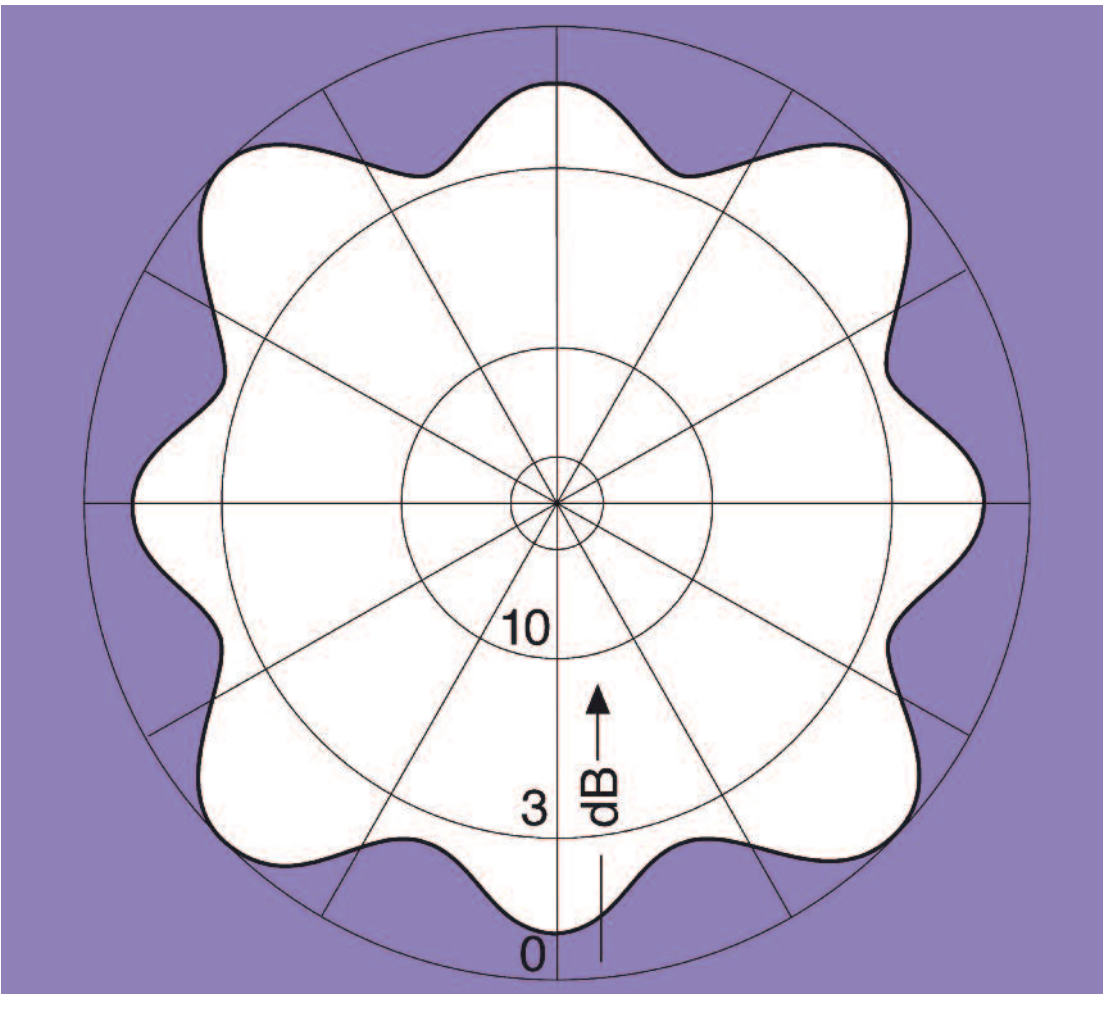
Του Θανάση Κυριακόπουλου



Gap Fillers
Αναμεταδότες Επίγειας Ψηφιακής TV

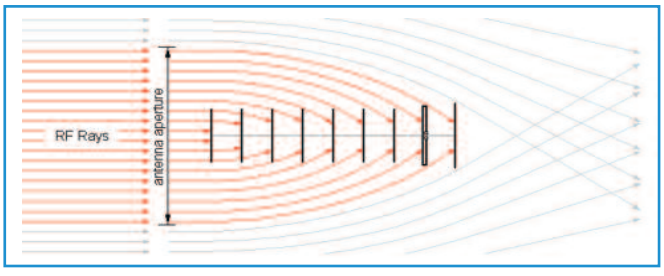
Η ακτινοβόληση της ισχύος και τα κεραιοσυστήματα ενός Gap Filler

Στα προηγούμενα άρθρα είδαμε πως μπορούμε να υπολογίσουμε την πραγματική ισχύ που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε μια συγκεκριμένη περιοχή με τηλεοπτικό ψηφιακό σήμα, τις μονάδες ισχύος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να ενισχύσουμε στα επιθυμητά επίπεδα τη στάθμη των ψηφιακών σημάτων, τους τρόπους πολύπλεξης πολλών ψηφιακών streams, τις έννοιες της απώλειας διάδοσης, της ακτινοβολούμενης ισχύος, τους τρόπους ελέγχου-τηλεχειρισμού των Gap Fillers από μακριά, κλπ.
Σε αυτό το άρθρο θα δούμε τις βασικές έννοιες της κατευθυντικότητας μιας εκπομπής, της απολαβής σε dBi & dB, την εκμετάλλευση της συμφασικής εκπομπής για να μεγαλώσουμε την απολαβή ενός κεραιοσυστήματος, την ηλεκτρική κλίση καμπύλης και τέλος θα εξετάσουμε τις διαφορετικές συνθέσεις ανάλογα με τις ανάγκες οριζόντιας κάλυψης.

Πριν ασχοληθούμε με τις διαφορετικές συνθέσεις των κεραιοσυστημάτων, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια της κατευθυντικότητας στην ακτινοβόλησης της ισχύος.

Πως "πλάθουμε" την ακτινοβόληση της ισχύος και την κατευθύνουμε εκεί που θέλουμε

Μιλάμε καθημερινά για τις κεραίες λήψης και εκπομπής, για την απολαβή τους, για την κα-



Ο τρόπος που ενισχύει το σήμα η κεραία Yagi

τευθυντικότητα τους και για άλλα μεγέθη, όμως πολλές φορές αυτές οι έννοιες δεν είναι απόλυτα καθαρές στο μυαλό μας.

Ξέρουμε για παράδειγμα πως μια κεραία είναι η μόνη διάταξη που κάνει καθαρή ενίσχυση σε ένα σήμα – ενίσχυση απαλλαγμένη από οποιαδήποτε μορφή επιβάρυνσης με θόρυβο όπως υποχρεωτικά κάνει η κάθε ηλεκτρονική ενισχυτική βαθμίδα.

Ο τρόπος που το επιτυγχάνει εξαρτάται από το είδος της κεραίας, όμως γενικά η ενίσχυση επιτυγχάνεται με μηχανικές κατασκευές σε διαστάσεις οι οποίες επιτρέπουν την συμφασική πρόσθεση σημάτων.

Όμως, πως θα μπορούσαμε να δώσουμε μια απλή και εύκολα κατανοητή περιγραφή της διεργασίας που εκτελεί μια κεραία;

Θα προσπαθήσουμε να μεταφέρουμε μια επιτυχημένη παραβολή που μας έδωσε κάποτε ένας καθηγητής μας:

Ισοτροπική κεραία ονομάζεται αυτή η θεωρητική τέλεια κεραία που ακτινοβολεί ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Δηλαδή η ακτινοβολία της ξεκινά από το κέντρο μιας σφαίρας και εκτίνεται προς την εξωτερική της επιφάνεια.

Αν υποθέσουμε ότι η ακτινοβολία ξεκινά με μια Χ ισχύ αναφοράς, σε κάθε σημείο της επιφάνειας της σφαίρας το σήμα θα φτάνει με την ίδια ισχύ – ας την ονομάσουμε P, η ακτίνας της θα είναι R και ο όγκος της σφαίρας που καθορίζεται από τον ακτίνα της, ας υποθέσουμε ότι είναι V.

Αν φανταστούμε ότι αυτή η σφαίρα είναι μια μπάλα από ένα εύπλαστο υλικό πχ πηλό, πλαστελίνη ή ζυμάρι, μπορούμε εύκολα να την πλάσουμε όπως θέλουμε και να της αλλάξουμε σχήμα, ο όγκος της όμως θα εξακολουθήσει να έχει την ίδια τιμή V.

Αν ακουμπήσουμε αυτή τη μπάλα από πχ ζυμάρι σε ένα τραπέζι και την πιέσουμε ομοιόμορφα από την πάνω πλευρά, ο όγκος της δεν θα αλλάξει, θα αλλάξει όμως η ακτίνα: στον κατακόρυφο άξονα θα γίνει μικρότερη από πριν, αλλά στον οριζόντιο άξονα θα γίνει αρκετά μεγαλύτερη.

Όσο θα πιέζουμε περισσότερο, τόσο θα μικραίνει η κατακόρυφη ακτίνα και τόσο θα μεγαλώνει η οριζόντια – ο όγκος όμως θα παραμένει σταθερός.

Μια οριζόντια παντοκατευθυντική κεραία 360° (omni) σαν αυτές που βλέπουμε στα τροχόσπιτα, αντιστοιχεί στο παραπάνω παράδειγμα του πατικωμένου ζυμαριού.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι κάθε σημείο του ζυμαριού το σήμα φτάνει με την ίδια ισχύ P, παρά το γεγονός ότι παραμορφώσαμε τη σφαίρα, η ακτίνα της μίκρυνε στην κατακόρυφη έννοια και μεγάλωσε στην οριζόντια.

Θα προχωρήσουμε λίγο ακόμα το παράδειγμα μας: αν αφήσουμε το ύψος του πατικωμένου ζυμαριού σταθερό και βάλουμε δύο μακριές λάμες που να ξεκινούν από το κέντρο, να έχουν μια γωνία μεταξύ τους – πχ 45° και κόψουμε το ζυμάρι. Θα έχουμε τότε ένα κομμάτι μικρό στις 45° με όγκο το 1/8 του συνολικού.

Αν στη συνέχεια πάρουμε τα υπόλοιπα 7/8 του ζυμαριού από τις άλλες 235°, το προσθέσουμε πάνω από αυτό που βρίσκεται μέσα στις δύο λάμες και το πατήσουμε ξανά ώστε να φτάσει στο ίδιο ύψος που είχε και πριν, είναι φυσικό να δούμε το ζυμάρι να απλώνεται στον ελεύθερο χώρο ανάμεσα στις δύο λάμες από αρκετά πέρα από τα όρια της αρχικής μεγάλης ακτίνας του στρογγυλού πατικωμένου ζυμαριού. Δηλαδή όταν μορφοποιήσαμε το σύνολο του ζυμαριού σε μια κατεύθυνση, ο όγκος του παρέμεινε φυσικά σταθερός, αλλά η ακτίνα του μεγάλωσε πολύ σε εκείνη την κατεύθυνση, ενώ μηδενίστηκε σε όλες τις άλλες.

Επιστρέφοντας στα δικά μας, μπορούμε να πούμε ότι όταν το σήμα που στέλνει μια πηγή ακτινοβολίας, φτάνει σε όλα τα σημεία της επιφάνειας της σφαίρας με ισχύ P, στο νέο σχήμα που δημιουργήσαμε φτάνει πλέον με την ίδια ισχύ P σε μια ακτίνα πολλαπλάσια της αρχικής για την επιλεγμένη διεύθυνση που καλύπτει τις 45°, ενώ είναι μηδενικό σε όλες τις άλλες κατευθύνσεις.

Μια κατευθυντική κεραία με άνοιγμα 45° θα μας δώσει περίπου τα αποτελέσματα που είδαμε στο παραπάνω παράδειγμα.

Ο λόγος της μεγάλης τελικής ακτίνας σε σχέση με την αρχική ακτίνας της σφαίρας είναι κάτι ανάλογο με την απολαβή της κεραίας.

Αυτό που θα πρέπει να κρατήσουμε από αυτό το πολύ απλοϊκό, αλλά και πολύ παραστατικό παράδειγμα του καθηγητή μας, είναι ότι μπορούμε να ακτινοβολήσουμε την ισχύ που έχουμε στη διάθεση μας από την έξοδο ενός πομπού με διάφορους τρόπους – μπορούμε να την "πλάσουμε" όπως μας εξυπηρετεί.

Η ενέργεια μπορεί να κατευθυνθεί εκεί που θέλουμε και αυτό κάνουμε με τα κεραιοσυστήματα, αξιοποιώντας με τον καλύτερο τρόπο την τεχνολογία για να κάνουμε οικονομία στην ισχύ που απαιτείται από την τελική μονάδα ενίσχυσης, να πολλαπλασιάσουμε την ισχύ με το κεραιοσύστημα και να την ακτινοβολήσουμε εκεί που την χρειαζόμαστε.

Να στεφόμαστε ότι ο όγκος που παράγει το σύστημα μας είναι σταθερός, αλλά αντί να στείλουμε αυτή την ενέργεια σε άχρηστες κατευθύνσεις πάνω, κάτω και γύρω-γύρω, μπορούμε να τον "πλάσουμε" όπως θέλουμε ώστε να στείλουμε την ενέργεια όπου πρέπει, κερδίζοντας με αυτό τον τρόπο εμβέλεια του συστήματος.

Απολαβή των κεραιών – τι σημαίνουν οι μονάδες dBi & dB (ή dBd)

Απολαβή μιας κεραίας λήψης ονομάζεται ο λόγος της ισχύος ή της τάσης που παρέχει στην έξοδο της σε σχέση με την ισχύ ή την τάση που θα μας δώσει με τις ίδιες συνθήκες και στο ίδιο σημείο ένα **δίπολο λ/2** και εκφράζεται σε dBd ή απλά **dB**.

Είναι ένας βασικός αριθμός που συνδυάζει την κατευθυντικότητα της κεραίας και την ηλεκτρική της απόδοση.

Ως κεραία εκπομπής, ο αριθμός της απολαβής περιγράφει πόσο καλά η κεραία μετατρέπει το ρεύμα εισόδου σε ραδιοκύματα με προορισμό μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Ως μια κεραία λήψης, ο αριθμός περιγράφει το πόσο καλά η κεραία

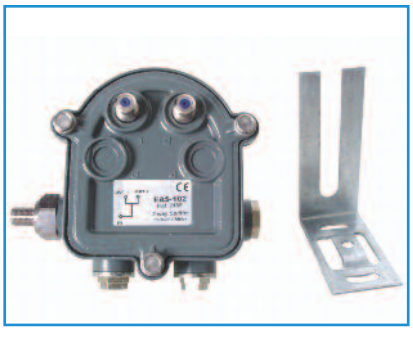
μετατρέπει τα ραδιοκύματα που φθάνουν από μια καθορισμένη κατεύθυνση σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν δεν καθορίζεται κατεύθυνση, η απολαβή αναφέρεται στη μέγιστη τιμή του κέρδους.
Ένα γράφημα του κέρδους ως συνάρτηση της κατεύθυνσης ονομάζεται διάγραμμα ακτινοβολίας .
Λόγω της αμοιβαιότητας, η απολαβή της κεραίας κατά τη λήψη είναι ίση με την απολαβή κατά την εκπομπή, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με την κατευθυντικότητα.
Υπάρχει ένας ακόμα τρόπος μέτρησης της απολαβής, σύμφωνα με τον οποίο: απολαβή μιας κεραίας λήψης ονομάζεται ο λόγος της ισχύος ή της τάσης που παρέχει στην έξοδο της σε σχέση με την ισχύ ή την τάση που θα μας δώσει με τις ίδιες συνθήκες και στο ίδιο σημείο μια θεωρητική τέλεια **ισοτροπική κεραία** λήψης και εκφράζεται σε **dBi**.
Μια τυπική κεραία λ/2 χωρίς απώλειες έχει απολαβή 2.15 dBi σε σχέση με μια ισοτροπική κεραία, έτσι ο συσχετισμός μεταξύ αυτών των μονάδων είναι: κέρδος σε dBd = κέρδος σε dBi - 2,15 dB.
Αξίζει να σημειώσουμε ότι παλαιότερα όλες οι κεραίες λήψης ανέφεραν την απολαβή τους σε dB, ενώ αργότερα κάποιοι κατασκευαστές άρχισαν να παρουσιάζουν νέες κεραίες με "περίεργα" σχήματα σε σχέση με τις κλασσικές yagi που είχαμε συνηθίσει, αλλά παράλληλα να "κλέβουν" εκφράζοντας την απολαβή σε dBi - δηλαδή 2,15 dB μεγαλύτερη από την πραγματική, δημιουργώντας σύγχυση στην αγορά.
Σήμερα όλοι οι κατασκευαστές ακολούθησαν αυτή τη λογική και δίνουν την απολαβή στις κεραίες λήψης τους σε dBi, έτσι έχουμε πάντα μεγάλα νούμερα.
Αντίθετα στις κεραίες εκπομπής οι περισσότεροι κατασκευαστές εξακολουθούν να δίνουν την απολαβή τους σε dB – πρέπει όμως να είμαστε πάντα προσεκτικοί και να τσεκάρουμε τον τρόπο μέτρησης, ιδιαίτερα όταν βλέπουμε μεγάλα μεγέθη στην απολαβή.

Σύνθετη αντίσταση 50 Ohm & 75 Ohm

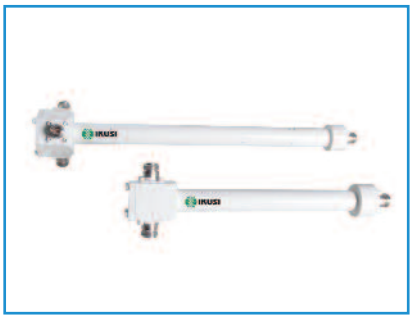
Τις δεκαετίες του 1960 & 1970, οι περισσότερες κεραίες λήψης της αγοράς δεν είχαν μετασχηματιστή προσαρμογής και σχεδόν σε όλες τις εγκαταστάσεις η χρήση αθωράκιστου πλακέ καλωδίου 300 Ohm πάνω σε αναδιπλωμένα δίπολα ήταν ο κανόνας.
Αμέσως μετά η κατάσταση βελτιώθηκε και το θωρακισμένο καλώδιο των 75 Ohm καθιερώθηκε, μια που αποτελούσε μια αξιόπιστη και ανθεκτικότερη λύση.
Οι κεραίες εκπομπής στην τηλεόραση χρησιμοποιούσαν πάντα καλώδιο 50 Ohm, κυρίως επειδή προσφέρει εξαιρετικά μεγάλες αντοχές, μικρές απώλειες και μπορεί να διαχειριστεί μεγάλες στάθμες ισχύος.
Είναι διαθέσιμο σε υποδιαιρέσεις της ίντσας (1/4, 1/2, 7/8, 1-1/4, 1-5/8, 2-1/4 κλπ), με απώλειες της τάξης των 12dB/100μ/800MHz για τα πιο λεπτά καλώδια, έως ακόμα και λιγότερα από 2dB/100μ/800MHz για τα πιο χοντρά από αυτά εξασφαλίζοντας σωστή διαχείριση ισχύος από 500 Watt έως και αρκετά KW.
Τα panel εκπομπής των 50 Ohm διαχειρίζονται ισχύ της τάξης των 500 Watt το καθένα και σε συστοιχίες διαχειρίζονται άνετα ισχύ ακόμα και της τάξης των δεκάδων KW. Υπάρχουν βέβαια και τα panel τυπωμένου κυκλώματος που διαχειρίζονται μικρότερα ποσά ισχύος, της τάξης των 100-200 Watt.

Στην αναλογική εποχή ακόμα και στους αναμεταδότες των 5-10 Watt ήταν διαδεδομένη η χρήση των panel βαρέως τύπου.
Στην ψηφιακή εποχή όμως οι απαιτήσεις ισχύος είναι πολύ μικρότερες από την αναλογική και φαίνεται ότι για τις περισσότερες περιοχές, τα Gap Fillers με ισχύ εξόδου της τάξης των λίγων εκατοντάδων mW θα είναι αρκετά σαν αριθμός, ενώ σε λιγότερες περιπτώσεις θα απαιτηθούν Gap Fillers με ισχύ εξόδου της τάξης μερικών Watt ή λίγων δεκάδων Watt.
Στο μεταξύ έχουν εμφανιστεί στην αγορά μικρού ύψους panels τυπωμένου κυκλώματος με σύνθετη αντίσταση 75 Ohm, που μπορούν α διαχειριστούν μικρή ισχύ – μέχρι 20-25 Watt και τα οποία είναι φυσικά πολύ φθηνότερα από τα panel μεγάλης ισχύος.
Στα μικρά Gap Fillers είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν panels των 75 Ohm, σε συνεργασία φυσικά με τα ανάλογα linears των 75 Ohm. Η λύση αυτή έχει προφανή πλεονεκτήματα το χαμηλότερο κόστος, την μεγαλύτερη εμπειρία & την ευκολία χρήσης από τον τεχνικό που διαθέτει όλα τα εργαλεία για τα 75 Ohm, αλλά και τα υπόλοιπα πιο προσιτά σε τιμή περιφερειακά: ζεύκτες, καλώδια κλπ.
Η λύση αυτή έχει και άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα:
Το 1 Watt στα 50 Ohm αντιστοιχεί σε 137 dBμV.
Το 1 Watt στα 75 Ohm αντιστοιχεί σε 139 dBμV.
Έχουμε λοιπόν για την ίδια ισχύ, καλύτερη στάθμη εξόδου κατά 2 dB η οποία κατ' αντιστοιχία μεταφράζεται σε επίσης καλύτερη στάθμη λήψης για τους κατοίκους κατά 2 dB.
Από πλευράς καλωδίων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαμέτρου 5/8" με πολύ χαμηλές απώλειες (6dB/100μ/800MHz), αν όμως το ύψος του ιστού είναι μικρό και το μήκος του καλωδίου περιορισμένο, δεν θα αντιμετωπίσουμε πρόβλημα χρησιμοποιώντας

Divider αρκετών δεκάδων KW 50 Ohm



Divider μερικών 10 Watt 75 Ohm



Divider μερικών εκατοντάδων Watt 50 Ohm

το καλώδιο RG11 – σε κάποιες περιπτώσεις με μήκος πχ 10 μέτρα, δεν θα αντιμετωπίσουμε πρόβλημα ακόμα και με καλής ποιότητας RG6 με απώλειες τις τάξης των 16dB/100μ/800MHz

Είναι φανερό λοιπόν πως στα μεγάλα κέντρα εκπομπής, στα μεγάλα Gap Fillers και γενικά όπου απαιτείται μεγάλη ισχύς, η λύση της σύνθετης αντίστασης των 50 Ohm σε πομπούς, καλώδια, panels, dividers κλπ είναι μονόδρομος, στα μικρά όμως Gap Fillers των λίγων εκατοντάδων mW, η λύση της σύνθετης αντίστασης των 75 Ohm σε όλα τα υλικά, έχει αρκετά συγκριτικά πλεονεκτήματα.

Γιατί στη εκπομπή χρησιμοποιούμε panels και όχι άλλου τύπου κεραίες.

Υπάρχει ένας γενικός κανόνας στηριγμένος στην αρχή της αμοιβαιότητας που λέει ότι δεν υπάρχουν κεραίες εκπομπής και κεραίες λήψης.

Κάθε κεραία έχει συγκεκριμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απολαβή, γωνία ημισείας ισχύος, λόγος εμπρός/πίσω κλπ), τα οποία είναι τα ίδια στην εκπομπή και στη λήψη, έτσι γενικά θα λέγαμε πως κάθε κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί άνετα σαν κεραία λήψης ή σαν κεραία εκπομπής – τουλάχιστον στις περιπτώσεις όπου αναφερόμαστε σε μικρή ισχύ.

Όμως η συντριπτική πλειοψηφία των πομπών τοποθετείται σε μεγάλο υψόμετρο, με προφανή στόχο την εξυπηρέτηση όσο γίνεται μεγαλύτερης περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στις θέσεις που βρίσκονται οι πομποί είναι πολύ δυσμενέστερες από τις θέσεις που βρίσκονται οι κατοικημένες περιοχές. Η χειρότερη από αυτές τις συνθήκες είναι η συνεχής χιονόπτωση με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, με άμεση συνέπεια την συσσώρευση μεγάλου όγκου πάγου επάνω στην κεραία.

Επομένως η βέλτιστη επιλογή κεραίας η οποία προφυλάσσει με τον καλύτερο τόπο την συνεχή λειτουργία της ανεξάρτητα από τις κακές καιρικές συνθήκες, είναι το κλειστό panel – ιδιαίτερα σε μεγάλα υψόμετρα.

Ένα τέτοιο panel εξασφαλίζει πως ο χώρος γύρω από τα δίπολα που χρησιμοποιεί σαν διηλεκτρικό τον αέρα, δεν θα γεμίσει με πάγο, επομένως δεν θα αλλοιωθούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της κεραίας.

Επίσης οι κεραίες panel έχουν στην κάτοψη τους μικρή επιφάνεια σε σχέση με άλλου τύπου κεραίες, επομένως κατά τη χιονόπτωση συγκρατούν επάνω τους μικρότερο όγκο και βάρος χιονιού/πάγου, ενώ η μεγάλη κατακόρυφη επιφάνεια τους επιτρέπει την στήριξη τους επάνω στον ιστό σε περισσότερα από ένα σημεία, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την μηχανική αντοχή της στήριξης.

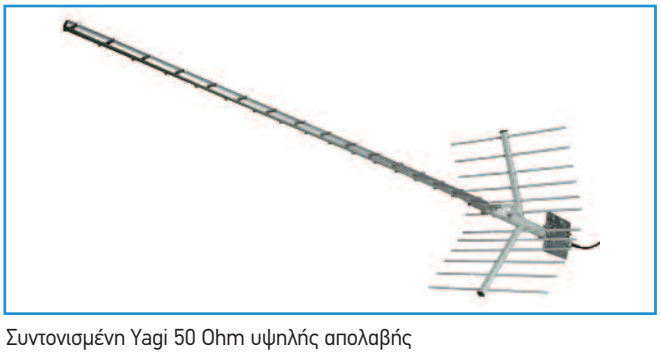
Τα εσωτερικά δίπολα των panel εκπομπής που χρησιμοποιούνται σε κεραιοσυστήματα που χειρίζονται μεγάλη ισχύ, είναι βαρέως τύπου και κατασκευάζονται από ειδικά κράματα μετάλλων.

Αντίθετα τα εσωτερικά δίπολα στα panel εκπομπής που χρησιμοποιούνται για την εκπομπή μικρής ισχύος, μπορεί να είναι κατασκευασμένα και με τυπωμένο κύκλωμα.

Πρόσθετο πλεονέκτημα των κεραιών τύπου panel είναι το γεγονός ότι έχουν μεγάλη οριζόντια και μικρή κατακόρυφη γωνία κάλυψης, εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο μεγάλη περιοχή οριζόντιας κάλυψης και μικρό ποσό χαμένης ακτινοβολίας σε μεγάλες κατακόρυφες γωνίες, στις οποίες συνήθως δεν υπάρχουν σπίτια για να λάβουν το σήμα του πομπού.

Διάγραμμα ακτινοβολίας – γωνία ημισείας ισχύος.

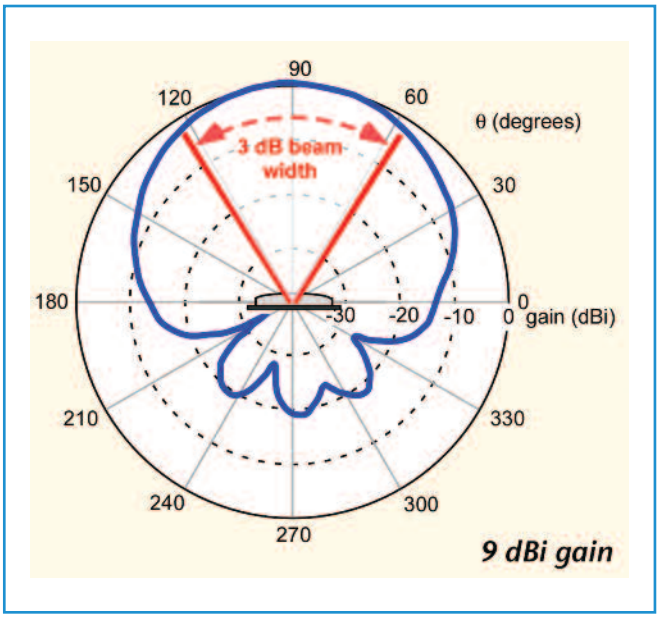
Εάν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα πομπό με ονομαστική ισχύ εξόδου 1 Watt και για την ακτινοβόληση αυτής της ισχύος χρησιμοποιήσουμε ένα panel με απολαβή 12 dB, το οποίο συνδέεται με την έξοδο του πομπού με ένα καλώδιο που έχει απώλεια 2 dB, η α-



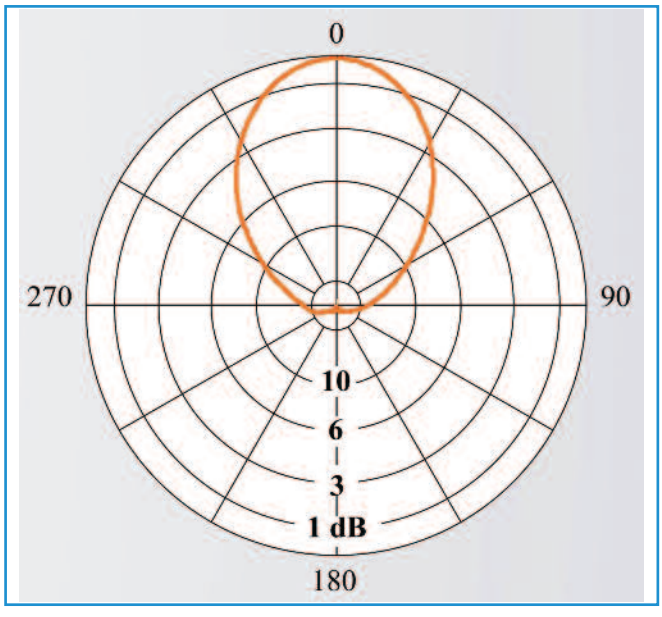
Συντονισμένη Yagi 50 Ohm υψηλής απολαβής

Τυπικό panel 50 Ohm

Τυπικό panel μισού ύψους 75 Ohm



Τυπικό διάγραμμα ακτινοβολίας με τη γωνία ημισείας ισχύος

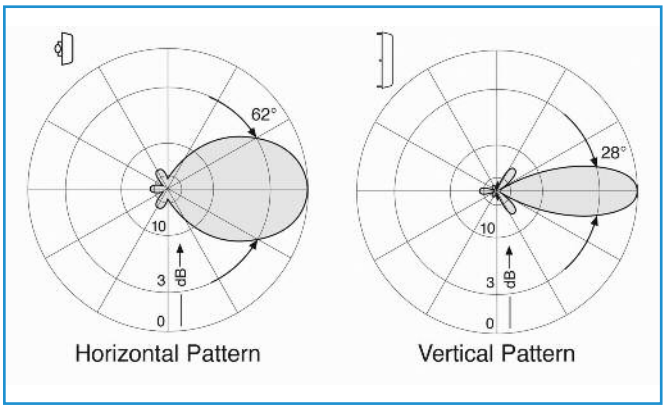


Τυπικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας

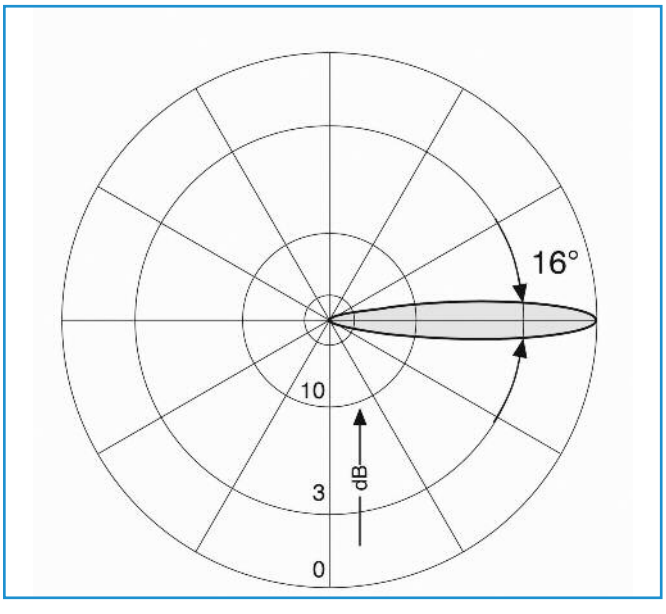
πολαβή του συγκεκριμένου κεραιοσυστήματος είναι 10 dB.
Αυτό σημαίνει πως η ERP του συνολικού συστήματος είναι 10 Watt, ακριβώς επειδή αναγκάσαμε την ισχύ να προσανατολιστεί σε μία κατεύθυνση και όχι να εκπέμψει παντού γύρω από την κεραία εκπομπής. Τα 10 Watt όμως αναφέρονται στην κατεύθυνση που κοιτά το panel, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτή την κατεύθυνση η ισχύς μειώνεται σταδιακά.
Οι κεραίες τύπου panel έχουν γενικά σχετικά πλατύ άνοιγμα στη οριζόντια γωνία τους και μικρότερο στην κατακόρυφη γωνία τους, οι τιμές του ανοίγματος της γωνίας εξαρτώνται από την κατασκευή του panel, αλλά και από την συχνότητα.
Ονομάζουμε γωνία ημισείας ισχύος τη γωνία στη οποία η απολαβή της κεραίας μειώνεται κατά 3 dB - έτσι στο παράδειγμα μας των 10 Watt ERP (ακτινοβολούμενη ισχύς), η τιμή αυτή μειώνεται στο μισό (5 Watt ERP) στα όρια αυτής της γωνίας.
Μια τυπική τιμή οριζόντιας γωνίας ημισείας ισχύος ενός τυπικού panels είναι οι 60° για μια μεσαία συχνότητα UHF, ενώ η αντίστοιχη κατακόρυφη γωνία είναι γύρω στις 28°.

Πως μπορούμε να αυξήσουμε την ERP διατηρώντας σταθερή την ονομαστική ισχύ εξόδου του πομπού.

Εάν χρησιμοποιήσουμε δύο ίδια panel τοποθετημένα το ένα κάτω από το άλλο και τα τροφοδοτήσουμε συμφασικά, μετά από μια απόσταση από τα panel τα σήματα στον αέρα θα προστεθούν και θα μας δώσουν μεγαλύτερες τιμές κατά 6 dB σε σχέση με το ένα panel.
Για να τα τροφοδοτήσουμε συμφασικά από την έξοδο ενός πομπού, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα προσαρμογέα σύνθετης αντίστασης – ένα ζεύκτη ή αλλιώς divider, το οποίο θα μοιράσει την ισχύ στις δύο εξόδους του την αρχική ισχύ του πομπού, η κάθε μία από τις οποίες θα συνδεθεί με το κάθε panel και για αυτό το λόγο θα έχει μια απώλεια της τάξης των 3 dB.



Οριζόντιο και κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας ενός panel



Οριζόντιο και κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας ενός panel

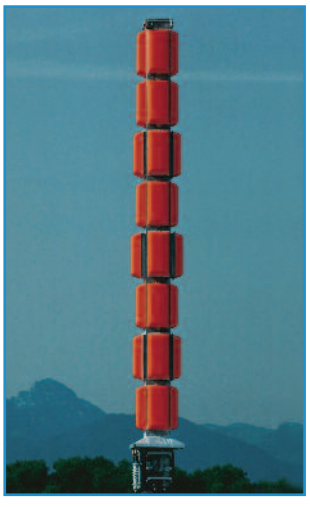
Με 6 dB κέρδος και 3 dB απώλειες, μας μένει ένα καθαρό κέρδος 3 dB.
Εφαρμόζοντας αυτή την κατασκευή στο προηγούμενο παράδειγμα μας (ονομαστική ισχύ εξόδου 1 Watt, με ERP 10 Watt) τα 3 dB παραπάνω σε σχέση με το προηγούμενο παράδειγμα, μας δίνουν 3 dB παραπάνω ERP – δηλαδή 20 Watt.
Βλέπουμε λοιπόν πως χωρίς να αυξήσουμε την ονομαστική ισχύ του πομπού, καταφέραμε να διπλασιάσουμε την ακτινοβολούμενη ισχύ και επομένως αυξήσαμε την εμβέλεια του πομπού μας.
Πηγαίνοντας ακόμα παραπέρα την ίδια εφαρμογή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τέσσερα panel σε συμφασική κατακόρυφη σύζευξη αντί για δύο, κερδίζοντας άλλα 3 dB και φθάνοντας την ERP στα 40 Watt.
Εάν χρησιμοποιήσουμε 8 panels στην ίδια λογική, η ERP στο παράδειγμα μας θα φτάσει τα 80 Watt και με 16 panels θα φτάσει τα 160 Watt!!!
Όλα αυτά με ένα πομπό που έχει ονομαστική ισχύ ένα μόνο Watt
Βλέπουμε δηλαδή πως διπλασιάζοντας τον αριθμό των panels έχουμε και αντίστοιχο διπλασιασμό της πραγματικής ERP στην κα-

τεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας.
Φυσικά δεν μπορεί να δημιουργηθεί πρόσθετη ενέργεια από το πουθενά – απλά εφαρμόζουμε αυτό που περιγράψαμε στην αρχή του άρθρου για το "πλάσιμο" του διαγράμματος ακτινοβολίας και προσανατολίσαμε την ακτινοβόληση της ισχύος στην κατεύθυνση που θέλαμε.
Η κατακόρυφη συμφασική σύζευξη δύο κεραιών δεν επηρεάζει καθόλου το οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας, διατηρώντας την γωνία ημισείας ισχύος στην ίδια τιμή που έχουμε και για το ένα panel, μειώνει όμως την κατακόρυφη γωνία, ανακατευθύνοντας πρακτικά την ισχύ που πήγαινε στο έδαφος ή χανόταν στον ουρανό προς τον άξονα της κατακόρυφης γωνίας ημισείας ισχύος. Επομένως με την κατακόρυφη σύζευξη στέλνουμε το σήμα αρκετά πιο μακριά, χωρίς να χάνουμε κατοικημένες περιοχές κατά την οριζόντια έννοια.

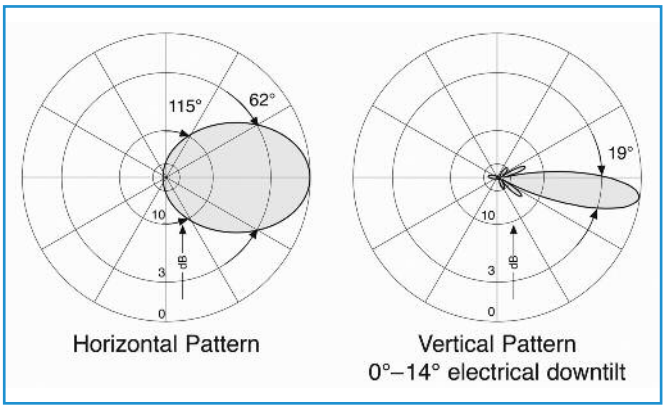
Τι είναι η ηλεκτρική κλίση των panel και πότε χρειάζεται.

Εάν η κάλυψη ενός κεραιοσυστήματος με περισσότερα από ένα panel σε κατακόρυφη συμφασική σύζευξη, βρίσκεται σε μακρινή απόσταση από τον πομπό και η διαφορά υψομέτρου του πομπού από την κατοικημένη περιοχή είναι μικρή, εφαρμόζοντας τα προηγούμενα δεν θα αντιμετωπίσουμε κάποιο πρόβλημα.
Αν όμως ισχύει το αντίστροφο (μικρή απόσταση από τον πομπό ή/και μεγάλη διαφορά υψομέτρου του πομπού από την κατοικημένη περιοχή), είναι φανερό πως το σήμα που εκπέμπεται θα χαθεί στον ορίζοντα και δεν θα καλύψει την κατοικημένη περιοχή που βρίσκεται κοντά στον πομπό, αφού κατακόρυφη γωνία ημισείας ισχύος είναι μικρή.
Τέτοιες περιπτώσεις είναι αυτές των πόλεων που βρίσκονται κοντά και ταυτόχρονα πολύ χαμηλότερα από το βουνό που εκπέμπουν οι πομποί. Τυπικό παράδειγμα είναι το Πήλιο και ο Βόλος, αλλά και η Αθήνα με τον Υμηττό.
Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με δύο τρόπους, εξασφαλίζοντας ότι η συστοιχία με τα panel εκπομπής θα εκπέμπει όχι με τον άξονα της κατακόρυφης γωνίας ημισείας ισχύος στον ορίζοντα, αλλά λίγο χαμηλότερα από αυτόν, έτσι ώστε μέσα στην κατακόρυφη γωνία κάλυψης να συμπεριλαμβάνονται και ο ορίζοντας, αλλά και οι κατοικημένες περιοχές κοντά στο βουνό και χαμηλότερα από αυτό.
1. Ο πρώτος τρόπος είναι μια μηχανική κατασκευή όπου όλα τα panel στηρίζονται σε ένα στέλεχος το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί κατακόρυφα σε σχέση με τον ιστό εκπομπής. Είναι μια δύσκολη κατασκευή αν αφορά πολλά μεγάλα panels και έχει πρακτική εφαρμογή μόνο σε μικρό αριθμό panels ελαφρού τύπου.
2. Ο δεύτερος τρόπος υλοποιείται με κανονική μηχανική κατασκευή στήριξης των panel, όπου η κλίση του άξονα στον κατακόρυφο λοβό ακτινοβολίας δημιουργείται με ηλεκτρικό τρόπο. Στην πραγματικότητα τα panels δεν τροφοδοτούνται ακριβώς συμφασικά μεταξύ τους, αλλά με μικρή διαφορά φάσης, η οποία επιτυγχάνεται με μικρές διαφορές στα μήκη των καλωδίων που συνδέονται στο divider και τα panels.
Η διαφορά στα μήκη των καλωδίων εξαρτάται από την κλίση που θέλουμε να δώσουμε στον άξονα της γωνίας ημισείας ισχύος σε

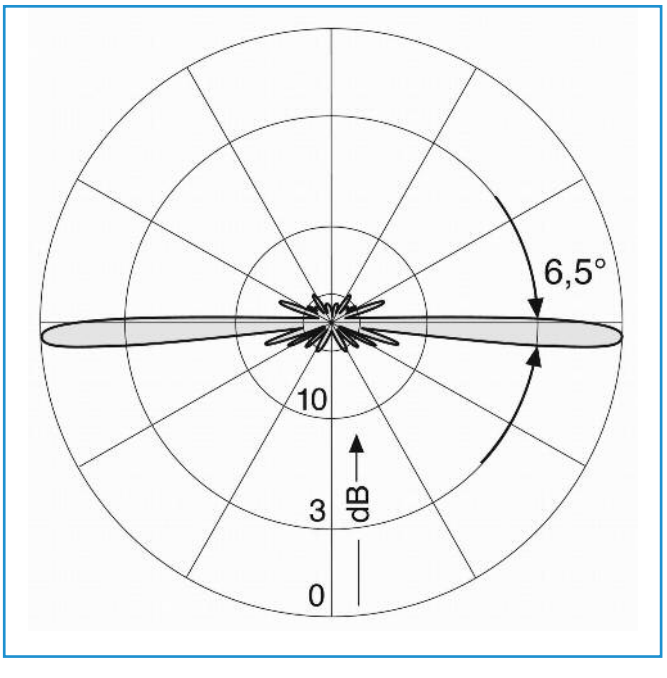
Μηχανική κατακόρυφη κλίση καμπύλης



Ηλεκτρική κατακόρυφη κλίση καμπύλης



Διάγραμμα ηλεκτρικής κατακόρυφης κλίσης καμπύλης

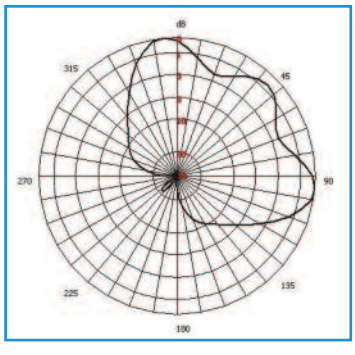


Ηλεκτρική κατακόρυφη κλίση καμπύλης με κυκλική κάλυψη

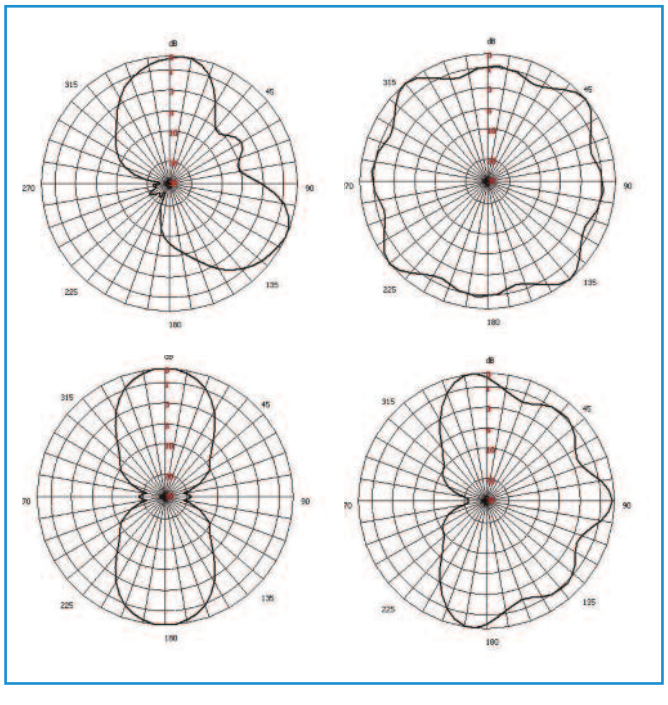
σχέση με τον ορίζοντα, την συχνότητα εκπομπής, αλλά και το velocity ratio του καλωδίου. Η διαφορά αυτή στα μήκη είναι μικρή (πχ 3,00 m για το πρώτο, 3,03 m για το δεύτερο, 3,06 m για το τρίτο, 3,09 m για το τέταρτο κοκ), απαιτώντας ακρίβεια στην κατασκευή, το αποτέλεσμα όμως θα είναι ακριβώς αυτό που υπολογίσαμε

Κάλυψη σε περισσότερες από μία κατευθύνσεις.

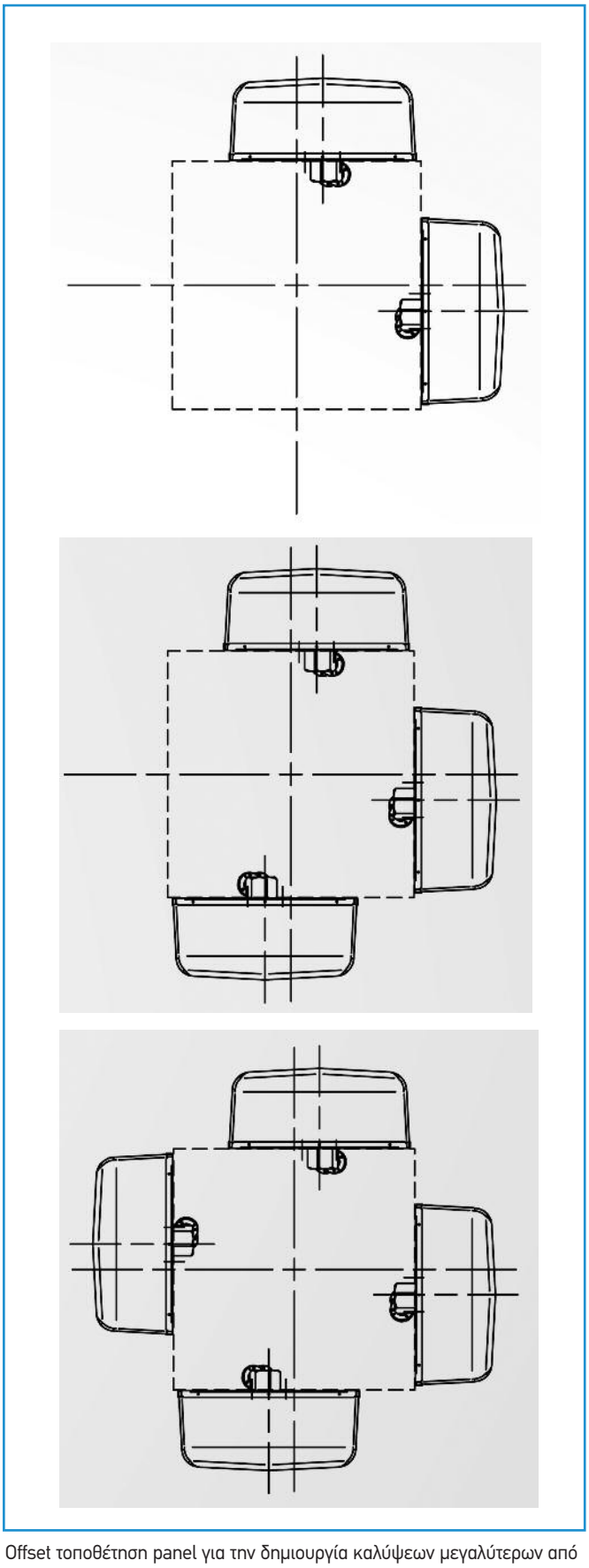
Σε όλα σχεδόν τα μεγάλα κέντρα εκπομπής αλλά και σε πολλά Gap Fillers, οι ανάγκες οριζόντιας κάλυψης είναι μεγαλύτερες από τις τυπικές 60° που παρέχει ένα τυπικό panel.
Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα από ένα panel τοποθετημένα έτσι ώστε να καλύπτουν την περιοχή που πρέπει.
Αν οι κατευθύνσεις κάλυψης είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους, δεν θα έχουμε ουσιαστική επίδραση του ενός panel στην εκπο-



Οριζόντια κάλυψη 130° – φαίνεται καθαρά ο 3ος λοβός



Δείγματα οριζόντιων καλύψεων μεγαλύτερων από 60ο



Offset τοποθέτηση panel για την δημιουργία καλύψεων μεγαλύτερων από 60ο

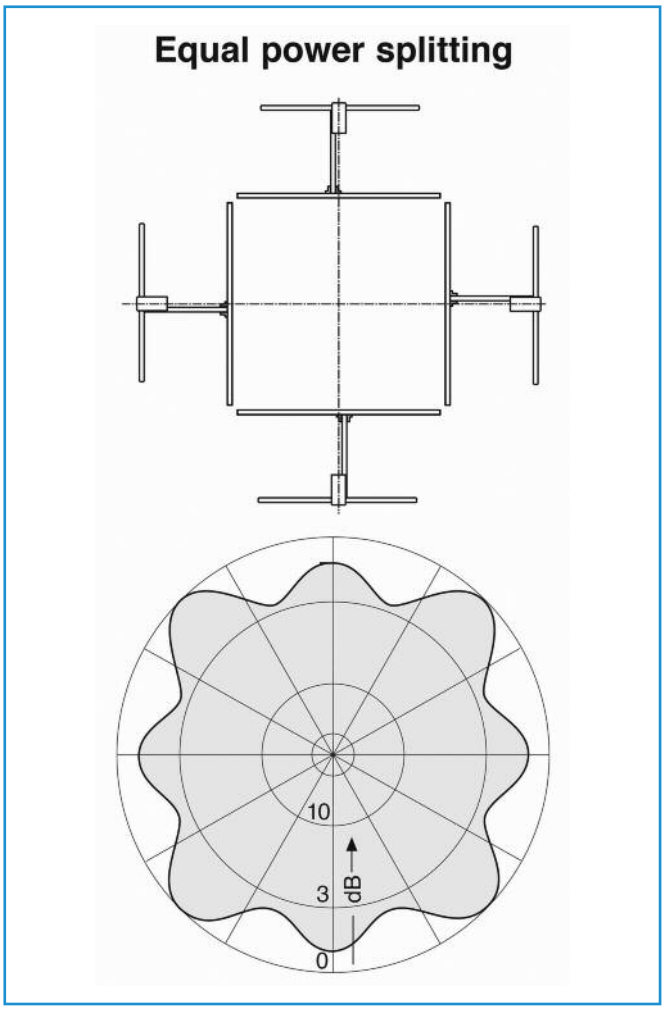
μπή του άλλου. Όταν όμως οι κατευθύνσεις έχουν γωνία μικρότερη από 150° - πχ 90°, η ακτινοβολία την μίας κεραίας στο χώρο, επηρεάζει στην ακτινοβολία της άλλης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται βυθίσεις στις ενδιάμεσες γωνίες, επηρεάζοντας τη λήψη ακόμα και μέσα στη γωνία ημισείας ισχύος.

Το πρόβλημα λύνεται πολύ εύκολα, τοποθετώντας τις κεραίες σε απόλυτη συμμετρία μεταξύ τους σε σχέση με τον ιστό και τροφοδοτώντας τις με ίσα μήκη καλωδίων από το divider.

Εκτός από τη λύση αυτού του αρχικού προβλήματος, η σωστή αυτή τοποθέτηση δημιουργεί και ένα σύνθετο λοβό ακτινοβολίας με τρεις κορυφές αντί για δύο: διατηρούνται οι δύο αρχικές μέγιστες απολαβές στο κέντρο του οριζόντιου άξονα κάθε κεραίας, δημιουργείται όμως και μία πρόσθετη μέγιστη απολαβή επάνω στη διχοτόμο της γωνίας που σχηματίζουν οι δύο κεραίες – πχ στις 45° αν οι δύο κεραίες έχουν γωνία 90° μεταξύ τους.

Το παραπάνω εξασφαλίζει πλήρη και συνεχόμενη κάλυψη πάνω από τα -3 dB της ημισείας ισχύος, σε μία συνολική οριζόντια γωνία 150° από δύο κεραίες μόνο, η κάθε μία εκ των οποίων έχει άνοιγμα 60°!!!

Στην περίπτωση που χρειαζόμαστε συμμετρική κάλυψη σε ακόμα μεγαλύτερη γωνία, μπορούμε να το πετύχουμε με 3 κεραίες (210°) ή με 4 κεραίες (360°), για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε παραπάνω, εφαρμόζοντας φυσικά τις ίδιες αρχές: οι κεραίες σε απόλυτη συμμετρία μεταξύ τους σε σχέση με τον ιστό και ίσα μήκη καλωδίων από το divider.



Τοποθέτηση panel για τη δημιουργία κυκλικής κάλυψης

Σύνθετα διαγράμματα ακτινοβολίας με συμμετρικές καλύψεις για ομοιόμορφη κάλυψη περιοχών

Εξετάσαμε παραπάνω πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα από ένα panel σε κατακόρυφη συμφασική σύζευξη για να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη απολαβή του κεραιοσυστήματος μας και εμβέλεια για τον πομπό μας.

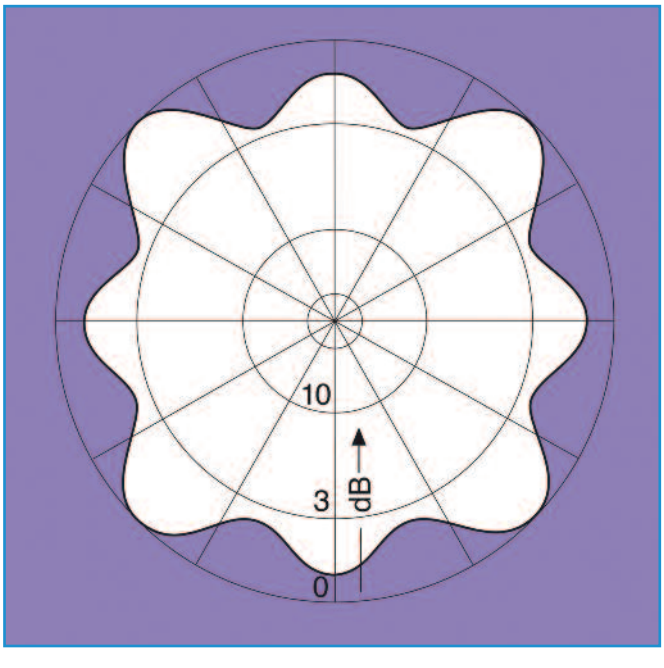
Είδαμε επίσης πως χρησιμοποιώντας panels σε διαφορετικές κατευθύνσεις, μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλες οριζόντιες γωνίες κάλυψης.

Είναι αυτονόητο πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ταυτόχρονα και τις δύο μεθόδους, για να εξασφαλίσουμε και τα δύο πλεονεκτήματα – πχ δύο panel σε διαφορετική κατεύθυνση σε οριζόντια σύζευξη και άλλα δύο πάλι σε οριζόντια σύζευξη κάτω από τα προηγούμενα, με τις δύο ομάδες σε κατακόρυφη σύζευξη (2 επίπεδα), θα μας δώσουν και τα δύο πλεονεκτήματα.

Το ίδιο θα πετύχουμε και 4 ή περισσότερα επίπεδα, αλλά και με 4 κατευθύνσεις σε δύο, σε τέσσερα ή σε οκτώ επίπεδα.

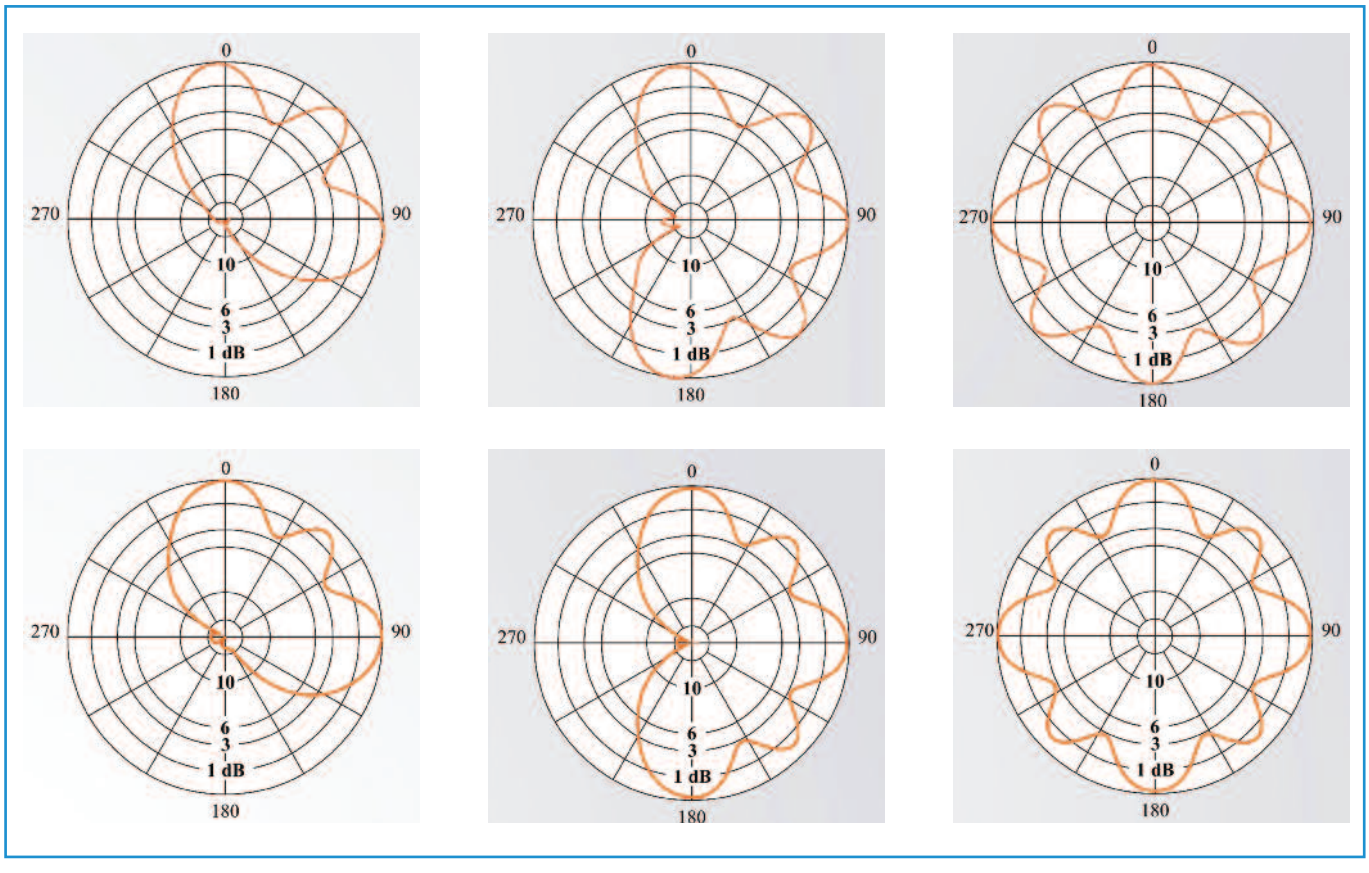
Όσα περισσότερα επίπεδα χρησιμοποιούμε, τόσο μεγαλύτερη απολαβή επιτυγχάνουμε από το κεραιοσύστημα μας.

Βέβαια μια σύνθετη κατασκευή με πολλά επίπεδα, αξίζει όταν αναφερόμαστε σε ένα μεγάλο πομπό, όπου το κόστος της συστοιχίας των panel τα οποία ας πούμε θα τετραπλασιάσουν την ισχύ, είναι πολύ μικρότερο από την αγορά πομπού 4πλάσιας ισχύος. Αντίθετα μια τόσο σύνθετη κατασκευή δεν έχει νόημα για ένα μικρό αναμεταδότη, δεδομένου ότι το κόστος πχ του τετραπλασιασμού της ισχύος του πομπού είναι πολύ μικρότερο συγκρινόμε-



Κυκλική κάλυψη

Του Θανάση Κυριακόπουλου

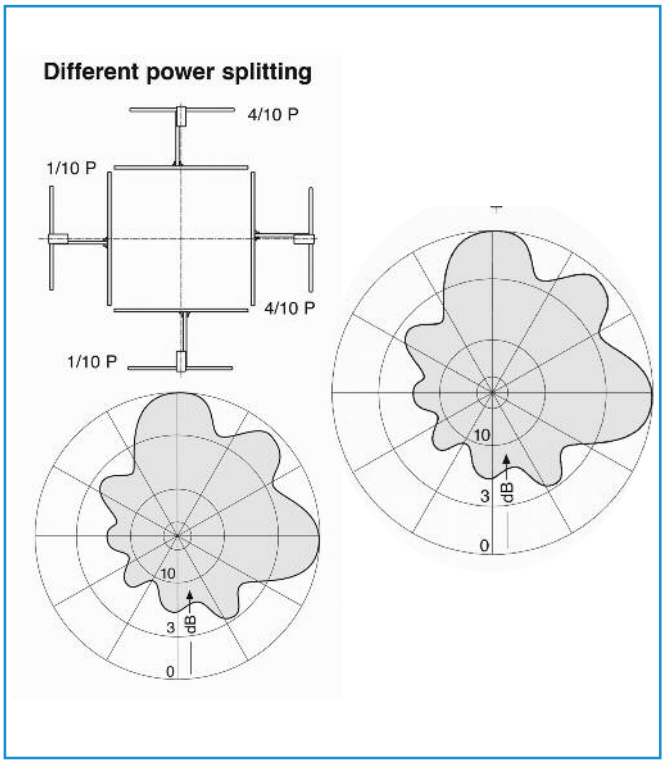


Τοποθέτηση panel για τη δημιουργία κυκλικής κάλυψης

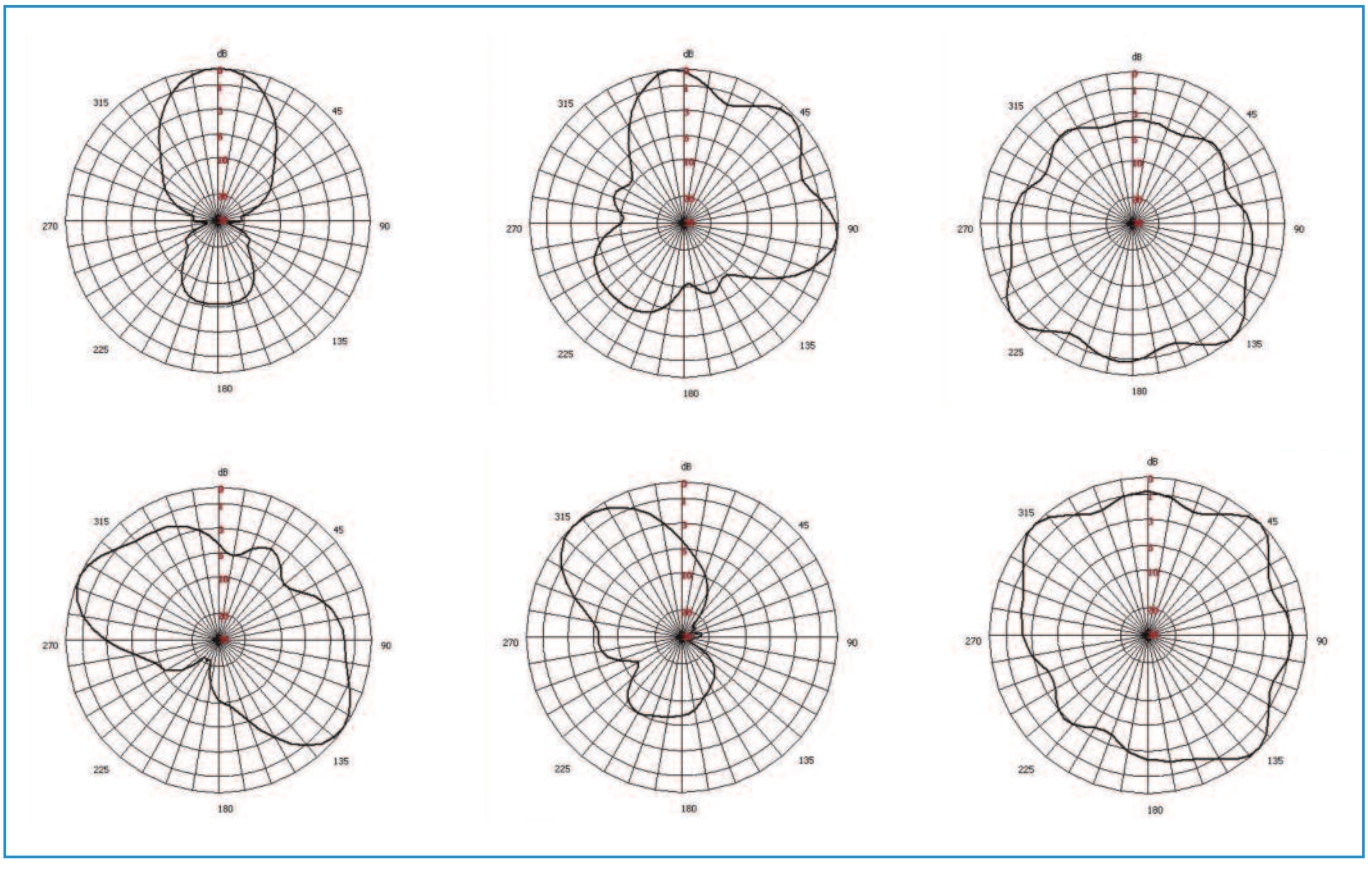
νο με το κόστος της σύνθετης κατασκευής.
Με απλά λόγια τα κριτήρια μιας τεχνικοοικονομικής μελέτης είναι πάντα μικτά και είμαστε υποχρεωμένοι να παίρνουμε όλους τους παράγοντες υπ' όψη μας.

Σύνθετα διαγράμματα ακτινοβολίας με ασύμμετρες καλύψεις για περιοχές σε διαφορετική απόσταση

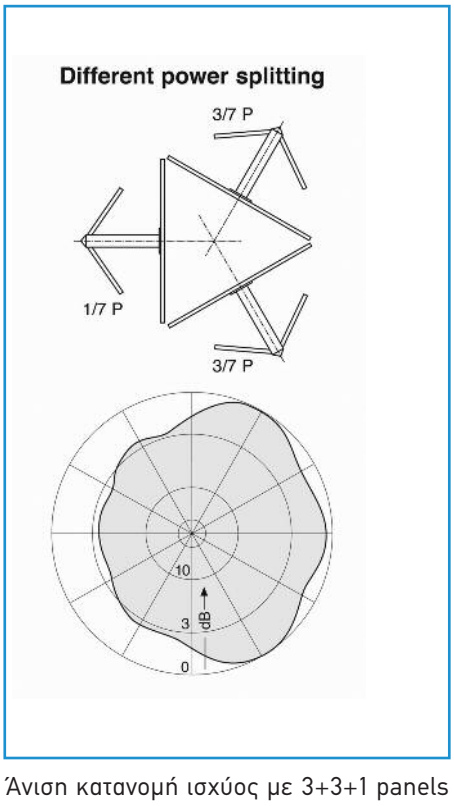
Είναι σύνηθες φαινόμενο – ιδιαίτερα στα μικρά Gap Fillers, η περιοχή κάλυψης να απαιτεί διαφορετικές εμβέλειες σε διαφορετικές γωνίες.
Μπορεί για παράδειγμα να θέλουμε να καλύψουμε ένα οικισμό στα 10 Km, αλλά σε διαφορετική γωνία και σε απόσταση 2 Km να υπάρχουν σκόρπια σπίτια ή ένας άλλος οικισμός. Ένα κεραιοσύστημα με 3 panels στην διεύθυνση του μακρινού οικισμού και άλλο ένα στην κατεύθυνση του κοντινού, θα μας δώσει ικανοποιητική κάλυψη και στις δύο επιθυμητές θέσεις.
Μπορεί να θέλουμε να καλύψουμε ένα οικισμό στα 5 Km, αλλά σε διαφορετικές γωνίες να υπάρχουν σκόρπια σπίτια ή δύο άλλοι οικισμοί σε απόσταση 2 Km. Ένα κεραιοσύστημα με 2 panels στην διεύθυνση του μακρινού οικισμού και άλλα δύο - ένα στην κάθε κατεύθυνση των κοντινών οικισμών, θα μας δώσει ικανοποιητική κάλυψη και στις τρεις επιθυμητές θέσεις.
Ένας εναλλακτικός και φθηνότερος τρόπος με τον οποίο μπορούμε να πετύχουμε ασύμμετρες καλύψεις, είναι τα divider άνισης κατα-



Άνιση κατανομή ισχύος με 4+4+1+1 panels



Διαγράμματα εκτεταμένων οριζόντιων καλύψεων



Άνιση κατανομή ισχύος με 3+3+1 panels

νομής – πχ divider δύο εξόδων το οποίο αντί να δίνει απώλεια 3 dB στην κάθε έξοδο, δίνει 1,5 dB στην πρώτη και 6 dB στη δεύτερη.

Είναι πρακτικά άπειρες οι περιπτώσεις στις οποίες μπορούμε να "παίξουμε" με σύνθετα διαγράμματα ακτινοβολίας ώστε να δημιουργήσουμε ασύμμετρες καλύψεις για περιοχές σε διαφορετική απόσταση και να εξασφαλίσουμε πως το σήμα μας θα φτάσει ικανοποιητικά σε όλα τα σπίτια των οικισμών που μας ζητήθηκε.

Συμπεράσματα

- Από την έξοδο ενός πομπού παίρνουμε μια ισχύ, την οποία μπορούμε να την "πλάσουμε" όπως θέλουμε – να την κατευθύνουμε όπως επιθυμούμε.
- Με τον σωστό σχεδιασμό των κεραιοσυστημάτων μπορούμε να επιτύχουμε σημαντικά μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη ισχύ (ERP).
- Ο σωστός σχεδιασμός των κεραιοσυστημάτων θα μας βοηθήσει να καλύψουμε σωστά και ομοιόμορφα την ζητούμενη περιοχή.

Τι άλλο πρέπει να ξέρουμε ...

Σε όλη αυτή τη σειρά άρθρων είδαμε τις τεχνολογίες επεξεργασίας του ψηφιακού σήματος, τις έννοιες του SFN και τα θέματα τα σχετικά με την ενίσχυση των σημάτων στην ψηφιακή εποχή. Στο τρέχον άρθρο είδαμε τις βασικές έννοιες για τις μονάδες που χρησιμοποιούμε για την ακτινοβόληση της ισχύος και αρκετά ενδιαφέροντα σημεία σε σχέση με την διαμόρφωση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας.

Στο επόμενο (9ο) άρθρο το οποίο θα είναι το τελευταίο της σειράς, θα δούμε πως εφαρμόζουμε στην πράξη όλα όσα είδαμε στα οκτώ προηγούμενα άρθρα. Θα μελετήσουμε πολλά πρακτικά παραδείγματα εφαρμογής, ώστε να επιλέξουμε τους καλύτερους τρόπους που μπορούμε να εφαρμόσουμε όλες αυτές τις τεχνολογίες με αποδοτικό τρόπο. ■