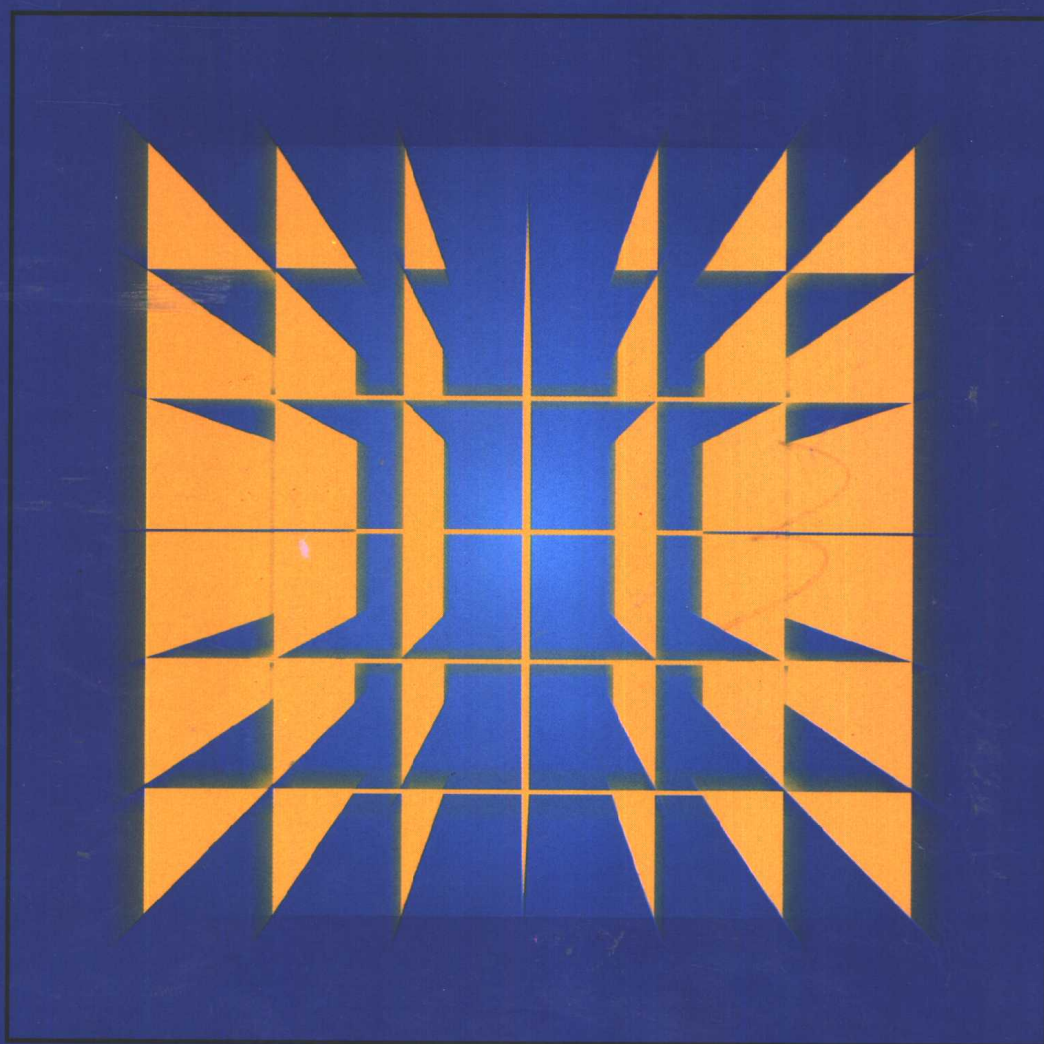


新型稳压电源及其应用

XINXING WENYA DIANYUAN
JIQI YINGYONG

何希才 姜余祥 编著



國防工業出版社

National Defence Industry Press

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

新型稳压电源及其应用

何希才 姜余祥 编著

00513588
国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

新型稳压电源及其应用/何希才,姜余祥编著. —北京:国防工业出版社,2002.1

ISBN 7-118-02675-1

I. 新... II. ①何...②姜... III. 稳压电源
IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 086549 号

国防工业出版社 出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21¼ 504 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

电源是各种电子设备的核心,电源系统出故障就会使整个电子设备不能正常工作,因此,电源系统质量的优劣和可靠性的高低直接决定着整个电子设备的质量。另外,电子设计师设计电子产品都要考虑节能的问题,否则方案再好也不会通过,对于多数电子设备而言,节能的潜力主要在于电源系统,各国正在加紧研究开发的新型开关电源正是节能的主要举措之一。实际中,电子设备的故障约 60% 来自电源系统。所以,电源越来越受到人们的重视,出现了一些新的电路理论、新的器件和新的电路方案。

全书共 8 章,第 1 章交流/直流变换技术,介绍了电源常用元件二极管,单相整流电路,倍压整流电路,多相整流电路以及滤波电路等。第 2 章晶体管稳压电源,介绍了各种晶体管稳压电路的基本原理及设计方法,并提供了晶体管稳压电源的应用实例。第 3 章集成稳压器,给出了常用集成稳压器以及一些新型集成稳压器使用方法和应用电路。第 4 章开关稳压电源,简要介绍开关电源常用电路(详细内容可参看何希才编著由国防工业出版社出版的《新型开关电源设计与维修》一书),着重介绍了软开关电源技术及其应用。第 5 章相控电源,介绍了晶闸管的工作原理,单相和三相相控整流电路基本原理以及实用电路。第 6 章不间断电源(UPS),介绍了不间断电源的工作原理、系统设计及应用技术。第 7 章充电器电路,介绍了常用充电电池的充放电特性,并提供一些充电器实用电路。第 8 章稳压电源相关技术,这些相关技术包括变压器的设计、散热设计和噪声及其抑制等。

本书编写过程中,参考了曲学基、白广存、张微、王英剑等有关资料,并得到王桂琴、何川、王力等的支持和帮助,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中会有错误和不当之处,请读者批评指正。

编著者

2001 年 5 月

内 容 简 介

本书比较全面地介绍了电子设备中常用电源技术及其应用实例,内容包括:交流/直流变换技术,晶体管稳压电源及其应用实例,集成稳压器及其应用,开关稳压电源,相控电源,不间断电源以及充电器电路等。本书内容丰富、实用性强。对于书中提供的应用实例,电路结构合理、设计新颖、性能优良。

本书为电源设计与应用的工程技术人员提供了设计与选用的捷径,也适用于中级以上的电子工程技术人员和大中专师生,对电子爱好者也有参考价值。

目 录

第 1 章 交流/直流变换技术	1
1-1 二极管	1
1-2 单相半波整流电路	2
1-3 单相全波整流电路	5
1-4 单相桥式整流电路	6
1-5 倍压整流电路	7
1-6 滤波电路	8
1-7 多相整流电路	10
第 2 章 晶体管稳压电源	14
2-1 稳压的必要性和主要指标	14
2-2 稳压管稳压电路	16
2-3 晶体管基本稳压电路	19
2-4 稳压电源性能改进电路	22
2-5 稳压电路的保护功能	26
2-6 晶体管稳压电源的设计	29
2-7 晶体管稳压电源实例	34
第 3 章 集成稳压器	45
3-1 概述	45
3-2 三端固定式集成稳压器	47
3-3 三端可调式集成稳压器	56
3-4 多端集成稳压器	69
3-5 低压降型集成稳压器	75
3-6 CMOS 系列稳压器	90
3-7 集成电压基准源	96
3-8 交流直接输入型稳压器	103
3-9 集成稳压器构成的实用电源电路	112
第 4 章 开关稳压电源	116
4-1 开关电源的基本原理	116
4-2 开关电源的基本电路	120
4-3 软开关电源及其基本电路	140
4-4 软开关电源的实例	159
第 5 章 相控电源	176

5-1 晶闸管	176
5-2 单相相控整流电路	187
5-3 三相相控整流电路	192
5-4 晶闸管触发电路	207
5-5 相控电源实例	215
第 6 章 UPS 电源	230
6-1 概述	230
6-2 UPS 系统设计	232
6-3 UPS 应用技术	259
第 7 章 充电器电路.....	266
7-1 常用充电电池的充放电特性	266
7-2 便于制作的充电器电路	273
7-3 实用的充电器电路	302
第 8 章 稳压电源相关技术.....	316
8-1 变压器的设计	316
8-2 散热设计	318
8-3 噪声及其抑制	322

第 1 章 交流/直流变换技术

1-1 二 极 管

电子设备中的电源一般是由市电交流供电,再经交流/直流变换,即整流、滤波和稳压等主要环节,为电子设备提供高质量的直流电源。将交流变换为直流通常采用具有单向导电性的二极管、晶闸管等半导体元件,1kW 以内的小功率整流电路大都采用二极管,而大功率整流电路通常采用晶闸管,或二极管和晶闸管混合的整流电路,本节主要介绍二极管及其整流电路,晶闸管的整流电路参看相控电源章节的内容。

二极管是由一个 PN 结,加上相应的电极引线和管壳构成的,根据材料的不同,有锗二极管、硅二极管和砷化镓二极管,其结构有 PN 结的点接触型、面接触性和平面型三种。由于整流二极管要承受较大的电流,因此,通常采用面接触型。

二极管的图形符号与伏安特性曲线如图 1-1 所示,图中曲线是表示流经二极管的电流和二极管两端电压之间的关系,它可通过理论计算和实验的方法描绘出。由曲线可知,正向偏置,即在二极管两端施加正向电压时,二极管导通,可以通过较大的电流,但正向压降很小,约 1V,换句话说,即呈现的电阻很小,理想情况下认为是零。反向偏置,即在二极管两端施加反向电压时,二极管截止,流过的电流很小,即呈现的电阻很大,理想情况下认为是无限大。

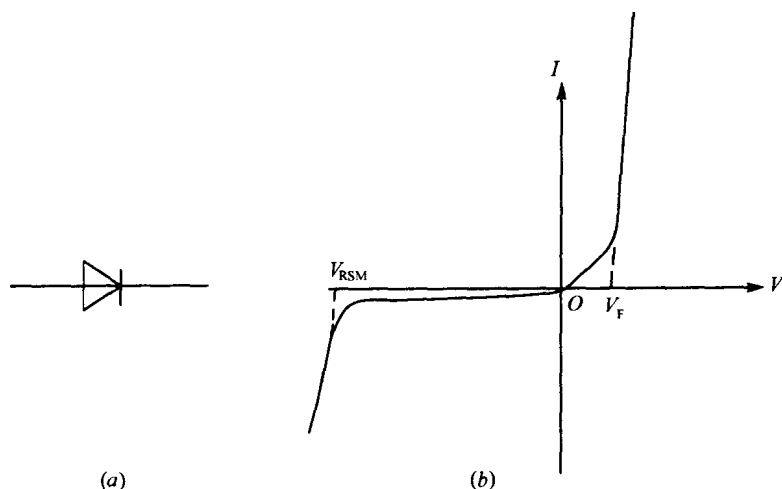


图 1-1 二极管的图形符号和特性曲线

(a)二极管的图形符号; (b)特性曲线。

整流二极管的主要参数是额定正向平均电流 I_F 和反向重复峰值电压 V_{RRM} 。额定

正向平均电流是指在规定的环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 和标准散热条件下,元件 PN 结温度稳定且不超过 140°C 时,所容许长时间连续流过 50Hz 正弦半波的电流平均值。反向重复峰值电压 V_{RRM} 是指在额定结温条件下,在规定的测试条件下,取元件反向转折电压即反向不重复峰值电压 V_{RSM} 的 80% 的电压值。

此外,二极管的参数还有反向漏电流和正向平均电压 V_{F} 。反向漏电流有反向不重复平均电流 I_{RS} ,即对应于反向不重复峰值电压下的平均漏电流;以及反向重复平均电流 I_{RR} ,即对应于反向重复峰值电压下的平均漏电流。正向平均电压 V_{F} 是指在规定环境温度 $+40^{\circ}\text{C}$ 和标准散热条件下,元件通过 50Hz 正弦半波额定正向平均电流时其阳阴极之间电压的平均值,一般在 $0.45\text{V}\sim 1\text{V}$ 范围内。

在开关电源中,所需的整流二极管必须具有正向电压降低、快速恢复的特点,还应具有足够的输出功率,可以使用高效快速恢复整流二极管,高效超快速恢复二极管以及肖特基势垒整流二极管。

快速恢复和超快速恢复二极管具有适中的和较高的正向电压降,其范围是从 $0.8\text{V}\sim 1.2\text{V}$ 。这两种整流管还具有较高的截止电压参数,特别适合于在输出小功率,电压在 12V 左右的辅助电源电路中使用。

由于现代的开关电源工作频率都在 20kHz 以上,比起一般的整流二极管,快速恢复二极管和超快速恢复二极管的反向恢复时间减小到了纳秒级,大大提高了电源的效率。据经验,在选择快速恢复整流二极管时,其反向恢复时间至少应该比开关晶体管的上升时间低三倍。这两种整流二极管还减少了开关电压尖峰,而这种尖峰直接影响输出直流电压的纹波。虽然某些称为软恢复型整流二极管的噪声较小,但是它们的反向恢复时间较长,反向电流也较大,因而使得开关损耗增大。快速恢复整流二极管和超快速恢复整流二极管在开关电源中作为整流器使用时,是否需要散热器,要根据电路的最大功率来决定。一般情况下,这些二极管在制造时允许的结温在 175°C 。生产厂家对其产品都有技术说明,提供给设计者去计算最大的输出工作电流、电压及外壳温度等。

肖特基整流二极管即使在大的正向电流作用下,其正向电压降也很低,仅有 0.4V 左右。由此,使得肖特基整流二极管特别适用于 5V 左右的低电压输出电路中。因为,在一般情况下,低电压输出所驱动的负载电流都较大,而且,随着结温的增加,其正向压降更低。肖特基整流二极管的反向恢复时间是可以忽略不计的,因为此元件是多数载流子半导体元件,在元件的开关过程中,没有清除少数载流子存储电荷的问题。但肖特基整流二极管存在两大缺点:其一,反向截止电压的承受能力较低,目前的产品大约为 100V 。其二,反向漏电流较大,使得元件比其他类型的整流元件更容易受热击穿。当然,这些缺点也可以通过增加瞬时过电压保护电路及适当控制结温来克服。

1-2 单相半波整流电路

把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 为变压器,其作用是将市电 220V 的交流电压变成所需要的交流电压, VD 为整流二极管,其作用是将方向变化的交流变为单方向的脉动直流。图(b)示出负载电阻 R_L 上的直流脉动电压波形。设变压器 T 次级的交流电压 v_2 为

$$v_2 = \sqrt{2} V_2 \sin \omega t \quad (1-1)$$

式中, V_2 为变压器次级交流电压的有效值, ω 为交流电源的角频率。

现介绍电路的基本工作原理,分析时忽略变压器内阻抗与二极管的正向压降。

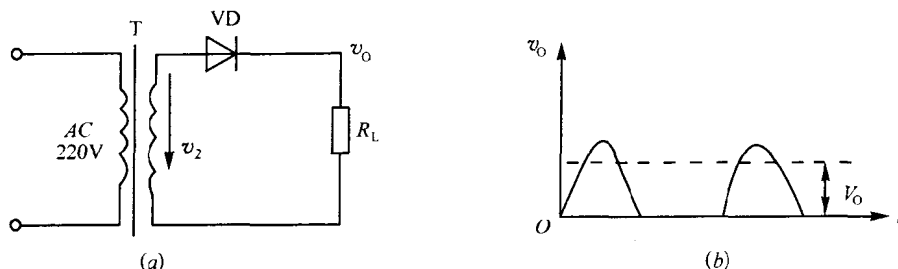


图 1-2 单相半波阻性负载的整流电路及其工作波形

(a) 整流电路; (b) 工作波形。

当交流电源为正半周,即上正下负时。二极管 VD 因加正向电压而导通, v_2 通过二极管 VD 加至负载电阻 R_L 上,负载电压 $v_0 = v_2$ 为正弦半波电压。

当交流电源为负半周,即上负下正时。二极管 VD 上加反向电压,故 VD 不导通,若忽略二极管 VD 的反向漏电流,则负载电阻 R_L 中无电流流过,负载电压为零。

由此可见,由于二极管的单向导电作用,只有一个方向的电流流过负载电阻 R_L ,因此负载电阻 R_L 上的电压 v_0 是单向的脉动直流电压,以后各周期的情况与第一周期相同。

输出直流电压的平均值,即直流电压 V_0 可按下式求出

$$V_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2} V_2 \sin \omega t d(\omega t) = 0.45 V_2 \quad (1-2)$$

整流输出的是脉动电压,既包含有直流成分,同时又有交流成分,其中的脉动程度一般用纹波系数来衡量,即纹波系数 = 输出电压的交流成分有效值/输出电压直流成分。对于直流电源来说,纹波越小越好。为了得到较平滑的直流电压就必须进行滤波,对于输出

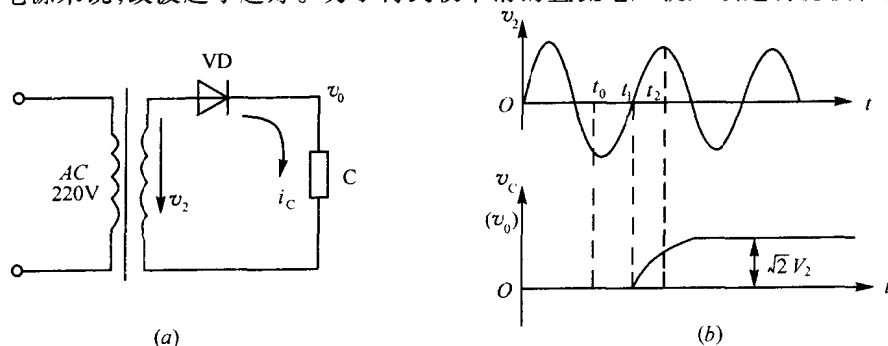


图 1-3 单相半波容性负载(空载时)的电路及工作波形

(a) 空载时的电路; (b) 工作波形。

电流在几安以下的各种单相整流器来说,常在整流电路输出端并联一个一定电容量的滤波电容 C ,即为容性负载。

图 1-3 是单相半波容性负载(空载时)的电路及工作波形。设在 $t = t_0$ 时接通电源,此时二极管 VD 不导通, v_0 仍为零(设 v_c 的初始值为零)。当 $t > t_1$ 之后, i_c 开始流向电容,若忽略 VD 的电压降,则 v_c 将和 v_2 同样地上升,直到 $t = t_2$ 时达到它的峰值,此时 $v_0 = \sqrt{2} V_2$ 。此后, v_2 逐渐下降,由于没有放电回路, C 两端的电压仍维持在 $\sqrt{2} V_2$ 的数值。理想情况下,这种状态将一直不变。这样可利用 VD 的单向导电作用和 C 的电荷存储作用,作为峰值电压的检测,并加以保持。

图 1-4 是电容滤波器带电阻负载时的电路及工作波形。负载电阻 R_L 和滤波电容 C 并联,这时 C 将通过 R_L 放电,所以在图 1-4 中,虽然从 t_0 到 t_2 的时间内整流电路的工作情况和图 1-3 中基本一致,但是在 $t > t_2$ 以后,对应于 v_2 下降的同时, v_0 也要下降,而且只有当前者下降的速度更快一些时,VD 才不导电($t \geq t_3$), C 以时间常数 $\tau = R_L C$ 的规律进行放电。当 $t = t_4$ 时,下一个正半周的电压上升到和 v_0 的下降曲线相交,因此过了 t_4 以后,VD 又开始导电直到 t_5 。在这以后 VD 停止导电, C 又按时间常数 $R_L C$ 的规律放电,如此周而复始形成周期性的电容充放电过程。

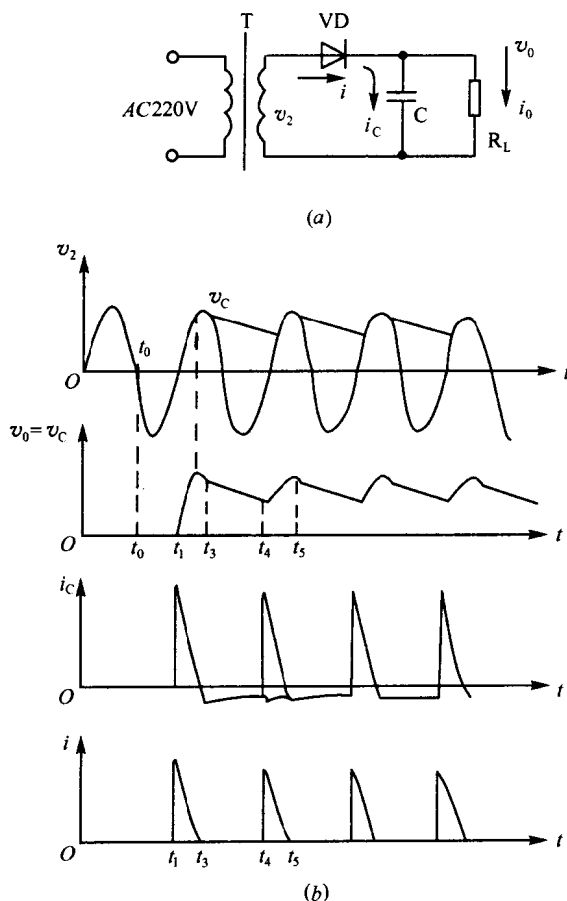


图 1-4 电容滤波器带电阻负载时的电路及工作波形

(a) 电路; (b) 工作波形。

1-3 单相全波整流电路

单相全波整流滤波电路及工作波形如图 1-5 所示。变压器 T 次级线圈具有中心抽头 0, 即得到幅值相等而相位差 180° 的电压 v_2 和 v'_2 。在未接滤波电容 C 时, 当变压器 T 的次级线圈的交流电压上(1)正而下(2)负时, VD_1 受正向电压而导通, VD_2 受反向电压而截止。于是电流 i_D 通过 VD_1 流过负载 R_L 。另半个周期, 即上(1)负而下(2)正时, VD_2 受正向电压而导通, VD_1 受反向电压而截止。于是电流 i'_D 通过 VD_2 流过负载 R_L 。在一个周期内, 负载电流 $i_0 = i_D + i'_D$ 为单向脉动电流。负载电压为双半波, 因此直流输出平均电压为单相半波整流电路的 2 倍, 即 $V_0 = 0.9V_2$ 。

全波整流电路接入滤波电容 C, 其充放电过程与半波整流相同, 但由于 v_2 和 v'_2 轮流

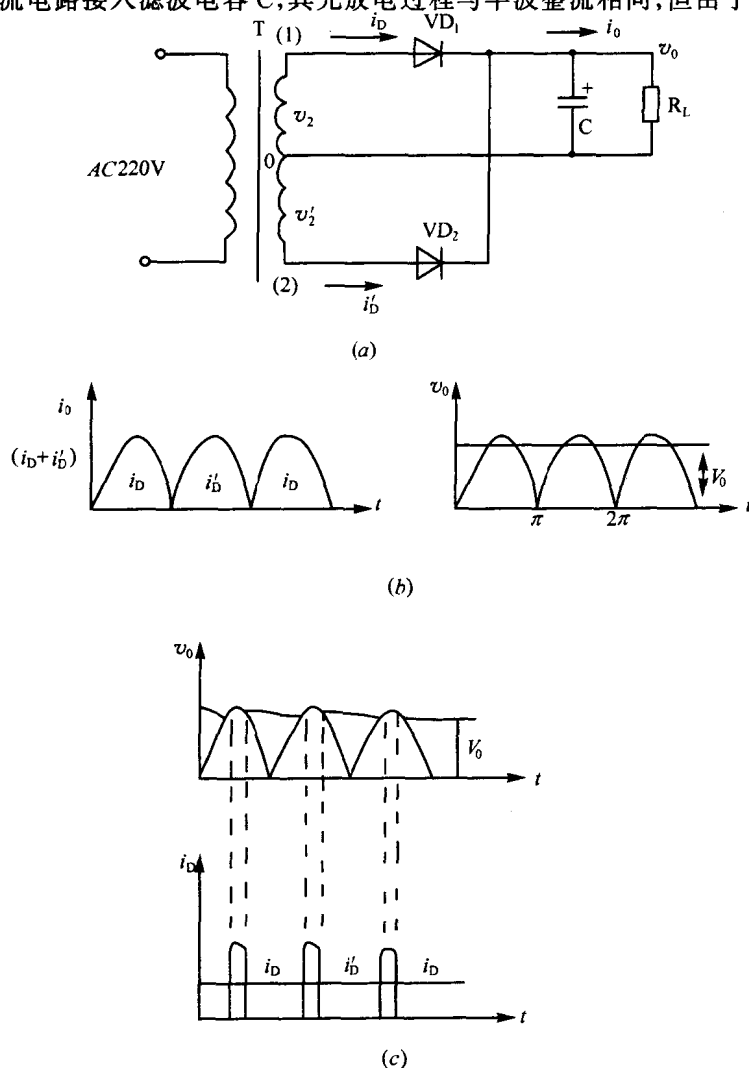


图 1-5 单相全波整流滤波电路及工作波形
(a) 电路; (b) 阻性负载的波形; (c) 容性负载的波形。

通过 VD_1 和 VD_2 向电容 C 充电,所以输出电压的脉动比半波整流时小,其工作波形如图(c)所示。

1-4 单相桥式整流电路

单相桥式整流滤波电路如图 1-6 所示,其工作波形与全波时完全相同。现分析其工作原理,阻性负载时,当变压器 T 次级电压 v_2 正半周时,即上正下负,这时, VD_1 和 VD_2 受正向电压而导通, VD_3 和 VD_4 受反压而截止,负载 R_L 上电压为正,它等于 v_2 的半个周期;当 v_2 的下半个周期,即上负下正时, VD_3 和 VD_4 受正向电压而导通, VD_1 和 VD_2 受反压而截止,负载 R_L 上电压仍为正,它等于 v_2 的半个周期,这是利用二极管的导引作用,使在负半周时能把变压器 T 次级线圈引向负载的端子并倒换过来。电容负载时其充电放电过程与全波整流相同。

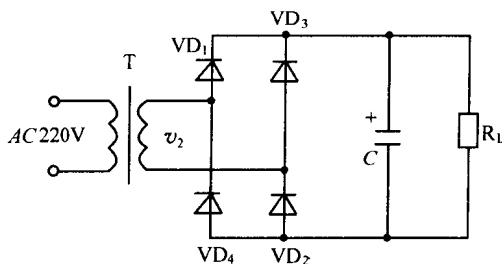


图 1-6 单相桥式整流滤波电路

通过以上分析可知,单相半波整流电路的结构简单,用的元件少;但是输出波形脉动大,直流分量较低,交流电有一半时间没有利用上。单相全波整流电路的缺点是变压器的每个线圈只有一半的时间通过电流,所以变压器的利用率不高,而且变压器构造复杂。单相桥式整流电路的输出电压比半波整流高,脉动比半波整流低,而每个二极管所承受的反向峰值电压比全波整流低,变压器利用率高,所以它的应用较为广泛;但用的整流二极管较多。几种常用的单相整流滤波电路的特性如表 1-1 所列。

表 1-1 几种常用的单相整流滤波电路的特性

电 路 形 式	半波整流 (电容滤波)	全波整流 (电容滤波)	桥式整流 (电容滤波)	桥式整流 (电感滤波)
交流输入电压有效值 (V_2)	V_2	$V_2 + V_2$	V_2	V_2
负载开路时输出电压	$\sqrt{2} V_2$	$\sqrt{2} V_2$	$\sqrt{2} V_2$	$0.9 V_2$
带负载时输出电压近似值	V_2	$1.2 V_2$	$1.2 V_2$	$0.9 V_2$
每个二极管的反向峰值电压	$\sqrt{2} V_2$	$2 \sqrt{2} V_2$	$\sqrt{2} V_2$	$\sqrt{2} V_2$
纹波系数(阻性负载)	1.57	0.67	0.67	0.67
阻性负载时 V_0/V_2	0.45	0.9	0.9	0.9
每个管子通过的直流电流	I_0	$0.5 I_0$	$0.5 I_0$	$0.5 I_0$

注:表中, V_2 为变压器次级交流电压有效值, V_0 为负载上直流电压, I_0 为负载电流。

1-5 倍压整流电路

在要求输出直流电压较高而电流很小的场合,可采用倍压整流电路,以减小变压器次级电压,从而减小绕制变压器线圈的绝缘困难。倍压整流是利用二极管的整流和导引作用,将电压分别存储在每一个电容器上,然后把它们按极性相加的原则串接起来。图 1-7 是二倍压整流电路。当变压器次级电压 v_2 为正半周,即上正下负时,VD₁ 导通将 C₁ 充电至 v_{D1} ;同理在负半周时,VD₂ 导通将 C₂ 充电至 v_{D2} ,此二电压为串联相加且数值相同,故 R_L 两端电压为 $2v_{D1}$ (空载时可达 $2\sqrt{2}V_2$)。

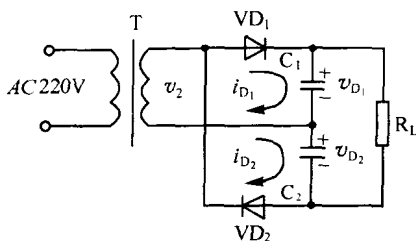


图 1-7 二倍压整流电路

图 1-8 是多倍压整流电路,这是将许多电容串联起来,并通过二极管逐一将它们充电。为了保证充电电流能向每一个电容充电,一方面依靠电压 v_2 ,另一方面还依靠其他有关电容向它放电。正半周时,即上正下负,变压器次级电压通过 VD₁ 将 C₁ 充电到 v_{D1} ,然后在负半周时,由于 v_{C1} 和 v_2 的极性相加,所以将 C₂ 充电到近似为 $2v_{D1}$;这个 v_{C2} 加上正半周时的 v_2 再减去 v_{C1} 就是通过 VD₃ 向 C₃ 充电的电压,则 $v_{C3} = 2v_{D1} + v_2 - v_{D1} \approx 2v_{D1}$;而另一个负半周时, $v_{C4} = 2v_{D1} + v_{D1} + v_2 - 2v_{D1} \approx 2v_{D1}$ 。依此类推,可知按照这种结构形式的倍压整流电路,它的每一个电容(除 C₁ 外)两端的电压都是 $2v_{D1}$ 。因此,可把负载所需要的电压,接到有关电容的两端,即得到多倍压输出。

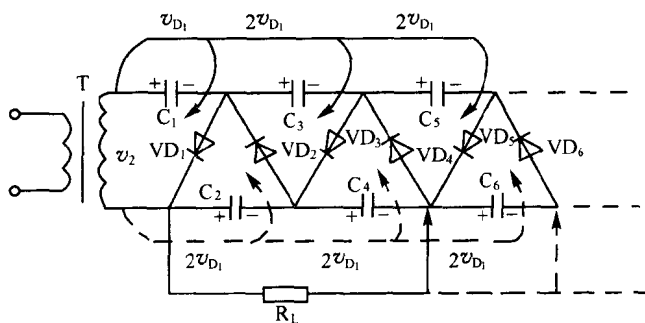


图 1-8 多倍压整流电路

图 1-9 是实用的倍压整流电路,由运算放大器 12V 电源经直流变换得 100V 的直流电压。运算放大器 A₁ 为方波振荡器,采用 TL071 运算放大器。

振荡频率约为 10kHz,减小 C₁~C₁₀ 的电容量可以提高频率,但需要采用高速运算放大器。C₁、C₆、VD₁ 和 VD₂ 为一组倍压整流电路,每一组直流电压约为 20V,因此,(B)点电压 V_B 约为 100V。R_{P1}、R_{P2} 和 C_{P1}~C_{P4} 用于防止开关的辐射噪声。

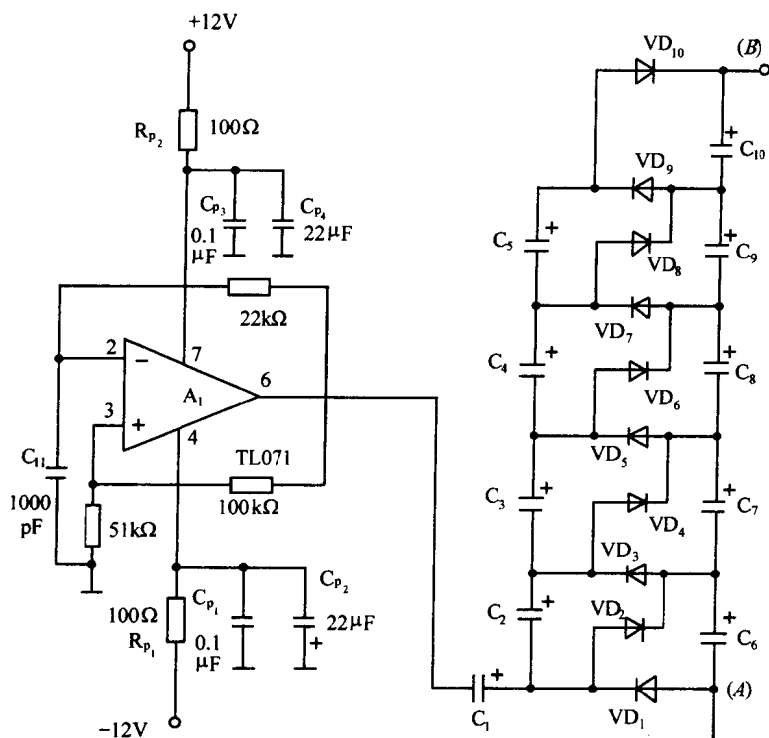


图 1-9 获得高偏置电压的电路

1-6 滤波电路

由上述可知,单相整流电路的输出电压都含有较大的脉动成分,后接的滤波电容的一种目的是尽量抑制脉动成分,另一种目的是尽量保留直流成分,使输出电压接近理想的直流。电容量的选择与纹波系数有关,对于单相半波整流滤波电路, C 可按式(1-3)计算

$$C \geq \frac{0.289}{\gamma R_L f} \quad (1-3)$$

式中, γ 为纹波系数, R_L 为负载电阻, f 为电源频率。

对于单相全波和桥式整流滤波电路, C 可按式(1-4)计算

$$C \geq \frac{0.144}{\gamma R_L f} \quad (1-4)$$

另外,电容量 C 还可根据负载电流选用,其经验数据为:负载电流为2A左右时,滤波电容选用4000 μ F;电流为1A左右时,电容选用2000 μ F;电流为0.5~1A时,电容选用1000 μ F;电流为100mA以下时,电容选用200~500 μ F;电流为50mA以下时,电容选用200 μ F。

在整流输出端接入滤波电容来减少电压的脉动效果较好,但是电容量大到一定程度时滤波效果就不太明显,也是不经济的。其中比较经济实用的办法就是RC滤波电路,如

图 1-10(a) 所示,即在原来的滤波电容 C_1 和负载电阻 R_L 之间串接 R 和 C_2 。这样,在 C_1 和 R_L 之间串接了一个电阻 R ,使 C_1 的放电速度减慢,有利于减少 C_1 两端电压的脉动;其次,接入 C_2 之后,它的滤波作用也能间接减少 C_1 的脉动成分,所以这两个元件都能使 C_1 两端的脉动成分减小,电压提高。通过计算可知,接入 R 和 C_2 之后,将使输出端的纹波系数比 C_1 端的减少了 $\omega C_2 R'$ 倍。其中, ω 为整流输出脉动电压的基波角频率, $R' = R // R_L$ 。为了得到更好的滤波效果,还可以把几节 RC 滤波电路串接起来,如图 1-10(b) 所示。

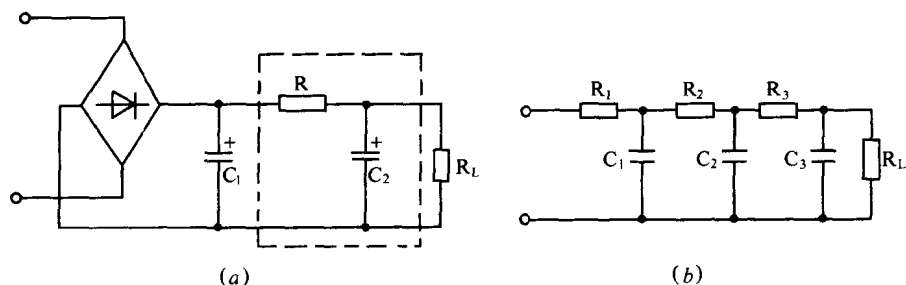


图 1-10 RC 滤波电路

(a) RC 滤波电路; (b) 多级 RC 滤波电路。

电容滤波电路的输出内阻较大,当 R_L 变化时,端电压也随之变化;另外,整流二极管导电时冲击电流较大,对其寿命有影响。为此,可利用电感线圈对直流的电阻很小,而对交流的阻抗很大的特点实现滤波作用,即称为电感滤波电路。图 1-11 示出几种电感滤波电路。

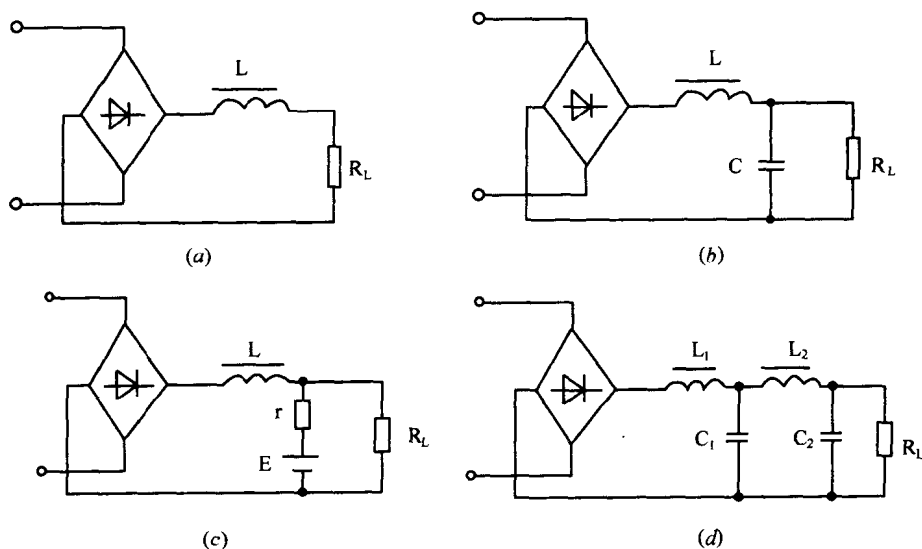


图 1-11 电感滤波电路

(a) 单个电感滤波电路; (b) LC 滤波电路; (c) LE 滤波电路; (d) L 型两级滤波电路。

单个电感滤波电路的缺点:(1)通常滤波系数(滤波系数为滤波电路输入端和滤波电路输出端第 k 次谐波电压幅值之比)只做到几十以下,要继续增大滤波系数会使电感的

体积、重量、价格过大,而不经济;(2)使直流电阻、压降及损耗增大,效率降低;(3)当负载电阻 R_L 变化时,滤波系数也随之改变。 R_L 较大时,滤波能力降低;输出阻抗很大,当负载电流中有交流成分时,在电感两端产生交流电压,它是一种干扰电压,使噪声电压增大;(4)使电源的动态特性变坏,当负载电阻突然变小时,电感电势限制了电流上升率,并使输出电压降低,电压恢复正常值的速度慢,恢复时间长。

图(b)的 LC 滤波电路是由电感及电容组成,电感 L 的作用是限制交流电流成分,电容 C 的容量很大,容抗比负载电阻小得多,形成一个并联的低阻抗,使大部分交流电流成分流过 C,而 C 两端的交流电压很小。另外,在电流变化较大的情况下,电感滤波电路的滤波效果较好,因而在大功率的电子设备中多采用这种滤波电路。当输出电流给定时,为保证电感滤波电路有较好的滤波特性,所选用的电感 L 应大于 $R_L/3\omega$,对交流电源为 50Hz 的全波整流电路来说, $L \gg R_L/942$ 。

图(c)是电感 L 与电池 E 组成的滤波电路,例如,充电器就是这种滤波电路。电池的电动势 E 可认为不随谐波电流而改变,电池的内阻很小,交流电流在此电阻上的电压也很小,起到较好的滤波效果。为了充分发挥电池的滤波效果,应尽量减小电池支路的附加电阻。当谐波的频率较高时,电池和导线的等效电感也是不可忽略的。

图(d)是两级 L 型滤波电路,这种滤波电路能获得较大的滤波系数、较好的经济性和较高的效率。对于采用负反馈的稳压系统来说,滤波电路的节数越多,滤波电路所造成的相移对系统稳定性越不利,故一般不超过两级。

1-7 多相整流电路

多相整流电路具有三相负载平衡,整流电压脉动小,变压器利用率高等特点。因此,在要求脉动较小和大功率整流中广泛采用。本节以纯阻负载为例简单介绍三相半波整流电路和三相桥式整流电路,其他形式整流电路可参考相控电源一章中有关内容。

图 1-12 是三相半波整流电路及其波形,电源变压器初级一般都接成三角形,次级接成星形。电路中, v_{2a} , v_{2b} 和 v_{2c} 称为变压器次级相电压, v_{ab} , v_{bc} 和 v_{ca} 等称为线电压。对于三角形连接,相电压和线电压相等;而对于星形连接,线电压 v_{ab} 的相位超前 v_a 相电压 30° , v_{bc} 超前 v_b 相电压 30° , v_{ca} 超前 v_c 30° 等,线电压有效值为相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍。

现分析三相半波整流电路的工作情况,图(b)画出变压器次级相电压的波形,以 v_{2a} 为基准, v_{2b} 相位超前 v_{2a} 120° , v_{2c} 相位超前 v_{2a} 120° 。由图(b)可知,一个周期中三相电压正半周的交点分别为 1、2、3,在 1 点的左边, v_{2c} 为正, c 点电位最高, VD_3 受正向电压而导通;在 1 点的右边, v_{2a} 为正, a 点电位最高, VD_1 受正向电压而导通,即在 1 点处 VD_3 和 VD_1 进行换流,导通的二极管由 VD_3 换为 VD_1 ,所以称为自然换流点。同理,2 点处由 VD_1 换为 VD_2 导通,3 点处由 VD_2 换为 VD_3 导通,因此,1、2、3 点分别是 VD_1 、 VD_2 、 VD_3 的自然换流点。这样,在 0~1 之间 VD_3 导通,而 VD_1 和 VD_2 受反压而截止,输出电压 $v_0 = v_{2c}$;在 1~2 之间 VD_1 导通,而 VD_2 和 VD_3 受反压而截止,输出电压 $v_0 = v_{2a}$;同理,