

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΦΙΜΕΡΕΛΗ
ΔΙΠΛ. ΜΗΧ/ΓΟΥ - ΗΛ/ΓΟΥ ΜΗΧ/ΚΟΥ Ε.Μ.Π.

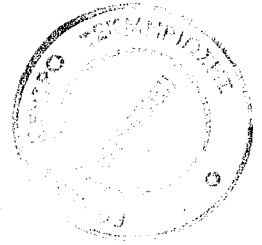
ΒΡΑΔΥΝΗ ΔΙΕΣΗΜΕΡΙΝΗ ΔΙΑΔΟΣΗ
ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ
ΜΕΤΑΞΥ ΕΛΛΑΔΟΣ ΚΑΙ ΑΦΡΙΚΗΣ
ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΤΟΥ 21ου
ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (1978 – 1982)

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΘΗΝΑ 1986

060018

ΚΩΝ/ΝΟΥ ΦΙΜΕΡΕΛΗ
ΔΙΠΛ. ΜΗΧ/ΓΟΥ-ΗΛ/ΓΟΥ ΜΗΧ/ΚΟΥ ΕΜΠ



ΒΡΑΔΥΝΗ ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ
ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΕΛΛΑΔΟΣ ΚΑΙ ΑΦΡΙΚΗΣ
ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΤΟΥ 21ου ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ
(1978-1982)

Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 1986

Αθήνα, 7.11.1986

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΚΩΝ/ΝΟΥ ΦΙΜΕΡΕΛΗ
ΔΙΠΛ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ-ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΜΠ

"ΒΡΑΔΥΝΗ ΔΙΠΣΗΜΕΡΙΝΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟ-
ΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΕΛΛΑΔΟΣ ΚΑΙ ΑΦΡΙΚΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ
ΤΟΥ 21ου ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ"

Επιβλέπων Καθηγητής

Ν.Κ. Ουζούνογλου

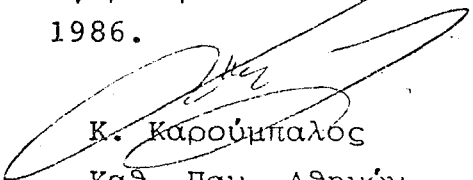
Συμβουλευτική Επιτροπή

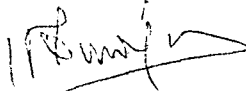
Ν.Κ. Ουζούνογλου

Ι.Γ. Φικιώρης

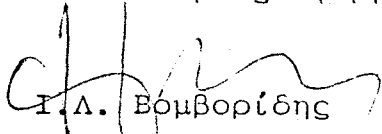
Ι.Δ. Κανελλόπουλος

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή την 7η Νοεμβρίου
1986.

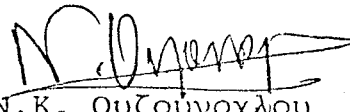

Κ. Καρούμπαλος
Καθ. Παν. Αθηνών,
Τμήμα Φυσικής
Τομέας Εφαρμογών



Ι.Γ. Φικιώρης
Καθ. Ε.Μ.Π.
Τομέας Ηλεκτροεπιστήμης



Ι.Α. Εομβορίδης
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκτροεπιστήμης



Ν.Κ. Ουζούνογλου
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκ/μης



Ι.Α. Κανελλόπουλος
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκτρο/μης

Π Ρ Α Κ Τ Ι Κ Ο Ε Ξ Ε Τ Α Σ Η Σ

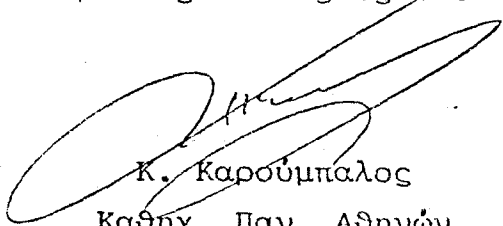
Υποψήφιου Διδάκτορα Μηχανικού Ε.Μ.Π. κ. Κ.Φιμερέλη

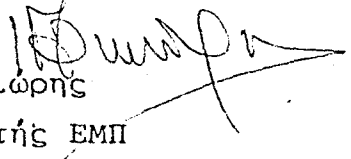
Η πενταμελής Εξεταστική Επιτροπή αποτελούμενη από τους Κ. Καρούμπαλο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών, Ι. Φικιώρη, Καθηγητή του Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Ι. Βομβορίδη, Αναπλ. Καθηγητή ΕΜΠ, Ν. Ουζούνογλου, Αν Καθηγητή ΕΜΠ και Ι. Κανελλόπουλο, Αν. Καθηγητή ΕΜΠ, που ορίστηκε στη Γενική Συνέλευση του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών της 3.3.86 για την εξέταση του ως άνω υποψήφιου Διδάκτορα, σύμφωνα με την Ν. 1268/16.7.82 αρ. 36, συνήλθε σήμερα 7.11.1986 στην αίθουσα συνεδριάσεων του Τομέα Ηλεκτροεπιστήμης.

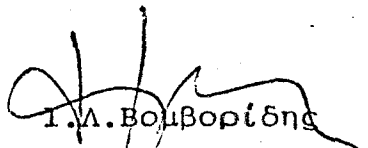
Ο υποψήφιος ανέπτυξε την διατριβή του ενώπιον της Εξεταστικής Επιτροπής και απάντησε επιτυχώς στις ερωτήσεις της. Η διατριβή με τίτλο "Βραδυνή Διημερινή Διάδοση πολύ υψηλών ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ Ελλάδος και Αφρικής γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου (1978-1982) προάγει την μελέτη των φαινομένων διάδοσης υπερβραχέων κυμάτων διαμέσου της ισημερινής ιονόσφαιρας και συμβάλλει με τις σχετικές δημοσιεύσεις στην ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης. Τα συγκεκριμένα σημεία συμβολής της περιέχονται στην συνημμένη Εισηγητική Έκθεση. Την διατριβή διακρίνει πρωτοτυπία, βάθος και σωστή επιστημονική ανάπτυξη.

Η Εξεταστική Επιτροπή συμφωνεί με την συνημμένη Εισηγητική Έκθεση της Συμβουλευτικής Επιτροπής και ψηφίζει ομόφωνα, με βάση το κριτικό της, να γίνει δεκτή η Διδακτορική Διατριβή του υποψήφιου και να ανακηρυχθεί ο κ. Κωνσταντίνος Φιμερέλης Διδάκτορας Μηχανικός του Ε.Μ.Π. σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.1268/16.7.82. Επίσης η Εξεταστική Επιτροπή βαθμολογεί με "άριστα" την Διδακτορική Διατριβή λόγω της ποιότητας και της σημασίας της συμβολής της.

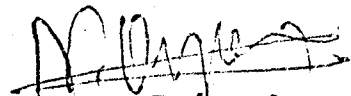
Συμπερασματικά, η Εξεταστική Επιτροπή, μετά την έκφραση των συγχορηγημάτων της στον υποψήφιο για το σύνολο της ερευνητικής του εργασίας, αποφαινεται ομόφωνα ότι ο κ. Κωνσταντίνος Φιμερέλης εκπληρώνει όλες τις προϋποθέσεις για την αυτοδίκαια ανακήρυξή του ως Διδάκτορα Μηχανικού του ΕΜΠ από την Γενική Συνέλευση του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, ομόφωνα με τις διατάξεις του Ν.1268/16.7.82, άρθρο 36.


Κ. Καρούμπαλος
Καθηγ. Παν. Αθηνών
Τομέας Εφαρμογών


Αθήνα, 7 Νοεμβρίου 1986

Ι. Φικιώρης
Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκτροεπιστήμης



Ι.Α.Βουβορίδης
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκ/μης



Ν.Κ.Ουζούνογλου
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκ/μης



Ι.Δ.Κανελλόπουλος
Αν.Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Ηλεκ/μης

Αφιερώνεται
στη σύζυγό μου για την υπομονή
της στη διάρκεια των παρατηρήσεων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διατριβή αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Εργαστηρίου Ασυρμάτου και Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων του Ε.Μ. Πολυτεχνείου κάτω από την εποπτεία των Καθηγητών κ.κ. Ι. Φικιώρη και Ν. Ουζούνου.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων από την Αθήνα χρησιμοποιήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις συσκευές, όργανα και υλικά του Εργαστηρίου καθώς και ο πειραματικός σταθμός του Ιδρύματος. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι εγκαταστάσεις των ραδιοερασιτεχνικών σταθμών ZE2JV και ZS6PW από τη Zimbabwe και S. Africa.

Από τη θέση αυτή εκφράζω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Ι. Φικιώρη για την εμπιστοσύνη που έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής και για την αμέριστη συμπαράστασή του στα διάφορα στάδια της.

Επίσης εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ν. Ουζούνου για τη συμβολή του στο θεωρητικό μέρος της διατριβής καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις του.

Ευχαριστώ ακόμη θερμά τους κ.κ. Ray Cracknell (ex ZE2JV) και Fred Anderson (ZS6PW) που χωρίς την τεχνική συνεργασία τους, τον ενθουσιασμό τους και την επιμονή τους δεν θα ήταν δυνατή η εργασία αυτή.

Ευχαριστίες επίσης εκφράζω στον κ. Γ. Βερναρδάκη (SV1AB) που με τη συμμετοχή του στη μεγάλη διάρκεια των παρατηρήσεων βοήθησε ουσιαστικά στον προσδιορισμό της μεταβολής της δισημερινής διάδοσης στα χρόνια 1978-1982.

Ακόμη εκφράζω τις ευχαριστίες μου στους ραδιοερασιτέχνες κ.κ. R. Whiting (ex 5B4WR), N. Kyriazis (5B4AZ), E. Mueller (YV5ZZ), G. Baker (VK8GB), που με τη διάθεση των ημερολογίων των σταθμών τους βοήθησαν στον προσδιορισμό των ομοιοτήτων της δισημερινής διάδοσης στους διάφορους τομείς της γης.

Τέλος, θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στη κ. Λ. Ρόγκα και κ. Χ. Τσόκα που βοήθησαν να ξεπεραστούν πολλά διοικητικά θέματα και την κ. Ε. Μιχαήλ για την υπομονή που έδειξε στην προσεκτική δακτυλογράφηση της διατριβής.

Αθήνα, Αύγουστος 1986

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Σελίδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΔΙΑΔΟΣΗ (TRANSEQUATORIAL PROPAGATION - TEP)

1.1	Γενικά	1
1.2	Η απογευματινή TEP	4
1.3	Η βραδυνή TEP	7
1.4	Ειδικά ιονοσφαιρικά φαινόμενα στην ισημερινή ζώνη	11
1.4.1	Ισημερινή ιονοσφαιρική ανωμαλία	11
1.4.2	Ισημερινό διάχυτο στρώμα F	18
1.4.3	Ισημερινό σποραδικό στρώμα E	23
1.4.4	Ισημερινές προσανατολισμένες ανομοιογένειες κενών ιονισμού	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: Ο ΕΥΡΩΑΦΡΙΚΑΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

2.1	Γενικές παρατηρήσεις - ιδιομορφίες του τομέα	30
2.2	Ερευνητική δραστηριότητα στον 19ο και 20ο ηλιακό κύκλο	33
2.3	Δραστηριότητα στη διάρκεια του 21ου ηλιακού κύκλου (1978-1982)	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ TEP ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΑΦΡΙΚΑΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

3.1	Ο τρόπος μελέτης	39
3.2	Η διάταξη του τερματικού σταθμού στην Αθήνα	43
3.2.1	Γενικά	43
3.2.2	Η διάταξη του σταθμού	44
3.3	Μέτρηση της διασποράς και μετατόπισης συχνότητας	50

3.4	Μέτρηση του χρόνου μονόφορης διάδοσης παλμών	53
3.4.1	Γενικά	53
3.4.2	Μέθοδος απόλυτου χρόνου	54
3.4.3	Η διάταξη του σταθμού εκπομπής στην Pretoria	55
3.4.4	Η διάταξη του σταθμού λήψης στην Αθήνα	59
3.4.5	Υπολογισμός του απόλυτου χρόνου διάδοσης παλμών	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1	Γενικά	68
4.2	Γεωγραφική εξάρτηση	70
4.3	Ημερήσιες, εποχιακές μεταβολές και αξιοπιστία των διημερινών ζεύξεων	74
4.3.1	Ημερήσια μεταβολή της βραδυνής TEP	74
4.3.2	Εποχιακή εξάρτηση	81
4.3.3	Αξιοπιστία των ζεύξεων	85
4.4	Ηλιακή και γεωμαγνητική εξάρτηση	95
4.5	Ένταση και πόλωση των σημάτων	101
4.5.1	Ένταση των σημάτων	101
4.5.2	Πόλωση των σημάτων	105
4.6	Γωνίες άφιξης και μεταβολής τους	106
4.7	Διασπορά και μετατόπιση συχνότητας	109
4.7.1	Διασπορά συχνότητας	109
4.7.2	Μετατόπιση συχνότητας	113
4.8	Χρόνος διάδοσης παλμών και πολλαπλή διάδοση	117
4.8.1	Γενικά	117
4.8.2	Αποτελέσματα των μετρήσεων	118
4.8.3	Συμπεράσματα από τις μετρήσεις του απόλυτου χρόνου διάδοσης παλμών	122
4.8.4	Σύγκριση μετρήσεων με πρότυπα διάδοσης	130

4.9	Άλλα χαρακτηριστικά της βραδυλής TEP	136
4.9.1	Διαλήψεις στην ένταση των σημάτων	136
4.9.2	Διαφορές ανάμεσα στους τρεις δισημερινούς τομείς της γης	138
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ TEP		
5.1	Γενικά	141
5.2	Γεωμετρία δισημερινών ζεύξεων	144
5.3	Μαθηματική εξέταση της διάδοσης στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό	148
5.4	Διασπορά των σημάτων	154
5.5	Υπολογισμός της έντασης πεδίου σε δισημερινή ζεύξη	157
5.5.1	Εύρεση του κυματοδηγούμενου πεδίου μέσα στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό	159
5.5.2	Ακτινοβολία από την ανοιχτή πλευρά του κυματοδηγού	163
5.5.3	Υπολογισμός της έντασης πεδίου	167
5.6	Αριθμητική εφαρμογή	170
5.6.1	Υπολογισμός ολικής εξασθένησης	170
5.6.2	Υπολογισμός συχνότητας αποκοπής	178
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		
6.1	Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	179
6.2	Θεωρητικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	183
6.3	Προοπτικές για ερευνητική εργασία στο μέγιστο του 22ου ηλιακού κύκλου (1991)	186
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Α":	Υπολογισμός της σειράς $S(\varphi_s, x_i, x_s)$	188
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Β":	Φωτογραφικό αρχείο χαρακτηριστικών περιπτώσεων δισημερινής διάδοσης παλμών στη ζεύξη Pretoria-Athens	191
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		199
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		205
ABSTRACT		207
ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΑΓΕΤΑΙ Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ		209

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΔΙΑΔΟΣΗ (TRANSEQUATORIAL PROPAGATION - TEP)

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διισημερινή διάδοση (TransEquatorial Propagation - TEP) είναι ένας ιδιαίτερος τρόπος διάδοσης πολύ ψηλών ραδιοσυχνοτήτων (>30 MHz) που παρατηρείται σε ραδιοζεύξεις μεγάλου μήκους που διχοτομούνται σχεδόν από το μαγνητικό ισημερινό της γης.

Η διισημερινή διάδοση (ή για συντομία TEP) υποστηρίζεται από την ισημερινή ιονόσφαιρα και καλύπτει αποστάσεις που κυμαίνονται μεταξύ 4000 και 9000 km, δηλαδή πολύ μεγαλύτερες από την απόσταση ενός απλού άλματος με διάθλαση στο στρώμα F_2 της ιονόσφαιρας (που είναι 2000~3000 km).

Οι συχνότητες που διαδίδονται με τον τρόπο αυτό καλύπτουν όλο το κάτω τμήμα της περιοχής των πολύ ψηλών ραδιοσυχνοτήτων (Very High Frequencies - VHF) από 30 ως 300 MHz.

Μέχρι το 1947, δηλαδή το μέγιστο του 18ου ηλιακού κύκλου (όπως ονομάζεται η ενδεκάχρονη περιοδική μεταβολή της ενεργειακής του δραστηριότητας) ήταν γενικά παραδεκτό ότι η ιονοσφαιρική διάδοση μεταξύ δύο μακρινών σημείων περιοριζόταν σε συχνότητες μικρότερες από τη μέγιστη χρησιμοποιήσιμη (Maximum Usable Frequency - MUF), που εξαρτάται κυρίως από την ηλεκτρονική πυκνότητα της ιονόσφαιρας και είναι συνήθως κάτω από τους 30 MHz.

Τη χρονιά όμως εκείνη πραγματοποιήθηκαν μεταξύ ραδιοερασιτεχνών της Βόρειας και Νότιας Αμερικής ραδιοζεύξεις με μικρές ακτινοβολούμενες ισχείς εκπομπής σε συχνότητες κατά 50% μεγαλύτερες από κάθε πρόβλεψη της MUF, και που ξεπερνούσαν τους 50 MHz¹.

Το ίδιο φαινόμενο επαναλήφθηκε αργότερα και μεταξύ περιοχών της Αυστραλίας και της Ανατ. Ασίας, ιδιαίτερα της απογευματινές και βραδυνές ώρες.

Το επιστημονικό ενδιαφέρον των ζεύξεων αυτών αναγνωρίστηκε αμέσως αφού ο νέος τρόπος διάδοσης δεν συμβιβαζόταν με τις κλασικές αντιλήψεις για τη διάδοση των βραχέων κυμάτων και παρουσίαζε συχνά εντάσεις σημάτων που πλησίαζαν τις τιμές του ελεύθερου χώρου, αφήνοντας να διαφανεί μία πιθανότητα επέκτασης της κορεσμένης από σταθμούς περιοχής των βραχέων κυμάτων προς ψηλότερες

συχνότητες με παράλληλη εκτόνωση όσων την χρησιμοποιούσαν.

Σαν αποτέλεσμα, μέσα στην εικοσαετία 1955-1975, χρησιμοποιήθηκαν πολλές επαγγελματικές ή ραδιοερασιτεχνικές ζεύξεις για τη μελέτη του φαινομένου στο μέγιστο αλλά και στο ελάχιστο του 19ου και 20ου ηλιακού κύκλου.

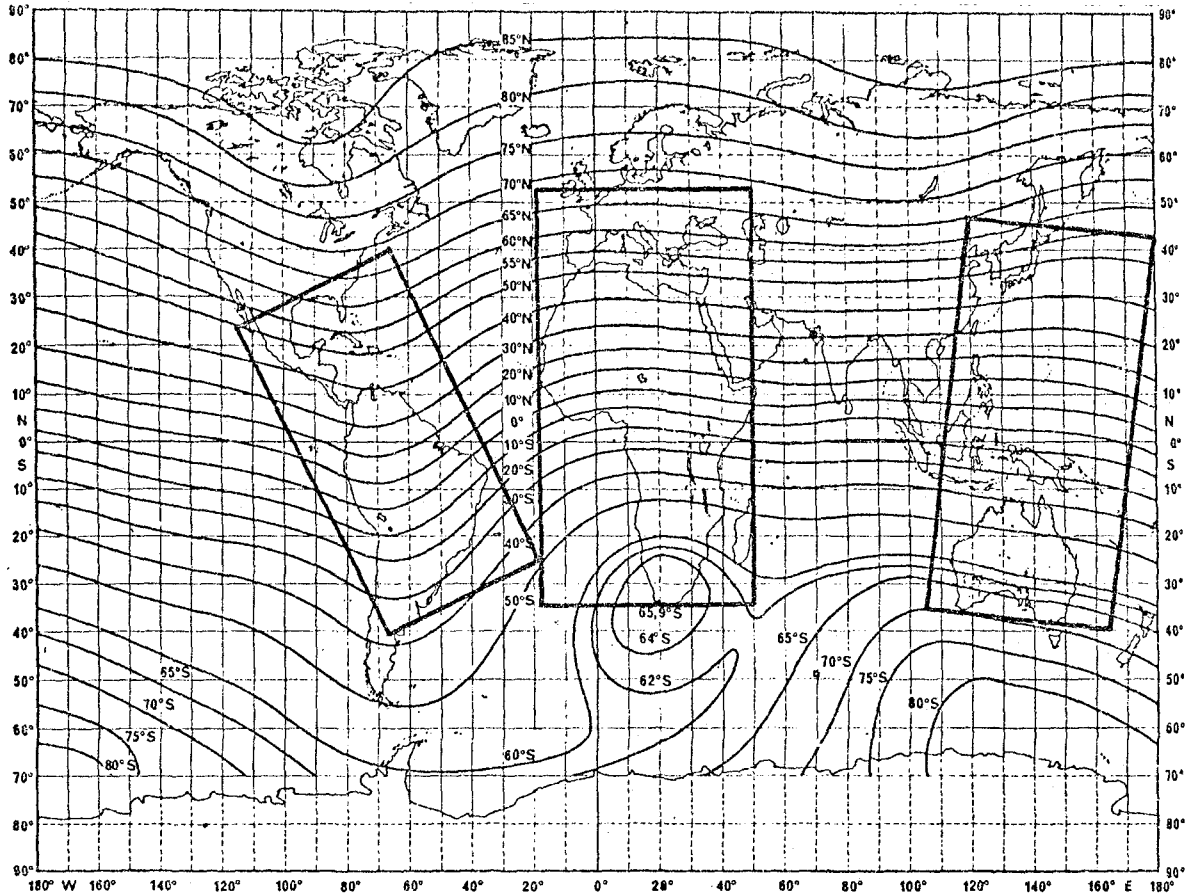
Ερευνητές απ'όλο τον κόσμο εργάστηκαν και στους τρεις διησημερινούς τομείς της γης, δηλαδή τον Αμερικανικό, τον Ευρωπαϊκό και τον τομέα του Ειρηνικού Ωκεανού (Σχ. 1.1)^{2,3}.

Τα αποτελέσματα της προσπάθειας ήταν εντυπωσιακά αφού διαπιστώθηκε ότι στις διησημερινές ζεύξεις μπορούσαν να διαδοθούν με μικρή εξασθένηση τα χρόνια της μεγάλης ηλιακής δραστηριότητας πολύ ψηλές συχνότητες για ένα μεγάλο τμήμα της μέρας αλλά και της νύχτας.

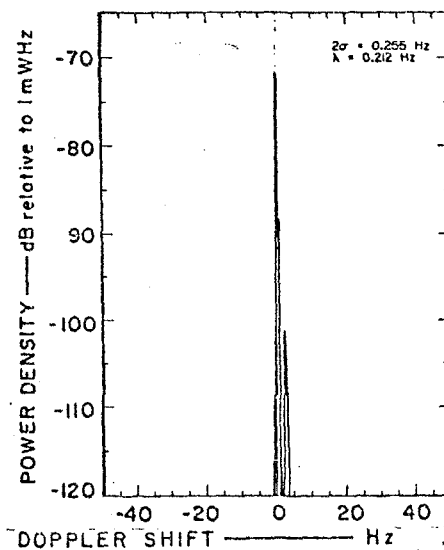
Από τις παρατηρήσεις όμως διαπιστώθηκε ότι στις ζεύξεις αυτές η αξιοπιστία και η ποιότητα των σημάτων που έφταναν στους δέκτες ήταν πολύ χαμηλή ώστε σπάνια να μπορούν να μεταδοθούν χωρίς σημαντική παραμόρφωση σήματα πάνω από τους 40 MHz.

Παράλληλα διαπιστώθηκε πως ορισμένες μόνο διησημερινές ζεύξεις παρουσίαζαν τα ισχυρότερα σήματα και τις ψηλότερες διαδιδόμενες συχνότητες. Τέτοιες ζεύξεις εμφανίζονται μεταξύ περιοχών που βρίσκονται συμμετρικά τοποθετημένες προς τον ισημερινό μαγνητικής έγκλισης ή απλούστερα μαγνητικό ισημερινό (dip equator), που γενικά δεν συμπίπτει με τον γεωμαγνητικό ή το γεωγραφικό ισημερινό, και που ονομάζονται μαγνητικά συζυγείς (magnetic conjugates), (Σχ. 1.1)^{2,3}. Ακόμη παρατηρήθηκαν πολλές ομοιότητες στην ΤΕΡ και στους τρεις διησημερινούς τομείς της γης, όπως η έντονη εποχιακή εξάρτηση, η χαμηλή εξασθένηση των σημάτων για μαγνητικά συζυγείς περιοχές και η διάκρισή της σε δύο τύπους, τον απογευματινό και το βραδυνό, εξαιτίας των μεγάλων διαφορών στα χαρακτηριστικά τους^{2,4}.

Για τους παραπάνω λόγους η διησημερινή διάδοση δεν μπόρεσε τελικά να προσφέρει την προσδοκώμενη διέξοδο στα βραχέα κύματα, ενώ αντίθετα θεωρήθηκε αιτία προβλημάτων, αφού εκπομπές σε συχνότητες που θεωρούνται ότι διαδίδονται μέχρι τον ραδιορίζοντα μπορούσαν τα χρόνια της έντονης ηλιακής δραστηριότητας να παρεμβάλουν ζεύξεις στο αντίθετο ημισφαίριο.



Σχ. 1.1: Οι διημερινοί τομείς της γης.



Σχ. 1.2: Τυπικό φασματικό περιεχόμενο μονοχρωματικού σήματος που διαδίδεται με απογευματινού τύπου TEP (ζεύξη
Demodulation 0.1

1.2 Η ΑΠΟΓΕΥΜΑΤΙΝΗ ΤΕΡ

Ο τύπος αυτός της δισημερινής διάδοσης ονομάστηκε έτσι γιατί έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης τις απογευματινές ώρες (μεταξύ 16:00 και 19:00 Ω-τοπική ώρα, στο σημείο που η ζεύξη συναντά το μαγνητικό ισημερινό).

Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι η σταθερότητα και η καθαρότητα των σημάτων που φτάνουν στο δέκτη σε σχέση με το βραδυνό τύπο.

Τα σήματα που διαδίδονται με την απογευματινή ΤΕΡ:

- είναι ισχυρά, με ένταση που φτάνει συχνά τις τιμές του ελεύθερου χώρου ή και τις ξεπερνά,
- παρουσιάζουν ασθενείς και αργές διαλείψεις (fading) στην έντασή τους,
- διασπορά συχνότητας (frequency spreading) μερικών Hz
- ελάχιστη μετατόπιση Doppler,
- μικρή διασπορά στο χρόνο διάδοσης (propagation time delay), σαν αποτέλεσμα ενός ή δύο τρόπων διάδοσής τους για μια συγκεκριμένη συχνότητα,
- καλύπτουν συνήθως αποστάσεις 5000~9000 km,
- έχουν ανώτερο όριο συχνοτήτων που διαδίδονται τους 70 MHz^{2,4}.

Ένα τυπικό φάσμα σήματος απογευματινής ΤΕΡ φαίνεται στο Σχ. 1.2².

Εκπομπές τηλεφωνίας στενής ζώνης (3 kHz) είναι συνήθως εύκολα καταληπτές, αλλά η πολλαπλή διάδοση (multipath) που εμφανίζεται σε σήματα ευρείας ζώνης συχνοτήτων (π.χ. TV), δεν επιτρέπει τη χρησιμοποίησή τους.

Η εποχιακή εξάρτηση του απογευματινού τύπου ΤΕΡ είναι έντονη, με μέγιστο εμφανίσεων στις ισημερινές (ιδιαίτερα την εαρινή, για το βόρειο ημισφαίριο) και ελάχιστο στα ηλιοστάσια (ιδιαίτερα το θερινό, για το βόρειο ημισφαίριο)⁵.

Η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας είναι αντίθετα μέτρα, με αύξηση των απογευματινών εμφανίσεων ΤΕΡ στα χρόνια του μέγιστου του ηλιακού κύκλου και αντίστοιχη μείωση την περίοδο του ελαχίστου⁵.

Η γεωμαγνητική δραστηριότητα επηρεάζει αρνητικά την απογευματινή ΤΕΡ. Όσο ισχυρότερες είναι οι μαγνητικές θύελλες τόσο μικρότερη παρουσιάζεται η πιθανότητα για την εμφάνισή της. Μετά τη λήξη όμως της θύελλας η διάδοση παρουσιάζεται ενισχυμένη⁶.

Η απογευματινή ΤΕΡ έχει μελετηθεί και στους τρεις διημερινούς τομείς της γης για μεγάλα χρονικά διαστήματα^{2,3,5,7-10}.

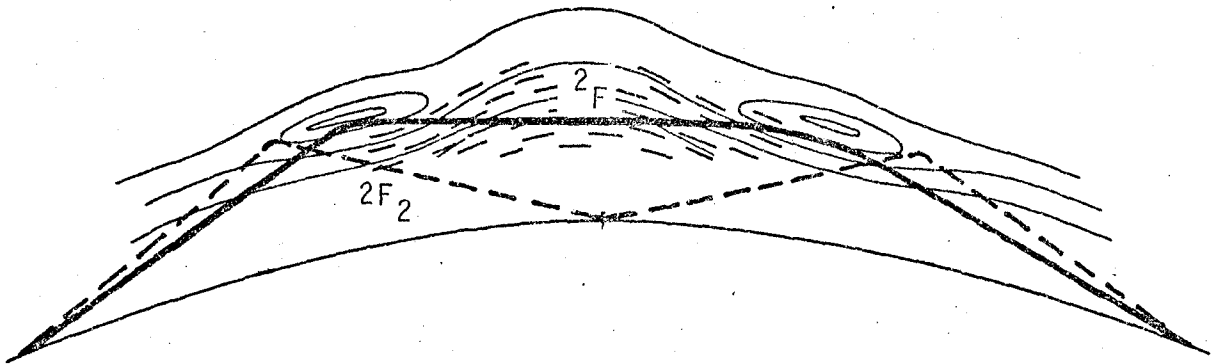
Είναι σήμερα γενικά παραδεκτό ότι ο ιονοσφαιρικός μηχανισμός που υποστηρίζει τον απογευματινό τύπο ΤΕΡ είναι η διπλή ιονοσφαιρική διάθλαση των σημάτων (χωρίς ενδιάμεση ανάκλαση από τη γη) στις περιοχές μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας^{2,3,11}.

Ισημερινή ανωμαλία της ιονοσφαιρικής περιοχής F_2 ονομάζεται η περιοχή της ανομοιομορφίας στη μέγιστη ηλεκτρονική πυκνότητα που εμφανίζεται κοντά στο ισημερινό μαγνητικής έγκλισης ή μαγνητικό ισημερινό (σε αντιδιαστολή με το γεωμαγνητικό ισημερινό).

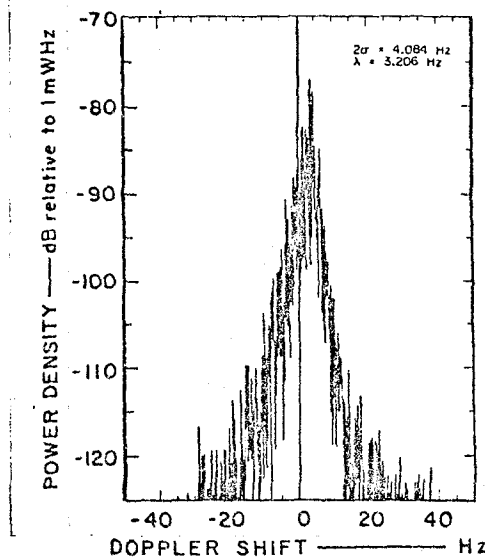
Μια πιο εκτεταμένη παρουσίαση του φαινομένου της ιονόσφαιρικής ανωμαλίας υπάρχει στο εδάφιο 1.4 .

Στο Σχ. 1.3 παρουσιάζεται η κλασσική διπλή διάθλαση σημάτων από το στρώμα F της ιονόσφαιρας με μία ενδιάμεση ανάκλαση από τη γη ($2F_2$ mode), καθώς και η προτεινόμενη διπλή διάθλαση στις περιοχές μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας, χωρίς όμως ενδιάμεση ανάκλαση από τη γη ($F-F$ ή 2F ή chordal hop) για την εξήγηση της απογευματινής ΤΕΡ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αυστηρή γεωμετρία που χρειάζεται για την πραγματοποίηση τέτοιων ζεύξεων περιορίζει γεωγραφικά τις τερματικές περιοχές στα δύο ημισφαίρια καθώς και το ανώτερο όριο των συχνοτήτων που μπορούν να διαδοθούν κάτω από τους 90 MHz^2 .



Σχ. 1.3: Κοινή διπλή λονοσφαιρική διάθλαση ($2F_2$) και διπλή διάθλαση απογευματινού τύπου ΤΕΡ ($2F$).



Σχ. 1.4: Τυπικό φασματικό περιεχόμενο μονοχρωματικού σήματος που διαδίδεται με βραδυνού τύπου ΤΕΡ (ζεύξη Βαροτομα-Οαθυ αραυ-ΕΑ μν. 2

1.3 Η ΒΡΑΔΥΝΗ ΤΕΡ

Τα χρόνια της μεγάλης ηλιακής δραστηριότητας μετά συνήθως από μια αξιολογημένη τελική αύξηση στην ένταση των σημάτων γύρω στις 18:00 ΤΩ (τοπική ώρα), η απογευματινή ΤΕΡ εξασθενεί γρήγορα και εξαφανίζεται γύρω στις 19:00 ΤΩ.

Στο διάστημα που ακολουθεί, διάρκειας μισής ως μιας περίπου ώρας, τα σήματα σε όλο το φάσμα συχνοτήτων που διαδιδόταν προηγουμένα παρουσιάζουν πολύ ισχυρή εξασθένηση και οι ζεύξεις συνήθως διακόπτονται.

Η εμφάνιση του βραδυνού τύπου ΤΕΡ είναι εντυπωσιακή. Μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας οι ραδιοζεύξεις αποκαθίστανται ραγδαία με μεγάλες εντάσεις σήματος, αρχίζοντας από τις χαμηλότερες συχνότητες προς τις ψηλότερες.

Τα χαρακτηριστικά όμως των σημάτων είναι τελείως διαφορετικά από εκείνα της απογευματινής ΤΕΡ και παρουσιάζουν:

- ισχυρές και γρήγορες διαλείψεις (flutter fading) στην έντασή τους με συχνότητα 5~15 Hz,
- μεγάλη διασπορά συχνότητας, μέχρι 40 Hz
- σημαντική μετατόπιση Doppler, ιδιαίτερα στις ψηλότερες συχνότητες
- μεγάλη διασπορά στο χρόνο διάδοσης, σαν αποτέλεσμα ισχυρής πολλαπλής διάδοσης.

Επιπλέον η ένταση των σημάτων είναι γενικά ψηλή, κυρίως μεταξύ μαγνητικά συζυγών σημείων, που απέχουν όμως συνήθως 4000~8000 km, δηλαδή λιγότερο απ'ότι στην απογευματινή ΤΕΡ^{2-4,29}.

Στο Σχ. 1.4 παρουσιάζεται το φάσμα μονοχρωματικού σήματος με συχνότητα 54 MHz που διαδόθηκε με βραδυνή ΤΕΡ².

Συγκρίνοντάς το με το φάσμα του ίδιου σήματος που διαδόθηκε με απογευματινή ΤΕΡ (Σχ. 1.2), φαίνεται η μεγάλη διαφορά στα χαρακτηριστικά τους.

Η βραδυνή ΤΕΡ διαρκεί συνήθως από τις 20:00 ως τις 23:00 ΤΩ και υποστηρίζει συχνότητες με άνω όριο πολύ μεγαλύτερο από την απογευματινή.

Το ανώτατο όριο που αναφερόταν σε επιστημονικές δημοσιεύσεις από μετρήσεις στη διάρκεια του 20ου ηλιακού κύκλου ήταν 102 MHz⁴.

Πριν όμως από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου πραγματοποιήθηκαν τον Οκτώβριο 1977 από ραδιοερασιτέχνες του Αμερικανικού δισημερινού τομέα ραδιοζεύξεις στους 145 MHz. Η βραδυνή TEP έκρυβε και άλλες εκπλήξεις αφού λίγους μήνες αργότερα υπήρξαν σαφείς ενδείξεις πως ακόμη και συχνότητες μεγαλύτερες από 400 MHz μπορούσαν να διαδοθούν¹².

Η διάδοση του βραδυνού τύπου προκαλεί πολύ ισχυρή παραμόρφωση (selective fading) στα σήματα που διαδίδονται μ'αυτήν. Όσο ψηλότερη είναι η συχνότητα του φέροντος και μεγαλύτερο το εύρος ζώνης μετάδοσης της πληροφορίας, τόσο το σήμα γίνεται πιο ακατάληπτο.

Η εξάρτηση της βραδυνής TEP από την ηλιακή δραστηριότητα είναι εντονότερη από τον απογευματινό τύπο, αφού εμφανίζεται ουσιαστικά μόνο γύρω από το μέγιστο κάθε ηλιακού κύκλου⁵.

Εντονότερη είναι επίσης η εποχιακή εξάρτηση (με μέγιστο στην εαρινή ισημερία για το βόρειο ημισφαίριο), ενώ το ίδιο ισχύει και για τη γεωμαγνητική δραστηριότητα.

Η μελέτη της βραδυνής TEP απασχόλησε ιδιαίτερα τους επιστήμονες του Ασιατικού-Αυστραλιανού τομέα της γης^{3,4,13}.

Για την εξήγηση του τύπου αυτού της δισημερινής διάδοσης έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορα πρότυπα με μικρή ή μεγαλύτερη δυνατότητα εξήγησης των πειραματικών δεδομένων.

Οι φυσικοί μηχανισμοί που βασίζονται τα διάφορα αυτά πρότυπα είναι η διάθλαση, η σκέδαση και η κυματοδήγηση των σημάτων από τη νυχτερινή ισημερινή ιονόσφαιρα^{2,3}.

Αρχικά είχε προταθεί ότι και ο βραδυνός τύπος υποστηρίζεται από ένα πρότυπο παρόμοιο με εκείνο της απογευματινής TEP, αλλά με την παράλληλη παρουσία του διάχυτου ισημερινού στρώματος (F) (equatorial spread F).

Διάχυτο στρώμα F ονομάζεται η ειδική κατάσταση της ισημερινής ιονόσφαιρας (και κυρίως της περιοχής της ισημερινής ανωμαλίας) που εμφανίζεται μετά τη δύση του ήλιου όταν η κρίσιμη συχνότητα για κατακόρυφο ραδιοβολισμό δεν είναι πια συγκεκριμένη αλλά συγκεχυμένη.

Η παρατήρηση όμως τα επόμενα χρόνια βραδυλής TEP με απουσία διάχυτου στρώματος F στην ισημερινή περιοχή⁴, η διαπίστωση ότι μπορούν να διαδοθούν σήματα σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές από αυτές που δικαιολογεί η περιοριστική γεωμετρία του προτύπου¹⁴ και πρόσφατα η διάδοση συχνοτήτων στους 145 MHz και στους 432 MHz με ή χωρίς ταυτόχρονη διάδοση στους 50 MHz¹², οπότε απαιτείται τοπικά ιονοσφαιρική ηλεκτρονική πυκνότητα σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερη από ότι έχει παρατηρηθεί, οδηγούν στο συμπέρασμα πως η βραδυλή TEP πρέπει να ακολουθεί ένα εντελώς διαφορετικό τρόπο διάδοσης.

Η ασθενής σκέδαση από ένα ή δύο ιονοσφαιρικούς όγκους σε κατάλληλο ύψος προτάθηκε επίσης σαν μηχανισμός υποστήριξης της βραδυλής TEP, με ή χωρίς ενδιάμεση σκέδαση από το έδαφος^{12,13,15}.

Η δυσκολία όμως με το πρότυπο αυτό παρουσιάζεται στην εξήγηση των σχετικά χαμηλών τιμών εξαθένησης των σημάτων σε ψηλές συχνότητες (π.χ. 70 MHz) οπότε απαιτείται πολύ μεγάλη ενεργός διατομή (cross section) της τάξης των 10^{12} m^2 , και φυσικά τίθεται επιπλέον το ερώτημα γιατί η βραδυλή TEP να παρουσιάζει στην περίπτωση αυτή έντονη εξάρτηση από την τοπική ώρα (T.O.) και τις εποχές του έτους¹³.

Ακόμη κι αν υποτεθεί ότι η ασθενής σκέδαση γίνεται από σύμφωνους (coherent) και ιδανικά προσανατολισμένους σκεδαστές στην πρώτη ζώνη Fresnel, η απαιτούμενη ενεργός διατομή δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 10^9 m^2 , που δύσκολα μπορεί να υλοποιηθεί².

Η κυματοδήγηση από προσανατολισμένες, κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του γεωμαγνητικού πεδίου ανομοιογένειες στην ισημερινή ιονόσφαιρα (Field Aligned Irregularities - FAI) προτάθηκε επίσης σαν μηχανισμός εξήγησης της βραδυλής TEP^{2,4,16,17}.

Η πρόταση αυτή ενισχύθηκε ιδιαίτερα με παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους 50 MHz με το γιγάντιο οπισθοσκεδαστικό ραδιοεντοπιστή στο Περού (1976) και που απέδειξαν την ύπαρξη κενών (ή φουσαλίδων) ιονισμού που ανέρχονται μετά τη δύση του ηλίου σε μεγάλα ύψη για να διαχυθούν τελικά κατά μήκος των δυναμικών γραμμών¹⁸.

Η οριστική ύπαρξη όμως προσανατολισμένων "σωλήνων" κενών ιονισμού καταδείχτηκε τελικά στη διάρκεια του μέγιστου του

τελευταίου ηλιακού κύκλου (1980) με οπισθοσκεδαστικές μετρήσεις στους 156 MHz που έγιναν στον τομέα του Ειρηνικού Ωκεανού¹⁹. Αριθμητικά στοιχεία από τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν στη διαμόρφωση του προτύπου που προτείνεται στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής για την εξήγηση της βραδυλής TEP.

1.4 ΕΙΔΙΚΑ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΖΩΝΗ

Στην ισημερινή ιονόσφαιρα παρατηρούνται συστηματικά διάφορα ειδικά φαινόμενα που συνδέθηκαν στη βιβλιογραφία με την ΤΕΡ. Τα πιο σημαντικά απ'αυτά είναι:

- η ισημερινή ιονοσφαιρική ανωμαλία (equatorial anomaly)
- το ισημερινό διάχυτο στρώμα F (equatorial spread F)
- το ισημερινό σποραδικό στρώμα E (equatorial E_s)
- οι προσανατολισμένες κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του γεωμαγνητικού πεδίου ανομοιογένειες κενών ιονισμού (depletion density field aligned irregularities - FAI)

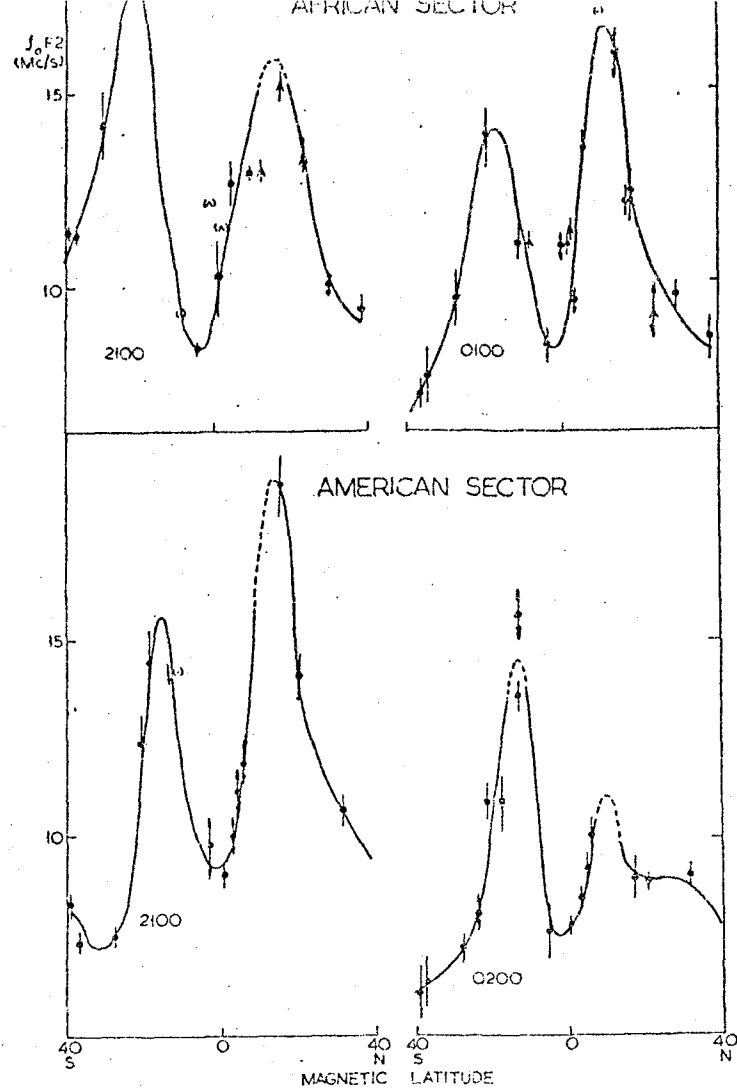
1.4.1 Ισημερινή ιονοσφαιρική ανωμαλία

Ισημερινή ανωμαλία του στρώματος F₂ ονομάζεται η περιοχή της ανομοιομορφίας της ηλεκτρονικής πυκνότητας πλάσματος (ή αντίστοιχα της κρίσιμης συχνότητας καθέτου ραδιοβολισμού f_oF₂) που παρουσιάζεται κοντά στο μαγνητικό ισημερινό (dip equator). Η ανομοιομορφία αυτή φαίνεται στο Σχ. 1.5, όπου παρουσιάζεται η μεταβολή της f_oF₂ με το μαγνητικό πλάτος.

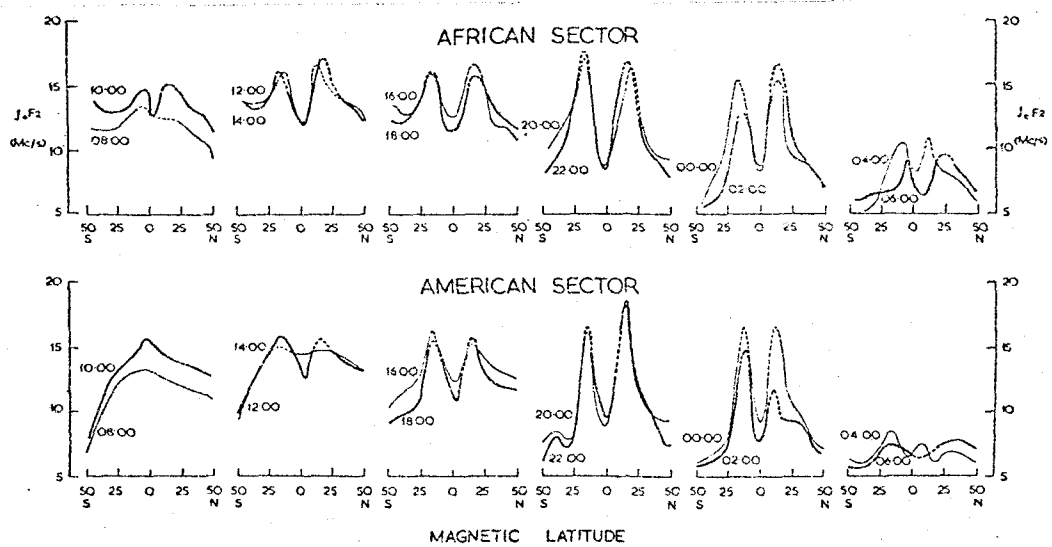
Εμφανίζονται λοιπόν σχεδόν συμμετρικά προς το μαγνητικό ισημερινό δύο σαφή μέγιστα στην f_oF₂, που τοποθετούνται περίπου στις ±30° (μαγνητικό πλάτος), και ένα έντονο ελάχιστο (ισημερινή τάφος), σχεδόν πάνω από τον ισημερινό. Για μαγνητικά πλάτη μεγαλύτερα από ±30° η τιμή της f_oF₂ μειώνεται ομαλά.

Η ισημερινή ανωμαλία, που αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 1946 από τον Appleton, συνδέθηκε αρκετά νωρίς με τη δισημερινή διάδοση (1957)¹ και θεωρείται σαν κύρια αιτία του απογευματινού τύπου ΤΕΡ^{2,3}.

Η μελέτη της ισημερινής ανωμαλίας, που πραγματοποιήθηκε στη διάρκεια του 18ου, 19ου και 20ου ηλιακού κύκλου από ερευνητές και στους τρεις δισημερινούς τομείς της γης, ανέδειξε τα κύρια χαρακτηριστικά της, που όπως αποδείχθηκε διαφέρουν σημαντικά από τομέα σε τομέα, με κύρια αιτία τη διάσταση που υπάρχει ανάμεσα



Σχ. 1.5: Μεταβολή της f_oF_2 στην περιοχή της ισημερινής ανωμαλίας (ισημερία Μαρτίου 1958) ²⁰.



Σχ. 1.6: Ημερήσια εξέλιξη της ισημερινής ανωμαλίας στη διάρκεια ηλιακού μέγιστου (ισημερία Μαρτίου 1958) ²⁰.

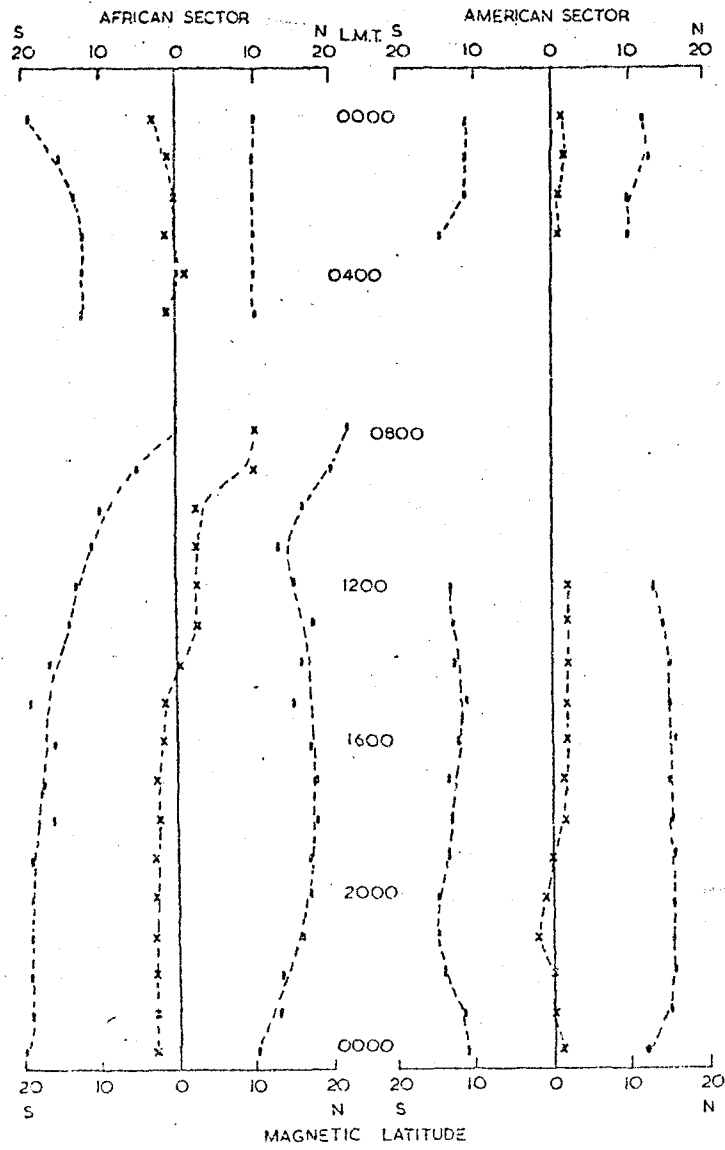
στο μαγνητικό και γεωγραφικό ισημερινό σε κάθενα από τους δισημερινούς τομείς της γης^{5, 20-23, 32}.

Η ισημερινή ανωμαλία παρουσιάζει ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές αλλά και εξάρτηση από την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα.

Στα Σχ. 1.6 και 1.7 παρουσιάζεται η ημερήσια εξέλιξη της ισημερινής ανωμαλίας στον Ευρωπαϊκό τομέα²⁰.

Όπως διαπιστώνεται από τα σχήματα αυτά:

- α. η ισημερινή ανωμαλία εμφανίζεται μετά τις 10:00 ΤΩ και διαρκεί μέχρι τις 06:00 ΤΩ (στο μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας και γύρω από τις ισημερίες). Δηλαδή μεταξύ 06:00 και 10:00 ΤΩ δεν υπάρχουν τα δύο μέγιστα γύρω από το μαγνητικό ισημερινό αλλά ένα μόνο σχεδόν πάνω απ' αυτόν (08:00 ΤΩ). Σημειώνεται ότι το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στον αμερικανικό τομέα, όπου επιπρόσθετα η εμφάνιση της ανωμαλίας καθυστερεί για δύο περίπου ώρες.
- β. δεν υπάρχει ασυνέχεια στην ημερήσια εξέλιξη της ανωμαλίας γύρω στις 18:00~20:00 ΤΩ, όπου παρουσιάζεται η μετάβαση από την απογευματινή ΤΕΡ στη βραδυνή.
- γ. από τις 12:00 ΤΩ ως τις 18:00 ΤΩ η ισημερινή ανωμαλία εμφανίζει σχεδόν σταθερά χαρακτηριστικά, αλλά μετά τις 18:00 ΤΩ ο λόγος R των τιμών της f_oF_2 που λαμβάνει στα μέγιστα και στην τάφρο αυξάνει και περνά από ένα μέγιστο που διαρκεί από τις 20:00 ως τις 22:00 ΤΩ, με τιμή που πλησιάζει $R = 2$ και οφείλεται κυρίως στη μείωση της τιμής της f_oF_2 στον ισημερινό.
- δ. μετά τις 01:00 ΤΩ η ανωμαλία εξασθενεί με γρήγορη μείωση της τιμής f_oF_2 στα μέγιστα.
- ε. πριν από τις 10:00 ΤΩ υπάρχει βόρεια μετατόπιση κατά 10° μαγνητικού πλάτους της ισημερινής τάφρου, που μηδενίζεται γύρω στις 14:00 ΤΩ και παραμένει σταθερή σε μικρές τιμές νότιου πλάτους μέχρι την 00:00 ΤΩ.



Σχ. 1.7: Μετατόπιση της ισημερινής τάφρου και των μέγιστων της ισημερινής ανωμαλίας στη διάρκεια της ημέρας (ισημερία Σεπτεμβρίου 1958)²⁰.

ζ. οι θέσεις των μεγίστων από τις 10:00 ΤΩ ως τις 15:00 ΤΩ τείνουν να απομακρυνθούν κατά μερικές μόλρες, μετά όμως παραμένουν σχεδόν σταθερές σε τιμές μεταξύ 15° και 20° .

Η ισημερινή ανωμαλία παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση στη μορφή της ανάμεσα στις ισημερινές και τα ηλιοστάσια. Γενικά η ανωμαλία εμφανίζεται εντονότερη (με μεγαλύτερο λόγο R) και συμμετρικότερη προς το μαγνητικό ισημερινό στις δύο ισημερινές του έτους.

Αντίθετα, όπως φαίνεται και στο Σχ. 1.8, την περίοδο των ηλιοστασίων η ανωμαλία παρουσιάζει ασυμμετρίες προς τον ισημερινό που φαίνεται να αντιστρέφονται από τη μέρα στη νύχτα⁵.

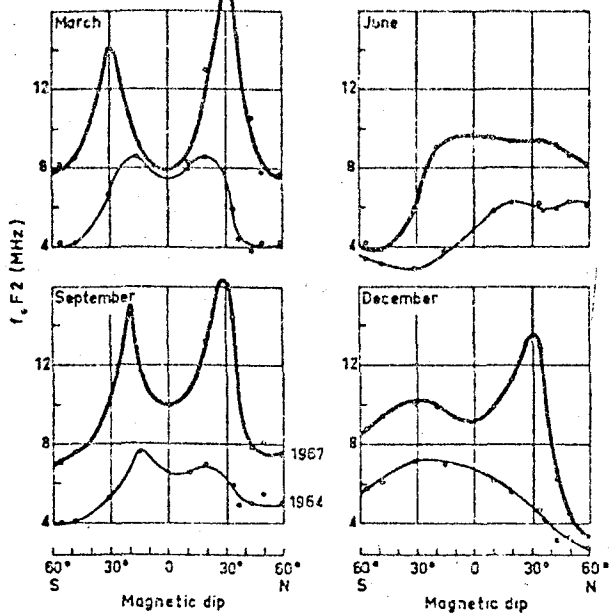
Επιπλέον η ισημερινή ανωμαλία παρουσιάζει έντονη εξάρτηση από την ηλιακή δραστηριότητα. Στο Σχ. 1.9 φαίνεται καθαρά, ότι στο ελάχιστο του ηλιακού κύκλου ακόμα και την περίοδο των ισημερινών, η ανωμαλία είναι ένα αποκλειστικά απογευματινό φαινόμενο, που εμφανίζεται στατιστικά σπανιότερα, με μικρότερη ένταση (μικρότερες τιμές του λόγου R) και με πιά πλατειά περιοχή μεγίστων (πράγμα που αντιστοιχεί σε μικρότερες οριζόντιες κλίσεις (gradients) στις τοπικές τιμές ηλεκτρονικής πυκνότητας των μεγίστων)⁵.

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι η ισημερινή ανωμαλία μελετήθηκε βασικά σε περιόδους "ήσυχων" (quiet) γεωμαγνητικά ημερών. Σε περιόδους γεωμαγνητικής δραστηριότητας η διαμόρφωση της ανωμαλίας παρουσιάζεται συγκεχυμένη και υπάρχουν ενδείξεις ότι η δημιουργία της καθυστερεί χρονικά ενώ ο λόγος R είναι μικρότερος, με αιτία την αύξηση του ιονισμού της ισημερινής τάφρου²⁴.

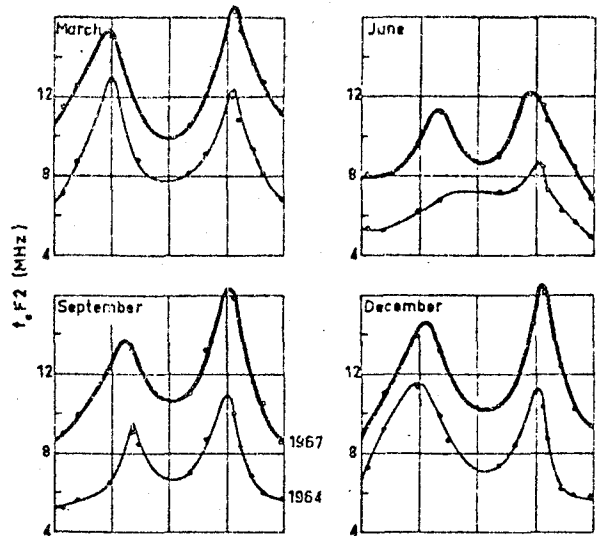
Η ισημερινή ανωμαλία συνδέθηκε με την TEP, και ιδιαίτερα με τον απογευματινό τύπο της, για τους παρακάτω λόγους:

α. τα δύο φαινόμενα παρουσίαζαν έντονη συσχέτιση στην εκδήλωσή τους που είναι ιδιαίτερα εμφανής τις απογευματινές ώρες στις ισημερινές και στα χρόνια της μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας. Χωρίς η ανωμαλία να αποτελεί τον αποκλειστικό παράγοντα για την εκδήλωση TEP, η δημιουργία ψηλών και απότομων κορυφών στα μέγιστα, παρουσιάζεται σαν απαραίτητη προϋπόθεση (μέχρι τους 50 MHz για τον Αυστραλιανό-Ασιατικό τομέα)⁵.

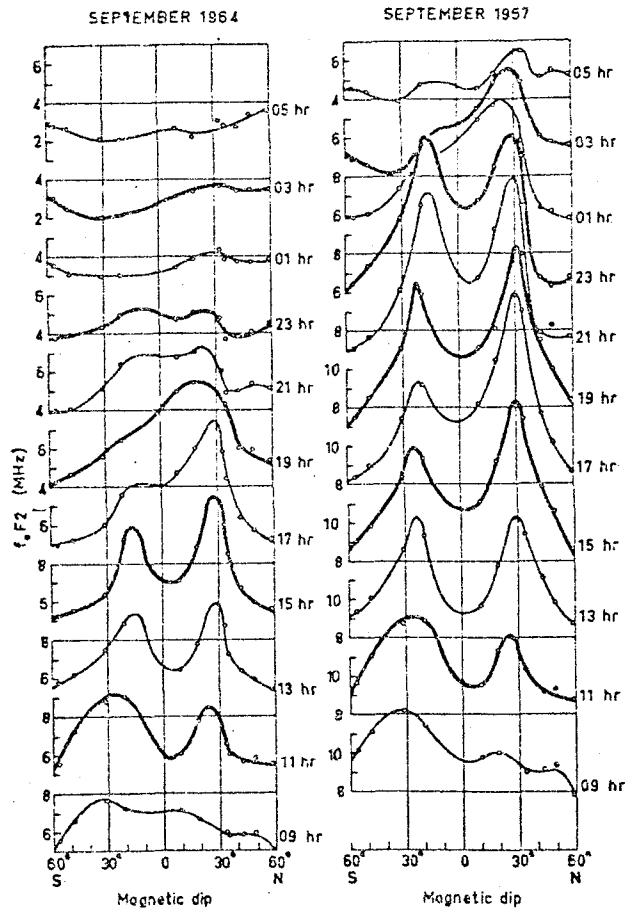
EVENING (2100 LMT)



AFTERNOON (1500 LMT)



Σχ. 1.8: Μεταβολή της ισημερινής ανωμαλίας με τις εποχές και την ηλιακή δραστηριότητα (ισημερινές και ηλιοστάσια 1964 και 1967)⁵.



Σχ. 1.9: Ημερήσια εξέλιξη της ισημερινής ανωμαλίας στις ισημερινές σε ελάχιστο και μέγιστο ηλιακής δραστηριότητας (Σεπτέμβριος 1964 και 1967)⁵

β. Η ύπαρξη μεγάλων οριζοντίων κλίσεων στην τιμή της ηλεκτρονικής πυκνότητας του πλάσματος στις κορυφές της ανωμαλίας που μπορούν να διαθλάσουν ραδιοσήματα με συχνότητες μέχρι περίπου 90 MHz. Μια διπλή τέτοια διάθλαση στις περιοχές των μεγίστων της ανωμαλίας είναι δυνατό να υποστηρίξει τη διάδοση ραδιοκυμάτων (χωρίς ενδιάμεση ανάκλαση από το έδαφος) μεταξύ περιοχών βόρεια και νότια από το μαγνητικό ισημερινό². Η διάδοση αυτού του τύπου (2F) παρουσιάζει μικρότερη ιονοσφαιρική εξασθένηση, αφού τα ραδιοκύματα διαπερνούν μόνο δύο φορές τα απορροφητικά στρώματα D και E της ιονόσφαιρας, αντί για τις τέσσερις που υποχρεώνονται στη διάδοση του τύπου $2F_2$, όπως φαίνεται και στο Σχ. 1.3. Επιπλέον μπορούν να διαδοθούν υψηλότερες συχνότητες, αφού οι γωνίες εισόδου στο στρώμα F είναι τώρα μικρότερες, με τιμές MOF 40 ως 50% μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες με διάδοση $2F_2$ ³.

Η μορφολογία όμως της ισημερινής ανωμαλίας και των οριακών τιμών που μετρήθηκαν στις οριζόντιες κλίσεις των μεγίστων της δεν μπορούν να εξηγήσουν το βραδυνό τύπο TEP οπότε:

- α. διαδίδονται πολύ ψηλότερες συχνότητες από 90 MHz, που ξεπερνούν τους 400 MHz^{12,25},
- β. καλύπτονται οριακά γεωγραφικές περιοχές με μεγάλες ασυμμετρίες ως προς το μαγνητικό ισημερινό²⁶,
- γ. παρουσιάζεται η πολύ χαρακτηριστική μετάβαση από τον απογευματινό τύπο στο βραδυνό, γύρω στις 18:30-19:30 ΤΩ, με εξαφάνιση της TEP για μισή ως μία ώρα, και επανεμφάνιση των σημάτων με τα χαρακτηριστικά του βραδυνού τύπου²⁶, όταν την ίδια χρονική περίοδο η ισημερινή ανωμαλία παραμένει σχεδόν αμετάβλητη⁵,
- δ. η ιεραρχική εμφάνιση των σημάτων συχνά αρχίζει από τις ψηλότερες συχνότητες²⁶,
- ε. έχουν διαπιστωθεί περιπτώσεις διάδοσης σημάτων με τα χαρακτηριστικά του βραδυνού τύπου TEP μεταξύ Pretoria (S.A.) και Αθηνών στους 145 MHz γύρω στις 08:00 ΤΩ²⁷, όταν η ισημερινή ανωμαλία είναι αδιαμόρφωτη ή ανύπαρκτη²⁰.

1.4.2 Ισημερινό διάχυτο στρώμα F (equatorial spread F)

Διάχυτο ιονοσφαιρικό στρώμα F ονομάζεται η διαταραγμένη κατάσταση που εμφανίζεται στο στρώμα αυτό όταν η κρίσιμη συχνότητα σε κάθετο ραδιοβολισμό (f_oF_2) δεν είναι πια συγκεκριμένη (Σχ. 1.10) αλλά συγκεχυμένη και ασαφής²⁷.

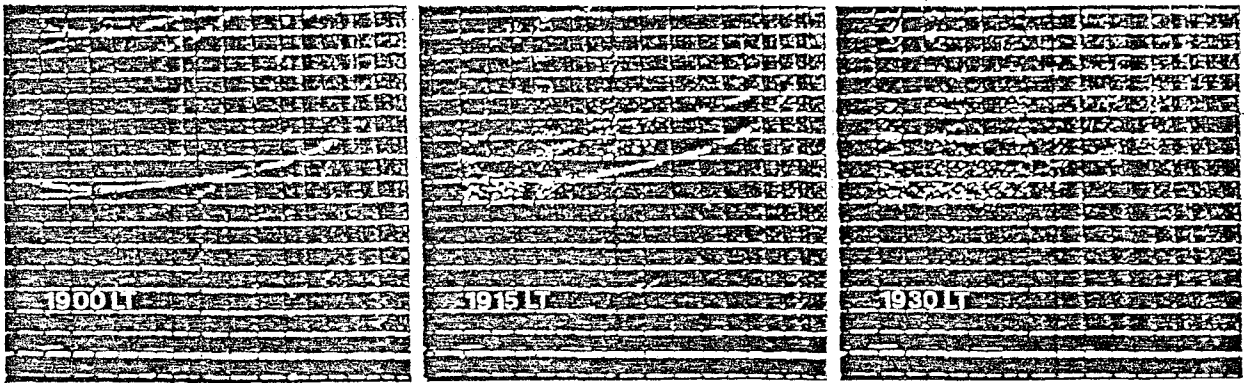
Το διάχυτο F εμφανίζεται τόσο σε μεγάλα γεωμαγνητικά πλάτη ($>40^\circ$) όσο και γύρω από τον ισημερινό ($\pm 20^\circ$). Η μεγαλύτερη όμως πιθανότητα εμφάνισης ($>90\%$) παρουσιάζεται στην ζώνη $\pm 10^\circ$ μαγνητικό πλάτος στη διάρκεια της νύχτας (περιοχή ισημερινού διάχυτου στρώματος F) (Σχ. 1.11).

Έχουν παρατηρηθεί δύο μορφές του διάχυτου F που χαρακτηρίζουν την ασάφεια του ραδιοβολιστικού ίχνους (ιονόγραμμα) και είναι μία που παρουσιάζει διασπορά στη συχνότητα (frequency spreading) και μία με διασπορά στην απόσταση-ύψος (range spreading).

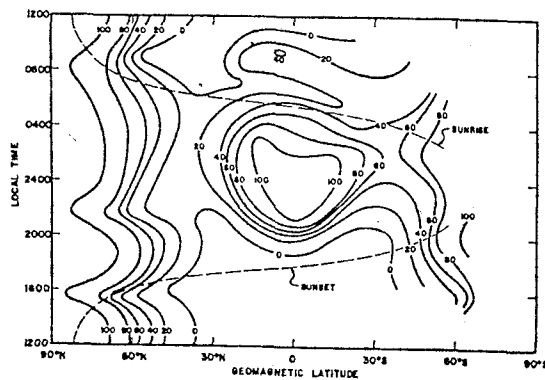
Μια ώρα περίπου μετά τη δύση του ήλιου στον ισημερινό (στο έδαφος), δηλαδή γύρω στις 19:00 ΤΩ, το κατώτερο τμήμα του στρώματος F αρχίζει να ανυψώνεται. Το ύψος του αυξάνει με την πάροδο της ώρας και γύρω στις 20:00 ΤΩ λαμβάνει μέγιστη τιμή (h_mF). Η πρώτη εμφάνιση ισημερινού διάχυτου F παρατηρείται συνήθως λίγο πριν την ώρα αυτή όταν το κατώτερο τμήμα (χαμηλές συχνότητες) του ιονογράμματος παρουσιάζει διασπορά στην απόσταση-ύψος (Σχ. 1.10). Μέχρι τα μεσάνυχτα η παρουσία του διάχυτου F έχει καλύψει όλο το ίχνος (χαμηλές και ψηλές συχνότητες). Μετά τα μεσάνυχτα η διασπορά επεκτείνεται συνήθως και στον άξονα των συχνοτήτων του ιονογράμματος, ενώ γύρω στην αυγή (με την προϋπόθεση ότι υπάρχει ακόμα διάχυτο F) η διασπορά έχει περιοριστεί μόνο στη συχνότητα και στο ενώτερο τμήμα (ψηλές συχνότητες) του ιονογράμματος⁴.

Η περιοχή του ισημερινού διάχυτου F διαιρείται τοπογραφικά σε δύο ζώνες με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει το τμήμα ανάμεσα σε $\pm 5^\circ$ μαγνητικό πλάτος (electrojet region) ενώ η δεύτερη τα τμήματα μεταξύ 5° ως 20° βόρεια ή νότια από το μαγνητικό ισημερινό²⁸.

Η εμφάνιση του διάχυτου F στην πρώτη ζώνη (που περιλαμβάνει και το μαγνητικό ισημερινό) είναι βραδυνό φαινόμενο σε



Σχ. 1.10: Διάχυτο στρώμα F (spread F) στην περιοχή του Chad (8/4/1971)²⁷.



Σχ. 1.11: Πιθανότητα εμφάνισης διάχυτου στρώματος F σαν συνάρτηση της τοπικής ώρας και του μαγνητικού πλάτους²⁷.

καθημερινή σχεδόν βάση για τις μαγνητικά "ήσυχες" μέρες, με μικρή βραδυνή ή εποχιακή εξάρτηση. Στον Αφρικανικό και Ασιατικό τομέα η συσχέτιση του φαινομένου με την ηλιακή δραστηριότητα είναι ισχυρά θετική, πράγμα που δεν συμβαίνει όμως στον Αμερικανικό τομέα της γής.

Αντίθετα η εμφάνιση του διάχυτου στρώματος F στη δεύτερη ζώνη παρουσιάζεται πολύπλοκη και εξαρτάται από την ώρα της νύχτας, την εποχή του έτους και την ηλιακή δραστηριότητα. Στη ζώνη αυτή (που μελετήθηκε ιδιαίτερα στον Ασιατικό-Αυστραλιανό τομέα) η ώρα της πρώτης εμφάνισης του διάχυτου F εξαρτάται από το μαγνητικό πλάτος του ιονοσφαιρικού σταθμού παρατήρησης και κυμαίνεται μεταξύ 1830 ως 1945 ΤΩ. Το κατώτερο όριο εμφανίζεται τη χειμερινή ισημερία για το βόρειο ημισφαίριο (Σεπτέμβριος) ενώ το ανώτερο για τα δύο ημισφαίρια.

Πολύ σπάνια το διάχυτο F διατηρείται συνέχεια σε όλη τη διάρκεια της νύχτας. Συνήθως, μετά από παρουσία μερικών ωρών, υπάρχει μια εξασθένησή του γύρω στα μεσάνυχτα και επανεμφάνιση του αργότερα. Σε λίγες μόνο περιπτώσεις (5-10%) το διάχυτο F εμφανίζεται μόνο μετά τα μεσάνυχτα.

Η μέση ημερήσια διάρκεια του διάχυτου F για τη ζώνη μεταξύ 5° ως 20° (μαγνητικό πλάτος) είναι ελάχιστη (περίπου 90 λεπτά) στο χειμερινό ηλιοστάσιο και μέγιστη (περίπου 6 ώρες) στη χειμερινή ισημερία (για το βόρειο ημισφαίριο).

Δύο διαφορετικές εξηγήσεις έχουν δοθεί στην παρουσία του ισημερινού διάχυτου στρώματος F. Η πρώτη βασίζεται σε σκέδαση από προσανατολισμένες στο γήινο μαγνητικό πεδίο ανομοιογένειες στην ηλεκτρονική πυκνότητα της ισημερινής ιονόσφαιρας ενώ η δεύτερη σε ολική ανάκλαση από μεγάλες (με έκταση εκατοντάδες χιλιόμετρα) αλλά όχι προσανατολισμένες ανομοιογένειες της ιονόσφαιρας. Η δεύτερη εξήγηση βασίστηκε κύρια στη μεγάλη ένταση που παρουσιάζει το σήμα που επιστρέφει στα ιονογράμματα με διάχυτο F και που δύσκολα μπορεί να εξηγηθεί με το μηχανισμό της σκέδασης. Αρκετοί ερευνητές συμφωνούν επίσης ότι μέσα στις μεγάλες αυτές αλλά όχι προσανατολισμένες ανομοιογένειες υπάρχουν μικρότερες που είναι μαγνητικά προσανατολισμένες και που δημιουργούν τη στρωματοποίηση που παρατηρείται

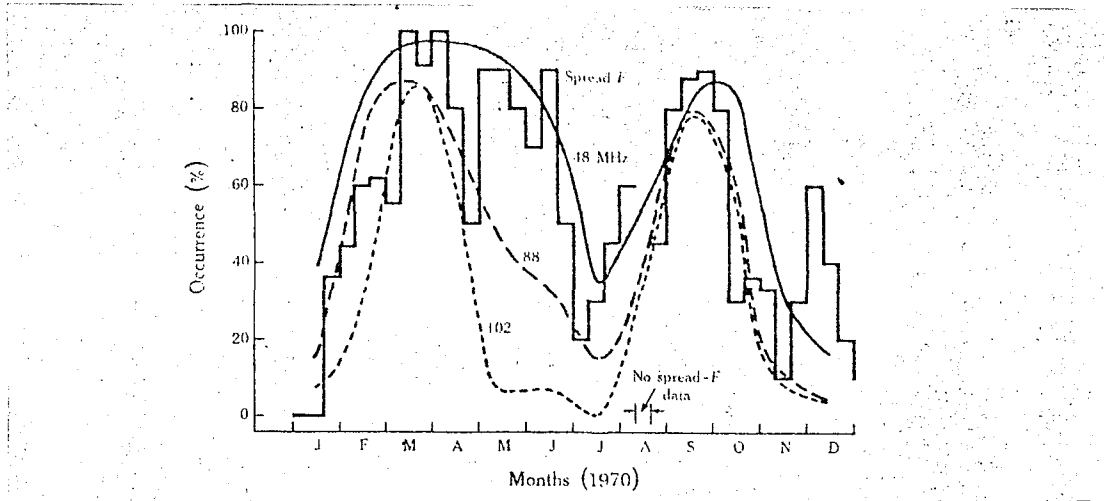
συχνά στα ιονογράμματα. Οι διαστάσεις των μικρών προσα-
νατολισμένων ανομοιογενειών, σύμφωνα με εμπροσθοσκεδαστικές
μετρήσεις στους 50 MHz (1961), δεν πρέπει να ξεπερνούν σε
πλάτος μερικές δεκάδες μέτρα και περίπου το ένα χιλιόμετρο σε
μήκος. Οι ανομοιογένειες δεν παρουσιάζουν συνεχή κατανομή
μέσα στην ισημερινή ιονόσφαιρα αλλά δημιουργούν μεγάλους σχη-
ματισμούς εκατοντάδων χιλιομέτρων. Μετά τη δημιουργία τους
οι σχηματισμοί οδεύουν ανατολικά προς το νυχτερινό ημισφαίριο
με ταχύτητα περίπου 100 ms^{-1} ⁴.

Ο μηχανισμός γένεσης των ίδιων των ανομοιογενειών δεν
είναι ακόμη κατανοητός.

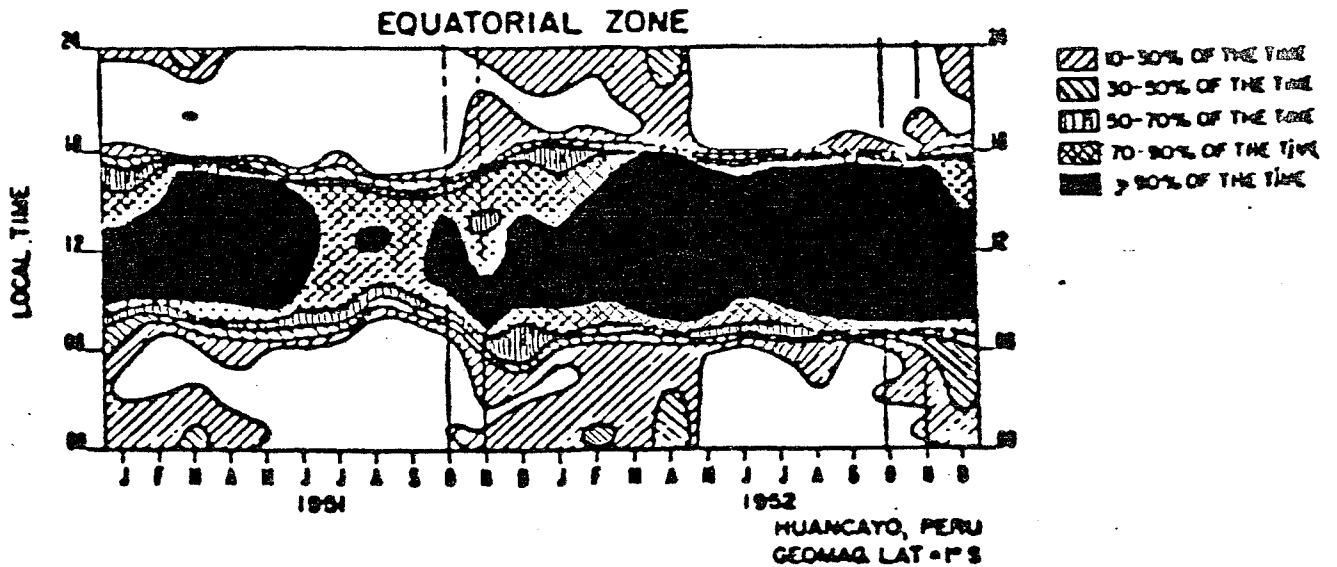
Η σύνδεση του ισημερινού διάχυτου στρώματος F με τη
βραδυνη διισημερινή διάδοση οφείλεται κύρια στην παρατηρού-
μενη μεγάλη αύξηση της MOF (Maximum Observed Frequency) σε
διισημερινές ζεύξεις, όταν ταυτόχρονα παρατηρείται διάχυτο F
από ραδιοβολιστικούς σταθμούς κατά μήκος των ζεύξεων αυτών
(Σχ. 1.12). Παράλληλα παρατηρούνται στις ζεύξεις αυτές ισχυ-
ρές αζιμουθιακές αποκλίσεις ανατολικά αλλά κυρίως δυτικά από
το μέγιστο κύκλο διάδοσης τόσο σε συχνότητες HF όσο και
VHF^{26,30}. Οι αποκλίσεις αυτές οδεύουν σχεδόν ταυτόχρονα με
τη δύση του ήλιου στην ισημερινή ιονόσφαιρα και θεωρείται
ότι οφείλονται στην ίδια αιτία³¹.

Αρχικά υποστηρίχθηκε (1967) ότι το διάχυτο F απλώς
αλλάζει τα χαρακτηριστικά στα σήματα που διαδίδονται με κοινή
ιονοσφαιρική διάδοση $2F$ ή έστω διάδοση FF (χωρίς ενδιάμεση
σκέδαση από το έδαφος) αλλά γρήγορα η υπόθεση αυτή εγκαταλεί-
φθηκε όταν διαπιστώθηκε η διάδοση σημάτων σε βραδυνές διιση-
μερινές ζεύξεις με δύο διαφορετικούς χρόνους διάδοσης και με
εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά (1968)⁴.

Παρά την ισχυρή συσχέτιση που παρατηρείται ανάμεσα στην
παρουσία διάχυτου F και τη διάδοση συχνοτήτων VHF (ιδιαίτερα
συχνοτήτων πάνω από 100 MHz) είναι σήμερα αποδεκτό ότι το
διάχυτο F είναι απαραίτητη προϋπόθεση αλλά όχι ικανή για να
υπάρχει διισημερινή VHF διάδοση.



Σχ. 1.12: Πιθανότητα εμφάνισης διάχυτου στρώματος F (Vanimo) και διάδοσης σημάτων 48,88 και 102 MHz στη ζεύξη Yamagawa-Darwin (1970)⁴.



Σχ. 1.13: Μεταβολή του ισημερινού Es με την ώρα στη διάρκεια των ετών 1951 και 1952³⁴.

1.4.3 Ισημερινό σποραδικό στρώμα E (equatorial E_S)

Σποραδικό ιονοσφαιρικό στρώμα E ονομάζεται η περιοχή της ιονόσφαιρας όπου εμφανίζεται παροδικά (σποραδικά) πολύ μεγάλη ηλεκτρονική πυκνότητα, σε μερικές περιπτώσεις μεγαλύτερη από την πυκνότητα κάθε άλλου στρώματος.

Το σποραδικό στρώμα E (γνωστό σαν E_S) εμφανίζεται σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη αλλά με διαφορετικά χαρακτηριστικά για κάθε μια από τις τρεις κύριες ζώνες που είναι:

η ισημερινή (equatorial), μεταξύ $\pm 6^\circ$ μαγνητικό πλάτος, όπου το E_S παρουσιάζεται στη διάρκεια μόνο της μέρας με μικρή εποχιακή εξάρτηση,

η εύκρατη (temperate), που εκτείνεται μέχρι $\pm 60^\circ$ γεωμαγνητικό πλάτος και όπου εμφανίζονται ισχυρές ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές με μέγιστο τους μήνες Μάιο ως και Αύγουστο,

η ζώνη του πολικού σέλαος (auroral) που βρίσκεται πέρα από την εύκρατη, όπου το E_S είναι κύρια βραδυνό φαινόμενο με μικρή εποχιακή εξάρτηση^{34,35}.

Το E_S είναι συνήθως ένα λεπτό στρώμα που αποτελείται από συσσωρεύματα (patches) ιονισμού μέσα στην κανονική περιοχή E. Για το λόγο αυτό οι ανώτερες ιονοσφαιρικές περιοχές είναι διακριτές στα ιονογράμματα παρά την παρουσία του. Μερικές φορές όμως η έκτασή του και ο ιονισμός του (blanketing E_S) δεν επιτρέπουν τη διέλευση των ραδιοσημάτων σε ύψη μεγαλύτερα από τα 90~120 km, όπου συνήθως εμφανίζεται το E_S.

Επειδή το E_S είναι ένα φαινόμενο ευμετάβλητο, περιγράφεται μόνο με στατιστικές μεθόδους. Το κύριο μέγεθος που το χαρακτηρίζει είναι το ποσοστό του χρόνου που η f_oE_S σε κάθετο ραδιοβολισμό ξεπερνά μια ορισμένη τιμή αναφοράς. Στο Σχ. 1.13 φαίνεται η μεταβολή του ποσοστού του χρόνου που η f_oE_S είναι μεγαλύτερη από 5 MHz για την ισημερινή ζώνη³⁴. Από το σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά ότι το ισημερινό E_S εμφανίζεται μεταξύ 06:00 και 18:00 TΩ με κάπως συχνότερη παρουσία την εαρινή

ισημερία (για το βόρειο ημισφαίριο). Δεν έχει παρατηρηθεί ιδιαίτερη εξάρτηση του E_S από την ηλιακή δραστηριότητα.

Η αιτία δημιουργίας του E_S στην εύκρατη ζώνη δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί. Πιστεύεται ότι η εμφάνισή του οφείλεται σε μετεωρητικούς ιονισμούς είτε σε διατμητικούς ανέμους σε μεγάλα ύψη είτε σε βίαια μετεωρολογικά φαινόμενα που η επίδρασή τους επεκτείνεται μέχρι τα ύψη εμφάνισης του E_S . Δύσκολα όμως οι παραπάνω θεωρίες μπορούν να εξηγήσουν τα τόσο ευμετάβλητα χαρακτηριστικά του. Αντίθετα στην ισημερινή ζώνη η εμφάνιση και η ημερήσια μεταβολή του E_S σχετίζεται με τις ιδιαίτερες μετακινήσεις πλάσματος στον ισημερινό (equatorial electrojet)³⁵.

Το ισημερινό E_S συνδέθηκε με τη δισημερινή διάδοση και ιδιαίτερα με την απογευματινή TEP, αφού το στρώμα αυτό παρεμβάλλεται λόγω της θέσης του στη διάδοση των σημάτων, που το τυπικό ύψος της τροχιάς τους στην ισημερινή ζώνη συμπίπτει (για τη διάδοση τύπου 2F_2) με το ύψος του E_S . Βασικά το στρώμα αυτό θεωρήθηκε σαν η αιτία της απόκλισης των θεωρητικών προβλέψεων της MOF από τα πειραματικά δεδομένα και σημειώθηκε η αναγκαιότητα της συμμετοχής του στα υποδείγματα πρόβλεψης^{35,50}.

Πρόσφατη εργασία (1983) συσχετίζοντας το ρόλο του ημερήσιου ισημερινού E_S με την απογευματινή TEP στο ελάχιστο του 20ου ηλιακού κύκλου, διαπιστώνει την επίδρασή του σε κύρια χαρακτηριστικά των σημάτων, όπως οι ισχυρές διαλείψεις και η ολική έντασή τους⁴³.

Το ισημερινό E_S δεν έχει συσχετιστεί στη βιβλιογραφία με τη βραδυνή TEP, αφού σαν καθαρά ημερήσιο φαινόμενο απουσιάζει τις ώρες εκδήλωσής της.

1.4.4 Ισημερινές προσανατολισμένες ανομοιογένειες κενών ιονισμού (equatorial depletion density field aligned irregularities).

Στη βάση του ισημερινού στρώματος F της ιονόσφαιρας δημιουργούνται μετά τη δύση του ήλιου ατρακτοειδείς ανομοιογένειες με ισχυρά μειωμένη ηλεκτρονική πυκνότητα (bubbles) που είναι προσανατολισμένες στη διεύθυνση του γεωμαγνητικού πεδίου. Με την πρόοδο της ώρας η ασταθής αυτή δομή ανεβαίνει βασικά σε μεγαλύτερα ύψη μέχρι να αποκατασταθεί η φυσική της ισορροπία με το περιβάλλον. Το σύνολο των ανομοιογενειών αυτών δημιουργεί τεράστιους ιονοσφαιρικούς σχηματισμούς (patches) με περίεργα σχήματα (σαν λοφία-plumes), προσανατολισμένους στο γεωμαγνητικό πεδίο, που συνδέουν πολλές φορές το κάτω με το πάνω τμήμα του στρώματος F και που εκτείνονται συχνά σε πολύ μεγάλα ύψη.

Η μελέτη, κυρίως μετά το 1960, των ισημερινών αυτών ιονοσφαιρικών σχηματισμών, που για συντομία ονομάζονται συνήθως FAI (Field Aligned Irregularities), ανέδειξε τα χαρακτηριστικά τους αλλά και υπέδειξε ότι είναι πιθανό να συσχετίζονται με διάφορα ιδιαίτερα φαινόμενα διάδοσης στην ισημερινή ζώνη, όπως είναι το διάχυτο F (spread F), η βραδυνή δισημερινή διάδοση και οι ισχυρές διαλείψεις (scintillations) στα σήματα από δορυφόρους^{12,15,16,17,48}.

Το πρόβλημα μάλιστα της μειωμένης αξιοπιστίας στις ραδιοζεύξεις, ανάμεσα σε γεωστατικούς δορυφόρους και επίγειους σταθμούς, που περνούν μέσα από την ισημερινή ζώνη είναι ιδιαίτερα σοβαρό, αφού επηρεάζονται ισχυρά οι επικοινωνίες ακόμη και σε συχνότητες SHF⁶⁷.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των βραδυνών (προμεσονύκτιων) σχηματισμών FAI στην ισημερινή ζώνη είναι τα ακόλουθα^{18,19,55,66}.

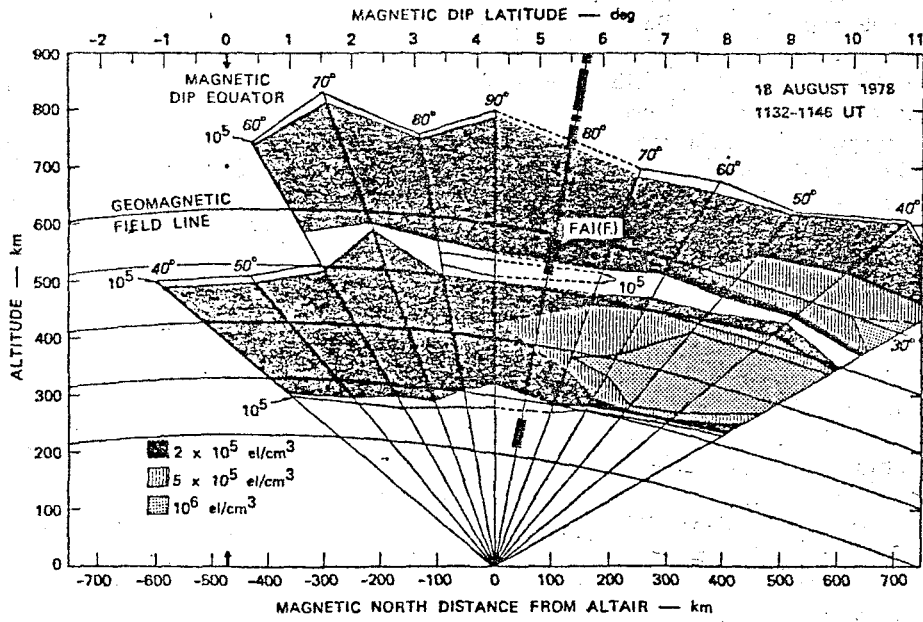
α) Οι σχηματισμοί δημιουργούνται μέχρι δύο περίπου ώρες μετά τη δύση του ήλιου στην ισημερινή ιονόσφαιρα και η γέννησή τους διαδίδεται προς τα δυτικά σχεδόν με την ταχύτητα

περιστροφής της γης (στον ισημερινό), δηλαδή περίπου 500 m/s, ενώ η δυτική ανάπτυξή τους δεν ξεπερνά τα 150 ως 300 m/s. Αφού αποκτήσουν ένα πλάτος (παράλληλα με τον ισημερινό) από 100 ως 500 km σταματούν να αναπτύσσονται προς τα δυτικά και αρχίζουν μια ανατολική μετατόπιση (drift) με ταχύτητα περίπου 100 ως 200 m/s. Από τη σύμπτυξη αρκετών σχηματισμών το συνολικό πλάτος τους μπορεί να φτάσει τα 1500 km.

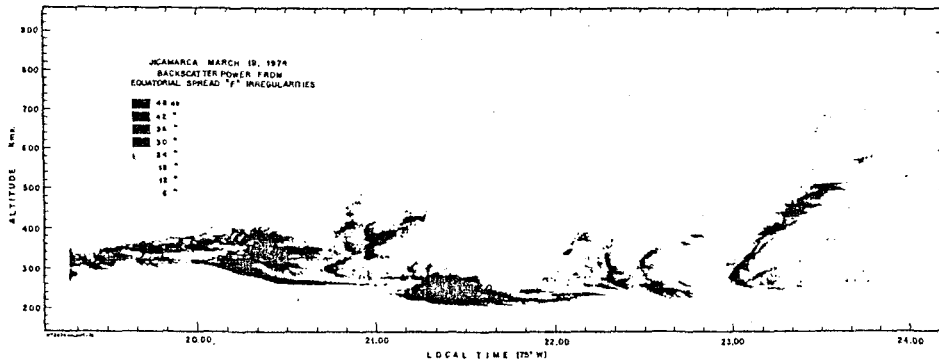
β) Οι σχηματισμοί αποτελούνται από προσανατολισμένους στο γεωμαγνητικό πεδίο (δηλαδή στη γενική διεύθυνση βορρά-νότου) πλατιούς σωλήνες με πάχος από 50 ως 200 km που εκτείνονται μεταξύ μαγνητικών πλατών τουλάχιστο $\pm 15^\circ$ (που αντιστοιχεί σε μήκος περίπου 2000 km) και βρίσκονται σε μέσο ύψος μεταξύ 200 και 600 km. Σε οριακές περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί FAI σε ύψος μεγαλύτερο από 1000 km (που αντιστοιχεί πάνω από το μαγνητικό ισημερινό), αλλά ποτέ δεν εμφανίζονται σε ύψη μικρότερα από 200 km. Το μέσο ύψος των σχηματισμών ελαττώνεται όσο απομακρύνονται από το μαγνητικό ισημερινό προς το βορρά ή το νότο (Σχ. 1.14)¹⁹.

γ) Στη διάρκεια της εξέλιξής τους, που διαρκεί συνήθως 2 ως 4 ώρες, οι σχηματισμοί μετατοπίζονται αργά (εκτός από ανατολικά) σε μικρότερο ή μεγαλύτερο ύψος με μικρές ταχύτητες και αρκετές φορές τμήματά τους, που αποσχίζονται από την αρχική μορφή, συνδέουν το κάτω με το πάνω τμήμα του στρώματος F όπου παρατηρούνται FAI. Έτσι δημιουργούνται με την πάροδο της ώρας τα παράξενα σχήματα που μοιάζουν με λοφία (plumes), όπως φαίνονται στο Σχ. 1.15¹⁸.

δ) Οι πλατιοί σωλήνες που αποτελούν τους σχηματισμούς FAI περιέχουν ισχυρά μειωμένη πυκνότητα πλάσματος που πλησιάζει τη μία τάξη μεγέθους σε σχέση με το κοντινό ιονοσφαιρικό περιβάλλον. Σε μια πολύ σημαντική παρατήρηση (1978) ενός σχηματισμού FAI στους 155 MHz διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενός τέτοιου διηλεκτρικού σωλήνα που βρισκόταν σε ένα μέσο ύψος 500 km πάνω από τον ισημερινό, και εκτεινόταν τουλάχιστον



Σχ. 1.14: Κύρια χαρακτηριστικά βραδυνού σχηματισμού FAI (για τους 155 MHz)¹⁹.



Σχ. 1.15: Εξέλιξη βραδυνού σχηματισμού FAI με την ώρα¹⁸.

ανάμεσα στα μαγνητικά πλάτη $\pm 10^\circ$, είχε δηλαδή ένα ολικό μήκος μεγαλύτερο από 1200 km όπου η πυκνότητα πλάσματος παρουσίαζε μια σχεδόν σταθερή μείωση 90% σε όλο το μήκος του σωλήνα (Σχ. 1.14)¹⁹.

ε) Οι σχηματισμοί FAI δεν διαταράζουν τη γενική μορφή της ισημερινής ιονόσφαιρας, που διατηρεί τις ιδιομορφίες της (τάφος και μέγιστα), αλλά απλά την διακόπτουν τοπικά στις περιοχές εμφάνισής τους.

ζ) Η ισχυρή οπισθοσκέδαση που παρατηρείται σε σχηματισμούς FAI φαίνεται να συμπίπτει με το πάνω "τοιχώια" των σωλήνων με την ελαττωμένη πυκνότητα πλάσματος.

η) Οι σχηματισμοί FAI δεν εμφανίζονται σε καθημερινή βάση. Γενικά παρατηρείται μία ισχυρή θετική συσχέτιση με την ηλιακή δραστηριότητα και αρνητική με τη γεωμαγνητική αλλά σίγουρα υπάρχουν και άλλοι γεωφυσικοί παράγοντες που ελέγχουν τη γέννηση και εξέλιξη των FAI αλλά δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί.

Βασικό αίτιο για τη δημιουργία των προμεσονύκτιων ισημερινών FAI πιστεύεται ότι είναι η ασταθής δομή της ιονόσφαιρας μετά τη δύση του ήλιου, όπου πυκνότερα σε πλάσμα τμήματα του στρώματος F βρίσκονται πάνω από αραιότερα. Η θεώρηση αυτή, που είναι μια επέκταση της αστάθειας Rayleigh - Taylor σε μέσο από πλάσμα, φαίνεται ότι εξηγεί ικανοποιητικά αρκετές από τις μέχρι σήμερα *in situ* παρατηρήσεις^{18,19}.

Οι ισημερινοί σχηματισμοί FAI συνδέθηκαν στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας με την εξήγηση ειδικών φαινομένων διάδοσης που παρατηρούνται στη νυχτερινή ισημερινή ζώνη. Αναλυτικότερα για το ισημερινό διάχυτο F υποστηρίχθηκε ότι είναι ένα πολύσύνθετο φαινόμενο που εμφανίζεται στα ιονογράμματα σαν συνέπεια της διαταραγμένης ισημερινής ιονόσφαιρας τόσο από τους τεράστιους σχηματισμούς, που περιγράφηκαν προηγούμενα, όσο και από τις μικρές κλίμακας ανομοιογένειες που τους αποτελούν, δημιουργώντας ισχυρές τοπικές διακυμάνσεις

στην κατανομή της ηλεκτρονικής πυκνότητας¹⁸. Οι διακυμάνσεις αυτές τροποποιούν επίσης τα χαρακτηριστικά των σημάτων που διέρχονται από την περιοχή τους ώστε να παρατηρούνται οι ισχυρές αυξομειώσεις στην ένταση και οι μεταβολές στη φάση ραδιοζεύξεων με δορυφόρους σε συχνότητες VHF ως SHF, με ιδιαίτερη επίπτωση σε συχνότητες UHF^{48,66,67}. Ακόμη θεωρούνται υπεύθυνοι για τις αζιμουθιακές αποκλίσεις σημάτων HF που διέρχονται από την ισημερινή ζώνη^{30,31}.

Μετά τη διαπίστωση διισημερινής διάδοσης βραδυνού τύπου σε συχνότητες πολύ μεγαλύτερες από 100 MHz στη διάρκεια του 21ου ηλιακού κύκλου⁴⁵, έγινε μια συστηματική προσπάθεια για την εξήγησή της με τη βοήθεια των FAI. Αρχικά προτάθηκε η πρόσθια σκέδαση είτε από στενόμακρους προσανατολισμένους "ράβδους"¹², είτε από "φουσαλίδες" σε μεγάλα ύψη πάνω από το μαγνητικό ισημερινό ώστε να βρίσκονται στον ραδιοορίζοντα του πομπού και του δέκτη στα δύο αντίθετα ημισφαίρια¹⁵. Μια τέτοια θεώρηση όμως δεν εξηγεί τις αυστηρές γεωμετρικές απαιτήσεις των βραδυνών διισημερινών ζεύξεων, ενώ αντίθετα ενίσχυε τη δυνατότητα για ζεύξεις ακόμη και κατά μήκος του ισημερινού.

Λίγο αργότερα προτάθηκε ξανά η ιδέα της κυματοδότησης κατά μήκος σχηματισμών FAI¹⁷, που είχε παρουσιαστεί και παλαιότερα μετά το μέγιστο του προηγούμενου ηλιακού κύκλου^{2,4,53}. Επιπλέον μια ενδιαφέρουσα παραλλαγή της ιδέας αυτής πρότεινε τη κυματοδότηση τύπου γαλαρίας (whispering gallery) στο επάνω τοίχωμα ενός τέτοιου ιονοσφαιρικού σωλήνα¹⁶.

Σήμερα είναι γενικά δεκτό ότι η βραδυνή διισημερινή διάδοση πρέπει να υποστηρίζεται από ένα μηχανισμό κυματοδότησης από FAI στην περιοχή του στρώματος F, αλλά και ότι υπάρχουν πρόσθετες δευτερογενείς επιδράσεις που περιπλέκουν το φαινόμενο αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: Ο ΕΥΡΩΑΦΡΙΚΑΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΕΣ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ

Ο Ευρωπαϊκός τομέας όπου παρατηρείται ισχυρή δισημερινή VHF διάδοση, περιλαμβάνει βασικά βόρεια του ισημερινού τις χώρες γύρω από τη Μεσόγειο, από το στενό του Gibraltar μέχρι τη Μέση Ανατολή και αντίστοιχα νότια του ισημερινού τη ζώνη που βρίσκεται μεταξύ περίπου του Zambesi και Orange River (δηλαδή 15° ως 30° νότιο γεωγραφικό πλάτος^{9,26}).

Όπως φαίνεται στο Σχ. 2.1, η Ελλάδα βρίσκεται ιδανικά τοποθετημένη στο κέντρο περίπου του βόρειου τμήματος του ευρωπαϊκού τομέα, με την Αθήνα σε μαγνητική συζυγία με το Harare (πρώην Salisbury, πρωτεύουσα της Zimbabwe).

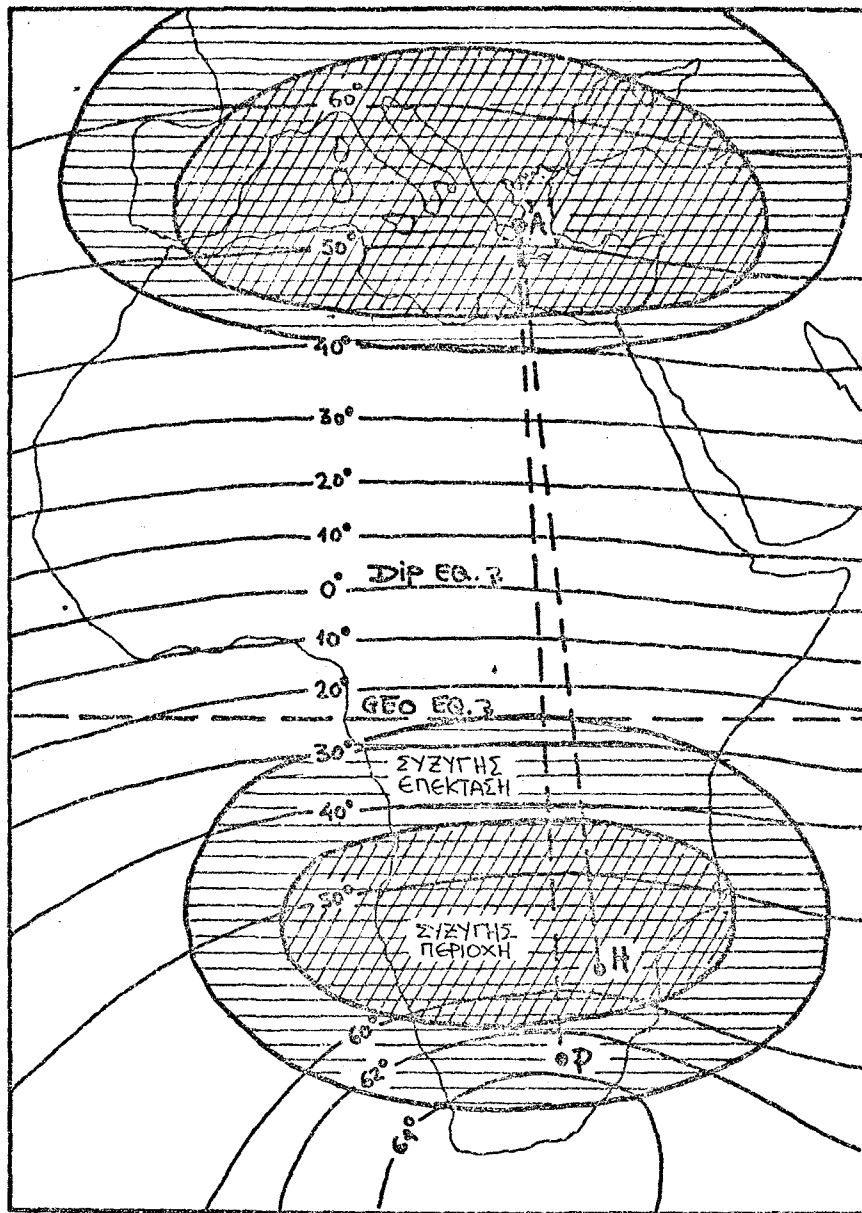
Σε πολύ καλό σημείο αποδείχθηκε ότι βρίσκεται και η Λεμεσός της Κύπρου που διαθέτει εκτός από τη θέση και ανοιχτό ορίζοντα προς το νότο²⁵.

Η βασική ιδιομορφία του Ευρωπαϊκού τομέα οφείλεται στη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στο γεωγραφικό ισημερινό και στον ισημερινό μαγνητικής έγκλισης αλλά και στη μορφή που εμφανίζει ο τελευταίος κατά μήκος της Αφρικής.

Στο προηγούμενο Σχ. 2.1 φαίνεται η διαφορά αυτή που έχει σαν αποτέλεσμα ο ισημερινός μαγνητικής έγκλισης (dip equator) να βρίσκεται περίπου 25° μαγνητικής έγκλισης βόρειότερα από το γεωγραφικό ισημερινό, σχηματίζοντας ένα τόξο ακτίνας 3500 km με κέντρο σχεδόν στους καταρράκτες της Victoria.

Η ιδιομορφία αυτή έχει σαν συνέπεια η γεωγραφική έκταση της ζώνης TEP βόρεια του ισημερινού να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη νότια συζυγή της, εξαιτίας της τοξοειδούς μορφής του ισημερινού μαγνητικής έγκλισης, οπότε είναι δυνατή η επικοινωνία TEP από ένα σημείο της Αφρικής (π.χ. το Harare) με μια εκτεταμένη σε γεωγραφικό μήκος περιοχή της Μεσογείου, πράγμα που δεν συμβαίνει φυσικά αντίθετα.

Επακόλουθο αυτής της "εστίασης" προς νότο είναι η χαρακτηριστική αύξηση της στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου σε συχνότητες VHF όταν υπάρχει δισημερινή διάδοση που προέρχεται από όλη



Σχ. 2.1: Ο Ευρωπαϊκός τομέας διημερινής διάδοσης.⁹

την εκτεταμένη βόρεια ζώνη και διαδίδεται νότια του ισημερινού με τη βοήθεια της ΤΕΡ⁹.

Επιπλέον η διαφορά ανάμεσα στον ισημερινό μαγνητικής έγκλισης και στο γεωγραφικό δημιουργεί μια διαφοροποίηση στη συμμετρική ανάπτυξη των κορυφών της ισημερινής ιονοσφαιρικής ανωμαλίας, σε τρόπο που η νότια κορυφή (που βρίσκεται κοντά στο γεωγραφικό ισημερινό) να εξελίσσεται νωρίτερα, συνήθως δύο έως τρεις ώρες μετά τη δύση του ήλιου στον ισημερινό ενώ η βόρεια κορυφή να φτάνει στο μέγιστο τρεις περίπου ώρες αργότερα (Σχ. 1.6)²⁰.

Για τους παραπάνω λόγους οι χώρες του νοτίου τμήματος του Ευρωπαϊκού τομέα απολαμβάνουν εκτός από μια εκτεταμένη βόρεια ζώνη ΤΕΡ, ισχυρά οπισθοσκεδαστικά φαινόμενα ιδιαίτερα την περίοδο γύρω από τις ισημερίες⁹.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελεί ευτύχημα πως η γενικότερη συζυγής περιοχή της Ελλάδας και της Κύπρου συνέπεσε με χώρες όπου υπήρχε πυρήνας ανθρώπων που έδειξαν ενδιαφέρον για μακροχρόνια πειράματα ΤΕΡ τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και ραδιοερασιτεχνικό επίπεδο απασχόλησης. Όπως αποδείχθηκε από τη μελέτη της ΤΕΡ σε συχνότητες πάνω από 100 MHz οι συζυγείς περιοχές βόρεια και νότια του ισημερινού περιορίζονται σε στενά γεωγραφικά πλαίσια, ουσιαστικά μέσα στα όρια των κρατών Ελλάδα-Κύπρου και Zimbabwe-South Africa αντίστοιχα³⁶.

2.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ 19ο ΚΑΙ 20ο ΗΛΙΑΚΟ ΚΥΚΛΟ (1957-1973)

Σύμφωνα με ό τι έχει δημοσιευθεί σε επιστημονικά, επαγγελματικά και ραδιοερασιτεχνικά περιοδικά και έχει ανακοινωθεί σε διεθνή συνέδρια, η πρώτη συστηματική προσπάθεια παρατήρησης και καταγραφής των χαρακτηριστικών της ΤΕΡ στον Ευρωπαϊκό τομέα σε συχνότητες VHF (>30 MHz) πρέπει να άρχισε το Σεπτέμβριο 1957, στα πλαίσια του Διεθνούς Γεωφυσικού Έτους (I.G.Y.) και διακόπηκε προσωρινά το Δεκέμβριο 1958.

Σε γενικές γραμμές, η προσπάθεια αυτή, που πραγματοποιήθηκε από επιστήμονες αλλά σε ραδιοερασιτεχνικό επίπεδο απασχόλησης, προσδιόρισε εκτός από μια καλή εκτίμηση της έκτασης του Ευρωπαϊκού τομέα διησημερινής διάδοσης στη ζώνη συχνοτήτων 28~75 MHz (Σχ. 2.1), τους τρεις διαφορετικούς τύπους διάδοσης των σημάτων και τα βασικά χαρακτηριστικά τους (2F₂ type, "F" type ΤΕΡ, "pure" ΤΕΡ).

Επιπλέον έγινε φωτογραφική αποτύπωση του φέροντος σήματος (carrier) και των εκπεμπομένων παλμών από αυτόματους ραδιοφάρους που λάμβανε ο δέκτης καθώς και μέτρηση του χρόνου διπλής διάδοσης παλμικών σημάτων μεταξύ Salisbury-Limassol και για τους τρεις παραπάνω τύπους της ιονοσφαιρικής διάδοσης^{9,37}.

Στην πρώτη αυτή προσπάθεια πήραν ενεργά μέρος σταθμοί από τη Zimbabwe (πρώην Ροδεσία), Κύπρο, Γαλλία, Αγγλία και Νοτ. Αφρική. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι εκπομπές σταθμών TV και της σταθερής υπηρεσίας (Fixed Service) μεταξύ 30 και 75 MHz για το γεωγραφικό προσδιορισμό του τομέα και της MOF (Maximum Observed Frequency) που πολλές φορές ξεπερνούσε το πάνω όριο των 75 MHz των συσκευών λήψης⁹.

Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα της πρώτης αυτής προσπάθειας, σε συνδυασμό με αντίστοιχες παρατηρήσεις στους υπόλοιπους διησημερινούς τομείς της γης, οδήγησαν το 1961-62 σε ένα διεθνώς χρηματοδοτούμενο πρόγραμμα συστηματικής μελέτης της ΤΕΡ μεταξύ Salisbury-Limassol σε διάφορες συχνότητες μεταξύ 32 και 87 MHz, με τη χρήση ισχυρών αυτόματων ραδιοφάρων (radio beacons).

Παρά τη χαμηλή δραστηριότητα του 19ου ηλιακού κύκλου στο τέλος του 1962, παρατηρήθηκε ισχυρή απογευματινή ΤΕΡ σε συχνότητες

που ξεπερνούσαν μερικές φορές τους 87 MHz, και παράλληλα μια απίστευτη αξιοπιστία διάδοσης στις χαμηλότερες συχνότητες που πλησίαζε το 99%³⁸.

Έτσι αποφασίστηκε από την ίδια ομάδα ανθρώπων η συνέχιση των παρατηρήσεων στη ζεύξη Salisbury-Limassol και στη διάρκεια του διεθνούς έτους "ήσυχου" ήλιου (Int. Quiet Sun Year-I.Q.S.Y.), όπου η ηλιακή δραστηριότητα θα έφτανε στο ελάχιστο (1964). Και πάλι χρησιμοποιήθηκαν για τις παρατηρήσεις αυτόματοι ραδιοφάροι αλλά σε χαμηλότερες τώρα συχνότητες (29 και 50 MHz) καθώς επίσης και οι εκπομπές τηλεφωνίας της αστυνομίας του Salisbury στους 40 MHz.

Στην περίοδο αυτή (Σεπτ. 63-Αυγ. 64) διαπιστώθηκε μία ασυνήθιστα υψηλή αξιοπιστία διάδοσης στους 29 MHz, που ξεπερνούσε οπωσδήποτε κάθε κλασσική ιονοσφαιρική πρόβλεψη της MUF, ιδιαίτερα τους μήνες γύρω από τις ισημερίες και παράλληλα πολύ χαμηλή ιονοσφαιρική εξασθένηση των σημάτων. Η διάδοση όμως των υψηλότερων συχνοτήτων εμφάνιζε πια μικρή αξιοπιστία και μεγάλη επιλεκτικότητα στη γεωγραφική κάλυψη (spot propagation) καθώς και στο χρόνο εμφάνισης των ισχυροτέρων σημάτων (14:00 και 19:00 ΤΩ περίπου)

Με την αύξηση της ηλιακής δραστηριότητας τα επόμενα χρόνια και το αναμενόμενο μέγιστο του 20ου ηλιακού κύκλου για το 1969, αναζωπυρώθηκε το επιστημονικό ενδιαφέρον για την TEP στον Ευρωπαϊκό τομέα.

Με τη συνεργασία των Πανεπιστημίων Αθηνών και Roma έγινε δυνατή μελέτη της ζεύξης Αθήνας-Roma (Lesotho) στα χρόνια 1967-1972 για συχνότητα 34, 40 και 45 MHz.

Στην προσπάθεια αυτή χρησιμοποιήθηκαν τόσο αυτόματες εκπομπές ραδιοφάρων με αδιαμόρφωτο ή παλμικά διαμορφωμένο σήμα για την ανάδειξη των χαρακτηριστικών των διαλείψεων (fadings) και του χρόνου διπλής διάδοσης (Αθήνα-Roma-Αθήνα) των σημάτων, όσο και καταγραφή των εκπομπών της ελληνικής αστυνομίας στους 40 MHz για την εκτίμηση της αξιοπιστίας διάδοσης των σημάτων με TEP⁷.

Αργότερα, καθώς πλησίαζε το ελάχιστο του 20ου ηλιακού κύκλου οι μετρητικές διατάξεις μεταφέρθηκαν βορειότερα στο

Salisbury (Harare) της Zimbabwe για τη βελτίωση της αξιοπιστίας της VHF ζεύξης, που μελετήθηκε μεταξύ αυτών των μαγνητικά συζυγών σημείων.

Οι μετρήσεις διήρκεσαν από το 1973 ως το τέλος του 1975, οπότε η πολύ χαμηλή πια ηλιακή δραστηριότητα περιόρισε την εμφάνιση της TEP σε συχνότητες κάτω από την περιοχή VHF (<30 MHz).

Από τη μελέτη των ζεύξεων Αθήνας-Roma και Αθήνας-Salisbury διαπιστώθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά της TEP για το κατώτερο τμήμα του φάσματος VHF (<50 MHz), ενώ δόθηκε έμφαση στις ισχυρές διαλείψεις που παρατηρήθηκαν, στη συσχέτισή τους με το διάχυτο στρώμα F στην ισημερινή περιοχή, στο διπλό χρόνο διάδοσης των σημάτων στη διάρκεια του απογευματινού τύπου TEP για τις δύο ζεύξεις, στα πολωτικά χαρακτηριστικά των σημάτων του τύπου αυτού, καθώς και στο ρόλο του ισημερινού σποραδικού στρώματος E_S στη διάδοση των σημάτων^{7,8,39-43}.

2.3 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ 21ου ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (1978-1982)

Παρά το γεγονός ότι στη διάρκεια του 19ου και 20ου ηλιακού κύκλου δεν πραγματοποιήθηκαν ΤΕΡ παρατηρήσεις σε συχνότητες μεγαλύτερες από περίπου 100 MHz σε κανένα διημισμερινό τομέα της γης, η πρόβλεψη για πολύ έντονη ηλιακή δραστηριότητα στη διάρκεια του 21ου κύκλου οδήγησε σε εκτιμήσεις ότι σημαντικά μεγαλύτερες συχνότητες θα μπορούσαν να διαδοθούν με τη βραδυνή ΤΕΡ, ανάμεσα σε μαγνητικά συζυγείς περιοχές^{4,13,44}. Κι' αυτό γιατί, ενώ για τον απογευματινό τύπο ΤΕΡ υπήρχε ένας γενικά αποδεκτός μηχανισμός διάδοσης (2F ή F-F) με μέγιστη συχνότητα παρατήρησης (MOF) γύρω στους 70 MHz, για το βραδυνό τύπο ΤΕΡ δεν είχε πρόταθεί κανένας γενικά αποδεκτός μηχανισμός διάδοσης που να εξηγεί τις μέχρι τότε παρατηρήσεις και να θέτει ανώτερο όριο στις συχνότητες που θα μπορούσαν να διαδοθούν^{2,3}.

Η επαλήθευση στις παραπάνω εκτιμήσεις δεν άργησε να παρουσιαστεί. Προς το τέλος του 1977 αναφέρθηκε πλήθος επιβεβαιωμένων ραδιοερασιτεχνικών ζεύξεων στους 145 MHz μεταξύ Βενεζουέλας και Αργεντινής, στη διάρκεια του βραδυνού τύπου ΤΕΡ, με ή και χωρίς διάδοση στους 50 MHz⁴⁵.

Την ίδια περίπου εποχή, ακροάσεις του αυτόματου ραδιοφάρου (beacon) του δορυφόρου OSCAR VII από την Αθήνα επιβεβαίωσαν ότι τα τηλεμετρικά σήματά του στους 146 MHz, μπορούσαν να διαδοθούν τις πρώτες βραδυνές ώρες όταν ο δορυφόρος βρισκόταν πάνω περίπου από τη Νότια Αφρική, δηλαδή πολύ πιο κάτω από τον ραδιοορίζοντα του σταθμού λήψης. Την ίδια ώρα η παραμόρφωση των σημάτων του ραδιοφάρου ήταν έντονη και χαρακτηριστική αλλά εξαφανιζόταν μόλις ο δορυφόρος έφτανε σε ανύψωση (elevation) περίπου 5° πάνω από τον ραδιοορίζοντα της Αθήνας, οπότε μόνο τότε ήταν δυνατή η χρήση του αναμεταδότη (transponder) σε εκπομπές τηλεφωνίας SSB (Single Side Band)⁴⁶.

Όλες αυτές οι παρατηρήσεις δεν άργησαν να οδηγήσουν στη συσπείρωση της παλιάς επιστημονικής ομάδας που από το 1957 είχε αρχίσει τη μελέτη της ΤΕΡ στον Ευρωπαϊκό τομέα²⁵. Η ομάδα αυτή πλαισιώθηκε με την προσδο του χρόνου από σταθμούς παρατηρήσεων σε όλες τις Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης καθώς και της

Νότιας-Νοτιοδυτικής Αφρικής (Namibia), εκτός από τους βασικούς σταθμούς που βρισκόντουσαν στη Zimbabwe (Ροδεσία), Κύπρο και Ελλάδα.

Το επιστημονικό ενδιαφέρον της μελέτης του βραδυνού τύπου ΤΕΡ σύντομα οδήγησε στη συνεργασία με το Εργαστήριο Ασυρμάτου και Επικοινωνιών Μεγάλων Αποστάσεων του Ε.Μ. Πολυτεχνείου (αρχές 1978) που διέθεσε μέρος από τα απαιτούμενα όργανα, συσκευές και κεραίες για την εκτεταμένη μελέτη του φαινομένου.

Στη διάρκεια των επομένων πέντε χρόνων (1978-1982) μελετήθηκε συστηματικά πριν, στη διάρκεια και μετά το μέγιστο του 21ου κύκλου ο βραδυνός τύπος ΤΕΡ για τέσσερις κύριες ραδιοζεύξεις μεταξύ της Ευρώπης και της Αφρικής από τους 28 ως τους 432 MHz.

Χαρακτηριστικά, όπως η ημερήσια, εποχιακή, ηλιακή και γεωμαγνητική εξάρτηση του φαινομένου και η αξιοπιστία των ζεύξεων, η ιονοσφαιρική εξασθένηση των σημάτων και η μεταβολή τους στη διάρκεια του φαινομένου, τα αζιμουθιακά και πολωτικά χαρακτηριστικά των σημάτων, ο βαθμός διασποράς της συχνότητάς τους (frequency spreading) και η μεταβολή της (frequency shifting) καθώς και ο απόλυτος χρόνος μονόφορης (one way) διάδοσης παλμών (group delay), μετρήθηκαν, καταγράφηκαν και αναλύθηκαν για ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων βραδυής ΤΕΡ^{25,26,36,47}.

Επιπλέον η συμμετοχή πολλών σταθμών παρατηρήσεων σε όλο σχεδόν το βόρειο τμήμα του Ευρωπαϊκού τομέα επιβεβαίωσε τις παλαιότερες παρατηρήσεις για την έκτασή του στους 50 MHz αλλά προσδιόρισε και το μέγεθός του σε ψηλότερες συχνότητες, όπως 144 και 432 MHz.

Με τις παρατηρήσεις, τις μετρήσεις και την ανάπτυξη θεωρητικού προτύπου της βραδυής ΤΕΡ που ακολουθούν και που έγιναν στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μπορεί σήμερα να υποστηριχθεί ότι εκτός από τα κύρια χαρακτηριστικά του φαινομένου που προσδιορίστηκαν για τη διάρκεια του μέγιστου του ηλιακού κύκλου, προσδιορίστηκε παράλληλα η επίδραση από εκπομπές στο νότιο τμήμα της Αφρικής σε συχνότητες VHF (30-300 MHz), επάνω σε δίκτυα στην περιοχή της Μεσογείου. Η επίδραση αυτή αναφέρεται τόσο στη γεωγραφική και χρονική έκταση όσο και στην ένταση και στον

τύπο των σημάτων που πιθανό παρενοχλούν αντίστοιχα δίκτυα βόρεια από τον Ισημερινό. Τέτοια δίκτυα είναι ραδιοφωνίας και τηλεόρασης καθώς και ειδικά ραδιοδίκτυα για πολιτικές και στρατιωτικές χρήσεις που βασίζονται στη διάδοση των κυμάτων VHF μέχρι τον οπτικό ορίζοντα και στην προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν πηγές παρενόχλησης στις συχνότητες λειτουργίας τους.

Οι παρενοχλήσεις όμως και οι παρεμβολές από τις εκπομπές του νότιου ημισφαιρίου είναι σημαντικές όπως αναλύεται στη συνέχεια της εργασίας αυτής και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη σχεδίαση τέτοιων δικτύων.

Επιπλέον τα πειραματικά αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην έρευνα για την επίδραση της ισημερινής ιονόσφαιρας επάνω σε ραδιοζεύξεις με δορυφόρους. Σε τέτοιες ραδιοζεύξεις (VHF και UHF) που περνούν μέσα από την ισημερινή ζώνη παρουσιάζονται ισχυρές διαλείψεις και παραμορφώσεις^{46,48}, που εκδηλώνονται κύρια τις περιόδους εμφάνισης βραδυνής TEP⁴⁹.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ ΤΕΡ ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΦΡΙΚΑ- ΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

3.1 Ο ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι παρατηρήσεις και οι μετρήσεις, που αποτελούν τη βάση για την εργασία αυτή της μελέτης της δισημερινής διάδοσης, πραγματοποιήθηκαν γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου και αναφέρονται βασικά στο βραδυνο τύπο ΤΕΡ.

Πιό συγκεκριμένα καλύφθηκε η περίοδος από το Μάρτιο 1978 ως το Δεκέμβριο 1982 που περιλαμβάνει ένα χρονικό διάστημα δύο χρόνων πριν και τριών χρόνων μετά από το μέγιστο του ηλιακού κύκλου, που πραγματοποιήθηκε το Δεκέμβριο 1979.

Για τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις επάνω στη δισημερινή διάδοση χρησιμοποιήθηκαν κυρίως δύο αυτόματοι ραδιοφάροι (beacons) που εξέπεμπαν γύα το σκοπό αυτό από την Αφρική προς την Ευρώπη, σε διάφορες συχνότητες από τους 28 ως τους 432 MHz.

Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν για τον ίδιο σκοπό οι εκπομπές τηλεόρασης από διάφορες Αφρικανικές χώρες, που διαδιδόταν σε σχεδόν καθημερινή βάση μέχρι το βορ. ημισφαίριο, καθώς και οι εκπομπές του ραδιοφάρου του δορυφόρου OSCAR VII που κάθε βράδυ διέσχιζε το μαγνητικό ισημερινό σε ύψος 1700 km.

Το σημείο λήψης των εκπομπών που αναφέρθηκαν έπρεπε να επιλεγεί σε περιοχή με χαμηλή γωνία ανύψωσης (elevation) προς τη γενική κατεύθυνση του νότου (απ'όπου έφταναν τα σήματα από τους Αφρικανικούς ραδιοφάρους) και παράλληλα με χαμηλό εξωτερικό ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο στις ζώνες συχνοτήτων που θα γινόντουσαν οι παρατηρήσεις. Για τους λόγους αυτούς αποκλείστηκαν μετά από μετρήσεις, τόσο οι εγκαταστάσεις του ΕΜΠ στην Αθήνα, εξαιτίας του ψηλού ηλεκτρομαγνητικού θορύβου από τη μεγάλη κυκλοφοριακή κίνηση (≈ 20 db/kT₀B), όσο και η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, που έχει προς το νότο τους πρόποδες του Υμηττού και σχετικά ψηλή γωνία ανύψωσης ($\approx 10^\circ$).

Τελικά χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη οι εγκαταστάσεις του συγγραφέα στην περιοχή Κ. Πατησίων, που εξασφάλιζαν καλή γεωγραφική θέση (γωνία ανύψωσης προς το νότο $< 0,5^\circ$) και χαμηλό θόρυβο από την ίδια κατεύθυνση ($\approx 4 \text{ dB/kT}_0\text{B}$ στους 144 MHz).

Για να διαπιστωθεί η γεωγραφική έκταση του φαινομένου της δισημερινής διάδοσης χρησιμοποιήθηκαν στους ραδιοφάρους συχνότητες της διεθνούς ραδιοερασιτεχνικής υπηρεσίας (International Amateur Service) σε τρόπο που να είναι δυνατή η λήψη των σημάτων των ραδιοφάρων από πλήθος σταθμών σε όλη τη Νότια Ευρώπη, ενώ παράλληλα ήταν δυνατή η ανταλλαγή πληροφοριών με τους σταθμούς παρατήρησης σε καθημερινή βάση με τη χρησιμοποίηση της ραδιοερασιτεχνικής περιοχής των 10 μέτρων (28,0 ως 29,7 MHz).

Επιπλέον για να μελετηθεί η επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής λήψης, έγιναν ακροάσεις από προσωρινές θέσεις με διαφορετικές γωνίες ανύψωσης προς νότο, που προσδιόρισαν έτσι τις γωνίες που έφθαναν τα σήματα με τη βοήθεια της δισημερινής διάδοσης.

Στο μεγαλύτερο διάστημα της μελέτης της ΤΕΡ χρησιμοποιήθηκαν οι δύο ραδιοφάρου που προαναφέρθηκαν. Καθένας τους εξέπεμπε αυτόματα σε συγκεκριμένες συχνότητες για ορισμένες ώρες κάθε μέρα σε όλη τη διάρκεια των πέντε ετών των παρατηρήσεων. Τα διεθνή διακριτικά κλήσης (callsigns) των ραδιοφάρων αυτών ήταν για το ραδιοφάρο από το Harare "ZE2JV" και για το ραδιοφάρο από την Pretoria "ZS6PW" και με διακριτικά αυτά αναφέρονται στα στοιχεία που τους αφορούν στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί.

Το κύριο μέρος της εργασίας αυτής ασχολείται με τον βραδυνό τύπο ΤΕΡ που, όπως αναφέρθηκε, πολύ λίγο μελετήθηκε πριν από τον 21ο ηλιακό κύκλο στον Ευρωπαϊκό τομέα.

Για το λόγο αυτό οι εκπομπές των ραδιοφάρων άρχιζαν συνήθως γύρω στις 18:00 ΤΩ και διαρκούσαν τουλάχιστον μέχρι τις 22:00 ΤΩ, δηλαδή για μια περίοδο δύο ώρες πριν και δύο ώρες μετά από τις 20:00 ΤΩ που συνέπιπτε με τη μέγιστη δραστηριότητα του βραδυνού τύπου ΤΕΡ.

Σε καθημερινή βάση υπήρχε παράλληλα σε λειτουργία ένα ασυρματικό δίκτυο τηλεφωνίας SSB (Single Side Band) για την ανταλλαγή πληροφοριών και διεξαγωγή συζητήσεων ανάμεσα στους χειριστές των ραδιοφάρων και στους σταθμούς λήψης. Με το ίδιο δίκτυο (που χρησιμοποιούσε τους 28335 kHz για ονομαστική συχνότητα λειτουργίας) ήταν δυνατό να προγραμματιστούν τα διάφορα πειράματα που έγιναν σε όλες τους τις λεπτομέρειες και κυρίως με άμεσο χρόνο εκτέλεσής τους (όπως π.χ. αλλαγή της συχνότητας, τροποποίηση της γωνίας των κεραιών εκπομπής στο αζιμούθιο, μεταβολή του πλάτους των παλμών εκπομπής, παράταση του τέλους της εκπομπής των ραδιοφάρων τις βραδυές που παρουσιαζόταν έντονη ΤΕΡ κλπ.).

Εκτός από τις βραδυνές ώρες οι ραδιοφάροι λειτούργησαν δοκιμαστικά σε 24ωρη βάση για χρονικές περιόδους αρκετών εβδομάδων γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου, με σκοπό τη διερεύνηση της ΤΕΡ σε όλη τη διάρκεια της μέρας. Οι παρατηρήσεις που καταγράφηκαν απέδειξαν ότι 12 ώρες μετά από την έξαρση της βραδυής ΤΕΡ υπάρχει ένα δεύτερο σύντομο μέγιστο στη διάδοση των σημάτων, που δεν είχε αναφερθεί προηγουμένα στη βιβλιογραφία.

Όπως αναλύεται διεξοδικά στη συνέχεια, οι δύο ραδιοφάροι εξέπεμπαν σε συγκεκριμένες συχνότητες και με ειδικό τύπο διαμόρφωσης, ανάλογα με τους ειδικούς περιορισμούς της χώρας προέλευσής τους σε ότι αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Πιο συγκεκριμένα στον ακόλουθο πίνακα (Πιν. 3.1) φαίνονται τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των ραδιοφάρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΦΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΡΑΔΙΟΦΑΡΩΝ

- Ραδιοφάρος με διακριτικό κλήσης:	"ZE2JV"	"ZS6PW"
- Συχνότητες εκπομπής (MHz) :	29-144-432	28-50-145
- Αντίστοιχη ακτινοβολούμενη ισχύς κερυφής ως προς ισοτροπική πηγή (EIRP-KW) :	0,2-4,0-1,6	1,5-0,8-25,3
- Πόλωση κεραιών :	Οριζόντια	Οριζόντια
- Τύπος διαμόρφωσης (κατά WARC-79):	QØN/F1A	KØN/A1A
- Τοποθεσία :	Harare, Zimbabwe	Pretoria, South Africa
- Συντεταγμένες (Πλάτος/Μήκος) :	17°50'00"/31°02'00"	25°44'37"/28°18'35"
- Επίγεια απόσταση από το σταθμό λήψης (km):	6260	7100
- Αζιμουθιακή διεύθυνση του ραδιοφάρου από το σταθμό λήψης (Αθήνα):	172°	175°

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις παρατηρήσεις διάδοσης σημάτων με συχνότητες μεγαλύτερες από 100 MHz, που υποστηρίζονται αποκλειστικά με τον τρόπο διάδοσης που μελετήθηκε. Οι παρατηρήσεις αυτές αφορούν κυρίως συχνότητες στην περιοχή των 144 MHz (όπου λειτουργούσαν και οι δύο ραδιοφάροι) αν σημειωθεί ότι περιπτώσεις διάδοσης σημάτων στους 432 MHz ήταν στατιστικά λίγες και μπορούν να ληφθούν μόνο ενδεικτικά υπόψη.

Όπως αναλύεται στο πρώτο κεφάλαιο, η διάδοση μεταξύ Ελλάδας και Αφρικής σε συχνότητες μικρότερες από 100 MHz μπορεί να υποστηριχθεί από διάφορους ιονοσφαιρικούς μηχανισμούς (όπως $2F_2$, ιονοσφαιρική σκέδαση, απογευματινή TEP, βραδυνή TEP). Η διαπίστωση αυτή αποδείχθηκε και με τη διάταξη μέτρησης του χρόνου διάδοσης παλμών του ραδιοφάρου ZS6PW. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν για τις συχνότητες αυτές επιλέχθηκαν πολύ προσεκτικά, σε τρόπο που να χρησιμοποιηθούν μόνο όσα είχαν τα χαρακτηριστικά του βραδυνού τύπου TEP.

3.2 Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

3.2.1 Γενικά

Ο τερματικός σταθμός στην Αθήνα που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της βραδυλής ΤΕΡ είχε κύριο σκοπό:

- α) Τη λήψη και παρακολούθηση των σημάτων των δύο Αφρικανικών ραδιοφάρων σε συχνότητες HF ως UHF, των εκπομπών TV από χώρες της Αφρικής σε συχνότητες VHF και των σημάτων του δορυφόρου OSCAR VII όταν περνούσε πάνω από την ήπειρο αυτή, με στόχο τη συλλογή στατιστικών δεδομένων και την πραγματοποίηση μετρήσεων στα χαρακτηριστικά του διησημερινού διαύλου.
- β) Την αμφίπλευρη επικοινωνία σε συχνότητες HF με τους χειριστές των ραδιοφάρων σε καθημερινή βάση για την ανταλλαγή των παρατηρήσεων της προηγούμενης βραδυάς, τη σχολιάσή τους, τη συσχέτισή τους με συμπληρωματικές παρατηρήσεις από την πλευρά της Αφρικής και τον προγραμματισμό των δοκιμών για το ίδιο βράδυ. Παράλληλα με το ίδιο δίκτυο συγκεντρωνόντουσαν σε εβδομαδιαία βάση οι παρατηρήσεις από άλλους Μεσογειακούς σταθμούς λήψης, κυρίως για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής εξάρτησης του φαινομένου.
- γ) Τη μονόπλευρη ή αμφίπλευρη πειραματική επικοινωνία σε συχνότητες VHF με Αφρικανικούς σταθμούς τόσο στη διάρκεια της απογευματινής όσο και της βραδυλής ΤΕΡ για τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων μετάδοσης του διησημερινού διαύλου.

Για την πραγματοποίηση του σκοπού του ο σταθμός διέθετε κατάλληλες κεραίες, δέκτες, πομποδέκτες, μετρητικές και βοηθητικές συσκευές. Ένα μέρος από τις κεραίες και τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δανεισμένες από το ΕΜΠ στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

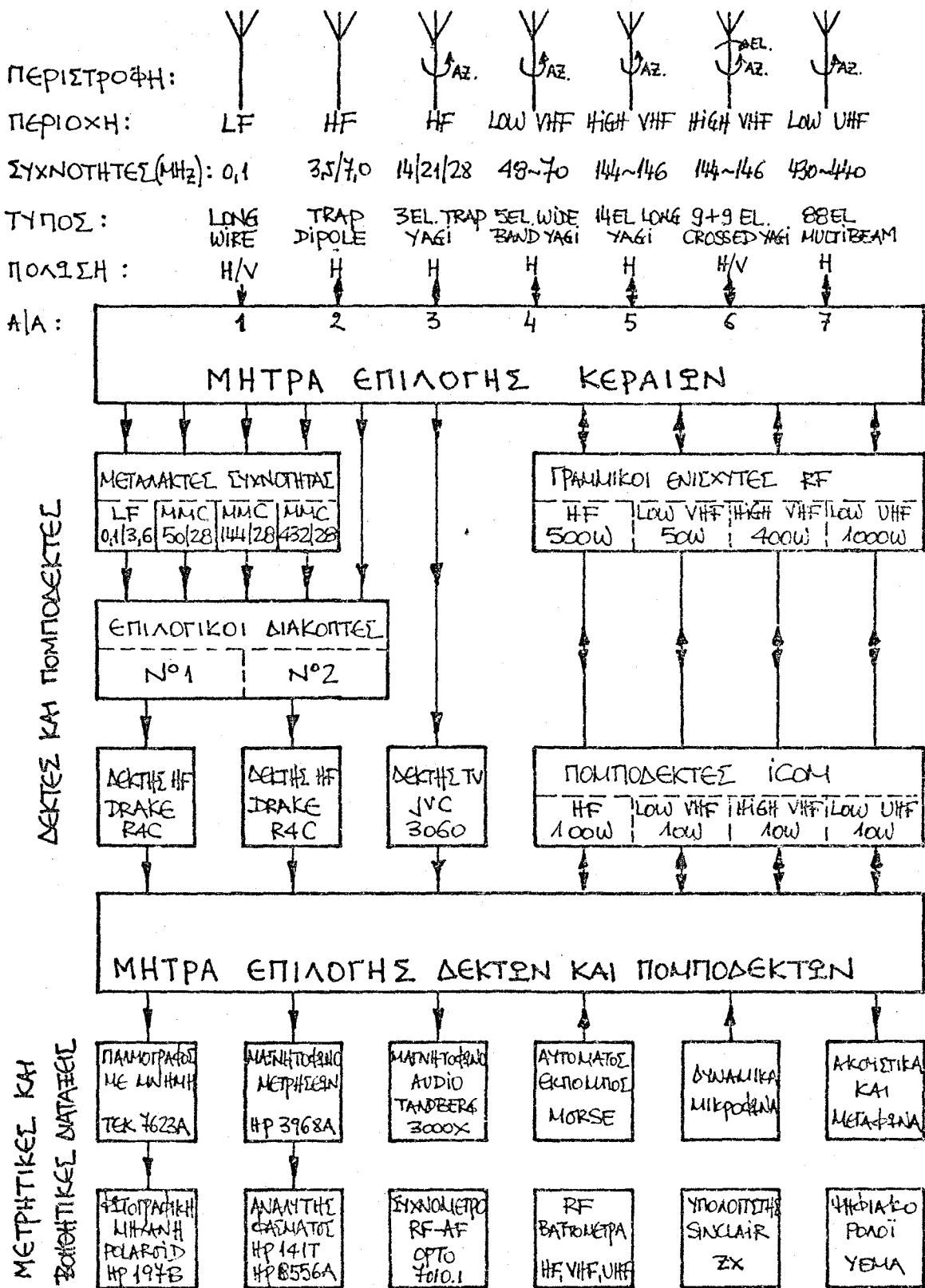
3.2.2 Η διάταξη του σταθμού

Η απλουστευμένη γενική διάταξη του τερματικού σταθμού παρουσιάζεται στο Σχ. 3.1 και περιλαμβάνει τρία τμήματα:

α) Το τμήμα κεραιών απαρτίζεται από επτά κεραιές για συχνότητες LF ως UHF και την μήτρα επιλογής τους. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 .

Οι κεραιές του σταθμού ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους χρησιμοποιούνται με τον ακόλουθο τρόπο:

- Η κεραία LF (A/A 1) για τη λήψη του σταθμού LORAN C από τη Lampedusa στη διάρκεια των μετρήσεων του χρόνου διάδοσης παλμών (εδάφιο 3.4).
- Οι κεραιές HF (A/A 2,3) για τη διαπίστωση της έκτασης της βραδυλής TEP σε συχνότητες χαμηλότερες από 28 MHz.
- Η κεραία HF (A/A 3) για την παρακολούθηση των ραδιοφάρων στους 28 MHz και για την αμφίπλευρη καθημερινή επικοινωνία με τους Αφρικανικούς σταθμούς.
- Η κεραία LOW VHF (A/A 4) για την παρακολούθηση του ραδιοφάρου στους 50 MHz, για την αμφίπλευρη πειραματική επικοινωνία στην ίδια συχνότητα με Αφρικανικούς σταθμούς και για τη διαπίστωση της έκτασης της βραδυλής TEP στο φάσμα μεταξύ 48 και 70 MHz, κυρίως με τη λήψη σταθμών TV.
- Η κεραία HIGH VHF (A/A 6) για τη χονδρική διαπίστωση της πόλωσης και της ανύψωσης των σημάτων στους 144 MHz (εδάφια 4.5 και 4.6).
- Η κεραία HIGH VHF (A/A 5) για την παρακολούθηση των ραδιοφάρων στους 144 MHz, την αμφίπλευρη πειραματική επικοινωνία με Αφρικανικούς σταθμούς και την αξιμουθιακή προέλευση των σημάτων.
- Τέλος η κεραία LOW VHF (A/A 7) για την παρακολούθηση του ραδιοφάρου στους 432 MHz και τις δοκιμές για μονόφορη επικοινωνία με χειριστήριο.



Σχ. 3.1: Απλουστευμένη γενική διάταξη του τερματικού σταθμού στην Αθήνα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

A/A	ΤΥΠΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (MHz)	ΚΕΡΑΟΣ (dbi)	θ_E (°)	θ_H (°)	ΠΟΛΩΣΗ (H/V)	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	LONG WIRE 20m	1	ΑΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗ	-	-	-	H/V	OXI	ΜΟΝΟ ΓΙΑ ΛΗΨΗ LF (100 kHz)
2	TRAP DIPOLE	1	3,5 & 7,0	≈4	≈80	≈150	H	OXI	ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΤΗ
3	TRAP YAGI MOSLEY CL33	3	14/21/28	≈7	≈65	≈30	H	NAI	"
4	WIDEBAND YAGI MASPRO E24T5	5	48~70	9~11	60~53	≈40	H	"	"
5	LONG YAGI	14	144~146	16	29	32	H	"	"
6	CROSSED YAGI	9+9	"	13	38	46	H+V	"	ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ
7	MULTIBEAM MBM 88/70	88	430~440	19	19	21	H	"	ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΤΗ

Σημ.: H=Horizontal, V=Vertical

β) Το τμήμα δεκτών και πομποδεκτών αποτελείται από:

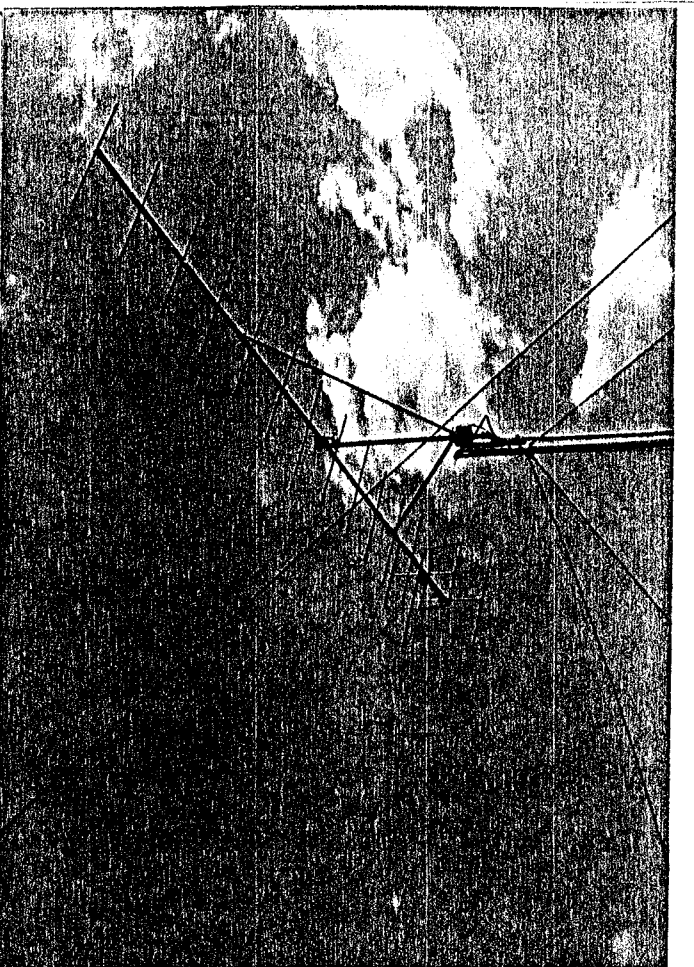
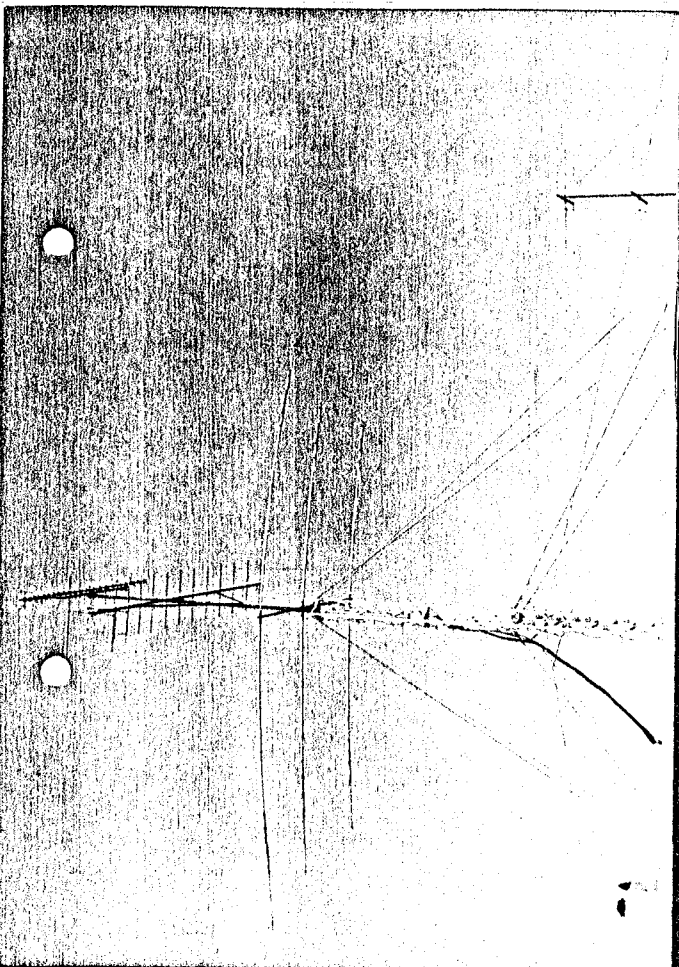
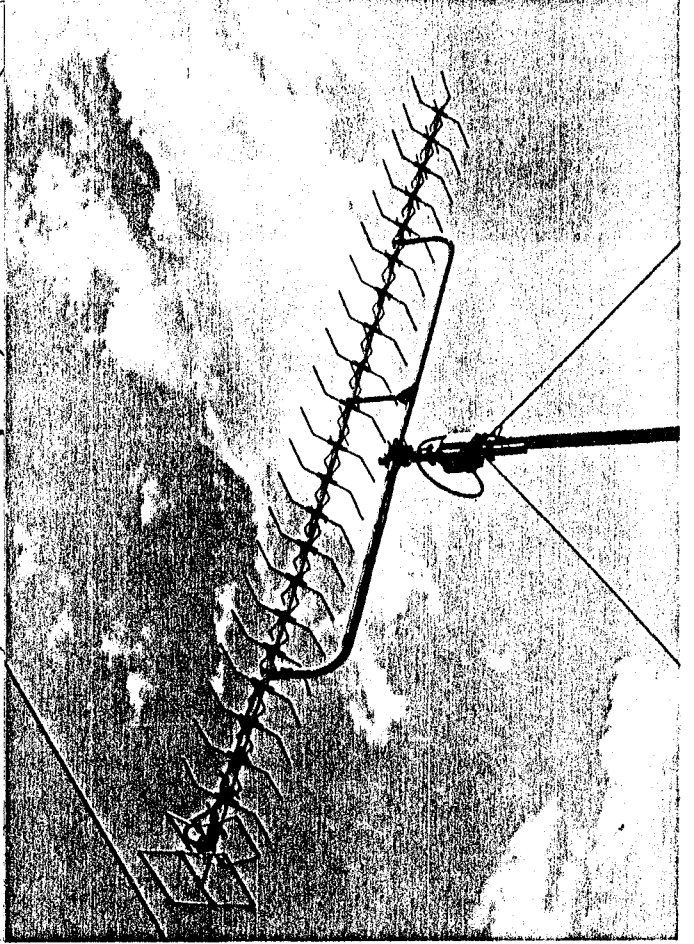
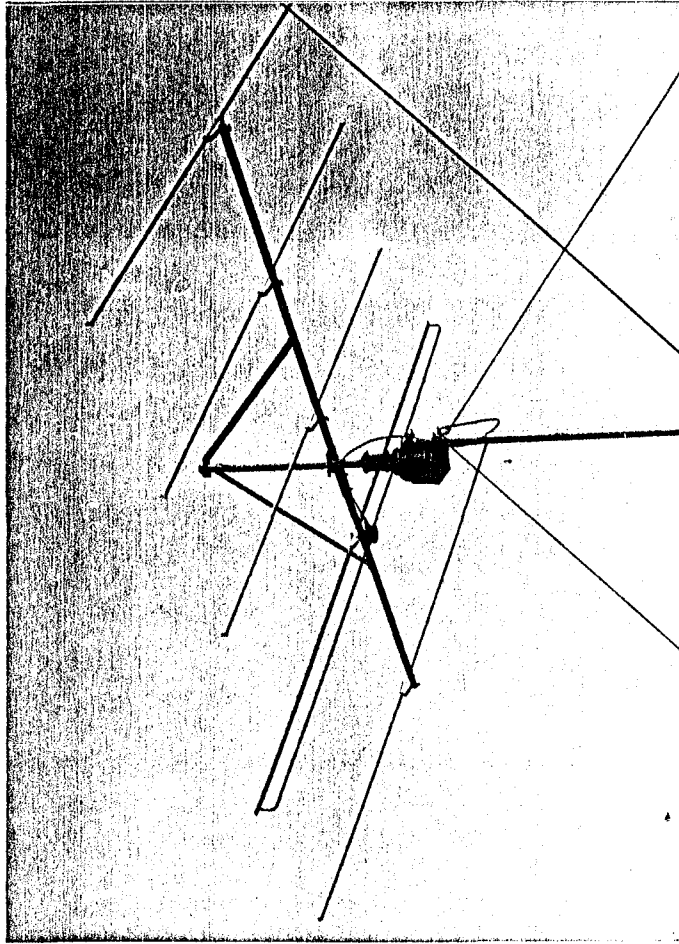
- Ένα ευαίσθητο δέκτη TV, κατάλληλο για την περιοχή 48-70 MHz.
- Δύο όμοιους δέκτες HF, για την απευθείας λήψη συχνοτήτων HF ή (με τη βοήθεια τεσσάρων μεταλλακτών συχνότητας και δύο επιλογικών διακοπών) για τη λήψη των ραδιοφάρων στους 50, 144 και 432 MHz και του Logan C στους 100 kHz. Οι δέκτες έχουν δυνατότητα αποδιαμόρφωσης τύπου A3E, J3E, A1A με επιλογή μεταξύ πέντε φίλτρων μέσης συχνότητας εύρους 8,0-6,0-2,4-1,5-0,2 kHz. Επίσης διαθέτουν απευθείας έξοδο του σήματος της μέσης συχνότητας (50 kHz).
- Τέσσερις πομποδέκτες για επικοινωνία ή δοκιμές στους 28, 50, 144 και 432 MHz. Η ισχύ των πομποδεκτών αυξάνεται κατά επιθυμία με τη χρησιμοποίηση τεσσάρων γραμμικών ενισχυτών ραδιοσυχνότητας σε στάθμες 500, 50, 400 και 1000 W ανά συχνότητα αντίστοιχα, ώστε να υπερνικηθεί η αυξανόμενη εξασθένηση του ιονοσφαιρικού διαύλου με τη συχνότητα ή για να αυξηθεί η αξιοπιστία μετάδοσης στη διάρκεια της αμφίπλευρης επικοινωνίας στους 28 MHz. Οι πομποδέκτες έχουν δυνατότητα εκπομπής τύπου 6K00A3E, 2K40J3E, 1000A1A, 1K50J2B σε συχνότητες HF και πρόσθετα 16K00F3E σε VHF και UHF.
- Οι δέκτες και οι πομποδέκτες συνδέονται επιλεκτικά με τις μετρητικές και βοηθητικές συσκευές με τη μήτρα επιλογής που μεταφέρει μόνο χαμηλές συχνότητες (μέχρι 50 kHz).

γ) Το τμήμα μετρητικών και βοηθητικών συσκευών περιλαμβάνει (Σχ. 3.1):

- Ένα παλμογράφο με αναλογική μνήμη για την απεικόνιση και στη συνέχεια φωτογράφιση (με μηχανή Polaroid) των σημάτων των ραδιοφάρων στη διάρκεια των μετρήσεων χρόνου διάδοσης (εδάφιο 3.4) και των επιλεκτικών διαλήψεων.

- Ένα αναλυτή φάσματος για την ανάλυση και απεικόνιση της διασποράς και μετατόπισης της συχνότητας των σημάτων, αφού αυτά "ηχογραφούν" στη διάρκεια του φαινομένου σε ειδικό μαγνητόφωνο μετρήσεων (εδάφιο 3.3).
- Ένα μαγνητόφωνο ακουστικών συχνοτήτων για την επιλεκτική ηχογράφηση διησημερινών σημάτων από τους ραδιοφάρους, συνομιλιών και πειραμάτων με τους Αφρικανικούς σταθμούς, σημάτων από σταθμούς TV κλπ., με σκοπό τη μετέπειτα off-line ανάλυσή τους.
- Μία σειρά από τρία βατιόμετρα για τη μέτρηση της ισχύος εκπομπής και τον έλεγχο των στασίμων κυμάτων των κεραιών σε συχνότητες HF ως UHF.
- Ένα συχνόμετρο ακριβείας για τη μέτρηση της συχνότητας λήψης και εκπομπής στις συχνότητες λειτουργίας των ραδιοφάρων και του δικτύου επικοινωνίας.
- Ένα ψηφιακό ρολόι (με ένδειξη sec) για την επισημάνση της ώρας που γίνονται οι παρατηρήσεις.
- Ένα επιτραπέζιο υπολογιστή για τον ακριβή υπολογισμό των τροχιών του δορυφόρου OSCAR VII, τη μηνιαία πρόβλεψη MUF στις διησημερινές ζεύξεις, τη δημιουργία αρχείου και πρόχειρους αριθμητικούς υπολογισμούς.
- Ένα αυτόματο πομπό σύντομων μηνυμάτων σε κώδικα MORSE, με μέγιστο μήκος 256 χαρακτήρων, για τις αυτόματα επαναλαμβανόμενες πειραματικές εκπομπές προς την Αφρική.
- Τα απαραίτητα μικρόφωνα, ακουστικά και μεγάφωνα για την υποστήριξη των δεκτών και πομποδεκτών του σταθμού.

Ορισμένες από τις κεραιές του σταθμού φαίνονται στις φωτογραφίες που ακολουθούν στην επόμενη σελίδα.

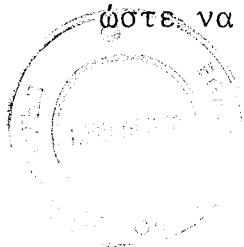


3.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Στη διάρκεια της βραδυλής ΤΕΡ παρατηρείται ισχυρή παραμόρφωση των σημάτων που παρουσιάζουν έντονη διασπορά και μετατόπιση στη συχνότητά τους. Όπως αναλύεται στο εδάφιο 1.3 τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν βασικό μέρος της "υπογραφής" της βραδυλής ΤΕΡ και για το λόγο αυτό έγιναν ειδικές μετρήσεις για τον προσδιορισμό τους.

Για το σκοπό της μέτρησης της διασποράς και της μετατόπισης της συχνότητας των σημάτων (frequency spreading and shifting) ο ραδιοφάρος ZS6PW εξέπεμπε στη ζεύξη Pretoria-Athens σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα στη διάρκεια της βραδυλής ΤΕΡ ένα σταθερό σε συχνότητα μονοχρωματικό φέρον. Πιό συγκεκριμένα τον Οκτώβριο 1980 ο ραδιοφάρος αυτός εξέπεμπε με σταθερή ισχύ 500 W RMS ένα μονοχρωματικό φέρον στη συχνότητα 144900,0 kHz με συνολική σταθερότητα συχνότητας $\pm 7 \cdot 10^{-8}$ (± 10 Hz) για όλες τις μεταβολές των παραμέτρων του (όπως θερμοκρασία, τάση κλπ.). Παράλληλα η ισχύ εξόδου διετηρείτο σταθερή με ακρίβεια $\pm 0,5$ dB (± 50 W) για την καθημερινή περίοδο των μετρήσεων μεταξύ 1900 και 2200 ΤΩ. Με την καλή σταθερότητα στη συχνότητα και στο πλάτος, το σήμα εκπομπής, έχοντας παράλληλα και χαμηλό θόρυβο φάσεως, αποτελούσε ένα ιδανικό πρότυπο για μέτρηση της διασποράς και της μετατόπισης της συχνότητάς του.

Στο σταθμό λήψης στην Αθήνα, ο δέκτης λειτουργούσε σε θέση USB (τύπος αποδιαμόρφωσης 2K40J3E) με ένα φίλτρο στη μέση συχνότητα εύρους 2,4 kHz (στα σημεία -3 db) που παρουσίαζε χαμηλό συντελεστή διακύμανσης του πλάτους (passband ripple) στη ζώνη διέλευσης (± 1 db). Η ονομαστική συχνότητα λήψης, δηλαδή εκείνη που ο δέκτης δεν έχει ακουστική έξοδο (zero beat condition), τοποθετήθηκε 1,5 kHz χαμηλότερα από τη συχνότητα εκπομπής του ραδιοφάρου ZS6PW, δηλαδή στους 144898,5 kHz. Η ακρίβεια της συχνότητας αυτής ελεγχόταν με βάση ένα ψηφιακό συχνόμετρο εφοδιασμένο με TCXO (Temperature Compensated Xtal Oscillator), και ρυθμιζόταν ώστε να μένει σε πλαίσια ± 10 Hz ($\pm 7 \cdot 10^{-8}$). Η βαθμονόμηση



του TCXO ελεγχόταν και διορθωνόταν ανά εβδομάδα με βάση ένα πρότυπο συχνότητας κεσίλου, ώστε να μένει σε όρια $\pm 1 \cdot 10^{-9}$.

Με το δέκτη ρυθμισμένο όπως προαναφέρθηκε, ένα φέρον σε συχνότητα 144 900,0 kHz παράγει στην ακουστική έξοδο του δέκτη τόνο συχνότητας 1500 Hz και γενικά μία ζώνη συχνοτήτων ± 1000 Hz γύρω από το φέρον μεταφέρεται στην έξοδο του δέκτη σε ακουστικές συχνότητες 500 ως 2500 Hz (Σχ. 3.2).

Με τον τρόπο αυτό ήταν δυνατή η εγγραφή του ακουστικού σήματος από την έξοδο του δέκτη σε ένα μαγνητόφωνο μετρήσεων (instrumentation tape recorder) για off-line φασματική ανάλυση. Τέτοιου είδους μαγνητόφωνα (όπως το HP-3968A) έχουν επίπεδη απόκριση συχνότητας (± 1 db) και χαμηλό σφάλμα στην αναπαραγωγή των συχνοτήτων (± 3 Hz στον 1,5 kHz).

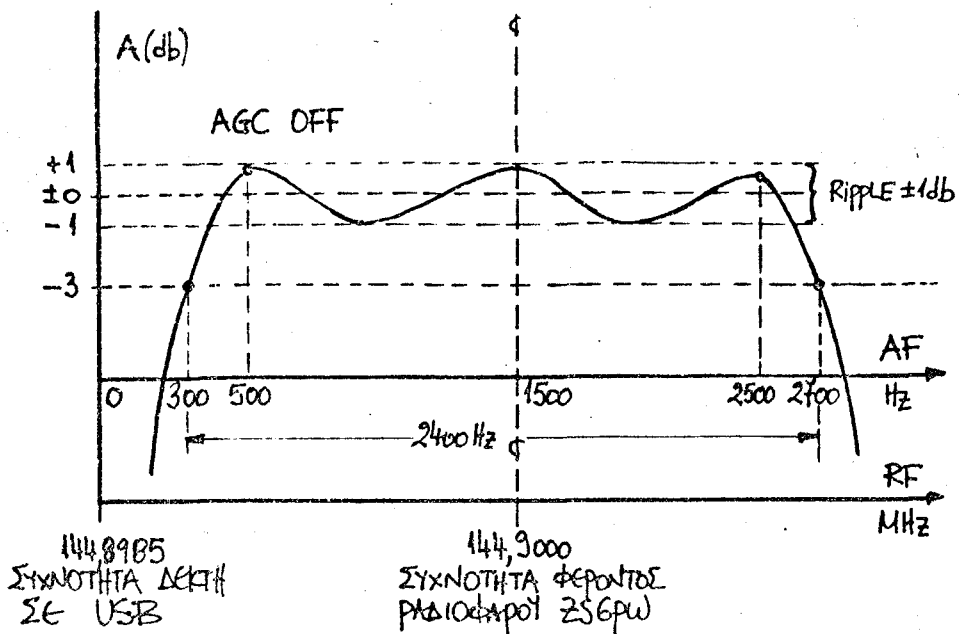
Για να υπάρχει γραμμική απόκριση από την είσοδο μέχρι την έξοδο του δέκτη το κύκλωμα αυτόματης ρύθμισης κέρδους (AGC) τέθηκε φυσικά εκτός.

Για τη φασματική ανάλυση του σήματος χρησιμοποιήθηκε αναλύτης φάσματος ακουστικών συχνοτήτων (HP 141T/8552B/8556A) με ακρίβεια στη μέτρηση της συχνότητας ± 3 Hz και στο πλάτος ± 1 db.

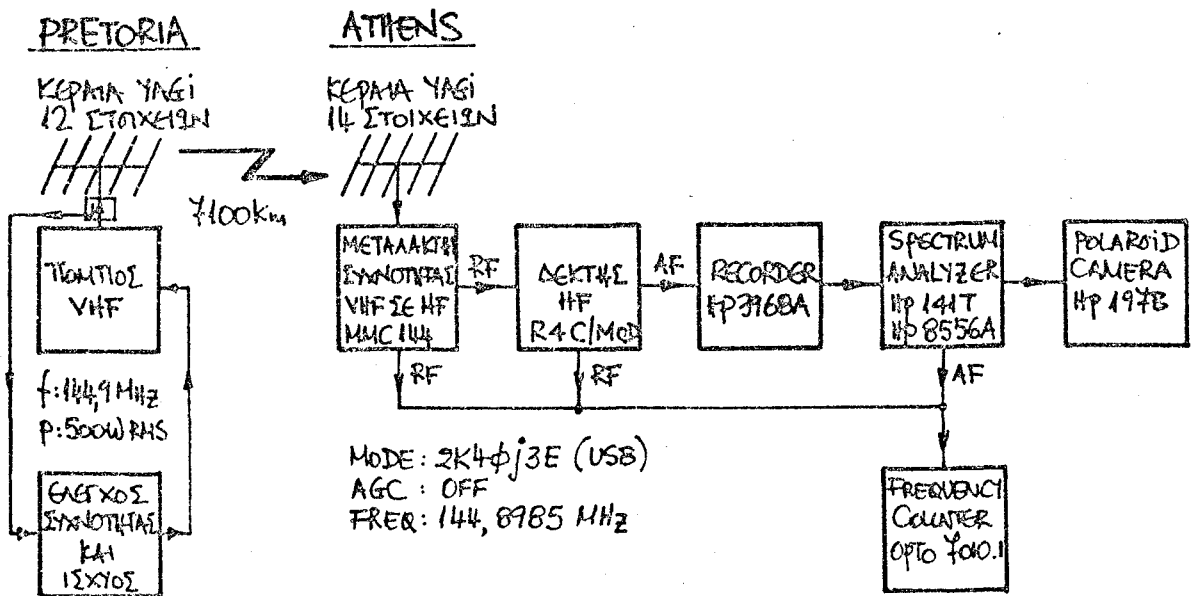
Σύμφωνα με τα παραπάνω το συνολικό πιθανό σφάλμα στη συχνότητα είναι ± 15 Hz και στο πλάτος $\pm 1,8$ db.

Με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω έγινε φασματική ανάλυση των σημάτων του ραδιοφάρου ZS6PW και στις τρεις συχνότητες λειτουργίας του, που τα αποτελέσματά της αναφέρονται στο εδάφιο 4.7 του τετάρτου κεφαλαίου. Επιπλέον έγινε μέτρηση της διασποράς των σημάτων του ραδιοφάρου ZE2JV στους 28 και 144 MHz αλλά με μειωμένη ακρίβεια εξαιτίας του ειδικού τύπου διαμόρφωσης που χρησιμοποιούσε (για περιορισμό του φασματικού περιεχομένου ο τύπος εκπομπής ήταν κατά WARC-1979 QØN και F1A στη διάρκεια του διακριτικού κλήσης).

Η απλουστευμένη μετρητική διάταξη για τη διασπορά και μετατόπιση της συχνότητας των δισημερινών σημάτων στους 145 MHz, παρουσιάζεται στο Σχ. 3.3. Οι μετρήσεις στις άλλες συχνότητες εκπομπής (28 και 50 MHz) γινόνταν με αλλαγή ή αφαίρεση του μεταλλάκτη συχνότητας στο σταθμό λήψης.



Σχ. 3.2: Μετατροπή φάσματος ραδιοσυχνοτήτων που φτάνει στην είσοδο του δέκτη σε ακουστικές συχνότητες στην έξοδό του.



Σχ. 3.3: Απλουστευμένη μετρητική διάταξη διασποράς και μετατόπισης συχνότητας στους 145 MHz.

3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΟΝΟΦΟΡΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΠΑΛΜΩΝ

3.4.1 Γενικά

Ένα από τα βασικά στοιχεία στη μελέτη μιας ιονοσφαιρικής ζεύξης είναι ο χρόνος που χρειάζεται για τη διάδοση των σημάτων (χρόνος ομάδας) από το σταθμό εκπομπής μέχρι το σταθμό λήψης. Η γνώση του χρόνου διάδοσης των σημάτων (ή των παλμών) περιορίζει σημαντικά τις πιθανές εκδοχές για το μηχανισμό ή τον τρόπο διάδοσης στη συγκεκριμένη ζεύξη και σε συνάρτηση με τις υπόλοιπες παρατηρήσεις μπορεί να οδηγήσει σε ένα πετυχημένο πρότυπο διάδοσης. Για τους παραπάνω λόγους έγινε, στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μέτρηση του χρόνου διάδοσης των σημάτων (που για συντομία θα αναφέρεται σαν T_D στη συνέχεια) στη ζεύξη Pretoria-Athens, μήκους 7100 km που τα αποτελέσματά της αναλύονται στο εδάφιο 4.8 του τετάρτου κεφαλαίου.

Σαν βασικός στόχος τέθηκε η δυνατότητα να μετράται ο απόλυτος χρόνος μονόφορης διάδοσης (από τον σταθμό εκπομπής στην Pretoria προς το σταθμό λήψης στην Αθήνα) έστω και ενός διακεκριμένου παλμού εκπομπής. Οι λόγοι που οδήγησαν στην απόφαση αυτή ήταν η δυσκολία προγενέστερων διατάξεων, που είχαν δοκιμαστεί τον προηγούμενο χρόνο (1979) αλλά και παλαιότερα, στην ίδια ζεύξη, αλλά και σε άλλες ευρωπαϊκές ζεύξεις, για τον προσδιορισμό του T_D . Οι διατάξεις αυτές είχαν σκοπό να προσδιορίσουν είτε το χρόνο αμφίδρομης διάδοσης παλμών στη ζεύξη, (μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για τη διάδοση από το ένα άκρο της ζεύξης (A) μέχρι το άλλο (B), την αυτόματη αναπαραγωγή του παλμού στο άκρο αυτό (B) και την επανεκπομπή του προς το σταθμό λήψης στο αρχικό άκρο της ζεύξης (A)), είτε τη διαφορά στο χρόνο διάδοσης για σήματα διαφορετικών συχνοτήτων με off-line επεξεργασία^{25,26,37}.

Για να γίνει φανερή η δυσκολία των μετρήσεων με τις προγενέστερες αυτές διατάξεις αρκεί να αναφερθούν οι ισχυρές και γρήγορες διαλήψεις (flutter fading) που καταστρέφουν την

περιβάλλουσα των παλμών εκπομπής (Σχ. 4.30 στο τέταρτο κεφάλαιο), η πολλαπλή διάδοση (multipath propagation) που επιμηκώνει τους παλμούς και παραμορφώνει τη μορφή τους στο ιδιαίτερα κρίσιμο για τις μετρήσεις μέτωπό τους (Σχ. 4.25), αλλά και η διασπορά συχνότητας (frequency spreading) που διαπλατύνει το φασματικό περιεχόμενο των παλμών (Σχ. 4.21A).

Η διάταξη που περιγράφεται στη συνέχεια και που χρησιμοποιήθηκε στη διάρκεια του 1980 για εκτεταμένες μετρήσεις του T_D για βραδυνή ΤΕΡ, σχεδιάστηκε ακριβώς για να ξεπεράσει τις προηγούμενες δυσκολίες, που περιόριζαν τις δυνατότητες των προγενέστερων διατάξεων σε μετρήσεις μόνο στη διάρκεια της κανονικής ιονοσφαιρικής διάδοσης $2F_2$ και της απογευματινής ΤΕΡ. Με τη διάταξη αυτή είναι γνωστό από προηγούμενα το χρονικό "παράθυρο" που αναμένεται ένας συγκεκριμένος παλμός εκπομπής (έστω και αν δεν φτάσει ποτέ στο δέκτη), και απεικονίζεται με όλες τις παραμορφώσεις στην περιβάλλουσα και στη χρονική διάρκειά του που γεννήθηκαν μέσα στον ιονοσφαιρικό δίαυλο της δισημερινής διάδοσης.

3.4.2 Μέθοδος απόλυτου χρόνου

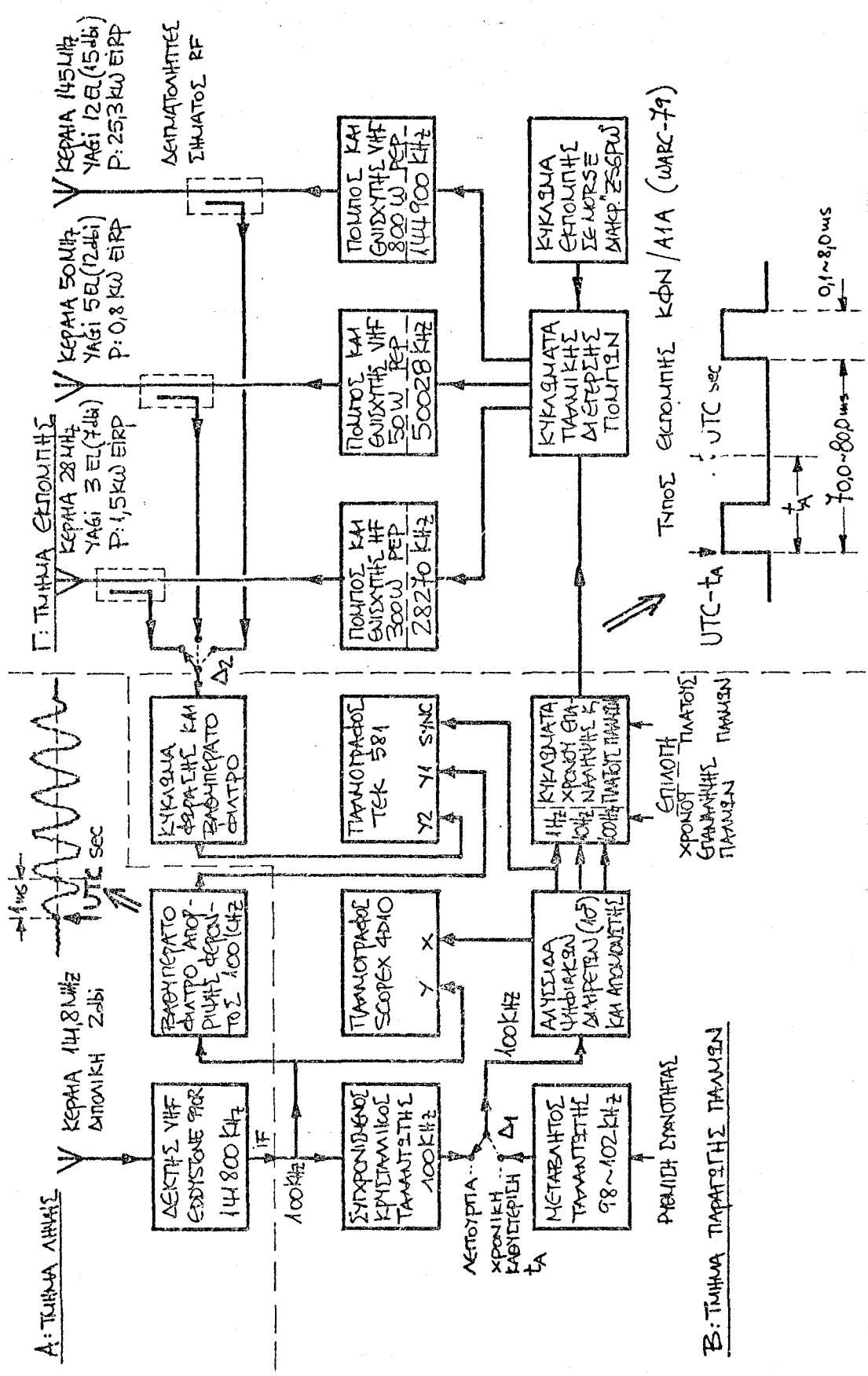
Η μέθοδος ονομάστηκε έτσι γιατί βασίζεται στην ύπαρξη του παγκόσμιου δικτύου σταθμών απολυτού γήινου χρόνου (UTC-UNIVERSAL COORDINATED TIME). Τέτοιου σταθμοί, που εκπέμπουν με μεγάλη ακρίβεια συγκεκριμένες χρονικές στιγμές UTC, υπάρχουν για διάφορους σκοπούς, όπως για βαθμονόμηση (σταθμοί WWV, RWM, ZUO κλπ.), για ναυτιλία (σταθμοί LORAN, OMEGA κλπ.), για γεωδαιτικές εφαρμογές κλπ. Οι σταθμοί αυτοί είναι συγχρονισμένοι στο χρόνο UTC με ακρίβεια μερικών msec και παραμένουν σε αυστηρά πλαίσια ακρίβειας με τακτικές βαθμονομήσεις που γίνονται με τη βοήθεια κινητών προτύπων χρόνου και συχνότητας κεσίου που περιέρχονται περιοδικά όλο το δίκτυο των σταθμών.

Στη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε, για τις μετρήσεις του T_D , τόσο ο σταθμός εκπομπής του ραδιοφάρου ZS6PW στην Pretoria, όσο και ο σταθμός λήψης στην Αθήνα ήταν συγχρονισμένοι σε χρόνο UTC με ακρίβεια μερικών δεκάδων μsec με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων. Ο σταθμός εκπομπής χρησιμοποιούσε για συγχρονισμό την εκπομπή στους 141,8 MHz, που συνδέει το CSIR (όπου βρίσκεται το πρότυπο χρόνου) με τον πομπό βραχέων κυμάτων του ZUO, (σε απόσταση μόλις 4 km), ενώ ο σταθμός λήψης χρησιμοποιούσε την εκπομπή του συστήματος ναυτιλίας LORAN C στους 100 kHz από τη νήσο Lampedusa στην κεντρική Μεσόγειο (σε απόσταση 1034 km). Με τον τρόπο αυτό, αν ένας παλμός μικρής διάρκειας εκπεμπόταν από την Pretoria τη στιγμή UTC αναμένεται στην Αθήνα τη στιγμή UTC+ T_D . Έχοντας λοιπόν αρχικά ένα ευρύ χρονικό "παράθυρο" (αρκετών msec) στη λήψη, ήταν δυνατή η απεικόνιση των παλμών που φθάνουν με όλους τους διαφορετικούς τρόπους διάδοσης (που έτσι και αλλιώς δεν παρουσιάζουν θεωρητικά μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους, όπως αναλύεται στο εδάφιο 4.8 του τέταρτου κεφαλαίου). Στη συνέχεια ήταν δυνατή η "μεγέθυνση" μιας συγκεκριμένης παλμοσειράς στενεύοντας το χρονικό "παράθυρο" στη διάταξη απεικόνισης.

3.4.3. Η διάταξη του σταθμού εκπομπής στην Pretoria⁶⁰

Η απλουστευμένη διάταξη του σταθμού εκπομπής παρουσιάζεται στο Σχ. 3.4 και περιλαμβάνει τρία βασικά τμήματα:

- α) το τμήμα λήψης του σήματος με την πληροφορία του χρόνου UTC στους 141,8 MHz και την αποδιαμόρφωσή του,
- β) το τμήμα παραγωγής παλμών με επιθυμητό πλάτος, χρόνο επανάληψης και συγκεκριμένη χρονική μετατόπιση προς ένα δευτερόλεπτο χρόνου UTC (UTC sec),
- γ) το τμήμα εκπομπής συγχρονισμένων με UTC παλμών σε τρεις διαφορετικές συχνότητες φέροντος (28, 50 και 145 MHz).



Σχ. 3.4 Απλοποιημένη διάταξη του σταθμού εκπομπής στην Pretoria

Μία σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του σταθμού εκπομπής είναι η ακόλουθη:

Στο τμήμα λήψης, το σήμα στους 141,8 MHz, που περιέχει στη διαμόρφωσή του την πληροφορία του χρόνου UTC και της πρότυπης συχνότητας (με ακρίβεια $2 \cdot 10^{-13}$!), λαμβάνεται από το δέκτη VHF και αποδιαμορφώνεται. Η έξοδος του δέκτη αποτελείται από ένα φέρον στους 100 kHz (που μεταφέρει την πληροφορία της πρότυπης συχνότητας) που διαμορφώνεται στην αρχή κάθε δευτερολέπτου UTC από πέντε περιόδους συχνότητας 1 kHz. Η αρχή του δευτερολέπτου UTC συμπίπτει με 1 ms πριν από το δεύτερο μηδενισμό της στάθμης του σήματος 1 kHz (second zero crossing), όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 3.4 μετά την απόρριψη του φέροντος των 100 kHz από βαθυπερατό φίλτρο. Το σήμα του 1 kHz με την πληροφορία του χρόνου διαμόρφώνει τη δέσμη Y_1 ενός παλμογράφου διπλής δέσμης με εξωτερικό συγχρονισμό (TEK 581), ενώ το σήμα των 100 kHz οδηγεί έναν συγχρονισμένο κρυσταλλικό ταλαντωτή 100 kHz στο τμήμα παραγωγής παλμών και οδηγεί επίσης την είσοδο Y ενός δεύτερου παλμογράφου μονής δέσμης (SCOPEX 4D10).

Στο τμήμα παραγωγής παλμών υπάρχουν (στο αριστερό μέρος του Σχ. 3.4) δύο ταλαντωτές 100 kHz. Ο ένας είναι κρυσταλλικός και συγχρονισμένος στη φάση του σήματος των 100 kHz (phase locked) που βγαίνει στην έξοδο του δέκτη, ώστε να υπάρχει η πληροφορία της συχνότητας ακόμη και αν διακοπεί για λίγο η λήψη στους 141,8 MHz. Η διατήρηση της συχνότητας με ακρίβεια $\pm 10^{-7}$ ή του χρόνου με ακρίβεια $\pm 0,1$ μ sec διατηρείται για 12 περίπου ώρες και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά γήρανσης του κρυστάλλου (aging rate). Ο δεύτερος ταλαντωτής 100 kHz είναι COLPITTS με δυνατότητα μεταβολής της συχνότητας μεταξύ 98 και 102 kHz περίπου. Οι δύο ταλαντωτές τροφοδοτούν εναλλακτικά, μέσα από τον μεταγωγικό διακόπτη Δ_1 , μία αλυσίδα πέντε δυαδικών ψηφιακών διαιρετών με εξόδους 100 kHz (προς την είσοδο X του δεύτερου παλμογράφου) και

100-10-1 Hz (προς το κύκλωμα χρόνου επανάληψης και πλάτους παλμών).

Σύμφωνα με την προηγούμενη συνδεσμολογία ο δεύτερος παλμογράφος έχει στην είσοδο Y σήμα πρότυπης συχνότητας 100 kHz και στην είσοδο X σήμα από τον συγχρονισμένο κρυσταλλικό ταλαντωτή. Η εικόνα Lissajous που σχηματίζεται παραμένει σταθερή όταν υπάρχει συγχρονισμός και αποτελεί επιβεβαίωση ότι η αλυσίδα των διαιρετών τροφοδοτείται με τη σωστή συχνότητα (όταν φυσικά ο διακόπτης Δ1 είναι στη θέση "ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ").

Η έξοδος 1 Hz από την αλυσίδα των διαιρετών τροφοδοτεί επίσης την είσοδο συγχρονισμού του πρώτου παλμογράφου (της διπλής δέσμης).

Στο κύκλωμα παλμών, που τροφοδοτείται με 1, 10 και 100 Hz, δημιουργείται με τη βοήθεια ειδικών ολοκληρωμένων κύκλωμάτων μία παλμοσειρά με μεταβλητό χρόνο επανάληψης και πλάτος παλμών. Η επιλογή των επιθυμητών παραμέτρων γίνεται εξωτερικά και μέσα στα όρια 79,0-80,0 ms ανά 0,1 ms για το χρόνο επανάληψης και 0,1-8,0 ms ανά 0,1 ms για το πλάτος των παλμών (Σχ. 3.4), ώστε να συμπίπτουν με τις παραμέτρους του συστήματος LORAN C της Μεσογείου. Επίσης είναι δυνατή κατά επιθυμία η προσωρινή παράλειψη ενός παλμού (ανά 10 παλμούς π.χ.) ώστε να δημιουργείται ένα σημείο αναφοράς (marker) στην παλμοσειρά.

Αν η αλυσίδα των διαιρετών τροφοδοτηθεί από τον μεταβλητό ταλαντωτή (τοποθετώντας προσωρινά τον διακόπτη Δ1 στη θέση "ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ"), είναι δυνατό η παλμοσειρά να μετατοπιστεί χρονικά κατά χρόνο $\pm t_A$ προς τον UTC, ανάλογα αν η συχνότητά του είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από 100 kHz. Επαναφέροντας στιγμιαία τον Δ1 στη θέση "ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ" η παλμοσειρά παραμένει με συγκεκριμένη χρονική διαφορά ανάμεσα στον πρώτο παλμό (μετά την παράλειψη ενός), και το UTC sec.

Το κύκλωμα παλμών τροφοδοτεί με την παραπάνω παλμοσειρά το κύκλωμα παλμικής διέγερσης των πομπών, που επίσης οδηγείται

ανά 1 min από το κύκλωμα εκπομπής MORSE του διακριτικού κλήσης "ZS6PW", σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.

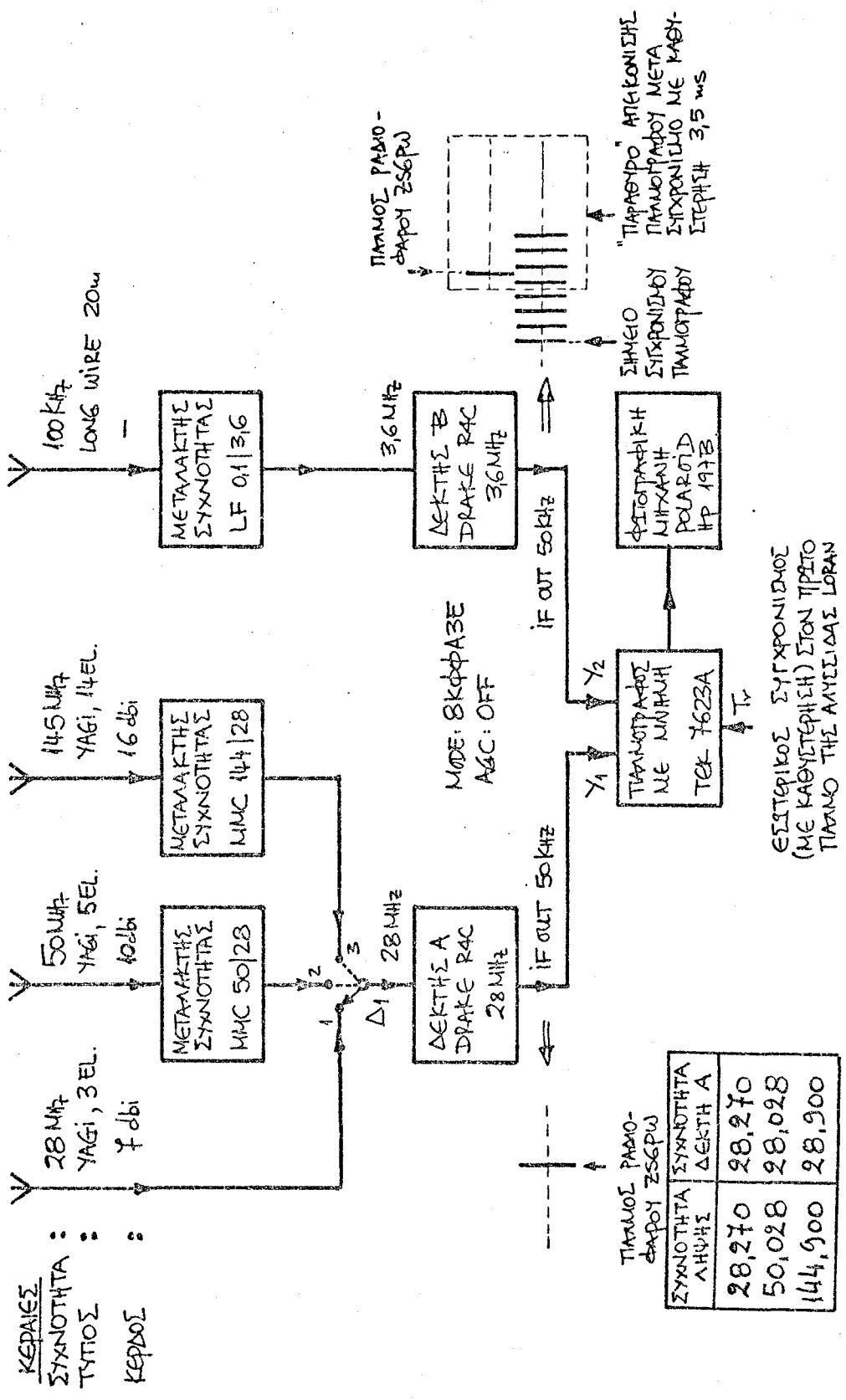
Το τμήμα εκπομπής περιλαμβάνει τρεις πομπούς και κεραίες HF-VHF στις συχνότητες και με τις ακτινοβολούμενες ισχύεις που αναφέρονται στο Σχ. 3.4 και στον Πίνακα 3.1 .

Κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς υπάρχουν δειγματολήπτες του παλμικού σήματος που εκπέμπεται. Μετά από φώραση και φιλτράρισμα το σήμα αυτό διαμορφώνει τη δέσμη Y_2 του πρώτου παλμογράφου που η άλλη του δέσμη (Y_1) δέχεται το σήμα με την πληροφορία του UTC sec και ο συγχρονισμός του γίνεται με συχνότητα 1 Hz από την έξοδο του ψηφιακού διαιρέτη. Με τη συνδεσμολογία αυτή ο παλμογράφος αυτός απεικονίζει ταυτόχρονα τον παλμό UTC sec καθώς και την περιβάλλουσα του παλμικού ραδιοσήματος ενός από τους τρεις πομπούς, κατά επιλογή με τη βοήθεια του διακόπτη Δ2 (Σχ. 3.4). Έτσι πιστοποιείται κάθε στιγμή αν η παλμοσειρά έχει τις επιθυμητές παραμέτρους που είναι ο χρόνος επανάληψης, το πλάτος των παλμών και η χρονική τους καθυστέρηση (ή προπορεία) προς το UTC sec. Με μεταγωγή του διακόπτη Δ1 στη θέση "ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ" είναι δυνατή η τροποποίηση της τιμής της προς το UTC sec, λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές καθυστερήσεις μέσα στα κυκλώματα παλμικής διέγερσης και τους πομπούς.

Ο τύπος εκπομπής και των τριών πομπών είναι (σύμφωνα με WARC-1979) KØN στη διάρκεια των παλμών και A1A στη διάρκεια του διακριτικού κλήσης.

3.4.4 Η διάταξη του σταθμού λήψης στην Αθήνα

Η απλουστευμένη διάταξη του σταθμού λήψης παρουσιάζεται στο Σχ. 3.5 και περιλαμβάνει ένα δέκτη (A) για τη λήψη των σημάτων που διαδίδονται με τη διημερινή διάδοση στους 28, 50 και 145 MHz και ένα δέκτη (B) για τη λήψη των σημάτων με την πληροφορία του χρόνου UTC στους 100 kHz από το σταθμό



Σχ. 3.5 Απλουστευμένη διάταξη του σταθμού λήψης στην Αθήνα

του LORAN C στη Lampedusa.

Οι δύο αυτοί δέκτες είναι ίδιου τύπου (DRAKE R4C) και καλύπτουν συχνότητες 3-30 MHz. Η επέκταση της περιοχής των συχνοτήτων λήψης προς ψηλότερες (50 και 145 MHz) ή χαμηλότερες συχνότητες (100 kHz) γίνεται με τη βοήθεια τριών ειδικών μεταλλακτών συχνότητας (receiving converters) που υποβιβάζουν τις ψηλότερες συχνότητες στη ζώνη των 28 MHz ή ανεβάζουν τις χαμηλότερες στη ζώνη των 3,6 MHz. Το κύκλωμα των μεταλλακτών περιλαμβάνει, εκτός από την απαραίτητη μίξη για την αλλαγή συχνότητας, προενισχυτή με χαμηλό αριθμό θορύβου (noise figure) καθώς και βαθμίδα ενίσχυσης της συχνότητας εξόδου, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του αριθμού θορύβου του συστήματος μεταλλάκτης-δέκτης. Με τη μέθοδο αυτή, τη χρησιμοποίηση κεραιών μεγάλου κέρδους και γραμμών μεταφοράς χαμηλών απωλειών, επιτυγχάνεται ένα σύστημα λήψης που η ευαισθησία του περιορίζεται από τον εξωτερικό μόνο θόρυβο (όπως ο ατμοσφαιρικός, γαλαξιακός, ηλιακός και φυσικά ο τεχνητός θόρυβος της περιοχής λήψης). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών και των κεραιών σημειώνονται συνοπτικά στο Σχ. 3.5 .

Με τη μεταγωγή του διακόπτη Δ1 και παράλληλα με επιλογή της συχνότητας του δέκτη Β, σύμφωνα με τον Πίνακα του Σχ. 3.5, επιτυγχάνεται η λήψη των τριών συχνοτήτων που εκπέμπει ο ραδιοφάρος ZS6PW. Ο δέκτης αυτός, όπως και ο δεύτερος δέκτης (Β) χρησιμοποιούν ίδιο φίλτρο στη μέση συχνότητα (8 kHz στα -3 db) που είναι αρκετά ευρύ για τη χωρίς παραμόρφωση διέλευση τόσο των παλμών του ραδιοφάρου (0,2-1,7 ms) όσο και του LORAN C (0,22 ms). Ο αποδιαμορφωτής που χρησιμοποιείται και στους δύο δέκτες είναι πλάτους με δύο πλευρικές ζώνες, τύπου A3E (AM), ενώ το κύκλωμα αυτόματης ρύθμισης του κέρδους του δέκτη (AGC) τίθεται εκτός για να υπάρχει γραμμική κατά το δυνατό μεταφορά του σήματος εισόδου στην έξοδο της μέσης συχνότητας.

Ο δεύτερος δέκτης είναι μόνιμα συντονισμένος στη συχνότητα 3,6 MHz οπότε η συχνότητα λήψης (με τη βοήθεια

του μεταλλάκτη) είναι 100 kHz (η ονομαστική του δικτύου LORAN C).

Οι έξοδοι μέσης συχνότητας (50 kHz) από τους δύο δέκτες διαμορφώνουν τις δύο δέσμες ενός παλμογράφου με αναλογική μνήμη, ώστε να είναι δυνατή η απομνημόνευση τόσο ενός διακεκριμένου παλμού όσο και μιας σειράς παλμών με σκοπό τη φωτογράφησή τους με μηχανή POLAROID. Ο παλμογράφος συγχρονίζεται εσωτερικά με καθυστέρηση (internal delayed triggering) στο σήμα του σταθμού LORAN C και η δέσμη σαρώνει κατά επιθυμία μία μονή φορά (για την απεικόνιση ενός διακεκριμένου παλμού) ή διαδοχικές φορές (για γραφική ολοκλήρωση πολλών διαδοχικών παλμών).

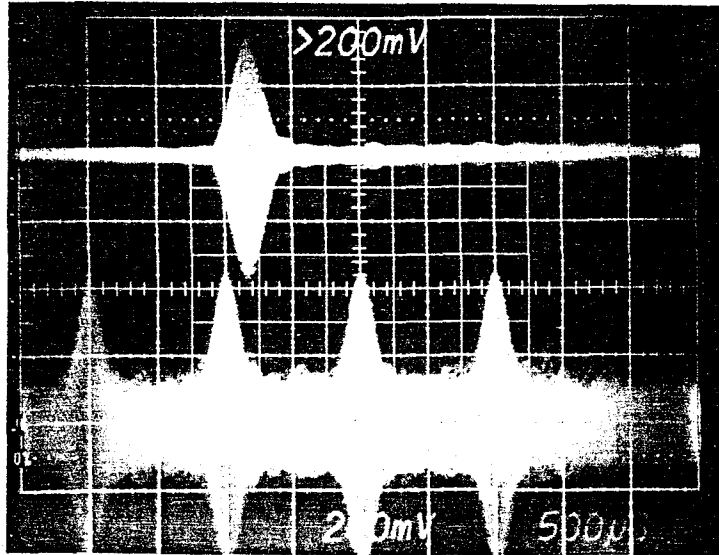
Σύμφωνα με την προηγούμενη συνδεσμολογία η οθόνη του παλμογράφου παρουσιάζει στο κάτω τμήμα της την αλυσίδα των παλμών του LORAN C, που έχουν πλάτος 0,22 ms, απόσταση 1,00 ms και περίοδο επανάληψης 79,90 ms, ενώ στο πάνω τμήμα της τον παλμό του ραδιοφάρου που λαμβάνεται σε μία από τις τρεις συχνότητες λειτουργίας του (28, 50 ή 145 MHz). Οι παλμοί αυτοί έχουν πλάτος 0,2-1,7 ms και χρόνο επανάληψης 79,9 ms όση δηλαδή είναι η περίοδος επανάληψης των παλμοσειρών του LORAN C (Σχ. 3.6). Για να παρουσιαστεί ο παλμός του ραδιοφάρου στο μέσο περίπου της οθόνης του παλμογράφου ο συγχρονισμός γίνεται στον πρώτο παλμό της αλυσίδας και η απεικόνιση με την επιθυμητή χρονική καθυστέρηση (delayed triggering).

Με τον τρόπο που αναφέρθηκε έγινε η λήψη των φωτογραφιών που παρουσιάζονται στο εδάφιο 4.8 και στο παράρτημα Β.

3.4.5 Υπολογισμός του απόλυτου χρόνου διάδοσης παλμών

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του απόλυτου χρόνου διάδοσης παλμών στη ζεύξη Pretoria-Athens

ΠΑΛΜΟΣ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΑΡΟΥ ZS6PW ΣΤΟΥΣ 28 ΜΗΖ
(6/2/80-1824 ΤΩ) ΜΕ ΠΛΑΤΟΣ 0,2 ms ΚΑΙ
ΧΡΟΝΟ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ 79,9 ms



ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΙ ΠΑΛΜΟΙ (ΠΛΑΤΟΣ
0,22 ms, ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ 1,00 ms
ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 79,90 ms) ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ
LORAN C ΤΗΣ LAMPEDUSA
(ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ ΧΡΟΝΟΥ 0,5 ms/div).

Σχ. 3.6: Τυπική εικόνα της οθόνης του παλμογράφου στο
σταθμό λήψης

βασίζεται στο ότι τόσο στο σταθμό εκπομπής όσο και στο σταθμό λήψης είναι γνωστός ο χρόνος UTC.

Στο σταθμό εκπομπής η γνώση του χρόνου UTC επιτυγχάνεται κάθε ένα δευτερόλεπτο (UTC sec) με τη διάταξη που περιγράφεται στο εδάφιο 3.4.3, ενώ στο σταθμό λήψης με τη βοήθεια των συγχρονισμένων σε χρόνο UTC παλμών του σταθμού LORAN C της Lampedusa.

Πιό συγκεκριμένα το δίκτυο ναυτιλίας LORAN C της Μεσογείου περιλαμβάνει τέσσερις σταθμούς εκπομπής με κοινό φέρον στους 100 kHz που ο καθένας τους εκπέμπει μία παλμοσειρά από οκτώ παλμούς με διάρκεια 0,22 ms, απόσταση μεταξύ τους 1,00 ms και περίοδο επανάληψης 79,90 ms. Ανάμεσα στις παλμοσειρές των τεσσάρων σταθμών υπάρχουν συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Ο κύριος σταθμός (master station) εκπέμπει για διαχωρισμό εννέα παλμούς, δηλαδή οκτώ διαδοχικούς σε απόσταση 1,00 ms και τον ένατο σε απόσταση 2,00 ms από τον όγδοο. Η αρχή (και πιό συγκεκριμένα ο πρώτος μηδενισμός της στάθμης του σήματος - first zero crossing) του πρώτου παλμού του κύριου σταθμού συμπύπτει με το UTC sec μόνο συγκεκριμένες στιγμές (TOC - Time Of Coincidence) που δημοσιεύονται ετήσια από την υπηρεσία που επιτηρεί παγκόσμια τα δίκτυα LORAN C (USNO - US Naval Observatory). Η ιδιομορφία αυτή οφείλεται βασικά στην κατάλληλα επιλεγμένη περίοδο επανάληψης παλμοσειρών που για το LORAN C της Μεσογείου είναι 79,90 ms. Έτσι η σύμπτωση των παλμών του LORAN με το UTC sec (στιγμές TOC) γίνεται μόνο κάθε 799 sec.

Στο σταθμό λήψης στην Αθήνα ο συγχρονισμός του παλμογράφου γίνεται με βάση τους παλμούς του LORAN που εμφανίζονται στην οθόνη του ταυτόχρονα με τους παλμούς του ραδιοφάρου. Η σύμπτωση αυτή οφείλεται στο ότι η περίοδος επανάληψης των παλμών του σταθμού εκπομπής από την Pretoria επιλέχθηκε να είναι με μεγάλη ακρίβεια ίση με την αντίστοιχη περίοδο του LORAN της Μεσογείου. Με τον τρόπο αυτό οι παλμοί παραμένουν σε σταθερή θέση στην οθόνη του παλμογράφου

και κάθε μετακίνησή τους οφείλεται μόνο σε μεταβολή της δι-
σημερινής-διάδοσης.

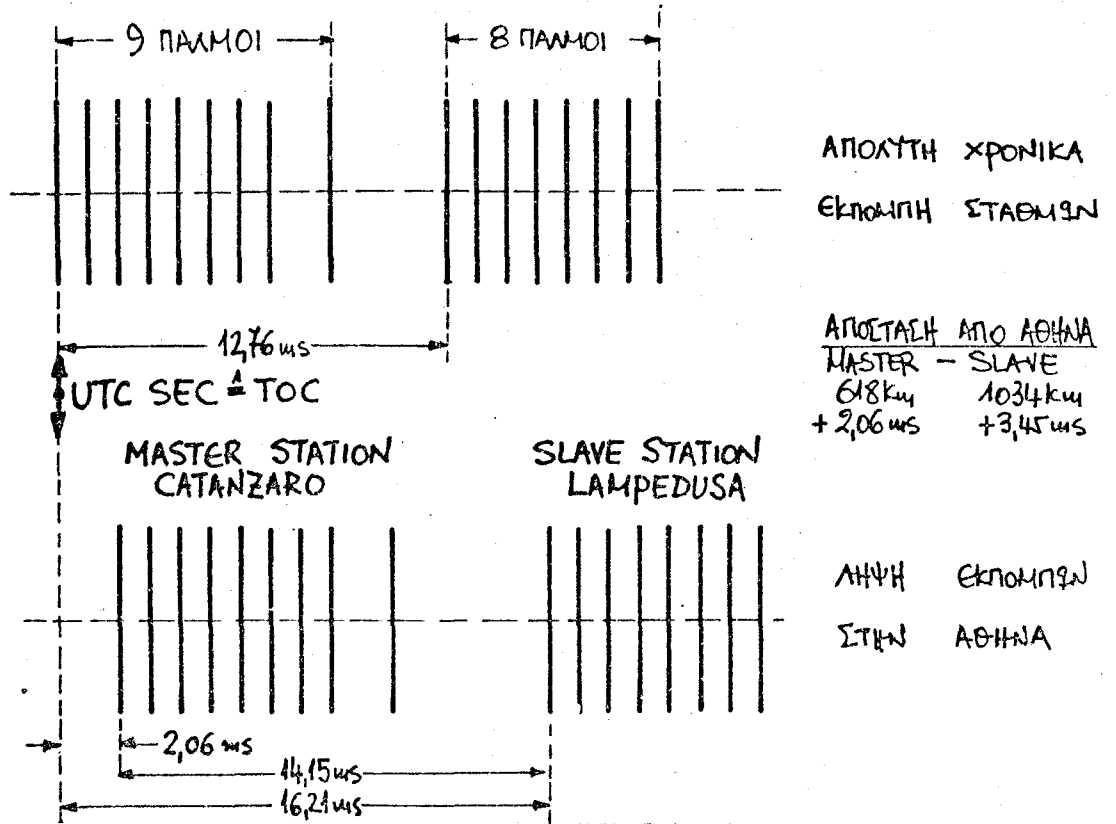
Επειδή μεταξύ του σταθμού LORAN της Lampedusa και της
Αθήνας παρεμβάλλεται σημαντική απόσταση δημιουργείται καθυ-
στέρηση ανάμεσα στη χρονική στιγμή εκπομπής και λήψης των
παλμών. Επίσης στη διάταξη λήψης υπάρχουν συσκευές που καθυ-
στερούν τους παλμούς των σημάτων.

Αν υποθέσουμε μια χρονική στιγμή TOC που ο κύριος σταθ-
μός LORAN εκπέμπει μια παλμοσειρά (Σχ. 3.7) εννέα παλμών, ο
δευτερεύον της Lampedusa αρχίζει την εκπομπή του 2,76 ms
αργότερα. Οι δύο αυτές παλμοσειρές φθάνουν στο σταθμό λήψης
με χρονική καθυστέρηση ανάλογη με την απόστασή τους και
συγκεκριμένα η εκπομπή του κύριου σταθμού 2,06 ms μετά το
UTC sec και του δευτερεύοντος 16,21 ms, οπότε ο συγχρονισμός
του παλμογράφου γίνεται με τη χρονική αυτή καθυστέρηση.
Ακόμη στο χρόνο αυτό προστίθεται η καθυστέρηση που δημιουρ-
γείται μέσα στο δέκτη LF (t_{LF}^{RX}).

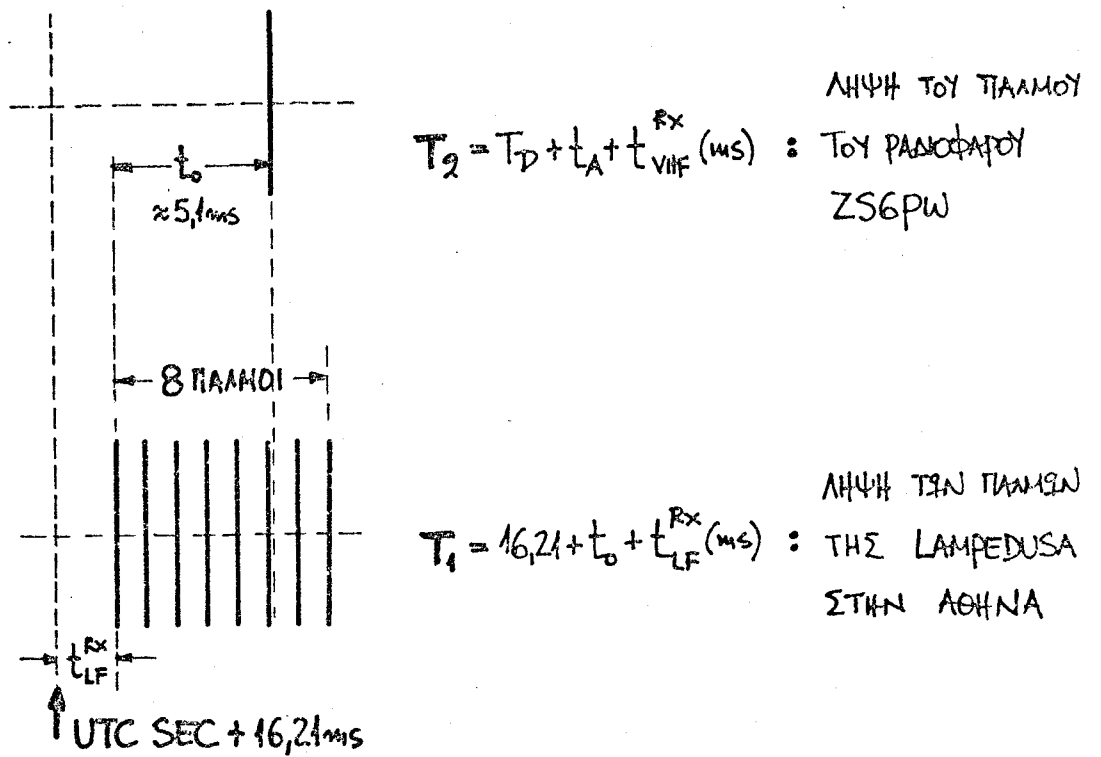
Επιπλέον αν ο παλμός του ραδιοφάρου εμφανίζεται στον
παλμογράφο για παράδειγμα ανάμεσα στον έκτο και έβδομο παλμό
της Lampedusa (Σχ. 3.6 και Σχ. 3.8), δηλαδή απέχει από την
αρχή της παλμοσειράς χρόνο t_0 , η χρονική του απόσταση από
το UTC sec είναι $T_1 = 16,21 + t_0 + t_{LF}^{RX}$ ms.

Ο συγκεκριμένος όμως παλμός του ραδιοφάρου έχει ξεκι-
νήσει από την Pretoria το ίδιο UTC sec, αλλά επιβαρύνεται
με μια αρχική τεχνητή καθυστέρηση t_A (που ρυθμίζεται κατά
επιθυμία, όπως περιγράφεται στο εδάφιο 3.4.3), με το χρόνο
μονόφορης διάδοσης στη δισημερινή ζεύξη T_D και με την καθυ-
στέρηση στο δέκτη (t_{VHF}^{RX}). Δηλαδή η συνολική χρονική του
απόσταση από το UTC sec είναι $T_2 = T_D + t_A + t_{VHF}^{RX}$.

Επειδή όμως $T_1 = T_2 = \text{UTC sec}$ έχουμε $t_A + T_D + t_{VHF}^{RX} = 16,21 + t_0 +$
 t_{LF}^{RX} ή $T_D (\text{ms}) = 16,21 + t_0 - t_A + (t_{LF}^{RX} - t_{VHF}^{RX})$. Επιπλέον οι δύο
δέκτες είναι πανομοιότυποι και οι μεταλλάκτες συχνότητας δεν παρου-
σιάζουν σημαντική καθυστέρηση (όπως αποδείχθηκε με μετρήσεις



Σχ. 3.7: Εκπομπή παλμών LORAN C της Μεσογείου και λήψη τους στην Αθήνα.



Σχ. 3.8: Απεικόνιση παλμών στον παλμογράφο του σταθμού λήψης.

που έδειξαν διαφορά στις καθυστερήσεις μέσα στους δύο δέκτες μικρότερη από 10 μ s) οπότε $t_{LF}^{RX} = t_{VHF}^{RX}$ και $T_D = 16,21 + t_0 - t_A$ ms.

Στη διάρκεια των μετρήσεων (1980) τέθηκε $t_A = -3,19$ ms, οπότε $T_D = 19,4 + t_0$. Έτσι για παράδειγμα ο παλμός του ραδιοφάρου στο Σχ. 3.6 έχει απόλυτο χρόνο διάδοσης $T_D = 19,4 + 5,1$ ms = 24,5 ms.

Για την πιστοποίηση της σωστής λειτουργίας του συστήματος μέτρησης του απόλυτου χρόνου διάδοσης παλμών στη ζεύξη Pretoria-Athens, επιδιώχθηκε η λήψη του σταθμού Lampedusa στην Pretoria, πράγμα που έγινε δυνατό ορισμένες βραδυές με χαμηλό ατμοσφαιρικό θόρυβο στη διάρκεια του τοπικού φθινοπώρου (Μάρτιος 1980). Μετρώντας το χρόνο άφιξης των παλμών του σταθμού αυτού (με τη βοήθεια της διάταξης συγχρονισμού του ραδιοφάρου) και συγκρίνοντάς τον με την υπολογισμένη τιμή η διαφορά ήταν μικρότερη από 20 μ s τις περισσότερες βραδυές ώστε το σύστημα να λειτουργεί με ακρίβεια καλύτερη από ± 50 μ s.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων και μετρήσεων που έγιναν στη διάρκεια γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου (1978-1982) και που αναφέρονται κύρια στη βραδυνή ΤΕΡ. Συμπληρωματικά υπάρχουν στοιχεία και από μετρήσεις που έγιναν στην απογευματινή ΤΕΡ καθώς και στους κοινούς ιονοσφαιρικούς τρόπους διάδοσης (π.χ. $2F_2$) που παρατηρήθηκαν στις τέσσερις διημερινές ζεύξεις HARARE-ATHENS, PRETORIA-ATHENS, HARARE-LIMASSOL και PRETORIA-LIMASSOL που μελετήθηκαν.

Στο Σχ.4.1 παρουσιάζεται η περίοδος μελέτης των Ευρωαφρικανικών διημερινών ζεύξεων στα χρονικά πλαίσια του 21ου ηλιακού κύκλου.

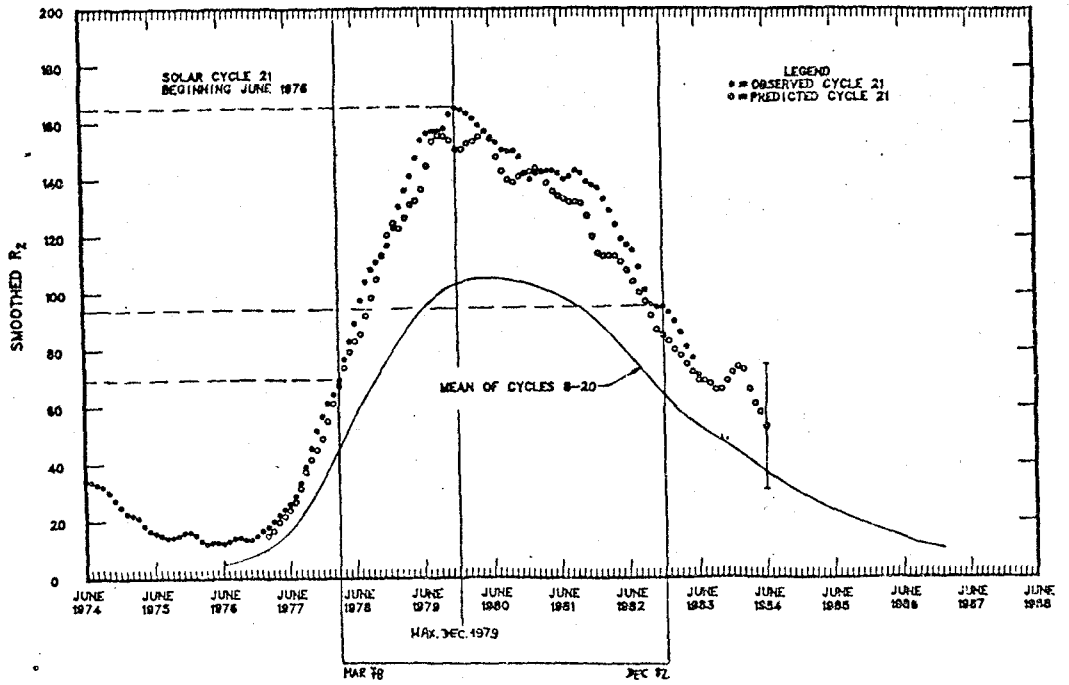
Ο τρόπος μελέτης των ζεύξεων αυτών, οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν και τα στοιχεία των τερματικών σταθμών περιγράφονται και αναλύονται διεξοδικά στο τρίτο κεφάλαιο.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα στοιχεία των τεσσάρων διημερινών ζεύξεων που μελετήθηκαν.

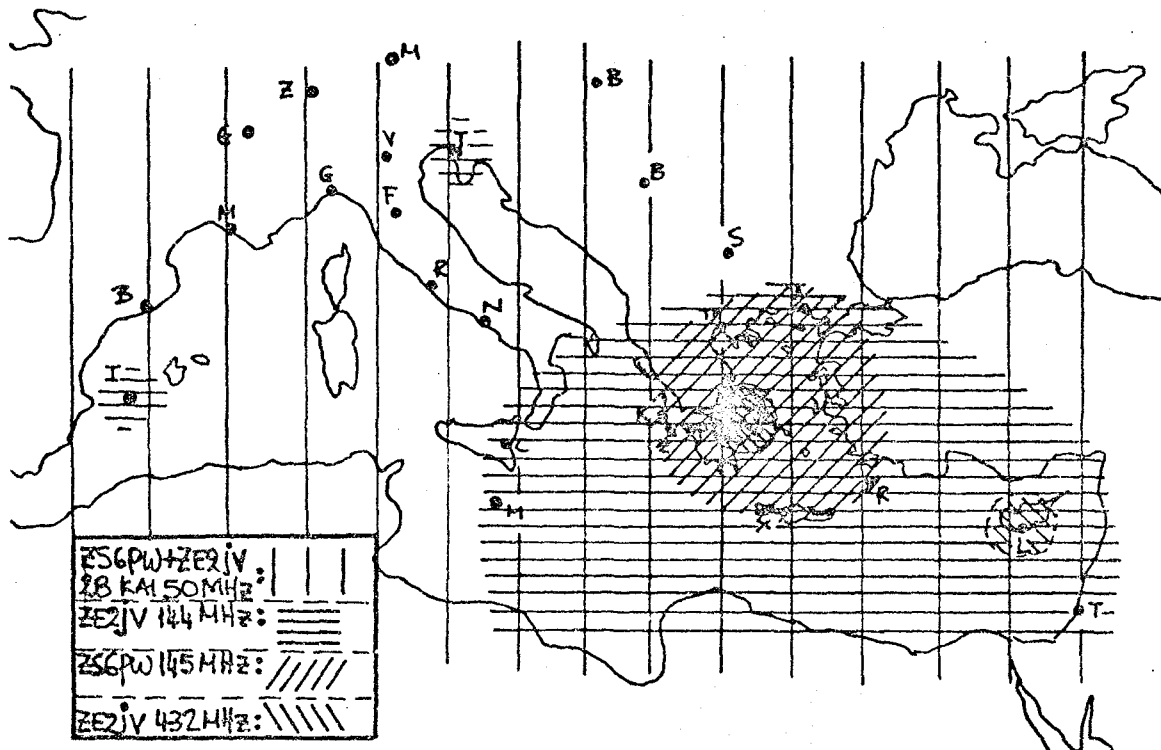
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΟΙ ΔΙΗΜΕΡΙΝΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΑΦΡΙΚΑΝΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

Όνομασία Ραδιοζεύξης	Διακριτικό Αναγνώρισης	Μήκος Ζεύξης (km)	Συντεταγμένες Σταθμού Εκπομπής Νοτίου Ημισφαιρίου	Συντεταγμένες Σταθμού Λήψης Βορείου Ημισφαιρίου
Harare-Athens	ZE	6260	17°50'00"S- 31°02'00"E	38°00'42"N- 23°43'58"E
Pretoria-Athens	ZS	7100	25°44'37"S- 28°18'35"E	"
Pretoria-Limassol	ZB	6740	"	34°45'00"N- 33°19'00"E
Harare-Limassol	SB	5870	17°50'00"S- 31°02'00"E	"

OBSERVED AND ONE-YEAR-AHEAD PREDICTED SMOOTHED SUNSPOT NUMBERS



Σχ. 4.1: Η χρονική περίοδος των παρατηρήσεων βραδυνης TEP (1978-1982) σε σχέση με τη δραστηριότητα του 21ου ηλιακού κύκλου⁵⁴.



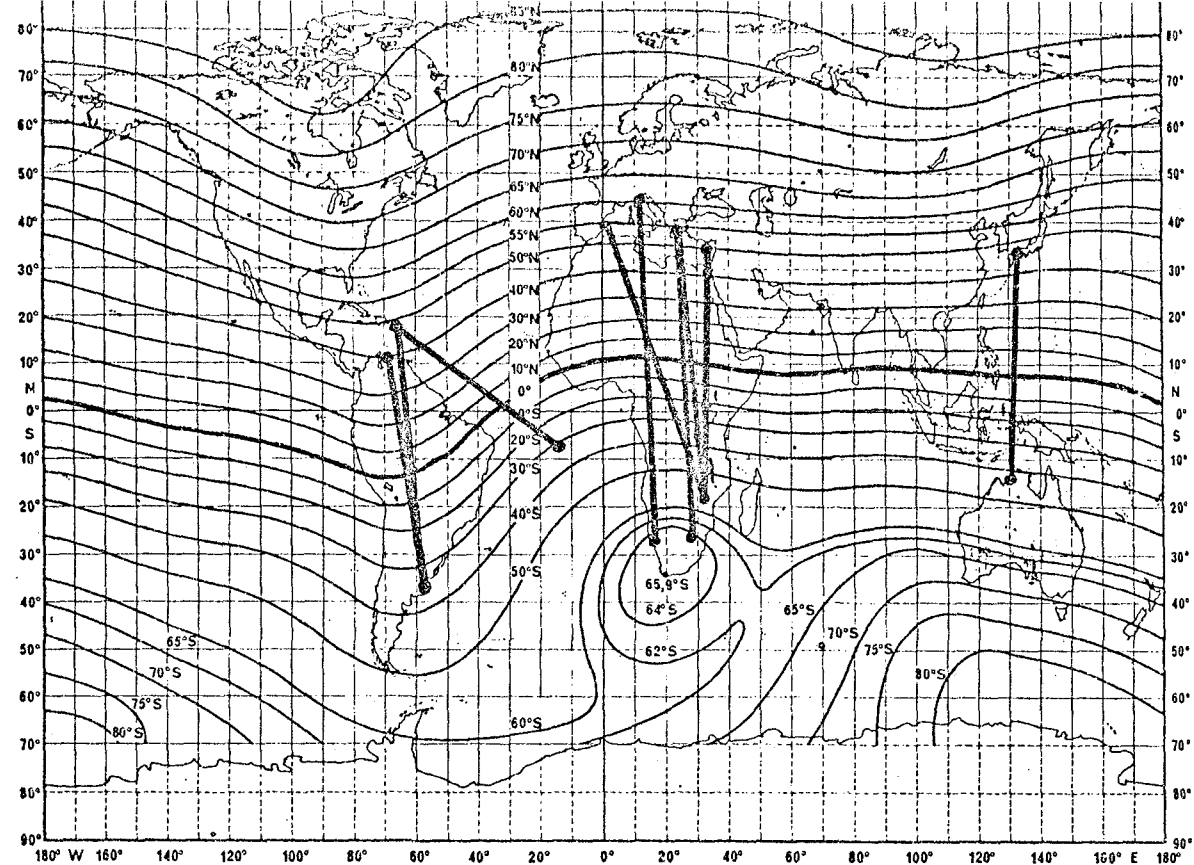
Σχ. 4.2: Κατανομή των σταθμών λήψης και περιοχή κάλυψης των ραδιοφάρων ZE και ZS στη λεκάνη της Μεσογείου.

4.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ

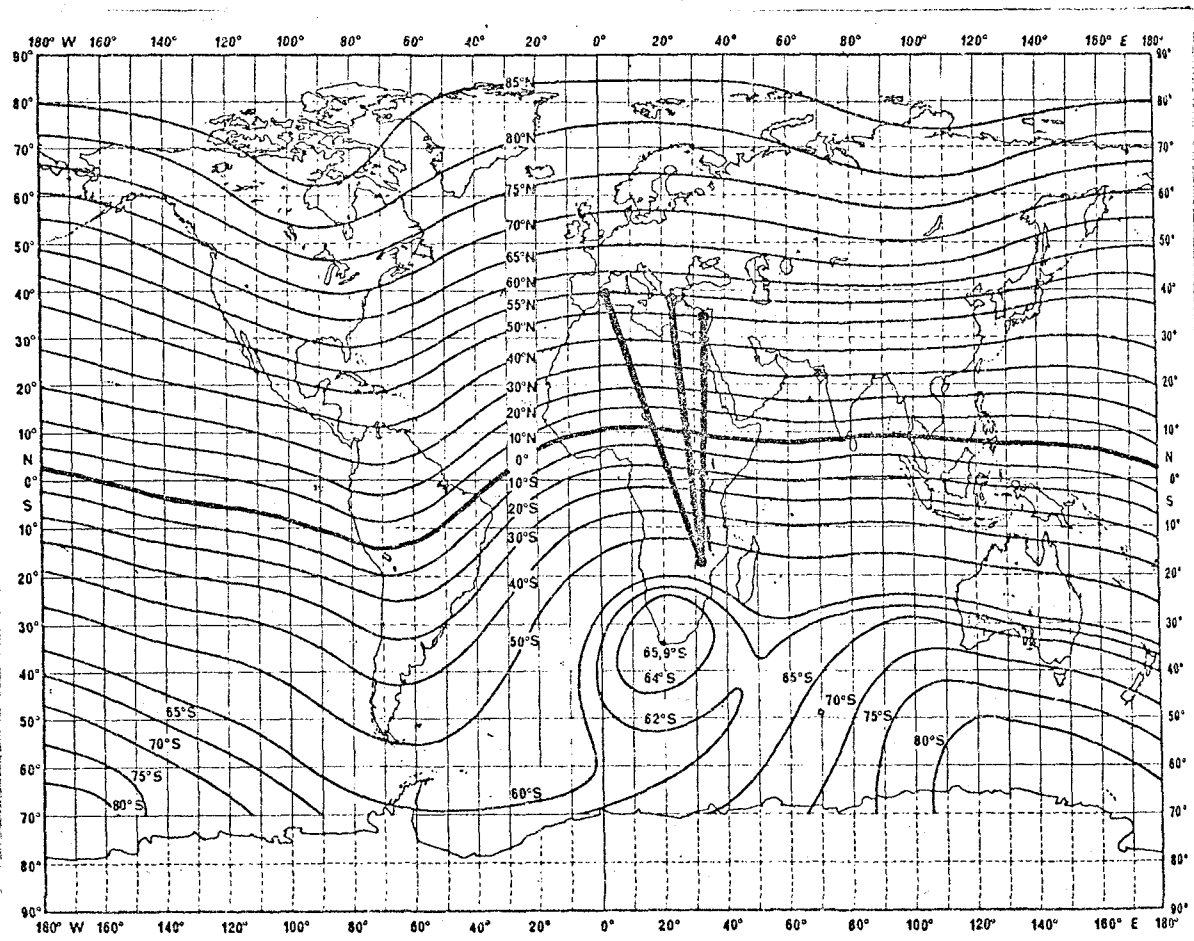
Για να διαπιστωθεί η γεωγραφική κάλυψη που είχαν στο βόρειο ημισφαίριο κατά τη διάρκεια της βραδυλής TEP οι δύο ραδιοφάροι από την Αφρική ζητήθηκε η βοήθεια από πολλούς ραδιοερασιτεχνικούς σταθμούς στη νότια Ευρώπη, που διέθεταν φυσικά τα κατάλληλα μέσα ακρόασης. Από τις αναφορές τους, που συγκεντρώθηκαν με το δίκτυο επικοινωνίας στους 28 MHz στον κεντρικό σταθμό λήψης της Αθήνας, σχηματίστηκε ο χάρτης της γεωγραφικής κάλυψης των ραδιοφάρων στην περιοχή της νότιας Ευρώπης που φαίνεται στο Σχ. 4.2.

Αντίστοιχες αναφορές ακροάσεων και επιβεβαιωμένων ραδιοζεύξεων στους 144 MHz για τους τρεις δισημερινούς τομείς της γης στη διάρκεια του 21ου ηλιακού κύκλου φαίνονται στο χάρτη του Σχ. 4.3, όπου παρουσιάζονται παράλληλα τα μαγνητικά πλάτη των θέσεων των διαφόρων σταθμών.³⁶

Η πρώτη βασική διαπίστωση από τους χάρτες αυτούς είναι ότι για την επίτευξη δισημερινών ραδιοζεύξεων σε πολύ ψηλές συχνότητες (όπως οι 144 MHz) απαιτείται η συμμετρική τοποθέτηση των τερματικών σταθμών προς το μαγνητικό ισημερινό (dip equator), ώστε να είναι οι θέσεις τους σχεδόν μαγνητικά συζυγείς (magnetic conjugates). Όπως φαίνεται όμως στο Σχ. 4.2, κάθε ραδιοφάρος "φωτίζει" μια ολόκληρη περιοχή στο αντίθετο ημισφαίριο και όχι μόνο μια μικρή έκταση γύρω από τη μαγνητικά συζυγή θέση του. Οι περιοχές αυτές, που μπορούν να ονομασθούν "μαγνητικά συζυγείς", είναι πολύ εκτεταμένες για τις χαμηλότερες συχνότητες παρατήρησης (28 και 50 MHz), όπου εκτός από το βραδυνό τύπο TEP υπάρχουν και άλλοι ιονοσφαιρικοί μηχανισμοί διάδοσης (π.χ. $2F_2$, ιονοσφαιρική σκέδαση κλπ.) και περιλαμβάνουν βόρεια από τον ισημερινό όλες πρακτικά τις χώρες γύρω από τη Μεσόγειο. Όταν όμως η συχνότητα παρατήρησης αυξηθεί και φθάσει στους 144 MHz, η έκταση των περιοχών αυτών περιορίζεται αισθητά και περιλαμβάνει πολύ μικρότερη γεωγραφική έκταση, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.2.



Σχ. 4.3: Γεωμετρία ραδιοζεύξεων με βραδινή TEP σε συχνότητες μεγαλύτερες από 100 MHz στη διάρκεια του 21ου ηλιακού κύκλου.



Σχ. 4.4: Γεωμετρία ραδιοζεύξεων μεταξύ του Αφρικανικού σταθμού εκπομπής Harare (ZW) και των σταθμών λήψης Athens (GR), Limassol (CY), και Thiza Ts1.

Στη ψηλότερη συχνότητα που λειτούργησε ο ραδιοφάρος ZE2JV από το Harare (432 MHz), διαπιστώθηκε ότι "φώτιζε" μόνο τον άξονα ΑΘΗΝΑΣ-ΛΕΜΕΣΟΥ, χωρίς ποτέ να ανιχνευθεί από σταθμούς λήψεις σε άλλα σημεία του βόρειου ημισφαιρίου.

Η πιο πειστική απόδειξη ότι απαιτείται μαγνητική συζυγία για ζεύξεις πάνω από τους 100 MHz είναι η διπλή ζώνη κάλυψης των εκπομπών του σταθμού KP4EOR από το Puerto-Rico, όπου η καμπυλότητα του γεωμαγνητικού ισημερινού πάνω από τη νότια Αμερική δημιούργησε αυτή την ιδιαιτερότητα (Σχ. 4.3).

Η εξαίρεση στον κανόνα εμφανίζεται επίσης στο ίδιο σχήμα με τη μοναδική λήψη του ραδιοφάρου ZE2JV στο νησί Ibiza της Ισπανίας (9/6/79), όπου η ευθεία των δύο σημείων τέμνει το μαγνητικό ισημερινό με γωνία μόλις 67° . Πρέπει να σημειωθεί ότι τέτοιες πολύ σπάνιες λήψεις πιθανό να δημιουργούνται κάτω από εξαιρετικές συνθήκες και με τη διάδοση των σημάτων διαδοχικά με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς, όπως π.χ. με διισημερινή διάδοση και στη συνέχεια με τροποσφαιρική διάδοση πάνω από τη Μεσόγειο (όπου εμφανίζεται πολύ συχνά τους καλοκαιρινούς μήνες) ή με E_s .

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4.2 οι εκπομπές του ραδιοφάρου ZE2JV στους 144 MHz φώτιζαν σχεδόν όλη την Ελλάδα και την Ανατολική Μεσόγειο. Συνήθως υπήρχε το ίδιο βράδυ λήψη στην Αθήνα και στη Λεμεσό με μία μέση χρονική καθυστέρηση περίπου 20 λεπτών, που αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζεται να δύσει διαδοχικά ο ήλιος στα σημεία της ισημερινής ιονόσφαιρας που τέμνονται από τις δύο ζεύξεις.

Ορισμένες όμως βραδύς με ασθενική διάδοση TEP, η λήψη του ραδιοφάρου ZE2JV περιοριζόταν μόνο στο σταθμό της Λεμεσού ή πιο σπάνια μόνο της Αθήνας. Το σύνολο των παρατηρήσεων απέδειξε ότι η Λεμεσός βρίσκεται σε ευνοϊκότερη θέση για τη λήψη του ραδιοφάρου ZE2JV στους 144 MHz απ'ότι η Ελλάδα, με μεγαλύτερη μέση μηνιαία αξιοπιστία λήψης και με ισχυρότερη στάθμη κατά 7 db περίπου στη λήψη των σημάτων από το Harare. Όπως διαπιστώνεται από τις θέσεις των τριών σταθμών σε αναφορά

με το μαγνητικό ισημερινό, η ζεύξη Λεμεσσού-Harare τέμνει τον ισημερινό σε σχεδόν ορθή γωνία (83°), ενώ τα μαγνητικά πλάτη των σταθμών διαφέρουν αρκετά (Λεμεσσός 50°N , Harare 58°S). Αντίθετα η ζεύξη Αθήνας-Harare τέμνει τον ισημερινό με μικρότερη γωνία (78°), παρόλο που τα μαγνητικά πλάτη διαφέρουν λιγότερο (Αθήνα 54°N , Harare 58°S). Το ίδιο ισχύει και με τη ζεύξη Ibiza-Harare (που παρατηρήθηκε μια μόνο φορά) όπου η γωνία της με τον ισημερινό είναι ακόμη μικρότερη (67°), τα μαγνητικά πλάτη των σταθμών διαφέρουν λιγότερο (Ibiza 54°N , Harare 58°S), απ'ότι στη ζεύξη Λεμεσσός-Harare (Σχ. 4.4).

Αντίστοιχες παρατηρήσεις έγιναν και στους άλλους δύο διισημερινούς τομείς της γης^{45,61}, ώστε να μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι η κάθετη τοποθέτηση της ζεύξης ως προς τον μαγνητικό ισημερινό δίνει τη μεγαλύτερη αξιοπιστία διάδοσης και τα ισχυρότερα σήματα, παρά η εξασφάλιση παραπλήσιων μαγνητικών πλατών στους δύο τερματικούς σταθμούς. Η γενική αυτή παρατήρηση περιλαμβάνεται στο πρότυπο της βραδυλής TEP που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο και σημαίνει ότι για ισχυρή διισημερινή διάδοση βραδυνού τύπου του επάνω τμήματος του φάσματος VHF, δηλαδή για συχνότητες μεγαλύτερες από 100 MHz, απαιτείται μια συγκεκριμένη γεωμετρία στη ζεύξη κοντά στο μαγνητικό ισημερινό.

Με τις παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και στους τρεις διισημερινούς τομείς η μικρότερη σε απόσταση ζεύξη για συχνότητες πάνω από 100 MHz (όπου η βραδυλή TEP είναι ο αποκλειστικός τρόπος διάδοσης) πραγματοποιήθηκε στη Ν. Αμερική με μήκος 5000 km, ενώ η μεγαλύτερη ζεύξη παρουσιάστηκε μεταξύ Β. Ιταλίας και Ν.Α. Αφρικής με μήκος 8000 km περίπου^{12,36,45}.

Σαν τελική παρατήρηση πρέπει να αναφερθεί ότι η έκταση των συζυγών περιοχών περιορίζεται όσο ελαττώνεται η ηλιακή δραστηριότητα (πράγμα που παράλληλα συμβαίνει και με τη μέγιστη διαδιδόμενη συχνότητα) για να καταλήξει σε διάδοση μεταξύ συζυγών σημείων, πριν από την ολική εξαφάνιση του βραδυνού τύπου TEP κοντά στο ελάχιστο του ηλιακού κύκλου.

4.3 ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ, ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ

Το φαινόμενο της διισημερινής διάδοσης βραδυνού τύπου εμφανίζει έντονες ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία^{2,3}.

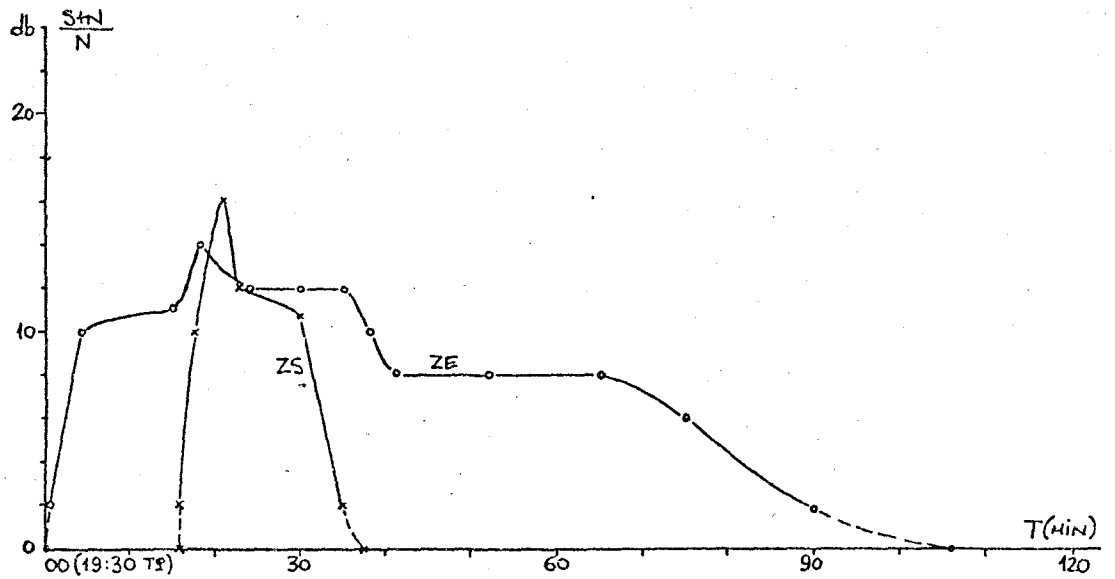
Στην εργασία αυτή που αφορά τον Ευρωπαϊκό τομέα εξετάζονται αναλυτικά και για μεγάλο χρονικό διάστημα οι μεταβολές αυτές, σαν συνάρτηση και της συχνότητας των σημάτων.

4.3.1 Ημερήσια μεταβολή της βραδυής ΤΕΡ

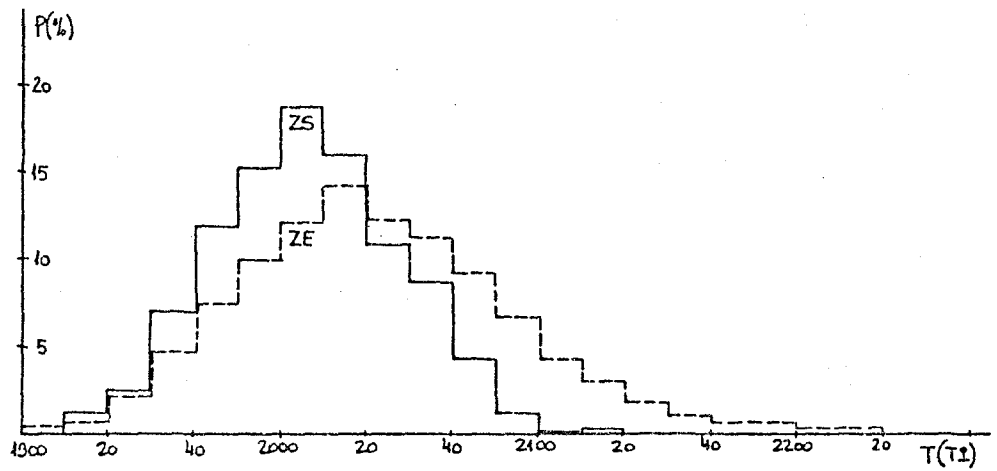
Ο βραδυνός τύπος της διισημερινής διάδοσης διαδέχεται τον απογευματινό μετά τις 19:00 ΤΩ, ύστερα από μια εντυπωσιακή περίοδο διακοπής όλων των ραδιοζεύξεων με διάρκεια μισή ως μια ώρα, που οριοθετεί πολύ καθαρά το τέλος του απογευματινού και την αρχή του βραδυνού τύπου.

Η έναρξη του βραδυνού τύπου είναι ραγδαία. Τα σήματα από τους ραδιοφάρους επανέρχονται πάνω από το θόρυβο και μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας (σε ορισμένες περιπτώσεις μέσα σε κλάσμα του λεπτού) φτάνουν το μέγιστο της έντασής τους. Στο Σχ. 4.5 παρουσιάζεται αυτή η έντονη μεταβολή της έντασης των σημάτων στην έναρξη της διάδοσης για τις δύο ζεύξεις στους 144 MHz μια τυπική βραδυά με ισχυρή διισημερινή διάδοση (20/3/1980).

Το μέγιστο στη διάδοση του βραδυνού τύπου, τόσο για τις συχνότητες που διαδίδονται όσο και για την ένταση των σημάτων συμβαίνει στατιστικά (για το σύνολο των πέντε ετών των παρατηρήσεων) μετά τις 20:00 ΤΩ. Πιό συγκεκριμένα για τη ζεύξη Harare-Αθήνα (ZE) εμφανίζεται μεταξύ 20:10 ως 20:20 ΤΩ και για τη ζεύξη Pretoria-Αθήνα (ZS) μεταξύ 20:00 ως 20:10 ΤΩ, δηλαδή η μεγαλύτερη ζεύξη προηγείται χρονικά, παρόλο που η Pretoria είναι δυτικότερα κατά $2,7^{\circ}$ (~ 5 min).



Σχ. 4.5: Χρονική μεταβολή της έντασης των σημάτων στους 144 MHz για τις ζεύξεις ZE και ZS (25/3/1980).



Σχ. 4.6: Πιθανότητα διάδοσης βραδυνης TEP στους 144 MHz για τις ζεύξεις ZE και ZS (περίοδος 1978-1982).

στον ισημερινό) από το Harare. Στο Σχ. 4.6 δίνεται η πιθανότητα διάδοσης βραδυνού τύπου σαν συνάρτηση της τοπικής ώρας (ΤΩ), απ'όπου φαίνεται ότι η πιθανότερη περίοδος για διάδοση είναι δύο περίπου ώρες μετά τη δύση του ήλιου στον ισημερινό.

Μετά το μέγιστο στη διάδοση παρατηρείται μια εκτεταμένη χρονικά περίοδος σταδιακής μείωσης της έντασης των σημάτων που εκτείνεται για τις χαμηλότερες συχνότητες συνήθως μέχρι τα μεσάνυχτα. Η διάρκεια της περιόδου αυτής εξαρτάται κύρια από τη συχνότητα των σημάτων, το μήκος της ζεύξης και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα. Στην έναρξη του φαινομένου, εμφανίζεται σχεδόν ταυτοχρόνα διάδοση σημάτων σε όλο το φάσμα μέχρι τη μέγιστη συχνότητα των παρατηρήσεων (432 MHz). Μετά το μέγιστο όμως αρχίζει προοδευτική εξασθένηση πρώτα των πιο ψηλών συχνοτήτων που επεκτείνεται μέχρι τα μεσάνυχτα ως το κάτω όριο του φάσματος VHF (30 MHz).

Ορισμένες όμως βραδυές, με χαμηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα και με έντονη ηλιακή δραστηριότητα, η διάδοση σημάτων από την Αφρική σε συχνότητες μέχρι 80 MHz επεκτείνεται σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της νύχτας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η λήψη των διαύλων τηλεόρασης E3 και E4 στους 61 και 68 MHz από το Sokoto της Nigeria διαρκούσε μέχρι το τέλος του προγράμματος των σταθμών αυτών στις 02:00 ΤΩ περίπου.

Στη διάρκεια δύο τέτοιων εξαιρετικών περιπτώσεων, παρατηρήθηκε διάδοση σημάτων στους 144 MHz από το ραδιοφάρο της Pretoria το πρωί της επόμενης ημέρας, δώδεκα περίπου ώρες μετά το βραδυνό μέγιστο. Πιο συγκεκριμένα η παρατήρηση αυτή έγινε στις 08:05-08:10 ΤΩ της 18/10/79 και στις 09:08-09:10 ΤΩ της 21/10/79 με ηλιακή ροή στους 2,8 GHz (Sa) πάνω από 230 μονάδες ($10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$) και συντελεστή μαγνητικής δραστηριότητας (Km) μόλις μία μονάδα. Παρατηρήσεις για διάδοση σημάτων τόσο ψηλών συχνοτήτων στη διάρκεια της μέρας δεν έχουν αναφερθεί ποτέ στο παρελθόν και έχουν ιδιαίτερη

σημασία γιατί συμπίπτουν με την περίοδο που η ισημερινή ανωμαλία θεωρείται ότι είναι ακόμη αδιαμόρφωτη²⁰. Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι δεν είναι συμπτωματική η πρωινή διάδοση σημάτων του βραδυνού τύπου TEP με δώδεκα σχεδόν ώρες διαφορά από το βραδυνό μέγιστο, δηλαδή δύο περίπου ώρες μετά την ανατολή του ήλιου στον ισημερινό (Σχ. 4.7).

Από το σύνολο των παρατηρήσεων, για την περίοδο από το 1978 ως το 1982, στις δύο ζεύξεις μεταξύ Harare-Αθήνας και Pretoria-Αθήνας (που για λόγους συντομίας θα αναφέρονται στο εξής σαν ζεύξεις ZE και ZS αντίστοιχα), οι κυριότερες διαπιστώσεις στην ημερήσια εξέλιξη του βραδυνού τύπου TEP είναι οι ακόλουθες:

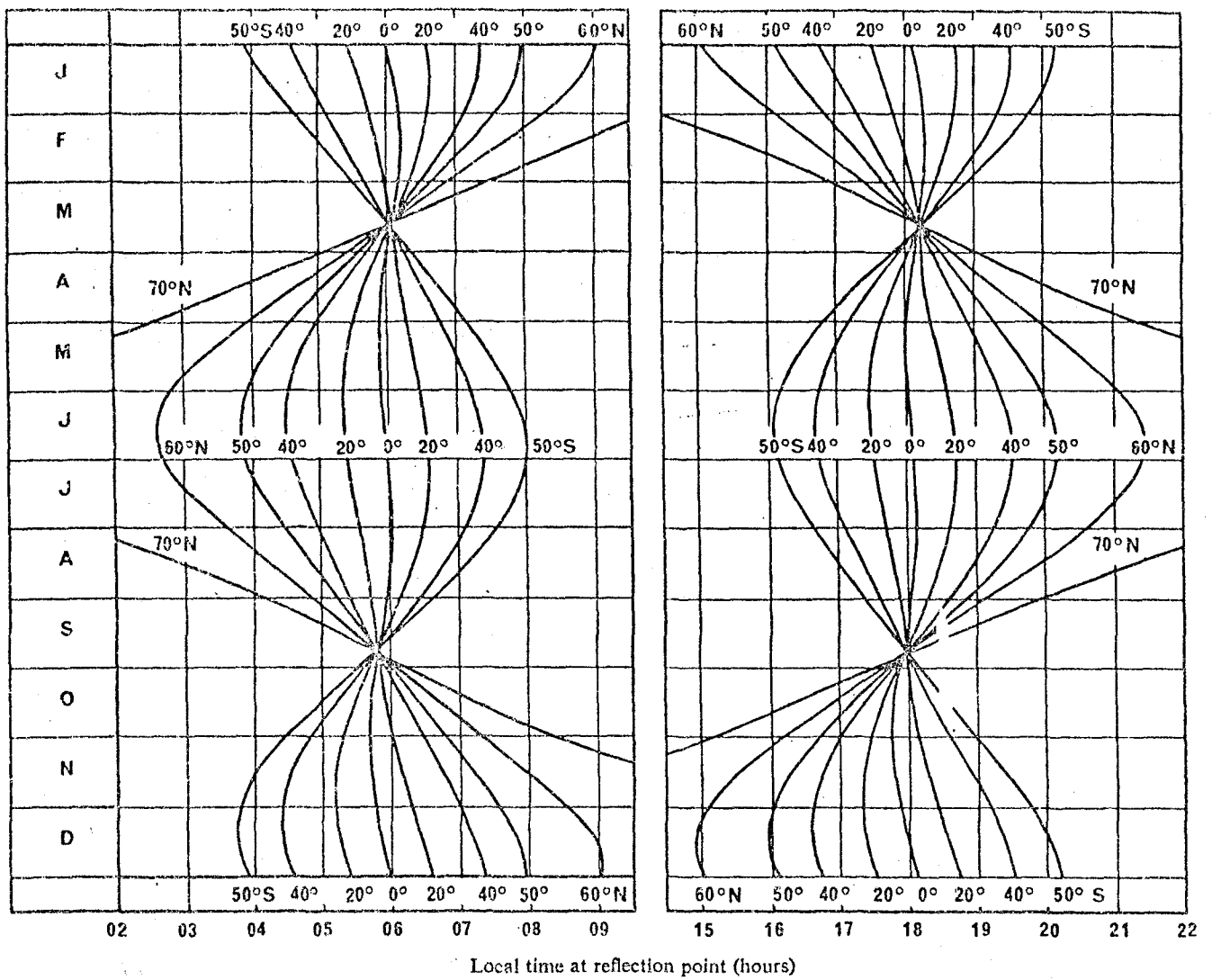
α) Ημερήσια διάρκεια των ραδιοζεύξεων

Όπως φαίνεται και στο Σχ. 4.5, η διάρκεια της ζεύξης ZE διαπιστώθηκε να είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από τη διάρκεια της ζεύξης ZS.

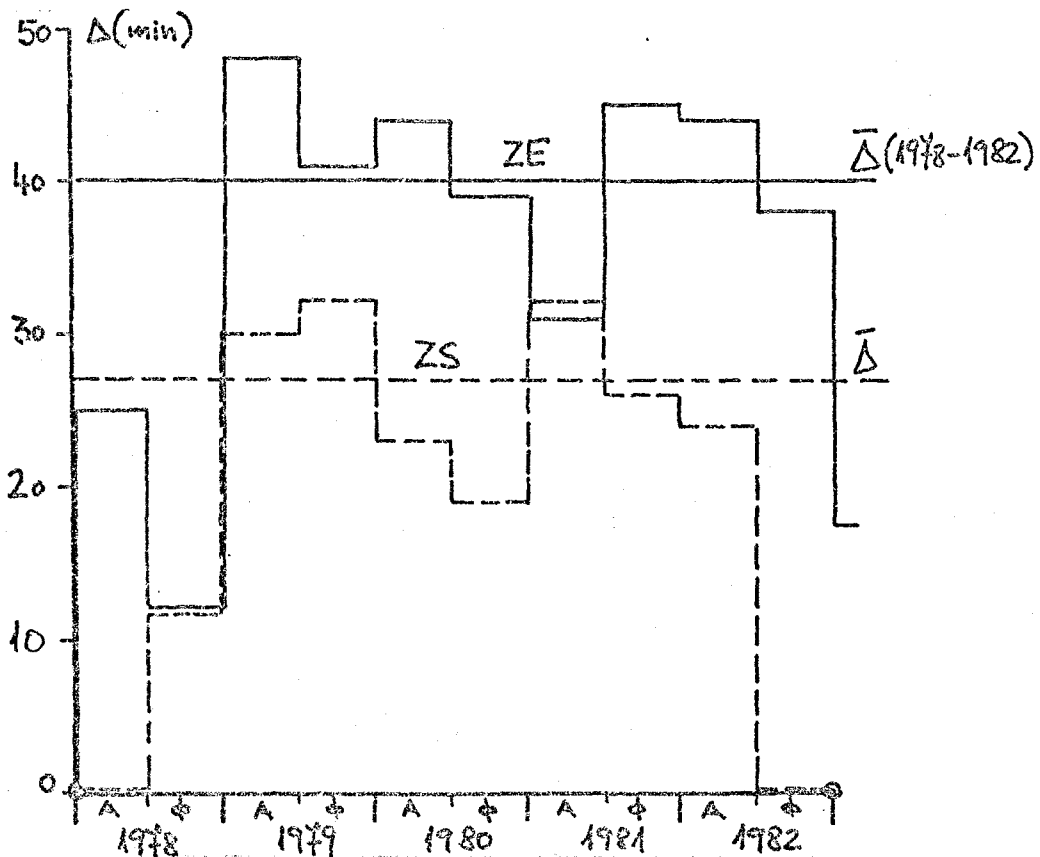
Για το σύνολο των ημερών που πραγματοποιήθηκε διάδοση στους 144 MHz (δηλαδή 340 μέρες για τη ζεύξη ZE και 192 μέρες για τη ζεύξη ZS) η μέση διάρκεια της ζεύξης ZE ήταν 40 min. και της ZS 27 min.

Πιο αναλυτικά στο Σχ. 4.8 παρουσιάζεται η μεταβολή της διάρκειας των δύο ζεύξεων για τις οκτώ "εποχές" TEP (γύρω από τις ισημερίες) από το 1978 ως το 1982, απ'όπου διαπιστώνεται ότι η ελάχιστη "εποχιακή" διάρκεια (13 min.) παρουσιάστηκε ταυτόχρονα και στις δύο ζεύξεις το φθινόπωρο 1978 ενώ η μέγιστη την άνοιξη του 1979 για την ZE (48 min.) και το φθινόπωρο του 1979 για την ZS (32 min).

Η μεγαλύτερη σε διάρκεια διάδοση στους 144 MHz παρατηρήθηκε στη ζεύξη ZE για 130 min. στις 29/3/82 και στη ζεύξη ZS για 70 min. στις 18/10/79. Οι αντίστοιχοι χρόνοι για τις χαμηλότερες συχνότητες λειτουργίας των ζεύξεων (28 και 50 MHz) κάλυπταν όλη τη διάρκεια της νύχτας, ενώ για τις ψηλότερες συχνότητες (στους 220 και 432 MHz που υπάρχουν παρατηρήσεις



Σχ. 4.7: 'Ορες ανατολής και δύσης του ήλιου για τους μήνες του έτους και τα γεωγραφικά πλάτη³⁵.



Σχ. 4.8: Μέση ημερήσια διάσκελα διάδοσης βραδυνης TEP στους

και στον αμερικανικό δισημερινό τομέα) περιορίζονται σε 5 ως 10 min. με πιθανότερη ώρα εμφάνισης μεταξύ 20:20 και 20:25 ΤΩ (Σχ. 4.9).

β) Αρχή και τέλος της διάδοσης

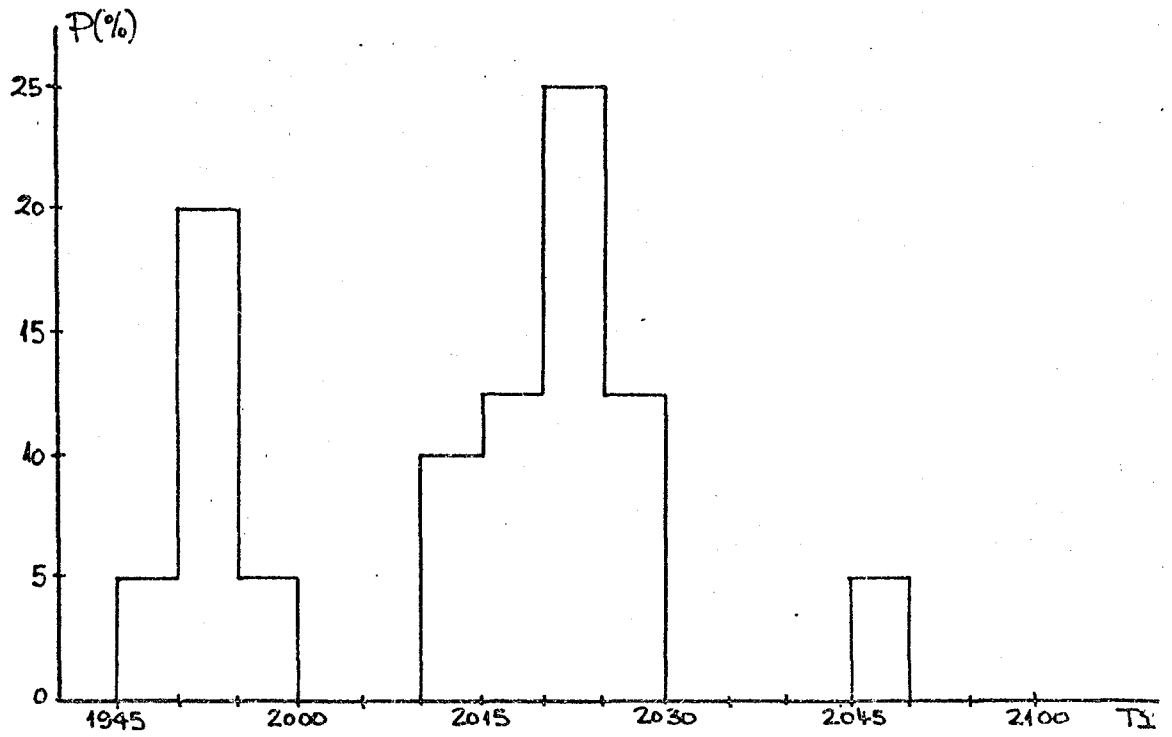
Στα Σχ. 4.10 και 4.11 παρουσιάζεται η πιθανότητα διάδοσης βραδυνού τύπου ΤΕΡ για τις δύο ζεύξεις ΖΕ και ΖS σε συνάρτηση με την τοπική ώρα (ΤΩ). Όπως διαπιστώθηκε από το σύνολο των παρατηρήσεων μεταξύ 1978 και 1982 η ζεύξη ΖΕ δεν εμφανίζεται ποτέ νωρίτερα από τις 18:50 ΤΩ και η ΖS από τις 19:00 ΤΩ. Η διακοπή των ζεύξεων παρουσιάζεται συνήθως πριν από τα μεσάνυχτα και είναι συνάρτηση της συχνότητας. Οι ζεύξεις στις ψηλότερες συχνότητες διακόπτονται νωρίτερα και έτσι στους 144 MHz δεν υπήρχε ποτέ ζεύξη ΖΕ μετά τις 22:20 ΤΩ και ποτέ ζεύξη ΖS μετά τις 21:20 ΤΩ.

Ανάλογα η ζεύξη ΖΕ στους 432 MHz ποτέ δεν παρατηρήθηκε μετά τις 20:50 ΤΩ.

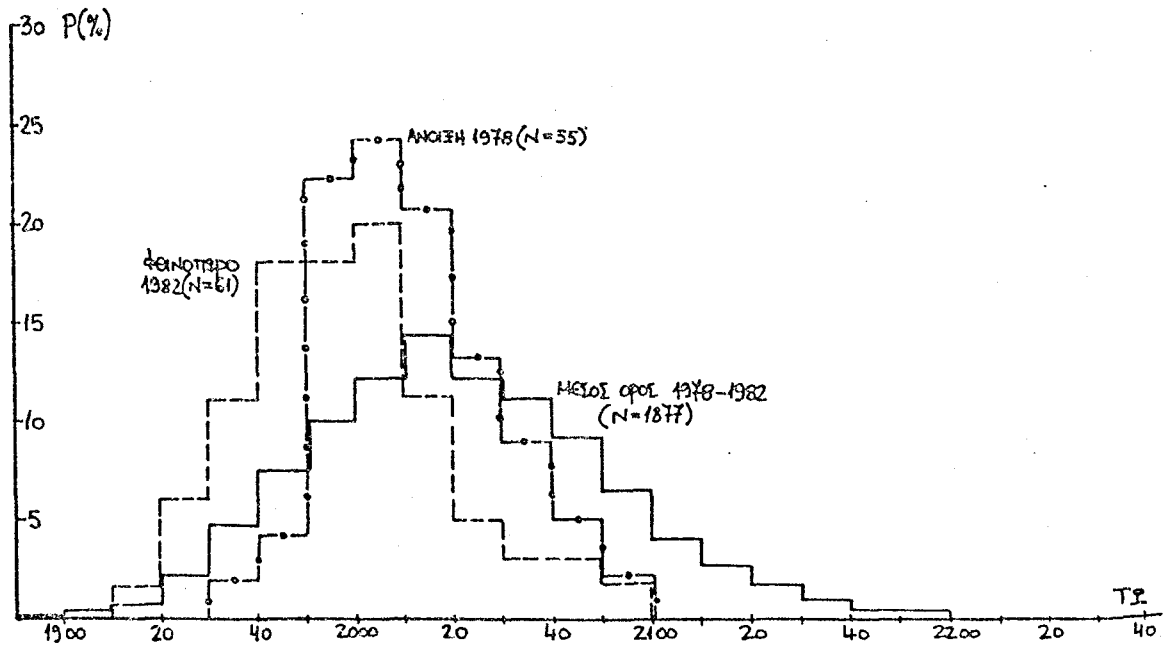
γ) Ιδιομορφία της διάδοσης στις "ακραίες εποχές" ΤΕΡ

Η στατιστική ανάλυση των παρατηρήσεων ανά "εποχή" ΤΕΡ έδειξε ότι για τη ζεύξη ΖΕ στους 144 MHz υπάρχει μια συστηματική μετατόπιση του πιθανότερου χρόνου εμφάνισης της ΤΕΡ κατά δέκα περίπου λεπτά νωρίτερα τις δύο "ακραίες εποχές" με τη μικρότερη ηλιακή δραστηριότητα (δηλ. την άνοιξη 1978 και το φθινόπωρο 1982), ως προς το μέσο όρο του συνόλου των εποχών μεταξύ 1978 και 1982. Αντίστοιχη ανάλυση για τη ζεύξη ΖS δεν απέδειξε ότι υπάρχει και σ' αυτή την περίπτωση μετατόπιση του πιθανότερου χρόνου διάδοσης.

Μια κοινή όμως διαπίστωση και για τις δύο ζεύξεις ΖΕ και ΖS στους 144 MHz είναι ότι τις ίδιες αυτές "ακραίες εποχές" η διασπορά στους χρόνους παρατήρησης βραδυνης ΤΕΡ έχει περιορισθεί σημαντικά (Σχ. 4.10 και 4.11). Στον Πιν. 4.2 που ακολουθεί φαίνεται η διασπορά των χρόνων αυτών για τις δύο ζεύξεις.



Σχ. 4.9: Πιθανότητα διάδοσης βραδυής TEP στους 432 MHz για τη ζεύξη ZE (1979).



Σχ. 4.10: Πιθανότητα διάδοσης βραδυής TEP στους 144 MHz για τη ζεύξη ZE (1978-1982).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΧΡΟΝΟΥ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ ΤΕΡ (minutes)

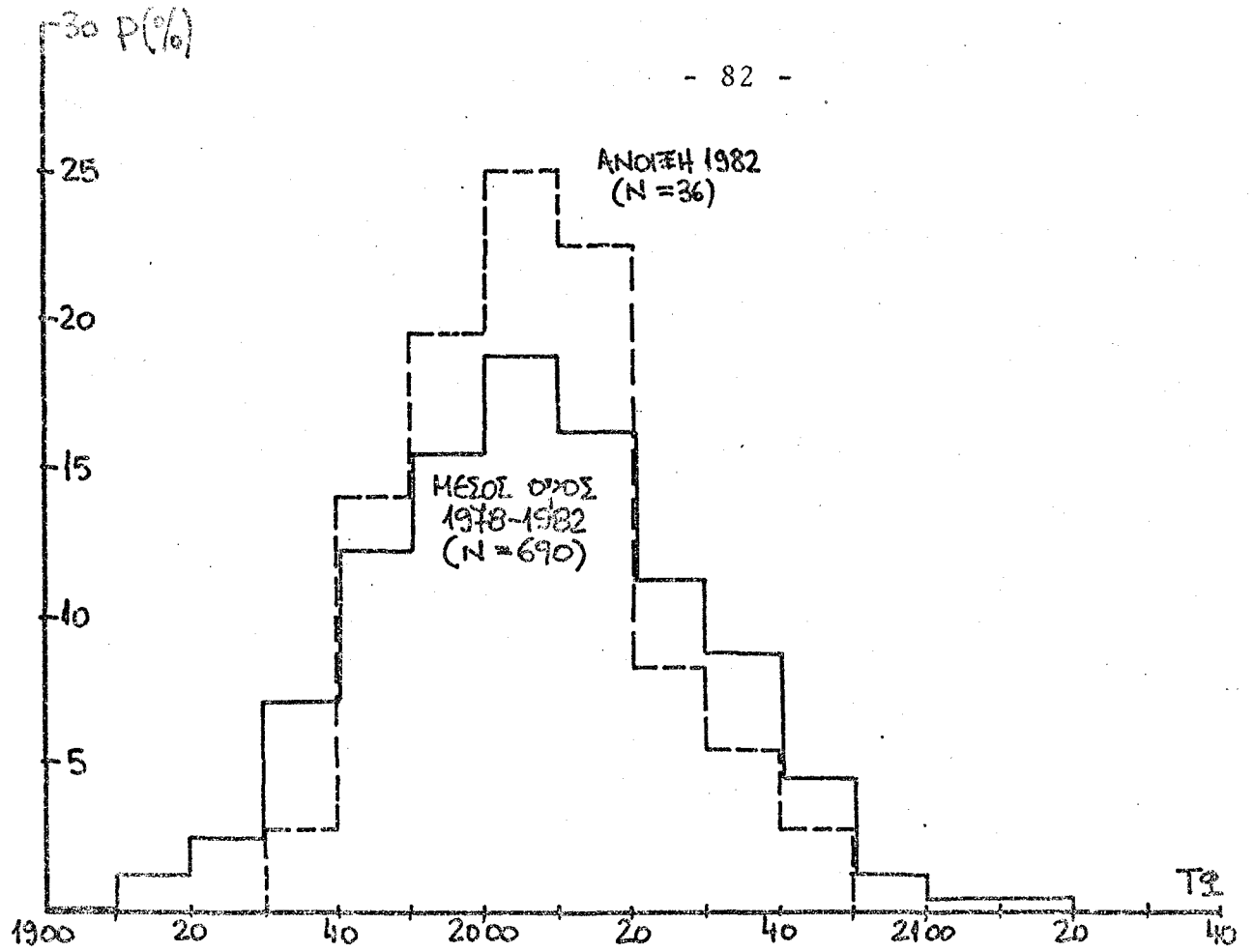
ΕΠΟΧΗ ΤΕΡ	ΖΕΥΞΗ ΖΕ		ΖΕΥΞΗ ΖS	
	Πριν - Μετά το μέγιστο	- Σύνολο	Πριν - Μετά το μέγιστο	- Σύνολο
ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (1978-1982)	85-125-210		65-75-140	
ΑΝΟΙΞΗ 1978	35-55-90		Δεν παρατηρήθηκε ΤΕΡ	
ΑΝΟΙΞΗ 1982	-		35-45-80	
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 1982	55-55-110		Δεν παρατηρήθηκε ΤΕΡ	

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διασπορά αυτή δεν είναι συμμετρική ως προς τον πιθανότερο χρόνο εμφάνισης ΤΕΡ, αλλά συστηματικά παρουσιάζεται μεγαλύτερη για τους χρόνους που είναι μετά από τον πιθανότερο, πράγμα που οφείλεται βασικά στην απότομη εμφάνιση της βραδυνης ΤΕΡ και στην αργή εξέλιξη της μετά το μέγιστο. Η ασυμμετρία αυτή είναι μικρότερη στη ζεύξη ΖS.

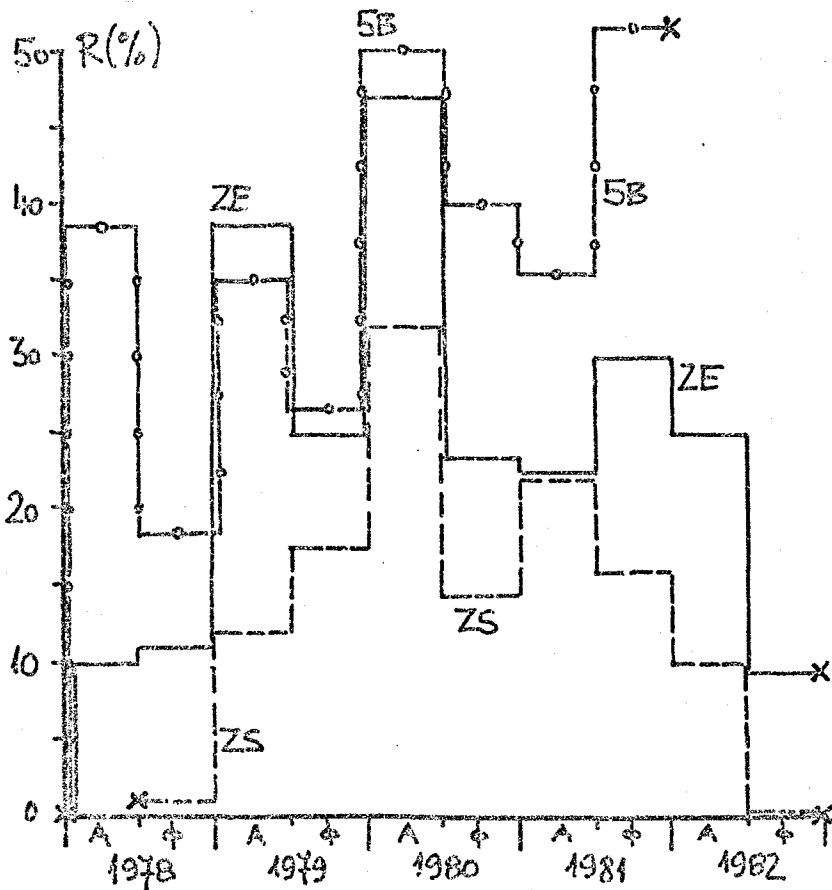
4.3.2 Εποχιακή εξάρτηση

Η βραδυνή ΤΕΡ παρουσιάζει έντονη εποχιακή εξάρτηση. Κάθε ημερολογιακό χρόνο υπάρχουν δύο μέγιστα ή "εποχές" στη διημερινή διάδοση που είναι γύρω από τις ισημερίες. Αντίθετα γύρω από τα ηλιοστάσια η διάδοση είναι πολύ περιορισμένη.

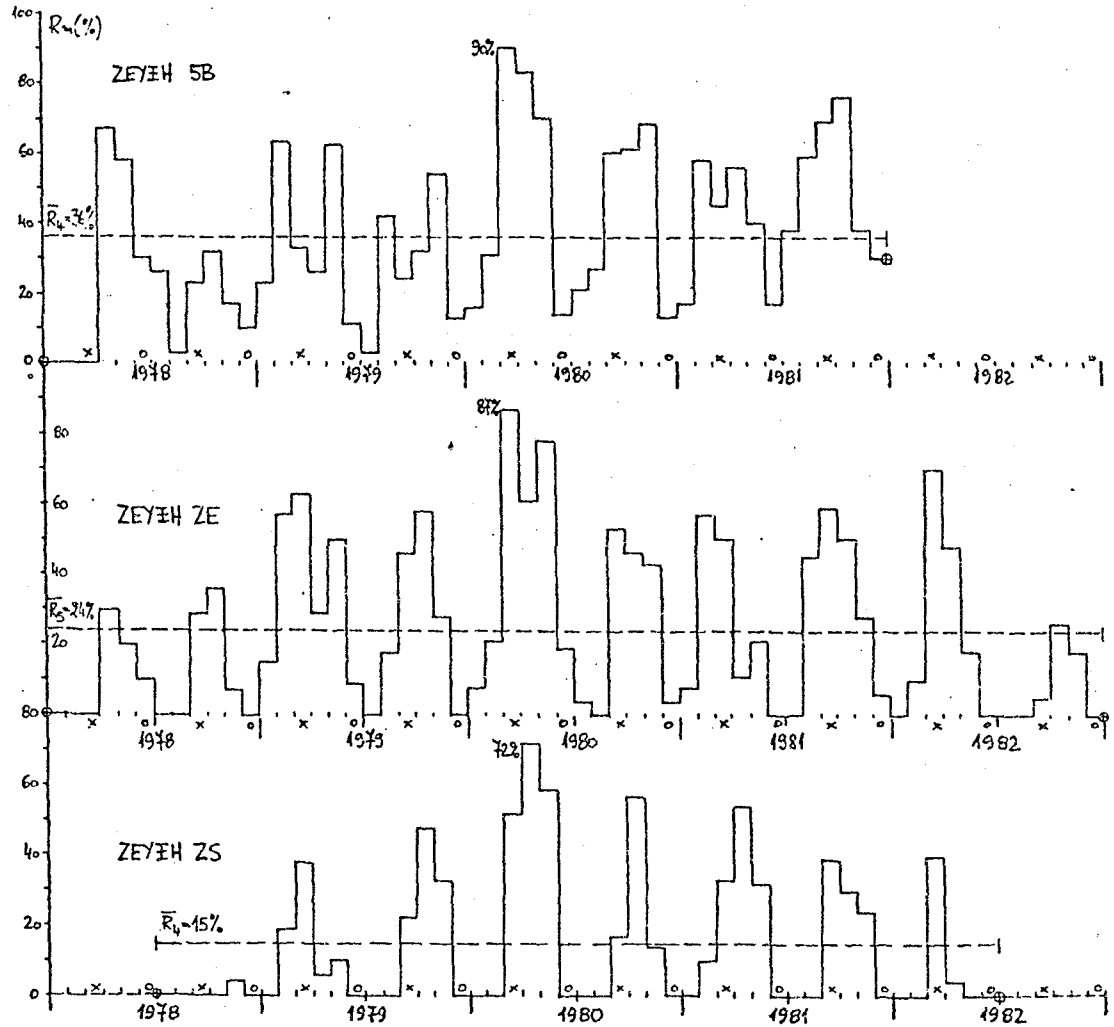
Στο Σχ. 4.12 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία αξιοπιστία των δύο ζεύξεων ΖΕ και ΖS στους 144 MHz για την περίοδο 1978 ως 1982. Παράλληλα εμφανίζεται και η μέση ημερήσια αξιοπιστία της ζεύξης Harare-Limassol (5B) που όπως αποδείχθηκε είναι η πιο αξιόπιστη και από τις τρεις Ευρωπαϊκές ζεύξεις⁶². Όπως είναι φανερό από το Σχ. 4.12 η



Σχ. 4.11: Πιθανότητα διάδοσης βραδυής TEP στους 144 MHz για τη ζεύξη ZS (1978-1982).



Σχ. 4.13: Μέση "εποχιακή" αξιοποίηση των ζεύξεων ZE, ZS



Σχ. 4.12: Μέση μηνιαία αξιοπιστία (\bar{R}_m) και μέση των πέντε ετών (\bar{R}_5) των ζεύξεων στους 144 MHz Pretoria-Athens (ZS), Harare-Athens (ZE) και Harare-Limassol (5B).

(x=Ισημερία, ο=Ηλιοστάσιο, θ=Αρχή-τέλος παρατηρήσεων).

αξιοπιστία των ζεύξεων μεγιστοποιείται συστηματικά τις "εποχές" γύρω από τις ισημερίες και ελαχιστοποιείται αντίστοιχα τις "εποχές" γύρω από τα ηλιοστάσια. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα μέγιστα στη μέση μηνιαία αξιοπιστία σε λίγες περιπτώσεις συμπίπτουν απόλυτα με τους μήνες της ισημερίας (Μάρτιο και Σεπτέμβριο). Αντίθετα υπάρχει μια τάση το μέγιστο να πραγματοποιείται ένα μήνα μετά τους μήνες αυτούς, δηλαδή τον Απρίλιο και Οκτώβριο κάθε έτους. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις που το μέγιστο είτε προηγείται ένα μήνα από την ισημερία είτε παρουσιάζεται αντίθετα ελάχιστο στην αξιοπιστία των ζεύξεων για τους μήνες αυτούς, ιδιαίτερα στη ζεύξη Harare-Limassol (5B). Η παρατήρηση αυτή, ενός ελάχιστου τους μήνες της ισημερίας, που ισχύει για τις δύο "εποχές" TEP του 1979 και για την άνοιξη του 1981 στη ζεύξη 5B, θεωρήθηκε σαν ειδικό φαινόμενο που σχετίζεται με την ανωμαλία στη μαγνητική έγκλιση που εμφανίζεται στο νότιο τμήμα της Αφρικής (Σχ. 4.4)²⁵.

Είναι πάντως σίγουρο ότι τέτοιο φαινόμενο δεν παρατηρήθηκε στις ζεύξεις ZE και ZS, ενώ τα ελάχιστα που εμφανίστηκαν στην αξιοπιστία την άνοιξη του 1979 και 1980 στις ζεύξεις αυτές παρουσιάζονται ένα μήνα μετά την ισημερία.

Επιπλέον, όπως αναλύεται αργότερα, το ελάχιστο που παρατηρήθηκε και στις τρεις ζεύξεις TEP τον Απρίλιο 1979 οφείλεται στην ιδιαίτερα αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα του μήνα αυτού ($\bar{A}_p = 25$) που συνέπεσε με σχετικά μικρή ηλιακή δραστηριότητα ($\bar{S}_a = 175$).

Όπως επισημάνθηκε και προηγούμενα, οι ζεύξεις στους 144 MHz θεωρούνται σαν χαρακτηριστικές της βραδυνης δισημερινής διάδοσης, γιατί όπως αποδείχθηκε με τις μετρήσεις χρόνου διάδοσης παλμών (εδάφιο 4.8) υποστηρίζονται με ένα μοναδικό μηχανισμό διάδοσης. Το ίδιο ισχύει για τις ψηλότερες συχνότητες (432 MHz) αλλά όχι όμως και για τις συχνότητες 28 και 50 MHz που λειτουργούσαν οι δύο ραδιοφάροι. Οι παρατηρήσεις λοιπόν που προαναφέρθηκαν για την εποχιακή

εξάρτηση των ζεύξεων ισχύουν και στους 432 MHz, όπου παρατηρήθηκαν περιπτώσεις διάδοσης μόνο τους μήνες γύρω από τις ισημερίες. Αντίθετα στο φάσμα μεταξύ 28 και 70 MHz, όπου υπήρχαν παρατηρήσεις τόσο από τους δύο ραδιοφάρους όσο και από διάφορους Αφρικανικούς σταθμούς TV, παρατηρήθηκε TEP τις πρώτες βραδυνές ώρες και τους μήνες γύρω από τα ηλιοστάσια, μόνο που η αξιοπιστία ήταν αισθητά χαμηλότερη και τα χαρακτηριστικά των σημάτων πλησίαζαν τον απογευματινό τύπο διισημερινής διάδοσης παρά το βραδυνό.

Ορισμένοι ερευνητές του Ασιατικού-Αυστραλιανού διισημερινού τομέα της γης παρατήρησαν για συχνότητες γύρω από τους 50 MHz μια αυξημένη κατά 20% εμφάνιση βραδυνού τύπου TEP τις "εποχές" της εαρινής ισημερίας (για το βόρειο ημισφαίριο)⁵. Για να διαπιστωθούν τυχόν αντιστοιχίες και στον Ευρωπαϊκό τομέα υπολογίστηκε η μέση "εποχιακή" αξιοπιστία των ζεύξεων ZE, ZS και 5B στους 144 MHz, όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 4.13. Πράγματι στο σχήμα αυτό παρατηρούνται τις "εποχές" της εαρινής ισημερίας μεγαλύτερες αξιοπιστίες σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός από ορισμένες μόνο "εποχές" όπως την άνοιξη και το φθινόπωρο του 1981, όπου αντίστροφα η φθινοπωρινή ισημερία παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία για τις ζεύξεις ZE και 5B αλλά όχι και για την ZS. Η διαφορά αυτή στην αξιοπιστία ανάμεσα στις εποχές του ίδιου χρόνου φτάνει μέχρι 24% για το 1980 στη ζεύξη ZE.

4.3.3 Αξιοπιστία των ζεύξεων

Για τον καθορισμό της αξιοπιστίας των ζεύξεων που υποστηρίζονται από τη διισημερινή διάδοση βραδυνού τύπου χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ζεύξεις μεταξύ τεσσάρων τερματικών σταθμών. Οι δύο ήταν οι ραδιοφάροι ZE2JV και ZS6PW που εξέπεμπαν από το Harare (ZW) και την Pretoria (S.A.) Οι δύο άλλοι ήταν σταθμοί λήψης των εκπομπών των ραδιοφάρων (στους

28,50,144 και 432 MHz) και βρισκόντουσαν στην Αθήνα και τη Λεμεσό της Κύπρου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τέσσερις ραδιοζεύξεις που λειτουργούσαν σε ορισμένες συχνότητες η καθεμία, όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 4.3 .

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΥΡΩΑΦΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ

Ραδιοζεύξη	Διακριτικό Αναγνώρισης	Συχνότητες Παρατηρήσεων (MHz)
Harare(ZW)-Athens(GR)	ZE	28,50*,144,432
Harare(ZW)-Limassol(CY)	5B	28,50*,144,432
Pretoria(S.A.)-Athens(GR)	ZS	28,50,144,432*
Pretoria(S.A.)-Limassol(CY)	ZB	28,50,144

*Παρατηρήσεις με τη χρήση επιπλέον ραδιοφάρων ή εκπομπών TV

Η αξιοπιστία των διημερινών ραδιοζεύξεων θεωρήθηκε πολύ σημαντική παράμετρος στην εργασία αυτή, γιατί από τις τιμές της καθορίζεται το ποσοστό του χρόνου που υπάρχει διάδοση των εκπομπών από σταθμούς του ενός ημισφαιρίου στο αντίθετο. Η διάδοση των σημάτων αυτών, συχνά σε στάθμες που πλησίαζαν εκείνες του ελεύθερου χώρου για τις χαμηλότερες κυρίως συχνότητες παρατηρήσεων, παρενοχλεί φυσικά ραδιοδίκτυα στο αντίθετο ημισφαίριο που έχουν σχεδιασθεί για επικοινωνίες μέχρι τον ραδιορίζοντα (L.O.S.- Line Of Sight), με απρόβλεπτες συνέπειες στη λειτουργία τους.

Στο Σχ. 4.12 παρουσιάζεται η αξιοπιστία των τριών (από τις τέσσερις) ζεύξεων στους 144 MHz, συχνότητα που υποστηρίζεται μόνο από τη βραδυνή TEP. Η τέταρτη ζεύξη δεν παρουσιάζεται στο σχήμα αυτό γιατί ποτέ δεν εμφανίστηκε. Οι τιμές της αξιοπιστίας είναι σε εκατοστά και αναφέρονται στον αριθμό των ημερών στη διάρκεια κάθε μήνα που οι ζεύξεις αποκαταστάθηκαν (σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια διάρκειας και στάθμης σήματος) ως προς τον ολικό αριθμό ημερών του ίδιου

μήνα που έγιναν παρατηρήσεις.

Οι πίνακες στην επόμενη σελίδα παρουσιάζουν τα συνολικά συμπεράσματα για την αξιοπιστία των τεσσάρων ζεύξεων σε διάφορες συχνότητες με διημερινή διάδοση βραδυνού τύπου. Τα βασικότερα συμπεράσματα από τη μελέτη της αξιοπιστίας των τεσσάρων ραδιοζεύξεων για την περίοδο γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου είναι τα ακόλουθα:

α) Μεταβολή της αξιοπιστίας με τη γεωγραφία των ζεύξεων

Από το σύνολο των παρατηρήσεων συνάγεται ότι για τις συχνότητες 432, 144 και 50 MHz η ζεύξη Harare-Limassol είναι η πιο αξιόπιστη τόσο στις μέγιστες όσο και στις μέσες τιμές. Στις συχνότητες αυτές ο κύριος μηχανισμός διάδοσης ήταν για την περίοδο των παρατηρήσεων (μετά τις 19:00 ΤΩ) η βραδυνή TEP. Εξάλλου, στα στοιχεία που οδήγησαν στους παρακάτω πίνακες, έχουν περιληφθεί μόνον οι περιπτώσεις που τα διαδιδόμενα σήματα είχαν τα κύρια χαρακτηριστικά της βραδυής TEP. Ειδικότερα για τους 28 MHz, όπου η μεγαλύτερη αξιοπιστία παρατηρείται στη ζεύξη Pretoria-Limassol πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία αφορούν γενικά αποκατάσταση της ζεύξης με οποιοδήποτε τρόπο διάδοσης⁶³. Στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνονται φυσικά και περιπτώσεις διάδοσης $2F_2$ (με κλασσική διπλή ιονοσφαιρική διάθλαση) πράγμα που είναι συνηθισμένη περίπτωση για περιόδους με τόσο μεγάλη ηλιακή δραστηριότητα και που παρατηρήθηκε επίσης στη ζεύξη Harare-Athens ορισμένες βραδυές με απουσία βραδυνού τύπου TEP.

Ο Πίνακας 4.8 δίνει τη σειρά αξιοπιστίας των τεσσάρων ζεύξεων για τις τέσσερις συχνότητες των παρατηρήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 144 MHz

Ραδιοζεύξη	Διακρι- τικό	Μηνιαία αξιοπιστία (%) Μέγιστη Μέση Ελάχιστη	Περίοδος Παρατηρήσεων	Σημειώσεις Βιβλιογραφία
Harare-Athens	ZE	87 27 0	1/1978-12/1982	*
Harare-Limassol	5B	90 36 3	1/1978-12/1981	*, 62
Pretoria-Athens	ZS	72 15 0	7/1978-6/1982	-
Pretoria-Limassol	ZB	0 0 0	7/1978-12/1981	62,63

*Παρατηρήσεις σε καθημερινή βάση από 3/1978

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 432 MHz

Ραδιοζεύξη	Διακρι- τικό	Μηνιαία αξιοπιστία (%) Μέγιστη Μέση Ελάχιστη	Περίοδος Παρατηρήσεων	Σημειώσεις Βιβλιογραφία
Harare-Athens	ZE	23 7 0	3/1979-11/1979	-
Harare-Limassol	5B	27 8 0	"	***, 62
Pretoria-Athens	ZS	0 0 0	4 και 10/1981	-

**Εκτίμηση από μικρό αριθμό παρατηρήσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 50 MHz

Ραδιοζεεύξη	Διακρι- τικό	Μηνιαία αξιολοπιστία (%) Μέγιστη Μέση Ελάχιστη	Περίοδος Παρατηρήσεων	Σημειώσεις Βιβλιογραφία
Harare-Athens	ZE	100 39 0	3/1978-12/1982	* -
Harare-Limassol	5B	100 41 0	9/1978-12/1982	** 62
Pretoria-Athens	ZS	92 35 0	8/1978-5/1982	-
Pretoria-Limassol	ZB	88 32 0	8/1978-5/1982	** 63

*Λήψη στην Αθήνα της φέουσας της εικόνας του δαύλου E2 (48,25 MHz) από Gwelo (ZW).

**Λήψη στο Harare των εκπομπών του ραδιοφάρου 5B4CY από Limassol (50,50 MHz)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 28 MHz

Ραδιοζεεύξη	Διακρι- τικό	Μηνιαία αξιολοπιστία (%) Μέγιστη Μέση Ελάχιστη	Περίοδος Παρατηρήσεων	Σημειώσεις Βιβλιογραφία
Harare-Athens	ZE	100 85 44	3/1978-12/1982	-
Harare-Limassol	5B	100 87 47	9/1978-12/1982	*** 62
Pretoria-Athens	ZS	100 82 42	7/1978-12/1982	63
Pretoria-Limassol	ZB	100 92 48	8/1978-5/1982	***

***Λήψη στην Pretoria/Harare των εκπομπών του ραδιοφάρου 5B4CY από Limassol (28,22 MHz)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ

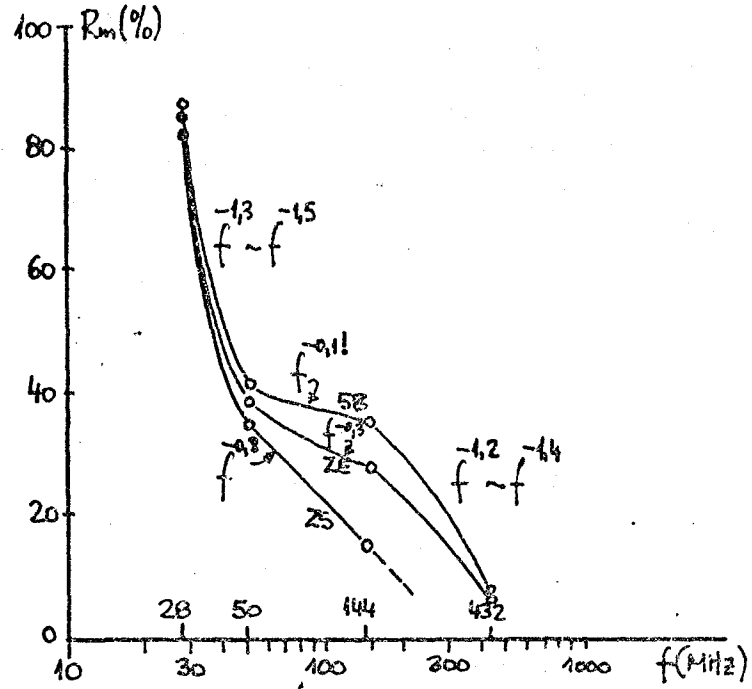
α/α	Ραδιοζεύξη	Μέση μηνιαία αξιοπιστία (%)			
		28 MHz	50 MHz	144 MHz	432 MHz
1	Harare-Limassol	87	41	36	8
2	Harare-Athens	85	39	27	7
3	Pretoria-Athens	82	35	15	0
4	Pretoria-Limassol	92*	32	0	-

*Περιλαμβάνεται και διάδοση $2F_2$.

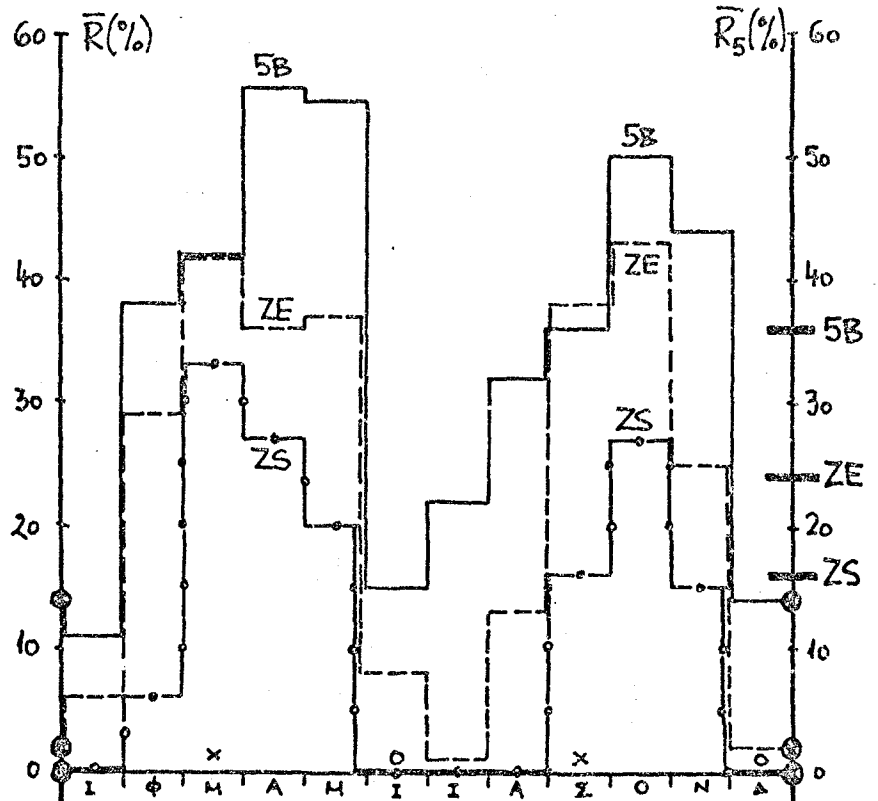
β) Μεταβολή της αξιοπιστίας με τη συχνότητα

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η αξιοπιστία μειώνεται δραστικά με την αύξηση της συχνότητας. Πρέπει να σημειωθεί ότι ειδικά στους 432 MHz οι παρατηρήσεις αναφέρονται σε σήματα που ήταν συνήθως στο κατώφλι του θορύβου ($S/N = 0$ db) του δέκτη λήψης, ενώ για τις υπόλοιπες συχνότητες το κριτήριο λήψης ήταν για σηματοθορυβική σχέση ίση ή μεγαλύτερη από 3 db, με αποτέλεσμα οι τιμές αξιοπιστίας του πίνακα για τους 432 MHz να είναι κάπως μεγαλύτερες από τις πραγματικές.

Η μείωση της αξιοπιστίας με τη συχνότητα παρουσιάζεται στο Σχ. 4.14, όπου παρατηρείται μία μείωση στην εξάρτηση της από τη συχνότητα στη ζώνη 50 ως 144 MHz. Πράγματι για το τμήμα συχνοτήτων μεταξύ 28 και 50 MHz καθώς και για το τμήμα μεταξύ 144 και 432 MHz η αξιοπιστία μεταβάλλεται εκθετικά με τη συχνότητα και συγκεκριμένα με εκθέτη -1,2 ως -1,5. Στο τμήμα όμως μεταξύ των συχνοτήτων 50 και 144 MHz ο εκθέτης γίνεται μόλις -0,1 για τη ζεύξη Harare-Limassol και -0,3 ως -0,8 για τις ζεύξεις Harare-Athens και Pretoria-Athens, που σημαίνει πολύ μικρότερη εξάρτηση της αξιοπιστίας από τη συχνότητα για το τμήμα αυτό του φάσματος και που μεταφράζεται σαν ένα είδος επιλεκτικής διάδοσης για τις συχνότητες αυτές.



Σχ. 4.14: Εξάρτηση της αξιοπιστίας των ζεύξεων βραδυλής ΤΕΡ από τη συχνότητα.



Σχ. 4.15: Μεταβολή της μηνιαίας αξιοπιστίας (\bar{R}) στη διάρκεια του έτους για τις ζεύξεις ZE, ZS και 5B στους 144 MHz (περίοδος: 1978-1982).

(\bar{R}_5 =Μέση αξιοπιστία πέντε ετών, x=Ισημερία, o=Ηλιοστάσιο).

Για συχνότητες πάνω από τους 144 MHz σημειώνεται ραγδαία μείωση της αξιοπιστίας των ζεύξεων, με παράλληλη μείωση της έντασης των σημάτων και της διάρκειας που παρατηρείται διάδοση. Στον Αμερικανικό δισημερινό τομέα υπάρχει περιορισμένος αριθμός παρατηρήσεων για διάδοση στους 220 MHz και μόνο μία επιβεβαιωμένη περίπτωση για διάδοση στους 432 MHz^{12,64}. Στον Ασιατικο-Αυστραλιανό τομέα δεν υπάρχει καμιά παρατήρηση διάδοσης σε συχνότητες πάνω από 144 MHz⁶¹. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι στους δύο αυτούς δισημερινούς τομείς παρατηρήθηκε μέχρι τους 144 MHz ισχυρότερη διάδοση και σήματα με πολύ μεγαλύτερη συμφωνία (coherence), ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση τηλεφωνίας SSB ή FM, αλλά σε μικρότερες γενικά αποστάσεις^{45,61}. Όπως αναλύεται στο δεύτερο κεφάλαιο οι ιδιαιτερότητες αυτές του Ευρωπαϊκού τομέα σχετίζονται με την ανωμαλία του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή αυτή της γης.

γ) Μεταβολή της αξιοπιστίας με τους μήνες του χρόνου

Η αξιοπιστία όλων των ζεύξεων παρουσιάζει, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, μέγιστα τους μήνες γύρω από τις ισημερίες, με έμφαση στην εαρινή για το βορ. ημισφαίριο. Αντίστοιχα τα ελάχιστα παρουσιάζονται τους μήνες γύρω από τα ηλιοστάσια και ιδιαίτερα το θερινό.

Στο Σχ. 4.15 και στον Πίν. 4.9 παρουσιάζονται η μεταβολή της αξιοπιστίας με τους μήνες για την περίοδο 1978-1982 καθώς και η μέση ετήσια αξιοπιστία για τις τρεις ζεύξεις. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι στη ζεύξη Harare-Limassol υπάρχει ένα ευρύ εαρινό μέγιστο στην αξιοπιστία τους μήνες Απρίλιο και Μάιο, που στις δύο άλλες ζεύξεις περιορίζεται στο μήνα Μάρτιο. Το φθινοπωρινό μέγιστο συμπίπτει σε όλες τις ζεύξεις το μήνα Οκτώβριο.

Το ελάχιστο διαφέρει και πάλι για τις διάφορες ζεύξεις. Έτσι στη ζεύξη Harare-Limassol παρουσιάζεται τον Ιανουάριο, ενώ στις άλλες δύο τον Ιούλιο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9:

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 144 MHz ΓΙΑ ΠΕΝΤΕ ΧΡΟΝΙΑ
 ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΤΟΥ 21ου ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Μήνας	Μέση μηνιαία αξιοπιστία των ζεύξεων (%)			ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	Ζεύξη Harare-Limassol	Ζεύξη Harare-Athens	Ζεύξη Pretoria-Athens	
Ιανουάριος	11	6	0	
Φεβρουάριος	38	29	6	
Μάρτιος	42	42	33	Ισημερία
Απρίλιος	58	36	27	
Μάιος	57	37	20	
Ιούνιος	15	8	0	Ηλιοστάσιο
Ιούλιος	22	1	0	
Αύγουστος	32	13	0	
Σεπτέμβριος	36	38	16	Ισημερία
Οκτώβριος	50	43	27	
Νοέμβριος	44	25	15	
Δεκέμβριος	14	2	0	Ηλιοστάσιο
Μέση Ετήσια	36	24	12	

Σημαντικός πρέπει να θεωρηθεί και ο υποδιπλασιασμός της μέσης ετήσιας αξιοπιστίας από ζεύξη σε ζεύξη που εξαρτάται κύρια από τη γωνία τομής της ζεύξης με το μαγνητικό ισημερινό και λιγότερο από τη μαγνητική συζυγία, όπως παρουσιάστηκε και στο εδάφιο 4.2 .

4.4 ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ

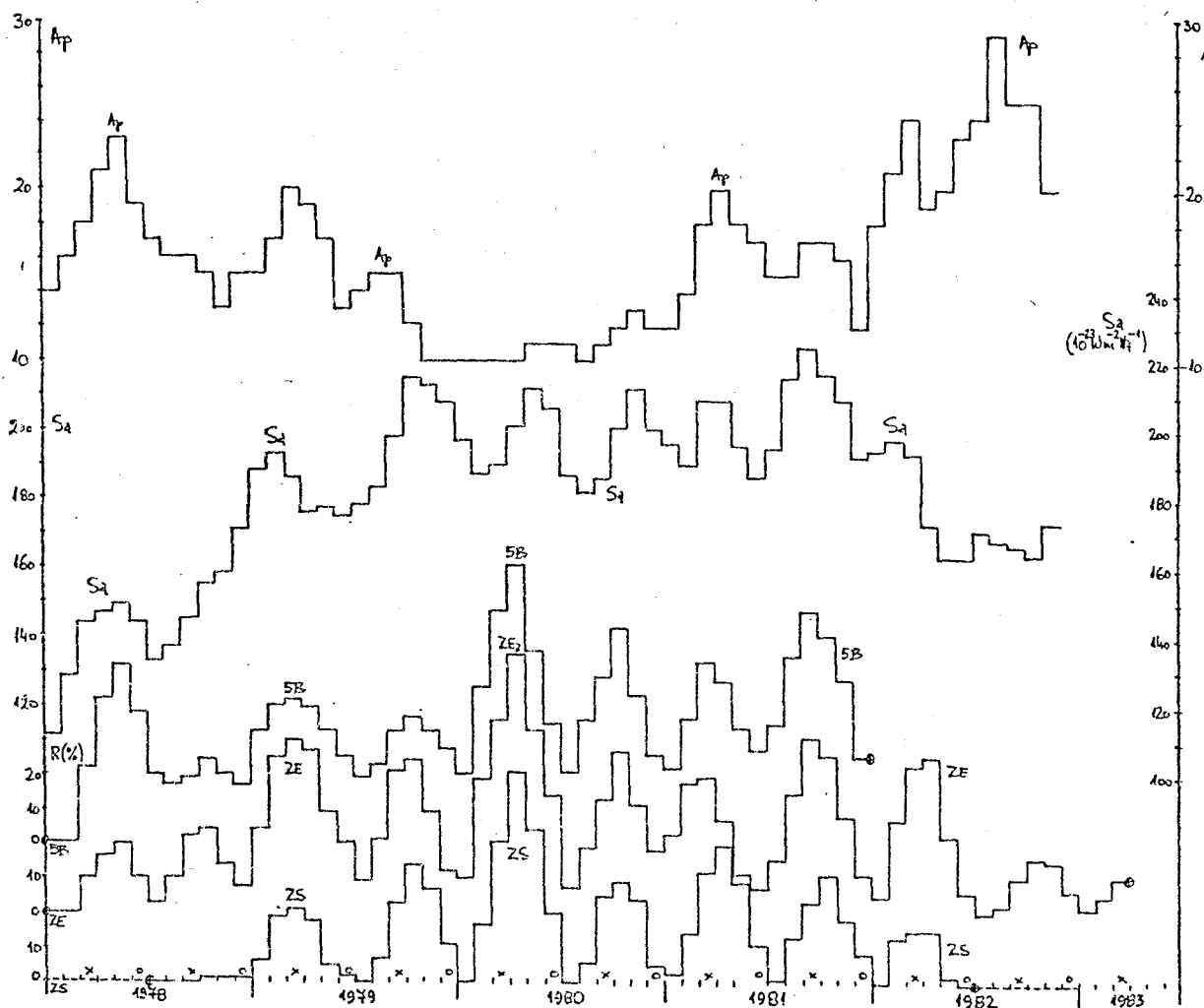
Η εξάρτηση του βραδυνού τύπου TEP από την ηλιακή και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα εμφανίζεται πολύπλοκη. Το σύνολο των παρατηρήσεων για την περίοδο 1978 ως 1982 οδηγεί στο γενικό συμπέρασμα ότι για την εμφάνιση βραδυής TEP απαιτείται μεγάλη ηλιακή ροή (S_a) και χαμηλή γεωμαγνητική δραστηριότητα (A_p).

Στο Σχ. 4.16 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης εξομαλυμένης σε τρίμηνη βάση, μηνιαίας αξιοπιστίας των τριών ζεύξεων (5B, ZE και ZS) στους 144 MHz για την περίοδο 1978 ως 1982, παράλληλα με τη μεταβολή της ηλιακής ροής και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας.

Είναι χαρακτηριστική η σύμπτωση στο σχήμα αυτό των μεγίστων στην αξιοπιστία όλων των ζεύξεων την άνοιξη του 1980, όταν η ηλιακή ροή κυμαινόταν γύρω από τις 200 μονάδες ($10^{-22} \text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) και ταυτόχρονα παρατηρήθηκε το ευρύ ελάχιστο στη γεωμαγνητική δραστηριότητα ($A_p \leq 11$) από το Νοέμβριο 1979 ως τον Αύγουστο του 1980. Το ίδιο συμπέρασμα συνάγεται και από το δευτερεύον μέγιστο στις ζεύξεις ZE και 5B, που εμφανίστηκε το φθινόπωρο του 1981, όταν η ηλιακή ροή ξεπέρασε τις 220 μονάδες και ταυτόχρονα η γεωμαγνητική δραστηριότητα ήταν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα ($A_p \leq 16$). Αντίθετα την άνοιξη του ίδιου έτους σημειώθηκε μείωση στην αξιοπιστία των ζεύξεων αυτών εξαιτίας της μεγάλης γεωμαγνητικής δραστηριότητας την ίδια περίοδο ($A_p \geq 20$) παρόλο που η ροή ξεπέρασε τις 200 μονάδες.

Γενικά λοιπόν την περίοδο κοντά στο ηλιακό μέγιστο, που η ηλιακή ροή κυμαίνεται γύρω στις 200 μονάδες, η αξιοπιστία των ζεύξεων με βραδυνού τύπου TEP φαίνεται να ακολουθεί τις μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η ίδια παρατήρηση δεν συμβαίνει όμως πριν από το ηλιακό μέγιστο, που η ροή αυξάνεται σταθερά και μετά απ' αυτό, που η ροή μειώνεται.

Τις περιόδους αυτές του ηλιακού κύκλου απαιτείται ένα



Σχ. 4.16: Μέση, εξομαλυμένη σε τρίμηνη βάση, μηνιαία αξιοπιστία (\bar{R}_S) των ζεύξεων ZS, ZE και 5B στους 144 MHz, σε συσχέτιση με την ηλιακή ροή (S_a) και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα (A_p).

ελάχιστο κατώφλι ημερήσιας ροής (και αντίστοιχα ιονισμού της ισημερινής ιονόσφαιρας) για την εμφάνιση της βραδυνης TEP, που υπολόγίζεται ότι είναι γύρω στις 90 μονάδες για διάδοση σημάτων μέχρι τους 50 MHz και 110 μονάδες για διάδοση σημάτων μέχρι τους 144 MHz για τις ζεύξεις ZE και 5B, με μήκος 6000 km περίπου. Το κατώφλι αυτό εξαρτάται και από το μήκος των ραδιοζεύξεων αφού βρέθηκε ότι για τη ζεύξη Pretoria-Athens (ZS), με μήκος 7000 km, είναι γύρω στις 100 μονάδες για διάδοση στους 50 MHz και 140 μονάδες για τους 144 MHz. Στους άλλους δισημερινούς τομείς της γης που παρατηρήθηκε βραδυνη TEP σε ζεύξεις με μικρότερο μήκος φαίνεται να απαιτείται και μικρότερη ημερήσια τιμή της ηλιακής ροής.

Αντίστοιχα με το κατώφλι στην ηλιακή ροή, παρατηρήθηκε ότι για την εμφάνιση της βραδυνης TEP η τιμή της γεωμαγνητικής δραστηριότητας πρέπει να είναι μικρότερη από μια μέγιστη τιμή που και πάλι εξαρτάται από τη συχνότητα και το μήκος των ζεύξεων.

Στον ακόλουθο Πίν. 4.10 παρουσιάζονται τα όρια των τιμών της ημερήσιας ηλιακής ροής (S_a) και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (K_p) που παρουσιάστηκαν σε ραδιοζεύξεις με διαφορετικό μήκος και συχνότητα λειτουργίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: ΟΡΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΙΣ
ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ

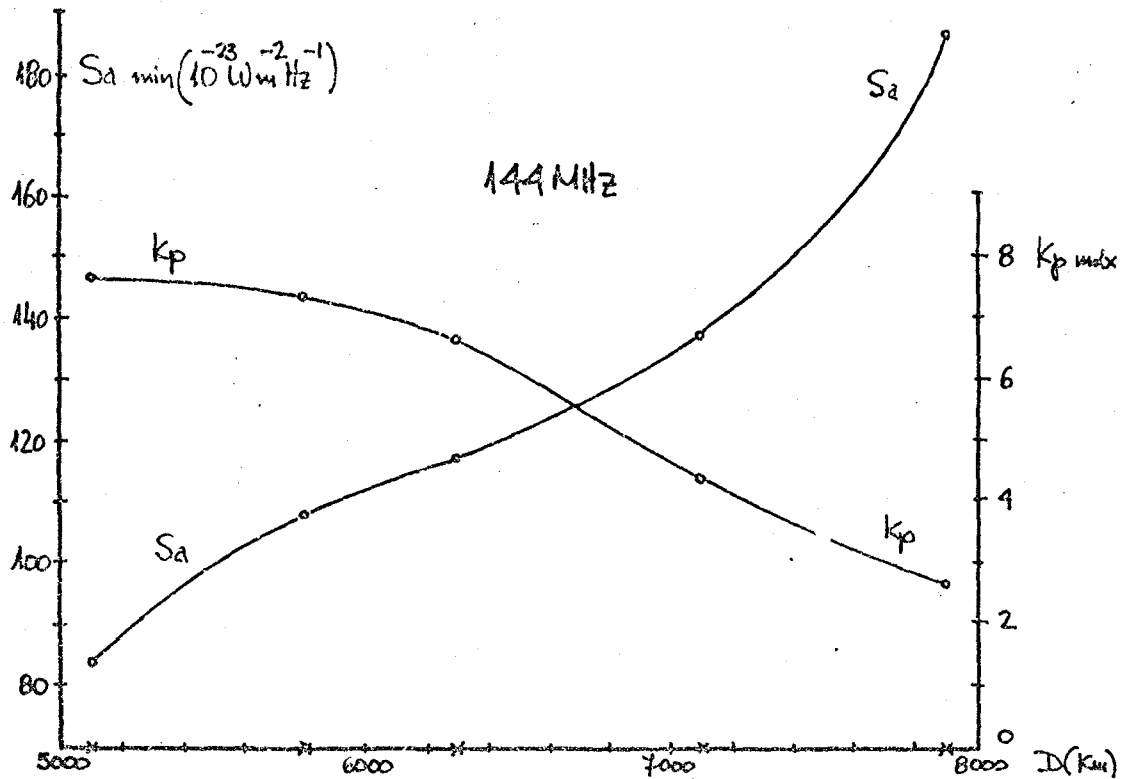
Ραδιοζεύξη	Απόσταση (km)	Συχνότητα (MHz)	Ελάχιστη ηλιακή ροή (S_a)	Μέγιστη τριώρη γεωμαγνητική δραστηριότητα (K_p)	Αριθμός παρατηρήσεων/Βιβλιογραφία
Venezuela-Argentina	5100	144	84	8 ⁻	N>200/45
Harare-Limassol	5800	144	108	7 ⁺	N>400/62
Puerto Rico - Argentina	5900	220	95	5 ⁺	N=10/64
Harare-Athens	6300	50	90	8 ⁺	N>600
		144	117	7 ⁻	N=340
		432	156	4	N=15
Pretoria-Athens	7100	50	98	7	N>250
		144	137	4 ⁺	N=192
S.W. Africa-N. Italy	7900	144	186	3 ⁻	N=2

ΣΗΜ.: Ο δείκτης K_p της γεωμαγνητικής δραστηριότητας αναφέρεται σε ημερήσιες και μέσες μηνιαίες τιμές. Μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ 0 και 400 μονάδες με την τιμή 0 να αντιστοιχεί στην ελάχιστη γεωμαγνητική δραστηριότητα και 400 στη μέγιστη. Υπολογίζεται σαν ο μέσος όρος οκτώ τριώρων τιμών K_p που αντιστοιχούν στο 1/2 της τιμής σε nanoTesla της πιο διαταραγμένης συνιστώσας του γήινου πεδίου σε συγκεκριμένους σταθμούς παρατήρησης. Στην πράξη οι τιμές K_p υπολογίζονται από τις τριώρες τιμές K_p . Ο δείκτης K_p της γεωμαγνητικής δραστηριότητας που εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα αναφέρεται στη μέση τιμή των τριώρων διάρκειας παρατηρήσεων 13 συγκεκριμένων σταθμών ανάμεσα στα γεωμαγνητικά πλάτη 470 και 630. Το πεδίο μεταβολής του είναι περίπου λογαριθμικό ανάμεσα στις τιμές 0 (πολύ "ήσυχο" γεωμαγνητικό πεδίο) και 9 (εξαιρετικά διαταραγμένο). Οι ενδιάμεσες τιμές στις ακέραιες μονάδες αναφέρονται σε τρίτα, σαν δείκτες + ή -, π.χ. 5⁺ σημαίνει 5 1/3, 8⁻ σημαίνει 7 2/3. Μια προσεγγιστική σχέση που συνδέει τους δείκτες K_p και K_p είναι $K_p \approx 3,5 \log A_p$.

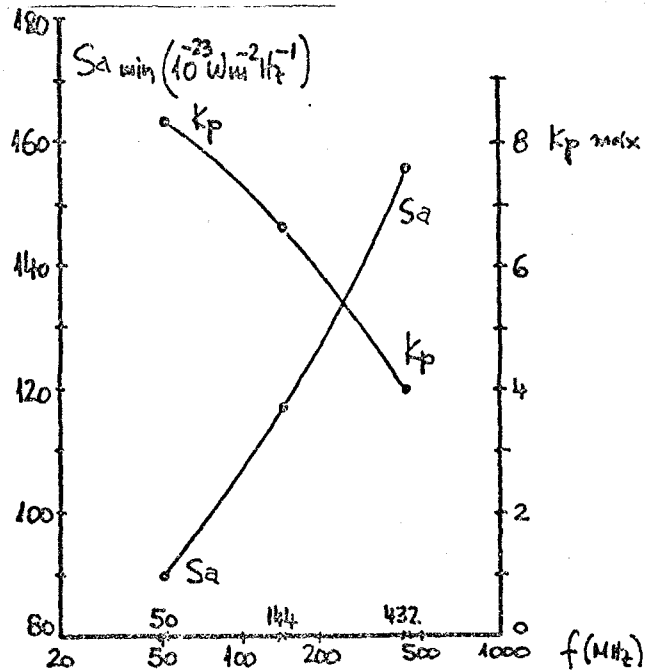
Στο Σχ. 4.17 παρουσιάζονται τα στοιχεία του προηγούμενου πίνακα που αναφέρονται στους 144 MHz για ραδιοζεύξεις με διάφορα μήκη. Είναι σαφές ότι οι ζεύξεις με το μικρότερο μήκος (γύρω στα 5000 km) ευνοούνται σε σχέση με άλλες μεγαλύτερου μήκους αφού χρειάζονται τη μικρότερη τιμή στην ηλιακή ροή και μπορούν να πραγματοποιηθούν με μεγαλύτερες τιμές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Σαν αποτέλεσμα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ παράλληλα, όπως αναλύεται στο εδάφιο 4.5, εμφανίζουν τη μικρότερη εξασθένηση στη διάδοση των σημάτων.

Στο σημείο όμως αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η βραδυνή TEP δεν εμφανίζεται σε κάθε περίπτωση που η ροή και η δραστηριότητα βρίσκονται μέσα στα απαραίτητα όρια, για το μήκος της ραδιόζευξης που αναφέρονται. Σε πολλές περιπτώσεις οι προϋποθέσεις υπάρχουν αλλά η βραδυνή TEP περιορίζεται μόνο στις χαμηλότερες συχνότητες (συνήθως μέχρι τους 70 MHz) ή και δεν εμφανίζεται καθόλου, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν προφανώς και άλλοι παράγοντες για τη δημιουργία του διαύλου που μεταφέρει την ακτινοβολία από το ένα ημισφαίριο στο άλλο. Οι παράγοντες αυτοί δεν έγινε δυνατό να προσδιοριστούν στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Σαν αποτέλεσμα η αξιοπιστία των ζεύξεων μειώνεται επιπρόσθετα από την επίδραση των αγνώστων αυτών παραγόντων.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι τα πεδία μεταβολής των τιμών της ροής και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας περιορίζονται σημαντικά όσο η συχνότητα αυξάνεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.18 για τη ζεύξη Harare-Athens (ZE), με αντίστοιχη έντονη μείωση της αξιοπιστίας των ζεύξεων που λειτουργούν στις ψηλότερες συχνότητες.



Σχ. 4.17: Μεταβολή της ελάχιστης ημερήσιας ηλιακής ροής (S_a) και της μέγιστης γεωμαγνητικής δραστηριότητας (K_p) σαν συνάρτηση του μήκους της ραδιοζεύξης στους 144 MHz.



Σχ. 4.18: Μεταβολή της ελάχιστης ημερήσιας ηλιακής ροής (S_a) και της μέγιστης γεωμαγνητικής δραστηριότητας (K_p) σαν συνάρτηση της συχνότητας για τη ζεύξη Harare-Athens (ZE).

4.5 ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

4.5.1 Ένταση των σημάτων

Η ένταση των σημάτων, που διαδίδονται με τη βραδυνή ΤΕΡ από το ένα ημισφαίριο στο άλλο, εξαρτάται από την εξασθένηση που παρουσιάζει ο δίαυλος μετάδοσής τους σε κάθε μία συχνότητα και για κάθε μήκος ραδιόζευξης.

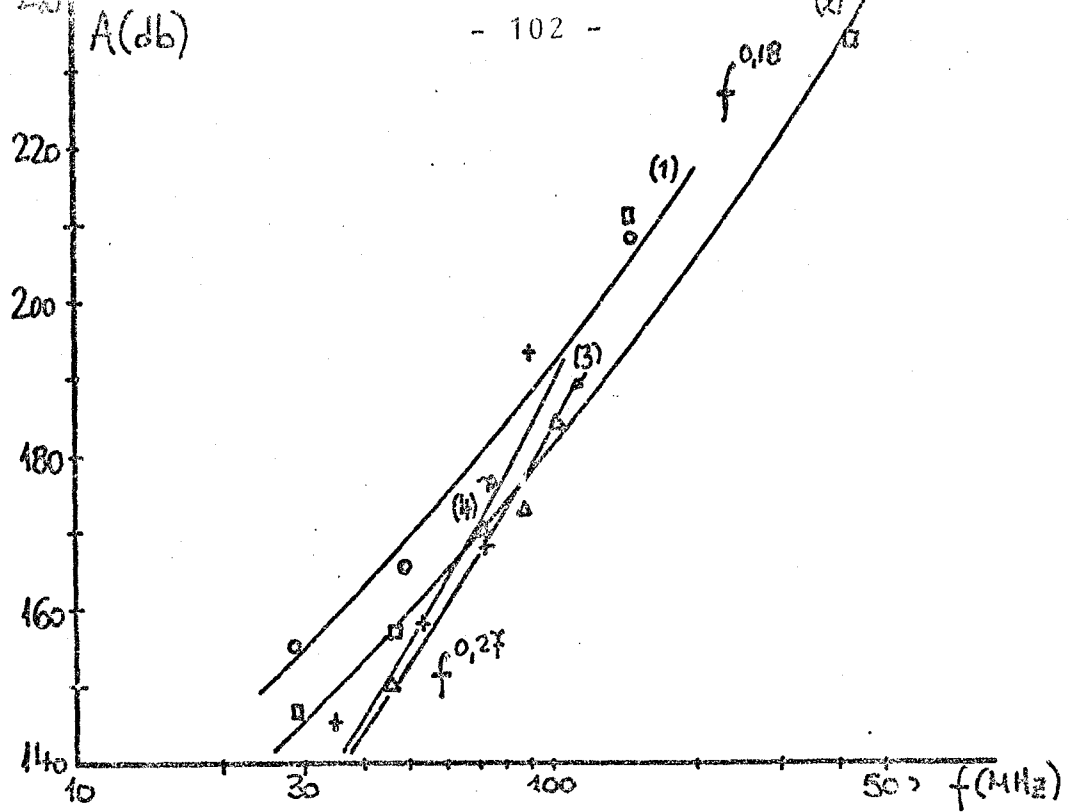
Η εξασθένηση αυτή, όταν δεν υπάρχουν φαινόμενα εστίασης των ακτίνων, που παρατηρήθηκαν μόνο στην απογευματινή ΤΕΡ, είναι μεγαλύτερη από την τιμή που αντιστοιχεί για διάδοση ίδιου μήκους σε ελεύθερο χώρο. Η πρόσθετη τιμή της εξασθένησης, που υπολογίστηκε από την ολική τιμή της στη διάρκεια των παρατηρήσεων, παρουσιάζεται στον πίν. 4.11, και αφορά μετρήσεις στη διάρκεια γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου (1978-1982).

Στον προηγούμενο ηλιακό κύκλο διάφοροι ερευνητές πραγματοποίησαν αντίστοιχες μετρήσεις βραδυνης ΤΕΡ, σε χαμηλότερες όμως συχνότητες, που τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 4.12^{13,14}.

Τα συμπεράσματα για τη μέση εξασθένηση που παρουσιάζουν τα σήματα όταν διαδίδονται με βραδυνή ΤΕΡ, είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

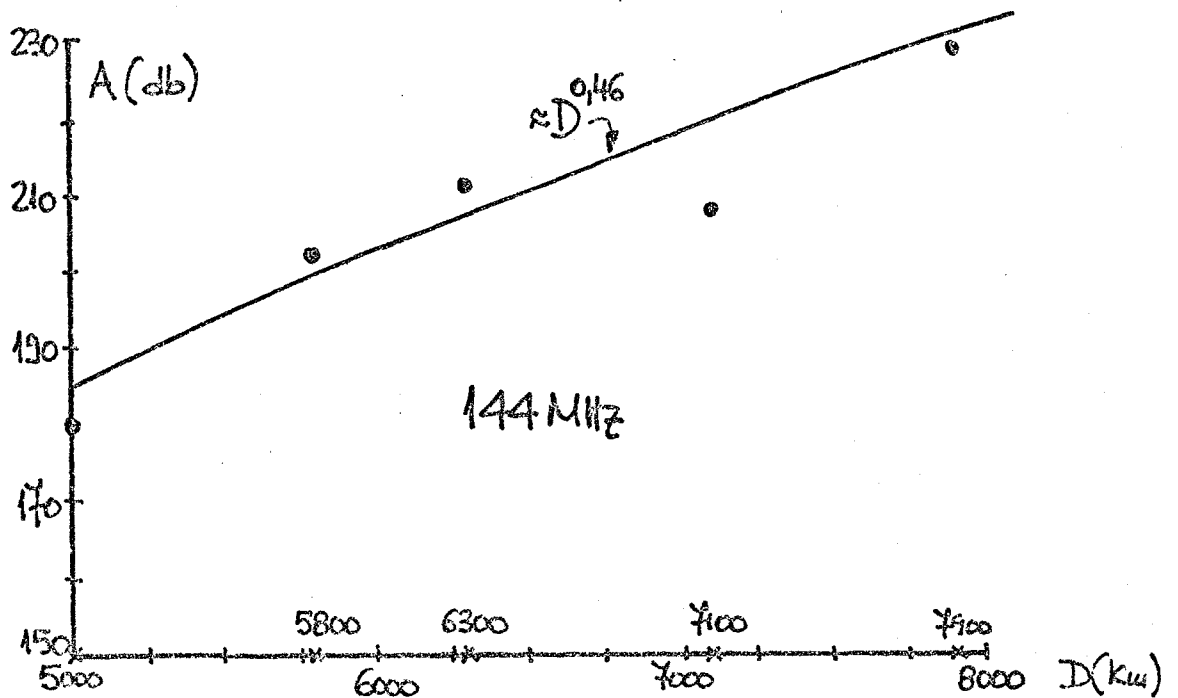
α) Η μέση εξασθένηση αυξάνει εκθετικά με τη συχνότητα. Η αύξηση αυτή παρουσιάζεται στο Σχ. 4.19 και είναι ανάλογη με $f^{0,18}$ για τις Ευρωπαϊκές ζεύξεις στη διάρκεια του μέγιστου του 21ου ηλιακού κύκλου και $f^{0,27}$ για τις ζεύξεις στον Ειρηνικό Ωκεανό πριν και μετά το μέγιστο του 20ου κύκλου (Νοέμβριος 1969).

β) Η μέση εξασθένηση αυξάνει επίσης εκθετικά με το μήκος (D) της ζεύξης. Η μεταβολή αυτή παρουσιάζεται στο Σχ. 4.20 και είναι ανάλογη με $D^{0,46}$ για τις ζεύξεις που παρατηρήθηκαν γύρω από το μέγιστο του 21ου κύκλου.



Σχ. 4.19: Μεταβολή της μέσης ολικής εξασθένησης (A) διάδοσης βραδυλής TEP σαν συνάρτηση της συχνότητας για τις ζεύξεις:

1. Pretoria-Athens (7100 km) ○
2. Harare-Athens (6300 km) □
3. Darwin-Yamagawa (4800 km) Δ
4. Cook Isl.-Hawaiian Isl. (4800) +



Σχ. 4.20: Μεταβολή της μέσης ολικής εξασθένησης (A) σαν

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: ΜΕΣΗ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ (1978-1982)

Ραδιοζεύξη	Μήκος Ραδιο- ζεύξης (km)	Συχνότητα (MHz)	Εξασθένιση ελεύθερου χώρου (db)	Πρόσθετη εξασθένιση (db)	Ολική εξασθένιση (db)	Παρατηρήσεις/ Βιβλιογραφία
Venezuela- Argentina / Darwin- S.W. Japan	~5000	144	150	~30	~180	1,2/45,65
Harare- Limassol	5900	144	151	52	203	1,2/62
Harare- Athens	6300	28	137	10	147	1
		50	142	15	157	1
		144	152	59	211	1,2
		432	161	73	234	1,2/N=15
Pretoria- Athens	7100	28	138	17	155	1
		50	143	22	165	1
		144	153	55	208	1,2
S.W. Africa - N. Italy	7900	144	154	~75	~229	1,3/N=2

- 1: Μέση τιμή
- 2: Ελάχιστη τιμή περίπου 12 db μικρότερη
- 3: Ελάχιστη τιμή περίπου 5 db μικρότερη

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: ΜΕΣΗ ΕΞΑΣΘΕΝΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΙΣ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
 ΤΟΥ 20ου ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (1968-1970)

Ραδιοζεύξη	Μήκος ραδιο- ζεύξης (km)	Συχνότητα (MHz)	Εξασθένση ελεύθερου χώρου (db)	Πρόσθετη εξασθέ- νηση (db)	Ολική εξασθέ- νηση (db)	Περίοδος μετρήσεων	Μέση ηλιακή ροή (Sa)	Παρατηρήσεις/ Βιβλιογραφία
Cook Isl. -	4800	35	137	8	145			1/14
Hawaiian Isl.		54	141	17	158	Μάρτιος		
		72	143	25	168	1968	138	
		90	145	48	193			
		108	147	-	-			Δεν παρατηρήθηκε διάδοση
Darwin (Austral.) -	4800	48	140	10	150	Μάρτιος -	152	1/13
		72	143	27	170	Απρίλιος		
Yamagawa (Japan)		88	145	28	173	Σεπτ. -	139	
		102	146	38	184	Οκτ. 1970		

1. Μέση τιμή εξασθένησης

4.5.2 Πόλωση των σημάτων

Σε όλους τους ραδιοφάρους που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή η πόλωση των κεραιών εκπομπής ήταν οριζόντια.

Αντίστοιχα στη λήψη χρησιμοποιήθηκε και πάλι οριζόντια πόλωση στις κεραίες, όπως περιγράφεται στο τρίτο κεφάλαιο. Ο λόγος που προτιμήθηκε η πόλωση αυτή είναι γιατί ο τεχνητός θόρυβος (man-made noise) στις πόλεις είναι συνήθως κάθετα πολωμένος (οπότε εμφανίζει μεγαλύτερες εντάσεις στην πόλωση αυτή) και γιατί η επίδραση από τις μεταλλικές κατασκευές που υπάρχουν κοντά στις κεραίες είναι συνήθως κατακόρυφες (όπως π.χ. ιστοί κεραιών TV, ιστοί των ίδιων των κεραιών λήψης κλπ.).

Η πόλωση των δισημερινών σημάτων εξετάστηκε στους 144 MHz όπου η διάδοση υποστηρίζεται μόνο με βραδυνή TEP. Χρησιμοποιήθηκε διάταξη δύο αντίθετα πολωμένων στοιχειο-κεραιών YAGI-UDA (μια σε κάθετη πόλωση και μια σε οριζόντια), που τροφοδοτούσαν το δέκτη με κοινή γραμμή μεταφοράς, αφού η πόλωση επιλεγόταν με τηλεχειριζόμενο ομοαξονικό διακόπτη. Η διάταξη αυτή επέτρεπε κατά επιθυμία, τη λήψη σημάτων στις δύο βασικές γραμμικές πολώσεις (κάθετη και οριζόντια) και τη γρήγορη εναλλαγή τους με τη βοήθεια του διακόπτη.

Για ένα μεγάλο αριθμό ($N > 50$) περιπτώσεων διάδοσης σημάτων στους 144 MHz, με σηματοθορυβική σχέση τουλάχιστον 10 db, εξετάστηκε σε ποιά πόλωση εμφανιζόταν το ισχυρότερο σήμα, τόσο στη ζεύξη Harare-Athens, όσο και στη ζεύξη Pretoria-Athens. Για το σύνολο των δοκιμών δεν παρατηρήθηκε συστηματικά ισχυρότερη στάθμη σήματος σε κάποια πόλωση, που να δείχνει αντίστοιχα συστηματική στροφή του επιπέδου πόλωσης των σημάτων από το δίαυλο διάδοσης.

Με βάση την παρατήρηση αυτή μπορεί να συναχθεί ότι η βραδυνή TEP μετατρέπει ένα γραμμικά πολωμένο σήμα σε τυχαία πολωμένο, που μπορεί να ληφθεί εξίσου καλά από κεραίες με οποιαδήποτε πόλωση. Η ιδιομορφία αυτή της βραδυνης TEP δεν παρατηρείται σε σήματα που διαθλώνται σε κοινά ιονοσφαιρικά στρώματα, όπου η στροφή του επιπέδου της πόλωσης διατηρείται πρακτικά σταθερή για αρκετά δευτερόλεπτα.

4.6 ΓΩΝΙΕΣ ΑΦΙΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥΣ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε προσπάθεια χονδρικού προσδιορισμού των γωνιών άφιξης των σημάτων στο οριζόντιο (αζιμουθιακό) και στο κατακόρυφο (κατά ανύψωση) επίπεδο.

Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις αυτές και που περιγράφονται στον Πίνακα 3.2 (του τρίτου κεφαλαίου), είχαν γωνίες μισής ισχύος τουλάχιστον 30° στο οριζόντιο ή στο κατακόρυφο επίπεδο και δύσκολα επέτρεπαν μια ακρίβεια στις μετρήσεις καλύτερη από 5° . Για το λόγο αυτό η γωνία άφιξης των σημάτων στο κατακόρυφο επίπεδο (κατά ανύψωση) εκτιμήθηκε πρόσθετα με ένα έμμεσο τρόπο, δηλαδή με παρατηρήσεις πίσω από γεωλογικά εμπόδια που παρουσίαζαν συγκεκριμένη γωνία ανύψωσης προς την κατεύθυνση των ραδιοφάρων.

Στο οριζόντιο επίπεδο παρατηρήθηκε σε αρκετές περιπτώσεις στη διάρκεια της βραδυλής ΤΕΡ απόκλιση με την πάροδο του χρόνου της γωνίας άφιξης από τη διεύθυνση του μέγιστου κύκλου των σταθμών προς δυτικότερες γωνίες. Η απόκλιση αυτή εμφανίζεται πιο συχνά στις χαμηλότερες συχνότητες (28 και 50 MHz) και είναι πάντα δυτική. Στους 144 MHz ελάχιστες περιπτώσεις τέτοιας μετατόπισης παρατηρήθηκαν και καμμιά στους 432 MHz.

Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή της διάδοσης, τα σήματα σε όλες τις συχνότητες έρχονται από τη διεύθυνση του άξονα της ζεύξης (που συμπίπτει με το μέγιστο κύκλο που περνά από τους τερματικούς σταθμούς). Με την πάροδο όμως του χρόνου παρατηρήθηκε σε συγκεκριμένες περιπτώσεις τα ισχυρότερα σήματα να λαμβάνονται από διευθύνσεις δυτικότερες από τον μέγιστο κύκλο.

Σε πολύ περισσότερες περιπτώσεις τα σήματα έρχονται εξίσου ισχυρά από ένα ολόκληρο τομέα που αρχίζει απ' τον άξονα της ζεύξης και εκτείνεται μέχρι και 45° δυτικά, σε τρόπο που να νομίζει κανείς ότι υπάρχει πρόβλημα στο μηχανισμό περιστροφής της κεραίας.

Για να μελετηθεί καλύτερα η μετατόπιση του διαύλου διάδοσης των σημάτων προς τα δυτικά, πραγματοποιήθηκε στους 50 MHz (όπου το φαινόμενο είναι αρκετά συχνό και οι κεραίες παρουσίαζαν μια ικανοποιητική γωνία μισής ισχύος στο οριζόντιο επίπεδο) σε συνεργασία με το χειριστή του ραδιοφάρου ZS6PW από την Pretoria μια ενδιαφέρουσα δοκιμή. Έχοντας συνεχή αμφίπλευρη επικδινωνία στους 28 MHz, προσδιοριζόταν κάθε δεκάλεπτο η κατεύθυνση που παρουσιαζόταν το μέγιστο στην ένταση των σημάτων με περιστροφή τόσο της κεραίας εκπομπής όσο και της λήψης, με ταυτόχρονη μέτρηση και του χρόνου διάδοσης των παλμών (group delay). Η δοκιμή αυτή, που επαναλήφθηκε αρκετές φορές, απέδειξε ότι η δυτική μετατόπιση της αζιμουθιακής γωνίας άφιξης των σημάτων ακολουθεί χονδρικά την περιστροφή της γης και εκτείνεται (στους 50 MHz) μέχρι περίπου τις 45° δυτικότερα του άξονα της ζεύξης. Ακόμη η δοκιμή έδειξε ότι τα σήματα διαδίδονται και από άλλους δρόμους που χρονικά βρίσκονται ανάμεσα στο συντομότερο (τον άξονα του μέγιστου κύκλου) και την κατεύθυνση απ'όπου εμφανίζονται τα ισχυρότερα σήματα.

Η αντίστοιχη μέγιστη δυτική μετατόπιση που παρατηρήθηκε στους 144 MHz ήταν 10° για τη ζεύξη Pretoria-Athens και 20° για τη ζεύξη Harare-Athens. Το ενδιαφέρον είναι ότι στη συχνότητα αυτή δεν υπήρχε βαθμιαία αλλά απότομη μεταβολή της γωνίας άφιξης, ανάμεσα στις δύο ακραίες τιμές και σε ορισμένες περιπτώσεις ξαφνική εναλλαγή της !

Η γωνία άφιξης των σημάτων στο κατακόρυφο επίπεδο, όπως απέδειξαν αρχικές διερευνητικές μετρήσεις με περιστρεφόμενη κατά ανύψωση στοιχειοκεραία Yagi-Uda, είναι μικρή και ο ιονοσφαιρικός στόχος εμφανίζεται χαμηλά στον ορίζοντα. Σε πολλαπλές τέτοιες δοκιμές από θέσεις με χαμηλή γωνία εμποδίων προς το νότο, η γωνία άφιξης βρέθηκε ότι είναι γενικά μικρότερη από 20° , αλλά η μέθοδος αυτή δεν επέτρεπε καλύτερη ακρίβεια. Κι' αυτό γιατί η στοιχειοκεραία λήψης παρουσίαζε στους 144 MHz γωνία μισής ισχύος στο κατακόρυφο

επίπεδο σχεδόν 40° (δηλαδή για 20° ανύψωσης υπήρχε μια βελτίωση στη στάθμη των σημάτων μόλις 3 db, που μειωνόταν στο 1 db για 10° ανύψωση). Επιπλέον υπεισέρχεται το λάθος του συστήματος περιστροφής της κεραίας και η επίδραση της γης που αλλοιώνει τη μορφή του λοβού της κεραίας.

Για τους παραπάνω λόγους έγιναν πρόσθετες λήψεις των σημάτων των Αφρικανικών ραδιοφάρων στους 144 MHz από τοποθεσίες με γεωλογικά εμπόδια προς νότο και συγκεκριμένα από τα Χανιά και τη Βραυρώνα Αττικής. Οι γωνίες ανύψωσης που δημιουργούνται από τα φυσικά εμπόδια που υπάρχουν προς νότο στις περιοχές αυτές και απαγόρευαν τη λήψη σε σήματα που έρχονται από χαμηλότερες γωνίες, είναι για τα Χανιά τουλάχιστον 5° και για τη Βραυρώνα 9° , όπως μετρήθηκαν με θεοδόλιχο προς την κατεύθυνση των ραδιοφάρων.

Η λήψη των εκπομπών των ραδιοφάρων ZE2JV και ZS6PW και από τις δύο αυτές περιοχές απέδειξε ότι τα σήματα έρχονται από γωνίες ανύψωσης που ξεπερνούν τις 9° . Ειδικότερα στη διάρκεια της δοκιμαστικής λήψης από τη Βραυρώνα γινόταν ταυτόχρονη λήψη των ραδιοφάρων από την κύρια θέση στην Αθήνα, που είχε πολύ χαμηλή γωνία εμποδίων ($<0,5^{\circ}$). Στην περίπτωση αυτή διαπιστώθηκε, ότι τα σήματα στην Αθήνα ήταν κατά 3 ως 5 db ισχυρότερα, που ερμηνεύεται ότι ένα μέρος του ιονοσφαιρικού στόχου ήταν κάτω από τη γωνία εμποδίων της Βραυρώνας (9°).

Αντίστοιχες μετρήσεις έγιναν επίσης στο δισημερινό τομέα της Αμερικής και έδειξαν ότι τα σήματα στους 144 MHz παρουσιάζουν γωνίες ανύψωσης μεταξύ 8° και 10° ^{12,45}.

4.7 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

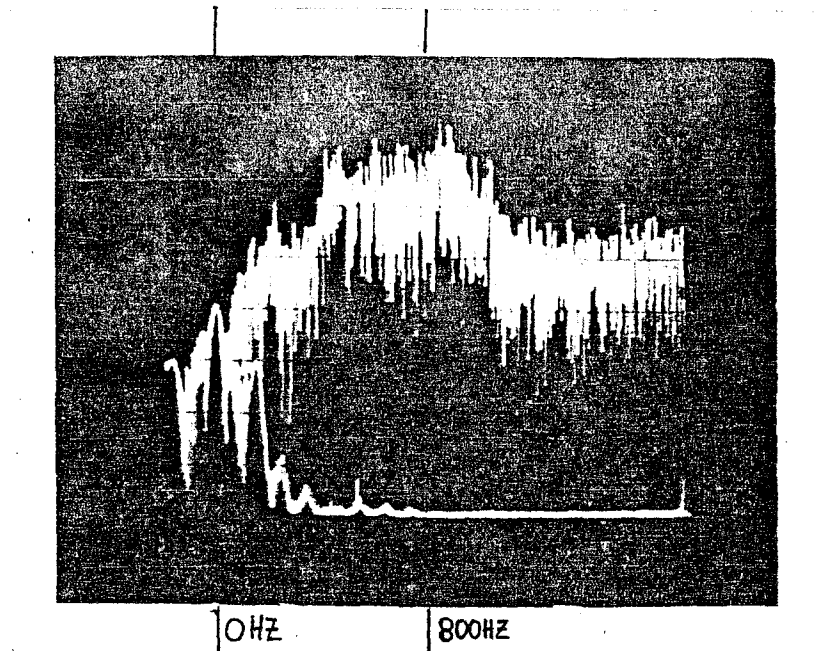
Στα σήματα που διαδίδονται με βραδυνή ΤΕΡ παρατηρήθηκε ισχυρή διασπορά στη συχνότητά τους (frequency spreading) και μεγάλη μετατόπιση της ονομαστικής τιμής της (frequency shifting), φαινόμενα που είναι εντονότερα στις ψηλότερες συχνότητες λειτουργίας των ζεύξεων και που δεν παρουσιάστηκαν ποτέ στην απογευματινή ΤΕΡ (Τ.Ω. < 19:00 LMT).

4.7.1 Διασπορά συχνότητας

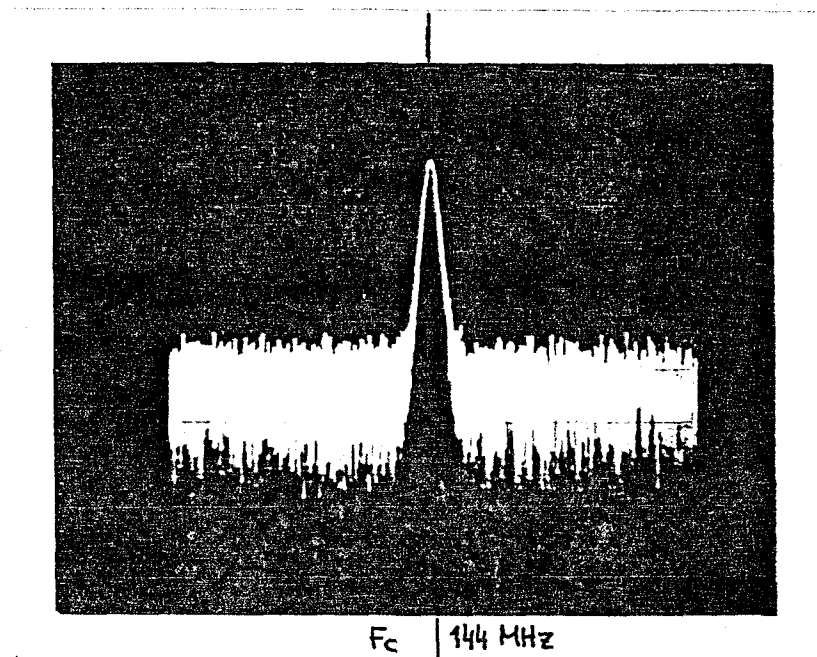
Η διασπορά συχνότητας είναι το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της βραδυής ΤΕΡ στον Ευρωπαϊκό-Αφρικανικό τομέα. Η έναρξη της διάδοσης στις ζεύξεις που μελετήθηκαν χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο αυτό που παρουσιάζεται εντονότερο όσο η συχνότητα λειτουργίας και το μήκος της ζεύξης αυξάνουν. Η διασπορά συχνότητας έχει σαν αποτέλεσμα ένα μονοχρωματικό σήμα (carrier) που εκπέμπεται από τους Αφρικανικούς ραδιοφάρους να φθάνει στο σταθμό λήψης στην Αθήνα σαν ένα συνεχές φάσμα με εύρος (ανάμεσα στα σημεία για μείωση της στάθμης του σήματος κατά 10 db) που μπορεί να φθάσει και τα 1000 Hz για συχνότητα φέρουσας 144 MHz.

Ένα τέτοιο φάσμα διασποράς συχνότητας (σε αντιπαραβολή με το μονοχρωματικό φέρον που εκπεμπόταν) παρουσιάζεται στο Σχ. 4.21 και αναφέρεται στη ζεύξη Pretoria-Athens στους 144 MHz.

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι σε ζεύξεις μήκους 5000 ως 6000 km στους υπόλοιπους δύο διημερινούς τομείς της γης η διασπορά συχνότητας στους 144 MHz εμφανίζεται πολύ μειωμένη, ιδιαίτερα στον Ασιατικό-Αυστραλιανό τομέα, όπου περιορίζεται σε σχετικά λίγες περιπτώσεις ισχυρής διάδοσης και μόνο στην έναρξή της⁶⁵. Εκτεταμένες μετρήσεις διασποράς στον τομέα αυτό στη διάρκεια του μεγίστου του 20ου ηλιακού κύκλου δεν παρουσίασαν τιμές διασποράς μεγαλύτερες από 50 Hz



A: Διασπορά συχνότητας στο σήμα που λαμβάνεται στην Αθήνα.
(Εύρος διασποράς για στάθμη -10 dB_p : 660 Hz, μεταξύ 400 και 1060 Hz. Μέγιστα στους 840 και 890 Hz. Σηματοθορυβική σχέση $S+N/N = 14 \sim 22 \text{ dB}$).



B: Μονοχρωματικό φέρον (όπως εκπέμπεται από την Pretoria).
(Παράμετροι φασματικής ανάλυσης: 200 Hz/div (Hor), 10 dB/div (Vert), 2 sec/div (Scan), 30 Hz (Resolution), 100 Hz (Video Filter), Single Sweep. Σηματοθορυβική σχέση $S+N/N = 33 \text{ dB}$).

Σχ. 4.21: Διασπορά συχνότητας που παρουσιάζεται στη λήψη (A) ενός μονοχρωματικού φέροντος (B) στη ζεύξη Pretoria-Athens (ZS) στους 144 MHz (5/3/1979-19:52 TQ).

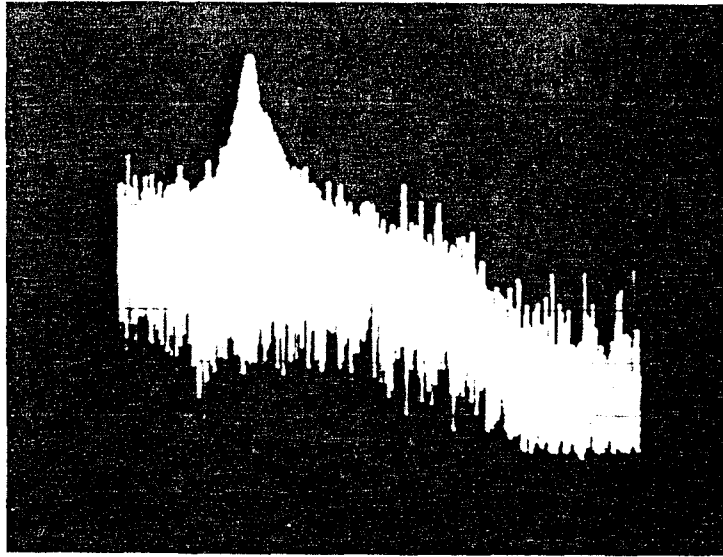
για συχνότητες μέχρι τους 90 MHz¹⁴.

Το άμεσο αποτέλεσμα της διασποράς συχνότητας στον Ευρωπαϊκό τομέα είναι συνήθως η καταστροφή της πληροφορίας που μεταδίδεται στις ζεύξεις TEP στη διάρκεια της βραδυνης διάδοσης. Εκτεταμένες δοκιμές μετάδοσης τηλεφωνίας μιας πλευρικής ζώνης (SSB) με εύρος ζώνης συχνοτήτων μόλις 2,4 kHz, ή δύο πλευρικών ζωνών με φέρον (AM) και εύρος 4,8 kHz καθώς και διαμόρφωση συχνότητας (FM) με εύρος 16 kHz απέτυχαν, παρόλο που η σηματοθορυβική σχέση ήταν απόλυτα ικανοποιητική (15 ως 20 db). Ο μόνος δυνατός τρόπος μετάδοσης πληροφορίας που επιτεύχθηκε ήταν η χειροκίνητη τηλεγραφία (CW) σε χαμηλή ταχύτητα (ως 40 γράμματα το λεπτό), που ακουγόταν σαν αύξηση της στάθμης του θορύβου βάθους του δέκτη στο ρυθμό του χειριστήριου, με ελάχιστη χροιά τόνου ! Μια τέτοια παραμόρφωση του σήματος δεν επιτρέπει φυσικά ούτε μετάδοση αργής τηλετυπίας (TTY), όπου η αποδιαμόρφωση βασίζεται στην παραγωγή εναλλασσόμενων ακουστικών τόνων στην έξοδο του δέκτη, ούτε πολύ περισσότερο μετάδοση τηλεόρασης, όπου η εικόνα είναι εντελώς ακατάληπτη.

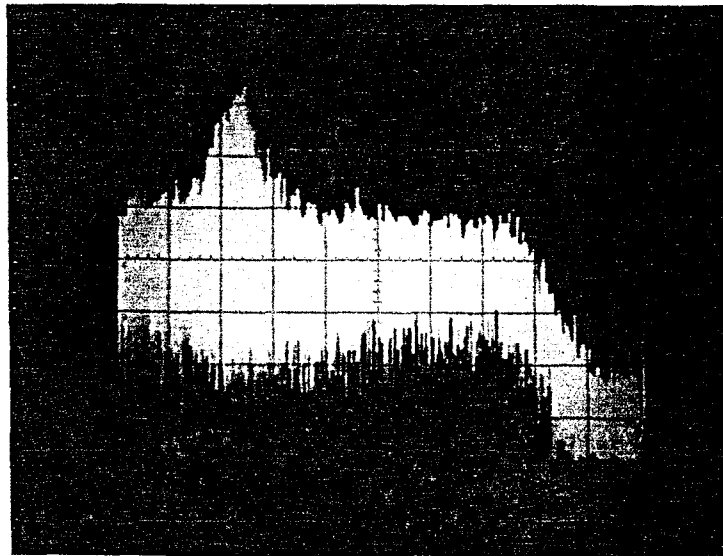
Αντίθετα στους δύο άλλους διησημερινούς τομείς η επικοινωνία σε τηλεφωνία SSB ήταν απόλυτα ικανοποιητική και συνηθισμένη αλλά σπανιότερα σε AM ή FM^{45,65}.

Η διασπορά της συχνότητας του φέροντος που αποτελεί ιδιαιτερότητα στις Ευρωπαϊκές ζεύξεις έχει επιπλέον τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

α) Επηηρεάζει όλο τουλάχιστον το φάσμα συχνοτήτων που μελετήθηκε, δηλαδή από τους 28 ως τους 432 MHz. Πρόσθετες παρατηρήσεις σε σήματα χαμηλοτέρων συχνοτήτων σταθμών από την Αφρική στη διάρκεια βραδυνης TEP έδειξαν ότι το φαινόμενο αυτό εκτείνεται αλλά σε μικρότερο βαθμό τουλάχιστον μέχρι τους 6 MHz. Στο Σχ. 4.22 παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις φασματικής ανάλυσης σημάτων στους 28 MHz για τη ζεύξη Pretoria-Athens με μικρή και μέτρια διασπορά συχνότητας.



A: Μικρή διασπορά συχνότητας στους 28 MHz (17/10/1979-18:16-18:20 ΤΩ).
(Εύρος διασποράς για στάθμη -10db_p : 60 Hz, για -20db_p : 160 Hz. $S+N/N = 25 \text{ db}$).



B: Μέτρια διασπορά συχνότητας στους 28 MHz (10/11/1979-19:30 ΤΩ).
(Εύρος διασποράς για -10db_p : 130 Hz, για -20db_p : 260 Hz, $S+N/N = 22 \text{ db}$).

Σχ. 4.22: Διασπορά συχνότητας στη ζεύξη Pretoria-Athens στους 28 MHz (Παράμετροι φασματικής ανάλυσης όπως στο Σχ. 4.21).

β) Το εύρος της διασποράς αυξάνεται με τη συχνότητα και είναι ιδιαίτερα μεγάλο στους 144 και 432 MHz. Στο Σχ. 4.23 παρουσιάζεται η διασπορά συχνότητας στη ζεύξη Harare-Athens στους 28 και 144 MHz.

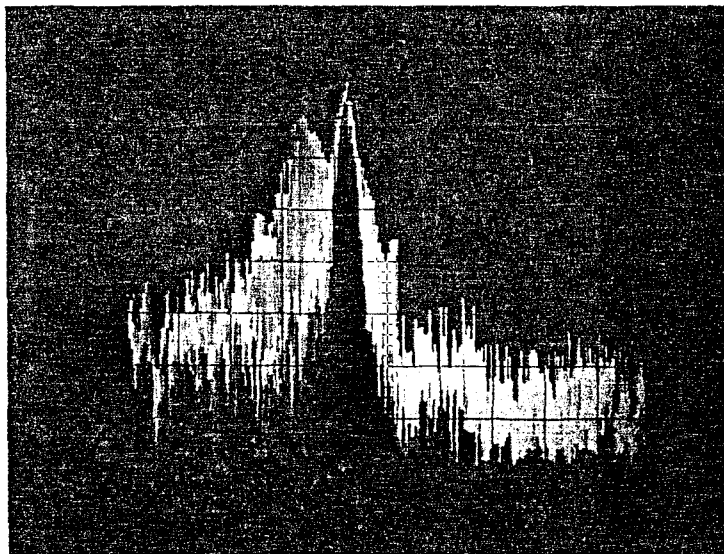
γ) Η διασπορά είναι ιδιαίτερα έντονη στην αρχή της διάδοσης οπότε η μετάδοση τηλεφωνίας καταστρέφεται ακόμη και στους 28 MHz. Με την πάροδο του χρόνου το φαινόμενο εξασθενεί αρχίζοντας από τις χαμηλές συχνότητες προς τις ψηλές, ώστε σε μερικές περιπτώσεις να παρουσιάζεται κάποια χροιά τόνου στους 144 MHz, αλλά ποτέ στους 432 MHz.

δ) Η διασπορά συχνότητας φαίνεται να είναι ισχυρότερη στις ζεύξεις με το μεγαλύτερο μήκος, όπως παρατηρήθηκε στις τρεις Ευρωπαϊκές ζεύξεις που μελετήθηκαν. Η διαπίστωση αυτή είναι φανερή με παραβολή των Σχ. 4.21Α και Σχ. 4.23Β.

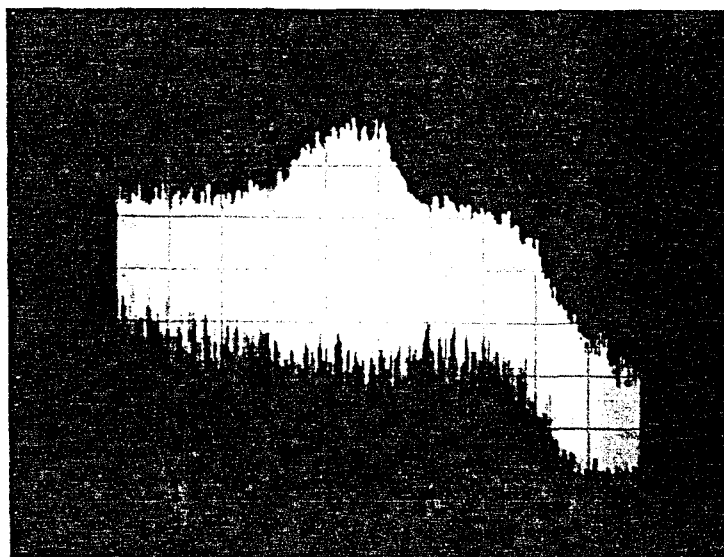
ε) Η διασπορά εμφανίζεται μειωμένη και το σήμα που λαμβάνεται παρουσιάζει κάποια χροιά τόνου ορισμένες μόνο βραδυές, όταν η γεωμαγνητική δραστηριότητα είναι σχετικά χαμηλή ($K_p < 2^+$). Η παρατήρηση αυτή αναφέρεται κυρίως στη ζεύξη Pretoria-Athens, όπου η διασπορά εμφανίζεται ισχυρότερη.

4.7.2 Μετατόπιση συχνότητας

Η μετατόπιση της συχνότητας λήψης ενός μονοχρωματικού σήματος με ψηλή σταθερότητα στη συχνότητα εκπομπής οφείλεται στην κίνηση του μέσου που υποστηρίζει τη διάδοση. Αν η κίνηση του μέσου γίνεται με σχεδόν σταθερή ταχύτητα, η μετατόπιση είναι ορισμένη και θετική, δηλαδή προς τις ψηλότερες συχνότητες, αν το μέσο διάδοσης πλησιάζει σε σχέση με το σταθμό λήψης, ή αρνητική αν απομακρύνεται. Επιπλέον, αν το μέσο απομακρύνεται με επιτάχυνση, παρουσιάζεται μια συνεχής μεταβολή στη συχνότητα λήψης προς χαμηλότερες συχνότητες με ρυθμό ανάλογο προς την επιτάχυνσή του.



- A: Διασπορά συχνότητας στους 28 MHz.
(Πρακτικά το σήμα είναι μονοχρωματικό. Αριστερά από το φέρον υπάρχουν οι φασματικές γραμμές των παλμών σε διαμόρφωση συχνότητας (εκπομπή τύπου Q \emptyset N και F1A), $S+N/N \geq 40$ db).



- B: Διασπορά συχνότητας στους 144 MHz.
(Εύρος διασποράς για -10 dbp:400 Hz, $S+N/N=15$ db).

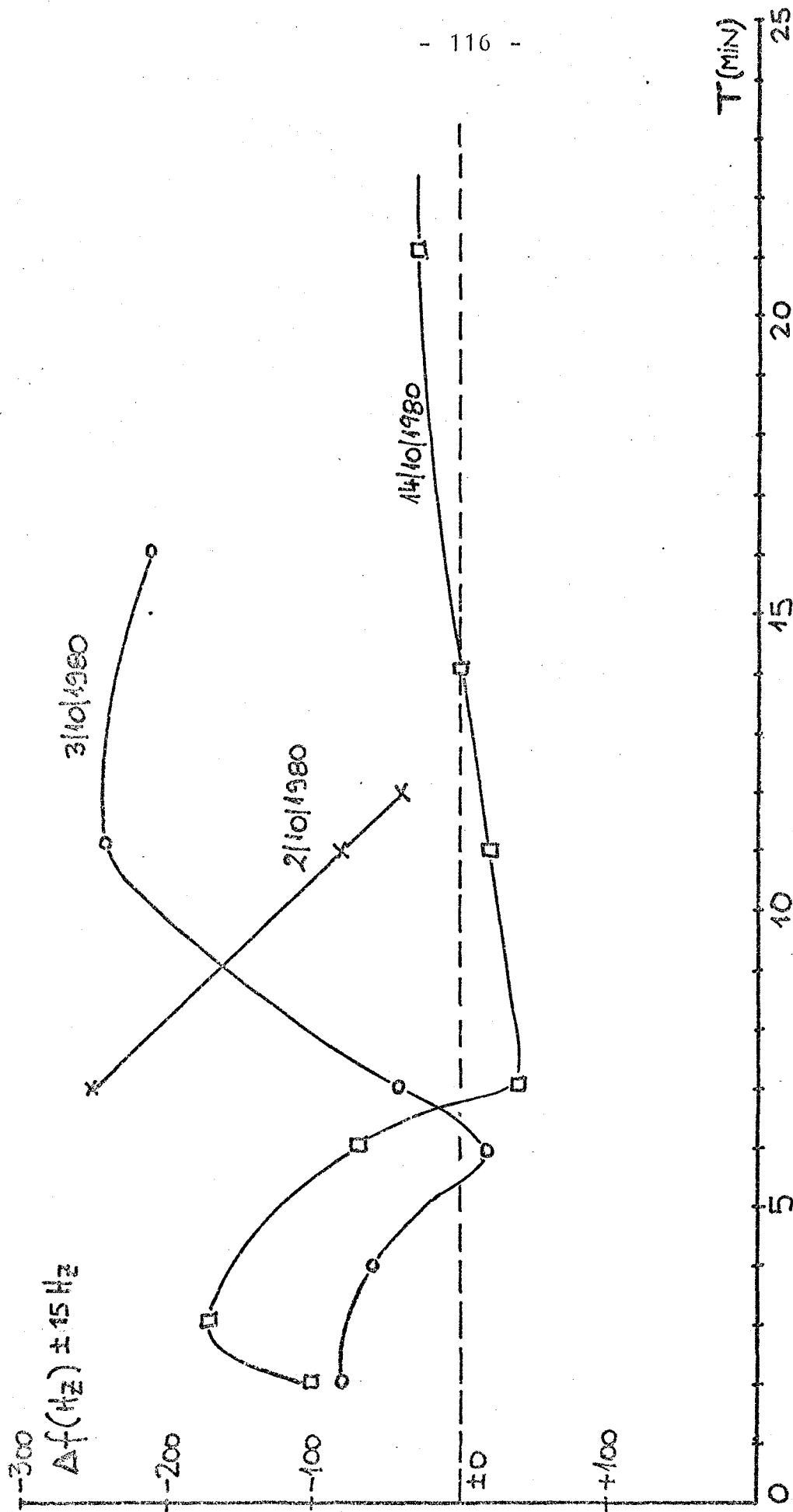
Σχ. 4.23: Διασπορά συχνότητας στη ζεύξη Harare-Athens (ZE)
στους 28 και 144 MHz (18/10/1979-19:49 ΤΩ).
(Παράμετροι φασματικής ανάλυσης όπως στο Σχ. 4.21).

Για τον προσδιορισμό της μετατόπισης της συχνότητας λήψης και της μεταβολής της με την πάροδο του χρόνου, ο ραδιοφάρος ZS6PW εξέπεμπε τον Οκτώβριο 1980 μονοχρωματικό σήμα (φέρον) με ψηλή σταθερότητα της συχνότητάς του (καλύτερη από $\pm 7 \cdot 10^{-8}$ για όλες τις μεταβολές των παραμέτρων του ή λση με ± 10 Hz στους 145 MHz). Όπως περιγράφεται πιο αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο, στο σταθμό λήψης γινόταν ακριβής μέτρηση της συχνότητάς όπου παρουσιαζόταν το μέγιστο της στάθμης του σήματος του ραδιοφάρου, για χαρακτηριστικές χρονικές στιγμές μετά την εμφάνιση της δισημερινής διάδοσης, όταν βέβαια η σηματοθορυβική σχέση ήταν ικανοποιητική (> 10 db).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών φαίνονται στο Σχ. 4.24 και αναφέρονται στη ζεύξη Pretoria-Athens στους 144 MHz.

Τα κυριότερα συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- α) Η μετατόπιση συχνότητας μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου μετά την έναρξη της διάδοσης, ανάμεσα σε τιμές που κυμαίνονται από -350 ως +40 Hz (με πιθανό σφάλμα ± 15 Hz). Για τη συχνότητα της ζεύξης (144.9 MHz) οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε ταχύτητα κίνησης του μέσου διάδοσης από -350 ως +40 m/sec (ως προς το σταθμό λήψης) μέσα στο πρώτο εικοσάλεπτο της διάδοσης, οπότε τα σήματα παρουσίαζαν ικανοποιητική σηματοθορυβική σχέση για τις μετρήσεις. Η μέση τιμή της μετατόπισης είναι γύρω στα -100 Hz (για $N=21$).
- β) Στα αρχικά στάδια της βραδυνης ΤΕΡ η μετατόπιση συχνότητας έχει σχετικά μεγάλες αρνητικές τιμές. Με την εξέλιξη του φαινομένου η μετατόπιση μηδενίζεται και περνά σε μικρές θετικές τιμές για να προχωρήσει ξανά σε αρνητικές τιμές.
- γ) Οι ταχύτερες μεταβολές στη μετατόπιση συχνότητας γίνονται γύρω από τη στιγμή που λαμβάνει την πιο θετική τιμή της, και κυμαίνονται από 0,5 ως 1,5 Hz/sec. Σε μια όμως περίπτωση (13/3/79) παρατηρήθηκε μεταβολή της μετατόπισης μέχρι 10 Hz/sec που ισοδυναμεί σε επιτάχυνση του μέσου 10 m/sec^2 .



Σχ. 4.24: Μετατόπιση συχνότητας (Δf) του ραδιοφάρου ZS6PW στους 144.9 MHz σαν συνάρτηση του χρόνου (T) από την έναρξη της διάδοσης βραδυνής ΤΕΡ.

4.8 ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΠΑΛΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΔΙΑΔΟΣΗ

4.8.1 Γενικά

Με τη διάταξη που περιγράφεται στο τρίτο κεφάλαιο, της μεθοδολογίας των μετρήσεων ΤΕΡ, έγιναν στη διάρκεια του 1980 εκτεταμένες μετρήσεις του χρόνου διάδοσης παλμών (group delay) και προσδιορισμού δρόμων πολλαπλής διάδοσης (multipath propagation) για τη ζεύξη Pretoria-Athens σε συχνότητες 28, 50 και 144 MHz.

Πρέπει να σημειωθεί και εδώ, ότι η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε μπορούσε να αποθηκεύσει σε μνήμη είτε τη λήψη ενός διακεκριμένου παλμού εκπομπής από την Pretoria, είτε μιας σειράς παλμών μέσα σε καθορισμένο χρονικό διάστημα.

Οι μετρήσεις του χρόνου διάδοσης των παλμών δεν περιορίστηκαν μόνο στη διάρκεια της βραδυνης ΤΕΡ αλλά επεκτέθηκαν για τους 28 και 50 MHz σε όλη τη διάρκεια της μέρας, καλύπτοντας έτσι όλους πρακτικά τους τρόπους διάδοσης των σημάτων απ' την Pretoria στην Αθήνα, όπως $2F_2$, $3F_2$ καθώς και τη δισημερινή διάδοση απογευματινού τύπου.

Οι πιο ενδιαφέρουσες περιπτώσεις διάδοσης αποτυπώθηκαν φωτογραφικά και αποτελούν ένα αρχείο με σχεδόν πενήντα περιπτώσεις διάδοσης που ένα μέρος του παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.

Επειδή στον ευρωπαϊκό τομέα σπάνια η σηματοθορυβική σχέση ήταν ικανοποιητική για τη λήψη μετρήσεων σε παλμικά σήματα στους 144 MHz, μόνο σε δέκα διαφορετικές βραδυές του Μαρτίου, Απριλίου και Οκτωβρίου 1980 κατορθώθηκε η ταυτόχρονη μέτρηση του χρόνου διάδοσης των παλμών και στις τρεις συχνότητες.

Στους 28 και 50 MHz αντίθετα, ήταν δυνατή η λήψη μετρήσεων σε καθημερινή βάση και έτσι για τις συχνότητες αυτές ο αριθμός των ταυτόχρονων μετρήσεων είναι μεγαλύτερος.

Σημειώνεται επίσης, ότι στο φωτογραφικό υλικό που ακολουθεί παρουσιάζεται εκτός από την πληροφορία και συνήθως κάτω από αυτήν η κλίμακα του χρόνου σε msec, όπως φαίνεται

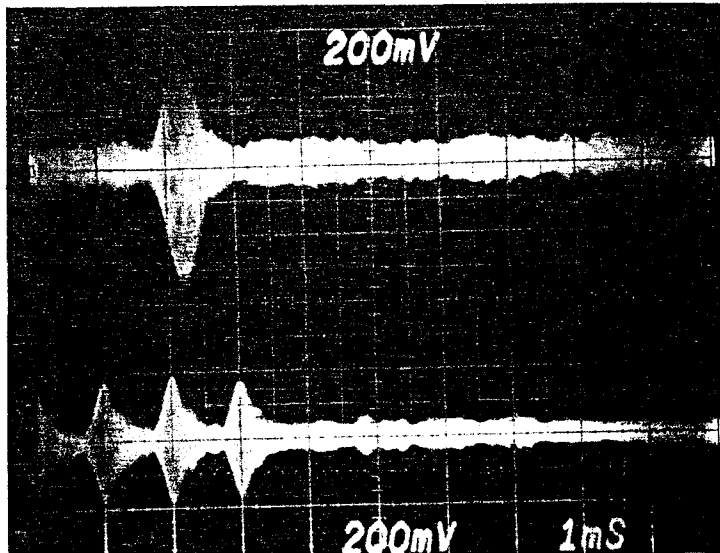
στο Σχ. 4.25. Η κλίμακα του χρόνου είναι, όπως αναλύεται στο τρίτο κεφάλαιο, η σειρά των οκτώ παλμών του συστήματος ναυτιλίας LORAN C της Μεσογείου από το σταθμό της Lampedusa, που απέχουν όλοι μεταξύ τους 1 msec. Για να βρεθεί λοιπόν ο απόλυτος χρόνος διάδοσης των παλμών πληροφορίας πρέπει σε κάθε περίπτωση να προστίθεται στο χρόνο που αντιστοιχεί στους οκτώ παλμούς συγχρονισμού (0 ως 7 ms), η σταθερά χρόνου 19,4 ms, που προσδιορίστηκε από τις διατάξεις συγχρονισμού (time offsets) στους σταθμούς εκπομπής και λήψης (Σχ. 4.25).

Στην εκπομπή από την Pretoria χρησιμοποιήθηκαν παλμοί με διαφορετικό πλάτος (pulse width) που μπορούσαν να πάρουν τιμές 0,25-0,5-1,0-1,5 και 1,7 ms, ανάλογα με την ένταση των σημάτων στο σταθμό λήψης. Συνήθως στη διάρκεια της βραδυ-νής TEP που τα σήματα ήταν ασθενικά, το πλάτος των παλμών ήταν 1,7 ms που παρουσίαζε τη μεγαλύτερη πιθανότητα για ανίχνευση και φωτογραφική αποτύπωση. Σ' αυτήν την περίπτωση, όπου δεν παρουσιάζεται στον παλμό ένα διακεκριμένο μέγιστο, ο χρόνος διάδοσης αντιστοιχεί στην τιμή που το πλάτος του σήματος στη λήψη φθάνει για πρώτη φορά σε μέγιστη τιμή (Σχ. 4.26).

4.8.2 Αποτελέσματα των μετρήσεων

Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων στις δέκα βραδυές που επιτεύχθηκε (σχεδόν) ταυτόχρονη μέτρηση του χρόνου διάδοσης παλμών και στις τρεις συχνότητες που λειτουργούσε η ζεύξη Pretoria-Athens σχηματίστηκε ο ακόλουθος πίνακας που αναφέρεται αποκλειστικά στη βραδυνή TEP:

ΠΑΛΜΟΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
(ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ
10 ΠΑΛΜΩΝ)

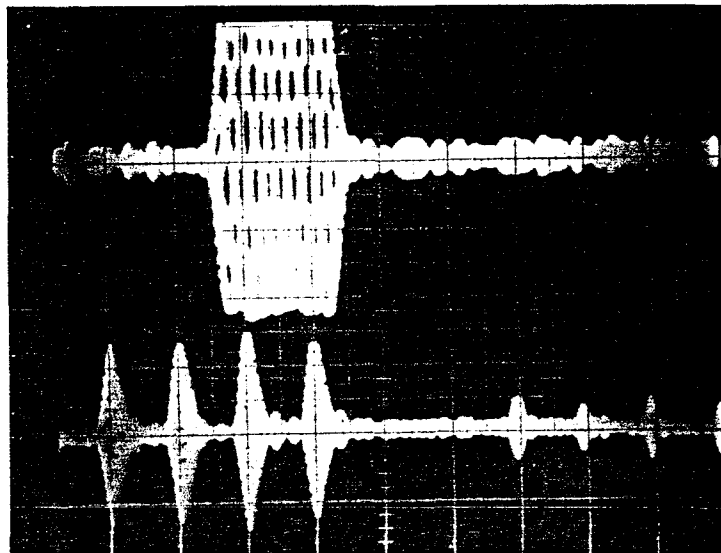


ΠΑΛΜΟΙ
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΥ

Σχ. 4.25: Περίπτωση διάδοσης παλμών στους 28 MHz (2/4/80-1907 Τ.Ω.)

Το μέγιστο στους παλμούς πληροφορίας ισοδυναμεί σε χρόνο διάδοσης, $T_D = 19,4 + 6,2 = 25,6$ ms στη ζεύξη Pretoria-Athens. Πλάτος παλμών 0,5 ms. Στο σχήμα φαίνονται μόνο οι τρεις τελευταίοι παλμοί συγχρονισμού.

ΠΑΛΜΟΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ



ΠΑΛΜΟΙ
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΥ

Σχ. 4.26 Περίπτωση διάδοσης ενός διακεκριμένου παλμού στους 50 MHz με TEP απογευματινού τύπου (21/3/80-1915 Τ.Ω.)

Πλάτος παλμού 1,7 ms. Ο χρόνος διάδοσης είναι $T_D = 19,4 + 5,7 = 25,1$ ms (που αντιστοιχεί στο πρώτο μέγιστο στον παλμό πληροφορίας) στη ζεύξη Pretoria-Athens. Στο σχήμα φαίνονται μόνο οι τέσσερις τελευταίοι παλμοί συγχρονισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΠΑΛΜΩΝ (T_D) ΜΕ ΒΡΑΔΥΝΗ ΤΕΡ ΣΤΗ ΖΕΥΞΗ
PRETORIA-ATHENS (1980)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	144 MHz		50 MHz		28 MHz	
	'Ωρα Τοπική	T_D (ms)	'Ωρα Τοπική	T_D (ms)	'Ωρα Τοπική	T_D (ms)
18/3/1980	1945-1952	25,7-25,8	2000-2001	25,0	1957-1959	24,7-24,8
21/3/1980	2000	26,4	2000	25,2	2000	24,4 & 26,6
27/3/1980	2013	25,9	2023	25,1	2013	24,5
28/3/1980	2000-2003	25,8	2017	25,2	2000	24,5
29/3/1980	1945-1951	25,8-26,5	1952-1953	25,6-26,4	1954-1958	24,7-27,0
31/3/1980	2000-2004	25,6-26,1	2014-2021	25,7	2010-2012	24,8-25,2
2/4/1980	1954	26,2	2005	25,3-25,9	2000	24,7 & 25,5
3/10/1980	1925	26,2	1940	25,0-25,8	1940	24,7-25,3
12/10/1980	1945	26,0	1933	25,0-25,2	1933	24,6-25,6
14/10/1980	1943	26,1-26,4	1955	24,8-26,0	1955	24,6-27,2
Πεδίο Μεταβολής (ms)	25,6 - 26,5		24,8 - 25,7		24,4 - 24,8	
Μέση Τιμή (ms)	26,0		25,2		24,6	
Τυπική Απόκλιση (ms)	0,2		0,3		0,1	

Παρατηρήσεις

1. Στις περιπτώσεις που αναφέρονται δύο περιοχές τιμών του χρόνου διάδοσης στους 28 MHz υπήρχε και δεύτερος χωριστός ιονοσφαιρικός διάυλος στη συχνότητα αυτή.
2. Το πεδίο μεταβολής, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση στο κάτω μέρος του πίνακα αναφέρονται στον ελάχιστο χρόνο διάδοσης παλμών, επειδή εμφανίζεται στη βραδυνή ΤΕΡ συνήθως πολλαπλή διάδοση (βλ. Σχ. 4.28).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14: ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ (T_D) ΣΤΗ ΖΕΥΞΗ PRETORIA-ATHENS (1980)

Τρόπος Διάδοσης	Περίοδος Μετρήσεων (Τοπική Ωρα)	T_D : Πεδίο Μεταβολής/Μέση Τιμή (ms)	Αριθμός Μετρήσεων		
		28 MHz	50 MHz	144 MHz	
$2F_2$	0700-0800	24,3-24,7/24,4	-	N=40	
$3F_2$	"	24,6-25,0/24,7	-	N=8	
$4F_2$	"	24,8-25,4/25,0	-	N=5	
Απονευματινή ΤΕΡ (2F)	1730-1830	24,4-24,6/24,5	24,6-25,3/25,0	N=20	
Βραδυνή ΤΕΡ	1930-2030	24,4-27,2/24,6	24,8-26,4/25,2	25,6-26,5/26,0	N=10

Παρατηρήσεις:

1. Διάδοση τύπου $2F_2$ στους 50 MHz δεν παρατηρήθηκε τις πρωινές ώρες στη διάρκεια του 1980, ώστε να μην υπάρξει περίπτωση σύγχυσης της με την απονευματινή ΤΕΡ και για το λόγο αυτό δεν υπάρχουν αντίστοιχες μετρήσεις του χρόνου διάδοσης παλμών στον πιο πάνω πίνακα.
2. Η μέση τιμή για την βραδυνή ΤΕΡ αναφέρεται στον ελάχιστο χρόνο διάδοσης παλμών (δηλαδή κατά μήκος του άξονα της ζεύξης) επειδή εμφανίζεται συνήθως πολλαπλή διάδοση (βλ. Σχ. 4.25).

Επιπλέον από τις μετρήσεις στη διάρκεια της υπόλοιπης μέρας διαπιστώθηκε ο χρόνος διάδοσης παλμών και για άλλους τρόπους διάδοσης, πέρα από τη βραδυνή TEP, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4.14.

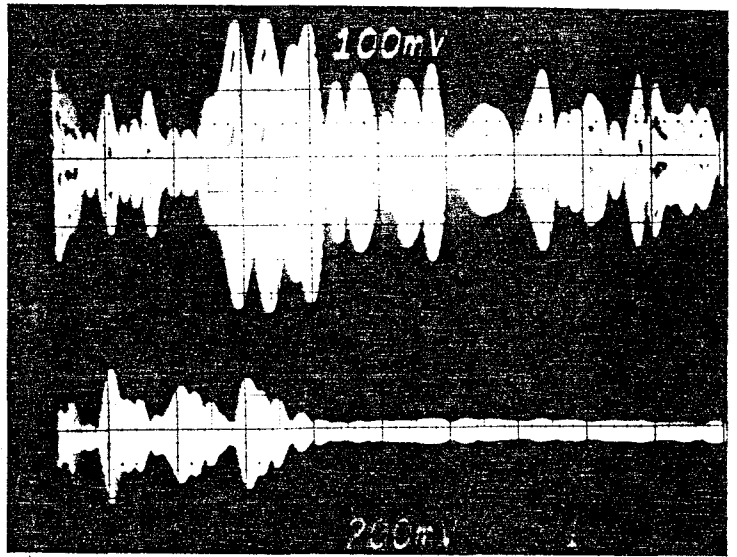
Στο Σχ. 4.27 παρουσιάζεται η φωτογραφική αποτύπωση μιας μέτρησης (29/3/1980) του χρόνου διάδοσης (T_D) και στις τρεις συχνότητες που λειτούργησε η ζεύξη Pretoria-Athens. Οι φωτογραφίες απεικονίζουν τη μορφή ενός διακεκριμένου παλμού για κάθε μία συχνότητα. Με τον τρόπο αυτό (που επιτυγχάνεται μόνο αν ο παλμογράφος για την απεικόνιση διαθέτει μνήμη) είναι δυνατός ο άμεσος προσδιορισμός του ελάχιστου χρόνου διάδοσης των παλμών αλλά και της πολλαπλής διάδοσης, που αποτελεί την ιδιομορφία της βραδυνης TEP.

4.8.3 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις του απόλυτου χρόνου διάδοσης παλμών.

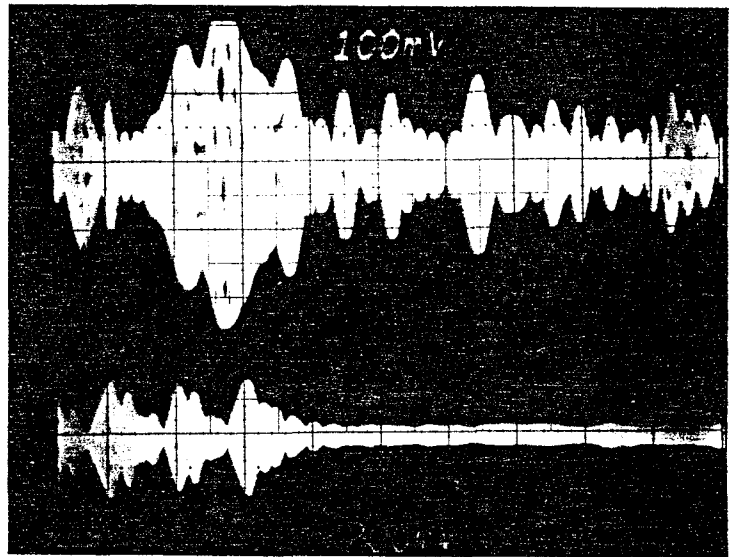
Τα βασικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- α) Στη βραδυνή TEP παρουσιάζεται πολλαπλή διάδοση που είναι ιδιαίτερα έντονη στις χαμηλότερες συχνότητες (28 και 50 MHz) και στην αρχή του φαινομένου. Με την πάροδο της ώρας ή την αύξηση της συχνότητας της ζεύξης η πολλαπλή διάδοση εξασθενεί. Στο Σχ. 4.27 φαίνεται καθαρά η έκταση της πολλαπλής διάδοσης που είναι ιδιαίτερα αισθητή στους 28 MHz και καλύπτει χρόνους διάδοσης 24,7-27,0 ms. Σε ακραίες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν (ανά συχνότητα) οι ακόλουθοι χρόνοι:

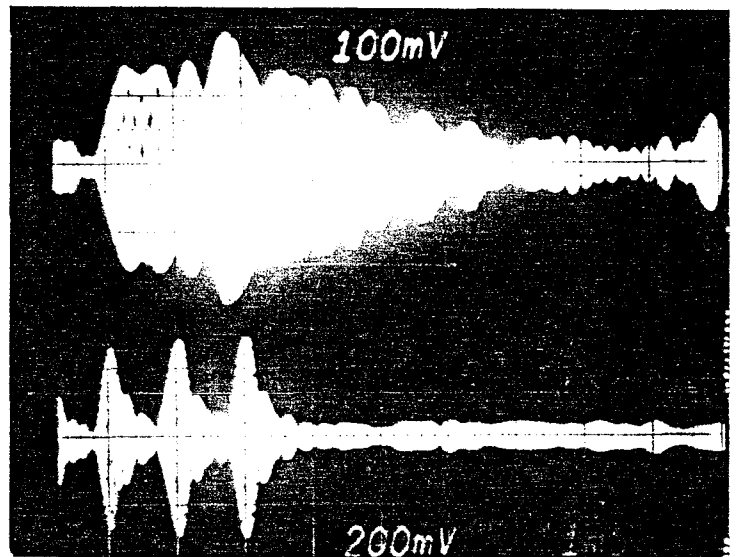
F : 144 MHz
Pw : 1,7 ms
T_D : 26,2 ms



F : 50 MHz
Pw : 1,7 ms
T_D : 25,6 ms



F : 28 MHz
Pw : 1,7 ms
T_D : 24,7-27,0 ms !
ΙΣΧΥΡΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΔΙΑΔΟΣΗ



Σχ. 4.27: Περίπτωση ταυτόχρονης μέτρησης του χρόνου διάδοσης διακεκριμένων παλμών (T_η) στις τρεις συχνότητες λειτουργίας της ζεύξης Pretoria-Athens (29/3/1980, 1951-1954 Τ.Ο.).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.15: ΜΕΓΙΣΤΟΙ ΧΡΟΝΟΙ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΤΗ ΖΕΥΞΗ
PRETORIA-ATHENS (1980)

Συχνότητα (MHz)	Πεδίο μεταβολής χρόνου διάδοσης (ms)	Πλάτος μεταβολής (ms)	Ημερομηνία	Τοπική ώρα
28	24,4-29,4	5,0	13/3/1980	1952
50	25,2-26,4	1,2	2/10/1980	1928
144	25,8-26,5	0,7	29/3/1980	1948

Αν υποθέσουμε ότι οι ελάχιστοι χρόνοι στην πολλαπλή διάδοση προέρχονται από διάδοση κατά μήκος του μέγιστου κύκλου που περνά από τους δύο τερματικούς σταθμούς της ζεύξης Pretoria-Athens, ότι το ύψος του ιονοσφαιρικού διαύλου είναι περίπου 600 km και η γωνία ανύψωσης των σημάτων 10° , εύκολα αποδεικνύεται για απλή ιονοσφαιρική γεωμετρία ότι κατά προσέγγιση ο ιονοσφαιρικός στόχος φαίνεται από την Αθήνα με μέγιστη γωνία ή αντίστοιχα το ενεργό πλάτος του ιονοσφαιρικού διαύλου είναι για κάθε συχνότητα (σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 4.15):

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.16: ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΗ ΓΩΝΙΑ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟ ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΥΛΟΥ ΓΙΑ
ΒΡΑΔΥΝΗ ΤΕΡ ΣΤΗ ΖΕΥΞΗ PRETORIA-ATHENS

Συχνότητα (MHz)	Μέγιστη Γωνία Ιονοσφαιρικού Στόχου ($^{\circ}$)	Μέγιστο Ενεργό Πλάτος Διαύλου (km)
28	85	3600
50	45	1600
144	35	1300

Παρατήρηση: Ο παραπάνω πίνακας ισχύει με την προϋπόθεση ότι δεν δημιουργείται κατά μήκος του ιονοσφαιρικού διαύλου σημαντική διασπορά στο χρόνο διάδοσης και ότι η πολλαπλή διάδοση οφείλεται βασικά στη γεωμετρία του διαύλου. Τονίζεται ότι ο πίνακας αναφέρεται σε μέγιστες τιμές των παραμέτρων σε όλη τη διάρκεια του 1980.

Οι τιμές του Πιν. 4.16 εξηγούν γενικά τα φαινόμενα αποπροσανατολισμού των κεραιών, όταν εμφανίζεται βραδυνή TEP, που παρατηρήθηκαν τόσο στη διάρκεια του 21ου ηλιακού κύκλου όσο και στο παρελθόν από άλλους ερευνητές^{25,26}.

Διημερινές ζεύξεις μικρότερου μήκους πρέπει σε αντιστοιχία να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές τόσο στη γωνία όσο και στο πλάτος του ιονοσφαιρικού διαύλου (π.χ. ζεύξη Harare-Limassol), ενώ σε ζεύξεις μεγαλύτερου μήκους (π.χ. Luderitz-Faenza) τα μεγέθη μειώνονται σημαντικά.

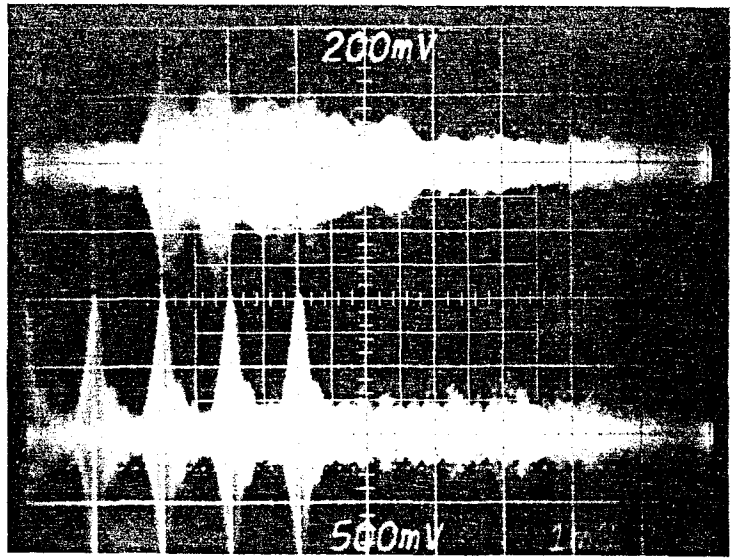
β) Εκτός από τη "συνεχή" μορφή πολλαπλής διάδοσης που προαναφέρθηκε, παρουσιάστηκε στη ζεύξη Pretoria-Athens, με έμφαση στις χαμηλότερες συχνότητες και κύρια στους 28 MHz, μια "ασυνεχής" μορφή που φαίνεται στο Σχ. 4.28.

Σε τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζεται ένας δεύτερος ή και τρίτος χωριστός ιονοσφαιρικός δίαυλος που δημιουργεί πολλαπλή διάδοση σε μεγαλύτερες τιμές T_D από τη "συνεχή" μορφή.

Πιο συγκεκριμένα στο Σχ. 4.28Α φαίνεται η τυπική "συνεχής" μορφή της πολλαπλής διάδοσης με βραδυνή TEP που έχει χρονική έκταση 3,6 ms (μεταξύ 24,4 και 28,0 ms). Στο Σχ. 4.28B παρουσιάζεται η "ασυνεχής" μορφή όπου εκτός από τον ιονοσφαιρικό δίαυλο που διαδίδει σήματα με καθυστέρηση 24,4 ms υπάρχει και ένας δεύτερος με καθυστέρηση 6 ms. Η λήψη έγινε την περίοδο μεταξύ απογευματινής και βραδυνης TEP και σύμφωνα με τις τιμές των χρόνων διάδοσης, ο απαραμόρφωτος παλμός στα 24,4 ms πρέπει να αντιστοιχεί σε διάδοση $2F_2$ (σε ιονοσφαιρικό ύψος περίπου 280 km ενώ ο δεύτερος παραμορφωμένος από την πολλαπλή διάδοση παλμός πρέπει να αντιστοιχεί σε διάδοση από την κινούμενη ιονοσφαιρική διαταραχή της βραδυνης TEP, που βρίσκεται ακόμη ανατολικότερα του άξονα της ζεύξης Pretoria-Athens, σε απόσταση περίπου 2300 km (κατά μήκος του ισημερινού). Για να καλύψει την απόσταση αυτή, η κινούμενη διαταραχή χρειάζεται περίπου 1 h και 15 min (αφού διαδίδεται με την ταχύτητα περιστροφής της γης), δηλαδή θα ήταν στον άξονα της ζεύξης Pretoria-Athens γύρω στις 2015 T.Ω. Πράγματι, μεταξύ 2005 και 2035 T.Ω. παρατηρήθηκε την ίδια βραδυά

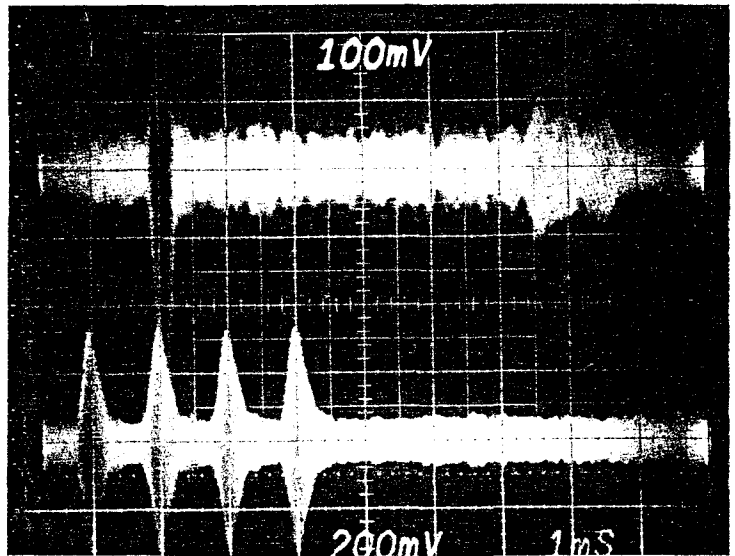
A: "Συνεχής" πολλαπλή διάδοση

HMEP.: 28/10/1980
T.O. : 2000
F : 28 MHz
Pw : 0,5 ms
T_D : 24,4-28,0 ms



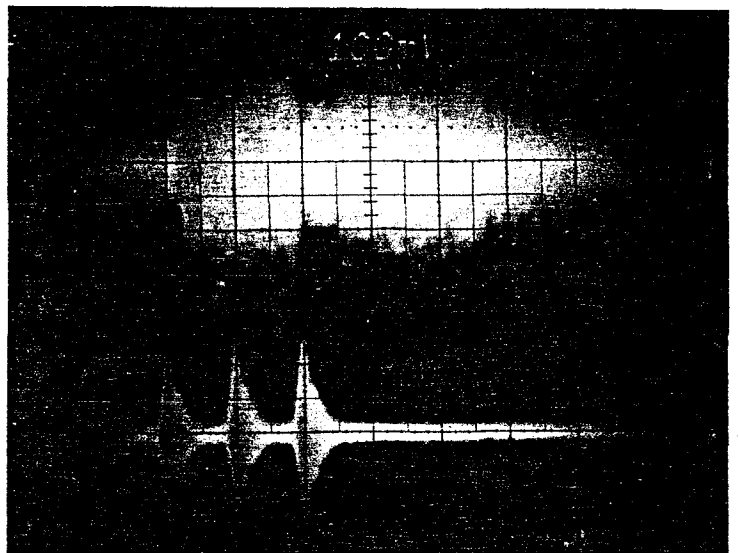
B: "Ασυνεχής" πολλαπλή διάδοση

HMEP.: 3/3/1980
T.O. : 1903
F : 28 MHz
Pw : 0,25 ms
T_D : 24,4 και 30,0-30,9 ms



Γ: "Ασυνεχής" πολλαπλή διάδοση

HMEP.: 27/3/1980
T.O. : 2110
F : 50 MHz
Pw : 1,7 ms
T_D : 24,7 και 26,8-27,5 ms



Σχ. 4.28: Περιπτώσεις "ασυνεχούς" πολλαπλής διάδοσης στη ζεύξη Pretoria-Athens (B και Γ) σε αντιδιαστολή με τη "συνεχή" μορφή (A).

Οι φωτογραφίες παρουσιάζουν επικάλυψη πολλών διαδοχικών παλμών σε χρονική διάρκεια περίπου 2 sec (κάθε παλμός ανά 80 ms).

διάδοση βραδυνού τύπου σε συχνότητα 144 MHz στη ζεύξη Harare-Athens (με χρονικό μέσο τις 2020 T.Ω.).

Τέλος, στο Σχ. 4.28.Γ φαίνεται "ασυνεχής" πολλαπλή διάδοση στους 50 MHz από δύο διαύλους που απέχουν μεταξύ τους 2,5 ms. Σύμφωνα με την ώρα που έγινε η παρατήρηση (2110 TΩ) ο δεύτερος δίαυλος πρέπει να βρίσκεται δυτικότερα από τον κύριο σε απόσταση περίπου 1400 km.

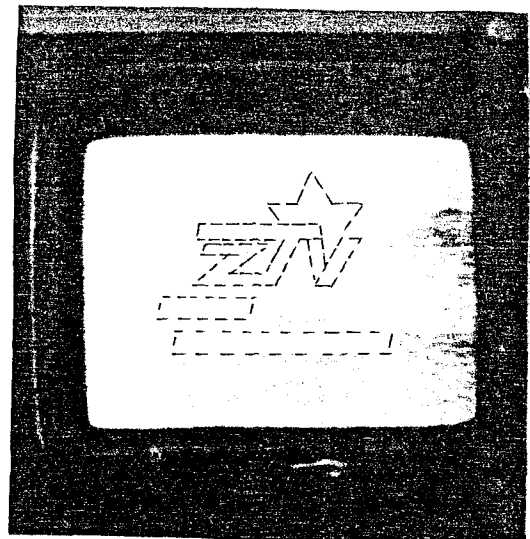
γ) Βασική συνέπεια της ισχυρής πολλαπλής διάδοσης στη διάρκεια της βραδυνης TEP είναι η παραμόρφωση του σήματος της πληροφορίας σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων που διαδίδονται. Από εκτεταμένες δοκιμές διαπιστώθηκε ότι μόνο σήματα πολύ στενής ζώνης συχνοτήτων είναι καταληπτά. Τέτοια σήματα είναι αργής τηλεγραφίας με αδιαμόρφωτο φέρον (τύπος εκπομπής 1ΦΦΗΑ1Α. Αντίθετα είναι αδύνατη η μετάδοση τηλεφωνίας οποιουδήποτε τύπου, έστω και SSB (τύπος 2Κ4ΩJ3Ε). Φυσικά είναι τελείως αδύνατη η μετάδοση σημάτων τηλεόρασης, που έχουν πλάτος μετάδοσης 5 MHz, σε αντιδιαστολή με την απογευματινή TEP όπου και η μετάδοση τηλεφωνίας είναι δυνατή και μέχρι κάποιο βαθμό και η μετάδοση εικόνας τηλεόρασης. Στο Σχ. 4.29 παρουσιάζεται η λήψη στην Αθήνα εικόνας τηλεόρασης από το σταθμό Gwelo της Zimbabwe με φέρον στους 48,25 MHz, τόσο στη διάρκεια απογευματινής όσο και βραδυνης TEP (απόσταση 6400 km).

δ) Με αναφορά τα στοιχεία του Πιν. 4.14 για τη βραδυνη TEP, ο χρόνος διάδοσης παλμών στον άξονα της ζεύξης Pretoria-Athens αυξάνει με τη συχνότητα λειτουργίας και μεταβάλλεται γραμμικά σε ημιλογαριθμικούς άξονες. Στο Σχ. 4.30 φαίνεται η μεταβολή αυτή. Δυστυχώς η έλλειψη μετρήσεων στη συχνότητα των 432 MHz, όπου δεν παρατηρήθηκε ποτέ διάδοση, περιόρισε τον ακριβέστερο προσδιορισμό της μεταβολής του χρόνου διάδοσης σαν συνάρτηση της συχνότητας.

Αντίστοιχα για την απογευματινή TEP παρατηρείται και πάλι η ίδια σχεδόν αύξηση του χρόνου για μεταβολή της συχνότητας από 28 σε 50 MHz (0,5 ms), ενώ η διαφορά από τη βραδυνη



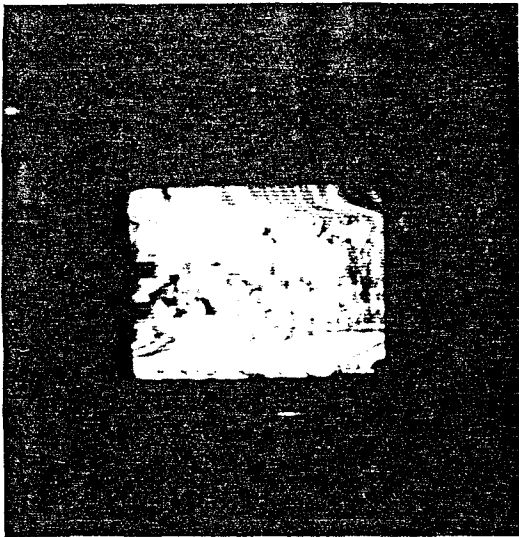
A



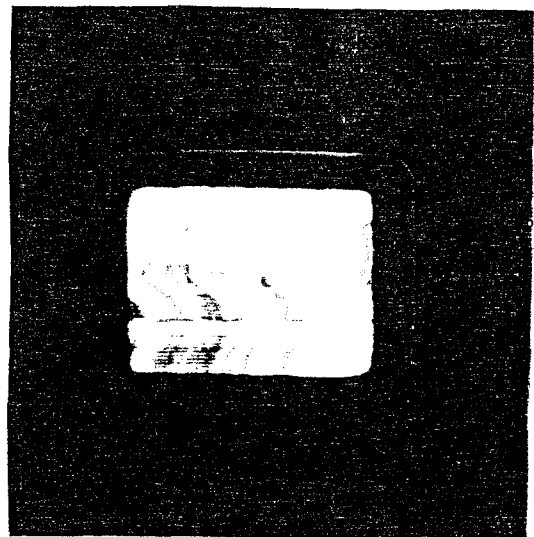
B

A: Διάδοση με απογευματινή TEP. Σηματοθορυβική σχέση χαμηλή (≈ 20 db). Καταληπτή εικόνα (και ήχος).

B: Διάδοση με απογευματινή TEP. Διακρίνεται αμυδρά το διακριτικό σήμα "ZTV" (Zimbabwe-Television) του σταθμού.



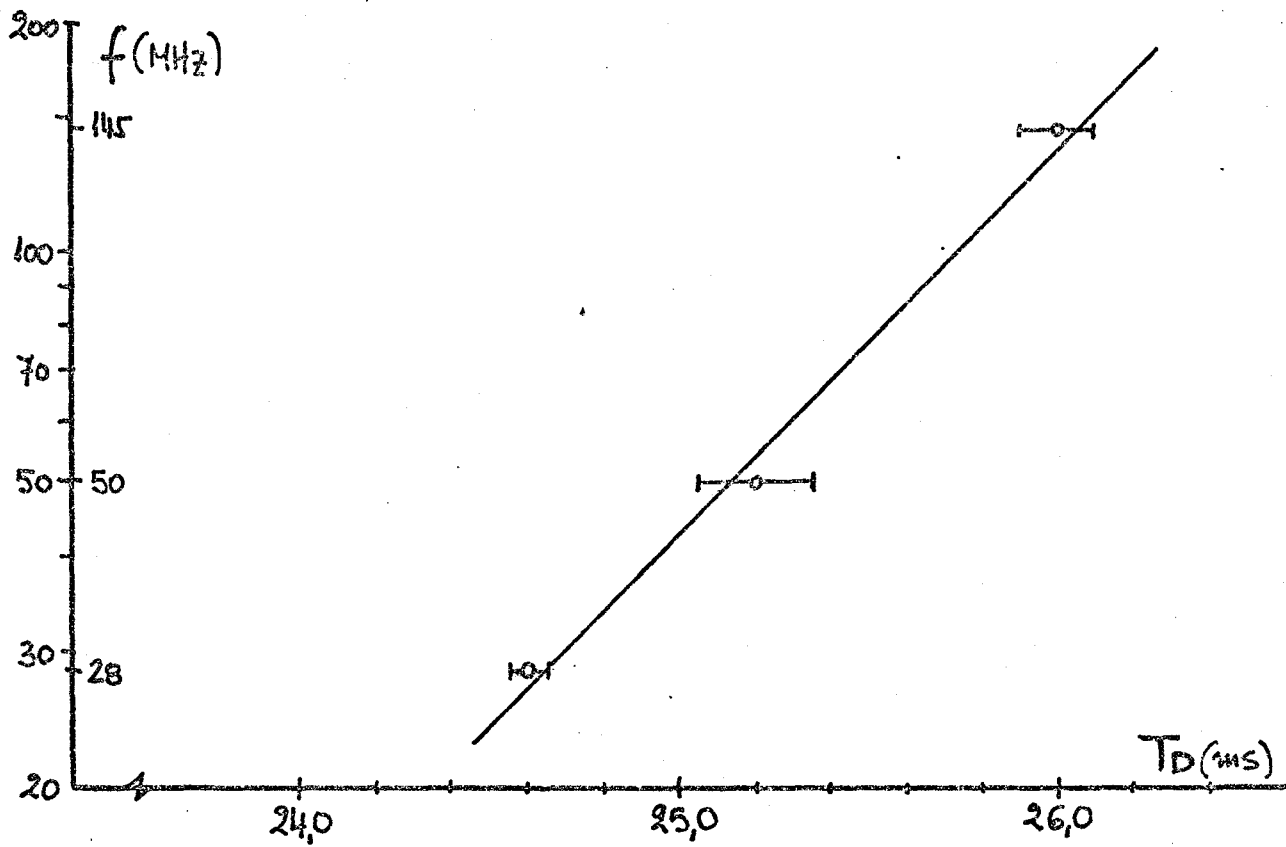
Γ



Δ

Γ,Δ: Διάδοση με βραδυνή TEP. Τελείως ακατάληπτη εικόνα (και ήχος) παρά την καλή σηματοθορυβική σχέση (≈ 40 db). Η παραμόρφωση της εικόνα οφείλεται κύρια στην πολλαπλή διάδοση.

Σχ. 4.29: Μετάδοση εικόνας τηλεόρασης στους 48,25 MHz από το Gwelo (Zimbabwe) στην Αθήνα με απογευματινή και βραδυνή TEP (10/1980).



Σχ. 4.30: Μεταβολή της μέσης τιμής του ελάχιστου χρόνου διάδοσης παλμών με βραδυνή TEP σε συνάρτηση με τη συχνότητα της ζεύξης Pretoria-Athens (1980).

TEP είναι μόλις 0,1 ως 0,2 ms (στο μέσο χρόνο διάδοσης).

Επίσης οι διαφορές του χρόνου διάδοσης στους 28 MHz μεταξύ $2F_2$, $2F$ και βραδυνής TEP είναι μόλις 0,1 ms, παρόλο που υπάρχει σημαντική διαφορά στην ώρα των παρατηρήσεων.

Τέλος είναι αξιοσημείωτο το μικρό πεδίο μεταβολής του χρόνου στους 28 MHz για την απογευματινή TEP (0,2 ms) σε αντίθεση με τη βραδυνή που η πολλαπλή διάδοση προκαλεί σημαντική διασπορά των τιμών (2,8 ms). Η διάδοση $2F_2$ παρουσιάζει επίσης μικρό πεδίο μεταβολής (0,4 ms).

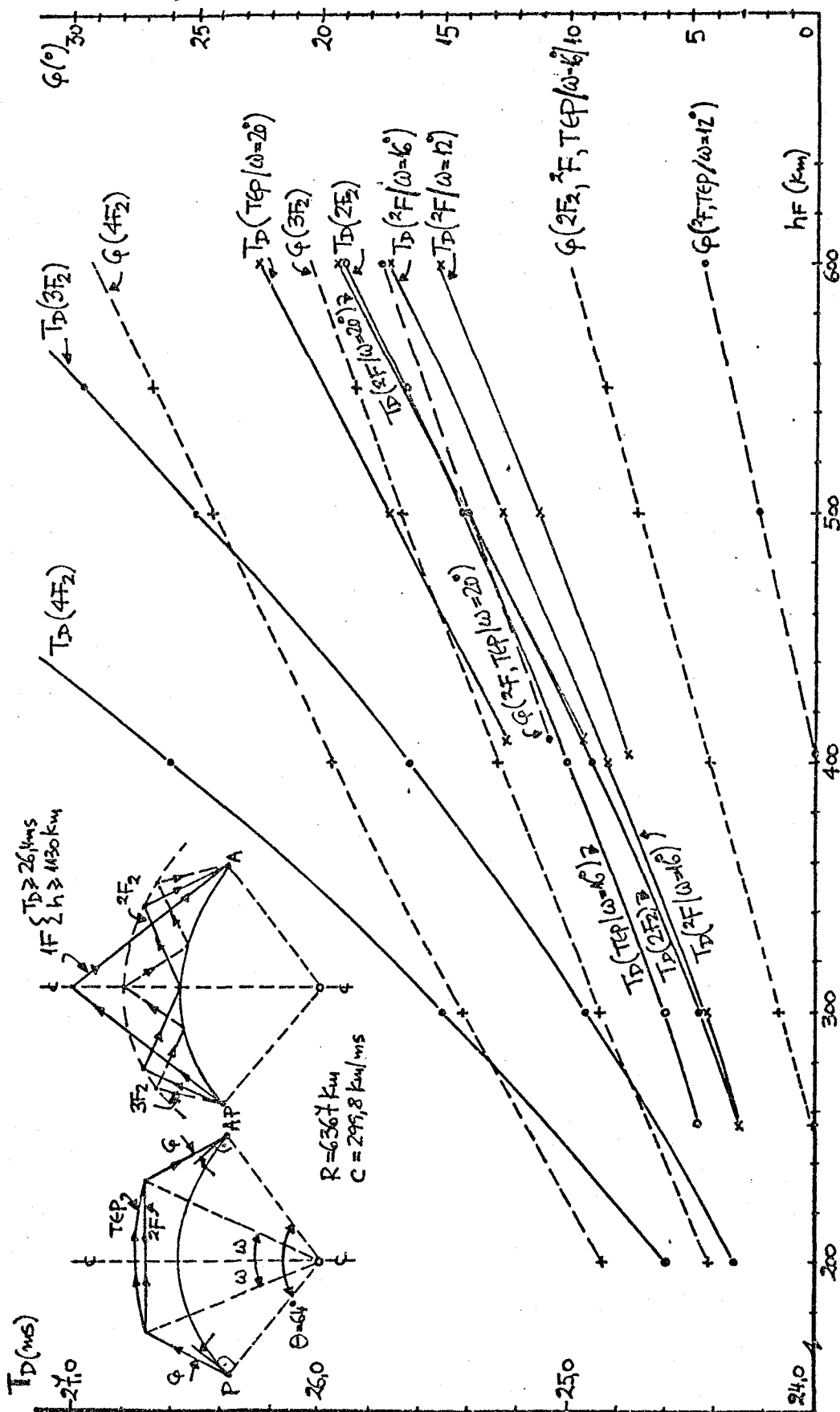
Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι πολύ δύσκολος ο διαχωρισμός της απογευματινής TEP από τη διάδοση $2F_2$ και για το λόγο αυτό οι τιμές του Πίνακα 4.14 λήφθηκαν νωρίς το πρωί για τη διάδοση $2F_2$, όταν δηλαδή δεν υπάρχει στατιστικά διαμορφωμένη η ισημερινή ανωμαλία. Αντίστοιχα για την απογευματινή TEP οι παρατηρήσεις έγιναν γύρω από την ώρα της μέγιστης στάθμης των σημάτων, με ταυτόχρονη παρουσία διάδοσης στους 28 και 50 MHz, ώστε να είναι βέβαιος ο τρόπος μετάδοσης.

Για τη βραδυνή TEP δεν υπήρχε πρόβλημα στον προσδιορισμό της τόσο από την ισχυρή πολλαπλή διάδοση των σημάτων όσο και τις ισχυρές παραμορφώσεις (διαλήψεις, διασπορά συχνότητας κλπ.) που τη χαρακτηρίζουν.

4.8.4 Σύγκριση μετρήσεων με πρότυπα διάδοσης

Προκειμένου να συσχετιστούν οι τιμές του πίνακα 4.14 με απλά πρότυπα διάδοσης (που βασίζονται στη γεωμετρική οπτική υπολογίστηκε για κάθε τρόπο διάδοσης και για διαφορές γεωμετρικές παραμέτρους (ύψος και θέση μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας) ο χρόνος διάδοσης κατά μήκος του άξονα της ζεύξης Pretoria-Athens.

Στο Σχ. 4.31 παρουσιάζεται συνολικά, για τους διάφορους τρόπους διάδοσης του παραπάνω πίνακα, τόσο ο χρόνος διάδοσης παλμών, όσο και η γωνία ανύψωσης των σημάτων. Επίσης φαίνεται



Σχ. 4.31: Μεταβολή του χρόνου διάδοσης παλμών (T_D) και της γωνίας αναχώρησης (ϕ) σαν συνάρτηση του ιονοσφαιρικού ύψους (hF) στη ζεύξη Pretoria-Athens για διάφορους τρόπους διάδοσης.

(σε σκαρίφημα) η γεωμετρία που εφαρμόστηκε σε κάθε τρόπο διάδοσης. Οι βασικές παρατηρήσεις από το σχήμα αυτό είναι οι ακόλουθες:

α) Για διάδοση $1F_2$ (ή σκέδαση από ένα ιονοσφαιρικό όγκο πάνω από τον ισημερινό) ο ελάχιστος χρόνος διάδοσης είναι 26,4 ms, το αντίστοιχο ύψος 1130 km και φυσικά οι γωνίες ανύψωσης των σημάτων μηδενικές. Όπως διαπιστώνεται όμως από τις τιμές του πίνακα 4.14 για τη βραδυνή TEP, που μόνο αυτή παρουσιάζει χρόνους ίσους ή μεγαλύτερους από 26,4 ms, έχουμε περιπτώσεις διάδοσης σε όλες τις συχνότητες της ζεύξης Pretoria-Athens με χρόνους μικρότερους από την πιά πάνω ελάχιστη τιμή. Για το λόγο αυτό η υπόθεση ότι στη βραδυνή TEP τα σήματα σκεδάζονται από ένα ιονοσφαιρικό "όγκο" ή "ράβδο" πρέπει μάλλον να αποκλειστεί^{12,15}.

β) Για διάδοση $2F_2$ (δηλαδή διάδοση με την κανονική διπλή αναπήδηση των σημάτων) ο ελάχιστος χρόνος διάδοσης υπολογίζεται σε 24,3 ms (για αντίστοιχο ύψος 255 km) και είναι ίσος με τον ελάχιστο χρόνο του πίνακα 4.14. Σύμφωνα με το πεδίο μεταβολής του χρόνου διάδοσης από τον ίδιο πίνακα (24,3 ως 24,7 ms με μέση τιμή 24,4 ms), το ιονοσφαιρικό ύψος hF_2 κυμαίνεται (μεταξύ 0700 και 0800 TΩ) από 255 ως 355 km και η γωνία ανύψωσης από 0° ως 3° αντίστοιχα, με μέση τιμή 285 km και γωνία σχεδόν 1° . Φυσικά αργότερα στη διάρκεια της μέρας το μέσο ύψος γενικά αυξάνεται καθώς παράλληλα και η γωνία ανύψωσης.

γ) Για διάδοση $3F_2$ οι τιμές του πίνακα 4.14 αντιστοιχούν στο Σχ. 4.31 σε μεταβολή του ύψους hF_2 μεταξύ 250 ως 310 km και γωνία ανύψωσης από 6° ως 9° . Η μέση τιμή για το ύψος της ιονόσφαιρας (μεταξύ 0700 και 0800 TΩ) είναι 265 km και η γωνία 7° . Από τα παραπάνω συνάγεται ότι όταν η ιονόσφαιρα χαμηλώσει κάτω από τα 255 km (που είναι το ελάχιστο ύψος για διάδοση $2F_2$) είναι δυνατή η διάδοση $3F_2$ με γωνία ανύψωσης περίπου 6° .

δ) Για διάδοση $4F_2$ υπολογίζεται με βάση τις τιμές του πίνακα 4.14 μεταβολή του ύψους μεταξύ 225 ως 290 km και της γωνίας μεταξύ 10° ως 14° . Η μέση τιμή του ύψους είναι 245 km και της γωνίας 11° . Και στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να υπάρχει μόνο διάδοση $4F_2$ (συνήθως λίγο μετά την ανατολή και μετά τη δύση του ήλιου) όταν το ιονοσφαιρικό ύψος είναι κάτω από τα 250 km.

ε) Για τη διάδοση 2F (ή απογευματινή TEP) παρουσιάζονται στο Σχ. 4.31 τρεις περιπτώσεις, όπου οι περιοχές των μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας απέχουν 12° , 16° και 20° από τον ισημερινό. Με τον τρόπο αυτό της διάδοσης τα σήματα διαθλώ- από τη νότια περιοχή της ισημερινής ανωμαλίας, διαδίδονται ευθύγραμμα μέχρι τη βόρεια όπου διαθλώνται ξανά προς την κατεύθυνση του σταθμού λήψης. Και για τις τρεις περιπτώσεις ο χρόνος διάδοσης είναι μικρότερος ή σχεδόν ίδιος με τη 2F .

Στην περίπτωση που οι περιοχές της ισημερινής ανωμαλίας απέχουν από τον ισημερινό γωνία $\omega=16^\circ$, υπολογίζεται ότι ο ελάχιστος χρόνος διάδοσης είναι ίσος με το χρόνο για διάδοση $2F_2$ (24,3 ms) και το αντίστοιχο ιονοσφαιρικό ύψος 255 km. Αυτό συμβαίνει γιατί η επίκεντρη γωνία μεταξύ Pretoria-Athens είναι $\theta \approx 64^\circ$, δηλαδή τετραπλάσια από την ω . Αντίστοιχα για $\omega=12^\circ$ ο ελάχιστος χρόνος είναι 24,8 ms (και το ύψος 405 km), ενώ για $\omega=20^\circ$ ο χρόνος είναι 24,9 ms (και το ελάχιστο ύψος 410 km). Για τιμές του ω μεγαλύτερες από 24° ή μικρότερες από 8° το ελάχιστο ύψος πρέπει να ξεπερνά τα 600 km και ο χρόνος τα 26,2 ή 25,3 ms αντίστοιχα.

Συγκρίνοντας τις τιμές του πίνακα 4.13 με το Σχ. 4.31 φαίνεται ότι στους 28 MHz η απογευματινή TEP μεταξύ 1730 και 1830 TΩ υποστηρίζεται από διάθλαση σε περιοχές που απέχουν γωνία $\omega \approx 16^\circ$ από τον ισημερινό και βρίσκονται σε μέσο ύψος 320 km περίπου. Στους 50 MHz φαίνεται ότι η διάθλαση γίνεται σε μεγαλύτερο ύψος και σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα σε μέσο ύψος 440 km.

Αντίστοιχα η γωνία ανύψωσης των σημάτων είναι μόλις 2° για τους 28 MHz αλλά αυξάνεται στις 6° περίπου στους 50 MHz.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω εκτιμήσεις βασίζονται στη σύμπτωση γεωγραφικού και μαγνητικού ισημερινού, δηλαδή ότι η γωνία ω είναι ίδια βόρεια και νότια από τον ισημερινό. Όπως έχει όμως αναλυθεί στο δεύτερο κεφάλαιο για τον Ευρωπαϊκό τομέα, υπάρχει μια διάσταση μεταξύ των δύο ισημερινών που φθάνει τις 10° (ο μαγνητικός είναι βορειότερα του γεωγραφικού). Σύμφωνα με παρατηρήσεις στο μέγιστο του 19ου ηλιακού κύκλου, η ισημερινή ανωμαλία αναπτύσσεται γύρω από τις 24° βόρειο πλάτος και 3° νότιο. Το βόρειο μέγιστο είναι στατιστικά σε χαμηλότερο ύψος (400 km) από το νότιο που είναι γύρω στα 550 km (για την περίοδο 1739-1830 TΩ)²⁰.

ζ) Για την βραδυνή TEP παρουσιάζονται στο Σχ. 4.31 αντίστοιχα με την απογευματινή τρεις περιπτώσεις που η γωνία ω είναι 12° , 16° και 20° . Στην περίπτωση αυτή τα σήματα από τον πομπό εισέρχονται στον ιονοσφαιρικό δίαυλο σε γωνία ω νότια από τον ισημερινό και ακολουθώντας το δίαυλο αυτό, που βρίσκεται σε σταθερό ύψος, εξέρχονται απ' αυτόν σε γωνία ω βόρεια από τον ισημερινό για να διαδοθούν μέχρι το δέκτη.

Μπορεί να υπολογιστεί εύκολα ότι η διαφορά στο χρόνο διάδοσης μεταξύ της βραδυνής και της απογευματινής TEP εξαρτάται ουσιαστικά μόνο από τη γωνία ω . Για $\omega=20^\circ$ η διαφορά από 0,3 ms μειώνεται για $\omega=16^\circ$ στα 0,2 ms και για $\omega=12^\circ$ στα 0,1 ms περίπου. Από τον πίνακα 4.13 η διαφορά στη μέση τιμή του χρόνου διάδοσης είναι ανάμεσα στη βραδυνή και απογευματινή TEP 0,2 ms για τους 50 MHz, που αντιστοιχεί σε γωνία $\omega \approx 16^\circ$.

Επιπλέον οι μέσες τιμές για τις τρεις συχνότητες της ζεύξης δείχνουν μια αύξηση του ύψους που βρίσκεται ο ιονοσφαιρικός δίαυλος που υποστηρίζει καθεμιά. Έτσι για τους

28 MHz το μέσο ύψος είναι περίπου 300 km, αυξάνει στα 450 km για τους 50 MHz και στα 620 km για τους 144 MHz. Η απλουστευμένη αυτή θεώρηση προϋποθέτει ότι δεν υπάρχει μέσα στο δίαυλο καθυστέρηση ομάδας (group delay), που εξαρτάται μάλιστα από τη συχνότητα του σήματος, όπως εξετάζεται συνοπτικά στο εδάφιο 5.4 .

Αντίστοιχα η γωνία ανύψωσης των σημάτων από μόλις 2° για τους 28 MHz αυξάνει στις 6° περίπου για τους 50 MHz και στις 11° για τους 144 MHz. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τις παρατηρήσεις η γωνία ανύψωσης των σημάτων στους 144 MHz είναι μεγαλύτερη από 9° (εδάφιο 4.6).

4.9 ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ ΤΕΡ

4.9.1 Διαλήψεις στην ένταση των σημάτων (flutter fading)

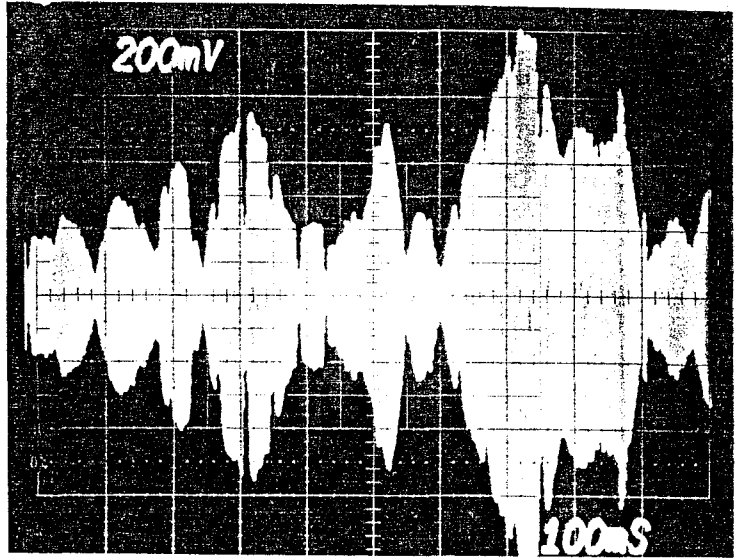
Οι διαλήψεις που παρουσιάζονται στα σήματα που διαδίδονται με βραδυνή ΤΕΡ είναι πολύ ισχυρές και γρήγορες, σε σημείο που να υπάρχει η εντύπωση ότι το σήμα είναι κομματιασμένο (chopped)²⁶. Με την αύξηση της συχνότητας της ζεύξης οι διαλήψεις γίνονται πιο γρήγορες και η καταστροφή της πληροφορίας που μεταφέρει το σήμα πιο εκτεταμένη, ιδιαίτερα στην αρχή της διάδοσης. Με την πάροδο της ώρας όμως οι διαλήψεις μειώνονται, παράλληλα με τη διασπορά της συχνότητας και την πολλαπλή διάδοση. Επιπλέον η χρήση κατευθυντικών κεραιών (που να "βλέπουν" ένα τμήμα του ιονοσφαιρικού διαύλου) δεν βελτιώνει την ποιότητα της επικοινωνίας²⁶.

Σε αντίθεση με τη βραδυνή ΤΕΡ η διάδοση με τον απογευματινό τύπο δεν παρουσιάζει τέτοιου είδους διαλήψεις αλλά περιορίζεται σε ασθενικές και κύρια αργές αυξομειώσεις στην ένταση των σημάτων.

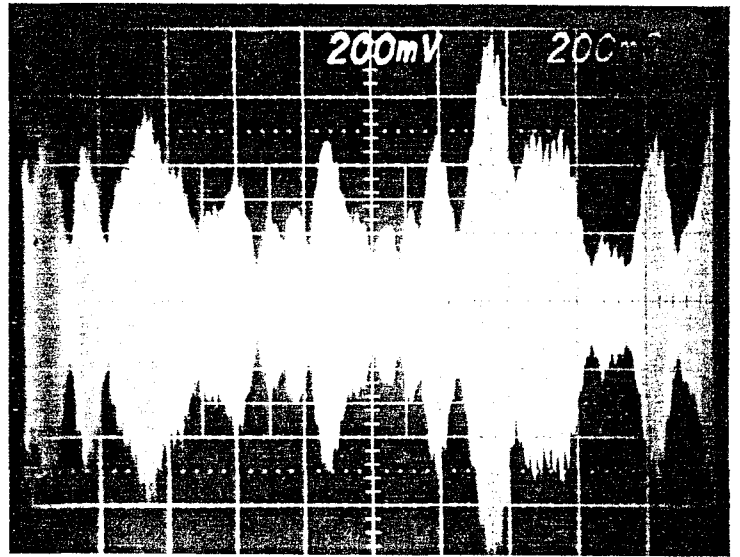
Στο Σχ. 4.32 παρουσιάζονται οι διαλήψεις στη διάρκεια της βραδυνης ΤΕΡ στους 28 και 50 MHz. Τονίζεται ότι για τη φωτογραφική αποτύπωση των διαλήψεων ο ραδιοφάρος από την Pretoria εξέπεμπε φέρον με σταθερό πλάτος, δηλαδή χωρίς την παρουσία των διαλήψεων οι φωτογραφίες έπρεπε να δείχνουν μια ταινία με απόλυτα σταθερό πλάτος. Αντίθετα όμως, στο Σχ. 4.32.A φαίνεται ότι στους 28 MHz για μια περίοδο παρατηρήσεων μόλις 1 sec το σήμα μηδενίστηκε τουλάχιστον 6 φορές και παρουσίασε επίσης μία έξαρση 6 db πάνω από τη μέση στάθμη. Αντίστοιχα στους 50 MHz (Σχ. 4.32.B) για μια περίοδο 2 sec το σήμα μηδενίστηκε τουλάχιστον τρεις φορές και παρουσίασε επίσης μία έξαρση 6 db.

Τέλος στο Σχ. 4.32.Γ παρουσιάζονται ταυτόχρονα οι διαλήψεις στους 28 και 50 MHz. Είναι προφανές ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ των δύο διαύλων διάδοσης που εμφανίζουν

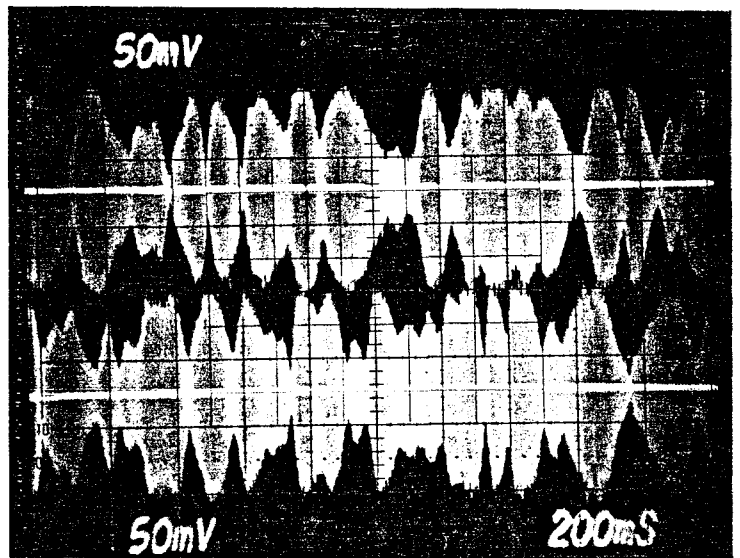
A: Διαλήψεις φέροντος
στους 28 MHz.



B: Διαλήψεις φέροντος
στους 50 MHz.



Γ: Ταυτόχρονη απεικόνιση
διαλήψεων φέροντος στους
28 MHz (επάνω) και στους
50 MHz (κάτω).



Σχ. 4.32: Διαλήψεις (flutter fading) στη διάρκεια βραδυνης ΤΕΡ. Στη διάρκεια της δοκιμής εκπομπόταν σταθερή στάθμη φέροντος από την Pretoria. (21/10/1980, 2100-2130 ΤΩ).

(τη συγκεκριμένη περίοδο παρατηρήσεων) παραπλήσιες διαλήψεις.

Αν ληφθεί υπόψη ότι στη μετάδοση κοινής τηλεγραφίας MORSE 25 λέξεων το λεπτό οι τελείες έχουν διάρκεια 50 ms και οι παύλες 150 ms μια απλή παρατήρηση του Σχ. 4.32.Α δείχνει ότι π.χ. μια παύλα μπορεί εύκολα να μετατραπεί από τις διαλήψεις σε δύο τελείες με αποτέλεσμα την καταστροφή της πληροφορίας. Σε ψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης τηλεγραφίας το πρόβλημα επιτείνεται, ενώ μόνο η πολύ αργή μετάδοση μπορεί να αντιμετωπίσει τις διαλήψεις. Σχετικές δοκιμές που έγιναν για το σκοπό αυτό έδειξαν ότι η μετάδοση είναι ικανοποιητική για ταχύτητες χαμηλότερες από 6-8 λέξεις το λεπτό.

4.9.2 Διαφορές ανάμεσα στους τρεις δισημερινούς τομείς της γης

Όπως αναφέρεται στο πρώτο κεφάλαιο, η δισημερινή διάδοση μελετήθηκε λόγω της γεωγραφίας της γης σε τρεις τομείς τον Ευρωπαϊκό, τον Αμερικανικό, και τον Ασιατικό-Αυστραλιανό. Τα χρόνια γύρω από το μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου έγιναν πολλές παρατηρήσεις στη διάρκεια της βραδυνης TEP και στους τρεις αυτούς τομείς, με ιδιαίτερη έμφαση τις ζεύξεις πάνω από 100 MHz που υποστηρίζονται αποκλειστικά από τον ιδιαίτερο αυτό τρόπο διάδοσης^{12,45,61,64}. Οι παρατηρήσεις αυτές κατέδειξαν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους τρεις δισημερινούς τομείς που συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4.17: ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ ΤΕΡ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΔΙΙΣΗΜΕ-
ΡΙΝΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ
100 ΜΗz

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΕΥΡΩΑΦΡΙΚΑΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΑΣΙΑΤΙΚΟΣ- ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
"Καθαρότητα" σημάτων	φτωχή	πολύ καλή	καλή
Μετάδοση πληροφορίας			
με τηλεγραφία	μέτρια	άριστη	άριστη
με τηλεφωνία	αδύνατη	καλή	καλή
Ένταση σημάτων	χαμηλή ως μέτρια	μεγάλη	με, άλη
Μέγλιση συχνότητα διάδοσης (MHz)	432	432	144
Μήκος ραδιοζεύξεων			
ελάχιστο	5800	5100	4800
μέγλιση	7900	6300	5500
Τοπική ώρα (ΤΩ)			
του μέγλιση στη διάδοση	2000	2000	2100

Η ουσιαστικότερη ιδιομορφία του Ευρωπαϊκικού τομέα βρίσκεται στην ισχυρή παραμόρφωση που παρουσιάζεται στη διάρκεια της βραδυνης ΤΕΡ σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων που διαδίδονται. Αντίθετα, στους δύο άλλους διησημερινούς τομείς η μετάδοση τηλεφωνίας ακόμη και ευρείας ζώνης (π.χ. FM) ήταν συνηθισμένο φαινόμενο, ιδιαίτερα στον Αμερικανικό τομέα, αλλά και τα σήματα σημαντικά ισχυρότερα.

Αντίστροφα όμως στον Ευρωπαϊκικό τομέα καλύφθηκαν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις με ζεύξεις στους 144 και 432 MHz σε αντίθεση με τον Ασιατικό-Αυστραλιανό τομέα που ποτέ δεν

διαδόθηκαν σήματα στην ψηλότερη αυτή συχνότητα, όπου και το μέγιστο στη διάδοση παρουσιάζεται μια ώρα περίπου αργότερα απ'ότι στους δύο άλλους τομείς.

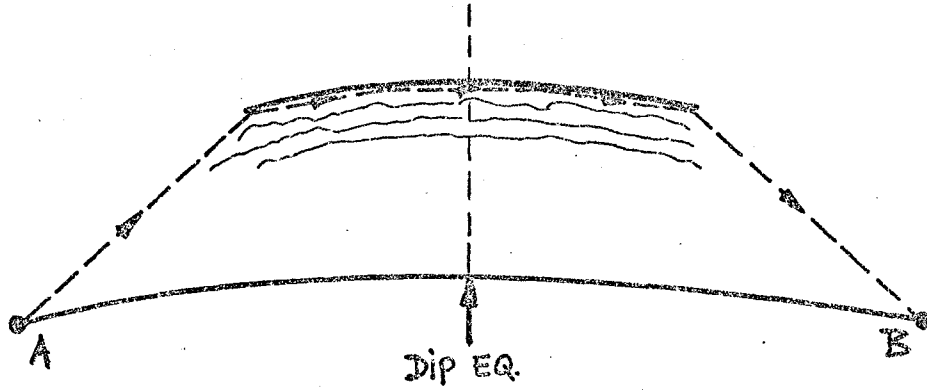
Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπήρχε καμιά ουσιαστική διαφοροποίηση στα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι παραπάνω στατιστικές παρατηρήσεις στους τρεις τομείς και έτσι δεν υπάρχει αλλοίωση των συμπερασμάτων από τις τυχόν καλύτερες τεχνικές επιδόσεις των σταθμών παρατήρησης σε κάποιο τομέα.

Έτσι οι διαφορές που παρουσιάζονται ανάμεσα στους τρεις τομείς της γης δύσκολα μπορούν να εξηγηθούν με τα στοιχεία που υπάρχουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΒΡΑΔΥΝΗΣ ΤΕΡ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

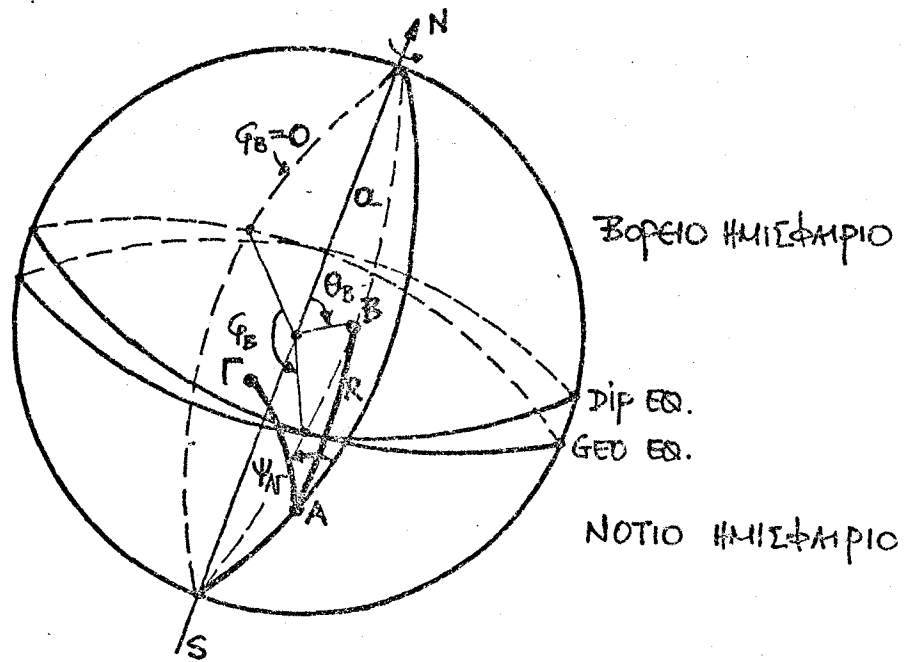
Μέχρι τώρα έχουν δημοσιευτεί διάφορες εργασίες που προσπαθούν να εξηγήσουν τον φυσικό μηχανισμό που υποστηρίζει τη βραδυνή δισημερινή διάδοση. Αρχικά προτάθηκε (1967) η διπλή διάθλαση από τις συμμετρικές περιοχές ψηλής πυκνότητας ηλεκτρονίων (crests) που βρίσκονται συμμετρικά, με μαγνητική απόκλιση περίπου $\pm 30^\circ$, στις δύο πλευρές του μαγνητικού ισημερινού⁵². Ο μηχανισμός αυτός διάδοσης αν και εξηγεί ικανοποιητικά τη δισημερινή διάδοση απογευματινού τύπου αδυνατεί να προβλέψει τα χαρακτηριστικά των δισημερινών ζεύξεων βραδυνού τύπου^{2,17}. Το 1968 από τη μελέτη της βραδυνης ΤΕΡ στη ζεύξη μεταξύ Okinawa (Ιαπωνία) και Darwin (Αυστραλία) και από μετρήσεις της γωνίας ανύψωσης των δισημερινών σημάτων και της καθυστέρησης ομάδας που παρουσίαζαν προτάθηκε, ότι η βραδυνή ΤΕΡ μπορεί να οφείλεται σε κυματοδήγηση στην ιονόσφαιρα⁵³. Σχεδόν ταυτόχρονα εξετάστηκε (1969) η κυματοδήγηση σε ιονοσφαιρικές παγίδες που είναι διατεταγμένες παράλληλα με το γήινο μαγνητικό πεδίο⁵⁴. Η θεωρία αυτή εφαρμόστηκε αργότερα (1979) από άλλους ερευνητές για την ανάλυση της διάδοσης ΤΕΡ βραδυνού τύπου¹⁷. Παράλληλα έγιναν διάφορες παρατηρήσεις στη λεπτομερή υφή της ισημερινής ιονόσφαιρας^{18,19,55}. Τέλος (1981) προτάθηκε σαν μηχανισμός διάδοσης των δισημερινών κυμάτων ο ρυθμός "ψιθυρισμού γαλαρίας" (whispering gallery)¹⁶. Ο ρυθμός αυτός βασίζεται στην κυματοδήγηση από μία κοίλη επιφάνεια διηλεκτρικής ασυνέχειας. Η ονομασία "ψιθυρισμός γαλαρίας" οφείλεται στον Rayleigh που εξέτασε το φαινόμενο για ακουστικά κύματα. Στο μοντέλο αυτό η ιονοσφαιρική παγίδα θεωρείται ότι έχει ομαλή κλίση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων μόνο στην επάνω πλευρά ενώ το κάτω όριό της είναι ανομοιομορφο και ακαθόριστο όπως φαίνεται στο Σχ. 5.1¹⁶. Η κυματοδήγηση οφείλεται στις πολλαπλές διαδοχικές ανακλάσεις από το κοίλο στρώμα της ιονοσφαιρικής ανομοιογένειας. Από πρόσφατες όμως οπισθοσκεδαστικές παρατηρήσεις της λεπτής υφής της ισημερινής ιονόσφαιρας



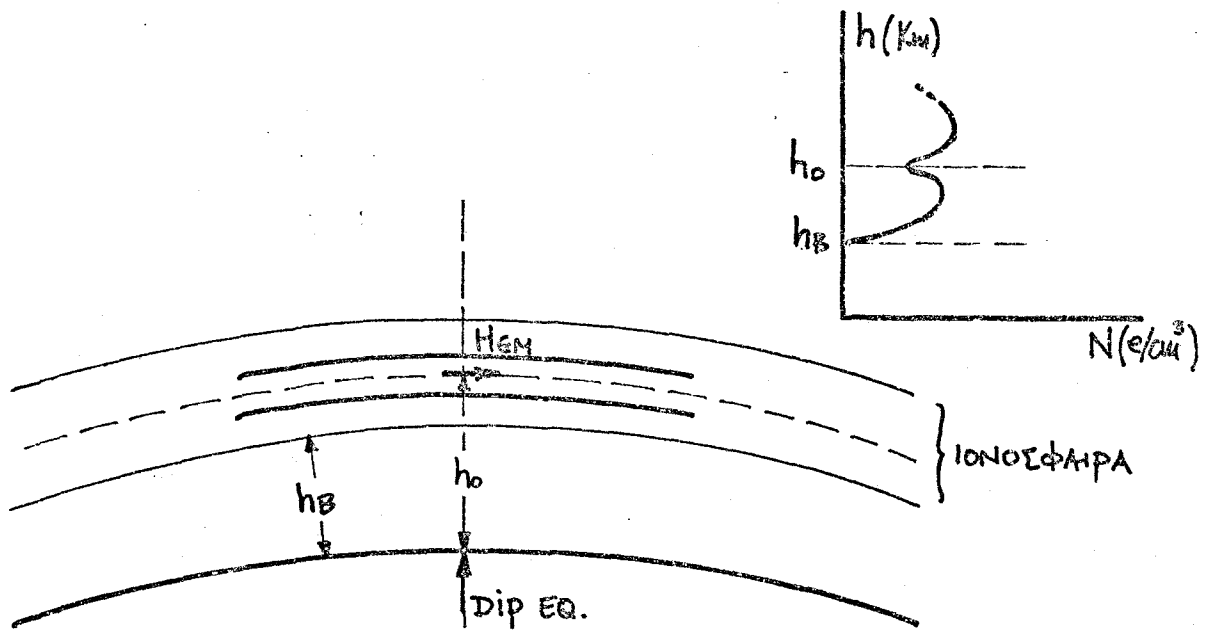
Σχ. 5.1: Γεωμετρία κυματοδήγησης με το ρυθμό "ψιθυρισμού γαλαρίας".

φαίνεται ότι τις βραδυνές ώρες μπορούν να υπάρξουν περιοχές ανομοιογενειών σε μορφή παγίδων με σαφή πάνω και κάτω όρια¹⁹.

Στο κεφάλαιο αυτό προτείνεται μία βελτιωμένη θεωρία κυματοπαγίδευσης σημάτων πολύ ψηλών συχνοτήτων (VHF) από την ισημερινή ιονόσφαιρα. Σαν ρυθμός διάδοσης θεωρείται η κυματοδήγηση από "σωλήνες" ανομοιογενειών πλάσματος (plasma bubbles) που έχουν σχήμα ατράκτου και τον άξονά τους παραλληλισμένο με το γεωμαγνητικό πεδίο.



Σχ. 5.2: Γεωμετρία δισημερινής ζεύξης



Σχ. 5.3: Γεωμετρία ιονοσφαιρικού σωλήνα (παγίδα)

5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ

Έστω δύο σημεία A και B στις δύο πλευρές του μαγνητικού ισημερινού. Υποτίθεται ότι οι σφαιρικές συντεταγμένες τους είναι θ_A, φ_A και θ_B, φ_B (αντίστοιχα για τα σημεία A και B) όπως ορίζονται στο Σχ. 5.2. Η απόσταση R μεταξύ των σημείων A και B υπολογίζεται από τη σφαιρική τριγωνομετρία ότι είναι

$$R = \alpha \Phi_{AB} \quad (1)$$

$$\text{όπου } \Phi_{AB} = \cos^{-1}(\sin\theta_A \sin\theta_B \cos(\varphi_A - \varphi_B) + \cos\theta_A \cos\theta_B) \quad (2)$$

και α είναι η ακτίνα της γης.

Αν μία ακτίνα εξέρχεται από το σημείο A για να φθάσει στο σημείο Γ, η γωνία που σχηματίζεται από τη διόπτειση του βορρά και το τόξο $\widehat{A\Gamma}$ υπολογίζεται από τη σχέση

$$\Psi_{A\Gamma} = \cos^{-1} \left(\frac{\sin\theta_A \cos\theta_\Gamma - \sin\theta_\Gamma \cos\theta_A \cos(\varphi_A - \varphi_\Gamma)}{2\sin(\frac{1}{2} \Phi_{A\Gamma})} \right) \quad (3)$$

όπου $\theta_\Gamma, \varphi_\Gamma$ είναι οι συντεταγμένες του σημείου Γ, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.2. Η γωνία $\Phi_{A\Gamma}$ υπολογίζεται από τη σχέση (2) αντικαθιστώντας αντί θ_B, φ_B τα $\theta_\Gamma, \varphi_\Gamma$.

Στην εργασία αυτή, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διισημερινή διάδοση αποδίδεται στην κυματοδηγήση των πολύ ψηλών συχνοτήτων (VHF) από ιονοσφαιρικές παγίδες. Σύμφωνα με τις πειραματικές παρατηρήσεις οι παγίδες αυτές έχουν το σχήμα ατράκτων και ο άξονάς τους είναι κάθετος στο μαγνητικό ισημερινό, δηλαδή οι άτρακτοι σχηματίζονται παράλληλα με τις γραμμές του γεωμαγνητικού πεδίου¹⁹. Επιπλέον οι περιοχές αυτές της ιονοσφαιρικής ανομοιογένειας σχηματίζονται γύρω από το μαγνητικό ισημερινό και επεκτείνονται στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο από 5° μέχρι 10° (μαγν.πλ.) τουλάχιστο. Στο Σχ. 5.3 φαίνεται η γεωμετρία μιας ιονοσφαιρικής παγίδας στο κάθετο επίπεδο. Το διάνυσμα \vec{H}_{GM} δείχνει τη φορά του γεωμαγνητικού πεδίου. Για να είναι η θεώρηση γενική υποτίθεται ότι ο σωλήνας

πλάσματος δεν έχει συμμετρική τοποθέτηση γύρω από το μαγνητικό ισημερινό. Οι σωλήνες αυτοί χαρακτηρίζονται από μείωση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων N όπως φαίνεται στο Σχ. 5.3.

Επειδή η συχνότητα ακτινοβολίας f για τα φαινόμενα που θα αναλυθούν είναι πολύ πιο ψηλή από τη συχνότητα γυρομαγνητικού συντονισμού f_H , είναι δυνατό να αγνοηθεί η επίδραση του γήινου μαγνητικού πεδίου στη διηλεκτρική σταθερά της ιονόσφαιρας. Με την προσέγγιση αυτή η ιονόσφαιρα γύρω από την περιοχή της ανομοιογένειας χαρακτηρίζεται από μία βαθμωτή διηλεκτρική σταθερά $\epsilon = n^2$, όπου n είναι ο δείκτης διάθλασης.

Είναι γνωστό ότι ο δείκτης διάθλασης n^2 της ιονόσφαιρας δίνεται από τη σχέση

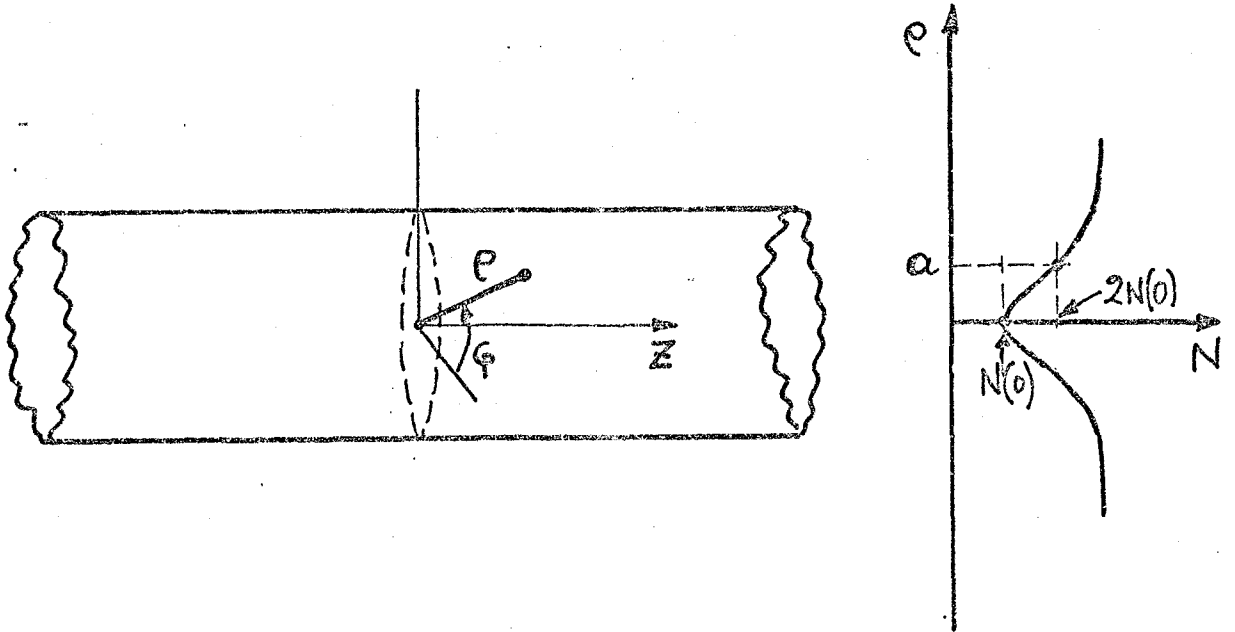
$$n^2 = 1 - \frac{81N(\text{cm}^{-3})}{f^2(\text{kHz})} \quad (4)$$

όπου f η συχνότητα ακτινοβολίας σε kHz και N είναι η πυκνότητα των ηλεκτρονίων εκφρασμένη σε μονάδες ηλεκτρονίων/cm³.

Υποτίθεται ότι ο ιονοσφαιρικός σωλήνας έχει αξονοσυμμετρική κατανομή της πυκνότητας N γύρω από τον άξονα $h=h_0$ (Σχ. 5.3).

Οι τοπικές κυκλικές-πολικές συντεταγμένες ρ, ϕ, z του ιονοσφαιρικού σωλήνα ορίζονται όπως φαίνεται στο Σχ. 5.4. Σε πρώτη προσέγγιση έστω ότι ο κυματοδηγός που δημιουργείται από τον ιονοσφαιρικό σωλήνα είναι ομοιόμορφος και ο άξονας του είναι ευθεία γραμμή. Στο Σχ. 5.4 φαίνεται η κατανομή N με την απόσταση ρ . Είναι γνωστό ότι στην περιγραφή της κατανομής πυκνότητας των ηλεκτρονίων της ιονόσφαιρας χρησιμοποιείται συνήθως η κατανομή Charman⁶⁰. Υποτίθεται και εδώ ότι ισχύει μία κατανομή τύπου Charman για την περιοχή της ανομοιογένειας. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή, ισχύει για την πυκνότητα ηλεκτρονίων στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό

$$N(\rho) = N(0) + N(0) \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 \quad (5)$$



Σχ. 5.4: Απλοποιημένη γεωμετρία ιονοσφαιρικού κυματοδηγού.

όπου $\rho = a$ είναι η απόσταση από τον άξονα του κυματοδηγού όπου η πυκνότητα $N(a) = 2N(0)$ γίνεται διπλάσια απ' αυτή του άξονα. Η κατανομή της εξ. (5) δεν ισχύει για $\rho \rightarrow +\infty$ αφού $N(\rho) \rightarrow +\infty$ αν ήταν αυτό σωστό. Για το λόγο αυτό υποτίθεται ότι η κατανομή της εξ. (5) ισχύει μόνο στην περιοχή του ιονοσφαιρικού κυματοδηγού.

Αν αντικατασταθεί η εξ. (5) στην (4) προκύπτει ο δείκτης διάθλασης

$$n^2 = 1 - \frac{81}{f^2} N(0) - \frac{81}{f^2} N(0) \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 \quad (6)$$

Ορίζοντας τις βοηθητικές παραμέτρους

$$n^2(0) = 1 - \frac{81}{f^2} N(0) \quad (7)$$

$$\Delta = \frac{1}{2} \frac{81N(o)/f^2}{n^2(o)} \quad (8)$$

ο δείκτης διάθλασης γράφεται σε απλούστερη μορφή όπως

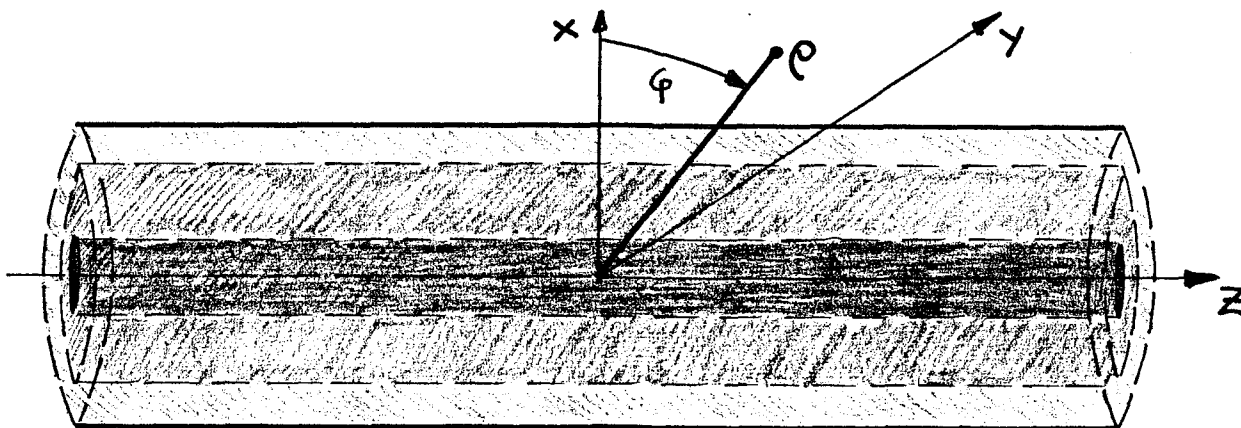
$$n^2(\rho) = n^2(o) (1 - 2\Delta(\frac{\rho}{a})^2) \quad (9)$$

Παρατηρείται ότι και η μεταβολή του δείκτη διάθλασης $n^2(\rho)$ έχει παραβολικό χαρακτήρα. Βέβαια όπως τονίσθηκε παραπάνω η κατανομή της εξ. (9) ισχύει μόνο στην περιοχή του κυματοδηγού. Επίσης η κατανομή αυτή στην πραγματικότητα μεταβάλλεται κατά μήκος του κυματοδηγού. Οι ιονοσφαιρικοί κυματοδηγοί επεκτείνονται μέχρι $\pm 10^0$ (μαγν. πλ.) τουλάχιστο¹⁹. Στα δύο άκρα κάθε κυματοδηγού η μετάβαση στην ομοιόμορφη ιονόσφαιρα υποτίθεται ότι γίνεται με βαθμιαίο τρόπο. Στοιχεία από μετρήσεις για το πως γίνεται αυτή η μετάβαση δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα.

5.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΤΟΝ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟ

Στην προηγούμενη παράγραφο καθορίστηκε ένα μοντέλο ιονοσφαιρικού κυματοδηγού. Με την κατανομή $n^2(\rho)$ της εξ. (9) είναι δυνατό να εξεταστεί η κυματοδηγήση στην ιονόσφαιρα. Η κατανομή $n^2(\rho)$ συναντάται στις οπτικές ίνες που έχουν βαθμιαία κατανομή του δείκτη διάθλασης. Η ανάλυση των κυμάτων που διαδίδονται σ'ένα τέτοιο κυματοδηγό μπορεί να γίνει είτε με μεθόδους γεωμετρικής οπτικής είτε με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Στην παρακάτω ανάλυση θα χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρομαγνητική θεωρία με ορισμένες προσεγγίσεις. Στο Σχ. 5.5 φαίνεται η γεωμετρία του προβλήματος. Στην μικροκυματική τεχνολογία οι κυματοδηγοί αυτού του τύπου ονομάζονται "διηλεκτρικοί κυματοδηγοί".

Είναι γνωστό από την απλή θεωρία της διάθλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ότι οι ακτίνες κάμπτονται προς τα στρώματα που έχουν μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης και πέρα από



Σχ. 5.5: Γεωμετρία διηλεκτρικού κυματοδηγού με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης.

μία κρίσιμη γωνία πρόσπτωσης παρουσιάζεται το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης⁵⁶. Η ολική ανάκλαση συμβαίνει όταν ένα επίπεδο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει από ένα ηλεκτρικά πυκνότερο μέσο σ' ένα αραιότερο και αν η γωνία πρόσπτωσης είναι αρκετά μεγάλη. Στην περίπτωση των διηλεκτρικών κυματοδηγών η κυματοδότηση επιτυγχάνεται με διαδοχικές ολικές ανακλάσεις⁵⁶.

Αν η απόσταση a στην εξ. (9), που χαρακτηρίζει τη διάμετρο της περιοχής κυματοδότησης, είναι πολύ μεγαλύτερη από το μήκος κύματος, τότε μπορεί να υποθεθεί ότι το ηλεκτρικό πεδίο που αντιστοιχεί σ' ένα κυματοδηγούμενο κύμα, είναι γραμμικά πολωμένο⁵⁶. Αν γενικά η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι $E(\rho, \varphi, z)$, και επειδή ο κυματοδηγός είναι αξονοσυμμετρικός, παρουσιάζονται δύο ανεξάρτητα γραμμικά πολωμένα κύματα $E=E_x$ και $E=E_y$.

Η κυματική εξίσωση που πρέπει να ικανοποιεί το ηλεκτρικό πεδίο είναι η εξίσωση Helmholtz:

$$(\nabla^2 + k_0^2 n^2(\rho))E(\rho, \varphi, z) = 0 \quad (10)$$

όπου ∇^2 είναι ο τελεστής Laplace, $k_0 = 2\pi/\lambda$ η σταθερά διάδοσης στον ελεύθερο χώρο, λ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και $n^2(\rho)$ ο δείκτης διάθλασης του κυματοδηγού που δίνεται από την εξ. (9). Για το ηλεκτρικό πεδίο $E(\rho, \varphi, z)$ έχει γίνει σιωπηρά παραδεκτό ότι μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο (t), όπως $\exp(+j\omega t)$, όπου $\omega = 2\pi f$ και f η συχνότητα ακτινοβολίας.

Για να δημιουργηθεί κυματοδότηση παράλληλα με τον άξονα z , πρέπει το ηλεκτρικό πεδίο $E(\rho, \varphi, z)$ να έχει τη μορφή οδεύοντος κύματος. Αφού το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται με το χρόνο σαν $\exp(+j\omega t)$ θα πρέπει ως προς την απόσταση z να έχει μεταβολή όπως $\exp(-j\beta z)$, για κύματα που πορεύονται προς τον θετικό άξονα των z . Ο όρος β δείχνει τη στροφή της φάσης του κύματος ανά μονάδα μήκους και για το λόγο αυτό ονομάζεται σταθερά φάσης. Για την αντίθετη κατεύθυνση διάδοσης

πρέπει να ισχύει η συμπεριφορά $\exp(+j\beta z)$. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα αυτό το ηλεκτρικό πεδίο για ένα κυματοδηγούμενο κύμα παράλληλα με το θετικό άξονα των z γράφεται όπως

$$E(\rho, \varphi, z) = E(\rho, \varphi) e^{-j\beta z} \quad (11)$$

Η συμπεριφορά του ηλεκτρικού πεδίου με τη γωνία φ βρίσκεται εύκολα λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνάρτηση $E(\rho, \varphi)$ πρέπει να έχει περίοδο 2π δηλαδή $E(\rho, \varphi + 2\pi) = E(\rho, \varphi)$. Η πιο γενική λύση γράφεται όπως

$$E(\rho, \varphi) = A_m(\rho) \cos(m\varphi - \varphi_0) \quad (12)$$

όπου για $m=0, 1, 2, 3, \dots$ υπάρχουν ανεξάρτητες λύσεις. Η γωνία φ_0 έχει σταθερή τιμή και για κάθε m υπάρχουν δύο ανεξάρτητες ορθογώνιες λύσεις με $\cos(m\varphi)$ (για $\varphi_0=0$) και $\sin(m\varphi)$ (για $\varphi_0=\pi/2$). Αντικαθιστώντας την εξ. (12) στην (11) και το αποτέλεσμα στην εξ. (10) προκύπτει η εξίσωση

$$\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} A_m(\rho) + (k_0^2 n^2(\rho) - \frac{m^2}{\rho^2} - \beta^2) A_m(\rho) = 0 \quad (13)$$

όπου χρησιμοποιήθηκε η έκφραση του τελεστή Laplace σε κυλινδρικές συντεγμένες

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (14)$$

Σαν τελευταίο βήμα απαιτείται η λύση της εξ. (13) για την κατανομή του δείκτη διάθλασης $n^2(\rho)$ που δίνεται από την εξ. (9). Η διαφορική εξ. (13) έχει γνωστή λύση της μορφής:

$$A_m(\rho) = \left(\sqrt{2} \frac{\rho}{w}\right)^m L_n^{(m)} \left(2 \frac{\rho^2}{w^2}\right) e^{-\rho^2/w^2}$$

για $n = 0, 1, 2$, και

όπου $L_n^{(m)}(x)$ είναι τα γενικευμένα πολυώνυμα Laguerre, βαθμού m και τάξης n ⁵⁷. Οι ιδιότητες και ο τρόπος υπολογισμού των πολυωνύμων δίνονται στις παραπομπές 57 και 58. Η παράμετρος w , που δείχνει το πάχος της δέσμης του κυματοδηγούμενου κύματος είναι

$$w = \left(\frac{2a}{k_0 n(0) \sqrt{2\Delta}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Για κάθε ζεύγος των ακεραίων (m, n) υπάρχει ένας συγκεκριμένος ρυθμός. Για κάθε ρυθμό αντιστοιχεί μία σταθερά διάδοσης $\beta_{m, n}$ και μία συγκεκριμένη κατανομή πεδίου. Η σταθερά φάσης $\beta_{m, n}$ βρίσκεται ότι είναι⁵⁶

$$\beta_{m, n} = k_0 n(0) \left[1 - \frac{2\sqrt{2\Delta}}{k_0 n(0) a} (2n+m+1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των εξισώσεων (15), (12) και (11) ισχύει για το ρυθμό (m, n) η κατανομή ηλεκτρικού πεδίου:

$$E_{mn}(\rho, \varphi, z) = E_{mn}^0 e^{-j\beta_{mn}z} \left(\sqrt{z} \frac{\rho}{w} \right)^m L_n^{(m)} \left(2 \frac{\rho^2}{w^2} \right) e^{-\rho^2/w^2} \cos(m\varphi - \varphi_0) \quad (18)$$

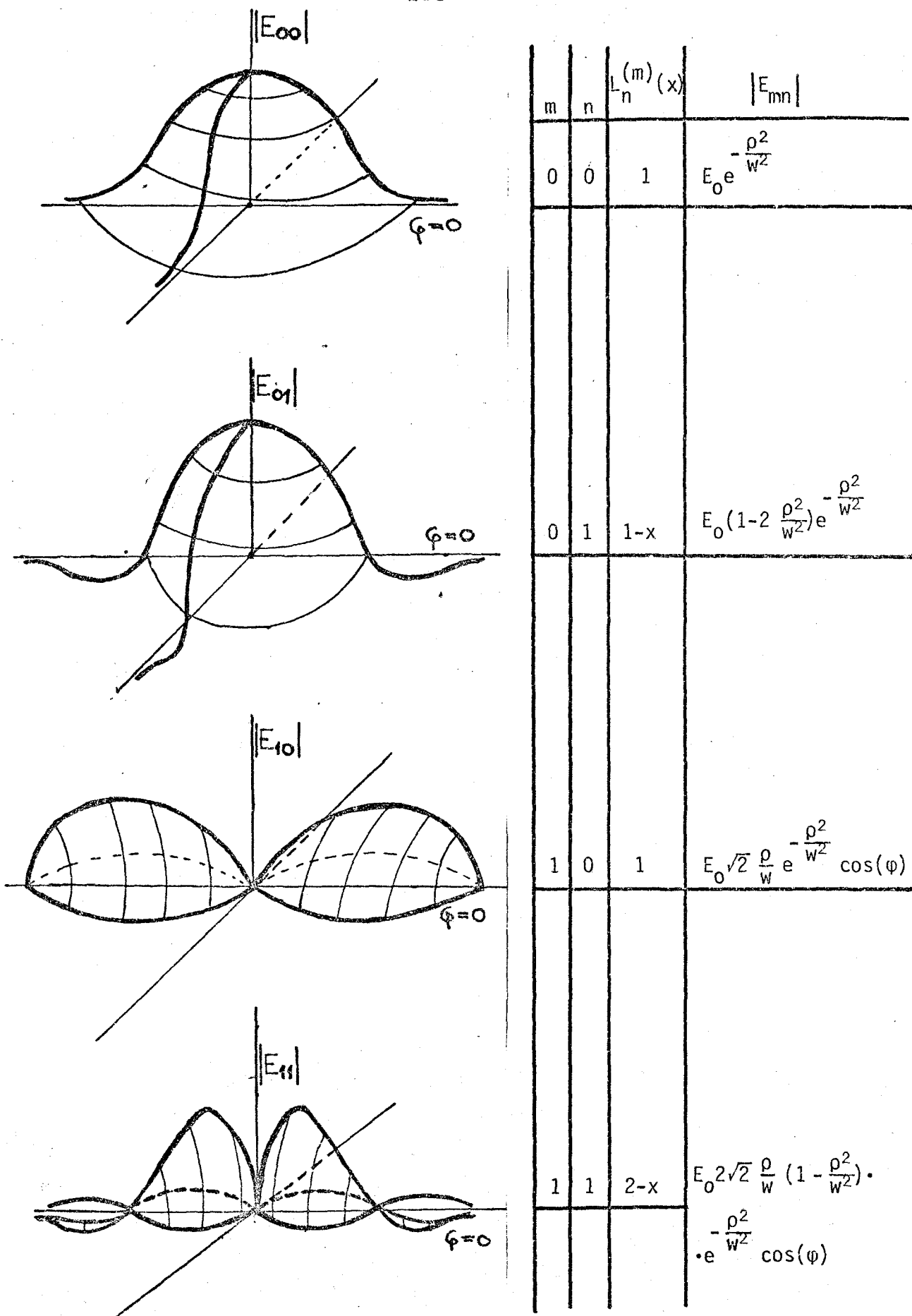
όπου E_{mn}^0 είναι σταθερά.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει να εξεταστεί η συνθήκη να δημιουργούνται κυματοδηγούμενα κύματα. Η ύπαρξη κυματοδηγούμενων κυμάτων προϋποθέτει η σταθερά φάσης $\beta_{m, n}$ να είναι καθαρά πραγματικός αριθμός. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει η παράσταση κάτω από το υπόριζο στην εξ. (17) να είναι θετικός αριθμός. Άρα για δεδομένες τιμές των Δ , $k_0 n(0)$ και a υπάρχει κυματοδηγήση εφόσον

$$(2n+m+1) < \frac{k_0 n(0) a}{2\sqrt{2\Delta}} \quad (19)$$

Από την εξ. (17) φαίνεται ότι η σταθερά φάσης $\beta_{m,n}$ είναι συνάρτηση του συνδυασμού $2n+m$. Άρα εφόσον ο αριθμός $2n+m$ μένει ο ίδιος υπάρχουν κυματοδηγούμενα κύματα με την ίδια σταθερά φάσης αλλά με διαφορετική κατανομή πεδίου. Τα κύματα αυτά που έχουν την ίδια σταθερά φάσης ονομάζονται εκφυλισμένα (degenerate) κύματα και ο αριθμός τους τάξη εκφυλισμού (mode degeneracy).

Γνωρίζοντας την κατανομή του πεδίου για κάθε ρυθμό από την εξ. (18), μπορεί να προσδιοριστεί η κατανομή της ισχύος των κυματοδηγούμενων κυμάτων. Στο Σχ. 5.6 δίνεται η κατανομή για μερικούς απλούς ρυθμούς. Σημειώνεται η εκθετική μείωση του ηλεκτρικού πεδίου για τους ρυθμούς αυτούς σε μεγάλες αποστάσεις του ρ .



Σχ. 5.6: Κατανομή πεδίων για τους ρυθμούς $m=0,1$, $n=0,1$ και $\varphi_0=0$.

5.4 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Στην προηγούμενη παράγραφο, παίρνοντας μία παραβολική κατανομή του δείκτη διάθλασης $n^2(\rho)$ (εξ. (9)) προέκυψαν κυματοδηγούμενα κύματα που έχουν σταθερά φάσης $\beta_{m,n}$ (που δίνεται από την εξ. (17)). Εξετάζοντας την εξ. (17) βλέπουμε εύκολα ότι επειδή η σταθερά φάσης δεν είναι γραμμική συνάρτηση της συχνότητας ακτινοβολίας οι ταχύτητες φάσης και ομάδας δεν συμπέτουν. Η πραγματική ταχύτητα διάδοσης της ενέργειας και άρα των σημάτων που κυματοδηγούνται από την ιονόσφαιρα δίνεται από την ταχύτητα ομάδας που υπολογίζεται από τη σχέση

$$U_g(m,n) = \frac{\partial \omega}{\partial \beta_{m,n}} = \frac{1}{\frac{\partial \beta_{m,n}}{\partial \omega}} \quad (20)$$

και η καθυστέρηση T_{mn} για μήκος κυματοδηγού L είναι

$$T_{m,n} = L/U_g(m,n) = L \frac{\partial \beta_{m,n}}{\partial \omega} \quad (21)$$

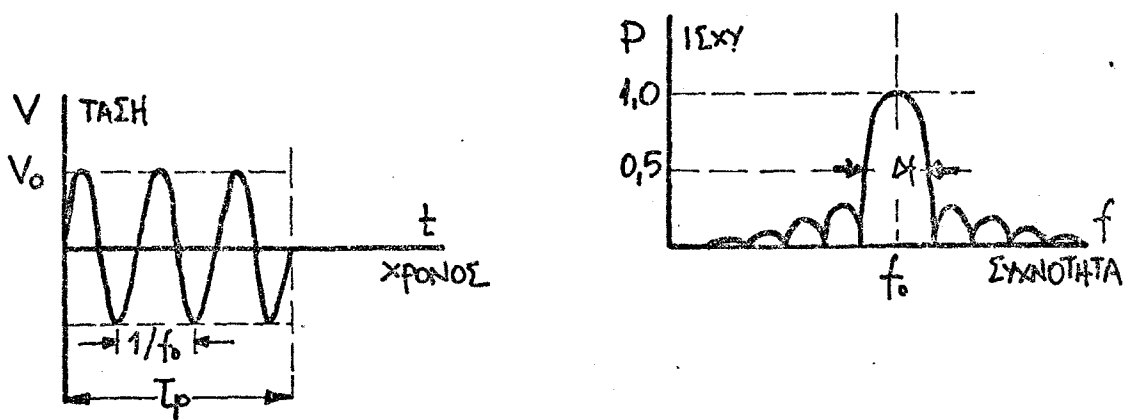
Η παράγωγος $\partial \beta_{mn} / \partial \omega$ υπολογίζεται από την εξ. (17) αντικαθιστώντας $k_0 = \omega/c$ με $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, την ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό, και παράλειποντας το δεύτερο όρο στο υπόριζο της εξ. (17) που είναι πολύ μικρότερος από τη μονάδα, οπότε η χρονική καθυστέρηση για τους χαμηλούς ρυθμούς γράφεται:

$$T_D = \frac{L}{c} \cdot \frac{1}{n(\sigma)} \quad (22)$$

Ας υποθεθεί ότι το σήμα VHF που εκπέμπεται από ένα πομπό και παγιδεύεται στην ιονόσφαιρα είναι ένας παλμός ραδιοσυχνοτήτων, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.7 και ορίζεται από την εξίσωση:

$$v(t) = \begin{cases} V_0 \cos(2\pi f_0 t) & 0 < t < \tau_p \\ 0 & t > \tau_p \text{ και } t < 0 \end{cases} \quad (23)$$

Το ηλεκτρικό πεδίο στην είσοδο του κυματοδηγού μεταβάλλεται χρονικά όπως η τάση στην εξ. (23). Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πομπού και από τη σχετική θέση του ιονοσφαιρικού κυματοδηγού ως προς τον πομπό. Το θέμα της έντασης του πεδίου θα εξεταστεί στην επόμενη παράγραφο. Πριν απ' αυτό θα εξεταστεί η παραμόρφωση των σημάτων που οφείλεται στη κυματοδήγηση στην ιονόσφαιρα. Στο Σχ. 5.7 μαζί με τον παλμό ραδιοσυχνοτήτων φαίνεται και η πυκνότητα φάσματος του εκπεμπόμενου σήματος. Αφού το σήμα απαρτίζεται από ένα σύνολο συχνοτήτων γύρω από τη ραδιοσυχνότητα $f=f_0$, τότε για κάθε ρυθμό υπάρχει μία διασπορά



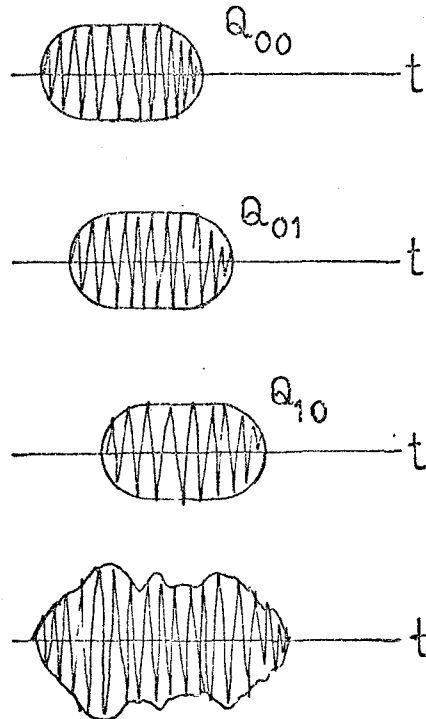
Σχ. 5.7: Παλμικό σήμα ραδιοσυχνοτήτων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας

στην καθυστέρηση $T_{m,n}$ δηλαδή το παλμικό σήμα που μεταφέρει κάθε ρυθμός υφίσταται μία διαπλάτυνση που οφείλεται στη διαφορά της καθυστέρησης $T_{m,n}$ μέσα στη ζώνη $f_0 \pm (\Delta f/2)$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το συνολικό σήμα προκύπτει από την

υπέρθωση όλων των πιθανών ρυθμών, φαίνεται αμέσως ότι η συνολική διαπλάτυνση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Για να υπολογιστεί ποσοτικά η παραμόρφωση των παλμικών σημάτων πρέπει να χρησιμοποιηθεί η θεωρία των μετασχηματισμών Fourier. Η περιβάλλουσα $V_0(t)$ του σήματος που εξέρχεται από τον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό βρίσκεται από την υπέρθεση όλων των ρυθμών και των συχνοτήτων γύρω από την $f=f_0$ και είναι:

$$V_0(t) = \int_0^{\infty} df \sum_{mn} \delta(t-T_{m,n}(f)) Q_{m,n}(f) \quad (24)$$

όπου $\delta(x)$ είναι η κρουστική συνάρτηση και $Q_{m,n}(f)$ είναι η ένταση της περιβάλλουσας για κάθε ρυθμό. Στο Σχ. 5.8 φαίνεται



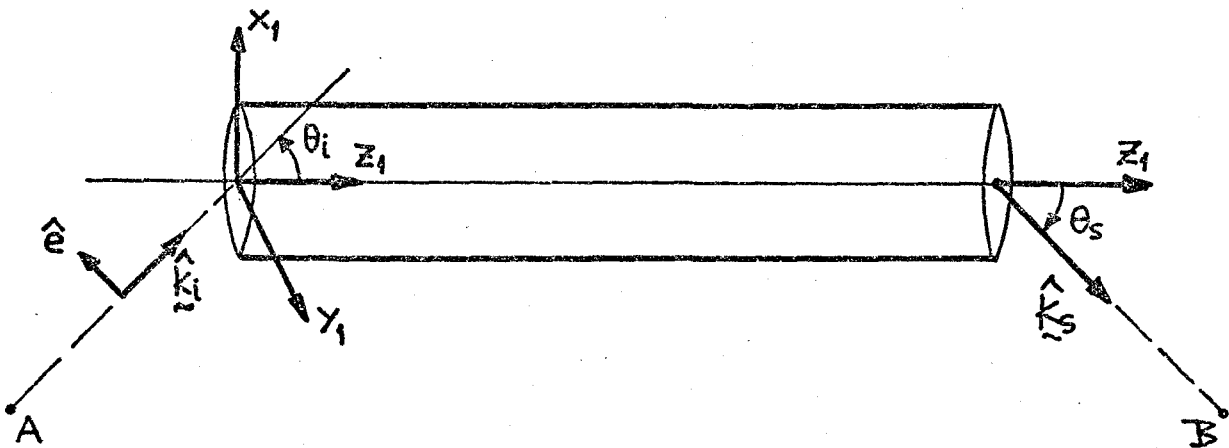
Σχ. 5.8: Δημιουργία της περιβάλλουσας $Q_{m,n}$ για τρεις ρυθμούς.

η δημιουργία της $V_0(t)$ για την περίπτωση τριών ρυθμών. Οι συντελεστές $Q_{m,n}(f)$ εξαρτώνται από την κατανομή πεδίου για κάθε ρυθμό (εξ. (18)), τη σύζευξη του προσπίπτοντος κύματος από τον πομπό στο στόμιο του κυματοδηγού και την προσπίπτουσα ισχύ.

5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΔΙΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΖΕΥΞΗ

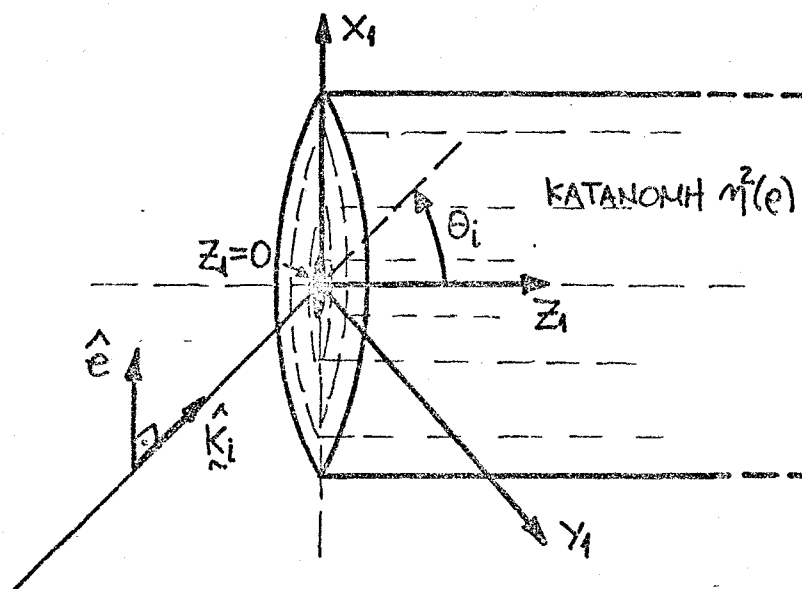
Μετά την ποιοτική ανάλυση της κυματοδήγησης σ' ένα τέλειο ιονοσφαιρικό κυματοδηγό, θα εξεταστεί στην παράγραφο αυτή η διάδοση από ένα σημείο A στο νότιο (ή βόρειο) ημισφαίριο σ' ένα άλλο σημείο B που βρίσκεται στο αντίθετο ημισφαίριο.

Στο Σχ. 5.9 ορίζεται η γεωμετρία του προβλήματος. Ο άξονας z του κυματοδηγού θεωρείται ευθεία γραμμή. Η κατανομή της πυκνότητας ηλεκτρονίων είναι όπως αυτή του Σχ. 5.3 και υποτίθεται ισχύει η εξ. (9) για το δείκτη διάθλασης. Έστω αυθαίρετα ότι ο πομπός βρίσκεται στο σημείο A. Αφού ισχύει η αρχή της αμοιβαιότητας η παραδοχή αυτή δεν μειώνει τη γενικότητα της παρακάτω ανάλυσης. Στην πλευρά της εισόδου του σήματος στον κυματοδηγό έστω ότι ο άξονας x_1 βρίσκεται στο επίπεδο πόλωσης (θεωρούμε γραμμική πόλωση) του προσπίπτοντος κύματος (Σχ. 5.9). Το σύστημα συντεταγμένων x_1, y_1, z_1 θα



Σχ. 5.9: Γεωμετρία διισημερινής διάδοσης

χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή του προσπίπτοντος κύματος από τον πομπό που βρίσκεται στο σημείο A. Για το σκοπό αυτό στο Σχ. 5.10 παρουσιάζεται σε μεγέθυνση η είσοδος του λονοσφαιρικού κυματοδηγού.



Σχ. 5.10: Γεωμετρία στομίου υποδοχής του λονοσφαιρικού κυματοδηγού.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο στόμιο υποδοχής βρίσκεται από τη θεμελιώδη σχέση διάδοσης σφαιρικών κυμάτων

$$\mathcal{E}_1 = \hat{e} \sqrt{\frac{60P_t G_t}{R_1}} e^{-jk_0 R_1} e^{jk_0 \hat{k}_i \cdot \hat{r}_1} \quad (25)$$

- όπου: P_t , η εκπεμπόμενη ισχύ
 G_t , το κέρδος της κεραίας εκπομπής
 \hat{k}_i , το μοναδιαίο διάνυσμα που ορίζει την κατεύθυνση πρόσπτωσης του πεδίου (Σχ. 5.10)
 \hat{r}_1 , το διάνυσμα θέσης ενός τυχαίου σημείου στο στόμιο υποδοχής

R_1 , η απόσταση πομπού από το κέντρο του στομίου
υποδοχής του ιονοσφαιρικού κυματοδηγού

k_0 , η σταθερά διάδοσης (rad/sec) για τον ελεύθερο
χώρο.

Αν θ_i είναι η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων \hat{z}_1 και \hat{k}_i ισχύει

$$\hat{k}_i = \hat{x}_1 \sin\theta_i + \hat{z}_1 \cos\theta_i \quad (26)$$

και επειδή $r_1 = \hat{x}_1 x_1 + \hat{y}_1 y_1$ παρουσιάζεται στην εξ. (25) ο
εκθετικός παράγοντας

$$\hat{k}_i \cdot r_1 = x_1 \sin\theta_i \quad (27)$$

Αντικαθιστώντας τις πολικές συντεταγμένες

$$x_1 = \rho_1 \cos\phi_1, \quad y_1 = \rho_1 \sin\phi_1$$

στην εξ. (27) ισχύει

$$\hat{k}_i \cdot r_1 = \rho_1 \cos\phi_1 \sin\theta_i$$

με αποτέλεσμα η εξ. (25) γράφεται ξανά στη μορφή:

$$E_1 = \hat{e} \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{R_1} e^{-jk_0 R_1} e^{jk_0 \rho_1 \cos\phi_1 \sin\theta_i} \quad (28)$$

5.5.1 Εύρεση του κυματοδηγούμενου πεδίου μέσα στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό

Γνωρίζοντας το σύνολο των κυματοδηγούμενων κυμάτων
μέσα στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό, το πεδίο μέσα στον κυμα-
τοδηγό μπορεί να αναπτυχθεί στο άθροισμα:

$$E_{zk} = \hat{x}_1 \sum_n \sum_m \alpha_{nm} e^{-j\beta_{mn}z_1} \left(\sqrt{2} \frac{\rho_1}{w}\right)^m L_n^{(m)} \left(2 \frac{\rho_1^2}{w^2}\right) e^{-\frac{\rho_1^2}{w^2}} \cos(m\varphi_1) \quad (29)$$

όπου οι συναρτήσεις $L_n^{(m)}(x)$ και η σταθερά w έχουν οριστεί στις εξ. (15) και (16) αντίστοιχα. Το διάνυσμα \hat{x}_1 συμφωνεί με την πόλωση του κυματοδηγούμενου κύματος.

Στην πραγματικότητα το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στον κυματοδηγό εκτός από τα κυματοδηγούμενα κύματα περιέχει ενέργεια που οφείλεται στην ακτινοβολία. Επειδή όμως η διεισδυτική ζεύξη οφείλεται σε κυματοδηγούμενα κύματα η εξ. (29) αποτελεί μια καλή προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα στο στόμιο υποδοχής (όπου $z_1=0$) υποτίθεται ότι ισχύει η συνθήκη

$$\hat{x}_1 \cdot E_{zk} \Big|_{z_1=0} = \hat{x}_1 \cdot E_1 \quad (30)$$

Αντικαθιστώντας στην εξ. (29) $z_1=0$ και γράφοντας σε ανοιχτή μορφή τις παραστάσεις των $\hat{x}_i \cdot E_{zk}$ και $\hat{x}_1 \cdot E_1$ από τις εξισώσεις (29) και (28) αντίστοιχα, ισχύει

$$\begin{aligned} \cos\theta_i \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1} e^{-jk_o R_1} e^{jk_o \rho_1 \sin\theta_i \cos\varphi_1} \\ = \sum_n \sum_m \alpha_{nm} \left(\sqrt{2} \frac{\rho_1}{w}\right)^m L_n^{(m)} \left(2 \frac{\rho_1^2}{w^2}\right) e^{-\frac{\rho_1^2}{w^2}} \cos(m\varphi_1) \end{aligned} \quad (31)$$

όπου ο όρος $\cos\theta_i$ στο αριστερό μέρος της εξίσωσης προκύπτει από το εσωτερικό γινόμενο $\hat{e} \cdot \hat{x}_1 = \cos\theta_i$ (Σχ. 5.10).

Για να υπολογιστούν οι συντελεστές α_{nm} χρησιμοποιούνται οι ιδιότητες ορθογωνιότητας των συναρτήσεων Laguerre και των τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Για το σκοπό αυτό πολλαπλασιάζονται τα δύο μέλη της εξ. (31) με τη συνάρτηση

$$L_{n'}^{(m')} \left(2 \frac{\rho_1^2}{w^2} \right) \left(\sqrt{2} \frac{\rho_1}{w} \right)^{m'} e^{-\frac{\rho_1^2}{w^2}} \cos(m' \varphi_1) \quad (32)$$

και ολοκληρώνονται πάνω στο στόμιο υποδοχής. Σύμφωνα με τις σχέσεις ορθογωνιότητας

$$\int_{x=0}^{+\infty} e^{-x} x^m L_n^{(m)}(x) L_{n'}^{(m)}(x) dx = \begin{cases} 0 & \text{αν } n \neq n' \\ \frac{(n+m)!}{n!} & \text{αν } n=n' \end{cases} \quad (33)$$

$$\int_0^{2\pi} d\varphi \cos(m\varphi_1) \cos(m'\varphi_1) = \begin{cases} 0 & \text{αν } m \neq m' \\ \frac{2\pi}{\epsilon_m} & \text{αν } m=m' \end{cases} \quad (34)$$

με

$$\epsilon_m = \begin{cases} 1 & \text{όταν } m=0 \\ 2 & \text{" } m \neq 0 \end{cases} \quad (35)$$

προκύπτει το αποτέλεσμα:

$$\alpha_{nm} = \frac{\cos\theta_i \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1} e^{-jk_o R_1}}{\frac{w^2}{4} \frac{(n+m)!}{n!} \frac{2\pi}{\epsilon_m}} \int_0^{+\infty} \rho_1 d\rho_1 \int_0^{2\pi} d\varphi_1 \exp(jk_o \rho_1 \sin\theta_i \cos\varphi_1) \left(\sqrt{2} \frac{\rho_1}{w} \right)^m L_n^{(m)} \left(2 \frac{\rho_1^2}{w^2} \right) e^{-\frac{\rho_1^2}{w^2}} \cos(m\varphi_1) \quad (36)$$

Αναπτύσσοντας τώρα την εκθετική συνάρτηση

$$\exp(jk_0 \rho_1 \sin\theta_i \cos\phi_1) = \sum_{k=0}^{+\infty} \epsilon_k j^k J_k(k_0 \rho_1 \sin\theta_i) \cos(k\phi_1) \quad (37)$$

όπου J_k είναι η συνάρτηση Bessel τάξης k^{14} , είναι δυνατό να υπολογιστούν τα ολοκληρώματα της εξ. (36) χρησιμοποιώντας την εξ. (34) και τη σχέση (37):

$$\frac{(-1)^n}{2} \int_0^{+\infty} dy y^{\frac{m}{2}} L_n^{(m)}(y) e^{-y/2} J_m(\sqrt{xy}) = e^{-\frac{x}{2}} x^{\frac{m}{2}} L_n^{(m)}(x) \quad (38)$$

οπότε ισχύει:

$$\alpha_{nm} = \cos\theta_i \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1} e^{-jk_0 R_1} j^m \epsilon_m e^{-\frac{x_i}{2}} x_i^{m/2} L_n^{(m)}(x_i) \frac{n!}{(m+n)!} \frac{2}{(-1)^n} \quad (39)$$

με

$$x_i = \frac{k_0 w}{\sqrt{2}} \sin\theta_i \quad (40)$$

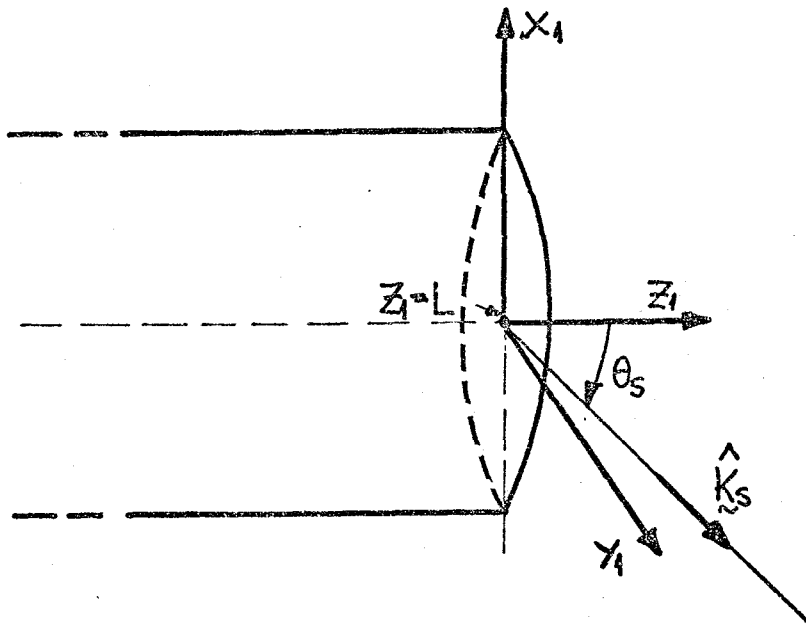
Γνωρίζοντας τους συντελεστές ανάπτυξης α_{nm} η ένταση του πεδίου στην πλευρά εξόδου του κυματοδηγού βρίσκεται αντικαθιστώντας την εξ. (39) στην (29) και παίρνοντας $z_1=L$ για το τέλος του κυματοδηγού

$$E_k(L, \rho_1, \phi_1) = \hat{e} 2 \cos\theta_i \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1} e^{-jk_0 R_1} e^{-x_i/2} \sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{m=0}^{\infty} j^m \epsilon_m (-1)^n x_i^{m/2} L_n^{(m)}(x_i) \frac{n!}{(n+m)!} e^{-j\beta_{mn} L} y^{m/2} L_n^{(m)}(y) e^{-y/2} \cos(m\phi_1) \quad (41)$$

όπου για ευκολία η νέα μεταβλητή ορίζεται: $\gamma = 2\rho_1^2/w^2$.

5.5.2 Ακτινοβολία από την ανοιχτή πλευρά του κυματοδηγού

Από τη θεωρία περίθλασης είναι γνωστό ότι αν η κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου είναι καθορισμένη σ' ένα άπειρο επίπεδο στον ελεύθερο χώρο, η ένταση του πεδίου μπορεί να υπολογιστεί σ' ένα οποιοδήποτε σημείο του. Συγκεκριμένα για το πρόβλημα της δισημερινής διάδοσης το επίπεδο εξόδου από τον κυματοδηγό φαίνεται στο σχ. 5.9 και σε λεπτομέρεια στο σχ. 5.11.



Σχ. 5.11: Επίπεδο εξόδου του ιονοσφαιρικού κυματοδηγού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της θεωρίας περίθλασης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων η ένταση πεδίου που θα φθάνει στο σημείο B (όπου βρίσκεται ο δέκτης) μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$E_{\text{r}} = jk_0 \cos\theta_s \frac{e^{-jk_0 R_2}}{2\pi R_2} \int_{\rho_1=0}^{+\infty} \rho_1 d\rho_1 \int_{\varphi_1=0}^{2\pi} d\varphi_1 e^{jk_0 \rho_1 \sin\theta_s \cos(\varphi_1 - \varphi_s)} E_{\text{rk}}(L, \rho_1, \varphi_1) \quad (42)$$

όπου το μοναδιαίο διάνυσμα \hat{k}_s , που δείχνει την κατεύθυνση περιθλάσης, ορίζεται με τις γωνίες φ_s, θ_s δηλαδή

$$\hat{k}_s = \hat{z}_1 \cos\theta_s + \sin\theta_s (\hat{x}_1 \cos\varphi_s + \hat{y}_1 \sin\varphi_s)$$

Γνωρίζοντας την κατανομή του πεδίου $E_{\text{rk}}(L, \rho_1, \varphi_1)$ από την εξ. (41) και χρησιμοποιώντας τη σχέση (37)

$$\exp(jk_0 \rho_1 \sin\theta_s \cos(\varphi_1 - \varphi_s)) = \sum_{k=0}^{\infty} \epsilon_k j^k J_k(k_0 \rho_1 \sin\theta_s) \cos(k(\varphi_1 - \varphi_s))$$

υπολογίζουμε το ολοκλήρωμα στην εξ. (42)

$$E_{\text{r}} = \frac{jk_0}{2\pi} \cos\theta_s \frac{e^{-jk_0 R_2}}{R_2} \hat{e} \int_{\rho_1=0}^{+\infty} \rho_1 d\rho_1 \int_{\varphi_1=0}^{2\pi} d\varphi_1 \sum_{k=0}^{+\infty} \epsilon_k j^k J_k(k_0 \rho_1 \sin\theta_s) \cos(k(\varphi_1 - \varphi_s)) 2 \cos\theta_i \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{R_1} e^{-jk_0 R_1} \sum_n \sum_m j^m (-1)^n \epsilon_m e^{-(x_i + y)/2} (x_i y)^{m/2} L_n^{(m)}(x_i) L_n^{(m)}(y) e^{-j\beta_{mn} L} \quad (43)$$

Επειδή όμως:

$$\int_0^{2\pi} d\varphi_1 \cos(k(\varphi_1 - \varphi_s)) \cos(m\varphi_1) = \begin{cases} 0 & \text{όταν } k \neq m \\ \cos(m\varphi_s) \frac{2\pi}{\epsilon_m} & \text{όταν } k=m \end{cases}$$

και ορίζοντας

$$x_s = \frac{k_o w}{\sqrt{2}} \sin \theta_s \quad (44)$$

η εξ. (43) μπορεί να ξαναγραφεί σε απλούστερη μορφή αφού η μεταβλητή ολοκλήρωσης μετασχηματίζεται από ρ_1 σε y ,

$$E_{\tilde{r}} = jk_o \cos \theta_s \cos \theta_i \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1 R_2} e^{-jk_o(R_1+R_2)} \hat{e} \frac{w^2}{2} \int_0^{+\infty} dy \sum_n \sum_m (-1)^{m+n} \epsilon_m \cos(m\varphi_s) J_m(\sqrt{x_s y}) (x_i y)^{m/2} L_n^{(m)}(x_i) L_n^{(m)}(y) e^{-(x_i+y)/2} e^{-j\beta_{mn}L} \cdot \frac{n!}{(m+n)!} \quad (45)$$

Χρησιμοποιώντας πάλι το ολοκλήρωμα της εξ. (38) η εξ. (45) γράφεται:

$$E_{\tilde{r}} = jk_o \frac{w^2}{2} \frac{e^{-jk_o(R_1+R_2)}}{R_1 R_2} \sqrt{60P_t G_t} \cos \theta_i \cos \theta_s \hat{e} \sum_n \sum_m (-1)^m \cos(m\varphi_s) \epsilon_m e^{-j\beta_{mn}L} e^{-\frac{x_i+x_s}{2}} \frac{n!}{(n+m)!} L_n^{(m)}(x_i) L_n^{(m)}(x_s) (x_i x_s)^{m/2} \quad (46)$$

Το αποτέλεσμα αυτό αν και εκφράζει την ένταση του πεδίου για την κυματοδότηση από ένα ιονοσφαιρικό κυματοδηγό, το διπλό

άθροισμα που περιέχει με τις σύνθετες συναρτήσεις δεν επιτρέπει την εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων για εξαγωγή φυσικών συμπερασμάτων. Για το σκοπό αυτό ορίζεται το άθροισμα

$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = \sum_n \sum_m (-1)^m \cos(m\varphi_s) e_m e^{-j\beta_{mn}L} \frac{n!}{(m+n)!} L_n^{(m)}(x_i) L_n^{(m)}(x_s) (x_i x_s)^{m/2} \quad (47)$$

οπότε

$$E_{r'} = jk_o \frac{w^2}{2} \frac{e^{-jk_o(R_1+R_2)}}{R_1 R_2} \sqrt{60P_t G_t} \cos\theta_i \cos\theta_s \hat{e} e^{-\frac{(x_i+x_s)}{2}} S(\varphi_s, x_i, x_s) \quad (48)$$

Στο παράρτημα Α η σειρά $S(\varphi_s, x_i, x_s)$ υπολογίζεται με καλή προσέγγιση ότι είναι

$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = \frac{j}{2} \frac{e^{-jk_o n(o)L}}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} \cdot \exp\left[-\frac{j}{2} \cot\left(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L\right) (x_i+x_s+2\sqrt{x_i x_s} \cos\varphi_s)\right] \cdot \exp\left[\frac{1}{2}(x_i+x_s+2\sqrt{x_i x_s} \cos\varphi_s)\right] \quad (49)$$

Αντικαθιστώντας την εξ. (49) στην (48) το ηλεκτρικό πεδίο $E_{r'}$ γράφεται:

$$E_{r'} = -k_o \frac{w^2}{4} \frac{e^{-jk_o(R_1+R_2)}}{R_1 R_2} \sqrt{60P_t G_t} \cos\theta_i \cos\theta_s \hat{e} \frac{1}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} \exp(\sqrt{x_i x_s} \cos\varphi_s) e^{-jk_o n(o)L} \exp\left[-\frac{j}{2} \cot\left(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L\right) (x_i+x_s+2\sqrt{x_i x_s} \cos\varphi_s)\right] \quad (50)$$

5.5.3 Υπολογισμός της έντασης πεδίου

Πριν τον τελικό υπολογισμό της έντασης $|E_r|$ πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- α) στην προηγούμενη ανάλυση έγινε δεκτό ότι ο ιονοσφαιρικός κυματοδηγός είναι τέλειος δηλαδή μέσα στον κυματοδηγό δεν υπάρχει εξασθένηση. Στην πραγματικότητα ο κυματοδηγός δεν έχει την ομοιόμορφη και ισοτροπική υφή που ισχύει στις εξ. (5) και (6). Επειδή δεν είναι γνωστή η λεπτή υφή του ιονοσφαιρικού κυματοδηγού (δηλαδή κατανομή εσωτερικών ανομοιογενειών, διακυμάνσεις της πυκνότητας ηλεκτρονίων κλπ.) και για να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα αυτά έστω ότι ο δείκτης διάθλασης στην εξ. (7) είναι μιγαδικός αριθμός και ότι διαθέτει ένα μικρό φανταστικό μέρος δηλαδή

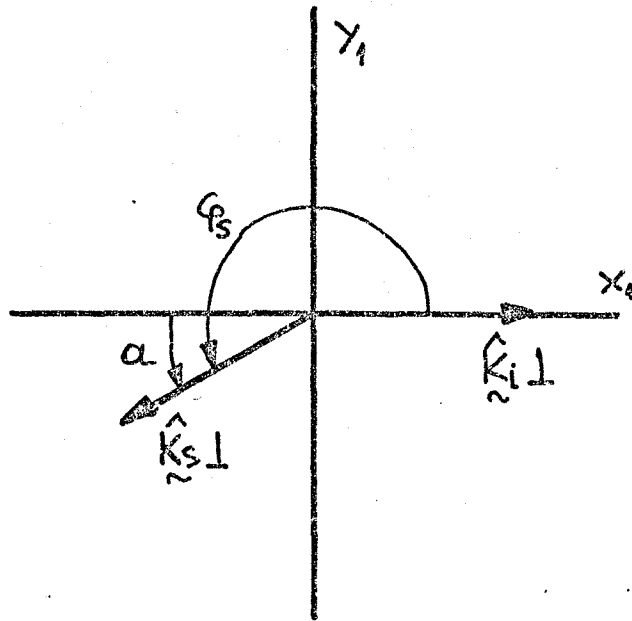
$$n(o) = n'(o) - jn''(o) \quad (51)$$

$$\text{με } n''(o) \ll n'(o),,$$

- β) παραπάνω έγινε δεκτό ότι η επίδραση του μαγνητικού πεδίου είναι αμελητέα. Στην πράξη η επίδραση εμφανίζεται σαν στροφή του επιπέδου πόλωσης. Για να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο αυτό έστω ότι η ένταση του σήματος πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα $1/\sqrt{2}$, δηλαδή ότι η στροφή πόλωσης είναι τυχαία.

Με τις παραδοχές αυτές και αγνοώντας το φανταστικό μέρος $n''(o)$ στον υπολογισμό της παραμέτρου w , το $|E_r|$ υπολογίζεται από την εξ. (50):

$$|E_r| = k_o \frac{w^2}{4\sqrt{2}} \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1 R_2} \cos\theta_i \cos\theta_s \frac{1}{\left| \sin\left(\frac{\sqrt{2}\Delta}{a} L\right) \right|} \exp(\sqrt{x_i x_s} \cos\phi_s) \exp(-k_o n''(o) L) \quad (52)$$



Σχ. 5.12: Ορισμός γωνίας φ_s

Στο Σχ. 5.12 φαίνεται η προβολή στο εγκάρσιο επίπεδο x_1, y_1 των διανυσμάτων $\hat{k}_{i\perp}$ και $\hat{k}_{s\perp}$. Η φ_s ορίζεται σαν η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων $\hat{k}_{s\perp}$ και $\hat{k}_{i\perp}$. Άρα σαν αριθμητική τιμή $\cos\varphi < 0$, οπότε αν οριστεί η γωνία α (Σχ. 5.12) ισχύει

$$\cos\varphi_s = -\cos\alpha.$$

Η γεωμετρία διάδοσης περιορίζει τη γωνία $\alpha < \pi/2$.

Αντικαθιστώντας τις τιμές των x_i, x_s από τις εξ. (40), (44) στην εξ. (52) η τιμή του $|E_{r\perp}|$ είναι:

$$|E_{r\perp}| = \frac{k_0 w^2}{4\sqrt{2}} \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{R_1 R_2} \cos\theta_i \cos\theta_s \frac{1}{\left| \sin\left(\frac{\sqrt{2}\Delta}{a} L\right) \right|}$$

$$\exp\left(-\frac{k_0 w}{\sqrt{2}} \sqrt{\sin\theta_i \sin\theta_s} \cos\alpha\right)$$

$$\exp(-k_0 n''(o)L) \tag{53}$$

Αν η κεραία λήψης έχει κέρδος G_r η ισχύς που φτάνει σ'αυτήν είναι:

$$P_r = \frac{|E_{\lambda r}|^2}{2 \cdot (120\pi)} \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r \quad (54)$$

και η εξασθένιση ισχύος :

$$A = \frac{P_r}{P_t} = \frac{\lambda^2}{8\pi} \frac{G_r}{(120\pi)} \cdot \frac{k_o^2 w^4}{32} \frac{60G_t}{R_1^2 R_2^2} (\cos\theta_i \cos\theta_s)^2 \frac{1}{\sin^2\left(\frac{\sqrt{2}\Delta}{a} L\right)}$$

$$\exp(-\sqrt{2} k_o w \sqrt{\sin\theta_i \sin\theta_s} \cos\alpha)$$

$$\exp(-2k_o n''(o)L)$$

Μετά από πράξεις και αντικατάσταση των τιμών του W από την εξ. (16), του Δ από την εξ. (8), του $n(o)$ από την εξ. (7) και του k_o με την τιμή $\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{150} \cdot f$ (MHz) η ολική εξασθένιση σε δισημερινές ζεύξεις στη διάρκεια της βραδυνης ΤΕΡ γράφεται:

$$A = 8,8 \cdot 10^5 \frac{a^2}{N(o)} \frac{G_t G_r}{R_1^2 R_2^2} (\cos\theta_i \cos\theta_s)^2$$

$$\frac{1}{\sin^2\left(9,0 \cdot 10^{-3} \frac{L\sqrt{N(o)}}{fa}\right)} \exp(-3,05f \frac{a \sin\theta_i \sin\theta_s}{\sqrt{N(o)}} \cos\alpha)$$

$$\exp(-4,2 \cdot 10^{-2} f L n''(o)) \quad (55)$$

Οπότε η τιμή της σε db είναι:

$$A(\text{db}) = +59,5 + 10 \log \frac{a^2}{N(o)} + 10 \log \frac{G_t G_r}{R_1^2 R_2^2} + 20 \log [\cos\theta_i \cos\theta_s]$$

$$- 20 \log \left[\sin\left(9,0 \cdot 10^{-3} \frac{L\sqrt{N(o)}}{fa}\right) \right] - 13,25f \sqrt{\frac{a \sin\theta_i \sin\theta_s}{\sqrt{N(o)}} \cos\alpha}$$

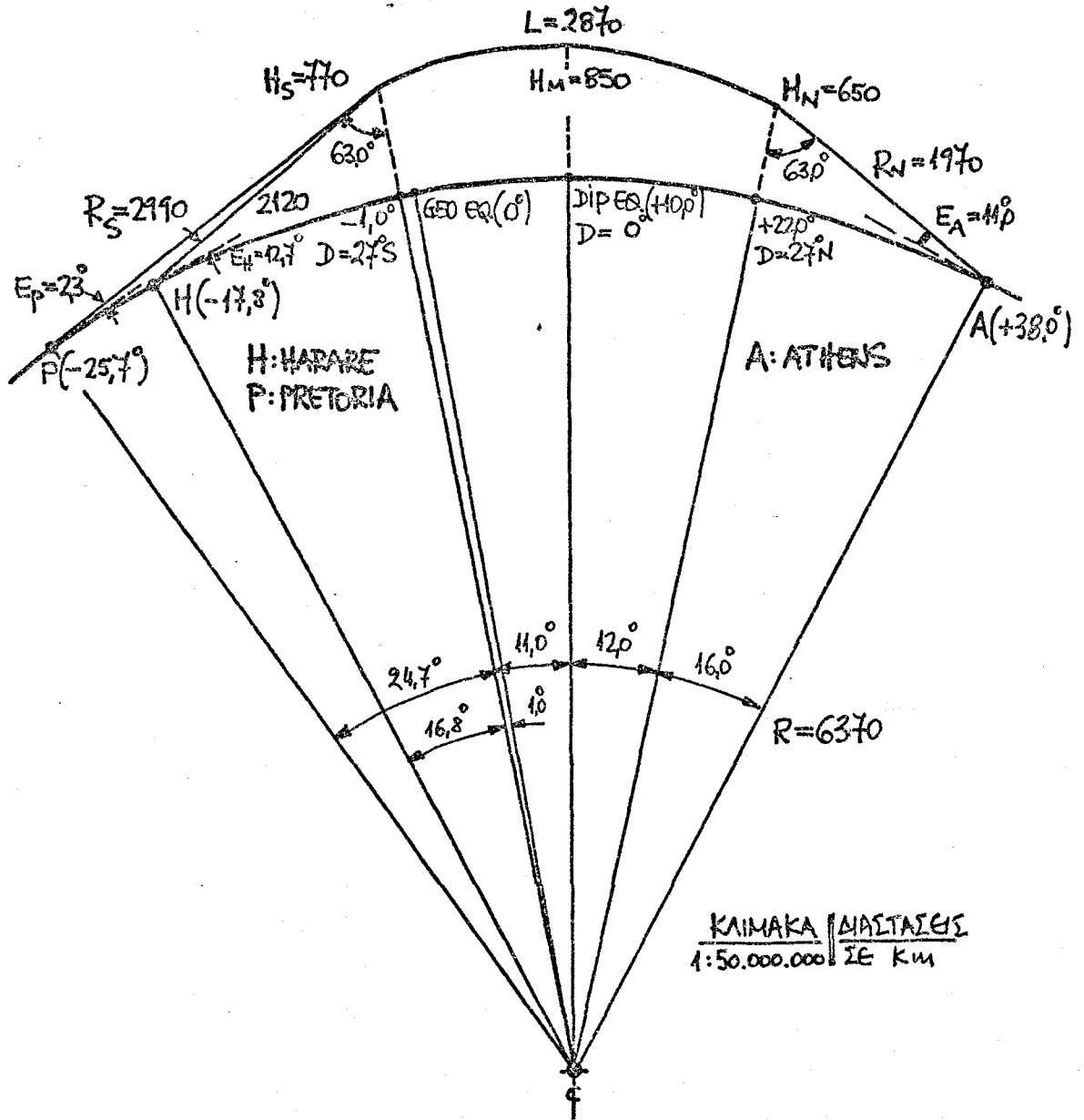
$$- 18,2 \cdot 10^{-2} f L n''(o) \quad (56)$$

5.6 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

5.6.1 Υπολογισμός της ολικής εξασθένησης

Με βάση την εξ. (56) είναι δυνατός ο θεωρητικός υπολογισμός της ολικής εξασθένησης που αναμένεται σε διημερινές ζεύξεις στη διάρκεια της βραδυλής ΤΕΡ. Για να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων με βάση το πρότυπο που εξετάστηκε προηγουμένως σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν, η αριθμητική εφαρμογή αναφέρεται στις ζεύξεις Pretoria-Athens και Harare-Athens. Για τις δύο αυτές ζεύξεις υπάρχουν τιμές ολικής εξασθένησης για τρεις τουλάχιστον συχνότητες, όπως φαίνεται στον ΠΙΝ. 4.11 (στο τέταρτο κεφάλαιο).

Στο Σχ. 5.13 παρουσιάζεται η τομή ενός μεγίστου κύκλου της γης που διέρχεται από τα σημεία Pretoria (σε νότιο πλάτος $25,7^{\circ}$) και Athens (σε βόρειο πλάτος $38,0^{\circ}$). Στον ίδιο κύκλο έχει τοποθετηθεί και το Harare (στο νότιο πλάτος που αντιστοιχεί, δηλαδή $17,8^{\circ}$). Για τον συγκεκριμένο μέγιστο κύκλο ο μαγνητικός ισημερινός (dip equator) βρίσκεται σε βόρειο πλάτος 10° και οι περιοχές μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας σε βόρειο πλάτος 24° και νότιο 3° περίπου^{20,35}. Σύμφωνα με παρατηρήσεις που έγιναν στο μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου, ο ιονοσφαιρικός κυματοδηγός εκτείνεται σχεδόν ανάμεσα σ' αυτές τις περιοχές με μέγιστο ύψος πάνω από το μαγνητικό ισημερινό, που σταδιακά μειώνεται όσο απομακρύνεται απ' αυτόν, ενώ ταυτόχρονα ο άξονάς του ακολουθεί χονδρικά την έγκλιση του γήινου μαγνητικού πεδίου¹⁹. Επιπλέον για τη συγκεκριμένη γεωμετρία, όπου η καθετότητα του μεγίστου κύκλου με τον μαγνητικό ισημερινό είναι καλή ($\approx 80^{\circ}$) γίνεται δεκτό ότι ο ιονοσφαιρικός κυματοδηγός βρίσκεται στο επίπεδο του μεγίστου κύκλου, οπότε η γωνία α στην εξ. (56) είναι μηδέν (Σχ. 5.13). Πρόσθετα γίνεται δεκτό ότι δεν υπάρχουν επιπλέον απώλειες από την καμπυλότητα που παρουσιάζει ο κυματοδηγός για να ακολουθήσει την έγκλιση του μαγνητικού πεδίου.



Σχ. 5.13: Γεωμετρία δισημερινών ζεύξεων βραδυνού τύπου στον Ευρωπαϊκό τομέα.

Για την επίλυση της εξ. (56) χρειάζεται σε κάθε συχνότητα η γνώση των γεωμετρικών παραμέτρων R_1 , R_2 , L , θ_i και θ_s , των τεχνικών παραμέτρων G_t και G_r και των φυσικών παραμέτρων a , $N(o)$ και $n''(o)$. Οι παράμετροι a και $N(o)$ μετρήθηκαν στο μέγιστο του 21ου ηλιακού κύκλου και οι τιμές τους είναι $a = 25$ km και $N(o) = 10^5$ e1/cm³ 19. Η αριθμητική τιμή του όρου $G_t G_r$ είναι γνωστή από τον τεχνικό εξοπλισμό των τερματικών σταθμών στις ζεύξεις (λαμβάνοντας υπόψη εκτός από το κέρδος των κεραιών, τυχόν μείωσή του σε γωνίες ανύψωσης μέχρι 10^0 και τις απώλειες των γραμμών μεταφοράς). Οι τιμές του σε συνάρτηση με τις συγκεκριμένες συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ $G_t G_r$ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

ΖΕΥΞΗ PRETORIA-ATHENS		ΖΕΥΞΗ HARARE-ATHENS	
Ακριβής συχνότητα (MHz)	Τιμή όρου $G_t G_r$	Ακριβής συχνότητα (MHz)	Τιμή όρου $G_t G_r$
432,30	3400	432,50	3600
144,90	1300	144,16	1200
50,03	160	48,25	260
28,27	25	29,10	25

Για το βέλτιστο προσδιορισμό των γεωμετρικών παραμέτρων έγινε προσομοίωση σε H/Y των δύο διημερινών ζεύξεων (του Σχ. 5.13) όπου λήφθηκαν υπόψη οι παρατηρήσεις που αφορούν την ολική εξασθένιση, το χρόνο διάδοσης παλμών και τη γωνία ανύψωσης τόσο στην Αθήνα όσο και στην Pretoria. Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατή η σύμπτωση των περισσοτέρων παραμέτρων των ζεύξεων, αρχίζοντας από τη συχνότητα των 144 MHz όπου η διάδοση υποστηρίζεται αποκλειστικά από την ιονοσφαιρική κυματοδήγηση.

Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε με την προσομοίωση κατά το δυνατό σύμπτωση της ολικής εξασθένησης των ζεύξεων στους 144 MHz με βάση την εξ. (56), του χρόνου διάδοσης παλμών, σύμφωνα με την εξ. (22) και των γωνιών ανύψωσης, με τις τιμές των παρατηρήσεων. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε ότι ο ιονοσφαιρικός κυματοδηγός έχει μήκος 2870 km που αρχίζει από νότιο πλάτος 1° σε ύψος 770 km και εκτείνεται μέχρι βόρειο πλάτος 22° σε ύψος 650 km. Το μέγιστο ύψος του (πάνω από το μαγνητικό ισημερινό) είναι 850 km. Στα στόμια του κυματοδηγού η έγκλιση του πεδίου είναι 27° και η μέση απόκλιση στη γωνία που ο άξονας του φωτίζει τις τερματικές περιοχές $\theta_1 = \theta_2 \approx 0,2^{\circ}$. Παράλληλα προσδιορίστηκε ότι η τιμή του $n''(0) = 3 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-7}$ είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα. Η τελική διάταξη του ιονοσφαιρικού κυματοδηγού παρουσιάζεται στο Σχ. 5.13.

Με βάση τη γεωμετρική προσομοίωση, η επίλυση των εξ. (56) και (22) έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΠΑΡΑΒΟΛΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (MHz)	ΖΕΥΞΗ PRETORIA-ATHENS		ΖΕΥΞΗ HARARE-ATHENS	
	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	<u>ΟΛΙΚΗ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΖΕΥΞΗΣ (db)</u>			
432	368(187 min)	-	384(184 min)	234(222 min)
144	208(147 min)	208(196 min)	211(144 min)	211(199 min)
50	159	165	156	157
28	155	155	154	147
	<u>ΠΕΔΙΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΠΑΛΜΩΝ (ms)</u>			
144	26,10	25,6~26,5/26,0	23,2	/
50	26,12	24,8~26,4/25,2	-	
28	26,15	24,4~27,2/24,6	-	
	<u>ΜΕΣΗ ΓΩΝΙΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ($^{\circ}$)</u>			
144	11	$20 > E_{A\zeta} > 9$	11	$20 > E_{A\zeta} > 9$

Τα κύρια συμπεράσματα από την αριθμητική εφαρμογή και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις παρατηρήσεις είναι τα ακόλουθα:

α. Με την εξαναγκαστική ταύτιση της ολικής εξασθένησης στους 144 MHz (για τιμές $\theta_i = \theta_s \approx 0,2$) η τιμή της στις χαμηλότερες συχνότητες ακολουθεί τις παρατηρήσεις με ικανοποιητική ακρίβεια και για τις δύο ζεύξεις (μέγιστη απόκλιση 7 db στα 150 db με πιθανό σφάλμα στις μετρήσεις ± 3 db περίπου).

Η απόκλιση στην ψηλότερη συχνότητα των 432 MHz στη ζεύξη Harare-Athens πρέπει να οφείλεται στην αυστηρότερη ευθυγράμμιση που χρειάζεται ο άξονας του κυματοδηνού με τη διεύθυνση των τερματικών σταθμών. Όταν η ευθυγράμμιση γίνεται τέλεια ($\theta_i = \theta_s \approx 0^\circ$) η τιμή της εξασθένησης (184 db) είναι μικρότερη από την ελάχιστη που παρατηρήθηκε (222 db) και κατά συνέπεια για $\theta_i = \theta_s \approx 0,06^\circ$ η τιμή της (234 db) εξισώνεται με τη μέση τιμή των παρατηρήσεων. Αντίστοιχα και για τη ζεύξη Pretoria-Athens υπάρχει θεωρητικά περίπτωση διάδοσης στους 432 MHz αλλά ποτέ δεν παρατηρήθηκε.

β. Η βέλτιστη τιμή του παράγοντα απωλειών $n''(0) = 3 \cdot 10^{-7}$ διαπιστώθηκε ότι είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τη συχνότητα, οπότε η εξασθένηση από απώλειες είναι (σε db) ανάλογη με τη συχνότητα, σύμφωνα με τον τελευταίο όρο στην εξ. (56). Μια τέτοια όμως εξάρτηση από τη συχνότητα συμβαίνει γενικά όταν οι σκεδαστές είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι από το μήκος κύματος, οπότε η ενεργός διατομή τους είναι σταθερά διπλάσια από τη γεωμετρική, σε αντίθεση με τους πολύ μικρούς σκεδαστές Rayleigh που η ενεργός διατομή τους είναι ανάλογη με f^4 ⁶⁸. Σύμφωνα με τα παραπάνω η μέση διάμετρος των σκεδαστών πρέπει να είναι $d \gg 10$ m.

γ. Ο χρόνος διάδοσης παλμών μέσα στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό, όπως υπολογίζεται από την εξ. (22), αυξάνει ελαφρά όσο η συχνότητα ελαττώνεται (ΠΙΝ. 5.2), αλλά για τις συχνότητες

που έγιναν παρατηρήσεις (>28 MHz) έχει ουσιαστικά την τιμή του κενού ($\approx 26,1$ ms). Στην προσομοίωση της ζεύξης, η μέση τιμή του χρόνου διάδοσης για τους 144 MHz (συχνότητα που διαδίδεται αποκλειστικά με τη βραδυνή TEP) αποτέλεσε αρχική συνθήκη και έτσι συμπίπτει, μέσα στα όρια του σφάλματος της μεθόδου μέτρησης, με τις παρατηρήσεις.

Επιπλέον τόσο η κατώτερη όσο και η ανώτερη τιμή στο πεδίο μεταβολής του χρόνου διάδοσης βρίσκονται μέσα σε απόλυτα παραδεκτά όρια. Πράγματι η κατώτερη θεωρητική τιμή υπολογίζεται σε 25,4 ms για γωνίες ανύψωσης στους τερματικούς σταθμούς περίπου μηδέν και μέγιστο ύψος του κυματοδηγού 800 km, ενώ η ανώτερη αντιστοιχεί σε γωνίες ανύψωσης 18° και 5° στην Αθήνα και Pretoria αντίστοιχα, για μέγιστο ύψος κυματοδηγού 950 km.

Αντίθετα όμως στις χαμηλότερες συχνότητες η μέση τιμή του ελάχιστου χρόνου διάδοσης είναι σημαντικά μικρότερη από τους υπολογισμούς, αλλά το πεδίο μεταβολής της μεγάλο, οπότε περιλαμβάνει και την αρχική τιμή (ΠΙΝ. 5.2). Σύμφωνα με τα παραπάνω εκτιμάται ότι στις συχνότητες αυτές υπάρχουν παράλληλα με την ιονοσφαιρική κυματοδηγήση και άλλοι μηχανισμοί διάδοσης, ώστε να φτάνουν στο αντίθετο ημισφαίριο παλμοί από διαφορετικούς διαύλους σε μικρότερα γενικά ύψη. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι βασικά η διπλή διάθλαση από τις περιοχές μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας (2F) για τις συχνότητες των 28 και 50 MHz και η κοινή διπλή ιονοσφαιρική διάθλαση ($2F_2$) για τους 28 MHz. Πράγματι όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 4.14 (του τέταρτου κεφαλαίου) οι ελάχιστες τιμές στο πεδίο μεταβολής του χρόνου διάδοσης παλμών στους 28 και 50 MHz ελάχιστα διαφέρουν ανάμεσα στην απογευματινή και βραδυνή TEP, πράγμα που πιθανό οφείλεται στο μεγαλύτερο ύψος που βρίσκονται οι περιοχές διάθλασης στη διάρκεια της νύχτας. Το ίδιο ισχύει στους 28 MHz και για την κοινή διπλή ιονοσφαιρική διάθλαση.

Εκτός όμως από την απόκλιση στην ελάχιστη τιμή του χρόνου διάδοσης, υπάρχει σημαντική απόκλιση και στη μέγιστη τιμή της, ιδιαίτερα στους 28 MHz (απόκλιση 1,2 ms). Η απόκλιση αυτή, που εμφανίζεται και στους 50 MHz, αλλά είναι πιά περιορισμένη (0,4 ms), εκτιμάται ότι οφείλεται στην πολλαπλή διάδοση από ένα σμήνος κυματοδηγών που βρίσκονται χονδρικά σε ένα κοινό μέσο ύψος αλλά έχουν διαφορετική θέση πάνω από τον ισημερινό. Η ύπαρξή τους οφείλεται στη διαδοχική γένεση νέων κυματοδηγών σύγχρονα με την περιστροφή της γης που "φωτίζονται" ταυτόχρονα από τις κεραίες των τερματικών σταθμών (βλ. εδάφια 1.4.4 και 4.8.3).

δ. Η μέση γωνία ανύψωσης στην Αθήνα (11°) βρίσκεται, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2, μέσα στα πλαίσια των παρατηρήσεων. Επίσης η γωνία στην Pretoria ($\approx 2^{\circ}$) είναι απόλυτα παραδεκτή, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι δοκιμές από τη θέση αυτή με μεγάλα συγκροτήματα κεραιών YAGI, που παρουσίαζαν μικρή γωνία μισής ισχύος στο κατακόρυφο επίπεδο, έδωσαν την αύξηση στην ένταση των σημάτων της ζεύξης όπως αναμενόταν. Αντίθετα σε αντίστοιχα πειράματα από το Harare (που η γωνία ανύψωσης είναι $\approx 13^{\circ}$) παρατηρήθηκε πολύ μικρή ή και καθόλου βελτίωση στην ένταση των σημάτων, που ερμηνεύεται από τη μείωση του κέρδους των κεραιών στην απαιτούμενη γωνία ανύψωσης^{25,26}.

Επιπλέον για τα όρια του πεδίου μεταβολής του χρόνου διάδοσης παλμών (Πίνακας 5.2), οι αντίστοιχες τιμές της γωνίας ανύψωσης στην Αθήνα υπολογίζονται σε 4° και 18° , δηλαδή βρίσκονται μέσα στα πλαίσια των παρατηρήσεων.

ε. Στην επίλυση της εξ. (56) η γωνία α (Σχ. 5.9 και 5.12) θεωρήθηκε μηδέν με την παραδοχή ότι ο κυματοδηγός βρίσκεται επάνω στο μέγιστο κύκλο που περνά από την Αθήνα και την Pretoria. Γενικότερα η εξάρτηση της ολικής εξασθένησης από τη γωνία αυτή, που σύμφωνα με την εξ. (56) είναι ανάλογη με

$\cos \alpha$, παρουσιάζει μέγιστο για $\alpha=0$ (που αντιστοιχεί σε σταθμούς πλησιέστερα στον ισημερινό) και ελάχιστο για $\alpha=180^\circ$ (για σταθμούς μακρύτερα από τον ισημερινό). Ανάμεσα στις δύο αυτές οριακές περιπτώσεις (που διαφέρουν περίπου 120 db!) η εξασθένηση ελαττώνεται με τη μετατόπιση του τερματικού σταθμού από νότο προς βορρά, κατά την κίνησή του επάνω στην τομή ενός κώνου (με κορυφή το κέντρο του στόμιου εξόδου του κυματοδηγού και γωνία κορυφής θ_s) με την επιφάνεια της γης.

Οι παλαιότερες παρατηρήσεις για τις συζυγείς περιοχές που ευνοούνται σε διισημερινές ζεύξεις δεν αναφέρουν τέτοιου είδους ισχυρές αυξομειώσεις της εξασθένησης στην περίμετρό τους, που δεν παρατηρήθηκαν, εξάλλου ούτε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Αντίθετα, ταυτόχρονες παρατηρήσεις στους 144 MHz από σταθμούς στα Χανιά και τη Θεσσαλονίκη (που βρίσκονται 300 km περίπου νότια και βόρεια από την Αθήνα, οπότε η διαφορά στη γωνία θ_s με την Αθήνα είναι $2,3^\circ$ και $1,2^\circ$ αντίστοιχα) έδειξαν ότι η μεταβολή στην ένταση των σημάτων δεν είναι μεγαλύτερη από 20 db, ενώ ελαττώνεται στις χαμηλότερες συχνότητες παρατήρησης (50 MHz).

Η απόκλιση αυτή ανάμεσα στο θεωρητικό πρότυπο διάδοσης και τις παρατηρήσεις, εκτιμάται ότι οφείλεται στην ύπαρξη περισσότερων από ένα διακριτών κυματοδηγών στο ίδιο περίπου ύψος που υποστήριζον ταυτόχρονα τη διισημερινή διάδοση. Η ανάγκη της ύπαρξής τους έγινε δεκτή εξάλλου και από το ευρύ πεδίο μεταβολής του χρόνου διάδοσης παλμών (παρ. 5.6.1.γ). Με τη θεώρηση αυτή το σήμα που φθάνει στο σταθμό λήψης είναι η συνισταμένη από ένα συγκεκριμένο αριθμό διαύλων διάδοσης που λειτουργούν ταυτόχρονα και φυσικά διαφοροποιούν την πρόβλεψη που προσφέρει το πρότυπο, όχι τόσο στη μέση τιμή της ολικής εξασθένησης αλλά στη γεωγραφική κατανομή της.

5.6.2 Υπολογισμός συχνότητας αποκοπής

Σύμφωνα με την εξ. (19) υπάρχει στον ιονοσφαιρικό κυματοδηγό συχνότητα αποκοπής f_c που δίνεται από τον τύπο $(2n+m+1) < \frac{k_0 n(o) a}{2\sqrt{2\Delta}}$. Η συχνότητα f_c εισέρχεται στον τύπο αυτό από τις τιμές των παραμέτρων k_0 και $n(o)$, Δ που δίνονται από τις εξ. (7) και (8). Για το βασικό ρυθμό με $n=m=0$, η εξ. (19) μετά την αντικατάσταση των k_0 , $n(o)$ και Δ γράφεται:

$$\frac{a}{\sqrt{N(o)}} \left| f_c^2 - 81N(o) \right| > 8,6 \cdot 10^5 \quad (57)$$

Για τιμές των παραμέτρων a και $N(o)$ σύμφωνα με το προηγούμενο εδάφιο η ελάχιστη τιμή του f_c είναι 2850 kHz, δηλαδή η βραδυνή TEP υποστηρίζει διάδοση όλων των βραχέων κυμάτων (3~30 MHz).

Παρατηρήσεις από το Hagare σε συχνότητες κάτω από τους 28 MHz στη διάρκεια της βραδυνης TEP έδειξαν ότι, τα σήματα από τη νότια Ευρώπη περιέχουν συνιστώσα με όλα τα χαρακτηριστικά της TEP (διασπορά στη συχνότητα, ισχυρές διαλήψεις κλπ.) σε συχνότητες μέχρι 6 MHz, αλλά με ένταση μειούμενη παράλληλα με τη μείωση της συχνότητας²⁵. Κάτω από τους 6 MHz η ένταση της κοινής ιονοσφαιρικής συνιστώσας δεν επιτρέπει την παρατήρηση της δισημερινής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βραδυνή διημεμερινή διάδοση είναι ένας ιδιότυπος τρόπος μετάδοσης ραδιοκυμάτων που παρατηρείται ανάμεσα σε "μαγνητικά συζυγείς περιοχές" στα αντίθετα ημισφαίρια της γης. Η "μαγνητική συζυγία" αναφέρεται πρώτιστα στη γωνία που σχηματίζουν οι ζεύξεις με το μαγνητικό ισημερινό (και που πρέπει να πλησιάζει την ορθή) και λιγότερο στην ομοιότητα των μαγνητικών πλατών των τερματικών σταθμών. Η έκταση των "συζυγών περιοχών" περιορίζεται δραστικά με την αύξηση της συχνότητας που διαδίδεται αλλά και με τη μείωση της ηλιακής ροής, για να καταλήξει σε "συζυγή σημεία" πριν από την οριστική εξαφάνιση της βραδυνης TEP γύρω από το ελάχιστο του ηλιακού κύκλου.

Πέρα από τη γεωγραφική επιλεκτικότητα της βραδυνης TEP παρατηρείται στον τρόπο αυτό της διάδοσης ισχυρή εξάρτηση από την ώρα, την εποχή, την ηλιακή ροή και τη μαγνητική δραστηριότητα. Η πιθανότερη ώρα εμφάνισης είναι περίπου στις 20:00 T.Ω., δηλαδή δύο ώρες μετά τη δύση του ήλιου στον ισημερινό, αλλά το πεδίο μεταβολής (που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη ραδιοζεύξη) κυμαίνεται για συχνότητες πάνω από 144 MHz μεταξύ 19:00 και 22:00 TΩ. Σε λίγες περιπτώσεις παρατηρήθηκε ο ίδιος τύπος TEP δώδεκα περίπου ώρες αργότερα, δηλαδή μεταξύ 08:00 και 09:00 TΩ. Με τη μείωση της συχνότητας των ζεύξεων (στους 30~50 MHz) επιμηκύνεται η διάρκεια της βραδυνης TEP, που σε σπάνιες περιπτώσεις διαρκεί όλο το βράδυ, όχι όμως η ώρα έναρξης της, οπότε η διάδοση όλου του φάσματος είναι σχεδόν ταυτόχρονη.

Οι ισημερίες ευνοούν ιδιαίτερα τη βραδυνή TEP και γύρω απ'αυτές παρουσιάζεται η μεγαλύτερη αξιοπιστία μετάδοσης, ενώ στα ηλιοστάσια η βραδυνή TEP είναι μάλλον σπάνιο φαινόμενο. Η εξάρτηση αυτή γίνεται εντονότερη με τη μείωση της ηλιακής ροής πριν και μετά το μέγιστο του ηλιακού κύκλου.

Έντονη παρουσιάζεται επίσης η εξάρτηση της βραδυνης

διημερινης διάδοσης από την ηλιακή ροή. Ανάλογα με τη συχνότητα υπάρχει για κάθε συγκεκριμένη ζεύξη ένα ελάχιστο όριο ροής που απαιτείται. Η τιμή αυτή ελαττώνεται για τη ζεύξη Harare-Athens (6300 km) από 156 μονάδες ροής ($10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) για τους 432 MHz, σε 117 μονάδες για τους 144 MHz και σε 90 μονάδες για τους 50 MHz. Σε μικρότερες ζεύξεις στον αμερικανικό διημερινό τομέα (5100 km) οι αντίστοιχες τιμές είναι σημαντικά χαμηλότερες (π.χ. 84 μονάδες για τους 144 MHz) ενώ σε μεγαλύτερες ζεύξεις (7900 km) παρουσιάζονται αυξημένες (186 μονάδες για τους 144 MHz).

Η αντίστροφη εξάρτηση παρουσιάζεται από τη μαγνητική δραστηριότητα όπου παρατηρείται ένα μέγιστο αντίστοιχο όριο, που αυξάνει με τη μείωση της συχνότητας. Για τη ζεύξη Harare-Athens στο όριο αυτό αυξάνει από 4 μονάδες τρίωρης γεωμαγνητικής δραστηριότητας (K_p) για τους 432 MHz, σε 7 μονάδες για τους 144 MHz και σε 8 μονάδες για τους 50 MHz.

Η μηνιαία αξιοπιστία των βραδυνών διημερινών ζεύξεων είναι εντυπωσιακή γύρω από το μέγιστο του ηλιακού κύκλου και κοντά στις ισημερίες. Η μέγιστη τιμή της στη ζεύξη Harare-Athens από 23% για τους 432 MHz αυξάνει σε 87% για τους 144 MHz και είναι 100% για τους 50 και 28 MHz. Από τις τρεις ζεύξεις που μελετήθηκαν συστηματικά στον Ευρωπαϊκό τομέα τη μεγαλύτερη αξιοπιστία παρουσιάζει η ζεύξη Harare-Limassol και ακολουθούν η Harare-Athens και Pretoria-Athens με μέση μηνιαία αξιοπιστία σε όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων για τους 144 MHz 36%, 27% και 15% αντίστοιχα.

Η εξασθένηση που παρουσιάζουν τα σήματα που διαδίδονται με τη βραδυνή ΤΕΡ αυξάνεται εκθετικά με τη συχνότητα. Για τις Ευρωπαϊκές ζεύξεις η μεταβολή αυτή αντιστοιχεί με $f(\text{MHz})^{0,18}$. Στους υπόλοιπους δύο διημερινούς τομείς της γης παρατηρήθηκαν σημαντικά μικρότερες τιμές εξασθένησης σε ζεύξεις όμως με μικρότερο μήκος, πράγμα που οφείλεται μερικώς στην εκθετική αύξηση της εξασθένησης και με το μήκος της ζεύξης που είναι ανάλογη με $D (\text{Km})^{0,46}$.

Σχετικά με την πόλωση που παρουσιάζουν τα σήματα στον τερματικό σταθμό λήψης δεν διαπιστώθηκε προτίμηση στο οριζόντιο ή κατακόρυφο επίπεδο.

Τα σήματα παρουσιάζουν αντίθετα και ιδιαίτερα στις χαμηλότερες συχνότητες αζιμουθιακή μετατόπιση που είναι πάντοτε δυτική. Η μετατόπιση αυτή παρατηρείται αρκετά αργότερα από την έναρξη της διάδοσης και φθάνει τις 45° στους 50 MHz ενώ δεν ξεπερνά τις 20° στους 144 MHz. Σε σπάνιες περιπτώσεις παρατηρείται απότομη μεταβολή της γωνίας άφιξης κατά 10° ως 20° .

Περιορισμένες παρατηρήσεις για τη γωνία άφιξης στο κατακόρυφο επίπεδο έδειξαν ότι τα σήματα φθάνουν από γωνίες που συνήθως ξεπερνούν τις 9° αλλά όχι τις 20° .

Τα κύρια όμως χαρακτηριστικά της βραδυλής TEP στον Ευρωπαϊκό τομέα είναι η διασπορά και η μετατόπιση της συχνότητας των σημάτων που σε συνάρτηση με τις επιλεκτικές διαλήψεις στην έντασή τους τα διαφοροποιούν έντονα από τους άλλους τρόπους διημερινής διάδοσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρατηρούνται σε όλες τις συχνότητες πάνω από 6 MHz και η παραμόρφωση που δημιουργείται καταστρέφει συνήθως την πληροφορία που μεταφέρει ο ιονοσφαιρικός δίαυλος, ιδιαίτερα σε συχνότητες πάνω από 30 MHz.

Η διασπορά της συχνότητας των σημάτων παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονη στις ψηλότερες συχνότητες (ένα μονοχρωματικό φέρον μπορεί να καταλαμβάνει στους 144 MHz εύρος 1 kHz!) και στην αρχή της διάδοσης. Με την πάροδο της ώρας η διασπορά ελαττώνεται, ιδιαίτερα όταν η μαγνητική δραστηριότητα είναι χαμηλή.

Η μετατόπιση της συχνότητας, που αντιστοιχεί σε κίνηση του ιονοσφαιρικού διαύλου, μεταβάλλεται από -350 Hz ως $+40$ Hz, με μέση τιμή -100 Hz. Αρχικά παρατηρείται αρνητική μετατόπιση με μεγάλες τιμές που σταδιακά όμως μειώνεται για να περάσει σε μικρές θετικές τιμές και ξανά πάλι σε μικρές αρνητικές τιμές, με μέγιστο ρυθμό μεταβολής $0,5 \sim 1,5$ Hz/sec.

Οι διαλήψεις στην ένταση των σημάτων είναι γρήγορες και ισχυρές ώστε το σήμα να μηδενίζεται πολλές φορές κάθε δευτερόλεπτο με αποτέλεσμα, ιδιαίτερα στην αρχή του φαινομένου, ακόμη και η μετάδοση τηλεγραφίας να είναι προβληματική.

Ο χρόνος διάδοσης παλμών στη διάρκεια της βραδυλής ΤΕΡ μελετήθηκε στη ζεύξη Pretoria-Athens στο μέγιστο του ηλιακού κύκλου (1980). Οι μετρήσεις έδειξαν την ύπαρξη ισχυρής πολλαπλής διάδοσης, ιδιαίτερα στις χαμηλότερες συχνότητες, που έχει σαν αποτέλεσμα την ταυτόχρονη άφιξη πλήθους παλμών μέσα σε ένα μεγάλο χρονικό παράθυρο, πράγμα που δεν συμβαίνει ποτέ με την απογευματινή ΤΕΡ.

Η μέση τιμή του ελάχιστου χρόνου διάδοσης παλμών αυξάνεται με τη συχνότητα ώστε από 24,6 ms στους 28 MHz, γίνεται 25,2 ms στους 50 MHz για να φτάσει τα 26,0 ms στους 144 MHz. Αντίθετα το πλάτος του πεδίου μεταβολής του μειώνεται από 2,8 ms στους 28 MHz σε 1,6 ms στους 50 MHz και 0,9 ms στους 144 MHz. Οι πίο πάνω τιμές αποκλείουν άμεσα την υπόθεση για σκέδαση των σημάτων στη διάρκεια της βραδυλής ΤΕΡ από ένα ιονοσφαιρικό όγκο σε μεγάλο ύψος. Επιπλέον, το πεδίο μεταβολής του ελάχιστου χρόνου διάδοσης για τους 144 MHz (25,6~26,5 ms), συχνότητα που υποστηρίζεται αποκλειστικά από τη βραδυλή ΤΕΡ, είναι σημαντικά χρονικά καθυστερημένο προς το αντίστοιχο της απογευματινής ΤΕΡ (για τους 50 MHz) και αποτελεί μία ακόμη ένδειξη ότι η βραδυλή ΤΕΡ πρέπει να θεωρείται σαν διαφορετικός τρόπος διάδοσης.

6.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ιδέα ότι η βραδυνή TEP μπορεί να οφείλεται σε κυματοπαγίδευση των σημάτων από ιονοσφαιρικές παγίδες διατεταγμένες παράλληλα με το γήινο μαγνητικό πεδίο προτάθηκε για πρώτη φορά στο 1969. Μόλις όμως το 1980 διαπιστώθηκε η ύπαρξη τέτοιων γιγάντιων ιονοσφαιρικών ανομοιογενειών πάνω από το μαγνητικό ισημερινό.

Στο μοντέλο που αναπτύσσεται στα πλαίσια της εργασίας αυτής προτείνεται μία βελτιωμένη θεώρηση για την κυματοπαγίδευση των σημάτων από την ισημερινή ιονόσφαιρα. Ο ρυθμός διάδοσης είναι η κυματοδήγηση από "σωλήνες" μειωμένης ιονοσφαιρικής πυκνότητας πλάσματος που ακολουθούν τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου και εμφανίζονται πάνω από το μαγνητικό ισημερινό. Για την περιγραφή της ηλεκτρονικής πυκνότητας μέσα στο "σωλήνα" χρησιμοποιείται η γνωστή κατανομή Charman ενώ για τα άκρα γίνεται δεκτή βαθμιαία μετάβαση στην ομοιόμορφη ιονόσφαιρα.

Η μαθηματική εξέταση της διάδοσης κυμάτων στον διηλεκτρικό κυματοδηγό βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία και οδηγεί στη διαπίστωση ότι είναι δυνατή, για συχνότητες μεγαλύτερες από την τιμή αποκοπής, η κυματοδήγηση πολλών ρυθμών με διαφορετικές κατανομές ηλεκτρικού πεδίου.

Η διαπίστωση επίσης ότι η σταθερά φάσης των κυμάτων δεν είναι γραμμική συνάρτηση της συχνότητας έχει σαν αποτέλεσμα τη διάσταση μεταξύ ταχύτητας φάσης και ομάδας, που για τους κύριους ρυθμούς διαφέρουν κατά την τιμή του δείκτη διάθλασης στο κέντρο του κυματοδηγού. Αποτέλεσμα της διαφορετικής ταχύτητας φάσης και ομάδας είναι η ισχυρή παραμόρφωση ενός "καθαρού" παλμικού σήματος που κυματοδηγείται αφού οι συνιστώσες Fourier που το αποτελούν ούτε φτάνουν ταυτόχρονα στο στόμιο εξόδου ούτε ακολουθούν την ίδια κατανομή ισχύος. Η παραμόρφωση αυτή εκδηλώνεται με τη διαπλάτυνση τόσο στο φασματικό περιεχόμενο όσο και στη χρονική διάρκεια του

σήματος που εγκαταλείπει τον διηλεκτρικό "σωλήνα".

Ο υπολογισμός της έντασης των σημάτων σε δισημερινές ζεύξεις βασίζεται στην επαλληλία των κυματοδηγούμενων κυμάτων μέσα από ένα χωρίς απώλειες κυματοδηγό και με αμελητέα επίδραση του μαγνητικού πεδίου. Για να αντισταθμιστούν οι παράγοντες αυτοί, προστίθεται ένα μικρό φανταστικό μέρος στο δείκτη διάθλασης, που αντιστοιχεί με τις απώλειες της λεπτής εσωτερικής υφής του σωλήνα, ενώ η μέση τιμή της έντασης πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα $1/\sqrt{2}$, που υποδηλώνει τυχαία στροφή πόλωσης από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου.

Η ολική εξασθένηση των σημάτων (σε db), όπως υπολογίζεται από την έντασή τους, είναι βασικά γραμμική συνάρτηση της συχνότητας και (για μικρές τιμές) της γωνίας εισόδου-εξόδου των κυμάτων στο διηλεκτρικό σωλήνα. Με δευτερεύουσα βαρύτητα εξαρτάται επίσης από τις υπόλοιπες γεωμετρικές, φυσικές και τεχνικές παραμέτρους της ζεύξης (εξ. 56).

Με την αριθμητική εφαρμογή του θεωρητικού μοντέλου στις δισημερινές ζεύξεις που μελετήθηκαν, προσδιορίζονται με ικανοποιητική ακρίβεια οι τιμές της εξασθένησης, που μετρήθηκαν στις διάφορες συχνότητες λειτουργίας, ο χρόνος διάδοσης παλμών και οι γωνίες ανύψωσης που παρατηρήθηκαν καθώς και η συχνότητα αποκοπής της βραδυνης TEP, που σχεδόν συμπίπτει με το κάτω όριο της ζώνης των βραχέων κυμάτων (≈ 3 MHz).

Επιπλέον συνάγεται ότι οι ατρακτοειδείς ανομοιογένειες στο εσωτερικό του "σωλήνα" έχουν διαστάσεις πολλών δεκάδων μέτρων, ενώ με την αύξηση της συχνότητας η διάδοση γίνεται γεωγραφικά κρίσιμη και περιορίζεται ουσιαστικά σε "συζυγή σημεία".

Τέλος, εκτιμάται ότι στη διάρκεια της βραδυνης TEP η κυματοδηγήση είναι ο μοναδικός τρόπος μετάδοσης για συχνότητες πάνω από 100 MHz, όπου η διάδοση γίνεται μέσα από περισσότερους, διαχυμένους μεταξύ τους, διηλεκτρικούς σωλήνες με διαφορετική πυκνότητα πλάσματος και σε διαφορετικά ύψη.

Στις χαμηλότερες όμως συχνότητες είναι πιθανό πέρα από την κυματοδηγήση να λειτουργούν παράλληλα και άλλοι γνωστοί μηχανισμοί όπως ο $2F_2$ και ο 2F .

6.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΤΟΥ
22ου ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (1991)

Κύριοι στόχοι για τη συμπλήρωση της μελέτης της βραδυ-
νής TEP στο μέγιστο του 22ου ηλιακού κύκλου μπορούν να είναι:

- α) Η επέκταση των μετρήσεων του χρόνου διάδοσης παλμών και της έντασης των σημάτων τόσο στους 432 MHz αλλά και σε συχνότητες κάτω από 28 MHz (π.χ. 7 και 14 MHz), ώστε να συμπληρωθεί το κενό που υπάρχει στις μετρήσεις για τις συχνότητες αυτές στη ζεύξη Pretoria-Athens και τα αποτελέσματα να συγκριθούν με το θεωρητικό μοντέλο που προβλέπει σημαντική καθυστέρηση ομάδας στο κατώτερο τμήμα των βραχέων κυμάτων.
- β) η επάληψη των μετρήσεων του χρόνου διάδοσης παλμών σε συχνότητες 28, 50 και 70 MHz με ταυτόχρονη και παράλληλη διεξαγωγή προσθέτων *in situ* παρατηρήσεων και δοκιμών για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των πολλαπλών μηχανισμών διάδοσης στη διάρκεια της βραδυνής TEP που εκτιμάται ότι μεταδίδουν τις συχνότητες αυτές.
- γ) η επέκταση των μετρήσεων έντασης και παραμόρφωσης των σημάτων σε συχνότητες πάνω από 100 MHz σε δισημερινές ζεύξεις με μικρότερο μήκος και πολύ καλή ορθογωνιότητα προς το μαγνητικό ισημερινό, ώστε να διαπιστωθεί αν παρατηρούνται και στον Ευρωπαϊκό τομέα η μεγάλη ένταση και "καθαρότητα" των σημάτων που διαπιστώθηκε στους υπόλοιπους δισημερινούς τομείς της γης. Μια τέτοια ζεύξη μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ Αιγύπτου και Ζάμπιας.
- δ) η επέκταση του ποσοτικού υπολογισμού της ολικής έντασης (ή εξασθένησης) των σημάτων με την ταυτόχρονη παρουσία περισσότερων ιονοσφαιρικών κυματοδηγών και ίσως δύο τρόπων διάδοσης (όπως κυματοδηγήση και διάθλαση από τις περιοχές μεγίστων της ισημερινής ανωμαλίας) μετά

από την εξακρίβωση όμως περισσότερων φυσικών και γεωμετρικών παραμέτρων των διηλεκτρικών "σωλήνων" από μεγάλα οπισθοσκεδαστικά συστήματα¹⁹.

- ε) η επέκταση του ποσοτικού υπολογισμού της διαπλάτυνσης των παλμικών σημάτων, που διαδίδονται από ένα ή περισσότερους διηλεκτρικούς "σωλήνες" και σύγκριση με τα αποτελέσματα που έχουν παρατηρηθεί, κάτω όμως από τις προϋποθέσεις της προηγούμενης παραγράφου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Υπολογισμός της σειράς $S(\varphi_s, x_i, x_s)$

Οι σταθερές διάδοσης για τους κυματοδηγούμενους ρυθμούς είναι σύμφωνα με την εξ. (17):

$$\beta_{mn} = k_0 n(o) \left[1 - 2 \frac{\sqrt{2\Delta}}{n(o)k_0 a} (2n+m+1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.1})$$

Επειδή οι κύριοι ρυθμοί έχουν $\beta_{mn} \sim k_0 n(o)$ το υπόριζο στην εξ. (A.1) είναι κοντά στη μονάδα και μπορεί να απλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη σχέση Bernoulli:

$$(1-x)^{\frac{1}{2}} \cong 1 - \frac{x}{2} \quad \text{όταν } x \ll 1$$

οπότε η εξ. (A.1) γράφεται:

$$\beta_{mn} \cong k_0 n(o) \left[1 - \frac{\sqrt{2\Delta}}{n(o)k_0 a} (2n+m+1) \right] \quad (\text{A.2})$$

Αντικαθιστώντας την εξ. (A.2) στο άθροισμα της εξ. (47), η τελευταία γράφεται

$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = e^{-jk_0 n(o)L} \sum_m \sum_n (-1)^m \cos(m\varphi_s) \epsilon_m e^{j\frac{\sqrt{2\Delta}}{a}(2n+m+1)L} \frac{n!}{(m+n)!} L_n^{(m)}(x_i) L_n^{(m)}(x_s) (x_i x_s)^{m/2} \quad (\text{A.3})$$

Για τον υπολογισμό του αθροίσματος αυτού χρησιμοποιείται η σχέση⁵⁸:

$$\sum_{n=0}^{+\infty} \frac{n!}{(m+n)!} L_n^{(m)}(\xi) L_n^{(m)}(\eta) t^n = \frac{1}{1-t} e^{-\frac{(\xi+\eta)t}{1-t}} (\xi\eta t)^{-\frac{m}{2}} I_m \left(\frac{2(\xi\eta t)^{\frac{1}{2}}}{1-t} \right) \quad (\text{A.4})$$

όπου $I_m(x)$ είναι η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel που συνδέεται

με τη συμβατική συνάρτηση Bessel με τη σχέση

$$I_V(q) = j^{-V} J_V(jq) \quad (A.5)$$

Ορίζοντας σαν :

$$t = e^{j \frac{2\sqrt{2\Delta}L}{a}} \quad (A.6)$$

$$\xi = x_i, \eta = x_s$$

το άθροισμα για το δείκτη n στην εξ. (A.3) υπολογίζεται από την εξ. (A.4), δηλαδή:

$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = e^{-jk_0 n(o)L} \sum_m (-1)^m \cos(m\varphi_s) e_m$$

$$e^{j(m+1)\frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L} (x_i x_s)^{m/2} \frac{1}{1 - e^{j \frac{2\sqrt{2\Delta}L}{a}}}$$

$$- \left(\frac{(x_i + x_s) e^{j \frac{2\sqrt{2\Delta}L}{a}}}{1 - e^{j \frac{2\sqrt{2\Delta}L}{a}}} \right) (x_i x_s e^{j \frac{2\sqrt{2\Delta}L}{a}})^{-\frac{m}{2}}$$

$$I_m \left(\frac{2(x_i x_s)^{\frac{1}{2}} e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L}}{1 - e^{j \frac{2\sqrt{2\Delta}L}{a}}} \right)$$

και μετά από πράξεις

$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = \frac{j}{2} e^{-jk_0 n(o)L} \frac{1}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L)} e^{-j \frac{(x_i + x_s) e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L}}{2 \sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L)}}$$

$$\sum_m j^{-m} e_m \cos(m\varphi_s) J_m \left(\frac{(x_i x_s)^{\frac{1}{2}} e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L}}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a}L)} \right) \quad (A.7)$$

αλλά σύμφωνα με την εξ. (37)

$$\sum_m e_m j^{-m} \cos(m\varphi_s) J_m \left(\frac{(x_i x_s)^{\frac{1}{2}} e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L}}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} \right)$$

$$= e^{-j \left[(x_i x_s)^{\frac{1}{2}} e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L} / \sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L) \right] \cos\varphi_s}$$

οπότε

$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = \frac{j}{2} e^{-jk_0 n(o)L} \frac{1}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} \exp \left[-j \left(\frac{(x_i + x_s) e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L}}{2 \sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} + \frac{(x_i x_s)^{\frac{1}{2}} e^{j \frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L}}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} \cos\varphi_s \right) \right] \quad (A.8)$$

και μετά από πράξεις

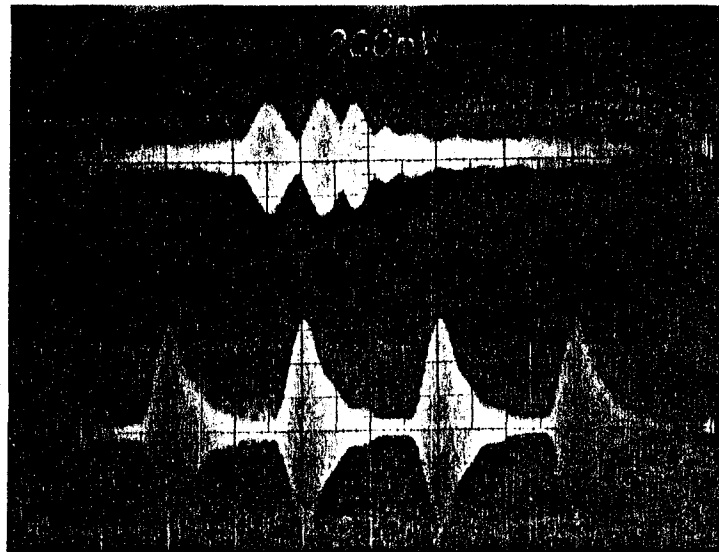
$$S(\varphi_s, x_i, x_s) = \frac{j}{2} e^{-jk_0 n(o)L} \frac{1}{\sin(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L)} \exp \left[-\frac{j}{2} \cot(\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} L) (x_i + x_s + 2\sqrt{x_i x_s} \cos\varphi_s) \right] \exp \left[\frac{1}{2} (x_i + x_s + 2\sqrt{x_i x_s} \cos\varphi_s) \right] \quad (A.9)$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Φωτογραφικό αρχείο χαρακτηριστικών περιπτώσεων
διημερινής διάδοσης παλμών στη ζεύξη
Pretoria-Athens

Το αρχείο που περιέχεται στο παράρτημα αυτό περιλαμβάνει φωτογραφική αποτύπωση 21 χαρακτηριστικών περιπτώσεων διημερινής διάδοσης παλμών μεταξύ Pretoria και Athens, που παρατηρήθηκαν στη διάρκεια του 1980. Οι χαρακτηριστικές αυτές περιπτώσεις αναφέρονται και στις τρεις συχνότητες που μετρήθηκε ο χρόνος διάδοσης παλμών (28, 50 και 144 MHz) και καλύπτουν τόσο την απογευματινή και τη βραδυνή TEP όσο και την κοινή ιονοσφαιρική διάδοση ($2F_2$) στους 28 MHz για λόγους σύγκρισης.

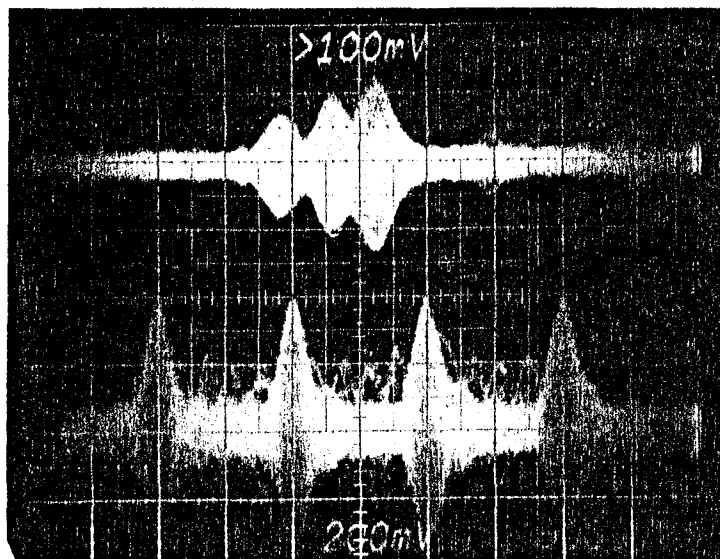
A.

Ημερ.: 25/3/1980
T.Ω. : 07:30
F : 28 MHz
Pw : 0,25 ms
T_D min: 24,2/24,5/24,8 ms



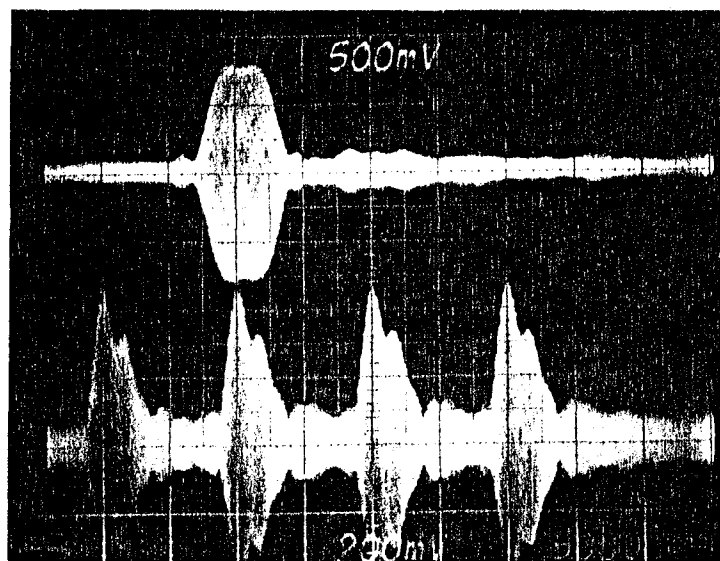
B.

Ημερ.: 8/2/1980
T.Ω. : 09:35
F : 28 MHz
Pw : 0,25 ms
T_D min: 24,3/24,7/25,0 ms



Γ.

Ημερ.: 22/2/1980
T.Ω. : 20:36
F : 28 MHz
Pw : 0,5 ms
T_D min: 24,3 ms



Φ1: Διάδοση στους 28 MHz (πολλαπλά ίχνη παλμών)

- A: Πολλαπλή διάδοση (πιθανώς 2F₂, 3F₂ και 4F₂) τις πρωινές ώρες
- B: " " " " " "
- Γ: Βραδυνή διάδοση 2F₂ χωρίς βραδυνή ΤΕΡ

A.

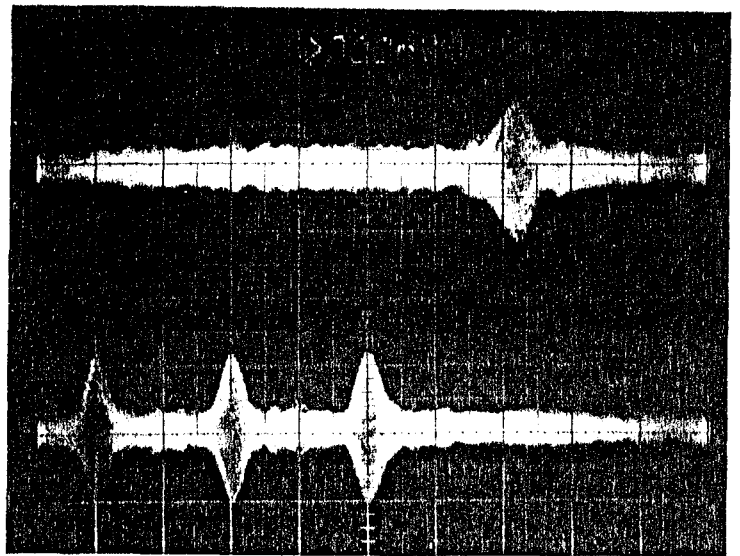
Ημερ.: 15/2/1980

T.Ω. : 20:24

F : 28 MHz

Pw : 0,25 ms

T_D : 27,5 ms



B.

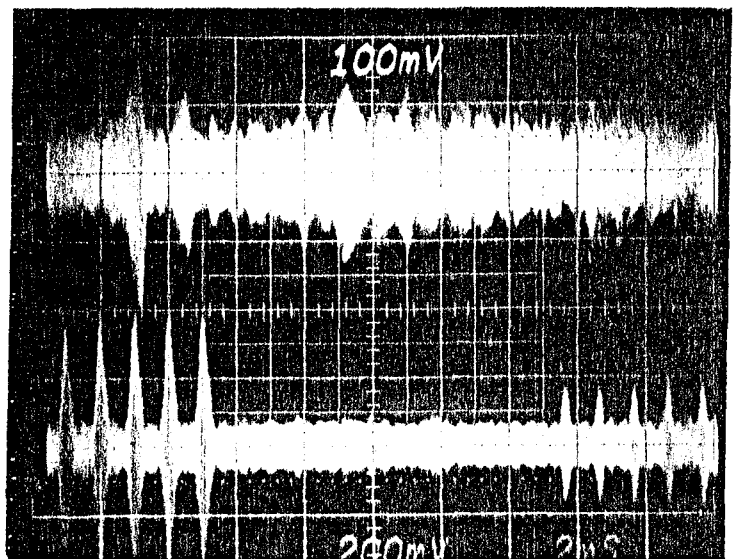
Ημερ.: 3/3/1980

T.Ω. : 18:53

F : 28 MHz

Pw : 0,25 ms

T_D : 24,6/25,8/31, 6!/
39,8 ms !!



Γ.

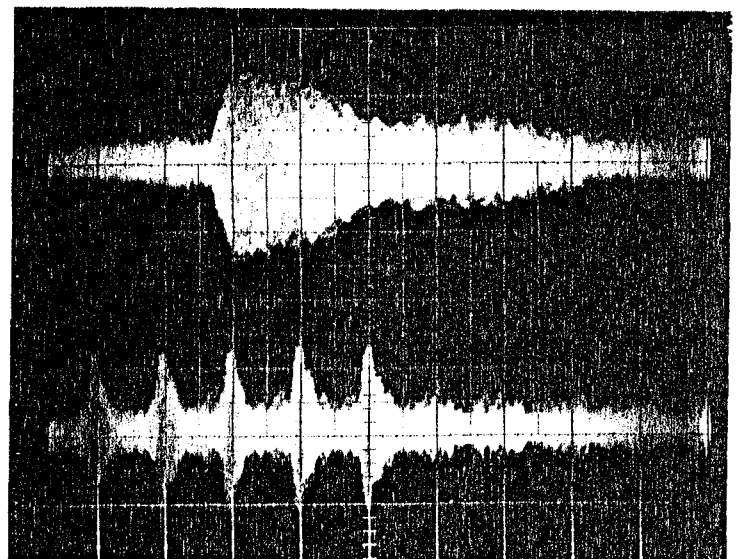
Ημερ.: 21/2/1980

T.Ω. : 18:30

F : 28 MHz

Pw : 1,0 ms

T_D : 24,4~29,4 ms



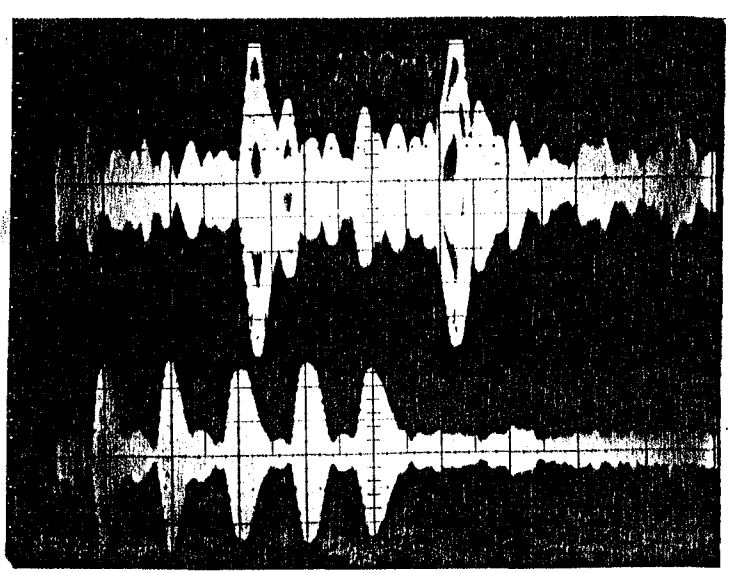
Φ2: Διάδοση στους 28 MHz (πολλαπλά ίχνη παλμών)

A: Βραδυνή διάδοση με μεγάλο χρόνο διάδοσης παλμών (χωρίς βραδυνή TEP)

B: Πολλαπλή διάδοση στη διάρκεια βραδυνης TEP και ταυτόχρονα δύο πρόσθετοι δίαυλοι με εξαιρετικά μεγάλο χρόνο διάδοσης παλμών.

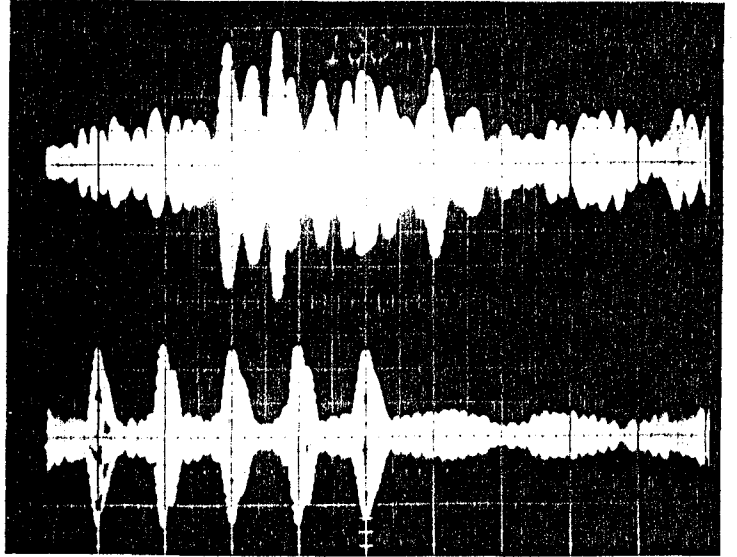
A.

Ημερ.: 2/3/1980
T.Ω. : 20:06
F : 28 MHz
Pw : 0,25 ms
T_D min: 24,7/29,6 ms
(2 διακριτοί παλμοί)



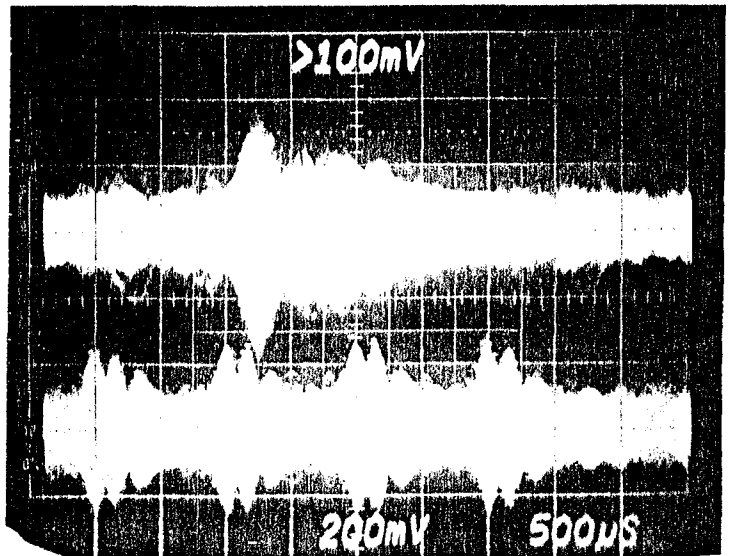
B.

Ημερ.: 24/2/1980
T.Ω. : 21:00
F : 28 MHz
Pw : 0,25 ms
T_D min: 24,3~27,4 ms
(9 διακριτοί παλμοί)



Γ.

Ημερ.: 5/2/1980
T.Ω. : 21:40
F : 28 MHz
Pw : 0,25 ms
T_D min: 24,6/24,9~25,6 ms
(πολλαπλή διάδοση στους 100 KHz
3 διακριτοί παλμοί με ΔT=0,15 ms)



- Φ3: Διάδοση στους 28 MHz (μόνο ίχνος παλμών Α, Β και πολλαπλό Γ).
- A: Διάδοση με βραδυνή ΤΕΡ από δύο διακριτούς διαύλους.
 - B: " " " " εννέα " " "
 - Γ: Πολλαπλή διάδοση με βραδυνή ΤΕΡ και πολλαπλή διάδοση

A.

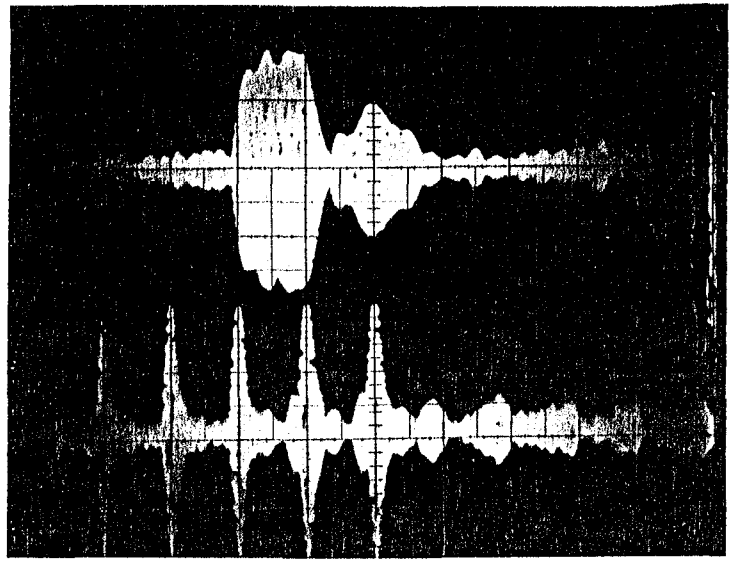
Ημερ.: 21/2/1980

Τ.Ω. : 20:58

F : 50 MHz

Pw : 1,0 ms

T_{Dmin} : 24,5/25,9 ms



B.

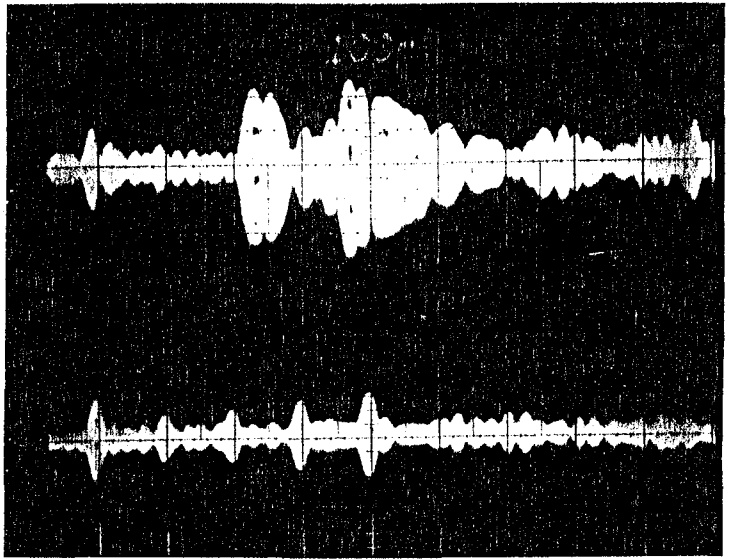
Ημερ.: 10/3/1980

Τ.Ω. : 20:35

F : 50 MHz

Pw : 1,3 ms

T_{Dmin} : 24,7/26,2 ms



Γ.

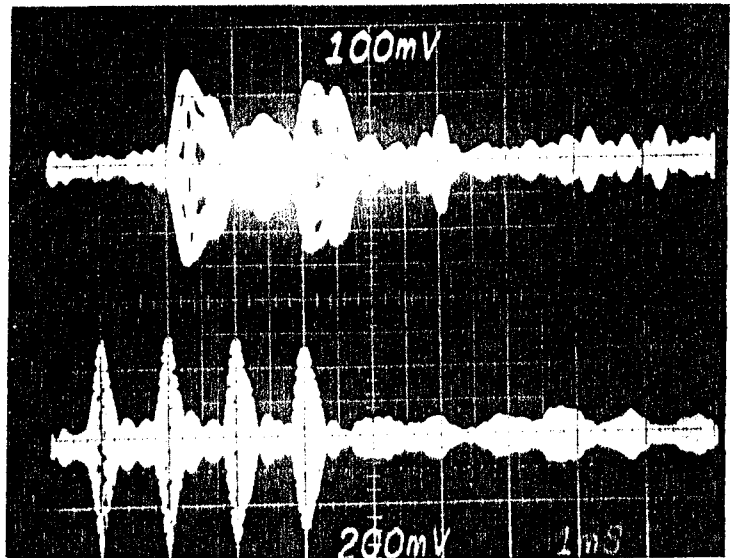
Ημερ.: 16/3/1980

Τ.Ω. : 20:22

F : 50 MHz

Pw : 1,8 ms

T_{Dmin} : 24,7~25,1 ms



Φ4: Διάδοση στους 50 MHz (μονό ίχνος παλμών)

A,B: Βραδυνή διάδοση με απογευματινού και βραδυνού τύπου ΤΕΡ.

Γ : Βραδυνή διάδοση με ισχυρή παραμόρφωση στη διάρκεια ενός διακριτού παλμού.

A.

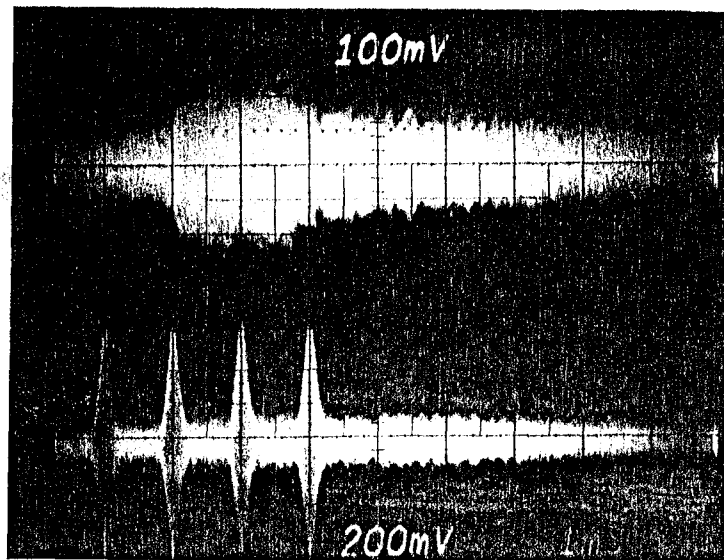
Ημερ.: 28/3/1980

Τ.Ω. : 20:00

F : 28 MHz

Pw : 1,8 ms

T_D min: 24,5 ms



B.

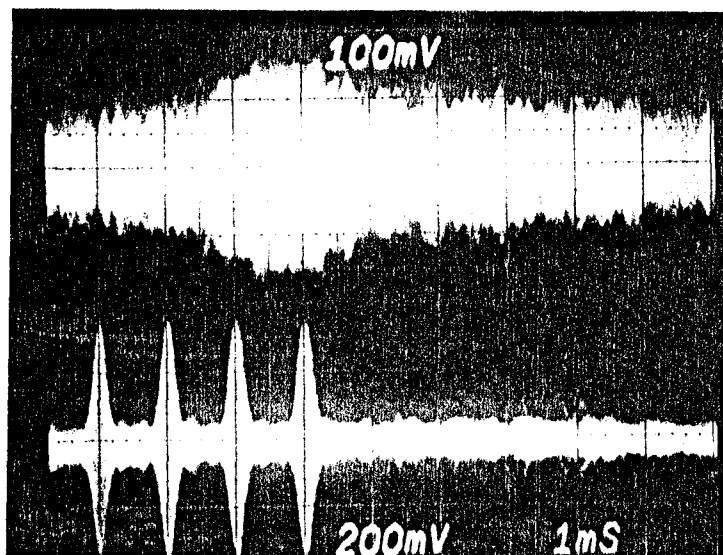
Ημερ.: 28/3/1980

Τ.Ω. : 20:17

F : 50 MHz

Pw : 1,8 ms

T_D min: 25,2 ms



Γ.

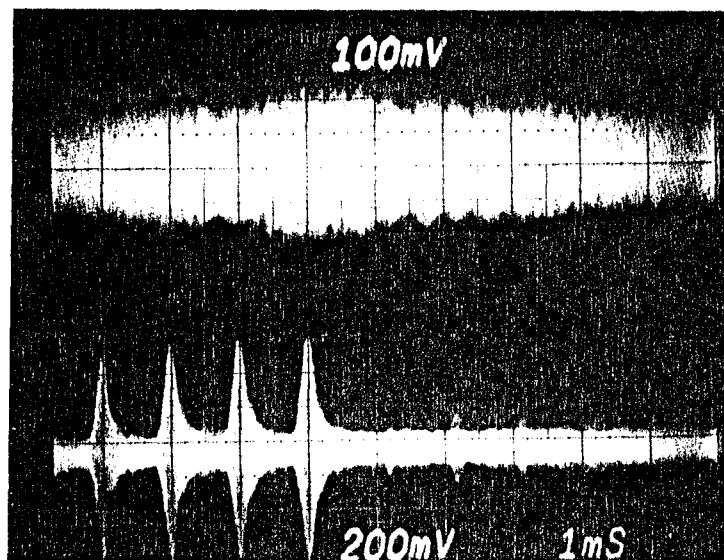
Ημερ.: 28/3/1980

Τ.Ω. : 20:03

F : 145 MHz

Pw : 1,8 ms

T_D min: 25,8 ms



Φ5: Διάδοση στη διάρκεια βραδυνης ΤΕΡ (πολλαπλά ίχνη παλμών)

A: Διάδοση στους 28 MHz

B: " " 50 MHz

Γ: " " 145 MHz

A.

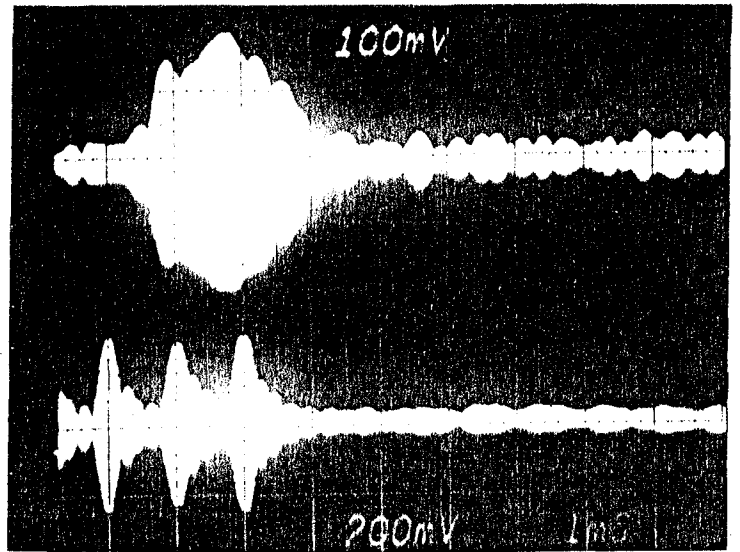
Ημερ.: 31/3/1980

Τ.Ω. : 20:12

F : 28 MHz

Pw : 1,0 ms

T_Dmin : 25,3~26,2 ms



B.

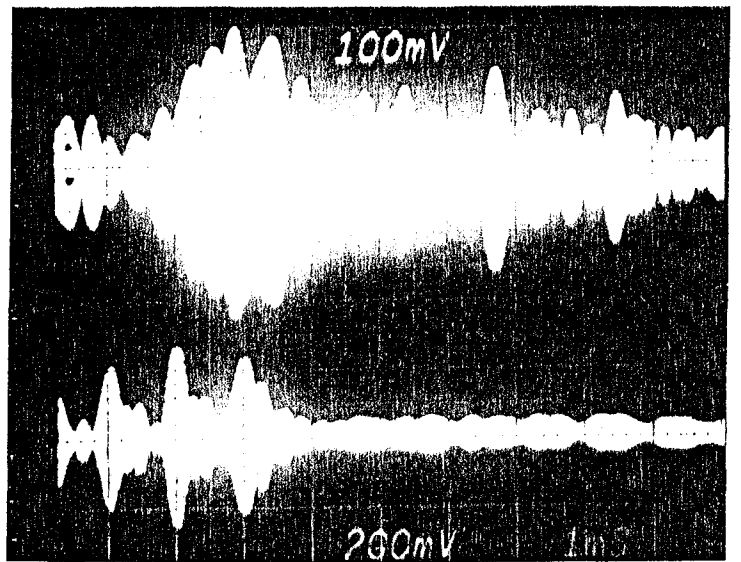
Ημερ.: 31/3/1980

Τ.Ω. : 20:21

F : 50 MHz

Pw : 1,0 ms

T_Dmin : 25,7~26,2 ms



Γ.

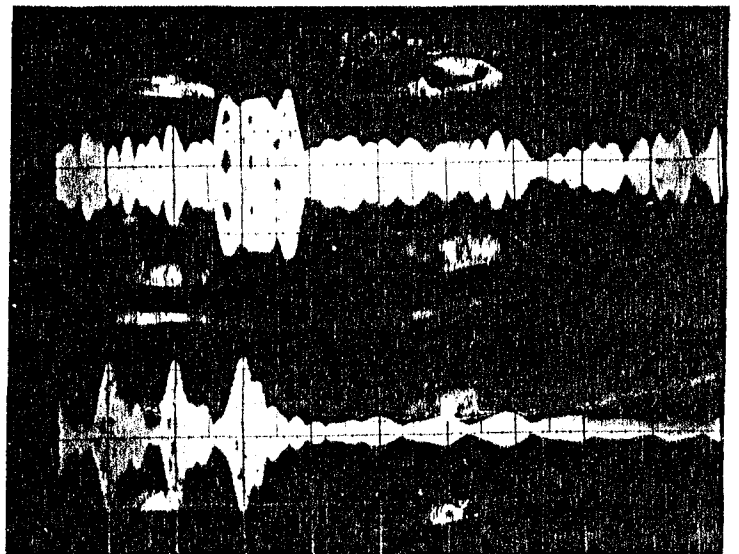
Ημερ.: 31/3/1980

Τ.Ω. : 20:04

F : 145 MHz

Pw : 1,0 ms

T_Dmin : 26,2 ms



Φ6: Διάδοση στη διάρκεια βραδυνης ΤΕΡ (μονό ίχνος παλμών)

A: Διάδοση στους 28 MHz

B: " " 50 MHz

A.

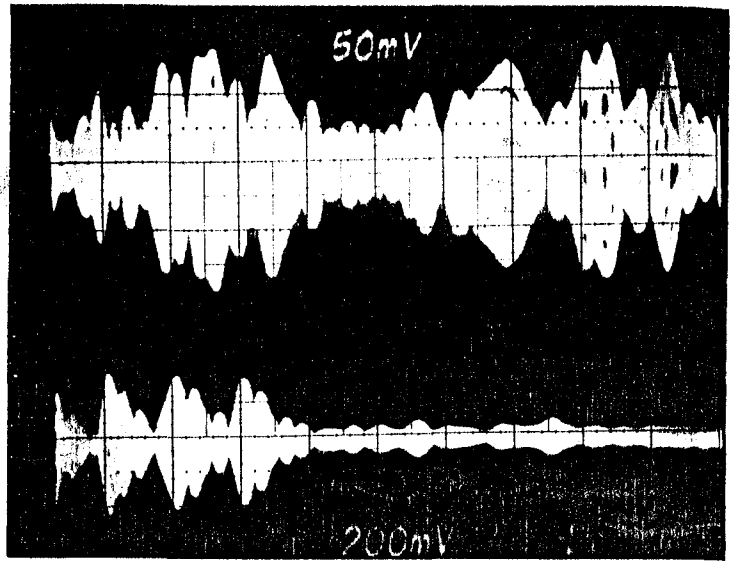
Ημερ.: 29/3/1980

T.Ω. : 19:54

F : 28 MHz

Pw : 1,8 ms

T_Dmin : 25,2 και 30,2~31,8 ms



B.

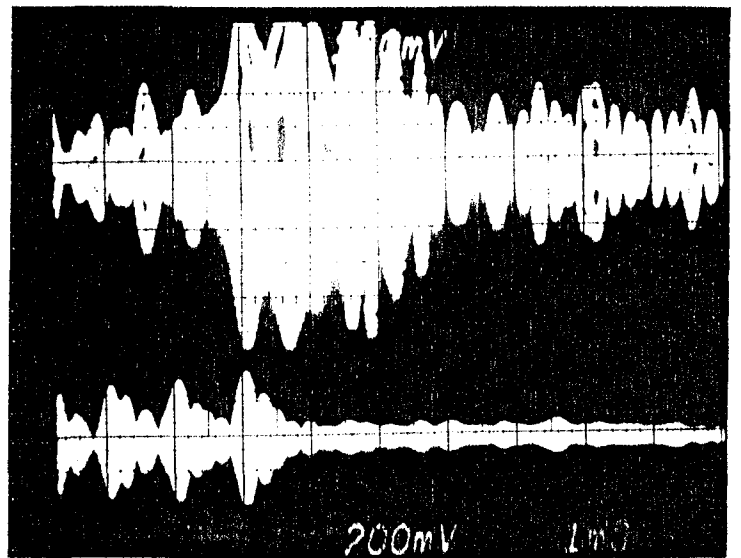
Ημερ.: 29/3/1980

T.Ω. : 19:53

F : 50 MHz

Pw : 1,8 ms

T_Dmin : 26,4~27,2 ms



Γ.

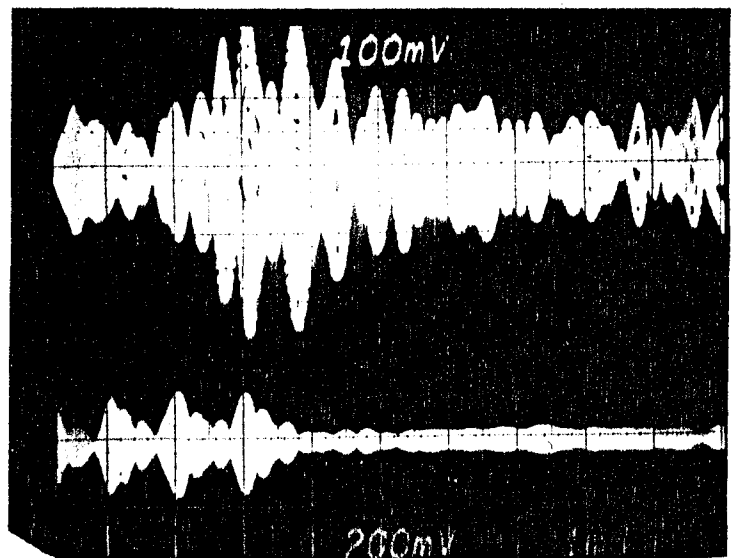
Ημερ.: 29/3/1980

T.Ω. : 19:49

F : 145 MHz

Pw : 1,8 ms

T_Dmin : 26,1 ms



Φ7: Διάδοση στη διάρκεια βραδυνής ΤΕΡ (μονό ίχνος παλμών)

A: Διάδοση στους 28 MHz από δύο χωριστούς διαύλους

B: " " 50 MHz " ένα κύριο δίαυλο

Γ: " " 145 MHz " " " "

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tilton, E.P., "The world above 50 Mc.", QST (1947), Vol. 31 (10), pp. 56-57.
2. Nielson, D.L., "A review of VHF Transequatorial propagation", AGARD CP (1968), No. 37, pp. 45.1-45.18.
3. McCue, C.C., Fyfe, D.F., "Transequatorial Propagation: Task Bridger introductory review", IREE Australia Proceedings (1965), Vol. 26(1), pp. 1-10.
4. McNamara, L.F., "Evening-type Transequatorial propagation on Japan-Australia circuits", Aust. J. Phys. (1973), Vol. 26, pp. 521-543.
5. Gibson-Wilde, B.C., "Relation between the equatorial anomaly and trans-equatorial VHF radio propagation", Radio Science (1969), Vol. 4(9), pp. 797-803.
6. Ferrell, O.P., "Enhanced transequatorial propagation following geomagnetic storms", Nature (1951), No. 167, pp. 811-812.
7. Carman, E.H., Heeran, M.P., Anastassiadis, M., "Investigation of a VHF Transequatorial Path between Europe and Southern Africa", J.A.T.P. (1973), Vol. 35, pp. 1213-1222.
8. Anastassiadis, M., Stephanou, G., "Long range VHF TEP for the Euro-African path: A review of time delay measurements", AGARD CP (1975), No. 173, pp. 9.1-9.22.
9. Cracknell, R.G., "Transequatorial Propagation of VHF signals", QST (1959), Vol. 43 (12), pp. 11-17.
10. Cracknell, R.G., Whiting, R.A., "Transequatorial Radio Propagation during the years of the quiet sun", Radio Communication (1965), Vol. 41 (6), pp. 367-370.
11. Villard, O.G., Stein, S., Yeh, K.C., "Studies of trans-equatorial ionospheric propagation by the scatter sounding method", J.G.R. (1957), Vol. 62, pp. 399-412.
12. Reisert, J.H., Pfeffer, G., "A newly discovered mode of VHF propagation", QST (1978), Vol. 62(10), pp. 11-14.

13. Kuriki, I., Tanohata, K., Sakamoto, T., Iguchi, M., "Propagational mode deducted from signal strengths in the VHF band on the Transequatorial path", Journal of the Radio Research Laboratories (1972), Vol. 19, No. 100, pp. 175-195.
14. Nielson, D.L., "The importance of horizontal F-region drifts to transequatorial VHF propagation", AGARD CP (1968), No. 37, pp. 46.1-46.6 .
15. Röttger, J., "Transequatorial DX contacts on 144 MHz", Radio Communication (1978), Vol. 54 (12), pp. 1028-1029.
16. Winkler, C., "Radio wave guidance at VHF through equatorial plasma bubbles", J.A.T.P. (1981), Vol. 43, pp. pp. 307-315.
17. Heron, M.L., McNamara, L.F., "Transequatorial VHF propagation through equatorial plasma bubbles", Radio Science (1979), Vol. 14(5), pp. 897-910.
18. Woodman, R., La Hoz, C., "Radar observations of F region equatorial irregularities", J.G.R. (1976) Vol. 81 (31), pp. 5447-5466.
19. Tsunoda, R., "Magnetic field-aligned characteristics of plasma bubbles in the nighttime equatorial ionosphere", J.A.T.P. (1980), Vol. 42, pp. 743-752.
20. Lyon, A.J., Thomas, L., "The F₂-region equatorial anomaly in the African, American and East Asian sectors during sunspot maximum". J.A.T.P. (1963), Vol. 25, pp. 373-386.
21. Rastogi, R.G., "The diurnal development of the anomalous belt in the F₂ region of the ionosphere", J.G.R. (1959), Vol. 64(7), pp. 727-732.
22. Rao, C.S.R., Malthotra, P.L., "A study of the geomagnetic anomaly during I.G.Y." J.A.T.P. (1964), Vol. 26, pp. 1075-1085.

23. Gibson-Wilde, B.C., "The equatorial anomaly in the Australasian zone during sunspot minimum", J.A.T.P. (1967), Vol. 29, pp. 1269-1275.
24. Eccles, D., King, J.W., "A review of topside sounder studies of the equatorial ionosphere", IEEE Proc. (1969), Vol. 57(6), pp. 1012-1018.
25. Cracknell, R.G., Whiting, R.A., "Twenty-one years of TE", Radio Communication (1980), Vol. 56(6,7), pp. 626-634 and Vol. 56(8) pp. 785-788.
26. Cracknell, R.G., Anderson, F., Fimerelis, C., "The Euro-Asia to Africa VHF Transequatorial circuit during solar cycle 21", QST (1981), Vol. 65(11), pp. 31-36 and Vol. 65(12) pp. 23-27.
27. Giraud, A., Petit, M., "Ionospheric Techniques and Phenomena", Reidel Publ. Co. (1978).
28. Cole, D.G., McNamara, L.F., "Variations of spread-F occurrence rates at near-equatorial stations in the Australian zone", Austr. J. Phys. (1974), Vol. 27, pp. 249-257.
29. Southworth, M.P., "Night-time equatorial propagation of 50 MHz. First results from an IGY amateur observing program" J.G.R. (1960), Vol. 65, pp. 601-607.
30. Röttger, J., "Influence of spread-F on HF radio systems", AGARD CP (1975), No. 173, pp. 26.1-26.17 .
31. Röttger, J., "Some properties of large-scale equatorial spread-F irregularities interpreted by influences of atmospheric gravity waves", Zeitschrift für Geophysik (1973), Vol. 39, pp. 799-818.
32. Rajaram, G., "Structure of the equatorial F-region, topside and bottomside, a review", J.A.T.P. (1977), Vol. 39, pp. 1125-1144.
33. Martyn, D.F., "The Normal F Region of the Ionosphere", Proceedings of the IRE (1959), Vol. 2 , pp. 147-155.

34. Smith, Jr., E.K., "The occurrence of E_s ", Cambridge Conf. Proc. on E_s ionization (1958).
35. CCIR/ITU (International Radio Consultative Committee), "Propagation in ionized media", Recommendations and Reports of the CCIR (1978), Vol. VI, Rep. 255-4, 259-4, 263-4, 340-3, 435-3, 725.
36. Fimerelis, C., Uzunoglu, N.K., "Experimental results for the 144 MHz Transequatorial Propagation in the Euro-African Sector". IEE Third Int. Conf. Proc. on Antennas and Propagation-ICAP 83 (1983), Vol. 1, pp. 325-328.
37. Cracknell, R.G., "Transequatorial Propagation of VHF radio signals", Proc. 1st Federal Science Congress, Salisbury, (1960).
38. Cracknell, R.G., Whiting, R.A., "Results of TEP 32-87 MHz Project", HRB Singer Inc., State College, Pa.(1961-1962).
39. Anastassiadis, M., Antoniadis, D., "Time delay measurements in the Athens (Greece)-Roma (Lesotho) VHF Transequatorial propagation circuit", J.A.T.P. (1972), Vol. 34(7), pp. 1215-1222.
40. Moraitis, G., Vassilaras, J., Anastassiades, M., "Movement of the reflecting layer in the transequatorial propagation path Athens (Greece)-Roma (Lesotho), J.A.T.P. (1973), Vol. 35, pp. 2283-2288.
41. Βασιλαράς, Ι., "Επί της μεταβολής του απολύτου χρόνου διαδρομής υπερουχνοτήτων κατά την ύπερθεν ισημερινού διαδρομής Αθηνών-Roma", Διδακτορική διατριβή Π.Α. (1973).
42. Στεφάνου, Γ., "Συμβολή στη μελέτη της υπερισημερινής ζεύξης Αθήνας-Salisbury", Διδακτορική διατριβή, Π.Α. (1981).
43. Μολυμπάκης, Μ., "Συμβολή στη μελέτη των πολωτικών χαρακτηριστικών της απογευματινής υπερισημερινής ζεύξης Αθήνας-Salisbury. Ο ρόλος του ισημερινού σποραδικού E_s στρώματος στη VHF ζεύξη", Διδακτορική διατριβή Π.Α.(1983).

44. Harrison, R.L., "VHF Transequatorial Propagation", VHF Communications", (1973), Vol. 5, pp. 194-206 and (1974) Vol. 6, pp. 18-24.
45. Mueller, E., "YV5ZZ radio log-book", Private Communication (1977).
46. Vernardakis, G., "SV1AB radio log-book", Private Communication (1977).
47. Fimerelis, C., Uzunoglou, N.K., "Transequatorial Propagation on VHF and low UHF bands during the peak of solar cycle 21 for the Euro-African sector", IEEE Int. Symp. Proc. on Antennas and Propagation-APS 81 (1981), Vol. 2, pp. 379-382.
48. Aarons, J., Whitney, H.E., "Microwave equatorial scintillation intensity during solar maximum". Radio Science (1981), Vol. 16(5), pp. 939-945.
49. Aarons, J., Private Communication, (1981).
50. McNamara, L.F., "Ionospheric predictions on Transequatorial circuits", Proc. IREE (1974), Vol. 5, pp. 117-123.
51. National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S. Dept. of Commerce, "Solar-Geophysical Data, Comprehensive, Prompt and Explanation Reports", (1977-1984).
52. Cohen, R., "The Equatorial Ionosphere", Physics of Geomagnetic Phenomena (1967), Vol. 1, pp. 561-613.
53. Bowen, E.D., Fay, W.J., Heritage, J.L., "VHF characteristics of the transequatorial ionosphere", J.G.R. (1968), Vol. 73, pp. 2469-2476.
54. Nielson, D.L., "Long-range VHF propagation across the geomagnetic equator", Report, Stanford Res. Inst. (1969).
55. McClure, J.P., Hanson, W.B., Hoffman, J.H., "Plasma bubbles and irregularities in the equatorial ionosphere", J.G.R. (1977), Vol. 82, pp. 2650-2656.

56. Ουζούνογλου, Ν., "Τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών", Ε.Μ. Πολυτεχνείο (1985), κεφ. 2 και 3.
57. Abramowitz, M., Stegun, I., "Handbook of Mathematical functions", Dover Pub. (1972), Chapter 22.
58. Lebedev, N.N., "Special functions and their applications", Dover Pub. (1972), Chapter 4, and 6 (section 6.8).
59. Van de Hulst, H.C., "Light scattering by small particles", Dover Pub. (1981), Chapter 4.
60. Davies, K., "Ionospheric radio propagation", Dover Pub. (1966), Chapter 3.
61. Baker, G., "144 MHz propagation Darwin-Japan", Private Communication, (1982).
62. Cracknell, R.G., "ZE2JV radio log-book", Private Communication, (1983).
63. Anderson, F., "Analysis of signals received in Pretoria (S.A.) from 28 to 70 MHz", Private Communication, (1982).
64. Tynan, B., "The world above 50 MHz", QST (1983), Vol. 67 (7), pp. 74-75.
65. Baker, G., "Night time VHF propagation", Private Communication, (1982).
66. Aarons, J., Mullen, J.P., Whitney, H.E., McKenzie, E.M., "The dynamics of equatorial irregularity patch formation, motion and decay", JGR (1980), Vol. 85(1), pp. 139-149.
67. McSherry, L.K., "Ionospheric scintillations at SHF", Microwave Journal (1977), Vol. 6, pp. 99-100 και 103.
68. Born, M., Wolf, E., "Principles of Optics", Pergamon Press (1964), Chapter 13.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή, που συμβάλει στη μελέτη της βραδυνης διησημερινής διάδοσης πολύ υψηλών ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ Ελλάδος και Αφρικής, αναπτύσσεται σε έξη κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο, μετά από μία γενική ιστορική αναδρομή, περιγράφονται τόσο η απογευματινή όσο και η βραδυνη διησημερινή διάδοση (TEP) καθώς και τα ειδικά ιονοσφαιρικά φαινόμενα που παρουσιάζονται στην ησημερινή ζώνη και συνδέονται βιβλιογραφικά με τον ειδικό αυτό τύπο διάδοσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά οι ιδιομορφίες του Ευρωπαϊκού τομέα TEP καθώς και η ερευνητική δραστηριότητα που πραγματοποιήθηκε τόσο σε προηγούμενους ηλιακούς κύκλους (19ο και 20ο) όσο και στη διάρκεια του 21ου κύκλου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά ο τρόπος μελέτης της βραδυνης TEP, που περιλαμβάνει κυρίως τη μέτρηση της διασποράς και μετατόπισης της συχνότητας και του χρόνου μονόφορης διάδοσης παλμών, καθώς και τη διάταξη των τερματικών σταθμών στην Αθήνα και την Pretoria.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων και των μετρήσεων που αναφέρονται:

- στη γεωγραφική εξάρτηση της TEP,
- στις ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές,
- στην αξιοπιστία μετάδοσης των διησημερινών ζεύξεων,
- στην ηλιακή και μαγνητική εξάρτηση,
- στην ένταση και πόλωση των σημάτων,
- στις γωνίες άφιξης και τη μεταβολή τους,
- στη διασπορά και μετατόπιση της συχνότητας των σημάτων,
- στο χρόνο διάδοσης παλμών,
- στην πολλαπλή διάδοση και τις διαλήψεις,
- στις ομοιότητες και τις διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στους τρεις διησημερινούς τομείς της γης.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στη θεωρητική μελέτη ενός προτύπου διάδοσης που βασίζεται στην κυματοδήγηση των ραδιοκυμάτων μέσα από προσανατολισμένες στο γήινο μαγνητικό πεδίο ανομοιογένειες κενών ιονισμού, που δημιουργούνται μετά τη δύση του ήλιου στην ισημερινή ιονόσφαιρα. Με βάση το πρότυπο αυτό γίνεται υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών των ζεύξεων όπως:

- η ολική εξασθένιση,
- ο χρόνος διάδοσης παλμών,
- η συχνότητα αποκοπής,

που συμπίπτουν ικανοποιητικά με τις παρατηρήσεις και εξηγούνται οι αποκλίσεις που εμφανίζονται.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μία ανασκόπηση των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής και βγαίνουν τα τελικά συμπεράσματα.

Σε δύο παραρτήματα δίνονται χωριστά:

- ο υπολογισμός μιας σειράς που προκύπτει στο θεωρητικό πρότυπο,
- ένα φωτογραφικό αρχείο χαρακτηριστικών περιπτώσεων διάδοσης παλμών που παρατηρήθηκαν στη ζεύξη Pretoria-Athens (1980).

EVENING-TYPE TRANSEQUATORIAL VHF PROPAGATION
BETWEEN GREECE AND AFRICA DURING THE PEAK
OF SOLAR CYCLE 21 (1978-1982)

By

Constantine G. Fimerelis

Mechanical and Electrical Engineer (N.T.U.A.)

Submitted to the Faculty of Electrical
Engineering of N.T.U.A. in fulfillment of the
requirements for the degree of Doctor of Engineering

This thesis contributes to the study of the evening-type transequatorial propagation (TEP) of very high frequencies (VHF) between Greece and Africa.

A historic and bibliographic review is made relating afternoon and evening TEP with special ionospheric phenomena present in the equatorial zone.

The particularities of the Euro-African TEP sector are stated together with the research work carried out during past (19th and 20th) and last (21st) solar cycles.

The results of observations and measurements are given examining TEP in relation with different factors such as: geographical position, daily and seasonal variations, solar and magnetic activity, signal strength and polarization of waves, arrival angles, frequency shift and spreading, propagation delay, multipath and fading. The reliability of TE radio circuits is also studied and calculated and the similarities and differences between the three TE sectors of the earth are presented.

The detailed description of the terminal stations in Athens and Pretoria (S.A.) is also given.

A theoretical model is presented which is based on the waveguiding of signals through depletion density magnetic field aligned irregularities, formed after sunset in the

equatorial ionosphere.

Based on that model, calculations are made for the total attenuation, propagation delay and cutoff frequency which show good agreement with measured values.

In two appendices, the manipulation of a series which derives from the theoretical model and a short file of photographs showing some special propagation characteristics are presented.

ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΑΓΕΤΑΙ Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Τέτοια σημεία είναι:

- Η δημιουργία ενός σημαντικού αρχείου δεδομένων για τη βραδυνή ΤΕΡ στον Ευρωπαϊκό τομέα για μία μεγάλη χρονική περίοδο γύρω από το μέγιστο του ηλιακού κύκλου. Τα δεδομένα αφορούν κυρίως τη μεταβολή της εξασθένησης, του χρόνου διάδοσης παλμών, της αξιοπιστίας των ζεύξεων και άλλων μεγεθών με τη συχνότητα καθώς και την εξάρτηση, τους από τη γεωγραφική τοποθέτηση των ζεύξεων, την ηλιακή και τη μαγνητική δραστηριότητα. Ορισμένα δεδομένα συγκρίνονται με αντίστοιχα που παρατηρήθηκαν στους άλλους ημισφαιρινούς τομείς της γης.
- Η ανάπτυξη ενός θεωρητικού προτύπου διάδοσης που μπορεί να εκτιμήσει ικανοποιητικά βασικά μεγέθη σε βραδυνές ημισφαιρινές ζεύξεις που λειτουργούν σε πολύ ψηλές συχνότητες (όπως είναι η εξασθένηση, ο χρόνος διάδοσης και η συχνότητα αποκοπής) ώστε να προσδιορίζονται οι επιδράσεις από εκπομπές του ενός ημισφαιρίου της γης στο αντίθετο αλλά και στις επικοινωνίες από δορυφόρους σε πολικές τροχιές που διασχίζουν τον ημισφαιρινό.