

误比特率怎么分析？ 详解 SSA5000A 调制分析、 同步搜索与误比特率测量

一、 相位模糊

通过相位承载信息的调制信号（如 PSK、QAM 等）在解调时由于载波的随机相位，最终无法准确判断接收信号的相位，从而影响解调结果，这种情况称之为相位模糊。

以 QPSK 调制为例，对于一串码元序列“00 01 11 10”，相位分别是 $\pi/4$ ， $3\pi/4$ ， $5\pi/4$ ， $7\pi/4$ 。如果将该信号的相位同时旋转 $\pi/2$ ，序列的相位变为 $3\pi/4$ ， $5\pi/4$ ， $7\pi/4$ ， $\pi/4$ 。此时按照之前的规则判决得到“01 11 10 00”解码序列，可以看到此时的误码率为 100%。

那么这种相位的旋转，或者说偏移，是如何产生的呢？

对于一个 IQ 调制信号，假设基带信号实部为 a，虚部为 b，经过信号源调制后得到：

$$S(t)=a \cos(\omega t)-b \sin(\omega t)$$

频谱仪接到调制信号后，使用同样的频率但是相位随机的载波 $\cos(\omega t+\phi)$ 和 $\sin(\omega t+\phi)$ 与之相乘进行解调，得到：

$$\begin{aligned} I'(t) &= S(t) * \cos(\omega t + \phi) \\ &= a \cos(\omega t) \cos(\omega t + \phi) - b \sin(\omega t) \cos(\omega t + \phi) \\ &= a[\cos(\omega t + \phi - \omega t) - \sin(\omega t) \sin(\omega t + \phi)] + b[\sin(\omega t + \phi - \omega t) - \cos(\omega t) \sin(\omega t + \phi)] \\ &= a \cos(\phi) + b \sin(\phi) - \sin(\omega t + \phi)[a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q'(t) &= S(t) * \sin(\omega t + \phi) \\ &= a \cos(\omega t) \sin(\omega t + \phi) - b \sin(\omega t) \sin(\omega t + \phi) \\ &= a[\sin(\omega t + \phi - \omega t) + \sin(\omega t) \cos(\omega t + \phi)] - b[\cos(\omega t + \phi - \omega t) - \cos(\omega t) \cos(\omega t + \phi)] \\ &= a \sin(\phi) - b \cos(\phi) + \cos(\omega t + \phi)[a \sin(\omega t) + b \cos(\omega t)] \end{aligned}$$

通过基带滤波器将上述公式中突出部分的信号滤除，得到了解调后基带信号的实部和虚部：

$$I = a \cos(\phi) + b \sin(\phi)$$

$$Q = a \sin(\phi) - b \cos(\phi)$$

未经调制的原基带信号 s 和解调后的基带信号 s' 分别为：

$$s = a - j * b$$

$$s' = I + j * Q = (a - j * b)[\cos(\phi) + j * \sin(\phi)] = s * e^{j\phi}$$

从公式上可以看出，解调后的基带信号 s' 等价于原信号进行了相位为 ϕ 的旋转，且这个旋转的是任意的。对于 QPSK 来说，相邻符号之间的相位差是 $\pi/2$ ，所以频谱仪会根据得到的结果补偿 $[-\pi/4, \pi/4]$ 的相位，从而尽可能消除相位旋转对解调结果的影响，但如果相位旋转的角度超过了这个范围则会出现相位模糊的情况。

比如，“00”的相位是 $\pi/4$ ，经过了 $\pi/8$ 的相位旋转后变为 $3\pi/8$ ，频谱仪会补偿 $\pi/8$ ，使相位变回 $\pi/4$ ，此时解调出来的结果为“00”。

如果原信号经过了 $5\pi/8$ 的相位旋转，变为 $7\pi/8$ ，此时频谱仪只会补偿 $\pi/4$ 使相位变为相邻符号对应的相位 $3\pi/4$ ，解调结果就变为“01”，显然这是错误的解调结果，这种现象就是相位模糊。

为了解决相位模糊的问题，需要引入“同步码”（或者叫导频码），有关同步码的具体设置在第三节中有详细阐述。

二、星座图映射

在正式开始解调之前，需要确保频谱仪的星座图符号映射与输出端调制信号的星座图符号映射一致，如此才能成功解调信号。

1. SSG5000X-V 星座图符号映射设置

IQ MOD → Custom → 调制设置 → 调制类型 → 自定义 → 自定义设置 → 导入。

通过上述步骤，导入想要的调制类型，同时可以查看各个符号的具体映射。

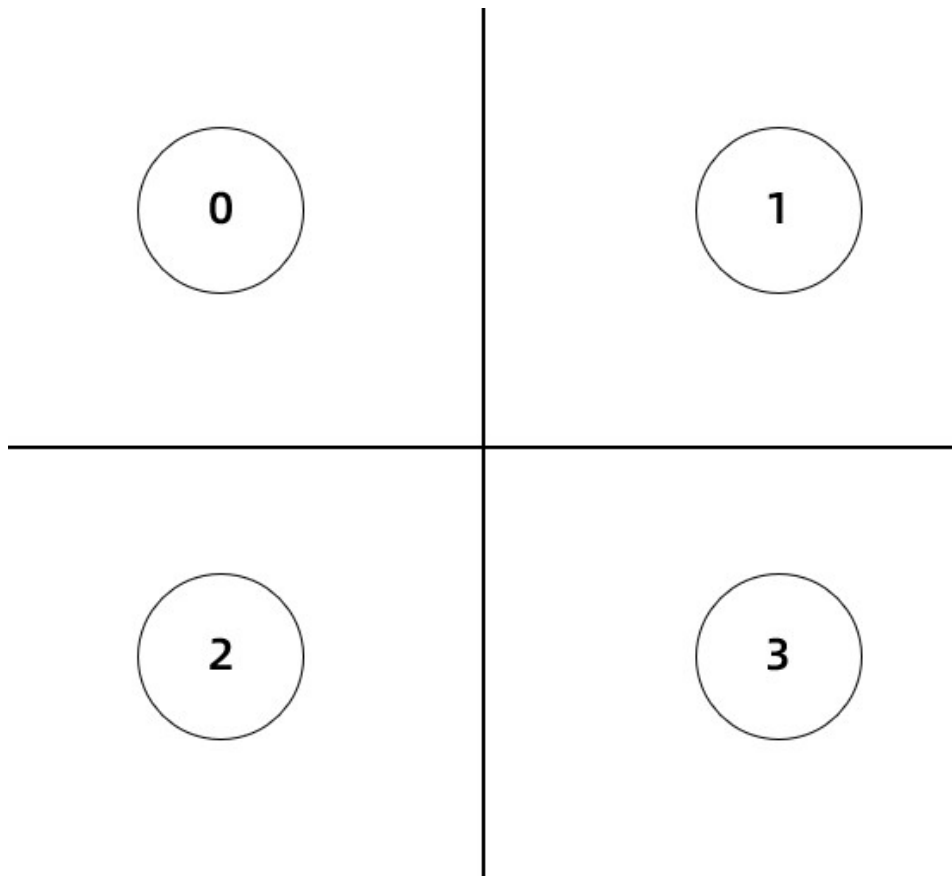


自定义IQ数据

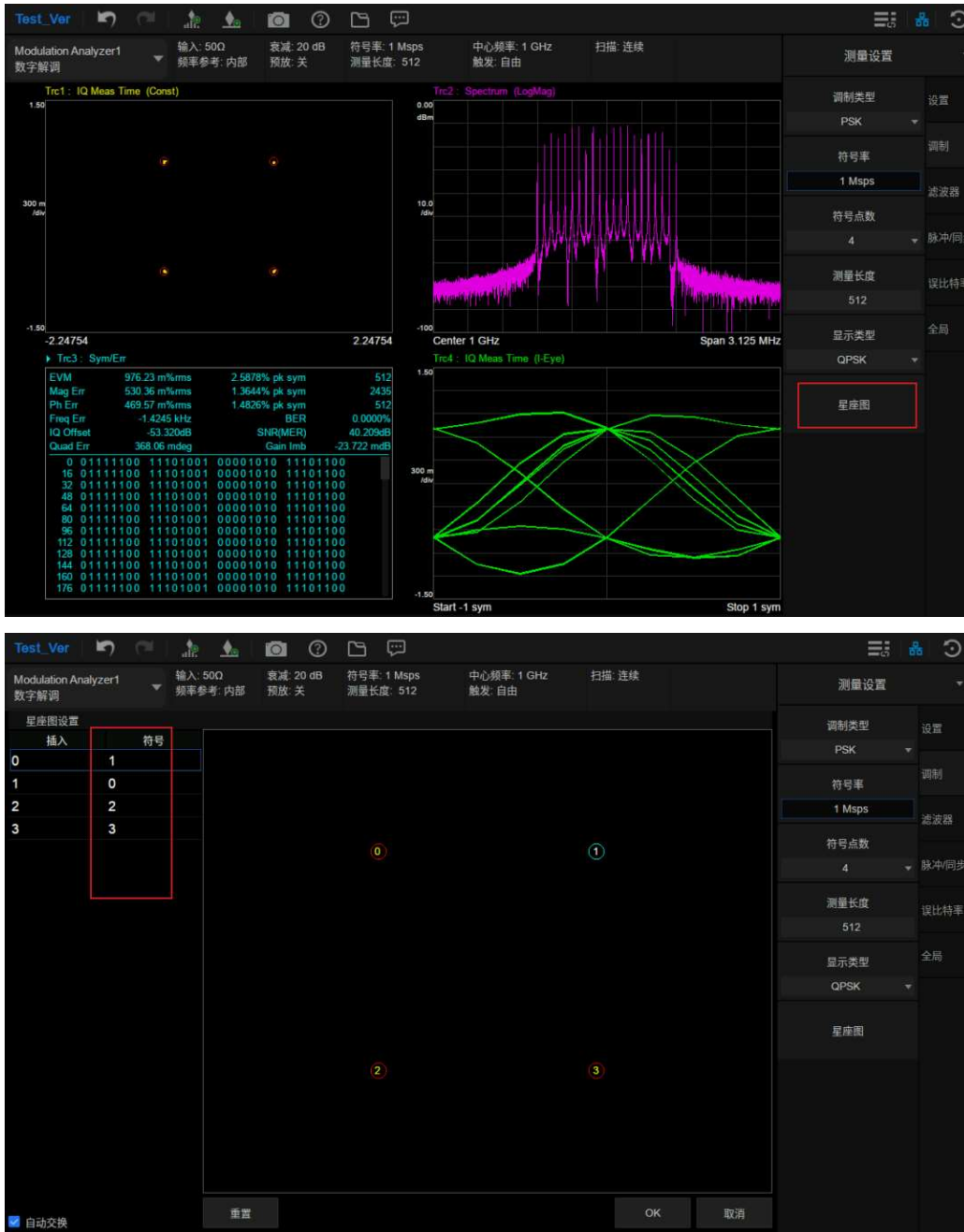
符号	I值		Q值
0	-0.707	2ASK	0.707
1	0.707	16QAM	0.707
2	-0.707	32QAM	-0.707
3	0.707	64QAM	-0.707
		128QAM	
		256QAM	
		512QAM	
		BPSK	
		QPSK	
		8PSK	

插入 删除 清空 导入 返回

根据符号的 I 值和 Q 值，可以画出信号源中 QPSK 的星座图符号映射。



2. SSA5000A 星座图符号映射设置



将频谱仪的 QPSK 调制星座图符号映射设置的跟信号源的一致。

三、 误比特率测试

以 QPSK 调制分析为例，使用 SSA5000A 进行误比特率测试的步骤如下：

- 1) 进入调制分析模式，设置对应的调制参数和滤波器参数。
- 2) 设置脉冲/同步中同步码字，并打开同步搜索。同步码字需与误比特率参考码开头的码字相同，

长度适中即可。

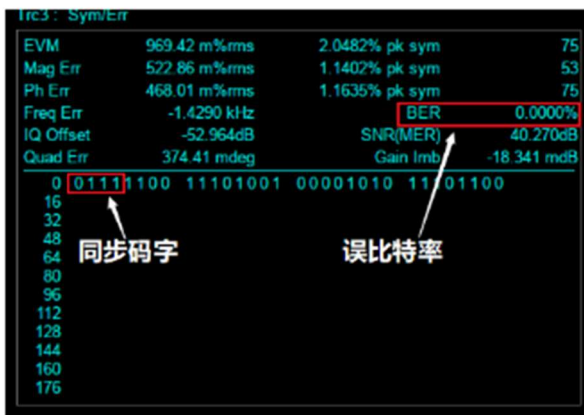
同步搜索是一种解决相位模糊的方法，但同步码字并不是简单设置得跟参考码开头一致就可以了，还需要考虑其他因素，否则很有可能出现同步结果异常，从而出现高误比特率的结果。至于如何选取一个合理的同步码字，详见下文。

3) 设置误比特率的参考码字，并打开误比特率。参考码与未经过调制的原码完全一致即可。

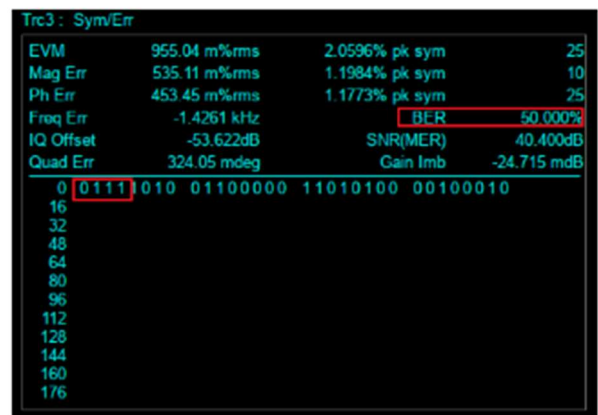
1. 同步码字的不重复性

在选取同步码字时，要确保同步码字在待解码的原数据中只出现过一次。如果选取的码字重复出现过，我们在频谱仪上解调出来的误比特率将会出现多种情况。

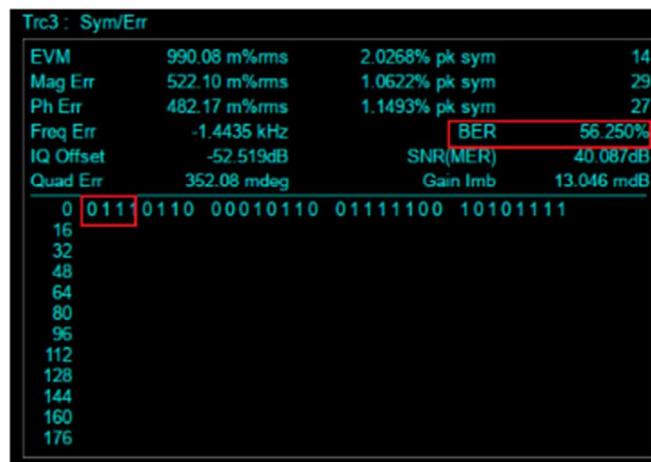
误比特率参考码	01111100111010010000101011101100
同步码字	0111



同步成功，误比特率正确



同步成功，误比特率异常



同步成功，误比特率异常

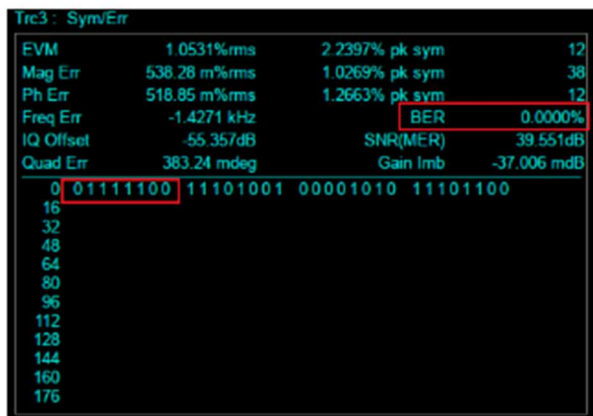
考虑到误比特率异常可能是因为误比特率是从同步位置开始与参考码一一比较的，而由于我们的同步码“0111”重复出现了，同步的位置可能不在参考码的开头，这样与参考码进行比较的结果自然是错误的。所以我们将同步码“0111”后面的解调数据与原数据中3个“0111”后的数据一一比对，最后发现后面2种异常情况的解调结果同样是错误的。

2. 同步码字的均匀性

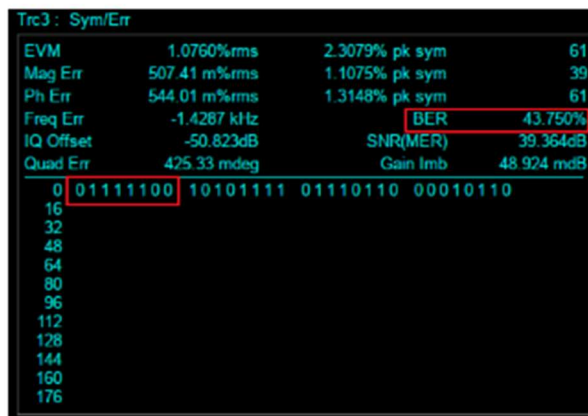
选取的码字中的0/1个数和出现位置应当相对均匀，如果选取的码字较为极端，解调结果可能出现异常情况。

误比特率参考码	01111100111010010000101011101100
同步码字	01111100

虽然“01111100”并未重复出现过，但连续出现了5个“1”，解调出来的结果也可能出现异常。



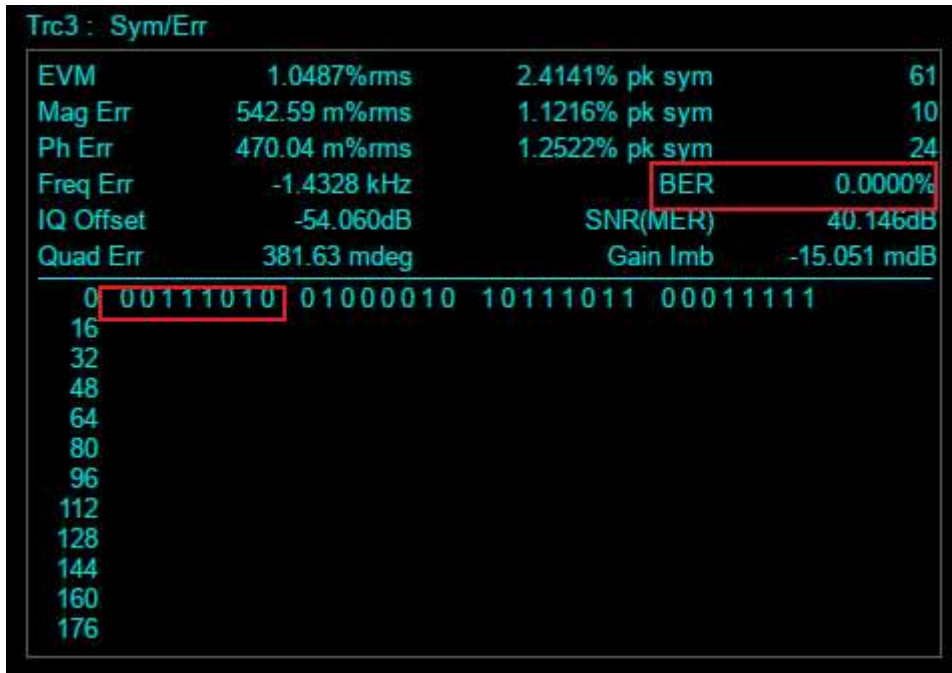
误码率正确，解调结果正确



误码率错误，解调结果错误

我们选择同样长度、相对均匀且未重复出现的“00111010”作为同步码，并将参考码顺延到同步码的位置方便误码率计算。注意，如果从序列中间取同步码，要注意取的位置，对于 QPSK 来说，2位 bit 表示一个符号，所以取的时候要从奇数位开始取。对于 16QAM，4位 bit 表示一个符号，取的时候则需要从 4 的整数倍位置的后一位开始取。

误比特率参考码	
01111100111010010000101011101100	
00111010010000101011101100011111	
同步码字	00111010



频谱仪稳定解调成功，且不再出现解调异常情况

四、 常见的解调异常情况解决方法

1、进行具体的调制类型分析时，要确保信号源和频谱仪的星座图映射是一致的。注意，每一种调制的星座图映射都是不一样的，如果更换了调制类型，则需要重新确认新的调制类型的星座图映射是否一致。

2、SSG5000X-V Custom 内的符号长度要设置为 2n。

3、同步码的长度要合适，最好要包含 2 个符号以上。如 64QAM，6 个 bit 为一个符号，那么同步码最好要 12 位 bit 以上。同时注意同步码是否并未重复，且 01 相对均匀。

关于鼎阳硬件智库

鼎阳硬件设计与测试智库（简称鼎阳硬件智库）由深圳市鼎阳科技有限公司领衔创办，是中国第一家“智力众筹”模式的硬件智库。

鼎阳硬件智库顺势顺势，倡导“连接-分享-协作-创造”的理念，高举志愿者服务的大旗，相信互联网是“爱”的大本营，相信人们都有发自内心分享的愿望。

鼎阳硬件智库选择硬件领域最普遍的七类问题：电源，时钟，DDR，低速总线，高速总线，EMC，测试测量进行聚焦。寻找“最针尖”的问题进行研讨，针对“最针尖”的问题组织专家答疑，将硬件大师积累的宝贵知识和经验变成公众财富，惠及更多硬件人。鼎阳硬件智库的运作载体包括“线上”的微信公众号分享，微信群，网站，网络社区论坛，博客，邮件群等多种互联网工具和“线下”的专家论坛和专家把脉。“线上”的分享坚持原创，坚持干货，保持专注和深耕。“线下”专家论坛邀请硬件相关的一线实战派专家分享“最干货”的硬件设计与测试知识与经验，面对面相互研讨；“线下”的专家把脉，通过大数据连接，促使具体问题和最熟悉这个具体问题的专家“精准匹配”，远程问诊和现场解决问题相结合。

鼎阳硬件智库，群策群力，连接所有硬件人。

有硬件问题，找鼎阳硬件智库。



扫码关注鼎阳硬件智库，为您提供更多硬件干货