

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ ΚΥΨΕΛΩΤΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»



**“FEASIBILITY STUDY AND LAB MEASUREMENTS OF A CELLULAR
TELECOMMUNICATIONS TRANSCEIVER”**

Δεσπότης Χρήστος – Δάλατζης Δημήτριος
ΑΕΜ: 3177 - ΑΕΜ: 3076

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Δημήτριος Ευσταθίου
Σέρρες, Μάιος 2016

ΣΚΟΠΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία και ανάλυση ενός σήματος LTE με δύο και με τέσσερις φορείς καθώς και η δημιουργία σήματος LTE με προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (Additive White Gaussian Noise) με τη βοήθεια της γεννήτριας N5182A MXG Vector Signal Generator και του φασματικού αναλυτή EXA X-Series Signal Analyzer N9010A της εταιρίας Keysight. Κατόπιν ακολούθησαν μετρήσεις για τη σύγκριση των σημάτων αυτών με τις προδιαγραφές της 3GPP.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Θεωρητικό Μέρος

- Εισαγωγή στο LTE
- Τρόπος λειτουργίας του LTE
- Τεχνική Αμφιδρόμησης TDD (Time Division Duplex)
- Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεση Συχνότητας (OFDM)
- Single-carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)
- Συστήματα πολλαπλών εισόδων – πολλαπλών εξόδων (MIMO)

Εργαστηριακό Μέρος

- Εργαστηριακός εξοπλισμός
- Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς
- Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς
- Μετρήσεις για σήμα LTE μετά από προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) με διαμόρφωση QPSK
- Μετρήσεις για σήμα LTE μετά από προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) με διαμόρφωση 64-QAM

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ LTE

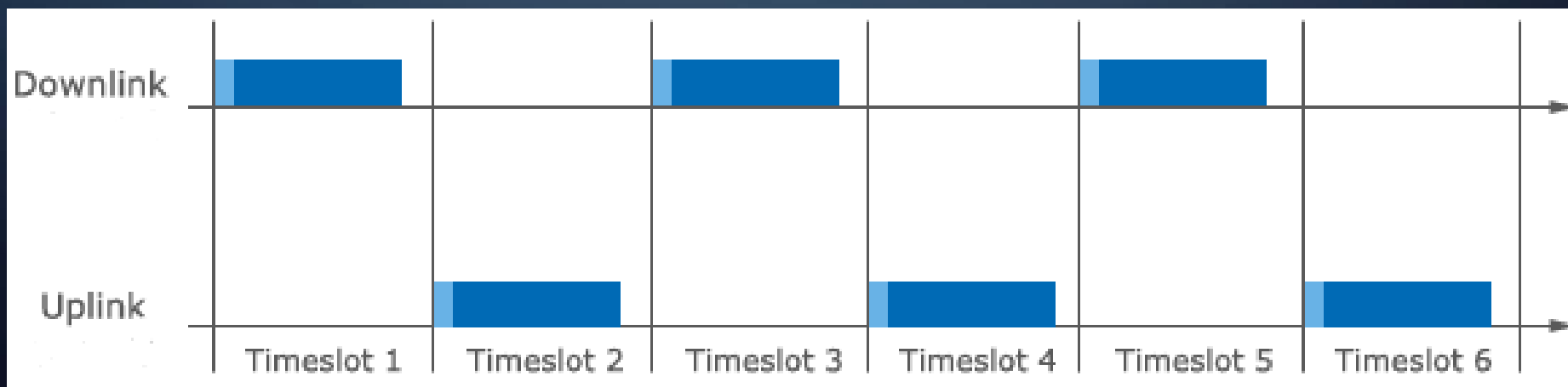
Ο στόχος του LTE είναι η παροχή υψηλού ρυθμού δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και βελτιστοποιημένη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης πακέτων η οποία στηρίζει την ανάπτυξη ενός ευέλικτου εύρους ζώνης. Παράλληλα, η νέα αρχιτεκτονική του δικτύου έχει σχεδιαστεί με στόχο να υποστηρίζει την εναλλαγή πακέτων δεδομένων κίνησης με αδιάλειπτη κινητικότητα, την αυξημένη ποιότητα των υπηρεσιών και την ελάχιστη λανθάνουσα κατάσταση.

ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ LTE

Το σύστημα LTE βασίζεται όσον αφορά την κατερχόμενη ζεύξη (Downlink) στο **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** με κυκλικό πρόθεμα (**Cyclic Prefix** ή **CP**) και όσον αφορά την ανερχόμενη ζεύξη, στο **SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)** επίσης με κυκλικό πρόθεμα. Για να επιτευχθεί η μετάδοση, υποστηρίζονται η **Αμφίδρομη Διαίρεση Συχνότητας (FDD – Frequency Division Duplex)**, η οποία υποστηρίζει αμφίδρομη και ημιαμφίδρομη λειτουργία και η **Αμφίδρομη Διαίρεση Χρόνου (TDD – Time Division Duplex)**. Επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η υποστήριξη πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στον δέκτη (**Multiple Input Multiple Output - MIMO**).

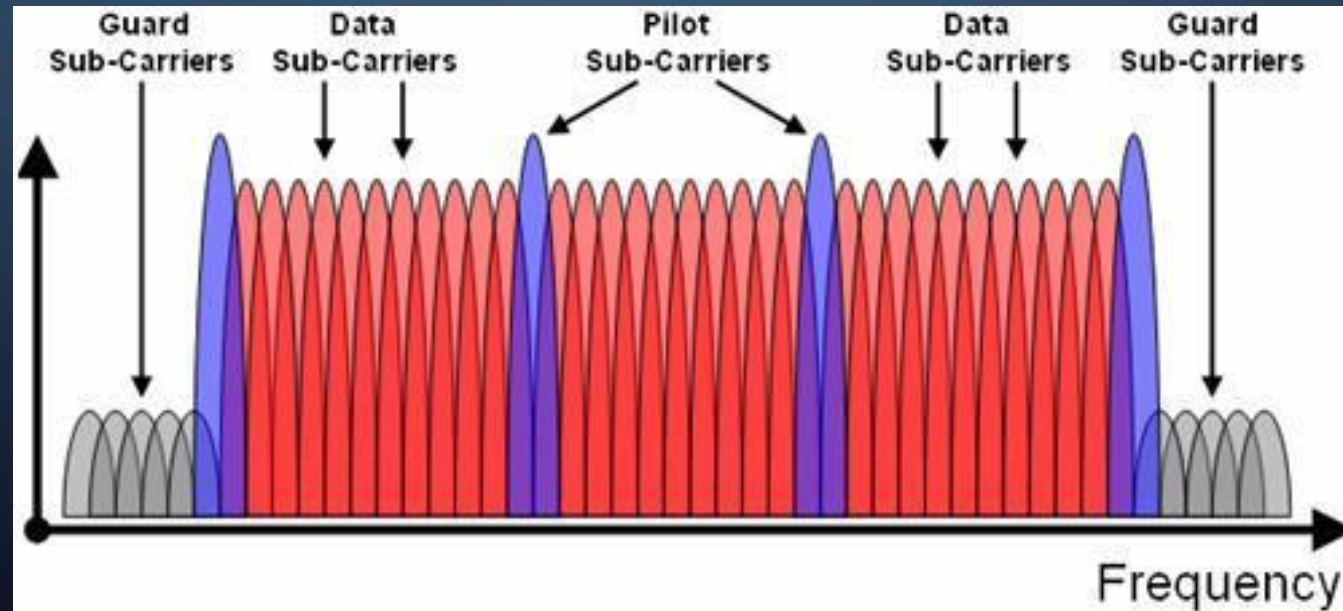
ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣΗΣ TDD (TIME DIVISION DUPLEX)

Η τεχνική TDD είναι νεώτερη από την FDD και χρησιμοποιεί έναν μόνο δίαυλο, τον οποίο διαμοιράζει στο πεδίο του χρόνου, χρησιμοποιώντας κάποιες χρονοσχισμές για τη μία κατεύθυνση μετάδοσης και τις υπόλοιπες για την άλλη. Για να μη συμβεί σύγκρουση δεδομένων διαφορετικών κατευθύνσεων μεσολαβεί ένας χρονικός διαχωρισμός ασφαλείας, το Transmit Transition Gap (TTG). Αυτό το κενό παρέχει χρόνο στο σταθμό βάσης, ώστε να μεταπέσει από τη διαμόρφωση πομπού στην αντίστοιχη του δέκτη και στους συνδρομητικούς σταθμούς να μεταπέσουν από τη διαμόρφωση του δέκτη σε αυτή του πομπού. Το χάσμα έχει διάρκεια ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας των χρονοσχισμών, και αρχίζει στην έναρξη μίας χρονοσχισμής. Κατά αντιστοιχία, υπάρχει το RTG (Receive Transition Gap) που είναι το κενό μεταξύ της uplink και της downlink ριπής που ακολουθεί.



ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (OFDM)

Στο OFDM η βασική ιδέα είναι η διαίρεση των ροών δεδομένων σε περαιτέρω ροές (υποκανάλια). Κάθε μία από αυτές τις ροές έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης από την αρχική. Στη συνέχεια, οι υποροές διαμορφώνονται με χρήση κωδικών οι οποίοι είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι. Εξαιτίας της ορθογωνικότητας, τα υποκανάλια μπορούν να πλησιάζουν πολύ κοντά μεταξύ τους χωρίς να υπάρχει κίνδυνος παρεμβολής. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί με πολύ αποδοτικό τρόπο το παρεχόμενο φάσμα συχνοτήτων. Επίσης χρησιμοποιείται κυκλικό πρόθεμα για τη διατήρηση της ορθογωνιότητας μεταξύ των υπό-φορέων.

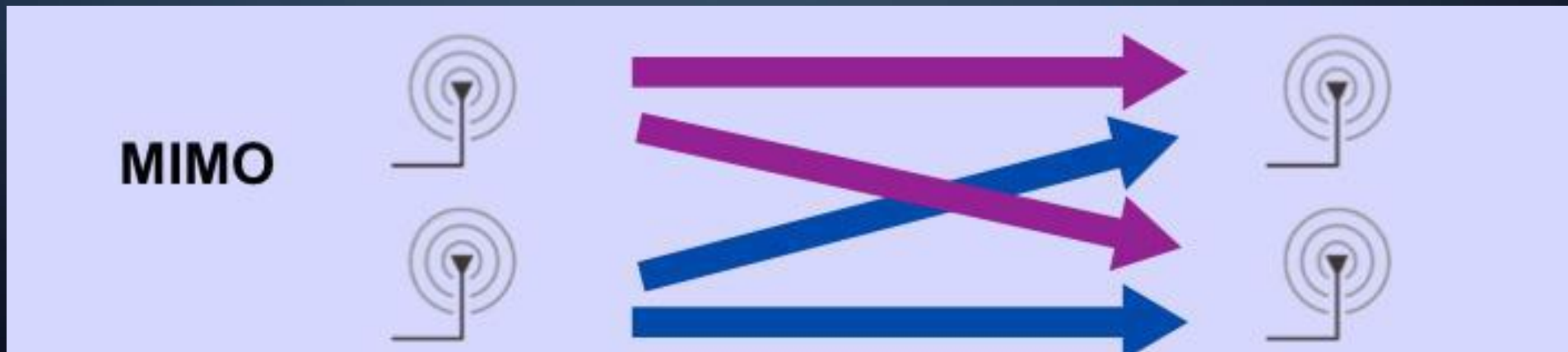


SINGLE-CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)

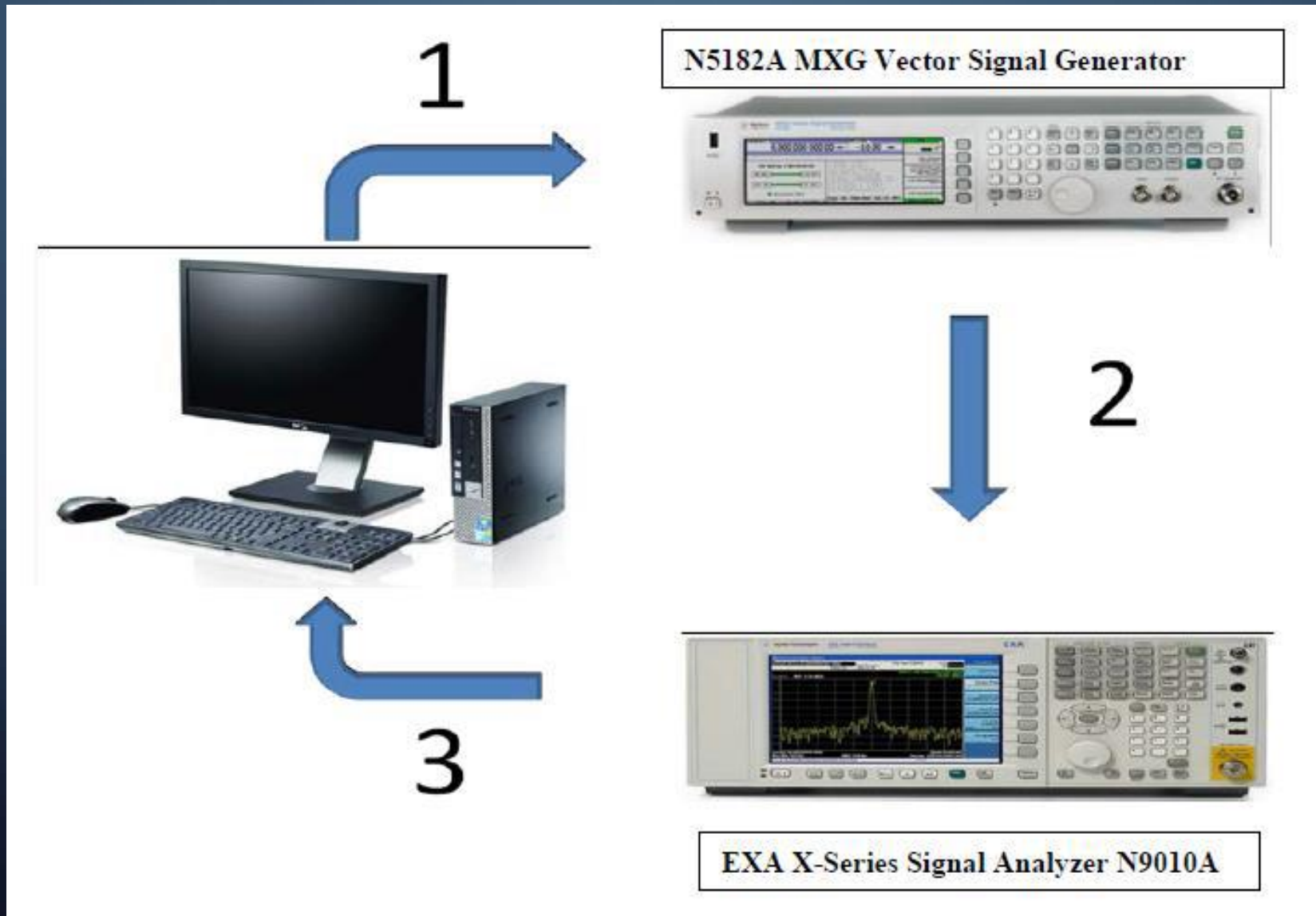
Το χαρακτηριστικό στοιχείο της τεχνικής SC-FDMA είναι ότι οδηγεί σε μια φέρουσα μετάδοσης σήματος, σε αντίθεση με την OFDMA η οποία είναι τεχνική με πολλαπλές φέρουσες. Λόγω της χρήσης μιας φέρουσας κατά την μετάδοση το πλεονέκτημα της SC-FDMA σε σχέση με την OFDMA είναι ότι η μετάδοση του σήματος έχει χαμηλότερο συντελεστή ισχύος (PAPR) που κατα συνέπεια βελτιώνει την κάλυψη και την απόδοση της κυψέλης.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ – ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ (MIMO)

Τα συστήματα MIMO (Multiple Input Multiple Output) χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραιές τόσο στον πομπό όσο και στο δέκτη, επιτυγχάνοντας υψηλότερες τιμές χωρητικότητας σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα επικοινωνίας SISO (Single Input Single Output), καθώς ανεξάρτητοι συρμοί δεδομένων μπορούν να μεταδίδονται από διαφορετικές κεραιές στον πομπό και να συνδυάζονται από διαφορετικές κεραιές στο δέκτη. Προκειμένου, ωστόσο, να είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευση του ασύρματου καναλιού διάδοσης, θα πρέπει ο πομπός να έχει ακριβή γνώση του καναλιού. Σε ρεαλιστικά συστήματα επικοινωνίας αυτό δεν είναι πάντοτε δυνατόν, είτε εξαιτίας ταχέων μεταβολών στο κανάλι διάδοσης, είτε λόγω λαθών στη ζεύξη ανάδρασης από το δέκτη στον πομπό.

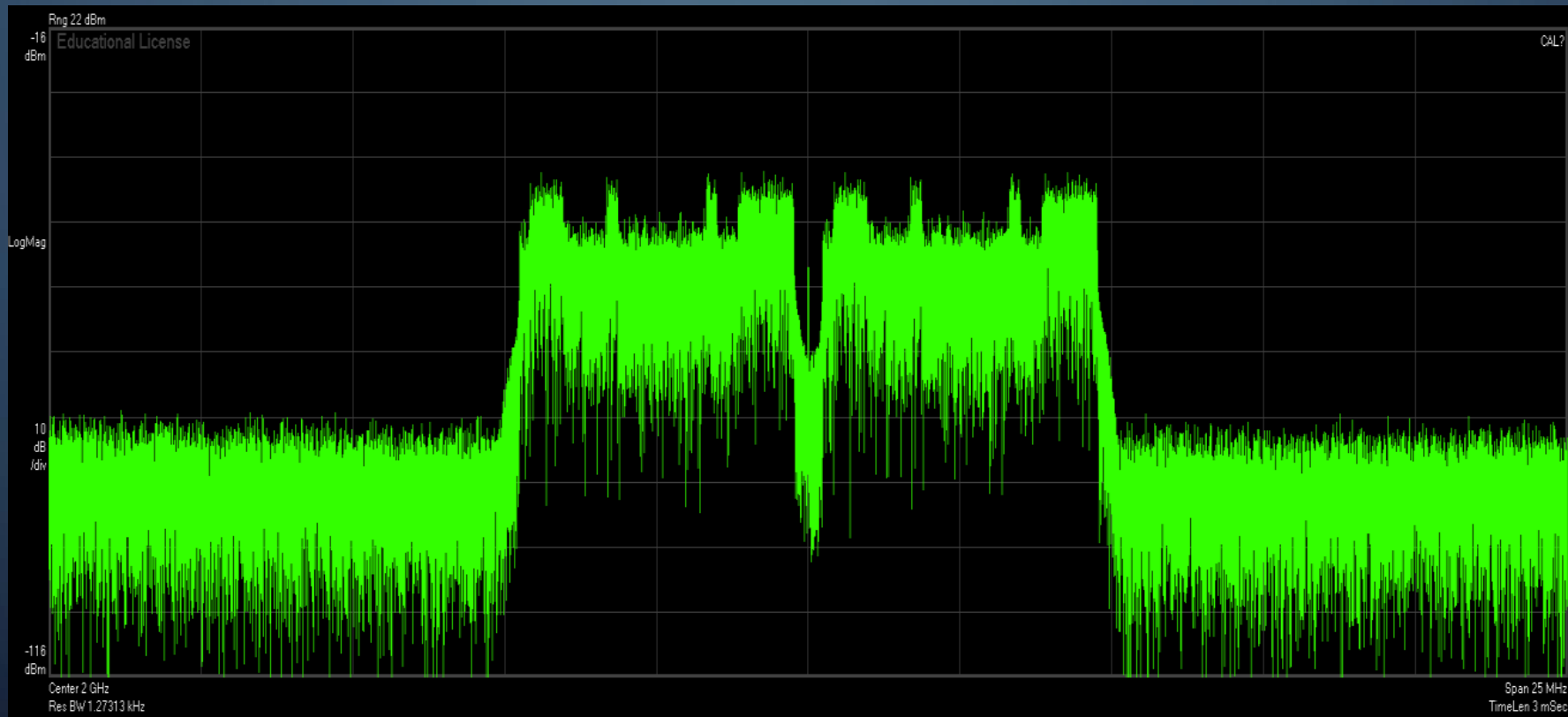


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς



Center 2 GHz Span 25 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς

EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|-----------------------|
| EVM | = 1.5456 | k%rms | at EVMWindow End |
| EVM Pk | = 14.562 | k% | at sym 15, subcar -17 |
| Data EVM | = 882.48 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 1.8629 | k%rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -38.572 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -14.03 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -38.572 | dBm | |
| RSSI | = -14.275 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.318 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = -8.8934 | kHz | |
| SyncCorr | = 8.8923 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 98.020 | %rms | |
| SymClk Err | = 327.91 | ppm | |
| Time Offset | = 3.5862 | msec | |
| IQ Offset | = -67.207 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.429 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -5.6675 | deg | |
| IQ Timing Skew | = -510.38 | nsec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 498 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 166/0 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

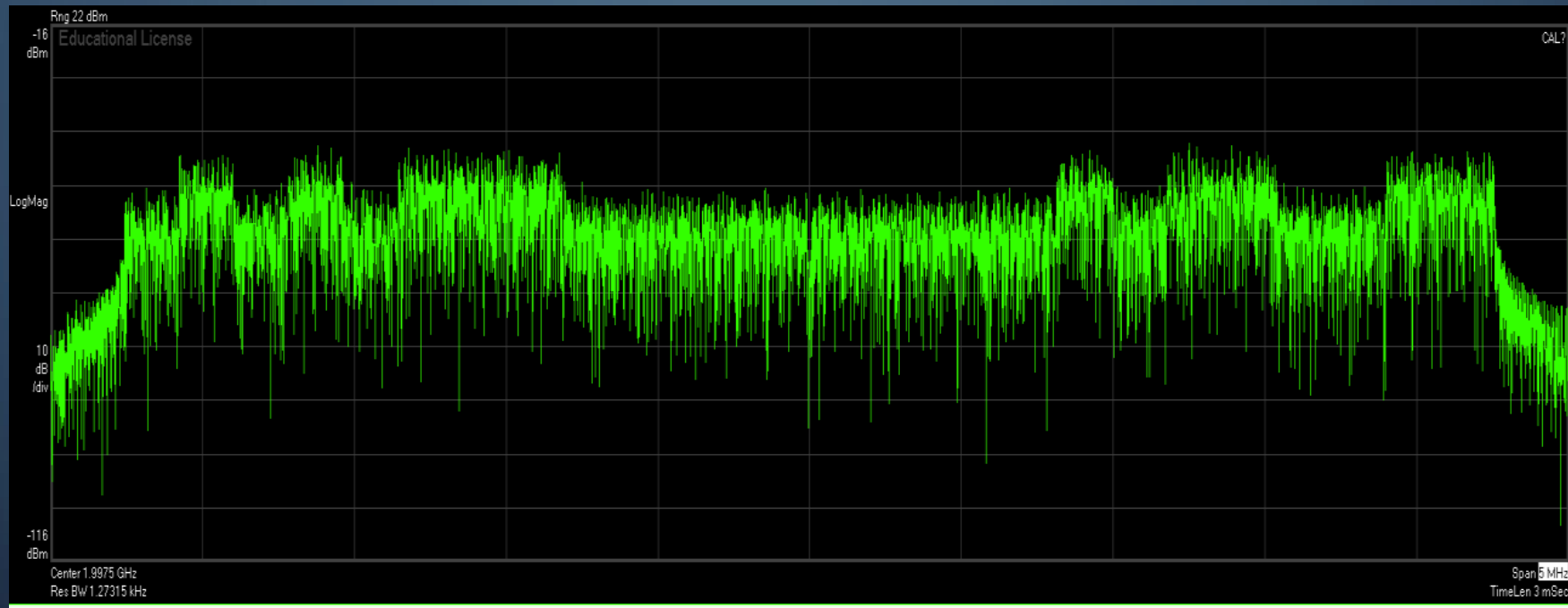
RS EVM: 1.8629 k%

| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 8547 | 26.933 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 583.52 | -1.9978 | BPSK | 7 |
| PBCH | 518.86 | -1.7562 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 429.14 | -1.0863 | QPSK | 8 |
| PHICH | 136.98 | -0.54476 | BPSK (CDM) | 7 |
| PDCCH | 477.09 | 0.05724 | QPSK | 48 |
| RS | 583.51 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 608.76 | 0.04724 | QPSK | 3 |
| PDSCH_16QAM | 602.59 | 0.63263 | 16QAM | 19 |
| PDSCH_64QAM | 2687.1 | 20.299 | 64QAM | 53 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 477.09 %

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (1^{ος} Φορέας)



Center 1.9975 GHz Span 5 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (1^{ος} Φορέας)

EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|----------------------|
| EVM | = 35.820 | %rms | at EVM Window Start |
| EVM Pk | = 46.269 | % | at sym 1, subcar 130 |
| Data EVM | = 41.204 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = 41.562 | %rms | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 1.7943 | %rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -38.622 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -13.852 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -38.622 | dBm | |
| RSSI | = -13.867 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.775 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = -7.6001 | Hz | |
| SyncCorr | = 99.773 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 117.35 | m%rms | |
| SymClk Err | = -0.36318 | ppm | |
| Time Offset | = 536.60 | usec | |
| IQ Offset | = -62.68 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.011 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -533.77 | mdeg | |
| IQ Timing Skew | = 731.81 | psec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 1 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 0/1 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

RS EVM: 1.7943 %

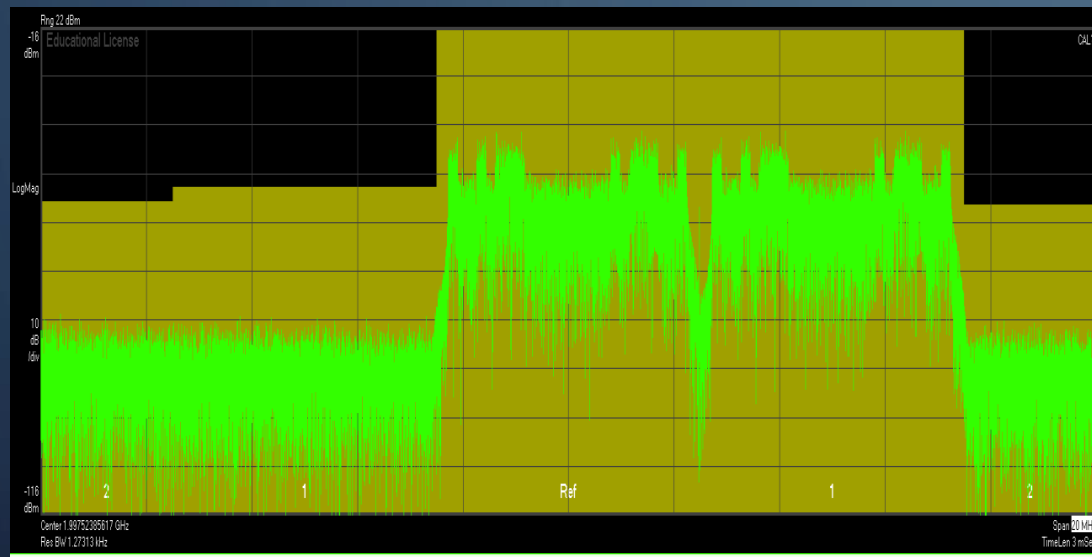
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 41.898 | -4.7171 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 42.149 | -4.7564 | BPSK | 7 |
| PBCH | 42.066 | -4.743 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 1.8366 | -0.02039 | QPSK | 8 |
| PHICH | 2.1302 | 0.73179 | BPSK (CDM) | 6 |
| PDCCH | 1.4731 | 1.8825 | QPSK | 47 |
| RS | 1.7204 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 41.649 | 0.46635 | QPSK | 63 |
| PDSCH_16QAM | — | — | 16QAM | — |
| PDSCH_64QAM | 11.626 | -4.738 | 64QAM | 12 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 1.4731 %

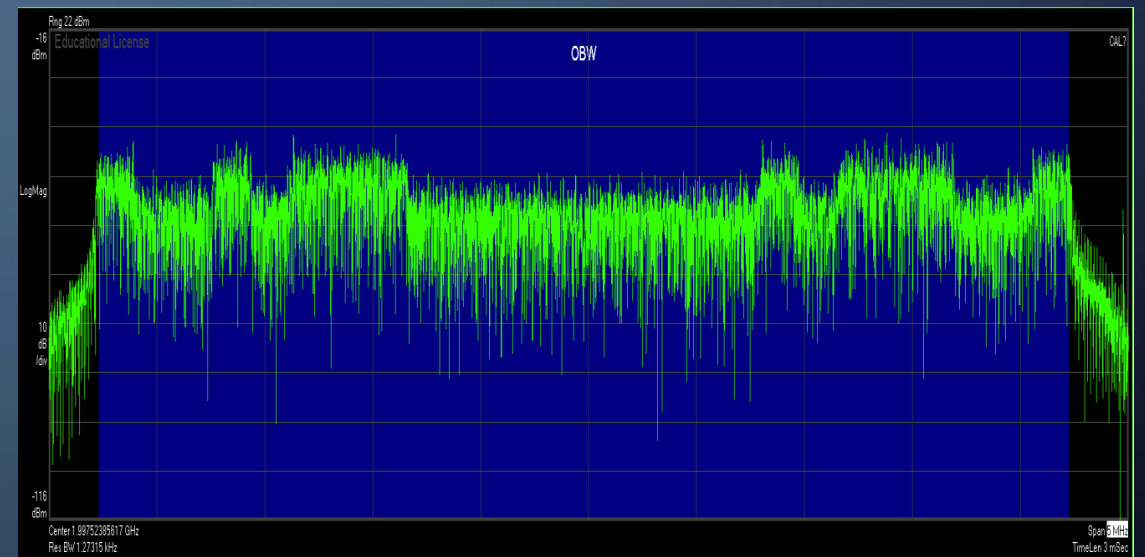
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (1^{ος} Φορέας)

ACLR - OBW



Lower: -35.04 dB
Upper: 0.023 dB

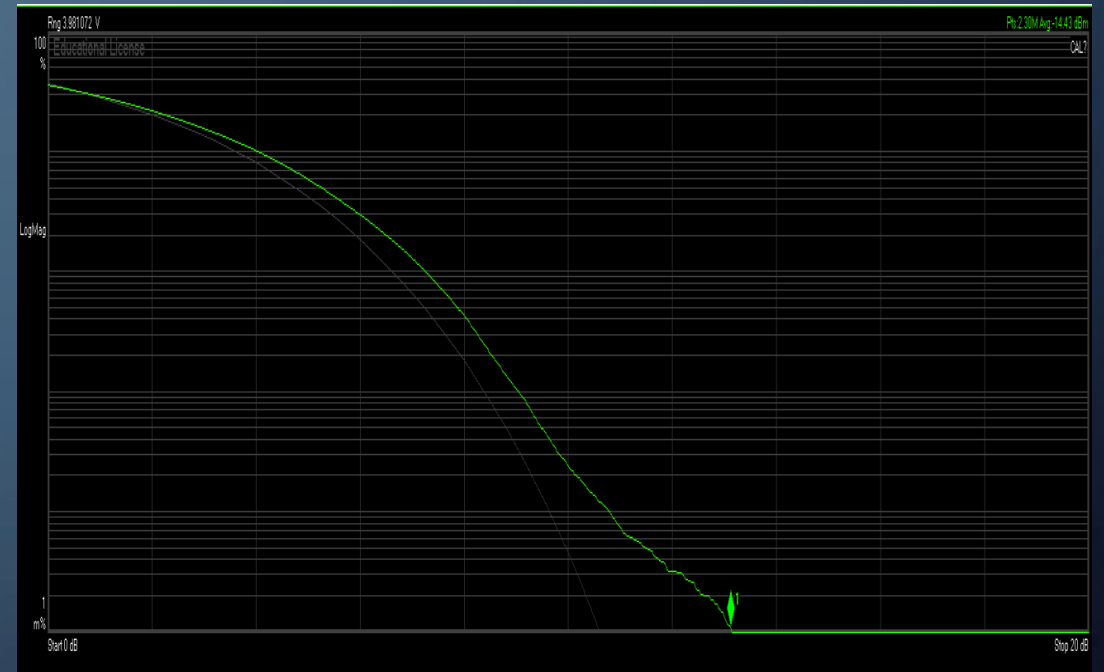
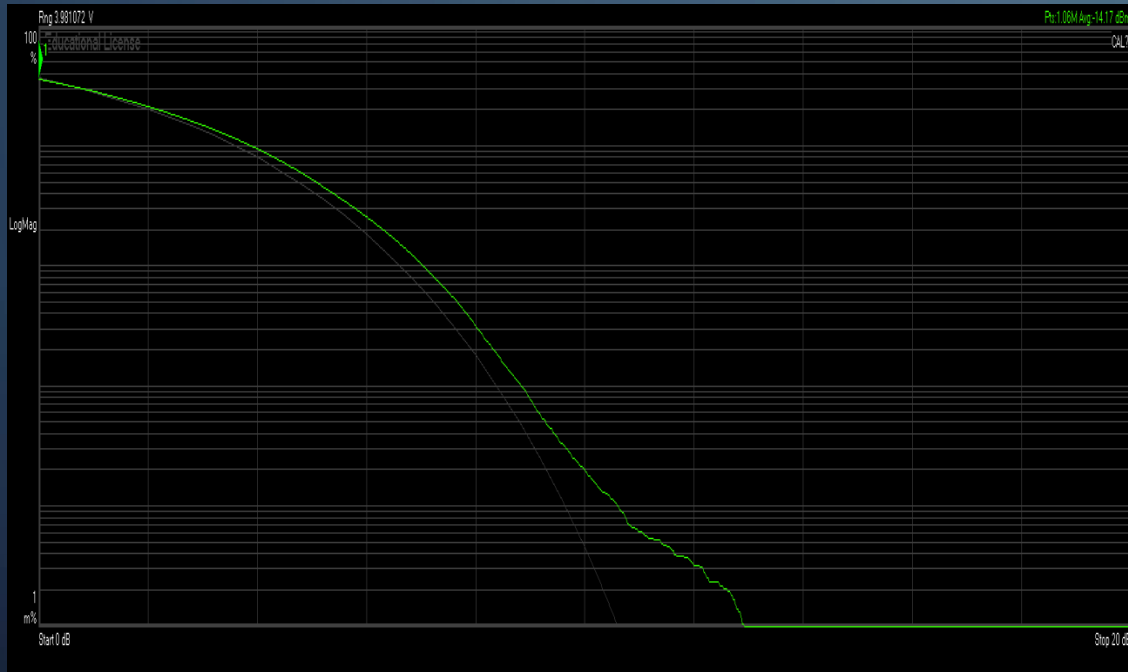


OBW: 4.494 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (1^{ος} Φορέας)

PAPR



Trace B Mkr 1: 0 dB 36.2551 %

Trace B Mkr 1: 13.12 dB 1.2687 m%

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

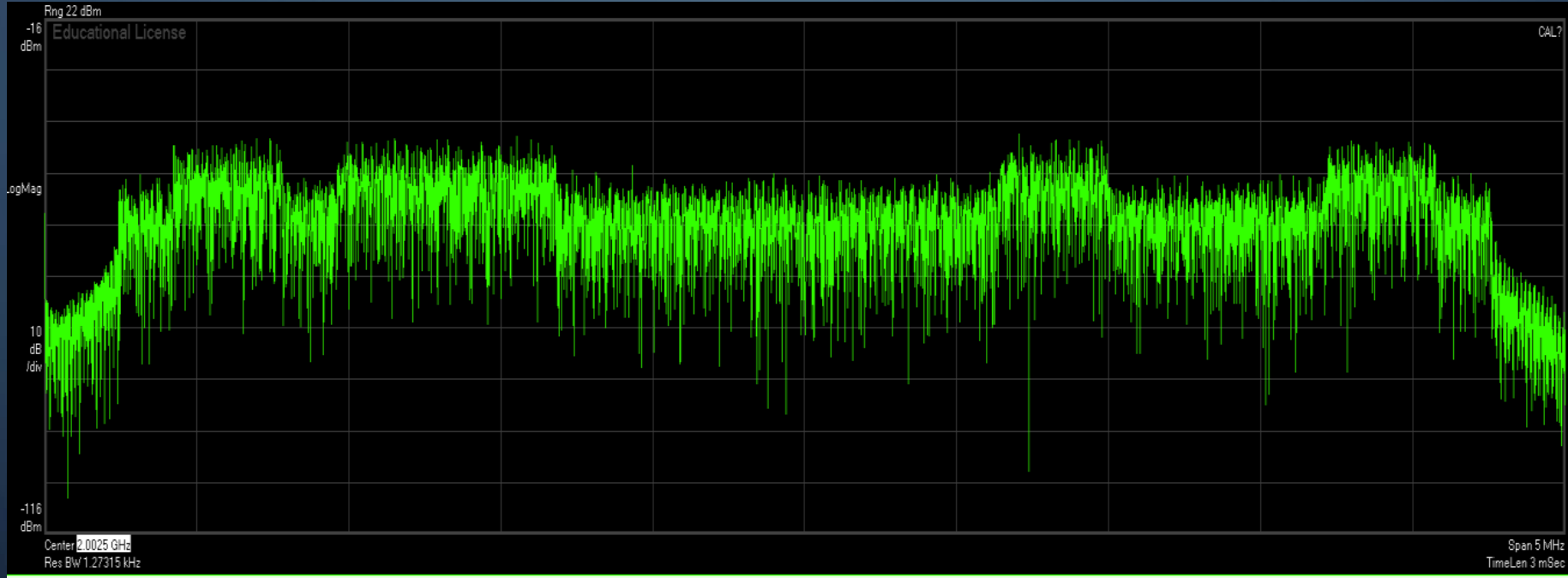
Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (1^{ος} Φορέας)

CCDF

| | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|----------|----|
| Trace B | Mkr | 1: | 0 | dB | 35.8803 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 2 | dB | 22.2034 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 4 | dB | 10.5938 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 6 | dB | 3.2846 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 8 | dB | 521.1314 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 10 | dB | 31.8208 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 12 | dB | 3.7996 | m% |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (2^{ος} Φορέας)



Center 2.0025 GHz | Span 5 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (2^{ος} Φορέας)

EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|-----------------------|
| EVM | = 35.960 | %rms | at EVMWindow End |
| EVM Pk | = 47.573 | % | at sym 7, subcar -148 |
| Data EVM | = 41.398 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = 41.799 | %rms | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 1.9186 | %rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -38.653 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -13.876 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -38.653 | dBm | |
| RSSI | = -13.886 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.787 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = -5.4290 | Hz | |
| SyncCorr | = 99.700 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 1.1839 | %rms | |
| SymClk Err | = 0.62416 | ppm | |
| Time Offset | = 2.8802 | msec | |
| IQ Offset | = -63.259 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.048 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -376.65 | mdeg | |
| IQ Timing Skew | = 294.06 | psec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 1 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 0/1 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

RS EVM: 1.9186 %

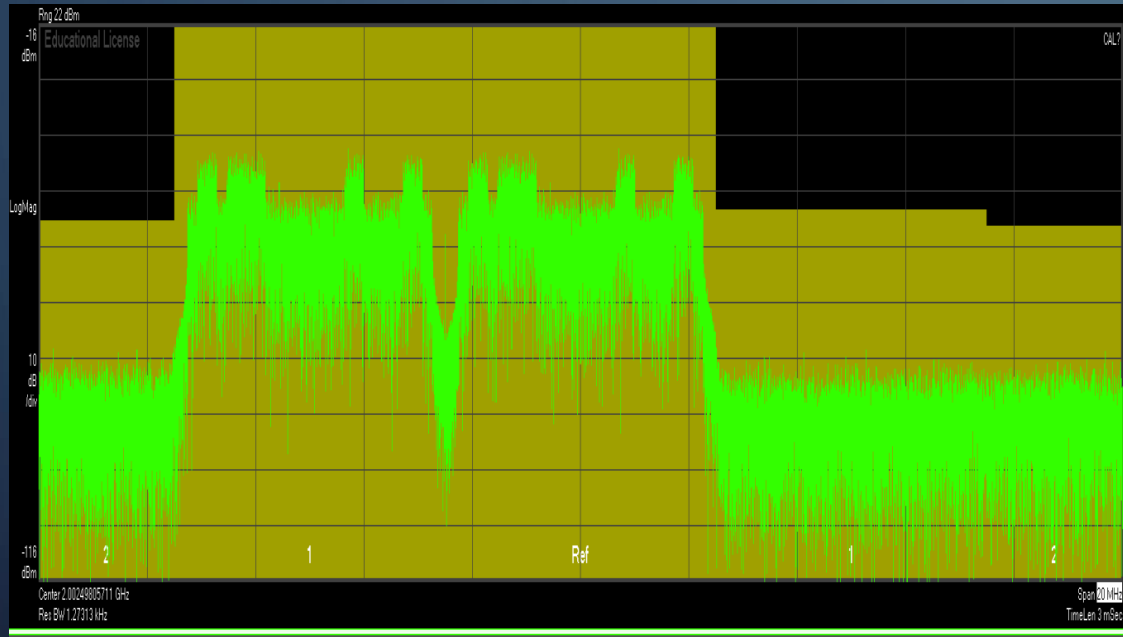
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 42.165 | -4.7388 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 42.215 | -4.7421 | BPSK | 7 |
| PBCH | 42.185 | -4.7335 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 2.2216 | 0.01512 | QPSK | 8 |
| PHICH | 2.4532 | 0.72989 | BPSK (CDM) | 6 |
| PDCCH | 1.4749 | 1.8877 | QPSK | 47 |
| RS | 2.0151 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 41.706 | 0.47160 | QPSK | 63 |
| PDSCH_16QAM | — | — | 16QAM | — |
| PDSCH_64QAM | 11.6 | -4.7219 | 64QAM | 12 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 1.4749 %

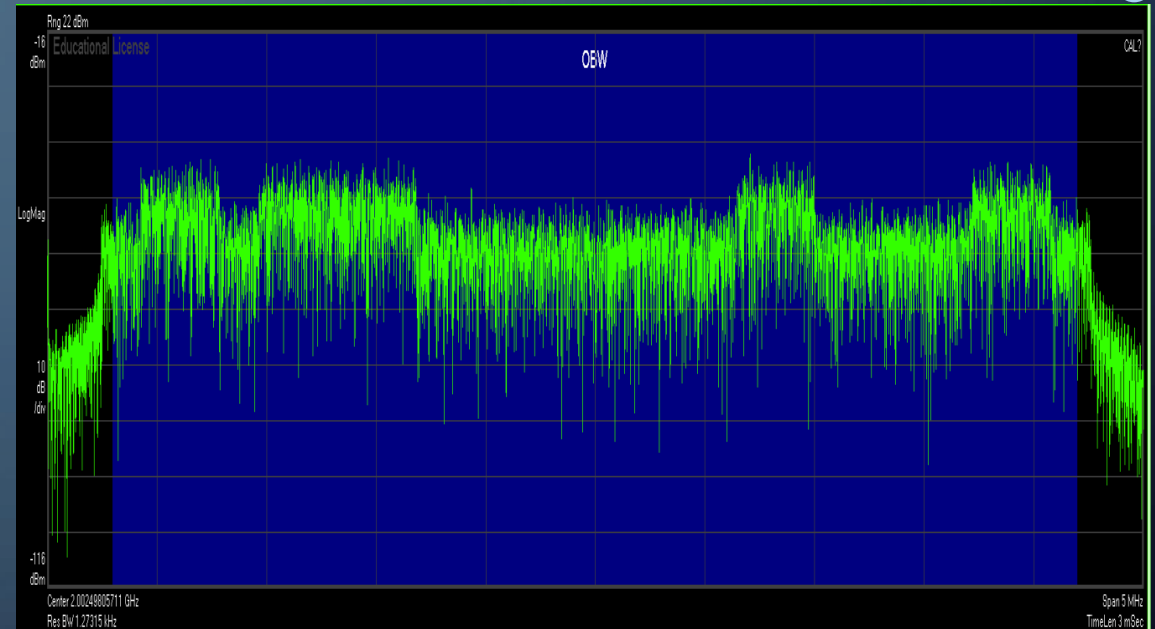
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (2^{ος} Φορέας)

ACLR - OBW



Lower: -0.017 dB
Upper: -35.161 dB

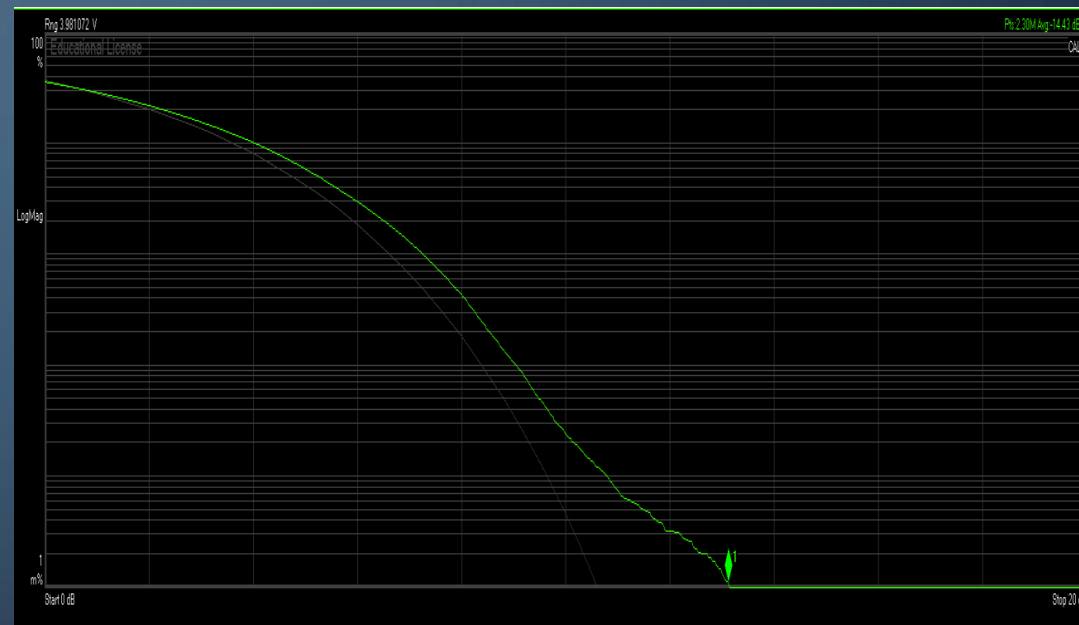
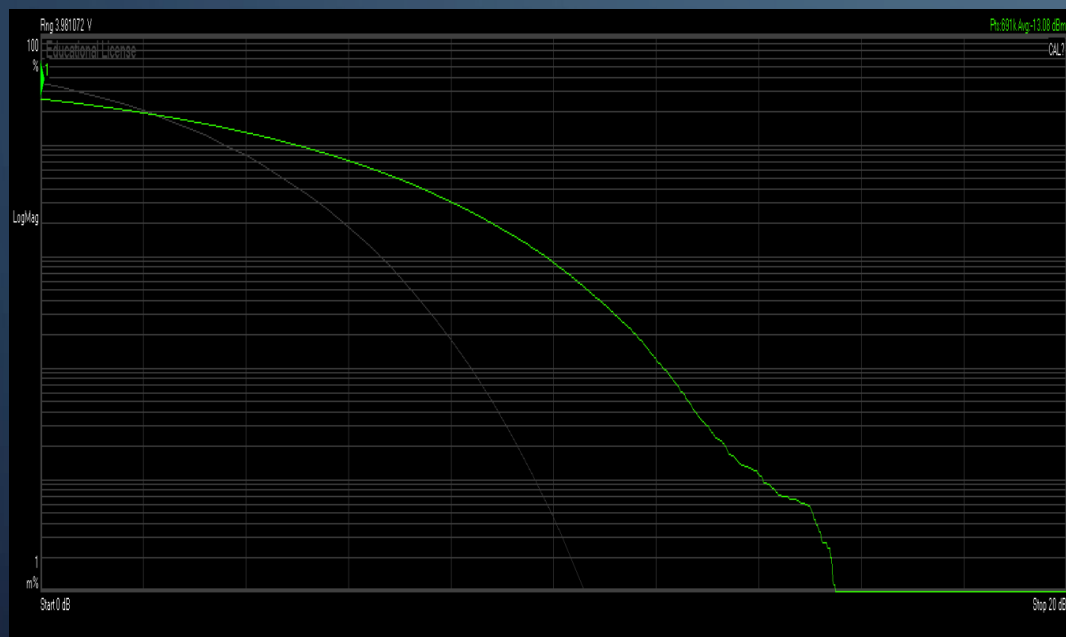


OBW: 4.399 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (2^{ος} Φορέας)

PAPR



Trace B Mkr 1: 0 dB 26.1939 %

Trace B Mkr 1: 15.58 dB 889.7569 u%

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

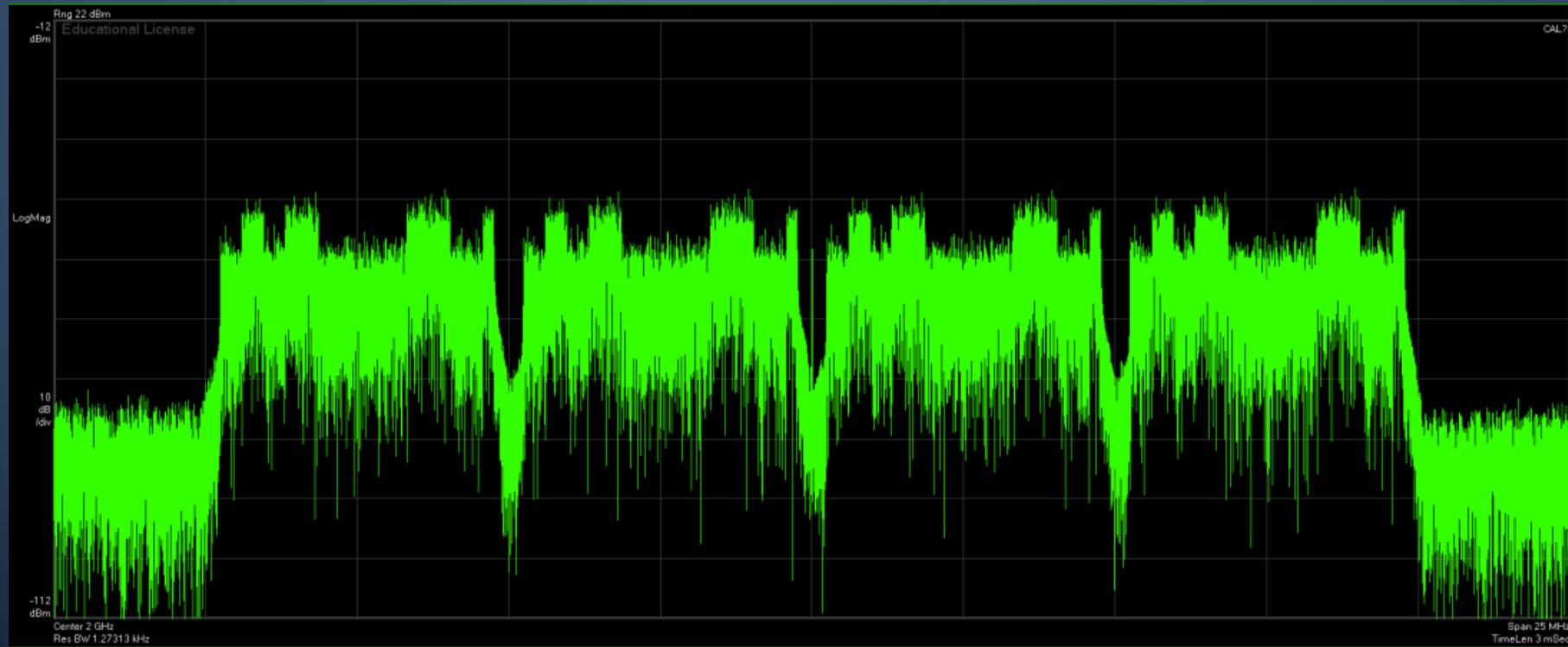
Μετρήσεις σήματος LTE με δύο φορείς (2^{ος} Φορέας)

CCDF

| | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|----------|----|
| Trace B | Mkr | 1: | 0 | dB | 35.8803 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 2 | dB | 22.2034 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 4 | dB | 10.5938 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 6 | dB | 3.2846 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 8 | dB | 521.1314 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 10 | dB | 31.8208 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 12 | dB | 3.7996 | m% |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς



Center 2 GHz Span 25 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς EVM

| | | | |
|--------------------------|-----------|-------|---------------------|
| EVM | = 1.3889 | k%rms | at EVM Window End |
| EVM Pk | = 10.427 | k% | at sym 16, subcar 3 |
| Data EVM | = 1.0668 | k%rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = 883.16 | %rms | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = 563.22 | %rms | |
| RS EVM | = 1.4784 | k%rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -44.128 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -16.941 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -44.128 | dBm | |
| RSSI | = -19.156 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.993 | dB | |

| | | | |
|-----------------------|-----------|------|------------|
| Freq Err | = 998.35 | Hz | |
| SyncCorr | = 12.274 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 134.48 | %rms | |
| SymClk Err | = -1933.1 | ppm | |
| Time Offset | = 8.0936 | msec | |
| IQ Offset | = -28.907 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -8.172 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -17.768 | deg | |
| IQ Timing Skew | = 336.48 | nsec | |

| | | | |
|----------------------|----------------|--------|--|
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 236 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 78/2 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

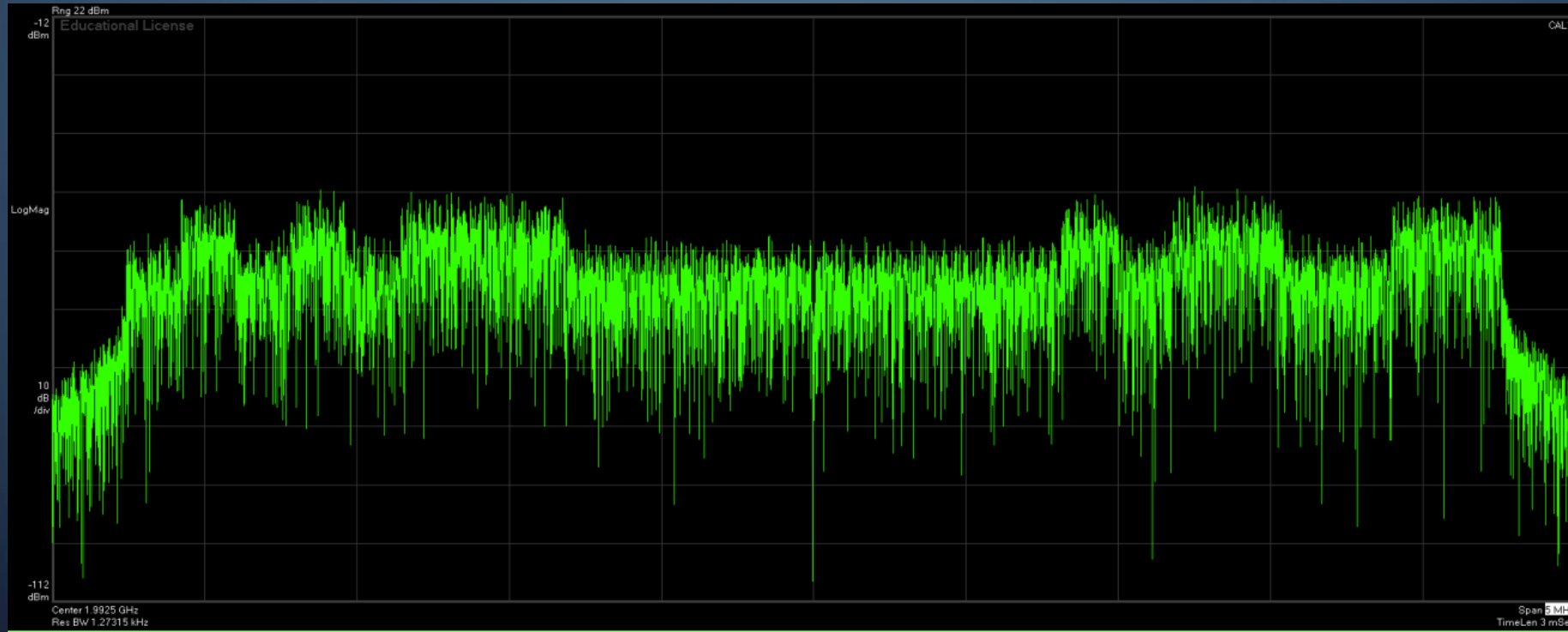
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 8547 | 26.933 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 583.52 | -1.9978 | BPSK | 7 |
| PBCH | 518.86 | -1.7562 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 429.14 | -1.0863 | QPSK | 8 |
| PHICH | 136.98 | -0.54476 | BPSK (CDM) | 7 |
| PDCCH | 477.09 | 0.05724 | QPSK | 48 |
| RS | 583.51 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 608.76 | 0.04724 | QPSK | 3 |
| PDSCH_16QAM | 602.59 | 0.63263 | 16QAM | 19 |
| PDSCH_64QAM | 2687.1 | 20.299 | 64QAM | 53 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

RS EVM: 1.4784 k%

PDCCH: 477.09 %

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (1^{ος} Φορέας)



Center 1.9925 GHz Span 5 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (1^{ος} Φορέας) EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|-----------------------|
| EVM | = 35.823 | %rms | at EVMWindow Start |
| EVM Pk | = 47.638 | % | at sym 13, subcar -83 |
| Data EVM | = 41.254 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = 41.671 | %rms | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 2.4532 | %rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -41.567 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -16.785 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -41.567 | dBm | |
| RSSI | = -16.791 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.796 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = 34.610 | Hz | |
| SyncCorr | = 99.812 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 750.10 | m%rms | |
| SymClk Err | = -0.25762 | ppm | |
| Time Offset | = 7.3334 | msec | |
| IQ Offset | = -60.064 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.024 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -464.00 | mdeg | |
| IQ Timing Skew | = 606.71 | psec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 1 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 0/1 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

RS EVM: 2.4532 %

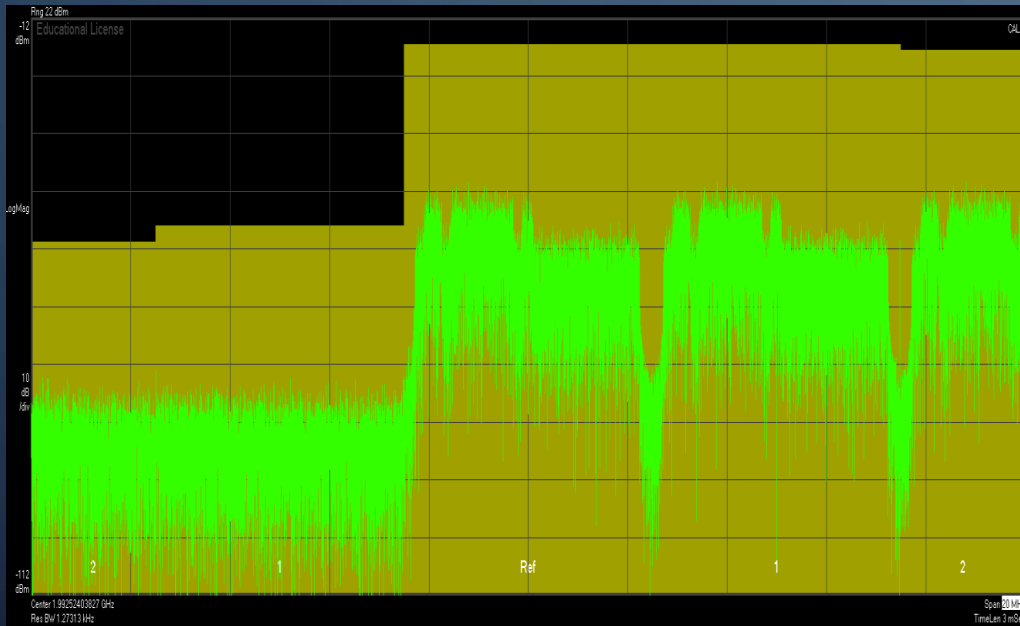
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 42.026 | -4.7678 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 41.877 | -4.6982 | BPSK | 7 |
| PBCH | 42.319 | -4.7504 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 2.6722 | -0.00227 | QPSK | 8 |
| PHICH | 2.5807 | 0.74374 | BPSK (CDM) | 6 |
| PDCCH | 2.0596 | 1.8584 | QPSK | 47 |
| RS | 2.4608 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 41.571 | 0.44385 | QPSK | 63 |
| PDSCH_16QAM | — | — | 16QAM | — |
| PDSCH_64QAM | 11.998 | -4.7495 | 64QAM | 12 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 2.0596 %

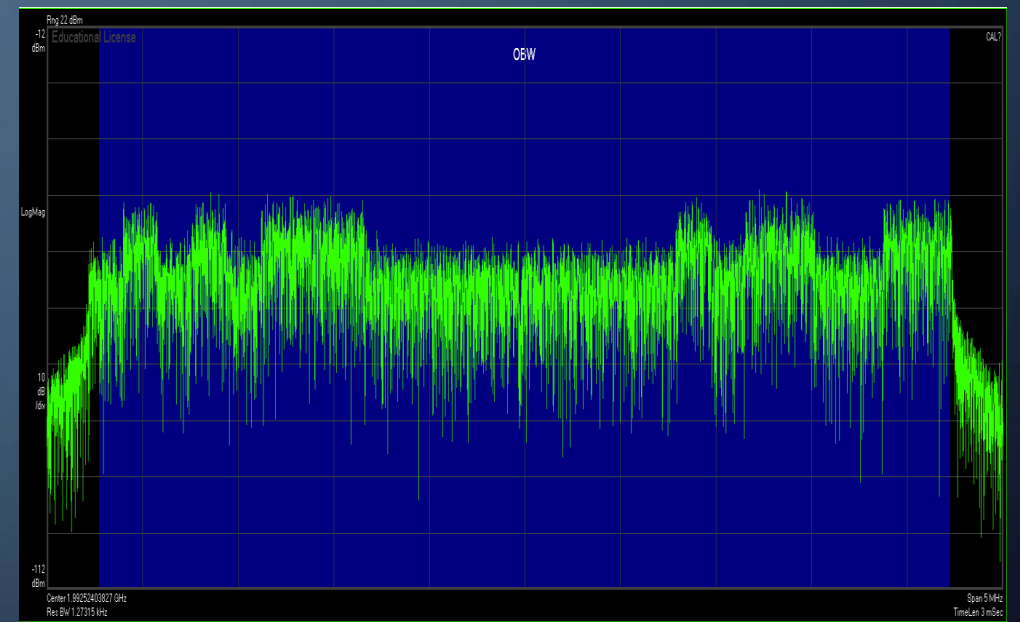
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (1^{ος} Φορέας)

ACLR - OBW



Lower: -29.295 dB
Upper: -3.02 dB

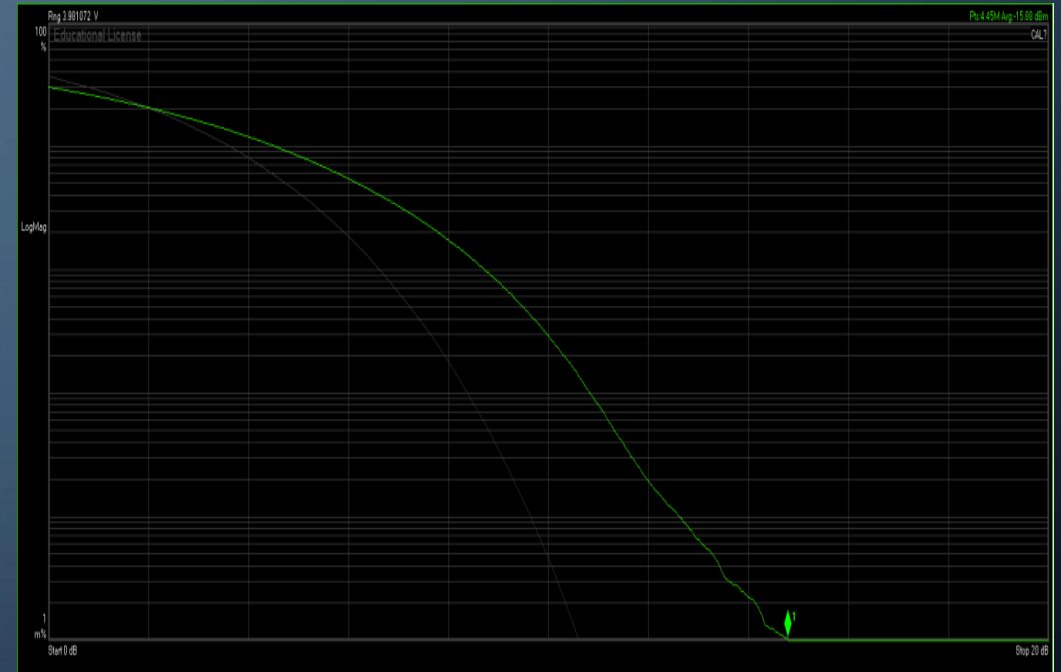
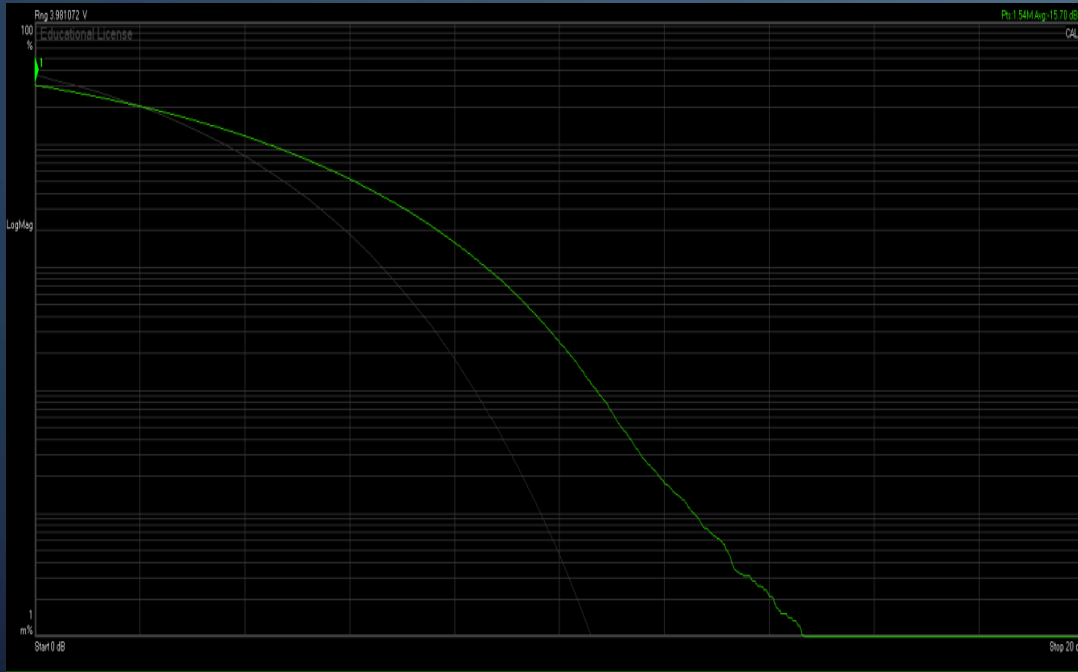


OBW: 4.398 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (1^{ος} Φορέας)

PAPR



Trace B Mkr 1: 0 dB 30.2565 %

Trace B Mkr 1: 14.78 dB 1.0291 m%

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

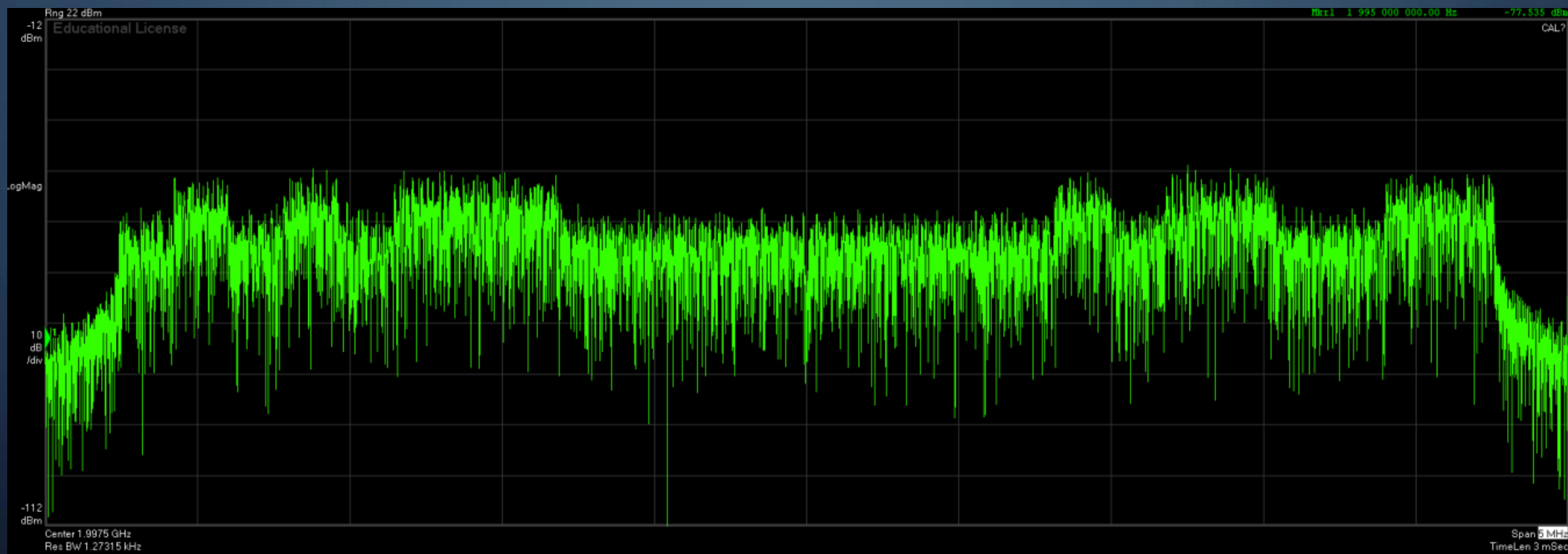
Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (1^{ος} Φορέας)

CCDF

| | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|---------|----|
| Trace B | Mkr | 1: | 0 | dB | 32.1883 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 2 | dB | 20.4979 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 4 | dB | 11.9518 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 6 | dB | 5.5013 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 8 | dB | 1.726 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 10 | dB | 294.74 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 12 | dB | 18.7859 | m% |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (2^{ος} Φορέας)



Center 1.9975 GHz Span 5 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (2^{ος} Φορέας) EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|------------------------|
| EVM | = 35.975 | %rms | at EVMWindow End |
| EVM Pk | = 48.770 | % | at sym 16, subcar -134 |
| Data EVM | = 41.261 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = 41.558 | %rms | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 2.6445 | %rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -41.526 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -16.744 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -41.526 | dBm | |
| RSSI | = -16.768 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.779 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = 31.263 | Hz | |
| SyncCorr | = 99.703 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 572.84 | m%rms | |
| SymClk Err | = 0.26319 | ppm | |
| Time Offset | = 2.4397 | msec | |
| IQ Offset | = -61.686 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.019 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -505.81 | mdeg | |
| IQ Timing Skew | = 577.67 | psec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 1 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 0/1 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

RS EVM: 2.6445 %

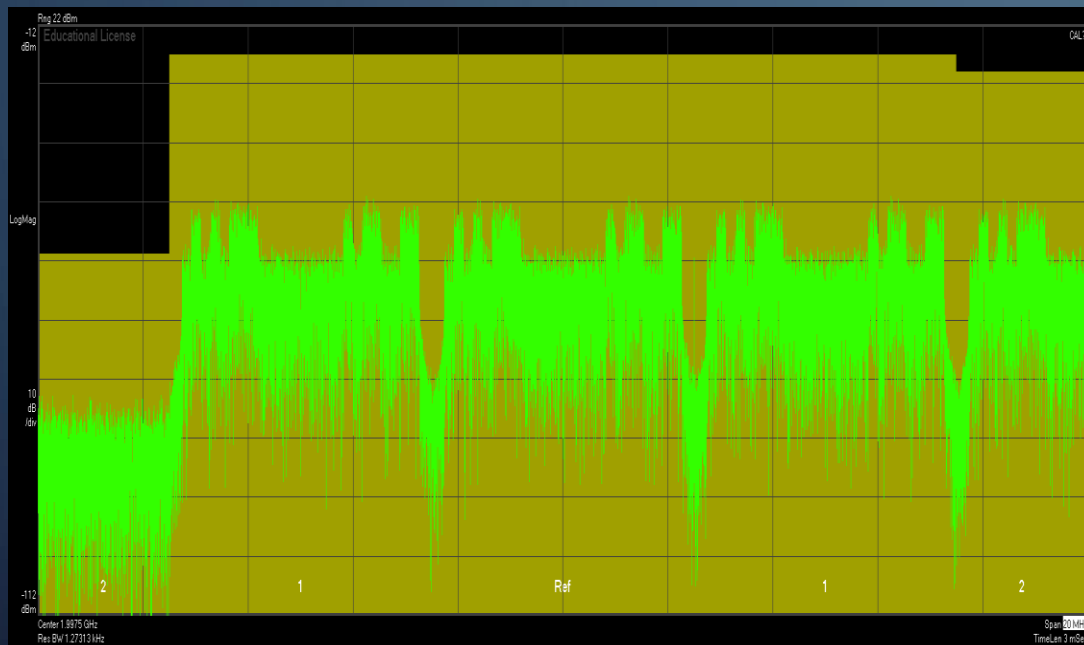
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 41.905 | -4.707 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 42.181 | -4.7652 | BPSK | 7 |
| PBCH | 42.466 | -4.7739 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 2.4321 | 0.00562 | QPSK | 8 |
| PHICH | 2.8793 | 0.71236 | BPSK (CDM) | 6 |
| PDCCH | 2.2645 | 1.8708 | QPSK | 47 |
| RS | 2.6361 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 41.558 | 0.44396 | QPSK | 63 |
| PDSCH_16QAM | — | — | 16QAM | — |
| PDSCH_64QAM | 11.949 | -4.7444 | 64QAM | 12 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 2.2645 %

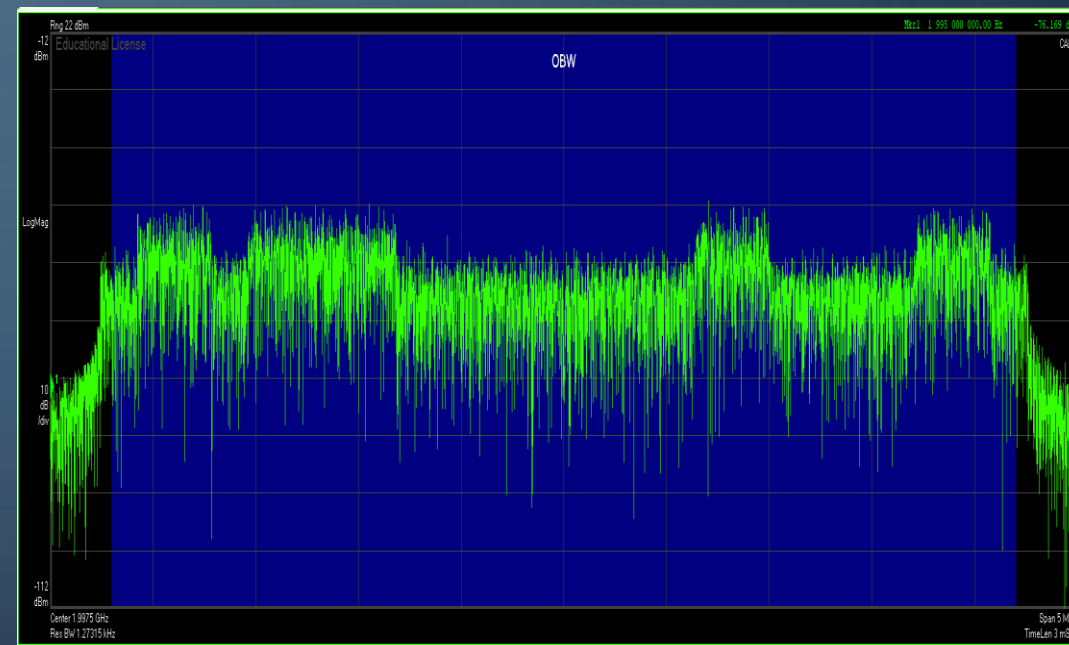
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (2^{ος} Φορέας)

ACLR - OBW



Lower: -0.022 dB
Upper: 0.025 dB

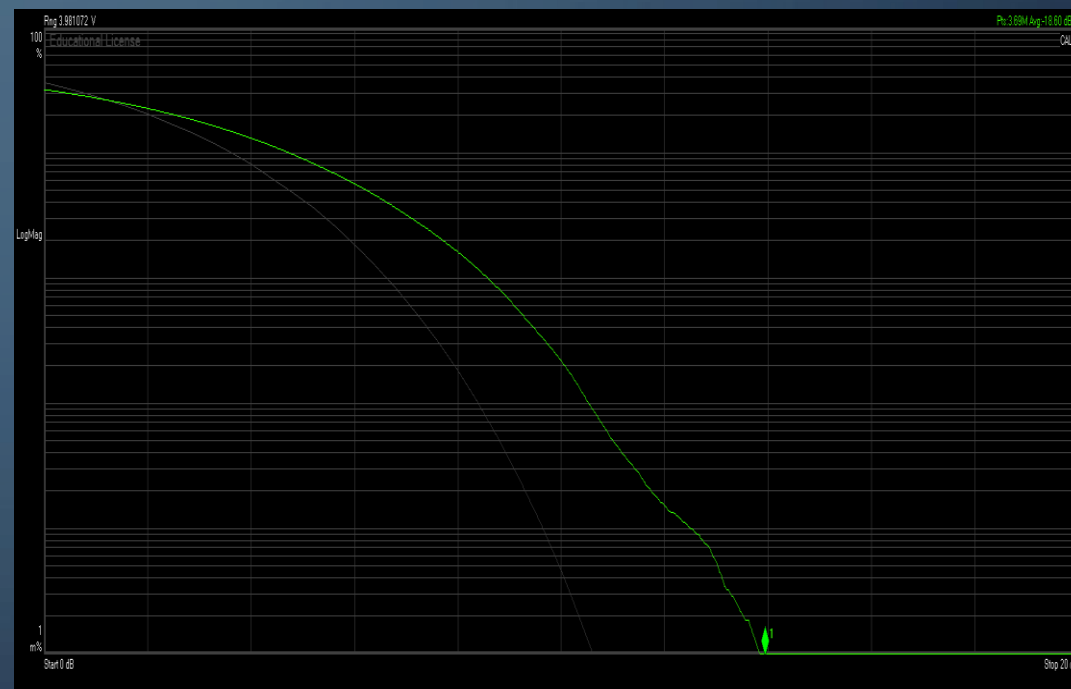
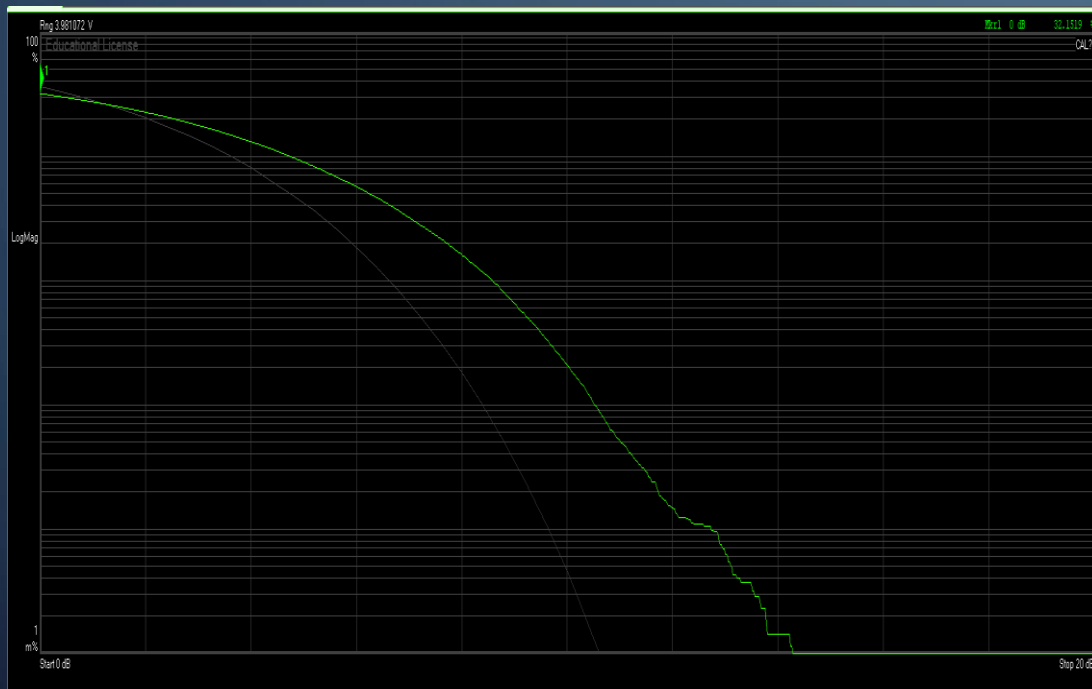


OBW: 4.400 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (2^{ος} Φορέας)

PAPR



Trace B Mkr 1: 0 dB 32.1898 %

Trace B Mkr 1: 13.94 dB 958.589 u%

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

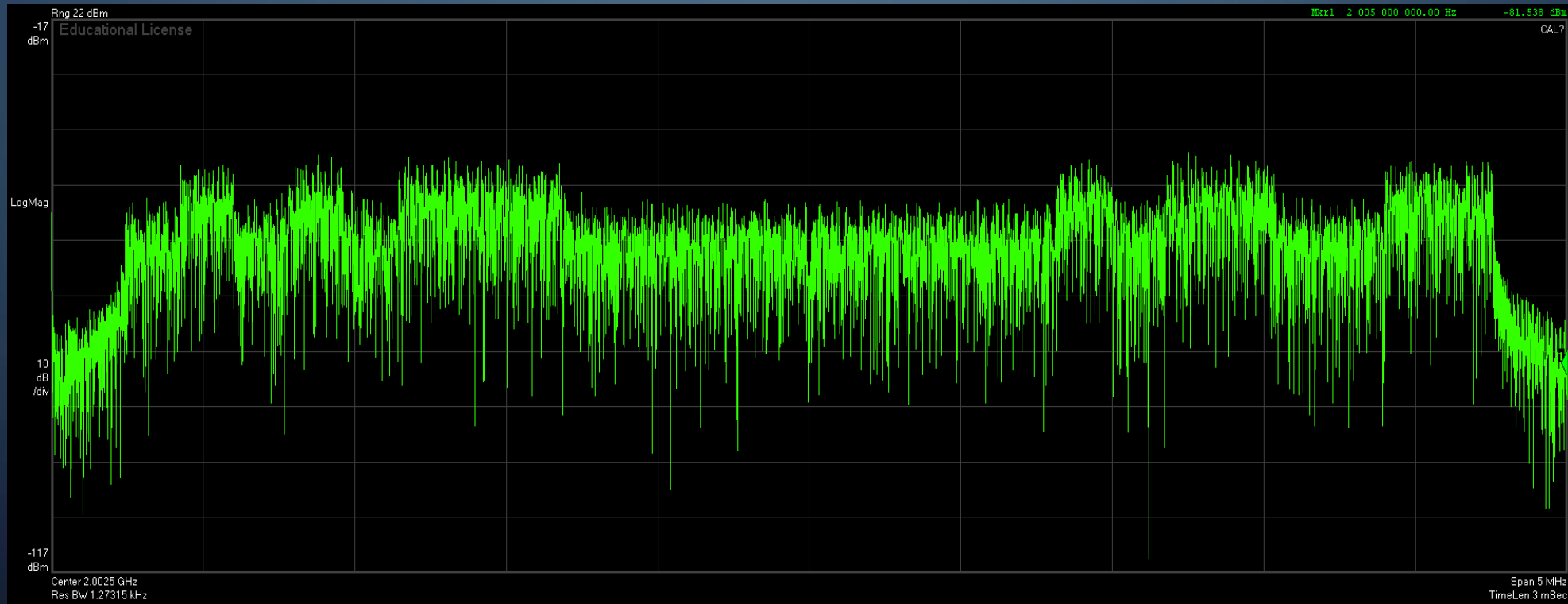
Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (2^{ος} Φορέας)

CCDF

| | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|----------|----|
| Trace B | Mkr | 1: | 0 | dB | 32.1883 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 2 | dB | 22.7605 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 4 | dB | 13.1803 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 6 | dB | 5.7021 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 8 | dB | 1.6164 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 10 | dB | 217.1296 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 12 | dB | 14.7123 | m% |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (3^{ος} Φορέας)



Center 2.0025 GHz Span 5 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (3^{ος} Φορέας) EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|------------------------|
| EVM | = 35.900 | %rms | at EVMWindow End |
| EVM Pk | = 48.266 | % | at sym 10, subcar -109 |
| Data EVM | = 41.252 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = 41.580 | %rms | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 2.6138 | %rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -41.522 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -16.769 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -41.522 | dBm | |
| RSSI | = -16.766 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.777 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = 41.063 | Hz | |
| SyncCorr | = 99.482 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 981.31 | m%rms | |
| SymClk Err | = -1.2299 | ppm | |
| Time Offset | = 9.8394 | msec | |
| IQ Offset | = -59.634 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.018 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -502.68 | mdeg | |
| IQ Timing Skew | = 391.47 | psec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 1 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 0/1 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

RS EVM: 2.6138 %

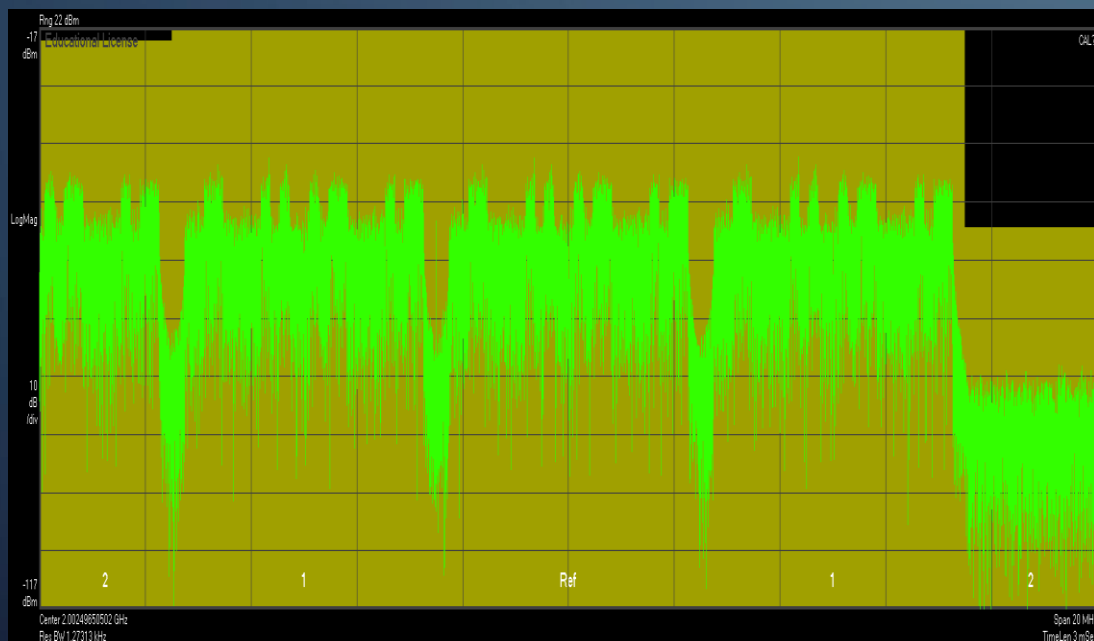
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 41.95 | -4.6882 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 42.531 | -4.7783 | BPSK | 7 |
| PBCH | 42.328 | -4.7295 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 3.305 | -0.01189 | QPSK | 8 |
| PHICH | 2.7067 | 0.71148 | BPSK (CDM) | 6 |
| PDCCH | 2.2896 | 1.8647 | QPSK | 47 |
| RS | 2.5693 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 41.889 | 0.45852 | QPSK | 63 |
| PDSCH_16QAM | — | — | 16QAM | — |
| PDSCH_64QAM | 12.324 | -4.746 | 64QAM | 12 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 2.2896 %

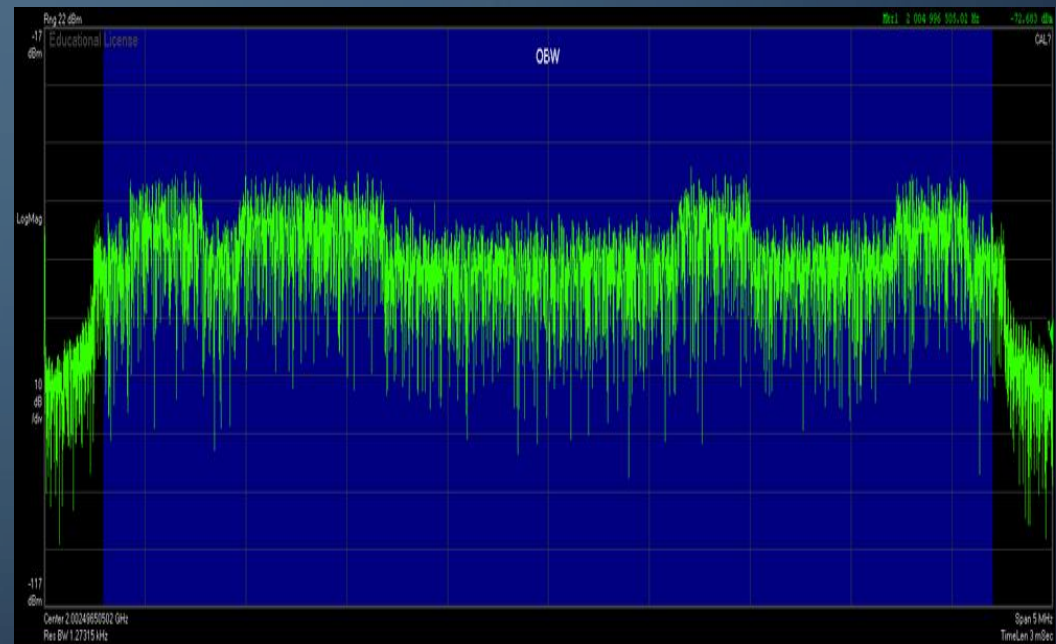
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (3^{ος} Φορέας)

ACLR - OBW



Lower: -0.01 dB
Upper: 0.036 dB

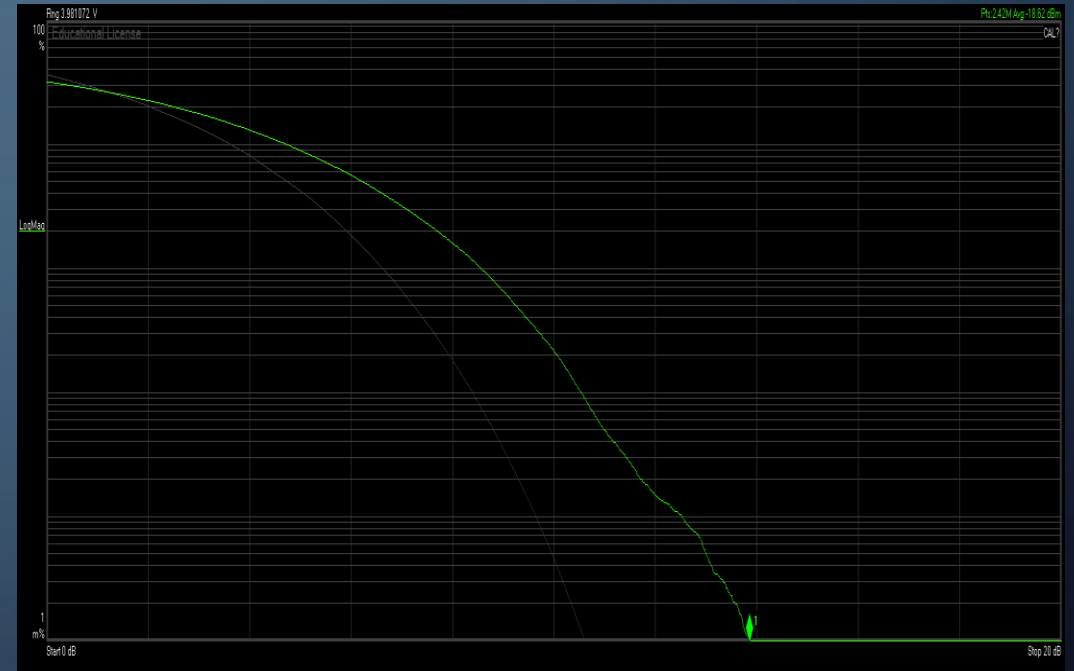
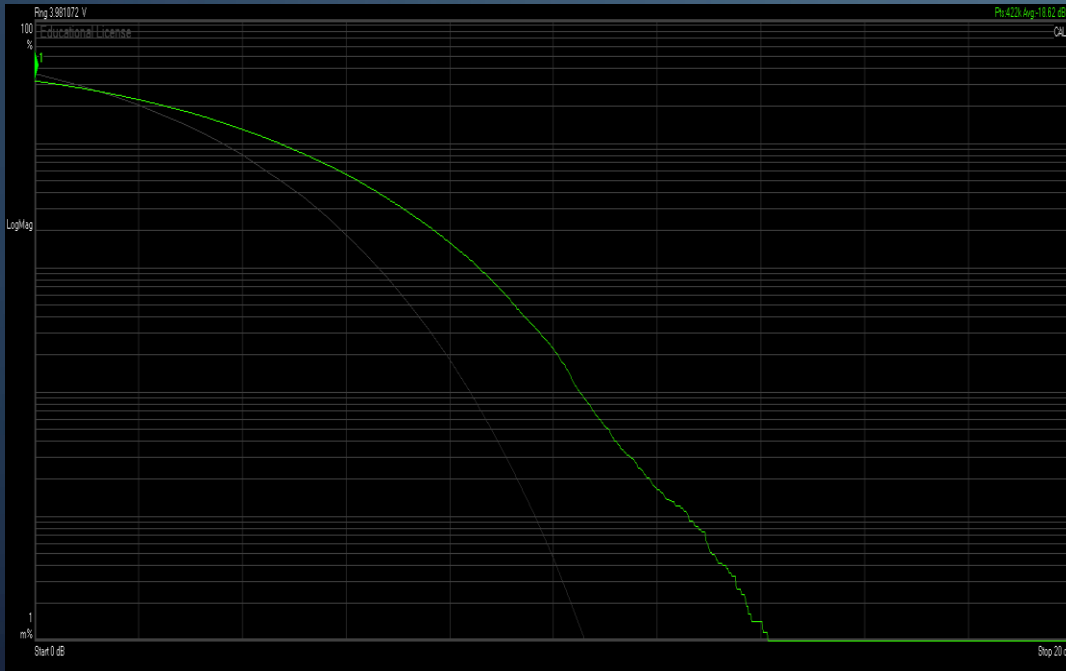


OBW: 4.405 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (3^{ος} Φορέας)

PAPR



Trace B Mkr 1: 0 dB 32.1623 %

Trace B Mkr 1: 13.86 dB 980.79 u%

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

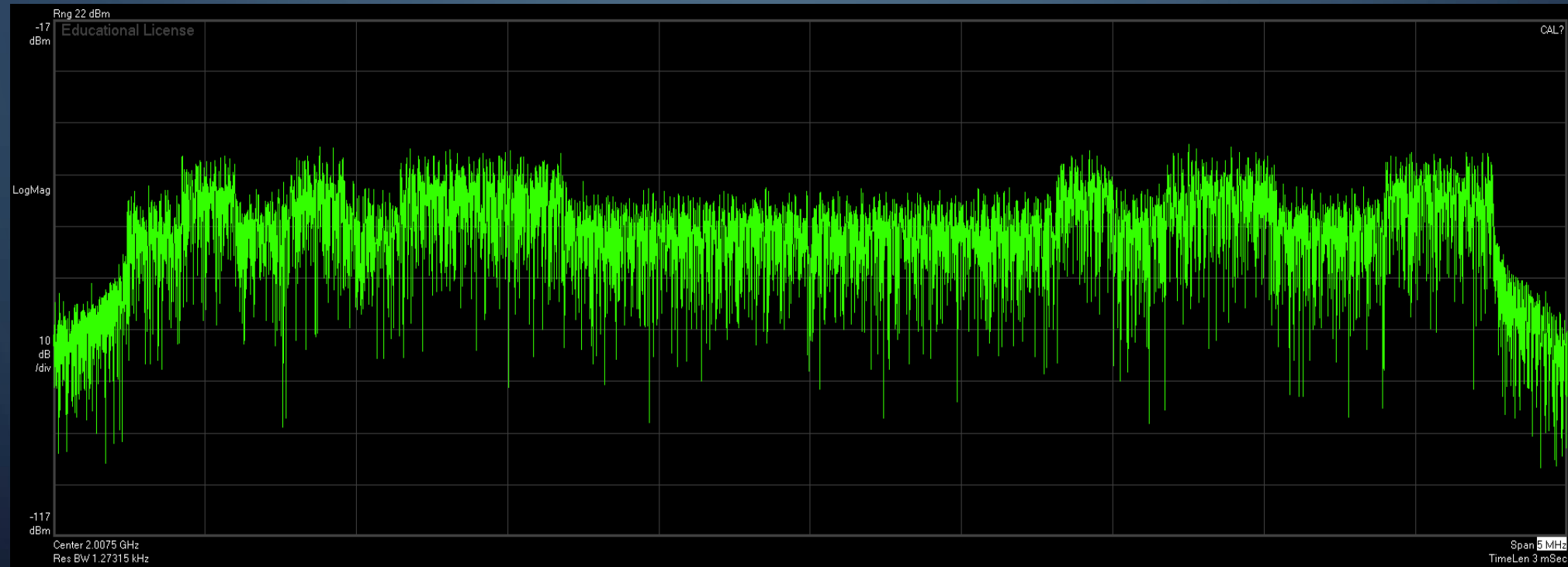
Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (3^{ος} Φορέας)

CCDF

| | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|---------|----|
| Trace B | Mkr | 1: | 0 | dB | 32.1694 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 2 | dB | 22.697 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 4 | dB | 13.1082 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 6 | dB | 5.6575 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 8 | dB | 1.6044 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 10 | dB | 216.664 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 12 | dB | 14.3981 | m% |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (4^{ος} Φορέας)



Center 2.0075 GHz Span 5 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (4^{ος} Φορέας)

EVM

| | | | |
|--------------------------|----------------|--------|------------------------|
| EVM | = 35.911 | %rms | at EVMWindow End |
| EVM Pk | = 49.086 | % | at sym 10, subcar -148 |
| Data EVM | = 41.241 | %rms | |
| - 3GPP-defined QPSK EVM | = 41.507 | %rms | |
| - 3GPP-defined 16QAM EVM | = — | | |
| - 3GPP-defined 64QAM EVM | = — | | |
| RS EVM | = 2.3878 | %rms | |
| RS Tx. Power (Avg) | = -41.519 | dBm | |
| OFDM Sym. Tx. Power | = -16.758 | dBm | |
| RS Rx. Power (Avg) | = -41.519 | dBm | |
| RSSI | = -16.766 | dBm | |
| RS Rx. Quality | = -10.773 | dB | |
| <hr/> | | | |
| Freq Err | = 40.738 | Hz | |
| SyncCorr | = 99.806 | % | using P-SS |
| Common Tracking Error | = 1.1837 | %rms | |
| SymClk Err | = 1.2369 | ppm | |
| Time Offset | = 47.578 | usec | |
| IQ Offset | = -59.627 | dB | |
| IQ Gain Imbalance | = -0.034 | dB | |
| IQ Quad. Error | = -532.56 | mdeg | |
| IQ Timing Skew | = 731.67 | psec | |
| <hr/> | | | |
| CP Length Mode | = Normal(auto) | | |
| Cell ID | = 1 | (auto) | |
| Cell ID Group/Sector | = 0/1 | (auto) | |
| RS PRS | = 3GPP | | |

RS EVM: 2.3878 %

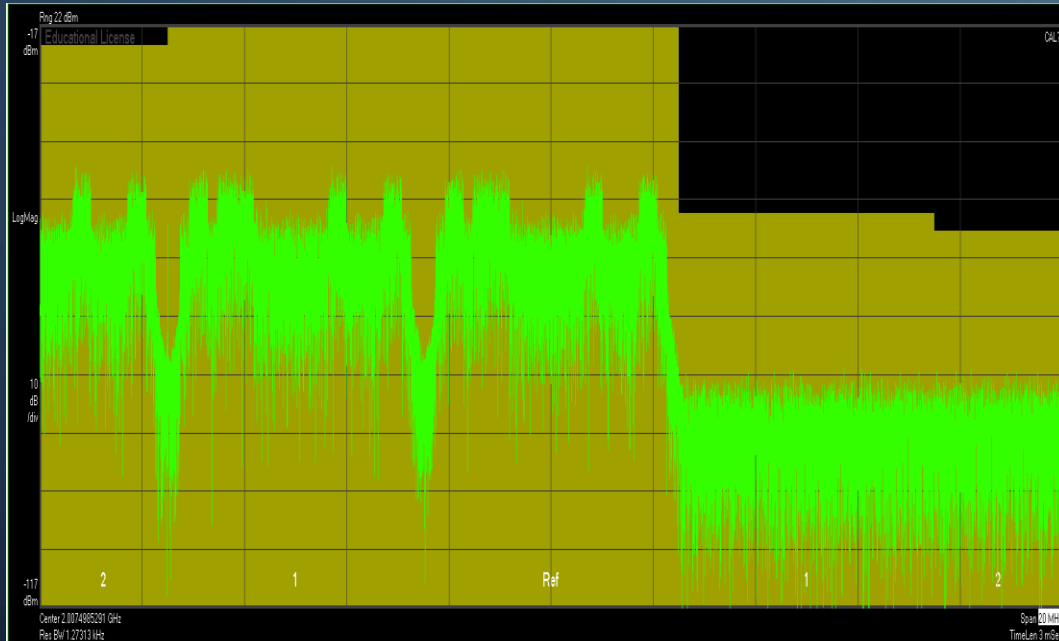
| Channel | EVM(%rms) | Power(dB) | Mod.Fmt. | Num.RB |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------|
| P-SS | 41.476 | -4.6765 | Z-Chu | 7 |
| S-SS | 41.647 | -4.6815 | BPSK | 7 |
| PBCH | 42.276 | -4.7476 | QPSK | 7 |
| PCFICH | 2.0819 | 0.01800 | QPSK | 8 |
| PHICH | 2.4055 | 0.71277 | BPSK (CDM) | 6 |
| PDCCH | 1.9931 | 1.8888 | QPSK | 47 |
| RS | 2.4525 | 0 | QPSK | 75 |
| PDSCH_QPSK | 41.78 | 0.46256 | QPSK | 63 |
| PDSCH_16QAM | — | — | 16QAM | — |
| PDSCH_64QAM | 11.688 | -4.7452 | 64QAM | 12 |
| Non-alloc | — | — | — | — |

PDCCH: 1.9931%

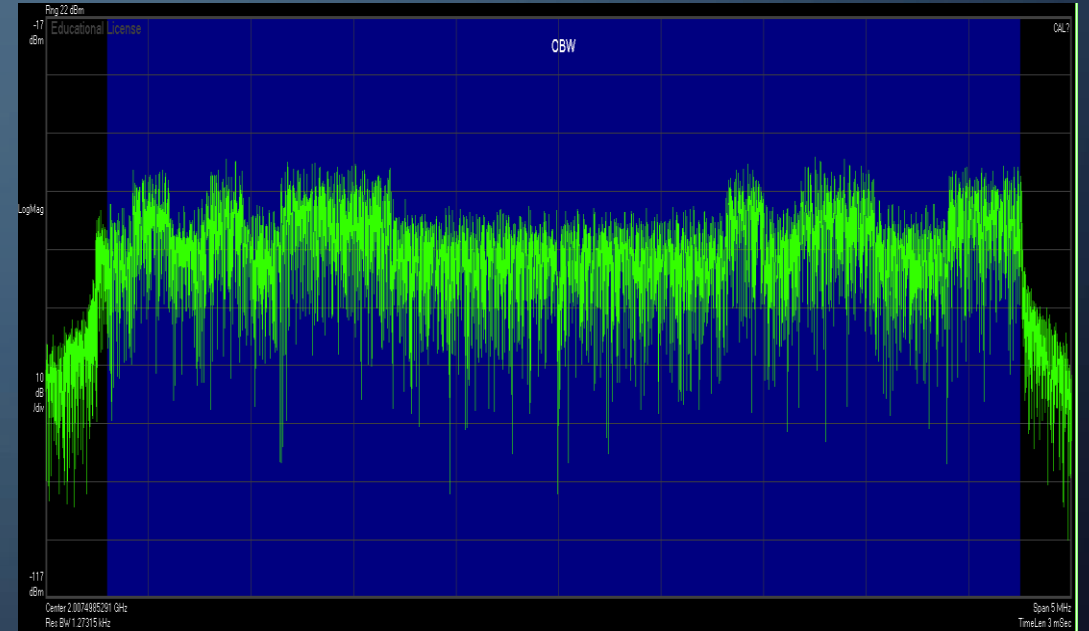
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (4^{ος} Φορέας)

ACLR - OBW



Lower: -0.012 dB
Upper: -32.052 dB

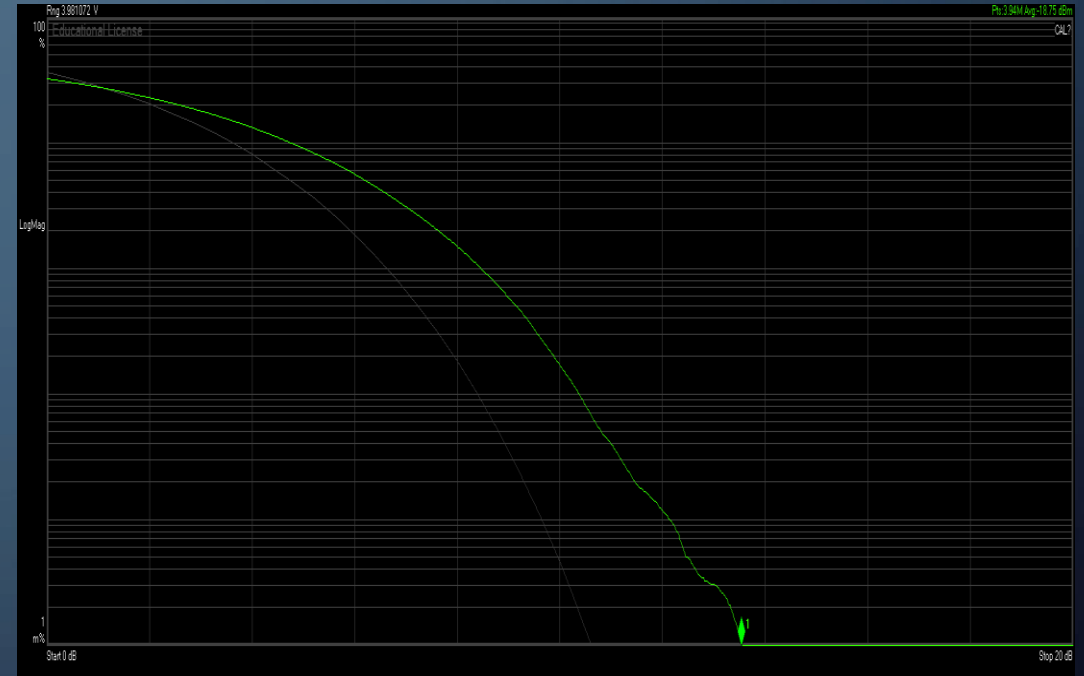
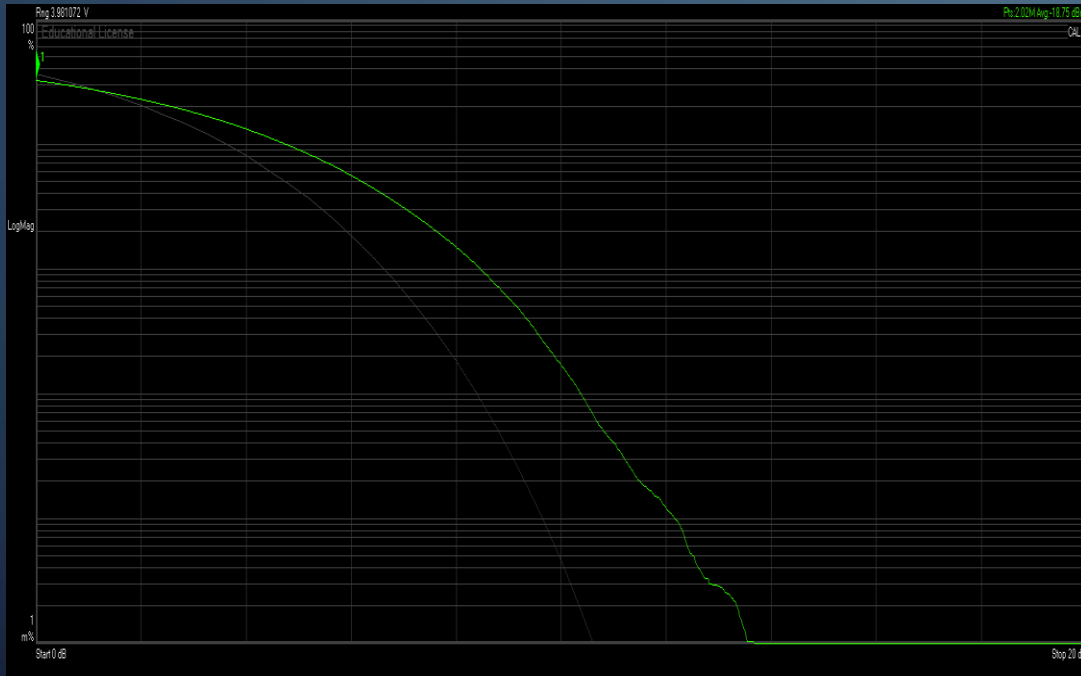


OBW: 4.398 MHz

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (4^{ος} Φορέας)

PAPR



Trace B Mkr 1: 0 dB 32.5883 %

Trace B Mkr 1: 13.54 dB 965.3963 u%

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις σήματος LTE με τέσσερις φορείς (4^{ος} Φορέας)

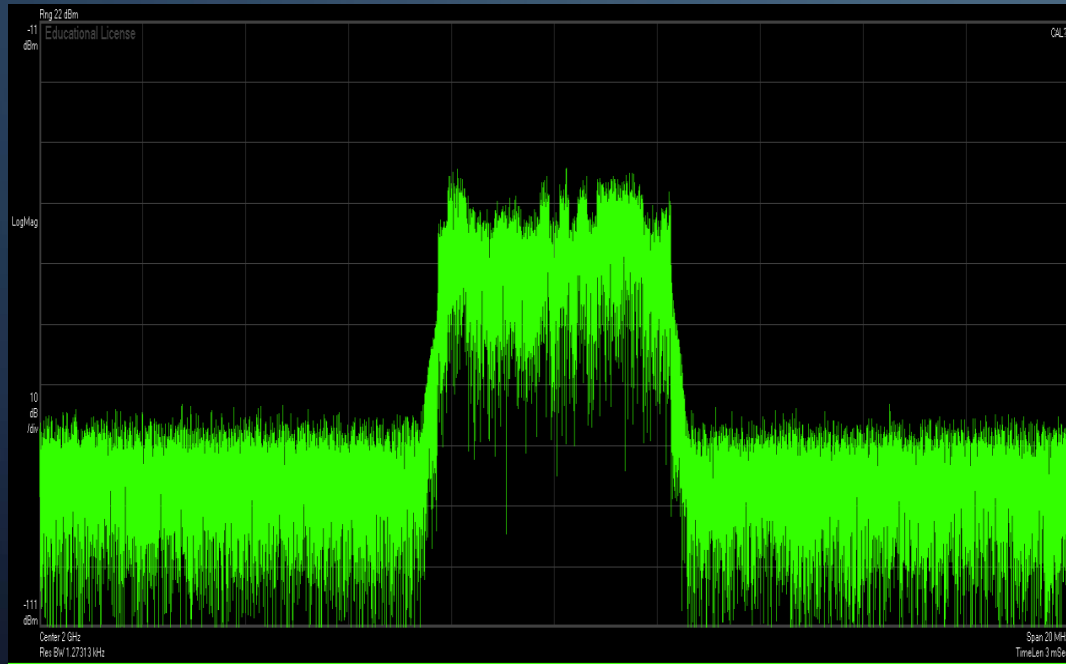
CCDF

| | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|----------|----|
| Trace B | Mkr | 1: | 0 | dB | 32.5805 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 2 | dB | 22.9689 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 4 | dB | 13.2824 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 6 | dB | 5.6421 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 8 | dB | 1.4992 | % |
| Trace B | Mkr | 1: | 10 | dB | 170.2476 | m% |
| Trace B | Mkr | 1: | 12 | dB | 12.246 | m% |

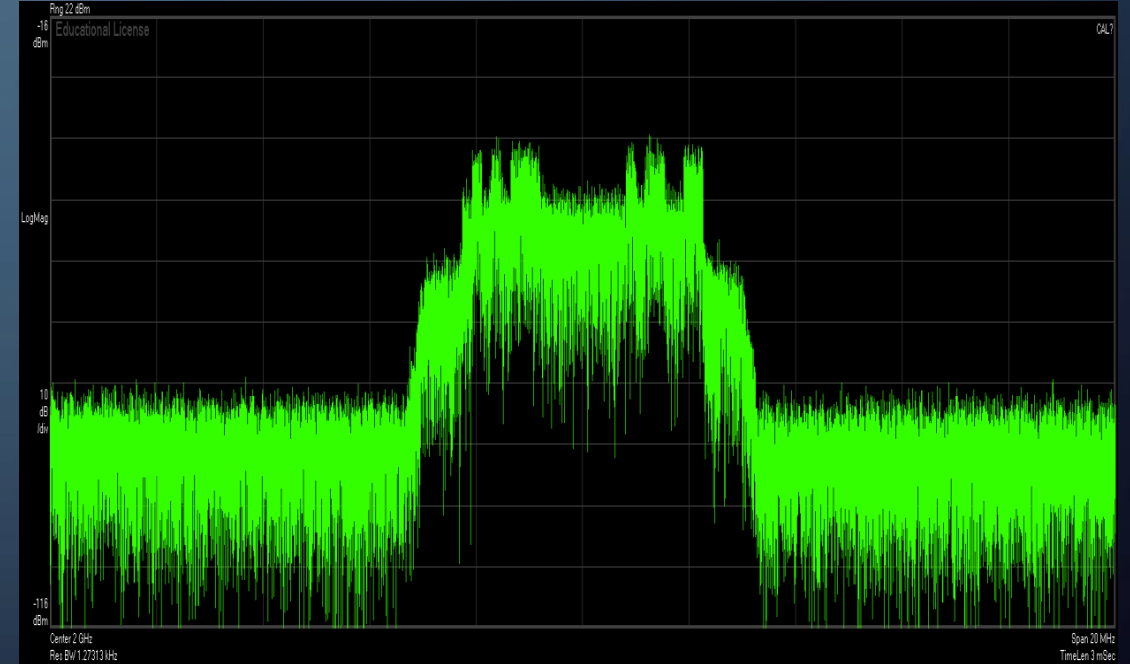
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις για σήμα LTE μετά από προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) με διαμόρφωση QPSK

CNR: Off



CNR: On

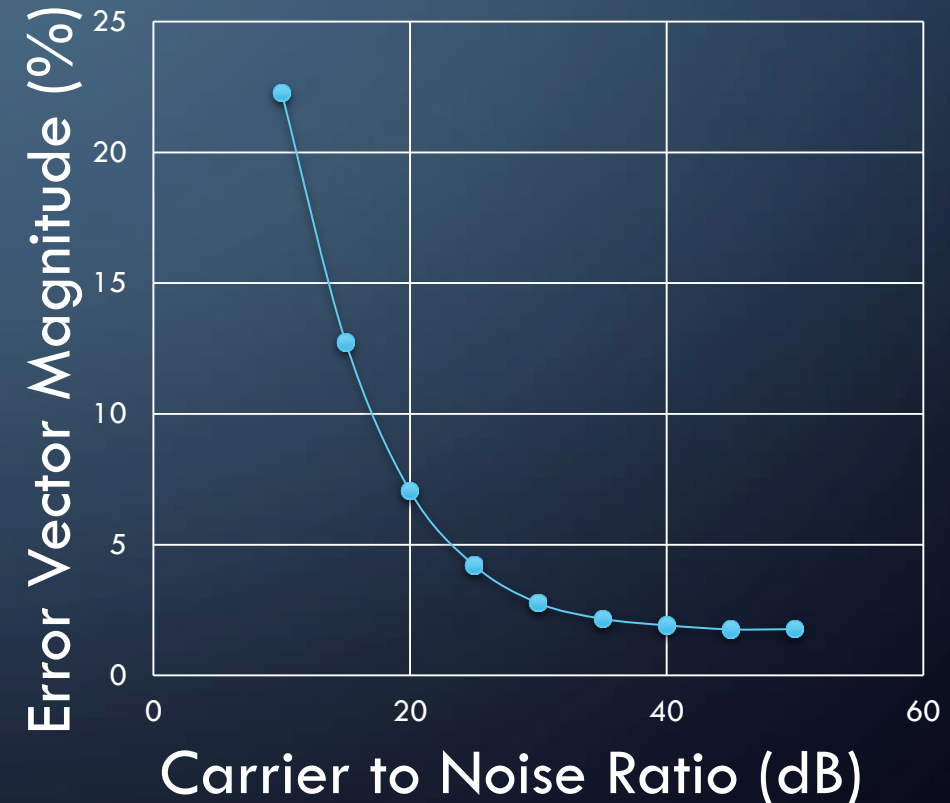


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις για σήμα LTE μετά από προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) με διαμόρφωση QPSK

| CNR (dB) | EVM (%) |
|----------|---------|
| 10 | 22.283 |
| 15 | 12.739 |
| 20 | 7.0564 |
| 25 | 4.213 |
| 30 | 2.7669 |
| 35 | 2.1654 |
| 40 | 1.9152 |
| 45 | 1.7608 |
| 50 | 1.7685 |

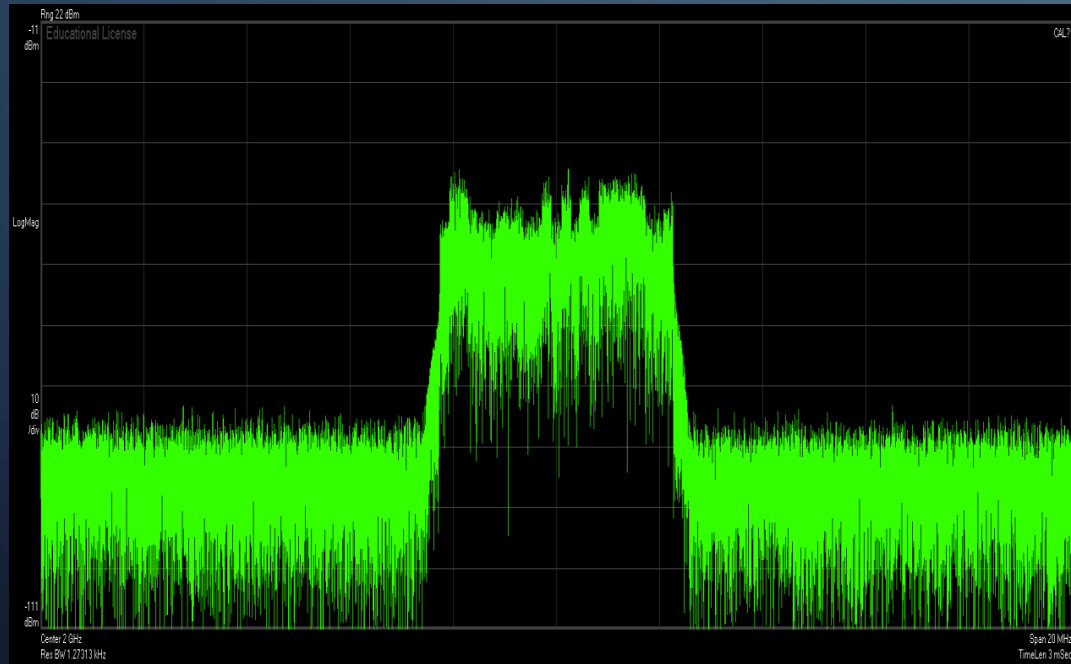
QPSK - AWGN - EVM



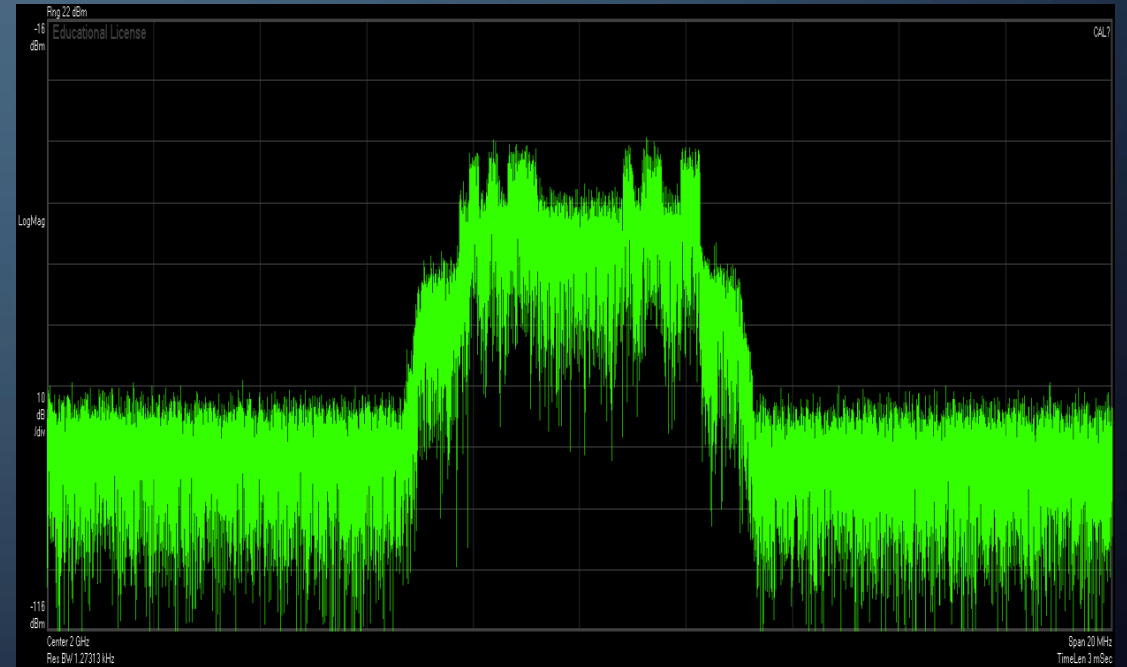
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις για σήμα LTE μετά από προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) με διαμόρφωση 64-QAM

CNR: Off



CNR: On

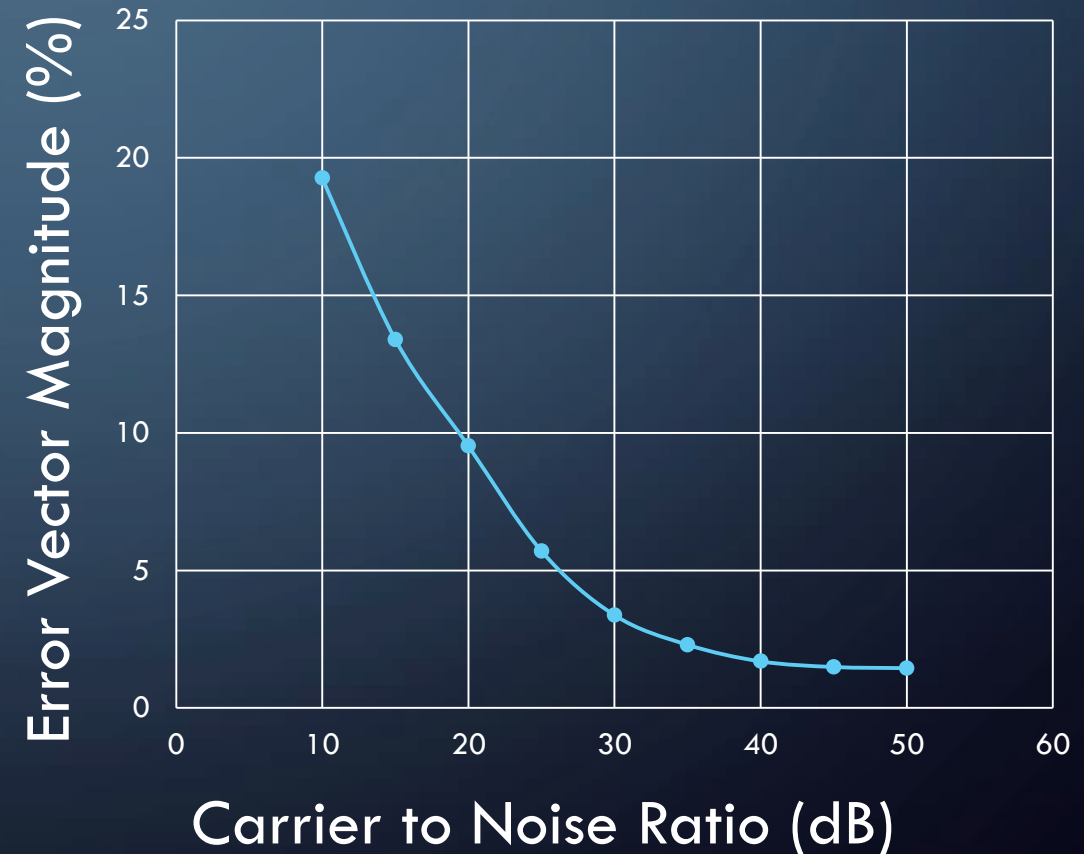


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετρήσεις για σήμα LTE μετά από προσθήκη Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου (AWGN) με διαμόρφωση 64-QAM

| CNR (dB) | EVM (%) |
|----------|---------|
| 10 | 19.26 |
| 15 | 13.39 |
| 20 | 9.522 |
| 25 | 5.7023 |
| 30 | 3.3708 |
| 35 | 2.2947 |
| 40 | 1.6917 |
| 45 | 1.4873 |
| 50 | 1.4454 |

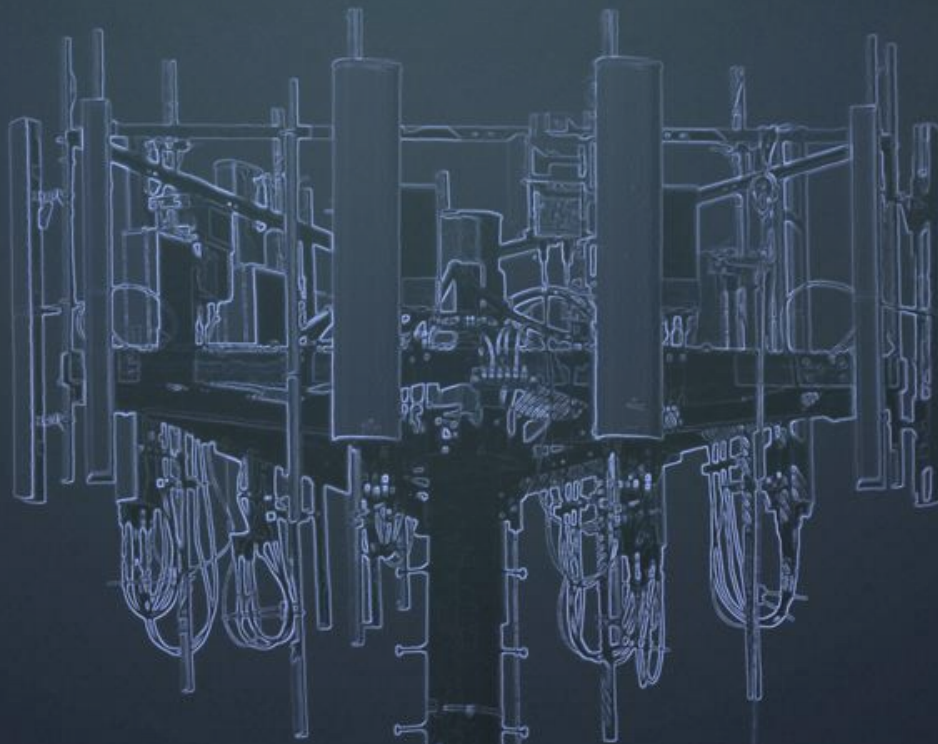
64-QAM - AWGN - EVM



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναβαθμίσαμε το λογισμικό του υπολογιστή αλλά και της γεννήτριας σημάτων ούτως ώστε να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας σημάτων με περισσότερους από δύο φορείς. Όλες οι μετρήσεις των σημάτων που δημιουργήσαμε ικανοποιούσαν τις προδιαγραφές της 3GPP και αυτό οφείλεται στις ελάχιστες απώλειες που υπήρξαν λόγω του ότι η αποστολή σήματος από τη γεννήτρια στον φασματικό αναλυτή πραγματοποιείται με καλώδιο. Ο μοναδικός περιορισμός στην έρευνα μας είναι ότι ο αναλυτής λαμβάνει κάθε φορέα ως ξεχωριστό σήμα. Κατα συνέπεια ορίσαμε συγκεκριμένη κεντρική συχνότητα φορέα και εύρος ζώνης ώστε να μπορέσουμε να μετρήσουμε και να αναλύσουμε κάθε φορέα ξεχωριστά. Πρόκειται για μια σημαντική εμπειρία διαδικασίας μετρήσεων, παρόμοια με διαδικασία που πραγματοποιείται σε εργαστήριο μεγάλης εταιρίας, κάτι που μας κίνησε ακόμα πιο πολύ το ενδιαφέρον για την έρευνα επάνω στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ



Δεσπότης Χρήστος: 3177

Δάλατζης Δημήτριος: 3076