

一、在实验二教学 PPT 中，我们已学会如何根据音调的频率构建其对应的信号，信号用如

下正弦波形式表示：

$$x(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

1. 在 MATLAB 中创建一个函数 (tone.m)，功能：输入一个音调频率 f 、幅度 A 及相位 ϕ ，输入该信号的采样频率 F_s 及信号时长 T ，该函数输出该音调的正弦波表示形式，并展示其声音。将你创建的函数复制粘贴在此处。

提示：在 MATLAB 中，该函数定义如下：function x = tone(A, f, phi, Fs, T)

2. 解释幅度 A 和相位 ϕ 对所产生的信号及声音的影响。
3. 1) $F_s=1000$; 2) $F_s=8000$; 3) $F_s=80000$ 。在上述三种采样频率下，所产生的信号与声音是否有所不同？为什么？

答案：

1. 略

2. 幅度 A 影响声音大小。 ϕ 仅改变信号初始相位，在本题中对声音无影响。

3. 取决于给定信号的频率 f ：

若 f 取值较低（低于 500），三种采样频率的声音无任何区别；

若 $500 < f < 4000$ ，则 $F_s=1000$ ：音调低； $F_s=8000$ 或 $F_s=80000$ ，音调高且相同；

若 $f > 4000$ ，则 $F_s=1000$ ：音调最低； $F_s=8000$ ：音调较低； $F_s=80000$ ，音调最高。

（注意， f 不要太取太大，否则声音太刺耳）

上述结果表明采样频率 F_s 对信号的影响与信号本身的频率 f 相关。实际上，根据奈奎斯特采样定理，当 $F_s > 2f$ 时，任何采集到的离散时间信号都具有原始信号的全部特征，因此不同 F_s 无任何区别（当 f 取值小于 500 时）； $F_s \leq 2f$ 时，采集到的离散时间信号不具有原始信号的全部特征，则会导致声音信号失真。

二、和弦是乐理基本概念，它表示特定三个或三个以上的音同时响起，其声音听上去协调丰满，十分和谐动听。对一个和弦信号，可以用三个或三个以上的正弦波叠加的形式表示，如下：

$$x(t) = \sum_{n=1}^K A_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

1. 修改你在上题中所编写的函数，使其能够生成和弦信号，并播放和弦声音。将你修改后的函数复制粘贴在此处。

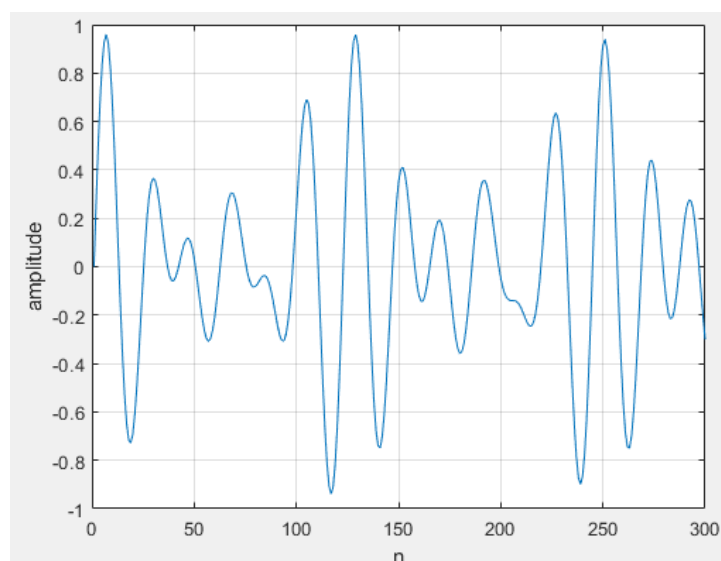
提示：函数定义：function x = tone(A, f, phi, Fs, T, K)，其中 A、f、phi 将是一个行向量，其列数为 K。

2. 生成一个 C 和弦，其音调组成为 C（哆）、E（咪）、G（嗦）。要生成该和弦，所定义 tone 函数的输入为：A=[0.33,0.33,0.33], f=[262,330,392], phi=[0,0,0], Fs=8000, T=3, K=3。听一听该和弦的声音，并将所生成的和弦信号 x 前 300 个点的波形复制粘贴在此。

答案：

1. 略

2.



三、真实乐器所发出的声音并非只由一个音调组成，而是由该音调与它的谐波叠加组成

（谐波，即为频率是该音调整数倍的音调，乐理上也称为泛音）。利用正弦函数来定义一个谐波音调组合，如下：

$$x(t) = \sum_{m=1}^L A_m \sin(2\pi m f t + \phi_m)$$

注意，上述函数中， f 即为基波频率。基波与各谐波的幅度 A 、相位 ϕ 相互独立。事实上，正是因为基波与谐波幅度与相位的组合多种多样，导致了不同乐器对同一音调的表达（音色）完全不同。

1. 在 MATLAB 中创建一个函数 (harmon.m)，使其能模拟真实世界中由基波与谐波共同组成的音调。函数定义如下：function x = harmon(A, f, phi, Fs, T, L)。其中， f 为基波频率； L 为谐波次数（即基波与谐波一共是 L 个正弦信号）； A 、 ϕ 分别为幅度与相位，均为一个 L 列的行向量； F_s 为采样频率； T 为信号总时间。将你所写的函数复制粘贴在此。

2. 利用 harmon 函数生成一个中央 C 音调的 10 次谐波信号，函数的输入分别为：

$A = [1, 0, 1/3, 0, 1/5, 0, 1/7, 0, 1/9, 0]/\pi$;

$f = 262$;

$\phi = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]*(\pi/2)$;

$F_s = 16000$;

$T = 3$;

$L = 10$;

将所生成的 10 次谐波信号的前 300 个点的波形复制粘贴在此。并描述一下这个组

合的音调与单个中央 C 的音调有何不同？

答案:

1. 略

2.

