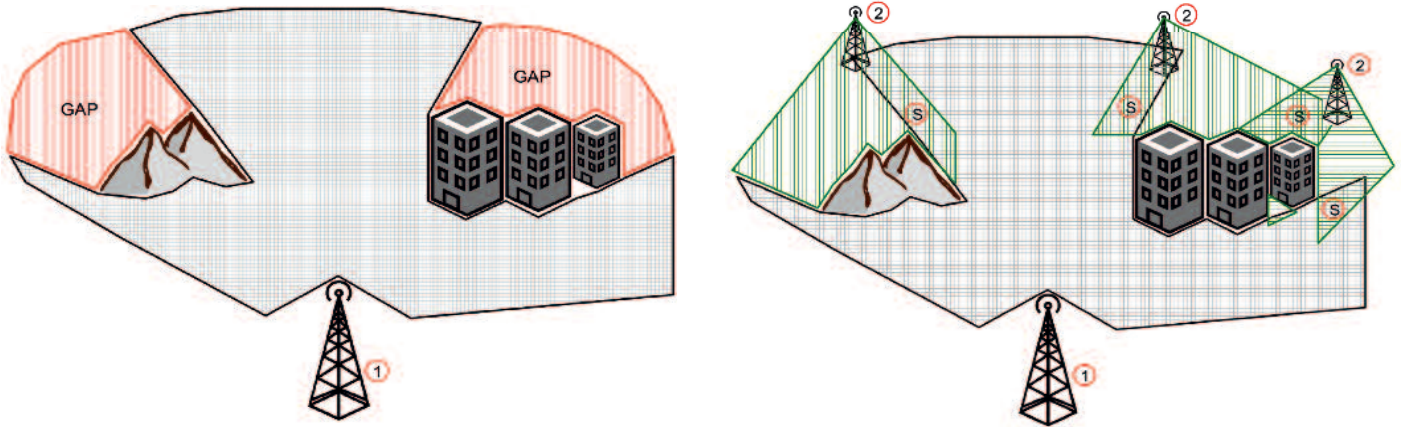


# Επεξεργασία ψηφιακού καναλιού με μεταλλαγή συχνότητας



Στο προηγούμενο τεύχος δείξαμε ποιες θα είναι οι αντικειμενικές ανάγκες που θα δημιουργηθούν μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης των 156 ψηφιακών ΚΕ που περιλαμβάνονται στην κυβερνητική απόφαση και θα καλυφθούν από τους παρόχους δικτύου. Στα τέσσερα άρθρα που ακολουθούν, θα δούμε τις ουσιαστικά 4 διαφορετικές τεχνολογίες επεξεργασίας του σήματος ανάλογα με την προέλευσή του, τις ιδιομορφίες της λήψης, αλλά και την επιλογή καναλιού εκπομπής σε διαφορετική ή στην ίδια συχνότητα με το κανάλι λήψης. Αυτόν το μήνα θα εξετάσουμε την απλούστερη περίπτωση επεξεργασίας ψηφιακού καναλιού με μεταλλαγή συχνότητας.

Είναι σκόπιμο να κάνουμε μια μικρή αναδρομή στις παλιότερες τεχνολογίες για την αναλογική αναμετάδοση, ώστε να καταλάβουμε πληρέστερα τις διαφορές με την αναμετάδοση ψηφιακών καναλιών και τις νέες ανάγκες που προκύπτουν ακόμα και για την απλούστερη μορφή ψηφιακής αναμετάδοσης με μεταλλάκτες.

Οι περισσότεροι συνάδελφοι έχουν ίσως κάποια εμπειρία από τις αναλογικές αναμεταδόσεις.

Πολλοί μπορεί να έχουν εγκαταστήσει στο παρελθόν κάποιο σύστημα "σκούπα". Δεν ήταν η σωστή λύση φυσικά, πρόσφερε όμως δυνατότητα λήψης κάποιας στοιχειώδους εικόνας σε μικρές περιοχές που δεν είχαν τη δυνατότητα να πληρώσουν για να βάλουν κανονικούς αναλογικούς αναμεταδότες με μεταλλαγή.

Ήταν ουσιαστικά η τοποθέτηση ενός μεγάλου ενισχυτή (συνήθως

κεντρικής κεραίας) και η απομόνωση μέσω φυσικών εμποδίων των κεραίων λήψης και εκπομπής.

Τα αποτελέσματα ήταν φτωχά, η στάθμη εξόδου χαμηλή, η ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες μεγάλη. Γενικά ήταν ασταθή συστήματα, αφού αν έφτανε στην κεραία λήψης ακόμα και ένα πολύ μικρό ποσοστό της εκπομπής, δημιουργούσε ανάδραση και το σύστημα έπαυε να λειτουργεί (μιλάμε για αναλογική μετάδοση). Ήταν όμως μια λύση ανάγκης σε μικρές περιοχές με μηδενική λήψη.

## Τηλεοπτική εκπομπή... από τα παλιά!

Η κλασική διαδικασία αναμετάδοσης ενός αναλογικού καναλιού στο παρελθόν, ήταν αυτή που χρησιμοποιούσε μεταλλάκτη για την επεξεργασία του σήματος και την αλλαγή συχνότητας.

Στην απλούστερη μορφή του χρησιμοποιούσε έναν **μεταλλάκτη απλής μεταλλαγής**, ο οποίος μας έδινε τη δυνατότητα να αλλάξουμε συχνότητα με έναν απλό και οικονομικό τρόπο.

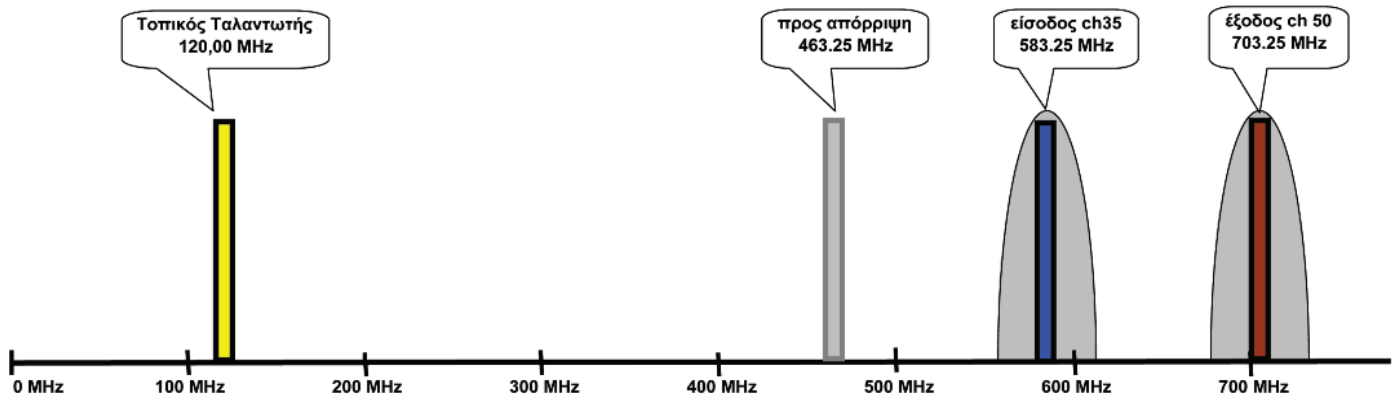
Χρησιμοποιούσε έναν τοπικό ταλαντωτή και από τη μίξη του σήματός του με το σήμα εισόδου προέκυπταν τα αθροίσματα και οι διαφορές των δύο συχνοτήτων, οπότε με φίλτρα επιλέγαμε μόνο τη μία από αυτές και είχαμε το κανάλι εισόδου.

Για παράδειγμα, αν είχαμε κανάλι εισόδου το 35 (583.25 MHz) από την κεραία μας και θέλαμε να πάρουμε την έξοδο στο κανάλι 50 (703.25 MHz), ρυθμίζαμε τον τοπικό ταλαντωτή στα 120 MHz. Η μίξη των καναλιών στην έξοδο του μίκτη μας έδινε το άθροισμα των συχνοτήτων (703.25 MHz) και τη διαφορά τους (463.25 MHz) μαζί με τα σήματα εισόδου 583.25 MHz και 120 MHz. Ένα επιλεκτικό φίλτρο μάς επέτρεπε την επιλογή της μίας από τις 4 συχνότητες και την απόρριψη όλων των άλλων. Έτσι στην έξοδο των φίλτρων είχαμε μόνο το



Στη πολύ απλή περίπτωση που δεν θα χρησιμοποιηθεί μεταλλάκτης, η απομόνωση των κεραίων εκπομπής λήψης είναι ο μόνος τρόπος για την προστασία από ανάδραση.

**απλή μεταλλαγή με χρήση τοπικού ταλαντωτή**



Απλή μεταλλαγή με χρήση επιλεκτικών φίλτρων LC για την απομόνωση των καναλιών.

επιθυμητό κανάλι εξόδου 50 στους 703.25 MHz.

Η περαιτέρω ενίσχυση του καναλιού 50 με επιλεκτικούς ενισχυτές στην επιθυμητή στάθμη ήταν απλούστερη υπόθεση, όπως και η οδήγηση του ενισχυμένου σήματος στις κεραίες εκπομπής.

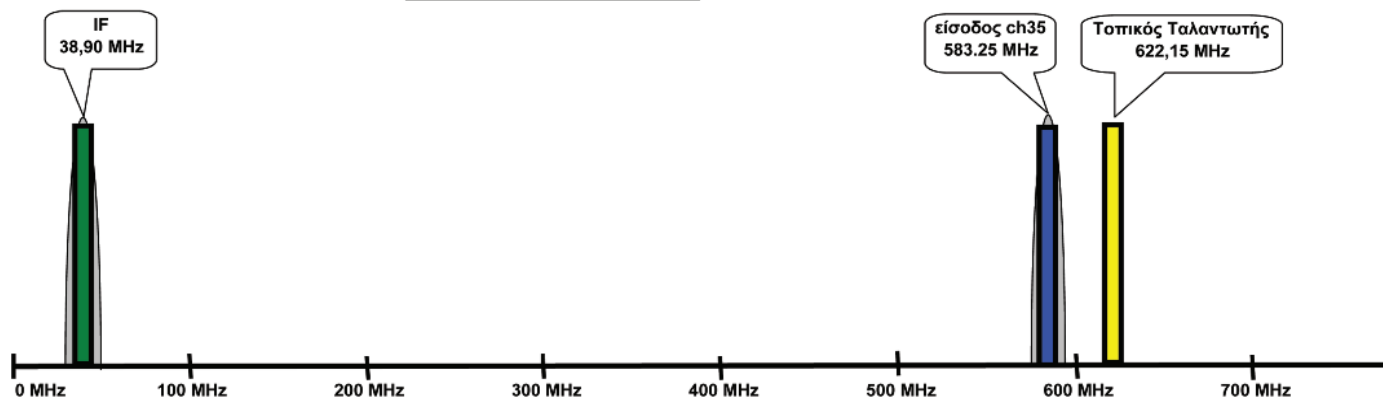
Η διαδικασία αναμετάδοσης ενός τηλεοπτικού καναλιού με λήψη επίγειου σήματος και με χρήση μεταλλάκτη απλής μεταλλαγής ήταν μια οικονομική επιλογή, που όμως είχε αρκετά μειονεκτήματα.

Το κυριότερο από αυτά είναι το γεγονός ότι όταν χρησιμοποιούμε επιλεκτικά φίλτρα LC σε τόσο υψηλές συχνότητες, δεν μπορούμε να έχουμε πολύ υψηλό Q, επομένως δεν μπορούμε να έχουμε πολύ μεγάλη κλίση

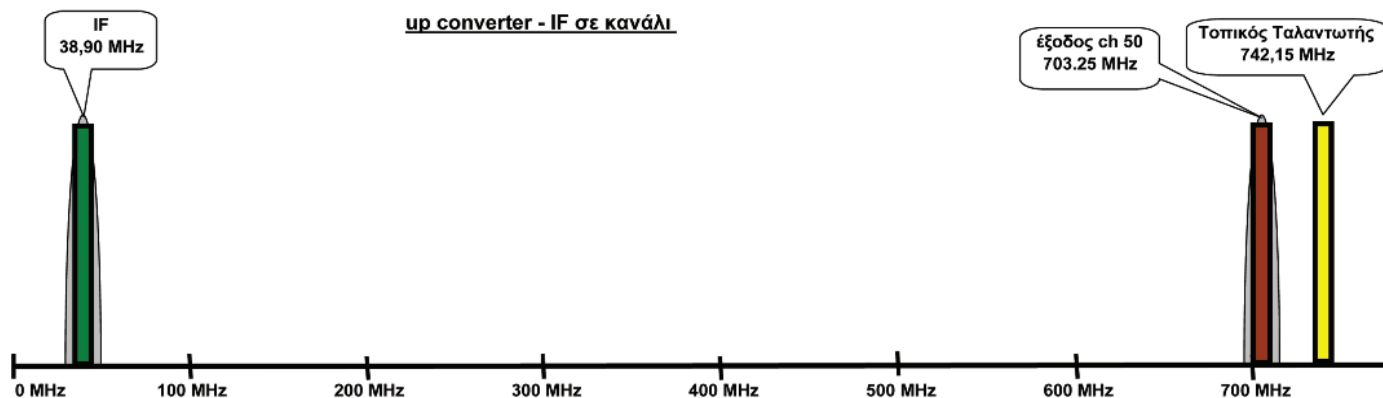
στις καμπύλες αποκοπής των φίλτρων και φυσικά δεν είναι δυνατό να έχουμε πλήρη απομόνωση από τις γειτονικές συχνότητες. Οι απομονώσεις σε απόσταση 10MHz από τα άκρα του φάσματος είναι στο επίπεδο των -15 έως -20 dB, οπότε θα έπρεπε τα διπλανά κανάλια να είναι κενά, για να έχουμε σωστό αποτέλεσμα.

Εάν στο παράδειγμά μας με το κανάλι εισόδου 35 τύχαινε να έχουμε κανάλια στις διπλάνες συχνότητες 34 ή και 36 με παρόμοια ή μεγαλύτερη στάθμη σήματος λήψης, δεν ήταν δυνατό να πετύχουμε πλήρη αποκοπή των διπλανών καναλιών και έτσι ο αναμεταδότης μας θα έδινε στην έξοδό του μικρές στάθμες και στα κανάλια 49 ή/και 51.

**down converter - κανάλι σε IF**



**up converter - IF σε κανάλι**



Διπλή μεταλλαγή με χρήση IF 38.9 MHz και διπλών SAW filters για την απομόνωση των καναλιών.

Γενικά, αναμεταδότες με απλή μεταλλαγή μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο με πολύ μικρή ισχύ εξόδου, για να εξυπηρετήσουν οικισμούς και κοινότητες σε κοντινή απόσταση.

**Αναμετάδοση αναλογικών καναλιών**

Ο **σωστός τρόπος αναμετάδοσης** με μεταλλάκτες είναι αυτός που χρησιμοποιεί **διπλή μεταλλαγή μέσω IF** στους 38.9 MHz. Δηλαδή παίρνει το κανάλι 35 του παραδείγματος και στην ίδια λογική με τον τοπικό ταλαντωτή και το μίκτη που είδαμε προηγουμένα, υποβιβάζει τη συχνότητα στους 38.9 MHz.

Σε αυτήν την περίπτωση ο τοπικός ταλαντωτής για το κανάλι 35 θα είναι στη συχνότητα  $583,25 + 38,90 = 622,15$  MHz και τα τέσσερα προϊόντα της μίξης θα είναι το άθροισμα των συχνοτήτων (1.205.40 MHz), η διαφορά τους (38,90 Mhz) και τα σήματα εισόδου 583.25 MHz και 622,15 MHz. Από τις 4 αυτές συχνότητες επιλέγουμε μόνο την επιθυμητή 38,90 MHz και απορρίπτουμε όλες τις άλλες.

Με τη δεύτερη μεταλλαγή και την ίδια ακριβώς διαδικασία επιτυγχάνουμε την ανύψωση του καναλιού στην επιθυμητή συχνότητα του καναλιού 50.

Είναι φανερό ότι οι μεγάλες αποστάσεις της συχνότητας IF από τις συχνότητες του τοπικού ταλαντωτή και της εισόδου επιτρέπουν πολύ καλύτερη απομόνωση από την απλή μεταλλαγή κανάλι/κανάλι, ενώ και ο αριθμός των δύο μεταλλαγών αντί για μία βοηθάει στην ακόμα καλύτερη απομόνωση των διπλών και γενικά των ανεπιθύμητων συχνοτήτων. Όμως, το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου δεν βρίσκεται στα παραπάνω.

Βρίσκεται στο γεγονός ότι έχοντας μία μόνο συχνότητα -και μάλιστα

χαμηλή συχνότητα (38.9MHz)- μπορούμε να κατασκευάσουμε με βιομηχανική επεξεργασία, άρα και με μικρό κόστος, φίλτρα πάρα πολύ υψηλού Q, δηλαδή πάρα πολύ υψηλής επιλεκτικότητας.

Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται SAW filters και με τη χρήση διπλών τέτοιων φίλτρων επιτυγχάνεται απομόνωση της τάξης των 70dB ή και παραπάνω σε απόσταση μόνο 1,25 MHz από τα άκρα του φάσματος. Η σύγκριση με τις απομονώσεις των 15-20 dB σε απόσταση 10MHz από τα άκρα του φάσματος, που προσφέρει η απλή μεταλλαγή κανάλι/κανάλι, είναι συντριπτική και μας δίνει μια πλήρη εικόνα για την πολύ μεγάλη και ουσιαστική διαφορά ποιότητας που προσφέρουν οι δύο τρόποι.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι τα κανάλια 34 ή και 36 του παραδείγματος μας δε θα εμφανιστούν καθόλου σαν 49 ή και 51 στην έξοδό μας, δηλαδή το σήμα εξόδου θα είναι πεντακάθαρο και θα περιέχει μόνο το φάσμα του καναλιού που θέλουμε να αναμεταδώσουμε.

Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι δεν έχουμε σχεδόν κανέναν περιορισμό στην ενίσχυση του σήματος εξόδου, η οποία με τις κατάλληλες διατάξεις ενίσχυσης και φιλτραρίσματος μπορεί να φτάσει σε ισχύ αρκετών KW, ώστε με το κατάλληλο κεραιούσστημα να καλύψει μεγάλες περιοχές.

**Αναμετάδοση ψηφιακών καναλιών**

Η **αναμετάδοση των ψηφιακών καναλιών με μεταλλάκτη διπλής μεταλλαγής** δεν έχει ουσιαστικές διαφορές με την παραπάνω λογική. Στηρίζεται στις ίδιες αρχές, προσαρμοσμένες στις απαιτήσεις των ψηφιακών καναλιών, ώστε να έχουμε σωστή διέλευση του συνόλου του φάσματος των 8MHz ενός ψηφιακού stream.

Παράλληλα δεν μπορούμε να αναφερόμαστε πλέον σε φέρουσα εικόνα,

φέρουσα ήχου, κλπ, αφού δεν υπάρχουν πλέον αυτές οι έννοιες στο ψηφιακό σήμα, αλλά μόνο στο κέντρο του καναλιού – την κεντρική συχνότητα, δηλαδή 586 MHz για το παράδειγμά μας στο κανάλι 35 και 36,15 MHz για την IF.

Επομένως τα **SAW filters** πρέπει να επιτρέπουν την ανεμπόδιστη διέλευση όλου του φάσματος των 8MHz με απόλυτα γραμμικό τρόπο, απορρίπτοντας οποιαδήποτε συχνότητα υπάρχει έξω από το φάσμα των 8 MHz.

Μια τυπική καλή προδιαγραφή για το εύρος διέλευσης με διπλά SAW filters μάς δίνει < 3 dB για το εύρος των 7.85 MHz, με παράλληλη απόρριψη μεγαλύτερη από 70 dB για αποκλίσεις  $\pm 5.25$  dB από την κεντρική συχνότητα, δηλαδή 1.25 dB από τα όρια του σήματος που ενισχύεται γραμμικά. Με τέτοιες προδιαγραφές μπορούμε να κάνουμε μεταλλαγή ακόμα και σε συνεχόμενα κανάλια όπως τα 46, 47 & 48 της Αθήνας χωρίς κανένα πρόβλημα στις τιμές C/N, CBER & MER.

Είναι αυτονόητο ότι επαγγελματικές μονάδες διπλής μεταλλαγής για τα ψηφιακά σήματα θα πρέπει να παρέχουν πολύ αυστηρά χαρακτηριστικά σε μια σειρά παραμέτρων ακόμα (spurious στην μπάντα μικρότερο από -58 dBc, Group delay μικρότερο από  $\pm 40$  ns, θόρυβο φάσης στο κανάλι εξόδου στον 1kHz μικρότερο από -80 dBc/Hz, κλπ), ενώ η ύπαρξη ενός **AGC** μεγάλου εύρους (π.χ. 40 – 80 dBμV), εξασφαλίζει την σταθερή έξοδο των μεταλλακτών ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες ή την αυξομείωση των σημάτων των πομπών στα κέντρα εκπομπής.

Αναφέροντας τις μετρήσιμες παραμέτρους του ψηφιακού σήματος θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι βαθμίδες ενίσχυσης θα πρέπει να ρυθμίζονται πολύ προσεκτικά και πάντα μέσα στα όρια των προδιαγραφών τους, μιας που η υπεροδήγηση των ενισχυτικών βαθμίδων δεν θα δημιουργήσει το γνωστό “ψαλίδισμα” του παλμού συγχρονισμού της αναλογικής εποχής,

αλλά γρήγορη και ουσιαστική επιδείνωση των ψηφιακών μετρήσεων CBER & MER. Αν η μικρή συμπίεση του παλμού συγχρονισμού συνήθως δεν είχε ορατές επιπτώσεις στη λήψη των κατοίκων στην αναλογική εποχή, η σοβαρή επιδείνωση των τιμών CBER & MER θα φέρει παγώματα εικόνας στις πιο απομακρυσμένες περιοχές από το κέντρο του ψηφιακού αναμεταδότη.

Περισσότερα για τα σημεία που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις βαθμίδες εξόδου, θα αναφέρουμε σε επόμενο άρθρο.

Η χρήση της τεχνολογίας που περιγράψαμε παραπάνω, επιτρέπει τη σωστή αναμετάδοση των ψηφιακών streams σε περιοχές που σκιάζονται από τα μεγάλα κέντρα εκπομπής και μάλιστα με το **χαμηλότερο** δυνατό **κοστολόγιο**. Έχει όμως **δύο σοβαρά μειονεκτήματα**:

**1.** Ο μεταλλάκτης αλλάζει τη συχνότητα, χωρίς να επιδρά καθόλου στο περιεχόμενο του stream που περιέχεται μέσα στο φάσμα των 8 Mhz, που επεξεργάζεται η συσκευή. Φυσικά, όποια λάθη υπάρχουν στη λήξη εξαιτίας της οποιασδήποτε δυσκολίας στη διάδοση, παραμένουν και μετά τη μεταλλαγή, δηλαδή οι τιμές MER & BER δεν διορθώνονται.

Επομένως, εάν το σήμα λήψης είναι εξαιρετικό, με ικανοποιητική στάθμη λήψης, χωρίς προενίσχυση και καλές τιμές C/N, CBER & MER, μπορούμε άφοβα να χρησιμοποιήσουμε μεταλλάκτες για την αναμετάδοση των ψηφιακών σημάτων σε μικρές περιοχές.

Εάν αντίθετα το σήμα λήψης είναι ασθενικό ή δέχεται παρεμβολές ή έχει μεγάλες αυξομειώσεις στάθμης λόγω διέλευσης πάνω από θάλασσα κλπ, θα πρέπει να επιλέξουμε την επεξεργασία του σήματος με regenerator (αναγεννητή) ψηφιακού σήματος και όχι με μεταλλάκτη.

Σε αντίθεση με όσα ξέραμε από την αναλογική εποχή, ο αναγεννητής έχει τη “μαγική” ικανότητα να λάβει στην είσοδο πολύ κακό σήμα, με οριακές τιμές C/N, CBER, MER και να το δώσει στην έξοδό του σε άριστη κατάσταση, σαν να το έχουμε πάρει με οπτική ίνα.

Αυτή η τεχνολογία των αναγεννητών έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον και είναι αυτή που σαν εφαρμογή στους ψηφιακούς αναμεταδότες θα την περιγράψουμε αναλυτικά στο επόμενο άρθρο.

**2.** Πολλές φορές δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε νέες συχνότητες για την εκπομπή των αναμεταδοτών της ψηφιακής τηλεόρασης – είτε επειδή δεν υπάρχουν άδειες διαθέσιμες συχνότητες, είτε επειδή η νομοθεσία το απαγορεύει. Σε αυτές τις περιπτώσεις είμαστε αναγκασμένοι να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες συχνότητες που χρησιμοποιεί η ευρύτερη περιοχή.

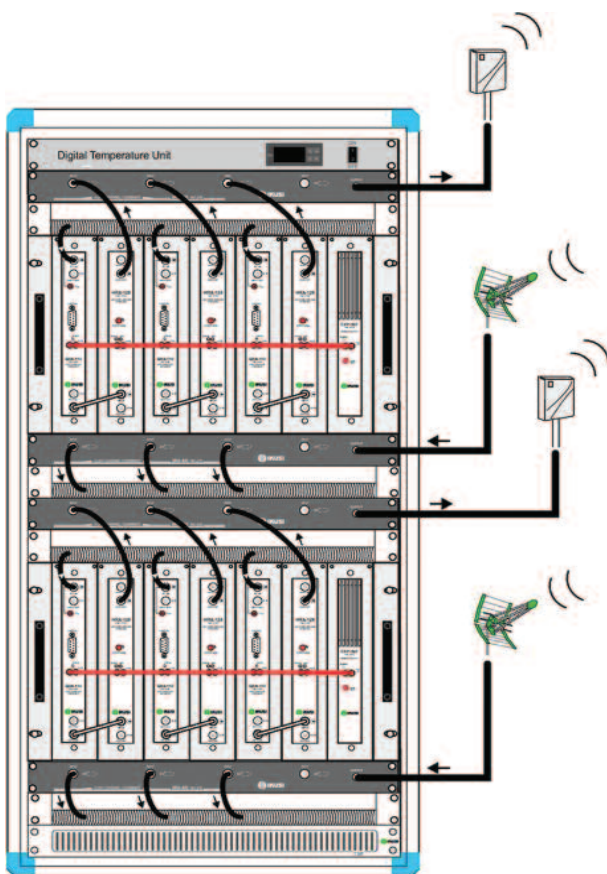
Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία των μεταλλακτών που περιγράψαμε παραπάνω, αφού η κεραία λήψης θα λάβει μέρος του εκπεμπόμενου σήματος, θα το ενισχύσει και θα δημιουργήσει ανάδραση οδηγώντας το σύστημα στον κόρο.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες, για να μπορέσουμε να κάνουμε εκπομπή στην ίδια συχνότητα, είναι:

**α.** Echo Cancellers, όταν μπορούμε να έχουμε λήψη από επίγειο κέντρο εκπομπής, οπότε μπορούμε να εκπέμψουμε στην ίδια συχνότητα.

**β.** Transmodulators DVB-S/S2 σε DVB-T, όταν μπορούμε να έχουμε από δορυφόρο το περιεχόμενο των ψηφιακών streams, που θέλουμε να εκπέμψουμε. Στην περίπτωση που στην περιοχή της δικής μας αναμετάδοσης λειτουργεί ήδη δίκτυο SFN, με τη χρήση GPS μπορούμε να συγχρονίσουμε τη δική μας εκπομπή με το υπόλοιπο δίκτυο.

Αυτές τις δύο τεχνολογίες θα περιγράψουμε αναλυτικά στα δύο μεθεπόμενα άρθρα μαζί με τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους, οπότε ... μείνετε συντονισμένοι! ■



Μια τυπική σύνθεση ψηφιακού αναμεταδότη για 6 streams. Περιλαμβάνει 6 μεταλλάκτες διπλής μεταλλαγής και τα αντίστοιχα linear, κεραίες, πολυπλέκτες, κλπ.