

数字万用表套件

型号 DT9205A



装配指导说明书

元件列表

电阻器

数量	元件标号	元件规格	色环编码	部件编号
□1	R29	3KΩ 1%	橙-黑-黑-棕-棕	
□2	R50、R55	10KΩ 1%	棕-黑-黑-红-棕	
□1	R48	100 0.3%	棕-黑-黑-黑-棕	
□1	R59	11KΩ 1%	棕-棕-黑-红-棕	
□1	R57	168KΩ 1%	棕-蓝-灰-橙-棕	
□1	R40	1. 87KΩ 1%	棕-灰-紫-棕-棕	
□1	R52	1. 91KΩ 1%	棕-白-棕-棕-棕	
□1	R54	200Ω 1%	红-黑-黑-黑-棕	
□1	R12	30K 1%	橙-黑-黑-红-棕	
□2	R51/R56	39. 2K 1%	橙-白-红-红-棕	
□1	R53	4. 11K 1%	黄-棕-棕-棕-棕	
□1	R58	76. 8K 1%	紫-蓝-灰-红-棕	
□2	R13/R47	900 0.3%	白-黑-黑-黑-棕	
□1	R46	9K 0.3%	白-黑-黑-棕-棕	
□1	R45	90K 0.3%	白-黑-黑-红-棕	
□2	R34/R44	900K 0.3%	白-黑-黑-橙-棕	
□1	R49	990K 1%	白-白-黑-橙-棕	
□1	R41	10 5%	棕-黑-黑-金	
□1	R36	1K 5%	棕-黑-红-金	
□2	R14/R16	2K 5%	红-黑-红-金	
□2	R02/R11	10K 5%	棕-黑-橙-金	
□6	R06/R10/R30-R32/R37	100K 5%	棕-黑-黄-金	
□3	R03/R08/R20	1M 5%	棕-黑-绿-金	
□1	R05	10M 5%	棕-黑-蓝-金	
□1	R38	2M 5%	红-黑-绿-金	
□5	R01/R09/R33/R42/R43	220K 5%	红-红-黄-金	
□2	R04/R39	30K 5%	橙-黑-橙-金	

□1	R07	47K 5%	黄-紫-橙-金	
□4	R17-R19/R15	470K 5%	黄-紫-黄-金	
□2	R28/R64	6. 8K 5%	蓝-灰-红-金	
□1	R65	100 0.3%	棕-黑-黑-黑-蓝	
□1	R26	1K 0.3%	棕-黑-黑-棕-蓝	
□1	R25	9KΩ 0.3%	白-黑-黑-棕-蓝	
□1	R24	90KΩ 0.3%	白-黑-黑-红-蓝	
□1	R23	900KΩ 0.3%	白-黑-黑-橙-蓝	
□2	R21/R22	4.5M 0.3%	黄-绿-黑-黄-蓝	
□1	R63	90Ω 0.3%	白-黑-黑-金-蓝	
□1	R62	9Ω 0.3%	白-黑-黑-银-蓝	
□1	R61	0.97 0.5%	黑-白-紫-银-绿	
□2	R27/R35	600-900Ω	热敏电阻	

电容器

数量	元件符号	元件规格	元件名称	部件编号
□2	C11/C110	3.3uF/16V	电解电容	
□3	C09/C18/C19	10uF/16V	电解电容	
□1	C01	47uF/16V	电解电容	
□1	C13	47pF	瓷片电容	
□1	C08	100pF	瓷片电容	
□4	C14-C17	10nF	金属化电容 CBB	
□1	C05	22nF	金属化电容 CBB	
□2	CO6/CO7	100nF	金属化电容 CBB	
□3	C03/CO4/C12	220nF	金属化电容 CBB	

半导体器件

数量	元件符号	元件规格	元件名称	部件编号
□8	D07-D14	1N4004	二极管	
□6	D01-D05/D15	1N4148	二极管	
□1	Q3	9013	三极管	

□2	Q2/Q4	9014	三极管	
□1	Q1	9015	三极管	

其它元器件

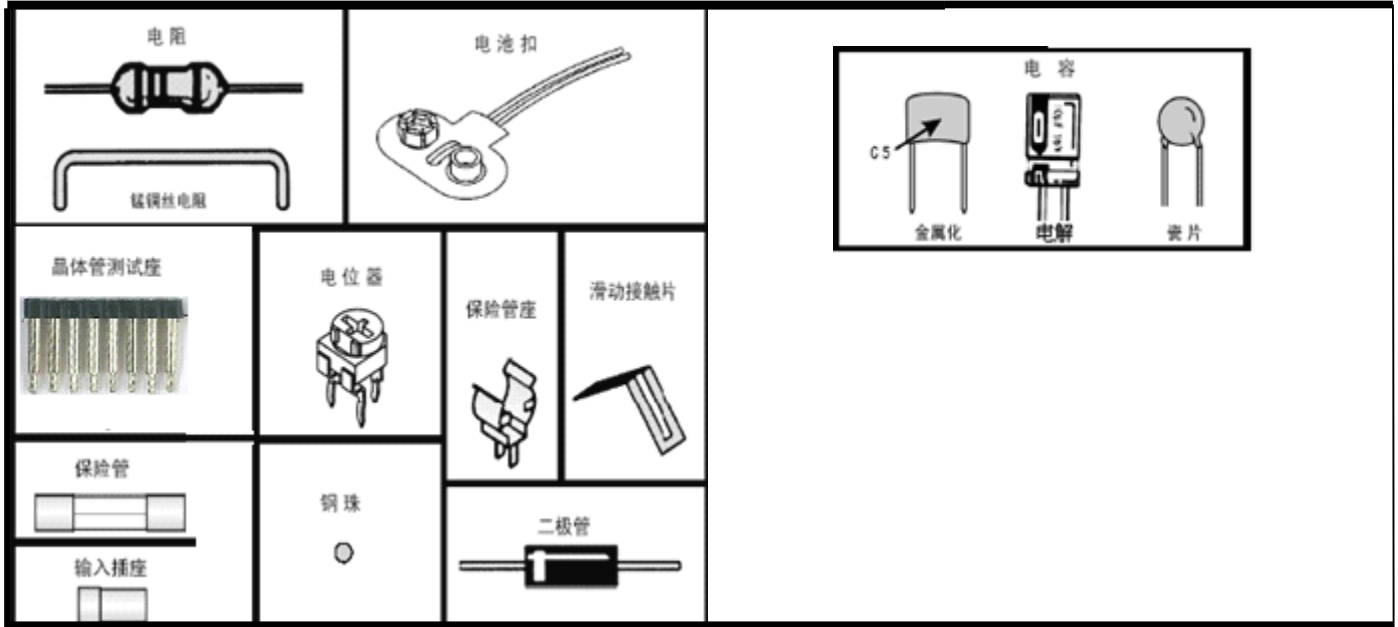
数量	名称	部件号		
□1	上下外壳		□5	二接触片
□1	液晶显示器总成		□1	9V 叠层电池
□2	电容插座		□1	电源线 (6.5CM)
□4	输入插座		□4	导电胶条 (其中两条在液晶总成里)
□1	旋钮		□2	钢珠Φ3mm
□1	功能面板		□2	齿轮弹簧
□1	屏蔽纸		□4	2*6 自攻螺丝(液晶总成及折叠簧片)
□1	护套		□1	3*8 自攻螺丝 (锁线路板)
□2	开关		□3	3*12 自攻螺丝(锁后盖)
□1	IC:7106A (已邦、贴)		□6	2*8 机制螺丝(锁液晶和锁转盘)
□2	IC: 2904		□6	螺母 M2
□1	IC: 324		□3	电位器 220Ω (VR1-VR3)
□1	表笔 WB-06		□1	锰铜丝 (RCU)1.6*40
□1	说明书		□1	屏蔽弹簧
□1	保险丝管、座		□1	三端蜂鸣器总成
□1	晶体管插座		□2	导线(8cm)
			□2	折叠弹簧

注意:

IC1 (7106) 已经邦定在线路板上, 这种方式一般称为 COB (chip on board), 邦定后已经我司测试。

元件列表

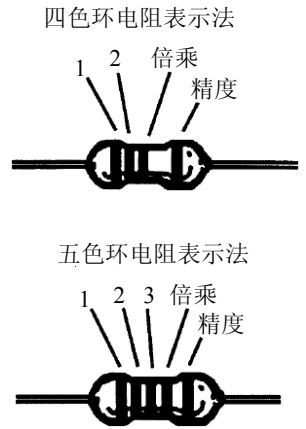
a



电阻值识别

根据以下各色环所代表意义的列表来正确识别电阻值

第1色环 第1位数		第2色环 第2位数		第3色环 如果使用		倍乘数		精度	
颜色	数字	颜色	数字	颜色	数字	颜色	倍数	颜色	数字
黑	0	黑	0	黑	0	黑	1	银	±10%
棕	1	棕	1	棕	1	棕	10	金	±5%
红	2	红	2	红	2	红	100	棕	±1%
橙	3	橙	3	橙	3	橙	1K	红	±2%
黄	4	黄	4	黄	4	黄	10K	橙	±3%
绿	5	绿	5	绿	5	绿	100K	绿	±0.5%
蓝	6	蓝	6	蓝	6	蓝	1M	蓝	±0.3%
紫	7	紫	7	紫	7	金	0.1	紫	±0.1%
灰	8	灰	8	灰	8	银	0.01		
白	9	白	9	白	9				



电容值识别法

电容的常用单位为 pF(皮法),nF(纳法),uF(微法)。大多数电容的电容值是直接打印在电容上的,部分电容的电容值是按下列方法打印在电容上,电容的最大耐压也打印在电容上。

第二位数		倍乘数	数字	0	1	2	3	4	5	8	9	
第一位数		倍乘	1	10	100	1K	10K	100K	0.01	0.1		
<p>上面表示值为 $10 \times 1,000 = 10,000\text{pF}$ 或 $0.01\mu\text{F}$ 100V</p>			<p>注意: 字母 R 相当于小数点 字母 M 代表的精度为: ±20% 字母 K 代表的精度为: ±10% 字母 J 代表的精度为: ±5%</p>									

公制单位换算

符号	名称	乘数	科学计数法	
p	皮	0.000000000001	10^{-12}	1000p=1n
n	纳	0.000000001	10^{-9}	1000n=1u
u	微	0.000001	10^{-6}	1000u=1
m	毫	0.001	10^{-3}	1000=1K
-	个	1	10^0	1000K=1M
K	千	1000	10^3	
M	兆	1000000	10^6	

焊接规范

说明：好的焊接方法是安装 DT9205A 数字万用表套件最重要的因素，合适的电烙铁也十分重要。本指导说明书推荐使用 40W 的外热式电烙铁，并请随时保持烙铁头的清洁和镀锡。

安全操作规程

- ◇ 焊接时注意防护眼睛。
- ◇ 不要将焊锡放入口中，焊锡中含铅和其它有毒物质，手工焊接后须清洁双手。
- ◇ 确信焊接现场有足够的通风。

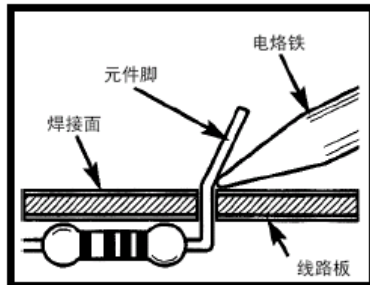
元件安装

下列所有的安装步骤，在没有特别指明的情况下，元件必须从线路板正面装入。线路板上的元件符号图指出了每个元件的位置和方向，根据本指导说明书只推荐使用 63/37 铅锡合金松香心焊锡丝。

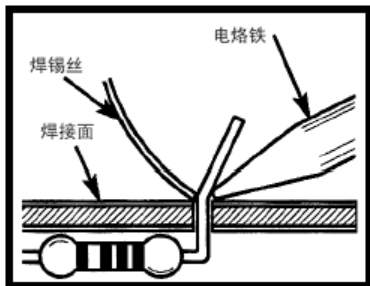
禁止使用酸性助焊剂焊锡丝！

正确的焊接方法

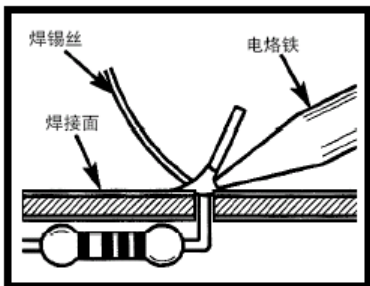
1、将电烙铁靠在元件脚和焊盘的结部。注：所有元件从焊接面焊接。



2、若烙铁头上带有少量焊料，可使烙铁头的热量较快传到焊点上。将焊接点加热到一定的温度后，用焊锡触到焊接处，熔化适量的焊料；焊锡丝应从烙铁头的对称侧加入。

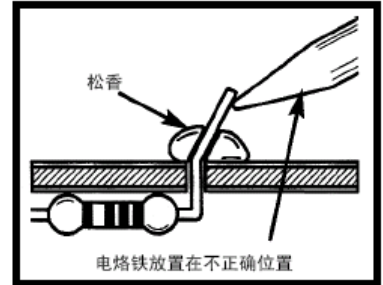


3、当焊锡丝适量熔化后迅速移开焊锡丝；当焊接点上的焊料流散接近饱满，助焊剂尚未完全挥发，也就是焊接点上的温度适当、焊锡最光亮、流动性最强的时刻，迅速移开电烙铁。

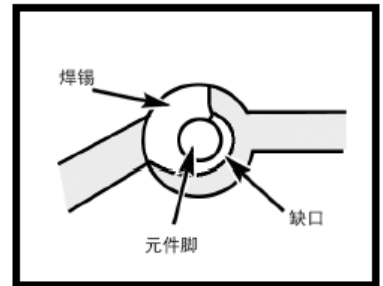


不良的焊接方法

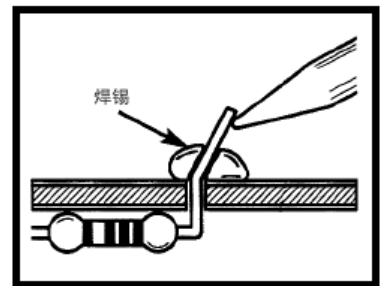
1、加热温度不够：焊锡不向被焊金属扩散生成金属合金。



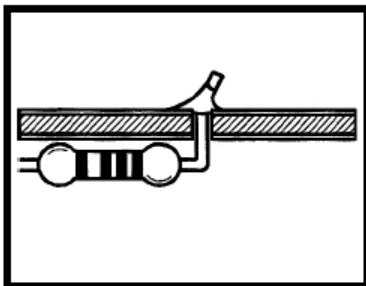
2、焊锡量不够：造成点不完整，焊接不牢固。



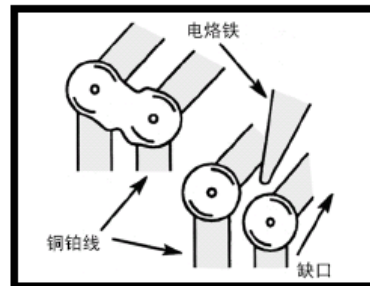
3、焊接过量：容易将不应连接的端点短接。



4、焊锡冷却后，剪掉多余的焊脚，就得到了一个理想的焊接了

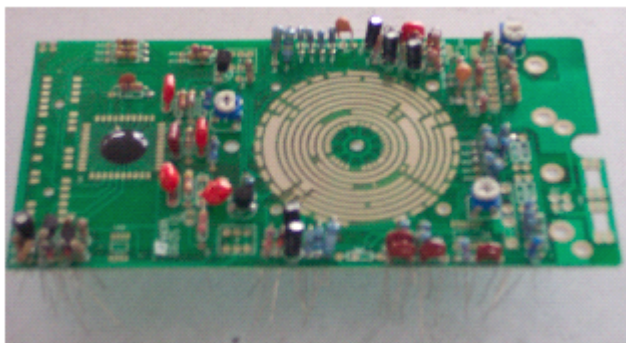


4、焊锡桥接：焊锡流到相邻通路，造成线路短路。这个错误需用烙铁通过桥接部位即可。

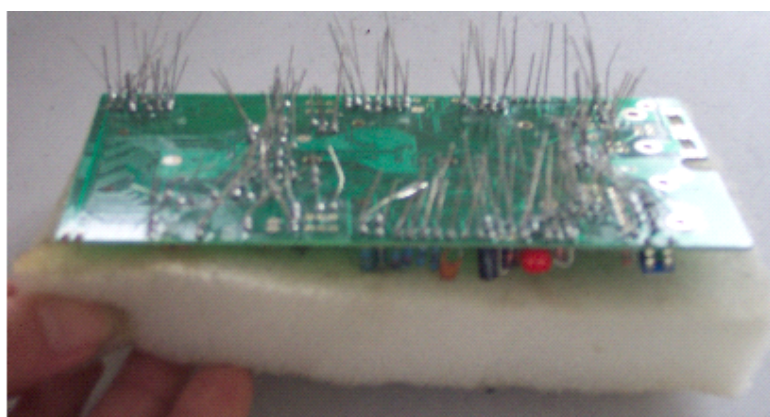


9205A 的焊接注意事项：

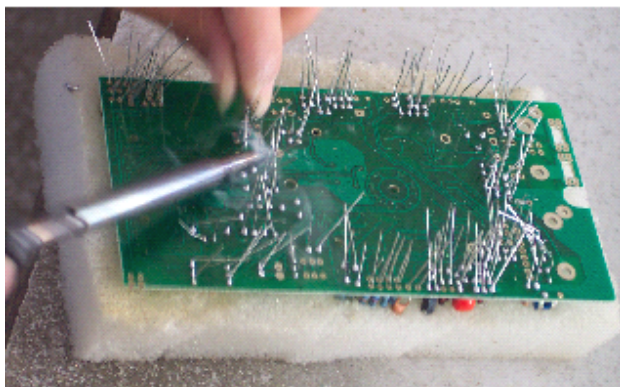
在插件完成后，先用一块软垫或海绵覆盖在插件的表面，反转线路板，用手指按住线路板在进行焊接，或者在每插一个零件后，将零件的两只脚掰开，这样在焊接线路板时，零件才不会从线路板上掉下来。（如图所示）但是对诸如：开关、电容插座、电源线、输入插座的焊接，应当逐一进行。



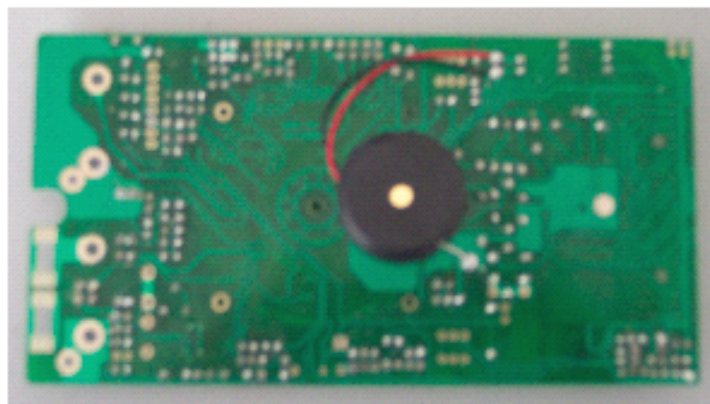
插完所有的零件



放在海绵垫上

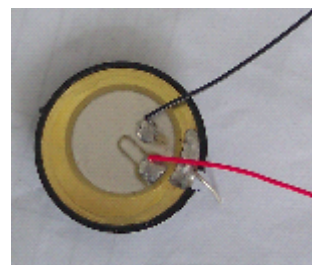


焊锡

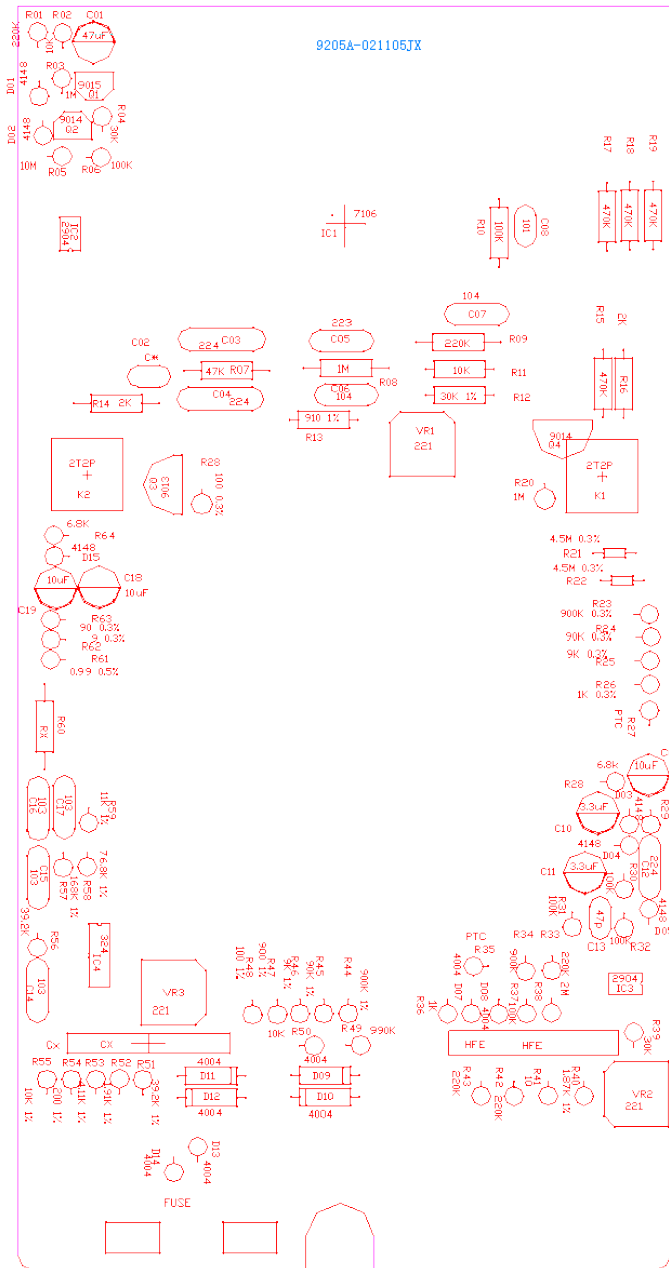


焊三端蜂鸣器

三端蜂鸣器



安装说明



原件图

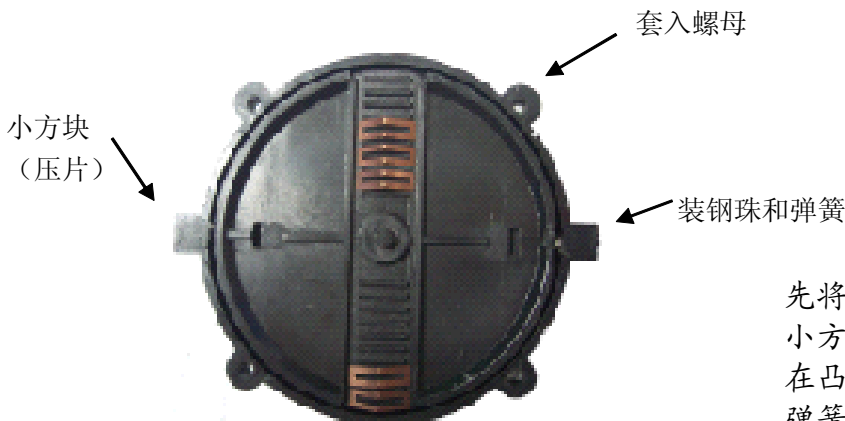


示意图 A

1、转盘装触片：将触片装到触片横条上，注意安装顺序和位置（如图所示 A）

2、转盘圈装螺母：直接把 4 个 M2 的螺母套入装盘圈的相应位置。

3、装转盘（将转盘套入转盘圈中）：先将弹簧和钢珠粘上凡士林，安装到转盘圈凸起的小方块，将已装好触片的内转盘斜插入转盘圈中，在凸起的部分盖上压片。（小压片的作用是：防止弹簧与线路板磨擦造成不良，防止弹簧弹出）注意在安装弹簧、钢珠和压片时一定要粘凡士林否则不

易安装。装好的装盘应该是装盘上的倒扣位于装盘圈上（如图所示 A）

4、转盘安装到线路上：（如图所示 B）触片朝下注意手势。然后将转盘扣入线路板，先拿好转盘（如图所示 C）注意手势，否则钢珠和弹簧会弹出。

5、锁转盘：将转盘与线路板对准后用 4 个 2*8 的机制螺丝锁上，在锁时最好对角先锁这样转盘比较容易固定。（如图所示 D）

6、安装液晶总成：先把 2 个 M2 的螺母套入厚片孔中，放到一旁，在将薄片放置在线路板上，从线路板下方反向穿入 2*8 的螺丝然后再沟槽中放入导电胶，导电胶条的导电部分（黑色）和线路板上的金手指接触。其次将液晶总成中的电缆纸碳条部分和导电胶条接触，如图所示进行装配。面向下最后放大压框，然后锁紧螺丝即可。（如图 E 所示）

7、将液晶总成套入前盖，锁上折叠弹片，摇动液晶，就可以选择观察液晶的角度了。

8、装旋钮，先把 9V 电池扣上，打开开关，如果显示器上显示出“1”是电阻挡，那么旋钮箭头竖标向上拨到基本挡 200mV，如果显示器显示出“0”是电容挡旋钮箭头竖标向下。

9、锁线路板：用 1 个 3*8 的自攻螺丝锁上，盖上后盖锁上 3 个 3*12 自攻螺丝即可。

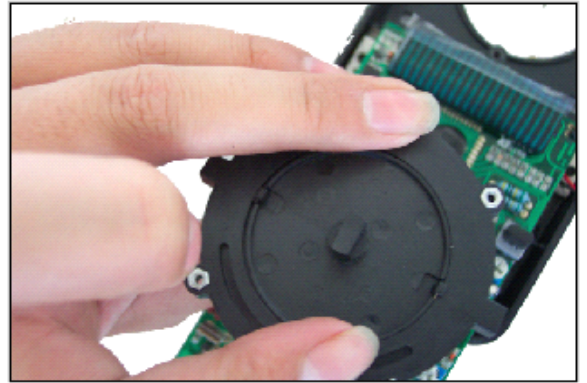


示意图 B

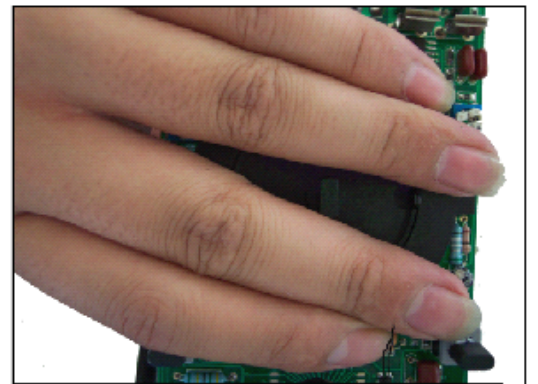


示意图 C

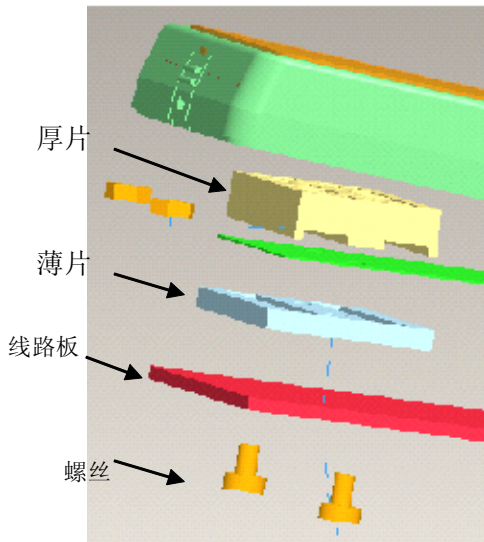


示意图 E

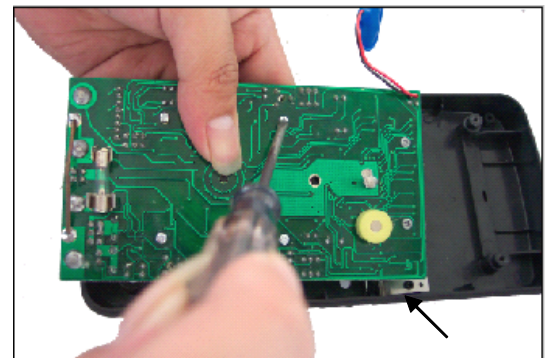


示意图 D

折叠弹片

测试、校准及故障维修

正常显示测试

不要连接测试笔到仪表，转动拨盘，仪表在各档位的读数如下面列表，负号 (-) 可能会在各合为零的档位中闪动显示。B 表示空白

功能量程		显示数字		功能量程		显示数字
DCV	200mV	00.0	可能有几个字不回零	hFE	三极管	000
	2V	.000		Diode	二极管	1

	20V	0.00		OHM	200Ω	1
	200V	00.0			2KΩ	1
	1000V	000			20KΩ	1
DCA					200KΩ	1
	200mA	00.0	可能有几个字不回零	2MΩ	1	
	20mA	0.00	可能有几个字不回零	20 MΩ	1	
	2mA	000		200 MΩ	1	
	10A	0.00		通断测试	30Ω以下	1
ACV	200mV	00.0		电容档		
	2V	.000				
	20V	0.00			2000pF/2nF	.000
	200V	00.0			20nF	0.00
	750V	000			200nF	00.0
DCA	200mA	00.0			2uF	.000
	20mA	0.00			20uF	0.00
	2mA	000				
	10A	0.00				

如果仪表各档位显示与上述所列不符，常规故障请确认以下事项：

- 不显示：检查电池电量是否充足，连接是否可靠。关机电路中是否存在问题，7106 集成是否正常工作，液晶总成和线路板是否正确连接。
- 不回零：检查表头电阻的值是否正确。检查表头电容的值是否正确，检查二接触片是否组装正确、接触是否良好。短接输入端是否回零。由于此类仪表输入阻抗极高，200mV 可以允许 5 个字以内不回零。
- 笔画多笔少笔：检查液晶片电缆纸是否有装好，检查 7106 对应的功能脚是否正常。
- 参考后面的故障维修。

校准

校准前请查阅仪表说明书关于表笔连接和测量部分。

A/D 转换器校准

将被测仪表的拨盘开关转到 20V 档位，插好表笔；用另一块已校准仪表做监测表，监测一个小于 20V 的直流电源（例如 9V 电池），然后用该电源校准装配好的仪表，调整电位器 VR1 直到被校准表与监测表的读数相同（注意不能用被校准表测量自身的电池）。当两个仪表读数一致时，套件安装表就被校准了。将表笔移开电源，拨盘转到关机位。

- 如果校准错误：1、检查线路板是否有短路，焊接不良现象 2、检查使用的电阻值和表头的电容值。3、检查分压电阻是否有插错，虚焊等现象。参考后面的故障维修。

直流 10A 档校准

直流 10A 档校准需要一个负载能力大约为 5A、电压 5V 左右的直流标准源。将被校准表的拨盘转到“10A”位置，表笔连接如说明书所示，如果仪表显示高于 5A，在锰铜丝上增加焊锡使锰铜丝电阻在 10A 和 COM 输入端之间的截面积相对减小，直到仪表显示 5A；如果仪表显示小于 5A，将锰铜丝从线路板上焊起来一点点，使锰铜丝电阻在 10A 和 COM 输入端之间的阻值增大，直到仪表显示 5A。（注：在焊接锰铜丝时，锰铜丝的阻值会随它的温度变化而变化，只有等到冷却时才是最准确的。剪锰铜丝时使它的截面积减小，从而使阻值增大，要注意一点是一定要剪断锰铜丝。）

直流电压测试

- 如果你有一个直流可变电压源，只要将电源分别设置在 DCV 量程各档的中值，然后对比被测表与监测表测量各档中值的误差，要求满足本指导说明书后面所列对 DCV 精度要求。

2) 如果没有可变电源, 可以采取以下两种测量方法:

- a) 将拨盘转到 20V 量程, 如说明书中测量直流电压得方法测量 9V 的叠层电池, 调节电位器 VR1, 使表头显示 9.0V 为止。
- b) 将拨盘转到 2V 量程, 如说明书中测量直流电压得方法测量 1.5V 的通用的碱性电池, 使表头显示 1.5V 数值。

交流电压测试

交流电压测试, 需要交流电压源, 市电是最方便的。

注意: 用市电 220VAC 做电压源要特别小心, 在表笔连接市 220VAC 前要将拨盘转到 750VAC。

拨盘转到 750VAC 量程, 然后测量市电 220VAC, 与监测表对比读数, 如果不准确可调节电位器 VR2。要求达到本书所要说明书所要求的精度。

如果上面的测量有问题:

- a) 检查交流电路中的电阻、电容的数值和焊接情况。
- b) 检查二极管的安装方向及焊接情况是否正常。
- c) 检查集成 IC2 (2904) 是否正常工作。
- d) 再重新校准是否直流电压存在问题。

直流电流测量

- 1) 将拨盘转到 200uA 档位, 依照说明书连接仪表, 当 RA 等于 100K Ω 时回路电流约为 90uA, 对比被测表与监测表的读数。
- 2) 将拨盘转到下表中的各电流档, 同时按下表改变 RA 的数值, 对比被测表与监测表的读数。

量程	RA	电流(大约)	备注
200uA	10K Ω	900uA	如果 200mA 档的偏高, 可以改变 0.99 Ω 的阻值, 从而使它正常, 在 0.99 Ω 的电阻旁 RX 上并联一个电阻。
20mA	1K Ω	9mA	
200mA	470 Ω	19mA	

如果上面的测量有问题:

- a) 检查保险管是否正常。
- b) 检查分压电阻的数值和焊接情况。

电阻/二极管测试

- 1) 用每个电阻档满量程一半数值的电阻测试档, 对比安装表与监测表各自测量同一个电阻的值。
- 2) 用一个好的硅二极管 (如 1N4004) 测试二极管档, 读数应约为 650 左右, 对于功率二极管显示数值要低一些, 请与监测表对比使用。

如果上面的测量有问题:

- 检查分压电阻的数值是否正常。
检查表头电阻电容是否正常。
检查热敏电阻是否击穿。

通断测试

将待测表功能旋钮转至音频通断测试档 (与二极管档同档), 输入 50 Ω 以下的电阻值, 蜂鸣器应能发声, 声音应清脆无杂音。输入 100 Ω 不发声。

如果没有声音

应检查蜂鸣器线是否焊接正确或蜂鸣器总成本身是否有问题。检查蜂鸣器电路中的电压比较电路是否存在问题。检查由 Q4、R14、R15、R16 及陶瓷晶片组成的音频振荡电路是否存在问题。

hFE 测试

- 1) 将拨盘转到 hFE 档位, 用一个小的 NPN (9014) 和 PNP (9015) 晶体管, 并将发射极、基极、集电极分别插

入相应的插孔。

2) 被测表显示晶体管的 hFE 值, 晶体管的 hFE 值范围较宽, 可以参考监测表使用。

如果上面的测量有问题, 请检查以下问题:

- a) 检查晶体管测试座是否完好、焊接是否正常, 有否短路、虚焊、漏焊等。
- b) 检查两个对应的 220K 电阻和 10Ω 的数值及焊接是否正确。

电容测量

将转盘拨至 200nF 量程, 取一个标准的 100nF 的金属电容, 插在电容夹的两个输入端, 注意不要短路, 如有误差可调节 VR3 电位器直到读数准确。

如果测量有问题

检查电容电路是否有问题。

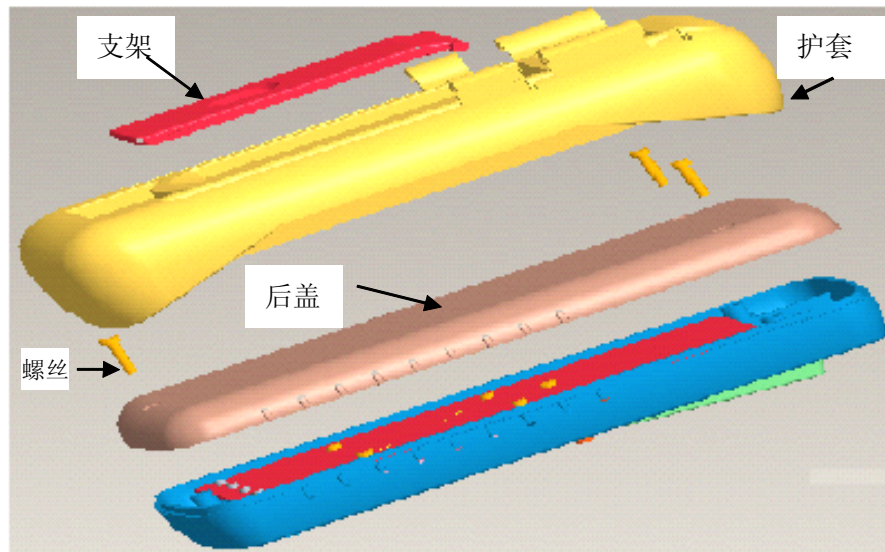
检查 10nF 电容是否有损坏。

检查 39.2K 电阻是否有虚焊变值现象。

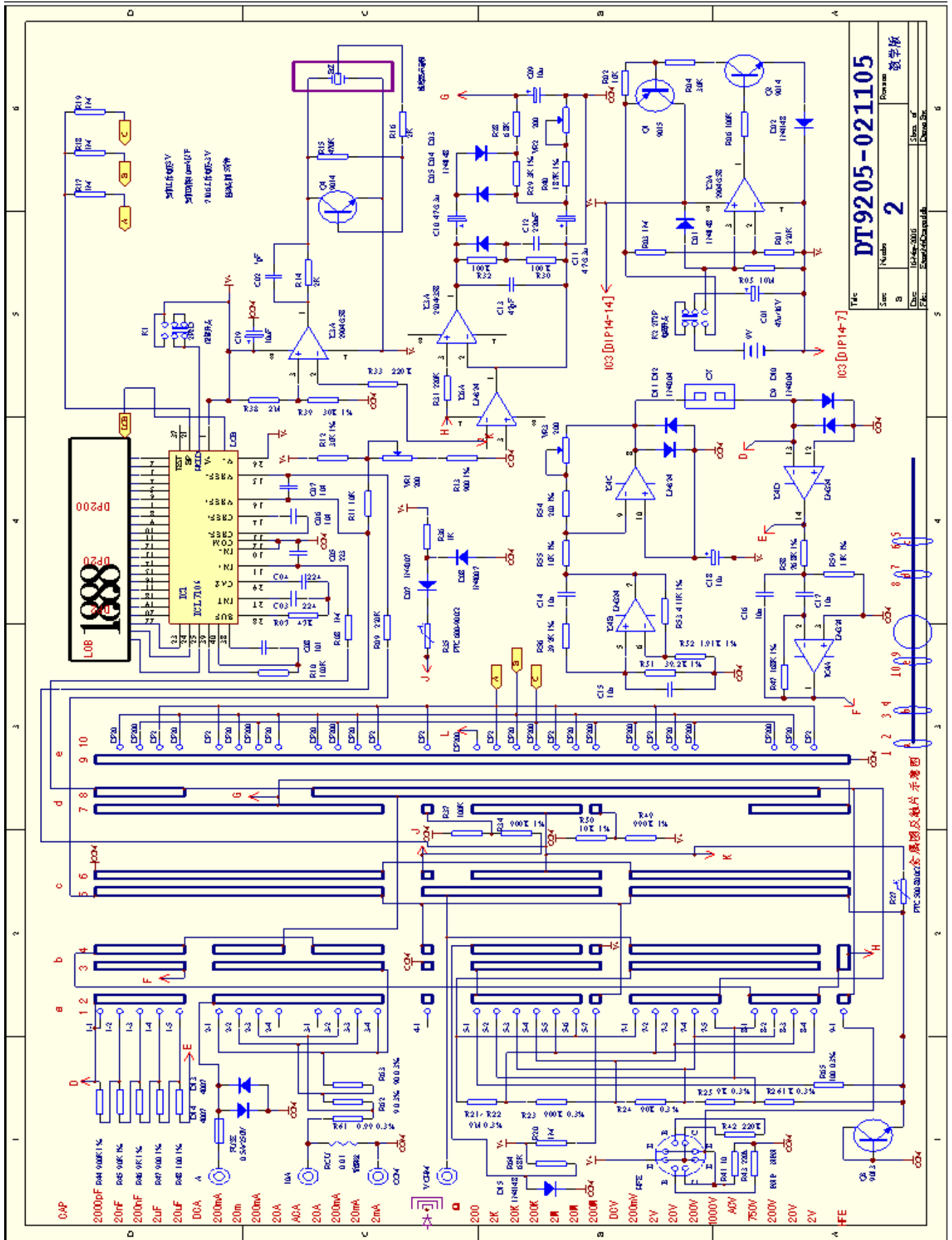
检查 324 集成是否有正常工作。

安装后盖、护套、支架

将后盖装入已调试好的仪表的面盖, 用三只 3*8 的螺丝紧固后盖 (参照示意图 K)。



原理图



常规的几种故障与维修

- 1、不显示：首先检查电源线是否存在开路现象，检查开关是否有损坏，检查 Q1、Q2、D1、D2 是否焊反，检查 IC2 是否正常工作或虚焊、贴反等现象，检查 R1-R6 电阻的数值和虚焊问题。
- 2、笔画问题：检查对应的功能脚是否正常，检查液晶的装配情况是否存在不良，检查对应的笔画脚的走线是否存在短路和断路等现象。导电胶条是否放置正确。
- 3、直流电压误差：检查 R13、R12 的数值是否有插错，检查对应的分压电阻是否存在插错、短路、虚焊等现象。
- 4、交流不输入：检查 D3、D4 是否存在插反现象，检查 IC3 是否功能失效、虚焊等现象。
- 5、电容档不输入：首先检查交流电压是否正常，如果不正常应该从交流电路着手，倘若正常，那么就是电容档问题，首先要看四个 10nF 电容是否存在虚焊、插错等现象。再检查各电阻的数值与焊接问题，最后判定 324 的功能问题。
- 6、蜂鸣器不叫：检查蜂鸣器在焊接部分是否存在短路，检查 R15、R16、R14、Q4、R38、R39 的数值是否插错或焊接问题。再检查 IC2b、IC3C 的功能及焊接问题。用手指压紧陶瓷晶片后，声音是否有所改变，蜂鸣器的连线是否焊接正确。
- 7、二极管不输入：检查 PTC、R34、R36、R37 的数值是否插错和焊接问题。
- 8、电阻档不输入：检查 PTC、R64、D15 的数值是否插错和焊接问题，检查 Q3 是否存在短路等现象。

工作原理

DT9205A 仪表主要部分的方框图如示意图 1。该仪表的心脏是一片大规模集成电路，该芯片（7106）内部包含双积分 A/D 转换器，显示锁存器，七段译码器和显示驱动器，它的工作原理框图见示意图 2。输入仪表的电压或电流信号经过一个开关选择器转换成 0 到 199.9mV 的直流电压。例如输入信号 100VDC，就用 1000:1 的分压器获得 100.0mVDC；输入信号 100VAC，首先整流为 100VDC，然后再分压成 100.0mVDC。电流测量则通过选择不同阻值的分流电阻获得。

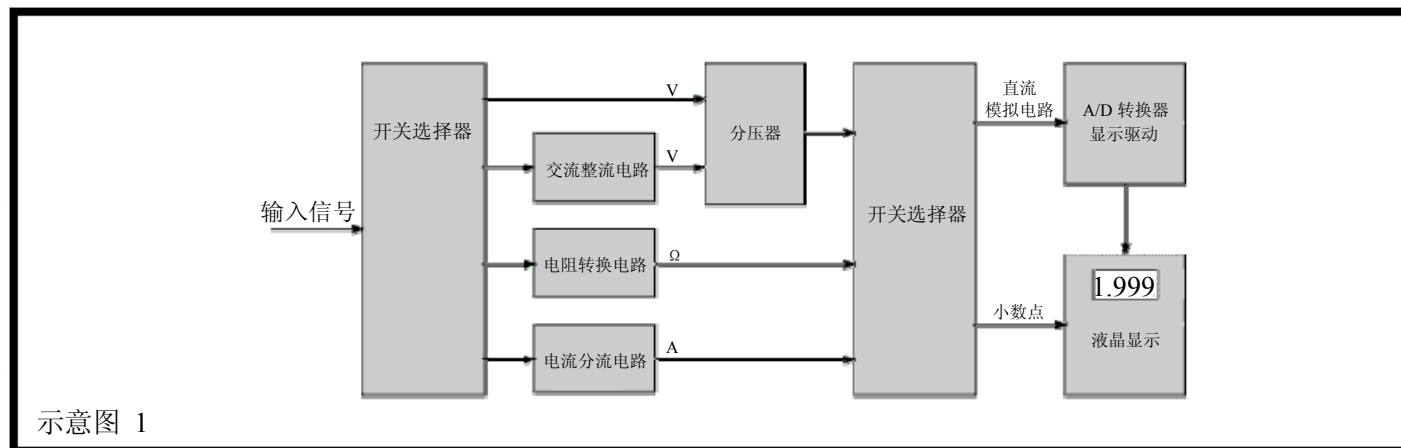


示意图 1

入端与比较器输出端短接，此时反映到比较器的总失调电压对自动调零电容 C_{AZ} 充电，以补偿缓冲器，积分器和比较器本身的失调电压，可保证输入失调电压小于 10uV，第三，基准电压 V_{REF} 向基准电容 C_{REF} 充电，使之被充到 V_{REF} ，为反向积分做准备。

第二阶段，正向积分（亦称信号积分或采样）INT（integral）：此时 S_{INT} 闭合， S_{AZ} 和 S_{DE} 断开，切断自动调零电路并去掉短路线， IN^+ 、 IN^- 端分别被接通，积分器和比较器开始工作。被测电压 V_{IN} 经缓冲器和积分电阻后送至积分器。积分器在固定时间 T_1 内，以 $V_{IN}/(R_{INT}C_{INT})$ 的斜率对 V_{IN} 进行定时积分。令计数脉冲的频率为 F_{CP} ，周期为 T_{CP} ，则 $T_1=1000T_{CP}$ 。当计数器计满 1000 个脉冲数时，积分器的输出电压为

$$V_0 = \frac{K}{R_{INT}C_{INT}} \int_0^{T_1} V_{IN} dt = \frac{KT_1}{R_{INT}C_{INT}} \cdot V_{IN} \quad (1.1)$$

式中，K 是缓冲放大器的电压放大系数， T_1 也叫采样时间。在正向积分结束时， V_{IN} 的极性即被判定。

第三阶段，反向积分，亦称解积分 DE (Decompose Integral)：在此阶段， S_{AZ} ， S_{INT} 断开， S_{DE+} ， S_{DE-} 闭合。控制逻辑在对 V_{IN} 进行极性判断之后，接通相应极性的模拟开关，将 C_{REF} 上已充好的基准电压接相反极性代替 V_{IN} ，进行反向积分，斜率变成 $V_{REF}/(R_{INT}C_{INT})$ 。经过时间 T_2 ，积分器的输出又回到零电平，参见示意图 3，该图分别绘出对负极当反向积分结束时，有关系式

$$V_0 - \frac{K}{R_{INT}C_{INT}} \int_0^{T_2} V_{REF} dt = V_0 - \frac{KV_{REF}}{R_{INT}C_{INT}} T_2 = 0 \quad (1.2)$$

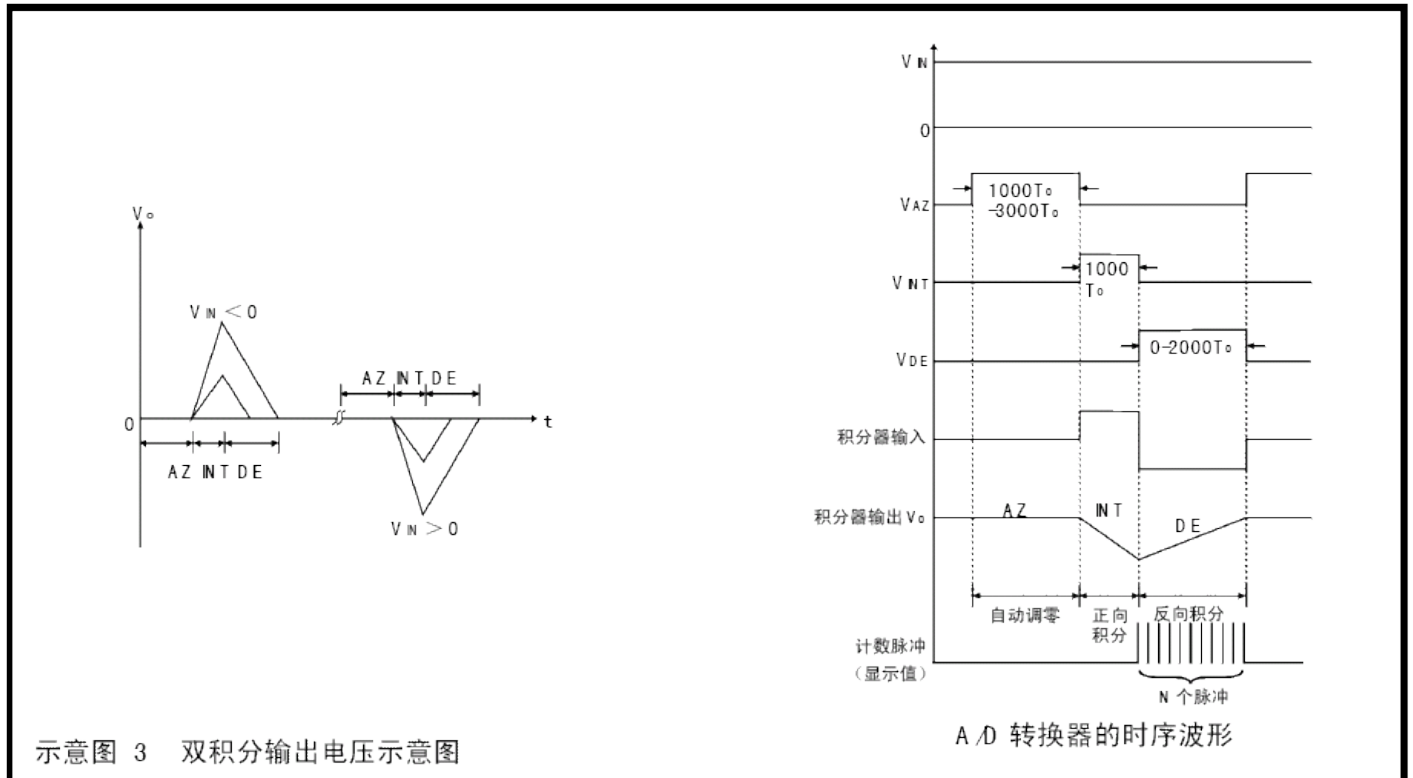


示意图 3 双积分输出电压示意图

A/D 转换器的时序波形

将式 (1.1) 代入式 (1.2) 中整理后得到

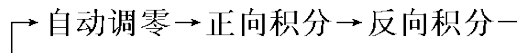
$$T_2 = \frac{T_1}{V_{REF}} \cdot V_{IN} \quad (1.3)$$

假定在 T_2 时间内计数值 (即仪表显示值, 不考虑小数点) 为 N , 则 T_2 为 NT_{CP} , 代入式 (1.3) 中得到

$$N = \frac{T_1}{T_{CP} V_{REF}} \cdot V_{IN} \quad (1.4)$$

分析式 (1.4) 可知, 因 T_1 , T_{CP} , V_{REF} 均是固定不变的, 故计数值 N 仅与被测电压 V_{IN} 成正比, 由此实现了模拟量-数字量转换。

在测量过程中, ICL7106 能自动完成下述循环



A/D 转换器的时序波形如图 3 所示, 每个阶段的时间分配如下:

自动调零时间: $1000T_{CP} - 3000T_{CP}$

正向积分时间 T_1 : $3000T_{CP} - 4000T_{CP}$ ($T_1 = 1000T_{CP}$)

反向积分时间 T_2 : $0 - 2000T_{CP}$

每个 A/D 转换周期为 $4000T_{CP}$, 折合 $16000T_0$

需作几点说明:

- a) 自动调零时间是可变的, 必须等上一次反向积分结束后才开始。举例说明, 若在 $0 - 1850T_{CP}$ 时间内完成反向积分 ($T_2 - 1850T_{CP}$), 就从 $1851T_{CP} - 3000T_{CP}$ 的时间内自动调零, 此时调零时间为 $3000T_{CP} - 1851T_{CP} = 1149T_{CP}$

b) T_1 是固定不变的, T_2 则随 V_{IN} 的大小而变化, 因为 $T_1/T_{CP}=1000$, 选基准电压 $=V_{REF}=100.0mV$, 所以由式 (1.4) 得到

$$N = \frac{1000}{V_{REF}} \cdot V_{IN} = \frac{1000}{100.0} \cdot V_{IN} = 10 V_{IN} \quad (1.5)$$

即 $V_{IN}=0.1N$ (1.6)

只要将小数点定在十位后边便可直读结果。

满量程时 $N=2000$, $V_{IN}=V_M$, 由式 (1.4) 可导出满量程电压 V_M 与基准电压的关系式

$$V_M=2V_{REF} \quad (1.7)$$

显然, 当 $V_{REF}=100.0mV$ 时, $V_M=200mV$,

$V_{REF}=1000mV$ 时, $V_M=2V$ 。式 (1.7) 对 ICL 系列 3 1/2 位 A/D 转换器均适用。3 1/2 位 DVM, DMM 的最大显示值为 1999, 满量程时将显示过载符号“1”。

c) 上述定时关系由 7106 本身特性所决定, 外界无法改变。

d) 为提高双积分数字仪表抑制工频干扰的能力, 所选采样时间 T_1 应为工频周期的整倍数。利用正向积分阶段对输入电压取平无均的特点, 即可消除外界引入的工频干扰。

我国采 50Hz 交流电网, 其周期为 20ms, 应选

$$T_1=n \cdot 20ms \quad (1.8)$$

式中 $n=1, 2, 3\dots$ 。N 愈大, 对串模干扰的抑制能力愈强, 但 A/D 转换时间延长, 测量速率降低, 例如可取时钟频率 $f_0=40KHz$, 即 $T_1=1000T_{CP}=100ms$, 恰是 20ms 的 5 倍, 欧美国家采用 60Hz 交注电网, 周期是 16 2/3ms。为抑制 60Hz 干扰, 可选 $f_0=33 1/3KHz, 40KHz, 48KHz, 60KHz$ 等。实际上考虑到交流电网的频率也会有一定波动 (例如在 $50\pm 0.5Hz$ 范围内变化), 一般情况下并不要求时钟频率严格等于规定值, 允许有一定的偏差。但时钟频率的稳定性应尽量高, 否则在 T_1, T_2 两个时间内 T_{CP} 不等, 会影响转换准确度。

数字电路

数字电路亦称逻辑电路, ICL7106 数字电路如图 2 所示, 数字电路如图 2 所示, 数字电路主要包括 8 个单元电路 (1) 时钟振荡器, (2) 分频器, (3) 计数器, (4) 锁存器, (5) 译码器, (6) 异或门相位驱动器, (7) 控制逻辑, (8) 3 1/2 位 LCD 显示器, 图中虚线框内表示 7106 的数字电路, 框外是外围电路。

1、双积分 A/D 转换器

采用 TSC7106 型 CMOS 单片 3 1/2 位双积分式 A/D 转换器, 基本量程按 200mV 设计。在原理图中, 由 R_{10}, C_8 与 7106 内部的反相器 F_1, F_2 构成两级反相式阻容振荡器。实取 $R_{10}=100K\Omega, C_8=100pF$, 代 $f_0 \approx 0.45/RC$ 得到时钟频率 $f_0 \approx 45.5kHz$ 。可近似取 48kHz。进而计算出仪表的测量速率

$$F_0/16000 \approx 48kHz/16000=3 \text{ 次/秒}$$

基准电压由 R_{12}, VR_1, R_{13} 组成的分压器。仔细调整电位器 VR_1 , 可使 $V_{REF}=1000.0mV$ 。因为基准电压源 E. ($V+-COM$) 的典型值为 2.8V, 当 VR_1 的滑动触头移至最下端 a 点时

$$V_a=R_{13}/(R_{12}+VR_1+R_{13}) * E_0=900/(30k+200+900) * 2.8V=81.1mV$$

而 RP_1 调至最上端 b 点时

$$V_b=(VR_1+R_{13})/(R_{12}+VR_1+R_{13}) * E_0=(200+900)/(30k+200+900) * 2.8V=134.4mV$$

所以 VR_1 的电压调节范围是 81.1-134.4mV, 从中可以调出 $V_{REF}=100.0mV$ 。

R_{08}, C_{05} 组成输入端的高频阻容滤波器, 滤除高频干扰, R_{08} 还起限流作用。 C_{04} 是自动调零电容, C_{03} 为基准电容。 R_{09}, C_{07} 分别是积分电阻和积分电容。

3 1/2 位液晶显示器的型号为 FI0092, 除数字显示外, 还有负极性标志符显示. 7106 的段驱动端 (2-19 脚, 22-25 脚)、负极性驱动端 POL (20 脚) 和背电极端 BP (21 脚), 经导电橡胶条依次接至 LCD 的相应引脚.

2、自动关机及低电压指示电路

自动关机电路由电源开关 K₂、电解电容器 C₀₁、单运放 TL2904 (IC₂)、NPN 型晶体管 9014 (Q₂)、PNP 型晶体管 9015 (Q₁) 所组成. TL2904 接成电压比较器, Q₁ 起开关作用, Q₂ 是推动管. 电路的工作原理分析如下:

当电源开关 K₂ 拨至 OFF 位置时, 手动关机. 9V 电池 E 向 C₀₁ 迅速充电, 直到 V_{C01}=E. K₂ 拨于 ON 时接通电源. 此时 IC₂ 同相输入端 (脚 3) 的电压 V₃=V_{C01}. 反相输入端 (脚 2) 的电压由下式决定:

$$V_2 = R_{03} / (R_{01} + R_{03}) * E = 220k / (1M + 220k) * E = E / 6 \quad (2.1)$$

随着 C₀₁ 向 R₀₅ 持续放电, V_{C01} 逐渐降低, 有公式

$$V_{C01} = E e^{-t/R_{05}C_{01}} \quad (2.2)$$

式中, t 为放电时间. 令 E=9V, 代入式 (2.1) 中得到 V₂=1.5V, V₂ 即电压比较器的参考电压. 显然, 当 V_{C01} > V₂ 时, IC₂ 输出高电平, Q₂ 导通, 进而使 Q₁ 导通. 电池 E 经过 Q₁ 的 E-C 电极加至 TSC7106 等的 V+ 端, 芯片正常工作. E 还经过 D₀₂ 给 IC₄ 供电, D₀₂ 起隔离作用, 避免 V_{C01} 与 E 互相影响.

当 V_{C01} < 1.5V 时, IC₂ 翻转, 输出低电平, 令 Q₂ 和 Q₁ 截止, 切断 V+ 的供电线路, 使仪表停止工作. 由此可见, R₀₅ 和 C₀₁ 在电路中起“定时器”的作用: 关机后 C₀₁ 充电, 开机后 C₀₁ 向 R₀₅ 放电, 放电时间常数 t=R₀₅C₀₁ 决定自动关机时间的长短.

将 V_{C01}(t) = 1.5V, E=9V, R₀₅=10MΩ, C₀₁=47μF 一并代入式 (2.2), 很容易计算出自动关机电路的供电时间.

因为

$$1.5 = 9e^{-t/10M \times 47\mu}$$

故 t=4701n6=842s ≈ 14min

这表明, 仪表大约工作 14 分钟之后即可自动关机. 若需重新测量, 应先将 K₂ 拨至 OFF, 再次对 C₀₁ 充电, 然后把 K₂ 拨回 ON, 就可以继续使用. 分析式 (2.2) 可知, 增大 R₀₅ 的阻值, 能增加工作时间; 反之, 减少 R₀₅ 的阻值就缩短了工作时间. 例如取 R₀₅=5.1MΩ 时, 经大约 7 分钟就自动关机.

3、直流电压测量电路

利用电阻分压器可将基本量程为 200mV 的表扩展成五量程直流数字电压表, 五个电压量程分别是 200mV、2V、20V、200V、1000V. 图 2.2 中 R₂₁-R₂₆ 为分压电阻, 均采用误差为 ±0.5% 的精密金属膜电阻. 分压器的总阻值为 1MΩ, 各档的分压比由量程选择开关 S₂ 来控制.

需要说明两点:

(1) 为节省数字万用表中的元件, 通常是借用多量程直流数字电压表的分压电阻作为数字欧姆表的标准电阻. 对 DT9205A 而言, 直流电压为 5 档, 电阻却为 6 档, 因此至少需用 6 只分压电阻. 鉴于 200mV 档分压电阻达 9.0MΩ, 这便于调整, 选用配对电阻 R₂₁ 和 R₂₂, 二者串联可获得 9.0MΩ 的高阻. 1000V 档分压电阻值应为 1KΩ (R₂₆), 该档的分压比为 1KΩ/10MΩ=1/10000, R₂₆ 还兼作 200Ω 档的标准电阻.

(2) 各电压档的输入电阻均为 10MΩ. 这是考虑到 TSC7106 的输入电阻 r_{IN}=10¹⁰Ω=10000MΩ (典型值), 在设计多量程数字电压表时, 一般选仪表的输入电阻 R_{IN}=0.001r_{IN}=10MΩ, 使 r_{IN} >> R_{IN}, 故可完全忽略 r_{IN} 对信号的分流作用.

4. 直流电流测量电路

当被测电流 I_{IN} 流过分流电阻时可产生电压降, 以此作为 200mV 基本表的输入电压 V_{IN}, 即可实现 I/V 转换, 利用数字电压表显示出被测电流的大小. 再通过量程选择开关扩展成多量程直流数字电流表.

DT9205A 的 4 个 DCA 量程依次是: 2mA、20mA、200mA、和 20A 档单独使用一个输入插孔, 不经过选择开关. 分流器由 R₆₀-R₆₃ 及 RCU 组成, 总阻值为 1KΩ. 其中, R₆₁-R₆₃ 选用精密金属膜电阻 (误差为 ±0.3%). 因 20A 的工作电流很大, 故分流电阻使用一根锰铜丝电阻, 其冷态阻值用电桥校准为 0.01Ω.

在图 2.2 中, FU 是 0.5A/250V 的快速熔丝管, 起过流保护作用. D₁₃、D₁₄ 组成双向限幅二极管, 作过压保护作用.

当输入电压低于硅二极管的正向导通电压时,二极管截止,对测量并无影响.一旦 $V_{IN} > 0.6-0.7V$,二极管迅速导通,从而限制了仪表的输入电压.

应当指出的是 20A 档未加保险装置,因此用该档测量最大输入电流 (20A) 的时间不得超过 15S,以免损坏锰铜丝电阻及线路板上的印制线.

5、交流电压测量电路

该表采用平均值响应的 AC/DC 转换电路,5 个交流电压量程依为 200mV、2V、20V、200V、750V (有效值).现将最高量程定为 750V,是因为量程选择开关 (转盘上的触片开关) S_2 的耐压值为 1000V,该档的最大峰值电压 $V_P = \sqrt{2} \times 750 = 1060V$,同 1000V 已经很接近.

测量交流电压时仍借用直流电压档的分压器.利用低漂移双运放 TC2904 中的一组运放二极管 D_{03} ,组成平均值响应的线性半波整流电路.这种电路可避免二极管在小信号整流时引起的非线性误差,使输入电压 V_{IN} (RMS) 与输出电压 V_0 (平均值) 成线性关系,适于测量 0-200mV 的弱交流电压.

对半波整流而言,正弦波电压有效值与平均值的关系为 $V_{RMS} = 2.22V$.这就要求电路的电压放大倍数必须大于 2.22 倍,才有调整的余量.电路中的 R_{29} 、 R_{30} 是负反馈电阻,可将 IC_3 偏置在线性放大区,同时控制运放的增益.现取 $R_{29} = R_{30} = 100K\Omega$, IC_3 同相端的输入电阻 $R_{31} = 100K\Omega$,故电压放大倍数为

$$K_V = \{1 + (R_{29} + R_{30}) / R_{31}\} = 1 + (100k + 100k) / 100k = 3 > 2.22 \text{ (倍)}$$

上式所得符合电路设计要求.需要注意的是 IC_{36} 作同相放大器使用,目的在于提高其输入阻抗,减小对输入信号的衰减.

尽管 TC2904 属于低漂移运放,但考虑到 AC/DC 转换器的输入电压很弱,即使漂移电压很小,也可能造成测量误差,因此,需通过 C_{10} 和 C_{11} 起隔直作用,不让直流成分 (包括 IC_3 的漂移电压) 进入整流滤波电路.

在正半周时 D_{03} 导通, D_{04} 截止, IC_3 的输出电流途经 $C_{10} \rightarrow D_{03} \rightarrow R_{29} \rightarrow R_{40} \rightarrow VR_2 \rightarrow$ 地 (COM 端),并经过 R_{28} 对 C_{09} 进行充电.负半周时 D_{05} 导通, D_{03} 截止,电流途经地 $\rightarrow VR_2 \rightarrow R_{40} \rightarrow D_{04} \rightarrow C_{10} \rightarrow IC_3$,此时 C_{09} 缓慢地放电,放电时间常数 $T = r_{IN} C_6$. r_{IN} 是 TSC7106 的输入电阻,其阻值极高,典型值达 $10^{10}\Omega$,故可认为 C_{09} 两端电压仍维持不变.

由 R_{28} 和 C_{09} 组成的平滑滤波器可滤掉交流纹波,高频干扰信号则由 R_{37} 、 C_{12} 构成的高频滤波除,从而获得稳定的平均值电压 V_0 .再由 TSC7106 对 V_0 进行 A/D 转换.

VR_2 是交流电压档的校准电位器,调整 VR_2 可使整个 AC/DC 转换器的电压放大倍数为 2.22 倍,令仪表直接显示出被测电压的有效值.

R_6 在电路中起保护作用.负半周时, D_{04} 为反向电流提供通路, C_{13} 是运放的频率补偿电容. R_{29} 和 C_{13} 还为 D_{05} 提供一个合适的偏置电压,以减小 AC/DC 转换器对小信号进行放大时的波形失真.

6、交流电流测量电路

在直流电流档的基础上再增加 AC/DC 转换电路,就构成 6 量程交流数字电流表,其原理不赘述.

7、电阻测量电路

采用比例法测量电阻.此时需将原来的基准电压电路断开,TSC7106 内部的 2.8V 基准电压源经过 R_{64} 、 D_{15} ,提供测试电压 $V_{TEST} = VD_{10} \approx 0.7V$.标准电阻 R_0 (即电路中的 $R_{21}-R_{26}$) 正温度系数热敏电阻 PTC,与被测电阻 R_X 构成串联电路.以 R_0 上的压降作为 7106 的基准电压, R_X 上的压降则作为 7106 的输入电压.因为

$$V_{RX} / V_{R0} = R_X / R_0$$

所以

$$R_X = R_0 / V_{R0} * V_{RX} = R_0 / V_{R0} * V_{IN} \quad (2.3)$$

式中,比值 R_0 / VR_0 为一定值,因此 R_X 仅与 V_{RX} (即 V_{IN}) 成正比,这就是比例法测量电阻的原理.

电阻档的保护电路由晶体管 Q_3 (9013) 和正温度系数热敏电阻 PTC 以及限流电阻 R_{08} 所组成.这里是将 Q_3 的集电结短接,利用其发射结反向电压约为 5.8-78V 的特性,代替稳压管作过压保护.PTC 则是过流保护元件.当不慎误用电阻档测量 220V 交流电压时,电压经 PTC 加到 Q_3 上,使 Q_3 反向击穿 (软击穿).由于 PTC 的初始电阻很低,常温下仅 550Ω ,所以它上面通过的电流很大,使 PTC 迅速发热,电阻值急剧增大,对 Q_3 起到限流保护作用,使之不会转

人硬击穿而烧毁，进而保护了 TSC7106 不致损坏。

具体讲，在交流电压的正半周， Q_3 反向击穿，将 $V_{REF}-COM$ 之间的电压箝位于 6V 左右。在负半周， Q_3 正向导通，又把 $V_{REF}-COM$ 之间的电压箝制在 0.6-0.7V 左右。需要说明的是，220V 电压虽可通过 R_{08} ，加至 IN+ 端，但由于 R_{08} 的阻值 ($IM\Omega$)，能将输入电流限制在 220 μ A 以内，加之 TSC7106 的模拟输入端内部设有过压保护电路，可承受 1000V 的瞬间电压，因此只要保护电路正常动作，就不会损坏芯片。

综上所述，PTC 和 Q_3 的保护作用可归纳成两条，一是为 220V 交流电源的电流提供一条通路，使之不流入 ICL7106 中；二是对 $V_{REF}-COM$ 之间的电压进行箝位。IN+ 端主要由 R_{08} 作限流保护。

为了抑制外界干扰信号，同时也降低 Q_3 在反向击穿时产生的器声电压。

8、二极管和蜂鸣器档

利用 7106 内部的基准电压源 E_0 向被测二极管提供 2.8V 的测试电压，使正向接法的二极管导通，正向工作电流 $I_F \approx 1mA$ 。导通压降 V_F 经过 R_{21} 、 R_{22} 构成的分压器再衰减 10 倍之后，就作为 7106 的输入电压。此时基准电压 V_{REF} 仍为 100.0mA，但仪表量程已扩展为 2V，故可显示出被测二极管的正向压降 V_F 值。

该档还用来检查线路的能断，亦可称之为蜂鸣器档。9205A 的原理图中的 IC_3 ($1/2TC2904$) 作电压比较器使用，其同相输入端 (脚 3) 加参考电压 V_3 ，容易求出

$$V_3 = R_{39} / (R_{38} + R_{39}) * E = 30k / (2M + 30k) * 2.8 = 0.064V$$

反相输入端 (脚 2) 则施以比较电压 V_2 ，设二极管 D_3 的导通压降 $V_{D3} = 0.7V$ ，未接 R_x 时

$$V_2 = (R_{34} + R_{372}) / (R_{14} + R_{35} + R_{34} + R_{37}) * (E_0 * V_{D3}) = (900k + 100k) / (100 + 2k + 900k + 100k) * (2.8 - 0.3) \approx 2.1V$$

由于 $V_3 << V_2$ ，故比较器在常态下输出低电平。当 V/Ω 插口与 COM 插口之间接被测线路电阻 R_x 时，若 $R_x < 70\Omega$ (例如设 $R_x = 60\Omega$) 时，脚 2 的电压变成 (忽略 R_{34} 和 R_{37} 的并联影响)

$$V'_2 = R_x / (R_{14} + R_{35} + R_x) * (E_0 - V_{D3}) = 60 / (100 + 2k + 60) * (2.8 - 0.7) = 0.058V$$

因为 $V'_2 < V_3$ ，所以比较器翻转， IC_{3a} 输出高电平。二极管档的保护电路由 D_7 、 D_8 和 R_{35} 组成， Q_4 、 R_{14} 、 R_{15} 、 R_{16} 及陶瓷晶片组成的音频振荡电路，由 IC_{3A} 组成的电压比较器翻转输出大于 2.6V 的电压时，陶瓷晶片发出声响以表示被测线路接通。当 $R_x > 70\Omega$ 时，蜂鸣器不发声。

需要说明两点：

(1) 采用电阻档检查线路通断时，既要注意被测线路和表笔，还必须观察 LCD 显示出的电阻值来判断线路的通断，使用很不方便，况且受仪表测量速率所限，测量时费时费力。使用蜂鸣器档，眼睛可以关注被测线路及表笔，仅凭听觉就能迅速判断线路是否接通，使用非常方便。在对多根导线区分线号时尤为迅速、简捷。

(2) 与基本测量档不同，蜂鸣器档属于附加功能测试档，因此该档不规定准确度指示，只给出通、断发声的大致范围。对 DT9205A 而言，规定 $R_x < 70\Omega$ 时蜂鸣器发声，也只是个大致范围，允许有一定的偏差。根据理论计算，仅当 $R_x < 65\Omega$ 时，蜂鸣器才能发声。考虑到电阻元件值存在一定误差，并且 $V_{D3} \approx 0.7V$ ，故大致规定 70Ω 为发声界限。假定某块 DT9205A 在 $R_x < 65\Omega$ 时发声，也应该视为合格。

9、测量晶体管 HFE 的电路

利用该档的 HFE 的插口，能够测量小功率 PNP 或 NPN 型晶体管的 HFE，测量范围是 0-1000 倍。

以 PNP 管为例，将被测管的 E、B、C 电极按顺序插入 E、B、C 插孔时，C 极接通 $V+$ ，由 7106 的 E_0 提供 2.8V 的集电极电压。测试电路属于共发射接法。 R_{42} 和 R_{43} (均为 $220K\Omega$) 为固定偏置电阻，所提供的基极电流 $I_B \approx E_0 / R_{43} \approx 2.8V / 220K\Omega \approx 10\mu A$ 。发射极经 R_{41} (10Ω) 接模拟地 COM。 R_{41} 是取样电阻，由它实现 I/V 转换，将发射极电流 I_E 转换成仪表输入电压 V_{IN} 。因为

$$HFE \approx I_C / I_B \quad (2.4)$$

$$I_E = I_C + I_B \approx I_C \quad (2.5)$$

$$\text{所以 } V_{IN} = I_c R_{41} \approx I_c R_{27} = \text{HFE} I_B R_{41} \quad (2.6)$$

将 $I_B = 10\mu\text{A}$, $R_{41} = 10\Omega$ 代入式 (2.6) 中整理后得到

$$\text{HFE} = 10V_{IN} \quad (2.7)$$

显然, 若选用 200mV 档 (去掉小数点) 并将 V_{IN} 的单位取 mV, 即可直读 HFE 值. 由于 HFE 插口的输出电流有限, 通常规定 $I_c \leq 10\text{mA}$, 因此 HFE 档的测量范围是 0-1000 倍. HFE > 1000 时, E_0 明显降低, 测量误差会增大. 当 HFE ≥ 2000 时, 仪表溢出.

使用 HFE 档时应注意下列事项:

(1) HFE 插口共有 8 个插孔. 以 PNP 为例, 整排的两个 E 孔在内部连通, 使用时可任选其中一个 E 孔. 设置两个 E 孔只是为了测量方便.

(2) 晶体管的 HFE 值与测试条件有关. 鉴于被测管在低电压、小电流条件下工作, 并且式 (2.4) 中未考虑穿透电流 I_{C0} 等因素的影响, 因此测量结果仅供参考. HFE 档的优点在于测量简便、迅速、安全, 特别适合于业余条件下挑选晶体管, 进行晶体管配对.

(3) 设计 PNP 管测量电路时, 需要改变电源电压 E_0 的极性, 只需将 R42 和 R43 的位置进行互换, 改变其在晶体管测量电路中的位置即可.

9、电容测量电路

早期数字万用表产品 (例如 DT9205A) 采用脉宽调制 (PWM) 法测量电容量. 其设计思想是利用被测电容器 C_x 的充放电过程来调制频率为一定的脉冲波形, 使其占空比 D 与 C_x 成正比. 再经过滤波电路取出其直流电压 V_0 , 送至 A/D 转换器中. 显然, 其变化规律为: $C_x \uparrow \rightarrow D \uparrow \rightarrow V_0 \uparrow$, 反之亦然. 从而完成了 C/DCV 的转换过程, 将被测电容量变成直流电压, 例如, DT890A 型数字万用表电容档的电路, 即采用此种方案.

脉宽调制法测电容的缺点是, 每次测量之前必须手动调零, 给操作人员带不便. 此外, 测量准确度较低.

新型数字万用表普遍采用容抗法测量电容, 实现了自动调零. 其设计思想是, 首先利用频率约为 400Hz 的正弦波信号将 C_x 变成容抗 X_c , 然后进行 C/ACV 转换, 反 X_c 量转换成交流信号电压, 再经过 AC/DC 转换器取出平均值电压 V_0 , 送至 A/D 转换器. 显然 V_0 与 C_x 成正比, 只要合理设计并适当调节电路参数, 即可直读电容量.

容抗法测量电容的主要优点是电容档能自动调零, 使测量过程大为简化, 缩短了测量时间; 测量准确度亦得到提高. 因此, 新设计定型的 DT890C+、DT930F+、DT970、DT980、DT1000 型数字万用表均采用该设计方案.

DT9205A 的电容测量电路由 IC_1 组成, 采用双运放电路. 其中, IC_{4b} 和 R_{51} 、 C_{15} 、 R_{56} 、 C_{14} 构成文氏桥振荡器. 振荡频率由下式确定

$$f_0 = 1/2 \pi RC \quad (3.6)$$

现取 $R_1 = R_{12} = R = 39.2\text{K}\Omega$, $C_8 = C_9 = C = 0.01\mu\text{F}$, 代入上式

$$f_0 = 1 / (2 \pi * 39.2\text{K} * 0.01\mu\text{F}) = 406\text{Hz} \approx 400\text{Hz}$$

文氏桥振荡器的输出波形为正弦波.

IC_{4c} 是一级反相输入的缓冲放大器. 其电压增益为

$$A_{2b} = - (R_{54} + VR_3) / R_{55}$$

式中, VR_3 为电容档校准电位器, 调节 VR_3 可以改变 IC_{4c} 的电压增益.

IC_{4a} 是一级反相输入电压放大器. 它与 IC_{4c} 的不同之处主要有两点: 第一, 其负反馈电阻 R_f (亦即电路中的 R_{48} 、 R_{44} - R_{47}) 的阻值依电容量程而定; 第二, 这里是把被测电容的容抗 X_c 作为运放的输入电阻.

众所周知, 电容器的容抗与频率、电容量之间存在下述关系式:

$$X_c = 1/2 \pi f C X \quad (3.8)$$

这表明, 当频率 f 一定时, 容抗 X_c 与电容量 C_x 成反比. 下面以 2 μF 档为例, 分析该档的电压增益.

IC_{4d} 的电压增益为

$$A_{4d} = - (R_f / X_c = - (R_{48} + R_{47}) / \frac{1}{2} \pi f C_x = 2 \pi f (R_{48} + R_{47}) C_x \quad (3.8)$$

因此, IC_{4c} 和 IC_{4d} 总的电压增益为

$$A = A_{4c} * A_{4d} = 2 \pi f (R_{54} + VR_3) (R_{48} + R_{47}) / R_{55} * C_x \quad (3.10)$$

若设 IC_{4c} 、 IC_{4d} 的输出电压有效值分别为 V_{04c} 和 V_{04d} , 则

$$V_{04d} = 2 \pi f (R_{54} + VR_3) (R_{48} + R_{47}) / R_{55} * C_x \quad (3.11)$$

$$K=2\pi f(R_{54}+VR_3)(R_{48}+R_{47})/R_{55}, \text{ 上式可化简为 } V_{04D}=KC_x \quad (3.12)$$

这表明 V_{04D} 与 C_x 成正比, 从而实现了 C/ACV 的转换。

IC_{4C} 为有源带通滤波器, 它只允许 400Hz 信号通过, 可滤掉其他频率的杂波干扰, 使 IC_{4C} 的输出电压 V_{04C} 为 400Hz 正弦波。 V_{04C} 再经过 IC2904

完成 AC/DC 转换, 获得平均值电压 V_0 , 送给 A/D 转换器, 这就是容抗法测量电容的设计原理。

综上所述, 测量电容的过程可大致归纳成:

文氏桥振荡器 → C/AC 转换器 → AC/DC 转换器 → A/D 转换器

最后需说明几点:

(1) R_{44} — R_{48} 均为 IC_{4da} 的负反馈电阻 R_f 。但在转换电容量程时, R_f 的阻值按照 10 倍率的关系来改变。举例说明, 在 2000PF/2nF 档, $R_f=R_{48}+R_{47}+R_{45}+R_{46}+R_{44}=1M\Omega$; 而在 20NF 档, $R_f=R_{48}+R_{47}+R_{46}+R_{45}=100K\Omega$, 即 $R_f/R'_f=10$ 。其余电容档依此类推。其原因是, 当 C_x 从 2000PF 增加到 20NF, 容抗值 X_c 下降了 10 倍。由式 (3.2.11) 可知, V_{04a} 乃至 V_0 亦会相应地增大 10 倍。可是 A/D 转换器的基本量程业已确定为 200MV, 如果不降低 20NF 档的电压增益, 其最大输出电压将达 2V, 必然使仪表严重过载, 无法测量。

由式 (3.9) 还可推导出 IC_{4da} 电压增益的另一表达式:

$$A_{4da}=-R_f/X_c=-2\pi fR_fC_x \quad (3.13)$$

因此, 在 C_x 增加到 10 倍 (由 2000PF → 20NF) 的同时, 只要将 R_f 的阻值减小到原来的 1/10 (由 1MΩ → 100KΩ), 就能保证 A_{4da} 不变, 亦即电容档的总增益不变, 使 A/D 转换器始终工作在 200MV 基本量程上 (对应于 2000PF 电容档)。这样既实现了量程扩展, 又简化了电路设计。

若设 2000PF 档的负反馈电阻值为 1, 则 20nF、200nF、2μF、20μF 电容档的负反馈电阻就依次为 1/10、1/100、1/1000 和 1/10000, 量程却以 10、100、1000、10000 的倍率递增, 使 A_{4a} 始终保持不变。

(2) 由于 IC₄ 均工作于交流状态, 不存在零点漂移, 而 AC/DC 转换器的漂移电压可忽略不计 (已加隔直电容), 况且 TSC7106 型 A/D 转换器本身具有自动调零之功能, 因此电容档不需要加手动调零电位器。电路中的 RP₁ 电位器只是用以校准电容档的, 一经调好就不再变动。

(3) D_9 — D_{12} 分别为电容输入插孔两侧的过压保护二极管, 其作用是将 V_{02c} 的最大输出电压 (峰值) 以及 V_{I4d} 的最大输入电压 (峰值) 限制在 0.7V 左右, 保护运放不致损坏。此外, 尽管电容档不允许测量带电的电容器, 然而实际上却可能发生这种误操作, 此时上述二极管可为被测电容器提供放电回路, 在一定程度上能起到保护作用。

知识问答 (内容假设以 DT9205A 为前提)

- A/D 转换器的功能是.....
 - 将数字量转换为模拟量; B) 将模拟信号分为 2 个
 - 将模拟量转换为数字量; D) 将交流信号转换为直流
- 直流电压测量时的分压是采用.....
 - 分压 20 倍 B) 电容分压 C) 分压 5 倍 D) 电阻分压
- 当测量交流电压时, 首先应.....
 - 分压 2 倍; B) 整流
 - 分压 100 倍; D) 送到高通滤波器
- 直流分压电阻的和是.....
 - 100Ω; B) 1000Ω; C) 100KΩ; D) 1MΩ
- 电阻测量是通过什么方法得到.....
 - 比较未知电阻和基准电阻上的电压;
 - 测量未知电阻中的电流;
 - 测量基准电阻中的电流;
 - 测量未知电阻和基准电阻上的电压;
- 当测量 75mA 时测试棒应连接到.....
 - COM 和 VΩ; B) COM 和 10A;
 - 10A 和 VΩ; D) 上述都不是;
- 具有白-黑-黑-棕-蓝色环的电阻是.....
 - 900Ω±1%; B) 9KΩ±0.3%
 - 90KΩ±0.3%; D) 900KΩ±5%
- 在电容档测量中的文氏桥振荡器, 输出波形是.....
 - 方波; B) 锯齿波;
 - 正弦波; D) 矩形波;
- 在电阻档中“20K”档的对应排阻.....
 - 900K; B) 90K
 - 9K; D) 1K
- 蜂鸣器是由哪两个电路组成.....
 - 分压电路; B) 电压比较电路
 - 文氏振荡; D) 音频低振荡