

Chyby diskrétních modulací

Tyto slajdy vznikly jako podklady k přednáškám v průběhu mého aktivního působení na Katedře radioelektroniky Českého vysokého učení technického v Praze. Souvisí s problematikou **radiotechniky a vysokofrekvenční a měřicí techniky**. Domnívám se, že mohou být doplňkovým zdrojem informací studentům a technikům i všem ostatním zájemcům o tuto problematiku.

<http://www.radio.feld.cvut.cz>

Chyby modulací

 amplituda chybového vektoru - **EVM**
Error Vector Magnitude

 modulační chyba - **MER**
Modulation Error Ratio

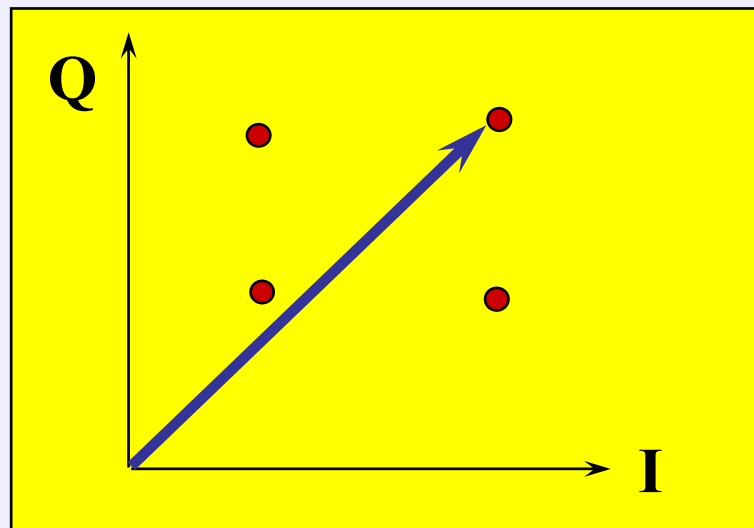
 rozptyl - **TEV**
Target Error Vector

 chyba ortogonality - **QE**
Quadrature Error

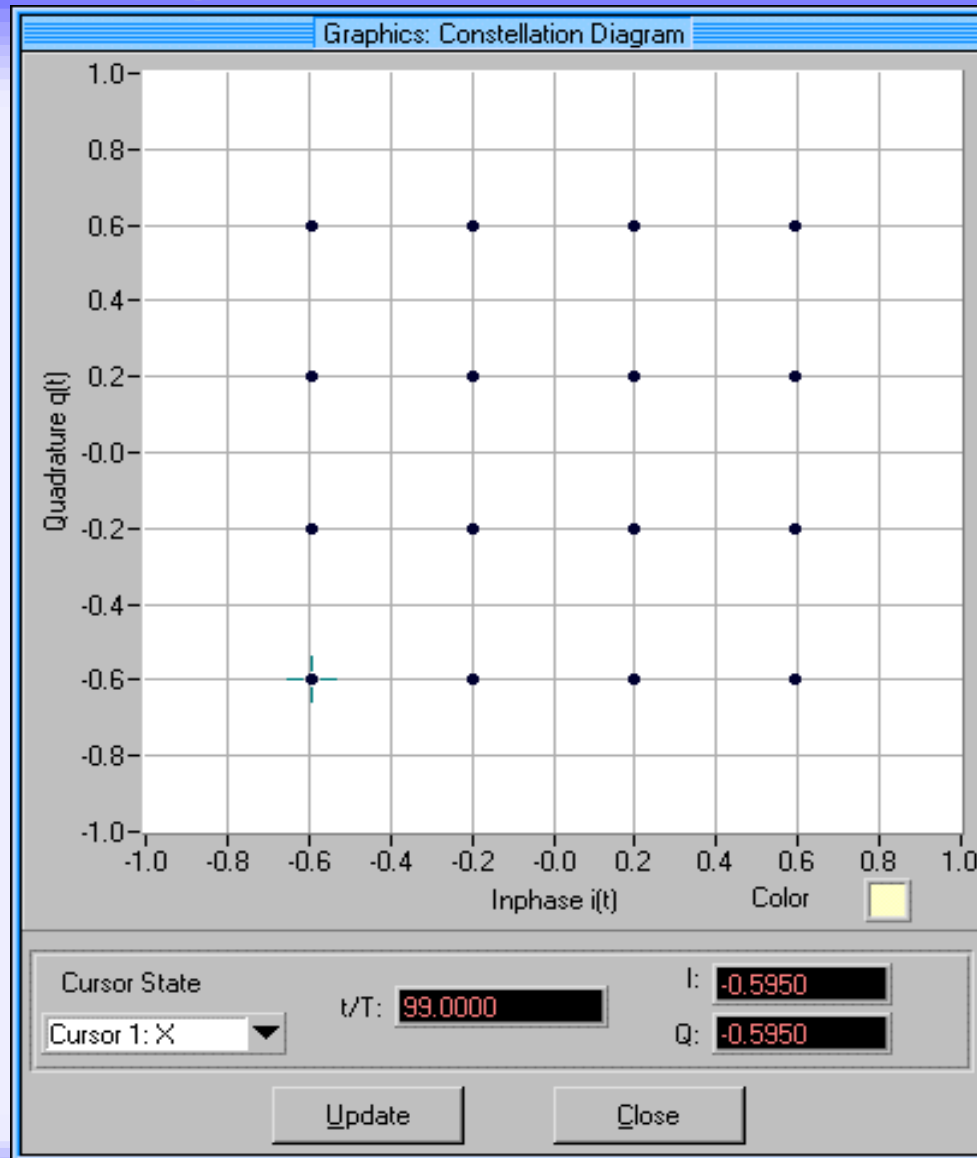
 amplitudové zkreslení - **AI**
Amplitude imbalance

Konstelační diagram

**Konstelační diagram zobrazuje do roviny IQ pouze jednotlivé stavy.
Tyto stavy jsou výslednicí obou modulačních složek.
Z diagramu lze vyhodnotit různé druhy degradace signálu.**



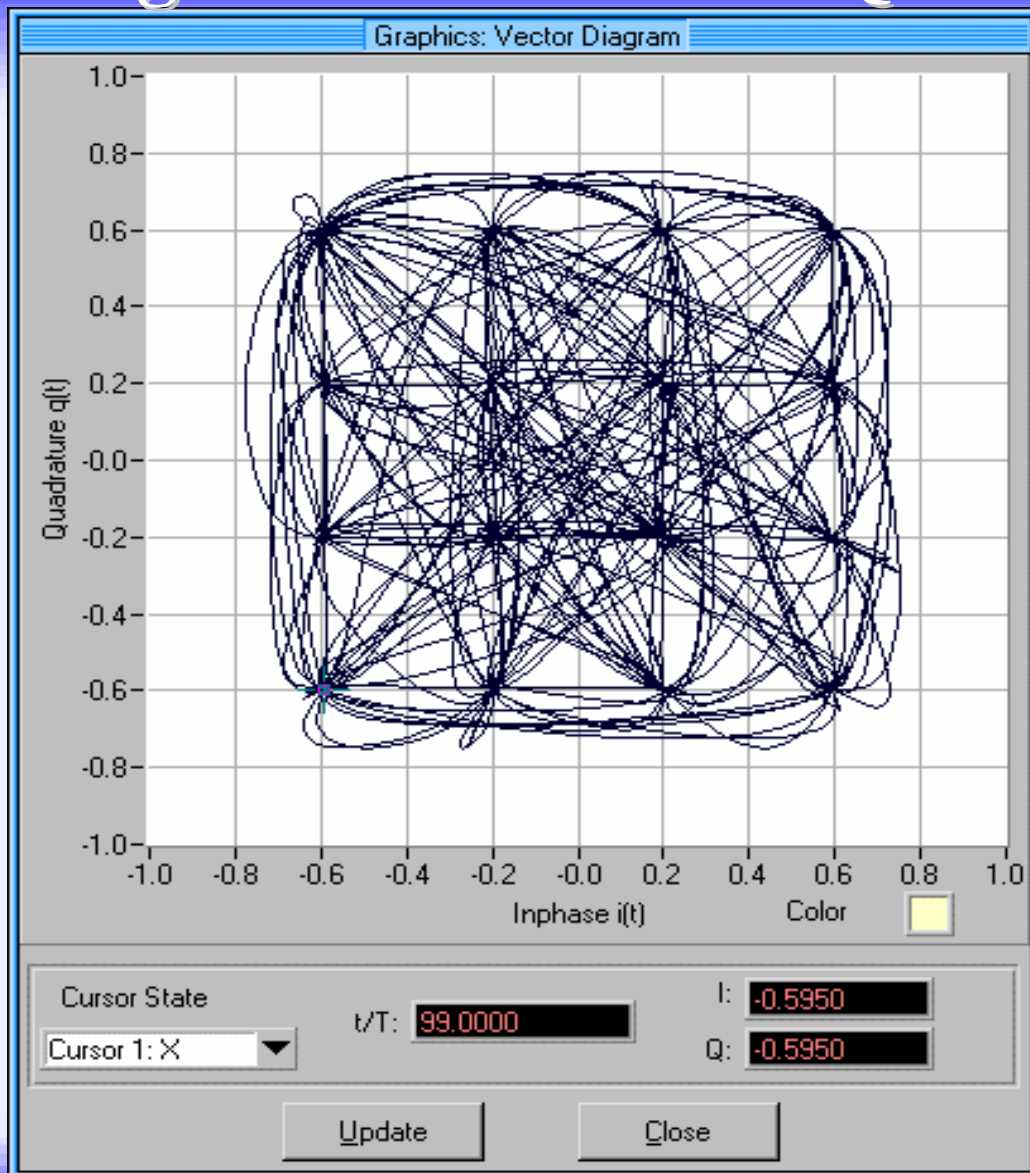
Konstelační diagram modulace 16 QAM



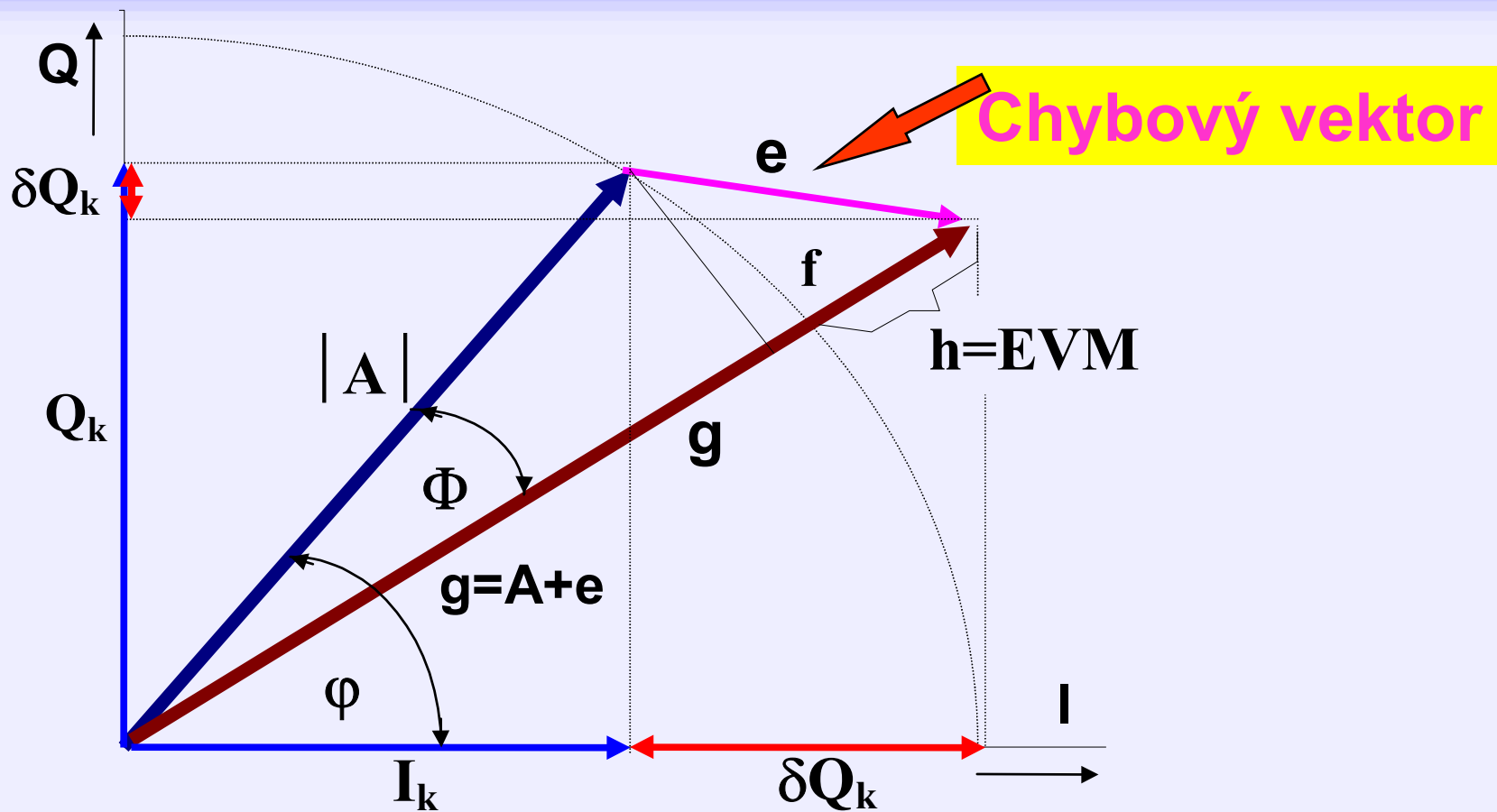
Vektorový diagram

Vznikne plynulým zobrazením
výslednice modulačních složek I a Q.
Zobrazuje jednotlivé stavy i přechody mezi
nimi. Na vektorovém diagramu jsou vidět
cesty, kterými prochází nosná při přechodu
z jednoho stavu do druhého, nejsou však
explicitně vidět chyby v jednotlivých
stavových polohách.

Vektorový diagram modulace 16 QAM

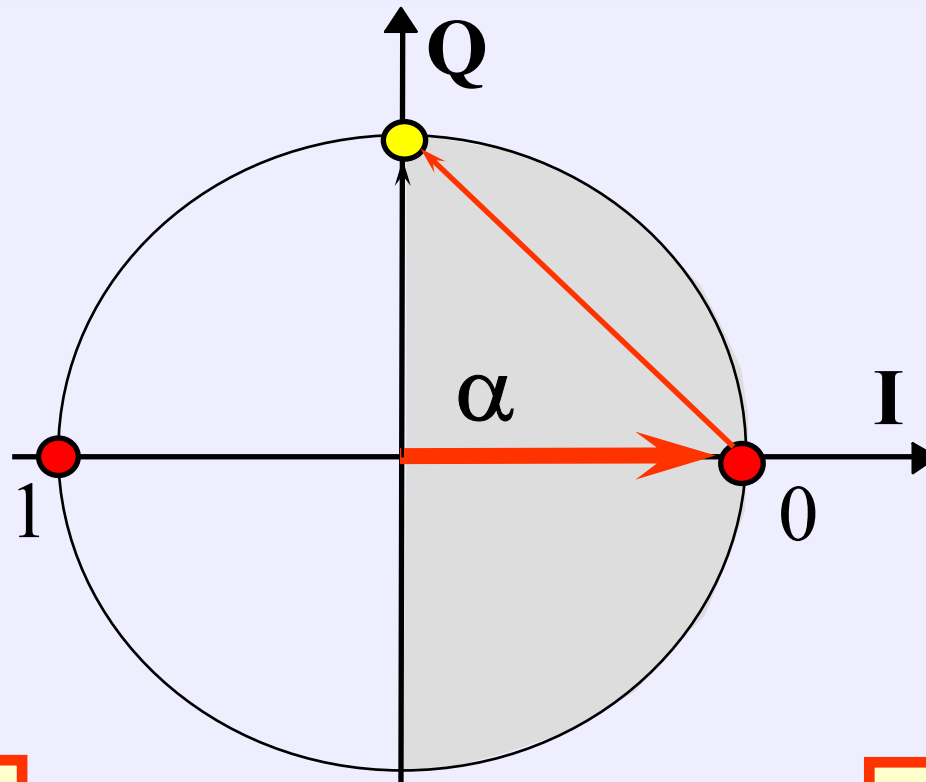


Chyby ortogonálních modulací



Chybový vektor je definován jako vzdálenost od ideální polohy symbolu k aktuální poloze přijatého symbolu. Výsledek je v dB.

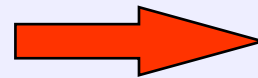
Chybová oblast modulace BPSK



Symb.	Fáze
0	0
1	$\pi/2$

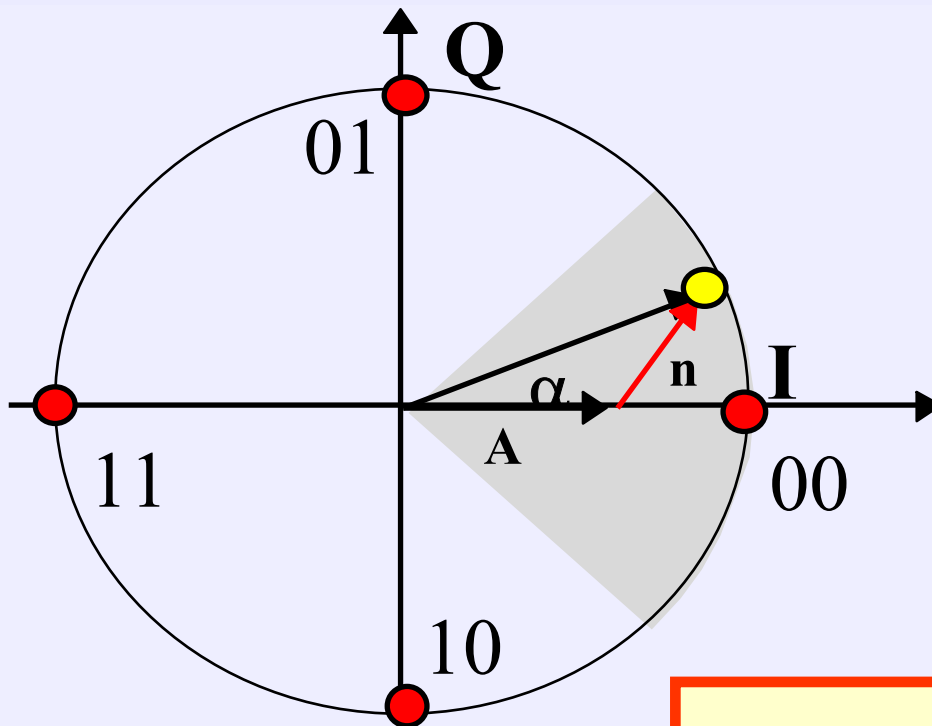
$$|\alpha| \geq \frac{\pi}{M}$$

$$M=2$$



$$|\alpha| \geq \frac{\pi}{2}$$

Chybová oblast modulace QPSK



<u>Symb.</u>	<u>Fáze</u>
00	0
01	$\pi/2$
11	π
10	$3\pi/2$

$$|\alpha| \geq \frac{\pi}{M}$$

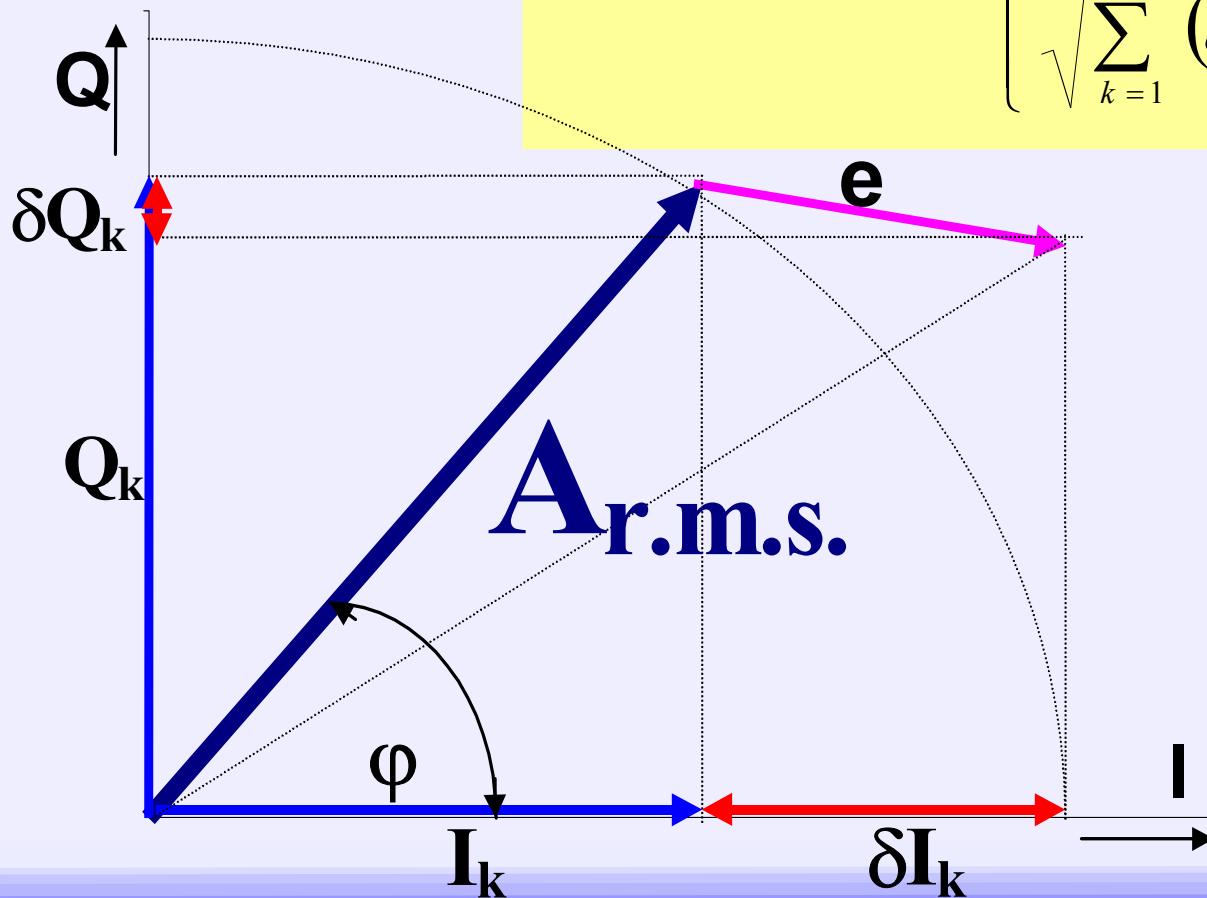
$$P(e) \cong e^{-\frac{C}{N} \sin^2 \frac{\pi}{M}}$$

Modulační chyba

Chybový vektor je při tom definován jako vzdálenost od ideální polohy vybraného symbolu k aktuální poloze přijatého symbolu. Výsledek je nejčastěji vyjádřený jako výkonový poměr v dB.

Modulační chyba - Modulation Error Ratio - **MER**

$$\text{MER} = 20 \log \left\{ \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N (\mathbf{I}_k^2 + \mathbf{Q}_k^2)}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (\delta \mathbf{I}_k^2 + \delta \mathbf{Q}_k^2)}} \right\} [dB]$$



Modulační chyba

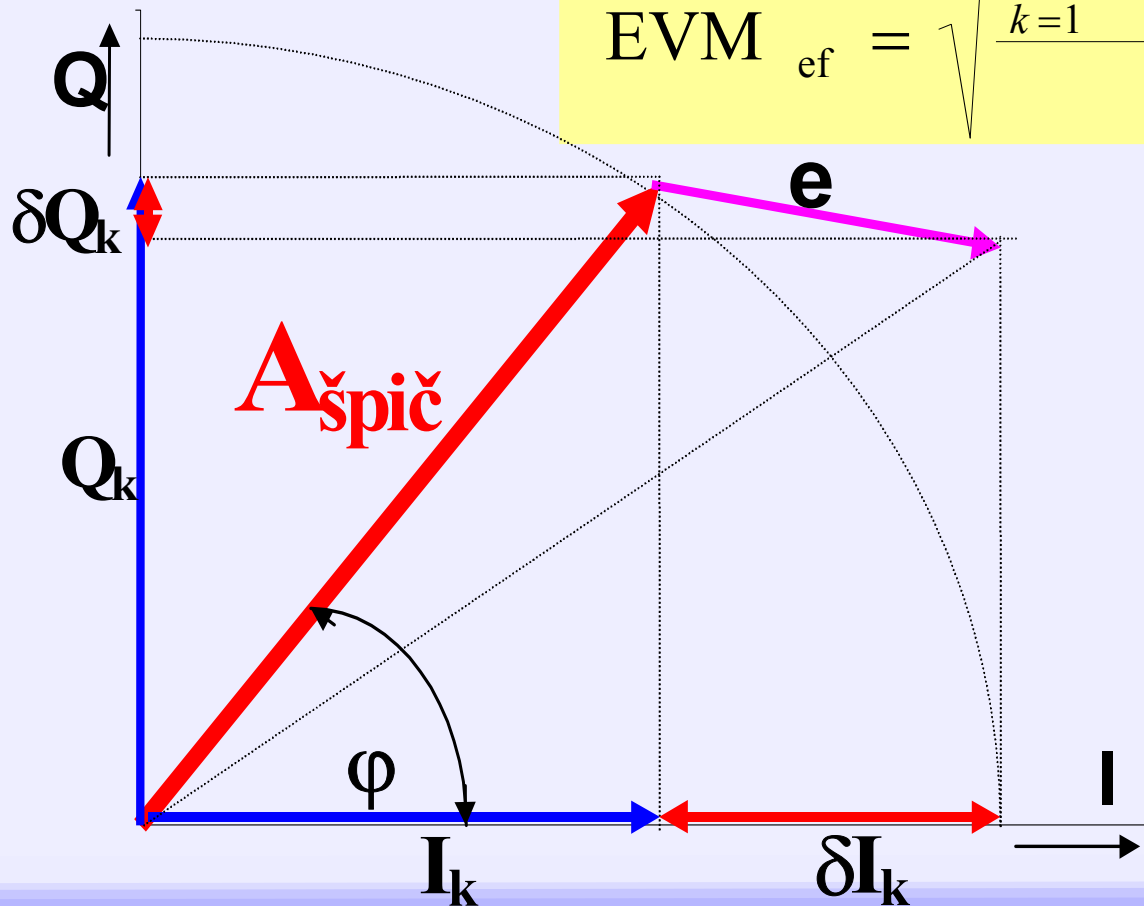
Modulační chyba (Modulation Error Ratio - MER) je definována jako poměr součtu čtverců amplitud ideálních symbolových vektorů k součtu čtverců amplitud chybových symbolových vektorů

$$\text{MER} = 20 \log \left\{ \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N (I_k^2 + Q_k^2)}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (\delta I_k^2 + \delta Q_k^2)}} \right\} \quad [dB]$$

Amplituda chybového vektoru - Error Vector

Magnitude **EVM**

$$\text{EVM}_{ef} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\delta I_k^2 + \delta Q_k^2)}{S_{mex}^2}} \cdot 100 \%$$



Amplituda chybového vektoru - EVM

Error Vector Magnitude

Porovnání aktuálních naměřených hodnot amplitudy a fáze signálu s referenčními hodnotami

EVM představuje střední kvadratickou hodnotu chybových hodnot jednotlivých stavů.

$$\text{EVM}_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta I_k^2 + \delta Q_k^2)}{S_{\text{max}}^2}} \cdot 100\%$$

Chyba ortogonality

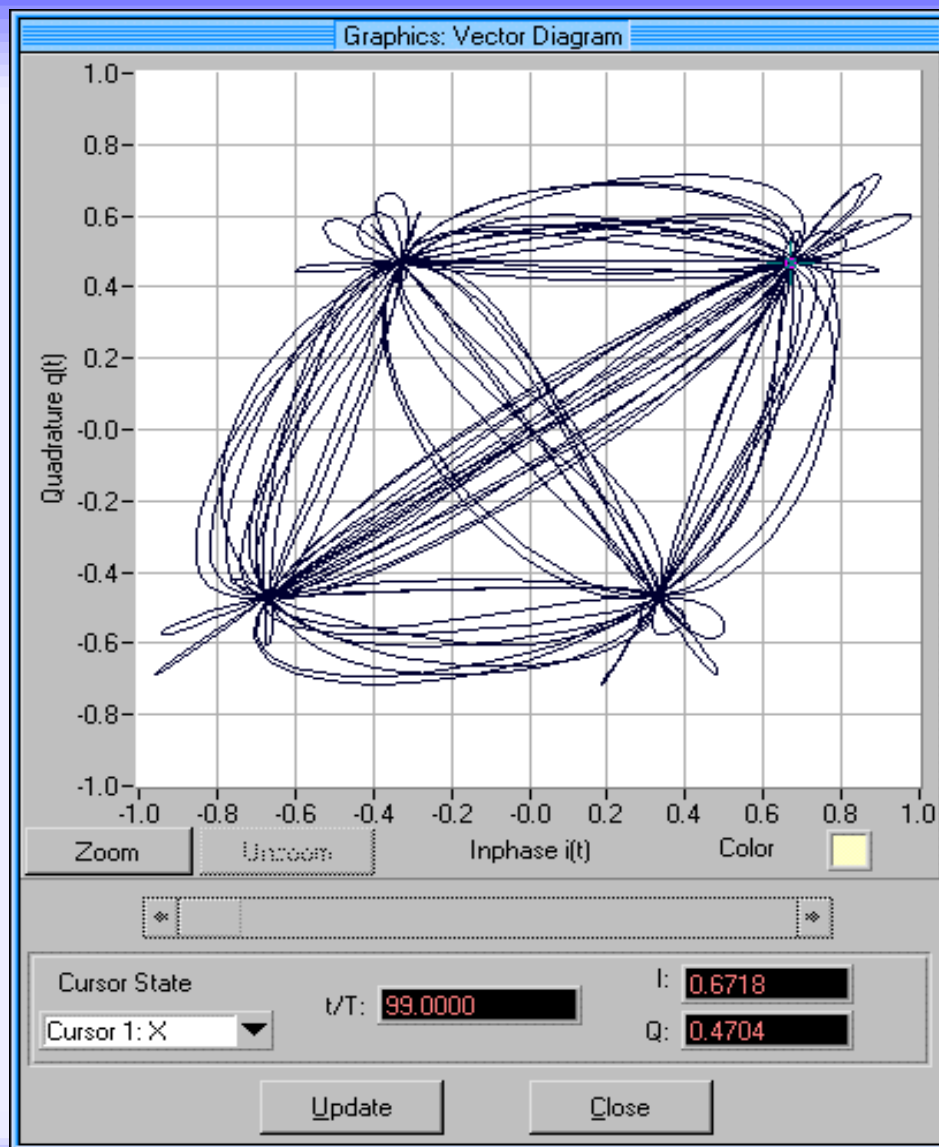
Nnosné frekvence jsou fázově vzájemně posunuté o 90° .

Jestliže jejich fázový posun není 90° , má to za následek zkreslení konstelačního diagramu .

Absolutní hodnota fázového rozdílu

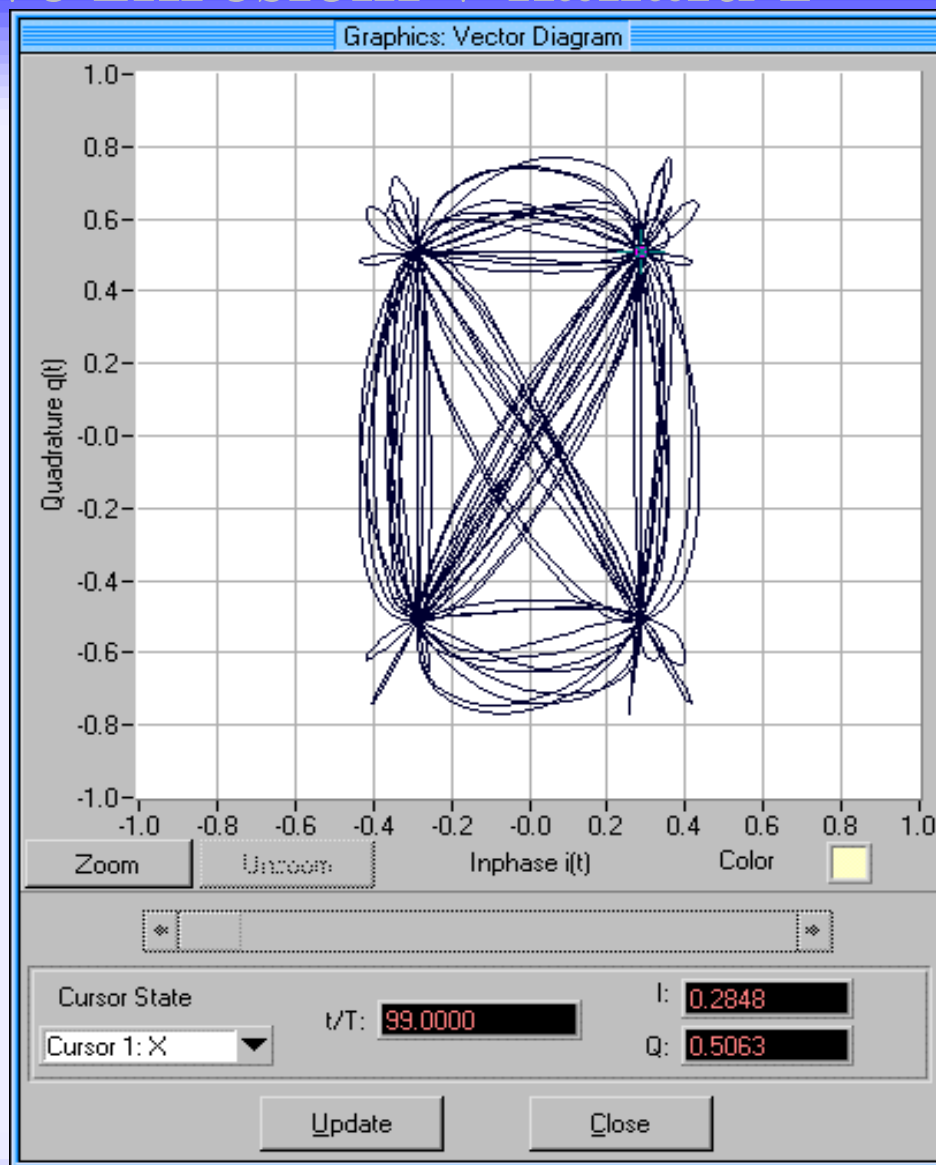
$$\Delta\varphi = | \varphi_1 - \varphi_2 | .$$

Zkreslení kvadraturním ofsetem



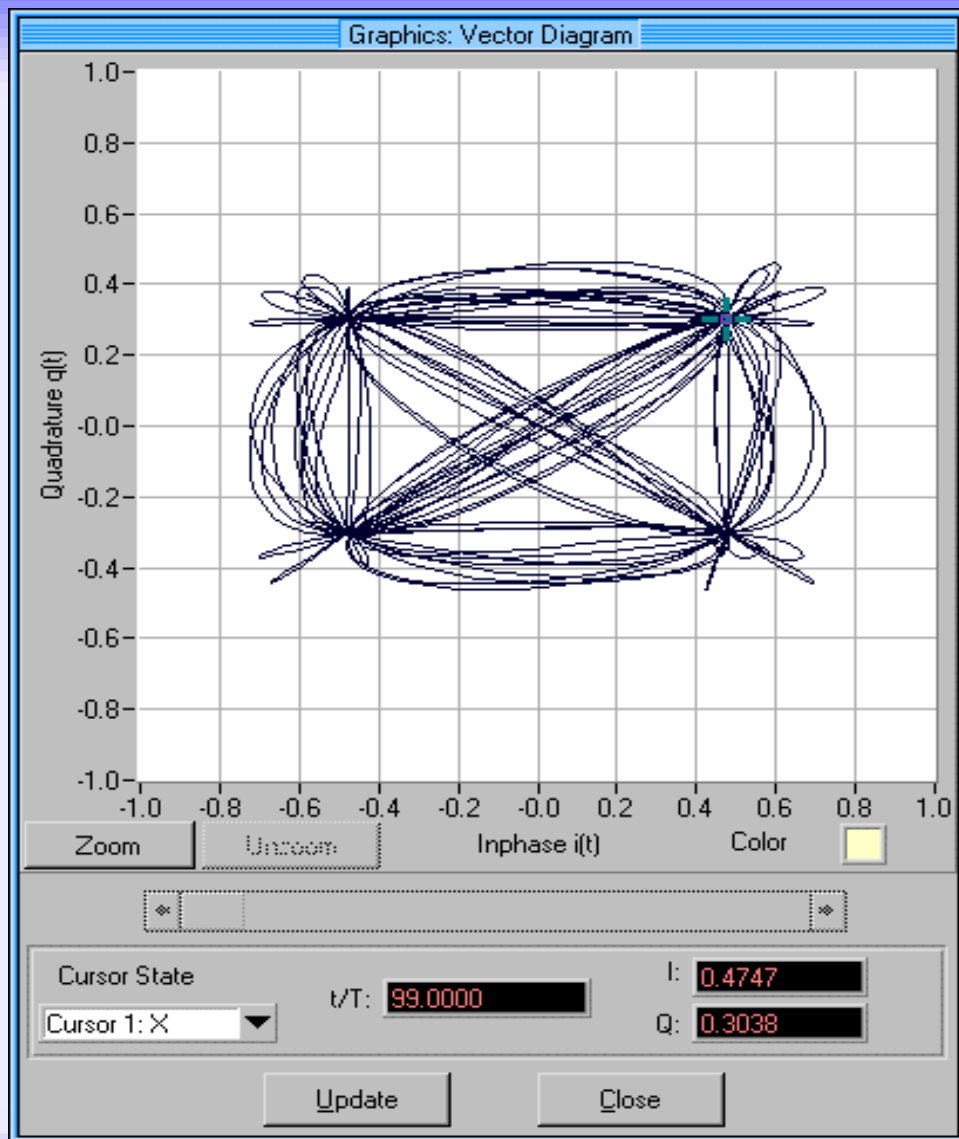
Amplitudové zkreslení v kanálu I

$$Q > I$$



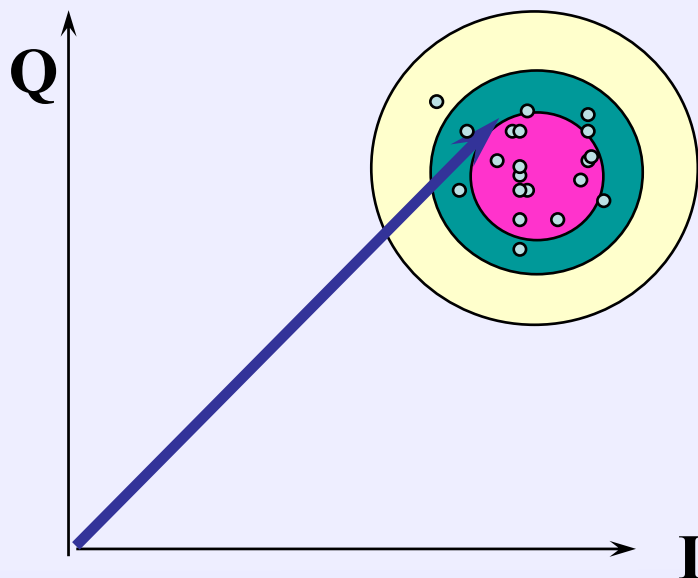
Amplitudové zkreslení v kanálu Q

$$Q < I$$



Rozptyl

Rozptyl bodů konstelačního diagramu charakterizuje chyba označovaná jako (System Target Error- STE). Udává globální indikaci celkového zkreslení přítomného v nezpracovaných datech přijatých systémem.



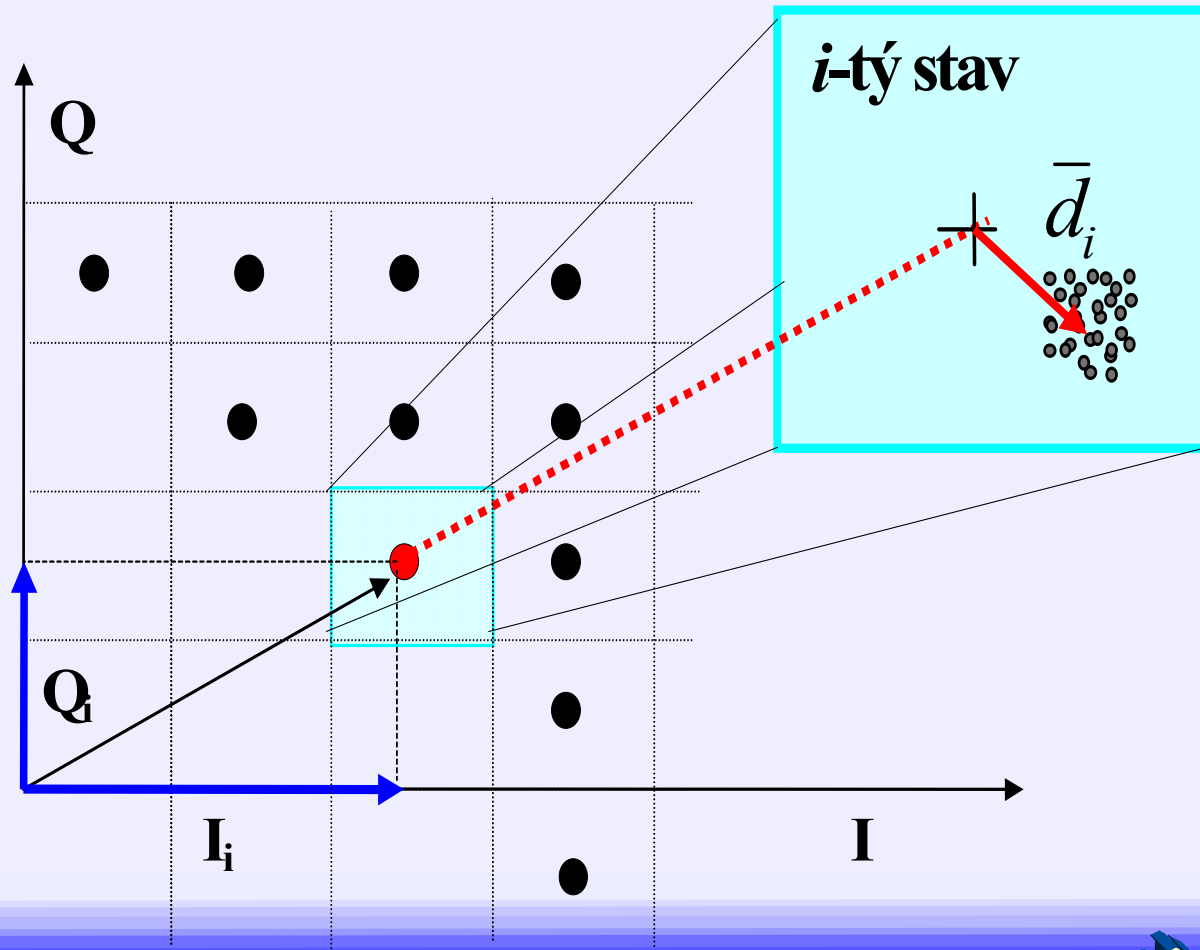
Rozptyl

Target Error Vector - -TEV

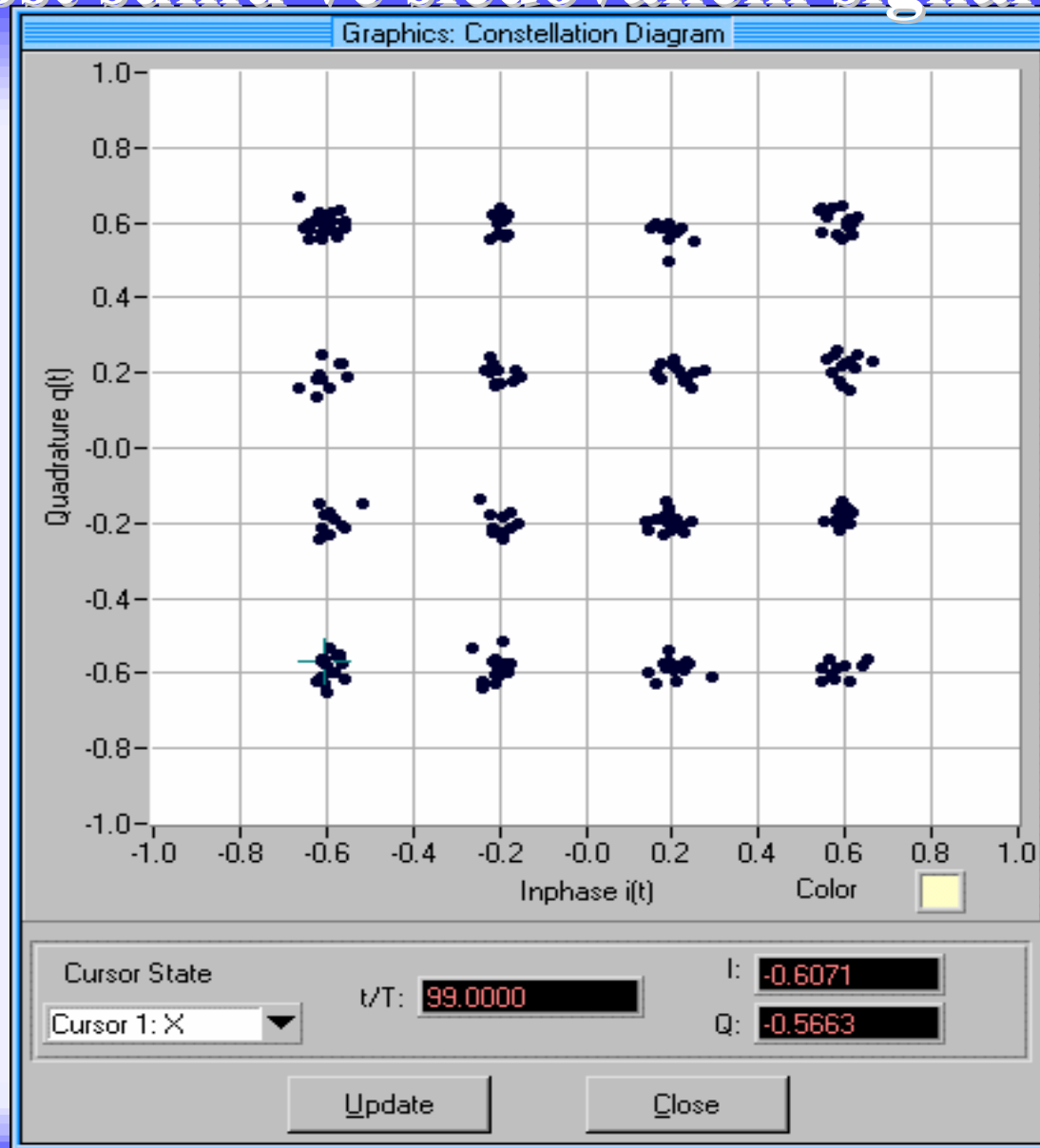
$$\bar{d}_i = f(\delta \bar{I}_i, \delta \bar{Q}_i)$$

$$\delta \bar{I}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \delta I_k$$

$$\delta \bar{Q}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \delta Q_k$$

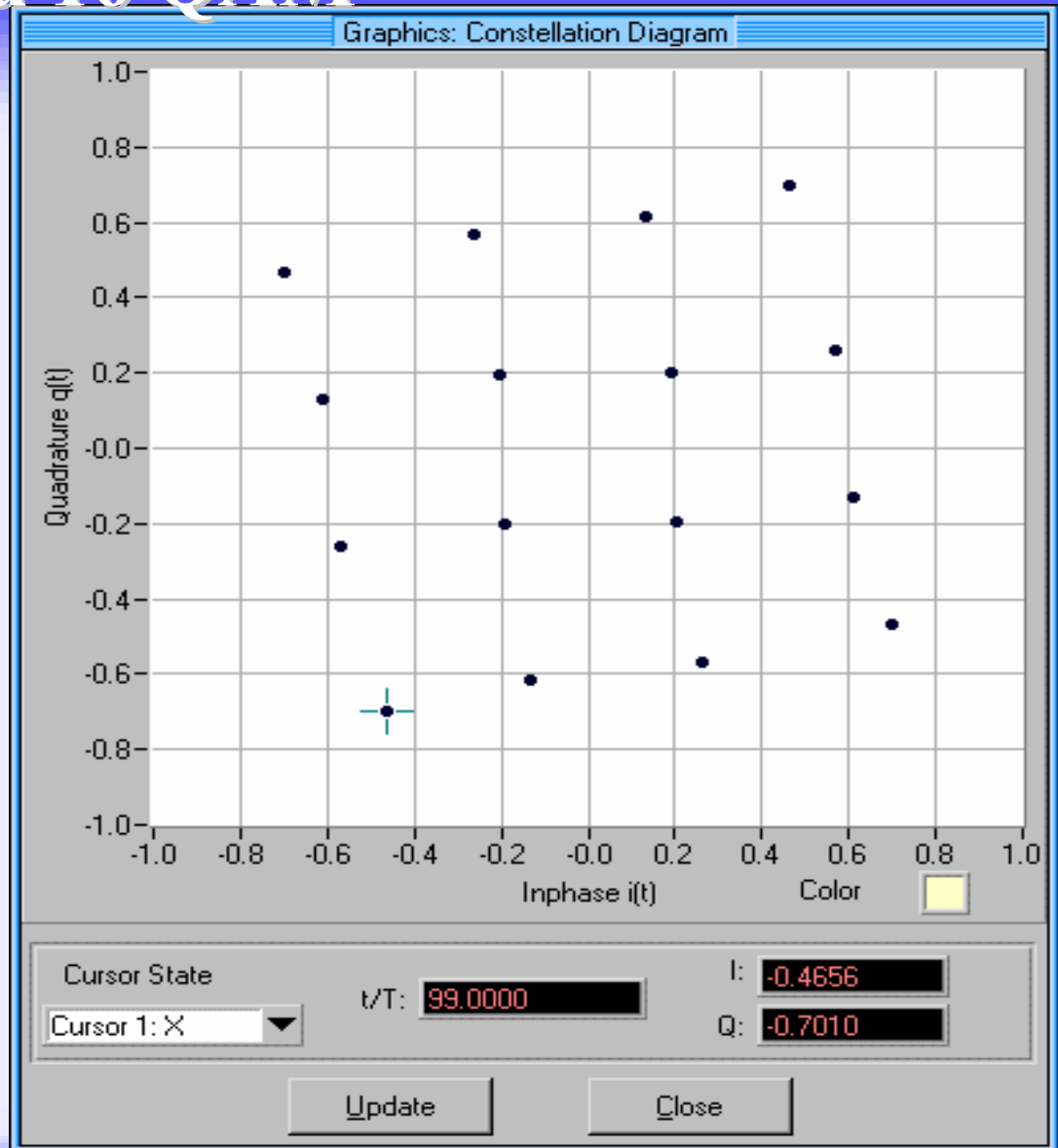


Přítomnost šumu ve sledovaném signálu



Rotace diagramu 16 QAM

Způsobeno
nelineární fázovou
charakteristikou
výkonových stupňů



Amplitudové zkreslení - 16 QAM

Způsobeno
nelinearitou
výkonových stupňů

