



Switching Power Supply—Theory,
Design and Applying Circuit

开关稳压电源

——原理、设计及实用电路（修订版）

❖ 王水平 史俊杰 田庆安 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

开关稳压电源

——原理、设计及实用电路

(修订版)

王水平 史俊杰 田庆安 编著

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

全书共4章。第1章为开关稳压电源概述,讲述并讨论了三种最基本的开关稳压电源,即降压、升压和极性翻转型开关稳压电源的工作原理、电路设计以及有关整流、滤波、驱动、控制和保护电路的原理和设计,并且对开关变压器的加工工艺及绝缘处理等也进行了较为详细的介绍,还简单介绍了目前刚刚兴起的同步整流技术。第2章、第3章和第4章分别讲述并分析了单端式、推挽式和桥式开关稳压电源电路的工作原理及电路设计,并举出了一些应用电路实例。在讲述和分析的过程中,本书突出了功率开关变压器的设计与计算。由以上内容可见,本书是开关稳压电源方面的一本资料性和实用性极强的科技图书,值得向读者推荐。从理论性、完整性和通用性的角度来看,本书还可以作为工科院校有关电力电子技术方面的教科书或者参考书。

本书的读者对象包括工程技术人员,仪器、仪表、家电维修人员,大专院校师生及电子技术爱好者等。

图书在版编目(CIP)数据

开关稳压电源:原理、设计及实用电路/王水平等编著. 2版(修订本).

—西安:西安电子科技大学出版社,2005.10

ISBN 7-5606-1542-2

I. 开… II. 王… III. 开关电源:稳压电源 IV. TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第067710号

责任编辑 阎彬 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 1997年1月第1版 2005年10月第2版 2005年10月第4次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 31.125

字 数 741千字

印 数 14 001~18 000册

定 价 48.00元

ISBN 7-5606-1542-2/TN·0309

XDUP 1833002-4

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

修订版前言

本书是西安电子科技大学出版社1997年出版的《开关稳压电源——原理、设计与实用电路》的修订版。因此，在修订过程中，本书仍保留了以讲述实用电路设计为主，在实际电路设计中又以直流变换器设计为主的特点，只是在章节的划分上更趋于合理，在工作原理的分析上更趋于简洁明了，在实用电路设计方法的叙述上更趋于多快好省，在变压器的计算上更趋于详细准确，在应用电路的举例上更趋于先进、通用和广泛。作者在查阅了大量开关稳压电源方面的论文、资料和书籍的基础上，集多年来从事稳压电源教学、科研、设计和开发的经验，紧紧围绕开关稳压电源电路的设计和研制，按照开发者所希望的实用、通用、明了、简洁的要求对原书进行了修订。

1995年，我国的微电子技术和工艺、磁性材料科学和烧结加工工艺以及其他边沿技术学科还处于起步阶段，那时的开关稳压电源仅局限于在进口的家电、计算机和一些高档的进口电子设备上使用，因此原书中所收编的开关稳压电源实用电路也只局限于这些方面。近几年来，随着微电子技术和工艺、磁性材料科学和烧结加工工艺以及其他边沿技术学科的不断改进和发展，无工频变压器的开关稳压电源技术(DC-DC、DC-AC、AC-DC、AC-AC等各种非线性高频变换器技术)也有了突破性的进展，并且由此产生了许多能够提高人们生活水平和改善人们工作条件的新产品，如电瓶自行车、无极变速汽车、变频空调、逆变焊机、快速充电器、电力机车、电力冶炼等。无工频变压器的开关稳压电源以其独有的体积小、重量轻、效率高(包括功率因数大)、输出形式多样化(主要指路数和极性)、稳压范围宽等特点，已经被应用到了与电有关的各个领域。在这些领域中，原来由线性降压变压器构成的前级线性稳压电源，由可控硅构成的前级相控开关稳压电源和由磁饱和原理构成的各种降压、稳压和升压等交流电子设备(它们的应用不是由于体积大、重量重、效率低、功率因数小，就是由于工作特性受电网频率和电网电压波动影响较大而受到限制)，现在均已让位于无工频变压器的开关稳压电源，而传统的线性稳压电源只能作为开关稳压电源的末级稳压电源被使用。另外，开关稳压电源技术和实用化产品的出现，使许多电子产品采用电池供电变为可能，使许多电子产品小型化和微型化后变为便携式产品成为可能。所以，开关稳压电源不仅成为各种电子设备的心脏，而且也成为各种电子设备和系统能够高效率、低功耗、安全可靠运行

的关键。同时，开关稳压电源目前已成为各种研究中的热门学科。因此在这次修订过程中，作者将原书中所收编的目前已被淘汰或面临淘汰的散件式的应用实例全部删除，改换为由 PWM 控制与驱动集成电路组成的开关稳压电源应用实例。

另外，由于受绘图软件的限制，部分电路图中物理量的单位词头 μ 用 u 来代替，请读者在引用时务必注意。

在本书的编写过程中，作者参阅了大量的国内外有关开关稳压电源方面的论文、专著和资料，书中也引用了其中的一部分，在此对这些论文、专著和资料的作者和编者表示谢意。刘畅生高级工程师和于建国博士分别对本书进行了认真、详细的审稿，并提出了许多修改意见，使得本书更加完善，在此也表示诚挚的谢意。最后还要感谢西安电子科技大学出版社的云立实编辑和其他工作人员，他们在本书的编写和出版过程中给予了大力的支持和帮助。

由于作者水平有限，书中存在错误和不足之处在所难免，恳请老师和专家们提出宝贵的批评意见和建议。

作者

2005年4月

第一版前言

本书是开关稳压电源方面具有一定特色的专著。其特点是以讲述实用电路、变压器等设计为主，实际电路设计中又以开关脉冲变压器的设计与计算为主。

在本书中，收集了用于电视机、计算机、显示器、数字电路和其他方面的开关稳压电源实用电路共140余种。为了便于对各种型号的实用电路进行维修和分析研究，书中对各厂家生产的各种型号的实用电路(包括第一、二章中引用的实用电路)，一律采用各厂提供给用户的原线路图，对图中各部件、元件的图形、符号及其标注方法等均保持原样。

在本书的编写过程中，参阅了大量的国内外有关这方面的论文、专著和资料。书中也引用了其中的一些内容，在此对这些论文、专著和资料的作者和编者表示谢意。此外，在本书定稿之前，彭学愚教授和安毓英教授提出了许多修改意见，使得本书更加完善，在此也表示诚挚的谢意。

在我国电子技术飞速发展的今天，希望本书能为我国电子技术的发展和崛起添砖加瓦。由于作者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，希望广大读者予以批评指正。

作者

于西安电子科技大学

1995年12月

目 录

第 1 章 开关稳压电源概述	1
1.1 线性稳压电源与开关稳压电源	1
1.1.1 线性稳压电源概述	1
1.1.2 开关稳压电源概述	2
1.1.3 开关稳压电源的发展	4
1.1.4 开关稳压电源的种类	7
1.2 降压型开关稳压电源.....	13
1.2.1 降压型开关稳压电源的电路结构.....	13
1.2.2 降压型开关稳压电源的工作原理.....	14
1.2.3 降压型开关稳压电源重要参数的计算.....	16
1.2.4 降压型开关稳压电源的设计.....	22
1.3 升压型开关稳压电源.....	26
1.3.1 升压型开关稳压电源的电路结构.....	26
1.3.2 升压型开关稳压电源的工作原理.....	26
1.3.3 升压型开关稳压电源重要参数的计算.....	28
1.4 极性反转型开关稳压电源.....	31
1.4.1 极性反转型开关稳压电源的电路结构.....	31
1.4.2 极性反转型开关稳压电源的工作原理.....	32
1.4.3 极性反转型开关稳压电源重要参数的计算.....	33
1.5 开关稳压电源中的控制、驱动和保护电路	33
1.5.1 控制电路.....	33
1.5.2 驱动电路.....	35
1.5.3 保护电路.....	37
1.6 开关稳压电源中的几个重要问题.....	43
1.6.1 功率开关的二次击穿问题.....	43
1.6.2 开关稳压电源中的整流和滤波问题.....	46
1.6.3 开关稳压电源中的接地、隔离和屏蔽问题	58
1.7 开关变压器的加工工艺及绝缘处理.....	74
1.7.1 功率开关变压器的工作状态.....	74
1.7.2 磁性材料与磁心结构的选择.....	76
1.7.3 漏感和分布电容的计算.....	78

1.7.4	趋肤效应	82
1.7.5	磁性材料的磁特性	85
1.7.6	功率开关变压器绕组导线规格的确定	99
1.7.7	绝缘材料以及功率开关变压器所选用骨架材料的技术参数	105
1.7.8	功率开关变压器的装配与绝缘处理	109
第2章	单端式开关稳压电源的实际电路	113
2.1	开关稳压电源实际电路的类型	113
2.1.1	按激励方式划分	113
2.1.2	按功率开关变压器的极性划分	115
2.1.3	按功率开关的种类划分	120
2.2	单管自激式正激型直流变换器电路	125
2.2.1	单管自激式正激型直流变换器的实际电路	125
2.2.2	单管自激式正激型直流变换器的工作原理	125
2.2.3	单管自激式正激型直流变换器的其他电路	127
2.2.4	功率开关变压器的设计	129
2.3	单管自激式反激型直流变换器电路	130
2.3.1	单管自激式反激型直流变换器的三种工作状态	130
2.3.2	单管自激式反激型直流变换器电路中的几个实际问题	134
2.3.3	单管自激式反激型直流变换器电路中功率开关变压器的设计	135
2.3.4	单管自激式反激型直流变换器的启动电路	139
2.3.5	单管自激式反激型直流变换器实际应用电路	142
2.4	单管它激式正激型直流变换器电路	147
2.4.1	单管它激式正激型直流变换器的基本电路形式	147
2.4.2	单管它激式正激型直流变换器电路中的功率开关	148
2.4.3	单管它激式正激型直流变换器电路中的续流二极管	148
2.4.4	单管它激式正激型直流变换器电路的变形	148
2.4.5	单管它激式正激型直流变换器电路中的 PWM 电路	149
2.4.6	单管它激式正激型直流变换器电路中功率开关变压器的设计与计算	188
2.5	单管它激式反激型直流变换器电路	191
2.5.1	单管它激式反激型直流变换器的基本电路形式	191
2.5.2	单管它激式反激型直流变换器中的功率开关	193
2.5.3	单管它激式反激型直流变换器电路的变形	194
2.5.4	单管它激式反激型直流变换器电路中的 PWM 电路	195
2.5.5	单管它激式反激型直流变换器中功率开关变压器的设计与计算	248
第3章	推挽式开关稳压电源的实际电路	254
3.1	自激型推挽式开关稳压电源实际电路	254
3.1.1	自激型推挽式直流变换器电路	255

3.1.2	自激型推挽式直流变换器电路中功率开关变压器的设计	261
3.1.3	自激型推挽式直流变换器电路中功率开关的选择	263
3.1.4	自激型推挽式双变压器直流变换器电路	267
3.1.5	自激型推挽式直流变换器应用电路举例	270
3.2	它激型推挽式开关稳压电源实际电路	271
3.2.1	它激型推挽式直流变换器电路中的功率开关变压器	273
3.2.2	它激型推挽式直流变换器电路中的功率开关	273
3.2.3	它激型推挽式直流变换器中的共态导通问题的解决方法	274
3.2.4	它激型推挽式直流变换器中的 PWM 电路	280
第 4 章	桥式开关稳压电源的实际电路	362
4.1	自激型半桥式开关稳压电源实际电路	365
4.2	它激型半桥式开关稳压电源实际电路	371
4.2.1	它激型半桥式直流变换器电路的工作原理	371
4.2.2	它激型半桥式直流变换器电路的设计	378
4.2.3	多路它激型半桥式开关稳压电源电路	388
4.2.4	它激型半桥式直流变换器中的 PWM 电路	394
4.3	全桥式开关稳压电源实际电路	448
4.3.1	全桥式直流变换器电路的工作原理	448
4.3.2	全桥式直流变换器电路的设计	449
4.3.3	全桥式直流变换器中的 PWM 电路	451
参考文献	484

第 1 章

开关稳压电源概述

1.1 线性稳压电源与开关稳压电源

1.1.1 线性稳压电源概述

所谓线性稳压电源,是指在稳压电源电路中的调整功率管工作于线性放大区。其工作过程可简述为:将 220 V/50 Hz 的工频电网电压经过线性变压器降压以后,再经过整流、滤波和线性稳压,最后输出一个纹波电压和稳定性能均符合要求的直流电压。其原理框图如图 1-1 所示。

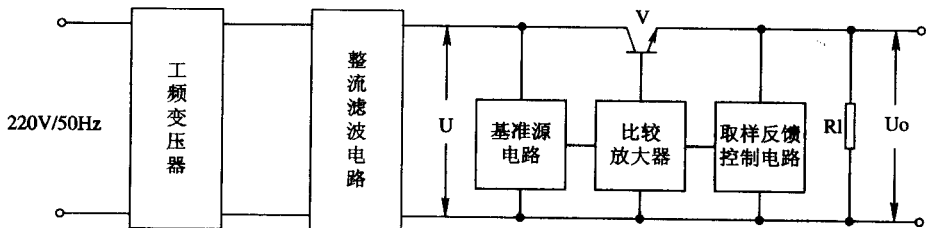


图 1-1 线性稳压电源原理框图

1. 线性稳压电源的优点

- (1) 电源稳定度及负载稳定度较高。
- (2) 输出纹波电压较小。
- (3) 瞬态响应速度较快。
- (4) 线路结构简单,便于理解和维修。
- (5) 无高频开关噪声。
- (6) 成本低。

2. 线性稳压电源的缺点

- (1) 内部功耗大,转换效率低,其转换效率一般只有 45%。
- (2) 体积大,重量重,不便于微型化和小型化。
- (3) 必须具有较大的输入和输出滤波电容。

(4) 输入电压动态范围小, 线性调整率低。

(5) 输出电压不能高于输入电压。

3. 造成这些缺点的原因

(1) 从图 1-1 所示的线性稳压电源原理框图中可以看出, 调整管 V 在电源的整个工作过程中一直工作在晶体管特性曲线的线性放大区。调整管 V 本身的功耗与输出电流成正比, 调整管 V 集-射极的管压降等于输入与输出电压差。这样一来, 调整管 V 本身的功耗不但随电源输出电流的增大而增大, 而且还随输入与输出电压差的增大而增大, 使调整管 V 的温度急剧升高。为了保证调整管 V 能够正常工作, 除选用功率大、耐压高的管子外, 还必须对管子采取一些必要的散热措施进行冷却, 如加散热器或轴流风机等。

(2) 线性稳压电源电路中使用了 50 Hz 工频变压器, 我们通常把这种变压器称为线性变压器。这种线性变压器的效率一般最大可以做到 80%~90%。使用这种工频变压器不但增加了电源的体积和重量, 而且也大大降低了电源的效率。

(3) 由于线性稳压电源电路的工作频率较低, 为 50 Hz, 因此要降低输出电压中纹波电压的峰峰值, 就必须增大滤波电容的容量。

(4) 由于线性稳压电源电路中的调整管工作在线性放大区, 只有在增大调整管集-射极管压降的基础上, 才能实现稳压的目的, 因此线性稳压器只有一般压差和低压差系列产品, 而没有升压系列产品。

1.1.2 开关稳压电源概述

1. 开关电源的结构

如图 1-2 所示的电路就是开关稳压电源原理框图和等效原理图。它由全波整流器、开关功率管 V、PWM(脉宽调制)控制与驱动器、续流二极管 VD、储能电感 L、输出滤波电容 C 和采样反馈电路等组成。实际上, 开关稳压电源的核心部分是一个直流变换器。这里我们对直流变换器和逆变器作如下解说。

逆变器:是把直流转变成交流的装置。逆变器通常被广泛地应用在采用电瓶或电池组成的备用电源中。

直流变换器:是把直流转变成交流, 然后又把交流转换成具有不同输出的直流的装置。这种装置被广泛地应用在开关稳压电源电路中。采用直流变换器可以把一种直流供电电压变换成输出极性、输出路数和输出电压数值各不相同的多种直流供电电压, 并且输入与输出之间可以是隔离式的, 也可以是不隔离式的。

2. 开关稳压电源的优点

(1) 内部功率损耗小, 转换效率高。在图 1-2 所示的开关稳压电源原理框图中, 开关功率管 V 在 PWM 驱动信号的驱动下, 交替地工作在导通—截止与截止—导通开关状态, 转换速度非常快, 频率一般可高达 100 kHz 左右。在一些电子工业发达国家, 可以做到 MHz 以上。这便使得开关功率管 V 上的功率损耗大为减小, 储能电感的电感量大为减小, 储能效率大为提高, 从而使整个开关稳压电源的转换效率得到大幅度的提高, 其转换效率可高达 90%左右。

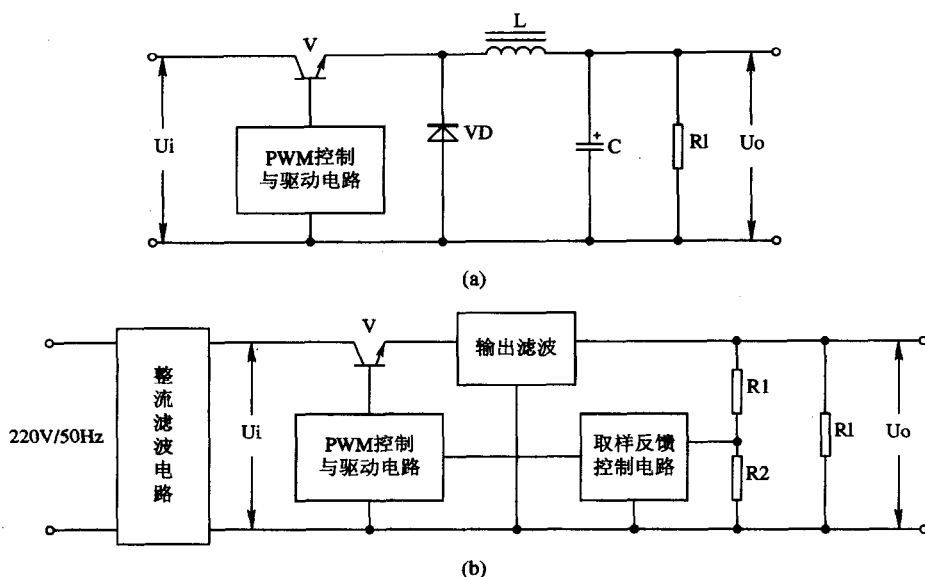


图 1-2 开关稳压电源原理框图和等效原理图

(a) 开关稳压电源原理框图；(b) 开关稳压电源等效原理图

(2) 体积小，重量轻。从开关稳压电源的原理电路图中我们可以清楚地看出，这里没有采用笨重的工频变压器。由于开关功率管 V 工作在开关状态，因此其本身的功率损耗大幅度地降低，这就省去了较大的散热器。另外，由于电路的工作频率比线性稳压电源中的 50 Hz 工频高了好几个数量级，因此滤波效率大大提高，滤波电容的容量也大为减小。这三方面的原因，就使得开关稳压电源具有体积小、重量轻的显著优点。

(3) 稳压范围宽，线性调整率高。开关稳压电源的输出电压是由 PWM/PFM(脉频调制)驱动信号的占空比来调节的，输出电压由于输入信号电压的变化而引起的不稳定，可以通过调节脉冲宽度或脉冲频率来进行补偿。这样，在输入工频电网电压变化较大时，它仍能够保证有非常稳定的输出电压。因此，开关稳压电源除具有稳压范围宽的优点外，还具有稳压效果好和线性调整率高的优点。此外，由于改变占空比的方法有脉宽调制型和脉频调制型两种，因此开关稳压电源不仅具有以上所说的优点，而且实现稳压的方法和技术也较多，设计人员可以根据实际应用的要求和需要，灵活地选用各种类型的开关稳压电源电路。

(4) 滤波效率大为提高，滤波电容的容量和体积大为减小。开关稳压电源的工作频率目前基本在 50 kHz 以上，是线性稳压电源工作频率的 1000 倍以上。因此，开关稳压电源整流后的滤波效率也几乎提高了 1000 倍左右。就是采用半波整流后加电容滤波，滤波效率也比线性稳压电源高 500 倍左右。在要求有相同输出纹波电压的情况下，采用开关稳压电源时，滤波电容的容量只是线性稳压电源中滤波电容容量的 $1/500 \sim 1/1000$ 。

(5) 电路形式灵活多样，选择余地大。例如，有自激式和它激式，有调宽型和调频型，有单端式和双端式，等等。设计者可以发挥自己的聪明才智，充分利用各种类型电路的优点，设计出能够满足不同应用场合的十全十美的开关稳压电源。

3. 开关稳压电源的缺点

(1) 开关稳压电源存在着较为严重的开关噪声和干扰。在开关稳压电源电路中, 由于开关功率管工作在开关状态, 因此它所产生的高频交流电压和电流将会通过电路中的其他元器件产生尖峰干扰和谐振噪声, 这些干扰和噪声如果不采取一定的措施进行抑制、消除和屏蔽, 就会严重地影响整机的正常工作。此外, 由于开关稳压电源电路中的振荡器没有工频降压变压器的隔离, 因此这些干扰和噪声就会窜入工频电网, 使附近的其他电子仪器、设备和家用电器受到严重的干扰。而且这种高频干扰还会通过开关稳压电源电路中的磁性元件(如电感和开关变压器等)辐射到空间, 使周围的其他电子仪器、设备和家用电器也同样受到严重的干扰。

(2) 电路结构复杂, 不便于维修。对于无工频变压器的开关稳压电源电路中的高压、高温电解电容, 高反压、大电流功率开关管, 高频开关变压器的磁性材料, 高反压、大电流、快恢复肖特基二极管等器件, 在我国还处于研究、开发和试制阶段。在一些技术发达的国家, 开关稳压电源虽然有了一定的发展, 但在实际应用中还存在着一些问题, 不能令人十分满意。这就暴露出了开关稳压电源的另一个缺点, 那就是电路结构复杂, 故障率高, 维修麻烦。对此, 如果设计者和生产者不予以充分重视, 它将直接影响开关稳压电源的推广应用。

(3) 成本高, 可靠性低。目前, 由于国内微电子技术、阻容器件生产技术以及磁性材料烧结技术等与一些技术发达国家还有一定的差距, 因此其造价和成本不能进一步降低, 也影响到其可靠性的进一步提高。这就导致了在我国的电子仪器、仪表以及机电一体化设备中, 开关电源还不能得到十分广泛的普及与应用。

1.1.3 开关稳压电源的发展

1. 国际发展状况

(1) 开关稳压电源的发展史。1955年, 美国的科学家罗耶(G. H. Royer)首先研制成功了利用磁心的磁饱和来进行自激振荡的晶体管直流变换器。此后, 世界各地利用这一技术的各种形式的晶体管直流变换器不断地被研制出来, 从而取代了早期采用的寿命短、可靠性差、转换效率低的旋转式和机械振子式换流设备。由于晶体管直流变换器的功率晶体管工作在开关状态, 因此, 由此而制成的稳压电源输出路数多, 输出极性可变, 转换效率高, 体积小, 重量轻, 因而被广泛地应用于航海、航空以及军事电子设备上。由于那时的微电子设备和技术十分落后, 不能够研制出耐压较高, 开关速度较快, 功率较大的开关晶体管, 因此这个时期的直流变换器只能采用低电压输入, 并且转换的速度也不能太高。另外, 由于输入电压不能过高, 因此当时的直流变换器中还含有工频降压变压器。

20世纪60年代末, 由于微电子技术的快速发展, 高反压、大电流的功率开关晶体管出现了, 从此, 直流变换器就可以直接由工频电网电压经整流、滤波后输入供电, 终于将体积大、重量重、效率低的工频降压变压器甩掉了, 从而迅速地扩大了它的应用范围, 并在此基础上诞生了无工频变压器的开关稳压电源。由于省掉了工频降压变压器, 开关稳压电源的体积和重量大幅度地减小和降低, 开关稳压电源这才真正走上了被普及与应用的道路。

20世纪70年代以后,与这种技术有关的高频率、高反压、大电流的开关功率晶体管,高频率、高温度电容,高反压、大电流、快恢复肖特基二极管,高频变压器磁心等元器件也不断地被研制生产出来,使无工频变压器开关稳压电源得到了不断的完善和快速的发展,并且被迅速而又广泛地应用于电子计算机、通信、航海、航天、军事电子设备和电视机等领域中,从而使无工频变压器的开关稳压电源成为各种设备供电电源中的佼佼者。

(2)目前正在克服的困难。随着电力电子技术和微电子技术的高速发展以及集成度高、功能强的大规模集成电路(IC)的不断出现,电子设备的体积在不断地缩小,重量在不断地减轻,内部功率损耗在不断地减少。因此,一台电子设备能否小型化、微型化和成为便携式的关键技术,就是开关稳压电源能否小型化、微型化和成为模块式。因此开关稳压电源的小型化、微型化、模块化就成了技术人员研究和探讨的核心和热门学科。从事开关稳压电源研究和生产的技术人员认为开关稳压电源电路中的变压器还不是十分理想,他们正致力于研制出转换效率更高、体积更小、重量更轻的开关变压器或者通过其他的路径和方法来取代电路中的变压器,使之能够满足电子仪器和设备小型化和微型化的需要和要求。这就是从事开关稳压电源研究工作的科技人员目前正在克服的第一个困难。

开关稳压电源的效率是与功率开关的变换速度成正比的,并且开关稳压电源中由于采用了开关变压器以后,才能使之由一组输入电压得到极性、大小各不相同的多路输出电压,因此,要进一步提高开关稳压电源的转换效率,就必须提高其工作频率。但是当工作频率提高以后,对整个电路中的元器件又有了新的要求。例如,高频电容、功率开关晶体管、高频开关变压器、储能电感、快恢复续流二极管、PCB电路设计等都会出现新的问题。进一步研制适应开关稳压电源高频率工作的有关元器件和PCB电路,就成了从事开关稳压电源研究、设计和生产的科技人员要解决的第二个困难。

工作在线性放大状态的线性稳压电源电路,具有稳压和滤波的双重作用,而且其工作频率也较低,为工频50Hz,因而串联线性稳压电源不产生开关噪声和干扰,并且输出的纹波电压也较低。但是在开关稳压电源电路中的功率开关工作在频率较高的开关状态,其高频电压和电流就会通过电路中的元器件和PCB引线辐射和传播较强的尖峰干扰和谐振噪声。这些干扰和噪声就会污染工频电网和周围环境,影响邻近的电子仪器和设备的正常工作。随着开关稳压电源电路和抑制干扰、噪声的各种措施及方法的不断改进和提高,开关稳压电源的这一缺点得到了克服,可以达到不妨碍一般电子仪器、设备和家用电器正常工作和正常使用的程度。但是在一些对输出稳定度和输出纹波要求较高的精密电子测量仪器和仪表中,由于开关稳压电源的这一缺点,却使它不能得到应用。导致这些高精度仪器和仪表要么采用电池或电瓶供电,要么就不能被小型化、微型化而成为便携式仪器和仪表。所以克服开关稳压电源的这一缺点,进一步提高它的输出稳定度和降低它的输出纹波电压,扩大它的适用范围,就成了从事开关稳压电源研究、设计和生产的科技人员要解决的第三个困难。

工作在开关状态的开关稳压电源电路中,功率开关晶体管上的损耗主要包括驱动导通的上升时间内的损耗,驱动关断的下降时间内的损耗,导通以后由于管压降不能为零而产生的损耗和关断以后由于漏电流不能为零而引起的损耗这四部分损耗。其中,驱动导通的上升时间内的损耗和驱动关断的下降时间内的损耗这两部分损耗可以通过提高功率开关的工作速度来解决,而导通以后由于管压降不能为零而产生的损耗和关断以后由于漏电流不

能为零而引起的损耗这两部分损耗则必须通过寻求新的驱动方式和新的功率开关来解决。新的驱动方式和新的功率开关主要指的是开关稳压电源中的开关工作状态应该是零流关断和零压开通,即电路中的功率开关关断时漏电流为零,导通时管压降为零。因此寻求新的驱动方式和研制新的功率开关便成了从事开关稳压电源研究、设计和生产的科技人员要解决的第四个困难。

(3) 面对困难所出现的新突破和新进展。为了解决开关稳压电源中所出现的困难,从事开关稳压电源研究的科技人员,以及与这门学科相关的其他学科的科技人员已在不懈地努力和探索着。首先是从事开关稳压电源研究的科技人员设计和研制出了谐振式开关稳压电源,从根本上解决了由于功率开关上的功耗大而导致开关稳压电源转换效率低的问题,同时也从根本上解决了由于功率开关上的电流和电压应力大而导致开关稳压电源可靠性和稳定性低的问题。另外,从事半导体技术和工艺研究的科技人员几乎在同一时期也设计和研制出了具有零流关断和零压开通的复合功率开关 IGBT(其中也包括智能型 IGBT(MCBT))。这种复合功率开关 IGBT 把晶体管(GTR)和 MOSFET 管的优点集于一体,既具有 MOSFET 管的输入驱动所需功率非常小的输入特性,又具有 GTR 管的导通以后管压降非常小的(主要是导通电阻非常小)输出特性。谐振式开关稳压电源电路结构再加上复合功率开关 IGBT,使开关稳压电源的应用可以拓展到大功率和超大功率的应用场合,如应用于逆变焊机、电瓶汽车、电力机车、磁悬浮列车和直流输电等领域。

2. 国内发展情况

我国的晶体管直流变换器和开关稳压电源设计、研制和生产开始于 20 世纪 60 年代初期,到 60 年代中期进入了实用阶段。70 年代初期开始设计、研制和生产无工频降压变压器的开关稳压电源。1974 年研制成功了我国第一台工作频率为 10 kHz、输出直流电压为 5 V 的无工频降压变压器的开关稳压电源。近十年来,我国的许多研究所、工厂和高等院校纷纷研制出了多种型号和多种用途的工作频率在 20 kHz 左右,输出功率在 1000 W 以下的无工频降压变压器的开关稳压电源,并应用于电子计算机、通信、电视机等方面,取得了非常好的效果。工作频率为 100~200 kHz 的无工频降压变压器的高频开关稳压电源于 20 世纪 80 年代初期开始试制,90 年代初期就已试制成功。目前正处于实用和进一步提高工作频率阶段。许多年来,虽然我国的科技人员在无工频降压变压器开关稳压电源方面坚持独立自主、自力更生的道路,历尽千辛万苦,一直在不懈地努力着、奋斗着,并取得了可喜的巨大成果,但是我国的开关稳压电源技术与一些先进国家相比仍有巨大的差距。此外,这些年来,我国虽然把无工频降压变压器的开关稳压电源的工作频率从数十千赫兹提高到数百千赫兹,把输出功率由数十瓦提高到数百瓦甚至数千瓦,但是,由于我国的半导体技术与工艺跟不上时代的发展,导致我们自己研制和生产出的无工频降压变压器的开关稳压电源电路中的关键器件,如功率开关晶体管、高频开关变压器磁性材料、储能电感、快恢复续流二极管大部分仍然采用的是国外的。因此,我国的开关稳压电源事业要发展,要赶超世界先进水平,最根本的问题是要提高我国的半导体技术和工艺。

衡量一个国家开关稳压电源技术发展状态的先进与落后,除了要看以上所说的开关稳压电源电路中的那些关键性元件和磁性材料的发展现状以外,还要看开关稳压电源电路中的脉宽调制 PWM(或正弦波脉宽调制 SPWM)控制与驱动集成电路的发展状态。我们国家目前市场上出现的各种各样的开关稳压电源产品,不管是小功率、中功率输出式,还是

大功率、超大功率输出式；不管是单端输入驱动式，还是双端输入驱动式；不管是输出单路式，还是输出多路式；不管是输出正压式，还是输出负压式；不管是自激式、它激式，还是谐振式；不管是散件式，还是模块式……所有这些开关稳压电源电路中所使用的 PWM（或 SPWM）控制与驱动集成电路芯片几乎全部都是采用进口的，仅有极个别的是采用国产的。所谓国产的，也只不过是把进口的芯片拿回来进行了一下封装。因此，我们国家有关开关稳压电源的 PWM（或 SPWM）控制与驱动集成电路芯片的微电子工业几乎等于零。因此，我们要发展我国的开关稳压电源事业，要赶超世界先进水平，要独立于世界强国之林，就必须从零做起，从基础做起。

一个净化环境、净化电网、节约能源和电磁兼容的世界性运动已经在各个国家纷纷掀起。我们国家由政府倡导的这场运动也正在向与电有关的各个领域渗透，政府有关净化环境、净化电网、节约能源和电磁兼容方面的规范和法规均已相继出台。为了促进和加快我们国家赶超世界先进水平的速度，我们这些从事电源行业的技术人员应该首当其冲，应该积极地推广、落实和执行政府有关这方面的规范和法规，应该发挥自己在电源技术方面的聪明才智，设计和研制出越来越多的具有净化环境、净化电网、节约能源和电磁兼容功能的交流供电系统和直流稳压电源产品，应该把好一切与电有关的入口关和出口关。

1.1.4 开关稳压电源的种类

现在，随着电子技术和应用的迅速发展，对于电子仪器和设备的要求又有了新的内容。在性能上，要更加安全可靠；在功能上，要不断地增加；在使用和操作上，自动化和智能化程度要越来越高；在体积和重量上，要日趋小型化和微型化；在功耗和电磁兼容上，要功率因数大和转换效率高。这样一来，就使得具有众多优点的开关稳压电源更显重要了。因此，开关稳压电源在计算机、通信、航海、航空、航天、仪器仪表、微控制器、医疗仪器、传感器、家用电器等方面得到了越来越多的广泛应用，发挥了不可取代的巨大作用。同时，这也大大地促进了开关稳压电源的发展，从事这方面研究和生产的人员也在不断地增加，开关稳压电源的品种和种类也越来越多。

以下是常见的开关稳压电源电路的分类方法。

1. 按激励方式划分

(1) 它激式开关稳压电源电路。该电路内部专门设置有产生 PWM（SPWM）驱动信号的控制与驱动电路。在早期的开关稳压电源产品中，这部分电路均是采用散件电路实现的。而在 20 世纪 80 年代中期以后所生产出来的开关稳压电源产品中，这部分电路均是采用 PWM（SPWM）IC 来实现的。该种形式的开关稳压电源电路具有工作稳定、可靠和便于控制的优点。一般都应用于大功率和超大功率输出的场合，其电路结构形式如图 1-3(a) 所示。

(2) 自激式开关稳压电源电路。该电路中的功率开关管既作功率开关，又兼作 PWM（SPWM）驱动信号产生的振荡管。在有些较为复杂的自激式电路中，功率开关管与其他晶体管构成复合管一起完成此双重任务。具有该种电路结构形式的开关稳压电源一般都工作在谐振状态，为谐振式开关稳压电源电路。因此，它具有内部损耗小、转换效率高、成本低等优点和实现条件苛刻、工作可靠性差、不便于控制等缺点。一般都应用于小功率和中功率输出的场合，其电路结构形式如图 1-3(b) 所示。

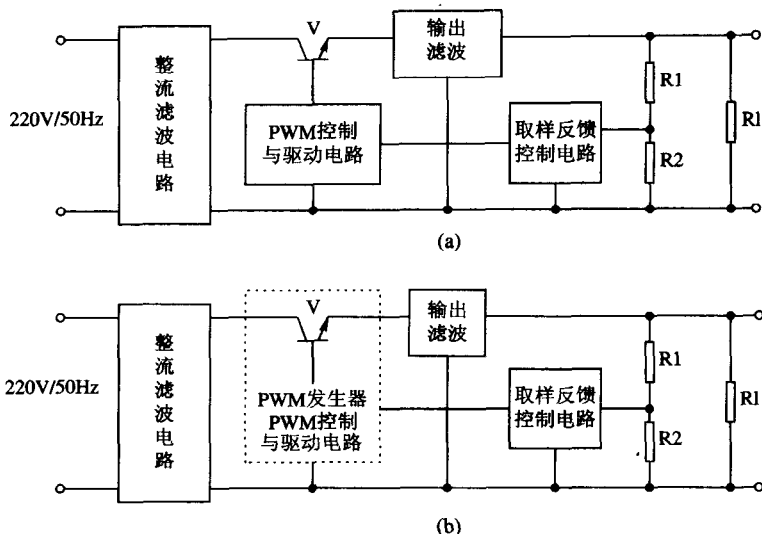


图 1-3 按激励方式划分的开关稳压电源电路

(a) 它激式开关稳压电源电路；(b) 自激式开关稳压电源电路

2. 按调制方式划分

(1) 脉宽调制型开关稳压电源电路。该电路保持 PWM(SPWM) 驱动信号的频率不变，通过改变脉冲宽度(也就是调节占空比)来实现对输出电压的调节和控制。大部分的开关稳压电源电路均通过由取样电路、耦合电路等构成的反馈闭环回路，来控制 PWM(SPWM) 驱动信号的脉冲宽度，最后实现稳定输出电压幅度的目的。

(2) 频率调制型开关稳压电源电路。该电路保持 PWM(SPWM) 驱动信号的占空比不变，通过改变振荡器的振荡频率来实现调节和稳定输出电压幅度的目的。自激式开关稳压电源电路大多是采用这种方式来调节和稳定输出电压幅度的。

(3) 混合型开关稳压电源电路。该电路通过调节 PWM(SPWM) 驱动信号的频率和脉冲宽度(占空比)来实现调节和稳定输出电压幅度的目的。这种类型的开关稳压电源电路一般被应用在输出电压可以高于或低于输入电压的开关稳压电源电路中。

3. 按开关功率管电流的工作方式划分

(1) 开关式开关稳压电源电路。该电路采用功率开关的开关工作方式，将直流电压变成高频标准方波，它类似于它激式开关稳压电源电路。

(2) 谐振式开关稳压电源电路。该电路的功率开关与 LC 谐振回路一起将直流电压转换成标准正弦波，它类似于自激式开关稳压电源电路。

4. 按功率开关的类型划分

(1) 晶体管型开关稳压电源电路。该电路采用 NPN 型或 PNP 型晶体管作为功率开关，优点是功率开关饱和导通以后，集—射极导通电阻非常小，管子的开关损耗较小；缺点是驱动功率与输出功率成正比，不宜应用在大功率和超大功率输出的场合。这种电路常被应用在家用电器的供电电源电路中。其电路结构形式如图 1-4(a) 所示。