

# 晶体管

## 继电保护电路及调试

水利电力部南京自动化研究所

马师模

水利电力部南京电力自动化设备厂

夏盛铭

沈建石



水利电力出版社

# 晶 体 管

## 继电保护电路及调试

水利电力部南京自动化研究所

马师模

水利电力部南京电力自动化设备厂

夏盛铭

沈建石

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍了晶体管继电保护的基本电路及调试方法。首先介绍直流稳压电源、直流逻辑电路、交流测量电路及高频收发信电路的工作原理及调试；接着介绍几种典型线路保护装置及各种电力主设备保护的构成及整机调试；然后介绍晶体管继电保护装置的运行维护及提高可靠性的主要措施(包括电子元器件的老化筛选和装置的抗干扰措施等)；最后扼要介绍几种常用测试仪器的使用方法。

本书适合从事继电保护调试工作的人员阅读，可作为继电保护调试技术的培训教材，也可供中等专业学校有关专业师生参考。

### 晶体管继电保护电路及调试

水利电力部南京自动化研究所 马师模

水利电力部南京电力自动化设备厂 夏盛铭 沈建石

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 22印张 500千字

1984年1月第一版 1984年1月北京第一次印刷

印数 00001—21120册 定价 2.75元

书号 15143·5270

# 前 言

近十年来，我国晶体管继电保护技术有了很大发展。在电力系统中，不同电压等级的输电线路和各种电力主设备上正越来越多地采用晶体管型继电保护装置。但是，晶体管继电保护技术还不够普及，尤其是晶体管保护的调试技术，更需要进一步推广。广大在现场从事继电保护调试工作的人员，迫切希望掌握这方面的知识和技能，以提高晶体管继电保护装置的运行水平。目前，有关继电保护原理的专业书籍虽然较多，而专门介绍晶体管继电保护电路和调试技术的书尚嫌短缺。为此，我们在经过实际调查，广泛收集各方面意见和建议的基础上，编写了这本书。本书力图比较全面地反映国内普遍使用的各种基本电路和一些定型产品，尤其是一些成熟的通用性较强的典型电路，在阐明其工作原理的基础上，介绍它们的调试方法。

本书是在我们所属的两个工作单位的大力支持和领导下写成的，梁汉超同志直接组织并指导了本书的编写工作；两个单位的继电保护专业技术人员给予了大力帮助；书中选用的基本电路和整机举例的资料也主要来自这两个单位。全书共分十章，第一、二、三、五章及第六章1、5节由马师模编写，第四章、第六章2、3、4、6、7节及第八章由夏盛铭编写，第七、九、十章由沈建石编写。

在编写过程中，许多单位和个人对本书的内容提出了宝贵的意见和具体的建议，富春江水电站提供了现场调试经验；西安交通大学朱声石同志对书稿的编写提纲提出了具体的指导性意见。书稿承华北电业管理局郭小洲同志审阅。在此一并表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，掌握的资料不够充分；加上晶体管继电保护技术还在不断发展，本书的疏漏或选材不当，以及技术和文字方面的谬误，敬请读者批评指正。

1983年3月

# 目 录

前 言	
<b>第一章 概述</b> .....	1
1-1 晶体管继电保护的特点 .....	1
1-2 晶体管继电保护装置的构成 .....	3
<b>第二章 晶体管直流稳压电源</b> .....	6
2-1 降压并联式稳压电路 .....	6
2-2 降压串联式稳压电路 .....	9
2-3 逆变换式稳压电源 .....	12
2-4 复式整流稳压电源 .....	17
<b>第三章 直流逻辑电路</b> .....	22
3-1 逻辑门电路 .....	22
3-2 触发器 .....	31
3-3 时间电路 .....	41
3-4 方波形成器 .....	55
3-5 移相回路与比相回路 .....	58
3-6 出口回路与信号回路 .....	75
<b>第四章 交流测量电路</b> .....	83
4-1 测量用小变压器 .....	83
4-2 整流和滤波电路 .....	87
4-3 电流和电压继电器 .....	91
4-4 对称分量滤序器 .....	95
4-5 功率方向继电器.....	109
4-6 阻抗继电器.....	115
<b>第五章 晶体管高频收发信电路</b> .....	137
5-1 晶体管放大电路.....	137
5-2 晶体管振荡电路.....	150
5-3 晶体管调制电路.....	157
5-4 高频滤波电路.....	166
<b>第六章 晶体管线路保护装置的调试</b> .....	181
6-1 整机调试中的共同性问题.....	181
6-2 速断过流重合闸装置的调试.....	191
6-3 零序方向电流保护装置的调试.....	193

6-4	距离保护装置的调试	196
6-5	高频保护装置的调试	200
6-6	检查同期或无电压重合闸装置的调试	212
6-7	综合自动重合闸装置的调试	215
<b>第七章</b>	<b>晶体管电力主设备保护的调试</b>	<b>219</b>
7-1	变压器纵差动保护	219
7-2	发电机纵差动保护	241
7-3	发电机横差动保护	247
7-4	发电机定子接地保护	250
7-5	发电机转子接地保护	256
7-6	发电机负序电流保护	262
7-7	发电机逆功率保护	274
7-8	发电机失励磁保护	281
7-9	变压器功率方向保护	290
7-10	母线保护	294
<b>第八章</b>	<b>晶体管继电保护装置的运行维护</b>	<b>305</b>
8-1	投入系统运行前的试验	305
8-2	装置的运行维护	310
<b>第九章</b>	<b>提高晶体管继电保护装置可靠性的措施</b>	<b>312</b>
9-1	电子元器件的可靠性筛选	312
9-2	常用电子元器件的简易测试	318
9-3	提高晶体管继电保护装置的抗干扰水平	320
<b>第十章</b>	<b>常用电子仪器的使用</b>	<b>325</b>
10-1	示波器	325
10-2	晶体管特性图示仪	329
10-3	数字式仪表	336
	主要参考文献	345

# 第一章 概 述

## 1-1 晶体管继电保护的特点

### 一、继电保护在电力系统中的作用

继电保护是电力系统安全运行必不可少的技术措施和重要手段。

当电网或电力系统设备发生故障，如不及时处理，除输电线路或电气设备严重损坏外，还将造成事故扩大，供电质量下降，甚至大面积停电，给国民经济带来重大损失。因而在电网及电力主设备上无例外地都装设有继电保护装置，一旦发生故障，立即有选择地将故障线路或故障设备从电力系统中切除，以保证非故障部分继续正常运行，并使故障线路、设备免受继续破坏。此外，配合使用各种自动装置（如自动重合闸、备用电源自动投入、按周波自动减负荷、远方切机、远方切负荷等）可以大大提高电力系统运行的可靠性。

对继电保护装置而言，首先的要求是它本身的工作必须可靠，不应当误动或拒动。如果装置本身工作不可靠，则非但不能起到保护作用，反而会扩大事故或直接造成事故。装置的可靠性不仅决定于装置本身的质量，

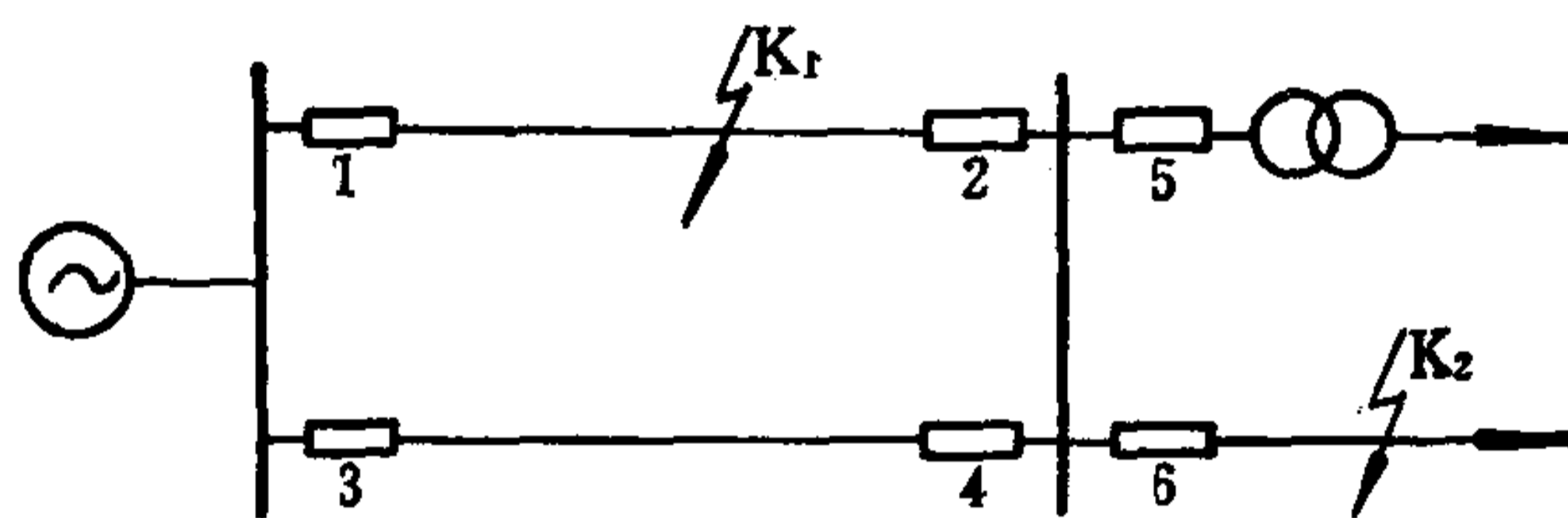


图 1-1-1 继电保护装置的选择性

而且也取决于良好的运行维护以及正确的调整试验。选择性也是对继电保护装置的一项基本要求。如图1-1-1所示，当 $K_1$ 点发生故障时，只应断开故障线路两侧的断路器1和2；当 $K_2$ 点发生故障时，只应断开断路器6。为了切除故障，减轻故障设备的损坏程度和减小对非故障设备的影响，提高电力系统的安全稳定性，还要求继电保护装置具有速动特性和足够的灵敏度。此外，还希望保护装置具有结构灵活、便于调试、维护方便等优点。

### 二、晶体管继电保护装置的特点

随着电力系统的发展，特别是大容量机组和超高压输电线路的出现，对继电保护装置提出了愈来愈高的要求，加之在1950年代半导体技术的发展，晶体管型继电保护装置作为一代新产品在继电保护领域日益迅速地发展起来。

晶体管继电保护装置与机电型继电保护装置相比，具有以下几方面的显著优点。

#### 1. 可靠性高

晶体管保护装置的逻辑回路由无接点的电子元器件构成（只有少数地方如出口、信号回路以及与其它装置或设备交换信号时，使用少量小型快速中间继电器），基本上克服了

机械转动部分和有接点电路中的常见毛病，其耐冲击和抗振性能较好，因而装置的可靠性大大提高。

### 2. 动作速度快

用于超高压线路上的快速保护要求动作时间不大于一个周波(20ms)，这是机电型保护所难以实现的。例如，机电型的GH-11型距离保护装置的动作时间为60~100ms，晶体管保护装置整机动作时间可以做到几十ms(1~2周波)；例如，JJ-11A型晶体管距离保护装置的动作时间仅为20ms左右。

### 3. 灵敏度高

由于晶体管电路的动作功率很小，因而使保护装置的灵敏度大大提高。例如，晶体管方向阻抗继电器的精确工作电压可以做到0.5V以下，而机电型方向阻抗继电器的最小精确工作电压却为2.5~4V。

### 4. 消耗功率小

晶体管电路的动作功率很小，不仅直流功耗小，而且大大减轻了电压互感器和电流互感器的负担。机电型GH-11距离保护装置和JJ-12型晶体管距离保护装置交流回路的功率消耗见表1-1-1。

表 1-1-1

型 号		GH-11	JJ-12
功率消耗 (VA/相)	电流回路	14	<4
	电压回路	80	<10

消耗见表1-1-1。

### 5. 调试维护方便

机电型保护因为有大量机械可动部分(轴承、弹簧、接点等)，调整不便，维修困难。晶体管保护没有机械可动部分，而且装置本身设有常态监视回路和手动检测按钮，加之在工艺结构上的特点(如抽屉式、

插件式、组合式等结构)，其调试和维护很方便，工作量也很小。

### 6. 易于实现各种特殊动作特性

晶体管保护在电路设计上具有很大的灵活性，可以得到机电型保护所难以实现的动作特性。例如，采用晶体管比相电路构成的阻抗继电器，可以得到各种不同形状的特性曲线，除一般的圆形特性外，还能构成椭圆形、苹果形、透镜形、多边形等特性以及它们的组合特性，分别在线路保护和各种电力主设备保护中得到应用。

### 7. 体积小、重量轻

晶体管保护装置由小型化的电子元器件组装而成，其整机大小和重量与同类型的机电型保护相比要小巧轻便得多。例如机电型变压器保护装置至少需要两块2360×800×550mm的保护屏，而晶体管型变压器保护装置外框最大尺寸为584×377×400mm，且重量也只为机电型变压器保护装置的1/4左右。

随着生产和技术的发展，电子元器件的质量和装置整机的制造工艺都在不断提高，晶体管元件的失效率已达 $10^{-6}$ 以上(相当于单管寿命一百万小时)，有的元器件则高达 $10^{-9}$ 。此外，通过电子元件可靠性筛选的研究和实施，以及对电力系统二次回路的抗干扰研究，在保护装置中采取各种有效的抗干扰措施，并对整机作抗干扰试验，晶体管继电保护装置的可靠性越来越高，其正确动作率已经达到或超过了同类机电型产品的水平，因而得到越来越



越广泛的应用和发展。

### 三、电子技术在继电保护中的应用和发展

电子技术的应用给继电保护技术带来了广阔的发展前途，晶体管继电保护的出现仅是一个开端。充分发挥晶体管电路的特点，采用各种半导体新技术，可以构成许多新原理、新特性的测量电路和保护装置。

例如，有了晶体管方波形成器和各种门电路，很容易实现方波移相和相位关系的判别，从而能够构成多种比相原理的保护装置。

由于晶体管测量元件的速动特性，可以实现对电气量瞬变值的测量。反应“增量”或“突变量”的晶体管电流继电器和选相元件，当系统发生振荡和非全相运行时不会误动，并能对非正常运行状态下再故障进行正确判断。

利用晶体管或集成电路还可以构成继电保护装置自动检测电路，甚至做成自动检测装置，长期对运行中的晶体管保护进行监视，定期作自动检查和自动校验定值，以便及时发现装置内的隐患。将数字编码技术用于继电保护，可以构成传送多个信息的编码式远方跳闸装置，使之远距离传送继电保护信息更加准确可靠。

电子计算机的高速发展，特别是微处理机的广泛应用，使电力系统的自动化水平越来越高。作为新的研究课题，计算机保护越来越受到重视，并正在加紧研制。它不仅可以完成各种类型的保护功能，而且可以同时用来作故障录波及故障测距，或用作系统稳定的适时控制。

光纤技术的发展，使人们开始从另一方面研究提高继电保护的可靠性。例如在高压线路上采用光电互感器或其它光电耦合设备，可以避免电磁型互感器和电容式电压互感器以及高频通道耦合设备的过渡过程和各种电磁干扰的影响。而且由于光导纤维没有很高的绝缘要求，可以使设备投资大大降低。另外，用光导纤维作为信息通道可以构成光纤远控保护，且更适合于采用数字集成电路和新的数字式继电保护，其可靠性和抗干扰能力将是很高的。

## 1-2 晶体管继电保护装置的构成

### 一、一般结构

晶体管继电保护装置的种类很多，就其结构来说，一般都由交流测量电路（也称交流测量元件）、直流逻辑电路和直流稳压电源三部分构成，如图1-2-1所示。

交流测量电路通常由电压形成回路和整流、滤波回路构成。被测电量经各种小型辅助互感器输入，在互感器副边采取不同连接方式将电气量合成，用以反映系统中相应电量（电压、电流、相位、功率及阻抗等）的变化，然后经整流、滤波获得直流动作信号。反映交流峰值的继电器，不需要滤波回路。反映相位关系的继电器，其整流、滤波及触发器回路由方波形成器和比相回路代替。

直流逻辑电路一般包括触发器（或零指示器），由门电路和时间电路组成的逻辑判别

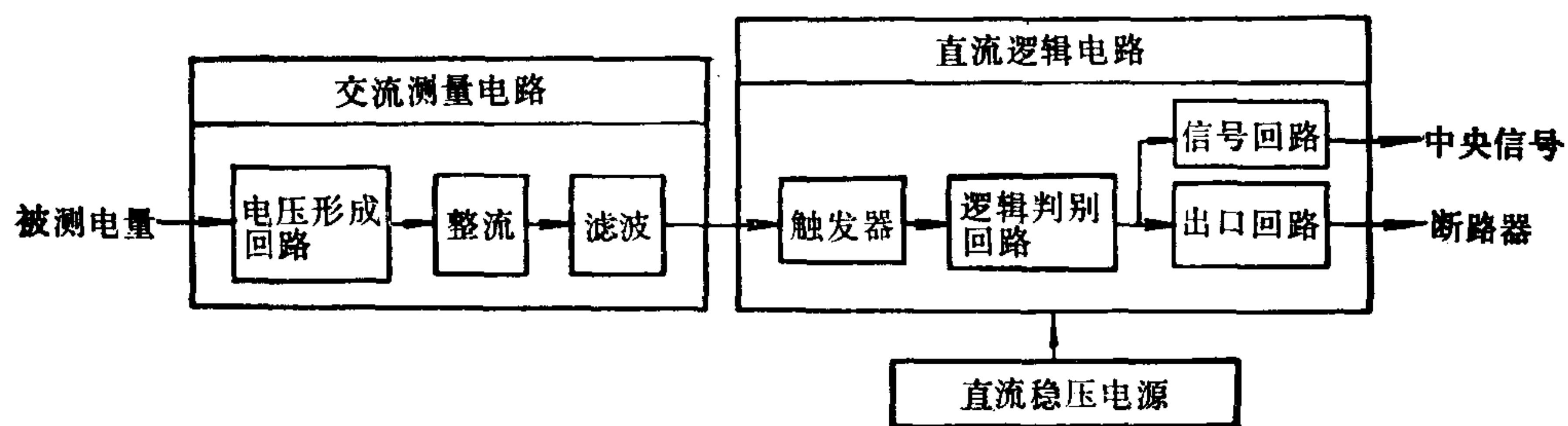


图 1-2-1 晶体管继电保护装置的结构

回路，信号回路和出口回路。根据交流测量电路的动作信号决定保护的動作程序，按一定的逻辑关系实现跳闸或合闸，并经信号回路发出相应的指示信号。

直流稳压电源为直流逻辑电路提供各级工作电压和需要的电功率。

按照保护装置的一般结构，本书首先分章介绍各种单元电路（包括直流稳压电源、直流逻辑电路、交流测量电路和高频收发信电路等四个部分）的工作原理和调试方法，然后结合典型产品分别介绍线路保护和电力主设备保护的整机调试。对于现场调试要求和运行维护注意事项，也作了简要说明。

针对晶体管继电保护装置的结构特点，通常是按下列次序进行调试：

- ①直流稳压电源调整；
- ②直流逻辑电路的调试；
- ③交流测量电路的调试；
- ④整机统调（联合试验）。

## 二、晶体管继电保护装置调试基本要求

### 1. 熟悉保护装置的工作原理

晶体管继电保护的逻辑电路是通过改变电路参数来进行调试的，直观性较差，如果不熟悉电路工作原理，就不能够正确地进行调试。继电保护的交流测量回路种类繁多，不了解其动作原理就无法分析并解决调试中出现的现象，得不到正确的调试结果。所以，要调试晶体管保护，首先必须熟悉保护装置的工作原理，同时还要弄懂各个单元电路的工作原理。

### 2. 采用正确的调试方法

在调试时，如果试验接线或调试步骤不对，或者是模拟量取得不正确，必然调不出正确结果，甚至得出完全错误的數據。因此，要想得到正确的调试结果，一定要采用正确的调试方法。

当有几种试验接线和调试方法时，应根据现场的具体条件选用一种，而且在投入运行后，每次作定期校验和检修调整时，应注意采用同一种试验接线和调试方法，以减少因试验接线和调试方法不同引起的误差。

### 3. 正确使用测试仪器和仪表

调试需要用的仪器、仪表和辅助设备，使用前必须先了解它们的特性和用法，尤其是一些电子仪器、仪表（如示波器、各种数字式测试仪表、真空管电压表及各种信号发生器等），如果选用不当，或测试方法不对，则不能测量到正确的数据，甚至会损坏仪器、仪表。

### 4. 严格挑选电子元器件

电子元器件的质量好坏直接影响到保护装置的可靠性<sup>①</sup>。各种电子元器件（包括备品）都必须严格按照规定的参数和指标进行挑选，对晶体管元件一定要作可靠性筛选，以保证其使用寿命和提高可靠性。

鉴于以上要求，本书在介绍晶体管保护装置调试时，也简要介绍电路工作原理及参数调整对性能的影响。另外，还介绍了常用电子元器件的可靠性筛选方法和测试方法，以及提高晶体管继电保护装置抗干扰水平的措施。最后，对于调试中几种常用电子仪器仪表，也简要地介绍其使用方法。

---

① 实际运行表明，因元器件质量不好和制造工艺不良引起保护装置不正确动作率达50%以上。

## 第二章 晶体管直流稳压电源

晶体管继电保护装置用的直流电源种类较多，常见的有：蓄电池直接供电；采用逆变换方式获得低压直流电源；从交流电源整流取得直流电源。不管用什么方法获得的直流电压，都必须考虑加稳压措施，以保证晶体管电路工作的可靠。

目前常用的直流稳压电路有下面几种：

- ① 降压并联式稳压电路；
- ② 降压串联式稳压电路；
- ③ 逆变换式稳压电源；
- ④ 复式整流稳压电源。

### 2-1 降压并联式稳压电路

#### 一、用稳压管构成的降压并联式稳压电路

##### 1. 稳压管的特性

稳压管的特点是正反向都可以通过电流，这与一般二极管单向导电，不允许反向击穿的要求不同。由于稳压管的制造工艺特殊，只要反向击穿后的电流限制在一定范围内，则不但不会烧坏管子，而且具有稳压特性，如图 2-1-1 所示。当稳压管处于反向击穿状态时，虽然电流在一很大范围内变化，但稳压管两端电压却几乎保持不变，这一反向击穿电压称为稳压管的稳定电压  $U_w$ 。当电流超过稳压管的最大允许电流时，由于过热会烧坏管子，为此，实际使用时的耗散功率一般只为额定功率的二分之一以下，并且尽可能加装散热片。但考虑到经济指标，耗散功率也不要小于额定功率的  $1/3$ 。

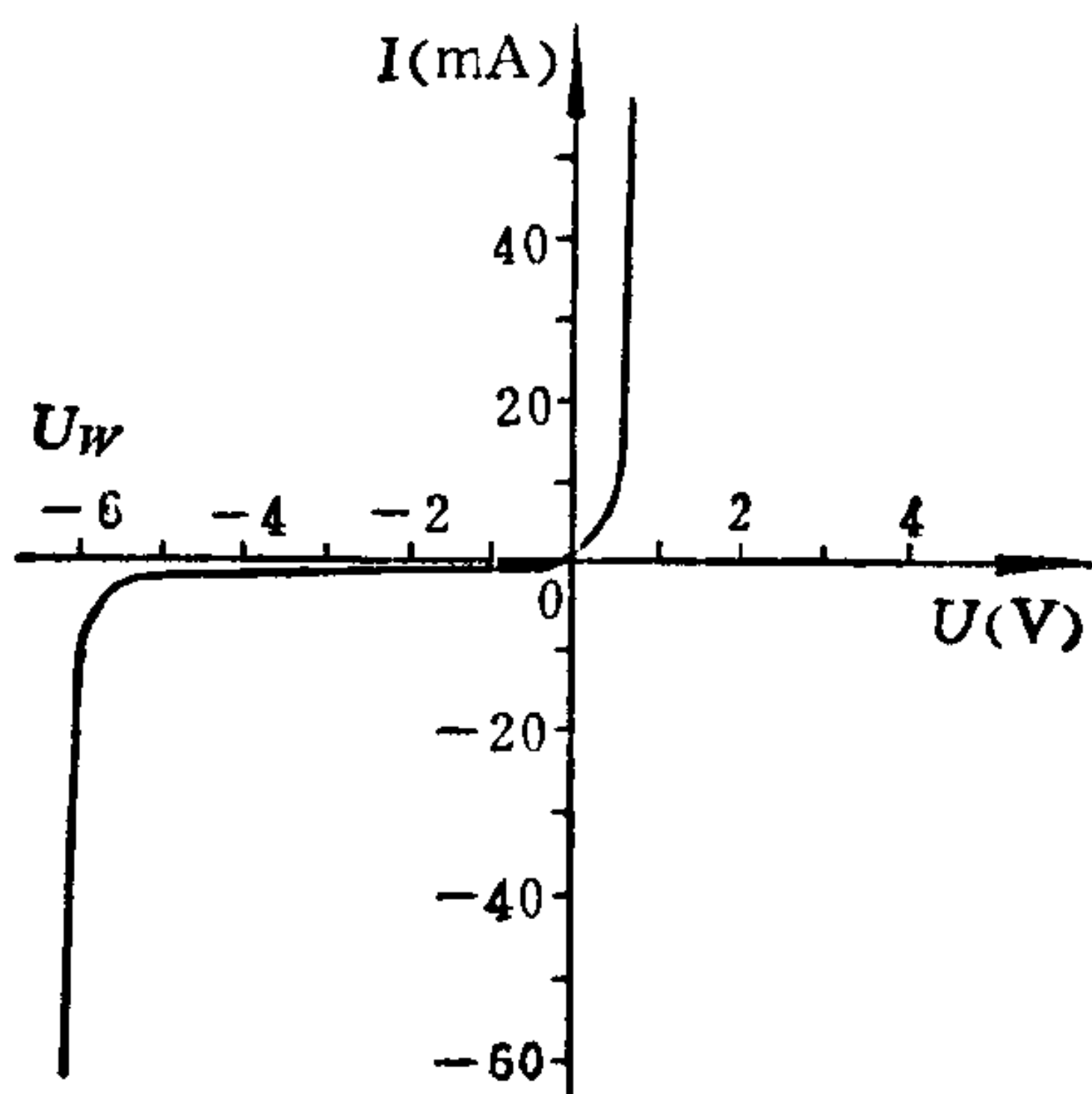


图 2-1-1 稳压管特性曲线

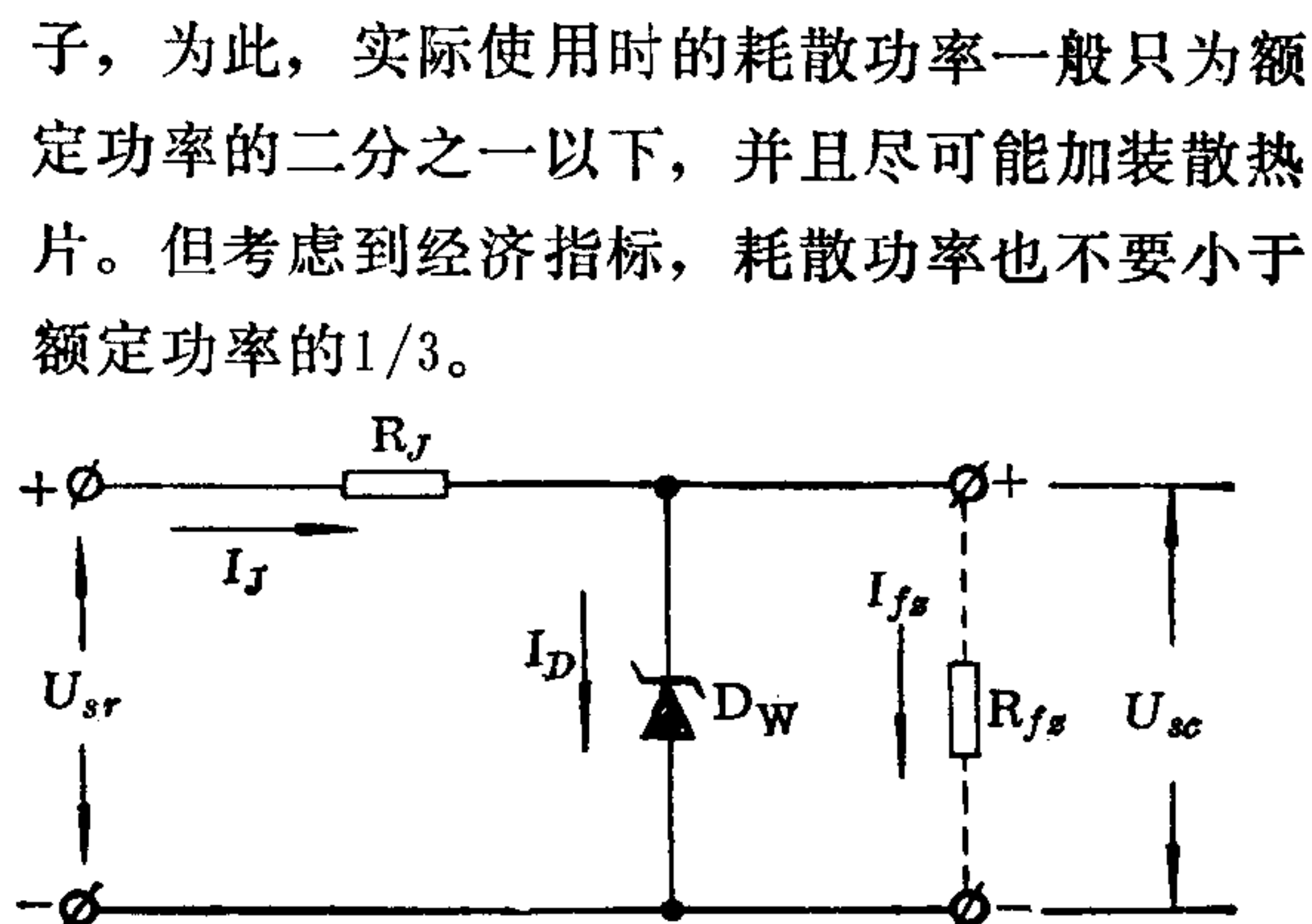


图 2-1-2 基本稳压电路

##### 2. 电路工作原理

图 2-1-2 所示为基本稳压电路。直流电源的电压  $U_{sr}$  经降压电阻  $R_J$  加到稳压管  $D_w$  和负载电阻  $R_{fz}$  两端。稳压电路的输出电压  $U_{sc}$  也就是稳压管的端电压，即

$$U_{sc} = U_w = U_{sr} - I_J R_J$$

当输入电压 $U_{sr}$ 升高而引起输出电压 $U_{sc}$ 变大时，由稳压管的特性曲线可知，电压增高一点，电流 $I_D$ 便增加很多，使 $R_J$ 上的电压降 $U_{R_J} = R_J(I_D + I_{fz})$ 增加，从而导致 $U_{sc}$ 下降，基本保持在原来的电压数值上。同样，如果由于负载电流 $I_{fz}$ 增加使输出电压 $U_{sc}$ 出现减少的趋势，必将引起稳压管的电流 $I_D$ 减小，这样， $I_{fz}$ 的增加由稳压管的电流减小来补偿，使得通过 $R_J$ 的总电流 $I_J$ 基本不变，从而保持输出电压 $U_{sc}$ 基本不变。

由此可见，可把稳压管看成一个可变电阻，起调节电流的作用，降压电阻 $R_J$ 的作用是限流和调压。由于起调节作用的稳压管与负载呈并联关系，所以称这种电路为降压并联式稳压电路。

图2-1-3所示为实用的两种降压并联式稳压电路。为了得到所需要的电压等级，往往采用多个稳压管串联配置的方式。在所选稳压管的功率容量不够时，只能另选功率大的管型，切不可将稳压管并联使用，因为稳压管的稳定电压不可能绝对相等，并联后稳定电压低的管子先击穿，使输出电压固定在此击穿电压值，而稳定电压高的管子尚未击穿，则全部电流都流经稳定电压低的管子，因功率过大，使稳定电压低的管子烧坏，然后稳定电压

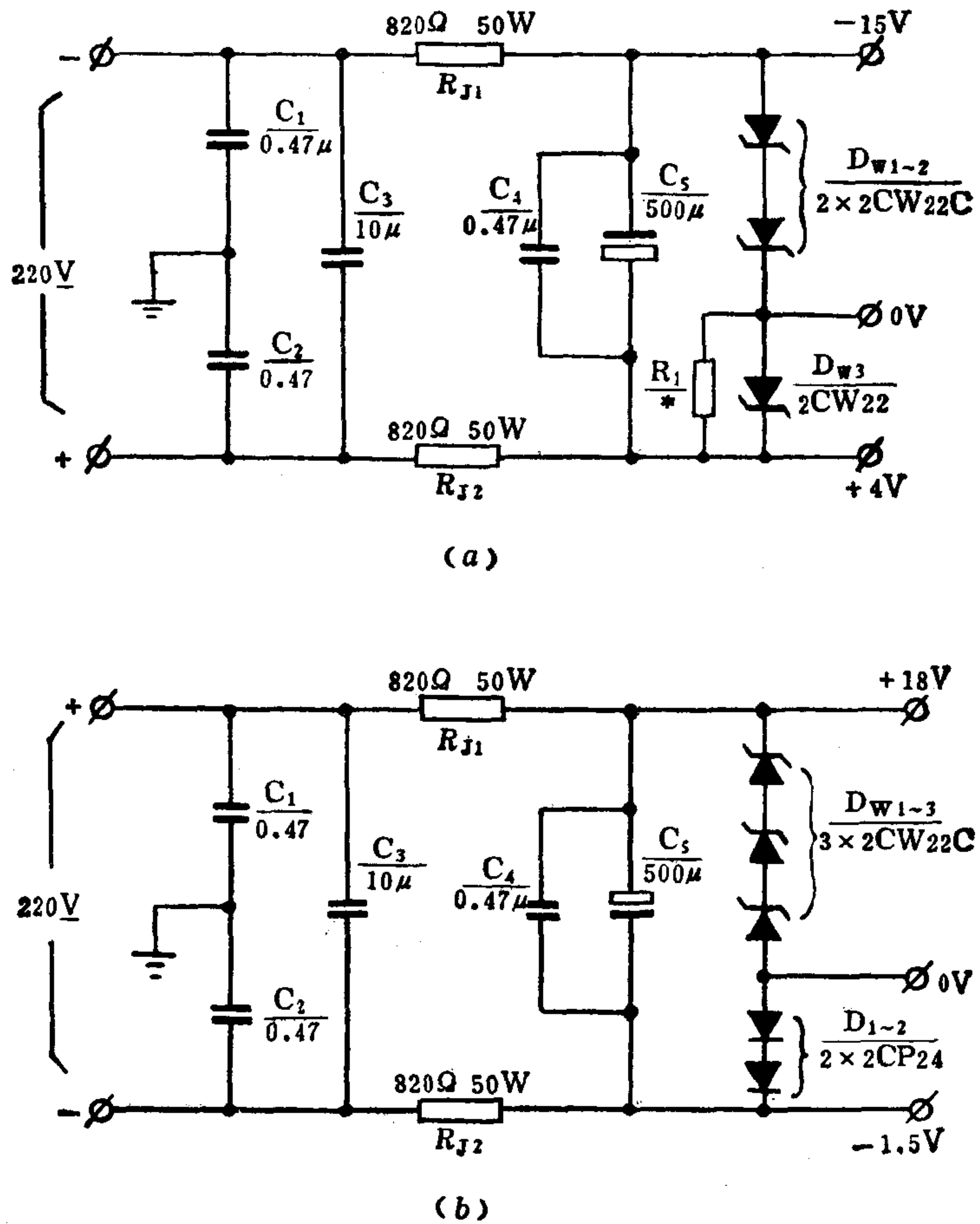


图 2-1-3 实用稳压电路

(a)PNP管电路，(b)NPN管电路

高的管子被击穿，输出电压变为此管的击穿电压，于是全部电流都由这第二只稳压管负担，其功率容量仍然担负不起，这只稳压管也要很快烧坏。

降压电阻 $R_J$ 应由两个数值相等的电阻 $R_{J1}$ 、 $R_{J2}$ 组成并分置电源两端。当仅用一个电阻做降压电阻时，一旦发生短路，高电压直接加在稳压管和晶体管电路两端而打坏管子。两个电阻分置电源两端同时又可以削弱来自电源正、负极的干扰信号。

降压电阻的选择应满足两个条件：

①当输入电压最低而输出电流最大时，应保证流过稳压管的电流不小于稳压管的最小稳定电流 $I_{Dmin}$ ；

②当输入电压最高而输出电流最小时，为保证稳压管有足够的功率裕度，流过稳压管的电流应不超过稳压管的最大稳定电流 $I_{Dmax}$ 的一半。

降压电阻的选择范围如下式所示

$$\frac{U_{srmax} - U_{sc}}{0.5I_{Dmax} + I_{fzmin}} \leq R_J \leq \frac{U_{srmin} - U_{sc}}{I_{Dmin} + I_{fzmax}}$$

式中  $U_{srmax}$ 、 $U_{srmin}$ ——输入电压的最大、最小值；

$I_{fzmax}$ 、 $I_{fzmin}$ ——负载电流的最大、最小值。

降压电阻的最大耗散功率为

$$P = \frac{(U_{srmax} - U_{sc})^2}{R_J}$$

而所选 $R_J$ 的额定功率应按正常功耗的2~4倍考虑。

$C_1 \sim C_5$ 均为抗干扰电容，大容量电解电容 $C_5$ 用来滤去低频干扰信号；金属化纸介电容 $C_4$ 用来滤去高频干扰信号。

### 3. 电路的调试

#### (1) 空载测量

在不带负载情况下接通直流电源，测量输出电压 $U_{sc}$ 。

若测得 $U_{sc}$ 值为0，则可检查输出滤波电容 $C_5$ 是否击穿，输出端是否短路。如果测得 $U_{sc}$ 值很小，则可能是稳压管接反，实际测到的是稳压管的正向压降。若 $U_{sc}$ 值很高，则可能是稳压管开路。

若整个电路正常，测得 $U_{sc}$ 值接近额定值，然后用更换稳压管的办法来调整输出电压，使之满足允许误差范围，因为这种稳压电路的输出电压决定于串联稳压管的稳定电压之和。更换稳压管时应注意必须在同型号产品中选配。

#### (2) 带负载试验

将稳压电路带上正常负载，测量输出电压 $U_{sc}$ 。人为使直流逻辑电路动作，在各种不同动作情况下稳压电路的输出电压值与空载时输出电压值相比，其变化量不得超过允许范围（一般不大于5%）。如果 $U_{sc}$ 随负载增大而明显降低，则说明稳压管的特性不好，应用晶体管图示仪检查，如发现类似图2-1-4中虚线所示的软击穿现象则应予更换。

#### (3) 电源电压波动试验（又称拉偏试验）

当外接直流电源电压在额定值的80~110%范围内波动时，要求稳压电路的输出电压 $U_{sc}$ 无明显变化，以保证保护装置正确动作。

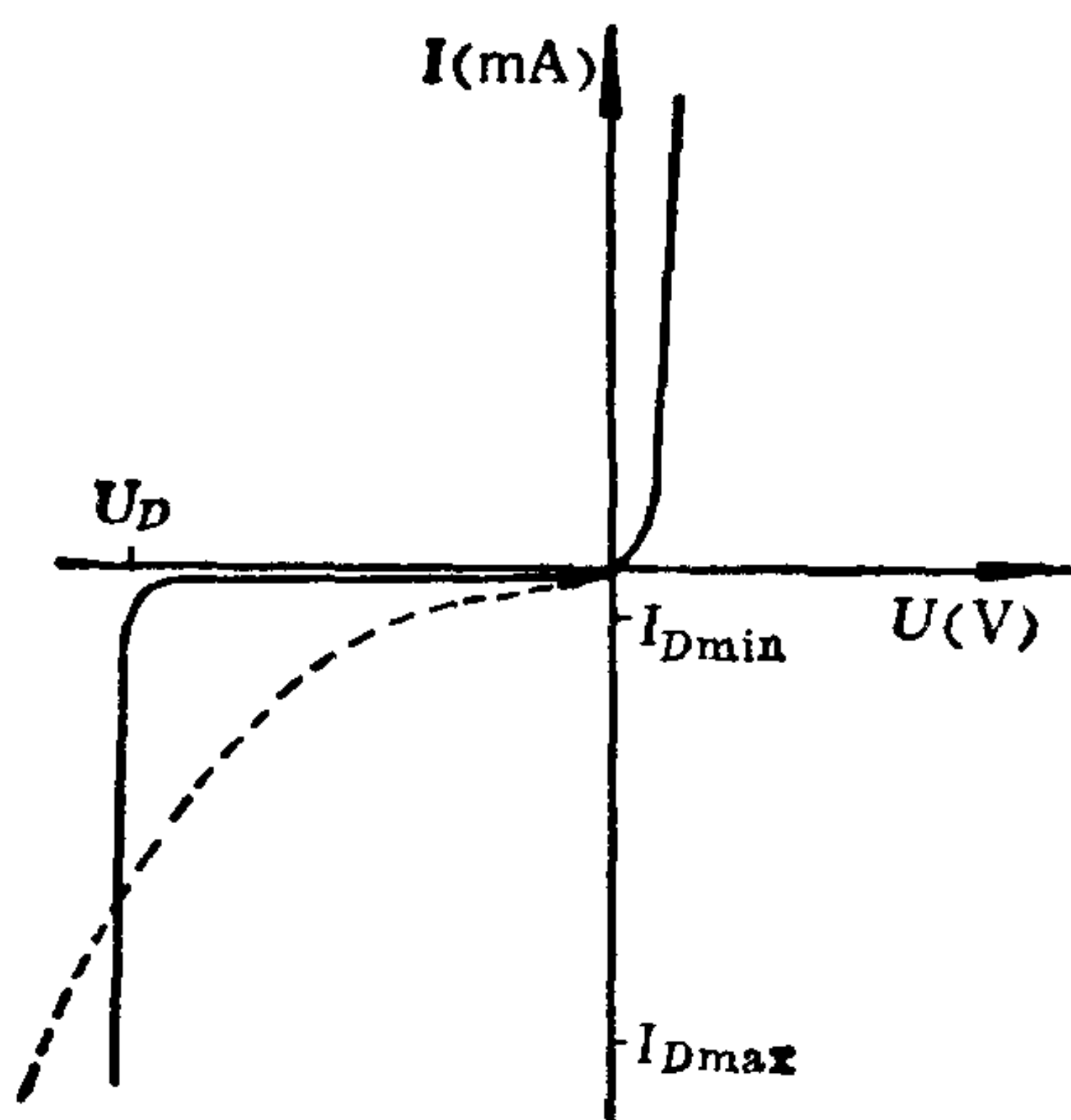


图 2-1-4 稳压管软击穿特性

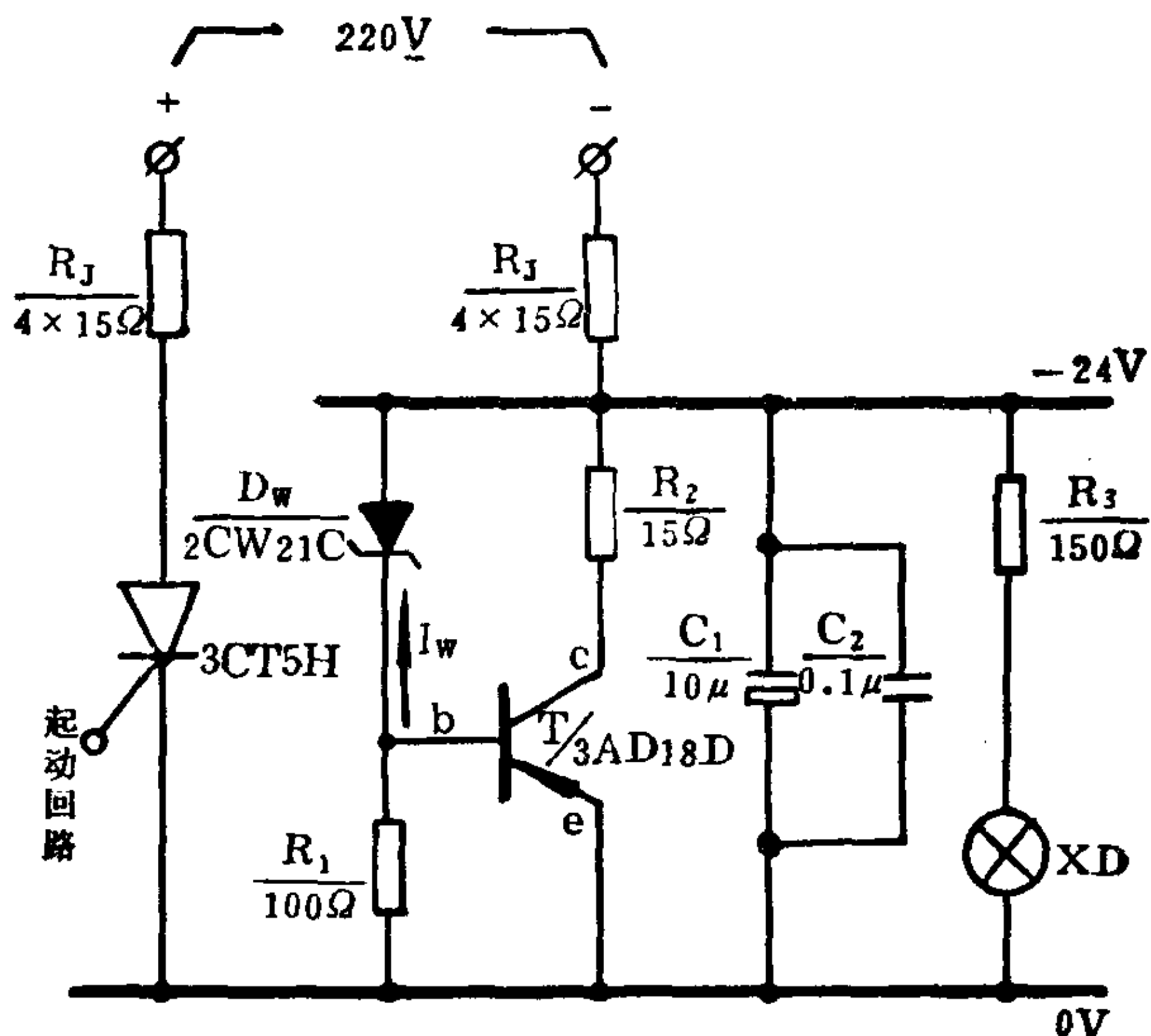


图 2-1-5 实用功放稳压电路

## 二、用稳压管加三极管构成的并联稳压电路

### 1. 工作原理

用稳压管构成的并联稳压电路输出功率较小，采用大功率三极管以放大电流可使并联稳压电路的输出功率增大。图2-1-5为某高频保护装置功放电源的稳压电路，稳压管  $D_w$  接于三极管  $T$  的基极回路，三极管集电极电流  $I_c = \beta I_b \approx \beta I_w$ ， $R_1$  除提供  $D_w$  工作电流外，并供给  $T$  管的集电极反向电流，特别是在温度升高时使  $T$  管在放大区工作稳定。

当电路不带负载时， $T$  管接近饱和区，流过较大电流，输出电压  $U_{sc} = U_w + U_{eb}$ 。当负载电流增大引起  $U_{sc}$  降低时，由于  $U_{eb} = U_{sc} - U_w$  也降低，使  $T$  管基流  $I_b$  减小，造成  $I_c$  更加减小，于是降压电阻  $R_J$  的压降减小，使  $U_{sc}$  上升，回复到原来电压值。如果因输入电压升高使  $U_{sc}$  升高，则  $I_b$ 、 $I_c$  也随之增大，引起  $R_J$  压降增大使  $U_{sc}$  下降，最后仍回复到原来值。

$T$  管相当于一个电流存储器，当负载电流小时， $I_c$  就大；当负载电流大时， $I_c$  变小，如果负载电流超过额定值， $T$  管中存储的电流全部提供出来（即  $I_c = 0$ ）还不够， $U_{sc}$  就不能稳定在原电压值了。

### 2. 调试

在不带负载情况下起动可控硅使稳压电路工作，测量输出电压应接近 24V，如果误差较大，须重新挑选稳压管  $D_w$  以满足电压要求。

用滑线电阻器代替可变负载，当改变负载电流时， $U_{sc}$  应无明显变化，且在最大负载下也能稳压。由于  $T$  管工作在大功率状态，要求有较大的功率裕度，并且要加散热片。

## 2-2 降压串联式稳压电路

### 一、工作原理

降压串联式稳压电路与降压并联式稳压电路不同之点为电流调整管不是与负载并联而

是串联。串联稳压原理可用图2-2-1来说明。电路中 $E$ 为基准电压，当输入电压 $U_{sr}$ 增加时，输出电压 $U_{sc}$ 也升高，从而使得 $U_{eb} = E - U_{sc}$ 减小， $I_b$ 、 $I_c$ 也减小，T管趋于截止，管压降 $U_{ec}$ 增大使 $U_{sc}$ 降低，回复到原来值。反之，若输出电压 $U_{sc}$ 降低，则 $U_{eb}$ 增大， $I_b$ 、 $I_c$ 上升， $U_{ec}$ 下降使输入电压 $U_{sc}$ 升高，回复到原电压值。

T管相当于一只可变电阻，其两端电压 $U_{ec}$ 随着输出电压 $U_{sc}$ 的变化而变化，由于这一自动调整作用而维持输出电压 $U_{sc}$ 基本不变，故把这个三极管称为调整管。为了提高电路的稳压效果，往往把输出电压的微小变化量先通过直流放大器加以放大，然后再去控制调整管，如图2-2-2(a)的方块图所示，由 $U_{sc}$ 的取样值与基准电压值进行比较，其差值反应 $U_{sc}$ 的变化，经放大后控制调整管。图2-2-2(b)为相应的稳压电路，各部分作用和工作情况分述如下。

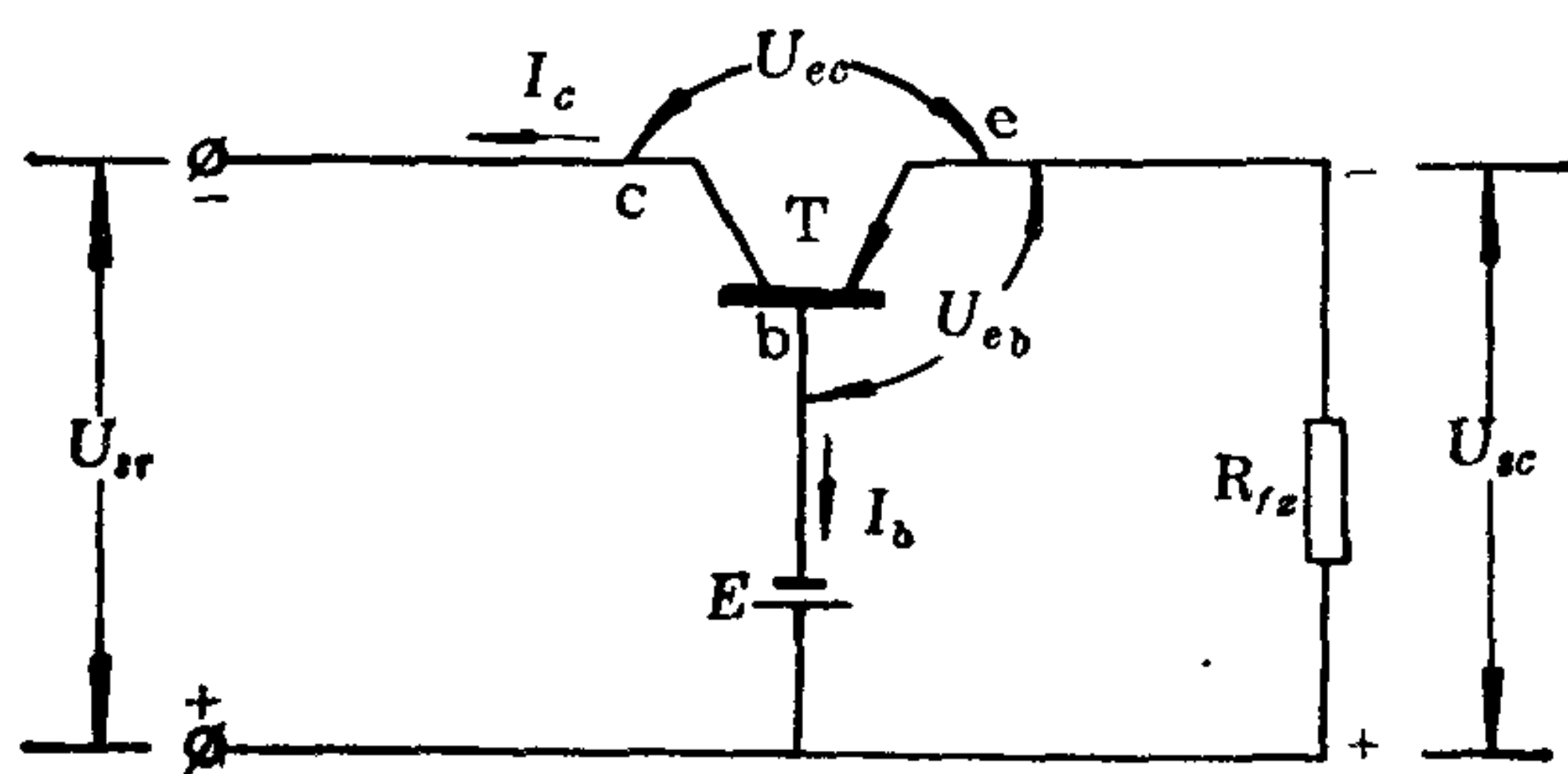


图 2-2-1 串联稳压原理

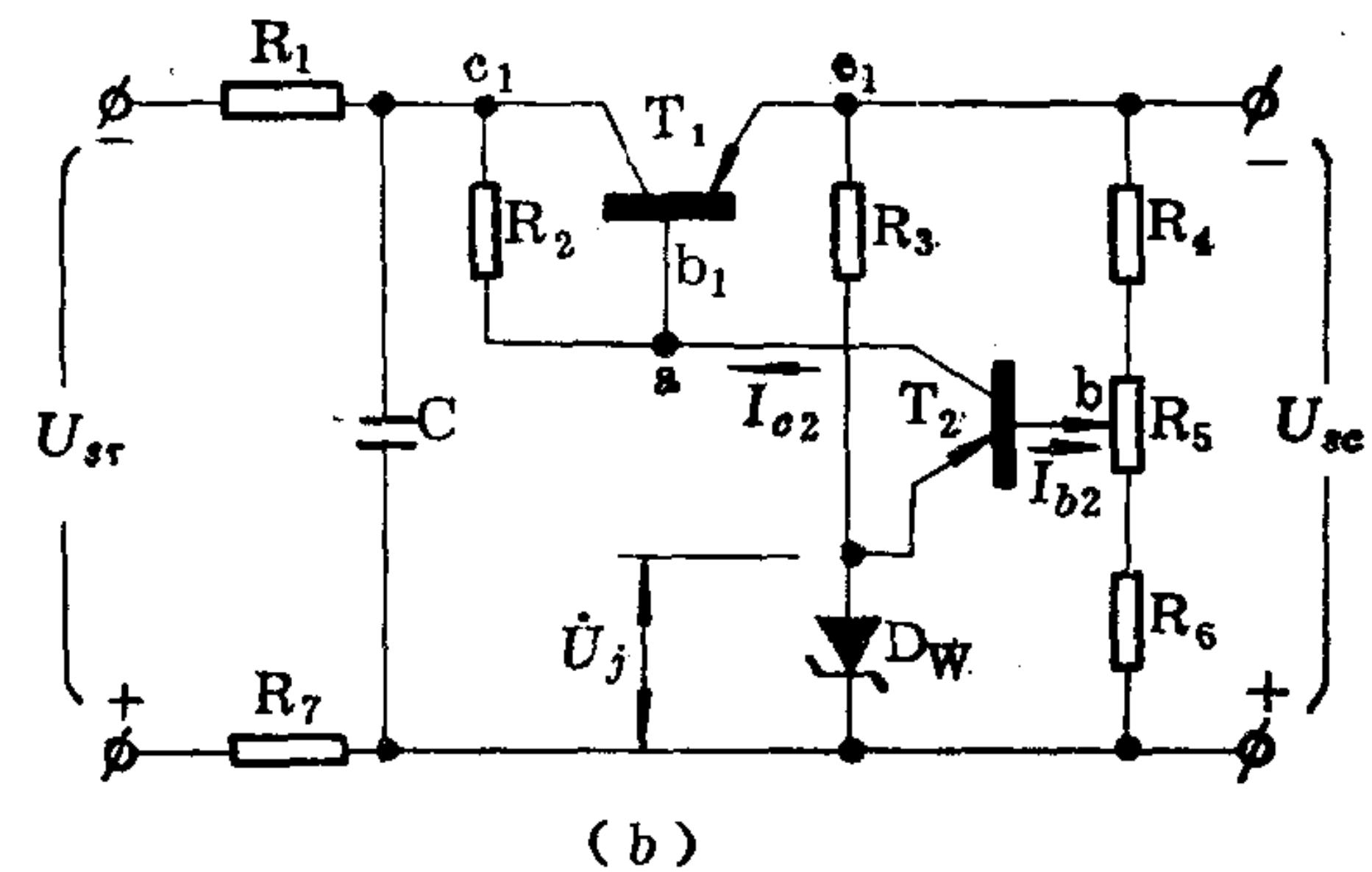
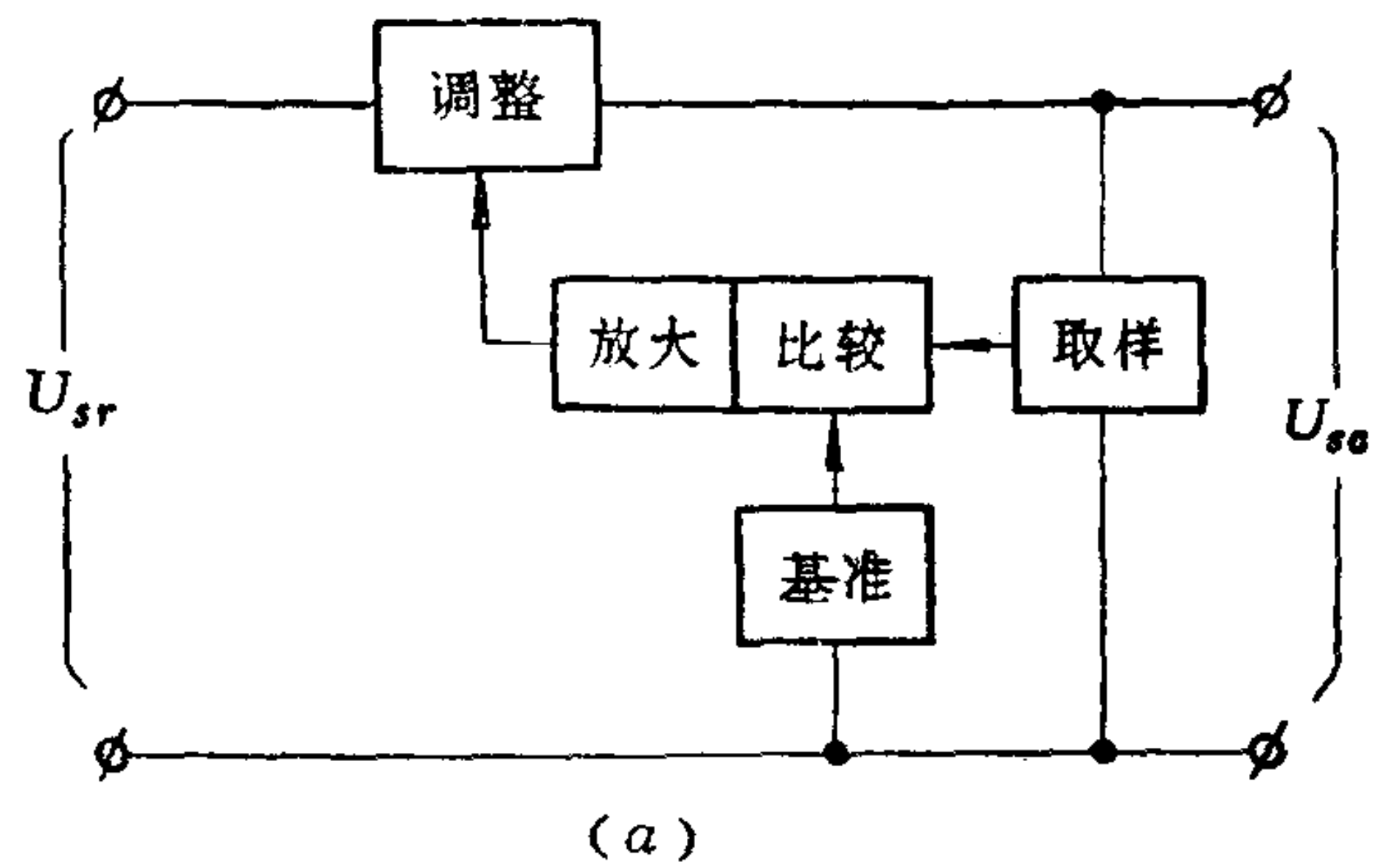


图 2-2-2 降压串联式稳压电路  
(a)方框图，(b)电路图

### 1. 基准电压回路

基准电压回路由 $R_3$ 、 $D_w$ 组成，当输出电压波动时，稳压管内的电流虽有小的变化，但两端电压基本不变，这一电压即为基准电压 $U_j$ 。

### 2. 取样电路

$R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 组成的分压电路即为取样电路。分压得到的取样电压 $U_b$ 近似等于基准电压 $U_j$ 。输出电压 $U_{sc}$ 的大小决定于基准电压值和取样电阻的分压比。设 $R_5$ 的活动头位于中间，则

$$U_{sc} = \frac{R_4 + 0.5R_5 + R_6}{0.5R_5 + R_6} \cdot U_j$$

### 3. 比较、放大电路

$T_2$ 管的作用是比较基准电压 $U_j$ 和取样电压 $U_b$ 的大小，并将比较结果进行放大去控制调整管 $T_1$ 。当 $U_b$ 绝对值升高（即 $U_{sc}$ 升高）时，使 $I_{b2}$ 增大， $I_{c2} = \beta I_{b2}$ 也增大，则 $U_a$ 下降；反之，当 $U_{sc}$ 下降时， $U_a$ 升高。



在要求较高的电路中，往往采用差动放大器作比较、放大电路，见图 2-2-3。基准电压  $U_r$  受放大管的影响更小，且有发射极负反馈电阻  $R_4$ ，使放大器工作点稳定，以减小温度的影响。

#### 4. 调整电路

当  $U_{sc}$  升高时， $U_a$  下降，则  $T_1$  管趋于截止， $e_1$ 、 $c_1$  间压降增大，使输出电压降低，回复到原电压值；而当  $U_{sc}$  降低、 $U_a$  升高时，则  $T_1$  的管压降减小，使  $U_{sc}$  上升，回复到原来

值。由上述可知调整电路乃是一个受比较放大电路控制的功率放大电路。由于整个稳压电路输出电流全部都要经过调整管，因此在选用调整管时，必须注意符合其极限功率和集电极电流的使用范围。当一只管子的功率不能满足要求时，可将几只管子并联起来使用，如图 2-2-4 所示。 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  管的参数应尽可能相同，另外，还应当在发射极或基极回路中串入一适当的均流电阻，否则由于电流分配不均，致使电流集中于其中一管，容易使其损坏。当均流电阻在发射极电路中时（如图中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ），其阻值通常取为  $0.1 \sim 0.5 \Omega$ 。

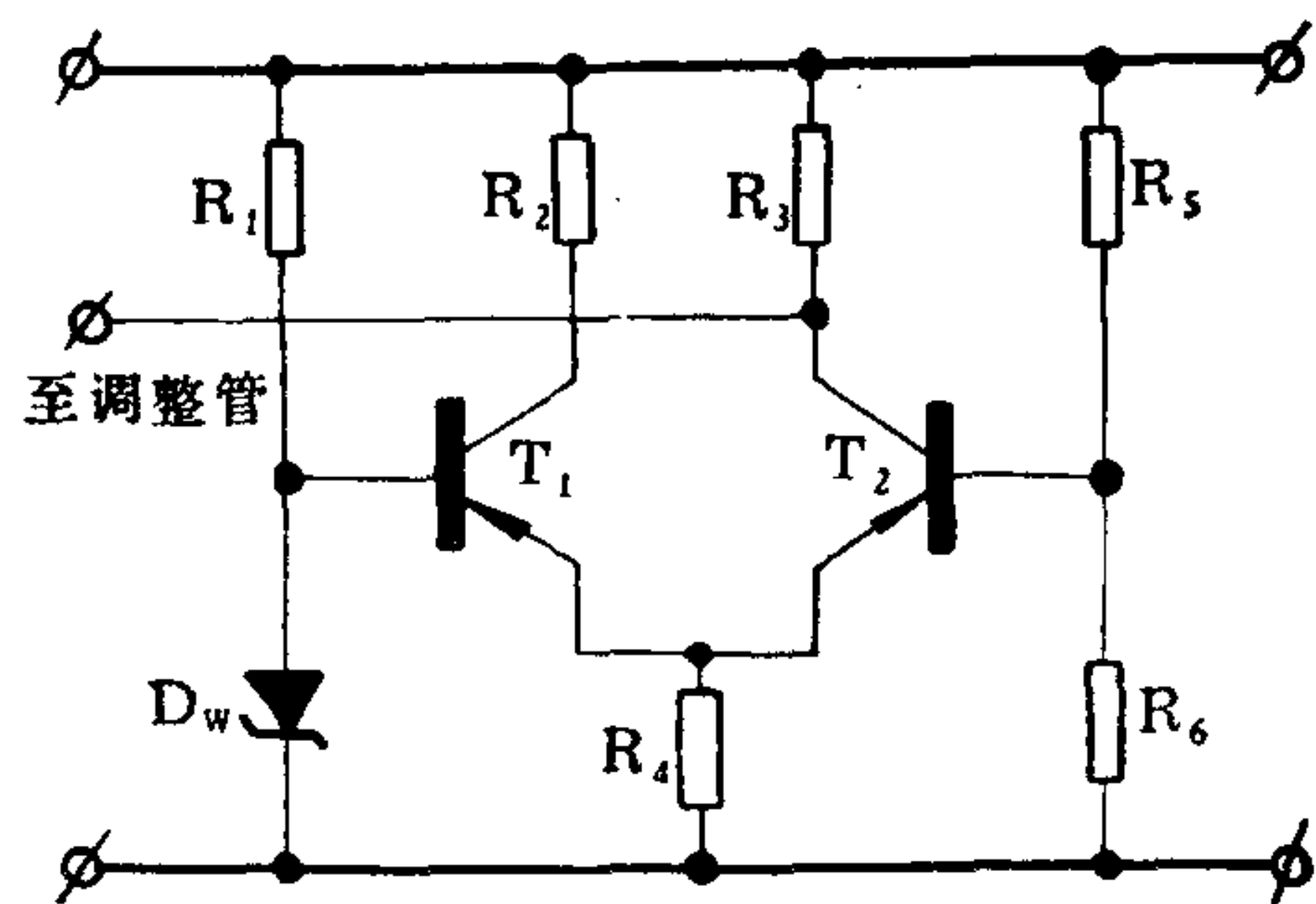


图 2-2-3 差动比较放大电路

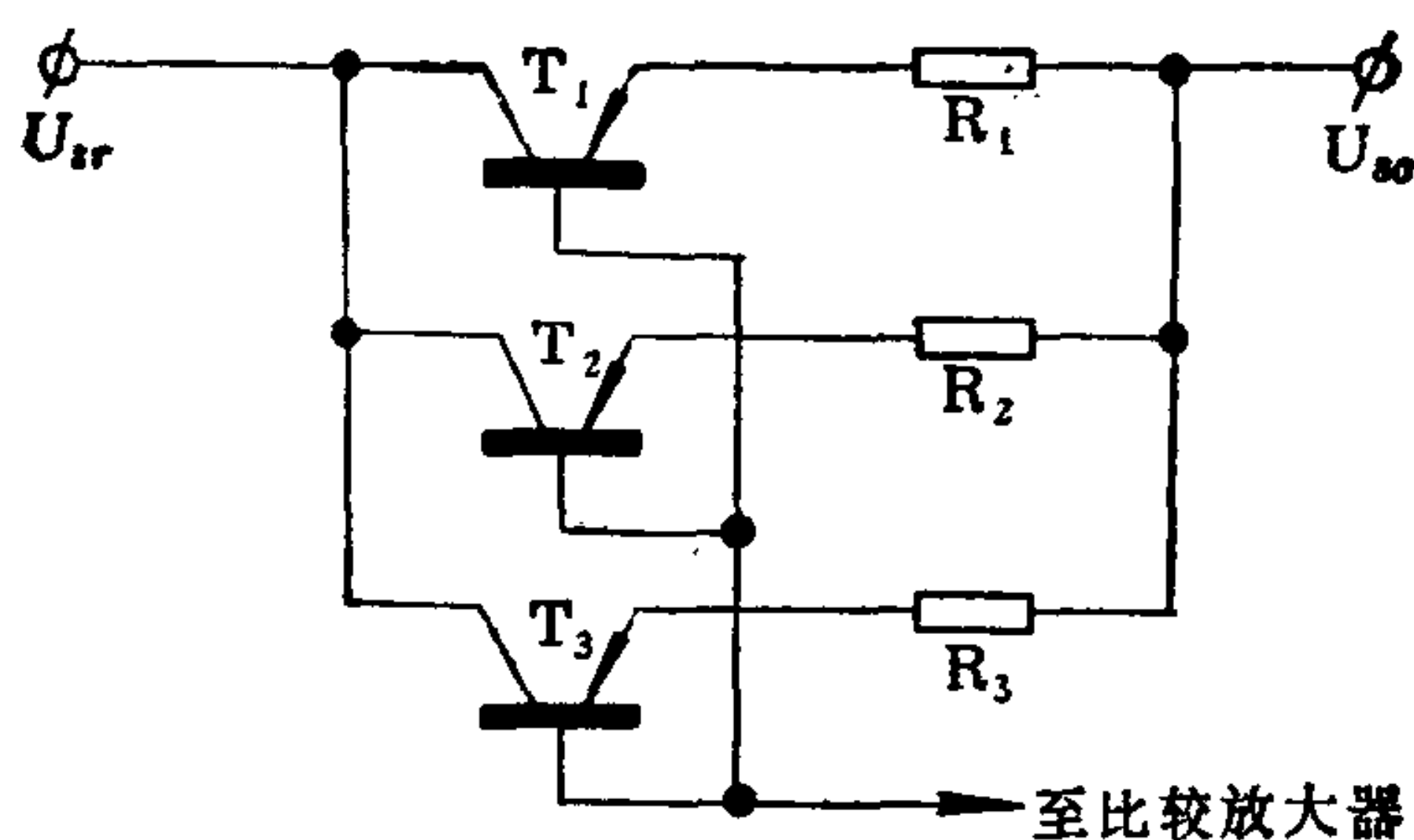


图 2-2-4 调整管并联电路

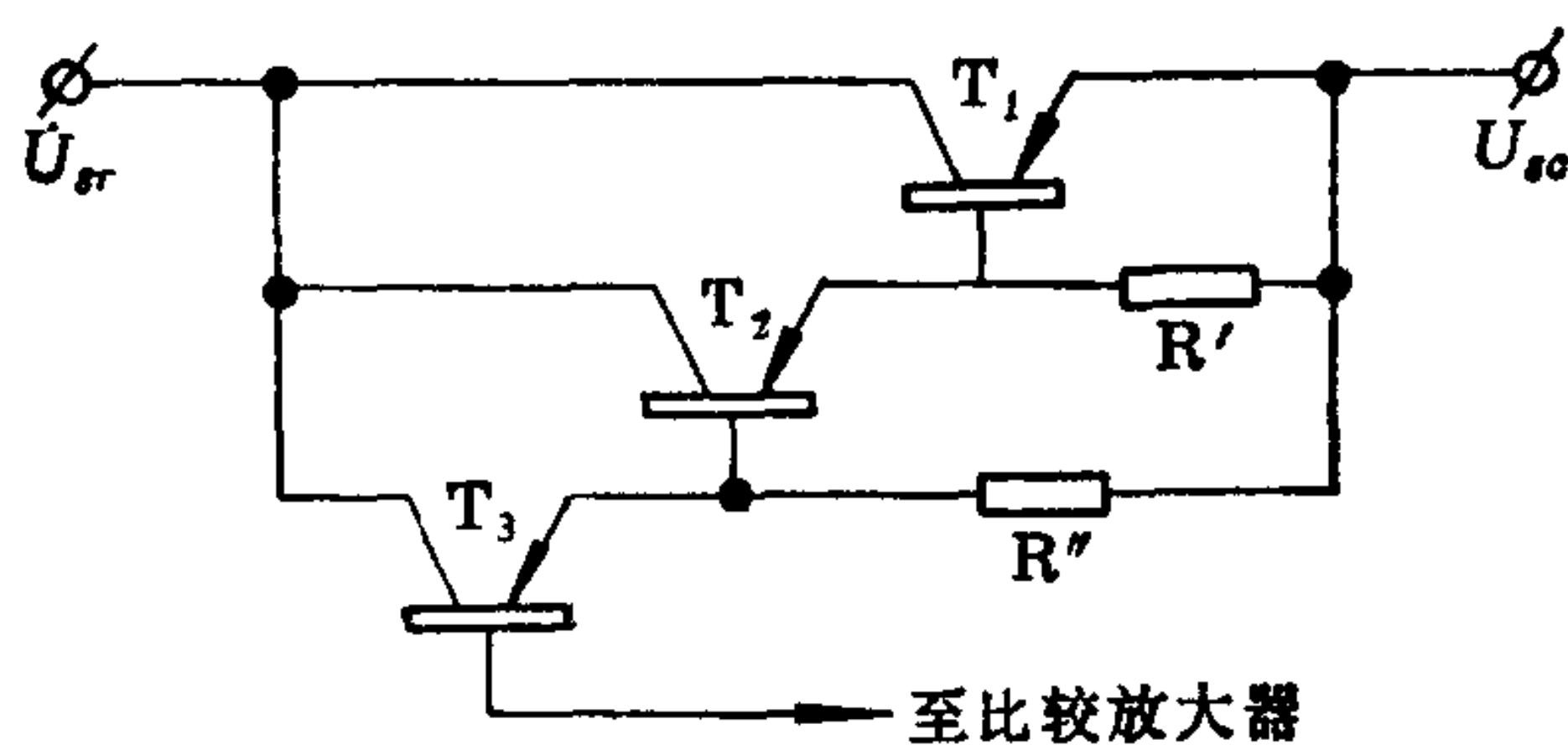


图 2-2-5 复合调整管

当要求负载电流较大，而比较回路输出的小信号难以满足要求时，调整电路往往采用复合管型式，如图 2-2-5 所示。图中  $T_3$  管的基极电流只要有一点点的变化就能引起  $T_1$  管发射极电流大的变化。电阻  $R'$ 、 $R''$  是为了提高管子的温度稳定性而接入的。

## 二、调 试

按图 2-2-6 的试验接线接好监测表计，用可变电阻  $R_{fz}$  作负载来改变负载电流，外接直流电源最好是可调的。

### 1. 空载试验

合上  $K_1$ ，打开  $K_2$ ，监视各测量表计指示情况。可能发生下述几种情况。

① 输出电压为零或很小，电

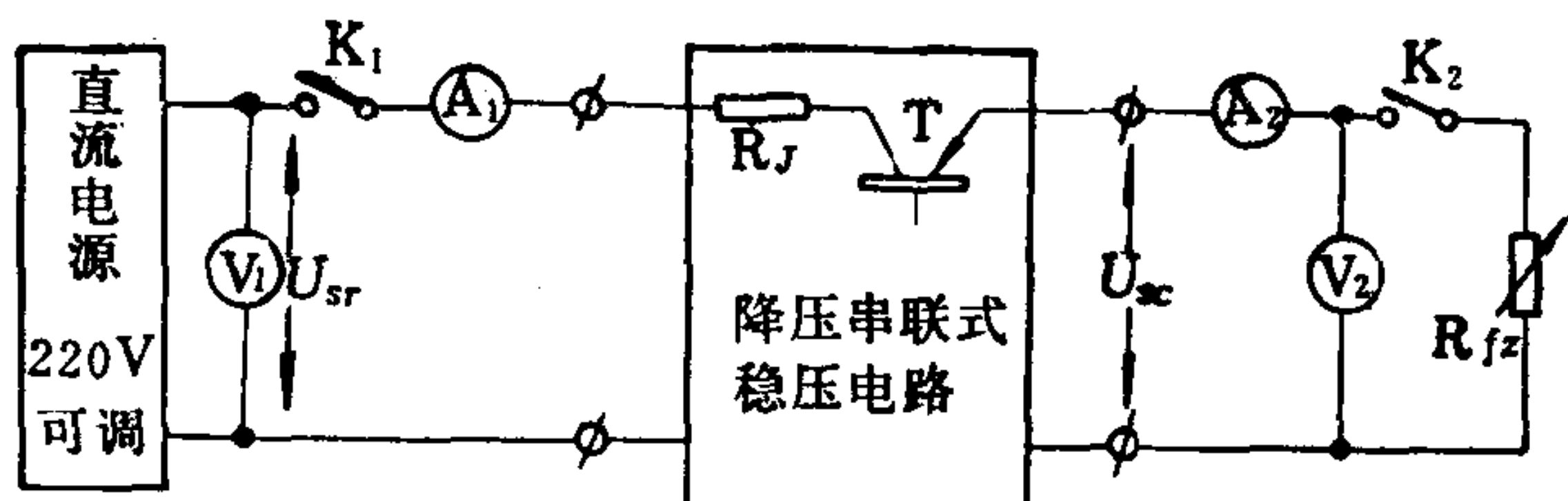


图 2-2-6 稳压电路调试接线图