

AD9912芯片外置滤波器设计

姓名：郑聪

学号：2015301200148

专业通信工程

March 30, 2018

1 AD9912芯片介绍

AD9912芯片是一款高性能，低噪声的直接数字式频率合成器（DDS, Direct Digital Synthesizer），内置了一个14位的数模转换器。其内部拥有一个基于锁相环的倍频器，这种设计使得用户可以使用较低的外部时钟作为芯片的时钟源。由于抽样定理的限制，DDS的最高输出频率不能高于抽样率的50%。

芯片输出的模拟信号是含有多次谐波的信号，我们想要的信号通常位于从直流到Nyquist频率（采样率的一半, $f_s/2$ ）的区间内。但是在 $f_s/2$ 到 f_s 的范围内，存在着镜像信号。这两种信号在频域内交替出现，延伸到无穷。比如，如果采样率为1GHz，而数字信号的最高频率为400MHz，那么输出结果中在600MHz左右的地方会开始出现镜像信号。如果数字信号的最高频率为450MHz，那么输出结果中550MHz的地方会开始出现镜像信号。

在理想情况下，外部滤波器的作用就是保留DAC信号的基带信号，而完全滤除谐波分量。但是，在实际情况下，外部滤波器不能做到这一点，它大约需要通带范围的20%用于过渡，才能非常明显的滤除谐波分量。因此设计者需要根据允许的过渡带大小设计相应阶数的滤波器，通常的选择是3阶，5阶或者7阶的椭圆低通滤波器。且随着数字信号的最高频率的增加，对外部滤波器的要求也会越来越高。

恢复滤波器的设计对信号的质量有非常大的影响。所以，好的滤波器设计和实现方法对于得到好的结果至关重要。

2 滤波器设计

设计椭圆滤波器，需要先根据需求求出滤波器阶数，然后通过查表的方法得到滤波器的归一化参数。归一化后得到的值是假定截止频率为 $f_0 = 1/(2 * \pi)$ Hz,特性阻抗为 $R_0 = 1\Omega$ 是得到的元件参数。如果要设计特定需求的滤波器，需要在归一化元件参数的基础上做进一步变换。下面将对椭圆滤波器的设计分步解释。

2.1 确定需求

时钟的最高频率是1GHz，输出最大频率为系统时钟的40%，因此，输出最大频率为400MHz。由前面的分析可知，距离有用信号最近的镜像信号是600MHz。为方便查表，我们假设滤波器的阻带截止频率与通带截止频率之比为1.3，且通带截止频率为

$$f_p = 400MHz$$

$$k = \frac{f_s}{f_p} = 1.3$$

$$f_s = 1.3 * f_p = 1.3 * 400MHz = 520MHz$$

另外，我们要求，通带最大波纹最大的不超过0.1dB，阻带衰减需要超过60dB。由芯片的官方文档可知，滤波器输入端阻抗为 $R_{in} = 50\Omega$ 纯电阻，输出端阻抗为 $R_{out} = 50\Omega$ 纯电阻。所以我们设计的滤波器的特性阻抗应该为 $R_{filter} = 50\Omega$ 。

综上所述，我们需要的滤波器参数如下表：

通带截止频率	400MHz
阻带截止频率	520MHz
通带波纹	0.1dB
阻带衰减	60dB
特性阻抗	50 Ω

表1.滤波器指标

2.2 确定阶数

从数字信号处理课程中，我们学习到椭圆滤波器的最小阶数求法。首先计算相关系数。

$$k' = \sqrt{1 - (1/k)^2}$$

$$\rho_0 = \frac{1 - \sqrt{k'}}{2(1 + \sqrt{k'})}$$

$$\rho = \rho_0 + 2(\rho_0)^5 + 15(\rho_0)^9 + 150(\rho_0)^{13}$$

$$N \approx \frac{2lg(4/k_1)}{lg(1/\rho)}$$

通过计算可以得到N的值约为5.74，由于是阶数，只能取整数，因此最少应该使用6阶椭圆滤波器。同时考虑到奇数阶滤波器更加好设计，芯片官方文档中的推荐滤波器阶数也只有3阶，5阶和7阶，因此选择7阶椭圆滤波器。

为了验证上面计算过程的正确性，我使用了matlab的ellipord函数，通过调用ellipord(0.4,0.520,0.1,60)，输出结果为7，分析正确。

2.3 原型电路

7阶椭圆滤波器的原型电路分两种，T型和 π 型。两种电路均可以得到相同的效果，但元件参数不同。下图是 π 型网络的电路原型图。其中 $X_1, X_2, X_4, X_5, X_7, X_8, X_{10}$ 为电容， X_3, X_6, X_9 为电感。

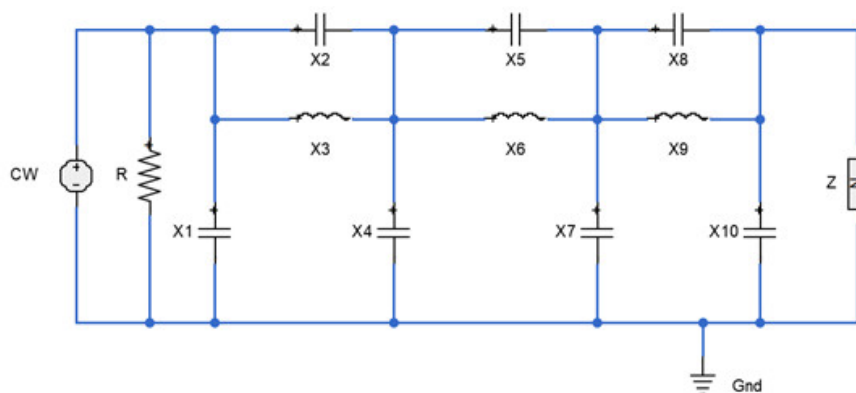


图1.7阶椭圆滤波器圆形电路

通过查表，可以得到上图中各个器件的归一化参数。如下表：

阻带频率/通带频率	X_1/F	X_2/F	X_3/F	X_4/F	X_5/F
1.3	0.67740	0.73284	0.78198	1.67455	0.10508
2	1.00371	0.20165	1.18639	1.93698	0.03412
3	1.10642	0.08011	1.32217	2.02829	0.01404
4.5	1.14866	0.03468	1.37886	2.06674	0.00605
阻带频率/通带频率	X_6/F	X_7/F	X_8/F	X_9/F	X_{10}/F
1.3	1.48249	1.78287	0.425781	0.989749	0.848802
2	1.54560	1.98532	0.126941	1.270227	1.067202
3	1.56208	2.04977	0.051126 1.358692	1.133606	
4.5	1.56854	2.07628	0.021852	1.394954	1.160568

表2.7阶椭圆滤波器原型电路的器件参数

由已知条件可知，我们需要的是比值为1.3的数据。

2.4 确定元件实际参数

对上述归一化数据做下面的变换。首先计算M的值：

$$M = \frac{f_p}{f_0} = \frac{400MHz}{(1/2 * \pi)Hz} = 1.273E10$$

然后计算K的值：

$$K = \frac{R_{filter}}{R_0} = \frac{50\Omega}{1\Omega} = 50$$

将上表中的归一化数据通过下面的方法计算，得到器件的实际参数：

$$L' = \frac{LK}{M}$$

$$C' = \frac{C}{MK}$$

就可以得到下面的表格：

X_1/pF	X_2/pF	X_3/nH	X_4/pF	X_5/pF
5.391	5.832	15.56	13.33	0.843
X_6/nH	X_7/pF	X_8/pF	X_9/nH	X_{10}/pf
29.49	14.19	3.388	19.69	6.755

表3.真实元件参数

将上述数据代入原型电路，就可以得到最终的电路。

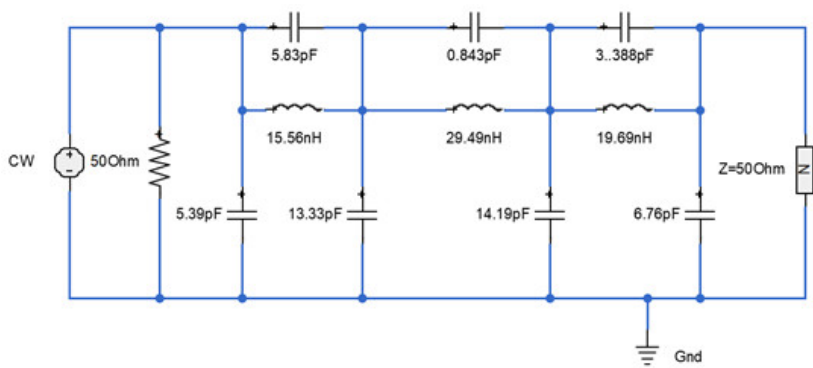


图2.最终电路

3 结果验证

使用matlab仿真，可以得到电路的幅频特性曲线。

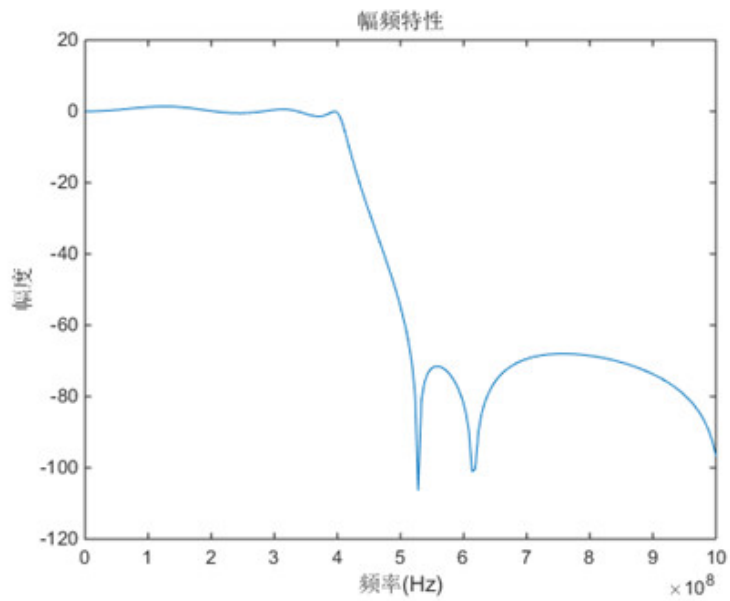


图3.电路幅频特性

从上图可以看出，滤波器在通带范围内波动很小，达到0.1dB的要求。而在阻带范围内，也达到了60dB的衰减要求。

经过仿真之后，也可以得到相频特性，如下图

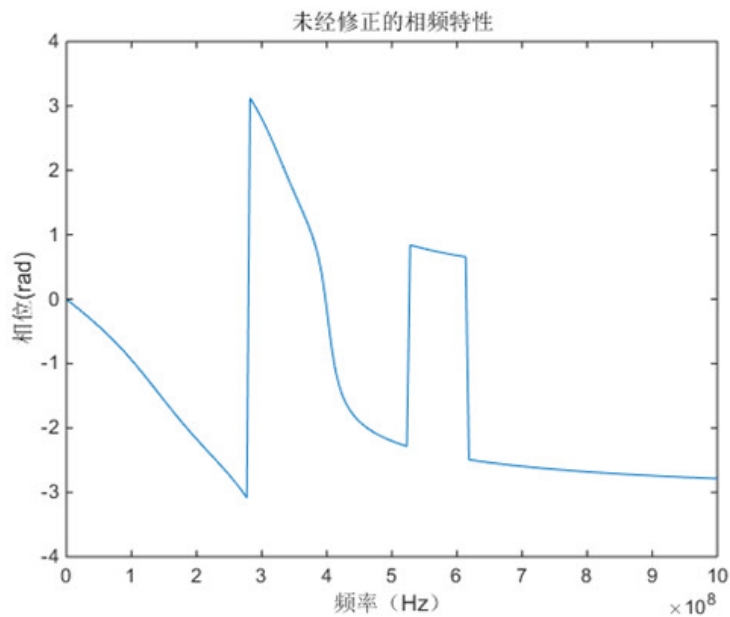


图4.未经校正的相频特性图

在上述相频特性图中，相位被限制在 $-\pi-\pi$ 之间，因此会出现相位的跳变，经过校正之后，可以得到下面的连续的相频特性曲线。

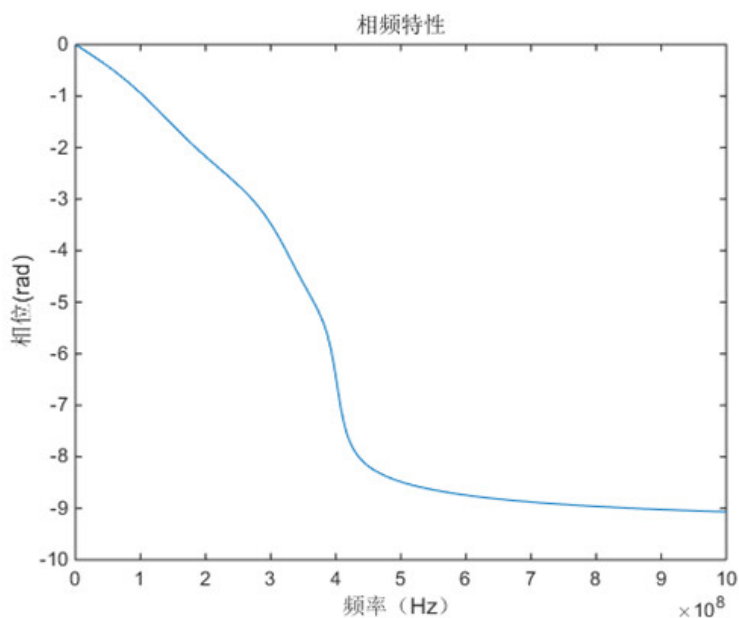


图5.经过校正的相频特性曲线

从相频特性图中可以看出，在通带范围内，滤波器具有近似的线性相位特性。

4 结论

通过上面的设计过程可以总结出椭圆滤波器的设计方法。首先需要给出滤波器的设计指标。然后，根据指标，求出最小阶数，根据阶数查找对应的原型电路。再通过阶数和频率比，找到原型滤波器的器件参数。再对这些参数做变换，变换的系数需要根据具体电路条件求得。最后，将求得的实际电路参数代入原有的原型电路即可。

通过仿真结果可知，此次设计的椭圆滤波器能够达到设计要求。

5 参考文献

- [1]王涛,刘洋,左月明.7阶椭圆型低通滤波器的设计及仿真[J].机电工程技术,2013,42(11):17-18+30.