

高效能低功耗线性 晶体管稳压电源

谭 信 编 著

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书主要介绍高效能低功耗线性晶体管稳压电源的工作原理和电路。内容分为三部分：第一章介绍参数式稳压电路、稳流电路、稳压稳流电路。第二章除了研究一般反馈式稳压电路的组成和各部分的作用外，重点研究变形组合管、变形互补电流放大器和同射电流放大器的反馈式高效能低功耗稳压电源。此外，还研究扰动补偿原理在稳压电源中的应用，以及反馈式稳压电源的一些特殊问题。第三章研究集成稳压电源的基本电路和接法，以及低功耗电流放大器在高效能电路中的应用。

为便于读者查阅有关实用电路，在书后给出部分主要半导体器件参数。

本书可供从事电子工程设计的技术人员阅读，也可供高等院校、中等专业学校有关专业师生和无线电爱好者自学和参考。

高效能低功耗线性晶体管稳压电源

谭 信 编 著

责任编辑 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

石家庄地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年5月第 一 版

开本：787×1092 1/32

1983年5月第一次印刷

印张：9 7/8

印数：0001—12,800

字数：223,000

统一书号：15031·492

本社书号：3071·15-7

定价：1.55元

前 言

电源是电子计算机、电子仪器仪表、雷达导航、广播通讯和测量等电子设备的能量来源。在研究它们的二次电源时，经常遇到供电电压的高可靠性、高精度、高效能和低功耗等问题。自功率晶体管出现以来，性能良好的晶体管线性稳压电源随之问世，到目前已有二十多年的历史。由于它具有简单、可靠、高精度、高效能等优点，因而长期以来成为电子设备供电的最普遍的形式。随着半导体技术、电子技术的发展以及电源工作者的实践，线性稳压电源的设计在简单化、标准化、系列化、集成化、高精度、高效能和低功耗等方面迈进了一大步。

作者长期从事晶体管稳压电源的科研和教学工作，在高效能低功耗稳压电源、单级高增益稳压电源以及扰动补偿原理在稳压电源中的应用等方面，积累了一些经验。特别是在高效能低功耗线性晶体管稳压电源的研究上，打破了传统的设计方法，使电源的线路简化，体积减小，功能增加，效率、精度和可靠性提高。

本书主要介绍高效能低功耗晶体管稳压电源的基本原理和电路。着重使读者更进一步了解和掌握设计该电路的主要技巧和功能。在理论的严格性、完整性和系统性上也做了某些考虑。其次，还介绍了扰动补偿原理在低功耗稳压电源中的应用和一般稳压电路的一些特殊问题。除此而外，还介绍了如何减少集成稳压电路的输入输出压差的办法，且把它接

成高效能电路。

本书从一般的基本元件和稳压电路出发，逐步引伸到主要内容——高效能低功耗稳压电路上来，这样，便于电子技术人员、无线电爱好者和初学者学习与对比。

国防科学技术大学乔国良同志参加了本书 § 3-1 至 § 3-3 的编写。哈尔滨船舶工程学院王杏林同志参加了部分图纸的整理工作。

作者对国防科技大学慈云桂教授和哈尔滨船舶工程学院花栅副教授在本书的出版过程中，所提出的许多指导和帮助表示感谢。作者还感谢哈尔滨船舶工程学院计算机硬件教研室和实验室的同志们给予的热情帮助和鼓励。中国科学院计算技术研究所张广明同志审阅了全稿，并对书稿提出了不少宝贵意见，在此表示谢意。

由于作者水平有限，本书一定还存在不少缺点和错误，希望给予批评指正。

谭 信

1981年11月11日于哈尔滨船舶工程学院

目 录

绪言	1
第一章 参数式稳定电路	6
§ 1-1 参数式稳压电路	7
一、硅稳压管稳压电路	7
二、并联型晶体管参数式稳压电路	16
三、串联型晶体管参数式稳压电路	18
§ 1-2 参数式稳流电路	22
一、场效应晶体管稳流电路	23
二、晶体管稳流电路	27
三、低功耗稳流电路	38
§ 1-3 参数式稳压稳流电路	40
一、一般形式的稳压稳流电路	40
二、稳压稳流环接电路	44
三、互补射极跟随器高精度稳压稳流电路	47
四、低功耗参数式稳压稳流电路	50
第二章 反馈式稳压电路	52
§ 2-1 反馈式稳压电路	52
一、组成	52
二、并联式稳压电路	54
三、串联式稳压电路	58
四、温度漂移与放大器电路	62
§ 2-2 一般电流放大器	64
一、电流放大器类型	65
二、组合管电流放大器	66
三、互补电流放大器	68
四、互补射极跟随器电流放大器	69
五、电压电流混合控制	71
§ 2-3 稳压电路在轻载时, I_{CBO} 所引起的输出电压上	

升问题	73
§ 2-4 低功耗电流放大器	78
一、低功耗电流放大	78
二、变形组合管电流放大器	80
三、变形互补电流放大器	82
四、同射(极电位)电流放大器	83
§ 2-5 低功耗稳压电路	84
一、变形组合管稳压电路	84
二、变形互补电流放大稳压电路	93
三、同射电流放大稳压电路	96
§ 2-6 调整管的设计及并联运用	100
一、调整管设计	100
二、调整管的并联运用	106
§ 2-7 反馈放大器	109
一、一般电压反馈放大器	109
二、两级电压放大器	113
三、单级高增益放大器	119
四、集成运算放大器	131
§ 2-8 复合式稳压电路	143
一、扰动补偿原理(不变性原理)	143
二、稳压电路的扰动补偿原理	145
三、电压补偿	149
四、电流补偿	157
§ 2-9 一般保护电路	160
一、保护问题	160
二、安全工作区	161
三、过载短路保护	166
四、电流限制型保护	167
五、电流截止型保护	174
六、过压保护	179
§ 2-10 过载和短路的自身保护稳压电路	183
一、电流限制型保护的稳压电路	183
二、电流截止型保护的稳压电路	187
三、启动电路	192
四、实例	198

§ 2-11 反馈式稳压电路的特殊问题	201
一、高电压输出的稳压电路	201
二、稳压稳流电路的反馈控制	205
三、输出电压宽范围可调的稳压电路	207
四、稳压电路的施受流问题	209
五、远距离调节	211
六、高精度稳压电源	213
七、主从控制电源	218
八、稳压电源的并联运行及其实现不停电的供电	220
第三章 集成稳压电源	226
§ 3-1 集成稳压电源的基本电路	226
一、电流源	226
二、基准电压	234
三、差动放大器	242
四、保护电路	244
§ 3-2 5G14的电路及参数	244
一、5G14的电路图及电路参数	245
二、5G14电路原理	246
§ 3-3 5G14的应用	247
一、常用接法	247
二、扩大电流的方法	248
三、一般大电流低功耗接法	249
四、电流截止型保护	250
五、反馈限流型保护	252
§ 3-4 低功耗电流放大器在集成稳压电源中应用	253
一、引言	253
二、5G14接成低功耗稳压电源	254
§ 3-5 W723接成高效能低功耗稳压电源	258
一、引言	258
二、W723电路原理图	260
三、封装形式; 管脚排列	261
四、参数规范表	261
五、线路原理简介	262
六、W723接成低功耗稳压电源	263
七、W723接成高效能低功耗稳压电源	271

八、扰动补偿原理在低功耗稳压电源中的应用	277
§ 3-6 国产集成稳压电源主要系列	279
附录 部分主要半导体器件参数	284
参考文献	305

绪 言

电源是电子工程和设备的核心。有的设备需要电源供给能量，有的设备则需要它的服务质量。

由于半导体技术和电子技术的高速发展，电子计算机的元件由单片 TTL 的集成电路发展到大规模和超大规模集成电路，出现了与大容量小型计算机相同功能的单片机——微处理器，从而使计算机的体积和重量大大减小。这样一来，对电源的小型化、轻量化提出刻不容缓的要求，从而促进了开关稳压电源的发展。

另一方面，对电源服务质量方面的要求也提高了，特别是在通讯电子设备，计算机接口与外围设备（如 A-D 与 D-A 转换器，取样-保持电路）中，要求有较低的纹波和噪声的高精度直流稳压电源，还有，在一般的电子测量电路中，由于测量误差主要依赖于电源的精度，开关电源是难以胜任的。除此而外，在一些小容量分散供电系统中，采用开关电源是不经济、不方便的，所以也要采用串联线性稳压电源。人们普遍认为：在受开关稳压电源的冲击之下，线性稳压电源在小容量小信号的领域中的地位不但不会被削减，而且还有进一步发展的趋势。

欲设计一个不要辅助稳压电源，兼有过载短路保护的电流截止型保护、高精度、低输入输出压差的高效能低功耗线性晶体管稳压电路，单纯采用一般线性稳压电源惯用的电路结构形式和方法是无法实现的，所以，必须对稳压电路的工作

原理、结构形式进行较系统的研究，才能提出新的电路结构形式。这种高效能低功耗稳压电路，在减少一般线性稳压电源的输入输出压差大的弊病方面有了较好的改进。它保留线性稳压电源的一切优点，而且还具有多功能、高可靠性。尽管这样，它还是属于线性稳压电源范畴，特别适合在低电压输出的场合下工作。在高电压输出时，优点将被削弱。为便于分析一般线性稳压电源、开关稳压电源和高效能低功耗线性稳压电源的利弊，现列表如下：

表 1

性能 \ 方式	一般 线性稳压电源	高效能低功耗 线性稳压电源	开 关 稳压电源
容量范围	0.1—100W	0.1—200W	0.1瓦到数千瓦
输出电压适应范围	低压0—24V	低压0—24V	广
$(V_i - V_o)_{min}$	至少3—3.5V	1V	很小（相当于）
$(V_i - V_o)$ 变化 适应范围	小	中	大
效率	30—50%	50—85%	60—85%
体积	大	中	小
重量	重	中	轻
噪声	1mV以下	比1mV更小	50mV _(p-p) , 要滤波器
辐射干扰	没 有	没 有	设屏蔽罩
精度	高	非常高	受到纹波限制
调整时间	50μs	50μs	约1ms
过载短路保护	另设	兼有电流截止型保护	另设
稳定性	好	最好	较好
容量扩充能力	难	容易(可并联运用)	容易(可并联运用)

(续表 1)

性能 \ 方式	一般 线性稳压电源	高效能低功耗 线性稳压电源	开 关 稳 压 电 源
平均无故障时间 MTBF	约100,000小时	约200,000小时	50,000—100,000 小时
辅助稳压电源	要	不要	要
可维护性能	简单	更简单	复杂
成本	一般	低	大容量便宜
可靠性	高	更高	一般

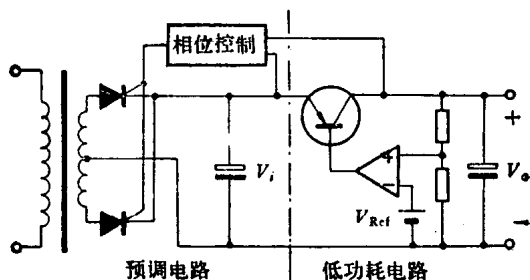
综上所述, 高效能低功耗晶体管稳压电路的性能, 适合于小容量、高性能、高可靠系统。它弥补了一般线性稳压电源之不足: 简化了电路结构; 减少了最小输入输出压差; 提高了效率; 扩大了输出容量; 增强了功能; 使可靠性大幅度增加, 这是研究这种电路目的之所在。所以, 在输出容量要求不大和体积、重量要求不严的情况下, 均可采用。

为进一步扩大高效能低功耗电路的输出容量, 提高输出电压适应范围以及输入输出电压变化适应范围, 可以采用带预调的电路。下面给出两种预调电路:

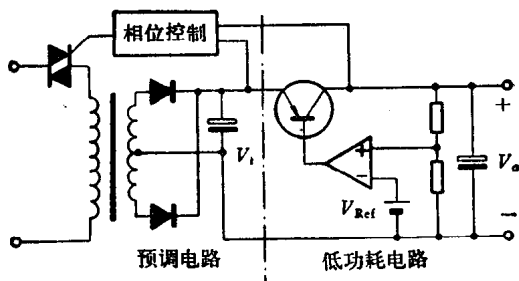
(1) 带预调的可控硅整流器 (SCR) 接在交流侧

图 1 给出的是带预调的可控硅整流器低功耗电路。可控硅可接在变压器初级, 亦可接在变压器次级。该电路可把最小输入输出压差 $(V_i - V_o)_{\min}$ 固定, 提高了效率, 减少了体积和重量, 可把输出电压提高。国外有的电源厂家把调整管上最小压差设定在 3 V, 最高电压为 10 V。在这里采用低功耗电路以后, 最小压差可以设定在 1—1.5 V (这是由末级功率晶体管的饱和压降 V_{CES} 值所决定的)。

若预调的可控硅接在变压器初级〔见图 1 (b)〕, 可以使



(a) 可控硅接变压器次级



(b) 双向可控硅接变压器初级

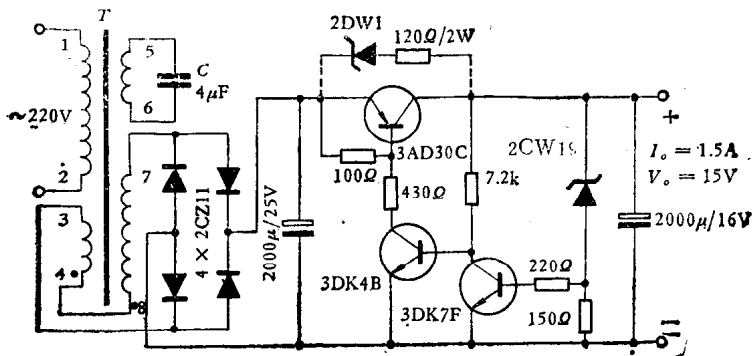
图1 带预调的可控硅整流器(SCR)低功耗电路

电源变压器体积减少到原来的一半。

(2) 采用稳压变压器做预调电路

图2给出了稳压变压器作为预调电路的低功耗电路。它是以恒定的输出电压供给低功耗电路的输入端，使后者的输入输出压差在最低程度。在串联调整管上电压为1.2—2.3 V时，此刻对应的效率可达92.5—98.7%（对应于输入交流电压从250 V变化到180 V）。

当然预调电路也可以是其它形式的。至于低功耗稳压电路的工作原理可见 § 2-5。



稳压变压器 T : 绕组 1-2 1180匝 导线 0.32mm
 3-4 10匝 0.87mm
 5-6 2900匝 0.24mm
 7-8 168匝 0.87mm

铁芯 E-22 80片 D310

图 2 带预调的稳压变压器的低功耗稳压电路

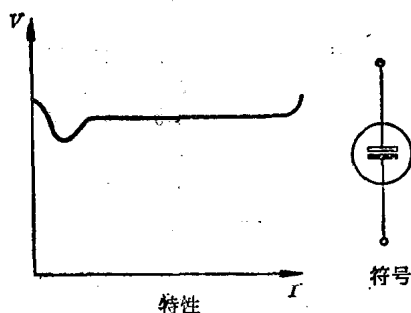
除上述两种预调电路外, 亦可采用无工频变压器的开关电源做预调电路。

第一章 参数式稳定电路

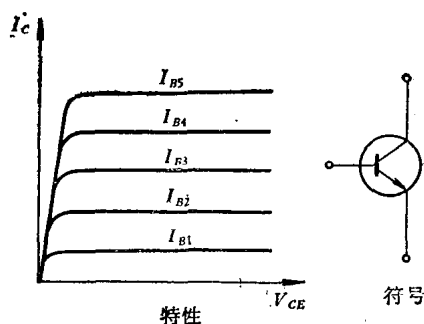
品种繁多的电子器件具有各式各样的特性曲线。利用某些器件的非线性特性曲线参数(如图1-1)实现的稳定电路,称为参数式稳定电路(或称恒定电路)。图(a)为充气稳压管的输出特性曲线。图(b)为大家比较熟习的晶体管输出特性曲线。图(a)

示出了在一定的工作电流范围内,输出电压基本上是不变的,呈稳压特性。有很小的输出电阻。在这范围外,它的电阻就变得大得多了。

图(b)示出了在一定的 V_{CE} 范围内和基极电流固定的条件下,输出电流 I_C 基本上变化不大,输出电阻很大,呈稳流特性。其它部分电阻就变得很小了。因此,把充气稳压管称稳压器件。把晶体管称稳流器件。诚然,二极管和硅稳压管也是非线性



(a) 充气稳压管



(b) 晶体管

图 1-1

器件。

本章除重点研究由非线性器件所构成的参数式稳压电路外，还将阐述参数式稳流电路和参数式稳压稳流电路。

§ 1-1 参数式稳压电路

一、硅稳压管稳压电路

1. 硅稳压管

硅稳压管是按照特殊工艺制造出来的面结合型半导体二极管。图 1-2 示出了硅稳压管的符号和它的伏安特性曲线。

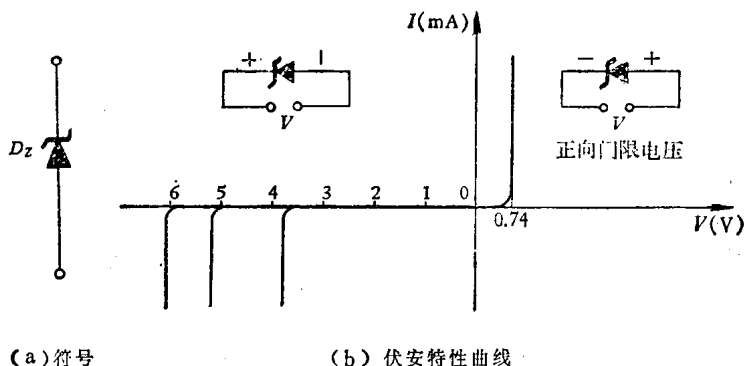


图1-2 硅稳压管的符号和伏安特性曲线

从硅稳压管的非线性伏安特性曲线可知：反向工作时，当电路施加的电压在它的雪崩电压以前，反向电流几乎等于零（比普通锗二极管的反向饱和电流要小得多），呈现很大的电阻。然而当电路施加的电压达到雪崩电压时，二极管产生可逆性击穿（即当外施电压切断后，P-N结阻挡层仍旧可恢复），呈现极小电阻，其电流呈跃增状态。虽然流过二极管的电流在很大范围内变化，但它两端的电压却变化极小，此

段即为稳压管的正常工作区域。硅稳压管正向工作时，外施电压达到门限电压后，虽然不是雪崩击穿，但同二极管正向特性一样，正向的动态电阻也是很小的，亦可利用。

硅稳压管很好地利用了击穿区电流急剧增加的这种特性。在这个区域内硅稳压管动态电阻

$$r_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z} \quad (1-1)$$

此值可在硅稳压管的产品目录或晶体管手册中查到（见附表4—10）。

图1-3给出硅稳压管标称电压和它的动态电阻 r_z 的关系

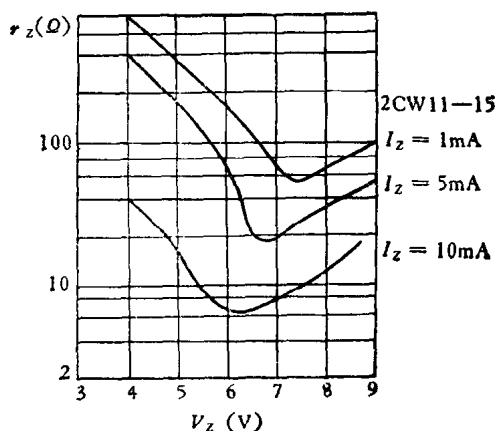


图1-3 动态电阻和硅稳压管标称电压的关系曲线

曲线。硅稳压管的动态电阻因其结的构造、大小及击穿电压而异。一般硅稳压管标称电压为6—7V时动态电阻最小。

由于硅稳压管具有结构简单、经济、体积小、稳压特性较好和温度系数较小等优点，所以，利用硅稳压管上述的非线性特性，在稳压电路(或稳流电路)中得到极广泛的应用。

被广泛用来代替原来的标准电池。

图1-4给出了硅稳压管的标称电压和温度系数的关系。曲线表明，一般来说硅稳压管正向具有负温度系数，反向则

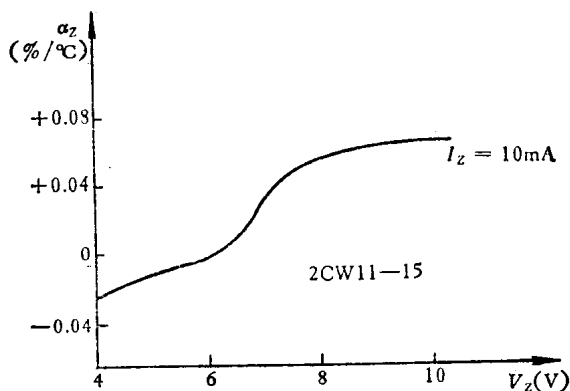


图1-4 硅稳压管标称电压和温度系数的关系曲线

以5—7V为界限。较高标称电压的硅稳压管具有正温度系数。接近于零温度系数是5—7V的硅稳压管。还有，对于同一低压硅稳压管，其温度系数由于通过它的电流大小不同而不同，或具有正负两种温度系数。而手册上给的值是指额定电流下的温度系数。因此，对较低电压的硅稳压管的电流值应予以充分注意（见附表5）。

国产的硅稳压管的稳压范围是1—200V。目前见到的硅稳压管大致可分四种系列：2CW系列的250mW基准稳压管（见附表5和6），2DW和2CW21系列的1W硅稳压管（见附表7和8）及2CW22系列的3W硅稳压管（见附表9）；硅高压稳压管（见附表10）和具有低温漂的温度补偿标准稳压管2DW7系列（见附表4）。后者在指定的电流和温度条件下，可获得 $\leq 5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的温度系数。一般的温度系数比较好