



# 射频电路测试原理

---

## 第八讲 矢量信号分析仪(VSA)

leiyh@mail.tsinghua.edu.cn



# 参考文献

---

- Agilent仪器说明书\89441A\_矢量信号分析仪\Complex Meas\_5965-8554E
- ..\Operators Guide\_89400-90038
- ..\Started Guide\_89441-90076
- ..\Time and Frequency Domain\_5962-9217E
- ..\Time Capture\_5091-8686E
- ..\Digital Modulation\_5965-7160E
- ..\Design Digital RF Comm System\_5091-8687E
- ..\EVM Meas\_5965-2898E
- ..\Phase Noise\_5091-7193E
- ..\10 steps\_Digital Demod\_5966-0444E
- ..\Data Sheet\_5965-5425E



# 内容

---

8.1 矢量信号分析仪的基本结构

8.2 矢量信号分析仪的工作原理

8.3 数字调制与解调

8.4 主要应用（模拟与数字调制解调等）

8.5 矢量信号分析仪的基本操作

第二次实验 矢量信号分析仪的使用

第八讲 矢量信号分析仪小结

# 8.1 矢量信号分析仪的基本结构

- 89441A 矢量信号分析仪有两部分：
  - 89410A (IF) : dc to 10MHz范围，内部信号源（正弦、chirp、随机和32,768点的任意波形）；
  - 89431A (RF) : dc to 2.65 GHz范围。另有内部RF信号源（选件AY8--本机没有）。
- Agilent公司的矢量信号分析仪把时域、频域和调制域分析集于一体，为复杂的时变信号提供最先进的测量。
- 复杂的时变信号包括突发信号、脉冲信号、瞬变信号、跳频信号以及模拟和数字调制信号。

# 灵活的矢量调制分析

- 由于无需外部滤波器、相干载波或者符号定时信号，因而简化了射频和中频的测量。
- 可以分析各种已调制信号，包括：BPSK、QPSK、OQPSK、DQPSK、 $\pi/4$ DQPSK、8PSK、16-256QAM、VSB、MSK、2至4电平FSK等非标准格式和NADC、GSM、EDGE、DECT、CDMA等标准格式。
- 用可选的第二个10MHz输入信道（选件AY7），还可以同时分析基带I和Q信号。
- 可以按各种方式和表格来显示测量结果。网格图、星座图、矢量图和眼图是分析数字调制信号用的常用工具。
- 通过产生一个理想基准信号与接收到的信号相比较，可提供误差测量。测量结果包括误差矢量幅度EVM、相位和幅值的误差。

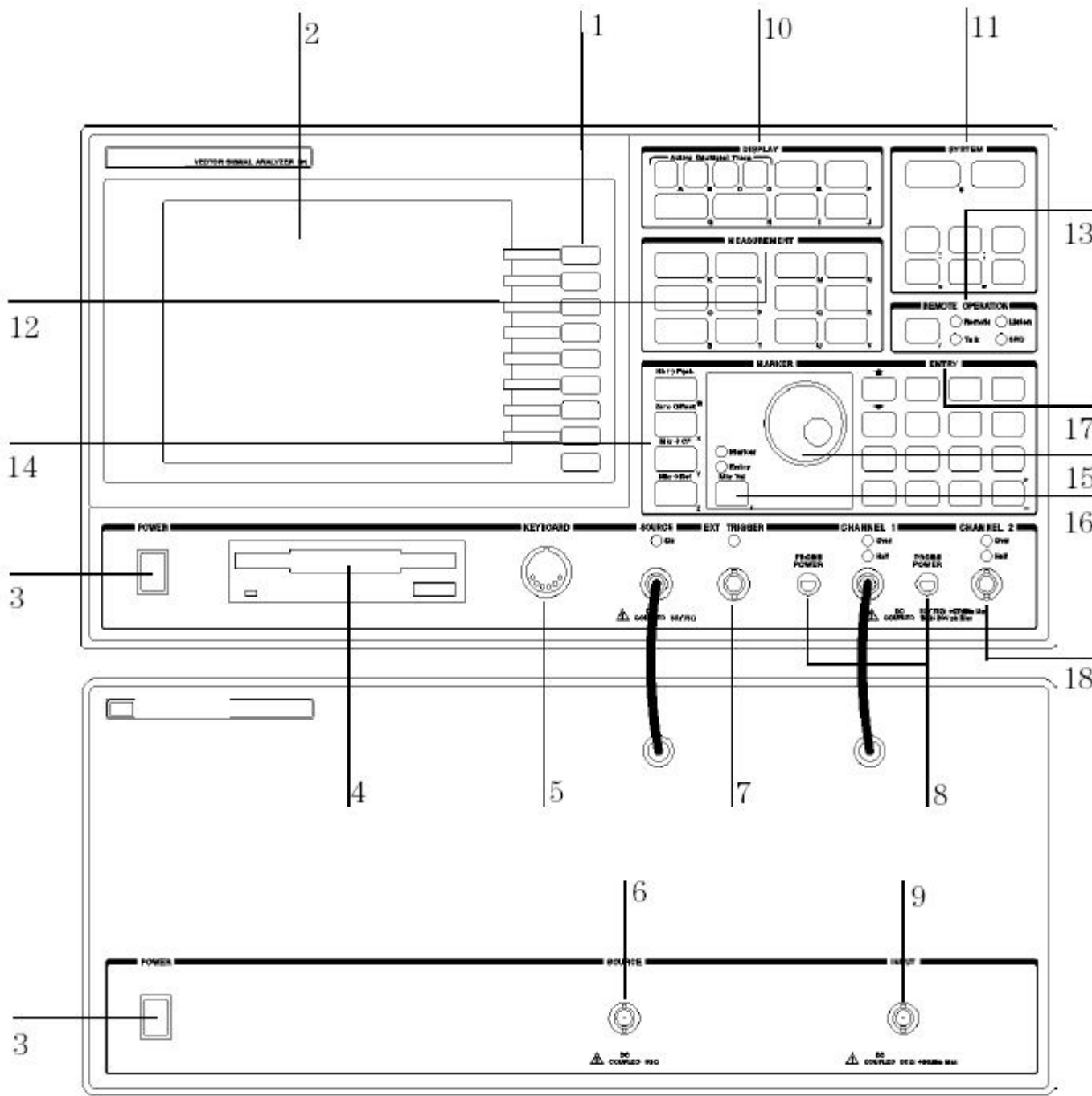
# 基本结构(89410A (IF))



# 基本结构

## (续1)

1. 软功能硬键
2. 显示屏幕
3. 电源开关
4. 软盘驱动器
5. 外键盘连接器
6. 连接到DUT的信号源连接器 (有AY8)
7. 外触发连接器
8. 探头电源连接器
9. 待测信号输入或DUT的输出
10. 显示功能硬键菜单组
11. 系统功能硬键菜单组
12. 测量功能硬键菜单组
13. REMOTE和LED显示
14. MARKAR硬键菜单组
15. 手动调节MARKAR旋钮键
16. MARKAR/Entry硬键
17. 数字量等输入硬键
18. 通道2输入连接器



# 基本结构(续2)

The 89410A provides dc to 11 MHz coverage, and serves as the IF section of the 8941A.

## Display

- 1, 2 or 4 grids
- 1 to 4 traces displayed (single or overlay)
- Color (user definable)

## External PC-Style Keyboard Input

Built-In 3-1/2" Flexible Disk Drive  
Supports both MS-DOS® and LIF formats

## dc-10 MHz Source

Outputs sine, chirp, random and up to 30,700 point arbitrary waveforms

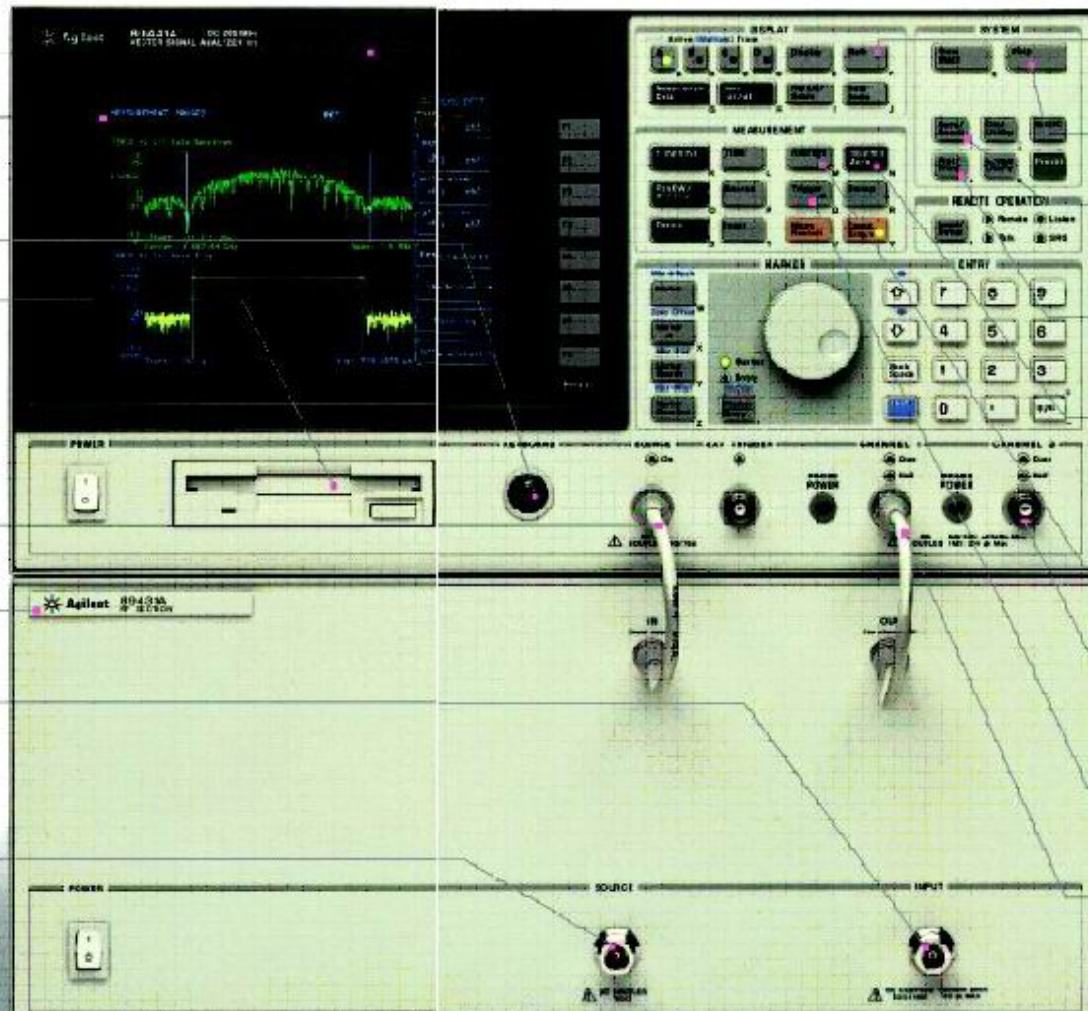
The 8941A  
Includes the RF section for dc to 2.65 GHz analysis.

## RF Input

- 50/75  $\Omega$  impedance
- (75  $\Omega$  requires optional minimum loss pad)
- $\pm 0.5$  dB amplitude accuracy (20° to 30° C)
- $-75$  dBc distortion
- $\leq -100$  dBm/Hz noise level (8941A)

## Internal RF Source

(option AT7)  
Extends the capabilities of the standard 10 MHz source to 2.65 GHz (8941A)



## Trace Math Operations

+,  $\times$ , conjugate, magnitude, phase, real, imaginary,  $\sqrt{\quad}$ , FFT, IFFT, ln, exp

## Built-In Help Text

Over 1800 pages, hypertext cross-referenced

Memory and Data Storage  
Save and recall traces, instrument setups, trace math functions, I-BASIC programs, and time capture buffers.

## Print/Plot

Plot to HP-GL plotters; print to laser or inkjet printers via 2 GPIB, serial or parallel interfaces.

## Three Instrument Modes

Scalar:  
High-sensitivity full span with measurements

Vector:  
Magnitude and phase, including time gating

## Demodulation

Analog: AM, FM, PM  
Digital: FSK, BPSK, QPSK, QAM, VSB, MSK with carrier and symbol locking

Powerful Averaging Functions  
rms (video), rms (video) exponential, peak hold, time, time exponential

## Second 10 MHz Input Channel (Option AT7)

### Trigger

Free run, input channel, IF channel, internal source, external, GPIB

## 10 MHz Input Channel

- 50/75  $\Omega$  impedance
- $\pm 0.5$  dB amplitude accuracy
- $-85$  dB distortion (typical)
- $\leq -100$  dBm/Hz noise level (typical)





# 现有选件：

---

- 1BH (General Export License) ;
- AY7 (Second 10MHz Input Channel) ;
- AY9 (Extended Time Capture) ;
- AYA (Vector Modulation Analysis) ;
- AYB (Waterfall and Spectrogram) ;
- B73 (Digital Wideband CDMA Analysis) ;
- B79 (Digital ARIB 1.0-1.2 W-CDMA Analysis) ;
- UG7 (Advanced LAN Support) ;
- UTH (20Mb Extended RAM and Additional I/O)。

Standard Agilent 66100 Series VSA

- Superior accuracy
- High performance spectrum analysis
- Frequency, phase, time, and modulation (AM, PM, FM) domains
- Burst and transient signal analysis
- Instantaneous power measurements
- Frequency and time selective power measurements
- Time capture for postprocessing of data
- Coherence measurements
- Group delay measurements
- Built-in source

## Vector Modulation Analysis (Option AYA)

Eye, constellation, vector (polar) diagrams

Automatic carrier and symbol lock

Modulation types:

QPSK, DQPSK,  $\pi/4$  DQPSK, 16QAM, 32QAM, MSK, GMSK, 8PSK, BPSK

User-selectable filtering

- Gaussian
- Raised cosine, root-raised cosine
- Adjustable alpha (or BT)
- User-defined shaping filter

Powerful Analysis

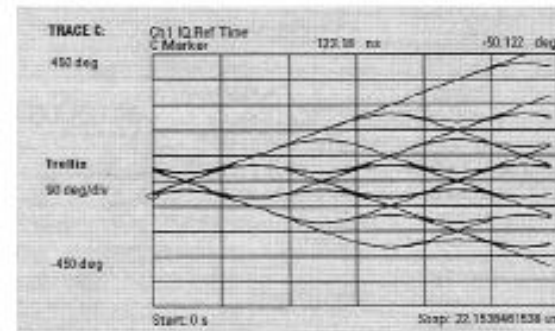
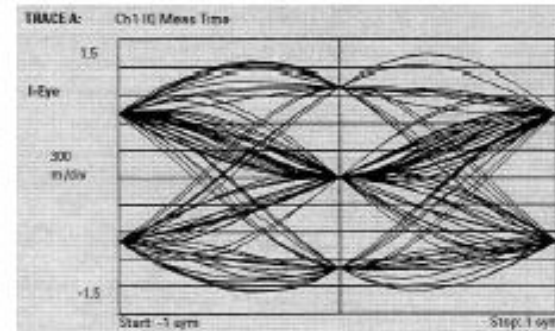
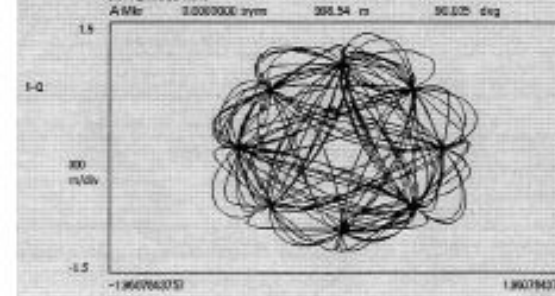
- IQ magnitude & phase error
- Error Vector Magnitude
- Ideal vs measured data

RF, IF, and baseband measurements

- RF input
- Baseband [Ch1 + j\*Ch2]

Measurements on continuous and burst signals

# 89400系列矢量 信号分析仪功能



## Symbol Table and Error Summary NADC $\pi/4$ DQPSK Signal

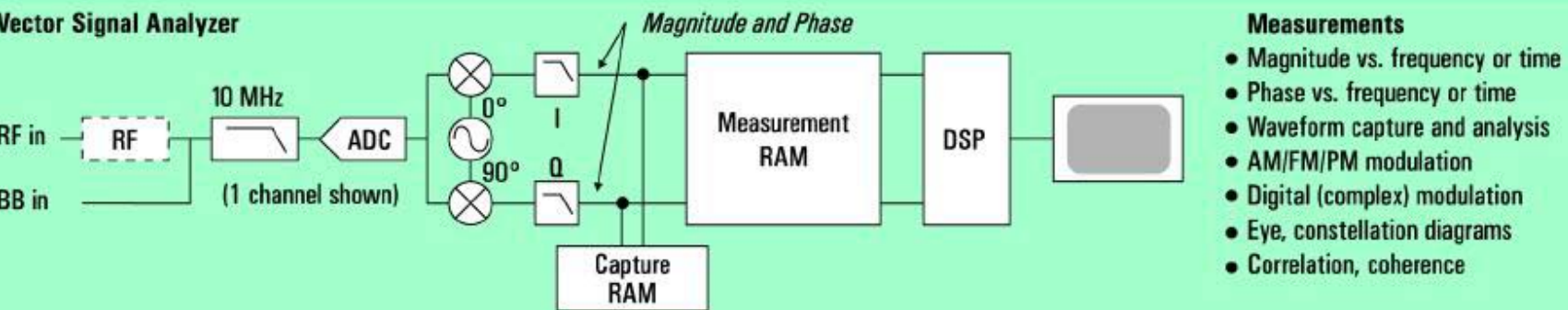
EVM	= 346.4	m% rms	042.51	m%	pk at Sym	85
Mag Err	= 227.52	m% rms	555.40	m%	pk at Sym	12
Phase Err	= 151.12	mdB	347.17	mdB	pk at Sym	50
Res Err	= 31.043	mdB				
IQ Offset	= -85.176	dB				

Amp Droop = 186.1 udB/sym

0	1101110111	1111000011	1001110111	0101100000	0001001001
50	1101101101	0101001100	0001000101	1101111111	1010111100
100	0110011011	0001000111	0111000001	0111011010	0110001000
150	1101001011	1001000000	1110010011	1011011010	0000001010

## 8.2 矢量信号分析仪的工作原理

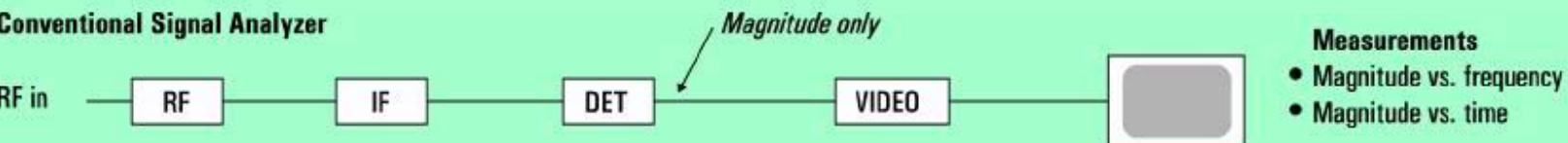
Vector Signal Analyzer



**Measurements**

- Magnitude vs. frequency or time
- Phase vs. frequency or time
- Waveform capture and analysis
- AM/FM/PM modulation
- Digital (complex) modulation
- Eye, constellation diagrams
- Correlation, coherence

Conventional Signal Analyzer



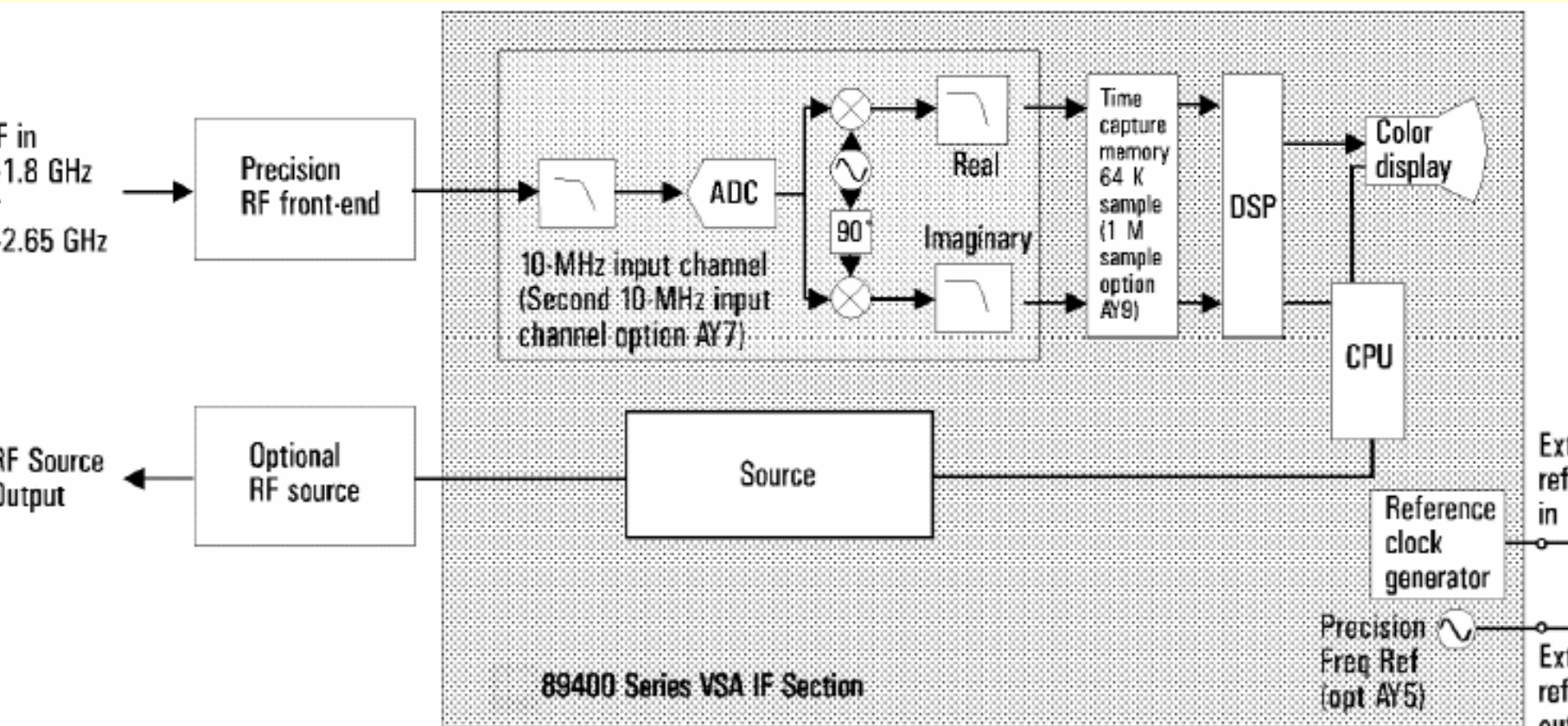
**Measurements**

- Magnitude vs. frequency
- Magnitude vs. time

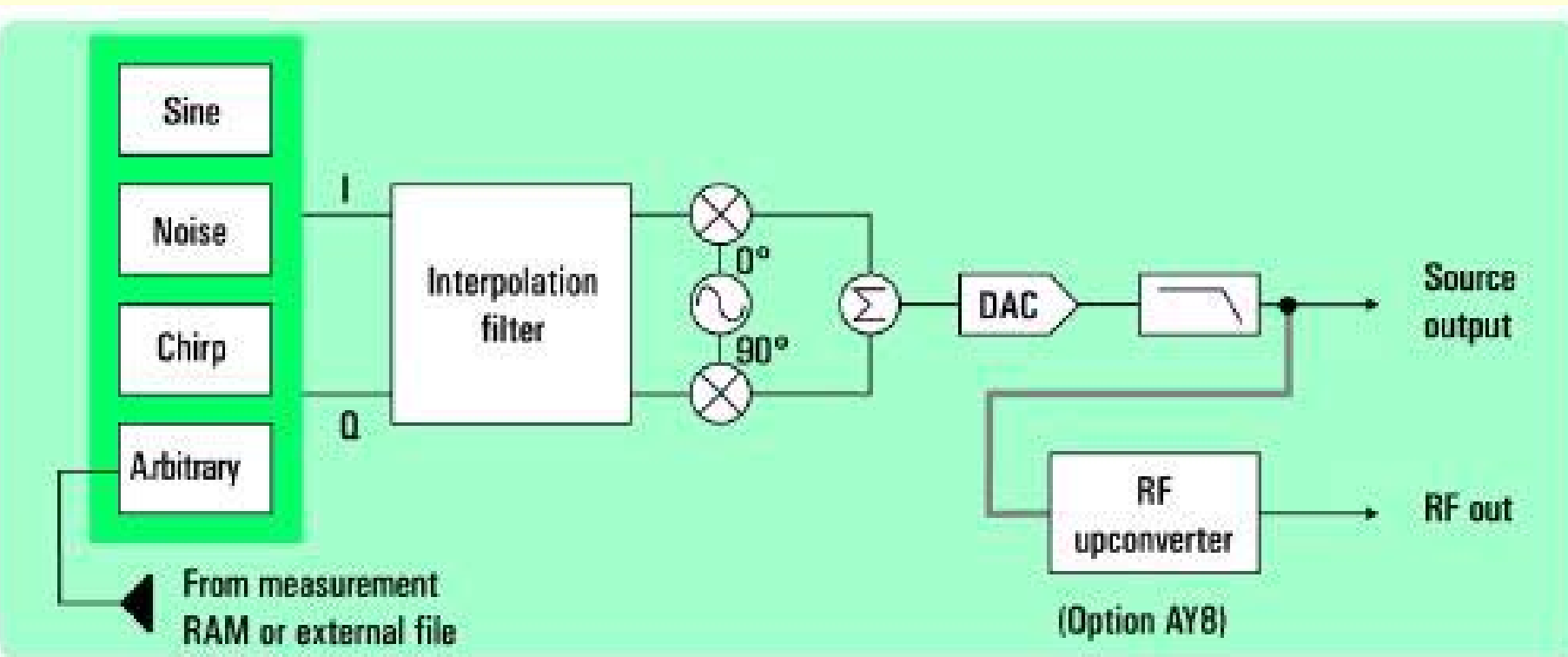
Vector signal analyzers preserve both magnitude and phase information, enabling a wider variety of useful measurements.

# 89411A的IF ( 89410A ) 部分

Source、Optional RF source、Precision RF front-end。



# IF ( 89410A ) 的Source部分



A variety of signals, including arbitrary waveforms, are available from the built-in source.

# 射频信号源选件

- 89431A ( RF ) :  
dc to 2.65 GHz  
范围。
- 另有内部RF信号  
源 ( 选件AY8--  
本机没有 )。

## Option AY8 – RF source

For a wide range of stimulus types at RF frequencies, add a fully-integrated internal RF source to your 89441A. This output offers the same functions and user interface as the 89410A's baseband source, but is upconverted to the RF analyzer's center frequency, plus-or-minus a user-selectable frequency offset.





# 精密的射频前端

- 89441A的射频前端将高达2.65GHz的射频信号下变频为带宽7MHz的中频信号；
- 带宽为7MHz的中频信号经过滤波和数字化后，进入高分辨率的A/D变换器；
- 后续的数字混频器和数字滤波器的带宽可以窄到1Hz；
- 后面的高性能微处理器提供快速的频域、时域、调制域分析和测量结果显示。



# 射频和基带性能

- 射频性能：
  - 灵敏度： $-160\text{dBm/Hz}$ ；
  - 相位噪声： $-124\text{dBc/Hz}$ （ $10\text{KHz}$ 偏移）；
  - 内部射频源：选件AY8（本机没有）。
- 基带性能：
  - $25.6\text{ Msample/s}$ 的A/D采样速率；
  - FFT变换；
  - 频域和时域的误差修正功能；
  - 第二个 $10\text{MHz}$ 基带输入信道：选件AY7。



# 矢量信号分析仪的特点

- 传统信号分析仪只有信号幅度测量功能，可测量幅度与频率的关系，可测量幅度与时间的关系。
- 矢量信号分析仪具有同时测量幅度和相位的功能，可测量幅度和相位与频率的关系，可测量幅度和相位与时间的关系。
- 待测信号波形经ADC后的数字化数据，从其中提取幅度和相位的数字化信息数据，再存入Capture RAM中。
- 再由Measurement RAM和DSP进行测量和数据分析：模拟调制信号的解调、数字调制信号的解调、网格图、星座图、矢量图、眼图和误差矢量幅度EVM。

## 8.3 数字调制与解调

- 目的：使传输的数字信号与信道特性相匹配，便于有效的进行信息传输。
- 分类：
  - 调制信号：模拟调制和数字调制；
  - 相位连续：相位不连续调制和相位连续调制；
  - 信号恒定：恒包络调制和非恒包络调制。
- 调制方案的性能评估：功率效率和带宽效率。



# 移动通信中的调制解调技术

- 移动通信面临的无线信道问题：
  - 多径，衰落，干扰(自然，人为，ISI)，频率资源有限。
- 移动通信对调制解调技术的要求：
  - 频谱资源有限 → 高的带宽效率；
  - 用户终端小 → 高的功率效率，抗非线性失真能力强；
  - 邻道干扰 → 低的带外辐射；
  - 多径信道传播 → 对多径衰落不敏感，抗衰落能力强；
  - 干扰受限的信道，抗干扰能力强；
  - 解调一般采用非相干方式，或插入导频的相干解调；
  - 产业化问题 → 成本低，易于实现。

# 数字调制方法的分类

数字式调制



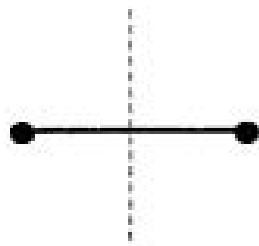


# 数字调制与解调

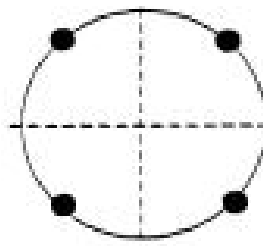
---

- 1。为什么要进行数字调制？
- 2。信息是如何调制到正交I和Q信号上？
- 3。数字调制的不同类型
- 4。限制带宽的滤波器技术
- 5。观察数字调制信号的方法

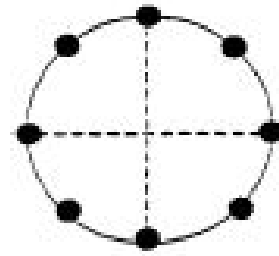
# VSA支持的数字调制格式



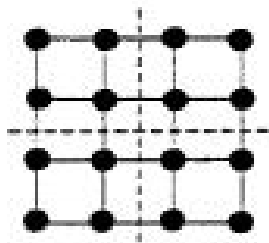
BPSK



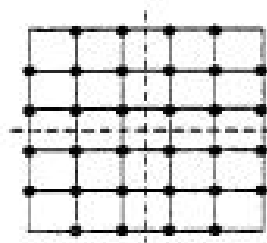
DQPSK  
and QPSK



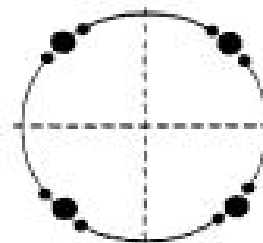
$\pi/4$  DQPSK



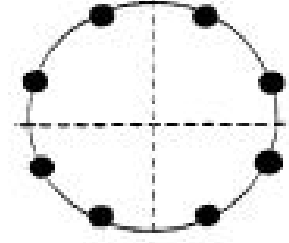
16QAM



32QAM



MSK  
(including  
GMSK)

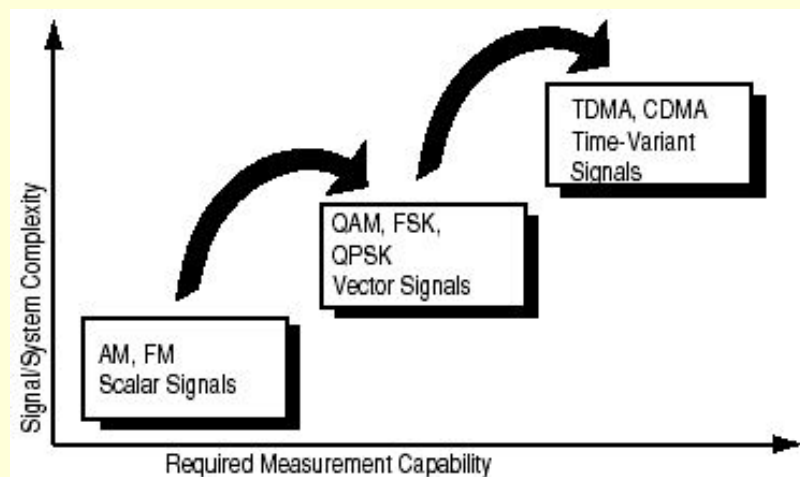
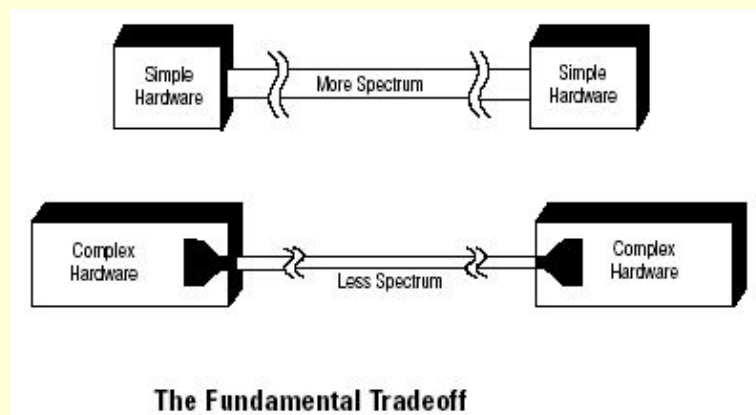


8PSK

Modulation formats supported in the Agilent 89400 Series VSAs

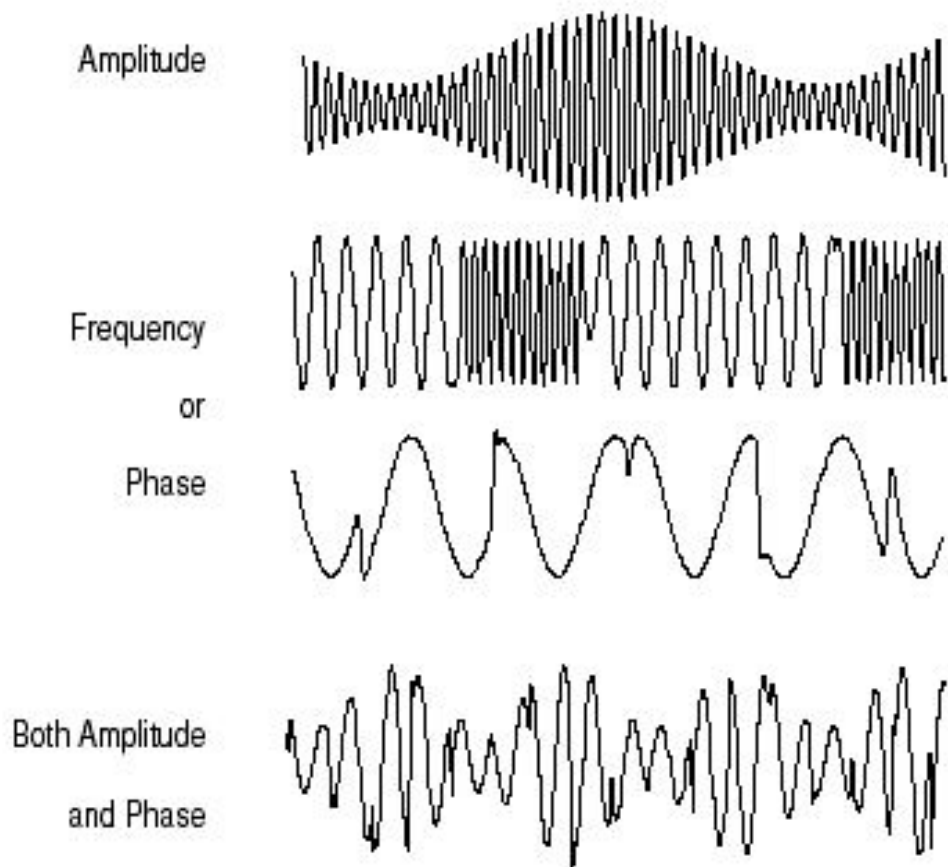
# 1. 为什么要进行数字调制？

- 硬件的复杂程度与占有频带宽度之间折衷。
- 工业发展的趋势  
(QPSK、FSK、MAK、QAM等)。



## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？

- 基本的调制特性（AM、FM、PM）。

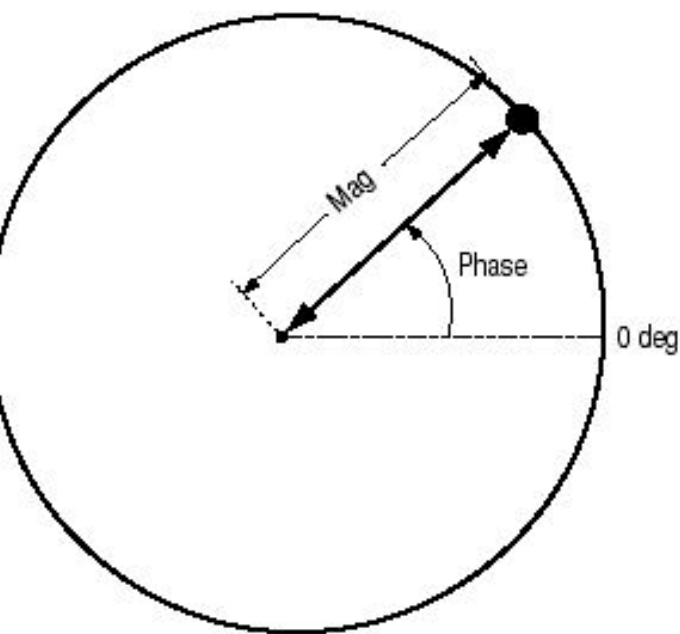


Signal Characteristics to Modify

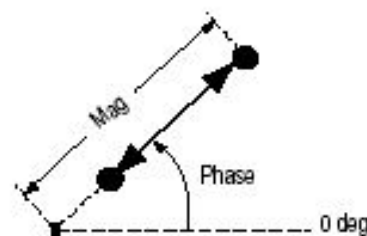


## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？（续1）

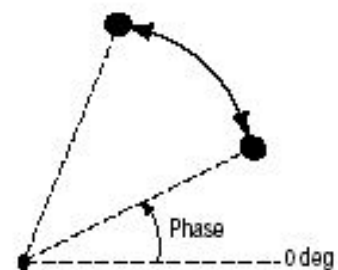
- 极坐标表示法，如下左图所示。不同的调制格式，如下右图所示。



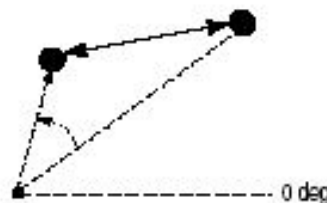
Polar Display—Magnitude and Phase  
represented Together



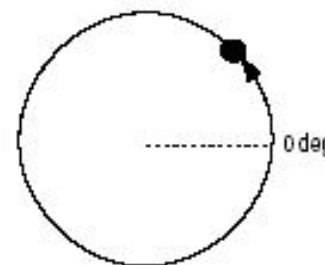
Magnitude Change



Phase Change



Magnitude & Phase Change

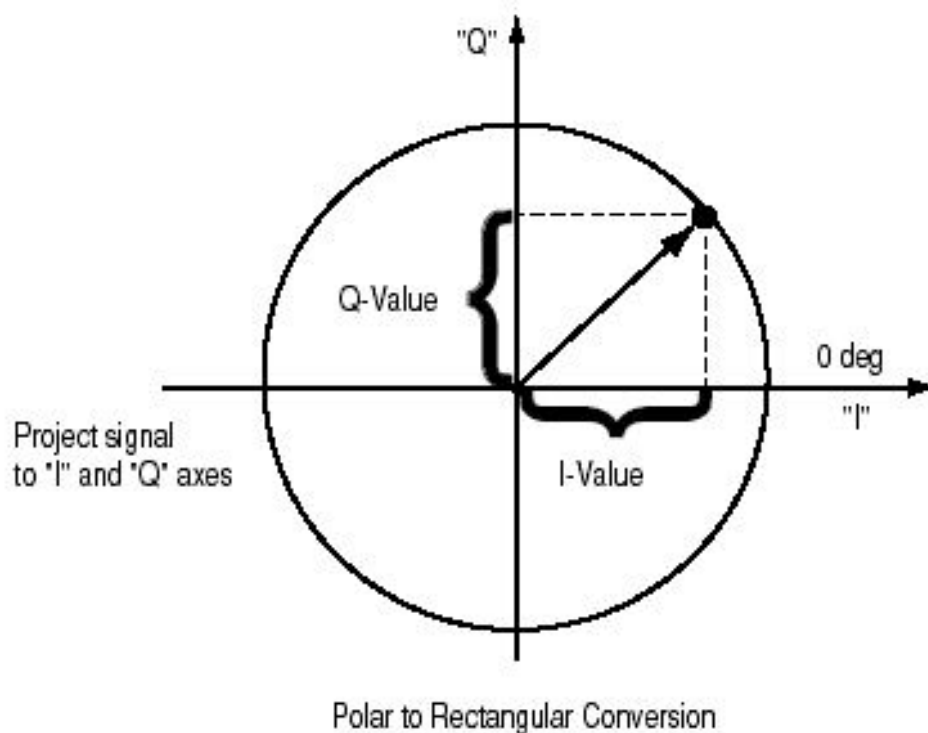


Frequency Change

Signal Changes or Modifications

## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？（续2）

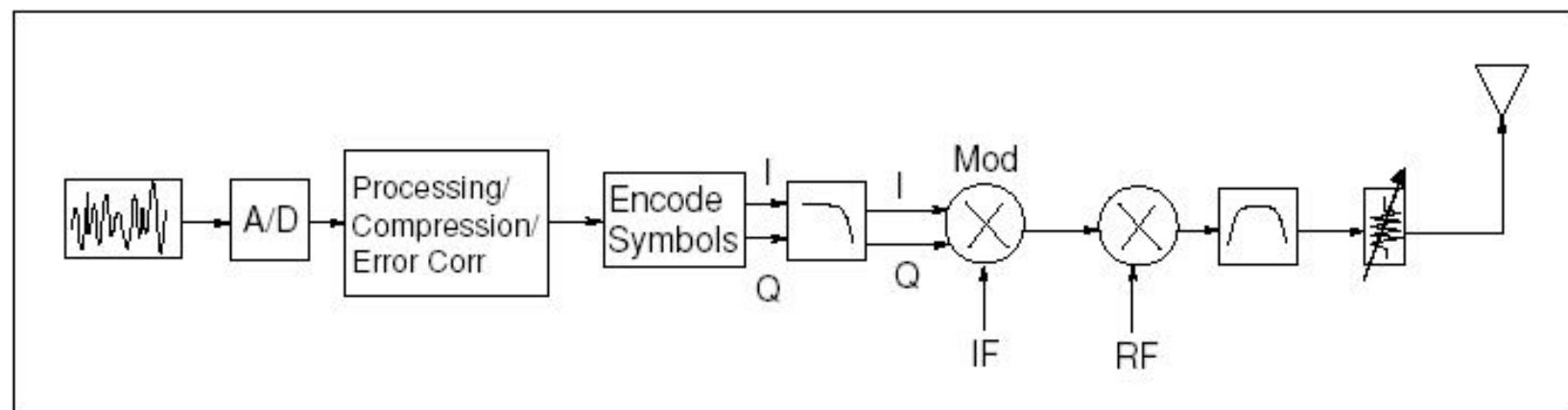
- 数字调制中，调制通常采用I和Q分量表示，如下图所示。



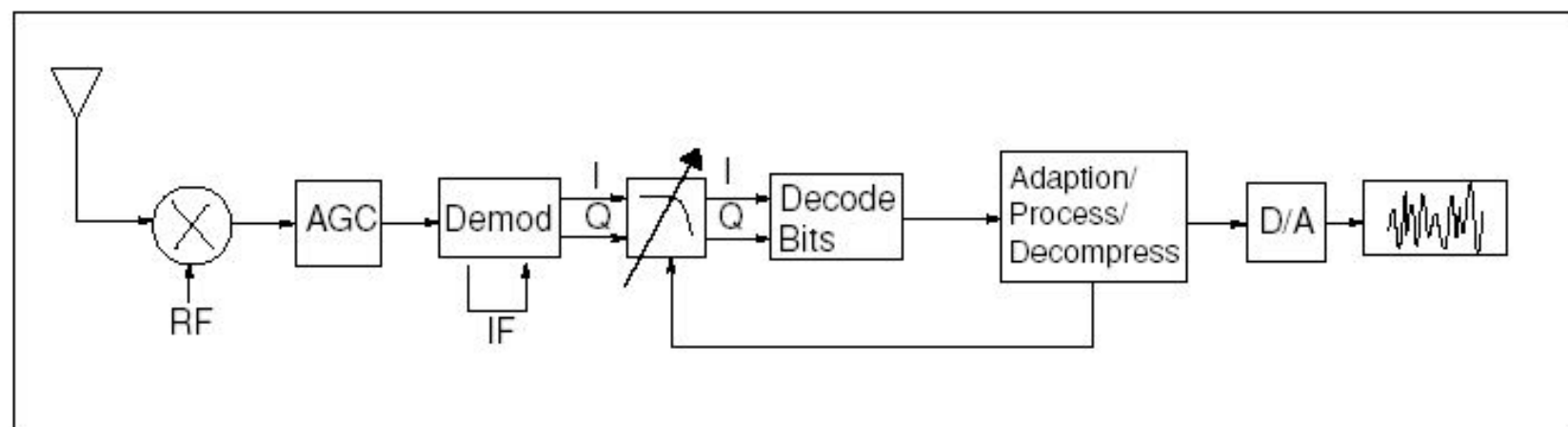
## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？（续3）

- I/Q数字调制中的发射机和接收机方框图，如下图所示。
- 在I/Q数字调制中，数字调制的数据点对应于I/Q平面上的不同的离散的点。这就是星座图。
- I/Q平面上的数据点从一点到另一点，对应于不同的AM和PM调制。

## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？（续4）

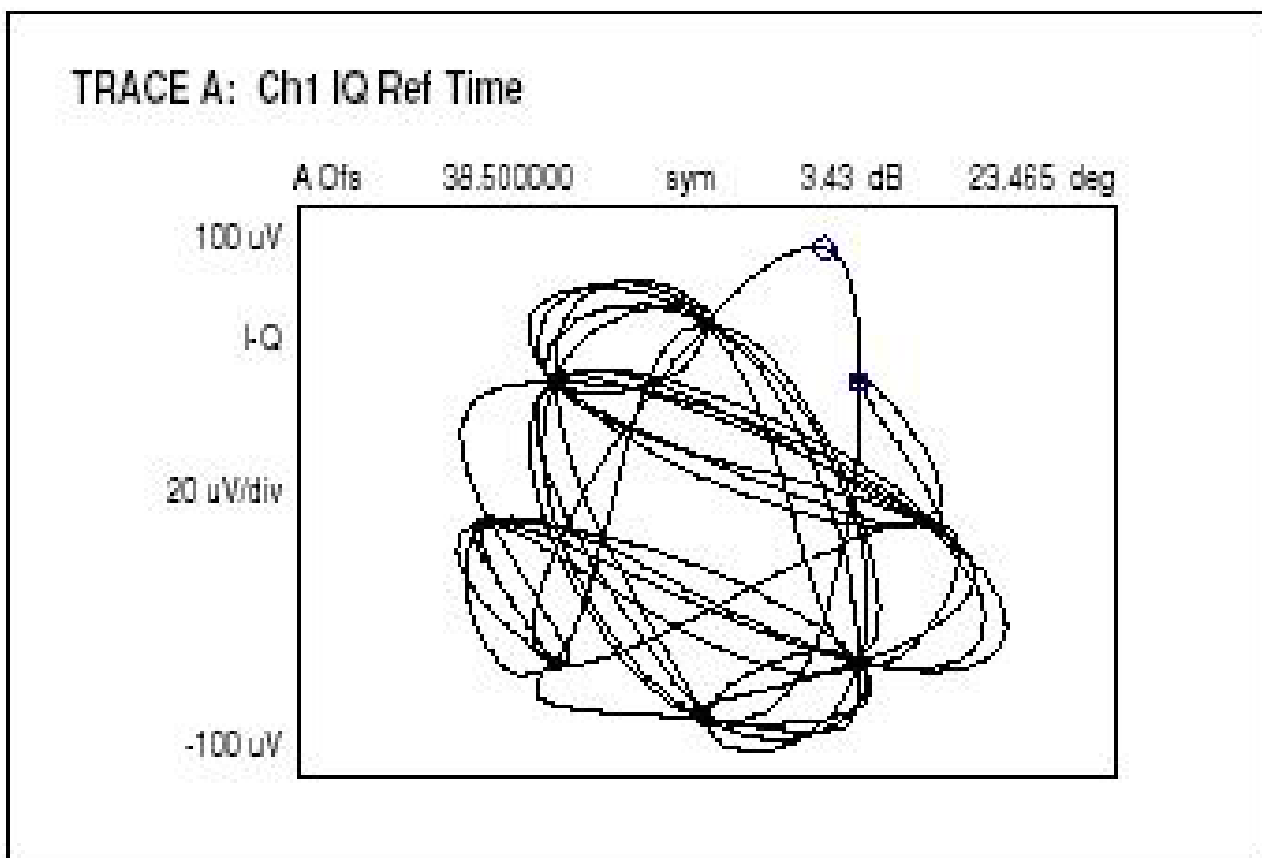


**A Digital Transmitter**

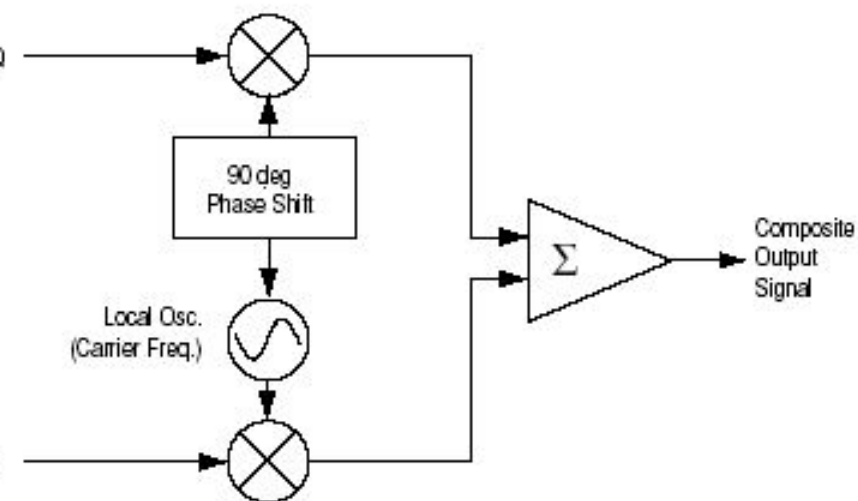


**A Digital Receiver**

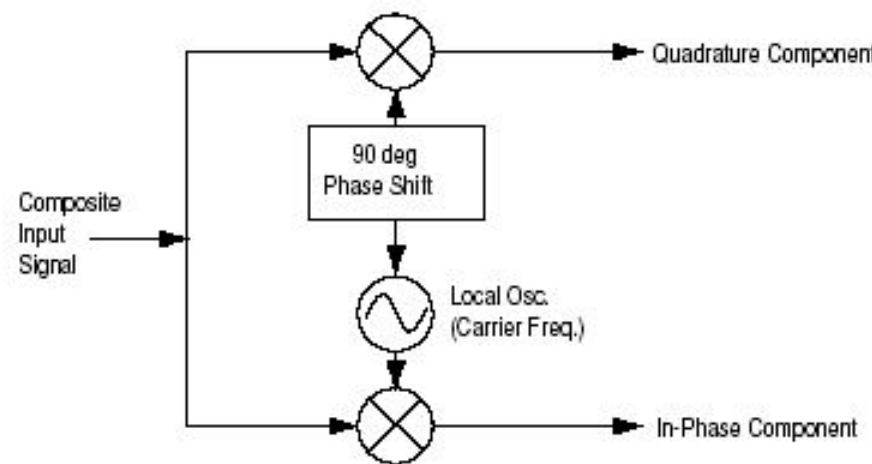
## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？（续5）



## 2. 信息是如何调制到正交I和Q信号上？（续6）



**I and Q in a Practical Radio Transmitter**



**I and Q in a Radio Receiver**

# 3。 数字调制的不同类型

上表列出了按恒包络调制和非恒包络调制的分类；

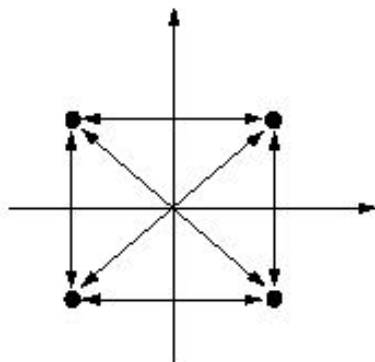
下表列出了在无线通信和视频中，不同的数字调制类型的应用。

Modulation format	Application
MSK, GMSK	GSM, CDPD
BPSK	Deep space telemetry, cable modems
QPSK, $\pi/4$ DQPSK	Satellite, CDMA, NADC, TETRA, PHS, PDC, LMDS, DVB-S, cable (return path), cable modems, TSTS
OQPSK	CDMA, satellite
FSK, GFSK	DECT, paging, RAM mobile data, AMPS, CT2, ERMES, land mobile, public safety
8, 16 VSB	North American digital TV (ATV), broadcast, cable
8PSK	Satellite, aircraft, telemetry pilots for monitoring broadband video systems
16 QAM	Microwave digital radio, modems, DVB-C, DVB-T
32 QAM	Terrestrial microwave, DVB-T
64 QAM	DVB-C, modems, broadband set top boxes, MMDS
256 QAM	Modems, DVB-C (Europe), Digital Video (US)

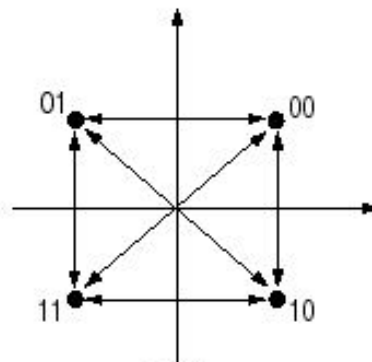
### 3. 数字调制的不同类型（续1）

- 位速率和符号速率：传输信号的带宽取决于符号速率。
- 符号时钟起到符号定时的作用。

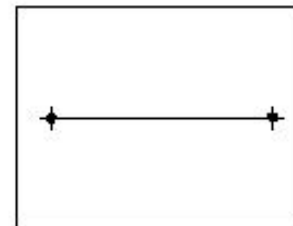
$$\text{Symbol rate} = \frac{\text{bit rate}}{\text{the number of bits transmitted with each symbol}}$$



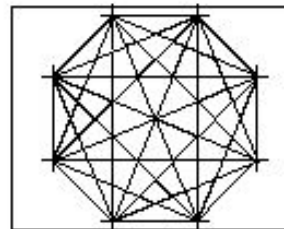
QPSK  
Two Bits Per Symbol



QPSK  
State Diagram



BPSK  
One Bit Per Symbol  
Symbol Rate = Bit Rate

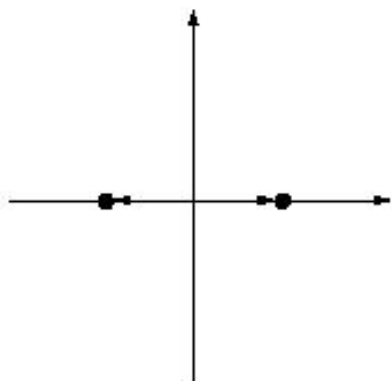


8PSK  
Three Bits Per Symbol  
Symbol Rate = 1/3 Bit Rate

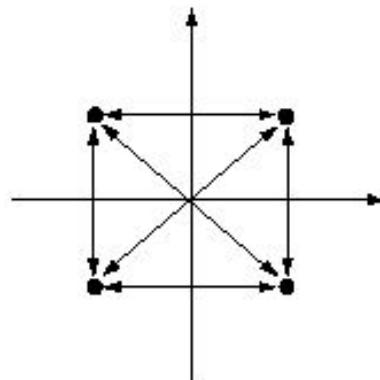


### 3. 数字调制的不同类型（续2）

- **相移键控**：BPSK和QPSK。
- 下图中QPSK的四个离散状态的相位分别是45度、135度、225度、315度，每个相位的转变（00，01，10，11）提供了2bit的数据
- **频移键控**：BFSK和MSK。
- FSK和MSK产生等包络信号，这对于放大器的功率传输是很重要的。



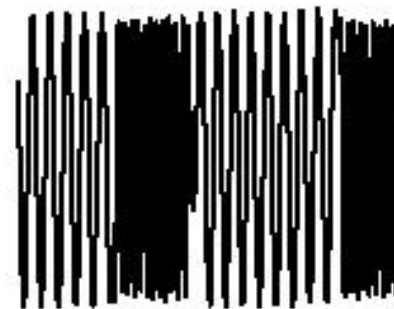
BPSK  
One Bit Per Symbol



QPSK  
Two Bits Per Symbol

Phase Shift Keying

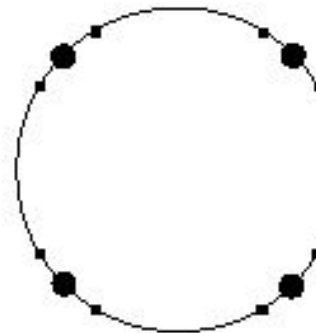
FSK  
Freq. vs. Time



One Bit Per Symbol

Frequency Shift Keying

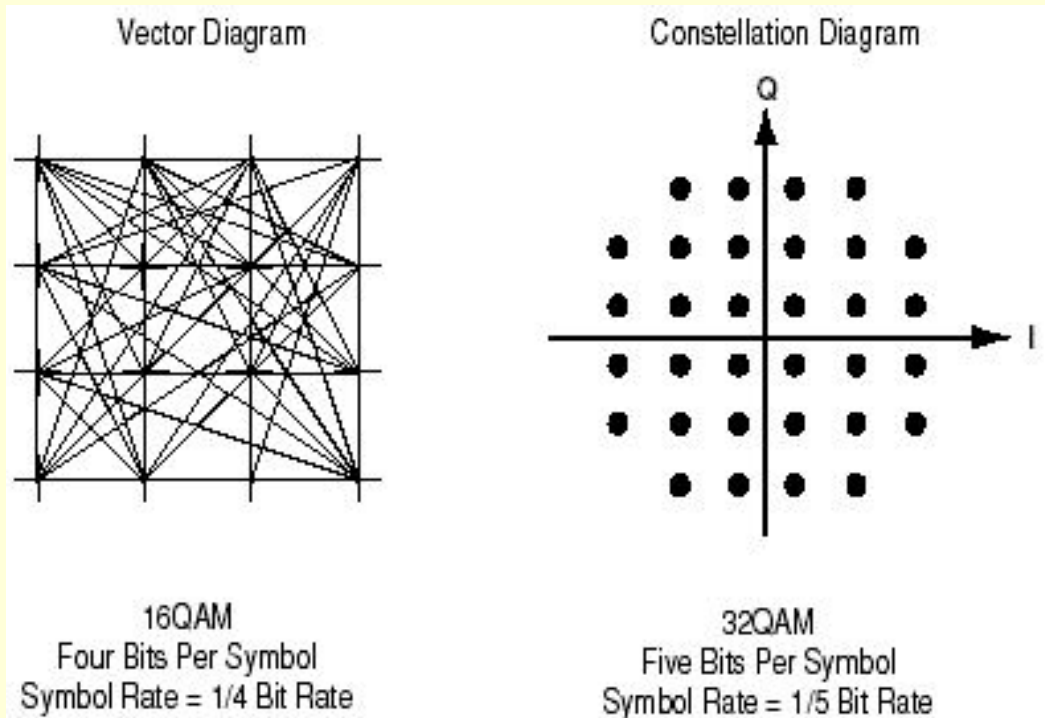
MSK  
Q vs. I



One Bit Per Symbol

### 3. 数字调制的不同类型（续3）

- **正交幅度调制**：下图是16QAM和32QAM的星座图。目前应用的是256QAM。256QAM系统使用8个I和8个Q数值。

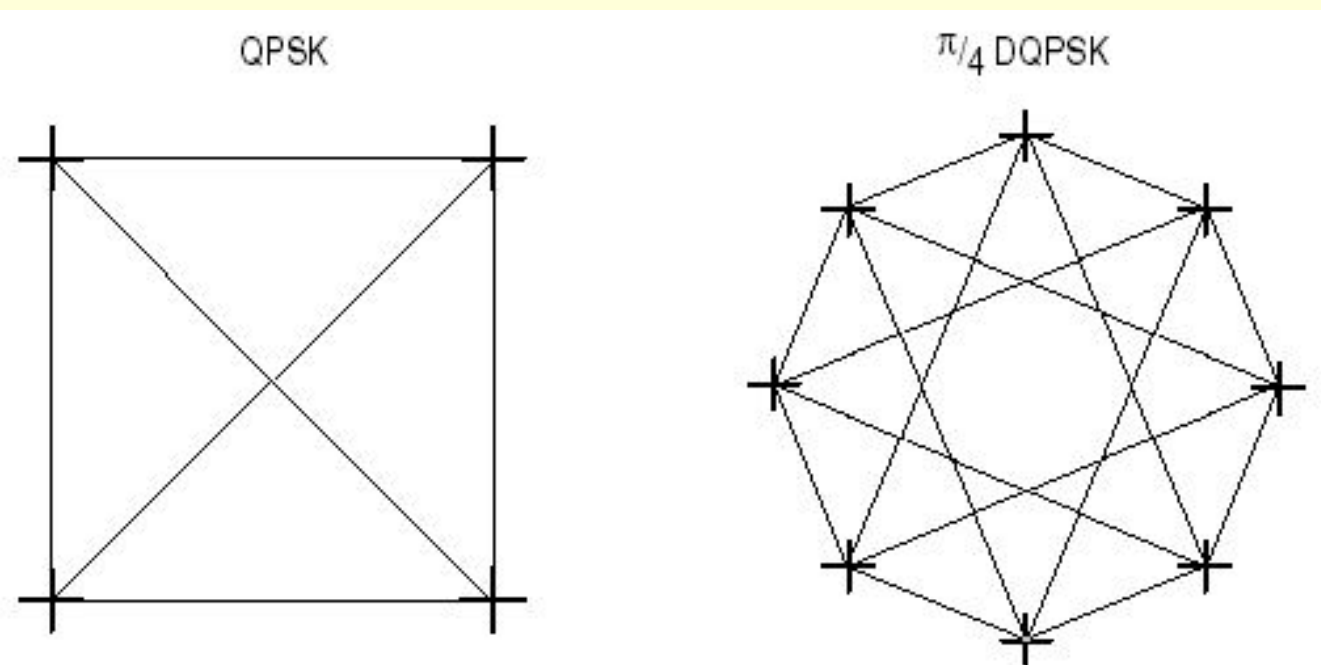


### 3. 数字调制的不同类型（续4）

- 数字调制的变种：IQ偏移调制(OQPSK)；差分调制(DQPSK)；等幅度调制(GMSK)。
- **第一种变种是Offset QPSK (OQPSK)**，主要应用在蜂窝 CDMA (Code Division Multiple Access)的反向链路中；
- 在QPSK中，IQ数据流是同步的，会产生180°相移，经滤波限带后所造成的包络起伏最大；
- 在OQPSK中，IQ数据流是偏移一位的（符号周期的一半），只可能发生 $\pm 90^\circ$ 的变化，经滤波限带后所造成的包络起伏小一些。

### 3. 数字调制的不同类型（续5）

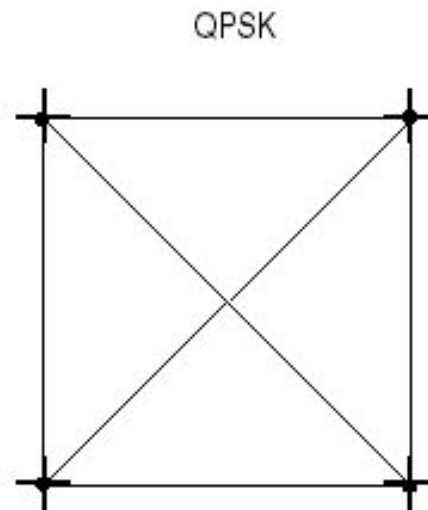
- 第二种变种是差分调制，例如：DQPSK和D16QAM。



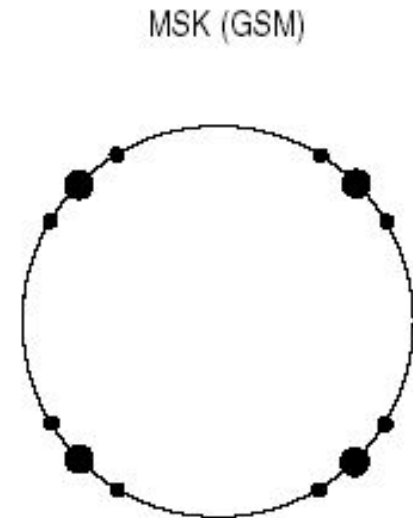
Both formats are 2 bits/symbol

### 3. 数字调制的不同类型（6）

- 第三种变种是等包络调制，例如：0.3 GMSK ( Gaussian Minimum Shift Keying ) 的GSM。
- 在等包络调制中，载波幅度是不随调制信号变化的。占有较大的带宽，属于功率有效型的调制类型。



Amplitude (Envelope) Varies  
From Zero to Nominal Value



Amplitude (Envelope) Does  
Not Vary At All

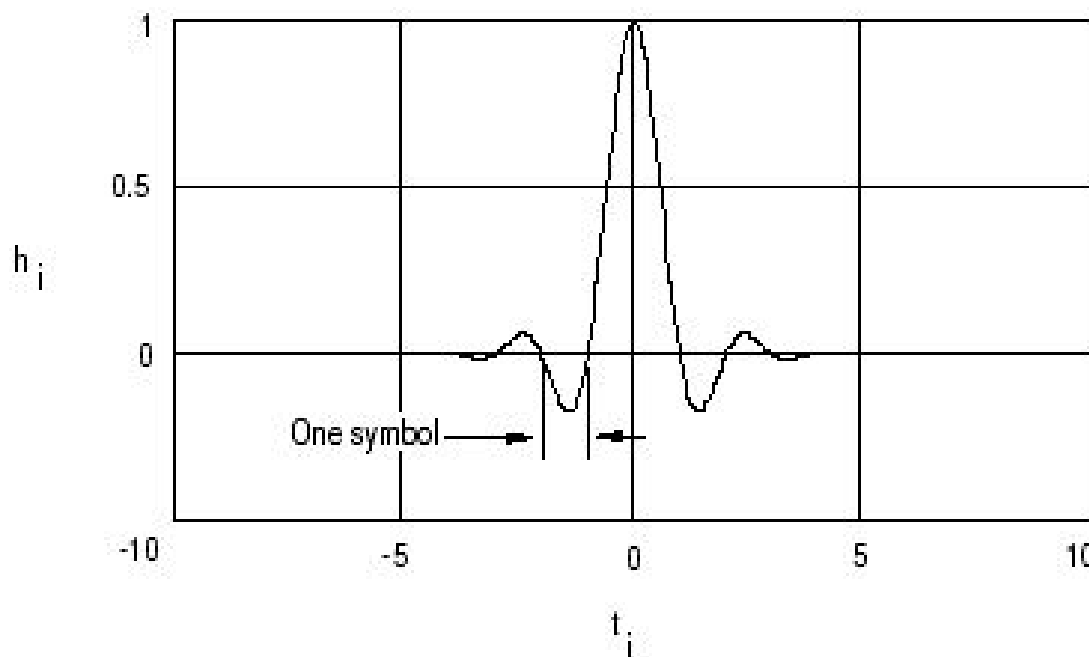


## 4. 限制带宽的滤波器技术

- 数据滤波器可以限制带宽和减小码间干扰。矢量信号分析仪的所有滤波器都是按20个码元长度来计算。
- 主要有：升余弦滤波器；平方根升余弦滤波器；发射机和接收机的匹配滤波器；高斯滤波器；数字滤波器等。
- 滤波器的形状和宽度是由 $\alpha$ （对于升余弦滤波器）或BT（对于高斯滤波器）来定义的。

## 4. 限制带宽的滤波器技术（续1）

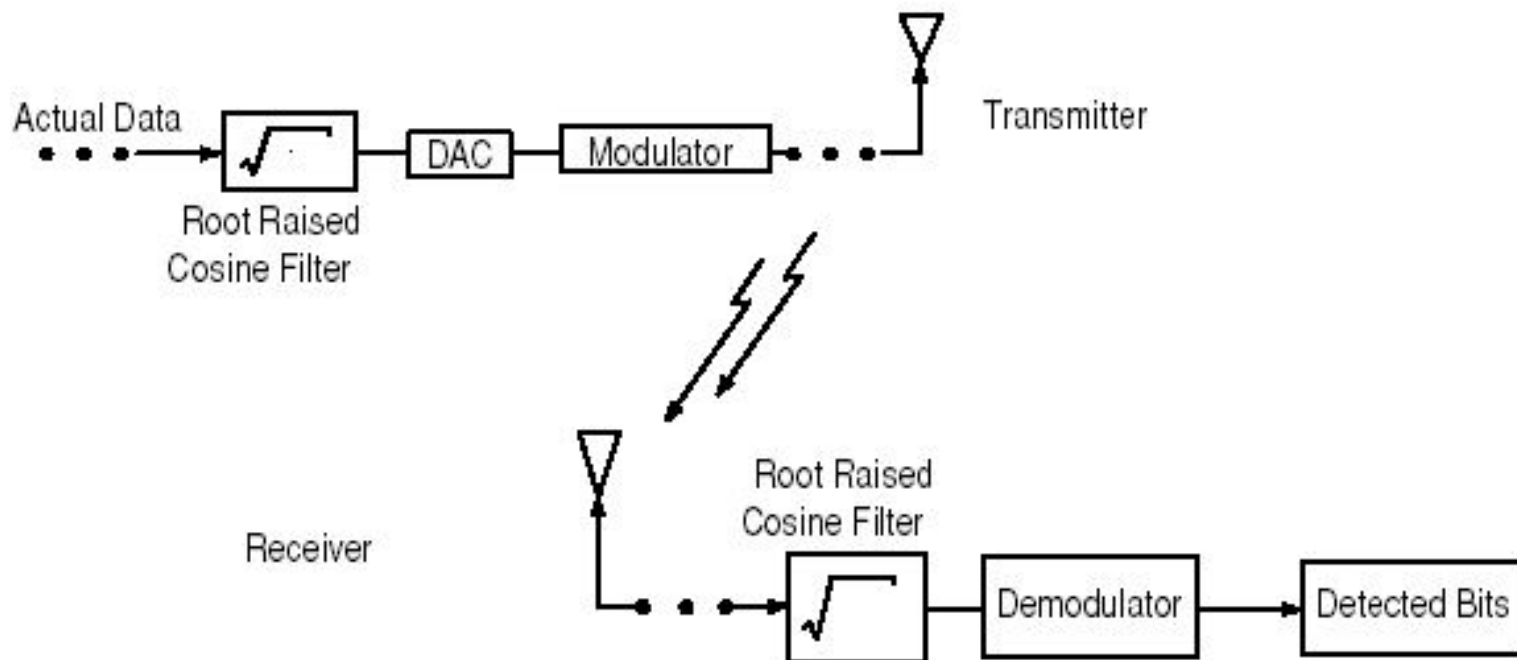
- 如右图所示，这是Nyquist滤波器或升余弦滤波器对于输入脉冲信号的时域响应。
- 如右图所示，时域响应在一个符号周期内有振铃。



Nyquist or Raised Cosine Filter

## 4. 限制带宽的滤波器技术（续2）

- 发射机中的匹配滤波器是为了减少邻道功率辐射；接收机中的匹配滤波器是为了减少宽带噪声。

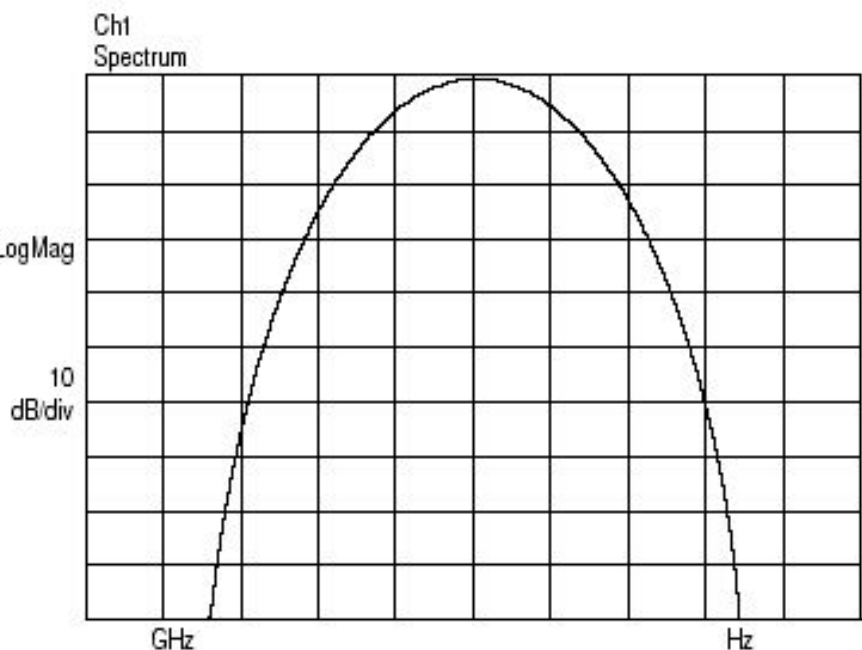


Transmitter-Receiver Matched Filters

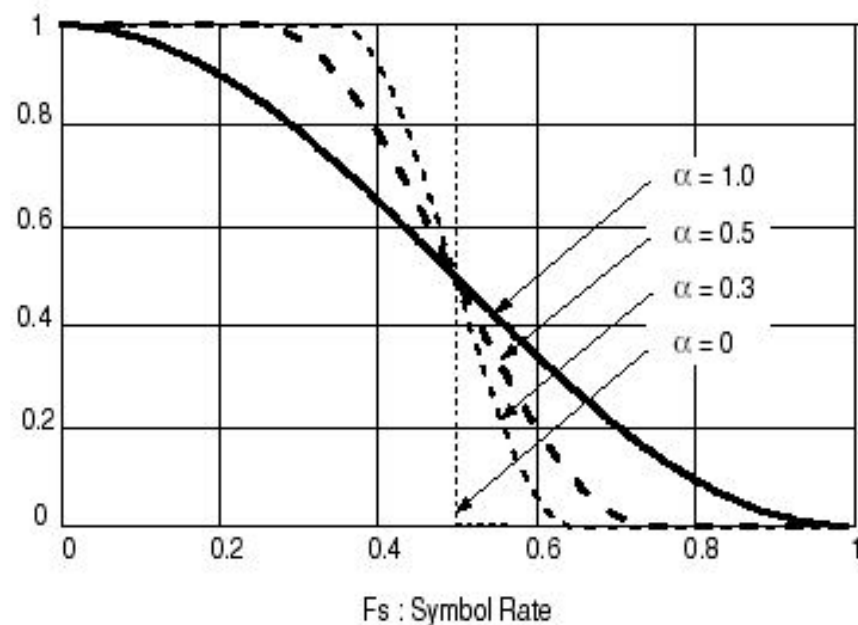


## 4. 限制带宽的滤波器技术（续3）

- 高斯滤波器：没有滤波器相当于 $\alpha$ 为无穷大。



Gaussian Filter

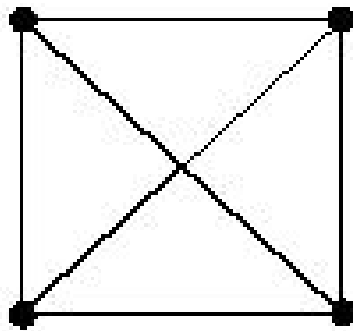


Filter Bandwidth Parameters " $\alpha$ "

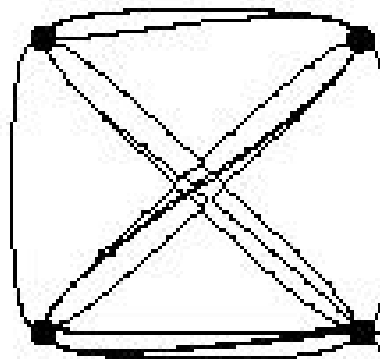
## 4. 限制带宽的滤波器技术（续4）

- **滤波器的带宽效应**（以QPSK为例）：没有滤波器相当于 $\alpha$ 为无穷大。滤波器的 $\alpha$ 为0.75和0.375时，可以平滑发射的波形并减小所需要的带宽。

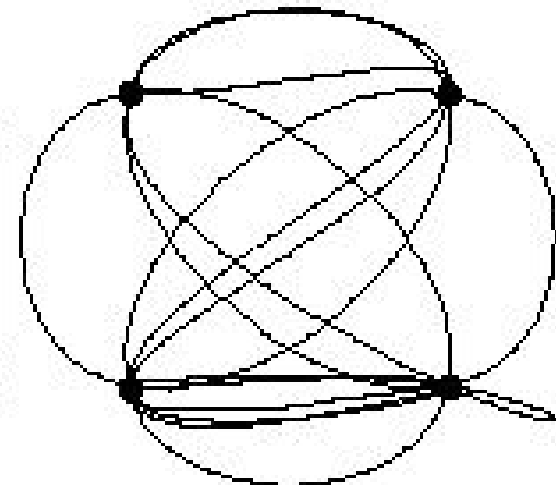
QPSK Vector Diagrams



No Filtering

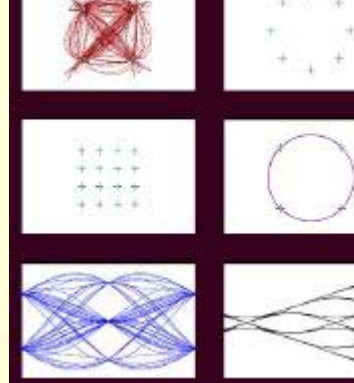


$\alpha = 0.75$

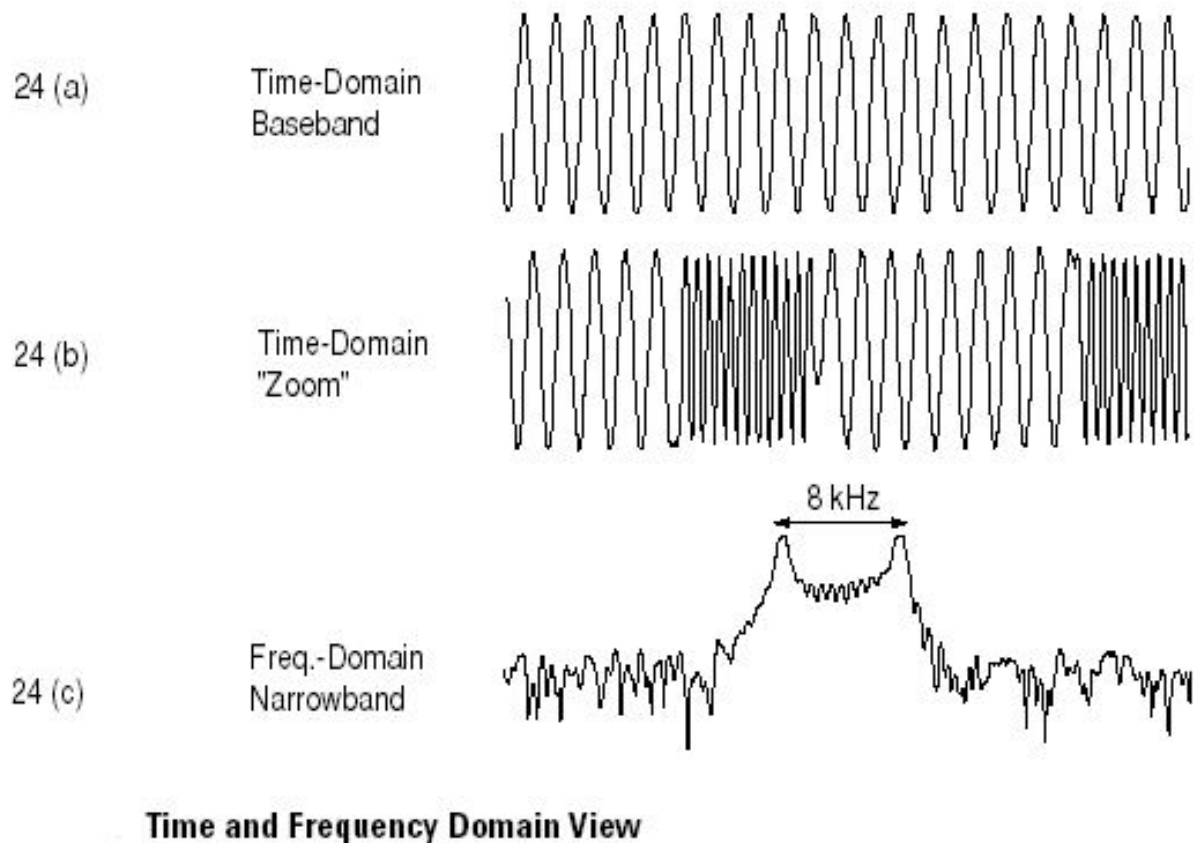


$\alpha = 0.375$

## 5. 观察数字调制信号的方法

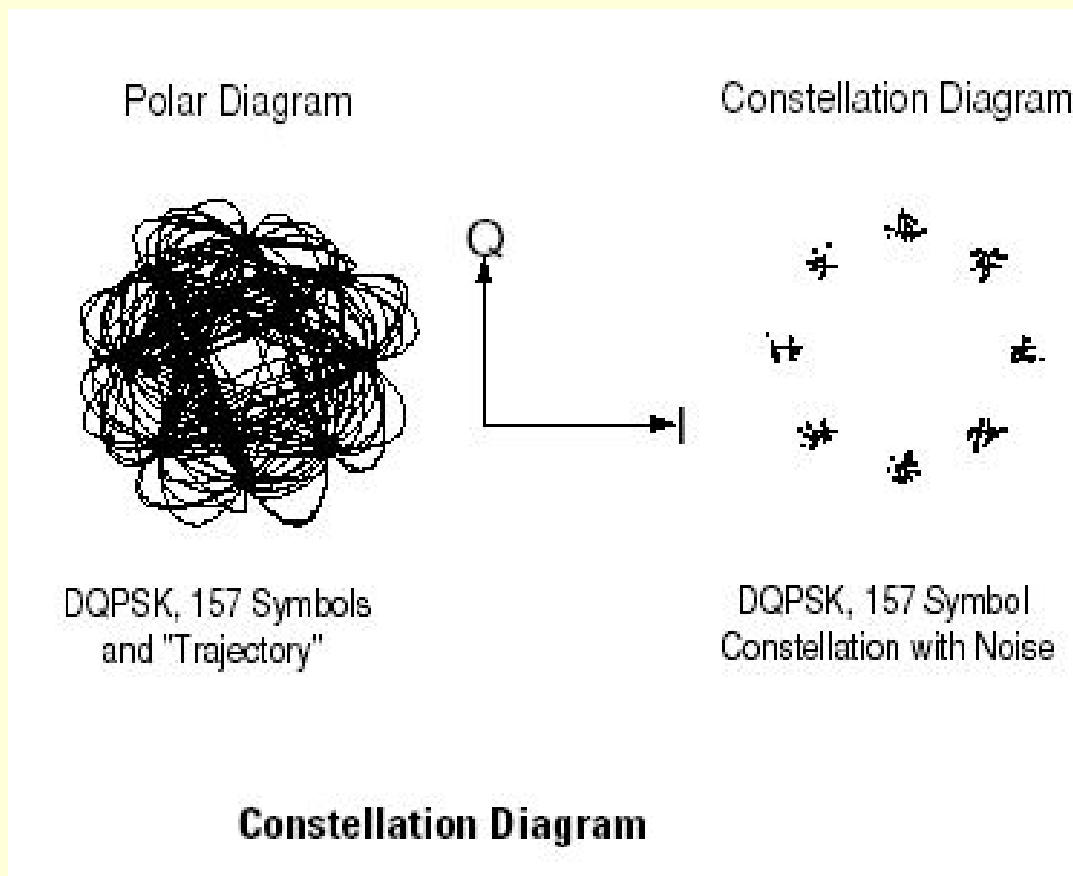


- 利用时域图。
- 利用频域图。
- 利用星座图。
- 利用眼图。
- 利用相位网格图。
- 误差矢量 EVM  
(Error Vector Magnitude) 测量。



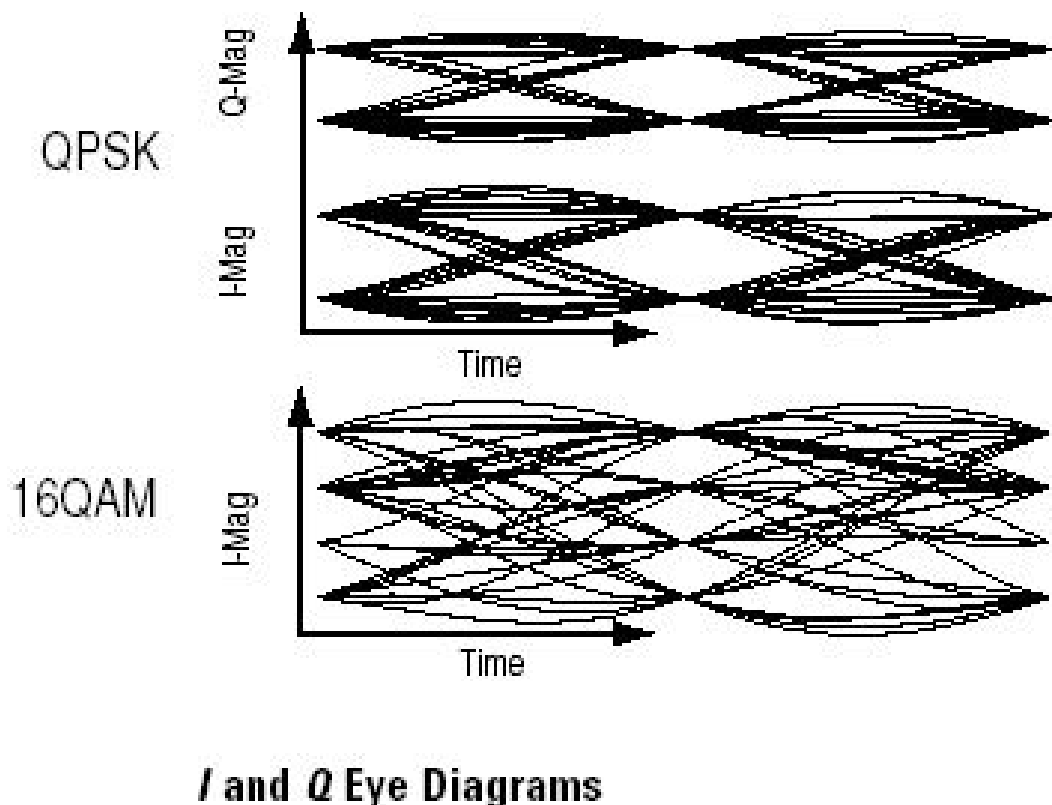
## 5. 观察数字调制信号的方法（续1）

- 利用星座图：
- 用极坐标描述矢量调制信号的幅度和相位（相对于载波）随时间或码元的变化，码元时钟时刻的相位值表示为一个点。



## 5. 观察数字调制信号的方法（续2）

- **利用眼图：**
- 眼图张开部分的宽度决定了可以抽样的时间间隔；
- 眼图张开部分的高度决定了系统的噪声容限；
- 眼图的闭合斜率决定了系统对抽样定时误差的敏感程度，斜率愈大则对定时误差愈敏感；
- 当码间串扰十分严重时，眼图会完全闭合起来，系统将无法正常工作。



# 5. 观察数字调制信号的方法（续3）

## 利用相位网格图：

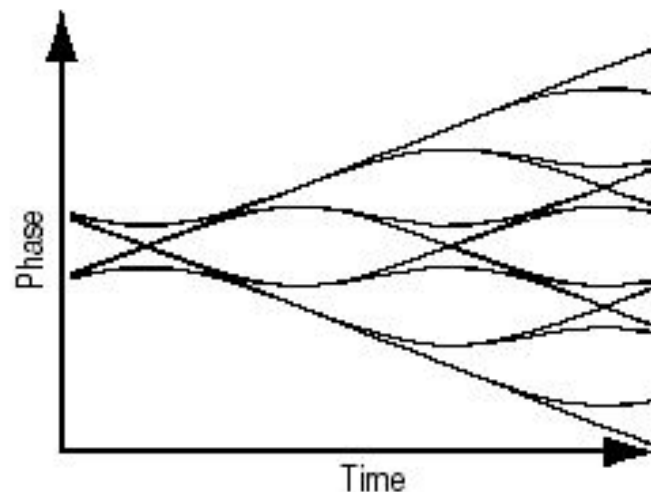
在每个信息比特间隔内，载波相位随时间变化的规律可用相位网格图表示；

对于MSK信号，载波相位变化  $+\pi/2$  或  $-\pi/2$ ，取决于二进制信息1或0；

MSK信号由于相位是连续变化的，因而频谱衰减速度较快，近似与  $f^4$  成反比，但是相位路径在符号转换时刻将会产生拐点；

在GMSK中，基带信号首先成形为高斯脉冲，然后再进行MSK调制。由于成形后的高斯脉冲无陡峭沿，亦无拐点，因此相位路径得以进一步平滑。

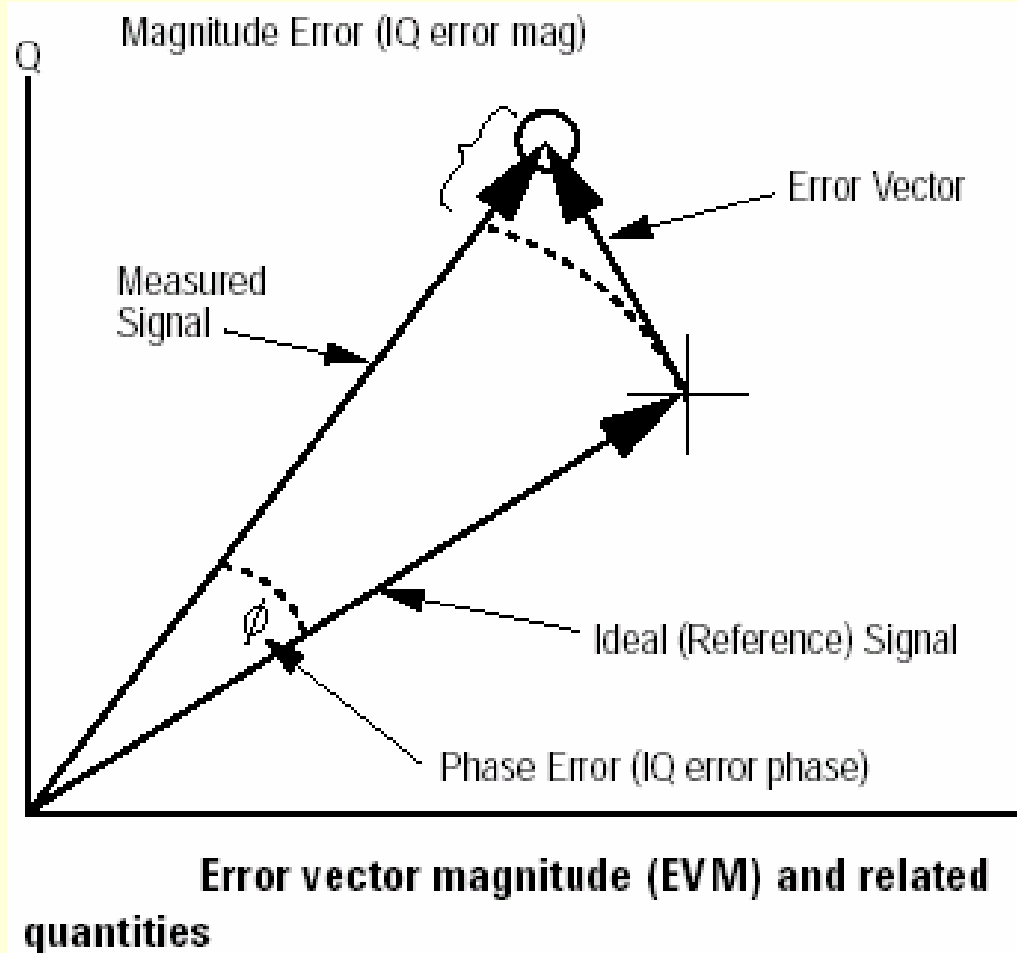
GMSK Signal  
(GSM) Phase  
vs.  
Time



Trellis Diagram

## 5. 观察数字调制信号的方法（续4）

- 误差矢量 **EVM** (Error Vector Magnitude) 测量对于数字调制信号有极强的洞察力。
- 从**EVM**和相关的测量可以察觉数字调制信号极微小的变化，而且可以识别产生这种微小变化的原因。
- **EVM**的定义如右图所示。





## 8.4 主要应用

- 在模拟调制与解调中的应用
- 在数字调制与解调中的应用
- 时域及时间选择的频谱分析
- 在CDMA功率测量中的应用
- EVM测量



# 1. 在模拟调制与解调中的应用

## ■ 模拟调制信号的调制与解调

■ 信号源文件AMSIG.DAT  
(5MHz载波的25KHz正弦调制信号的AM已调制信号)。

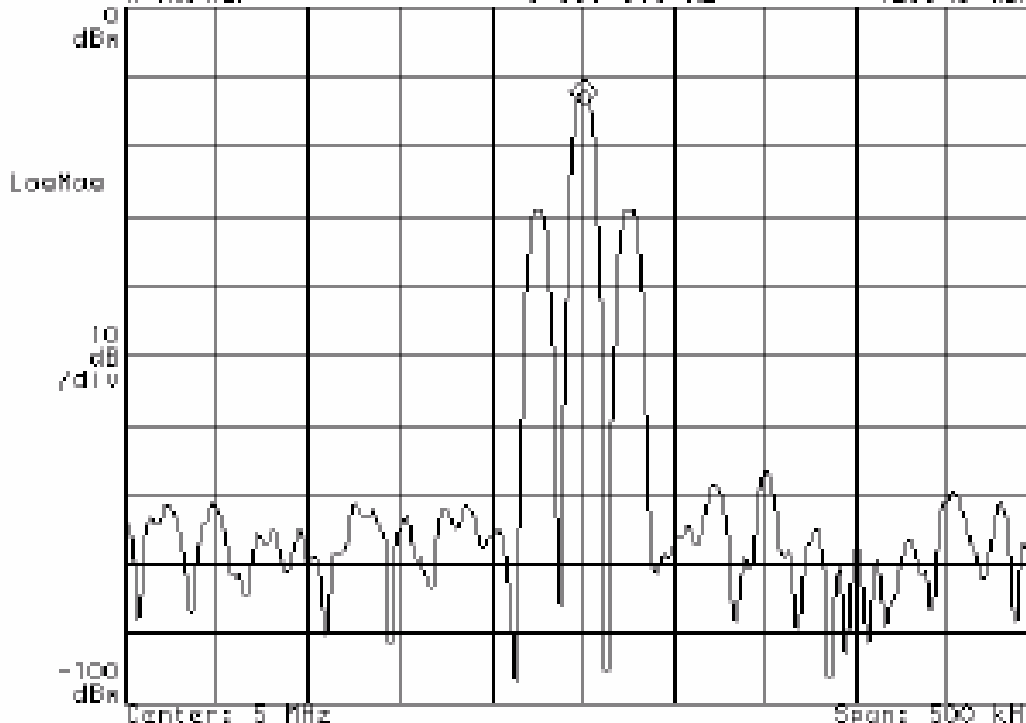
■ 观察AM已调制信号的频谱。

MEASUREMENT RUNNING

TRACE A: Ch1 Spectrum  
A Marker

5 000 000 Hz

-12.045 dBm

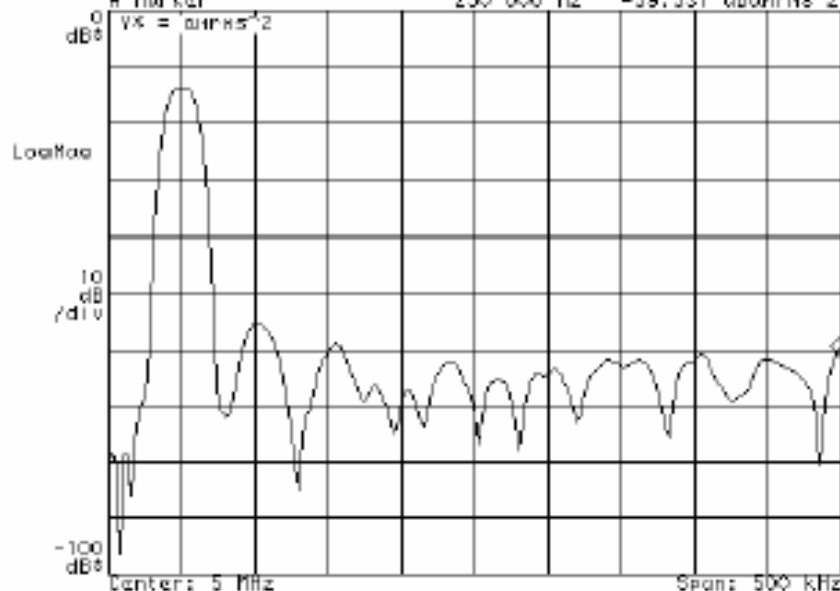


# 1. 在模拟调制与解调中的应用 (续1)

- 观察AM解调信号的频谱。观察AM解调信号的时域信息。

MEASUREMENT RUNNING

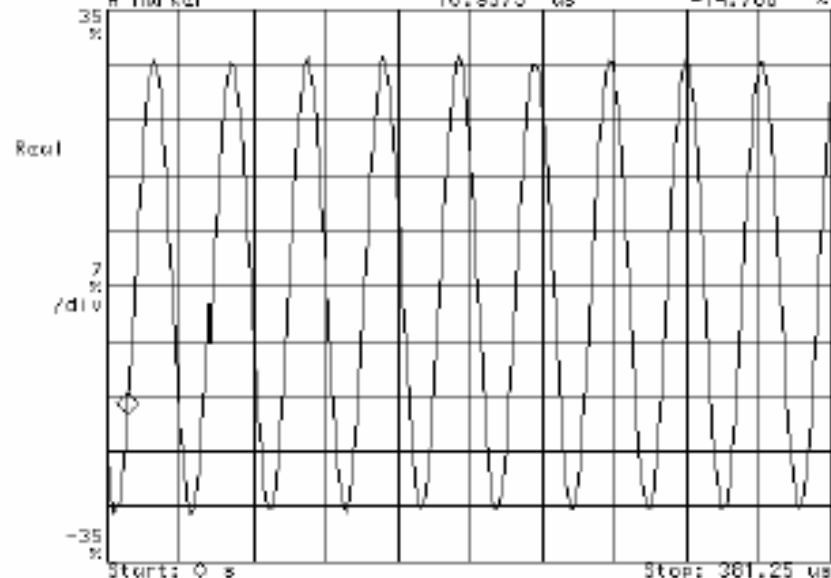
TRACE A: Ch1 AM Spectrum  
A Marker



the AM demodulated spectrum.

MEASUREMENT RUNNING

TRACE A: Ch1 AM Main Time  
A Marker



Recovered signal is volts as a function of time

# 1. 在模拟调制与解调中的应用（续2）

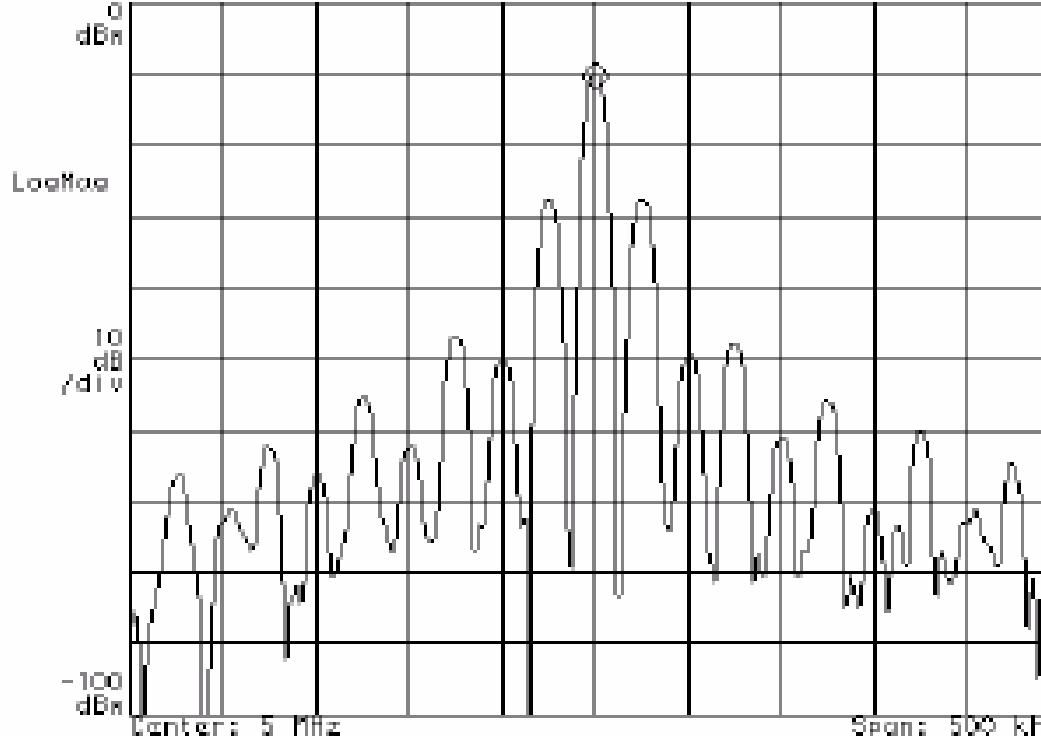
- 模拟调制信号的调制与解调
- 信号源文件PMSIG.DAT（5MHz载波的25KHz三角波调制信号的PM已调制信号）。
- 观察PM已调制信号的频谱。

MEASUREMENT RUNNING

TRACE #1: CH1 Spectrum  
A Marker

5 000 000 Hz

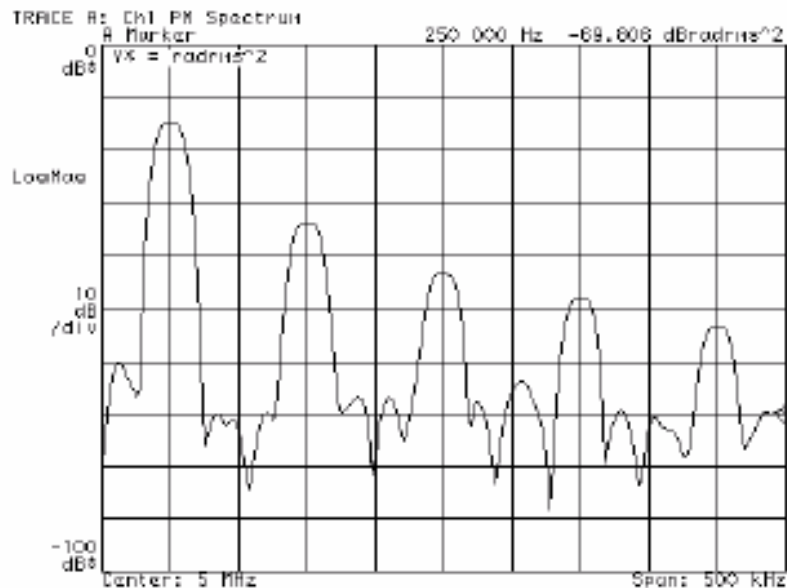
-10.022 dB



# 1. 在模拟调制与解调中的应用 (续3)

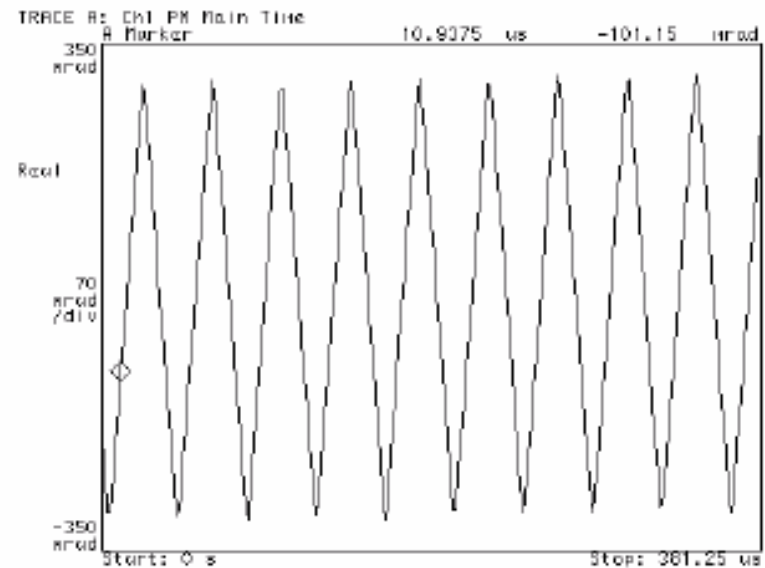
- 观察PM解调信号的频谱。观察PM解调信号的时域信息。

MEASUREMENT RUNNING



the PM demodulated spectrum.

MEASUREMENT RUNNING

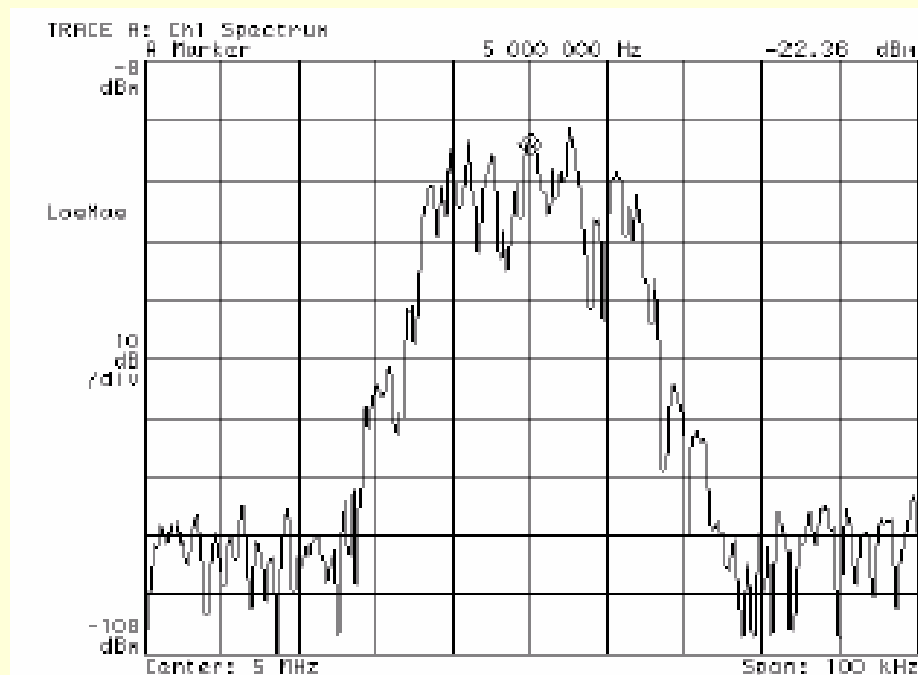


The recovered signal is in radians as a function of time

标准格式有：NADC、GSM、EDGE、DECT、CDMA BASE、CDMA MOBILE、PDC、PHS (PHP)、CPLD、TETRA、APCD 25、W-CDMA 5MHz、BLUETOOTH。

## 2. 在数字调制与解调中的应用

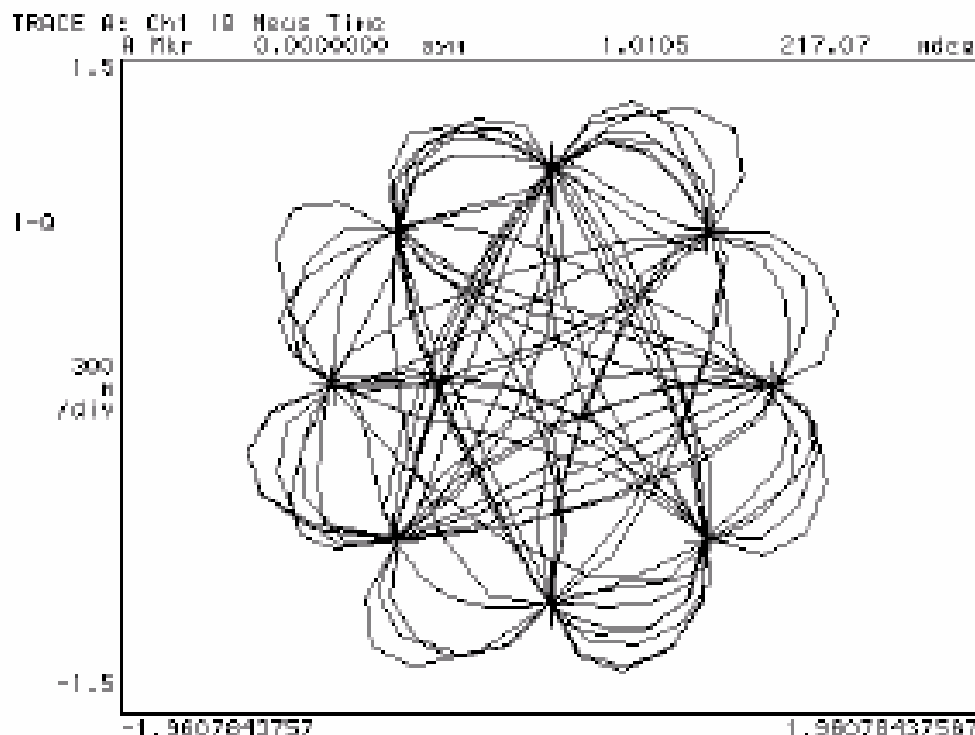
- 数字调制信号的调制与解调
- 标准格式（NADC）信号源文件PI 4DQPSK.DAT。
- 观察NADC已调制信号的频谱。



The spectrum of a digitally modulated carrier before demodulation

## 2. 在数字调制与解调中的应用（续1）

- 解调标准格式（NADC）信号。



A time display of a demodulated signal

## 2. 在数字调制与解调中的应用（续2）

### ■ 选择具有特点的测量和显示：

#### ■ MEAS DATA：

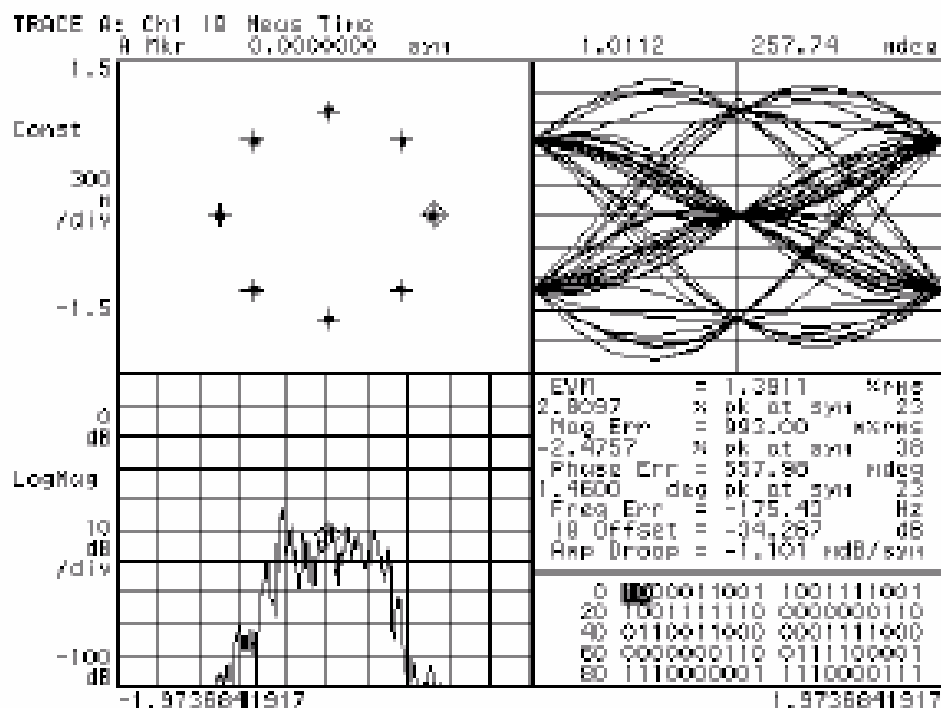
- IQ measured (time or spectrum)；
- IQ reference (time or spectrum)；
- IQ error (mag or phase)；
- error vector (time or spectrum)；
- symbol table/error summary。

#### ■ DATA FORMAT：

- magnitude (log(dB) or linear)；
- magnitude (log(dB) or linear)；
- phase (wrap or unwrap)；
- part (real(I) or imaginary(Q))；
- group delay；
- polar (IQ) (vector or constellation)；
- eye diagram (I or Q or trellis)。

## 2. 在数字调制与解调中的应用（续3）

- 解调标准格式（NADC）信号，以不同的形式显示。

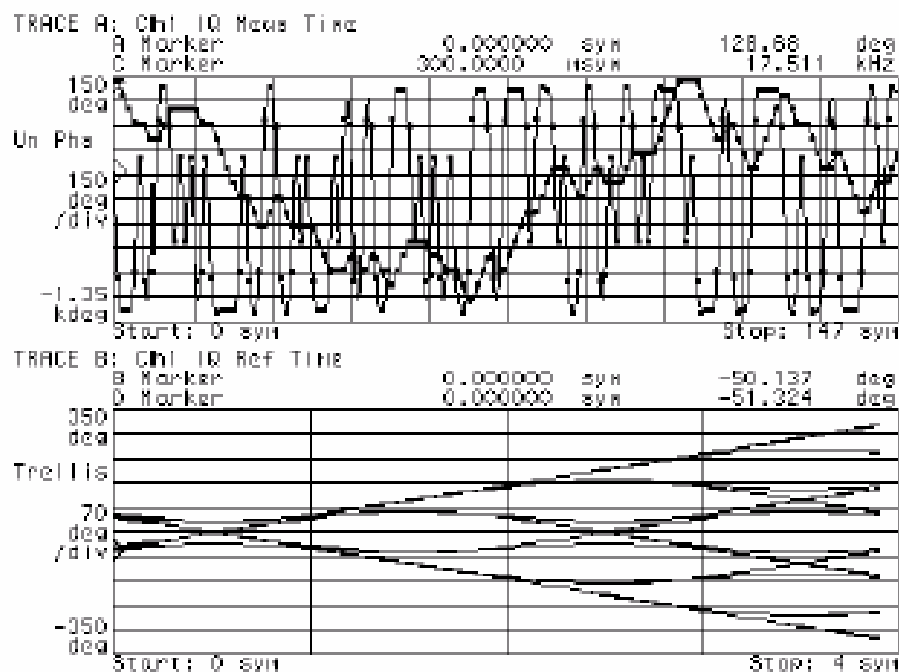


Each grid shows a different measurement type with an appropriate data format



## 2. 在数字调制与解调中的应用（续4）

- 解调和分析MSK信号：选取文件MSK.DAT。

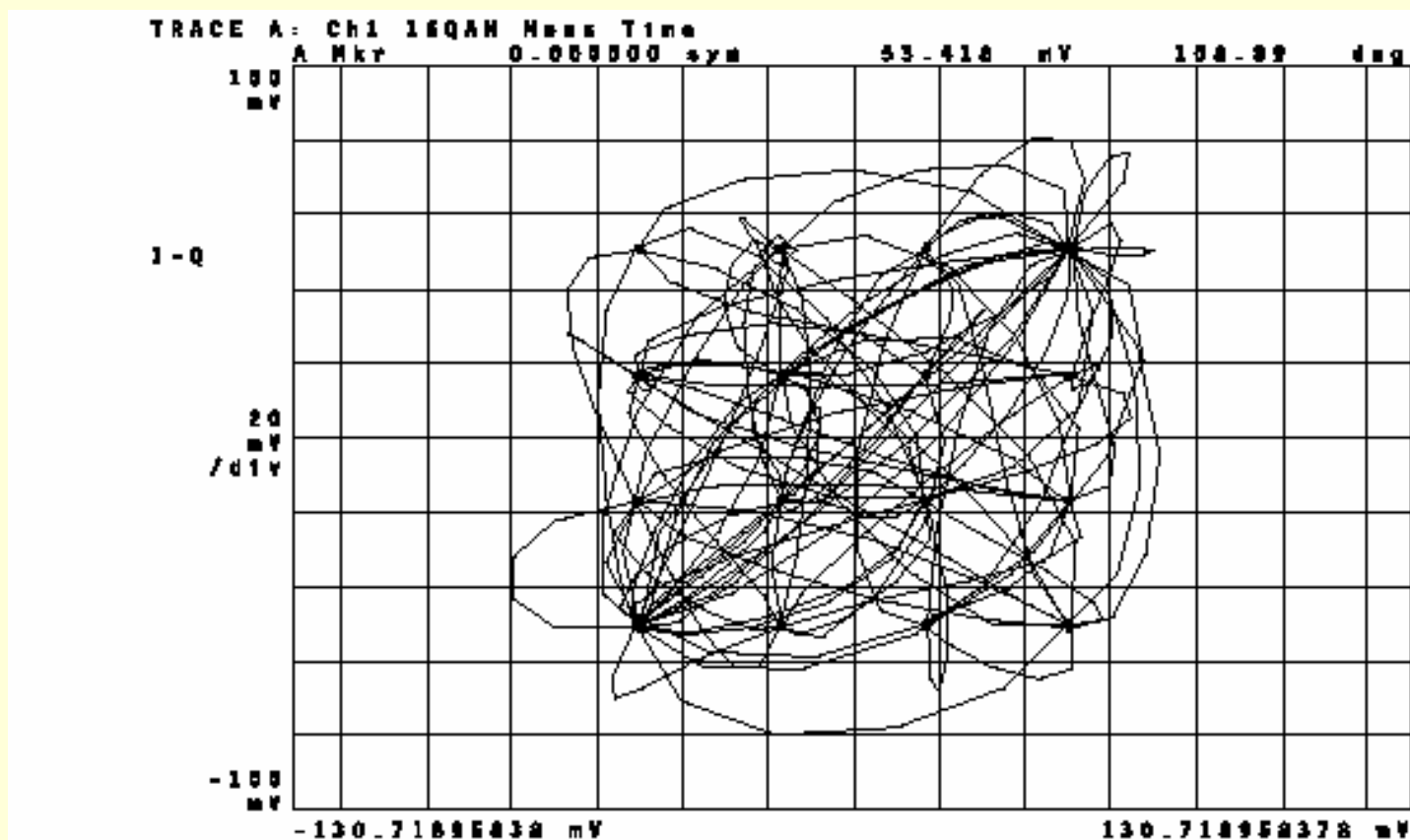


The upper grid shows the relationship between instantaneous frequency and instantaneous phase. The trellis diagram in the lower grid presents another view of phase response.

非标准格式有：QPSK (normal offset)、DQPSK (normal  $\pi/4$ )、BPSK、BPSK、QAM (16 32)、MSK (type1 type2)、FSK (2 4 8 16)。

## 2. 在数字调制与解调中的应用 (续5)

- 解调非标准格式信号：选取文件16QAM.DAT。



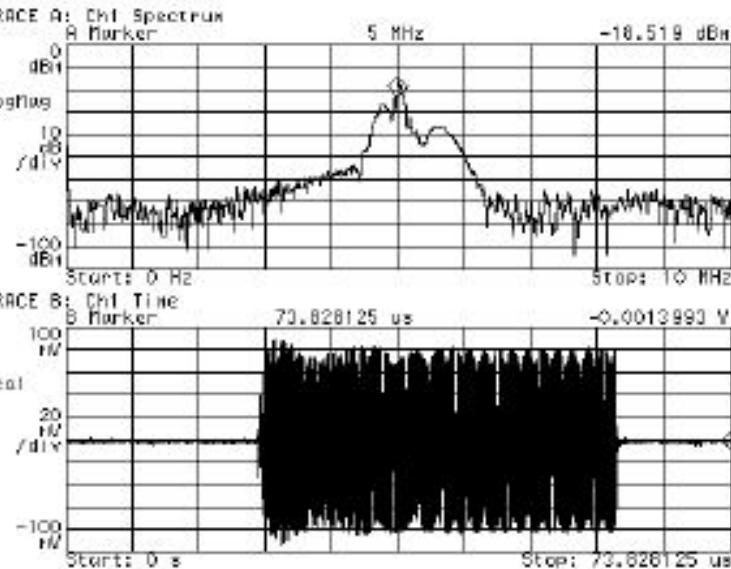
Vector diagram for 16 QAM signal

### 3. 时域及时间选择的频谱分析

进行瞬态信号的频谱分析：

信号源文件XMITR.DAT：如下左图所示；

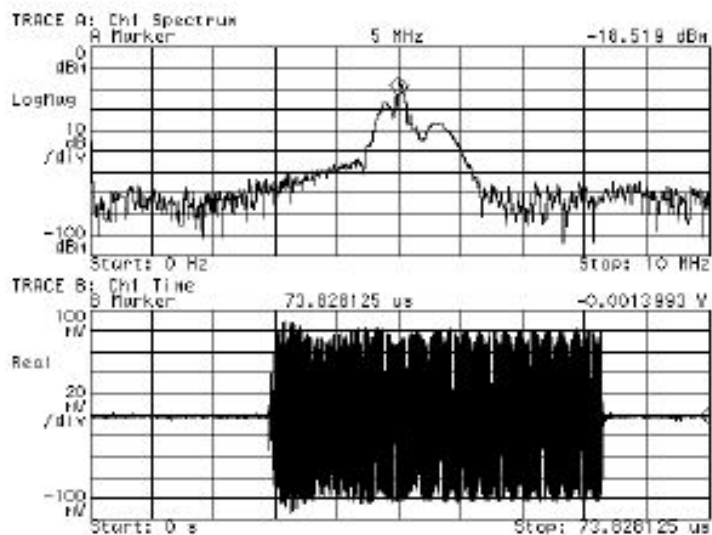
设置时间闸门长度，沿时间轴移动时间闸门，逐段覆盖瞬态信号，观察频谱峰值的移动：如下右图所示。



spectrum (top) and time domain representation (bottom) of transient signal

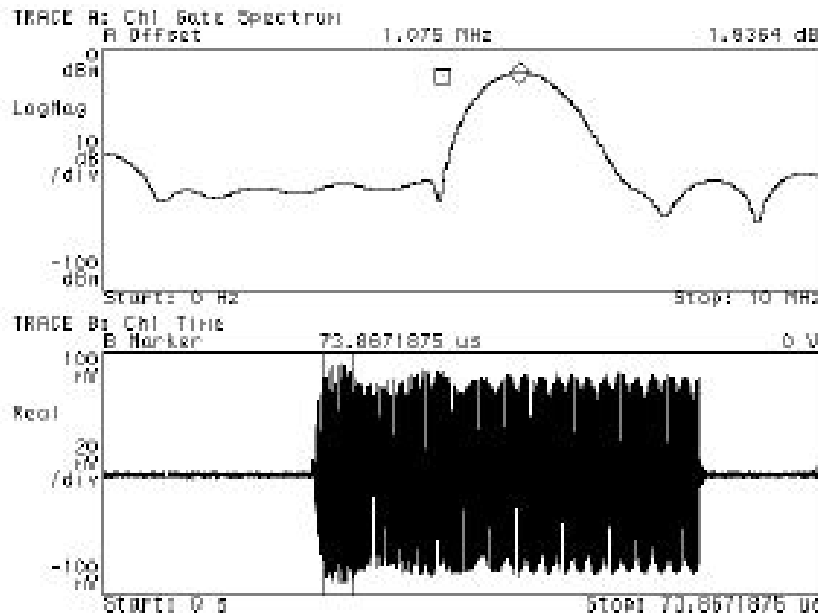
### 3. 时域及时间选择的频谱分析

- 进行瞬态信号的频谱分析：
- 信号源文件XMI TR. DAT：如下图所示；
- 设置时间闸门长度，沿时间轴移动时间闸门，逐段覆盖瞬态信号，观察频谱峰值的移动：如图所示。



Spectrum (top) and time domain representation (bottom) of transient signal

# 瞬态信号的时间闸门频谱分析

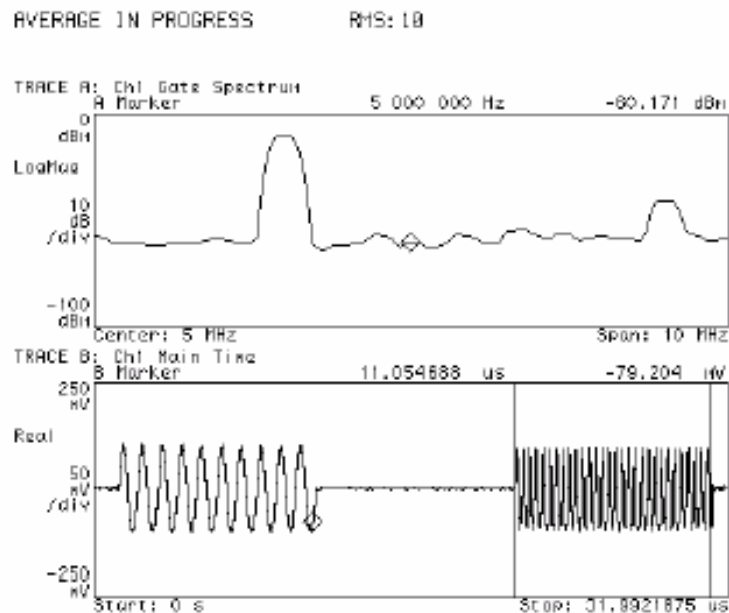
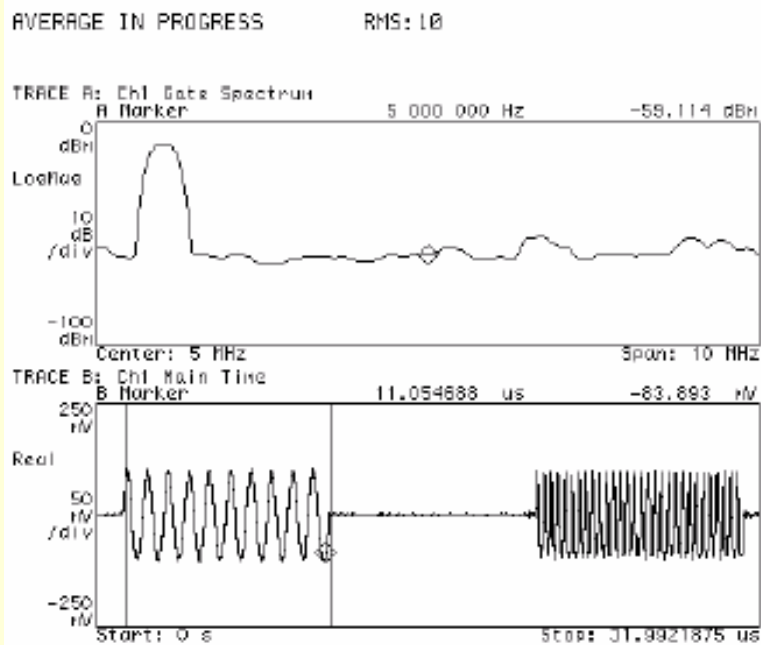


With time gating on, the spectrum shown (top) is that of the data inside the gate markers (bottom). In this case, moving the time gate across the time signal (bottom) shows that the carrier frequency varies with time (the spectral peak moves). We can use FM demod to show this, too. (grids were turned off in the illustration to highlight the gate markers.)

### 3. 时域及时间选择的频谱分析（续1）

■ 利用时间选取进行瞬态信号的频谱分析

■ 信号源文件BURST.DAT：设置时间闸门检查第一个突发脉冲和第二个突发脉冲。



**Spectrum (top trace) of the burst is derived by gating the time signal (bottom trace). The gate's delay and length are selected to encompass the burst signal (vertical markers show gate position). Note existence of the first spectral component in the left display and the existence of the other two components in the right display.**

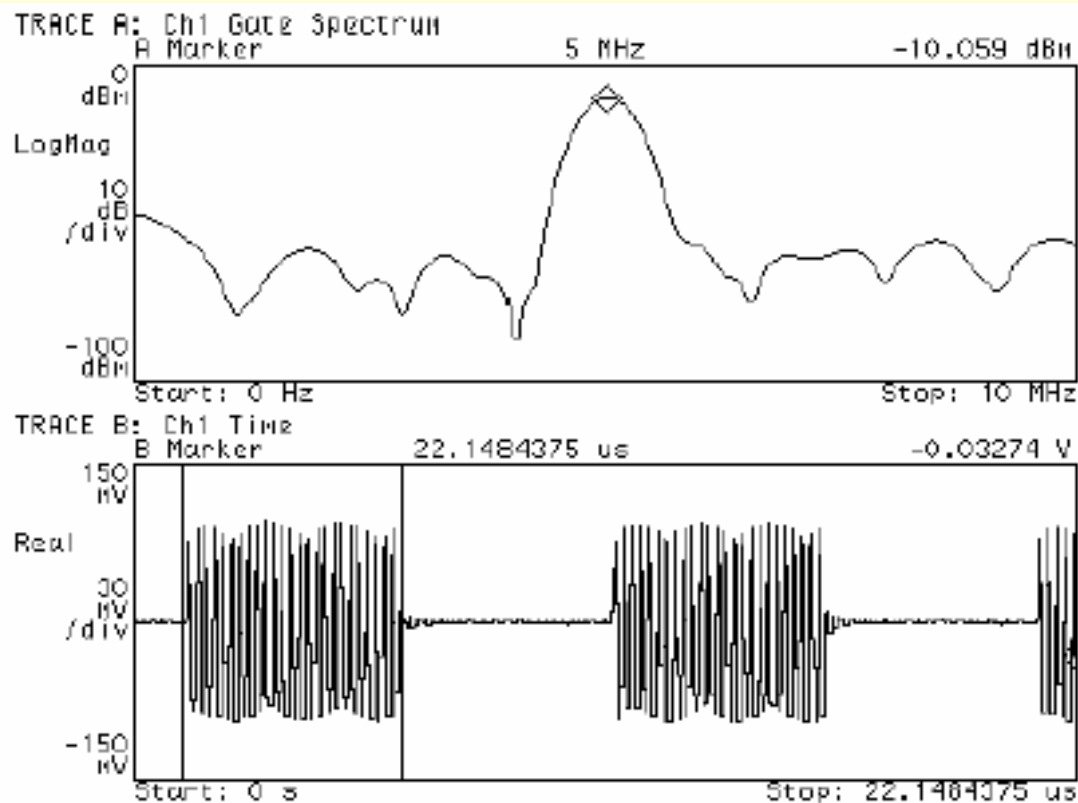
### 3. 时域及时间选择的频谱分析（续2）

- 设置时间闸门，跟踪突发脉冲

- 信号源文件

PMBURST.DAT ( A 5 MHz burst carrier, phase-modulated with a 25 kHz signal ) ;

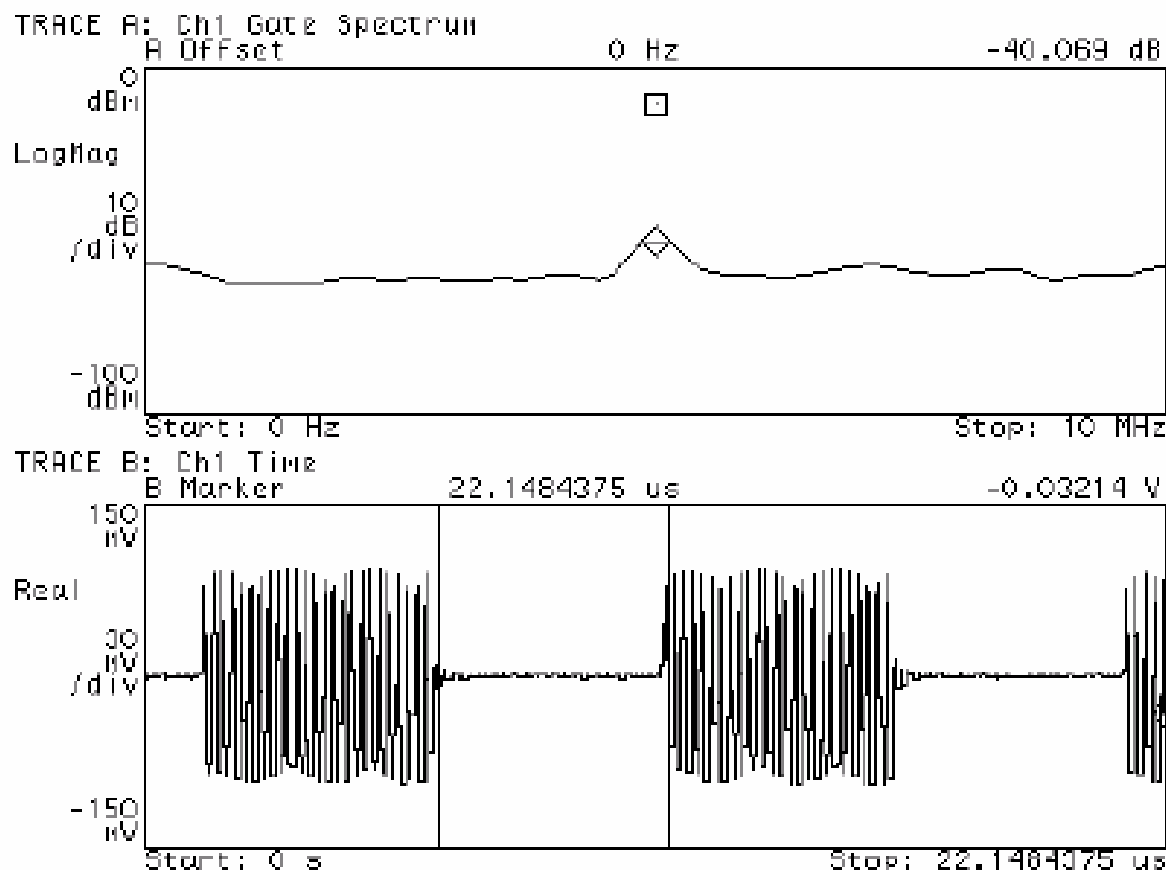
- 如下图所示，移动时间闸门到时间显示关断的位置，测量通/断比。



The lower trace displays the time domain signal with a gate encompassing the first burst. The upper trace displays the frequency spectrum of the gated burst

### 3. 时域及时间选择的频谱分析（续3）

如右图所示，  
A Offset就是通/断  
比，反映了  
载波泄漏的  
性能。



On the upper trace the offset marker is set at the "on" signal level. When the gate is moved to the "off" portion of the signal, the marker reading reflects the difference between the "on" portion and the "off" portion of the signal.





## 4. 在CDMA功率测量中的应用

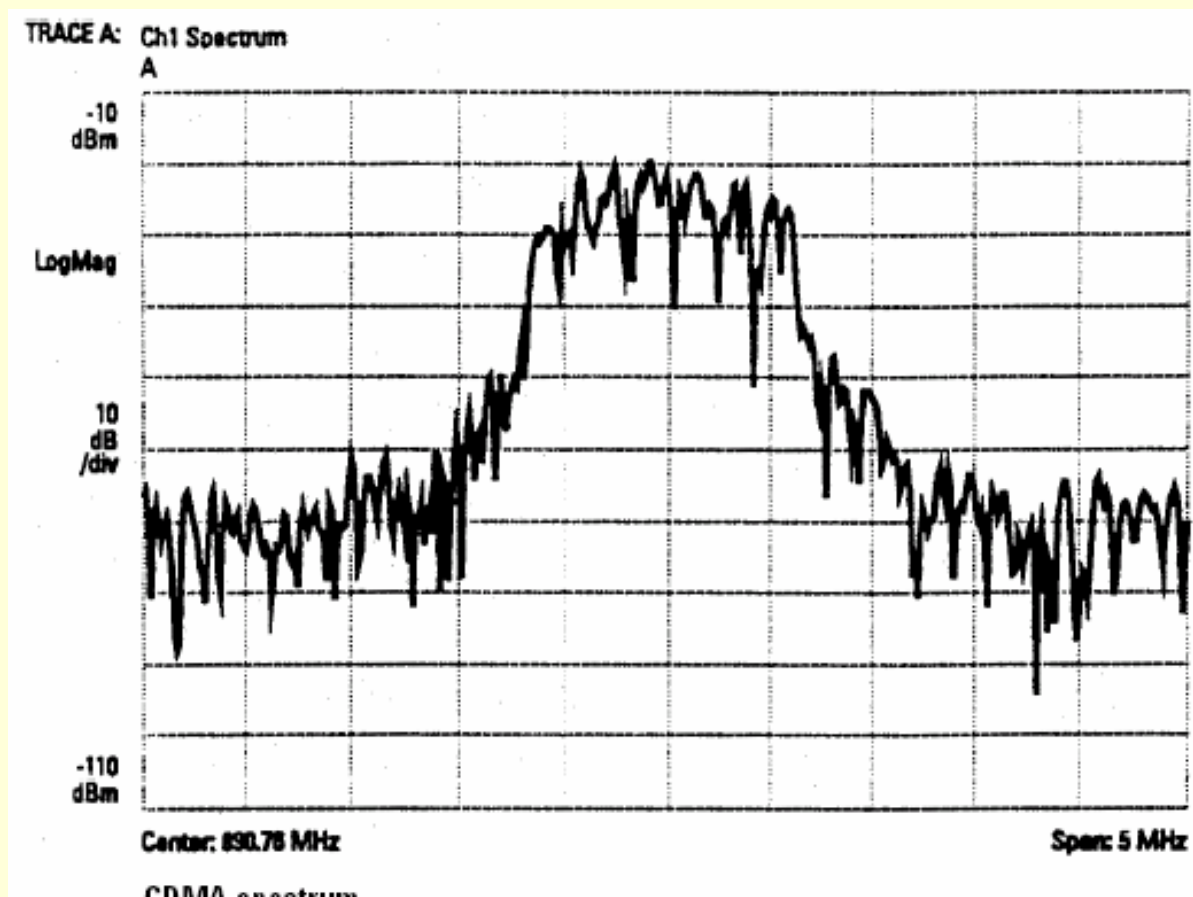
- CDMA (Code Division Multiple Access) 是利用码分和跳频技术，产生的是类似于噪声的数字调制信号。
- 在W-CDMA中，关键的测量是信道内的功率谱和邻道功率谱。
- 另一感兴趣的是CDMA的系统设计：数字调制分析、滤波器的频率响应、放大器的交调和增益压缩和振荡器的相位噪声特性。

# 数字调制信号的功率测量

- 因为数字调制信号的类似噪声特性，所以它的峰值幅度是完全不可预知的。
- 精确地测量数字信号的功率要比测量大多数模拟信号的输出功率困难得多。
- 数字调制信号，因为它们所有的功率在整个频带中传播，而不像模拟调制信号只在载波的边带中传播，以及具有不重复性、随机性，所以没有可预知的、重复出现的功率点测量。
- 为了更精确地测量数字调制信号的功率，通常是采用-30dB的下降点表示信号的带宽，而不是模拟调制信号中的-3dB，低于-30dB下降点的功率可以忽略。

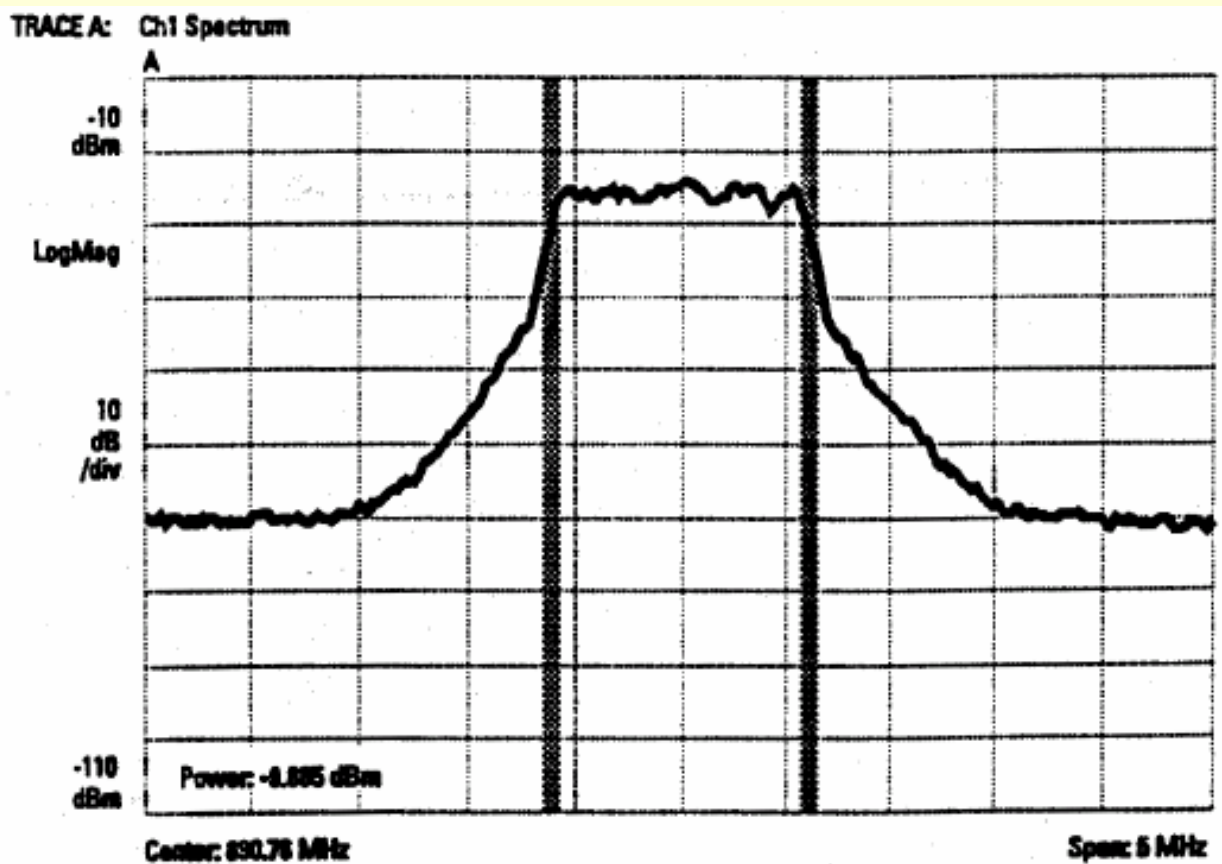
# 带限功率谱测量

- **带限功率谱测量**：设置中心频率和频率范围。



# 平均功率测量

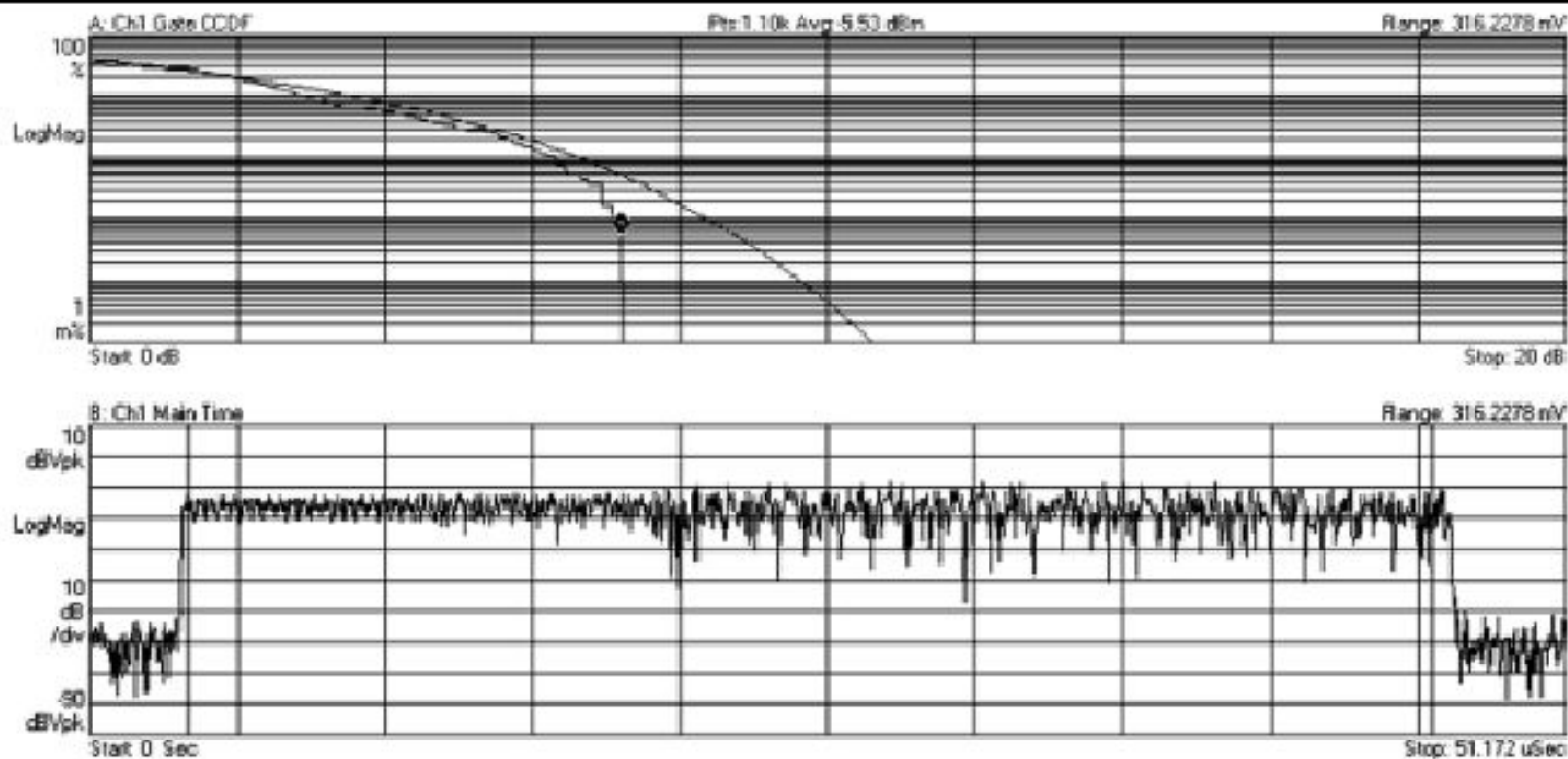
- 测量1.23MHz带宽内的CDMA信号的平均功率。



# CCDF功率测量

- 参考：RF\_TestOfWLAN\_china.pdf：P35
- CCDF (Complementary Cumulative Density Function) 互补累积分布函数：
  - 由于数字调制信号的类似噪声特性，需要进行数字信号的CCDF功率测量。
  - CCDF是1减去CDF（累积分布函数，更常用）。它的横轴表示超出平均功率多少dB，纵轴表示百分比。
  - 下图中光标表示，对于该被测脉冲来说信号功率超过平均功率7.2dB出现的时间是0.09%。
  - 通常来说，CCDF的测量是对多个脉冲进行的，以增加出现概率比较小的信号的可信度。格子线代表的是高斯噪声的统计特性。

# CCDF功率测量举例



Trace A Marker: 2.2 dB 90.6618 mV

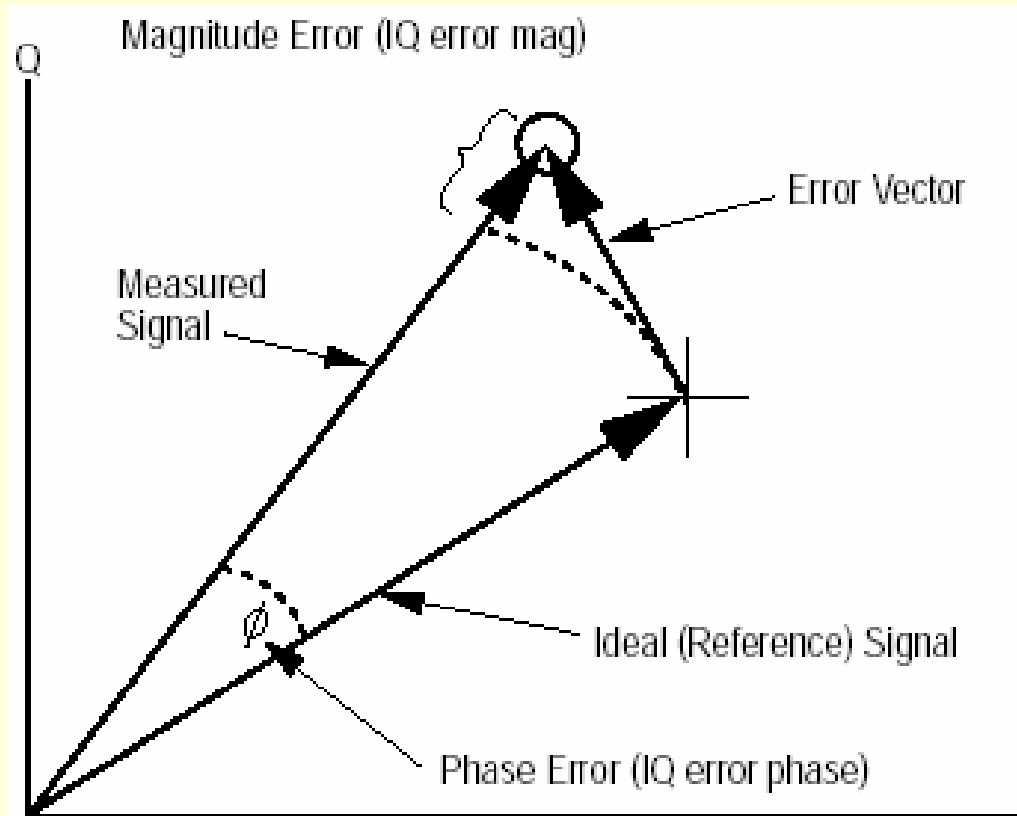
CCDF 曲线

## 5. EVM测量

### ■ 误差矢量EVM

■ EVM测量对于数字调制信号有极强的洞察力。

■ EVM和相关的测量可以察觉数字调制信号极微小的变化，而且可以识别产生这种微小变化的原因。



Error vector magnitude (EVM) and related quantities



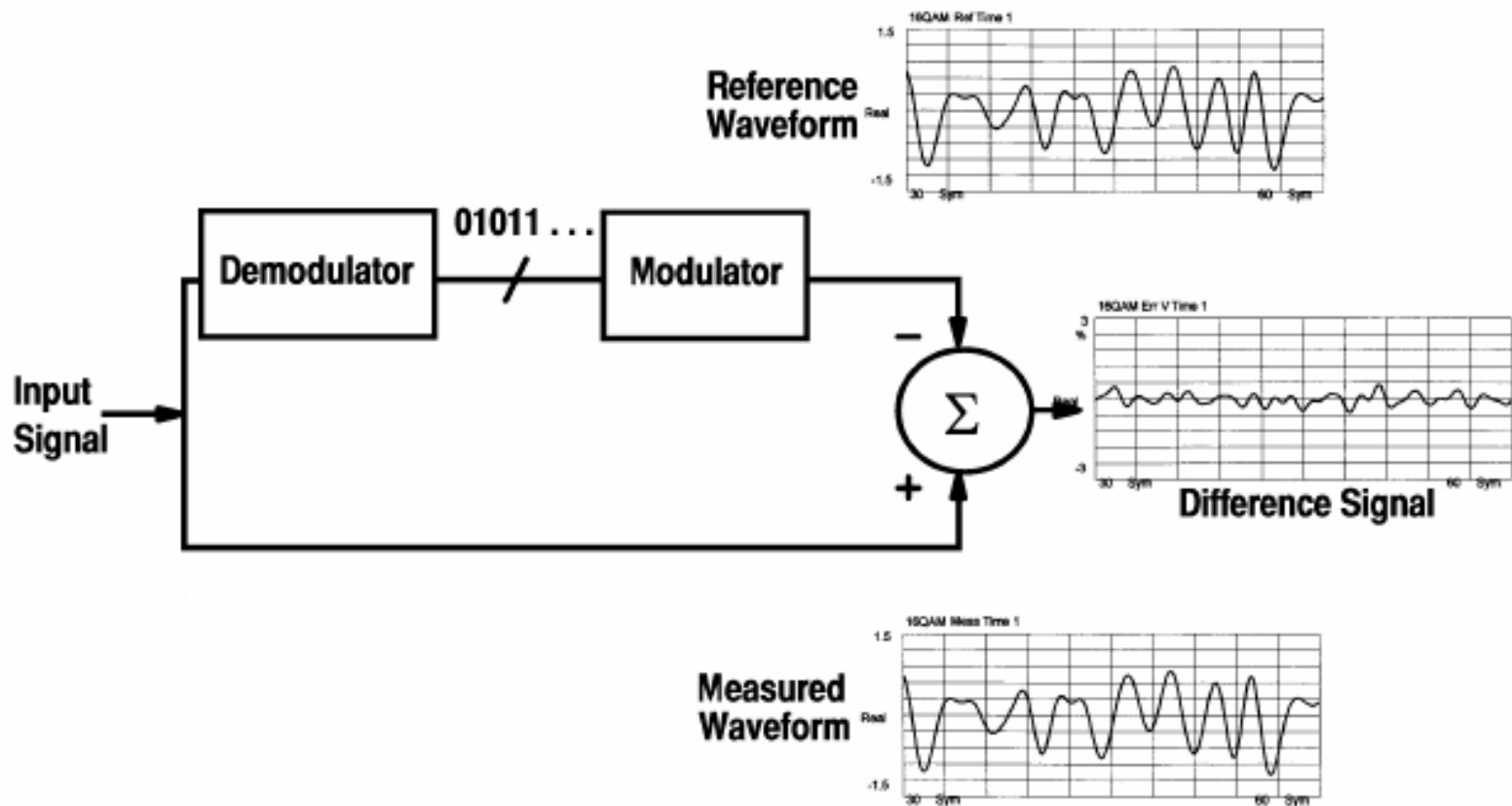
## 5. EVM测量（续1）

- EVM测量是衡量通信系统性能的有效和定量的手段。
- EVM测量是连续不断地把输入的数据流与理想的参考信号进行幅度和相位的比较。
- EVM就是在所利用的调制格式下，实际的码元I、Q位置与理想的码元I、Q位置的差别。
- 利用EVM测量可以评价整个通信系统的性能，也可以了解个别元件（例如：滤波器、功放等）的作用。
- EVM测量中是基于DSP重建所利用的调制格式下理想的参考信号的，这是因为载波和码元同步是自动产生的。



## 5. EVM测量（续2）

- 进行EVM测量的方框原理图：可分三步。



Block diagram of the EVM measurement process



## 5. EVM测量（续3）

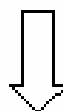
- 进行EVM测量的三步：

- （1）精确地解调：解调信号格式从BPSK到256QAM；码元速率从数百Hz到几MHz。
- （2）重建参考信号：产生理想的解调参考信号，这可由DSP计算得到无噪声的、高精度的解调参考信号。
- （3）综合比较：比较实际解调信号和解调参考信号，可得到EVM的数值。

# 5. EVM测量

## EVM测量的举例 ( 8PSK ) :

Sample actual vector trajectory



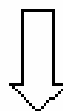
Demodulate



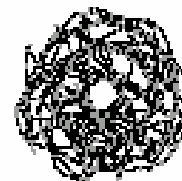
Compute perfect vector trajectory



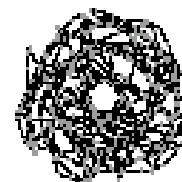
Subtract perfect from actual



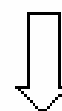
Derive numerical results



010100011011100... ..0111000110101111



Error (t)



RMS EVM = 4.4%  
Origin offset suppression = 48 dB  
Frequency offset = 37 Hz  
Peak EVM = 14%  
95th percentile = 8%

## 5. EVM测量（续5）

- EVM测量的举例（8PSK）：
- EVM表示为名义上的理想矢量幅度的百分数：RMS、peak和95th。
- RMS\_EVM是统计平均有效值；Peak\_EVM是峰值；95th percentile是采样样本小于95%时的统计平均值。所以95th percentile是大于RMS值，小于Peak值。
- Origin offset suppression是测量解调的I/Q信号在星座图上的直流偏移（原点偏移）。
- Frequency offset是相位轨迹的平均（近似微分）就得到近似的频率误差。

## 5. EVM测量 (续6)

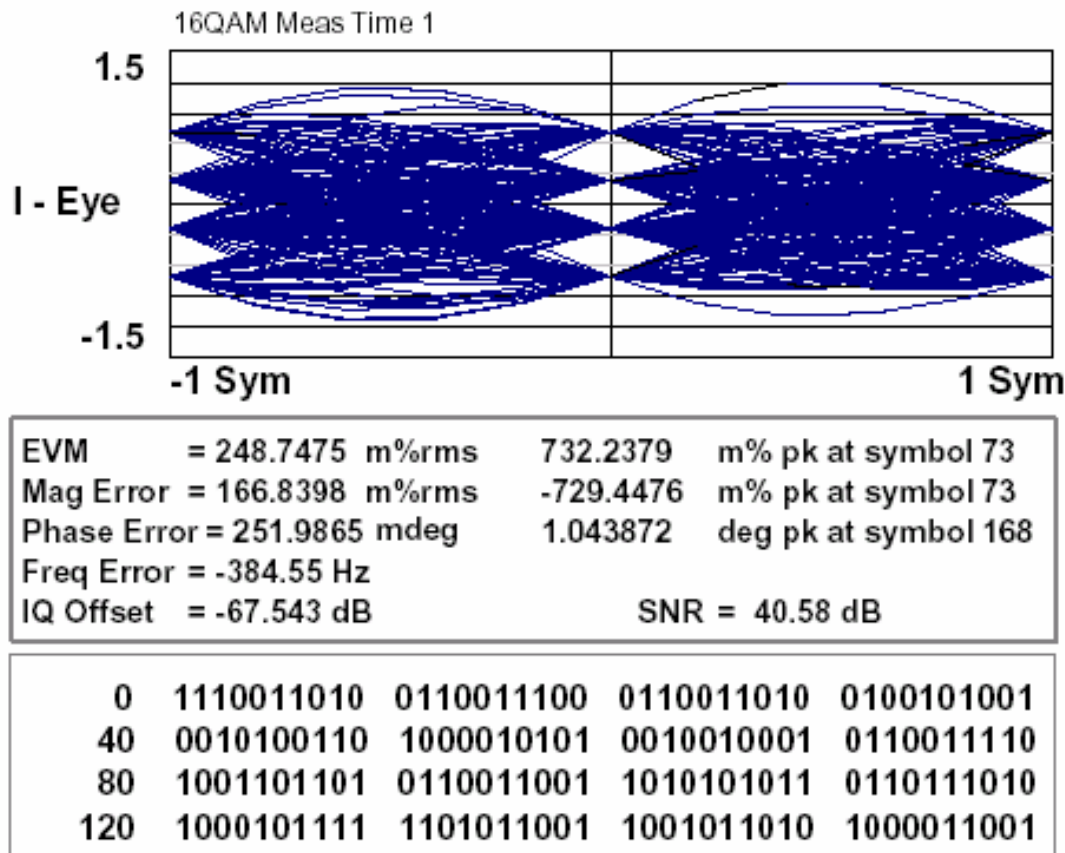
### ■ EVM测量的度量 :

- (1) EVM : 表示为名义上的理想矢量幅度的百分数。
- (2) Mag Error : 即 IQ error mag.
- (3) Phase Error : 即 IQ error phase.
- (4) Freq Error : 即相位轨迹的平均。
- (5) IQ Offset : I/Q信号在星座图上的原点偏移。

EVM	= 248.7475	m%rms	732.2379	m% pk at symbol 73
Mag Error	= 166.8398	m%rms	-729.4476	m% pk at symbol 73
Phase Error	= 251.9865	mdeg	1.043872	deg pk at symbol 168
Freq Error	= -384.55	Hz		
IQ Offset	= -67.543	dB		SNR = 40.58 dB

# 测量一：相位相对于幅度的误差

- 通常情况下，相位误差与幅度误差是近似相等的。
- 假如平均相位误差（以度表示）远大于（五倍以上时）平均幅度误差（以峰值的百分比表示），这表示未知的相位调制成为支配的误差模式；
- 假如平均幅度误差远大于平均相位误差，则有明显的剩余幅度调制。



Data table (lower display) showing roughly similar amounts of magnitude and phase error. Phase errors much larger than magnitude errors would indicate possible phase noise or incidental PM problems

EVM	= 248.7475 m%rms	732.2379 m% pk at symbol 73
Mag Error	= 166.8398 m%rms	-729.4476 m% pk at symbol 73
Phase Error	= 251.9865 mdeg	1.043872 deg pk at symbol 168
Freq Error	= -384.55 Hz	
IQ Offset	= -67.543 dB	SNR = 40.58 dB

## 测量二：IQ误差相位相对于时间的关系

- 假如平均相位误差（以度表示）远大于（五倍以上时）平均幅度误差（以峰值的百分比表示），这表示未知的相位调制成为支配的误差模式，需要进行第二步测量；
- 进行第二步测量，以决定是由参考OSC、PLL或是由其它的OSC产生噪声、谐波或交叉耦合；
- 相位误差是测量信号与参考信号之间的瞬时相位角度差，假若相位误差是时间（或码元）的函数，则调制信号包含有残留的或干扰的调相信号；
- 由IQ误差相位相对于时间的关系，可以分辨出相位误差为随机噪声或残留的AM/PM。

## 8.5 矢量信号分析仪的基本操作

- 参考：\89441A\_矢量信号分析仪\Complex Meas\_5965-8554E
- 参考：\89441A\_矢量信号分析仪\Operators Guide\_89400-90038
- 参考：\89441A\_矢量信号分析仪\Signal Disk
- 无须外接信号，利用内部信号源，利用测试程序库的程序产生的信号源，即可学习如何进行各种测量。

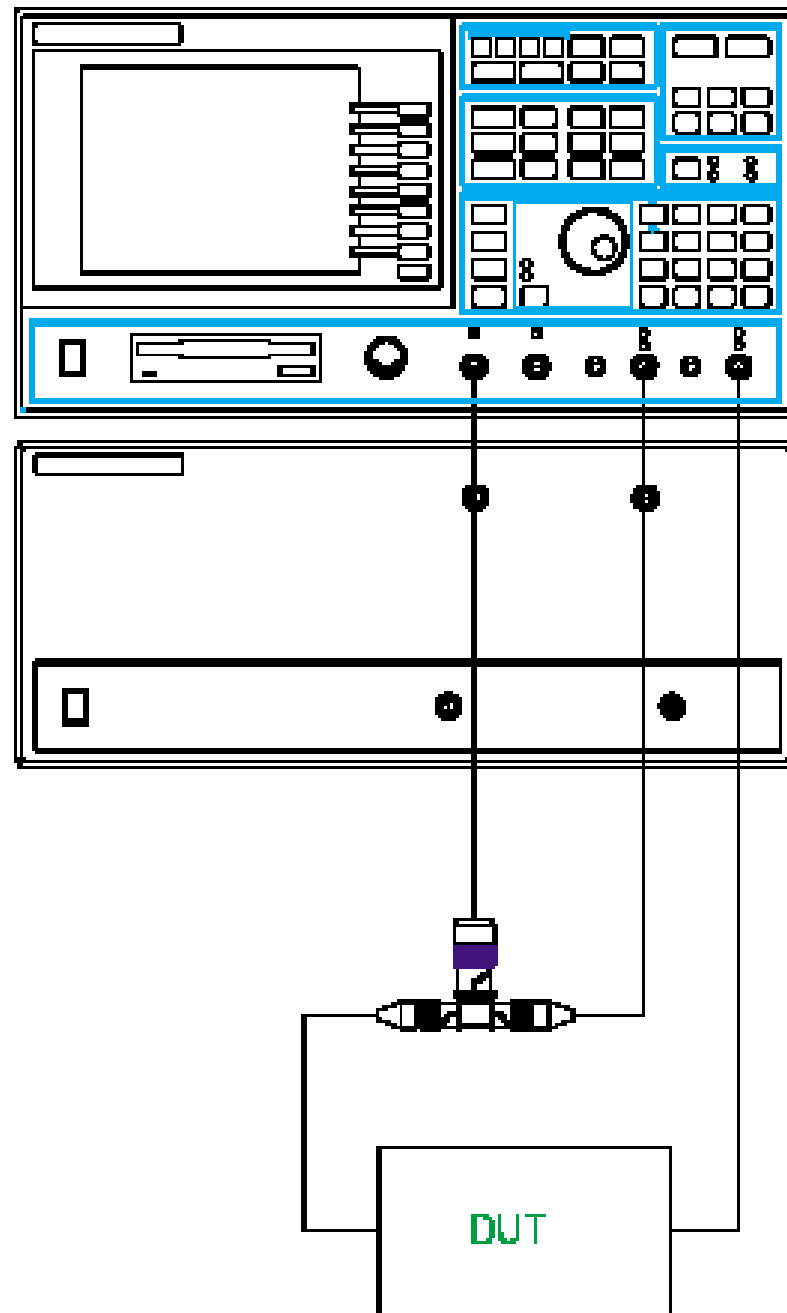


## 8.5 矢量信号分析仪的基本操作（续1）

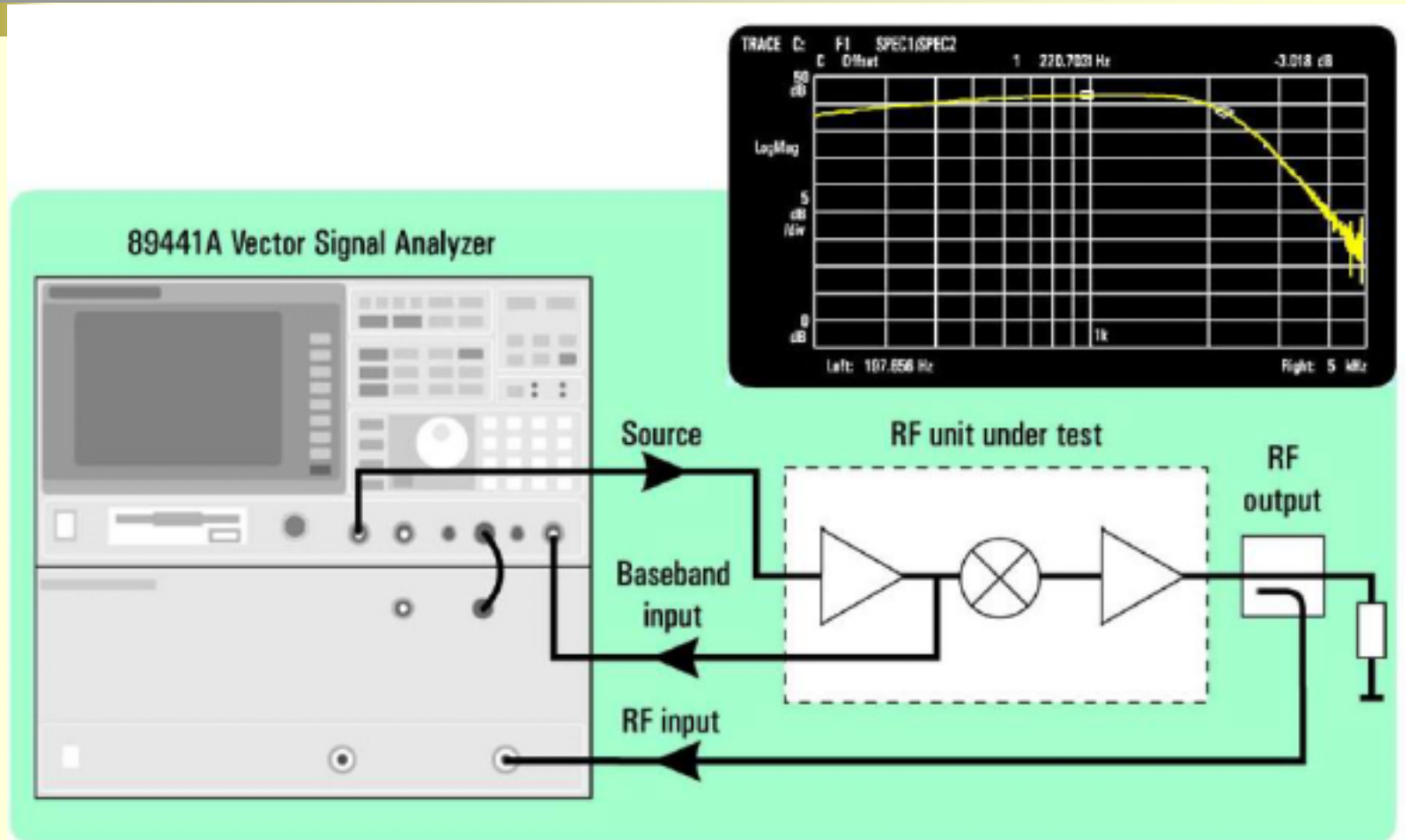
- 测试程序库：《测试程序库\_89400-19406》应用程序
  - 应用程序运行、展开成20个文件：16QAM , 32DVBQAM , 32QAM , 8VSB. CAP , AMSIG , BURST , CAPT , EQSIGNAL , GAUSS1. ASC , GAUSS1 , MEAS\_PI4 , MSK , PI4DQPSK , PMBURST , PMSIG , REVID , STAT\_DEF , STATES , SYNC\_KEY , XMITR。

# 双通道测量

- 设置4.5MHz带通滤波器的频率响应测量：
  - 直接连接SOURCE到通道1的输入；
  - 滤波器的输出接到通道2的输入。



# 传输函数测量



Transmitter and frequency response measured from baseband input to modulated RF output. 学期

## 第二次实验 矢量信号分析仪的使用

- 利用测试程序库的程序即可学习如何进行各种时域、频域和调制域测量（SOURCE直接连接到CHANNEL 1，RECEIVER设定为IF（RF）section（0-10 MHz））。
- 利用E4436B\_RF信号发生器产生各种模拟和数字调制信号来学习如何进行各种解调测量（SOURCE连接到RF部分的IN，RF部分的OUT连接到CHANNEL 1，E4436B的输出连接到RF部分的INPUT，RECEIVER设定为RF section（0-2650 MHz））。
- 利用E4436B\_RF信号发生器产生GSM数字调制信号来学习如何进行各种标准数字调制的解调测量。
  - 参考：Agilent仪器说明书\E4436B\_RF信号发生器\Quick Start Guide\_E4400-90326.pdf
  - 参考：RF\_TestOfWLAN\_china.pdf

# 第八讲矢量信号分析仪小结

- Agilent公司的矢量信号分析仪把时域、频域和调制域分析集于一体，为复杂和随时间变化的信号提供最先进的测量。
- 分析突发信号、脉冲信号、开关信号、瞬变信号或已调信号的同时，可以观察时间、频率、相位和幅度。
- 用可选的第二个10MHz输入信道（选件AY7），还可以同时分析基带I和Q信号。包括：BPSK、QPSK、OQPSK、DQPSK、 $\pi/4$ DQPSK、8PSK、16-256QAM、VSB、MSK和2至4电平FSK在内的各种各样调制方式。
- 可以按各种方式和表格来显示测量结果。网格图、星座图、矢量图和眼图是分析矢量调制信号用的常用工具。
- 通过产生一个理想基准信号与接收到的信号相比较，可提供误差测量。测量结果包括误差矢量幅度EVM、相位和幅值的误差。