
Content

1. 基础实验篇.....	1
1.1 模拟 AM 调制解调系统.....	1
1.1.1 实验目的.....	1
1.1.2 实验原理.....	1
1.1.3 实验内容.....	4

开源SDR实验全书

1. 基础实验篇

1.1 模拟 AM 调制解调系统

1.1.1 实验目的

幅度调制技术是一种最简单的模拟调制方法，通过幅度调制容易理解调制的基本概念。本实验通过 GNU Radio GRC 产生信号频率、幅度等参数可变的基带信号和载波信号，实现 AM 调制和解调，观察参数变化对已调信号的影响，深入理解 AM（Amplitude Modulation）调制解调原理。

1.1.2 实验原理

调制是改变高频载波信号特征来传递信息的过程。虽然理论上存在未经数据调制就直接传输基带信号或信息的可能，但是将该信息调制到载波上再进行发送效率更高。

模拟调制和数字调制都有多种调制方法。

幅度调制是一种模拟调制方法，通过连续改变固定频率载波信号的幅值来表示数据。该载波信号通常是一个高频的正弦波，用来“负载”该消息包络中的信息。正弦波有三个可变参数——幅度 A 、频率 ω 和相位 φ ，任何一个参数都可被调制或改变以此来表达信息。正弦波在数学上可用正弦或余弦函数来描述（二者是一回事，只是相位相差 90 度而已），但是由于余弦函数是对称函数，易于处理，因此，一般常用余弦函数来表示载波信号。

1.1.2.1 AM 调制

幅度调制是用调制信号来控制高频正弦载波的幅度 A ，使得高频正弦载波按照调制信号的规律变化的过程。幅度调制器的一般模型如图所示。

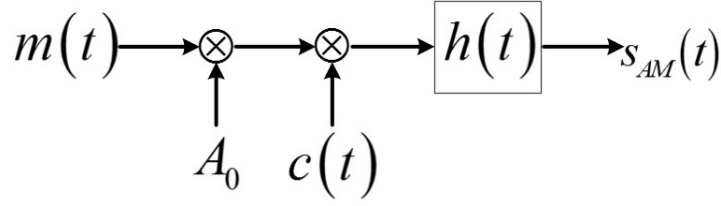


图 幅度调制器一般模型

其中,

$m(t) = A_m \cos(\omega_m t + \varphi)$ 为调制信号 (也就是信息信号), $\omega_m = 2\pi f_m$;

A_0 是外加的直流分量;

$c(t) = A_c \cos(\omega_c t)$ 是高频载波信号, $\omega_c = 2\pi f_c$;

$s_{AM}(t)$ 是 AM 调制的已调信号;

$h(t)$ 为滤波器的冲激响应。

为了简化公式描述, 通常假设载波信号 $c(t)$ 与调制信号之间的初始相位差 $\varphi = 0$, 外加的直流分量 $A_0 = 1$, 载波信号的幅度 $A_c = 1$ 。

经过 AM 调制, 已调信号 $s_{AM}(t)$ 就是将调制信号添加到载波信号的幅度上的结果, 用数学公式表示为:

$$\begin{aligned}
 s_{AM}(t) &= A_c [A_0 + m(t)] \cos \omega_c t \\
 &= (A_c A_0 + A_c A_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \\
 &= A_c \cos \omega_c t + A_c A_m \cos \omega_m t \cos \omega_c t \\
 &= A_c \cos \omega_c t + \frac{A_c A_m}{2} [\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t] \\
 &= A_c \cos 2\pi f_c t + \frac{A_c A_m}{2} [\cos 2\pi(f_c - f_m)t + \cos 2\pi(f_c + f_m)t]
 \end{aligned}$$

从上述表达式可知, 已调信号 $s_{AM}(t)$ 中含有三种频率成分, 即 f_c , $f_c - f_m$ 和 $f_c + f_m$ 。其中, 通常将 $f_c + f_m$ 称为上边带, $f_c - f_m$ 称为下边带。通过适当选择滤波器的特征, 便可得到各种幅度调制信号, 如常规双边带调幅 (AM)、双边带调制 DSB、单边带调制 SSB、抑制载波双边带调制 (DSB-SC)、单残留边带调制。【请注意英文用词中只有 AM 调制表示的才是常规双边带调幅, 本教程将在接下来的教程中只考虑 **AM 调制即常规双边带调幅**】

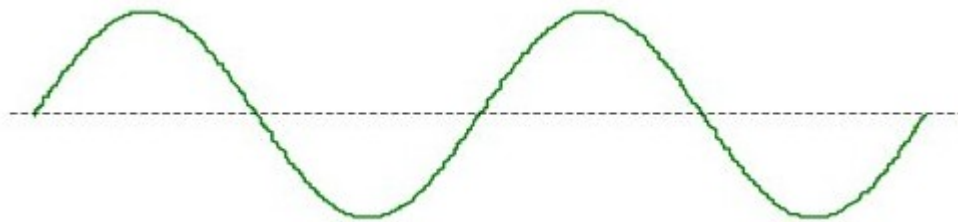
上述已调信号 $s_{AM}(t)$ 公式中, 并没有考虑 AM 调制系数(或称为调制指数)。然而, 在调制技术中, 调制系数是衡量调制深度的一个非常重要的指标参数。在调幅 (AM) 技术

中，调制系数指调制信号与载波信号幅度比，也称为调幅系数。在这里，我们用 k_a 表示调幅系数。则已调信号表示为 $s_{AM}(t) = A_c [1 + k_a \cdot m(t)] \cos \omega_c t$ 。

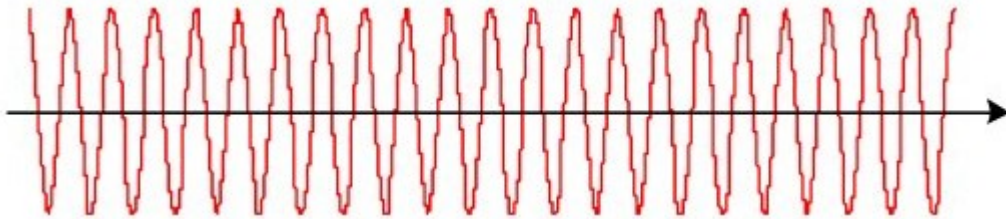
一般地，调幅系数定义为，用 A 和 B 分别表示 AM 波形包络垂直方向上的最大和最小值，则调幅系数 $k_a = \frac{A-B}{A+B}$ 。提高调幅系数可提高信噪比、功率利用率。但调幅系数的提高是有限的，太大将造成调制信号的失真，实际的调幅系统调制系数都小于 1。例如，AM 广播的调制系数在 0.3 左右。

调幅系数的具体示例如下几图所示：

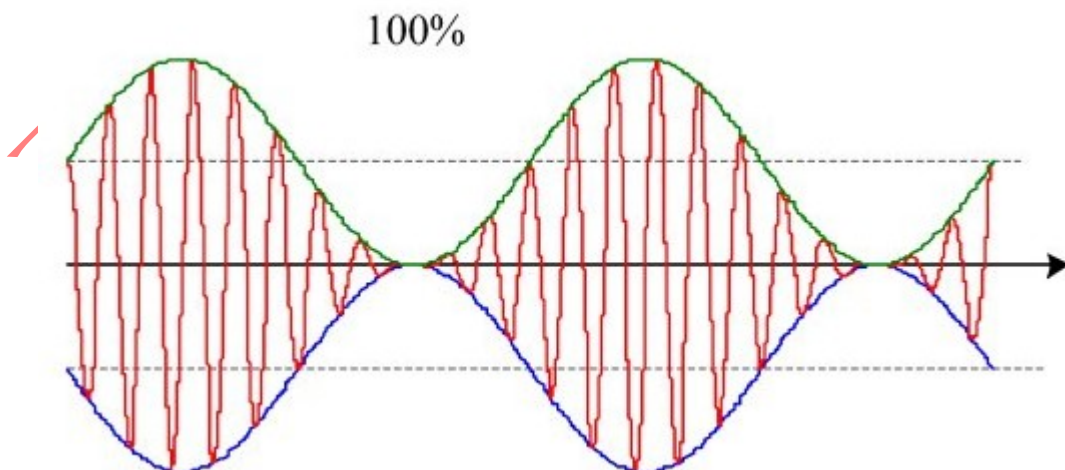
调制信号 $m(t)$ 波形为：



载波信号 $c(t)$ （或者说是调幅系数为 0 的 AM 波形）波形为：



下图是调幅系数为 100% 的 AM 信号波形，其中 $A=1$ ， $B=0$ 。AM 波形包络的摆幅达到了最大，接触到了纵轴的 0 点。



而下图则是调幅系数为 50% 的 AM 信号波形，其中 $A=1.5$ ， $B=0.5$ 。AM 波形包络的摆幅是最大情形的一半。

假设调制信号 $m(t)$ 均值为 0，且沿着横轴取值正负对称。如果 $m(t)$ 的最大幅度是 1

即 $A_m = 1$ ，直流分量 $A_0 = 1$ ，则的 AM 信号表达式可写成：

$$s_{AM}(t) = A_c [1 + k_a \cdot m(t)] \cos \omega_c t, \quad 0 \leq k_a \leq 1$$

假设调制信号 $m(t)$ 的最大幅度不是 1，直流分量 $A_0 = 1$ ，则根据如下公式进行幅度归一化后的信号的幅度为 1，

$$\hat{m}(t) = \frac{m(t)}{|m(t)|_{\max}}$$

则此时 AM 信号表达式可写成：

$$s_{AM}(t) = A_c [1 + k_a \cdot \hat{m}(t)] \cos \omega_c t, \quad 0 \leq k_a \leq 1$$

1.1.2.2 AM 解调

经过 AM 调制后的已调信号为：

$$s_{AM}(t) = A_c [A_0 + k_a \cdot m(t)] \cos(\omega_c t + \varphi)$$

其中，调制信号 $m(t) = A_m \cos(\omega_m t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$ 为了简化表述，我们假设载波初始相位 $\varphi = 0$ ，外加直流 $A_0 = 1$ ，载波信号幅度 $A_c = 1$ ，则可得：

$$\begin{aligned} s_{AM}(t) &= A_c [1 + k_a \cdot m(t)] \cos(\omega_c t) \\ &= [1 + k_a \cdot m(t)] \cos(2\pi f_c t) \end{aligned}$$

AM 接收机需要从接收到的已调信号 $s_{AM}(t)$ 中还原出调制信号 $m(t)$ 。一种解决方法就是先从 $s_{AM}(t)$ 中还原出 $1 + k_a m(t)$ ，然后再减去直流分量从而得到 $m(t)$ （实际上是 $k_a m(t)$ ）。

因此，我们按照以下三步来进行 AM 解调：

1) 用载波 $c(t)$ 乘以已调信号 $s_{AM}(t)$

$$\begin{aligned} r(t) &= s_{AM}(t) \cdot c(t) = A_c [1 + k_a \cdot m(t)] \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) \\ &= [1 + k_a \cdot m(t)] \left[\frac{1}{2} (1 + \cos(4\pi f_c t)) \right] \\ &= \frac{1}{2} [1 + k_a \cdot m(t)] + \frac{1}{2} [1 + k_a \cdot m(t)] \cos(4\pi f_c t) \end{aligned}$$

- 2) 利用低通滤波器得到调制信号 $\frac{1}{2}[1+k_a \cdot m(t)]$
- 3) 滤除直流电压后，得到 $\frac{1}{2}k_a \cdot m(t)$

1.1.3 实验内容

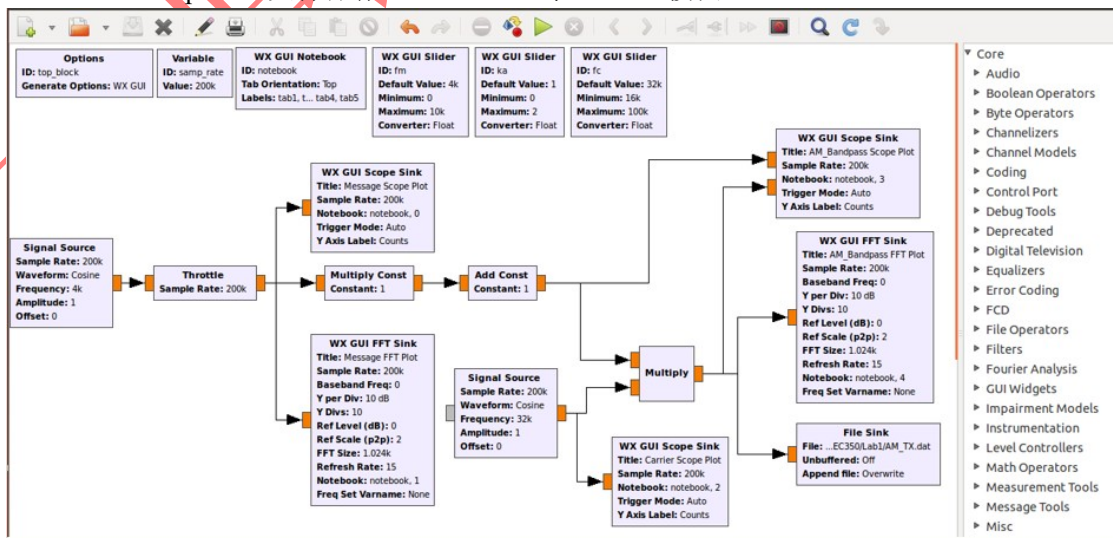
自己先尝试着编写 GNU Radio Companion 程序，实现如下公式所示的幅度调制过程，观察调制信号 $m(t)$ 、载波信号 $c(t)$ 以及已调信号 $s_{AM}(t)$ 之间的差异，并查看不同的调制系数 k_a 对已调信号的影响。

$$s_{AM}(t) = A_c [1 + k_a \cdot m(t)] \cos \omega_c t$$

1.1.3.1 AM 调制-非 hackrf

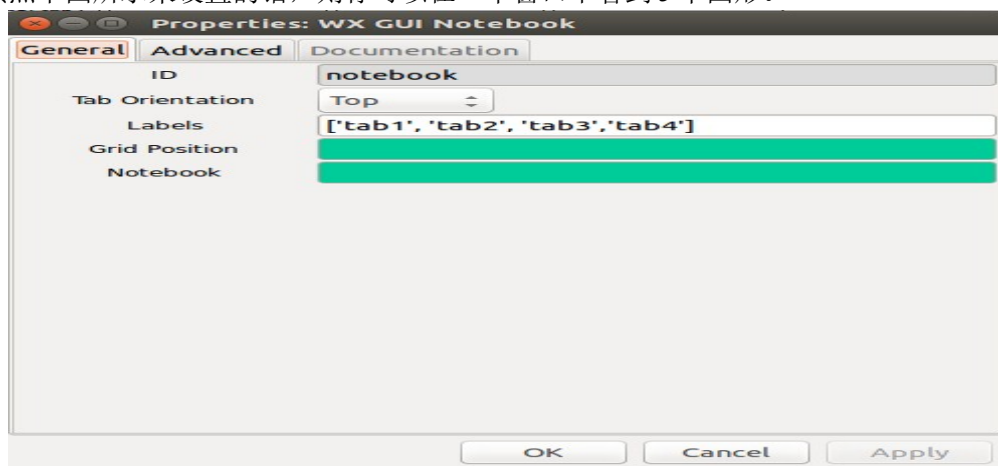
1.1.3.1.1 GRC AM 调制程序总览

按照下图所示，搭建一个 AM 调制的 GRC 程序（AM_TX-no hackrf.grc）。其中包括信源（Signal Source），节流阀（Throttle），乘常数（Multiply Const），加常数（Add Const），WX 信号时域用户界面（WX GUI Scope Sink），WX 频域 FFT 展示用户界面（WX GUI FFT Scope），文件保存（File Sink）等 Block（模块）。

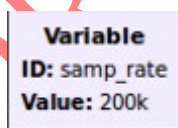


1.1.3.1.2 WX GUI notebook block

WX GUI notebook 模块可以用来在一个窗口的不同标签（Tab）中展示多个图形。如果你按照下图所示来设置的话，则你可以在一个窗口中看到 5 个图形。

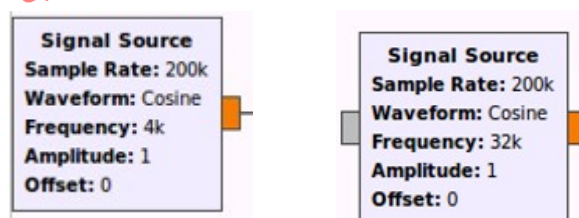


1.1.3.1.3 Sample Rate Variable



双击 samp_rate Block，将 samp_rate 变量设置为 200k。

1.1.3.1.4 Signal Source block



本程序中用到了两个信号源，其中一个是调制信号 $m(t)$ 是正弦波，其频率是 4K，另外一个也是正弦波，其频率是 32K，二者的幅度均为 1，初始相位均为 0。

1.1.3.1.5 fm fc-WX GUI Slider



利用两个 WX GUI Slider 来设置变量区间范围内，取值可被用户调节的变量 **fm**（调制信号频率），**fc**（载波信号频率）。

例如，通过设置 Minimum 和 Maximum 值，fm slider 可以让你在 0Hz-10kHz 之间调节 fm 的取值。默认取值为 4KHz。

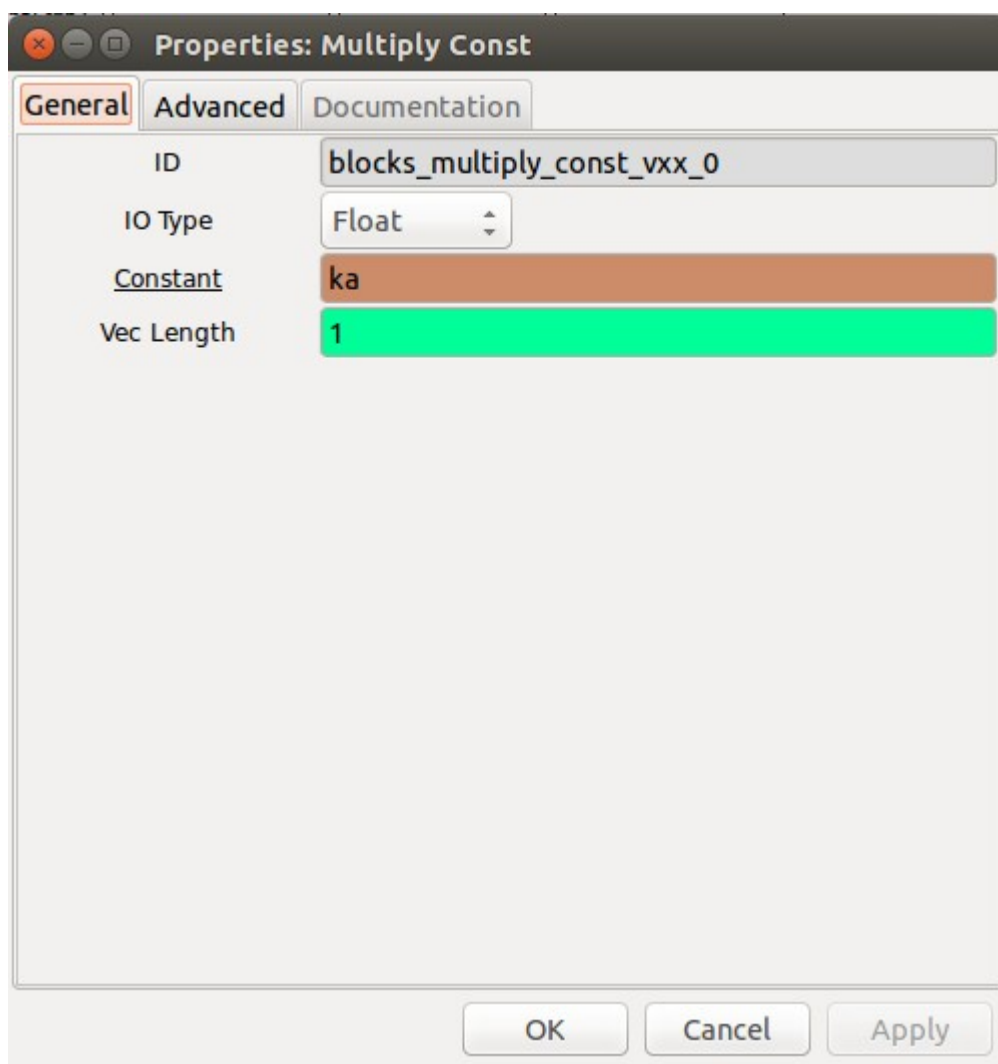
同样地，通过设置 Minimum 和 Maximum 值，fc slider 可以让你在 16KHz-100kHz 之间调节 fc 的取值。默认取值为 32KHz。

1.1.3.1.6 Throttle sample rate

将 Throttle sample rate 中的 sample rate 设置为变量 **sample_rate**。这个 Throttle sample rate 的作用主要是当你的电脑没有连接真实的软件无线电设备（如 USRP 或 HackRF）时，防止你的 GRC 仿真程序占用过多的系统资源进而有可能导致系统崩溃，所以这也就是为什么称它为一个节流阀。

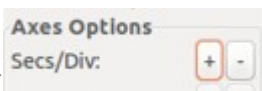
1.1.3.1.7 multiply const block

双击 **multiply const** 模块，将 const 项设置为调制系数变量 **ka**。

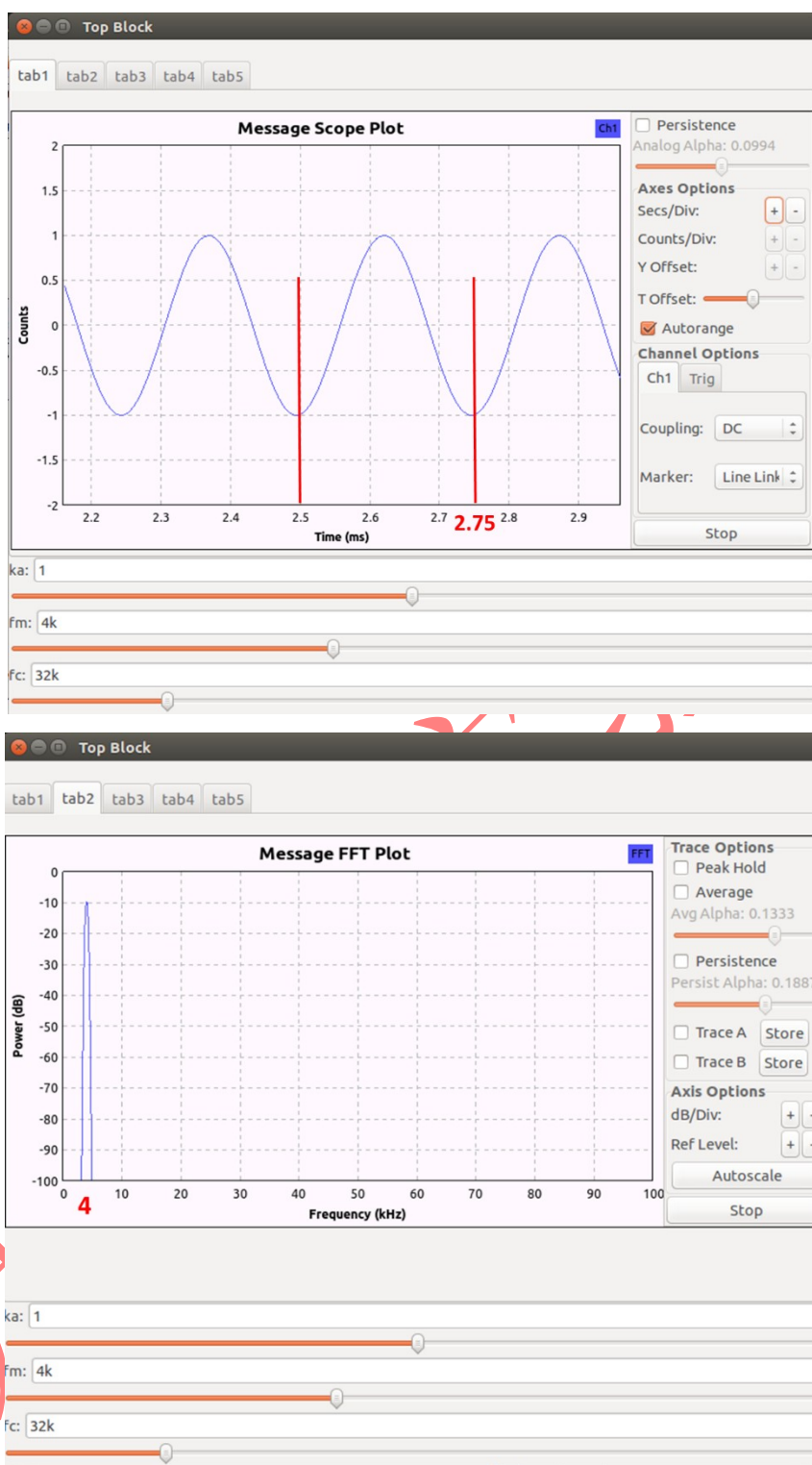


并使用另外一个 WX GUI Slider 来设置其可取值区间为[0,2]。

1.1.3.1.8 WX GUI Scop Sink 和 WX GUI FFT Sink

使用 WX GUI Scop Sink 和 WX GUI FFT Sink 来分别在不同的 Tab (Tab1 和 Tab2) 中查看调制信号 $m(t)$ 的时域和频域波形。【注意调节  直到图形显示适当】

通过分析 Message scope plot 图形可知，调制信号 $m(t)$ 的周期为 0.25ms，即 $\frac{1}{f_m} = \frac{1}{4k}$ S。



使用 WX GUI Scop Sink 在 Tab3 中查看载波信号 $c(t)$ 的时域波形，周期为 0.03125ms，

$$\frac{1}{f_c} = \frac{1}{32k} \text{ s.}$$