

模拟电子电路系列
实用设计手册

段九州 主编

电源电路 实用设计手册

DIANYUAN DIANLU

154

模拟电子电路实用设计手册系列

电源电路实用设计手册

段九州 主编

辽宁科学技术出版社

· 沈 阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电源电路实用设计手册/段九州主编. - 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002. 8

ISBN 7 - 5381 - 3627 - 4

I. 电... II. 段... III. 电源电路 - 手册 IV. TN86 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007708 号

出 版 者: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂

发 行 者: 各地新华书店

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 385 千字

印 张: 16.75

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2002 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 庄庆芳

版式设计: 于 浪

定 价: 26.00 元

联系电话: 024 - 23284360

邮购咨询电话: 024 - 23284502

E - mail: lkzzb@mail.lnpgc.com.cn

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

前言

可以说,有电器的地方就有电源。所有的电子设备都离不开可靠的电源为其供电。现代电子设备中的电路使用了大量半导体器件,这些半导体器件需要几伏到几十伏的直流供电,以便得到正常工作所必需的能源。这些直流电源有的属于化学电源,如采用干电池和蓄电池,但这些不在本书讨论范围。大多数电子设备的直流供电方法都是将交流电源经过变压、整流、滤波、稳压等变换为所需的直流电压。完成这种变换任务的电源称为直流稳压电源。本书涉及的主要是这类电源。

现代电子设备中使用的直流稳压电源有两大类:线性稳压电源和开关型稳压电源。线性稳压电源亦称串联调整式稳压电源。它的稳压性能好,输出纹波很小,缺点是需要使用体积和重量都比较大的工频变压器,而且稳压效率较低。开关型稳压电源效率高,体积小,重量轻,缺点是输出的纹波及产生的电磁干扰比较大。开关电源和线性电源的成本都随着输出功率的增加而增长,但二者增长速率各异。通常,当输出功率较小时,线性电源的成本较低。但是,当线性电源成本在某一输出功率点上时,反而高于开关电源,这一点称为成本反转点。随着开关电源技术的不断创新,这一成本反转点日益向低输出功率端移动。

通常稳压电路中的控制器件工作于大功率状态,这使得稳压电路的集成化难度加大,因此稳压电源的集成化比其他电子电路的集成化步子总要慢一拍。尽管如此,由于现代集成电路技术发展很快,电源集成电路也已经进入快速发展阶段,其表现是集成规模越来越大,技术含量越来越高。由早期的串联稳压电源到后来的开关型稳压电源、专用智能电源,都不断有新的集成化产品推出。20世纪90年代中期出现的单片化的高性能稳压电源,直到今天还保持着强劲发展势头。

本书共分为7章。第1章简要介绍了稳压电路原理,包括线性稳压电路和开关稳压电路,既有分立元件,也有集成稳压电路的原理。其余各章按照功能分类,依次介绍了整流与稳压、开关型稳压、DC/DC变换稳压、电压基准与恒流源电路及其他类稳压电路的大量实例。虽然集成电路的使用已经极为普通,但是在介绍各类的基本原理时,本书仍以分立元件为主。经验证明,采用分立元件电路解释基础原理可以突出重点,易于达到事半功倍的效果。全书的主体部分收集介绍了大量的实用电路,这些电路多以集成电路为主,也有少部分是分立元件电路。这也是模拟电子技术应用上的一个特点,一切从实用出发。

为提高本书的质量,书中全部插图采用了计算机绘制。书末附录给出了编写本书所使用的主要参考资料,在此我们对这些资料的作者表示由衷的谢意,为了方便读者,附录中还给出了常用集成稳压器主要性能参数表、常见集成电路型号前缀和对应厂商及其网址等资料。参与本书编写的有张晓光、张威、邓明春、李纯钢等同志。参与计算机绘图的有宋艳丽、刘国旗、张幽等同志。

虽然尽了很大努力,但限于编写时间和作者的水平,书中难免会有错漏之处。恳望读者不吝指正。

编著者

目 录

前 言

第1章 稳压电源原理	1
1.1 整流电路	1
1.1.1 半波整流电路	1
1.1.2 全波整流电路	3
1.1.3 桥式整流电路	4
1.2 滤波电路	5
1.2.1 电容滤波	5
1.2.2 有源滤波器	7
1.3 倍压整流电路	8
1.4 线性稳压电路	9
1.4.1 稳压电路的指标	9
1.4.2 硅稳压管稳压电路	10
1.4.3 串联式稳压电路	10
1.4.4 串联式稳压电路的改进	12
1.5 线性集成稳压电源	14
1.5.1 三端固定电压输出集成稳压器	14
1.5.2 启动及偏置电路	15
1.5.3 采样及比较放大电路	16
1.5.4 保护电路	16
1.5.5 三端集成稳压器的并联应用	18
1.5.6 多端集成稳压电源电路 W723	19
1.6 线性集成稳压器(W317)	20
1.6.1 基准电路	21
1.6.2 稳压过程	21
1.6.3 保护电路	21
1.6.4 启动电路	22
1.6.5 应用电路	22
1.7 开关型稳压电源	23
1.7.1 开关型稳压电源的分类	23
1.7.2 开关稳压电路的工作原理	25
1.7.3 控制电路的稳压原理	27

1.7.4	并联式开关稳压电源	29
1.7.5	电路工作过程	31
1.7.6	稳压过程	32
1.8	集成开关稳压器	33
1.8.1	大功率开关稳压电源 LA6350	33
1.8.2	集成电路开关稳压电源 CW4960/4962/4964/296	34
1.8.3	CW4960 基本使用方法	35
1.8.4	CW4960 基本应用电路	36
1.8.5	CW4964/296 的基本应用	38
1.8.6	单片脉宽调制开关稳压集成电路 SW3524	39
1.8.7	大功率三端集成稳压器	41
第2章	整流与基本稳压电路	43
2.1	常用二极管整流电路一览	43
2.2	低压输出半波同步整流电路	45
2.3	晶体管全波同步整流电路	46
2.4	简单实用的开关整流电源	46
2.5	恒流整流电路	47
2.6	低噪声、低压降 1A 线性稳压器 MAX687/688/689	47
2.7	双路高/低功率线性稳压器 MAX8862	48
2.8	双路 100mA 线性稳压器 MAX8865/8866	48
2.9	多端稳压器 5G14	49
2.10	5G14 的两种扩流电路	49
2.11	使用 5G14 组成的 5V/10A 固定输出稳压电源	50
2.12	使用 5G14 的正输出高压稳压电源	51
2.13	使用 5G14 的输出负高压稳压电源	51
2.14	5G14 的外加短路保护应用电路	52
2.15	利用 μ A723/W723 的 3~7V 稳压电源	52
2.16	利用 μ A723/W723 的 7~36V 稳压电源	53
2.17	μ A723/W723 扩展输出电流稳压电源	53
2.18	W723 线性可调稳压电源	54
2.19	三端固定稳压器 W78/79 的典型应用电路	54
2.20	0~+140V 高压高稳定度稳压电源	55
2.21	用 7805 组成的精密可调稳压电源	56
2.22	并联式稳压电源	57
2.23	简单的稳压电源	57
2.24	低温度系数可调稳压电源	57
2.25	高精度稳压电源	58

2.26	-12 ~ +12V 连续可调稳压电源	59
2.27	高效稳压电源	59
2.28	低压差三端稳压器 MC33269	60
2.29	停电备用电源	60
2.30	可编程输出稳压电源	61
2.31	低功耗三端稳压器应用电路	61
2.32	0 ~ 50V/2A 数控直流稳压电源	62
2.33	±30V/1A 精密数控直流稳压电源	62
2.34	±20V/5A 数控直流稳压电源	63
2.35	VMOS 管线性稳压电源	64
2.36	低压差、大电流稳压电源	64
2.37	具有恒流负载的直流稳压电源	65
2.38	自动转换的交直流电源	65
2.39	低压差稳压电源	66
2.40	降压器电路	67
2.41	变换型高压稳压电源	67
2.42	13.8 ~ 90V 的电源转换器	68
2.43	高压/低压变换电路	69
2.44	低压差可调稳压器 SM3941	69
2.45	自动电压倍增稳压电路	70
2.46	采用隐埋齐纳式基准电压源的高精度直流稳压电源	70
2.47	串联型高效稳压电源	71
2.48	3A/5V 稳压电源	72
2.49	具有限流过载保护的 3A/5V 稳压电源	73
2.50	高性能稳压电路	73
2.51	低功耗、低压差稳压器 LT1121 - 5	74
2.52	集成稳压器 W317 的多种用法	74
第 3 章	开关型稳压电源	78
3.1	使用 5G14 的开关型稳压电源	78
3.2	三路同步输出开关型稳压电源	78
3.3	高输入电压、低功耗线性稳压器 MAX1615	79
3.4	开关型稳压调整器 μ A78S40 的应用电路	80
3.5	开关型降压稳压器	81
3.6	脉冲调制式开关稳压器	82
3.7	高稳定度开关型稳压电源	82
3.8	串联型开关稳压电源	83
3.9	脉冲调宽式开关型电源	84

3.10	开关型稳压辅助电源	84
3.11	大电流开关型稳压启动电路	85
3.12	低噪声、超小型 3V 线性稳压器 MAX8863/8864	85
3.13	PS0500DC5S 超小型 DC/DC 开关型电源模块	86
3.14	0 ~ 5A、7 ~ 30V 实验室电源	86
3.15	智能电源开关型芯片 TPS2014/2015	87
3.16	电感储能式开关型升压电源	87
3.17	使用运放的开关型稳压电源	88
3.18	无电感开关型稳压源	89
3.19	采用电压基准 TL431 的开关型稳压电源电路	89
第 4 章	直流—直流电压变换电路	90
4.1	高效率的电压变换器	90
4.2	小型两节电池升压器 MAX856	91
4.3	小型 3.3V 备用电源 MAX679	91
4.4	高效升压输出电源 MAX848/849	92
4.5	0.85V 启动的寻呼机电源 MAX1642/1643	92
4.6	225mA 降压变换器 MAX640	93
4.7	2A 降压变换器 MAX1626	93
4.8	PWM 降压型直流变换器 MAX887	93
4.9	大电流高效率降压变换器 MAX797	94
4.10	DC/DC 变换器集成电路 LT1073	94
4.11	直流反转器电路	95
4.12	负电源变换电路	95
4.13	正负对称电源变换电路	96
4.14	负电压—正电压转换电路	96
4.15	负电压转换成正电压的电路	97
4.16	倍压变换器	97
4.17	倍压变换电路	98
4.18	0.5 倍压电路	98
4.19	二倍压电路	98
4.20	CMOS 电压反转器 MAX660	99
4.21	电压反转与二倍压电路	99
4.22	1.5V 升到 3V 的升压电路	100
4.23	3V 升到 5V 的升压电路	100
4.24	1.5 ~ 9V 升压电路	101
4.25	1.5 ~ 12V 升压电路	101
4.26	5 ~ 12V 升压电路	102

4.27	带关闭控制的升压电路	102
4.28	带有电池低电压检测的升压式电路	103
4.29	3V 升到 6V 的扩流电路	103
4.30	9V 电池降压电路	104
4.31	几种减小电压转换电路纹波的电路	104
4.32	3V/5V DC/DC 变换电路	105
4.33	3V/12V DC/DC 变换电路(1)	105
4.34	3V/12V DC/DC 变换电路(2)	106
4.35	降压式 DC/DC 变换电路	106
4.36	负压与倍压变换	107
4.37	升/降压变换器	107
4.38	用于数字面板表的 5 路输出变换器	108
4.39	无需电感可将 1.8 ~ 3.6V 转换为 3.3V	109
4.40	DC/DC 转换器	109
4.41	推挽转换器	110
4.42	回扫转换器	110
4.43	稳压升压转换器	111
4.44	3 ~ 6V 倍压电路	111
4.45	正电压—负电压变换器	111
4.46	电压极性反转器	112
4.47	负压与正倍压输出电路	112
4.48	由 +5V 直流电源转换成 +8V 和 -4V 电源	113
4.49	+5 ~ -15V 电压转换器	114
4.50	+15 ~ -15V 的反转器	114
4.51	+3V 转换成 $\pm 1.5V$ 电路	115
4.52	正电源变换为负电源	115
4.53	双极性电源变换电路	116
4.54	+5 ~ $\pm 15V$ 变换电路	116
4.55	12 ~ $\pm 7.4V$ 的转换电路	117
4.56	555 高效负电源变换电路	117
4.57	直流变换四种输出电压的升压电源	118
4.58	便携式仪表用电源	118
4.59	DC/DC 变换器 MC34063A	119
4.60	升压变换集成电路 MAX777	121
4.61	DC/DC 变换器 MAX752	122
4.62	高效升压器	123
4.63	-48V / +5V 电压变换器	124
4.64	开关式电容反相电压变换器	125

4. 65	简易直流升压器	125
4. 66	高效开关升压器	126
4. 67	LM257X 系列集成电路 DC/DC 变换器	126
4. 68	升/降压型 DC/DC 变换器	127
4. 69	双路输出 DC/DC 转换器	128
4. 70	超小型 DC/DC 变换器	129
4. 71	具有正负对称输出电压的 DC/DC 变换器	129
4. 72	不用光耦的全隔离 DC/DC 变换器	129
4. 73	掌上电脑用正负双输出 DC/DC 变换电路	129
第 5 章	电压基准及恒流源	133
5. 1	低电压基准源	133
5. 2	电压基准电路	133
5. 3	双 100 μ A 电流源 REF200	134
5. 4	1. 2V 低噪声基准源	134
5. 5	1. 2V/2. 5V 低功耗电压基准 REF1004	135
5. 6	+1. 235V 低功耗基准源	135
5. 7	带缓冲级的 2. 5V 低噪声电压基准	135
5. 8	2. 5V 电压基准 LM136 - 2. 5/336 - 2. 5	136
5. 9	$\pm 2. 5$ V 基准源电路	136
5. 10	+5V 精密电压基准 REF02	137
5. 11	± 5 V 基准电压电路	137
5. 12	± 10 V 精密电压基准 REF01	138
5. 13	± 5 V 精密电压基准	138
5. 14	+5V 精密电压基准	139
5. 15	± 10 V 基准电压电路	139
5. 16	± 10 V 连续可调基准电压源	140
5. 17	5V、10V 基准电压源	140
5. 18	精密电压基准 LM1199/399	141
5. 19	温度系数极低的 10V 电压基准	141
5. 20	带滤波器的 +10V 基准电压源	141
5. 21	+10V 精密电压基准 REF10	142
5. 22	-10V 基准电压源	142
5. 23	+2V、+12V 基准电压源	143
5. 24	-2V、-12V 基准电压源	143
5. 25	积木式基准电压源(1)	144
5. 26	积木式基准电压源(2)	144
5. 27	极低噪声精密基准电压源	145

5.28	标准电池替代电路	146
5.29	可以扩展输出电流的基准电压源	146
5.30	电压基准扩展电流电路	147
5.31	精密稳压器 TL431	147
5.32	由 TL431 组成的恒流源电路	148
5.33	简单的电流源电路	149
5.34	电流源电路	149
5.35	精密恒流源电路	150
5.36	50 μ A 电流源	150
5.37	200/300/400 μ A 浮置电流源	150
5.38	高精度 300/400 μ A 浮置电流源	151
5.39	双 1mA 精密电流源	151
5.40	25mA 浮置电流源	152
5.41	低噪声高精度电流阱	152
5.42	50 μ A 电流阱	153
5.43	电流源、电流阱电路	153
5.44	不同输出电流的恒流源电路	154
5.45	差动输入 FET 缓冲的电流源	155
5.46	可编程电流源	155
5.47	简单的压控电流源	156
5.48	200mA 的压控电流源电路	156
5.49	压控电流源电路	157
5.50	三端稳压器做恒流源电路	157
第 6 章 电池充电电路		158
6.1	单组电池充电电路	158
6.2	MAX712/713 可编程充电电路	163
6.3	恒压式镍镉电池充电器	166
6.4	恒流式镍镉电池充电器	166
6.5	可控硅电池自动充电器	167
6.6	并联式全自动脉冲充电器	168
6.7	自动断电的镍镉电池充电器	168
6.8	镍镉电池的充电保护电路	169
6.9	镍镉电池自动充电器	169
6.10	蓄电池充放电保护器	170
6.11	快充型充电器	171
6.12	锂离子电池的充电电路	171
6.13	电瓶安全充电报讯器	172

6.14	电动助力车充电器	173
6.15	无触点自动充电器	174
6.16	使用开关恒流电路的充电器	174
6.17	发电机启动用蓄电池自动监控装置	175
6.18	简易快速充电器	176
6.19	太阳能系统的电池稳压器	176
6.20	自动并联充电器	177
6.21	恒流充电器	178
6.22	具有恒流充电、放电功能的充电器	178
6.23	带有保护功能的小容量蓄电池充电器	179
6.24	用太阳能电池的镍镉电池充电器	179
6.25	无极性充电器	180
6.26	12V 自动充电器	180
6.27	使用汽车电瓶的镍镉电池充电器	181
6.28	具有保护功能的 8A/12V 充电电路	182
6.29	GP-21-12V 充电机电路	182
6.30	充电电池测试仪	183
6.31	充电器电池过压接反告警电路	184
6.32	性能良好的镍镉电池充电器	184
6.33	自动 NiCd 电池充电器	186
6.34	限压式镍镉电池充电器	186
6.35	电池充电调节器	187
6.36	脉冲式快速充电器	187
6.37	实用镍镉电池自动充电器	188
6.38	简易镍镉电池充电器	189
6.39	小型铅酸蓄电池充电器	189
6.40	高效镍镉电池充电器	190
6.41	可控硅恒流定压充电机	191
6.42	ZC-2-10A 自动充电机	191
6.43	铅酸电池保护器	191
6.44	恒压式铅蓄电池充电器	193
6.45	铅酸电池过充保护器	194
6.46	可延长镍镉电池寿命的电路	195
6.47	可预置充电终止电压的 9V 充电器	195
6.48	电压峰值增量型自动充电器	196
6.49	12V 大容量镍镉电池充电器	197
6.50	野外用快速充电器	198
6.51	具有数字电路定时器的 9V 充电器	198

6.52	可选择充电时间的小型电池充电器	200
6.53	改进型镍镉电池自动充电电路	201
6.54	高质量智能型镍镉电池充电电路	202
6.55	对讲机快速充电器	202
6.56	步升/步降型电流源电池充电电路	202
6.57	可以快速充电的高精度开关电流源	203
6.58	台式锂离子电池充电器	203
6.59	功能完善的 2A 锂离子电池充电器	206
第 7 章	其他类型电源	207
7.1	虚地发生器电路	207
7.2	脉冲调宽自动逆变电源	207
7.3	100W VMOS 管逆变电源	208
7.4	采用功率运放的 115V/400Hz 电源	209
7.5	伺服电源的正负跟踪	209
7.6	频率稳定的逆变电源	210
7.7	用 555 电路产生负压	211
7.8	可控高压变换器	212
7.9	110V/120V 交流电压 $\pm 2.5V$ /1600W 电源电路	213
7.10	7.5kV 稳压电源	213
7.11	100W/60Hz 正弦波电源电路	214
7.12	12V 直流、220V 交流/50W 电源电路	215
7.13	可调直流电源	215
7.14	线性可调直流电源	216
7.15	110V/220V 自适应电路	216
7.16	零触发交流稳压器	217
7.17	直流稳压电源的交流预稳电路	218
7.18	相角控制大功率动态电源	219
7.19	使用双向可控硅的交流稳压电路	220
7.20	简易交流稳压电源	220
7.21	复印机用交流稳压电路	220
7.22	高性能交流稳压器	221
7.23	零触发交流稳压电源	224
7.24	具有延时功能的交流电源稳压器	224
7.25	50/60Hz 交流 220V 逆变电源	224
7.26	小功率逆变电源电路	224
7.27	小功率变压器自激式逆变电路	227
7.28	CW3524 逆变器电路	227

7.29	稳流电源	229
7.30	直流电源净化器	229
7.31	大功率升压变换器	230
7.32	使用 TL431 的等效稳压二极管电路	232
7.33	过压保护电路	232
7.34	电压监视器电路	233
7.35	无绳电话座机用不间断电源	233
附录 A 常用集成稳压器性能参数表		235
附录 B 集成电路型号前缀与对应厂商及其网址		247
参考文献		254

第 1 章 稳压电源原理

电子设备需要直流电源为其供电,以便使其内部的电子电路得到正常工作所必需的能源。考虑到成本问题,大多数电器的直流供电方式都是将交流电源经过变压、整流、滤波、稳压等变换为所需的直流电压。完成这种变换任务的电源称为直流稳压电源。现代电器中常用的稳压电源有两大类:线性稳压电源和开关型稳压电源。线性稳压电源亦称串联调整式稳压电源。它的成本较低,稳压性能好,输出纹波小,缺点是工作效率较低,在小功率应用场合用得最多。其基本组成如图 1-1 所示。

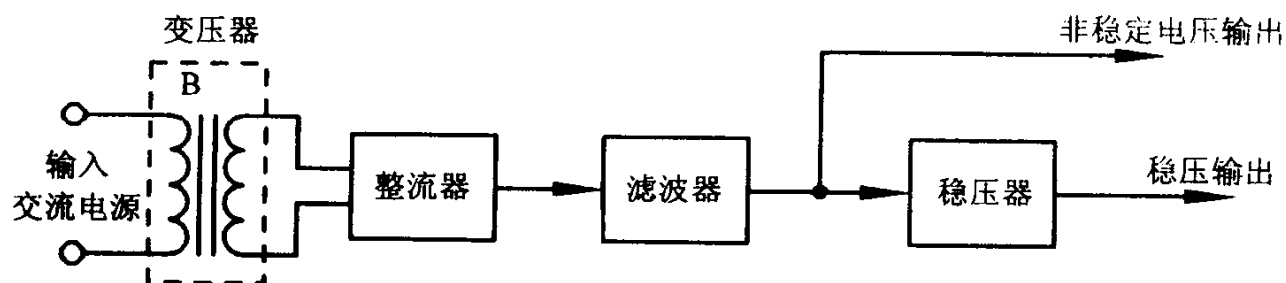


图 1-1 直流电源组成方框图

方框图中,变压器的作用是把交流电网供给的 220V、50Hz 交流电变换为合适的数值;整流器将交流电转变为直流脉动电压;滤波器将脉动电压进行平滑;稳压器能够把输出的直流电压稳定在所希望的数值上。

1.1 整流电路

整流电路是交流电压转换为直流电压的第一步。一个好的整流电路设计有助于取得更大范围的稳定电压输出。

1.1.1 半波整流电路

半波整流电路是最先被提出来的整流电路。基本的半波整流电路及其工作状态下各点的波形如图 1-2 所示。

电源变压器 B 将交流电压 u_1 变换为所需交流电压 u_2 ; 具有单向导电性能的二极管把交流电压 u_2 变为脉动直流; R_L 为负载(纯电阻)。

该电路的工作原理是:在 u_2 的正半周,a 端电位高于 b 端电位,二极管 D 在正向电压作用下导通,电流 i_D 由电源 a 端经 D 及负载 R_L 回到电源 b 端,完成整流通路。在 u_2 负半周时,b 端电位高于 a 端电位,二极管 D 截止,构不成通路,流过负载 R_L 上的电流为零。由此可见,半波整流电路只能在交流电的半周(此处为正半周)时间内提供脉动的直流电

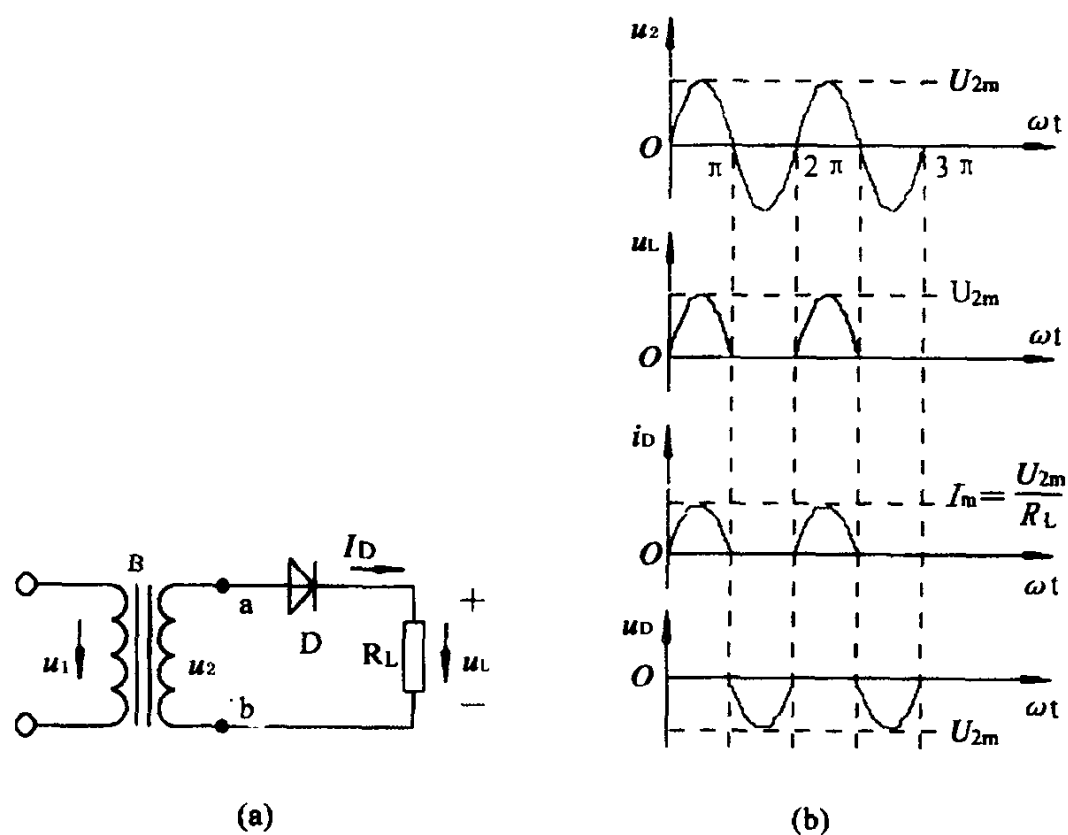


图 1-2 半波整流电路及其各点波形图

流。

半波整流电路中各点电压、电流波形如图中(b)所示。在正半周即 a 端电位高于 b 端电位时, $u_2 = u_D + u_L$ 。设二极管 D 为理想元件, 在不考虑其导通压降并认为其导通电阻为零时, 反向电阻为无穷大, 所以可认为 $u_2 \approx u_L$ 。在负半周时, $u_L = 0$ 、 $i = 0$, 二极管 D 两端的反向电压等于变压器次级电压 u_2 。

在一个周期内, 负载的脉冲电压平均值 $\bar{U}_L$ 可用 $\bar{U}_L = 0.45 U_2$ 来估算, 其中, U_2 为电源变压器次级交流电压的有效值。

在实际电路中, 可用交流电压表测出 U_2 , 用直流电压表近似测得负载电压 U_L , 也可以只测出其中之一, 而用上式近似求出另一值。

负载电流为 U_L 与 R_L 的比值

$$\bar{I}_L = \bar{U}_L / R_L$$

整流二极管的电流等于负载直流电流 I_L , 整流二极管的反向电压最大值为 u_2 的幅值

$$U_{DM} = \sqrt{2} U_2 = U_{2m}$$

对于不同的整流电路, 应选用既安全又经济的整流管, 必要时可用两只以上的管子串联, 以提高反向耐压; 或并联以增大输出电流。

通常, 若输出电压不大, 例如为几伏时, 整流管的正向导通压降不应省略。锗管正向导通压降约为 0.3V, 硅管为 0.7V。

半波整流电路简单, 需要的元件也少, 这是它的优点; 但它输出的直流电压脉动很大, 变压器的利用率也低, 这是它的缺点。所以, 半波整流电路仅适用于供电要求不高的场

合。

1.1.2 全波整流电路

图 1-3 为全波整流电路及其电压、电流波形图。

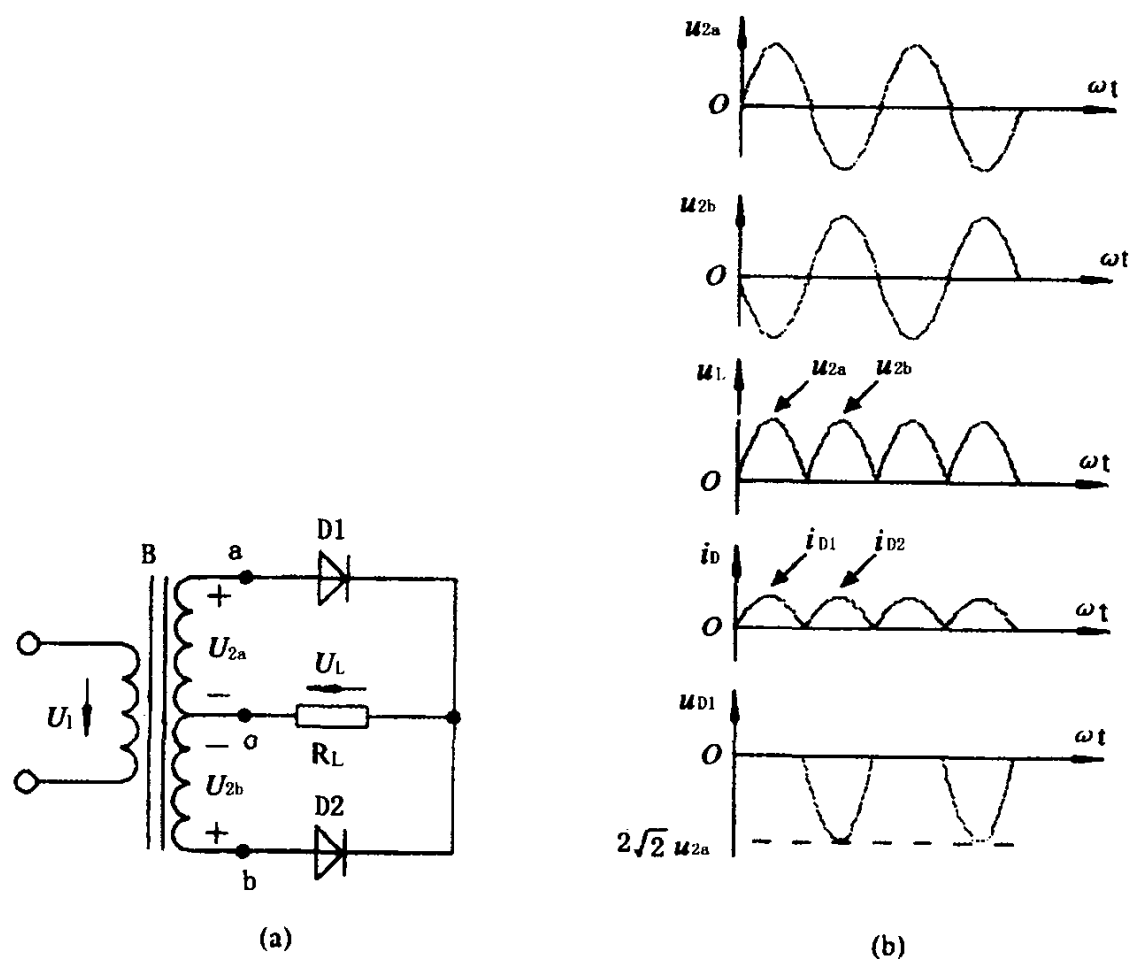


图 1-3 全波整流电路及各点波形图

电路中的电源变压器有一个中心抽头,把副边分成匝数相等的两个绕组,所以可以得到两个幅值相等、相位相反的电压 u_{2a} 和 u_{2b} ,如图中(b)所示。该电路实际上相当于两个半波整流电路,分别在 u_1 的正、负半周向同一负载 R_L 供电。与半波整流电路相比, R_L 上的直流电压、电流增加,脉动幅度也减小了。

这种整流电路的电压、电流可作如下的估算:在 u_{2a} 的正半周, D_1 导通、 D_2 截止时

$$u_L \approx u_{2a} = \sqrt{2} U_{2a} \sin \omega t \quad 0 < \omega t < \pi$$

在 u_{2b} 的正半周, D_2 导通、 D_1 截止时

$$u_L \approx u_{2b} = \sqrt{2} U_{2b} \sin \omega t \quad \pi < \omega t < 2\pi$$

负载电压的平均值为

$$\bar{u}_L = 0.9 U_{2a} = 0.9 U_{2b}$$

其中, U_{2a} 、 U_{2b} 分别为 u_{2a} 、 u_{2b} 的有效值。

负载平均电流为