

 电源系列丛书

新型稳压电源及 应用实例

何希才 编著
张明莉

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电源系列丛书

新型稳压电源及应用实例

何希才 张明莉 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书较全面地介绍了电子设备中常用稳压电源的基本原理、设计原则及其应用实例,包括晶体管稳压电源、集成稳压电源、开关稳压电源、相控电源、不间断电源及充电器电路等,内容丰富,实用性强。书中所提供的应用实例,电路结构合理、设计新颖、性能优良。

本书主要供电源设计与应用的工程技术人员使用,也可以作为大中专院校电子类专业师生的教学参考书,对电子爱好者也有参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

新型稳压电源及应用实例/何希才,张明莉编著. —北京:电子工业出版社,2004.1
(电源系列丛书)

ISBN 7-5053-9393-6

I. 新… II. ①何…②张… III. 稳定电源 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 107782 号

责任编辑:刘海艳

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:16.25 字数:416 千字

印 次:2004 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:26.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

电源是电子设备的重要组成部分,直接影响着电子设备的工作质量,因此,越来越受到人们的重视。各国的电子设计人员不断地研究开发新型电源,包括新的电路理论、新的器件和新的电路方案。为此,编著者根据自己的科研和教学实践,并参考了国内外最新资料编写此书,为读者提供有益的帮助。

全书共分6章:第1章晶体管稳压电源,介绍稳压电源的技术指标及晶体管稳压电源的各部分工作原理,包括整流电路、滤波电路、稳压电路等,并提供了一些晶体管稳压电源实例。第2章集成稳压电源,介绍常用线性集成稳压器,例如,三端固定输出集成稳压器、三端可调输出稳压器及多端集成稳压器的基本原理和应用实例,并介绍一些新型开关集成稳压器的应用实例。第3章开关稳压电源,介绍开关电源的关键电路(硬开关电源),开关电源常用元器件及开关电源设计;还介绍了软开关电源技术及开关电源新技术,并提供较多的开关电源实例。第4章相控电源,介绍晶闸管工作原理,单相和三相相控整流电路基本原理及实用电路。第5章不间断电源,介绍不间断电源的工作原理及应用技术。第6章充电器电路,介绍常用充电电池的充放电特性,并提供较多的充电器实用电路。

本书编写过程中,参考了林勇、黄济青、李成章、梁友奖、宋建萍、尚继英、徐济仁、李定宣等同仁的有关资料,并得到丁愿志、徐善根、胡根贵、黄淑英、胡来召、郑孝运、吴留娣等的支持和帮助,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免会有错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

编著者

序

近 10 年来,由于新型功率器件的出现和电力电子变换技术的进步,使电源技术又有了新的
发展。其主要发展方向可以归纳为以下几个方面:

1. 扩展了电源的功率范围。从几瓦的小功率电源发展到几百千瓦乃至几千千瓦的大功
率或超大功率电源。

2. 提高了电源的电气性能。如对输出电压(或电流)、输出纹波、负载调整率、电网调整
率、输入和负载功率因数、电磁兼容性等提出了更高的要求。

3. 提高了电源的节能效果。目前电能经过电源技术处理后的节能效果在 15%~20%,期
望能达到 40%~50%。

4. 提高了电源工作的可靠性。在电路优化设计、元器件的选择、可靠性预测和设计及大
功率电源的散热设计等方面做了大量的工作,使电源设备具有尽可能长的平均无故障时间。

5. 提高了电源小型化和集成化的程度。这主要靠新型元器件(新型功率器件和电源模
块)来实现,使电源向轻、薄、小和高效率方向发展。

6. 积极研发工作在高温、高海拔、高潮湿、高盐雾、抗辐射等特殊自然环境和冶金、焊接、
电镀、热处理等特殊工作环境下的特种电源。

电源技术高速发展的表现是经过电源变换技术再应用的电能已占全部电能的 90%左右。
电源的应用领域非常广泛,在工农业生产、家用电器、军事工程等凡是有电子设备的场合都要
用到电源设备。电源技术现已成为电子工程中的一项专业技术——功率电子技术。在大专院
校的相关专业中相继开设了电源技术的课程。目前,全国从事电源研发、生产和维护的专业技
术队伍已达 10 万人左右,这些人员都是有专业职称的。随着家用电器向广大农村的普及,电
源技术将深入到每个家庭。可以说,每个人都是电源的使用者,形成了广大的用户队伍。

鉴于电源技术的飞速发展和电源技术专业队伍的不断扩大,电子工业出版社组织人力,推
出了《稳定电源基本原理与工艺设计》、《稳定电源电路设计手册》、《稳定电源实用电路选编》、
《UPS 供电系统应用手册》、《新型稳压电源及应用实例》和《模块化 DC/DC 实用电路》等多部
力作。

新书的出版力求从实际需要出发,内容突出实用性、新颖性和广泛性,写作侧重于原理阐
述、实例解剖、电路设计和经验介绍。本套电源系列丛书适合于电子类大、中专院校相关专
业的师生学习,可供广大电子技术专业人员及广大爱好者参考。

中国电源学会理事长

季幼章

目 录

第 1 章 晶体管稳压电源	(1)
1.1 稳压电源的技术指标及组成	(1)
1.1.1 稳压电源的技术指标	(1)
1.1.2 稳压电源的组成	(2)
1.2 整流电路	(3)
1.2.1 单相半波整流电路	(3)
1.2.2 单相桥式整流电路	(4)
1.2.3 倍压整流电路	(5)
1.3 滤波电路	(6)
1.3.1 电容滤波电路	(6)
1.3.2 电感滤波电路	(8)
1.4 稳压电路	(8)
1.4.1 稳压管稳压电路	(8)
1.4.2 晶体管稳压电路.....	(10)
1.4.3 晶体管稳压电源性能改进电路	(11)
1.4.4 晶体管稳压电源的保护电路	(14)
1.5 晶体管稳压电源实例.....	(16)
第 2 章 集成稳压电源	(29)
2.1 概述.....	(29)
2.1.1 线性集成稳压器的基本构成	(29)
2.1.2 集成稳压器的分类	(30)
2.1.3 稳压器的应用及注意事项	(30)
2.2 三端固定输出集成稳压器.....	(31)
2.2.1 三端固定输出集成稳压器的特点.....	(31)
2.2.2 典型应用电路	(31)
2.3 三端可调输出稳压器.....	(34)
2.3.1 三端可调输出稳压器的特点	(34)
2.3.2 典型应用电路	(35)
2.3.3 应用实例	(37)
2.4 多端集成稳压器.....	(39)
2.4.1 μ A723 的管脚功能	(39)

2.4.2	μ A723 应用电路	(40)
2.5	开关集成稳压器	(44)
2.5.1	三端开关集成稳压器	(44)
2.5.2	降压型开关稳压器	(46)
2.5.3	升压型开关稳压器	(47)
2.5.4	斩波式降压型集成稳压器	(47)
2.5.5	充电泵式集成稳压器	(54)
第3章	开关稳压电源	(65)
3.1	开关电源的技术指标及发展动向	(65)
3.1.1	开关电源的技术指标	(65)
3.1.2	开关电源技术发展新动向	(66)
3.2	开关电源的关键电路	(67)
3.2.1	开关电源的基本组成及类型	(67)
3.2.2	开关电源的功率转换电路	(68)
3.2.3	开关电源集成控制器	(69)
3.2.4	开关电源的保护电路	(78)
3.3	开关电源常用元器件	(82)
3.3.1	TL431	(82)
3.3.2	555 集成电路定时器	(83)
3.3.3	光电耦合器	(87)
3.3.4	电压比较器	(89)
3.3.5	快速恢复整流二极管和肖特基整流二极管	(89)
3.4	开关电源设计	(91)
3.4.1	开关电源设计步骤	(91)
3.4.2	开关电源设计实例	(91)
3.5	软开关电源	(99)
3.5.1	谐振变换器的基本电路	(99)
3.5.2	硬开关电源与软开关电源之比较	(109)
3.6	开关电源实例	(115)
3.6.1	软开关电源实例	(115)
3.6.2	集成控制器构成的开关电源	(129)
3.7	开关电源新技术	(140)
3.7.1	同步整流方式的开关电源	(140)
3.7.2	均流技术	(142)
3.7.3	功率因数改善电路	(143)
第4章	相控电源	(151)
4.1	晶闸管	(151)

4.1.1	晶闸管工作原理	(151)
4.1.2	晶闸管伏安特性	(153)
4.2	相控整流电路	(153)
4.2.1	单相相控整流电路	(153)
4.2.2	三相相控整流电路	(156)
4.2.3	双反星形整流电路	(162)
4.3	晶闸管触发电路	(167)
4.3.1	对触发电路的要求	(167)
4.3.2	单结晶体管触发电路	(170)
4.3.3	晶体管触发电路	(176)
4.3.4	触发控制集成电路	(179)
4.4	相控电源实例	(181)
第 5 章	不间断电源	(187)
5.1	概述	(187)
5.1.1	UPS 应用的必要性	(187)
5.1.2	UPS 的发展	(187)
5.1.3	UPS 的种类	(188)
5.2	UPS 主回路变换技术	(189)
5.2.1	UPS 电源系统方案	(189)
5.2.2	UPS 主回路方式	(192)
5.2.3	功率因数高、高次谐波少的 UPS	(195)
5.2.4	高频环节变换方式的 UPS	(197)
5.2.5	UPS 的切换开关	(201)
5.2.6	充电装置	(203)
5.3	UPS 系统实例	(204)
5.3.1	UPS 系统框图	(204)
5.3.2	典型 UPS 电源实例	(204)
5.4	UPS 应用技术	(208)
5.4.1	UPS 的选用	(208)
5.4.2	UPS 使用注意事项	(211)
第 6 章	充电器电路	(215)
6.1	大容量蓄电池及其充电器	(215)
6.1.1	概述	(215)
6.1.2	充电器的工作原理	(215)
6.1.3	充电方式与充电特性	(220)
6.1.4	晶闸管充电器	(222)
6.1.5	保护与报警功能	(222)

6.2 小容量蓄电池及其充电器	(224)
6.2.1 充电器的基本设计	(224)
6.2.2 镍镉电池和镍氢电池的充电方式	(227)
6.2.3 小型铅蓄电池的充电方式	(230)
6.2.4 锂离子电池的充电方式	(233)
6.3 充电器电路实例	(234)

第 1 章 晶体管稳压电源

1.1 稳压电源的技术指标及组成

1.1.1 稳压电源的技术指标

现代电子设备使用的电源若按工作方式区分,大致有线性稳压电源和开关稳压电源两大类。所谓线性稳压电源,就是其调整管工作在线性放大区。这种稳压电源的主要缺点是变换效率低,一般只有 35%~60%。开关稳压电源的调整管工作在开关状态,主要的优点就是变换效率高,可达 70%~95%。本节介绍的晶体管稳压电源是线性稳压电源,稳压电源技术指标大致包括以下几方面,即额定指标、质量指标、自动化程度及经济指标等。

1. 额定指标

用以说明电源能提供出的功率、电压和电流的范围等。此外,还有额定工作条件,包括环境温度、湿度、气压等。

2. 质量指标

(1) 稳定度

用来说明在各种不稳定因素变化时,对输出直流电压的影响,用输出电压变化的百分率来表示。

电压稳定度 S_U , 又称电压调整率, 它表征当输入电压 U_i 变化时稳压器输出电压 U_o 稳定的程度。即指在负载电阻 R_L 不变的情况下, 输入电压的相对变化引起输出电压的相对变化, 在市电电压变动 $\pm 10\%$ 的情况下测出输出电压的变化量。

$$S_U = \frac{\Delta U_o}{U_o} \bigg/ \frac{\Delta U_i}{U_i} \bigg|_{R_L = \text{常数}} \quad (1-1)$$

负载稳定度 S_I , 又称负载调整率, 它表征当输入电压不变时, 稳压器对由于负载电流(输出电流)变化而引起的输出电压脉动的抑制能力。在规定的负载电流变化值条件下, 通常以单位输出电压下的输出电压变化值的百分率来表示, 或以输出电压变化的绝对值来表示, 即

$$S_I = \frac{\Delta U_o}{U_o} \times 100\% \quad \text{或} \quad S_I = |\Delta U_o| \quad (1-2)$$

电源内阻是指在输入电压不变的情况下, 输出电压的变化量 ΔU_o 与负载电流的变化量 ΔI_o 之比, 即

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

式中, 负号表示输出电压的变化和负载电流的变化方向相反, 即当 I_o 增大时, U_o 将减小。由式(1-3)可知, 电源内阻越大, 当负载电流增大时, 在内阻上的压降增大, 输出电压就要明显地

下降。这样,电源带负载的能力就越弱,因此要求电源的内阻越小越好。

纹波电压是指叠加在输出电压 U_o 上的交流分量,常采用峰-峰值表示 ΔU_{opp} ,一般为 mV 级。也可以用有效值表示。

(2) 动态性能

用来说明当输入电压和输出电流突然变化时,输出电压是否能很快地恢复到正常值。

(3) 保护性能

这里主要是指对输出端的保护,包括是否具有自动限制过电流的性能,是否具有过电压自动切断电源的性能等。

此外还有干扰电平及抗干扰能力、机械噪声的大小、可靠性等。

3. 自动化程度

用来说明维护人员离开时,是否具有自动开机、停机功能,各种信号、故障检测功能等。

4. 经济指标

主要有效率和功率因数等。

晶体管线性稳压电源的主要指标如表 1-1 所示。

表 1-1 晶体管线性稳压电源的主要指标

精度等级 指标 名称	I		II			III		
	电压稳定度	$\leq 10^{-4} + 0.5\text{mV}$		$\leq 10^{-3} + 5\text{mV}$			$\leq 10^{-2}$	
负载稳定度	$\leq 5 \times 10^{-4} + 2\text{mV}$		$\leq 5 \times 10^{-3} + 20\text{mV}$			$\leq 5 \times 10^{-2}$		
纹波电压等级	1	2	1	2	3	1	2	3
$\Delta U_{pp}(\text{mV})$	≤ 0.5	≤ 1	≤ 1	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 50	≤ 100
相对温度系数	$\leq 5 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$		$\leq 5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$					

注:表中 $+0.5\text{mV}$ 、 $+2\text{mV}$ 等绝对值是输出电压允许变化的基数,使低压稳压器的稳定度适当增大。

1.1.2 稳压电源的组成

直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路所组成,如图 1-1 所示,各部分功能如下。

(1) 电源变压器

由于各种电子设备要求直流稳压电源提供不同幅值的直流电压,而市电提供的交流电压一般为 220V(或 380V),因此需要利用变压器先将市电的电压变换成所需要的交变电压,再将变换后的交变电压整流、滤波和稳压,最后获得所需要的直流电压。

(2) 整流电路

整流电路是利用具有单向导电性的整流元件(如整流二极管、晶闸管),将大小、方向变化的正弦交流电变换成单向脉动的直流电。但这种单向脉动电压含有很大的纹波成分,一般不能使用。

(3) 滤波电路

滤波电路的主要任务是将整流后的单向脉动直流电压中的纹波成分尽可能滤除掉,使其变成平滑的直流电。滤波电路通常由电容、电感等储能元件组成。

(4) 稳压电路

平滑的直流电不能满足电子设备对直流电源的要求,主要原因是:第一,当负载变化时,整流滤波的输出电压将要随之而变;第二,当市电电压变化(变化 $\pm 10\%$)时,输出电压也要随之而变。这样对电子设备工作造成不良的影响,稳压电路的作用是采取某些措施,使输出的直流电压在市电电压或负载电流发生变化时保持稳定。

下面 1.2~1.4 节介绍稳压电源各部分的工作原理。

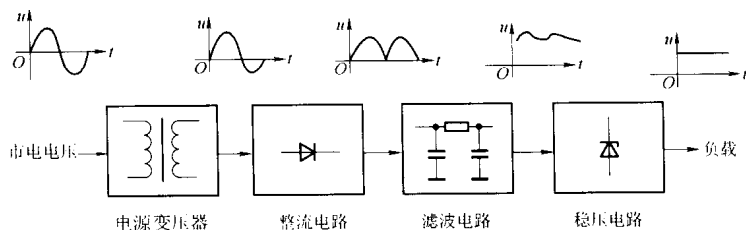


图 1-1 直流稳压电源的组成

1.2 整流电路

1.2.1 单相半波整流电路

将交流电源变换为直流电源的电路称为整流电路或顺变电路。从电路结构上来分,整流电路大致分为单相与多相整流电路,可控与不可控整流电路,半波、全波与桥式整流电路等。本章主要介绍单相不可控整流电路。

单相半波整流电路是最简单的整流电路,图 1-2 是单相半波阻性负载的整流电路及其工作波形。电路中, T_1 为电源变压器, VD 为整流二极管, R_L 代表需要用直流电源的负载。

在变压器次级电压 u_2 为正的半个周期内,二极管 VD 导通,电流经过二极管流向负载,在 R_L 上得到 1 个极性为上正下负的电压 u_o ;而在 u_2 为负的半个周期内,二极管 VD 反向偏置,电流基本上等于 0。所以,在负载 R_L 两端得到的电压 u_o 的极性是单方向的,如图 1-2(b) 所示。

将整流二极管 VD 看成是理想器件,即其正向电阻为 0,反向电阻为无穷大,同时忽略整流电路中变压器的内阻,则正半周内流过负载的电流 i_o 和二极管的电流 i_D 为

$$i_o = i_D = u_2 / R_L \quad (1-4)$$

由于二极管导通时其管压降 u_D 可以忽略,则负载上的电压 u_o 等于变压器次级电压 u_2 ,即在正半周内

$$u_o = u_2$$

在负半周内,二极管 VD 截止,因此

$$i_o = i_D = 0$$

此时,负载上的输出电压也等于 0,而二极管两端承受的反向电压就是变压器次级电压 u_2 ,即

$$u_o = 0 \quad u_D = u_2 = \sqrt{2}U_2$$

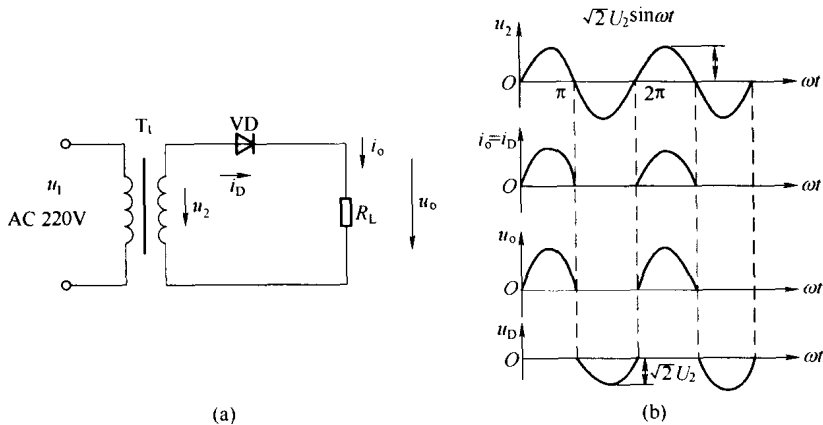


图 1-2 单相半波整流电路及其工作波形

(a) 电路图; (b) 工作波形

由工作波形可见,由于二极管的单向导电作用,变压器次级的交流电压变换成为负载两端的单向脉动电压,达到了整流的目的是。

输出直流电压 U_o 是整流电路的输出电压瞬时值在 1 个周期内的平均值,即

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin\omega t d\omega t = 0.45U_2 \quad (1-5)$$

上式说明,在半波整流电路中,负载上得到的直流电压为变压器次级电压有效值 U_2 的 45%。这个结果是在理想情况下得到的,如果考虑整流电路内部二极管正向内阻和变压器等效内阻上的压降,输出电压的实际数值还要低一些。

整流二极管的最大反向峰值电压 U_{RM} 是指整流管不导电时,在它两端出现的最大反向电压。选管时应选耐压比值高的管子,以免击穿。由图 1-2 的工作波形可知,整流二极管承受的最大反向电压就是变压器次级电压的最大值,即

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \quad (1-6)$$

半波整流电路的优点是结构简单,使用的元器件少。但其缺点是输出波形脉动大,直流成分比较低;变压器有半个周期不导电,利用率低;变压器电流含有直流成分,容易饱和。所以只能用在输出功率较小、负载要求不高的场合。单相电路中使用较为广泛的是桥式整流电路。

1.2.2 单相桥式整流电路

单相桥式整流电路与工作波形如图 1-3 所示,其中,图(b)是简化表示。电路中,4 个二极管接成电桥形式,故称为桥式整流。

工作原理简介如下:在 u_2 的正半周内, VD_1 、 VD_2 导通, VD_3 、 VD_4 截止,在 R_L 上建立起上正下负的脉动电压,如果忽略二极管的管压降及变压器的内阻,则 $u_o = u_2$ 。而在 u_2 的负半周内,二极管 VD_3 、 VD_4 导通, VD_1 、 VD_2 截止,在负载电阻 R_L 上仍然建立起上正下负的脉动电压,如果忽略二极管的管压降及变压器的内阻,则 $u_o = u_2$ 。由桥式整流电路的工作波形可见,正、负半周均有电流流过负载电阻 R_L ,而且无论在正半周还是负半周,流过负载的电流方向是一致的,因而输出电压的直流成分提高,脉动成分降低。但是电路中需用 4 个整流二极管。为此厂家生产出桥式整流的组合器件即硅整流组合管,又称桥堆,它是将桥式整流电路的 4 个二

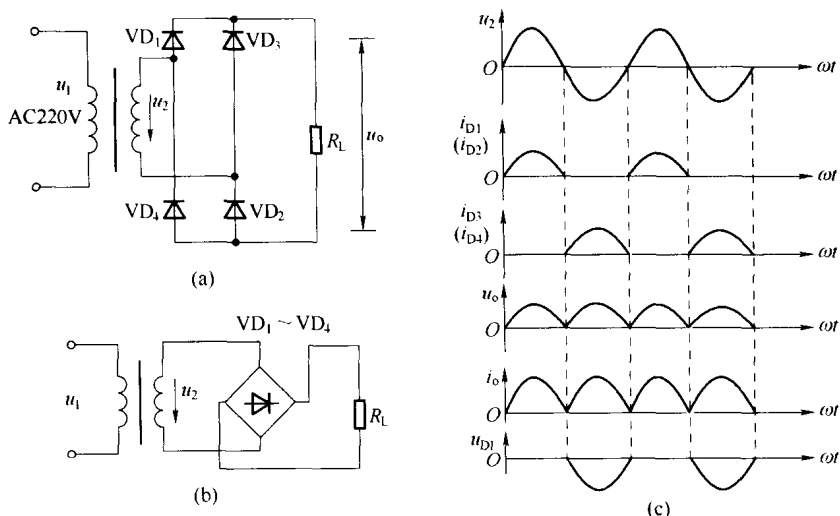


图 1-3 单相桥式整流电路与工作波形

(a) 整流电路; (b) 简化表示; (c) 工作波形

极管集中制作成一个整体,引出 4 个脚,两个为交流电源输入端,另外两个为输出端。

根据式(1-5)可类似得到桥式整流的输出直流电压 $U_o = 0.9U_2$, 根据工作波形可知整流二极管的最大反向峰值电压 $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$ 。即在同样的 u_2 之下:桥式整流电路输出的直流电压比较高,脉动系数小;变压器正负半周均有电流流过,利用率高,且变压器电流中无直流成分,不存在直流磁化问题。所以桥式整流电路得到了广泛的应用。

1.2.3 倍压整流电路

在电子仪表中,经常需要用到电压较高而负载很小的直流电源,这时若采用上述整流电路,势必要求变压器次级绕组有较高的电压。这样,次级绕组的匝数增加,层间绝缘困难,体积增大,制造也比较复杂,同时要求二极管的耐压很高。这时可采用二倍压整流电路,即用低电压的交流电源和低耐压的整流二极管获得高于输入电压许多倍的输出电压。

图 1-4(a)所示是二倍压整流电路原理图,当 u_2 为正半周时,二极管 VD_1 导通、 VD_2 截止,电容 C_1 被充电到 u_2 的最大值 $\sqrt{2}U_2$ (极性左端为正、右端为负)。到 u_2 负半周时,二极管 VD_1 截止、 VD_2 导通, u_2 与 C_1 两端电压 U_{C1} 相加一起经 VD_2 给负载电阻 R_L 供电,同时也通过 VD_2 对 C_2 进行充电, C_2 两端电压被充到接近 $\sqrt{2}U_2$ 的数值(极性上端为负、下端为正)。负载电阻 R_L 上的电压也就是 C_2 两端的电压。由此可见,这个电路中 VD_1 和 VD_2 轮流导电,当 VD_1 导电时, C_1 充电, VD_2 截止,这时 C_2 通过 R_L 放电,因为这种电路中一般 R_L 阻值较大,故放电时间常数很大,所以 C_2 两端电压(即负载两端电压 U_L)下降很少,基本维持在 $2\sqrt{2}U_2$ 。由于输出电压基本等于变压器次级电压最大值的 2 倍,故称为二倍压整流电路。

倍压整流电路中每个二极管所承受的最大反向电压为 $2\sqrt{2}U_2$, 电容 C_1 所需耐压应大于 $\sqrt{2}U_2$, 电容 C_2 上的耐压应大于 $2\sqrt{2}U_2$ 。

同理,可以得到多倍压整流电路如图 1-4(b)所示。这种电路是用 n 个整流二极管和 n 个电容器组成的 n 倍压整流电路。从图中 a、c 两端取出电压 $n\sqrt{2}U_2$, 其中 n 为偶数; 而从 b、d

两端取出电压 $n\sqrt{2}U_2$ ，其中 n 为奇数。因此，可根据需要选择相应的输出电压。在电路中除了电容器 C_1 承受电压为 $\sqrt{2}U_2$ 外，其他电容器上承受的电压均为 $2\sqrt{2}U_2$ ，每个整流管的反向电压为 $2\sqrt{2}U_2$ 。这种电路虽然可以得到较高的直流输出电压，但输出特性很差，所以只适用于负载电流很小（电流小于 10mA）、负载基本不变的情况。

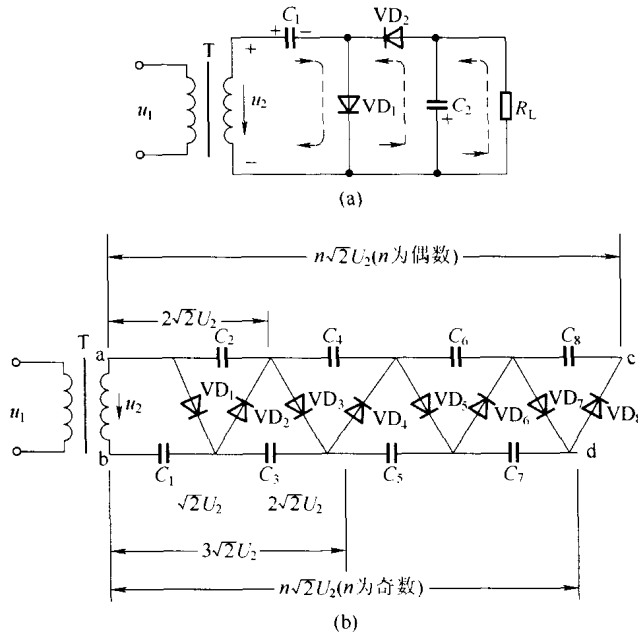


图 1-4 倍压整流电路
(a) 二倍压整流电路；(b) 多倍压整流电路

1.3 滤波电路

1.3.1 电容滤波电路

图 1-5 是桥式整流电容滤波电路，其中并联在负载两端的电容器 C 即起滤波作用。电路的工作原理如下：整流电路不接滤波电容器 C 时，负载电阻 R_L 上的脉动电压 u_o 的波形如图 1-5(b) 中的虚线所示。电路中加入滤波电容器 C 之后，当 u_2 为正半周时， VD_1 和 VD_2 导通，电源除向负载提供电流 i_o 之外，还有电流 i_c 向电容器 C 充电，电容电压的极性 u_c 为上正下负。如果忽略变压器次级绕组和二极管导通电阻，则在二极管导通时， u_c （即输出电压）等于变压器次级电压 u_2 。当 u_2 达到最大值以后开始下降，此时电容器 C 上的电压 u_c 也将由于放电而逐渐开始下降，当 $|u_2| < u_c$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 反向偏置，因而不导通，于是 u_c 以一定的时间常数按指数规律下降，直到下一个半周，当 $|u_2| > u_c$ 时，二极管 VD_3 、 VD_4 导通。输出电压 u_o 波形如图 1-5(b) 中的实线所示。

电容滤波的特点如下。

- ① 加了滤波电容以后，输出电压的直流成分提高、脉动成分减小。这是利用电容的储能作用来实现的。当二极管导通时，电容充电将能量储存起来；二极管截止时，再把储存的能量释放给负载，一方面使输出电压波形比较平滑，同时也增加了输出电压的平均值。
- ② 电容滤波放电时间常数 ($\tau = R_L C$) 愈大，放电过程愈慢，输出电压愈高，同时脉动成分

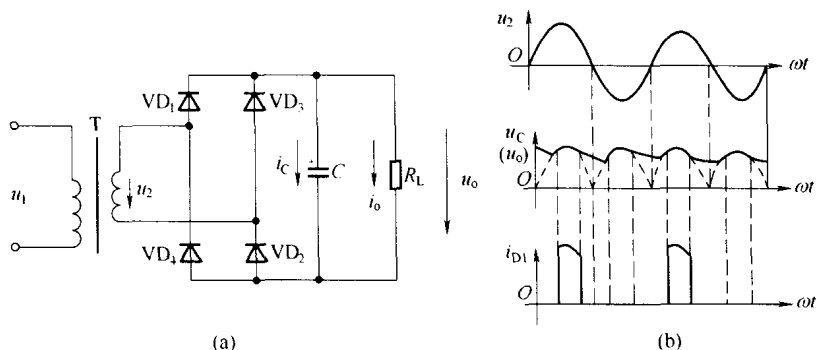


图 1-5 桥式整流电容滤波电路

(a) 电路图; (b) 波形图

愈小, 滤波效果愈好。当 $R_L C = \infty$ 时(如负载开路), 电容没有放电通路, 故 $U_o = \sqrt{2}U_2$ 。当不加电容滤波时, 桥式整流后负载上输出电压的平均值为 $U_o = 0.9U_2$ 。由此可见, 桥式整流加电容滤波之后, 输出电压的平均值 U_o 应在 $0.9U_2 \sim \sqrt{2}U_2$ 。实验证明, 为了得到较好的滤波效果, 一般选择滤波电容的容量应满足下面关系式:

$$R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2} \quad (1-7)$$

式中, T 为市电交流电的周期。由于电容值比较大, 约几十至几千微法, 一般选用电解电容器。接入电路时, 注意电容的极性不要接反, 电容器的耐压应该大于 $\sqrt{2}U_2$ 。此时, 输出电压的平均值可以按下式估算:

$$U_o = 1.2U_2 \quad (1-8)$$

③ 电容滤波电路的输出电压随输出电流的增大而减小。这是由于滤波电路的负载电阻 R_L 减小时, 电容的放电过程加快, 输出电流的平均值 I_o 增大, 而输出电压的平均值 U_o 却减小了。通常把输出电压 U_o 和输出电流 I_o 之间的关系曲线称为电源的外特性。电容滤波电路的外特性如图 1-6 所示。由图可知, 该电路输出电压随输出电流增大而下降得很快, 这种外特性称之为软特性。所以电容滤波电路适用于负载电流变化不大的场合。

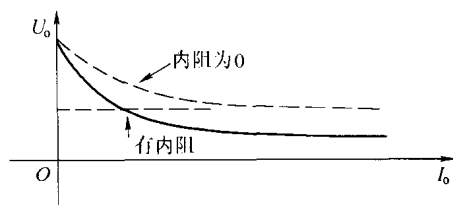


图 1-6 电容滤波电路的外特性

④ 电容滤波电路中, 整流二极管的导通角小于 180° , 而且电容放电时间常数越大, 导通角越小。二极管在短暂的导电时间内, 有很大的浪涌电流流过, 这对管子的寿命不利。所以选用二极管时, 应考虑到它能承受最大冲击电流的情况。一般选管子时, 要求它承受正向电流的能力应大于平均输出电流的 2~3 倍。

电容滤波电路结构简单, 制作方便。但是, 它的输出电流不宜太大, 而且要求输出电压的脉动成分较小时, 必须增加电容器的容量, 因此电路的体积大也不经济。为此, RC- π 型滤波电路在实际电路中经常采用。

RC- π 型滤波电路如图 1-7 所示, 它实际上是在电容滤波的基础上再加 1 级 RC 滤波电路构成的。采用这种滤波电路可以进一步降低输出电压的脉动系数。但是, 这种滤波电路的缺点是在 R 上有直流压降, 因而必须提高变压器次级电压; 而整流管的冲击电流仍然比较大; 同

时,由于 R 产生压降,外特性比电容滤波更软。所以这种电路只适用于小电流的场合,当负载电流比较大的情况下,可以考虑采用电感滤波。

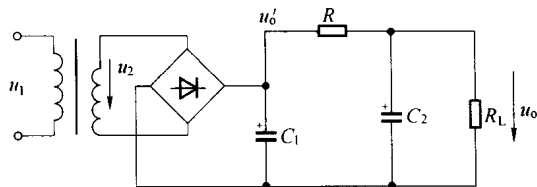


图 1-7 RC- π 型滤波电路

1.3.2 电感滤波电路

利用电感具有阻止电流变化的特点,在整流电路的负载回路中串联电感 L ,如图 1-8(a)所示,即构成桥式整流电感滤波电路。

当整流后的脉动电流增大时,电感 L 将产生反电动势 $-L(di/dt)$,阻止电流增大;相反,当电流减小时,电感 L 将阻止电流减小,从而使负载电流脉动成分大大降低,达到滤波的目的。

由于电感交流阻抗很大,而直流电阻很小,输出直流分量在电感上损失很小,所以它适用于负载电流比较大的场合,而且外特性较好,即负载电流变化时输出直流电压变化较小。另外,电感滤波的二极管导通角不会减小,避免了浪涌电流的产生。

为了进一步改善滤波效果,可以采用 LC 滤波电路。它是在电感滤波电路的基础上,再在负载电阻 R_L 上并联电容器 C ,如图 1-8(b)所示。

不难看出,当 L 值很小,或 R_L 很大时,该电路和电容滤波电路很类似,呈现电容滤波的特性。为了保证整流二极管的导电角仍为 180° ,一般要求 L 值要大,对基波信号而言应满足 $R_L < 3\omega L$ 。

LC 滤波电路中输出电压中的基波分量应由 $j\omega L$ 和 $R_L // (1/j\omega C)$ 分压得到,所以输出电压脉动成分比仅用电感滤波时更小;而负载电流变化时均能有良好的滤波效果,所以说它对负载的适应性比较强。

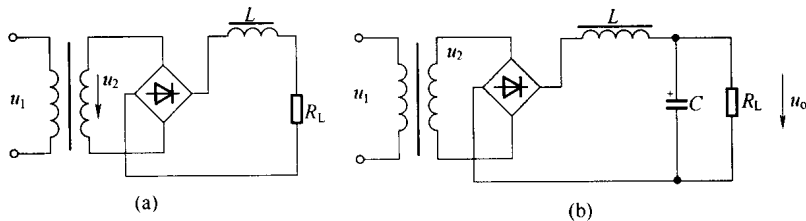


图 1-8 电感滤波电路

(a)电感滤波电路;(b)LC 滤波电路

1.4 稳压电路

1.4.1 稳压管稳压电路

硅稳压管也称为齐纳二极管,其伏安特性如图 1-9(a)所示。从伏安特性可以看到,当流过稳压管的电流在一个较大的范围内变化时,稳压管两端的电压几乎不变。稳压管的这一特性将稳压管和负载并联,若能保证稳压管中的电流在一定范围内,则负载电压就能在一定程度