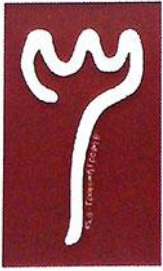


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
Ι Δ Ρ Υ Μ Α



ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Τ.Ε.Ι. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

Μελέτη της συμπεριφοράς κοσμημάτων ως δέκτες και πομποί ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

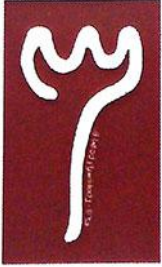
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ ΜΕΜΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ιωάννης Α. Πικραμμένος, Δρ. Μηχ. ΕΜΠ

ΣΠΑΡΤΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2016



Μελέτη της συμπεριφοράς κοσμημάτων ως δέκτες και πομποί ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ ΜΕΜΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ιωάννης Α. Πικραμμένος, Δρ. Μηχ. ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

... Νοεμβρίου 2016.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Σπάρτη, Νοέμβριος 2016

Σύμφωνα με απόφαση της Συνέλευσης του ΤΕΙ Πελοποννήσου οι φοιτητές που εκπονοούν την πτυχιακή τους εργασία υποχρεούνται να συμπεριλαμβάνουν στις προκαταρκτικές σελίδες της εργασίας τους το παρακάτω κείμενο, υπογεγραμμένο από τους ίδιους.

« ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

.....

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

.....

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος):

.....»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ.Ιωάννης Α. Πικραμμένο, Δρ. Μηχ. ΕΜΠ για την επίβλεψη της πτυχιακής εργασίας μου, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω.
Επίσης τον ευχαριστώ πολύ για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε.
Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την καθοδήγηση και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν.

Σπάρτη, Νοέμβρης 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα ΠΕ αξιολογήθηκε η συνεισφορά των κοσμημάτων, ως αγώγιμων μέσων σε εγγύτητα με το ανθρώπινο σώμα, στην ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά του ανθρώπινου σώματος και της αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον. Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση των εξωτερικών σημάτων στην ηλεκτρική και μαγνητική συμπεριφορά των αγώγιμων μέσων. Στην συνέχεια η ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά του σώματος και των ηλεκτρικών δικτύων του. Τέλος διερευνήθηκε η δυνατότητα αισθητής αντίληψης σημάτων που προέρχονται από το περιβάλλον του σώματος, με ή χωρίς την βοήθεια των αγώγιμων μέσων. Τα παραπάνω αξιολογήθηκαν βάση αποτελεσμάτων προσομοίωσης.

ABSTRACT

In the present thesis we evaluated the contribution of jewelry, as electrically conducting media in proximity to the human body, to the electromagnetic behavior of the human body and its transaction with the environment. At first, external signal influence to the electrical and magnetic behavior of the media was investigated. Further more, the electromagnetic behavior of the human body and its electric circuits was envisaged. Finally, the possibility of the human to comprehend signals implied from the environment of his body was investigated, with or without the mediation of the electrical media. The above were evaluated with on the basis of simulation results.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1	Γενική περιγραφή απλών κοσμημάτων.....	14
2	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	15
2.1	Επαγωγή.....	15
2.1.1	Ανάλυση εξίσωσης ΗΕΔ.....	15
2.1.2	Διακύμανση ημιτονικού όρου.....	16
2.1.3	Διακύμανση όρου επιφανείας.....	18
2.1.4	Υπολογισμός ηλεκτρικής αντίστασης μέσου.....	18
2.1.5	Κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος στα μέσα.....	20
2.1.6	Επιμέρους συμπεράσματα.....	22
2.2	Ακτινοβολία περιβάλλοντος.....	22
2.2.1	Γενικά.....	22
2.2.2	Ακτινοβλούμενη ισχύς.....	25
2.2.3	Λαμβανόμενη ισχύς.....	25
2.2.4	Κυκλοφορούν ρεύμα.....	27
2.3	Τύποι κεραίας.....	28
2.4	Διάγραμμα ακτινοβολίας.....	29
2.5	Εγγύς και μακρό πεδίο.....	31
2.6	Επίδραση του δέρματος.....	33
2.7	Συμπεράσματα ενότητας.....	35
3	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ	36
3.1	Επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος.....	36
3.2	Χρήσεις ηλεκτρικού ρεύματος για το ανθρώπινο σώμα.....	37
3.2.1	Γαλβανικό ή συνεχές ρεύμα.....	37
3.2.2	Διαδερμικός ηλεκτρικός νευρικός ερεθισμός (TENS).....	38
3.2.3	Διασταυρούμενο ρεύμα ή ρεύμα συμβολής (NEMEK).....	39

3.2.4	Επιμέρους συμπεράσματα	40
3.3	Δίκτυα του ανθρώπινου σώματος	40
3.3.1	Το κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπου	40
3.3.2	Μυϊκές διεγέρσεις	41
3.3.3	Ηλεκτροκαρδιογράφημα.....	42
3.3.4	Νευρικές διεγέρσεις	42
3.3.5	Ηλεκτρικές διεγέρσεις εγκεφαλικού ιστού	43
3.4	Επίδραση στους βιολογικούς ιστούς	43
3.5	Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος	45
3.6	Η αγωγιμότητα του ανθρώπινου σώματος.....	46
3.7	Επιμέρους Συμπεράσματα	49
4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	50
4.1	Μοντελοποίηση.....	50
4.1.1	Ηλεκτρικά δίκτυα	50
4.1.2	Ηλεκτρική πηγή.....	55
4.1.3	Ακτινοβολία.....	56
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	57
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Εφαρμογές ασύρματης Η/Μ ακτινοβολίας και χρονική μεταβολή τους.....	16
Πίνακας 2	Μεταβολή τιμής ημιτόνου και συνημίτονου ανά μοίρα.....	17
Πίνακας 2	Διακύμανση των τιμών της <i>HEΔ</i> για διαφορετικές κατηγορίες επιφανειών.	18
Πίνακας 3	Διακύμανση τιμών ηλεκτρικής αντίστασης ανά υλικό και κατηγορία επιφάνειας	20
Πίνακας 4	Διαμόρφωση τιμών έντασης ηλεκτρικού ρεύματος (mA) στο μέσο	21
Πίνακας 5	Περιορισμοί φυσικών μεγεθών βάση νομοθεσίας	24
Πίνακας 6	Επίπεδα εκπεμπόμενης ισχύος στην πηγή και απόσταση από δέκτη.....	25
Πίνακας 7	Πίνακας λαμβανόμενης ισχύος στην επιφάνεια ενδιαφέροντος	26
Πίνακας 8	Πίνακας κυκλοφορούντος ρεύματος στα μέσα.....	27
Πίνακας 9	Επίδραση των ηλεκτρικών σημάτων στο σώμα, περίπτωση TENS.....	39
Πίνακας 10	Τιμές αντίστασης ανά κατάσταση δέρματος	45
Πίνακας 11	Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού ρεύματος και αποτελέσματα στο ανθρώπινο σώμα	45
Πίνακας 12	Υπολογισμός ϵ_i , συνολικής χωρητικότητας και αγωγιμότητας σώματος για τις εφαρμογές ενδιαφέροντος.....	48
Πίνακας 14	Υπολογισμός μέγιστης απόστασης ανίχνευσης σήματος ανά κατηγορία	56

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

HEΔ	Ηλεκτρεγερτική Δυνάμη
H/M	Ηλεκτρομαγνητική
ΠΕ	Πτυχιακή εργασία
TENS	Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation
RMS	Root Mean Square

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι σύνηθες να φοράμε κοσμήματα στα χέρια, στο λαιμό ή σε άλλα μέρη του σώματος μας. Ποτέ όμως δεν αναρωτηθήκαμε για το ρόλο αυτών των κοσμημάτων σε σχέση με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Είναι γνωστό ότι σήμερα το περιβάλλον μας βρίθκει από πηγές Η/Μ αλλά επίσης ότι το σώμα μας μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτές, ακόμα και να παράγει. Σκοπός της ΠΕ είναι να μελετήσει τον μορφότυπο κοινών κοσμημάτων για την εκτίμηση της Η/Μ συμπεριφοράς τους ως φέροντα στο ανθρώπινο σώμα στοιχεία.

Σκοπός της ΠΕ είναι να μελετήσει τη συμπεριφορά αγωγών από πολύτιμα μέταλλα σε σχήμα που θα μπορούσε να αποτελέσει κόσμημα, δηλαδή αν φορεθεί στο ανθρώπινο σώμα.

1.1 Γενική περιγραφή απλών κοσμημάτων

Ως κόσμημα εννοούμε κάποιο υλικό το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί στο ανθρώπινο σώμα επίκτητα και όχι μόνιμα. Συνήθως επιλέγουμε τα κοσμήματα να είναι από πολύτιμα μέταλλα αφενός για υγιεινότερες συνθήκες και αφετέρου από συναισθηματική ματαιοδοξία. Σε κάθε περίπτωση, έχουν καθιερωθεί συγκεκριμένα σημεία στο ανθρώπινο σώμα όπου μπορούν να τοποθετηθούν κοσμήματα και εμείς θα μελετήσουμε τα σημαντικότερα αναφορικά με τη ροή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Τέτοια σημεία είναι ο καρπός (βραχιόλι), ο λαιμός (περιδέραιο) ή το δάκτυλο (δακτυλίδι). Θα πρέπει να διαστασιοποιήσουμε τα σημεία αυτά προκειμένου να περιγράψουμε τα χαρακτηριστικά των κοσμημάτων από άποψη διαστάσεων. Η διάσταση είναι μια σημαντική λεπτομέρεια μιας και επηρεάζει δραματικά την συμπεριφορά του κοσμήματος σαν κεραία. Επίσης, η υφή του σημείου του σώματος που τοποθετείται το κόσμημα επηρεάζει τον τρόπο ακτινοβολίας/λήψης. Τέλος, θα πρέπει να αξιολογηθεί η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση των κοσμημάτων με τα ηλεκτρικά δίκτυα και τις μαγνητικές ροές του ανθρώπινου σώματος.

Ένας μέσος σωματότυπος έχει διάμετρο καρπού μεγάλη 8 εκατοστά και μικρή 5 εκατοστά. Αυτό συνεπάγεται ένα βραχιόλι στρογγυλό με διάμετρο 8 εκατοστά. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Ως απλό κόσμημα εννοούμε έναν απλό κύκλο (βραχιόλι) ή έλλειψη (περιδέραιο) με ομοιόμορφη κατανομή υλικού και πάχους. Για απλούστευση θεωρούμε κυκλική περίμετρο και όχι επίπεδη. Η κυκλική περίμετρος απλοποιεί τις εξισώσεις για την κατανομή του ρεύματος στο εσωτερικό του αγωγού.

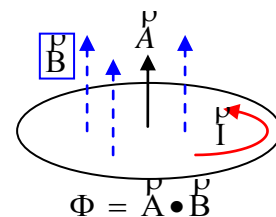
2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Κάθε αγώγιμο μέσο έχει ηλεκτρική συμπεριφορά, δηλαδή προκαλεί ηλεκτρικά φαινόμενα κατόπιν διέγερσης. Για να διεγερθεί ένας αγωγός απαιτείται φυσικό φαινόμενο όπως

- η επαγωγή
- η ακτινοβολία

2.1 Επαγωγή

Επαγωγή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας αγωγός διεγείρεται ηλεκτρικά από φαινόμενα του περιβάλλοντος του. Γνωστότερο τέτοιο φαινόμενο είναι του Faraday όπου ένας αγωγός διεγείρεται ηλεκτρικά από τη μεταβολή της ροής μαγνητικού πεδίου από την επιφάνεια του. Δηλαδή υπάρχει ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου. Όταν μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο διέρχεται για παράδειγμα από κυκλική επιφάνεια (δαχτυλίδι, βραχιόλι, κολιέ) τότε δημιουργείται στον κύκλο ηλεκτρικό ρεύμα με φορά τέτοια που να αντιστέκεται σε αυτό που το προκάλεσε (νόμος Lenz).



Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (HEΔ) που προκαλεί το ηλεκτρικό φαινόμενο στον κυκλικό αγωγό είναι ανάλογη με την μεταβολή της μαγνητικής ροής στο χρόνο, δηλαδή:

$$HE\Delta = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \xrightarrow{t \rightarrow 0} -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(\vec{A} \cdot \vec{B})}{dt} = -\vec{A} \cdot \frac{d\vec{B}}{dt} - \vec{B} \cdot \frac{d\vec{A}}{dt}$$

όπου \vec{A} το διάνυσμα της επιφάνειας του κύκλου και \vec{B} το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου και Φ η τιμή της μαγνητικής ροής.

2.1.1 Ανάλυση εξίσωσης HEΔ

Επειδή το σχήμα μας είναι σταθερό ($d\vec{A} = 0$) η εξίσωση γίνεται:

$$\begin{aligned} HE\Delta &= -\vec{A} \cdot \frac{d\vec{B}}{dt} = -\vec{A} \cdot \frac{d(|\vec{B}| \cdot \sin(\omega t) \cdot \vec{x}_B)}{dt} = (-|\vec{A}| \cdot \vec{x}_A) \cdot (|\vec{B}| \cdot \vec{x}_B) \frac{d(\sin(\omega t))}{dt} = \\ \dots\dots &= -|\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot (\vec{x}_A \cdot \vec{x}_B) \cdot \cos(\omega t) = -ct \cdot 1 \cdot \cos(\omega t) = \\ \dots\dots &= -ct \cdot \cos(\omega t) \end{aligned}$$

όπου \mathbf{x}_A το διάνυσμα της επιφάνειας \mathbf{A} , \mathbf{x}_B το διάνυσμα της έντασης του μαγνητικού πεδίου \mathbf{B} στο χώρο και ct σταθερά.

Δηλαδή, η μεταβολή της τιμής του μαγνητικού πεδίου είναι ημιτονοειδής συνάρτηση, λόγο του τρόπου διάδοσης και, κατά συνέπεια, η μεταβολή του μεγέθους στην επιφάνεια αναφοράς αντιστοιχεί σε μεταβολή τις τιμής του ημιτόνου (συνημίτονου) στο χρόνο.

2.1.2 Διακύμανση ημιτονικού όρου

Η μεταβολή του ημιτόνου, άρα και του συνημίτονου, στο χρόνο είναι δεδομένη και εξαρτάται από την αντιστοίχιση του μεγέθους ωt . Λόγο του όρου ω οι τιμές της μεταβολής εξαρτώνται από την συχνότητα αναφοράς. Για τους σκοπούς της ΠΕ επιλέγουμε μια γκάμα υπηρεσιών με διασπορά των συχνοτήτων αναφοράς ως ακολούθως. Η βηματική μεταβολή των εναλλασσόμενων μεγεθών στην μονάδα του χρόνου προκύπτει ως ακολούθως:

Πίνακας 1 Εφαρμογές ασύρματης Η/Μ ακτινοβολίας και χρονική μεταβολή τους

Είδος	Συχνότητα	Βηματική μεταβολή
	MHz	
Κινητό τηλέφωνο	900	$1,9 \cdot 10^{-11}$
Φούρνος μικροκυμάτων	2450	$7,1 \cdot 10^{-12}$
WiFi	2400	$7,3 \cdot 10^{-12}$
Σταθμός βάσης κινητής	900	$1,9 \cdot 10^{-11}$
Τηλεόραση VHF	145	$1,2 \cdot 10^{-10}$
Ρεύμα ΔΕΗ	50	$35 \cdot 10^{-5}$

Παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι εξαιρετικά περιορισμένες σε μέγεθος, τόσο περισσότερο όσο μικρότερο είναι το χρονικό βήμα μέτρησης της διαφοράς. Στην περίπτωση της ΠΕ μας ενδιαφέρει η μεταβολή σε σχέση με την μονάδα επιφανείας. Η μεταβολή των τιμών ανά μοίρα παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Από την ανάλυση του πίνακα παρατηρούμε ότι η μεταβολή των τιμών του συνημίτονου ανά μοίρα διαμορφώνονται σε τιμές από 0,00030 ελάχιστη έως 0,01745 μέγιστη με μέση τιμή 0,01112¹.

¹ Προκύπτει από την μεσοσταθμική τιμή ημιτόνου για διακύμανση από 1 έως 90 μοίρες καθώς και αυτές του συνημίτονου

Πίνακας 2 Μεταβολή τιμής ημιτόνου και συνημίτονου ανά μοίρα

ω	ημ(ω)	ω	ημ(ω)	ω	ημ(ω)	ω	συν(ω)	ω	συν(ω)	ω	συν(ω)
1	0,01745	31	0,51504	61	0,87462	1	0,99985	31	0,85717	61	0,48481
2	0,03490	32	0,52992	62	0,88295	2	0,99939	32	0,84805	62	0,46947
3	0,05234	33	0,54464	63	0,89101	3	0,99863	33	0,83867	63	0,45399
4	0,06976	34	0,55919	64	0,89879	4	0,99756	34	0,82904	64	0,43837
5	0,08716	35	0,57358	65	0,90631	5	0,99619	35	0,81915	65	0,42262
6	0,10453	36	0,58779	66	0,91355	6	0,99452	36	0,80902	66	0,40674
7	0,12187	37	0,60182	67	0,92050	7	0,99255	37	0,79864	67	0,39073
8	0,13917	38	0,61566	68	0,92718	8	0,99027	38	0,78801	68	0,37461
9	0,15643	39	0,62932	69	0,93358	9	0,98769	39	0,77715	69	0,35837
10	0,17365	40	0,64279	70	0,93969	10	0,98481	40	0,76604	70	0,34202
11	0,19081	41	0,65606	71	0,94552	11	0,98163	41	0,75471	71	0,32557
12	0,20791	42	0,66913	72	0,95106	12	0,97815	42	0,74314	72	0,30902
13	0,22495	43	0,68200	73	0,95630	13	0,97437	43	0,73135	73	0,29237
14	0,24192	44	0,69466	74	0,96126	14	0,97030	44	0,71934	74	0,27564
15	0,25882	45	0,70711	75	0,96593	15	0,96593	45	0,70711	75	0,25882
16	0,27564	46	0,71934	76	0,97030	16	0,96126	46	0,69466	76	0,24192
17	0,29237	47	0,73135	77	0,97437	17	0,95630	47	0,68200	77	0,22495
18	0,30902	48	0,74314	78	0,97815	18	0,95106	48	0,66913	78	0,20791
19	0,32557	49	0,75471	79	0,98163	19	0,94552	49	0,65606	79	0,19081
20	0,34202	50	0,76604	80	0,98481	20	0,93969	50	0,64279	80	0,17365
21	0,35837	51	0,77715	81	0,98769	21	0,93358	51	0,62932	81	0,15643
22	0,37461	52	0,78801	82	0,99027	22	0,92718	52	0,61566	82	0,13917
23	0,39073	53	0,79864	83	0,99255	23	0,92050	53	0,60182	83	0,12187
24	0,40674	54	0,80902	84	0,99452	24	0,91355	54	0,58779	84	0,10453
25	0,42262	55	0,81915	85	0,99619	25	0,90631	55	0,57358	85	0,08716
26	0,43837	56	0,82904	86	0,99756	26	0,89879	56	0,55919	86	0,06976
27	0,45399	57	0,83867	87	0,99863	27	0,89101	57	0,54464	87	0,05234
28	0,46947	58	0,84805	88	0,99939	28	0,88295	58	0,52992	88	0,03490
29	0,48481	59	0,85717	89	0,99985	29	0,87462	59	0,51504	89	0,01745
30	0,50000	60	0,86603	90	1,00000	30	0,86603	60	0,50000	90	0,00000

Η βηματική μεταβολή του συνημίτονου οδηγεί την εξίσωση της *HEΔ*, όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω. Μας ενδιαφέρει λοιπόν να καθορίσουμε το μέγεθος της μεταβολής προκειμένου να προσδιορίσουμε την τιμή της *HEΔ*. Η ανάλυση σε ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή γίνεται προκειμένου να βγάλουμε ποιοτικά συμπεράσματα για την *HEΔ*, και όχι να προσδιορίσουμε τις ακριβείς τιμές της με στόχο να αντιληφθούμε τη δυναμική επίδραση της στο ανθρώπινο σώμα. Αντιλαμβανόμαστε ότι για θεώρηση διαφορετικών μεγεθών βημάτων τα ως άνω ελάχιστα, μέσα και μέγιστα ποσά μεταβάλλονται, διαμορφώνοντας ανάλογα και την τιμή της *HEΔ*. Η άσκηση αυτή εκφεύγει από το σκοπό της εργασίας η οποία περιορίζεται στην διατύπωση ποιοτικών συμπερασμάτων.

2.1.3 Διακύμανση όρου επιφανείας

Πέρα από το συνημίτονο στην εξίσωση της $HE\Delta$ παρατηρούμε και έναν σταθερό όρο που εξαρτάται από το μέτρο της επιφάνειας A . Μιας και οι επιφάνειες ενδιαφέροντος αφορούν τα κοσμήματα (κολιέ, βραχιόλι, δακτυλίδι), το μέτρο τους προκύπτει από τη διάμετρο με χρήση του τύπου:

$$E = \pi \cdot \rho^2 \text{ ή } E = \pi \cdot (\delta/2)^2$$

Με βάση τις τιμές διαμέτρου που υποθέσαμε προκύπτει ότι:

δ	διάμετρος (m)	Κολιέ 0,20	Βραχιόλι 0,08	Δακτυλίδι 0,02
E	επιφάνεια (m²)	0,0314	0,005024	0,000314

Θέτοντας αυτές τις τιμές στην παραπάνω εξίσωση της $HE\Delta$ έχουμε ότι :

Πίνακας 3 Διακύμανση των τιμών της $HE\Delta$ για διαφορετικές κατηγορίες επιφανειών

μεταβολή		Κολιέ (V)	Βραχιόλι (V)	Δακτυλίδι (V)
ελάχιστη	0,00030	$9,42 \cdot 10^{-6}$	$1,51 \cdot 10^{-6}$	$0,09 \cdot 10^{-6}$
μέση	0,01112	$349,17 \cdot 10^{-6}$	$55,87 \cdot 10^{-6}$	$3,49 \cdot 10^{-6}$
μέγιστη	0,01745	$547,93 \cdot 10^{-6}$	$87,67 \cdot 10^{-6}$	$5,48 \cdot 10^{-6}$

Δηλαδή ανάλογα με τη διάσταση της επιφάνειας μεταβάλλεται και η τιμή της $HE\Delta$ δεδομένου σταθερού πλάτους του μαγνητικού πεδίου B .

2.1.4 Υπολογισμός ηλεκτρικής αντίστασης μέσου

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου στις επιφάνειες ενδιαφέροντος διαμορφώνονται από μερικά nV έως εκατοντάδες μV . Οι τιμές αυτές μπορούν να υποστηρίξουν ροή ηλεκτρικού ρεύματος εντός του αγωγίμου μέρους, σύμφωνα με τον νόμο του Kirchhoff:

$$V = I \cdot R$$

όπου I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και R η αντίσταση του αγωγού. Για να υπολογίσουμε την αντίσταση R του αγωγού θα πρέπει να γνωρίζουμε το υλικό του. Για τα κοσμήματα σύνηθες υλικό είναι το ασήμι, ο χρυσός και ο χαλκός. Για τα στοιχεία αυτά

έχουμε τις τιμές ηλεκτρικής αντίστασης τους ανά μέτρο και με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στοιχείων ενδιαφέροντος έχουμε τελικά τη συνολική αντίσταση.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μέσων διαμορφώνονται ως ακολούθως:

- κολιέ: διάμετρος 0,20 μέτρα και διατομή 0,000004 τ. μέτρα
- βραχιόλι: διάμετρος 0,08 μέτρα και διατομή 0,000002 τ. μέτρα
- δακτυλίδι: διάμετρος 0,02 μέτρα και διατομή 0,000001 τ. μέτρα

Οι παραπάνω τιμές υιοθετήθηκαν κατά προσέγγιση για της ανάγκες της εργασίας και αποτελούν μια καλή προσέγγιση των πραγματικών μεγεθών.

Για τον υπολογισμό της αντίστασης χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο:

$$R = \rho * L / \Phi$$

Όπου:

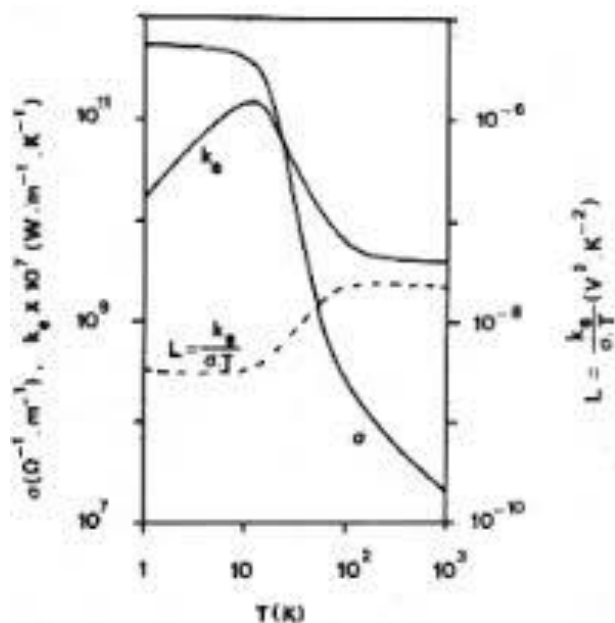
R : η αντίσταση

ρ : η ειδική αντίσταση

L : το μήκος

Φ : η διατομή

Η ειδική αντίσταση (ρ) των υλικών αναφοράς (πολύτιμα μέταλλα) προκύπτει από τη βιβλιογραφία. Σημειώνεται πως εκλαμβάνονται οι τιμές για θερμοκρασία 20° C και όχι στη θερμοκρασία του σώματος για απλούστευση των υπολογισμών. Για τον υπολογισμό της ακριβούς τιμής τους στη θερμοκρασία των 36° C θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την μεταβολή της ειδικής αγωγιμότητας ως προς τη θερμοκρασία ($\sigma = 1/\rho$), όπως φαίνεται στο παράπλευρο σχήμα. Από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι αυξάνεται η ειδική αντίσταση κατά 0,006 ανά βαθμό κελσίου για το ασήμι και κατά 0,007 ανά βαθμό κελσίου για τον χαλκό², δίνοντας ως αποτέλεσμα τις τιμές 17,5 και 19,8 $\Omega\text{m}^2/\text{m}$ αντίστοιχα.



² <http://www.metal.ntua.gr/uploads/3584/526/ex01.pdf>

Πίνακας 4 Διακύμανση τιμών ηλεκτρικής αντίστασης ανά υλικό και κατηγορία επιφάνειας

	Ειδική ηλεκτ/κή αντίσταση 20°C	Διάμετρος αγωγού	Διατομή	Συνολική αντίσταση
Χρυσός	$22 \cdot 10^{-9} \Omega \text{m}^2/\text{m}^3$	0,2 m	$4 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	3,45 mΩ
		0,08 m	$2 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	2,76 mΩ
		0,02 m	$1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	1,38 mΩ
Ασήμι	$16 \cdot 10^{-9} \Omega \text{m}^2/\text{m}^4$	0,2 m	$4 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	2,51 mΩ
		0,08 m	$2 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	2,01 mΩ
		0,02 m	$1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	1,00 mΩ
Χαλκός	$18 \cdot 10^{-9} \Omega \text{m}^2/\text{m}^5$	0,2 m	$4 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	2,83 mΩ
		0,08 m	$2 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	2,26 mΩ
		0,02 m	$1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$	1,13 mΩ

Παρατηρούμε ότι οι τιμές της αντίστασης μεταβάλλονται μεταξύ 1 mΩ στην καλύτερη και 2,76 mΩ στην χειρότερη περίπτωση. Αναλυτικότερα:

- για κολιέ: από 2,01 mΩ έως 2,76 mΩ
- για βραχιόλι: από 1,34 mΩ έως 1,84 mΩ
- για δακτυλίδι: από 1,00 mΩ έως 1,38 mΩ

Η διαφορά μεταξύ των διαφορετικών υλικών διαμορφώνει άνοιγμα της τάξης των 37,5%. Γενικά μπορούμε να πούμε πως τα υλικά σε συνδυασμό με τις κατηγορίες μέσω διαμορφώνουν ένα φάσμα αντιστάσεων με τιμές από 1 έως 3 mΩ περίπου.

2.1.5 Κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος στα μέσα

Συνδυάζοντας τώρα τις τιμές της ηλεκτρικής τάσης και της αντίστασης ανά υλικό και κατηγορία μέσου έχουμε ότι η τιμή της έντασης του διερχόμενου από τον αγωγό ημιτονικά διεγερμένου ηλεκτρικού ρεύματος διαμορφώνεται, σύμφωνα με τον νόμο του

³ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CF%8C%CF%82>

⁴ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%86%CF%81%CE%B3%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%82>

⁵ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CF%8C%CF%82>

Kirchhoff ($I = V / R$) και συνδυάζοντας τις τιμές που περιλαμβάνει ο Πίνακας 3 καθώς και ο Πίνακας 4 ως ακολούθως:

Πίνακας 5 Διαμόρφωση τιμών έντασης ηλεκτρικού ρεύματος (mA) στο μέσο

	Κολιέ			Βραχιόλι			Δακτυλίδι		
	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max
Χρυσός	2,73	101,21	158,82	0,55	20,24	31,76	0,07	2,53	3,97
Ασημί	3,75	139,11	218,30	0,75	27,79	43,62	0,09	3,49	5,48
Χαλκός	3,33	123,38	193,61	0,67	24,72	38,79	0,08	3,09	4,85

Από τον πίνακα προκύπτει ότι η ελάχιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος αντιστοιχεί σε 0,07 mA και η μέγιστη 218 mA. Τα μέγιστα μεγέθη θα τα λάβουμε υπόψη για τυχόν ακραία μεταβατικά φαινόμενα, Για τις ανάγκες της εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε τις μέσες τιμές, δηλαδή:

- χρυσό κολιέ: $101,21 \cdot |B|$ mA
- χρυσό βραχιόλι: $20,24 \cdot |B|$ mA
- χρυσό δακτυλίδι: $2,53 \cdot |B|$ mA
- ασημένιο κολιέ: $139,11 \cdot |B|$ mA
- ασημένιο βραχιόλι: $27,79 \cdot |B|$ mA
- ασημένιο δακτυλίδι: $3,49 \cdot |B|$ mA
- χάλκινο κολιέ: $123,38 \cdot |B|$ mA
- χάλκινο βραχιόλι: $24,72 \cdot |B|$ mA
- χάλκινο δακτυλίδι: $3,09 \cdot |B|$ mA

όπου $|B|$ το πλάτος του μαγνητικού πεδίου. Θα μπορούσαμε γενικά να υποθέσουμε η μετάβαση μεταξύ των κατηγοριών μέσω αντιστοιχεί σε μια τάξη μεγέθους. Παρατηρούμε ότι οι μέγιστες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος στα μέσα, για ημιτονική διαταραχή και δεδομένης σταθερής τιμής του πλάτους του μαγνητικού πεδίου B , έχουν κατά περίπτωση σημαντικό μέγεθος. Η σημασία της επίπτωσης των τιμών θα γίνει περισσότερο κατανοητή αν λάβουμε υπόψη μας την επίπτωση στο ανθρώπινο σώμα.

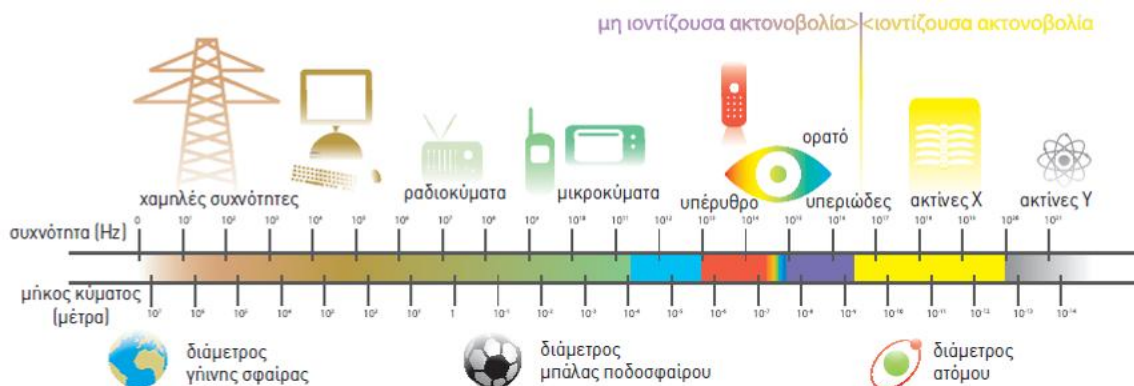
2.1.6 Επιμέρους συμπεράσματα

Με βάση την ανάλυση της ενότητας 1.1 προκύπτει ότι η επαγόμενη στα μέσα ηλεκτρομαγνητική ενέργεια για σταθερό πλάτος B αποδίδει στα μέσα ένταση ηλεκτρικού ρεύματος της τάξης των mA. Το ρεύμα αυτό διεγείρει τα μέσα τα οποία με τη σειρά τους μεταφέρουν ενέργεια στο περιβάλλον, άρα και στο ανθρώπινο σώμα.

2.2 Ακτινοβολία περιβάλλοντος

2.2.1 Γενικά

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) αποτελείται από κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας, τα οποία διαδίδονται (ακτινοβολούνται) στον ελεύθερο χώρο. Η περιοχή στην οποία αναπτύσσονται τα κύματα αυτά ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται με πολλές διαφορετικές μορφές. Για παράδειγμα, τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το ορατό φως αλλά και οι ακτίνες X αποτελούν μορφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι σημαντικότερες διαφορές των διαφορετικών τύπων κυμάτων σχετίζονται με τη συχνότητα. Για οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το γινόμενο του μήκους κύματος και της συχνότητας ισούται με την ταχύτητα του φωτός. Η συχνότητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος εκφράζεται συνήθως σε μονάδες Hertz (Hz).



Τα ενδεχόμενα βιολογικά αποτελέσματα που οφείλονται στις κατασκευασμένες από τον άνθρωπο πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχουν προσελκύσει το επιστημονικό ενδιαφέρον από τα τέλη του 1800 και έχουν τύχει ιδιαίτερης προσοχής κατά τα τελευταία 30 χρόνια. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μπορεί να διαιρεθεί στα χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (γραμμές μεταφοράς, ηλεκτρικές συσκευές οικιακής

χρήσης, ηλεκτρονικοί υπολογιστές) και στα υψηλής συχνότητας πεδία ή πεδία ραδιοσυχνοτήτων (ραντάρ, εγκαταστάσεις ραδιοφωνικής και τηλεοπτικής μετάδοσης, κινητά τηλέφωνα και σταθμοί βάσης κινητών επικοινωνιών, συστήματα επαγωγικής θέρμανσης και αντικλεπτικά συστήματα). Σε αντίθεση με την ionίζουσα ακτινοβολία (όπως οι ακτίνες Υ που εκπέμπονται από ραδιενεργά υλικά, η κοσμική ακτινοβολία και οι ακτίνες Χ), η οποία εντοπίζεται στο υψηλότερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων η κβαντική ενέργεια δεν είναι αρκετά ισχυρή ώστε να διασπάσει τους δεσμούς που συγκρατούν μεταξύ τους τα μόρια μέσα στα κύτταρα και, συνεπώς, δεν μπορεί να προκαλέσει ionτισμό. Για το λόγο αυτό, η χαμηλότερη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (μικρότερη από 10^{17} Hz) χαρακτηρίζεται ως «μη ionίζουσα».

Τα ραδιοκύματα είναι κύματα με συχνότητα από 3 KHz μέχρι 300 GHz. Δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων επί των κεραιών και αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων, γιατί ακτινοβολούνται στο χώρο απομακρυνόμενα από την πηγή τους, δηλαδή την κεραία εκπομπής. Η πλέον σημαντική εφαρμογή των ραδιοκυμάτων είναι οι τηλεπικοινωνίες. Οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές, τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα τηλέφωνα, οι επικοινωνίες της αστυνομίας και της πυροσβεστικής, οι δορυφορικές επικοινωνίες πραγματοποιούνται μεταδίδοντας την ενέργεια ραδιοκυμάτων. Οι ιατρικές χρήσεις της ενέργειας ραδιοκυμάτων περιλαμβάνουν τη μαγνητική τομογραφία, την εμποπτεία και τον προγραμματισμό βηματοδοτών, την υπερθερμία για την αντιμετώπιση του καρκίνου.

Η κυριότερη βιολογική επίδραση των ραδιοκυμάτων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που εκτίθενται σε αυτά υπό ορισμένες συνθήκες. Οι μέχρι σήμερα έρευνες δεν έχουν τεκμηριώσει σχέση αίτιου – αιτιατού μεταξύ αυτού του τύπου της ακτινοβολίας και της πρόκλησης επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία (π.χ. καρκινογένεσις)⁶. Τα ραδιοκύματα εξασθενούν αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή τους και το μέγεθος τους καθορίζεται από την πυκνότητα ισχύος (W / m^2). Το μέγεθος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ποσότητας της ενέργειας των ραδιοκυμάτων που απορροφάται από το σώμα ονομάζεται **Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (Specific Absorption Rate-SAR)**. Συνήθως εκφράζεται σε Watts ανά χιλιόγραμμα (W/kg) ή milliwatts ανά γραμμάριο (mW/g).

6

http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/hlktromagnitikh_Entypo_3.pdf

Ανάλογα με τη συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη, για τον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών^{7,8}:

Για συχνότητες από 0 έως 1 Hz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την μαγνητική επαγωγή στατικών μαγνητικών πεδίων (0 Hz) και για την πυκνότητα ρεύματος χρονικά μεταβαλλόμενων πεδίων έως 1 Hz, για την πρόληψη επιπτώσεων στο καρδιαγγειακό και στο κεντρικό νευρικό σύστημα

Για συχνότητες από 1Hz έως 10 MHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος

Για συχνότητες από 100 kHz έως 10 GHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για τον SAR, για την πρόληψη θερμοπληξίας ολόκληρου του σώματος και της υπερβολικής τοπικής θέρμανσης των ιστών

Για συχνότητες από 10 GHz έως 300 GHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος, για την πρόληψη της θέρμανσης των ιστών στην επιφάνεια του σώματος ή κοντά της

Πίνακας 6 Περιορισμοί φυσικών μεγεθών βάση νομοθεσίας

Περιοχή συχνοτήτων	Μαγνητική Επαγωγή (mT)	Πυκνότητα ρεύματος (mA/m ²) (rms)	Ολόσωμο SAR (W/kg)	Τοπικό SAR (κεφάλι & κορμός) (W/kg)	Τοπικό SAR (άκρα) (W/kg)	Πυκνότητα ισχύος, S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
>0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000 Hz – 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	-	10

⁷ Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 53571/3839 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 1105, Τεύχος Δεύτερο, 6 Σεπτεμβρίου 2000)

⁸ Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060 (ΦΟΡ) 238 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002)

2.2.2 Ακτινοβολούμενη ισχύς

Για να κατανοήσουμε την ακτινοβολία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χρησιμοποιούμε το θεώρημα του Poynting, όπου η συνολική ισχύς του σήματος P_{rad} που ακτινοβολείται από μια πηγή δίνεται από τον ακόλουθο τύπο κλειστού ολοκληρώματος επιφάνειας:

$$P_{rad} = \oint_S \mathbf{E} \times \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s}$$

Το θεώρημα του Poynting μας λέει ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από μια πηγή που εσωκλείεται πλήρως από μια επιφάνεια S , περιλαμβάνει ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Τα δύο πεδία συνδέονται μεταξύ τους μέσω των εξισώσεων του Maxwell. Το διάνυσμα Poynting χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της έντασης της ακτινοβολίας γύρω από μια κεραία και τη μορφοποίηση του λοβού ακτινοβολίας.

Η μέση ακτινοβολούμενη ισχύς από ποικίλες πηγές του περιβάλλοντος συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 7 Επίπεδα εκπεμπόμενης ισχύος στην πηγή και απόσταση από δέκτη

Είδος	Συχνότητα MHz	Ισχύς W/m ²	Απόσταση (m) από		
			Λαιμό	Καρπό	Δάκτυλο
Κινητό τηλέφωνο	900	0,25	0,1	0,05	0,01
Φούρνος μικροκυμάτων	2450	25	1	0,5	0,4
WiFi	2400	0,1	5	5	5
Σταθμός βάσης κινητής	900	10	500	500	500
Τηλεόραση VHF	145	2000	5000	5000	5000

2.2.3 Λαμβανόμενη ισχύς

Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που διαδίδεται στον χώρο υπόκειται στις επιδράσεις του περιβάλλοντος. Η διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος βασίζεται στις εξισώσεις του Maxwell. Για τους σκοπούς της εργασίας θα περιοριστούμε στον υπολογισμό των απωλειών διαδρομής προκειμένου να εκτιμήσουμε την ποσότητα της ισχύος στις επιφάνειες ενδιαφέροντος. Η εξίσωση μετάδοσης του σήματος μεταξύ δύο κεραιών στον ελεύθερο χώρο δίνεται από την

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

Όπου:

- P_R η ισχύς του πομπού
 P_R η ισχύς στον δέκτη
 G_T το κέρδος της κεραίας του πομπού
 G_R το κέρδος της κεραίας του δέκτη
 λ το μήκος κύματος
 d η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη

Από την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να ορίσουμε τις απώλειες μεταδόσεως (transmission loss) στον ελεύθερο χώρο σε dB ως:

$$A_0(dB) = 10 \log \frac{P_T}{P_R} = A_b(dB) - G_{R(dB)} - G_{T(dB)}$$

Όπου $A_b = 10 \log(4\pi d / \lambda)^2$

Για να υπολογίσουμε την επίδραση των πηγών ακτινοβολίας στις επιφάνειες ενδιαφέροντος υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ της πηγής και της επιφάνειας. Επίσης, εκλαμβάνουμε τα μεγέθη των κερδών ως ουδέτερα ($G_R = G_T = 1$). Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και τα μεγέθη που αναφέρει ο Πίνακας 7 μπορούμε να υπολογίσουμε τα επίπεδα ισχύος στο μέσο:

Πίνακας 8 Πίνακας λαμβανόμενης ισχύος στην επιφάνια ενδιαφέροντος

Είδος Πηγής	Ισχύς (W)		
	Λαιμό	Καρπό	Δάκτυλο
Κινητό τηλέφωνο	0,070	0,282	7,043
Φούρνος μικροκυμάτων	0,009	0,038	0,059
WiFi	1,6E-06	1,6E-06	1,6E-06
Σταθμός βάσης κινητής	1,1E-07	1,1E-07	1,1E-07
Τηλεόραση VHF	8,7E-06	8,7E-06	8,7E-06

Παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των τιμών δεν υπερβαίνουν τα όρια του πίνακα περιορισμών εκτός της περίπτωσης του καρπού και του δακτύλου στο κινητό τηλέφωνο. Στις δύο περιπτώσεις αυτές οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες του ορίου αναφοράς (0,08). Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα της εγγύτητας της επιφάνειας αναφοράς στην πηγή.

Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνεται και από τις τιμές των υπολοίπων μετρήσεων όπου η απόσταση είναι μεγάλη.

2.2.4 Κυκλοφορούν ρεύμα

Απλοποιώντας το περιβάλλον του ηλεκτρομαγνητικού κύματος προκειμένου να προσδιορίσουμε την τάση και άρα την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο μέσο. Με το σκεπτικό αυτό, θεωρώντας επίπεδο κύμα μπορούμε να υποθέσουμε ότι η σχέση μεταξύ της προσπίπτουσας ισχύος και της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι⁹:

$$P = \frac{\epsilon_0 c}{2} E_0^2$$

Όπου ϵ_0 η ηλεκτρομαγνητική διαπερατότητα του κενού και E_0 το μέγιστο πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου. Από τα μεγέθη που παρουσιάζει ο προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για το κυκλοφορούν στα μέσα ρεύμα:

Πίνακας 9 Πίνακας κυκλοφορούντος ρεύματος στα μέσα

Είδος Πηγής	Ρεύμα (A)		
	Κολιέ	Βραχιόλι	Δακτυλίδι
Κινητό τηλέφωνο	7,28	14,57	72,84
Φούρνος μικροκυμάτων	2,68	5,35	6,69
WiFi	0,03	0,03	0,03
Σταθμός βάσης κινητής	0,01	0,01	0,01
Τηλεόραση VHF	0,08	0,08	0,08

Το ρεύμα που παρουσιάζεται παραπάνω θα ληφθεί υπόψη προκειμένου να προσδιοριστεί η συμπεριφορά του μέσου αναφορικά με την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του.

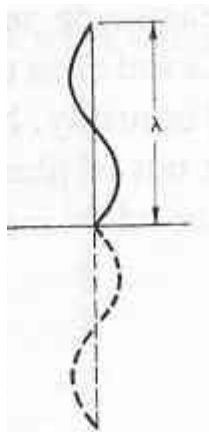
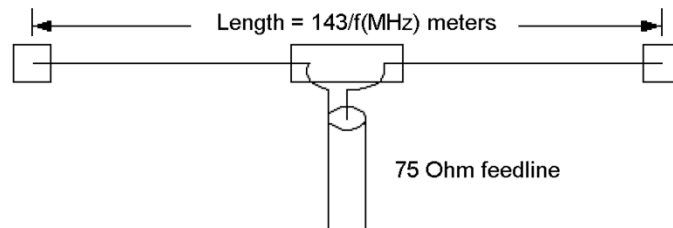
⁹

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BD%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%B1_Poynting

2.3 Τύποι κεραίας

Ως κεραία θεωρούμε οποιοδήποτε αγωγίμο στοιχείο το διαταράσσεται από μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο (τάση/ρεύμα) με αποτέλεσμα να εκπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πέρα από τα όρια του εγγύς περιβάλλοντος του.

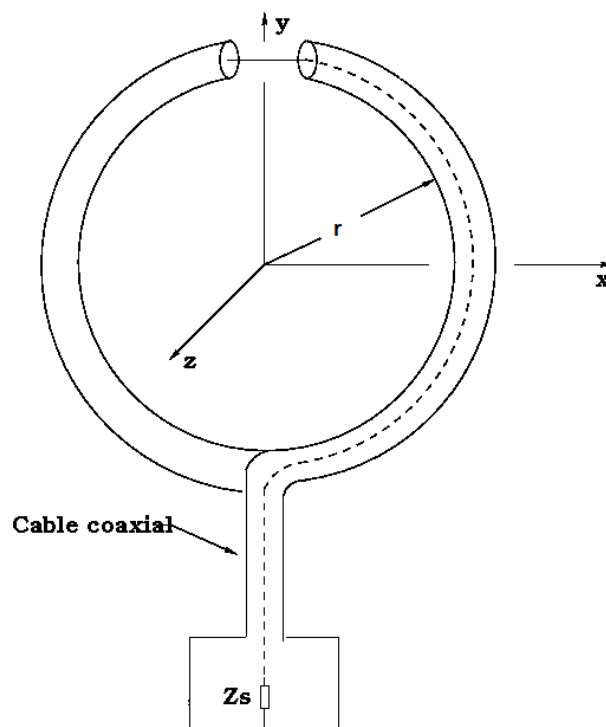
Ο απλούστερος τύπος κεραίας είναι το δίπολο. Αποτελείται από δύο αγωγούς αντιδιαμετρικά διατεταγμένους οι οποίοι τροφοδοτούνται στο κέντρο με ηλεκτρική ενέργεια (ρεύμα). Η πηγή ενέργειας που τροφοδοτεί το δίπολο είναι



μεταβαλλόμενη (συνήθως ημιτονοειδώς) με αποτέλεσμα η κατανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στα δύο άκρα του δίπολου να μεταβάλλεται με τον χρόνο για κάθε θέση τους. Αποτέλεσμα είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο χώρο. Παραπλεύρως παρουσιάζεται η τυπική μορφή της δίπολικής κεραίας.

Εκμεταλλευόμενοι τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος εφαρμογής μπορούμε να έχουμε αντίστοιχα αποτελέσματα με δίπολο χρησιμοποιώντας έναν μόνο πόλο. Αυτό γίνεται γιατί η επιφάνεια πάκτωσης του πόλου αν είναι αγωγίμη μπορεί να λειτουργεί σαν ανακλαστήρας. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργεί ένα φανταστικό πόλο που συμπεριφέρεται ως σαν να υπήρχε ένας πραγματικός πόλος, συμπληρώνοντας το δίπολο. Μια τέτοια διάταξη χρησιμοποιείται για το ραδιόφωνο.

Εναλλακτική της δίπολικής μορφή κεραίας είναι η βροχοκεραία. Στην περίπτωση αυτή το ένα αγωγίμο μέρος (πόλος) περιστρέφεται κατά έναν ολόκληρο κύκλο (2π ακτίνια ή 360°) και καταλήγει παράλληλα με το αρχικό άκρο χωρίς να εφάπτονται. Η τροφοδοσία της διάταξης είναι μεταβαλλόμενη προκειμένου να ακτινοβολήσει. Σε αντιστοιχία με την



δίπολική κεραία, η βροχοκεραία εκπέμπει ομοιόμορφα σε κάθε κατεύθυνση εκτός από

αυτή του άξονα. Παραλλαγές της μορφής αυτής κεραίας είναι η τετραγωνική, η ρομβική καθώς και άλλες γεωμετρικές διατάξεις της ίδιας τοπολογίας. Για κάθε περίπτωση αντιστοιχούν ανάλογες ιδιότητες ακτινοβολίας.

Για το σκοπό της ΠΕ υποθέτουμε κοσμήματα απλού γεωμετρικού σχήματος, δηλαδή κύκλου, σε τρεις διαστάσεις:

δαχτυλίδι, με διάμετρο 2 εκατοστά

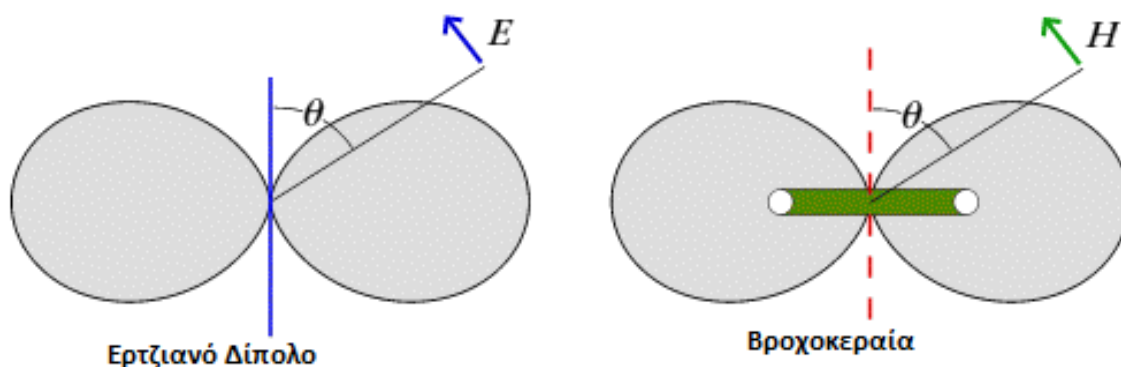
βραχιόλι, με διάμετρο 8 εκατοστά

κολιέ με διάμετρο 20 εκατοστά

Υποθέτουμε πως τα παραπάνω γεωμετρικά σχήματα συμπεριφέρονται ως βροχοκεραίες που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον για την απαγωγή και απόδοση ενέργειες.

2.4 Διάγραμμα ακτινοβολίας

Στην προηγούμενη παράγραφο εξετάσαμε κατηγορίες κεραιών. Ο τρόπος ακτινοβολίας τους είναι αυτός που τις χαρακτηρίζει. Τόσο η διπολική κεραία όσο και η βροχοκεραία εκπέμπουν με τον ίδιο τρόπο σε κάθε κατεύθυνση, ομοιοκατευθυντικά. Γραφικά ο τρόπος αυτός παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



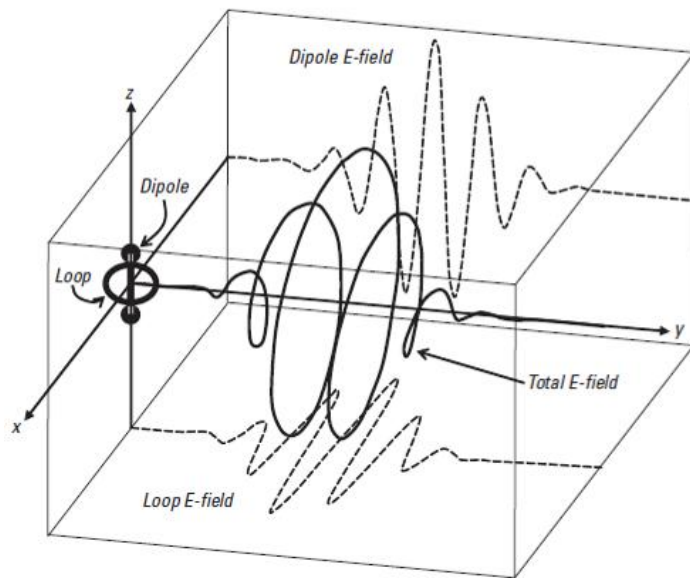
Από το διάγραμμα μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι η ακτινοβολία εκπέμπεται κάθετα στο επίπεδο της βροχοκεραίας (xy) κατά μέγιστη τιμή και κατ' ελάχιστη στον άξονα της (z).

Από το διάγραμμα ακτινοβολίας της βροχοκεραίας προκύπτει ότι η κεραία εκπέμπει ακτινοβολία κατά μέγιστο στο επίπεδο που βρίσκεται η επιφάνεια και κατά ελάχιστο (καθόλου) στο κάθετο προς την επιφάνεια επίπεδο. Κατά συνέπεια προσλαμβάνει ενέργεια τόσο από το περιβάλλον όσο και από το εσωτερικό του μέσου κατά προτίμηση

παράλληλα με την επιφάνεια του. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κάθετα στο επίπεδο του μέσου δεν το διεγείρει.

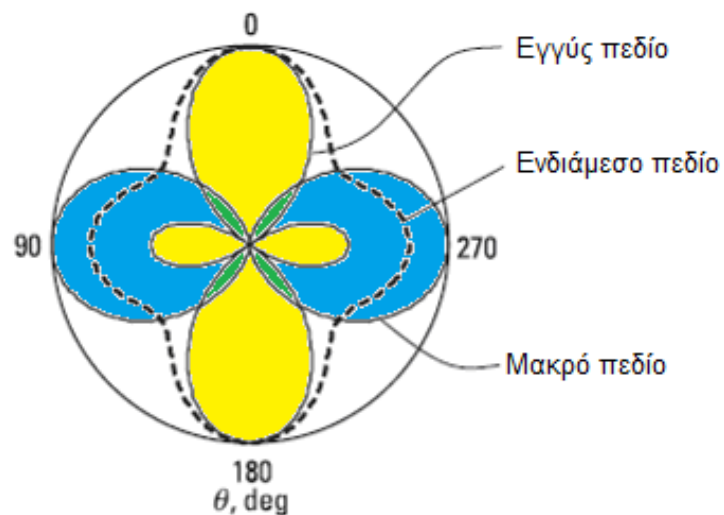
Η ηλεκτρική δραστηριότητα του σώματος που διέρχεται κατά κύριο λόγο κάθετα στο επίπεδο των μέσων διεγείρουν το μέσο επαγωγικά. Θα μπορούσαμε λοιπόν να περιγράψουμε τη συμβολή του ανθρώπινου σώματος ως ένα δίπολο. Για να υπάρξει αλληλεπίδραση μεταξύ των ηλεκτρικών δικτύων του ανθρώπινου σώματος και του μέσου θα πρέπει να διαμορφωθεί η τοπολογία του μέσου, δηλαδή να διανθηθεί ή να συμπληρωθεί.

Θεωρητικά αυτή η διάταξη υφίσταται και έχει εξαιρετικά επικοινωνιακά χαρακτηριστικά. Όπως παρουσιάζεται ακολούθως, η συστοιχία δίπολου-βροχοκεραίας δημιουργεί ένα κυκλικά πολωμένο σήμα, λόγω του συνδυασμού ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου στην ίδια κατεύθυνση, το οποίο διαδίδεται στο χώρο συστρεφόμενο αντίθετα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού.



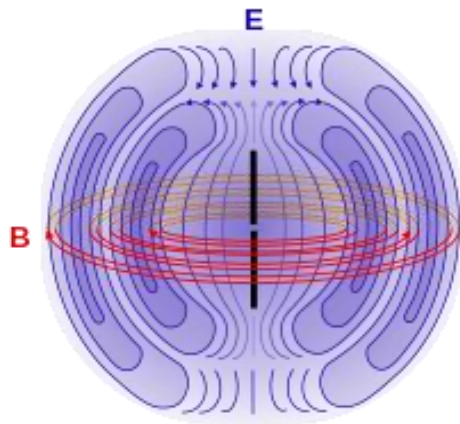
Το ενδιαφέρον στη συστοιχία είναι ο τρόπος διάχυσης της ενέργειας στο περιβάλλον της.

Αποδεικνύεται ότι ο λοβός ακτινοβολίας της συστοιχίας είναι κάθετος στο επίπεδο του δίπολου για το μακρό πεδίο και παράλληλος στο επίπεδο του δίπολου στο εγγύς πεδίο. Δηλαδή η ενέργεια που δεν ακτινοβολείται από το μέσο διοχετεύεται κατά μήκος του άξονα της βροχοκεραίας, δηλαδή στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος.



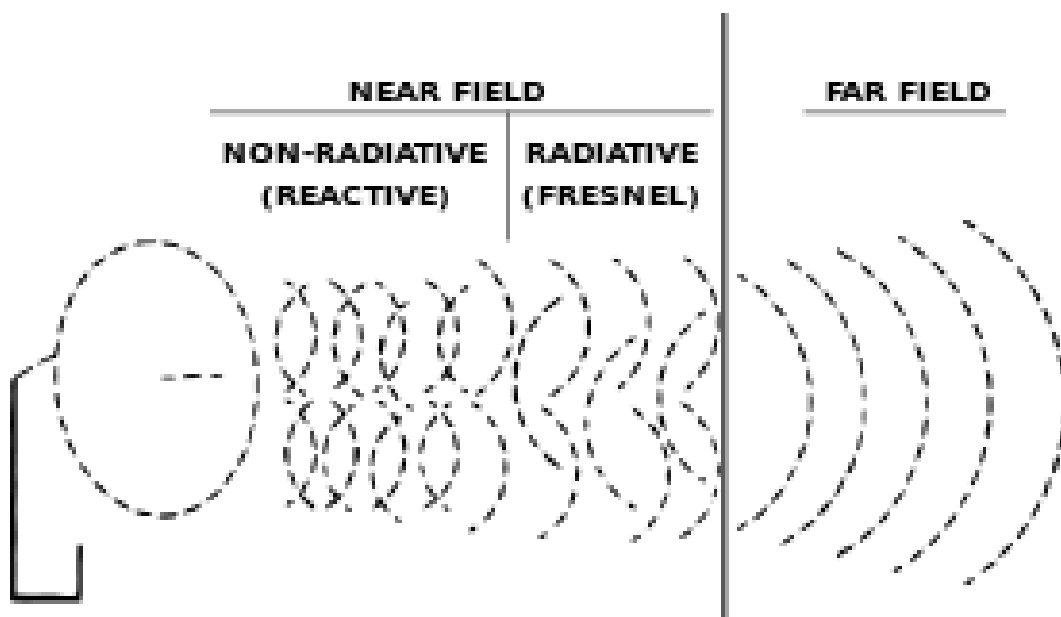
2.5 Εγγύς και μακρό πεδίο

Οι κεραιές δεν εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλο το χώρο. Υπάρχει μια περιοχή γύρω από την κεραιά που η ενέργεια εγκλωβίζεται. Αυτό γίνεται γιατί κάθε σημείο της κεραιάς εκπέμπει με διαφορετικό τρόπο οπότε στη γειτονιά της κεραιάς υπάρχει «πολυφωνία». Η «πολυφωνία» αφορά τη μορφή των κυμάτων, όπου μπορούν να έχουν και τις τέσσερις μορφές πόλωσης αλλά και τη σχέση ηλεκτρικού με μαγνητικό πεδίο. Μια απεικόνιση το εγγύς πεδίου φαίνεται στο διπλανό σχήμα.



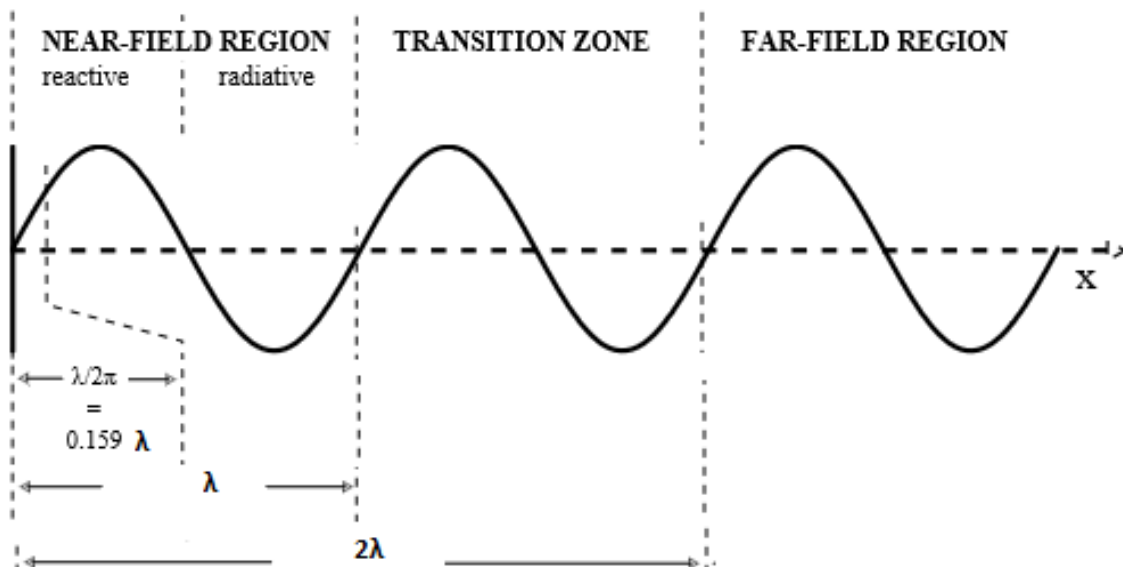
Πιο μακριά η «πολυφωνία» εξομαλύνεται και σχηματίζονται τα οδεύοντα κύματα (plane waves) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει ακριβώς εκεί διότι το ηλεκτρικό πεδίο (E) αποσβένεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης και το μαγνητικό πεδίο (H) αντιστρόφως ανάλογα του κύβου της απόστασης, αφήνοντας μόνο τον όρο του οδεύοντος κύματος να απομειώνεται αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή γύρω από μια κεραιά διακρίνεται γενικά σε δύο ζώνες, το εγγύς και το μακρό πεδίο. Το εγγύς πεδίο επίσης διαφοροποιείται σε μη ακτινοβόλουσα και ακτινοβόλουσα περιοχή.

Στο ακόλουθο σχήμα¹⁰ παρουσιάζεται η διάκριση του χώρου πέριξ μιας κεραιάς.

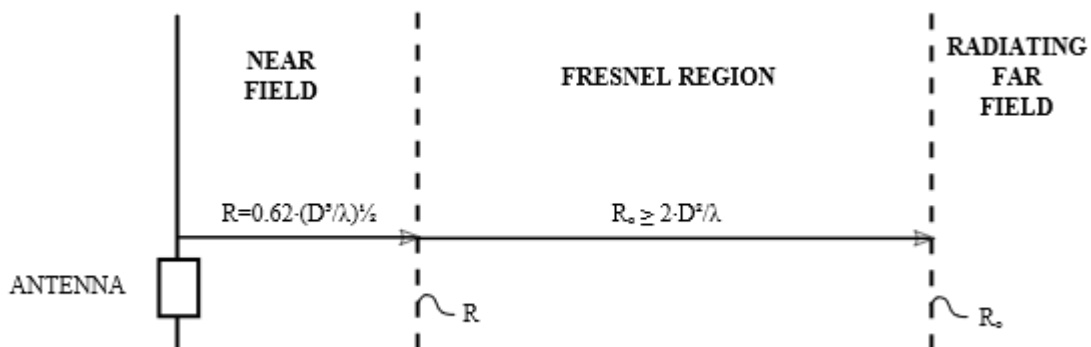


¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Near_and_far_field

Ο χωρικός προσδιορισμός των περιοχών αυτών δεν είναι σαφής και προσδιορίζεται με βάση τη συχνότητα λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά της κεραίας. Για παράδειγμα, για κεραίες που το συνολικό μήκος τους είναι μικρότερο από το ήμισυ του μήκους κύματος η χωρική διάκριση της ηλεκτρομαγνητικής τους συμπεριφοράς περιγράφεται βάση του μήκους κύματος λ όπως στο ακόλουθο σχήμα:



Στην περίπτωση αυτή έχει διακριθεί μια ενδιάμεση περιοχή (περιοχή μετάβασης) που περιγράφει μια μεταβατική συμπεριφορά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η διάκριση αυτή είναι δυνατή καθώς η κατηγορία των κεραιών αυτών (με μήκος $D < \lambda/2$, ηλεκτρομαγνητικά κοντές κεραίες), που συνήθως ονομάζονται και σημειακές κεραίες, δεν διαφοροποιούν τον τρόπο ακτινοβολίας δραματικά, μιας και δεν υπάρχουν συνιστώσες που να συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο, αναφορικά με τη σύσταση οδεύοντος κύματος. Αντίθετα, στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικά μακρών κεραιών (μήκος $D > \lambda/2$) η διακριτή αυτή περιοχή δεν υφίσταται και η χωρική διάκριση έχει ως ακολούθως:



Εδώ ισχύει ότι τα πεδία εξαρτώνται από το μήκος της κεραίας καθώς και το μήκος κύματος. Οι περιοχές διακρίνονται (α) στην εγγύς μη ακτινοβολούσα περιοχή που περιορίζεται χωρικά σε απόσταση:

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

η εγγύς ακτινοβολούσα περιοχή, γνωστή και ως ζώνη Fresnel, που περιορίζεται σε απόσταση $R < 2 \cdot D^2 / \lambda$, και (γ) την μακρά περιοχή εντεύθεν, γνωστή και ως Fraunhofer.

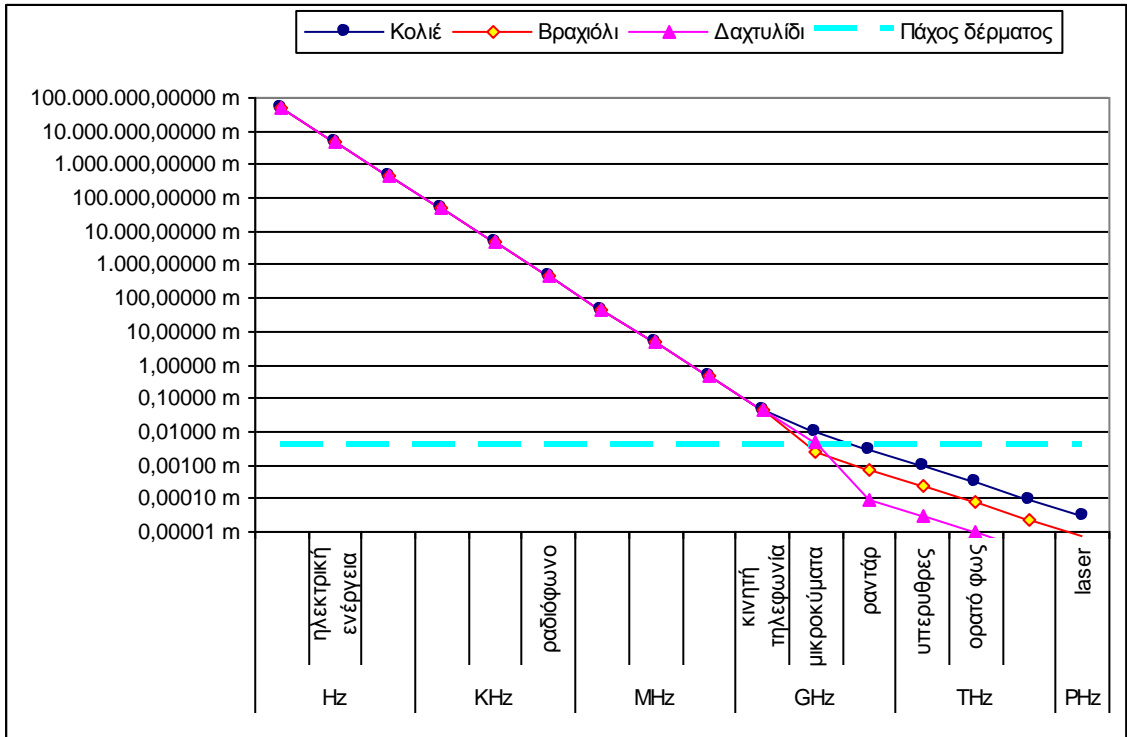
2.6 Επίδραση του δέρματος

Το δέρμα αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από νερό. Με τον τρόπο αυτό δημιουργεί μια αγώγιμη επιφάνεια. Όταν η επιφάνεια αυτή είναι στην εγγύς περιοχή κεραίας τότε αλληλεπιδρά με την κεραία απορροφώντας ενέργεια από την μη ακτινοβολούσα ζώνη. Λόγο της φύσης της ζώνης αυτής (E και H πεδίο) η ενέργεια ανταλλάσσεται με την αγώγιμη επιφάνεια. Αποτέλεσμα είναι η κεραία να αντλεί διαφορετική ενέργεια από ότι στην περίπτωση ακτινοβολίας στο κενό.

Εξετάζοντας τη σύσταση του δέρματος¹¹ διαπιστώνουμε ότι η επιδερμίδα αποτελείται από σειρά κυτταρικών στρωμάτων, από ένα επιφανειακό στρώμα, την κεράτινη στοιβάδα, που είναι άνυδρη και άρα μη αγώγιμη, μέχρι το λιπώδη (υποδόριο) ιστό κάτω από το χορίο, το στρώμα συσσώρευσης νερού. Ο λιπώδης ιστός είναι ένας καλός μονωτής και με τον τρόπο αυτό διαμορφώνεται μια αγώγιμη ζώνη με πάχος 4 χιλιοστά.

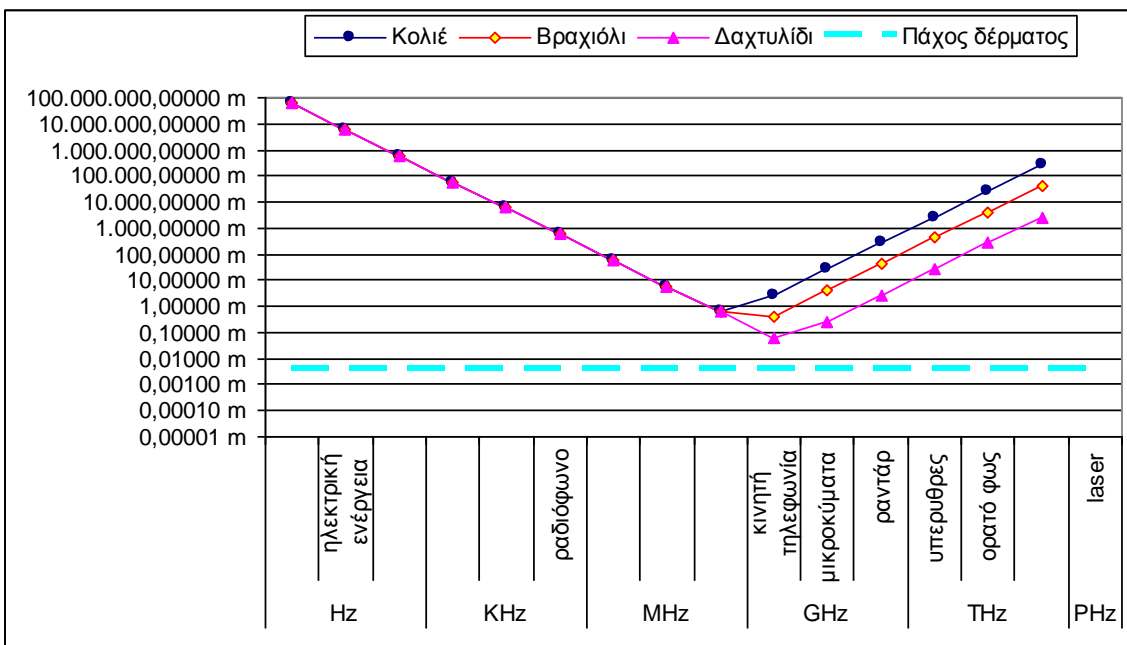
Για να εξετάσουμε τη συμβολή του δέρματος στο πεδίο πέριξ μιας κεραίας θα πρέπει να δούμε τη διαμόρφωση του εγγύς πεδίου στα πλαίσια της ΠΕ. Στην περίπτωση της ΠΕ τα μεγέθη των κεραίων είναι συγκεκριμένα και με βάση την ανάλυση της παραπάνω ενότητας μπορούμε να δημιουργήσουμε το ακόλουθο διάγραμμα. Από το διάγραμμα συμπεράνουμε ότι το εγγύς πεδίο περιορίζεται επιδερμικά όταν η συχνότητα αναφοράς είναι στην περιοχή των GHz και ανωτέρω ενώ επεκτείνεται και υποδορίως για συχνότητες μικρότερες των GHz.

¹¹ <http://bioximikos.gr/topics/physiology-anatomy/100-anatomia-dermatos>



Δηλαδή το σύνολο της μη ακτινοβολούμενης ενέργειας περιορίζεται στην αγωγιμη ζώνη της επιδερμίδας με αποτέλεσμα να απορροφάται από αυτή. Η απορροφημένη ενέργεια αναλώνεται σε βιολογικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές καθώς και το ποσοστό της ενέργειας που αναλίσκεται δεν αποτελούν αντικείμενο της εργασίας αυτής.

Όμως η εγγύς περιοχή διακρίνεται σε μη ακτινοβολούσα και ακτινοβολούσα, διακρινόμενη με τον τρόπο αυτό σε δύο τμήματα. Για το δεύτερο αυτό στάδιο της ακτινοβολίας ισχύει το ακόλουθο διάγραμμα:



Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι το μέρος της ακτινοβολούσας εγγύς ζώνης ξεπερνά το φυσικό μέγεθος του δέρματος σε κάθε περίπτωση. Λόγω της αγωγιμότητας του, το δέρμα λειτουργεί στην περίπτωση αυτή ως ανακλαστήρας, αποδίδοντας το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολούσας Η/Μ ενέργειας στο χώρο διάδοσης της Η/Μ κύματος. Δηλαδή ενισχύει το κύμα που αναχωρεί από το μέσο και προς κατεύθυνση αντίθετη από το δέρμα (προς τα έξω), ενώ απορροφά μικρό μέρος της ακτινοβολούσας ενέργειας ως θερμότητα.

2.7 Συμπεράσματα ενότητας

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προέκυψε ότι η επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα αγωγιμα μέσα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος σε αυτά. Η αλληλεπίδραση του ρεύματος στα αγωγιμα μέσα με τυχόν ηλεκτρικές ροές στο ανθρώπινο σώμα θα πρέπει να εξεταστούν υπό το πρίσμα της αμφίδρομης λειτουργίας συστοιχίας κεραιών δίπολου και βροχοκεραίας. Η συστοιχία αυτή έχει χαρακτηριστικά που ενισχύουν την πρόσληψη ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα όταν λαμβάνεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το αντίθετο.

Στις συχνότητες όμως αναφοράς θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας στις συχνότητες ενδιαφέροντος απορροφάται από την επιδερμίδα, αφήνοντας ελάχιστα ποσά ενέργειας για αλληλεπιδραστική χρήση. Άρα τα αγωγιμα μέσα δεν έχουν σημαντικά περιθώρια να εκπέμψουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα βάση της ηλεκτρικής δυναμικής των δικτύων του ανθρώπινου σώματος.

3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

3.1 Επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος

Το ηλεκτρικό ρεύμα έχει τρεις κύριους τρόπους δράσης στο ανθρώπινο σώμα: την ηλεκτρόλυση, τη μετατροπή σε θερμότητα και την διέγερση νεύρων και μυών.

Ηλεκτρόλυση: Ως γνωστόν η ηλεκτρόλυση προκαλείται κατά τη δίοδο συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος σε μέσο που περιέχει ελεύθερα ιόντα. Γενικά στον άνθρωπο δεν επιτρέπεται δίοδος συνεχούς ρεύματος με ένταση μεγαλύτερη από 10 μA . Αυτό δεν σημαίνει ότι το ρεύμα των 10 μA είναι ασφαλές, αφού αν περάσει για λίγα λεπτά μέσα από το δέρμα προκαλεί έλκη στα σημεία επαφής των ηλεκτροδίων.

Μετατροπή ρεύματος σε θερμότητα: Τα υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενα ρεύματα δημιουργούν επιδερμικά φαινόμενα, δηλαδή διέρχονται από το δέρμα και μετατρέπονται σε θερμότητα. Τη δράση αυτή του υψηλής συχνότητας ρεύματος αξιοποιούν οι ηλεκτροχειρουργικές διαθερμίες και οι διαθερμίες στη φυσιοθεραπεία.

Διέγερση νεύρων και μυών: Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί διέγερση νεύρων και μυών, η οποία διέγερση προκαλεί είτε πόνο, είτε σύσπαση μυών (ηλεκτροπληξία).

Τα σωματικά αποτελέσματα της ηλεκτροπληξίας είναι ανάλογα με την ένταση του ρεύματος, τη διαδρομή του στο σώμα και τη διάρκεια ροής του. Αν π.χ. περάσει από την καρδιά, η βιο-ηλεκτρική δραστηριότητα του μυοκαρδίου διαταράσσεται και μπορεί να προκληθεί κολπική μαρμαρυγή ή ινιδισμός των κοιλιών, με αποτέλεσμα κάποια προσωρινή βλάβη ή το θάνατο του ανθρώπου.

Τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος των 50 Hz εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και διακρίνονται στις παρακάτω περιοχές εντάσεων:

- 0,5 - 1 mA: Το ρεύμα γίνεται μόλις αντιληπτό, προκαλεί ασθενείς μυϊκές συσπάσεις. Το κατώφλι αντίληψης του ρεύματος ($\approx 0,5 \text{ mA}$) ποικίλει από άνθρωπο σε άνθρωπο και ανάλογα με τις συνθήκες μέτρησης (π.χ. υγρασία).
- 15 mA: Το ρεύμα δημιουργεί ισχυρές (τετανικές) συσπάσεις των σκελετικών μυών, τίναγμα του σώματος και κατά συνέπεια μπορεί να προκληθούν τραυματισμοί και κατάγματα.
- 15 - 100 mA: Προκαλείται έντονος πόνος και αναπνευστική δυσχέρεια, λόγω τετανικών συσπάσεων των αναπνευστικών μυών. Μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης αναπνευστικής παράλυσης και ελαφρών εγκαυμάτων.

- 100- 500 mA: Προκαλείται ινιδισμός των κοιλιών, που παραμένει και μετά την επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος, αναπνευστική παράλυση, εξαιρετικά ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και σοβαρά εγκαύματα.
- 500 mA: Προκαλείται αυτόματη έναρξη της λειτουργίας της καρδιάς μετά την επίδραση του ρεύματος (ηλεκτρική απινίδωση)

3.2 Χρήσεις ηλεκτρικού ρεύματος για το ανθρώπινο σώμα

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία¹², η χρήση ηλεκτρικών ρευμάτων για θεραπευτικούς σκοπούς διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- τα γαλβανικά (συνεχή) ρεύματα
- τα φαραδικά (εναλλασσόμενα υψηλής συχνότητας) ρεύματα
- τα TENS (εναλλασσόμενα χαμηλών συχνοτήτων) ρεύματα
- τα διασταυρούμενα ρεύματα (NEMEK)

3.2.1 Γαλβανικό ή συνεχές ρεύμα

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συνεχούς ρεύματος: σταθερή ροή και σταθερή ένταση και τάση είναι αυτά που εκμεταλλευόμαστε στην ιοντοφόρηση. Η ιοντοφόρηση αποτελεί την εισαγωγή διαφόρων ιόντων μέσα στους ιστούς του δέρματος, με τη βοήθεια συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Γνωρίζουμε πως, όταν το συνεχές ρεύμα περνά μέσα από ένα δοχείο με αποσταγμένο νερό, το ρεύμα δεν άγεται. Όταν, όμως, διαλυθούν στο νερό ανόργανα άλατα, οξέα ή βάσεις, το υδατικό διάλυμα που προκύπτει άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και λέγεται ηλεκτρολύτης. Τότε είναι που παρατηρείται μία κίνηση των ιόντων του διαλύματος, οπότε τα θετικά φορτισμένα ιόντα μετακινούνται προς τον αρνητικό πόλο του κυκλώματος, απωθούμενα από τον θετικό πόλο, ενώ τα αρνητικά, απωθούμενα από τον αρνητικό, έλκονται από τον θετικό και μετακινούνται προς αυτόν.

Γνωρίζουμε πως το ανθρώπινο σώμα περιβάλλεται από το δέρμα, το οποίο αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα, που εμποδίζει την είσοδο και την έξοδο του νερού μέσα στο επιθήλιο. Το δερματικό επιθήλιο είναι γεγονός που περιέχει λίπος και πρωτεΐνες σε κατάσταση ηλεκτρικής ουδετερότητας και γι' αυτό παρουσιάζει υψηλή αντίσταση, όταν το διαπερνά ηλεκτρικό ρεύμα. Στα πλαίσια της ΠΕ δεν θα εξετάσουμε το συνεχές ρεύμα.

¹² users.sch.gr/edimitriad/images/Seim_physikis/Physics_Aisth_A1.doc

3.2.2 Διαδερμικός ηλεκτρικός νευρικός ερεθισμός (TENS)

Πρόκειται για χαμηλόσυχνα ρεύματα που συνιστούν ηλεκτροαναλγητική μέθοδο διεθνώς γνωστή με τον όρο TENS ο οποίος σχηματίζεται από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων: Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. Η δερματική ηλεκτρική διέγερση των περιφερικών αισθητικών νεύρων δρα αναλγητικά, παρεμποδίζοντας στο επίπεδο των οπισθίων κεράτων τα μηνύματα του πόνου να φθάσουν στον εγκέφαλο.

Οι συνήθεις τιμές συχνότητας στον TENS είναι από 1-200 Hz με προτιμώμενο φάσμα ερεθισμού 50-100 Hz. Το εύρος παλμού καθορίζει τη διάρκεια κάθε ερεθίσματος, οι συνήθεις τιμές του οποίου κυμαίνονται από 50-250 μsec . Η ένταση των ερεθισμάτων μετριέται σε mA. Στις συχνότητες από 1-15 Hz οι παλμοί γίνονται αντιληπτοί σαν μεμονωμένοι νυγμοί, ενώ σε μεγαλύτερες συχνότητες γίνονται αντιληπτοί σαν συνεχές αίσθημα αιμωδίας ή ηλεκτρισμού. Ειδικότερα:

Χαμηλόσυχνος ή χαμηλός TENS : Χαρακτηρίζεται από την παραγωγή ρεύματος με πολύ χαμηλές συχνότητες 1-4 Hz, με μεγάλο εύρος παλμού (150-250 μsec) και ένταση από 30-90 mA. Έχει την ίδια μορφή παλμών με τον υψηλόσυχνο, με τον οποίο διαφέρει γιατί διεγείρει τις κινητικές νευρικές ίνες περισσότερο από τις αισθητικές, προκαλώντας ρυθμικές και ορατές μυϊκές συσπάσεις. Διεγείρει τα επιφανειακά και εν τω βάθει νεύρα. Η αναλγησία του επιτυγχάνεται πιθανότατα μέσω παραγωγής ενδορφινών. Γι' αυτό καθυστερεί η έναρξη δράσης, ενώ διαρκεί για ώρες ή ημέρες.

Ο υψηλόσυχνος ή υψηλός TENS: Χαρακτηρίζεται από παραγωγή ρεύματος υψηλής συχνότητας (50-100 Hz), εύρος παλμού 50-100 μsec και ένταση ρεύματος 10-30 mA. Ο τύπος αυτός διεγείρει τις νευρικές ίνες μεγάλης διαμέτρου χωρίς συνοδό μυϊκή σύσπαση. Προκαλεί άμεση αναλγησία, η οποία διαρκεί λίγες ώρες μέχρι και ημέρες.

BURST (εκρηκτικός): Έχει παρόμοιες παραμέτρους με το χαμηλό TENS. Η διαφορά του συνίσταται ότι αντί να έχουμε 1-4 παλμούς ανά δευτερόλεπτο έχουμε 1-4 συρμούς. Κάθε συρμός αποτελείται από 4-8 παλμικές ώσεις. Έτσι, χρειάζεται μικρότερη ένταση ρεύματος για να επιτευχθεί η ίδια μυϊκή σύσπαση.

Ταχύς και έντονος TENS: Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται από παραμέτρους με πολύ υψηλή συχνότητα (100-220 Hz), με ένταση 30-90 mA καθώς και μεγάλο εύρος παλμού από 150-250 (περίπου 200 μsec). Ερεθίζει έντονα τις αισθητικές και τις κινητικές ίνες. Προκαλεί πολύ ταχεία, βραχεία και έντονη αναλγησία, η οποία εμφανίζεται 1-15' από την έναρξη εφαρμογής του, διαρκεί συνήθως σύντομο χρονικό διάστημα.

Με βάση τα παραπάνω εξάγεται ο ακόλουθος πίνακας:

Πίνακας 10 Επίδραση των ηλεκτρικών σημάτων στο σώμα, περίπτωση TENS

	Συχνότητα (Hz)	Ένταση (mA)	Τάση (V)	Διάρκεια (sec)
Μυϊκή διέγερση	1-4	30-90	9 (RMS)	0,15-0,25
Αναλγησία	50-100	10-30	9 (RMS)	0,05-0,1
Αναλγησία	100-220	30-90	9 (RMS)	0,15-0,25

3.2.3 Διασταυρούμενο ρεύμα ή ρεύμα συμβολής (NEMEK)

Διασταυρούμενο ρεύμα ή ρεύμα συμβολής ονομάζεται το χαμηλής συχνότητας ημιτονοειδές ρεύμα, που προκύπτει από τη συμβολή των κυμάτων δύο μέσης συχνότητας ημιτονοειδών ρευμάτων. Τα δύο ρεύματα έχουν συνήθως την ίδια ένταση φάσεων (και παλμών) και ελαφρώς διαφορετική συχνότητα μεταξύ τους.

Τα μέσης συχνότητας εναλλασσόμενα ρεύματα περνούν εύκολα από το δέρμα. Για να προκληθεί μυϊκή συστολή απαιτείται συχνότητα λίγο μεγαλύτερη από 100 Hz. Το πρώτο κύκλωμα παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα 4000 Hz, ενώ το δεύτερο με συχνότητα 4150 Hz. Τα δύο αυτά ρεύματα διασταυρώνονται στους ιστούς και παράγεται έτσι, ένα νέο ρεύμα με μια τρίτη συχνότητα, που είναι ίση με την αλγεβρική διαφορά των δύο ανωτέρων συχνοτήτων (0 – 150 Hz).

Υπάρχει πληθώρα συχνοτήτων που μπορούμε να εφαρμόσουμε. Συγκεκριμένα:

- I) 1-10 Hz: Μυϊκή εκγύμναση.
- II) 10-25 Hz: Ρυθμικές συσπάσεις των σκελετικών μυών προκαλούν ταχύτερη κυκλοφορία για το φλεβικό αίμα.
- III) 25-50 Hz: Οι κινήσεις των μυών γίνονται πιο έντονα και φθάνουν συνήθως, σε ινώδη ή και τετανική συστολή με μικρή διάρκεια.
- IV) 50-100 Hz: Αναλγητική δράση (μακροπρόθεσμη και μακρόχρονη αναλγησία).
- V) 80-100 Hz: Έχει βραχυπρόθεσμη αναλγητική δράση μέσα από τις ζώνες του Head.
- VI) 100-150 Hz: Ιδανική προέκταση των 50-100 Hz.

3.2.4 Επιμέρους συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις χρήσης εναλλασσόμενου ρεύματος οι συχνότητες αναφοράς είναι πολύ μικρές συγκριτικά με τις εφαρμογές ενδιαφέροντος. Κατά συνέπεια δεν αναμένεται να υπάρξει αντίδραση του ανθρώπινου σώματος στα επαγόμενα από το περιβάλλον σήματα. Αυτό διότι ακόμα και στην περίπτωση της επαγωγής ενέργειας από το περιβάλλον στα αγγώγιμα μέσα (κολιέ, δακτυλίδι, βραχιόλι) και στη συνέχεια από αυτά στο ανθρώπινο σώμα, οι συχνότητες είναι πολύ μακριά από αυτές στις οποίες αντιδρά το σώμα. Κατά συνέπεια η αλληλεπίδραση του σώματος με ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες δεν επιφέρει αισθητά για το συνειδητό αποτελέσματα.

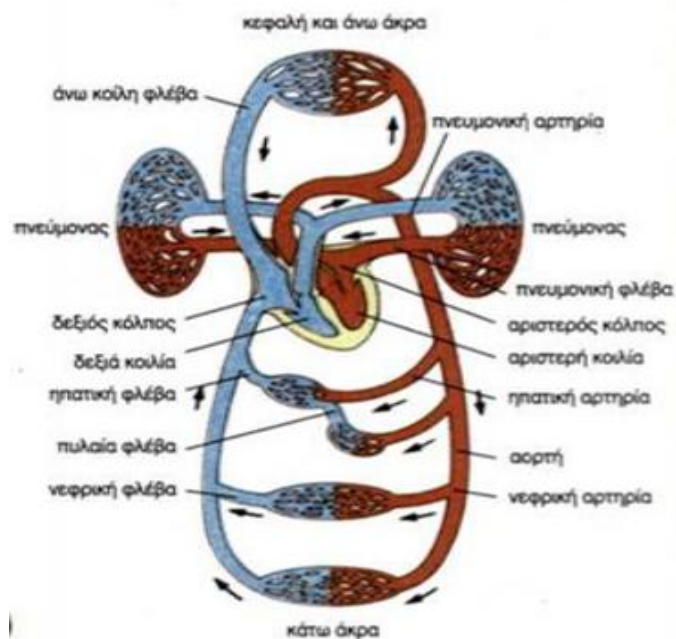
Η ροή της ενέργειας όμως διαμέσο του σώματος, χρησιμοποιώντας τα δίκτυα του, μεταβάλλει την κατάσταση τόσο των περιεχόμενων στα δίκτυα όσο και στο περιβάλλον τους. Για το λόγο αυτό θα μελετήσουμε τα δίκτυα του ανθρώπινου σώματος και την ενδεχόμενη επίδραση σε αυτά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως αυτή προκύπτει από τα παραδείγματα των εφαρμογών ενδιαφέροντος.

3.3 Δίκτυα του ανθρώπινου σώματος

3.3.1 Το κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπου ¹³

Όπως φαίνεται και στην διπλανή εικόνα, το κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος περιλαμβάνει τρεις (3) βασικές διαδρομές:

- τη **μεγάλη ή συστηματική κυκλοφορία**, μέσω της οποίας το αίμα από την καρδιά μεταφέρεται σε όλο το σώμα και επιστρέφει στην καρδιά,
- τη **μικρή ή πνευμονική κυκλοφορία**, μέσω της



¹³ <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-A105/321/2155,7806/>

οποίας το αίμα μεταφέρεται από την καρδιά στους πνεύμονες και πάλι στην καρδιά, και τέλος

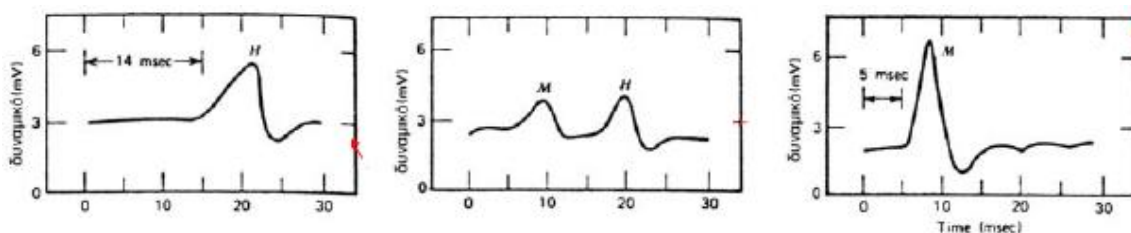
- τη **στεφανιαία κυκλοφορία**, που τροφοδοτεί την καρδιά.

Το πλάσμα αποτελείται από νερό (90% του όγκου του), μέσα στο οποίο είναι διαλυμένα ανόργανα άλατα, ορμόνες, πρωτεΐνες, θρεπτικές ουσίες κ.ά.

Προφανώς τα παρακλάδια του κυκλοφορικού συστήματος είναι κλειστά ηλεκτρικά κυκλώματα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αίματος είναι ανάλογη με αυτή του νερού.

3.3.2 Μυϊκές διεγέρσεις

Οι μύες διεγείρονται με ηλεκτρικά σήματα. Τα σήματα αυτά έχουν ένταση μερικών mV και διάρκεια μερικών ms όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Αξίζει να σημειωθεί πως η απόκριση των μυών σε μικρής κλίμακας γεγονότα χαρακτηρίζεται τόσο από μικρότερα πλάτη σήματος αλλά και από μια αδράνεια απόκρισης, σε σχέση με μεγαλύτερης έντασης γεγονότα. Για την παραγωγή των σημάτων αυτών χρησιμοποιήθηκε διέγερση 100 V για διάρκεια 0,1~0,5 δευτερόλεπτα. Η ταχύτητα διάδοσης των σημάτων στους μυϊκούς νευρώνες είναι¹⁴ 62 m/s ενώ το πλάτος του σήματος ήταν περίπου 1 mV.



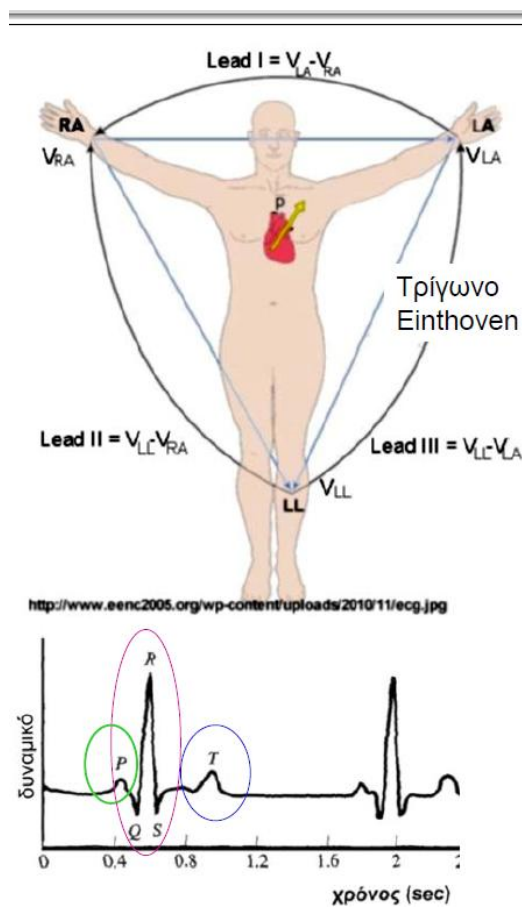
Λόγο της παρουσίας τους μύες ουσιών όπως το Νάτριο, το Κάλιο και το Χρώμιο, η τάση διέγερσης των ατόμων είναι 56 mV, -105 mV και -86 mV αντίστοιχα¹⁵. Αυτό σημαίνει πως πιθανή διέγερση τους μεταβάλλει την κατάσταση ισορροπίας τους με αποτέλεσμα την ανασύνταξη της κατάστασης του μύος.

¹⁴ http://users.auth.gr/katsiki/9_biohlektrismos.pdf

¹⁵ https://semfe.gr/files/users/338/Biofysikh-hlektronikes_shmeivseis.pdf

3.3.3 Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Η λειτουργία της καρδιάς χρησιμοποιεί ηλεκτροχημικές διεγέρσεις. Οι διεγέρσεις αυτές

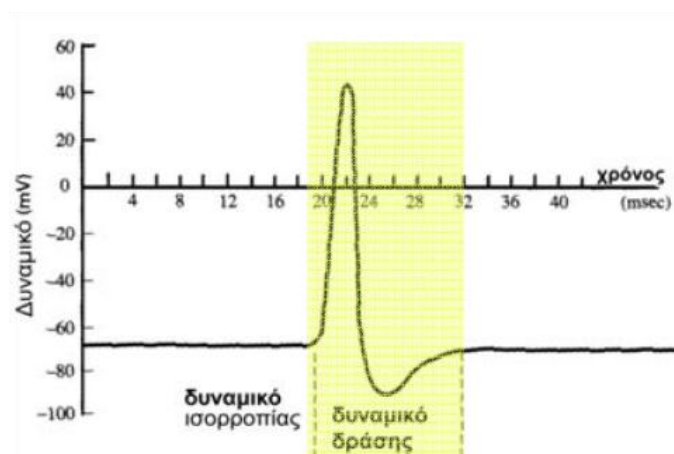


μεταφέρονται στους ιστούς γύρω από την καρδιά, και ένα ποσοστό μεταφέρεται και στο δέρμα. Κατά τις διεγέρσεις αυτές, ηλεκτρικό ρεύμα, άρα και τάση, διοχετεύεται στην επιδερμίδα κατά την πόλωση και αποπόλωση των μυών της καρδιάς. Οι τιμές αυτές μετρούνται με το ηλεκτροκαρδιογράφημα. Μια από τις τεχνικές γνωστή ως τρίγωνο του Einthoven παρουσιάζεται στο διπλανό σχήμα. Στην τεχνική αυτή μετρούνται τρία σημεία του σώματος σε σχέση με το θώρακα και το αποτέλεσμα της μέτρησης φαίνεται κατωτέρω. Οι μεταβολές της τάσης σε ηλεκτροκαρδιογράφημα κυμαίνονται από +12mV έως -0,7mV από άκρο σε άκρο ή 3mV από κέντρο (καρδία) προς άκρα. Το δυναμικό δράσης των καρδιακών μυών διαμορφώνεται από -30

mV έως + 30 mV περίπου (άμεση καταγραφή της κυτταρικής μεμβράνης δίνει μονοπολικά 110mV ανά δραστηριότητα) [10].

3.3.4 Νευρικές διεγέρσεις

Η μεταβολή του ερεθίσματος ενός νευρώνα (σε καλαμάρι) κυμαίνεται μεταξύ +60 mV έως -90 mV¹⁶. Το πρώτο λαμβάνει χώρα κατά την αποπόλωση του νευρικού κυττάρου ενώ το δεύτερο αποτελεί την κατάσταση ηρεμίας. Κατά την διάδοση νευρικών ερεθισμάτων, τα σήματα έχουν την μορφή και



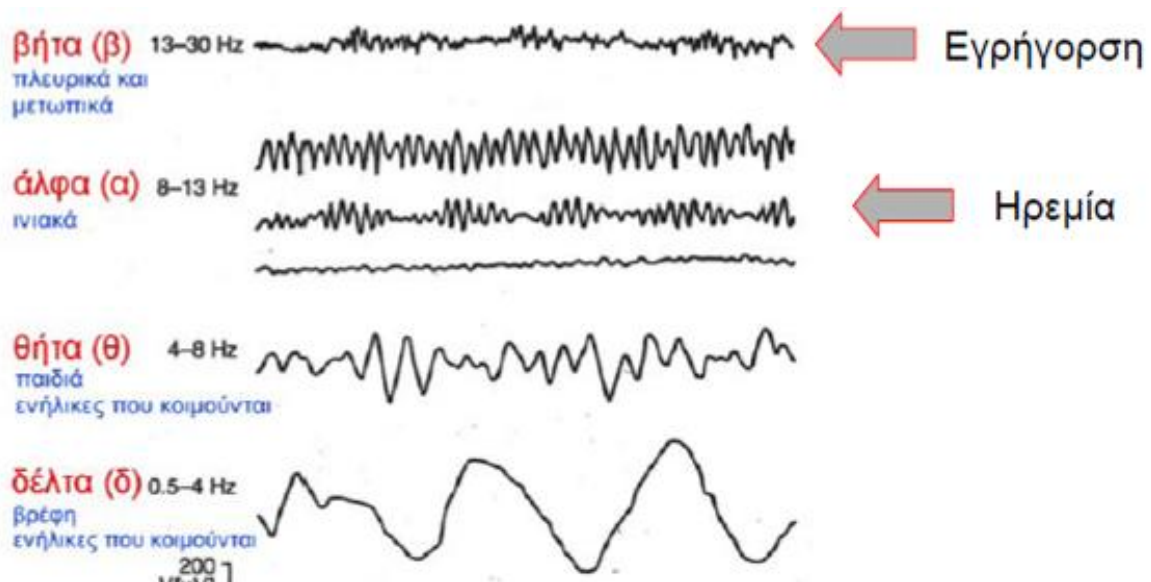
¹⁶ http://users.auth.gr/katsiki/9_biohlektrismos.pdf

πλάτος τάσης όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Παρατηρούμε ότι από την κατάσταση ηρεμίας (-90 mV) το σήμα μεταβαίνει στην κατάσταση αποπόλωσης και επιστρέφει στην κατάσταση ηρεμίας μετά το πέρας της δράσης (μεταφοράς σήματος) η διάρκεια της δράσης εξαρτάται από το είδος και άρα από τη σύσταση των κυττάρων. Για παράδειγμα στα καρδιακά κύτταρα η δράση διαρκεί 100-300 ms.

Η διάδοση των σημάτων στο δίκτυο είναι ανάλογη των 100 μέτρων το δευτερόλεπτο, μια σχετικά αργή διαδικασία λόγω της σύστασης των κυττάρων μυελίνης και της αργής αποφόρτισης τους.

3.3.5 Ηλεκτρικές διεγέρσεις εγκεφαλικού ιστού

Τα ηλεκτρικά σήματα διέγερσης των εγκεφαλικών νευρώνων έχουν μετρηθεί σε πλάτος σήματος στα 50 mV και σε συχνότητες από 0,4 έως 30 Hz. Ανάλογα με την συχνότητα διακρίνονται σε κατηγορίες που καταδεικνύουν και την κατάσταση της εγκεφαλικής δραστηριότητας.



3.4 Επίδραση στους βιολογικούς ιστούς

Η ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας απορροφάται από τους βιολογικούς σχηματισμούς και οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω αύξησης της κινητικής ενέργειας των βιομορίων (π.χ. του νερού), με τρεις κυρίως μηχανισμούς:

(α) αύξηση της κινητικής ενέργειας των φορέων ηλεκτρικού φορτίου (ιόντων),

(β) δημιουργία ηλεκτρικών δίπολων και επαγωγή πόλωσης στα μόρια,

(γ) προσανατολισμός ήδη υπαρχόντων δίπολων προς μια κατεύθυνση.

Η απορρόφηση των Η/Μ κυμάτων και η κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στα βιολογικά συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών,
- την προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος (W/m²),
- τη γεωμετρία και η μάζα του ιστού,
- την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος,
- τη μορφή του ακτινοβολητή, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας,
- τον χρόνο έκθεσης.

Για τη μέτρηση της βιολογικής δράσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος «Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA» (στην αγγλική ορολογία Specific Absorption Rate, SAR) που μετράται σε W/Kg και ορίζεται ως:

$$SAR = (1/10^3) (\sigma/\rho) E^2 \text{ (W/Kg)}$$

όπου σ = αγωγιμότητα του ιστού σε S/m, ρ = πυκνότητα μάζας του ιστού σε g/cm³,

E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε V/m (μέση τετραγωνική ένταση, RMS).

Διάφοροι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει όρια επικινδυνότητας για έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα οποία διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα και στους διάφορους επιστημονικούς οργανισμούς. Τα όρια επικινδυνότητας διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με το σε ποιους απευθύνονται, στον γενικό πληθυσμό ή στους επαγγελματικά απασχολούμενους. Έτσι για παράδειγμα, τα όρια έκθεσης για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη συχνότητα των 900 MHz (συχνότητα κινητής τηλεφωνίας), τα οποία καθιερώθηκαν το 1988 από τη “Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας, IRPA” (“International Radiation Protection Association”) [IRPA, 1988] και ισχύουν έως τώρα, αφού επιβεβαιώθηκαν το 1998 από τη “Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιονίζουσα Ακτινοβολία, ICNIRP”, (“International Commission on Non-Ionising Radiation Protection”) [ICNIRP, 1998], είναι:

(α) για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 2.25 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0.4 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

(β) για τον γενικό πληθυσμό: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 0.45 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0.08 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές

αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Τα όρια αυτά έχουν υιοθετηθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

3.5 Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος

Το δέρμα αποτελεί την κύρια αντίσταση («αντίσταση επαφής») που συναντά το ρεύμα και ο βαθμός αυτός εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δέρματος, καθώς και από την επιφάνεια της επαφής. Κυμαίνεται από 500 Ω/cm² έως 2 MΩ/cm². Αν το δέρμα δεν είναι άθικτο (έχει αμυχές) ή το ρεύμα εφαρμοστεί σε υγρούς βλεννογόνους (π.χ. στόμα) η αντίσταση μπορεί να είναι μόλις 100 Ω/cm².

Πίνακας 11 Τιμές αντίστασης ανά κατάσταση δέρματος

Ιστός	Αντίσταση
Βλεννογόνοι ή αμυχές	100 – 500 Ω/cm ²
Βρεγμένο δέρμα	500 – 1.500 Ω/cm ²
Ιδρωμένο δέρμα	1.500 – 2.500 Ω/cm ²
Παλάμη, έσω μηρός (αγγειώδεις περιοχές)	2.500 – 10.000 Ω/cm ²
Στεγνό δέρμα	10.000 – 100.000 Ω/cm ²
Πέλμα του ποδιού	100.000 – 200.000 Ω/cm ²
Πολύ παχύ δέρμα	1.000.000 – 2.000.000 Ω/cm ²

Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού ρεύματος και αποτελέσματα στο ανθρώπινο σώμα

Ένταση ρεύματος	Απαιτούμενη τάση για στεγνό δέρμα (R=100kΩ)	Απαιτούμενη τάση για υγρό δέρμα (R =1kΩ)	Παθοφυσιολογικό αποτέλεσμα
1 mA	100 V	1 V	Κατώφλι αίσθησης.
5 mA	500 V	5 V	Προκαλεί ενοχλητικό σοκ.
20 mA	2000 V	20 V	Τετανικές μυϊκές συσπάσεις
100 mA	10.000 V	100 V	Κοιλιακή μαρμαρυγή
2 A	200.000 V	2.000 V	Ανακοπή. Εγκαύματα.

Αναφορικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των εφαρμογών ενδιαφέροντος, όπως προκύπτει από τις τιμές που περιγράφει ο Πίνακας 3, η επαγόμενη τάση στην επιφάνεια του δέρματος είναι αμελητέα (της τάξης των 10^{-6} Volt) και άρα δεν επιδέχεται ερμηνείας ηλεκτρικής επίπτωσης στον άνθρωπο.

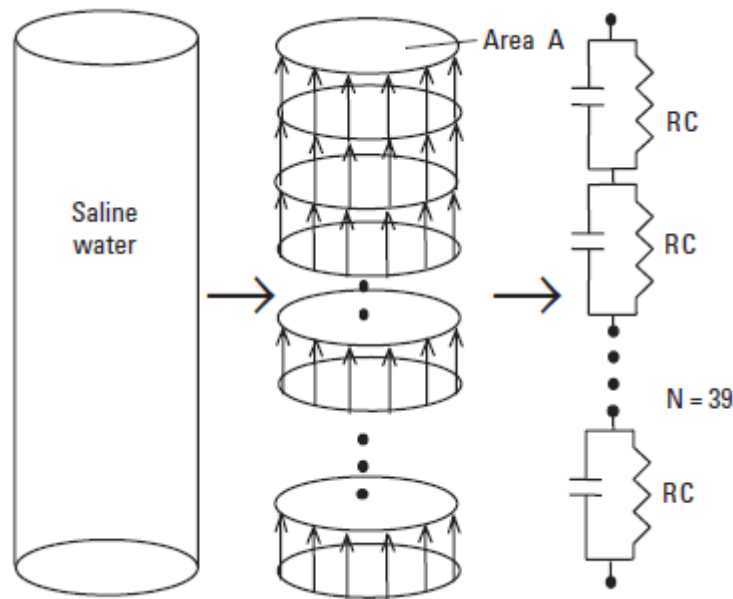
Όμως, παρατηρώντας τις τιμές του ρεύματος που διέρχεται από τα αγγεία μέσα αναφοράς, θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για ένταση ηλεκτρικού ρεύματος ικανή να προκαλέσει αισθητές (20 έως 28 mA για τη περίπτωση του βραχιολιού) έως και σοβαρές επιπτώσεις (100 έως 140 mA για την περίπτωση του κολιέ). Αυτό όμως θα ήταν δυνατό αν συνέτρεχαν οι συνθήκες ώστε το ρεύμα που διαρρέει τα αγγεία μέσα ενδιαφέροντος να πέρναγε στο εσωτερικό του ανθρωπίνου σώματος. Τούτο όμως δεν είναι πιθανό μιας και η αντίσταση του δέρματος είναι ικανή να περιορίσει τις επιδράσεις μιας εκκένωσης των αγγείων μέσω. Είναι λοιπόν πιθανότερο το φορτίο που διαρρέει τα αγγεία μέσα να εκκενωθεί προς την επιφάνεια του δέρματος (εξωτερικά) παρά προς το εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα γινόταν αντιληπτό ως «ανατρίχιασμα».

3.6 Η αγωγιμότητα του ανθρώπινου σώματος

Το ανθρώπινο σώμα έχει υψηλή αντίσταση στο εξωτερικό του όριο, δηλαδή στο δέρμα, προκειμένου να διατηρήσει μονωμένο το εσωτερικό του σε ηλεκτρικά ρεύματα. Αυτό γίνεται διότι η λειτουργία του ανθρώπινου σώματος συντελείται με ηλεκτρικά σήματα. Η διάδοση των σημάτων αυτών χρησιμοποιούν ένα δίκτυο νευρώνων και μυών. Τα αγγεία αυτά κανάλια έχουν χαμηλή διήθηση στο ηλεκτρικό ρεύμα, μιας και η ταχύτητα διάδοσης του σήματος κυμαίνεται από 63 έως 100 μέτρα το δευτερόλεπτο. Εναλλακτικό κανάλι είναι αυτό της κυκλοφορίας του αίματος λόγω της σύστασης του. Η ύπαρξη νερού με άλατα στο αίμα το καθιστά αγωγίμο. Η αγωγιμότητα του αίματος μετρείται ανάλογα με τη περιεκτικότητα σε αλάτι, δηλαδή την χημική ένωση Na^+Cl^- . Το μέτρο της αγωγιμότητας καθορίζεται με βάση αυτή τη συγκέντρωση σε S (αναλογεί σε gm/lit) και οι ενδεικτικές τιμές του για τον φυσικό ορό είναι από $\sigma = 0,26 \text{ S}$ έως $\sigma = 0,7 \text{ S}$. Ως μέτρο σύγκρισης αναφέρουμε ότι το θαλάσσιο (αλμυρό) νερό έχει $\sigma = 4 \text{ S}$ και το αποσταγμένο νερό $\sigma = 0 \text{ S}$.

Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του ανθρώπινου σώματος στον ηλεκτρισμό υποθέτουμε ότι αυτό μοντελοποιείται ως κύλινδρος διαμέτρου 0,3 μέτρων και ύψους 1,7 μέτρων γεμάτος φυσικό ορό. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγουμε τη διαδικασία ανάλυσης της κατεύθυνσης των δικτύων ηλεκτρικών ρευμάτων στο σώμα αλλά και

χρησιμοποιούμε την βιβλιογραφία αναφορικά με προσομοιώσεις και μετρήσεις [8]. Προκειμένου να αναλύσουμε τη ροή των ρευμάτων μέσα στο ανθρώπινο σώμα, μοντελοποιούμε τον κύλινδρο σε στοιχειώδη μέρη όμοιας συμπεριφοράς.



Έτσι καταλήγουμε σε μια στοίβα στοιχειωδών μερών 39 το πλήθος όπου καθένα έχει 2,29 Ω αντίσταση και 1,147pF χωρητικότητα. Με τον τρόπο αυτό η συνολική στήλη διαθέτει συνολική χωρητικότητα και αγωγιμότητα (το αντίθετο της αντίστασης):

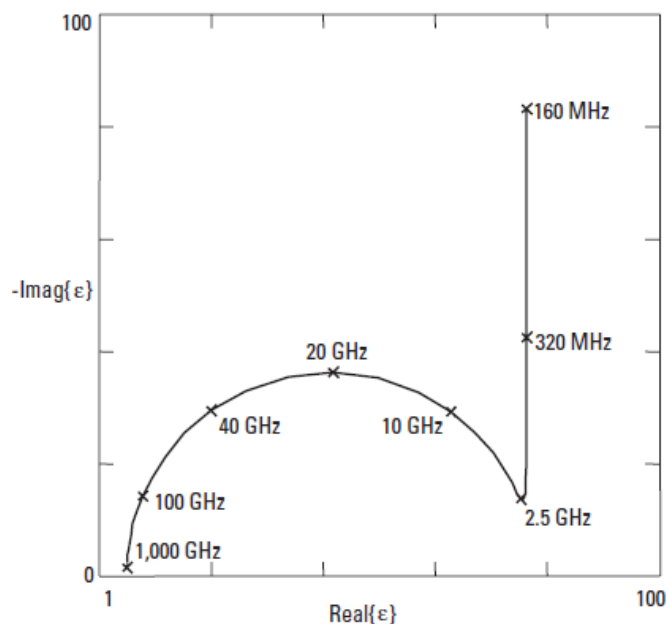
$$C = N \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{Height}$$

$$G = N \frac{\omega \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_0 \cdot A}{Height}$$

$$\epsilon_w = \epsilon_r - j \cdot \epsilon_i$$

Ως ϵ_w αναπαριστούμε την σύνθετη σχετική διηλεκτρική σταθερά στο φυσικό ορό. Αυτό διότι η τιμή της μεταβάλλεται ανάλογα τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε θερμοκρασία 27° C και σε συγκέντρωση 4gm/lit NaCl

($\sigma = 0,26$) η σύνθετη σχετική διηλεκτρική σταθερά μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη



συχνότητα σύμφωνα με το ακόλουθο διάγραμμα. Το διάγραμμα καλείται Cole-Cole και παρουσιάζει τη μεταβολή του φανταστικού μέρους σε σχέση με το πραγματικό.

Παρατηρούμε ότι στις συχνότητες αναφοράς (150 KHz – 2500 KHz) το διάγραμμα είναι γραμμικά μεταβαλλόμενο. Συγκεκριμένα, στο κάτω φράγμα το πραγματικό με το φανταστικό μέρος σχεδόν ισοσταθμίζονται σε αντίθεση με το άνω όριο όπου το πραγματικό μέρος συμβάλει πολλαπλάσια ($\times 4$) σε σχέση με το φανταστικό. Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η τιμή του ϵ_r για το φάσμα από 150 MHz έως τα 2.500 MHz διατηρεί σταθερή την τιμή του και ίση με 80, ανεξάρτητα από τη σύσταση του μέσου. Δεν ισχύει όμως το ίδιο για το ϵ_i όπου μεταβάλλεται τόσο με τη συχνότητα όσο και με τη σύσταση του μέσου. Για $\sigma = 0,26$ έχουμε τις τιμές του ϵ_i που παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα σε συνδυασμό με τον αντίστοιχο υπολογισμό της συνολικής χωρητικότητας $C_{ολ}$ και την συνολικής αγωγιμότητας $G_{ολ}$ του μοντελοποιημένου ανθρώπινου σώματος:

Πίνακας 13 Υπολογισμός ϵ_i , συνολικής χωρητικότητας και αγωγιμότητας σώματος για τις εφαρμογές ενδιαφέροντος

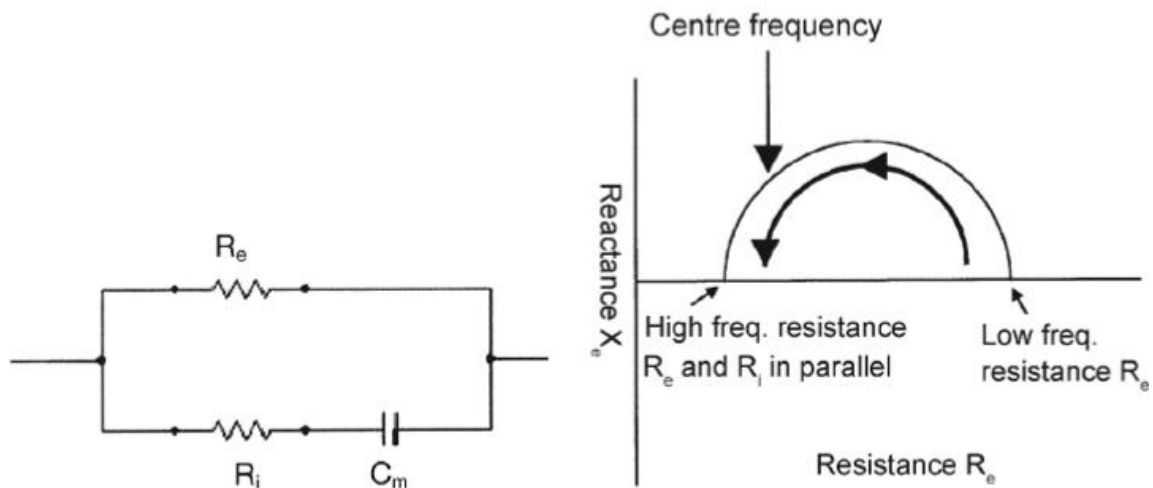
Είδος	Συχνότητα	ϵ_r	$C_{ολ}$	ϵ_i	$G_{ολ}$
	MHz		nF		mho
Κινητό τηλέφωνο	900	80	1,15	22	0,08
Φούρνος μικροκυμάτων	2450	80	0,72	18	0,22
WiFi	2400	80	0,53	17	0,22
Σταθμός βάσης κινητής	900	80	0,42	22	0,08
Τηλεόραση VHF	145	80	0,34	78,3 ¹⁷	0,01

Από τις τιμές που υπολογίσαμε προκύπτει ότι για τις συχνότητες ενδιαφέροντος η χωρητικότητα του μοντελοποιημένου ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και η αγωγιμότητα του μοντελοποιημένου ανθρώπινου σώματος είναι κυμαινόμενη. Εφαρμόζοντας τον ορισμό της αγωγιμότητας ($G = 1 / R$) προκύπτει ότι η αντίσταση του μοντέλου ανθρώπινου σώματος είναι περιορισμένη (της τάξης μερικών Ω) και μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το ανθρώπινο σώμα έχει την ιδιότητα να αντιστέκεται στη ροή ηλεκτρικής ενέργειας από επαγόμενα σήματα χαμηλής συχνότητας

¹⁷ <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/srd/jpcrd487.pdf>

σε αντίθεση με αυτά υψηλής. Αυτό συμβαίνει διότι τα κύτταρα παρουσιάζουν μικρότερη διαπερατότητα στο ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλών συχνοτήτων [11], λόγω της εξωτερικής τους στοιβάδας που δεν περιλαμβάνει αλάτι (άρα δεν είναι αγώγιμο, R_e). Με την αύξηση της συχνότητας το ρεύμα διέρχεται της εξωτερικής στοιβάδας και διαρρέει το εσωτερικό των κυττάρων, το οποίο και είναι αγώγιμο (R_i), με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνολική αντίσταση.



Τα κύτταρα αντιδρούν βιολογικά με το διερχόμενο ρεύμα σε συχνότητες από 100 Hz έως 10GHz. Στην περιοχή των 100Hz (άλφα διάχυση) τα κύτταρα μπορούν να φορτιστούν και να εκφορτιστούν πλήρως. Στην περιοχή από 10KHz – 10MHz τα κύτταρα φορτίζονται μερικώς λόγω του διερχόμενου εσωτερικά ρεύματος και συμπεριφέρονται ως μικροί πυκνωτές. Το φαινόμενο μεγιστοποιείται στην περιοχή των 100KHz (βήτα διάχυση). Στη μεγαλύτερη τιμή της συχνότητας, τα 10GHz (γάμα διάχυση), είναι δυνατός ο αναπροσανατολισμός των δίπολων (πρωτεΐνες, οργανικές ουσίες κλπ) λόγω του συντονισμού των ένυδρων μορίων.

3.7 Επιμέρους Συμπεράσματα

Το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί σε χαμηλές συχνότητες και επηρεάζεται περισσότερο από τις υψηλές. Σήματα σε χαμηλές συχνότητες είναι δυνατό να προκαλέσουν αισθητά ερεθίσματα ενώ σήματα σε υψηλές συχνότητες είναι δυνατό να μεταβάλλουν τη λειτουργία του οργανισμού τοπικά ή γενικά.

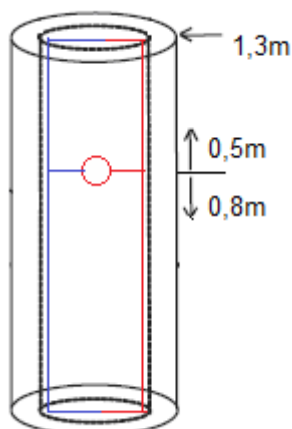
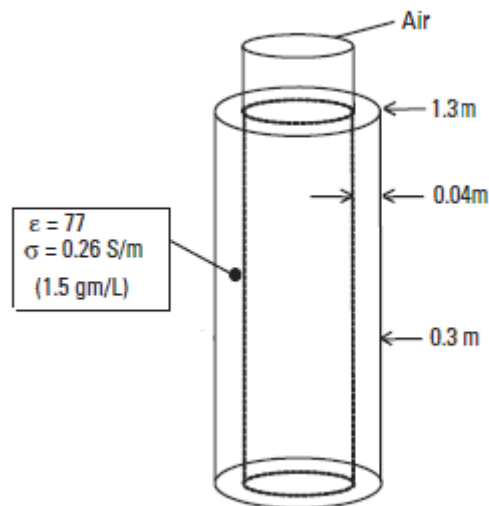
4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Από την παραπάνω ανάλυση προέκυψε ότι η επίδραση των κοινών εφαρμογών που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά δεν έχουν σημαντική αλληλεπίδραση με το ανθρώπινο σώμα, με ή χωρίς τα αγώγιμα μέσα (κοσμήματα). Σκοπός της ενότητας αυτής είναι να καταδείξει τις συχνότητες, και ίσως τις εφαρμογές, που έχουν πιθανότητα ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης με το ανθρώπινο σώμα.

4.1 Μοντελοποίηση

4.1.1 Ηλεκτρικά δίκτυα

Προκειμένου να μελετήσουμε την ηλεκτρική και αντίστοιχα ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά του ανθρώπινου σώματος θα πρέπει να περιγράψουμε τη λειτουργία του. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε μοντέλα που την προσεγγίζουν. Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση στο 3^ο κεφάλαιο θα μπορούσαμε να μοντελοποιήσουμε το ανθρώπινο σώμα ως ένα κούφιο κύλινδρο με τα χαρακτηριστικά του προηγούμενου μοντέλου της παραγράφου 3.6. Ειδικότερα ο κύλινδρος θα έχει ύψος 1,3 μέτρα (προκειμένου να αποφύγουμε τις διπλές διαδρομές στα πόδια), πλάτος 0,3 μέτρα, πάχος 0,04 μέτρα και θα περιέχει φυσικό ορό. Με τον τρόπο αυτό τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά παραμένουν τα ίδια αλλά ταυτόχρονα επιτρέπουμε την ροή στο εσωτερικό του. Έτσι, τα δίκτυα του ανθρώπινου σώματος μπορούν τώρα να μοντελοποιηθούν σαν διαμήκη ροές κοντά στην επιφάνεια του κούφιου κυλίνδρου. ,ε γνώμονα το σχήμα της ενότητας 3.3.1 μπορούμε να παράγουμε το ακόλουθο μοντέλο:

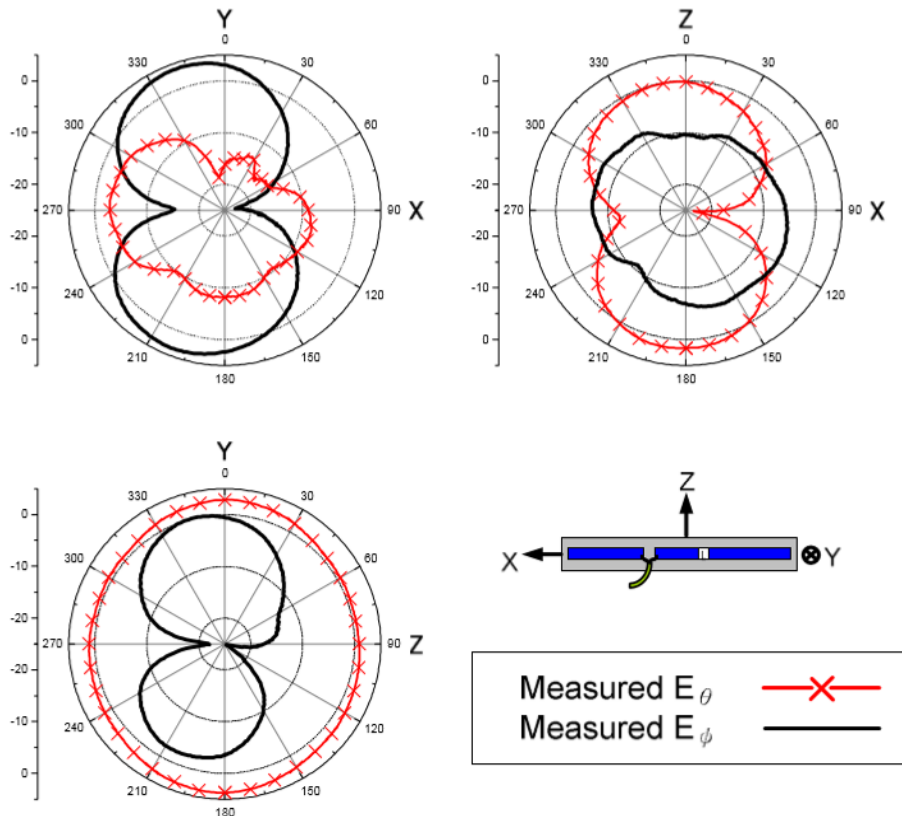


Στο μοντέλο αυτό υποθέτουμε πως η κυκλοφορία του αίματος ακολουθεί το περίγραμμα του κυλίνδρου στην μέγιστη έκταση του δημιουργώντας ένα ορθογώνιο ροής. Στην πραγματικότητα πρόκειται για δύο ροές μιας και τα ηλεκτρικά κυκλώματα ξεκινούν και καταλήγουν στην καρδιά (κύκλος). Η καρδιά τοποθετείται στη μέση του κυλίνδρου και σε ύψος ανάλογο με τον αριθμό Fibonacci, δηλαδή 0,8 μέτρα από κάτω και 0,5 μέτρα από πάνω. Η καρδιά τροφοδοτεί το κύκλωμα με ηλεκτρικό ρεύμα, τον παλμό.

4.1.1.1 Διπολική συμπεριφορά

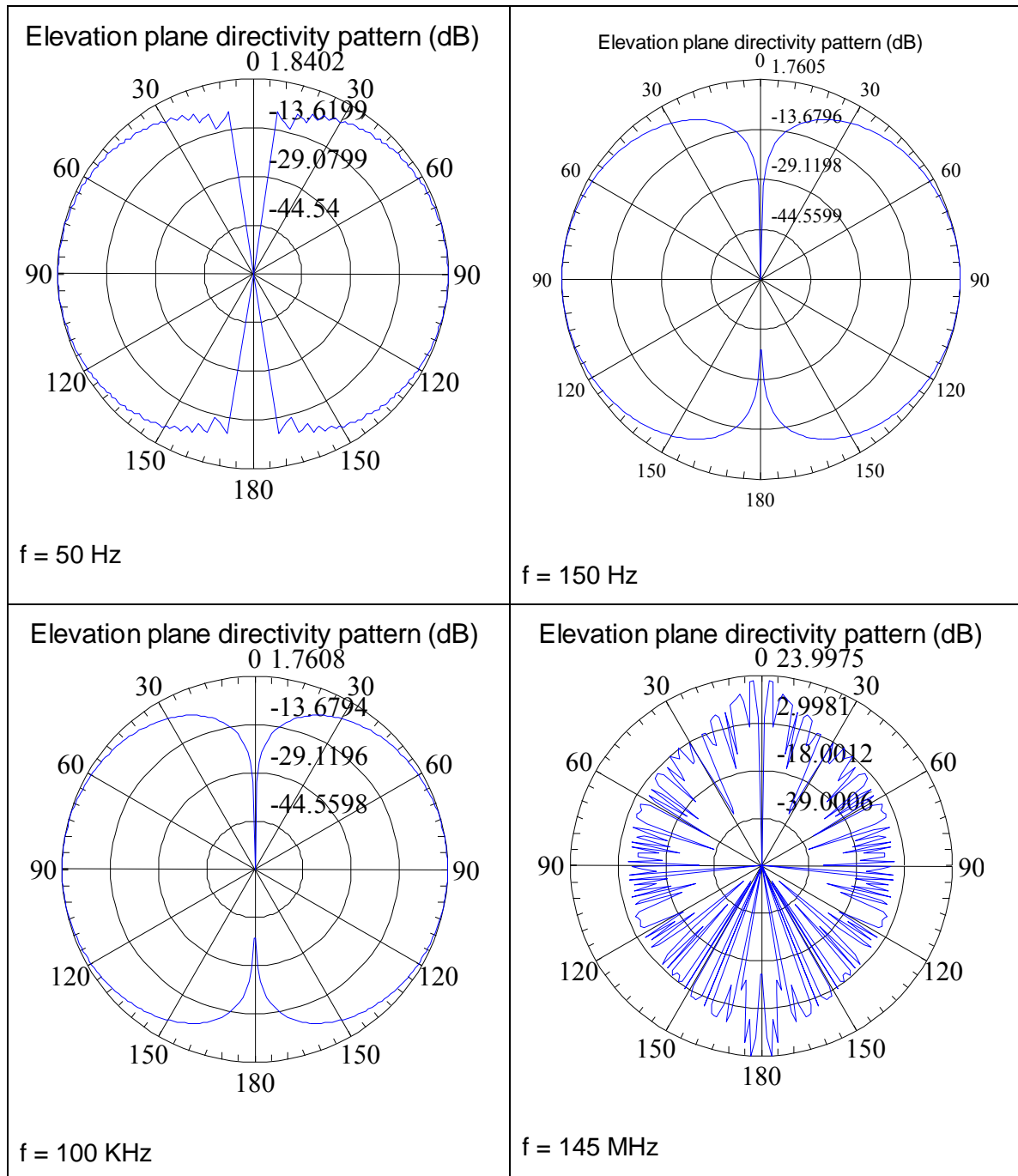
Με τον τρόπο αυτό το ηλεκτρικό δίκτυο στο ανθρώπινο σώμα προσομοιάζεται με συστοιχία δίπολο άνισου μήκους. Η συστοιχία αποτελείται από τον δεξιό και αριστερό κλάδο μιας και στο μακρό πεδίο η συμβολή των άνω και κάτω κλάδων είναι μηδενική. Τα δίπολα είναι άνισου μήκους, μιας και το μήκος τους είναι 0,5 μέτρα άνω και 0.8 μέτρα κάτω. Τα δίπολα βρίσκονται σε απόσταση 0,3 μέτρα και τα διαρρέουν αντίθετα ρεύματα. Δηλαδή στο μακρό πεδίο λειτουργούν αντίρροπα.

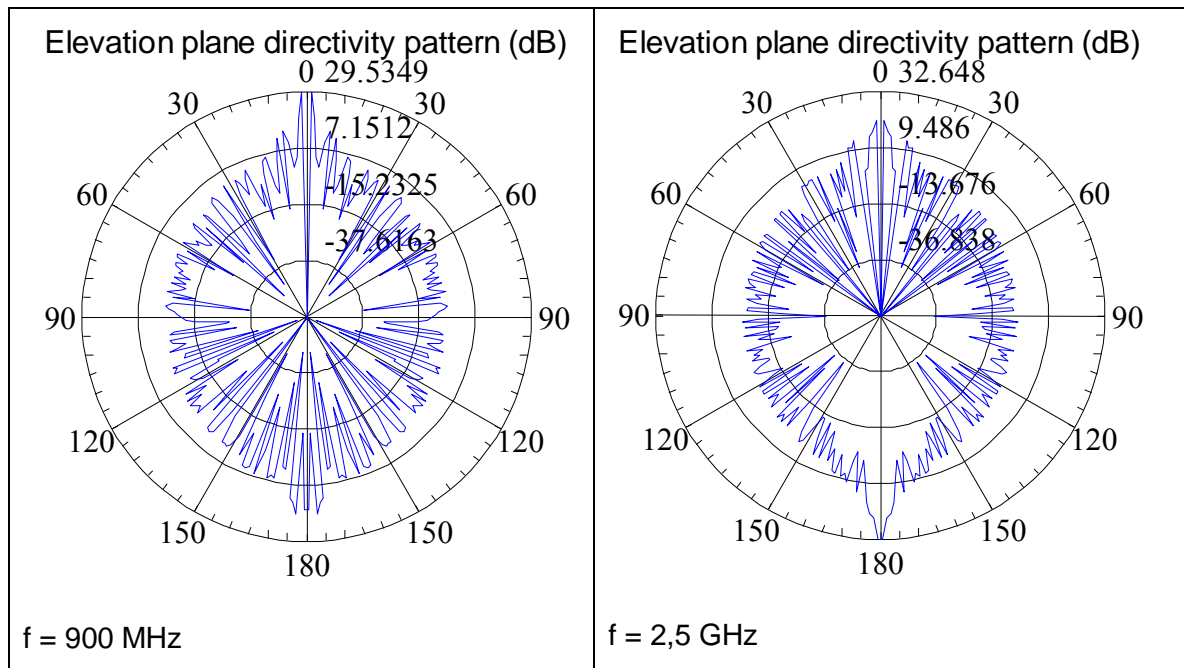
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [13], το διάγραμμα ακτινοβολίας ενός δίπολου με άνισα μέρη είναι παρόμοιο με αυτό του κλασικού δίπολου αλλά μετατοπισμένο προς τη μεριά του κοντού μέρους. Δηλαδή κάθε δίπολο έχει ομοκατευθυντική συμπεριφορά κάθετα προς τον άξονα του. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας των δύο δίπολων αναμένεται να αθροίζονται με συνέπεια να μειώνεται η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς λόγω της αρνητικής συνεισφοράς του έτερου δίπολου, το οποίο όμως έχει συμμετρικό διάγραμμα. Έτσι, το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας αναμένεται να έχει μορφή περισσότερο πεπλατισμένη από αυτή των μονήρων δίπολων.



Η ιδανική συχνότητα για την επίτευξη των διαγραμμάτων αυτών είναι αυτή που αντιστοιχεί σε $\lambda/2$. δεδομένου ότι το συνολικό μήκος του δίπολου είναι 1,3 μέτρα, η συχνότητα αναφοράς είναι 115 MHz περίπου.

Όπως γνωρίζουμε, μεταβολή της συχνότητας αναφοράς έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της μορφής του διαγράμματος ακτινοβολία. Ακολουθώς παρατίθενται διαγράμματα ακτινοβολίας δίπολου για τις συχνότητες που αναφέρθηκαν στην ΠΕ:





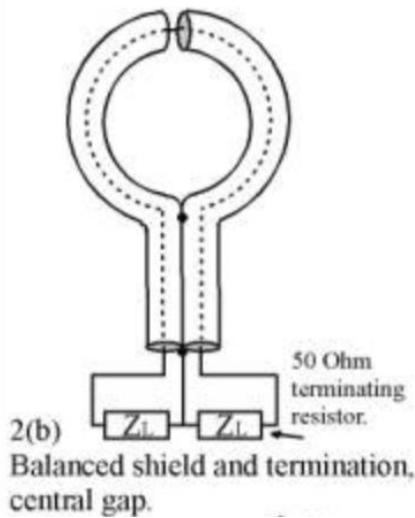
Παρατηρούμε ότι αυξανόμενης της συχνότητας μεταφέρεται ο άξονας του κύριου λοβού από κάθετος στον άξονα του δίπολου σε παράλληλος. Δηλαδή ότι η πρόσληψη ενέργειας γίνεται κατά κύριο λόγο από το έδαφος και από τον ουρανό σε ένα όρθιο ανθρώπινο σώμα. Το συμπέρασμα είναι ότι τα ηλεκτρικά δίκτυα στο ανθρώπινο σώμα είναι ιδανικά σε θέση να αλληλεπιδράσουν ηλεκτρομαγνητικά με το περιβάλλον σε χαμηλές έως πολύ χαμηλές συχνότητες.

4.1.1.2 Βροχική συμπεριφορά

Τα δίπολα είναι τοποθετημένα εντός του κλωβού που σχηματίζει η επιδερμίδα. Λόγο της αγωγιμότητας της η επιδερμίδα λειτουργεί ως ανακλαστήρας. Η λειτουργία του είναι τόσο προς τα μέσα όσο και από έξω. Δηλαδή έχει την τάση να απομονώσει το κύκλωμα από εξωτερικές ακτινοβολίες. Όμως, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, στην επιφάνεια του δέρματος δημιουργείται ρεύμα λόγω της λειτουργία της καρδιάς με βάση το οποίο παράγεται το ηλεκτροκαρδιογράφημα. Άρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το δέρμα λειτουργεί ως ανακλαστήρας μόνο για τα εξωτερικά ηλεκτρικά σήματα.

Το παραπάνω οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αν θεωρήσουμε τα ηλεκτρικά δίκτυα ως δύο θωρακισμένους βρόχους και όχι δίπολα, τότε αυτά θα είναι ιδανικοί για την αναγνώριση κατεύθυνσης μια και το δέρμα ανακλά το ηλεκτρικό αλλά όχι το μαγνητικό σήμα. Για να

συμβεί αυτό θα πρέπει η διάσταση των βρόχων θα πρέπει να είναι $1/10\lambda^{18}$. Λόγο της δομής της καρδιάς υποθέτουμε τη διάταξη του διπλανού σχήματος, δηλαδή ενός ισόμορφου τερματισμένου βρόχου.



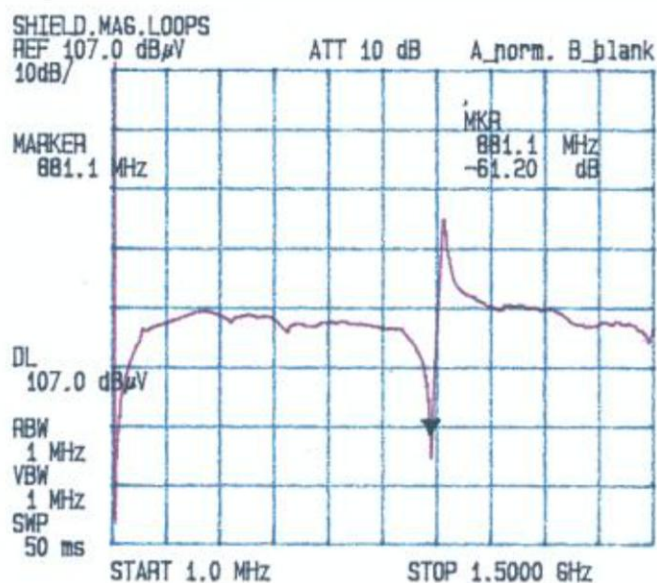
Για να υπολογίσουμε τις διαστάσεις των βρόχων, μιας και αυτοί είναι τετραγωνικοί και όχι κυκλικοί, θα προσεγγίσουμε την ακτίνα με τη μέση διάσταση. Ο ένας βρόχος έχει πλευρές $\alpha=0,3$ και $\beta=0,5$ μέτρα και άρα η μέση ακτίνα είναι $0,2$ μέτρα $[(\alpha+\beta)/2]$ και ο άλλος βρόχος έχει μέση ακτίνα $[(\alpha+\beta)/2 = [(0,3+0,8)/2] = 1,1/2 = 0,55$. Κατά συνέπεια τα μήκη κύματος και κατ' επέκταση οι συχνότητες που συμβαίνει αυτό είναι:

- άνω βρόχος: $0,2 = 1/10\lambda \Rightarrow \lambda = 2$ μέτρα $\Rightarrow f = 1,5 * 10^8$ Hz = 150 MHz
- κάτω βρόχος: $0,55 = 1/10\lambda \Rightarrow \lambda = 5,5$ μέτρα $\Rightarrow f = 0,54 * 10^8$ Hz ≈ 50 MHz

Δηλαδή, τα ηλεκτρικά κυκλώματα στο ανθρώπινο σώμα μπορούν να λειτουργήσουν ως ανιχνευτές κατεύθυνσης για σήματα στην περιοχή των συχνοτήτων 50 έως 150 MHz.

Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι η ύπαρξη της θωράκισης (του δέρματος) δημιουργεί φαινόμενα αγωγιμότητας μεταξύ των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και αυτού. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, για θωράκιση 0,3 εκατοστών, η συχνότητα στην οποία μεγιστοποιείται το φαινόμενο αυτό είναι τα 1,3 GHz, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

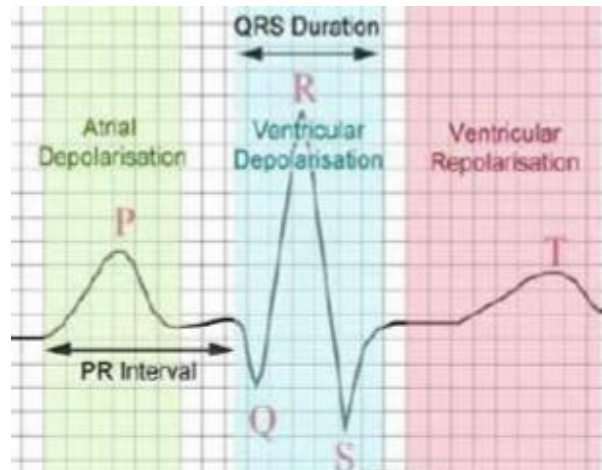
Δηλαδή στην περιοχή αυτή των 1,3 GHz υπάρχει διαρροή του ρεύματος μεταξύ του ηλεκτρικού κυκλώματος (αρτηρίες και φλέβες) και του ανακλαστήρα (δέρματος) δημιουργώντας μια εκκένωση (ρίγος). Το μέγεθος αυτό είναι θεωρητικό μιας και το προσεγγίσαμε με σειρά υποθέσεων.



¹⁸ <http://ham.stackexchange.com/questions/899/what-does-the-addition-of-a-shield-to-a-small-loop-accomplish>

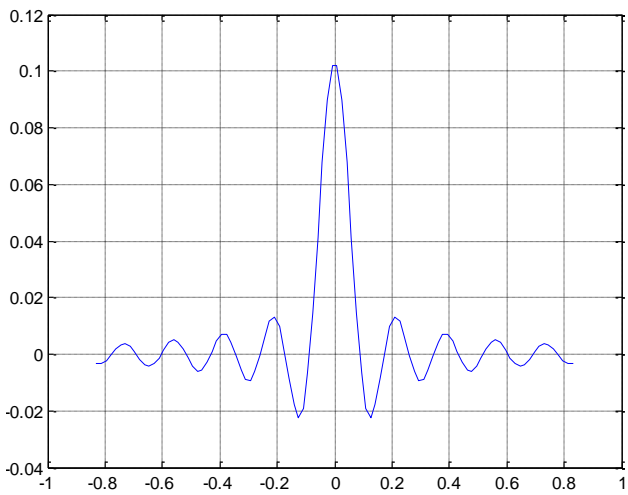
4.1.2 Ηλεκτρική πηγή

Για να περιγράψουμε τη λειτουργία της καρδιάς διατηρούμε μόνο τον κυρίαρχο όρο (QRS επάρματα όπως παραπλεύρως¹⁹) που διαρκεί 0,017 δευτερόλεπτα και έχει πλάτος 110mV στον καρδιακό μυ και 3mV σε κάθε άκρο του ηλεκτροκαρδιογραφήματος σε σχέση με το κέντρο. Επαναλαμβάνεται δε κάθε 0,83 δευτερόλεπτα σε κανονικές συνθήκες. Η συχνότητα δηλαδή του κυρίαρχου σήματος που παράγει η καρδιά περιορίζεται συνήθως στα 6 Hz. Παρατηρώντας το σχήμα συμπεραίνουμε ότι στον καρδιακό



παλμό υπάρχει ένα κυρίαρχο σήμα. Το σήμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως παλμός και να αγνοηθούν τα υπόλοιπα ως δευτερεύοντα. Τότε έχουμε έναν παλμό με διάρκεια 0,017 και περίοδο 0,83 (κανονικός παλμός), δηλαδή αναλογία 1 προς 49. Η στιγμιαία αυτή διέγερση μπορεί να προσομοιαστεί με ένα περιοδικό χρονικά μεταβαλλόμενο σήμα.

Με τα δεδομένα αυτά μπορούμε να προσομοιώσουμε τον καρδιακό παλμό με τη συνάρτηση sinc(x). Η συνάρτηση αυτή (sin(x) / x) αποτελεί μια καλή προσέγγιση του σήματος για τους σκοπούς της προσομοίωσης. Η συνάρτηση θα πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε 0,83 δευτερόλεπτα και να διαρκεί $T_0 = 0,017$ δευτερόλεπτα. Τα νούμερα αυτά παράγουν αρνητικό παλμό και για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το $-\text{sinc}$. οπότε γίνεται:



$$x(t) = -\text{sinc}\left(\frac{2\pi x}{T_0}\right) = -\frac{\sin\left(\frac{2\pi x}{T_0}\right)}{\frac{2\pi x}{T_0}}, -0,83 \leq x \leq 0,83$$

¹⁹ <http://www.virtualmedicalcentre.com/health-investigation/electrocardiogram-ecg-ekg/28>

Με το σήμα αυτό διεγείρεται το κύκλωμα των ηλεκτρικών ροών που περιγράφονται στο μοντέλο. Το ρεύμα έχει ένταση, σύμφωνα με τα δεδομένα :

$$I = V/R = \begin{cases} 110mV/75\Omega \dots \text{εσωτερικ} \acute{\alpha} \\ 3mV/500\Omega \text{ επιδερμικ} \acute{\alpha} \end{cases} = \begin{cases} 1,5mA \text{ εσωτερικ} \acute{\alpha} \\ ..6\mu A \text{ επιδερμικ} \acute{\alpha} \end{cases}$$

Η τιμή της εσωτερική αντίστασης προέκυψε από την ανάλυση της τιμής της σχετικής ηλεκτρικής διαπερατότητας στο νερό για συχνότητες μικρότερες των MHz από το [12].

4.1.3 Ακτινοβολία

Γνωρίζοντας τη μέγιστη τιμή της τάσης και της έντασης που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη ισχύ του διαγράμματος ακτινοβολίας στο μέτωπο του κύριου λοβού. Στην περίπτωση μας είναι:

$$P = V \cdot I = 110mV \cdot 1,5mA = 165\mu W = -37.8dBW = -7.8dBm$$

Λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ λειτουργίας και την ευαισθησία των πομποδεκτών στο περιβάλλον του ανθρώπινου σώματος, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη απόσταση δυνητικής λήψης σήματος. Οπότε:

Πίνακας 14 Υπολογισμός μέγιστης απόστασης ανίχνευσης σήματος ανά κατηγορία

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΙΣΧΥΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΔΕΗ	50Hz	1000	0.000033 m
Άλλο	100 KHz	0,1	0,0006 m
Κινητή τηλεφωνία	900 MHz	0,1W	9,3 m
VHF	145 MHz	2000W	134 m
Φούρνος Μικροκυμάτων	2450 MHz	20 W	226 m

Παρατηρούμε ότι η απόσταση μεγαλώνει με τη συχνότητα. Στις συχνότητες που λειτουργεί το ανθρώπινο σώμα οι αποστάσεις είναι πολύ μικρές κάνοντας απίθανη την αισθητή ανταλλαγή πληροφορίας.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ανθρώπινο σώμα συμπεριφέρεται ως μια διπολική κεραία με απώλειες όταν βρίσκεται σε όρθια στάση [8]. Η συμπεριφορά αυτή είναι περισσότερη εμφανής σε συχνότητες στην περιοχή κάτω των 150 MHz ($\lambda = 2$ μέτρα). Ειδικότερα, το όρθιο σώμα συντονίζεται με κάθετα πολωμένα κύματα στην περιοχή των 40 έως 80 MHz σε συνάρτηση με το έδαφος. Όταν το έδαφος συμπεριφέρεται σαν τέλειος αγωγός (π.χ. μέταλλο) τότε το ανθρώπινο σώμα συμπεριφέρεται σαν δίπολο ημίσεως κύματος ($\lambda/2$) μήκους 3,4 μέτρων ($f \approx 44$ MHz).

Οι συχνότητες αυτές όμως είναι πολύ μακριά από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές και άρα η πιθανότητα αλληλεπίδρασης των δικτύων του ανθρώπινου σώματος με τις εξωτερικά επαγόμενες πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι μηδαμινές. Η χρήση αγωγίμων μέσων στο σώμα, όπως τα κοσμήματα, θα μπορούσαν να έχουν ένα ρόλο ενίσχυσης της αλληλεπίδρασης αυτής. Πράγματι, όπως παρουσιάστηκε, η συστοιχία κεραιών δίπολου και βροχοκεραίας δημιουργούν ένα συνδυασμό που ενισχύει την αλληλεπίδραση αυτή εν γένει. Όμως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου σώματος και των αγωγίμων μέσων δεν συνδέονται λειτουργικά σε ένα παραγωγικό σχήμα. Η λειτουργική ανάλυση της αλληλεπίδρασης τους καθώς και με το ανθρώπινο σώμα κατέδειξε φτωχά σημειολογικά αποτελέσματα. Ειδικότερα, για τις συχνότητες και εφαρμογές ενδιαφέροντος δεν προέκυψαν αισθητά ή υγειονομικά ερείσματα στο ανθρώπινο σώμα.

Θα μπορούσαμε να μελετήσουμε την περίπτωση του κολιέ στο μοντέλο του σώματος, λόγω των συγγενών γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους, αλλά σε συχνότητες πολύ χαμηλότερες από αυτές που διερευνήθηκαν. Η μελέτη αυτή θα απαιτούσε προσομοίωση και άρα μοντελοποίηση η οποία εκφεύγει του σκοπού της Πτυχιακής εργασίας.

Επίσης μελέτης χρήζει η επίδραση των μαγνητικών φαινομένων, κάτι που βιβλιογραφικά δεν είναι εκτενές αναφορικά με το ανθρώπινο σώμα. Πέριξ και εγγύς του ανθρώπινου σώματος έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα που κατέδειξαν μια μαγνητική συμπεριφορά απορρόφησης 6-9 dB από το διερχόμενο σήμα στην περιοχή των MHz. Αναλυτικότερη μελέτη θα μπορούσε να καταδείξει περισσότερο χειροπιαστά αποτελέσματα.

Εν κατακλείδι, τα κοσμήματα αποτελούν πηγές ηλεκτρισμού (και μαγνητισμού) για το ανθρώπινο σώμα οι οποίες δεν αλληλεπιδρούν αισθητά με αυτό λόγω της ισχυρής αντίστασης του δέρματος. Η επιρροή τους στα δίκτυα του ανθρώπινου σώματος είναι

δυνατή λόγω της συνδυαστικής λειτουργίας δίπολου (ανθρώπινο μέρος) και βρόχου (αγώγιμο μέρος) αλλά με αποτελέσματα που δεν μπορούν να εκτιμηθούν στην παρούσα εργασία. Ενδεχομένως τα παραπάνω να ισχύουν και για πολύ χαμηλότερες συχνότητες, όπως αυτές που αξιοποιεί η λειτουργία του ανθρώπινου σώματος

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ulaby, F. T., Michielssen, E. & Ravaioli, U. [2007], Fundamentals of Applied Electromagnetics, 6th ed., Prentice Hall, New Jersey.
- [2] Balanis, C. A. [2005], Antenna Theory Analysis and Design, third edn, John Wileys & Sons, Inc, New Jersey.
- [3] Rappaport, T. S. [2002], Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed., Prentics Hall, New Jersey.
- [4] Proakis, J. G. & Salehi, M. [2008], Digital Communications, fifth edn, McGraw-Hill, New York.
- [5] Couch II, L. W. [1995], Modern Communication Systems - Principles and Applications, 1st ed., Prentics Hall, New Jersey.
- [6] Madhow, U. [2008], Fundamentals of Digital Communications, 1st ed., Cambridge University Press, Cambridge.
- [7] Pozar, D. M. [2001], Microwave and RF Design of Wireless Systems, 1st ed., John Wileys & Sons, Inc, New Jersey.
- [8] Kaazimierz S., Yasaman, B., [2007], Radiowave Propagation and Antennasfor Personal Communications, 3rd Edition, Artech House
- [9] Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κινητά τηλέφωνα, τα επιστημονικά δεδομένα, EETT
(http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/hlktromagnitikh_Entypo_3.pdf)
- [10] Ρουμελιώτη Κωνσταντίνα, Σχεδίαση Συστήματος Χαμηλής Τάσης Τροφοδοσίας στο Πεδίο του Υπερβολικού Ημιτόνου για την Ανίχνευση QRS Συμπλέγματος με την Μέθοδο PAN-TOMPKINS, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014, (<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/7987/1/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>)
- [11] A brief introduction to bioimpedance, UCL Library
(https://www.ucl.ac.uk/medphys/research/eit/pubs/bioimpedance_overview.pdf)
- [12] Diego P. Fernandez et all,A Database for the Static Dielectric Constant of Water and Steam, National Institute of Standards and Technology, 1995
(<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/srd/jpcrd487.pdf>)
- [13] S. H. Yeh et all, 4/5.2 GHz Dual-WLAN Unequal-Arms Dipole Antenna with a Chip Inductor for Omni-directional Radiation Patterns,
(http://zanran_storage.s3.amazonaws.com/ir.itri.org.tw/ContentPages/106998560.pdf)

- [14] Παντελίδη Π., «Βελτιστοποίηση απόδοσης ασύρματου δικτύου για κίνηση ποικίλων απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας με δυναμική παραμετροποίηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του», ΤΕΙ Πελοποννήσου, 2009.