

I/Q 调制器中的 EVM 性能优化

Optimization of EVM Performance in I/Q Modulators

作者：Bruce Hemp 凌力尔特公司高级应用工程师
Peter Stroet 凌力尔特公司设计工程师

误差矢量幅度 (EVM) 是数字调制准确度的一种标量测量，对于任何数字调制信号源来说都是一项重要的品质因数。在发送器调制器中实现低 EVM 很重要，因为一个信号的 EVM 在通过发送 / 接收链路的每个组件时都将发生劣化。发送器上变频转换器、滤波器、功率放大器、接收器、甚至包括通信通道均会损害信号质量。

并不存在针对 EVM 测量和计算的单一业界标准。相反，独立系统 (例如：Bluetooth、802.11、DVB、PHS) 规定了用于该标准的测量。然而，这种方法会产生不确定性，比如：怎样针对每种符号来实现 EVM 的归一化以及需要校正测量中的哪些参数 (例如：频率误差、I/Q 偏移、正交相位误差、增益不平衡)。当采用

来自不同制造商的矢量信号分析仪 (VSA) 时，EVM 测量将有所不同，甚至在使用同一家制造商的不同型号 VSA 时也会出现这样的情况。

图 1 示出了采用 VSA 来测量调制准确度的情形。VSA 对位于某一给定中心频率和带宽的输入信号进行下变频转换和数字化处理，调制方案、符号率、测量滤波器和其他信号参数则由用户规定。该数据代表了测得的信号，VSA 对其进行数字解调以恢复源数字数据流。运用恢复的源数据、调制方案和其他因子，VSA 以数学方法生成理想的基准信号。VSA 随后计算误差矢量，即归一化至峰值信号电平的实测信号矢量与基准数据矢量之间的差异。均方根 (RMS) 和峰值 EVM 标量值从误差矢量中提取。

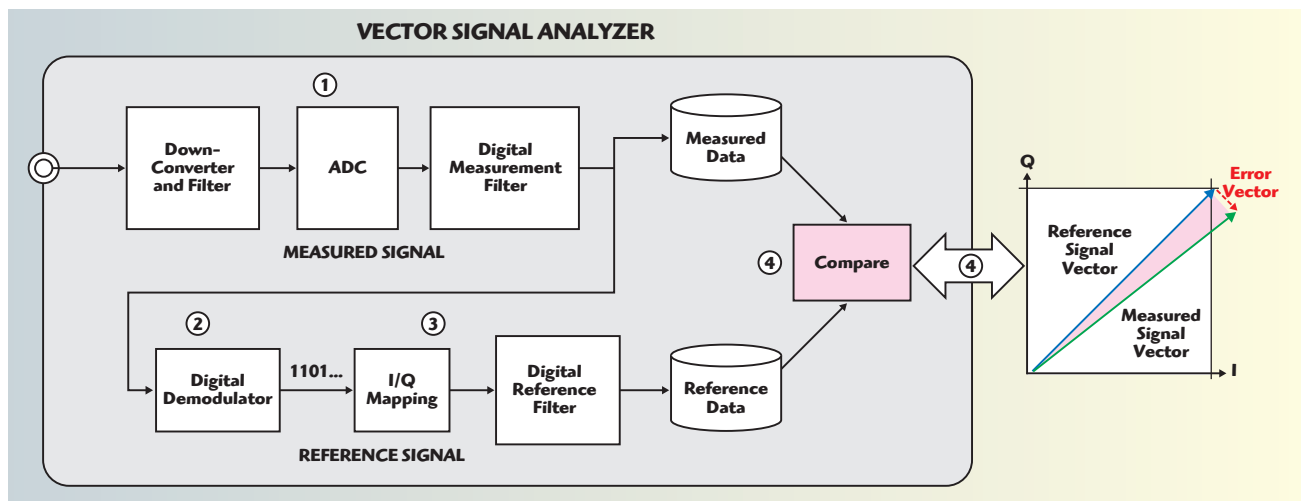


图 1. VSA 通过比较实测输入信号与理想再生基准信号来确定 EVM。

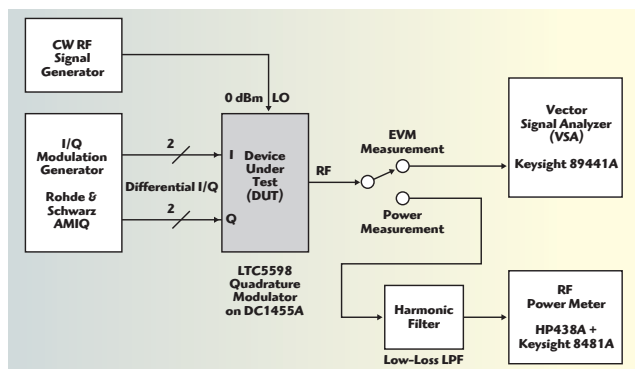


图 2. 用于 EVM 测量的测试设置。

表 1: EVM 测试参数

450MHz LO 和 0dBm 下的基线 EVM (见图 3)

基带调制

- 16-QAM (每符号 4 位, 峰值与平均值之比 = 5.4dB)
- 1 MSPS 符号率
- PN9
- 根升余弦 (RRC) 滤波器, $\alpha = 0.35$

基带驱动

- VEMF = 0.8V 差分, 如罗德与施瓦茨 (Rohde & Schwarz) AMIQ 软件所指示; VEMF = 1.15VP-P 差分, 按照实测值

- 偏置电压 = 0.5V

VSA 测量滤波器

- RRC, $\alpha = 0.35$

VSA 基准滤波器

- 根余弦 (RC)

EVM 与 I/Q 驱动功率之间的关系 (见图 4)

- 16-QAM
- 1 MSPS 符号率
- RRC, 升余弦, $\alpha = 0.35$ (峰值与平均值之比 = 5.4dB)
- 偏置电压 = 0.5V DC
- LO 驱动功率: 0dBm

EVM vs. LO Frequency (see Figure 5)

- LO 驱动功率: 0dBm
- 16-QAM
- 1 MSPS 符号率
- RRC, $\alpha = 0.35$ (峰值与平均值之比 = 5.4dB)
- VEMF = 0.8V 差分, 如罗德与施瓦茨 (Rohde & Schwarz) AMIQ 软件所指示; VEMF = 1.15VP-P 差分, 按照实测值
- 偏置电压 = 0.5V

EVM 性能的特性分析

本文以凌力尔特的 LTC5598 为例, 说明了 VSA 是怎样对 I/Q 调制器的 EVM 性能实施特性分析的。该器件是一款

覆盖了 5MHz ~ 1600MHz 频率范围的直接正交调制器。16-QAM 是一种相对常用的数字调制类型和表现调制器准确度的良好工具。16-QAM 是许多无线系统的基础, 包括 LTE / LTE-Advanced、HSDPA、EDGE Evo、CDMA2000 EV-DO、认知无线电 (Cognitive Radio) IEEE 802.22 (电视白区)、PHS 和 TETRA。¹

图 2 示出了用于评估 I/Q 调制器的测试设置, 表 1 概要列出了针对下列每种测量的测试条件。当采用一个 450MHz LO 信号且驱动功率为 0dBm 时, 安装在一块标准演示板上的 LTC5598 典型 EVM 性能² 为 0.34% (rms) 和 0.9% (峰值), 见图 3。在谐波滤波器之后测得的输出功率为 0.4dBm。采用相同的设置, 一个具有相同的幅度、频率和数字调制方式的实验室级信号发生器的实测 EVM 性能为 0.28% (rms) 和 0.8% (峰值)。对比结果我们发现: LTC5598 的调制准确度与用于对其进行测量的测试设备几乎一样好。

当基带输入电平把峰值调制器驱动至压缩状态时, EVM 快速增加 (见图 4)。最大 RMS 输出功率可按以下方式估算:

$$+8.4\text{dBm LTC5598 输出 } P_{\text{ldB}} \text{ 典型值 (在 } f_{\text{RF}} = 450\text{MHz}) \\ -5.4\text{dB 16-QAM 测试波形的波峰因数}$$

$$= +3.0\text{dBm 平均输出功率} \quad (1) \\ (\text{峰值将位于 } 1\text{dB 压缩点})$$

当输出电平处在 1dB 压缩点时, EVM 对于应用而言或许过高, 这将降低从调制器获得的可用平均功率。对于那些采用了一种具较高“峰值至平均值”之比 (波峰因数) 的调制方式之系统来说, 可用输出功率将进一步下降。

毫不奇怪, EVM 随 LO 频率发生的变化在频段的中部

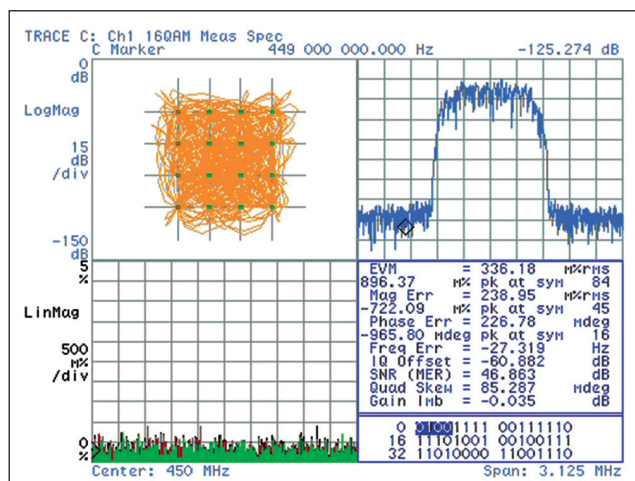


图 3. 450MHz LO 信号条件下的 EVM。

表 2: LTC5598 正交相位误差、 增益不平衡和边带抑制			
LO 频率 (MHz)	I/Q 正交 相位误差 (°)	I/Q 增益 不平衡 (dB)	边带抑制 (dB)
5	4.3	0.14	28
10	3.6	0.01	30
20	1.2	0.02	40
40	°0.3	0.03	50
1600	°1.2	0.05	39

是最低的 (见图 5)。在低于 30MHz 的 LO 频率下, 通过增加 LO 驱动功率可降低 EVM。在频段的两个边沿上, 影响 LTC5598 EVM 的主要因素都是 I/Q 正交相位误差 (见表 2)。另外, 还存在一些 I/Q 增益不平衡, 不过它对整体 EVM 并没有多大的影响。边带抑制是相位和增益不平衡的集总效应。

在必要时, 作为功率放大器闭环数字预失真 (DPD) 系统的一部分, 可在基带或某些发送链路中对这些误差项进行开环校正。虽然 DPD 校正这一主题并不在本文所涉及的范围之内, 但是 DPD 环路将拥有其自己的接收器, 能够测量发送 EVM 并针对基带波形进行自适应校正, 以最大限度地抑制误差。对于产生误

差的根源是调制器还是功率放大器 (PA), 抑或是两者兼而有之, DPD 并不知晓, 或者说并不关心。

优化 EVM 性能

要想从 I/Q 调制器获得最佳的 EVM 性能, 那么 I/Q 基带就应该“干净”。这意味着 I/Q

数模转换器 (DAC) 时钟应具有低的相位噪声和抖动, DAC 重构滤波器不应侵占基带带宽, 而且基带 I/Q 信号通路应具备平坦的频率响应。另外, LO 信号源也应当干净。LO 相位噪声会增加无法在下游予以消除的随机相位误差, 这将增加 EVM。LO 谐波将引起正交相位误差, 因此 LO 的选择应该遵循调制器产品手册中给出的建议。

诸如 LTC5598 等商用 I/Q 调制器可在常用的 VHF 和 UHF 通信频段内提供卓越的数字调制准确度。其性能或许能够与实验室级信号发生器相当。如果需要的话, 可通过正交相位误差或增益不平衡的基带校正来改善 EVM。■

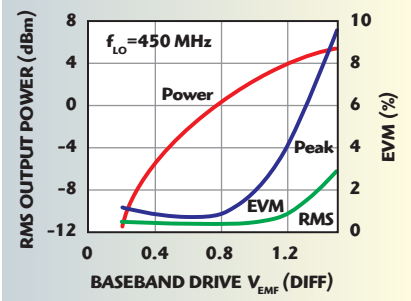


图 4. EVM 与调制器输出功率的关系。

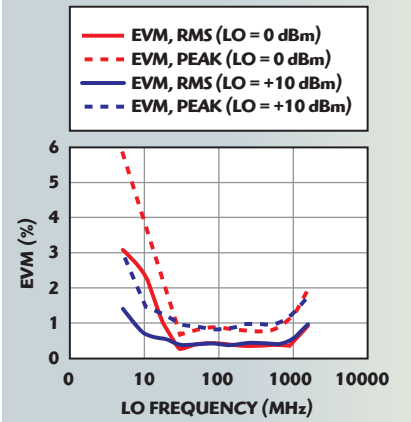


图 5. EVM 与 LO 频率的关系。

参考文献

1. “Digital Modulation in Communications Systems – An Introduction,” Application Note 1298, Keysight Technologies (Agilent).
2. “Using Vector Modulation Analysis in the Integration, Trouble shooting and Design of Digital RF Communications Systems,” Product Note 89400-8, Keysight Technologies (Agilent).