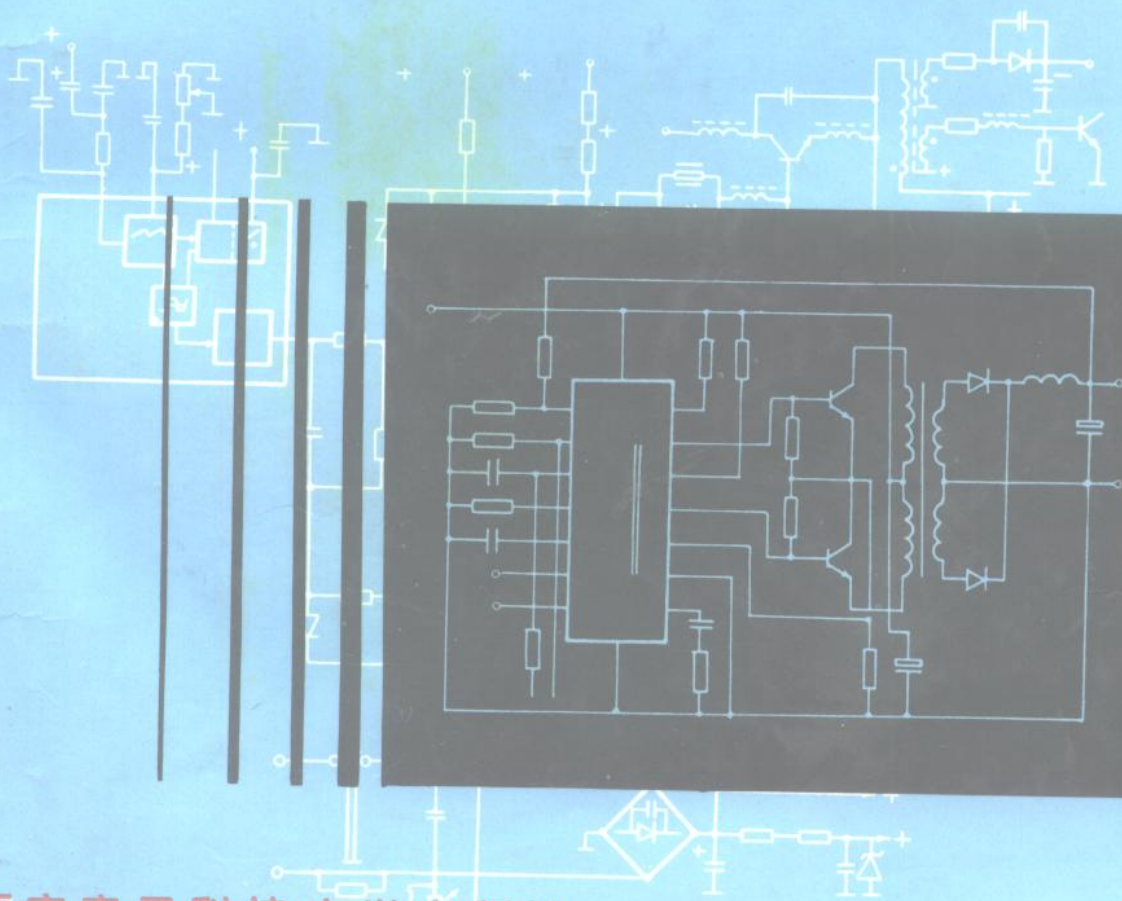


开关稳压电源——原理、设计与实用电路

开关稳压电源

——原理、设计与实用电路

王水平 付敏江 编著



西安电子科技大学出版社

395438

开关稳压电源

——原理、设计与实用电路

王水平 付敏江 编著

西安电子科技大学出版社

1997

(陕)新登字 010 号

内 容 提 要

本书是一本讲述开关稳压电源的原理、设计及其实用电路的专著。

全书共三章。第一章是开关稳压电源概述，讲述了开关稳压电源的基本原理和设计，以及相关驱动、控制和保护电路的原理和设计。第二章是开关稳压电源的实际电路，着重讨论了各种开关稳压电源变压器的设计。第三章是开关稳压电源的实用电路，在分类简述了用于电视机、计算机、显示器、数字电路和其他方面的开关稳压电源电路的主要特点后，收集了以上各种类型的实用开关稳压电源电路共 140 余种，可供读者参考、研究和选用，真算得上是集开关稳压电源实用电路之大成。由上述内容可见，本书是开关稳压电源电路方面的一本资料性和实用性极强的科技图书，值得向有关读者推荐。

读者对象：工程技术人员，仪器、仪表维修人员，大专院校师生，电子技术业余爱好者。

开关稳压电源

——原理、设计与实用电路

王水平 付敏江 编著

责任编辑 李纪澄 云立实

西安电子科技大学出版社出版发行

地址：西安市太白南路 2 号 邮编：710071

高陵县印刷厂印刷

各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 18 6/16 插页 1 字数 449 千字
1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月第 1 次印刷 印数 1—6 000

ISBN 7-5606-0421-8/TN·0101

定价：25.00 元

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，书中的特点和错误在所难免，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

第一章 开关稳压电源概述	1	4. 储能电感 L 的选择	22
第一节 线性稳压电源与开关稳压电源	1	第四节 开关稳压电源中的控制、驱动 和保护电路	23
1.1. 线性稳压电源概述	1	4.1 控制电路	23
1.2 开关稳压电源概述	2	4.2 驱动电路	25
1. 开关稳压电源的结构	2	1. 驱动波形的要求	25
2. 开关稳压电源的优点	2	2. 驱动电路的种类	25
3. 开关稳压电源的缺点	3	3. 驱动电路的设计	27
1.3 开关稳压电源的发展	3	4.3 保护电路	27
1. 国际发展状况	3	1. 保护电路的种类	27
2. 国内发展情况	4	2. 实际应用中的保护电路	28
1.4 开关稳压电源的种类	5	第五节 开关稳压电源中的几个重要 问题	29
1. 按激励方式划分	5	5.1 开关晶体管的二次击穿问题	29
2. 按调制方式划分	5	1. 二次击穿现象	29
3. 按开关管电流的工作方式划分	5	2. 一次击穿与二次击穿的区别	30
4. 按开关晶体管的类型划分	5	3. 晶体管的安全工作区	31
5. 按储能电感与负载的连接方式划分	7	4. 晶体管管芯的结构	31
6. 按晶体管的连接方式划分	7	5.2 开关稳压电源中的整流与滤波 问题	32
7. 按输入与输出电压的大小划分	7	1. 一次整流与一次滤波	32
8. 按工作方式划分	7	2. 二次整流与二次滤波	35
9. 按电路结构划分	8	5.3 开关稳压电源中的接地、隔离 和屏蔽问题	40
第二节 串联型开关稳压电源	8	1. 接地问题	40
2.1 结构	8	2. 隔离与耦合技术	42
2.2 工作原理	9	3. 屏蔽技术	47
2.3 几个重要参数的计算	11	第二章 开关稳压电源的实际电路	55
1. 输出电压波纹值 ΔU_o 的计算	11	第一节 单管式直流变换器电路	55
2. 开关管 V 的耗散功率 P_c 的计算	13	1.1. 分类	55
3. 效率 η 的计算	15	1. 按激励方式划分	55
2.4 串联型开关稳压电源的设计	16	2. 按开关变压器的极性划分	55
1. 开关晶体管 V 的选择	16	3. 按总体形式划分	56
2. 续流二极管 V_D 的选择	16	1.2 单管自激式顺向型直流变换器 电路	56
3. 储能电感 L 的选择	16	1. 实际电路	56
4. 滤波电容 C 的选择	18	2. 工作原理	56
第三节 并联型开关稳压电源	19	3. 其它电路	58
3.1 结构	19	4. 变压器的设计	60
3.2 工作原理	20		
3.3 并联型开关稳压电源的设计	21		
1. 开关晶体管 V 的选择	21		
2. 二极管 V_D 的选择	21		
3. 滤波电容 C 的选择	22		

1.3 单管自激式回扫型直流变换器	
电路	60
1. 三种工作状态	60
2. 几个实际问题	62
3. 启动电路	64
4. 实际应用电路	68
1.4 单管他激式顺向型变换器电路	70
1. 实际电路	70
2. 工作原理	71
3. SL-64、X63、SG1524、MC3420	
集成电路	72
1.5 开关变压器的设计与计算	83
1. 开关电源变压器的工作状态	83
2. 磁性材料与磁芯结构的选择	83
3. 漏感和分布电容	86
4. 趋肤效应	91
5. 单管回扫式开关电源变压器的	
设计与计算	93
6. 单管顺向型开关电源变压器的	
设计与计算	107
第二节 推挽式直流变压器电路	110
2.1 自激型推挽式直流变换器的	
工作原理	111
1. 基本工作原理	111
2. 变换器的转换效率	111
3. 变换器输入与输出之间的关系	113
4. 变换器的输出阻抗	114
5. 变换器的工作频率	115
2.2 简单的设计	116
1. 初级绕组匝数的计算	116
2. 基级绕组匝数的计算	116
3. 次级线圈绕组的计算	116
4. 变压器铁芯材料的选择	117
5. 变换器中晶体管的选择	118
2.3 自激型推挽式双变压器直流	
变换器	121
2.4 推挽式直流变换器实用电路	
举例	124
2.5 推挽式直流变换器电路中开	
关变压器的设计	125
2.6 推挽式直流变换器中存在的	
问题	125
1. 采用 RC 电路延迟导通来避免	
同时导通现象	126
2. 采用延迟导通脉冲来避免双管	
同时导通	127
3. 减小功率晶体管的存储时间	127
第三节 桥式直流变换器电路	130
3.1 桥式直流变换器的分类	130
3.2 桥式直流变换器的特点	130
3.3 实际应用电路举例	130
1. 使用电流控制型磁放大器的半桥	
式三输出直流开关稳压电源	130
2. 半桥式脉冲宽度调制开关稳压电	
源电路	133
3. 多路电源电路举例	137
3.4 桥式直流变换器的设计	142
1. 工频整流与滤波电路的设计	142
2. 直流变换器的设计	143
3. 开关变压器的设计	146
4. 开关电源变压器设计中的一些有	
关参数和技术性能表	152
第三章 开关稳压电源的实用电路	181
第一节 电视机开关稳压电源电路	181
1.1 电视机开关稳压电源电路的	
特点	181
1.2 电视机开关稳压电源电路	182
第二节 计算机显示器开关稳压电源	
电路	255
1.1 计算机显示器开关稳压电源	
的特点	255
1.2 显示器开关稳压电源电路	256
第三节 计算机电源	262
1.1 特点	262
1.2 计算机开关稳压电源电路	262
第四节 其它开关稳压电源电路	276
参考文献	286

第一章 开关稳压电源概述

第一节 线性稳压电源与开关稳压电源

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是工作在线性放大区。其工作过程为：将 220 V、50 Hz 的工频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，最后输出一个波纹电压和稳定性能均符合要求的直流电压。其原理方框图如图 1-1 所示。

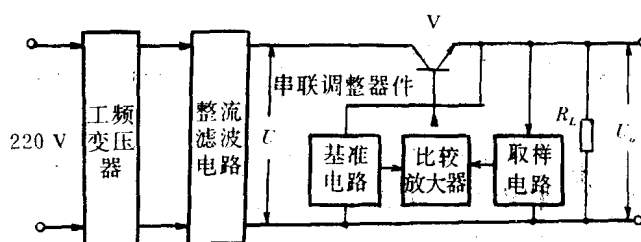


图 1-1 线性稳压电源原理图

线性稳压电源的优点是：

- (1) 电源稳定度及负载稳定度较高；
- (2) 输出波纹电压小；
- (3) 瞬态响应速度快；
- (4) 线路结构简单，便于维修；
- (5) 没有开关干扰。

线性稳压电源的缺点是：

- (1) 功耗大，效率低，其效率一般只有 45%；
- (2) 体积大、重量重、不能微小型化；*笨重、效率低，较大的散热片*
- (3) 必须有较大容量的滤波电容。

造成这些缺点的原因是：

(1) 从图 1-1 的线性稳压电源的原理图中可以看到，调整管 V 在电源的整个工作过程中，一直是工作在晶体管特性曲线的线性放大区。调整管本身的功耗与输出电流成正比。这样调整管 V 本身的功耗就会随电源的输出功率的增大而增大，使调整管急剧地发热。为了保证管子能正常工作，除选用功率大的管子外，还必须给管子加上较大的散热片。

(2) 图 1-1 中的线性稳压电源使用了 50 Hz 工频降压变压器，通常，这种变压器的效率只有 80%~90%。这样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) 由于线性稳压电源的工作频率较低, 为 50 Hz。所以, 要降低输出电压中波纹电压的峰峰值, 就必须增大滤波电容的容量。

1.2 开关稳压电源概述

1. 开关稳压电源的结构

图 1-2 画出了开关稳压电源的原理图及等效原理框图。它是由全波整流器、开关管 V、激励信号、续流二极管 V_D 、储能电感 L 和滤波电容 C 组成。实际上, 开关稳压电源的核心部分是一个直流变压器。这里我们对直流变换器和逆变器作如下解释。

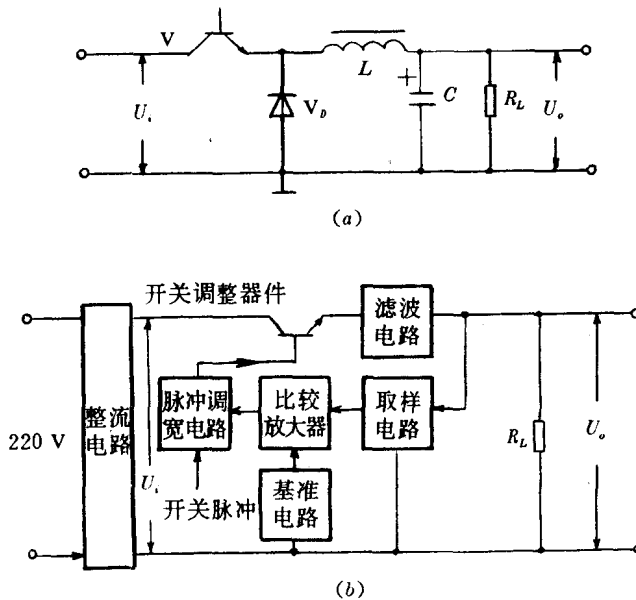


图 1-2 开关稳压电源的原理图及其等效原理框图

逆变器。它是把直流转变为交流的装置。逆变器通常被广泛地应用在采用电平或电池组成的备用电源中。

直流变换器。它是把直流转换成交流, 然后又把交流转换成直流的装置。这种装置被广泛地应用在开关稳压电源中。采用直流变换器可以把一种直流供电电压变换成极性、数值各不相同的多种直流供电电压。

2. 开关稳压电源的优点

(1) 功耗小, 效率高。在图 1-2 的开关稳压电源电路中, 晶体管 V 在激励信号的激励下, 它交替地工作在导通—截止和截止—导通的开关状态, 转换速度很快, 频率一般为 50 kHz 左右。在一些技术先进的国家, 可以做到几百 kHz 或者近 1 000 kHz。这使得开关晶体管 V 的功耗很小, 电源的效率可以大幅度地提高, 其效率可以达到 80%。

(2) 体积小, 重量轻。从开关稳压电源的原理框图中可以清楚地看到, 这里没有采用笨重的工频变压器。由于调整管 V 上的耗散功率大幅度降低以后, 又省去了较大的散热片。由于这两方面的原因, 所以开关稳压电源的体积小、重量轻。

(3) 稳压范围宽。开关稳压电源的输出电压是由激励信号的占空比来调节的, 输入信

号电压的变化可以通过调频或调宽来进行补偿,这样,在工频电网电压变化较大时,它仍能保证有较稳定的输出电压,所以开关稳压电源的稳压范围很宽,稳压效果很好。此外,改变占空比的方法有脉宽调制型和频率调制型两种。这样,开关稳压电源不仅具有稳压范围宽的优点,而且实现稳压的方法也较多,设计人员可以根据实际应用的要求,灵活地选用各种类型的开关稳压电源。

(4) 滤波的效率大为提高,使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上是在工作在 50 kHz,是线性稳压电源的频率的 1 000 倍,这使整流后的滤波效率几乎也提高了 1 000 倍。就是采用半波整流后加电容滤波,效率也提高了 500 倍。在相同的纹波输出电压的要求下,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 1/500~1/1 000。

(5) 电路形式灵活多样。例如,有自激式和他激式;有调宽型和调频型;有单端式和双端式,等等。设计者可以发挥各种类型电路的特长,设计出能满足不同应用场合的开关稳压电源。

3. 开关稳压电源的缺点

开关稳压电源的缺点是存在较为严重的开关干扰。开关稳压电源中,功率调整开关晶体管 V 工作在开关状态,它产生的交流电压和电流会通过电路中的其它元器件产生尖峰干扰和谐振干扰,这些干扰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,由于开关稳压电源振荡器没有工频降压变压器的隔离,这些干扰就会串入工频电网,使附近的其它电子仪器、设备和家用电器受到严重的干扰。

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技术与一些技术先进国家还有一定的差距,因而造价不能进一步降低,也影响到可靠性的进一步提高。所以,在我国电子仪器以及机电一体化仪器中,开关稳压电源还不能得到十分广泛的普及使用。特别是对于无工频变压器开关稳压电源中的高压电解电容、高反压大功率开关管、开关变压器的磁芯材料等器件,在我国还处于研究、开发阶段。在一些技术先进国家,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一些问题,不能十分令人满意。这暴露出开关稳压电源的又一个缺点:那就是电路结构复杂,故障率高,维修较麻烦。对此,如果设计者和制造者不予以充分重视,则它将直接影响到开关稳压电源的推广应用。当今,开关稳压电源推广应用比较困难的主要原因就是它的制作技术难度大、维修麻烦和造价成本较高。

1.3 开关稳压电源的发展

1. 国际发展状况

(1) 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芯的饱和来进行自激振荡的晶体管直流变换器。此后,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和涌现出来,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中的功率晶体管工作在开关状态,所以由此而制成的稳压电源输出的组数多、极性可变、效率高、体积小、重量轻,因而当时被广泛地应用于航天及军事电子设备上。由于那时的微电子设备及技术十分落后,不能制作出耐压较高、

开关速度较高、功率较大的晶体管，所以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。

60年代末，由于微电子技术的快速发展，高反压的晶体管出现了，从此直流变换器就可以直接由市电经整流、滤波后输入，不再需要有工频变压器降压了。从而极大地扩大了它的应用范围，并在此基础上诞生了无工频降压变压器的开关稳压电源。省掉了工频变压器，又使开关稳压电源的体积和重量大为减小。开关稳压电源才真正做到了效率高、体积小、重量轻。

70年代以后，与这种技术有关的高频、高反压的功率晶体管，高频电容，开关二极管，开关变压器铁芯等元器件也不断地被研制和生产出来，使无工频变压器开关稳压电源得到了飞速的发展，并且被广泛地应用于电子计算机、通信、航天、彩色电视机等领域中，从而使无工频变压器开关稳压电源成为各种电源中的佼佼者。

(2) 目前正在克服的困难

随着半导体技术和电子技术的高速发展，集成度高、功能强的大规模集成电路的不断出现，使得电子设备的体积在不断地缩小，重量在不断地减轻，所以从事这方面研究和生产的人们对开关稳压电源中的开关变压器还感到不是十分理想，他们正致力于研制出效率更高、体积更小、重量更轻的开关变压器或者通过别的途径来取代开关变压器，使之能够满足电子仪器和设备小型化的需要。这是从事开关稳压电源研制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开关管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得到极性、大小各不相同的多组输出。要进一步提高开关稳压电源的效率，就必须提高电源的工作频率。但是，当频率提高以后，对整个电路中的元器件又有了新的要求。例如，高频电容、开关管、开关变压器、储能电感等都会出现新的问题。进一步研制适应高频率工作的有关电路元器件，是从事开关稳压电源研制科技人员要解决的第二个问题。

工作在线性状态的线性稳压电源，具有稳压和滤波的双重作用，因而串联线性稳压电源不产生开关干扰，且波纹电压输出较小。但是，在开关稳压电源中的开关管工作在开关状态，其交变电压和电流会通过电路中的元器件产生较强的尖峰干扰和谐振干扰。这些干扰就会污染市电电网，影响邻近的电子仪器及设备的正常工作。随着开关稳压电源电路和抑制干扰措施的不断改进，开关稳压电源的这一缺点得到了进一步的克服，可以达到不妨碍一般的电子仪器、设备和家用电器正常工作的程度。但是，在一些精密电子仪器中，由于开关稳压电源的这一缺点，却使它不能得到使用。所以，克服开关稳压电源的这一缺点，进一步提高它的使用范围，是从事开关稳压电源研制科技人员要解决的第三个问题。

2. 国内发展情况

我国的晶体管直流变换器及开关稳压电源研制工作开始于60年代初期，到60年代中期进入了实用阶段，70年代初期开始研制无工频降压变压器开关稳压电源。1974年研制成功了工作频率为10 kHz、输出电压为5 V的无工频降压变压器开关稳压电源。近10多年来，我国的许多研究所、工厂及高等院校已研制出多种型号的工作频率在20 kHz左右，输出功率在1 000 W以下的无工频降压变压器开关稳压电源，并应用于电子计算机、通信、电视等方面，取得了较好的效果。工作频率为100 kHz~200 kHz的高频开关稳压电源于80

年代初期就已开始试制, 90年代初就已试制成功。目前正在走向实用阶段和再进一步提高工作频率。许多年来, 虽然我国在无工频降压开关稳压电源方面作了巨大的努力, 并取得了可喜的成果, 但是, 目前我国的开关稳压电源技术与一些先进的国家相比仍有较大的差距。此外, 这些年来, 我国虽然把无工频变压器开关稳压电源的工作频率从数十 kHz 提高到数百 kHz, 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变压器开关电源中的开关管大部分采用的仍是进口的晶体管。所以我国的开关稳压电源事业要发展, 要赶超世界先进水平, 最根本的是要提高我国的半导体技术和工艺。

1.4 开关稳压电源的种类

现在, 电子技术和应用迅速地发展, 对电子仪器和设备的要求是: 在性能上, 更加安全可靠; 在功能上, 不断地增加; 在使用上, 自动化程度要越来越高; 在体积上, 要日趋小型化。这使采用具有众多优点的开关稳压电源就显得更加重要了。所以, 开关稳压电源在计算机、通信、航天、彩色电视等方面都得到了越来越广泛的应用, 发挥了巨大的作用, 这大大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类型也越来越多。图 1-3 给出了各种类型的开关稳压电源原理图。

常见的开关稳压电源分类方法有下列几种:

1. 按激励方式划分

(1) 他激式

电路中专设激励信号产生的振荡器, 电路形式如图 1-3(c) 所示。

(2) 自激式

开关管兼作振荡器中的振荡管, 电路形式如图 1-3(d) 所示。

2. 按调制方式划分

(1) 脉宽调制型

振荡频率保持不变, 通过改变脉冲宽度来改变和调节输出电压的大小。有时通过取样电路、耦合电路等构成反馈闭环回路, 来稳定输出电压的幅度。

(2) 频率调整型

占空比保持不变, 通过改变振荡器的振荡频率来调节和稳定输出电压的幅度。

(3) 混合型

通过调节导通时间的振荡频率来完成调节和稳定输出电压幅度的目的。

3. 按开关管电流的工作方式划分

(1) 开关型

用开关晶体管把直流变成高频标准方波, 电路形式类似于他激式。

(2) 谐振型

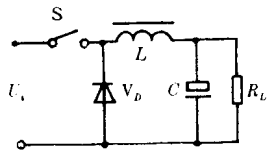
开关晶体管与 LC 谐振回路将直流变成标准正弦波, 电路形式类似于自激式。

4. 按开关晶体管的类型划分

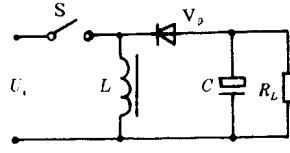
(1) 晶体管型

采用晶体管作为开关管, 电路形式如图 1-3(h) 所示。

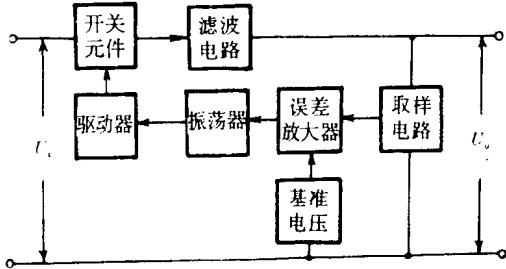
(2) 可控硅型



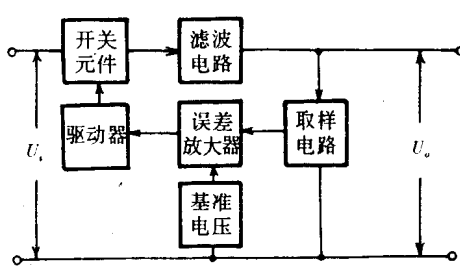
(a) 串联型



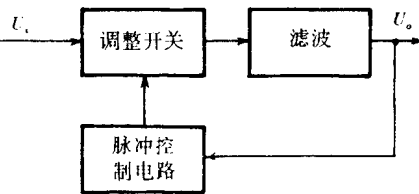
(b) 并联型



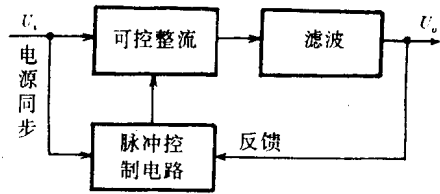
(c) 他激式



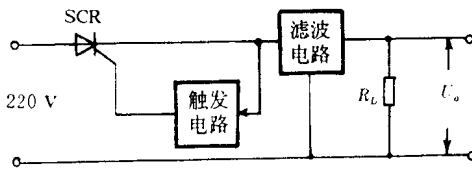
(d) 自激式



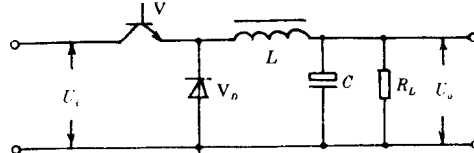
(e) 斩波形



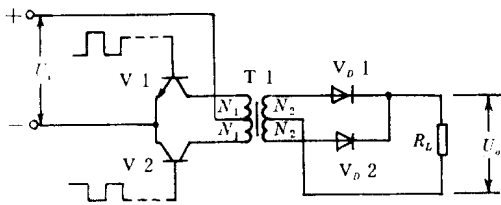
(f) 可控整流型



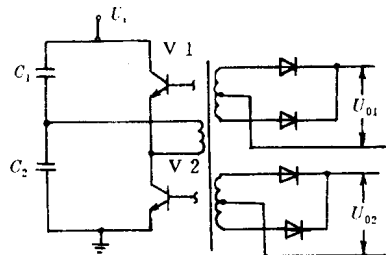
(g) 可控硅式



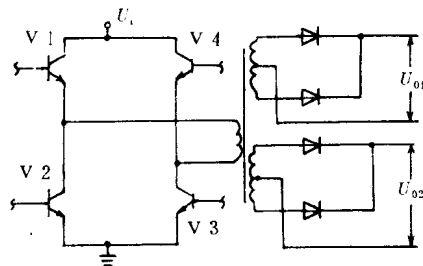
(h) 晶体管式



(l) 推挽式变换器



(m) 半桥式变换器电路



(n) 桥式变换器电路

1-3 各种类型的开关稳压电源原理图

采用可控硅作为开关管。这种电路的特点是直接输入交流电，不需要一次整流部分，其电路形式如图 1-3(g)所示。

5. 按储能电感与负载的连接方式划分

(1) 串联型

储能电感串联在输入与输出电压之间，电路形式如图 1-3(a)所示。

(2) 并联型

储能电感并联在输入与输出电压之间，电路形式如图 1-3(b)所示。

6. 按晶体管的连接方式划分

(1) 单端式

仅使用一个晶体管作为电路中的开关管。这种电路的特点是价格低、电路结构简单，但输出功率不能提高。其电路形式如图 1-3(a)、(b)、(h)。

(2) 推挽式

使用两个开关晶体管，将其连接成推挽功率放大器形式。这种电路的特点是开关变压器必须具有中心抽头。电路形式如图 1-3(l)所示。

(3) 半桥式

使用两个开关晶体管，将其连接成半桥的形式。它的特点是适应于输入电压较高的场合。其电路形式如图 1-3(m)所示。

(4) 全桥式

使用四个开关晶体管，将其连接成全桥的形式。它的特点是输出功率较大。其电路形式如图 1-3(h)所示。

7. 按输入与输出电压的大小划分

(1) 升压式

输出电压比输入电压高。实际上就是并联型开关稳压电源。

(2) 降压式

输出电压比输入电压低。实际上就是串联型开关稳压电源。

8. 按工作方式划分

(1) 可控整流型

所谓可控整流型开关稳压电源，是指采用可控硅整流元件作为调整开关管，可由交流市电电网直接供电，也可用变压器变压后供电。（这种供电方式在开关稳压电源刚兴起的初期常常采用，目前基本上不太采用。）在可工作的半波内，截去正弦曲线的前一部分，这一部分所占角度称为截止角；导通的正弦曲线的后一部分称为导通角。依靠调节导通角的大小，可达到调整输出电压和稳定输出电压的目的。其电路形式如图 1-3(f)所示。

(2) 斩波型

斩波型开关稳压电源是指直流供电，输入直流电压加到开关电路上，在开关电路的输出端得到单向的脉动直流，经过滤波得到与输入电压不同的稳定的直流输出电压。电路还从输出电压取样，经过比较、放大，控制脉冲发生电路产生的脉冲信号，用以控制调整开关的导通时间和截止时间的长短或开关的工作频率，最后达到稳定输出电压的目的。电路的过压保护电路也是依据这一部分所提供的取样信号来进行工作的。斩波型电路形式如图 1-3(e)所示。

(3) 隔离型

这种形式的开关电源是在输入回路与逆变电路之间,经过高频变压器(也可称为开关变压器),利用磁场的变化实现能量传递,没有电流间的直接流通。隔离型开关稳压电源采用直流供电,经过开关电路,将直流电变成频率很高的交流电,再经变压器隔离、变压(升压或降压),然后经整流器整流,最后就可以得到新的、极性和数值各不相同的多组直流输出电压。电路从输出端取样,经放大后反馈至开关控制端,控制驱动电路的工作,最后达到稳定输出电压的目的。这种形式的开关稳压电源在实际中应用得最为广泛。

9. 按电路结构划分

(1) 散件式

整个开关稳压电源电路都是采用分立式元器件组成的,它的电路结构较为复杂,可靠性较差。

(2) 集成电路式

整个开关稳压电源电路或电路的一部分是由集成电路组成的。这种集成电路通常为厚膜电路。有的厚膜集成电路中包括开关晶体管,有的则不包括开关晶体管。这种电源的特点是电路结构简单、调试方便、可靠性高。彩色电视机中常采用这种开关电源。

以上五花八门的开关稳压电源的品种都是站在不同的角度,以开关稳压电源不同的特点命名的。图 1-3 示出各种开关稳压电源的原理框图。尽管各种电路的激励方法、输出直流电压的调节手段、储能电感的连接方式、开关管的器件种类以及串并联结构等各不相同,但是它们最后总可以归结为串联型开关稳压电源和并联型开关稳压电源这两大类。这两大类型也正是作者对开关稳压电源的划分方法。本书的重点就是从这两大类开关电源入手进行分析和研究的。

第二节 串联型开关稳压电源

2.1 结构

图 1-4 是串联型开关稳压电源的原理框图及电路中各点的波形图。由图可见,串联型开关稳压电源的基本电路是由一次整流和滤波、开关晶体管 V 、续流二极管 V_D 、储能电感 L 和滤波电容 C 组成的。复杂的串联型开关稳压电源电路还包括取样、基准、放大、调节和驱动等电路。

为了分析方便和统一;对一些常用的物理量符号定义如下:

U_i ——直流变换器的输入电压;

i_c ——开关晶体管的导通电流;

i_D ——续流二极管的正向电流;

u_{ce} ——开关晶体管的集电极对发射极的电压降;

u_L ——储能电感两端的电压降;

i_L ——储能电感中流过的电流;

R_L ——供电系统的等效电阻;

I_o ——开关稳压电源的输出电流;

- U_o ——开关稳压电源的输出电压；
- t_{on} ——开关晶体管的导通时间，即开关管集电极输出方波或正弦波正半周的宽度；
- t_{off} ——开关晶体管的截止时间，即开关管集电极输出方波或正弦波低电平的宽度；
- T ——开关管由开到关一个周期所用的时间，即 $T=t_{on}+t_{off}$ ；
- f ——开关稳压电源的工作频率，它与周期时间 T 之间的关系为 $f=1/T$ ；
- δ ——开关稳压电源的占空比，也称为占空系数， $\delta=t_{on}/T$ ；
- η ——开关稳压电源的转换效率，它等于输出功率 P_o 与输入功率 P_i 的比值，即 $\eta=P_o/P_i$ ；
- t_r ——上升时间，开关管由完全截止到完全导通所需的时间；
- t_f ——下降时间，开关管由完全导通到完全截止所需的时间；
- t_s ——存储时间，是开关管由饱和导通向截止转换时所出现的一段存储时间。

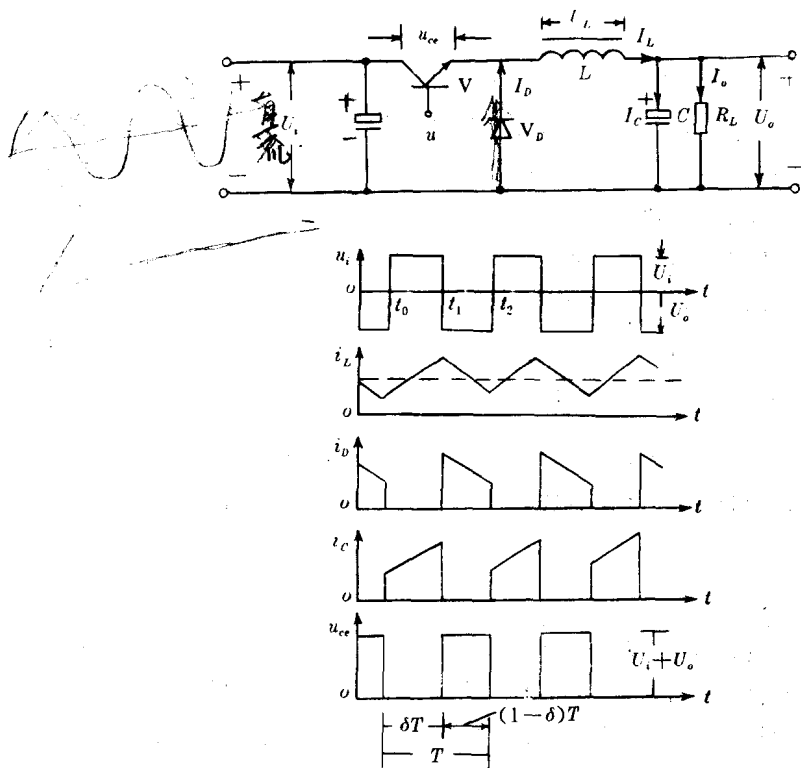


图 1-4 串联型开关稳压电源原理图及波形图

此外，这里只给出了发射极输出型的串联开关稳压电源的原理框图和各点的输出波形。没有给出集电极输出型的串联型开关稳压电源的原理框图和各点输出波形，这是因为它们的工作原理都是一样的，只是输入和输出的电流、电压极性相反，因而书中不再重复进行讨论。

2.2 工作原理

把图 1-4 中所示的标准方波驱动信号加到开关晶体管 V 的基极，这样开关管 V 就会

周期性地开和关，开关周期为 $T = t_{on} + t_{off}$ ，占空系数为 $\delta = t_{on}/T (\delta < 1)$ 。它的工作过程可以从开关管的导通、截止以及开关电源实现动态平衡等过程来理解。

(1) 在 $t_{on} = t_1 - t_0$ 期间，开关管 V 导通，续流二极管 V_D 因反向偏置而截止。储能电感 L 两端所加的电压为 $U_i - U_o$ 。虽然输入电压 U_i 是一个直流电压，但 L 中的电流不能突变，而在 V 导通的 t_{on} 期间电流 I_{L1} 将线性上升，并以磁能的形式在储能电感中储存能量。这时， L 中的电流 I_{L1} 为

$$I_{L1} = \left[\frac{U_i - U_o}{L} \right] \cdot [(t - t_0)] + I_{L0} \quad (1-1)$$

式中， I_{L0} 为 t_0 时刻的储能电感中的电流，即为起始电流。在 t_1 时刻，也就是驱动方波正半周要结束的时刻， L 中的电流上升到最大值，其大小为

$$I_{Lmax} = \left[\frac{U_i - U_o}{L} \right] \cdot [(t_1 - t_0) + I_{L0}] \quad (1-2)$$

从式(1-1)和式(1-2)可以计算出 L 中电流变化的最大值 ΔI_{Lmax} 为

$$\Delta I_{max1} = I_{Lmax} - I_{L1} = \left[\frac{U_i - U_o}{L} \right] \cdot (t_1 - t_0) = \frac{U_i - U_o}{L} \cdot t_{on} \quad (1-3)$$

(2) 在 $t_{off} = t_1 - t_2$ 期间，开关管 V 截止。但是在 t_1 时刻，V 刚刚截止，储能电感 L 中的电流不能突变，于是 L 两端就产生了与原来电压极性相反的自感电动势。此时，续流二极管 V_D 开始正向导通， L 中的磁能将通过 V_D 和负载电阻 R_L 开始泄放。这里的二极管 V_D 起着续流和补充电流的作用，这也正是它被称为续流二极管的原因。此时泄放掉的电流 i_{L2} 的波形将是锯齿波中随时间线性下降的那一段电流。为简化计算，将二极管 V_D 的导通压降近似为零，因而 L 两端的电压近似为 U_o ， L 中的电流 i_{L2} 为

$$i_{L2} = -\frac{U_o}{L} \cdot (t - t_1) + I_{Lmax} \quad (1-4)$$

在 $t = t_2$ 时， L 中的电流达到最小值 I_{Lmin} ，其大小为

$$I_{Lmin} = -\frac{U_o}{L} \cdot (t_2 - t_1) + I_{Lmax} \quad (1-5)$$

由式(1-4)和式(1-5)可以计算出在开关管截止的这段时间里 L 中电流变化的最大值 ΔI_{max2} 为

$$\Delta I_{max2} = I_{Lmin} - (i_{L2})_{t=t_2} = \frac{U_o}{L} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off} \quad (1-6)$$

(3) 只有当开关管 V 导通期间 t_{on} 内储能电感 L 增加的电流 ΔI_{max1} 等于开关管 V 截止期间 t_{off} 内储能电感 L 中减少的电流 ΔI_{max2} ，这样才能达到动态平衡，才能保证储能电感 L 中一直有能量，才能源源不断地向负载电阻 R_L 提供能量和功率。这是构成电源的最基本条件，所以下面的关系式一定成立：

$$\frac{U_i - U_o}{L} \cdot t_{on} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off} \quad (1-7)$$

将式(1-7)化简整理后得到输出电压 U_o 与输入电压 U_i 之间的关系为

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} U_i = \delta U_i \quad (1-8)$$

这就是串联型开关稳压电源的输出电压 U_o 和输入电压 U_i 之间的关系式。由此关系式就可以得出如下的结论：

(1) δ 为驱动方波的占空比。串联型开关稳压电源输出电压 U_o 与输入电压 U_i 之间的比值也刚好等于这个占空比。由于占空比总是小于 1 的，所以 U_o 也总是小于 U_i 的，故常被称

为下降型(降压型)串联开关稳压电源。

(2) 式(1-8)中的占空系数 δ 与开关管 V 的导通时间 t_{on} 有关。若保持开关的周期 T 不变, 则通过改变开关管 V 的导通时间 t_{on} , 就可以改变和调节输出电压 U_o 的大小。因此, 由此而设计出的开关稳压电源通常称为调宽型开关稳压电源。

(3) 占空系数 δ 不但与开关管 V 的导通时间 t_{on} 有关, 而且也与开关管 V 开与关的周期时间 T 有关, 也就是与工作频率 f 有关。所以, 保持其他条件不变, 只改变开关 V 的周期时间 T , 同样也可以使输出电压 U_o 发生变化, 这就是频率调制型(或称调频型)开关稳压电源的基本原理。

(4) 同时改变开关管 V 的导通时间 t_{on} 和开与关的周期时间 T (或者工作频率 f), 同样也可以起到调节和改变占空系数 δ 或者输出电压 U_o 。根据这样的原理而得到的开关稳压电源, 通常称为混合型开关稳压电源。

2.3 几个重要参数的计算

1. 输出电压纹波值 ΔU_o 的计算

由开关稳压电源的原理框图 1-2 可见, 滤波电容 C 两端的电压实际上就等于开关稳压电源的输出电压 U_o 。那么电容两端电压的变化量实际上也就是我们所要计算的开关稳压电源的电压纹波值 ΔU_o 。从图 1-4 电容两端电压 U_c (即输出电压 U_o) 的波形图中就可以看到, 在开关管 V 导通期间 ($t=t_0 \sim t_1$) 的 $t_{on}/2$ 到 t_{on} 的时间内, 电容 C 开始充电, 充至与 U_i 相等的值时, 开关管 V 截止, 电容 C 上这段时间内电压的输出变化量为 ΔU_{o1} ; 从 t_{on} 时刻开关管 V 开始截止直到时间 $t_{off}/2$ 这段时间内开关管 V 一直处于截止状态, 并且在这段时间内, 滤波电容 C 不断被充电, C 两端的电压不断上升, 最后达到电压最大值。设这段时间内电容 C 两端电压的变化量为 ΔU_{o2} 。那么就有:

$$\Delta U_o = \Delta U_{o1} + \Delta U_{o2} \quad (1-9)$$

(1) ΔU_{o1} 的计算

从图 1-4 中 i_c 、 i_L 及 $U_c(U_o)$ 的波形图中可以看出, 设 $t=t_0$ 时, 开关调整管 V 开始导通, 滤波电容 C 放电电流开始减小, 在经过 $t_{on}/2$ 之后, C 的放电电流等于零, 此时电容 C 两端的电压具有最小值。然后, C 开始充电, 电容 C 两端的电压 U_c 开始上升。当电容 C 的充电一直持续到经过 t_{on} ($t_{on}=t_1-t_0$) 时间, 开关管 V 开始截止。这段时间内电容 C 两端电压的变化值 ΔU_{o1} 取决于电容器充电电流 i_c 和充电时间 ($t_{on}/2 \sim t_{on}$), 故 ΔU_{o1} 为

$$\Delta U_{o1} = \frac{1}{C} \int_{t_{on}/2}^{t_{on}} i_c dt \quad (1-10)$$

从图 1-4 中可以得到:

$$i_L = i_c + I_o \quad i_c = i_L - I_o \quad (1-11)$$

而 $i_L = \frac{1}{L} \int U_L \cdot dt = \frac{1}{L} \int (U_i - U_o) dt$, 所以就有 $\frac{1}{L} (U_i - U_o) t + I_{Lmin} - I_o$,

$$i_c = \frac{1}{L} \int (U_i - U_o) dt - I_o = \frac{1}{L} \int (U_i - U_o) t + I_{Lmin} - I_o \quad (1-12)$$

由于流过储能电感 L 中的平均电流值就等于负载电阻 R_L 上流过的电流值 I_o , 因而有

$$I_o = \frac{I_{Lmax} + I_{Lmin}}{2} \quad (1-13)$$

把 I_{Lmin} 的表达式(1-5)和 I_o 的表达式(1-13)代入式(1-12), 就可得到电容器充电电