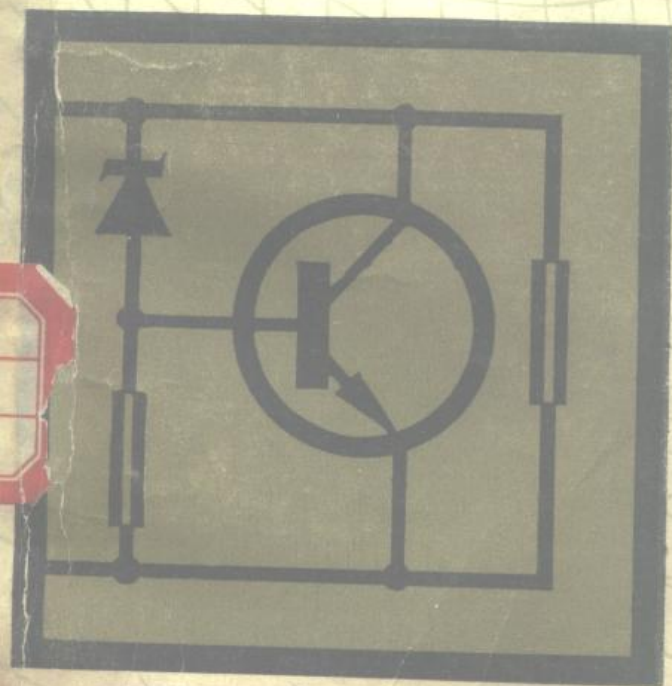


无线电爱好者丛书

稳 定 电 源

吴润宇 轩荫华
王培刚 范树勋 关绍明 编著



73.868

272

3

无线电爱好者丛书

稳 定 电 源

吴润宇 轩荫华 王培刚 编著
范树勋 关绍明

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了稳定电源的知识。从最基本的稳压和稳流概念开始谈起,接着依次介绍了整流和滤波、稳定电源中的一些元件、直流稳压电路、开关稳压器、交流稳压器以及稳流器等。重点介绍直流晶体管稳压技术;对开关稳压技术进行了原理性的介绍。同时也较全面地介绍了当前通用的各种交流稳压装置的原理,并给出了几种实用的制作数据。另外,概略地介绍了稳流电源的原理和设计。最后在附录中提供了一些国内产品稳定电源的部分技术资料,供广大无线电爱好者制作参考。

无线电爱好者丛书

稳 定 电 源

吴润宇 轩荫华 王培刚 范树勋 关绍明 编著

责任编辑:叶培大 责任编辑:孙中臣

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/32 1984年2月第一版

印张: 8 28/32 页数: 142 1984年2月天津第一次印刷

字数: 201千字 插页: 2 印数: 1—42,500册

统一书号: 15045 · 总2790—无6260

定价: 0.78元



中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主 编：孟昭英

副主编：杜连耀

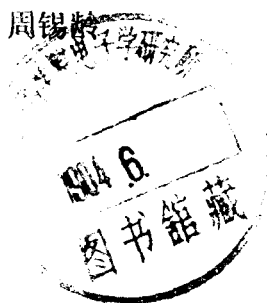
编 委：毕德显 吴朔平 叶培大 任 朗

吴鸿适 童志鹏 陶 栻 顾德仁

王守觉 甘本祓 张恩虬 何国伟

周炯繁 邱绪环 陈芳允 秦诒纯

王玉珠 周锡龄



1111473

丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版，其余两套是《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版，《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术。使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识。为实现我国四个现代化作出贡献。

前 言

稳定电源是一门比较成熟的技术。所谓成熟，一方面是说对稳定电源已进行过系统的理论分析，另一方面，元件和电路的设计日臻完善。目前，稳定电源已形成了一个独立的技术领域。电源稳定技术在科研、国防、工业、生活等各方面都得到越来越广泛的应用。同时，由于各方面对电源的要求不断提高，所以电源稳定技术还在不断发展。为了适应应用和发展的形势需要，电源稳定技术应进一步普及。本书的编写目的，就是为了普及稳定电源的知识。

本书的对象，主要是求知欲望很强的广大青年和无线电爱好者。所以，本书取材广泛，尽可能写得深入浅出，通俗易懂，内容上着重稳定的原理，并给出一些实用的电路和一些常用的计算公式或数据。读者通过阅读本书，不但能掌握原理，而且能根据本书给出的电路进行仿制，甚至可以掌握一定的工程设计能力。

本书内容涉及面较广，提供了一些新技术新元件的线索，同时也指出了某些技术上的关键问题。在目前看来，这些内容的专业性还比较强。纳入这部分内容的目的，是希望本书也能对从事电源工作的专业人员起一定的参考作用。

限于我们的水平，书中仍难免有疏漏之处，敬希读者指正。

作者

目 录

前言

第一章 稳压稳流概述.....	1
第一节 电源稳定问题的提出.....	1
第二节 造成稳压器输出电压不稳定的因素.....	3
第三节 稳压器的质量指标.....	4
第四节 关于稳流参数的基本看法.....	13
第五节 稳压器的分类.....	13
第二章 整流和滤波.....	16
第一节 整流概述.....	16
第二节 半导体二极管.....	18
第三节 整流电路.....	20
第四节 平滑滤波器.....	32
第五节 小功率整流变压器.....	42
第三章 稳定电源中的一些元件.....	49
第一节 晶体管.....	49
第二节 电子管.....	50
第三节 半导体稳压管.....	51
第四节 充气稳压管.....	54
第五节 恒流管.....	56
第六节 电池.....	58
第七节 饱和二极管.....	60
第八节 小灯泡.....	62
第九节 可控硅(S C R).....	62

第十节	单结晶体管 (双基极二极管)	65
第十一节	其它元件	66
第四章	直流稳压电路	69
第一节	硅稳压管稳压电路	70
第二节	串联稳压原理	77
第三节	有放大环节的串联稳压电路	85
第四节	集电极输出型稳压电路	91
第五节	提高稳压电路指标的途径	95
第六节	稳压电源的保护	130
第七节	半导体集成稳压器	136
第八节	并联稳压器	143
第九节	几种实用电源	145
第十节	直流稳压电源的安装调整和测试	156
第十一节	电子管稳压电路	164
第五章	开关稳压器	170
第一节	概述	170
第二节	开关稳压电源的分类	172
第三节	可控整流型开关稳压电路	174
第四节	斩波型开关稳压器	190
第五节	直流变换器	196
第六章	交流稳压器	204
第一节	铁磁稳压器	204
第二节	电子交流稳压器	216
第三节	调整交流电压的其它方法	227
第四节	交流稳压器的讨论	230
第五节	交流调压技术在直流稳压器中的应用	234
第七章	稳流器	236

第一节	稳流的基本概念	236
第二节	参数稳流器	238
第三节	串联稳流电路	245
第四节	稳流电源特性测量	260
第五节	稳流源的性能改进	262
第六节	稳流电路应用举例	267
尾语		272
附录		273

第一章 稳压稳流概述

第一节 电源稳定问题的提出

所有用电设备对供电电压都有一定的要求。例如，有的电视机要求电网供电电压220伏的变化不超过 $\pm 10\%$ ，即从198伏到242伏之间，如果超出这个范围，电视机可能工作不正常，比如不能保证同步以得出稳定的图像，甚至可能因电压过高烧毁电视机。至于一些电子仪器，对供电电压保持稳定不变的要求可能比电视机等生活用电设备更严格。笼统地说，对电压稳定性的要求就是要求电压稳定不变。

用电设备，即负载一经确定之后，对供电的要求也就确定，而供电电源电压稳定性由供电系统本身确定。当供电电源电压的稳定性不能满足负载要求时，当然可以在负载前面加一个调压器，将负载上的电压调到符合要求。但人工调整不但麻烦，有时甚至是不可能的，因而设计出电压自动调整器，即稳压器。其功能就是自动保持稳压器的输出电压（负载电压）稳定。所谓“稳定”，是说变化小到一定程度，并不是绝对不变。

稳压器可以用一个方框图来表示（图1·1·1）。稳压器的



图 1·1·1 稳压器的应用

1111475

• • •

输入电压 U_i 变化或负载电阻 R_L 变化时,稳压器的输出电压 U_o 都应保持稳定。这个概念适用于直流稳压,也适用于交流稳压;输入电压 U_i 可以是直流电压;也可以是交流电压;输出电压 U_o 可以是直流电压,也可以是交流电压。

当然,稳压器本身对于供电电压 U_i 的变化范围也有要求,只是这个要求一般都比较低。例如WYQ-802型交流稳压器,要求供电电压在220伏 $\pm 20\%$ 的范围内变化,即最高为264伏,最低不低于176伏。否则,稳压器也不能够正常工作,即不能保证输出稳定的电压。超出这个范围,厂家就不保证设备能达到规定的性能指标,甚至有损坏的可能。

对于稳压的考虑,可以追溯到上一世纪。爱迪生研制电灯时,就曾考虑过稳压器。但那时并没有形成完整的稳压技术体系。到二十世纪初,出现了早期的稳压技术专业文献。限于当时技术水平,那时考虑的只是铁磁交流稳压器。电子管问世不久,就用于稳压技术中,即设计出了电子管直流稳压器。在四十年代后期,电子器件与铁磁饱和元件结合起来,构成电子控制的磁饱和稳压器,即电子交流稳压器。这种稳压器,至今还大量地生产和应用。在五十年代,工程技术人员对稳压问题进行了系统的总结,形成一门独立的应用技术。五十年代出现的半导体器件(晶体管),很快被用于稳压技术。六十年代后期,科技工作者对稳定电源技术做了一次新的总结,得出较系统的晶体管稳定电源的知识。与此同时,电源技术的另一分支得到更快的发展,这就是开关式电源、功率变换器和可控硅电源。当然,电源技术的发展离不开电子元器件,如电子管、晶体管、可控硅以及变压器和电容器等。元器件的发展给今后电源技术的发展提供了条件,而电源使用对象的变化和发展则对电源提出越来越高的要求。现在,稳定电源技术的应用日益广

泛，日常用的收音机、电视机、录像机等生活用电子设备都涉及到稳定电源。

除稳压器外，稳定电源还包括电流稳定器，即稳流器。稳流器的功能是稳定负载电流。因为某些用电设备要求通过的电流保持稳定。本书将在最后一章介绍直流电流的稳定。稳流器的研究比稳压器晚一些，其应用也正在发展中。但是，就工作原理来说，稳流器和稳压器很相似。可以说，稳流是稳定某一个与负载电流成比例的电压。如果这个电压稳定，与之成比例的电流自然就稳定了。最简单的办法是让负载电流通过一个可以认为不变的电阻，在电阻上产生电压降，这个电压就与负载电流成比例。设法使这个电压稳定，负载电流也就稳定了。不过，具体制作中，稳流器比稳压器还要复杂，问题还要多一些。

至此，又可以将稳流器的应用归纳为一个类似于图 1·1·1 的方框图（图 1·1·2）。 R_L 表示负载， R_S 是一个认为不变的电阻，负载电流 I_0 通过 R_S ，形成压降 U_{RS} ，设法使 U_{RS} 稳定， I_0 就稳定了。

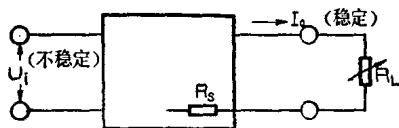


图 1·1·2 稳流器的应用

本章有关稳压概念的介绍，在很大程度上可推及稳流概念。

第二节 造成稳压器输出电压不稳定的因素

稳压器的输出电压不是绝对不变，只是变化很小，那么产

生这些变化的原因有哪些呢？从稳压原理的角度看，主要有两个原因使稳压器的输出电压变化。一是输入电压的变化必然引起输出电压变化；另一是输出电流的变化（由负载电阻的变化形成的）必然引起输出电压的变化。

一般地说，稳压电路的设计首先要考虑这两个因素，并针对这两个因素设计稳压器中放大器的放大量等。也可以说，稳压器稳定电压的能力首先就要看由于输入电压和输出电流变化而引起的输出电压的变化程度，就是说，输入电压和输出电流变化引起稳压器的输出电压变化只能做到足够小，不可能做到输出电压一点也不变。其道理将在第四章介绍。

当稳压器的输入电压和输出电流都人为地保持一定时，输出电压是不是一点也不变呢？上述两个因素只是从稳压电路的原理来考虑，而且认为元件参数都是固定值。电路元件的参数值（电阻值或电压值等）改变时，稳压器的输出电压也会改变。如一些通用直流稳压器，就是利用改变元件参数值的办法来改变输出电压值。可想而知，电路元件本身的性能如不稳定，即参数有变化，当然也会引起输出电压变化。在高精度的稳压器中，必须考虑到这种变化，这一点在第四章将专门介绍。本章下节列举的稳压器指标中，温度系数和漂移都是来源于这种影响。

第三节 稳压器的质量指标

稳压器的性能好不好，即输出电压的稳定程度，需要定量地去描述。而描述稳压器性能的物理量常叫稳压器的指标。本节将介绍稳压器常用的一些指标。

一、稳压系数

设稳压器的输入电压 U_i 变化 ΔU_i 时，引起输出电压 U_o 变化 ΔU_{ov} （脚注 V 表示由于输入电压变化而引起 U_o 的变化）， ΔU_i 和它所引起的 ΔU_{ov} 之间的关系可以用系数 K_V 表示：

$$\Delta U_{ov} = K_V \Delta U_i \quad \text{或} \quad K_V = \frac{\Delta U_{ov}}{\Delta U_i} \quad (1.3.1)$$

这个 K_V 称为绝对稳压系数或输入调整因数，它表示输入电压的变化 ΔU_i 引起多大的输出电压变化。所以 K_V 值越小越好。 K_V 越小，说明同一 ΔU_i 引起的 ΔU_{ov} 越小，也就是输出电压越稳定。

这种表示方法在工程设计中要用到。但在评论和比较稳压器的性能优劣、水平高低时， K_V 不一定能说明问题。例如两台稳压电源，输入电压都是12伏，甲电源输出电压为6000伏，乙电源输出电压为6伏，输入电压 U_i 都变化了 $\Delta U_i = 1.2$ 伏，甲电源的输出电压引起了6伏的变化，乙电源的输出电压引起了0.6伏的变化；可以计算，甲电源的稳压系数 $K_{V甲} = \frac{6}{1.2} = 5$ ，

乙电源的稳压系数 $K_{V乙} = \frac{0.6}{1.2} = 0.5$ 。 $K_{V甲}$ 比 $K_{V乙}$ 大，是不是乙电源的稳定性比甲电源好呢？显然不是，甲电源输出6000伏变化了6伏，相当于变化了 $\frac{6}{6000} = 0.1\%$ ，还是足够稳定的；

乙电源输出6伏变化了0.6伏，相当于变化 $\frac{0.6}{6} = 10\%$ ，几乎谈不上稳定。在稳定电源中，十分重视输出电压的相对变化 $\frac{\Delta U_{ov}}{U_o}$ ，相对变化的概念十分重要，至于绝对稳压系数 K_V ，

只是在计算过程中使用。根据这个需要，规定相对稳压系数。

假定稳压器的输入电压 U_i 变化了 ΔU_i ，相对变化就是 $\frac{\Delta U_i}{U_i}$ ，引起输出电压 U_o 变化了 ΔU_{ov} ，相对变化就是 $\frac{\Delta U_{ov}}{U_o}$ ，

$\frac{\Delta U_i}{U_i}$ 和 $\frac{\Delta U_{ov}}{U_o}$ 间的关系可以用相对稳压系数 S_v 表示：

$$\frac{\Delta U_{ov}}{U_o} = S_v \frac{\Delta U_i}{U_i} \text{ 或 } S_v = \frac{\Delta U_{ov}/U_o}{\Delta U_i/U_i} \quad (1.3.2)$$

S_v 表示输入电压的相对变化引起多大的输出电压的相对变化。一般情况下，如不特别注明，说稳压系数通指 S_v ，不是 K_v 。

二、描述输入电压影响的其它形式

描述输入电压影响的指标可以用很多形式规定，下面只举几例。

1. 电网特性

负载电流保持为额定范围的任何值，输入电压在规定范围内变化所引起的输出电压最大变化绝对值称为稳压器的电网特性。

2. 电压稳定度

负载电流保持为额定范围内的任何值，输入电压在规定范围内变化所引起的输出电压最大相对变化 $\frac{\Delta U_{ov}}{U_o}$ （百分值）称为稳压器的电压稳定度。

使用者最关心的是在他的使用条件下，稳压器输出电压的最大变化。在讨论中还要注意考察对象。如果讨论直流稳压电路， U_i 可以从整流滤波输出算起；如果讨论整个稳压器， U_i 也可以从电网电压开始考虑。

三、内阻

各种电源，包括稳压器，当负载电阻改变时，负载电流、即电源的输出电流就要改变，这个变化必将引起输出电压的变化。输出电压 U_0 和输出电流 I_0 间的关系称为电源的输出特性，又称为负载特性，常用 U_0-I_0 关系曲线表示。

考察各种电源的负载特性曲线发现，大多数电源都是输出电流增加引起输出电压降低。根据这一现象可以将电源设想为一个电压不变的理想电源 E 和电阻 R_0 串联，当输出电流 I_0 增加 ΔI_0 时，理想电源的电压 E 不变，串联电阻上的电压降增加了 $\Delta I_0 R_0$ ，输出电压就降低了 $\Delta I_0 R_0$ 。也就是说，这个输出电压的变化是由于输出电流的变化 ΔI_0 在 R_0 形成压降变化的结果。这个

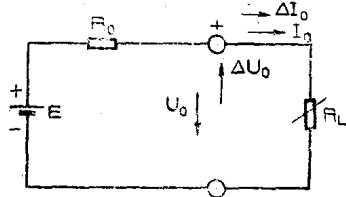


图 1.3.1 稳压器的内阻

设想可以用图 1.3.1 的电路来说明。根据欧姆定律，输出电压 $U_0 = E - I_0 R_0$ ，当 I_0 增加 ΔI_0 时， U_0 就从 $E - I_0 R_0$ 变化到 $E - (I_0 + \Delta I_0) R_0$ ，由于 ΔI_0 引起的输出电压变化就是 $\Delta U_{0l} = [E - I_0 R_0] - [E - (I_0 + \Delta I_0) R_0] = -R_0 \Delta I_0$ ，即

$$\Delta U_{0l} = -R_0 \Delta I_0 \text{ 或 } R_0 = -\frac{\Delta U_{0l}}{\Delta I_0} \quad (1.3.3)$$

式中的负号表示 ΔI_0 和 ΔU_{0l} 符号相反，一正一负，或者说， U_0 和 I_0 的关系是： I_0 增加， U_0 降低； I_0 减小， U_0 升高。 R_0 通常是正值。

R_0 称为电源的输出电阻、动态内阻，或简称内阻。对于稳压电源，内阻越小越好，因为内阻越小，说明同一输出电流变化引起的输出电压变化越小，即输出电压越稳定。但内阻一般

不能是0，只能做到足够小。详见第四章。

要注意：内阻 R_0 不能用欧姆表测量，也不允许用短路法测量（开路电压除以短路电流），因为稳压器不允许短路。

图1·3·1中用电池表示一个理想的（绝对不变的）直流电压源 E 。它的等效电路从原理上讲也适用于交流稳压器。但交流稳压器的输出阻抗（用 Z_0 表示，不用 R_0 ）中有电抗成份，问题更复杂，常用其它形式的指标讨论这一性能。

四、描述负载对输出电压影响的其它指标形式

产品稳压器的使用说明书中，有时给出在允许使用的范围内，最大的内阻 R_0 是多少（工作点不同， R_0 也不完全一样）。但更多的是直接给出输出电流 I_0 在允许使用的全部范围内变化所引起输出电压 U_0 的最大变化 ΔU_{01} 或最大相对变化 $\frac{\Delta U_{01}}{U_0}$ ，称为负载稳定度、负载调整率或电流调整率。例如某稳压器空载到满载的负载调整率是0.5%，就是说，该电源的负载从空载变到满载时，所引起的输出电压最大相对变化 $\frac{\Delta U_{01}}{U_0}$ 是0.5%。

可以这样理解：负载调整率是给出了全部范围内工作电流的平均内阻。显然，最大内阻比平均内阻更大一些。所以，稳压器的生产厂家常给出负载调整率，而给出内阻指标形式的较少。

五、温度漂移（即温漂）和温度系数

环境温度的变化影响元件的参数，从而引起稳压器输出电压变化，称为温度漂移。常用温度系数表示温漂的大小。温度每变化1℃引起输出电压值的变化 ΔU_{0T} 称为绝对温度系数，单位是伏/℃或毫伏/℃。温度每变化1℃引起的输出电压相对