

# 稳定电源及其电路实例

薛学明 王志宏

中 国 铁 道 出 版 社

1990年·北京

## 内 容 简 介

本书介绍了各种稳定电源（直流、交流、开关、数字等电源及特种电源）的特点、组成原理、电路分析及适用范围，对每种电源都以较为典型或性能较好的实用电路为实例做了介绍，以便选用。本书的主要特点：系统地介绍了交流稳流电源；对线性电源，详尽、全面地分析了影响其稳定性和纹波的诸因素，提出了提高稳定性和减少纹波的切实可行的主要方法；精选了国内外电源的新成果，其中包括数字控制式和微型机控制式稳定电源；附有稳流电源的软件程序设计。

本书内容实用、便于自学。

读者对象：从事电气、电子线路及设计和使用电源的有关工程技术人员、教学人员、无线电爱好者。

## 稳定电源及其电路实例

薛学明 王吉宏

✱

中国铁道出版社出版、发行

（北京市东单三条14号）

责任编辑 魏京燕 封面设计 安宏

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

---

开本：787×1092毫米 1/32 印张：15.25 字数：373千

1990年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5200册

---

ISBN7-113-00580-2/TN·32 定价：7.20元

# 前 言

稳定电源在人们日常生活和科研工作中起着十分重要的作用。从家用电器中的电视机到大多数电子仪器（如示波器、信号源）以及计算机及其接口等，它们的内部都有稳定电源。尤其在无线电技术、电子测量、自动控制等部门，往往需要配备独立的稳定电源，以保证其工作的正常进行。

由于各方面对电源的要求不断提高，故本书本着为设计和使用电源的有关人员提供方便的目的，编写了这本“稳定电源及其电路实例”。

书中介绍了各种稳定电源，对各种电源的特点、组成原理、电路分析及适用范围均做了较详细的介绍，并对每种电源都介绍了较为典型或性能较好的实用电路。

书中系统地介绍了交流稳流电源，这可为从事电热、电焊设备，电子拖动，电加工工艺，充电设备，长距离输电，测量技术等方面的技术人员，提高产品的技术、经济效益提供参考。

书中详细分析了影响线性电源稳定性和纹波的诸因素，提出了提高稳定性和减少纹波的切实可行的主要方法，这为研制和改进电源的性能提供了依据。

书中精选了国内外电源的新成果，其中包括微型机在稳定电源中的应用。

书中结合电源的实际线路，对电子线路的一些基本概念和实际问题，作了深入浅出的阐述，便于自学。

本书承何金茂教授仔细审阅和修改、李汉臣工程师大力协助和关心，在此一并表示感谢。

本书是根据作者在教学和科研工作中积累的资料写成的。作者水平、学识有限，恳请读者、同行指正。

编 者  
于西安交通大学

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 概 述                 | 1  |
| 第一节 用电设备对电源的要求          | 1  |
| 第二节 稳定电源的主要指标           | 2  |
| 第三节 稳定电源的分类及其适用范围       | 5  |
| 第四节 国内外稳定电源的发展概况        | 6  |
| 第二章 直流线性稳压电源            | 9  |
| 第一节 并联调整式稳压电源           | 9  |
| 第二节 串联调整式稳压电源           | 13 |
| 第三节 集电极输出式稳压电源          | 23 |
| 第四节 集成线性稳压器             | 28 |
| 第三章 直流稳流电源              | 36 |
| 第一节 稳流电源的应用领域及其特性、指标    | 36 |
| 第二节 恒流管及其稳流电路           | 38 |
| 第三节 串联调整型稳流电源           | 40 |
| 第四节 一个稳流电源的实例           | 42 |
| 第四章 影响稳定度的诸因素分析         | 46 |
| 第一节 串联补偿型稳压电源输出电压的函数式   | 46 |
| 第二节 影响输出电压稳定度的诸因素       | 47 |
| 第三节 影响输出电压稳定度的诸因素分析     | 49 |
| 第四节 串联补偿型稳流电源输出电流的函数式   | 52 |
| 第五节 各因素对电流稳定度的影响        | 53 |
| 第五章 提高稳定度的措施及其实现方法      | 56 |
| 第一节 基准电压源               | 56 |
| 第二节 采样环节                | 59 |
| 第三节 运算放大器的选择            | 64 |
| 第六章 线性稳定电源的纹波分析及减小纹波的方法 | 68 |
| 第一节 电源的纹波及常用的滤波电路       | 68 |
| 第二节 电源系统的纹波分析           | 69 |
| 第三节 减小纹波的措施             | 72 |
| 第四节 调节系统的频率特性与自激振荡      | 74 |
| 第五节 调节系统的稳定             | 77 |
| 第六节 系统的稳定与交流增益的提高       | 79 |
| 第七章 开关稳压电源及其变压器的设计与元件选择 | 81 |
| 第一节 开关电源的工作原理           | 81 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第二节 各种变换器的类型及其特征              | 84  |
| 第三节 高频功率变压器的设计                | 91  |
| 第四节 开关功率管的选择和使用               | 97  |
| 第八章 微型机在稳定电源中的应用              | 105 |
| 第一节 TP801单板机用于1000A稳流电源的控制、调节 | 105 |
| 第二节 模入模出接口                    | 107 |
| 第三节 软件设计                      | 110 |
| 第四节 TP801单板机控制稳流电源的精度分析       | 115 |
| 第五节 微型机控制大功率稳流电源的调试           | 117 |
| 第九章 直流稳定电源的电路实例               | 119 |
| 第一节 低功耗高稳定电流放大电路实例            | 119 |
| 第二节 2000A、100V高稳定直流稳流电源       | 120 |
| 第三节 一个用于超导磁体励磁的500A稳流电源       | 123 |
| 第四节 超导线圈用的3200A稳流电源           | 124 |
| 第五节 30000A、10MW稳流电源           | 128 |
| 第六节 分流控制串调式稳压电源               | 129 |
| 第七节 数字集成电路在电源中的应用实例           | 130 |
| 第八节 集成稳压器应用电路实例               | 134 |
| 第十章 交流稳压电源                    | 143 |
| 第一节 稳压变压器                     | 143 |
| 第二节 磁放大器调节的电子交流稳压器            | 155 |
| 第三节 感应调压式交流稳压器                | 163 |
| 第十一章 交流稳流电源                   | 169 |
| 第一节 交流稳流电源的优点和适用领域            | 169 |
| 第二节 电压源变换为电流源的原理              | 172 |
| 第三节 单相 $L$ - $C$ 变换器          | 181 |
| 第四节 三相 $L$ - $C$ 变换器          | 193 |
| 第十二章 数字控制型和微型机控制型交流稳压电源       | 209 |
| 第一节 数字控制型交流稳压电源               | 209 |
| 第二节 微型机控制型交流稳压电源              | 214 |
| 第三节 微型机控制的晶闸管交流调压电源           | 216 |
| 第十三章 特种电源                     | 220 |
| 第一节 不停电电源                     | 220 |
| 第二节 脉冲电源                      | 225 |
| 第三节 直流日光灯逆变电源                 | 227 |
| 附录 稳流电源的软件设计程序                | 230 |
| 参考文献                          | 236 |

# 第一章 概 述

## 第一节 用电设备对电源的要求

### 一、电源稳定化的必要性

(一) 为了保证电气设备的正常工作或使其处于良好的工作状态

我们知道,任一电器、电子设备,在设计、制造时均规定了一工作电压,在此规定的电压下工作时,电器、电子设备在性能、效率、使用寿命等方面,才能达到原设计的较好的指标。而此规定的工作电压,通常称作此电器或电子设备的额定电压 $U_n$ 。

如果实际的电源电压高于或低于额定电压某一允许的百分数,例如 $\pm 10\% U_n$ 或 $\pm 15\% U_n$ ,则将使电器、电子设备处于不正常的工作状态。例如照明灯,电压低于某一值时则发光很暗,有的荧光灯甚至启动不了;电压过高时则灯丝易于烧断,寿命下降很多。

(二) 为了保证测量或试验结果的准确性

在一般的电气测量或试验中,常常由于电源电压或负载电流的波动、纹波、噪声等原因,使得测量或试验的结果引入了误差,因此,必须对相应的电源加以稳定。这里对稳定电源的要求,不仅包含对输出电压或输出电流稳定的要求,有的还包含对纹波、噪声、温漂、时漂等指标的要求。

(三) 为了保证仪器的测量精度

某些精密仪器,例如核磁共振谱仪,要求它的磁场线圈所产生的场强变化小于 $10^{-6}$ 。因此,对励磁电源的稳定度和纹波等,也提出了很高的要求。

以上只是列举了一些常用的例子。总之,随着电子技术和电子设备的发展,对稳定电源的需要和要求将有相应的增长和提高。

### 二、电源和用电设备的适配

电源的稳定化,对于用电设备总是有利的,但必须添置稳定电源。若要求稳定电源输出的功率大、性能好,则价格较贵。因此,对于功率大、对供电质量要求不高的大多数电力设备,则以改善电网的供电质量来解决。而稳定电源大多被用于电视机、电子计算机及其接口等电子设备和电子仪器中,也就是上述设备内就带有直流稳压电源。稳定电源已成为电子设备中的一个不可缺少的组成部分。如交流电网供电质量不符合要求,则除了直流稳定电源外,还必须再配置交流稳压电源。在直流稳压前,预先对交流电源电压稳定,这种稳定作用称为预稳,或称为前置稳定。

用电设备对电源的基本要求,就是电源的输出电压或输出电流要稳定。除此之外,不同的用电设备还有各自的特殊要求,大体有以下几项:

(一) 要求高稳定度、低纹波

这一要求大多属于精密仪器或要求试验结果、测量精度很高的场合。稳定度一般需在

$10^{-6} \sim 10^{-7}$ , 纹波在  $10^{-4} \sim 10^{-7}$  范围内。

### (二) 体积小、重量轻、效率高

对于携带式的仪器、设备,往往要人负肩扛,甚至要背着它登高,当然要求稳定电源的体积小,重量轻,耐震动。

由于大规模集成电路的发展,例如电子计算机及其接口电路等,这些设备的本身体积不大、重量轻,若电源较笨重就显得很不相称。

太阳能电源由硅光电池和稳压电路组成,鉴于硅光电池的价格较贵,由硅光电池所转换的电能应尽可能多地得到利用,亦即要求稳压电路的效率。

### (三) 高可靠性

例如无人值守的不停电电源,因无人监视电源的工作,况且不停电电源所供电的设备,通常是重要的设备,因此,要求电源工作的可靠性很高。

### (四) 价格的限制

例如电视机内的电源。电视机为家用电器,为了降低成本和价格,同样要求机内的电源不得超过几十元的成本。另外也要求电源的效率,全国电视机使用的台数多,对节约电能有一定的意义。

### (五) 严峻的环境条件

例如户外的电气设备,或用于多尘或具有腐蚀性气体的车间,或高温车间,或用于水下的探测仪器,或用于矿井的电源,必须具有防爆措施等。

### (六) 限制干扰、噪声的影响及波形、频率的变化

对于开关电源和晶闸管作为调整器件的电源,往往有射频干扰、电磁干扰、噪声等问题;对于交流稳定电源,则有波形失真和频率不稳定的问题。

### (七) 操作方便、保护完善

目前,无论是生产或试验研究,都向自动化方向发展,因此,要求电源按预定的程序向用电设备输出所需大小的电压、电流。另外,也常要求对电源进行遥控或集中控制。

保护电路有两种作用:一是对电源本身的保护,主要是当电源发生短路或过载时,保护调整器件不致遭受损坏;二是对负载的保护,当负载过载或发生故障时,必须立即开断电源或降压、降流。某些专用的电源,同时具备上述的两种保护作用。

### (八) 便于组装或整体化

中、小功率的电源,通常就组装在设备或仪器内,或和设备的专用测试仪器组装在一个柜子内。功率较大的稳定电源,也希望尽可能的把诸如调压器、整流变压器、滤波电抗、滤波电容器组、数控装置等组装成一个整体,不要散成几件,以便于使用和移动电源。功率很大的稳定电源,因为每个部件体积都大,不可能做到电源的整体化,因此需要用电源的各个地方,要通过敷设母线来解决。

从要求上来说,希望所有的稳定电源都能达到性能好、体积小、工作可靠、效率高、外形美观、结构坚固、使用方便、价格低廉等要求。但在实际的设计、制造中,一个稳定电源不可能满足所有的要求,只能侧重地使电源符合某些指标,以期和某一用电设备具体的要求相适配。

## 第二节 稳定电源的主要指标

如前所述,稳定电源大多是由电子仪器、电子控制设备等用电设备对电源提出的要求而

设置的。因此,稳定电源应满足用电设备对电源的要求。

这种对电源的要求可分成两类:一类是用电设备所需要的电压、电流,以及电压、电流所能调节的范围等;一类是对所需要的电压或电流的稳定程度提出要求,通常还要求纹波、噪声、温漂、时漂等不得大于某一规定值。

按照这些要求所生产的稳定电源,它能输出的电压、电流及其调节范围等,称为电源的特性指标;它的电压或电流稳定度,纹波等,则称为电源的质量指标。

电源的特性指标很简单,电源的质量指标则有一确定的含义,现对几个主要的质量指标分述于下。

### 一、电压或电流的稳定度

所谓稳定电源,顾名思义,无疑是电源的输出电压或电流应该稳定。稳定程度的高低,通常以输出电压或电流的变化量( $\Delta U_o$ 、 $\Delta I_o$ )相对于输出电压或电流( $U_o$ 、 $I_o$ )的比值来表示,也就是以输出电压或电流变化的相对值( $\frac{\Delta U_o}{U_o}$ 或 $\frac{\Delta I_o}{I_o}$ )来表示。电压变化的相对值,称为电压稳定度,以 $S_U$ 表示,为稳压电源的主要指标;电流变化的相对值,称为电流稳定度,以 $S_I$ 表示,为稳流电源的主要指标。

稳定度 $S_U$ 、 $S_I$ ,按上述定义可分别表示为

$$S_U = \pm \frac{\Delta U_o}{U_o} (K \times 10^{-n}/m) \quad (1-1)$$

$$S_I = \pm \frac{\Delta I_o}{I_o} (K \times 10^{-n}/m) \quad (1-2)$$

$S_U$ 、 $S_I$ 量值完整的表示如式(1-1)、(1-2)中的括号所示,亦即 $K \times 10^{-n}/m$ 。其中 $K$ 值,为稳定度数量级前的系数,可以是1~9中的任一值, $K$ 值小,稳定性好。 $n$ 值,是确定稳定度数量级的数值,是最主要的一个值。一般的稳定电源, $n$ 为3~4,若 $K=1$ ,则 $S_U$ 或 $S_I=10^{-3} \sim 10^{-4}$ ,也就是输出的变化不大于输出电压或电流值的千分之一到万分之一。 $S_U$ 或 $S_I$ 若小于 $10^{-5}$ ,则可列为高稳定度电源。 $m$ 值,表示稳定度所能持续的时间。例如对某用电设备进行一项试验,每次都在2h之内,则对电源只要求在2h内能保持所要求的稳定度就可以了。也有的用电设备,每次只需要通电几分钟。所以要明确某一稳定度所能持续的时间,这是因为如要求电源对所要求的稳定度持续的时间长,则电源制作的难度就相应地大一些,成本相应地也就高一些。

### 二、纹波

直流电源的输出中,通常是有交流纹波的。纹波往往给用电设备带来不利的影响,如在收音机中就会产生交流声;在超导磁体中,会使液氮蒸发量大大增加,甚至造成超导磁体工作不稳定等。因此,必须使稳定电源的输出纹波小于某一值。

纹波的大小有两种表示方法:一是输出纹波电压的有效值 $U_w$ 或纹波电流的有效值 $I_w$ 与输出直流电压 $U_o$ 或输出直流电流 $I_o$ 的比值,由此,纹波可表示为

$$\text{纹波} < K \times 10^{-n} \quad (1-3)$$

式中  $K$ ——1~9中的任一值,  $n$ 通常为3~7。

一般纹波电压或电流为非正弦形,此时应以真有效值与输出直流电压或电流值的比值来表示。真有效值,也就是基波和各次谐波的有效值平方之和的开方,可以表示为



$$U_{\sim} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} \quad (1-4)$$

另一种表示方法为：纹波电压的峰-峰值不大于某一规定值，可表示为

$$\text{纹波}_{P-P} < KV \text{ 或 } KmV, K\mu V \quad (1-5)$$

式中  $K$ ——某一小数或某一位或两位的整数。

### 三、低频噪声

在稳定电源的输出端，存在着从零点几赫到几赫的低频噪声。温漂和时漂对输出的影响，一般被包括在稳定度的指标中，而低频噪声由于随机性很大，被单独列为一项指标，可以表示为

$$\text{低频噪声 (或噪声)} < K \times 10^{-n} \text{ (几赫以下)} \quad (1-6)$$

式中  $K$ ——1~9中任一值， $n$ 通常为4~7。低频噪声通常被规定为4Hz以下的噪声。

### 四、电源输出端的内阻 (输出阻抗)

稳定电源的内阻 $R_o$ ，它表示为当输入电压、环境温度等均不变的条件下，输出电压变化相对于负载电流变化的比值，即

$$R_o = - \left. \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \right|_{(\Delta U_i = 0, \Delta T = 0, \dots)} \quad (1-7)$$

对于稳压电源，当负载电流变化时 ( $\Delta I_{sc}$ )，要求输出电压的变化 ( $\Delta U_o$ ) 小，因此，稳压电源的内阻一般在0.1Ω左右。

对于稳流电源，当输出电压变化时 ( $\Delta U_o$ )，要求负载电流的变化 ( $\Delta I_o$ ) 小，因此，稳流电源的内阻应是一较大的值，一般在 $10^4\Omega$ 以上。

电源内阻 $R_o$ 阻值的显著不同，由此，可以区分稳定电源是起稳流作用还是起稳压作用。

### 五、其它

#### (一) 效率、体积系数和重量系数

$$\text{效率} \eta = \frac{P_o (\text{电源的输出功率})}{P_i (\text{电源的输入功率})} \%$$

效率 $\eta$ 对于大容量、连续工作的电源来说，是个重要指标。

体积系数表示电源单位体积的输出功率数，以 $W/cm^3$ 表示；重量系数为单位重量的输出功率数，以 $W/kg$ 表示。

#### (二) 平均无故障时间MTBF

电源工作的可靠性，常以平均故障间隔时间MTBF (Mean Time Between Failure) 的长短来表示，MTBF的小时数愈长电源工作愈可靠，MTBF也被称为平均无故障工作时间。

#### (三) 射频干扰和电磁干扰

开关电源或晶闸管电源，工作时将产生高次谐波或高频振荡，通过电源线或通过辐射波干扰其他用电设备的工作，尤其会干扰通信设备或弱电设备的工作。因此，必须使这些干扰低于标准所规定的电平以下。

由射频电流引起的干扰称射频干扰RFI (Radio Frequency Interference)；高次

谐波通过电磁感应对邻近设备的干扰称为电磁干扰EMI (*Electro Magnetic Interference*)。

需要说明一下，归在“其它”这个标题下的指标并非属于次要指标，之所以将其归类于“其它”，是由于这些指标的定义比较简单直接而已。

电源还有一些指标，将在具体讨论各类电源时涉及。

### 第三节 稳定电源的分类及其适用范围

#### 一、稳定电源的分类

目前研制、生产的电源多种多样，对于品种繁多的稳定电源可以从不同的角度去分类，总的可按应用要求和工作原理的不同来分类。

##### (一) 按不同的应用要求分类

稳定电源的输出是直流，为直流稳定电源；输出是交流，为交流稳定电源。

电源的输出是稳定电压，为稳压电源；输出是稳定电流，为稳流电源。

输出电压有高、中、低之分，输出电流有大、中、弱的不同。电压高的达几十千伏，低的接近零伏；电流大的达几万安，弱的为几个微安。

输出量的稳定程度有高、一般之分，当稳定度优于 $10^{-5}$ 时称为高稳定度电源。

##### (二) 按稳定电路的工作原理分类

稳定电路中所采用的调整器件以及它所处的工作状态的不同，将影响电源的电路结构、工作机理以及电源的性能。调整器件大体有如下几种：

##### 1. 稳压管、恒流管

利用稳压管、恒流管可以构成简单的直流稳压、稳流电路。

##### 2. 晶体三极管

晶体三极管在稳定电路中用作功率管，起调整作用。三极管与负载有的是并联连接，有的是串联连接。三极管在起调整作用时，有的工作在线性区，有的工作在开关状态。调整器件工作在线性区的称线性电源，工作在开关状态的称为开关电源。线性电源和开关电源是直流稳定电源的两大类别。

##### 3. 晶闸管(可控硅)

采用晶闸管作为调整器件所构成的稳压电路，是一种开关式稳压电路，它的控制电路(触发电路与关断电路)和晶体三极管的控制电路不同，采用不同的控制电路，对电源的性能也有一些特殊的影响。

##### 4. 集成稳压电路

集成稳压电路与用分立元件所组成的稳定电路相比，又构成另一类别。

##### 5. 交流稳定电源

交流稳定电源除了稳压、稳流的要求外，有的还要求稳频、稳波形。

交流稳定电源目前应用较普遍的有以下几种：

铁磁谐振式稳压变压器；

磁放大器式电子交流稳压器；

感应式感应调压器；

晶闸管式交流稳压器;

补偿式交流稳压器;

电感-电容变换器式交流稳流电源。

## 二、各类稳定电源的特点及适用范围

各类稳定电源各有其特点,以适应不同的使用要求。

(一) 由稳压管和恒流管所构成的稳定电路很简单,但它们所稳定的电压或电流由管子本身的参数所确定,是一个固定值,而且只能输出毫安级的电流,因此它们常被作为小功率的专用电源。

稳压管构成的稳定电路,还被用来输出基准电压;恒流管构成的稳定电路,也可用作恒流负载。

(二) 三极管作为调整管的并联调整电路,因为效率很低,这种调整电路已很少被采用,目前通用的多是串联调整电路。

串调式的线性稳定电源可以达到高稳定、低纹波、低噪声等要求,但是和开关电源相比,开关电源有效率高、体积小、重量轻等优点。开关电源的缺点是纹波和噪声较大,稳定度达不到高的指标。按照上述特点,线性电源用于精密测量、精密仪器等高要求的场合,开关电源则用于为微型计算机、携带式仪器等要求电源体积小、重量轻的负载供电。

(三) 晶闸管的耐压可达几千伏,甚至上万伏,电流也可达几百安,因此常被用来制造大容量的稳压、稳流电源。当稳定电源的输出电压在100V以上,同时电流在2000A以上时,往往采用晶闸管作为调整器件。

(四) 集成稳压电路体积小,使用方便,质量指标一般,现已被广泛地应用于电子计算机等小型电子设备中,亦可用于高质量稳定电源的前置稳定。

(五) 稳压变压器结构简单、工作可靠,对外来干扰具有缓冲能力,200VA以下的稳压变压器已系列化,可用于彩色电视机等家用电器中。

磁放大器式交流稳压器,作为中等容量(几个千伏安)的稳压器,稳压精度较高,波形失真小,常用作电子仪器和小型电子设备的稳压电源。

感应式调压器和晶闸管式交流稳压器,其输出容量可达几十到几百千伏安,是一种大容量的稳压器。感应式调压器不仅能起稳压作用,而且可以在广阔的范围内调压,保证波形不失真,但体积较大;晶闸管式稳压器恰好与感应式调压器相反,可调范围小,波形失真,可是体积小。

补偿式交流稳压器可以防止电网噪声对负载的干扰,输出电压连续可调,工作可靠,可向计算机供电。

交流稳流电源可用在负载的阻抗是可变的而要求负载电流稳定的场合,例如可向电炉、电焊、接触加热等供电。

## 第四节 国内外稳定电源的发展概况

直流线性电源已是较成熟的电源。开关电源近十几年来获得了迅速的发展,是电源中最活跃的领域。交流稳压电源总体上变化不大,其中稳压变压器得到了一定的应用。交流稳流电源在国内几乎未被提及。

## 一、线性电源

在目前实际应用的稳定电源中,线性电源还是占有相当大的比例。随着电子器件和集成电路性能的提高,它仍然在继续发展。

### (一) 提高质量指标

线性电源的一个主要优点是可以达到较高的质量指标。目前,它的稳定度和纹波可达到 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ ,这是其它各种稳定电源不可能做到的。

### (二) 降低功耗

采用低功耗电路,可使线性电源的效率由原来的30%~40%提高60%以上。

### (三) 减小体积和重量

小容量的线性电源已经集成化,它可以外接功率管进行扩展。已有系列产品,以满足不同的要求。

### (四) 控制的数字化、程序化以及电源的微机控制

这是指对电源输出量的数字给定、数字调节,自动地按一定的程序调节输出量的大小。数控和程控技术,以及电源的微机控制,可对电源实行遥控和智能化。生产或试验、测试的自动化,也应把电源作为一个组成部分考虑在内。

## 二、开关电源

随着集成电路的普遍应用以及大规模集成电路的迅速发展,为数不少的电子仪器、电子设备、计算机都已小型化,要求电源的体积、重量与之相适应。开关电源和其它类型电源相比,有体积小、重量轻、效率高等优点,是一种小型化的电源。

### (一) 缩小体积的关键

开关电源从目前所能达到的体积系数、重量系数来看,尚不够小型化,需要继续缩小体积。缩小体积的关键在于提高开关频率、效率和集成化技术。例如把原先国际上通用的20kHz工作频率提高到200kHz,体积、重量就能减小30%~50%。小功率的开关电源已能达到750kHz。

### (二) 采用新型元件和新的电路结构

开关电源工作频率的提高和性能的改善,从来就取决于其元件性能的提高和电路结构的完善。

开关电源的关键元件之一是开关管。对开关管的要求是开关速度高、导通损耗小。近些年来为适应开关电源的要求,陆续研制、生产了快速功率开关管,其中有功率场效应管、双极MOS器件、改进型双极晶体管、非对称晶闸管、可关断晶闸管等。

新型电路结构的研究和改进成功,可以减小噪声和电磁干扰,降低开关损耗,提高工作可靠性,简化电路,减少元器件数量等。属于这种电路的有谐振型电路、 $C'uk$ 电路,以及相应的变换器改进电路等。

## 三、交流稳定电源

### (一) 稳压变压器

---

注:微机是指微处理机或微型计算机。下同。

单铁心铁磁谐振式稳压变压器，它同时具有变压和稳压双重功能，近些年来获得了一定的发展，作为中小型电源，在自动控制装置、电视机等电气设备中应用。

## （二）晶闸管交流电源

晶闸管交流电源，由于晶闸管技术的发展，可以制造出高耐压、大电流的管子，主电路和控制电路亦较成熟，电路简单，工作可靠，获得了广泛的应用。晶闸管交流电源不仅用于稳压、调压，还用来稳流、稳频，调压、稳频可达到较高的精度。

## （三）稳压稳频电源和不停电电源

随着计算机、精密控制等重要系统或部门的发展，要求交流电源高质量地供电或连续可靠地供电，由此发展了交流稳压稳频电源 CVCF (*Constant Voltage Constant Frequency*) 和不停电电源 UPS (*Uninterruptible Power Supply*)。有的用电设备既要求稳压稳频，又要求不停电。这种电源已作为一类电源得到发展和应用，但目前价格较高。

## （四）数字控制和微机控制

和其它各种稳定电源一样，数字控制和微机控制技术在交流稳定电源中也得到了广泛地应用，由此提高了交流电源的性能。例如可以达到提高效率、减轻重量、波形畸变小、稳定度高、无噪声等目的。

## （五）交流稳流电源的应用前景

交流稳流电源将比直流稳流电源获得更为广泛的应用。有不少负载要在稳定的电流下才能较好的发挥它的性能，延长使用寿命，而它们的阻抗却是变化的，无疑，对这种负载采用交流稳流电源最为合适。

## 第二章 直流线性稳压电源

由真空管、晶体管、集成组件、运算放大器等所组成的电路，以及由它们所组成的仪器、设备，为了保证其正常工作，需要有一个稳定的直流电源。

然而电网所供给的是交流电，将此交流电转换为电子设备所需的直流电，需要经过三个环节（见图 2—1）。

### （一）将交流电转换成直流电

通过整流电路交流电转换成脉动的直流电，经滤波电路滤波后，就得到纹波较小的直流电。

### （二）按负载的要求变换电压值

电子设备，例如我们都熟悉的半导体收音机、收录机、电视机等，它们所需要的电压有的为 1.5V、有的为 3.0V、4.5V、6V、9V、12V 等。而电网所供应的电压为 220V。如果将 220V 的交流电直接整流，所得的直流电压约为 200V。因此，为了使交流电经整流、滤波后所得的直流电压符合电子设备所需要的大小，需要在整流以前将交流电压降低（也有少数用电设备需要升压）。交流电压值的变更可以采用变压器，用于整流电路中的变压器，称为整流变压器。

### （三）稳定直流电压

经整流、滤波后的直流电压，当交流电源电压波动时，它也跟着波动。交流电源电压当负荷大时，因输电线路上的压降和输电变压器的压降增大，所以负载端的交流电压下降；反之，当负荷小时，电压升高。交流电源电压的波动范围，在城市约为  $-20\% \sim 10\%$ （180~240V），在小县城或农村约为  $-40\% \sim 15\%$ （140~250V）。

如果向电子设备供电的直流电压也以上述同一幅度波动，例如对于三极管放大电路来说，将使放大管的工作点改变，使输出波形失真，或使管子的功耗增加等。因此必须有稳压电路，对波动的直流电加以稳定。

由变压器（有的可不用）、整流、滤波电路、稳压电路所构成的装置，称稳压电源。稳压电路只是稳压电源中的一部分，有的书上把稳压电路称为稳压器。

最简单的稳压电路为由稳压管组成的稳压电路。

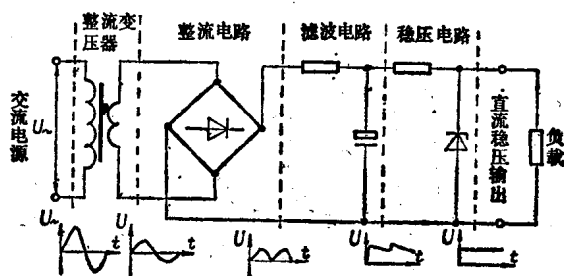


图 2—1 简单稳压电源的组成部分

### 第一节 并联调整式稳压电源

#### 一、串、并联稳压电路的工作原理

所谓稳压，就是将原来某个不够稳定的电源电压 ( $U_i$ )，通过稳压环节或稳压电路后变

得稳定了( $U_o$ )。如图 2—2 所示。

串、并联稳压调整的原理如图 2—3 所示。

按照图 2—3 (a)所示的电路, 输出电压

$$U_o = U_i - I_L R$$

当输入电压 $U_i$ 增大或减小时, 将串联电阻 $R$ 值作相应地增大或减小, 可保证输出电压 $U_o$ 稳定。

按照图 2—3 (b)所示的电路, 输出电压

$$U_o = U_i - (I_z + I_L) R$$

当输入电压 $U_i$ 增大或减小时, 将并联电阻 $R_z$ 值作相应地减小或增大, 使 $I_z$ 值的变化以及对应的 $(I_z + I_L)R$ 值的变化恰好抵消 $U_i$ 的变化, 由此可保持输出电压 $U_o$ 稳定。

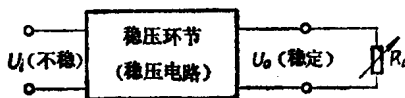


图 2—2 稳压电路的作用

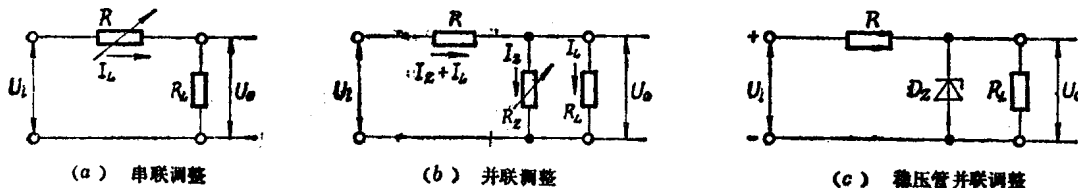


图 2—3 串、并联稳压调整的原理

图 2—3 (a)所示的电路, 起稳压作用的调整元件与负载串联, 称为串联调整; 图 2—3 (b)所示的电路, 起稳压作用的调整元件与负载并联, 故称并联调整。

在并联调整电路中, 并联调整元件的参数 ( $R_z$  值) 变化时, 只能引起电路中总的电流值的变化; 而输入的是电压信号, 因此必须在电路中串联一电阻  $R$ , 使调整元件所引起的电流变化转换成电压的变化, 去抵消输入电压  $U_i$  的变化。串联的  $R$  值越大, 抵消作用越强。

## 二、硅稳压管稳压电路

图 2—3 (b)所示的并联调整电路, 当输入端的电压变化时, 为了保持输出电压的稳定, 必须由人适当地调节  $R_z$  值。通常输入电压  $U_i$  总是有些波动, 这样, 就需要人经常调节  $R_z$ 。这种稳压调节的方法很不方便。图 2—3 (b)所示的稳压电路中的  $R_z$ , 若用稳压管代替, 就可达到自动调节的作用。

稳压管为什么在图 2—3 (c)所示的电路中, 能起到自动稳压的作用呢? 这是利用了稳压管的工作特性来达到稳压目的的。稳压管的工作特性曲线如图 2—4 所示。

从图上的曲线可以看到, 稳压管在反向击穿后, 亦即在它的正常工作区  $AB$  线段内, 当电流在较大范围内变化时 ( $\Delta I_z$  大), 管子两端的电压却改变很小 ( $\Delta U_z$  小)。对于特性曲线的  $AB$  线段, 我们可以用下式表示

$$U = U_z + I \operatorname{tg} \alpha$$

式中  $U_z$ ——稳压管的稳定电压, 是一常数;

$\operatorname{tg} \alpha$ —— $AB$  线段每点的斜率, 由于  $AB$  线段不是一条直线, 因此  $\operatorname{tg} \alpha$  不是一个常数,

因此必须取相应点的斜率, 由此得

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U}{\Delta I} = R_z$$

$R_z$ ——稳压管的动态内阻。

因此，稳压管可等效成电压为  $U_z$ 、内阻为  $R_z$  的电路，如图 2—5 所示。

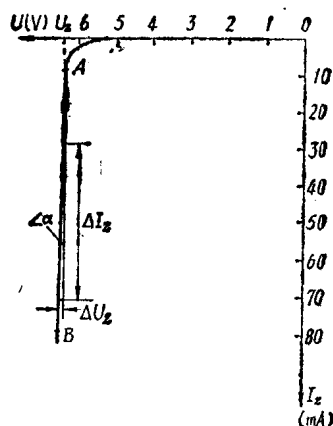


图 2—4 稳压管的反向伏安特性曲线

按照图 2—5 所示的等效电路，当输入电压变化  $\Delta U_i$  时，相应的输出电压的变化量  $\Delta U_o$  为多少？可作如下的推导：

$$\Delta U_o = \Delta U_i - R \Delta I$$

$$\Delta I = \frac{\Delta U_i}{R + R_z \parallel R_L}$$

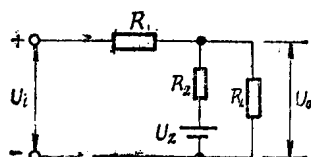


图 2—5 稳压管的等效电路

将  $\Delta I$  式代入上式，则得

$$\Delta U_o = \Delta U_i \left( 1 - \frac{R}{R + R_z \parallel R_L} \right)$$

而

$$R_z \parallel R_L = \frac{R_L + R_z}{R_L + R_z}$$

将上式代入  $\Delta U_o$  式，则

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} &= 1 - \frac{R}{R + \frac{R_L R_z}{R_L + R_z}} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{R}{R_L} + \frac{R}{R_z}} \end{aligned} \quad (2-1)$$

令  $\left. \frac{\Delta U_o / U_o}{\Delta U_i / U_i} \right|_{\substack{\Delta I_L = 0 \\ \Delta T = 0}} = S$ ， $S$  称为稳压系数，它所表达的是：当负载电流和温度不变

时，由于输入电压的变化引起输出电压变化的相对值系数， $S$  总是小于 1， $S$  越小表明输出电压越稳定。

一般情况下  $R \gg R_z$ ， $\frac{R}{R_L} < 1$ ，则式 (2-1) 分母中的左边两项，相对于  $\frac{R}{R_z}$  均可忽略不计，则

$$S = \frac{R_z}{R} \frac{U_i}{U_o} \quad (2-2)$$

式 (2-2) 的物理意义为：若限流电阻阻值大，则对输入电压变化的抵消作用强；若稳压管的动态电阻小，起调节作用的稳压管在电流变化时，稳压管两端的电压，亦即输出电压的变化小。输入电压变化时输出电压波动的情况（稳压管工作点的变化如图 2—6 所示。

但是当阻流电阻  $R$  阻值大时，在  $R$  上要降落  $U_i$  的很大部分电压，以及消耗较多的功率，因此效率低。所以，这种稳压电路用于小电流的场合较合适。

稳压电路的输出电阻  $R_o$  的定义为：当输入电压和温度不变的条件下，负载电压变化量与负载电流变化量之比



$$R_o = -\left. \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \right|_{\frac{\Delta U_i}{\Delta T} = 0} = R_z // R = \frac{R R_z}{R + R_z} \quad (2-3)$$

当  $R_z \ll R$  时, 则

$$R_o \approx R_z \quad (2-4)$$

当负载电流变化  $\Delta I_o$  时, 相应的输出电压变化

$$\Delta U_o = R_o \Delta I_o \quad (2-5)$$

因此, 当  $R_o$  愈小, 在负载电流变化时输出电压愈稳定。当负载电阻改变时, 输出电压波动的情况, 如图 2-7 所示。

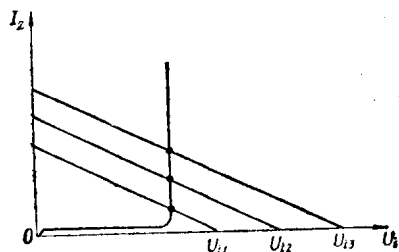


图 2-6 当  $U_i$  改变时稳压管工作点的变化

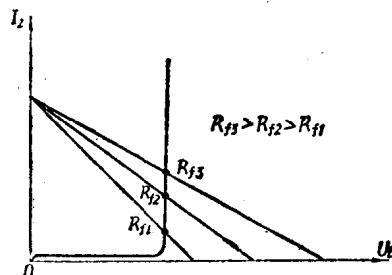


图 2-7  $R_L$  变化时稳压管工作点的变化

### 三、两级稳压器稳压电路

#### (一) 两级稳压电路的稳压系数

在实际应用中, 为了获得更为稳定的电压, 常采用两级稳压管稳压的电路, 如图 2-8 所示。

两级稳压电路的稳压系数, 等于每级稳压系数的乘积。设  $S_1$ 、 $S_2$  分别为第一级、第二级稳压电路的稳压系数, 则

$$S_1 = \frac{dU_1/U_1}{dU_i/U_i} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_{z1}} + \frac{R_1}{R_2 + R_{z2} // R_L}} \cdot \frac{U_1}{U_i} \quad (2-6)$$

$$S_2 = \frac{dU_o/U_o}{dU_1/U_1} = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_{z2}} + \frac{R_2}{R_L}} \cdot \frac{U_1}{U_o} \quad (2-7)$$

两级稳压电路总的稳压系数

$$S = \frac{dU_o/U_o}{dU_i/U_i} = S_1 S_2 \quad (2-8)$$

#### (二) 一个两级稳压管稳压电路的实例

图 2-9 所示为 CT5A 型直流高斯计中的稳压电源。两个次级线圈的电压均为 36V。次级线圈所提供的交流电, 经桥式整流和电容滤波后, 再由两级稳压管稳压电路进行稳压, 将稳压后的一组 +12V 和一组 -12V, 作为运算放大器的电源。

按照图 2-9 上所标示的参数, 并查阅半导体器件手册、型号为 2CW60 的稳压管, 它的动态电阻为  $40\Omega$ 。将相应的数据代入式 (2-6)、(2-7), 可得

$$S_1 = \frac{1}{1 + \frac{300}{40 + 40} + \frac{300}{430 + 40 // 1200}} \times \frac{36}{24} = 0.278$$