

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΚΛΩΣΤΟΨΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΑΦΙΚΗΣ

518

ΚΑ

**ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΓΩΓΙΜΩΝ ΝΗΜΑΤΩΝ
ΣΤΗΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ
ΣΤΑΡΟΣΤΣΙΚ ΜΠΑΡΜΠΑΡΑ
ΜΑΓΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2010

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΓΩΓΙΜΩΝ ΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ

Πτυχιακή εργασία που υποβλήθηκε στο Τ.Ε.Ι.
Πειραιά για την απόκτηση του πτυχίου της

Σταρόστικ Μπάρμπαρα Μάγια

A.M. 27478

Εργασία η οποία έλαβε μέρος στο Τμήμα
Κλωστοϋφαντουργίας με την επίβλεψη του

Επίκουρου Καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Σάββα Γ. Βασιλειάδη

Τμήμα Κλωστοϋφαντουργίας

Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Αιγάλεω

Ιανουάριος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	2
Πρόλογος.....	3
Εισαγωγή.....	5
1. ΝΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ - ΙΝΟΠΟΙΗΣΗ.....	7
1.1 Νηματοποίηση φυσικών ινών.....	7
1.2 Νηματοποίηση (ινοποίηση) συνθετικών ινών.....	10
2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ.....	12
2.1 Ηλεκτρισμός.....	12
2.1.1 Ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου.....	12
2.1.2 Διαφορά δυναμικού.....	13
2.1.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.....	14
2.2 Μαγνητισμός.....	15
2.3 Κύματα.....	15
2.3.1 Περιοδικά φαινόμενα.....	15
2.3.2 Μηχανικά κύματα.....	16
2.3.3 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.....	17
2.3.4 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	20
2.3.4.1 Απορρόφηση ενέργειας.....	20
2.3.4.2 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	20
2.4 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κίνδυνοι - Κινητά τηλέφωνα.....	22
2.4.1 Μετάδοση και λήψη σημάτων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα.....	22
2.4.2 Κίνδυνοι.....	22
2.4.3 Ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων.....	23
2.4.4 Αρχή λειτουργίας κινητών τηλεφώνων.....	25
2.5 Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση.....	27
2.5.1 Αρχή λειτουργίας RF θωράκισης.....	27
3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΣ ΑΓΩΓΙΜΑ ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	29
3.1 «Εξυπνα» κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα.....	29
3.2 Ηλεκτρικώς αγώγιμες ίνες.....	30
3.3 Μέθοδοι παρασκευής ηλεκτρικώς αγώγιμων κλωστοϋφαντουργικών υλικών.....	31
3.4 Ηλεκτρικώς αγώγιμα νήματα και εφαρμογές.....	35
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΚΕΛΟΣ.....	38
4.1 Εξοπλισμός.....	38
4.1.1 Γεννήτρια σάρωσης.....	38
4.1.2 Κυματοδηγός.....	39
4.2 Εισαγωγή.....	39
4.2.1 Κωδικοποίηση δοκιμίων.....	41
4.2.2 Έκφραση αποτελεσμάτων.....	42
4.3 Πειραματική διαδικασία.....	43
4.3.1 Μέρος πρώτο.....	43
4.3.1.1 Περιγραφή.....	43
4.3.1.2 Αποτελέσματα - Υπολογισμοί.....	44
4.3.1.3 Συμπεράσματα πρώτου μέρους.....	50
4.3.2 Μέρος Δεύτερο.....	51
4.3.2.1 Περιγραφή.....	51
4.3.2.2 Αποτελέσματα-Υπολογισμοί.....	52
4.3.2.3 Συμπεράσματα δεύτερου μέρους.....	64
5. ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	66
Βιβλιογραφία.....	67

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί μια μελέτη της συμπεριφοράς των ηλεκτρικώς αγώγιμων νημάτων όταν αυτά εισέρχονται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συγκεκριμένων συχνοτήτων. Ειδικότερα, μελετάται η ικανότητα των νημάτων αυτών να παρεμποδίζουν τη διέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χάρη στην αγώγιμη φύση τους.

Η μελέτη χωρίζεται σε δύο βασικά σκέλη: το θεωρητικό και το πειραματικό. Τα πρώτα τρία κεφάλαια καλύπτουν την θεωρία που είναι απαραίτητη για την κατανόηση του προς μελέτη φαινομένου αλλά και την εξοικείωση με τα υλικά που μελετώνται, ενώ στα κεφάλαια τέσσερα και πέντε περιγράφεται η πειραματική διαδικασία, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα αποτελέσματα των πειραμάτων και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται ο γενικός ορισμός του νήματος και γίνεται αναλυτική αναφορά στα στάδια που ακολουθούνται για την μεταποίηση της πρώτης ύλης, είτε φυσικής είτε ανθρωπογενούς, σε νήμα.

Το δεύτερο κεφάλαιο καλύπτει τις έννοιες της φυσικής που είναι απαραίτητες για να κατανοηθεί η πειραματική διαδικασία και κατ'επέκταση ο σκοπός της διπλωματικής. Αρχικά γίνεται μια γενική αναφορά στα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού και στην ιδιότητα τους να δημιουργούν πεδία και εισάγεται η έννοια της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στη συνέχεια μελετώνται τα περιοδικά φαινόμενα και τα κύματα, καταλήγοντας με συνδυασμό των παραπάνω στο φαινόμενο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και των κινδύνων που μπορούν να προκληθούν από έκθεση σε αυτά. Παρακάτω αναφέρονται πιο συγκεκριμένα οι κίνδυνοι της έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων και το κεφάλαιο κλείνει με μια παράγραφο σχετική με τις μεθόδους περιορισμού της διείσδυσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε χώρους, δηλαδή μεθόδους ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης.

Τα ηλεκτρικώς αγώγιμα κλωστοϋφαντουργικά υλικά, αποτελούν το αντικείμενο του τρίτου κεφαλαίου. Εισάγονται έννοιες όπως τα «έξυπνα» και τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και αναλύονται οι μέθοδοι παρασκευής ηλεκτρικώς αγώγιμων ινών και νημάτων. Το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά σε ορισμένες εφαρμογές των αγώγιμων νημάτων.

Το τέταρτο κεφάλαιο καλύπτει το πειραματικό σκέλος της διπλωματικής. Αρχικά περιγράφεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων καθώς και διάφορες παράμετροι που είναι απαραίτητες για την κατανόηση των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί η ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας, σε δύο μέρη. Κάθε μέρος συνοδεύεται από τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματά του.

Η εργασία κλείνει με μια σύνοψη των συμπερασμάτων και έναν επίλογο, στο πέμπτο κεφάλαιο.

Η συγγραφή της διπλωματικής αυτής έχει στηριχθεί σε ένα πλήθος πηγών. Τα βιβλία, τα άρθρα και το υπόλοιπο υλικό, που αποτέλεσαν τη θεωρητική βάση αυτής της έκδοσης, αναφέρονται αναλυτικά στην βιβλιογραφία στο τελευταίο τμήμα της εργασίας.

Θέλω στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, κύριο Σάββα Γ. Βασιλειάδη, για την διεξοδική καθοδήγησή του σε κάθε βήμα της πειραματικής διαδικασίας και τις σχολαστικές υποδείξεις του κατά τη συγγραφή της εργασίας αυτής. Τον ευχαριστώ, επιπλέον, για την ανεξάντλητη υπομονή του και την πίστη που έδειξε σε εμένα. Χωρίς την αδιάκοπη βοήθεια και την στήριξή του δεν θα ήταν δυνατή η συγγραφή της διπλωματικής αυτής. Ευχαριστώ επίσης τον επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Κεραιών του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Ευάγγελο Αγγελόπουλο, για την παραχώρηση των συσκευών του εργαστηρίου για τις ανάγκες των δοκιμών, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια του κατά το στήσιμο και την διεκπεραίωσή τους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα προϊστορικά χρόνια, ο άνθρωπος αναζήτησε τρόπους για να προστατευτεί από το κρύο και τους άλλους εξωτερικούς παράγοντες. Αρχικά στράφηκε στα δέρματα και τις γούνες των ζώων, σιγά σιγά όμως, με την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους, έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα υφάσματα. Υπάρχουν στοιχεία που μαρτυρούν την παραγωγή πλεκτών και υφαντών στην αρχαία Αίγυπτο, τις Ινδίες και την Κίνα. Από εκεί ξεκίνησε η εξαγωγή των υφασμάτων προς τις περιοχές της Μεσογείου, καθώς και η μεταφορά των γνώσεων καλλιέργειας βαμβακιού αλλά και της ίδιας της τέχνης της ύφανσης.

Για εκατοντάδες χρόνια ο άνθρωπος παρήγαγε φυτικές και ζωικές ίνες και εξέλιξε τις μεθόδους νηματοποίησης και ύφανσης, μέχρι που, χάρη στη χρήση νέων τεχνολογιών, άρχισε να παράγει συνθετικές ίνες γύρω στο 1930. Στο μεταξύ εισήχθησαν στον χώρο της κλωστοϋφαντουργίας έννοιες όπως η μόδα, η υψηλή ραπτική και τα επώνυμα προϊόντα, ανάγοντας την ένδυση σε αισθητική υπόθεση αλλά και παράγοντα κοινωνικής καταξίωσης. Με την περαιτέρω ωρίμανση του κλάδου της κλωστοϋφαντουργίας και χάρη στις τελευταίες προόδους της μηχανικής των υλικών, της βιολογίας, της νανοτεχνολογίας κ.α., τα ενδύματα καλούνται σήμερα να καλύψουν νέες ανάγκες, όπως η καταγραφή των ζωτικών λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος ή η τηλεπικοινωνιακή υποστήριξη του χρήστη.

Τα «έξυπνα», διαδραστικά και πολυλειτουργικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι προϊόντα τα οποία σχεδιάζονται και παράγονται κυρίως για εφαρμογές στις οποίες απαιτούνται πολύ υψηλές επιδόσεις. Τα υλικά και οι δομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, ανιχνεύουν και, ενίοτε, αντιδρούν σε περιβαλλοντολογικές συνθήκες και ερεθίσματα όπως αυτά που προέρχονται από μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές ή άλλες πηγές.

Παρόλο ο όρος «έξυπνα» κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα εισήχθη σχετικά πρόσφατα στον κλάδο, η βιομηχανία έχει εστιάσει εδώ και χρόνια στην αύξηση των λειτουργικών ιδιοτήτων των υφασμάτων. Νέες χημικές ίνες έχουν εφευρεθεί. Με την ενσωμάτωση μεμβρανών σε υφαντουργικά υποστρώματα, επετεύχθη η παραγωγή υφασμάτων αδιάβροχων αλλά παράλληλα διαπνεόντων. Η τρισδιάστατη ύφανση προλείανε το έδαφος για νέες τεχνικές ανάπτυξης της κλωστοϋφαντουργίας. Αυτά είναι μερικά παραδείγματα της υφαντουργικής προσέγγισης για τη βελτίωση των ιδιοτήτων και την λειτουργικότητας των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Η ηλεκτρονική προσέγγιση, δηλαδή τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, άρχισε να προσδίδει νέα χαρακτηριστικά στην ένδυση, ενσωματώνοντας ηλεκτρονικές συσκευές σε ήδη ρουχισμού. Το αποτέλεσμα όμως ήταν συχνά ογκώδες, μη φιλικό προς τον χρήστη και μη πρακτικό. Το ένδυμα ήταν καλωδιωμένο, με καλώδια να διέρχονται

από τη μια μεριά στην άλλη, μπαταρίες μέσα στις τσέπες και σκληρές ηλεκτρονικές συσκευές να εξέχουν από την επιφάνεια, καταλήγοντας μια πλατφόρμα για την υποστήριξη εξοπλισμού που δεν παρείχε πλέον καμία άνεση, υπό την έννοια του ρουχισμού. Η τωρινή επιδίωξη στην ανάπτυξη των έξυπνων προϊόντων είναι η αλλαγή του χαρακτήρα των ίδιων των υφαντουργικών υλικών, έτσι ώστε να συμμετέχουν άμεσα στις ηλεκτρονικές διαδικασίες. Ενδύματα δηλαδή, με ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά, που παραμένουν οπτικά ανέπαφα και μπορούν ακόμα και να πλυθούν, χωρίς να απαιτείται η αφαίρεση όλων των ηλεκτρονικών τμημάτων. Αυτό φυσικά είναι μια μεγάλη πρόκληση.

1. ΝΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ – ΙΝΟΠΟΙΗΣΗ

Για να γίνει λόγος για ηλεκτρικώς αγώγιμα νήματα και προϊόντα, πρέπει καταρχήν να κατανοηθεί ο ορισμός του νήματος, καθώς και οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την κατασκευή του.

Ίνα καλείται η μικρότερη δομική μονάδα ενός κλωστοϋφαντουργικού προϊόντος και μετατρέπεται σε νήμα με διάφορες διαδικασίες ομαδοποίησης και συστροφής. Οι ίνες μπορούν να είναι είτε φυσικές, να προέρχονται δηλαδή από φυτικά ή ζωικά υλικά, είτε τεχνητές, να κατασκευάζονται δηλαδή με ανθρώπινα μέσα από διάφορα πολυμερή (συνθετικές ίνες) αλλά και φυσικά υλικά (αναγεννημένες ίνες).

Κλωστοϋφαντουργικό νήμα είναι μια δομή με αρκετά μεγάλο μήκος και σχετικά μικρή διατομή, που απαρτίζεται από συνεχείς (filaments) ή ασυνεχείς (staple) ίνες.

Ένα τυπικό staple νήμα αποτελείται από περιορισμένου μήκους ίνες (φυσικές ή τεχνητές) συγκρατημένες μεταξύ τους με στρίψεις, οι οποίες βοηθούν στην ανάπτυξη δυνάμεων τριβής που προσδίδουν στο νήμα αντοχή. Ένα τυπικό νήμα συνεχών ινών αποτελείται από τεχνητά νημάτια (filaments) που βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο και συνυπάρχουν σε όλο το μήκος του.



Τυπικό filament νήμα



Τυπικό staple νήμα

1.1 ΝΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι **φυσικές ίνες** είναι προϊόντα αγροτικής καλλιέργειας και ο παραγωγός έχει μόνο περιορισμένο έλεγχο πάνω στα χαρακτηριστικά τους. Οι συνθήκες του εδάφους και το κλίμα έχουν σημαντική επίδραση. Οι βασικότερες φυσικές ίνες είναι το βαμβάκι και το μαλλί, ακολουθούμενες από το λινάρι, τη γιούτα, το μετάξι κ.α. Η ίνα του βαμβακιού προέρχεται από τον σπόρο του ομώνυμου φυτού, η ίνα του μαλλιού από το μαλλί των προβάτων, το λινάρι και η γιούτα από τους κορμούς των αντίστοιχων φυτών και το μετάξι από τον μεταξοσκώληκα.

Κατά την παρασκευή νημάτων από βαμβάκι, που είναι η κυριότερη φυσική ίνα, ακολουθούνται τα εξής στάδια (η διαδικασία είναι παρόμοια και για το μαλλί και αρκετά παρόμοια για τις τεχνητές staple ίνες):

α. Ανοίγμα/Ανάμιξη/Καθαρισμός

Η πρώτη ύλη για τη νηματοποίηση φτάνει στα κλωστήρια υπό μορφή συμπιεσμένων δεμάτων από μπερδεμένες ίνες. Σκοπός του ανοίγματος είναι η διαδοχική μείωση των δεμάτων αυτών, μέχρι την εξατομίκευσή τους σε ξεχωριστές ίνες, επιτυγχάνοντας έτσι ομοιόμορφο κλιματισμό, που θεωρείται πολύ απαραίτητος για τις επόμενες επεξεργασίες. Η ανάμιξη έχει σκοπό την παραγωγή νημάτων με ορισμένες φυσικομηχανικές ιδιότητες και ορισμένη εμφάνιση. Με την ανάμιξη επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή των διαφορετικών ινών δίνοντας ένα ομοιογενές μίγμα για τις επόμενες φάσεις παραγωγής. Ο σκοπός του καθαρισμού συνίσταται στην απομάκρυνση ξένων υλών (φύλλα, κλαδάκια) που βρίσκονται μέσα στα δέματα. Μετά τα παραπάνω το υλικό συγκεντρώνεται και πιέζεται δημιουργώντας ένα ομοιόμορφο στρώμα το οποίο συσκευαζόταν παλιότερα σε ρολό (βάτα), ενώ σήμερα με αερομεταφορά τροφοδοτεί τα λανάρια.

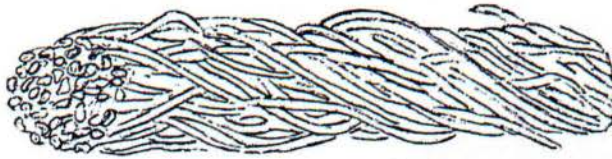
β. Λανάρισμα

Κατά το λανάρισμα, το ινώδες στρώμα της βάτας μετατρέπεται σε λεπτό πέπλο ινών και στη συνέχεια το πέπλο σε φυτίλι. Με την επεξεργασία του λαναρίσματος επιτυγχάνεται περαιτέρω άνοιγμα των ινών και καθαρισμός από ξένες ύλες, παραλληλισμός των ινών, ανάμιξη των ινών και δημιουργία του φυτιλιού. Το συνεχές στρώμα από τούφες ινών που τροφοδοτείται στη μηχανή λαναρίσματος (χάρτζι ή λανάρα) μετατρέπεται σε μικρές δέσμες ινών και τελικά σε μεμονωμένες ίνες. Η ευθυγράμμιση των ινών είναι απαραίτητη ώστε οι μεμονωμένες ίνες, κινούμενες η μία δίπλα στην άλλη, να έχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επαφή. Ο παραλληλισμός αυτός βοηθάει και στις επόμενες επεξεργασίες. Η μεγαλύτερη αλλαγή μεγέθους της βάτας, που προορίζεται για νήμα, συμβαίνει στο χάρτζι. Η αλλαγή αυτή καλείται ποσοστό τραβήγματος. Τράβηγμα, όπως θα δούμε, λαμβάνει χώρα και στα επόμενα στάδια.

γ. Χτένισμα

Η επεξεργασία του χτενίσματος παρεμβάλλεται μόνο όταν πρόκειται να παραχθούν νήματα βέλτιστης ποιότητας, που καλούνται πενιέ, αφού είναι αρκετά ακριβή (λόγω του μεγάλου ποσοστού φύρας). Σκοπός του χτενίσματος είναι η απομάκρυνση των κοντών ινών, ο παραλληλισμός των ινών και η παρασκευή νέων φυτιλιών αποτελούμενων από μακριές ίνες. Το χτένισμα βελτιώνει την

ομοιομορφία και την αντοχή των παραγόμενων νημάτων, δίνοντας δε και τη δυνατότητα να παραχθούν λεπτότερα νήματα χάρη στο μεγαλύτερο μέσο μήκος ινών των φυτιλιών. Η διαφορά ενός μη χτενισμένου (καρντέ) κι ενός χτενισμένου (πενιέ) νήματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Βαμβακερό καρντέ νήμα



Βαμβακερό πενιέ νήμα

4. Τράβηγμα/Αναδιπλασιασμός

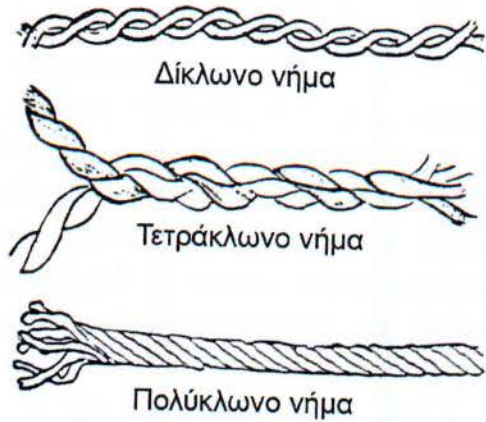
Αν και τράβηγμα πραγματοποιείται σε όλες σχεδόν τις φάσεις της κλωστοποίησης, αναφέρεται συγκεκριμένα στο στάδιο των συρτών. Οι σύρτες έχουν σκοπό τη βελτίωση της ομοιομορφίας του φυτιλιού, τον παραλληλισμό και την ανάμειξη των ινών, την απομάκρυνση σκόνης και την ελάττωση της μάζας ινών ανά μονάδα μήκους του υλικού, δηλαδή τη λέπτυνση ή τράβηγμα αυτού. Ο αναδιπλασιασμός αποτελεί μέρος της διαδικασίας του τραβήγματος και συμβάλλει στην ανάμειξη της πρώτης ύλης, αλλά και στη βελτίωση της ομοιομορφίας των φυτιλιών.

5. Πρόγνεση

Η πρόγνεση πραγματοποιείται στην προγνέστρια. Σκοπός της προγνέστριας είναι ουσιαστικά η μετατροπή του φυτιλιού σε πρόνημα κατάλληλο για κλωστοποίηση στην επόμενη φάση. Προκειμένου να συμβεί αυτό, το φυτίλι υποβάλλεται σε τράβηγμα ώστε να μειωθεί το πάχος του. Το μέγεθος του τραβήγματος εξαρτάται από την λεπτότητα του τελικού νήματος που επιθυμείται να παραχθεί. Στη συνέχεια προσδίδεται στο πρόνημα ένας μικρός αριθμός στρίψεων ώστε να αυξηθεί η αντοχή του. Το στριμμένο πλέον πρόνημα, κατά την έξοδο του από την προγνέστρια, τυλίγεται σε μπομπίνα ομοιόμορφα και με ακρίβεια για τον σχηματισμό της τελικής συσκευασίας που λέγεται κουβάρι.

6. Κλωστοποίηση

Η κλωστοποίηση πραγματοποιείται στην κλώστρια, και σκοπός της είναι η λέπτυνση του προνήματος στο απαιτούμενο πάχος και η εισαγωγή κατάλληλου αριθμού στρίψεων. Όπως κατά την πρόγνεση, έτσι και εδώ, πραγματοποιείται τράβηγμα του προνήματος για περαιτέρω λέπτυνση, πρόσδοση στρίψεων και περιτύλιξη σε κατάλληλη συσκευασία (μασούρι). Η στριμμένη δέσμη ινών που εξέρχεται από την κλώστρια, καλείται νήμα. Το νήμα αυτό μπορεί στη συνέχεια να συστραφεί με άλλα δίνοντας δίκλινα, τρίκλινα και πολύκλινα νήματα όπως φαίνεται στη δεξιά εικόνα.



Τα τελικά προϊόντα του κλωστηρίου είτε οδηγούνται για βαφή, είτε αποστέλλονται απευθείας για την παραγωγή υφασμάτων σε πλεκτήρια και υφαντήρια.

1.2 ΝΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΙΝΟΠΟΙΗΣΗ) ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι **συνθετικές ίνες** παράγονται από πολυμερή. Οι ουσίες αυτές είναι στερεές σε κανονική θερμοκρασία. Το πρώτο σημαντικό βήμα κατά την κατασκευή τεχνητών ινών είναι η αλλαγή φάσης του πολυμερούς από στερεή σε υγρή, είτε με τήξη, είτε με διάλυση σε κατάλληλο διαλύτη. Το υγρό πολυμερές μπορεί στη συνέχεια να διέλθει μέσω λεπτών οπών (φιλιέρα) και κατόπιν να αφηθεί να επανέλθει στην αρχική στερεή φάση του, διαμορφώνοντας έτσι τις ίνες. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι παρασκευής τεχνητών ινών είναι οι εξής:

1. Αν το πολυμερές τήκεται χωρίς να αποικοδομείται, τότε υποβάλλεται σε τήξη, εξωθείται μέσα από την φιλιέρα και στερεοποιείται με ψύξη. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως “**εξώθηση τήγματος**”.

2. Αν το πολυμερές διαλύεται σε έναν πτητικό διαλύτη, εξωθείται το διάλυμα πολυμερούς-διαλύτη από τη φιλιέρα και στη συνέχεια ο διαλύτης απομακρύνεται με εξάτμιση. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως “**εξώθηση με εξάτμιση διαλύτη**”.
3. Αν το πολυμερές διαλύεται σε έναν μη πτητικό διαλύτη, τότε το διάλυμα πολυμερούς-διαλύτη μπορεί να εξωθηθεί μέσα σε ένα άλλο υγρό, το οποίο δεν είναι διαλύτης του πολυμερούς. Συνήθως το υγρό αυτό είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα του διαλύτη. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως “**υγρή εξώθηση**”. Μια παραλλαγή της μεθόδου αυτής χρησιμοποιείται όταν το πολυμερές δεν είναι εύκολα διαλυτό, οπότε μετατρέπεται σε διαλυτό παράγωγο του και εξωθείται σε ένα λουτρό το οποίο συμπυκνώνει το παράγωγο του πολυμερούς, αναγεννώντας ταυτόχρονα το ίδιο το πολυμερές.

Παραδείγματα τεχνητών ινών είναι οι πολυαμιδικές (nylon), οι πολυεστερικές, οι ακρυλικές, η βισκόζη κ.α.



Νήμα συνεχών ινών χωρίς στρίψεις



Στριμμένο νήμα συνεχών ινών

Τα filaments που εξέρχονται από τις παραπάνω διαδικασίες τυλίγονται σε μπομπίνες και μπορούν στη συνέχεια είτε να συστραφούν με άλλα filaments είτε να τοποθετηθούν το ένα δίπλα στο άλλο χωρίς στρίψεις, δίνοντας

συνθετικά νήματα, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Μπορεί επίσης να γίνει ανάμειξη filament με φυσικές ίνες, είτε με κοπή του σε staple ίνες και ανάμειξη με τις φυσικές, είτε με την περιέλιξη φυσικών ινών γύρω από ένα filament, είτε με άλλους τρόπους.

2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Ο **ηλεκτρισμός** είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει και μελετά τα διάφορα ηλεκτρικά φαινόμενα, δηλαδή τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωμάτων εξαιτίας των ηλεκτροστατικών δυνάμεων που προκαλούνται από την ύπαρξη των ηλεκτρικών φορτίων.

Το **ηλεκτρικό φορτίο** είναι μια θεμελιώδης ιδιότητα των υποατομικών σωματιδίων (ηλεκτρόνια, πρωτόνια) να αλληλεπιδρούν δημιουργώντας ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ τους. Υπάρχουν δύο είδη φορτίων: το **θετικό** και το **αρνητικό**. Μέσα από πειράματα, παρατηρείται πως αντικείμενα με ίδιο φορτίο απωθούνται, ενώ αντικείμενα με αντίθετα φορτία έλκονται. Η δύναμη που δημιουργείται μεταξύ δύο σωματιδίων καλείται ηλεκτρικό πεδίο και η ένταση αυτής δίνεται από το νόμο του Coulomb:

$$|F| = k_C \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

Όπου:

q_1 = το ηλεκτρικό φορτίο που φέρει το σώμα 1

q_2 = το ηλεκτρικό φορτίο που φέρει το σώμα 2

r = Η απόσταση μεταξύ των δύο σωμάτων

$k_C = 1/4\pi\epsilon_0 \approx 8.988 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$ είναι η ηλεκτροστατική σταθερά

$\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ είναι η διαπερατότητα, επίσης καλούμενη ηλεκτρική σταθερά

2.1.1 Ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι μία ποσότητα που διατηρείται, δηλαδή σε οποιαδήποτε αλληλεπίδραση ο ολικός αριθμός των φορτίων πριν και μετά από αυτήν, διατηρείται σταθερός. Είναι επίσης μία ποσότητα που είναι **κβαντισμένη**, υπάρχει δηλαδή μόνο σε διακριτές οντότητες, ακέραια πολλαπλάσια του θεμελιώδους φορτίου του ηλεκτρονίου (e^-) για το αρνητικό φορτίο και του πρωτονίου για το θετικό.

Όταν λέμε ότι ένα σώμα είναι αρνητικά φορτισμένο εννοούμε ότι ο αριθμός των ηλεκτρονίων σε αυτό είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των πρωτονίων. Αντίστοιχα, σε ένα θετικά φορτισμένο σώμα ο αριθμός των ηλεκτρονίων του είναι μικρότερος από τον αριθμό των πρωτονίων. Τέλος, όταν λέμε ότι το σώμα είναι ουδέτερα φορτισμένο, εννοούμε ότι ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων.

Μονάδα μέτρησης του φορτίου στο S.I. είναι το Coulomb (Cb). Το ηλεκτρικό φορτίο του πρωτονίου είναι κατά απόλυτη τιμή ίσο με το αντίστοιχο του ηλεκτρονίου και ισούται με: $|e| = 1,6 * 10^{-19} \text{Cb}$

Κατά την περιγραφή της κατανομής του φορτίου σε μακροσκοπικά σώματα, η διακριτή φύση του φορτίου μπορεί να αγνοηθεί και είναι συνήθως αρκετό να θεωρήσουμε το φορτίο ως ένα συνεχές ρευστό με πυκνότητα φορτίου (Cb/m^3) που μεταβάλλεται ομαλά συναρτήσει της θέσης. Ο χώρος που περιβάλλει ένα ηλεκτρικό φορτίο, ή η παρουσία ενός χρονικά μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου, δημιουργούν **ηλεκτρικό πεδίο**. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί μια δύναμη επάνω σε άλλα ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα

2.1.2 Διαφορά δυναμικού

Ηλεκτρικό δυναμικό σημείου εντός ηλεκτρικού πεδίου, είναι το έργο που παράγεται ανά μονάδα ηλεκτρικού φορτίου, κατά την μετακίνηση ηλεκτρικού φορτίου, από το σημείο αυτό ως το άπειρο.

Ηλεκτρική Τάση ή **διαφορά δυναμικού** μεταξύ δυο σημείων, είναι η διαφορά των δυναμικών τους. Αποδεικνύεται ότι ισούται με το έργο που παράγεται όταν μοναδιαίο ηλεκτρικό φορτίο, μετακινηθεί από το ένα σημείο στο άλλο. Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης (V) στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το Volt.

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

Όταν ηλεκτρικά φορτία κινούνται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, μέσα σε κάποιο υλικό, παράγεται **ηλεκτρικό ρεύμα**. Η αιτία της κίνησης των φορτίων μέσα στο υλικό είναι η διαφορά δυναμικού.

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαχωρίζεται σε **συνεχές** ή **εναλλασσόμενο**. Συνεχές είναι το ρεύμα που αναπτύσσεται σε έναν αγωγό όταν στα άκρα του έχει εφαρμοστεί μία συνεχής τάση. Αντίστοιχα, εναλλασσόμενο ρεύμα αναπτύσσεται σε αγωγό στον οποίο έχει εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση.

2.1.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Το φυσικό μέγεθος που εκφράζει την ευκολία με την οποία ένα υλικό επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων στο εσωτερικό του, ονομάζεται ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αναλόγως με την τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας, ένα υλικό χαρακτηρίζεται ως αγωγός, μονωτής ή ημιαγωγός.

Αγωγός είναι κάθε υλικό το οποίο επιτρέπει στα ηλεκτρικά φορτία να κινούνται ελεύθερα μέσα του. Μερικοί αγωγοί του ηλεκτρισμού είναι τα μέταλλα, το ανθρώπινο σώμα και η γη.

Μονωτής (ή διηλεκτρικό) είναι κάθε υλικό το οποίο δεν επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση του ηλεκτρικού φορτίου μέσα στο σώμα του αλλά το απομονώνει σε μια περιοχή του. Τέτοια υλικά είναι τα πλαστικά, το γυαλί και ο εβονίτης.

Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που επιτρέπει την κίνηση του ηλεκτρικού φορτίου μέσα του με κάποιες προϋποθέσεις, όπως αύξηση της θερμοκρασίας ή πρόσπτωση φωτός. Τέτοια υλικά είναι το γερμάνιο και το πυρίτιο.

Η **ηλεκτρική αγωγιμότητα** εξαρτάται γενικά από την **ειδική αγωγιμότητα** του υλικού και τη γεωμετρία του αντικείμενου.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας σύμφωνα με το Διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το Siemens. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται αριθμητικά εάν διαιρεθεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα αντικείμενο (σε amperes) με την διαφορά δυναμικού/τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του (σε volts). Πρόκειται δηλαδή για ένα μέγεθος αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης. Ο αντίστοιχος τύπος είναι:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

G: Η αγωγιμότητα που εμφανίζει το αντικείμενο (σε Siemens)

R: Η αντίσταση που εμφανίζει το αντικείμενο (σε ohms)

V: Η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του αντικείμενου (σε volts)

I: Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το αντικείμενο (σε amperes)

2.2 ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Μαγνητισμός χαρακτηρίζεται το φαινόμενο στο οποίο υλικά, λεγόμενα μαγνήτες, ασκούν ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις σε άλλα υλικά, οφειλόμενες στην κίνηση ηλεκτρικών φορτίων. Η ιδιότητα αυτή των μαγνητών αποδίδεται στη συσσώρευση της λεγόμενης μαγνητικής μάζας στους πόλους τους. Κάποια γνωστά υλικά που παρουσιάζουν εύκολα ανιχνεύσιμες μαγνητικές ιδιότητες είναι το νικέλιο, ο σίδηρος, μερικά είδη ατσαλιού και το ορυκτό μαγνητίτης, αν και όλα τα υλικά επηρεάζονται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό από την παρουσία ενός μαγνητικού πεδίου.

Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται γενικά ο χώρος μέσα στον οποίο παρατηρούνται μαγνητικές δυνάμεις. Το μαγνητικό πεδίο περιβάλλει τον μαγνήτη και χαρακτηρίζεται ασθενές ή ισχυρό, και ομοιόμορφο ή ανομοιόμορφο, αναλόγως αν οι μαγνητικές γραμμές του είναι παράλληλες ή όχι.

Μαγνητισμός παρουσιάζεται εκεί που υπάρχουν ηλεκτρικά φορτία σε κίνηση. Αυτό μπορεί να προκύψει είτε από κίνηση ηλεκτρονίων σε ηλεκτρικό ρεύμα, έχοντας ως αποτέλεσμα τον **ηλεκτρομαγνητισμό** ή κατά την περιστροφή των ηλεκτρονίων στο άτομο, έχοντας ως αποτέλεσμα τους λεγόμενους μόνιμους μαγνήτες.

2.3 ΚΥΜΑΤΑ

2.3.1 ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Περιοδικά φαινόμενα ονομάζονται τα φαινόμενα που εξελίσσονται και επαναλαμβάνονται αναλλοίωτα σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Τέτοια φαινόμενα είναι η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο, το άναμμα και σβήσιμο του φάρου, η κίνηση του εκκρεμούς κτλ.

Κάθε περιοδικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την **περίοδό** του (T), το χρόνο δηλαδή που απαιτείται για να ολοκληρωθεί. Αν σε χρόνο t γίνονται N επαναλήψεις του φαινομένου, η περίοδός του ισούται με το πηλίκο $T = t/N$

Το αντίστροφο πηλίκο, του αριθμού επαναλήψεων προς τον αντίστοιχο χρόνο, καλείται **συχνότητα** (f) του περιοδικού φαινομένου.

2.3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Αν προκληθεί μια διαταραχή σε ένα υλικό που ηρεμεί (ισορροπεί), τα μόριά του, στην περιοχή όπου προκλήθηκε η διαταραχή, μετατοπίζονται από τις θέσεις ισορροπίας τους. Επειδή όμως τα μόρια αυτά αλληλεπιδρούν με τα γειτονικά τους, δέχονται δυνάμεις που τείνουν να τα επαναφέρουν στις αρχικές τους θέσεις, ενώ στα διπλανά τους ασκούνται δυνάμεις που τείνουν να τα εκτρέψουν από τη θέση ισορροπίας. Έτσι η διαταραχή διαδίδεται από τη μια περιοχή του υλικού στην άλλη και όλα τα σημεία του υλικού εκτελούν διαδοχικά την ίδια κίνηση. Η διάδοση αυτής της διαταραχής στο χώρο ονομάζεται **κύμα**.

Για τη δημιουργία ενός κύματος χρειάζεται η **πηγή της διαταραχής** ή **πηγή του κύματος**, δηλαδή η αιτία που θα προκαλέσει τη διαταραχή και ένα υλικό στο οποίο κάθε μόριο αλληλεπιδρά με τα γειτονικά του (**ελαστικό μέσο**).

Τα κύματα που διαδίδονται σε ένα ελαστικό μέσο ονομάζονται **μηχανικά κύματα**. Τα κύματα της θάλασσας, η διάδοση των δονήσεων κατά μήκος ενός στερεού και ο ήχος είναι μερικά παραδείγματα μηχανικών κυμάτων. Κατά τη διάδοση ενός κύματος μεταφέρεται ενέργεια και ορμή από το ένα σημείο του μέσου στο άλλο, όχι όμως ύλη.

Αν σε χρόνο t μια διαταραχή διαδίδεται σε απόσταση x από την πηγή παραγωγής της, το πηλίκο $u = x/t$

δίνει την **ταχύτητα διάδοσης του κύματος**.

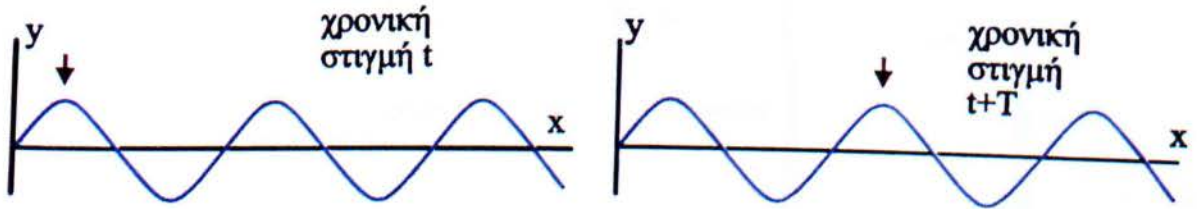
Με κριτήριο τη διεύθυνση στην οποία κινούνται τα σημεία του ελαστικού μέσου, τα κύματα διακρίνονται σε **εγκάρσια** και **διαμήκη**. Εγκάρσια ονομάζονται τα κύματα στα οποία όλα τα σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τέτοια κύματα διαδίδονται στα στερεά. Διαμήκη ονομάζονται τα κύματα στα οποία τα σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τέτοια κύματα διαδίδονται τόσο στα στερεά όσο και στα υγρά και αέρια.

Η **περίοδος (T)** του κύματος είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο ένα σωματίδιο του μέσου ολοκληρώνει την κίνησή του.

Η **συχνότητα (f)** με την οποία ταλαντώνονται τα σημεία του μέσου ονομάζεται και συχνότητα του κύματος.

Η απόσταση στην οποία διαδίδεται το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου καλείται **μήκος κύματος** και συμβολίζεται με λ .

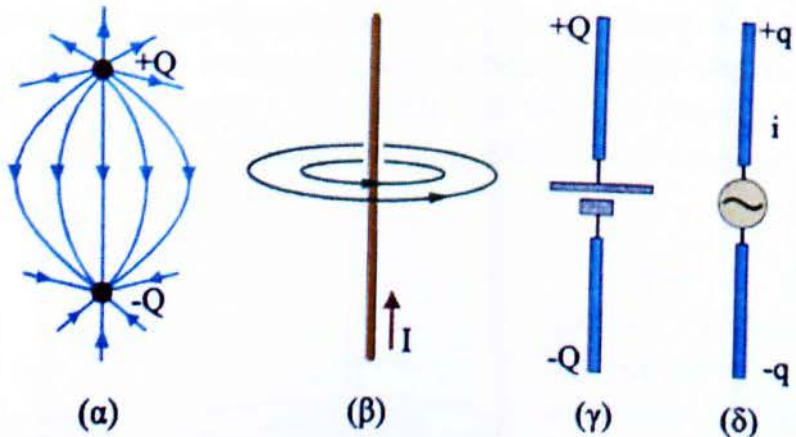
Παρακάτω απεικονίζονται δυο στιγμιότυπα ενός εγκάρσιου κύματος, κατά τις χρονικές στιγμές t και $t+T$.



2.3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

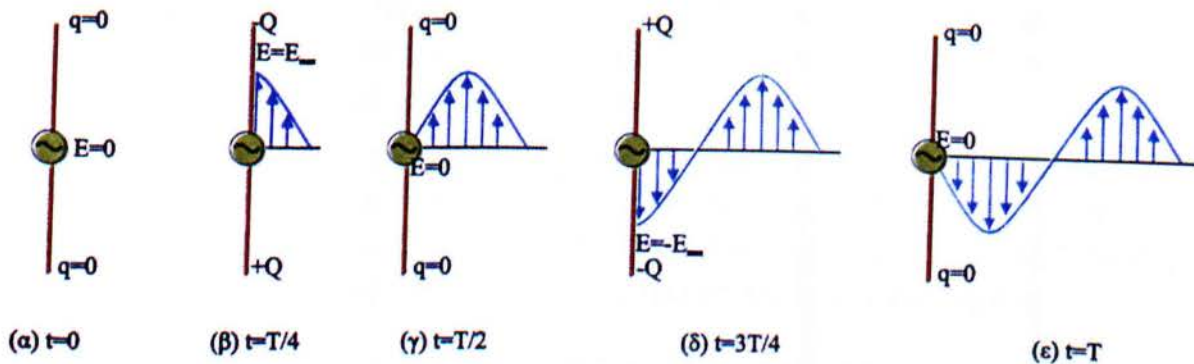
Σύμφωνα με τα παραπάνω, ένα σύστημα δύο φορτίων $+Q$ και $-Q$ (α) δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο και ένας αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο (β).

Αν δυο μεταλλικοί αγωγοί συνδεθούν στους πόλους μιας πηγής συνεχούς τάσης, φορτίζονται με φορτία $+Q$ και $-Q$, αντίστοιχα (γ). Αν οι ίδιοι αγωγοί συνδεθούν με

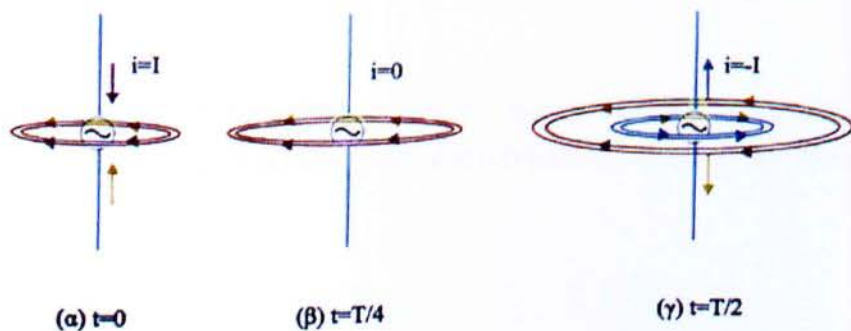


γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης (δ), αποκτούν ετερόσημα φορτία, $+q$ και $-q$, που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με το χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οι αγωγοί διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Το σύστημα αυτών των αγωγών ονομάζεται **ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο**.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρομαγνητικού κύματος από ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο:



Τη χρονική στιγμή μηδέν, οι αγωγοί είναι αφόρτιστοι (α). Καθώς η εναλλασσόμενη τάση μεταβάλλεται, στον επάνω αγωγό εμφανίζεται αρνητικό φορτίο $-Q$, ενώ στον κάτω, θετικό φορτίο $+Q$, με αποτέλεσμα να δημιουργείται γύρω από αυτούς ηλεκτρικό πεδίο. Τη χρονική στιγμή $t=T/4$ (β) τα φορτία στους αγωγούς έχουν πάρει τη μέγιστη τιμή. Από τη στιγμή αυτή, τα φορτία στους αγωγούς μειώνονται. Αυτό συνεπάγεται μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργούν. Ένα τέταρτο της περιόδου αργότερα (γ), τα φορτία έχουν μηδενιστεί. Στο μεταξύ το ηλεκτρικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί μέχρι τότε, απομακρύνεται από τους αγωγούς με ταχύτητα c . Στη συνέχεια, καθώς η πολικότητα της πηγής αλλάζει, στον επάνω αγωγό εμφανίζεται θετικό φορτίο και στον κάτω αρνητικό. Τα φορτία παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους τη στιγμή $3T/4$ (δ), και μηδενίζονται τη στιγμή T (ε). Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται συνεχώς.



Στο ίδιο χρονικό διάστημα δημιουργείται και μαγνητικό πεδίο διότι οι αγωγοί διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ένταση του ρεύματος (επομένως και το

μαγνητικό πεδίο) έχει τη μέγιστη τιμή τη χρονική στιγμή μηδέν (α). Το ρεύμα μηδενίζεται τη στιγμή $T/4$ (β). Εν τω μεταξύ το μαγνητικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί απλώνεται στο χώρο. Τη στιγμή $T/2$ οι αγωγοί διαρρέονται πάλι από ρεύμα (γ), μέγιστης έντασης. Αυτή τη φορά όμως, η φορά του ρεύματος, και κατ' επέκταση των γραμμών του μαγνητικού πεδίου, είναι αντίθετη από την

αρχική. Γύρω από τους αγωγούς έχει δημιουργηθεί εκ νέου μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο γύρω από τους αγωγούς μεταβάλλεται με τη συχνότητα με την οποία μεταβάλλεται το ρεύμα στους αγωγούς.

Καθώς λοιπόν τα ηλεκτρικά φορτία ταλαντώνονται, το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο που συνεχώς δημιουργούν απομακρύνονται από το δίπολο (διαδίδονται) με την ταχύτητα του φωτός (c). Οι διαταραχές αυτές του δίπολου, που διαδίδονται στο περιβάλλον, καλούνται **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**.

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα, συνεπώς, είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Σε όλα τα άλλα υλικά διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα.

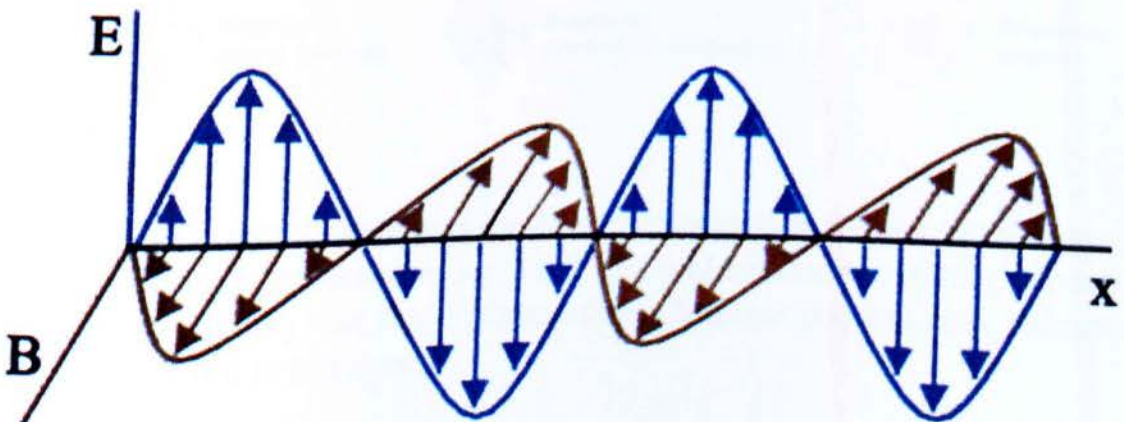
Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο. Τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Κάθε στιγμή το πηλίκο των μέτρων των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου ισούται με την ταχύτητα του φωτός

$$E/B = c$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Η αιτία δημιουργίας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Οι κεραιές των ραδιοφωνικών ή τηλεοπτικών σταθμών είναι ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Κατά την ταλάντωση του φορτίου στην κεραιά παράγεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το ρεύμα στην κεραιά γίνεται μέγιστο όταν τα φορτία στα άκρα της μηδενίζονται, ενώ όταν τα φορτία έχουν μέγιστη τιμή, το ρεύμα μηδενίζεται.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το στιγμιότυπο ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος, διαδιδόμενου κατά τη διεύθυνση x :



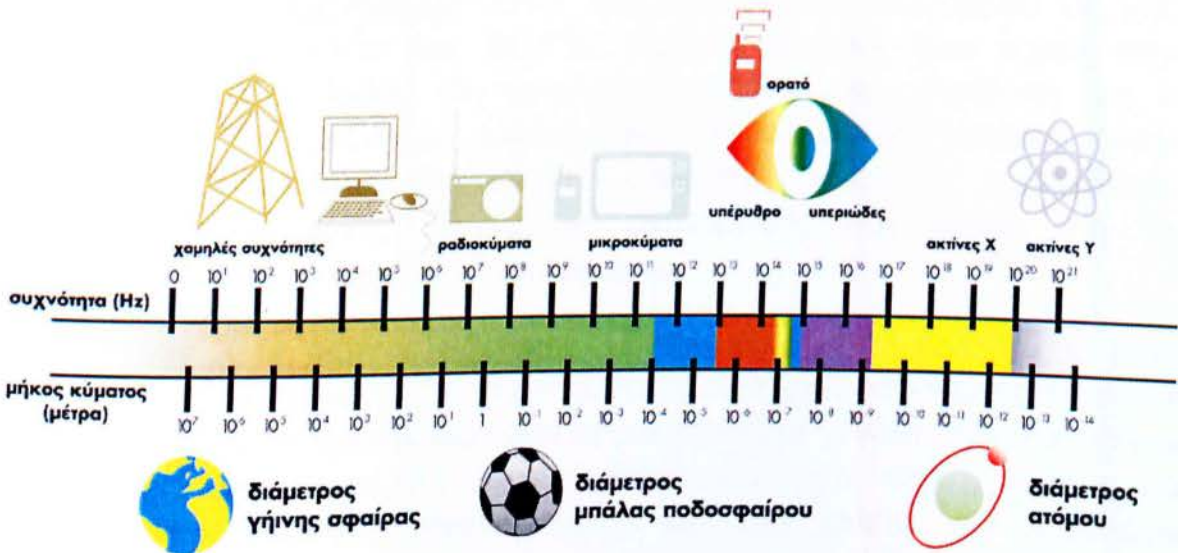
2.3.4 ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.3.4.1 Απορρόφηση ενέργειας

Ο όρος **απορρόφηση ενέργειας** χρησιμοποιείται στην περίπτωση απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ένα σώμα. Αναφέρεται στη διαδικασία μετάδοσης της ενέργειας ενός φωτονίου σε ένα άλλο σωματίδιο, για παράδειγμα το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου. Με τον τρόπο αυτό, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, για παράδειγμα σε θερμότητα. Συνήθως, η απορρόφηση των κυμάτων δεν εξαρτάται από την έντασή τους.

2.3.4.2 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν παράγονται μόνο από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Σήμερα είναι γνωστό πως συνδέονται με ένα πλήθος φυσικών φαινομένων όπως είναι η αποδιέγερση των ατόμων, οι πυρηνικές διασπάσεις κ.α. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα μηκών κύματος και συχνοτήτων. Η έκταση του φάσματος αυτού παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κατά σειρά ελαττούμενου μήκους κύματος, λαμβανομένου υπόψη πως δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός του κάθε τμήματος του φάσματος από τα υπόλοιπα.

α. Ραδιοκύματα. Είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από 10^5m έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρικά κυκλώματα και χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία και την τηλεόραση.

β. Μικροκύματα. Καλύπτουν την περιοχή από 30cm έως 1mm περίπου. Παράγονται από ηλεκτρικά κυκλώματα. Οι φούρνοι μικροκυμάτων λειτουργούν με κύματα αυτής της περιοχής. Μικροκύματα χρησιμοποιούν και τα ραντάρ.

γ. Υπέρυθρα κύματα. Το μήκος κύματός τους εκτείνεται από 1mm έως $7 \times 10^{-7}\text{m}$ περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα σώμα αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων που το αποτελούν, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του.

δ. Το ορατό φως. Είναι το μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται από 400nm έως 700nm (δηλαδή $400 \times 10^{-9}\text{m}$ έως $700 \times 10^{-9}\text{m}$). Το ορατό φως παράγεται από την ανακατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα και τα μόρια. Κάθε υποπεριοχή του ορατού φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση κάποιου συγκεκριμένου χρώματος.

ε. Υπεριώδης ακτινοβολία. Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από $3,8 \times 10^{-7}\text{m}$ έως $6 \times 10^{-8}\text{m}$ περίπου. Ο ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι υπεύθυνες για το «μαύρισμα» όταν κάνουμε ηλιοθεραπεία, το καλοκαίρι. Μεγάλες δόσεις υπεριώδους ακτινοβολίας βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη, απορροφάται από το όζον της στρατόσφαιρας.

στ. Ακτίνες Χ (ή ακτίνες Röntgen). Η ακτινοβολία αυτή καλύπτει τα μήκη κύματος από 10^{-8}m έως 10^{-13}m περίπου. Η πιο κοινή αιτία παραγωγής ακτινών Χ είναι η επιβράδυνση ηλεκτρονίων που προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σε έναν μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται στην ιατρική, κυρίως για διαγνωστικούς σκοπούς (ακτινογραφίες) και στη μελέτη των διαφόρων κρυσταλλικών δομών. Οι ακτίνες Χ είναι ικανές να προκαλέσουν βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση σε αυτές χωρίς σοβαρό λόγο.

ζ. Ακτίνες γ. Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες καθώς και σε αντιδράσεις πυρήνων και στοιχειωδών σωματιδίων ή ακόμα και κατά τη διάσπαση στοιχειωδών

σωματιδίων. Τα μήκη κύματός τους κυμαίνονται μεταξύ 10^{-10}m και 10^{-14}m . Είναι πολύ διεισδυτικές και βλάπτουν τους οργανισμούς που τις απορροφούν.

2.4 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ - ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ

2.4.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Η εποχή μας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί «εποχή της πληροφορίας». Μεγάλος αριθμός πληροφοριών μεταφέρονται από **πομπούς** σε **δέκτες**, μέσω καλωδίων χαλκού, οπτικών ινών ή -στην ασύρματη τηλεπικοινωνία- μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Σε κάθε μορφή τηλεπικοινωνίας, η προς μετάδοση πληροφορία -ήχος ή εικόνα- μετατρέπεται με το κατάλληλο μέσω σε ηλεκτρικό ρεύμα (σήμα). Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα στην κεραία του πομπού και, κινούμενο με την ταχύτητα του φωτός, φτάνει στην κεραία του δέκτη για να μετατραπεί και πάλι σε ρεύμα και στη συνέχεια σε ήχο ή εικόνα με μια αντίστροφη διαδικασία.

2.4.2 ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Για να γίνει αντιληπτός ο βαθμός κινδύνου πρέπει να γίνει πρώτα απ' όλα κατανοητό ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την **ιονίζουσα** και την **μη ιονίζουσα** ακτινοβολία.

Η **ιονίζουσα** ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από μικρό μήκος κύματος, ψηλή συχνότητα και μεγάλη ενέργεια. Η ιονίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει τις ακτίνες Χ (χρησιμοποιούνται στις ακτινογραφίες, στον αξονικό τομογράφο και αλλού), τις ακτίνες γάμμα, την κοσμική ακτινοβολία και την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Όταν κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού εκτίθενται σε αυτήν, προκαλεί ιονισμό του δεσοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA). Οι ιονισμός είναι επικίνδυνος, οδηγεί σε αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα και είναι αιτία καρκίνου.

Η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλιακού φωτός, εξαιτίας του ιονισμού, μπορεί να προκαλεί αλλοιώσεις στα γονίδια των κυττάρων του δέρματος, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο για διάφορες μορφές καρκίνου του δέρματος. Είναι

για αυτό το λόγο που οι γιατροί εδώ και αρκετές δεκαετίες συστήνουν την αποφυγή της αχρείαστης έκθεσης στο ηλιακό φως.

Η **μη ιονίζουσα** ακτινοβολία είναι αυτή που χρησιμοποιείται για τις εφαρμογές της σύγχρονης τεχνολογίας. Περιλαμβάνει το ορατό φως, την υπέρυθρο ακτινοβολία, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα και τα πολύ χαμηλής συχνότητας πεδία που δημιουργούνται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια και τις συσκευές που λειτουργούν με ηλεκτρισμό.

Η κυριότερη βιολογική της επίδραση, είναι η αύξηση της θερμότητας των ιστών (μικροκύματα) οι οποίοι υποβάλλονται σε αυτή κάτω από ορισμένες συνθήκες. Δεν προκαλεί ιονισμό και οι έρευνες μέχρι σήμερα δεν έχουν τεκμηριώσει μια αιτιολογική σχέση μεταξύ του τύπου αυτού της ακτινοβολίας και του καρκίνου.

2.4.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

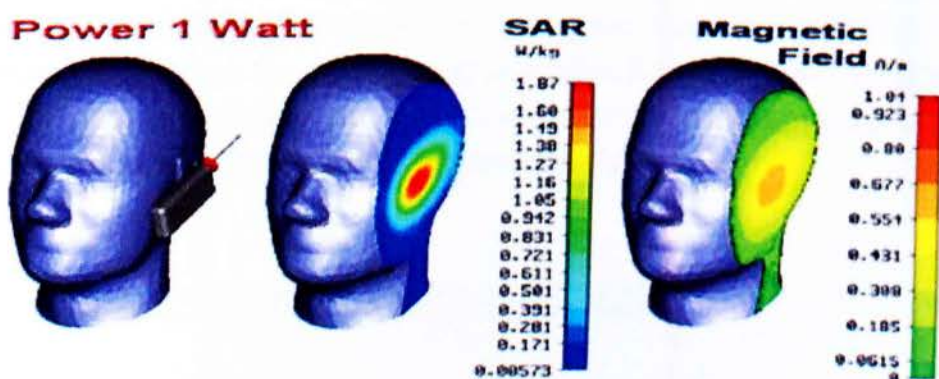
Η **ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων (ΡΣ)** είναι μια εναλλακτική ονομασία για τα ραδιοκύματα. Αποτελεί μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που περιλαμβάνει κύματα με συχνότητα από περίπου 3000 κύματα ανά δευτερόλεπτο (3 kHz) μέχρι 300 δισεκατομμύρια κύματα ανά δευτερόλεπτο (300 GHz). Τα μικροκύματα αποτελούν ένα υποσύνολο των ραδιοκυμάτων με συχνότητες που κυμαίνονται περίπου μεταξύ των 300 εκατομμυρίων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο (300 MHz) και των τριών δισεκατομμυρίων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο (3 GHz). Το μήκος κύματος των ραδιοκυμάτων ποικίλει μεταξύ των τιμών 1mm και 10km.

Τα ραδιοκύματα δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων στις κεραίες και αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ΡΣ, γιατί «ακτινοβολούνται» ταξιδεύοντας στο χώρο απομακρυνόμενα από την πηγή τους (κεραία). Όπως προαναφέρθηκε, τα ραδιοκύματα ανήκουν στην κατηγορία των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών, λόγω της αδυναμίας τους να διασπάσουν χημικούς δεσμούς ή να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άτομα, προκαλώντας ιοντισμό της ύλης.

Τα κύματα και τα πεδία ΡΣ διαθέτουν ηλεκτρικές και μαγνητικές συνιστώσες. Η ένταση του πεδίου ΡΣ εκφράζεται συνήθως με βάση την ένταση και των δύο συνιστωσών. Η μονάδα "Volts ανά μέτρο" (V/m) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και η μονάδα "Amperes ανά μέτρο" (A/m) χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση του μαγνητικού πεδίου.

Ένας άλλος συνήθης τρόπος για το χαρακτηρισμό ενός πεδίου ΡΣ είναι μέσω της πυκνότητας ισχύος. Η πυκνότητα ισχύος ορίζεται ως η ισχύς του κύματος που προσπίπτει στη μονάδα επιφάνειας και μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες Watts ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2), milliwatts (1χιλιοστό του Watt) ανά τετραγωνικό εκατοστό (mW/cm^2) ή microwatts (1 εκατομμυριοστό του Watt) ανά τετραγωνικό εκατοστό ($\mu W/cm^2$).

Όταν το ανθρώπινο σώμα εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μια ποσότητα ενέργειας από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία απορροφάται από αυτό. Ο **Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης** ενέργειας (Specific Absorption Rate **SAR**), εκφράζει την απορροφούμενη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και μάζας στα διάφορα μέλη του σώματος και εκφράζεται συνήθως σε εκφράζεται σε Watts ανά χιλιόγραμμο (W/kg) ή milliwatts ανά γραμμάριο (mW/g). Υπάρχει ο μέσος ολόσωμος SAR, που εκφράζει τη μέση τιμή της απορροφούμενης ενέργειας από όλο το σώμα, και ο τοπικός SAR που αναφέρεται στην τοπική απορρόφηση σε μια περιοχή του σώματος. Στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων το μέγεθος που μας ενδιαφέρει είναι ο τοπικός SAR στην περιοχή του κεφαλιού, ενώ στην περίπτωση των σταθμών βάσης ο μέσος ολόσωμος SAR.



Ηλεκτρικά ρεύματα υπάρχουν φυσικά και μέσα στο ανθρώπινο σώμα και είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές σωματικές λειτουργίες. Όλες οι δομές του νευρικού συστήματος λειτουργούν μεταδίδοντας παλμικά ηλεκτρικά σήματα. Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις, από εκείνες που σχετίζονται με την πέψη μέχρι εκείνες που σχετίζονται με την εγκεφαλική λειτουργία, περιλαμβάνουν ηλεκτρικές διεργασίες.

Τα βιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης του ανθρώπινου σώματος και των κυττάρων του σε εξωτερικά πεδία ΡΣ εξαρτώνται κυρίως από τη συχνότητα και την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Στις ραδιοσυχνότητες, η ακτινοβολία απορροφάται μερικώς και διεισδύει σε μικρό μόνο βάθος μέσα στο σώμα. Η ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων αυτών απορροφάται και προκαλεί την

κίνηση των μορίων. Η τριβή και οι κρούσεις μεταξύ των ταχέως κινουμένων μορίων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Δύο περιοχές του σώματος, τα μάτια και οι όρχεις, είναι ιδιαίτερος ευπαθείς στη θέρμανση ΡΣ διότι χαρακτηρίζονται από χαμηλή αιματική κυκλοφορία και, συνεπώς, ανεπαρκή απαγωγή της αυξημένης θερμότητας.

Τα επίπεδα έντασης των πεδίων ΡΣ στα οποία συνήθως εκτίθεται το κοινό στο καθημερινό περιβάλλον του είναι πολύ ασθενέστερα σε σχέση με αυτά που απαιτούνται για να προκληθεί αξιοσημείωτη τοπική θέρμανση ή αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος.

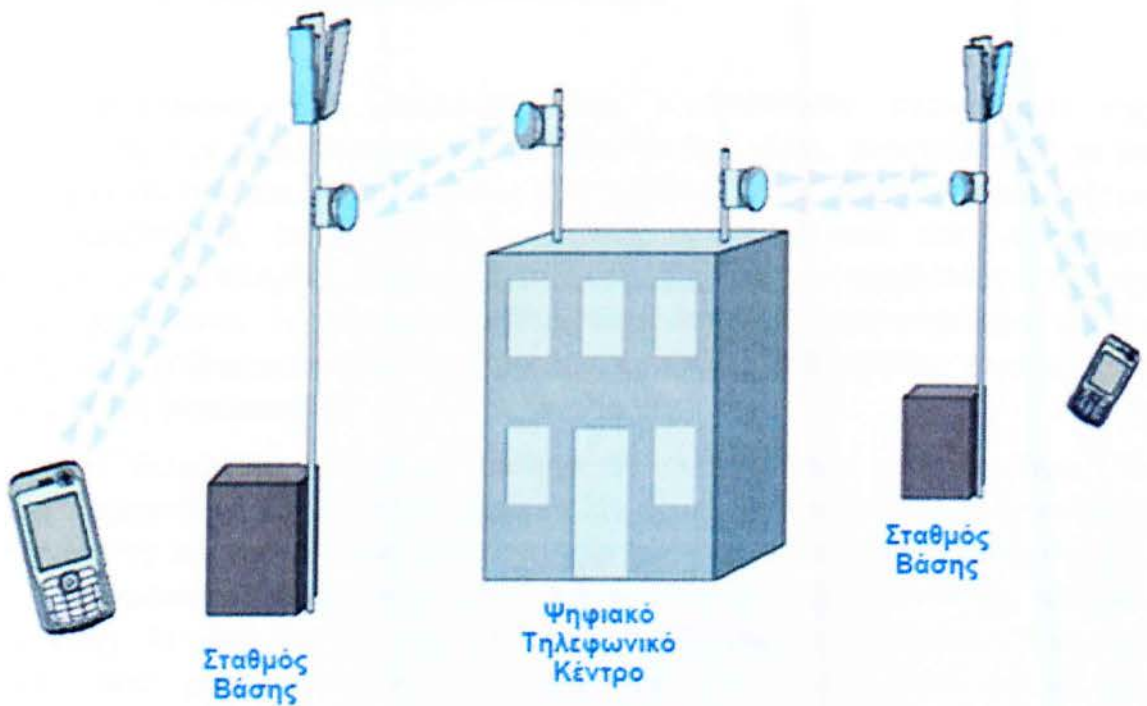
Εκτός, όμως, από τα γνωστά θερμικά αποτελέσματα, υπάρχει σήμερα αυξημένο ενδιαφέρον για τη μελέτη ύπαρξης και άλλων μη θερμικών μηχανισμών αλληλεπίδρασης των ραδιοκυμάτων με τους βιολογικούς ιστούς. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι τα ραδιοκύματα, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, μπορούν να προκαλέσουν μη θερμικές βιολογικές επιδράσεις σε καλλιέργειες κυττάρων ή πειραματόζωα, χωρίς, ωστόσο, αυτές οι επιδράσεις να σχετίζονται άμεσα με την πρόκληση κάποιας βλάβης στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, σε μερικές από τις μελέτες αυτές, τα αποτελέσματα εμφανίζονται αντιφατικά, ενώ σε κάποιες άλλες δεν έγινε δυνατό να επαναληφθούν. Είναι φανερό ότι υπάρχει αβεβαιότητα και ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των μηχανισμών που σχετίζονται με μη-θερμικά φαινόμενα και τη συσχέτισή τους με επιβλαβείς βιολογικές επιδράσεις και πιθανά αποτελέσματα στην υγεία. Η έρευνα σε παγκόσμιο επίπεδο συνεχίζεται υπό το συντονισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.

2.4.4 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

Τα κινητά τηλέφωνα είναι χαμηλής ισχύος πομποδέκτες ραδιοκυμάτων, οι οποίοι με τη βοήθεια κατάλληλης ενσωματωμένης κεραίας και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μετατρέπουν τη φωνή και τα ψηφιακά δεδομένα σε ραδιοκύματα και το αντίστροφο. Για την αποστολή αυτών των ραδιοκυμάτων από και προς το κινητό τηλέφωνο, χρησιμοποιούνται οι σταθμοί βάσης κινητών επικοινωνιών που αποτελούνται από κεραίες και ηλεκτρονικό εξοπλισμό.

Όταν κάποιος καλεί από το κινητό του τηλέφωνο, αυτό εκπέμπει ραδιοκύματα που διαδίδονται στον αέρα μέχρι να συναντήσουν κάποιο δέκτη στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Όταν ο σταθμός βάσης λάβει τα ραδιοκύματα που προέρχονται από το κινητό τηλέφωνο, επεξεργάζεται το σήμα και στη συνέχεια το στέλνει στο κοντινότερο ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο. Από εκεί, το σήμα αποστέλλεται στο σταθμό βάσης που βρίσκεται πλησιέστερα στον

καλούμενο χρήστη. Στη συνέχεια, ο σταθμός βάσης αποστέλλει ραδιοκύματα που λαμβάνονται από το δέκτη (κινητό τηλέφωνο) του καλούμενου χρήστη, όπου τα ραδιοκύματα μετατρέπονται ξανά σε ήχο (φωνή).



Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του κινητού τηλεφώνου

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των κινητών τηλεφώνων είναι ότι δεν εκπέμπουν με σταθερή ισχύ. Η μέγιστη ισχύς για μία συσκευή GSM είναι 2W. Όμως η ισχύς αυτή μπορεί να μειωθεί σε 15 διακριτά βήματα (μείωση κατά 1.6 φορές σε κάθε βήμα) και να φθάσει στο ένα χιλιοστό της μέγιστης ισχύος που είναι τα 2 mW περίπου. Αναλογικά προς την ισχύ εκπομπής της συσκευής μειώνεται και η τιμή του SAR που δημιουργεί η συσκευή στο κεφάλι του χρήστη. Η ισχύς που εκπέμπει μία συσκευή επιλέγεται από αυτήν, ανεξάρτητα από το χρήστη, αναλόγως της ποιότητας της ραδιοεπικοινωνίας της συσκευής με το σταθμό βάσης. Όσο καλύτερη είναι η ραδιοεπικοινωνία τόσο μικρότερη είναι η ισχύς εκπομπής της συσκευής. Η ποιότητα της ραδιοεπικοινωνίας εμφανίζεται στη συσκευή συνήθως ως ένταση του λαμβανόμενου σήματος. Όσο μεγαλύτερη

είναι η ένταση του σήματος, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της ραδιοεπικοινωνίας και επομένως το κινητό λειτουργεί στην περιοχή χαμηλής ισχύος εκπομπής.

2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ

Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση είναι η διαδικασία περιορισμού της διείσδυσης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σε ένα χώρο, αναστέλλοντας τα με ένα φράγμα που έχει κατασκευαστεί από αγώγιμο υλικό. Συνήθως εφαρμόζεται σε περιβλήματα, διαχωρίζοντας ηλεκτρικές συσκευές από τον «εξωτερικό κόσμο», και σε καλώδια, διαχωρίζοντας τα σύρματα από το περιβάλλον μέσα στο οποίο βρίσκονται. Η ηλεκτρομαγνητική θωράκιση που χρησιμοποιείται για τη δέσμευση ραδιοσυχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι επίσης γνωστή ως θωράκιση RF.

Η θωράκιση μπορεί να μειώσει τη σύζευξη των ραδιοκυμάτων, τα ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτροστατικά πεδία, όχι όμως και τα στατικά ή χαμηλής συχνότητας μαγνητικά πεδία (ένα αγώγιμο περίβλημα που χρησιμοποιείται για την παρεμπόδιση ηλεκτροστατικών πεδίων είναι επίσης γνωστό ως κλωβός Faraday). Το ποσό της μείωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το υλικό που χρησιμοποιείται, το πάχος του, το μέγεθος του όγκου και προστατεύεται, τη συχνότητα των τομέων ενδιαφέροντος κ.α.

Τυπικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτρομαγνητική θωράκιση περιλαμβάνουν τη λαμαρίνα, τον μεταλλικό αφρό, και το πλάσμα (ιονισμένο αέριο). Τυχόν τρύπες στην ασπίδα πρέπει να είναι σημαντικά μικρότερες από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που επιθυμείται να παρεμποδιστεί, αλλιώς το περίβλημα δεν θα προσεγγίσει την αποτελεσματικότητα ενός από συνεχή αγώγιμη επιφάνεια.

2.5.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ RF ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από συνδυασμό ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στους φορείς φορτίων (π.χ., ηλεκτρόνια) εντός του αγωγού. Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια ενός ιδανικού αγωγού, εμφανίζεται ηλεκτρικό ρεύμα που προκαλεί την μετακίνηση του ηλεκτρικού φορτίου μέσα στον αγωγό μέχρι να εξουδετερωθεί το πεδίο στο εσωτερικό του, οπότε και σταματάει το ρεύμα.

Ομοίως, τα μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία παράγουν δινορρέυματα που τείνουν να εξουδετερώσουν το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. (Ο αγωγός δεν αποκρίνεται στα στατικά μαγνητικά πεδία εκτός αν κινείται σε σχέση με αυτά.) Το αποτέλεσμα είναι ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανακλάται από την επιφάνεια του αγωγού: τα εσωτερικά πεδία μένουν στο εσωτερικό και τα εξωτερικά παραμένουν έξω.

Διάφοροι παράγοντες τείνουν να περιορίσουν την ικανότητα θωράκισης των RF-θωρακίσεων. Ένας από αυτούς είναι ότι, λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης του αγωγού, το παραγόμενο πεδίο δε μηδενίζει εντελώς το προσπίπτον πεδίο. Επίσης, οι περισσότεροι αγωγοί παρουσιάζουν μια φερρομαγνητική απόκριση στα μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων, έτσι ώστε τέτοια πεδία να μην εξασθενούν τελείως από τον αγωγό. Οποιοσδήποτε τρύπες στη θωράκιση αναγκάζουν το ρεύμα να ρέει γύρω τους, με αποτέλεσμα τα πεδία που διέρχονται μέσα από αυτές να μην δημιουργούν αντίθετα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Αυτά τα φαινόμενα μειώνουν την ικανότητα ανάκλασης των κυμάτων από τη θωράκιση.

Στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων, οι παραπάνω διαδικασίες απαιτούν κάποιον χρόνο μη αμελητέο. Στη συνέχεια όμως η ενέργεια της ακτινοβολίας, εφόσον δεν ανακλάται, απορροφάται από την επιφάνεια (εκτός αν είναι εξαιρετικά μικρή σε πάχος), οπότε σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει κανένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό. Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται «επιδερμικό φαινόμενο» (skin effect). Ένα μέτρο για το βάθος στο οποίο μπορεί η ακτινοβολία να διεισδύσει στη θωράκιση είναι το ονομαζόμενο «βάθος διείσδυσης» ή «επιδερμικό βάθος» (skin depth).

3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΣ ΑΓΩΓΙΜΑ ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 «ΕΞΥΠΝΑ» ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Τα "έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα" είναι ένας τεχνολογικός όρος της τελευταίας δεκαετίας που έχει συγκεντρώσει τον επιθυμητό ευφυή και αλληλεπιδρώντα χαρακτήρα των υφαντικών υλικών. Παραδείγματος χάριν, οι χρήστες θα ήταν ευγνώμονες εάν τα σακάκια τους μπορούσαν να ρυθμίσουν το ποσοστό της ανταλλαγής θερμότητας ανάλογα με τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό το χαρακτηριστικό υποστηρίζει την άνεση του χρήστη και τον απαλλάσσει από την ανάγκη για ενδύματα διαφορετικού βαθμού θερμικής μόνωσης. Η τεχνολογία των υλικών αλλαγής φάσης (PCM) και οι κλωστοϋφαντουργικές τεχνολογικές απαιτήσεις καθοδηγούν στην ανάπτυξη των αντίστοιχων κλωστοϋφαντουργικών υλικών. Υπό την ίδια έννοια θα ήταν πολύ ενδιαφέρον στις στρατιωτικές εφαρμογές εάν τα κλωστοϋφαντουργικά υλικά μπορούσαν να αλλάξουν το χρώμα τους προσαρμόζοντάς το στις αποχρώσεις του περιβάλλοντός τους. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό των κλωστοϋφαντουργικών υλικών υποστηρίζει την απόκρυψη της παρουσίας των χρηστών, με τη συνεχή προσαρμογή στα περιβάλλοντα επικρατούντα χρώματα. Θερμοχρωμικά υλικά, υλικά φωτοεκπομπής, υλικά μνήμης μορφής είναι περαιτέρω παραδείγματα των υλικών που προσαρμόζονται στις απαιτήσεις για την παραγωγή των ευφυών και αλληλεπιδρώντων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (e-textiles) μπορούν να θεωρηθούν ως υποκατηγορία των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Εντούτοις είναι σημαντικού ενδιαφέροντος επειδή εισάγουν τις ηλεκτρονικές υπολογιστικές διαδικασίες στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και κυρίως στα προϊόντα ένδυσης. Τα ενδύματα υποστηρίζουν τον υπολογισμό και τις ανάγκες τηλεπικοινωνιών του χρήστη με την ενσωμάτωση διαδικασιών, οι οποίες γίνονταν από μεμονωμένες συσκευές. Το χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ενσωμάτωση κινητών τηλεφώνων και mp3 players ή ακόμα και συστήματα GPS σε σακάκια. Η τάση της χρήσης των ηλεκτρονικών και υπολογιστικών συσκευών σε συνδυασμό με τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα αυξάνει το ενδιαφέρον της ενεργού συμμετοχής του κλωστοϋφαντουργικού μέρους στο τελικό προϊόν. Με άλλα λόγια, το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν δεν είναι μόνο ένας μεταφορέας της ηλεκτρονικής συσκευής δηλαδή ένα αντικείμενο για να φέρει ή για να κρύψει την ηλεκτρονική συσκευή. Όλο και περισσότερο είναι επιθυμητό για τα κλωστοϋφαντουργικά μέρη να υποστηρίζουν ηλεκτρονικές λειτουργίες.

Ηλεκτρικώς αγώγιμα νήματα φτιαγμένα από ηλεκτρικώς αγώγιμες ίνες, θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις ηλεκτρονικές διαδικασίες της μεταφοράς ισχύος και σημάτων από και προς τις ενεργές ενότητες όπως τους αισθητήρες, τις συσκευές αποστολής σημάτων, τους μικροελεγκτές κ.λπ. Αντί της χρήσης καλωδίων που θα συνδέονται με το ύφασμα είναι προτιμητέο να έχει το ίδιο το ύφασμα τη δυνατότητα να συμμετέχει στη διανομή ισχύος ή στις διαδικασίες μεταφοράς σημάτων. Αυτό είναι το σημείο όπου εισάγεται η έννοια των «ε-κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων» (e-textiles) προκειμένου να περιγραφεί ακριβώς ο νέος ρόλος των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΣ ΑΓΩΓΙΜΕΣ ΙΝΕΣ

Οι κλωστοϋφαντουργικές ίνες συμπεριφέρονται κατά κανόνα ως ηλεκτρικοί μονωτές. Οι συνθετικές ίνες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας αποτελούνται από πολυμερή. Η χημική δομή των πολυμερών δεν παρέχει ελεύθερα ηλεκτρόνια που απαιτούνται για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος. Η χαρακτηριστική ειδική αντίσταση ενός πολυμερούς που χρησιμοποιείται στην παραγωγή των συνθετικών κλωστοϋφαντουργικών ινών είναι της τάξης των $10^{10} \Omega m$. Αυτή η τιμή αντιστοιχεί σε ένα πολύ καλό ηλεκτρικό μονωτικό υλικό. Δεν υπάρχει με κανένα τρόπο δυνατότητα χρήσης τέτοιου είδους υλικών σε ηλεκτρικές εφαρμογές οποιουδήποτε είδους, φυσικά με την εξαίρεση της ηλεκτρικής μόνωσης.

Δεδομένου ότι υπάρχει η ανάγκη χρήσης κλωστοϋφαντουργικών υλικών ικανά να άγουν το ρεύμα, γίνεται έντονη ερευνητική εργασία προκειμένου να αναπτυχθούν υλικά με σημαντική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στην επιστήμη των πολυμερών είναι ήδη γνωστά πολλά πολυμερή υλικά με ηλεκτρικώς αγώγιμα χαρακτηριστικά. Εντούτοις αυτά τα υλικά γενικά δεν έχουν το συγκεκριμένο χαρακτήρα των ινωδών κλωστοϋφαντουργικών υλικών που απαιτείται για να υποβληθούν σε επεξεργασία μαζί με άλλες υφαντικές ίνες για την παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών υφασμάτων.

Η πρώτη προσέγγιση για την επιρροή της αγωγιμότητας των υφαντών υφασμάτων είναι η χρήση μεταλλικών καλωδίων και λεπτών μεταλλικών ταινιών. Τα μεταλλικά καλώδια συμπλέκονται στη δομή υφάσματος δίνοντας σε αυτό τα απαραίτητα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υφάσματος ελέγχεται μέσω της διαμέτρου των καλωδίων και της πυκνότητας των καλωδίων στη δομή του υφάσματος. Η μέθοδος οδηγεί προφανώς στην παραγωγή υφασμάτων που χαρακτηρίζονται κυρίως από την ακραίως περιορισμένη ευκαμψία, το αυξημένο βάρος και προβλήματα σχετικά με τη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Εάν ορισμένα σχέδια πρέπει να κοπούν από το αγώγιμο

ύφασμα προκειμένου να διαμορφωθούν οι απαραίτητες μορφές, η αγωγιμότητα δεν μπορεί να παραμείνει σταθερή, δεδομένου ότι η συνέχεια των συμπλεγμένων καλωδίων θα σπάσει. Εντούτοις, η μέθοδος αυτή προσφέρει τελικά αγωγή υφάσματα κατάλληλα μόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά προστατευτικά καλύμματα.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΣ ΑΓΩΓΙΜΩΝ Κ/Υ ΥΛΙΚΩΝ

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον μετασχηματισμό των κλωστοϋφαντουργικών υλικών από μονωτές σε αγωγούς. Δοκιμές έχουν γίνει για την παραγωγή ηλεκτρικώς αγώγιμων υφασμάτων και με την άμεση επέμβαση στην τελική δομή του υφάσματος και χωρίς οποιαδήποτε προηγούμενη τροποποίηση των ινών. Οι πιο ενδιαφέρουσες αυτών είναι οι ακόλουθες:

α. Διαπότιση υφασμάτων χρησιμοποιώντας αντιστατικές ουσίες

Το ύφασμα πλησιάζοντας το τέλος της διαδικασίας παραγωγής εμποτίζεται με αντιστατικές ουσίες (συνήθως ρητίνες με άνθρακα). Το αποτέλεσμα είναι ένα ηλεκτρικώς αγώγιμο υλικό, με ασταθείς όμως ηλεκτρικές ιδιότητες και αγωγιμότητα όχι αρκετά υψηλή.

β. Επίστρωση υφασμάτων με αγώγιμες ουσίες

Το ύφασμα επικαλύπτεται με αγώγιμες πολυμερής ουσίες, συνήθως πολυπυρρόλη (polypyrrole - PPy). Αυτή η μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά εισάγει πολλά μειονεκτήματα συγχρόνως. Μερικές από τις θετικές πτυχές της μεθόδου που πρέπει να παρατηρηθούν, είναι:

- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να ελεγχθεί ακριβέστερα.
- Η παραγωγή του ηλεκτρικώς αγώγιμου υλικού δεν είναι περίπλοκη.
- Είναι μόνο ένα προστιθέμενο στάδιο επεξεργασίας.

Από την άλλη πλευρά η επίστρωση έχει επιπτώσεις στη δομή του υφάσματος. Τα νήματα και οι ίνες συνδέονται μαζί. Κατά τη διάρκεια της χρήσης του υφάσματος οι παραμορφώσεις που επιβάλλονται έχουν επιπτώσεις στην αρχική γεωμετρία της δομής. Η κίνηση ινών και νημάτων σπάζει ενδεχομένως τη συνέχεια του υλικού επιστρώματος με συνέπεια την αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης ή την αναστολή της πορείας του ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι αυτό το επίστρωμα έχει επιπτώσεις στο χρώμα του κλωστοϋφαντουργικού υλικού και συνεπώς στην εμφάνισή του.

Μερικοί ερευνητές έχουν στρέψει τις προσπάθειές τους στην παραγωγή αγώγιμων ινών χρησιμοποιώντας υπάρχοντα ηλεκτρικώς αγώγιμα πολυμερή. Υλικά όπως πολυανιλίνη (polyaniline) ή πολυαμιδίο- 11 κ.ά. έχουν ενδιαφέρουσες ηλεκτρικές ιδιότητες και έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών ινών. Εντούτοις η μειωμένη ευελιξία των ινών αυτού του είδους έχει περιορίσει τη χρήση τους στις κοινές εφαρμογές. Ως ενδιάμεση λύση έχει προταθεί η μίξη ινών που γίνονται από τα αγώγιμα πολυμερή και κοινών υφαντικών ινών προκειμένου να συνδυαστούν οι ιδιότητες των δύο υλικών που θα τα αποτελούν. Αυτή η λύση επιβάλλει περιορισμούς στην τελική ηλεκτρική αγωγιμότητα των παραχθέντων νημάτων.

Από παρόμοια άποψη, υπάρχουν προσπάθειες που γίνονται μέσω ανάμιξης των τυπικών μονωτικών κλωστοϋφαντουργικών ινών με μεταλλικές, δηλαδή αγώγιμες ίνες. Έχουν χρησιμοποιηθεί ίνες από χαλκό, ασήμι ή ακόμα και από ατσάλι. Αυτή η μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη πολύ λεπτών μεταλλικών ινών για να αναμιχθούν με τις τυπικές συνθετικές ίνες. Τόσο η παραγωγή των λεπτών μεταλλικών ινών όσο και η επεξεργασία τους έχουν επιβάλει διάφορες δυσκολίες. Οι συνηθισμένες μηχανές είναι ανίκανες να επεξεργαστούν τις μεταλλικές ίνες δεδομένου ότι είναι σκληρότερες από τις κοινές και φθείρουν την επιφάνεια των μηχανικών στοιχείων που συμμετέχουν στην επεξεργασία. Τα παραχθέντα υλικά είναι μειωμένης ευκαμψίας και αυξημένου βάρους.

Εκτός από τις ανωτέρω μεθόδους υπάρχουν προσπάθειες απευθυνόμενες στην τροποποίηση των κοινών κλωστοϋφαντουργικών συνθετικών ινών προκειμένου να τους δοθούν ορισμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Μερικές με σημαντική σπουδαιότητα είναι οι ακόλουθες:

α. Πολυμερή σώματα εμπλουτισμένα ηλεκτρικώς αγώγιμη σκόνη

Συνήθως σκόνη άνθρακα ή μετάλλων συμπεριλαμβάνεται στη μάζα του πολυμερούς, έτσι ώστε να επιτρέπει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των ινών. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί όταν προστίθεται 25% ή περισσότερο ηλεκτρικώς αγώγιμη σκόνης. Δυστυχώς η παρουσία των αγώγιμων μορίων επηρεάζει έντονα τις μηχανικές ιδιότητες των ινών και περιορίζει τη χρήση τους στις κοινές κλωστοϋφαντουργικές εφαρμογές. Επίσης οι ίνες έχουν ένα σκοτεινό χρώμα που περιορίζει τη χρήση τους στις τεχνικές αντιστατικές εφαρμογές.

β. Απόθεση μετάλλου

Η μέθοδος στοχεύει στην απόθεση μορίων μετάλλου, π.χ. αργίλιο, χρησιμοποιώντας τη φυσική διαδικασία. Τα μόρια δεν συνδέονται έντονα με το σώμα της ίνας και η χαμηλή προσκόλληση δίνει φτωχά αποτελέσματα. Η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη μόνο όταν απαιτείται ένα πολύ λεπτό στρώμα μετάλλου. Εάν απαιτούνται καλύτερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά όπως υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα, το παχύτερο επίστρωμα μετάλλων δεν μπορεί να αποκτηθεί εύκολα.

γ. Γαλβανικό επίστρωμα

Οι ίνες υποβάλλονται σε μια γαλβανική διαδικασία και ντύνονται από μια μεταλλική ταινία. Αν και θεωρητικά θα μπορούσε να δώσει ελέγξιμα αποτελέσματα, το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί ήδη ηλεκτρικώς αγωγίμες ίνες. Κατά συνέπεια η εφαρμογή της περιορίζεται κυρίως στον άνθρακα και τις ίνες από γραφίτη.

δ. Χημικό επίστρωμα

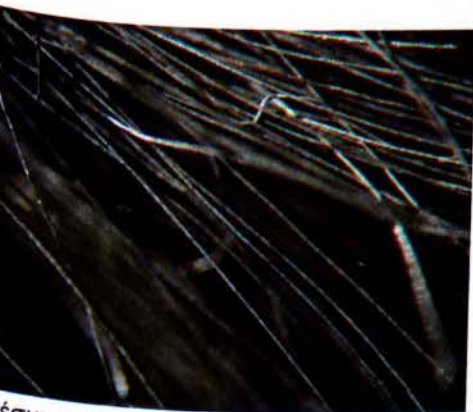
Αυτή είναι μια από τις πιο εφικτές μεθόδους για την παραγωγή ηλεκτρικώς αγωγίμων ινών με καλά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Είναι μια χημική διαδικασία κατά την οποία οι ίνες προσλαμβάνουν ιόντα μετάλλων και έπειτα μέσω εξουδετέρωσης παραμένει στις ίνες το αγωγίμο μέταλλο. Μετά από το χημικό επίστρωμα μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω γαλβανική επιμετάλλωση δεδομένου ότι έχουν την απαραίτητη ηλεκτρική αγωγιμότητα και ομοιογενή κατανομή του μετάλλου. Οι ίνες που παρασκευάζονται με αυτή τη μέθοδο διατηρούν την πλειοψηφία των αρχικών μηχανικών ιδιοτήτων τους και μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασίες όπως οι συνηθισμένες υφαντικές ίνες χωρίς αλλαγές και τροποποιήσεις στη διαδικασία νηματοποίησης. Η τεχνική πολυπλοκότητα της μεθόδου είναι το κύριο μειονέκτημα. Η σταδιακή διαδικασία που απαιτείται οδηγεί σε ένα σχετικό υψηλό κόστος των αγωγίμων ινών. Ένας άλλος παράγοντας που αυξάνει το κόστος παραγωγής είναι η επεξεργασία του απόβλητου ύδατος, δεδομένου ότι μετά από κάθε στάδιο οι ίνες πρέπει να πλυθούν προσεκτικά.

Μια εναλλακτική της τελευταίας μεθόδου είναι βασισμένη στην επιμετάλλωση των ακρυλικών ινών αμέσως μετά το στάδιο της εξώθησης. Σε αυτή τη φάση οι εξερχόμενες ίνες βρίσκονται ακόμα σε υγρή κατάσταση και κρατούν τα χαρακτηριστικά των πηκτωμάτων. Η ανοικτή δομή τους είναι

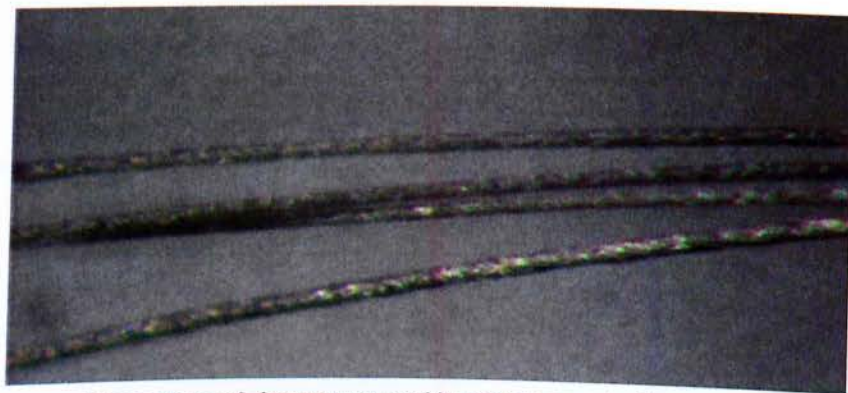
κατάλληλη για την απορρόφηση ουσιών. Εισάγοντας τες στο διάλυμα μεταλλικού άλατος, το αραιωμένο άλας προσλαμβάνεται από αυτές. Το διάλυμα περιέχει συνήθως άλατα νικελίου και μια ουσία εξουδετέρωσης. Μετά από το επίστρωμα μετάλλων, οι ίνες πλένονται και συντάσσονται. Αυτή η εναλλακτική λύση του κλασσικού χημικού επιστρώματος μειώνει τα στάδια επεξεργασίας που είναι απαραίτητα για την τροποποίηση των ινών. Η επιμετάλλωση γίνεται μόνο σε ένα βήμα.

Με μια περιεκτικότητα σε μέταλλα 3-4%, η τυπική ειδική ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται σε περίπου $10^{-4} \Omega m$. Εντούτοις το μέταλλο είναι ευαίσθητο στην οξείδωση και η διάβρωση του υλικού αυξάνει τη συγκεκριμένη αντίσταση με την πάροδο του χρόνου. Σε ακραίες περιπτώσεις, όπως παραδείγματος χάριν στο υγρό περιβάλλον, ο αγωγιμος χαρακτήρας των ινών μπορεί να χαθεί. Η γαλβανική επεξεργασία δίνει τη λύση σε αυτό το πρόβλημα. Οι ήδη ηλεκτρικώς αγωγιμες ίνες υποβάλλονται στη γαλβανική διαδικασία. Μέσα σε 10 λεπτά από την παραμονή στο διάλυμα, η περιεκτικότητα σε μέταλλα στις ίνες αυξάνεται σε περίπου 15% (w/w). Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση πέφτει τώρα περαιτέρω σε περίπου $6 \cdot 10^{-6} \Omega m$.

Στη συνέχεια οι ίνες κόβονται προκειμένου να λάβουν το μήκος μη συνεχών ινών και να μετασχηματιστούν περαιτέρω σε νήματα και υφάσματα. Νήματα από τέτοιου είδους ίνες χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα μελέτη. Παρακάτω φαίνεται η εικόνα μιας δέσμης επιμεταλλωμένων ακρυλικών ινών καθώς και μια λεπτομερής μικροσκοπική άποψή τους:



δέσμη επιμεταλλωμένων ακρυλικών ινών



Μικροσκοπική άποψη επιμεταλλωμένων ακρυλικών ινών

3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΣ ΑΓΩΓΙΜΑ ΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα αγωγήμα νήματα είναι νήματα ικανά να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, καθώς αποτελούνται από αγωγήμες ίνες, και η αγωγιμότητα τους είναι μόνιμη ιδιότητα. Η πολυ-λειτουργικότητα τους είναι μια προηγμένη έννοια, η οποία ξεπερνά την αρχική πτυχή της χρήσης των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ως απλούς μεταφορείς πρόσθετου εξοπλισμού. Η έννοια είναι όχι μόνο να ενσωματωθεί μια ηλεκτρική συσκευή σε ένα κλωστοϋφαντουργικό προϊόν αλλά να λειτουργεί το ίδιο το κλωστοϋφαντουργικό υλικό σαν μέρος της συσκευής. Τα πολλαπλά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των υφαντικών προϊόντων προϋποθέτουν την τροποποίηση των υπαρχόντων υλικών ή την ανάπτυξη νέων υλικών με τις απαραίτητες ιδιότητες. Οι ανάγκες που προέρχονται από αυτήν την νέα άποψη είναι προκλητικές και οδηγούν την υφαντική έρευνα και ανάπτυξη.

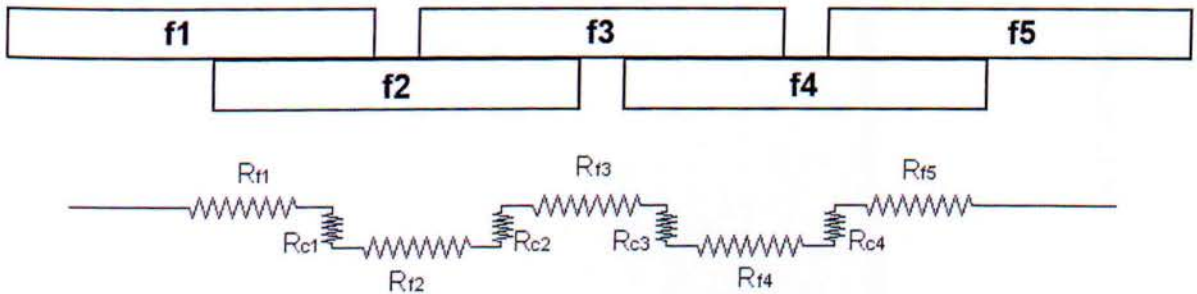
Η χρήση τους στις μέρες μας είναι πολύ περιορισμένη αλλά με τη συνεχή έρευνα αναμένεται να ξεπεραστούν πολλά εμπόδια που συναντώνται σε όλα τα στάδια παραγωγής και χρήσης τους, από την κλώση των ινών έως το πλύσιμό τους. Τα ηλεκτρικώς αγωγήμα κλωστοϋφαντουργικά υλικά, αν και είναι σπάνια, υπάρχουν και χρησιμοποιούνται κυρίως είτε σε εφαρμογές θέρμανσης είτε σε εφαρμογές ηλεκτρομαγνητικής προστασίας. Κοστούμια που έχουν κατασκευαστεί από ηλεκτρικώς αγωγήμα κλωστοϋφαντουργικά υλικά, χάρη στο φαινόμενο Joule, θερμαίνονται με την εφαρμογή ηλεκτρικής ισχύος. Αυτά τα κοστούμια είναι κατάλληλα όταν εκτίθενται οι χρήστες σε ακραίες καιρικές συνθήκες όπως το αρκτικό περιβάλλον ή το διάστημα. Κοστούμια έχουν σχεδιαστεί επίσης για την προστασία των χρηστών που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, σύμφωνα με την αρχή του κλωβού Faraday.

Τα αγωγήμα νήματα έχουν πλήθος δυναμικών εφαρμογών. Εφαρμογές στον τομέα της υγείας θα παρέχουν συνεχή παρακολούθηση των ζωτικών λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος με τη χρήση των «βίο-επικοινωνιακών ενδυμάτων». Τέτοια ενδύματα έχουν κατασκευαστεί και στο παρελθόν, αλλά με μια ουσιαστική διαφορά: παλαιότερα οι αισθητήρες απαρτίζονταν από ηλεκτρονικά κυκλώματα προσαρμοσμένα εξωτερικά. Τώρα οι ίδιες οι ίνες αναλαμβάνουν αυτό το ρόλο.

Η λειτουργία τους είναι σχετικά απλή. Μετατρέπουν παράγοντες όπως η κίνηση, η θερμοκρασία και η υγρασία σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία στη συνέχεια αναμεταδίδουν σε συσκευές παρακολούθησης. Στο μέλλον για παράδειγμα είναι πιθανόν τα σεντόνια των νοσοκομείων και οι φόρμες των ασθενών θα ράβονται αποκλειστικά από τέτοιου είδους υφάσματα. Μ' αυτό τον τρόπο οι γιατροί θα ενημερώνονται συνεχώς για την κατάστασή των ασθενών

τους ακόμα κι όταν πάρουν εξιτήριο. Εφαρμογές όμως των αγώγιμων ινών βρίσκονται και στους τομείς της μόδας, της ψυχαγωγίας, των οικιακών, στρατιωτικών και βιομηχανικών εφαρμογών, άλλες εμπορικές και άλλες μη εμπορικές.

Όπως προαναφέρθηκε, οι ελεύθερες ηλεκτρικώς αγώγιμες ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή ηλεκτρικώς αγώγιμων νημάτων με μεθόδους παραδοσιακής νηματοποίησης. Μπορούν επίσης να συνδυαστούν με συμβατικές ίνες προκειμένου να συνδυαστούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά των συμβατικών ινών. Ο μετασχηματισμός των ηλεκτρικώς αγώγιμων ινών σε ηλεκτρικώς αγώγιμα νήματα έχει επιπτώσεις ουσιαστικά στην ηλεκτρική συμπεριφορά του υλικού. Οι ίνες δεν είναι συνεχείς και μέσα στη δομή νημάτων φτιαγμένων από πολλές ίνες, η αρχή της υπέρθεσης δεν ισχύει. Η ηλεκτρική συνέχεια δεν οφείλεται στη μηχανική συνέχεια των ινών-αγωγών αλλά επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού εναλλασσόμενων ινών που είναι σε επαφή. Η συνολική αντίσταση είναι το άθροισμα της αντίστασης των ινών συν την αντίσταση επαφών μεταξύ των ινών.



Η διάταξη των ινών και το ηλεκτρικό ανάλογό της

Η αντίσταση των ινών R_f είναι ένα χαρακτηριστικό του υλικού. Η διαδικασία επιμετάλλωσης ελέγχεται και μπορεί να παρέχει ορισμένη συγκεκριμένη αντίσταση ανάλογα με την περιεκτικότητα των ινών σε μέταλλα. Η αντίσταση επαφών R_c εξαρτάται κυρίως από τη δομή του νήματος και από τις μηχανικές συνθήκες μέσα στη δομή. Είναι συνάρτηση της επιφάνειας επαφής και της εφαρμοσμένης πίεσης μεταξύ των ινών. Σε ένα αγώγιμο μονοπάτι η συνολική αντίσταση είναι:

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n R_{fi} + \sum_{j=1}^m R_{cj}$$

Η πραγματικότητα είναι συνήθως πιο περίπλοκη. Δεν είναι μόνο ένας αγωγίμος δρόμος, αφού πολλές αγωγιμες ίνες είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Η ηλεκτρική κατάσταση γίνεται πιο περίπλοκη εάν οι ηλεκτρικά αγωγιμες ίνες αναμιγνύονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας νηματοποίησης με τις συμβατικές μονωτικές ίνες. Μερικές πορείες του ηλεκτρικού ρεύματος μπορούν να διακοπούν και μόνο ένα μέρος τους μπορεί να είναι ηλεκτρικά χρήσιμο. Η σύνθετη ηλεκτρική συμπεριφορά των ηλεκτρικά αγωγιμων νημάτων γίνεται ενδιαφέρουσα ειδικά για την σωστή μελέτη και τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υφαντικών υλικών φτιαγμένων από αυτά τα νήματα.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΚΕΛΟΣ

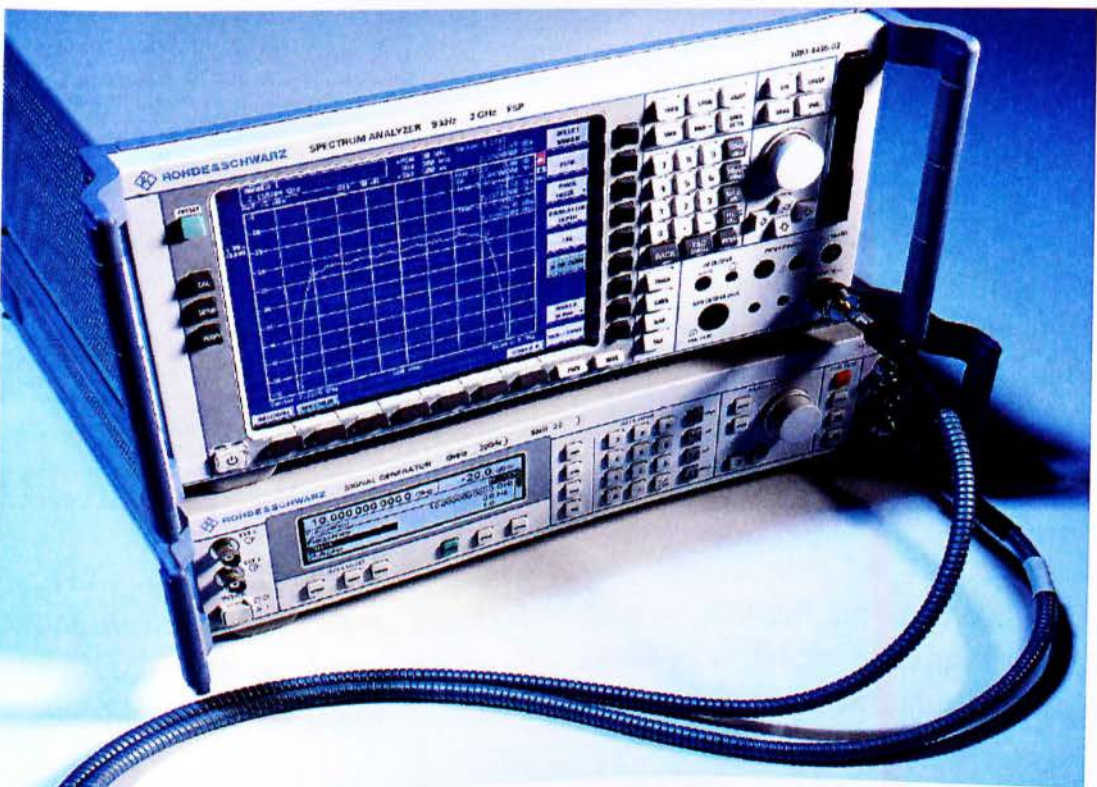
4.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

4.1.1 Γεννήτρια σάρωσης

Η γεννήτρια σάρωσης είναι μια εργαστηριακή ηλεκτρονική συσκευή ικανή να παρέχει ηλεκτρομαγνητικά σήματα συνεχόμενων συχνοτήτων, να «σαρώνει» δηλαδή ένα καθορισμένο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και να καταγράφει τις μεταβολές του. Η καταγραφή των μεταβολών γίνεται συνήθως με τη βοήθεια ενός αναλυτή φάσματος. Ο αναλυτής φάσματος είναι μια συσκευή που αναλύει τις ιδιότητες ηλεκτρικών σημάτων, και κυρίως αυτές που σχετίζονται με την ανάκλαση και την μετάδοση τους.

Υπάρχουν διάφορων ειδών γεννήτριες σημάτων που εκπέμπουν σε ποικίλες περιοχές του φάσματος, αναλόγως της χρήσης για την οποία προορίζονται. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε μια γεννήτρια ραδιοκυμάτων - μικροκυμάτων που σάρωνε ένα φάσμα 0-5GHz. Η επιλογή μιας γεννήτριας με τέτοιο φάσμα εκπομπής, δεν ήταν τυχαία. Στόχος ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς των δειγμάτων σε υψηλές μεν συχνότητες αλλά παράλληλα υπαρκτές στο καθημερινό περιβάλλον του ανθρώπου. Συγκεκριμένα, η περιοχή συχνοτήτων που ήταν περισσότερο θεμιτό να μελετηθεί, ήταν αυτή στην οποία εκπέμπουν τα κινητά τηλέφωνα, δηλαδή γύρω στα 2GHz.

Η εικόνα μιας τυπικής γεννήτριας σάρωσης κι ενός αναλυτή φάσματος φαίνεται παρακάτω:

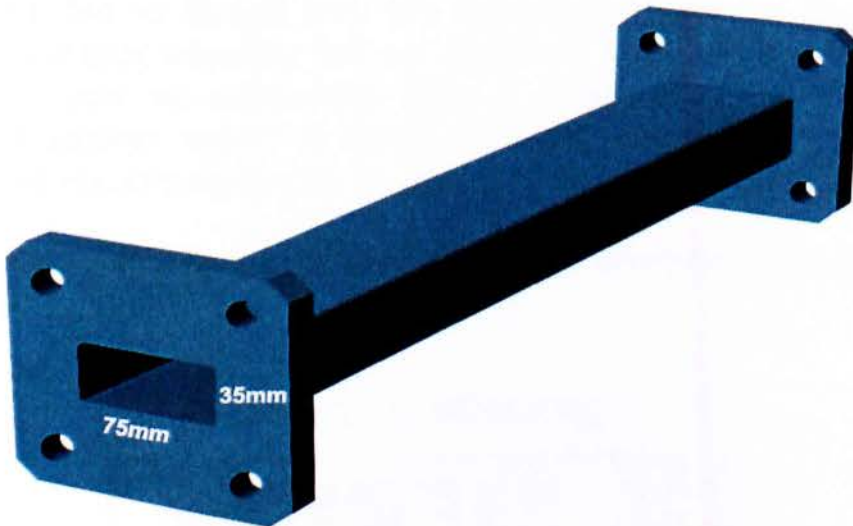


4.1.2 Κυματοδηγός

Ο κυματοδηγός είναι μια πολύ χρήσιμη συσκευή για τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και της συμπεριφοράς τους. Ο όρος κυματοδηγός μπορεί να αναφέρεται σε οποιαδήποτε γραμμική κατασκευή που μεταφέρει ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταξύ των δυο άκρων της. Συνήθως για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κοίλοι μεταλλικοί σωλήνες κατασκευασμένοι είτε από αγωγίμα είτε από διηλεκτρικά υλικά. Ανάλογα με το σχήμα τους, οι κυματοδηγοί ταξινομούνται σε κυλινδρικούς, ορθογώνιους και ελλειπτικούς.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία διαδίδονται κατά μήκος του κυματοδηγού με ανακλάσεις στα εσωτερικά τοιχώματά του. Η ένταση των πεδίων είναι μέγιστη στο κέντρο του αγωγού και τείνει στο μηδέν κοντά στα τοιχώματά του.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο ορθογώνιοι μεταλλικοί κυματοδηγοί, διατομής 35mm x 75mm, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονταν τα προς μελέτη δείγματα.

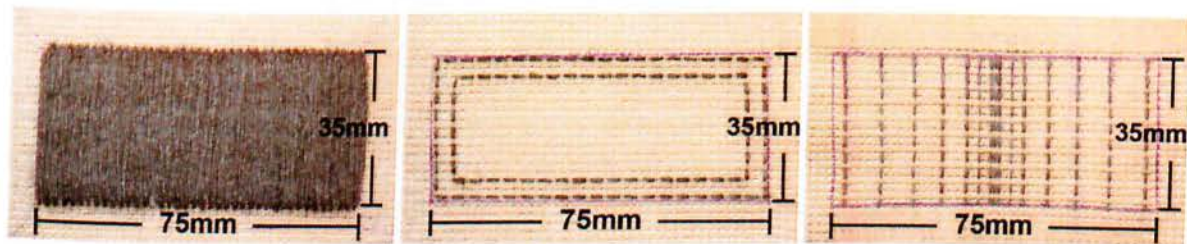


Ορθογώνιος μεταλλικός κυματοδηγός διατομής 75mm x 35mm

4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να μελετηθεί η συμπεριφορά των αγωγίμων νημάτων στην ηλεκτρομαγνητική θωράκιση, χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια μη αγωγίμου καμβά, διαστάσεων 75mm x 35mm, πάνω στα οποία κεντήθηκαν αγωγίμα νήματα σε διάφορες διατάξεις. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι νημάτων από επιμεταλλωμένες

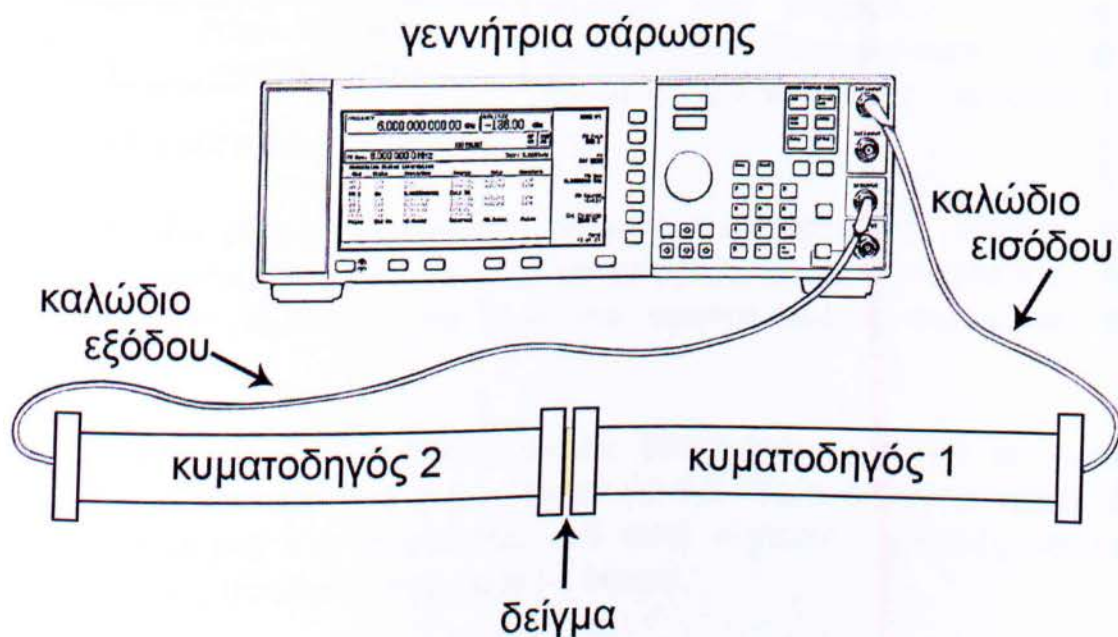
με νικέλιο ακρυλικές ίνες: ο τύπος a και ο τύπος b, με τα a νήματα να παρουσιάζουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε νικέλιο και κατ'επέκταση υψηλότερη αγωγιμότητα.



Τρία τυχαία δοκίμια

Τα κεντημένα δοκίμια τοποθετήθηκαν διαδοχικά μεταξύ δυο κυματοδηγών, συνδεδεμένων με μια γεννήτρια σάρωσης, με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφορά τους στις διάφορες συχνότητες εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γεννήτριας. Συγκεκριμένα, σκοπός ήταν να εξακριβωθεί κατά πόσο το καθένα δοκίμιο παρεμποδίζει την διέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από μέσα του, κατά πόσο δηλαδή προκαλεί εξασθένηση του αρχικού σήματος. Ο λόγος που επιλέχτηκαν δύο κυματοδηγοί αντί του ενός, ήταν για να τοποθετούνται όλα τα δοκίμια στην ίδια απόσταση μεταξύ της πηγής και του δέκτη της γεννήτριας σάρωσης (και όχι σε κάποιο τυχαίο σημείο μέσα σε έναν κυματοδηγό), ώστε να εκτελούνται όλες οι μετρήσεις με τα ίδια κριτήρια. Επιπλέον, θεωρήθηκε συνετό τα δοκίμια να ισαπέχουν από την πηγή και τον δέκτη, πράγμα που επιτεύχθηκε με την χρήση δύο ισομηκών κυματοδηγών.

Παρακάτω φαίνεται η σχηματική διάταξη της γεννήτριας σάρωσης και των κυματοδηγών:



4.2.1 Κωδικοποίηση δοκιμίων

Συνολικά κατασκευάστηκαν 31 δοκίμια με διαφορετικές διατάξεις του αγωγίμου νήματος και κατ' επέκταση διαφορετικές συμπεριφορές εντός των κυματοδηγών. Προέκυψε, λοιπόν, η ανάγκη για ένα σύστημα κωδικοποίησης τους. Προτιμήθηκε ένα σύστημα όχι απλώς αριθμητικό, αλλά και περιγραφικό, που θα δίνει στον αναγνώστη να καταλάβει την διάταξη του αγωγίμου νήματος στο κάθε δείγμα, απλώς βλέποντας τον κωδικό.

V	Vertical
H	Horizontal
P	Perimetric
D	Diagonal
F	Full
T	Thick
L	Lines
I	layers
C	Condensed
a	Νήμα αυξημένης αγωγιμότητας.
b	Νήμα μειωμένης αγωγιμότητας.

Η κωδικοποίηση των δοκιμίων προκύπτει από τον πίνακα στα αριστερά. Κάθε κωδικός αποτελείται από τρία μέρη, χωρισμένα με παύλες π.χ. a - 7TL - 4I.

Το πρώτο μέρος αναφέρεται στον τύπο του νήματος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του.

Το δεύτερο μέρος αναφέρεται στο ποσό επιφάνειας του καμβά που έχει καλυφθεί. Δεδομένου ότι στα περισσότερα δοκίμια η διάταξη των νημάτων είναι γραμμική, το τμήμα αυτό του κωδικού αφορά συνήθως τον αριθμό γραμμών νήματος που υπάρχουν στο δείγμα. Οπουδήποτε παραλείπεται κάποιος επιπλέον χαρακτηρισμός, πρόκειται για

κάθετες γραμμές νήματος (π.χ. a-6L).

Το τρίτο μέρος του κωδικού αναφέρεται σε πρόσθετες ιδιότητες των γραμμών νήματος, όπως το ότι είναι κατασκευασμένες από περισσότερα του ενός στρώματα νήματος ή ότι είναι πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, βλέποντας το δείγμα με κωδικό **a - 7TL - 4I**, γίνεται αντιληπτό πως πρόκειται για ένα δείγμα κατασκευασμένο από νήμα τύπου a (**a-**) που αποτελείται από επτά συμπαγείς γραμμές νήματος (**-7 Thick Lines-**) τεσσάρων στρώσεων (**-4 layers**).

4.2.2 Έκφραση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται υπό την μορφή γραφικής παράστασης. Στον άξονα x των γραφικών παραστάσεων δίνεται το φάσμα των συχνοτήτων σε Hz (όπου $1,0E+09 = 1GHz$, $2,0E+09 = 2GHz$ κ.ο.κ.) και στον άξονα y η εξασθένιση του σήματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε decibel.

Decibel (ντεσιμπέλ - dB) καλείται η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για την έκφραση της σχετικής διαφοράς των εντάσεων σημάτων και εκφράζεται ως ο δεκαδικός λογάριθμος της αναλογίας των ισχύων δύο σημάτων: $dB = 10 \log (P1/P2)$.

Σε dB μπορεί επίσης να εκφραστεί το πλάτος σημάτων. Δεδομένου ότι η ένταση είναι ανάλογη της ρίζας του πλάτους ενός σήματος (δηλαδή μια αναλογία ισχύων ίση με 100 αντιστοιχεί σε αναλογία πλάτων ίση με 10), το dB εκφράζεται ως εξής: $dB = 20 \log (A1/A2)$.

Οι λογάριθμοι (log) είναι χρήσιμοι σαν μονάδα μέτρησης γιατί η ισχύς των σημάτων τείνει να καλύπτει πολλές τάξεις μεγέθους. Επιτρέπουν επίσης την έκφραση της εξασθένισης ή ενίσχυσης των σημάτων ως αφαίρεση ή προσθήκη.

Ο παρακάτω πίνακας βοηθάει στην κατανόηση των τάξεων μεγέθους που συνδέονται με το decibel :

1 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,79 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
2 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,63 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
3 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,50 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
4 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,40 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
5 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,31 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
6 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,25 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
7 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,22 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
8 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,16 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
9 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,13 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
10 dB εξασθένιση σημαίνει πως 0,10 της αρχικής ισχύος επιβιώνει

11 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,079 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
12 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,063 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
13 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,050 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
14 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,040 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
15 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,031 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
16 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,025 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
17 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,020 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
18 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,016 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
19 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,013 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
20 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,01 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
30 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,001 της αρχικής ισχύος επιβιώνει
40 dB	εξασθένιση σημαίνει πως 0,0001 της αρχικής ισχύος επιβιώνει

4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διαδικασία έγινε σε δύο μέρη:

4.3.1 Μέρος πρώτο

4.3.1.1 Περιγραφή

Αρχικά κατασκευάστηκαν 9 δοκίμια, διαστάσεων 75mm x 35mm (όση ήταν δηλαδή και η διατομή των κυματοδηγών), με τυχαίες διατάξεις του αγωγίμου νήματος, ώστε να διαπιστωθεί αν κάποια διάταξη ενδείκνυται περισσότερο από τις υπόλοιπες για περαιτέρω μελέτη. Για την κατασκευή των αρχικών δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά το νήμα υψηλής αγωγιμότητας. Για την στερέωση των δοκιμίων μεταξύ των κυματοδηγών χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια μη αγωγίμου «αφρολέξ», κομμένα στις διαστάσεις της διατομής των κυματοδηγών και πάχους 4cm.

Η πρώτη μέτρηση που έγινε αφορούσε τον καθαρό καμβά (κωδικός CC κατά το Clear Canvas) και είχε σαν στόχο να υπολογιστούν τυχόν απώλειες του εξοπλισμού, ώστε να αφαιρεθούν στη συνέχεια από τα αποτελέσματα των υπολοίπων μετρήσεων, αποτρέποντας έτσι τα σφάλματα.

4.3.1.2 Αποτελέσματα - Υπολογισμοί

Στον πίνακα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα, φαίνονται τα 9 αρχικά δοκίμια, μια σύντομη περιγραφή τους, καθώς και η γραφική παράσταση της εξασθένησης του σήματος που προκαλεί το καθένα.

Με επεξεργασία των τιμών των γραφικών παραστάσεων και με αφαίρεση των απωλειών των συσκευών, προκύπτει ο **μέσος όρος εξασθένησης (M.O.E.)** της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του κάθε δοκιμίου σύμφωνα με τον τύπο:

$$\mathbf{M.O.E. = M.O. \text{ Σήματος Εισόδου} - M.O. \text{ Σήματος Εξόδου}}$$

όπου σήμα εισόδου η -εξασθενημένη, λόγω απωλειών- ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δίνει η πηγή (ή αλλιώς η εξασθένηση που φαίνεται να προκαλεί ο καθαρός καμβάς) και σήμα εξόδου η εξασθένηση που προκαλεί το κάθε δείγμα.

Ο **M.O.E.** κάθε δοκιμίου αναγράφεται κάτω από την γραφική παράσταση της εξασθένησής του. Μαζί με τον συνολικό M.O.E. αναγράφεται και ο M.O.E. για την περιοχή 2-4GHz, μιας και στις γραφικές παραστάσεις η περιοχή αυτή φαίνεται να παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

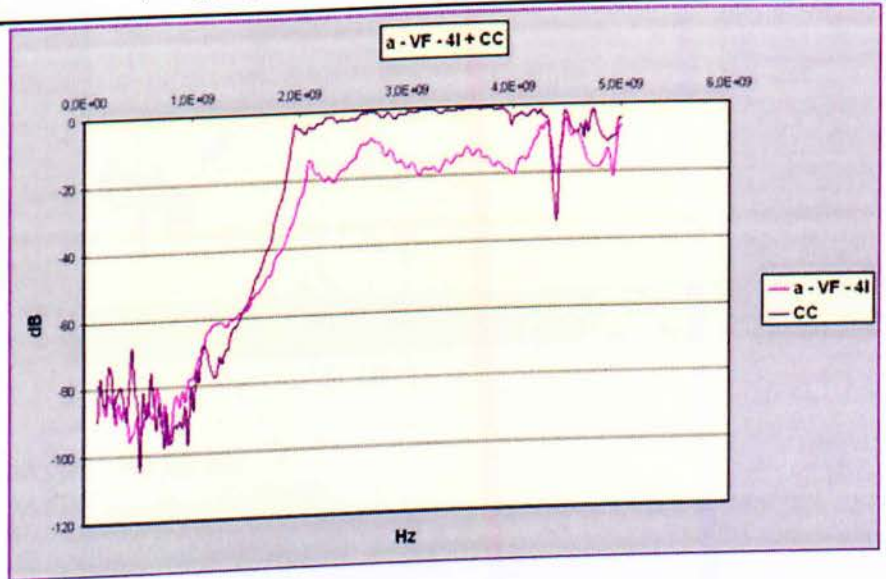
Κωδικός και Περιγραφή Δείγματος

a -VF- 4I



Νήμα α. Κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας του δείγματος κάθετα. 4 στρώσεις νήματος.

Γραφική Παράσταση Εξασθένησης της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας (σε σχέση με την εξασθένηση του καθαρού καμβά CC)

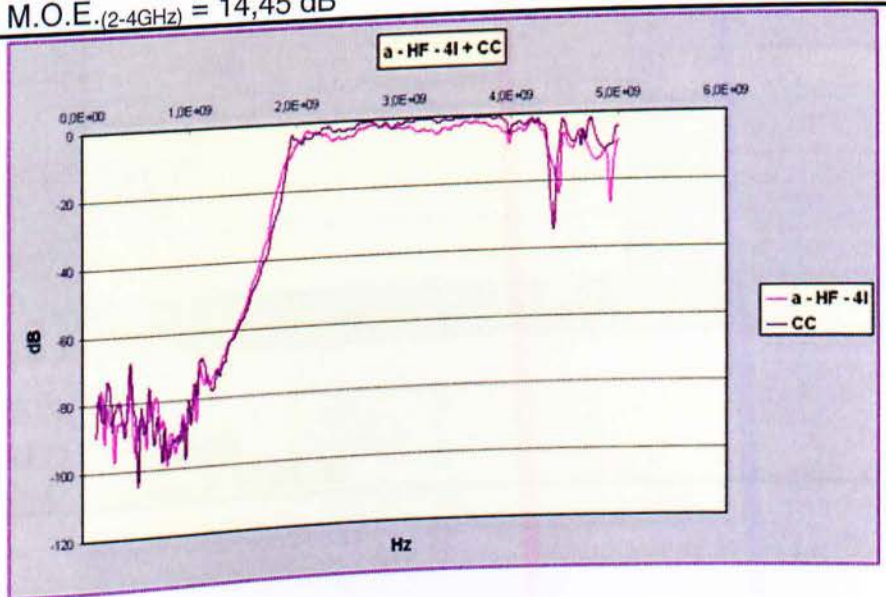


M.O.E. = 7,71 dB
M.O.E.(2-4GHz) = 14,45 dB

a - HF - 4I

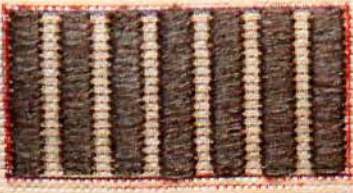


Νήμα α. Κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας του δείγματος οριζόντια. 4 στρώσεις νήματος.

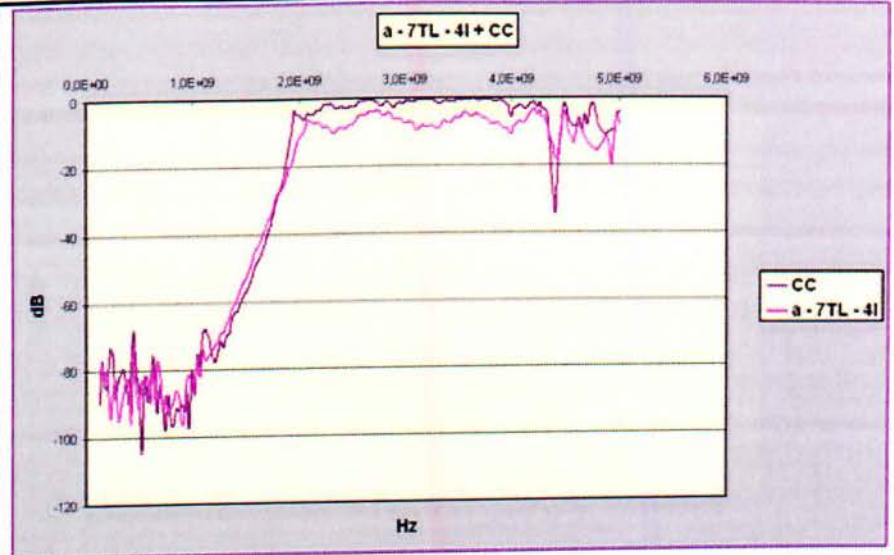


M.O.E. = 0,99 dB
M.O.E.(2-4GHz) = 1,76 dB

a - 7TL - 4l



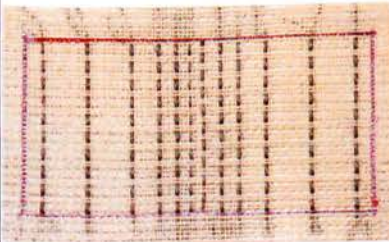
Νήμα α. 7 κάθετες ρίγες πάχους 7mm σε απόσταση 3,5mm η μία από την άλλη. 4 στρώσεις νήματος.



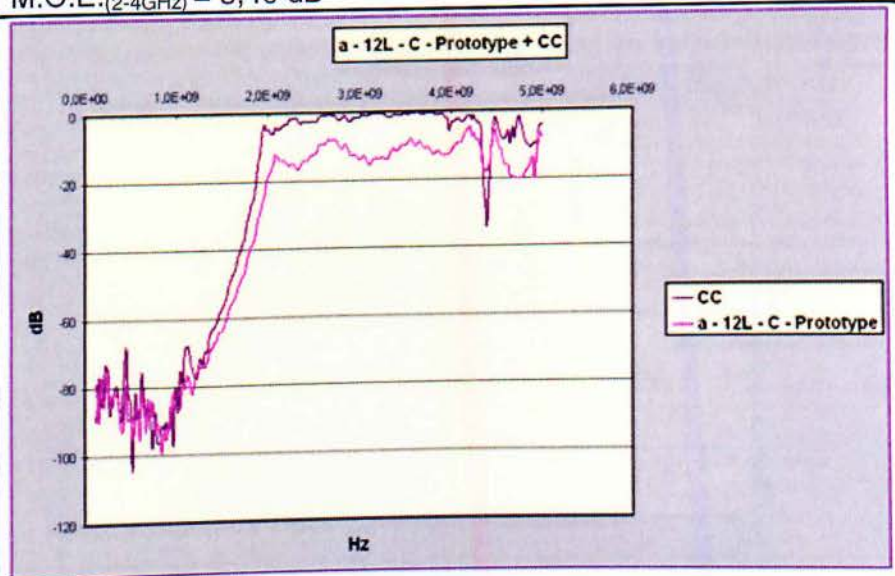
M.O.E. = 2,82 dB

M.O.E.(2-4GHz) = 5,46 dB

a - 12L - C - Prototype



Νήμα α. Πρωτότυπο δείγμα με 12 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του.



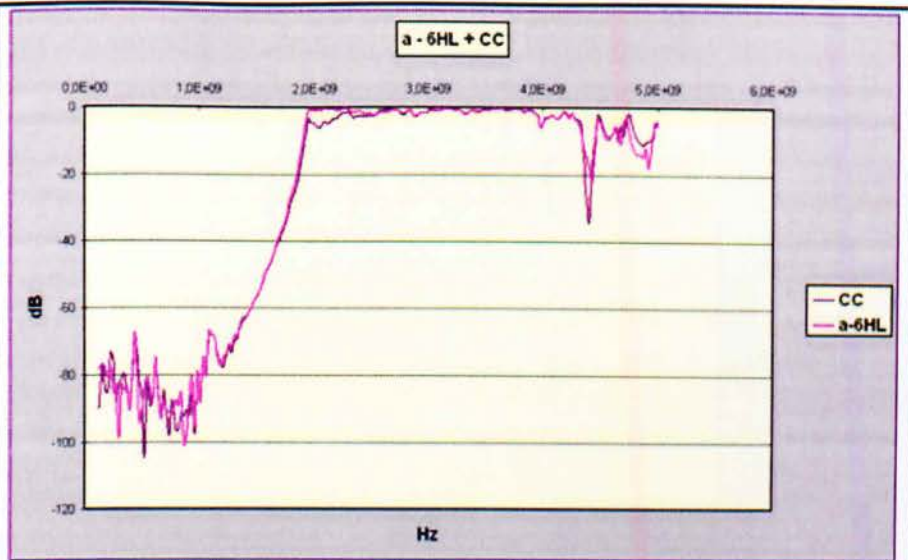
M.O.E. = 7,28 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 10,66 dB

a - 6HL



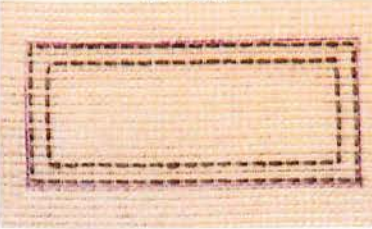
Νήμα α. 6 οριζόντιες ρίγες σε απόσταση 5mm η μία από την άλλη.



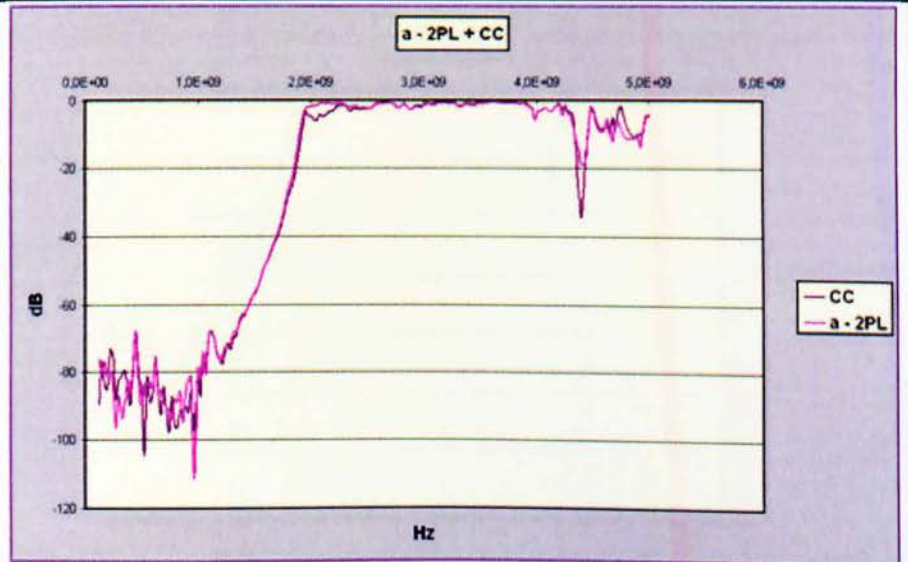
M.O.E. = -0,33 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 0,63 dB

a - 2PL



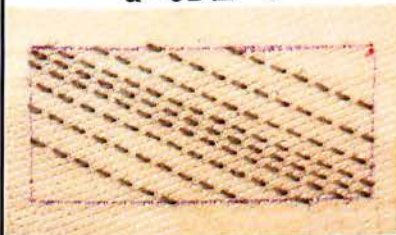
Νήμα α. 2 περιμετρικές γραμμές σε απόσταση 2,5mm η μία από την άλλη.



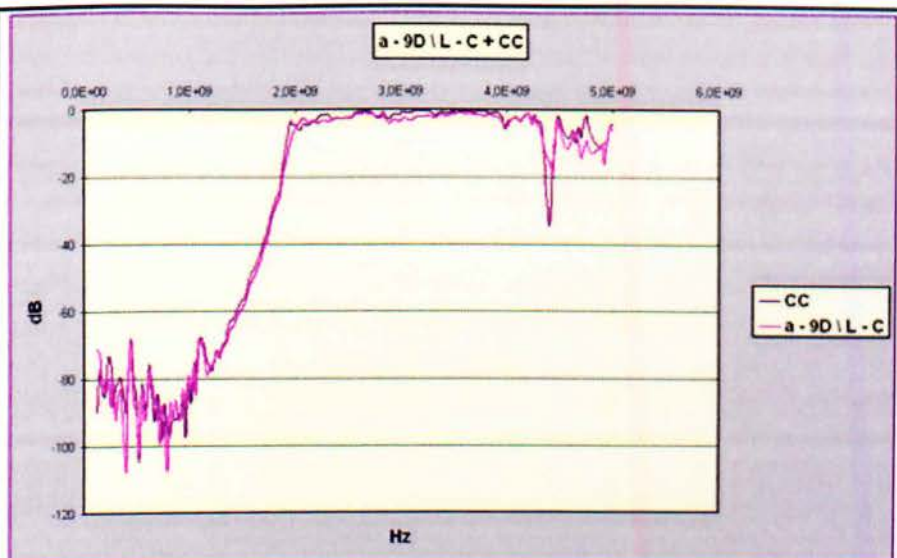
M.O.E. = -0,28 dB

M.O.E. (2-4GHz) = -0,34 dB

a - 9D\L - C



Νήμα a. 9 διαγώνιες γραμμές κατεύθυνσης S, πιο συμπυκνωμένες κοντά στη βασική διαγώνιο.

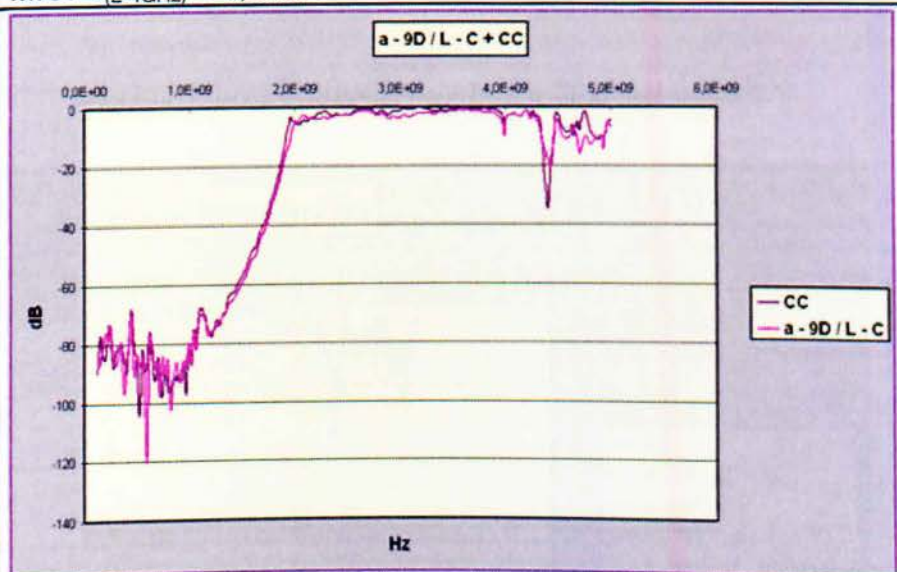


M.O.E. = 1,33 dB
M.O.E.(2-4GHz) = 0,83 dB

a - 9D/L - C

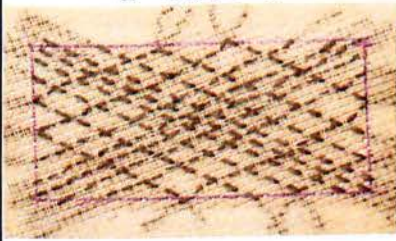


Νήμα a. 9 διαγώνιες γραμμές κατεύθυνσης Z, πιο συμπυκνωμένες κοντά στη βασική διαγώνιο.



M.O.E. = 1,24 dB
M.O.E.(2-4GHz) = 1,06 dB

a - 18XL - C



Νήμα α. 18 γραμμές
τοποθετημένες χιαστή.
Συνδυασμός των δύο
παραπάνω δειγμάτων.

a - 18XL - C + CC

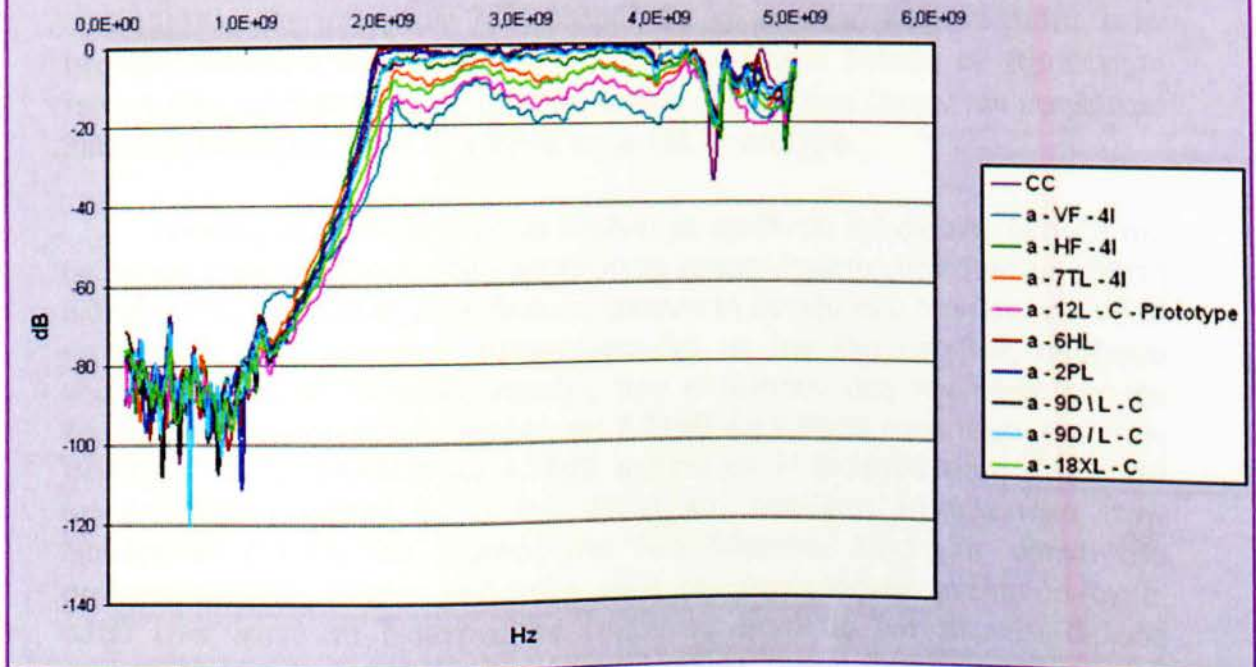


M.O.E. = 1,62 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 6,66 dB

Ακολουθεί σύνθετη γραφική παράσταση των εξασθενήσεων των 9 αρχικών δοκιμών:

Initial Measurements



Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωμένοι οι μέσοι όροι εξασθένησης των δοκιμών συνολικά και στην περιοχή 2-4 GHz :

Κωδικός Δείγματος	M.O.E. (dB)	M.O.E. (2-4GHz) (dB)
<i>a - VF - 4I</i>	7,71	14,45
<i>a - HF - 4I</i>	0,99	1,76
<i>a - 7TL - 4I</i>	2,82	5.46
<i>a - 12L - C - Prototype</i>	7,28	10,66
<i>a - 6HL</i>	-0,33	-0,63
<i>a - 2PL</i>	-0,28	-0,34
<i>a - 9DL - C</i>	1,33	0,82
<i>a - 9DLI - C</i>	1,24	1,06
<i>a - 18XL - C</i>	1,62	6,66

4.3.1.3 Συμπεράσματα πρώτου μέρους

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρείται καταρχήν πως κάποια από τα δοκίμια προκαλούν ιδιαίτερα υψηλή εξασθένηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, της τάξης των 7dB, δηλαδή θωράκιση κατά **80%**! Μάλιστα, στην περιοχή 2-4GHz η τιμή αυτή διπλασιάζεται. Αντιστοιχεί δηλαδή σε εξασθένηση του σήματος κατά **95%**! Συγκεκριμένα, τα δύο δοκίμια που δίνουν τον υψηλότερο βαθμό εξασθένησης, είναι τα **a-VF-4I** και **a-12L-Prototype**.

Παρατηρείται επίσης πως τα δοκίμια με οριζόντια ή διαγώνια διάταξη του αγωγίμου νήματος δίνουν πολύ χαμηλότερα αποτελέσματα από αυτά με κάθετη διάταξη. Η διαφορά αυτή είναι ιδιαίτερα αντιληπτή μεταξύ των δειγμάτων **a-VF-4I** και **a-HF-4I** που, ενώ είναι κατασκευασμένα με την ίδια ακριβώς ποσότητα νήματος (τέσσερις στρώσεις νήματος που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του καμβά), δίνουν μέσο όρο απορρόφησης **7,71dB** και **0,99dB** αντίστοιχα, ενώ στην περιοχή 2-4GHz, **14,45dB** και **1,76dB** αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη (προσεγγιστικά γύρω στο 50%) και οφείλεται αποκλειστικά στην διαφορετική διάταξη του νήματος στα δύο δείγματα. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως το ηλεκτρικό πεδίο εντός του κυματοδηγού κινείται οριζόντια, αφού είναι ικανό να διαπερνά τις οριζόντιες διατάξεις (να περνάει δηλαδή ανάμεσα στις γραμμές νήματος) ενώ παρεμποδίζεται από διατάξεις κάθετες που το θωρακίζουν.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των αρχικών δοκιμών με κάθετη διάταξη, παρατηρείται, όπως προαναφέρθηκε, πως αυτά που δίνουν την υψηλότερη εξασθένηση είναι τα **a-VF-4I** και **a-12L-Prototype**. Η διαφορά στη δομή των δύο αυτών δοκιμών είναι τεράστια. Το μεν πρώτο αποτελείται από τέσσερεις στρώσεις νήματος που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του καμβά, ενώ το δεύτερο από μόλις 12 γραμμές νήματος. Παρ' όλα αυτά, ο μέσος όρος εξασθένησης που δίνουν και τα δύο είναι ιδιαίτερα υψηλός: **7,71dB** για το πρώτο και **7,28dB** για το δεύτερο. Με άλλα λόγια, με χρήση πολύ μικρότερης ποσότητας νήματος επιτυγχάνεται η ίδια σχεδόν ηλεκτρομαγνητική θωράκιση, πράγμα ιδιαίτερα θετικό αφού (όπως αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο) η κατασκευή των αγώγιμων νημάτων είναι εξαιρετικά δαπανηρή.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το δοκίμιο **a-7TL-4I** που, ενώ αποτελείται από κάθετες γραμμές μεγάλου πλάτους, κατασκευασμένες από πολύ μεγαλύτερη ποσότητα νήματος απ' ότι το **a-12L-Prototype**, δίνει πολύ χαμηλότερο μέσο όρο εξασθένησης (**2,82dB**). Αυτό ίσως οφείλεται στην οριζόντια διάταξη του νήματος μέσα στις γραμμές.

Με βάση τα παραπάνω, αποφασίστηκε να μελετηθεί περαιτέρω η συμπεριφορά δοκιμών με κάθετη διάταξη, όμοια αυτής του δοκιμίου **a-12L-Prototype**.

4.3.2 Μέρος Δεύτερο

4.3.2.1 Περιγραφή

Στο δεύτερο μέρος κατασκευάστηκαν συνολικά 22 δοκίμια, αποκλειστικά κάθετης διάταξης των γραμμών νήματος, χωρισμένα σε δύο βασικές ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλάμβανε δοκίμια κατασκευασμένα με το νήμα αυξημένης αγωγιμότητας (a) ενώ η δεύτερη με το νήμα μειωμένης αγωγιμότητας (b). Επιπλέον, κάθε βασική ομάδα χωρίστηκε σε δυο υπό-ομάδες, με βάση τις αποστάσεις μεταξύ των γραμμών νήματος στα δοκίμια. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν δοκίμια με 6,8,10,12 και 14 γραμμές νήματος σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις και δοκίμια με 6,8,10,12,15 και 19 γραμμές νήματος σε αποστάσεις συμμετρικές ως προς το κέντρο του δοκιμίου αλλά πιο συμπυκνωμένες κοντά σε αυτό απ' ότι στα άκρα. Η επιλογή της διάταξης αυτής έγινε δεδομένου ότι η ένταση των πεδίων εντός του κυματοδηγού είναι υψηλότερη στο κέντρο του.

4.3.2.2 Αποτελέσματα - Υπολογισμοί

Ακολουθεί πίνακας με την απεικόνιση των δοκιμίων, μια σύντομη περιγραφή τους και τη γραφική παράσταση της απορρόφησης του καθενός. Κάτω από τις γραφικές παραστάσεις αναγράφεται και πάλι ο μέσος όρος εξασθένησης που δίνει το κάθε δείγμα σε όλο το φάσμα που εξετάστηκε, καθώς και ο μέσος όρος για το φάσμα 2-4GHz:

Κωδικός και Περιγραφή Δείγματος

b - 6L



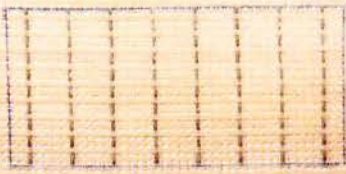
Νήμα b. 6 κάθετες ρίγες σε απόσταση 13mm η μία από την άλλη.

Γραφική Παράσταση Εξασθένησης της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας (σε σχέση με την εξασθένηση του σκέτου καμβά CC)

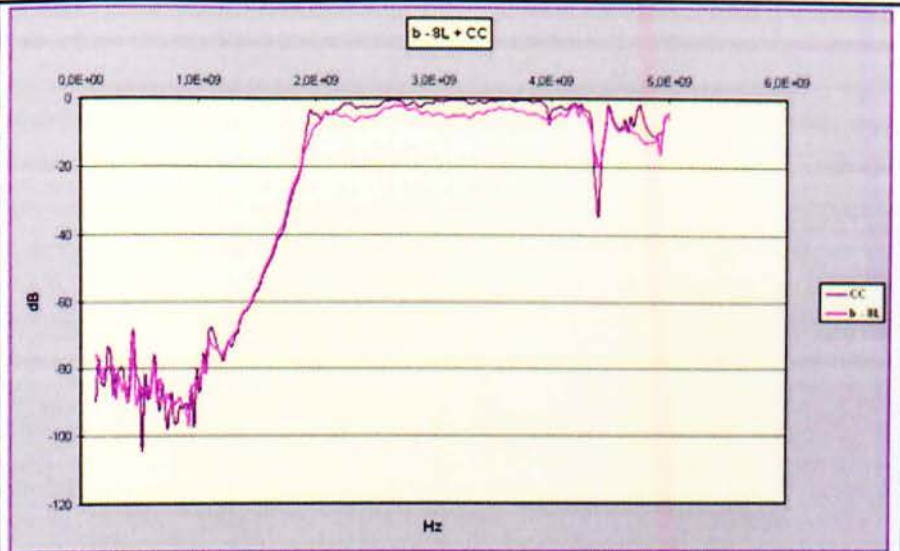


M.O.E. = 2,14 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 3,64 dB

b - 8L



Νήμα b. 8 κάθετες ρίγες
σε απόσταση 9mm η μία
από την άλλη.



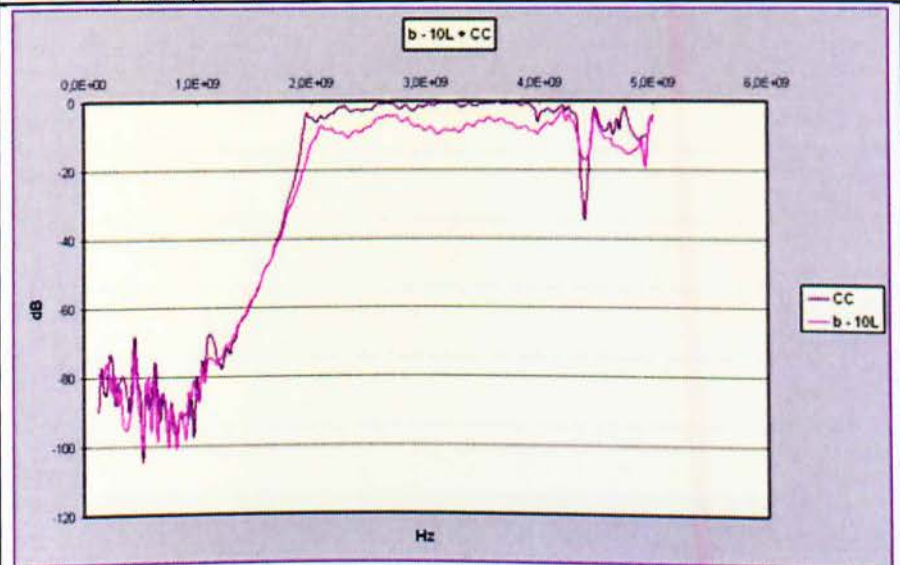
M.O.E. = 1,42 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 2,90 dB

b - 10L



Νήμα b. 10 κάθετες ρίγες
σε απόσταση 7mm η μία
από την άλλη.



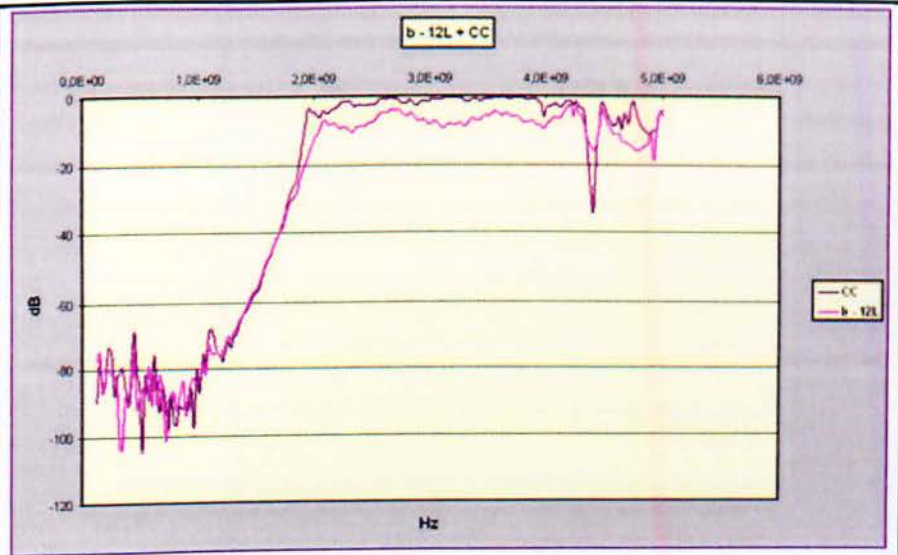
M.O.E. = 3,54 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 5,76 dB

b - 12L



Νήμα b. 12 κάθετες ρίγες
σε απόσταση 5,5mm η
μία από την άλλη.



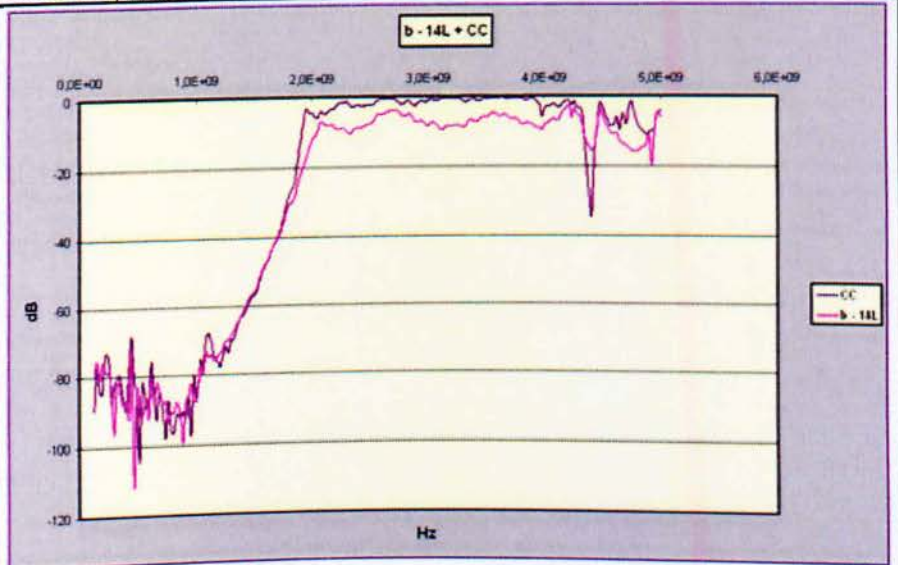
M.O.E. = 3,29 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 5,59 dB

b - 14L



Νήμα b. 14 κάθετες ρίγες
σε απόσταση 5,5mm η
μία από την άλλη.



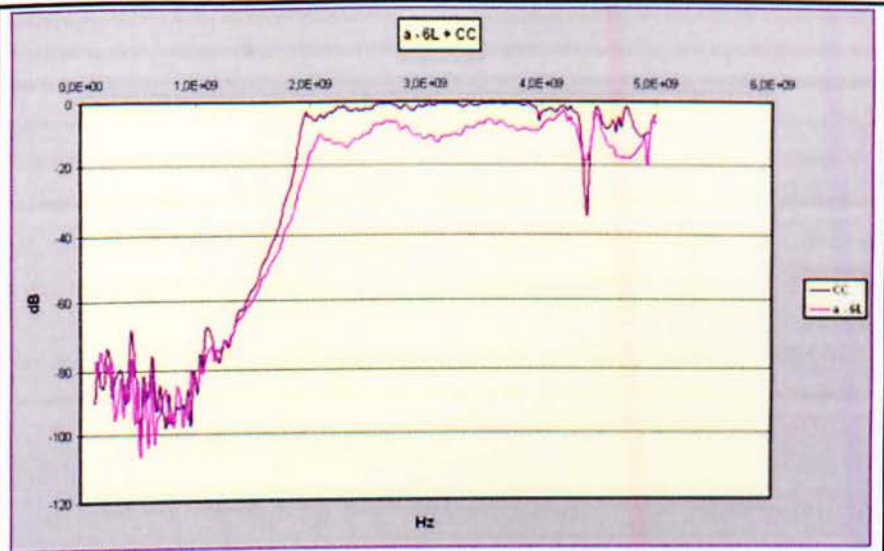
M.O.E. = 3,43 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 5,84 dB

a - 6L

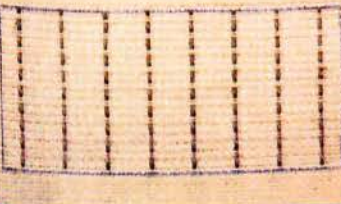


Νήμα α. 6 κάθετες ρίγες
σε απόσταση 13mm η
μία από την άλλη.

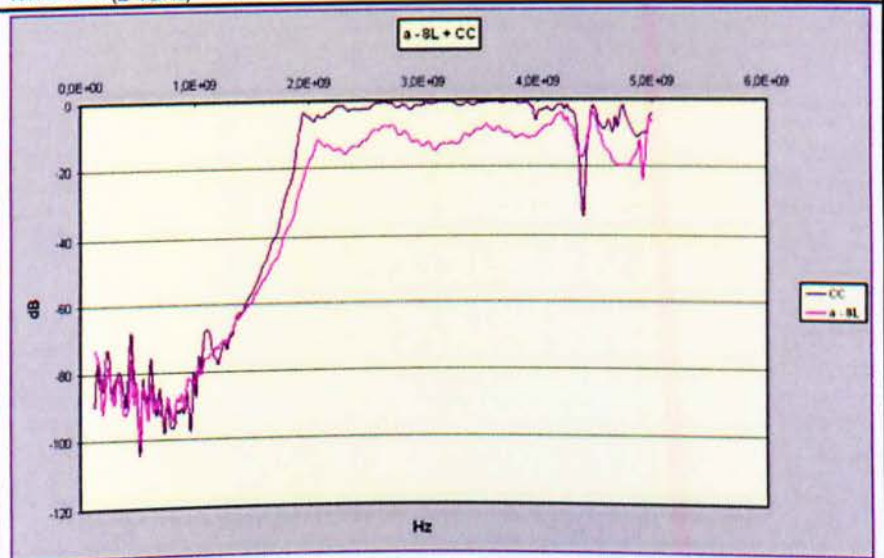


M.O.E. = 5,53 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 8,22 dB

a - 8L

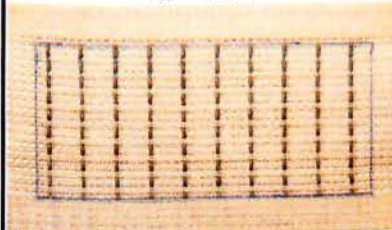


Νήμα α. 8 κάθετες ρίγες
σε απόσταση 9mm η
μία από την άλλη.



M.O.E. = 6,18 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 10,05 dB

a - 10L

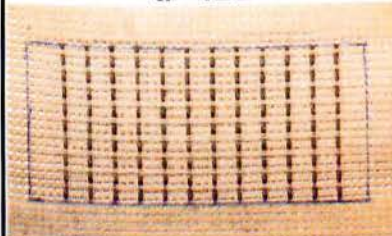


Νήμα a. 10 κάθετες ρίγες σε απόσταση 7mm η μία από την άλλη.

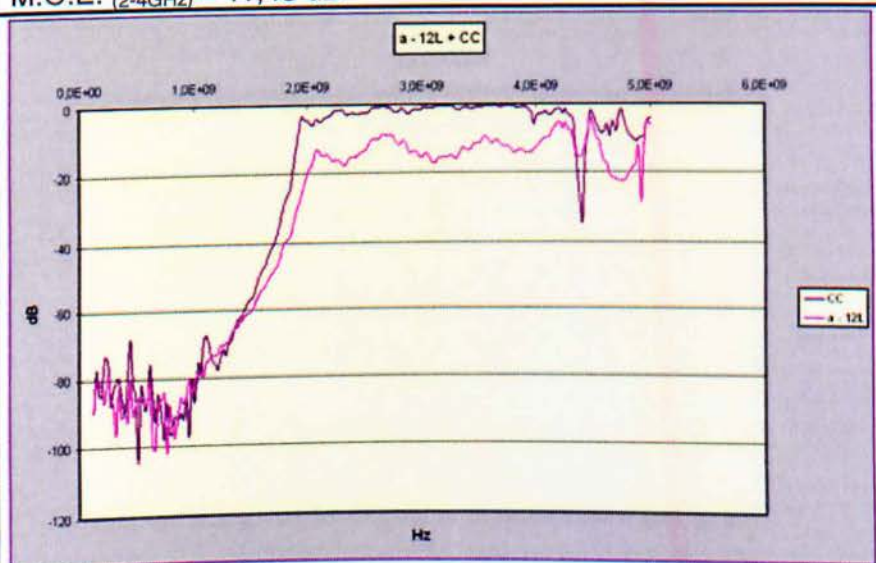


M.O.E. = 8,18 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 11,43 dB

a - 12L

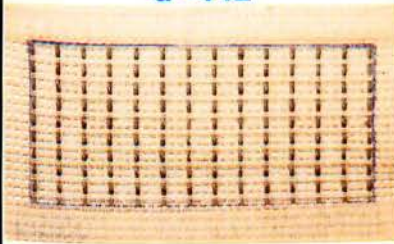


Νήμα a. 12 κάθετες ρίγες σε απόσταση 5,5mm η μία από την άλλη.

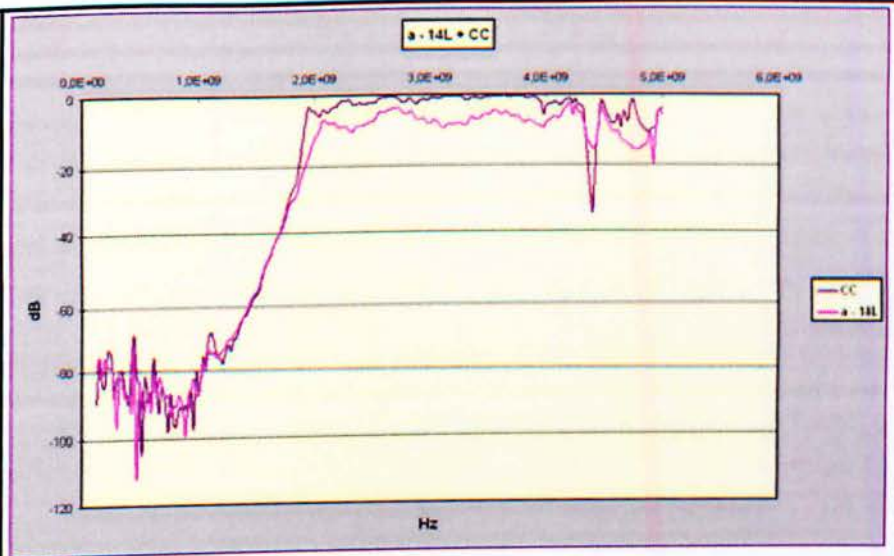


M.O.E. = 7,58 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 12,12 dB

a - 14L



Νήμα α. 14 κάθετες ρίγες σε απόσταση 5,5mm η μία από την άλλη.

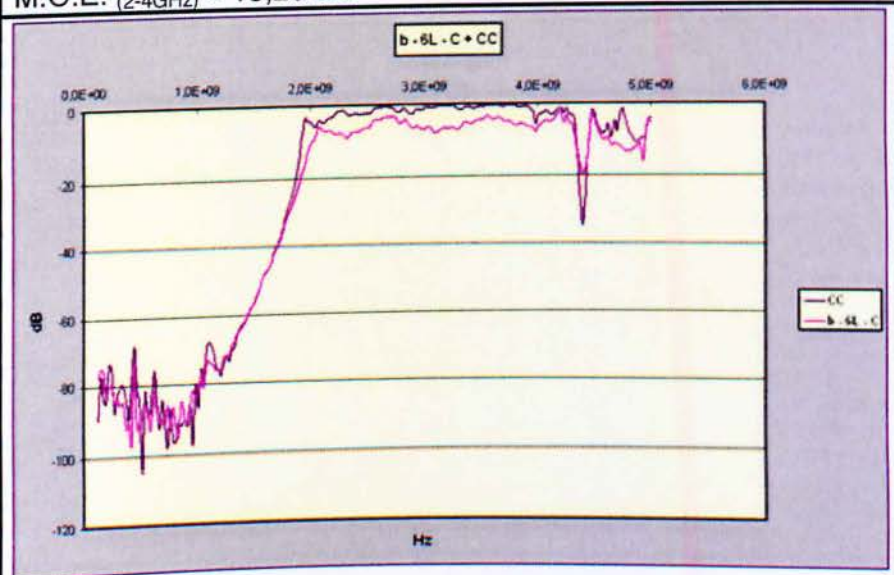


M.O.E. = 8,96 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 13,23 dB

b - 6L - C

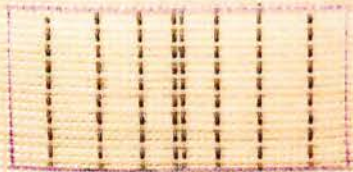


Νήμα β. 6 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



M.O.E. = 2,68 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 4,60 dB

b - 8L - C



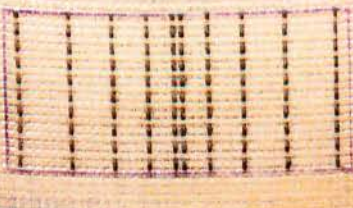
Νήμα b. 8 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



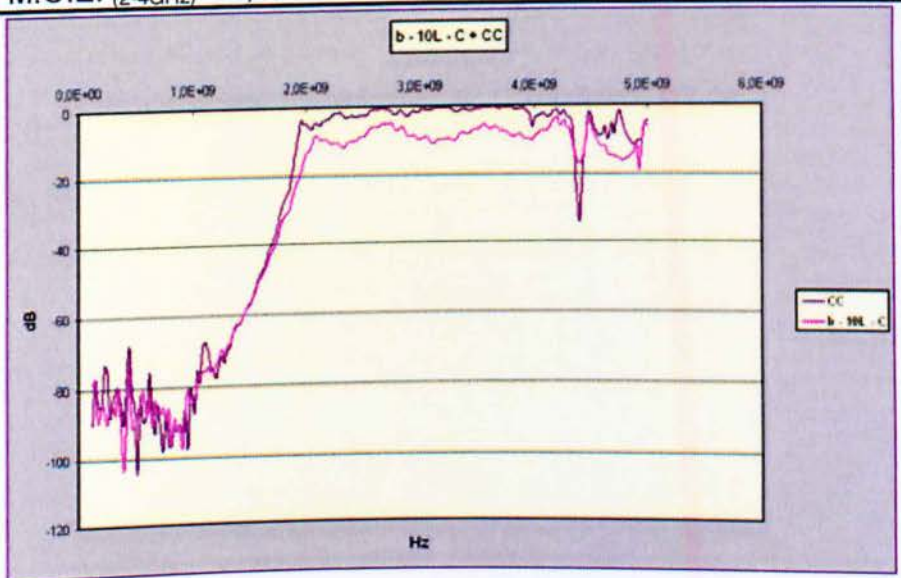
M.O.E. = 3,78 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 6,13 dB

b - 10L - C



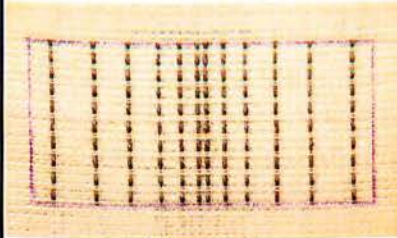
Νήμα b. 10 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



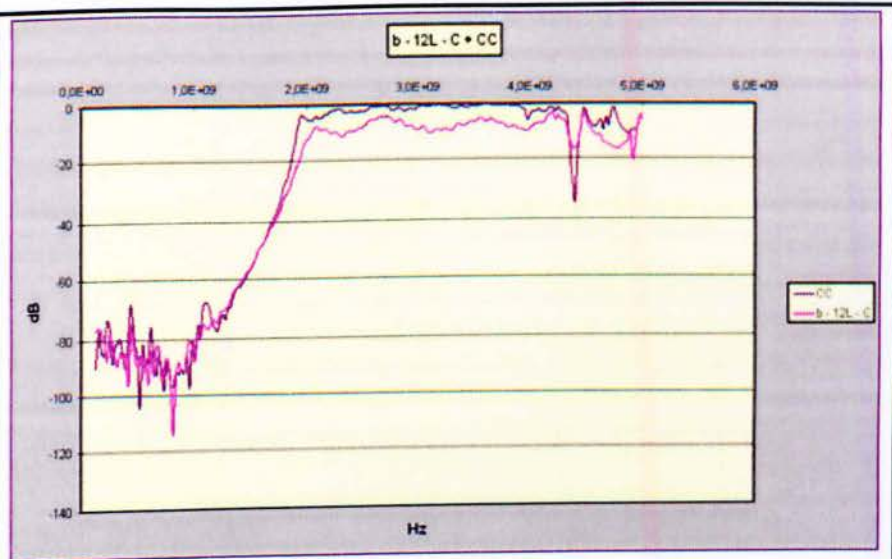
M.O.E. = 3,98 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 6,63 dB

b - 12L - C

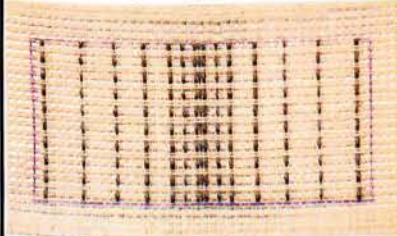


Νήμα b. 12 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.

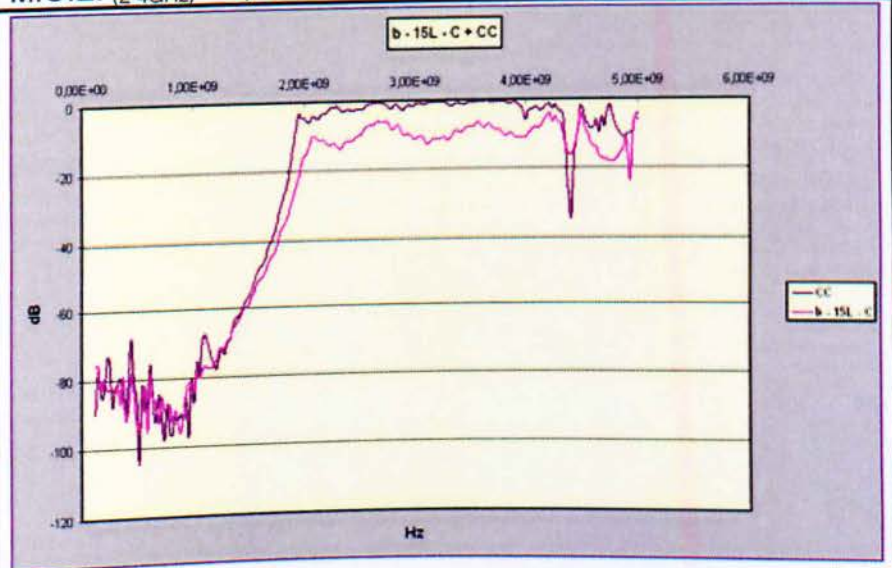


M.O.E. = 4,00 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 6,66 dB

b - 15L - C



Νήμα b. 15 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.

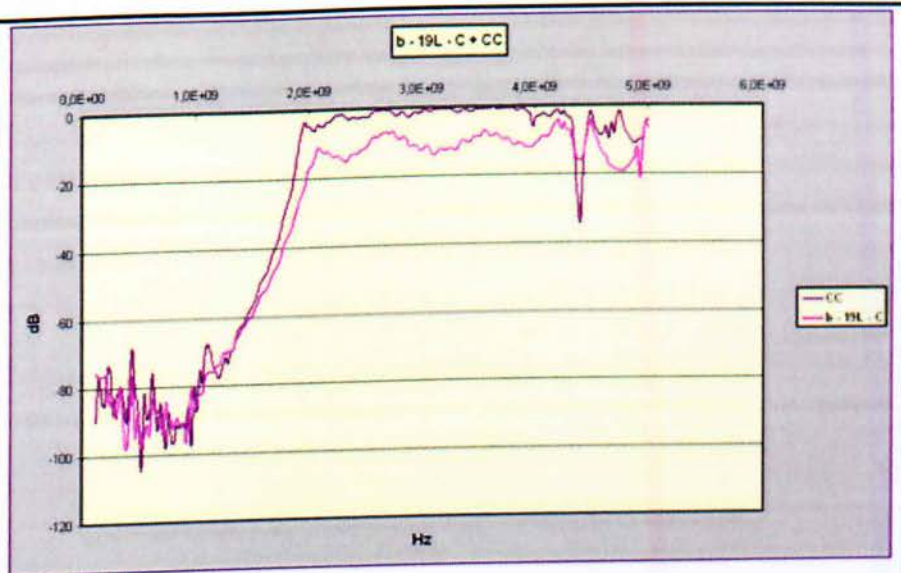


M.O.E. = 5,16 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 8,39 dB

b - 19L - C



Νήμα b. 19 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



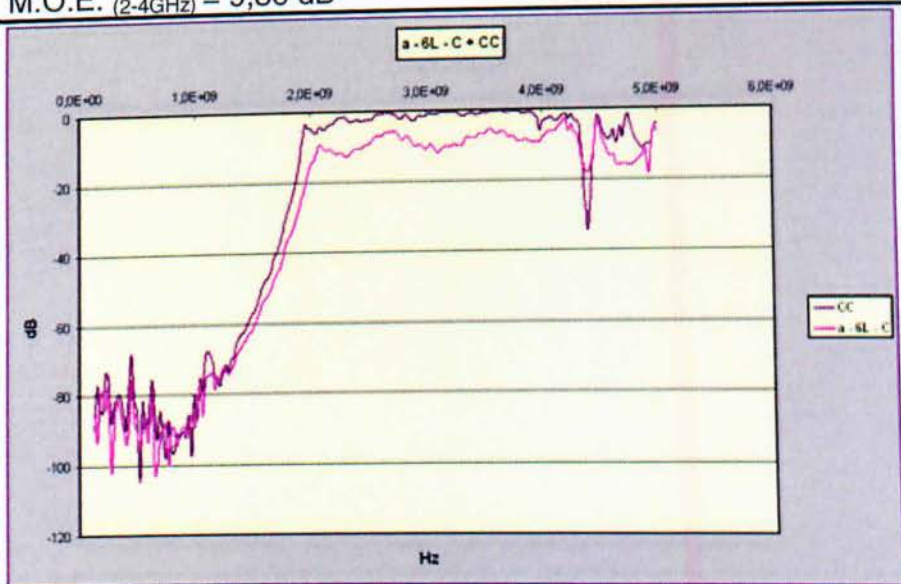
M.O.E. = 5,99 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 9,36 dB

a - 6L - C



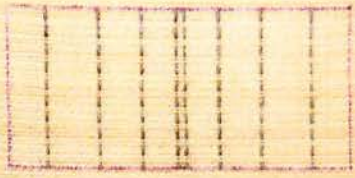
Νήμα a. 6 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



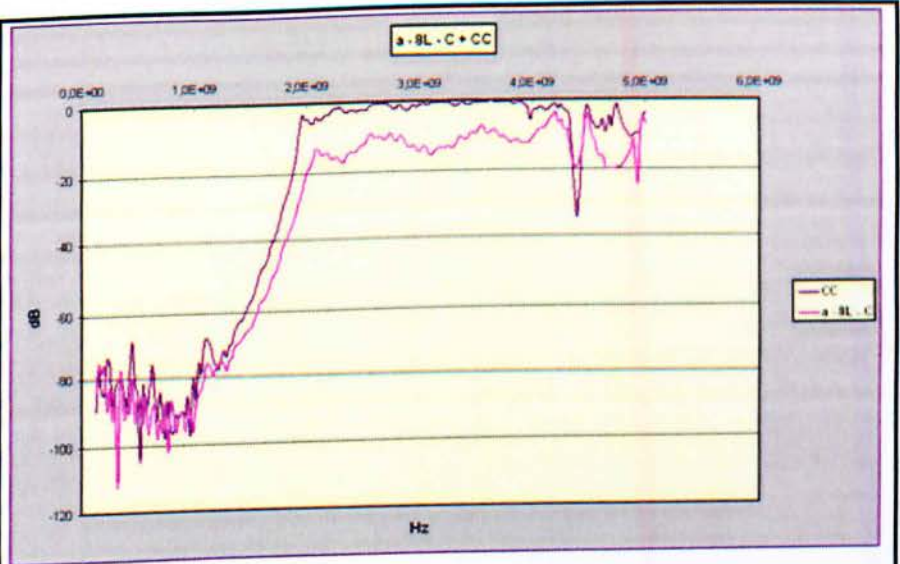
M.O.E. = 5,35 dB

M.O.E. (2-4GHz) = 7,50 dB

a - 8L - C

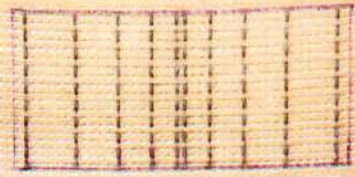


Νήμα α. 8 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.

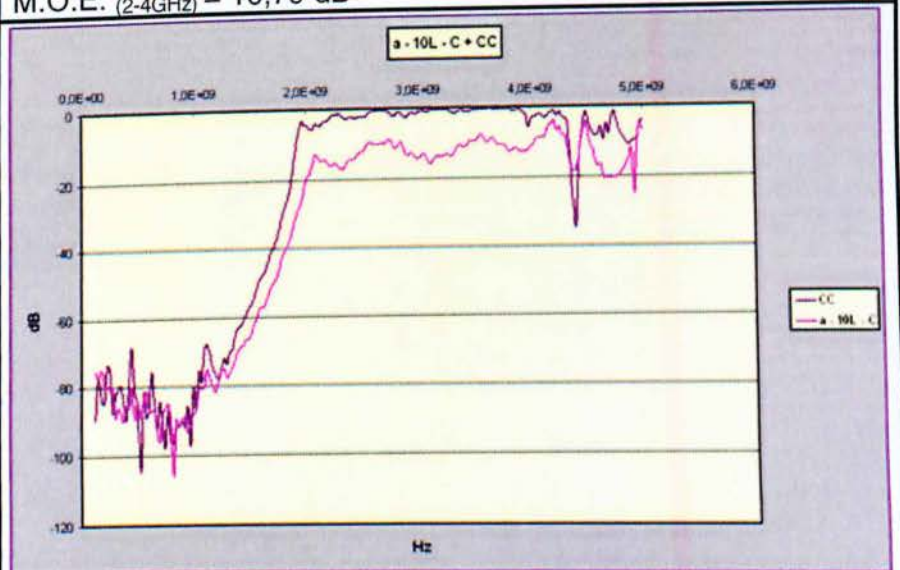


M.O.E. = 7,82 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 10,79 dB

a - 10L - C

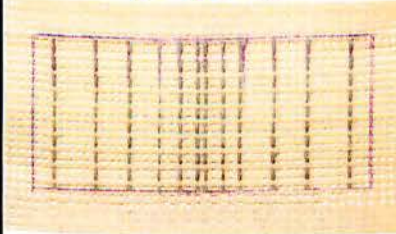


Νήμα α. 10 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



M.O.E. = 7,50 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 10,97 dB

a - 12L - C

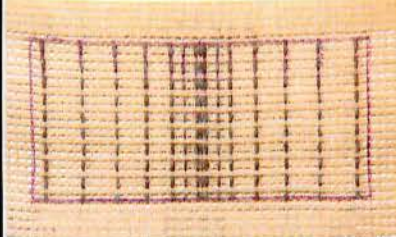


Νήμα α. 12 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



M.O.E. = 11,37 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 15,41 dB

a - 15L - C

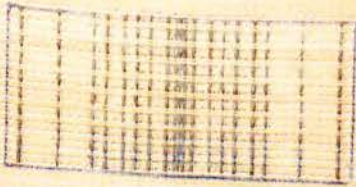


Νήμα α. 15 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.

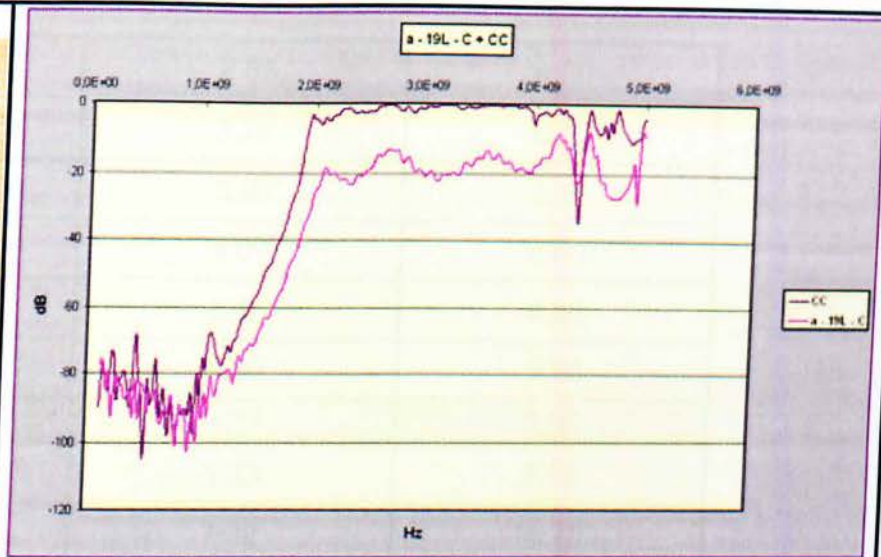


M.O.E. = 9,91dB
M.O.E. (2-4GHz) = 13,22 dB

a - 19L - C



Νήμα **a**. 19 κάθετες ρίγες, πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο του δείγματος, σε αποστάσεις συμμετρικές προς αυτό.



M.O.E. = 12,31 dB
M.O.E. (2-4GHz) = 16,79 dB

Ακολουθεί πίνακας με τους μέσους όρους εξασθένησης όλων των δοκιμών γενικά, αλλά και στην περιοχή 2-4GHz:

Κωδικός Δείγματος	M.O.E. (dB)	M.O.E. (2-4GHz) (dB)
<i>b - 6L</i>	2,14	3,64
<i>b - 8L</i>	1,42	2,90
<i>b - 10L</i>	3,54	5,76
<i>b - 12L</i>	3,29	5,59
<i>b - 14L</i>	3,43	5,84
Μέσος όρος	2,76	4,75
<i>a - 6L</i>	5,53	8,22
<i>a - 8L</i>	6,18	10,05
<i>a - 10L</i>	8,18	11,43
<i>a - 12L</i>	7,58	12,12
<i>a - 14L</i>	8,96	13,23
Μέσος όρος	7,29	11,01

<i>b - 6L - C</i>	2,68	4,60
<i>b - 8L - C</i>	3,78	6,13
<i>b - 10L - C</i>	3,98	6,63
<i>b - 12L - C</i>	4,00	6,66
<i>b - 15L - C</i>	5,16	8,39
<i>b - 19L - C</i>	5,99	9,36
Μέσος όρος	4,27	6,96
<i>a - 6L - C</i>	5,35	7,50
<i>a - 8L - C</i>	7,82	10,79
<i>a - 10L - C</i>	7,50	10,97
<i>a - 12L - C</i>	11,37	15,41
<i>a - 15L - C</i>	9,91	13,22
<i>a - 19L - C</i>	12,31	16,79
Μέσος όρος	9,04	12,45

4.3.2.3 Συμπεράσματα δεύτερου μέρους

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα, παρατηρείται καταρχήν πως όλα τα δοκίμια προκαλούν εξασθένηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κάποιο βαθμό, με ορισμένα να δίνουν ιδιαίτερα υψηλά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, το δοκίμιο με τον υψηλότερο Μ.Ο.Ε. είναι το **a - 19L - C** που προκαλεί κατά μέσο όρο **12,31dB** εξασθένηση σε όλο το φάσμα που εξετάστηκε και **16,79dB** στην περιοχή 2-4GHz. Αυτό σημαίνει εξασθένηση του αρχικού σήματος κατά **94-98%**!

Παρατηρείται επίσης πως, ως επί το πλείστον, αύξηση του αριθμού νημάτων στα δοκίμια, συνεπάγεται και αύξηση της ικανότητας τους να θωρακίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Υπάρχουν βέβαια κάποιες εξαιρέσεις, αλλά μπορεί να θεωρηθεί πως αυτές οφείλονται στα στάσιμα κύματα που δημιουργούνται εντός των κυματοδηγών.

Φαίνεται επιπλέον πως το νήμα αυξημένης αγωγιμότητας (a) προσφέρει διπλάσιο περίπου Μ.Ο.Ε. από το νήμα μειωμένης αγωγιμότητας (b) αλλά και πως τα δοκίμια με γραμμές νημάτων πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο τους,

τήνουν να δίνουν μεγαλύτερο Μ.Ο.Ε. από αυτά με ίδιο αριθμό γραμμών αλλά σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις. Για παράδειγμα, το δοκίμιο **a - 12L** δίνει Μ.Ο.Ε. **7,58dB**, ενώ το **a - 12L - C** δίνει **11,37dB**. Πρακτικά η διαφορά αυτή σημαίνει μια αύξηση της θωράκισης κατά 5-10%, περίπου, όταν οι γραμμές νήματος είναι πιο συμπυκνωμένες στο κέντρο των δοκιμίων. Αυτό, όπως προαναφέρθηκε, οφείλεται στο γεγονός ότι η ένταση των πεδίων εντός του κυματοδηγού είναι υψηλότερη στο κέντρο αυτού. Βέβαια, και πάλι υπάρχουν εξαιρέσεις (π.χ. δείγματα **a - 10L** και **a - 10L - C**) που μπορεί να οφείλονται είτε σε στάσιμα κύματα, είτε σε απώλειες των συσκευών, όμως η γενική εικόνα είναι πως τα δείγματα με συμπυκνωμένες γραμμές δίνουν λίγο καλύτερα αποτελέσματα.

Τέλος, συγκρίνοντας με τα αρχικά δοκίμια:

Κωδικός Δείγματος	Μ.Ο.Ε. (dB)	Μ.Ο.Ε. (2-4GHz) (dB)
a - VF - 4I	7,71	14,45
a - HF - 4I	0,99	1,76
a - 7TL - 4I	2,82	5,46
a - 12L - C - Prototype	7,28	10,66
a - 6HL	-0,33	-0,63
a - 2PL	-0,28	-0,34
a - 9DL - C	1,33	0,82
a - 9DL - C	1,24	1,06
a - 18XL - C	1,62	6,66

Το δοκίμιο που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα στο πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας ήταν το **a - VF - 4I** με Μ.Ο.Ε. στα **7,71dB**, για την κατασκευή του οποίου -υπενθυμίζεται- χρειάστηκαν 4 στρώσεις νήματος που κάλυπταν όλη την επιφάνεια του καμβά. Παρατηρείται πως το βέλτιστο δοκίμιο του δεύτερου μέρους, δηλαδή το **a - 19L - C**, δίνει ακόμα υψηλότερο Μ.Ο.Ε. στα **12,31dB**. Με μηδαμινή λοιπόν -συγκριτικά- κατανάλωση νήματος, επετεύχθη 15% υψηλότερη ηλεκτρομαγνητική θωράκιση!

5. ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, παρατηρείται πως με σχετικά μικρή κατανάλωση αγώγιμου νήματος, μπορεί να επιτευχθεί ηλεκτρομαγνητική θωράκιση της τάξης του **80-98%**! Το αποτέλεσμα αυτό είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρο και μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως το υλικό που μελετήθηκε μπορεί ίσως να χρησιμοποιηθεί σε στολές προστασίας ή ακόμα και σε καθημερινά ενδύματα για την προστασία των καταναλωτών από τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες της ατμόσφαιρας.

Ωστόσο, η μελέτη αυτή αποτελεί μονάχα μια πρώτη προσέγγιση της συμπεριφοράς των αγώγιμων νημάτων στην ηλεκτρομαγνητική θωράκιση σε πολύ συγκεκριμένες, εργαστηριακές συνθήκες. Με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν δεν είναι δυνατόν να βγουν συμπεράσματα για τη συμπεριφορά ενός ενδύματος που τα περιέχει -το οποίο μάλιστα ακολουθεί το σχήμα του σώματος του χρήστη- όταν αυτό εισέλθει σε ένα χώρο με ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες διαφόρων κατευθύνσεων, καθώς στις συνθήκες αυτές αναδεικνύονται νέα προβλήματα.

Εν κατακλείδι λοιπόν, συνίσταται η περαιτέρω μελέτη της συμπεριφοράς των αγώγιμων νημάτων σε πιο ρεαλιστικές, καθημερινές συνθήκες, ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο είναι όντως ικανά να παρέχουν προστασία στον χρήστη, υπό μορφή ενδυμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. S. Vassiliadis, Ch.Provatidis, K. Prekas and M Rangoussi, Electrically Conductive Spun Yarns, Proc. of the Xth International Izmir Textile and Apparel Symposium, pp 37-49, 27-30.10.2004, Izmir, Turkey.
2. Πέππας Αθανάσιος, Τεχνολογία Ινών & Νημάτων, Αθήνα, 1999.
3. Γαλανόπουλος Γ., Εισαγωγή Στην Κλωστική-Υφαντική, Αθήνα, 2000.
4. Βασιλειάδης Σάββας Γ., Νέες Τεχνολογίες Νηματοποίησης, ISBN 960-90469-0-8, 1997.
5. Goswami B.C., Martindale J.G. and Scardino F.L., Textile Yarns: Technology, Structure and Applications, ISBN 0471319007, New York, 1977.
6. Xiaoming Tao, Smart Fibres, Fabrics and Clothing, ISBN 0-8493-1172-1, CRC Press, North America, 2001.
7. Mattila H.R. Intelligent Textiles and Clothing, ISBN: 9780849390999, CRC Press, 2006.
8. Ιωάννου Αλέκος, Ντάνος Γιάννης. Πήππας Άγγελος και Ράπτης Σταύρος, Ο.Ε.Δ.Β., Φυσική θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης, Γ' τάξη Γενικού Λυκείου, ISBN 960-06-1154-8, Έκδοση Η' 2008, Αθήνα.
9. Ε.Ε.Τ.Τ. σε συνεργασία με το Ε. Μ. Πολυτεχνείο, Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία και Κινητή Τηλεφωνία: Τα επιστημονικά δεδομένα.
10. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: Γιατί προκαλεί φόβο;
<http://www.medlook.net/emf2/fovos.asp>
11. Ηλεκτρομαγνητική Ρύπανση: Ακτινοβολία από Κινητά Τηλέφωνα,
<http://em-pollution-gr.blogspot.com/>
12. <http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetism>
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_field
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_shielding
15. http://en.wikipedia.org/wiki/Coulomb_law
16. [http://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_\(electromagnetic_radiation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_(electromagnetic_radiation))
17. http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_shielding
18. The Decibel Defined: <http://sss-mag.com/db.html>
19. http://www.siemon.com/us/white_papers/99-05-17-what-is-inadb.asp
20. Waveguides: http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw_06_03.html
21. Anderson Kim, Smart Textiles Update:
<http://www.techexchange.com/thelibrary/smarttextiles.html>