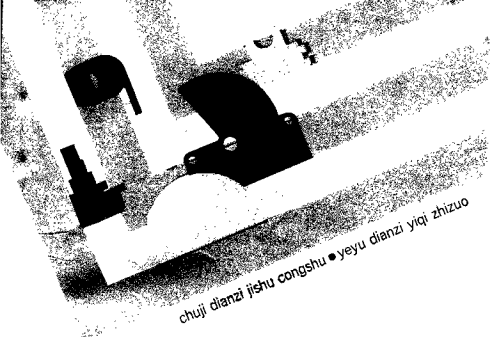




chujī diǎnzǐ jīshù cǒngshù • yēyú diǎnzǐ yìqì zhìzuò

业余电子 仪器制作

业余电子仪器制作

叶苗康 编著

上海科技教育出版社出版发行

(上海市冠生园路393号)

各地新华书店经销 上海印刷十二厂印刷

开本 737×1092 1/32 印张 6.5⁵ 字数 14600⁶

1990年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数1—4000

ISBN7-5428-0366-2

G·367

定价: 2.30元

作者的话

电子仪器是电子工程设备的重要组成部分。从电子元器件、整机乃至系统的研究、试验、制造、维修等过程来说，都离不开电子仪器。电子仪器的精度和性能，在很大程度上决定了电子产品质量、效用和可信度。

由于成品电子仪器的售价比较昂贵，电子爱好者往往无购置能力，常常只能自己动手装制一些性能优良、制作简便、价廉实用的简易电子仪器，以完善自己的业余制作条件，有助于更好地开展业余电子制作活动。通过电子仪器制作实践还能提高自己的技术水平，增长知识，积累经验。

这本小册子收集了本人近十年业余创作的一些电子仪器资料，供广大读者参考，藉以抛砖引玉。这些制作文章有一部分曾用笔名在一些科普刊物上发表过，其中几篇还获得过优秀制作、优秀科普文章奖，有些工厂还按此仿制成产品畅销各地。如果这本小册子能对读者在业余制作和技术革新中有所帮助的话，我将感到莫大的欣慰。限于本人技术水平，加上整理时间匆促，也许会有多处谬误，敬请读者批评指正。

叶苗康

1989年1月

目 录

1. 简易晶体管测试器	1
2. 晶体管 f_T 和 AGC 特性测试仪	4
3. 直读式电容计	10
4. 线性刻度欧姆表	15
5. CMOS 数字集成电路逻辑测试仪	18
6. 万用表高频电压测量探头	30
7. 简易型宽频带电压表	32
8. 高灵敏交流电压表	39
9. 简易音频频率表	49
10. 10MHz 频率计数器	53
11. 通用电子计数器	61
12. 使电视机兼示波器的附加器	74
13. 由电视机显示的图像中频扫描仪	79
14. 由电视机显示的多功能测试仪	85
15. 八线逻辑电路分析仪	98
16. 电视频标信号发生器	110
17. 多用信号发生器	115
18. 函数发生器	123
19. 立体声测试信号发生器	134
20. 锁相环频率合成器	142
21. 电视灰度信号发生器	147
22. 黑白电视信号发生器	152

23. 电子圆图像信号发生器.....	159
24. 彩色电视信号发生器.....	165
25. 简易示波器.....	176
26. 数字式稳压电源.....	189

1. 简易晶体管测试器

简易晶体管测试器配用万用表(电流档)能测量二极管、三极管的反向电流, NPN、PNP 小功率三极管的放大系数 β 以及 N 沟道耗尽型(结型和 MOS) 场效应管的饱和电流 I_{DSS} 、跨导 g_m 。也可不配万用表, 而根据 LED 的发光亮度来判别被测三极管是否击穿并比较 β 值的大小。

工作原理

反向电流测量 晶体管 PN 结加反向电压产生的电流为 I_0 。图 1-1 中电流表(例如选“50 μ A”档)与 LED 并联时, LED 并不起作用。接线柱 JZ₃、JZ₄ 为 I_0 测试端。一般硅三极管的 I_{CBO} 、 I_{EBO} 极其微弱(例如 3DG、3CG 型), 电表往往指示不出, 故主要适用对锗二极管和锗三极管的测量。各种晶体管测量反向电流的接法见图 1-2。

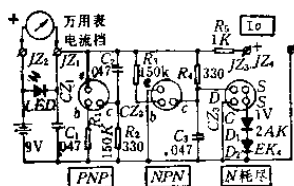


图 1-1

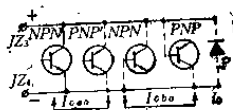


图 1-2

三极管 β 值测量 三极管共发射极直流放大系数 $\beta = I_c/I_b$, 或 $\beta = I_c/I_b - 1$ 。因为电表与电源串联, 电表指示为 I_c 值, 并且 I_b 固定取 $50\mu\text{A}$ (由 R_1 、 R_3 决定), 故可用近似式 $\beta \approx I_c/I_b$ 直接 β 值, 即 $\beta \approx I_c/50\mu\text{A}$ 。此时, 电表“10mA”档对应的量程为 200。图 1-1 中电容 $C_1 \sim C_3$ 可消除被测管自激。

测量三极管 β 值时, 应先测量它的 I_{ce0} 和 I_{be0} , 看看被测管是否击穿; 同时要求 PNP 管插入 CZ₁ 插座; NPN 管插入 CZ₂ 插座。这样, 电表的 β 值读数才可信。由于集电极电阻 R_2 、 R_4 的限流作用, β 值在 0~300 范围内才有较高的精度, 大于 300 时误差增大。无论 NPN 管还是 PNP 管, 都有锗管与硅管之分。因为锗管的 b 、 e 压降小于硅管的 b 、 e 压降, 故实际测得硅管的 β 值略偏低, 而锗管的 β 值稍偏高。

I_{DSS} 和 g_m 的测量 耗尽型场效应管在栅极 (G) 偏压为零时, 漏极 (D) 和源极 (S) 间加反向电压产生的电流为饱和电流 I_{DSS} 。这个参数在设计场效应管放大器时尤为重要。将场效应管插入 CZ₃ 插座后, 由于二极管 D_1 、 D_2 (串联) 产生约 1V 的偏压, 电表指示为 I_{DS} 值。如用螺丝刀将 G、S 极短接 (即将 D_1 、 D_2 短接), 上述 1V 偏压被短路, 电表指示就为 I_{DSS} 值。利用公式 $g_m = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}$, 即 $g_m \approx (I_{DSS} - I_{DS}) / U_{GS}$, 可求得被测管的跨导。例如测得 $I_{DS} = 4.5\text{mA}$, $I_{DSS} = 6\text{mA}$, 则 $g_m = (6\text{mA} - 4.5\text{mA}) / 1\text{V}$, $g_m = 0.0015\text{S}$ (西门子)。

无电表测量 外出选购晶体管时, 如嫌带着万用表不方便, 可省略万用表而根据 LED 发光亮度来判别上述各种参数的大小。发光亮度与电流值的对应关系难以用文字表达清楚, 而且亮度感觉与环境的照度关系很大, 一般只要经过一段时间的使用, 就能熟练地掌握。

制 作 方 法

简易晶体管测试器的印制线路板见图 1-3。 $CZ_1 \sim CZ_3$ 可用十个 $\phi 1.5\text{mm}$ 空心铜铆钉代替。也可用电子管管座（小七脚、小九脚）的插孔代用，接触性能比空心铆钉好。接线柱、9V 迭层电池的安装位置如图 1-4 所示。 D_1 、 D_2 可分别用锗三极管及硅三极管的集电结代替。

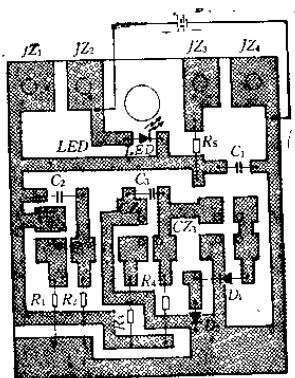


图 1-3

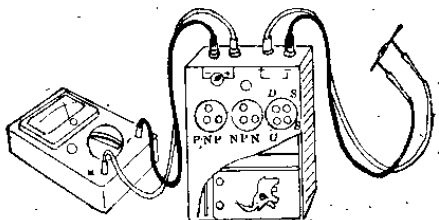


图 1-4

使用 说 明

(1) PNP、NPN 两个插座, 硅管、锗管都可以测, 一般硅管的 V_{be} 约为 0.7V, 锗管的 V_{be} 约为 0.3V。在选择基极电阻时, 取 V_{be} 为中间值 (0.5V), 则 $R_b = (9V - 0.5V) / I_b$ 。可见, 硅管、锗管的 V_{be} 与设定值都相差 0.2V, 实际测得的硅管 β 值约偏小 2.5%; 锗管的 β 值约偏大 2.5%。这点误差对简易测试器是无所谓的。另外, 当电池电压跌落后, β 读数也相应偏小。

(2) 一般小功率三极管的 e 、 b 击穿电压都低于 9V, 本机的测试电压固定为电池电压, 故不能用本机测试 e 、 b 反向电流 I_{ebo} 。

(3) g_m 的测量精度与 D_1 、 D_2 的串联压降有关, 如压降偏离 1V, 可测出实际电压值, 然后代入跨导公式求得 g_m 值。

结型场效应管与 MOS 场效应管的引脚排列不一致, 图 1-5 表示常用场效应管的引脚顺序。

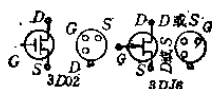


图 1-5

(4) 本机如与标准测试仪比对, 要求采用同样的测试条件。本机 I_b 的测试条件为 $U = 9V$; β 值的测试条件为 $I_b =$

$50\mu A$, $V_c = 8V$, $R_L = 330\Omega$; g_m 的测试条件为

$$U_{GS} = 1V, U_{DS} = 7V, R_L = 330\Omega。$$

2. 晶体管 f_T 和 AGC 特性测试仪

简易型晶体管 f_T 和 AGC 特性测试仪可测量 NPN 型高频小功率三极管的 f_T 值和 AGC 特性。 f_T 测量范围为 100~

1000MHz (可扩展至 2000MHz), AGC 特性为 0~20dB。它的电路虽然简单,却很实用。

基 本 原 理

当晶体管用于高频放大或高频振荡时,它的电流放大系数受其工作频率的影响。在选用高频电路的晶体管时,需要了解它的高频特性。尤其是爱好者购买廉价的业余品晶体管时,就更有必要进行测试,对于提高业余无线电制作的成功率很有帮助。

表示晶体管频率特性的参数,常见的有 f_a (共基极截止频率)、 f_β (共发射极截止频率) 和特征频率 f_T 三种。这三个频率参数间有着一定的联系,而在高频电路中使用较多的是 f_T 这个参数。

若工作频率(f)选在 $f_T/H_{FE} < f < f_T$ 的范围内,晶体管的 β 与 f 呈反比例关系,即 $\beta = f_T/f$ 。根据这个原理,我们可以通过测量晶体管的高频 β 来匡算一下该晶体管的 f_T 。例如,当工作频率选为 100MHz 时,测得某晶体管的 β 值为 8.5,则它的 f_T 即为 850MHz (见图 2-1)。

近年来,在晶体管电视机的高频放大和图像中放电路中,普遍采用控制能力较强的正向 AGC 晶体管。这种晶体管的工作电流(I_c 或 I_e)一旦超过起控电流,它的 β 值即随工作电流的增大而急剧下降,如图 2-2 所示。

业余制作电视机时,为确保自动增益控制特性,有必要对这种晶体管的正向 AGC 特性进行测试和挑选。

图 2-3 是测试仪的电路图。整个仪器由 100MHz 振荡器、测试回路和放大检波器等三部分组成。

由 BG_1 等组成电容三点式振荡器。100MHz 高频信号经

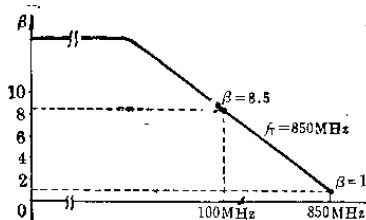


图 2-1

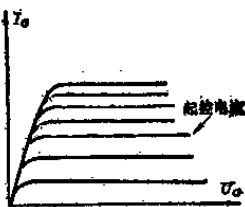


图 2-2

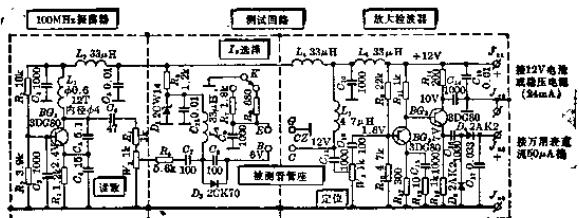


图 2-3

电位器 W_1 输出, 送往测试回路。仪器的 f_T 和 AGC 特性读数由 W_1 的刻度指示。

被测晶体管插在四孔插座 CZ 内, 组成共射极放大电路。为了便于测试不同 H_{FE} 值的晶体管, 被测管的直流偏置接成共基极馈电方式。被测管的基极电位约为 6V, 它的发射极电流 I_e 由钮子开关 K 选择, 分为“3mA”和“8mA”两档。普通三极管的共基极放大系数 α 值在 0.95~0.99 范围内, 尽管它们的 β 值相差很大, 而共基极偏置的 I_e 值却变化很小。因此可免去对被测管的工作点调整。

被测管集电极的输出信号经定位电位器 W_2 加至由 BG_2 、 BG_3 组成的放大器, 经放大的信号再被二极管 D_3 、 D_4 检波, 在

接线标 JX_3 和 JX_4 上输出。

仪器使用时,在 JX_3 、 JX_4 上外接满度电流为 $50\mu A$ 的直流电流表或万用电表(置 $50\mu A$ 档级)。接线柱 JX_1 、 JX_2 为外接电源输入端。电源电压取 $+12V$ 。

装制和调整

测试仪对所用元件无特殊要求, $BG_1 \sim BG_3$ 采用代用管时, 应选 f_T 大于 $800MHz$ 。电位器 W_1 、 W_2 宜用正品。电源外接, 用两个 $6V$ 迭层电池, 也可使用稳压电源。

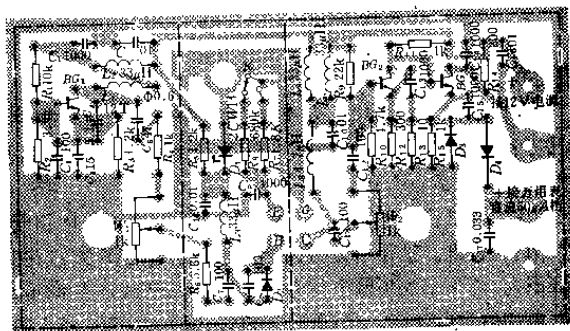


图 2-4

全部元件装在图2-4所示的印制线路板上。图中虚线表示金属隔离板的安装位置。隔离板可利用马口铁皮, 宽度为 $20mm$, 铁皮接缝处必须用锡焊牢, 不留空隙。被测晶体管插座用四只空心铜铆钉代用。

本机装配见图2-5。印制线路板置于金属盒中, 当 W_1 、 W_2 的紧固螺母旋紧时, 印板就固定在机壳内。为防止印板焊点被机壳短路, 安装时要在 W_1 、 W_2 的轴套上垫一个螺母, 而印板各

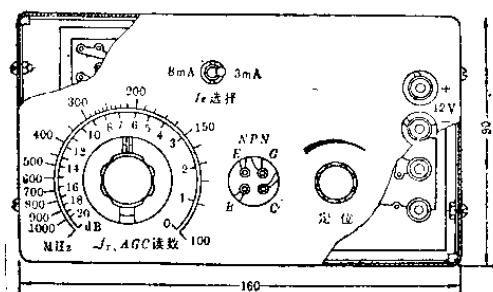


图 2-5

焊点的高度不得高于 2mm。

安装完毕后, 接通 12V 直流电源和电流表, 插入被测晶体管, 用万用表电流档测出被测管的 I_c 分别为 3mA 和 8mA。如偏差大, 可调整 R_7 、 R_8 的阻值。

为保证测试仪有一定的测试精度, 需要对 100MHz 振荡器的频率进行校准。选用一台带调谐电平指示器的调频接收机(收录机)。将 W_1 抽头输出信号输入收录机天线, 在 88~108 MHz 范围内进行搜索。当调谐电平指示最大时, 刻度板上的频率读数即为本机的振荡频率。如频率偏离 100MHz、可用无感起子拨动电感 L_1 的形状或增减圈数。

本机基本正常后, 可以找几个不同型号的 NPN 高频管进行测试。先用一根短铜线(长 10mm)短接管座上的 B、C 插孔, 让高频信号直接通过(相当于 $\beta = 1$ 的状态)。将 W_1 调至“100 MHz”的刻度位置上。调整定位电位器 W_2 , 使电流表指针指在某一个固定值上(例如选 40 μ A)。然后拔掉短路铜线, 在管座上插入被测晶体管。此时, 由于被测管对 100MHz 信号的放大

作用，电流表指示将超过原来定位的数值，因此，调节 W_1 将输入信号减小，让电流表指示回复到原来的数值 ($40\mu A$)，这样电位器 W_1 上的刻度即为被测管的 f_T 值。如果我们变换钮子开关 K 的位置，就可分别测出晶体管在电流 $3mA$ 和 $8mA$ 时的两个 f_T 值。

如有条件可选几个样管，先把它们用厂产品 f_T 测试仪测试，记下各管 f_T 值，然后用自制测试仪复出（注意它们的测试条件）。若读数偏高，应降低 L_1 的电感量，使振荡频率升高些；反之，则需降低振荡频率。

本仪器的 f_T 读数校准以后，AGC 特性的 dB 刻度就不必再校对了。

仪器的使用

本测试仪的 f_T 参数和 AGC 特性从电位器 W_1 的刻度上直接读得。由于采用定位法测量，仪器放大部分、振荡器的幅度稳定性以及检波器的线性等均不会影响它的测试精度。

晶体管的各种参数并不是固定不变的，尤其与它的测试条件有密切的关系。表 2-1 示出该测试仪的测试条件和测试范围。

f_T 的测试方法在前文已经叙述。如果 f_T 指示超出满刻度，可以通过扩展来比较 f_T 的大小。例如仪器在定位时，使电表指示为 $20\mu A$ ，插入被测晶体管后，调节 W_1 使电表指示为 $40\mu A$ 。电位器 W_1 刻度指示值乘以 2，即为被测管的 f_T 值。不过此时误差较大，只适宜比较被测管的 f_T 大小。

测量晶体管的正向 AGC 特性时，可以先将 I_s 开关置于“ $8mA$ ”位置， W_1 选在 $0dB$ 刻度位置，插入被测晶体管后，调节定位电位器 W_2 使电流表指示某一固定值。然后将 I_s 开关拨至

表 2-1

项目	f_T	AGC
测试条件	$V_{ce}=6V$ $I_{e1}=3mA$ $f_o=100MHz$	$V_{ce}=6V$ $I_{e1}=3mA$ $I_{e2}=8mA$ $f_o=100MHz$
测试原理	$f_T = \beta f_o$	$20 \lg \frac{\beta_1}{\beta_2} (I_{e1}=3mA)$ $\frac{\beta_2}{\beta_1} (I_{e2}=8mA)$
范围	100~1000MHz	0~20dB

“3mA”位置。由于具有正向 AGC 特性的晶体管在 3mA 电流工作时的 β 值较大,电表指示超过原来值,因此需要调节 W_1 使电表指示回复至原来位置。此时 W_1 所示的对数刻度即为被测管的 AGC 特性(AGC 控制能力)。

3. 直读式电容计

万用表虽然可用来测量电阻、检查晶体管的好坏,但对于电容器的测量却无能为力。本文介绍的直读式电容计与万用表 1mA 电流档连接,可测量各种小容量电容器的电容值。量程有 125PF、250PF、1250PF、2500 PF 和 12500PF (0.0125 μ F) 五档,通过表头 0~250 的刻度直接读数,测量精度在 5~8% 左右。电路中还设有校准装置,可消除电池电压低落引起的误差。

工 作 原 理

直读式电容计的电路如图 3-1 所示。由脉冲发生器 ($BG_1 \sim BG_3$)、比较器 (BG_4 、 BG_5) 和双稳态触发器 (BG_6 、 BG_7)

等组成。电路是按照被测电容器的充电时间来调制脉冲的宽度，通过积分电路取出脉冲平均值，并带动电表指示电容读数的。

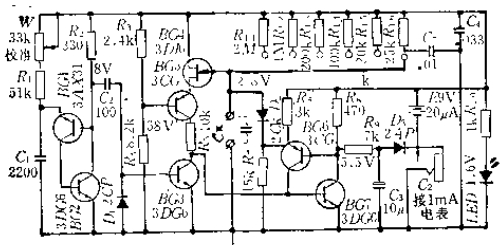


图 3-1

脉冲振荡器的频率约为 3.8KHz。振荡信号经 BG_3 倒相形成触发脉冲。由于触发脉冲的宽度决定了本机的固有误差，因此要求脉冲宽度尽量窄。图 3-1 中由微分电容 C_2 进行耦合，触发脉冲宽度约 $3 \sim 4\mu S$ 。如果改变振荡信号的重复周期，调制脉冲的占空比将发生变化，即脉冲的平均值相应变化，故电位器 W 可用作满刻度校准。

比较电压由 R_3 、 R_4 分压取得，通过 BG_4 、 BG_5 与被测电容 C_x 的充电电压相比较。当 C_x 两端电压升至一定值时， BG_4 、 BG_5 同时导通，使触发器 (BG_5 、 BG_7) 翻转。 C_x 电容量越小，充电时间越短 (斜率越陡)；反之，若 C_x 电容量越大，充电时间也越长，(即斜率越平坦)，对应的调制脉冲宽度自然就越宽，其工作波形参见图 3-2。

结型场效应管 BG_4 担任阻抗变换，它具有足够的输入阻抗，可防止对量程扩展电阻 $R_{11} \sim R_{16}$ 的并联作用，以减小各档级的相对误差。

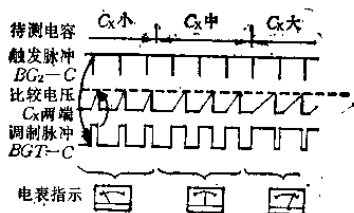


图 3-2

双稳态触发器由 BG_6 、 BG_7 等组成。当倒相器 BG_5 输出的触发脉冲抽去 BG_6 的集电极电流时，将使 BG_7 因失去基极电流而截止， BG_6 也跟着截止。此时，调制脉冲升至高电平，并使 D_2 截止，故 C_x 开始充电。

当 BG_6 栅极电位升至能使 BG_6 导通的时候， BG_6 集电极电流经 R_5 注入 BG_7 基极。故 BG_7 、 BG_6 同时导通。调制脉冲跳至低电平，并使 D_2 导通泄放 C_x 两端的电荷。电路又重复上述动作。

触发器输出信号由 R_6 、 C_3 平滑后，经 D_3 送出机外，与电表连接。由于电表指示值与调制脉冲的宽度成正比，故与被测电容 C_x 的容量也成正比。其中 D_3 为补偿二极管，用以减小 BG_7 集电极饱和压降和 BG_5 触发脉冲宽度引起的误差。插座 CZ 还兼作电源开关，当插头插入后，电源负极接地使电源接通。

元 件 选 择

二极管、三极管可选业余品， D_2 的漏电越小越好。电阻 $R_{11} \sim R_{15}$ 的精度宜优于 2%， R_{16} 电阻值由调试决定。CZ 用 3.5mm 插座改制而成，使它的两个触点呈常断状态，插入插头