

中国传媒大学电子设计竞赛设计报告

设计题目：低功耗 FM 无线话筒

设计人员：杨程程

学号：200810113085

院系：信息工程学院电子信息工程系

专业：08 电子信息工程

辅导教师：卢起斌 赵宇

摘要

本设计无线话筒的制作运用了线性电路和非线性电路所学知识。通过简单少量的元器件搭建、调试，可以将声音转换成 88~108MHz 的无线电波发射出去，距离可达 30 米以上，在频谱仪上可以看到相应的信号频谱，用普通调频收音机调到相应频点可以收听到，实现了无线话筒功能，且电路具有功耗较低的优点。

关键词：调频 低功耗 无线话筒

目录

摘要.....	2
一、方案简介.....	4
二、电路设计和信号频谱	5
三、电路原理与参数计算	8
四、实验步骤.....	12
五、后记.....	14
六、参考文献.....	14
七、具体实施日程	14

一、方案简介

1. 方案简介

电路以线性与非线性电路知识为基础，设计了包括声音拾取，声电转换电路，高频振荡和调制电路，缓冲放大电路，电源组成。

话筒输出的音频信号通过频率调制（FM: Frequency Modulation）电路变换为 FM 波。FM 波再进一步经过高频放大电路（RF AMP: Radio Frequency AMP）进行功率放大，就可以作为电波由天线发射出去，将收音机调到相应频点便能收听到。

2. 框架图

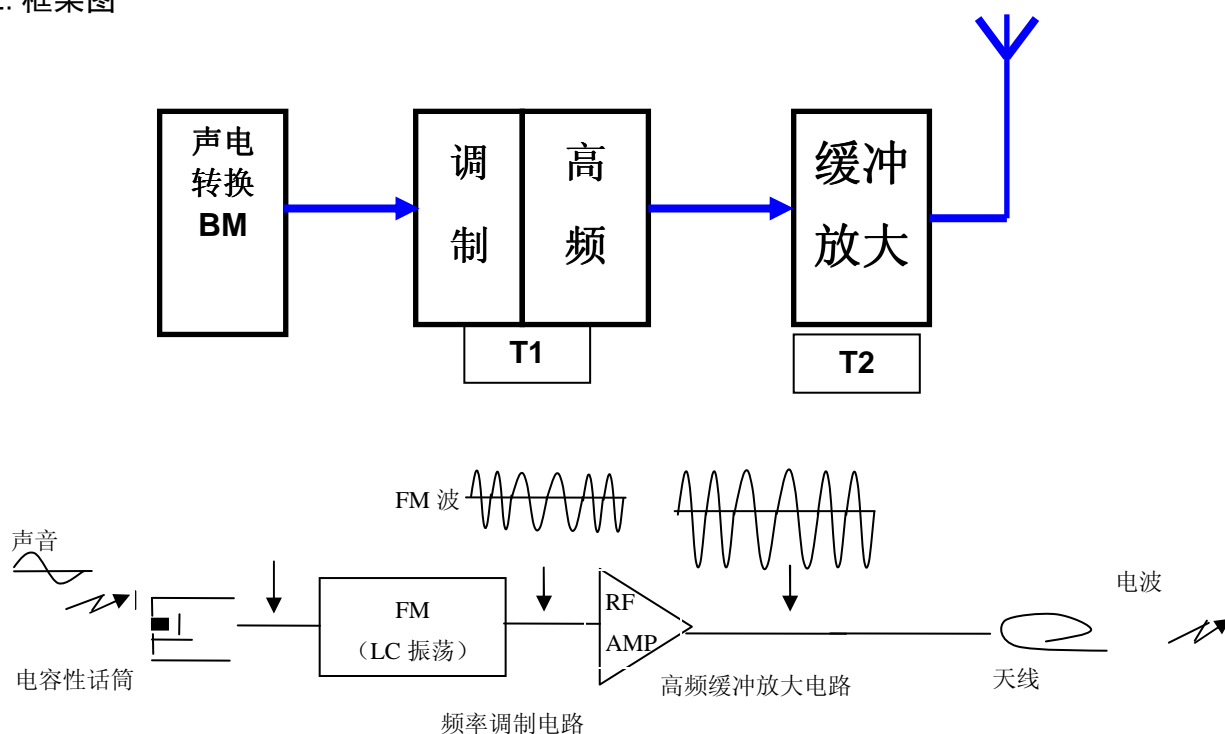


图 1. 设计构架图

二、电路设计和信号频谱

1. 原理图设计

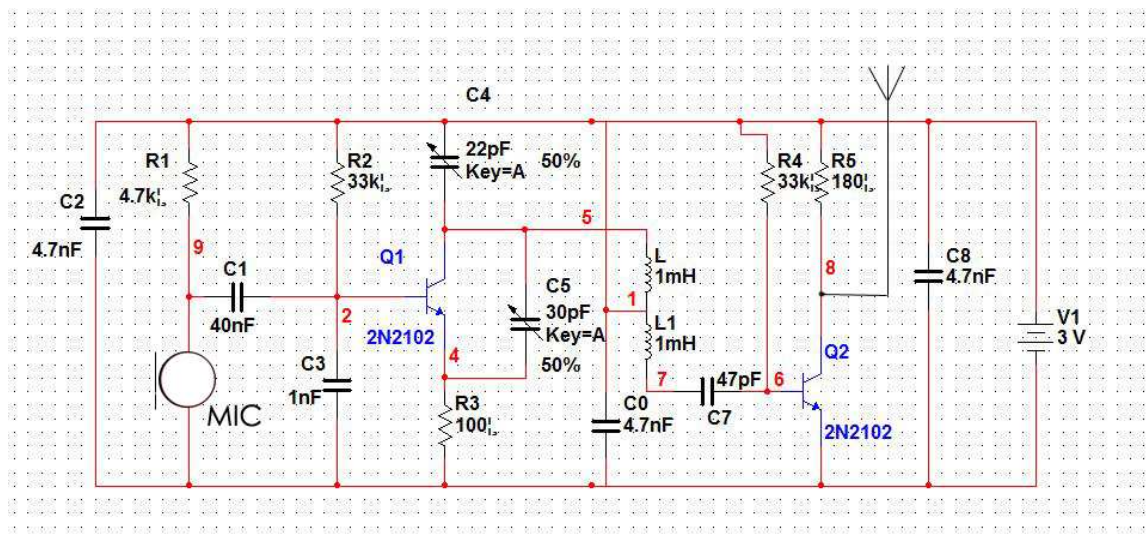


图 2. multism 设计电路图

2. 搭建原型电路，测试静态工作点

在搭建原型电路时确保元件间的排列保横平竖直，且减少导线数量，元件贴在面包板表面，管脚尽量短，避免信号受到分布电容电感的影响，或是在立起的管脚上对外辐射而衰减。

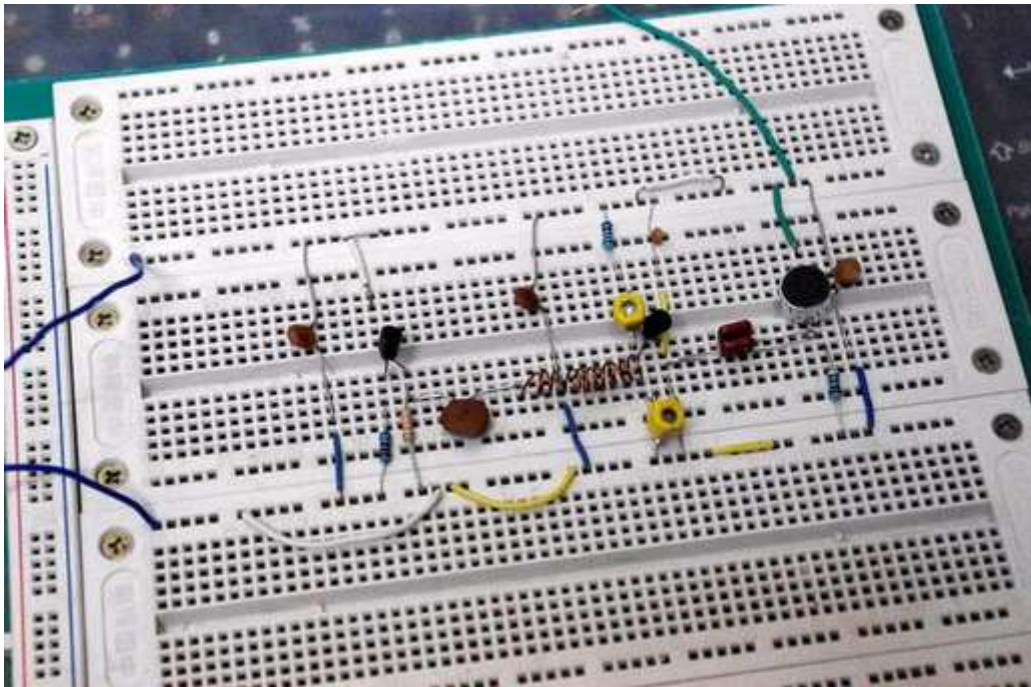


图 3. 面包板试搭电路

3. 在多孔实验板上焊接电路

在面包板上验证原型电路的功能后，在多孔实验板上进行作品实物的焊接制作。器件尽量均匀分布，充分利用实验板上三孔的连接性，减少辅助导线数量。

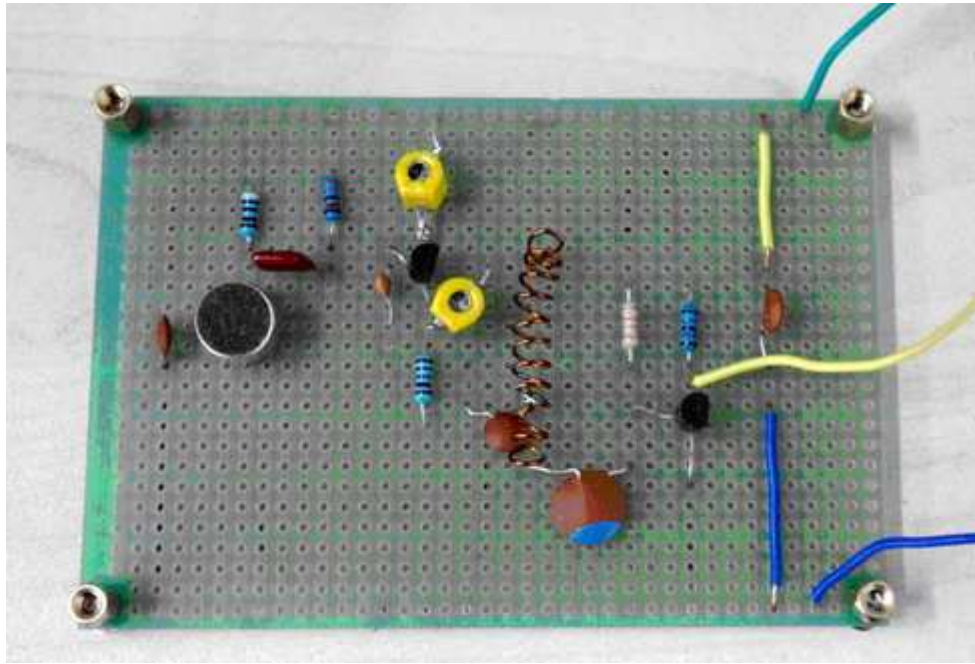


图 4. 多孔实验板焊接电路

4. PCB 板背面

电路连接上使用不同颜色的导线区分其信号性质，便于检查和排除错误。红线代表连接到电源正极，蓝线代表连接到电源负极，其他连接为黄色。尽量使导线都顺直，贴于表面。

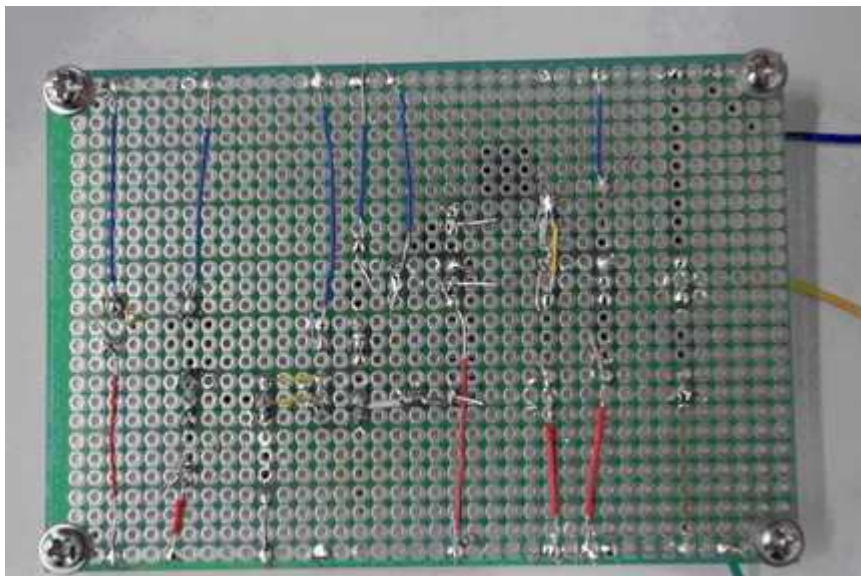


图 5. 多孔实验板背面

5. 频率设定

通过调整电感和可调电容，使得信号频率稳定在 88~108MHz 范围，我选择了 89MHz，通过频谱分析仪观察和设定频率。

(1) 初步观测频谱，确定电路能够起振且频率落在 FM 广播频段内。

频谱仪参数设置：

中心频率：FREQ 100MHz

扫频范围：SPAN 200MHz

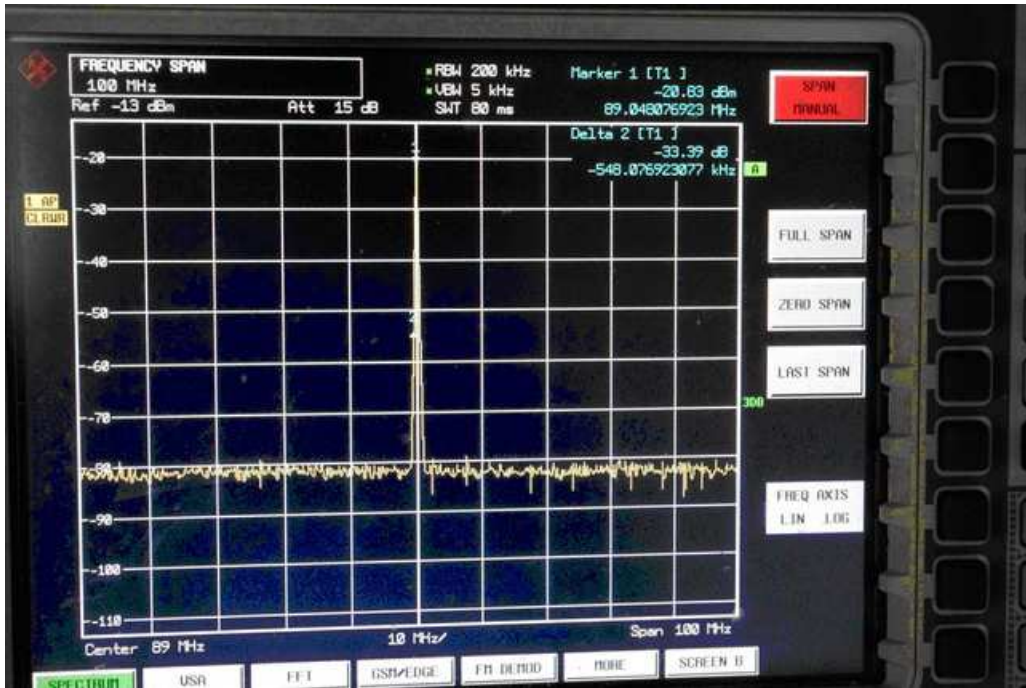


图 6. 频谱仪分析图 (FRE=100MHz, SPAN=200MHz)

(2) 逐步减小观察范围。
 频谱仪参数设置：
 中心频率：FREQ 88MHz
 扫频范围：SPAN 10MHz

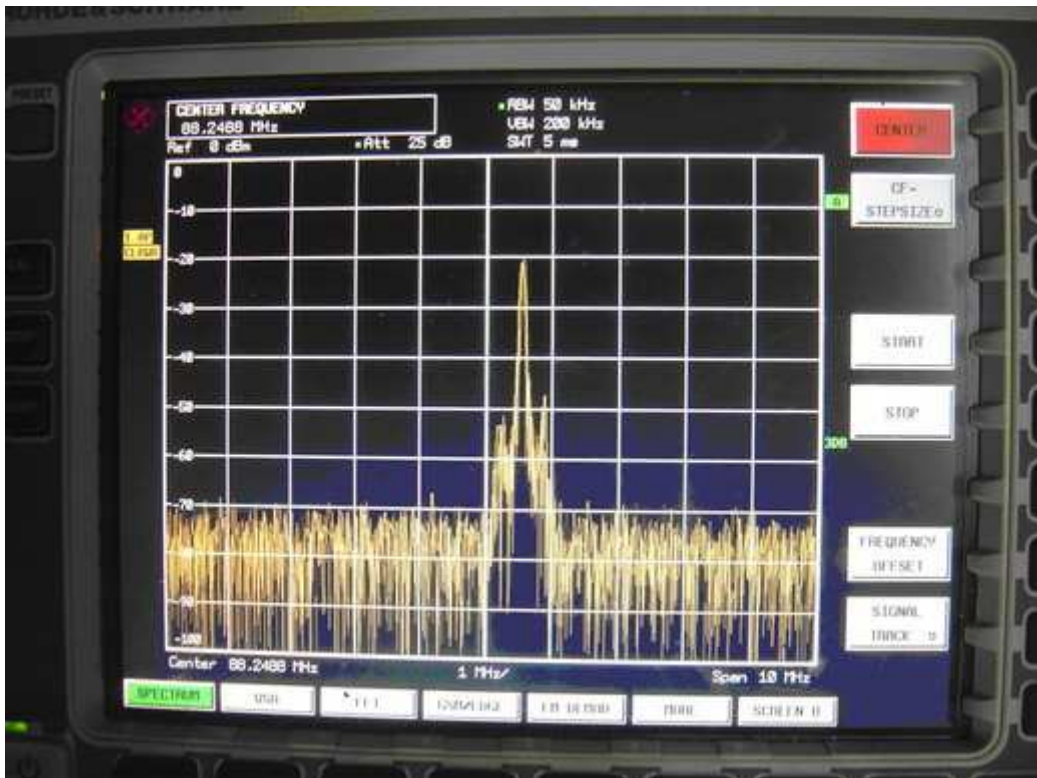


图 7. 频谱仪分析图 (FRE=88MHz, SPAN=10MHz)

(3)调频效果的体现。

将 SPAN 改为 1MHz，对着话筒说话，应该能看到信号的频谱会左右移动。

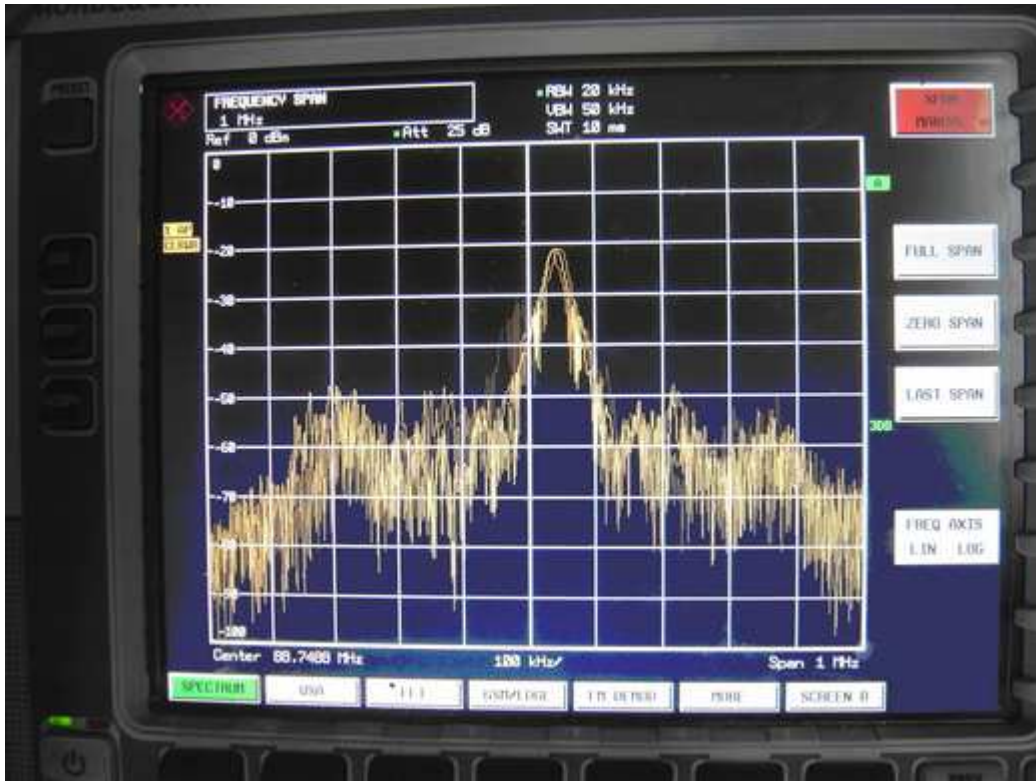


图 8. 频谱仪分析图 (FRE=89MHz, SPAN=1MHz)

三、电路原理与参数计算

1.频率调制的原理 (FM)

用调制信号去控制高频载波的频率称为调频 (FM)。调频信号的时域分析：设高频载波为

$$v_c(t) = V_{cm} \cos \omega_c t \quad (1)$$

为简单起见，假设调制信号为单音，其表达式为

$$v_\Omega(t) = V_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (2)$$

调频定义为高频载波的瞬时频率随低频调制信号的变化规律而变化，则有

$$\omega(t) = \omega_c + k_f v_\Omega(t) = \omega_c + k_f V_{\Omega m} \cos \Omega t = \omega_c + \Delta \omega_m \cos \Omega t \quad (3)$$

k_f 是由电路决定的常数。三个频率量，一是载频 ω_c ，它是没有受调制时的载波频率。二是最大频偏 $\Delta \omega_m = k_f V_{\Omega m}$ ，它表示瞬时频率对载频 ω_c 的最大偏移，它是瞬时频率摆动的幅度。电路决定后，它仅取决于调制信号的幅度大小，而与调制信号的频率无关。三是调制频率 Ω ，它表示了受调制的信号的瞬时频率变化的快慢，一般满足 $\Omega \ll \omega_c$ 和 $\Delta \omega_m \ll \omega_c$ 。

由于瞬时角频率 $\omega(t)$ 与瞬时相位 $\Phi(t)$ 的关系为

$$\Phi(t) = \int \omega(t) dt \quad (4)$$

调频波的相位变化规律为

$$\varphi(t) = \int \omega(t) dt = \int (\omega_c + k_f V_{\Omega m} \cos \Omega t) dt = \omega_c t + \frac{k_f V_{\Omega m}}{\Omega} \sin \Omega t \quad (5)$$

其中调频波的相位变化与调制信号的积分成反比，最大相移为 $\Delta\varphi_m = \Delta\omega_m / \Omega$ ，它不仅与调制信号的幅度有关，而且反比于调制信号的频率。因此，调频波的表达式为

$$v(t) = V_{cm} \cos \varphi(t) = V_{cm} \cos \left(\omega_c t + \frac{k_f V_{\Omega m}}{\Omega} \sin \Omega t \right) \quad (6)$$

定义最大相移 $\Delta\varphi_m$ 为调频指数 m_f ，即

$$m_f = \frac{\Delta\omega_m}{\Omega} \quad (7)$$

因而调频波又可写为

$$v(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t + m_f \sin \Omega t) \quad (8)$$

根据调频波的定义，调频波的瞬时频率与调制信号成正比。

2.FM 调频话筒的电路设计

晶体管 T1 和其周围的电路构成高频振荡器，振荡频率由 L、C4、C5、T1 的结电容决定。

加至 T1 管基极的音频信号电压，会使 c-b 结电容随它变化，从而实现调频。C4 可改变中心频率的选择(88~108MHz)。

T1 输出调频信号，通过 C7 耦合到 T2 管的基极，经过 T2 管放大后从天线辐射出去。T2 管构成高频放大器，还有缓冲作用，隔离了天线对高频振荡器的影响，使振荡频率更加稳定。

C1 作为耦合电容，隔直流,将信号耦合到 T1 的基极。

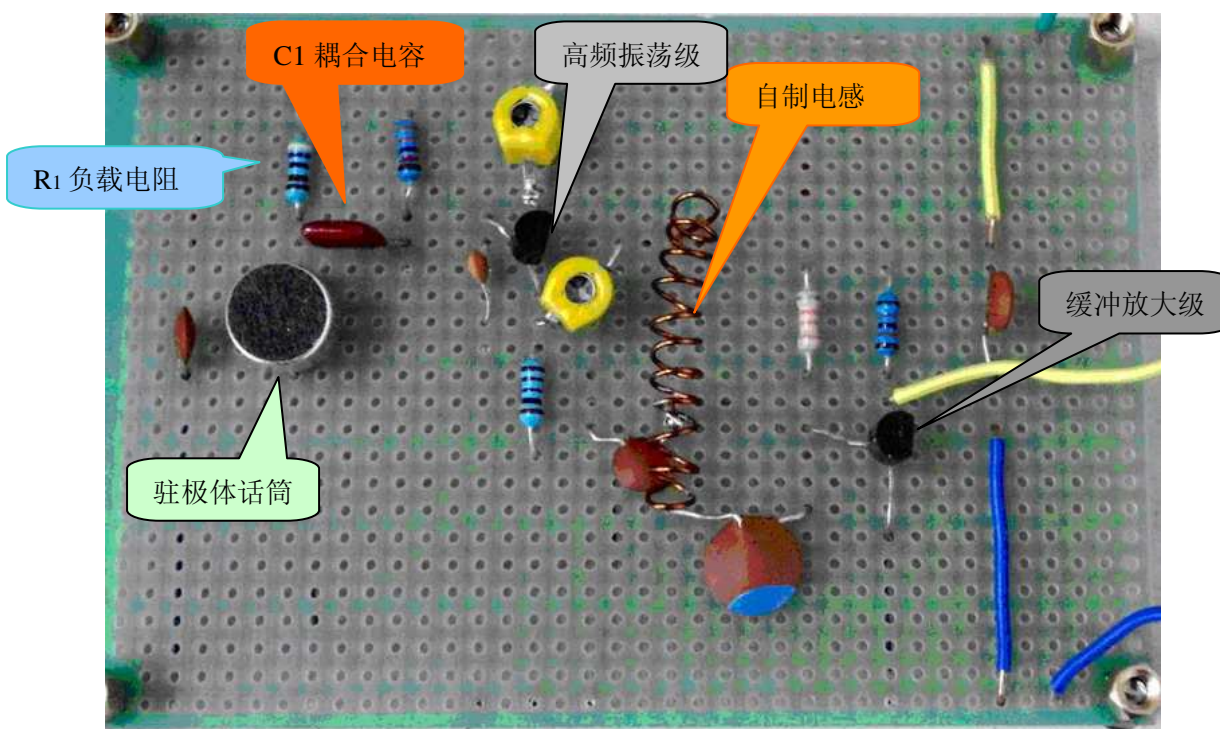


图 9. 电路分析示意图

①无线话筒的设计指标

振荡器的频率主要由 L 和 C4 决定，通过微调这两个器件，使振荡频率进入 88-108MHz 区间。音频信号经 C7 耦合至 T2 的基极，T2 的 e、b 极间电容随音频电压的变化而引起振荡频率的变化，实现频率调制。

②话筒和 AF 放大器

话筒采用普通双引脚驻极体话筒。这种话筒内置 FET 阻抗变化器，将声音信号转换为交流信号，灵敏度非常高，可以采集微弱的声音。同时这种话筒工作时必须要有直流偏压才能工作，电阻 R1 可以提供一定的直流偏压。电阻 R1 越小话筒的灵敏度越高，选择 4.7KΩ 的电阻（负载电阻），能够得到 mV 级的输出电压。

③FM 调制电路的构成

FM 调制电路利用变容二极管来控制振荡电路的振荡频率。振荡电路的晶体管 T₁ 采用 f_T=700MHz 的高频放大晶体管 H9018。

④振荡电路的构成

振荡电路中使用的线圈是把直径 0.5mm 的漆包线绕成圈径为 4.5mm、11 匝空心线圈。这个线圈的电感值是 150nH 左右。

共振电路可以变形为图 10，电路的振荡频率 f_c（也就是载波频率）为

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} (\text{Hz})$$

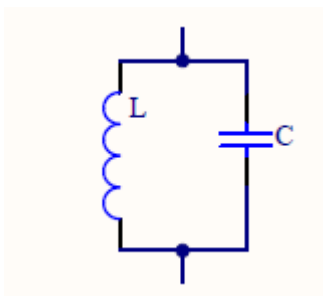


图 10. LC 振荡电路

式中，调整 C 和 L 都可以改变中心频率。从实现的角度，调整 C 更方便一些。

⑤RF 放大器的构成

RF 放大器中使用的晶体管 T₂ 与 FM 调制电路中的相同，是 f_T=700MHz 的高频放大晶体管 H9018。放大器是发射极接地形式，把发射极直接接地以提高放大倍数。

电路中，设定 R₄=33kΩ，所以基极电流 I_B 为 72uA (= (3V-0.6V) / 33kΩ)。这时的集电极电流 I_C 为 6mA (T₂ 的 h_{FE} 约为 80)。

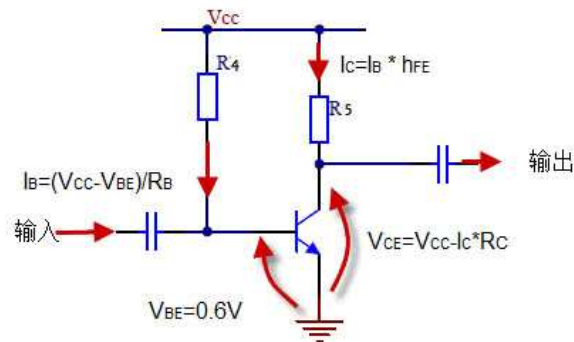


图 11 发射极接地固定偏置电路

为了延长电池使用时间，当希望减小电路的消耗电流时，可以取 $R_4=33k\Omega$ ，能够把集电极电流限制在 $7mA$ 的程度。发射的电波也减弱了，在一定程度上实现低功耗。

具体见数据测量与分析。

⑥天线

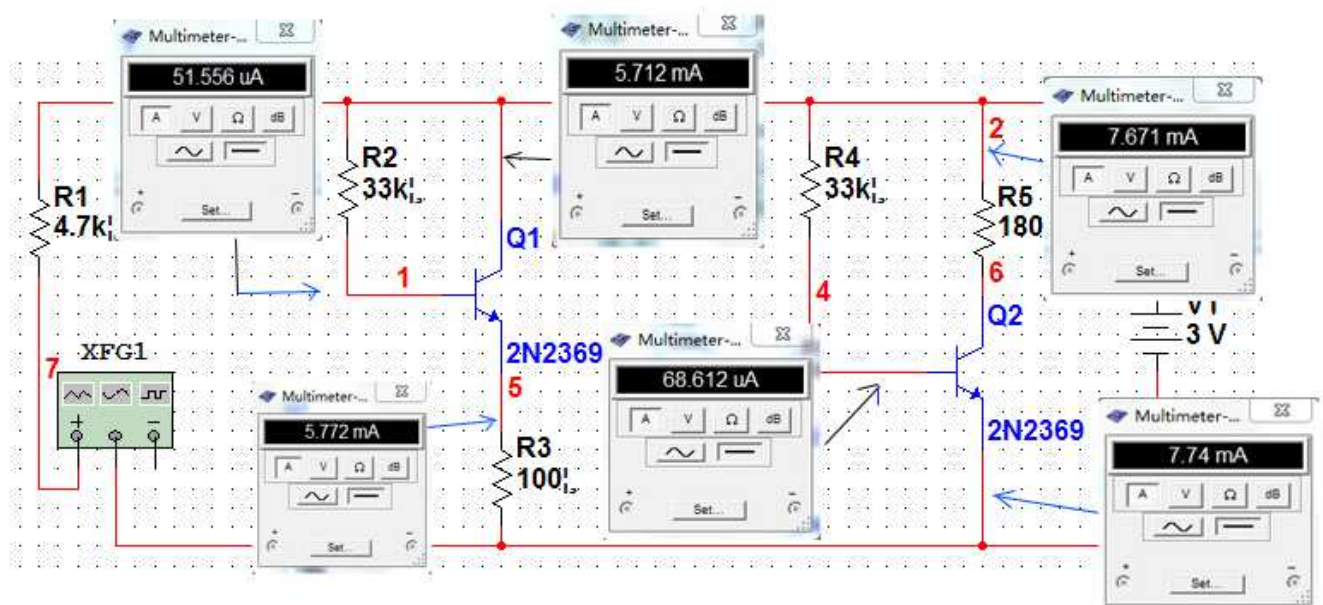
对于天线来说，只须设置一根电线（线状天线）。一般天线的长度设定为电波波长的 $1/2$ （为了在天线上产生驻波）。如果载波频率为 $89MHz$ ，波长 λ 为：

$$\lambda = \frac{c}{f} \approx \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{89 \text{ MHz}} = 3.3 \text{ m}$$

式中， c 是电波的速度（=光速）。所以天线的长度约为 1.7 米。

3.参数测量

(1)在 multism 10.0 上静态工作点测量



(2) 仿真值	Q1	IB=51.556uA	实际测量值	Q1	IB=61.5uA
		IC=5.712mA			IC=6.42mA
		IE=5.772 mA			IE=6.39 mA
	Q2	IB=68.612uA		Q2	IB=60.5uA
		IC=7.671mA			IC=6.41mA
		IE=7.74 mA			IE=6.38 mA

(3) 数据分析：用 3V 直流电压做电路的电源供给，三极管各极的电流都较小，电路正常工作时电流约 13mA，实现了低功耗的预期要求。

4. 元器件和材料选择

元件及参数	数量
MIC 话筒	1 颗
多孔实验板	1 片
自制电感	1 个
电阻 4.7 K Ω , 100 Ω , 180 Ω	各 1 个
33 K Ω	2 个
电容 4700pF	3 个
电容 1000pF, 47pF, 0.04uF	各 1 个
22pF 可变电容	2 个
1.5V 电池	2 个
导线	若干

表 1 器件材料选择

四、实验步骤

1. 构思与设计

根据所学线性电路和非线性电路的相关知识，设计出由声音信号摄取和转换，高频调制，高频放大缓冲和发射电波等一系列过程构成的电路，实现了无线话筒的功能。设计涉及了信号耦合，高频调制，高频放大，电路连接等知识，在这个过程中加深对所学理论知识的理解和培养了电路相关方面的运用技能。

2. 仿真与试搭电路

利用 multism 绘制电路，输入参数仿真，一定程度上确定了核心部分电容电感理论值，为实践设定了理论值范围，但是实际值会受到各种因素的影响。如元器件标称值偏差，搭建后 PCB 板上相互的干扰耦合引起的误差等。

在面包板上的试搭电路，注意电路元件排列可能引起的干扰问题，尽量满足器件贴表面，横平竖直的原则。测试静态工作点以确保电路直流特性的正确性。交流分析时借助频谱仪，快速判断电路是否起振及其振荡频率，通过调节可调电容和电感长度可以将发射频率限制在理想范围，我选择的是 89MHz。

拉伸电感可以增大中心频率。

由于面包板内部结构特性，本身就有一定的分布参数，此时的电路可调部分如电容电感值其实还有待确定，但在面包板上实验成功在一定程度上说明实践的可行性。

3. 焊接电路

在多孔实验板上按功能区域布置元器件，并使其均匀地排列，采用正确方法和步骤焊接电路。

焊接电路时，用不同颜色的导线区分不同性质的线路，导线间最好没有交叉，这样在检查电路时清晰明了。

焊接完成后又进行了和在面包板上相似的检测过程，如静态工作点测试，保证各模块工作在合适的静态工作点上，排查虚焊，短路等问题。

4. 调试步骤

利用频谱仪，可快速判断电路是否起振，正常起振的电路，可在频谱仪上看到有明显突起的信号频谱。

调节可变电容 C4，C5 和电感长度，使中心频率落入 88~108MHz 范围，改变频谱仪的 SPAN 值设定，逐渐从 200MHz 减少到 10MHz，1MHz，细调节电感拉伸程度和可变电容值，使中心频率为预期的数值，对着话筒说话，可以看到信号频谱左右移动。

也可将 FM 无线话筒与 FM 收音机进行联动调试。通过调节半可变电容，使 FM 收音机的杂音消失，则 FM 无线话筒与 FM 收音机的频率调整为一致。

调节半可变电容时要用无感改锥；与收音机联动调试前先将收音机调在有杂音的空频道 89MHz 处。

上述调试完成后电路就进入实用状态了，可试着对着话筒说话或唱歌。拿着收音机渐渐远离房间，测试所听到的范围，在隔墙 5 米范围内能清晰听到声音，但在楼道里由于存在墙壁遮挡，信号衰减明显，导致发射和接收距离有限，在空旷开阔的地方测试则会有更好的效果。

5 实验结论

频谱仪上出现了突起的包络，是无线话筒发射的中心频率，但是频谱不够纯净，边上有明显杂散成分，原因大致有两点，首先三极管的性能不太理想，LC 振荡电路的 Q 值不高，选择性差，导致振荡分量多而造成频谱不纯；其次电路只是体现了信号转换调制发射的基本思想，没有在细节优化上做到十分精准完美，各级模块之间都会有一定相互影响。因此，这个作品在大体实现框架的基础上，也还有很多知识有待实际运用和体会。

在这个过程中，通过一系列计划，实验，分析，优化等过程，完成了无线话筒的制作和实现其功能，最重要是在此过程中加深了对理论知识的理解和实际结合的差异。独立自主的进行整个过程，达到了题目要求。

五、后记

通过这次校内电子设计竞赛，感慨颇多。

首先在学习方面，真正加深了对所学知识的了解和掌握，对上学期觉得很抽象的非线性电路，直观地了解了其一方面的实际运用，尤其对将声音进行一系列转换调制到电波发射的过程有了系统的认识，不仅将所学理论知识用于实践制作，同时还加深了对所学知识的理解。

虽然我做的无线话筒不是十分精致精确，但是这个过程之后对最终完成的成品感到欣慰，增加了学习的兴趣。

在实验能力提升方面也有所感悟，平时的实验都是老师带着做，基本在自主思考、设计方面是比较欠缺的。在竞赛这段时间，我开始自主地设想进行的方案，包括一开始的构思，设计，优化和提出解决方案并身体力行，深切感受到作为一个工科生应有的素质和能力锻炼是多么重要。特别是去到中关村买元器件，看到琳琅满目的电子元器件时，很感慨所谓“纸上谈兵终觉浅，绝知此事要躬行”的意义，学习的最终目的还是要运用到实际的制作中才能体现价值。

很感谢给我信心和悉心指导的卢起斌、赵宇和杜伟韬老师，当我在面对一个没有思路解决的问题时，他们给我很大的帮助，由此想到，在学习和科研的道路上，踽踽独行往往是艰难的，不仅要努力自我寻找解决方案，更要虚心学习讨教，老师的指点能起到事半功倍的效果，帮助我找到更快捷的途径达到预期目标。

虽然时间短暂，但是受益匪浅，对电路系统有了一定的实践了解，加深了学习的热情，锻炼了动手能力，焊接和调试电路是一个很好的对耐心和细心的锻炼机会。想到我们平时的本科教育，其实可以在开拓动手能力方面培养我们对理论知识的深入认知，学以致用，由浅入深会取得更好的效果。

六、参考文献

- [1] 沈琴，何晶，李晓茹. 通信电路基础（第2版）. 电子工业出版社. 2010
- [2] 谢嘉奎. 线性电子线路. 高等教育出版社. 1999
- [3] 许信玉. 电路分析基础. 机械工业出版社. 2007
- [4] 卢起斌. 焊接教程. 传媒大学广播电视数字化教育部工程中心培训教材
- [5] 周惠潮、孙晓峰. 常用电子器件及典型应用. 电子工业出版社. 2007
- [6] 杨洋. 电子技术—原理·制作·实验. 科学出版社. 2005.

七、具体实施日程

3.26	3.27-4.2	4.3	4.4	4.5-4.7
立题	设计电路，仿真 面包板试搭电路，调试	焊接电路	调试 频谱仪分析	整理材料 完成设计报告