1. 题设

假设发端载波信号（便于分析，这里令其幅度为1）为：。

1. 发送信号（FM、2FSK）
2. 接收模型

接收端首先将接收信号与正交载波相乘，正交载波假设为和，其中为一固定相偏。将与和相乘的结果分别通过两个仅保留基带成分的低通滤波器，并假设其结果分别为和。

随后，将和两路输入到CORDIC模块，其输出以为实部，为虚部的复数的幅度和相位，即：

 和 

对发送端发送信号类型的判断和解调，均基于这两个计算结果。当然，CORDIC算法得到的幅度和相位不完全精确，迭代次数越多，精确度越高。此外，需要注意相位的输出范围为。

1. AM、2ASK信号的接收和解调

AM波：，其中为幅度为1的正弦波，。

依据上述解调装置可得：

 

经过保留基带成分的LPF得：





从而：





可见从CORDIC模块的幅度处就能取出叠加了直流的AM波的调制信号，而相位处输出为一定值。

2ASK（OOK）信号是一种特殊的AM信号，其表达式为：



对单极性NRZ码，可将其表示为的形式，其中为幅度±1的双极性NRZ码，，因此2ASK信号与AM波的解调方式相同，从CORDIC模块的幅度处能够直接输出单极性NRZ码。

1. 连续载波（CW）的接收

连续载波：，则依据上述解调装置可得：





经过保留基带成分的LPF得：





从而：





可见CW在CORDIC模块输出的幅度和相位都应为一定值，这是它区别于AM的特点。

1. FM波、2FSK的接收和解调

FM波：，其中为调频灵敏度，为幅度为1的正弦波，则依据上述解调装置可得：





经过保留基带成分的LPF得：





从而：





可见对FM波，CORDIC模块的幅度处为一定值，而在相位处则随时间变化，这是它与AM波、CW的区别。进一步，对相位进行差分（近似微分）就能解调出FM波的调制信号。

2FSK信号是一种特殊的FM信号，其表达式为：



从而经过与FM波相同的解调方式，也能对2FSK信号进行解调，得到单极性NRZ码。

1. 2PSK的接收和解调

 依据上述解调装置可得：

 

经过保留基带成分的LPF得：





从而：





可见2PSK在CORDIC模块输出的幅度为一定值，相位在两个值之间跳变。这一点上与AM、FM等都不一致，从而可以区分出2PSK。进一步，由于相位模糊无法避免，可以直接从得到的相位结果进行判决，得到双极性NRZ码。

1. AM信号调幅系数的计算

首先要明确，信号在进入FPGA的过程当中，无法避免两个现象的发生：

其一，在量化过程中无法避免量化误差出现，随量化位数的增大误差减小；

其二，在量化、数字滤波、解调过程中幅度无法避免的发生变化。但这一变化对所有同类信号都存在且相同。

在具体分析过程中，我们假设量化误差不存在，同时假设在整个量化、滤波、解调过程中，某类信号受到的增益为一常数。

首先分析如何计算AM信号的调幅系数。对形为的AM波（其中为幅度为1的正弦波），其调幅系数为。假设通过解调得到的调制信号为，则可以通过以下方法计算调幅系数：

由于为幅度为1的正弦波，有：







由此，不论K值为何，只需对AM波解调出的调制信号取最大值和最小值，就可以计算得到调幅系数。

1. FM信号最大频偏的计算

对形为的FM波（其中为幅度为1的正弦波），其最大频偏为，设正弦波的频率为，则调频系数为： 

而接收端进行解调的过程中，解调得到的FM波调制信号可以表示为，其中与FM波本身无关，而与量化、滤波、解调过程有关。因而无法仅凭解调结果判断最大频偏。

可以看到，最大频偏与调频灵敏度和调制信号的幅度有关。为了排除的影响，我们不妨利用标准的调制信号和固定的调频灵敏度生成一个标准FM波。

这里设标准调制信号为直流信号，并使用的标准调频灵敏度进行调频得到标准FM波，此FM波的频偏固定，为。此时FM波就相当于一个频率固定偏移的载波信号，即：。

当我们对该FM波进行解调时，将得到。在程序中，我们预先记录下这个值的大小，这样当解调实际的FM波时，我们取解调结果的最大绝对值，并将该值与记录的值做比，就能得到：



从而根据求得。进一步，根据调制信号的频率与最大频偏就能求得调制指数。

2FSK信号是FM波的特殊情况，其调制信号是单极性NRZ码。我们假设2FSK信号包含和两个离散频点。则通过与上述类似的流程可以得到。从而在得到符号速率的情况下求得频移键控系数：



1. FM信号最大频偏的计算（二）

FM波表达式：，其中为单频正弦波，幅度为1，即：；由此可进一步推导相位表达式，得：



由此可见，解调得到的相位值是一个有直流偏置的正弦波，正弦波的幅度为，其正是当调制信号幅度为1时的调频指数。对FM波进行参数估计时，可以先对PM解调的结果——有直流偏置的正弦波求峰峰值，从而得到调频指数，再进一步根据调制信号频率得到最大频偏。

使用相同的思路，也可以对2FSK信号的移频键控系数h进行计算。

假设2FSK信号的两个离散频点分别为和，那么2FSK信号就相当于使用双极性NRZ码进行调频，其表达式为：

 更进一步的，信号发生器生成2FSK信号使用的双极性NRZ码就是交替的±1，这使得积分不会单向增大或减小，而是相互交替。这里考虑该积分的最大值与最小值之差，对于码速率Rc，持续时间Tc的交替±1序列，该差值就等于Tc。从而可以得到2FSK信号的最高瞬时相位与最小瞬时相位之差：



进一步带入，则有：



可见，与FM信号一致，2FSK信号的移频键控系数也可以通过计算瞬时相位的极差得到。

1. 正弦信号频率的计算
2. 单极性NRZ码符号速率的计算

幅度判断直流：2ms

频率判断直流：2ms

幅度、频率判断方波：2ms

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 幅度直流 | 幅度方波 | 频率直流 | 频率方波 |
| AM | 0 | 0 | 1 | 0 |
| FM | 1 | 0 | 0 | 0 |
| CW | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 2ASK | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2FSK | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2PSK | 0 | ？ | 0 | ？ |