

用 MB1504 制作多用途锁相环频率合成器模块

锁相环电路应用概述：

锁相环电路的主要作用就是用来产生频率稳定的信号，在现代的数字调谐无线电设备中大量使用，无线电爱好者在制作的电路（如无线话筒，数调收音机等）中如果能用上锁相环电路，那么电路的性能将会有很大的提升，而且频率的控制也将更加精准方便，还可以连接 LCD 等显示器件，提供很直观的人机交流界面，可以将电路做的更加智能化与人性化。

本文介绍的用 MB1504 制作的锁相环频率合成器模块可用在数字调谐收音机的本振电路，无线话筒的振荡电路以及无线电发射机的振荡电路。

并行与串行锁相环芯片比较：

锁相环芯片因频率控制数据写入的方式不同而分为串行锁相环芯片与并行锁相环芯片，无线电爱好者常使用的锁相环芯片以摩托罗拉公司的并行锁相环芯片 MC145151，MC145152 及 MC145163 居多，因为使用这几种锁相环芯片需要掌握的技术相对较少，但是由于技术的更新及产品的换代，像 MC145151，MC145152 及 MC145163 这样的芯片早已停产，故价格很高，在电子市场现在要二十多元一片，而且此类锁相环芯片还需要前置分频器才能工作，这使得使用该类锁相环芯片的成本更高。一般用拨码开关对此类锁相环芯片进行控制，这对不懂单片机的爱好者来说可能更简单些，但使用拨码开关控制很不方便，需要将计算好的分频值换算成二进制数，然后将拨码开关按换算好的二进制数置 0 或置 1，才能完成对频率的设置，使用起来很麻烦。如果用单片机控制又很浪费单片机的资源，如 MC145152 与单片机连接要占用单片机的 16 个 I/O 口，再接上一个 1602 液晶显示器显示频率，又得占用 11 个 I/O 口，那么单片机只剩下 5 个 I/O 口，还得再接几个开关用来控制，几乎就将单片机的 I/O 用光了，使单片机很难再干别的工作，导致单片机的利用率大大降低。而且此类芯片的工作电压较高（5V~9V），耗电量也较大，不太适用于用电池供电的电路，如无线话筒等。

本文将介绍使用富士通公司生产的串行锁相环芯片 MB1504 和 AT89S52 单片机制作锁相环频率合成器。该芯片内集成有前置双模分频器，省去外接分频器，而且与单片机连接只用三根线：Clock（时钟），Data（数据），LE（使能）。在淘宝网上的价格是 8 元一片，所以

在制作锁相环频率合成器时使用非常划算。

MB1504 芯片介绍:

MB1504 是使用 CMOS 技术制造的单芯片串行数据输入频率合成芯片，工作电压 2.7V~5.5V，管脚图见图 1。

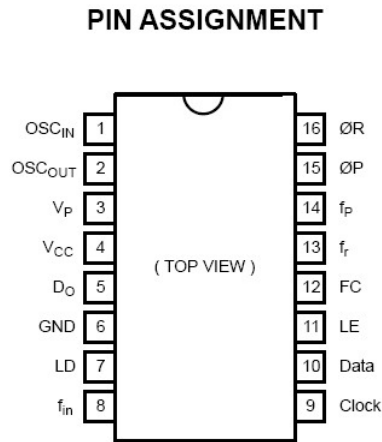
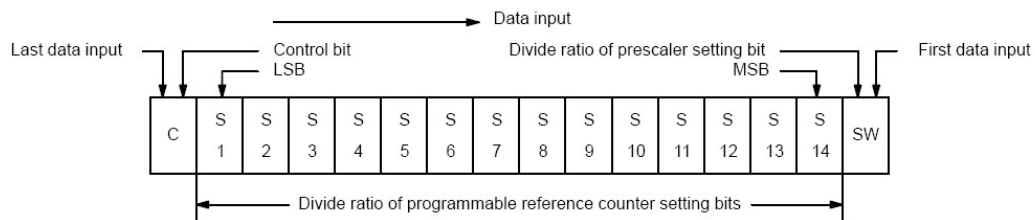


图 1: MB1504 引脚图

该芯片内含一个 14 位可编程参考分频器、一个输入频率最高为 520MHz 且分频比可选择 (P=32 或 64) 的双模前置分频器和一个 18 位的可变分频器(由 7 位的吞脉冲计数器和 11 位的可编程计数器组成)，另外还包含一个鉴相器、一个电荷泵和两个移位寄存器和锁存器。控制数据由两组串行数据构成，分别为 16 位的参考频率分频器控制数据 (见图 2) 和 19 位的可编程分频器控制数据 (见图 3)。



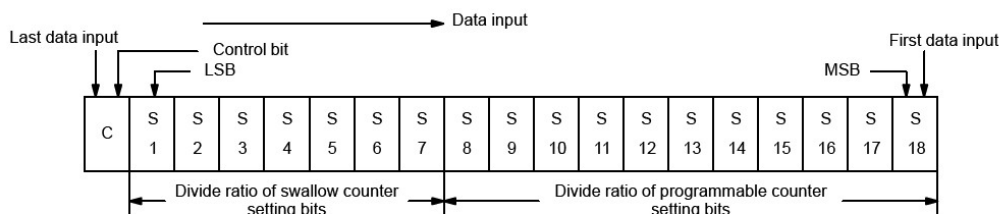
① 14-BIT PROGRAMMABLE REFERENCE COUNTER DIVIDE RATIO

Divide ratio R	S 14	S 13	S 12	S 11	S 10	S 9	S 8	S 7	S 6	S 5	S 4	S 3	S 2	S 1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16383	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Divide ratio less than 8 is prohibited
Divide ratio R: 8 to 16383

图 2: 参考分频器数据图

图 2 中, SW 为前置双模分频器的分频比控制位。当 SW=1, 分频比为 32/33。当 SW=0, 分频比为 64/65。S1~S14 为参考频率分频器的分频比 (R) 的二进制值, 该值的范围为 8~16383 (R 小于 8 分频器将出现错误), S1 对应 14 位数据的最低位, S14 对应 14 位数据的最高位。C 位为串行数据控制位, 当输入参考频率分频器控制数据时, C=1。数据输入时由 SW 位开始输入, 结束于 C 位。



② 7-BIT SWALLOW COUNTER DIVIDE RATIO

Divide ratio A	S 7	S 6	S 5	S 4	S 3	S 2	S 1
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
•	•	•	•	•	•	•	•
63	0	1	1	1	1	1	1

Divide ratio A : 0 to 63

③ 11-BIT PROGRAMMABLE COUNTER DIVIDE RATIO

Divide ratio N	S 18	S 17	S 16	S 15	S 14	S 13	S 12	S 11	S 10	S 9	S 8
16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2047	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Divide ratio less than 16 is prohibited
Divide ratio N : 16 to 2047

图 3: 可编程分频器数据图

图 3 中, S1~S7 为 A 计数器的数据位, 该值的范围为 0~63, S1 对应 A 计数器数据的最低位, S7 对应 A 计数器数据的最高位, S8~S18 为 N 计数器的数据位, 该值的范围为

16~2047 (N 值小于 16 分频器将出现错误) S8 对应 N 计数器数据的最低位, S18 对应 N 计数器数据的最高位。在进行分频比的设定值中, A 计数器的只能小于 N 计数器的值, 否则电路不能正常工作, C 位为串行数据控制位, 当输入可编程分频器控制数据时, C=0。数据由 S18 位开始输入, 结束于 C 位。

锁相环的输出频率 f_{vco} 的计算公式为:

$$f_{vco} = (PN + A) f_{osc} / R \quad (N > A)$$

式中, f_{osc} 为外接晶体振荡器输入参考频率; P 为前置分频器的分频比。

SERIAL DATA INPUT TIMING

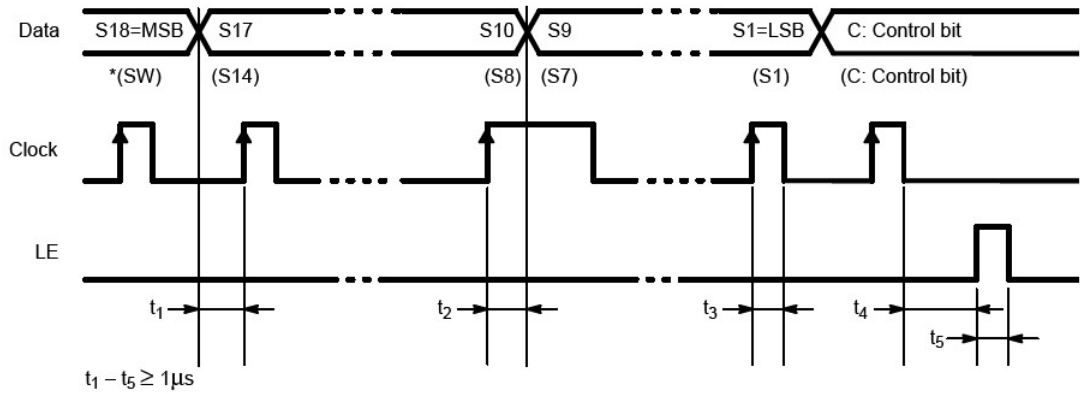


图 4: 串行数据时序图

图 4 为 MB1504 的串行数据输入时序图, 其中, Clock 为时钟信号输入端, Data 为数据信号输入端。LE 为数据锁存使能信号输入端。信号是串行输入的, 即每输入一个时钟脉冲到 Clock 脚, 就有一位数据从 Data 脚送入 MB1504 芯片内的移位寄存器, 并由 LE 信号控制锁存。当 LE 为高电平时, 储存在移位寄存器内的数据被锁存到相应的锁存器中。

VCO CHARACTERISTICS

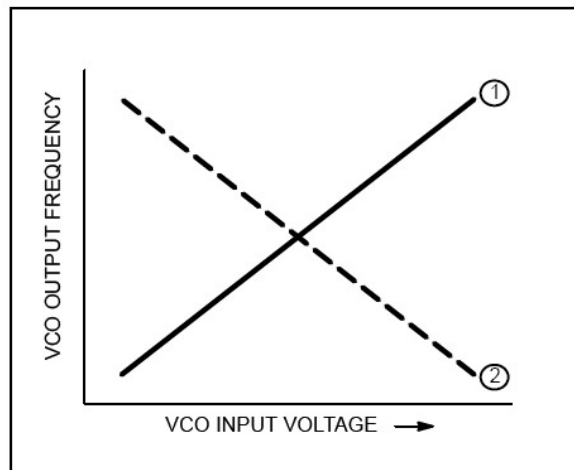


图 5：压控振荡器特性图

图 5 为所控制压控振荡器的特性图，当压控振荡器的特性如图 5 中斜线 1 所示，即振荡频率随控制电压升高而升高，则 FC（引脚 12）应置高电平或悬空。当压控振荡器的特性如图 5 中虚斜线 2 所示，即振荡频率随控制电压升高而降低，则 FC 应置低电平或接地。

实战 MB1504！

本文介绍频率合成器的频率范围 f_{vco} 为 80~110 MHz，频率步进为 100 kHz。VCO 振荡频率用 LCD 显示。由中断直接进入的两个预设频率分别为 95.0MHz 和 103.0MHz，用于锁相环的调试，也可用于预存频率快速切入，可通过修改中断服务子程序来简单修改。参考振荡器的振荡频率 $f_{osc}=12.80\text{MHz}$ ，参考频率 $f_r=25\text{kHz}$ ，所以参考分频比 R 为： $f_{osc}/f_r=512$ ，这里采用的前置分频比为 32/33，即 $P=32$ ，并由此可得：当 $f_{vco}=80\text{MHz}$ 时 $N=100$ ， $A=0$ 。当 $f_{vco}=110\text{MHz}$ 时 $N=137$ ， $A=16$ 。这样，改变 N 和 A ，就可以改变压控振荡器的频率输出值。

本实验的锁相环电路见图 6，MB1504 采用 PDF 资料中给出的标准应用，VCO 电路采用了克拉拨振荡器加一级射随器构成的振荡器，Q1 及外围元件 L1，C14，C15，C16，C17，Dv1，R8，R10 构成克拉拨振荡电路，克拉拨振荡电路振荡频率比较稳定，它是考毕兹振荡电路的改进型电路，由于 C14 的存在且其容量远小于 C15 和 C16，使得三极管的结电容 C_{be} ， C_{bc} ， C_{ce} 的变化对振荡频率的影响变得很小，所以克拉拨振荡电路的频率稳定性比较好，其等效电路见图 7，振荡频率由以下公式决定：

$$f_{vco} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L1 \left(Cdv + \frac{1}{\frac{1}{C14} + \frac{1}{C15} + \frac{1}{C16}} \right)}}$$

Q2 构成的射极跟随器主要起降低输出阻抗并减小后级电路对振荡电路的影响。振荡电路中还加上了由 Dv2，C13，R7 等构成的调制电路，如果将该电路用于调频发射器的振荡器或无线话筒电路时，可将音频信号从“调制信号输入”端口输入对振荡频率进行调频调制，如将该电路作为信号源或调频收音机中的本机振荡器用，则将该电路去掉即可。为了以后使用的方便，所以未将锁相环电路与单片机电路做在一起，而是将锁相环电路与单片机控制电路分别做成了模块，见实物图 1，2。锁相环模块的 PCB 见图 8，实际尺寸为 4.5CM*5CM。实物图 3 是将锁相环模块与单片机模块连接在一起。

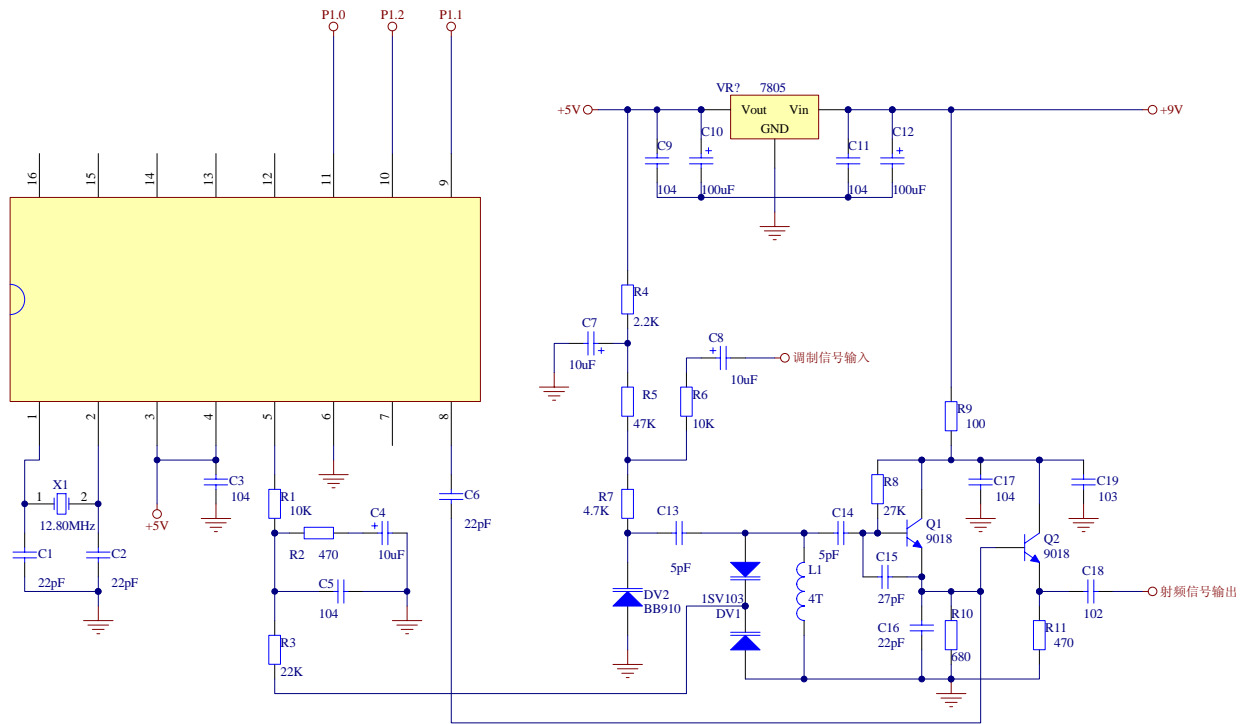


图 6: 锁相环电路

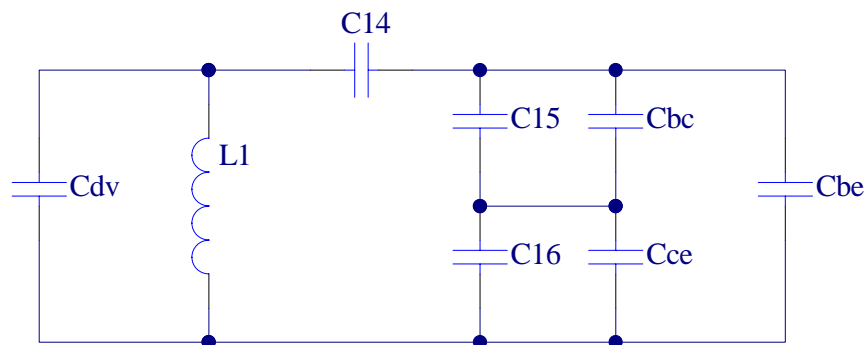


图 7: 克拉拨振荡电路等效图

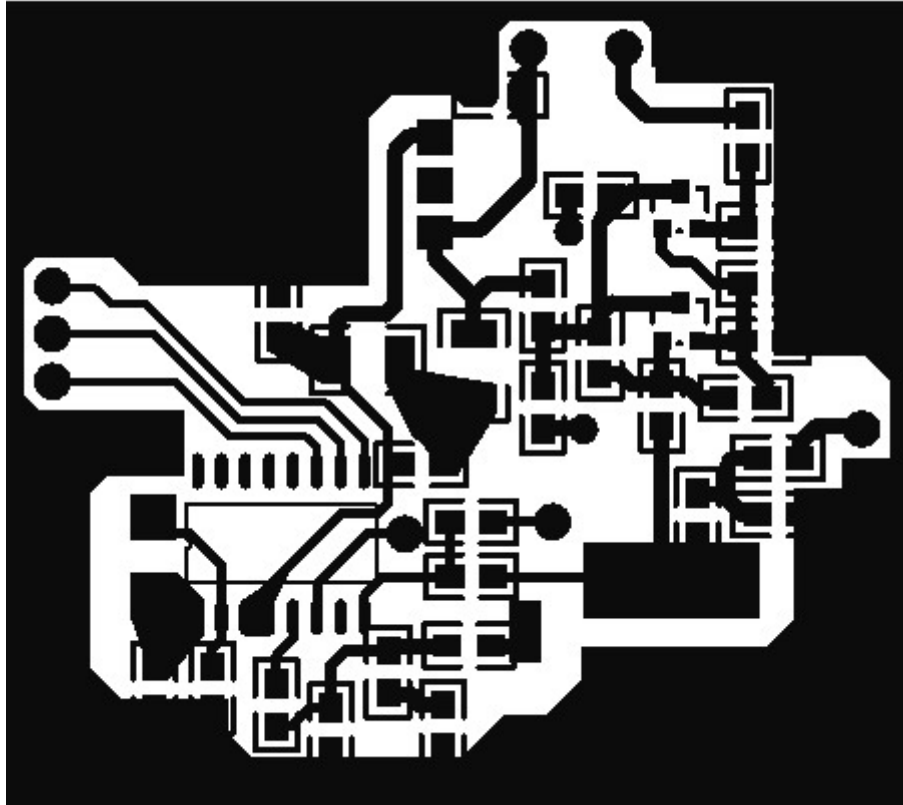


图 8：锁相环模块 PCB

单片机控制电路见图 9，单片机采用 AT89S52，电路为最小化应用电路。P0 口和 P3.4，P3.5，P3.6 作为 LCM1602 液晶显示器驱动用。P3.0，P3.1，P3.2，P3.3 四个口分别接 S1，S2，S3，S4 四个轻触按键，S1，S2 为频率步进控制键，S3，S4 为两个预置频率快速切入键。P1.0，P1.1，P1.2 作为与 MB1504 的通信端口，用于传送频率控制数据，P2.0 用于控制液晶显示器背光的开关，开启背光须多耗电约 50mA。单片机采用 12MHz 晶振。单片机控制电路的 PCB 见图 10，实际尺寸为 6CM*10CM。

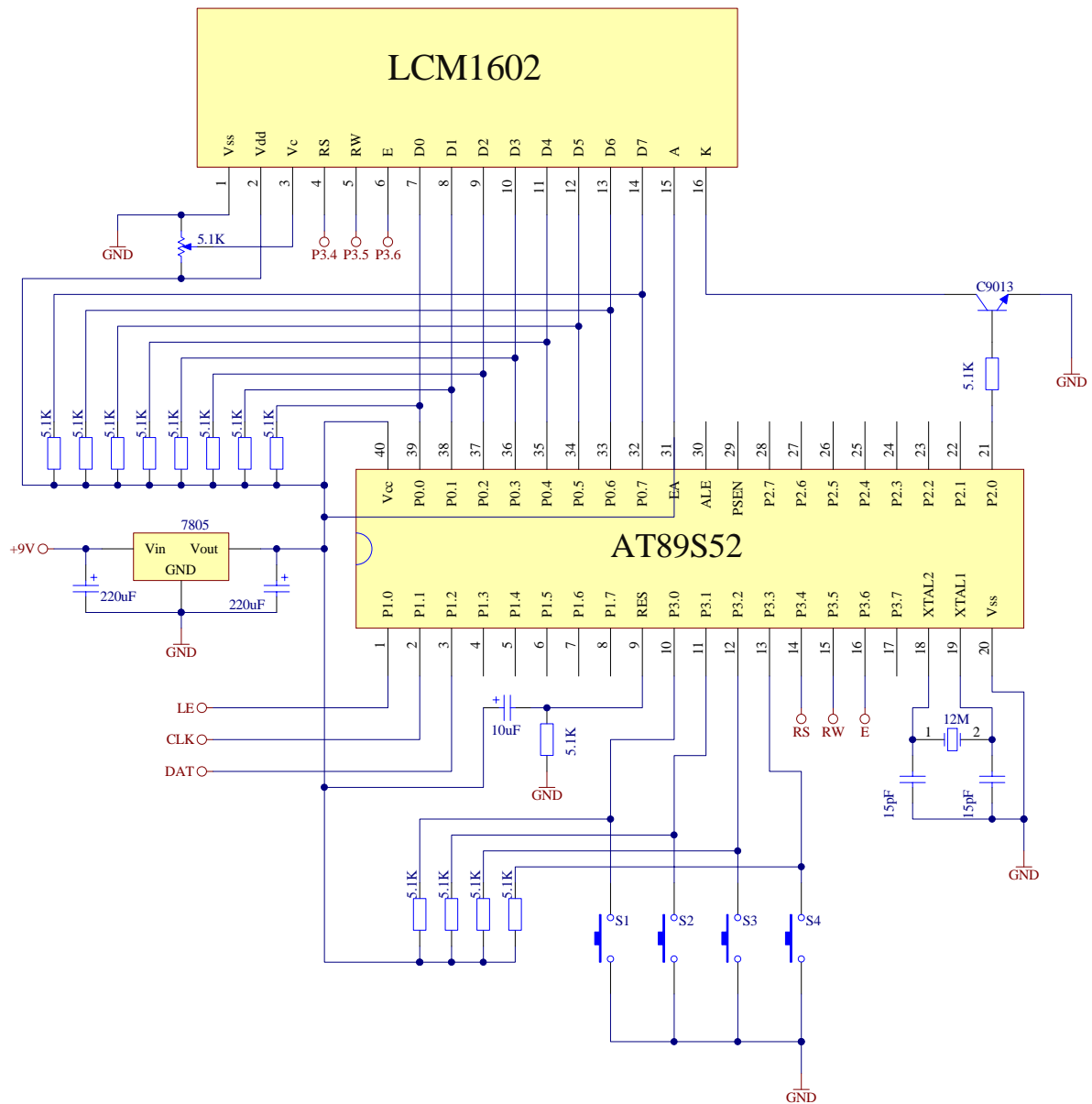


图9：单片机控制电路

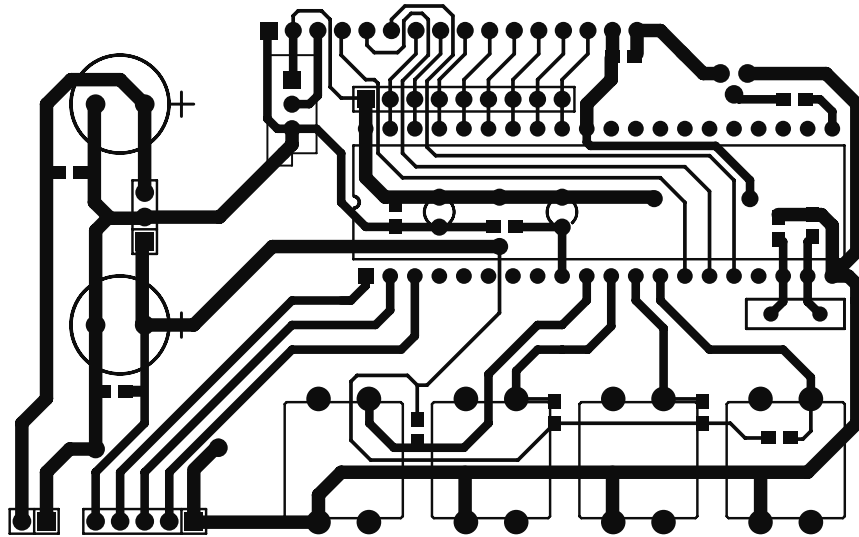


图 10: 单片机控制电路 PCB

程序的编写:

对程序的编写,限于篇幅,就比较重点的三个子程序进行详细的叙述与分析,整个实验的完整程序见附件的源程序。

在本实验中, N 计数器与 A 计数器中的最大值都小于 255, 所以将 21H 和 22H 两个字节的内存分别用于存放 N 计数器的值与 A 计数器的值, 命名为 CON 和 COA。因为要求锁相环频率合成器的步进频率为 100KHz, 而在这个输出频率范围内只有将参考频率设为 25KHz 才能连续步进(如果将参考频率设为 50KHz 或 100KHz, 通过计算得出在某一段频率范围内 $N < 32$, 则在某些频率上会出现 $N < A$ 的情况, 故电路不能正常工作, 所以将参考频率设定为 25KHz), 所以每步进一次要对 A 加 4, 即将 COA 中的值加 4, 但又由于前置双模分频器的分频比 $P=32$, COA 中的值要逢 32 给 CON 中的值加 1, 而将 COA 中的值清零, 如果 COA 中的值大于 31, 锁相环将出现错误。故给 COA 直接加 4 很难处理进位问题, 所以把加 4 的操作分为 4 个加 1 的操作, 在每次加 1 前判断 COA 中的值是否为 31, 若不为 31 则加 1, 若为 31 则给 CON 加 1, 而将 COA 清零。具体见下面的“加 4 子程序”。

加 4 子程序:

```
INCO:  MOV A,COA
        CJNE A,#16,INC1
        MOV A,CON
```

```

CJNE A,#137,INC1
MOV CON,#100
MOV COA,#00      ; 检测当前的工作频率是否为最高频率 110MHz，若不是则
LCALL OUTPUT     ; 进行加 4 操作，若是则直接将最低频率数据送入锁相环
LJMP SWEEP       ; 芯片以实现频率步进的循环。
INC1: MOV R7,#4   ; 将要加 1 的次数 4 放入 R7
A1: MOV A,COA
CJNE A,#31,A2
MOV COA,#00      ; 检测 COA 中的值是否为 31，若不为 31 则给 COA 加 1，
INC CON         ; 若为 31 则给 COA 清零，给 CON 加 1。
AJMP A3
A2: INC COA
A3: DJNZ R7,A1   ; 实现 4 次加 1 循环
LCALL OUTPUT     ; 调用写数据子程序
LJMP SWEEP       ; 跳回主循环

```

相应的把减 4 的操作也分为 4 个减 1 的操作，在每次减 1 前判断 COA 中的值是否为 0，若不为 0 则减 1，若为 0 则给 CON 减 1，而给 COA 赋值 31。具体见下面的“减 4 子程序”。

减 4 子程序：

```

DEC0: MOV A,COA
CJNE A,#00,DEC1
MOV A,CON
CJNE A,#100,DEC1
MOV CON,#137
MOV COA,#16      ; 检测当前的工作频率是否为最低频率 80MHz，若不是则
LCALL OUTPUT     ; 进行减 4 操作，若是则直接将最高频率数据送入锁相环
LJMP SWEEP       ; 芯片以实现频率步进的循环。
DEC1: MOV R7,#4   ; 将要减 1 的次数 4 放入 R7
B1: MOV A,COA

```

CJNE A,#0,B2

MOV COA,#31 ; 检测 COA 中的值是否为 0, 若不为 0 则给 COA 减 1,

DEC CON ; 若为 0 则给 COA 赋值 31, 给 CON 减 1。

AJMP B3

B2: DEC COA

B3: DJNZ R7,B1 ; 实现 4 次减 1 循环

LCALL OUTPUT ; 调用写数据子程序

LJMP SWEEP ; 跳回主程序

由于 N 计数器的值在最高频率 (110MHz) 时为 137, 未超过 255, 所以 N 计数器的 11 位数据中的高 3 位始终为 0, 所以将其作为一个常数放在发送数据的循环中, 以简化程序的设计, 每次送数据时只须装入低 8 位即可, 即 CON 中的数据。COA 中的数据最大为 31, 所以 COA 中的最高位始终为 0, 而发送可编程分频器的数据时 C=0, C 位与 S1~S7 共为 8 位, 所以在送数之前将 COA 中的数进行一次左移, 则刚好将 COA 的最高位 0 移到最低位, 将 S1~S7 统一移高一位, 正好符合 7 位 A 计数器数据与 C 控制位的送数顺序要求。具体程序见下面的送数子程序。

送数子程序:

OUTPUT: CLR LE

CLR CLK

CLR DAT ; 清 3 位数据端, 数据端口已在程序开始时定义

MOV A,#10000100B

LCALL PUT

MOV A,#00000001B

LCALL PUT ; 将参考分频器的分频数值送入锁相环芯片

CLR DAT ; 清数据位

CLR CLK ; 清时钟位

SETB LE ; LE 使能上升延锁存数据

NOP

NOP

```

NOP
NOP          ; 延时 4 微秒
CLR LE      ; LE 使能清零
MOV A,#00000000B
LCALL PUT3  ; 调用 3 位数据发送子程序
MOV A,CON   ; 将 CON 中的值送入 A
LCALL PUT   ; 调用 8 位数据发送子程序
MOV A,COA   ; 将 COA 中的值送入 A
RL A        ; 调整数据输入时序
LCALL PUT   ; 将可编程分频器的数值送入锁相环芯片
CLR DAT     ; 清数据位
CLR CLK     ; 清时钟位
SETB LE    ; LE 使能上升延锁存数据
NOP
NOP
NOP
NOP          ; 延时 4 微秒
CLR LE     ; LE 使能清零
RET        ; 返回主程序
PUT:      MOV R3,#8      ; 将一次发送的位数 8 装入 R3
          CLR C          ; 清 C 位
PUT1:    RLC A          ; 将累加器 A 中数据左移进 C 位
          MOV DAT,C     ; 将数据送入时钟端
NOP
NOP
NOP
NOP          ; 延时 4 微秒
SETB CLK   ; 时钟上升延写入数据

```

```

NOP

NOP

NOP

NOP          ; 延时 4 微秒

CLR CLK      ; 清时钟位

DJNZ R3,PUT1 ; 判断 8 位数据是否发送完

RET

PUT3:  MOV R3,#3      ; 将一次发送的位数 3 装入 R3

      CLR C          ; 清 C 位

PUT13: RLC A          ; 将累加器 A 中数据左移进 C 位

      MOV DAT,C      ; 将数据送入时钟端

NOP

NOP

NOP

NOP          ; 延时 4 微秒

SETB CLK     ; 时钟上升延写入数据

NOP

NOP

NOP

NOP          ; 延时 4 微秒

CLR CLK      ; 清时钟位

DJNZ R3,PUT13 ; 判断 3 位数据是否发送完毕

RET

```

该送数子程序稍加修改还可以用于别的用串行方式控制的芯片，其实在编写过一定单片机程序后，编写新的程序很多时候都是将以前编的程序“拆东墙补西墙”，“东拼西凑”得来的。所以在单片机的学习中注意收集有用的子程序对以后编写程序是非常有用的。

元件选择及电路的调试：

该模块所选的电子元件以贴片元件为主，因为用贴片元件不仅可以减少印刷版的面积，

而且还省却打孔的麻烦，还有一点就是贴片元件的引脚都很短，所以在高频电路中应用可以将分布参数控制得很好。

电阻以及瓷片电容用 0805 封装的贴片电阻电容，电解电容用 1210 封装的钽电解电容，MB1504 也用贴片封装，压控振荡器用的两个三极管 Q1，Q2 用贴片封装的 C9018，如实物图所示。贴片电路焊接时需要细心一点，焊接时先将电路板处理干净，给一个焊盘镀上锡，将贴片元件先按住，然后将焊盘镀锡一边焊住，然后再焊另一边。对于贴片集成电路的焊接，因为引脚比较多而且比较密所以焊接时容易因焊锡较多而造成短路，这时只要用浸上松香的铜编织网将多余的焊锡吸掉就行，操作并不难，但要细心，多练习及次很容易掌握。

因为单片机控制电路几乎不需调试，所以只对锁相环电路的调试进行简要介绍。

锁相环模块电路装好后只需对压控振荡器在中心频率时的控制电压调整到锁相环输出控制电压的一半，该电路中，锁相环输出控制电压最高为 4.8V，振荡器的中心控制频率为 95MHz，所以将锁定频率调整到 95MHz 然后用万用表测量控制电压，拨动空心线圈 L1，使控制电压为 2.4V 左右。然后给空心线圈中种塞入海绵，用高频石蜡封好，避免因电路板振动导致空心线圈振动引起的调制，见实物图 4。

至此，该锁相环频率合成器模块就做完了，该模块不仅有一定的实用性而且通过该模块的制作可以基本掌握串行锁相环的使用方法以及程序编写方法，其实所有的串行锁相环芯片的应用是大同小异的，只要掌握基本方法玩转其他芯片易如反掌。

作者姓名： 魏 坤

电 话： 13619247705

地 址： 陕西省西安市长安区西北工业大学沣河校区

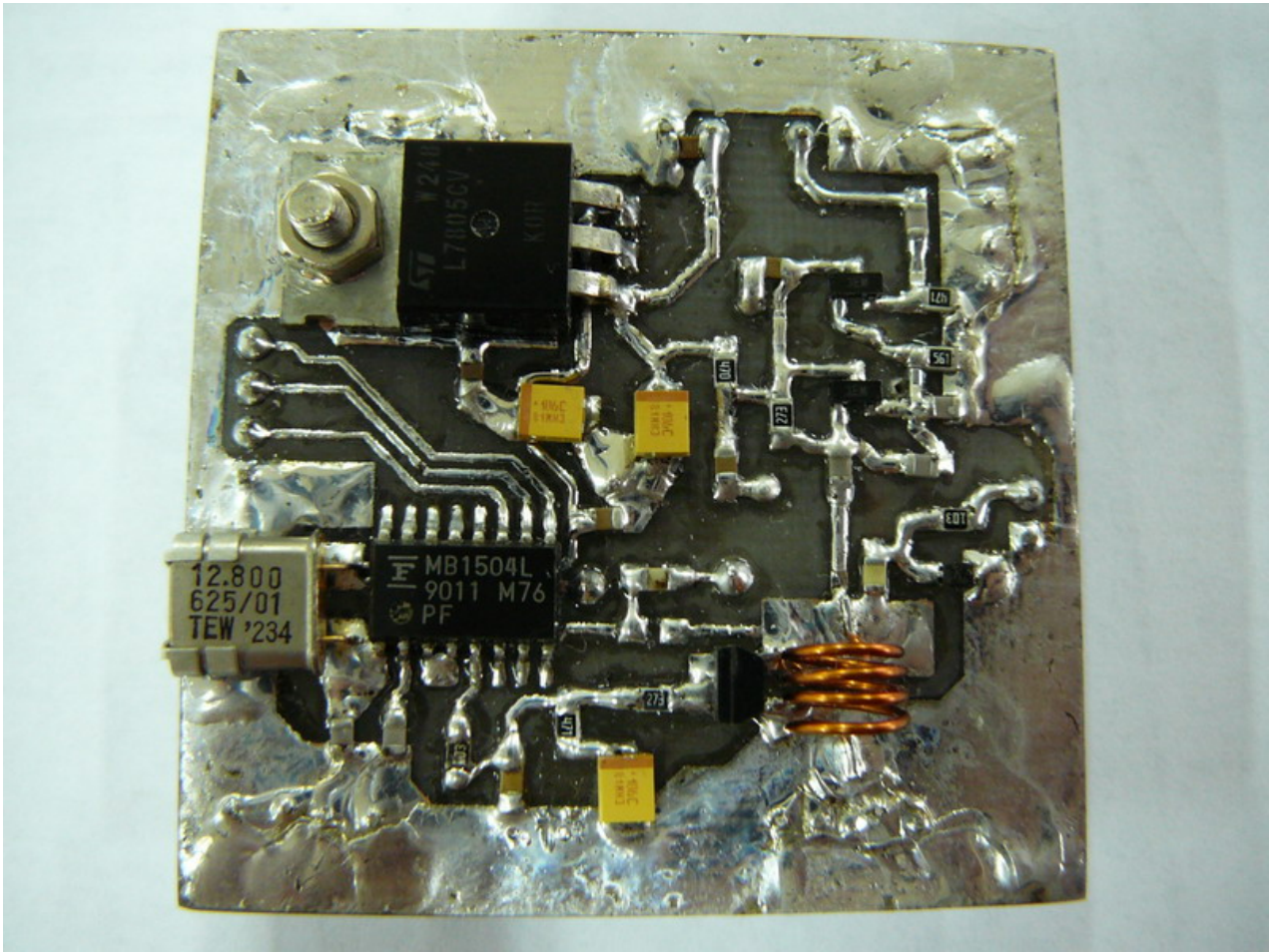
电子信息工程系 123601 班

邮 编： 710124

电子邮件： kunnnsd@126.com

注：实物图在第 15 页以后的附页中

附页：

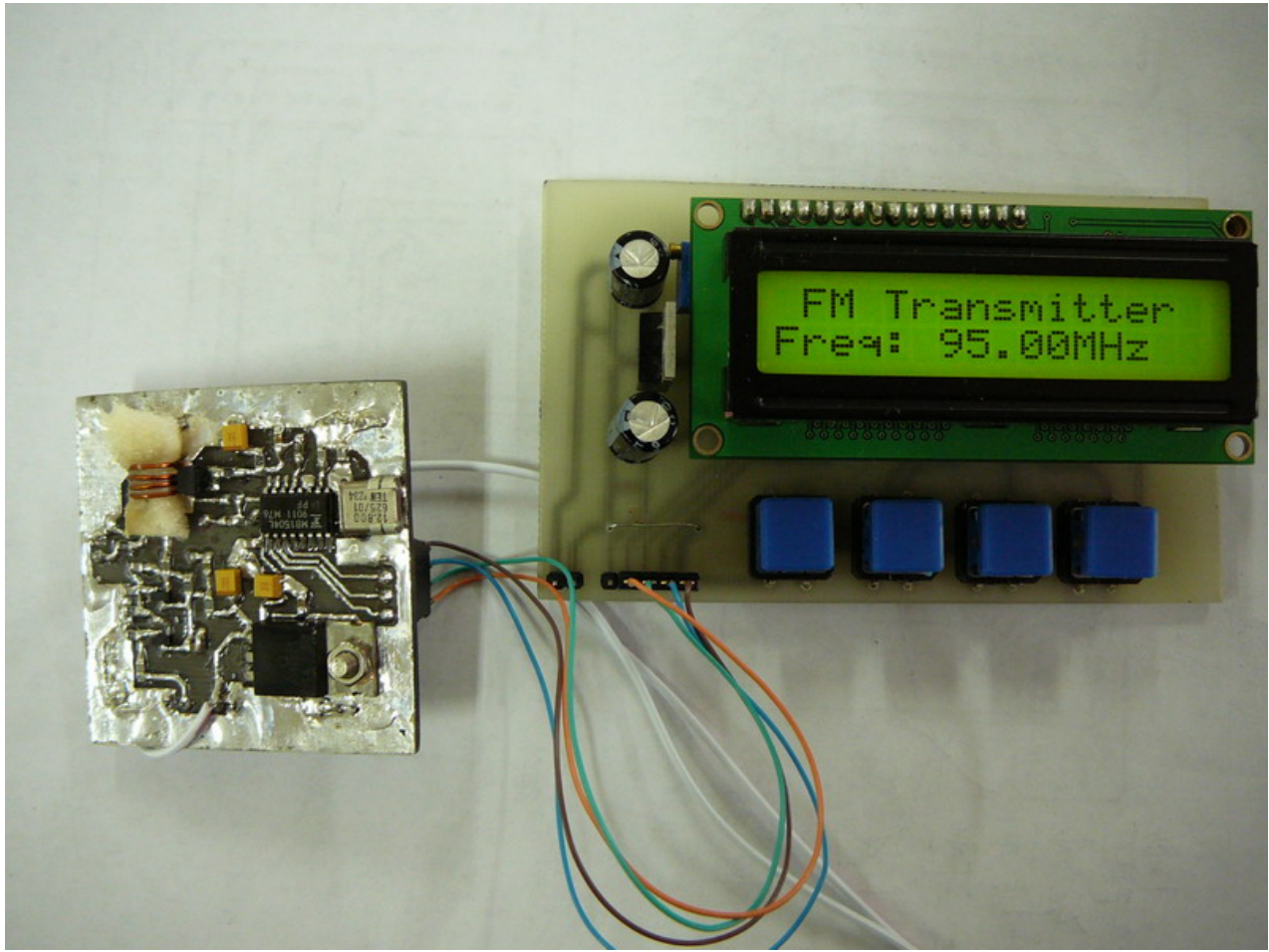


实物图 1-锁相环模块

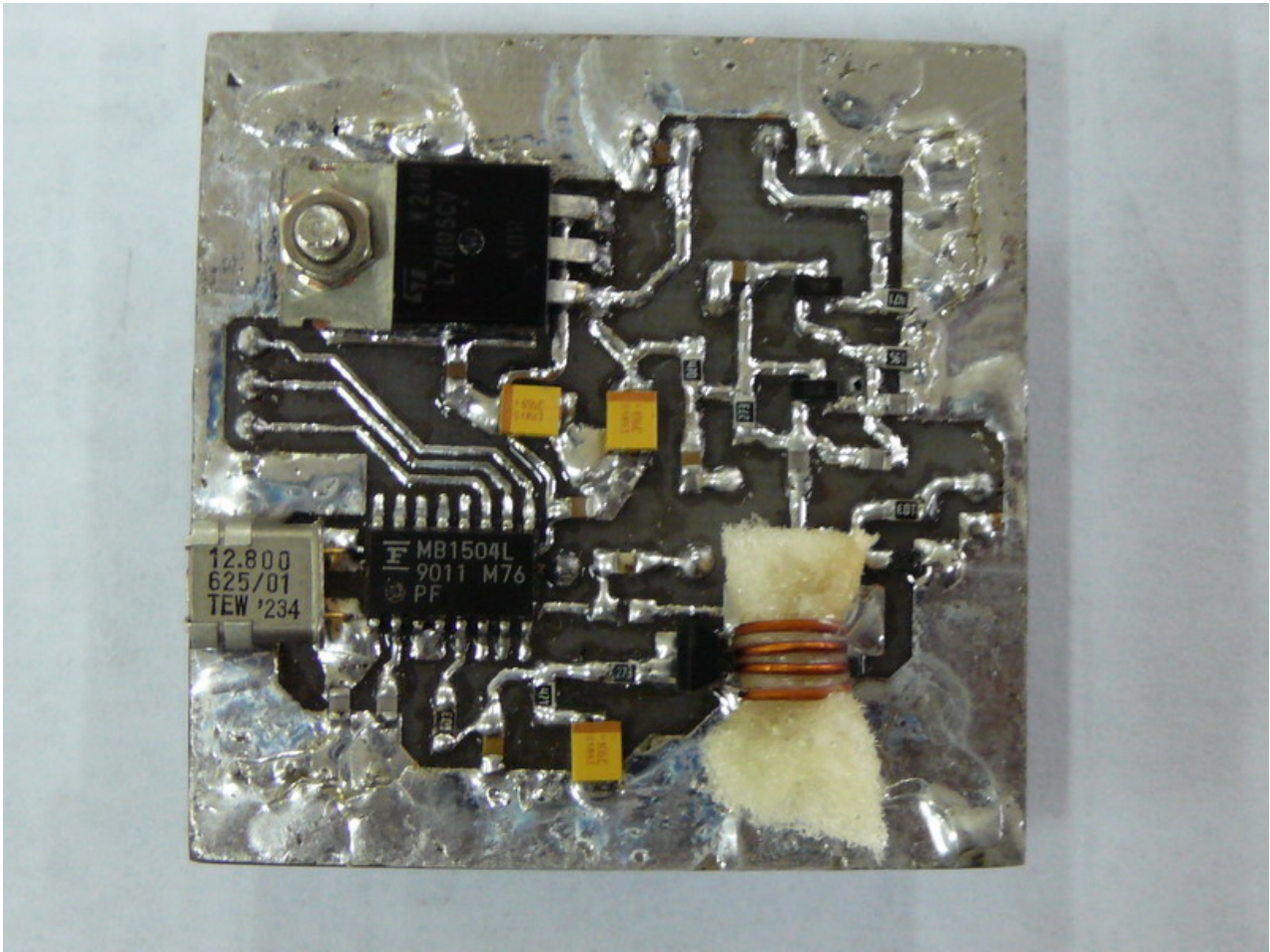
(在业余条件下制作电路板为了防止电路板氧化所以采用镀锡处理，如实物图 1 的效果，这样虽然影响美观，但这样的处理不仅能防止电路板氧化而且增加了导电性，有助于提高电路的可靠性。)



实物图 2-单片机控制电路模块



实物图 3-单片机模块与锁相环模块连接



实物图 4-用石蜡封住线圈

魏 坤

2008 06 03