

稳压 电源

〔美〕 I. M. 戈特利布 著

科学出版社

稳压电源

〔美〕I. M. 戈特利布 著

叶靖国 马积勋 译

王宏麟 校

科学出版社

1993

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书是一本很有特色的介绍各类稳压电源的专著。全书以稳压、稳流、稳功率、不间断电源为中心，对这些电源的应用、静态和动态特性、各种电路的工作原理、电路中主要元器件的特性，以及集成线性和开关稳压电源作了系统的论述。本书的特点是：既有关于稳压电源的理论知识，又有具体的实践知识；内容全面，分析透彻。书中还为读者提供了许多有参考价值的实用电路。

本书可供从事电子技术的工程技术人员、大专院校师生和业余无线电爱好者学习、参考。

Irving M. Gottlieb

REGULATED POWER SUPPLIES

Third Edition

Howard W. Sams & Co., Inc., 1981

稳 压 电 源

〔美〕I. M. 戈特利布 著

叶靖国 马积勋 译

王宏麟 校

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100707

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1993年3月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1993年3月第一次印刷 印张：13 1/2

印数：1—3 300 字数：361 000

ISBN 7-03-003157-1/TN·132

定价：14.50元

译 者 的 话

由于直流电源常常被看作电子线路或系统中的辅助电路部分,它在理论上和实践中往往得不到足够的重视,有关这方面的论文、书籍也比较少,而本书则是作者在这一领域从事多年研究、设计和开发的基础上写出的全面、系统论述各种稳压电源的专著。书中从为什么要使用稳压电源入手,详细介绍了稳压、稳流、稳功率、不间断电源的各种应用;对表征静态、动态特性的各种参数及影响静态、动态特性的各种因素进行了详尽的分析;书中以主要篇幅介绍了实现交流、直流、电压、电流、功率稳定的各种具体电路,并给出了这些电路设计中常用的一些曲线、图表以及计算公式;书中还列举了许多实用电路。本书既可作为稳压电源理论的教材,也可作为电子工程技术人员的重要参考书。

本书共分七章。第一至第四章由马积勋翻译,第五至第七章由叶靖国翻译,全书由王宏麟审校。

在本书译校过程中,西安交通大学叶治政副教授给予了很多帮助和指导,在此特表深切的谢意。

由于译者水平有限,译文中不妥和错误之处在所难免,我们殷切希望广大读者给予批评指正。

译者

1991年7月于西安交通大学

序 言

在电子技术发展过程的大部分时间中，直流电源曾一直处于主机电路或系统的辅助地位。评价的标准充其量也不过是早期的，并经常是混淆不清的；一般都认为各直流电源之间差不多都一样。人们在直流电源上花费时间和精力本来动机是也许能从这种辅助设备的费用中再节省几个钱。幸运的是，这种哲学最终要像其它没有满足现实生活要求的想法和形式那样，以失败告终。

人们长期使用不稳压电源，其原因或许在于没有认识到给电路和设备供给能量的直流电源是电路和设备的重要部分。这是一个铁的事实——其它分类可以为我们提供这样或那样的方便，但是，它们不能据理说明直流电源与负载性能的密切关系。另外，对于不稳压电源在经济上的好处也常常提不出使人信服的理由。

既然，对直流电源的讨论很普遍，那么，为什么还要写这本书呢？作者在这方面从事了多年的研究、设计和开发工作，因此，这个问题的答案是很清楚的。尽管有许多论文涉及到放大器、振荡器、逻辑系统等，但收集与稳压电源有关的文献一直是一件困难的事。实际上，这类资料的缺乏已经使稳压电源的生产者与使用者之间的联系中断，这对双方都是不利的。

正因为如此，作者试图在《稳压电源》一书中讨论许多有关专题。书中涉及的各种论述对工程师、技术员都是很有用的，还可以使业余无线电爱好者和实验人员增长有益的见识，帮助维修人员和采购人员完成各自的本职工作。

《稳压电源》的第三版主要是想扩展一下以前所讲的材料，增加实用性，并及时地更新内容。这样的写作方法，实际上本身就反映了稳压电源发展的步伐。人们看到了集成电路组件不断发展，有些已专门用于调压器电路。同样，半导体功率器件在性能

上已经成熟，容易获得较大的功率容量、更高的效率和较高的开关速度。同时，无源元件越来越含有使它们对电源功能明显有用的特性。

推动技术进步的这些因素，若一个一个单独地来考虑，只不过是近几年来所预期的发展。但是，把这些因素集中起来，却有助于推动设备和性能的重大改革。新事物与经过实践考验的“标准部件”之间的相互促进，使得现在就有提供大量格外受欢迎的电路的可能性。新的设计工艺在简单系统中就能很好地抑制噪声，而在复杂系统中，可以提高系统的可靠性。作者对稳压电源在电视机和家用电子设备中的应用虽然原先就指出过，但现在看来，稳压电源的应用范围将扩大到全部的应用电子工程。所有应用场合——从手表到X射线机——都是可以通过使用稳压电源来改进性能的未来对象。

因此，希望第三版所增订和修改的内容，对改进各种各样产品性能将会非常有用。

I.M.戈特利布

目 录

第一章 为什么要使用稳压电源	1
正反两方面的分析.....	1
巨型蓄电池的特性.....	2
高保真度放大器性能的改善.....	3
稳压电源作为模拟电容器.....	8
理想稳压电源.....	9
稳压电源小结.....	10
稳流电源.....	10
稳流电源的其它应用.....	11
并联型稳流电源的独特应用.....	17
发光二极管光稳定性.....	18
光子发射二极管用的恒流源.....	19
动态负载.....	20
稳压和稳流电源.....	21
精密的功率稳定.....	23
稳压方法的其它应用.....	25
微处理机电源.....	30
高压稳压电源.....	31
不间断电源或系统 (UPS)	32
稳压电源的其它用途.....	34
第二章 稳压电源的静态特性	37
定义中的一个问题.....	37
调整率的基本概念.....	39

稳流电源的负载电流调整率	44
稳压电源的交流电源电压调整率	46
稳流电源的交流电源电压调整率	47
温度系数	48
电源和负载复合调整率	50
总复合调整率	52
稳定度	52
有关调整率的另外几种指标	53
保护技术	54
瞬态保护的特别考虑	59
过压保护专用集成电路	65
急剧短路技术在远距离负载中的应用	67
限流方式的分析	69
三端集成稳压器的保护方法	70
大功率晶体管的评价和选择	73
稳压电源的互相连接	76
散热的基本情况	85
热路计算实例	89
强迫风冷的效果	92
热辐射的效果	93
第三章 稳压电源的动态特性	95
动态输出阻抗	95
稳压电源的运行	96
从静态特性而得的动态特性	97
作为交流负反馈放大器的稳压器	98
关于输出电容的一些说明	102
稳压电源中的另一种反馈电路	102
跨导与稳压电路	103
电子管和晶体管电路的跨导	104

稳压电源的回顾	107
纹波	109
瞬态响应	112
恒流源的动态特性	114
定义调整速度(变化率)的两种方法	115
稳压电源的技术条件	117
电磁干扰和射频干扰	119
输出电容对电磁干扰的影响	132
负载与稳压器开关频率同步对消除噪声的作用	134
有关屏蔽的一些注意事项	135
铁氧体磁环对尖峰噪声的衰减	136
馈通式和插塞式滤波器	139
高压电源中的电噪声	141
第四章 实现稳压的方法	145
耗能型控制	145
铁磁共振恒压变压器	153
双极性稳压电源	155
并联型稳压器	157
结型场效应管在耗能型稳压器中的应用	160
开关型稳压电源	166
相位控制型开关稳压电源	167
直流开关稳压电源	170
有关逆变器和功率开关的一些评述	173
它激式逆变器	177
桥式逆变器	178
对称校准电路	180
三种基本的功率开关	184
参数稳压器	186
参量变压器的特性	189

射频电源	193
使用固体器件的射频高压电源	195
根据能带宽度原理扩展基准电压	197
无工频变压器开关稳压电源	200
脉宽调制	202
线性 and 开关组合型无工频变压器电源	206
数控电源	208
多路输出电源	215
短时不间断电源的保持时间	217
交流稳压	217
采用电子检测器的交流稳压器	222
永磁式交流发电机充电电流的调整	224
第五章 元器件	227
齐纳二极管	227
肖特基二极管	239
LM105正压稳压器	245
LM113能隙基准二极管	250
三端集成稳压器	251
巨型达林顿晶体管	262
功率MOS场效应晶体管	264
高额定值MOS场效应管	265
可关断硅可控整流器	274
热转移式功率晶体管	276
选择扼流圈和电感的一般见解	281
磁滞回线告诉了我们一些什么特性	284
磁偏置扼流圈和变压器	286
铁磁共振恒压变压器	290
滤波电容器	292
温差热泵	305

第六章 采用集成电路的线性稳压电源	307
使用集成运算放大器的稳压器.....	307
单运放稳压器.....	310
采用电流镜运放的稳压器.....	311
带电流扩展级的运放稳压器.....	313
具有附加特点的运放型稳压器.....	315
用集成电路和分立元件组成的高性能稳压电源.....	317
采用功率运放的稳压器.....	318
5A电压/电流稳定器	320
采用LM105集成电路的线性稳压器.....	321
723型稳压器	321
由MC1560/1561集成电路组成的三种实用稳压器.....	328
简易的 $\pm 15\text{V}$ 双路稳压电源.....	329
固定电压三端集成稳压器的一些典型应用.....	332
专门设计的电压可调三端稳压器.....	335
三端集成稳压器的通用性.....	339
采用功率MOS场效应管的蓄电池充电器.....	339
低压与/或小电流的电压和电流稳定器	342
1.2V, 200 μA 稳压电源.....	345
取自发光二极管的低电压.....	346
低电压的齐纳稳压器.....	346
取自晶体管反偏基极-发射极二极管的低电压	347
线性集成稳压器的其它应用.....	348
由单极性电源供电的双极性输出稳压电路.....	351
输出电压能独立调节的双极性稳压器.....	353
采用专用集成电路的汽车稳压器.....	354
集成稳压器的并联应用.....	358

第七章 用集成电路制作的开关型稳压器	360
开关稳压器用的集成电路	360
集成化开关型稳压器	362
输出滤波器电感和电容的选择	365
采用其它通用集成电路的开关	369
负压开关稳压器	372
开关式稳流器	373
叠加式开关稳压器	374
250W开关电源	378
100W反激型开关稳压器	385
5V, 200A无工频变压器开关电源	388
采用功率MOS场效应管的200kHz, 50W开关稳压器	399
500kHz反激式开关稳压电源	402
试验型开关电源	407

第一章 为什么要使用稳压电源

在过去的几十年里，许多电子设备和系统都由简单的不稳压直流电源供电。通常，在电子设备设计过程中，电源作为“辅助电路”，应尽量少花时间和金钱。一只变压器，一组整流元件，或许一只扼流圈，再加上一只或几只便宜的电解电容器构成了能满足大多数应用的、输出电压平稳的直流电源。同时应该承认，这种电源具有比较满意的性能。况且，很明显，稳压电源的结构比不稳压电源要复杂一些，当然，成本也相应高一些。那么，为什么不满足现状呢？的确，为什么还要使用稳压电源呢？

正反两方面的分析

对于为什么还要使用稳压电源这个问题，知道稳压电源真正优点的人，他会提出反问：“为什么不用呢？”然而，这样提问将出现僵局。为了避免出现僵局，让我们彻底分析稳压电源的好处。我们首先讨论最普通的稳压电源。在这种电源中，不管交流供电电压或负载所需电流如何变化，加到负载上的直流电压都能够自动维持基本恒定。可能会辩论说，这种性能并不需要，因为负载电路可以设计成允许外加电压在一定范围内变化。显然，这种论点是违背设计不应受电源电压影响这一逻辑的。虽然，两种观点都有道理，但是，稳压电源得到应用的最重要原因是它具有特殊的性质。虽然，这种特性并不是一目了然的，但稳压电源运用的合理性常常可以通过这一简单性质来证明——尽管如此，事实是电路性能的改善通常仅仅靠直流电源电压的稳定。即使遇到“调整”性能很差、有时完全不稳压的情况，我们也不应惊奇。稳压电源的重要特性是它的动态阻抗很低，也就是说，它对交流电流的阻抗近似于短路。这种不可思议的微妙属性只是因为注意力

过分集中于直流特性，对直流电源来说，看来这是很自然的。矛盾的是，通常理应把注意力集中在交流特性上，在最基本的稳压电源中，直流电压的静态稳定性能能满足大部分电路的工作要求，

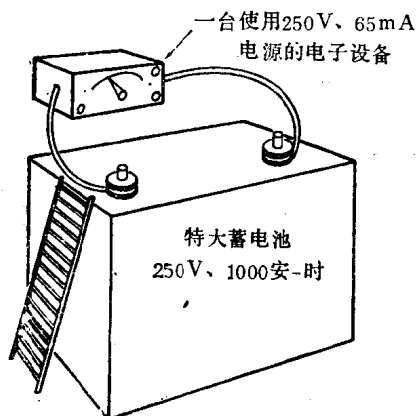


图 1-1 一台稳压电源可比作一只巨型蓄电池

即使在非常准确的静态调整率是重要的情况下，动态调整率的重要影响也常被忽视。因此，本书中静态和动态调整率设专章介绍。然而，首先研究稳压电源的某些方面是合适的。为此，不管其实用性如何，先研究一种不用电子稳压电源的装置，这一装置就是蓄电池——一种巨型蓄电池，这种特大型蓄电池如图1-1所示。

巨型蓄电池的特性

所谓巨型蓄电池，是指额定安-时值比电子设备所需的电源电流（时间间隔适当）大几百或几千倍的蓄电池。根据这个特点，我们可知，当用这种蓄电池给电子设备供电时，端电压的下降可以忽略，这是由于较大蓄电池的内阻很小。广义地讲，这种蓄电池具有很低的内阻抗，也就是说，在所讨论的交流频率范围内，与蓄电池串联的等效阻抗很小。既然如此，用巨型蓄电池模拟稳压电源是合适的，当然，它的稳压特性不是由自动调整作用产生的。但是，从负载来看，巨型蓄电池或稳压电源都能提供所需的稳定直流电压和较低的交流阻抗。稳压电源的优点在于它能模拟巨型蓄电池的静态和动态特性，而没有模拟蓄电池巨大的电流容量。现在，我们对巨型蓄电池的概念已加深了理解，就可以研究使用稳压电源会给电子设备性能带来的一些改善。

很明显，图1-2为更详细地研究稳压器提高电路和系统性能

的方法铺平了道路.如图 1-2(a)所示,稳压电源的内阻 R_0 比不稳压电源小得多,而且,也不可能像电源和放大器级间的公共阻抗那样使电路不稳定.从图 1-2(b)中,我们可以看出,稳压电源的“电子滤波”作用可以用大量值 LC 滤波器等效.图 1-2(c)说明了使用稳压电源后,使标准仪器的精度提高.

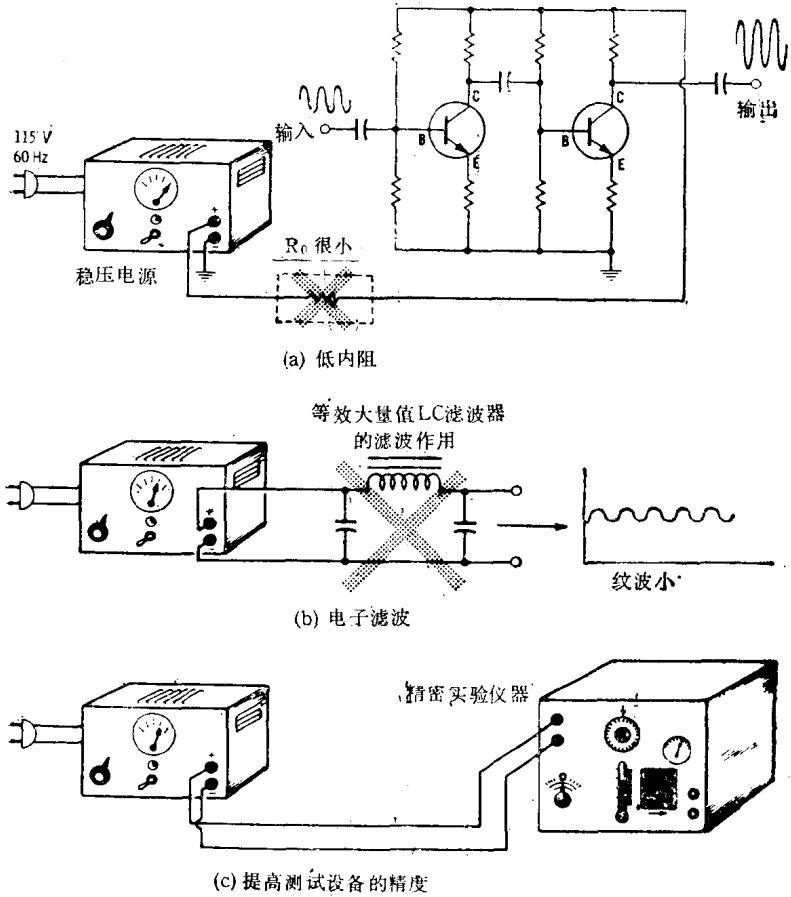
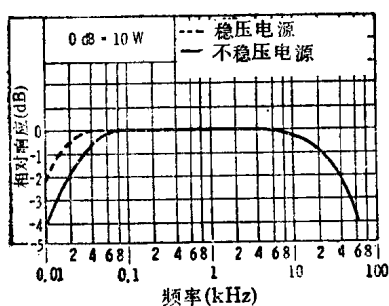


图 1-2 稳压电源的优点

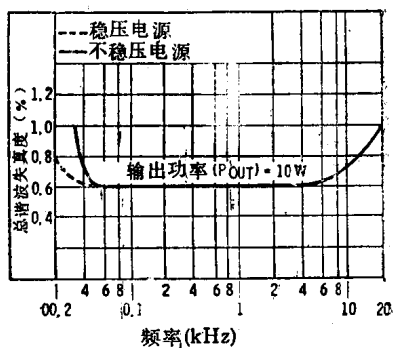
高保真度放大器性能的改善

高保真度放大器可作为说明稳压电源优点的一个很好例子,

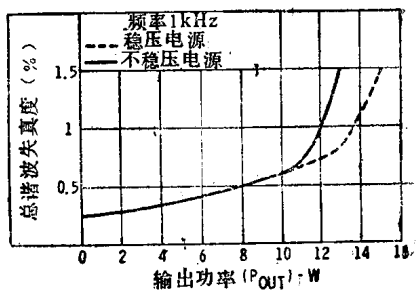
因为无失真地放大在各种各样仪器里是不可少的。图1-3中的三组曲线说明了用稳压电源取代不稳压电源后，音频放大系统性能改善。众所周知，在这种音频设备的研制中，主要是设计反馈网络、专用输出变压器，并制订更切合实际并优于竞争对手的技术条件。遗憾的是，偏见和经济上的假象使设计者不考虑一种最有价值的技术，就是使用稳压电源。



(a) 频率响应曲线



(b) 谐波失真-频率关系曲线



(c) 谐波失真-输出功率关系曲线

图 1-3 使用稳压和不稳压电源时的音频放大器特性

图1-3所示曲线表示了高保真度音频放大器性能参数值得考虑的扩展。这种扩展主要是由于采用了交流阻抗很小的稳压电源。无论如何，详细地研究这些改进措施总是有益的。让我们看一看，直流电源在音频电路的工作中是多么重要：

1. 虽然, 大多数高保真度放大器都采用推挽式输出电路, 但是, 在整个动态范围和频率范围内, 实际上不可能完全达到平衡。这样, 音频电流将流过电源。电源的交流阻抗将引起放大器失真、频率响应范围变窄, 并限制了输出功率。电源对“返回”的音频电流呈现的阻抗有电阻性和电抗性两个分量, 因此, 它将影响频率响应, 并能限制最大功率。而更坏的是, 在整个音频范围内, 电源阻抗是非线性的, 因此将增大音频失真。

要求电源阻抗为纯电阻或线性度非常高, 还不如尽量减小阻抗。阻抗小了, 电抗和非线性的影响也就相应地减小了。应当注意, 当电源阻抗的电阻分量比较小时, 放大器输出功率能够接近于真正的功率输出能力。

2. 放大器的驱动级和前置放大级经常采用单端电路, 而不是推挽电路。在这种单端电路中, 电源是音频电路的组成部分。输入和输出回路内的音频电流全部流过电源。这样, 电源更容易影响放大器的频率响应、整流纹波和非线性失真。

3. 由于电源阻抗的上述影响, 我们必须考虑两级或多级放大器的音频电流同时流过同一电源时的最坏情况。音频电流同时流过电源公共阻抗, 将构成反馈。这种寄生反馈可能是负反馈, 也可能是正反馈。在整个频率范围内, 由于寄生反馈的强度和符号将发生变化, 所以失真增大、频率响应变差。正反馈使放大器产生低频“汽船声”, 或者因超音频振荡使放大器偏压变化而产生严重失真。如果电源的输出阻抗很小, 上述现象可以减弱。

图1-4说明了一个有趣的现象, 由于电源阻抗的影响, 两级放大器变成了一个多谐振荡器。用未稳电源给高增益多级放大器供电时, 这种现象是经常发生的。图1-4(a) 是标准的埃克斯-乔丹(Eccles-Jordan)触发器电路; 图1-4(b)是图(a)电路稍加变形后的电路; 图1-4(c)是一般的阻容耦合放大器; 加上电源阻抗后, 就可得如图1-4(d)所示的电路。应当注意, 图1-4(d)与图1-4(b)相似, 图中的 C_0 表示电源的等效输出电容, R_0 表示电源输出电阻。不稳压电源常常用输出电容抑制寄生振荡。由于温