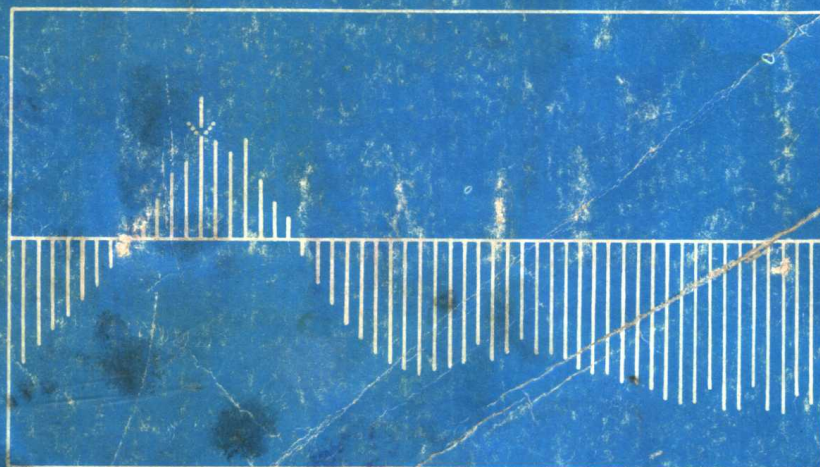


# 电子测量与微机测试技术

哈尔滨工业大学 林玉江 主编



黑龙江科学技术出版社

K4  
10μ  
20  
50  
100  
200  
500  
1m  
极 2  
度 5  
10  
20  
50  
100  
200  
500  
1000  
5R40  
1Ω × 5  
3G26  
D01B

高等学校试用教材

# 电子测量与微机测试技术

哈尔滨工业大学 林玉江 主编  
唐 棣 主审

编写人 梁人杰 陈晓东 吴光瑞 马国民

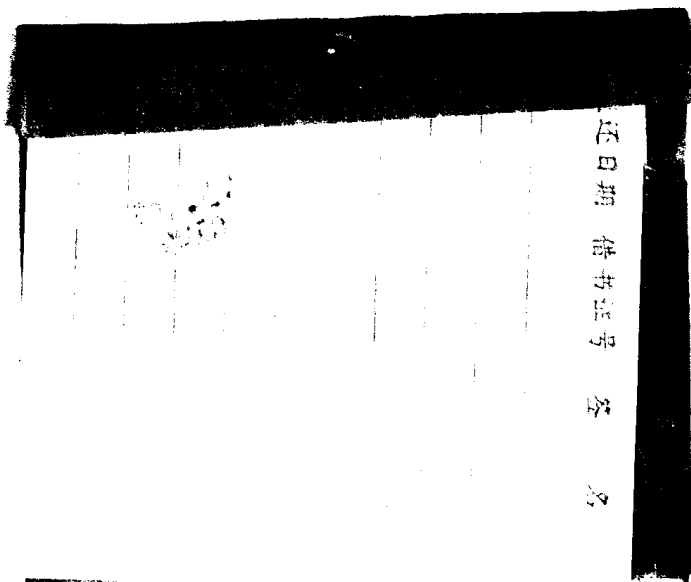
黑龙江科学技术出版社

一九八六年·哈尔滨

## 内 容 提 要

全书内容分三部分：第一部分介绍常用电子测量仪器的工作原理、电路分析、使用方法及维修技术；第二部分介绍电子测量基本原理、元器件及电参数测量方法、波形分析方法、实际电路调试实例、误差分析与数据处理；第三部分为微机测试新技术，其中包括传感器、数字化仪器在内的微机测试分析控制系统实例，内容新颖实用。

本书既可作为大专院校有关专业师生教材及电大、函大、职大自选课教材，也可供从事电子技术工作的同志自学和参考。此书对非电类专业从事微机应用的人员很有实用价值。



### 电子测量与微机测试技术

林玉江 主编

黑龙江科学技术出版社出版  
(哈尔滨市南岗区建设街35号)

哈尔滨铁路印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

787×1092毫米 16开本 27.75印张 12插页 710千字

1986年9月第1版·1986年9月第1次印刷

印数：1—5,200

书号：15217·230

定价：6.30元

书号：2411000

# 前 言

本书是在工程测量实践和教学实践的基础上，按照哈尔滨工业大学电气工程系电子测量技术课教学大纲的要求编写的。其目的是使学生能够掌握现代电子测量技术的基本原理、测试方法与微机测试新技术，并使他们具有一定的设计测量方案、组织科学实验、分析误差与处理数据的能力。

随着电子技术飞速发展，电子测量技术已渗透到各个领域，因此利用电子技术进行测量的内容愈来愈多。现在，电子测量技术已成为一门科学，而且发展极快。其中尤以智能数字化仪器和微机测试技术实用价值最为显著，应用也十分广泛。电专业学生不但要掌握这一新技术，非电专业学生也需对此有一定的了解。实践证明，电子测量技术课是培养学生动手能力效果最显著的专业基础课。它是培养电子工程师的必修课之一。

本书在选材上侧重于实用性和先进性，它既能满足教学要求，又能为广大自学读者和科研工作者（包括非电类的机械、金属材料、石油、化工等专业）提供宝贵资料。

本书既可作为高等院校电子测量技术课教材，也可供从事电子技术工作的同志参考。特别是微机测试内容，均为科研成果，这对于各类大专院校的学生毕业设计和非电类从事微机应用的人员很有实用价值。

本书由哈尔滨工业大学林玉江主编。其中第十章、第十一章的第四节、第五节和第一节中的应变片内容由华东工程学院梁人杰编写；第十一章中的第二、六、七节和第十二章、第十三章由华南计算机软件公司陈晓东编写；第二章第三节和第九章第五节由黑龙江金融职工吴光瑞编写；第十一章第三节由哈尔滨计算机研究所马国民编写；其余内容由林玉江编

全书由唐棣副教授主审；哈尔滨船舶工程学院丁坤芝参加了第三部分审稿工作。本书在编写工作中，得到秦曾煌教授、赵新民教授、郭振芹副教授的指导与支持，得到教务处李继刚教授的关心与支持，并得到系领导及本单位的领导和同事们的鼓励。此外，本书在编写过程中还得到了浙江平阳无线电仪器厂、南华仪器厂、内蒙古电子仪器厂、哈尔滨电子仪器厂和哈尔滨科技开发中心应用技术研究所等单位的大力支持。刘晓刚和石亚乐同志为本书出版作了很多工作。在此一并致以衷心感谢！

由于编写时间紧迫，水平有限，书中的缺点错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1985年8月于哈尔滨工业大学

# 目 录

第一部分 电子测量仪器	1
第一章 稳压电源、毫伏表、数字万用表	2
§ 1—1 晶体管直流稳压电源	2
§ 1—2 JH811型晶体管毫伏表	6
§ 1—3 数字万用表	11
第二章 信号发生器	19
§ 2—1 XD1型低频信号发生器	19
§ 2—2 XG—25S型立体声调频调幅信号发生器	30
§ 2—3 彩色/黑白电视图象信号发生器	35
第三章 示波器	49
§ 3—1 概述	49
§ 3—2 示波器显示波形原理	51
§ 3—3 示波器实际电路分析	56
§ 3—4 旋钮和开关的作用	76
§ 3—5 示波器使用方法	80
§ 3—6 多功能示波器的基本工作原理	82
第四章 晶体管特性图示仪	88
§ 4—1 用途	88
§ 4—2 基本工作原理	88
§ 4—3 实际电路分析	89
§ 4—4 旋钮和开关的作用	108
§ 4—5 使用方法	113
第五章 扫频仪	117
§ 5—1 用途	117
§ 5—2 基本工作原理	117
§ 5—3 BT—3型扫频仪电路分析	118
§ 5—4 旋钮和开关的作用	124
§ 5—5 使用方法	125
§ 5—6 扫频仪在电子测量技术中的应用	127
第六章 电子仪器维修技术	129
§ 6—1 检查故障的基本方法	129
§ 6—2 判断故障的分析方法	130
§ 6—3 常见故障一览表	
§ 6—4 校验	

<b>第二部分 电子测量技术</b> .....	156
<b>第七章 元、器件的参数测量</b> .....	157
§ 7—1 电阻、电容和电感的测量.....	157
§ 7—2 半导体器件的测试.....	160
§ 7—3 集成电路的参数测量.....	174
<b>第八章 电参数测量与信号波形分析</b> .....	179
§ 8—1 电压测量.....	179
§ 8—2 时间测量.....	187
§ 8—3 频率测量.....	191
§ 8—4 相位测量.....	197
§ 8—5 信号波形分析.....	201
<b>第九章 实际电路调试</b> .....	204
§ 9—1 调幅收音机的调试.....	204
§ 9—2 调频收音机的调试.....	213
§ 9—3 立体声收录机的调试.....	217
§ 9—4 黑白电视机的调试.....	222
§ 9—5 彩色电视机的调试.....	239
<b>第十章 误差分析与数据处理</b> .....	253
§ 10—1 研究误差的目的.....	253
§ 10—2 误差和量值传递的概念.....	253
§ 10—3 误差的来源、分类及表示方法.....	254
§ 10—4 误差性质的分析与处理.....	259
§ 10—5 误差的合成与分配.....	269
§ 10—6 非等精密度测量.....	277
§ 10—7 测量数据处理.....	276
<b>第三部分 微机测试技术</b> .....	297
<b>第十一章 传感器——微机测试分析系统实例</b> .....	298
§ 11—1 传感器.....	298
§ 11—2 Z—80单板机炉温控制系统实例.....	310
§ 11—3 “谷氨酸发酵”微机测试控制系统实例.....	323
§ 11—4 材料力学拉伸试验中微机测试实例.....	331
§ 11—5 断裂力学试验中的微机测试方法实例.....	343
§ 11—6 单板机低速测速仪.....	355
§ 11—7 微处理机多路流量自动补偿装置.....	359
<b>第十二章 数字存储示波器——微机测试分析系统</b> .....	364
§ 12—1 数字存储示波器.....	364
§ 12—2 计算机辅助测量分析系统.....	383
<b>第十三章 计算机控制1065型数字电压表采样系统</b> .....	411
§ 13—1 1065 (1065A) 型数字电压表.....	411
§ 13—2 计算机控制1065型数字电压表采样系统.....	424
<b>主要参考文献</b> .....	437

# 第一部分 电子测量仪器

电子测量仪器是指利用电子技术对各种信息进行测量的设备而言。例如，晶体管毫伏表、数字电压表、信号发生器、通用示波器等。电子测量仪器是电子测量技术中的重要组成部分，是教学、科研、生产工作中必不可少的最基本的设备。

电子测量仪器随着电子技术发展而发展。每当出现一项电子新技术，接着而来就要产生相应的电子仪器对其技术指标进行测量。由于电子器件不断更新换代，电子测量仪器的发展也大致可分为如下几个阶段：

(1) 电子管仪器 三十年代出现的电子管仪器，功能简单、笨重、耗电量大。

(2) 晶体管仪器 四十年代出现的晶体管，很快取代了电子管。晶体管仪器的优点是体积小、重量轻、耗电量少。

(3) 集成化数字仪器 六十年代出现的固体电路，发展速度快，使电子仪器的结构集成化。六十年代末期出现了取样技术、数字存储技术，使其功能日臻完善。测量结果可用数码显示，从而克服了读数误差，使数字仪器的发展进入了一个崭新的阶段。

(4) 智能化仪器 七十年代相继出现的中、大规模和超大规模集成电路，促使计算机向微型化方面发展。微处理器的应用使电子仪器向智能化方面发展。八十年代的今天，多功能智能化的电子仪器已普遍应用，它与微机组成自动化高精度的测试系统，是电子测量技术中最有效的手段。

电子测量仪器的品种繁多，其分类方法也较多。按功能分，可分为专用与通用两大类。专用是指适用于特定的测量对象的仪器。其使用面窄，但方便、精度高。例如，晶体管特性图示仪，就是一种专用示波器。通用是指应用面广、功能全面、适应多种测量对象的仪器，但其测量精度不高，如通用示波器等。按工作原理分，目前习惯的分法为模拟与数字两大类。例如，数字电压表、数字存储示波器、逻辑分析仪等均划为数字仪器之列。在实验室教学工作中常见的仪器，统称常用电子仪器，分为如下几类：

(1) 稳压电源 有交流与直流、高压与低压类型，常用的为低压直流稳压电源。

(2) 信号源 有低频、高频、脉冲、函数、立体声、噪声、扫频、黑白/彩色信号发生器等。

(3) 电平测量仪器 电子管电压表、晶体管毫伏表、数字万用表、数字电压表等。

(4) 电路参数测量仪器 R、L、C测试仪、晶体管参数测试仪、集成电路测试仪、图示仪等。

(5) 频率、时间、相位测量仪器 频率计、石英钟、数字式相位计、波长计等。

(6) 波形显示、测量仪器 通用示波器、双踪示波器、多踪多扫描示波器、取样示波器、高压示波器、记忆示波器和数字存储示波器等。

(7) 信号分析仪器 失真度仪、谐波分析仪、频谱分析仪等。

(8) 模拟电路特性测试仪器 扫频仪、噪声系数测试仪等。

(9) 数字电路特性测试仪器 逻辑分析仪等。

本部分将重点介绍常用电子仪器的工作原理、电路分析、使用方法和维修、校验技术。

# 第一章 稳压电源、毫伏表、数字万用表

## § 1—1 晶体管直流稳压电源

### 一、用途

晶体管稳压电源可作为各种晶体管仪器、仪表、自动控制系统与设备及电子计算机等的直流电源。适用于大专院校、工矿企业和科研部门，是电子技术实验室常用的必备的仪器。其面板图如图 1—1 所示。

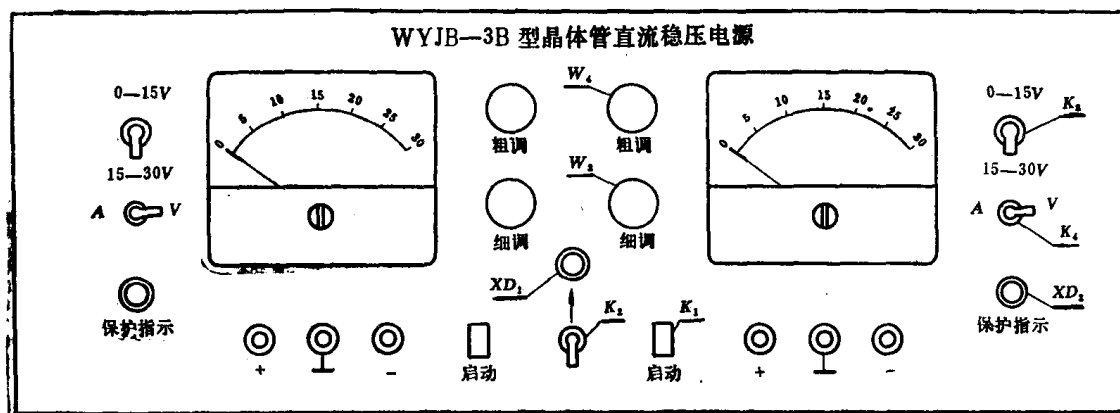


图 1—1 稳压电源面板图

该仪器主要技术性能指标如下：

- (1) 输入交流电  $50\text{Hz} \pm 2$ ， $220 \pm 1\%$ 。
- (2) 输出直流电压  $0 \sim 30\text{V}$ ，两档连续可调。
- (3) 输出直流电流  $0 \sim 3\text{A}$
- (4) 功率损耗  $< 320\text{W}$
- (5) 稳定度 (1级精度) ①电压稳定度  $S_v < 0.05\%$ ；②负载稳定度  $S_l < 0.1\%$ 。
- (6) 输出波纹电压  $< 1\text{mV}$  (有效值)
- (7) 输出电压温度漂移  $< 80\text{mV}/4\text{小时}$  (开机 1 小时后)
- (8) 使用条件 ①环境温度  $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ ；②相对湿度  $\leq 80\%$  ( $+20^\circ\text{C}$ )；③大气压力  $750 \pm 50\text{mmHg}$ 。

### 二、电路工作原理

WYJ—3 B型晶体直流稳压电源由整流滤波、串联型稳压电路、辅助电源和保护电路等部分组成。整机方框图如图 1—2 所示，电路系统如图 1—3 所示。



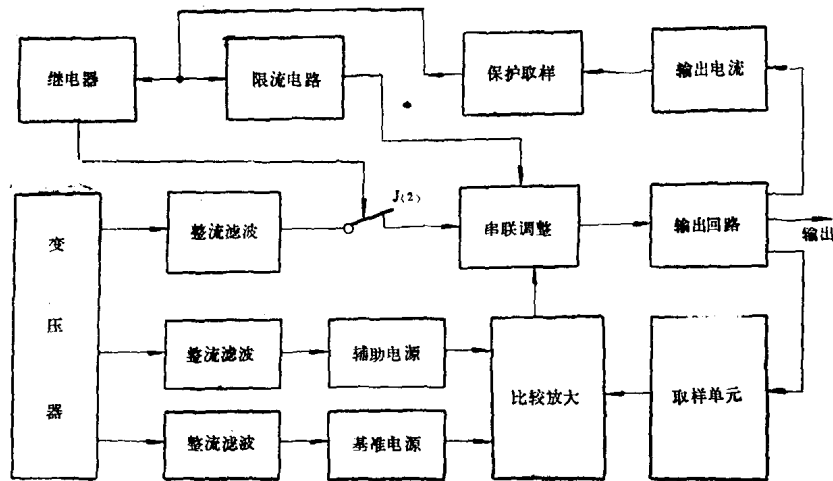


图 1-2 整机方框图

### (一) 整流滤波电路

整流滤波电路由三组构成,如图 1-3 所示。第一组由二极管  $BG_5 \sim BG_8$  组成桥式整流,经电容  $C_2$  滤波,输出直流电压供给保护电路和辅助电源电路用。第二组由二极管  $BG_{10} \sim BG_{12}$  组成桥式整流,经电容  $C_4$  滤波,输出直流电压供给串联型稳压电路用。第三组由二极管  $BG_{20} \sim BG_{23}$  组成桥式整流,经电容  $C_{13}$  滤波,输出直流电压供给基准电源电路用。

### (二) 串联型稳压电路

串联型稳压电路由调整环节、比较放大电路、取样电路、基准电压等部分组成,如图 1-3 所示。

(1) 调整环节 由三极管  $BG_{14}$ 、 $BG_{17}$ 、 $BG_{23}$  和  $BG_{25}$  组成的复合管构成,起稳压调节作用。

(2) 比较放大电路 由两级差分放大器构成,三极管  $BG_{20}$  与  $BG_{27}$  组成第一级差分电路,三极管  $BG_{24}$  与  $BG_{25}$  组成第二级差分电路。其作用是对取样信号进行比较放大。

(3) 取样电路 由电位器  $W_2$ 、 $W_3$ 、 $W_4$  和电阻  $R_8$ 、 $R_{12}$ 、 $R_{27}$  及稳压管  $BG_{13}$  组成分压器。除了提供取样电压信号外,还可以调整输出电压范围。

(4) 基准电压 稳压管  $BG_{13}$  接在三极管  $BG_{20}$  的基极与发射极之间,作为基准电压。 $BG_{27}$  的基极取样信号电压与基准电压比较,便知其增或减。

串联型稳压电路的功能是使输出电压稳定其稳压原理如下:

当电网电压波动或负载电流变化而引起输出电压  $V_0$  变化时,将引起取样电路中的电流变化。假设  $V_0$  的变化量  $\Delta V_0$  为增加,则取样电流变化量  $\Delta I$  也增大,在取样电阻  $R_{12}$ 、 $W_2$  上的压降增大。与基准电压比较,其增加量相当于在第一级差分放大器单端加入一个信号,由  $BG_{27}$  基极输入,其瞬时极性为  $\ominus$ ,而发射极为  $\oplus$ 。经放大后,双端输出,其极性在  $BG_{27}$  集电极为  $\oplus$ , $BG_{20}$  集电极为  $\ominus$ 。该信号送到第二级差分放大器,为双端输入,单端输出。输

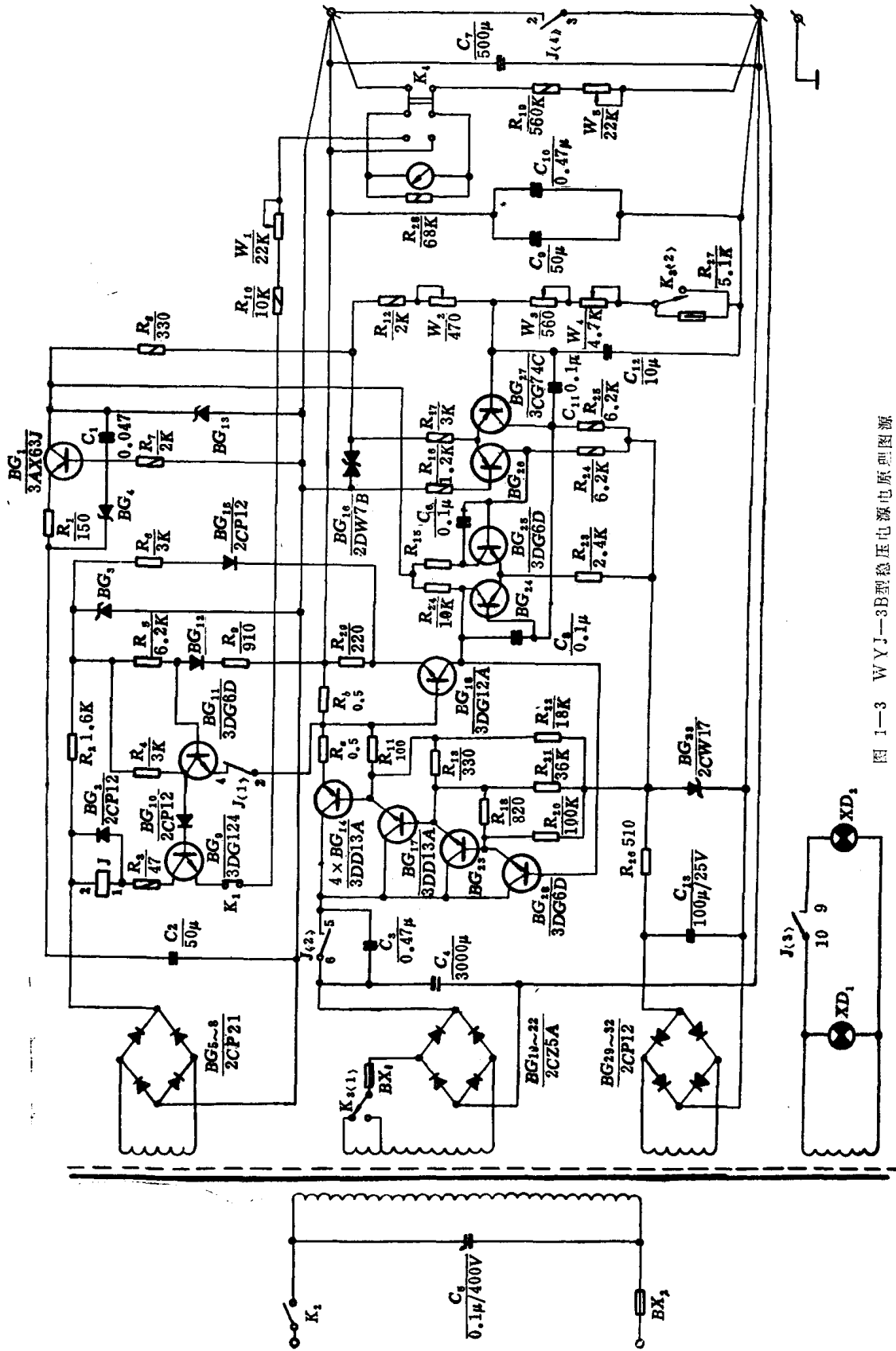


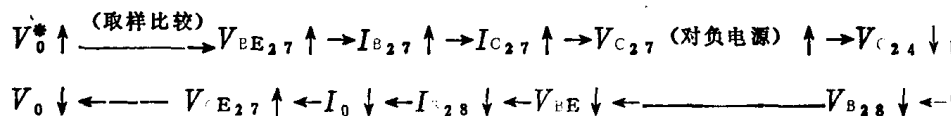
图 1-3 WYJ-3B型稳压电源原理图

出端信号极性为 $\ominus$ ，故 $BG_{2,4}$ 集电极电位减小，使 $BG_{2,8}$ 的基极电位也减小。设调整管（复合管整体）的发射结间的电压为 $V_{LE}$ ，则

$$V_{BE} = V_{B_{2,8}} - V_{E_{1,4}}$$

式中  $V_{B_{2,8}}$ ——为 $BG_{2,8}$ 基极电压； $V_{E_{1,4}}$ ——为 $BG_{1,4}$ 发射极电压。

因为 $V_{E_{1,4}}$ 增加（设 $V_0$ 增大）而 $V_{2,8}$ 减小，所以 $V_{BE}$ 减小。由于 $V_{BE}$ 减小，使调整管基极电流 $I$ 减小，集电极电流（主回路） $I_0$ 也减小，故输出电压 $V_0$ 减小，使其稳定。这个稳压过程可用负反调整过程表示，即



同理，当输出电压 $V_0$ 减小时，通过类似过程调节，使 $V_0$ 保持不变。

在电路中，采用2DW7B型稳压管，其特点是有温度补偿作用，稳压性能好，使基准电压值准确。采用两级差分电路作比较放大，从而提高了取样精度。

### （三）辅助电源

由第一组整流滤波电路输出的直流电压，经电子滤波器（由 $BG_1$ 、 $BG_4$ 组成）滤波、稳压管稳压后给差分电路提供正电源。

由第三组整流滤波电路输出的直流电压，经稳压管 $BG_{3,3}$ 稳压后给差分电路提供负电源，也称基准电源。

由于差分电路由辅助电源供电，从而克服了电网电压波动对主回路输出电压的影响。

### （四）保护电路

稳压电源输出端容易短路或过载，造成调整管的损坏。为了保护调整管，必须采取保护措施。

该稳压源的保护电路由限流保护和继电器保护电路等组成。主回路正常工作时，三极管 $BG_{1,8}$ 截止， $BG_{1,1}$ 饱和和导通，使 $BG_9$ 截止。继电器 $J$ 的线包处于断电状态，各触点如图1—3中状态。当输出端短路或过载时， $I_0$ 增大，在取样电阻 $R_b$ 上压降增大。此时， $|V_{R_b}| \gg |V_{R_{2,9}}|$ ，使 $BG_{1,1}$ 截止，而 $BG_9$ 饱和。继电器线包得电而吸合，触点状态转换，常开触点闭合，而常闭触点断开。此时， $J_{(1)}$ 断开，使 $BG_{1,1}$ 可靠截止，保证 $BG_9$ 饱和。 $J_{(2)}$ 断开，切断主回路电源。 $J_{(3)}$ 闭合，使输出短路，对负载电路保护。 $J_{(3)}$ 闭合，使保护指示灯亮。

限流保护电路与继电器保护电路的过载取样同时开始，但继电器有20ms延迟，在继电器动作之前由限流电路保护。

在电路中， $BG_2$ 为保护二极管，当线包断时，为消除反电势提供通路，对三极管进行保护。 $BG_{1,0}$ 为电平转移二极管，当 $BG_{1,1}$ 饱和时，使 $BG_9$ 可靠截止。 $BG_{1,2}$ 为电位调整二极管，在正常工作时，使 $BG_{1,1}$ 可靠深饱和。 $BG_{1,5}$ 为隔离二极管，在正常工作时，与 $R_6$ 及 $R_{2,9}$ 组成分压器回路，使 $V_{R_{2,9}}$ 与 $V_{R_b}$ 极性相反，二者之差，保证 $BG_{1,8}$ 截止；当过载时，又能防止 $BG_{1,8}$ 饱和时对辅助电源输出端的影响。 $BG_4$ 为3伏稳压管，为 $GB_1$ 发射结提供恒定电压。

在复合管中，发射极电阻 $R_{1,3}$ 、 $R_{1,8}$ 、 $R_{2,0}$ 、 $R_{2,1}$ 和 $R_{2,2}$ 为泄漏 $I_{CEO}$ 而起稳定工作点的作用而设置。 $R_a$ 和 $R_{1,1}$ 为限流电阻。图中的电容均为旁路或滤波电容。

主回路输出端接有电压表，可测输出电压或监视工作电流。

\* 脚标中的数码为管号，无管号的为调整管的电压或电流。

### 三、旋钮和开关的作用

面板图 1—1 中为双套电源的旋钮和开关，以右半部为例，介绍其作用。

- (1) 电源开关 $K_2$  向上搬灯亮，电源接通，向下搬灯灭，电源关。
- (2) 启动按钮 $K_1$  直流电压输出时，先按一下 $K_1$ ，解除保护，输出端有输出。
- (3) 输出插孔 中间接地（公用端），左边为正，右边为负。
- (4) 保护指示灯  $XD_2$ 电路处于保护状态时，该指示灯亮。
- (5) 电压表开关 $K_4$  搬键向右（V），为电压指示，向左（A），作电流监视。
- (6) 电压量程开关 $K_3$  搬键向上为 0~15V 量程，向下为 15~30V 量程。
- (7) 粗调旋钮 $W_4$  当 $K_3$ 选定后，调节 $W_4$ 选取需要电压值，看电压表指针，粗调读数。
- (8) 细调旋钮 $W_3$  在粗调电压刻度基础上，再细调 $W_3$ ，使表针达到准确刻度值。

### 四、使用方法

- (1) 接入 $220 \pm 1\%$ 伏， $50\text{Hz} \pm 2$ 交流电源。
- (2) 打开电源开关，指示灯亮。
- (3) 输出送电，注意极性，要与所需电压极性相符。
- (4) 将“V—A”开关置“V”位置，选择合适的量程，调节粗、细调旋钮，使电压指示所需电压数值。
- (5) 出现短路或过载时，保护指示灯亮，排除故障后，按动“启动”按钮，恢复工作。

注意：电压表换量程时，仍按表头刻度读数。

## § 1—2 JH811型晶体管毫伏表

### 一、用途

JH811型晶体管毫伏表是用来测量正弦波电压有效值的仪表。与真空管电压表比较具有输入阻抗高、测量频率范围宽、灵敏度高及使用方法简便等优点。因此，常用来测量小功率、宽频带的交流信号正弦波电压的有效值。面板图如图 1—4 所示。

该种仪表是无线电测量方面常用的仪器。其主要性能指标如下：

- (1) 测量电压范围 1 mV~300V，量程共分十二档，即 1、3、10、30、100、300 mV；1、3、10、30、100、300V。
- (2) 测量频率范围 20Hz~2 MHz
- (3) 测量电平范围 -60dB~+50dB，共分十二档：-60、-50、-40、-30、-20、-10、0、+10、+20、+30、+40、+50。
- (4) 测量基本误差 电压： $\pm 3\%$ ；电平： $\pm 0.3\%$ 。
- (5) 频率响应特性

50Hz~100kHz时, 电压 $\leq \pm 3\%$ ; 电平 $\leq \pm 0.3\text{dB}$ ;

20Hz~2MHz时, 电压 $\leq \pm 5\%$ , 电平 $\leq \pm 0.5\text{dB}$ 。

### (6) 输入阻抗

输入阻抗: 频率为2MHz 1mV~0.3V (-60~-10dB) 时 $>750\text{k}\Omega$ ;

1V~300V(0~50dB)

时 $>1.5\text{M}\Omega$ 。

输入电容: 1mV~0.3V (-60~-10dB) 时约60pF; 1V~300V(0~+50dB)时约为18pF。

(7) 噪声 当输入端短路, 电表指示最高灵敏度档时 $<25\text{mV}$ (-90dB)。

(8) 环境温度 -10~+40°C

(9) 电源电压 220 $\pm 10\%$ V, 频率50Hz。

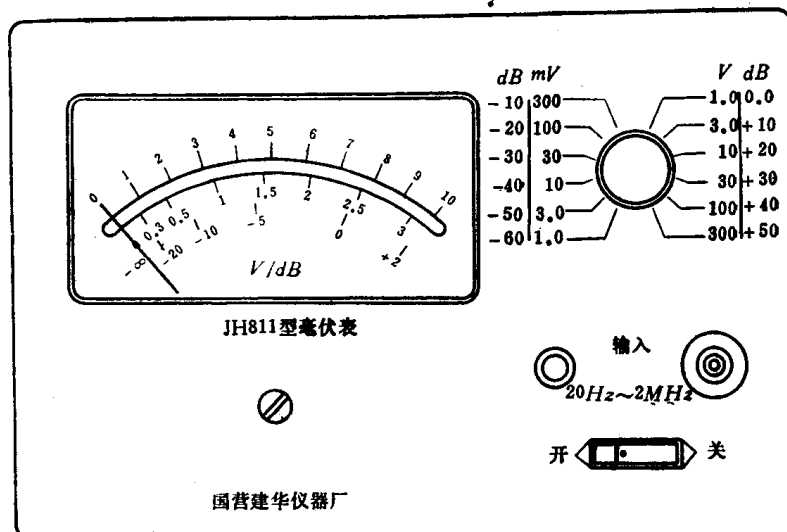


图 1-4 面板图

## 二、电路工作原理

JH811型是一种放大—检波式晶体管毫伏表, 电路组成如方框图1—5所示。它由阻抗变换器(电压衰减器)、放大器、检波器及稳压电源等部分组成。电原理图如图1—6所示。其工作原理叙述如下:

### (一) 阻抗变换器

阻抗变换器由第一级放大器输入分压器与第二级放大器输入分压器组成。第一级输入分压器由 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $C_A$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 组成, 使输入信号电压分三档衰减。第二级输入分压器由 $R_4$ ~ $R_{14}$ 组成, 使输入信号电压分六档衰减。

两组分压器由波段开关 $K_1$ , 同轴十二档变换, 使被测信号电压满足毫伏表测量范围1mV~300V的要求。

### (二) 放大器

放大器共分四级: 第一级放大器由晶体管 $T_1$ 与 $T_2$ 组成复合管射随器, 通过 $C_3$ 实现自举作用, 该电路具有很高的输入阻抗和较低的输出阻抗, 起阻抗变换及隔离作用。

第二级放大器由晶体管 $T_3$ 组成自举—射随器, 作用同上。

第三级放大器由晶体管 $T_4$ 、 $T_5$ 组成直接耦合带负反馈的两级放大器(主放大器)。为了使电路静态工作点稳定, 在 $T_4$ 、 $T_5$ 的发射极均引入电流串联负反馈。因此, 放大器能在放大倍数较大(60dB以上)的情况下稳定地工作。另外, 由 $T_5$ 的输出端引入了交流电压串联负反馈, 其目的是提高输入阻抗、降低输出阻抗, 改善放大器的稳定性和增加通频带。

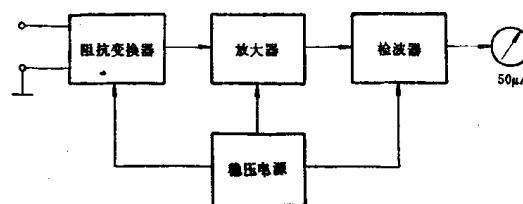


图 1-5 JH811整机方框图

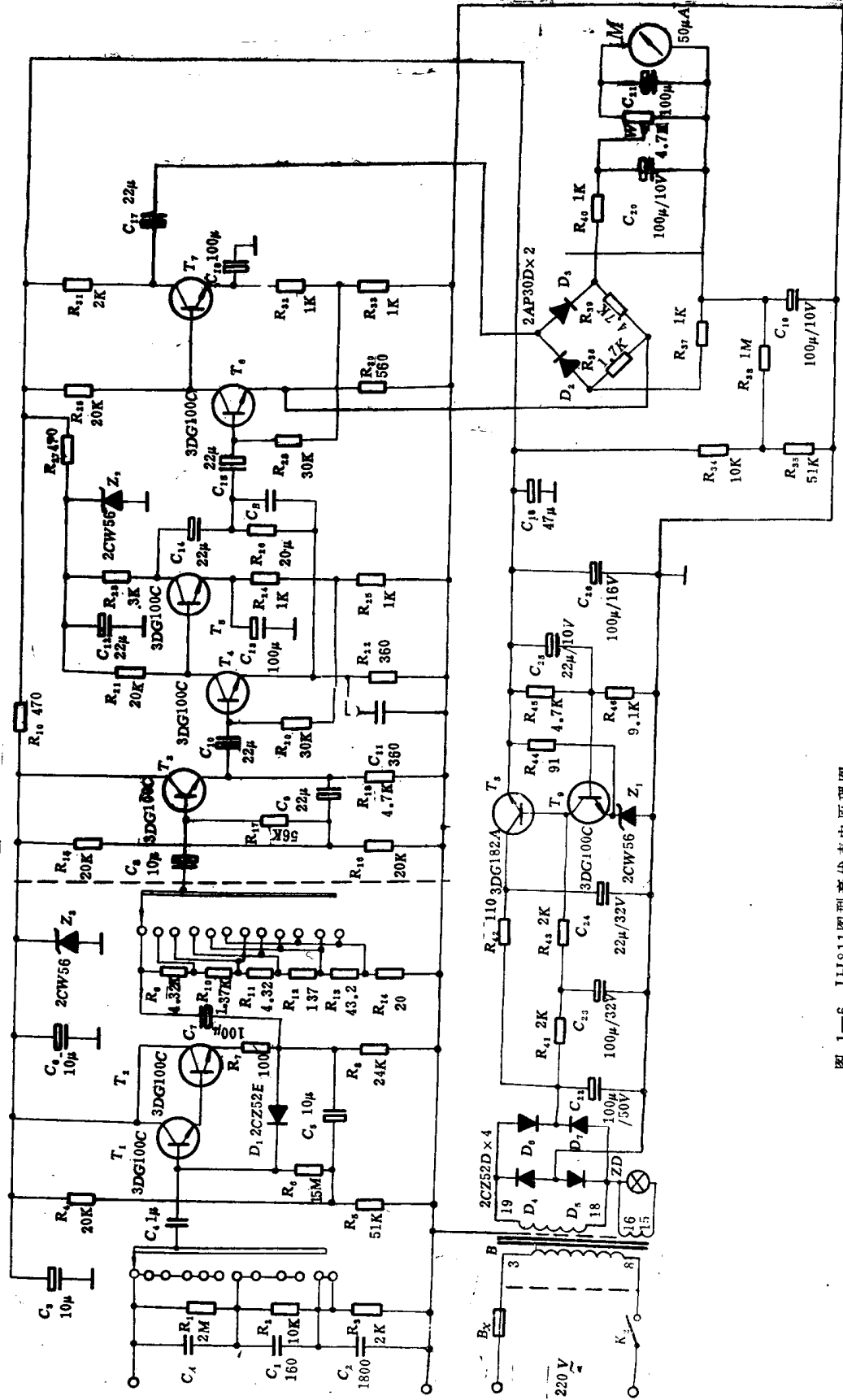


图 1-6 JH811 型毫伏表电原理图

第四级放大器由晶体管 $T_6$ 、 $T_7$ 组成直接耦合两级放大器（主放大器）。其工作点稳定措施与前级放大器相同。在 $T_6$ 发射极引入了信号电流串联负反馈，其目的是使输出电流恒定，使电压表指示的电压刻度基本上是线性的。

放大器中，晶体管 $T_1 \sim T_7$ 均采用硅管，从而减小了由于温度变化而产生的附加测量误差。反馈放大器中，采用了电流负反馈和电压负反馈。因此，整个放大器的稳定性能好，通频带比较宽，并有较高的输入阻抗。

### （三）检波器

检波器由二极管 $D_2$ 、 $D_3$ 与电阻 $R_{36}$ 、 $R_{39}$ 组成。 $R_{40}$ 、 $C_{20}$ 组成滤波电路。经过放大器放大的信号通过二极管检波后得到脉动电压，再经 $R_{40}$ 、 $C_{20}$ 滤波后取出被测量电压的有效值。

为了分析检波器工作过程，现将该部分电路重新画于图1-7中。取 $T_7$ 集电极与地之间的交流电压 $v$ 作为检波电路的输入信号电压，电表与 $C_{21}$ 并联为负载。当 $v$ 的瞬时极性为正半周（上正、下负）时，

二极管 $D_3$ 导通，将有电流经过 $D_3 \rightarrow R_{40} \leftarrow R_{w1} \rightarrow$ 负载 $\rightarrow R_{37} \rightarrow R_{36} \rightarrow R_{30} \rightarrow$ 地（另一路经 $R_{39} \rightarrow R_{30}$ 到地）流动。当 $v$ 的瞬时极性为负半周（下正、上负）时，二极管 $D_2$ 导通，将有电流经过地 $\rightarrow R_{30} \rightarrow R_{39} \rightarrow R_{40} \rightarrow R_{w1}$

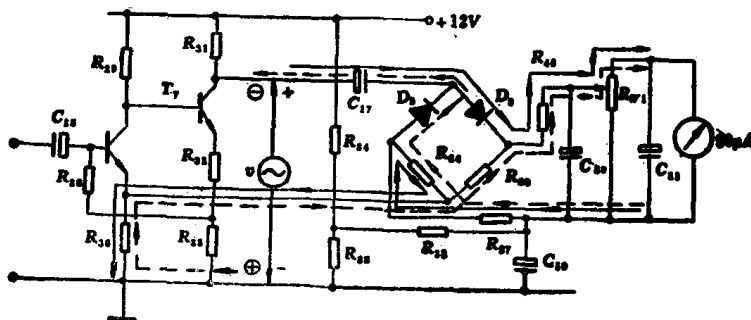


图 1-7 交流通路

$\rightarrow$ 负载 $\rightarrow R_{37} \rightarrow D_2 \rightarrow v$ 的 $\ominus$ 端（另一路经 $R_{36} \rightarrow D_2$ ）流动。由交流通路图可见，信号电压 $v$ 在一个周期内，流过微安表的电流为同一方向，故可用微安表测量交流信号电压的有效值。

电位器 $R_{w1}$ 与微安表串联组成电压表，改变 $R_{w1}$ 的直可以校正电压表的刻度。 $C_{21}$ 为滤波电容，容量足够大。

电阻 $R_{34}$ 、 $R_{35}$ 、 $R_{38}$ 与电容 $C_{10}$ 组成分压器，其目的是提供一个与晶体管发射极电阻上的大小相等的直流电位。在直流状态时，使电流表指针为零，从而消除直流电流影响的测量误差。

### （四）稳压电源

稳压电源由变压器、桥式整流器、复式滤波器及晶体管串联型稳压器组成，为毫伏表电路提供12V电压。其工作原理简述如下：

（1）变压器 把交流220V市电变换为交流18V与6V电压，供整流电路及指示灯用电源。

（2）桥式整流器 由二极管 $D_4 \sim D_7$ 组成，其作用把交流电变为直流电。

（3）复式滤波器 由 $C_{22}$ 、 $R_{41}$ 、 $C_{25}$ 组成复式滤波器；而 $C_{22}$ 、 $R_{42}$ 组成另一个复式滤波器。两路复式滤波器均为稳压电路提供波纹很小的直流电压。

（4）晶体管稳压器 由晶体管 $T_8$ 、 $T_9$ 与稳压管 $Z_1$ 等组成。 $T_8$ 为调整管， $T_9$ 与 $Z_1$ 及电阻 $R_{45}$ 、 $R_{46}$ 组成比较放大电路。 $Z_1$ 稳压值为6V，作基准电压。当输出电压 $V_0$ 增加时， $T_9$ 基极电压 $V_{B9}$ 增加，与 $V_{Z1}$ 比较，使 $V_{BE9}$ 增大，故 $I_{B9}$ 增大， $I_{C9}$ 增大，使 $V_{C9}$ 降低，当然 $V_{B9}$ 降低， $I_{B9}$ 减小，使 $I_{C9}$ 减小。由于 $I_{C9}$ （ $I_0$ ）减小，使 $V_0$ 减小。在 $V_0$ 变化的瞬间，引起负反

馈调整,使输出电压 $V_0$ 保持不变。当 $V_0$ 向减小方向波动时,其工作调整过程同上,也会使 $V_0$ 保持不变,从而体现出稳压器的稳压作用。

电阻 $R_{44}$ 为稳压管 $Z_1$ 的限流电阻。 $R_{45}$ 、 $R_{46}$ 组成分压器。 $C_{25}$ 、 $C_{26}$ 为滤波电容。

在电路图中, $Z_2$ 与 $R_{27}$ 、 $Z_3$ 与 $R_{16}$ 分别组成稳压电路,其作用是隔离前后级交流信号的影响,起退耦作用,以防止因总供电电源存在内阻而引起可能产生的低频自激振荡,从而保证了放大器能够稳定地工作。

$C_3$ 、 $C_6$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{18}$ 均为滤波电容。

$C_A$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 为阻容分压器电容,起高频补偿作用。 $C_A$ 的容量值由调试时确定。

### 三、使用方法

(1) 接通电源前注意检查所用电源是否与该仪表要求的电源电压相符。

(2) 测量前,仪表盘面应与地平面垂直放置,以免产生读数误差。

(3) 测量时,仪表外壳及接地端应接好地线。这样既安全又可消除人体感应或其它干扰带来的测量误差。

(4) 测量前,对仪表进行零点校正。未通电时,表针应指零点位置,如有偏差,应调整表头机械调零螺丝,使表针指示零点。通电后,输入端短路时,针表应指零伏位置,如有偏差,面板无调零旋钮,应在内部维修校正。

(5) 测量时,注意输入接地端接公用地,另一输入端接被测量点,不得接反。

(6) 接通电源时,指示灯亮,输入端短路时,表针指零,输入端开路时,表针摆动。此时该表工作正常,可进行测量。测量时应注意“量程”的选择,当不知被测电压数值范围时,可将“量程选择开关”置最大300V档位置。然后,由大向小的档级转换,选一合适档级,进行读数。

当测交流市电时,“量程开关”置300V档位置。

(7) 测量电压时的读表方法是:

“量程开关”位置选定后,其量程档电压数值表示“表盘满度值”。也就是说,满度盘十个大格刻度线表示“量程档电压数”。例如,“量程开关”置10mV档,表盘满度值为10mV,每个大格表示1mV。当表针指3个大格(图1—8)时,可读作:3mV。

当“量程开关”置100V档时,表盘满度值为100V,即十个大格表示100V,每个大格表示10V。当表针指8个大格(图1—9)时,可读作:80V。其他档级读表方法依此类推……。当“量程开关”置3V时,按表盘3V档刻度值读表。

(8) 测量分贝时的读表方法是:

表盘分贝刻度值如图1—10所示,“量程开关”分贝档数值表示“表盘满度值”,被测量点的实际分贝数应为“量程档数值”与“表针指示值”的代数和。

例如,“量程开关”置-40dB档,测量时表针指+2dB(图1—10),则该点的实际分贝值= $(-40\text{dB})+(2\text{dB})=-38\text{dB}$ 。

当“量程开关”置+30dB档,测量时表针指-10dB档(图1—11),则该点的实际分贝值= $(+30\text{dB})+(-10\text{dB})=+20\text{dB}$ 。

其它档读法依此类推……。

分贝测量应注意阻抗匹配,表盘分贝刻度是按高阻抗600 $\Omega$ 时刻度的。当被测点阻抗为



600Ω时，其测量值准确，而为其他阻抗时，要进行如下修正：

① 被测点阻抗为150Ω时，实际读测值再加上(+6.07dB)修正值。

② 做低阻抗测量时，在该表的输入端并联一只电阻，取值600Ω或150Ω。然后按上述方法读测分贝值。

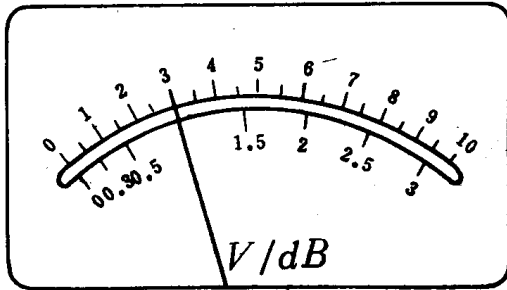


图 1-8

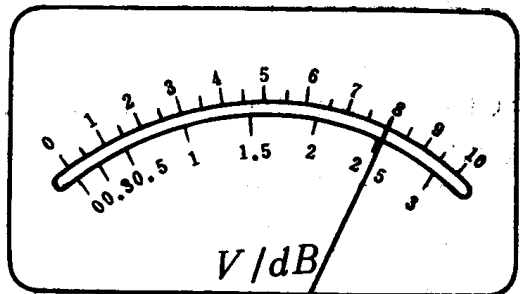


图 1-9

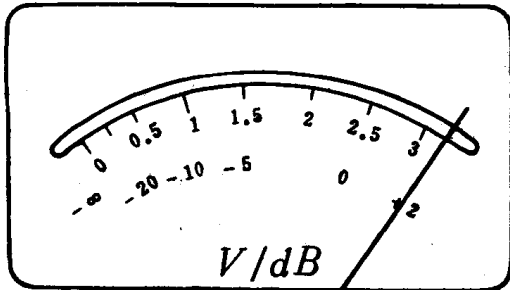


图 1-10

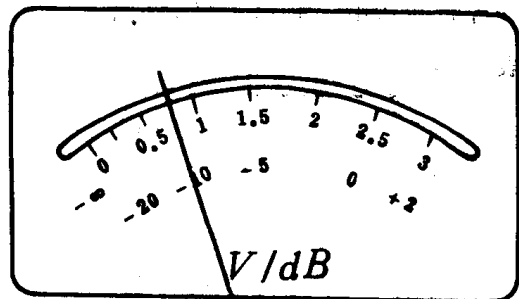


图 1-11

## § 1-3 数字万用表

### 一、用途

数字万用表用来测量直流电压、直流电流、交流电压；测量电阻、晶体管直流放大倍数；并还具有导通性检查和二极管检测功能。

与普通万用表比较，其最大特点是数码显示，无读数误差，测量精度高；采用大规模集成A/D芯片，工作可靠性高、体积小、重量轻、耗电省，维修方便。

### 二、主要技术指标

- (1) 最大显示值 1999或-1999
- (2) 采样周期 400ms
- (3) 直流电压测量 分五档(见表1.1)。