



# ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (Θ)

## Ενότητα 6: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ευσταθίου Δημήτριος

Διδάκτορας Κινητών τηλεπικοινωνιών

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ





# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# Ενότητα 6

## ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

**ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ ΚΙΝΗΤΩΝ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



# Περιεχόμενα ενότητας

1. **OFDM – Το πρόβλημα PAR**
2. **OFDM – Ψαλιδισμός για να μειωθεί η επίδραση του PAR**
3. **OFDM – Φασματική εξάπλωση λόγω Ψαλιδισμού**
4. **OFDM – Παραμόρφωση επιθυμητού σήματος λόγω Ψαλιδισμού**
5. **OFDM – Πιθανότητα σφάλματος bit λόγω Ψαλιδισμού**



# Σκοποί ενότητας

---



# Ευρυζωνικά Δίκτυα

## Ενότητα 6<sup>η</sup>



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ

---

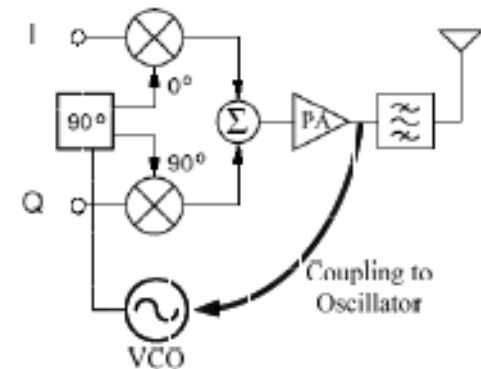
# Αναλογία κορυφής με μέσο όρο (PAR)





# OFDM – Το πρόβλημα PAR

- ❑ Τα σήματα OFDM έχουν υψηλότερη **αναλογία κορυφής με μέσο όρο (PAR)** – συχνά ονομάζεται αναλογία μέγιστης και μέσης ισχύος (PAPR) -από τα σήματα ενός φορέα.
- ❑ Στο πεδίο του χρόνου, ένα σήμα πολλαπλού φορέα είναι το άθροισμα πολλών σημάτων με στενό εύρος ζώνης.
- ❑ Σε κάποιες χρονικές στιγμές, αυτό το άθροισμα είναι μεγάλο και σε άλλες μικρό και που σημαίνει ότι η μέγιστη τιμή του σήματος είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την μέση τιμή.

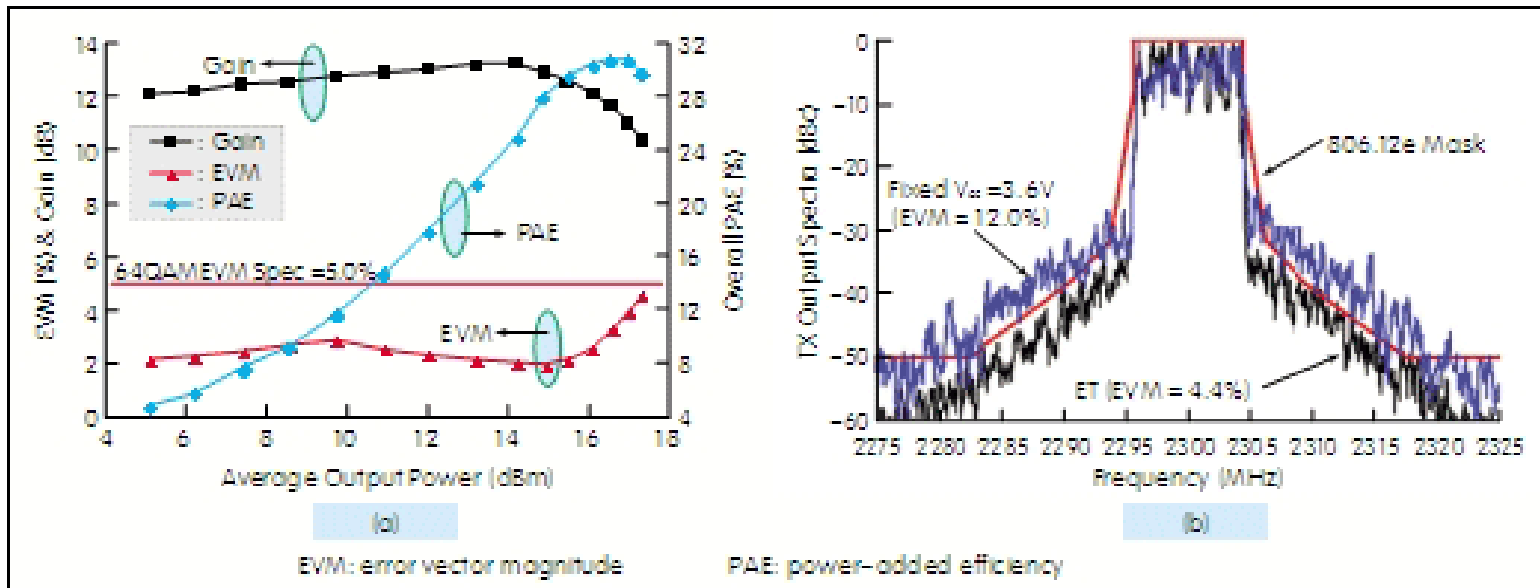


Σχήμα 2: Ο Ενισχυτής Ισχύος σε ένα πομπό.



# OFDM – Το πρόβλημα PAR

- Όταν ένα σήμα με υψηλή μέγιστη τιμή μεταδίδεται μέσω μιας μη γραμμικής συσκευής όπως ένας ενισχυτής υψηλής ισχύος, (HPA), παράγει ενέργεια εκτός ζώνης (φασματική εξάπλωση)



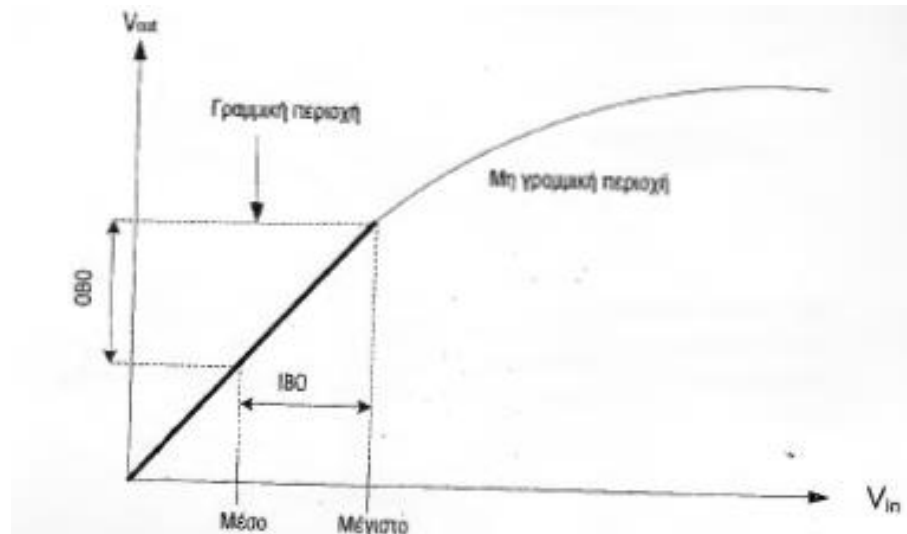
▲ Figure 7. (a) Measured TX EVM, gain, and overall PAE vs. average output power of the entire ET-based polar TX system with WIMAX 64 QAM 8.75 MHz input signal; (b) Measured polar TX output spectra before and after applying ET scheme, average output power = 17 dbm [17].

Σχήμα 4: Παραγωγή ενέργειας εκτός ζώνης.



# OFDM – Το πρόβλημα PAR

- Για να αποφευχθούν τέτοια ανεπιθύμητα μη γραμμικά αποτελέσματα, μία κυματομορφή με υψηλή μέγιστη τιμή πρέπει να μεταδοθεί στη γραμμική περιοχή του HPA, μειώνοντας τη μέση ισχύ του σήματος εισόδου.
- Αυτό ονομάζεται **υποχώρηση εισόδου (IBO)** και οδηγεί σε μία ανάλογη **υποχώρηση εξόδου (OBO)**.



Σχήμα 3: Μία τυπική απόκριση ενισχυτή ισχύος.



# OFDM – Το πρόβλημα PAR

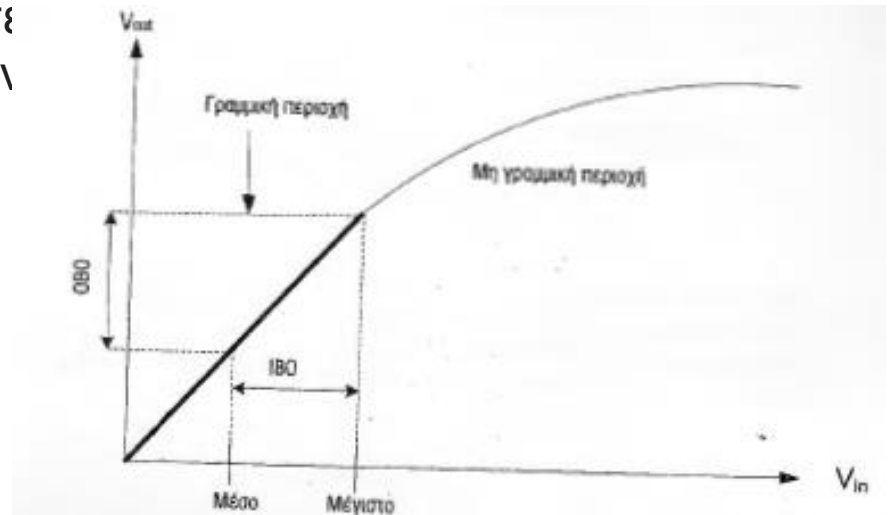
□ Επίσης, μειώνεται το εύρος κάλυψης και αυξάνεται το κόστος του HPA, σε σχέση με την εφαρμογή μέσω απαιτήσεων ισχύος.

□ Η υποχώρηση εισόδου ορίζεται ως

$$IBO = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{inSat}}{P_{in}} \right)$$

$P_{inSat}$  = η ισχύς κορεσμού,

$P_{in}$  = η μέση ισχύς εισόδου.

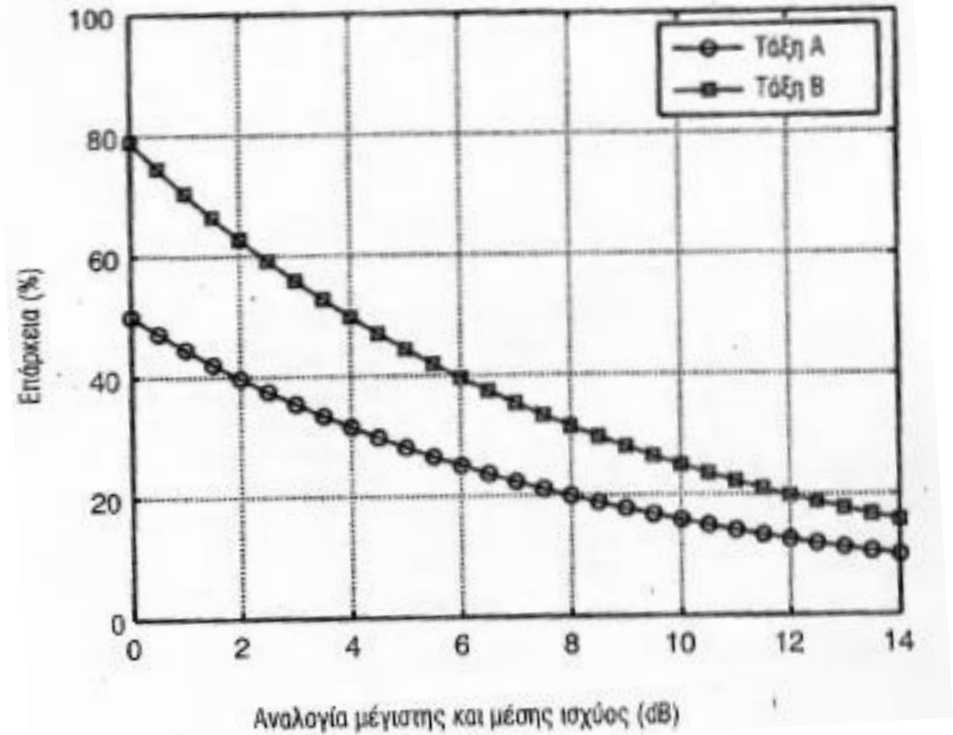


Σχήμα 3: Μία τυπική απόκριση ενισχυτή ισχύος.



# OFDM – Το πρόβλημα PAR

- Η απόδοση της ισχύος ενός ενισχυτή ισχύος HPA μπορεί να αυξηθεί, αν μειωθεί το PAR του μεταδιδόμενου σήματος.
- Τα όρια της θεωρητικής επάρκειας για δύο τάξεις HPA παρουσιάζονται στο γράφημα 5.
- Είναι επιθυμητό οι μέσες και οι μέγιστες τιμές ισχύος να είναι όσο πιο κοντά γίνονται.



Σχήμα 5: Θεωρητικά όρια επάρκειας γραμμικών ενισχυτών.



# **OFDM – Το πρόβλημα PAR**

---

- Το πλάτος του σήματος εξόδου είναι

$$|x(n)| = \sqrt{(\operatorname{Re}[x(n)])^2 + (\operatorname{Im}[x(n)])^2}$$

το οποίο έχει κατανομή Rayleigh με παράμετρο  $\sigma^2$ .

- Η ισχύς του σήματος εξόδου δίνεται από τον τύπο

$$|x(n)|^2 = (\operatorname{Re}[x(n)])^2 + (\operatorname{Im}[x(n)])^2$$

και ακολουθεί εκθετική κατανομή  $e^{-\mu x}$  με μέση τιμή  $\mu=2\sigma^2$



# ***OFDM – Το πρόβλημα PAR***

---

□ Το PAR του μεταδιδόμενου αναλογικού σήματος ορίζεται ως

$$PAR \square \frac{\max |x(t)|^2}{E \left[ |x(t)|^2 \right]}$$

□ Το PAR λαμβάνεται υπόψη για ένα σύμβολο OFDM.



# OFDM – Το πρόβλημα PAR

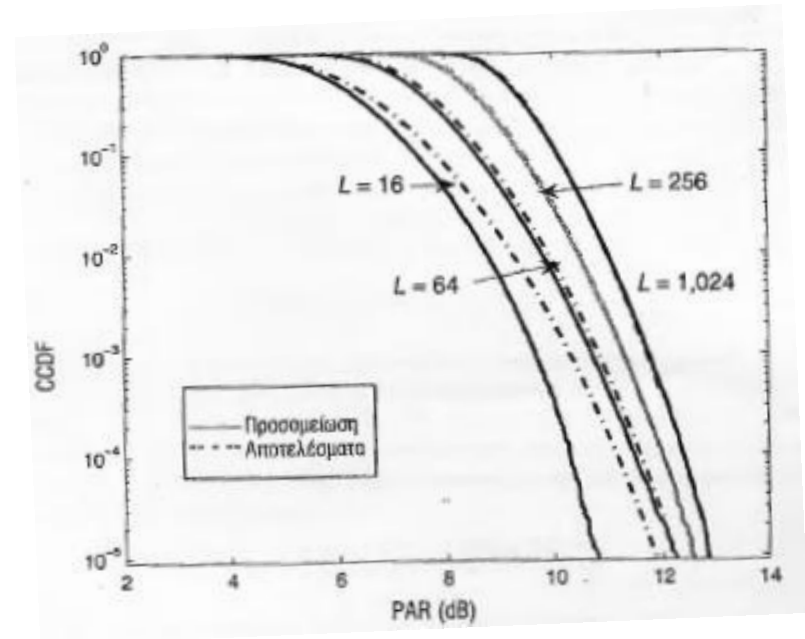
- Η συμπληρωματική συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (CCDF= 1 - CDF) του PAR είναι:

$$CCDF(L, E_{\max}) = 1 - \left( 1 - e^{-\frac{E_{\max}}{2\sigma^2}} \right)^{\beta L}$$

όπου

$E_{\max}$  = η μέγιστη ισχύς

$\beta$  = μια προσέγγιση του παράγοντα υπερδειγματοληψίας



Σχήμα 6. Το CCDF του PAR για QPSK OFDM: L=16, 64, 256, 1024



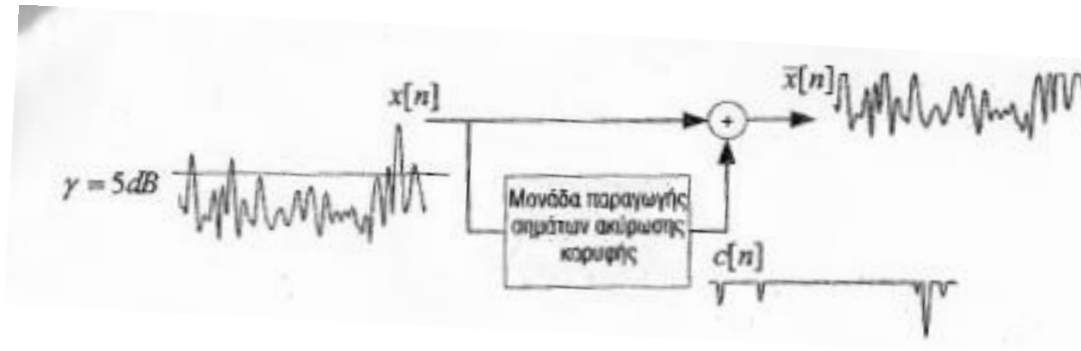
# OFDM – Ψαλιδισμός για να μειωθεί η επίδραση του PAR

- Για να αποφευχθεί η λειτουργία του Ενισχυτή Ισχύος σε μη γραμμική περιοχή, η ισχύς εισόδου μπορεί να μειωθεί (ψαλιδιστεί) κατά μία ποσότητα ίση περίπου με το PAR.



Σχήμα 6. Ψαλιδισμός του σήματος με όριο  $\gamma=5\text{ dB}$ .

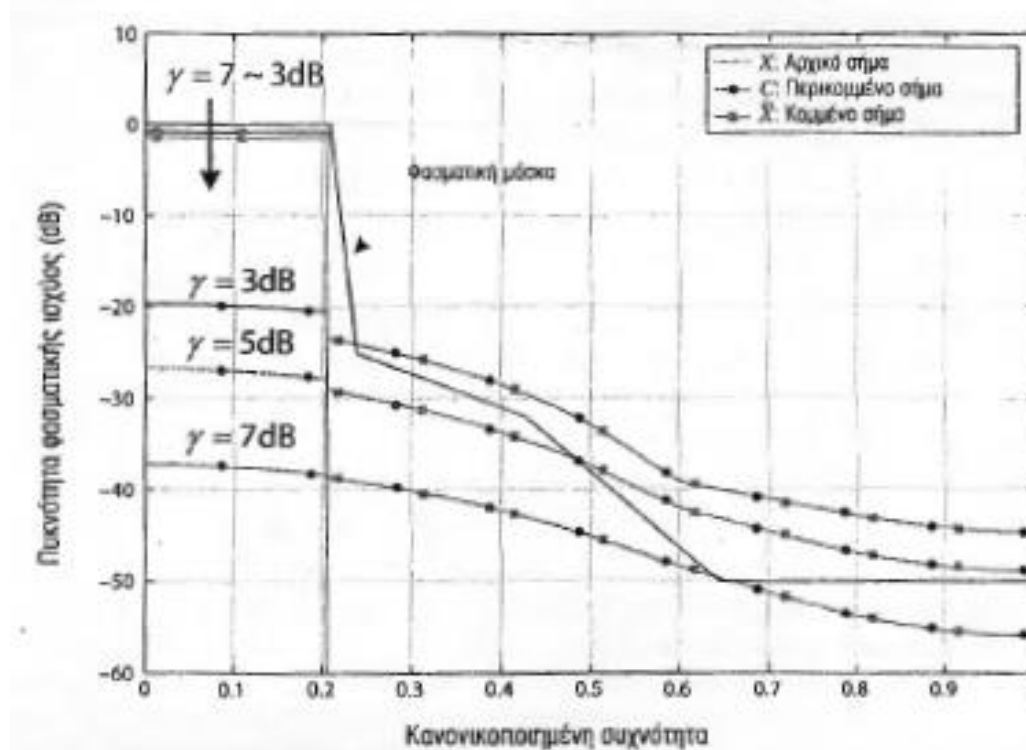
# OFDM – Ψαλιδισμός για να μειωθεί η επίδραση του PAR



Σχήμα 6. Ψαλιδισμός του σήματος με όριο  $\gamma=5$  dB.

- Ο ψαλιδισμός μειώνει το PAR αλλά επιτρέπει την παραμόρφωση του σήματος. Τα βασικά μειονεκτήματα από τον ψαλιδισμό είναι:
  - A) Η φασματική εξάπλωση (διαρροή στο πεδίο ρισμού της συχνότητας) η οποία προκαλεί μη αποδεκτή παρεμβολή σε χρήστες στα γειτονικά RF κανάλια
  - B) Παραμόρφωση του επιθυμητού σήματος

# OFDM – Φασματική εξάπλωση λόγω Ψαλιδισμού



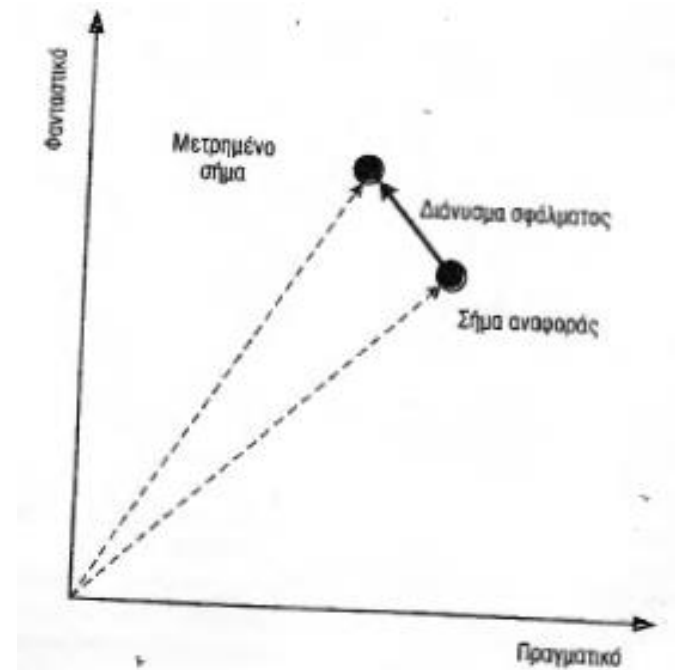
Σχήμα 7. Η πυκνότητα φασματικής ισχύος του αρχικού και του περικομμένου (μη γραμμικά παραμορφωμένου) σήματος με μέγεθος μπλοκ 2.048 και 64 QAM, όταν η αναλογία ψαλιδισμού ( $\gamma$ ) είναι 3 dB, 5 dB και 7 dB.

# OFDM – Παραμόρφωση επιθυμητού σήματος λόγω Ψαλιδισμού

- Το EVM είναι το μέσο διάνυσμα σφάλματος.
- Το EVM σε σχέση με ένα σύμβολο OFDM ορίζεται ως

$$EVM = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^L (\Delta I_k^2 + \Delta Q_k^2)}{S_{\max}^2}} = \sqrt{\frac{\sigma_d^2}{S_{\max}^2}}$$

- Όπου  $S_{\max}$  είναι το μέγιστο πλάτος του διαγράμματος αστερισμού του εκπεμπόμενου σήματος και  $\sigma_d^2$  είναι η διασπορά του θορύβου λόγω ψαλιδισμού.



Σχήμα 8. Παράδειγμα EVM

# OFDM – Πιθανότητα σφάλματος bit λόγω Ψαλιδισμού

- Η πιθανότητα σφάλματος bit (BER) λόγω παραμόρφωσης είναι:

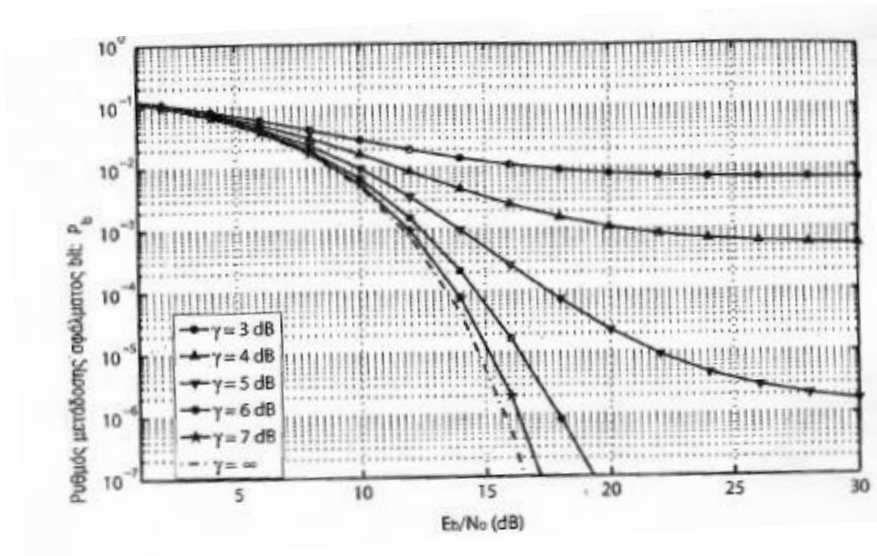
$$P_b = \frac{4}{\log_2(M)} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \cdot Q \left( \sqrt{\frac{3E_x a^2}{\left(\sigma_d^2 + \frac{N_0}{2}\right) \cdot (M-1)}} \right)$$

Όπου

$\alpha$  = Ο παράγοντας εξασθένησης λόγω ψαλιδισμού

$E_x$  = μέση ισχύς

$\sigma_d^2$  = η διασπορά του θορύβου λόγω ψαλιδισμού.



Σχήμα 9. Πιθανότητα σφάλματος bit λόγω Ψαλιδισμού



# Τέλος Ενότητας

---

