

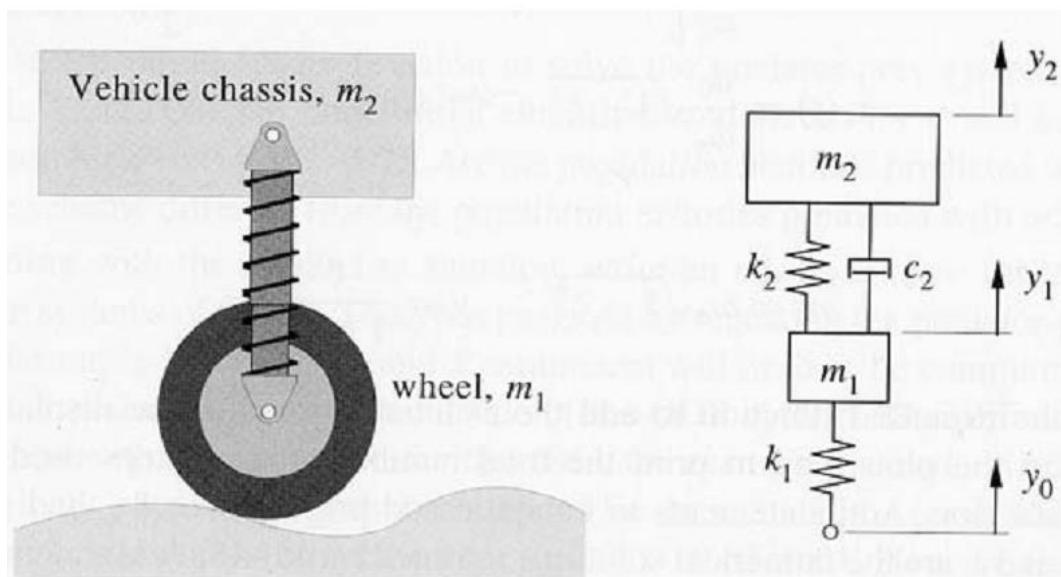
汽车悬架系统分析

供题老师：洪伟

要求：

- (1) 在你的报告中按顺序逐题给出你的分析、解答和讨论，matlab 代码不要夹杂在问题的分析、解答和讨论中；
- (2) 采用 matlab 进行数值计算并画出图形，帮助你完成题目的解答。
- (3) matlab 代码作为报告的附录给出。
- (4) 完成后将所有文档、matlab 代码和其他相关内容打包，以“题目号-班级-姓名-学号”作为文件名上交。

汽车的轮子是通过一个悬架系统连接到汽车上的，悬架系统的设计是要尽可能地减小汽车在颠簸的路面行驶时车厢的振动。连接车轮与汽车底盘的悬架系统可由一个弹簧和一个减震器构成。弹簧和减震器在车轮经过一块凸起的路面时均呈压缩状态，因此车轮的颠簸运动不会直接传递到车厢。弹簧产生的力使车厢距离路面的高度保持在一个所需的水平，而减震器增加了摩擦阻尼。考虑到轮胎具有一定的弹性，车轮与地面的接触点之间也可以看做有一个弹簧。本题中你将采用如下图所示的汽车悬架系统模型进行系统分析。



模型中汽车底盘的质量为 m_2 ，它通过弹性系数为 k_2 的弹簧和阻尼系数为 c_2 的减震器连接到车轮上，车轮的质量为 m_1 ，它与地面之间有一个弹性系数为 k_1 的弹簧。地面的起伏为 $y_0(t)$ ，车轮相对其平衡位置的垂直位移为 $y_1(t)$ ，汽车底盘相对其平衡位置的垂直位移为 $y_2(t)$ 。已知弹簧产生的力是弹性系数 k 乘以弹簧相对于平衡状态的压缩量，即服从胡克定律；减震器产生的力等于常数 c 乘以减震器被压缩的速度。本题中忽略重力的影响。可能用到的 matlab 函数包括：impulse, tf, lsim 等。

Q1: 仅考虑汽车悬架系统（即弹簧 k_2 和减震器 c_2 构成的系统），完成下面的分析：

- (a) 分析底盘的受力情况，给出描述汽车悬架系统输入输出关系的微分方程 ($y_1(t)$ 为系统的输入信号， $y_2(t)$ 为输出信号)，并求出传递函数。
- (b) 假设 $m_2 = 1, k_2 = 1$ ，求出系统在 $c_2 = 0$ 时的单位冲激响应并画图，分析系统中如果没有

减震器时会出现什么问题，给出物理解释。

(c) 给出该系统的极点为实数时最小正阻尼的表达式。画出 c_2 取该值时的单位冲激响应，给出减震器改善悬架系统性能的物理解释。

(d) 考虑当 c_2 很大时会发生什么现象，画出 $c_2=100$ 时的单位冲激响应，为什么与(c)中的结果相比，这一冲激响应并不令人满意？给出一个硬的减震器导致系统性能劣化的物理解释。

Q2: 计入轮胎的影响，完成下面的分析：

(e) 分析轮胎的受力情况，给出描述轮胎系统的方程。该方程与 Q1 中得到的悬架系统的输入输出方程联立，可以完成整个系统的分析。分别给出 $y_0(t)$ 为输入 $y_1(t)$ 为输出的系统的传递函数，以及 $y_0(t)$ 为输入 $y_2(t)$ 为输出的系统的传递函数。

(f) 在 $t = [0,5]$ 的时间间隔内求解整个系统。假定 $m_1 = 110 \text{ kg}$, $k_1 = 136 \text{ N/m}$, $m_2 = 1900 \text{ kg}$, $k_2 = 16 \text{ N/m}$, $c_2 = 176 \text{ Ns/m}$ ，假定系统满足初始松弛条件，即： $y_1(0) = 0$, $y_2(0) = 0$, $y_1'(0) = 0$, $y_2'(0) = 0$ 。当 $y_0(t) = 0.05 \sin(3\pi t)$ 时，画出 $y_1(t)$ 和 $y_2(t)$ 的波形。当 c_2 减小到原来的 $1/5$ ，其他条件不变时，再次画出 $y_1(t)$ 和 $y_2(t)$ 的波形，分析两次得到的结果。