

 应用电子
Application Electronics



电源系列丛书

稳定电源电路 设计手册

曲学基
王增福 编著
曲敬铠

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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电源系列丛书

稳定电源电路设计手册

曲学基 王增福 曲敬铠 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对参数型稳压电源,串联调整型直流稳压电源,开关稳压电源,软开关电源技术及其电路设计,UPS电源,集成稳压器电源,可控硅稳压电源,稳流电源等八种常用的电源电路原理、设计方法和设计步骤进行了阐述和分析,重点介绍了电源电路设计和计算以及近几年国内外电源技术领域的最新研究成果等有关知识,基本上涵盖了目前较常用的各种电源,是一本具有较高参考价值的实用技术书。

本书集电源电路选型、设计计算于一体,系统全面地介绍了各种电源电路的特点、所用元器件的性能参数的计算及电路选型、设计方法,是国内第一部系统介绍各类电源电路设计的实用书籍。读者可以按照本书提供的设计方法设计出你所需要的电源电路。本书可供电子工程专业技术人员,大专院校师生和无线电爱好者阅读和参考。

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

稳定电源电路设计手册/曲学基,王增福,曲敬铠编著. —北京:电子工业出版社,2003.10
(电源系列丛书)

ISBN 7-5053-9203-4

I. 稳... II. ①曲...②王...③曲... III. 稳定电源—电路设计—手册 IV. TN86-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 088410 号

责任编辑:和德林

印 刷:北京民族印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:27 字数:691 千字

版 次:2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:40.00 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 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

读者服务卡

电子工业出版社电子应用图书事业部精心策划了电源系列丛书, 详见封四所列书名。为了最大限度满足您的需求, 出版您所需要的图书, 欢迎您填写本读者服务卡, 返馈给我们。

地址: 北京万寿路 173 信箱 魏永昌收

邮编: 100036

电话: (010)68240824 E-mail: Zhong Ran@phei.com.cn

1. 购买本系列图书的书名书号:

2. 您的职业: 公务员 教师 技术人员 学生 其他

3. 您的文化程度: 研究生 本科 专科 其他

4. 您的评价: 内容: 很满意 满意 尚可 不满意 很不满意

编校: 很满意 满意 尚可 不满意 很不满意

印装: 很满意 满意 尚可 不满意 很不满意

封面: 很满意 满意 尚可 不满意 很不满意

5. 您的通信电话及地址:

6. 你的希望和建议:

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门专业技术——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,在《稳定电源实用手册》的基础上,又相继推出了《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》和《UPS 供电系统应用手册》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

前 言

随着电子工程技术在工农业和国民经济各个部门的广泛应用,电源技术已经发展成为电子工程中的一项专业技术。工科大专院校的电子工程专业相继开设了电源技术的课程,许多从事电子工程的专业人员对各类电源进行了大量的研究和开发工作,并出版了不少专著,但对于以电子电路为基础的稳定电源来说,目前尚无一部较系统全面介绍电源电路设计的书籍。鉴于这种情况,我们编著了《稳定电源电路设计手册》一书。

本书对参数型稳压电源,串联调整型稳压电源,开关稳压电源,软开关电源技术及其电路设计,UPS电源,集成稳压器电源,可控硅稳压电源,稳流电源等八种常用的电源电路原理和设计方法及步骤进行了阐述和分析,保留了原书中电源电路原理和设计方法及计算的有关内容,增加了与软开关电源技术等近几年发展起来的新技术和新成果相关内容和知识,基本上涵盖了目前较常用的各种电源电路,这是一本具有较高参考价值的实用技术图书。

《稳定电源电路设计手册》全书共分八部分,书后还有附录。1. 参数型直流稳定电源讲述了各种参数型稳定电源的原理、特点及设计方法。2. 串联反馈调整型稳压电源,比较详细讲述了这类电源的工作原理,设计方法。3. 开关电源,介绍了各种开关电源电路工作原理和设计方法。4. 软开关电源技术及电路设计是近几年发展起来的新技术,主要介绍了基本电路,典型应用和设计方法。5. UPS电源一节介绍了UPS电源的工作原理,设计方法和保养、使用方面的有关知识。6. 集成稳压器电源,给出了几种常用集成稳压器的工作原理和性能特点以及应用选型和设计方法。7. 可控硅直流稳压电源一节,介绍了可控硅的工作原理,可控硅稳压电源电路设计方法。8. 直流稳流电源一节,介绍了直流稳流电源的工作原理和电路设计方法。本书最后的附录为读者提供了部分国产集成稳压器的电参数特性,部分国内外集成稳压器,运算放大器和常用半导体器件型号对照表,国内外常用半导体参照表等,供设计人员选型时参考。

在《稳定电源电路设计手册》编著过程中,我们对国内外已出版的有关稳定电源书刊中的论述进行了消化,理解,筛选和整理,将其中有价值的,实用性较强的部分编入了《稳定电源电路设计手册》。本书集电路选型,设计计算于一体,系统全面地介绍了各类稳定电源的特点、所用元器件的性能参数计算及选择电路的原则和设计方法,是国内第一部系统介绍各类稳定电源电路设计的实用参考书籍。读者可以按照本书提供的设计方法设计出你所需要的电源电路。本书可供电子工程专业人员,大专院校师生和无线电爱好者阅读和参考。

本书的主编是曲学基、王增福、曲敬铠,参与本书编写工作的还有魏永昌、陈步亮、李然、范斌、张再鸣、张秀廷、李树鹏、董辉、宋玉杰、王春祥、刘志勤、吴思凯、徐京春、李治国、李照星、吴兆民、秦学明、刘月明、周晓峰、王增星、王春泉、周和平、周胜利、王秋月、周桂荣、刘秋萍、金亮等。我们要特别感谢电子工业出版社魏永昌编审,他为本书的编著和出版做了大量工作,不仅对全书作了审校,还参与了部分章节的编写工作。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,希广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 参数型直流稳定电源	1
1.1 参数型稳定电源的基本原理	1
1.2 硅稳压二极管稳压电源的工作原理	2
1.2.1 单级硅稳压管稳压电源	3
1.2.2 多级稳压管稳压电路及其他电路形式	3
1.3 硅稳压管稳压电路的设计计算	5
1.3.1 设计计算的原则及程序	5
1.3.2 设计计算举例	6
1.3.3 实用电路举例	7
第 2 章 串联反馈调整型直流稳压电源	9
2.1 串联反馈调整型稳压电源的基本原理	9
2.2 晶体管串联反馈调整型稳压电源工作原理.....	10
2.2.1 简单的串联反馈型晶体管稳压电路.....	10
2.2.2 带有放大器的串联反馈型晶体管稳压电路.....	11
2.2.3 串联反馈型晶体管稳压电源改进电路.....	11
2.2.4 串联反馈型晶体管稳压电源集电极输出式稳压电路.....	24
2.3 串联反馈型晶体管稳压电源设计与计算.....	24
2.3.1 设计方法及步骤.....	25
2.3.2 设计举例.....	30
第 3 章 开关电源	36
3.1 开关电源的基本原理.....	37
3.1.1 简单的串联开关型稳压电路及工作原理.....	37
3.1.2 PWM 开关电源工作原理及组成	40
3.2 开关电源的电路设计.....	53
3.2.1 开关稳压电路形式的选择.....	54
3.2.2 各种开关稳压电源的主要计算公式.....	55
3.2.3 单端正激式开关稳压电源的设计.....	55
3.2.4 单端反激式开关电源的设计.....	71
3.2.5 半桥式开关电源的设计.....	76
3.2.6 振铃式开关电源的设计	101
第 4 章 软开关电源技术及电路设计	110
4.1 软开关电源及其基本电路	110
4.1.1 概述	110
4.1.2 软开关电源的基本电路	111
4.2 软开关电源电路设计方法	122
4.2.1 零电流开关(ZCS)变换电路设计方法	122

4.2.2	零电压开关(ZVS)变换电路设计方法	123
4.2.3	单端正激 ZVT-PWM 变换电路的设计	124
第 5 章	UPS 电源	127
5.1	UPS 电源工作原理	127
5.2	UPS 电源的常用电路及储能蓄电池	129
5.2.1	几种基本电路	129
5.2.2	逆变器	135
5.2.3	蓄电池及充电电路	137
5.2.4	静态开关	144
5.3	UPS 电源系统设计	146
5.3.1	UPS 系统的小型轻量化设计	146
5.3.2	UPS 中有源滤波器的设计	152
5.3.3	UPS 系统的高可靠性设计	155
5.3.4	UPS 的切换开关与充电装置的设计	159
5.3.5	UPS 系统与负载的配合设计	161
5.4	UPS 的应用	166
5.4.1	UPS 的选用	166
5.4.2	UPS 使用注意事项	169
5.4.3	智能型 UPS 及其应用	170
第 6 章	集成稳压器电源	172
6.1	集成稳压器的基本原理	173
6.1.1	串联式晶体管直流稳压器的基本原理	173
6.1.2	集成稳压器的基本原理	174
6.2	典型的集成稳压器	190
6.2.1	带整流管的集成稳压器 STK501	190
6.2.2	集成稳压器 μ A723	191
6.2.3	集成稳压器 5G11	192
6.2.4	KC582 集成稳压电源	194
6.2.5	三端固定正电压集成稳压器 7800 系列	198
6.2.6	三端固定负压集成稳压器 7900 系列	199
6.2.7	三端可调正压集成稳压器 117 / 217 / 317 系列	200
6.2.8	三端可调式负压集成稳压器 137 / 237 / 337 系列	202
6.2.9	五端功率集成稳压器 W200	203
6.2.10	双端输出式脉冲宽度调制器	205
6.2.11	单端隔离式脉冲宽度调制器	209
6.2.12	低压直流变换器	211
6.3	电源厚膜电路	215
6.3.1	IX0205CE 系列开关电源厚膜电路	216
6.3.2	IX0247CE 系列开关电源厚膜电路	217
6.3.3	IX0308CE 系列开关电源厚膜电路	217

6.3.4	IX0689CE 系列开关电源厚膜电路	217
6.3.5	STR440 系列开关电源厚膜电路	219
6.3.6	STR5312 系列开关电源厚膜电路	219
6.3.7	STR6020 系列开关电源厚膜电路	220
6.3.8	STR40090 系列开关电源厚膜电路	220
6.3.9	HM114 /HM9201 /HM7101 开关电源厚膜电路	220
6.3.10	STR-S5941 新型开关电源厚膜电路	221
6.3.11	STR80145 厚膜电路	222
6.3.12	STK7308 /WK212-166 厚膜电路	224
6.3.13	STR11006 开关电源厚膜电路	227
6.4	集成稳压电源的设计	227
6.4.1	整流电路	228
6.4.2	滤波电路	228
6.4.3	集成稳压器的选择	229
6.4.4	散热设计	230
第 7 章	可控硅直流稳压电源	234
7.1	概述	234
7.2	可控硅的工作原理	235
7.2.1	可控硅器件	235
7.2.2	可控硅的伏安特性	237
7.2.3	可控硅的串并联	254
7.2.4	可控硅的保护	259
7.3	可控硅触发电路	264
7.3.1	可控硅控制极特性	264
7.3.2	触发电路设计中的几个问题	265
7.3.3	触发电路	266
7.3.4	新型可控硅触发模块 CMK 的应用	298
7.3.5	傻瓜型可控硅移相控制模块应用电路	300
7.4	可控硅稳压电源电路的设计	306
7.4.1	由交流供电的可控硅直流稳压电源	306
7.4.2	由直流供电的可控硅直流稳压电源	319
第 8 章	直流稳流电源	330
8.1	直流稳流电源的基本工作原理	330
8.1.1	参数稳流电源的工作原理	330
8.1.2	串联调整型稳流电源工作原理	331
8.2	直流稳流电源的主要性能参数及其测试方法	333
8.2.1	直流稳流电源的主要性能参数	333
8.2.2	ΔI_L 测量方法	334
8.3	直流稳流电源电路的设计方法及设计举例	335
8.3.1	直流稳流电源电路设计方法	335

8.3.2 直流稳流电源设计举例	339
附录 A 部分国产集成稳压器的电参数特性	342
附录 B 部分国内外集成稳压器型号对照表	378
附录 C 集成运算放大器国内外型号对照表	381
附录 D 部分常用半导体器件国内外型号对照表	391
附录 E 国外部分常用半导体器件参数表	399
附录 F UPS 电源常用元器件的替换表	416
参考文献	418

第 1 章 参数型直流稳定电源

1.1 参数型稳定电源的基本原理

参数型稳定电源,是利用器件的非线性实现稳压和稳流的。任何参数型稳定电源都可以画成图 1-1 那样的方框图及原理图。从电路上可以看出,参数型稳定电源的稳定作用是通过虚线框内的调整器件的等效内阻 R_{dx} 自动调节来实现的。就拿稳压电源来说吧,如果是因为负载电阻 R_L 变大或输入电源电压 U_i 升高等原因使稳压电源输出电压偏高时,就会引起调整器件的等效内阻 R_{dx} 自动变小,使流过调整器件电流 I_{dx} 增大,借助于限流电阻 R 两端压降的增加,使输出电压 U_o 趋近原来的数值。相反,由于负载电阻 R_L 减小或输入电源电压降低等原因致使稳压电源输出电压 U_o 下降时,调整器件的等效电阻 R_{dx} 会自动变大,从而使流过调整器件的电流 I_{dx} 变小,流过限流电阻 R 上的电流减小,因此在 R 两端的电压降也减小,使 U_o 又趋近于原来值。

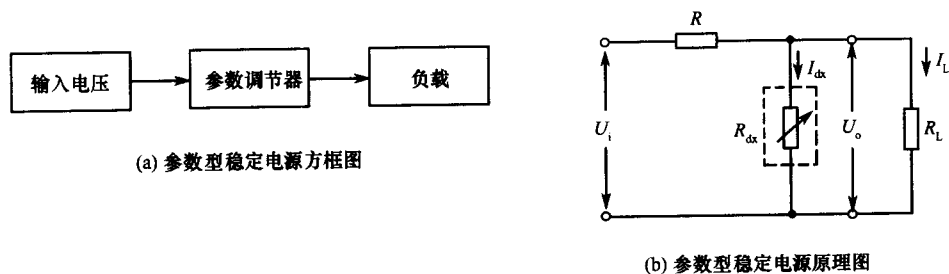


图 1-1 参数型稳定电源原理方框图

为了更进一步说明参数型稳压电源(稳流电源将在第 8 章介绍)的稳压性能主要是由调整器件的本身性能所决定的,我们不妨根据稳压电源关键质量指标的定义,对参数稳压电源的稳压系数 K ,电压稳定度 Y 及内阻 R_0 进行定量地计算分析。

$$K = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = \frac{\Delta U_i (R_{dx} // R_L) / (R + R_{dx} // R_L)}{\Delta U_i} = \frac{R_{dx} // R_L}{R + R_{dx} // R_L} \quad (1-1)$$

因为图 1-1 作为一个稳压器电源来看待,则有 $R \gg R_L \gg R_{dx}$,所以上式可以简化为

$$K \approx \frac{R_{dx}}{R} \quad (1-2)$$

稳定度 $Y = \frac{\Delta U_o}{U_o} = \frac{\Delta U_o \cdot \Delta U_i}{\Delta U_i \cdot m \cdot U_i} \approx \frac{R_{dx}}{R} \cdot \frac{\Delta U_i}{U_i} \cdot \frac{1}{m}$ 其中 m 为稳压电源的利用率,

$m = \frac{U_o}{U_i} < 1$ 。一般情况下都是以输入电压变化 10% 为依据,即 $\Delta U_i / U_i = 0.1$,所以稳定度

Y 表达式可以简化为

$$Y = \frac{0.1}{m} \cdot \frac{R_{dx}}{R} \quad (1-3)$$

另外,参数型稳压电源的内阻 R_0 显然就是 R_{dx} :

$$R_0 = R // R_{dx} \approx R_{dx} \quad (1-4)$$

从以上定量推导不难看出,这几项关键的质量指标,都是由调整器件的等效调节电阻 R_{dx} 起主要作用的。由此可知,参数型稳定电源的质量如何,关键在于调整器件本身质量的好坏。

从线路联接方式来看,因为调整器件与负载是并联的,因此参数型稳定电源属于并联稳压电源,它具有如下优缺点。

优点:

- (1) 线路简单,成本低
- (2) 输出短路故障不会损坏调整器件,无需加保护措施及电路。

缺点:

- (1) 效率低
- (2) 输出电压调节范围小
- (3) 输出电压不能比调整器件的耐压高
- (4) 负载大幅度变化时,电压稳定度将明显下降。

据此,参数型稳定电源适用于负载电流变化不大或容易引起短路故障的场合。

参数型稳定电源有很多种,但是普遍的常用的有代表性的是硅稳压二极管稳压电源,因此下面我们仅对硅稳压二极管稳压电源进行论述。

1.2 硅稳压二极管稳压电源的工作原理

硅稳压二极管直流稳压电源是典型的参数型稳定电源,它的优点是电路简单,使用的元器件少,在负载变化较小时可达到很高的稳定度,可作为标准电源,所以在小功率设备中用的比较多。

硅稳压管的特性与一般二极管相似,不同的是硅稳压管都是工作在反向击穿区,它的特性曲线如图 1-2 所示。在曲线上 A-B 这一段几乎是垂直的,这就是硅稳压管的反向击穿区,此时即使反向电流增加很多,电压却几乎不变。而且这种现象的重复性很好,我们就是利用硅稳压管这一特性来进行稳压的。

从特性曲线上可以看出, A-B 这段线越垂直,对于同样的电流变化量 ΔI ,稳压管两端的电压变化 ΔU 越小,则动态电阻越小。换句话说,动态电阻越小,表示稳压管性能越好,所以常常把稳压管看做一个恒压电源 U_w 和一个动态电阻 R_w 相串联,图 1-3 画出了这种等效电路。

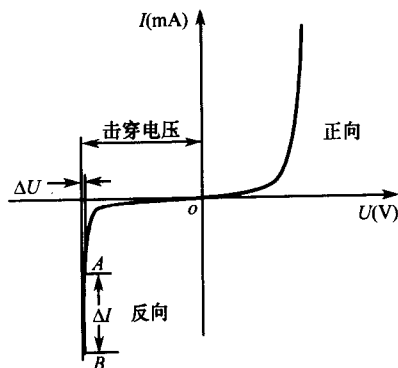


图 1-2 硅稳压管特性曲线

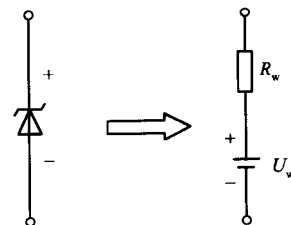


图 1-3 硅稳压管等效电路

1.2.1 单级硅稳压管稳压电源

图 1-4 是一个单级硅稳压管稳压电路,图中 R 起限流和调整电压作用,VD 是硅稳压二极管, U_i 是稳压电路的直流输入电压,也就是整流滤波的直流输出电压。 U_o 是稳压器直流输出电压,也就负载电阻 R_L 两端电压。

一般情况下,影响电压稳定的因素主要有两种,即电网电压波动和负载变化。现在我们仍以这两种情况论述硅稳压管稳压电源的稳压原理及过程。

当电网电压增加使稳压器输入电压 U_i 升高而引起 U_o 变大时,通过稳压二极管 VD 的电流 I_w 随之增加,使限流电阻 R 上的压降 U_R 增大,可以抵消 U_i 的升高部分,使输出电压 U_o 基本保持稳定。

同理,当 U_i 下降引起 U_o 下降时, I_w 减小, R 上的压降也减小,补偿了 U_i 的下降,使 U_o 基本保持不变。

上面是电网电压变化时的稳压情况。下面我们再看负载变动(即 I_o 变化)是怎样稳压的;当 I_o 增大时,限流电阻 R 上的压降增大,这样 U_o 必然会随之减小。但是此时 I_w 会自动减小,抵消 I_o 的增大,使得电流 I 基本保持不变,从而使 R 两端的压降基本保持不变,于是 U_o 基本保持稳定。相反, I_o 减小时, I_w 便增加,使流过限流电阻 R 的电流保持原来的值,输出电压 U_o 不会因此而下降。

从以上的分析可以看出,在硅稳压管稳压电路中,稳压管 VD 起着电流控制作用,电阻 R 起着电压调整作用。对于输出电压微小的变化,稳压管能引起 R 中电流较大的变化,再通过电阻 R 上压降的变化来调整输出电压就达到了稳压的作用。

1.2.2 多级稳压管稳压电路及其他电路形式

单级稳压管稳压电路稳压系数 S 在 10^{-1} 数量级,为提高电源的稳定性,两级稳压或多级稳压电路的稳压系数是各级稳压电路的稳压系数的乘积,所以两级硅稳压电路的稳压系数很容易达到 10^{-3} 以下。多级稳压的目的除了改善稳压性能之外,还可以得到多组稳压输出。

图 1-5 是两级稳压的硅稳压管稳压器电路。仅从电路形式上看,它就是两个单级稳压器连接在一起而构成的,因此有人叫它为两级稳压器级联。采用多级稳压,稳压原理与单级相同,不过是稳压过程多重复几次而已,所以稳压系数能够做到很小,可是其他性能如输出电阻、温度系数等并没有得到改善,基本上是由第二级的稳压管 VD_2 的动态电阻和温度系数所决定的。因此多级硅稳压电路一般都应用在负载电流不大、同时得到几组不同输出电压和稳定性要求稍高的场合,最常见的就是电子电位差计之类精密测试仪器的供电电源。

硅稳压二极管稳压电路除了级联之外,稳压二极管本身也可以串联使用。如果手头上没有稳压值高的稳压二极管,而又要想得到输出电压较高的稳压电源,可用两只或几只稳压值较低的稳压二极管串联起来,构成硅稳压管稳压电路,如图 1-6 所示。稳压管串联,目的是利用现有的管子得到所需的电压,但是要选取合适的输入电压 U_i 和 R 的值,保证稳压管流过的电流 I_w 值同时满足两只稳压管 VD_1, VD_2 的稳压要求。

稳压二极管只能串联不能并联,这是因为,如果两只稳压二极管并联,击穿电压值低的管先行导通,并将电压稳定在这个数值上,另一个稳压二极管因电压不足无法工作。

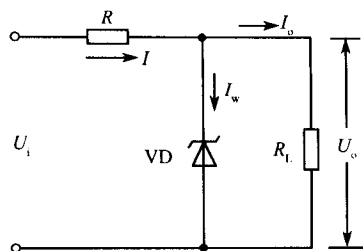


图 1-4 单级硅稳压管稳压电源电路

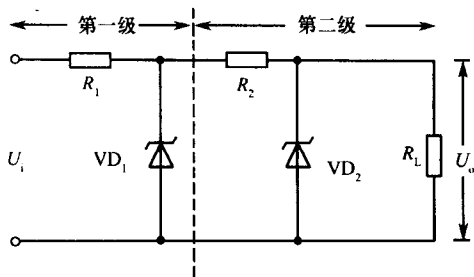


图 1-5 两级硅稳压管稳压电路

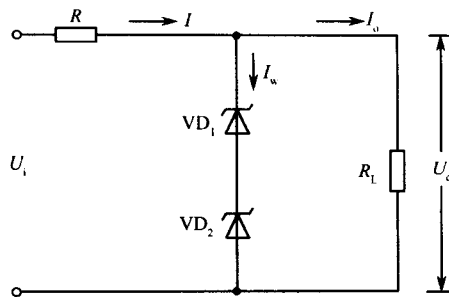


图 1-6 稳压管串联使用电路

如果没有现成的稳压二极管,也可以用普通硅二极管作为稳压电源,如图 1-7 所示。在讲述二极管特性时我们已经明白,当正向电压大于 0.7V 时,二极管的正向特性也很陡直,即电流变化很大对应的电压变化却很小,利用这一特点就可以制作稳压电源。电路的接法与图 1-7 类似,但二极管必须加正向电压,一个二极管能够得到约 0.7~1V 的稳压输出。用几只硅二极管串联起来组成的稳压电路,便可以得到所需要的稳定电压。

前面讲过,硅稳压管稳压电路级联,可以提高其稳定度,但其他性能不可能得到改善,借助于电路的改进,可以使稳压管电路相对输入电压的变化呈现零阻抗特性,如图 1-8 桥式参数型稳压电路就是一例。

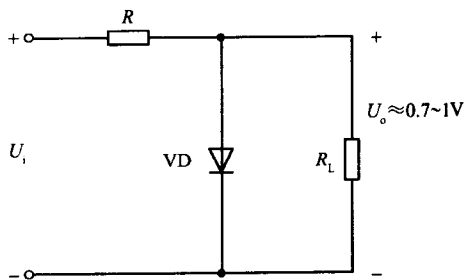


图 1-7 普通二极管稳压电路

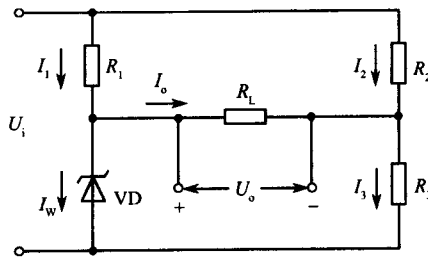


图 1-8 硅稳压管桥式稳压电路

在这个电路里,输入电压和输出电压分别在电桥的两个对角线上,其中 R_3 是硅稳压管的补偿电阻,它能使稳压管电路的等效电阻为零。应该特别注意,这只是相对输入电压而讲的。

从理想的角度来看,此时输出电压不受输入电压的影响,它始终是稳压管的工作点电压。但实际上并不可能,这是因为稳压管内阻不可能是常数。它将随稳压管电流以及温度的变化而随时改变,但补偿电阻 R_3 却是个常数。

顺便说一下,为了提高硅稳压管有关温度系数的性能,可以采用补偿法。即用正负温度系数的两只稳压管相串联。当温度变化时,一个电压升高,一个电压降低,相互抵消使总的电压变化很小。随着科学技术的飞速发展。这种改善温度特性的补偿方法已应用到稳压二极管的生产之中,把两个 PN 结对接实现正负温度系数相互补偿,制造出低温漂的稳压二极管,ZDW7 系列就是这种类型。它的电路符号和管子内部电路如图 1-9 所示。

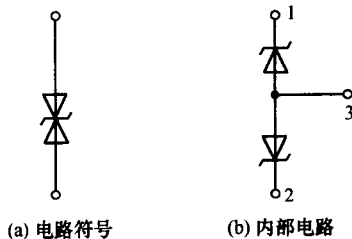


图 1-9 具有温度补偿的稳压管 ZDW7

ZDW7 的温度系数可以做到 10^{-6} 。从内部电路不难看出,如果 1 端接负,2 端接正,3 端悬空,此时具有温度补偿作用,如果 1 端接正,3 端接负或 2 端接正 3 端接负都没有温度补偿作用。

1.3 硅稳压管稳压电路的设计计算

1.3.1 设计计算的原则及程序

设计一台硅稳压管稳压电源,首先要弄清电源的技术要求。一般情况下,对于硅稳压管稳压电路,最少也要三个技术要求,即稳压器输入电压的变化百分数、负载电流可调范围和直流输出电压。如果是性能较高的电源,还要提出稳定系数,稳定度,输出电阻甚至温度系数等技术参数。弄清了以上这些技术要求,便可以着手设计和计算了。但是怎样设计和计算呢?

1. 选择稳压管

稳压二极管是电路的关键器件,担负着稳压电路的调节作用。为了使稳压电路能够满足输出电压 U_o 和负载电流 I_o 的要求,选择稳压管时要留有一定的裕量。一般情况下,可以按照 $U_w = U_o$ 及 $I_w \approx I_{o,max}$ 初选管子,或者是 $I_w \approx (2 \sim 3)I_{o,max}$,这是因为当负载开路时,所有的电流都要流过稳压管,另外在电源电压升高时,也会使流过稳压二极管的电流增加。

2. 确定稳压电路输入电压 U_i

根据已知输入电源电压变化百分数的技术要求,可以计算出 U_i 的最大值和最小值,一般选取

$$U_i = (2 \sim 3)U_o \quad (1-5)$$

计算出 U_i 的数值后,可以进一步设计整流滤波电路及电源变压器。

3. 确定限流电阻 R

选择限流电阻 R 的阻值时,应该考虑两种极限情况:第一,输入直流电压 U_i 为最大值,同时负载又开路,这时电路的所有电流都流过稳压管,为了不烧坏稳压管,此时的电流不能大于稳压二极管最大工作电流 I_{WM} ,因此限流电阻 R 的最小值应满足

$$R_{\min} = \frac{U_{i,\max} - U_o}{I_{WM}} \quad (1-6)$$

第二,输入电压 U_i 为最小值,同时负载电流为最大,此时流过稳压管的电流为最小。为了保证稳压管工作在击穿区,应保证流过稳压管的电流不小于稳压管的稳压电流 I_w ,因此限流电阻 R 应满足

$$R_{\max} \leq \frac{U_{i,\max} - U_o}{I_w + I_{o,\max}} \quad (1-7)$$

限流电阻 R 选值公式如下:

$$\frac{U_{i,\min} - U_o}{I_w + I_{o,\max}} \geq R \geq \frac{U_{i,\max} - U_o}{I_{WM}} \quad (1-8)$$

另外,还要考虑限流电阻的额定功率。为了确保 R 不被烧坏, R 的额定功率 P_R 一定要满足

下式:

$$P_R \geq (2 \sim 4) I^2 R \quad (1-9)$$

如果出现 $R_{\max} < R_{\min}$ 不正常现象,则说明初选的硅稳压管的最大工作电流太小。应该选 I_{WM} 比较大的管子,重新计算。

4. 核算稳压电路的稳压系数和输出电阻

把一些参数代入到稳定系数 S 和输出电阻 R_o 的公式里进行核实计算,如果 S 达不到要求,可适当加大 R 和 U_i ,或选用内阻小的稳压管,再按上述方法进行计算,直到符合要求为止。

设计计算多级硅稳压管稳压电路时,要从末级开始,末级的设计计算方法与上述相同。在计算前级时,把末级的直流输入电压当做前级的直流输出电压,考虑原则和计算步骤依旧不变,直到各级都计算完为止。应该引起注意的是,多级稳压电路稳压系数是各级稳压系数的乘积,输出电阻则是末级稳压管的内阻。

1.3.2 设计计算举例

设输入电源的变化是 $\pm 10\%$,要求 $U_o = 6V$,负载电流 $I_o = 10 \sim 20mA$,计算单级硅稳压管稳压电路各元件的参数。

(1) 选择稳压管

根据 $U_w = U_o = 6V$, $I_o = 10 \sim 20mA$,查手册可选择硅稳压管 2DW7B,它的参数为 $U_w = 6V$, $I_{WM} = 33mA$,内阻 $R_w \leq 15\Omega$,选取 $I_{w \min} = 5mA$, $I_{o \max} = 20mA$ 。

(2) 确定输入电压 U_i

$$U_i = (2 \sim 3) U_o = 15(V)$$

(3) 求限流电阻

已知 U_i 变化为 $\pm 10\%$,则 $U_{i \max} = 16.5V$

$U_{i \min} = 13.5V$,因此,

$$R_{\min} \geq \frac{16.5 - 6}{33 + 10} = 244(\Omega)$$

$$R_{\max} \leq \frac{13.5 - 6}{5 + 20} = 300(\Omega)$$

$$244\Omega \leq R \leq 300\Omega, \text{选 } R = 300(\Omega)$$

$$P_R \geq (2 \sim 4) I^2 R \quad I = I_o + I_w = 50(mA)$$

$P_R \geq 3(0.05)^2 \times 300 = 2.25W$,选用 2W 功率电阻。

(4) 核算电压稳定系数

$$S = \frac{R_w}{R + R_w} = \frac{15}{300 + 15} = 0.0476 = 4.76\%$$

(5) 核实稳压电路的输出电阻

$$R_o = R_w // R = \frac{R_w \cdot R}{R_w + R} = \frac{15 \times 300}{315} = 14.3(\Omega)$$

1.3.3 实用电路举例

1. 单级硅稳压管稳压电路

由于科学技术的发展,半导体器件应用非常普遍而且价格也很便宜,用稳压管做电源的越来越少,最简便的电源也是用晶体管做的。硅稳压管主要是用来做晶体管稳压电源中的基准电压源,主要有如下三种典型电路。图 1-10 是基准电压与稳压管稳定电压相等的电路。图 1-11 是基准电压小于稳压管的稳定电压。图 1-12 是具有温度补偿的一种形式,当稳压管 2DW12C 的稳定电压随温度升高而升高时,而二极管 2AP3 两端电压恰好是随温度升高而降低,故可以使基准电压保持不变。

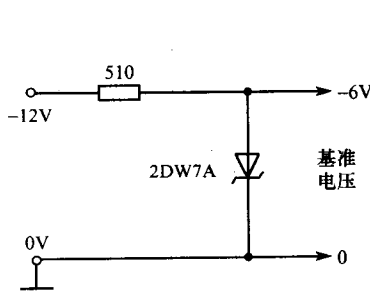


图 1-10 单级硅稳压管稳压电路之一

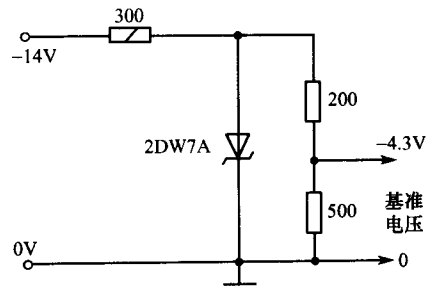


图 1-11 单级硅稳压管稳压电路之二

2. 二级硅稳压管稳压电路

两级硅稳压管稳压电路稳压性能较一级硅稳压管的电源好。并能输出两种稳定的电压适用于稳定度要求较高的小容量直流电源。图 1-13 是用于晶体管稳压电源的辅助电源的两级硅稳压管稳压电路,它能提供 -14V 和 -6V 两种稳定的直流输出电压。图 1-14 是另外一个实用的两级硅稳压管稳压电路,稳压器的输出电压 $U_o = -8V$, 第一级输出电压 $U_{o1} = -16V$ 。第二级采用一个 2CW1 硅稳压管。对于第一级来说,考虑到稳定电压低的硅稳压管的动态电阻要比稳定电压高的硅稳压管小得多,因此第一级采用两个 2CW1 管相串联的形式而不使用一个稳定电压为 16V 的硅稳压管,从而减小了动态电阻,提高了稳压效果。该稳压电路的稳定系数约为 0.023%, 输出电阻 R_o 约为 6Ω 。

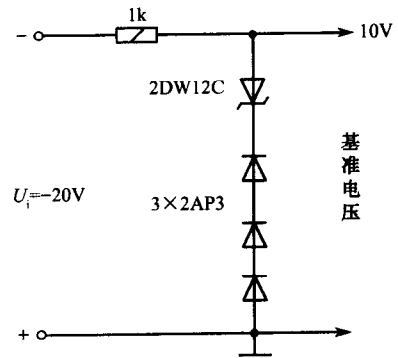


图 1-12 单级硅稳压管稳压电路之三

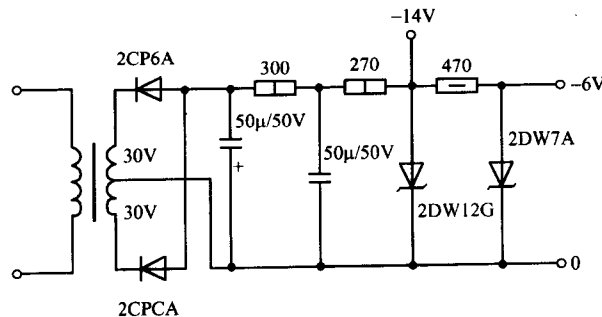


图 1-13 两级硅稳压管稳压电路之一