

嵌入式智能频率计

PLJ-1601A

用户手册

V 1.0

三剑工作室

淡荣生

2011 年 12 月

广西 南宁 隆安

目 录

| | |
|--------------|----|
| 概 述 | 1 |
| 技术参数 | 2 |
| 工作原理 | 4 |
| 性能测试 | 10 |
| 使用操作 | 13 |
| 有关套件 | 20 |
| 有关 DIY | 23 |
| 后 记 | 25 |

概 述

PLJ-1601A 嵌入式智能频率计专为 HAM 设计的频率测量仪器。其小巧精致，操作简单，工作可靠，主要用于 DIY 收发信机作频率值显示，也可用于常规频率测量。本频率计的主要特点如下：

- ◆ 以 Microchip 公司 8 位单片机 PIC16F648A 为核心的高性能 1.1GHz 频率计。
- ◆ 内置频率基准采用温度补偿型压控晶体振荡器(± 2.5 ppm VC-TCXO)，可外接更高性能的频率基准，软件支持 13.000 MHz、12.800 MHz、10.000 MHz 和 4.000 MHz 四种频点。
- ◆ 定时闸门(0.01 秒/0.1 秒/1.0 秒)三档可选。
- ◆ 单端输入三通道(低通道/高通道/自动通道)可选。
- ◆ 有加减中频功能，中频值可调，加/减模式可选。
- ◆ 采用 LCD1601/1602 字符型液晶屏显示频率值，最高可显示 9 位数字，频率值无效零自动消隐，无效频率值显示滤波可选。
- ◆ 四按键控制，人机界面良好。
- ◆ 各项设置自动保存在 EEPROM 中，下次开机直接调用。

技术参数

1. 闸门时间

- 0.01 秒
- 0.10 秒
- 1.0 秒

2. 测量通道（高低通道均为高阻）

- 低通道

测量范围：0.1 MHz ~ 70 MHz

测量精度：± 100Hz (0.01 秒闸门时)

± 10Hz (0.1 秒闸门时)

± 1Hz (1.0 秒闸门时)

低通道灵敏度：

0.1 MHz ~ 10 MHz：优于 60mV_{pp}

10 MHz ~ 60 MHz：优于 60mV_{pp}

60 MHz ~ 75 MHz：未测试

- 高通道（64 分频）

测量范围：10 MHz ~ 1.1 GHz

测量精度：± 6400Hz(0.01 秒闸门时)

± 640Hz(0.1 秒闸门时)

± 64Hz (1.0 秒闸门时)

高通道灵敏度：

10 MHz ~ 30 MHz：优于 100mV_{pp}

30 MHz ~ 60 MHz：优于 50mV_{pp}

60 MHz ~ 1.1 GHz：未测试

- 自动通道

依据输入信号频率自动选择高通道或低通道，识别频率为 60 MHz。如输入大于 60 MHz 的信号幅度不足无法自动选择高通道时，应手动选择高通道测频。

3. 中频设置

中频可调最小步距为 100 Hz，中频范围 0 ~ 999.9999 MHz，可设置为加中频或减中频模式。

4. 频率基准

内部采用 5032 封装 13.000MHz 温补压控晶体振荡器 (VC-TCXO)，频率稳定度是 ±2.5 ppm。设有外接频率基准接口，目前软件支持的频率基准有：13.000 MHz、12.800 MHz、10.000 MHz 和 4.000 MHz。

5. 工作电压

直流输入：DC 9V ~ 12V（有电源极性反接保护）

6. 工作电流

启用背光：≤ 75 mA

禁用背光：≤ 55 mA（断开背光电源）

7. 显示位数

最高 9 位数字显示

8. 物理尺寸

长×宽×高：92mm×37mm×27mm

9. 板载接口

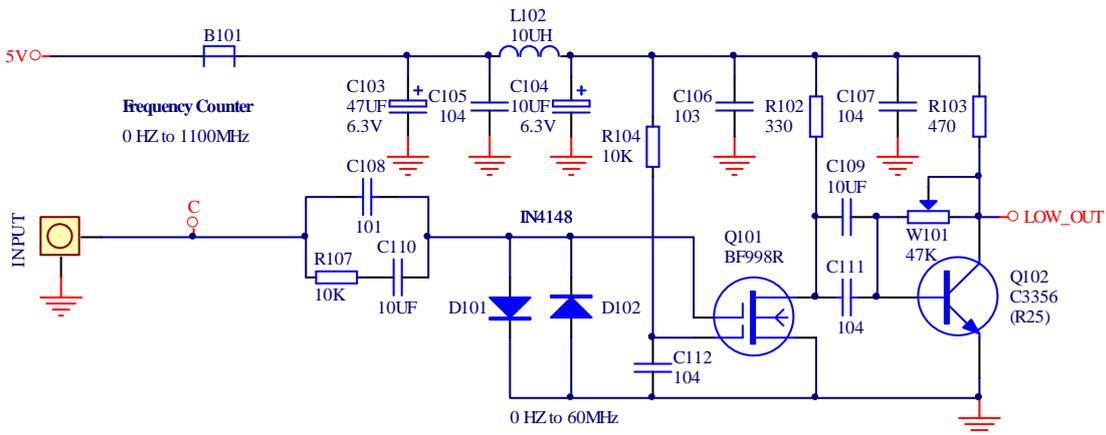
| | |
|-----------------------|--|
| RF INPUT（测量信号输入）： | XH2.54-2P 弯针方口插座 |
| ICSP INPUT（MCU 编程接口）： | XH2.54-6P 弯针方口插座 |
| ECL INPUT（外部时钟输入）： | XH2.54-2P 弯针方口插座 |
| POWER INPUT（电源接口）： | ①Φ3.5mm DC 插座（内正外负） ②XH2.54-2P 弯针方口插座 |

工作原理

前置放大

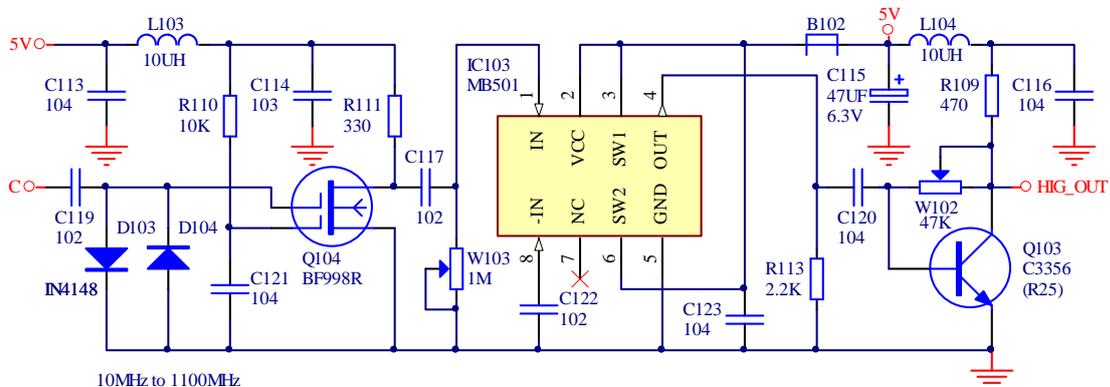
射频信号由 RF INPUT 输入后分两路进入前置宽带放大。

低通道放大由双栅场效应管 Q101 BF998R 和 Q102 C3356 及外围元件组成，W101 调整 Q102 工作点改变低通道灵敏度，放大后信号进入 IC101 74AC151 的输入端 I3 待选导通。



低通道前置放大

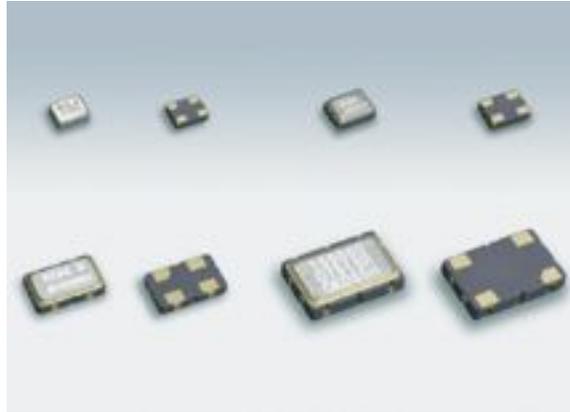
高通通道放大由 Q104 BF998R、前置分频 IC103 MB501 和 Q103 C3356 及外围元件组成，W103 调整与 IC103 MB501 输入的匹配（实验测定，此电阻 470K 最佳，既可保证通道灵敏度，也可避免无信号输入时频率值示数乱跳），W102 调整 Q103 工作点改变高通通道灵敏度，放大后信号进入 IC101 74AC151 的输入端 I2 待选导通。



高通通道前置分频放大

- 有关频率基准

频率基准采用广泛用于手机的 13.000MHz 温度补偿型压控晶体振荡器 (VC-TCXO)，频率稳定度是 ± 2.5 ppm。

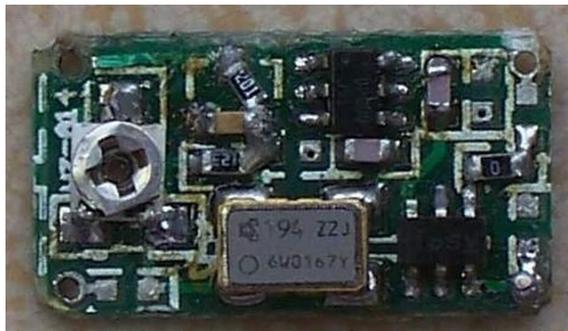


由于此类频点为大规模生产，所以成本很低，淘宝价为 3 元左右，为收发信机信号合成等场合提供了价廉物美的频率基准，在此感谢 BH7KVE，他提出了设想并积极实践。

此前曾为寻找合适的频率基准头痛，普通晶体频率稳定度只有 ± 100 ppm，前面发布的 PLJ-5110B 采用了全尺寸 4.000 MHz 温度补偿型晶体振荡器 (TCXO)，标称频率稳定度也是 ± 2.5 ppm。

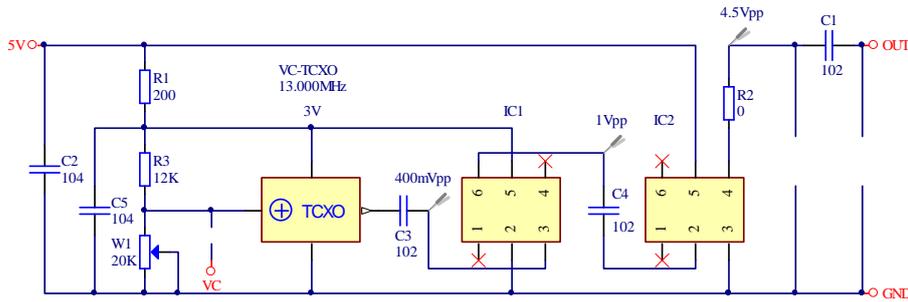


这种 TCXO 体积大，而且价格高，淘宝上标价 50 元/只，几十只的价格是 35 元/只，大大限制了其广泛应用。曾因电源接反损坏过一只，打开看看内部结构，呵呵。。。

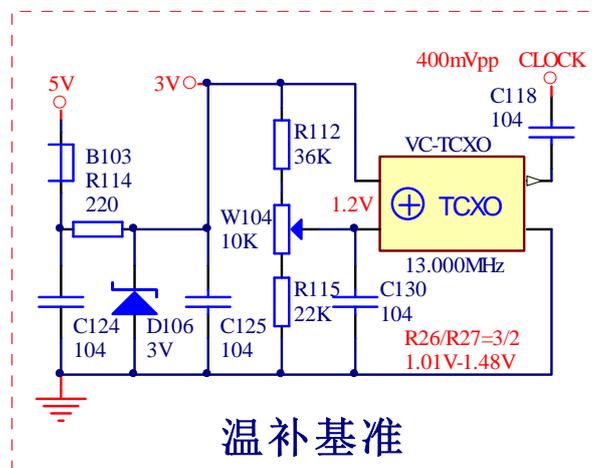


其核心也是手机所用的温度补偿型压控晶体振荡器 (VC-TCXO)，增加了压控微调频率及电

平放大转换电路。以下是根据实物绘制的电路图：



以下是本机实际采用的电路，R114、D106 等构成 3V 稳压电路，R112、W104 和 R115 构成分压微调频率。

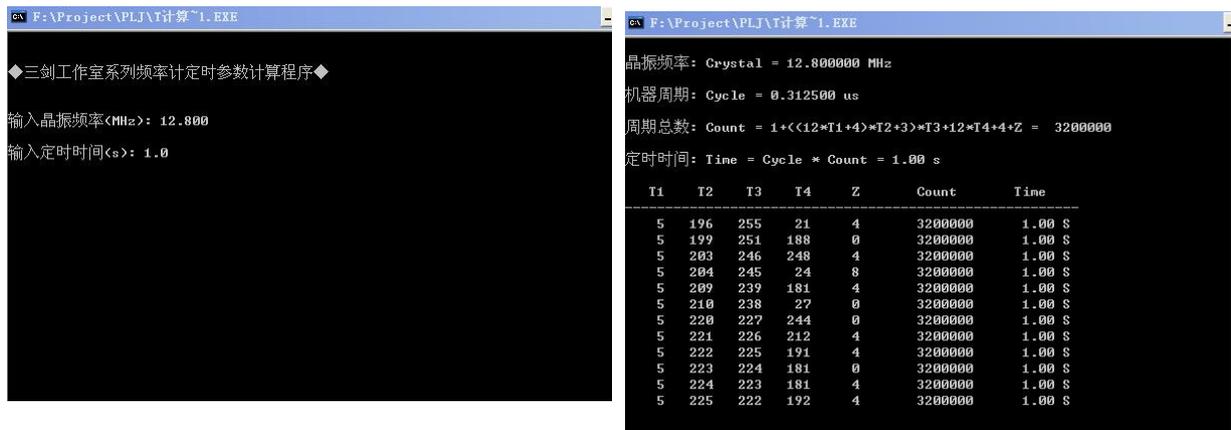


本机设有外接频率基准接口，可接入质量更高的频率基准（如恒温晶振、铷原子钟等），实现更高的测量要求。现在淘宝上的铷原子钟比较便宜，如 FE-5680A 也就 100 多元，其输出频率是 10.000 MHz，可为本频率计提供高质量的频率基准。



本机定时算法精准，只要保证输入频率基准的准确，即可产生准确定时闸门。目前支持的外部频率基准有：13.000 MHz、12.800 MHz、10.000 MHz 和 4.000 MHz 四种常用频点，可在高级

设置菜单中预置。如需其它频点，可使用本工作室编写的“T 计算器”计算定时参数。



● 有关闸门

待测信号经 R106 进入 PIC16F648A 的 3 脚进行计数，闸门时间到后 PIC16F648A 的 2 脚 RA3 由输入高阻状态变为输出，阻止 3 脚电平变化，T0 停止对外计数，这种闸门控制方式不需专门闸门芯片，简单可靠，易于移植至其他单片机，此为本频率计设计亮点之一。

● 有关计数

对于 89S51 单片机来说，当定时/计数器工作于计数功能时，其最大的计数频率值不会超过时钟频率 F_{osc} 的 $1/24$ ，即通过 T0 或 T1 完成的频率计数器的频率小于 $F_{osc}/24$ 。因此，要想用 51 单片机来实现超过 100MHz 以上的频率计数功能，就得使用外部扩展分频电路（如 74LS393、74AC4040 等）来完成，这样会使得系统的电路变得复杂。

PIC 单片机内部 TMR0 拥有预分频器，无需扩展外部电路，就可以轻松实现 75MHz 以下的频率计数。但这里有一个问题，就是 PIC 单片机内部的预分频器是不可直接读写的，当闸门时间到时，如何知道预分频器里的计数值呢？设计思路是如下：当闸门时间到时，PIC16F648A 的 2 脚 RA3 由输入高阻状态变为输出状态，PIC16F648A 的 3 脚停止对来自 74AC151 的脉冲计数，同时 PIC16F648A 的 2 脚 RA3 端产生模拟脉冲信号并记录脉冲的个数 N，使 PIC16F648A 的 3 脚 T0 进行计数，当 T0 溢出时计算 $255 - N$ ，即为闸门时间到时预分频器里的计数值，无需外部计数器是本频率计设计亮点之二。

● 有关定时

用单片机做频率计许多设计者采用 Timer 溢出中断的方式来定时，中断的延迟问题尚可通过

改写定时器初值来补偿，但中断时单片机响应的时间有时是无法确定的，这决定中断时单片机正在执行什么样的指令，如 MCS-51 单片机中断系统中的中断响应时间为 3~8 个机器周期，补偿起来相当麻烦。

也有人设计时不太关注频率基准的准确度，认为可以用软件调整，其实这是不严谨的做法，会产生“累计误差”或“线性准确度”的问题，做这种脉冲计数型的频率计，频率基准的准确度是很重要的。当然也要注意频率基准的稳定度，没有稳定度的保证，准确度也是浮云。

本频率计不采用 Timer 溢出中断的方式，而是采用软件延时的方法来精确计时。具体做法是：在软件延时过程中加入 Timer 溢出检测，发现溢出软件计数器加 1，Timer 溢出标志清零，然后继续执行延时程序直至延时时间结束，这里最关键的地方是：① 执行 Timer 溢出检测所耗的时间也包含在延时时间中；② 插入 Timer 溢出检测的时机要合适，即每次 Timer 溢出都不能错过。采用软件延时的方法来确保定时的精准是本频率计设计的亮点之三。

- 有关软件

本版本采用 C 语言编写，定时部分内嵌汇编，占用 8125 words 程序空间。

性能测试

• 测量范围测试

低通道：最低可至 0.1MHz，最高可至 75 MHz，但大于 70 MHz 时，通道增益减小，需输入 >100 mVpp 信号方可稳定显示，该通道建议测量范围为 0.1 MHz ~ 60 MHz。

高通道：最低可至 2 MHz，但需要输入较大幅度的信号。理论上最高可至 1.1 GHz，因条件限制无法验证。以下图片是感应法测量 150 MHz 和 450 MHz 对讲机的频率，该通道建议测量大于 20 MHz 的信号。



测量 150 MHz 对讲机的频率



测量 450 MHz 对讲机的频率

• 通道灵敏度测试

工作室里那台高龄的 YM8178 锁相信号发生器终于罢工了。不得已翻出经改装可调节输出幅度的 NWT-7，配合电脑当信号发生器了，再用一台同样是高龄的 COS5100 示波器观察频率计可靠计数时的电压峰峰值，测试环境简陋，欢迎有条件的朋友帮忙测试。



通道灵敏度测试数据（参考值）

| 低通道 | | 高通道 | |
|--------|---------|--------|----------|
| 测试频率 | 通道灵敏度 | 测试频率 | 通道灵敏度 |
| 15MHz | 40 mVpp | 10 MHz | 100 mVpp |
| 20 MHz | 45 mVpp | 15 MHz | 120 mVpp |
| 25 MHz | 50 mVpp | 20 MHz | 60 mVpp |
| 30 MHz | 50 mVpp | 25 MHz | 60 mVpp |
| 35 MHz | 60 mVpp | 30 MHz | 80 mVpp |
| 40 MHz | 60 mVpp | 35 MHz | 30 mVpp |
| 45 MHz | 60 mVpp | 40 MHz | 25 mVpp |
| 50 MHz | 55 mVpp | 45 MHz | 25 mVpp |
| 55 MHz | 50 mVpp | 50 MHz | 60 mVpp |
| 60 MHz | 50 mVpp | 55 MHz | 50 mVpp |
| 65 MHz | 50 mVpp | | |
| 70 MHz | 50 mVpp | | |
| 75 MHz | 未测试 | | |

• 精度&稳定度测试

测试目的：测量频率稳定度

测试对象： PLJ-1601A

信号源：FE-5680A 铷原子钟输出的 10.000 000 MHz 0.5V rms 正弦波信号（FE-5680A 铷原子钟拥有超高的频率精度和稳定度 $\pm 0.00001\text{ppm}$ ，比恒温晶振性能高 1000 倍。）

闸门：1.0 S

通道：AUTO

结果：在长时间工作中，最末一位示数偶尔在“0”和“1”之间跳动。

使用操作

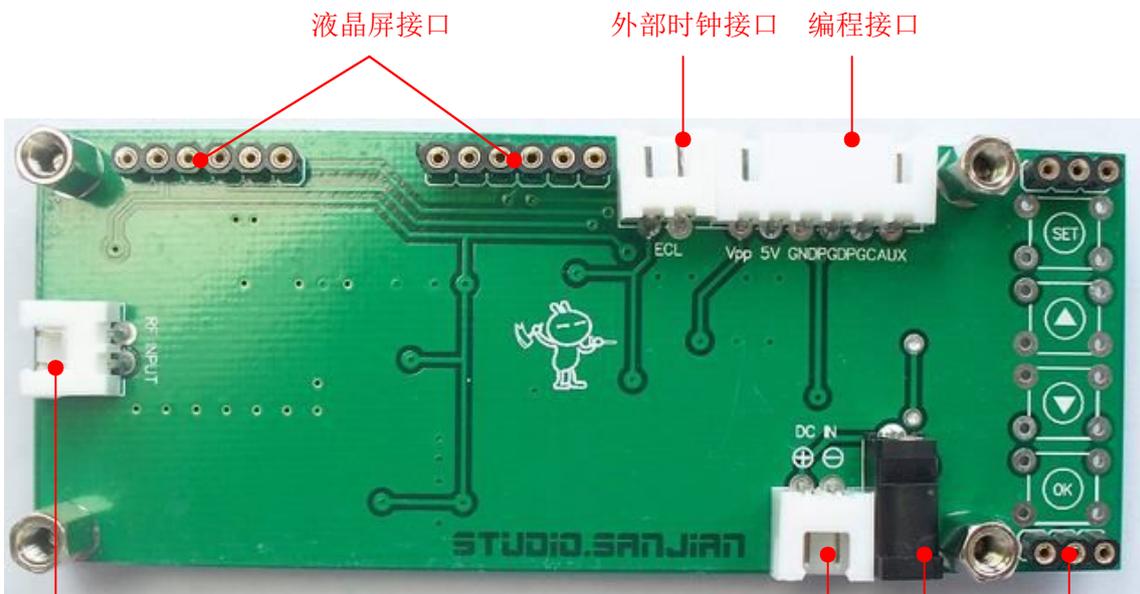
一. 本机结构



显示屏

整机正面

按键板

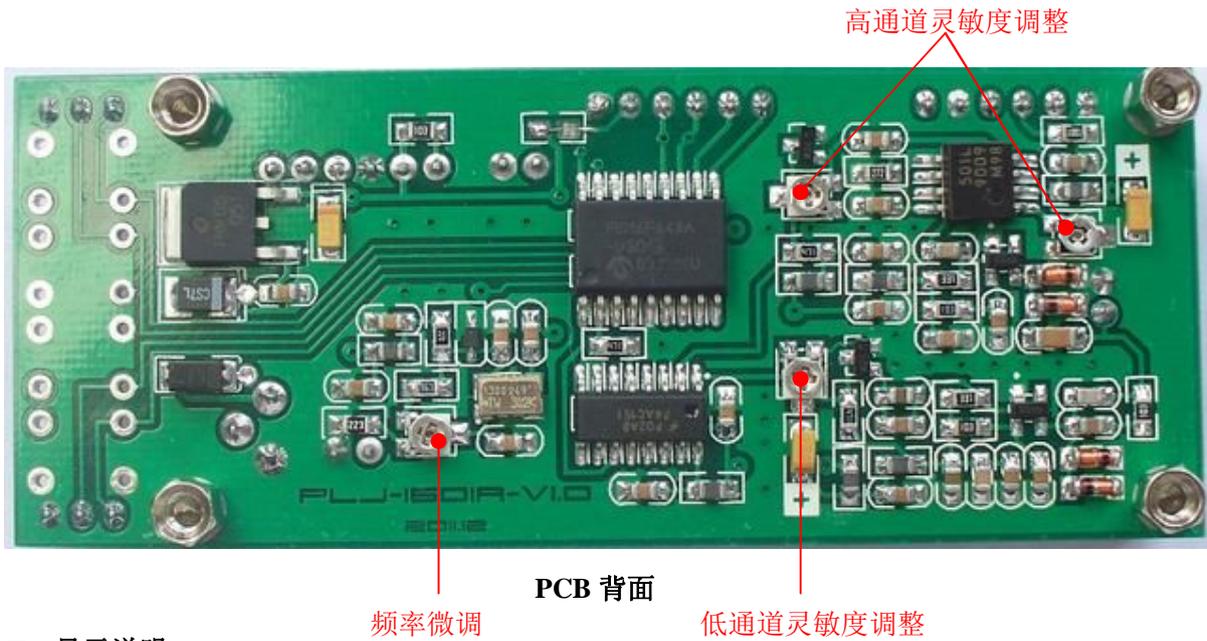


测量信号输入

PCB 正面

外部电源接口

按键板接口



二. 显示说明



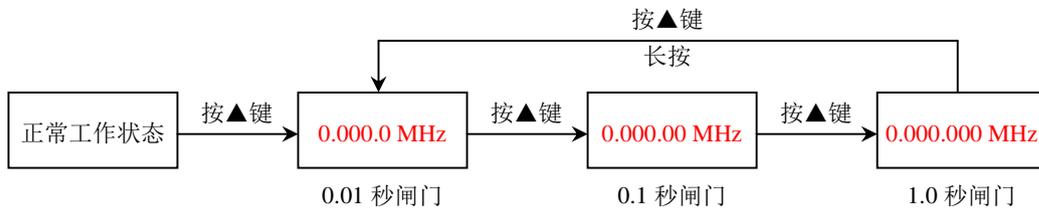
三. 操作步骤

(一) 准备工作

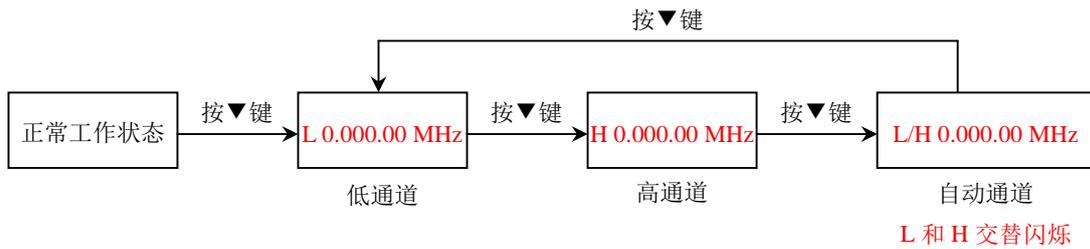
1. 使用前请先检查电源电压 (DC 9V-12V) 及极性, 确认后方可将电源插头插入本仪器 $\Phi 3.5\text{mm}$ DC 插座内 (内正外负), 也可在 $\Phi 3.5\text{mm}$ DC 插座旁的 2P 方口插座输入 9V-12V 直流电压。本机有防呆设计, 电源极性接反机器不工作, 但不会产生破坏性后果。
2. 测量信号输入 2P 方口座接入测试线 (有线方式) 或天线 (感应方式)。
3. 仪器电源开启预热几分钟待频率基准稳定后再进行测量操作。

(二) 功能设置

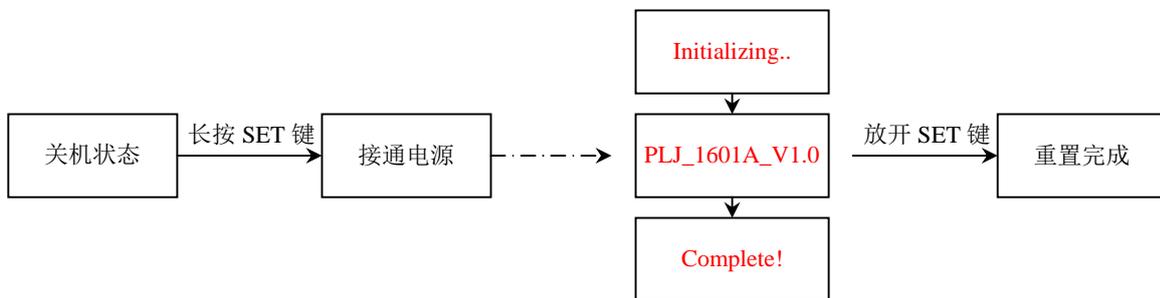
工作闸门设置



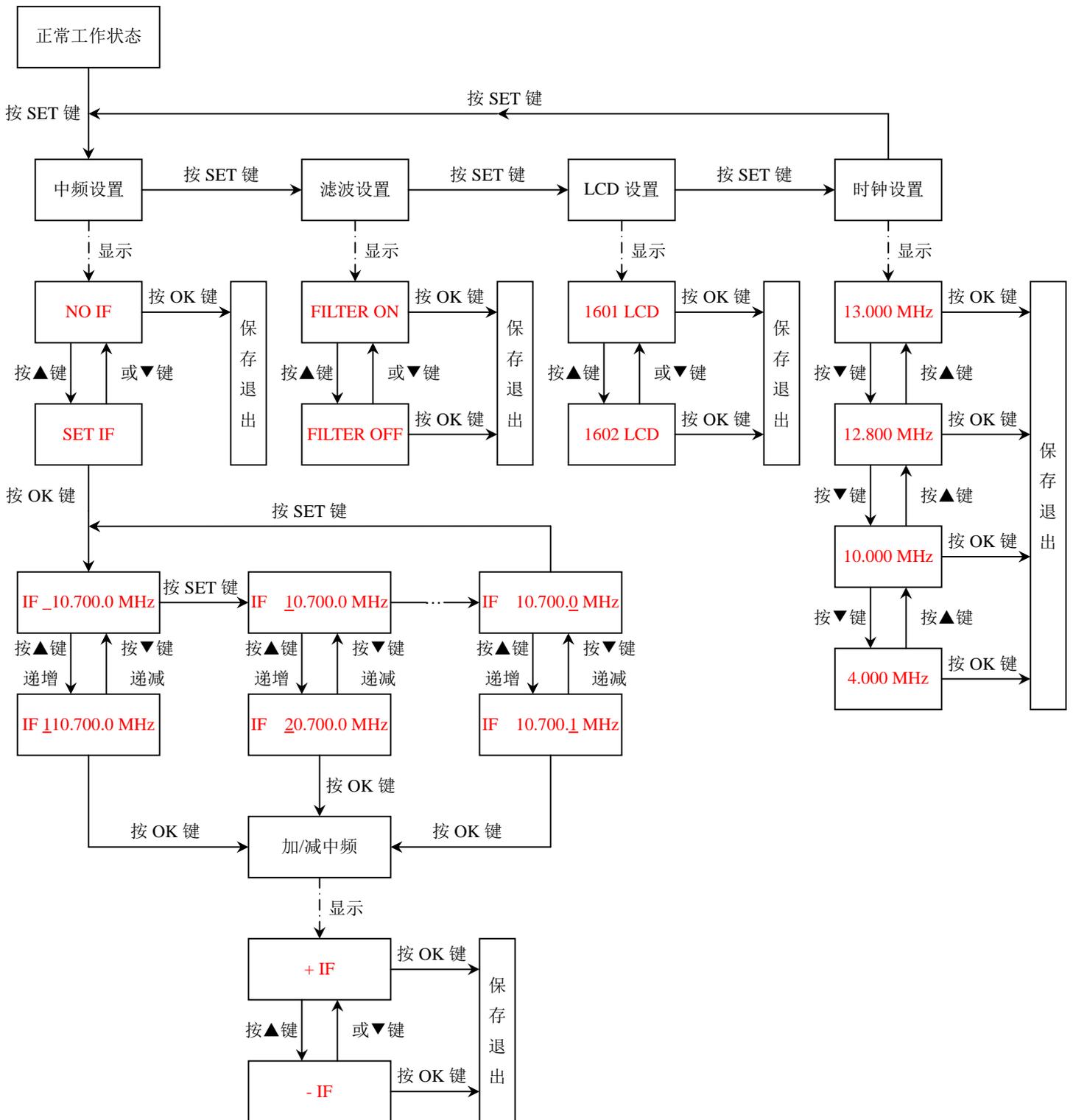
工作通道设置



系统重置



高级设置



注：红色文字为显示屏中实际显示的信息。

2. 菜单详解

(1) 中频设置

① NO IF (无中频)

显示的频率就是所测得的频率。

② SET IF (有中频)

显示的频率是所测得的频率加/减中频后的频率。

选择该项后会显示当前中频值，其中一位数字下面有下划线为当前改变位，按【▲】或键【▼】键改变该位数值，按【SET】键下划线移到下一位数字，再按【▲】或键【▼】键改变该位数值，依此类推直至中频值设置完毕，按【OK】键后进入加/减中频设置，按【▲】或键【▼】键改变加或减，再按【OK】键完成中频设置并返回工作界面。在中频调整时，长按【▲】或键【▼】键数字可连接变化，可以加快设置速度。



(2) 显示滤波

① FILTER ON (滤波启用)

为避免无信号输入时杂乱信号引起的假象计数，滤除频率<3MHz 的信号，主页面频率值显示 0.00000 MHz。

② FILTER OFF (滤波禁用)

对频率<3MHz 的信号不作滤除处理。在测量频率<3MHz 的信号时应选择该项设置，否则一直显示 0.00000 MHz。



(3) LCD 类型

① 1601 LCD

1601 符型液晶显示模块。

② 1602 LCD

1602 字符型液晶显示模块。

注意：根据实际所使用的 LCD 类型设置，否则显示异常，如 1602 出现分两行显示，1601 出现后 8 个字符不显示。



(4) 时钟选择

① 13.000 MHz

本机内置时钟（默认时钟）。

② 12.800 MHz

根据外置时钟设置。

③ 10.000 MHz

根据外置时钟设置。

④ 4.000 MHz

根据外置时钟设置。

注意：如使用外部时钟，请事先切断内置时钟通路，如去掉 B103 等。



补充说明

- 按键功能

工作界面下各按键功能：

【SET】 键：进入菜单

【▲】 键：改变闸门

【▼】 键：改变通道

【OK】 键：无

菜单界面下各按键功能：

【SET】 键：设置/中频值下一位

【▲】 键：上一项/数字递增

【▼】 键：下一项/数字递减

【OK】 键：确定并退出菜单

- 各功能设置按**【OK】**键后退出菜单返回仪器工作界面，各项设置自动保存，下次开机直接调用，无需重新设置。
- 在使用 1.0S 闸门时，各按键须按下至少 2 秒钟后才响应，所以设置各功能最好在非 1.0S 闸门下进行，设置完成后再返回 1.0S 闸门界面。
- 恢复出厂设置：在关机状态下首先按住**【SET】**键不放，接通电源至 LCD 屏背光亮起并最终显示 Complete! 后松开**【SET】**键，仪器即可恢复出厂设置。在仪器工作不正常时应执行此操作。

（五）频率测量

1. 有线方式

在 RF INPUT（测量信号输入）端口与信号测量点通过测试线连接测量频率。如本振信号的测量。

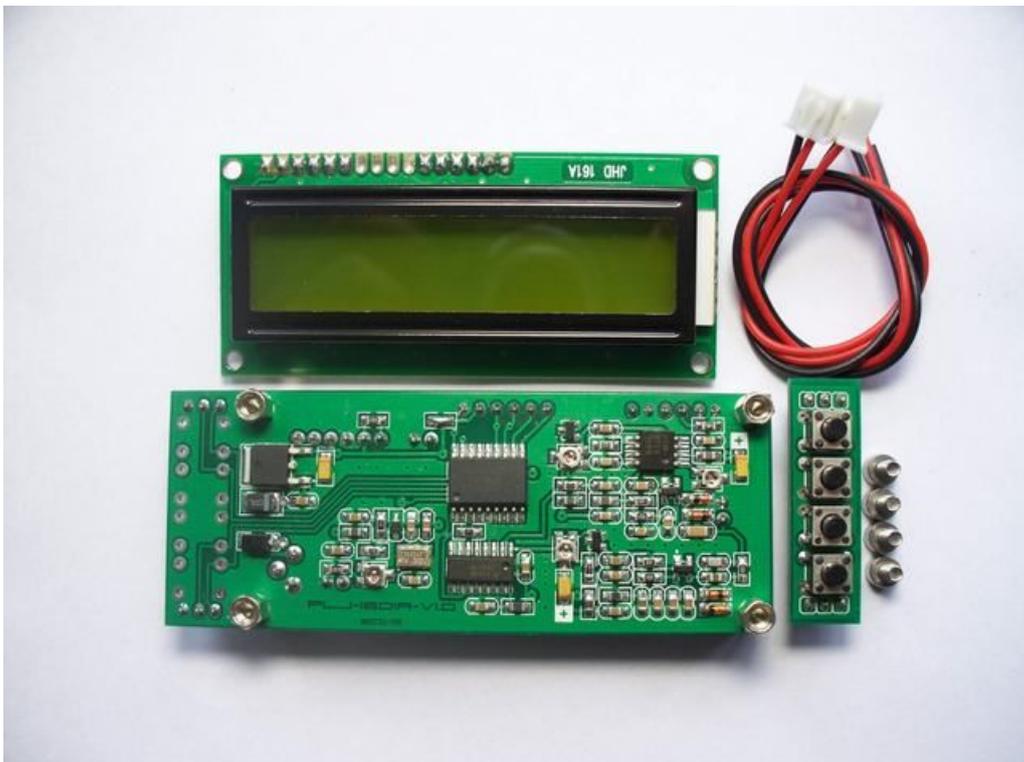
2. 感应方式

在 RF INPUT（测量信号输入）端口接上测试天线，对发射信号的设备感应的方式测量频率。如对讲机等无线发射设备频率的测量。

测量高压、强辐射信号频率时，有线方式应串接大阻值电阻，感应方式应将频率计远离辐射信号源，以免损坏仪器。

有关套件

为方便大家测试使用，提供少量成品，有兴趣请进入[三剑工作室](http://studio-sanjian.taobao.com)的淘宝链接 (<http://studio-sanjian.taobao.com>)。



套件说明：

- 贴片器件安装
- 回流焊工艺
- 使用 LCD1601
- 镀镍铜柱安装
- 无电源、无外壳
- 已调试成品

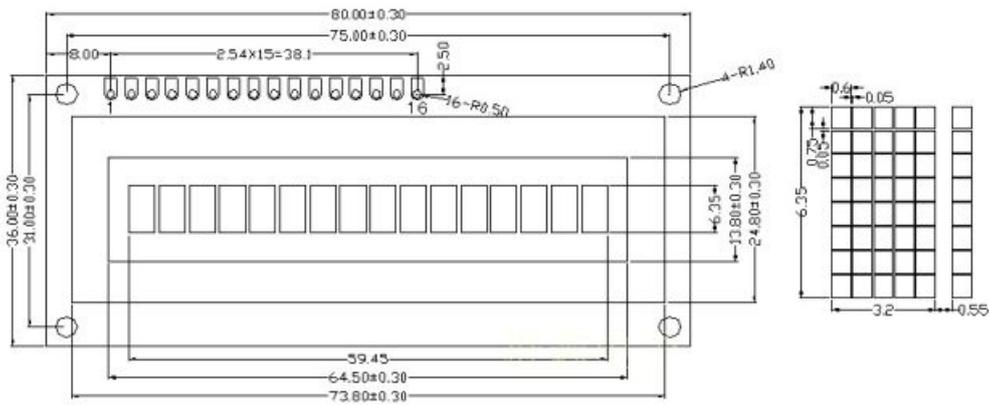
包装清单：

- 主机 一台
- XH2.54-2P 20cm 单头线 两条
- 防静电袋包装

注意事项：

- 套件配送的两条 XH2.54-2P 20cm 单头线，请勿以颜色做为极性的判断依据，接入前请根据主机插座判断极性，详情阅读本手册使用操作一节的内容。
- 电源接入有两个端口，主机下方的 $\Phi 3.5\text{mm}$ DC 插座（内正外负）以及其旁边的 2P 方口插座，请根据实际情况输入 9-12V 电源。切勿把电源误接入上方外部时钟 2P 方口插座！
- 市面销售的 LCD 安装孔尺寸有差异，如自行配置 LCD 屏，须符合附图一规范。
- LCD 屏采用四颗内六角不锈钢螺丝固定，如需面板安装，请自行换成四颗 8 mm 铜柱，也可通知我们发货前更换。
- LCD 不需背光请自行断开背光电源（焊开主板上用焊锡短路的两个焊盘）。
- 主板 PCB 右端留有按键空位，在按键小板损坏或丢失等情况可自行加装按键。
- 如需外接频率基准，请先断开板载时钟通路，并加隔直电容后在 ECL INPUT 方口插座输入符合规范的频率基准信号。
- 本机无信号直接输入时可能是非零显示，这是正常现象，不影响正常测量及准确度。
- 请勿将仪器置于高温、潮湿、多尘的环境，并应防止剧烈震动。
- 本机出厂前时钟基准已用铷原子钟校正，灵敏度调整至最佳状态，请勿自行调整。
- 在正常的使用情况下保修期为一年。保修不适用于因错误使用、改装等非正常条件下导致损坏的产品。

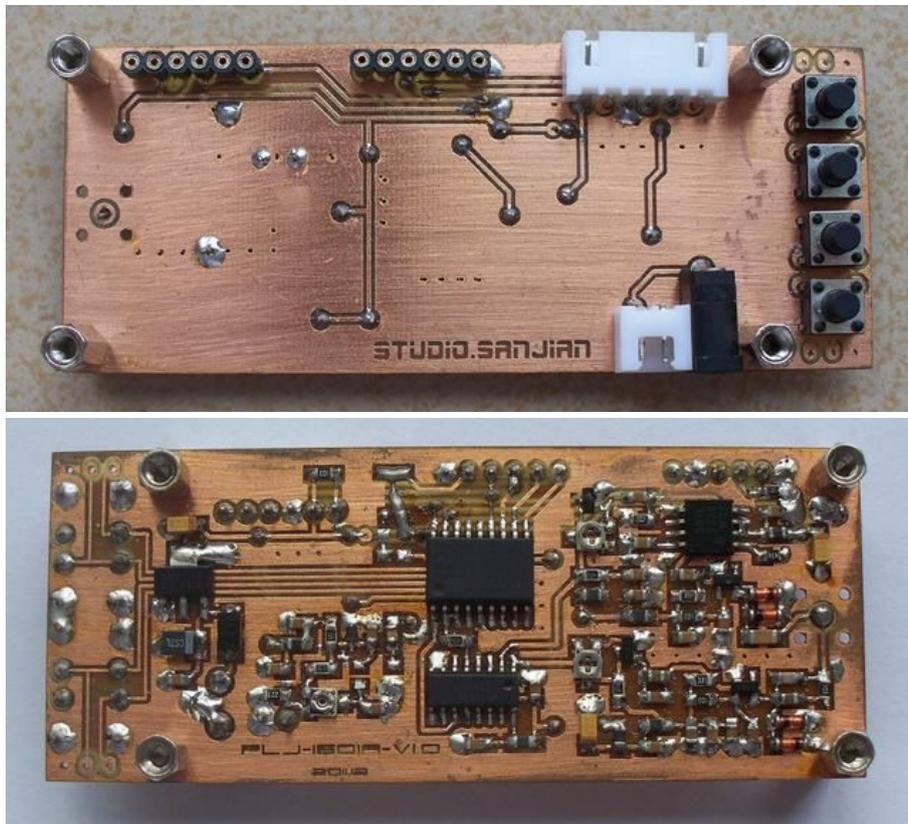
PLJ-1601A



| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| VSS | VCC | VEE | RS | R/W | E | DB0 | DB1 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| DB2 | DB3 | DB4 | DB5 | DB6 | DB7 | LED+ | LED- |

附图一

有关 DIY



PCB 板可自行制作，我的评估板就是用感光膜制作的双面板，可适当更改 PCB 文件，以符合您的制板要求。

MB501 可用 MB506 代替，74AC151 也可用其它相近产品代替，但应选择工作频率较高的系列，PIC16F648A 不能用其它器件代替，这些器件在淘宝网上都可找到。

市售的 LCD1601/1602 背光电流差别很大，我手头上的屏背光耗电 20 mA 至 200 mA 不等，在评估版时曾采用 ASM1117-5V 做为稳压，在开背光耗电 200 mA 的情况下发热严重，最终改用体积较大的 78M05。

烧写文件中已设置了烧写位，大部分烧写器有读入烧写位的功能，无需人工干预。如您的烧写器无法识别，晶振类型选 HS，其余选项关闭即可。

总结前版的种种状况，在论坛所公布的烧写文件中加入了使用次数限制，开机第 25 次时，会显示“BETA VERSION”限制继续使用，此时按照使用操作中的系统重置方法（按住 SET 键开机）即可恢复正常使用。除此以外，硬件及软件无任何技术陷阱。

本产品版权为三剑工作室所有，所公布资料可任意复制转载，并鼓励个人仿制测试，但不得用于商业用途。

后 记

有关频率计的第一个贴子于 2008 年底发布，至今已有 3 年时间，这几年来，结识了不少的朋友，是他们的支持与帮助，开发工作得以坚持下去。频率计经多次改版，功能得到了完善，电路日趋成熟，性能有较大的提升。

使用汇编编程已经很多年，随着程序量的增大，其弊端突显。于是下定决心学习 C 语言编程，从零开始学习，花了三个月时间，终有小成。索性把前面发布的几款作品进行硬件的改进，程序用 C 重写。由于各方面的原因，这次发布可能是最终版，至少短期内不会再推出新版本。

期望这系列小作品的资料能给大家的 DIY 提供有益的帮助，文档或设计当中有可改进之处敬请指正。

附：历次在 [helloq.net](http://www.helloq.net) 发布的资料

- 2008-11-03,
<http://www.helloq.net/forum/showthread-t-189583>.偶弄的几款频率计.html
- 2008-11-04
<http://www.helloq.net/forum/showthread-t-189696>.我为论坛做贡献之频率计一.html
- 2008-11-05
<http://www.helloq.net/forum/showthread-t-189718>.我为论坛做贡献之频率计二.html
- 2009-03-30
<http://www.helloq.net/forum/showthread-t-200868>.发布两款嵌入式智能频率计(加强版)的制作资料.html
- 2011-04-27
<http://www.helloq.net/forum/showthread-t-264417>.再发布一款频率计的制作资料.html
- ◇ 2011-12-14
<http://www.helloq.net/forum/showthread-t-282626>.再次公布新版频率计资料.html