

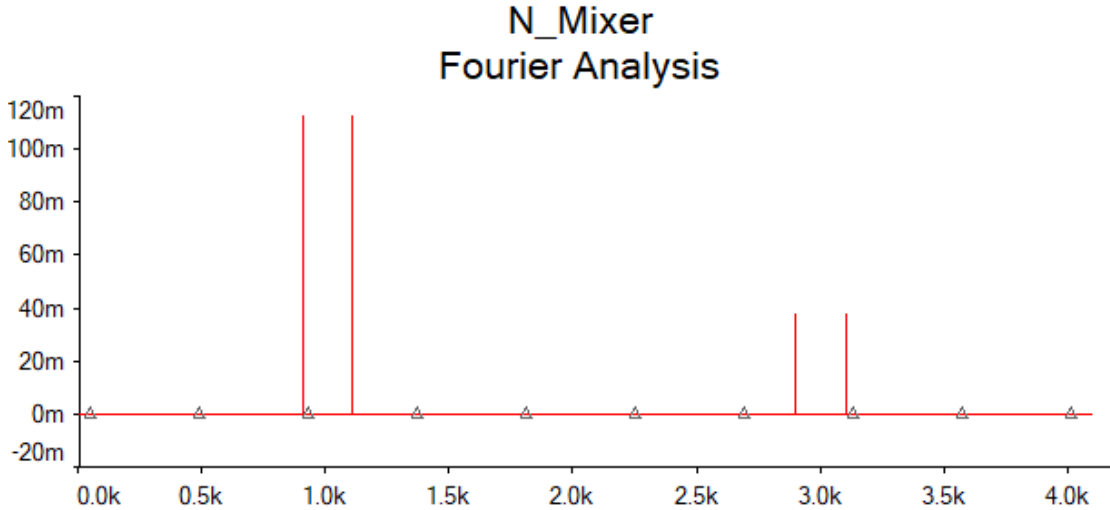
混频器实验（虚拟实验）

姓名：高佳峻 学号：04017419

（一）二极管环形混频电路

傅里叶分析

得到的频谱图为



分析：

在 U_L 正半周时，D1 和 D2 正向导通，此时 $i_{L1} = -\frac{2U_R}{R_D+2R_L}K_1(\omega_L t)$

在 U_L 负半周时，D3 和 D4 正向导通，此时 $i_{L2} = -\frac{2U_R}{R_D+2R_L}K_1(\omega_L t - \pi)$

则最终流过 R_L 的电流为：

$$\begin{aligned} i_L = i_{L2} - i_{L1} &= \frac{2U_{Rm}\cos\omega_R t}{R_D + 2R_L} [K_1(\omega_L t) - K_1(\omega_L t - \pi)] \\ &= \frac{2U_{Rm}\cos\omega_R t}{R_D + 2R_L} * \frac{4}{\pi} [\cos\omega_L t - \frac{1}{3}\cos 3\omega_L t + \dots] \end{aligned}$$

因此得到的频率分量包括 $\omega_L \pm \omega_R$ ， $3\omega_L \pm \omega_R$ 即 900Hz,1100Hz,2900Hz,3100Hz，而且呈现出三倍的关系，仿真结果与其吻合较好。

通过以上频谱图不难发现，二极管环形混频电路有较好的混频特性，隔离度比较好，虽然有组合频率，但是其幅度相对较小可以滤除。

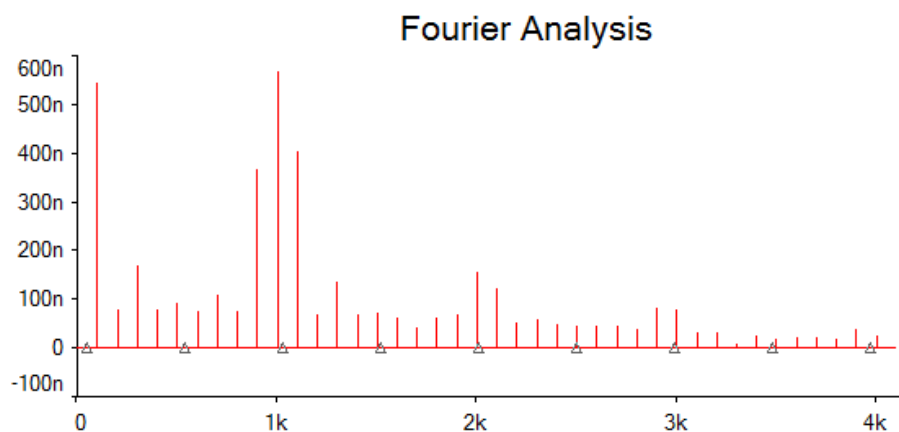
（二）三极管单平衡混频电路

直流分析

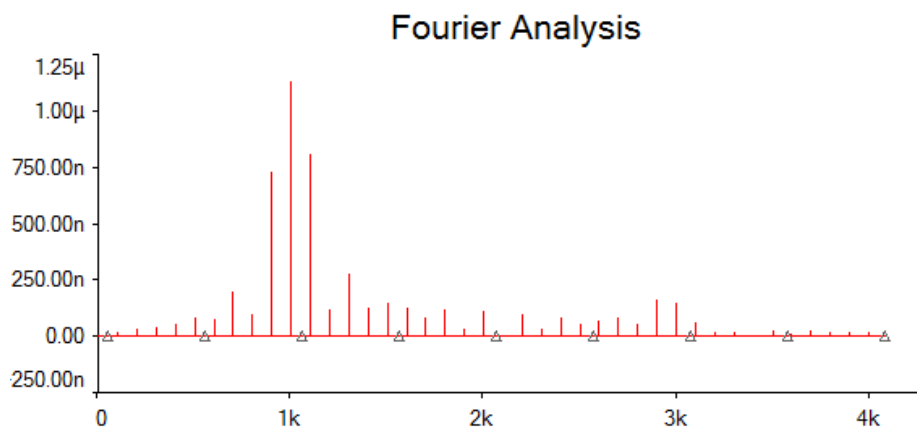
Mixer1 DC Operating Point Analysis		
	Variable	Operating point value
1	V(1)	2.26808
2	V(10)	5.00000
3	V(2)	0.00000e+000
4	V(3)	5.00000
5	V(4)	2.49561
6	V(5)	2.49561
7	V(vdd)	5.00000

傅里叶分析

一个节点的傅里叶分析的频谱图为



两个节点输出电压的差值的傅里叶分析的频谱图为：



分析：

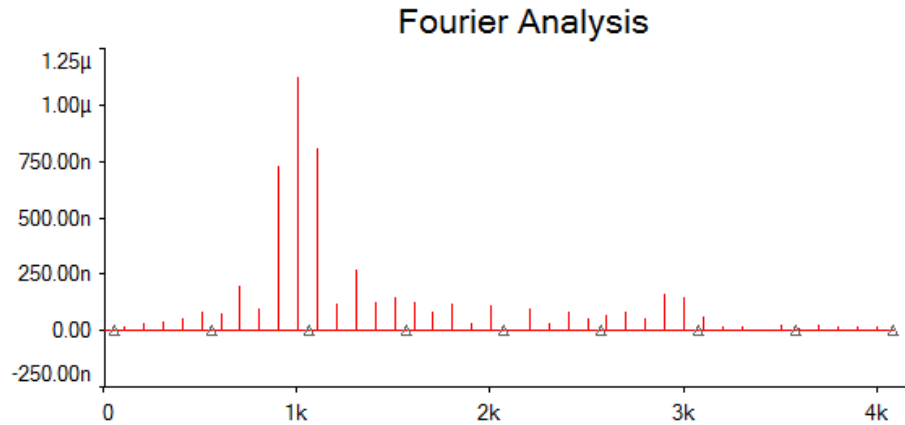
现象：在1000Hz的两侧出现两个频率分量，900Hz和1100Hz。

首先，由直流分析可知，在不加交流信号时三极管处于截止区，加入本振信号之后，两管Q1、Q2的导通与否取决于本振信号；然后，对比两张图可以看出，双端输出可以隔离射

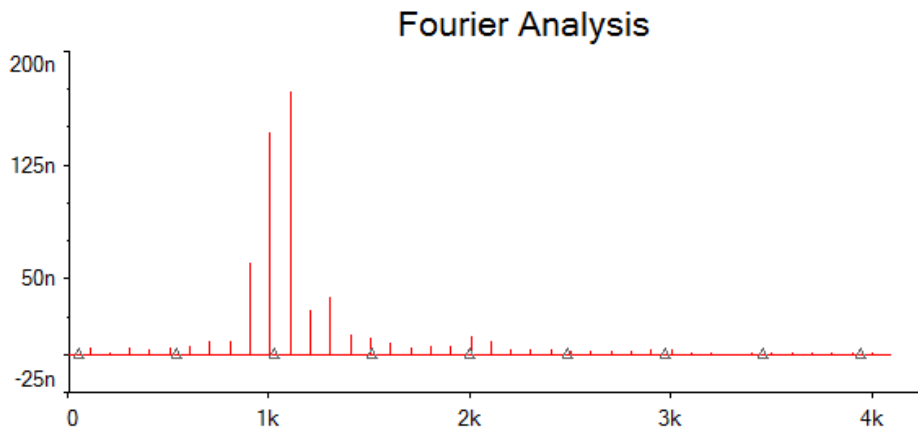
频信号，有很好的隔离度，同时具有一定的增益。双节点的频谱特性更好，原因是开关函数的直流分量被抵消，本振偶次分量也都被抵消，只有本振信号的奇次谐波被留下。

有源滤波器加入电路后

U_{If} 的傅里叶分析的频谱图为：



U_{out} 节点的傅里叶分析的频谱图为：



分析：

现象：在1000Hz的两侧有两个频率分量，900Hz和1100Hz。

一方面，对于中频电压，由于有源滤波网络对高频起抑制作用，高于本振的频率部分分量幅值减小，低频处的分量也得到了很好的抑制，使得在接下来的信号处理中，要获得下混频所需用到的滤波器锐利性能要求降低。

另一方面，从对比中可以看出，加入滤波器后单端输出电压的性能有了很大的改善，去除了不必要的分量。

（三）吉尔伯特单元混频电路

直流分析

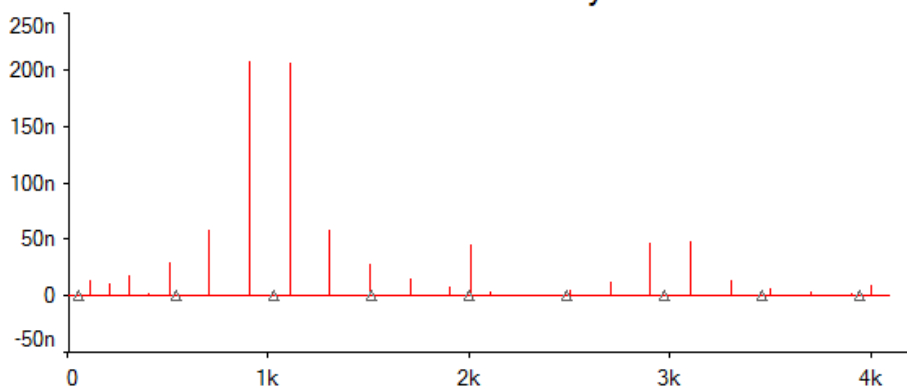
Mixer2 DC Operating Point Analysis		
	Variable	Operating point value
1	V(1)	2.42882
2	V(11)	5.00000
3	V(12)	2.78117
4	V(13)	5.00000
5	V(2)	2.42882
6	V(3)	2.78117
7	V(4)	388.18861 m
8	V(5)	388.18861 m
9	V(6)	17.92769 m
10	V(7)	800.49303 m
11	V(vcc)	5.00000

傅里叶分析

一个节点的输出电压的傅里叶分析的参数结果与相应变量的频谱图如下：

1	Fourier analysis for V(13):			
2	DC component:	5		
3	No. Harmonics:	40		
4	THD:	2462.55 %		
5	Grid size:	1024		
6	Interpolation Degree:	1		
7				
8	Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase
9	1	100	1.28956e-008	90.0953
10	2	200	9.53844e-009	90.0001
11	3	300	1.75661e-008	90.0851
12	4	400	2.16714e-009	90.4263
				Norm. Mag
				1
				0.739665
				1.36218
				0.168052

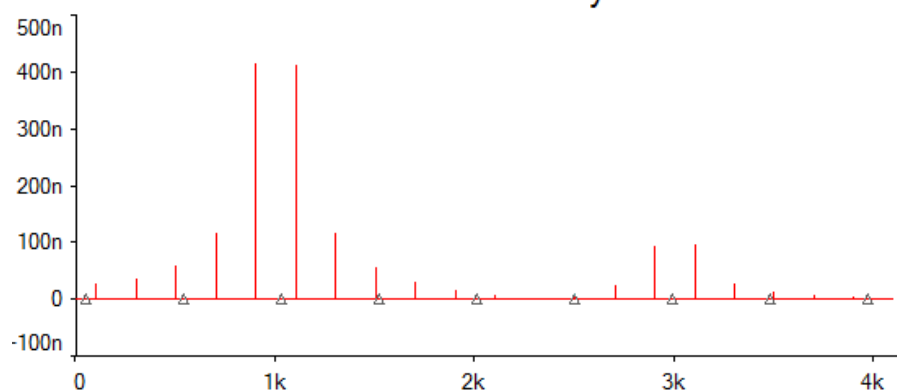
Fourier Analysis



两个节点输出电压的差值的傅里叶分析的参数结果与相应变量的频谱图为：

1	Fourier analysis for V(11-V(13			
2	DC component:	1.15661e-017		
3	No. Harmonics:	40		
4	THD:	2435.87 %		
5	Grid size:	1024		
6	Interpolation Degree:	1		
7				
8	Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase
9	1	100	2.57913e-008	-89.905
10	2	200	1.44056e-017	173.721
11	3	300	3.51322e-008	-89.915
12	4	400	1.24635e-017	-74.607
13	5	500	5.85957e-008	-89.877
14	6	600	3.06747e-017	25.5568
				Norm. Mag
				1
				5.58548e-C
				1.36217
				4.83246e-C
				2.27192
				1.18934e-C

Fourier Analysis



分析：

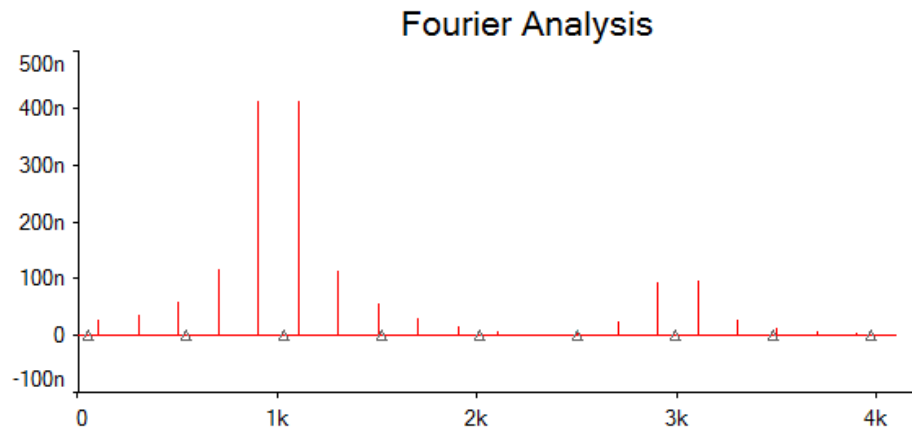
由于是双差分输入，频谱较为纯净。但是由于吉尔伯特电路是通过本振大信号作为开断信号对输出信号采样，因此产生了本振信号奇数次谐波的分量与射频信号相混频产生的组合频率分量。

从图中可以看出，双端输出不含本振信号以及射频信号的影响，具有很好的隔离度。对于非中频信号的频率较低，所以很容易滤除。所以可以看出吉尔伯特电路具有很好的性能。

将有源滤波器加入电路

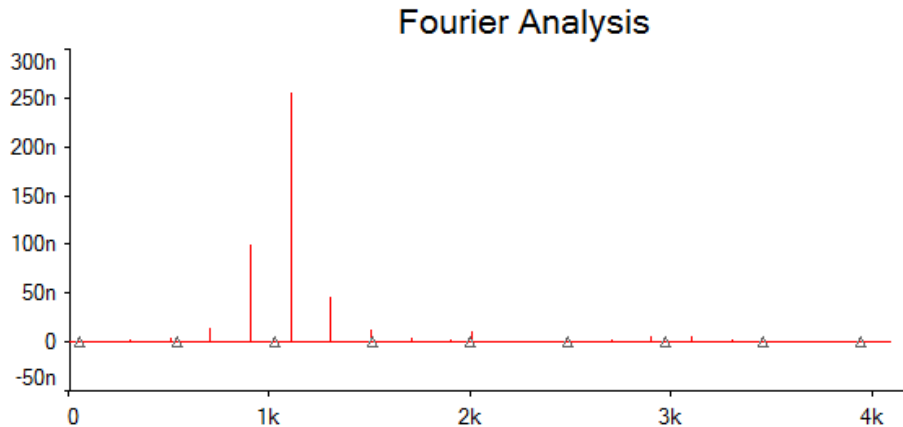
U_{If} 的傅里叶分析的结果与相应变量的频谱图为：

1	Fourier analysis for V(18-V(20			
2	DC component:	0.0284949		
3	No. Harmonics:	40		
4	THD:	2438.37 %		
5	Grid size:	1024		
6	Interpolation Degree:	1		
7				
8	Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase
9	1	100	2.56424e-008	-89.904
10	2	200	5.42065e-011	89.2063
11	3	300	3.49307e-008	-89.912
12	4	400	1.22054e-011	88.7654
13	5	500	5.82639e-008	-89.87
				Norm. Mag
				1
				0.0021139
				1.36222
				0.0004759
				2.27217



U_{out} 节点的傅里叶分析的参数结果与相应变量的频谱图为：

1	Fourier analysis for V(12):			
2	DC component:	-4.1518e-009		
3	No. Harmonics:	40		
4	THD:	98582.6 %		
5	Grid size:	1024		
6	Interpolation Degree:	1		
7				
8	Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase
9	1	100	2.82146e-010	-179.47
10	2	200	4.26213e-010	179.001
11	3	300	1.22088e-009	177.595
				Norm. Ma
				1
				1.51061
				4.32713



分析：

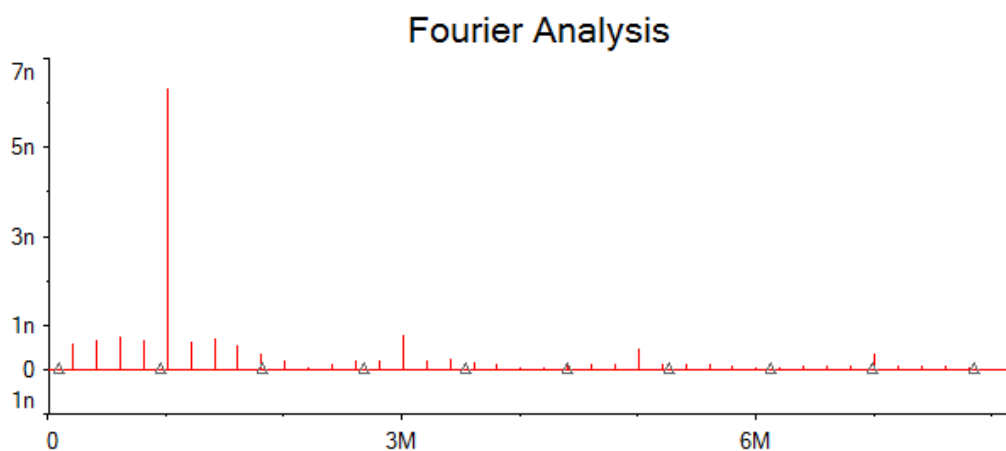
有源滤波器 U_{out} 节点的傅里叶分析的频谱相对于 U_{IF} 的傅里叶分析的频谱来说，其他频率分量的影响更小，即信号滤除的更加纯净。

思考题（教材 P116）：

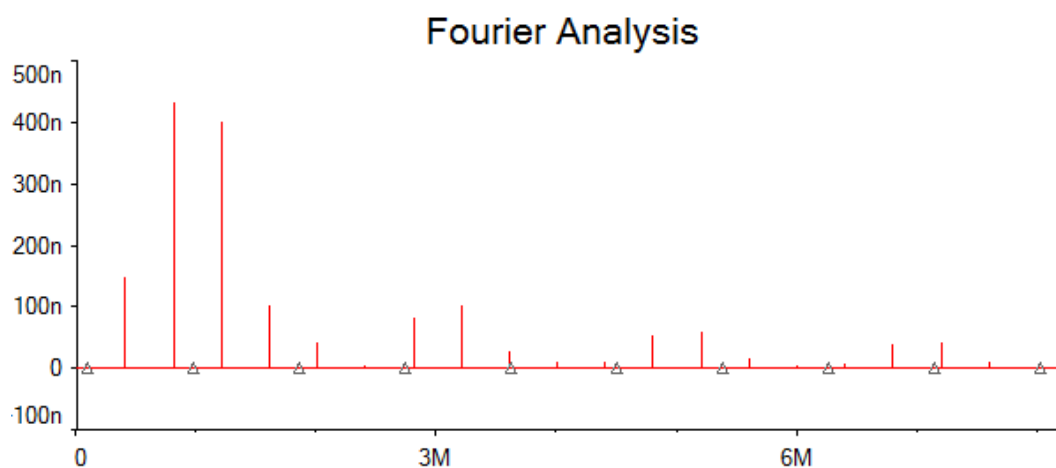
(1)比较在输入相同的本振信号与射频信号的情况下，三极管单平衡混频电路与吉尔伯特混频器两种混频器的仿真结果尤其是傅里叶分析结果的差异，分析其中的原因。若将本振信号都设为 **1MHz**，射频频率设为 **200kHz**，结果有何变化，分析原因。

答：两者都有很好的隔离度，但是吉尔伯特电路具有更大的增益。

将射频信号改为 200KHz，0.2V；本振信号 1MHZ，2V 后，双端输出时三极管单平衡混频电路频谱



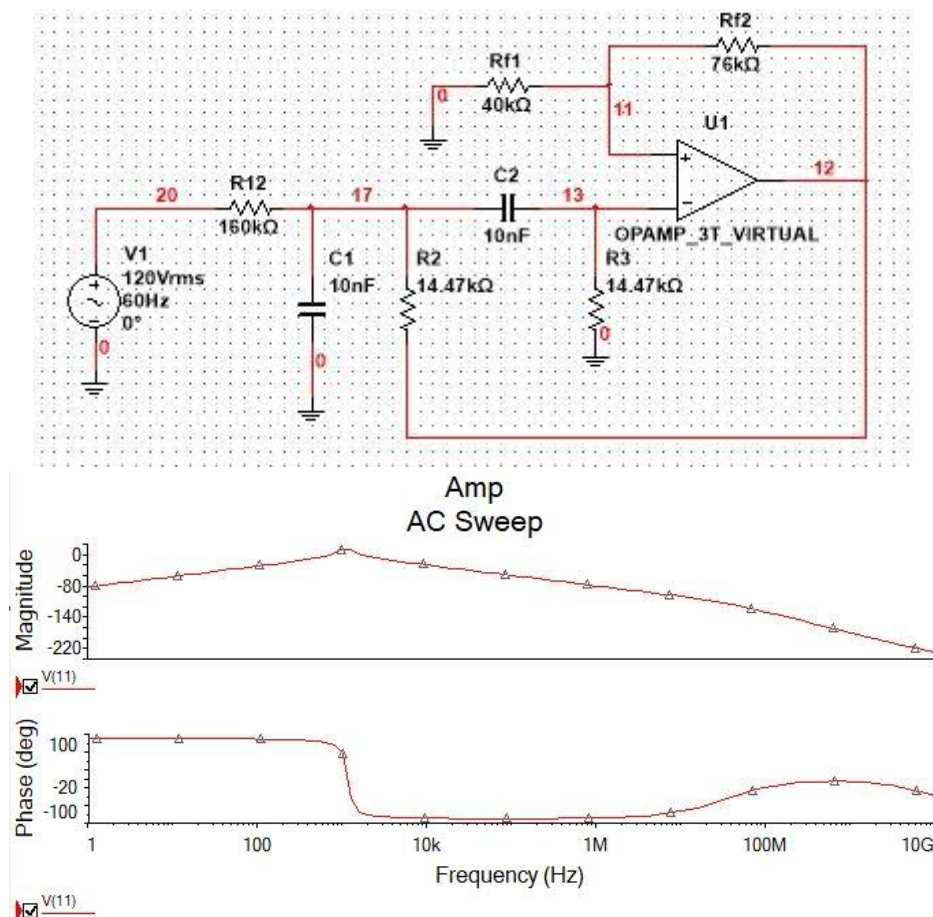
双端输出时吉尔伯特混频电路频谱



分析：

吉尔伯特混频电路的输出频谱中不存在射频直通分量和本振分量。在三极管单平衡混频电路中，由于频率的提高导致增益降低，以至于无法分辨出中频分量。吉尔伯特混频电路由于带宽较大，能够分辨中频分量。

(2)对图 2.9.13 中加入的有源滤波器的特性进行分析，对其幅频特性、相频特性进行仿真。若要使得滤波器的带宽减小 20%，应对滤波器元件参数如何调整。将调整带宽后的滤波器与混频器相连，比较前后傅里叶分析的结果异同，分析原因。

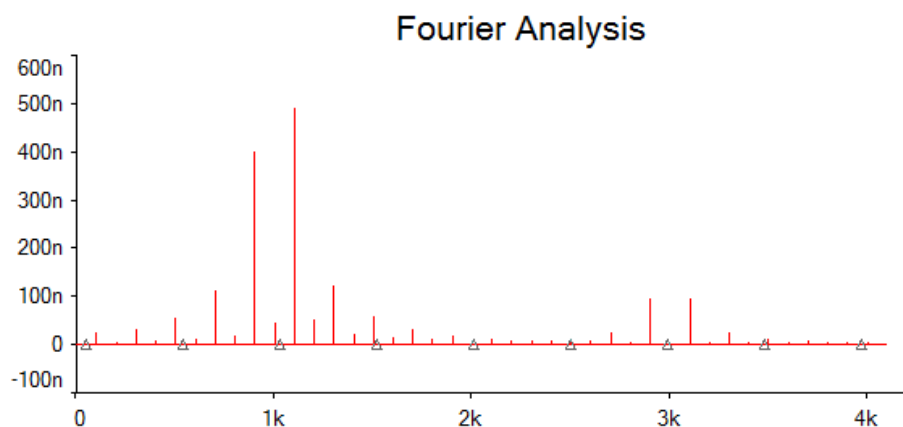


要将滤波器中的运算放大器的 BW 由原来的 1.5MHz 改成 1.2MHz。首先带宽公式为

$$B = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R_{12}} + \frac{2}{R_0} - \frac{R_{f2}}{R_2 R_{f1}} \right)$$

要想使滤波器的带宽减小 20%，可增大 C、R12、R0、Rf2 的值，减小 R2、Rf1 的值。

此处将运放处的反馈电阻 Rf2 由 76K 变为 86K。改变后进行傅里叶分析



分析：滤波器的带宽确实减小，选择能力变强。