

全国电子设计大赛

LC 谐振放大器 方案设计报告

2011-9-3

课题名称：LC 谐振放大器

指导老师：孙继昌

小组成员：朱培军，赵磊，蔡翔

目录

摘要·····	3
Abstract·····	3
一、系统方案·····	5
1、整体方案的论证与比较·····	
	5
2、系统设计方案·····	
	6
二、设计与论证·····	6
1、理论分析·····	
	6
三、单元电路的分析·····	10
1、系统组成·····	10
2、衰减器模块的设计·····	11
3、“高感磁芯”选频模块的设计·····	12
4、运放级联放大模块的设计·····	13
四、系统测试·····	14
1、使用的仪器和设备·····	14
五、过程中遇到的困难和注意事项·····	14
六、参考文献·····	15
附录（元件清单、电路图）·····	16

摘要

本文采用自制的 3.6V 电源对系统供电，系统经过衰减器后，输入信号通过“高感磁芯”（具有高品质因数）构成的选频网络选择出符合题目要求的频率（15MHZ）与带宽（300KHZ），且此选频网络对信号有一定的放大作用；再将得到的信号经过双运放 OPA2354 正向放大接入以达到放大 60DB 以上的指标。

完成以上基本要求后就是对发挥部分的操作（此题发挥部分基本上为对几根要求部分指标的提高）；在设计系统时满足 LC 谐振放大器低压、低功耗。

关键字：衰减器、选频网络、LC 谐振、高品质因数、低压、低功耗

Abstract

In this paper, homemade 3.6V power supply system, the system through the attenuator, the input signal through the “high sense of core” (high quality factor) consisting of frequency-selective network choose topics that meet the requirements of frequency (15MHZ) and bandwidth (300KHZ), and this election has a certain frequency network signal amplification; then get the signal through the OPA2354 dual op amp in order to achieve positive amplification amplified 60DB access more indicators.

After completion of the above is the basic requirement to play a part of the operation (play part of this problem is basically a few

requirements for the improvement of some indicators); to design a system to meet the LC resonant amplifier voltage, low power consumption.

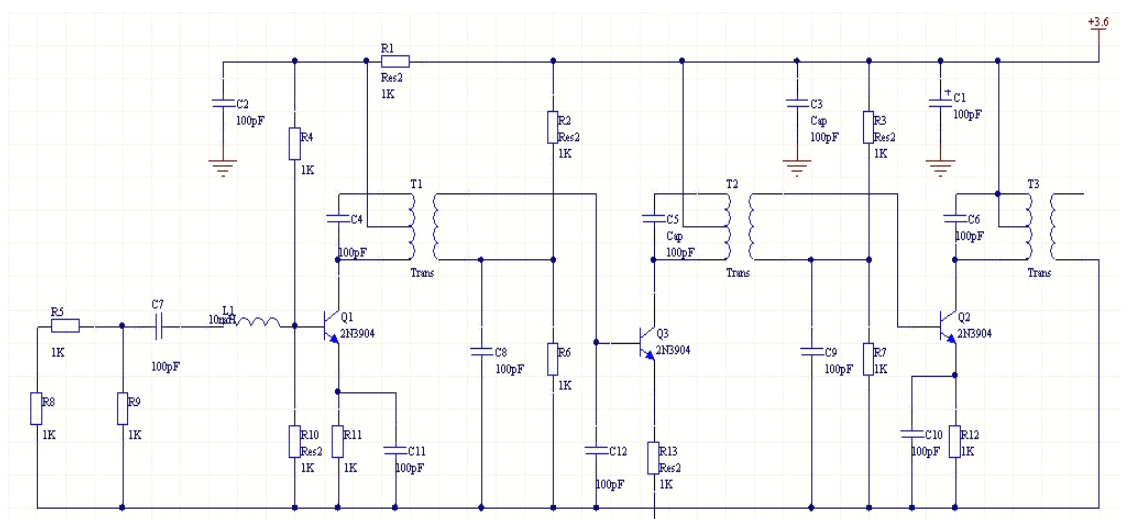
Keywords: attenuators, frequency-selective network, LC resonance, high quality factor, low-voltage, low power consumption

一、系统方案

1、整体方案的论证与比较

(1) 中周选频法

利用市场上可买到的 6.5MHz 中周，对其先进行测试，计算得出其电容和电感数值，然后对原中周铜线的匝数进行增减以达到 15MHz。然后再连续接三级用作放大，但在实际操作中发现中周的品质因数太低，很难经过选频达到 15MHz；并且由于采用多级级联，频率的微小波动会对整个电路有大幅度的漂移，造成电路紊乱，故此法不可行，不采用次方案。



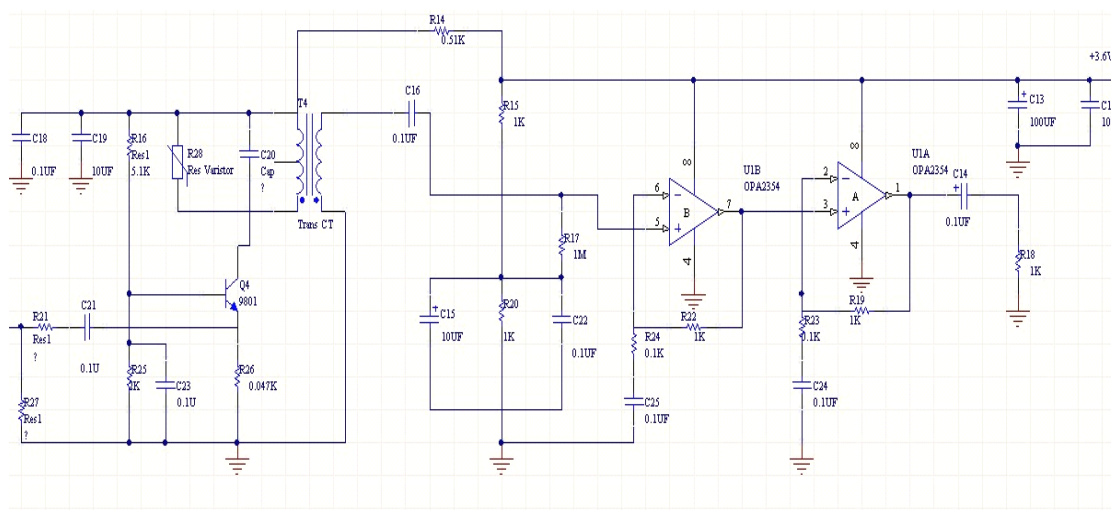
(2) “高感磁芯”选频接多级运放放大方案

由于“高感磁芯”具有很高的品质因数，经我们小组测试，“高感磁芯”的品质因数比普通的中周高出大约 2/3. 所以我们决定用一个“高感磁芯”来作为选频网络，可以达到 15MHz 的频率；后面我们

接上 OPA2354 高频率运放，加上“高感磁芯”本身对信号有一定的放大，这样就可以很轻松的达到放大 100 倍的要求。

如下图，全部电路有两大组成部分——衰减器和 LC 谐振放大。首先，由左下角两个电阻组成的衰减器，根据要求，衰减 40dB。接着通过第一级放大，第一级放大由三极管和偏置电阻组成。在三极管的集电极接 LC 振荡回路，通过变压器把信号传输到另一端。接着，通过第二级放大，第二级放大和第三级放大都是采用反向放大，通过三级放大来完成所需的指标。

所以，采用了该方案。



二、系统设计方案

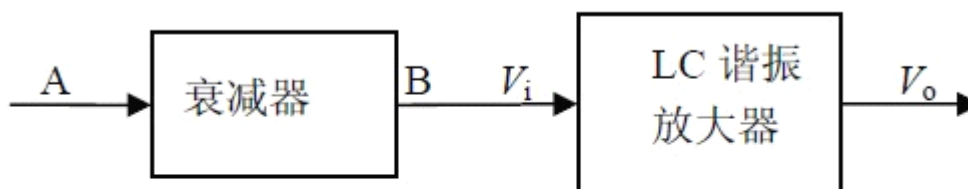


图 1 电路框图

二、设计与论证

1、理论分析与计算

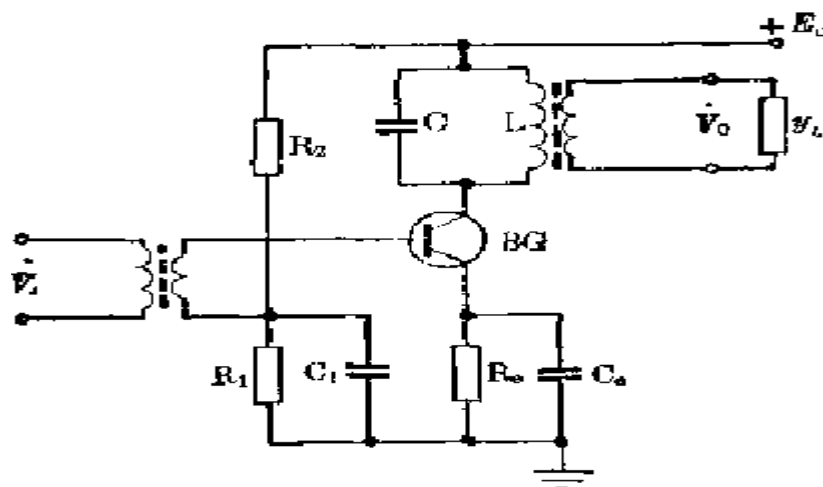
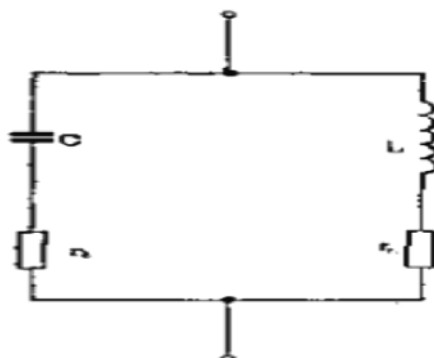


图 2-1

如图所示，简单的晶体管谐振放大器。图中， R_1 ， R_2 是直流偏置电阻； R_0 是为提高工作点的温度稳定性而接入的直流反馈电阻； C_1 ， C_0 是信号频率的旁路电容；LC 并联谐振回路构成了晶体管 BG 的集电极负载阻抗。输入信号 V_s 经过变压器耦合到 BG 的基射之间，放大后再由变压器耦合到外接负载 Y_L 上。

谐振放大器的特点是晶体管的集电极负载不是纯电阻，而是由电感电容组成的并联谐振回路。因此我们分析 LC 并联谐振回路的基本特性和主要参数。



上图式集电极负载的等效电路。 R_L 和 r_C 分别表示电感和电容

上的等效电阻。通常有 $W_L \gg r_L, 1/W_C \gg r_C$ 。

回路两端的总阻抗为：

$$Z = \frac{(r_L + j\omega L) \left(r_C + \frac{1}{j\omega C} \right)}{(r_L + r_C) + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} \approx \frac{\frac{L}{C}}{r + jX}$$

$$r = r_C + r_L$$

当 $X = \omega L - 1/\omega C = 0$ 时，即当 $\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ 时，回路达到谐振，此时，信号的角频率 $\omega = \omega_0$ 称为回路的固有谐振角频率，其值由回路的 L, C 决定。回路谐振是，器阻抗为最大且是纯电阻。这个阻抗称为“谐振阻抗”。符号表示为 R_{oe} ：

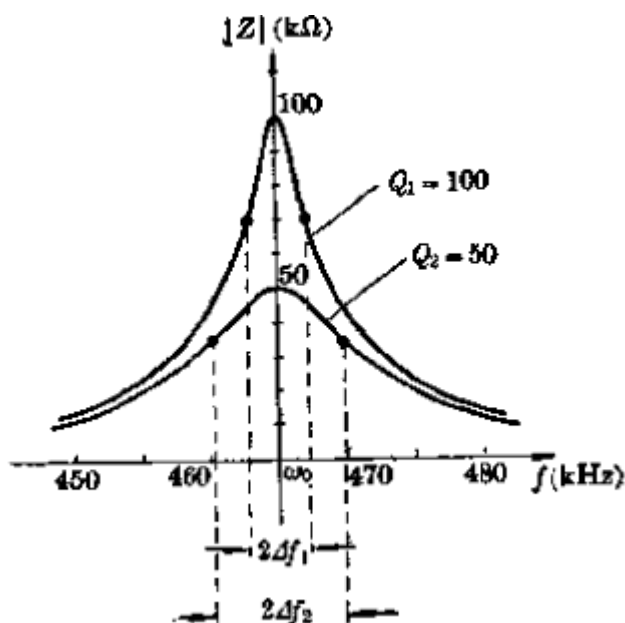
$$R_{oe} = L / rC$$

从上式不难看出，当 $\omega L > 1/\omega C$, 即 $X > 0$ ，这说明回路阻抗呈容性；当 $\omega L < 1/\omega C$, 即 $X < 0$ ，这说明回路阻抗呈感性；它们的阻值都小于谐振的阻抗。

回路谐振时，电感和电容的电抗相等，这个阻抗成为回路特性阻抗，用符号 ρ 表示：

$$\rho = \omega_0 L = 1 / \omega_0 C = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \circ$$

品质因数 $Q = \rho / (r_L + r_C)$



Q 称为回路的“品质因数”，它标志着谐振回路质量的优劣。所谓质量的优劣，包含两层意义：其一是说回路谐振时阻抗的大小，当回路特性阻抗 ρ 给定后，谐振阻抗就完全由回路的品质因数 Q 决定。Q 值越大（即回路的等效损耗电阻 r 越小），则谐振阻抗也越大，回路质量就越好。反之，质量就差；其二是说回路阻抗 Z 随讯号角频率衰减的速度。Q 值越大，则回路阻抗 Z 随讯号角频率衰减就越快，回路质量就越好。反之，质量就差。如图所示，特性阻抗和谐振频率相同（ $\rho = 1\text{k}\Omega$ ， $f_0 = 465\text{kHz}$ ），但品质因数不同（分别为 $Q_1 = 100$ ， $Q_2 = 50$ ）的两个谐振回路的回路阻抗的模数 $|Z|$ 随角频率而变化的曲线（此曲线亦称回路的谐振曲线）。由图可知，对于 $Q_1 = 100$ 的回路，其谐振阻抗 $R_{oe1} = Q_{1\rho} = 100\text{k}\Omega$ ，而对于 $Q_2 = 50$ 的回路，其谐振阻抗只有 $R_{oe2} = Q_{2\rho} = 50\text{k}\Omega$ ；此外，从曲线形状显而易见，品质因数大的回路，其阻抗 $|Z|$ 随角频率衰减的速度比品质因数小的回路要快得多，亦即谐振曲线越尖锐。

除了用品质因数来描述谐振回路的特性外,还常用到通频带的概念。所谓谐振回路的通频带,是指回路阻抗的模 $|Z|$ 和其最大值 R_{oe} 之比 $d(|Z|/R_{oe})$ 下降到某一给定值时所对应的那段频带宽度,一般用符号 B 表示。如无特别指明,通频带 B 指的是回路阻抗 $|Z|$ 下降到 $R_{oe}/\sqrt{2}$ 时(即 $d=1/\sqrt{2}$)的那段频带宽度。对图 $Q_1=100$ 的回路,其通频带 $B_1=2\Delta f_1=4.6\text{kHz}$;而 $Q_2=50$ 的回路,其通频带 $B_2=2\Delta f_2=9.3\text{kHz}$ 。这说明了,回路的品质因数越高,谐振曲线越尖锐,通频带越窄。反之,品质因数越低,则谐振曲线越平坦,通频带越宽。

LC谐振电路是调谐放大器(又称选频器)和LC自激振荡放大器的主要组成部分。谐振电路在选频器中的作用是在众多接收来的不同频率的正弦信号中,把 $f_0(f_0=1/2\pi\sqrt{LC})$ 信号的幅值提高 Q (Q 为品质因数)并经变压器耦合到下一级;而LC自激振荡器中的作用是在本身产生的多个不同频率的正弦信号中,把 f_0 信号的幅值提高 Q 且经变压器反馈到三极管的输入端继续放大;并最终把幅值足够大的 f_0 信号耦合到下一级。可见欲提高选频器的选频能力和增加LC自激振荡器的起

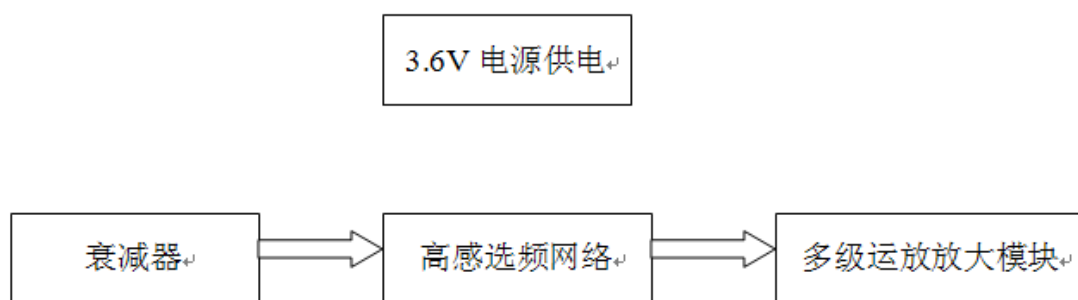
振能力,就必须增大 Q 值。由式 $Q=1/R\sqrt{\frac{L}{C}}$ 和 $L=N^2/l*\mu S$ 知,提高磁导率 μ 和降低LC回路的电阻 R 是提高 Q 值最有效的办法(l 、 S 和 C 均受结构等因素限制难以得到大幅改变,而提高匝数 N 的同时会使 R 增加),前者靠紧密耦合的铁芯变压器可得以解决,而后者则受外界因素影响较大,可采用变压器中间抽头的办法加以解决。

三、单元电路的分析

1、系统组成

系统包括 3.6V 电源、衰减器、高感选频网络、多级运放放大模块。

将 220V 的电压经过自制的电源降成 3.6V 为系统供电，信号经衰减器衰减掉 40dB, 以使频带与放大器想适应；再经过高感选频网络得到谐振频率为 15MHZ, 增益不小于 60dB, 并保证在-3dB 带宽时, $2f_{0.7}=300\text{KHZ}$ 的信号；再经过运放得到最终满足要求的信号。



系统组成示意图 3-1

2、衰减器模块的设计

方案一、利用场效应管电压实现可变衰减器。

优点：在DC—20 GHz带宽内插入损耗小于3 dB, 最大衰减量22 dB, 根据要求的所要达到的40dB, 所以可利用二级衰减。输入输出端口驻波比小于2.0, 衰减动态范围在10 dB以内时衰减平坦度小于1 dB。

衰减器采用单电压源控制衰减量变化, 具有可控的和显著的低功耗优点。采用 GaAs FET设计VVA电路所依据的半导体器件原理为：工作在线性区的FET, 具有受栅压控制的可变电阻特性, 基于此可构建Tee型、Pi型或桥接Tee型结构的衰减网络。

缺点：器材购买途径比较繁琐, 最大衰减量较小, 如衰减倍数较大则需多级, 价格不菲。

方案二、电阻网络构成固定衰减器。

优点：电路简单, 线性度好, 高精密电阻器材易于购买, 价格便

宜衰减倍数没有太多限制。基于此可构建Tee型、Pi型或桥接Tee型结构的衰减网络。

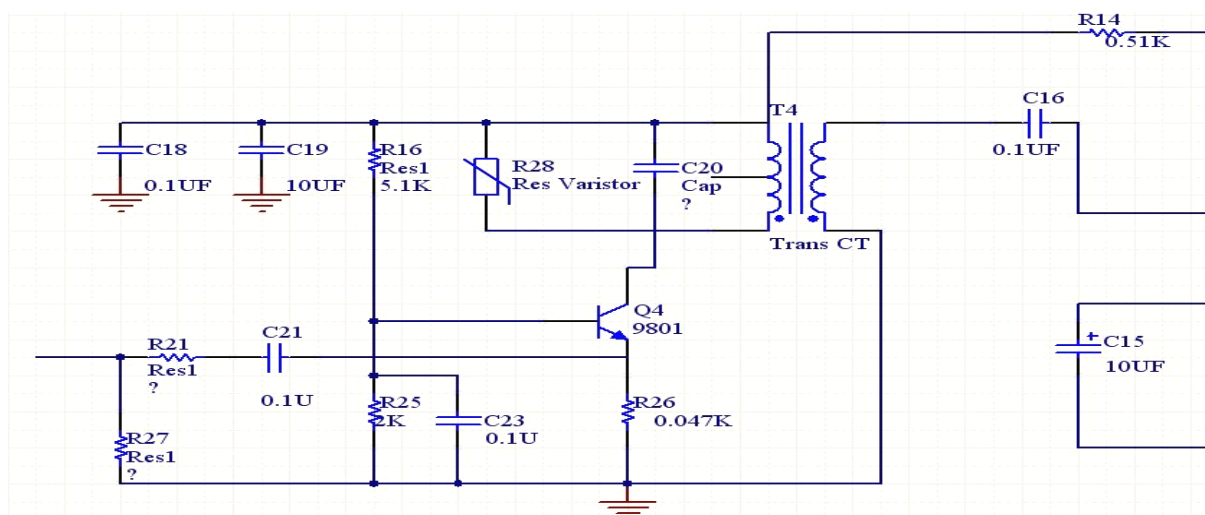
3、“高感磁芯”选频模块的设计

方案一：

利用晶体管谐振放大器三级放大，每级放大 10 倍，已达到 60dB 的增益。LC 谐振回路进行选频。选频网络虽然能达到所要求的 15MHZ, 宽带也还行，但是窄带，不补能达到指标的要求，即-3dB 带宽时, $2\Delta f_{0.7}=300\text{KHZ}$, 带内波动不大于 2dB。由于放大器部分要使用 3.6V 稳压电源，功率不超过 360mW，意味着电流最大 100mA，芯片选择要慎重，选用三极管放大，一定要减少三极管得数量，所以不可能做到多级放大，而且做到后面部分，漂移较大，不宜控制。

方案二：

利用高频磁芯和瓷片电容并联以实现 15MHZ 的选频，因为高频磁芯的 Q 值高，回路质量好，曲线的形状好，谐振曲线更尖锐。后部电路利用低功耗放大器 OPA354 实现 60dB 的放大。因为 9018 具有功率小工作频率高（ f_T 约 600MHz），所以电路中运用了 9018。



4、运放级联放大模块的设计

在信号经过“感磁芯”的选频后，输出信号并不能满足题目要求，所以需要如图的多级运放来放大信号，在本实验中，经过挑选，最后选择了 OPA2354，因为它具有在高频下放大的良好特性。

OPA2354AIDDA 的技术参数

产品型号:OPA2354AIDDA

通道数:2

关断功能:No

工作电压 Max. (V):5.500

工作电压 Min. (V):2.700

每通道 IQ(典型值) (mA):6

带宽 GBW(典型值) (MHz):250

转换速率(典型值) (V/us):150

输入失调电压(25℃) (Max.) (mV):8

失调漂移(典型值) (uV/℃):4

输入偏置电流(Max.) (pA) :50

共模抑制比(Min.) (dB) :66

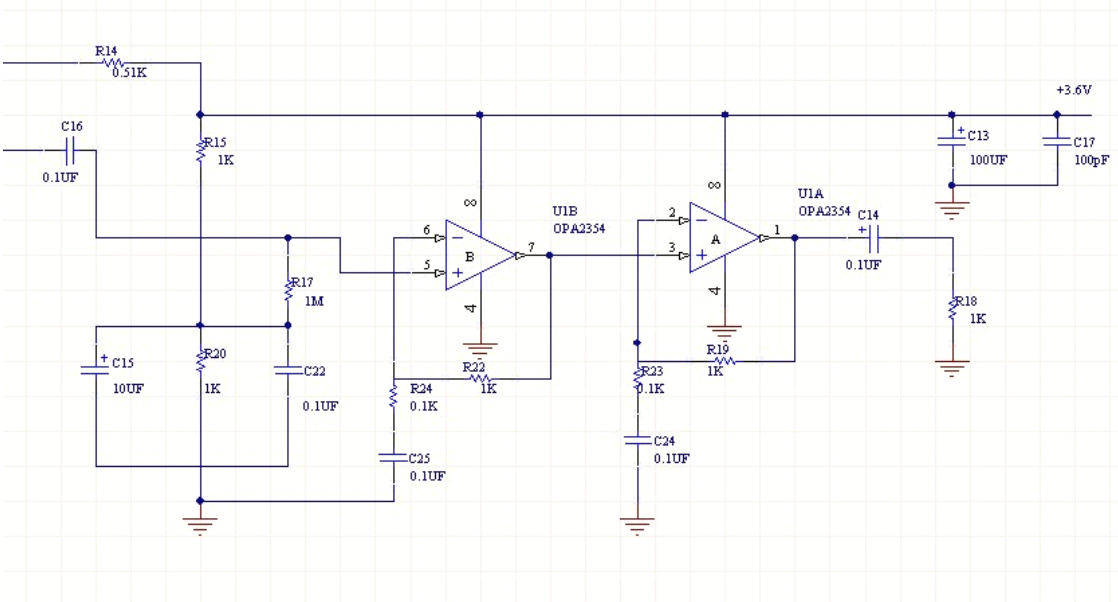
噪声电压(典型值):—

单电源供电:Y

满幅:In/Out

封装/温度(℃) :S0-8/-40~125

描述:双路, 高速单电源供电, 满幅输入输出 CMOS 运放



四、系统测试

1、使用的仪器和设备

序号	名称	数量
1	万用表	1
2	信号发生器	1
3	示波器	1
4	电烙铁	2

五、过程中遇到的困难和注意事项

首先，选择器材方面，需要选择Q值高的电感和三极管。刚开始，我们选择了普通的中周，经过测试，它能达到的6.5M的频率，因为我

们需要的这种中轴体积小,重量轻,所以其中的铜线也必须非常的细,如果不小心,很容易把铜线搞断,想要再重新连接会非常困难。后来我们改变了中轴中的电容,缩小中轴的电容,以达到选频的频率的提高。但是,光频率提高是没用的。我们发现中轴的品质因数 Q 值很小,效果很不理想。所以只能改变器材。我们偶然间发现一种高频磁芯,于是我们经过测试,发现效果很好,而且 Q 值很理想,而又遇到的困难是,我们的这种资源非常稀少。我们只拥有一块,所以,我们在接下来的几级放大选择高精度运放来实现放大。结合多方面考虑,我们选择了OPA2354集成双运放。我们一开始选择把高精度运放组成反向放大器,每级电压值放大10倍,但是发现10倍的电路达不到15M就已经衰减很大了。于是,我们把运放的放大倍数减小了5倍,结果可以达成15M的指标。但是,集成运放放大倍数太小,对三极管放大倍数就提高了。于是,我们重新焊了一次,把集成电路改成正向放大,而且参照芯片的pdf文档对反馈电阻进行调整,改变了电压值,结果意外的发现效果明显比以前反向放大时效果要好很多,而且并未产生自激现象。

六、参考文献

- ①康华光,电子技术基础 模拟部分(第五版) 高等教育出版社
- ②Bruce Carter & Ron Mancini (编) 姚剑清 (译) 运算放大器权威指南(第三版) 人民邮电出版社
- ③黄智伟,王彦,陈文光等。全国大学生电子设计竞赛训练教程 电子工业出版社

④高吉祥，唐朝京。全国大学生电子设计竞赛训练系列教程（电子仪器仪表设计） 电子工业出版社

⑤梁明理 电子线路（第五版） 高等教育出版社

附录

1、 元件清单

OPA2354 2 个

9018 1 个

电容、电阻若干

“高感磁芯” 1 个

2、 电路图

