

常用电子测量仪器的使用与维修

下 册

(第十二章至第十四章)

南京工学院无线电系仪表室编

1980.8.

《常用电子测量仪器的使用与维修》

下 册

(第十二章至第十四章)

目 录

第十二章 电子电压表

12-1	测量用途	1
12-2	技术性能	2
	一、电压范围	2
	二、频率范围	3
	三、准确度	4
	四、输入阻抗	4
12-3	基本原理	5
	一、单级电子电压表	5
	二、放大—检波式电子电压表	6
	三、检波—放大式电子电压表	7
	四、调谐式电子电压表	7
	五、斩波式电子电压表	9
12-4	DA-16 型晶体管毫伏表	10
	一、技术性能	10
	二、电路说明	12
	三、使用方法	14
12-5	DYC-5 型超高频电子管电压表	14
	一、技术性能	14

二、电路说明	16
三、使用方法	20
12-6 WFG-1B型高频微伏表	25
一、技术性能	25
二、电路说明	26
三、使用方法	34
12-7 HFC-1型超高频毫伏表	36
一、技术性能	37
二、电路说明	37
三、使用方法	43
12-8 DYB-2型电子管电压表检定仪	44
一、技术性能	45
二、仪器工作条件	45
三、使用方法	45

第十三章 电子示波器

13-1 测量用途	51
13-2 基本原理	51
一、阴极射线管	52
二、X轴和Y轴放大器	52
三、X轴和Y轴输入衰减器	53
四、扫描发生器	53
五、同步触发放大器	54
六、幅度校准器	54
七、时间校准器	54

八、电源	55
13-3 技术性能	55
一、Y轴放大器的频率响应	55
二、上升时间与上冲量	56
三、Y轴增幅偏转因数	57
四、Y轴输入阻抗	59
五、扫描速度	60
13-4 电子示波器的类型	63
13-5 示波管	65
一、示波管的类别	65
二、示波管的结构	66
三、电子束的聚焦与偏转	69
四、高灵敏度示波管	74
五、存储示波管	76
13-6 示波器的操作规程	80
一、示波器面板开关、旋钮的作用	80
二、示波器的一般操作规程	84
13-7 SR-8型二踪示波器	88
一、测量用途	88
二、技术性能	88
三、电路结构	90
四、电路原理	92
五、面板开关、旋钮的作用	119
13-8 示波器的使用、方法	126
一、示波器的选择	126
二、观测波形	128
三、测量电压	129
四、测量频率	130
五、测量相位	132
六、测量时间	133
七、测量调幅度	135
八、测量失真度	135

13-9	SO3 型示波器校准仪	137
	一、技术性能	137
	二、电路结构	139
	三、使用方法	140

第十四章 信号发生器

14-1	测量用途	147
14-2	技术性能	148
	一、频率范围	148
	二、频率准确度与稳定度	148
	三、非线性失真	149
	四、输出电压	149
	五、输出阻抗	150
14-3	XD-1 型信号发生器	150
	一、技术性能	151
	二、电路结构	152
	三、电路原理叙述	153
	四、使用方法	194
14-4	XB-18 型标准信号发生器	200
	一、技术性能	200
	二、电路结构	203
	三、电路原理叙述	204
	四、使用方法	209
14-5	XFC-6 型标准信号发生器	217
	一、测量用途	217
	二、技术性能	217
	三、电路结构	220
	四、电路原理叙述	222
	五、使用方法	251
14-6	信号发生器的检定	259
	一、检定项目与检定用仪器	259
	二、E312型电子计数式频率计的使用方法	263
后 记		273

《常用电子测量仪器使用与维修》

下 册

第十二章 电子电压表

12—1 测量用途

对于不同性质（直流、交流、脉冲等）、不同频率（低频、高频、超高频等）和不同量值（微伏级、毫伏级、几伏到几十千伏等）的电压测量是在科研、实验、生产以及仪器设备的检修与调试中，经常要进行的一项测试工作。人们可根据所测得的电压数据来了解和分析各种电路的特性和工作情况。

各种测量电压的仪器，都有其一定的输入阻抗。在进行电压测量时，这种阻抗是和被

测电路的阻抗 Z_T 相

并联的，其情形如图

12—1 所示。这里，

测量仪器的输入电阻 R 和输入电容 C 对被测电路起着分流的作用，势必或多或少的影响被测电路的电压或电流的数值，并且这种影响将随着频率的增高而变得更加严重。因为仪器的输入阻抗越低，分流作用越显著，对被测电路的影响就越大，因而测量的结果也就越不正确。此外，仪器输入端的引线电感 L ，则是与被测电路相串联的。测量时，电感 L 起着分压的作用，这种影响也将随着频率的增高而愈益显著。为了提高电压测量的准确性，就要求电压的测量仪器具有很高的输入阻抗，或者能将被测高频电压变换为直流电压，以减少输入

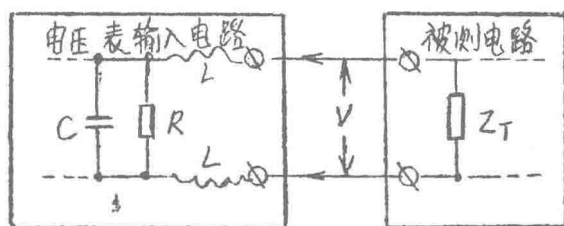


图 12—1 输入阻抗与被测电路

电容和分布电感的影响。

由于电工仪器大都采用直接测量的原理，即需要从被测电路吸取一定的电功率，因此，其输入阻抗不可能做得很高，并且所测量的电压量值也不可能很小（毫伏级以下），所以不能胜任无线电和电子技术中大部分的电压测量任务。而电子电压表则能实现对于不同性质、不同频率和不同量值的电压测量。

电子电压表是一种常用的电子测量仪器，它在结构上是采用电子线路将被测电压（或电流）加以转换（交流转换为直流、直流转换为交流、高频转换为低频等）。放大（电压放大或电流放大），解调（有效值检波或相敏检波等），然后再借助于普通的电工式直流微安表或毫安表，来间接进行测量以指示出被测电压的模拟值；或者采用各种逻辑电路和计数装置，以直接显示出被测电压的数值（诸如各种电子计数式电压表）。因此，电子电压表与普通的万用电表相比，前者具有灵敏度高，分布参量小，输入阻抗高以及承受较大和较久的过载等优点，并且可测的电压范围和频率范围都比万用电表宽得多。

为了使用上方便起见，某些类型的电子电压表还设计为多种的测量用途，诸如DYC—5型超高频电子管电压表，尚可测量直流电压、交流电压、直流电阻以及作为零点指示器，WFG—1B型高频微伏表，尚可测量调幅度等等。由于任何一种电子电压表都不可能具有全部的测量范围，因此，根据测量电压的性质，频率的范围和量值的范围，常用电子电压表的类型大体上有：电子管繁用表、直流毫伏表、音频毫伏表，视频毫伏表、高频电子管电压表、高频微伏表、超高频电子管电压表、超高频微伏表及脉冲电压表等等。

12—2 技术性能

一、电压范围

这是指电子电压表可以测量电压的范围，它的上限取决于电子电压表本机的分压器和附加的衰减器，而其下限则取决于电子电压表的灵敏度和本机的噪音电平。

例如，DA—16型晶体管毫伏表其量程为 $1\text{mV} \sim 300\text{V}$ ，本机噪音为 $20\mu\text{V}$ ，所以其测量电压的下限为 $100\mu\text{V}$ 。

例如HFC—1型超高频毫伏表其量程为 $1\text{mV} \sim 3\text{V}$ ，如用附加的 $100:1$ 衰减器后，测量电压的上限可扩展到 300V 。

电子电压表虽有能承受较大和较久的过载的优点，但如果被测电压超出这个允许测量的电压范围，仪器就无法进行测量，被测电压过大时，也会导致电子电压的损坏（例如：探测头内的检波管、放大管以及电路元件的损坏）。所以，在选用电子电压表时，必须注意它的电压测量范围是否合适。

二、频率范围

这是指电子电压表能以规定的准确度进行电压测量的频率范围。这个范围的大小与电子电压表的电路结构有密切的关系。所以，不同类型的电子电压表都有规定的频率范围。

例如，DA—16型音频（低频）毫伏表，在电路结构上是采用直接输入式和阻—容放大器，其频率范围为 $20\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$ 。

例如，HFC—1型超高频毫伏表在电路结构上是采用检波输入式和选频放大器，其频率范围为 $5\text{KHz} \sim 1000\text{MHz}$ 。

其它如HFP—1型视频毫伏表的频率范围为 $30\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$ ，DYG—1型高频电子管电压表的频率范围为 $20\text{Hz} \sim 400\text{MHz}$ ，WFG—1B型高频微伏表的频率范围为 $50\text{KHz} \sim 30\text{MHz}$ ，等等。因此，必须根据被测信号电压的频率来选用适当频率范围的电子电压表。否则，测量电压的误差就会很大，甚至无法进行测量。

三、准确度

这是指电子电压表测量电压数值的准确度。因为电子电压表是采用直流电流表作为指示器，所以取“引用相对误差”即“满度误差”）来表征仪器的准确度，即

$$Y_o = \frac{A_H - A}{A_o} \times 100 = \frac{\Delta A}{A_o} \times 100 \%$$

这里， ΔA 为标称值 A_H 与实际值 A 的绝对误差； A_o 为相应电压量程的满度值。

由于放大器频率特性的不均匀性，以及放大器的增益和电桥电路的平衡会随着工作温度和电压的变动而有所变化，因此，电子电压表的读数和“零位”受工作频率、温度及电源电压等的影响较大。所以，电子电压表的准确度通常由基本误差，频率附加误差、温度附加误差等系统误差来表征的。

例如：HFC—1型超高频毫伏表的

基本误差：100 KHZ、 $\leq \pm 3 \%$

频率附加误差：5KHZ~500 MHZ、 $\leq \pm 5 \%$

温度附加误差：每10℃增加 $\pm 2 \%$

电源附加误差：220V $\pm 10 \%$ 时， $\leq \pm 1 \%$

当然，不同类型电子电压表的稳定性是有所区别的，而且这些附加误差是有规律性的，完全可以根据误差产生的原因，采取相应的措施予以消除（诸如采用电子交流稳压电源，或通风与升温设备等）。一般说来，电子电压表的基本误差为 $\pm 2.5 \%$ 左右，而频率附加误差的出入较大，约从 $\pm 2 \%$ ~ $\pm 10 \%$ 范围不定。

四、输入阻抗

这是指电子电压表输入端的阻抗量值，通常是用输入电阻和输入

电容两部分来表征的。输入阻抗的大小对测量电压的准确度有很大的影响，特别是输入电容的量值，往往是决定电子电压表可测频率上限的重要因素。

例如：DA—16型晶体管毫伏表的输入阻抗为 $1.5\text{M}\Omega$ 、 7pF ；而HFC—1型超高频毫伏表的输入阻抗为 $50\text{K}\Omega$ ， 2pF 。

一般说来，采用探测器（检波头或阻抗变换器）的电子电压表，其输入阻抗较高，而加用衰减头后其输入阻抗更高。例如：WFG—1B型高频微伏表采用阻抗变换器的高频探测头，其输入阻抗为 $5\text{M}\Omega$ ， 12pF ；而加用 $100:1$ 的衰减头后其输入阻抗为 $1000\text{M}\Omega$ ， 3pF 。

但是，随着信号频率的升高，电子电压表的输入阻抗的量值将随之降低，例如DYC—5型超高频电子管电压表的输入阻抗在 50Hz 时， $>2\text{M}\Omega$ 而在 100MHz 时， $>20\text{K}\Omega$ ，而且，随着测量用途的转换，其输入阻抗也不一样，例如，DYC—5型仪器作为直流电压的测量用途时，其输入阻抗 $>20\text{M}\Omega$ 。这些在使用时都是必须加以考虑的。

12—3 基本原理

一、单级电子电压表

单级电子电压表是一种最简单的电子电压表，它由检波器、指示电表和电源所组成，其情形如图12—2所示。这里，被测的交流，低频或高频电压，借助二极管或三级管检波器，转换为直流电流，然后以直流电流表指示出相应的电压值。这

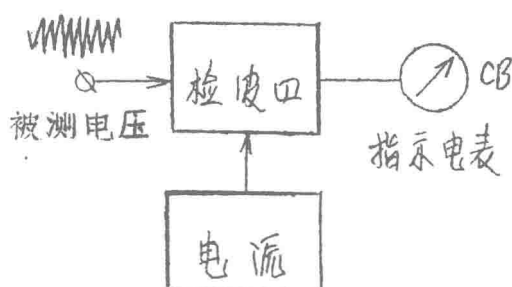


图12—2 单级电子电压表的电路结构方框图

种单级电压表的灵敏度很低，可测的电压范围很窄（ $0.1\text{V} \sim 10\text{V}$ 左右），这主要是受检波器的伏—安特性和指示电表的灵敏度所限制。因此，在实用上这类电压表并不作为单独的测量仪器，而是作为其它电子测量仪器的一个指示部分。例如，在各种信号发生器、阻抗电桥，Q表、失真度测量仪，测量放大器等电子测量仪器中，就是用这种电压表作为指示器的。

二、放大—检波式电子电压表

这类电子电压表一般由分压器，阻容耦合宽带放大器、检波器、指示电表和电源五个部分所组成，其情形如图12—3所示。

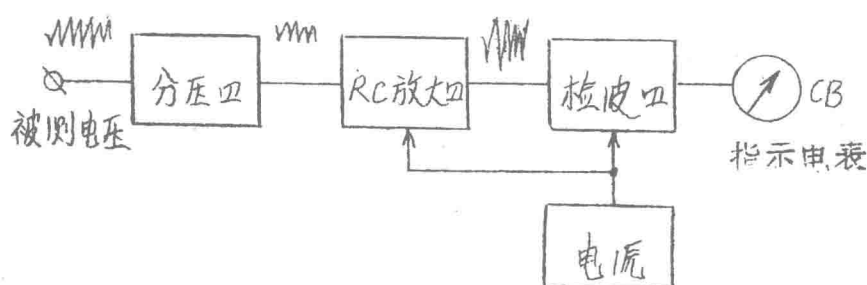


图12—3 放大—检波式电子电压表电路结构方框图

这里，被测信号电压在检波之前得到了放大，因而提高了电子电压表的灵敏度，使其可以测量毫伏级的电压量值。诸如DA—16型低频毫伏表和HFP—1型视频毫伏表等，都是采用放大—检波式的基本原理而设计的，为了扩大测量范围，它还往往附加一个外接的100:1分压器，诸如HFP—1型视频毫伏表、WFG—1B型高频微伏表和HFC—1型超高频毫伏表等，都备有外接分压器，使量程扩大100倍。至于这类电子电压表的可测频率范围，主要是取决于放大器和检波器的频率响应特性。

三、检波—放大式电子电压表

这类电子电压表是由检波探测器、分压器、桥式直流放大器、指示电表和电源等部分组成的。其情形如图 12—4 所示。这里，被测

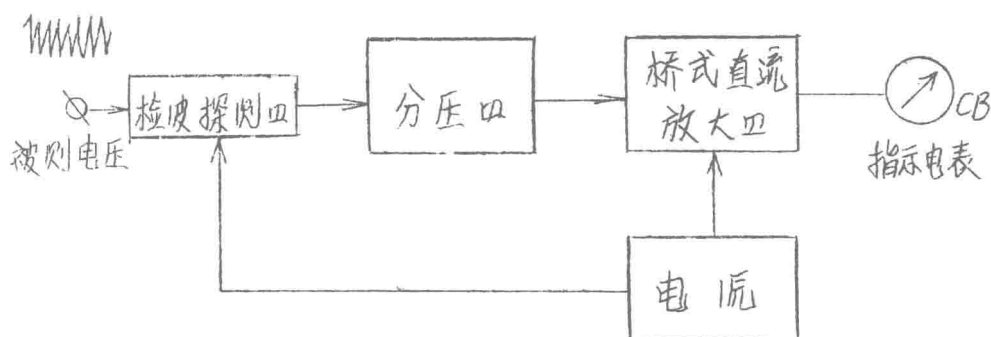


图 12—4 检波—放大式电子电压表电路结构方框图

信号电压通常先经由电子二极管或晶体二极管构成的并联式检波电路，转换为直流电压，然后通过分压器加到桥式直流放大器进行电流放大，并借助直流表来指示相应的电压值。由于只有一级桥式放大器（单管、双管或多管式的），因此灵敏度还是较低的，它可测电压的范围一般为 $0.01 \sim 300\text{V}$ 。但可测信号电压的频率范围却很宽，可以从音频到超高频（ $20\text{Hz} \sim 300\text{MHz}$ ），并具有结构简单和工作稳定等的优点。一般的高频和超高频电子电压表（诸如 DYG—1 型高频电子管电压表，DA—2 型和 DYC—5 型超高频电压表等）与脉冲电压表（如 MF—1 型脉冲电压表）等，都是采用检波—放大式的基本原理而设计的。如果在这类电子电压中加装电池（1.5V 干电池）并稍加改接，就可以用来测量直流电压、直流电阻以及作为“零点”指示器。诸如 DA—2 型和 DYC—5 型电子电压表，都具有电子繁用表的用途选择装置。

四、调谐式电子电压表

这类电子电压表的主要组成部分有：探测头、变频器、分压器、中频放大器、检波器、低频放大器、指示电表及电源，其情形如图 12—5 所示。这里，高频探测头是作为阻抗变换器，以提高电压表的输入阻抗。被测高频信号经由探测头加到变频器，转变为较低的固定中频。因此，变频器又称为第一检波器。然后，通过多级中频放大器的选频与放大，注入中频信号到第二检波器转变为直流电流，并借助直流电流表 CB，来指示相应的高频电压值。因为它的电路结构同高灵敏度的外差式无线电收音机极为相似，所以又称为外差式电子电压表。这类电子电压表的灵敏度和选择性都非常高，因而可用来测量

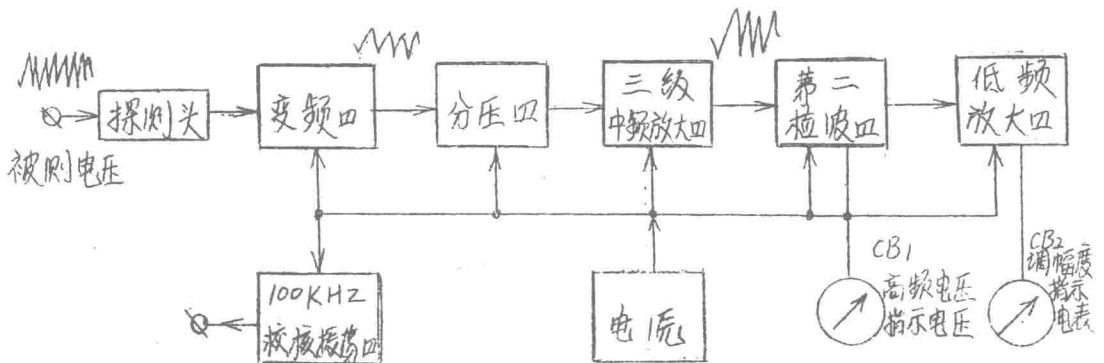


图 12—5 调谐式电子电压表电路结构方框图

微伏级的信号电压。诸如 WFG—1B 型高频微伏表和 PW—1 型超高频微伏表，都是采用调谐式的基本原理而设计的。它的缺点是：结构复杂，使用麻烦和价格昂贵。

因为高频调谐波信号通过变频后，并不影响其幅度包络的形状，所以可对中频调幅波进行“双重检波”，以测定其调幅系数。因此，调谐式电子电压表大都兼有调制度测量仪的用途，其情形如图 12—5 所示。

五. 斩波式电子电压表

为了生产一种结构比较简单, 价格比较便宜而使用方便的高灵敏度及极宽频带 ($5\text{KHz} \sim 1000\text{MHz}$) 的电子电压表, 近代采用斩波器的检波调制法的电路设计, 其情形如图 12—6 所示。

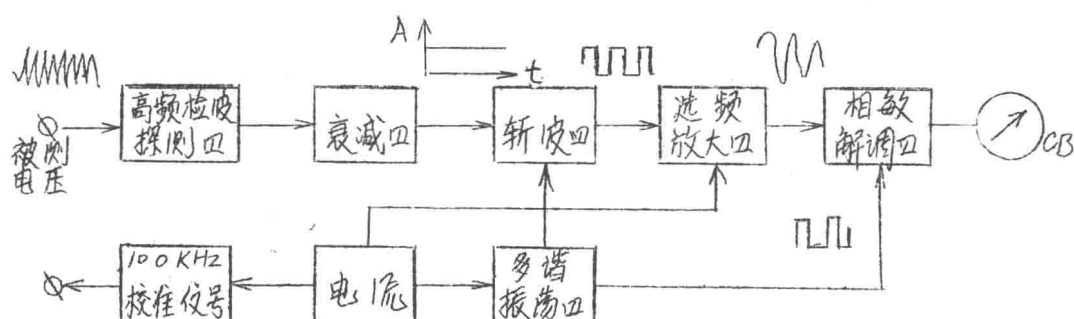


图 12—6 斩波式电子电压表的电路结构方框图

这里包括高频检波探测器、衰减器、斩波器、选频放大器、相敏解调器、多谐振荡器和电源等电路部分。被测信号电压通过高频检波器转变为直流电压、经由衰减器加到斩波器上。同时, 多谐振荡器产生的低频开关信号 (50Hz 或 1KHz) 也加到斩波器上, 使输入的直流电压斩切成与开关信号频率相同的低频方波信号。这种方波电压再通过选频放大器的作用, 变为同频率、大幅度的正弦波信号, 加到相敏解调器上。同时, 多谐振荡器产生的开关信号也加到相敏解调器上, 因而使正弦波电压转变为直流电流, 并借助直流电流表来指示相应的电压值。这类电子电压表可测信号电压的范围约从 $200\mu\text{V} \sim 3\text{V}$ 。加用外接的 $100:1$ 分压器后, 可扩展电压量程到 300V 。HFC—1型和 HFJ—8 型超高频毫伏表都是采用斩波式的基本原理而设计的。

为了简化结构和维修方便起见, 现在已使用由 50Hz 交流电源控制的机械斩波器 (如 ZB—6—6.3), 来代替斩波器电路和多谐振

荡器电路的作用（如 HFC—1 型超高频毫伏表）。应当指出：这类电子电压表的高频检波探测器是采用插接式的结构，即不用时可以自仪器面板的相应插口处取离。如果改用相同插头的电缆线，即可引进被测直流电压，将超高频毫伏表代替直流毫伏表来使用。因为高频探测器是峰值检波，而直流电压相当于有效值。所以在作为直流毫伏表使用时，应将标称值乘上一个修正系数 K ($K \approx \sqrt{2} = 1.414$)。

12—4 DA—16

DA—16 型晶体管毫伏表采用放大—检波式，它具有较高的灵敏度和温度稳定性等特点，前置电路采用高输入阻抗电路，获得了低噪声电平及高输入电阻。DA—16 型晶体管毫伏表适用于测量从 $100\mu V$ 至 $300V$ 的交流电压，其频率范围自 $20Hz$ 至 $1MHz$ ，电表刻度指示为正弦波有效值。

一、技术性能

1. 测量交流电压范围： $100\mu V \sim 300V$ ，共十一挡，相应电平范围： $-72dB \sim +32dB$ ($0dB = 1mW, 600\Omega$)。
2. 频率范围： $20Hz \sim 1MHz$
3. 电压准确度： $\pm 3\%$ （基本误差 300V 挡，50Hz，其它各挡 1KHz）。
4. 频率附加误差： $20Hz \sim 100KHz \leq \pm 3\%$
 $20Hz \sim 1MHz \leq \pm 5\%$
5. 输入阻抗：在 1KHz 时，输入电阻为 $1.5M\Omega$ ；
输入电容， $1mV \sim 0.3V$ 各挡约 $70pF$ 。
 $1V \sim 300V$ 各挡约 $50pF$ 。
6. 噪声：当输入端短路时，在 $1mV$ 挡电表指示不大于满度值的 2% （即 $20\mu V$ ）。

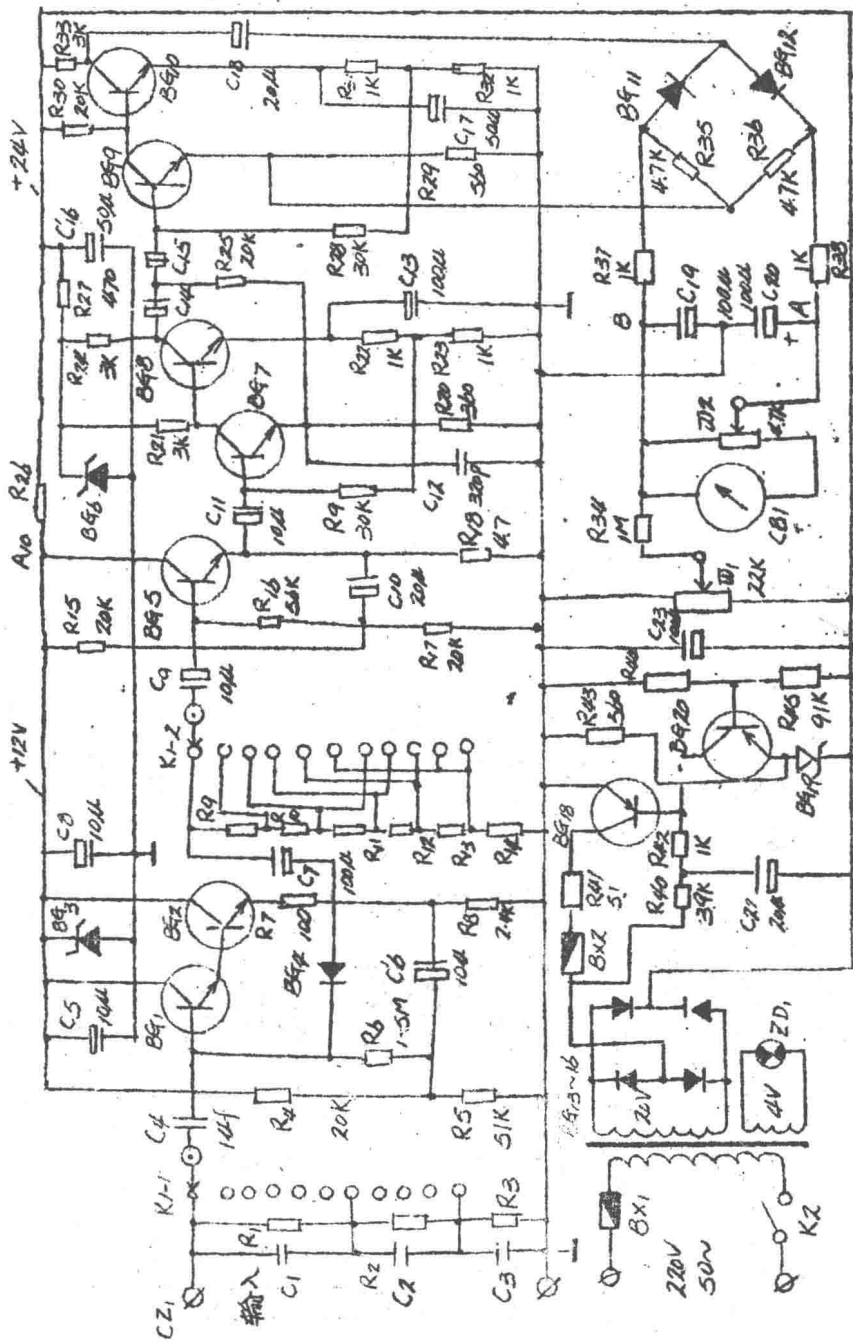


图12-7 DA-16型晶体振荡电路原理图

7. 使用电源: 交流 220V 50HZ, 消耗电力小于 3W,
直流 24V, 消耗电力小于 3W。

二、电路说明:

DA—16 型晶体毫伏表的电路原理图如图 12—7 所示。这里包括输入衰减器、射极跟随器、放大器、检波器、指示器和电源等电路部分。

1. 输入衰减器

DA—16 型仪器的输入衰减器是三组 RC 补偿式衰减器 (R_1, C_1 , R_2, C_2 和 R_3, C_3) 组成的。它借助“量程选择”开关 K_1 和输出分压器 $R_9 \sim R_{14}$ 配合, 以得到从 1mV 到 300V 共十一个挡位的量程转换作用。

2. 射极跟随器

电子电压表的输入阻抗应以高为佳。如果对被测信号直接分压, 则应采用高阻抗衰减器, 其频率影响不容易做好。这里采用 BG₁ ~ BG₂ 晶体管接成共集组合放大器, 即射极跟随器, 以取得高的输入阻抗, 并对 0.3V 以下的输入信号电压, 变换成低阻抗输出的信号电流, 馈送到分压器以进行分压。而对 0.3V 以上的被测信号电压, 则通过衰减器变成小信号后注入射极跟随器。

3. 放大器

DA—16 型电子电压表的放大器电路, 是由 BG₃ ~ BG₁₀ 五个晶体三极管组成的, 共电压总增益为 60db (即放大倍数为 1000)。这里, BG₃ 作为射极跟随器, 对输出分压器起缓冲作用。随后使用由 BG₇、BG₈ 和 BG₉、BG₁₀ 构成的两组共发组合放大器, 以获得高增益的电压放大。

在第一组共发组合放大器 BG₇ 和 BG₈ 的电路中, 其输出端通过