

# 直流稳定电源

[日] 大塚 巖 著

科学出版社

## 内 容 简 介

本书介绍了直流稳定电源的基本原理、稳定电源所用元器件的性能、稳定电源的设计方法、整流电路、各种稳定方式、保护电路、电源的调整及性能测试方法，还介绍了电源用集成电路及提高精度的技术。各章列举了一些设计实例和具体电路，有助于读者在实践中参考。

本书可供设计、制造和使用直流稳定电源的工人和技术人员阅读，也可供高等院校及中专的有关专业的师生参考。

大塚 巖

直流安定化電源回路

日刊工業新聞社, 1971

## 直 流 稳 定 电 源

〔日〕大塚 巖 著

王玉珊 等 译

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1979年3月第一版 开本：787×1092 1/32

1979年3月第一次印刷 印张：9 1/2

印数：0001—81,940 字数：212,000

统一书号：15031·217

本社书号：1338·15-7

定价：0.76 元

## 译 者 的 话

随着社会主义建设事业的蓬勃发展, 电子技术在国民经济各个部门正在得到越来越广泛的应用. 几乎所有电子仪器和设备, 全都离不开直流稳定电源, 而且对电源性能的要求也越来越高. 为了使设计和使用稳定电源的有关人员更好地掌握稳定电源的工作原理、稳定方式、电路设计以及性能测试等, 我们翻译了这本书.

大塚 巖著《直流稳定电源》一书侧重于电源电路的实际设计和计算, 原书中的性能测试写得较简单, 对近年来发展起来的集成稳压电源也未涉及, 故我们在翻译时, 删去原书中的性能测试一章, 另从清水和男著《稳定电源电路的设计》中选译了“稳压电源的调整及性能测试”和“电源使用的集成电路及其应用”二章, 此外, 又从岡村迪夫著《电源电路》一书中选译了“提高电源精度的措施”一章, 以补该书之不足.

参加本书翻译的还有张绍周、俞淑莺、李乃珍、张中等同志. 本书主要章节曾经余庆华同志校阅. 在翻译过程中还得到北京崇文电子仪器厂以及兄弟单位许多同志的热情支持与鼓励, 谨在此一并表示感谢. 原书中的一些错误已尽力作了改正, 由于我们的水平所限, 译文一定存在不少缺点和错误, 切望读者不吝指正.

一九七八年六月

# 目 录

第一章	直流稳定电源电路概述 .....	1
1.1	稳定的必要性 .....	1
1.2	稳定性的表示方法 .....	2
1.3	直流稳定电源性能的表示方法 .....	4
1.4	直流稳定电源的种类及其特征 .....	6
1.5	稳定方式 .....	7
1.5.1	并联调整方式 .....	7
1.5.2	串联调整方式 .....	8
1.5.3	特殊稳定方式 .....	9
1.6	保护电路 .....	9
第二章	电气元器件 .....	12
2.1	真空管 .....	12
2.1.1	误差放大器用真空管 .....	13
2.1.2	低压串联调整管 .....	13
2.1.3	高压调整管 .....	15
2.2	晶体管 .....	16
2.2.1	晶体管最大额定值 .....	16
2.2.2	晶体管等效电路 .....	19
2.2.3	串联调整用晶体管 .....	21
2.2.4	误差放大用晶体管 .....	23
2.2.5	场效应晶体管 .....	23
2.2.6	单结晶体管 .....	25
2.2.7	集成电路 (IC) .....	26
2.3	稳压放电管 .....	27
2.3.1	辉光稳压放电管 .....	28

2.3.2	电晕放电管	31
2.3.3	氖管	32
2.4	稳压二极管	32
2.5	电压基准放电管及电压基准二极管	35
2.5.1	电压基准管	35
2.5.2	电压基准二极管	36
2.6	整流元件	37
2.7	可控整流元件	39
2.8	电阻	40
2.8.1	炭膜电阻	41
2.8.2	金属膜电阻	42
2.8.3	线绕电阻	44
2.9	电容	44
2.10	电池	45
2.10.1	标准电池	45
2.10.2	水银电池	47
2.11	变压器	47
2.12	散热片及印刷电路板	48
<b>第三章</b>	<b>直流稳定电源的设计步骤</b>	<b>52</b>
3.1	电气参数的确定	52
3.2	稳定方式及电路图的确定	54
3.3	电路参数的确定及元器件的选择	55
3.4	元器件配置, 机械设计	56
<b>第四章</b>	<b>整流电路</b>	<b>58</b>
4.1	整流电路的方式	58
4.2	电感输入滤波整流电路	61
4.2.1	电感输入滤波整流电路的电压和电流的关系	61
4.2.2	扼流圈的电感	67
4.2.3	纹波电压	68
4.2.4	设计实例	70

4.3	电容输入滤波整流电路	71
4.3.1	设计实例	75
4.4	$n$ 倍压整流电路	77
4.4.1	科克罗夫特-沃尔顿电路的输出电压和纹波电压	78
4.5	LC 及 RC 低通滤波器	79
<b>第五章 并联调整型稳压电路</b>		<b>82</b>
5.1	采用稳压放电管稳压	82
5.2	采用稳压二极管稳压	88
5.3	采用真空管的并联稳压电路	89
5.3.1	S 形稳压电路	89
5.4	采用晶体管的并联稳压电路	91
5.5	设计实例	92
5.6	实例	98
5.6.1	500~2000 伏稳压电源	98
5.6.2	600~2200 伏稳压电源	100
5.6.3	1~5 千伏稳压电源	101
<b>第六章 电子管串联调整型稳压电路</b>		<b>104</b>
6.1	基本电路	104
6.1.1	稳压系数及其他	104
6.1.2	电子管-晶体管混合电路	110
6.2	串联调整型变形电路	111
6.2.1	负阻型	111
6.2.2	电感耦合型	113
6.3	误差放大器	114
6.4	输出电压的可变范围	116
6.5	设计实例	118
6.5.1	250 伏, 200 毫安超稳压电源	119
6.5.2	100~500 伏, 50~100 毫安稳压电源	123
6.5.3	0~500 伏, 200 毫安稳压电源	125

6.5.4	1~5 千伏, 5 毫安稳压电源	127
6.5.5	3 千伏, 20 毫安稳压电源	129
6.5.6	-10~-50 千伏, 10 毫安电感耦合式稳压电源	131
6.6	实例	133
6.6.1	500~3000 伏, 5 毫安稳压电源	133
6.6.2	0~30 千伏(0.58 伏档)稳压电源	134
<b>第七章 晶体管串联调整型稳压电路</b>		<b>138</b>
7.1	基本电路	138
7.1.1	射极输出型稳压电路	138
7.1.2	集电极输出型稳压电路	140
7.2	误差放大器	142
7.3	变形电路	144
7.4	设计实例	150
7.4.1	12 伏, 1 安射极输出型稳压电源	150
7.5	实例	155
7.5.1	6 伏, 5 安集电极输出型稳压电源	155
7.5.2	±12 伏, 100 毫安稳压电源	156
7.5.3	24 伏, 1 安稳压电源	157
7.5.4	0~35 伏, 5 安稳压电源	159
7.5.5	0~50 伏, 50 安稳压电源	159
7.5.6	90 伏, 100 毫安稳压电源	162
<b>第八章 振荡调整型等稳压电路</b>		<b>163</b>
8.1	振荡调整型稳压电路	163
8.2	电容反馈型稳压电路	164
8.3	稳流型稳压电路	165
8.4	设计实例	165
8.4.1	10 千伏超稳定稳压电源	165
8.4.2	500~1500 伏稳流型稳压电源	166
8.5	实例	169
8.5.1	0.5~5 千伏, 10 毫安振荡调整型稳压电源	169

第九章	采用可控整流元件的稳压电路	172
9.1	电路型式	172
9.2	实例	175
9.2.1	0~36 伏, 25 安稳压电源	175
9.2.2	350 伏, 450 毫安稳压电源	176
第十章	晶体管直流变换式稳压电路	178
10.1	直流变换器	178
10.2	间歇振荡型直流变换器	179
10.2.1	工作原理	179
10.2.2	重复周期与输出电压	181
10.3	多谐振荡式直流变换器	183
10.3.1	工作原理	183
10.3.2	变换器的启动和晶体管的过电压保护	184
10.3.3	关于晶体管	187
10.3.4	变压器的设计	188
10.4	他激式直流变换器	193
10.5	直流变换器输出电压的稳定方法	194
10.6	设计实例	196
10.6.1	-0.8 千伏~-1.2 千伏, 3 毫安稳压电源	196
10.7	实例	200
10.7.1	0.5~1.5 千伏, 2 毫安稳压电源	200
10.7.2	1.1 千伏, 50 微安高压电源	200
10.7.3	-2.6~-3 千伏, 3 毫安稳压电源	204
第十一章	保护电路	205
11.1	电流限制型保护电路	205
11.1.1	采用二极管的电路	205
11.1.2	采用晶体管的电路	206
11.2	电流截止型保护电路	206
11.2.1	采用晶体管的电路	206
11.2.2	采用单结晶体管的电路	209



11.2.3	采用可控硅整流器的电路 .....	210
<b>第十二章</b>	<b>稳流电路 .....</b>	<b>211</b>
12.1	稳流电源的种类 .....	211
12.2	实例 .....	214
12.2.1	10安, 40伏电磁铁用稳流电源 .....	214
12.2.2	超导线圈用的25安稳流电源 .....	216
12.2.3	空心电磁铁用的100安, 140伏稳流电源 .....	218
12.2.4	$10^{-11}$ 安稳流电源 .....	219
<b>第十三章</b>	<b>提高电源精度的措施 .....</b>	<b>221</b>
13.1	基准电压的改进 .....	221
13.1.1	齐纳二极管的组合连接 .....	221
13.1.2	温度补偿型齐纳二极管 .....	222
13.1.3	多级连接和预稳器 .....	223
13.1.4	阻抗补偿电路 .....	225
13.1.5	齐纳二极管的噪声 .....	226
13.2	误差放大器及其电路 .....	227
13.2.1	取样电阻和输出稳定度 .....	227
13.2.2	电阻特性 .....	228
13.2.3	温度特性的改善 .....	229
13.3	稳压电源和噪音 .....	232
13.3.1	噪音的观测 .....	232
13.3.2	内部产生的噪音 .....	233
13.3.3	由元件配置与布线产生的噪音 .....	234
13.3.4	外来噪音的消除 .....	236
<b>第十四章</b>	<b>电源使用的集成电路及其应用 .....</b>	<b>239</b>
14.1	输出固定式集成电路 .....	240
14.2	输出可调式集成电路 .....	250
14.3	在断续调整方式中的应用 .....	265
14.4	采用集成运算放大器的稳压电源 .....	268
<b>第十五章</b>	<b>稳压电源的调整及性能测试 .....</b>	<b>270</b>

15.1	制作要点 .....	270
15.2	调整要点 .....	271
15.3	调整实例 .....	274
15.4	性能测试 .....	276
15.4.1	稳压系数和稳定度的测定 .....	277
15.4.2	负载变动改善系数及输出电阻的测定 .....	278
15.4.3	输出电压温度系数的测定 .....	280
15.4.4	纹波电压的测定 .....	281
15.4.5	输出阻抗的测定 .....	281
15.4.6	过渡特性的测定 .....	282
15.4.7	漂移的测定 .....	283
附录	.....	284

# 第一章 直流稳定电源电路概述

## 1.1 稳定的必要性

诸如各种测量仪表、收音机、电视机等由真空管、晶体管或集成电路组装成的各种电子设备，均需使用直流电源。在这些直流电源中，就收音机和电视机而言，其终端输出是音量的大小，或图象的幅度和明暗程度，并不需要十分精确，对电源电压的稳定性并无特殊要求。但是，即使是用指示器指针表示某一数值时，对电源往往要求一定的精确度。

当然，既使对真空管或晶体管提供了恒定电压，并不一定能保证电子装置的性能十分稳定，但至少可以减小甚至消除因电压变动而引起的特性变化。

图 1.1 给出了光电倍增管的放大系数与外加电压之间的关系。这种光电倍增管常用于测定底片黑度或者将具有某种信息的微弱光转变成电信号然后加以放大。由图 1.1 可知，当外加电压变化时，其放大系数急剧变化。为了精确地测知原来的信息，其放大系数必须保持恒定，这时就要求外加电压尽可能地稳定。

象图 1.1 所示放大系数随外加电压急剧变化的这种例子实际上并不太多，但是就一般的电子管或晶体管而言，当电压变动时其特性就会改变，因而整个仪器的性能自然也要变化。因此，使用稳压电源就显得十分必要。

除了仪器仪表之外，例如在同时校准数台电压表和电流表，产生恒定的磁场或电场，以及使光源的光通量保持恒定

时,最好也能使用稳压或稳流电源。

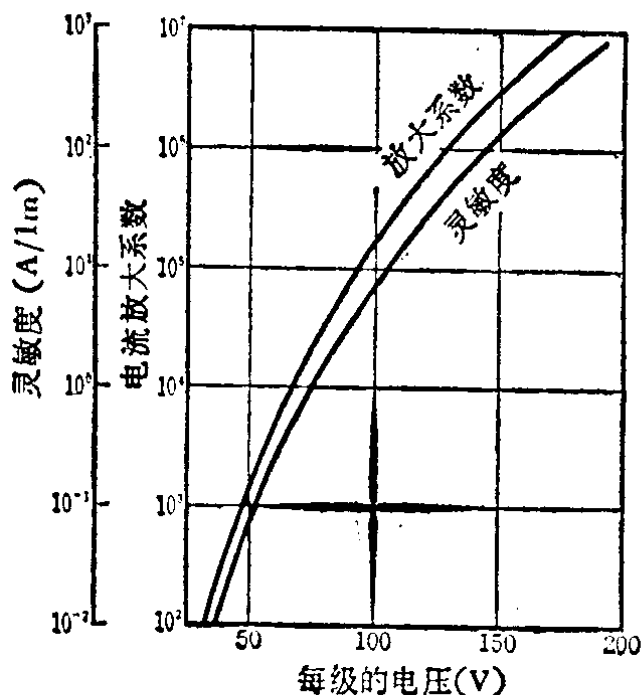


图 1.1 光电倍增管的外加电压-放大系数,灵敏度曲线

综上所述,在大多数电子仪器仪表中都需要使用稳定的直流电源。随着科学事业的发展,对电源稳定性的要求也越来越高。因而直流稳定电源电路也就越发显得重要。

## 1.2 稳定性的表示方法

环境温度、负载大小、输入电压(或电动势)以及开机后的经过时间等因素,都会使电池、整流电源或直流变换器等直流电源的输出电压发生变化。设温度为  $T$ , 负载电流为  $I$ , 输入电压为  $E_i$ , 开机后经过时间为  $t$ , 则输出电压  $E_o$  可用下式表示:

$$E_o(V) = f(T, I, E_i, t) \quad (1.1)$$

当使用整流电源(也就是将交流加以整流、滤波)时,频率也要作为变量代入上式。

输出电压随上述各种因素变化,所以,通常用下列指标表

示电路或装置的稳定性。

### (1) 对电网电压变动输出的稳定性

对电网电压变动输出的稳定性可用  $(\partial E_o / \partial E_i)_{T, I, t = \text{常数}}$  表示。实际上输出稳定性很少用输入电压  $E_i$  发生微小变动时输出电压的变化来表示，通常是用输入电压变动  $100 \pm 10$  伏时，输出电压的变化(%)，即  $\pm X\% / 10$  伏(某一负载时)来表示。

这种对电网电压变动的稳定性因负载不同而变化，所以，如上所述，必须注明是满负载还是半负载。此外，电网电压变动会引起负载电流的变化，同时也会引起电路或装置的温升随时间变化。因此，电网电压变动时输出电压的瞬时值和经过较短一段时间以后的数值一般是不相同的(参看第十五章)。

由此可见，仅就对电网电压变动的稳定性来看，稳定性的表示方法也是比较复杂的。

对电网电压变动的稳定性这一指标适用于交流整流式电源，而在直流变换器等场合不常使用。

### (2) 对环境温度的稳定性

当所用的电源或装置的环境温度(室温)发生变化时，元件特性即发生变化，因而输出电压也就发生变化。通常以中心温度处于室温( $20^\circ\text{C}$ )附近时， $(\partial E_o / \partial T)_{E_i, I, t = \text{常数}}$  的数值表示对环境温度的稳定性。当中心温度很低或很高时，该数值显然不同。通常多以  $\pm X\% / ^\circ\text{C}$  表示。

这一数值随输入电压、负载等而变化，因此，如后文所述，需要在额定电压及满负载条件下测定。

### (3) 对负载变动的稳定性

当负载变化时，由于稳定电路或装置的内阻，使得输出电压发生变化。在式(1.1)中，以  $(\partial E_o / \partial I)_{E_i, T, t = \text{常数}}$  表示直流内

阻。实际上，电源对负载变动的稳定性只用此式所示的内阻表示还不够，因为负载变化引起的电路各部分的温升并不相同，从而所表现出来的变化是很复杂的。

负载短时间发生变化，或负载刚刚发生变化后的输出电压的变化，可用内阻来解释，但是，负载变化后，经过足够长的时间以后输出电压的变化，就必须用“内阻+温度变化”来解释了。

#### (4) 对开机后经过时间的稳定性

以  $(\partial E/\partial t)_{E, T, I = \text{常数}}$  表示对开机后经过时间的稳定性。无论哪一种型式的电源，其输出电压都不可能在接通开关后立即达到恒定，其后不再发生任何变化。只要在尽量短的时间内达到稳定就可以了。

表示这一性能的方法有下列几种：a) 用接通开关后输出电压达到恒定的时间表示；b) 用接通开关一小时后和九小时后数值之差的百分比表示；c) 用 24 小时后变化的百分比表示。

就使用时间超过 24 小时的长时间的稳定性而言，多数情况下环境温度已不再发生变化，究竟是哪种原因引起输出电压变化，有时不清楚，不过问题不太大。

### 1.3 直流稳定电源性能表示方法

在稳定电源中，最主要的指标是稳定性能，但仅用这一指标表示电源性能还不够。就整个电源而言，除稳定性能外，尚需用下列各项指标表示其性能。

- 1) 最大输出电压和电流；
- 2) 是稳压还是稳流，或是两用的；
- 3) 输出电压(电流)的调节范围及调节方法；

4) 纹波系数(%)或纹波值(伏);

5) 直流及交流输出阻抗;

6) 输入电压的容许范围;

7) 使用温度范围;

8) 响应速度;

9) 有无保护电路;

10) 功率,效率,指示仪表的精确度,尺寸及重量.

在实际设计和使用稳定电源时,最重要最基本的性能是第一项,即最大输出电压及电流.

第二项性能——是稳压还是稳流,或是两用的,在设计时也很重要.若是小功率电源,两用的较为方便,但通常仅用一种即可.

试验研究用的一类电源,其输出电压或电流的调节范围大多是从零到某一数值,并且要求连续可调.整机配套的电源,调节范围往往极小.

纹波大多不是正弦波,所以最好以伏为单位用峰-峰值表示纹波系数.

直流输出阻抗应尽量小.交流输出阻抗也要尽量小,以免引起振荡,因为在有些场合,会通过交流阻抗产生反馈.

第8项响应速度是指当输入电压或负载急剧变化时,电压或电流回到原来正常数值所需要的时间,称其为过渡特性可能更确切些.

在保证电源性能的前提下,输入电压的容许范围与电网的稳定度或电池(当为变换器时)的容量有关,同时,温度范围也限定了使用场所.因此,这两项指标也很重要.

同其他电子仪器一样,当涉及电源容量和使用目的时,其功率、效率、尺寸、指示仪表的精确度等也是重要性能之一,但一般可不作过多考虑.因难以具体描述,故此处从略.但通

常应当重视输出电压的再现性。

所谓再现性,通常是指当输出电压可调时,在旋钮的同一位置上,应当产生相同的输出电压。为此,电源开关和调节旋钮必须分开。

## 1.4 直流稳定电源的种类及其特征

根据工作原理,直流稳定电源大致可分为如下几类:

1) 交流整流式稳定电源 电路如图 1.2 所示,系将单相或三相交流电变压至适当电压,经整流滤波后获得直流电源,再通过稳定电路得到稳定电压或稳定电流。这种电路适用于 1 千瓦以下的各种电源。

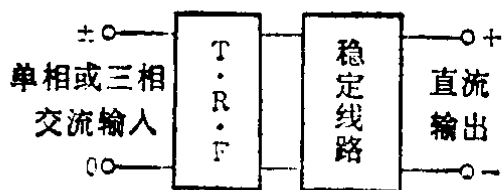


图1.2 交流整流式稳定电源(T.R.F. 变压、整流、滤波电路)

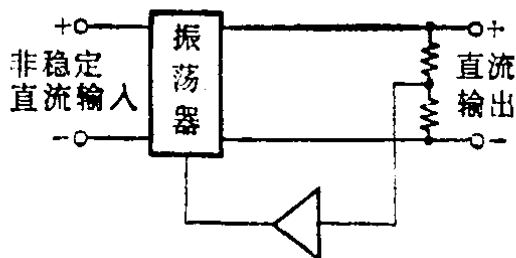


图1.3 变换器式稳定电源

2) 直流变换器式稳定电源 系用蓄电池或非稳定直流电源使交流变换器、高频振荡器或锯齿波发生器工作,经变压器升压,再经整流滤波后变为直流,通过控制振荡强度或后述的串联调整方式使输出达到稳定(参看图 1.3)。

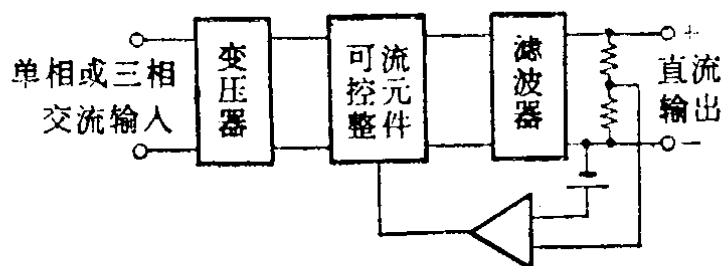
3) 交流可控整流元件式稳定电源 如图 1.4 所示,系用闸流管、三极放电管等可控整流元件将单相或三相交流电变为稳定的直流,尽管适合于大功率,但滤波困难,纹波较大。

从效率、纹波系数以及电路的复杂程度来看,上述三种方式各有其最适宜的规格和用途。

第一种方式效率较低,但其特点是采用这种电路,电源可



达到预期的稳定性能。电源的规格因采用的电路元件而不同。用电子管时,输出电压可达 50 千伏左右(此时输出电流



1.4 采用可控整流元件的稳定电源

为毫安级)。用晶体管时,输出电流可达几百安(参看图 3.1)。因此,这是一种应用最广泛的稳定方式。

第二种变换器方式适用于没有交流电源的地方,以及负载极小、组件化的小型稳定高压电源等场合,经常是把它组装在便携式仪器中。

## 1.5 稳定方式

利用交流-变压-整流-滤波方式,或变换器方式,即可得到非稳定直流电压。然后采用下述任何一种稳定电路即可使电源达到稳定。

### 1.5.1 并联调整方式

如图 1.5 所示,并联调整方式是将稳压放电管(或齐纳二极管)、电子管(或晶体管)等调整元件或调整电路并联在输出端,以达到稳定目的。这种方式的缺点是,要提高稳定系数(stabilized factor)  $S = dE_i/dE_o$ ,就必须增大串联电阻,并且输入电压要远高

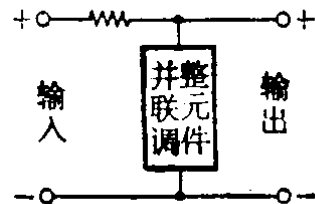


图1.5 并联调整方式