

基于 DDS 的低通滤波器的设计与实现

毛敏, 郑珍, 周渭

(西安电子科技大学 信息处理研究所, 陕西 西安 710071)

摘要 基于 DDS 技术的基本原理, 以设计低通滤波器为目的, 采用 EDA 软件 Multisim2001 进行仿真, 研究了低通滤波器的设计方法, 确定了低通滤波器的结构、阶数, 并设计相关参数, 得出了截至频率为 120MHz 的 7 阶的低通滤波器, 其幅频特性好, 具有快速的衰减性。

关键词 DDS; 低通滤波器; EDA 仿真软件 (Multisim2001)

中图分类号 TN713

Design of Low-pass Elliptic Filter on DDS

Mao Min, Zheng Zheng, Zhou Wei

(Institute of Information Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract The low-pass elliptic filter is designed on the primary principle of the direct digital synthesis technique using EDA simulation. The method for designing the low-pass elliptic filter is introduced. A 7th order low-pass elliptic filter with the cut-off frequency of Hz is attained. It has good phase frequency characteristic and speedy attenuation.

Keywords DDS technique; low-pass elliptic filter; EDA simulation(Multisim2001)

1 DDS 的基本原理

DDS 技术是根据相位间隔对正弦信号进行取样、量化、编码, 然后储存在 EPROM 中构成一个正弦查询表。频率合成时, 相位累加器在参考时钟的作用下对时钟脉冲进行计数, 同时将累加器输出的累加相位与频率控制字 M 预置的相位增量相加, 以相加后的结果形成正弦查询表的地址; 取出表中与该相位对应的单元中的幅度量化正弦函数值, 经 D/A 转换器输出模拟信号, 再经低通滤波器平滑得到符合要求的模拟信号。

DDS 原理框图如下:

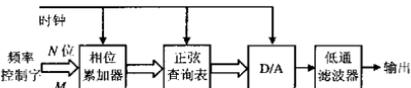


图 1 DDS 原理图

DDS 具有相对带宽宽、频率转换时间短、频率分辨率高、输出相位连续、可产生宽带正交信号及其他多种调制信号、可编程和全数字化、控制灵活方便等方面的优点。但是, DDS 有一个明显的缺点, 输出频率越接近 Nyquist 带宽的高端, 采样点数越少, 其输出的杂散干扰就越大, DDS 芯片的输出具有大量的谐波分量 and 系统时钟干扰。DDS 输出频谱如图 2 所示。

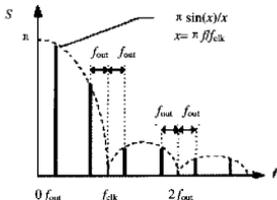


图 2 DDS 输出频谱图

为了得到所需频段内的信号, 需要在 DDS 输出端加一滤波器来实现, 而低通滤波器能较好的滤除杂波, 平滑信号, 所以低通滤波器的设计就尤为

收稿日期: 2005-08-30

作者简介: 毛敏 (1976—), 女, 硕士研究生, 研究法方向: 测试计量技术与仪器。

重要, 滤波特性的优劣对输出信号的性能起重要的影响。

2 低通滤波器的设计

根据 DDS 原理, 频率控制字 M 和时钟频率 F_c 共同决定了 DDS 输出信号的频率 f_0 , 它们之间的关系满足: $f_0 = M \cdot F_c / 2^N$ (N 为相位累加器位数)。

由奈奎斯特采样定理, 输出信号的最高频率是 DDS 芯片时钟频率 (F_c) 的 50% (理论值), 但是考虑到低通滤波器的特性和设计难度以及对输出信号杂散的抑制, 实际的输出频率带宽仍能达到 40% F_{s0} 。

AD9852 是 AD 公司推出的一种高速集成的 DDS 芯片, 工作时钟可达 300MHz, 由奈奎斯特采样定理知, AD9852 输出的最高频率为 120MHz, 则低通滤波器的截至频率为 120MHz。

2.1 低通滤波器的选择

一般用一个可实现的衰减特性来逼近理想特性, 且使衰减的变化处在所规定的容限之内, 根据不同的逼近原则、不同的衰减特性, 选择不同响应的滤波器。低通滤波器的频率响应主要有三种: 巴特沃斯滤波器 (最平坦响应滤波器)、契比雪夫滤波器、椭圆函数滤波器。

巴特沃斯滤波器的响应最为平坦, 它的通带内没有波纹, 在靠近零频处, 有最平坦通带, 趋向阻带时衰减单调增大, 缺点是从通带到阻带的过渡带最宽, 对于带外干扰信号的衰减作用最弱, 过渡带不够陡峭。契比雪夫滤波器在通带内衰减在零值和一个上限值之间做等起伏变化, 阻带内衰减单调增大, 带内有起伏, 但过渡带比较陡峭。椭圆函数滤波器不仅通带内有起伏, 阻带内也有起伏, 而且过渡带陡峭。比较起来, 椭圆函数滤波器性能更好。

几种典型低通滤波器的频率响应分别如图 3 所示。

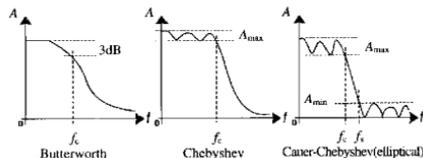


图 3 低通滤波器的频率响应图

2.2 低通滤波器的设计方案

设计一个滤波器, 首先必须按照要求, 考虑滤波器的幅频特性、电路输入、抗匹配、截止频率等, 再根据设计参数确定具体曲线和归一化的元件值, 再根据实际取归一化得到实际的元件值。本文将设计一个截至频率为 120MHz 的 7 阶的椭圆函数低通滤波器。

椭圆函数滤波器的特征函数的构成:

(1) (n 奇) 滤波器的特征函数 $\Phi(\Omega)$ 为奇函数, 表达式为:

$$\Phi(\Omega) = \frac{\Omega \prod_{\mu=1}^m (\Omega^2 - \Omega_{0\mu}^2)}{\prod_{\mu=1}^m (\Omega^2 \Omega_{\infty\mu}^2 - 1)} \quad (n \text{ 奇})$$

其零点在 $\Omega=0$ 和 $\pm \Omega_{0\mu}$, 其极点在 $\pm \Omega_{\infty\mu}$

(2) (n 偶) 滤波器的特征函数 $\Phi(\Omega)$ 为偶函数, 表达式为:

$$\Phi(\Omega) = \frac{\prod_{\mu=1}^{m+1} (\Omega^2 - \Omega_{0\mu}^2)}{\prod_{\mu=1}^m (\Omega^2 \Omega_{\infty\mu}^2 - 1)} \quad (n \text{ 偶})$$

其零点在 $\Omega = \pm \Omega_{0\mu}$, 其极点在 $\pm \Omega_{\infty\mu}$

要设计一个滤波器, 首先必须根据给定的通带最大衰减 A_p 或 ρ (通带边界上的反射系数), 阻带最小衰减 A_s , 选择性因子 k 确定所要求的阶数 n 。为使特征函数在通带和阻带内都呈现等起伏特性, 则它必须满足特殊的微分方程, 由于特征函数的这种特殊性质, 四个参数 (k, A_p, A_s, n) 就不能任意选择, 而它们之间存在一定的关系。当 A_p 很小, A_s 较大时, 它们之间的关系可近似表示为:

$$A_s \approx 10[\lg(10^{0.1A_p} - 1) - n]q(k) - 1.2 \text{ dB}$$

其中, 函数 $q(k)$ 是选择性因子 k 的一个单值函数, 选择性因子 $k = f_p / f_s < 1$ (f_p 为通带上限频率, f_s 为阻带下限频率), 显然, k 愈接近于极限值 1, f_p 与 f_s 相差得愈小, 过度带愈窄, 衰减在过渡中上升

得越快。

在实际应用中,一般都选用 f_p 为基准频率,在这种情况下,通带上限频率和阻带下限频率的归一化值分别为

$$\Omega_p = \frac{f_p}{f_p} = 1; \quad \Omega_s = \frac{f_s}{f_p} = \frac{1}{k}$$

选择性因子 k 就是与椭圆函数滤波器有关的各椭圆函数的模数。在椭圆函数理论中,常用 $\theta = \sin^{-1} k$ 来表示模数 k , θ 称为模角。

由于这四个参数之间的关系非常复杂,用解析方法计算 n 值是比较困难的。因此,实际上总是利用特制的图表来确定阶数 n 。

椭圆函数滤波器的阶数 n 与参数 Ω_s , A_s 及 ρ 之间的关系曲线图如下:

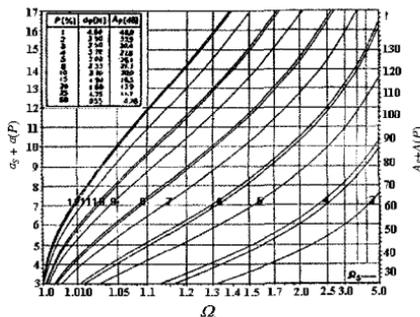


表 1 电容、电感和衰减极点频率的实际值

μ	C_{μ}/pF	L_{μ}/nH	f_{μ}
1	26.1		
2	5.99	77.5	233.5
3	34.4		
4	32.7	41.6	136.4
5	28.3		
6	23.4	46.6	152.4
7	15.99		

表 1 中的元件值均为理想值，由于制作工艺，元件公司并不能提供这些理想元件值，但可以根据电容、电感的串并联特性来得到理想值，使设计的滤波器达到理想值。

椭圆滤波器的电路拓扑图为：

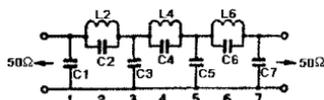


图 5 椭圆滤波器的电路拓扑图

根据以上方法得出的低通椭圆滤波器，还需要能直观地看到滤波器的幅频特性，才能真正知道设计的滤波器性能是否满足设计要求。本文采用 Multisim 2001 仿真软件进行仿真，可以得到采用表 1 中元件值的低通滤波器幅频特性。如图 6 所示。

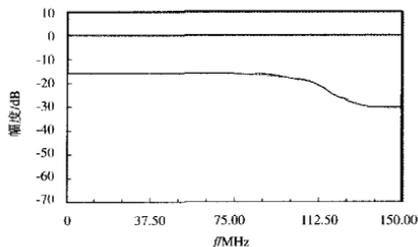


图 6 幅频特性图

由图可以看出，在 120MHz 处的幅度有衰减，在设计低通滤波器时，应该在滤波器的最后一级加上电路补偿部分，补偿的原则是使得幅度值在高频

处有一定的增大。加上补偿部分的椭圆滤波器的电路拓扑图为：

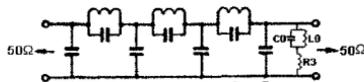


图 7 补偿电路拓扑图

其中：

- (1) $R_3=1/2R_0$;
- (2) 计算 $K=10^{\frac{A_{dB}}{20}}$, A_{dB} 是所要提升的分贝数;
- (3) 计算 $b=f_r/f_b$ 或 $b=f_b/f_r$, 选择大于 1 的 b , 其中 f_r 是对应于 $A_{dB}/2$ 的频率;
- (4) 计算 $L_0=\frac{R_0(b^2-1)\sqrt{k}}{4\pi f_b b^2(k-1)}$, $C_0=\frac{2}{(2\pi f_r)^2 L_4}$ 。

利用 Multisim 2001 适当的修改元件值，就可以得到较理想值，仿真后的幅频特性如图 8 所示。

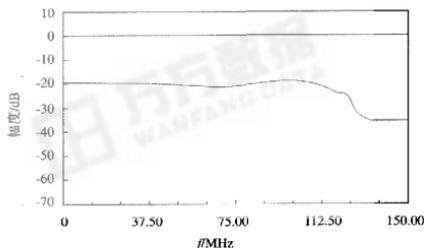


图 8 幅频特性图

3 结论

设计的低通滤波器的阶数为 7 阶，截止频率为 120MHz，具有良好的幅频特性和快速的衰减性，在 135MHz 处衰减为 41Db，对高频信号的滤波，输出信号特性好。利用本文可设计各频段波形的低通椭圆函数滤波器。

参考文献

- 1 黄席榕、高顺泉. 滤波器综合法设计原理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1978.
- 3 郑步生、吴 涓. Multisim 2001 电路设计及仿真入门与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.