效应管、计算机辅助设计方法的飞跃发展，使电源装置有了重大的突破。如今，笨重型、低效的电源装置已由高效、轻小型所代替，这在要求电子设备有高可靠的轻薄短小电源的今天，特别是能源日益紧张的当代，无疑有其重大的意义。可以说，只有用高频的开关电源，计算机、电视机、通讯、航天、自动化装置才有相称的电源。

当今，世界科学技术领先的国家和地区都致力于电源的现代化。我国要搞四个现代化，当然也不能例外。基于此目的，笔者将在美国弗吉尼亚理工学院及州立大学电子电力研究中心研究电源一年多的时间所学到的有限知识，结合多年积累的经验汇编成书。如果本书对我国新、老电源工作者有所帮助，特别是对改变我国落后的电源面貌有所推动作用，则编者就会感到无比欣慰了。

编写本书时，编者对我国系统论述高频(大于20千赫)开关电源的书还未见到，所以对基本理论作了阐述。它主要介绍了基本线路，包括单端、桥式、降压、升压、降升压的组合与派生，古卡电路等原理波形、关系式；对开关元件、集成控制器组成闭环调节，也作了详细论述。为了使设计能规范化、最优化，能凭借计算机帮助，特用状态空间平均法建立了小信号模型。采用这种方法的好处是，理论性强，能使所有类型线路有统一的原型，只是系数不同而已。而这些主要类型的系数，又可一目了然于表上。本书第十章介绍了零电压谐振开关，零电流谐振开关和多谐振开关的基本原理，波形设计方法，实验的数据和曲线，这是近几年来新发展的方法，它能把开关电源频率轻而易举地提高到2 MHz，甚至几十MHz，因而其功率密度可高达 $1.5\sim 3\text{ W/cm}^3$ 。此外，为了突出中心，把第十一章第四节传递函数求得的数学部分内容，即时变系统近似为时不变系统的证明部分，放在附录一中，以供搞自控理论的同志考阅。

本书在编写过程中，中国电源学会副理事长、上海电源学会理事长马传添高级工程师、广东工学院电工系自动控制系统教研室、电源科研组的同志及工业自动化专业和电气技术专业1985、1986、1987级部分学员给予了热情的支持与帮助，黄维国教授、陈婉儿教授还不辞劳苦审阅了部分书稿；书中列出的大部分例题和练习题，是由张文斐等同志提供和完成的；孙海卫、孙炳达同志对书稿也提出过许多宝贵意见。全书写好后，还得到中国科学院计算技术研究所电源室主任方资端同志的细心审核，并提出了许多建设性的意见，广东工学院院长梁石教授也写了序言，在此一并表示衷心的感谢。

编者水平有限，时间仓促，错漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1990年10月

序 一

近代电子设备、仪器的迅猛发展和广泛应用，直接和间接地推动和促进了科学技术各个领域的进展，而随着电子设备、仪器不断地更新换代，复盖范围愈来愈广，对构成电子设备、仪器本身的重要组成部分——电源系统提出了更高更苛刻的要求，诸如要求有更高的可靠性和稳定度，更低的能耗与干扰，更小的体积和更轻的重量等。本书介绍的高频开关电源是对传统电源的一种突破。本书作者以其多年的教学和实践经验，并利用在国外进修期间，孜孜不倦地努力搜集不少崭新的资料而编写此书。它从高频开关电源的工作原理、电路构成、设计计算方法、实际使用的器件及调整方法等都作了系统和深入浅出的叙述和介绍，且有不少创见。书内附有例题、计算题和答案，这不仅对电子工程类专业的学生大有裨益，而且对实际从事电子设备、仪器电源系统设计、制造的工程技术人员也有重要的参考价值。因此，本书的出版将会受到广大电源工作者的欢迎。

梁 石

1991年2月

注：梁石系中国广州国际科技会议中心理事会副理事长；中国通信学会通信网络委员会副主任委员、广东通信学会副理事长；广东工学院院长、教授。

序 二

随着微机、中小型计算机的普及和航空航天、数据通信、交通邮电等事业的迅猛发展，以及为了与各种自动化仪器仪表和设备配套的需要，当代对电源的需求不仅日益增长，而且对电源装置的性能、效率、重量、尺寸和可靠性提出了更高的要求。

由功率开关器件、高频变压器和集成控制块构成的开关电源是主要的电源品种之一。目前，它不仅已经逐渐替代了传统的串联调节电源，而且随着开关电源输出电压纹波及其峰峰值的减小，以及传导和辐射干扰问题的逐渐改善，开关电源将在更大范围内替代串联调节电源。想要提高开关电源的性能和减小其重量、尺寸，一个重要的技术途径就是实现高频化。即将开关电源的开关频率由目前的20kHz提高到100~500kHz，或1~10MHz。频率提高不仅使电源重量减轻，体积减小，动态特性和稳定性得到改善，抑制干扰容易，而且为50W、100W或更大功率开关电源的集成化和自动化生产打下了基础。

本书不仅介绍了各种类型的开关电源电路，而且还以基本电路为例，系统地叙述了它的电路原理和电路内主要元件及其选择方法。此外，一般的开关电路可以看成是一个非线性的闭环调节系统，典型的频率固定，占空比可变的控制方式；这些若用经典的调解原理去解，就会出现很大的误差。近年来，常用状态空间平均法建立开关电路的数学模型，然后进行数值计算，检验电路在小信号干扰条件下的稳定性，从而进行优化设计。据此，本书专门推导了基本电路的数学模型，同时还引入了直流变压器以及直流变压器与基本电路组合派生的各式电路；对复杂电路的数学模型、各个系数的求得方法也作了介绍。再次，在电流连续和不连续时，闭环传递函数的求取方法还特别作了推导。这些，对我国电源工作者开展电源的研究都是很有价值的。

另外，当开关电源的工作频率达100kHz以上时，开关损耗的影响就不能忽视。因此，本书也翔实介绍了近期发展的零电流和零电压开关的谐振式变换器，这些变换器在理想条件下，电路的开关损耗为零，从而使它们的工作频率可以提高到1~10MHz的范围。其次，开关电源的高频化是建立在功率半导体器件迅速发展的基础上，在工作频率超过100kHz的中、小功率开关电源中，MOS功率器件的应用越来越普遍。对这个问题，本书也作了必要的介绍。

总之，本书把国外新近发展的高频开关电源技术作了全面系统的介绍，其中包括了作者多年的经验体会，以及今年才见诸美国VPEC文献的多谐振零电流(或零电压)开关技术等，为此，本书的出版，将对我国电源的更新换代，赶上世界先进行列无疑是有极大裨益的。另外，本书列有不少例题和练习题，这对一般的电力电子、自动控制、通讯

和计算机硬件等专业开出专题课，以培养电源研究人材也是适用的。在本书即将出版之际，受作者之托，特撰此序，预祝它能成为我国电源工作者有用的一本好书。

方资端

1990年12月于北京

注：方资端系中国科学院计算技术研究所电源室主任、副研究员；计算机学会电源专业委员会学术委员。

目 录

第一章 概 论	1
§ 1-1 开关电源发展的原因	1
§ 1-2 高频开关电源的发展概况	3
第二章 DC-DC电源变换器电路	7
§ 2-1 概 述	7
一、变换器的形式及电感器的特性	7
二、变换器的分类	8
§ 2-2 同号型变换器	9
§ 2-3 反号型变换器	12
§ 2-4 单晶体管反激式变换器	13
§ 2-5 双晶体管的反激变换器	16
§ 2-6 正激式变换器	17
一、正激式变换器的工作原理	17
二、正激式变换器的晶体管	18
§ 2-7 推挽式变换器	19
一、推挽式变换器的工作原理	19
二、推挽式变换器的变压器	22
三、推挽式变换器的晶体管	22
四、推挽式电路的局限性	22
§ 2-8 半桥式变换器	23
一、半桥式变换器的工作原理	23
二、串联耦合电容的选择	25
三、换向二极管的作用	27
§ 2-9 全桥式变换器	28
第三章 降压变换器的模型	29
§ 3-1 降压变换器的工作原理	29
§ 3-2 大信号稳态特性的分析	36
§ 3-3 大信号的动态特性	46
§ 3-4 电流连续状态的状态空间平均法建立模型——小信号模型	46
§ 3-5 电流不连续状态的大信号特性及状态空间平均法建立模型	56
第四章 升压变换器的模型	63
§ 4-1 升压变换器的工作原理	63
§ 4-2 大信号稳态特性的分析	65
§ 4-3 大信号的动态特性	72

§ 4-4	电流连续状态的状态空间平均法建立模型	73
§ 4-5	电流不连续状态的状态空间平均法建立模型	78
第五章	直流变压器	81
§ 5-1	直流变压器的理想结构	81
§ 5-2	变压器铁芯的磁通复位	83
§ 5-3	磁芯复位的几种线路	85
§ 5-4	能量单向流动的直流变压器	90
§ 5-5	能量双向流动的直流变压器	92
§ 5-6	实际的直流变压器存在的问题和局限性	93
第六章	降压变换器、升压变换器的派生电路及组合电路	99
§ 6-1	降压变换器和并联直流变压器的组合	99
§ 6-2	降压变换器电路中全桥或半桥式的直流变压器	107
§ 6-3	降压变换器中的单端直流变压器	108
§ 6-4	升压变换器和并联直流变压器的组合	111
§ 6-5	升压变换器电路中全桥或半桥式的直流变压器	116
§ 6-6	升压变换器中的单端直流变压器	117
§ 6-7	变换器的组合电路	118
	一、相同类型的变换器的串联	119
	二、不同类型的变换器的串联	120
§ 6-8	古卡变换器特性的分析	123
	一、古卡变换器的工作原理	123
	二、输入电压 V_s 与输出电压 V_o 的关系	124
	三、带直流隔离的古卡变换器	126
	四、有直流变压器的古卡变换器工作原理	126
	五、有直流变压器的古卡变换器输入电压与输出电压的关系	127
	六、古卡变换器的优缺点	128
§ 6-9	古卡变换器的变形电路	129
§ 6-10	变换器的并联	132
§ 6-11	变换器的其他组合方式	133
第七章	开关电源功率回路主要元件的设计与选择	136
§ 7-1	高频开关变压器一次最佳的设计方法	136
	一、设计原则及说明	136
	二、表格曲线化的设计方法	142
§ 7-2	输出电感线圈的优化设计	147
	一、带磁芯电感线圈结构的优化设计方法	147
	二、不同电流波形时的修正问题	151
§ 7-3	输出整流和滤波电路	157
§ 7-4	开关电源中的整流元件	158
§ 7-5	输出滤波电容器的选择	161

第八章 变换器中的开关及其控制	163
§ 8-1 开关元件——双极型晶体管.....	163
§ 8-2 双极型晶体管的基极驱动电路.....	165
§ 8-3 一个比例的基极驱动电路.....	167
一、工作原理	167
二、基极驱动中的抗饱和电路	168
§ 8-4 开关晶体管保护电路——RC缓冲器.....	169
§ 8-5 MOSFET 开关管.....	170
一、VMOS功率晶体管的主要参数	171
二、VMOSFET的栅控问题.....	172
三、VMOSFET的输出特性曲线.....	173
四、VMOSFET的管压降及其它.....	173
五、VMOSFET的安全工作区间(SOA).....	174
§ 8-6 功率MOSFET管的驱动电路	175
一、一般要求	175
二、用于MOSFET的驱动电路	176
§ 8-7 功率MOSFET开关管的保护电路.....	180
第九章 开关电源占空比控制电路	181
§ 9-1 开关调整系统的隔离技术.....	181
§ 9-2 集成PWM控制器的工作原理.....	182
§ 9-3 集成PWM控制器LM1524/LM2524/LM3524.....	184
一、PWM控制器IC化概况	184
二、3524的极限使用值和主要电性能.....	184
三、外形、内部结构和工作特性	186
四、升压变换器的IC控制.....	188
五、降压变换器的IC控制.....	188
§ 9-4 高效开关电源变换器 LH1605/LH1605C	190
一、LH1605的结构特点	190
二、LH1605的极限使用值和主要电性能	190
三、外形、内部结构和工作特性	192
四、LH1605/LH1605C的应用及参数选择	193
五、LH1605/LH1605C应用的设计方法	194
第十章 高频准谐振开关的工作原理及其变换器	199
§ 10-1 开关电源的高频化方向.....	199
§ 10-2 准谐振开关的产生及其类型	200
§ 10-3 电压型准谐振零电压开关(ZVS-QRCS)	201
一、电压型谐振开关	201
二、零电压准谐振升压变换器	202
三、稳态特性	205
四、电压型准谐振变换器的新系列电路.....	206

五、电压型准谐振降压式和降压-升压式变换器的直流电压转换比	207
§ 10-4 电压型准谐振升压变换器设计依据及实验结果	208
一、开关米勒效应	208
二、电压型准谐振升压变换器	208
三、电压型准谐振反激式变换器的工作	210
§ 10-5 多谐振变换器及其实验	212
一、多谐振变换器的工作原理	213
二、直流电压变换系数	214
三、恒频多谐振变换器	214
四、多谐振变换器的优缺点及应用	216
第十一章 带调节器复杂变换器小信号模型及闭环控制	217
§ 11-1 标准化模型	217
§ 11-2 复杂变换器的模型	222
§ 11-3 脉宽调制控制反馈原理及稳定的判别式	225
§ 11-4 高频开关电源传递函数的求得与稳定性分析	226
一、变换器的控制传递函数	226
二、误差放大器补偿	233
§ 11-5 用小信号法分析有输入滤波器时的稳定问题	235
§ 11-6 多环控制	236
一、准谐振变换器的单环控制	236
二、QRCs的多环控制	238
三、闭环后的响应特性	239
第十二章 实现高频开关电源的辅助环节及典型线路示例	241
§ 12-1 输入电路	241
§ 12-2 抗干扰措施	241
§ 12-3 软起动过程	244
一、输入回路的软起动	244
二、输出回路的软起动	244
三、起动线路的举例	245
§ 12-4 过电流和短路保护	247
§ 12-5 开关电源结构上的工艺要求	248
§ 12-6 彩色电视机用的开关电源	251
§ 12-7 微型计算机开关稳压电源	252
一、自激式开关稳压电源	253
二、他激半桥型开关稳压电源	254
计算题	258
计算题答案	261
附录	263
一、将时变系统近似为时不变系统的有关证明	263
二、美国 Computer products 开关电源技术规格表	265

三、AC/DC电源变换器选择表	267
四、DC/DC电源变换器选择表	267
五、深圳华德电源开关技术规格表	268
六、功率晶体管数据表	269
七、功率晶体管模块配用器件表	270
八、大功率晶体管数据表	271
九、光电耦合器与电压检测表	272
参考文献	273

第一章 概 论

§ 1-1 开关电源发展的原因

电源是电子、电器、电动设备工作的动力，是自动化部件中最基本的部分。常用电源包括交流电源、直流电源，其中又分稳压电源、稳流电源、稳功率电源等等。这里主要分析应用最广泛的直流稳压电源。

半导体技术的发展，促进了小规模集成电路迅速向大规模集成电路发展。现代科技可以将很复杂的多功能的线路集成在一小块芯片上，然而，以隔离降压、整流滤波和串电阻(或串联晶体管)等环节调节直流压降为主要技术内容的直流稳压电源却变化甚小，导致电源技术严重落后的局面。因而，电源在电子设备中所占的体积、重量与电子设备的总体积、总重量之比严重失调。事实证明，使用传统的转换方法设计制作的电源，其效率低，耗能大，温升高。这个降温散热问题加上多电压输出，而各个电压的质量要求又不同的问题，使之越来越难得到解决。例如，所见串电阻调电压的调压电源及常用的串晶体管线性稳压器(见图1-1-1)，即属此类。

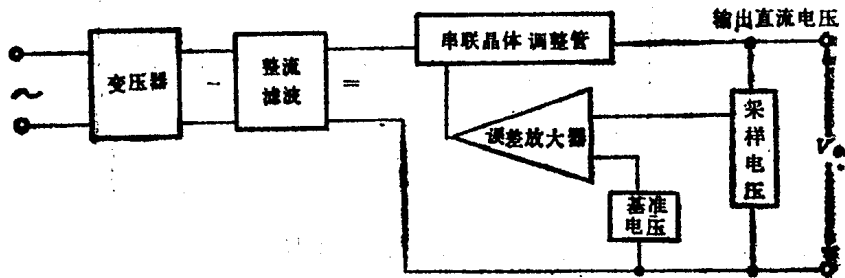


图1-1-1 晶体管串联式线性稳压电源原理图

图1-1-1中变压器接向50Hz市电，因此，有体积大、笨重的工频变压器、整流、滤波装置。所串联晶体调整管在放大状态工作，等效一个可变电阻器，功耗很大，有温升散热、通风的问题。在这种形式的电源中，整流滤波后的直流电压，往往是输出直流电压 V_0 的2倍，所以效率只在50%左右。例如，一般5V的电压电源，效率只有30%~40%，若在低电压大电流时，其效率还要比这个值低。然而，当今计算机及自动化设备上大多数控制电源都向低压、大电流、高效率、重量体积轻薄短小的方向发展。在这种要求面前，首先得到发展的是晶体管串联式开关稳压电源(见图1-1-2)，它虽然在降压整流滤波上与图1-1-1可能相似，但稳压的原理是大不相同的。在图1-1-2中，采样得到的输出电压的变化量，经过与基准电压值在误差放大器中比较放大之后电压经电压/脉

冲转换器，变成脉冲宽度的变化，从而控制调整晶体管的导通时间，达到稳定输出电压 V_0 的目的。图1-1-2中的功率晶体管处于开关状态，即饱和导通与截止两种状态，因此，减少了晶体管的功率损耗，提高了电源的效率。

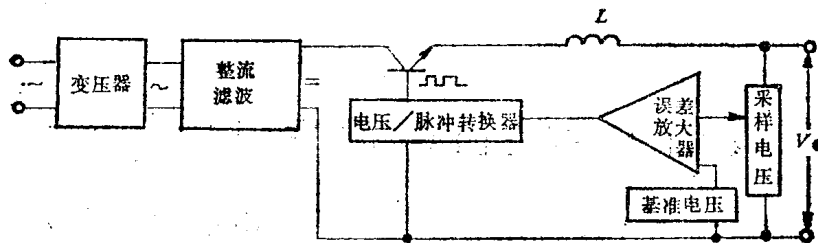


图1-1-2 晶体管串联式开关稳压电源原理图

随着现代半导体技术的发展，大功率开关晶体管、快速二极管及其它元器件的电压得到很大的提高，这为取消稳压电源中的变压器，发展高频开关电源创造了条件。由于它不需要工频变压器，故称无工频变压器开关式直流稳压电源。它使电源在小型化、轻量化、高效率等方面又迈进了一步。图1-1-3是无工频变压器开关电源的方框图，它由电网滤波、整流滤波、DC-DC变换，输出整流滤波、控制电路、检测、保护动作电

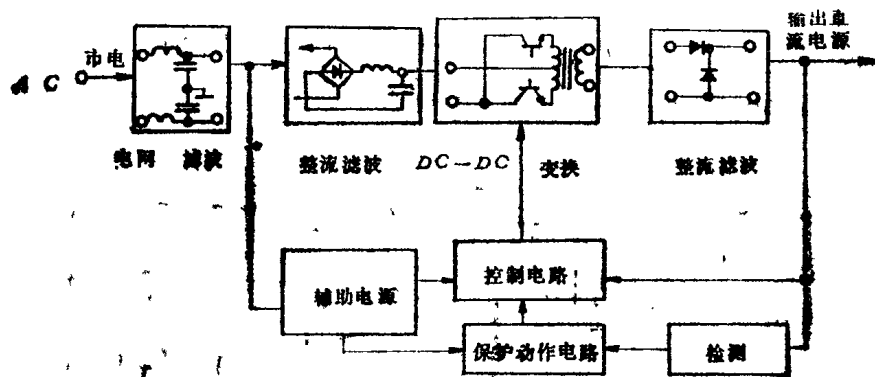


图1-1-3 无工频变压器开关电源电路原理方框图

路、及辅助电源等环节组成，其中DC-DC变换器及控制是关键性环节，是本书叙述的重点。

无工频变压器开关稳压电源，有如下的优点：

- (1) 效率高。一般在70~80%以上，参见表1-1-1及书末附录。
- (2) 体积小，重量轻，参见表1-1-1。这一特点随着频率的提高，收效更显著。
- (3) 稳压范围广。一般交流输入在70~265V，负载作大幅度变化时，性能很好，参见书末附录八。
- (4) 噪声低。声频在20kHz以上时，已是人耳听不到的超声波，而开关电源工作频率远大于此频率。
- (5) 性能灵活。通过输出隔离变压器，可得到低压大电流、高压小电流；一个开关控制的一路输入可得到多路输出以及同号、反号等输出。

(6) 电压维持时间长。为了适应交流电停电时, 计算机、现代自动化控制设备电源转换的需要, 开关电源可在几十毫秒内保证仍有电压输出。

(7) 可靠性大。当开关损坏时, 也不会有危及负载的高电压出现。

无工频变压开关稳压电源的不足之处是:

(1) 输出纹波较大, 约有 $10\sim 100\text{mV}$ 的峰峰值。

(2) 脉冲调宽式电路中, 电流、电压变化率大。

(3) 控制电路比较复杂, 对元器件要求高, 成本较大。

(4) 动态响应时间至少要大于一个开关周期, 不如串联式晶体管线性稳压器。

表1-1-1 无工频变压器开关稳压电源的性能特点

产 品	元件数 (个)	效率 (%)	功率密度 (W/cm^3)	每瓦重量 (kg)	MTBT (h)
25kHz产品系列	142	73	0.036	0.028	57757
200kHz产品系列	71	82	0.092	0.007	249740

§ 1-2 高频开关电源的发展概况

高频开关电源的发展与变换器的研究有着密切的关系。1955年, 美国罗耶(G·H·Roger)发明的自激振荡推挽晶体管单变压器的直流变换器, 是一个高频实现转换的控制线路的开端; 1957年美国查赛(J·L·Jensen)发明的自激型推挽双变压器的直流变换器, 进一步提高了单位体积、重量输出的功率; 1964年美国提出了不用工频变压器的串联开关电源, 这对电源的小型化、轻量化开辟了一条根本途径。1969年由于大功率硅晶体管的耐压由外延平面型的 $100\sim 200\text{V}$, 提高到了 500V 以上, 并使二极管反向恢复时间缩短了, 当使用这些元件, 终于做成了 25kHz 的开关电源。这一电源一面世, 在世界各国引起了强烈的反响。因此, 以后开关电源原理成了国际会议的热门话题, 许多国家均致力于高频电源及高频开关二极管、开关变压器铁芯材料的配套研究。1974年之后, 便确立了以 20kHz 为标准的工作频率。1976年美国硅通用公司第一个做出了SG1524单片集成的控制芯片, 称为脉宽调制器。它除了使电源小型化之外, 还大大提高开关电源的可靠性(一般平均故障间隔时间约10万小时), 从而达到了常规电源的水平。80年代初, 随着元件工艺的成熟, 开关电源的价格几乎与常规电源持平, 因此使用率得到很大的提高。如日本, 1975年使用率为 1% , 到了1980年提高到 20% 左右, 而且淘汰了 20kHz 的开关频率变换器, 把频率提高到 50kHz 以上。

近年来, 采用计算机辅助设计方法, 对无工频变压器开关稳压电源进行设计, 从而解决了开关电源的最佳设计与最佳控制的问题。70年代初的开关电源, 虽然大大减小了高频隔离变压器、电感线圈铁芯、滤波电容等元件的体积和重量, 改善电源的动态响应性能, 但继续提高频率也遇到了电路结构、开关损耗、噪音干扰等新的问题。为此, 1975

年美国Siliconix公司开创V形沟道的金属(氧化物)半导体场效应晶体管,即VMOSFET管,它克服了平面MOSFET双极型晶体管的缺点。这种晶体管的主要特点是允许开关频率大大提高,用于开关电源有以下的优点:

(1)VMOSFET为单极型晶体管,它是多数载流子器件,其载流子是靠电场控制的,而不是靠在有源区中少数载流子的注入抽取控制的。这样,可大大减少关断存储时间(为ns级),而且关断延时主要由外部寄生参数引起的,因此它的开关速度极快(比双极型晶体管快几十至一、两百倍)。

(2)VMOSFET是电压控制器件,输入阻抗很高,激励功率很小,从光电隔离器、CMOS、TTL等逻辑电路输出的信号,可以直接驱动VMOSFET管。

(3)VMOSFET漏极电流具有负温度系数,即器件变热时 I_D 变小,没有电流集中效应,也没有令人头痛的热斑导致的二次击穿问题,故管子具有很强的过载能力及范围很宽的安全工作区间。当多只VMOSFET并联工作时,不需任何措施,就能自动达到电流的平均分担。

当然VMOSFET也有饱和管压降较双极型晶体管大的缺点,但近年来工艺的改进,使之大有改善,现已使二者相近了。

VMOSFET的出现对实现计算机辅助设计的成果提供了条件;使用准谐振方法,开关频率可成十倍提高。因此,最近几年,准谐振开关变换器(QRC)的理论分析、建模、拓扑研究及计算机仿真等问题成了国际会议上最热门的话题。据统计,谐振变换器的论文在PESC会议上所占百分数逐年上升:1985年为7.5%;1986年为11.5%;1987年为25%;1988年继续有大的提高。目前,世界上高频电源研究处于领先地位的有日本九州大学原田(耕介)研究室、美国弗吉尼亚理工学院及州立大学电子电力研究中心(VPEC)、美国的MIT以及GE公司。1987年美国弗吉尼亚理工学院及州立大学电子电力研究中心Dr. Fred C. Lee 提出要在2年内做出10MHz的电源,功率密度达 $3.7\text{W}/\text{cm}^3$,当前已做出了 $1.2\sim 2.2\text{MHz}$ 、 100W 的准谐振开关变换器。提出的多谐振变换器方案(MRC)被认为是改进QRC性能的一种新方法,频率有可能达到10MHz。1990年底做的实验模型是整个变换器的功率密度为 $3\text{W}/\text{cm}^3$,功率级的功率密度为 $6\text{W}/\text{cm}^3$,输入电压 $45\sim 55\text{V}$,负载电流 $0\sim 10\text{A}$ 开关频率从 2.5MHz 变到 3.85MHz ,效率 $80\%\sim 83\%$ 。另外,多路输出的正激降压零电压式多谐振变换器,半桥式 100W 的多谐振变换和全桥式 360W 平均功率、 1.5KW 峰值功率的多谐振变换器均在1990年下半年做了出来。从中认为,多谐振变换器对于高功率密度的在线变换器和离线变换器是一种有前途的技术,多谐振变换器对电路的寄生参数的存在是不在乎的,并在高工作频率下不需要特殊的器件、元件或特殊的电路设计技术。

另外,日本九州大学提出固定开关频率的E类谐振变换器的稳定问题,美国MIT公司提出用有限元法分析 $1\sim 10\text{MHz}$ 变压器铜损问题,GM公司提出的气隙与高频平面磁路问题,清华大学的动态优化设计问题都是高频化需要解决的问题。

目前,世界各国正大力推广开关电源的普及应用,使开关式电源需求量节节上升。据1986年10月《国际电子商情》报道,开关电源制造商正着手推出工作频率高达 300KHz 的型款,电源效率已达 90% 。现在台湾厂商可供应额定功率为 15W 至 350W 的各种开关