

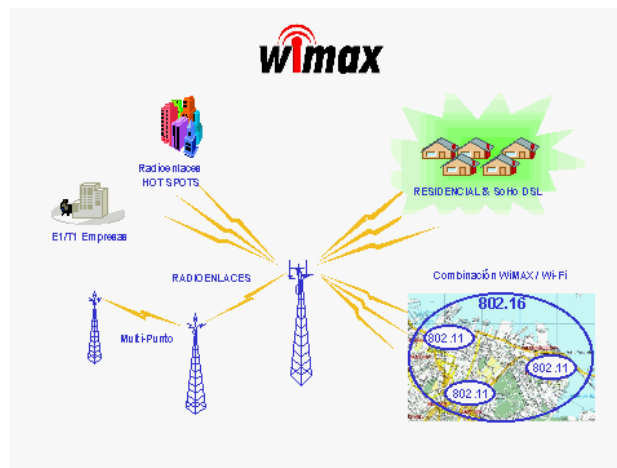


Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης



Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων

Πτυχιακή εργασία



Τίτλος: “ Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης WiMAX”

Αγγελική Παναγή (ΑΜ: 2281)

Επιβλέπων καθηγητής: Στρατάκης Δημήτριος

Ηράκλειο – Δεκέμβριος 2011



Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Στρατάκη Δημήτριο, Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων (Ε.Π.Π) του ΤΕΙ Κρήτης, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του σε όλα τα σχετικά θέματα για την πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους μου συμπαραστάθηκαν όχι μόνο υλικά, αλλά κυρίως ψυχολογικά κατά το διάστημα πραγματοποίησης της εργασίας αυτής. Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.

Ευχαριστώ θερμά !



Abstract

Wireless networking technologies in recent years have seen important developments since the advantages benefit both data transmission service providers, and individuals or ordinary users. Ease of installation of a wireless network, led to the development of today millions of Wi-Fi networks throughout the world. Nevertheless, Wi-Fi has drawbacks that comes to solve a new technology that listens to the name WiMAX. In 2003, the IEEE 802.16™ standard adopted also known as WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), in order to meet the requirements for broadband wireless access.

This template was designed to operate in a wide band of frequencies stretching from 2 to 66 GHz. It supports transmission speeds up to 72 Mbps in air, and the actual speed at Ethernet is calculated at 50 Mbps. The distances that can be covered is above 50 Km in line of sight conditions. An important difference between the standard IEEE 802.16™ compared to IEEE 802.11™ is that the first that can be used in non-line of sight conditions, of course with much lower rates than 50 Mbps.

The purpose of this dissertation is to present the basic technical concepts and implementations of WiMAX wireless technology. The technical characteristics of the physical layer protocol, such as those that have been standardized by IEEE, are presented. In terms of applications with WiMAX, faster Internet is available at every point of a large city and in most parts of the country. Moreover the speeds promised the WiMAX is so high, so as except for the transmission of voice, chances are that it will be possible and for video telephony via the Internet. Also, the purpose of this work is to study how the electromagnetic fields generated by WiMAX base stations can be evaluated in terms of exposure.



Σύνοψη

Οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης τα τελευταία χρόνια έχουν γνωρίσει σημαντική εξέλιξη, καθώς από τα πλεονεκτήματά τους επωφελούνται τόσο οι πάροχοι υπηρεσιών μετάδοσης δεδομένων, όσο και οι ιδιώτες ή οι απλοί χρήστες. Η ευκολία εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου, οδήγησε στην ανάπτυξη σήμερα εκατομμυρίων δικτύων Wi-Fi σε ολόκληρο τον πλανήτη. Παρόλα αυτά, το Wi-Fi αντιμετωπίζει μειονεκτήματα που έρχεται να λύσει μια νέα τεχνολογία, η οποία ακούει στο όνομα WiMAX. Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16™ γνωστό και σαν WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης.

Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάνα συχνοτήτων, η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16™ σε σχέση με το IEEE 802.11™ είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής, φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι να παρουσιάσουμε στις βασικές τεχνικές έννοιες και στις εφαρμογές της ασύρματης τεχνολογίας WiMAX. Παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φυσικού στρώματος του πρωτοκόλλου, όπως αυτά έχουν προτυποποιηθεί από την IEEE. Από πλευράς εφαρμογών με το WiMAX, το γρήγορο Internet είναι διαθέσιμο σε κάθε σημείο μιας μεγάλης πόλης και στα περισσότερα τμήματα της χώρας. Μάλιστα οι ταχύτητες που υπόσχεται το WiMAX είναι τόσο υψηλές, ώστε εκτός από τη μετάδοση φωνής, το πιθανότερο είναι ότι θα καταστεί εφικτή και η βιντεοτηλεφωνία μέσω διαδικτύου. Επίσης σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο αξιολογούνται από πλευράς έκθεσης τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από την λειτουργία σταθμών βάσης τύπου WiMAX.



Πίνακας Περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	3
<i>Abstract</i>	i
<i>Σύνοψη</i>	iii
<i>Πίνακας Περιεχομένων</i>	v
<i>Πίνακας Εικόνων</i>	ix
<i>Λίστα Πινάκων</i>	x
Α΄ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 <i>Περίληψη</i>	1
1.2 <i>Κίνητρο για τη Διεξαγωγή αυτής της Εργασίας</i>	1
1.3 <i>Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας</i>	2
1.4 <i>Δομή Εργασίας</i>	2
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ WiMAX	3
2.1 <i>Ορισμός WiMAX</i>	3
2.2 <i>Πλεονεκτήματα χρήσης WiMAX</i>	3
2.3 <i>WiMAX στην Ελλάδα</i>	3
2.3.1 <i>IEEE 802.16e-2005</i>	4
2.3.2 <i>Ανταγωνιστικές Τεχνολογίες</i>	4
2.3.3 <i>Σύντομη ανασκόπηση τεχνικών πληροφοριών για τα κατώτερα επίπεδα του WiMAX</i> . 6	
2.3.4 <i>Ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες και Μελλοντικές Εξελίξεις</i>	7
3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ – ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ	9
3.1 <i>Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz -300 GHz)</i>	9
3.2 <i>Η σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999/519/ΕΚ</i>	10
3.2.1 <i>Εισαγωγή στις οδηγίες της σύστασης 1999/519/ΕΚ</i>	10
3.2.2 <i>Παράρτημα Ι της σύστασης 1999/519/ΕΚ - ΟΡΙΣΜΟΙ</i>	11
3.2.3 <i>Παράρτημα ΙΙ της σύστασης 1999/519/ΕΚ – ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ</i>	13
3.2.4 <i>Παράρτημα ΙΙΙ της σύστασης 1999/519/ΕΚ – ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ</i>	14



3.2.5	Παράρτημα IV της σύστασης 1999/519/ΕΚ – Έκθεση σε πηγές με πολλαπλές συχνότητες.....	17
3.3	Όρια έκθεσης σε μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες στην Ελλάδα	18
3.3.1	Όρια έκθεσης από διατάξεις εκπομπής πεδίων χαμηλών συχνοτήτων	18
3.3.2	Όρια έκθεσης στο περιβάλλον σταθμών κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά.....	21
4	ΜΕΘΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ WiMAX	25
4.1	Εισαγωγή – State of the art	25
4.2	Χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκτίμησης ισχύος σήματος WiMAX στην παρούσα πτυχιακή	26
5	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	31
5.1	Μεθοδολογία υπολογισμού αβεβαιότητας σε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων..	31
5.1.1	Τι είναι αβεβαιότητα	31
5.1.2	Αβεβαιότητα σε διατάξεις μέτρησης ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.....	32
5.1.3	Μεθοδολογία λήψης πολλαπλών μετρήσεων στενής ζώνης και υπολογισμού αβεβαιοτήτων	32
5.1.4	Εκτίμηση της συνολικής αβεβαιότητας σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων.....	34
5.1.5	Εκτίμηση της συνολικής αβεβαιότητας του αθροίσματος των πηλικών έκθεσης.....	35
6	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ SCPI	39
6.1	Εισαγωγή.....	39
6.2	Συνήθειες εντολές προγραμματισμού αναλυτών φάσματος	40
6.2.1	IEEE Common Commands (Κοινές εντολές κάτω από το πρότυπο IEEE)	40
6.2.2	Operation Complete (Ολοκλήρωση Διαδικασίας).....	42
6.2.3	ABORT Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου ακύρωσης).....	43
6.2.4	CALCulate Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου υπολογισμού).....	43
6.2.5	CALCulate:LLINE Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου υπολογισμού γραμμών)	44
6.2.6	CALCulate:MARKer Subsection(Σύνολο εντολών τύπου υπολογισμού σημαδιών) ...	47
6.2.7	CALCulate:NTData Subsection (Σύνολο εντολών τύπου NTData).....	55
6.2.8	CALibration Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου καλιμπραρίσματος).....	55
6.2.9	CONFigure Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου παραμετροποίησης).....	57
6.2.10	COUPlE Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου συνδυασμού)	57
6.2.11	DISPlay Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου απεικόνισης).....	58
6.2.12	FORMat Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου μορμά)	62
6.2.13	HCOPY Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου HCOPY).....	62
6.2.14	INITiate Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου Εκκίνησης)	63
6.2.15	Continuous or Single Measurements.....	63



6.2.16	INPUt Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου Εισόδου).....	65
6.2.17	INSTrument Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου οργάνου)	66
6.2.18	MMEMory Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου μνήμης).....	66
6.2.19	OUTPUt Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου εξόδου)	69
6.2.20	SENSE Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου ευαισθησίας).....	69
6.2.21	[:SENSE]:AVERage Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου ευαισθησίας-Σύνολο Μετριοποίησης).....	69
6.2.22	[:SENSE]:BANDwidth Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου εύρους ζώνης)	70
6.2.23	[QSENSE]QCORRection Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου διορθώσεως).....	71
6.2.24	[:SENSE]:DEMod Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου αποδιαμόρφωσης).....	73
6.2.25	[:SENSE]:DETector Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου ανίχνευσης).....	74
6.2.26	[:SENSE]:FREQuency Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου συχνότητας)	75
6.2.27	[:SENSE]:MIXer Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου μίκτη).....	77
6.2.28	[:SENSE]:POWer Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου στάθμης)	78
6.2.29	[:SENSE]:SIDentify Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου αναγνώρισης σήματος) 79	
6.2.30	[:SENSE]:SWep Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου αναγνώρισης σάρωσης)	80
6.2.31	SOURce Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου πηγής)	83
6.2.32	STATus Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου τρέχουσας κατάστασης)	86

B' ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 87

7 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ WiMAX 87

7.1	Εισαγωγή.....	87
7.2	Πειραματική διάταξη εκπομπής και λήψης σήματος WiMAX.....	87
7.3	Δημιουργία πειραματικού σήματος WiMAX.....	89
7.3.1	Περιγραφή προγράμματος N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WIMAX.....	89
7.3.2	Διάταξη Παραθύρου (Main Window Layout).....	90
7.3.3	Κύριο Παράθυρο (Main Window)	90
7.3.4	Μενού Προβολή (View Menu)	91
7.3.5	Μενού Σήματος (Signal Menu).....	91
7.3.6	Βοήθεια Μενού (Help).....	91
7.3.7	Μενού Toolbar	91
7.3.8	Επιλογή Quick Setup.....	92
7.4	Μορφή πειραματικού σήματος WiMAX.....	93
7.5	Ρυθμίσεις γεννήτριας σήματος.....	93
7.6	Τηρούμενη διαδικασία λήψης μετρήσεων και αξιολόγησης αποτελεσμάτων	94
7.7	Ρυθμίσεις αναλυτή φάσματος	96



7.8	<i>Αποθήκευση δεδομένων και ρυθμίσεων μέτρησης.....</i>	97
8	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	99
8.1	<i>Μετρήσεις που διενεργήθηκαν.....</i>	99
8.2	<i>Αποτελέσματα μετρήσεων.....</i>	100
8.3	<i>Αποτελέσματα μετρήσεων για τις πολώσεις X, Y και Z:.....</i>	103
8.4	<i>Συμπεράσματα.....</i>	103
8.5	<i>Μελλοντική εργασία και Επεκτάσεις.....</i>	104
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Περίληψη Πτυχιακής Εργασίας.....	107
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Διαφάνειες παρουσίασης της πτυχιακής.....	109



Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 : Σφαίρα Ανταγωνισμού WIMAX	5
Εικόνα 2 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου σε σχέση με την συχνότητα. Επίπεδο αναφοράς για την συχνότητα των 50Hz=5000V/m.....	19
Εικόνα 3 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Μαγνητικής Επαγωγής σε σχέση με την συχνότητα Επίπεδο αναφοράς για την συχνότητα των 50Hz=100μΤ.	20
Εικόνα 4 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)	23
Εικόνα 5 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Έντασης του Μαγνητικού πεδίου σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)	23
Εικόνα 6 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Μαγνητικής Επαγωγής σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)	24
Εικόνα 7 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Ισοδύναμης Πυκνότητας Ισχύος επιπέδου κύματος σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)	24
Εικόνα 8 : Πειραματική διάταξη μέτρησης σημάτων WiMAX σε εξωτερικό περιβάλλον ([9])	25
Εικόνα 9 : Οργάνωση μέτρησης για το χαρακτηρισμό των εκπομπών WiMAX ([10])	26
Εικόνα 10 : Συνδεσμολογία για την εκπομπή και λήψη WiMAX σήματος.....	88
Εικόνα 11 : Συνδεσμολογία στην πράξη για εκπομπή και λήψη WiMAX σήματος.....	88
Εικόνα 12 : Αναλυτής φάσματος, γεννήτρια σήματος και Η/Υ κατά την διάρκεια των μετρήσεων. ...	89
Εικόνα 13 : Παράθυρο εγκατάστασης Γεννήτριας.....	89
Εικόνα 14 : Διάταξη Παραθύρου	90
Εικόνα 15 : Κύριο Παράθυρο.....	91
Εικόνα 16 : Μενού Προβολή	91
Εικόνα 17 : Μενού Σήματος.....	91
Εικόνα 18 : Μενού Βοήθεια.....	91
Εικόνα 19 : Μενού Toolbar.....	92
Εικόνα 20 : Quick Setup.....	92
Εικόνα 21 : Save a quick setup.....	92
Εικόνα 22 : Delete.....	92
Εικόνα 23 : Ρυθμίσεις λογισμικού, δομή Frame και φάσμα πειραματικού σήματος WiMAX.....	93
Εικόνα 24 : Πρόσοψη γεννήτριας σήματος μετά από ρύθμιση για την παραγωγή WiMAX σήματος με χρήση του λογισμικού N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAX της Agilent.....	94
Εικόνα 25 : Οθόνη ρυθμίσεων και επιλογών αποθήκευσης μετρήσεων από τον Αναλυτή Φάσματος. 96	
Εικόνα 26 : Πρόσοψη αναλυτή Φάσματος μετά από ρύθμιση του με το τροποποιημένο Λογισμικό Εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (EMIA) του ΕΠΠ.....	97
Εικόνα 27 : Αρχείο Excel αποθήκευσης μέτρησης: α) Φύλλο δεδομένων μέτρησης και ρυθμίσεων,..	98
Εικόνα 28 : X, Y και Z κατευθύνσεις της διπολικής κεραίας sPOD16 για την διενέργεια μετρήσεων	99
Εικόνα 29 : Προσόψεις του αναλυτή φάσματος μετά την διενέργεια των μετρήσεων στις X, Y και Z κατευθύνσεις της διπολικής κεραίας λήψης sPOD16.....	100
Εικόνα 30 : Οθόνη επεξεργασίας μετρήσεων του λογισμικού του EMIA: Αποτελέσματα από την επεξεργασία κατά την κατεύθυνση X της κεραίας λήψης.....	101
Εικόνα 31 : Οθόνη του λογισμικού του EMIAγια την δημιουργία συνδυασμένου (XYZ) αρχείου από τις τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις της κεραίας λήψης (X, Y και Z).....	102



Εικόνα 32 : Συνδυασμένο διάγραμμα κατανομής πυκνότητας ισχύος ανά συχνότητα (κατά την διάρκεια των μετρήσεων) για την ζώνη WiMAX, και γραμμή θεσμοθετημένου ορίου .Το διάγραμμα προκύπτει από τον συνδυασμό των δεδομένων των μετρήσεων και για τις τρεις πολώσεις της κεραίας λήψης (X, Y και Z) 103

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : Σύγκριση μεταξύ ασύρματων τεχνολογιών 8

Πίνακας 2 : Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία 13

Πίνακας 3 : Επίπεδα αναφοράς για Ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300GHz, σταθερές τιμές rms)..... 15

Πίνακας 4 : Επίπεδα αναφοράς για ρεύματα επαφής από αγωγικά σώματα (f σε KHz) 16

Πίνακας 5 : Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων..... 18

Πίνακας 6 : Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (σταθερές τιμές rms) 19

Πίνακας 7 : Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 1KHz – 300GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431/2006, στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της ΚΥΑ 53571/3839/2000 22

Πίνακας 8 : Τιμές παραμέτρων του άρθρου 4 της ΚΥΑ 53571 με συντελεστή μείωσης 60%..... 22

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα μετρήσεων για τις κατευθύνσεις X, Y και Z..... 101

Πίνακας 10 : Συνοπτικά αποτελέσματα μετρήσεων για την ζώνη WiMAX..... 102



Α' ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης τα τελευταία χρόνια έχουν γνωρίσει σημαντική εξέλιξη, καθώς από τα πλεονεκτήματά τους επωφελούνται τόσο οι πάροχοι υπηρεσιών μετάδοσης δεδομένων, όσο και οι ιδιώτες ή οι απλοί χρήστες. Η ευκολία εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου, οδήγησε στην ανάπτυξη σήμερα εκατομμυρίων δικτύων [Wi-Fi](#) [1] σε ολόκληρο τον πλανήτη. Παρόλα αυτά, το Wi-Fi αντιμετωπίζει μειονεκτήματα που έρχεται να λύσει μια νέα τεχνολογία, η οποία ακούει στο όνομα [WiMAX](#) [1].

Κάνοντας μια ανασκόπηση του τρόπου με τον οποίο η συντριπτική πλειοψηφία των σημερινών χρηστών πλοηγείται στο διαδίκτυο, μάλλον η πιο συνηθισμένη εικόνα που σχηματίζει κανείς στο μυαλό του είναι αυτή των καλωδίων που απαιτούνται για τη σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με κάποιο modem ή router. Η πρόσβαση στο Internet μέσω ενσύρματων δικτύων μπορεί να παρουσιάζει σαν πλεονέκτημα την υψηλή σταθερότητα της σύνδεσης, ωστόσο περιορίζει σημαντικά την ευελιξία του χρήστη, ο οποίος θα πρέπει να βρίσκεται σε ένα σταθερό σημείο προκειμένου να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες του διαδικτύου.

1.1 Περίληψη

Τα ασύρματα δίκτυα νέας γενιάς, προσφέρουν υψηλές ταχύτητες και νέες υπηρεσίες στους συνδρομητές, αξιόπιστα και με χαμηλό κόστος. Ένα από τα δίκτυα αυτά είναι το WiMAX το οποίο προσφέρει μεταξύ άλλων και ευρεία κάλυψη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Η τεχνολογία WiMAX είναι ένα βήμα μετά το Wi-Fi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Συγκεκριμένα, ενώ το Wi-Fi παρέχει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMAX ξεπερνά τα 35 χιλιόμετρα. Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η μελέτη του τρόπου αξιολόγησης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που προέρχονται από τη λειτουργία σταθμών βάσης WiMAX.

Η τεχνολογία WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) δεν έχει ωριμάσει ακόμα μιας που εξελίσσεται διαρκώς. Πρόσφατα, η εταιρία Intel ανακοίνωσε το επερχόμενο πρωτόκολλο 802.16 ή αλλιώς Wi-Max, με ταχύτητα μεταφοράς τα 75Mbps. Υπάρχουν όμως και εταιρίες που κατάφεραν να ξεπεράσουν τη ταχύτητα του 802.11g με την ανάπτυξη δικών τους βοηθητικών τεχνολογιών. Μέχρι σήμερα, το Wi-Fi επέτρεπε την πρόσβαση στο διαδίκτυο σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από hotspots, όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτίρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι πάροχοι του Internet (ISP). Πλέον ένας φορητός υπολογιστής (laptop) θα μπορεί να συνδυάζει τις ιδιότητες κινητού τηλεφώνου και ραδιοφωνικού πομπού: θα «πιάνει» παντού και θα εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη. Μπορεί πολλοί χρήστες, ήδη, να απολαμβάνουν ασύρματη επικοινωνία μέσω κάποιων περιφερειακών Wi-Fi συσκευών, αλλά με το WiMAX οι δυνατότητες ενός laptop δεν θα έχουν περιορισμούς. Με τον ίδιο τρόπο που σήμερα εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης Wi-Fi, μελλοντικά θα εγκαθιστά μια κάρτα WiMAX, η οποία θα παρέχει στο χρήστη απεριόριστες δυνατότητες.

1.2 Κίνητρο για τη Διεξαγωγή αυτής της Εργασίας

Κίνητρο για την διεξαγωγή αυτής της εργασίας ήταν η ανάγκη προτυποποίησης του τρόπου εκτίμησης της έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών WiMAX, και προέκυψε λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης των συστημάτων αυτών τα τελευταία χρόνια, καθώς και το ενδιαφέρον μου για τα δίκτυα και τις τηλεπικοινωνίες.



1.3 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Σκοπός και στόχοι αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι:

- Να παρασχεθούν πληροφορίες σε θέματα σχετικά με τους σταθμούς βάσης WiMAX.
- Να γίνει παρουσίαση ενός τρόπου αξιολόγησης της έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης WiMAX, ο οποίος να είναι σύμφωνος με Εθνικά και Διεθνή πρότυπα μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, και αποσκοπεί στην μελέτη της έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τις επιπτώσεις που έχει αυτή στην ανθρώπινη υγεία.

1.4 Δομή Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των τρόπων με τους οποίους μπορούμε να εκτιμήσουμε την έκθεση από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή της παρούσας πτυχιακής. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται μια σύντομη περίληψη για τον στόχο και τον σκοπό της και περιγράφεται η δομή που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται εισαγωγή στο πρότυπο WiMAX, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα χρήσης του και γίνεται λόγος για τις μελλοντικές εξελίξεις του.

Στο κεφάλαιο 3 παρατίθενται οι κανονισμοί που αφορούν την έκθεση του ανθρώπου σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία με βάση Διεθνή πρότυπα, αλλά και την κείμενη Ελληνική Νομοθεσία. Οι τιμές των μέγιστων επιτρεπτών ορίων που απορρέουν από την κείμενη Ελληνική νομοθεσία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της έκθεσης από σήμα WiMAX που μετρήθηκε στο πειραματικό μέρος της παρούσας πτυχιακής.

Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται μεθοδολογίες μέτρησης σημάτων WiMAX και αναλύεται η μέθοδος Channel Power που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ισχύος σήματος WiMAX στην παρούσα πτυχιακή.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύονται οι αβεβαιότητες που υπεισέρχονται σε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με όργανα στενής ζώνης, και παρατίθεται ο τρόπος υπολογισμού των συνολικών αβεβαιοτήτων.

Στο κεφάλαιο 6 παρατίθενται οι εντολές προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο οργάνων μέτρησης. Πιο συγκεκριμένα παρατίθενται οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές προγραμματισμού αναλυτών φάσματος μέσω του προτύπου SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments – SCPI).

Στο κεφάλαιο 7 που αποτελεί και το πρώτο κεφάλαιο του πειραματικού μέρους της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τις μετρήσεις καθώς και η μεθοδολογία των μετρήσεων που ακολουθήθηκε.

Στο κεφάλαιο 8 παρατίθενται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές. Αναφέρονται τα συμπεράσματα καθώς και θέματα για να επεκταθεί περαιτέρω η παρούσα πτυχιακή.

Ακολουθεί η βιβλιογραφία και δύο παραρτήματα. Στο παράρτημα 1 δίνεται μια περίληψη της πτυχιακής και στο παράρτημα 2 παρατίθενται οι διαφάνειες από την παρουσίαση της



2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ WiMAX

2.1 Ορισμός WiMAX

WiMAX αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης η οποία λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο με το Wi-Fi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Συγκεκριμένα, ενώ το Wi-Fi εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMAX φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω. Μέχρι σήμερα το Wi-Fi επέτρεπε την πρόσβαση στο Internet σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots), όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτήρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι εταιρίες παροχής Internet (ISP-*Internet service provider*). Το WiMAX θα χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης στο Internet σε τελικούς χρήστες, με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο στην εγκατάσταση. Με τον ίδιο τρόπο που σήμερα εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης Wi-Fi, μελλοντικά θα εγκαθιστά μια κάρτα WiMAX η οποία θα του επιτρέπει να χρησιμοποιήσει από τον οικιακό του χώρο (και όχι μόνο) τις ασύρματες υπηρεσίες που παρέχουν οι ISP.

2.2 Πλεονεκτήματα χρήσης WiMAX

Το WiMAX έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών ασύρματων και ενσύρματων συνδέσεων:

- Ιδιωτικές εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών Internet, με πολύ μεγάλη ευκολία, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων σε κάθε σημείο της χώρας, αυξάνοντας τον ανταγωνισμό.
- Ο συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), ούτε και με την τεχνολογία Wi-Fi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.
- Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλόπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια.
- Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.

Λόγω των υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων, το WiMAX θα επιτρέπει επίσης την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων ή ακόμη και βιντεοκλήσεων.

2.3 WiMAX στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί πιλοτικά το δίκτυο WiMAX του ΟΤΕ το Σεπτέμβριο του 2008 με δοκιμαστική εκπομπή στο Άγιο Όρος και ακολούθησε το εργαστήριο Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων PASIPHAΕ του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων του ΤΕΙ Κρήτης (<http://www.pasiphae.eu/>) τον Οκτώβριο του 2008 με δοκιμαστική πιλοτική εκπομπή για ερευνητικές-εκπαιδευτικές δραστηριότητες και με περιοχές κάλυψης όλο το Ηράκλειο Κρήτης. Τα συστήματα WiMAX και Mobile WiMAX που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα βασίζονται στο IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.16e-2005, το οποίο καθιερώθηκε το Δεκέμβριο του 2005. Είναι μια τροποποίηση του πρωτοκόλλου IEEE 802.16-2004 και έτσι το παρόν πρωτόκολλο είναι το 802.16-2004, τροποποιημένο από το 802.16-2005. Έτσι οι εφαρμογές τους πρέπει να διαβάζονται ταυτόχρονα ώστε να γίνουν κατανοητά. Το πρωτόκολλο IEEE 802.16-2004 απευθύνεται σε σταθερά συστήματα. Αντικατέστησε τα πρωτόκολλα 802.16-2001, 802.16c-2002, 802.16a-2003.



2.3.1 IEEE 802.16e-2005

Το πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 [2] βελτιώνεται με το πρωτόκολλο 802.16-2004 με τις εξής τροποποιήσεις:

- Διαβάθμιση του συστήματος FFT (Fast Fourier Transform) στο εύρος ζώνης (bandwidth) των καναλιών, ώστε να διατηρείται σταθερό το επίπεδο μεταφοράς δια μέσου καναλιών διαφορετικού εύρους.(1.25 -20 MHz). Τα συνεχή κενά της μεταφοράς οδηγούν σε ένα υψηλότερο φάσμα αποδοτικότητας σε κανάλια ευρείας ζώνης, και σε μείωση του κόστους στα πιο στενά κανάλια. Είναι γνωστό επίσης σαν Scalable OFDMA (SOFDMA).
- Βελτίωσε την κάλυψη χρησιμοποιώντας εξελιγμένες κεραιές, τοποθετημένες σε ποικίλους συνδυασμούς.
- Βελτίωσε την κάλυψη εισάγοντας συστήματα κεραιών πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (Multiple Input Multiple Output - MIMO).
- Βελτίωσε την ικανότητα του να διεισδύει καλύτερα σε εσωτερικούς χώρους.
- Χρησιμοποίησε νέες τεχνολογίες κωδικοποίησης όπως Turbo Coding και Low-Density Parity Check (LDPC), αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια.
- Αύξησε την ποιότητα, ενυπάρχοντας έτσι τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μετατρέποντας το έτσι στο πλέον κατάλληλο για εφαρμογές VoIP (**Voice over Internet Protocol**).
- Έδωσε τη δυνατότητα στους administrators να εναλλάσσουν την κάλυψη για τη δυναμικότητα και το αντίστροφο. Ο νέος αλγόριθμος FFT επιτρέπει μεγαλύτερες καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων κι έτσι είναι περισσότερο ανθεκτικό σε παρεμβολές πολλών διαφορετικών μονοπατιών στη μεταφορά δεδομένων.
- Αύξησε την υποστήριξη για κινητικότητα των συνδρομητών, κάτι το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία του πρωτοκόλλου 802.16-2005 και είναι πολύ βασικό για την εξέλιξη του Mobile WiMAX.

2.3.2 Ανταγωνιστικές Τεχνολογίες

Εντός της σφαίρας του ανταγωνισμού, το WiMAX έχει να αντιμετωπίσει κυρίως από τα υπάρχοντα διαδεδομένα αναπτυσσόμενα ασύρματα συστήματα όπως είναι το UMTS (**Universal Mobile Telecommunications System**) και το CDMA 2000 (Code Division Multiple Access) καθώς και ορισμένα συστήματα που “προσανατολίζονται” στον διαδικτυακό χώρο όπως είναι το HIPERMAN (High Performance Metropolitan Area Networks) και το WiBro (Wireless Broadband).

2.3.2.1 3G και 4G Τεχνολογίες Κινητής Τηλεφωνίας

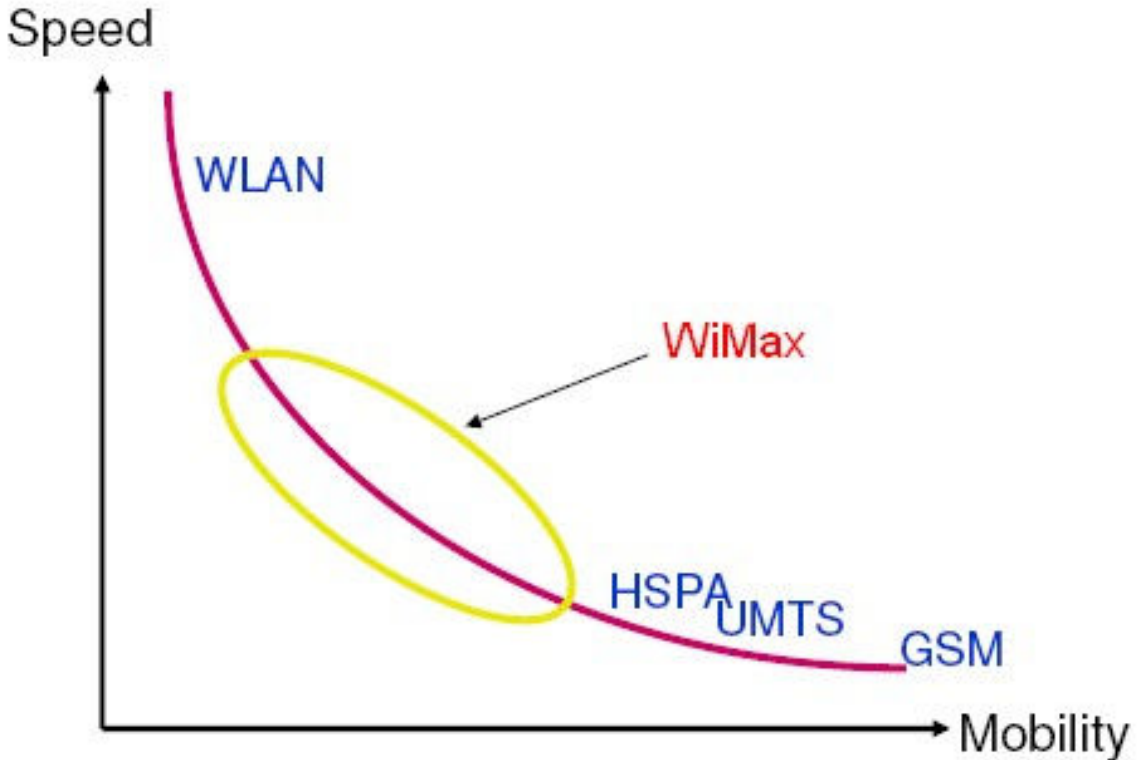
Και τα δύο από τα κύρια 3G συστήματα, CDMA 2000 και UMTS (**Universal Mobile Telecommunications System**), ανταγωνίζονται με το WiMAX. Και τα δύο είναι ικανά να προσφέρουν DSL (**Digital Subscriber Line**) - κλάσης διαδικτυακή πρόσβαση και παράλληλα τηλεφωνικές υπηρεσίες. Μάλιστα το UMTS προκειμένου να συναγωνιστεί την επικείμενη τεχνολογία του WiMAX αναβαθμίστηκε άμεσα και φέρει την ονομασία UMTS-TDD. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιεί το ίδιο bandwidth με του WiMAX και επιπλέον εξασφαλίζεται στους χρήστες πείρα από προηγούμενη χρήση σε αντίθεση με το WiMAX.

Οι 3G τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας συνήθως πλεονεκτούν από τις ήδη οχυρωμένες υποδομές, διότι αναβαθμίζονται με βάση τις παλαιότερες τεχνολογίες. Δηλαδή οι χρήστες μπορεί συχνά να υποπίπτουν σε παλαιότερες τεχνολογίες, όταν βρίσκονται εκτός εμβέλειας των αναβαθμισμένων εξοπλισμών.

Τα κύρια πρότυπα κινητής τηλεφωνίας έχουν ήδη αναπτυχθεί και αποτελούν την τεχνολογία 4G. Χαρακτηριστικά της είναι το υψηλό εύρος ζώνης (bandwidth), η μικρή καθυστέρηση και το γεγονός ότι όλα τα IP- δίκτυα με υπηρεσίες ομιλίας θα ενσωματωθούν στην παραπάνω τεχνολογία. Με τις εξελίξεις των διάφορων προτύπων και συστημάτων του χώρου αυτού, όπως το [GSM](#)/UMTS για να “εισέλθει” στο 4G χρησιμοποίησε το 3GPP, έτσι και το CDMA 2000 αναπτύχθηκε σε Ultra



Mobile Broadband (το οποίο είναι υπό κατασκευή ακόμη). Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η διαδικτυακή ταχύτητα να συγκρίνεται και να ξεπερνά ορισμένες φορές αυτή του WiMAX. Τέλος σε μερικές περιοχές του πλανήτη η διαθεσιμότητα του UMTS και η γενική επιθυμία για τυποποίηση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δεν επιτρέπουν στο WiMAX να έχει κάποιο μερίδιο συχνοτήτων.



Εικόνα 1 : Σφαίρα Ανταγωνισμού WIMAX

Εντός της σφαίρας του ανταγωνισμού, το WiMAX έχει να αντιμετωπίσει κυρίως από τα υπάρχοντα διαδεδομένα αναπτυσσόμενα ασύρματα συστήματα όπως είναι το UMTS και το CDMA 2000 καθώς και ορισμένα συστήματα που “προσανατολίζονται” στον διαδικτυακό χώρο όπως είναι το HIPERMAN και το WiBro.

2.3.2.2 WiBro

Η βιομηχανία ηλεκτρονικών και τηλεπικοινωνιών της Νότιας Κορέας κάτω από την ηγεσία της Samsung Electronics και ETRI (*Electronics and Telecommunications Research Institute*) έχει αναπτύξει ένα δικό της πρωτόκολλο το WiBro. Στο τέλος του 2004 η Intel και η LG Electronics συμφώνησαν πως τα πρωτόκολλα WiBro και WiMAX ήταν παρόμοια. Το WiBro υποστηρίζεται από την κυβέρνηση της Νότιας Κορέας με την απαίτηση να δαπανά για κάθε φορέα πάνω από 1.000.000\$ για την ανάπτυξη του. Η Κορέα προσπάθησε να εξελίξει το WiBro σε τοπική και ενδεχομένως και εθνική εναλλακτική επιλογή κυψελωτών συστημάτων στα 3.5 G ή 4 G. Αλλά το WiBro συναντήθηκε με το WiMAX και εναρμονίστηκε με το παρόμοιο του OFDMA 802.16e πρωτόκολλο. Αυτό που κάνει το WiBro να ξεχωρίζει είναι ότι είναι μια κινητή τεχνολογία, πολύ καλά μελετημένη για ασύρματες υπηρεσίες, και το γεγονός ότι η ανάπτυξη του έγινε σε ένα περιβάλλον σύνθετο και ευρυζωνικά κορεσμένο. Έτσι το WiBro θα αναδυθεί έναντι τεχνολογιών, όπως το 3G και υψηλής ευρυζωνικότητας καλωδιακές τεχνολογίες. Οπότε θα ενισχυθούν οι επαρχιακές αγορές που πάσχουν από μη ανεπτυγμένες ασύρματες τεχνολογίες, δηλαδή αγορές που θεωρούνται κατάλληλες για εφαρμογή του WiMAX.



2.3.2.3 Κινητή Ευρυζωνική Ασύρματη Πρόσβαση

Η Κινητή Ευρυζωνική Ασύρματη Πρόσβαση είναι μία τεχνολογία που αναπτύσσεται τον τελευταίο καιρό με βάση το πρωτόκολλο IEEE 802.20. Η τεχνολογία αυτή λόγω της ευρείας κάλυψης που πρόκειται να έχει λέγεται ότι είναι το τελευταίο σκαλοπάτι του παγκόσμιου δικτύου GAN (Global Area Network). Το δίκτυο αυτό θα λειτουργεί παρόμοια με τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπου οι χρήστες του θα έχουν την δυνατότητα να ταξιδεύουν ανά τον κόσμο και να εξακολουθούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο συνεχώς. Το δίκτυο θα έχει αρκετή ευρυζωνικότητα, για να προσφέρει Διαδικτυακή πρόσβαση, συγκρίσιμη με αυτή των υπαρχόντων καλωδιακών δικτύων που χρησιμοποιούν modem, και θα μπορούν να έχουν πρόσβαση τα κινητά τηλέφωνα, τα laptops και κινητές συσκευές επόμενης γενιάς. Τέλος θα μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση στο δίκτυο αυτό ακόμη και εάν κινείται με ταχύτητες της τάξεως των 350km/h.

2.3.2.4 Συστήματα Στραμμένα στο Διαδίκτυο

Τα τελευταία ασύρματα πρότυπα στον τομέα του διαδικτύου, όπως αυτό του ευρωπαϊκού HIPERMAN και του Κορεάτικου WiBro, αποτελούν κομμάτι του WiMAX και δεν είναι τόσο ανταγωνιστικά αλλά περισσότερο συμπληρωματικά του.

Λόγω του μικρού πλήθους λύσεων στο κινητό Internet, όπως είναι σε μερικές καφετέριες στα αεροδρόμια κτλ, το γνωστό σύστημα WiFi 802.11 b/g είναι ήδη ανεπτυγμένο και αδύναμο συγχρόνως για περαιτέρω ανάπτυξη του. Έτσι δημιουργείται μία παραπάνω ανάγκη σε αρκετούς χρήστες για μία πιο ευρεία κάλυψη που πιστεύεται ότι μπορεί το WiMax να παρέχει με τις υπηρεσίες του.

2.3.3 Σύντομη ανασκόπηση τεχνικών πληροφοριών για τα κατώτερα επίπεδα του WiMAX

2.3.3.1 Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC layer/ Data Link Layer)

Στο WiFi το MAC layer (media access controller) χρησιμοποιεί ανταγωνιστική πρόσβαση, δηλαδή όλοι οι συνδρομητές που επιθυμούν να μεταφέρουν δεδομένα μέσω ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης (wireless access point ή AP) συναγωνίζονται συνεχώς για “το ποιός θα τραβήξει την προσοχή του access point”. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να γίνει αιτία ώστε ένας απομακρυσμένος χρήστης από το AP να μην μπορεί επανειλημμένα να αποκτήσει πρόσβαση, ή να διακόπτεται διαρκώς η σύνδεση του εξ αιτίας πιο κοντινών στο AP χρήστες. Έτσι μειώνεται σημαντικά η εκπομπή και η μεταφορά δεδομένων. Επομένως η σύνδεση δεν χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, και εφαρμογές που βασίζονται στην ποιότητα δεν μπορούν να εκτελεστούν σωστά. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η Voice over IP (VoIP) και η IPTV, για τις οποίες η ποιότητα της σύνδεσης είναι κύριο χαρακτηριστικό και καθορίζει, το ποσοστό των δεδομένων που μεταφέρονται και το αν η μεταφορά θα είναι επιτυχής, συνεχής και δε θα διακόπτεται.

Αντίθετα το 802.16 MAC χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο για τον οποίο ο συνδρομητής «συναγωνίζεται» μια μόνο φορά (με την αρχική εγγραφή του στο δίκτυο). Από εκεί και έπειτα έχει καθοριστεί ο τρόπος σύνδεσης του από το σταθμό βάσης πρόσβασης. Ο χρόνος σύνδεσης με τον καιρό μπορεί να ποικίλει, είτε να μεγαλώνει είτε να μικραίνει, ωστόσο η σύνδεση θα πραγματοποιείται. Ο αλγόριθμος του πρωτοκόλλου 802.16 είναι αρκετά σταθερός ακόμα και όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και ο αριθμός των συνδεδεμένων συνδρομητών είναι πολύ μεγάλος (αντίθετα με το 802.11). Επίσης μπορεί να είναι από άποψη ευρυζωνικότητας πιο αποτελεσματικός. Ο αλγόριθμος επίσης επιτρέπει στον σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) κατανέμοντας το χρόνο που χρειάζεται να διαθέσει για τις διάφορες εφαρμογές των συνδρομητών.

2.3.3.2 Το Φυσικό επίπεδο

Το αρχικό πρωτόκολλο του WiMax όριζε το WiMax στο εύρος των 10 με 66 GHz. Το πρωτόκολλο 802.16a αναβαθμίστηκε το 2004 σε 802.16-2004 προσθέτοντας προδιαγραφές για το εύρος 2 με 11 GHz. Το 802.16-2004 αναβαθμίστηκε στο 802.16e το 2005 και χρησιμοποιεί τύπο συχνότητας scalable orthogonal frequency-division multiple access (SOFDMA) ο οποίος συγκρούεται με την έκδοση OFDM-256 που χρησιμοποιείται από το 802.16d. Οι πιο εξελιγμένες μορφές



πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένου και του 802.16e, χρησιμοποιούν Multiple Antenna Support δια μέσω του συστήματος Multiple-input multiple-output (MIMO) το οποίο παραπέμπει στη χρήση Multiple Antenna και από τον πομπό και από τον δέκτη. Αυτό μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της κάλυψης, της ατομικής εγκατάστασης, της αποτελεσματικής χρήσης και της ευρυζωνικής αποτελεσματικότητας. Το 802.16e προσθέτει την ικανότητα για κάλυψη σε περίπτωση κίνησης του χρήστη.

Οικονομικό και εμπορικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στα πρωτόκολλα 802.16d και 802.16e, αφού οι χαμηλότερες συχνότητες όταν χρησιμοποιούνται σε αυτές τις παραλλαγές δεν χαρακτηρίζονται από έμφυτη εξασθένιση του σήματος και γι' αυτό διαθέτουν βελτιωμένο εύρος και ικανότητα στη διαπερατότητα κτηρίων. Ήδη σήμερα, αρκετά δίκτυα ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν για εμπορικούς σκοπούς πιστοποιημένο εξοπλισμό με WiMax, συμβατό με το υποπρωτόκολλο 802.16d.

2.3.4 Ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες και Μελλοντικές Εξελίξεις

2.3.4.1 Ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες

Το WiMAX Forum έχει μια λίστα με περισσότερες από 250 δοκιμές για WiMAX. Μέχρι στιγμής οι προσπάθειες πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα πρότυπα που αναφέρονται στο ανώτερο κείμενο. Την 1η Μαΐου 2007 εγκρίθηκε η πρώτη κάρτα σύνδεσης για φορητούς υπολογιστές με το WiMAX (First WIMAX-class Laptop Card). Η [Intel](#) επίσης ανακοίνωσε πως θα συνεργαστεί με μια εταιρία που ονομάζεται Clearwire ώστε να προωθήσουν το WiMAX ακόμη περισσότερο. Η Clearwire σχεδιάζει να στέλνει δεδομένα μέσω base stations WiMAX σε μικρότερα ασύρματα modems.

2.3.4.2 Μελλοντικές εξελίξεις

Το Mobile WiMAX, το οποίο βασίζεται στο πρωτόκολλο 802.16e-2005, έχει προταθεί σαν IP-OFDMA για να ενταχθεί ως το 6ο ασύρματο σύστημα σύνδεσης κάτω από το IMT-2000. Αν αυτό γίνει αποδεκτό τον Σεπτέμβριο του 2007 στη σύνοδο ITU, κάτι το οποίο θεωρείται πολύ πιθανό, τότε θα επιστευθεί η αποδοχή του από τις αρχές για χρήση του στο κυψελωτό φάσμα. Το WiMAX II, 802.16m θα προταθεί για IMT (**International Telecommunication Union**)-Advanced 4G.

Ο στόχος για μακροχρόνια εξέλιξη του WiMAX και LTE (3GPP LTE - Long Term Evolution είναι ένα project το οποίο βελτιώνει το UMTS πρωτόκολλο κινητής τηλεφωνίας) είναι να επιτύχουν τα 100 Mbit/s εν κινήσει, και 1 Gbit/s σε σταθερό bandwidth όπως έχει θεσπιστεί από την ITU 4G NGMN (Next Generation Mobile Network) συστήματα μέσω της προσαρμοσμένης χρήσης του MIMO-AAS και έξυπνων, σπυρωτών δικτυακών σχηματισμών. Τα 3GPP LTE και WiMAX-m επικεντρώνουν τις προσπάθειες τους στο σύστημα MIMO-AAS, η multi-hop αναμετάδοση και οι σχετικές εξελίξεις πρέπει να παρέχουν εύρος αρκετά μεγαλύτερο bandwidth. Αφού η ανάπτυξη των ασύρματων τεχνολογιών έχει πλησιάσει τα όρια που έχουν απαιτηθεί από το Shannon's Theorem, η εξέλιξη τους έχει μεταφερθεί στην επιδίωξη αρκετά μεγαλύτερου bandwidth. Ακόμη η αποδοτικότητα των δικτύων αναμένεται να αυξηθεί με τις τεχνολογίες ασύρματου έξυπνου ευρυζωνικού Internet. Αυτό που θα οριοθετήσει τις τεχνολογίες 4G καλύτερα από τις WCDMA (**Wideband Code Division Multiple Access**) ή τις OFDMA μεθόδους ασύρματης σύνδεσης, θα είναι τα ασύρματα δίκτυα που θα μπορούν πολύ αποτελεσματικότερα να προσαρμόζονται και να εκμεταλλεύονται το διαθέσιμο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Σε αυτό το σημείο οφείλεται να αναρτηθεί ο παρακάτω πίνακας ο οποίος αναφέρεται στις διάφορες ασύρματες τεχνολογίες και δείχνει μόνο τις μέγιστες τους ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν σε ιδανικές συνθήκες, και ενδεχομένως να παραπλανούν ορισμένες φορές.



Standard	Family	Primary Use	Radio Tech	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Notes
802.16e	WiMAX	Mobile Internet	MIMO-SOFDMA	70	70	Quoted speeds only achievable at very short ranges, more practically 10 Mbps at 10 km.
HIPERMAN	HIPERMAN	Mobile Internet	OFDM	56.9	56.9	
WiBro	WiBro	Mobile Internet	OFDMA	50	50	Mobile range (900 m)
iBurst	iBurst 802.20	Mobile Internet	HC-SDMA	64	64	3-12 km
UMTS W-CDMA HSDPA+HSUPA	UMTS/3GSM	Mobile phone	CDMA/FDD	.384 14.4	.384 5.76	HSDPA widely deployed. Typical downlink rates today 1-2Mbps, ~200kbps uplink; future downlink up to 28.8Mbps.
UMTS-TDD	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/TDD	16	16	Reported speeds according to IPWireless using 16QAM modulation similar to HSDPA+HSUPA
LTE UMS	UMTS/4GSM	General 4G	OFDMA/MIMO /SC-FDMA (HSOPA)	>100	>50	Still in development
1xRTT	CDMA2000	Mobile phone	CDMA	0.144	0.144	Obsoleted by EV-DO
EV-DO 1x Rev. 0 EV-DO 1x Rev.A EV-DO Rev.B	CDMA2000	Mobile Internet	CDMA/FDD	2.45 3.1 4.9xN	0.15 1.8 1.8xN	Rev B note: N is the number of 1.25 MHz chunks of spectrum used. Not yet deployed.

Πίνακας 1 : Σύγκριση μεταξύ ασύρματων τεχνολογιών



3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ – ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ

3.1 Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz -300 GHz)

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στο ψήφισμά του της 5^{ης} Μαΐου 1994 σχετικά με την καταπολέμηση των βλαβερών συνεπειών που προκαλούνται από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, κάλεσε την Επιτροπή να προτείνει νομοθετικά μέτρα για τον περιορισμό της έκθεσης των εργαζομένων και του κοινού στη μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Υφίστανται ελάχιστες κοινοτικές προδιαγραφές για την προστασία της υγείας και της ασφάλειας των εργαζομένων από ηλεκτρομαγνητικά πεδία κατά την εργασία σε εξοπλισμό με οθόνη οπτικής απεικόνισης. Έτσι έχουν θεσπιστεί κοινοτικά μέτρα για τη βελτίωση της ασφάλειας και της υγείας κατά την εργασία εγκύων, λεχώνων και θηλαζουσών εργαζομένων, με τα οποία υποχρεούνται οι εργοδότες να αξιολογούν τις δραστηριότητες που συνεπάγονται ειδικό κίνδυνο έκθεσης σε μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Έχουν προταθεί στοιχειώδεις προδιαγραφές για την προστασία των εργαζομένων από φυσικούς παράγοντες, στις οποίες περιλαμβάνονται μέτρα κατά των μη ιοντίζουσών ακτινοβολιών. Κατά συνέπεια, η παρούσα σύσταση δεν αφορά την προστασία των εργαζομένων από την επαγγελματική έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, γι' αυτό επιβάλλεται η προστασία του ευρύτερου κοινού στην Κοινότητα από αποδεδειγμένες βλάβες για την υγεία που ενδεχομένως οφείλονται στην έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Τα μέτρα σχετικά με τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία πρέπει να παρέχουν υψηλό επίπεδο προστασίας σε όλους τους πολίτες της Κοινότητας. Οι οικείες διατάξεις των κρατών μελών πρέπει να βασίζονται σε ένα από κοινού συμφωνημένο πλαίσιο, ώστε να συντελούν στην εξασφάλιση ανάλογης προστασίας σε όλη την Κοινότητα. Σύμφωνα με την αρχή της επικουρικότητας, κάθε νέο μέτρο που λαμβάνεται σε έναν τομέα ο οποίος δεν εμπίπτει στην αποκλειστική αρμοδιότητα της Κοινότητας, μπορεί να θεσπίζεται από την Κοινότητα μόνον εάν, λόγω της κλίμακας ή των επιπτώσεων της προτεινόμενης δράσης.

Οι προτεινόμενοι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν καλύτερα σε επίπεδο Κοινότητας παρά σε επίπεδο κράτους μέλους οι δραστηριότητες για τον περιορισμό της έκθεσης του ευρύτερου κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία πρέπει να συγκριθούν με τα άλλα οφέλη για την υγεία και την ασφάλεια, που οι εκτέμπτουσες ηλεκτρομαγνητικά πεδία συσκευές προσφέρουν στην ποιότητα ζωής, όπως στους τομείς των τηλεπικοινωνιών, της ενέργειας και της δημόσιας ασφάλειας.

Το πλαίσιο αυτό πρέπει να επανεξετάζεται και να επαναξιολογείται τακτικά βάσει των νέων γνώσεων και των νέων εξελίξεων της τεχνολογίας και της χρήσης πηγών και πρακτικών που προκαλούν έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Προκειμένου να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση όσον αφορά τους κινδύνους και τα μέτρα προστασίας από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα κράτη μέλη πρέπει να προαγάγουν τη διάδοση πληροφοριών και κανόνων ορθής πρακτικής στον τομέα αυτό, ιδίως όσον αφορά το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη χρήση εξοπλισμών, ώστε τα επίπεδα έκθεσης να μην υπερβαίνουν τους συνιστώμενους περιορισμούς. Πρέπει να δοθεί προσοχή στη δέουσα γνώση και κατανόηση των κινδύνων που συνδέονται με τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, λαμβάνοντας υπόψη τις αντιλήψεις του κοινού για τους κινδύνους αυτούς.

Τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν υπό σημείωση την πρόοδο των επιστημονικών γνώσεων και της τεχνολογίας σχετικά με την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, λαμβάνοντας υπόψη το θέμα της πρόληψης, και πρέπει να προβλέπουν τακτική εξέταση και αναθεώρηση μέσω τακτικής αξιολόγησης βάσει των κατευθυντήριων γραμμών των αρμόδιων διεθνών οργανισμών, όπως η διεθνής επιτροπή για την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP).



3.2 Η σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999/519/ΕΚ

3.2.1 Εισαγωγή στις οδηγίες της σύστασης 1999/519/ΕΚ

Η σύσταση αυτή [3] αναφέρεται στην έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 0Hz-300 GHz. Πρόκειται για οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς τα κράτη-μέλη που αποσκοπούν στην προστασία της υγείας του κοινού και, κατά συνέπεια, εφαρμόζονται ιδίως στους χώρους όπου το κοινό παραμένει για σημαντικό χρονικό διάστημα σε σχέση με τις επιπτώσεις που καλύπτονται από την σύσταση αυτή. Σύμφωνα με την σύσταση αυτή το κοινοτικό πλαίσιο, το οποίο στηρίζεται στον ήδη υφιστάμενο μεγάλο όγκο επιστημονικής τεκμηρίωσης, πρέπει να βασίζεται στα βέλτιστα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία και γνώμες στον τομέα αυτόν και πρέπει να περιλαμβάνει βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Λαμβανομένου υπόψη ότι ως βάση για τους συνιστώμενους περιορισμούς της έκθεσης έχουν χρησιμοποιηθεί μόνον αποδεδειγμένες επιπτώσεις για το θέμα αυτό, η διεθνής επιτροπή για την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP) έχει διατυπώσει γνώμη την οποία έχει επικυρώσει η επιστημονική συντονιστική επιτροπή της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και το πλαίσιο αυτό πρέπει να επανεξετάζεται και να επαναξιολογείται τακτικά βάσει των νέων γνώσεων και των νέων εξελίξεων της τεχνολογίας και της χρήσης πηγών και πρακτικών που προκαλούν έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αναφοράς που θεσπίζονται με βάση την σύσταση αυτή πρέπει να ισχύουν για όλες τις ακτινοβολίες από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, πλην της οπτικής ακτινοβολίας και της ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Για τη μεν οπτική ακτινοβολία απαιτείται περαιτέρω μελέτη των σχετικών επιστημονικών στοιχείων και γνώμων, ενώ για την ιοντίζουσα υπάρχουν ήδη σχετικές κοινοτικές διατάξεις.

Η τήρηση των συνιστωμένων περιορισμών και επιπέδων αναφοράς πρέπει να παρέχει υψηλό επίπεδο προστασίας από αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία που ενδέχεται να οφείλονται στην έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, αλλά δεν αποκλείει κατ' ανάγκη τα προβλήματα παρεμβολής ή την επίδραση στη λειτουργία ιατροτεχνολογικών βοηθημάτων, όπως μεταλλικά προθέματα, βηματοδότες, απινιδωτές και κοχλιακά και άλλα εμφυτεύματα. Η παρεμβολή σε βηματοδότες μπορεί να εμφανίζεται και σε επίπεδα χαμηλότερα από τα συνιστώμενα επίπεδα αναφοράς και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλες προφυλάξεις, οι οποίες όμως δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας σύστασης και αντιμετωπίζονται διά της νομοθεσίας για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και τα ιατροτεχνολογικά βοηθήματα.

Η σύσταση αυτή καλεί προκειμένου να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο προστασίας της υγείας από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, καλεί τα Κράτη-μέλη:

- να θεσπίσουν πλαίσιο βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς με βάση τις οδηγίες του παραρτήματος I.B της σύστασης αυτής,
- να εφαρμόσουν μέτρα, σύμφωνα με το πλαίσιο αυτό, όσον αφορά τις πηγές ή πρακτικές που έχουν ως αποτέλεσμα την ηλεκτρομαγνητική έκθεση του κοινού όταν ο χρόνος έκθεσης είναι σημαντικός, πλην της έκθεσης για ιατρικούς λόγους κατά την οποία πρέπει να σταθμίζονται δεόντως οι κίνδυνοι και τα οφέλη της έκθεσης πέραν των βασικών περιορισμών,·
- να επιδιώξουν την τήρηση των βασικών περιορισμών που προβλέπονται στο παράρτημα II της σύστασης αυτής για την έκθεση του κοινού.

Η σύσταση αυτή επίσης προκειμένου να διευκολυνθεί και να προαχθεί η τήρηση των βασικών περιορισμών που προβλέπονται στο παράρτημα II αυτής, συνιστά στα κράτη μέλη:

- να λαμβάνουν υπόψη τα επίπεδα αναφοράς του παραρτήματος III αυτής για την εκτίμηση της έκθεσης ή εφόσον υπάρχουν, στο βαθμό που αναγνωρίζονται από το οικείο κράτος μέλος, τα Ευρωπαϊκά ή Εθνικά πρότυπα που βασίζονται σε συμφωνημένες και επιστημονικά αποδεδειγμένες διαδικασίες υπολογισμού και μέτρησης σχεδιασμένες για την αξιολόγηση της τήρησης των βασικών περιορισμών,·
- να αξιολογούν τις καταστάσεις στις οποίες υπάρχουν πηγές πολλαπλών συχνοτήτων, σύμφωνα με τους τύπους του παραρτήματος IV αυτής, τόσο από πλευράς βασικών περιορισμών όσο και από πλευράς επιπέδων αναφοράς,·



- c. να λαμβάνουν ενδεχομένως υπόψη κριτήρια, ανάλογα με την περίπτωση, όπως η διάρκεια της έκθεσης, τα εκτιθέμενα μέρη του σώματος, η ηλικία και η κατάσταση της υγείας του κοινού.

Τέλος η σύσταση αυτή συνιστά στα Κράτη-μέλη:

- A. να εξετάζουν τόσο τους κινδύνους όσο και τα οφέλη κατά τη λήψη αποφάσεων για το κατά πόσον απαιτείται ή όχι η ανάληψη δράσης, όταν υιοθετούν πολιτικές ή μέτρα σχετικά με την έκθεση του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.
- B. να παρέχουν στο κοινό πληροφορίες, με την κατάλληλη μορφή, σχετικά με την επίδραση που έχουν στην υγεία τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, καθώς και τα μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπισή τους, προκειμένου να βελτιωθεί η κατανόηση των κινδύνων και η προστασία από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία,
- C. να προωθούν και να επισκοπούν την έρευνα που αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και την ανθρώπινη υγεία, στα πλαίσια των Εθνικών ερευνητικών προγραμμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις Κοινοτικές και Διεθνείς ερευνητικές συστάσεις και προσπάθειες του ευρύτερου δυνατού φάσματος πηγών, προκειμένου να βελτιωθούν οι γνώσεις γύρω από τις επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία,
- D. να καταρτίσουν εκθέσεις για την πείρα που αντλούν από τα μέτρα που θεσπίζουν στον τομέα που καλύπτει η σύσταση αυτή, και να ενημερώσουν σχετικά την Επιτροπή, τρία έτη μετά την ημερομηνία έκδοσης της σύστασης αυτής, επισημαίνοντας τον τρόπο με τον οποίο την έλαβαν υπόψη σ' αυτά τα μέτρα, προκειμένου να συμβάλουν στη δημιουργία ενός συνολικού συστήματος προστασίας από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Επειδή τα όρια για έκθεση σε μη ιοντίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες στην Ελλάδα στηρίζονται στην σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999/519/ΕΚ [3], για την πλήρη παρουσίαση του θέματος στον αναγνώστη, παρατίθενται αυτούσια στην συνέχεια τα παραρτήματα της σύστασης αυτής από το φύλλο της Επίσημης Εφημερίδας των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων της 30-7-1999.

3.2.2 Παράρτημα I της σύστασης 1999/519/ΕΚ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Στα πλαίσια της παρούσας σύστασης, ο όρος ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ) περιλαμβάνει τα στατικά πεδία, τα πεδία ιδιαίτερα χαμηλής συχνότητας (ELF) και τα πεδία ραδιοσυχνοτήτων (RF), συμπεριλαμβανομένων των μικροκυμάτων, και καλύπτει τη ζώνη συχνοτήτων από 0 Hz έως 300 GHz.

A. ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Στα πλαίσια της έκθεσης σε ΗΜΠ χρησιμοποιούνται συχνά οκτώ φυσικά μεγέθη:

Ρεύμα επαφής (I_c): μεταξύ ενός ατόμου και ενός αντικειμένου εκφράζεται σε αμπέρ (A). Ένα αγώγιμο σώμα που βρίσκεται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να φορτιστεί από το πεδίο αυτό.

Πυκνότητα ρεύματος (J): ορίζεται ως το ρεύμα που διέρχεται από μοναδιαία διατομή τριςδιάστατου αγωγού, όπως το ανθρώπινο σώμα, κάθετα από τη διεύθυνσή του και εκφράζεται σε αμπέρ ανά τετραγωνικό μέτρο (A/m²).

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E): είναι το διανυσματικό μέγεθος που αντιστοιχεί στη δύναμη που ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο, ανεξάρτητα από την κίνησή του στο χώρο. Εκφράζεται σε βολτ ανά μέτρο (V/m).

Ένταση μαγνητικού πεδίου (H): είναι ένα διανυσματικό μέγεθος, το οποίο, σε συνδυασμό με την πυκνότητα μαγνητικής ροής, ορίζει ένα μαγνητικό πεδίο σε κάθε σημείο του χώρου. Εκφράζεται σε αμπέρ ανά μέτρο (A/m).

Πυκνότητα μαγνητικής ροής (B): είναι ένα διανυσματικό μέγεθος, από το οποίο εξαρτάται η δύναμη που ασκείται σε κινούμενα φορτία και εκφράζεται σε Τέσλα (T). Στον κενό χώρο και στα βιολογικά υλικά, μπορεί να γίνει μετατροπή της πυκνότητας μαγνητικής ροής σε ένταση του μαγνητικού πεδίου και αντίστροφα, βάσει του τύπου $1 \text{ A m}^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$.

Πυκνότητα ισχύος (S): είναι το μέγεθος που χρησιμοποιείται για πολύ υψηλές συχνότητες, όταν το βάθος της διείσδυσης στο σώμα είναι μικρό. Πρόκειται για την ισχύ ακτινοβολίας που



προσπίπτει κάθετα προς μια επιφάνεια, διαιρούμενη διά το εμβαδόν της επιφάνειας, εκφράζεται δε σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2).

Ειδική απορρόφηση ενέργειας (SA): ορίζεται ως η ενέργεια που απορροφάται ανά μονάδα βάρους βιολογικού ιστού και εκφράζεται σε Joule ανά χιλιόγραμμα (J/kg). Στις παρούσες συστάσεις χρησιμοποιείται για τον περιορισμό μη θερμικών επιπτώσεων από την ακτινοβολία παλμικών μικροκυμάτων.

Ταχύτητα ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR): υπολογιζόμενη ως μέσος όρος για όλο το σώμα ή για μέρη αυτού, ορίζεται η ταχύτητα με την οποία η ενέργεια που απορροφάται ανά μονάδα βάρους από ιστούς του σώματος, εκφράζεται δε σε Watt ανά χιλιόγραμμα (W/kg). Η SAR για όλο το σώμα είναι ένα ευρέως αποδεκτό μέτρο των δυσμενών επιδράσεων από την έκθεση σε πεδία RF. Εκτός από τη μέση SAR για όλο το σώμα, για την αξιολόγηση και τον περιορισμό της υπερβολικής απόθεσης ενέργειας σε μικρά μέρη του σώματος που οφείλεται σε ειδικές συνθήκες έκθεσης απαιτούνται και τοπικές τιμές SAR. Παραδείγματα παρόμοιων συνθηκών είναι: ένα γειωμένο άτομο που εκτίθεται σε ραδιοσυχνότητες του χαμηλού συχνοτικού φάσματος (MHz) και άτομα που εκτίθενται σε πεδία πλησίον κεραιών.

Από τα μεγέθη αυτά, η πυκνότητα μαγνητικής ροής, το ρεύμα επαφής, οι εντάσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων και η πυκνότητα ισχύος μπορούν να μετρηθούν άμεσα.

B. ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Για την εφαρμογή περιορισμών που βασίζονται στην εκτίμηση πιθανών επιπτώσεων στην υγεία από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, πρέπει να γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς.

Σημείωση: Οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αναφοράς για τον περιορισμό της έκθεσης καταρτίστηκαν ύστερα από διεξοδική ανασκόπηση όλης της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας. Τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν κατά την ανασκόπηση αυτή έχουν σκοπό να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ως βάση για τους προτεινόμενους περιορισμούς έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν μόνον οι αποδεδειγμένες επιδράσεις. Δεν θεωρήθηκε ότι έχει αποδειχθεί η πρόκληση καρκίνου από μακροχρόνια έκθεση σε ELF. Ωστόσο, επειδή μεταξύ των οριακών τιμών για τις οξείες επιπτώσεις και των βασικών περιορισμών υπάρχουν συντελεστές ασφαλείας μεγέθους περίπου 50, η παρούσα σύσταση καλύπτει σιωπηρά τις ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις ολόκληρου του φάσματος συχνοτήτων.

Βασικοί περιορισμοί: οι περιορισμοί έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία που βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες χαρακτηρίζονται ως «βασικοί περιορισμοί». Ανάλογα με τη συχνότητα του πεδίου, τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν αυτούς τους περιορισμούς είναι η πυκνότητα μαγνητικής ροής (B), η πυκνότητα ρεύματος (J), η ταχύτητα ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR) και η πυκνότητα ισχύος (S). Η πυκνότητα μαγνητικής ροής και η πυκνότητα ισχύος μπορούν να μετρηθούν εύκολα σε ένα εκτιθέμενο άτομο.

Επίπεδα αναφοράς: τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να διαπιστωθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Ορισμένα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από σχετικούς βασικούς περιορισμούς, με τη χρήση μετρήσεων ή/και διαδικασιών υπολογισμού, ενώ άλλα περιλαμβάνουν την αντίληψη και τις δυσμενείς έμμεσες επιπτώσεις της έκθεσης σε ΗΜΠ. Τα παράγωγα φυσικά μεγέθη είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (H), η ένταση μαγνητικού πεδίου (E), η πυκνότητα μαγνητικής ροής (B), η πυκνότητα ισχύος (S) και το ρεύμα των άκρων (I_L). Τα μεγέθη που ορίζουν την αντίληψη και άλλες έμμεσες επιδράσεις είναι το ρεύμα επαφής (I_C) και, για παλμικά πεδία, η ειδική απορρόφηση ενέργειας (SA). Σε κάθε κατάσταση έκθεσης, οι μετρούμενες ή υπολογιζόμενες τιμές πολλών από αυτά τα μεγέθη μπορούν να συγκριθούν με το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς.

Η συμμόρφωση με το επίπεδο αναφοράς εξασφαλίζει τη συμμόρφωση με τον αντίστοιχο βασικό περιορισμό. Εάν η μετρούμενη τιμή υπερβαίνει το επίπεδο αναφοράς, δεν έπεται κατ' ανάγκη και υπέρβαση του βασικού περιορισμού. Πάντως, κάτω από αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να εξακριβωθεί η συμμόρφωση ή μη με το βασικό περιορισμό.

Στην παρούσα σύσταση δεν προβλέπονται ποσοτικοί περιορισμοί για στατικά ηλεκτρικά πεδία. Παρ' όλα αυτά, συνιστάται η αποφυγή ενοχλητικών ηλεκτρικών φορτίων επιφάνειας και εκνευριστικών ή ενοχλητικών εκκενώσεων σπινθήρων.



Ορισμένα μεγέθη, όπως η πυκνότητα μαγνητικής ροής (B) και η πυκνότητα ισχύος (S) χρησιμοποιούνται τόσο για τους βασικούς περιορισμούς όσο και για τα επίπεδα αναφοράς, σε ορισμένες συχνότητες (βλέπε παραρτήματα II και III).

3.2.3 Παράρτημα II της σύστασης 1999/519/ΕΚ – ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Ανάλογα με τη συχνότητα, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη (δοσιμετρικά/εκθεσιμετρικά μεγέθη), για τον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών όσον αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία:

- για συχνότητες από 0 έως 1 Hz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα της μαγνητικής ροής στατικών μαγνητικών πεδίων (0 Hz) και για την πυκνότητα ρεύματος χρονικώς μεταβαλλόμενων πεδίων έως 1 Hz, για την πρόληψη επιπτώσεων στο καρδιαγγειακό και στο κεντρικό νευρικό σύστημα,
- για συχνότητες από 1 Hz έως 10 MHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος,
- για συχνότητες από 100 kHz έως 10 GHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για τη SAR, για την πρόληψη θερμοπληξίας ολόκληρου του σώματος και υπερβολικής τοπικής θέρμανσης των ιστών. Για συχνότητες από 100 kHz έως 10 MHz, προβλέπονται περιορισμοί και για την πυκνότητα ρεύματος και για τη SAR,
- για συχνότητες από 10 GHz έως 300 GHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος, για την πρόληψη της θέρμανσης των ιστών στην επιφάνεια του σώματος ή κοντά της.

Οι βασικοί περιορισμοί που περιέχονται στον πίνακα 2 έχουν οριστεί έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες που υπάρχουν όσον αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και τις διαφορές όσον αφορά την ηλικία και την κατάσταση της υγείας του κοινού.

Ζώνη συχνότητας	Μαγνητική επαγωγή (mT)	Πυκνότητα ρεύματος (mA/m ²) (rms)	Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης για όλο το σώμα (W/Kg)	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (κεφάλι και κορμός) (W/Kg)	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (άκρα) (W/kg)	Πυκνότητα ισχύος S (W/m ²)
0Hz	40	-	-	-	-	-
>0-1Hz	-	8	-	-	-	-
1-4Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1 KHz-100 KHz	-	f/500	-	-	-	-
100 KHz-10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz-10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 - 300 GHz	-	-	-	-	-	10

Πίνακας 2 : Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz)

Σημειώσεις:

1. f είναι η συχνότητα σε Hz.
2. Ο βασικός περιορισμός της πυκνότητας ρεύματος αποσκοπεί στην προστασία από τις επιπτώσεις της άμεσης έκθεσης στους ιστούς του κεντρικού νευρικού συστήματος της κεφαλής και του κορμού του σώματος και εμπεριέχει έναν παράγοντα ασφάλειας. Οι βασικοί περιορισμοί για τα πεδία ELF βασίζονται στις διαπιστωμένες δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν στο κεντρικό νευρικό



- σύστημα. Οι οξείες αυτές επιπτώσεις είναι σχεδόν ακαριαίες, και δεν υπάρχουν επιστημονικές ενδείξεις που να συνηγορούν υπέρ αλλαγής των βασικών περιορισμών για τη βραχυχρόνια έκθεση. Επειδή όμως αυτοί αναφέρονται σε δυσμενείς επιπτώσεις στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ο συγκεκριμένος βασικός περιορισμός μπορεί να επιτρέψει και μεγαλύτερες πυκνότητες ρεύματος σε άλλους ιστούς του σώματος υπό τις ίδιες συνθήκες έκθεσης.
3. Λόγω της ηλεκτρικής ανομοιογένειας του σώματος, οι πυκνότητες ρεύματος πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος επί διατομής εμβαδού 1cm^2 κάθετης προς τη διεύθυνση του ρεύματος.
 4. Για συχνότητες έως 100 kHz, οι τιμές αιχμής της πυκνότητας του ρεύματος κορυφής μπορούν να υπολογιστούν με πολλαπλασιασμό της τιμής rms επί $\sqrt{2}$ (=1,414). Για παλμούς διάρκειας t_p , η αντίστοιχη συχνότητα η εφαρμοστέα στους βασικούς περιορισμούς υπολογίζεται με τον τύπο $f = 1/(2t_p)$.
 5. Για συχνότητες έως 100 kHz και για παλμικά μαγνητικά πεδία, η μέγιστη πυκνότητα ρεύματος που προκύπτει από τους παλμούς μπορεί να υπολογιστεί από το χρόνο ανόδου/καθόδου και τη μέγιστη ταχύτητα αλλαγής της πυκνότητας της μαγνητικής ροής. Η πυκνότητα του επαγωγικού ρεύματος μπορεί στη συνέχεια να συγκριθεί με τον αντίστοιχο βασικό περιορισμό.
 6. Θα πρέπει να εξάγεται ο μέσος όρος όλων των τιμών SAR ανά εξάλεπτες χρονικές περιόδους.
 7. Η τοπική SAR υπολογίζεται ως μέσος όρος επί μάζας 10g παρακειμένων ιστών. Η μεγαλύτερη SAR που προκύπτει κατ' αυτόν τον τρόπο πρέπει να αποτελεί την τιμή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της έκθεσης. Τα εν λόγω 10g ιστού υπονοούν συνεχόμενη μάζα ιστού με σχεδόν ομοιογενείς ηλεκτρικές ιδιότητες. Αναγνωρίζεται ότι η έννοια της συνεχόμενης μάζας ιστού είναι χρήσιμη για τους δοσιμετρικούς υπολογισμούς αλλά παρουσιάζει δυσκολίες όσον αφορά τις άμεσες φυσικές μετρήσεις. Επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται απλά γεωμετρικά σχήματα, π.χ. κυβικά μέρη ιστών, αρκεί οι υπολογιζόμενες δοσιμετρικές ποσότητες να έχουν συντηρητικές τιμές σε σχέση με τις κατευθυντήριες γραμμές για τα επίπεδα έκθεσης.
 8. Για παλμούς διάρκειας t_p η αντίστοιχη συχνότητα που πρέπει να εφαρμοστεί στους βασικούς περιορισμούς πρέπει να υπολογίζεται ως $f = 1/(2t_p)$. Εκτός αυτού, για παλμικές εκθέσεις, στη ζώνη συχνοτήτων 0,3 έως 10GHz και για τοπικές εκθέσεις της κεφαλής, προκειμένου να περιοριστούν και να αποφευχθούν επιδράσεις στην ακοή που προκαλούνται από τη θερμοελαστική διαστολή, συνιστάται η εφαρμογή ενός συμπληρωματικού βασικού περιορισμού: ότι η ειδική απορρόφηση (SA) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2mJ/kg (μέσος όρος 10g ιστού).

3.2.4 Παράρτημα III της σύστασης 1999/519/EK – ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Για λόγους σύγκρισης με τις τιμές των μετρούμενων μεγεθών, προβλέπονται επίπεδα αναφοράς όσον αφορά την έκθεση. Η τήρηση όλων των προτεινόμενων επιπέδων αναφοράς θα εξασφαλίσει την τήρηση των βασικών περιορισμών.

Εάν οι μετρούμενες τιμές είναι μεγαλύτερες από τα επίπεδα αναφοράς, αυτό δεν σημαίνει αυτομάτως και υπέρβαση των βασικών περιορισμών. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να εκτιμηθεί κατά πόσον τα επίπεδα έκθεσης είναι χαμηλότερα από τους βασικούς περιορισμούς.

Τα επίπεδα αναφοράς για τον περιορισμό της έκθεσης προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς, υπό συνθήκες μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτιθέμενο σε αυτό άτομο, παρέχοντας έτσι το μέγιστο βαθμό προστασίας. Στους πίνακες 3 και 4 παρέχεται μια σύνοψη των επιπέδων αναφοράς. Τα επίπεδα αναφοράς αποτελούν γενικά μέσες τιμές για όλο το σώμα του εκτιθέμενου ατόμου, με τη σημαντική όμως προϋπόθεση ότι δεν θα γίνεται υπέρβαση των βασικών περιορισμών τοπικής έκθεσης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν η έκθεση επικεντρώνεται σε ένα σημείο, όπως π.χ. με τα κινητά τηλέφωνα και το ανθρώπινο κεφάλι, η χρήση των επιπέδων αναφοράς δεν ενδείκνυται. Στις περιπτώσεις αυτές, η συμμόρφωση με τους βασικούς περιορισμούς τοπικής έκθεσης πρέπει να αξιολογείται άμεσα.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα επίπεδα αναφοράς σύμφωνα με την σύσταση 1999/519/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μT)	Ισοδύναμη Πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1-8 Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	4000/f	5000/f	-
0.025-0.8 KHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8-3 KHz	250/f	5	6.25	-
3-150 KHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-
1-10 MHz	$87/f^{0.5}$	0.73/f	0.92/f	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 \cdot f^{0.5}$	$0.0037 \cdot f^{0.5}$	$0.0046 \cdot f^{0.5}$	f/200
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Πίνακας 3 : Επίπεδα αναφοράς για Ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300GHz, σταθερές τιμές rms)

Σημειώσεις:

1. f όπως ορίζεται στη στήλη της ζώνης συχνοτήτων.
2. Για συχνότητες από 100 kHz έως 10 GHz, τα S_{eq} , E^2 , H^2 και B^2 πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας έξι λεπτών.
3. Για συχνότητες που υπερβαίνουν τα 10 GHz, τα S_{eq} , E^2 , H^2 και B^2 πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας $68/f^{1.05}$ λεπτών (f σε GHz).
4. Δεν ορίζεται τιμή πεδίου E για συχνότητες <1 Hz, που είναι στην πραγματικότητα στατικά ηλεκτρικά πεδία. Για τους περισσότερους ανθρώπους, η ενοχλητική αίσθηση επιφανειακών ηλεκτρικών φορτίσεων δεν γίνεται αντιληπτή σε πεδία με ένταση μικρότερη από 25KV/m. Πρέπει να αποφεύγονται οι εκνευριστικές ή ενοχλητικές εκκενώσεις σπινθήρων.

Σημείωση:

Δεν ορίζονται μεγαλύτερα επίπεδα αναφοράς για τη βραχυχρόνια έκθεση σε πεδία ELF (βλέπε πίνακα 2, σημείωση 2). Σε πολλές περιπτώσεις, και αν ακόμη οι μετρούμενες τιμές υπερβαίνουν τα επίπεδα αναφοράς, δεν έπεται κατ' ανάγκη και υπέρβαση του βασικού περιορισμού.

Εφόσον αποφεύγονται οι δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των έμμεσων επιδράσεων της έκθεσης (π.χ. μικροσόκ), είναι παραδεκτή η υπέρβαση των γενικών επιπέδων αναφοράς για το κοινό, αρκεί να μην παραβιάζεται και ο βασικός περιορισμός της πυκνότητας ρεύματος. Σε πολλές περιπτώσεις που απαντούν στην πράξη, η έκθεση σε εξωτερικά πεδία ELF στα επίπεδα αναφοράς επάγει πυκνότητες ρεύματος στο κεντρικό νευρικό σύστημα χαμηλότερες από τους βασικούς περιορισμούς.

Αναγνωρίζεται επίσης ότι πλείστες όσες κοινότητες συσκευές εκπέμπουν εντοπισμένα πεδία καθ' υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς. Συνήθως όμως αυτό συμβαίνει υπό συνθήκες έκθεσης τέτοιες ώστε, λόγω ασθενούς σύζευξης μεταξύ πεδίου και σώματος, να μη σημειώνεται υπέρβαση των βασικών περιορισμών.

Για τις τιμές αιχμής ισχύουν τα ακόλουθα επίπεδα αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m), την ένταση του μαγνητικού πεδίου H (A/m) και την πυκνότητα μαγνητικής ροής B (μT):

- για συχνότητες έως 100 kHz, οι τιμές αιχμής αναφοράς προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων τιμών rms επί $\sqrt{2}$ (=1,414). Για παλμούς διάρκειας t_p η αντίστοιχη εφαρμοστέα συχνότητα υπολογίζεται ως $f = 1/(2t_p)$,



- για συχνότητες από 100 kHz έως 10 MHz, οι τιμές αιχμής αναφοράς προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων τιμών rms επί 10α, όπου $\alpha = [0,665 \cdot \text{Log}(f/10^5) + 0,176]$, με τη συχνότητα f εκφρασμένη σε Hz,
- για συχνότητες από 10 MHz έως 300 GHz, οι τιμές αιχμής αναφοράς προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων τιμών rms επί 32.

Σημείωση:

Γενικά, προκειμένου για παλμικά ή/και παροδικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων, υπάρχουν βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς εξαρτώμενα από τη συχνότητα, βάσει των οποίων μπορούν να αποτιμηθούν οι κίνδυνοι και να καταρτιστούν κατευθυντήριες γραμμές για την έκθεση σε παλμικές ή/και παροδικές πηγές.

Η συντηρητική προσέγγιση παριστά το παλμικό ή παροδικό σήμα ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ως φάσμα Fourier των συνιστωσών του σε κάθε ζώνη συχνοτήτων, οι οποίες ακολούθως συγκρίνονται με τα επίπεδα αναφοράς για τις οικείες συχνότητες. Οι αθροιστικοί τύποι για την ταυτόχρονη έκθεση σε πεδία πολλαπλών συχνοτήτων μπορούν να εφαρμοστούν και για την εξακρίβωση της συμμόρφωσης με τους βασικούς περιορισμούς.

Μολονότι υπάρχουν λίγες μόνον πληροφορίες όσον αφορά τη σχέση ανάμεσα στις βιολογικές επιπτώσεις και τις τιμές αιχμής παλμικών πεδίων, για τις συχνότητες που υπερβαίνουν τα 10 MHz, προτείνεται ο μέσος όρος της S_{eq} εφ' όλου του εύρους του παλμού, να μην υπερβαίνει το 1000πλάσιο των επιπέδων αναφοράς, ή οι εντάσεις των πεδίων να μην υπερβαίνουν το 32πλάσιο των επιπέδων αναφοράς για την ένταση του πεδίου.

Για συχνότητες από 0,3 GHz έως πολλά GHz, καθώς και για τοπική έκθεση της κεφαλής, με στόχο τον περιορισμό ή την αποφυγή επιπτώσεων στην ακοή λόγω της θερμοελαστικής διαστολής, πρέπει να περιοριστεί η ειδική απορρόφηση ενέργειας λόγω των παλμών. Σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων, η οριακή τιμή SA 4-16 mJ/kg για την πρόκληση αυτής της επίπτωσης αντιστοιχεί, για παλμούς 30-μs, σε τιμές αιχμής SAR 130-520 W/kg στον εγκέφαλο.

Από 100 kHz έως 10 MHz, οι πολλαπλασιαστικοί συντελεστές που δίνουν τις τιμές κορυφής για την ένταση πεδίων υπολογίζονται με παρεμβολή μεταξύ 1,5 για 100 kHz και 32 σε 10 MHz.

Ρεύμα επαφής και ρεύμα άκρων

Για συχνότητες έως 110 MHz και προκειμένου να αποφευχθούν οι κίνδυνοι που οφείλονται σε ρεύματα επαφής, συνιστώνται πρόσθετα επίπεδα αναφοράς. Τα επίπεδα αναφοράς για το ρεύμα επαφής περιέχονται στον πίνακα 4. Τα επίπεδα αναφοράς για το ρεύμα επαφής καθορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη ότι οι οριακές τιμές για το ρεύμα επαφής, οι οποίες δημιουργούν βιολογικές αντιδράσεις σε γυναίκες και παιδιά, ανέρχονται αντίστοιχα περίπου στα δύο τρίτα και στο ήμισυ των τιμών για τους άνδρες.

Ζώνη συχνοτήτων	Μέγιστο ρεύμα επαφής (mA)
0Hz - 2.5KHz	0.5
2.5KHz – 100KHz	0.2f-
100KHz – 110MHz	20

Πίνακας 4 : Επίπεδα αναφοράς για ρεύματα επαφής από αγωγή σώματα (f σε KHz)

Για τη ζώνη συχνοτήτων 10 MHz έως 110 MHz, συνιστάται επίπεδο αναφοράς 45mA ρεύματος διαμέσου οποιουδήποτε μέλους του σώματος, και τούτο για να περιορίζεται η εντοπισμένη SAR ανά οποιαδήποτε εξάλεπτη χρονική περίοδο.



3.2.5 Παράρτημα IV της σύστασης 1999/519/ΕΚ – Έκθεση σε πηγές με πολλαπλές συχνότητες

Σε περιπτώσεις ταυτόχρονης έκθεσης σε πεδία διαφορετικών συχνοτήτων, θα πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα σώρευσης των επιπτώσεών τους. Οι υπολογισμοί για τη σώρευση αυτή πρέπει να γίνονται χωριστά για κάθε επίπτωση. Έτσι, θα πρέπει να γίνονται χωριστές αξιολογήσεις για τις θερμικές και ηλεκτρικές επιπτώσεις στο σώμα.

Βασικοί περιορισμοί

Στην περίπτωση ταυτόχρονης έκθεσης σε επίπεδα διαφορετικών συχνοτήτων, πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα κριτήρια, όσον αφορά τους βασικούς περιορισμούς.

Για την ηλεκτρική διέγερση, που έχει σημασία για συχνότητες από 1 Hz έως 10 MHz, οι πυκνότητες του ρεύματος εξ επαγωγής πρέπει να αθροίζονται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (3.1)$$

Για τις θερμικές επιδράσεις, που έχουν σημασία για συχνότητες 100 kHz και άνω, πρέπει να αθροίζονται οι ταχύτητες ειδικής απορρόφησης ενέργειας και οι πυκνότητες ισχύος, σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{10\text{GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1 \quad (3.2)$$

όπου J_i είναι η πυκνότητα ρεύματος σε συχνότητα i , $J_{L,i}$ είναι ο βασικός περιορισμός για την πυκνότητα ρεύματος σε συχνότητα i , όπως αναφέρεται στον πίνακα 2, SAR_i είναι η SAR που προκύπτει από την έκθεση σε συχνότητα i , SAR_L είναι ο βασικός περιορισμός για τη SAR που αναφέρεται στον πίνακα 2, S_i είναι η πυκνότητα ισχύος σε συχνότητα i , S_L είναι ο βασικός περιορισμός για την πυκνότητα ισχύος που δίνεται στον πίνακα 2.

Επίπεδα αναφοράς

Για την εφαρμογή των βασικών περιορισμών, πρέπει να εφαρμόζονται τα ακόλουθα κριτήρια, όσον αφορά τα επίπεδα αναφοράς για τις εντάσεις των πεδίων.

Για τις πυκνότητες ρεύματος εξ επαγωγής και τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις, που έχουν σημασία για συχνότητες έως 10 MHz, στα επίπεδα των πεδίων πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθες δύο απαιτήσεις:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad \text{και} \quad \sum_{j=1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{i>150\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (3.3)$$

όπου E_i είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε συχνότητα i , $E_{L,i}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αναφέρεται στον πίνακα 3, H_j είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε συχνότητα j , $H_{L,j}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του μαγνητικού πεδίου που αναφέρεται στον πίνακα 3, $a=87\text{V/m}$ και $b=5\text{A/m}$ ($6.25 \mu\text{T}$).

Σε σύγκριση με τις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP, που αφορούν τόσο την επαγγελματική έκθεση όσο και την έκθεση του κοινού, τα όρια των αθροίσεων αντιστοιχούν σε συνθήκες έκθεσης του ευρέως κοινού.

Η χρήση σταθερών τιμών (a και b) πάνω από 1 MHz για ηλεκτρικά πεδία και πάνω από 150 kHz για μαγνητικά πεδία οφείλεται στο γεγονός ότι το άθροισμα βασίζεται σε πυκνότητες επαγωγικού ρεύματος και δεν θα πρέπει να συγχέεται με τις συνθήκες θερμικής επίδρασης. Οι συνθήκες αυτές αποτελούν τη βάση για τα $E_{L,i}$ και $H_{L,j}$ πάνω από 1 MHz και 150 kHz αντίστοιχα, όπως αναφέρεται στον πίνακα 3.



Για συνθήκες θερμικής επίδρασης, σε συχνότητες 100 kHz, για τα επίπεδα πεδίων πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες δύο απαιτήσεις:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \text{ και } \sum_{i=100\text{kHz}}^{150\text{kHz}} \left(\frac{H_i}{d} \right)^2 + \sum_{i>150\text{kHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.4)$$

όπου E_i είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε συχνότητα i , $E_{L,i}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αναφέρεται στον πίνακα 3, H_j είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε συχνότητα j , $H_{L,j}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του μαγνητικού πεδίου που αναφέρεται στον πίνακα 3, $c=87/f^{0.5}$ V/m και $d=0,73/f$ A/m. Και εδώ, σε σύγκριση με τις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP, έχουν γίνει ορισμένες προσαρμογές λαμβάνοντας υπόψη μόνο την έκθεση του κοινού.

Για το ρεύμα των άκρων και για το ρεύμα επαφής, αντίστοιχα, θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες απαιτήσεις:

$$\sum_{k=10\text{MHz}}^{110\text{MHz}} \left(\frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1 \text{ και } \sum_{n>1\text{Hz}}^{110\text{MHz}} \left(\frac{I_n}{I_{C,n}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.5)$$

όπου I_k είναι η συνιστώσα του ρεύματος άκρων σε συχνότητα k , $I_{L,k}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για το ρεύμα άκρων (45 mA), I_n είναι η συνιστώσα του ρεύματος επαφής σε συχνότητα n , $I_{C,n}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για το ρεύμα επαφής σε συχνότητα n (πίνακας 4).

Ο παραπάνω τύπος άθροισης προϋποθέτει τις χειρότερες συνθήκες φάσης μεταξύ των πεδίων από πολλαπλές πηγές. Επομένως, σε συνήθεις καταστάσεις έκθεσης, μπορεί στην πραγματικότητα τα επίπεδα να είναι πιο περιορισμένα από αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί στον παραπάνω τύπο για τα επίπεδα αναφοράς.

3.3 Όρια έκθεσης σε μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες στην Ελλάδα

3.3.1 Όρια έκθεσης από διατάξεις εκπομπής πεδίων χαμηλών συχνοτήτων

Για την περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων δηλαδή για συχνότητες από 0Hz ως 150kHz τα όρια στην Ελλάδα καθορίζονται από την ΚΥΑ 3060(ΦΟΡ) 238, ΦΕΚ 512B’/25-04-2002, “Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων” [4]. Οι τιμές που υιοθετεί αυτή η Υπουργική απόφαση είναι οι ίδιες με τις τιμές που προτείνει η σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999/519/EK για γενικό κοινό και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

Ζώνη συχνοτήτων	Μαγνητική Επαγωγή (mT)	Πυκνότητα Ρεύματος (mA/m ²) (rms)
0Hz	40	-
>0-1Hz	-	8
1-4Hz	-	8/f
4-1000 Hz	-	2
1 KHz-100 KHz	-	f/500

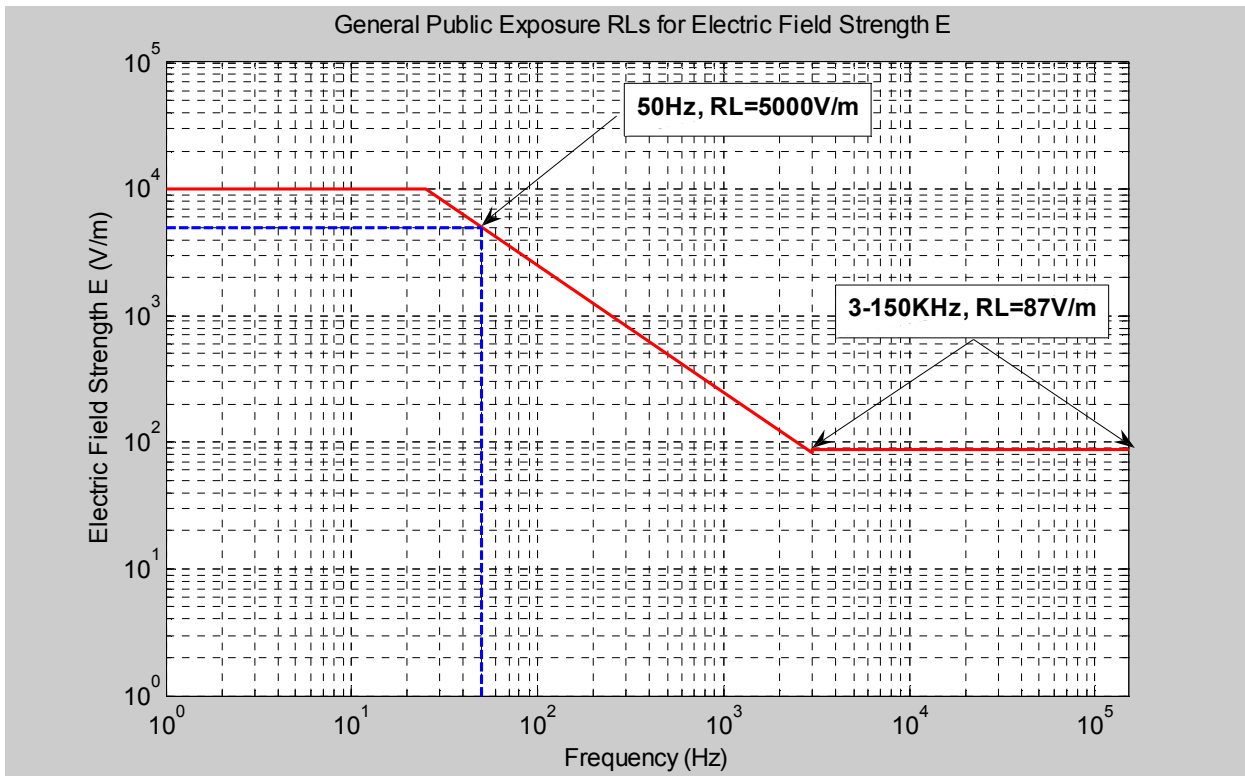
Πίνακας 5 : Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων



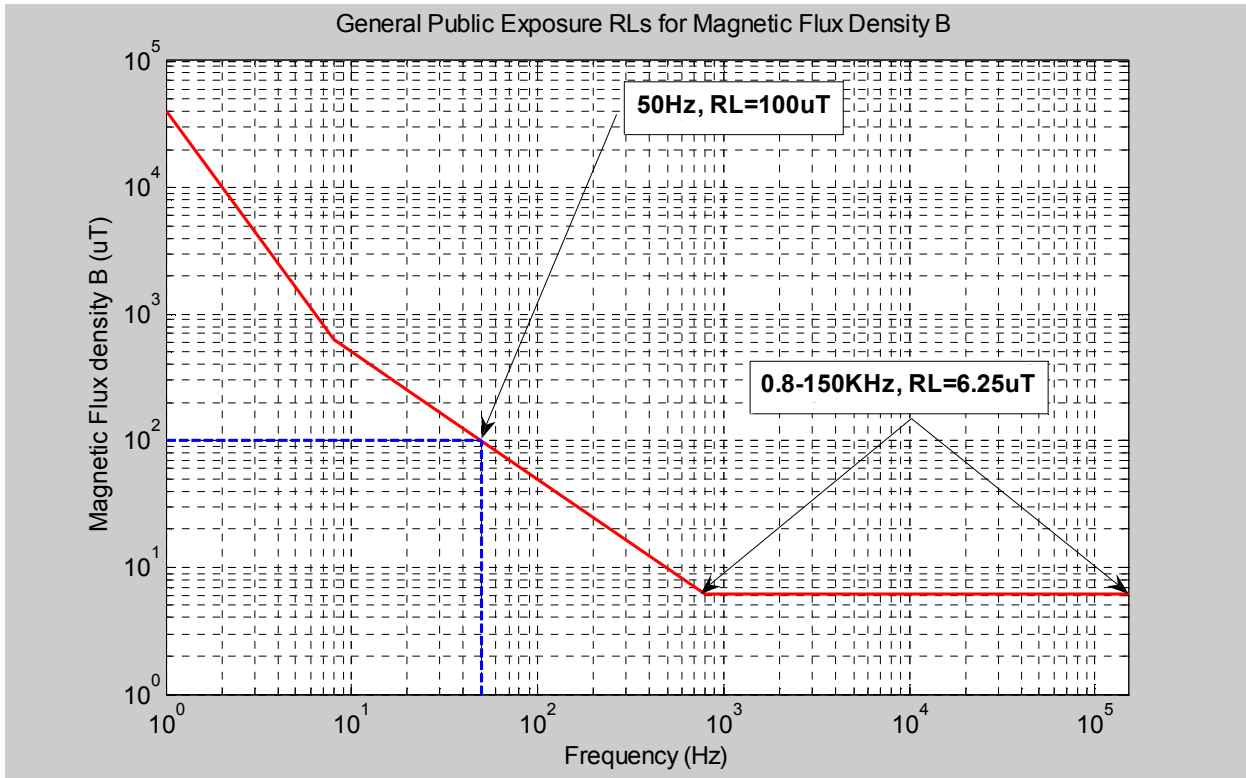
Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου H(A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μΤ)
0-1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
1-8 Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0.025-0.8 KHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$
0.8-3 KHz	$250 / f$	5	6.25
3-150 KHz	87	5	6.25

Πίνακας 6 : Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (σταθερές τιμές rms)

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς (Reference Levels-RL) για το ηλεκτρικό πεδίο και την μαγνητική επαγωγή, για πεδία χαμηλών συχνοτήτων. Όπως φαίνεται από τις εικόνες αυτές τα επίπεδα αναφοράς (όρια) για την συχνότητα των 50Hz είναι 5000V/m για το ηλεκτρικό πεδίο και 100μΤ για την μαγνητική επαγωγή.



Εικόνα 2 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου σε σχέση με την συχνότητα. Επίπεδο αναφοράς για την συχνότητα των 50Hz=5000V/m



Εικόνα 3 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Μαγνητικής Επαγωγής σε σχέση με την συχνότητα
Επίπεδο αναφοράς για την συχνότητα των 50Hz=100μΤ.



3.3.2 Όρια έκθεσης στο περιβάλλον σταθμών κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά

Τα όρια έκθεσης για την προστασία του γενικού πληθυσμού από τη λειτουργία κεραιών καθορίστηκαν για πρώτη φορά το 2000 από την κοινή υπουργική απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης, Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., Υγείας – Πρόνοιας και Μεταφορών Κ.Υ.Α. 53571/3839, Φ.Ε.Κ. 1105 Β', 6-9-2000 "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά" [5].

Η Κ.Υ.Α. 53571/3839/2000 στο άρθρο 6 όριζε ότι η τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από συγκεκριμένη κεραία εγκατεστημένη στην ξηρά, διαπιστώνεται με την εκπόνηση μελέτης ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών της κεραίας η οποία υποβάλλεται στην Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενεργείας (Ε.Ε.Α.Ε) για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης της κεραίας. Επίσης η Κ.Υ.Α. 53571/3839/2000 στην παράγραφο 5 του ίδιου άρθρου απαιτούσε ότι με την μελέτη ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών της κεραίας θα έπρεπε να αποδεικνύεται ότι δεν θα υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από τον γενικό πληθυσμό στους οποίους τα όρια έκθεσης θα υπερβαίνουν το 80% των τιμών των πινάκων των άρθρων 2-4 αυτής, τιμές οι οποίες συμπίπτουν με τις τιμές των πινάκων του παραρτήματος Α, δηλαδή τις τιμές που έχουν συσταθεί από την 1999/519/ΕΚ Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Με άλλα λόγια η Κ.Υ.Α. 53571/3839/2000 υιοθετούσε ως όρια το 80% των τιμών των πινάκων Α.1, Α.2 και Α.3 του παραρτήματος Α, δηλαδή το 80% των τιμών που προτάθηκαν από την σύσταση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 1999/519/ΕΚ για γενικό κοινό.

Στην συνέχεια το 2006 ψηφίστηκε στην Ελλάδα ο Νόμος 3431/03-02-2006/ΦΕΚ Α 13 "Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις" [6], στον οποίο στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 ορίζεται ότι:

"Από τη δημοσίευση του απαγορεύεται η εγκατάσταση κατασκευής κεραίας, για την οποία δεν έχει υποβληθεί και εγκριθεί από την Ε.Ε.Α.Ε. μελέτη, που αποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από τον γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα όρια έκθεσης υπερβαίνουν το 70% των τιμών, που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 κοινής Υπουργικής απόφασης ή στην εκάστοτε ισχύουσα αντίστοιχη κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης, Μεταφορών και Επικοινωνιών."

Επίσης στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του ίδιου Νόμου ορίζεται ότι:

"Σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μέχρι 300m από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και Νοσοκομείων, τα όρια έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της Κ.Υ.Α. 53571/3839 Φ.Ε.Κ. 1105 Β', 6-9-2000"

Τέλος στην παράγραφο 21 του άρθρου 31 του ίδιου Νόμου ορίζεται ότι:

"Δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση κατασκευής κεραίας κινητής τηλεφωνίας σε κτιριακές εγκαταστάσεις βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων. Υφιστάμενες κατασκευές κεραιών επί των ανωτέρω κτιρίων απομακρύνονται εντός διαστήματος έξι μηνών από τη θέση σε ισχύ του παρόντος νόμου"

Προκειμένου να διευκρινιστεί ο τρόπος εφαρμογής των συντελεστών μείωσης (70% ή 60% κατά περίπτωση) στις τιμές που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθ. 53571/3839 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000), όπως προβλέπεται στις παραγράφους 9 και 10, αντίστοιχα, του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006) με θέμα "Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις", η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενεργείας (Ε.Ε.Α.Ε) εξέδωσε την Εγκύκλιο Α.Π.: Π/105/014/12-01-2007 του Συμβουλίου της με θέμα: "Καθορισμός ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006)" [7].

Στην εγκύκλιο αυτή παρουσιάζονται πίνακες με βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60%, αντίστοιχα,



στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς και τα επίπεδα αναφοράς των άρθρων 2-4 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ, καθώς και διάφορες άλλες διευκρινήσεις.

Έτσι για την περίπτωση της μείωσης των επιπέδων αναφοράς με εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60% ο πίνακας που υιοθετείται για σύγκριση των μετρούμενων τιμών είναι ο παρακάτω:

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μΤ)	Ισοδύναμη Πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος S_{eq} (W/m ²)
1-3 KHz	150/f	3	3,75	-
3-188 KHz	52.2	3	3,75	-
0.188-1.66 MHz	52.2	0.565/f	0.71/f	-
1.66-10 MHz	67,3 f ^{0.5}	0.565/f	0.71/f	-
10-400 MHz	21,7	0.0565	0.071	1,2
400-2000 MHz	1,065·f ^{0.5}	0.00287·f ^{0.5}	0.00356·f ^{0.5}	f/333
2-300 GHz	47,2	0.124	0.155	6

Πίνακας 7 : Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 1KHz – 300GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431/2006, στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της ΚΥΑ 53571/3839/2000

όπου στον παραπάνω πίνακα, f είναι η συχνότητα στις μονάδες (KHz ή MHz) που αναγράφονται στην στήλη της ζώνης συχνοτήτων, στην εκάστοτε γραμμή του πίνακα. Επίσης οι τιμές των παραμέτρων του άρθρου 4 της ΚΥΑ. 53571/3839/2000, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431/2006 με την ανωτέρω απόφαση της Ε.Ε.Α.Ε δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
a	52,2 V/m	c	67,4 f ^{0.5} V/m	I _{L,k}	34,9 mA
b	3 A/m (3,75 μΤ)	d	0,565/f A/m		

Πίνακας 8 : Τιμές παραμέτρων του άρθρου 4 της ΚΥΑ 53571 με συντελεστή μείωσης 60%

Στις εικόνες 4 ως 7 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μεταβολές των επιπέδων αναφοράς για την περίπτωση κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά (περίπτωση ραδιοσυχνοτήτων) σε σχέση με την συχνότητα, για συχνότητες από 1KHz ως 300GHz.

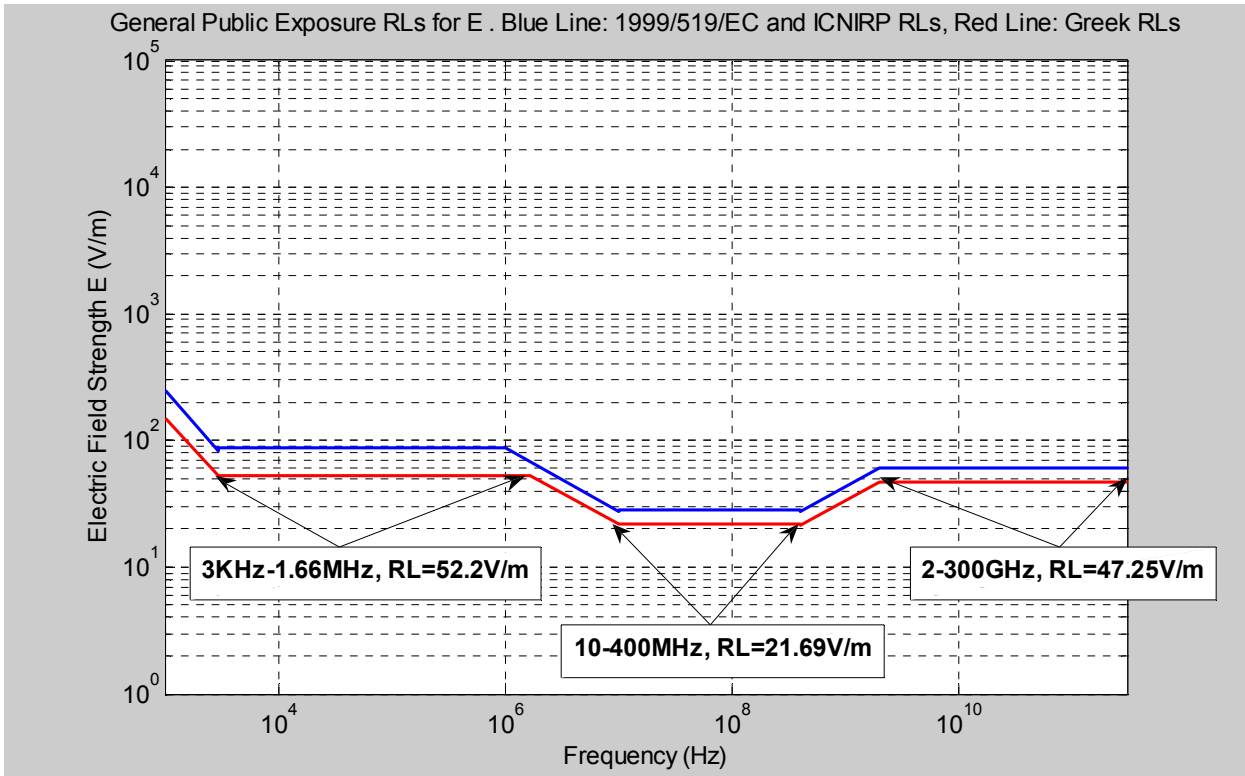
Με την κόκκινη γραμμή είναι οι τιμές των επιπέδων αναφοράς για το γενικό πληθυσμό που καθορίζονται από την Ελληνική Νομοθεσία, δηλαδή την Κ.Υ.Α. 53571/3839/2000 “Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά”, σε συνδυασμό με τον Νόμο 3431/2006, “Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις” και την Εγκύκλιο Α.Π.: Π/105/014/12-01-2007 του Συμβουλίου της Ε.Ε.Α.Ε με θέμα: “Καθορισμός ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006)”.

Με την μπλε γραμμή είναι οι τιμές των επιπέδων αναφοράς για το γενικό πληθυσμό που καθορίζονται από την Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης “Recommendation of the Council of July 12, 1999 relative to the exposure Limitation of the public to the electromagnetic fields (from 0 Hz to 300 GHz)”, 1999/519/CE και την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP).

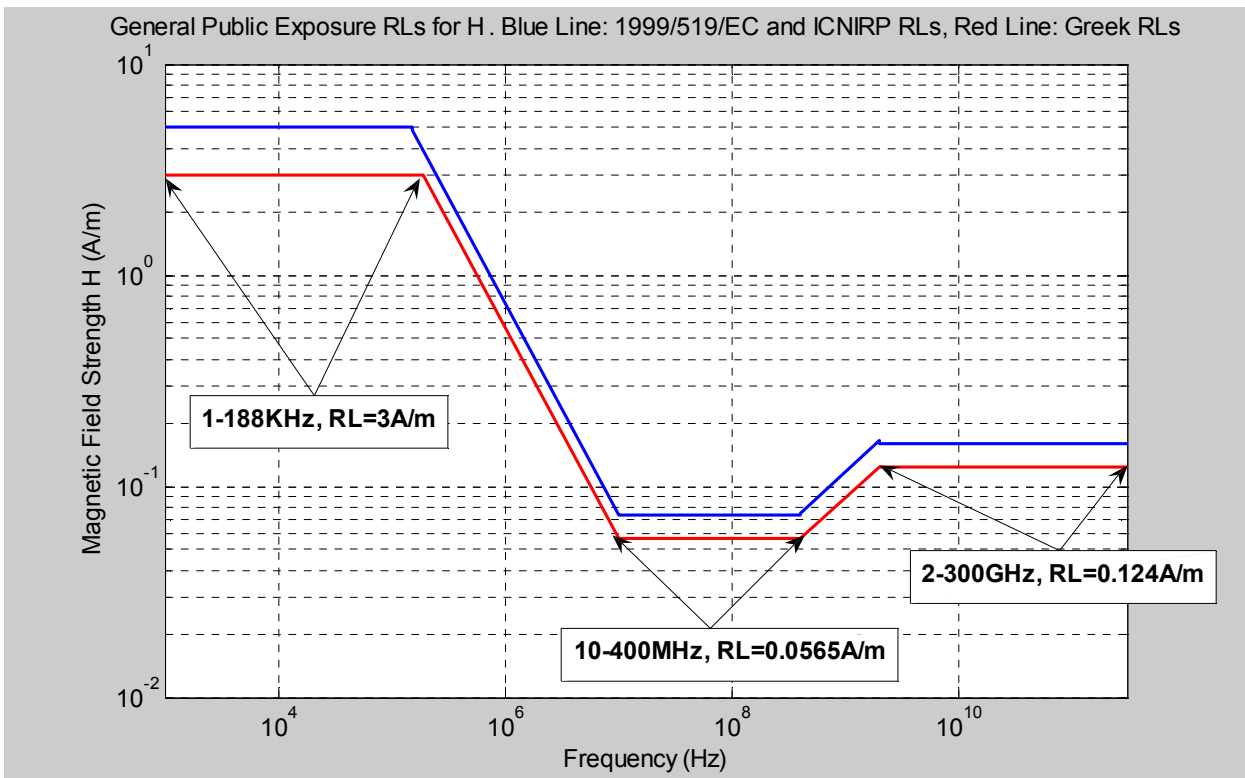
Οι εικόνες 2 ως και 7 έχουν δημιουργηθεί με την βοήθεια του λογισμικού **Matlab**. Όπως είναι φανερό από τις εικόνες 4 ως 7 οι χαμηλότερες τιμές των επιπέδων αναφοράς (ορίων) για όλη την ζώνη των ραδιοσυχνοτήτων παρουσιάζονται στο τμήμα της από 10MHz ως 400MHz που περιλαμβάνει την



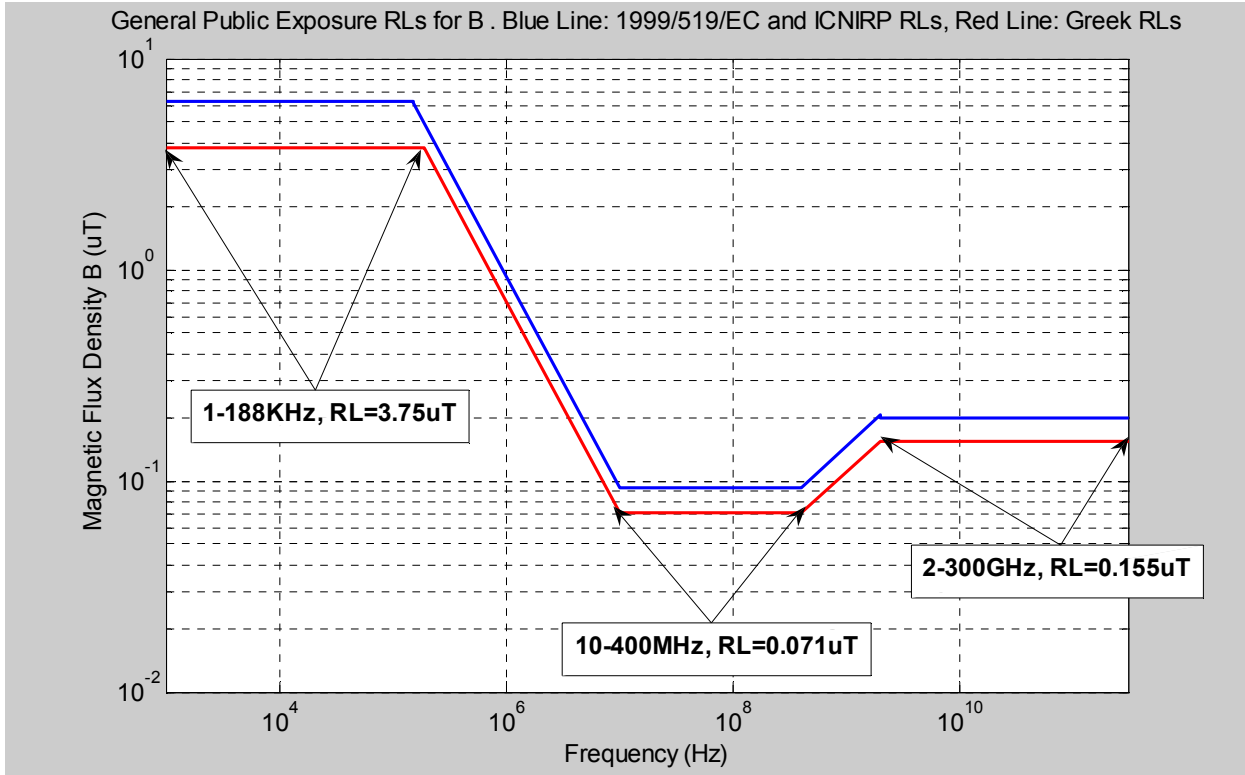
ζώνη ραδιοφωνίας FM και την ζώνη των VHF. Η μείωση αυτή των επιπέδων αναφοράς εξηγείται από το γεγονός ότι στις συχνότητες αυτές το ανθρώπινο σώμα λόγω των διαστάσεων του “συντονίζεται”, δηλαδή απορροφά περισσότερη ενέργεια.



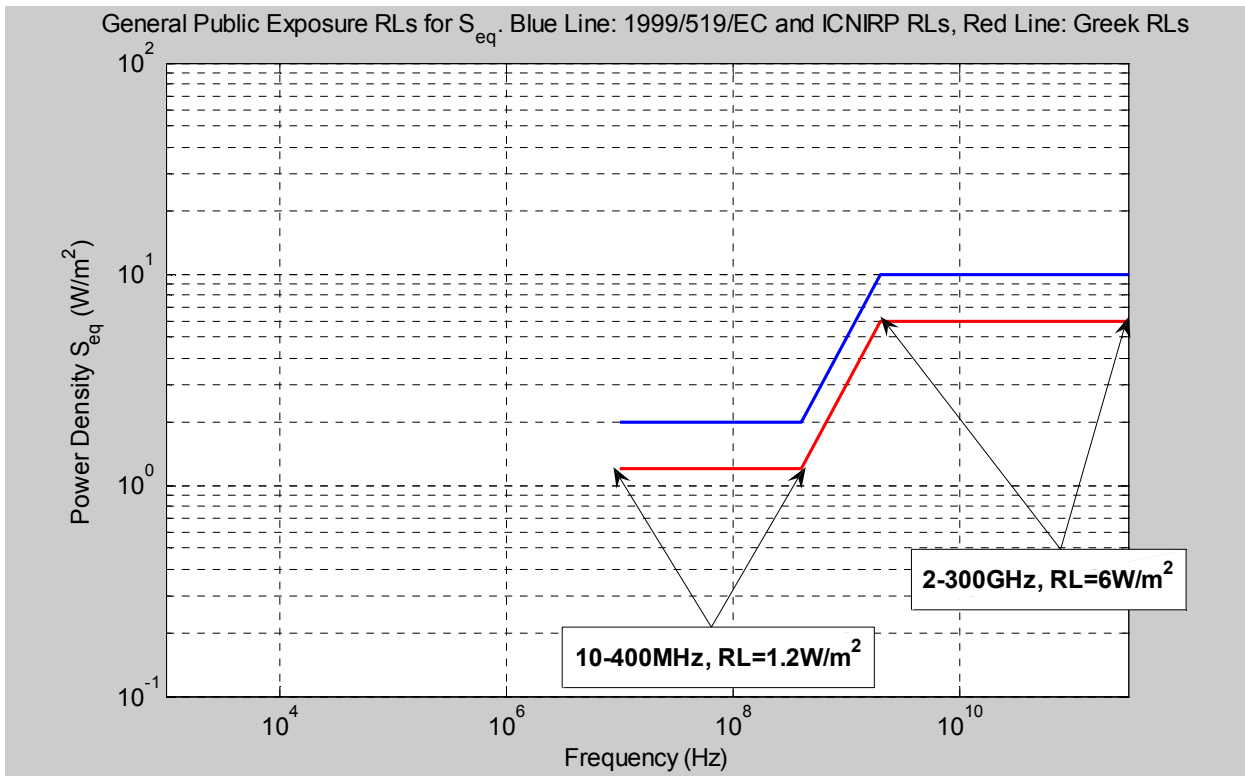
Εικόνα 4 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)



Εικόνα 5 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Έντασης του Μαγνητικού πεδίου σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)



Εικόνα 6 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Μαγνητικής Επαγωγής σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)



Εικόνα 7 : Μεταβολή των επιπέδων αναφοράς της Ισοδύναμης Πυκνότητας Ισχύος επιπέδου κύματος σε σχέση με την συχνότητα (από 1KHz ως 300GHz)

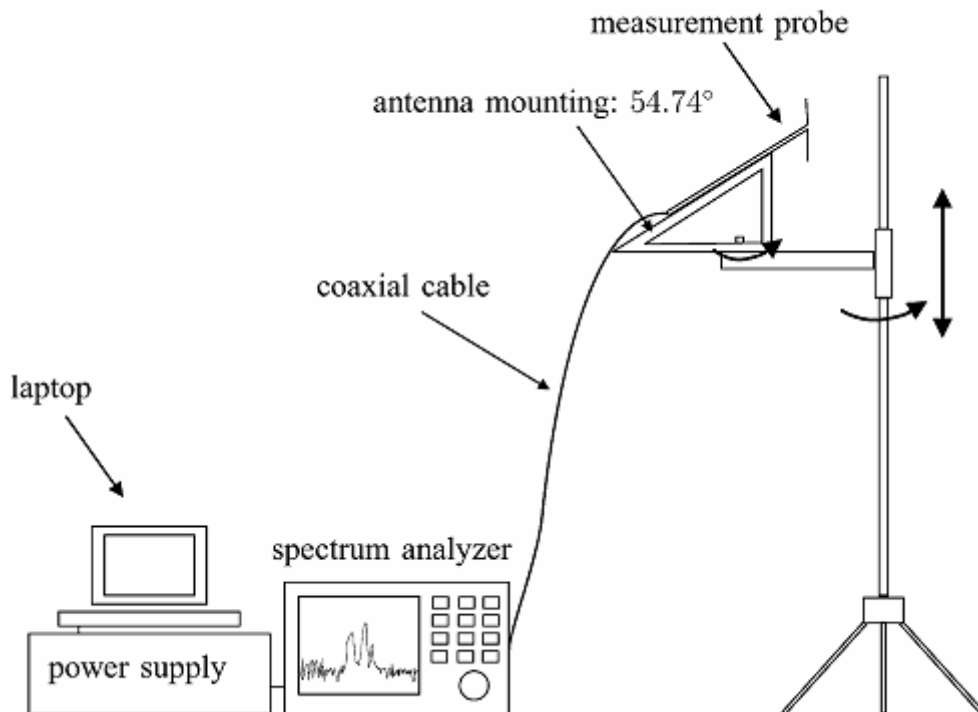
4 ΜΕΘΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ WiMAX

4.1 Εισαγωγή – State of the art

Στην Διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία μπορεί να βρει κανείς αρκετές δημοσιεύσεις στις οποίες προτείνονται διάφορες μεθολογίες από διάφορους ερευνητές για την μέτρηση σημάτων τύπου WiMAX. Αναλυτική περιγραφή όλων αυτών των μεθολογιών ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτής της πτυχιακής. Για περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης παραπέμπεται στην σχετική βιβλιογραφία π.χ. [8], [9], [10], [11].

Για παράδειγμα στην [8] εξετάζεται η επιρροή των χαρακτηριστικών του σήματος WiMAX σχετικά με τις ρυθμίσεις και τις παραμέτρους του αναλυτή φάσματος που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της έκθεσης στο παρόν έγγραφο. Επίσης προτείνονται βέλτιστες ρυθμίσεις για αρκετές παραμέτρους του αναλυτή φάσματος που αποσκοπούν στον ακριβή προσδιορισμό της ηλεκτρομαγνητικής έκθεσης γύρω από σταθμούς βάσης WiMAX.

Στην [9] αναπτύσσεται μια μέθοδος για τον ακριβή προσδιορισμό των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων γύρω από σταθμούς βάσης WiMAX. Εξετάζεται η επιρροή των χαρακτηριστικών του σήματος WiMAX σχετικά με τις ρυθμίσεις και τις παραμέτρους του αναλυτή φάσματος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της έκθεσης. Προτείνονται και εδώ βέλτιστες ρυθμίσεις και τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις και μετρήσεις συμφωνούν πολύ καλά. Επίσης περιγράφεται μια πρακτική εφαρμογή των προτεινόμενων ρυθμίσεων στη γειτονιά ενός σταθμού βάσης WiMAX. Οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου αντιστοιχούν πολύ καλά με τις διαφορετικές ρυθμίσεις και γίνεται σύγκριση αυτών με τα επίπεδα αναφοράς για το ευρύ κοινό, καθώς και εκείνα για επαγγελματική έκθεση. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαδικασίες πρακτικής μέτρησης της εκθέσεως λόγω σημάτων WiMAX. Η πειραματική διάταξη μέτρησης εικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:

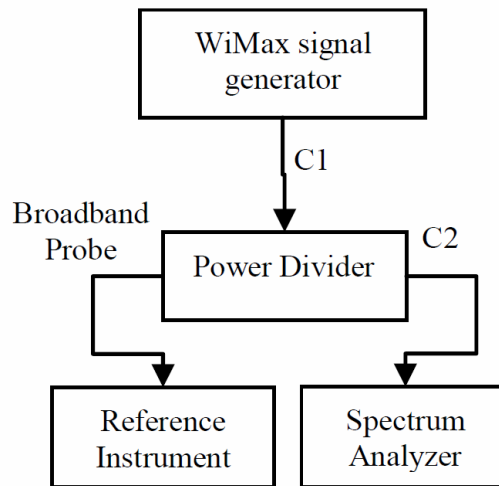


Εικόνα 8 : Πειραματική διάταξη μέτρησης σημάτων WiMAX σε εξωτερικό περιβάλλον ([9])



In this framework, this paper presents a suitable measurement method and spectrum analyzer proper settings able to warrant reliable measurements of electromagnetic emissions due to WiMAX devices.

Οι ερευνητές στην [10] ισχυρίζονται πως σήματα που μοιάζουν με το θόρυβο μπορούν να μετρηθούν με χρήση των παραδοσιακών αναλυτών φάσματος εφόσον τεθούν οι κατάλληλες ρυθμίσεις και υποβοηθηθεί ο χρήστης από κατάλληλη αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης. Στην εργασία τους παρουσιάζεται μια κατάλληλη μεθοδολογία μέτρησης με κατάλληλες ρυθμίσεις που δικαιολογούν αξιόπιστες μετρήσεις των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών που οφείλεται σε πομπούς WiMAX. Για την υλοποίηση των μετρήσεων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη της εικόνας που ακολουθεί:



Εικόνα 9 : Οργάνωση μέτρησης για το χαρακτηρισμό των εκπομπών WiMAX ([10])

Για να δημιουργηθούν σήματα WiMAX χρησιμοποιείται μια γεννήτρια σημάτων Agilent Technologies™ E4438C. Συνδέεται με έναν διαιρέτη ισχύος δύο εξόδων με τη βοήθεια ενός κατάλληλου βαθμολογημένου ομοαξονικού καλωδίου (C1). Η πρώτη έξοδος του διαιρέτη συνδέεται άμεσα με ένα όργανο αναφοράς και η δεύτερη έξοδος με ένα παραδοσιακό αναλυτή φάσματος με τη βοήθεια ενός κατάλληλου βαθμολογημένου ομοαξονικού καλωδίου (C2). Τα αποτελέσματα από τις ενδείξεις των δύο οργάνων συγκρίνονται για να εξαχθούν συμπεράσματα για τις βέλτιστες ρυθμίσεις του αναλυτή φάσματος.

Στην [11] παρέχονται αρκετά καλές πρακτικές για βελτιστοποίηση των ρυθμίσεων των αναλυτών φάσματος όταν η χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης είναι η μέθοδος “Ισχύος Καναλιού” (Channel Power). Οι ρυθμίσεις που εξετάζονται αφορούν τις παρακάτω παραμέτρους του αναλυτή φάσματος: Display Detectors, Resolution Bandwidth, Video Bandwidth, Sweep Time, Averaging modes κλπ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι από τις διάφορες προτεινόμενες μεθοδολογίες για μετρήσεις σε σήματα WiMAX, επικρατέστερη και πιο ευρέως αποδεκτή για να δώσει ορθά αποτελέσματα είναι η μέθοδος Channel Power της οποίας ο τρόπος χρήσης για τους σκοπούς της παρούσας πτυχιακής αναλύεται στην παράγραφο που ακολουθεί.

4.2 Χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκτίμησης ισχύος σήματος WiMAX στην παρούσα πτυχιακή

Στην παρούσα πτυχιακή για την εκτίμηση των πεδίων στην είσοδο του συστήματος λήψης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Channel Power [12]. Έτσι αν Z είναι η σύνθετη αντίσταση εισόδου του αναλυτή φάσματος και $V_{B,P,i}$ είναι οποιοδήποτε, διορθωμένο για τον εσωτερικό θόρυβο, από τα N δείγματα τάσης σε μια μέτρηση ζώνης μέσα σε ένα επιλεγμένο εύρος συχνοτήτων ($B_{ch}=Span$) με συγκεκριμένη ρύθμιση του εύρους ζώνης του φίλτρου ενδιάμεσης συχνότητας (RBW), τότε στο



συνδετήρα εισόδου του αναλυτή φάσματος η συνολική ισχύς στο επιλεγμένο εύρος συχνοτήτων $P_{B,P}$ από όλα τα δείγματα τάσης εντός αυτού για την συγκεκριμένη πόλωση P της κεραίας λήψης, μπορεί να υπολογιστεί με εφαρμογή της μεθόδου Channel Power ([13], [14], [15]), θα προκύπτει δηλαδή από την σχέση:

$$P_{B,P(SSA)} = \frac{B_{ch}}{B_{noise}} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N P_{B,P,i} = \frac{Span}{k_{SA} \cdot RBW \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{V_{B,P,i}^2}{Z} \quad (4.1)$$

όπου $P_{B,P,i}$ είναι η αντίστοιχη ισχύς στο συνδετήρα εισόδου του αναλυτή φάσματος λόγω του $V_{B,P,i}$ δείγματος τάσης, B_{noise} είναι το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου¹ του χρησιμοποιημένου φίλτρου ενδιάμεσης συχνότητας (Intermediate Frequency filter – IF), το οποίο συνήθως αποκαλείται φίλτρο αναλυτικότητας εύρους (Resolution Bandwidth filter - RBW), με RBW (Resolution Bandwidth setting) το εύρος 3dB του φίλτρου αυτού, και k_{SA} είναι ένας συντελεστής αναλογίας που παρέχεται από τον κατασκευαστή του αναλυτή φάσματος ή που υπολογίζεται από συγκεκριμένες μετρήσεις (Bertocco & Sona, 2006), ο οποίος χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το B_{noise} από το RBW ($B_{noise} = k_{SA} \cdot RBW$) και εξαρτάται από το επιλεγμένο φίλτρο RBW [16].

Η σχέση (4.1) αποτελεί την προσέγγιση Channel Power. Θέτοντας για τη συγκεκριμένη επιμέρους ζώνη μέτρησης:

$$cf_B = \sqrt{\frac{Span}{k_{SA} \cdot RBW} \cdot \frac{1}{N}} \quad (4.2)$$

και εάν υποθεθεί ότι οι τιμές του $P_{B,P,i}$ και του $V_{B,P,i}$ στην (4.1) είναι απόλυτες τιμές, δηλαδή:

$$P_{B,P,i} = 10^{\frac{P_{B,P,i}(dBm)}{10}} \text{ mW}, \quad \text{και} \quad V_{B,P,i} = 10^{\frac{V_{B,P,i}(dB\mu V)}{20}} \mu V \quad (4.3)$$

έπεται ότι η ισχύς που λαμβάνεται από την κεραία λήψης στην είσοδο του συστήματος μέτρησης θα δίνεται από την:

$$P_{B,P(input)} = \sum_{i=1}^N \frac{(cf_B \cdot V_{B,P,i} \cdot L_{B,P,i})^2}{Z} \quad (4.4)$$

όπου $L_{B,P,i}$ είναι ο παράγοντας απωλειών στη συχνότητα i λόγω της πορείας του σήματος από την κεραία στην είσοδο του αναλυτή φάσματος. Όπως είναι φανερό η τιμή του διορθωτικού παράγοντα cf_B για κάθε επιμέρους ζώνη B εξαρτάται από το επιλεγμένο $Span$, από τη ρύθμιση του RBW και από τον αριθμό των διαθέσιμων δειγμάτων σήματος N .

Κάθε συνιστώσα $E_{(B,P,i)inc}$ του προσπίπτοντος ηλεκτρικού πεδίου στη συχνότητα i δίνεται από τη σχέση:

$$E_{(B,P,i)inc} = V_{B,P,i} \cdot AF_{B,P,i} \cdot L_{B,P,i} \quad (4.5)$$

¹ Ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου (Equivalent Noise Bandwidth): Το εύρος συχνοτήτων ενός ιδεατού φίλτρου που παρέχει την ίδια μέση ενίσχυση σε σήμα λευκού θορύβου με το εξεταζόμενο φίλτρο. Το ιδεατό φίλτρο έχει την ίδια ενίσχυση με την μέγιστη ενίσχυση του εξεταζόμενου φίλτρου για το ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου και μηδενική ενίσχυση έξω από αυτό το εύρος [13].



όπου $AF_{B,P,i}$ είναι η απόλυτη τιμή του παράγοντα κεραίας (σε m^{-1}) στη συχνότητα i , για την πόλωση P και την επιμέρους ζώνη B . Εάν $A_{(B,P,i)eff}$ είναι η ενεργός επιφάνεια της κεραίας λήψης (σε m^2) στη συχνότητα i , και η είναι η χαρακτηριστική αντίσταση του ελεύθερου χώρου ($\eta = 120\pi \Omega$), τότε ο $AF_{B,P,i}$ θα δίνεται από τη σχέση [17]:

$$AF_{B,P,i} = \sqrt{\frac{\eta}{Z \cdot A_{(B,P,i)eff}}} \quad (4.6)$$

Με αντικατάσταση των (4.5) και (4.6) στην (4.4), η ισχύς στην είσοδο του συστήματος μέτρησης $P_{B,P(input)}$ για την συγκεκριμένη επιμέρους ζώνη B και πόλωση P της κεραίας, θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_{B,P(input)} = \sum_{i=1}^N \frac{A_{(B,P,i)eff} \cdot cf_B^2 \cdot E_{inc,i}^2}{\eta} \quad (4.7)$$

Το άθροισμα κάθε όρου της (4.7) διαιρούμενο με $A_{(B,P,i)eff}$ είναι η πυκνότητα ισχύος $S_{B,P(input)}$ στην είσοδο του συστήματος μέτρησης για τη συγκεκριμένη μέτρηση, δηλαδή:

$$S_{B,P(input)} = \sum_{i=1}^N S_{B,P,i} = \sum_{i=1}^N \frac{cf_B^2 \cdot E_{(B,P,i)inc}^2}{\eta} = \frac{E_{B,P(input)}^2}{\eta} \quad (4.8)$$

όπου $E_{B,P(input)}$ είναι το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο για την συγκεκριμένη επιμέρους ζώνη συχνοτήτων και την συγκεκριμένη πόλωση της κεραίας λήψης στην είσοδο του συστήματος μέτρησης σύμφωνα με τη μέθοδο Channel Power. Σύμφωνα με την (4.8) η $E_{B,P(input)}$ μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$E_{B,P(input)}^2 = \sum_{i=1}^N cf_B^2 \cdot E_{(B,P,i)inc}^2 \equiv E_{B,P}^2 \quad (4.9)$$

Επομένως, για να λάβουμε τη σωστή πυκνότητα ισχύος με συνέπεια ως προς την μέθοδο Channel Power όταν μετράται το ηλεκτρικό πεδίο, η τιμή του $E_{B,P}$ πρέπει να ληφθεί ως η RSS τιμή όλων των $E_{(B,P,i)inc}$ πολλαπλασιασμένη με τον διορθωτικό παράγοντα cf_B [18]. Χρησιμοποίηση της (4.5) στην (4.9) δίνει για το $E_{B,P}$:

$$E_{B,P} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (cf_B \cdot V_{B,P,i} \cdot AF_{B,P,i} \cdot L_{B,P,i})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N E_{B,P,i}^2} \quad (4.10)$$

όπου το $E_{B,P,i}$ δίνεται από την σχέση:

$$E_{B,P,i} = cf_B \cdot V_{B,P,i} \cdot AF_{B,P,i} \cdot L_{B,P,i} \quad (4.11)$$

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι η τιμή του διορθωτικού παράγοντα cf_B είναι διαφορετική όταν το RBW , το N ή το k_{SA} (η τιμή του k_{SA} εξαρτάται από την τιμή του RBW) έχουν ρυθμιστεί διαφορετικά για κάθε επιμέρους ζώνη συχνοτήτων μέτρησης, για κάθε επιλογή του $Span$. Εντούτοις, σύμφωνα με



την μέθοδο Channel Power και με την προϋπόθεση ότι οι ρυθμίσεις του RBW του N και του k_{SA} είναι σωστές για το επιλεγμένο $Span$ [16] και τον χρόνο σάρωσης ($Sweep\ time$) του αναλυτή φάσματος, η τιμή του $E_{B,P}$ δεν θα αλλάξει εφόσον η $P_{B,P(SA)}$ και συνεπώς η $P_{B,P(input)}$ και η $S_{B,P(input)}$ δεν αλλάζουν. Διαφορετικά, εάν δεν εφαρμοστεί η μέθοδος Channel Power, μεταβάλλοντας το RBW , το N και το k_{SA} , και μη λαμβάνοντας υπόψη τον διορθωτικό παράγοντα cf_B θα μπορούσε να προκύψει ένα διαφορετικό αποτέλεσμα για το $E_{B,P}$, που αυτό θα μπορούσε να οδηγούσε σε διαφορετικό αποτέλεσμα για την πραγματική τιμή της ισχύος του καναλιού και την αντίστοιχη τιμή της πυκνότητας ισχύος.

Με άλλα λόγια, αλλαγές στις ρυθμίσεις του χρησιμοποιημένου αναλυτή φάσματος για μια συγκεκριμένη μέτρηση ζώνης συχνοτήτων, έχουν επιπτώσεις στις υπολογιζόμενες τιμές του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου $E_{B,P}$ της ζώνης αυτής. Κατά συνέπεια, οι υπολογιζόμενες τιμές της $S_{B,P(input)}$ και του αθροίσματος των πηλίκων έκθεσης, εφόσον αυτό εξαρτάται από τα επίπεδα των ηλεκτρικών πεδίων στις διάφορες συχνότητες, εάν δεν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Channel Power, δηλαδή εάν δεν ληφθεί υπόψη ο διορθωτικός παράγοντας cf_B , θα αλλάξουν. Οι υπολογισμένες τιμές θα είναι σωστές σε μια τέτοια περίπτωση μόνο εφόσον η τιμή του $Span$ είναι ίση με την τιμή του γινομένου $k_{SA} \cdot RBW \cdot N$. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνον όταν $cf_B = 1$.

Επομένως, η $E_{B,P,i}$ που δίνεται από την σχέση (4.11) είναι η κατάλληλη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου στη συγκεκριμένη συχνότητα i και αντιστοιχεί στην αντισταθμισμένη ως προς τον εσωτερικό θόρυβο τιμή της τάσης $V_{B,P,i}$ που απεικονίζεται στην οθόνη του αναλυτή φάσματος, μετατρεπόμενη στην είσοδο του συστήματος μέτρησης. Αυτό εξασφαλίζει ότι εάν δεν εφαρμοστεί από τον ίδιο τον αναλυτή φάσματος στα δεδομένα μέτρησης η μέθοδος Channel Power, το αποτέλεσμα θα αντιστοιχεί σε μέτρηση που θα είχε χρησιμοποιηθεί η δυνατότητα λειτουργίας Channel Power mode του αναλυτή φάσματος (αν παρέχεται). Αν και στα περισσότερα σύγχρονα όργανα είναι δυνατόν να εισαχθούν κατάλληλοι παράγοντες διόρθωσης για το σύστημα μέτρησης όπως π.χ. για τις απώλειες των καλωδίων, τον παράγοντα κεραίας κλπ και επίσης να υποστηρίξουν την δυνατότητα λειτουργίας Channel Power mode, μια τέτοια λύση ακόμα κι αν είναι πιθανή, είναι στην πράξη αρκετά χρονοβόρα.

Επομένως, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί ειδικά σχεδιασμένο λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων μετρήσεων, που θα μπορεί να υλοποιήσει την μέθοδο Channel Power [19] στα αποθηκευμένα δεδομένα μέτρησης, χρησιμοποιώντας και τις αντίστοιχες αποθηκευμένες ρυθμίσεις του αναλυτή φάσματος. Πρέπει να παρατηρηθεί εδώ ότι εάν μετράται ισχύς (δείγματα ισχύος εμφανίζονται στην οθόνη του αναλυτή φάσματος), τότε η συνολική ισχύς του καναλιού και κατά συνέπεια η συνολική πυκνότητα ισχύος του καναλιού στην είσοδο του συστήματος μέτρησης, μπορεί να υπολογιστεί από την τιμή RSS στα αντισταθμισμένα για τον εσωτερικό θόρυβο δείγματα ισχύος τα οποία αναφέρονται στην είσοδο του συστήματος μέτρησης (δηλαδή λαμβάνοντας κατάλληλα στον υπολογισμό τον παράγοντα κεραίας και τον παράγοντα απωλειών) και διορθώνονται για το RBW , το N και το k_{SA} . Σε αυτήν την περίπτωση ο διορθωτικός συντελεστής για τις ρυθμίσεις του RBW , του N και του k_{SA} δίνεται απλά από την τιμή cf_B^2 όπου το cf_B δίδεται από τη σχέση (4.2). Φυσικά μια τέτοια διαδικασία υπολογισμού μέσω μετρήσεων ισχύος και αναγωγής σε πυκνότητα ισχύος θα δώσει τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα για όλες τις ηλεκτρομαγνητικές ποσότητες (E , B , H και S), όπως και η διαδικασία μέσω μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου, για συνθήκες μακρινού πεδίου από όλα τα ακτινοβολούντα κεραιοσυστήματα στην περιοχή μέτρησης και για συχνότητες πάνω από 10MHz, όπου ορίζεται πυκνότητα ισχύος.

Η αβεβαιότητα των μετρήσεων και ο τρόπος υπολογισμού της είναι ιδιαίτερα σημαντικό θέμα και γι' αυτό εξετάζεται ξεχωριστά στο επόμενο κεφάλαιο. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές απομακρυσμένου (remote) προγραμματισμού και ελέγχου του αναλυτή φάσματος περιγράφονται στο κεφάλαιο 6. Οι διαδικασίες μετρήσεων καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας πτυχιακής περιγράφονται στο κεφάλαιο 8.



5 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Μεθοδολογία υπολογισμού αβεβαιότητας σε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

5.1.1 Τι είναι αβεβαιότητα

Από την κλασική αρχαία εποχή που ο Αριστοτέλης θεώρησε τη βεβαιότητα (και αβεβαιότητα) ενός αποτελέσματος ως σήμερα ο χαρακτηρισμός της αβεβαιότητας της μέτρησης είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει τους επιστήμονες. Σήμερα υπάρχουν ερευνητικά κέντρα και οργανισμοί, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μέτρων (International Organization for Standards, ISO), που αναπτύσσουν μεθοδολογίες για τον καθορισμό μέτρων και σταθμών καθώς και τον καθορισμό της αβεβαιότητας των μετρήσεων.

Κάθε φορά που προσπαθούμε να ποσοτικοποιήσουμε μια φυσική διαδικασία, εμφανίζεται η αβεβαιότητα που μπορεί να σχετίζεται με το μοντέλο και την προσομοίωση στον υπολογιστή που υποθέτουμε για τη διαδικασία, όπως επίσης και με τη μέτρηση της διαδικασίας. Αντίστοιχα έχουμε λοιπόν την αβεβαιότητα του μοντέλου ή / και της προσομοίωσης (model or simulation uncertainty) και την αβεβαιότητα της μέτρησης (measurement uncertainty).

Ο πρώτος τύπος αβεβαιότητας είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αφού η πραγματική φυσική διαδικασία μας είναι άγνωστη και δεν υπάρχουν διεθνώς αναγνωρισμένα μέτρα (standards) για αυτόν τον τύπο αβεβαιότητας. Για παράδειγμα η αβεβαιότητα του μοντέλου εμφανίζεται όταν υποθέτουμε ένα απλουστευμένο μαθηματικό μοντέλο για μια φυσική διαδικασία που περιέχει παράγοντες που δεν έχουμε συμπεριλάβει στο μοντέλο. Σε αυτόν τον τύπο αβεβαιότητας θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και την υπολογιστική (αριθμητική) αβεβαιότητα (numerical uncertainty) που αναφέρεται στην αριθμητική επίλυση μαθηματικών εξισώσεων.

Ο δεύτερος τύπος αβεβαιότητας μπορεί πιο εύκολα να προσδιοριστεί και να προτυποποιηθεί. Κάθε μέτρηση, ανεξάρτητα από το πόσα καλά έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκειται σε σφάλμα και επομένως το αποτέλεσμα μίας μέτρησης εμπεριέχει κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας. Με τον επιστημονικά και μετρολογικά ορθό όρο αβεβαιότητα (uncertainty) - αντί του όρου ακρίβεια (accuracy) - προσδιορίζεται το εύρος τιμών εκατέρωθεν της μετρούμενης από το όργανο τιμής, (\pm), μέσα στο οποίο βρίσκεται η “αληθινή” ή “πραγματική” τιμή του μετρούμενου μεγέθους, με μια συγκεκριμένη πιθανότητα (επίπεδο εμπιστοσύνης), συνήθως 95%.

Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας με την οποία μετρά ένα μετρητικό όργανο, μίας μέτρησης λαμβάνονται υπ’ όψιν όλες οι επί μέρους αβεβαιότητες των προτύπων και συσκευών που χρησιμοποιούνται, οι οποίες συνδυάζονται σε μία και μοναδική τιμή που αποτελεί τη συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης. Οι υπολογισμοί αυτοί απαιτούν μεγάλη εμπειρία μετρήσεων και γνώσεων των στατιστικών τεχνικών προκειμένου να γίνουν με επιστημονικά ορθό τρόπο. Ο τρόπος υπολογισμού της αβεβαιότητας μίας μέτρησης τεκμηριώνεται στην πιο πρόσφατη οδηγία του Διεθνούς Γραφείου Μέτρων και Σταθμών BIPM (International Bureau of Weights and Measures) και στην οδηγία του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης ISO: “Guide for the expression of uncertainty of measurements”. Σύμφωνα με αυτές τις οδηγίες οι αβεβαιότητες διαίρουνται ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους σε:

- a) Παράγοντες που σχετίζονται με την διαδικασία μέτρησης, και
- b) Παράγοντες που σχετίζονται με την βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης (Φασματικού Αναλυτή, κεραίων, αισθητήρων μέτρησης κ.λ.π).

Οι αβεβαιότητες της πρώτης κατηγορίας (π.χ. μεταβολή των χαρακτηριστικών του παράγοντα κεραίας ή του αισθητήρα μέτρησης λόγω επίδρασης μεταλλικών αντικειμένων του περιβάλλοντος, είδος του εδάφους πάνω στο οποίο τοποθετείται ο τρίποδος που στηρίζει την κεραία λήψης ή το πεδιόμετρο κατά τις μετρήσεις, παρουσία ανθρώπων σε απόσταση μικρότερη από μια απόσταση ασφαλείας κοντά στην κεραία ή στους αισθητήρες μέτρησης κ.λ.π.) είναι πολύ δύσκολο να



εκτιμηθούν. Οι αβεβαιότητες όμως αυτής της κατηγορίας εάν τηρούνται αυστηρά τα πρότυπα μέτρησης κατά την διάρκεια των μετρήσεων, είναι αμελητέες και δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι αβεβαιότητες της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να εκτιμηθούν από τις τιμές που ορίζονται στα πιστοποιητικά βαθμονόμησης (calibration certificates) των χρησιμοποιούμενων οργάνων των κατασκευαστών αυτών σύμφωνα με Διεθνή πρότυπα υπολογισμού αβεβαιότητας.

Κάθε μέτρηση λοιπόν, όσο καλά και αν έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκειται σε σφάλματα και εμπεριέχει κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας η οποία και πρέπει να υπολογισθεί με μια συγκεκριμένη πιθανότητα (επίπεδο εμπιστοσύνης).

5.1.2 Αβεβαιότητα σε διατάξεις μέτρησης ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Δεδομένου ότι από τα ευρέως αποδεκτά πρότυπα μέτρησης ([20], [21]) συνιστάται η λήψη ισοτροπικών μετρήσεων, εφόσον υπάρχουν οι διαθέσιμες κεραίες, ενδέχεται προκειμένου να καλυφθεί ένα επιθυμητό φάσμα συχνοτήτων, να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές πολώσεις των κεραίων ή και διαφορετικές κεραίες. Τότε, τα σχετικά αποτελέσματα μέτρησης πρέπει να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να υπολογιστούν τα συνολικά πεδία για μια συγκεκριμένη ζώνη.

Συνήθως, αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ισοτροπικές κεραίες, ή εάν δεν είναι διαθέσιμες ή δεν υπάρχουν στο εμπόριο για τις συχνότητες ενδιαφέροντος, ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν για τον σκοπό αυτό κεραίες με διάγραμμα ακτινοβολίας όμοιο με αυτό της διπολικής κεραίας, π.χ. δικωνικές κεραίες ή δίπολα, κατάλληλες για την υπό εξέταση ζώνη συχνοτήτων, οι οποίες πρέπει να τοποθετηθούν διαδοχικά σε τρεις αμοιβαία κάθετες πολώσεις.

Τα συνολικά πεδία σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να υπολογιστούν από την τιμή RSS όλων των λαμβανόμενων πεδίων, από όλες τις επιμέρους πολώσεις των χρησιμοποιούμενων κεραίων. Ως εκ τούτου, όταν απαιτούνται μετρήσεις σε πολλαπλές ζώνες για την πλήρη σάρωση και αξιολόγηση ενός επιθυμητού φάσματος συχνοτήτων, πιθανώς θα πρέπει τα συστήματα μέτρησης να οργανωθούν διαφορετικά, π.χ. να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές πολώσεις των κεραίων λήψης ή διαφορετικές κεραίες, διαφορετικά καλώδια, διαφορετικές ρυθμίσεις για τον αναλυτή φάσματος (SA), εξασθενητές ή ενισχυτές στην πορεία των σημάτων από την κεραία λήψης στο όργανο καταγραφής κλπ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι οργανώσεις μέτρησης εξαρτώνται έντονα από το επίπεδο, την συχνότητα και τον τύπο των σημάτων που πρόκειται να μετρηθούν, όπως π.χ. ραδιοφωνική μετάδοση FM, GSM, UMTS κλπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις η σχετική αβεβαιότητα θα είναι διαφορετική για κάθε συγκεκριμένη οργάνωση μέτρησης και πρέπει να επιλεγεί κατάλληλος συνδυασμός όλων των μεμονωμένων αβεβαιοτήτων για να υπολογιστεί η αβεβαιότητα των συνολικών προσπιπτόντων πεδίων και του συνολικού αθροίσματος των πηλίκων έκθεσης.

Σε αυτό το κεφάλαιο προτείνεται μια γενική μεθοδολογία λήψης και αξιολόγησης πολλαπλών μετρήσεων στενής ζώνης, η οποία οδηγεί στον υπολογισμό των συνολικών ηλεκτρομαγνητικών μεγεθών, του συνολικού αθροίσματος των πηλίκων έκθεσης, και των αντίστοιχων αβεβαιοτήτων σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, το οποίο περιέχει φασματικές συνιστώσες από πολλούς πομπούς διαφορετικού τύπου και συχνοτήτων εκπομπής. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τον αριθμό των μη επικαλυπτόμενων συχνοτικών υποζωνών στις οποίες μπορεί να χωριστεί το συνολικό υπό εξέταση εύρος συχνοτήτων και στις οποίες θα πρέπει να ληφθούν μετρήσεις, ανεξάρτητα από τον αριθμό των χρησιμοποιημένων κεραίων και των πολώσεων και ανεξάρτητα από τις ιδιαίτερες ρυθμίσεις της οργάνωσης μέτρησης. Επιπλέον, η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα και να αυτοματοποιηθεί με χρήση ειδικά ανεπτυγμένου για τον σκοπό αυτό λογισμικού.

5.1.3 Μεθοδολογία λήψης πολλαπλών μετρήσεων στενής ζώνης και υπολογισμού αβεβαιοτήτων

Η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων μιας μέτρησης μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εάν από τις όλες τις εμπλεκόμενες αβεβαιότητες προκύψει μια τιμή συνολικής αβεβαιότητας. Ανάλογα όμως με τον τύπο και τις συνθήκες διεξαγωγής της μέτρησης υπάρχει περίπτωση ορισμένα από τα εμπλεκόμενα είδη αβεβαιοτήτων να μην συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της συνολικής αβεβαιότητας, εφόσον ασκούν μηδαμινή επίδραση



στο τελικό αποτέλεσμα. Για την εκτίμηση της συνολικής αβεβαιότητας μετρήσεων ηλεκτρικών, μαγνητικών και ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στις περιοχές των εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων είτε στις περιοχές των ραδιοσυχνοτήτων, είτε αυτές πραγματοποιηθούν με χρήση αναλυτή φάσματος και κατάλληλων κεραιών, είτε με χρήση πεδιομέτρου και κατάλληλων αισθητήρων, οι παράγοντες που επηρεάζουν σε γενικές γραμμές την αβεβαιότητα και θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι οι παρακάτω:

- (α) Η αβεβαιότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης.
- (β) Οι αβεβαιότητες των επιμέρους παραμέτρων των ίδιων των οργάνων μέτρησης που προκύπτουν:
 - είτε από τα πιστοποιητικά βαθμονόμησης των οργάνων από εξειδικευμένα για τον σκοπό αυτό εργαστήρια βαθμονόμησης, εφόσον τα στοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα για όλες τις επιμέρους αβεβαιότητες,
 - είτε από τα τεχνικά εγχειρίδια των προδιαγραφών των οργάνων των ίδιων των κατασκευαστών.
- (γ) Οποιοσδήποτε μεταβολές στα χαρακτηριστικά ή αστάθεια κατά την λειτουργία των οργάνων μέτρησης που σχετίζονται με τη μακροπρόθεσμη απόδοση και χρήση τους. Οι αβεβαιότητες αυτού του τύπου ελαχιστοποιούνται με τις επαναλαμβανόμενες διαδικασίες βαθμονόμησης σε χρονικά διαστήματα που συστήνονται από Διεθνή πρότυπα ή από τους κατασκευαστές των οργάνων.
- (δ) Η αβεβαιότητα που σχετίζεται με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη μέτρηση.
- (ε) Το διαφορετικό προσωπικό που πραγματοποιεί τον ίδιο τύπο μέτρησης.
- (στ) Η αβεβαιότητα που εισάγουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) κατά την διάρκεια διενέργειας των μετρήσεων.

Στη συνολική αβεβαιότητα ενός αναλυτή φάσματος συνεισφέρουν οι ακόλουθες πηγές σφάλματος:

- Απόλυτο σφάλμα της πηγής εσωτερικής βαθμονόμησης (Absolute error of the internal calibrator source),
- Απόκριση συχνότητας της RF εισόδου (Frequency response of the RF input),
- Σφάλμα του εξασθενητή εισόδου (Error of the input attenuator),
- Σφάλμα ρύθμισης του κέρδους ενίσχυσης ενδιάμεσης συχνότητας (Error of the IF gain setting),
- Σφάλμα μεταλλαγής εύρους ζώνης (Error of bandwidth switching),
- Σφάλμα γραμμικότητας του λογαριθμικού ανιχνευτή (Linearity error of the logarithmic detector),
- Σφάλμα του εύρους ζώνης ανάλυσης (Resolution Bandwidth error),
- Ανεπαρκής λόγος σήματος προς θόρυβο (Insufficient signal to noise ratio).

Όλοι οι πιθανοί παράγοντες που συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα θα πρέπει να προσδιοριστούν και να εκφραστούν σε τιμές τυπικών αβεβαιοτήτων ανάλογα με την κατανομή πιθανότητας με την οποία σχετίζονται. Οι κατανομές πιθανοτήτων αβεβαιοτήτων τύπου Β μπορούν να λάβουν ποικίλες μορφές εκ των οποίων ορισμένες απαντώνται συχνά σε προβλήματα εκτίμησης αβεβαιότητας μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και έχουν ήδη αναπτυχθεί σε προηγούμενες παραγράφους.

Η διαδικασία υπολογισμού της αβεβαιότητας σε περίπτωση πολλαπλών μετρήσεων στενής ζώνης με χρήση π.χ. αναλυτή φάσματος (μετρήσεις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα), θα πρέπει να είναι πλήρως συμβατή με τις μεθόδους εκτίμησης αβεβαιότητας του GUM (ISO, 1995) [24] και άλλων σχετικών οδηγιών [25], [26], [27].

Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν θα παρουσιαστούν και θα εξηγηθούν αναλυτικά τα βήματα που απαιτούνται για να περιγραφεί η διαδικασία λήψης μετρήσεων και εκτίμησης της αβεβαιότητας στην περίπτωση πολλαπλών μετρήσεων στενής ζώνης σε περιβάλλον πολλών πηγών εκπομπής και πολλαπλών συχνοτήτων.

Τα βήματα αυτά είναι:



- (α) Λήψη μετρήσεων και εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης σε συγκεκριμένη/ες ζώνη/ες συχνοτήτων με συγκεκριμένη πόλωση της κεραίας λήψης, εφόσον δεν είναι διαθέσιμη ισοτροπική κεραία λήψης,
- (β) Λήψη μετρήσεων και εκτίμηση συνολικής αβεβαιότητας που σχετίζεται με όλες τις δυνατές πολώσεις της κεραίας λήψης σε συγκεκριμένη/ες ζώνη/ες συχνοτήτων, ώστε να προσομοιωθεί ισοτροπική συμπεριφορά,
- (γ) Υπολογισμός των συνολικών πεδίων και εκτίμηση της αβεβαιότητας που συνδέεται με όλες τις πιθανές ζώνες συχνοτήτων στο επιθυμητό φάσμα συχνοτήτων,
- (δ) Υπολογισμός όλων των σχετιζόμενων ηλεκτρομαγνητικών μεγεθών και εκτίμηση της συνολικής αβεβαιότητας των,
- (ε) Υπολογισμός του συνολικού αθροίσματος των πηλίκων έκθεσης και εκτίμηση της αβεβαιότητας του.

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στην [12] και ο τρόπος λήψης μετρήσεων στενής ζώνης και συνδυασμού πολώσεων για τον υπολογισμό των συνολικών πεδίων και αβεβαιοτήτων για κατευθυντικές και διπολικές κεραίες παρουσιάζονται στις [18], [22] και [23] και δεν θα αναλυθούν περαιτέρω εδώ. Χάριν συνέχειας του κειμένου της παρούσας πτυχιακής παρουσιάζονται μόνο ο τρόπος υπολογισμού της συνολικής αβεβαιότητας για συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού του συνολικού αθροίσματος των πηλίκων έκθεσης, εφόσον το σήμα που εξετάζεται (DVB-T) αφορά συγκεκριμένη ζώνη μετρήσεων.

5.1.4 Εκτίμηση της συνολικής αβεβαιότητας σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων

Για να εκτιμηθεί το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο E_B για την B -ιοστή ζώνη συχνοτήτων, ενδέχεται να απαιτηθεί η λήψη μετρήσεων με πολλαπλές πολώσεις της κεραίας λήψης P ($P=P1, P2, \dots, Pr$), εάν αυτή δεν είναι ισοτροπική. Εάν χρησιμοποιηθεί διπολική κεραία, τότε για να προσομοιωθεί η ισοτροπική συμπεριφορά απαιτούνται τρεις μετρήσεις ($r=3$) με αμοιβαία κάθετες μεταξύ των πολώσεις. Εάν χρησιμοποιηθεί κατευθυντική κεραία, ενδεχομένως να είναι απαραίτητες περισσότερες μετρήσεις με διαφορετικές πολώσεις, ανάλογα με την ζώνη συχνοτήτων που εξετάζεται και το είδος του σήματος μέσα σε αυτήν, προκειμένου να ληφθούν υπόψιν και τα φαινόμενα ανάκλασης και σκέδασης. Σε κάθε περίπτωση το ηλεκτρικό πεδίο E_B για όλες τις πολώσεις στην ζώνη B , μπορεί να εκτιμηθεί υπολογίζοντας την τιμή RSS όλων των πεδίων $E_{B,P}$ από τη σχέση:

$E_B = \sqrt{\sum_{P=P1}^{Pr} E_{B,P}^2}$	(5.1)
---	-------

όπου $E_{B,P}$ είναι το πεδίο που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την (4.10), το οποίο συνδέεται με την P -ιοστή πόλωση της χρησιμοποιούμενης κεραίας.

Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u(E_B)$ του E_B μπορεί να εκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψιν τις μερικές αβεβαιότητες για κάθε συνιστώσα $E_{B,P}$. Σε αυτήν την περίπτωση οι συντελεστές ευαισθησίας του E_B ως προς το κάθε $E_{B,P}$ θα δίνονται από τη σχέση:

$c_{B,P} = \frac{\partial E_B}{\partial E_{B,P}} = \frac{E_{B,P}}{E_B}$	(5.2)
---	-------

Κατά συνέπεια η $u(E_B)$ μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:



$$u(E_B) = \sqrt{\sum_{P=P1}^{Pr} (c_{B,P} \cdot u(E_{B,P}))^2} = \frac{I}{E_B} \cdot \sqrt{\sum_{P=P1}^{Pr} E_{B,P}^2 \cdot u(E_{B,P})^2} \quad (5.3)$$

Η αβεβαιότητα $u(E_{B,P})$ που σχετίζεται με κάθε πόλωση μπορεί να είναι διαφορετική για κάθε πόλωση της κεραίας λήψης λόγω της μεταβολής του παράγοντα κεραίας ή της στάθμης των επιμέρους συχνοτικών συνιστωσών του πεδίου αντίστοιχα για κάθε πόλωση της κεραίας λήψης.

Με χρησιμοποίηση της τιμής που προκύπτει [18] για την $u(E_B)$, μπορεί να εκτιμηθεί η συνολική συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα που συνδέεται με ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων το οποίο υποδιαιρείται σε πολλές επιμέρους ζώνες συχνοτήτων. Ο τρόπος εκτίμησης αναλύεται στην επόμενη παράγραφο.

5.1.5 Εκτίμηση της συνολικής αβεβαιότητας του αθροίσματος των πηλίκων έκθεσης

Σε περιβάλλον έκθεσης από πολλαπλές πηγές θα πρέπει σύμφωνα με την ισχύουσα Ελληνική Νομοθεσία [6] αλλά και με τα υφιστάμενα Εθνικά και Διεθνή πρότυπα και οδηγίες, όπως π.χ. τις οδηγίες της ICNIRP [28], την σύσταση 1999/519/CE του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης [2], και γενικά τα όρια έκθεσης για πεδία ραδιοσυχνοτήτων σε διάφορες άλλες χώρες, να υπολογιστεί το άθροισμα των πηλίκων έκθεσης (SEQ) και να συγκριθεί με την μονάδα, προκειμένου να αξιολογηθεί η συμμόρφωση με τα κείμενα επίπεδα αναφοράς για έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία μή ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Για την αποφυγή θερμικών αποτελεσμάτων, η τιμή του SEQ για το ηλεκτρικό πεδίο E και το μαγνητικό πεδίο H (E_{SEQ} και H_{SEQ} αντίστοιχως) θα πρέπει να είναι μικρότερη της μονάδας και στην περίπτωση αυτή τα αθροίσματα των πηλίκων έκθεσης δίδονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$E_{SEQ} = \sum_{i=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \quad (5.4)$$

και

$$H_{SEQ} = \sum_{i=100\text{KHz}}^{150\text{KHz}} \left(\frac{H_i}{d} \right)^2 + \sum_{i>150\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{L,i}} \right)^2 \quad (5.5)$$

όπου το i αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα f_i , $E_{L,i}$ και $H_{L,i}$ αναφέρονται στα αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στη συχνότητα f_i , ενώ c και d είναι παράμετροι που ορίζονται από την εκάστοτε οδηγία έκθεσης. Για την Ελλάδα αυτές οι παράμετροι προσδιορίζονται από την εγκύκλιο Α.Π.: Π/105/014 του Συμβουλίου της ΕΕΑΕ [7]. Επίσης, υποτίθεται ότι οι οποιοσδήποτε μετρήσεις εφόσον αναφέρονται στον υπολογισμό τιμών που θα συγκριθούν με τα εκάστοτε θεσμοθετημένα επίπεδα αναφοράς, είναι μετρήσεις πραγματικής ενεργού τιμής (True RMS).

Σε σχέση με το συνολικό άθροισμα των πηλίκων έκθεσης E_{SEQ} , μπορούμε να ξαναγράψουμε την (5.4) με την μορφή:

$$E_{SEQ} = \sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \quad (5.6)$$



όπου $E_{L,i} = c$ για $100kHz \leq f_i \leq 1MHz$. Αναλύοντας το E_i στις συνιστώσες του, που προέρχονται από διαφορετικές επιμέρους ζώνες και διαφορετικές πολώσεις των κεραιών λήψης, αποδεικνύεται ότι το E_{SEQ} μπορεί να δοθεί ως άθροισμα των E_{SEQ_B} κάθε επιμέρους ζώνης ($B=B1, B2, \dots, Bq$):

$$E_{SEQ} = \sum_{B=B1, B2, \dots, Bq} E_{SEQ_B} \quad (5.7)$$

όπου το E_{SEQ_B} κάθε επιμέρους ζώνης δίνεται ως άθροισμα όλων των επιμέρους $E_{SEQ_{B,P}}$ υπολογισμένων από όλες τις διαθέσιμες πολώσεις ($P=P1, \dots, Pr$) της κεραίας λήψης:

$$E_{SEQ_B} = \left(\sum_{P=P1, P2, \dots, Pr} E_{SEQ_{B,P}} \right) \quad (5.8)$$

Συνδυάζοντας την (5.7) και την (5.8) για όλες τις επιμέρους ζώνες και πολώσεις, η γενική μορφή για το E_{SEQ} δίνεται από τη σχέση:

$$E_{SEQ} = \sum_{B=B1, B2, \dots, Bq} \left(\sum_{P=P1, P2, \dots, Pr} E_{SEQ_{B,P}} \right) \quad (5.9)$$

Η σχέση (5.9) δηλώνει ότι η τιμή του E_{SEQ} μπορεί να υπολογιστεί στο φάσμα συχνοτήτων ενδιαφέροντος ως άθροισμα όλων των επιμέρους $E_{SEQ_{B,P}}$ υπολογισμένων από την (5.6) με τις μετρήσεις σε κάθε επιμέρους ζώνη συχνοτήτων για κάθε πόλωση της κεραίας/κεραιών λήψης.

Για να εξετάσουμε την αβεβαιότητα του E_{SEQ} σε απόλυτες τιμές, θα πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής ευαισθησίας του ως προς κάθε $E_{B,P,a}$. Αυτός δίνεται από την σχέση:

$$c_{B,P,a} = \frac{\partial(E_{SEQ})}{\partial E_{B,P,a}} = \frac{2E_{B,P,a}}{E_{L,a}^2} \quad (5.10)$$

Εάν, σύμφωνα με την [18], $u_A(E_{B,P,a})$ είναι η αβεβαιότητα του $E_{B,P,a}$ σε απόλυτη τιμή (σε μονάδες $V \cdot m^{-1}$), τότε η απόλυτη συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα $u_A(E_{SEQ})$ του E_{SEQ} θα δίνεται από την σχέση:

$$u_A(E_{SEQ}) = \sqrt{\sum_a \left(\frac{\partial E_{SEQ}}{\partial E_{B,P,a}} \right)^2 u_A(E_{B,P,a})^2} = \sqrt{\sum_a \left(\frac{2E_{B,P,a}}{E_{L,a}^2} \right)^2 u_A(E_{B,P,a})^2} \quad (5.11)$$

όπου το a δηλώνει κάθε υπολογισμένο δείγμα πεδίου $E_{B,P,a}$, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Επίσης η $u_A(E_{SEQ})$, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$u_A(E_{SEQ}) = \sqrt{\sum_{B=B1, B2, \dots, Bq} u_A(E_{SEQ_B})^2} = \sqrt{\sum_{B=B1, B2, \dots, Bq} \left(\sum_{P=P1, P2, \dots, Pr} u_A(E_{SEQ_{B,P}})^2 \right)} \quad (5.12)$$



όπου $u_A(E_SEQ_B)$ και $u_A(E_SEQ_{B,P})$ είναι οι υπολογισμένες για κάθε επιμέρους ζώνη και για κάθε επιμέρους πόλωση απόλυτες αβεβαιότητες για τα E_SEQ_B και $E_SEQ_{B,P}$ αντίστοιχα.

Η εξίσωση (5.12) δηλώνει ότι η $u_A(E_SEQ)$ μπορεί να εκτιμηθεί λαμβάνοντας την τιμή RSS όλων των διαθέσιμων $u_A(E_SEQ_{B,P})$, υπολογιζόμενων για κάθε επιμέρους μέτρηση που έχει ληφθεί στο φάσμα συχνοτήτων ενδιαφέροντος.

Παρόμοιες εξισώσεις μπορούν προφανώς να εξαχθούν και για τον υπολογισμό του H_SEQ . Προφανώς, υπό συνθήκες μακρινού πεδίου το E_SEQ είναι ίσο με το H_SEQ , οπότε αρκεί ο υπολογισμός του ενός μόνο. Υπό αυτούς τους περιορισμούς μάλιστα οι τιμές των E_SEQ και H_SEQ είναι ίσες και με την τιμή του αθροίσματος των ηλικίων έκθεσης για τις πυκνότητες ισχύος και για συχνότητες υψηλότερες από 10MHz, δηλαδή την τιμή:

$$S_SEQ = \sum_{i=10MHz}^{300GHz} \frac{S_i}{S_{L,i}} \quad (5.13)$$

Φυσικά, η εκατοστιαία τιμή της συνδυασμένης τυπικής και της διευρυμένης αβεβαιότητας για το E_SEQ μπορούν να υπολογιστούν από τις σχέσεις:

$$u(E_SEQ) = \frac{u_A(E_SEQ)}{E_SEQ} \cdot 100\% \quad (5.14)$$

και

$$U(E_SEQ) = k \cdot u(E_SEQ) \quad (5.15)$$

όπου ο παράγοντας κάλυψης k συνήθως λαμβάνεται συνήθως ίσος με 1.96 και αναφέρεται σε πιθανότητα κάλυψης 95%.

Από παραδείγματα μετρήσεων που έχουν διενεργηθεί το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η αβεβαιότητα και στο E_{total} και στο E_SEQ εξαρτάται συνήθως από την ζώνη με τα ισχυρότερα επίπεδα σημάτων, αφού χαμηλότερες στάθμες $E_{B,P}$ έχουν μικρότερη επίδραση στην συνολική αβεβαιότητα. Τα ίδια αποτελέσματα επίσης έχουν δείξει ότι και το $U(E)$ και το $U(E_SEQ)$ για κάθε P -ιοστή πόλωση σε κάθε B -ιοστή ζώνη κυμαίνονται στο επίπεδο του 30% ή και λιγότερο. Τα αποτελέσματα, όπως προαναφέρθηκε, καθίστανται πιο ακριβή και η συνολική αβεβαιότητα λαμβάνει χαμηλότερες τιμές εφόσον χρησιμοποιηθούν δεδομένα από πιστοποιητικά βαθμονόμησης του αναλυτή φάσματος σε σχέση με δεδομένα από το φυλλάδιο τεχνικών προδιαγραφών του συγκεκριμένου οργάνου.



6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ SCPI

6.1 Εισαγωγή

Τα πρώτα όργανα μετρήσεων που υποστήριξαν την δυνατότητα ελέγχου εξ αποστάσεως με βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, παρουσιάστηκαν το 1960 και χρησιμοποιούσαν μια ευρεία γκάμα “μη-ανοιχτών” (κλειστού κώδικα) εντολών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας μονοπωλιακής φύσης. Το 1975, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) ενέκριναν το πρότυπο *IEEE 488-1975*. Το πρότυπο *IEEE 488-1975* όριζε ένα στάνταρτ ηλεκτρικού και μηχανικού πρωτοκόλλου για συνδεδεμένες και καλώδια. Επιπλέον όριζε την χειραψία, διευθυνσιοδότηση, και το γενικό πρωτόκολλο επικοινωνίας για μεταφορά ψηφιακών δεδομένων από και προς όργανα μετρήσεων και υπολογιστές. Αυτό το στάνταρτ έχει ανανεωθεί και είναι το *IEEE 488.1-1987*.

Παρ’ ότι κατάφερε να λύσει το πρόβλημα του πώς θα σταλθούν bytes δεδομένων ανάμεσα σε όργανα μετρήσεων και υπολογιστές, το *IEEE 488* δεν καθόριζε την σημασία-ερμηνεία αυτών των δεδομένων. Έτσι οι κατασκευαστές οργάνων μέτρησης εισήγαγαν νέες εντολές καθώς ανέπτυσαν νέα όργανα μετρήσεων. Η μορφή των δεδομένων που επέστρεφε το όργανο μέτρησης ήταν διαφοροποιημένη για το κάθε όργανο. Στα τέλη του 1980 ξεκίνησε μια προσπάθεια ορισμού νέων στάνταρτ ώστε να καθοριστεί το πώς θα ερμηνεύονται τα δεδομένα που στέλνονται με το *IEEE 488*.

Το 1987, η IEEE ανακοίνωσε το *IEEE 488.2-1987, Codes, Formats, Protocols and Commons Commands for Use with IEEE 488.1-1987*. Αυτό το στάνταρτ καθόριζε του ρόλους των οργάνων μέτρησης και των υπολογιστών σε ένα σύστημα μέτρησης και μια δομημένη μέθοδο για επικοινωνία. Συγκεκριμένα, το *488.2* περιέγραφε πώς θα σταλθούν εντολές σε όργανα και πώς θα σταλθούν οι απαντήσεις στους υπολογιστές. Καθόρισε μερικές συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές, αλλά κάθε κατασκευαστής οργάνων μέτρησης αφέθηκε με το “προνόμιο” να δημιουργεί νέες εντολές και να καθορίζει την λειτουργία τους. Το *488.2* καθόρισε πως συγκεκριμένοι τύποι νέων δυνατοτήτων/χαρακτηριστικών θα πρέπει να ενσωματώνονται αν υποστηρίζονται από το όργανο. Γενικά όμως, δεν όρισε ποια χαρακτηριστικά ή εντολές θα πρέπει να ενσωματωθούν για ένα συγκεκριμένο όργανο μέτρησης. Έτσι, ήταν πιθανό δύο παρόμοια όργανα μέτρησης να συμμορφώνονται με το *IEEE 488.2*, όμως να έχουν ένα εντελώς διαφορετικό σύνολο εντολών.

Οι πρότυπες εντολές για προγραμματιζόμενα Όργανα μέτρησης (Standard Commands for Programmable Instruments SCPI) είναι μια νέα γλώσσα προγραμματισμού για τον έλεγχο οργάνων, η οποία προχωρά ένα βήμα ποιο μπροστά από το *IEEE 488.2* έτσι ώστε να διευθετήσει μια ευρεία ποικιλία λειτουργιών οργάνων μέτρησης με καθορισμένο τρόπο. Η γλώσσα SCPI προωθεί μια συνέπεια, με όρους προγραμματισμού, ανάμεσα σε όργανα της ίδιας κλάσης και ανάμεσα σε όργανα με παρόμοιες δυνατότητες λειτουργίας. Για μια συγκεκριμένη μέτρηση όπως συχνότητα ή τάση, η SCPI όριζει ένα συγκεκριμένο σύνολο εντολών που είναι διαθέσιμο για αυτή την μέτρηση. Έτσι, δύο παλμογράφοι φτιαγμένοι από διαφορετικές εταιρίες μπορούν να προγραμματιστούν για να επιτελέσουν μετρήσεις συχνότητας με τον ίδιο τρόπο. Επιπλέον είναι δυνατόν για ένα όργανο που υποστηρίζει την γλώσσα SCPI να κάνει μια μέτρηση συχνότητας χρησιμοποιώντας τις ίδιες εντολές όπως στον παλμογράφο.

Οι εντολές SCPI είναι εύκολες στην εκμάθηση, δηλαδή μελετώντας μια SCPI εντολή μπορούμε εύκολά να καταλάβουμε τι λειτουργία επιτελεί. Η γλώσσα SCPI απευθύνεται ταυτόχρονα σε προχωρημένους και αρχάριους προγραμματιστές. Εάν κατανοήσουμε την οργάνωση και δομή της SCPI, μπορούμε να αποκομίσουμε σημαντικά οφέλη ανεξάρτητα τις γλώσσας προγραμματισμού που θα επιλέξουμε.



6.2 Συνήθειες εντολές προγραμματισμού αναλυτών φάσματος

Αυτό το κεφάλαιο περιέχει συνηθισμένες SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) εντολές προγραμματισμού για τους αναλυτές φάσματος Agilent ESA. Πολλές από αυτές τις εντολές χρησιμοποιούνται από το λογισμικό του Εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών του ΤΕΙ Κρήτης για τον προγραμματισμό του διαθέσιμου αναλυτή φάσματος (Agilent ESA E4407B) που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων [30], [31], [32].

Οι εντολές που θα μελετήσουμε στην συνέχεια είναι οι παρακάτω

IEEE Common Commands	
:ABORt	
:CALCulate	[[:SENSe]:BANDwidth
:CALCulate:LLINe	[[:SENSe]:CORRection
:CALCulate:MARKer	[[:SENSe]:DEMod
:CALCulate:NTData	[[:SENSe]:DETEctor
:CALibration	[[:SENSe]:FREQuency
:CONFigure	[[:SENSe]:MIXer
:COUPle	[[:SENSe]:POWEr
:DISPlay	[[:SENSe]:SIDentify
:FORMat	[[:SENSe]:SWEep
:HCOPY	:SOURce
:INITiate	:STATus
:INPut	:STATus:QUEStionable
:INSTrument	:SYSTem
:MMEMory	:TRACe
:OUTPut	:TRIGger
[[:SENSe]:	:UNIT
[[:SENSe]:AVERage	

6.2.1 IEEE Common Commands (Κοινές εντολές κάτω από το πρότυπο IEEE)

Αυτές οι εντολές είναι ορισμένες στο IEEE Standard 488.2-1992, *IEEE Standard Codes, Formats, Protocols and Common Commands for Use with ANSI/IEEE Std 488.1-1987*. New York, NY, 1992

6.2.1.1 Calibration Query (Ερώτημα καλιμπραρίσματος)

*CAL?



Εκτελεί μια ολοκληρωμένη ευθυγράμμιση και επιστρέφει έναν αριθμό που υποδεικνύει την επιτυχία της ευθυγράμμισης. Μηδέν επιστρέφεται αν η ευθυγράμμιση ήταν επιτυχής. Η αντίστοιχη SPCΙ εντολή είναι

:CALibrate [:ALL]?

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → Alignments → Align All Now**

6.2.1.2 Clear Status (Καθαρισμός status)

***CLS**

Καθαρίζει /Αρχικοποιεί το status byte. Αυτό επιτυγχάνεται αδειάζοντας την ουρά σφαλμάτων και “καθαρίζοντας” όλα τα bits σε όλους τους καταχωρητές γεγονότων (event registers). Οι καταχωρητές status byte συνοψίζουν σε την κατάσταση των άλλων καταχωρητών.

6.2.1.3 Standard Event Status Enable (Ενεργοποίηση κατάστασης Στάνταρτ γεγονότων)

***ESE <αριθμός>**

***ESE?**

Αυτός ο καταχωρητής ελέγχει για σφάλματα εισόδου/εξόδου και τις συνθήκες συγχρονισμού όπως operation complete, request control, query error, device dependent error, execution error, command error και power on. Το ερώτημα επιστρέφει την κατάσταση του καταχωρητή status event status enable. Εύρος: Ακέραιος, από 0 έως 255

6.2.1.4 Standard Event Status Register Query (Ερώτημα κατάστασης καταχωρητή στάνταρτ γεγονότων)

***ESR?**

Στέλνει ερώτηση και αρχικοποιεί τον καταχωρητή κατάστασης στάνταρτ γεγονότων. (Η ενέργεια αυτή είναι μη αναστρέψιμη). Πεδίο ορισμού: Ακέραιος, από 0 έως 255

6.2.1.5 Identification Query (Ερώτημα Χαρακτηριστικών)

***IDN?**

Επιστρέφει ένα αλφαριθμητικό με πληροφορίες ταυτότητας/χαρακτηριστικών του οργάνου. Το αλφαριθμητικό περιέχει το μοντέλο, τον σειριακό αριθμό και την έκδοση του υλικολογισμικού (firmware). Η απάντηση παρουσιάζεται σε τέσσερα πεδία χωρισμένα με κόμματα:

Manufacturer

Model

Serial number

Firmware version

Παράδειγμα: Hewlett-Packard, E4401B, US39120213, A.06.00

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → Show System**

6.2.1.6 Instrument State Query (Ερώτημα κατάστασης οργάνου)

***LRN?**

Επιστρέφει την τρέχουσα κατάσταση του οργάνου σε ένα block ορισμένου μήκους. Η πληροφορία είναι σε γλώσσα μηχανής. Στέλνοντας το ερώτημα επιστρέφεται το ακόλουθο μορφή:

#PQQSYST:SET #NMMM<state_data>

παράδειγμα

#42031SYST:SET #42016<state data>



6.2.2 Operation Complete (Ολοκλήρωση Διαδικασίας)

*OPC

*OPC?

Αλλάζει το μηδενικό bit στον καταχωρητή Standard Event Status σε “1” όταν όλες η διαδικασίες που εκκρεμούν τελειώσουν. Το ερώτημα σταματάει νέες εντολές από το να επεξεργαστούν μέχρι να τελειώσει η διαδικασία του ερωτήματος. Τότε επιστρέφει ένα “1”, και το πρόγραμμα συνεχίζει. Αυτό το ερώτημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να συγχρονίσουμε γεγονότα άλλων οργάνων στον εξωτερικό δίαυλο.

6.2.2.1 Recall (Εντολή ανάκλησης)

*RCL <καταχωρητής>

Αυτή η εντολή ανακαλεί μια σωσμένη κατάσταση του οργάνου από συγκεκριμένο καταχωρητή του οργάνου. Εύρος: Οι καταχωρητές είναι ένας ακέραιος, από 0 έως 127. Αν η κατάσταση που φορτώνεται έχει νεότερη έκδοση υλικολογισμικού (firmware) σε σχέση με αυτήν του οργάνου, τότε δεν ανακαλείται και αναφέρεται σφάλμα.

- Αν η κατάσταση που φορτώνεται έχει ίδια έκδοση υλικολογισμικού σε σχέση με αυτήν του οργάνου, τότε η κατάσταση ανακαλείται και φορτώνεται.
- Αν η κατάσταση που φορτώνεται έχει παλαιότερη έκδοση υλικολογισμικού σε σχέση με αυτήν του οργάνου, το όργανο θα φορτώσει μόνο τα μέρη της κατάστασης που εφαρμόζονται στην παλαιότερη έκδοση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File→ Recall State**

6.2.2.2 Reset (Επαναφορά ρυθμίσεων)

*RST

Αυτή η εντολή επαναφέρει το όργανο σε εργοστασιακές ρυθμίσεις που είναι κατάλληλες για προγραμματισμό.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Preset**

6.2.2.3 Save (Σώσιμο/Αποθήκευση)

*SAV <καταχωρητής>

Αυτή η εντολή σώνει την κατάσταση του αναλυτή σε συγκεκριμένο καταχωρητή του οργάνου. Εύρος: Καταχωρητές ακέραιοι αριθμοί, 0 έως 127.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File→ Save State**

6.2.2.4 Service Request Enable

*SRE <ακέραιος>

*SRE?

Αυτή η εντολή σετάρει την τιμή του καταχωρητή Service Request Enable.

Το ερώτημα επιστρέφει την τιμή του καταχωρητή.

Εύρος: Ακέραιος, από 0 έως 255

6.2.2.5 Read Status Byte Query

*STB?

Επιστρέφει την τιμή του καταχωρητή status byte χωρίς να επηρεάζει τα δεδομένα του.

6.2.2.6 Trigger

*TRG



Αυτή η εντολή ενεργοποιεί το trigger του οργάνου. Χρησιμοποιώντας την εντολή :TRIGger:SEQuence:SOURce για να επιλέξουμε πηγή trigger.

6.2.2.7 Self Test Query (Ερώτημα αυτοδιάγνωσης)

***TST?**

Αυτό το ερώτημα χρησιμοποιείται από μερικούς αναλυτές/όργανα για αυτοδιάγνωση. Για τους αναλυτές Agilent ESA, *TST? Επιστρέφει πάντα 0; Δεν εκτελείται αυτοδιάγνωση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → Alignments → Align All Now**

6.2.2.8 Wait-to-Continue (Αναμονή για να συνεχίσει)

***WAI**

Αυτή η εντολή κάνει το όργανο να περιμένει ώσπου όλες οι εκκρεμείς εντολές να ολοκληρωθούν πριν εκτελέσει επιπρόσθετες εντολές.

6.2.3 ABORT Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου ακύρωσης)

6.2.3.1 Abort (Ακύρωση)

:Abort

Επανεκκινεί οποιαδήποτε σάρωση ή μέτρηση σε εξέλιξη, και αρχικοποιεί το σύστημα sweep ή trigger. Η μέτρηση αναφέρετε σε οποιαδήποτε μέτρηση βρεθεί στο μενού MEASURE

- Αν **:INITiate:CONTinuous** είναι off (μοναδική μέτρηση), τότε **:INITiate:IMMediate** θα ξεκινήσει μια νέα μοναδική μέτρηση.
- Αν **:INITiate:CONTinuous** είναι on (συνεχόμενη measure), αμέσως θα ξεκινήσει μια νέα συνεχόμενη μέτρηση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Restart for continuous measurement mode**

6.2.4 CALCulate Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου υπολογισμού)

Αυτό το σύνολο εντολών χρησιμοποιείται ώστε να εκτελέσουμε λειτουργίες επεξεργασίας στα δεδομένα πριν τα ανακτήσουμε / κατεβάσουμε από τον αναλυτή. Στον αναλυτή μας, οι κύριες λειτουργίες αυτού του συνόλου εντολών είναι σημάδια και όρια (markers/limits).

6.2.4.1 NdBpoints

:CALCulate:BWIDth|BANDwidth:NDB <rel_ampl>

:CALCulate:BWIDth|BANDwidth:NDB?

Επιλέγει την στάθμη, κάτω από το peak του σήματος στην οποία το εύρος ζώνης του σήματος θα μετρηθεί από markers.

Το **:CALCulate:BWIDth|BANDwidth:[:STATe]** Πρέπει να είναι ON.

Εργοστασιακή ρύθμιση και *RST: -3dB

Εύρος: -80dB μέχρι -1 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search (ή Search) → N dB Points**



6.2.4.2 NdBresults

:CALCulate:BWIDth|BANDwidth:RESult?

Επιστρέφει το μετρημένο εύρος ζώνης στην στάθμη σήματος ορισμένη από

:CALCulate:BWIDth:NDB. -100 επιστρέφεται αν

:CALCulate:BWIDth|BANDwidth[:STATe] είναι off, ή όταν το αποτέλεσμα δεν είναι διαθέσιμο.

Εύρος: Πραγματικές τιμές μικρότερες από το τρέχον συχνοτικό διάστημα (frequency span).

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search (ή Search) → N dB Points**

6.2.4.3 NdBstate

:CALCulate:BWIDth|BANDwidth[:STATe] OFF|ON|0|1

:CALCulate:BWIDth|BANDwidth[:STATe]?

Ελέγχει την λειτουργία μέτρησης εύρους ζώνης. Η λειτουργία μετράει το εύρος ζώνης, κάτω από όσα dB είναι ορισμένα στο **:CALCulate:BWIDth:NDB**, του μέγιστου σήματος στην οθόνη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Peak Search (ή Search) → N dB Points On Off

6.2.4.4 Test Current Trace Data Against all Limit Lines

:CALCulate:CLIMits:FAIL?

Εξετάζει την κατάσταση της εξεταζόμενης γραμμής σε ένα συγκεκριμένο όριο. Επιστρέφει 0 αν το data trace επιτυγχάνει όταν συγκρίνεται με όλα τα τρέχοντα όρια γραμμών. Επιστρέφει 1 αν το data trace αποτυγχάνει οποιοδήποτε τεστ σε όριο γραμμών.

6.2.5 CALCulate:LLINe Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου υπολογισμού γραμμών)

Οριογραμμές μπορούν να καθοριστούν για τις μετρήσεις μας. Έτσι μπορούμε να έχουμε το όργανο να συγκρίνει τα δεδομένα με καθορισμένα δικά μας όρια και να υποδεικνύει μια κατάσταση επιτυχίας/αποτυχίας.

6.2.5.1 Delete All Limit Lines in Memory

:CALCulate:LLINe:ALL:DELeTe

Σβήνει όλες τις οριογραμμές στην μνήμη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display→Limits→Delete All Limits**

6.2.5.2 Control Limit Line Amplitude Interpolation

:CALCulate:LLINe[1]|2:AMPLitude:INTerpolate:TYPE

LOGarithmic|LINear

:CALCulate:LLINe[1]|2:AMPLitude:INTerpolate:TYPE?

Επιλέγει τον τύπο της παρεμβολής για διαφορετικές τιμές πλάτους τις προσδιορισμένης οριογραμμής συγκρινόμενο με μετρημένα δεδομένα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→Limit 1/2→ Amptd Interp Log Lin

6.2.5.3 Set Fixed or Relative Limit Lines

:CALCulate:LLINe:CMODE FIXEd|RELative



:CALCulate:LLINe:CMODE?

Καθορίζει αν τα τρέχοντα όρια γραμμών είναι σταθερά ή σχετικά.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display→Limits→Limits Fixed Rel**

6.2.5.4 Set Limit Line X-axis Units

:CALCulate:LLINe:CONTrol:DOMain FREQuency|TIME

:CALCulate:LLINe:CONTrol:DOMain?

Επιλέγει πώς καθορίζονται τα όρια γραμμών: ανάλογα με την συχνότητα, ή ανάλογα με την ρύθμιση του χρόνου σάρωσης του αναλυτή φάσματος.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display→Limits→X Axis Units Freq Time**

6.2.5.5 Control Limit Line Frequency Interpolation

:CALCulate:LLINe[1]|2:CONTrol:INTerpolate:TYPE LOGarithmic|LINEar

:CALCulate:LLINe[1]|2:CONTrol:INTerpolate:TYPE?

Επιλέγει τον τύπο της παρεμβολής (interpolation) για τιμές συχνότητας προσδιορισμένης οριογραμμής, συγκρινόμενη με μετρημένα δεδομένα. Αυτό ισχύει μόνο στο πεδίο της συχνότητας. Η λειτουργία αυτή δεν δουλεύει με zero span, δηλαδή όταν ο αναλυτής δουλεύει στο πεδίο του χρόνου.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→Limit 1/2→ Freq Interp Log Lin

6.2.5.6 Define Limit Line Values

:CALCulate:LLINe[1]|2:DATA

<x-axis>,<ampl>,<connected>{,<x-axis>,<ampl>,<connected>}

:CALCulate:LLINe[1]|2:DATA?

Καθορίζει τις τιμές των οριογραμμών, και σβήνει τα προϋπάρχοντα δεδομένα. Μέχρι και 200σημεία μπορούν να καθοριστούν για κάθε όριο. Δεν επιτρέπονται μονάδες μετρήσεων.

- **<x-axis>** - επιτρέπονται μόνο τιμές συχνότητας ή χρόνου οπός καθορίζονται από το **:CALCulate:LLINe:CONTrol:DOMain**. Η συχνότητες είναι πάντα σε Hz. Ο χρόνος πάντα σε sec. Δεν επιτρέπονται μονάδες σε αυτή την παράμετρο.
- **<ampl>** - οι τιμές πλάτους βρίσκονται στον τρέχον Y-άξονα. Μέχρι και δύο τιμές πλάτους μπορούν να δοθούν για κάθε τιμή X-άξονα, επαναλαμβάνοντας το **<x-axis>** στην λίστα δεδομένων. Δεν επιτρέπονται μονάδες σε αυτή την παράμετρο.
- **<connected>** - οι τιμές σύνδεσης είναι είτε 0 είτε 1. Το 1 σημαίνει ότι αυτό το σημείο θα πρέπει να συνδεθεί με ένα προηγούμενο καθορισμένο σημείο ώστε να ορίσουν την οριογραμμή. Το 0 σημαίνει ότι αυτό είναι ένα σημείο ασυνέχειας και ότι δεν συνδέεται με προηγούμενο σημείο.

Η τιμή “connected” αγνοείται για το πρώτο σημείο.

Παράδειγμα: **CALC:LLIN1:DATA**

1000000000,-20,0,200000000,-30,1

Εύρος: **<x-axis>** -30Gs μέχρι +30Gs για όρια εκφρασμένα σε χρόνο

<x-axis> -30GHz μέχρι +350GHz για όρια εκφρασμένα σε συχνότητα

<ampl> -120dBm μέχρι +100 dBm

<connected> 0 ή 1

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→X Axis Units Freq Time

Display→Limits→Limit 1/2→ Edit

Display→Limits→Limit 1/2→ Edit→Point

Display→Limits→Limit 1/2→ Edit→Frequency

Display→Limits→Limit 1/2→ Edit→Amplitude



Display→Limits→Limit 1/2→ Edit→Connected
Display→Limits→Limit 1/2→ Edit→Delete Point

6.2.5.7 Merge Additional Values into the Existing Limit Line

:CALCulate:LLINe[1]|2:DATA:MERGe

<x-axis>,<ampl>,<connected>{,<x-axis>,<ampl>,<connected>}

Προσθέτει τα σημεία με τις προκαθορισμένες τιμές στο τρέχον όριο γραμμής, επιτρέποντας μας να συγχωνεύσουμε τα δεδομένα των οριογραμμών. Μέχρι και 2 τιμές πλάτους επιτρέπονται για κάθε τιμή x. Αν προσπαθήσουν να συγχωνευτούν παραπάνω δεδομένα απ' ότι είναι δυνατό, τότε τα περισσότερα δυνατά σημεία θα συγχωνευτούν σε ένα προϋπάρχον όριο και τα υπόλοιπα θα επιστρέψουν σφάλματα. Μέχρι και 200σημεία μπορούν να καθοριστούν για κάθε όριο.

- **<x-axis>** - επιτρέπονται μόνο τιμές συχνότητας ή χρόνου οπός καθορίζονται από το **:CALCulate:LLINe:CONTRol:DOMain**. Η συχνότητες είναι πάντα σε Hz. Ο χρόνος πάντα σε sec. Δεν επιτρέπονται μονάδες σε αυτή την παράμετρο.
- **<ampl>** - οι τιμές πλάτους βρίσκονται στον τρέχον Y-άξονα. Μέχρι και δύο τιμές πλάτους μπορούν να δοθούν για κάθε τιμή X-άξονα, επαναλαμβάνοντας το **<x-axis>** στην λίστα δεδομένων. Δεν επιτρέπονται μονάδες σε αυτή την παράμετρο.
- **<connected>** - οι τιμές σύνδεσης είναι είτε 0 είτε 1. Το 1 σημαίνει ότι αυτό το σημείο θα πρέπει να συνδεθεί με ένα προηγούμενο καθορισμένο σημείο ώστε να ορίσουν την οριογραμμή. Το 0 σημαίνει ότι αυτό είναι ένα σημείο ασυνέχειας και ότι δεν συνδέεται με προηγούμενο σημείο.

Η τιμή "connected" αγνοείται για το πρώτο σημείο.

Παράδειγμα: **CALC:LLIN1:DATA**

100000000,-20,0,200000000,-30,1

Εύρος: **<x-axis>** -30Gs μέχρι +30Gs για όρια εκφρασμένα σε χρόνο

<x-axis> -30GHz μέχρι +350GHz για όρια εκφρασμένα σε συχνότητα

<ampl> -120dBm μέχρι +100 dBm

<connected> 0 ή 1

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→X Axis Units Freq Time

6.2.5.8 Delete Limit Line

:CALCulate:LLINe[1]|2:DELeTe

Διαγράφει την επιλεγμένη οριογραμμή.

6.2.5.9 Display the Limit Line

:CALCulate:LLINe[1]|2:DISPlay OFF|ON|0|1

:CALCulate:LLINe[1]|2:DISPlay?

Ελέγχει την απεικόνιση τις τρέχουσας οριογραμμής.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display→Limits→Limit 1/2, Limit On Off**

6.2.5.10 Test the Data Against the Limit Line

:CALCulate:LLINe[1]|2:FAIL?

Ερωτά την κατάσταση της οριογραμμής που εξετάζεται. Επιστρέφει 0 αν τα δεδομένα περάσουν με επιτυχία, και επιστρέφει 1 αν έχουμε αποτυχία. Αυτή η τιμή είναι έγκυρη αν το margin ή το limit test είναι σε κατάσταση On. Αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή **:CALCulate:LLINe[1]|2:STATe OFF|ON|0|1**.



6.2.5.11 Set the Margin Size

```
:CALCulate:LLINe[1]|2:MARGin <rel_ampl>  
:CALCulate:LLINe[1]|2:MARGin?
```

Μας επιτρέπει να καθορίσουμε το ποσοστό του margin της μέτρησης που προστίθεται στην προσδιορισμένη οριογραμμή.

Προκαθορισμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→Limit 1/2, Margin On Off

6.2.5.12 Display the Limit Margin

```
:CALCulate:LLINe[1]|2:MARGin:STATe OFF|ON|0|1  
:CALCulate:LLINe[1]|2:MARGin:STATe?
```

Μας επιτρέπει να εμφανίσουμε ένα margin μέτρησης που προστίθεται στην προκαθορισμένη οριογραμμή για να επιτελέσει δεύτερο τεστ στα δεδομένα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→Limit 1/2, Margin On Off

6.2.5.13 Control Limit Line Testing

```
:CALCulate:LLINe[1]|2:STATe OFF|ON|0|1  
:CALCulate:LLINe[1]|2:STATe?
```

Αλλάζει την κατάσταση του τεστ οριογραμμής on/off. Το όριο(Limit) και το margin θα τεσταριστούν μόνο αν εμφανιστούν στην οθόνη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→Limit 1/2, Limit On Off

6.2.5.14 Select the Type of Limit Line

```
:CALCulate:LLINe[1]|2:TYPE UPPer|LOWer  
:CALCulate:LLINe[1]|2:TYPE?
```

Ρυθμίζει την οριογραμμή σαν ανώτερου είτε κατώτερου τύπου οριογραμμή. Μια οριογραμμή ανώτερου τύπου χρησιμοποιείται σαν το μέγιστο ανώτερο όριο τιμής όταν συγκρίνουμε με δεδομένα. Η κατώτερου τύπου χρησιμοποιείται σαν κατώτερο όριο.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display→Limits→Limit 1/2, Type Upper Lower

6.2.6 CALCulate:MARKer Subsection(Σύνολο εντολών τύπου υπολογισμού σημαδιών)

6.2.6.1 Markers All Off on All Traces

```
:CALCulate:MARKer:AOff
```

Απενεργοποιεί όλα τα σημάδια από το ίχνος (trace).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker→Marker All Off**

6.2.6.2 Continuous Peaking Marker Function

```
:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:CPEak[:STATe] OFF|ON|0|1  
:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:CPEak[:STATe]?
```



Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την λειτουργία continuous peaking. Αυτή η λειτουργία βάζει το επιλεγμένο σημάδι στην υψηλότερη απεικονιζόμενη κορυφή του σήματος.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Continuous Pk On Off**

6.2.6.3 Frequency Counter Marker Resolution

:CALCulate:MARKer:FCOunt:RESolution <real>

:CALCulate:MARKer:FCOunt:RESolution?

Ρυθμίζει την ανάλυση του μετρητή σημαδιού συχνότητας. Ρυθμίζοντας την ανάλυση σε AUTO θα συνθέσει την ανάλυση του μετρητή σημαδιού συχνότητας στο συχνοτικό εύρος (frequency span).

Εύρος: από 1Hz μέχρι 100kHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Freq Count → Resolution Auto Man**

6.2.6.4 Frequency Counter Marker Automatic Resolution

:CALCulate:MARKer:FCOunt:RESolution:AUTO OFF|ON|0|1

:CALCulate:MARKer:FCOunt:RESolution:AUTO?

Ρυθμίζει την ανάλυση του μετρητή σημαδιού συχνότητας έτσι ώστε να συντεθεί αυτόματα στο συχνοτικό εύρος (frequency span), παράγοντας το γρηγορότερο και ακριβέστερο μέτρημα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Freq Count → Resolution Auto Man**

6.2.6.5 Frequency Counter Marker

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:FCOunt[:STATe] OFF|ON|0|1

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:FCOunt[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τον μετρητή σημαδιού συχνότητας. Για να ερωτήσουμε την κατάσταση του μετρητή συχνότητας, χρησιμοποιείται η **:CALCulate:MARKer[1]:FCOunt:X?** Αν το προσδιορισμένο νούμερο σημαδιού δεν είναι ενεργό σημάδι, τότε γίνεται το ενεργό σημάδι. Αν το προσδιορισμένο νούμερο σημαδιού δεν είναι σε κατάσταση on, τότε αλλάζει σε κατάσταση on και γίνεται ενεργό σημάδι. Από την στιγμή που ο μετρητής σημαδιού είναι σε κατάσταση on, παραμένει σε κατάσταση on για κάθε ενεργό σημάδι, όχι μόνο αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην εντολή. Επιστρέφεται 1 μόνο αν ο μετρητής σημαδιών είναι σε κατάσταση on και το επιλεγμένο νούμερο είναι ενεργό σημάδι.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Freq Count → Marker Count On Off**

6.2.6.6 Frequency Counter Marker Query

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:FCOunt:X?

Ερωτά την κατάσταση του μετρητή συχνότητας σημαδιού.

6.2.6.7 Marker Function

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:FUNcTion BPOWer|NOISe|OFF

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:FUNcTion?

Επιλέγει την λειτουργία σημαδιού για το συγκεκριμένο σημάδι. Για την τιμή που επιστρέφεται από την λειτουργία, χρησιμοποιείται η

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:Y?

BPOWer είναι ή ενέργεια συγχωνευμένη μέσα στο εύρος ζώνης.

NOISe είναι μέτρηση του θορύβου

OFF απενεργοποιεί όλες τις λειτουργίες

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Function**



6.2.6.8 Marker Peak (Maximum) Search

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MAXimum

Επιτελεί μια εύρεση κορυφών βασισμένη στις ρυθμίσεις της

:CALCulate:MARKer:PEAK:SEARch:MODE.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Meas Tools → Peak Search**

6.2.6.9 Marker Peak (Maximum) Left Search

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MAXimum:LEFT

Τοποθετεί το επιλεγμένο σημάδι στην επόμενη υψηλότερη κορυφή του σήματος, στα αριστερά της τρέχουσας σηματοδωμένης κορυφής.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Next Pk Left**

6.2.6.10 Marker Next Peak (Maximum) Search

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MAXimum:NEXT

Τοποθετεί το επιλεγμένο σημάδι στην επόμενη υψηλότερη κορυφή του σήματος από την τρέχουσα σηματοδωμένη κορυφή.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Next Peak**

6.2.6.11 Marker Peak (Maximum) Right Search

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MAXimum:RIGHT

Τοποθετεί το επιλεγμένο σημάδι στην επόμενη υψηλότερη κορυφή του σήματος, στα δεξιά της τρέχουσας σηματοδωμένης κορυφής.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Next Pk Right**

6.2.6.12 Marker Peak (Minimum) Search

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MINimum

Τοποθετεί το επιλεγμένο σημάδι στο χαμηλότερο σημείο του σήματος-ίχνους (trace) που είναι διορισμένο σε αυτό το συγκεκριμένο νούμερο σημαδιού.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Min Search**

6.2.6.13 Marker Mode

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MODE POSition|DELTA|BAND|SPAN

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MODE?

Επιλέγει τον τύπο των σημαδιών που θέλουμε να ενεργοποιήσουμε.

Position: Επιλέγει ένα κανονικό σημάδι που μπορεί να τοποθετηθεί πάνω στο σήμα/ίχνος και από το οποίο μπορεί να παραχθεί πληροφορίες ίχνους.

Delta: Ενεργοποιεί ένα ζευγάρι από σημάδια, το ένα από τα οποία είναι σταθερό-ακλόνητο στην τρέχουσα θέση του σημαδιού. Το άλλο σημάδι μπορεί να μετακινηθεί οπουδήποτε στο ίχνος. Το marker readout δείχνει την διαφορά ανάμεσα στα δύο σημάδια.

Band: Ενεργοποιεί ένα ζευγάρι από σημάδια μπάντας, όπου κάθε σημάδι μπορεί να τοποθετηθεί ξεχωριστά πάνω στο ίχνος. Το marker readout δείχνει τη διαφορά ανάμεσα στα δύο σημάδια.

Span: Ενεργοποιεί ένα ζευγάρι από σημάδια απόστασης(span), όπου η θέση του σημαδιού ελέγχεται αλλάζοντας το span και/ή την κεντρική συχνότητα ανάμεσα σε 2 σημάδια. Το marker readout δείχνει την διαφορά ανάμεσα σε δύο σημάδια.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Marker → Normal

Marker → Delta

Marker → Delta Pair Ref Delta



Marker → Span Pair Span Center

6.2.6.14 Define Peak Excursion

:CALCulate:MARKer:PEAK:EXCursion <rel_ampl>

:CALCulate:MARKer:PEAK:EXCursion?

Καθορίζει την ελάχιστη έκβαση του σήματος πάνω από το κατώφλι για να εκτελεστεί ή ρουτίνα εσωτερικής αναγνώρισης κορυφών ώστε να αναγνωρίσει ένα σήμα σαν κορυφή. Αυτό αφορά όλα τα ίχνη(traces) και όλα τα παράθυρα.

Εύρος: 0 έως 100dB

Προκαθορισμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Peak Search → Search Criteria → Peak Excursion

6.2.6.15 Define Peak Search

:CALCulate:MARKer:PEAK:SEARch:MODE PARAmeter|MAXimum

:CALCulate:MARKer:PEAK:SEARch:MODE?

Ορίζει την λειτουργία εύρεσης κορυφών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Peak Search → Search Criteria → Peak Search Type → Max Value | Excursion & Threshold

6.2.6.16 Define Peak Threshold

:CALCulate:MARKer:PEAK:THReshold <ampl>

:CALCulate:MARKer:PEAK:THReshold?

Καθορίζει το ελάχιστο επίπεδο σήματος για να εκτελεστεί ή ρουτίνα εσωτερικής αναγνώρισης κορυφών του αναλυτή ώστε να αναγνωρίσει ένα σήμα σαν κορυφή. Αυτό αφορά όλα τα ίχνη(traces) και όλα τα παράθυρα.

Εύρος: Επίπεδο αναφοράς στο κάτω επίπεδο της οθόνης

Προκαθορισμένη μονάδα μέτρησης: Μονάδα μέτρησης του πλάτους

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Peak Search → Search Criteria → Peak Threshold

6.2.6.17 Peak to Peak Delta Markers

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:PTPeak

Τοποθετεί τα σημάδια δέλτα στα υψηλότερα και χαμηλότερα σημεία του ίχνους (trace).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Peak Search → Pk-Pk Search**

6.2.6.18 Set Center Frequency to the Marker Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4[:SET]:CENTer

Ορίζει την κεντρική συχνότητα ίση με την επιλεγμένη συχνότητα του σημαδιού, όπου κινεί το σημάδι στο κέντρο της οθόνης. Στην λειτουργία σημαδιού δέλτα, η κεντρική συχνότητα ορίζεται στην τιμή του σημαδιού δέλτα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Mkr → CF**

6.2.6.19 Set Reference Level to the Marker Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4[:SET]:RLEVel



Ορίζει το επίπεδο αναφοράς, στο επιλεγμένο πλάτος που ορίζεται στο ίχνος από το σημάδι. Σε λειτουργία δέλτα σημαδιού, το επίπεδο αναφοράς ορίζετε στην διαφορά πλάτους ανάμεσα στα σημάδια.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Marker → Mkr → Ref Lvl

Peak Search → Meas Tools → Mkr → Ref Lvl

6.2.6.20 Set Span to the Marker Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4[:SET]:SPAN

Ρυθμίζει την απόσταση/span σε αυτήν της τιμής της επιλεγμένης συχνότητας του σημαδιού.

Το επιλεγμένο σημάδι πρέπει να είναι σε λειτουργία δέλτα. Επιλέγουμε λειτουργία σημαδιού δέλτα με : **CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:MODE DELTa**.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Marker → Delta → Marker → Mkr Δ → Span

6.2.6.21 Set Start Frequency to the Marker Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4[:SET]:START

Ρυθμίζει την συχνότητα εκκίνησης στην τιμή της επιλεγμένης συχνότητας που ορίζεται στο ίχνος από το σημάδι. Σε λειτουργία σημαδιού δέλτα, η συχνότητα εκκίνησης ορίζεται στην τιμή του σημαδιού δέλτα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Mkr → Start**

6.2.6.22 Set Center Frequency Step Size to the Marker Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4[:SET]:STEP

Ρυθμίζει το μέγεθος του βήματος της κεντρικής συχνότητας ώστε να είναι ισοδύναμο με την τιμή της επιλεγμένης συχνότητας που ορίζεται στο ίχνος από το σημάδι. Σε λειτουργία σημαδιού δέλτα, το μέγεθος βήματος της κεντρικής συχνότητα εκκίνησης θα οριστεί στην διαφορά συχνότητας ανάμεσα στα σημάδια.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Mkr → CF Step**

6.2.6.23 Set Stop Frequency to the Marker Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4[:SET]:STOP

Ρυθμίζει την συχνότητα τερματισμού στην τιμή της συχνότητας του ενεργού/επιλεγμένου σημαδιού. Σε λειτουργία δέλτα σημαδιού, η συχνότητα τερματισμού ρυθμίζεται στην δέλτα τιμή σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Mkr → Stop**

6.2.6.24 Marker On/Off

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:STATe OFF|ON|0|1

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:STATe?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το επιλεγμένο σημάδι.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Off**

6.2.6.25 Marker Table On/Off

:CALCulate:MARKer:TABLE:STATe OFF|ON|0|1

:CALCulate:MARKer:TABLE:STATe?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τον πίνακα (table) του σημαδιού.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker → Marker Table On Off**



6.2.6.26 Marker to Trace

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:TRACe <integer>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:TRACe?

Αναθέτει το επιλεγμένο σημάδι στο καθορισμένο ίχνος 1,2 ή 3.

Εύρος: 1 έως 3

6.2.6.27 Marker to Trace Auto

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:TRACe:AUTO OFF|ON|0|1

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:TRACe:AUTO?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τα αυτόματα σημάδια στη λειτουργία ίχνους/trace.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **Marker Trace Auto 1 2 3**

6.2.6.28 Continuous Signal Tracking Function

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:TRCKing[:STATe] OFF|ON|0|1

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:TRCKing[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την λειτουργία ιχνηλάτησης (tracking) σημαδιού στο σήμα. Βάζει επαναλαμβανόμενα το επιλεγμένο σημάδι στην υψηλότερη εμφανιζόμενη κορυφή του σήματος και το μετακινεί στην κεντρική συχνότητα. Αυτό μας επιτρέπει να κρατήσουμε ένα σήμα που ολισθαίνει σε συχνότητα, μέσα στην οθόνη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι

Frequency/Channel → **Signal track On Off**

6.2.6.29 Marker X Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X?

Βάζει το καθορισμένο σημάδι πάνω στο διορισμένο ίχνος (trace) σε μια ορισμένη τιμή X του ίχνους. Η τιμή είναι σε μονάδα μέτρησης του αξονα X (η οποία είναι συχνά συχνότητα ή χρόνος). Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα X τιμή του διορισμένου σημαδιού.

Προκαθορισμένη μονάδα μέτρησης: Συμπίπτει με την μονάδα μέτρησης του ίχνους του οποίου είναι τοποθετημένο το σημάδι.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker**

6.2.6.30 Span Markers Center Frequency X Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:CENTer <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:CENTer?

Μετακινεί την κεντρική συχνότητα, του καθορισμένου ζευγαριού σημαδιών τύπου span, στην ορισμένη τιμή X ίχνους. Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα X τιμή της κεντρικής συχνότητας των καθορισμένων σημαδιών.

Προκαθορισμένη μονάδα μέτρησης: Συμπίπτει με την μονάδα μέτρησης του οποίου είναι τοποθετημένο το σημάδι.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Span Pair**

6.2.6.31 Marker X Position

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition <integer>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition?

Τοποθετεί καθορισμένο σημάδι σε ορισμένο ίχνος στην συγκεκριμένη X θέση.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα X θέση για το καθορισμένο σημάδι.



Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker**

6.2.6.32 Span Markers Center Frequency X Position

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:CENTer <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:CENTer?

Τοποθετεί την κεντρική συχνότητα, του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου span, στην ορισμένη θέση X του ίχνους. Η εντολή

:CALCulate:MARKer:MODE SPAN

χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε σημάδια απόστασης/span.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα θέση X της κεντρικής συχνότητας των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Span Pair**

6.2.6.33 Span Markers Span X Position

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:SPAN <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:SPAN?

Αλλάζει την απόσταση/span συχνότητας, του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου απόστασης/span, ώστε να μετακινηθούν τα σημάδια σε επιθυμητές X θέσεις πάνω στο ίχνος.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα X θέση απόστασης/span συχνότητας των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Span Pair**

6.2.6.34 Delta Pair Markers Start Frequency X Position

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:STARt <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:STARt?

Τοποθετεί το πιο ακριανό σημάδι αριστερά, στην αρχική συχνότητα (συχνότητα αναφοράς) του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου band, στην ορισμένη X θέση πάνω στο ίχνος.

Η εντολή **:CALCulate:MARKer:MODE BAND** χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε σημάδια απόστασης/span.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα θέση X της αρχικής συχνότητας(συχνότητα αναφοράς) των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Delta Pair**

6.2.6.35 Delta Pair Markers Stop Frequency X Position

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:STOP <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:POSition:STOP?

Τοποθετεί το πιο ακριανό σημάδι δεξιά, στην συχνότητα τερματισμού του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου band, στην ορισμένη X θέση πάνω στο ίχνος.

Η εντολή **:CALCulate:MARKer:MODE BAND** χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε σημάδια απόστασης/span.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα θέση X της συχνότητας τερματισμού των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Delta**

6.2.6.36 Marker X-Axis Readout

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:READout

FREQuency|TIME|ITIME|PERiod

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:READout?

Επιλέγει τις μονάδες μέτρησης για τον x-άξονα του σημαδιού. Οι διαθέσιμες μονάδες είναι:



Frequency
Time
Inverse of Time
Period

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Marker → **Readout** → **Frequency**

Marker → **Readout** → **Time**

Marker → **Readout** → **Inverse Time**

Marker → **Readout** → **Period**

6.2.6.37 Span Markers Span X Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:SPAN <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:SPAN?

Αλλάζει την απόσταση/span συχνότητας, του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου απόστασης/span, ώστε να μετακινηθούν τα σημάδια σε επιθυμητές X θέσεις πάνω στο ίχνος.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα X θέση απόσταση/span συχνότητας των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Span Pair**

6.2.6.38 Delta Pair Markers Start Frequency X Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:START <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:START?

Τοποθετεί την αρχική συχνότητα(συχνότητα αναφοράς) του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου band, στην ορισμένη X θέση πάνω στο ίχνος.

Η εντολή **:CALCulate:MARKer:MODE BAND** χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε σημάδια απόστασης/span.

Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα θέση X της αρχικής συχνότητας (συχνότητα αναφοράς) των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Delta Pair**

6.2.6.39 Delta Pair Markers Stop Frequency X Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:STOP <param>

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:X:STOP?

Τοποθετεί την συχνότητα τερματισμού του καθορισμένου ζεύγους σημαδιών τύπου band, στην ορισμένη X θέση πάνω στο ίχνος. Η εντολή **:CALCulate:MARKer:MODE BAND** χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε σημάδια απόστασης/span. Το ερώτημα επιστρέφει την τρέχουσα θέση X της συχνότητας τερματισμού των καθορισμένων σημαδιών.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Marker** → **<active marker>** → **Delta Pair**

6.2.6.40 Marker Read Y Value

:CALCulate:MARKer[1]|2|3|4:Y?

Διαβάζει την τρέχουσα Y-τιμή για καθορισμένο σημάδι ή δέλτα πάνω στο ορισμένο ίχνος. Η τιμή έχει μονάδα μέτρησης ίδια με αυτή του Y-άξονα για το τρέχον ίχνος (συντά είναι dBm).

Προκαθορισμένη μονάδα μέτρησης: Συμπίπτει με την μονάδα μέτρησης του ίχνους του οποίου είναι τοποθετημένο το σημάδι.



6.2.7 CALCulate:NTData Subsection (Σύνολο εντολών τύπου NTData)

6.2.7.1 Normalize the Trace Data (Κανονικοποίηση των δεδομένων του ίχνους)

:CALCulate:NTData[:STATe] OFF|ON|0|1

:CALCulate:NTData[:STATe]?

Μια σάρωση του ίχνους(trace) των δεδομένων αντιγράφεται στο ίχνος 3, το οποίο χρησιμοποιείτε σαν ίχνος αναφοράς. Έπειτα για όλες τις επακόλουθες σαρώσεις ίχνους, το απεικονιζόμενο ίχνος 1 = με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στο ίχνος 1 – δεδομένα στο ίχνος 3.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

View/Trace → Normalize → Normalize On Off

6.2.8 CALibration Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου καλιμπραρίσματος)

Αυτές οι εντολές ελέγχουν τις λειτουργίες αυτο-ευθυγράμμισης και αυτοδιάγνωσης.

6.2.8.1 Align All Instrument Assemblies

:CALibration[:ALL]

:CALibration[:ALL]?

Κάνει μια ευθυγράμμιση όλων των επί μέρους συστατικών του αναλυτή, εκτός του tracking generator, αν είναι εγκατεστημένος (όχι μοντέλα E4401B ή E4411B).

Το ερώτημα κάνει μια πλήρη ευθυγράμμιση και επιστρέφει ένα αριθμό που υποδεικνύει την επιτυχία της ευθυγράμμισης. 0 επιστρέφεται αν η ευθυγράμμιση ήταν επιτυχημένη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → Alignments → Align Now → All**

6.2.8.2 Set Auto Align Mode All or Not RF

:CALibration:AUTO:MODE ALL|NRF

:CALibration:AUTO:MODE?

Αυτή ή εντολή καθορίζει αν συμπεριληφθεί η όχι ή RF ευθυγράμμιση σαν μέρος της ρουτίνας αυτόματης ευθυγράμμισης. Με το να αποτρέψουμε την αυτόματη RF ευθυγράμμιση εμποδίζουμε τις αλλαγές στην αντίσταση εισόδου (input impedance) ανάμεσα στις σαρώσεις (sweeps), οι οποίες θα επιφέρουν αστάθεια στην συσκευή εισόδου.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

System → Alignments → Auto Align → All

System → Alignments → Auto Align → All but RF

6.2.8.3 Automatic Alignment

:CALibration:AUTO OFF|ON|0|1

:CALibration:AUTO?

Ενεργοποιεί και απενεργοποιεί την λειτουργία αυτόματης ευθυγράμμισης. Αυτό τρέχει συνεχόμενα, στην ολοκλήρωση/τελείωμα κάθε σάρωσης(sweep).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

System → Alignments → Auto Align → All

System → Alignments → Auto Align → All but RF

System → Alignments → Auto Align → Off



6.2.8.4 Return to the Default Alignment Data

:CALibration:DATA:DEFault

Αρχικοποιεί τα δεδομένα ευθυγράμμισης στις εργοστασιακές ρυθμίσεις.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System→Alignments→ Load Defaults**

6.2.8.5 Align FM Demodulation

:CALibration:FMDemod

:CALibration:FMDemod?

Εκτελεί μια ευθυγράμμιση τις πλακέτας αποδιαμόρφωσης FM αν είναι εγκατεστημένο το υποσύστημα BAA (αποδιαμόρφωση FM) ή υποσύστημα 106 (Bluetooth).

Το ερώτημα κάνει την ευθυγράμμιση και επιστρέφει 0 αν η ευθυγράμμιση ήταν επιτυχής.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System→Align Now→ FM Demod**

6.2.8.6 Query the Internal or External Frequency Reference

:CALibration:FREQuency:REFErence?

Η εντολή αυτή έχει μορφή ερωτήματος μόνο. Επιστρέφει την θέση που παράγεται η συχνότητα αναφοράς του οργάνου.

Εύρος: INT ή EXT

6.2.8.7 Coarse Adjust the Frequency Reference

:CALibration:FREQuency:REFErence:COARse <setting>

:CALibration:FREQuency:REFErence:COARse?

Κάνει μια γρήγορη και “χοντροειδή” ρύθμιση του εσωτερικού ταλαντωτή αναφοράς 10MHz του αναλυτή. Η εντολή :CALibration:ALL είναι αναγκαία μετά την νέα ρύθμιση.

Εύρος : Ακέραιος από 0 έως 255

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System→Alignments→ Time Base → Coarse**

6.2.8.8 Fine Adjust the Frequency Reference

:CALibration:FREQuency:REFErence:FINE <setting>

:CALibration:FREQuency:REFErence:FINE?

Κάνει μια λεπτομερή-ρύθμιση ακριβείας του εσωτερικού ταλαντωτή αναφοράς 10MHz του αναλυτή. Η εντολή :CALibration:ALL είναι αναγκαία μετά την νέα ρύθμιση.

Εύρος : Ακέραιος από 0 έως 255

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System→Alignments→ Time Base → Fine**

6.2.8.9 Select the Frequency Corrections

:CALibration:FREQuency[:STATe] OFF|ON|0|1

:CALibration:FREQuency[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τις διορθώσεις συχνότητας.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

System→Alignments→ Freq Correct On Off

6.2.8.10 Align the RF Circuitry

:CALibration:RF

:CALibration:RF?

Κάνει μια ευθυγράμμιση του RF υποσυστήματος.



Το ερώτημα κάνει την ευθυγράμμιση και επιστρέφει 0 αν η ευθυγράμμιση ήταν επιτυχής.
Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System**→**Alignments**→ **Align Now** → **RF**

6.2.8.11 Select the Source State for Calibration

:CALibration:SOURce:STATe OFF|ON|0|1

:CALibration:SOURce:STATe?

Ελέγχει την κατάσταση του σήματος ευθυγράμμισης 50 MHz.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι

Για τους αναλυτές Agilent ESA E4401B, E4411B:

Input/Output→**Amptd Ref(f=50MHz) On Off**

Για τους όλους τους άλλους Agilent:

Input/Output→**Amptd Ref Out(f=50MHz) On Off**

6.2.8.12 Calibrate the Tracking Generator

:CALibration:TG

:CALibration:TG?

Εκτελεί μια ευθυγράμμιση του υποσυστήματος γεννήτριας ίχνους (tracking generator)

Το ερώτημα κάνει την ευθυγράμμιση και επιστρέφει 0 αν η ευθυγράμμιση ήταν επιτυχής.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System**→**Alignments**→ **Align Now** → **TG**

6.2.9 CONFIGure Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου παραμετροποίησης)

6.2.9.1 Configure the Basic Spectrum Analyzer State

:CONFigure:SANalyzer

Αυτή η εντολή τερματίζει την τρέχουσα μέτρηση, και θέτει τον αναλυτή σε βασική κατάσταση ανάλυσης φάσματος.

6.2.10 COUPlE Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου συνδυασμού)

Κάποιες ρυθμίσεις μετρήσεων αυτόματα συνδυάζονται μαζί για να βελτιστοποιήσουν ταχύτητα και ακρίβεια. Αυτές οι εντολές ελέγχουν αυτόν τον συνδυασμό.

6.2.10.1 COUPlE the Function to Other Settings

:COUPlE ALL|NONE

:COUPlE?

Το όργανο μπορεί να συνδυάσει αυτόματα ρυθμίσεις μετρήσεων μαζί για να βελτιστοποιήσουν ακρίβεια και δυναμική περιοχή. Η παραπάνω εντολή χρησιμοποιείται για να παρακάμψει αυτή την λειτουργία για συγκεκριμένες ανάγκες μετρήσεων.

COUPlE NONE βάζει αυτές τις λειτουργίες σε “χειροκίνητο”/manual mode.

COUPlE ALL βάζει τις λειτουργίες σε αυτόματο συνδυασμό, επιπρόσθετα βάζει σε λειτουργία couple all to sweep coupling. Η παρακάτω λίστα λειτουργιών του αναλυτή, μπορεί να συνδυαστεί αυτόματα για καλύτερα αποτελέσματα.

Resolution bandwidth



Span
Average type (Firmware revision A.08.00 or greater)
Marker functions
Detector (Firmware revision A.08.00 or greater)
Marker functions
Average On Off
Average type
Attenuation
Reference level
External amplifier gain
Preamplifier
Center frequency step
Span (in swept spans)
Resolution bandwidth (in zero spans)
Video bandwidth
Resolution bandwidth
Tracking Generator
Sweep coupling mode (SR/SA)
VBW/RBW ratio (Firmware revision A.08.00 or greater)
Sweep time
Span
Video bandwidth
Resolution bandwidth
Sweep points
Phase noise optimization
Phase Noise Optimization (Firmware revision A.08.00 or greater)
Span

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Auto Couple** → **Auto All**

6.2.11 DISPLAY Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου απεικόνισης)

Το σύνολο εντολών απεικόνισης, ελέγχει την επιλογή και παρουσίαση γραφικής πληροφορίας κειμένου και ίχνους. Η πληροφορία στην οθόνη, μπορεί να χωριστεί και να παρουσιαστεί σε ξεχωριστά παράθυρα.

6.2.11.1 Active Function Position

:DISPlay:AFUNction:POSition BOTTom|CENTer|TOP

:DISPlay:AFUNction:POSition?

Αλλάζει την θέση του ενεργού μπλοκ λειτουργίας(function block).

Εύρος: Πάνω, Κέντρο ή Κάτω

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display**

6.2.11.2 Display Viewing Angle

:DISPlay:ANGLE <integer>

:DISPlay:ANGLE?

Αλλάζει την γωνία θέασης της οθόνης για απεικόνιση σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Εύρος: Ακέραιος, 1 έως 7

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Viewing angle keys**



6.2.11.3 Date and Time Display Format

:DISPlay:ANNOtation:CLOCK:DATE:FORMAt MDY|DMY

:DISPlay:ANNOtation:CLOCK:DATE:FORMAt?

Επιτρέπει την αλλαγή του τρόπου παρουσίασης της ρολογιού πραγματικού χρόνου. Για να αλλάξουμε την ημερομηνία/ώρα χρησιμοποιούμε την SYSTem:DATE <year>, <month>, <day>.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → Time/Date → Date Format MDY DMY**

6.2.11.4 Date and Time Display

:DISPlay:ANNOtation:CLOCK[:STATe] OFF|ON|0|1

:DISPlay:ANNOtation:CLOCK[:STATe]?

Ενεργοποιεί και απενεργοποιεί την εμφάνιση ώρας και ημερομηνίας στην οθόνη του αναλυτή φάσματος.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → Time/Date → Time/Date On Off**

6.2.11.5 Display Annotation Title Data

:DISPlay:ANNOtation:TITLe:DATA <string>

:DISPlay:ANNOtation:TITLe:DATA?

Εισάγει κείμενο που εμφανίζεται στην περιοχή τίτλου του χρήστη στην οθόνη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display → Title

Display → Title → Change Title

Display → Title → Clear Title

6.2.11.6 Turn the Entire Display On/Off

:DISPlay:ENABLe OFF|ON|0|1

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την οθόνη.

6.2.11.7 Turn the Full Screen Display On/Off

:DISPlay:MENU:STATe OFF|ON|0|1

:DISPlay:MENU:STATe?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την απεικόνιση σε πλήρη οθόνη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **System → System**

6.2.11.8 Window Annotation

:DISPlay:WINDow:ANNOtation[:ALL] OFF|ON|0|1

:DISPlay:WINDow:ANNOtation[:ALL]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τις “σημειώσεις” σε όλα τα παράθυρα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display → Title → Preferences → Annotation On Off

6.2.11.9 Trace Graticule Display

:DISPlay:WINDow:TRACe:GRATicule:GRID[:STATe] OFF|ON|0|1

:DISPlay:WINDow:TRACe:GRATicule:GRID[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τα τετραγωνίδια στην οθόνη.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Display → Preferences → Graticule On Off



6.2.11.10 Trace X-Axis Scale Offset

:DISPlay:WINDow:TRACe:X[:SCALe]:OFFSet <freq>

:DISPlay:WINDow:TRACe:X[:SCALe]:OFFSet?

Καθορίζει το όφσετ συχνότητας για όλες τις ενδείξεις συχνότητας όπως την κεντρική συχνότητα. Εύρος: -500THz έως 500THz. Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **FREQUENCY/Channel → Freq Offset**

6.2.11.11 Display Line Amplitude

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y:DLINe <ampl>

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y:DLINe?

Καθορίζει το επίπεδο της εμφανιζόμενης γραμμής, στις μονάδες μέτρησης του ενεργού πλάτους αν δεν καθορίζονται κάποιες μονάδες.

Εύρος: 10 υποδιαιρέσεις στην οθόνη κάτω από το επίπεδο αναφοράς μέχρι το επίπεδο αναφοράς

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Τρέχουσες ενεργές μονάδες μέτρησης

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display → Display Line On Off**

6.2.11.12 Display Line On/Off

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y:DLINe:STATe OFF|ON|0|1

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y:DLINe:STATe?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την γραμμή οθόνης.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Display → Display Line On Off**

6.2.11.13 IF Gain Auto/Reference Level Auto Ranging

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:LOG:RANGe:AUTO OFF|ON|0|1

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:LOG:RANGe:AUTO?

Αυτή η εντολή ενεργοποιεί και απενεργοποιεί την λειτουργία αυτόματης εύρεσης εμβέλειας (range). Η απενεργοποίηση αυτής της λειτουργίας έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ταχύτητα πραγματοποίησης μέτρησης σε στενό εύρος ζώνης συχνότητας-RBW (resolution bandwidth).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

AMPLITUDE/Y Scale → If Gain Auto Fixed

6.2.11.14 Normalized Reference Level

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:NRLevel <rel_ampl>

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:NRLevel?

Θέτει το κανονικοποιημένο επίπεδο αναφοράς.

Εύρος: -327.6 έως 327.6 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Τρέχουσα ενεργή μονάδα μέτρησης

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **View/Trace → Normalize → Norm Ref Lvl**

6.2.11.15 Normalized Reference Level Position

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:NRPosition <integer>

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:NRPosition?

Επιλέγει την θέση του κανονικοποιημένου επιπέδου αναφοράς. Η πάνω και κάτω γραμμές των τετραγωνιδίων αντιστοιχούν σε 10 και 0, αντίστοιχα.

Εύρος: ακέραιος

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

View/Trace → Normalize → Norm Ref Posn



6.2.11.16 Trace Y-Axis Amplitude Scaling

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:PDIVision <rel_ampl>
:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:PDIVision?

Ορίζει την διαβάθμιση οθόνης προ-διαίρεσης για τον Y-άξονα όταν οι μονάδες μέτρησης του y-άξονα είναι ρυθμισμένες σε μονάδες πλάτους.

Εύρος: 0.1 έως 20.0 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale→Scale/Div**

6.2.11.17 Trace Y-Axis Frequency Scaling

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:PDIVision:FREQuency <freq>
:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:PDIVision:FREQuency?

Ορίζει την διαβάθμιση οθόνης προ-διαίρεσης για τον Y-άξονα όταν οι μονάδες μέτρησης του y-άξονα είναι ρυθμισμένες σε μονάδες συχνότητας.

Εύρος: 1kHz έως 240 kHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale→Scale/Div**

6.2.11.18 Trace Y-Axis Reference Level

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:RLEVel <ampl>
:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:RLEVel?

Ορίζει την τιμή του πλάτους του επιπέδου αναφοράς για τον y-άξονα.

Εύρος: With zero reference level offset:

ESA E4401B, E4411B: -149.9 to 50 dBm

ESA E4402B, E4403B: -149.9 to 55 dBm

ESA E4404B: -149.9 to 55 dBm

ESA E4405B: -149.9 to 55 dBm

ESA E4407B, E4408B: -149.9 to 55 dBm

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Τρέχουσα ενεργή μονάδα μέτρησης.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE Y Scale→Ref Level**

6.2.11.19 Trace Y-Axis Reference Level Offset

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:RLEVel:OFFSet <rel_ampl>
:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:RLEVel:OFFSet?

Ορίζει το όφσεντ του πλάτους του επιπέδου αναφοράς για τον y-άξονα.

Εύρος: -327.6 έως 327.6 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE Y Scale→Ref Level Offset**

6.2.11.20 Vertical Axis Scaling

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:SPACing LINear|LOGarithmic
:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:SPACing?

Ορίζει τις κάθετες υποδιαίρεσεις τετραγωνιδίων σαν λογαριθμικές ή γραμμικές μονάδες μέτρησης. Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

AMPLITUDE/Y Scale→Scale Type Log Lin



6.2.12 FORMat Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου φορμά)

Το υποσύστημα εντολών τύπου φορμά θέτει ένα φορμά δεδομένων για την μεταφορά αριθμητικής πληροφορίας και πινάκων. Οι εντολές **TRACe[:DATA]** και **TRACe[:DATA]?** Επηρεάζονται από το σύνολο εντολών τύπου φορμά.

6.2.12.1 Byte Order

:FORMat:BORDER NORMal|SWAPped
:FORMat:BORDER?

Αυτή η εντολή επιλέγει τη δυαδική σειρά δεδομένων για μεταφορά δεδομένων. Ελέγχει αν τα δυαδικά δεδομένα θα μεταφερθούν με normal ή swapped τρόπο.

6.2.12.2 Numeric Data format

:FORMat[:TRACe][:DATA]ASCii|INTeger,32|REAL,32|
REAL,64|UINTEger,16
:FORMat[:TRACe][:DATA]?

Αυτή η εντολή αλλάζει το φορμά των δεδομένων ίχνους(trace data) εισόδου και εξόδου.

6.2.13 HCOPy Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου HCOPy)

Το υποσύστημα εντολών τύπου HCOPy ελέγχει τις λειτουργίες σχεδιασμού και εκτύπωσης σε εξωτερική συσκευή.

6.2.13.1 Abort the Print

:HCOPy:ABORt

Ακυρώνει την τρέχουσα εκτύπωση αποτελεσμάτων.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **ESC (κατά την διάρκεια τις εκτύπωσης)**

6.2.13.2 Printer Type

:HCOPy:DEVice:TYPE AUTO|CUSTOm|NONE
:HCOPy:DEVice:TYPE?

Επιλέγει τον τύπο του εκτυπωτή.

AUTO – Ο αναλυτής στέλνει ερώτημα στον εκτυπωτή για να καθορίσει τον τύπο του εκτυπωτή και αυτόματα ρυθμίζει τον εαυτό του για αυτόν τον εκτυπωτή.

CUSTOm – Επιτρέπει να επιλέξουμε έναν προσαρμοσμένο δικό μας εκτυπωτή αν ο εκτυπωτής δεν μπορεί να ανιχνευτεί αυτόματα.

NONE – Επιλέγουμε σαν συσκευή εξόδου όχι εκτυπωτή

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Print Setup → Printer Type**

6.2.13.3 Color Hard Copy

:HCOPy:IMAGe:COLor[:STATe] OFF|ON|0|1
:HCOPy:IMAGe:COLor[:STATe]?

Επιλέγει ανάμεσα σε έγχρωμη ή μονόχρωμη λειτουργία για έξοδο.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Print Setup → Color On Off**



6.2.13.4 Print a Hard Copy

:HCOPY[:IMMEDIATE]

Ολόκληρη η οθόνη εξάγεται στην παράλληλη πόρτα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Print Setup → Print Form Feed the Print Item

:HCOPY:ITEM:FFeed[:IMMEDIATE]

Στέλνει στον εκτυπωτή εντολή να “προχωρήσει” χαρτί

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Print Setup → Eject Page**

6.2.13.5 Page Orientation

:HCOPY:PAGE:ORIENTATION LANDscape|PORTRAIT

:HCOPY:PAGE:ORIENTATION?

Καθορίζει τον προσανατολισμό της εκτύπωσης. Landscape/Portrait

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Print Setup → Orientation → Landscape

Print Setup → Orientation → Portrait

6.2.13.6 Number of Items Printed on a Page

:HCOPY:PAGE:PRINTS <integer>

:HCOPY:PAGE:PRINTS?

Ρυθμίζει το πλήθος των στοιχείων οθονών που θα χωρέσουν σε ένα χαρτί, πριν σταλεί εντολή form feed. Εύρος: Ακέραιος, 1 ή 2

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Print Setup → Prints/Page 1 2**

6.2.13.7 Printed Page Size

:HCOPY:PAGE:SIZE A|B|A3|A4|LETTER|LEGAL|EXECUTIVE|LEDGER

:HCOPY:PAGE:SIZE?

Επιλέγει είδος και μέγεθος χαρτιού.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Print Setup → Page Size**

6.2.14 INITiate Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου Εκκίνησης)

Το σύνολο εντολών INITiate χρησιμοποιείται για να ελέγξει την εκκίνηση του trigger.

6.2.15 Continuous or Single Measurements

:INITiate:CONTinuous OFF|ON|0|1

:INITiate:CONTinuous?

Επιλέγει εάν το σύστημα trigger θα εκκινάται αδιάκοπα ή όχι.

Αυτή η εντολή επηρεάζει την σάρωση/sweep αν δεν γίνεται μέτρηση, και επηρεάζει το trigger όταν γίνεται μέτρηση.

Αν δεν γίνεται μέτρηση η εντολή κάνει τα ακόλουθα:

- Σε κατάσταση ON στην ολοκλήρωση κάθε κύκλου σάρωσης (sweep cycle), το σύστημα σάρωσης εκκινά άμεσα ένα άλλο κύκλο σάρωσης.
- Σε κατάσταση OFF, το σύστημα σάρωσης μένει σε κατάσταση αδράνειας (idle) μέχρι η CONTinuous να τεθεί σε κατάσταση ON ή να ληφθεί μια εντολή **:INITiate[:IMMEDIATE]**. Την στιγμή που θα δεχτεί την εντολή **INITiate[:IMMEDIATE]**, θα κάνει ένα μοναδικό κύκλο σάρωσης, και θα επιστρέψει σε κατάσταση αδράνειας.

Αν γίνεται μέτρηση, η εντολή κάνει τα ακόλουθα:



- Σε κατάσταση ON στην ολοκλήρωση κάθε κύκλου trigger, το σύστημα trigger εκκινά άμεσα ένα άλλο κύκλο trigger.
- Σε κατάσταση OFF, το σύστημα trigger μένει σε κατάσταση αδράνειας (idle) μέχρι η CONTinuous να τεθεί σε κατάσταση ON ή να ληφθεί μια εντολή **:INITiate[:IMMEDIATE]**. Την στιγμή που θα δεχτεί την εντολή **INITiate[:IMMEDIATE]**, θα κάνει ένα μοναδικό κύκλο trigger, και θα επιστρέψει σε κατάσταση αδράνειας.
- Το ερώτημα επιστρέφει 1 ή 0 στην προσωρινή μνήμη εξόδου (output buffer). 1 επιστρέφεται όταν βρισκόμαστε σε κατάσταση συνεχόμενων μετρήσεων. 0 επιστρέφεται όταν έχουμε μόνο μια μέτρηση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → **Sweep Cont Single**

Single

Meas Control → **Measure Cont Single**

6.2.15.1 Take New Data Acquisitions

:INITiate[:IMMEDIATE]

Αυτή η εντολή ξεκινά μια σάρωση (sweep) αν δεν γίνεται μέτρηση. Αν γίνεται μέτρηση, κάνει trigger στην μέτρηση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → **Sweep Cont Single**

Single

Meas Control → **Measure Cont Single**

6.2.15.2 Pause the Measurement

:INITiate:PAUSE

Αυτή η εντολή εφαρμόζεται σε μετρήσεις που βρίσκονται κάτω από μενού MEASURE. Χρησιμοποιείται για να κάνει παύση σε τρέχουσες μετρήσεις αλλάζοντας την τρέχουσα κατάσταση της μέτρησης από “wait for trigger” σε “pause” κατάσταση. Αν η μέτρηση δεν είναι σε κατάσταση “wait for trigger” την στιγμή της εντολής, η αλλαγή σε κατάσταση “pause” θα γίνει την επόμενη φορά που κατάσταση εισάγεται σαν μέρος του κύκλου trigger. Όταν βρίσκεται σε κατάσταση pause, ο αναλυτής σταματάει την διαδικασία auto-align. Αν ο αναλυτής βρίσκεται σε κατάσταση παύσης για μεγάλο χρονικό διάστημα, η ακρίβεια της μέτρησης μπορεί να φθίνει.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Meas Control** → **Pause**

6.2.15.3 Restart the Measurement

:INITiate:REStart

Αυτή η εντολή εφαρμόζεται σε μετρήσεις που βρίσκονται κάτω από μενού MEASURE. Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για να επανεκκινήσει την τρέχουσα μέτρηση που βρίσκεται σε κατάσταση “idle”, ανεξάρτητα της κατάστασης της λειτουργίας.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Restart

Meas Control → **Restart**

6.2.15.4 Resume the Measurement

:INITiate:RESume

Αυτή η εντολή εφαρμόζεται σε μετρήσεις που βρίσκονται κάτω από μενού MEASURE. Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για να επανακτήσει την τρέχουσα μέτρηση αλλάζοντας την τρέχουσα κατάσταση της μέτρησης από “paused” σε “wait for trigger”.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Meas Control** → **Resume**



6.2.16 INPut Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου Εισόδου)

Το σύνολο εντολών τύπου εισόδου ελέγχει τα χαρακτηριστικά από τις πόρτες εισόδου του αναλυτή.

6.2.16.1 Input Port Coupling

:INPut:COUPling AC|DC

:INPut:COUPling?

Επιλέγει ac(εναλλασσόμενο) ή dc(συνεχές) ζεύξη για την πόρτα εισόδου στο μπροστινό πάνελ του αναλυτή. Ένας τερματικός πυκνωτής (blocking capacitor) χρησιμοποιείται για την ac λειτουργία.

Selecting Input Coupling

Model Number	AC Range	Frequency	DC Frequency Range
E4402B with Option UKB	100 kHz to 3 GHz		100 Hz to 3 GHz
E4404B	100 kHz to 6.7 GHz		9 kHz to 6.7 GHz
E4404B with Option UKB	100 kHz to 6.7 GHz		100 Hz to 6.7 GHz
E4405B	100 kHz to 13.2 GHz		9 kHz to 13.2 GHz
E4405B with Option UKB	100 kHz to 13.2 GHz		100 Hz to 13.2 GHz
E4407B with Option UKB	10 MHz to 26.5 GHz		100 Hz to 26.5 GHz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Input/Output → Coupling AC DC**

6.2.16.2 Select Internal or External Mixer

:INPut:MIXer INTernal|EXTernal

:INPut:MIXer?

Αυτή η εντολή επιλέγει εσωτερικό ή εξωτερικό μίκτη εισόδου.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Input/Output → Input Mixer Int Ext**

6.2.16.3 Select Mixer Type

:INPut:MIXer:TYPE PRESelected|UNPreselect

:INPut:MIXer:TYPE?

Αυτή η εντολή επιλέγει τον τύπο του μίκτη που θα χρησιμοποιηθεί, και είναι διαθέσιμη μόνο με εξωτερικό μίκτη εισόδου.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Input Mixer → Mixer Config → Mixer Type Presel Unpre

6.2.16.4 Clear the Input Overload

:INPut:PROTection:CLEar

Κάνει reset στο κύκλωμα προστασίας υπερφόρτωσης για την πόρτα σύνδεσης εισόδου.



6.2.17 INSTRument Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου οργάνου)

Αυτό το σύνολο περιέχει εντολές για να στέλνει ερωτήματα και να επιλέγει λειτουργίες μέτρησης του οργάνου.

6.2.17.1 Select Application

:INSTRument[:SElect] “SA”|(application specific mode)

:INSTRument[:SElect]?

Επιλέγει την εφαρμογή μέτρησης επιλέγοντας μια αριθμητική τιμή. Το πραγματικό πλήθος διαθέσιμων επιλογών εξαρτώνται από τις εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες στο όργανο.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Mode**

6.2.18 MMEMory Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου μνήμης)

Σκοπός του υποσυστήματος MMEMory είναι να παρέχει πρόσβαση σε συσκευές αποθήκευσης όπως εσωτερικούς ή εξωτερικούς δίσκους.

Οι αναλυτές Agilent ESA χρησιμοποιούν δύο τύπους συσκευών αποθήκευσης.

- Δισκέτες 3.5 ιντσών, 1.44MB, ορίζεται σαν “A:”
- Μέρος της μνήμης flash, ορίζεται σαν “C:”

Η σύνταξη του όρου <file_name> έχει την μορφή: drive:\directory\name.ext, όπου οι παρακάτω νόμοι ισχύουν:

- “drive” είναι “A:” ή “C:”
- “\directory\” είναι το όνομα της διαδρομής (path)
- “name” είναι ένα όνομα αρχείου DOS μέχρι 8 χαρακτήρων, αλφαριθμητικών (A-Z,a-z,0-9) μόνο
- “ext” είναι μια προαιρετική κατάληξη αρχείου που υπόκειται στους παραπάνω αλφαριθμητικούς κανόνες, αλλά τριών χαρακτήρων συνολικά.

6.2.18.1 Catalog the Selected Memory Location

:MMEMory:CATalog? <drive>

Καταρτίζει μια λίστα με όλα τα αρχεία σε μια καθορισμένη μονάδα αποθήκευσης. Τα δεδομένα θα έχουν την μορφή: <mem_used>,<mem_free>,<file_listing>

Κάθε <file_listing> δίνει το όνομα, και το μέγεθος ενός αρχείου στον κατάλογο list: <file_name>,<file_size>

Παράδειγμα: **Catalog drive C:**, όπου είναι στην μνήμη:

:MMEMory:CATalog? “C:”

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File**

6.2.18.2 Copy a File

:MMEMory:COpy <file_name1>,<file_name2>

Για να αντιγράψουμε ένα αρχείο, το όνομα αρχείου της πηγής είναι <file_name1> και του προορισμού είναι <file_name2>

Παράδειγμα: **:MMEM:COpy “C:oldname.sta”,”A:newname.sta”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Copy**



6.2.18.3 Move Data to File

:MMEMory:DATA <file_name>,<definite_length_block>

:MMEMory:DATA? <file_name>

Φορτώνει <definite_length_block> στην θέση μνήμης <file_name>.

Το ερώτημα επιστρέφει τα περιεχόμενα του <file_name> στο φορμά ενός μπλοκ definite length. Αυτή η εντολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιγράψουμε αρχεία από τον αναλυτή στο remote bus.

Παράδειγμα: Φόρτωσε “abcd” στο C:source.txt

:MEM:DATA “C:source.txt”, “#14abcd”

6.2.18.4 Delete a File

:MMEMory:DELeTe <file_name>

Σβήνει ένα αρχείο.

Παράδειγμα: **:MMEM:DEL “C:source.txt”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Delete**

6.2.18.5 Load a Corrections Table from a File

:MMEMory:LOAD:CORRection

ANTenna|CABLe|OTHer|USER,<file_name>

Φορτώνει τα δεδομένα σε ένα αρχείο <file_name> σε συγκεκριμένο σύνολο διορθώσεων (correction set).

Παράδειγμα: **:MMEM:LOAD:CORR ANT, “A:TEST5.CBL”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Load → Type → Corrections**

6.2.18.6 Load a Limit Line from Memory to the Instrument

:MMEMory:LOAD:LIMit LLINE1|LLINE2,<file_name>

Φορτώνει μια οριογραμμή, από συγκεκριμένο αρχείο σε συσκευή αποθήκευσης στο όργανο.

Φορτώνοντας μια οριογραμμή χρόνου σβήνει γραμμές ορίου τύπου συχνότητας. Παρομοίως, φορτώνοντας γραμμές ορίου τύπου συχνότητας σβήνει οριογραμμές χρόνου.

Παράδειγμα: **:MMEM:LOAD:LIM LLINE2,“C:mylimit.lim”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Load → Type → Limits**

6.2.18.7 Load an Instrument State from a File

:MMEMory:LOAD:STATe 1,<file_name>

Τα περιεχόμενα ενός αρχείου τύπου κατάστασης οργάνου φορτώνονται για τρέχουσα κατάσταση οργάνου.

Παράδειγμα: **:MMEM:LOAD:STAT 1,“C:mystate.sta”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Load → Type → State**

6.2.18.8 Load a Trace From a File to the Instrument

:MMEMory:LOAD:TRACe <file_name>

Τα περιεχόμενα του αρχείου φορτώνονται στο TRACE1. Το όνομα αρχείου πρέπει να έχει κατάληξη :trc ή :csv. Η κατάληξη :csv είναι για αρχεία trace χρησιμοποιώντας την μορφή CSV(τιμές χωρισμένες με κόμματα). Η κατάληξη :trc είναι για αρχεία που περιέχουν δεδομένα trace και state.

Παράδειγμα: **:MMEM:LOAD:TRAC “C:mytrace.trc”**



6.2.18.9 Make a Directory

:MMEMory:MDIRectory <dir_path>

όπου “path” είναι “A:\” ή “C:\”

Δημιουργεί ένα κατάλογο στο συγκεκριμένο path.

Παράδειγμα: Δημιούργησε ένα κατάλογο στο C:\, όπου το C:\ είναι η μνήμη flash του οργάνου: **MMEM:MDIRectory “C:”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Create Dir**

6.2.18.10 Delete a Directory

:MMEMory:RDIRectory <dir_name>

Σβήνει το καθορισμένο κατάλογο και όλους τους υποκαταλόγους του.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Delete**

6.2.18.11 Store a Corrections Table to a File

:MMEMory:STORe:CORRection

ANTenna|CABLE|OTHer|USER,<file_name>

Αποθηκεύει το ορισμένο σύνολο διορθώσεων σε αρχείο με όνομα <file_name>.

Παράδειγμα: **:MMEM:STOR:CORR ANT, “A:TEST1.ANT”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Save → Type → Corrections**

6.2.18.12 Store a Limit Line in a File

:MMEMory:STORe:LIMit LLINE1|LLINE2,<file_name>

Αποθηκεύει το ορισμένο όριο γραμμής σε ορισμένο αρχείο στην μνήμη.

Παράδειγμα: **:MMEM:STOR:LIM LLINE2, “C:mylimit.lim”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Save → Type → Limits**

6.2.18.13 Store Measurement Results in a File

:MMEMory:STORe:RESults <file_name>

Σώνει τα αποτελέσματα της τρέχουσας μέτρησης σε αρχείο με CSV μορφοποίηση(τιμές χωρισμένες με κόμματα).

Παράδειγμα: **:MMEM:STOR:RES “A:ACP.CSV”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

File → Save → Type → Measurement Results

6.2.18.14 Store a Screen Image in a Graphic File

:MMEMory:STORe:SCReen <file_name>

Σώνει την τρέχουσα απεικονιζόμενη εικόνα της οθόνης, σαν γραφικό αρχείο, σε ορισμένο αρχείο στην μνήμη. Το αρχείο πρέπει να έχει κατάληξη :gif ή :wmf. Η κατάληξη καθορίζει τι φορμά θα χρησιμοποιήσει το όργανο για να σώσει το αρχείο.

Παράδειγμα: **:MMEM:STOR:SCR “C:myscreen.gif”**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Save → Type → Screen**

6.2.18.15 Store an Instrument State in a File

:MMEMory:STORe:STATe 1,<file_name>

Αποθηκεύει την κατάσταση του οργάνου σε αρχείο στην μνήμη.

Παράδειγμα: **:MMEM:STOR:STAT 1, “C:mystate.sta”**



6.2.18.16 Store a Trace in a File

:MMEMory:STORe:TRACe <label>,<file_name>

Αποθηκεύει το ορισμένο ίχνος(trace) σε αρχείο στην μνήμη. Το όνομα αρχείου πρέπει να έχει κατάληξη :trc ή :csv. Η κατάληξη :csv είναι για αρχεία trace χρησιμοποιώντας την μορφή CSV(τιμές χωρισμένες με κόμματα). Η κατάληξη :trc είναι για αρχεία που περιέχουν δεδομένα trace και state

Παράδειγμα: **:MMEM:STOR:TRAC TRACE3,"C:mytrace.trc"**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **File → Save → Type → Trace**

6.2.19 OUTPut Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου εξόδου)

Το υποσύστημα OUTPut ελέγχει τα χαρακτηριστικά της πόρτας εξόδου του tracking generator.

6.2.19.1 Turn Output On/Off

:OUTPut[:STATe] OFF|ON|0|1

:OUTPut[:STATe]?

Ελέγχει την έξοδο του tracking generator.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Amplitude On Off**

6.2.20 SENSE Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου ευαισθησίας)

Ορίζει τις παραμέτρους ευαισθησίας (sense) του οργάνου έτσι ώστε να μετρήσουμε εύκολα το σήμα εισόδου.

6.2.21 [:SENSe]:AVERAge Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου ευαισθησίας-Σύνολο Μετριοποίησης)

6.2.21.1 Clear the Current Average

[:SENSe]:AVERAge:CLEAr

Επανεκκινεί την λειτουργία “εξαγωγής μέσου όρου” του ίχνους (trace averaging).

6.2.21.2 Set the Average Count

[:SENSe]:AVERAge:COUNt <integer>

[:SENSe]:AVERAge:COUNt?

Ορίζει το πλήθος των μετρήσεων που συνδυάζονται.

Εύρος: από 1 έως 8192

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Average On Off**

6.2.21.3 Turn Averaging On/Off

[:SENSe]:AVERAge[:STATe] OFF|ON|0|1



[[:SENSe]:AVERAge[:STATe]?

Αυτή η εντολή ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την λειτουργία “εξαγωγής μέσου όρου ” (averaging). Η λειτουργία averaging συνδυάζει τις τιμές επιτυχημένων μετρήσεων για να μετριοποιήσει τις διακυμάνσεις τις μέτρησης.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Average On Off**

6.2.21.4 Turn Automatic Averaging On/Off

[[:SENSe]:AVERAge:TYPE:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:AVERAge:TYPE:AUTO?

Θέτει τη λειτουργία “μετριοποίησης” (averaging) να επιλέγεται αυτόματα ανάλογα με το τρέχον setup μέτρησης.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Avg Type → Auto Man**

6.2.21.5 Type of Averaging for Measurements

[[:SENSe]:AVERAge:TYPE VIDEo|RMS

[[:SENSe]:AVERAge:TYPE?

Επιτυχημένες μετρήσεις δεδομένων, μπορούν να συνδυαστούν για να “μετριοποιήσουν” τις διακυμάνσεις της μέτρησης.

Το Video μετριοποιεί λογαριθμικά την στάθμη των δεδομένων video (τυπικές μονάδες μέτρησης είναι τα dBm).

Το RMS μετριοποιεί γραμμικά στάθμη των επιτυχών μετρήσεων (τυπικές μονάδες μέτρησης είναι τα watts).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Avg Type**

6.2.22 [[:SENSe]:BANDwidth Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου εύρους ζώνης)

6.2.22.1 Resolution Bandwidth

[[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth[:RESolution] <freq>

[[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth[:RESolution]?

Ορίζει το RBW(ανάλυση εύρους ζώνης)

Παράδειγμα: **BAND 1 kHz**

Εύρος: από 1kHz έως 5 MHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Resolution BW Auto Man**

6.2.22.2 Resolution Bandwidth Automatic

[[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth[:RESolution]:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth[:RESolution]:AUTO?

Συνθέτει(λειτουργία couple) το RBW στην απόσταση συχνότητας(frequency span).

Παράδειγμα: **BWID:AUTO On**

6.2.22.3 Video Bandwidth

[[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo <freq>

[[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo?

Ορίζει το βίντεο-εύρος ζώνης.



Εύρος: από 1Hz έως 3 MHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Video BW Auto Man**

6.2.22.4 Video Bandwidth Automatic

[[:SENSE]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSE]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo:AUTO?

Συνθέτει (λειτουργία couple) το βίντεο-εύρος ζώνης (VBW) στο RBW.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → Video BW Auto Man**

6.2.22.5 Video to Resolution Bandwidth Ratio

[[:SENSE]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo:RATio <number>

[[:SENSE]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo:RATio?

Ορίζει τον λόγο του βίντεο-εύρος ζώνης προς το RBW.

Εύρος: από 0.00001 έως 3.0ε6

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → VBW/RBW Ratio**

6.2.22.6 Video to Resolution Bandwidth Ratio Mode Select

[[:SENSE]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo:RATio:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSE]:BANDwidth|BWIDth:VIDEo:RATio:AUTO?

Επιλέγει αυτόματη η “χειροκίνητη” λειτουργία για τον λόγο του βίντεο-εύρος ζώνης προς το RBW

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **BW/Avg → VBW/RBW → Auto Man**

6.2.23 [[:QSENSE]:QCORRection Subsection (Υπος;ynolo entol;vn t;ypoy dioru;vsevn)

6.2.23.1 Delete All Corrections

[[:SENSE]:CORRection:CSET:ALL:DELeTe

Αυτή η εντολή διαγράφει όλες τις τρέχουσες διορθώσεις.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Amplitude/Y Scale → Corrections → Delete All Corrections

6.2.23.2 Perform Amplitude Correction

[[:SENSE]:CORRection:CSET:ALL[:STATe] OFF|ON|0|1

[[:SENSE]:CORRection:CSET:ALL[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τις διορθώσεις πλάτους (amplitude corrections). Όταν γυρνάει σε κατάσταση “ON”, μόνο τα σετ διορθώσεων που ήταν ενεργοποιημένα ενεργοποιούνται. Σε κατάσταση “OFF”, όλα τα σετ διορθώσεων απενεργοποιούνται.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Amplitude/Y Scale → Corrections → Antenna → Correction On Off

Amplitude/Y Scale → Corrections → Cable → Correction On Off

Amplitude/Y Scale → Corrections → Other → Correction On Off

Amplitude/Y Scale → Corrections → User → Correction On Off



6.2.23.3 Set Amplitude Correction Data

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4:DATA

<freq>,<rel_ampl>{,<freq>,<rel_ampl>}

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4:DATA?

Ορίζει τα δεδομένα διόρθωσης πλάτους. Αυτές οι διορθώσεις συχνότητας/πλάτους εφαρμόζονται στα απεικονιζόμενα δεδομένα για να διορθωθούν απώλειες/κέρδη συστήματος εκτός του αναλυτή. Τέσσερα διαφορετικά σετ διορθωτικών δεδομένων μπορούν να αποθηκευτούν.

Παράδειγμα: **:CORR:CSET1:DATA**

900E6,0.3,1.0E9,0.35,1.3E9,0.2

Εύρος: 200 σημεία για κάθε σετ

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Amplitude/Y Scale → Corrections → Antenna → Edit → Point/Frequency/Amplitude/Delete Point

Amplitude/Y Scale → Cable → Antenna → Edit → Point/Frequency/Amplitude/Delete Point

Amplitude/Y Scale → Other → Antenna → Edit → Point/Frequency/Amplitude/Delete Point

Amplitude/Y Scale → User → Antenna → Edit → Point/Frequency/Amplitude/Delete Point

6.2.23.4 Merge Additional Values into the Existing Amplitude Correction Data

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4:DATA:MERGe

<freq>,<rel_ampl>{,<freq>,<rel_ampl>}

Προσθέτει σημεία με τις συγκεκριμένες τιμές, στα τρέχον δεδομένα διόρθωσης πλάτους. Αν προστεθούν περισσότερα σημεία από ό,τι είναι δυνατό να αποθηκευτούν τότε επιστρέφεται λάθος.

- <freq> είναι η συχνότητα (σε Hz) όπου θα εφαρμοστεί η διόρθωση, δεν επιτρέπονται μονάδες σε αυτό το όρισμα.
- <rel_ampl> είναι το ποσοστό σχετικής διόρθωσης (σε db) που χρειάζεται, δεν επιτρέπονται μονάδες σε αυτό το όρισμα.

6.2.23.5 Delete Amplitude Correction

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4:DELEte

Διαγράφει το ορισμένο σέτ διορθώσεων. Αν το σέτ ήταν σε κατάσταση "On", τότε γυρνάει σε κατάσταση "Off"

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Amplitude/Y Scale → Corrections → Antenna/Cable/Other/User → Delete Correction

6.2.23.6 Set Amplitude Correction Frequency Interpolation

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4:X:SPACing

LINear|LOGarithmic

Ορίζει την παρεμβολή συχνότητας (Frequency Interpolation) σαν λογαριθμική ή γραμμική για την συγκεκριμένη διόρθωση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Amplitude/Y Scale → Corrections → Freq Interp Log/Lin

6.2.23.7 Perform Amplitude Correction

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4[:STATe] OFF|ON|0|1

[[:SENSE]:CORREction:CSET[1]|2|3|4[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την λειτουργία διόρθωσης για το δεδομένο σετ.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Amplitude/Y Scale → Corrections → Antenna/Cable/Other/User → Correction On Off



6.2.23.8 Input Impedance Correction

**[[:SENSE]:CORRection:IMPedance[:INPut][:MAGNitude] <number>
[:SENSE]:CORRection:IMPedance[:INPut][:MAGNitude]?**

Η διόρθωση πλάτους εφαρμόζεται στα απεικονιζόμενα δεδομένα για να προσαρμοστεί καλύτερα σε καταστάσεις μέτρησης όπου η συσκευή που είναι υπό “τεστάρισμα” έχει διαφορετική αντίσταση από 50Ω αντίσταση εισόδου για τον αναλυτή. Μερικοί αναλυτές Agilent ESA διαθέτουν επιλογή 1DP,75Ω είσοδο. Σε αυτήν την περίπτωση, ίσως θελήσουμε να μετατρέψουμε της μετρήσεις σε 50Ω σύστημα.

Εύρος: 50 ή 75 ohms

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: ohms

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Input → Input Z Corr 50 Ω 75 Ω**

6.2.23.9 External Amplifier Correction

**[[:SENSE]:CORRection:OFFSet[:MAGNitude] <rel_ampl>
[:SENSE]:CORRection:OFFSet[:MAGNitude]?**

Μια μοναδική τιμή διόρθωσης πλάτους μπορεί να εφαρμοστεί στο απεικονιζόμενο ίχνος(trace) του σήματος ώστε να αντεπεξέλθει σε απώλεια/κέρδος(losses/gains) σήματος που συμβαίνουν από άλλες συσκευές στο περιβάλλον μέτρησης, εκτός της συσκευής που τεστάρετε.

Εύρος: -81.9 μέχρι 81.9

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale → Ext Amp Gain**

6.2.24 [:SENSE]:DEMod Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου αποδιαμόρφωσης)

6.2.24.1 Type of Demodulation

**[[:SENSE]:DEMod AM|FM
[:SENSE]:DEMod?**

Επιλέγει τον τύπο αποδιαμόρφωσης.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Det/Demod → Demod → AM

Det/Demod → Demod → FM

6.2.24.2 FM Deviation

**[[:SENSE]:DEMod:FMDeviation <freq>
[:SENSE]:DEMod:FMDeviation?**

Ορίζει την συνολική απόκλιση συχνότητας FM για αποδιαμόρφωση συνολικής οθόνης(full screen).

Εύρος: 5 kHz μέχρι 1.2ΜΗζ

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE → Scale/Div**

6.2.24.3 Demodulation Control

**[[:SENSE]:DEMod:STATe OFF|ON|0|1
[:SENSE]:DEMod:STATe?**

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Det/Demod → Demod → Off**



6.2.24.4 Demod Time

[[:SENSe]:DEMod:TIME <time>

[[:SENSe]:DEMod:TIME?

Ορίζει τον χρόνο που χρησιμοποιείται για αποδιαμόρφωση στο πεδίο της συχνότητας (frequency domain demodulation).

Εύρος: 2ms μέχρι 100s

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: seconds

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Det/Demod → Demod → Demod Time**

6.2.24.5 Demod View

[[:SENSe]:DEMod:VIEW[:STATe] OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:DEMod:VIEW[:STATe]?

Αυτή η εντολή εμφανίζει το αποδιαμορφωμένο σήμα στην οθόνη. Αν η FM Demod είναι σε κατάσταση “on” τότε η οθόνη έχει για μονάδες μέτρησης kHz. Ο λόγος scale/div ορίζεται με την εντολή

:DISPlay:WINDow:TRACe:Y[:SCALe]:PDIVision:FREQUency <freq>

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Det/Demod → Demod → FM → Demod View

6.2.25 [[:SENSe]:DETEctor Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου ανίχνευσης)

6.2.25.1 Automatic Detection Type Selected

[[:SENSe]:DETEctor:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:DETEctor:AUTO?

Αλλάζει αυτόματα στον βέλτιστο τύπο ανίχνευσης για τυπικές μετρήσεις χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες ρυθμίσεις του οργάνου. Ο τύπος ανίχνευσης είναι “average” αν οποιοδήποτε από τα παρακάτω είναι σε κατάσταση “on”:

Noise marker

Band power markers

Trace averaging when the Average Type is Power (RMS).

Ο τύπος ανίχνευσης είναι “sample” αν οποιοδήποτε από τα παρακάτω είναι αληθές.

Trace averaging is on with average type of video

Both max and min hold trace modes are on

Resolution bandwidth is less than 1 kHz, and noise marker, band power markers, or trace averaging is on

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Det/Demod → Detector**

6.2.25.2 Type of Detection

[[:SENSe]:DETEctor[:FUNCTION]

NEGative|POSitive|SAMPlE|AVERAge|RMS

[[:SENSe]:DETEctor[:FUNCTION]?

Ορίζει τον τύπο ανίχνευσης.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Det/Demod → Detector

Det/Demod → Detector → Peak

Det/Demod → Detector → Sample

Det/Demod → Detector → Negative Peak

Det/Demod → Detector → Average



6.2.26 [:SENSe]:FREQUENCY Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου συχνότητας)

6.2.26.1 Center Frequency

[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer <freq>
[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer UP|DOWN
[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer?

Ορίζει την κεντρική συχνότητα.

Εύρος με 10MHz ελάχιστο για log swepp mode

ESA E4401B, E4411B: -80 MHz μέχρι 1.58 GHz

ESA E4402B, E4403B: -80 MHz μέχρι 3.10 GHz

ESA E4404B: -80 MHz μέχρι 6.78 GHz

ESA E4405B: -80 MHz μέχρι 13.3 GHz

ESA E4407B, E4408B: -80 MHz μέχρι 27.0 GHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **FREQUENCY/Channel → Center Freq**

6.2.26.2 Center Frequency Step Size Automatic

[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer:STEP:AUTO OFF|ON|0|1
[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer:STEP:AUTO?

Καθορίζει αν το μέγεθος βημάτων (step size) τίθεται αυτόματα βασιζόμενο στην έκταση (span).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

FREQUENCY/Channel → CF Step Auto Man

6.2.26.3 Center Frequency Step Size

[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer:STEP[:INCRement] <freq>
[:SENSe]:FREQUENCY:CENTer:STEP[:INCRement]?

Ορίζει το μέγεθος βήματος της κεντρικής συχνότητας.

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B: -1.58 μέχρι 1.58 GHz

ESA E4402B, E4403B: -3.10 μέχρι 3.10 GHz

ESA E4404B: -6.78 μέχρι 6.78 GHz

ESA E4405B: -13.3 μέχρι 13.3 GHz

ESA E4407B, E4408B: -27.0 μέχρι 27.0 GHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **FREQUENCY/Channel → CF Step Man**

6.2.26.4 Frequency Span

[:SENSe]:FREQUENCY:SPAN <freq>
[:SENSe]:FREQUENCY:SPAN?

Ορίζει την έκταση συχνότητας (frequency span). Ορίζοντας την έκταση σε 0Hz βάζει τον αναλυτή σε μηδενική έκταση.

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B: 0Hz, 100Hz μέχρι 1.58 GHz

ESA E4402B, E4403B: 0Hz, 100Hz μέχρι 3.10 GHz

ESA E4404B: 0Hz, 100Hz μέχρι 6.78 GHz



ESA E4405B: 0Hz, 100Hz μέχρι 13.3 GHz
ESA E4407B, E4408B: 0Hz, 100Hz μέχρι 27.0 GHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz
Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:
SPAN/X Scale → Span
SPAN/X Scale → Zero Span

6.2.26.5 Full Frequency Span

[[:SENSe]:FREQuency:SPAN:FULL

Ορίζει την έκταση συχνότητας (frequency span) σε πλήρη κλίμακα (full scale).

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B: 1.5 GHz

ESA E4402B, E4403B: 3.0 GHz

ESA E4404B: 6.7 GHz

ESA E4405B: 13.2 GHz

ESA E4407B, E4408B: 26.5 GHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz
Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **SPAN/X Scale → Full Span**

6.2.26.6 Last Frequency Span

[[:SENSe]:FREQuency:SPAN:PREVious

Ορίζει την έκταση συχνότητας (frequency span) στην προηγούμενη ρύθμιση έκτασης (span).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **SPAN/X Scale → Last Span**

6.2.26.7 Start Frequency

[[:SENSe]:FREQuency:STARt <freq>

[[:SENSe]:FREQuency:STARt?

Ορίζει την συχνότητα εκκίνησης.

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B: -80MHz έως 1.58 GHz

ESA E4402B, E4403B: -80MHz έως 3.10 GHz

ESA E4404B: -80MHz έως 6.78 GHz

ESA E4405B: -80MHz έως 13.3 GHz

ESA E4407B, E4408B: -80MHz έως 27.0 GHz

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: Hz
Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **FREQUENCY/Channel → Start Freq**

6.2.26.8 Frequency Synthesis Mode

[[:SENSe]:FREQuency:SYNTHeSis 1|2|3

[[:SENSe]:FREQuency:SYNTHeSis?

Αυτή η εντολή αλλάζει κατάσταση μεταξύ δύο διαφορετικών τρόπων βελτιστοποίησης θορύβου φάσης. Ο τρόπος 2 βελτιστοποιεί τον αναλυτή για γειτονικό θόρυβο φάσης. Ο τρόπος 3 βελτιστοποιεί τον αναλυτή για μέγιστη ταχύτητα συντονισμού (tuning speed). Ο τρόπος 1 δεν συνίσταται για νέες σχεδιάσεις.

Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο στα παρακάτω μοντέλα: E4402B, E4403B, E4404B, E4405B, E4407B, E4408B



Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AUTO COUPLE → PhNoise Opt**

6.2.26.9 Frequency Synthesis State

[[:SENSe]:FREQuency:SYNTHeSis:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:FREQuency:SYNTHeSis:AUTO?

Αυτή η εντολή αλλάζει κατάσταση ανάμεσα σε αυτόματη και χειροκίνητη επιλογή θορύβου φάσης.

Σε κατάσταση Auto, η λειτουργία βελτιστοποίησης θορύβου φάσης δουλεύει ακολούθως:

- Για εκτάσεις (spans) ≤ 12 MHz, ο αναλυτής βελτιστοποιείται για θόρυβο φάσης.
- Για εκτάσεις (spans) > 10 MHz, ο αναλυτής βελτιστοποιείται για γρήγορο συντονισμό (tuning).

Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο στα παρακάτω μοντέλα: E4402B, E4403B, E4404B, E4405B, E4407B, E4408B

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AUTO COUPLE → PhNoise Opt**

6.2.27 [[:SENSe]:MIXer Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου μίκτη)

6.2.27.1 Select External Mixer Band

[[:SENSe]:MIXer:BAND K|A|Q|U|V|E|W|F|D|G|Y|J|USER

[[:SENSe]:MIXer:BAND?

Αυτή η εντολή επιτρέπει την επιλογή μιας από τις προκαθορισμένες μπάντες που αντιστοιχούν στο εξωτερικό μίκτη που χρησιμοποιείται. Η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο με την επιλογή AYZ (εξωτερική μίξη).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Inpur Mixer → Ext Mix Band

6.2.27.2 External Mixer Bias Adjust

[[:SENSe]:MIXer:BIAS <numeric>

[[:SENSe]:MIXer:BIAS?

Αυτή η εντολή επιτρέπει τη ρύθμιση μιας εσωτερικής πηγής για χρήση με εξωτερικούς μίκτες. Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο με την επιλογή AYZ (εξωτερική Mixing).

Εύρος: από -10 mA έως 10 mA

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: mA

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Input Mixer → Mixer Config → Mixer Bias On Off

6.2.27.3 Set External Mixer Bias On/Off

[[:SENSe]:MIXer:BIAS:STATe OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:MIXer:BIAS:STATe?

Αυτή η εντολή ενεργοποιεί μια εσωτερική πηγή για χρήση με εξωτερικό μίκτη. Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο με την επιλογή AYZ (εξωτερική Mixing).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Input Mixer → Mixer Config → Mixer Bias On Off



6.2.27.4 Set External Mixer LO Harmonic Value

```
[[:SENSe]:MIXer:HARMonic <integer>
[:SENSe]:MIXer:HARMonic?
```

Αυτή η εντολή επιτρέπει να ορίσουμε τιμή LO αρμονικών για μίκτες διαφορετικούς από τους HP/Agilent 11970-Series ή 11974-Series. Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο με την επιλογή AYZ (εξωτερική Mixing).

Εύρος: οποιοσδήποτε μη μηδενικός ακέραιος από -50 έως 50

6.2.27.5 Set External Mixer LO Harmonic Mode

```
[[:SENSe]:MIXer:HARMonic:AUTO OFF|ON|0|1
[:SENSe]:MIXer:HARMonic:AUTO?
```

Αυτή η εντολή επιτρέπει να ορίσουμε την λειτουργία LO αρμονικών σε αυτόματη ή “χειροκίνητη”. Η χειροκίνητη λειτουργία είναι διαθέσιμη μόνο με μίκτες διαφορετικούς από τους HP/Agilent 11970-Series ή 11974-Series την επιλογή. Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο με την επιλογή AYZ (εξωτερική Mixing).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Input Mixer → Mixer Config → Harmonic Auto Man

6.2.28 [:SENSe]:POWer Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου στάθμης)

6.2.28.1 Input Attenuation

```
[[:SENSe]:POWer[:RF]:ATTenuation <rel_ampl>
[:SENSe]:POWer[:RF]:ATTenuation?
```

Ρυθμίζει τον εξασθενητή εισόδου. Αυτή η τιμή είναι auto αν η input attenuation είναι ρυθμισμένη στο auto.

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B:	0 μέχρι 60 dB
ESA E4402B, E4403B, E4404B, E4405B:	0 μέχρι 75 dB
ESA E4407B, E4408B:	0 μέχρι 65 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

AMPLITUDE/Y Scale → Attenuation Auto Man

6.2.28.2 Input Port Attenuator Auto

```
[[:SENSe]:POWer[:RF]:ATTenuation:AUTO OFF|ON|0|1
[:SENSe]:POWer[:RF]:ATTenuation:AUTO?
```

Επιλέγει το εύρος της πόρτας εισόδου του εξασθενητή αυτόματα ή χειροκίνητα.

- ON – Η εξασθένιση εισόδου καθορίζεται αυτόματα από την ρύθμιση του επιπέδου αναφοράς.
- OFF - Η εξασθένιση εισόδου καθορίζεται χειροκίνητα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale → Attenuation**

6.2.28.3 Input Port Power Gain

```
[[:SENSe]:POWer[:RF]:GAIN[:STATe] OFF|ON|0|1
```



[[:SENSe]:POWer[:RF]:GAIN[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την εσωτερική προενίσχυση.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

AMPLITUDE/Y Scale → Int Preamp On Off

6.2.28.4 Input Port Maximum Mixer Power

[[:SENSe]:POWer[:RF]:MIXer:RANGe[:UPPer] <ampl>

[[:SENSe]:POWer[:RF]:MIXer:RANGe[:UPPer]?

Ορίζει την μέγιστη στάθμη στον μίκτη εισόδου.

Εύρος: -100 dBm μέχρι -10 dBm

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dBm

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale → Max Mixer LVI**

6.2.28.5 Optimize Preselector Frequency

[[:SENSe]:POWer[:RF]:PADJust <freq>

[[:SENSe]:POWer[:RF]:PADJust?

Αυτή η εντολή επιτρέπει καθορισμένη από το χρήστη ρύθμιση της συχνότητας προεπιλογέων ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόκριση στο σήμα ενδιαφέροντος.

Εύρος: -250 MHz μέχρι 250 MHz

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale → Presel Adjust**

6.2.28.6 Preselector Center

[[:SENSe]:POWer[:RF]:PCENter

Στην εσωτερική μίξη, αυτή η εντολή κεντροθετεί το φίλτρο προεπιλογέων στο σήμα ενδιαφέροντος. Στην εξωτερική μίξη, το εξωτερικό φίλτρο προεπιλογέων προσαρμόζεται στην κορυφή της απόκρισης του φίλτρου για να μεγιστοποιήσει το εύρος στην επιλεγμένη ενεργή συχνότητα. Αυτή η εντολή δεν έχει καμία επίδραση εάν ενεργοποιείται στις μη-επιλεγμένες εκ των προτέρων ζώνες. Αυτή η εντολή είναι χρησιμοποιήσιμη από τα 3 GHz έως την μέγιστη συχνότητα του αναλυτή.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **AMPLITUDE/Y Scale → Presel Center**

6.2.29 [[:SENSe]:SIDentify Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου αναγνώρισης σήματος)

6.2.29.1 Set Mixer Signal Identification Mode

[[:SENSe]:SIDentify:MODE ISUPpress|SHift

[[:SENSe]:SIDentify:MODE?

Αυτή η εντολή επιτρέπει να επιλέξουμε έναν από δύο τύπους μεθόδων αναγνώρισης σημάτων όταν παρατηρούμε πολλαπλές απαντήσεις από μη-επιλεγμένους εκ των προτέρων εξωτερικούς μίκτες. Αυτή η εντολή είναι διαθέσιμη μόνο με την επιλογή AYZ (εξωτερικό Mixing).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Input Mixer → Signal ID Mode → Image Suppress

Input/Output → Input Mixer → Signal ID Mode → Image Shift

6.2.29.2 Set Mixer Signal Identification State

[[:SENSe]:SIDentify[:STATe] OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:SIDentify[:STATe]?



Αυτή η εντολή ενεργοποιεί έναν αλγόριθμο που είτε αφαιρεί είτε βοηθά με την αναγνώριση πολλαπλών απαντήσεων. Αυτές οι απαντήσεις παράγονται από έναν ενιαίο σήμα εισαγωγής που χρησιμοποιεί τους μη-επιλεγμένους εκ των προτέρων εξωτερικούς μίκτες.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Input/Output → Input Mixer → Signal Ident On Off

6.2.30 [:SENSe]:SWEp Subsection (Υποσύνολο εντολών τύπου αναγνώρισης σάρωσης)

6.2.30.1 Sweep Points

[:SENSe]:SWEp:POINts <number of points>

[:SENSe]:SWEp:POINts?

Αυτή η εντολή επιλέγει το πλήθος των σημείων σάρωσης(sweep points).

Παράδειγμα : **:SWEp:POIN 401**

Εύρος: 101 έως 8192

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Points**

6.2.30.2 Query Number of Segments

[:SENSe]:SWEp:SEGment:COUNT?

Επιστρέφει το πλήθος των τμημάτων (segments) που έχουν καθοριστεί στα τμηματικά δεδομένα σάρωσης(segmented sweep data).

Εύρος: 0 έως 32

6.2.30.3 Set All Segment Data

[:SENSe]:SWEp:SEGment:DATA[:ALL] <SSTop|CSPan>,<string>

[:SENSe]:SWEp:SEGment:DATA[:ALL]? <SSTop|CSPan>

Ορίζει παράμετρους για όλα τα τμήματα μιας τμηματικής σάρωσης (segmented sweep). Τα δεδομένα εισάγονται σαν τιμές ASCII χωρισμένα με κόμματα σε διαδοχική σειρά επιθυμητών τμημάτων. Τα τμήματα θα ταξινομηθούν με σειρά αυξανόμενης αρχικής συχνότητας. Αν πολλαπλά τμήματα, έχουν ίδια αρχική συχνότητα, τότε θα εμφανιστούν με σειρά αυξανόμενης συχνότητας τερματισμού. Είναι δυνατό να καθορίσουμε τμήματα που επικαλύπτονται μεταξύ τους.

Για SSTop, η σειρά ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα είναι:

start frequency, stop frequency, resolution bandwidth, video bandwidth, number of points, και sweep time.

Για CSPan, η σειρά ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα είναι:

center frequency, span, resolution bandwidth, video bandwidth, number of points, και sweep time.

Παράδειγμα: **:SENSe:SWEp:SEGment:DATA:ALL**

CSPan,50e06,5e6,1e5,1e5,101,.0050,1e09,5e6

,1e5,1e5,101,

Αυτό το παράδειγμα ορίζει δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα έχει κεντρική συχνότητα 50MHz και το δεύτερο τμήμα έχει κεντρική συχνότητα 1GHz.

Εύρος: Το εύρος εξαρτάται από το μοντέλο του αναλυτή.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → Segmented → Modify → Edit → Center Freq

Sweep → Segmented → Modify → Edit → Span

Sweep → Segmented → Modify → Edit → Resolution BW

Sweep → Segmented → Modify → Edit → Video BW

Sweep → Segmented → Modify → Edit → Points



Sweep → Segmented → Modify → Edit → Sweep Time

6.2.30.4 Merge Data With Segmented Sweep Data

[[:SENSe]:SWEep:SEGMENT:DATA:MERGE <SSTop|CSPan>,<string>

Συγχωνεύει δεδομένα με τα τεμαχισμένα δεδομένα σάρωσης. Τα τμήματα θα ταξινομηθούν με σειρά αυξανόμενης αρχικής συχνότητας. Αν πολλαπλά τμήματα, έχουν ίδια αρχική συχνότητα, τότε θα εμφανιστούν με σειρά αυξανόμενης συχνότητας τεματισμού. Είναι δυνατό να καθορίσουμε τμήματα που επικαλύπτονται μεταξύ τους.

- Για SSTop, η σειρά ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα είναι: start frequency, stop frequency, resolution bandwidth, video bandwidth, number of points, και sweep time.
- Για CSPan, η σειρά ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα είναι: center frequency, span, resolution bandwidth, video bandwidth, number of points, και sweep time.

Παράδειγμα:

```
:SENSe:SWEep:SEGMENT:DATA:MERGE  
CSPan,150e06,5e6,1e5,1e5,101,.050,110e06,5  
e6,1e5,1e5,100,.05
```

Εύρος: Το εύρος εξαρτάται από το μοντέλο του αναλυτή.

6.2.30.5 Delete All Segmented Sweep Data

[[:SENSe]:SWEep:SEGMENT:DELEte

Σβήνει όλα τα τεμαχισμένα δεδομένα σάρωσης (segmented sweep data).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Segmented → Modify → Delete**

6.2.30.6 Delete Some Segmented Sweep Data

[[:SENSe]:SWEep:SEGMENT:DELEte:ROW <integer>

Σβήνει μόνο τα καθορισμένα τεμαχισμένα δεδομένα σάρωσης (segmented sweep data) – μια σειρά(row).

Εύρος: από 1 έως το μέγιστο πλήθος τεμαχίων (segments).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → Segmented → Modify → Edit → Delete Segment

6.2.30.7 Turn On/Off Segmented Sweep

[[:SENSe]:SWEep:SEGMENT[:STATe] OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:SWEep:SEGMENT[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την τεμαχισμένη σάρωση (segmented sweep). Η τεμαχισμένη σάρωση είναι μια λειτουργία στην οποία μόνο οι μόνες ενδιαφέροντος μετριοούνται με τα δεδομένα που παρουσιάζονται σε μοναδικό ίχνος (trace). Αυτό βελτιώνει την ταχύτητα μέτρησης και προσφέρει περισσότερη λεπτομέρεια και ανάλυση σε αυτές τις μόνες ενδιαφέροντος.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Segmented → ON/OFF**

6.2.30.8 Set Frequency Domain Scale Type

[[:SENSe]:SWEep:SPACing LINear|LOGarithmic

[[:SENSe]:SWEep:SPACing?

Επιλέγει είτε γραμμική είτε λογαριθμική για την κλίμακα της συχνότητας (X-άξονας).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **FREQUENCY → Scale Type**



6.2.30.9 Sweep Time

[[:SENSe]:SWEep:TIME <time>

[[:SENSe]:SWEep:TIME?

Ορίζει τον χρόνο στον οποίο ο αναλυτής σαρώνει την οθόνη.

Εύρος: Εξαρτάται από τα εγκατεστημένα υποσυστήματα του αναλυτή, το πλήθος των σημείων σάρωσης, και την έκδοση υλικολογισμικού (firmware) του οργάνου.

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: seconds

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Sweep Time Auto Man**

6.2.30.10 Automatic Sweep Time

[[:SENSe]:SWEep:TIME:AUTO OFF|ON|0|1

[[:SENSe]:SWEep:TIME:AUTO?

Επιλέγει αυτόματα τον ταχύτερο δυνατό χρόνο σάρωσης υπό τις τρέχουσες ρυθμίσεις.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Sweep Time Auto Man**

6.2.30.11 Sweep Time Mode

[[:SENSe]:SWEep:TIME:AUTO:MODE SRESponse|SANalyzer

[[:SENSe]:SWEep:TIME:AUTO:MODE?

Καθορίζει τον τύπο αυτόματης λειτουργίας coupling για τον ταχύτερο δυνατό χρόνο σάρωσης υπό τις τρέχουσες ρυθμίσεις.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Sweep Coupling SR SA**

6.2.30.12 Time Gating Delay (Option 1D6 Only)

[[:SENSe]:SWEep:TIME:GATE:DELay <time>

[[:SENSe]:SWEep:TIME:GATE:DELay?

Ορίζει τον χρόνο καθυστέρησης από την ώρα που συμβαίνει ερέθισμα πύλης (gate trigger) μέχρι να ανοίξει η πύλη. Η λειτουργία αυτή δουλεύει μόνο με EDGE triggering.

Εύρος: 0.3 μs έως 429 sec

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: seconds

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → Gate Setup → Edge Setup → Gate Delay

6.2.30.13 Time Gate Length (Option 1D6 Only)

[[:SENSe]:SWEep:TIME:GATE:LENGth <time>

[[:SENSe]:SWEep:TIME:GATE:LENGth?

Ορίζει την διάρκεια χρόνου πύλης (gate time length) καθυστέρησης (σε δευτερόλεπτα).

Εύρος: 0.3 μs έως 429 sec

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: seconds

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → Gate Setup → Edge Setup → Gate Length

6.2.30.14 Time Gate Level (Option 1D6 Only)

[[:SENSe]:SWEep:TIME:GATE:LEVel HIGH|LOW

[[:SENSe]:SWEep:TIME:GATE:LEVel?

Επιλέγει την στάθμη του σήματος πύλης (gate signal), αυτή η εντολή είναι για ερέθισμα στάθμης μόνο (LEVel triggering).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Gate Setup → Level Setup**



6.2.30.15 Time Gate Polarity (Option 1D6 Only)

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE:POLarity NEGative|POSitive

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE:POLarity?

Επιλέγει την πολικότητα του σήματος πύλης (gate signal), αυτή η εντολή είναι για ερέθισμα στάθμης μόνο (LEVEL triggering).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → Gate → Edge Gate → Slope Pos Neg

6.2.30.16 Preset Time Gate (Option 1D6 Only)

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE:PRESet

Αυτή η εντολή αρχικοποιεί τις παραμέτρους της πύλης στις προεπιλεγμένες τιμές :

Gate trigger type = edge

Gate polarity = positive

Gate delay = 1 μs

Gate length = 1 μs

Gate level = high

6.2.30.17 Control Time Gate (Option 1D6 Only)

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE[:STATe] OFF|ON|0|1

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE[:STATe]?

Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την λειτουργία time gating.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Sweep → Gate On Off**

6.2.30.18 Time Gate Trigger Type (Option 1D6 Only)

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE:TYPE LEV|EDGE

[[:SENSE]:SWEep:TIME:GATE:TYPE?

Επιλέγει ανάμεσα σε λειτουργία αιχμής (edge) ή στάθμης (level) για φασματική ανάλυση πύλης χρόνου(time gated).

Η λειτουργία στάθμης (level) ενεργοποιεί την πύλη όταν το σήμα υπερβεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο, ρυθμίζεται σαν low ή high.

Η λειτουργία αιχμής (edge) ενεργοποιεί την πύλη όταν ανιχνευτεί η αιχμή ενός σήματος, ρυθμίζεται σε ανίχνευση θετικής αιχμής ή αρνητικής αιχμής.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι:

Sweep → Gate → Gate Control Edge Level

6.2.31 SOURCE Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου πηγής)

Το σύνολο εντολών τύπου πηγής ελέγχει τα χαρακτηρισθέντα σήματος της γεννήτριας ίχνους (tracking generator).

6.2.31.1 Sets the Output Power Offset Correction

:SOURCE:CORRection:OFFSet <rel_ampl>

:SOURCE:CORRection:OFFSet?



Καθορίζει ένα offset για το επίπεδο ισχύος του απεικονιζόμενου σήματος. Ένα όφσσετ επιπέδου ισχύος μπορεί να προστεθεί στο απεικονιζόμενο επίπεδο ώστε να αντεπεξέλθουμε σε απώλειες του συστήματος (π.χ. απώλειες στο καλώδιο) ή κέρδος (π.χ. κέρδος προενισχυτή). Αυτή η λειτουργία όφσσετ δεν αλλάζει το επίπεδο ισχύος πραγματικά, αλλάζει μόνο το απεικονιζόμενο επίπεδο ισχύος έτσι ώστε να διαβάζεται το πραγματικό επίπεδο ισχύος τις συσκευής που τεστάρουμε.

Εύρος: -327.6 dB έως 327.6 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: τρέχουσες επιλεγμένες μονάδες μέτρησης ισχύος

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Amptd Offset**

6.2.31.2 Source Attenuation

:SOURce:POWer:ATTenuation <ampl>

:SOURce:POWer:ATTenuation?

Εξασθενεί το επίπεδο ισχύος τις εισόδου.

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B: 0 dB έως 60 dB σε βήματα των 10 dB

ESA E4402B, E4403B: 0 dB έως 56 dB σε βήματα των 8 dB

ESA E4404B: 0 dB έως 56 dB σε βήματα των 8 dB

ESA E4405B: 0 dB έως 56 dB σε βήματα των 8 dB

ESA E4407B, E4408B: 0 dB έως 56 dB σε βήματα των 8 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Attenuation Auto Man**

6.2.31.3 Automatic Source Attenuation

:SOURce:POWer:ATTenuation:AUTO OFF|ON|0|1

:SOURce:POWer:ATTenuation:AUTO?

Επιλέγει αν ο εξασθενητής εισόδου θα ρυθμιστεί αυτόματα ή χειροκίνητα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Attenuation Auto Man**

6.2.31.4 Sets the Output Power

:SOURce:POWer[:LEVel][:IMMediate][:AMPLitude] <ampl>

:SOURce:POWer[:LEVel][:IMMediate][:AMPLitude] UP|DOWN

:SOURce:POWer[:LEVel][:IMMediate][:AMPLitude]?

Καθορίζει την στάθμη εξόδου της πηγής.

Εύρος:

ESA E4401B, E4411B με το υποσύστημα 1DN: -70 dBm έως 3 dBm

E4401B, E4411B με το υποσύστημα 1DQ : -27.25 dBmV έως 45.75 dBmV

ESA E4402B, E4403B : -66 dBm έως 3 dBm

ESA E4404B : -66 dBm έως 3 dBm

ESA E4405B : -66 dBm έως 3 dBm

ESA E4407B, E4408B : -66 dBm έως 3 dBm

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dBm

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Amplitude On Off**

6.2.31.5 Sets the Source Output Power Mode

:SOURce:POWer:MODE FIXed|SWEep

:SOURce:POWer:MODE?



Καθορίζει την στάθμη εξόδου της πηγής να είναι σε συγκεκριμένο σταθερό πλάτος ή να σαρώσει σε μια έκταση επιπέδων πλάτους.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Power Sweep On Off**

6.2.31.6 Set the Source Sweep Power Range

:SOURce:POWer:SPAN <rel_ampl>

:SOURce:POWer:SPAN?

Καθορίζει μια έκταση επιπέδων πλάτους στην οποία η έξοδος της πηγής θα σαρώσει.

Εύρος: 0 dB έως 20 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

6.2.31.7 Set the Output Power at the Start of the Sweep

:SOURce:POWer:STARt <ampl>

:SOURce:POWer:STARt?

Ορίζει το επίπεδο πλάτους της πηγής στην έναρξη της σάρωσης.

6.2.31.8 Set the Output Power to Step Automatically

:SOURce:POWer:STEP:AUTO OFF|ON|0|1

:SOURce:POWer:STEP:AUTO?

Ορίζει το μέγεθος βήματος του πλάτους της πηγής να είναι μια υποδιαίρεση της κάθετης κλίμακας όταν βρισκόμαστε σε λογαριθμική κλίμακα, ή 10 db όταν βρισκόμαστε σε γραμμική κλίμακα.

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Amptd Step Auto Man**

6.2.31.9 Set the Output Power Step Size

:SOURce:POWer:STEP[:INCRement] <ampl>

:SOURce:POWer:STEP[:INCRement]?

Ορίζει το μέγεθος βήματος του πλάτους της πηγής.

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Amptd Step Auto Man**

6.2.31.10 Set the Source Sweep Power Range

:SOURce:POWer:SWEEp <rel_ampl>

:SOURce:POWer:SWEEp?

Καθορίζει το εύρος σταθμεύων πλάτους τα οποία θα σαρώσει η έξοδος της πηγής.

Εύρος: 0 dB έως 20 dB

Προεπιλεγμένη μονάδα μέτρησης: dB

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Power Sweep On Off**

6.2.31.11 Output Power Tracking

:SOURce:POWer:TRCKing <integer>

:SOURce:POWer:TRCKing?

Ρυθμίζει το tracking της εξόδου της πηγής με την σάρωση του αναλυτή στο τρέχον Resolution Bandwidth (RBW).

Εύρος: Ακέραιος, 0 έως 4095

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Man Track Adj**



6.2.31.12 Output Power Tracking Peak

:SOURce:POWer:TRCKing:PEAK

Ρυθμίζει αυτόματα το tracking της εξόδου της πηγής με την σάρωση του αναλυτή έτσι ώστε η στάθμη να είναι μέγιστη για το τρέχον Resolution Bandwidth (RBW).

Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: **Source → Tracking Peak**

6.2.32 STATus Subsystem (Σύνολο εντολών τύπου τρέχουσας κατάστασης)

Το σύνολο εντολών τύπου τρέχουσας κατάστασης ελέγχει τις SPCl-καθορισμένες δομές αναφοράς τρέχουσας κατάστασης.

6.2.32.1 Questionable Calibration Condition

:STATus:QUEStionable:CALibration:CONDition?

Αυτό το ερώτημα επιστρέφει την δεκαδική τιμή του αθροίσματος των bits στον καταχωρητή Questionable Calibration Condition.



Β' ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ WiMAX

7.1 Εισαγωγή

Για να ολοκληρωθεί η παρούσα πτυχιακή χρειάστηκε να δημιουργηθεί, να εκπεμφθεί στον ελεύθερο χώρο, και να μετρηθεί πειραματικό σήμα WiMAX.

Για την εκπομπή και λήψη του σήματος χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα, η τεχνογνωσία και τα λογισμικά του Εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (EMIA) του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων του ΤΕΙ Κρήτης.

Για την προσομοίωση και δημιουργία πειραματικού σήματος WiMAX χρησιμοποιήθηκε λογισμικό προσομοίωσης και δημιουργίας μέσω υπολογιστή σήματος WiMAX από την Agilent Technologies Incorporation [34].

Τα όργανα και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

7.2 Πειραματική διάταξη εκπομπής και λήψης σήματος WiMAX

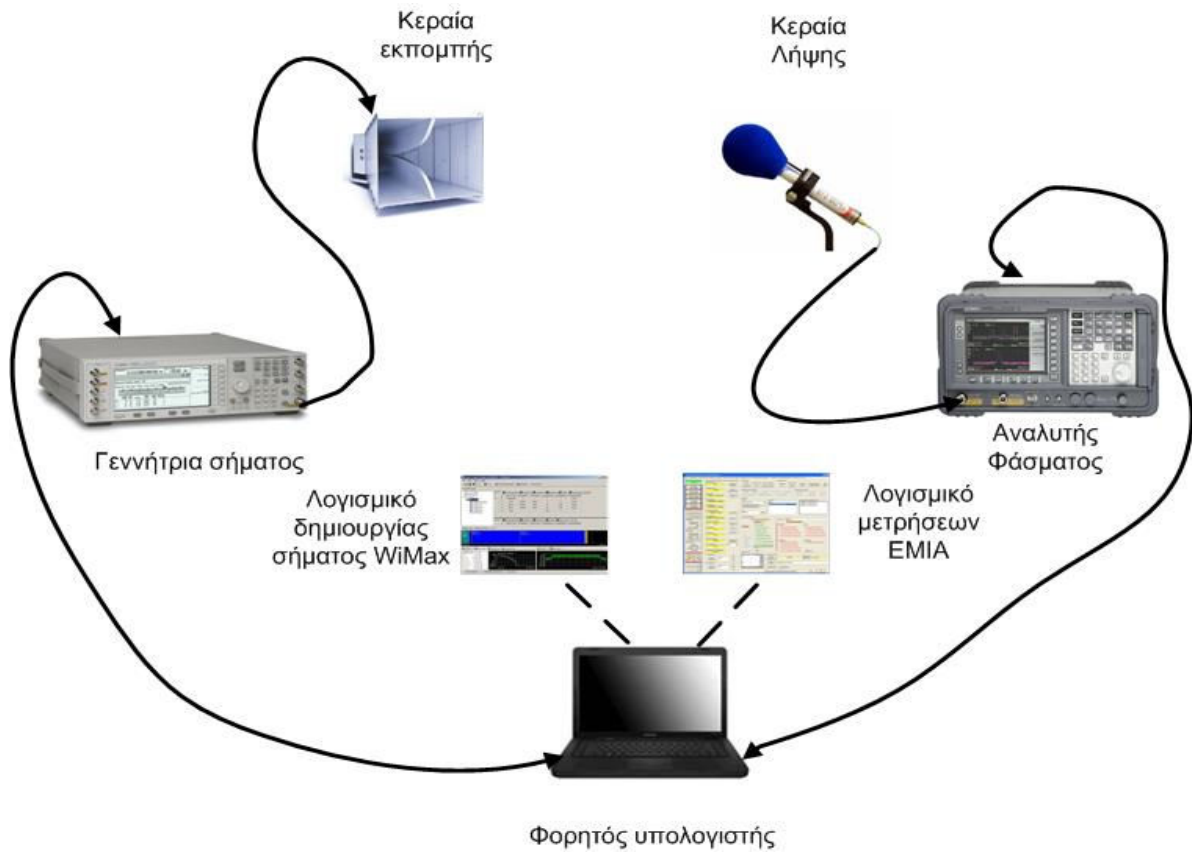
Τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα παρακάτω:

1. Η/Υ
2. Γεννήτρια σήματος (Agilent E4438C VSG),
3. Αναλυτής φάσματος (Agilent E4407B),
4. Κεραίες εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (EMIA) για εκπομπή και λήψη σήματος (ETS-Lindgren Model 3115: 1GHz-GHz και ARC sPOD16: 1GHz-GHz),
5. Καλώδια διασύνδεσης κεραιών – αναλυτή φάσματος – γεννήτριας σήματος,
6. Λογισμικό δημιουργίας σήματος τύπου WiMAX και μεταφόρτωσης του στη γεννήτρια σήματος (Agilent N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WIMAX),
7. Λογισμικό του EMIA για τον έλεγχο του συστήματος λήψης, τροποποιημένο για λειτουργία στη ζώνη WiMAX 3.5GHz.
8. Διεπαφή διασύνδεσης υπολογιστή με γεννήτρια και αναλυτή φάσματος (Agilent 82357A GPIB to USB Interface)

Η πειραματική διάταξη που στήθηκε περιγράφεται στις εικόνες 10, 11 και 12. Το σήμα WiMAX προσομοιώθηκε αρχικά στον υπολογιστή που κατεύθυνε το όλο σύστημα μέσω του λογισμικού της Agilent N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WIMAX. Στην συνέχεια οι παράμετροι του σήματος αυτού εισήχθησαν στην γεννήτρια παραγωγής σήματος της Agilent E4438C, και το παραγόμενο σήμα (εύρους 3.5MHz στη ζώνη των 3.5GHz) από τη γεννήτρια διαβιβάστηκε στην κεραία τύπου χοάνης ETS-Lindgren Model 3115: 1GHz-GHz μέσω κατάλληλου ομοαξονικού καλωδίου και εκπέμφθηκε στον ελεύθερο χώρο.

Στο σύστημα λήψης χρησιμοποιήθηκε η διπολική κεραία ARC sPOD16: 1GHz-GHz προσανατολιζόμενη σε τρεις κάθετες μεταξύ των πολώσεις (X, Y, και Z) η οποία συνδέθηκε με τον αναλυτή φάσματος Agilent E4407B του EMIA μέσω ομοαξονικού καλωδίου με γνωστές απώλειες και αβεβαιότητα από το πιστοποιητικό βαθμονόμησης του. Ο παράγοντας της κεραίας καθώς και οι αβεβαιότητες στον υπολογισμό του για διάφορες συχνότητες ήταν επίσης γνωστά από το αντίστοιχο πιστοποιητικό βαθμονόμησης. Οι τιμές όλων των επιμέρους παραμέτρων που υπεισέρχονται στην μέτρηση είχαν εισαχθεί στο λογισμικό του EMIA, το οποίο τροποποιήθηκε κατάλληλα για την διενέργεια μετρήσεων στην ζώνη των 3.5GHz με την εφαρμογή της μεθόδου Channel Power.

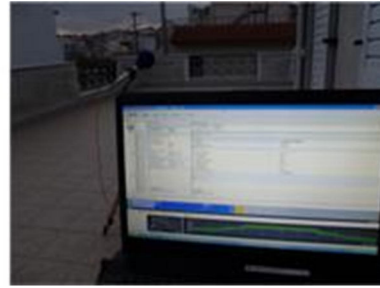
Το λογισμικό του EMIA κατεύθυνε όλο το σύστημα μετρήσεων και χρησιμοποιήθηκε και για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων από τα δεδομένα των μετρήσεων τα οποία αποθηκεύονταν σε αρχεία Excel μαζί με τις εκάστοτε ρυθμίσεις του αναλυτή φάσματος.



Εικόνα 10 : Συνδεσμολογία για την εκπομπή και λήψη WiMAX σήματος.



Εικόνα 11 : Συνδεσμολογία στην πράξη για εκπομπή και λήψη WiMAX σήματος.



Εικόνα 12 : Αναλυτής φάσματος, γεννήτρια σήματος και Η/Υ κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

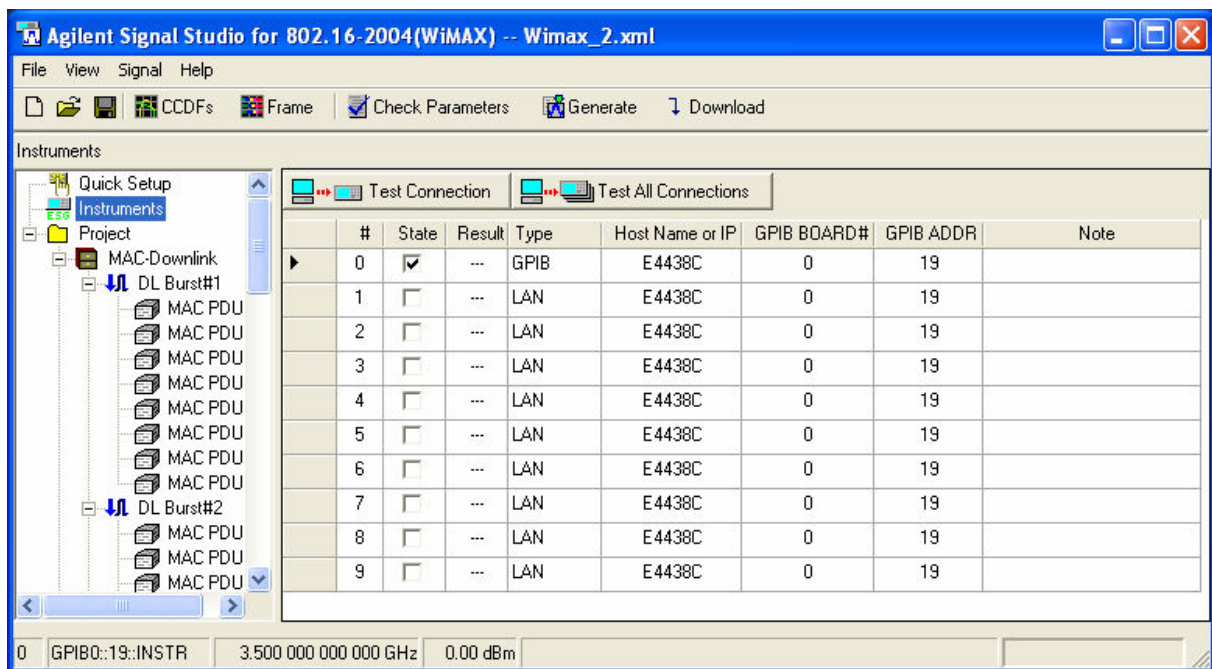
7.3 Δημιουργία πειραματικού σήματος WiMAX

7.3.1 Περιγραφή προγράμματος N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WIMAX

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό καταφέραμε να δημιουργήσουμε σήμα WiMAX σύμφωνα με το πρότυπο 802.16-2004.

Εγκατάσταση Εξοπλισμού και σύνδεσης:

1. Συνδέουμε την γεννήτρια E4438C (Agilent ESG Signal Generator) σε έναν υπολογιστή μέσω διεπαφής GPIB για διαβίβαση εντολών SCPI στην γεννήτρια.
2. Ενεργοποιούμε την E4438C και τον υπολογιστή.
3. Εκτελούμε το λογισμικό N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WIMAX για να καθιερωθεί η επικοινωνία μεταξύ του λογισμικού και της E4438C ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα



Εικόνα 13 : Παράθυρο εγκατάστασης Γεννήτριας

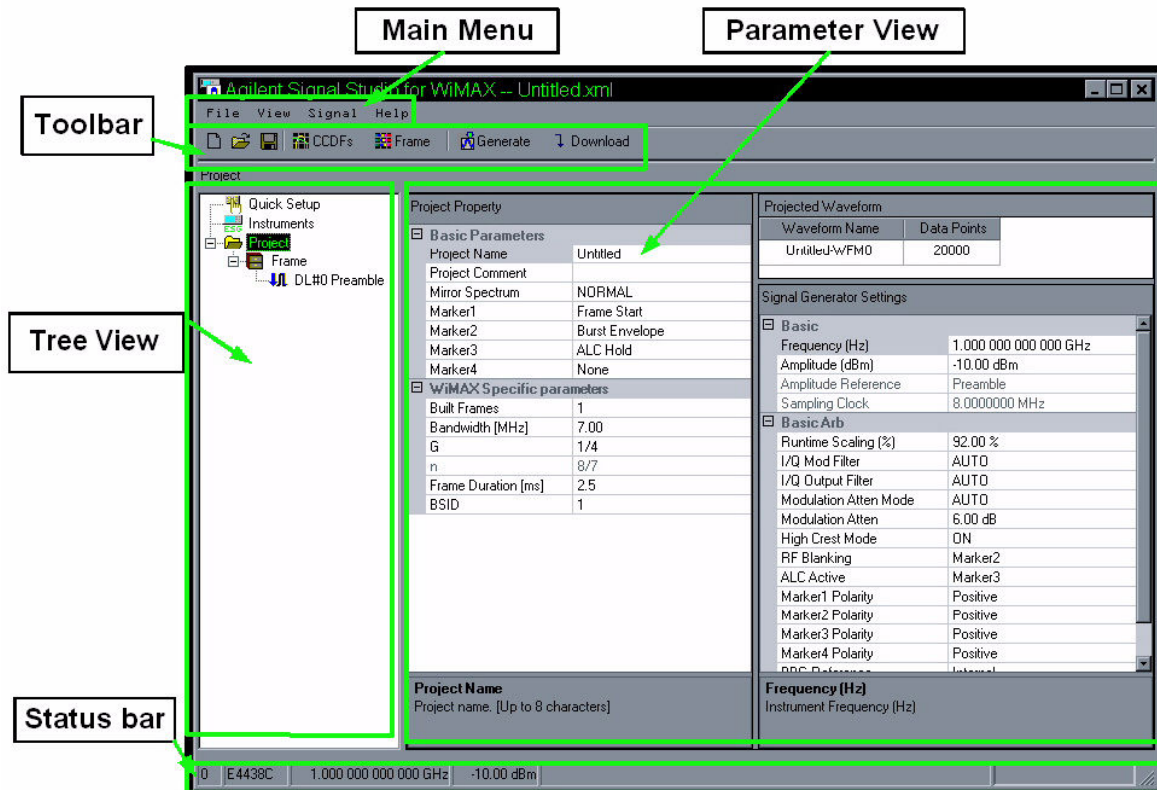
- A. Στο αριστερό παράθυρο κάνουμε κλικ στο εικονίδιο «Instruments» και εμφανίζεται ένας πίνακας στο δεξί τμήμα του παραθύρου με LAN και GPIB παραμέτρους συνδεσιμότητας έως και δέκα ESGs.
- B. Εισάγουμε τα στοιχεία σύνδεσης της E4438C: Για GPIB επιλέγουμε GPIB στον τύπο και εισάγουμε την ρύθμιση. Για LAN επιλέγουμε LAN στο πεδίο «Type» και πληκτρολογούμε το όνομα ή την διεύθυνση IP της E4438C.
- C. Κάνουμε κλικ στα πλαίσια (checkbox) που θέλουμε να συνδεθούμε.



7.3.2 Διάταξη Παραθύρου (Main Window Layout)

Χρησιμοποιώντας την προβολή δέντρου «Tree View» που βρίσκεται στο αριστερό τμήμα του κύριου παραθύρου μπορούμε να πλοηγηθούμε μεταξύ των διαφόρων επιπέδων διαμόρφωσης της κυματομορφής WiMAX που θέλουμε να δημιουργηθεί.

Μπορούμε να καθορίσουμε τις διαθέσιμες παραμέτρους στο δεξί τμήμα του παραθύρου «Parameter View» και περιέχει τις λοιπές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στην κυματομορφή.



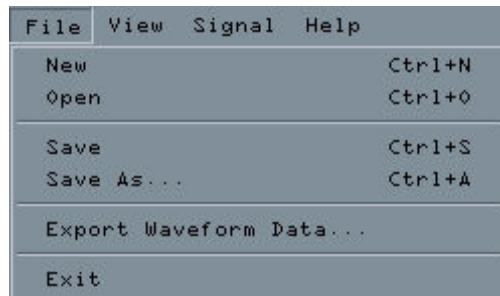
Εικόνα 14 : Διάταξη Παραθύρου

7.3.3 Κύριο Παράθυρο (Main Window)

Σε αυτήν την ενότητα θα περιγραφεί το κάθε ένα από τα τμήματα στο περιβάλλον εργασίας του χρήστη, συγκεκριμένα:

Κύριο Παράθυρο:

- New: Απορρίπτει τις τρέχουσες ρυθμίσεις και θέτει σε εφαρμογή τις ειδικές παραμέτρους για την προεπιλεγμένη κατάσταση.
- Open: Ανοίγει ένα αποθηκευμένο σήμα xml μορφής.
- Save: Αποθηκεύει τις τρέχουσες ρυθμίσεις σε ένα αρχείο ρυθμίσεων. Επίσης τρέχουσες ρυθμίσεις μπορούν να αντικαταστήσουν το ήδη υπάρχον αρχείο.
- Save as: Παρόμοια Λειτουργία με το «Save» αλλά ο χρήστης επιβεβαιώνει την αντικατάσταση ενός υπάρχοντος αρχείου.
- Export Waveform Data: Αποθηκεύει ένα κρυπτογραφημένο αρχείο κυματομορφής και αυτό το αρχείο εν συνεχεία μπορεί να παίξει και σε άλλες γεννήτριες σήματος. Εάν μια κυματομορφή έχει ρυθμιστεί αλλά δεν δημιουργείται αυτή η επιλογή την δημιουργεί και την αποθηκεύει.
- Exit: Έξοδος για να τερματιστεί το πρόγραμμα. Αν υπάρχουν αλλαγές παραμέτρων ο χρήστης αποφασίζει που αν θέλει να γίνει αποθήκευση ή όχι.



Εικόνα 15 : Κόριο Παράθυρο

7.3.4 Μενού Προβολή (View Menu)

- Toolbar: Εμφανίζει ή αποκρύπτει τη γραμμή εργαλείων.
- CCDF Graph: Εμφανίζει ή αποκρύπτει το διάγραμμα CCDF στην περιοχή σχεδίασης.
- Frame Plot Graph: Εμφανίζει ή αποκρύπτει το πεδίο του χρόνου στην περιοχή Plot Graph.



Εικόνα 16 : Μενού Προβολή

7.3.5 Μενού Σήματος (Signal Menu)

- Generate: Ελέγχει την εγκυρότητα των παραμέτρων του σήματος και δημιουργεί ένα I/Q αρχείο κυματομορφής. Η κυματομορφή χρόνου ποικίλλει ανάλογα με την πολυπλοκότητα της κυματομορφής.
- Download: Δημιουργεί (εάν δεν έχει δημιουργηθεί ήδη) και κατεβάζει στην γεννήτρια την τρέχουσα κυματομορφή και τις ρυθμίσεις.



Εικόνα 17 : Μενού Σήματος

7.3.6 Βοήθεια Μενού (Help)

Help: Οδηγεί στην ενσωματωμένη βοήθεια του N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAXH δυνατότητα δεν εφαρμόζεται σε αυτήν την έκδοση.

- About: Εμφανίζει την έκδοση για την δημιουργία του σήματος



Εικόνα 18 : Μενού Βοήθεια

Περισσότερες πληροφορίες για τις ρυθμίσεις του προγράμματος μπορεί να βρεί κανείς είτε ανοίγοντας την ενσωματωμένη βοήθεια μέσω του παραπάνω μενού, είτε από το manual του προγράμματος είτε on line την διεύθυνση:

<http://wireless.agilent.com/wireless/helpfiles/N7613A/n7613a.htm>

7.3.7 Μενού Toolbar

Το Toolbar παρουσιάζει κουμπιά που είναι συντομεύσεις σε επιλεγμένες λειτουργίες στο Κεντρικό Μενού. Κρατώντας τον κέρσορα πάνω σε κάθε κουμπί εμφανίζεται το όνομα του. Από τα αριστερά προς τα δεξιά είναι:



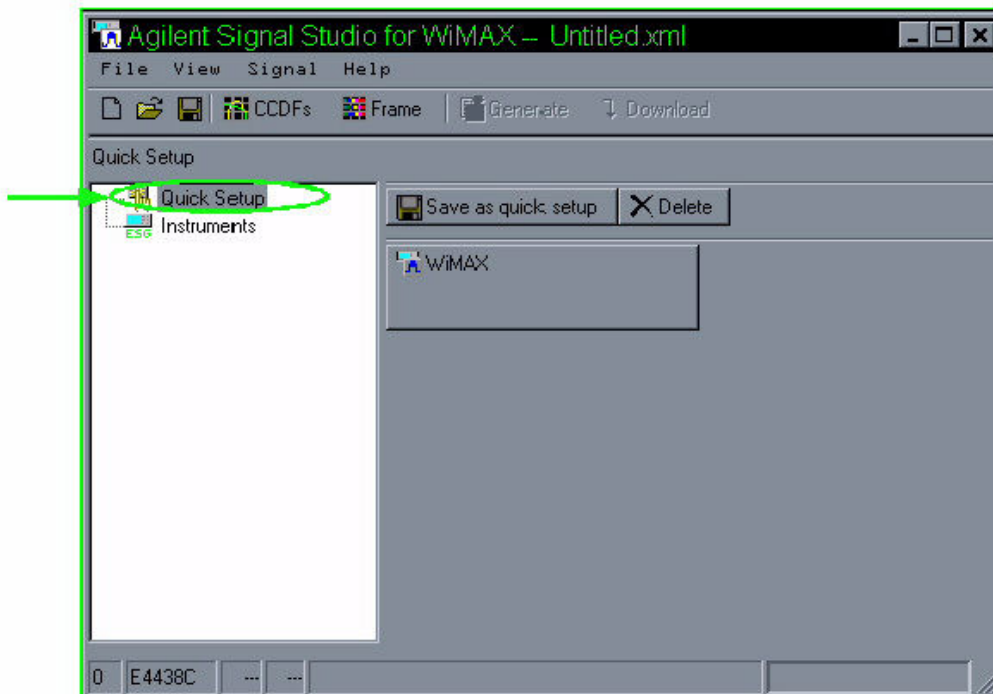
- File: New
- File: Open
- File: Save
- View: CCDF Graph
- View: Frame Plot
- Signal: Generate
- Signal: Download



Εικόνα 19 : Μενού Toolbar

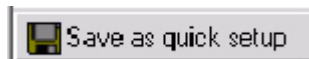
7.3.8 Επιλογή Quick Setup

Για να εμφανιστεί η Ρύθμιση Quick View επιλέγουμε «Quick Setup» από την αριστερή περιοχή. Η επιλογή είναι πάντα στην κορυφή.



Εικόνα 20 : Quick Setup

Η Δημιουργία νέου Button γίνεται πατώντας το κουμπί «Save a quick setup» και αποθηκεύουμε την τρέχουσα διαμόρφωση του σήματος σε ένα προσαρμοσμένο κουμπί ρύθμισης. Αυτή η λειτουργία είναι ίδια με την «Save as» εκτός από το ότι η διαμόρφωση είναι πιο εύκολα προσβάσιμη απο το Quick View Setup.



Εικόνα 21 : Save a quick setup

Η Διαγραφή μιας ρύθμισης γίνεται από το κουμπί «Delete»

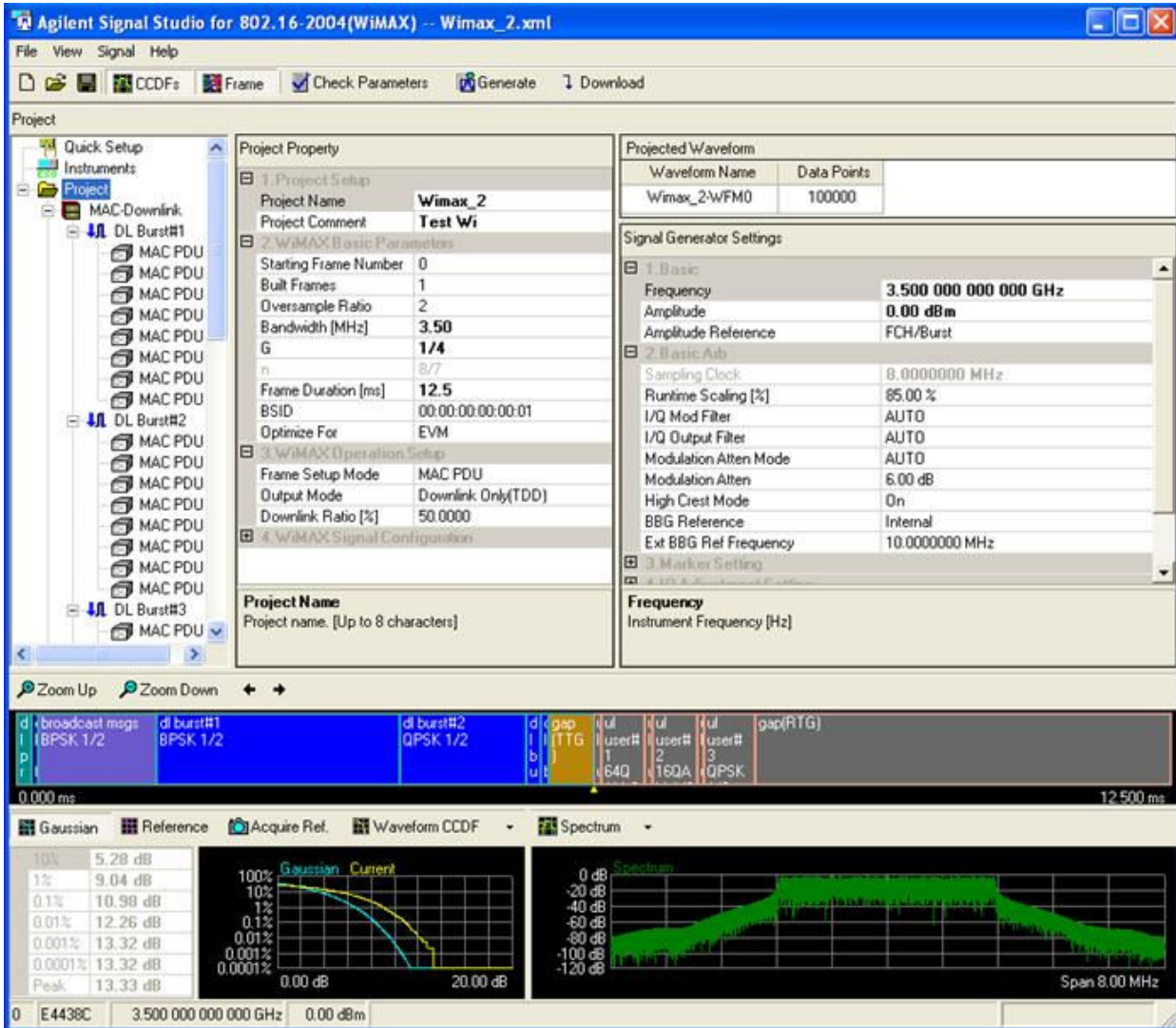


Εικόνα 22 : Delete



7.4 Μορφή πειραματικού σήματος WiMAX

Αφού πραγματοποιήσαμε την συνδεσμολογία, δημιουργήσαμε σήμα WiMAX με την βοήθεια του λογισμικού N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAX και της γεννήτριας σήματος ESG E4438C της Agilent. Το σήμα αυτό μεταφορτώθηκε στην γεννήτρια και εκτέμφθηκε. Οι ρυθμίσεις του σήματος αυτού, ο τύπος του frame, καθώς και το φάσμα του, παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



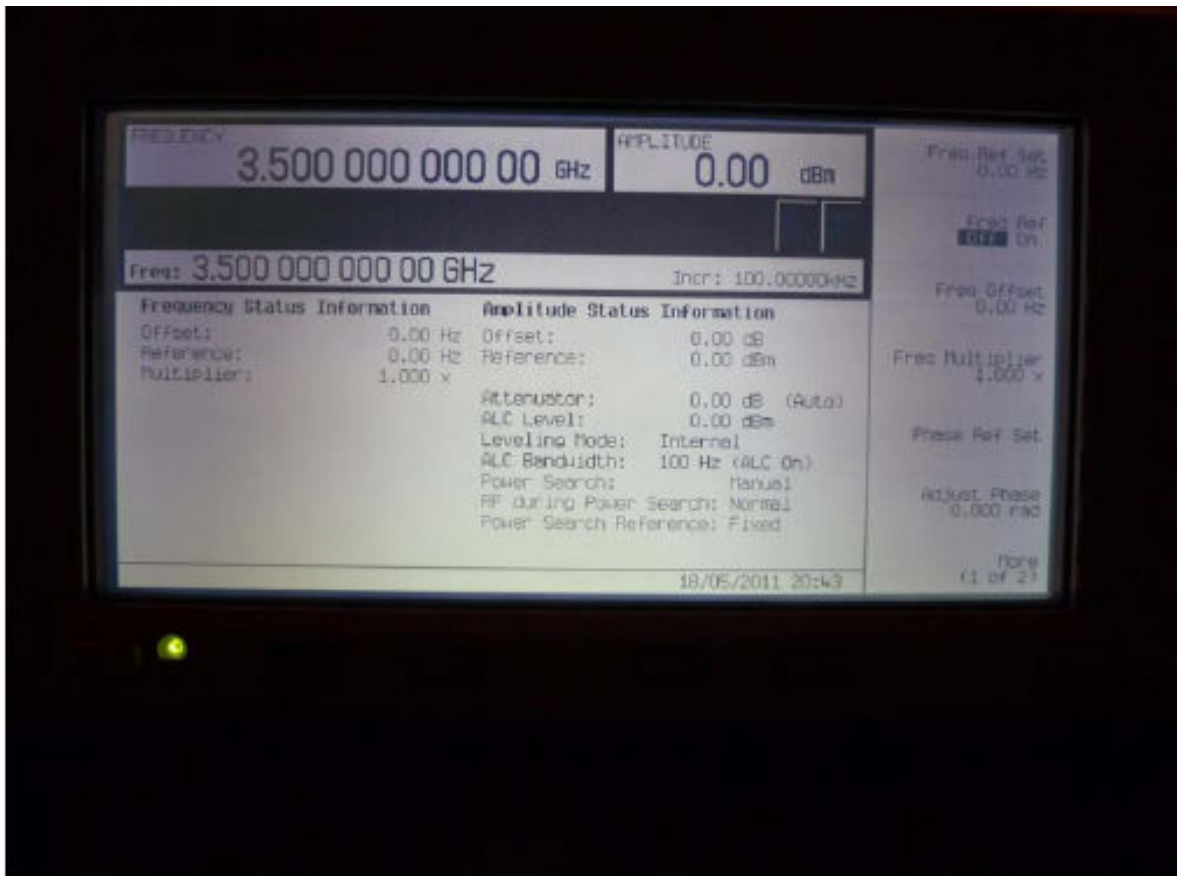
Εικόνα 23 : Ρυθμίσεις λογισμικού, δομή Frame και φάσμα πειραματικού σήματος WiMAX.

7.5 Ρυθμίσεις γεννήτριας σήματος

Η γεννήτρια σήματος ρυθμίζεται μέσω του υπολογιστή στον οποίο τρέχει το λογισμικό δημιουργίας του πειραματικού σήματος WiMAX. Οι ρυθμίσεις αυτές παρουσιάζονται στο τμήμα του παραθύρου “Agilent Signal Studio for 802.16 – 2004 (WiMAX)” που αναφέρεται με το όνομα “Signal Generator Settings”, όπως φαίνεται στην εικόνα 23. Οι ρυθμίσεις αυτές περνούν στην γεννήτρια μέσω της διεπαφής “Agilent 82357A GPIB to USB Interface” με την οποία πραγματοποιείται η μεταφορά δεδομένων από τον υπολογιστή προς την γεννήτρια και αντίστροφα, αφού πατηθεί το πλήκτρο “Download” του παραθύρου “Agilent Signal Studio for 802.16 – 2004 (WiMAX)”



Τυπική εικόνα από την πρόσοψη της γεννήτριας σήματος μετά την εισαγωγή των ρυθμίσεων από το λογισμικό “Agilent Signal Studio for 802.16 – 2004 (WiMAX)” για την διενέργεια των μετρήσεων για το σκοπό της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 24 : Πρόσοψη γεννήτριας σήματος μετά από ρύθμιση για την παραγωγή WiMAX σήματος με χρήση του λογισμικού N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAX της Agilent

7.6 Τηρούμενη διαδικασία λήψης μετρήσεων και αξιολόγησης αποτελεσμάτων

Κατά τη διαδικασία λήψης μετρήσεων έχουμε ως ζητούμενο την καταγραφή της μέγιστης RMS τιμής ισχύος λήψης για το ζητούμενο φάσμα. Συγκεκριμένα λαμβάνονται υπόψιν τα παρακάτω:

- Η Θέση, ο προσανατολισμός και η πόλωση των κεραιών λήψης (αν είναι δυνατόν πραγματοποιούνται τόσες μετρήσεις όσες απαιτούνται από την κεραιά λήψης ώστε να εξασφαλιστεί ισοτροπική συμπεριφορά), καθώς και η σχετική θέση του RF καλωδίου
- Απομακρύνονται από το σύστημα λήψης οι χειριστές και οι περαστικοί και λαμβάνεται πρόνοια ώστε στην θέση μετρήσεων να τηρούνται οι Διεθνείς προδιαγραφές που αναφέρονται στον περιορισμό των ανακλάσεων από παρακείμενες συσκευές/ αντικείμενα.
- Γίνεται μέσω Software ή χειροκίνητα ρύθμιση αναλυτή Φάσματος στις εντοπισμένες ζώνες για τον βέλτιστο προσδιορισμό της ενεργού τιμής της ισχύος λήψης για χρονική διάρκεια έξι λεπτών όπως απαιτείται από την κείμενη νομοθεσία. Οι ρυθμίσεις του Αναλυτή Φάσματος αφορούν: Start frequency, Stop Frequency, Attenuation, Reference Level, Resolution Bandwidth, Video Bandwidth, Sweep time, Type of Detector, Sweep points, Number of Averages. Σημειώνεται ότι η ρύθμιση μέσω Software ελαχιστοποιεί την πιθανότητα σφάλματος ή ελλιπούς ρυθμίσεως από τον χειριστή του συστήματος και προτιμάται εφόσον είναι διαθέσιμο κατάλληλο Software, όπως είναι το λογισμικό του EMIA στην περίπτωση μας.



- Πραγματοποιείται η μέτρηση και αποθηκεύονται τα δεδομένα μέτρησης και οι ρυθμίσεις του συστήματος.
- Τα Εφαρμοζόμενα Πρότυπα μετρήσεων στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων είναι:
- IEEE C95.3 – 1991 (Recommended Practice for the measurements of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave) και τροποποίησή του (IEEE C95.3 – 2002) [20],
 - Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50166-2 (Human exposure to electromagnetic fields – High frequency -10KHz to 300GHz [21],
 - Πρωτόκολλο Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας στην περιοχή των RF συχνοτήτων από 30MHz ως 26.5GHz του Εργαστηρίου Μή Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (EMIA) του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων (Ε.Π.Π.) του Τ.Ε.Ι. Κρήτης [33]

Η Επεξεργασία των δεδομένων, ο υπολογισμός των αβεβαιοτήτων και η αξιολόγηση τους για τον υπολογισμό του συντελεστή έκθεσης πολλαπλών πηγών (δείκτη έκθεσης) γίνεται από το λογισμικό του EMIA με βάση τα όσα αναπτύχθηκαν στα κεφάλαια 4 και 5. Υπενθυμίζεται ότι σε περίπτωση ταυτόχρονης έκθεσης σε πεδία διαφορετικών συχνοτήτων θα πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα σώρευσης των επιπτώσεων όλων των πεδίων και να γίνονται χωριστές αξιολογήσεις για τις θερμικές και ηλεκτρικές επιδράσεις στο ανθρώπινο σώμα.

Έτσι για θερμικές επιδράσεις σε συχνότητες πάνω από 100KHz θα πρέπει να υπολογιστούν και να συγκριθούν με την μονάδα τα παρακάτω αθροίσματα:

Για SAR και πυκνότητα ισχύος:

$$\sum_{i=100KHz}^{10GHz} \frac{SAR_i}{SAR_{L,i}} + \sum_{i>10GHz}^{300GHz} \frac{S_i}{S_{L,i}}$$

Για την Ένταση του Ηλεκτρικού πεδίου:

$$\sum_{i=100KHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2$$

Για την ένταση του Μαγνητικού πεδίου:

$$\sum_{i=100KHz}^{150KHz} \left(\frac{H_i}{d} \right)^2 + \sum_{i>150KHz}^{300GHz} \left(\frac{H_i}{H_{L,i}} \right)^2$$

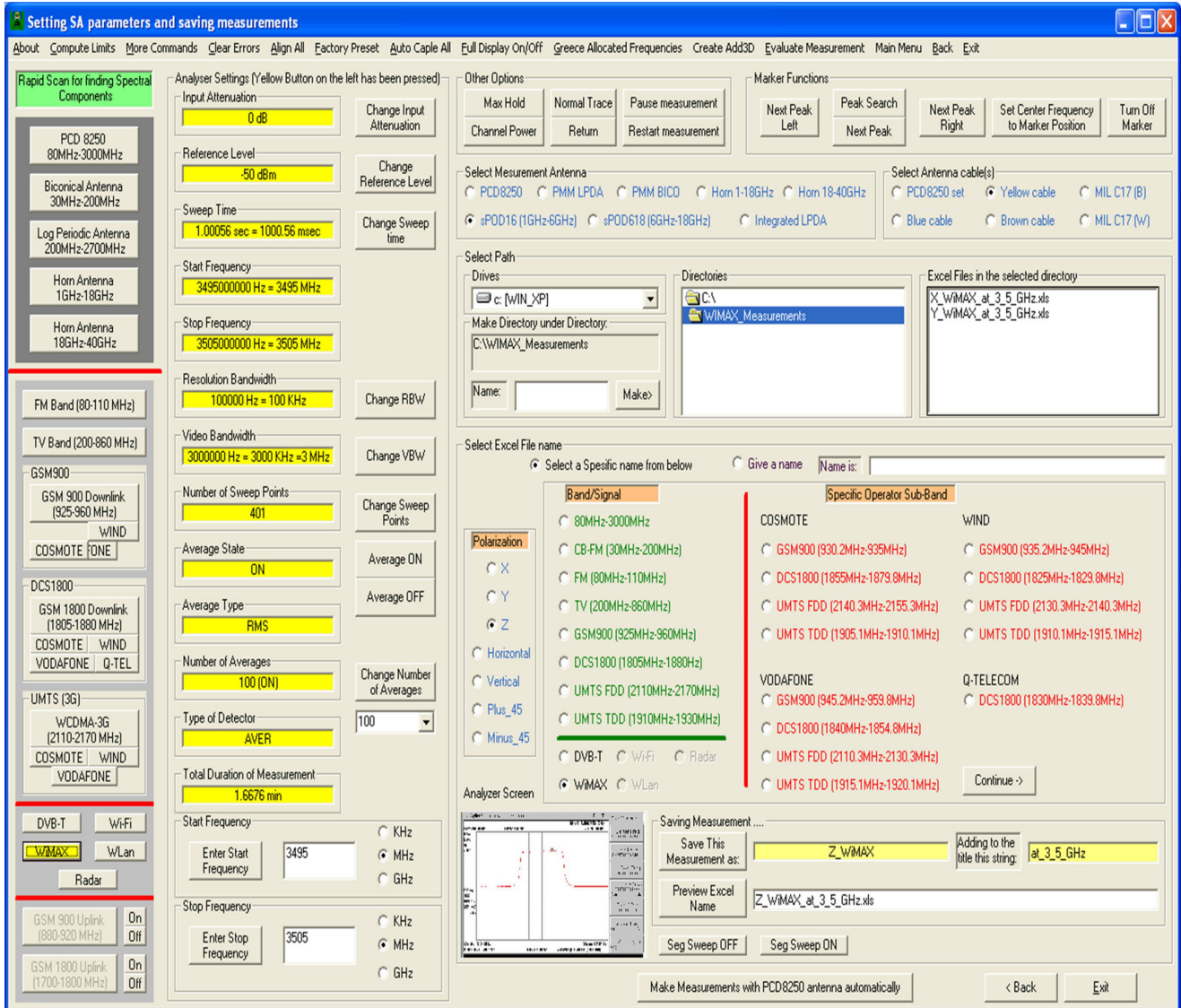
όπου c και d σταθερές που δίδονται από την εκάστοτε νομοθεσία. Σύμφωνα με την οδηγία της ICNIRP [28] και την απόφαση 1999/519/CE του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης [3] είναι $c=87/f^{0.5}$ (V/m) και $d=0.73/f$ (A/m), ενώ οι αντίστοιχες τιμές των σταθερών αυτών σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία καθορίζονται από την [7].

Τιμές πάνω από την μονάδα για οποιοδήποτε από τα παραπάνω αθροίσματα σημαίνουν υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων.



7.7 Ρυθμίσεις αναλυτή φάσματος

Οι ρυθμίσεις του Αναλυτή φάσματος έγιναν μέσω του τροποποιημένου λογισμικού του EMIA για την λήψη μετρήσεων και αποθήκευση των δεδομένων τους για το πειραματικό σήμα WiMAX που δημιουργήθηκε για το σκοπό της παρούσας πτυχιακής (κεντρική συχνότητα 3.5GHz, εύρος ζώνης 3.5MHz). Εισάγονται αυτόματα στον αναλυτή φάσματος μέσω του τροποποιημένου λογισμικού του EMIA αφού πατηθεί το πλήκτρο WiMAX στην οθόνη επιλογής ρυθμίσεων και αποθήκευσης μετρήσεων η οποία παρατίθεται στην επόμενη εικόνα.



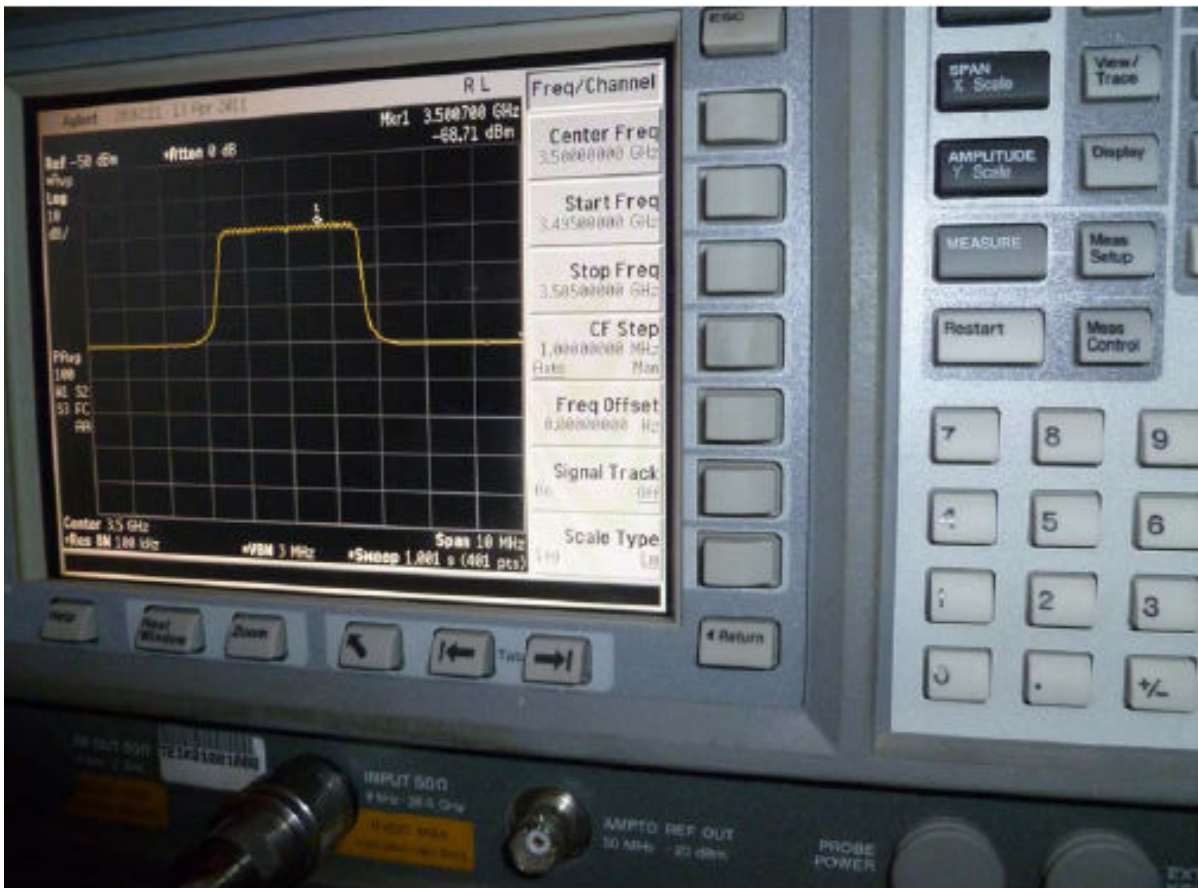
Εικόνα 25 : Οθόνη ρυθμίσεων και επιλογών αποθήκευσης μετρήσεων από τον Αναλυτή Φάσματος

Σημειώνεται ότι μέσω της οθόνης αυτής μπορεί να γίνει και οποιαδήποτε τροποποίηση σε πάρα πολλές ρυθμίσεις του αναλυτή φάσματος, οι οποίες ενδεχομένως να πρέπει να τεθούν σε αυτόν για να γίνουν βέλτιστες μετρήσεις. Επίσης μέσω της οθόνης αυτής αποθηκεύεται η μέτρηση με το επιθυμητό όνομα (εισάγεται από το χρήστη απευθείας ή δημιουργείται με την επιλογή πόλωσης, τύπου σήματος και προσθήκης ώστε να υπενθυμίζει το είδος της μέτρησης). Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι για να αποθηκευτεί η μέτρηση θα πρέπει πρώτα ο χρήστης να επιλέξει το είδος της κεραίας και τον τύπο του καλωδίου που χρησιμοποιήθηκαν για την εν λόγω μέτρηση, παράμετροι οι οποίες αποθηκεύονται μαζί με τα υπόλοιπα δεδομένα της μέτρησης και των ρυθμίσεων του αναλυτή σε αρχείο Excel με το όνομα που επιλέχθηκε και σε κατάλογο επιθυμίας του χρήστη στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή που κατευθύνει το σύστημα μετρήσεων.



Για παράδειγμα στην οθόνη ρυθμίσεων φαίνεται ότι έχει επιλεγεί η κεραία sPOD16 (1GHz – 6GHz) και το κίτρινο καλώδιο του EMIA (30MHz – 4GHz), έχουν ήδη αποθηκευθεί δύο αρχεία μετρήσεων (X_WiMAX_at_3_5_GHz.xls και Y_WiMAX_at_3_5_GHz.xls) στον κατάλογο c:\WiMAX_Measurements, και η τρέχουσα μέτρηση θα αποθηκευτεί σε αρχείο Excel στον ίδιο κατάλογο με το όνομα Z_WiMAX_at_3_5_GHz.xls.

Τυπική εικόνα από την πρόσοψη του αναλυτή φάσματος μετά την εισαγωγή των ρυθμίσεων από το λογισμικό του EMIA και την ολοκλήρωση μιας μέτρησης από αυτές που διενεργήθηκαν για το σκοπό της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 26 : Πρόσοψη αναλυτή Φάσματος μετά από ρύθμιση του με το τροποποιημένο Λογισμικό Εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (EMIA) του ΕΠΠ

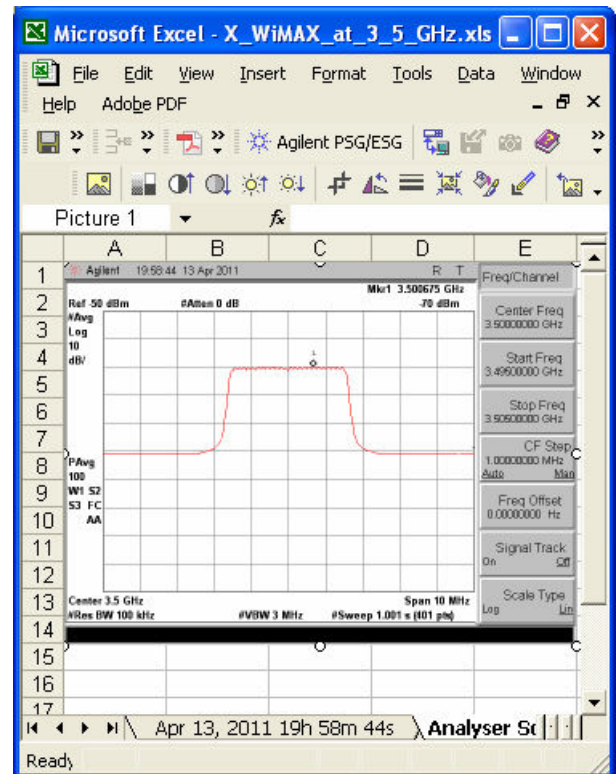
7.8 Αποθήκευση δεδομένων και ρυθμίσεων μέτρησης

Όπως ειπώθηκε, οι ρυθμίσεις της μέτρησης (ρυθμίσεις αναλυτή φάσματος, επιλογή κεραίας, είδος πόλωσης, τύπος καλωδίου κλπ) αποθηκεύονται στο πρώτο φύλλο αρχείου Excel σε κατάλογο της επιθυμίας του χρήστη μαζί με τα δεδομένα της μέτρησης (δεδομένα συχνότητας, ίχνους του αναλυτή φάσματος) για περαιτέρω επεξεργασία. Στο δεύτερο φύλλο αποθηκεύεται η οθόνη πρόσοψης του αναλυτή φάσματος κατά την λήξη της μέτρησης, πρώτο φύλλο αυτού του Excel. Αυτά παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί:



	A	B	C
1	Frequency (Hz)	Trace1 (dBm)	Attenuation (dB)
2	3495000000	-100.7649994	0
3	3495025000	-100.7440033	
4	3495050000	-100.7409973	Center Frequency (Hz)
5	3495075000	-100.7160034	3500000000
6	3495100000	-100.7890015	
7	3495125000	-100.762001	Date/Time
8	3495150000	-100.7470016	4/13/2011 19:58
9	3495175000	-100.7929993	
10	3495200000	-100.75	Instrument Model
11	3495225000	-100.7580032	E4407B
12	3495250000	-100.7210007	
13	3495275000	-100.7300034	Instrument Serial Number
14	3495300000	-100.7750015	US41444075
15	3495325000	-100.7470016	
16	3495350000	-100.7360001	Reference Level (dBm)
17	3495375000	-100.7580032	-50
18	3495400000	-100.7389984	
19	3495425000	-100.7360001	Resolution BW (Hz)
20	3495450000	-100.7480011	100000
21	3495475000	-100.7300034	
22	3495500000	-100.7529984	Scale Type
23	3495525000	-100.7590027	LOG
24	3495550000	-100.737999	
25	3495575000	-100.7600021	Span Frequency (Hz)
26	3495600000	-100.7730026	10000000
27	3495625000	-100.7559967	
28	3495650000	-100.7519989	Start Frequency (Hz)
29	3495675000	-100.7259979	3495000000
30	3495700000	-100.7570038	
31	3495725000	-100.7549973	Stop Frequency (Hz)
32	3495750000	-100.7330017	3505000000
33	3495775000	-100.7340012	
34	3495800000	-100.7180023	Sweep Number Of Points
35	3495825000	-100.7399979	401
36	3495850000	-100.7440033	
37	3495875000	-100.7699966	Sweep Time (seconds)
38	3495900000	-100.7529984	1.00056
39	3495925000	-100.7160034	
40	3495950000	-100.7529984	Video BW (Hz)
41	3495975000	-100.7429962	3000000

α) Φύλλο δεδομένων μέτρησης και ρυθμίσεων



β) Φύλλο οθόνης πρόσοψης αναλυτή

Εικόνα 27 : Αρχείο Excel αποθήκευσης μέτρησης: α) Φύλλο δεδομένων μέτρησης και ρυθμίσεων, β) Φύλλο οθόνης πρόσοψης αναλυτή Φάσματος



8 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

8.1 Μετρήσεις που διενεργήθηκαν

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας αξιολόγησης σημάτων WiMAX που υποδείχθηκε στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις σε τρεις κάθετες μεταξύ των διευθύνσεις (X, Y και Z) της διπολικής κεραίας λήψης (sPOD16 με εύρος ζώνης από 1GHz ως 6GHz) για να εξασφαλιστεί από τον συνδυασμό των μετρήσεων αυτών η ισοτροπική συμπεριφορά του λαμβανόμενου σήματος στην θέση της κεραίας λήψης.

Οι σχετικές θέσεις της κεραίας λήψης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

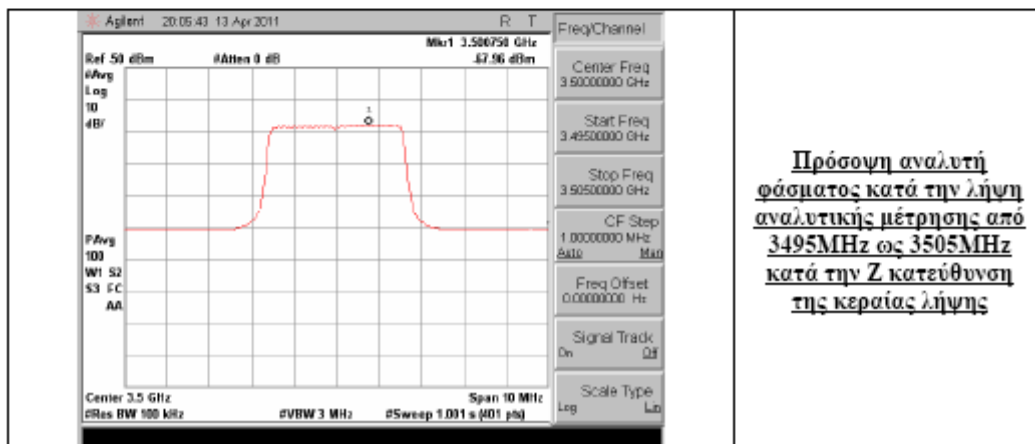
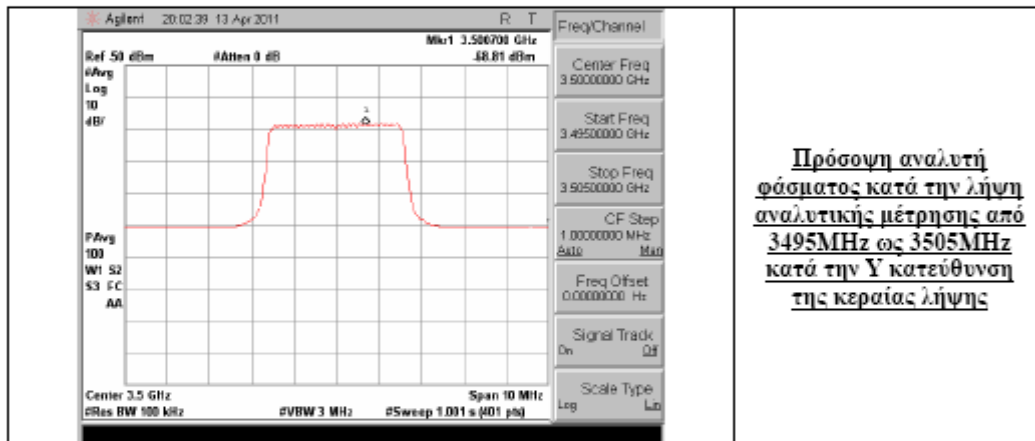
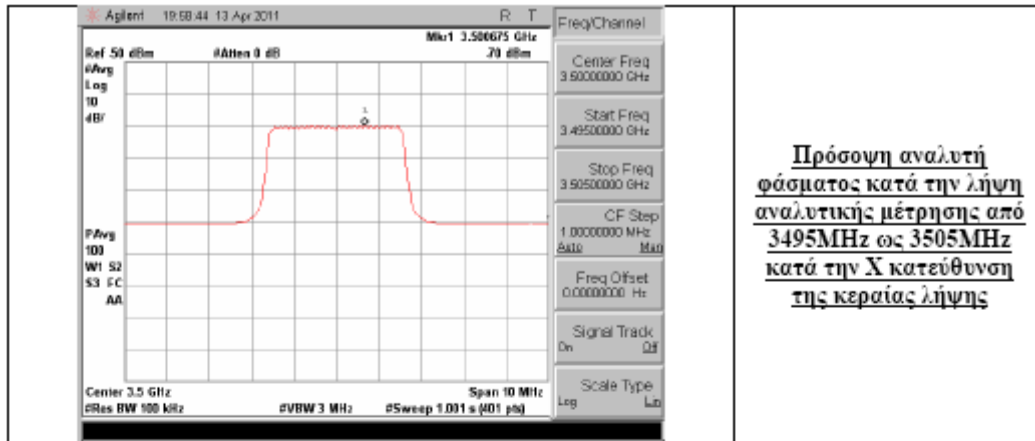


Εικόνα 28 : X, Y και Z κατευθύνσεις της διπολικής κεραίας sPOD16 για την διενέργεια μετρήσεων

Για τις παραπάνω τρεις κατευθύνσεις της κεραίας λήψης πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες μετρήσεις με τις ίδιες ρυθμίσεις του αναλυτή φάσματος. Οι προσόψεις του αναλυτή φάσματος για τις μετρήσεις αυτές φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



8. Μετρήσεις και αποτελέσματα μετρήσεων



Εικόνα 29 : Προσώσεις του αναλυτή φάσματος μετά την διενέργεια των μετρήσεων στις X, Y και Z κατευθύνσεις της διπολικής κεραίας λήψης sPOD16

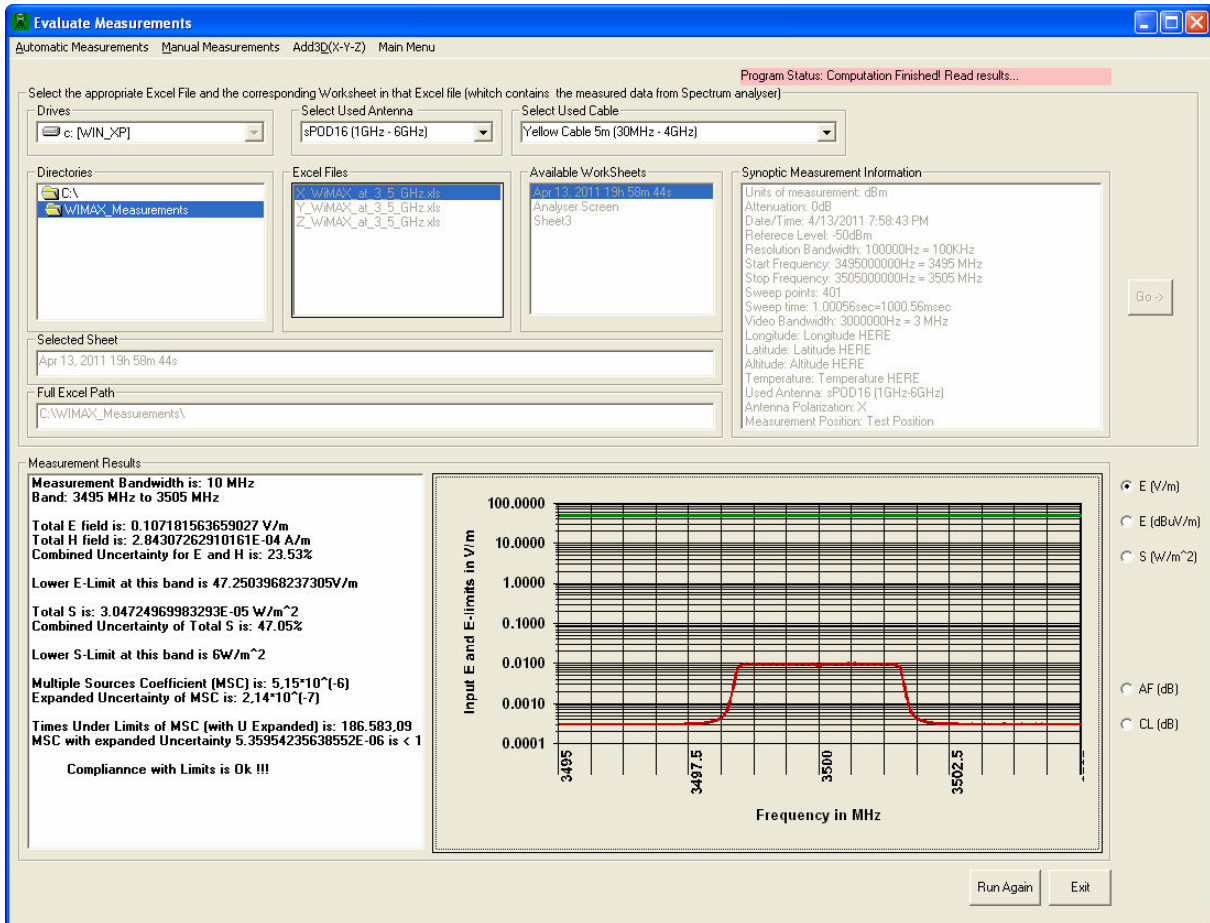
8.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Η επεξεργασία των δεδομένων των μετρήσεων γίνεται μέσω κατάλληλης οθόνης του λογισμικού του EMIA Σε αυτή υπάρχει δυνατότητα επιλογής του αρχείου Excel των δεδομένων των μετρήσεων, του φύλου εργασίας που βρίσκονται τα δεδομένα προς επεξεργασία, καθώς και δυνατότητα επιλογής της κεραίας και του καλωδίου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την λήψη των μετρήσεων ώστε να εισαχθούν οι παράμετροι τους από τις βάσεις δεδομένων του προγράμματος και



8. Μετρήσεις και αποτελέσματα μετρήσεων

να γίνει η επεξεργασία της μέτρησης. Η αντίστοιχη οθόνη του λογισμικού παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα για την επεξεργασία της μέτρησης κατά την κατεύθυνση X της κεραίας λήψης:



Εικόνα 30 : Οθόνη επεξεργασίας μετρήσεων του λογισμικού του EMIA: Αποτελέσματα από την επεξεργασία κατά την κατεύθυνση X της κεραίας λήψης

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εφαρμογή ξεχωριστά για κάθε κατεύθυνση της κεραίας λήψης λαμβάνουμε τα επιμέρους αποτελέσματα μετρήσεων τα οποία συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

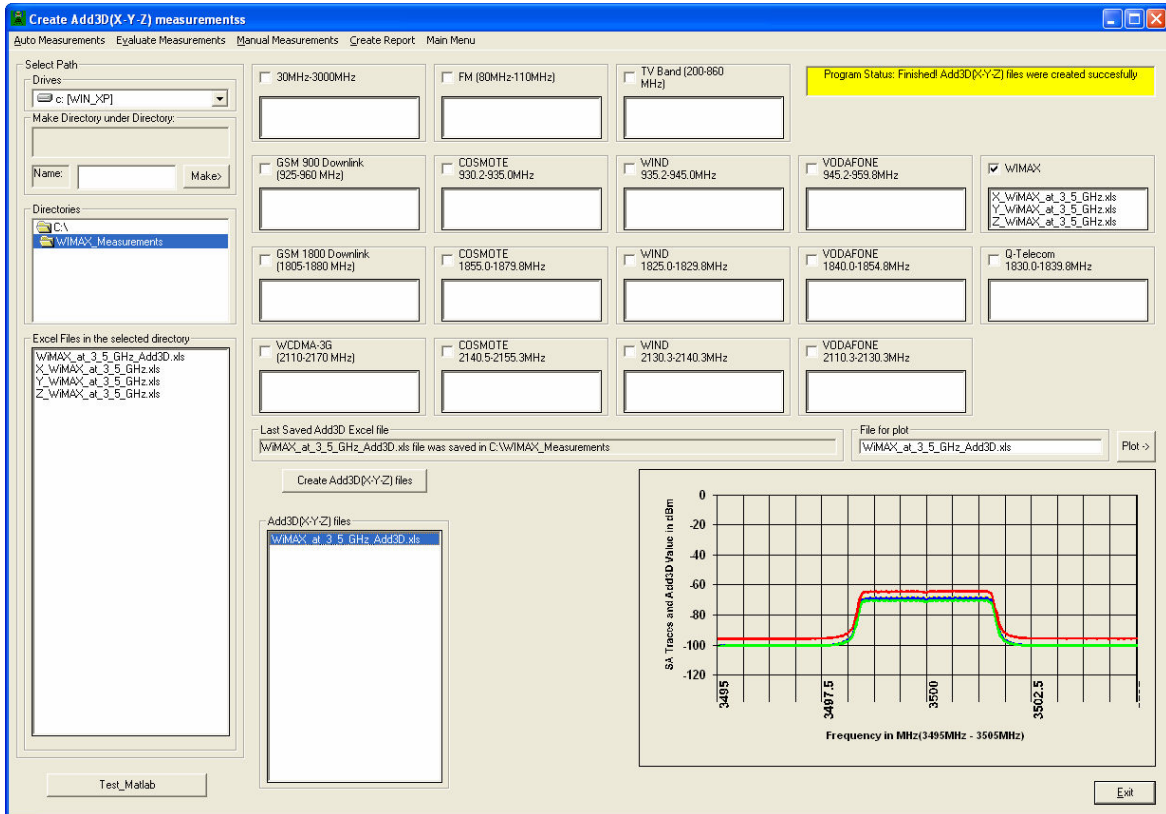
α/α	Τιμές μερικών συντελεστών έκθεσης πολλαπλών πηγών για κάθε μέτρηση (κανονικοποιημένα πηλικά έκθεσης) ως προς τα προβλεπόμενα επίπεδα αναφοράς (όρια) της κείμενης Ελληνικής Νομοθεσίας που καθορίζονται από το άρθρο 31 παράγραφος 10 του Ν. 3431/2006 και την Εγκύκλιο της ΕΕΑΕ υπ' αριθμόν Α.Π. Π/105/014 της 12-01-2007 (αναφέρονται στον περιορισμό του 60% των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της Κ.Υ.Α. 53571/3839/109-2000)				
	Συχνотική περιοχή (MHz) και πόλωση κεραίας λήψης	Μετρούμενη τιμή	Αβεβαιότητα Μέτρησης	Συνολική μέγιστη τιμή	Φορές που ο μερικός συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών συνπολογισμένης της αβεβαιότητας του είναι κάτω από την μονάδα
1	3495 - 3505 (X)	$5,15 \cdot 10^{-6}$	$\pm 2,14 \cdot 10^{-7}$	$5,36 \cdot 10^{-6}$	186.583,09
2	3495 - 3505 (Y)	$7,22 \cdot 10^{-6}$	$\pm 3,01 \cdot 10^{-7}$	$7,52 \cdot 10^{-6}$	132.946,71
3	3495 - 3505 (Z)	$8,06 \cdot 10^{-6}$	$\pm 3,36 \cdot 10^{-7}$	$8,40 \cdot 10^{-6}$	119.055,78

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα μετρήσεων για τις κατευθύνσεις X, Y και Z



8. Μετρήσεις και αποτελέσματα μετρήσεων

Το λογισμικό του EMIA παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας αρχείου Excel που να συνδυάζει τα δεδομένα από τις τρεις διαφορετικές μεταξύ των κατευθύνσεις της κεραίας λήψης ώστε με επεξεργασία αυτού του αρχείου από την οθόνη που περιγράφηκε προηγουμένως να εξάγονται τα συνολικά αποτελέσματα για την δεδομένη ζώνη συχνοτήτων, σαν να είχε χρησιμοποιηθεί ιστροπική κεραία λήψης. Η οθόνη δημιουργίας του αρχείου αυτού παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 31 : Οθόνη του λογισμικού του EMIAγια την δημιουργία συνδυασμένου (XYZ) αρχείου από τις τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις της κεραίας λήψης (X, Y και Z)

Η επεξεργασία του αρχείου αυτού δίνει τα συνολικά αποτελέσματα για τη ζώνη υπό μελέτη. Αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

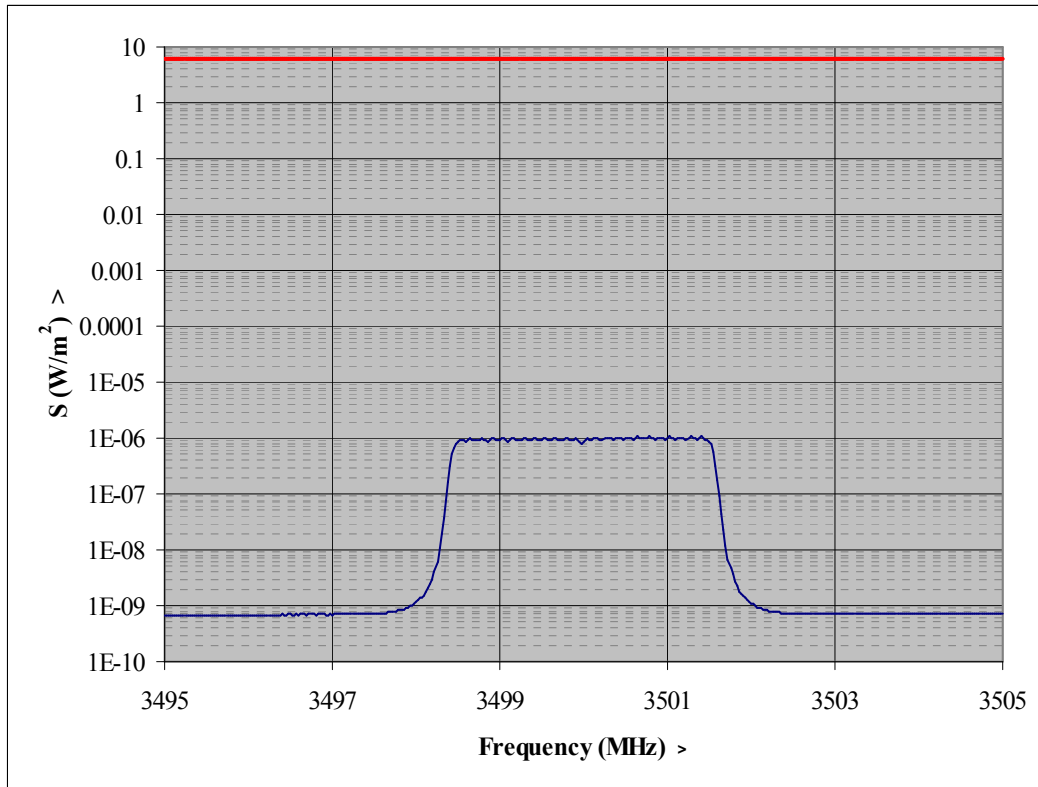
Εύρος ζώνης μέτρησης	10 MHz
Συχνωτική ζώνη	3495 - 3505 MHz
Συνολικό ηλεκτρικό πεδίο στην θέση της κεραίας λήψης	0,21 V/m
Διευρυμένη αβεβαιότητα συνολικού ηλεκτρικού πεδίου	23.52 %
Χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς ηλεκτρικού πεδίου στην ζώνη μέτρησης	47,25 V/m
Συνολική πυκνότητα ισχύος στην θέση της κεραίας λήψης	$1,21 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$
Διευρυμένη αβεβαιότητα συνολικής πυκνότητας ισχύος	47.05 %
Χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς πυκνότητας ισχύος στην ζώνη μέτρησης	$6,00 \text{ W/m}^2$
Μερικός συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών	$2,04 \cdot 10^{-5}$
Διευρυμένη αβεβαιότητα στον μερικό συντελεστή έκθεσης πολλαπλών πηγών με επίπεδο εμπιστοσύνης 95.45%	$\pm 8,50 \cdot 10^{-7}$
Μερικός συντελεστής έκθεσης πολλαπλών συμπεριλαμβανομένης της διευρυμένης αβεβαιότητας του (μέγιστη εκτιμώμενη τιμή)	$2,13 \cdot 10^{-5}$
Φορές που η μέγιστη τιμή του μερικού συντελεστή έκθεσης πολλαπλών πηγών είναι κάτω από τα θεσπισμένα επίπεδα αναφοράς	46.993,41

Πίνακας 10 : Συνοπτικά αποτελέσματα μετρήσεων για την ζώνη WiMAX



Επίσης μπορεί να δοθεί και η γραφική παράσταση της πυκνότητας ισχύος στην είσοδο του συστήματος λήψης σε σχέση με τα μέγιστα επιτρεπτά όρια πυκνότητας ισχύος στην υπό μελέτη ζώνη συχνοτήτων. Αυτή προκύπτει από τον συνδυασμό των δεδομένων των τριών διαφορετικών μετρήσεων που λήφθηκαν για τις τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις της κεραίας λήψης (έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ισοτροπική συμπεριφορά), στην ίδια ζώνη συχνοτήτων και με τις ίδιες ρυθμίσεις του αναλυτή φάσματος και παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:

8.3 Αποτελέσματα μετρήσεων για τις πολώσεις X, Y και Z:



Εικόνα 32 : Συνδυασμένο διάγραμμα κατανομής πυκνότητας ισχύος ανά συχνότητα (κατά την διάρκεια των μετρήσεων) για την ζώνη WiMAX, και γραμμή θεσμοθετημένου ορίου. Το διάγραμμα προκύπτει από τον συνδυασμό των δεδομένων των μετρήσεων και για τις τρεις πολώσεις της κεραίας λήψης (X, Y και Z)

8.4 Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή μελετήσαμε το πρότυπο WiMAX και δημιουργήσαμε σήμα WiMAX με την βοήθεια του λογισμικού N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAX και της γεννήτριας σήματος ESG E4438C της Agilent. Το σήμα αυτό εκπέμφθηκε με χρήση του εξοπλισμού του EMIA και μετρήθηκε σε άλλη θέση με χρήση του εξοπλισμού του EMIA. Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις που τέθηκαν στον αναλυτή φάσματος για την διενέργεια των μετρήσεων είναι οι ενδεικνυόμενες με βάση την Διεθνή βιβλιογραφία επί του παρόντος στον τομέα αυτό.

Αξιολογήσαμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το τροποποιημένο για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής λογισμικό του EMIA. Από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης διαπιστώσαμε ότι δεν υπερβαίνονται τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια έκθεσης για την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη (γεγονός αναμενόμενο λόγω της πολύ μικρής ισχύος του σήματος εκπομπής).

Η ίδια διαδικασία μετρήσεων και αξιολόγησης μπορεί να ακολουθηθεί στην πράξη για οποιοδήποτε άλλα σήματα τύπου WiMAX που εκπέμπονται από σταθμούς βάσης ανάλογου τύπου. Ενδεχομένως να αλλάξουν ορισμένες ρυθμίσεις για τα όρια συχνοτήτων του αναλυτή φάσματος ανάλογα με την ζώνη στην οποία γίνονται οι μετρήσεις



Όσον αφορά τις επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία θα πρέπει να θυμόμαστε ότι:

- Απαιτείται συνυπολογισμός και των πεδίων που προέρχονται και από άλλες πηγές,
- Απαιτείται εκτεταμένη και πληρέστερη έρευνα από την επιστημονική κοινότητα για την πλήρη διαλεύκανση του θέματος των επιπτώσεων,
- Απαιτείται αυστηρή τήρηση του υπάρχοντος Νομικού πλαισίου θεσμοθετημένων ορίων,
- Απαιτείται αναπροσαρμογή και ενδεχομένως αναθεώρηση των ορίων έκθεσης.
- Θα πρέπει να λαμβάνονται επίσης τα παρακάτω προληπτικά μέτρα:
- Θα πρέπει να εφαρμόζεται η αρχή της Συνετούς Αποφυγής, (ALARA),
- Η πρόληψη και η λήψη κατάλληλων και αναγκαίων μέτρων δεν θα πρέπει να υποεκτιμάται,
- Θα πρέπει να αποφεύγεται ο πανικός και η παραπληροφόρηση, και
- Θα πρέπει να διενεργούνται μετρήσεις από αρμόδιους φορείς όπου υπάρχουν ενδείξεις ή φόβοι ότι ενδέχεται να υπάρχει υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπτών ορίων έκθεσης.

8.5 Μελλοντική εργασία και Επεκτάσεις

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η Νομοθεσία περί του περιορισμού της έκθεσης των ανθρώπων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία καθώς και ο τρόπος μέτρησης και αξιολόγησης σημάτων από σταθμούς βάσης WiMAX. Λόγω της φύσης των σημάτων αυτών (ψηφιακά σήματα) υιοθετήθηκε η μέθοδος Channel Power και επιλέχθηκαν ρυθμίσεις κατάλληλες για τις διάφορες παραμέτρους του αναλυτή φάσματος.

Περαιτέρω μελέτη αποτελεί η επέκταση του WiMAX στην Ελλάδα αλλά και σε όλο τον κόσμο. Επίσης μεγάλο ενδιαφέρον αποτελεί η οικονομική ανάλυση του δικτύου και η μελέτη του Mobile WiMAX, αλλά και η εφαρμογή των περιγραφόμενων σε αυτή την πτυχιακή τρόπων μετρήσεων και αξιολόγησης ως προς τα μέγιστα επιτρεπτά όρια έκθεσης και άλλων σημάτων σήματα παρόμοιας υφής (DAB, WiFi, DVB, LTE κλπ). Αποτελεί αντικείμενο έρευνας από την Διεθνή επιστημονική κοινότητα, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο ακριβής καθορισμός της έκθεσης του ανθρώπου σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία καθίσταται ολοένα και πιο σημαντικός λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης που γνωρίζουν τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών τα τελευταία χρόνια.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Πηγές από το Internet:
<http://el.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
<http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
<http://www.wimaxforum.org/>
<http://el.wikipedia.org/wiki/GSM>
<http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>
<http://computer.howstuffworks.com/wimax5.htm>
<http://www.pestola.gr/wimax-in-plain-greek/>
<http://grouper.ieee.org/groups/802/16/tutorial/index.html>
<http://ieee802.org/16/pubs/80216e.html>
- [2]. Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor1-2005, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: Physical and Medium Access. Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1”, IEEE, New York, NY 10016-5997, USA, 28 February 2006.
Available: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf>
- [3]. EU Council, “Council Recommendation of July 12 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (from 0 Hz to 300 GHz)”, 1999/519/CE, Official Journal of the European Communities L 199/59, 1999.
- [4]. ΚΥΑ 3060(ΦΟΡ) 238, “Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων”, ΦΕΚ 512Β’/25-04-2002.
- [5]. Κ.Υ.Α. 53571/3839/109-2000, “Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά”, ΦΕΚ Β’ 1105/6-9-2000.
- [6]. Νόμος 3431, “Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις”, ΦΕΚ Α’ 13/3-2-2006.
- [7]. ΕΕΑΕ, “Εγκύκλιος της ΕΕΑΕ για τον καθορισμό ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν.3431/2006 ΦΕΚ 13/Α/13-02-2006”, 12.01.2007, Α.Π. Π/105/014.
- [8]. Joseph W., Olivier C. and Martens L., “Accurate assessment of electromagnetic exposure from WiMAX signals using a spectrum analyzer”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 57, no. 3, pp. 518-521, Mar. 2008.
- [9]. Joseph W., Verloock L. and Martens L., “Accurate Determination of the Electromagnetic Field Due to WiMAX Base Station Antennas”, IEEE Trans. Electromagn. Compat, Vol. 50, no. 3, Aug. 2008.
- [10]. Betta G., Capriglione D, Miele G. and Rossi L., “The use of Traditional Spectrum Analyzers to Measure the Electromagnetic Pollution Generated by WIMAX Devices”, XIX IMEKO World Congress, Fundamental and Applied Metrology, Lisbon, Portugal, pp. 834-839, Sep. 2009.
- [11]. Huynh D. and Nelson B., “Best Practices for Making Accurate WiMAX Channel Power Measurements”, Agilent Technologies Inc., 2008. Available: <http://www.agilent.com>
- [12]. Στρατάκης Δημήτριος, Διδακτορική Διατριβή, “ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ”, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ., Δεκέμβριος 2010.
- [13]. Agilent Application Note 1303, “Spectrum Analyzer Measurements and Noise”, Agilent Technologies Inc., Manufacturing Part Number: 5966-4008E, USA, Feb. 2003. Available: <http://www.agilent.com>
- [14]. Rohde & Schwarz Application Note 1EF41, “Measurement of Adjacent Channel Leakage Power on 3GPP W-CDMA Signals with the FSP, Rohde & Schwarz, 2001. Available: <http://www.rohde-schwarz.com>
- [15]. Agilent Technologies, “Comparing Power Measurements on Digitally Modulated Signals”, Agilent Technologies Inc., Manufacturing Part Number: 5968-2602E, USA, 2000. Available: <http://www.agilent.com>



- [16]. Agilent Application Note 150, "Spectrum Analysis Basics", Agilent Technologies Inc., Manufacturing Part Number: 5952-0292, USA, Aug. 2006. Available: <http://www.agilent.com>
- [17]. Balanis C. A., Antenna Theory Analysis and Design, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Apr. 2005.
- [18]. Stratakis D., Miaoudakis A., Xenos T. and Zacharopoulos V., "Overall Uncertainty Estimation in Multiple Narrowband in Situ Electromagnetic Field Measurements", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 58, no. 8, pp. 2767-2779, Aug. 2009.
- [19]. Stratakis D., Xenos T., Yioultsis T., Zacharopoulos V., Farsaris N., Zacharopoulou I. and Katsidis C., "Automation in Electromagnetic Field Measurements", Proceedings of 2nd International Conference in Telecommunications and Multimedia, Heraklion, Crete, Greece, Jul., 2006.
- [20]. IEEE Std C95.3 2002, "IEEE recommended practice for measurements and computations of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100kHz-300GHz", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Dec. 2002.
- [21]. CENELEC EN 50166-2, "Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz)", CENELEC, Jan. 1995.
- [22]. Stratakis D., Miaoudakis A., Xenos T. and Zacharopoulos V., "Electromagnetic Exposure Compliance Estimation Using Narrowband Directional Measurements", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 130, no. 3, pp. 331-336, Feb. 2008.
- [23]. Stratakis D., Miaoudakis A., Farsaris N., Xenos T. and Zacharopoulos V., "Estimation of a partial transmitter contribution to the total electromagnetic field exposure, in a multi-transmitter environment", WSEAS Transactions on communications, Vol. 6, no. 5, pp. 675-683, May 2007.
- [24]. ISO, Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 1st Ed., 1995.
- [25]. UKAS, "M3003, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement", 2nd ed., UKAS, Jan. 2007. Available: <http://www.ukas.com>
- [26]. UKAS, "LAB34, The Expression of Uncertainty in EMC Testing", 1st ed., UKAS, Aug. 2002. Available: <http://www.ukas.com>
- [27]. EURACHEM/CITAC Guide CG4, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2nd ed., 2000. Available: <http://www.eurachem.org>
- [28]. ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (Up to 300GHz)", Health Physics, Vol. 74, no. 4, Apr. 1998.
- [29]. SCPI Consortium, "Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI), Volume 1: Syntax and Style", USA, May 1999.
- [30]. Agilent Technologies, "Measurement Guide and Programming Examples, PSA and ESA Series Spectrum Analyzers", Agilent Technologies Inc., Manufacturing Part Number: E4401-90482, USA, Apr. 2004. Available: <http://www.agilent.com>
- [31]. Agilent Technologies, "User's/Programmer's Reference, Volume 1, Core Spectrum Analyzer Functions, ESA Series Spectrum Analyzers", Agilent Technologies Inc., Manufacturing Part Number: E4401-90507, USA, Dec. 2006. Available: <http://www.agilent.com>
- [32]. Agilent Technologies, "User's and Programmer's Reference, Volume 2, One-Button Power Measurements, PSA and ESA Series Spectrum Analyzers", Agilent Technologies Inc., Manufacturing Part Number: E4440-90618, USA, Jun. 2008. Available: <http://www.agilent.com>
- [33]. Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων (Ε.Π.Π.), Εργαστήριο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (Ε.Μ.Ι.Α.), Τ.Ε.Ι. Κρήτης, "Πρωτόκολλο μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην περιοχή των RF συχνοτήτων από 30MHz ως 26.5GHz", Ηράκλειο 2010.
- [34]. N7613A Signal Studio for 802.16-2004 (WiMAX™), (<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=-536902344.536905483.00&cc=GR&lc=eng>)



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Περίληψη Πτυχιακής Εργασίας

Τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα WiMAX έχουν αποκτήσει τεράστια δυναμική παγκοσμίως λόγω των αρκετών προβλημάτων που καλούνται να λύσουν όσον αφορά την προσφορά ευρυζωνικών υπηρεσιών αλλά και των νέων δυνατοτήτων που προσφέρουν στην ανάγκη για γρήγορη, εύκολη και αξιόπιστη επικοινωνία. Έχουν προταθεί ως η εναλλακτική τεχνολογία που θα παρέχει υπηρεσίες στην αγορά της σταθερής ευρυζωνικής πρόσβασης, που προς το παρόν κυριαρχείται από συστήματα DSL.

Το πρότυπο WiMAX αναπτύχθηκε για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Υποστηρίζει μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης και καλύπτει μεγάλες αποστάσεις. Όμως μετά την ραγδαία ανάπτυξη των υπολοίπων ασύρματων επικοινωνιών των τελευταίων χρόνων απαιτείται η έρευνα και η καταγραφή των αποτελεσμάτων της για τις επιπτώσεις που έχουν στην υγεία του ανθρώπου.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των τρόπων με τους οποίους μπορούμε να εκτιμήσουμε την έκθεση από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Η ραγδαία ανάπτυξη των σταθμών βάσης WiMAX έχει δημιουργήσει την ανάγκη ανάπτυξης νέων μεθοδολογιών μέτρησης, γεγονός το οποίο αποτέλεσε και κίνητρο για την διεξαγωγή αυτής της εργασίας.

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή της παρούσας πτυχιακής. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται μια σύντομη περίληψη για τον στόχο και τον σκοπό της και περιγράφεται η δομή που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται εισαγωγή στο πρότυπο WiMAX, συγκεκριμένα ορισμός του WiMAX, πλεονεκτήματα χρήσης του και μελλοντικές εξελίξεις.

Στο κεφάλαιο 3 παρατίθενται οι κανονισμοί που αφορούν την έκθεση του ανθρώπου σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία με βάση Διεθνή πρότυπα, αλλά και την κείμενη Ελληνική Νομοθεσία. Οι τιμές των μέγιστων επιτρεπτών ορίων που απορρέουν από την κείμενη Ελληνική νομοθεσία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της έκθεσης από σήμα DVB-T που μετρήθηκε στο πειραματικό μέρος της παρούσας πτυχιακής.

Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται μεθοδολογίες μέτρησης σημάτων WiMAX και αναλύεται η μέθοδος Channel Power που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ισχύος σήματος WiMAX στην παρούσα πτυχιακή.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύονται οι αβεβαιότητες που υφίστανται σε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με όργανα στενής ζώνης και παρατίθεται ο τρόπος υπολογισμού των συνολικών αβεβαιοτήτων.

Στο κεφάλαιο 6 παρατίθενται οι εντολές προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο οργάνων μέτρησης. Πιο συγκεκριμένα παρατίθενται οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές προγραμματισμού του αναλυτή φάσματος μέσω του προτύπου SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments – SCPI).

Στο κεφάλαιο 7 που αποτελεί και το πρώτο κεφάλαιο του πειραματικού μέρους της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τις μετρήσεις καθώς και η μεθοδολογία των μετρήσεων που ακολουθήθηκε.

Στο κεφάλαιο 8 παρατίθενται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές. Αναφέρονται τα συμπεράσματα καθώς και θέματα για να επεκταθεί περαιτέρω η παρούσα πτυχιακή.

Ακολουθεί η βιβλιογραφία και δύο παραρτήματα. Στο παράρτημα 1 δίνεται μια περίληψη της πτυχιακής και στο παράρτημα 2 παρατίθενται οι διαφάνειες από την παρουσίαση της.

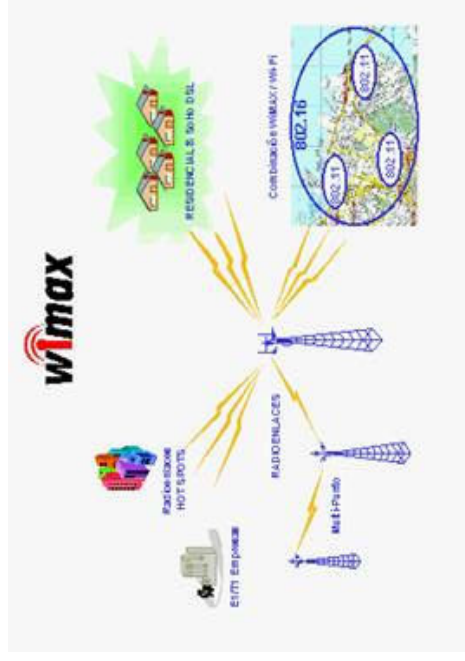


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Διαφάνειες παρουσίασης της πτυχιακής



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Τίτλος: Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Σπουδάστρια: ΠΑΝΑΓΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Αριθμός Μητρώου: 2281

Επιβλέπων καθηγητής: Στρατάκης Δημήτριος



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- **Εισαγωγή**
- Τι είναι το Wimax;
- Πλεονεκτήματα χρήσης του σε:
 - κατασκευαστές προϊόντων WiMAX
 - πάροχους δικτύων
- Wimax στην Ελλάδα
- Εξοπλισμός του Wimax



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- **Εκτίμηση αβεβαιότητας σε μία συγκεκριμένη ζώνη συχνότητων.**
- **Βασικοί περιορισμοί σύμφωνα με την νομοθεσία περιορισμού της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητων.**

• Τι είναι το Wimax;

- Η WiMAX τεχνολογία είναι ένα παγκόσμιο ασύρματο πρότυπο δικτύωσης που εξετάζει τη διαλειτουργικότητα στα IEEE 802.16 τυποποιημένα προϊόντα. Προσφέρει μεγαλύτερη εμβέλεια και εύρος ζώνης από το Wi-Fi και παρέχει ασύρματη εναλλακτική λύση για συνδεδεμένο με καλώδιο backhaul και last mile εφαρμογές που χρησιμοποιούν Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS), Subscriber Line technologies (xDSL), T-carrier και E-carrier, Optical Carrier Level (Oc-H).
- Συγκεκριμένα, ενώ το [Wi-Fi](#) εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMax φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω. Θα χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης στο ['ντερνέτ](#) σε τελικούς χρήστες, με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο στην εγκατάσταση.



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- Επίσης το [Wi-Fi](#) επέτρεπε την πρόσβαση στο [λντερνέτ](#) σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από τα σημεία πρόσβασης ([hotspots](#)), όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία . Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτίρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι εταιρίες παροχής λντερνέτ (ISP-Internet service provider).
- Η τεχνολογία WiMAX μπορεί να φθάσει μια θεωρητική ακτίνα κάλυψης 30 μιλίων και να επιτύχει τα ρυθμό μετάδοσης μέχρι 75Mbps, αν και σε εξαιρετικά μεγάλη εμβέλεια, η ρυθμοαπόδοση είναι πιο κοντά στο 1.5Mbps των χαρακτηριστικών ευρυζωνικών υπηρεσιών (ισοδύναμη με μια γραμμική T1). Η IEEE 802.16 ομάδα εργασίας αναπτύσσει πρότυπα που εξετάζουν δύο τύπους μοντέλων χρήσης: ένα σταθερό πρότυπο χρήσης (802.16-2004) και ένα φορητό πρότυπο χρήσης (802.16e).



Προσδιορισμός της Έκθεσης από Ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- Ο όρος WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι συνώνυμος με το πρότυπο IEEE 802.16 για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WirelessMAN). Προορισμός του είναι να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία αφού η βάση του (το πρότυπο IEEE 802.16) αναγνωρίζεται ως πρότυπο αναφοράς από το ETSI (European Telecommunication and Standards Institute) για το αντίστοιχο ευρωπαϊκό HIPERMAN (High Performance Radio MAN) αλλά και για το αντίστοιχο WiBro (Wireless Broadband) που αναπτύσσεται στην Κορέα.
- Στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16 αναφερόταν για εφαρμογές απ' ευθείας οπτικής επαφής (Line Of Sight-LOS) στο φάσμα συχνοτήτων 10-66GHz όμως επόμενες τροποποιήσεις το επέκτειναν για εφαρμογές μη οπτικής επαφής (Non-LOS) στο φάσμα συχνοτήτων <11GHz με αδειοδότηση ή χωρίς. Η συνεχής εξέλιξή του θα το καταστήσει σε λίγο καιρό ικανό να απευθύνεται σε κινητούς χρήστες που επιθυμούν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Τα συστήματα WIMAX, καλύπτοντας το κενό μεταξύ των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless LAN) και των δικτύων ευρείας περιοχής (WAN), θα παράσχουν μία οικονομική εναλλακτική λύση στην ευρυζωνική πρόσβαση με τεχνολογία DSL, όπου αυτή είναι διαθέσιμη, ενώ το πιο σημαντικό είναι ότι θα προσφέρει ευρυζωνική πρόσβαση σε περιοχές όπου το DSL δεν έχει ακόμα φτάσει.



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Πλεονεκτήματα χρήσης του

Το WiMAX έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών ασύρματων και ενσύρματων συνδέσεων:

- Ιδιωτικές εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών [Internet](#), με πολύ μεγάλη ευκολία, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων σε κάθε σημείο της χώρας, αυξάνοντας τον ανταγωνισμό.
- Ο συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οποδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις [ADSL](#) (Asymmetric Digital Subscriber Line), ούτε και με την τεχνολογία Wi-Fi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.
- Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλόπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια.
- Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές [ADSL](#). Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Συγκεκριμένα τα οφέλη για τους κατασκευαστές προϊόντων WiMAX είναι:

- Πρόσβαση σε διευρυμένη αγορά, αφού οι χαμηλές τιμές, ο αυξημένος ανταγωνισμός και η ευελιξία που προσφέρεται στους παρόχους δικτύων (όπως αναφέρθηκε παραπάνω) θα ανεβάσει τη ζήτηση για προϊόντα WiMAX και θα δημιουργήσει περισσότερες ευκαιρίες για τους κατασκευαστές.
- Οφέλη από τη μείωση του κόστους παραγωγής. Χαμηλότερες τιμές δε σημαίνει απαραίτητα χαμηλό κέρδος αφού θα αντισταθμιστεί με το χαμηλό κόστος παραγωγής λόγω της αύξησης του όγκου των πωλήσεων.
- Ανταπόκριση στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των παρόχων δικτύων για διαλειτουργικότητα χωρίς τη διεξαγωγή επιπλέον δοκιμών.
- Εξασφάλιση διαλειτουργικότητας πριν την είσοδο των προϊόντων στην αγορά οπότε και είναι ευκολότερη και οικονομικότερη η επίλυση των τυχόν προβλημάτων συμβατότητας και διαλειτουργικότητας που θα προκύψουν.



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Ταυτόχρονα τα οφέλη για τους παρόχους δικτύων είναι:

- Δυνατότητα επιλογής εξοπλισμού από πολλούς κατασκευαστές κερδίζοντας έτσι ευελιξία στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του δικτύου τους και μειώνοντας το οικονομικό ρίσκο αφού η χρήση πιστοποιημένων προϊόντων τους δίνει την ευχέρεια να ενσωματώσουν καινούργιο εξοπλισμό στο δίκτυο χωρίς να είναι απαραίτητη η αφαίρεση-κατάργηση του παλαιού που είναι ήδη εγκατεστημένου και σε λειτουργία.
- Μείωση των τιμών του εξοπλισμού λόγω του αυξημένου ανταγωνισμού των κατασκευαστών.
- Συμβατότητα εξοπλισμών (backward compatibility) μειώνοντας το οικονομικό ρίσκο, αφού υπάρχει η εξασφάλιση ότι ο καινούργιος εξοπλισμός θα διαλειτουργεί με τον ήδη υπάρχοντα.

Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Wimax στην Ελλάδα

- Στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί πιλοτικά το δίκτυο wimax του ΟΤΕ το Σεπτέμβριο του 2008 με δοκιμαστική εκπομπή στο Άγιο Όρος και ακολούθησε το εργαστήριο Έρευνάς και Ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων [PASIPHAE](#) τον Οκτώβριο του 2008 με δοκιμαστική πιλοτική εκπομπή για ερευνητικές-εκπαιδευτικές δραστηριότητες και οι περιοχές κάλυψης είναι όλο το Ηράκλειο Κρήτης.
- Τα συστήματα WiMax και Mobile WiMax που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα βασίζονται στο IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.16e-2005, το οποίο καθιερώθηκε το Δεκέμβριο του [2005](#). Είναι μια τροποποίηση του πρωτοκόλλου IEEE 802.16-2004 και έτσι το παρόν πρωτόκολλο είναι το 802.16-2004 , τροποποιημένο από το 802.16-2005 ,Έτσι οι εφαρμογές τους πρέπει να διαβάζονται ταυτόχρονα ώστε να γίνουν κατανοητά.
- Το πρωτόκολλο IEEE 802.16-2004 απευθύνεται σε σταθερά συστήματα. Αντικατέστησε τα πρωτόκολλα 802.16-2001, 802.16c-2002, 802.16a-2003.

Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Εξοπλισμός του Wimax

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την ασύρματη διασύνδεση WiMAX περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- Ένα (1) κεντρικό υπολογιστή του συστήματος (server), όπου θα αποθηκεύονται τα δεδομένα όλων των υποστημάτων
- Ένα (1) κεντρικό υπολογιστή που θα χρησιμοποιηθεί ως backup server του παραπάνω υπολογιστή. Στην αγορά των servers έχουν κυριαρχήσει οι επεξεργαστές της Intel και της AMD.
- Backup DSL ή PSTN σύνδεση μεταξύ των τριών στρατοπέδων
- Λειτουργικό σύστημα με κυριότερες επιλογές κάποια έκδοση του Unix (από το ελεύθερο-αλλά όχι δωρεάν πολλές φορές-[Linux](#) και τους κλώνους του, ως τις εμπορικές υλοποιήσεις Unix, όπως το AIX της IBM και το Solaris της Sun Microsystems)
- Σταθμός βάσης WiMAX επιπέδου φορέα
- Δύο (1+1) κεραιές συγκεκριμένης γωνίας κάλυψης για τον σταθμό βάσης (αν τελικά υιοθετήσουμε τη χρήση omni κεραιών)



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

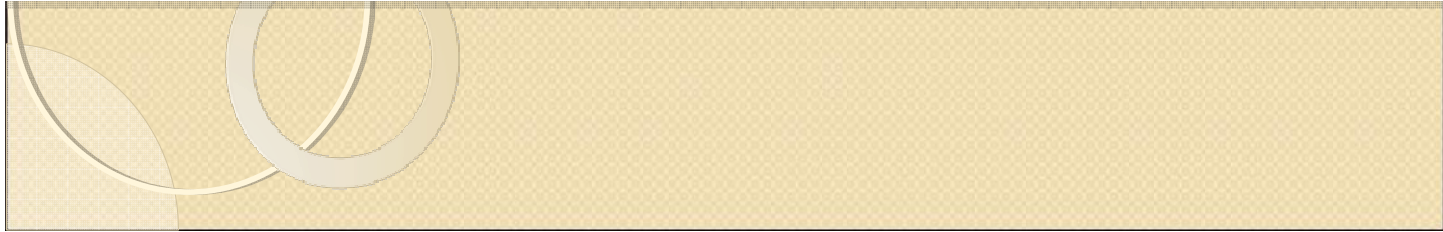
- Έξι (3+3) κατευθυντικές παραβολικές κεραιές για τους τερματικούς σταθμούς (στρατόπεδα)
- Δύο (1+1) μεμονωμένες μονάδες χωρίς εξωτερικά καλώδια ή κυματοδηγούς για αποφυγή απωλειών μεταξύ του ραδιοσυστήματος και κεραιάς, προστασία σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, εύκολη εγκατάσταση και μεταφορά
- Μονά ομοαξονικά καλώδια για διασύνδεση δεδομένων, ισχύος και διαχείριση με τον εξοπλισμό εσωτερικού χώρου. Το ραδιοσύστημα σταθμού βάσης (BRS) και το ραδιοσύστημα τερματικού σταθμού (SRS) διαχειρίζονται πλήρως μέσω του τοπικού τερματικού και το σύστημα wBMS
- Βραχίονες στήριξης για εύκολη εγκατάσταση των κεραιών, διατήρηση της ευθυγράμμισης και εύκολη αντικατάσταση
- Hubs, switches, routers
- Modem και κάρτες modem
- Σύστημα Διαχείρισης Ευρυζωνικών Υπηρεσιών
- Μηχανισμός ελέγχου αποδοχής κλήσης (Call Admission Control)



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

Αβεβαιότητα

- Κάθε μέτρηση, ανεξάρτητα από το πόσα καλά έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκειται σε σφάλμα και επομένως το αποτέλεσμα μιάς μέτρησης εμπεριέχει κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας.
- Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας μίας μέτρησης, λαμβάνονται υπόψη όλες οι επί μέρους αβεβαιότητες των προτύπων και συσκευών που χρησιμοποιούνται, οι οποίες συνδυάζονται σε μία και μοναδική τιμή που αποτελεί τη συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης. Οι υπολογισμοί αυτοί απαιτούν μεγάλη εμπειρία μετρήσεων και γνώσεων των στατιστικών τεχνικών προκειμένου να γίνουν με επιστημονικά ορθό τρόπο.



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- Οι αβεβαιότητες διαιρούνται ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους σε:
 - α) Παράγοντες που σχετίζονται με την διαδικασία μέτρησης, και
 - β) Παράγοντες που σχετίζονται με την βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης (Φασματικού Αναλυτή, κεραιών, αισθητήρων μέτρησης κ.λ.π).
- Οι αβεβαιότητες της πρώτης κατηγορίας (π.χ. μεταβολή των χαρακτηριστικών του παράγοντα κεραίας ή του αισθητήρα μέτρησης λόγω επίδρασης μεταλλικών αντικειμένων του περιβάλλοντος, είδος του εδάφους πάνω στο οποίο τοποθετείται ο τρίποδας που στηρίζει την κεραία λήψης ή το πεδίομετρο κατά τις μετρήσεις, παρουσία ανθρώπων σε απόσταση μικρότερη από μια απόσταση ασφαλείας κοντά στην κεραία ή στους αισθητήρες μέτρησης κ.λ.π.) είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν. Οι αβεβαιότητες όμως αυτής της κατηγορίας λόγω της αυστηρής τήρησης των προτύπων μέτρησης από το προσωπικό του εργαστηρίου κατά την διάρκεια των μετρήσεων, είναι αμελητέες και δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- Οι αβεβαιότητες της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να εκτιμηθούν από τις τιμές που ορίζονται στα πιστοποιητικά βαθμονόμησης (calibration certificates) των χρησιμοποιούμενων οργάνων των κατασκευαστών αυτών σύμφωνα με διεθνή πρότυπα υπολογισμού αβεβαιότητας..
- Στη συνολική αβεβαιότητα ενός αναλυτή φάσματος συνεισφέρουν οι ακόλουθες πηγές σφάλματος:
 - Απόλυτο σφάλμα της πηγής εσωτερικής βαθμονόμησης (Absolute error of the internal calibrator source),
 - Απόκριση συχνότητας της RF εισόδου (Frequency response of the RF input),
 - Σφάλμα του εξασθενητή εισόδου (Error of the input attenuator)

Η αβεβαιότητα σε μία συγκεκριμένη ζώνη συχνότητων εκτιμάται ως εξής:

- Για να εκτιμηθεί το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο για την *B-ιοστή* ζώνη συχνότητων, ενδέχεται να απαιτηθεί η λήψη μετρήσεων με πολλαπλές πολώσεις της κεραίας λήψης P ($P=P_1, P_2, \dots, P_n$), εάν αυτή δεν είναι ιστροπική. Εάν χρησιμοποιηθεί διπολική κεραία, τότε για να προσομοιωθεί η ιστροπική συμπεριφορά απαιτούνται τρεις μετρήσεις ($r=3$) με αμοιβαία κάθετες πολώσεις. Εάν χρησιμοποιηθεί κατευθυντική κεραία, ενδεχομένως να είναι απαραίτητες περισσότερες μετρήσεις με διαφορετικές πολώσεις, ανάλογα με την ζώνη συχνότητων που εξετάζεται και το είδος του σήματος μέσα σε αυτήν, προκειμένου να ληφθούν υπόψιν και τα φαινόμενα ανάκλασης και σκέδασης.

Προσδιορισμός της Έκθεσης από Ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- Σε κάθε περίπτωση το ηλεκτρικό πεδίο για όλες τις πολώσεις στην ζώνη B, μπορεί να εκτιμηθεί υπολογίζοντας την τιμή RSS όλων των πεδίων από τη σχέση:

$$E_B = \sqrt{\sum_{P=PI} P_T} E^2_{B,R}$$

- Όπου E_E είναι το πεδίο το οποίο συνδέεται με την P-ιστή πόλωση της χρησιμοποιούμενης κεραίας. Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα του μπορεί να εκτιμηθεί κατά τρόπο παρόμοιο με της προηγούμενης παραγράφου, λαμβάνοντας υπόψιν τις μερικές αβεβαιότητες για κάθε συνιστώσα . Σε αυτήν την περίπτωση οι συντελεστές ευαισθησίας του ως προς το κάθε θα δίνονται από τη σχέση:

$$C_{B,P} = \frac{\partial E_B}{\partial E_{B,P}} = \frac{E_{B,P}}{E_B}$$

Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- Κατά συνέπεια η $u(E_B)$ μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$u(E_B) = \sqrt{\sum_{P=PI}^{P_T} (C_{B,P} * u(E_{B,P}))^2} = \frac{1}{E_R} * \sqrt{\sum_{P=PI}^{P_T} (E_{B,P})^2}$$

- Η αβεβαιότητα E_B του σχετίζεται με κάθε πόλωση μπορεί να είναι διαφορετική για κάθε πόλωση της κεραίας λήψης λόγω της μεταβολής του παράγοντα κεραίας (Chen, 1999; Chen & Foegelle, 1998) ή της στάθμης των επιμέρους συχνοτικών συνιστωσών του πεδίου αντίστοιχα για κάθε πόλωση της κεραίας λήψης.

Οι βασικοί περιορισμοί σύμφωνα με την νομοθεσία περιορισμού της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων.

- Για την εφαρμογή περιορισμών που βασίζονται στην εκτίμηση πιθανών επιπτώσεων στην υγεία από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, πρέπει να γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς.
- Οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αυτά αναφοράς για τον περιορισμό της έκθεσης καταρτίστηκαν ύστερα από διεξοδική ανασκόπηση όλης της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας. Τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν κατά την ανασκόπηση αυτή έχουν σκοπό να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων ως βάση για τους προτεινόμενους περιορισμούς έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν μόνον οι αποδεδειγμένες επιδράσεις. Δεν θεωρήθηκε ότι έχει αποδειχθεί η πρόκληση καρκίνου από μακροχρόνια έκθεση σε ELF.
- Ωστόσο, επειδή μεταξύ των οριακών τιμών για τις οξείες επιπτώσεις και των βασικών περιορισμών υπάρχουν συντελεστές ασφαλείας μεγέθους περίπου 50, η παρούσα σύσταση καλύπτει σιωπηρά τις ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις ολόκληρου του φάσματος συχνοτήτων.

Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- **Επίπεδα αναφοράς:** τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να διαπιστωθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Ορισμένα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από σχετικούς βασικούς περιορισμούς, με τη χρήση μετρήσεων ή/και διαδικασιών υπολογισμού, ενώ άλλα περιλαμβάνουν την αντίληψη και τις δυσμενείς έμμεσες επιπτώσεις της έκθεσης σε ΗΜΠ.
- Τα παράγωγα φυσικά μεγέθη είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (H), η ένταση μαγνητικού πεδίου (E), η πυκνότητα μαγνητικής ροής (B), η πυκνότητα ισχύος (S) και το ρεύμα των άκρων (IL).
- Τα μεγέθη που ορίζουν την αντίληψη και άλλες έμμεσες επιδράσεις είναι το ρεύμα (επαφής) (IC) και, για παλμικά πεδία, η ειδική απορρόφηση ενέργειας (SA). Σε κάθε κατάσταση έκθεσης, οι μετρούμενες ή υπολογιζόμενες τιμές πολλών από αυτά τα μεγέθη μπορούν να συγκριθούν με το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς.
- Η συμμόρφωση με το επίπεδο αναφοράς εξασφαλίζει τη συμμόρφωση με τον αντίστοιχο βασικό περιορισμό. Εάν η μετρούμενη τιμή υπερβαίνει το επίπεδο αναφοράς, δεν έπεται κατ' ανάγκη και υπέρβαση του βασικού περιορισμού. Πάντως, κάτω από αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να εξακριβωθεί η συμμόρφωση ή μη με το βασικό περιορισμό.



Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

- **Βασικοί περιορισμοί:** οι περιορισμοί έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία που βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες χαρακτηρίζονται ως «βασικοί περιορισμοί».
- Ανάλογα με τη συχνότητα του πεδίου, τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν αυτούς τους περιορισμούς είναι η πυκνότητα μαγνητικής ροής (B), η πυκνότητα ρεύματος (J), η ταχύτητα ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR) και η πυκνότητα ισχύος (S).
- Η πυκνότητα μαγνητικής ροής και η πυκνότητα ισχύος μπορούν να μετρηθούν εύκολα σε ένα εκτιθέμενο άτομο.

Προσδιορισμός της Έκθεσης από ηλεκτρομαγνητικά πεδία σταθμών βάσης Wimax

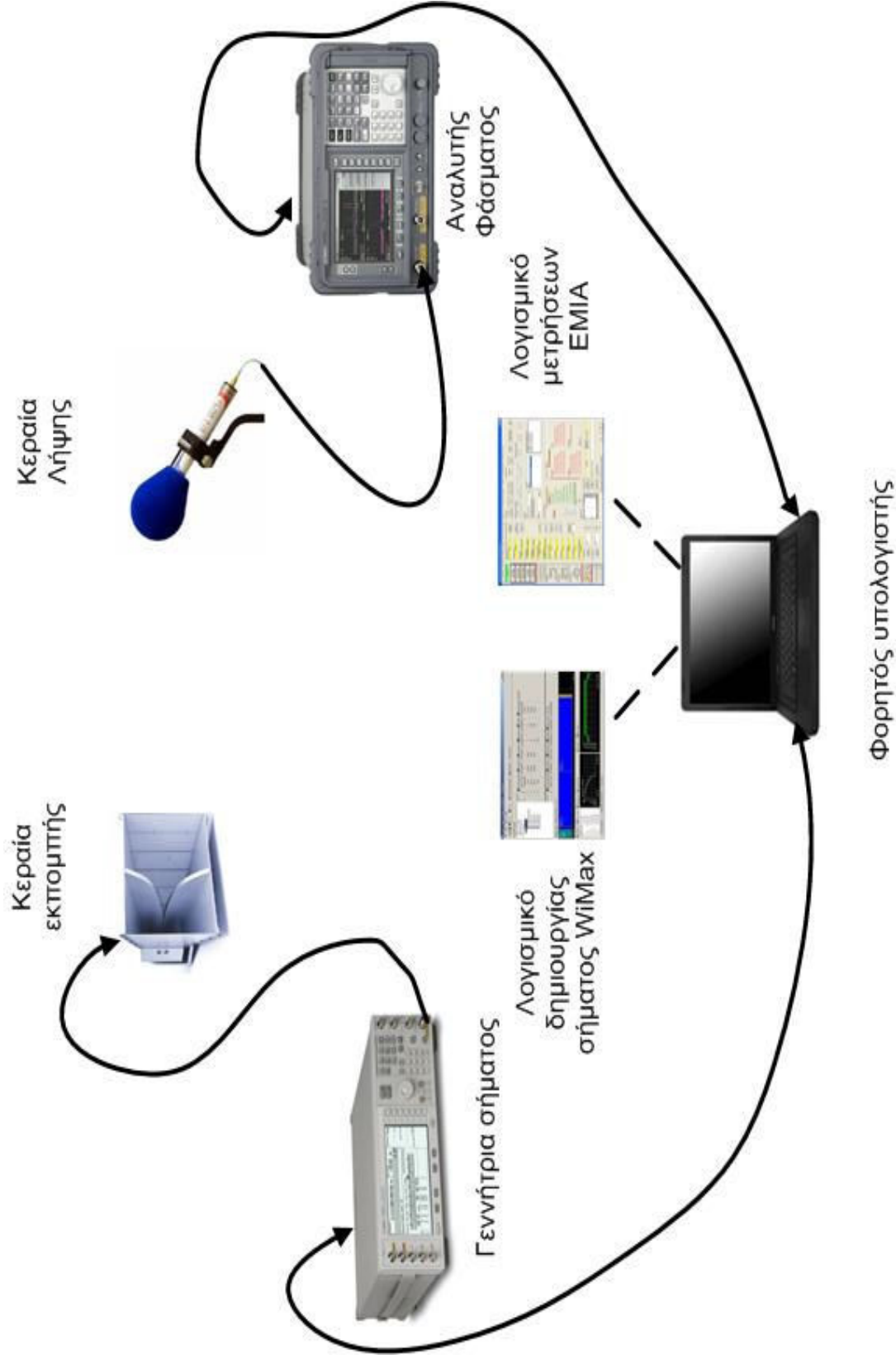
- Ανάλογα με τη συχνότητα, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη (δοσιμετρικά/εκθεσιμετρικά μεγέθη), για τον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών όσον αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία:
- — για συχνότητες από 0 έως 1 Hz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα της μαγνητικής ροής στατικών μαγνητικών πεδίων (0 Hz) και για την πυκνότητα ρεύματος χρονικώς μεταβαλλόμενων πεδίων έως 1 Hz, για την πρόληψη επιπτώσεων στο καρδιαγγειακό και στο κεντρικό νευρικό σύστημα,
- — για συχνότητες από 1 Hz έως 10 MHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος,
- — για συχνότητες από 100 kHz έως 10 GHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για τη SAR, για την πρόληψη θερμοπληξίας
- ολόκληρου του σώματος και υπερβολικής τοπικής θέρμανσης των ιστών. Για συχνότητες από 100 kHz έως 10 MHz, προβλέπονται περιορισμοί και για την πυκνότητα ρεύματος και για τη SAR,
- — για συχνότητες από 10 GHz έως 300 GHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος, για την πρόληψη της θέρμανσης των ιστών στην επιφάνεια του σώματος ή κοντά της.

Πειραματικό Μέρος

Μέσα που χρησιμοποιήθηκαν

- ❖ Η/Υ
- ❖ Γεννήτρια σήματος (Agilent E4438C VSG),
- ❖ Αναλυτής φάσματος (Agilent E4407B),
- ❖ Κεραίες εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (EMIA) για εκπομπή και λήψη σήματος (ETS-Lindgren Model 3115: 1GHz-GHz και ARC sPOD16: 1GHz-GHz),
- ❖ Καλώδια διασύνδεσης κεραιών – αναλυτή φάσματος – γεννήτριας σήματος,
- ❖ Λογισμικό δημιουργίας σήματος τύπου WiMAX και μεταφόρτωσης του στη γεννήτρια σήματος (Agilent N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAX),
- ❖ Λογισμικό του EMIA για τον έλεγχο του συστήματος λήψης, τροποποιημένο για λειτουργία στη ζώνη WiMAX 3.5GHz.
- ❖ Διεπαφή διασύνδεσης υπολογιστή με γεννήτρια και αναλυτή φάσματος (Agilent 82357A GPIB to USB Interface)

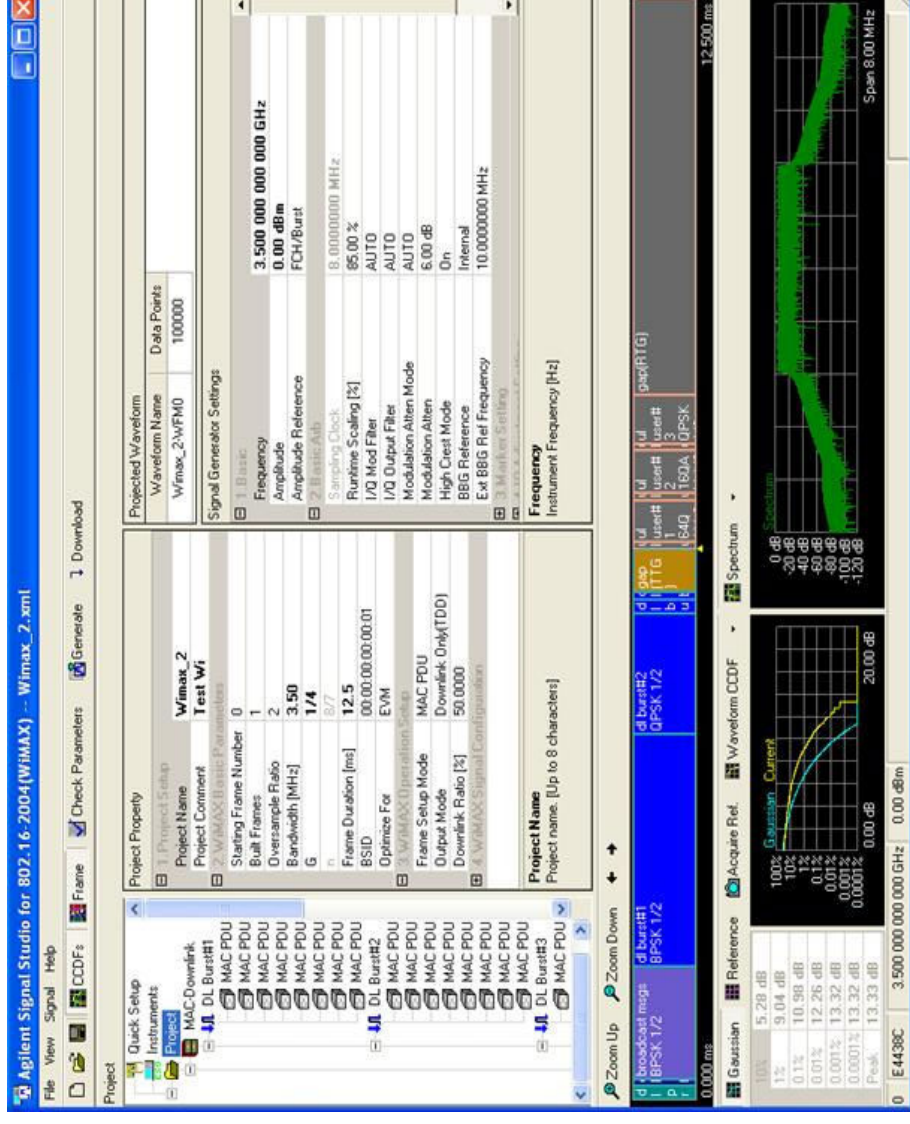
Πειραματικό Μέρος: Συνδεσμολογία



Συνδεσμολογία στην πράξη

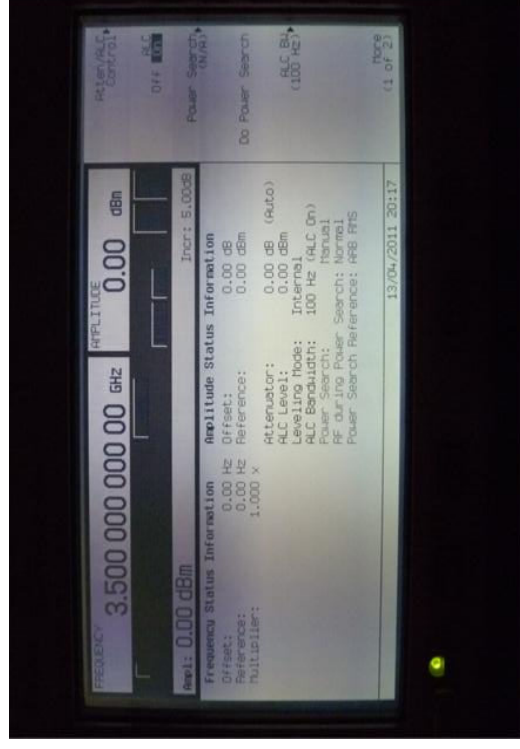


Δημιουργία σήματος WiMAX



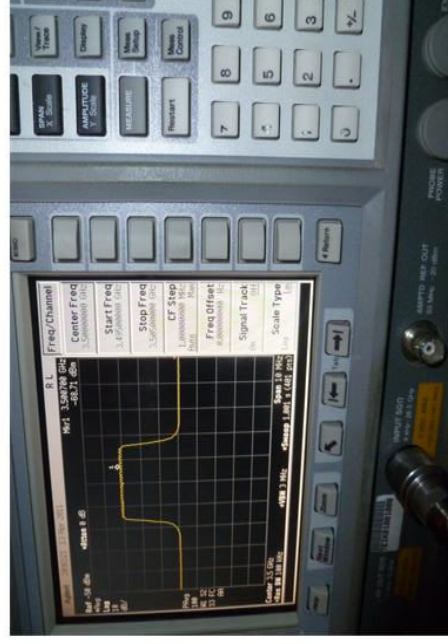
Το σήμα WiMAX που χρησιμοποιήθηκε για εκπομπή δημιουργήθηκε με χρήση του λογισμικού Agilent N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WIMAX

Ρυθμίσεις μέσω του χρησιμοποιούμενου Laptop:



↓

Ρύθμιση Γεννήτριας:
Λογισμικό N7613A Signal Studio for
802.16-2004 WIMAX



↓

Ρύθμιση Αναλυτή:
Τροποποιημένο Λογισμικό
Εργαστηρίου Μη Ιοντιζουσών
Ακτινοβολιών (EMIA) του ΕΠΠ

Ρυθμίσεις Αναλυτή φάσματος μέσω του τροποποιημένου λογισμικού του EMIA για την λήψη μετρήσεων και την αποθήκευση των δεδομένων τους για σήματα WiMAX:

Setting SA parameters and saving measurements

About Compute Limits More Commands Clear Errors Align All Factory Preset Auto Caple All Full Display On/Off Greece Allocated Frequencies Create Add3D Evaluate Measurement Main Menu Back Exit

Rapid Scan for finding Spectral Components

PCD 8250 80MHz-3000MHz
 Biconical Antenna 30MHz-200MHz
 Log Periodic Antenna 200MHz-2700MHz
 Horn Antenna 1GHz-18GHz
 Horn Antenna 18GHz-40GHz

FM Band (80-110 MHz)
 TV Band (200-860 MHz)
 GSM900
 GSM 900 Downlink (925-960 MHz) WIND
 COSMOTEL TONE
 DCS1800
 GSM 1800 Downlink (1805-1880 MHz) WIND
 COSMOTEL WIND
 VODAFONE Q-TEL
 UMTS (3G)
 WCDMA-3G (2110-2170 MHz)
 COSMOTEL WIND
 VODAFONE

DVB-T WIFi
 WiMAX Wlan
 Radar

GSM 900 Uplink (880-920 MHz) On
 GSM 1800 Uplink (1700-1800 MHz) On

Input Attenuation 0 dB
 Reference Level -50 dBm
 Sweep Time 1.00056 sec = 1000.56 msec
 Start Frequency 3495000000 Hz = 3495 MHz
 Stop Frequency 3505000000 Hz = 3505 MHz
 Resolution Bandwidth 100000 Hz = 100 KHz
 Video Bandwidth 3000000 Hz = 3000 KHz = 3 MHz
 Number of Sweep Points 401
 Average State ON
 Average Type RMS
 Number of Averages 100 (ON)
 Type of Detector AVER
 Total Duration of Measurement 1.6676 min

Change Input Attenuation
 Change Reference Level
 Change Sweep time
 Change RBW
 Change VBW
 Change Sweep Points
 Average ON
 Average OFF
 Change Number of Averages
 Type of Detector
 Total Duration of Measurement

Start Frequency 3495 MHz
 Stop Frequency 3505 MHz

Enter Start Frequency 3495
 Enter Stop Frequency 3505

KHz
 MHz
 GHz

KHz
 MHz
 GHz

Save This Measurement as: Z_WiMAX
 Preview Excel Name Z_WiMAX_at_3_5_GHz.xls
 Seg Sweep OFF
 Seg Sweep ON

Adding to the title this string: at_3_5_GHz

Make Measurements with PCD8250 antenna automatically

< Back Exit

Other Options
 Max Hold Normal Trace Pause measurement Peak Search Turn Off Marker
 Channel Power Return Restart measurement Next Peak Left Next Peak Right

Select Measurement Antenna
 PCD8250 PMM LPDA PMM BICO Horn 1-18GHz Horn 18-40GHz
 sPDD16 (1GHz-6GHz) sPDD618 (6GHz-18GHz) Integrated LPDA

Select Antenna cable(s)
 PCD8250 set Yellow cable MIL C17 (B)
 Blue cable Brown cable MIL C17 (W)

Select Path
 Drives: c:\WIN_XP
 Directories: C:\WiMAX_Measurements
 Make Directory under Directory: C:\WiMAX_Measurements
 Name: Make?

Excel Files in the selected directory
 X_WiMAX_at_3_5_GHz.xls
 Y_WiMAX_at_3_5_GHz.xls

Select File name
 Give a name Name is:
 Select a Specific name from below

Polarization
 X
 Y
 Z
 Horizontal
 Vertical
 Plus_45
 Minus_45

Band/Signal
 80MHz-3000MHz
 CB-FM (30MHz-200MHz)
 FM (80MHz-110MHz)
 TV (200MHz-860MHz)
 GSM900 (925MHz-960MHz)
 DCS1800 (1805MHz-1880MHz)
 UMTS FDD (2110MHz-2170MHz)
 UMTS TDD (1910MHz-1930MHz)
 DVB-T WIFi Radar
 WiMAX Wlan

Specific Operator Sub-Band
 WIND
 GSM900 (935.2MHz-945MHz)
 DCS1800 (1825MHz-1829.8MHz)
 UMTS FDD (2130.3MHz-2140.3MHz)
 UMTS TDD (1905.1MHz-1910.1MHz)
 UMTS TDD (1910.1MHz-1915.1MHz)
 Q-TELECOM
 GSM900 (945.2MHz-959.8MHz)
 DCS1800 (1830MHz-1839.8MHz)
 UMTS FDD (2110.3MHz-2130.3MHz)
 UMTS TDD (1915.1MHz-1920.1MHz)

Analyzer Screen

Διαδικασία λήψης μετρήσεων Ζητούμενο: Η καταγραφή της μέγιστης RMS τιμής ισχύος λήψης για το ζητούμενο φάσμα

- Θέση - προσανατολισμός - πόλωση των κεραιών λήψης (αν είναι δυνατόν πραγματοποιούνται τόσες μετρήσεις όσες απαιτούνται από την κεραία λήψης ώστε να εξασφαλιστεί ισοτροπική συμπεριφορά) καθώς και η σχετική θέση RF καλωδίου
- Απομάκρυνση χειριστών - περαστικών - περιορισμός ανακλάσεων
- Μέσω Software ή χειροκίνητη ρύθμιση αναλυτή Φάσματος στις εντοπισμένες ζώνες για τον βέλτιστο προσδιορισμό της ενεργού τιμής της ισχύος λήψης για χρονική διάρκεια έξι λεπτών όπως απαιτείται από την κείμενη νομοθεσία.
- Οι ρυθμίσεις του Αναλυτή Φάσματος αφορούν: Start frequency, Stop Frequency, Attenuation, Reference Level, Resolution Bandwidth, Video Bandwidth, Sweep time, Type of Detector, Sweep points, Number of Averages.
- Αποθήκευση δεδομένων μέτρησης
- Η ρύθμιση μέσω Software ελαχιστοποιεί την πιθανότητα σφάλματος ή ελλιπούς ρυθμίσεως από τον χειριστή του συστήματος.

Εφαρμοζόμενα Πρότυπα μετρήσεων στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων:

- IEEE C95.3 – 1991 (Recommended Practice for the measurements of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave) και τροποποίησή του (IEEE C95.3 – 2002),
- Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50166-2 (Human exposure to electromagnetic fields – High frequency - 10KHz to 300GHz,
- ΕΛΟΤ EN 61566 (Μετρήσεις σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας – Ένταση πεδίου στην περιοχή συχνοτήτων 100KHz ως 1GHz,
- Πρωτόκολλο Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας στην περιοχή των RF συχνοτήτων από 30MHz ως 26.5GHz του Εργαστηρίου Μή Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (Ε.Μ.Ι.Α.) του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων (Ε.Π.Π.) του Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Επεξεργασία δεδομένων για υπολογισμό της έκθεσης: Υπολογισμός συντελεστή έκθεσης πολλαπλών πηγών

Γίνεται μέσω του λογισμικού του EMIA

Έτσι για θερμικές επιδράσεις σε συχνότητες πάνω από 100ΚHz θα πρέπει να υπολογιστούν και να συγκριθούν με την μονάδα τα παρακάτω αθροίσματα:

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{10\text{GHz}} \frac{\text{SAR}_i}{L_{,i}} + \sum_{i>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_i}{L_{,i}}$$

Για SAR και πυκνότητα ισχύος:

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{L_{,i}} \right)^2$$

Για την Ένταση του Ηλεκτρικού πεδίου:

$$c=87/f^{0.5} (V/m)$$
$$d=0.73/f (A/m)$$

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{150\text{KHz}} \left(\frac{H_i}{d} \right)^2 + \sum_{i>150\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_i}{L_{,i}} \right)^2 \quad \uparrow \quad \text{ICNIRP}$$

Για την ένταση του Μαγνητικού πεδίου:

Τιμές πάνω από την μονάδα για οποιοδήποτε από τα παραπάνω αθροίσματα σημαίνουν υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων.

Η διαδικασίες μετρήσεων, εξαγωγής του συντελεστή
έκθεσης πολλαπλών πηγών και υπολογισμού αβεβαιοτήτων
είναι σύμφωνες με την δημοσίευση:

D. Stratakis, A. Miaoudakis, T. Xenos and V. Zacharopoulos, “**Overall Uncertainty Estimation in Multiple Narrowband in Situ Electromagnetic Field Measurements**”, IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol.58, no. 8, pp. 2767-2779, August 2009.

Αποτελέσματα μετρήσεων: Οθόνη επεξεργασίας λογισμικού EMIA

Evaluate Measurements Automatic Measurements Manual Measurements Add3D(X-Y-Z) Main Menu

Program Status: Computation Finished! Read results...

Select the appropriate Excel File and the corresponding Worksheet in that Excel file (which contains the measured data from Spectrum analyser)

Drives: c:\WIN_XP\ Select Used Antenna: \$POD16 (1GHz - 6GHz) Select Used Cable: Yellow Cable 5m (30MHz - 4GHz)

Directories: C:\ Available Worksheets: Apr 13, 2011 13h 58m 44s, WIMAX_Measurements, WIMAX_at_3.5_GHz.xls, WIMAX_at_3.5_GHz.xls, WIMAX_at_3.5_GHz.xls, Sheet3

Excel Files: X:\WIMAX_at_3.5_GHz.xls, Y:\WIMAX_at_3.5_GHz.xls, Z:\WIMAX_at_3.5_GHz.xls

Selected Sheet: Apr 13, 2011 13h 58m 44s

Full Excel Path: C:\WIMAX_Measurements\

Synoptic Measurement Information

Units of measurement: dBm
 Attenuation: 0dB
 Date/Time: 4/13/2011 7:58:43 PM
 Reference Level: -50dBm
 Resolution Bandwidth: 100000Hz = 100KHz
 Start Frequency: 3495000000Hz = 3495 MHz
 Stop Frequency: 3505000000Hz = 3505 MHz
 Sweep points: 401
 Sweep time: 1.00056sec=1000.56msec
 Video Bandwidth: 3000000Hz = 3 MHz
 Longitude: Longitude HERE
 Latitude: Latitude HERE
 Altitude: Altitude HERE
 Temperature: Temperature HERE
 Used Antenna: \$POD16 (1GHz-6GHz)
 Antenna Polarization: X
 Measurement Position: Test Position

Go ->

Measurement Results

Measurement Bandwidth is: 10 MHz
 Band: 3495 MHz to 3505 MHz

Total E field is: 0.107181563659027 V/m
 Total H field is: 2.84307262910161E-04 A/m
 Combined Uncertainty for E and H is: 23.53%

Lower E-Limit at this band is 47.2503968237305V/m

Total S is: 3.0472496983293E-05 W/m²
 Combined Uncertainty of Total S is: 47.05%

Lower S-Limit at this band is 6W/m²

Multiple Sources Coefficient (MSC) is: 5.15*10⁻⁶
 Expanded Uncertainty of MSC is: 2.14*10⁻⁷

Times Under Limits of MSC (with U Expanded) is: 106.583,09
 MSC with expanded Uncertainty 5.35954235638552E-06 is < 1
 Compliance with Limits is Ok !!!

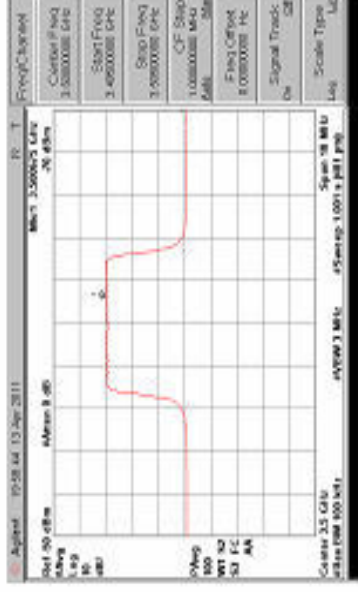
Input E and F-limits in V/m

Frequency in MHz

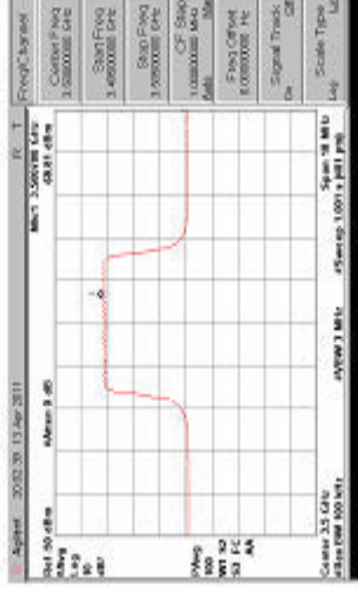
Run Again Exit

Επεξεργασία δεδομένων μετρήσεων από το λογισμικό του EMIA

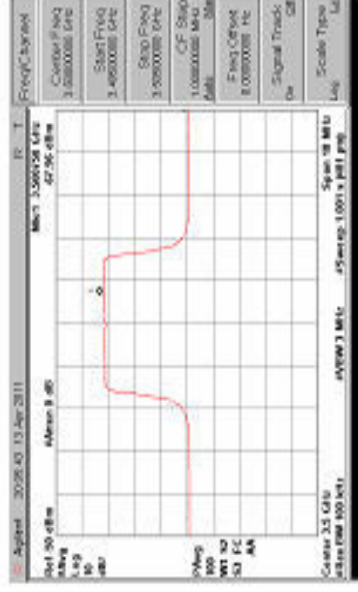
Προσόψεις αναλυτή φάσματος κατά την διάρκεια των μετρήσεων



Πρόσψη αναλυτή φάσματος κατά τη λήψη αναλυτικής μέτρησης από 3.49.5MHz ως 3.505MHz κατά την X κατάθυση της κεραίας λήψης.

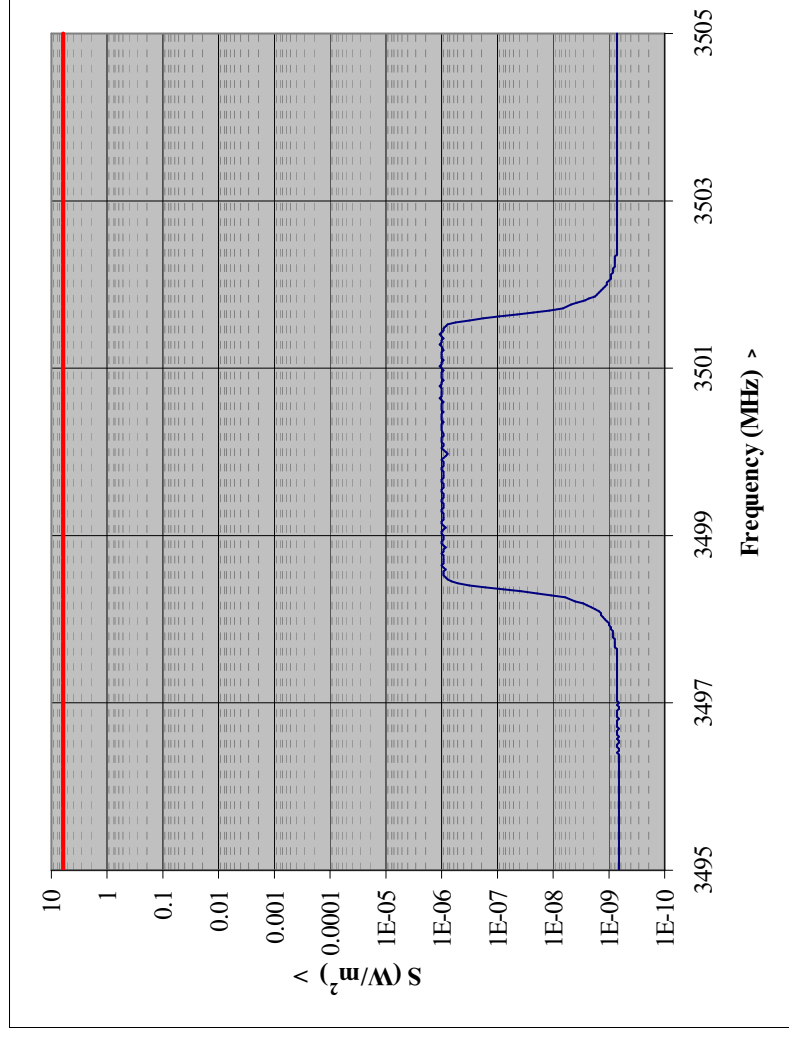


Πρόσψη αναλυτή φάσματος κατά τη λήψη αναλυτικής μέτρησης από 3.49.5MHz ως 3.505MHz κατά την Y κατάθυση της κεραίας λήψης.



Πρόσψη αναλυτή φάσματος κατά τη λήψη αναλυτικής μέτρησης από 3.49.5MHz ως 3.505MHz κατά την Z κατάθυση της κεραίας λήψης.

Συνολικά αποτελέσματα μετρήσεων για την ζώνη WiMAX:



Συνδυασμένο διάγραμμα κατανομής πυκνότητας ισχύος ανά συχνότητα (κατά την διάρκεια των μετρήσεων) για την ζώνη WiMAX, και γραμμή θεσμοθετημένου ορίου

Το διάγραμμα προκύπτει από τον συνδυασμό των δεδομένων των μετρήσεων και για τις τρεις πολώσεις της κεραίας λήψης (X, Y και Z)

Αποτελέσματα μετρήσεων για τις πολώσεις X, Y και Z:

α/α	Τιμές μερικών συντελεστών έκθεσης πολλαπλών πηγών για κάθε μέτρηση (κανονικοποιημένα πηλίκια έκθεσης) ως προς τα προβλεπόμενα επίπεδα αναφοράς (όρια) της κείμενης Ελληνικής Νομοθεσίας που καθορίζονται από το άρθρο 31 παράγραφος 10 του Ν. 3431/2006 και την Εγκύκλιο της ΕΕ.ΑΕ υπ' αριθμόν Α.Π. Π/105/014 της 12-01-2007 (αναφέρονται στον περιορισμό του 60% των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της Κ.Υ.Α. 53571/3839/109-2000)	Συχνοτική περιοχή (MHz) και πόλωση κεραίας λήψης	Μετρούμενη τιμή	Αβεβαιότητα Μέτρησης	Συνολική μέγιστη τιμή	Φορές που ο μερικός συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών συνυπολογισμένης της αβεβαιότητας του είναι κάτω από την μονάδα
1	3495 - 3505 (X)	5,15•10 ⁻⁶	±2,14•10 ⁻⁷	5,36•10 ⁻⁶	186.583,09	
2	3495 - 3505 (Y)	7,22•10 ⁻⁶	±3,01•10 ⁻⁷	7,52•10 ⁻⁶	132.946,71	
3	3495 - 3505 (Z)	8,06•10 ⁻⁶	±3,36•10 ⁻⁷	8,40•10 ⁻⁶	119.055,78	

Συνολικά αποτελέσματα μετρήσεων για την ζώνη WiMAX:

Εύρος ζώνης μέτρησης	10 MHz
Συχνοτική ζώνη	3495 - 3505 MHz
Συνολικό ηλεκτρικό πεδίο στην θέση της κεραίας λήψης	0,21 V/m
Διευρυμένη αβεβαιότητα συνολικού ηλεκτρικού πεδίου	23.52 %
Χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς ηλεκτρικού πεδίου στην ζώνη μέτρησης	47,25 V/m
Συνολική πυκνότητα ισχύος στην θέση της κεραίας λήψης	$1,21 \cdot 10^{-4}$ W/m ²
Διευρυμένη αβεβαιότητα συνολικής πυκνότητας ισχύος	47.05 %
Χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς πυκνότητας ισχύος στην ζώνη μέτρησης	6,00 W/m ²
Μερικός συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών	$2,04 \cdot 10^{-5}$
Διευρυμένη αβεβαιότητα στον μερικό συντελεστή έκθεσης πολλαπλών πηγών με επίπεδο εμπιστοσύνης 95.45%	$\pm 8,50 \cdot 10^{-7}$
Μερικός συντελεστής έκθεσης πολλαπλών συμπεριλαμβανομένης της διευρυμένης αβεβαιότητας του (μέγιστη εκτιμώμενη τιμή)	$2,13 \cdot 10^{-5}$
Φορές που η μέγιστη τιμή του μερικού συντελεστή έκθεσης πολλαπλών πηγών είναι κάτω από τα θεσπισμένα επίπεδα αναφοράς	46.993,41

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Μελετήθηκε το πρότυπο WiMAX
- Δημιουργήθηκε σήμα WiMAX με την βοήθεια του λογισμικού N7613A Signal Studio for 802.16-2004 WiMAX και της γεννήτριας σήματος ESG E4438C της Agilent
- Το σήμα αυτό εκπέμφθηκε με χρήση του εξοπλισμού του EMIA
- Μετρήθηκε το λαμβανόμενο σήμα σε άλλη θέση με χρήση του εξοπλισμού του EMIA
- Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις που τέθηκαν στον αναλυτή φάσματος για την διενέργεια των μετρήσεων είναι οι ενδεικνυόμενες με βάση την Διεθνή βιβλιογραφία επι του παρόντος στον τομέα αυτό
- Αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το τροποποιημένο για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής λογισμικό του EMIA
- Από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης διαπιστώθηκε ότι δεν υπερβαίνονται τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια έκθεσης για την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη (γεγονός αναμενόμενο λόγω της πολύ μικρής ισχύος του σήματος εκπομπής)
- Η ίδια διαδικασία μετρήσεων και αξιολόγησης μπορεί να ακολουθηθεί στην πράξη για οποιοδήποτε άλλα σήματα τύπου WiMAX που εκπέμπονται από σταθμούς βάσης ανάλογου τύπου. Ενδεχομένως να αλλάξουν ορισμένες ρυθμίσεις για τα όρια συχνοτήτων του αναλυτή φάσματος ανάλογα με την ζώνη στην οποία γίνονται οι μετρήσεις

Όσον αφορά τις επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία θα πρέπει να θυμόμαστε ότι:

- Απαιτείται συνυπολογισμός και των πεδίων που προέρχονται και από άλλες πηγές ,
- Απαιτείται εκτεταμένη και πληρέστερη έρευνα από την επιστημονική κοινότητα για την πλήρη διαλεύκανση του θέματος των επιπτώσεων,
- Απαιτείται αυστηρή τήρηση του υπάρχοντος Νομικού πλαισίου θεσμοθετημένων ορίων,
- Απαιτείται αναπροσαρμογή και ενδεχομένως αναθεώρηση των ορίων έκθεσης.

Θα πρέπει να λαμβάνονται επίσης τα παρακάτω προληπτικά μέτρα:

- Συνετής Αποφυγή, (ALARA),
- Πρόληψη και λήψη κατάλληλων και αναγκαίων μέτρων,
- Αποφυγή πανικού και παραπληροφόρησης, και
- Μετρήσεις από αρμόδιους φορείς όπου υπάρχουν ενδείξεις η φόβοι ότι ενδέχεται να υπάρξει υπέρβαση των ορίων.

**ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!!!**

