

实验者项目：在业余无线电收发器内集成AD9850 DDS器件 以实现数字本振功能*

拼合式数字注入系统

作者：Peter Rhodes, 学士学位, G3XJP (电子邮件: pirrhomdes@aol.com)

第1部分/共5部分

本项目集中了多个主题，每个主题都经过了深思熟虑。首先讨论为什么选择拼合式解决方案。

两个基本术语

PIC – 由Arizona Microchip Inc.生产的微控制器系列产品。本应用中特指PIC16C84。

DDS – 直接数字频率合成。这是直接以数字方式生成输出频率的技术(与此相对的是将VFO输出与晶体振荡器混合的常用技术，或者使用锁相环路技术)。本应用中，采用ADI公司的AD9850“DDS合成器”。

简言

拼合式系统通过PIC直接控制生成所需的注入频率，并提供给收发器中的信号频率混频器。

拼合还意味着您可以挑选想要构建的功能元件；同时可以设计更适合应用环境的各种配置。

您也可以选择本人设计的软件，或者自行编写软件。

PIC微控制器(软件开发大约花了400小时)可提供控制和操作的灵活性，同时使用DDS芯片合成RF输出则带来稳定性和低相位噪声。

融合主题

如果时间允许，我想说明，构建多频段HF收发器多年以来一直是可行的，从物美价廉型到新颖奇特型，其性价比均优于同类商用器件。不过有一种关键元件例外，它就是注入振荡器。

多年来，我一直致力于构建在各种实际应用中不会漂移的VFO。几乎所有这些VFO都基于在5 MHz至10 MHz间运行的Vackar振荡器。除了某些耗时的温度补偿，我从不考虑使用。

振荡器大约需要八个晶体、一个混频器和多个开关带通滤波器才能为信号频率混频器和频率计数器馈送输入，而且频率计数器的显示与实际值存在误差。要想构建成功，必须耗费大量时间、资金和空间，但很容易导致IRT增加。

1996年2月，Technical Topics报告称，Colin Horrabin (G3SBI)与Jack Hardcastle(G3JIR)对于稳定Vackar的相位噪声测量结果“令人相当失望”。这让我想到，由于振荡器相位噪声无法测量，大多数工程师，甚至包括我在内，对它并不重视。那么它在实践中真的重要吗？

ARRL手册中对该问题有精彩论述，结论是“远出相位噪声可以显著缩小接收机的动态范围。远出相位噪声性能与接收机的阻塞动态范围和双音动态范围性能同样重要。”尽管如此，它在实践中真的重要吗？难道由于相位噪声性能不佳，我在很多情况下就无法复原真实信号吗？

*本文分五个部分，经英国业余无线电杂志《RadCom Magazine》

(website www.rsgb.com)和原作者允许全文转载。保留所有国际版权。

为了找出答案，我决定采用简单的方法，在传统VFO与相同功率输出的静相位VFO间安装转换开关。这样，我能否在各种实际条件中看出差异呢？当然，目的在于寻找替代方法，同时又不会过分增加总成本。

此时Technical Topics再次帮了大忙，让我第一次注意到ADI公司的AD9850 DDS芯片。从互联网下载并查看数据手册后，结果好得难以相信。

因此，我开始设计一种传统TTL来控制它，最后甚至构建了部分电路板。尽管我不怀疑用28个TTL芯片来控制一个DDS芯片(并提供一定范围的可用特性)有效可行，但这样做却忽略了“实际应用”的合理性。

从一开始就很清楚，某种微控制器在解决控制问题的同时能够提供各种操作特性。但几个月来困扰我的却是获得开发环境和芯片编程硬件所需的成本。看看增加的器件目录和仅仅200英镑的PIC开发投资，如此微小的改变是完全不能接受的。

既然有了底线就好办了。Arizona Microchip网站免费提供完整的开发环境和丰富的应用资料。还有PIC编程人员在互联网上发布的许多构建成本低于5英镑的电路。该项目就这样诞生了。

... 结论

相位噪声在实践中很重要。在许多情况下它对SSB信号的影响可以达到R2和R5的差别。

例如，自制无线电网每天午间左右聚集于80 m，即SSTV呼叫频率与法国海洋台站之间的频段，可以方便地作为大邻道信号的来源。

如果频段平坦而安静，信号便无差异。如果条件变化活跃，即使用DDS源，则通常只能在R5级别复制Ed、EI9GQ。如果且只有存在重大邻道活动时，若切换至VFO，可读性立即降低到几乎为零。这种影响很阴险。结果不是Ed信号劣化，而是频段背景噪声看似可能增大，当然并非如此。

事实是VFO上的噪声边带与相邻信号混合，导致通带内噪声增加。这真是个教训，由于该噪声完全无法与频段噪声区分，所以可能会在完全不知情下用了数年。

这看上去与VFO设计发生了本质冲突。传统观点认为振荡器可以轻松驱动，以保持较低的热量(以及漂移)，通过后置适当的缓冲器将功率提升至所需水平。该方法也会使相位噪声达到最大。

相反，如果驱动功率太大，维持可接受的频率稳定性将越来越困难(根据我的经验，几乎不可能)。

采用DDS方法时，相位噪声和漂移本身就很小，这一点稍后讨论。

PIC拼合技术总结

在讨论基本原理前，先介绍采用笔者的软件可提供的以下特性：

概述

- PIC拼合技术取代了与传统HF收发器相关的晶体振荡器组、VFO、混频器、带通滤波器、功率驱动器和频率计数器，且特性显著增强，成本降低。不仅仅是VFO！
- 还可用作可编程和/或可调谐信号源，输出从音频至40 MHz，步进为10 Hz。
- 所有功能均由多功能调谐钮或简单的电话键盘控制，通过软件识别65个独立按键组合。
- 六位七段式大屏幕显示器，自动调节量程，分辨率达10 Hz。
- 两个独立VFO可实现IRT、ITT和跨频率操作。
- 各种调谐和扫描模式带来了操作灵活性。
- 可直接从键盘输入任何所需的频率。
- 启动频率和九个频段初始化频率可由用户编程。
- 0个频率存储器也可由用户编程。
- 可输入HF范围内的任意三个IF失调(分别为USB、LSB和CW)。
- 主机收发器的USB/LSB/CW选择输出及频段切换输出作为硬件选项提供。
- 前面板LED提供状态信息，还可提供条线图以显示调谐速率。

- 最后，具有丰富的实体布局，可提供灵活的外部 and 集成配置。

管理特性

- 频率精度取决于VHF范围内的参考振荡器。可以使用100 MHz至125 MHz范围内的任何晶振，并自行将实际频率编程至软件内。
- 使用调谐钮通过软件驱动调整器，从而实现最终校准和随后的任何晶体老化校正。不需要也不必提供会不可避免地引入漂移和相位噪声的物理调整器。
- IF失调可从键盘输入和/或通过主机收发器载波晶体调整至零拍。
- 作为注入振荡器，输出频率是选定的IF频率加上或减去所需频率。选择高端或低端注入可在主机的边带选择输出进行对应切换时“实时”完成。

操作特性

- 智能调谐连续监控调谐钮旋转的速度和持续时间，以动态地改变调谐速率。这样旋钮转得越久越快，调谐增量越大。
- 软件调速轮在高调谐速度下自动接合，以应对快速和/或较大频率偏移，并在沿相反方向轻微转动旋钮时脱离。
- 与通过旋钮旋转改变频率的传统调谐不同，会提供调谐速率选项，通过旋钮旋转改变频率变化速率—从零至高速。

对于偶尔扫描频段而不必连续转动旋钮的情况，这一点特别有用。

- 保护通道操作提供正常调谐，大约每20秒暂时切换至另一选定的频率点。
- 最多可随频率编程十个存储器。与仅提供频率点不同，它们也是进一步调谐的起点。
- 存储器扫描模式以调谐钮确定的速度在十个存储器频率间循环。
- 点扫描以调谐钮确定的速度在两个选定的频率点间切换。
- 范围扫描以调谐钮确定的频率增量在两个选择的限值间上下调谐。

AD9850 DDS

本文中，我使用的是ADI公司数据手册中的术语，只提到本项目所用芯片的特性和配置，此外还有其他术语。

该器件的内部工作原理无需详细说明。首要考虑事项是芯片中内置的DAC，用于将数字化生成的正弦波转换为模拟形式。您无需担心DAC的规格特性，也不用考虑接口问题。

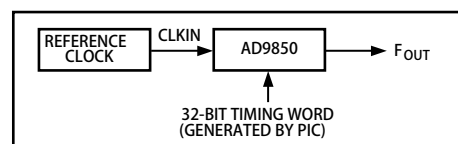


图1. DDS功能框图

基本框图如图1所示。输出频率F_{OUT}、基准时钟频率CLK_{IN}和32位调谐字ΔPhase间的简单关系如下：

$$F_{OUT} = (\Delta Phase \times CLK_{IN}) / 2^{32}$$

使用最高允许频率125 MHz时钟时，调谐增量为0.0291 Hz，其数量级优于本应用所需水平。实际操作中，这表示使用10 Hz调谐增量时，0.0291 Hz的误差远远小于载波晶体上的任何漂移。

DDS系统的稳定性与基准时钟晶体振荡器相同(百万分率)。例如，如果125 MHz时钟漂移10 Hz，则采用12.5 MHz注入的80 m会漂移1 Hz。DDS输出上的相位噪声优于基准时钟的噪声，后者是系统相位噪声的主要来源。改善量按下式计算：

$$20 \log (CLK_{IN}/F_{OUT}) \text{ dB}$$

有这么简单吗？不幸的是不完全是这样，在产生所需频率的同时，也会存在混叠或镜像频率输出。这是任何采样信号固有的，并且输出必须遵循奈奎斯特定理。混叠镜像频率是基准时钟的倍数， $CLK_{IN} \pm$ 输出频率F_{OUT}。因此对于125 MHz时钟频率和20 MHz的所需输出，镜像频率为105 MHz(第一镜像)、145 MHz(第二镜像)、230 MHz(第三镜像)、270 MHz(第四镜像)，依此类推。

奈奎斯特定理的另一推论是最大理论输出频率是基准时钟频率的一半，但实际操作中，根据经验通常最多只有三分之一，才能在所需信号和重要镜像间提供合理的间隔。

镜像幅度遵循图2所示的正弦包络。因此在输出端插入低通滤波器以降低镜像输出；在使用高IF的最高频段，Tx/Rx信号频率调谐电路提供进一步保护。显然，尽可能采用高的基准时钟频率较有帮助。

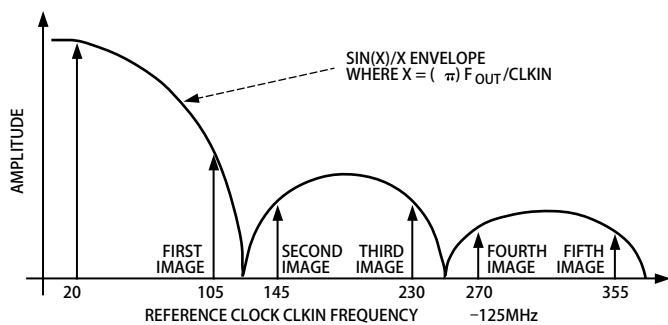


图2. DDS输出频谱

由于DAC技术的限制，存在其他分立AM杂散输出。明显的杂散寥寥无几，在用户看来似乎是随机频率。ADI参数为低于50 dB以下，实际上只是杂音。

其余AM杂散在约70 dB以下形成连续噪底，亟需关注。典型双平衡式混频器会进一步抑制大约40 dB，如果以+7 dBm注入混频器，当混频器RF端口处的频段噪声小于2 mV，则会听到弱小杂音。在大多数接收机的LF频段上，这仅具有理论性，而在10 m上，典型Rx将需要使用净增益约25 dB的RF前置放大器，以保持足够的灵敏度并遮蔽噪底。如果12位DDS价格低廉，就没必要讨论这个主题了，但这个10位DDS可能不适合所有自制Rx拓扑结构，特别是在不愿改变增益分配的情况下。

AD9850的最终挑战在于尺寸，参见图3。由于是针对表面贴装而设计，它非常精细。主要精力用在寻找能够不影响性能的非专业可重复安装方法。ADI公司建议采用具有专用电源层和接地层的4层电路板。

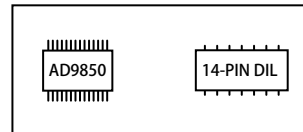


图3. AD9850 28引脚紧缩小型封装与14引脚DIL封装的比较

我尝试使用双面电路板，都采用表面贴装和插槽，使器件适合PCB的厚度。手动蚀刻电路板还比较容易，但在芯片焊接至焊盘时遇到了困难。我想到的最佳方法是用中等大小的烙铁和一段尖铜丝绑到芯片上，并使用极精细的焊料。相邻引脚的桥接倾向很严重。最糟的是，维持干净的电源层和接地层布局似乎不可能，最终会损害相位噪声性能。

在不断摸索、反复试验、损坏无数后只获得一批50个相同封装的无标记器件，我决定使用具有连续电源层和接地层的“死虫(dead-bug)”法，将电源层和接地层作为子模块安装在DIL插口上，并通过精细导线将输入/输出引脚延伸至DIL插槽。

只要视力良好(或者通过放大镜)，短时间内手不颤，该方法便容易重复进行。具体过程在本文第2部分详述。

PIC世界

16C84属于不断扩大的8位微控制器系列。该系列器件随速度、存储器容量、内置器件(包括ADC)及其他特性有所不同。有关最新详细信息，请访问Arizona Microchip网站。

简言之，16C84就是可重复编程器件，具有1k程序存储器(即1024条指令空间)、36字节工作数据、可承受掉电保护模式的64字节数据EEPROM以及13个输入/输出引脚。

在网站上还可以找到我开发软件时专门使用的集成开发环境MPLAB。它内置编辑器、汇编器和仿真器。后者尤其有用，可让您在PC上对目标芯片进行仿真，同时逐步构建和测试代码，无需任何实际硬件。

如果想要下载MPLAB，请注意上网费用，文件解压缩后约有5 MB!

您可以在DOS下运行软件元件，但笔者只在Windows下使用，最初是386电脑上的Windows3.1，后来是486上的Windows '95，两者运行效果都很满意。也可以使用C++编译器，不过笔者没有用到，所有工作都是在汇编器内完成的。

在各种可用的编程器中，我通过David]Tait“构建TOPIC，充分利用了所有PC并行端口。您也可以针对串行端口进行构建，有些甚至无需电源，从端口就能取电。

经历过某些软件“设计”方面的头脑洗礼，机械阶段变得非常容易。使用编辑器键入代码，汇编并在仿真器上运行，如果需要每次运行一条指令，查看中间和最终结果，验证有效性。也可以检查执行时间。如果愿意，可使用编程器将软件下载到PIC上(例如10秒)，实际运行您的代码。如果能够仔细，可在目标环境中对PIC进行实地编程，这可以大大加快构建过程。

汇编器语言本身容易学习，仅有35条指令。难点通常不是能否写出可行的代码，而是找到足够有效的方式将代码挤入有限空间内，同时不过度牺牲功能、性能和最终可维护性。正如Eric Morecombe所说：“创作好音乐和创作坏音乐一样，都是音符的排列组合。”软件也是同样的道理！

如果您以前从未编写过任何软件，手边有PC至少暂时还能访问互联网，那就大胆尝试吧，不会增加成本的。(或者可以用50英镑购买合适的二手PC，大多数互联网服务提供商都会提供免费试用期。)

考虑一下应用范围—自调谐ATU、智能AGC发生器、键控器和读取器；事实上，任何涉及控制或逻辑的应用都是18引脚DIL的潜在领域，只要稍微动动脑筋，就能以微小成本取代传统硬连线逻辑。谁说电脑和业余无线电不能结合？在我看来，这些微控制器很快就会主宰自制结构的方面。

输入/输出挑战

如上所述，16C84拥有13个输入/输出(I/O)引脚来控制其环境。实际中需要多少个？初步答案如下：

输入引脚共15个，具体如下：

PTT线路监控	1
键盘4 × 3	12
轴编码器	2

输出引脚共74个，具体如下：

6位 × 7段 + 十进制	48
状态LED	8
频段切换输出	15
AD9850控制	3

总计(似乎)89个引脚。

显然，某些东西要做取舍，而且需要一些补充硬件。不过，某一特性会受影响。PIC上的13个I/O引脚既可用作输入，也可用作输出，编程中可“实时”改变，如果设计巧妙，引脚可兼饰两种角色。

首先，12个键盘开关无法单独监控。通过击键依次查看每一列并测试每一行。这只需要七条I/O线路。

接着，不用分别驱动每个显示器，而是快速依次驱动每一个显示器，即执行多路复用。添加两个低成本解码器芯片，将显示器段I/O数减少为七个。其中，三个输出事实上是用于键盘列三个输入的不同线路；其他四个输出也通过多路复用来驱动键盘行。

然后添加三个串行输入、并行输出锁存器来处理状态和频段切换。

这些锁存器拥有三条唯一数据线路、一条共同时钟线路(以上四条线路也与显示器一起多路复用)以及一条锁存器线路(与AD9850共用)。

最后一步是在与轴编码器方向输入相同的线路上驱动小数点输出。

如果您明白这一点，就知道总I/O数现在已减少至13个！图4显示了此情况，另外，两条线路在就地编程时也可共用。其他可行的方法是多PIC的解决方案。该方案更昂贵，而且显然需要有更高的技术。

现在只剩一个问题。软件中多路复用速度是否足够快，可让用户“立即”看见响应情况，并体验到顺畅“连续”的操作吗？答案是，非常轻松！

预算

成本—如果所有电子元件都买新的，需要约75英镑。

时间—构建时间显然有很大差别，但基本上制作每个PCB需要一天，汇编需要一天半。构建DDS子模块大约需要两小时。因此它算不上“周末项目”，不过两个周末也许就够用了！

如果设计自己的软件，时间就很难估计了。编写某个软件来执行一项重要的任务(例如生成固定DDS输出频率)会很快。软件整体整合却非常耗时。

电源—400 mA时需要12 V直流电压，平滑，不必调节。10 V至13 V范围内均可接受。

AN-557

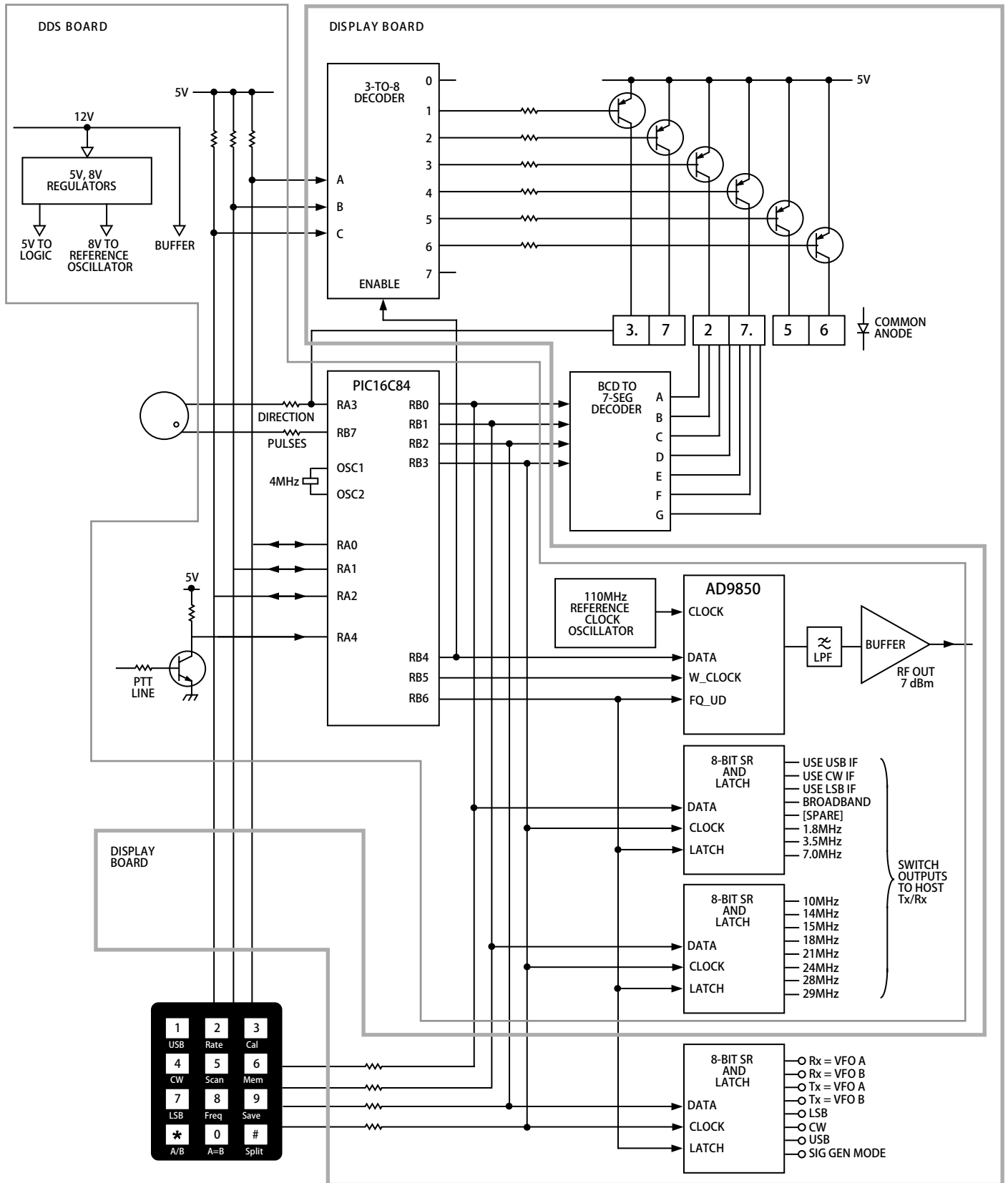


图4. PIC混合技术框图，图示说明PIC输入/输出分配和物理分区情况。除电源分配和去耦外，显示了所有功能元件。

第2部分/共5部分

本部分探讨机械结构的替代方案和技术，包括制作一次性PCB、在DIL插座上安装DDS芯片的工艺。

总体策略

从硬件整体布局上说，灵活性是设计目标。而对于DDS芯片本身的安装，夸张点说，只有绝对遵守规则要求才能成功。

首先您要决定是构建外部输入源，还是与Tx/Rx机械集成。

无论哪种选择，显然调谐钮和键盘需位于前面板上，显示板在其后。

DDS板与显示板尺寸相同，它可以平行安装在显示板后，或与之垂直，或者完全远离显示板，通过扁平电缆相连。后一方案不适用于自足式外部源。

调谐钮可安装在显示器任一侧上，取决于您习惯用右手还是左手。键盘应与调谐钮安装在显示器同一侧。如果将键盘安装在显示器另一侧，看起来可能更美观，但不符合人体工程学。击键后会通过显示器和状态LED显示反馈信息，前臂会不可避免地遮挡视线。

从照片中可以看到，我的键盘未按上述建议安装。这是根据笔者需要特别设计的布局，笔者双手都善用，右手习惯做扭动动作(如操作螺丝起子)，左手做推压动作(如拉锯)。

实际操作中我可以使用双手，但大部分人可能感觉别扭。

其次是决定将轴编码器作为集成器件构建并安装在DDS和显示板上，还是将其分离。如何选择取决于您，主要看从哪里开始构建。两个器件间隔12"对性能无甚影响。如果采用该方法，只需切割两个电路板，分离后使用四个飞线或扁平电缆重新连接。四个飞线分别为+5 V、0 V、脉冲和方向，可以先这样构建。

最后考虑独立单元的外壳。具有构建经验者会发现不需要屏蔽式机壳，不过显然这是一种较好的做法。无论如何，必须考虑加重或固定箱体，否则按下按键时牛顿第二定律发挥作用，箱体滑来滑去的就不好了。

显示板安装

显示板必须紧贴在前面板后安装。请留出3"×3/4"孔径，便于查看频率读数。切割出孔径后，必须用一些滤光器材料支撑小孔，材料要对应于显示器颜色(通常红色/绿色)，最好具有圆偏振作用。圆偏振材料在明亮自然光下具有出色的性能，但不知为何近年来价格变得很高。

图5是建议的前面板模板，同时显示了笔者安置状态LED的方式。模板上钻出一些3 mm小孔，将这些LED插入电路板中但未焊接。前面板安装就位后，调整插入孔中的LED，使其凸出高度相等。然后固定，最后在完全对准的状态下焊接至显示板。

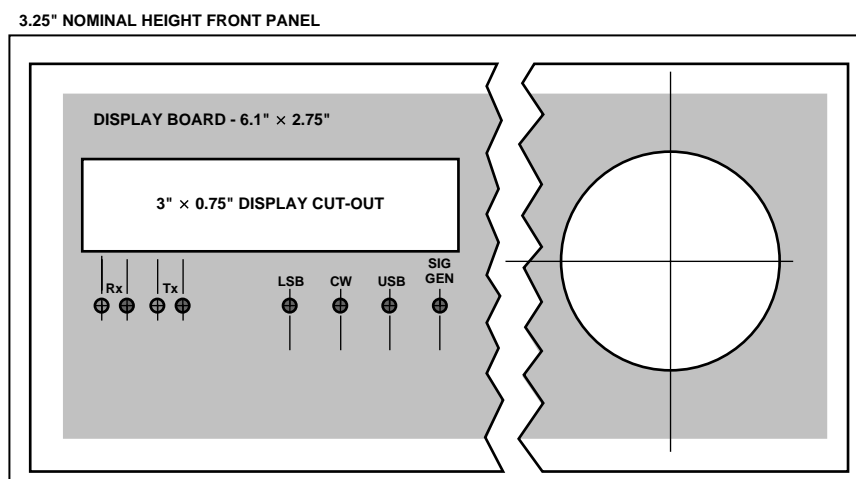


图5. 钻孔的前面板模板所示调谐钮位置假定您正在显示器和DDS板上安装轴编码器。位置可以更靠右或者位于显示器相反一侧。

如果您和笔者一样不喜欢在前面板上看到螺丝头，就要在前面板的背面粘一些螺母或螺柱，便于安装显示板。经笔者发现，螺母铆钉非常好用，它的表面积大，通过强力胶就可以坚固、永久地粘在板上。

DDS板安装

图6显示直角安装配置，图7是平行安装配置。

为了确保在调试过程中全部接通，强烈建议开始时避免平行安装配置。如果这是目标配置，可利用一小截0.1"间距

扁平电缆连接两个电路板。这样就能接到两个电路板的两侧进行测试。

如果两个电路板紧靠着垂直安装，那么最好的方法是将两者永久地焊接在一起，如图6所示。将两个电路板对接，形成一个小“T”型界面(不是“L”)，大致固定在一起，检查角度，然后沿着两侧全长敷设焊珠，将接地层紧密接合。通过小锡桥接合边缘连接器，测试有无短路。

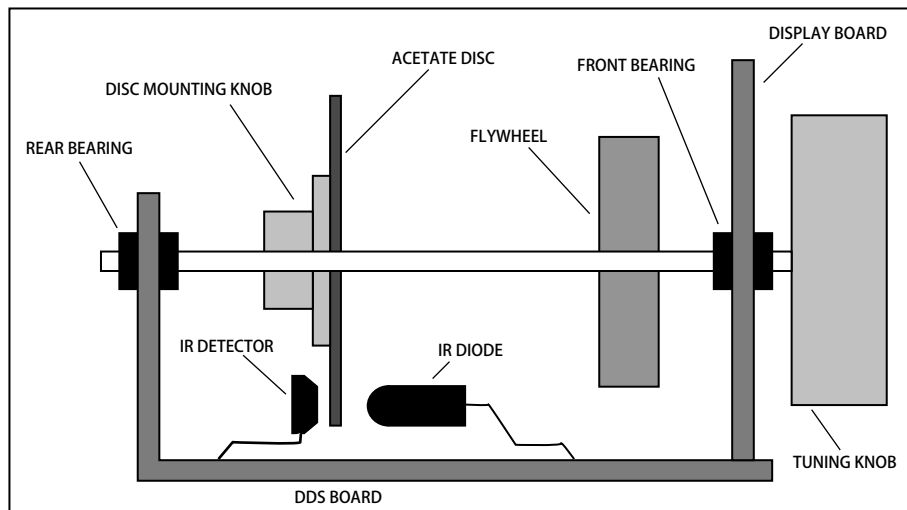


图6. 以直角安装并与显示板集成的DDS板。同时还图示了轴编码盘、IR二极管和检波器的建议安装方法(未按比例绘制)。请注意后者的长引线长度，这是为了可以简单调整二极管和检波器与盘片的相对位置。盘片必须充分接近显示板，以便依下文所述清洁晶体振荡器机壳。后轴承安装在一片PCB上，PCB焊接至DDS板和/或晶体振荡器机壳的后部。

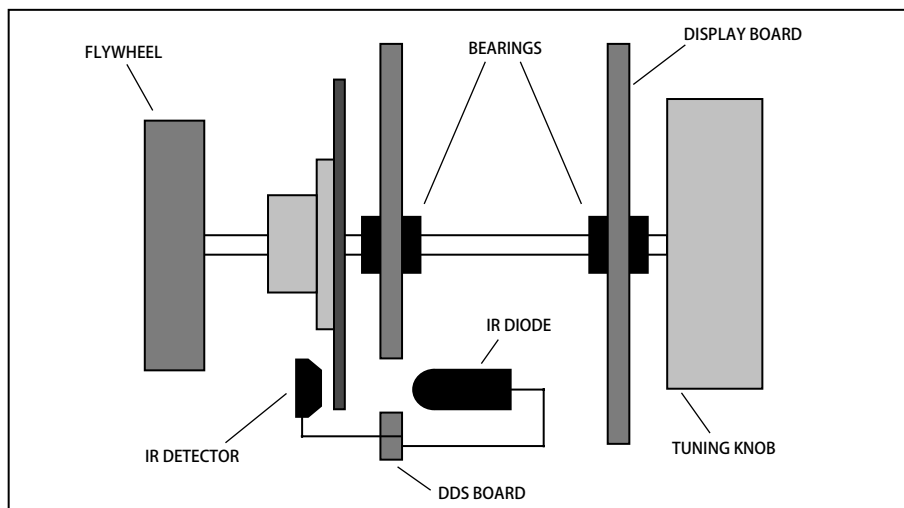


图7. 替代安装方法(未按比例绘制)，DDS板隔着垫板(未显示)与显示板平行安装。DDS板上钻出小孔供红外线通过，后轴承连接至DDS板。检波器引脚穿过电路板到达走线，走线为避免干扰后轴承适当切割。通过下文对DDS PCB的描述就会明白详情。

采用这种方法还有一个好处，就是显示板不必固定在前面板上。DDS板安装在水平底座上，显示器IC接触滤光器后部，便于有效定位。

制作PCB

在笔者关于第三法收发器的文章中描述了一种方法，不用蚀刻也能制成电路板，非常受欢迎。该技术对本项目中的显示板完全可行，但不适用于DDS板。下面介绍笔者多年来使用的一项技术，无需紫外线曝光，可制作一次性PCB。必须强调，该方法仅适用于一次性器件，如果追求数量切勿使用。特定电路板上的部分走线非常精细，使用抗蚀刻笔很难制作。

该技术根据需要移除铜面材料，而不是在保留铜面处涂覆抗蚀剂。

首先按尺寸切割电路板并钻孔。对于任何表面贴装区域，轻轻冲压电路板但不要穿透。这是为了留下参考线，便于将电路直接画到电路板上。

清洁电路板，切勿抛光，用汽车喷漆喷涂电路板两面。最好使用哑光黑，与铜面形成强烈色彩对比。切记使涂层刚好覆盖电路板，谨防喷漆过厚。

然后，等待喷漆彻底干燥，用刻刀去除走线间的喷漆。可以使用小孔、冲压标记和底图作为参考。只需移除喷漆细线，事实上，后退几步看成品电路板就会发现，电路板大体上是连续铜面。注意，如果设计两条平行走线，则需要刻划三条线。

该技术需要一点时间来适应，不过如果操作失误，只需用小刷重涂受影响区域重新来一遍，非常方便！

以下是一些重要提示：

将电路板绑在大小适当的木块上，阻止电路板滑动，并防止刮擦反面喷漆。如果想让线路整齐，也可在木块边缘使用直角尺，为了避免影响操作，请使用透明直角尺。刻划边缘连接器时，

用一片Vero板作为参考线。刻划电路板时需要在合适的室温下进行，切忌过冷。利用台灯热量是个好办法，有助于防止喷漆剥落。

最后，刻刀本身很重要。刀头不宜过尖，否则容易折断。笔者喜欢使用硬钢水泥钉，截去头部，卡入绘图员专用工程笔夹内。若没有这种笔夹，用长水泥钉穿过软木塞来代替也不错。

在一张砂纸上不停旋转拖磨，将刻刀头部尽可能磨尖，然后在细抛光纸上轻轻磨钝。用废料做试验，以约45°持握刻刀，看看能否划出干净精细的线。切忌用力太大而凿到铜面，您是在去除喷漆！大约每十分钟左右，在感觉切除喷漆费时，重复打磨步骤。顺便提一下，对于极精细电路（此处不适用），缝衣针和旧唱针都很好用。

刻划电路板两侧并仔细检查，然后照传统方式用氯化铁蚀刻电路板。您会发现所需FeCl极少，因为需移除的铜面总量很小。请遵守所有一般安全事项。始终小心操作电路板和FeCl溶液，以获得均匀的蚀刻效果，稍微过度也没有关系。移除前应确保两侧完全蚀刻。

在冷水中彻底清洗电路板，仔细检查，如果需要可以进一步蚀刻。最后用热水清洗，并用纤维素稀释剂清除所有喷漆。孔洞内喷漆用小漆刷扫除，漆刷最好是绝缘体。用细抛光纸（本例使用湿式）或抛光台将电路板抛光。

现在到了重要阶段。使用导通测试仪检查每对相邻走线间的隔离情况。如果发现任何明显短路，用刀片清除。如果不明显，笔者的做法（本人犹豫是否应公布这种方法）是将两个测试探头连接至车载电池，将短路吹掉。切记注意安全！

最终作品完成了，相比先在薄膜上绘制电路而言，该方法既省力也省时，完全自制！最终接地层远多于其他方法，真不错。而且没有关键工艺，整个流程直观、可重复，笔者强烈推荐。

将AD9850芯片连接至DIL载体的过程

注意：ADI公司建议在处理AD9850时采用适当的防静电措施。芯片是贵重物品，请勿疏忽。

取一个28引脚、0.6"宽卷引脚DIL插槽，将一片PCB铜面朝上装入引脚间的凹处。需松紧合适。大多数插槽在引脚1和14附近具有较小的模制凸点，这些凸点应用快刀削除，使PCB平放。

PCB尺寸适合安装后，清洁铜表面，之后操作时仅接触边缘。

在引脚1和28、引脚14和15间焊接一些镀锡铜线，将PCB固定至插槽。同样将导线焊接至PCB。这样，PCB便固定至插槽上，每一角形成接地连接点。

将插槽固定至重物上，确保工作时不会滑动。笔者使用的是贴有防静电泡沫塑料的小木块，将插槽支脚插入泡沫塑料进行固定。

取AD9850芯片，翻转后用一点颜料或类似物在芯片下侧标记引脚1。这样可以确保芯片翻转时仍能辨别出引脚1，避免旋转180°后与上侧连接。

将芯片放置在PCB中央，在引脚7、8、21和22间与插槽成直角。使用削尖的铅笔标记芯片在PCB上引脚下方的模制位置。移除芯片。

在PCB上芯片引脚所在位置下均匀涂两条锡带，锡带宽约4 mm，直至标记好的模制位置为止。这是为了便于以后焊接芯片的接地引脚。

用一点强力胶将芯片颠倒固定于PCB。确认芯片上的引脚1与插槽上的引脚1处于同一角。再次检查！

其余流程请严格遵守，切勿擅改。图8显示了装配成果。笔者手工安装了约10个芯片，以优化流程，并仔细观察其他偏差(实际芯片)和误差。误差源于对错误的引脚进行操作。听起来似乎不可思议，亲手操作后您就会明白了。

从现在起，所有工作必须在自然光下完成。这是为了在芯片一侧下方工作时，集中所有注意力。一旦因疏忽而不得不重新计算引脚，就很可能引起误差。

机会只有一次，您必须设法严格遵循以下操作顺序，将精力集中在操作上。

最好的引脚弯折工具是斯坦利刀片。刀尖朝着所需方向，轻推引脚一端。目前不要折得太多，足够确定方向就行。

本操作过程中，“下”表示引脚朝向PCB弯折。“上”表示朝电路板外弯折，近似于垂直向上。“留”表示不动。

- 1 下
- 2 下
- 3 上
- 4 上
- 5 下
- 6 上
- 7 留
- 8 留
- 9 留
- 10 下
- 11 上
- 12 留
- 13 留
- 14 留

现在看看远处，休息几分钟，准备操作另一侧。

- 15 留
- 16 留
- 17 留
- 18 上
- 19 下
- 20 留
- 21 留
- 22 下
- 23 上
- 24 下
- 25 留
- 26 下
- 27 下
- 28 下

棘手工作完成了！

将引脚1和2向下弯折至涂锡表面约1 mm内，然后焊接至PCB。

要将引脚焊接至铜面，最好的方法是将烙铁置于引脚后方约2 mm的电路板上，停留几秒以加热PCB芯板。在PCB上形成小焊点，再推向引脚。接触后，立即移除烙铁。

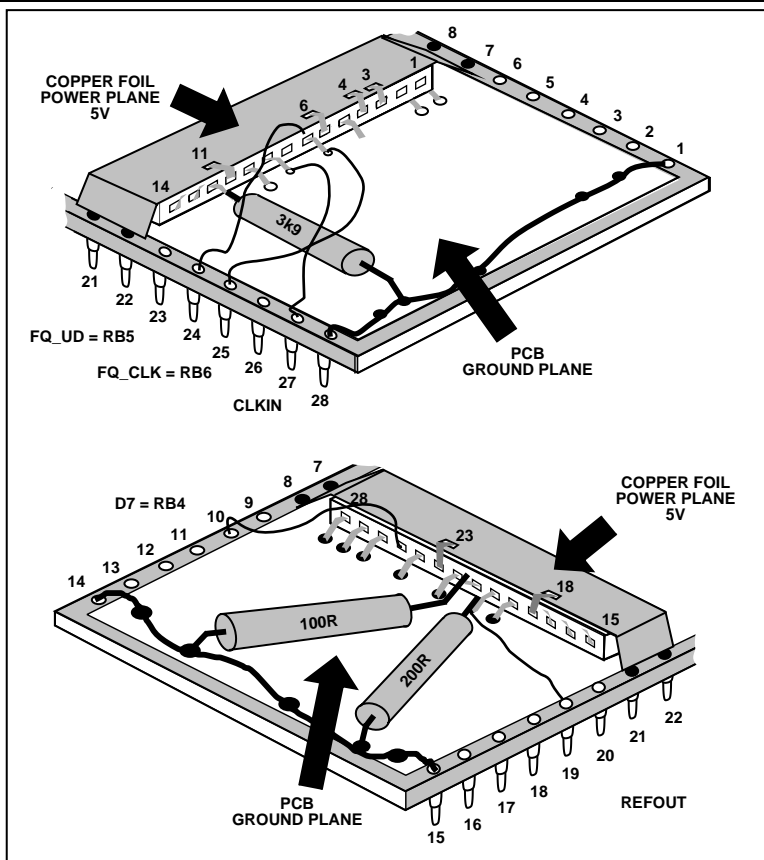


图8. DDS装配。DDS芯片颠倒安装(死虫)于PCB接地层上。铜箔带提供低阻抗电源层。在接地层与电源层之间邻近芯片上引脚1连接的去耦电容在图中未显示。

按引脚19、26至28、10、22、5和24顺序重复该流程。确保对正确的支脚操作。引脚可向上和向下各弯折一次，此后折断风险就会增加。

取一小段铜箔。铜或黄铜垫片均可。实在没办法，可以用快刀从废PCB上裁下适当的一段，或者从箔编织同轴电缆上剥离一些。

铜箔长度应足够焊接至插槽引脚7和8，越过芯片向下至另一侧，直至焊接引脚21和22。宽度必须和芯片模制宽度相同(至多略宽)。可以用剪刀裁剪和比试宽度。多余长度稍后截去。

用一点强力胶将铜箔固定至芯片模制引脚。固定后，将末端向下弯折，调整长度，并焊接至DIL插槽上的+5 V引脚(7、和8、21和22)，确保不要接触PCB接地层。

向上弯折芯片上所有+5 V引脚3、4、6、11、18、23，然后迅速将各引脚焊接至铜箔。

剩下的就是连接七个信号引脚，为了方便起见，一些引脚稍向下弯折，角度接近水平，一些向上弯折几度。这是为了给烙铁留出更多空隙。引脚8、21、25向上弯，引脚7、9、12、20向下弯。

调节三个电阻大小，焊定其接地端，使引脚末端刚好接触目标引脚末端，视接触引脚末端需要弯折电阻引脚。迅速将电阻焊接至引脚。

取一些漆包铜线，较细即可。Vero导线最为理想。先将导线末端伸至DIL插槽末端，然后调节导线长度。导线末端和引脚末端均预先涂锡，用干净的镀锡烙铁将导线焊接至引脚(一种情况是焊接至电阻引脚)。最佳顺序是7、9、25、20和8。

引脚13至17不予连接。

第3部分/共5部分

本部分说明显示板的电路图和PCB布局，提供部分构造笔记和完整项目元件列表。

显示板描述

参考图11，显示元件本身包含三个两位数七段共阳极显示器。选择它们是因为比较大，看起来舒服。各段并联连接。



图9. 键盘贴面图(Keypad Overlay for Reproduction), 宽47 mm, 高57.5 mm

本类应用中，一般是驱动16字符背光LCD显示器。虽然本质上完全不同，但成本相近(一次性)，功耗明显较小，软件复杂性大致等同。笔者倾向于LED方法，LCD字符太小，不便查看。

显示位数多路复用；就是说每次仅点亮一个位数，依次点亮所有位数(迅速、高频率)可提供无闪烁查看。多路复用过程由软件控制，如果环境允许，尽量重绘显示器。

操作中，IC12解码RA0、1、2以决定寻址哪一位数，并驱动PNP开关Tr5至Tr10之一以处理位数电流。同时，IC11解码RB0、1、2、3上的BCD输入以决定点亮哪些段；此外将RA3拉低以显示小数点。依次刷新每一位数，只要整个序列执行频率足够高，人眼就能看见连续六位数显示。

切勿尝试用不同的BCD替代七段解码器芯片，对于大于九的BCD值，软件必须依靠LS47特性来实现前导零抑制。

数据作为8位串行字逐个输入锁存器IC13，输出通过RB5上的锁存脉冲更新。这些位通过限流电阻R41至R48直接驱动低电流(2 mA) LED (D4-D11)。D4和D5是绿色LED，其他是红色。这样，当执行“分离”操作时，可以很容易分辨不同的LED。

为方便起见，到达键盘的七条线通过显示板路由。只要设法安装串联电阻R49至R55，同样可以直接从DDS板走线。此处电阻用于防止同时按下两个或更多按键时PIC I/O线路可能发生短路。

键盘

键盘是专为按钮电话设计的低成本四行三列开关矩阵。软件定期轮询键盘查看有无击键。这可以通过依次驱动每一行来完成。接着针对每一行测试各列，查看有无低电平，如果发现低电平，列/行交点就是按下的按键。最多5 ms按键接触完毕并中断，按键通过软件反弹回来，如果无此设置，普通击键将被解读为大约20次连续相同击键。

键盘需要贴面才能更好地感受本应用中按键的替代意义。可以按尺寸复制图9并贴在按键上，数字已先用刀刻出。

键盘通过某种七路扁平电缆连接至显示板。需通过电缆路由将顶部引脚从显示板连接至键盘最右边的连接器。

图10显示了实现此步骤的最佳方法。电缆从频率显示器和LED下方穿过显示板正面。然后从键盘后方通过，略微超过键盘，接着电缆向后折叠180°，再向下折叠90°。此时电缆便到达键盘上七个最右边焊盘，通过上述流程，电缆铺设整洁，连接准确。

显示板构造笔记

图12显示了PCB布局。显示器IC插槽周围的后部迹线较为复杂。一种完全可以接受但稍麻烦的方法是将这些引脚和IC11导线连接至小焊盘，然后使用Vero导线将所有段手工接至七段解码器。

只需简单地改变PCB，或者同样使用Vero导线，就可以轻松替代其他共阳极器件，包括单位数IC和垂直边缘引脚器件。

状态LED可以固定至电路板上，但无需缩短引线以便调试。

在此PCB构造形式下，当将IC或IC插槽插入电路板时，插入距离只需足以在电路板背面留下可用的尾部即可。具体而言，应避免通过引脚侧翼在电路板元件侧桥接走线或将引脚接地。

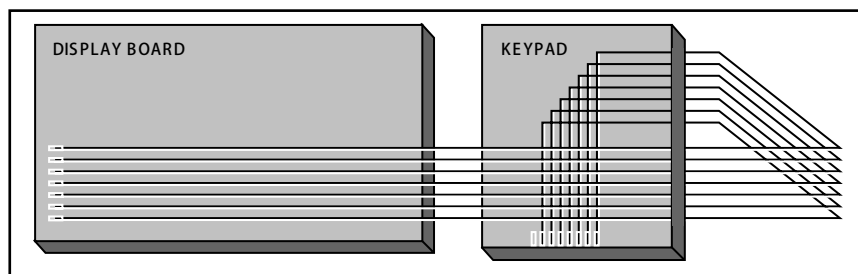


图10. 显示板至键盘扁平电缆路由正面图。请注意，键盘上的八个连接器中，最左边一个未连接。

AN-577

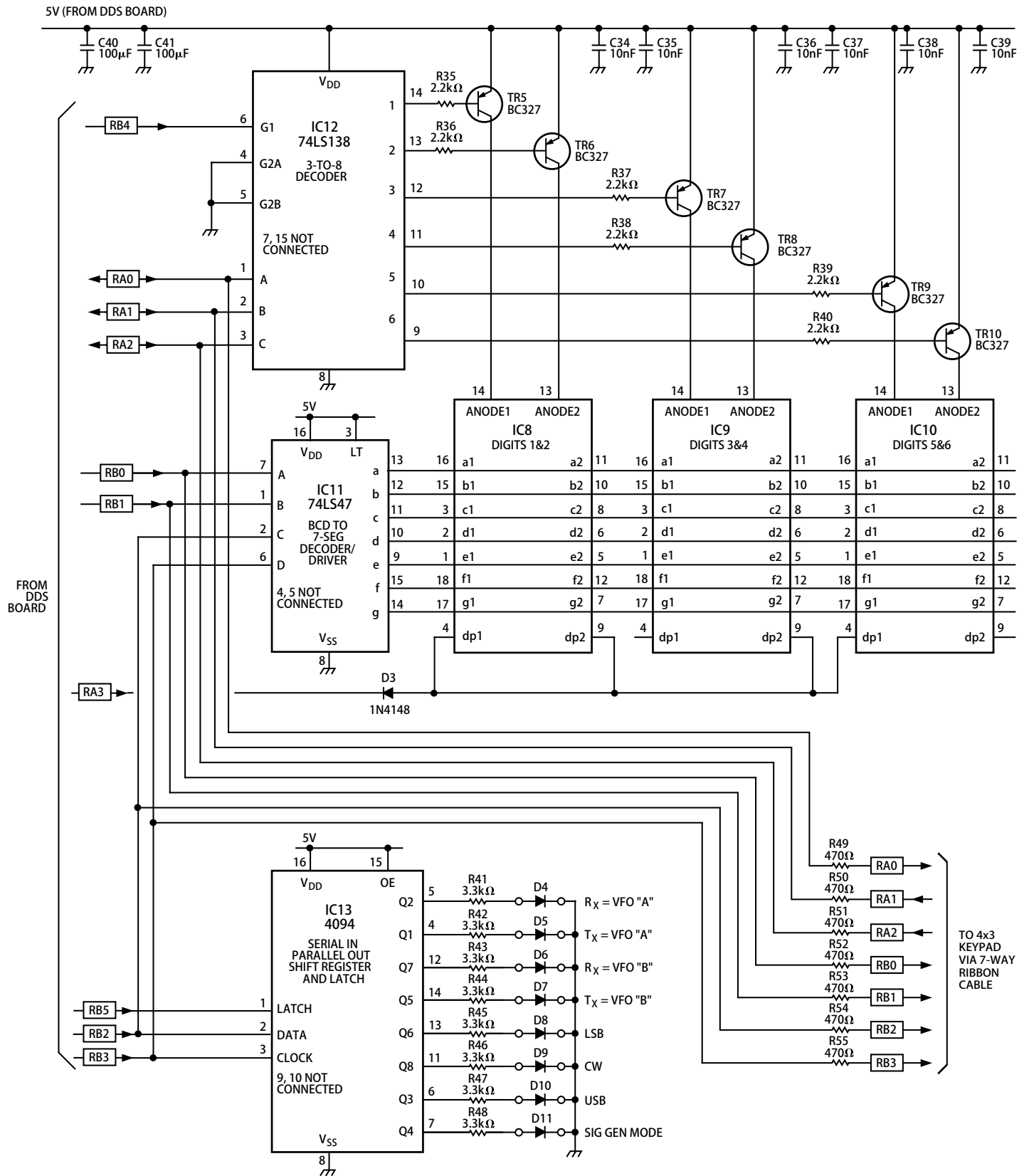


图11. 显示板电路图。请注意，所有显示器IC(8、9、10)段并联连接，不使用的小数点则未连接。八个3 mm状态LED、D4至D11焊接于显示板上，但实际安装于前面板小孔内。

元件列表

电阻..... 1/8至1/4 W, 5%至10%, R33除外

R1, R9, R17, R27-31	100R
R2	330R
R3, R4	10k
R5, R14, R20, R21, R23	1k
R6	220R
R7, R8, R22	4 k 7
R10	200R
R11	180R
R12, R15	56R
R13, R49-55	470R
R16	5 R 6
R18	3 k 9
R19	560R
R24-26	270k
R32	47k
R33	10R, 2W
R35-40	2 k 2
R41-48	3k3

电容

TC1, TC2	2-22p最小电介质薄膜调整器
C1	1n馈通
C2, C4, C5, C11-14, C17, C18	1n陶瓷圆盘电容
C3	10 μ、16 V径向电解电容
C6, C24, C28	22p陶瓷板
C7	68p陶瓷板
C8, C9, C40, C41	100 μ、10v轴向电解电容
C10, C16, C19-23, C34-39	10n陶瓷圆盘电容
C15	470 μ、16 V轴向电解电容
C25	3p3陶瓷板
C26	33p陶瓷板
C27	8p2陶瓷板
C29, C30	15p陶瓷板
C31, C32	47p陶瓷板
C33	100p陶瓷板

半导体

D1	LD271 IR二极管
D2, D3	1N4148
D4, D5	3 mm低电流LED(绿色)
D6-D11	3 mm低电流LED(红色)
IC1	78L08
IC2	7805
IC3	16C84-04/P(插槽内)
IC4	AD9850BRS
IC5	HLC2705
IC6, IC7, IC13	4094(无插槽)
IC8-IC10	两位共阳极7段LED, Maplin FA01B(绿色)或BY66W(红色)
IC11	74LS47(插槽可选)
IC12	74LS138(无插槽)
Tr1	2N2222A
Tr2	J310
Tr3	2N3866, 内置小散热器
Tr4	BC108
Tr5-10	BC327

电感

L1	5圈22 swg, 直径1/4", 长度1/2", 接地端起抽头1圈
L2	5圈22 swg, 直径1/4", 长度1/2", 中心抽头
L3	1 μH轴向扼流圈
L4	0.68 μH轴向扼流圈
T1	FT37-43上8双线圈32 swg

其它

双面PCB	尺寸参见正文
4x3键盘	Maplin JM09K
7路0.1"间距扁平电缆, 用于以上器件	
一次性	32引脚DIL卷引脚插槽(0.6")
一次性	28引脚DIL卷引脚插槽(0.6") 在上述器件上安装显示器IC, 并切除未用引脚 显示器滤光器, 约3.5"x1"
一次性	28引脚DIL卷引脚插槽 (0.6"), 用于DDS装配
一次性	28引脚DIL卷引脚插(0.6"), 用于母板上DDS装配
一次性	18引脚DIL卷引脚插槽 (0.6"), 用于16C84
一次性	14引脚DIL卷引脚插槽 (0.3"), 用于74LS47(可选)
轴编码盘	参见正文
用于安装编码盘的旋钮, 裙径约1", 已钻右调谐钮、飞轮、 轴和衬套/轴承	自己选择!
用于Tx/Rx的18路扁平电缆	(可选)
16路电路板间扁平电缆	(可选)
12 V直流输入连接器	(可选)
RF输出连接器	(可选)
18路主机连接器	(可选)
X1	约110 MHz(参见正文)
X2	4 MHz

供应商

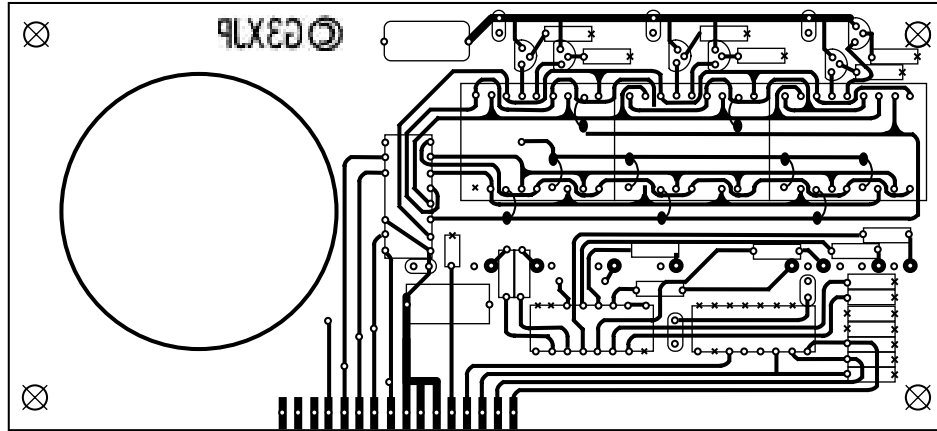
上述元件大部分购自JAB Electronic Components公司 (PO Box 5774, Great Barr, Birmingham, B44 8PJ, 电话0121 6827045)。该公司提供优质服务。

键盘、IC8-IC10、D1、D4、D5、D6-D11、Tr1例外, 可从Maplins获得。

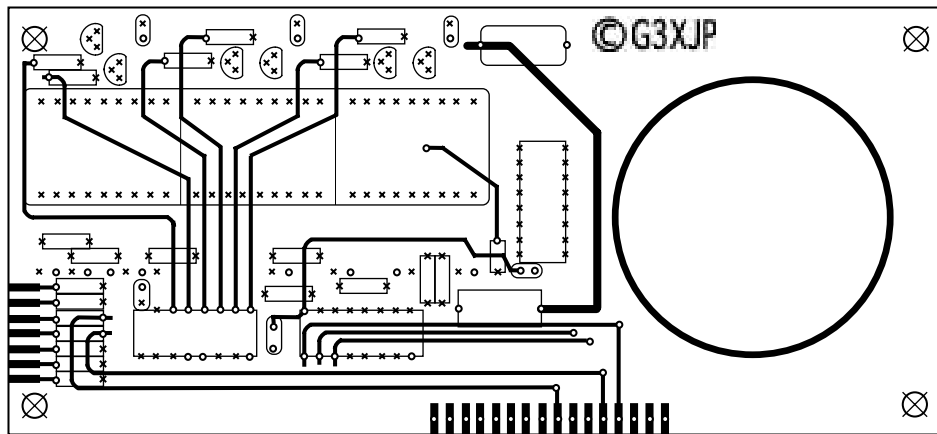
PIC 16C84 (IC3)也可从Maplin获得, 如果您想自行编写软件, 一次性器件价格8.90英镑。笔者乐意提供具有本文所述特性的编程PIC、轴编码器醋酸酯盘和键盘纸质贴面, 价格15英镑, 请自备回寄的信封。

关于衬套和轴承, 很多可以从废电位计或可变电容上拆用。如果没有, 可从模型店购买。

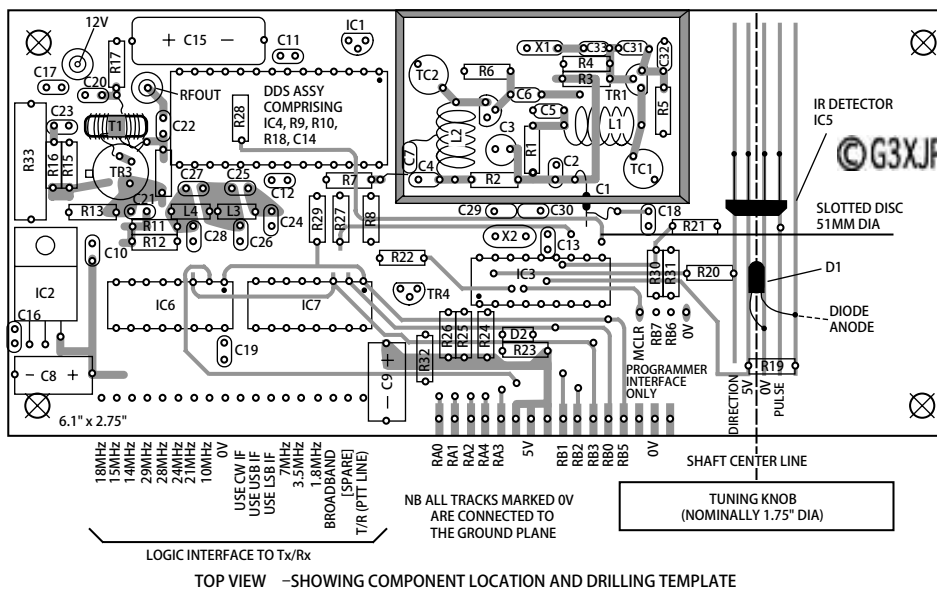
AD9850BRS DDS芯片可通过任意ADI公司授权代理商购买, 那里会有少量出售。交货时间可能较长。价格取决于交货和付款方式。笔者是通过Kudos Thame Ltd.公司 (55 Suttons Business Park, Reading, Berks RG6 1AZ, 电话0118 935 1010) 购买的。



REAR VIEW -(NONCOMPONENT SIDE) SHOWING REAR TRACK AND SOLDERING POINTS



FRONT VIEW -(COMPONENT SIDE) SHOWING FRONT TRACK AND SOLDERING POINTS



TOP VIEW -SHOWING COMPONENT LOCATION AND DRILLING TEMPLATE

图12. 按正文所述生产步骤绘制的显示板PCB除了走线部分外，电路板（两面）全部是接地层铜面，因此图中未显示接地层。前后走线图上显示为“x”的小孔未在该侧电路板上焊接。这些小孔应略微埋头。显示为“o”的小孔焊接至走线或接地层。所有小孔直径均为0.7mm。图中未显示前面板LED（D4-D11），这些器件从后视图约一半处沿水平线向上焊接至焊盘和接地层对。后视图上显示九条短线路作为曲线。

第4部分/共5部分

本部分说明DDS板的电路图和PCB布局，并提供一些应用笔记和构建轴编码器的细节。

DDS板描述

参考图13，功能模块包括向DDS组件馈送输入的晶体振荡器(基准时钟)，后接低通滤波器和缓冲器。提供两个输出锁存器以及控制操作的PIC。

在输入端，PIC监控轴编码器、PTT线路和键盘。Tr1是传统晶体振荡器，后接常见的栅极缓冲器Tr2。晶体可以是100 MHz至125 MHz范围内的任意值，越高越好。所达到的准确频率利用下月详述的校准程序修正至软件内。

整个振荡器周围是由电路板、四个面和顶部组成的PCB机壳。机壳拥有容易购买的编织铰链，并钻有两个小孔，以便调整TC1和TC2。R7和R8将AD9850基准时钟输入偏置到半供电轨。

IC4即AD9850，以串行控制模式工作。也就是说，通过W_CLK上的40个对应时钟脉冲，32数据位和八个控制位的脉冲流在D7线路上以串行方式逐个输入。该序列通过发送脉冲将FQ_UD变为高电平来执行。

所合成的正弦波出现在电流输出IOUT和IOUTB上，通过R9和R10端接。R18用来设置片内DAC满量程输出电流。

C24-28和L3、L4根据AD9850数据手册组成42 MHz、200 Ω 椭圆形低通滤波器。R11、R12组成用于端接滤波器并匹配驱动器Tr3基极的“L”形焊盘。这依次将+7 dBm递送至50 Ω 内。PIC拼合技术必须馈送大约50 Ω 的无电抗负载，以确保LPF的有效端接。注入端口最好是SBL-1混频器，其双平衡特性也有利于减少AM噪底。

通过八个时钟脉冲和一个锁存脉冲的序列，以串行方式将数据逐个输入锁存器IC6和IC7。其他用途的脉冲出现在数据和时钟线路上，但由于无后续锁存脉冲，实际可以忽略。

通过发送脉冲，使专用于该用途的RB5变为高电平，这两个锁存器和显示板上的IC13以及AD9850能够同步更新。

锁存输出为真即为+5 V，因此可与晶体管开关等器件接口，从而驱动Tx/Rx、开关天线等内的频段开关。

如果显示的频率并非明确指定的频率，则实现“宽频段”输出。(为精确起见，比较10 MHz和1 MHz位数)。我用该方法来切换两个继电器，使Rx前端短路，消除了所有选择性。这样，我可以收听任何HF频率。显然，在这些情况下Rx性能会受到严重影响，但为了能够收听广播站、频率标准等等，付出这一代价也值得。

IC3，即PIC，上文已作论述。其硬件配置完全是传统方式。如果不打算对PIC进行编程，可以省略显示为“编程器接口”的三条线路以及R30和R31。

D1是价格较低的IR发射极，专为远程控制应用而设计。IC6，即IR检波器，专为电脑鼠标位置编码而设计。其优点是产生的解码输出很容易用软件来处理，而且处理速度很快。“脉冲”输出在每次暗/明过渡时暂时变为低电平。这是为了中断PIC来处理结果。“方向”输出处于稳定电平，反映最后的旋转方向。因此，通过软件可以随时轻松测试该线路，以决定调谐方向。从程序大小来看，这远比解码许多商用轴编码器产生的格雷码输出便宜。

Tr4隔离主机收发器PTT线路。因为软件假定启动时的初始电平对应于接收，PTT线路上的逻辑可具有任一极性。如果仅运行Rx，可以不连接PTT线路。但如果运行Tx/Rx，该线路必须连接，软件需要知道T/R状态才能进行分离操作，并且为安全起见，适当时会取消任何扫描操作。

应用笔记

构建和调试DDS板采用适当的顺序，才能确保接通和逐步测试。图14所示为PCB布局。

首先构建110 MHz晶体振荡器。也就是屏蔽机壳内的所有元件(机壳本身除外)，但现在省略了C1和C7。

振荡器元件全部以表面贴装方式安装于顶部铜层的孤岛上。实践中引脚必须尽可能截短，以便于烙铁进入。最后安装两个线圈L1和L2。将抽头连接至L1。

同时连接C15、IC1和C18，并将临时跳线从8 V顶部走线插到R1和C2的结点，为振荡器提供电源。

将GDO(作为无源检波器)松耦合至L2，并将GDO设置为晶振频率。调整TC1振荡并峰化TC2，以实现指定频率下的最大输出。重复数次，检查振荡器是否从冷变热。

接下来连接位于PIC插槽下方或插槽与边缘连接器之间的内层线路(即某些旧元件引脚)。

连接IC2，将其抽头焊接至电路板。连接C8-C10、R23和R33。+5 V供电轨分配便完成了。检查短路，施加12 V电压，验证+5 V在轴编码器检测器下(左起第二条走线)的顶部走线总线条上是否可用。若可用，验证顶部至底部走线的所有交点。

依序连接C29、C30、Tr4、R22、R32、R26、R25、D2。

最后再检查一次PIC插槽(IC3)下方的连接，然后连接插槽。现在连接R24、C13和X2。

将低通滤波器和缓冲放大器内的所有元件表面贴装。然后连接晶体管Tr3，最后是散热器。

暂时连接C7，一端连接至图示顶部走线，另一端形成L2上的中心抽头。

无需缩短引脚，将IC5和D1焊接至电路板，调整距离使其大约相隔1 cm。连接准备好接受DDS组件的插槽，但暂时不要插入组件本身。安装除C1外的所有其他元件。将IC3插入插槽。

构建显示板，并连接至DDS板。检查所有电路板间引脚有无接地短路，或者与任何其他此类引脚形成短路。

施加12 V电压，显示器应初始化为80 m，Rx = “A”，Tx = “A”，LSB LED应点亮。这证明PIC和显示板正在工作。当然，此时还不存在实际RF输出。

将螺丝起子从左至右穿过IC5与D1之间，这样显示频率应下降，从右至左则相反。

连线键盘，检查所有按键和状态LED是否正常工作。

验证DDS组件插槽上存在+5 V，并检查所有连接引脚上无任何短路或桥接。

最后，在所有器件正常工作后，插入DDS组件，监控电路板RF输出并施加电源。查看12 MHz至13 MHz附近的RF。若无输出，尝试将TC1和TC2峰化。

如果一切正常，键入“83”以进入信号发生器模式。RF输出应变为80 m，状态指示灯LED应做出响应。

在110 MHz振荡器周围装上屏蔽箱，为C1钻孔，将C7引脚之一穿过小孔。该屏蔽箱必须以双面玻璃纤维板制成，以实现屏蔽和导热属性。装上顶部，钻孔对TC1和TC2进行调整。使用一些内部编织铰链固定顶部。

重复峰化TC1和TC2，在某一已知频率下获得干净稳定的输出，具体而言，确保输出不是该频率的倍数或约数。

安装轴编码器。调整IC5和D1盘，使得盘片运行中不会接触IC5。D1位置不太重要(实际上，这些位置均不重要)。它必须距离盘片大约1 cm。请注意，在明亮入射光下，轴编码器无法可靠工作，可能无脉冲或产生明显随机性脉冲。获得输出频率冗杂的器件很容易，但用处不大。

最后装IC6和IC7，这是因为其操作独立于电路板其余部分。

不必为测试连接PTT线路，但在开始正式操作前应予连接。

如果接收机内有多路复用噪声迹象，请将1000 μ F 15 V电解电容从R33和IC2结点接至地。多路复用噪声具有在休眠模式下完全消失[73]的特点。

如果偶然出现音频，连接三个去耦电容(以及C14)即可减少，DDS组件从5 V电源层至接地层的每一角连接一个。使用两个10 n和一个1 n，引脚应尽可能短。

轴编码器

轴编码器组件包含一个调谐钮、一截轴、若干轴承、一个飞轮和一个编码盘。另外需要设法去除轴上的任何轴端浮动。很幸运，Jack (G3XKF)给笔者弄到一些很不错的黄铜紧固件。此处的机械构件一定不要吝啬成本，调谐钮的“使用感受”对操作舒适性非常重要。至少应保证组件可顺畅地自由旋转。

笔者从旧盒式录音机拆下飞轮，将飞轮钻孔再装入轴。此处无需过多物理质量，但需要一些惯性使转动平稳。重调谐钮就足够用了。笔者装的是去盖的酒瓶(lead caps off wine bottles)，这样更加有趣。对于调谐钮，最好使用有指孔或转动(量规)手柄者。

此时已针对180辐编码盘调谐了软件。由于检波器针对每次暗/明过渡发射脉冲，调谐速率自然为每圈 $360 \times 10 \text{ Hz} = 3.6 \text{ kHz}$ ，该速率可视需要通过软件加快或减慢。

图15所示为笔者使用的盘片，可以按尺寸重现至醋酸酯薄膜上(当地复印店即可)。确保“轮辐”重现黑色，与“槽孔”形成较强对比。仔细将盘片粘在旧旋钮上，注意墨粉一侧远离检波器，以免刮擦。先将旋钮钻通，在胶水凝固前在轴(缓慢)上旋转，确保盘片位于中央。

在DDS板上提供长并行走线，以便灵活调整安装位置。实际配置取决于DDS板是平行还是垂直安装在显示板上。

下个月

本文总结校准程序和用户操作详细信息。

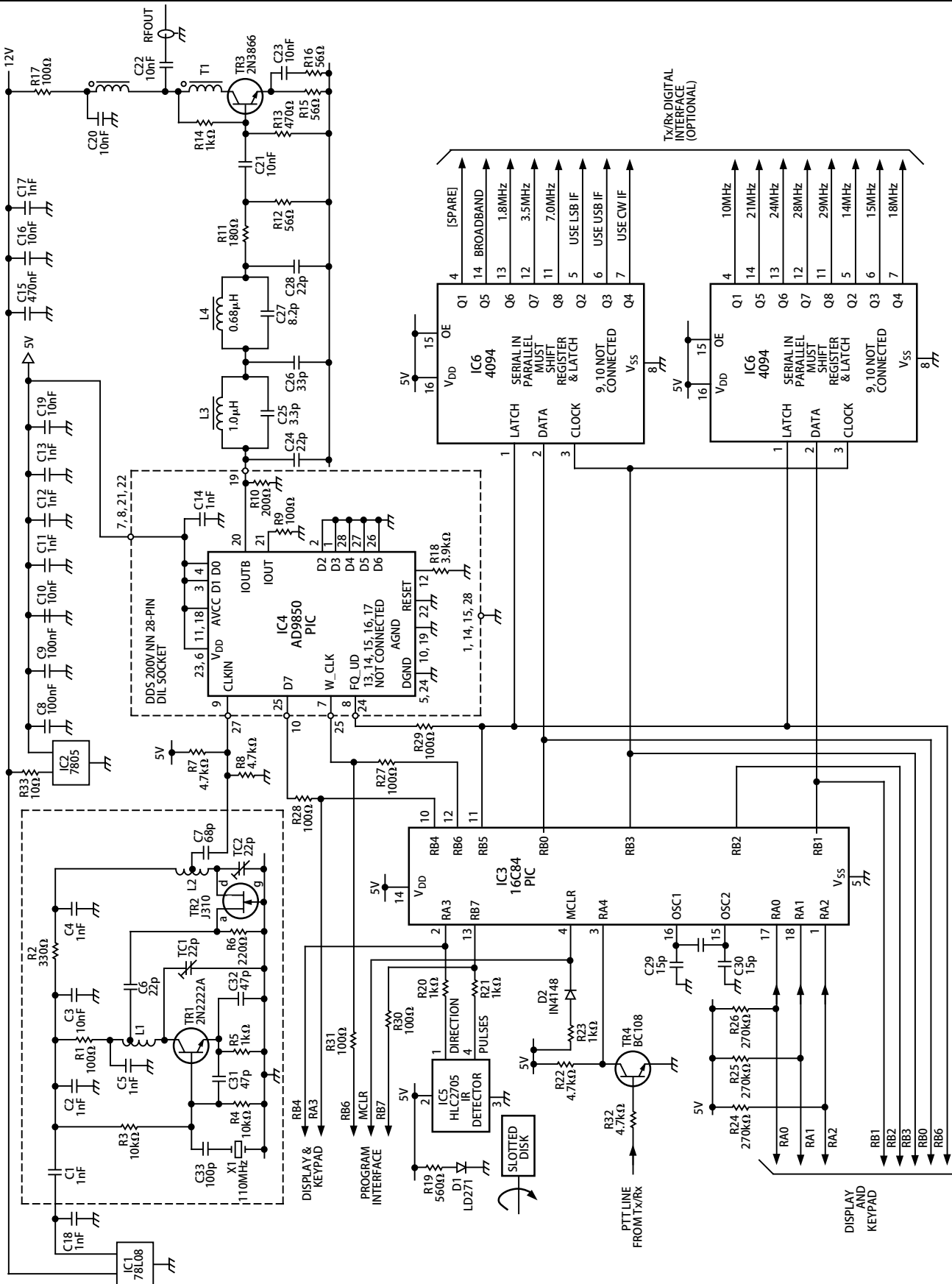
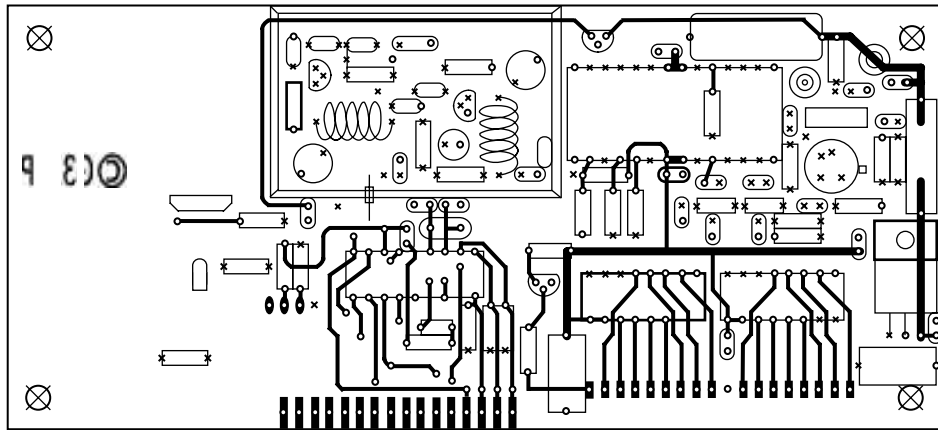
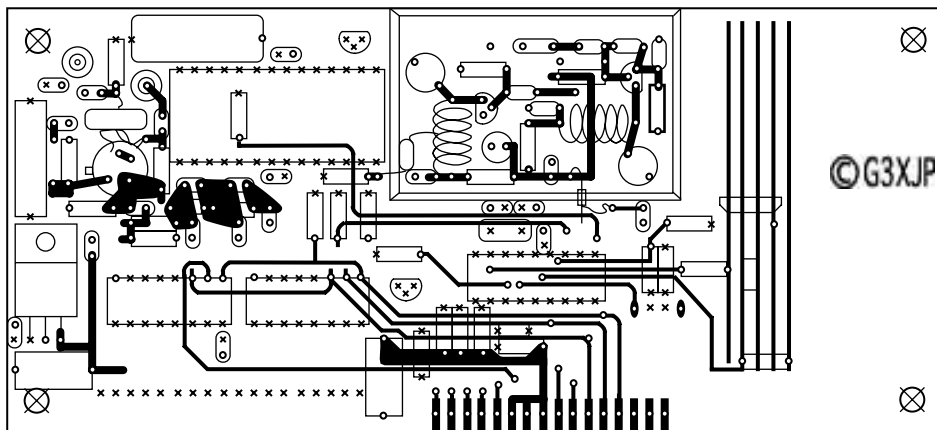


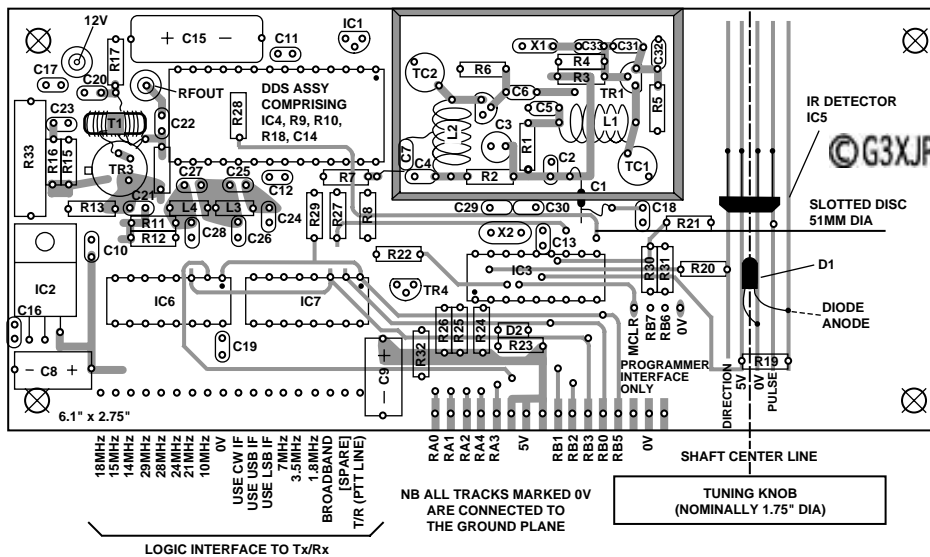
图13. DDS板电路图。将IC4及其相关元件安装在28引脚DIL插槽上，形成DDS组件。组件则插入主板上的28引脚插槽内。



BOTTOM VIEW - (NON-COMPONENT SIDE) SHOWING BOTTOM TRACK AND SOLDERING POINTS



TOP VIEW - (COMPONENT SIDE) SHOWING TOP TRACK AND SOLDERING POINTS



TOP VIEW - SHOWING COMPONENT LOCATION AND DRILLING TEMPLATE

图14. 使用与图12相同规则绘制的量产DDS板PCB。所有孔均为直径0.7 mm，IC2三个引脚则为1 mm。基准振荡器通过PCB机壳屏蔽。C7使用其引脚从L2上抽头经机壳内柄部连接至顶部走线。C1经短跳线连接至走线。IR检波器/二极管和盘片显示为以90度角安装至显示器以及顶部走线。C1经短跳线连接至走线。IR检波器/二极管和盘片显示为以90度角安装至显示器。

第5部分/共5部分

本结论部分讨论校准程序。另外提供操作使用建议，并解释键盘序列完整定义和最终系统性能。

校准程序

由于软件已明确编写成处理各种不同的基准振荡器晶体频率，因此使用HF范围内的任何IF(包括直接变频的0)均有校准程序，其将安装细节存储在长期存储器内。

初次使用时，必须遵循该程序，一旦更改Tx/Rx安装，以后就要定期校准以补偿晶体老化。

校准程序分两个独立步骤，首先校准基准振荡器；然后校准最多三个IF失调(USB、LSB、CW)。两阶段中均将合成器连接至目标Tx/Rx内的混频器，等待器件预热并维持合理的环境室温。

初次使用时，一般的想法是大致准确即可(即在数千Hz内)，遵循可用的粗略频率定义；然后根据某一已知(通常是传播)标准尽可能精细地进行校准。

提醒

一旦进入校准模式之一(按“Cal”键)，在恢复正常使用前必须明确退出校准模式。退出只有两种方法。一种是保存校准设置(931、934、937和933)，另一种是键入“999”重新启动。如果不确定，请使用后者。

基准振荡器校准

频率越高，该程序结果越佳。实际操作中，最好先在某一低频下大致校准，然后根据某种HF标准(例如关于15 MHz的WWV)准确校准。

初次使用时，软件设置为100 MHz基准振荡器。这是最低容许频率，便于百分比计算。例如，如果使用116 MHz晶体，实际生成的频率将比指示频率高约16%，这是因为两个晶体振荡器不会在相同频率下发射。

您需要一个调谐到已知频率台站的独立AM接收机。为便于入门，PIC拼合存储器位置预载入英国广播公司电台频率。虽然它不是频率标准，但在简单的短波家用收音机上就能可靠接收，覆盖整个欧洲，可以提供基本校准。请按如下步骤进行：

将合成器设置为指示目标校准频率。

键入“83”进入信号发生器模式。该模式忽略所有IF失调(因此忽略任何失调校准误差)，并生成仅加上和减去任何校准误差的指示频率。

在AM接收机上定位生成的频率。可能需要给合成器输出接根小天线。初次使用时，可以计算误差较大时(最高+20%)预期频率出现的位置。

再次键入“83”退出信号发生器模式。

键入“33”进入基准时钟校准模式。此模式与信号发生器模式相同，只不过在转动调谐钮时，显示的频率保持不变，同时软件基准振荡器调整器变化，从而改变发射频率。

转动调谐钮，在另一台接收机上检查调整方向是否正确。持续转动，直至得到所选的校准频率。调谐是精细过程，如果误差较大，需要转动较长时间。

首先找到频率标准零拍，然后键入“933”[Save Cal Cal]，保持该粗略校准状态。

现在根据某一已知标准，尽可能在高HF频率下重复细化校准。

这有个诀窍。由于零拍调谐具有随意性，可以将一个VFO设置在校准频率以上200 Hz，另一个VFO设置在校准频率以下200 Hz。按住A/B键时，频率在两者间切换，您可以轻松地判断两个拍频是否相同(或差异在数Hz内)。另一方面，大多数人是听不到音频的，而且也不知道这一点！

此诀窍也可用于精调IF失调校准。

IF失调校准

除非基准振荡器已完美校准，否则该操作没有意义。另外，一旦您改变了基准振荡器校准，必须重复该失调校准。

此步骤可让合成器得知LSB、USB和CW(如果连接)IF失调的准确频率。请记住，如果在主机上的载波晶体间切换，请给晶体留一点预热时间。

如果使用直接变频，请忽略该步骤，直接以信号发生器模式使用合成器，或者仍按本步骤进行，但输入0作为失调。如果使用PIC拼合系统作为QRP Tx，这一点同样适用。

为了在初次使用时轻松一点，USB失调载入为10.7 MHz，CW失调为9 MHz，LSB失调为455 kHz，代表三个常用选择。该配置看似愚蠢，不适合任何应用，但为大多数人提供了最快的入门方式。初次使用时，选择最近的IF，按以下步骤复制到其他两项：

键入“3”，然后是“1”、“4”或“7”，从三种选项中选择所需失调。

键入“93”，然后是“1”、“4”或“7”，从而覆盖一个不需要的失调。

重复上述步骤，覆盖另一个失调。

此时，至少在频谱右部，所有失调变为相同。现在按如下步骤进行：

在Tx/Rx上选择USB晶体。这是两个边带晶体的较低频率。

键入“31”[Cal USB]，将调谐钮转动至零拍。此时频率显示器将向您显示失调频率。如果愿意，键入“931”[Save Cal USB]保存结果，重启合成器。

在Tx/Rx上选择LSB晶体。这是两个边带晶体的较高频率。

键入“37”[Cal LSB]，将调谐钮转动至零拍，然后键入上述“937”[Save Cal LSB]。

如果有CW晶体，重复该程序，否则留置IF通带中央。

IF失调校准为10 Hz。如果您较谨慎，实际可以对载波晶体本身最多调整5 Hz，以获取精确值。这样做绝对不会影响IF性能。

校准程序完成。

操作使用

如果迄今您采用的是简单VFO，则获得的特性乍看可能令人失望。一些特性可能对您的特定操作环境并无用处。不用在意，

笔者建议继续试下去，同时仔细考虑将来要使用的环境。

目前为止，已完成12个键和1个调谐钮，不用多久，您就能熟练地以正确顺序使用它们！

键盘序列

为了让键盘序列使用起来简单、安全，人体工程学设计很费工夫。简单梳理一下设计思路有助于加强记忆，表1列出了按键序列供您参考。

立即执行所有按键序列。为了进行视觉确认，显示按键序列并短暂保持频率读出，无效序列不起作用。

经过各种尝试后，可将按键文字组成大致有意义的句子。讨论过的例子有Cal USB(进入USB校准模式)或Save Cal USB(将该频率保存为USB校准)

一些重要操作功能击键一次就能实现。大多数正常功能需要击键两次，最常用的功能通过两次点击相同按键来实现。

按键序列也具有上/下方向性。例如，USB在键盘上高于CW，后者又高于LSB。

三个按键的所有序列均以“9”键[Save]开头，这是后面两个按键序列的限定词。例如，“10”表示转到10 m。相反地，“910”表示将当前频率保存为10 m默认值。此处使用的“保存”一词指在断电情况下仍然保留。

启动时

系统初始化为3.7 MHz，直至做出更改。要储存并保留新的启动频率，首先转到所需频率(以任何方式，参见下文)，然后输入“990”[Save, Save, Zero]。这样，启动频率便以全10 Hz分辨率保存。保存时所用的边带不予储存；系统将初始化为该频率下的“正常”边带。

频段切换

要更改频段，键入九个频段中任一频段米数的前两位。(例如80 m为“80”，10 m为“10”)。“无例外”是顶部频段(当然不再是顶部)，根据上述规则键入“16”。合成器将立即转到该频段的初始化频率，并自动选择“正常”边带。连接后，主机频段切换和边带选择输出会自动做相应变化。

如果在频段切换时位于USB或LSB，新频段将初始化为该频率下的“正常”边带。如果位于CW，新频段将在CW上初始化。

要更改任何频段的初始化频率，首先转到所需频率(以任何方式，参见下文)，然后输入“9”[Save]，后跟两位数频段序列。这样将频率取整至最接近的1 kHz保存。

事实上，可以按每个两位数频段代码保存任意频率。例如，如果从不使用某些频段，可以在其两位数分配频段保存任何有用的频率，并且可以随意更改。

具体而言，边带和频段切换输出是从实际频率的10 MHz和1 MHz位数计算，而不是从两位数按键序列计算。

管理两个VFO

由于是最有用且最重要的特性组合，所有功能一次击键即可实现。键盘底行有三个，从左至右分别为：

A/B

全称为“VFO A或VFO B”，在两个VFO间切换。无论位于哪个VFO，都可以切换至另一个。事实上，与VFO相关的频率和模式均会切换。这种情况下，模式是边带(即USB/LSB/CW)、显示器分辨率(10 Hz或100 Hz)及注入频率(IF的高或低侧)。由于两个VFO可能处于相近或差距巨大的频率上，因此这可以提供从IRT或ITT直至跨频段能力的各种设施。

A = B

将两个VFO设置为相同频率和模式，即进入时正在使用的设置。这是系统在上电时的初始化方式，两个VFO相同。

如果想要迅速返回原始频率(通过按“A/B”)，或者为IRT等使用分离工作频率，可用该按键建立调谐前的已知状态。

分离

在分离和纯收发操作间切换。此设置状态可立即反映在LED指示灯上。

如果进行“分离”操作，则Rx VFO LED颜色(红/绿)与Tx VFO LED不同。相反地，纯收发操作中LED颜色相同。

无论哪种情况，频率读出始终适用于当前发射/接收状态。如果正在接收，则显示接收频率；发射时则显示发射频率。

显示器分辨率

默认情况下，6位数显示器从左侧最高有效位开始显示，无前导零，接着向右填充其余位数。小数点位于MHz和kHz位数之后。

由于自动调节量程，右侧位数对10 MHz以下频率提供10 Hz分辨率，10 MHz以上频率则提供100 Hz分辨率。

如果想要抑制低于10 MHz的10 Hz位数，或者显示10 MHz以上频率，可通过VFO键入“78”来回切换。整个显示沿适当方向前移，以小数点结束，如果需要，可抑制一个前导零。

USB/LSB/CW

当切换频段或转到存储器频率时，会根据显示的频率自动选择“正常”边带。任何时候，如果想要覆盖此设置或选择CW，请分别按USB、CW或LSB键，重复两次。前面板LED会确认更改，生成频率随之更改；当然，显示频率本身不会变化。如果未给主机Tx/Rx配备可选IF选择输出，必须手动选择适当的失调。

所选的失调在切换VFO时保留，并与各VFO相关。

正常调谐

不言而喻，调谐是通过转动调谐钮来实现的。顺时针转动提高频率，逆时针转动则降低。

这只是简单叙述，实际上还有众多智能调谐算法，可根据不同用途进行设计。

对于指定轴编码盘，自然调谐速率为每圈3.6 kHz。该速率对于简单筛选稍快，但对于快速频移过慢。相应地，软件监控转动旋钮的速度和持续时间，并在每圈 ≈ 1 kHz至每圈 ≈ 50 kHz的限值间平稳改变调谐速率。如果想要监控这种效果，特别是在习惯后，键入“70”，可随调谐指示灯的条线图速率开启和关闭LED。

在极高调谐速率下(通常腕部快速晃动)，软件飞轮自动接合，调谐沿所选方向以1 kHz步进快速连续进行，而无需进一步转动旋钮。飞轮接合后，所有LED点亮。

如果沿相反方向轻微转动旋钮，未完成的频率变化会立即取消，调谐速率重设为最小值，飞轮断开。

同样，任何发射/接收切换或任何击键会立即达到相同的效果。

飞轮操作可通过键入“26”在启用和禁止间切换。启动时则处于启用状态。

由于合成器可在整个量程内连续调谐，理论上，连续转动旋钮可到达任何频率。

飞轮接合后，只要偏移适度，本可以做到这一点，但实际操作中，较大(>2 MHz)偏移最好使用速率调谐实现，或从最近频段或存储器频率启动；或者在键盘上输入频率。

因此为保证性能，除非飞轮接合，主机频段切换输出在正常调谐模式下无法重新计算。如果发现在频段边缘调谐速率变慢，想要更新切换输出，可通过选择(或重新选择)所需边带强行操作。

上下1 kHz

如果想要迅速调谐至最近的kHz点，键入“47”可将频率向下取整至最近的kHz，键入“41”可向上取整至最近的kHz。

速率调谐

此模式下，调谐钮不会控制频率，而控制频率的变化速率。因此，旋钮顺时针方向转动得越多，频率升高得越快。旋钮逆时针方向转动得越多，频率降低得越快。

一旦方向发生变化，频率将立即固定不动。此模式下，LED通过条线图形式显示调谐速率。

键入“22”[Rate Rate]可进入该模式。kHz小数点跳动表示有非正常调谐。

要退出此模式，请按任意键或者在发射和接收状态间切换。

键盘频率输入

任何频率均可从键盘输入，到达最近的kHz。要使用该模式，请键入“88”[Freq Freq]。频率显示器将变为空白，仅显示MHz和kHz小数点。

此时必须立即输入五位数。

这意味着低于10MHz的频率要输入前导零。例如，1.812 MHz输入为“01812”。相反，18.123 MHz输入为“18123”，181 kHz则输入为“00181”。输入第五位数后，显示器会自动调节量程，生成输出频率，选择“正常”边带，前面板LED根据频段选择和主机边带选择输出更新。

如果在此过程中发生误操作，键入“*”或“#”可中止序列并从头开始。

存储器操作

提供十个存储器，通过按键60至69[Mem 0–Mem 9]访问。操作时可看到频率快速跳跃，如同频段切换。切换至一个存储器频率后，调谐便从该频率起正常进行，不会改变原始存储频率。

要更改存储频率，以任何方式转到所需的新频率，然后键入“9”[Save]，后跟两位数存储器代码。例如，要将当前频率存储在五号存储器位置，请键入“Save Mem 5”。存储器位置以全10 Hz分辨率存储。

扫描综述

扫描模式有多种，但共享以下特性：

全部通过双键序列进入，首键为“5”[Scan]。按任意键即全部退出，返回正常调谐模式。发射/接收切换中，扫描立即停止。如果扫描和操作“分离”，系统在每次任何发射/接收变化后回归纯收发状态。在进入任何扫描模式后，kHz小数点会跳动，提醒操作者。

以上扫描模式不仅可在不同操作状况下监控活动，对在信号发生器模式下调整频段/高/低通滤波器也很有用。

频率点扫描

要在两个频率间连续切换，首先将一个VFO置于各频率下。然后键入“5*”[Scan A/B]。顺时针转动调谐钮可增加切换延迟，逆时针转动则减少延迟。延迟量显示在LED条线图上。

存储器扫描

要在十个存储器位置间循环，请键入“56”[Scan Mem]。

同样，调谐钮可控制切换延迟。

范围扫描

要扫描某个范围的频率，将一个VFO置于范围一端，然后键入“58”[Scan Freq]。接着可从下限调谐至上限，并切换回至下限，不断重复。切换时，“RxA”LED线路通过脉冲暂时变为低电平，可用于同步示波器等等。调谐钮现在可控制频率增量，进而控制调谐速度，同样以条线图显示。为了改善性能，显示器在此模式下变暗。

保护通道扫描

要在调谐其他频率时监视某一固定频率有无活动，首先调谐至该固定频率(或保护通道)。接着切换VFO[A/B]，执行调谐(甚至切换频段)，将另一VFO留在保护通道上。

显然，可以随时反复手动切换至保护通道[A/B]，如要自动切换，请键入“55”[Scan Scan]。您仍可以在主VFO上调谐，但大约每20秒软件会切换至保护通道，停留约一秒后返回当前频率。出于性能考虑，飞轮在主VFO上禁用，其他调谐功能完全正常。

选择宽频段

如果显示器频率与九个HF业余频段均不相符，频段选择逻辑自动选择“宽频段”输出。这是为了让您可以选用Rx上的不同前端。如果想要强行输出，键入“72”可开启和关闭该输出位。

信号发生器模式

在信号发生器模式中，显示频率以无失调状态生成。键入“83”可开启和关闭信号发生器模式。“Sig Gen”LED提供视觉确认。

在信号发生器模式下仍可以调谐、切换频段和扫描。DDS芯片和控制逻辑的理论频率范围是音频至基准始终频率的一半。实际操作中，LPF和缓冲放大器在频谱两端限制该响应，如果您需要极限值，请容性耦合DDS子模块输出引脚的输出(引脚19)。

高/低端注入

默认情况下，合成器生成高端注入，即所需频率加中间频率失调。如果拥有高IF且位于较高HF频段之一，注入频率向上限靠近，以充分抑制不需要的杂音。您可以随时键入“87”强

行执行低端注入，键入“81”则执行高端注入。可以根据目前使用的VFO保留这一选择，因此可以将两个VFO置于相同频率上，但分别执行高/低端注入。

边带选择输出执行相应切换，因此在设置和校准妥善的情况下，净频率内听不到任何明显偏移。

如果拥有不对称IF滤波器，该特性也有用处，您可以设法保持在相同边带上。

由于可在6 m上使用合成器对高IF执行低端注入，或者结合使用上变频架构的HF收发器，从灵活性看该设置值得保留。本例中未做上述尝试。

休眠模式

为了确定PIC和/或多路复用显示器是否将任何噪声耦合至DDS输出内，开发中设计了该模式。休眠模式下，PIC停止程序执行，显示器和键盘彻底关闭，DDS继续生成最后指令输出。笔者在构建中未观察到DDS输出在任何频率下的噪声差异。

休眠模式具有显著省电特性，在一些环境中可能有用，而且噪声随时可能不请自来，所以该模式予以保留。

要进入休眠模式，请键入“73”。要退出休眠模式，转动调谐钮即可。

结论

本文对升级传统注入系统可能有所帮助。笔者撰写本文的目的在于揭开“电脑”的神秘面纱，展示其在实际应用中的作用。期待在不久的将来读到各位的应用成果。

鸣谢

感谢Jack (G3XKF)构建了首个量产原型并编写部分初期软件。Jack还负责拍摄，并为轴编码器贡献了衬套。

另外感谢Keith (G3OHN)独立设计并构建了Third Method收发器类似器件，笔者从双方信息交流中获益良多。另外David (G3LUB)为杂散测量提供了诸多帮助。

最后致我的妻子Fran，感谢她提供的建议和在第一法收发器最后项目中的陪伴。

表I. 双键输入总结

第一键→ 第二键↓	1 USB	2 Rate	3 Cal	4 CW	5 Scan	6 Mem	7 LSB	8 Freq
0	9 10 m	9 20 m	9 30 m	9 40 m		9 Mem 0	调谐条线图	9 80 m
1	选择USB		9校准USB失调	上升1 kHz		9 Mem 1		高端注入
2	9 12 m	调谐速率 模式				9 Mem 2	宽频段	
3			9校准基准时钟			9 Mem 3	休眠模式	Sig Gen 模式
4			9校准CW失调	选择CW		9 Mem 4		
5	9 15 m				保护通道	9 Mem 5		
6	9 160 m	飞轮禁用			扫描存储器	9 Mem 6		
7	9 17 m		9校准LSB失调	下降1 kHz		9 Mem 7	选择LSB	低端注入
8					扫描频率	9 Mem 8	偏移显示	键盘频率 输入
9						9 Mem 9		
*					扫描VFO			

请注意，只有在观看具有文字贴面的键盘布局时，输入时的人体工程学优势才能体现。如果双键输入以“Save”[9]键开始，以“9”开头的输入将当前频率保存在该位置。其他组合有保存上电频率的“990”和重新启动软件的“999”。

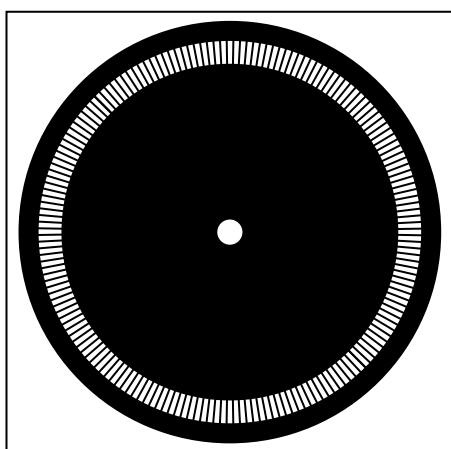


图15. 180槽孔编码盘，直径51 mm，可在醋酸酯薄膜上重现。