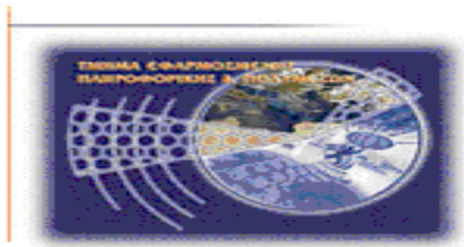




**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**

**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής**



**Πτυχιακή εργασία**

**Ανάπτυξη εφαρμογής για μέτρηση  
ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σταθμών βάσης GSM  
από φορητό αναλυτή φάσματος**

**Κρασαδάκης Στυλιανός (ΑΜ: 2634)**

**Επόπτης Καθηγητής:**

**Δρ. Στρατάκης Δημήτριος**

**Υπεύθυνη Δήλωση:** *Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.*

## *Ευχαριστίες*

*Η παρούσα διπλωματική είναι αποτέλεσμα συστηματικής μελέτης και έρευνας με σκοπό την τεκμηριωμένη παρουσίαση θεμάτων που αφορούν τα δίκτυα κινητής κυψελοειδούς τηλεφωνίας προτύπου GSM, καθώς επίσης και τη δημιουργία διαδραστικής εφαρμογής για περισυλλογή και επεξεργασία των δεδομένων μετρήσεων από αναλυτή φάσματος.*

*Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και το τέλος των προπτυχιακών μου σπουδών θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. **Στρατάκη Δημήτριο** του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής του ΤΕΙ Κρήτης για την αμέριστη βοήθεια, συμπαράσταση και καθοδήγηση στην μέχρι τώρα σπουδαστική μου σταδιοδρομία καθώς επίσης και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εν λόγω ερευνητική εργασία. Τέλος δεν θα έπρεπε να ξεχάσω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και όλους όσους με στήριζαν πνευματικά βοηθώντας με να φέρω εις πέρας το έργο που μου ανατέθηκε.*

## *Περίληψη*

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το ευρέως διαδεδομένο κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών GSM (Global System for Mobile Communication). Αρχικά μελετάμε τα σύγχρονα δίκτυα κινητών επικοινωνιών τα οποία αναπτύσσονται διαρκώς προσφέροντας νέες υπηρεσίες ενώ ενοποιούνται και με τα υπόλοιπα ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα. Συγκεκριμένα εξετάζουμε τα υπάρχοντα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς στα οποία θα βρει εφαρμογή το πρόγραμμα μας καθώς και αυτά τα οποία θα τα αντικαταστήσουν στο άμεσο μέλλον. Γίνεται αναφορά στις τεχνικές πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται σήμερα για την βελτιστοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων και στην συνέχεια παραθέτονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι αρχές λειτουργίας του 2<sup>ης</sup> γενιάς πρωτοκόλλου επικοινωνίας GSM, όπως οι προδιαγραφές του, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, οι βαθμίδες υλοποίησης του, ο τρόπος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, η αρχιτεκτονική του κ.ο.κ. Τέλος παρουσιάζονται τα όρια έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τους σταθμούς βάσης καθώς και από τους κινητούς σταθμούς (κινητά τηλέφωνα).

Όσο αφορά το πειραματικό μέρος της εργασίας με χρήση ενός φορητού αναλυτή φάσματος και μίας κωνικής διπολικής κεραίας λαμβάνουμε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις συχνότητες που θέλει ο εκάστοτε χρήστης και στην συνέχεια αποθηκεύονται τα δεδομένα μαζί με ένα στιγμιότυπο της οθόνης του αναλυτή σε 2 διαφορετικές καρτέλες ενός φύλλου excel για κάθε διαφορετική πόλωση της κεραίας. Τέλος παίρνοντας ως δεδομένα τα στοιχεία των τριών excel που δημιουργήθηκαν για τις τρεις διαφορετικές πολώσεις της κεραίας εμφανίζουμε την γραφική παράσταση για το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο και αναφέρουμε αν τελικά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη θέση λήψης είναι εντός των ορίων που έχουν θεσπιστεί.

## *Λέξεις κλειδιά*

Πρότυπο GSM, Τηλεπικοινωνιακά συστήματα, Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, Κινητές επικοινωνίες, Μετρήσεις αναλυτή φάσματος, Εφαρμογή matlab για μετρήσεις, Προγραμματισμός οργάνων

## *Abstract*

This work addresses the widespread cellular system GSM mobile communications (Global System for Mobile Communication). Initially studying, modern mobile networks which grow constantly offering new services and consolidated with other wired and wireless networks are discussed. Specifically we examine the existing 2G and 3G networks that we will use at the second phase of this work for taking remote measurements as well as those that will replace them in the near future theoretically. Reference is made to the multiplexing techniques used today to optimize the available frequency spectrum. Then, we present the main features and principles of operation of the 2nd generation communication protocol GSM, such as specifications, technical characteristics, the implementation steps, the type of modulation used, architecture etc. Finally, the exposure limits to electromagnetic radiation from base stations and from mobile stations (mobile phones) are presented.

Regarding the experimental part of this work, with the use of a portable spectrum analyzer and a conical dipole antenna we take measurements of electromagnetic radiation in the frequencies, we want and then the data are stored with a snapshot of the analyzer display in two different sheets of an excel file for each different antenna polarization. Finally taking as input data of three excel files created for three different polarizations of the receiving antenna, we display the graph for the total electric field and mention if eventually the received electromagnetic radiation is within the established limits of exposure.

## *Keywords*

GSM standard, Telecommunication Systems, Electromagnetic Radiation, Mobile Communications, Spectrum Analyzer Measurements, Matlab application for Measurements, Programming Instruments

## Γλωσσάριο

### 1. GSM

Global System for Mobile Communication – μία ανοιχτή, ασυνήθιστη πλατφόρμα ψηφιακής ασύρματης τεχνολογίας

### 2. UMTS Universal Mobile Telecommunication System.

Το Καθολικό Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών. Το (UMTS) αποτελεί μέρος του διεθνούς οράματος της παγκόσμιας οικογένειας των συστημάτων κινητής επικοινωνίας τρίτης γενιάς. Κάποιες χώρες το αποκαλούν 3G.

### 3. 2G

Τεχνολογία Δεύτερης γενιάς. Ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα ψηφιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όπως το GSM, τα οποία αντικατέστησαν τα αναλογικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

### 4. 2.5G

Τεχνολογικές αναβαθμίσεις των συνηθισμένων δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM που αυξάνουν την αποδοτικότητα και την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Ο όρος περιλαμβάνει τα HSCSD, GPRS και EDGE. Θεωρούνται ενδιάμεση τεχνολογία, μεταξύ των 2G και 3G.

### 5. 3G

Τεχνολογία τρίτης γενιάς (UMTS) που χρησιμοποιεί νέα πρότυπα μετάδοσης δεδομένων και λειτουργεί σε διαφορετικό τμήμα του φάσματος σε σχέση με τα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Οι ευρωπαϊκές κυβερνήσεις έχουν εκχωρήσει άδειες για την κάλυψη του φάσματος UMTS στο επίπεδο των 2GHz.

### 6. GPRS

General Packet Radio Service. Αποτελεί βελτίωση του συστήματος τηλεπικοινωνιών GSM που υποστηρίζει τα πακέτα δεδομένων. Καθιστά δυνατή τη συνεχή ροή πακέτων δεδομένων μέσω του συστήματος, για εφαρμογές που υποστηρίζουν την περιήγηση στον Παγκόσμιο Ιστό και τη μεταφορά αρχείων για παράδειγμα. Με το GPRS, το τηλέφωνό σας είναι πάντα συνδεδεμένο με την υπηρεσία WAP και με άλλες υπηρεσίες δεδομένων και επομένως δεν χρειάζεται να πραγματοποιείτε κλήση σύνδεσης κάθε φορά που θέλετε να έχετε πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων.

### 7. HSCSD

High Speed Circuit Switched Data. Μετάδοση ασύρματων δεδομένων με ενεργοποίηση μέσω κυκλώματος για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων με ρυθμό δεδομένων 28,8 Kbits ανά δευτερόλεπτο ή μεγαλύτερο. Δε συγκρίνεται με το ανώτατο όριο των 9,6 Kbits ανά δευτερόλεπτο που παρέχουν τα συνήθη δίκτυα GSM. Η δυνατότητα που έχει ο συνδρομητής να χρησιμοποιεί το κινητό του για εξερχόμενες και εισερχόμενες κλήσεις σε οποιοδήποτε δίκτυο εκτός του δικού του, στη χώρα του ή σε άλλη χώρα εφόσον υπάρχει εμπορική σύμβαση περιαγωγής με το δίκτυο της χώρας του συνδρομητή.

**8. Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα, Πεδία, Ηλεκτρικό Πεδίο**

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εκπέμπονται από πολλές φυσικές αλλά και κατασκευασμένες από τον άνθρωπο πηγές και παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ζωή μας. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιούνται για να εκπέμπουν και να λαμβάνουν σήματα από κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς βάσης τους. Ο τύπος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα ονομάζονται κύματα/πεδία ραδιοσυχνότητας (RF). Ένα πεδίο που περιβάλλει ένα φορτισμένο σώμα ή που σχετίζεται με ένα κυμαινόμενο μαγνητικό πεδίο, με το οποίο αλληλεπιδρούν τα φορτισμένα μόρια.

**9. Ισχύς σήματος**

Η ισχύς των ηλεκτρικών ή μαγνητικών πεδίων. Σχετίζεται με την πυκνότητα της ισχύος.

**10. Καλώδιο**

Το ομοαξονικό καλώδιο που συνδέει μια κεραία με τον πομπό ή δέκτη τροφοδοσίας του σταθμού βάσης.

**11. Κεραία**

Μία συσκευή από την οποία εκπέμπονται και λαμβάνονται ραδιοκύματα. Υπάρχουν διαφορετικοί σχεδιασμοί σε λειτουργία. Μια μεταλλική ράβδος ή σύρμα για την εκπομπή και λήψη ραδιοκυμάτων ή μικροκυμάτων.

**12. Κυψέλη**

Μία γεωγραφική περιοχή που καλύπτει ένας Ραδιοσταθμός Βάσης.

**13. Πομπός**

Ηλεκτρονικός εξοπλισμός που παράγει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια

## Ευρετήριο

Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη .....	iv
Λέξεις κλειδιά.....	iv
Γλωσσάριο .....	vi
Ευρετήριο.....	viii
Ευρετήριο Εικόνων .....	x
Ευρετήριο Πινάκων .....	xi
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
1.1 Δομή Εργασίας.....	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή .....	2
1.3 Στόχοι και Κίνητρα Εργασίας.....	4
1.3.1 Στόχοι.....	4
1.3.2 Κίνητρα.....	4
<b>Κεφάλαιο 2: Γενιές Κινητής Τηλεφωνίας .....</b>	<b>5</b>
2.1 Εισαγωγή στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα κινητών επικοινωνιών .....	5
2.2 Πρώτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας .....	7
2.2.1 Πρότυπο <i>IMTS</i> .....	7
2.2.2 Το πρότυπο <i>AMPS</i> .....	8
2.2.3 Λειτουργία κυψελοειδούς (αναλογικού) συστήματος.....	10
2.2.4 Χαρακτηριστικά Κυψελωτού συστήματος .....	12
2.2.3 Δίκτυα μεταγωγής .....	16
2.3 Δεύτερη Γενιά κινητής τηλεφωνίας.....	17
2.3.1 Εισαγωγή στα ψηφιακά δίκτυα .....	17
2.3.2 <i>PDC / NADC (Personal Digital Cellular / North America Digital Cellular)</i> .....	18
2.3.3 Εισαγωγικά <i>GSM</i> μοντέλου .....	19
2.3.4 Τεχνικές πολυπλεξίας.....	21
2.3.5 <i>WCDMA</i> .....	24
2.4 Γενιά 2.5G.....	25
2.4.1 Τεχνολογίες 2.5G.....	26
2.5 Τρίτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας (3G).....	27
2.5.1 Κύρια χαρακτηριστικά 3G συστημάτων.....	28
2.6 Τέταρτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας (4G) .....	30
2.6.1 Πρότυπα 4G.....	30
<b>Κεφάλαιο 3: Το πρότυπο GSM .....</b>	<b>34</b>
3.1 Θεωρητική εισαγωγή για το GSM .....	34
3.1.1 Υπηρεσίες του <i>GSM</i> .....	34
3.2 Αρχιτεκτονική του <i>GSM</i> .....	35
3.2.1 Κινητός σταθμός <i>MS</i> .....	36
3.2.2 Το υποσύστημα Σταθμών Βάσης <i>BSS</i> .....	36
3.2.3 Το υποσύστημα Μεταγωγής δικτύου – <i>Network Switching Sub-System</i> .....	38
3.2.4 Το Υποσύστημα Λειτουργίας και Συντήρησης – <i>Operation and Maintenance Subsystem (OMSS)</i> .....	40
3.2.5 Οι Διεπαφές και τα Πρωτόκολλα του <i>GSM</i> .....	41
3.2 Συχνότητες λειτουργίας <i>GSM</i> .....	42
3.2.1 <i>GSM 900</i> .....	42



3.2.2 GSM 1800 .....	42
3.2.3 GSM 1900 .....	43
3.2.4 E-GSM • Extended-GSM 900.....	43
3.3 Σημεία για σχεδίαση ενός δικτύου GSM .....	43
3.4 Χωρητικότητα Δικτύων GSM.....	44
3.4 Εγκαθίδρυση μίας τηλεφωνικής κλήσης.....	46
<b>Κεφάλαιο 4: Διεθνή στάνταρ έκθεσης ακτινοβολίας στον άνθρωπο .....</b>	<b>48</b>
4.1 Ιοντίζουσα- Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.....	48
4.2 Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία που προέρχεται από κινητά .....	49
τηλέφωνα και σταθμούς βάσης.....	49
4.2.1 Σταθμοί βάσης .....	50
4.2.2 Φορητές συσκευές κινητών τηλεφώνων.....	50
4.2.3 Όρια έκθεσης ακτινοβολίας .....	50
4.2.4 Επιπτώσεις κινητής τηλεφωνίας στον .....	53
ανθρώπινο οργανισμό.....	53
<b>Κεφάλαιο 5: Απομακρυσμένη Επικοινωνία Οργάνων Μέτρησης .....</b>	<b>54</b>
5.1 Κοινές εντολές .....	55
5.2 Ειδικές εντολές-οργάνου.....	56
5.2.1 Ρύθμιση του οριζόντιου άξονα.....	56
5.2.2 Ρύθμιση του κατακόρυφου άξονα.....	58
5.2.3 Ρύθμιση του εύρους ζώνης .....	60
5.2.4 Ρύθμιση πραγματοποίησης μετρήσεων .....	61
5.2.5 Χρήση ιχνών.....	63
5.2.6 Χρησιμοποίηση δεικτών.....	65
<b>Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση Εφαρμογής.....</b>	<b>69</b>
<b>Κεφάλαιο 7: Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, Αποτελέσματα .....</b>	<b>74</b>
7.1 Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας EGSM 900 .....	74
7.2 Αποτελέσματα E-GSM 900 .....	77
7.3 Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας GSM 1800.....	78
7.4 Αποτελέσματα GSM 1800 .....	80
<b>Κεφάλαιο 8: Κώδικας που υλοποιήθηκε για την εφαρμογή .....</b>	<b>82</b>
8.1 Κώδικας σύνδεσης, παραμετροποίησης με το όργανο και λήψης ίχνους.....	82
8.2 Κώδικας ανάλυσης υφισταμένων μετρήσεων.....	100
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>111</b>
<b>Παράρτημα Α Παρουσίαση Πτυχιακής Εργασίας (Διαφάνειες) .....</b>	<b>114</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΠΡΩΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ .....	2
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ ΔΕΚ. 90 .....	3
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΝΟΚΙΑ 6680 (3G TECH.) .....	3
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΓΕΝΙΩΝ ΒΑΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ & ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	5
ΕΙΚΟΝΑ 5: AMPS ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 6: MTSO-BTS .....	9
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	11
ΕΙΚΟΝΑ 8: HALF & FULL DUPLEX .....	11
ΕΙΚΟΝΑ 9: MOBILE SWITCHING CENTER.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 10: HOME AND VISITING REGISTERS.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΚΥΨΕΛΕΣ .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ(ΚΟΚΚΙΝΟ) & ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (ΜΠΛΕ) ΚΥΨΕΛΗ .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ 2ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ .....	17
ΕΙΚΟΝΑ 15: GSM LOGO .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ.....	22
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ WCDMA .....	24
ΕΙΚΟΝΑ 18: GSM TO 3G .....	25
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ GPRS.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΚΙΝΗΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ 4G WIMAX Η LTE .....	31
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ GSM .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 22: BSS- BTS- BSC .....	37
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 24: ERLANG CHANNELS/GOS .....	46
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΛΗΣΗΣ .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 26: NON-IONIZING/ΙΟΝΙΖΙΝΓ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΕ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑΣ .....	52
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΚΕΦΑΛΙΔΕΣ SCPI .....	54
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΔΙΕΠΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΤΟ GUIDE .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 33: ΌΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E-GSM ΠΟΛΩΣΗ Χ .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΌΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ E-GSM ΠΟΛΩΣΗ Ζ .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΜΕΤΡΗΣΗ E-GSM 900 ΓΙΑ ΠΟΛΩΣΗ Χ .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΜΕΤΡΗΣΗ E-GSM 900 ΓΙΑ ΠΟΛΩΣΗ Υ .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΜΕΤΡΗΣΗ E-GSM 900 ΓΙΑ ΠΟΛΩΣΗ Υ .....	76
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΟΗΣ ΑΝΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ GSM 900.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΕΦΑΡΜΟΓΗ, ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ E-GSM .....	77
ΕΙΚΟΝΑ 40: ΌΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ DCS 1800.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 41: ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΟΗΣ ΑΝΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ GSM 1800 .....	80
ΕΙΚΟΝΑ 42: ΕΦΑΡΜΟΓΗ, ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ GSM 1800 .....	81

## *Ευρετήριο Πινάκων*

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ GSM .....	6
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ .....	24
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: GSM ΟΝΤΟΤΗΤΕΣ .....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΓΕΝΙΚΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΌΡΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ 300 ΜΕΤΡΩΝ.....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΧΩΡΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ E-GSM 900 .....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GSM 1800 .....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	113



## ***Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή***

### **1.1 Δομή Εργασίας**

Στο Πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και παρουσιάζονται οι στόχοι και τα κίνητρα που μας ώθησαν στην πραγματοποίηση της εν λόγω εργασίας.

Στο Δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία γενική επισκόπηση στις γενιές κινητής τηλεφωνίας, από το αναλογικό σήμα όπου η χρήση του έχει ξεπεραστεί μέχρι και την 4<sup>η</sup> γενιά (4G) που σήμερα είναι ένα από τα πιο αναπτυσσόμενα πρότυπα και θεωρείται το μέλλον της επίγειας κινητής επικοινωνίας.

Στο Τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το ευρέως διαδεδομένο σύστημα GSM. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια πλήρης ανάλυση όσον αφορά την αρχιτεκτονική του GSM, τα δομικά χαρακτηριστικά του και τις λειτουργίες του, τις συχνότητες λειτουργίας του, τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί και γίνεται επίσης και ανάλυση της χωρητικότητας του από άποψη χρηστών. Τέλος γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης των σημαντικών σημείων για την υλοποίηση ενός δικτύου GSM.

Στο Τέταρτο κεφάλαιο επισημαίνονται οι επιπτώσεις στην χρήση κινητών και άρα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην υγεία του ανθρώπου οι οποίες μπορεί να προέρχονται από το σταθμό βάσης ή από το κινητό σταθμό. Επίσης αναφέρονται τα διεθνή στάνταρ έκθεσης ακτινοβολίας ώστε να υπάρχει μία αντίληψη για το πειραματικό μέρος αυτής της εργασίας.

Στο Πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται το πρότυπο επικοινωνίας SCPI (Standard Commands For Programming Instruments) το οποίο μας ήταν αναγκαίο στην υλοποίηση της εφαρμογής.

Στο Έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν με το λογισμικό που αναπτύχθηκε.

Τέλος στο Έβδομο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του σχετικού κώδικα που αναπτύχθηκε για την δημιουργία της εν λόγω εφαρμογής.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Σήμερα κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, το κινητό τηλέφωνο κατέστη κάτι το συνηθισμένο. Θεωρούμε δεδομένο ότι μπορούμε να καλέσουμε οποιονδήποτε, οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Η αρένα της τεχνολογίας έχει επίσης προχωρήσει από τη φωνητική επικοινωνία σε ασύρματη επικοινωνία. Ωστόσο, η κυψελοειδής επανάσταση είναι κάτω των 20 ετών, και ολόκληρη η ιστορία της “κινητής ραδιοεπικοινωνίας” είναι μόλις 100 ετών. Στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα, η ενσύρματη τηλεγραφία και τηλεφωνία άλλαξαν τη φύση της επικοινωνίας. Μέσα σε λίγα χρόνια, η κυκλοφορία των πληροφοριών είχε ξεφύγει τόσο πολύ που μπορούμε να πούμε ότι η διαφορά είναι ίσως όσο η ταχύτητα του ανθρώπου σε σχέση με αυτή του φωτός. Στη συνέχεια, στον 20ο αιώνα, μια δεύτερη επανάσταση έλαβε χώρα, όπως όταν το ραδιόφωνο απελευθερώθηκε από τον περιορισμό του σύρματος.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1860, ο Σκωτσέζος μαθηματικός James Clerk Maxwell παρήγαγε ένα ζευγάρι εξισώσεων των οποίων η λύση προβλέπει ότι ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Χρειάστηκαν 20 χρόνια για να επαληθευθεί αυτή η πρόβλεψη στο εργαστήριο, και άλλα 20 χρόνια για την πρώτη “κινητή επικοινωνία” να λάβει χώρα. Τον Σεπτέμβριο του 1899, ο Guglielmo Marconi μπαίνει στην εποχή της πρακτικής κινητής ραδιοεπικοινωνίας με ιστορικές ραδιοφωνικές μεταδόσεις τηλεγραφημάτων του από ένα πλοίο σε λιμάνι της Νέας Υόρκης. Μέσα σε ένα χρόνο, ο Marconi είχε προσθέσει το φίλτράρισμα για τη δημιουργία διαχώρισης καναλιών, και έτσι να επιτρέπονται πολλαπλές



**Εικόνα 1: Πρώτο Ασύρματο Τηλέφωνο**

ταυτόχρονες μεταδόσεις στην ίδια περιοχή. Η δυνατότητα προσφοράς υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας σε μεγάλες πληθυσμιακές μάζες συνειδητοποιήθηκε μόλις στις δεκαετίες του 60 και του 70 όταν ερευνητές στα Bell Laboratories ανέπτυξαν τις αρχές λειτουργίας της κυψελωτής επικοινωνίας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1970, επετεύχθη η κατασκευή φθηνού ραδιοκυματικού εξοπλισμού μικρού μεγέθους και υψηλής αξιοπιστίας προετοιμάζοντας το έδαφος για την έλευση της εποχής της κινητής τηλεφωνίας.

Το πρώτο αυτόματο κινητό κατασκευάστηκε από την εταιρία Ericson το 1956 και ονομάστηκε MTA (Mobile Telephone system A). Ήταν η πρώτη συσκευή που δεν χρειαζόταν χειροκίνητη εγκατάσταση αλλά είχε μειονέκτημα ότι ζύγιζε 40 κιλά (90lb.). Όλα όμως τα κινητά εκείνης της εποχής χρειαζόντουσαν και κάποια μονάδα για τη λειτουργία τους με αποτέλεσμα να μην ήταν εύκολη η μεταφορά τους.

Έτσι στις 3 Απριλίου 1973 ένας υπάλληλος της Motorola ο Dr. Martin Cooper ανακάλυψε το πρώτο πλήρες ασύρματο τηλέφωνο. Μάλιστα κάλεσε από το ίδιο τηλέφωνο τον ανταγωνιστή του Τζόελ Ένγκελ που εργαζόταν για λογαριασμό των εργαστηρίων Bell, για να του ανακοινώσει την ανακάλυψή του. Το μοντέλο του τηλεφώνου αυτού ήταν το Motorola DynaTAC το οποίο είχε μήκος 25 εκατοστά και ζύγιζε 900 γραμμάρια. Ένα από τα πρώτα πλήρη επιτυχημένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ήταν το ARP που δημιουργήθηκε στη Φιλανδία. Το πρώτο κινητό που έλαβε άδεια έγκρισης ήταν το μοντέλο της Motorola DynaTAC8000X. Υπήρξε η ναυαρχίδα των λεγόμενων κινητών πρώτης γενιάς (1G).

Στις αρχές της δεκαετίας του 90 περάσαμε στην ψηφιοποίηση των δικτύων και στα κινητά 2ης γενιάς (2G). Τα κινητά αυτά ήταν πολύ πιο μικρά σε μέγεθος σε σχέση με τους προγόνους τους καθώς χωρούσαν σε τσέπη και επίσης παρείχαν στους



χρήστες πολύ περισσότερες λειτουργίες όπως η γραπτή αποστολή μηνυμάτων. Εκείνη την εποχή αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές εταιρείες ενδιαφέρθηκαν και εισήλθαν στη βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας καθώς αυτός ο τομέας της τεχνολογίας είχε ολοένα και περισσότερη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό.

**Εικόνα 2: Κινητά Τηλέφωνα δεκ. 90**

Στις αρχές του 2000 άρχισε και η προώθηση στην αγορά τα κινητά 3ης γενιάς (3G) τα οποία έχουν απεριόριστες δυνατότητες τις οποίες θα δούμε παρακάτω.



Ένα από τα πρώτα κινητά τηλέφωνα τα οποία δημιουργήθηκαν υποστηρίζοντας την τεχνολογία τρίτης γενιάς είναι το Nokia 6680 που φαίνεται στην εικόνα.

**Εικόνα 3: Nokia 6680 (3G tech.)**

## 1.3 Στόχοι και Κίνητρα Εργασίας

### 1.3.1 Στόχοι

Όσο αφορά το θεωρητικό κομμάτι, στόχος είναι να παρουσιαστούν με εύκολο και κατανοητό τρόπο στο ευρύ κοινό θέματα τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, οι γενιές κινητής επικοινωνίας καθώς και οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου λόγω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των σταθμών βάσης αλλά και των κινητών.

Στο ερευνητικό κομμάτι στόχοι είναι η μέτρηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σταθμών βάσης, η εξαγωγή αποτελεσμάτων σε σχέση με τα διεθνή στάνταρ καθώς και η δημιουργία προγράμματος με το λογισμικό matlab, το οποίο θα δέχεται τα δεδομένα ενός φορητού αναλυτή φάσματος τα οποία θα τυγχάνουν περαιτέρω ανάλυσης.

### 1.3.2 Κίνητρα

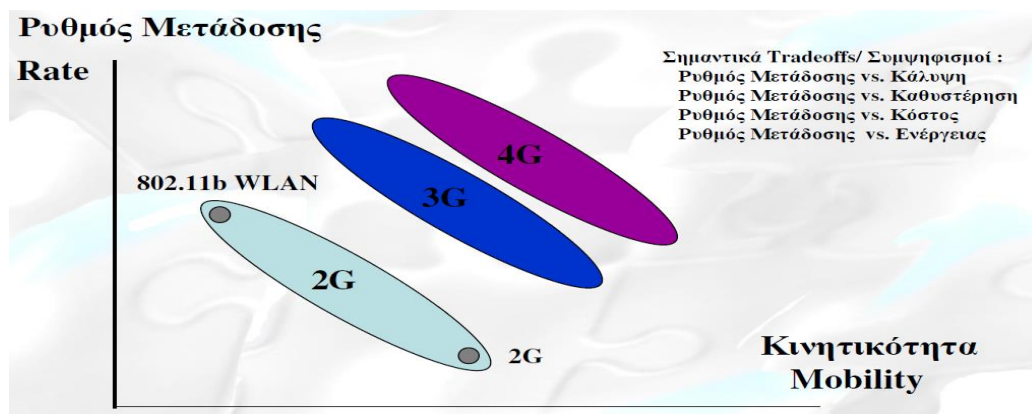
Κίνητρο υπήρξε η γενικότερη αγάπη προς τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα καθώς και η ανάγκη βαθύτερης ανάλυσης του συστήματος GSM που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα και συνεχώς εξελίσσεται. Τέλος η δημιουργία ενός λογισμικού σε περιβάλλον Matlab το οποίο θα έχει ως σκοπό την πλήρη παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών του αναλυτή προς λήψη ίχνους φάσματος αλλά και η διαδικασία ανάλυσης των αποτελεσμάτων αυτών υπήρξε ένα επιπλέον κίνητρο λόγω του ενδιαφέροντος μου για περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων.



## Κεφάλαιο 2: Γενιές Κινητής Τηλεφωνίας

### 2.1 Εισαγωγή στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα κινητών επικοινωνιών

Το 1982 το GSM αποτέλεσε την Ευρωπαϊκή πρόταση για την μετάβαση από τα αναλογικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών 1ης γενιάς (1G) σε ένα ψηφιακό δίκτυο 2ης γενιάς (2G), το οποίο θα παρείχε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ανάλογες των ISDN/PSTN δικτύων. Συνεπώς, το GSM σύστημα δημιουργήθηκε για να προσφέρει υπηρεσίες φωνής και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και εύλογα υιοθέτησε την λογική μεταγωγής κυκλώματος (circuit switching). Η προσφορά υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης προϋποθέτει μια προσέγγιση μεταγωγής πακέτου (packet switching), η οποία δεν υιοθετήθηκε από το GSM και αυτό αποτέλεσε την αφετηρία των αλλαγών που αργότερα οδήγησαν στα δίκτυα 3ης γενιάς, όπως το UMTS.



Εικόνα 4: Αποδοτικότητα γενιών βάση ταχύτητας & κινητικότητας

Αυτή τη στιγμή το GSM αποτελεί το πλέον δημοφιλές δίκτυο κινητών επικοινωνιών και μάλιστα η εισαγωγή των μεταγενέστερων δικτύων κινητών επικοινωνιών 2.5G-GPRS / 3G UMTS στηρίζεται εν πολλοίς στην υποδομή και τη φιλοσοφία του. Υπό αυτή την έννοια η κατανόηση των αρχών λειτουργίας των GSM δικτύων έχει μια ιδιαίτερη αξία, διότι αφενός μεν θα συνεχίζουν να είναι λειτουργικά δίκτυα για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα και αφετέρου δε διότι η εισαγωγή των 3G δικτύων αναβαθμίζει αλλά δεν αναιρεί σημαντικές πτυχές του τρόπου λειτουργίας των GSM δικτύων.

Παρακάτω παραθέτονται κάποια από τα σημαντικά γεγονότα όσο αφορά την δημιουργία και εξέλιξη του GSM.

ΧΡΟΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
1982	Δημιουργήθηκε από την CEPT η επιτροπή Group Special Mobile
1985	Επιτυγχάνεται συμφωνία Γερμανών-Γάλλων με σκοπό την υποστήριξη του GSM συστήματος. Οι Ευρωπαίοι κατορθώνουν να ξεπεράσουν τις διαφορές τους και ευνοείται έτσι η ανάπτυξη ενός ενοποιημένου πανευρωπαϊκού ψηφιακού κυψελωτού συστήματος.
1986	Δημιουργείται πυρήνας GSM στο Παρίσι.
1986	Ακολουθεί συνάντηση στο Λονδίνο το Δεκέμβριο, όπου απαιτήθηκε δέσμευση των διαχειριστών. Το Ευρωπαϊκό συμβούλιο πρότεινε έναν τρόπο χρησιμοποίησης του φάσματος.
1987	Ολοκληρώθηκαν κάποια πειράματα στο Παρίσι τον Φεβρουάριο και ακολουθεί απόφαση να διεξαχθούν ακόμα κάποια δοκιμαστικά σε ότι αφορούσε την χρησιμοποίηση του φάσματος, την ποιότητα της φωνής και το μέσο μετάδοσης όλων των προτεινόμενων συστημάτων. Όλα τα συστήματα ελέγχθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Σε μια συνδιάσκεψη που έγινε στη Μαδρίτη το Φεβρουάριο αποφασίστηκε ότι το σύστημα θα ήταν ψηφιακό, στενού εύρους ζώνης, χρησιμοποιώντας τεχνική TDMA και κωδικοποιητές φωνής. Διεξάχθηκε μια συνάντηση συντελεστών στη Βόννη στις 3 Μαΐου. Το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία, η Γαλλία και η Ιταλία συμφώνησαν στη Βόννη, στις 19 Μαΐου πάνω στα τυπικά και ζήτησαν από τους διαχειριστές να υπογράψουν ένα υπόμνημα κατανόησης (Memorandum of Understanding). Στην Κοπεγχάγη, στις 7 Σεπτεμβρίου οι διαχειριστές υπέγραψαν το παραπάνω υπόμνημα, συμφωνώντας στις διαδικασίες και στα προγράμματα για την απόκτηση, το στήσιμο και τη δοκιμή των συστημάτων.
1988	Χρηματικές προσφορές έγιναν από τα κράτη-μέλη του GSM τον Μάρτιο.
1989	Πρωτότυπα συστήματα τέθηκαν σε εφαρμογή.
1991	Το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Γερμανία και η Ιταλία εισήγαγαν τις ψηφιακές κυψελωτές υπηρεσίες.
1992	Η Motorola ξεκίνησε το πρώτο εμπορικό GSM σύστημα.
1993	Συμβούλιο έγινε στη Φινλανδία με σκοπό να εξετάσει το GSM σύστημα σε σχέση με το UTM/PLMT. Δόθηκε στο GSM σύστημα η ονομασία "Global System for Mobile Communications"

Πίνακας 1: Σημαντικά Γεγονότα GSM

## 2.2 Πρώτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας

Οι τεχνολογίες της επικοινωνίας, εισβάλουν όλο και περισσότερο στην προσωπική, επαγγελματική και οικογενειακή μας ζωή με αποτέλεσμα στις μέρες μας η καθημερινή ζωή μας να πλαισιώνεται από τουλάχιστον ένα κινητό τηλέφωνο. Είναι αποδεδειγμένο πλέον πως το κινητό τηλέφωνο αποτελεί από τα σημαντικότερα στοιχεία της ζωής μας, και το δέσιμο μας πια μαζί του είναι αναπόσπαστο. Η βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσεται με ταχύς ρυθμούς με αποτέλεσμα να παρασύρουν το καταναλωτικό κοινό στο να αγοράζει το ολοένα μικρότερο, κομψότερο και με πιο πολλές λειτουργίες κινητό.

Έρευνα που έγινε κατά το έτος 2005 από το ίδρυμα Λαμπράκη, το Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Εργαστήριο Ελεύθερων Σπουδών Στελεχών Επιχειρήσεων Alba και την εταιρία Leo Burnett, έδειξε πως η νέα γενιά χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο σε βαθμό εξάρτησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τάση αυτή δεν είναι πλέον αναστρέψιμη, δεδομένου ότι η «ασύρματη γενιά» χρησιμοποιεί, σε καθημερινή βάση, κινητά τηλέφωνα σε ποσοστό 99% στις ηλικίες 18-22 ετών και σε 74% στις ηλικίες 12-14 ετών.

Έτσι, το κινητό διαμορφώνει πλέον μία νέα κουλτούρα, παρουσιάζει μία νέα γλώσσα, αποτελεί ένα νέο μέσον κοινωνικοποίησης των χρηστών του. Το πέρασμα από τα αναλογικά στα ψηφιακά δίκτυα και τώρα η εμφάνιση των λεγόμενων δικτύων 3ης γενιάς, και της 4ης αργότερα, σηματοδοτούν μια εποχή νέα και συνάμα αρκετά φιλόδοξη, που όμοια της ίσως δεν έχει γνωρίσει η ανθρωπότητα, στον τομέα της τηλεπικοινωνίας.

### 2.2.1 Πρότυπο IMTS

Την δεκαετία του 1960 ακολούθησε η εγκατάσταση του Βελτιωμένου Συστήματος Κινητής Τηλεφωνίας γνωστού ως IMTS (Improved Mobile Telephone System) το οποίο χρησιμοποιούσε έναν πομπό υψηλής ισχύος (200 watt) στην κορυφή ενός λόφου. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σύστημα, είχε δύο συχνότητες, μία για αποστολή και μία για λήψη, έτσι δε χρειαζόταν πια το πλήκτρο “push to talk” επειδή όλες οι εισερχόμενες επικοινωνίες από τα κινητά χρησιμοποιούσαν διαφορετικό κανάλι από τα εξερχόμενα σήματα, οι κινητοί χρήστες δεν μπορούσαν να ακούν ο ένας τον άλλον.

Το IMTS υποστήριζε 23 κανάλια, τα οποία εκτείνονταν από τα 150 MHz έως τα 450 MHz. Λόγω του μικρού πλήθους καναλιών, οι χρήστες έπρεπε συχνά να περιμένουν πολλή ώρα πριν ακούσουν τον τόνο επιλογής κλήσης. Επιπλέον, λόγω της υψηλής ισχύος του πομπού στην κορυφή του λόφου, τυχόν γειτονικά συστήματα θα έπρεπε να βρίσκονται αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά το ένα από το άλλο, ώστε

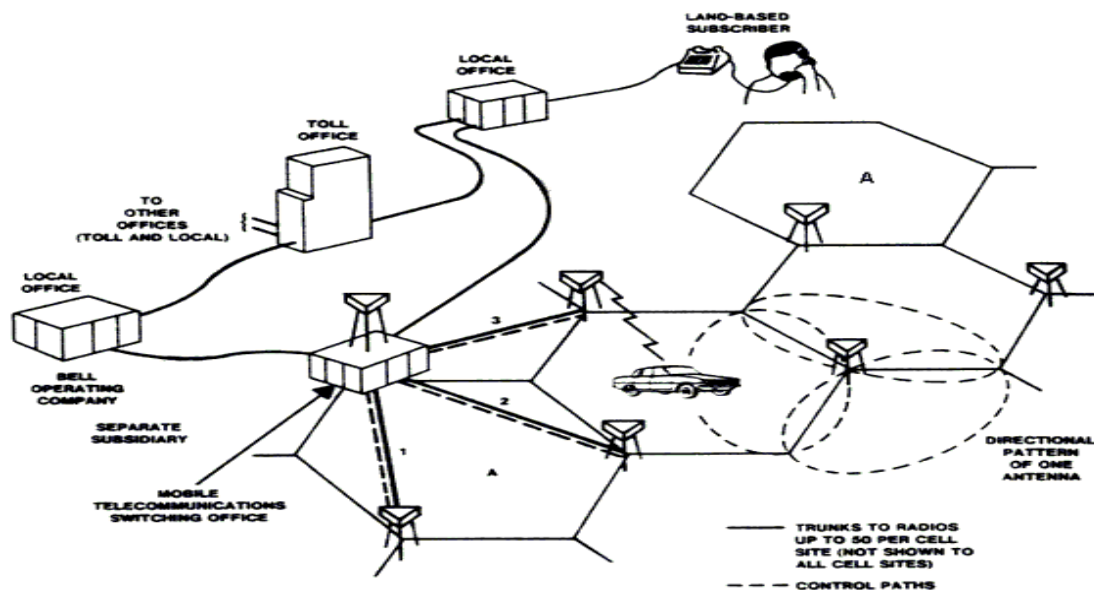
να αποφεύγονται οι παρεμβολές. Γενικά, η περιορισμένη χωρητικότητα έκανε το σύστημα μη πρακτικό.

### 2.2.2 Το πρότυπο AMPS

Το προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας Advanced Mobile Phone System (AMPS) είναι το πρότυπο αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε από τα εργαστήρια Bell, και που εισήχθη επίσημα στην Αμερική το 1983. Ήταν το αρχικό αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας στη Βόρεια Αμερική από τη δεκαετία του '80 μέχρι και το 2000, και η χρήση έχει μειωθεί αρκετά με την εισαγωγή των διάφορων ψηφιακών προτύπων.

Το AMPS είναι μια πρώτης γενιάς κυψελοειδής τεχνολογία που χρησιμοποιεί ξεχωριστές συχνότητες, ή "κανάλια", για κάθε συνομιλία. Επομένως απαιτεί ιδιαίτερο εύρος ζώνης για έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Γενικά, το AMPS είναι παρόμοιο με την παλαιότερη Βελτιωμένη Υπηρεσία Κινητής τηλεφωνίας "0G", αλλά χρησιμοποιεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ προκειμένου να επιλεγθούν οι συχνότητες, να περάσει τις συνομιλίες στις γραμμές του PSTN, και να χειριστεί την οργάνωση τιμολόγησης και κλήσης.

Στο AMPS, τα κέντρα κυψελών μπορούν με άνεση να ορίσουν τα κανάλια στα τηλέφωνα βασισμένα στην ισχύ σήματος, που επιτρέπει στην ίδια συχνότητα να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορες θέσεις χωρίς παρέμβαση. Αυτό επέτρεψε σε έναν μεγαλύτερο αριθμό τηλεφώνων να υποστηριχθεί σε μια γεωγραφική περιοχή. Οι πρωτοπόροι του AMPS υιοθέτησαν τον όρο "κυψελοειδής" λόγω της χρήσης μικρών εξαγωνικών "κυψελών" μέσα σε ένα σύστημα. Στην εικόνα 4 φαίνεται μία άποψη της κυψελοειδής αρχιτεκτονικής του προτύπου AMPS.

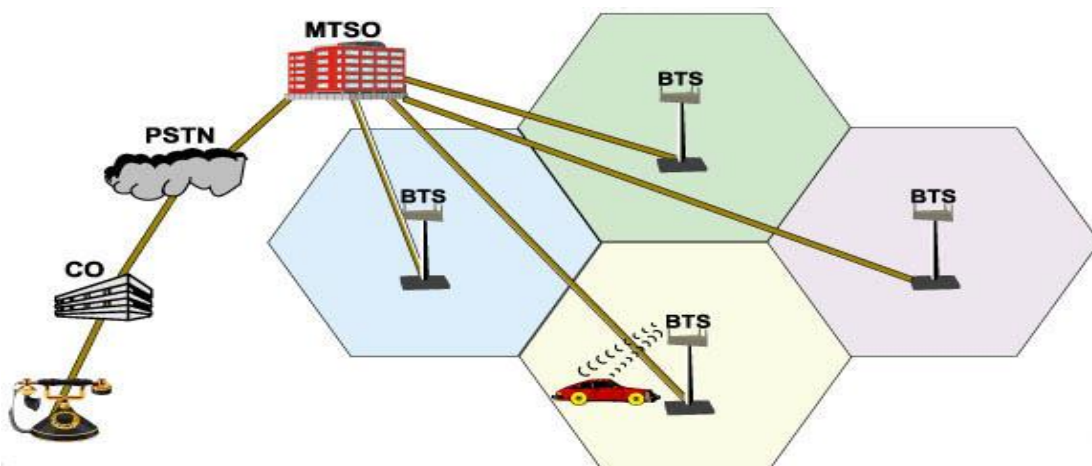


Εικόνα 5: AMPS Αρχιτεκτονική

Εμφάνιζε αδυναμίες όταν συγκρινόταν με τις σημερινές ψηφιακές τεχνολογίες. Δεδομένου ότι είναι αναλογικό πρότυπο, είναι πολύ ευαίσθητο στο θόρυβο και δεν έχει καμία προστασία από το να υποκλέψει κάποιος χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή. Στη δεκαετία του '90, η "αντιγραφή" ήταν μια επιδημία που κόστισε εκατομμύρια δολάρια στις βιομηχανίες. Ένας αδίστακτος "πειρατής" με εξειδικευμένο εξοπλισμό μπορεί να υποκλέψει τον Ηλεκτρονικό Σειριακό Αριθμό (ESN) ενός τηλεφώνου. Το ESN είναι ένα πακέτο στοιχείων που στέλνεται από το μικροτηλέφωνο στο κυψελοειδές σύστημα για λόγους τιμολόγησης. Το σύστημα επιτρέπει έπειτα ή απαγορεύει τις κλήσεις και/ ή τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα βασισμένο στο αρχείο του πελάτη του. Εάν ένα ESN υποκλέπτεται, θα μπορούσε έπειτα να αντιγραφεί σε ένα διαφορετικό τηλέφωνο και να χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιοχές για την πραγματοποίηση κλήσεων χωρίς πληρωμή.

Το AMPS πλέον έχει αντικατασταθεί από τα νεότερα ψηφιακά πρότυπα, όπως ψηφιακά AMPS το GSM, και CDMA2000 που προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια και αυξημένες δυνατότητες. Η κυψελοειδής υπηρεσία AMPS λειτουργεί στην κυψελοειδή ζώνη των 800 MHz. Το σύστημα AMPS χρησιμοποιεί 832 πλήρως αμφίδρομα κανάλια, με κάθε κανάλι να αποτελείται από ένα ζεύγος μονόδρομων καναλιών. Τα 416 κανάλια βρίσκονται στο εύρος από τα 824 έως τα 849 MHz για μετάδοση από τους φορητούς σταθμούς στις βάσεις και 416 κανάλια στο εύρος από τα 869 έως τα 894 MHz για μεταδόσεις από τις βάσεις στους κινητούς σταθμούς. Το καθένα από αυτά τα μονόδρομα κανάλια έχει εύρος 30 kHz. Έτσι, το AMPS χρησιμοποιεί Frequency Division Multiplex για το διαχωρισμό των καναλιών.

Όταν ο σταθμός βάσης αντιληφθεί νέο συνδρομητή, ενημερώνει το MTSO, το οποίο καταγράφει την ύπαρξη του νέου του πελάτη και ενημερώνει επίσης τον οικείο MTSO του πελάτη για την τρέχουσα θέση του. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του, το κινητό τηλέφωνο επανεγγράφεται στην κυψέλη κάθε 15 λεπτά περίπου.



Εικόνα 6: MTSO-BTS

Για να κάνει μια κλήση, ο κινητός χρήστης ανοίγει το τηλέφωνο του, γράφει με το πληκτρολόγιο του τηλεφώνου τον αριθμό που θα κληθεί, και πατά το πλήκτρο ΑΠΟΣΤΟΛΗ (SENT). Το τηλέφωνο μεταδίδει τότε στο κανάλι πρόσβασης (access channel) τον καλούμενο αριθμό μαζί με την ταυτότητα του. Αν συμβεί εκεί μια διένεξη, το τηλέφωνο προσπαθεί ξανά αργότερα.

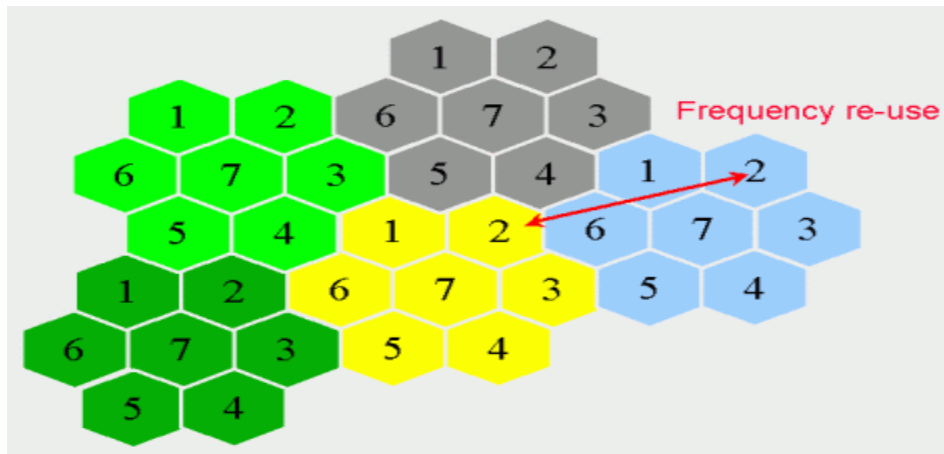
Όταν ο σταθμός βάσης λάβει την αίτηση, ενημερώνει το MTSO. Αν ο καλών είναι πελάτης της εταιρείας του MTSO (ή μιας συνεργαζόμενης εταιρείας), το MTSO αναζητεί ένα αδρανές κανάλι για την κλήση. Αν βρεθεί κανάλι, ο αριθμός του καναλιού επιστρέφεται στο τηλέφωνο μέσω του καναλιού ελέγχου. Το κινητό τηλέφωνο περνά στη συνέχεια στο επιλεγμένο κανάλι φωνής και περιμένει μέχρι ο καλούμενος συνδρομητής να σηκώσει το τηλέφωνο.

### 2.2.3 Λειτουργία κυψελοειδούς (αναλογικού) συστήματος

Βασική ιδέα λειτουργίας των δικτύων πρώτης γενιάς είναι η διαίρεση τμημάτων σε μικρά κομμάτια με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας για τον λόγο που γίνεται κατανοητός παρακάτω. Στο κυψελοειδές σύστημα η περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο ονομάζεται κυψέλη. Ένα κελί αντιστοιχεί στην περιοχή που μπορεί να καλύψει ένας πομπός (ή μια μικρή ομάδα από πομπούς). Το μέγεθος ενός κελιού καθορίζεται από την ισχύ μετάδοσης του πομπού και από την ευαισθησία λήψης του δέκτη. Μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής σημαίνει μεγαλύτερη κυψέλη και αντίστροφα.

Το κυψελοειδές σύστημα βασίζεται στη χρήση πομπών σε κάθε κελί ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων συχνοτήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πομποί που βρίσκονται στα κελιά είναι χαμηλής ισχύος με αποτέλεσμα το σήμα να μην μπορεί να διαδοθεί μακριά. Έτσι μια συχνότητα που χρησιμοποιείται σε ένα κελί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ένα άλλο κελί.

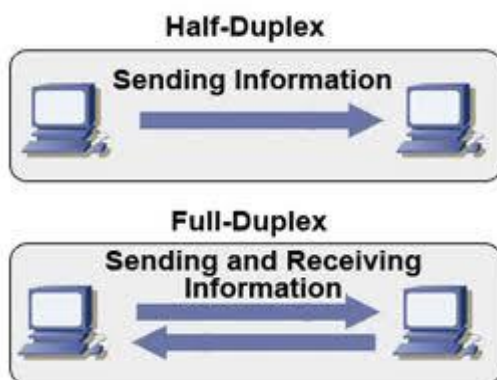
Η λειτουργία **frequency - reuse** χρησιμοποιείται από όλα τα σύγχρονα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Σύμφωνα με την ιδιότητα αυτή, οι συχνότητες που παραχωρούνται σε κάθε δίκτυο κατανέμονται κατάλληλα σε μια ομάδα από κυψέλες και στη συνέχεια, η κατανομή αυτή επαναλαμβάνεται σε ολόκληρη την περιοχή κάλυψης του δικτύου όπως φαίνεται παρακάτω με τα νούμερα των κελιών να χρησιμοποιούνται ξανά και ξανά στις επόμενες κυψέλες.



Εικόνα 7: Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας

Το σύστημα αυτό απαιτεί αρκετούς σταθμούς βάσης και αρκετούς πύργους εκπομπής με αποτέλεσμα να είναι όλη η διαδικασία δαπανηρή. Αλλά αν υπολογίσουμε τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας τότε το κόστος από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας για την εγκατάσταση των παραπάνω είναι ελάχιστο σε σχέση με τα κέρδη από το καταναλωτικό πλήθος.

Εικόνα 8: Half & Full Duplex



Παλαιότερα πριν την ανακάλυψη των κινητών τηλεφώνων υπήρχαν τα ραδιοτηλέφωνα τα οποία συνήθως ήταν εγκατεστημένα σε αυτοκίνητα. Για τη λειτουργία των ραδιοτηλεφώνων σε κάθε πόλη υπήρχε ένας κεντρικός πύργος κεραίας και κάπου στα 25 κανάλια διαθέσιμα στον πύργο αυτό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πολλές φορές να μην υπάρχει διαθέσιμο κανάλι και επιπλέον το αυτοκίνητο χρειαζόταν ένα πολύ ισχυρό πομπό εμβέλειας 70 χιλιομέτρων τουλάχιστον.

Τα ραδιοτηλέφωνα όπως και τα walkie talkie είναι ημιδιμερείς συσκευές (half duplex), δηλαδή χρειάζεται μία συχνότητα για να υπάρξει επικοινωνία. Το μειονέκτημα είναι ότι με τη μία συχνότητα ο χρήστης δεν είναι σε θέση και να μιλάει και να ακούει ταυτόχρονα.

Τα κινητά τηλέφωνα είναι πλήρως διμερείς συσκευές (full duplex) με αποτέλεσμα να χρειάζονται 2 συχνότητες για την επικοινωνία. Η μία συχνότητα είναι για να μιλάς και η άλλη για να ακούς. Άρα κατά την επικοινωνία ο χρήστης μπορεί να μιλάει και να ακούει ταυτόχρονα.

Η αύξηση του πλήθους που χρησιμοποιούσε κινητά τηλέφωνα καθώς και οι φτωχές υπηρεσίες που παρείχαν τα κινητά τηλέφωνα στους πελάτες τους, οδήγησαν στην είσοδο των ψηφιακών δικτύων κινητής τηλεφωνίας (2G).

Παρακάτω βλέπουμε τα μειονεκτήματα των αναλογικών δικτύων που ήταν οι βασικοί λόγοι για την μετάβαση στα ψηφιακά δίκτυα:

- Φτωχή παροχή υπηρεσιών – Υπηρεσία φωνής και αυτή με ιδιαίτερα προβλήματα όπως τη διακοπή συνομιλιών όταν ο χρήστης μετέβαινε από το χώρο κάλυψης μίας κυψέλης σε άλλο χώρο.
- Μικρή χωρητικότητα – Περιορισμένος αριθμός συνδρομητών.
- Μη παροχή ασφάλειας – Οι κλήσεις μπορούσαν να παρακολουθηθούν από άλλους με όχι ιδιαίτερα εξειδικευμένους εξοπλισμούς.
- Θόρυβος.
- Το αναλογικό σήμα απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ.

#### *2.2.4 Χαρακτηριστικά Κυψελωτού συστήματος*

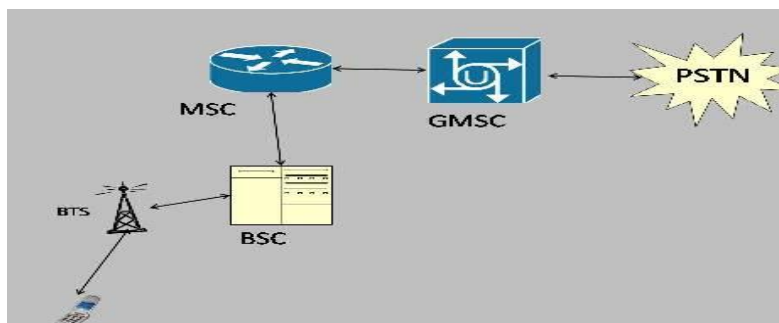
Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός κυψελωειδούς συστήματος είναι:

- **Ο εξοπλισμός του κεντρικού επεξεργαστή**
- **Ο σταθμός βάσης**
- **Ο κινητός σταθμός ή κινητό τηλέφωνο**

Ο κεντρικός επεξεργαστής **MSC** (Mobile Switching Center) είναι ένα σύστημα υπολογιστών με διακόπτες (Stored Program Controlled ή **SPC**). Ένας **SPC** πίνακας χρησιμοποιεί λογισμικό για να ελέγχει από τον πίνακα (ή τους διακόπτες) την διαδικασία της κλήσης και τα χαρακτηριστικά του ελέγχου. Οι βασικές του διαδικασίες συμπεριλαμβάνουν:

- συνδυασμένη επικοινωνία (coordinating interaction) με τις κυψέλες
- διεπαφή με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο PSTN (Public Switched Telephone Network)
- έλεγχος της διαδικασίας της κλήσης και την χρέωση.





Εικόνα 9: Mobile switching center

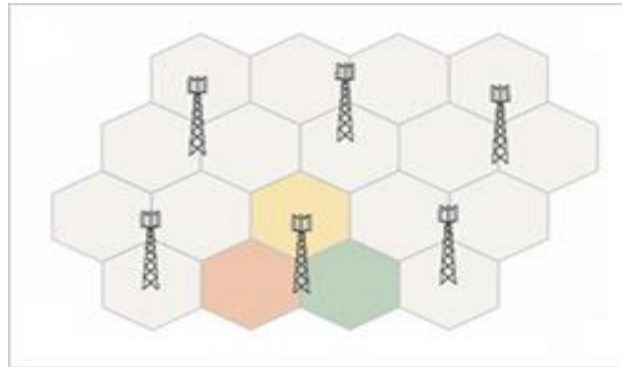
Άλλες λειτουργίες που περιλαμβάνει ο κεντρικός επεξεργαστής MSC είναι το Home Location Register (**HLR**) και το Visiting Location Register (**VLR**). Το HLR περιλαμβάνει εγγραφή του συνδρομητή και επιπλέον είναι η πηγή πληροφοριών του συνδρομητή. Το VLR χρησιμοποιείται για να σώσει πληροφορίες για συνδρομητές που είναι πελάτες ενός άλλου συστήματος άλλα έχουν περιαγωγηθεί “roaming” σε μια άλλη περιοχή υπηρεσιών.

Ο σταθμός βάσης **Base Station (BSC)** ή Cell Site περιλαμβάνει μια μονάδα ελέγχου, εξοπλισμό του ραδιοφωνικού σταθμού της βάσης και μια κεραία. Ο σταθμός βάσης παρέχει σύνδεση μεταξύ του κινητού σταθμού – Mobile Station (MS) και του κεντρικού επεξεργαστή MSC. Ο κινητός σταθμός Mobile Station (MS) είναι η φορητή συσκευή (κινητό τηλέφωνο).



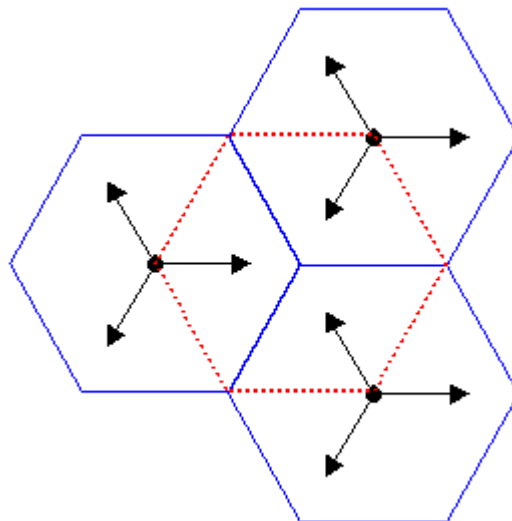
Εικόνα 10: Home and Visiting Registers

Για παράδειγμα σε ένα τυπικό αναλογικό κυψελοειδές δίκτυο ο φορέας δέχεται 800 συχνότητες για μια ολόκληρη περιοχή-πόλη. Ο φορέας χωρίζει τη πόλη σε κελιά των 26 χιλιομέτρων. Τα κελιά έχουν το σχήμα εξαγώνου όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 11: Κυψέλες

Κάθε κελί αποτελείται και από ένα σταθμό βάσης. Επειδή οι σταθμοί βάσης και τα κινητά χρησιμοποιούν πομπούς χαμηλής ισχύος, ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μη εφάπτονται κελιά όπως για παράδειγμα στην εικόνα 10. Στην ουσία ο σταθμός βάσης δεν βρίσκεται στο κέντρο του κελιού αλλά στις άκρες του. Όπως βλέπουμε στη παρακάτω εικόνα το πραγματικό κελί είναι το κόκκινο και όχι τα μπλε.



Εικόνα 12: Πραγματική(κόκκινο) &amp; θεωρητική (μπλε) κυψέλη

Προκειμένου να αντιληφθούμε την αρχή επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας, ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας με συνολικό αριθμό  $S$  διαθέσιμων αμφίδρομων (ζεύγος – duplex) καναλιών. Εάν σε κάθε κυψέλη έχουν εκχωρηθεί μια ομάδα με  $k$  κανάλια και εάν τα  $S$  κανάλια έχουν καταναμηθεί σε μοναδικές και ασυσχέτιστες ομάδες καναλιών μεταξύ  $N$  κυψελών οι οποίες έχουν τον ίδιο αριθμό καναλιών, τότε ο συνολικός αριθμός καναλιών δίδεται από την σχέση:

$$S = k * N$$

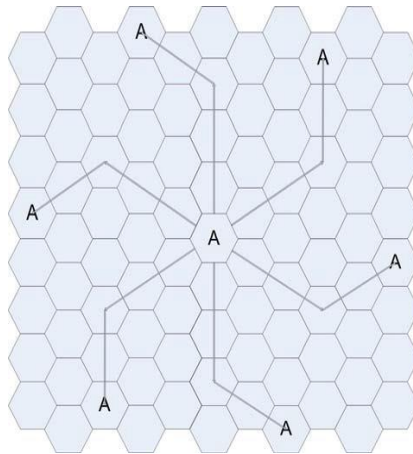
Οι  $N$  κυψέλες που χρησιμοποιούν το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων στο σύστημα συχνοτήτων λέγεται ότι αποτελούν μια **συστάδα (cluster)**. Εάν υπάρχουν  $M$  αντίγραφα της ομάδας εντός του συστήματος, ο συνολικός αριθμός των αμφίδρομων καναλιών  $C$  αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης της χωρητικότητας του συστήματος και δίδεται από την σχέση:

$$C = M * k * N$$

Όπως εύκολα διαπιστώνεται, η χωρητικότητα ενός συστήματος κυψελωτής τηλεφωνίας είναι ανάλογη του αριθμού των αντιγράφων της ομάδας εντός της περιοχής κάλυψης. Η παράμετρος  $N$  ονομάζεται **μέγεθος συστάδας (cluster size)** και στα περισσότερα συστήματα λαμβάνει τυπικές τιμές 4, 7 ή 12. Εάν το μέγεθος ομάδας ελαττωθεί και ταυτόχρονα το μέγεθος της κυψέλης διατηρηθεί σταθερό, τότε περισσότερες ομάδες απαιτούνται για την κάλυψη δεδομένης περιοχής με άμεσο αποτέλεσμα την επίτευξη περισσότερης χωρητικότητας.

Το μέγεθος της ομάδας είναι άμεσα συνδεδεμένο με την απόσταση επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων. Έτσι, για ένα μεγάλο μέγεθος ομάδας ο λόγος της απόστασης  $D$  μεταξύ συγκαναλικών κυψελών και της ακτίνας  $R$  της κυψέλης είναι μεγάλος. Συνεπώς, μικρό μέγεθος ομάδας συνεπάγεται ότι οι συγκαναλικές κυψέλες είναι κοντά τοποθετημένες η μία στην άλλη. Η τιμή του μεγέθους ομάδας  $N$  είναι συνάρτηση της στάθμης των παρεμβολών που μπορεί να ανεχθεί ο σταθμός βάσης ή το κινητό τηλέφωνο χωρίς η ποιότητα της επικοινωνίας να πέσει σε ανεπίτρεπτα επίπεδα.

Από την οπτική γωνία της σχεδίασης συστημάτων είναι επιθυμητό να επιτύχουμε την μεγαλύτερη δυνατή χωρητικότητα μειώνοντας το μέγεθος ομάδας, αλλά ταυτόχρονα παρατηρούμε ότι το τίμημα είναι η αύξηση της στάθμης της συγκαναλικής παρεμβολής. Ο **παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (frequency reuse factor)** ενός συστήματος κυψελωτής τηλεφωνίας ισούται με  $1/N$ , καθόσον εντός κάθε κυψέλης που ανήκει σε μια ομάδα μεγέθους  $N$  ο αριθμός των εκχωρηθέντων καναλιών είναι ίσος προς  $1/N$ .



Εικόνα 13: Επαναρησιμοποίηση συχνότητας

### 2.2.3 Δίκτυα μεταγωγής

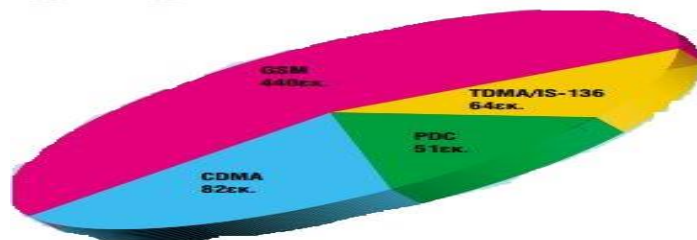
Ως Δίκτυα Μεταγωγής μπορεί να θεωρηθούν όλα τα δίκτυα Σημείου προς Σημείο που εφαρμόζουν την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής. Σε ένα τέτοιο δίκτυο για να συνδεθούν δύο απομακρυσμένοι κόμβοι, αναπτύσσονται τεχνικές έμμεσης διασύνδεσης η οποία πραγματοποιείται με τη συνεργασία ενδιάμεσων κόμβων που ονομάζονται μεταγωγείς (switches) ενώ οι σύνδεσμοι που τους συνδέουν ονομάζονται διαμοιρασμένοι σύνδεσμοι. Οι τρεις βασικές τεχνικές μεταγωγής είναι:

- Στα δίκτυα **μεταγωγής κυκλώματος** εγκαθίσταται φυσική ζεύξη μεταξύ δύο κόμβων. Το κύκλωμα παραμένει ενεργό σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας, ακόμα και όταν δεν ανταλλάσσονται δεδομένα. Αν όλα τα δυνατά κυκλώματα δεσμευτούν, δεν θα μπορέσουν να δημιουργηθούν νέες συνδέσεις, ενώ για να δημιουργηθεί το φυσικό κύκλωμα, απαιτείται η διαθεσιμότητα πομπού και δέκτη. Τυπικό παράδειγμα αυτή της λειτουργίας είναι το τηλεφωνικό δίκτυο για μεταφορά φωνής.
- Στα δίκτυα **μεταγωγής μηνύματος** η πληροφορία οργανώνεται σε ένα μήνυμα με τη διεύθυνση του παραλήπτη και περνώντας από ενδιάμεσους κόμβους μέσα στο δίκτυο, ακολουθώντας τη βέλτιστη, ανάλογα με τις συνθήκες φόρτου, χρόνου και απόστασης, διαδρομή, καταλήγει στον προορισμό της. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος χρησιμοποιεί την τεχνική της αποθήκευσης και προώθησης. Έτσι η πληροφορία φτάνει στον παραλήπτη ακόμα κι αν αυτός δεν είναι άμεσα διαθέσιμος.
- Στα δίκτυα **μεταγωγής πακέτων** τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρότερα τμήματα που ονομάζονται πακέτα και μπορεί να έχουν μέγεθος από 128 bit μέχρι και 1000 byte. Κάθε πακέτο εκτός από τα δεδομένα έχει και πληροφορίες ελέγχου για τη σωστή δρομολόγησή του και ταξινόμησή του στο

δέκτη. Π.χ. διεύθυνση αποστολέα και παραλήπτη, κλπ. Και εδώ χρησιμοποιείται η τεχνική της αποθήκευσης και προώθησης, χωρίς να εγκαθίστανται μόνιμες συνδέσεις ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Αυτή η τεχνική αποδείχτηκε ιδιαίτερα αποδοτική.

## 2.3 Δεύτερη Γενιά κινητής τηλεφωνίας

### 2.3.1 Εισαγωγή στα ψηφιακά δίκτυα



Εικόνα 14: Χρήση προτύπων 2ής Γενιάς

Η κύρια διαφοροποίηση από τα προηγούμενα συστήματα κινητών τηλεφώνων, γνωστά ως πρώτης γενιάς 1G, είναι ότι τα ραδιοσήματα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα πρώτης γενιάς είναι αναλογικά, ενώ τα δεύτερης γενιάς δίκτυα χρησιμοποιούν ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν την ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους ραδιοπύργους (που επικοινωνούν με τα κινητά τηλέφωνα) με το υπόλοιπο τηλεφωνικό σύστημα.

Η χρησιμοποίηση των ψηφιακών σημάτων μεταξύ των τηλεφώνων και των πύργων αυξάνει την ικανότητα των συστημάτων με δύο βασικούς τρόπους:

- Τα ψηφιακά δεδομένα φωνής μπορούν να συμπιεστούν και πολυπλεχθούν αποτελεσματικότερα από τις αναλογικές κωδικοποιήσεις φωνής μέσω της χρήσης διάφορων κωδικοποιητών και έτσι επιτρέπεται σε περισσότερες κλήσεις να συγκεντρώνονται στο ίδιο ποσό εύρους ζώνης.
- Τα ψηφιακά συστήματα σχεδιάστηκαν για να εκπέμπουν τα τηλέφωνα λιγότερη ισχύ. Αυτό σήμαινε ότι οι κυψέλες θα μπορούσαν να είναι μικρότερες, έτσι περισσότερες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στο ίδιο διάστημα. Αυτό επιτεύχθηκε επίσης επειδή οι πύργοι κυψελών και ο σχετικός εξοπλισμός έγιναν φθηνότερα.

Έτσι με τα συστήματα 2ης γενιάς σημειώθηκε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα φωνής, καθώς η ψηφιακά κωδικοποιημένη πληροφορία υπόκειται σε ασθενέστερη παραμόρφωση σε σχέση με την αναλογική πληροφορία, ενώ παράλληλα έγινε δυνατή η χρήση πολυπλεξίας με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο, με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας.

Η 2η γενιά δικτύων παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα περιαγωγής, προσφέροντας τους χωρίς ασυνέχειες επικοινωνία ανεξαρτήτως της τοποθεσίας στην οποία βρίσκονται. Η δυνατότητα περιαγωγής έγινε ο πρόδρομος για την ανάπτυξη πολλών εφαρμογών και έφερε την «αλλαγή» στη ζωή μας όσο αφορά ομιλία εν κινήσει. Πλέον, η ευκολία μετακίνησης και ταυτόχρονης ομιλίας θεωρείται ως η θεμελιώδης πλευρά κάθε εφαρμογής.

### 2.3.2 PDC / NADC (*Personal Digital Cellular / North America Digital Cellular*)

Το PDC (Personal Digital Cellular) είναι μια τεχνολογία δεύτερης γενιάς που χρησιμοποιείται σε ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα επικοινωνίας στην Ιαπωνία. Χρησιμοποιεί μια παραλλαγή του TDMA (πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου), το οποίο διαιρεί κάθε κανάλι της κυψέλης σε χρονοσχισμές, προκειμένου να αυξήσει την ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν.

Μπορούμε να πούμε ότι το PDC χρησιμοποιείται σήμερα μόνο στην Ιαπωνία, με τα πρώτα συστήματα που εισήχθησαν από την NTT DoCoMo το 1991 ως αντικατάσταση για τα προηγούμενα αναλογικά δίκτυα. Λειτουργεί στα 800MHz και 1500 MHz, κάνοντας πολύ αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης . Με το εύρος ζώνης να έχει τόσο υψηλή ζήτηση στην Ιαπωνία, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει με δύο τρόπους :

- A) Πλήρης ρυθμός
- B) Μισός ρυθμός

Κανάλια μισού ρυθμού έχουν μειωμένη ποιότητα ομιλίας και ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, αλλά στο ίδιο εύρος ζώνης δίνουν την δυνατότητα για περισσότερα κανάλια επικοινωνίας

Από τεχνικής πλευράς το PDC είναι το πιο αποδοτικό φασματικά των τεχνολογιών TDMA, με έξι μισού ρυθμού (ή τρία πλήρης ρυθμού) δυνατά κανάλια σε διάστημα συχνότητας 25kHz, σε σύγκριση με τρία κανάλια 30kHz στο IS - 136 και οκτώ κανάλια 200kHz για το GSM. Συγκριτικά είναι πιο αποδοτικό ακόμη με την CDMA (Code Division Multiple Access) διαμόρφωση, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία κατανομής φάσματος για να επιτρέψει μέχρι 131 κανάλια σε μια ζώνη 1.250 kHz .

Ομιλία πλήρους ρυθμού απαιτεί συνήθως μια ψηφιακή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων των 9,6 Kbps (kilobits ανά δευτερόλεπτο), όπως χρησιμοποιείται στα δίκτυα GSM, TDMA IS- 136 και CDMA δίκτυα. Προσφέρει δύο εναλλακτικές τιμές ή στα 9.6Kbps στα κανάλια πλήρους ρυθμού ή 5.6kbps στο κανάλι μισού ρυθμού. Η ποιότητα της ομιλίας κατά μήκος μιας σύνδεσης 5.6kbps είναι σημαντικά χαμηλότερη από την τυπική σύνδεση 9,6 Kbps , αλλά είναι μια χρήσιμη ανταλλαγή με τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών.

Το δίκτυο PDC υποστηρίζει πολλά προηγμένα χαρακτηριστικά σε απευθείας σύνδεση με τις άλλες τεχνολογίες δεύτερης γενιάς, όπως η ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου και αναγνώριση καλούντος. Αξιοποιώντας το Ευφυές Δίκτυο (IN) δυνατότητες, το PDC υποστηρίζει επίσης προπληρωμένες κλήσεις, προσωπικούς αριθμούς, αριθμούς καθολικής πρόσβασης και προηγμένα συστήματα και ασύρματα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (VPN). Τα VPNs είναι κλειστές ομάδες χρηστών που επιτρέπουν στους συναδέλφους που εργάζονται σε διαφορετικές τοποθεσίες να επικοινωνούν μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, σαν να χρησιμοποιούνταν ένα συμβατικό τηλεφωνικό σύστημα γραφείου .

Τέλος στην Ιαπωνία η κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους είναι υψίστης σημασίας, παρέχοντας ένα σημαντικό παράγοντα διαφοροποίησης των υπηρεσιών για τα διάφορα δίκτυα. Το PDC σχεδιάστηκε για να δώσει λύση στην βελτίωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης καθώς και σε χώρους εστίασης όπως εμπορικά κέντρα, γραφεία και σταθμούς του μετρό.

### 2.3.3 Εισαγωγικά GSM μοντέλου



Εικόνα 15: GSM Logo

Τα συστήματα 2ης γενιάς ήρθαν να αντικαταστήσουν τα αναλογικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών 1η γενιάς. Τόσο τα κανάλια επικοινωνίας όσο και τα κανάλια σηματοδότησης αποφασίστηκε να γίνουν ψηφιακά με πρώτη επιλογή το 1987 την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA) στενής ζώνης. Έτσι έγινε εφικτό να έχουμε και νέους τρόπους επικοινωνίας

πέρα από την ομιλία όπως για παράδειγμα τη μεταφορά δεδομένων, μηνυμάτων κειμένου κα.

Ένα GSM δίκτυο δεν μπορεί να εγκαταστήσει τις κλήσεις αυτόνομα εκτός από τις τοπικές κλήσεις μεταξύ των συνδρομητών του. Δηλαδή κλήσεις που τόσο ο καλών όσο και ο καλούμενος είναι συνδρομητές του οικείου PLMN (public land mobile network) δικτύου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το GSM εξαρτάται από τις λειτουργίες των υπάρχοντων ενσύρματων ή σταθερών δικτύων για να δρομολογήσει τις κλήσεις. Τίς περισσότερες φορές δηλαδή, η παρεχόμενη υπηρεσία σε έναν συνδρομητή είναι ένας συνδυασμός της πρόσβασης στις υπηρεσίες του οικείου GSM δικτύου και της πρόσβασης στις υπηρεσίες κάποιου ενσύρματου ή σταθερού δικτύου.

Κατά συνέπεια, οι γενικοί στόχοι ενός GSM δικτύου, όσον αφορά τις προσφερόμενες υπηρεσίες σε έναν συνδρομητή είναι :

- Να παρέχει στο συνδρομητή ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και λειτουργιών, τόσο φωνητικών όσο και μη φωνητικών, το οποίο να είναι συμβατό με εκείνες που προσφέρονται από τα υπόλοιπα δίκτυα (παραδείγματος χάριν PSTN και ISDN δίκτυα).
- Να εισαγάγει ένα ραδιοσύστημα κινητών επικοινωνιών, συμβατό με το ISDN.
- Να δώσει πρόσβαση στο αντίστοιχο δίκτυο GSM για έναν κινητό συνδρομητή που βρίσκεται σε μια άλλη χώρα από αυτή του οικείου δικτύου του.
- Να παρέχει τις λειτουργίες για την αυτόματη περιαγωγή, τον εντοπισμό και την ενημέρωση της θέσης των κινητών συνδρομητών.
- Να παρέχει υπηρεσίες σε ένα ευρύ φάσμα κινητών σταθμών, συμπεριλαμβανομένων vehicle-mounted σταθμών, φορητών τερματικών και άλλων.
- Να επιτρέψει την αποδοτική χρήση του φάσματος συχνοτήτων.
- Να επιτρέψει την ύπαρξη χαμηλού κόστους τερματικών και να κρατήσει το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών χαμηλό.

Ωστόσο οι στόχοι αυτοί δεν προσδιορίστηκαν καθαρά αρχικά από τις ανώτερες επιτροπές. Αντιθέτως δόθηκε μεγάλη ελευθερία στο GSM σύστημα με απώτερο σκοπό να βρεθεί ένας τρόπος να συμβιβαστούν οι αντικρουόμενες απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα η υψηλή αποδοτικότητα του φάσματος με το χαμηλό κόστος και την καλή ποιότητα του ήχου. Ένας λόγος γι' αυτήν την



ελαστικότητα ήταν το γεγονός ότι εκείνη την εποχή υπήρχε μεγάλη αβεβαιότητα ως προς το ποια θα ήταν η κύρια χρήση του συστήματος. Φαινόταν λογικό τότε, στις αρχές της δεκαετία το 90 να υποθέσει κανείς ότι η κύρια χρήση του συστήματος θα ήταν στη μεταφορά του λόγου και συνεπώς θα έπρεπε να είναι σε θέση να προσφέρει προχωρημένες υπηρεσίες δεδομένων.

Αρχικά το σύστημα θα έπρεπε να είναι ισάξιο των συστημάτων της πρώτης γενιάς με σεβασμό στην αποδοτικότητα του φάσματος, την ποιότητα της μεταφοράς του λόγου, το κόστος των κινητών μονάδων και την υποδομή του δικτύου. Ήταν επίσης αντιληπτό ότι προκειμένου το GSM σύστημα να είναι σε θέση να ανταγωνιστεί τα συστήματα της πρώτης γενιάς θα έπρεπε να είναι ανώτερο από αυτά σε κάποιον από τους παραπάνω τομείς. Βαθμιαία βέβαια το σύστημα επέφερε βελτιώσεις σε όλους τους παραπάνω τομείς.

Ένα σημαντικό ερώτημα ήταν μέχρι ποιο βαθμό θα έπρεπε το σύστημα να προσδιοριστεί ώστε να είναι πανομοιότυπο σε όλες τις χώρες. Προφανώς χωρίς πανομοιότυπα μέσα μετάδοσης (air interfaces) σε όλα τα δίκτυα οι συνδρομητές δεν είναι σε θέση να περιπλανιούνται ελεύθερα μεταξύ των διαφορετικών δικτύων και αυτή ήταν η πρώτη απαίτηση που έπρεπε να ικανοποιηθεί. Κάποιοι άνθρωποι το είδαν αυτό σαν μια ευκαιρία να προσδιοριστεί οτιδήποτε στο σύστημα, ακόμα και το υλικό κομμάτι των κινητών σταθμών (mobile stations) και άλλων μονάδων μέσα στο σύστημα. Είχε όμως συμφωνηθεί ότι δε θα γινόταν προσπάθεια να προσδιοριστεί το σύστημα σε τέτοιο βαθμό.

Βασικά, θα προσδιορίζονταν μόνο οι λειτουργικές διεπαφές μεταξύ των βασικών μονάδων. Αυτή η προσέγγιση είχε αρκετά πλεονεκτήματα, το πιο βασικό από τα οποία ήταν το γεγονός ότι έτσι δίνονταν η δυνατότητα στον διαχειριστή και συνεπώς στον πελάτη να αγοράσει οποιοδήποτε κομμάτι του εξοπλισμού του χρειαζόνταν, θέτοντας με αυτόν τον τρόπο τις βάσεις για μεγάλο ανταγωνισμό μεταξύ των κατασκευαστών.

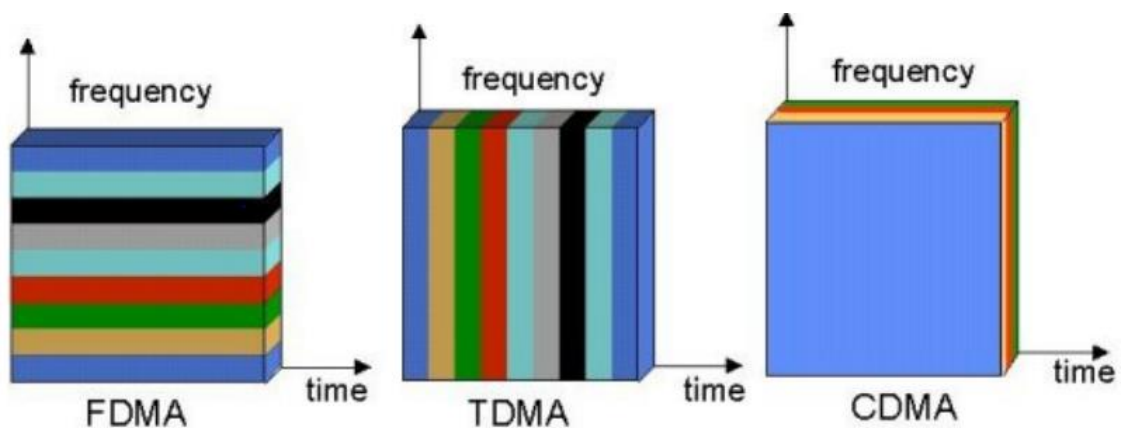
Το GSM σύστημα έλυσε επίσης περιορισμούς των αναλογικών συστημάτων. Έτσι η χωρητικότητα αυξήθηκε δύο με τρεις φορές λόγω της καλύτερης χρησιμοποίησης συχνοτήτων και της χρήσης τεχνικών που αξιοποίησαν μικρότερες κυψέλες, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τον αριθμό των συνδρομητών που μπορούσαν να εξυπηρετηθούν.

### 2.3.4 Τεχνικές πολυπλεξίας

Πολλά κανάλια πρέπει να ετοιμάζονται για να εξυπηρετήσουν έναν αριθμό χρηστών σε ένα σύστημα κυκλώματος μεταγωγής. Έχουμε τρεις τρόπους να δημιουργήσουμε κανάλια που χρησιμοποιούν δεδομένο εύρος ζώνης: πολυπλεξία

διαίρεσης συχνότητας, χρόνου και κώδικα. Όταν εξετάζουμε την ανερχόμενη ζεύξη (συνδρομητής προς σταθμό βάσης), τα προετοιμασμένα κανάλια προσπελάζονται από πολλούς χρήστες (πολλαπλή πρόσβαση).

- FDMA (Frequency division multiple access)  
ή διαίρεσης συχνότητας
- TDMA (Time division multiple access)  
ή διαίρεσης χρόνου
- CDMA (Code division multiple access)  
ή διαίρεσης κώδικα



Εικόνα 16: Σχηματική αναπαράσταση πολυπλεξίας

Όσο αφορά Το FDMA χρησιμοποιείται για αναλογικά κινητά ραδιοσυστήματα. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται με ελάχιστη επεξεργασία σήματος. Ο αριθμός καναλιών που δίνονται με αυτό το σύστημα αποφασίζεται από τη απόσταση φέρουσας συχνότητας. Επειδή τα κανάλια χωρίζονται σε διαιρέσεις συχνοτήτων, απαιτείται σταθερή πηγή φέρουσας συχνότητας και φίλτρο επιλογής καναλιών με αυστηρά αναπτυσσόμενη λειτουργία μεταφοράς. Το εύρος ζώνης διαμορφωμένου σήματος ανά χρήση για ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα γίνεται πολύ στενό λόγω της εξέλιξης της χαμηλού ρυθμού κωδικοποίησης φωνής και της αποδοτικής ως προς το φάσμα γραμμικής διαμόρφωσης. Επιπλέον, έχει την τάση να χρησιμοποιείται ζώνη υψηλότερης συχνότητας.

Σε αυτή την κατάσταση, μια ζώνη φύλαξης μεταξύ καναλιών που δίνεται για διάκριση στη διαίρεση συχνοτήτων γίνεται σχετικά κρίσιμη έτσι ώστε να μη μειώνεται η αποδοτικότητα του φάσματος. Αν και τα συστήματα FDMA έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι άτρωτα έναντι συχνοεπιλεκτικής διάλειψης λόγω του στενού φάσματος, δεν έχουν ευνοηθεί στα πρόσφατα επιχειρήματα σχετικά με τα ψηφιακά συστήματα κινητής επικοινωνίας. Αυτό συμβαίνει επειδή τα συστήματα FDMA δεν είναι ανώτερα από τα συστήματα TDMA ή CDMA ως προς άλλες απόψεις που

περιγράφονται αργότερα.

Το TDMA είναι μια μέθοδος πρόσβασης καναλιών, το οποίο επιτρέπει σε πολλά συστήματα, ή χρήστες, να μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνοτήτων διαιρώντας το σήμα και τοποθετώντας το σε διαφορετικές χρονοθυρίδες. Σε κάθε χρήστη αντιστοιχεί μία χρονοθυρίδα, κατά την διάρκεια της οποίας του επιτρέπεται να μεταδώσει. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαμοιρασμός του ίδιου μέσου μετάδοσης από πολλούς χρήστες, καθώς επίσης και η πλήρης εκμετάλλευση ενός τμήματος της χωρητικότητας του φάσματος. Η TDMA τεχνική έγινε ευρέως γνωστή από την χρήση της στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς, όπως το GSM (Global System for Mobile Telecommunications). Επίσης βρίσκει εφαρμογή σε διάφορα δορυφορικά συστήματα.

Παρόμοια τεχνική χρησιμοποιεί και η FDMA τεχνική, διαιρώντας την συχνότητα αντί του χρόνου. Ο συνδυασμός της TDMA και της FDMA τεχνικής αποφέρει μεγάλα κέρδη στις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας και άλλων υπηρεσιών, καθώς επίσης επιτυγχάνεται σωστή αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

Η πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (CDM) σημαίνει ότι "εκχωρούνται συγκεκριμένα μέλη συνόλου ορθογωνικών, ή σχεδόν ορθογωνικών, κωδίκων φασματικής εξάπλωσης (καθένα με χρήση πλήρους εύρους ζώνης καναλιού)". Τόσο η TDM όσο και CDM είναι διακριτά συστήματα και θα δέχονται μόνον ψηφιακά δεδομένα. Τα συστήματα TDMA είναι ανώτερα από το σύστημα FDMA σε σχέση με τη μέση καθυστέρηση μηνύματος. Το CDMA αντιπροσωπεύει υβριδικό συνδυασμό TDMA και FDMA με την έννοια ότι τεμαχίζονται ως προς τη συχνότητα και τον χρόνο. Στενή σχέση με το θέμα της πολλαπλής πρόσβασης είναι η συγκανάωση. Εάν συγκανλωμένο σύστημα μπορεί να διαχειρίζεται σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα επικοινωνιακής κίνησης από ό,τι ένα μη συγκανλωμένο σύστημα.

Στην ουσία, η συγκανάωση αναφέρεται στο γεγονός ότι όλοι οι χρήστες ραδιοσυστήματος μπορούν να έχουν πρόσβαση σε όλα τα διαθέσιμα κανάλια. Εάν, για παράδειγμα, ένα μεμονωμένο κανάλι μπορεί να υποστηρίξει μόνο δύο ή τρεις χρήστες κινητού τηλεφώνου (10% πιθανότητα φραγής και μέση διάρκεια κλήσης 150 sec), τότε ένα μη συγκανλωμένο σύστημα 20 καναλιών θα μπορούσε να υποστηρίξει μόνο περίπου 50 πελάτες, ενώ ένα συγκανλωμένο σύστημα 20 καναλιών θα μπορούσε να υποστηρίξει 420 χρήστες. Αυτό το κέρδος αναφέρεται συνήθως ως απόδοση συγκανάωσης και προκύπτει επειδή, στατιστικώς, είναι απίθανο να θέλουν όλοι οι χρήστες να κάνουν τηλεφωνική κλήση ταυτόχρονα.

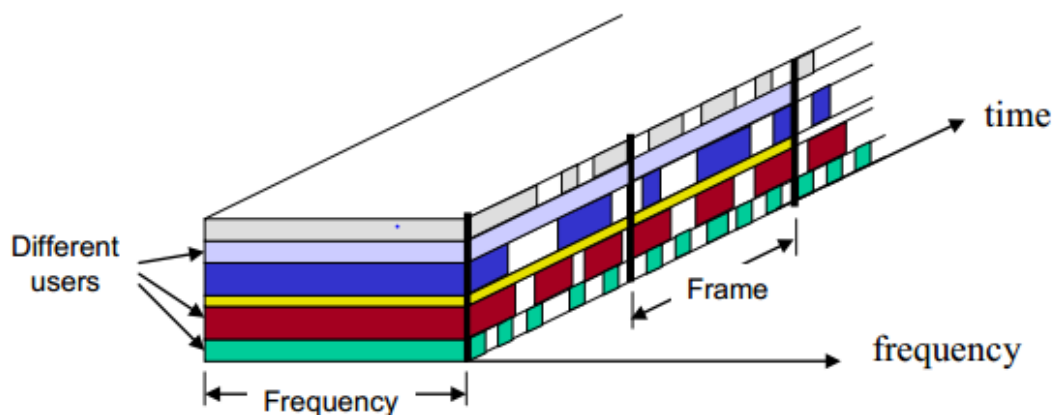
Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια γρήγορη ανασκόπηση των πλεονεκτημάτων σε σχέση με τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες των παραπάνω τεχνικών πολυπλεξίας.

Τεχνική Πολυπλεξίας	Χρησιμοποιούμενες συχνότητες ανά κλήση	Πλεονεκτήματα
<b>FDMA</b>	Μία μόνο	Απλότητα υλοποίησης
<b>TDMA</b>	Πολλαπλές	Καλύτερη εκμετάλλευση φάσματος
<b>CDMA</b>	Μία μόνο	Βέλτιστη χρήση φάσματος

Πίνακας 2 Σύγκριση πολυπλεξίας

### 2.3.5 WCDMA

Το Wideband CDMA (WCDMA) αποτελεί μια μεγάλη βελτίωση των τεχνολογιών TDMA και FDMA που λειτουργούν στο GSM. Προσφέρει μεταφορά δεδομένων της τάξης των 384 Kbits/s για κάλυψη ευρείας περιοχής και 2 Mbit/s για τοπική. Όπως και στο CDMA, κάθε σήμα του χρήστη κωδικοποιείται ξεχωριστά. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα ένα και μόνο κανάλι συχνότητας χωρίς να παρεμβάλλεται ο ένας στον άλλο εξ' αιτίας της μοναδικής κωδικοποίησης που έχει υποστεί το κάθε σήμα. Έτσι, προσφέρεται περίπου 25 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης, συγκριτικά με το GSM.



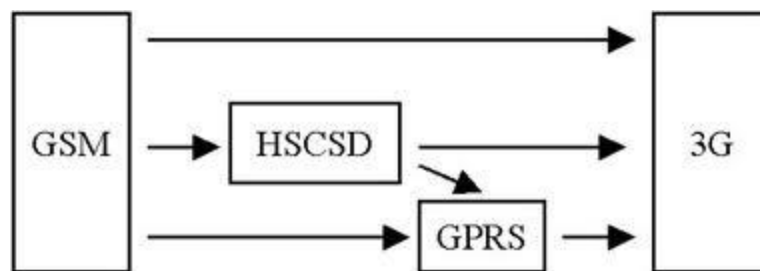
Εικόνα 17: Διάθεση εύρους ζώνης WCDMA

Το παραπάνω σχήμα μας δείχνει περιληπτικά τη λειτουργία του WCDMA. Βλέπουμε ότι όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για να εκπέμψουν τα δεδομένα τους. Διαχωρίζονται όμως μεταξύ τους λόγω των διαφορετικών κωδικών. Επίσης στο σχήμα βλέπουμε ότι ανάλογα με την υπηρεσία που χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης υπάρχουν διαφορετικές χρονικές περιόδους που είναι ενεργός και εκπέμπει και άλλες περιόδους όπου είναι ανενεργός χωρίς να εκπέμπει δεδομένα.

Στο πλήρως ψηφιακό σύστημα CDMA και WCDMA τα δεδομένα που πρόκειται να αποσταλούν «σπάνε» σε πολύ μικρά «πακέτα», στα οποία τους προσδίδεται ένας κωδικός. Από πλευράς ορολογίας, υπάρχει ο όρος chip. Το chip είναι η μικρότερη μονάδα υψηλού ποσοστού κωδικοποιημένης ακολουθίας. Όταν λοιπόν στέλνεται ένα σήμα, έχει προηγουμένως χωριστεί σε μικρότερα κομμάτια στα οποία τους έχει δοθεί αυτός ο μοναδικός κωδικός, κι ύστερα στέλνονται στις ραδιοσυχνότητες του δικτύου.

## 2.4 Γενιά 2.5G

Με τον όρο «γενιά 2,5 ή 2.5G» αναφερόμαστε στο ευρύτερο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν πάνω στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5G.



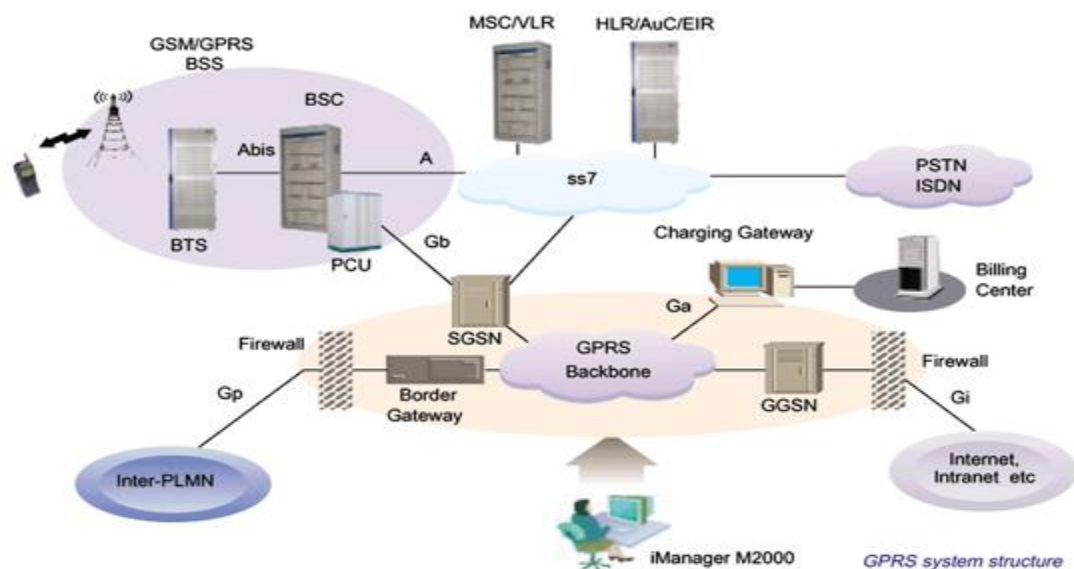
Εικόνα 18: GSM to 3G

Αυτές οι τεχνολογίες είναι: η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE). Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίασαν οι αρχικές μορφές του GSM ήταν οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης στον αέρα που περιορίζονταν στα 9,6 Kbps. Αργότερα, τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14,4 Kbps παρόλο που δε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως.

### 2.4.1 Τεχνολογίες 2.5G

Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί, αντί μίας, περισσότερες χρονοσχισμές (time-slots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Έτσι ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν τον χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχισμή. Η υλοποίηση αυτής της τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούργιες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση **μεταγωγής κυκλώματος**, με αποτέλεσμα την σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητα τους δεν χρησιμοποιούνταν.

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι αν αγνοηθεί η διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία **μεταγωγής πακέτου**. Επομένως, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή/λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Στην παρακάτω εικόνα παραθέτουμε τη δομή ενός GPRS συστήματος.



Εικόνα 19: Αρχιτεκτονική GPRS

Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8-PSK). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

## 2.5 Τρίτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας (3G)

Η τρίτη γενεά ή 3G είναι τώρα ο γενικά αποδεκτός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επόμενη φάση των κινητών δικτύων και των υπηρεσιών. Η πρώτη γενιά (1G) χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει τα πρώτα αναλογικά κινητά συστήματα που προέκυψαν στη δεκαετία του '80, όπως το προηγμένο κινητό τηλεφωνικό σύστημα (AMPS) όπως αναφερθήκαμε παραπάνω. Αυτά τα συστήματα παρείχαν περιορισμένη κινητή λύση για τη φωνή, και είχαν σημαντικούς περιορισμούς, ιδιαίτερα όσον αφορά αλληλεπίδραση, ασφάλεια και ποιότητα.

Η επόμενη φάση, δεύτερη γενεά (2G), έφθασε στη πρόσφατη δεκαετία του '80 και κινήθηκε προς μια ψηφιακή λύση που έδωσε το προστιθέμενο όφελος επιτρέποντας τη μεταφορά των στοιχείων και την παροχή άλλων μη φωνητικών υπηρεσιών. Από αυτά, το καθολικό σύστημα για την κινητή επικοινωνία (GSM) ήταν το επιτυχέστερο.

Η τεχνολογία UMTS/3G πρωτοστατεί στις εξελίξεις σε κυψελοειδή τεχνολογία μέχρι σήμερα, και τις συνδυάζει με συμπληρωματικές εξελίξεις και στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών καθορισμένων γραμμών και από τον κόσμο στο διαδίκτυο. Το αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ενός δικτύου γενικότερου σκοπού, το οποίο προσφέρει την ευελιξία ώστε να παρασχεθεί και να υποστηριχθεί η πρόσβαση σε οποιαδήποτε υπηρεσία, ανεξάρτητα από τη θέση. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να είναι φωνή, βίντεο ή δεδομένα και συνδυασμοί επ' αυτών, αλλά, όπως ήδη αναφέραμε, η έμφαση είναι στην παροχή υπηρεσιών σε αντιδιαστολή με την τεχνολογία παράδοσης.

Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη σε σχέση χωρητικότητας, με την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών, των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς. Σήμερα, περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα που χρησιμοποιούν την WCDMA τεχνολογία λειτουργούν σε 25 χώρες. Για την οργάνωση του όλου εγχειρήματος έχει θεσπιστεί ειδικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός με την ονομασία Third Generation Partnership Project (**3GPP**) του οποίου μέλημα είναι η

παρακολούθηση και η καθοδήγηση των εξελίξεων στην συγκεκριμένη τεχνολογική περιοχή.

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των UMTS δικτύων ξεχωρίζουμε τους αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων και την ταυτόχρονη υποστήριξη μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής. Πιο συγκεκριμένα, το UMTS δίκτυο στην αρχική του φάση, θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 384 kbps σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται αυξημένη κινητικότητα του χρήστη. Αντίθετα, όταν ο χρήστης παραμένει ακίνητος οι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνουν κατά πολύ φθάνοντας την τιμή των 2 Mbps.

Εκτιμάται ότι στο μέλλον θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Ήδη, ο 3GPP έχει θέσει σαν standard δύο νέες τεχνολογίες. Πρόκειται για το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και το High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες ουσιαστικά αποτελούν εξέλιξη του UMTS, αφού υπόσχονται ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων έως και 14,4 Mbps στο downlink και 5.8 Mbps στο uplink.

### *2.5.1 Κύρια χαρακτηριστικά 3G συστημάτων*

#### **QoS (ποιότητα υπηρεσιών)**

Όταν μια σύνδεση εγκαθίσταται μεταξύ ενός χρήστη και του δικτύου, διεξάγεται μια συμφωνία μεταξύ του χρήστη και του χειριστή που εξαρτάται από τη συνδρομή του χρήστη. Αυτή η συμφωνία δηλώνει ποιο είδος καθυστερήσεων πρέπει να αναμείνει ο χρήστης, ποια ποσοστά δυαδικών ψηφίων πρέπει να αναμείνει, και τα λοιπά. Για high-end συνδρομές, ένας χρήστης πρέπει να εγγυηθεί ότι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων δεν θα πάει ποτέ χαμηλότερα από έναν συγκεκριμένο αριθμό (εκτός αν κινείται έξω από την περιοχή κάλυψης (εκτός δικτύου)). Σε WCDMA και cdma2000 συστήματα, ερευνητές συμπεριέλαβαν τις πτυχές QoS των συστημάτων από την αρχή έτσι ώστε τα συστήματα να υποστήριζαν εξ' ολοκλήρου το QoS. Το GPRS έχει δυσκολίες στο να εγγυηθεί οποιοδήποτε QoS λόγω έλλειψης υποστήριξης στον ελεγκτή σταθμών βάσεων (BSC). Αυτή η κατάσταση δεν συμβαίνει με τα EDGE, WCDMA, ούτε cdma2000 συστήματα.

#### **Υψηλότερος αριθμός δυαδικών ψηφίων**

Αν και τα συστήματα 2.5G εισάγουν υψηλότερες ποσότητες δυαδικών ψηφίων από 2G, δεν είναι κάτι που ένας χρήστης μπορεί να βασιστεί σε αυτό. Οι χρήστες μοιράζονται το εύρος ζώνης και μια αίτηση δεν μπορεί να θεωρεί την ταχύτητα δεδομένη. Δεδομένου ότι όλο και περισσότεροι χρήστες συνηθίζουν την



πρόσβαση στο σταθερό Διαδίκτυο με τις ευρυζωνικές συνδέσεις στο σπίτι, η ταχύτητα της κινητής πρόσβασης Διαδικτύου γίνεται επίσης πολύ σημαντική. Πιο προηγμένες συσκευές που έχουν μεγαλύτερες οθόνες, δημιουργούν μια ανάγκη για ωραία γραφική απεικόνιση και πλούσια πολυμέσα, η οποία απαιτεί υψηλότερες ταχύτητες για να πραγματοποιηθεί.

Με τη τεχνολογία 3G οι ταχύτητες είναι υψηλότερες και δεν θα είναι ασυνήθιστο να παίρνουμε εκατοντάδες Kbps κατά τη διάρκεια και της uplink και της downlink σύνδεσης. Εντούτοις μπορούμε να επιτύχουμε αυτές τις ταχύτητες για τα κανάλια που είναι είτε σε μεταγωγής κυκλώματος είτε σε μεταγωγής πακέτων. Για τα κανάλια μεταγωγής πακέτου, ο προκύπτων αριθμός δυαδικών ψηφίων εξαρτάται ιδιαίτερα από το επιλεγμένο ποιότητα υπηρεσιών (quality of service),

### **Η ποσότητα των δυαδικών ψηφίων εξαρτώμενη από την απόσταση**

Το τρίτο κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των 3G συστημάτων είναι ότι το μέγιστο ποσοστό δυαδικών ψηφίων θα εξαρτηθεί ιδιαίτερα από την απόσταση από το σταθμό βάσης. Οι λόγοι για αυτήν την κατάσταση είναι λίγο διαφορετικοί στα Code Division Multiple Access (CDMA) συστήματα (cdma2000 και WCDMA) και στα συστήματα TDMA (EDGE), αλλά για το χρήστη, θα είναι το ίδιο: Όσο πιο μακριά απέχεις από έναν σταθμό βάσης, τόσο δυσκολότερο είναι να επιτύχεις υψηλές ταχύτητες.

Ως ένα ορισμένο βαθμό, η διαχείριση QoS μπορεί να θεραπεύσει αυτή τη κατάσταση, αλλά υπάρχουν φυσικοί περιορισμοί που περιορίζουν την ταχύτητα πάντα. Επιπλέον, τα 3G συστήματα θα αποτελούνται συχνά από διαφορετικές τεχνολογίες μέσα στο ίδιο δίκτυο. Παραδείγματος χάριν, για WCDMA, η κάλυψη πρέπει να χτιστεί από την αρχή - αφήνοντας τις αγροτικές περιοχές ακάλυπτες στις πρόωρες φάσεις. Σε εκείνες τις περιοχές, το GPRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση, και το μικροτηλέφωνο WCDMA μπορεί να εκτελέσει μια παράδοση σε GPRS όταν τρέχει εκτός της κάλυψης WCDMA. Αυτή η διαδικασία τοποθετεί τις νέες απαιτήσεις πάνω στις εφαρμογές επειδή πρέπει να είναι ικανές να λειτουργούν ακόμη και όταν το ποσοστό δυαδικών ψηφίων μειώνεται αισθητά (διατηρώντας μερικές βασικές λειτουργίες). Ομοίως, σε ένα δίκτυο CDMA, η κάλυψη cdma2000 είναι πιθανό να χτιστεί αρχικά στις αστικές περιοχές, όπου η ικανότητα και η απαίτηση για τα υψηλότερα ποσοστά δεδομένων είναι επικρατούσα.

Όπως το σενάριο GPRS/WCDMA που αναφέραμε προηγουμένως, συνδρομητές που περιπλανώνται από την κάλυψη cdma2000 στην κάλυψη CDMA μπορεί να υποστούν μια υποβάθμιση στο QoS. Αυτή η κατάσταση δείχνει ότι οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη, ανεξάρτητα από την ελλοχεύουσα υποδομή, χρειάζονται το ίδιο μέγεθος γνώσης.

## 2.6 Τέταρτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας (4G)

Το 4G αναπτύσσεται για να εξυπηρετήσει την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) των σύγχρονων αναγκών για ταχύτερη και πιο αξιόπιστη επικοινωνία. Υπηρεσίες όπως η βίντεο-τηλεφωνία, τα MMS, η υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση, είναι όλες υπηρεσίες οι οποίες θα είναι σε θέση να αναπτυχθούν σε πλήρη εφαρμογή με τις δυνατότητες που θα παρέχει το 4G στην ασύρματη τηλεφωνία.

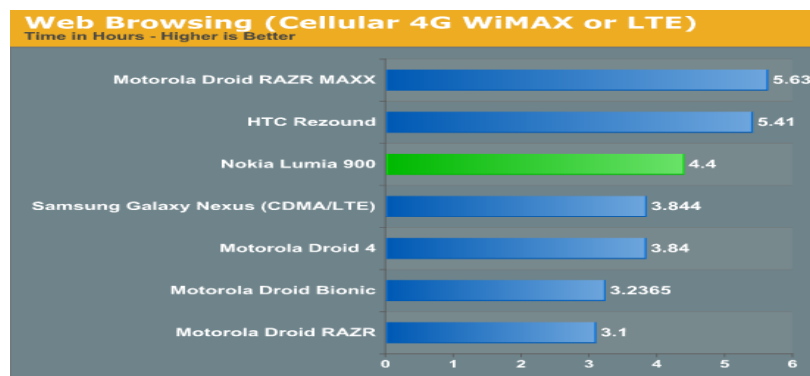
Παρακάτω ακολουθούν οι στόχοι του 4G πρωτοκόλλου:

- Ένα σύστημα λειτουργικό σε όλο το φάσμα (σε bits/s/Hz και bits/s/Hz/site)
- Μεγάλη χωρητικότητα δικτύου: Περισσότεροι χρήστες ανά κυψέλη.
- Ρυθμός μετάδοσης των 100Mbit/s καθώς ο χρήστης μετακινείται συνεχώς σε σχέση με τον σταθμό βάσης και ταχύτητες έως και 1Gbit/s όταν ο χρήστης βρίσκεται σε καθορισμένη θέση σε σχέση με τον σταθμό βάσης.
- Ρυθμό μετάδοσης που ξεκινά τουλάχιστον από τα 100Mbit/s μεταξύ τυχαίων δύο σημείων σε όλο το πλανήτη.
- Ομαλές δοσοληψίες μεταξύ δύο ετερογενών δικτύων.
- Παγκόσμια κάλυψη σε όλα τα δίκτυα ανά τον κόσμο.
- Υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την νέα γενιά πολυμέσων.
- Συμβατότητα με τα υπάρχον πρότυπα κινητής επικοινωνίας.

### 2.6.1 Πρότυπα 4G

Η δημοτικότητα του 4G είναι τέτοια ώστε ήδη έχουν αναπτυχθεί αρκετά πρότυπα τα οποία έχουν ως στόχο να ενσωματωθούν με αυτό στο μέλλον. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι:

1. WIMAX
2. 3GPP LTE (Long Term Evolution)



Εικόνα 20: Κινητά που χρησιμοποιούν 4G WiMax ή LTE

1. Το **3GPP LTE** είναι ένα σχέδιο του 3GPP για να βελτιώσει το UMTS πρότυπο ώστε να είναι συμβατό με τις νέες τεχνολογίες στην κινητή τηλεφωνία. Οι στόχοι του είναι να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα του δικτύου, να μειώσει το κόστος, να βελτιώσει υπηρεσίες και να είναι συμβατό με άλλα νέα πρότυπα.

Το πρότυπο περιλαμβάνει:

- Μέγιστο ρυθμό μεταφόρτωσης τα 326.4 Mbit/s (40 MBps) για 4x4 κεραίες και 172.8 Mbit/s (21.6 MBps) για 2x2 κεραίες, για κάθε 20MHz φάσματος
- Μέγιστο ρυθμό upload τα 86.4 Mbit/s για κάθε 20MHz του φάσματος
- 5 διαφορετικές τελικές κλάσεις έχουν καθοριστεί από μια κεντρική κλάση φωνής μέχρι ένα υψηλό τερματικό τελών που υποστηρίζει τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Όλο το τερματικό θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί το εύρος ζώνης των 20 MHz
- Τουλάχιστον 200 ενεργοί χρήστες σε κάθε 5MHz κυψέλη
- Καθυστέρηση μικρότερη από 5ms για μικρά IP πακέτα
- Αυξανόμενη ευελιξία φάσματος, με τμήματα φάσματος τόσο μικρά όσο 1,5 MHz (και τόσο μεγάλα όσο 20 MHz). Το WCDMA απαιτεί τμήματα των 5MHz που οδηγούν σε μερικά προβλήματα στις χώρες όπου 5 MHz είναι ένα συνήθως δεσμευμένο ποσό φάσματος, και είναι συχνά ήδη σε χρήση από πρότυπα όπως 2G το GSM και CDMAone.
- Μέγιστο μέγεθος κυψέλης για τέλεια απόδοση τα 5km, λογική απόδοση κυψέλης όταν το μέγεθος φτάσει τα 30km και μέγιστο μέγεθος κυψέλης με αποδεκτή απόδοση τα 100km.

- Συνύπαρξη με τα πρότυπα κληρονομιών (οι χρήστες μπορούν να αρχίσουν μια κλήση ή μια μεταφορά δεδομένων σε μια περιοχή χρησιμοποιώντας πρότυπα LTE και εάν η κάλυψη δεν είναι διαθέσιμη, να συνεχίσουν τη λειτουργία χωρίς οποιαδήποτε ενέργεια από τη μεριά τους χρησιμοποιώντας GSM/GPRS ή άλλα δίκτυα UMTS που παρέχουν κάλυψη στην περιοχή).
- Υποστηρίζει MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network). Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να παραδώσει υπηρεσίες όπως η κινητή τηλεόραση χρησιμοποιώντας την υποδομή LTE.

2. **WiMAX** αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης με εμβέλεια που φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω. Σε αντίθεση με άλλα ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το Wi-Fi όπου ο χρήστης πρέπει να βρίσκεται κοντά σε ένα σημείο εκπομπής (hotspot) το οποίο δεν έχει εμβέλεια πάνω από λίγα εκατοντάδες μέτρα, ο χρήστης καλύπτεται από το δίκτυο WiMAX σε οποιαδήποτε σημείο βρίσκεται. Αυτό σημαίνει ότι το WiMAX μπορεί να αντικαταστήσει εκτός από τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα και τα ενσύρματα δίκτυα καθώς παρέχει τις ίδιες (και παραπάνω) υπηρεσίες με λιγότερο κόστος από το να φτιαχτεί από την αρχή ένα ενσύρματο δίκτυο.

Μερικές από τις υπηρεσίες που προσφέρει το WiMAX είναι :

- διαδραστική (interactive) ψηφιακή τηλεόραση
- video
- μουσική
- σταθερή τηλεφωνία
- υψηλότερη ταχύτητα πρόσβασης στο διαδίκτυο
- βιντεοκλήση

Η εφαρμογή του WiMAX στα κινητά τηλέφωνα ονομάζεται mobile WiMAX. Εντός της σφαίρας του ανταγωνισμού, το Mobile WiMax έχει να αντιμετωπίσει κυρίως τα υπάρχοντα διαδεδομένα αναπτυσσόμενα ασύρματα συστήματα όπως είναι το UMTS και το CDMA 2000. Το Mobile WiMAX υπόσχεται ρυθμούς μετάδοσης 70 Mbit/s σε αποστάσεις 48 χιλιομέτρων. Βέβαια αυτό δεν είναι εύκολο στην υλοποίηση καθώς πρόκειται για ιδανικές συνθήκες. Πρακτικά, σε περιβάλλοντα όπως είναι οι επαρχιακές περιοχές όπου οι κεραιές μετάδοσης θα έχουν οπτική επαφή και θα απέχουν μεταξύ τους 10 χιλιόμετρα οι ταχύτητες θα είναι της τάξης των 10 Mbit/s.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει το mobile WiMAX είναι ότι ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί υπηρεσίες διαδικτύου πληρώνοντας ένα πάγιο, ανεξάρτητα με το τι θα “κατεβάσει”, σε αντίθεση με τα δίκτυα GSM/GPRS και

UMTS όπου έχουμε ογκοχρέωση του χρήστη. Τα συστήματα WiMax και Mobile WiMax που χρησιμοποιούνται σήμερα βασίζονται στο IEEE 802.16e-2005, το οποίο καθιερώθηκε το Δεκέμβριο του 2005.

## Κεφάλαιο 3: Το πρότυπο GSM

### 3.1 Θεωρητική εισαγωγή για το GSM

Τα τελευταία χρόνια τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν γνωρίσει μεγάλη άνθιση. Οι αυξανόμενες ανάγκες των ανθρώπων για καλύτερη, ποιοτικότερη και ασφαλέστερη επικοινωνία οδηγεί σε καινούργιες επινοήσεις που θα ικανοποιούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις σύγχρονες απαιτήσεις. Ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι το κυψελωτό σύστημα δεύτερης γενιάς, το GSM. Χρησιμοποιείται σε όλη την Ευρώπη και δίνει τη δυνατότητα στον συνδρομητή να μετακινείται από χώρα σε χώρα χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στον τρόπο επικοινωνίας του. Οι υπηρεσίες GSM ακολουθούν τις κατευθυντήριες γραμμές του ολοκληρωμένου δικτύου ψηφιακών υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network – ISDN) και κατηγοριοποιούνται σε τηλευπηρεσίες (teleservices) και υπηρεσίες δεδομένων (data services). Στις τηλευπηρεσίες συμπεριλαμβάνονται η κλασική κινητή τηλεφωνία και γενικά η τηλεπικοινωνιακή κίνηση που προέρχεται είτε από τον σταθμό βάσης είτε από το κινητό τηλέφωνο. Στις υπηρεσίες δεδομένων συμπεριλαμβάνονται επικοινωνίες μεταξύ υπολογιστών και τηλεπικοινωνιακή κίνηση μεταγομένων πακέτων.

#### 3.1.1 Υπηρεσίες του GSM

Οι διαθέσιμες στους χρήστες υπηρεσίες διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Τηλεφωνικές υπηρεσίες που συμπεριλαμβάνουν κλήσεις έκτακτης ανάγκης και φαξ.
- Υπηρεσίες δεδομένων που περιορίζονται στα επίπεδα 1, 2 και 3 του μοντέλου αναφοράς του **ανοικτού συστήματος διασύνδεσης (Open System Interconnection – OSI)**. Στις υποστηριζόμενες υπηρεσίες συμπεριλαμβάνονται και πρωτόκολλα μεταγωγής πακέτων και ταχύτητες δεδομένων από 300bps έως 9.6kbps. Τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν είτε μέσω του διαφανούς τρόπου λειτουργίας (transparent mode), είτε μέσω του αδιαφανούς τρόπου λειτουργίας (non-transparent mode). Ο διαφανής τρόπος χρησιμοποιεί την προτυποποιημένη κωδικοποίηση καναλιού για την μετάδοση δεδομένων, ενώ ο αδιαφανής τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιεί ειδική κωδικοποίηση υψηλής απόδοσης προσαρμοσμένη στην συγκεκριμένη διεπαφή.
- Συμπληρωματικές ISDN υπηρεσίες, όπως εκτροπή κλήσης, κλειστές ομάδες χρηστών, αναγνώριση κλήσης, **υπηρεσία αποστολής γραπτών μηνυμάτων (short messaging service – SMS)** και άλλες.

### 3.2 Αρχιτεκτονική του GSM

Τα βασικά υποσυστήματα της αρχιτεκτονικής GSM είναι:

- κινητός σταθμός (Mobile station system)
- το υποσύστημα σταθμών βάσης (Base station sub-system BSS)
- το υποσύστημα μεταγωγής (Network Switching Sub-System NSS)
- το λειτουργικό υποσύστημα (Operating Services Sub-System OSS).

Το δίκτυο GSM μαζί με τα συστατικά του φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

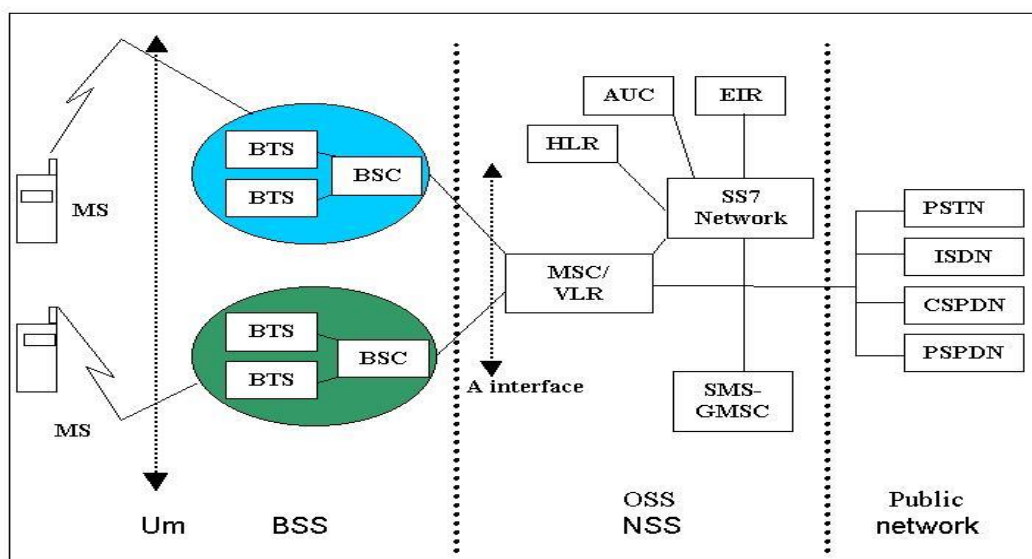


Figure 1: GSM System Architecture.

Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική GSM

Το υποσύστημα σταθμού βάσης (BSS) είναι υπεύθυνο για την παροχή και διαχείριση των μέσων μεταξύ του κινητού σταθμού και των NSS μηχανημάτων (Υπεύθυνο για την διαχείριση της ραδιοεπαφής).

Το υποσύστημα (δικτύου) μεταγωγής χειρίζεται την επικοινωνία χρηστών με άλλα δίκτυα ή άλλους χρήστες κινητών σταθμών.

Το υποσύστημα OSS παρέχει τα μέσα σε έναν τηλεπικοινωνιακό φορέα, ώστε να ελέγχει και να διαχειρίζεται το σύστημα GSM. Ακολουθεί λεπτομερέστερη ανάλυση της λειτουργίας των παραπάνω υποσυστημάτων.

### 3.2.1 Κινητός σταθμός MS

Ο κινητός σταθμός ή κινητό τερματικό αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό (τερματικό) και από μια έξυπνη κάρτα, η οποία ονομάζεται Subscriber Identity Module (SIM). Η SIM εξασφαλίζει την προσωπική κινητικότητα, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες στις οποίες είναι συνδρομητής, άσχετα με το τερματικό με το οποίο συνδέεται. Βάζοντας την κάρτα SIM σε άλλο τερματικό μπορεί ο χρήστης να δέχεται και να πραγματοποιεί κλήσεις και να λαμβάνει όλες τις υπηρεσίες.

Το κινητό τερματικό είναι μοναδικά αναγνωρίσιμο από τον αριθμό International Mobile Equipment Identity (IMEI). Η κάρτα περιέχει τον αριθμό International Mobile Subscriber Identity (IMSI), ο οποίος χρησιμοποιείται για να αναγνωρίζεται ο χρήστης από το δίκτυο, ένα μυστικό κλειδί για πιστοποίηση και άλλες πληροφορίες. Το IMEI και το IMSI είναι ανεξάρτητα και γι' αυτό επιτρέπεται η προσωπική κινητικότητα. Η κάρτα SIM προστατεύεται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες από έναν μυστικό προσωπικό αριθμό που ονομάζεται Personal Identity Number (PIN).

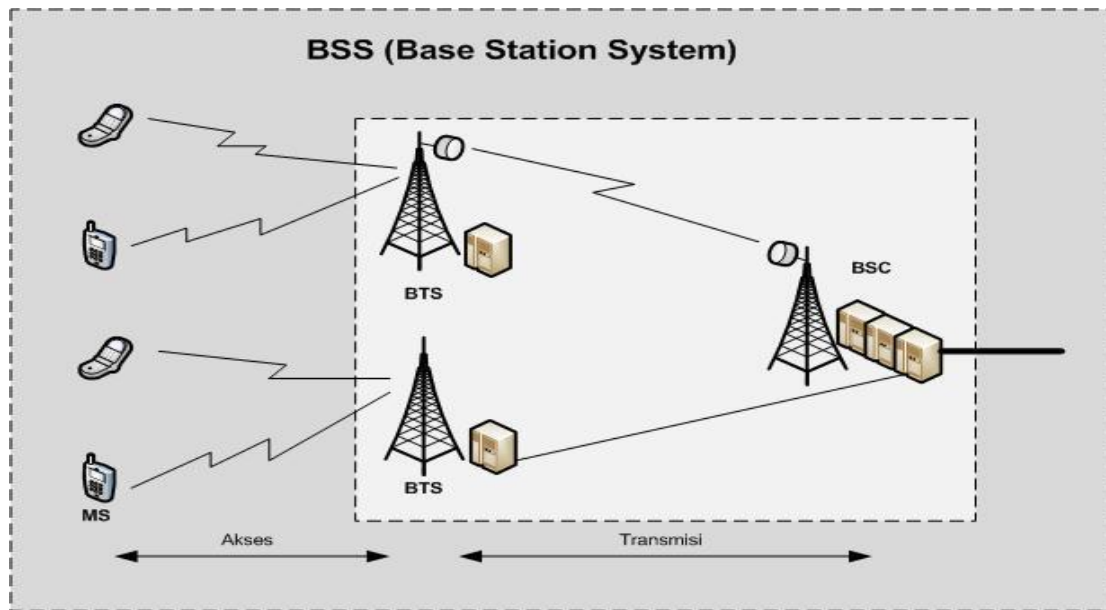
Γενικά χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι κινητών σταθμών. Οι τρεις κυριότεροι είναι:

- **Vehicle-mounted:** Συσκευές τοποθετημένες σε ένα όχημα. Η κεραία της συσκευής βρίσκεται τοποθετημένη εξωτερικά του οχήματος.
- **Portable:** Πρόκειται για φορητές συσκευές, που μπορούν να τοποθετούνται και σε όχημα. Αυτού του είδους οι συσκευές υποστηρίζουν όλα τα επίπεδα ενέργειας που απαιτεί το σύστημα.
- **Hand-held:** Φορητές συσκευές, όπου η κεραία είναι φυσικά συνδεδεμένη με τη συσκευή. Έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μετακινούνται εύκολα μαζί με το χρήστη. Είναι πλέον η πιο συνηθισμένη κατηγορία τερματικών.

### 3.2.2 Το υποσύστημα Σταθμών Βάσης BSS

Το BSS είναι η φυσική συσκευή του συστήματος που παρέχει ραδιοκάλυψη σε προκαθορισμένες γεωγραφικές περιοχές, στις γνωστές μας κυψέλες (cells). Περιέχει και τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την επικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς. Λειτουργικά, ένα BSS αποτελείται από μια λειτουργία ελέγχου που υλοποιείται από τον Ελεγκτή σταθμό βάσης (BSC) και μια λειτουργία μετάδοσης που υλοποιείται από το BTS (Base Transceiver Station).





Εικόνα 22: BSS-BTS-BSC

Στο BTS εμπεριέχεται ο ραδιοεξοπλισμός της μετάδοσης και επομένως η περιοχή ραδιοκάλυψης ενός BTS ορίζει μια κυψέλη (cell). Το BTS περιέχει την Transcoder Rate Adapter Unit (TRAU) (ή αλλιώς μονάδα προσαρμογής του ποσοστού του μετατροπέα κωδικοποίησης). Στην TRAU, πραγματοποιείται η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση της ομιλίας, καθώς επίσης και η λειτουργία προσαρμογής του ποσοστού των δεδομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις η TRAU περιέχεται στο Κέντρο Μεταγωγής MSC, ώστε να αποκομίσει το δίκτυο το πλεονέκτημα περισσότερο συμπιεσμένης μετάδοσης μεταξύ BTS και MSC.

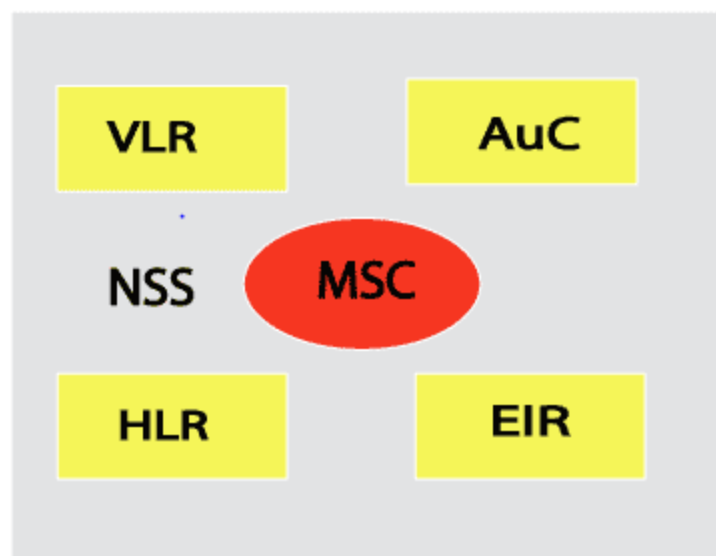
Το BSC ελέγχει ένα μεγάλο μέρος του ραδιοφωνικού δικτύου. Πιο σημαντικό καθήκον του είναι να εξασφαλίσει τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων ραδιοσυχνοτήτων. Οι κύριες λειτουργικές περιοχές του BSC είναι :

- Διαχείριση του ραδιοδικτύου
- Διαχείριση του BTS (Base Transceiver Station)
- Διαχείριση του Δικτύου μεταφοράς
- Διαχείριση των συνδέσεων κινητών MS (mobile station)

### 3.2.3 Το υποσύστημα Μεταγωγής δικτύου – Network Switching Sub-System

Το υποσύστημα μεταγωγής δικτύου NSS είναι υπεύθυνο για την πραγματοποίηση της κλήσης και γενικότερα για την έγκριση και την εποπτεία όλων των κλήσεων. Το σύστημα αυτό είναι επίσης υπεύθυνο για το χειρισμό σύντομων μηνυμάτων και πακέτων δεδομένων, συντήρηση της βάσης δεδομένων των δικών του χρηστών, καθώς και των επισκεπτών, παρέχοντας κρυπτογραφημένη εγκαθίδρυση σύνδεσης. Είναι μια πύλη για PSTN, άλλα κινητά δίκτυα και δίκτυα δεδομένων όπως το Διαδίκτυο. Περιέχει τις οντότητες του δικτύου MSC, GMSC, VLR, HLR, AC και EIR.

- a) MSC (Mobile services switching center)
- b) GMSC (Gateway Mobile services switching center)
- c) VLR (Visitor location register)
- d) HLR (Home location register)
- e) AC (Authentication center)
- f) EIR (Equipment Identity register)



Εικόνα 23: Χαρακτηριστικά υποσυστήματος δικτύου

a) Όσον αφορά το υποσύστημα μεταγωγής δικτύου (NSS), το κύριο μέρος του είναι το Κινητό Κέντρο Μεταγωγής (MSC), που εκτελεί τη μεταγωγή των κλήσεων μεταξύ των χρηστών του δικτύου κινητής τηλεφωνίας προς άλλα σταθερά ή κινητά, καθώς και τη διαχείριση των κινητών υπηρεσιών, όπως τον έλεγχο ταυτότητας. Το MSC δημιουργεί και ανοίγει μια σύνδεση end-to-end, χειρίζεται θέματα κινητικότητας χρηστών καθώς και την διαδικασία handover στην διάρκεια μίας κλήσης και τέλος φροντίζει για την χρέωση των χρηστών. Η συνιστώσα αυτή ουσιαστικά ελέγχει ολόκληρο το δίκτυο. Με άλλα λόγια, το BSC μεταφέρει την κλήση στο MSC, το οποίο αποτελεί μέρος του υποσυστήματος μεταγωγής δικτύου NSS, όπου έχουν ληφθεί όλες οι λειτουργίες μεταγωγής κλήσεων και διαχείρισης της κινητικότητας.

b) Προκειμένου να παραδοθεί μια εισερχόμενη κλήση σε έναν χρήστη του δικτύου GSM, η κλήση δρομολογείται αρχικά σε έναν διαβιβαστικό μεταγωγέα, που αναφέρεται ως Gateway Mobile Switching Center (GMSC) ή Διαβιβαστικό Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών. Το GMSC είναι αρμόδιο για τη συλλογή της πληροφορίας εντοπισμού και τη δρομολόγηση της κλήσης στο MSC, το οποίο θα καταστεί υπεύθυνο για την παροχή της επιλεγμένης υπηρεσίας από το συνδρομητή (δηλαδή, το φιλοξενούν κέντρο μεταγωγής). Το GMSC εντοπίζει αρχικά τον σωστό HLR από τον αριθμό καταλόγου του συνδρομητή και τον ρωτά για τον εντοπισμό δεδομένων.

Το GMSC τέλος είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση του συστήματος ώστε να δρομολογεί τις κλήσεις στη σωστή MSC/VLR περιοχή και από εκεί στο MS. Το GMSC είναι ένα κανονικό MSC με ενισχυμένες λειτουργίες καθώς σε αυτό δρομολογούνται οι κλήσεις όταν δεν προέρχονται από το οικείο PLMN δίκτυο.

c) Το VLR συνδέεται με ένα ή περισσότερα κέντρα μεταγωγής. Το VLR αποτελεί την λειτουργική μονάδα, όπου αποθηκεύονται με δυναμικό τρόπο οι πληροφορίες συνδρομητών, όταν ο συνδρομητής εντοπίζεται στην περιοχή που καλύπτεται από τον συγκεκριμένο VLR που με τη σειρά του ελέγχεται από ένα συγκεκριμένο MSC. Όταν ένας ενεργοποιημένος κινητός σταθμός που βρίσκεται σε περιαγωγή (roaming) εισέλθει σε μια περιοχή ενός άλλου (καινούριου) MSC, ο VLR ζητά πληροφορίες για το νέο κινητό σταθμό (MS) από τους HLRs του δικτύου. Έτσι ο HLR εντοπίζει την καινούρια θέση του MS και η παλιά καταχώρηση του MS στον άλλο VLR θα ακυρωθεί.

d) Το σύστημα περιλαμβάνει βάσεις δεδομένων στο δίκτυο που ελέγχουν τη θέση του κινητού. Η πιο βασική είναι ο **HLR** (Καταχωρητής Θέσης Οικείων). Αποτελεί την λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των κινητών συνδρομητών. Ένα δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει έναν ή και περισσότερους HLR ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου: το μέγεθος και την πολυπλοκότητά του.

Όταν κάποιος γίνεται συνδρομητής σε έναν από τους παρόχους GSM καταχωρείται στον HLR που περιέχει πληροφορίες συνδρομητών όπως: συμπληρωματικές υπηρεσίες (supplementary services) και παραμέτρους

αυθεντικότητας (authentication) καθώς και τη θέση του κινητού (δηλαδή ο προσδιορισμός σε τίνος MSC την περιοχή βρίσκεται), η οποία προφανώς αλλάζει καθώς το κινητό κινείται και άρα ο HLR πρέπει να ενημερώνεται (διαμέσου του MSC/VLR). Δύο τύποι πληροφορίας αποθηκεύονται στον HLR: Πληροφορίες για τους συνδρομητές και μέρος της πληροφορίας εντοπισμού θέσης, ώστε να επιτραπεί στις εισερχόμενες κλήσεις να δρομολογηθούν στο ελέγχων κέντρο μεταγωγής

e) Το σύστημα έχει πρόσβαση στον **AuC** μέσω του HLR, ώστε να καθοριστεί εάν στον συγκεκριμένο κινητό σταθμό επιτρέπεται η χορήγηση υπηρεσιών. Προμηθεύει τον HLR με παραμέτρους πιστοποίησης της αυθεντικότητας των συνδρομητών (παράμετροι που κυρίως ελέγχουν την ταυτότητα του χρήστη) και ciphering keys (που βοηθούν στην κωδικοποίηση και στην κρυπτογράφηση των δεδομένων για λόγους ασφαλείας).

f) Ο EIR είναι μια βάση δεδομένων, που παρέχει πληροφορίες για τους κινητούς σταθμούς που χρησιμοποιούνται από το κέντρο μεταγωγής. Ο EIR διατηρεί καταλόγους με τους νόμιμους, τους μη νόμιμους ή τους ελαττωματικούς κινητούς σταθμούς.

Περιέχει :

- 1 λευκή λίστα των αριθμών που χρησιμοποιούνται.
- 1 γκριζα λίστα των αριθμών που πρέπει να παρατηρηθούν.
- 1 μαύρη λίστα με τερματικά που δεν τους επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο.

Ανάλογα με την τεχνολογία λογισμικού και υλικού που επιλέγει ο εκάστοτε πάροχος η EIR μπορεί να συνυπάρχει στο ίδιο υλικό με τον AuC και τον HLR.

### *3.2.4 Το Υποσύστημα Λειτουργίας και Συντήρησης – Operation and Maintenance Subsystem (OMSS)*

Το OMSS είναι αρμόδιο για τη διαχείριση της ασφάλειας του συστήματος. Η ασφάλεια βασίζεται στην επικύρωση και τον έλεγχο των ταυτοτήτων διάφορων τηλεπικοινωνιακών οντοτήτων. Αυτές οι λειτουργίες εκτελούνται από το Κέντρο Ελέγχου Αυθεντικότητας – Authentication Center (AuC) και τον Καταχωρητή Ταυτοτήτων Συσκευών – Equipment Identity Register (EIR).

### 3.2.5 Οι Διεπαφές και τα Πρωτόκολλα του GSM

Οι λειτουργικές οντότητες του GSM όπως αναλύθηκαν παραπάνω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 2.

Δημόσιο επίγειο κινητό σύστημα (PLMN)	Όλο το GSM σύστημα
Κινητός σταθμός (MS)	Το κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιούμε
Σταθμός βάσης (BTS)	Παρέχει σύνδεση ανάμεσα στο δίκτυο και στον κινητό σταθμό μέσω της διεπαφής αέρα
Ελεγκτής σταθμού βάσης (BSC)	Ελέγχει όλο το υποσύστημα.
Μονάδα προσαρμογής του ποσοστού του μετατροπέα κωδικοποίησης (TRAU)	Συμπιέζει δεδομένα που φορτώνονται στο δίκτυο, είναι μέρος του BSS.
Κέντρο μεταγωγής κινητών επικοινωνιών (MSC)	Ο BSC συνδέεται στο MSC. Το MSC καθορίζει τη διαδρομή των εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων
Καταχωρητής θέσης οικείων (HLR)	Ο καταχωρητής αποθηκεύει δεδομένα μεγάλου αριθμού χρηστών. Είναι σαν μια βάση δεδομένων που διαχειρίζεται δεδομένα από όλους τους χρήστες. Κάθε PLMN έχει τουλάχιστον έναν HLR.
Καταχωρητής θέσης επισκεπτών (VLR)	Περιέχει μέρος των δεδομένων έτσι ώστε ο HLR να μην είναι υπερφορτωμένος με αναζητήσεις. Αν κάποιος συνδρομητής φύγει από την περιοχή του VLR, ο HLR ζητάει μετακίνηση των δεδομένων που σχετίζονται με τον συγκεκριμένο χρήστη από τον VLR.
Καταχωρητής Ταυτοτήτων Συσκευών (EIR)	Βάση δεδομένων που παρέχει πληροφορίες για τους κινητούς σταθμούς που χρησιμοποιούνται από το κέντρο μεταγωγής.

Πίνακας 3: Gsm Οντότητες

Τα πρωτόκολλα του GSM συστήματος μπορούν να χωριστούν σε τρία στρώματα:

#### Στρώμα 1 : Φυσικό στρώμα (Physical layer)

- εμπεριέχει τη φυσική μετάδοση (TDMA, FDMA)
- αποτίμηση της ποιότητας καναλιού

- εκτός από την ασύρματη διεπαφή (air interface), χρησιμοποιείται επίσης PCM 30 ή ISDN σύνδεσμοι (GSM Rec. 08.54 on Abis interface and 08.04 on A to F interfaces).

#### Στρώμα 2 : στρώμα σύνδεσης δεδομένων (Data link layer)

- πολυπλεξία ενός ή περισσοτέρων καναλιών ελέγχου
- ανίχνευση λαθών
- έλεγχος ροής
- εγγύηση της ποιότητας μετάδοσης
- δρομολόγηση

#### Στρώμα 3 : στρώμα δικτύου (Network layer)

- διαχείριση σύνδεσης (air interface)
- διαχείριση τοποθέτησης δεδομένων
- αναγνώριση του συνδρομητή
- διαχείριση επιπλέον υπηρεσιών (SMS, προώθηση κλήσεων κ.τ.λ)

## 3.2 Συχνότητες λειτουργίας GSM

### 3.2.1 GSM 900

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα GSM στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link). Οι περιοχές (ζώνες) των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή Standard GSM.

### 3.2.2 GSM 1800

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα DCS ή GSM 1800, στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Up link και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Down link. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374 (+ 1 ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Σήμερα, όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα (GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους. Στα

τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

### 3.2.3 GSM 1900

Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Up link και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Down link. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το PCS 1900 που λεγότανε παλιότερα σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

### 3.2.4 E-GSM • Extended-GSM 900

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Up link και 925 έως 960 MHz Down link. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

## 3.3 Σημεία για σχεδίαση ενός δικτύου GSM

Το ασύρματο υποσύστημα αποτελεί ένα από τα πλέον κρίσιμα υποσυστήματα του δικτύου GSM διότι αποτελεί το σημείο της συνδρομητικής πρόσβασης. Υπό αυτή την έννοια η πρόβλεψη, σχεδίαση και μέτρηση των επιδόσεων του ασύρματου υποσυστήματος αποτελεί ένα ιδιαίτερο αντικείμενο εργασίας τόσο κατά την αρχική εγκατάσταση ενός δικτύου όσο και κατά τις διάφορες φάσεις ανάπτυξής του. Μια χονδρική αποτύπωση των πλέον σημαντικών σημείων που αφορούν τη σχεδίαση του ασύρματου GSM δικτύου έχει ως εξής:

- **Βήμα 1: Ανάλυση Αναγκών**

Η διαδικασία σχεδίασης ξεκινά με την συλλογή στοιχείων και την αποτύπωση των αναγκών σε επίπεδο κάλυψης και χωρητικότητας.

- **Βήμα 2: Αρχική Σχεδίαση**

Μετά τη συλλογή των δεδομένων μια κατ' αρχήν σχεδίαση είναι εφικτή. Η σχεδίαση αυτή αποτελεί μια γραφική αναπαράσταση του ασύρματου δικτύου που αποτυπώνει τη διαίρεση του χώρου κάλυψης σε κελιά. Σε αυτό το σημείο πραγματοποιούνται εκτιμήσεις για την πιθανότητα κάλυψης και τις παρεμβολές. Στην πράξη αυτού του είδους η μελέτη απαιτεί τη χρήση ειδικών πακέτων λογισμικού.

- **Βήμα 3: Έρευνα και Μετρήσεις Πεδίου**

Μετά την αρχική σχεδίαση ακολουθούν οι μετρήσεις πεδίου προκειμένου να επιβεβαιωθούν οι εκτιμήσεις σχετικά με την κάλυψη και τις παρεμβολές. Ένα επίσης κρίσιμο σημείο σε αυτό το στάδιο είναι η επιθεώρηση των θέσεων στις οποίες θα τοποθετηθούν οι σταθμοί βάσης προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ορθότητα της επιλογής.

- **Βήμα 4: Τελική Σχεδίαση**

Εφόσον η επιτόπια διερεύνηση έχει δώσει τη δυνατότητα τροποποίησης και βελτιστοποίησης της αρχικής σχεδίασης είναι πλέον δυνατή η καταγραφή μιας τελικής σχεδίασης. Σε αυτή τη φάση καθορίζονται η τελική σχεδίαση των κελιών και τα χαρακτηριστικά των BTS-BSC-MSC.

- **Βήμα 5: Υλοποίηση Συστήματος**

Με βάση την τελική σχεδίαση το σύστημα εγκαθίσταται, λειτουργεί και υποβάλλεται σε μια σειρά από τεστ ελέγχου.

- **Βήμα 6: Ρυθμίσεις Συστήματος**

Μετά την τελική υλοποίηση και παράδοση το σύστημα αξιολογείται συνεχώς με μετρήσεις προκειμένου να ελεγχθεί εάν το εν λειτουργία ασύρματο GSM δίκτυο παρουσιάζει τις αναμενόμενες επιδόσεις. Η αξιολόγηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα μικρές τροποποιήσεις βελτιστοποιήσεις και προσαρμογές απέναντι τόσο στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, όσο και σε διάφορες αλλαγές, όπως η αύξηση των συνδρομητών και του όγκου της κίνησης.

### 3.4 Χωρητικότητα Δικτύων GSM

Σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιο μοντέλο τηλεφωνικής «κίνησης» με σκοπό την υψηλή ποιότητα παροχής υπηρεσιών. Το μοντέλο αυτό σχεδιάζεται βάσει κάποιων πραγματικών παρατηρήσεων με βάση την τηλεφωνική συμπεριφορά των συνδρομητών της εταιρίας. Για την κατασκευή του μοντέλου αυτού παίρνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως ο αριθμός των συνδρομητών, το πόσο συχνά και σε ποιες περιοχές κάνουν χρήση του κινητού τους (τις ώρες αιχμής-γιορτές), τη μέση διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης κ.α. παράγοντες έτσι ώστε να εξασφαλισθεί εκ των προτέρων η ικανοποίηση των χρηστών.



Για να υπολογιστεί η τηλεφωνική "κίνηση" χρησιμοποιείται μια μονάδα μέτρησης, το Erlang. Ένα Erlang δείχνει το φορτίο κίνησης που μεταφέρεται από ένα κανάλι που είναι δεσμευμένο. Αν, δηλαδή, ένα κανάλι χρησιμοποιείται για μία ώρα και 30 λεπτά, κατά την διάρκεια μιας ώρας μεταφέρει 1,5 Erlangs. Εάν Q κλήσεις, μέσης διάρκειας T, πραγματοποιούνται κατά το χρονικό διάστημα t, τότε η τηλεφωνική κίνηση A δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{QT}{t} \text{ Erlangs}$$

Για παράδειγμα αν έχουμε 100 χρήστες από τους οποίους οι 30 κάνουν 2 κλήσεις την ώρα διάρκειας 3 λεπτών, 15 να κάνουν 4 κλήσεις την ώρα διάρκειας 8 λεπτών και 55 να κάνουν 30 κλήσεις την ώρα διάρκειας ενός λεπτού τότε ο συνολικός φόρτος κίνησης είναι 38,5 Erlangs με μέση κίνηση/χρήστη να είναι 38,5 mErlangs. (30\*2\*3=180, 180/60min=3 Erlangs) (15\*4\*8=480, 480/60min=8 Erlangs) (55\*30\*1=1650, 1650/60min=27,5 Erlangs) (0,1 Erlang=6min, 1 Erlang=60min)

«Η τηλεφωνική κίνηση/συνδρομητή ορίζεται ως η μέση πιθανότητα για ένα συγκεκριμένο συνδρομητή να κάνει χρήση του τηλεφώνου του κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε ώρες αιχμής».

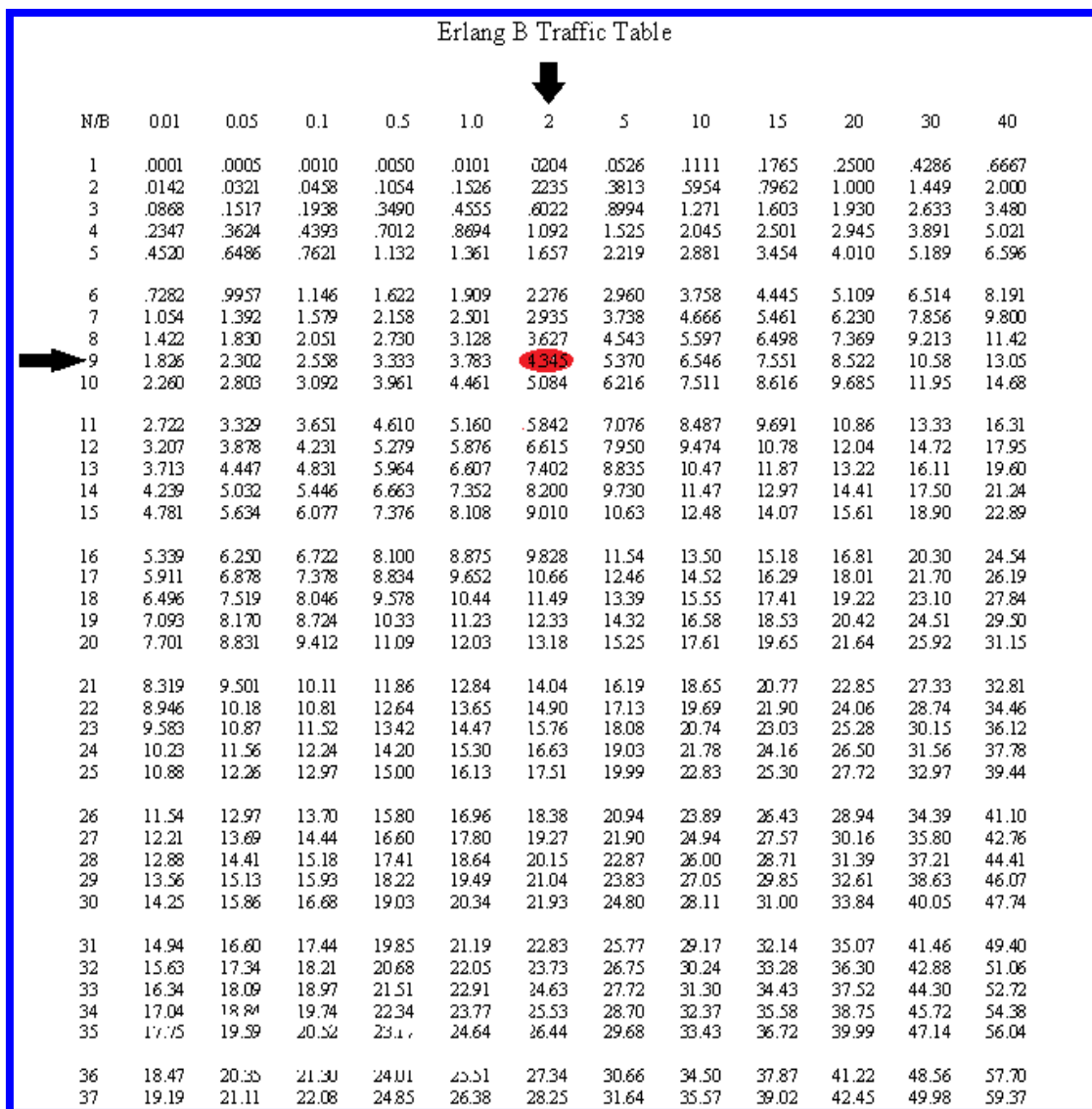
Μετρήσεις που έχουν γίνει σε δίκτυα GSM έχουν δείξει ότι 0,025 Erlang/συνδρομητή είναι υπεραρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες της συνδρομητικής βάσης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής μπορεί να κάνει μία κλήση διάρκειας 90 δευτερολέπτων/ώρα. Στην πράξη κανένα, τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στον κόσμο δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα όλους τους συνδρομητές του, σε συνθήκες καταγιστικής ζήτησης π.χ.σε περίπτωση σεισμού ή συνήθως σε περιόδους εορτών.

Με βάση τα παραπάνω τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν σχεδιάσει τα δίκτυα τους να έχουν GoS {(Grade of Service) - η πιθανότητα να μπλοκαριστεί μια κλήση} λιγότερο από 2%. Έτσι αν είχαμε 100 συνδρομητές με Gos 2% με μέση κίνηση / χρήστη να είναι 38.5 mErlangs τότε έχουμε 100\*0,0385.5 E=3,85 Erlangs με Gos 2% χρειάζονται 9 κανάλια σύμφωνα με έναν ειδικό πίνακα Erlang blocking probability που φαίνεται παρακάτω.

### 3.4 Εγκαθίδρυση μίας τηλεφωνικής κλήσης

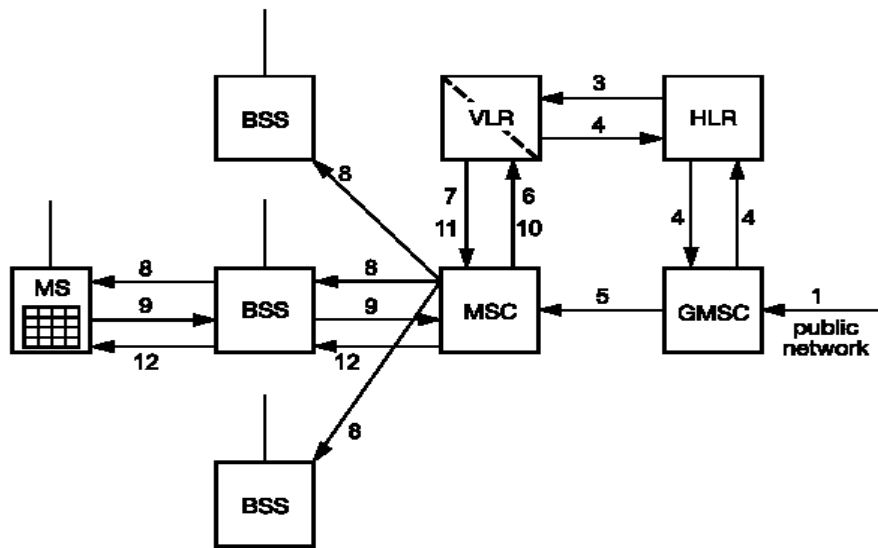
Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε πως ακριβώς συμβαίνει μια ολοκληρωμένη τηλεφωνική κλήση. Η εισερχόμενη κλήση περνάει από το σταθερό δίκτυο στο κέντρο μεταγωγής κινητών επικοινωνιών MSC. Μετά καθορίζεται ο καταχωρητής θέσης οικείων HLR βασισμένος στους IMSI αριθμούς του καλούμενου συνδρομητή. Ο HLR ελέγχει την ύπαρξη του καλούμενου αριθμού. Κατόπιν ο σχετικός καταχωρητής θέσης επισκεπτών VLR παρέχει έναν αριθμό περιπλάνησης του κινητού σταθμού (MSRN). Αυτό μεταδίδεται πίσω στο GMSC.

Erlang B Traffic Table



N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3613	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44
26	11.54	12.97	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89	26.43	28.94	34.39	41.10
27	12.21	13.69	14.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94	27.57	30.16	35.80	42.76
28	12.88	14.41	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00	28.71	31.39	37.21	44.41
29	13.56	15.13	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05	29.85	32.61	38.63	46.07
30	14.25	15.86	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11	31.00	33.84	40.05	47.74
31	14.94	16.60	17.44	19.85	21.19	22.83	25.77	29.17	32.14	35.07	41.46	49.40
32	15.63	17.34	18.21	20.68	22.05	23.73	26.75	30.24	33.28	36.30	42.88	51.06
33	16.34	18.09	18.97	21.51	22.91	24.63	27.72	31.30	34.43	37.52	44.30	52.72
34	17.04	18.84	19.74	22.34	23.77	25.53	28.70	32.37	35.58	38.75	45.72	54.38
35	17.75	19.59	20.52	23.17	24.64	26.44	29.68	33.43	36.72	39.99	47.14	56.04
36	18.47	20.35	21.30	24.01	25.51	27.34	30.66	34.50	37.87	41.22	48.56	57.70
37	19.19	21.11	22.08	24.85	26.38	28.25	31.64	35.57	39.02	42.45	49.98	59.37

Εικόνα 24: Erlang channels/gos



Εικόνα 25: Πραγματοποίηση κλήσης

Στη συνέχεια η σύνδεση μεταφέρεται στο κατάλληλο MSC. Ο VLR ερωτάται για τη σειρά και τη δυνατότητα προσέγγισης του κινητού συνδρομητή. Αν ο κινητός σταθμός θεωρηθεί **“reachable”** εγκαθίσταται η κλήση και υλοποιείται σε όλες τις ραδιοζώνες που προσδιορίζονται από τον VLR. Όταν το κινητό τηλέφωνο συνδρομητών απαντήσει στο αίτημα από την τρέχουσα ράδιο-κυψέλη, όλες οι υπηρεσίες ασφαλείας εκτελούνται. Αν αυτό γίνει επιτυχώς, ο VLR υποδεικνύει στο MSC ότι αυτή η κλήση μπορεί να πραγματοποιηθεί.

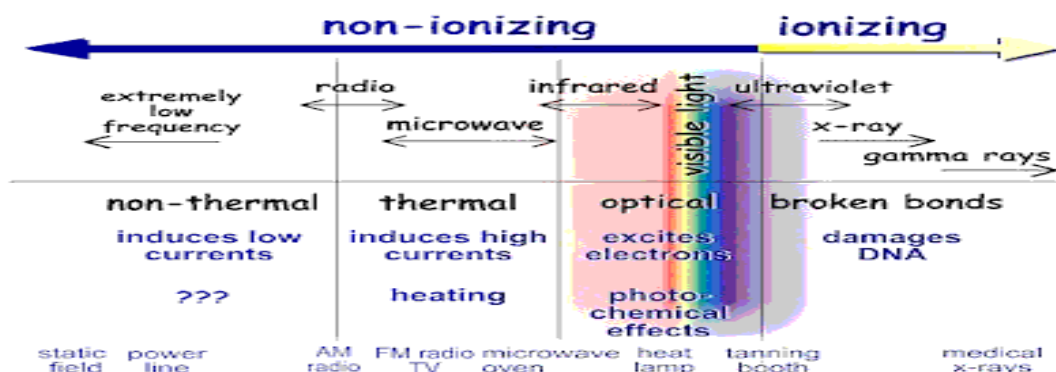
## Κεφάλαιο 4: Διεθνή στάνταρ έκθεσης ακτινοβολίας στον άνθρωπο

### 4.1 Ιοντίζουσα- Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία

Ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι η ενέργεια που παράγεται από φυσικά ραδιενεργά υλικά ή ακόμα από υλικά που έχει φτιάξει ο άνθρωπος. Η Ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι παντού στο περιβάλλον μας καθώς βρίσκεται στα διάφορα μέταλλα που παραμένουν στην γη από τα πρώτα χρόνια που δημιουργήθηκε ο πλανήτης μας. Η παραμένουσα αυτή ραδιενέργεια μας οδηγεί σε έκθεση στις ακτίνες γάμμα και σε ραδιενεργό ράδιο από συγκεκριμένα πετρώματα και από ραδιενεργά υλικά που υπάρχουν σε αυτά που τρώμε και σε αυτά που πίνουμε.

Είμαστε επίσης εκτεθειμένοι στη φυσική ιοντίζουσα ακτινοβολία, που προέρχεται από το διάστημα και η οποία περνώντας από την ατμόσφαιρα του πλανήτη μας δημιουργεί την ονομαζόμενη κοσμική ακτινοβολία. Ιοντισμός ενός ατόμου είναι το αποτέλεσμα της απομάκρυνσης ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων από τις ηλεκτρονικές ατομικές στιβάδες λόγω κάποιου εξωτερικού αιτίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την παραγωγή αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Τα ραδιενεργά υλικά κατά την διάρκεια της σχάσης τους παράγουν ιοντίζουσα ακτινοβολία η οποία έχει αρκετή ενέργεια να διεγείρει και να αποχωρίσει ηλεκτρόνια από τα άτομα παράγοντας δύο φορτισμένα ιόντα να σπάσει μερικούς χημικούς δεσμούς. Οι πλέον συνηθισμένες μορφές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι τα σωματίδια άλφα και βήτα ή η ακτινοβολία γάμμα και οι ακτίνες X.

Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία, ονομάζεται η ακτινοβολία που υπάρχει στο περιβάλλον μας και προέρχεται από την έκθεση στο φως του ήλιου, στις γραμμές υψηλής τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, στις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας χρήση και στα κινητά μας τηλέφωνα. Η ακτινοβολία όμως αυτή δεν έχει την απαιτούμενη ενέργεια να παράγει τους ιοντισμούς αυτούς. Γι' αυτό ονομάζεται μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.



Εικόνα 26: Non-Ionizing/Ionizing

## 4.2 Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία που προέρχεται από κινητά τηλέφωνα και σταθμούς βάσης.

Όπως προείπαμε λοιπόν μη ιοντίζουσα είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια. Επειδή η ενέργεια αυτή είναι μικρή είναι αδύνατον να προκαλέσει άμεσα ιοντισμό στην αλληλεπίδρασή της με τα άτομα. Είναι όμως δυνατόν να προκληθούν θερμικές ή χημικές αντιδράσεις στα κύτταρα ενός οργανισμού. Τα αποτελέσματα των επιδράσεων αυτών μερικές φορές είναι ευεργετικά και χρήσιμα και άλλες φορές βέβαια επιβλαβή και καταστροφικά. Όπως είδαμε και στις εικόνες που παρατίθενται στην αρχή, οι γνωστότερες από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, είναι ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο (ορατή, υπεριώδης, υπέρυθρη), τα διάφορα κύματα ηλεκτρομαγνητικά, μικροκύματα, ραδιοκύματα) που εκπέμπονται από διάφορες συσκευές και ακόμα ακτινοβολία που χρησιμοποιείται ακόμα και για ιατρικούς σκοπούς όπως η Laser, επεμβατικά και θεραπευτικά. Η διαφορά τους έγκειται στην συχνότητα και την ενέργεια.

Εξ αρχής να διευκρινίσουμε ότι πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τόσο κατά την διάρκεια της εκπομπής όσο και της λήψης. Η περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από την κινητή τηλεφωνία, είναι ανάμεσα στις συχνοτήτες εκπομπής των τηλεοπτικών σταθμών και αυτών των φούρνων μικροκυμάτων, δηλαδή μεταξύ των 900 MHz και των 1.800 MHz.

Είναι γεγονός ότι προς το παρόν η πληροφόρησή μας για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων από την ακτινοβολία που προέρχεται από την χρήση της κινητής τηλεφωνίας είναι σχετικά ελλιπής. Η βασική αρχή της όσο το δυνατόν μικρότερης έκθεσης στην συγκεκριμένη ακτινοβολία ισχύει και για τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

- Όσο λιγότερα τηλεφωνήματα κάνουμε, τόσο το καλύτερο.
- Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος συνομιλίας τόσο μικρότερη η έκθεση.
- Όσο πλησιέστερα στο κεφάλι μας βρίσκεται το κινητό τόσο μεγαλύτερη η επιβάρυνση
- Όσο δυνατότερο το σήμα τόσο αυξάνονται οι πιθανές επιπτώσεις.

Όπως βλέπουμε λοιπόν οι βασικές αρχές που αναλύθηκαν για την προστασία μας από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες πρέπει να τις λαμβάνουμε σοβαρά υπ' όψιν και για τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, όχι βέβαια στον ίδιο βαθμό επικινδυνότητας.

#### 4.2.1 Σταθμοί βάσης

Τα τρία μεγέθη που χρησιμοποιούμε για να ελέγξουμε την ακτινοβολία από τους σταθμούς βάσης, είναι:

- α. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
- β. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου και τέλος
- γ. Η πυκνότητα ροής σε ισχύ.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η οποία συνεχώς αναπροσαρμόζεται, γύρω από την κεραία σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας δεν επιτρέπεται η πρόσβαση από τον κοινό πληθυσμό, καθόσον τα όρια της έκθεσης και για τα τρία μεγέθη που αναφέρθησαν ανωτέρω υπερβαίνουν το 80% των ανώτερων επιτρεπομένων ορίων. Με σύστασή της η Ευρωπαϊκή Ένωση προς τα κράτη μέλη της, έχει καθορίσει τα όρια αυτά και για τις δύο ζώνες που συνήθως χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας.

#### 4.2.2 Φορητές συσκευές κινητών τηλεφώνων

Εδώ η ευαίσθητη περιοχή για την οποία πρέπει να τεθούν όρια είναι αυτή του κεφαλιού. Διεθνώς έχει καθιερωθεί σαν μέγεθος ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης της ενέργειας ή SAR. Ο ρυθμός αυτός υπολογίζεται από τον μέσο όρο που εξάγεται από την ακτινοβολήση όλου του σώματος ή ενός μέρους αυτού.

Ο ρυθμός απορρόφησης της ενέργειας έχει σαν μονάδες μέτρησης τα W/kg και σαν μέγιστη τιμή για την περιοχή του κεφαλιού θεωρούμε τα 2 W/kg στο εύρος συχνοτήτων μεταξύ 10 MHz και 10 GHz σε μέσο όρο μάζας 10 γραμμαρίων των ιστών γύρω από την περιοχή του αυτιού.

#### 4.2.3 Όρια έκθεσης ακτινοβολίας

Τα όρια της μη-ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων της Ελλάδας, αφορούν πρακτικά τα όρια θερμικών επιδράσεων (δηλ. τότε οι ακτινοβολίες αυτές αλλοιώνουν άμεσα τους ιστούς / τη σάρκα, μετά από μικρής διάρκειας έκθεση) και όχι τότε, σε πολύ μικρότερες εντάσεις, δημιουργούνται προβλήματα στην υγεία. Παρακάτω δίδεται ο σχετικός πίνακας με τα όρια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διάφορες χώρες.

Αρχή	Όριο / Πρόταση	Χώρα / Περιοχή	έτος	Φάσμα	Ένταση (V/m)	Πυκνότητα ροής (W/m <sup>2</sup> )	mW/m <sup>2</sup>	μW/m <sup>2</sup>
FCC	Όριο	ΗΠΑ	1997	GSM 1900	61,4	10	10.000	10.000.000
ΕΕΑΕ	Όριο > 300μ	Ελλάδα	2006	> 2 GHz	51,4	7,0	7.000	7.000.000
ΕΕΑΕ	Όριο < 300μ	Ελλάδα	2006	> 2 GHz	47,2	6,0	6.000	6.000.000
ΕΕΑΕ	Όριο > 300μ	Ελλάδα	2006	GSM 1800	48,8	6,3	6.300	6.300.000
ΕΕΑΕ	Όριο < 300μ	Ελλάδα	2006	GSM 1800	45,2	5,4	5.400	5.400.000
ΕΕΑΕ	Όριο > 300μ	Ελλάδα	2006	GSM 900	34,5	3,1	3.100	3.100.000
ΕΕΑΕ	Όριο < 300μ	Ελλάδα	2006	GSM 900	31,9	2,7	2.700	2.700.000
Safety Code 6	Όριο	Καναδάς	1997	GSM	33,6	3	3.000	3.000.000
Κράτος	Όριο	Νέα Ζηλανδία	-	GSM	27,5	2	2.000	2.000.000
Κράτος	Όριο	CSSR Τσεχία Σλοβακία	-	GSM	9,5	0,24	240	240.000
Κράτος	Όριο	Ιταλία	-	GSM	7,8	0,16	160	160.000
Κράτος	Όριο	Πολωνία	-	GSM	6,1	0,1	100	100.000
Κράτος	Όριο	Κίνα	-	GSM 1800	6,1	0,1	100	100.000
Κράτος	Όριο	Κίνα	1999	GSM 900	6,0	0,095	95	95.491
Κράτος	Όριο	Ιταλία	2002	GSM	6,0	0,095	95	95.491
Κράτος	Όριο	Ελβετία	2001	GSM 1800	6,0	0,095	95	95.491
Κράτος	Όριο	Ελβετία	2001	GSM 900	4,0	0,042	42	42.440
Κράτος	Όριο	Αίγυπτος	-	GSM	4,0	0,042	42	42.440
Κράτος	Όριο	Βέλγιο	-	GSM	3,0	0,024	24	23.873
Κράτος	Όριο	Ρωσία	1970	GSM	2,7	0,020	20	20.000
Κράτος	Όριο	Βουλγαρία	-	GSM	2,0	0,011	11	10.610
Κράτος	Όριο	Γαλία (Παρίσι)	-	GSM	1,9	0,010	10	9.576
Κράτος	Όριο	Αυστρία (Βιέννη)	2006	GSM	1,9	0,010	10	9.576
Κράτος	Όριο	Ρωσία	1996	GSM	1,0	0,003	3	2.653
Κράτος	Όριο	Αυστρία (όλη)	2008	GSM	0,6	0,001	1	1.000
Κρατίδιο	Όριο	Σάλτσμπουργκ	1999	GSM	0,6	0,001	1	955
Κρατίδιο	Όριο	Σάλτσμπουργκ (έξωτ.χώροι)	2002	GSM 900	0,2	0,00011	0,1	106
-	-	-	-	-	-	-	-	-
ICNIRP	Οδηγία	Διεθνής Οργ.	1998	GSM 1800	58,2	9,00	9.000	9.000.000
ICNIRP	Οδηγία	Διεθνής Οργ.	1998	GSM 900	41,2	4,50	4.500	4.500.000

Πίνακας 4: Γενικά όρια έκθεσης σε ακτινοβολία

Στην Ελλάδα, οι δύο Νόμοι που έχουν σχέση με την προστασία του κοινού από μη ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι η Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ' αριθ. 53571/3839, «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά», (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) και ο Νόμος 3431/2006 «Περί ηλεκτρονικών επικοινωνιών και άλλες διατάξεις», (ΦΕΚ 13/Α/3-2-2006, Άρθρο 31). Σύμφωνα με τον Νόμο 3431/2006, γύρω από κάθε κατασκευή κεραιάς που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν θα πρέπει να υπάρχουν χώροι προσπελάσιμοι από το γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα επίπεδα έκθεσης υπερβαίνουν το 70% των ορίων της ICNIRP.

Επιπλέον, σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραιάς σε απόσταση μικρότερη από 300 μέτρα από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα επίπεδα έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των ορίων της ICNIRP.

Δηλαδή εφαρμόζονται ακόμα αυστηρότερα όρια σε σχέση με αυτά που ορίζονται από τον ICNIRP, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα.

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρ.Π. (V/m)	Ένταση Μαγν.Π. (A/m)	Πυκν. Ισχύος (W/m <sup>2</sup> )
<b>GSM 900</b>	28.7 (24.6)	0.08 (0.066)	3.15 (2.7)
<b>GSM 1800</b>	40.6 (34.8)	0.11 (0.096)	6.3 (5.4)
<b>UMTS 2100</b>	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)
<b>WiFi 2.4 GHz</b>	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)
<b>WiMax 3.5 GHz</b>	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)

Πίνακας 5: Όρια ακτινοβολίας σε απόσταση μικρότερη 300 μετρων

Όσον αφορά στις τερματικές συσκευές, η ICNIRP έχει θεσπίσει ως όριο SAR από τα κινητά τηλέφωνα στο κεφάλι την τιμή 2 W ανά χιλιόγραμμο μάζας, όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος σε 10 γραμμάρια μάζας συνεχούς ιστού στο κεφάλι για μία περίοδο 6 λεπτών. Αυτό το όριο έχει υιοθετήσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση και κατά συνέπεια και η Ελλάδα (Εικόνα 27).

Φυσικό Μέγεθος	Όρια ΕΕ (W/kg)	Ελληνικά όρια <sup>1</sup>	
		70% ορίων ΕΕ (W/kg)	60% ορίων ΕΕ (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0,08	0,056	0,048
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	2	1,4	1,2
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα άκρα	4	2,8	2,4

1. Στο περιβάλλον σταθμών κεραιών

Εικόνα 27: Περιορισμοί ΕΕ και Ελλάδας



#### 4.2.4 Επιπτώσεις κινητής τηλεφωνίας στον ανθρώπινο οργανισμό

Η συχνή χρήση του κινητού σύμφωνα με έρευνες που διεξάγονται τα τελευταία χρόνια διεθνώς αλλά στην Σκανδιναβία ειδικότερα, προς το παρόν αναφέρουν μόνον συχνούς πονοκεφάλους, αίσθημα αϋπνίας και κούρασης άλλα και φαγούρα συγκριτικά με άτομα που το χρησιμοποιούν σε μικρότερο βαθμό.

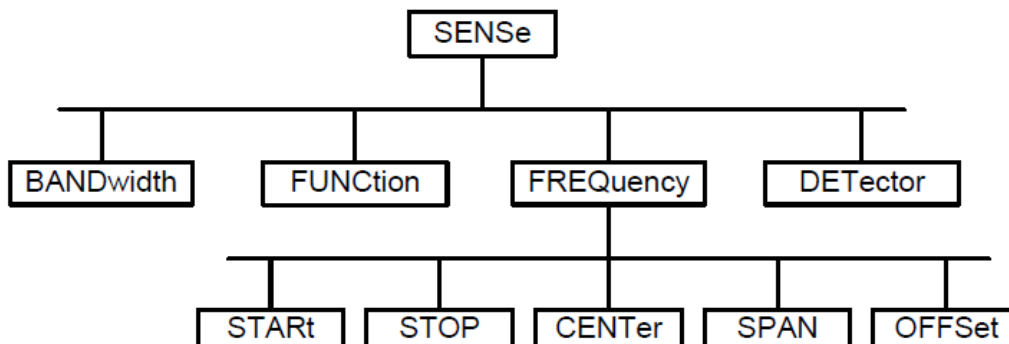
Βέβαια δεν έχει διαφοροποιηθεί κατά πόσον τα συμπτώματα αυτά οφείλονται και σε ποιο βαθμό από τον έντονο ρυθμό της καθημερινότητας και το άγχος που διακατέχει τα υπερδραστήρια άτομα. Η ακτινοβολία των υψηλών αυτών συχνοτήτων δεν θεωρείται καρκινογόνα γιατί με πολλαπλές έρευνες έχει αποδειχθεί ότι ακόμα και με μεγάλη ισχύ δεν προκαλεί μεταβολές στον γονότυπο. Υπάρχει μια υποψία, που όμως βρίσκεται υπό συνεχή έρευνα, για το κατά πόσον η ακτινοβολία αυτή μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση ήδη υπαρχόντων όγκων.

## *Κεφάλαιο 5: Απομακρυσμένη Επικοινωνία Οργάνων Μέτρησης*

Το 1987, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) κυκλοφόρησε το πρότυπο IEEE 488,2 – 1987. Το 1990, το SCPI ορίστηκε με την προδιαγραφή αυτή. Το πρότυπο IEEE 488.2 περιγράφει πώς μπορεί οποιοσδήποτε να στείλει εντολές σε μηχανήματα όπως φασματογράφους και παλμογράφους για δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για μετρήσεις, και πώς αυτά αποστέλλουν τις απαντήσεις στους ελεγκτές. Έτσι λοιπόν καθόρισε ρητά μια κοινή σύνταξη και δομή εντολών για όλους τους κατασκευαστές προγραμματιζόμενων μηχανημάτων κατά μεγάλο βαθμό.

Οι εντολές αποτελούνται από την λεγόμενη κεφαλίδα και, στις περισσότερες περιπτώσεις, με μία ή περισσότερες παραμέτρους. Οι κεφαλίδες μπορεί να αποτελούνται από αρκετές λέξεις-κλειδιά. Τα ερωτήματα προς τα προγραμματιζόμενα μηχανήματα που σχηματίζονται προσαρτώντας ένα ερωτηματικό στην κεφαλίδα.

Παρακάτω παρουσιάζεται η ιεραρχική δενδροειδής δομή ενός συγκεκριμένου τύπου εντολών. Τα διαφορετικά επίπεδα εκπροσωπούνται από τον συνδυασμό κεφαλίδων. Η κεφαλίδα του υψηλότερου επιπέδου στην ρίζα του δέντρου ορίζει ένα πλήρες σύστημα εντολών όπως για παράδειγμα η κεφαλίδα SENSE που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 28: Κεφαλίδες SCPI

Μερικές από τις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για την απομακρυσμένη διαχείριση του Rohde-Schwarz fsh-8 είναι οι παρακάτω.

## 5.1 Κοινές εντολές

- 1) \*RST – RESET  
Αυτή η εντολή επαναφέρει το όργανο σε εργοστασιακές ρυθμίσεις που είναι κατάλληλες για προγραμματισμό.
- 2) ESE 253  
Θέτει τα δυαδικά ψηφία της συσκευής και ενεργοποιεί τους registers.
- 3) CLS - Clear Status  
Καθαρίζει /Αρχικοποιεί το status byte. Αυτό επιτυγχάνεται αδειάζοντας την ουρά σφαλμάτων και “καθαρίζοντας” όλα τα bits σε όλους τους καταχωρητές γεγονότων (event registers).
- 4) ESE - Event Status Enable  
Ορίζει τα bit για το πρότυπο των registers.
- 5) IDN? – Identify  
Επιστρέφει ένα string που προσδιορίζει μοναδικά τον αναλυτή. Το string αυτό είναι της μορφής "Keysight Technologies, <αριθμός μοντέλου>, <αύξοντας "αριθμός>, <αναθεώρηση λογισμικού>".
- 6) OPC - Operation complete command  
Διενεργεί ένα μήνυμα για εκτέλεση opc όταν όλες οι επικαλυμμένες λειτουργίες ολοκληρωθούν. Χρησιμοποιείται συνήθως για λόγους συγχρονισμού.
- 7) OPC? - Operation complete query  
Επιστρέφει σε ASCII κώδικα ‘1’ ‘όταν όλες οι εκκρεμείς πράξεις ολοκληρωθούν.
- 8) ESR?  
Στέλνει ερώτηση και αρχικοποιεί τον καταχωρητή κατάστασης στάνταρτ γεγονότων (Η ενέργεια αυτή είναι μη αναστρέψιμη).
- 9) \*WAI  
Αυτή η εντολή κάνει το όργανο να περιμένει ώσπου όλες οι εκκρεμείς εντολές να ολοκληρωθούν πριν εκτελέσει επιπρόσθετες εντολές.

## 5.2 Ειδικές εντολές-οργάνου

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναλύσουμε τις συνήθεις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στον τομέα της υλοποίησης της εφαρμογής. Παρακάτω παραθέτονται οι εντολές ανάλογα με την χρήση τους για χρήση του οργάνου ως φασματικού αναλυτή.

### 5.2.1 Ρύθμιση του οριζόντιου άξονα

Λίστα εντολών :

- [SENSe:]FREQUency:CENTer <Frequency>

Αυτή η εντολή καθορίζει την κεντρική συχνότητα του FSH R&S. Σε κατάσταση λειτουργίας αναλυτή φάσματος, η εντολή ορίζει επίσης την συχνότητα μέτρησης για μετρήσεις στο πεδίο του χρόνου (span = 0).

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή σε Hz.

Παράδειγμα:

FREQ:CENT 120MHz

Ορίζει ως κεντρική συχνότητα τα 120 MHz.

- [SENSe:]FREQUency:CENTer:STEP <StepSize>

Αυτή η εντολή καθορίζει το βήμα της κεντρικής συχνότητας.

Παράμετρος :

Αριθμητική τιμή σε Hz. Η περιοχή είναι από 1 Hz έως fmax.

Παράδειγμα:

FREQ:CENT:STEP 120MHz

Ορίζει ένα CF βήμα με μέγεθος βήματος 120 MHz.

- [SENSe:]FREQUency:CENTer:STEP:LINK <StepSizeCoupling>

Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για την σύζευξη και αποσύζευξη του βήματος κεντρικής συχνότητας με το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης. Για τις μετρήσεις στο πεδίο του χρόνου, η εντολή συνδέει το μέγεθος βημάτων με το εύρος ζώνης του RBW φίλτρου.

Παράμετρος:

DIVTen

Συνδέει το μέγεθος βημάτων με το 10% του Span OFF απενεργοποιεί τη σύζευξη (manual input).

Παράδειγμα :

FREQ:CENT:STEP:LINK DIVT

Συνδέει το μέγεθος βημάτων με 10% του Span.

- [SENSe:]FREQuency:INPut:MODE <InputMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει τον τρόπο επιλογής συχνότητας.

Παράμετρος:

FREQuency

θέτει τον τρόπο εισόδου συχνότητας στην είσοδο συχνότητας (Hz)

CHANnel

θέτει τον τρόπο εισόδου συχνότητας στην επιλογή ενός καναλιού.

Παράδειγμα:

FREQ:INP:MODE CHAN

Θέτει τον τρόπο συχνότητας στην εργασία με τους πίνακες καναλιών

- [SENSe:]FREQuency:STARt <StartFrequency>

Η εντολή αυτή καθορίζει τη συχνότητα εκκίνησης για τις μετρήσεις.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή σε Hz.

Η εμβέλεια εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας και καθορίζεται στο όργανο.

Παράδειγμα:

FREQ:STAR 20MHz

Καθορίζει μια συχνότητα έναρξης απο 20 MHz.

- [SENSe:]FREQuency:STOP <StopFrequency>

Η εντολή αυτή καθορίζει τη συχνότητα τερματισμού για τις μετρήσεις.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή σε Hz.

Η εμβέλεια εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας και καθορίζεται στο όργανο.

Παράδειγμα:

FREQ:STOP 20MHz

Καθορίζει μια συχνότητα τερματισμού στα 20 MHz.

### 5.2.2 Ρύθμιση του κατακόρυφου άξονα

Λίστα εντολών :

- DISPLAY[:WINDow]:TRACe<t>:Y[:SCALe]:ADJust,

Αυτή η εντολή καθορίζει αυτόματα τον κάθετο άξονα για βέλτιστη απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Παράδειγμα:

DISP: TRACY: ADJ

Ρυθμίζει τον άξονα y.

- DISPLAY[:WINDow]:TRACe<t>:Y:SPACing <Scaling>

Αυτή η εντολή επιλέγει την κλιμάκωση του κατακόρυφου άξονα.

Παράμετρος:

Λογαριθμική λογαριθμική κλιμάκωση (LOG)

Γραμμική γραμμική κλιμάκωση (%) (LIN)

Παράδειγμα:

DISP: TRACY: SPAC LIN

Επιλέγει γραμμική κλιμάκωση του άξονα στο επίπεδο.

- DISPLAY[:WINDow]:TRACe<t>:Y[:SCALe] <DisplayRange>

Αυτή η εντολή ορίζει την περιοχή προβολής του κατακόρυφου άξονα.

Σημειώστε ότι θα πρέπει να ορίσετε μια λογαριθμική κλιμάκωση (LOG) για να μπορέσετε να χρησιμοποιήσετε αυτήν την εντολή. Για μια γραμμική κλίμακα, δεν μπορείτε να τροποποιήσετε το εύρος της οθόνης, όπως έχει καθοριστεί.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή στην περιοχή από 10 dB έως 200 dB.

Παράδειγμα:

DISP: TRACY 110dB

Ρυθμίζει το εύρος της οθόνης έως 110 dB.

- `DISPlay[:WINDow]:TRACe<t>:Y[:SCALe]:RLEVel <ReferenceLevel>`

Αυτή η εντολή καθορίζει το επίπεδο αναφοράς. Με ένα όφσεν  $\neq 0$ , το εύρος του επιπέδου αναφοράς τροποποιείται από το όφσεν.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή που θέτει το επίπεδο αναφοράς, η μονάδα εξαρτάται από `UNIT:POWer`. Η διαθέσιμη σειρά τιμών προσδιορίζεται στο `manual` του οργάνου.

Παράδειγμα:

`DISP:TRAC:Y:RLEV -60dBm` Sets the reference level to -60 dBm.

- `DISPlay[:WINDow]:TRACe<t>:Y[:SCALe]:RLEVel:OFFSet <Offset>`

Αυτή η εντολή καθορίζει ένα όφσεν στη στάθμη αναφοράς.

Παράμετρος:

αριθμητική τιμή (dB) που θέτει το όφσεν της στάθμης αναφοράς. Το διαθέσιμο εύρος τιμών είναι από -200dB έως 200dB.

Παράδειγμα:

`DISP:TRAC:Y:RLEV:OFFS -10dB`

- `DISPlay[:WINDow]:TRACe<t>:Y[:SCALe]:RPOSition <ReferencePosition>`

Αυτή η εντολή ορίζει τη θέση του επιπέδου αναφοράς για το πλέγμα της οθόνης. Για μια γραμμική κλίμακα, δεν μπορείτε να τροποποιήσετε τη θέση αναφοράς.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή (%), η οποία ορίζει τη θέση αναφοράς  
Το διαθέσιμο εύρος τιμών είναι από 1 έως 10.

Παράδειγμα:

`DISP:TRAC:Y:RPOS 5`

Ορίζει τη θέση αναφοράς στην 5η γραμμή πλέγματος αξόνων

- `INPut:ATTenuation <Attenuation>`

Αυτή η εντολή καθορίζει την εξασθένιση εισόδου. Στον τρόπο λειτουργίας αναλυτή φάσματος, η εξασθένιση συνδέεται με τη στάθμη αναφοράς.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή μέσα στη σειρά από 0 dB έως 40 dB σε 5 dB βήματα.

Παράδειγμα:

INP:ATT 30dB

Καθορίζει μια μείωση 30 dB και απενεργοποιεί τη σύζευξη με τη στάθμη αναφοράς.

- INPut:ATTenuation:MODE <AttenuationMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει τον τρόπο εξασθένισης.

Παράμετρος:

LDISortion Auto low distortion LNOise Auto low noise

Παράδειγμα:

INP:ATT:MODE LNO

Θέτει τον τρόπο μείωσης αυτόματο σε χαμηλού θορύβου.

- INPut:ATTenuation:AUTO <State>

Αυτή η εντολή συνδέει και αποσυνδέει την εξασθένιση εισόδου με τη στάθμη αναφοράς.

Παράμετρος:

ON | OFF

Παράδειγμα:

INP:ATT:AUTO ON

Συνδέει τη μείωση που τίθεται στον εξασθενητή με τη στάθμη αναφοράς.

- INPut:GAIN:STATe <State>

Αυτή η εντολή θέτει τον προενισχυτή στη θέση on και στη θέση off.

Παράμετρος:

ON | OFF

Παράδειγμα:

INP:GAIN:STAT ON

Ενεργοποιεί τον προενισχυτή.

### 5.2.3 Ρύθμιση του εύρους ζώνης

Λίστα εντολών :



- [SENSe:]BANDwidth|BWIDth[:RESolution] <ResBW>

Αυτή η εντολή καθορίζει το εύρος ζώνης ανάλυσης.

Παράμετροι:

Τιμή σε Hz.

Παραδείγματα:

BAND 100 kHz

Θέτει το εύρος ζώνης ανάλυσης στα 100kHz.

- [SENSe:]BANDwidth|BWIDth[:RESolution]:AUTO <State>

Αυτή η εντολή συνδέει και αποσυνδέει το εύρος ζώνης ανάλυσης με το Span.

Παράμετρος:

ON|OFF

Παράδειγμα:

BAND:AUTO OFF

Αποσυνδέει το εύρος ζώνης ανάλυσης από το Span.

#### 5.2.4 Ρύθμιση πραγματοποίησης μετρήσεων

Λίστα εντολών :

- ABORt

Αυτή η εντολή απορρίπτει την παρούσα μέτρηση και επαναρυθμίζει το σύστημα σκανδαλισμού (trigger).

Παράδειγμα:

ABOR;

INIT:IMM

Απορρίπτει μια μέτρηση και αρχίζει μια νέα.

- INITiate[:IMMEDIATE]

Η εντολή αρχίζει μια νέα ακολουθία μέτρησης. Με την αρίθμηση σαρωμάτων > 0 ή τη μέση αρίθμηση > 0, αυτό σημαίνει μια επανεκκίνηση του δεδομένου αριθμού μετρήσεων. Με τις λειτουργίες MAXHold, MINHold και AVERage

ιχνών, τα προηγούμενα αποτελέσματα επαναρυθμίζονται στην επανεκκίνηση της μέτρησης. Στον ενιαίο τρόπο σάρωσης, συγχρονισμός στο τέλος του υποδεικνυμένου αριθμού οι μετρήσεις μπορούν να επιτευχθούν με την εντολή \*OPC, \*OPC? ή \*WAI. Ο τρόπος συνεχούς σάρωσης, συγχρονισμός στο τέλος σάρωσης δεν είναι δυνατός από τότε η γενική μέτρηση δεν τελειώνει ποτέ. Αυτή η εντολή είναι ένα γεγονός και επομένως δεν έχει καμία ερώτηση και καμία τιμή \*RST.

Παράδειγμα:

```
INIT:CONT OFF
```

```
DISP:WIND:TRAC:MODE AVER
```

Θέτει σε κατάσταση “On” τον single sweep mode και το trace averaging.

- INITiate:CONTInuous <SweepMode>

Επιλέγει τον τρόπο σάρωσης.

Παράμετρος:

```
ON Continuous sweep OFF Single sweep
```

Παράδειγμα:

```
INIT:CONT OFF
```

Ανοίγει τον single sweep mode.

- [SENSe:]SWEEp:COUNt <SweepCount>

Η εντολή αυτή καθορίζει τον αριθμό των σαρώσεων που περιλαμβάνονται σε μία και μόνο καταμέτρηση.

Παράμετρος:

```
0-999
```

Παράδειγμα:

```
SWE: COUN 64
```

Καθορίζει μια καταμέτρηση των 64 σαρώσεων.

- [SENSe:]SWEEp:POINts?

Αυτή είναι μία εντολή ερώτημα για τον αναλυτή, που μας επιστρέφει τον αριθμό των σημείων μέτρησης.

Παράδειγμα:

```
SWE: poin;
```

Επιστρέφει τον αριθμό των σημείων σάρωσης.

- [SENSe:]SWEEp:TIME <SweepTime>

Η εντολή αυτή καθορίζει τον χρόνο σάρωσης.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή σε δευτερόλεπτα.

Παράδειγμα:

SWE:TIME 10s

Ρυθμίζει το χρόνο σάρωσης σε 10 second.

- [SENSe:]SWEEp:TIME:AUTO <State>

Αυτή η εντολή συνδέει και αποσυνδέει τον χρόνο σάρωσης με τη διάρκεια της μέτρησης και το εύρος ζώνης με τον εύρος ζώνης βίντεο.

Παράμετρος:

ON | OFF

Παράδειγμα:

SWE:TIME:AUTO ON

### 5.2.5 Χρήση ιχνών

Λίστα εντολών :

- DISPlay[:WINDow]:TRACe<t>[:STATe] <State>

Αυτή η εντολή ενεργοποιεί το ίχνος ή το απενεργοποιεί.

Παράμετρος:

ON | OFF

Παράδειγμα:

DISP:TRAC2 ON

Ενεργοποιεί το ίχνος.

- DISPlay[:WINDow]:TRACe<t>:MEMory[:STATe] <State>

Αυτή η εντολή ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την μνήμη για το ίχνος.

Παράμετρος:

ON | OFF

Παράδειγμα:

DISP: TRAC: MEM ON  
Ενεργοποιεί το ίχνος της μνήμης.

- DISPlay[:WINDow]:TRACe<t>:MODE <TraceMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει τη λειτουργία του ίχνους.

Παράμετρος:

AVERage | MAXHold | MINHold | VIEW | WRITe

Παράδειγμα:

SWE:CONT OFF

SWE:COUN 16

DISP:TRAC:MODE MAXH

INIT;\*WAI

Ενεργοποιεί τη λειτουργία MAXHold για το ίχνος.

Ξεκινά τη μέτρηση και περιμένει το τέλος των 16 σημείων.

- [SENSe:]DETEctor<t>[:FUNCTion] <Detector>

Αυτή η εντολή επιλέγει την ανίχνευση.

Παράμετρος:

APEak | NEGative | POSitive | SAMPlE | RMS

Παράδειγμα:

DET POS

Ορίζει την ανίχνευση σε θετικά μέγιστα.

- FORMat[:DATA] <DataFormat>

Αυτή η εντολή κάνει ερώτηση για τα δεδομένα της τρέχουσας μέτρησης.

Παράμετρος:

TRACE1 γράφει ή διαβάζει το ίχνος1.

TRACE2 γράφει ή διαβάζει το ίχνος2.

Επιστρεφόμενη τιμή:

Το R&S FSH επιστρέφει 631 τιμές. Κάθε τιμή αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο της ένα ίχνος.

Παράδειγμα:

TRAC:DATA? TRACE1

Διαβάζει τα δεδομένα για το ίχνος 1.

### 5.2.6 Χρησιμοποίηση δεικτών

Λίστα εντολών :

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>[:STATe] <State>

Αυτή η εντολή θέτει τους του δέλτα δείκτες στη θέση on και στη θέση off. Εάν περισσότεροι από έναν κανονικό δείκτη (2 έως 6) είναι ήδη ενεργοί, η εντολή κάνει αυτούς τους δείκτες, δέλτα δείκτες. Εάν κανένας δέλτα δείκτης δεν είναι ενεργός ακόμα, η εντολή ενεργοποιεί το δέλτα δείκτη και τον τοποθετεί στο μέγιστο ιχνών.

Παράμετρος :  
ON | OFF

Παράδειγμα:

CALC:DELT3 ON

Θέτει τον δέλτα δείκτη 3 στη θέση on ή κάνει τον δείκτη 3 ένα δέλτα δείκτη. Χαρακτηριστικά RST value: OFF SCPI: device-specific

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>:AOFF

Αυτή η εντολή κλείνει όλους τους ενεργούς δέλτα δείκτες.

Παράδειγμα:

CALC:DELT:AOFF

Κλείσιμο όλων των δεικτών δέλτα.

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>:MAXimum[:PEAK]

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δέλτα δείκτη στο παρόν μέγιστο των ιχνών. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δέλτα δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράδειγμα:

CALC:DELT3:MAX

Τοποθετεί το δέλτα δείκτη 3 στη μέγιστη αιχμή.

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>:MAXimum:NEXT

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δέλτα δείκτη στο επόμενο μικρότερο μέγιστο ιχνών. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δέλτα δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράδειγμα:

CALC:DELT2:MAX:NEXT

Θέτει το δέλτα δείκτης 2 στην επόμενη μικρότερη μέγιστη αιχμή.

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>:MINimum[:PEAK]

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δέλτα δείκτη στο παρόν ελάχιστο ίχνων. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δέλτα δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράδειγμα:

CALC:DELT3:MIN

Θέτει τον δέλτα δείκτη στο ελάχιστο ίχνος.

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>:X <Coordinate>

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δέλτα δείκτη σε μια ιδιαίτερη συντεταγμένη στον οριζόντιο άξονα. Σημειώστε ότι είναι δυνατό να τοποθετηθεί ο δείκτης εκτός της περιοχής του ορατού ίχνους. Σε εκείνη την περίπτωση, αυτή η τιμή είναι λανθασμένη. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δέλτα δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή που δείχνει τη συντεταγμένη στον οριζόντιο άξονα. Το εύρος συχνοτήτων αντιστοιχεί στο μέγιστο εύρος. Η μονάδα εξαρτάται από τη μέτρηση, π.χ. Hz για τις μετρήσεις στη συχνότητα και δευτερόλεπτα για τις μετρήσεις στο πεδίο του χρόνου.

Παράδειγμα:

CALC:DELT:MOD REL

Οι θέσεις των δεικτών, είναι σχετικές με το δείκτη 1.

CALC:DELT2:X 10.7MHz

Τοποθετεί τον δέλτα δείκτης 2 10.7 MHz δεξιά του δείκτη 1.

CALC:DELT2:X? CALC:DELT2:X:REL?

Ρωτά την απόλυτη και σχετική θέση του δέλτα δείκτη 2.

- CALCulate<n>:DELTamarker<m>:X:RELative <Distance>

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δέλτα δείκτη σε μια θέση σχετικά με τον δείκτη αναφοράς. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δέλτα δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή που καθορίζει την απόσταση του δείκτη από το δείκτη αναφοράς. Η σειρά εξαρτάται από την παρούσα κλίμακα του οριζόντιου άξονα. Η μονάδα εξαρτάται από τη μέτρηση, π.χ. Hz για τις μετρήσεις στη συχνότητα και δευτερόλεπτα για τις μετρήσεις στο πεδίο του χρόνου.

Παράδειγμα:

```
CALC:DELT3:X:REL 5 kHz
```

Θέτει τον δέλτα δείκτη σε απόσταση 5 kHz από τη θέση αναφοράς

- **CALCulate<n>:MARKer<m>[:STATe] <State>**

Αυτή η εντολή θέτει τους δείκτες στη θέση on και στη θέση off. Εάν δεν χρησιμοποιείτε ένα επίθημα στο δείκτη, ο δείκτης 1 επιλέγεται. Εάν ένας ή περισσότεροι δέλτα οι δείκτες (2 έως 6) είναι ήδη ενεργοί, η εντολή αυτή κάνει τους δέλτα δείκτες κανονικούς δείκτες.

Παράμετρος:

ON | OFF

Παραδείγματα:

```
CALC:MARK3 ON
```

Ανοίγει το δείκτη 3.

- **CALCulate<n>:MARKer<m>:AOFF**

Αυτή η εντολή κλείνει όλους τους ενεργούς δείκτες, τους δέλτα δείκτες και τις λειτουργίες του ενεργού δείκτη.

Παραδείγμα:

```
CALC:MARK:AOFF
```

Σβήνει όλους τους δείκτες.

- **CALCulate<n>:MARKer<m>:MAXimum[:PEAK]**

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δείκτη στο παρόν μέγιστο ιχνών. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράδειγμα:

```
CALC:MARK2:MAX
```

Τοποθετεί το δείκτη 2 στη θέση maximum peak.

- **CALCulate<n>:MARKer<m>:MAXimum:NEXT**

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δείκτη στο επόμενο μικρότερο μέγιστο ιχνών. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράδειγμα:

```
CALC:MARK2:MAX:NEXT
```

Μετακινεί το δείκτη 2 στην επόμενη μικρότερη μέγιστη αιχμή.

- CALCulate<n>:MARKer<m>:MINimum[:PEAK]

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δείκτη στο παρόν ελάχιστο ιχνών. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράδειγμα:

CALC:MARK2:MIN

Μετακινεί το δείκτη 2 στο ελάχιστο ιχνών.

- CALCulate<n>:MARKer<m>:X <Coordinate>

Αυτή η εντολή τοποθετεί έναν δείκτη σε μια ιδιαίτερη συντεταγμένη στον οριζόντιο άξονα. Εάν ένας ή περισσότεροι δέλτα δείκτες (2 έως 6) είναι ήδη ενεργοί, η εντολή γυρίζει αυτούς του δέλτα δείκτες στους κανονικούς δείκτες. Σημειώστε ότι είναι δυνατό να τοποθετηθεί ο δείκτης έξω από το ορατό ίχνος. Σε αυτή την περίπτωση, αυτή η τιμή είναι άκυρη. Εάν είναι απαραίτητο, ο αντίστοιχος δέλτα δείκτης ενεργοποιείται πρώτα.

Παράμετρος:

Αριθμητική τιμή που δείχνει τη συντεταγμένη στον οριζόντιο άξονα. Η σειρά αντιστοιχεί στη μέγιστο μέγιστο συχνοτικό εύρος. Η μονάδα στον τρόπο ανάλυσης φάσματος εξαρτάται από τη μέτρηση, π.χ. Hz για μετρήσεις στο πεδίο συχνότητας και δευτερόλεπτα για τις μετρήσεις στο χρόνο.

Παράδειγμα:

CALC:MARK2:X 10.7MHz

Τοποθετεί το δείκτη 2 στη συχνότητα 10.7 MHz



## Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση Εφαρμογής

Τα 3 βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούμε για το σχεδιασμό του GUI είναι τα εξής:

- Εργαλεία:

Κάθε αντικείμενο σε ένα Matlab Interface (pushbuttons, labels, edit boxes, κτλ.) είναι σχεδιαστικά εργαλεία. Οι τύποι των εργαλείων περιλαμβάνουν στοιχεία ελέγχου τα οποία είναι τα pushbuttons, edit boxes, lists, sliders κτλ, στατικά στοιχεία όπως frames και text strings καθώς και μενού και άξονες.

- Πάνελ:

Τα εργαλεία του interface πρέπει να τοποθετηθούν πάνω σε ένα σχήμα που είναι ένα παράθυρο στην οθόνη του υπολογιστή. Το άδειο σχήμα δημιουργείται με τη συνάρτηση figure και φέρει οποιοδήποτε συνδυασμό στοιχείων.

- Callbacks:

Τέλος, θα πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος για να μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ενέργεια όταν ο χρήστης πατάει το ποντίκι ή ένα κουμπί ή πληκτρολογεί δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται από το matlab καλώντας την αντίστοιχη συνάρτηση που υλοποιεί τις ενέργειες αυτές. Ο κώδικας που εκτελείται σε απόκριση μιας ενέργειας καλείται callback και παρουσιάζεται εκτενώς στο κεφάλαιο 8.

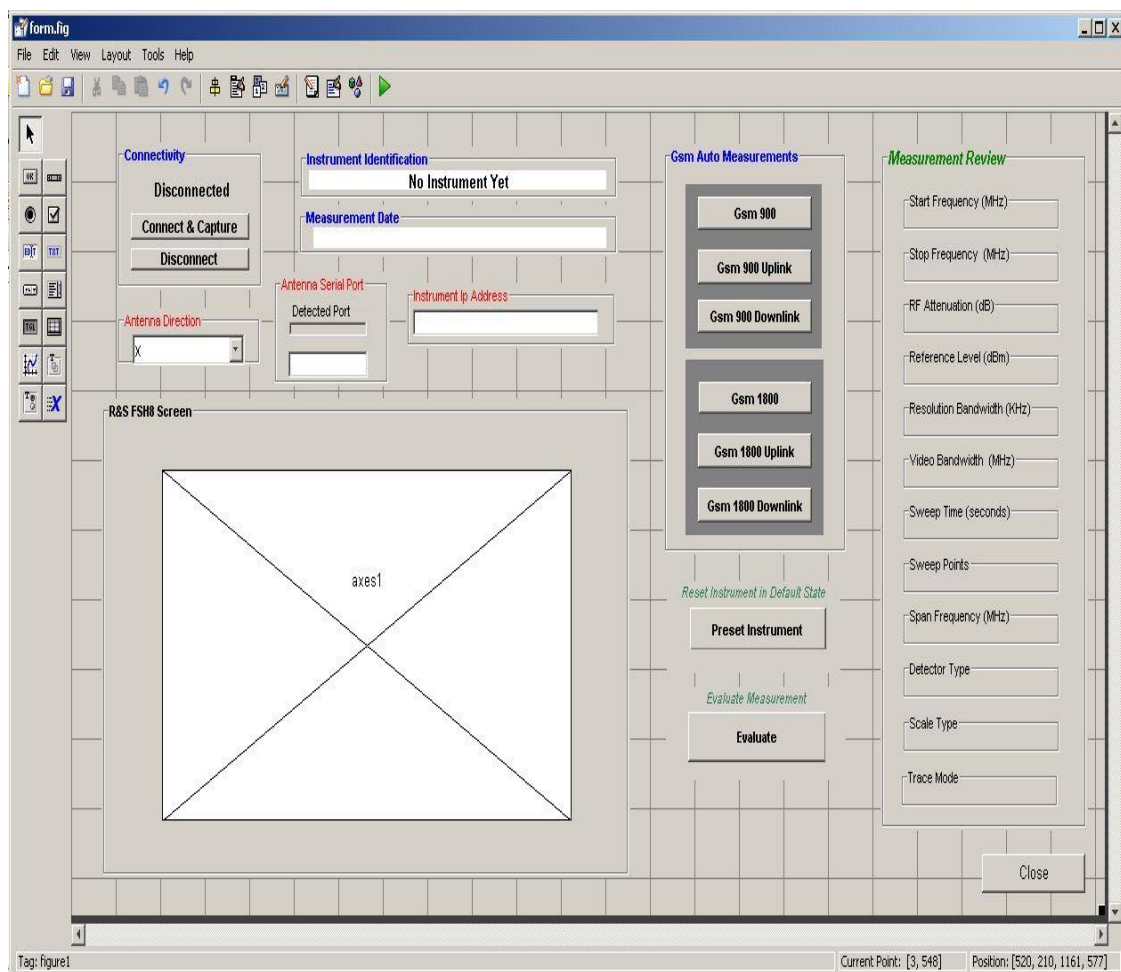


Εικόνα 29 Γραμμή Εργαλείων

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο guide του matlab έγινε η σύνθεση του παρακάτω user interface χρησιμοποιώντας απο την γραμμή εργαλείων κουμπιά, πάνελ, γραμμές κειμένου καθώς και ένα πεδίο αξόνων.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα υπάρχει ένα πάνελ που αφορά την συνδεσιμότητα με το όργανο μέτρησης, ένα πεδίο εισαγωγής διεύθυνσης Ip καθώς η σύνδεση γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου tcpip, δυνατότητα περιστροφής της κεραίας καθώς και η προτεινόμενη θύρα προς επικοινωνία με αυτή, δύο πεδία τα οποία αναφέρουμε διάφορα στοιχεία του οργάνου που έχουμε συνδεθεί καθώς και την ημερομηνία λήψης της μέτρησης.

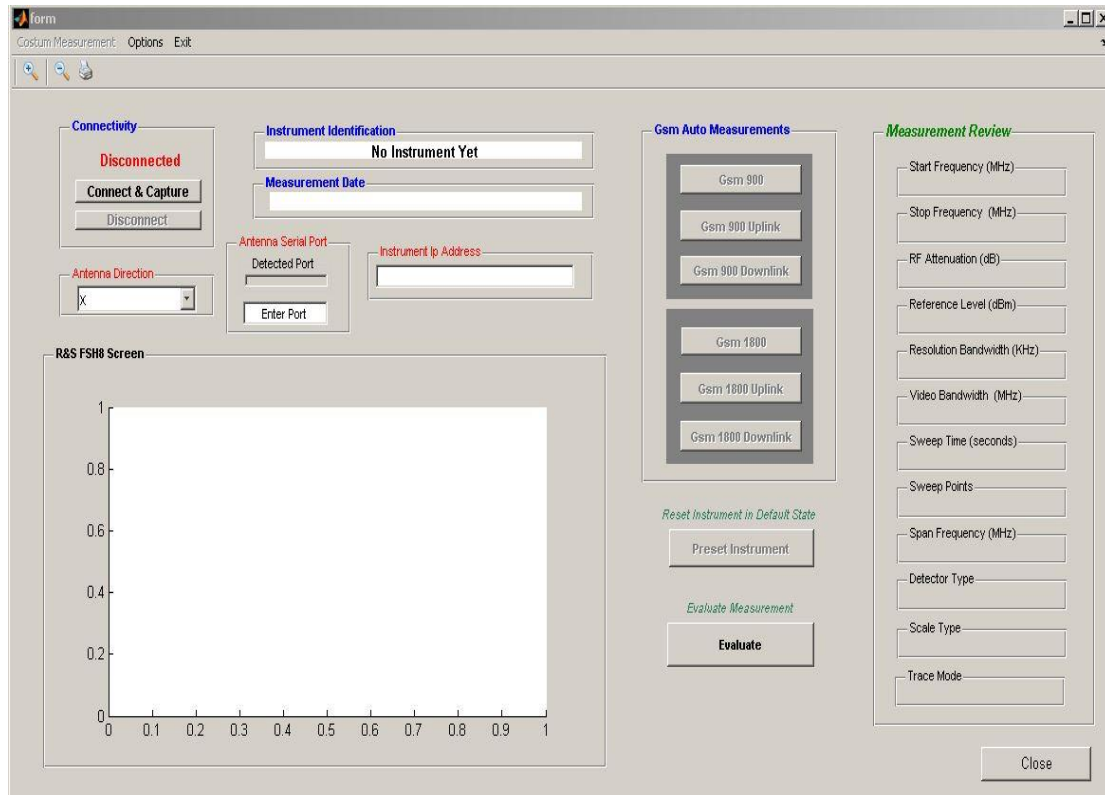
Υπάρχει το πάνελ Measurement Review όπου γίνεται επαλήθευση των στοιχείων του αναλυτή και παρουσιάζονται για ευκολία του χρήστη, το πάνελ κουμπιών Gsm Auto Measurements για αυτόματες μετρήσεις για το σύστημα GSM και τέλος ένα κουμπί για factory reset του οργάνου.



Εικόνα 30: Διεπαφή Προγράμματος στο Guide

Το κουμπί Evaluate ανοίγει ένα νέο παράθυρο το οποίο θα δούμε παρακάτω που αφορά το δεύτερο σκέλος της εφαρμογής δηλαδή την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Η παρούσα εικόνα δείχνει την πρώτη εμφάνιση της εφαρμογής εν λειτουργία και όπως είναι εμφανές τα κουμπιά που αφορούν ορισμό του αναλυτή για μέτρηση, αποσύνδεση καθώς και επιστροφή στις εργοστασιακές ρυθμίσεις του οργάνου είναι απενεργοποιημένες.



Εικόνα 31: Εφαρμογή κατά το πρώτο άνοιγμα

Ο χρήστης σε αυτό το σημείο θα πρέπει να δώσει την ip address του οργάνου καθώς και την θύρα com για την κεραία ώστε να μπορέσει να συνδεθεί στο πάτημα του κουμπιού Connect and Capture. Υπάρχει βέβαια το πεδίο που αναφέρει την αναγνωρισμένη θύρα που πρέπει να επιλέξουμε για την κεραία για ευκολία του χρήστη.

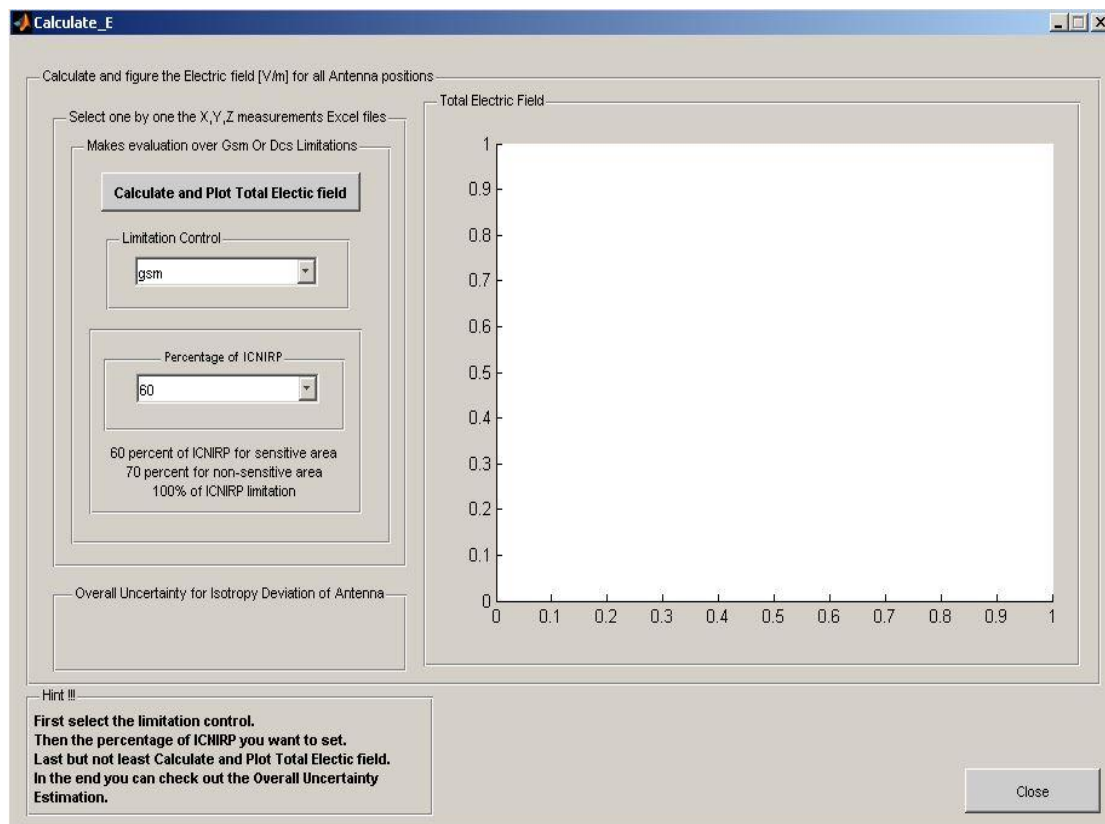
Με το που συνδεθούμε το Connectivity γίνεται Connected και συμπληρώνονται αυτόματα τα πεδία Instrument Identification και Measurement Date που τα λαμβάνουμε από τον αναλυτή.

Στην γραμμή μενού υπάρχει η επιλογή Custom Measurement όπου μπορεί ο χρήστης να επιλέξει δικές του ρυθμίσεις για μέτρηση, διάφορα Options για το πρόγραμμα όπως επίσης και κουμπί εξόδου από την εφαρμογή.

Σε αυτό το σημείο να επισημάνουμε ότι το button Connect and Capture έχει διπλό χαρακτήρα, αφενός μεν να πραγματοποιήσει την σύνδεση με τον αναλυτή και αφετέρου σε δεύτερο χρόνο να κάνει λήψη της μέτρησης. Έτσι για οποιαδήποτε αλλαγή κάνουμε για να γίνει λήψη των δεδομένων χρησιμοποιούμε το ίδιο κουμπί που πατήσαμε για να συνδεθούμε με τον αναλυτή απλουστεύοντας την πολυπλοκότητα της εφαρμογής.

Παρακάτω, το παράθυρο που εμφανίζεται με την επιλογή του κουμπιού Evaluate από πριν. Εδώ γίνεται η αξιολόγηση της μέτρησης ανάλογα με την μέτρηση που πραγματοποιήσαμε και τα διεθνή στάνταρ ακτινοβολίας στην Ελλάδα αλλά και αυτά που έχει θεσπίσει ο οργανισμός ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

Ο χρήστης αρχικά επιλέγει τα όρια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιλέγοντας Gsm 900 στο Limitation Control για όρια Gsm ή Dcs για όρια Gsm 1800. Στην συνέχεια επιλέγει το ποσοστό που θέλει μέσα στα όρια που έχει θεσπίσει ο οργανισμός ICNIRP. Πατώντας το Calculate and Plot button μας ζητάει τα 3 αρχεία που έχουν δημιουργηθεί από το προηγούμενο μέρος του προγράμματος καθώς και το αντίστοιχο αρχείο με το Gain της κεραίας και τις απώλειες των καλωδίων.



Εικόνα 32: Εφαρμογή Εξαγωγής Αποτελεσμάτων

Τέλος παρουσιάζεται γράφημα συνολικού ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνότητες, και αποθηκεύονται σε φύλλο excel δεδομένα που αφορούν την πυκνότητα ροής, το συντελεστή έκθεσης, το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο ανά συχνότητα αλλά και το ολικό μέγιστο ηλεκτρικού πεδίου.

## *Κεφάλαιο 7: Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, Αποτελέσματα*

### **7.1 Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας EGSM 900**

Παρακάτω παραθέτονται δύο φωτογραφίες με διαφορετική πόλωση κεραίας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Υπολογιστής συνδεδεμένος με τον φασματικό αναλυτή(Ethernet) και με τον περιστροφέα τριών κάθετων πολώσεων(USB) για λήψη ισοτροπικών συχνοτικών δεδομένων. Φασματικός αναλυτής συνδεδεμένος με ομοαξονικό καλώδιο 10 μέτρων με την κωνική διπολική κεραία PCD 8250 για λήψη ίχνους.



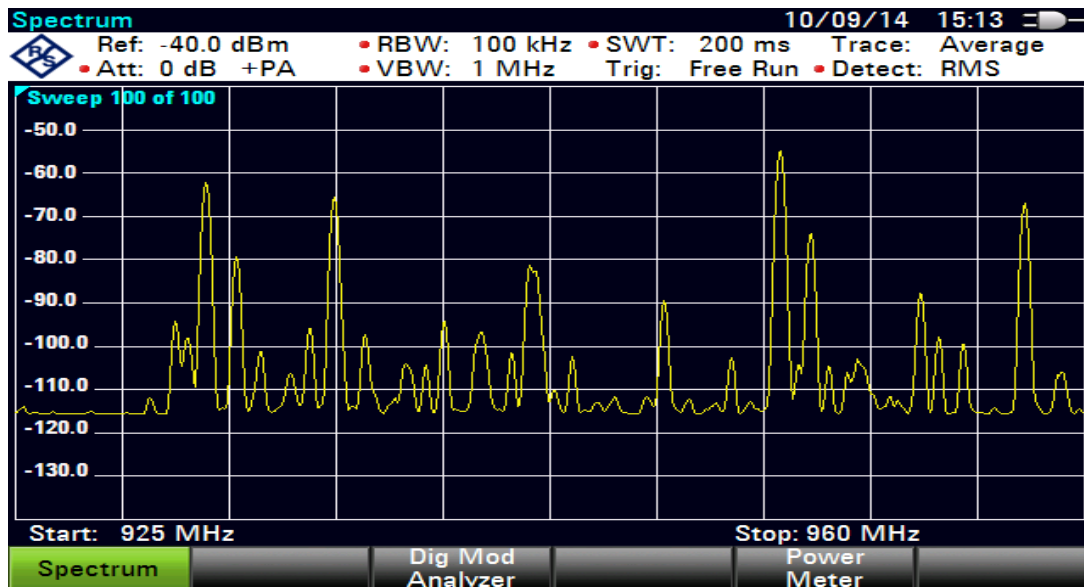
**Εικόνα 33: Όργανα Μέτρησης E-GSM Πόλωση X**



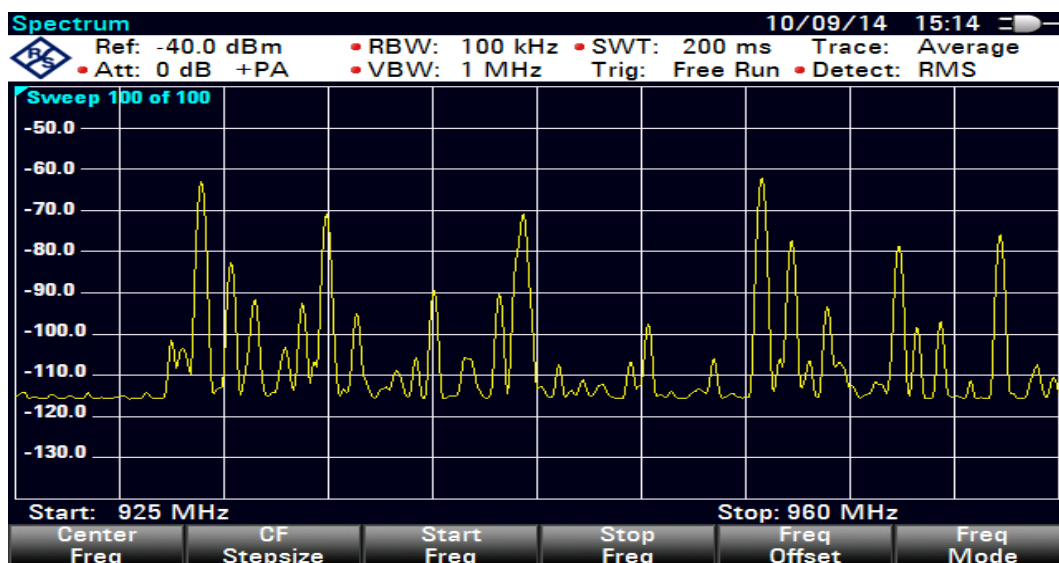
**Εικόνα 34: Όργανα Μέτρησης E-GSM Πόλωση Z**

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα φάσματα για τις τρεις διαφορετικές πολώσεις της κεραίας καθώς και το αποτέλεσμα του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου μαζί με το γράφημα αυτού.

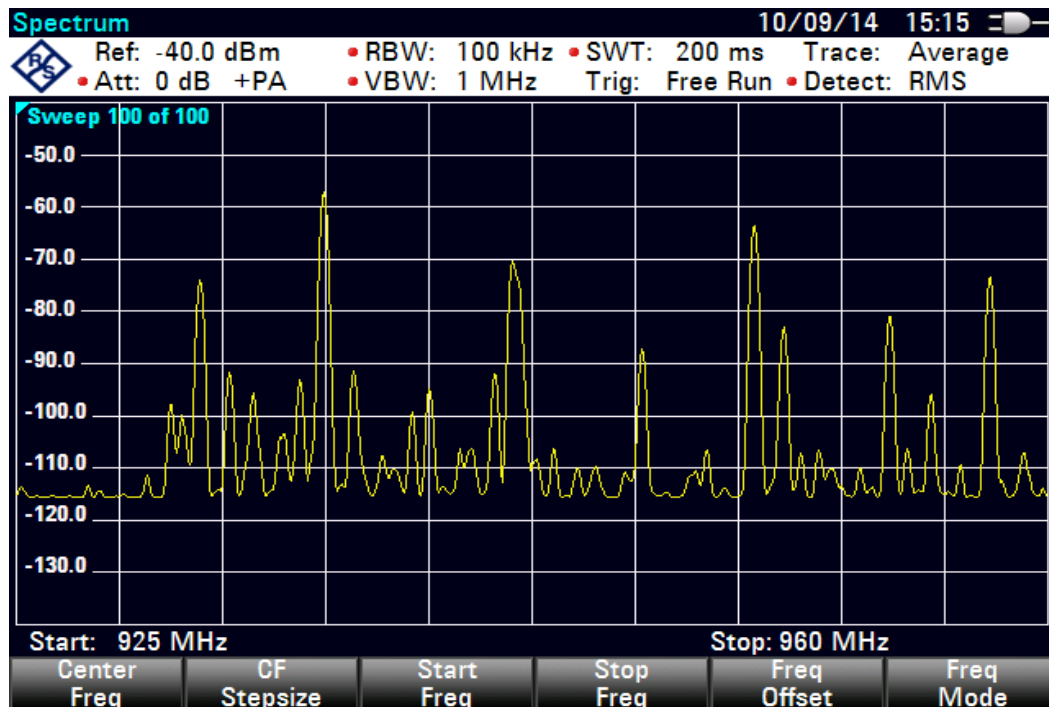
Η μέτρηση έχει αρχική και τελική τιμή συχνότητας 925 MHz και 960 MHz αντίστοιχα, reference level της τάξης -40 dBm με μηδενικό RF attenuation, το ορισμένο resolution bandwidth είναι 100 KHz και το video bandwidth είναι στο 1 MHz. Το detector function είναι ορισμένο στις πραγματικές τιμές RMS ενώ το ίχνος trace έχει ενεργοποιηθεί να αλλάζει κατά τις τιμές μέσου όρου ανίχνευσης.



Εικόνα 35:Μέτρηση E-GSM 900 για πόλωση X



Εικόνα 36:Μέτρηση E-GSM 900 για πόλωση Y



Εικόνα 37: Μέτρηση E-GSM 900 για πόλωση Y

Παρατηρούμε πολύ μικρές αλλαγές μεταξύ των τριών πολώσεων στην κλίμακα της ισχύος λόγω του διαφορετικού προσπίπτοντος πεδίου της κεραίας.

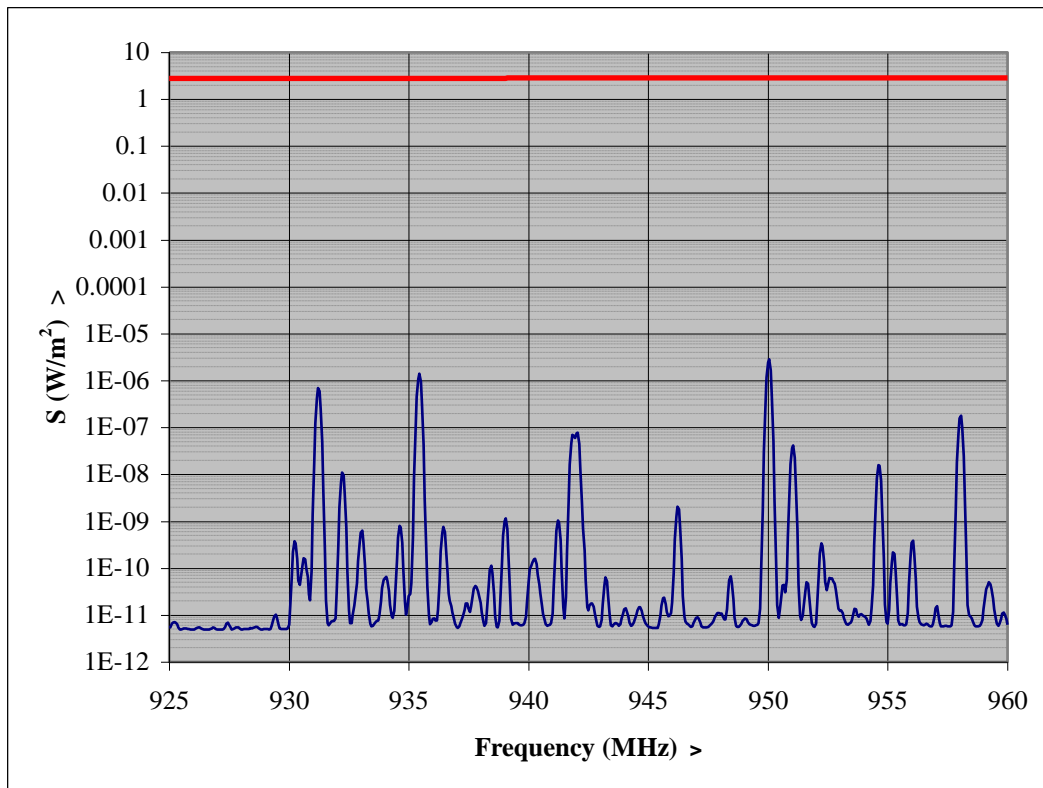
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι εκχωρημένες συχνότητες στις εταιρίες κινητών επικοινωνιών για uplink καθώς και downlink για τις ζώνες συχνοτήτων του GSM 900 και GSM 1800.

	WIND	COSMOTE	VODAFONE	Q-Telecom
<b>GSM 900</b>				
<b>UPLINK</b>	890.2-900.0	885.2-890.0	900.2-914.8	-
<b>DOWNLINK</b>	935.2-945.0	930.2-935.0	945.2-959.8	-
<b>DCS 1800</b>				
<b>UPLINK</b>	1730.0-1734.8	1760.0-1784.8	1745.0-1759.8	<b>1735.0-1744.8</b>
<b>DOWNLINK</b>	<b>1825.0-1829.8</b>	<b>1855.0-1879.8</b>	<b>1840.0-1854.8</b>	<b>1830.0-1839.8</b>

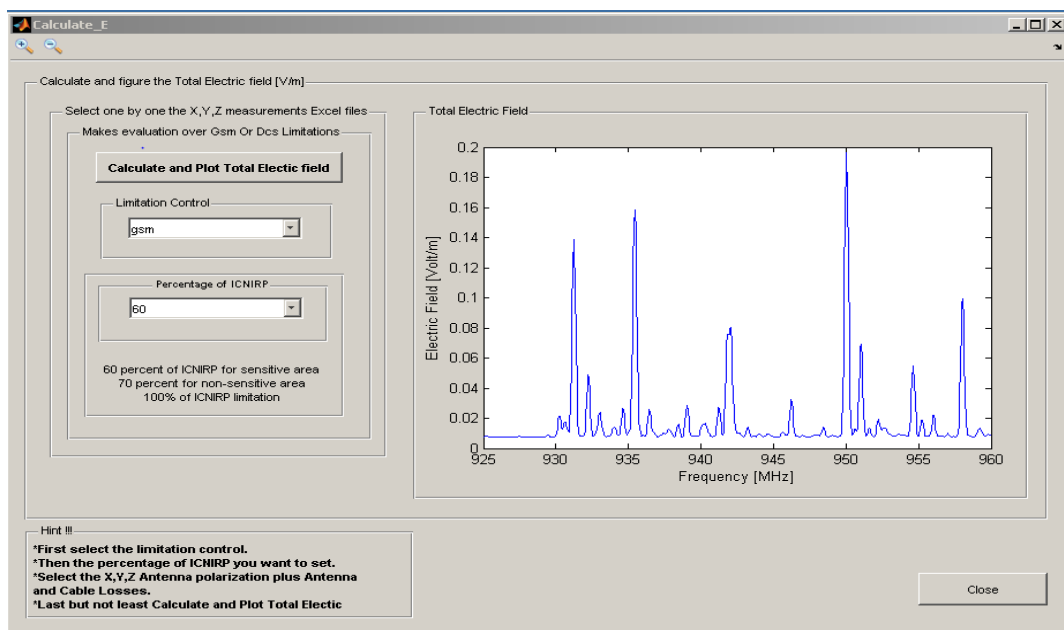
Πίνακας 6: Πίνακας εκχώρησης συχνοτήτων στις εταιρίες κινητών επικοινωνιών



## 7.2 Αποτελέσματα E-GSM 900



Εικόνα 38: Πυκνότητα ροής ανά συχνότητα GSM 900



Εικόνα 39: Εφαρμογή, γραφική παράσταση Ηλεκτρικού πεδίου E-GSM

Εύρος ζώνης μέτρησης	35 MHz
Συχνοτική ζώνη	925 - 960 MHz
Συνολικό ηλεκτρικό πεδίο	$7,92 \cdot 10^{-2}$ V/m
Συνολική πυκνότητα ισχύος	$1,67 \cdot 10^{-5}$ W/m <sup>2</sup>
Συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών	$5,87 \cdot 10^{-6}$

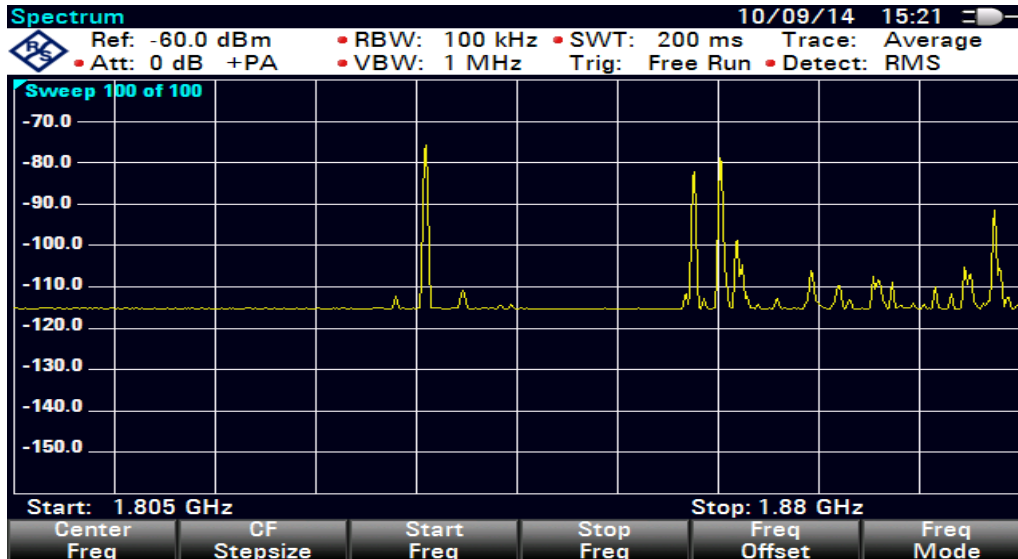
Πίνακας 7: Πίνακας αποτελεσμάτων μετρήσεων E-GSM 900

### 7.3 Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας GSM 1800



Εικόνα 40: Όργανα Μέτρησης DCS 1800

Η μέτρηση έχει αρχική και τελική τιμή συχνότητας 1805 MHz και 1880 MHz αντίστοιχα, reference level της τάξης -60 dBm με μηδενικό RF attenuation, το ορισμένο resolution bandwidth είναι 100 KHz και το video bandwidth είναι στο 1 MHz. Το detector function είναι ορισμένο στις πραγματικές τιμές RMS ενώ το ίχνος trace έχει ενεργοποιηθεί να αλλάζει κατά τις τιμές μέσου όρου των μετρήσεων.



Εικόνα 36: Μέτρηση DCS 1800 για πόλωση X

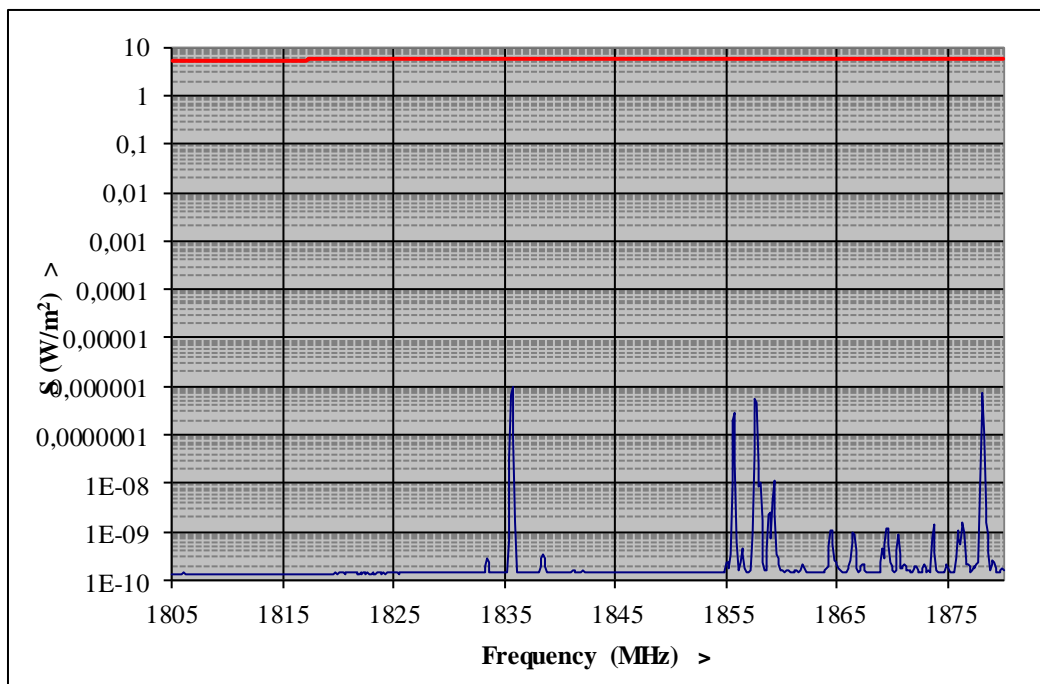


Εικόνα 37: Μέτρηση DCS 1800 για πόλωση Y

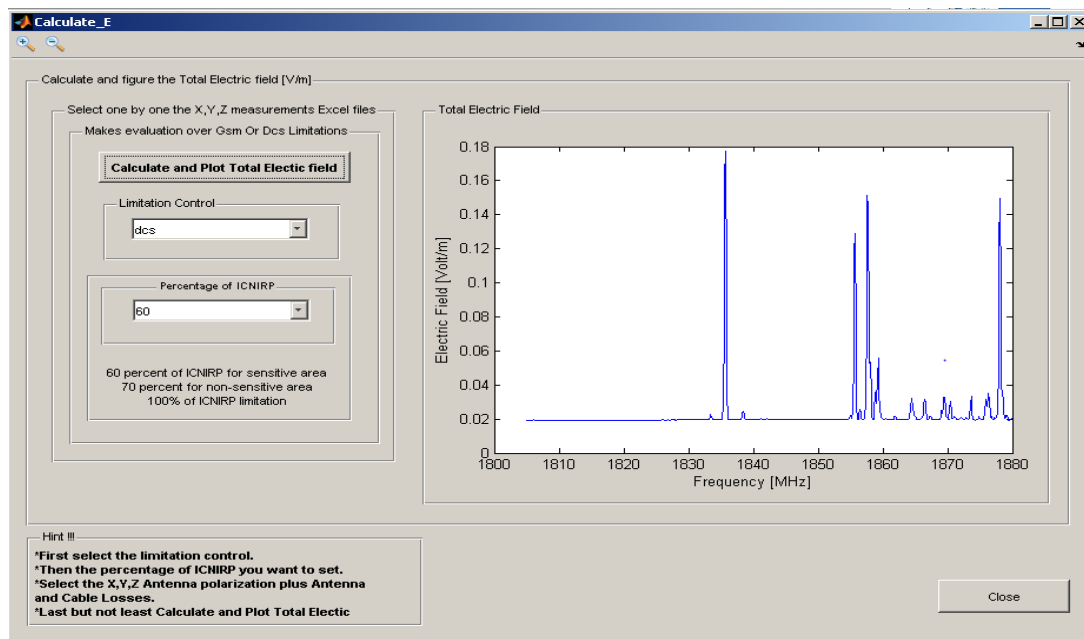


Εικόνα 38: Μέτρηση DCS 1800 για πόλωση Z

## 7.4 Αποτελέσματα GSM 1800



Εικόνα 41: Πυκνότητα ροής ανά συχνότητα GSM 1800



Εικόνα 42: Εφαρμογή, γραφική παράσταση Ηλεκτρικού πεδίου GSM 1800

Εύρος ζώνης μέτρησης	75 MHz
Συχνοτική ζώνη	1805 - 1880 MHz
Συνολικό ηλεκτρικό πεδίο	$4,22 \cdot 10^{-2}$ V/m
Συνολική πυκνότητα ισχύος	$4,71 \cdot 10^{-6}$ W/m <sup>2</sup>
Συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών	$8,45 \cdot 10^{-7}$

Πίνακας 8: Πίνακας αποτελεσμάτων μετρήσεων GSM 1800

## Κεφάλαιο 8: Κώδικας που υλοποιήθηκε για την εφαρμογή

### 8.1 Κώδικας σύνδεσης, παραμετροποίησης με το όργανο και λήψης ίχνους

Παρακάτω παραθέτεται ο ανάλογος κώδικας που αναφέρεται στο κεφάλαιο 6 και αφορά τις διαδικασίες callbacks.

```
function varargout = form(varargin)
% FORM MATLAB code for form.fig
% FORM, by itself, creates a new FORM or raises the existing
% singleton*.
% H = FORM returns the handle to a new FORM or the handle to
% the existing singleton*.
% FORM('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in FORM.M with the given input arguments.
% FORM('Property','Value',...) creates a new FORM or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before form_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to form_OpeningFcn via varargin.
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help form
% Last Modified by GUIDE v2.5 11-Apr-2015 21:32:13
% Begin initialization code - DO NOT EDIT

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @form_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @form_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```

% --- Executes just before form is made visible.
function form_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to form (see VARARGIN)
% Choose default command line output for form
clc;

handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

%handles buttons and textes at form open
set(handles.gsm1900,'Enable','off');
set(handles.gsm1900down,'Enable','off');
set(handles.text1,'String','No Instrument Yet');
set(handles.disconnect,'Enable','off');
set(handles.gsm900,'Enable','off');
set(handles.egsm900,'Enable','off');
set(handles.gsm900down,'Enable','off');
set(handles.gsm1800,'Enable','off');
set(handles.egsm900down,'Enable','off');
set(handles.gsm1800down,'Enable','off');
set(handles.usersettings,'Enable','off');
set(handles.text2,'ForegroundColor','Red');
set(handles.reset,'Enable','off');
set(handles.connect,'String','Connect & Capture');
set(handles.portnum,'String','Enter Port');
searchcomport=scanComPorts
set(handles.portfound,'String',searchcomport);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = form_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% uiwait(msgbox('First choose the measurement option and then Connect & Trace'));
% Get default command line output from handles structure

varargout{1} = handles.output;

%warning about the need of antenna port number and sa ip address
%communication

```

```

% --- Executes on button press in connect.
function connect_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to connect (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%handles buttons and textes after connecting to the analyzer
set(handles.gsm900,'Enable','on');
set(handles.egsm900,'Enable','on');
set(handles.gsm900down,'Enable','on');
set(handles.gsm1800,'Enable','on');
set(handles.egsm900down,'Enable','on');
set(handles.gsm1800down,'Enable','on');
set(handles.usersettings,'Enable','on');
set(handles.disconnect,'Enable','on');
set(handles.text2,'String','Connected To:');
set(handles.text2,'ForegroundColor','Green');
set(handles.reset,'Enable','on');
set(handles.connect,'String','Capture');
set(handles.gsm1900,'Enable','on');
set(handles.gsm1900down,'Enable','on');

%global variables for uses in many functions
global ip
global visaObj
global Attenuation Reference_Level Start_Frequency Stop_Frequency
Resolution_BW Video_BW
global Sweep_Number_Of_Points Sweep_Time Detector_Function Trace_Mode
Scale_Type
global Number_of_Averages Instrument_Model Instrument_Serial_Number
Trace_data

%delete any instrument fidn
delete(instrfind)

%getting ip address and direction X,Y,Z for measurement
ip=get(handles.textip,'String')
antennadirection =get(handles.antennadir,'string');

%getting spectrum analyzer ip address from gui text
ip = strcat('TCPIP0:',ip,':inst0:INSTR');
visaObj = visa('agilent',ip); % for FSH8

%big buffer size for the png save image
visaObj.InputBufferSize = 100000;
% Set the timeout value
visaObj.Timeout = 10;

```



```

% Set the Byte order (not needed)
visaObj.ByteOrder = 'littleEndian';
%Open the Object
get(visaObj) %print properties

%opens the virtual instr obj
fopen(visaObj);

%%Instrument_Model and serial number first instruction
Instrument_string=query(visaObj,'*IDN?');
[Manufacturer,remain]=strtok(Instrument_string,');
[Instrument_Model,remain]=strtok(remain,');
[Serial_number,remain]=strtok(remain,');
[Firmware_Version]=strtok(remain,');
model=Instrument_Model

%putting the instrument string at textbox
set(handles.text1,'string', Instrument_string)

Instrument_Serial_Number=Serial_number;

error_exists=0;instrumentError=";

%finds and paste at textbox current measurement date
date=query(visaObj,':SYSTem:DATE?');
set(handles.date,'String',date);

fprintf(visaObj,'*CLS');
fprintf(visaObj,'ABORT');

%turn average off
if strcmp(Instrument_Model,'FSH8');
    %Gia to FSH8
    fprintf(visaObj,'SWE:COUN 1');
else
    %Gia ton E4407B
    fprintf(visaObj,':SENSe:AVERage:STATe OFF')
end
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?'); %operation complete
fscanf(visaObj);

%set FSH8 in Spectrum analyzer mode if it not in this mode already
fprintf(visaObj,'INST:NSEL 1')
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);
%pause(4)

```

```

%return the analyzer in clear Write Trace Mode
if strcmp(Instrument_Model,'FSH8');
    %Gia to FSH8
    fprintf(visaObj,'DISP:WIND:TRAC:MODE WRIT');
else
    %Gia ton E4407B
    %fprintf(visaObj,[':sense:average:state OFF'])
    fprintf(visaObj,[':TRAC:MODE WRITe']);
end
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);
%
fprintf(visaObj,[':sense:detector:function POSitive']);% default setting
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);

%Synchronous trace acquisition
fprintf(visaObj,'INITiate:IMMediate');
fprintf(visaObj,'INIT:CONT ON');
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);

%Clear any marker
fprintf(visaObj,[':calculate:marker:STATe OFF']);
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);

%pause(0.5)
%
%Frequency table creation
Start_Frequency=0; %str2num (query(visaObj,[':sense:frequency:start?']));
Stop_Frequency=1000; %str2num (query(visaObj,[':sense:frequency:stop?']));
Sweep_Number_Of_Points=631;

fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);

% %%ANTENNA POSITION
% %change the antenna direction before get measurement and after the set up
% %of analyzer
global searchcomport
antennadirection=get(handles.antennadir,'String');
antennaPos = antennadirection{get(handles.antennadir,'Value')};

```

```

% contents = get(handles.portnum,'String');
% antennadirection = contents{get(handles.portnum,'Value')};
% get(handles.portnum,'String')
% Rot(antennaPos,searchcomport);
Rot(antennaPos,get(handles.portnum,'String'))
%%

%% Taking Spectrum Analyzer current settings and paste them at review table
%
%taking rf attenuation for review table
fprintf(visaObj,'input:ATTenuation?')
Char_Attenuation_setting=fscanf(visaObj,'input:ATTenuation?')
Atten=str2double(Char_Attenuation_setting)
set(handles.attenuationreview,'String',Atten)
set(handles.attenuationreview,'ForegroundColor','Green');

%taking refercelevel for review table
fprintf(visaObj,':DISPlay:WINDow:TRACe:Y:SCALE:RLEVel?')
Char_RL_setting=fscanf(visaObj,':DISPlay:WINDow:TRACe:Y:SCALE:RLEVel?')
Ref_Level=str2double(Char_RL_setting)
set(handles.reflevelreview,'String',Ref_Level)
set(handles.reflevelreview,'ForegroundColor','Green');

%taking resolution bandwidth for review table
fprintf(visaObj,':SENSe:BANDwidth:RESolution?')
Char_Res_BW=fscanf(visaObj,':SENSe:BANDwidth:RESolution?')
Res_BW=str2double(Char_Res_BW)/10^3 %in KHz
set(handles.resbandreview,'String',Res_BW)
set(handles.resbandreview,'ForegroundColor','Green');

%taking video bandwidth for review table
fprintf(visaObj,':SENSe:BANDwidth:VIDeo?')
Char_Video_Bandwidth=fscanf(visaObj,':SENSe:BANDwidth:VIDeo?')
Video_BW=str2double(Char_Video_Bandwidth)/10^6 %in MHz
set(handles.videobandreview,'String',Video_BW)
set(handles.videobandreview,'ForegroundColor','Green');

%taking start frequency for review table
fprintf(visaObj,':SENSe:FREQUency:START?')
Char_Start_Freq_setting=fscanf(visaObj,':SENSe:FREQUency:START?')
Start_Freq=str2double(Char_Start_Freq_setting)/10^6 %in MHz
set(handles.startfreqreview,'String',Start_Freq)
set(handles.startfreqreview,'ForegroundColor','Green');

%taking stop frequency for review table
fprintf(visaObj,':SENSe:FREQUency:STOP?')

```

```
Char_Stop_Freq_setting=fscanf(visaObj,':SENSe:FREQuency:STOP?')
Stop_Freq=str2double(Char_Stop_Freq_setting)/10^6 %in MHz
set(handles.stopfreqreview,'String',Stop_Freq)
set(handles.stopfreqreview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%taking span frequency for review table
fprintf(visaObj,':SENSe:FREQuency:SPAN?')
Char_Span_Frequency=fscanf(visaObj,':SENSe:FREQuency:SPAN?')
Freq_Span=str2double(Char_Span_Frequency)/10^6 %in MHz
set(handles.spanfreqreview,'String',Freq_Span)
set(handles.spanfreqreview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%taking sweep points for review table
Sweep_Points=631;
set(handles.sweepointsreview,'String',Sweep_Points)
set(handles.sweepointsreview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%taking sweep time for review table
fprintf(visaObj,':SENSe:SWEEp:TIME?')
Char_Sweep_Time=fscanf(visaObj,':SENSe:SWEEp:TIME?')
Sweep_Time=str2double(Char_Sweep_Time)
set(handles.sweeptimereview,'String',num2str(Sweep_Time))
set(handles.sweeptimereview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%taking detector function for review table
fprintf(visaObj,':sense:detector:function?')
Detector_Type=fscanf(visaObj,':sense:detector:function?')
set(handles.detectreview,'String',Detector_Type)
set(handles.detectreview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%taking trace mode for review table
fprintf(visaObj,':DISP:WIND:TRAC:MODE?')
tracemode=fscanf(visaObj,':DISP:WIND:TRAC:MODE?')
set(handles.tracemodereview,'String',tracemode)
set(handles.tracemodereview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%taking scale for review table
fprintf(visaObj,':DISPlay:WINDow:TRACe:Y:SPACing?')
scale=fscanf(visaObj,':DISPlay:WINDow:TRACe:Y:SPACing?')
set(handles.scalereview,'String',scale)
set(handles.scalereview,'ForegroundColor','Green');
```

```
%calling set measurement function for setting up the sa
[Start_Frequency,Stop_Frequency,Sweep_Number_Of_Points]=Set_measurement(visaObj,Atten,Ref_Level,Start_Freq,Stop_Freq,Res_BW,Video_BW,631,Sweep_Time,Detector_Type,tracemode,scale,5,Instrument_Mode);
```

```
%%
```

```

%Get Trace data
Trace_data=[]
Trace_data=Get_trace_data(visaObj,Instrument_Model)

% fprintf(visaObj,'*WAI');
% fprintf(visaObj,'*OPC?');
% fscanf(visaObj)

%plot Trace
    plot_SA_Trace(visaObj,Trace_data);

% %Saving in excel the png plus measurement
%frequency table creation
Freq_Step=(Stop_Frequency-Start_Frequency)/(Sweep_Number_Of_Points-1);
Freq_Table=[Start_Frequency:Freq_Step:Stop_Frequency]';
%%
%Put Measurement and analyzer screenshot in Excel file
contents = get(handles.antennadir,'String');
antennadirection = contents{get(handles.antennadir,'Value')};

Antena_Position=antennadirection
Antena_Kind='PCD 8250';
Cable_Kind='ARC both cables';
if strcmp(get(handles.startfreqview,'String'),'880') ||
strcmp(get(handles.startfreqview,'String'),'925')
    filename = strcat(Antena_Position,'_GSM900.xlsx');
else
    filename = strcat(Antena_Position,'_DCS1800.xlsx');
end

pathname=pwd;
sPut2Excel(visaObj,Instrument_Model,Instrument_Serial_Number,Trace_data,Freq_
Table,Sweep_Number_Of_Points,Antena_Position,Antena_Kind,Cable_Kind,filenam
e,pathname);

%%
%return the analyzer in clear Write Trace Mode
if strcmp(Instrument_Model,'FSH8');
    %Gia to FSH8
    %fprintf(visaObj,[':SENSe:SWEep:COUNT 1'])
    fprintf(visaObj,'DISP:WIND:TRAC:MODE WRIT');
else
    %Gia ton E4407B
    fprintf(visaObj,[':sense:average:state OFF'])
    fprintf(visaObj,':TRAC:MODE WRITE')
end
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);

```

```

%%
fprintf(visaObj,':sense:detector:function POSITIVE')% default setting
fprintf(visaObj,'*WAI');
fprintf(visaObj,'*OPC?');
fscanf(visaObj);
%%

% --- Executes on button press in disconnect.
function disconnect_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to disconnect (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% hObject handle to disconnect (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after disconnect
set(handles.text1,'String','')
set(handles.attenuationreview,'String','')
set(handles.reflevelreview,'String','')
set(handles.resbandreview,'String','')
set(handles.videobandreview,'String','')
set(handles.startfreqreview,'String','')
set(handles.stopfreqreview,'String','')
set(handles.spanfreqreview,'String','')
set(handles.sweepointsreview,'String','')
set(handles.date,'String','');
set(handles.sweeptimereview,'String','')
set(handles.detectreview,'String','')
set(handles.scalereview,'String','')
set(handles.tracemodereview,'String','')
set(handles.text2,'ForegroundColor','Red');
set(handles.text2,'String','Disconnected');
set(handles.gsm900,'Enable','off');
set(handles.egsm900,'Enable','off');
set(handles.gsm900down,'Enable','off');
set(handles.gsm1800,'Enable','off');
set(handles.egsm900down,'Enable','off');
set(handles.gsm1800down,'Enable','off');
set(handles.usersettings,'Enable','off');
set(handles.connect,'Enable','on');
set(handles.disconnect,'Enable','off');
set(handles.text1,'String','Disconnected');
set(handles.reset,'Enable','off');
set(handles.connect,'ForegroundColor','BLACK');
set(handles.connect,'String','Connect & Capture');
set(handles.portnum,'String','');
set(handles.gsm1900,'Enable','off');
set(handles.gsm1900down,'Enable','off');

```

```

global visaObj ip
if isempty(visaObj)
    ip = strcat('TCPIP0:',ip,':inst0:INSTR');
    visaObj = visa('agilent',ip);
else
    fclose(visaObj);
    visaObj = visaObj(1);
end

fclose(visaObj);
clear all;
%%

% --- Executes on button press in Exit.
function close_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Exit (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

global visaObj;
global ip;
if isempty(visaObj)
    % saip = strcat('TCPIP0:',saip,':inst0:INSTR');
    visaObj = visa('agilent',ip); % for FSH8
else
    fclose(visaObj);
    visaObj = visaObj(1);
end

clc;
fclose(visaObj);
clear all;
CLOSE ALL;
% Clean up all objects.
delete(visaObj);
close form;
%%

% -----
function Exit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Exit (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% visaObj = instrfind('agilent','TCPIP1');

clc;
clear all;
close all;

```

```

%%

% --- Executes on button press in reset.
function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to reset (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

global visaObj;
global ip;
if isempty(visaObj)
    %saip = strcat('TCPIP0:',saip,':inst0:INSTR');
    visaObj = visa('agilent',ip); % for FSH8
else
    fclose(visaObj);
    visaObj = visaObj(1);
end

fopen(visaObj);
fprintf(visaObj,'SYST:PRE:FACT');
fclose(visaObj);
fprintf(visaObj,'*RST');
%%

% --- Executes on button press in evaluate.
function evaluate_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to evaluate (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%calls calculate e function for evaluate measurement and results
Calculate_E;
%%

% -----
function usersettings_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to usersettings (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%uiwait for warning about the correct set up for measure
uiwait(warndlg(sprintf('Warning !! \nFor Detection Function you can use AVERage |
POSitive | QUASipeak | RMS \nFor Scale Type you can use LOG or LIN\nFor Trace
Mode you can use AVERage | MAXHold | MINHold | VIEW | WRITE'))));

prompt={'Enter Start Frequency (MHz)','Enter Stop Frequency (MHz)'...
    ,'Enter Attenuation (dB)','Enter Reference Level (dBm)'...
    ,'Enter Resolution Bandwidth (KHz)','Enter Video Bandwidth (MHz)'...
    ,'Enter Sweep Time (Seconds)','Enter Sweep Points'...

```



```

    , 'Enter Span Frequency (MHz)', 'Enter Detector Function'...
    , 'Enter Scale Type (Log, Lin)', 'Enter Trace Mode'});
name='Costum Measurement';
numlines=1;
defaultanswer={'0','0','0','0','0','0','0','0','0','RMS','LOG','AVER'};
answer=inputdlg(prompt, name, numlines, defaultanswer);

%Set up gui after costum measurement
set(handles.startfreqreview, 'String', answer{1});
set(handles.stopfreqreview, 'String', answer{2});
set(handles.attenuationreview, 'String', answer{3});
set(handles.reflevelreview, 'String', answer{4});
set(handles.resbandreview, 'String', answer{5});
set(handles.videobandreview, 'String', answer{6});
set(handles.sweptimereview, 'String', answer{7});
set(handles.sweepointsreview, 'String', answer{8});
set(handles.spanfreqreview, 'String', answer{9});
set(handles.detectreview, 'String', answer{10});
set(handles.scalereview, 'String', answer{11});
set(handles.tracemodereview, 'String', answer{12});
set(handles.connect, 'ForegroundColor', 'Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj, answer{3}, answer{4}, answer{1}, answer{2}, answer{5}, answer{6}, answer{8}, answer{7}, answer{10}, answer{12}, answer{11}, 100, Instrument_Model);
%%

% --- Executes on button press in gsm900.
function gsm900_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to gsm900 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview, 'String', '890');
set(handles.stopfreqreview, 'String', '960');
set(handles.attenuationreview, 'String', '10');
set(handles.reflevelreview, 'String', '0');
set(handles.resbandreview, 'String', '100');
set(handles.videobandreview, 'String', '1');
set(handles.sweptimereview, 'String', '100');
set(handles.sweepointsreview, 'String', '631');
set(handles.spanfreqreview, 'String', '90');
set(handles.detectreview, 'String', 'RMS');
set(handles.scalereview, 'String', 'LOG');
set(handles.tracemodereview, 'String', 'AVER');
set(handles.connect, 'ForegroundColor', 'Red');

```

```

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,890,960,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model);
%%

% --- Executes on button press in egsm900.
function egsm900_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to egsm900 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview,'String','880');
set(handles.stopfreqreview,'String','960');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweepimereview,'String','100');
set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','40');
set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,880,960,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model);
%%

% --- Executes on button press in gsm900down.
function gsm900down_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to gsm900down (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview,'String','935');
set(handles.stopfreqreview,'String','960');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweepimereview,'String','100');

```

```

set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','45');
set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,935,960,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model)

%%

% --- Executes on button press in gsm1800.
function gsm1800_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to gsm1800 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview,'String','1710');
set(handles.stopfreqreview,'String','1880');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweeptimereview,'String','100');
set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','200');
set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,1710,1880,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model)

%%

% --- Executes on button press in egsm900down.
function egsm900down_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to egsm900down (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after auto measurement

```

```

set(handles.startfreqreview,'String','925');
set(handles.stopfreqreview,'String','960');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweepimereview,'String','100');
set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','100');
set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,925,960,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model)
%%

% --- Executes on button press in gsm1800down.
function gsm1800down_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to gsm1800down (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview,'String','1805');
set(handles.stopfreqreview,'String','1880');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweepimereview,'String','100');
set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','100');
set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,1805,1880,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model)

%%

% -----

```

```

function About_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to About (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
open about.fig;

function options_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to options (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% -----

function moreabout_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to moreabout (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
web('http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/index?utf8=%E2%9C%
93&term=gui+instrument+control','-browser');

% --- Executes on selection change in antennadir.
function antennadir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to antennadir (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns antennadir contents as cell
array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from antennadir
% --- Executes during object creation, after setting all properties.

function antennadir_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to antennadir (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function textip_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to textip (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

function portnum_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to portnum (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of portnum as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of portnum as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function portnum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to portnum (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function textip_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to textip (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of textip as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of textip as a double
```

```
function portfound_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to portfound (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of portfound as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of portfound as a double
```

```
% --- Executes on button press in gsm1900.
function gsm1900_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to gsm1900 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview,'String','1850');
set(handles.stopfreqreview,'String','1990');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweepimereview,'String','100');
set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','100');
```

```

set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,1850,1990,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model)

% --- Executes on button press in gsm1900down.
function gsm1900down_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to gsm1900down (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%Set up gui after auto measurement
set(handles.startfreqreview,'String','1930');
set(handles.stopfreqreview,'String','1990');
set(handles.attenuationreview,'String','10');
set(handles.reflevelreview,'String','0');
set(handles.resbandreview,'String','100');
set(handles.videobandreview,'String','1');
set(handles.sweepimereview,'String','100');
set(handles.sweepointsreview,'String','631');
set(handles.spanfreqreview,'String','100');
set(handles.detectreview,'String','RMS');
set(handles.scalereview,'String','LOG');
set(handles.tracemodereview,'String','AVER');
set(handles.connect,'ForegroundColor','Red');

%setting up sa for trace
global Instrument_Model visaObj
Set_measurement(visaObj,10,0,1930,1990,100000,1000000,631,0.1,'RMS','AVER','LOG',100,Instrument_Model)

```

## 8.2 Κώδικας ανάλυσης υφισταμένων μετρήσεων

```

function varargout = Calculate_E(varargin)
% CALCULATE_E MATLAB code for Calculate_E.fig
%   CALCULATE_E, by itself, creates a new CALCULATE_E or raises the
existing
%   singleton*.
%
%   H = CALCULATE_E returns the handle to a new CALCULATE_E or the
handle to
%   the existing singleton*.
%
%   CALCULATE_E('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in CALCULATE_E.M with the given input
arguments.
%
%   CALCULATE_E('Property','Value',...) creates a new CALCULATE_E or raises
the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before Calculate_E_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to Calculate_E_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Calculate_E

% Last Modified by GUIDE v2.5 18-Apr-2015 14:16:35

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Calculate_E_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Calculate_E_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else

```



```

gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Calculate_E is made visible.
function Calculate_E_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to Calculate_E (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Calculate_E
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% percent = percentfor{get(handles.popupmenu2,'Value')};

% UIWAIT makes Calculate_E wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure2);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Calculate_E_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in calculate.
function calculate_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to calculate (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Read the the trace files for the three dimensions (X-Y-Z).
% Sth stlh 1 mpainei to euros twm syxnohtwn(se MHz) sto opoio egine h metrsh.
% Sth stlh 2,3,4 tou
% EXCELS_File mpainei h isxys se dB opws mas thn edwse o analyths gia tis 3
% diaforetikas kateuthinseis ths keraias

```

```

[name,PathName] = uigetfile('*.xlsx','Select the X-Spectrum Analyzer Trace file');
temp = xlsread(name,1);
EXCELS_File(:,1) = temp(:,1) ;
EXCELS_File(:,2) = temp(:,2);
[name,PathName] = uigetfile('*.xlsx','Select the Y-Spectrum Analyzer Trace file');
temp = xlsread(name,1);
EXCELS_File(:,3) = temp(:,2);
[name,PathName] = uigetfile('*.xlsx','Select the Z-Spectrum Analyzer Trace file');
temp = xlsread(name,1);
EXCELS_File(:,4) = temp(:,2);

start_freq=temp(28,3) * 10^(-6);
stop_freq=temp(31,3) * 10^(-6) ;
number_of_points= temp(34,3);
Interpolation_step=(stop_freq-start_freq)/(number_of_points-1);

resolutionbandwidth = temp(19,3) * 10^(-6);
% RBW(MHz) filtro 8oryvou tou analyth syntelestis k gia ton FSH8 einai 5 kai gia
% to Agilent 1.128
bandwidthnoise = 5 * resolutionbandwidth ;

% B_ch(MHz) einai to integration Bandwidth :(stop_freq - start_freq) gia to
bandwidthchannel = stop_freq - start_freq;

% Ypologismos tou syntelesth dior8wshs(se dB)
%Ypologismos correction factor
ChannelPw = 10 * log10( (bandwidthchannel/bandwidthnoise)*
(1/number_of_points) );

% to f_ einai se MHz
f_i = EXCELS_File(:,1);

f_i = f_i/1000000; %SE HZ

[File_name,Path_name] = uigetfile('*.xlsx','Select the AntennaFactor and Cable losses
file')
Isotropic_PCD_all_table = xlsread('ISO_SWR_UN_PCD.xls');

if (start_freq==880) %%gia gsm900
temp_ = xlsread(File_name);
Gain_Losses = temp_(801:891,:) ; %sthlh gia sixnohtes 880-970 mhz
Isotropic_PCD_corrections_hz=Isotropic_PCD_all_table(801:891,:);

elseif (start_freq==925) %%gia gsm900dl
temp_ = xlsread(File_name);
Gain_Losses = temp_(846:891,:) ;
Isotropic_PCD_corrections_hz=Isotropic_PCD_all_table(846:891,:);

```

```

elseif (start_freq==1710) %%για gsm1800
    temp_ = xlsread(File_name);
    Gain_Losses = temp_(1631:1801,:) ; %sthlh gia sixnothtes 1700-1900 mhz
    Isotropic_PCD_corrections_hz=Isotropic_PCD_all_table(1631:1801,:);

elseif (start_freq==1850) %%για gsm1900
    temp_ = xlsread(File_name);
    Gain_Losses = temp_(1771:1911,) ;
    Isotropic_PCD_corrections_hz=Isotropic_PCD_all_table(1771:1911,:);

elseif (start_freq==1930) %%για gsm1900dl
    temp_ = xlsread(File_name);
    Gain_Losses = temp_(1851:1911,) ;
    Isotropic_PCD_corrections_hz=Isotropic_PCD_all_table(1851:1911,:);
else %%για gsm1800dl
    temp_ = xlsread(File_name);
    Gain_Losses = temp_(1726:1801,) ;
    Isotropic_PCD_corrections_hz=Isotropic_PCD_all_table(1726:1801,:);

end

w = start_freq:Interpolation_step:stop_freq; % frequencies table in MHz

Isotropic_PCD_corrections_A =
interp1(Isotropic_PCD_corrections_hz(:,2),Isotropic_PCD_corrections_hz(:,3),w,'linear');
Isotropic_PCD_corrections_B =
interp1(Isotropic_PCD_corrections_hz(:,2),Isotropic_PCD_corrections_hz(:,4),w,'linear');

Isotropy=(Isotropic_PCD_corrections_A).* f_i + Isotropic_PCD_corrections_B;
Isotropy_linear_antenna = 10 .^(Isotropy/20);

P_i_x = EXCELS_File(:,2); %measured X dBm
P_i_y = EXCELS_File(:,3); %measured Y dBm
P_i_z = EXCELS_File(:,4); %measured Z dBm

% Υπολογισμος Isxyos sthn eisodo tou syshmatos(se ka8e stoixeio tou p_out
prosti8etai to p_c)
P_out_x = P_i_x + ChannelPw;
P_out_y = P_i_y + ChannelPw;
P_out_z = P_i_z + ChannelPw;

% Grammikh Paremvolh ap ton pinaka me ta AF
x = start_freq:Interpolation_step:stop_freq; % frequencies table in MHz
AF_interpolated(:,1) = interp1(Gain_Losses(:,2),Gain_Losses(:,3),x,'linear')

```

```

AF_db = AF_interpolated(:,1);

AF_Absolute = (10 .^(AF_db / 20)) .* Isotropy_linear_antenna';
%AF_dB(i) = 20 * Log(AF_Absolute(i)) / Log(10)
AF_db = 20 * log10(AF_Absolute);

Gain_db = -29.776613 + 20 * log10(f_i) - AF_db;

% Grammikh Paremvolh ap ton pinaka me ta losses
w = start_freq:Interpolation_step:stop_freq; % frequencies table in MHz
CableLosses_interpolated(:,1) =
interp1(Gain_Losses(:,2),Gain_Losses(:,9),w,'linear');
Cablelosses = CableLosses_interpolated(:,1);

%euresh l total
L_total = Cablelosses - Gain_db;

%Sin,dbm poiknotitas isxios stin eisodo X
S_in_xdBm = -48.76 + P_out_x + L_total + AF_db;
%Sin,dbm poiknotitas isxios stin eisodo Y
S_in_ydBm = -48.76 + P_out_y + L_total + AF_db;
%Sin,dbm poiknotitas isxios stin eisodo Z
S_in_zdBm = -48.76 + P_out_z + L_total + AF_db;

%S(W) = 1W · 10(P(dBm) / 10) / 1000 = 10((P(dBm) - 30) / 10)

% S_in_xWm = ( 10.^(S_in_xdBm/10) / 1000 );
% S_in_yWm = ( 10.^(S_in_ydBm/10) / 1000 );
% S_in_zWm = ( 10.^(S_in_zdBm/10) / 1000 );

S_in_xWm = 10 * 10.^(S_in_xdBm/10);
S_in_yWm = 10 * 10.^(S_in_ydBm/10);
S_in_zWm = 10 * 10.^(S_in_zdBm/10);

E_in_x = sqrt(120 * 3.1416 .* S_in_xWm); %E_in_x entasi hlektrikou gia X
E_in_y = sqrt(120 * 3.1416 .* S_in_yWm); %E_in_y entasi hlektrikou gia y
E_in_z = sqrt(120 * 3.1416 .* S_in_zWm); %E_in_z entasi hlektrikou gia z

H_in_x = sqrt(S_in_xWm ./ (120 * 3.1416)); %H_in_x entasi magnhtikou gia X
H_in_y = sqrt(S_in_yWm ./ (120 * 3.1416)); %H_in_x entasi magnhtikou gia Y
H_in_z = sqrt(S_in_zWm ./ (120 * 3.1416)); %H_in_x entasi magnhtikou gia Z

E_oliko_fi = sqrt(E_in_x + E_in_y + E_in_z);

E_total = sqrt(sum(E_oliko_fi.^2));

```

$S_{total} = E_{total}^2 / (120 * 3.1416);$

global limitation  
global percent

```
%elegxos ti pedio sixnohtwn tha ginei evaluation me tis global times pou
%eginan set
if strcmp(limitation,'gsm')
    if strcmp(percent,'70')
        Limit = 34.5; %gsm900 me 70% tou ICNIRP
    elseif strcmp(percent,'60')
        Limit = 31.9; %gsm900 me 60% tou ICNIRP
    elseif strcmp(percent,'100')
        Limit = 41.2; %gsm900 me 100% tou ICNIRP
    else
        warndlg('You have to set 60 for sensitive areas or 70 percent any normal area',!!
Warning !!)
    end
elseif strcmp(limitation,'dcs')
    if strcmp(percent,'70')
        Limit = 48.8; %gsm1800 me 70% tou ICNIRP
    elseif strcmp(percent,'60')
        Limit = 45.2; %gsm1800 me 60% tou ICNIRP
    elseif strcmp(percent,'100')
        Limit = 58.2; %gsm900 me 100% tou ICNIRP
    else
        warndlg('You have to set 60 for sensitive areas or 70 percent any normal area',!!
Warning !!)
    end
else
    warndlg('Set up please the correct limitation, gsm or dcs',!! Warning !!)
end
```

Logos\_Hlektrikou\_fi = (E\_oliko\_fi).^2 / (Limit).^2; %logos E\_i/E\_Limit  
Syntelestis\_ekthesis = sum(Logos\_Hlektrikou\_fi);

```
if (Syntelestis_ekthesis <= 1) %%?
    h = msgbox('Within Limitations','title'); %popup messagebox gia enhmerwsh
    xrhsth oso aforia an eimaste entos h ekstos oriwn
else
    h = msgbox('Out Of Bounds','title','Warn'); %popup messagebox gia enhmerwsh
    xrhsth oso aforia an eimaste entos h ekstos oriwn
end
```

file=strcat(limitation,'\_results.xls');

```

filename = file;
pathname=pwd;

%%
% First open an Excel Server
Excel = actxserver('Excel.Application');
set(Excel, 'Visible', 1);
%get(Excel);

% Insert a new workbook
Workbooks = Excel.Workbooks;
Workbook = invoke(Workbooks, 'Add');
%
% Make the first sheet active
Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets;
sheet1 = get(Sheets, 'Item', 1);
invoke(sheet1, 'Activate');
%
% Get a handle to the active sheet
Activesheet = Excel.Activesheet;
%
set(Activesheet,'name','Results');
%%
% Put a MATLAB array into Excel

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','A1:A1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Frequency(MHz)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['A2:A' num2str(number_of_points+1)]);
set(ActivesheetRange, 'Value', f_i);

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','B1:B1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Sx(W/m2)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['B2:B' num2str(number_of_points+1)]);
set(ActivesheetRange, 'Value', S_in_xWm(:,1));

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','C1:C1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Sy(W/m2)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['C2:C' num2str(number_of_points+1)]);
set(ActivesheetRange, 'Value', S_in_yWm(:,1));

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','D1:D1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Sz(W/m2)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['D2:D' num2str(number_of_points+1)]);
set(ActivesheetRange, 'Value', S_in_zWm(:,1));

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','E1:E1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Ex(V/m)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['E2:E' num2str(number_of_points+1)]);
set(ActivesheetRange, 'Value', E_in_x(:,1));

```

```

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','F1:F1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Ey(V/m)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['F2:F' num2str(number_of_points+1)]];
set(ActivesheetRange, 'Value', E_in_y(:,1));

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','G1:G1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Ez(V/m)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['G2:G' num2str(number_of_points+1)]];
set(ActivesheetRange, 'Value', E_in_z(:,1));

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','H1:H1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Electric Field(V/m)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['H2:H' num2str(number_of_points+1)
]);
set(ActivesheetRange, 'Value', E_oliko_fi(:,1));

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','I1:I1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Sintelestis ekthesis/fi (V/m)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['I2:I' num2str(number_of_points+1) ]]);
set(ActivesheetRange, 'Value', Logos_Hlektrikou_fi);

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','J1:J1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'Total ElectricField(V/m)');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','J2:J2');
set(ActivesheetRange, 'Value', E_total);

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','K1:K1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'SYNTELESTIS EKTHEISIS');
%ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',['K2:K2'
num2str(length(Syntelestis_ekthesis))]);
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','K2:K2');
set(ActivesheetRange, 'Value', Syntelestis_ekthesis);

ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','L1:L1');
set(ActivesheetRange, 'Value', 'S_total');
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range','L2:L2');
set(ActivesheetRange, 'Value', S_total);

%Now save the workbook
%invoke(Workbook, 'SaveAs', 'myfile.xls'); %to paei sto my documents
invoke(Workbook, 'SaveAs', fullfile(pathname, filename)); %to paei ekei poy
epilexame

% To avoid saving the workbook and being prompted to do so,
% uncomment the following code.
%Workbook.Saved = 1;

```

```

%% invoke(Workbook, 'Close');
%%
% Quit Excel
invoke(Excel, 'Quit');
%%
% End process
delete(Excel);

msgbox(['The data were saved at ', fullfile(pathname, filename)]);
plot(handles.axes1, f_i,E_oliko_fi);
xlabel(handles.axes1, 'Frequency [MHz]');
ylabel(handles.axes1, 'Electric Field [Volt/m]');

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1 contents as cell
array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1

%setarisma global metavliths se periptwsh selectedindex gia periptwsh
%1,2 ta analoga strings
selectedIndex = get(handles.popupmenu1, 'value');
global limitation
if selectedIndex == 1
    limitation = 'gsm';
elseif selectedIndex == 2;
    limitation = 'dcs';
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```



```

set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%setarisma global metavliths se periptwsh selectedindex gia periptwsh
%1,2,3 ta analoga strings
selectedIndex = get(handles.popupmenu2, 'value');
global percent
if selectedIndex == 1;
    percent = '60';
elseif selectedIndex == 2;
    percent = '70';
elseif selectedIndex == 3;
    percent = '100';
end

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu2 contents as cell
array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu2

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in close.
function close_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to close (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
clc;
clear all;

```

close Calculate\_E;

## Βιβλιογραφία

1.	Ericsson , Understanding Telecommunications
2.	ETSI, GSM Specification Series 02.01–2.88, GSM Services and Features
3.	Fraidon Mazda, Mobile Communications, Focal Press, 1996
4.	Michel Mouly, Marie Pautet, The GSM System for Mobile Communications, Mouly and Pautet, Palaiseau, France, 1992
5.	Rune Harald Rækken, GSM Working Party 2-Towards a radio sub-system for GSM
6.	S. Haykin, Communication Systems, 2001
7.	Vazrik Shirvani, PCS-1900, A Sibling of GSM
8.	W.A. Steer PhD, GSM phone signal analysis
12.	<a href="http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/hlktromagnitikh_Entypo_3.pdf">http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/hlktromagnitikh_Entypo_3.pdf</a>
13.	<a href="http://www.onco.gr/documents/Pateniotis.pdf">http://www.onco.gr/documents/Pateniotis.pdf</a>
14.	<a href="http://conta.uom.gr/">http://conta.uom.gr/</a>
15.	<a href="http://www.chu.edu.tw">www.chu.edu.tw</a>
16.	<a href="http://www.site.uottawa.ca">www.site.uottawa.ca</a>
17.	<a href="http://www.iec.org">www.iec.org</a>
18.	<a href="http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/umts.php">http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/umts.php</a>
19.	<a href="http://www.mobilepro.gr/extra_info_pages.php?pages_id=18">http://www.mobilepro.gr/extra_info_pages.php?pages_id=18</a>
23.	X. Καψάλης, Π.Κώττης Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις, 2003
24.	D. Stratakis, T. Xenos, T. Yioultsis, V. Zacharopoulos, N. Farsaris, V. I. Zacharopoulou and C. Katsidis: “ <b>Automation in Electromagnetic Field Measurements</b> ”, Proceedings of the International Conference on Telecommunications & Multimedia, TEMU 2006, ISBN: 960-88785-2-7, Heraklion, Crete, Greece, 5-7 July 2006.
25.	D. Stratakis, A. Miaoudakis, V. Zacharopoulos and T. Xenos, “ <b>On the Spatial Averaging of Multiple Narrowband Electromagnetic Field Measurements. Methods and Uncertainty Estimation</b> ”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, Vol.59, no. 6, pp. 1520-1536, June 2010.
26.	Dimitrios Stratakis, Andreas Miaoudakis, Evangelos Pallis, Traianos Yioultsis, Thomas Xenos, George Mastorakis, and Constandinos X. Mavromoustakis: “ <b>Measurements on Modern Wireless Communication Technologies and Estimation of Human Exposure</b> ”, Book Chapter, Editors: C.X. Mavromoustakis et al., <i>Resource Management in Mobile Computing Environments, Modeling and Optimization in Science and Technologies 3</i> , DOI: 10.1007/978-3-319-06704-9_5, © Springer International Publishing Switzerland 2014.
27.	Greek legislation, “ <i>Law 3431, About Electronic Communications and other orders</i> ”, Act No.13/Vol. A/3-2-2006.
28.	Greek legislation, “ <i>Common Ministerial Decision-Protection measures for the exposure of the general public to all land based antenna stations</i> ”, Act No.1105/Vol. B/6-9-2000.
29.	Greek legislation, “ <i>Common Ministerial Decision, Protection measures for the exposure of the general public to all low frequency electric and magnetic fields</i> ”

	<i>emitting devices</i> ”, Act No.512/Vol. B/25-4-2002.
30.	ICNIRP (April 1998), “ <i>Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300GHz)</i> ”, Health Physics, Vol. 74, No 4.
31.	EU Council (1999), “ <i>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)</i> ”, 1999/519/CE.
32.	IEEE C95.3 (1991), “ <i>IEEE recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields, RF and microwave</i> ”.
33.	Hellenic Organization for Standardization (1998), “ <i>EN 61566 - Measurement of exposure to radio-frequency electromagnetic fields – Field strength in the frequency range 100KHz to 1GH</i> ”, Hellenic Organization for Standardization, Athens.
34.	CENELEC EN 50166-2 (1995), “ <i>Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 KHz to 300 GHz)</i> ”.
35.	Hellenic Organization for Standardization (1998), “ <i>EN 61566 - Measurement of exposure to radio-frequency electromagnetic fields – Field strength in the frequency range 100KHz to 1GH</i> ”, Hellenic Organization for Standardization, Athens.
36.	Industry Canada (31 July 2000), “ <i>Guidelines for the Measurement of Radiofrequency fields at Frequencies from 3KHz to 300GHz</i> ”.
37.	Canada, Safety Code 6 (Canada 1999), “ <i>Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3KHz to 300GHz</i> ”, Minister of Public Workers and Government Services, Canada.
38.	Agilent Technologies (February 2003), “ <i>Application Note 1303 Spectrum Analyzer Measurements and Noise</i> ”, Agilent Technologies.
39.	Christoph Rauscher (Volker Janssen, Roland Minihold) (2001), “ <i>Fundamentals of Spectrum Analysis</i> ”, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, Germany.
40.	Agilent Technologies (April 2003), “ <i>ESA-E Series Spectrum Analyzers Specifications Guide, Manufacturing Part Number: E4401-90370</i> ”, Agilent Technologies.
41.	Revised ECC Recommendation (02)04 (October 2003), “ <i>Measuring Non-Ionizing Electromagnetic Radiation (9KHz - 300GHz)</i> ”.
42.	ISO GUM (1995), “ <i>Guide to the expression of uncertainty in measurement</i> ”, ISO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-67-10188-9.
43.	Prenter P., (1989), “ <i>Splines and variational methods</i> ”, New York, J. Wiley Editor.
44.	SCPI Consortium (May 1999), “ <i>Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI), Volume 1: Syntax and Style</i> ”, USA.
45.	Agilent Technologies (December 2001) “ <i>ESA Series Spectrum Analyzers Programmer’s Guide</i> ”, Manufacturing Part Number: E4401-90407, USA.
46.	Agilent Application Note 1316 (November 1, 1989), “ <i>Optimizing Spectrum</i>


	<i>Analyser Amplitude Accuracy</i> ”, USA.
47.	Agilent Application Note 1286-1 (November 2, 2004), “ <i>Eight Hints for Making Better Spectrum Analyzer Measurements</i> ”, USA.
48.	Electromagnetic Radiation Measurements Laboratory (2004), “ <i>Protocol of Electromagnetic Radiation Measurements from 30MHz up to 26.5GHz</i> ”, TEI Crete.

**Πίνακας 9 : Βιβλιογραφία**

## Παράρτημα Α Παρουσίαση Πτυχιακής Εργασίας (Διαφάνειες)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη εφαρμογής για μέτρηση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σταθμών βάσης GSM απο φορητό αναλυτή φάσματος



Στέλιος Κρασαδάκης  
ΑΜ : 2634

**Εισηγητής**  
Στρατάκης Δημήτριος

### Σκοπός της πτυχιακής εργασίας:

Η περιγραφή των συστημάτων GSM και η δημιουργία κατάλληλου λογισμικού σε περιβάλλον Matlab για την απομακρυσμένη διαχείριση του αναλυτή φάσματος R&S FSH8 με σκοπό την μέτρηση και την αξιολόγηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τα συστήματα αυτά.

Το αποτέλεσμα είναι:

- Σύνδεση με τον αναλυτή
- Ανιχνεύση τρέχων ρυθμίσεων
- Παραμετροποίηση αναλυτή
- Αποθήκευση εικόνας αναλυτή κατά την μέτρηση
- Γραφική παρουσίαση φάσματος σε άξονες
- Αξιολόγηση μετρήσεων
- Γραφική παρουσίαση του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου
- Ενημέρωση χρήστη ως προς την συμμόρφωση με τα κείμενα μέγιστα επιτρεπτά όρια έκθεσης

## Λίγα λόγια για το Gsm

Δημιουργήθηκε για να προσφέρει υπηρεσίες φωνής και υπηρεσίες αποστολής/λήψης δεδομένων χαμηλού ρυθμού μετάδοσης.

Αντικατέστησε την πρώτη γενιά αναλογικής τηλεφωνίας σε ψηφιακή.

Σημειώθηκε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα φωνής.

Προσφέρει επικοινωνία χωρίς ασυνέχειες απο οπουδήποτε.

Η χωρητικότητα αυξήθηκε λόγω της καλύτερης χρησιμοποίησης συχνοτήτων.

## Gsm και Δομή Κυψελωτού Συστήματος

Το Gsm στηρίζεται στο ψηφιακό κυψελωτό σύστημα.



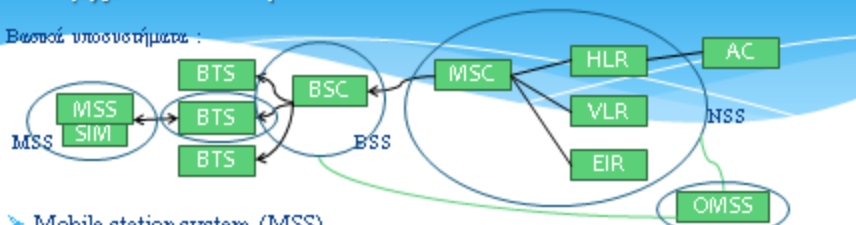
Εκμεταλλεύεται την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.

Σε κάθε κυψέλη κατανέμεται ένα μέρος του φάσματος συχνοτήτων.

Αύξηση χωρητικότητας χωρίς πρόσθετο κόστος φάσματος.

## Αρχιτεκτονική GSM

Βασικά υποσυστήματα :



### > Mobile station system (MSS)

Κινητός σταθμός μαζί με την κάρτα SIM που εξασφαλίζει την προσωπική κινητικότητα. Υπεύθυνο για την κωδικοποίηση, κρυπτογράφηση/ αποκρυπτογράφηση και μετέδοση της φωνής. Τέλος μετράει την ισχύ του BTS με αποτέλεσμα την αίτηση του για αλλαγή BTS μέσω διαδικασίας handover στην περίπτωση που η ισχύς είναι κάτω από ένα ορισμένο κατώφλι.

### > Base station sub-system (BSS).

Αποτελείται από ένα BTS (Base Transceiver Station) όπου εμπεριέχει και ο ραδιοεξοπλισμός της μετέδοσης. Αποτελείται από τον Ελεγκτή σταθμών βάσης (BSC) που διαχειρίζεται τα BTS, το ραδιοδίκτυο και τους κινητούς σταθμούς (MSS).

## Αρχιτεκτονική GSM (2)

### > Operation and Maintenance Subsystem (OMSS)

Είναι αρμόδιο για τη διαχείριση της ασφάλειας του συστήματος και περιέχει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες για την συντήρηση του.

### > Network Switching Sub-System (NSS)

Είναι υπεύθυνο για την πραγματοποίηση της κλήσης και γενικότερα για την έγκριση και την ολοκλήρωση όλων των κλήσεων.

Περιέχονται NSS :

#### □ MSC ( Mobile services switching center )

- > Κάνει μεταφορά της κλήσης μεταξύ του επείγουσ κινητού τηλεφωνικού δικτύου (PLMN) στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (PSTN).
- > Είναι υπεύθυνο για την δημιουργία και την σύνδεση μίας τηλεφωνικής κλήσης.
- > Διαχειρίζεται την διαδικασία handover που πρόκειται για μία κρίσιμη διαδικασία και ως ασφαλείς λανθασμένα μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια της κλήσης. Τυπική χρήση στην περίπτωση κλήσης και ύμνου ο χρήστη και αλλαγή κυψέλης.
- > Τέλος είναι αυτό που καθορίζει την χρήση και την διάρκεια μίας κλήσης.





## Αρχιτεκτονική GSM (3) – Περιεχόμενα NSS

- VLR ( Visitor location register )
  - Πρόκειται για μία βάση δεδομένων που περιέχει παραμέτρους τοποθεσίας συνδρομητών στην τοποθεσία του VLR (γεωγραφικά).
- HLR ( Home location register )
  - Βάση δεδομένων καταχωρημένων συνδρομητών με πληροφορίες για συμπληρωματικές υπηρεσίες, παραμέτρους αυθεντικότητας καθώς και δεδομένα προσδιορισμού θέσης συνδρομητή. Σε περίπτωση αλλαγής θέσης το HLR ενημερώνεται στο τοπικό VLR.
- AC ( Authentication center )
  - Προμηθεύει το HLR με διάφορες παραμέτρους πιστοποίησης αυθεντικότητας των συνδρομητών και δεδομένα για την κωδικοποίηση, κρυπτογράφηση / αποκρυπτογράφηση των δεδομένων χρηστών.
- EIR ( Equipment Identity register )
  - Διατηρεί μια βάση δεδομένων για τους χρήστες η οποία είναι υπεύθυνη για την αποδοχή πραγματοποίησης μια κλήσης ή την απορριψη της.

## Τεχνική Πολυπλεξίας GSM

Το GSM επινόησε ένα συνδυασμό TDMA/ FDMA ως μέθοδο για να χωρίσει το εύρος ζώνης μεταξύ των χρηστών.

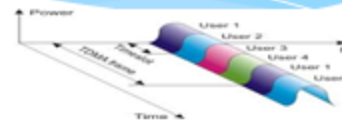
Σε αυτή τη διαδικασία, το τμήμα FDM διαρεί το συνολικό εύρος ζώνης 25 MHz σε 124+1 φέρουσες συχνότητες 200 kHz εύρους ζώνης.

Στην συνέχεια το τμήμα TDM διαρεί κάθε μία από αυτές τις συχνότητες σε 8 χρονοθυρίδες που χρησιμοποιούνται τόσο για λήψη όσο και για μετάδοση.

Άρα ο αριθμός χρηστών ταυτόχρονης εξυπηρέτησης αυξήθηκε:  
 $(8 * 25 * 10^6) / (200 * 10^3) = 1000$  συνδρομητές σε δεδομένο φάσμα 25 MHz.

Παρόλο που η πολυπλεξία TDM δεν επιτρέπει στον χρήστη μετάδοση και λήψη στον ίδιο χρόνο, μέσω του συνδυασμού της με FDMA επιτυγχάνεται η χρονικά αμείωρη επικοινωνία.

- Επιτυγχάνεται ο διαμορφωσμός του ίδιου μέρους μετάδοσης από πολλούς χρήστες, καθώς επίσης και η πλήρης εκμετάλλευση ενός τμήματος της χωρητικότητας του φάσματος.



## Συχνότητες λειτουργείας Gsm

### GSM 900

- > 890 έως τα 915 MHz Uplink
- > 935 έως τα 960 MHz Downlink

### E-GSM 900

- > 880 έως 915 MHz Uplink
- > 925 έως 960 MHz Downlink

### GSM 1900

- > 1850 έως τα 1910 MHz Uplink
- > 1930 έως τα 1990 MHz Downlink

### GSM ή DCS 1800

- > 1710 έως τα 1785 MHz Uplink
- > 1805 έως τα 1880 MHz Downlink

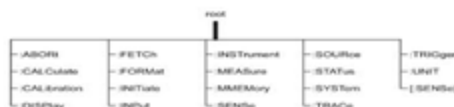
- Σημείωση: οι για όλα τα παραπάνω ισχύει ότι κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz

Παρατήρηση για τα διαθέσιμα κανάλια επικοινωνίας.

## Πρότυπο επικοινωνίας SCPI (Standard Commands for Programmable Instrumentation)

Το πρότυπο SCPI καθορίζει μία "γλώσσα" που έχει ως στόχο τον έλεγχο προγραμματιζόμενων οργάνων μέτρησης.

Παρέχει μια κοινή σύνταξη και δομή εντολών κάτω από μία δενδροειδή δομή.



Χρησιμοποιεί ένα σύνολο εντολών που αναγνωρίζονται από τα ελεγχόμενα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν και τις συγκεκριμένες δράσεις που πρέπει να γίνουν.

Όταν τα τρία πρώτα γράμματα γραφούν με κεφαλαίο, αυτά είναι που θα καθορίσουν την δράση στο όργανο.

## Πρότυπο επικοινωνίας SCPI (Standard Commands for Programmable Instrumentation) (2)

Παράδειγμα:

> SENSE:FREQuency:STARt 2000

Ορίζει την συχνότητα εκκίνησης στα 2 KHz.

Το SCPI δεν προσδιορίζει το μέσο επικοινωνίας, παρόλο που αρχικά είχε σχεδιαστεί για χρήση GPIB. Ωστόσο, αυτές τις μέρες με πολύ μεγαλύτερη ποικιλία διασυνδέσεων και των συνδέσεων που διατίθενται για τον έλεγχο των οργάνων χρησιμοποιείται ευρέως με διάφορα πρότυπα, όπως RS-232, Ethernet, USB, VXI bus κ.α.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε διασύνδεση μέσω πρωτοκόλλου Ethernet.

Ακολουθεί παρουσίαση του προγράμματος που αναπτύχθηκε για τον σκοπό αυτό



## Διαδικασία συλλογής μετρήσεων και εκτίμηση αποτελεσμάτων

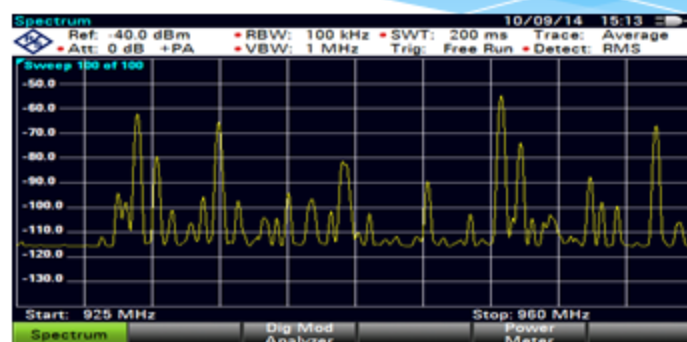
Μετρήσεις Far Field BTS GSM, απόσταση μέτρησης >15 μ.

Θέση λήψης μέτρησης, η δυσμενέστερη από άποψη επιβάρυνσης.

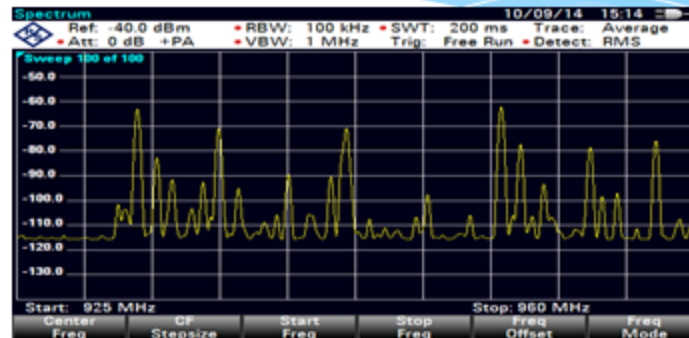
Χρήση κωνικής διπολικής κεραίας και περιστροφέα με κατάλληλη στροφή σε τρεις κάθετους προσανατολισμούς.

Το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο υπολογίζεται από την ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των πεδίων των τριών επιμέρους μετρήσεων.

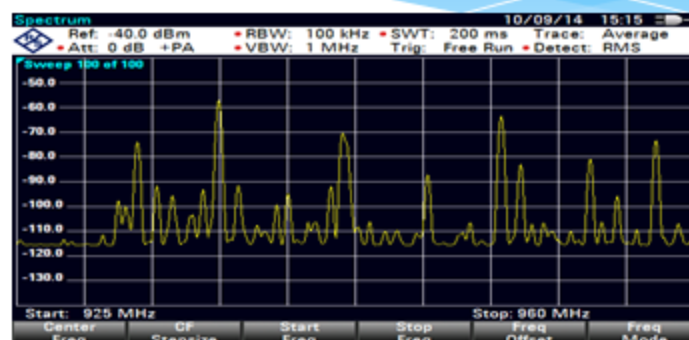
## Γραφική παράσταση E-GSM 900 με X πόλωση



## Γραφική παράσταση E-GSM 900 με Y πόλωση

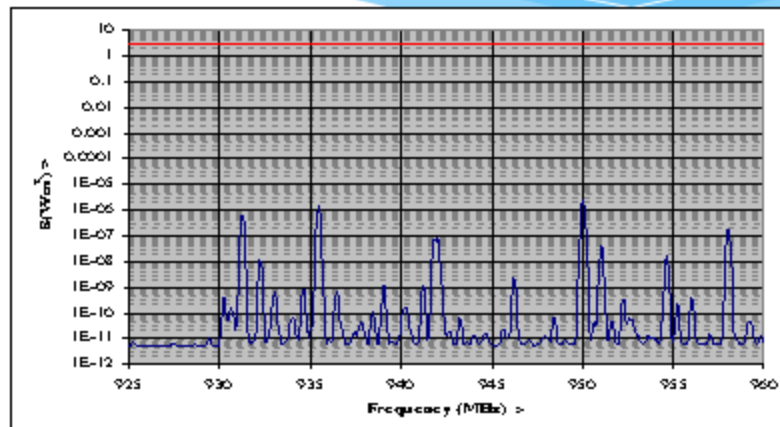


## Γραφική παράσταση E-GSM 900 με Z πόλωση



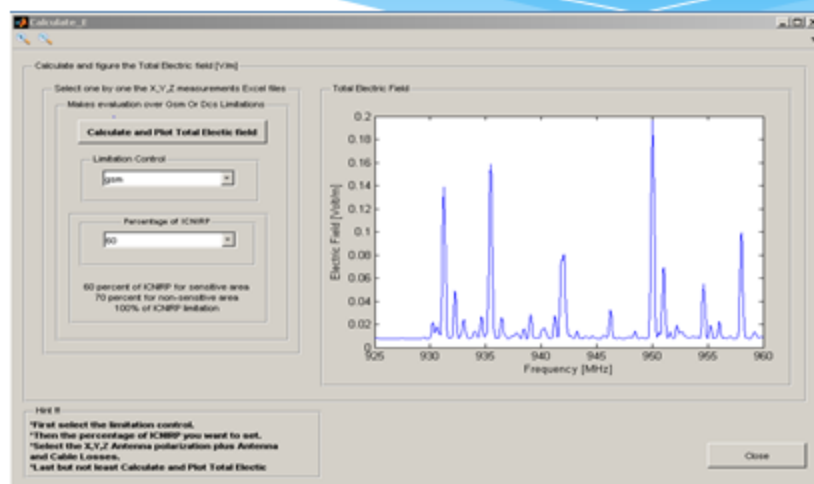
Ελάχιστη ισχύς στα -115 dBm και μέγιστη στα -55 dBm στα 950 MHz.  
Μικρές αποκλίσεις σε ορισμένες συχνότητες στα φάσματα των x,y,z λόγω του διαφορετικού προστίοντος πεδίου της κεραίας.

## Πυκνότητα ροής E-GSM 900 ανά συχνότητα



— Γραμμή θερμοθετημένου ορίου

## Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E-GSM 900 ανά συχνότητα



## Αποτελέσματα

Εύρος ζώνης μέτρησης	35 MHz
Ευχνοιακή ζώνη	925 - 960 MHz
Ευνολοκό ηλεκτρικό πεδίο	$7,92 \cdot 10^{-2}$ V/m
Ευνολοκή πυκνότητα ισχύος	$1,67 \cdot 10^{-5}$ W/m <sup>2</sup>
Συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών	$5,87 \cdot 10^{-6}$

## Γραφική παράσταση DCS 1800 με X πόλωση



## Γραφική παράσταση DCS 1800 με Y πόλωση



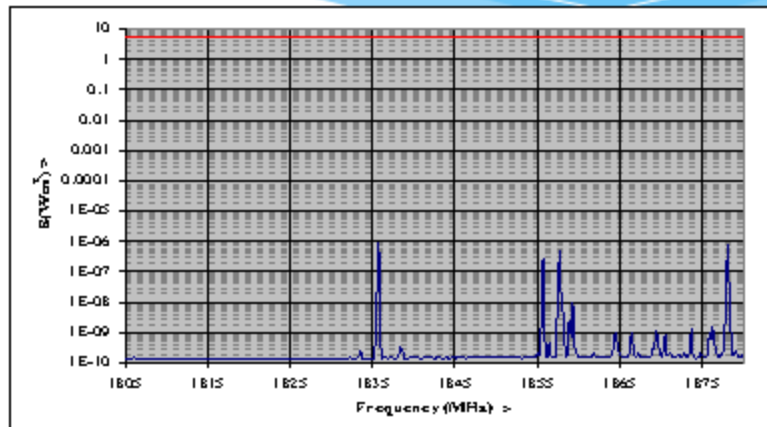
## Γραφική παράσταση DCS 1800 με Z πόλωση



Ελάχιστη ισχύς στα -115 dBm και μέγιστη στα -74 dBm στα 950 MHz.  
Μικρές αποκλίσεις σε ορισμένες συχνότητες στα φάσματα των x,y,z λόγω του διαφορετικού προστίθοντος πεδίου της κεραίας.

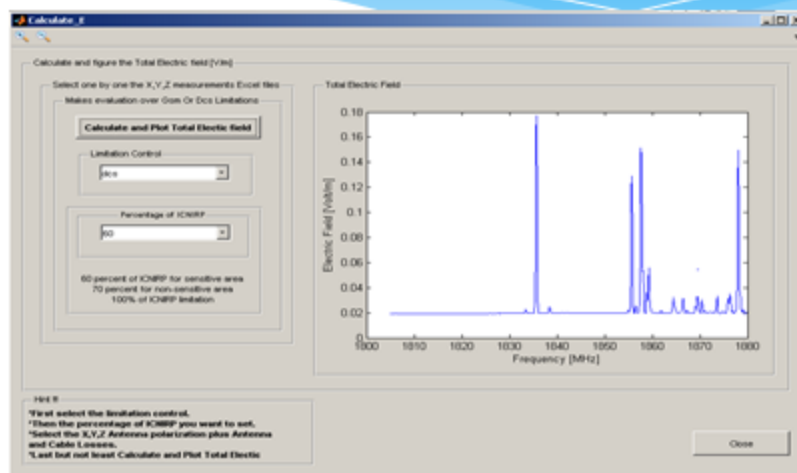


## Πυκνότητα ροής DCS 1800 ανά συχνότητα



— Γραμμή θεσμοθετημένου ορίου

## Ένταση ηλεκτρικού πεδίου GSM 1800 ανά συχνότητα



## Αποτελέσματα

Εύρος ζώνης μέτρησης	75 MHz
Ευχνοτική ζώνη	1805 - 1880 MHz
Συνολικό ηλεκτρικό πεδίο	$4,22 \cdot 10^{-2}$ V/m
Συνολική πυκνότητα ισχύος	$4,71 \cdot 10^{-6}$ W/m <sup>2</sup>
Ευτελεστός έκθεσης πολλαπλών πηγών	$8,45 \cdot 10^{-7}$

## Συμπερασματικά

Η δημιουργία προγράμματος για την απομακρυσμένη διαχείριση οργάνων προσφέρει :

1. Δυναμική αποθήκευση των μετρήσεων που ελήφθησαν.
2. Αξιοποίηση του μεγαλύτερου αποθηκευτικού χώρου.
3. Αυτόματη ανάλυση των αποτελεσμάτων.
4. Απλοποίηση διαδικασίας συλλογής μετρήσεων.
5. Ενημέρωση χρήστη για την συμμόρφωση ως προς τα όρια έκθεσης για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν.
6. Παρουσίαση γραφήματος συνολικού ηλεκτρικού πεδίου.
7. Διάδραση με τον αναλυτή χωρίς την αναγκαιότητα χειροκίνητης επαφής.

## Επεκτάσεις

Καθώς ο χρήστης του προγράμματος που δημιουργήθηκε έχει την δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων με δεδομένα που θα ορίσει ο ίδιος θα ήταν λογική μία επέκταση της εφαρμογής για αξιολόγηση οποιασδήποτε μέτρησης ανάλογα με το εύρος συχνοτήτων που επιλέγει.

Αυτό θα ήταν εφικτό αφού η εφαρμογή δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε τιμή να είναι μεταβλήτη, διευκολύνοντας την διαδικασία επέκτασής της και προγραμματισμού της στο στάδιο της αξιολόγησης και μόνο.

Έτσι θα ήταν δυνατό να μπορέσει να αξιολογήσει όχι μόνο σταθμούς βάσης Gsm αλλά σταθμούς τρίτης γενιάς UMTS, τέταρτης γενιάς κινητής τηλεφωνίας WIMAX και LTE, σταθμούς επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης(DVB-T) κ.α.

## Ερωτήσεις ;

**Σας ευχαριστώ  
για τον χρόνο σας**

*Κρασαδάκης Στέλιος*