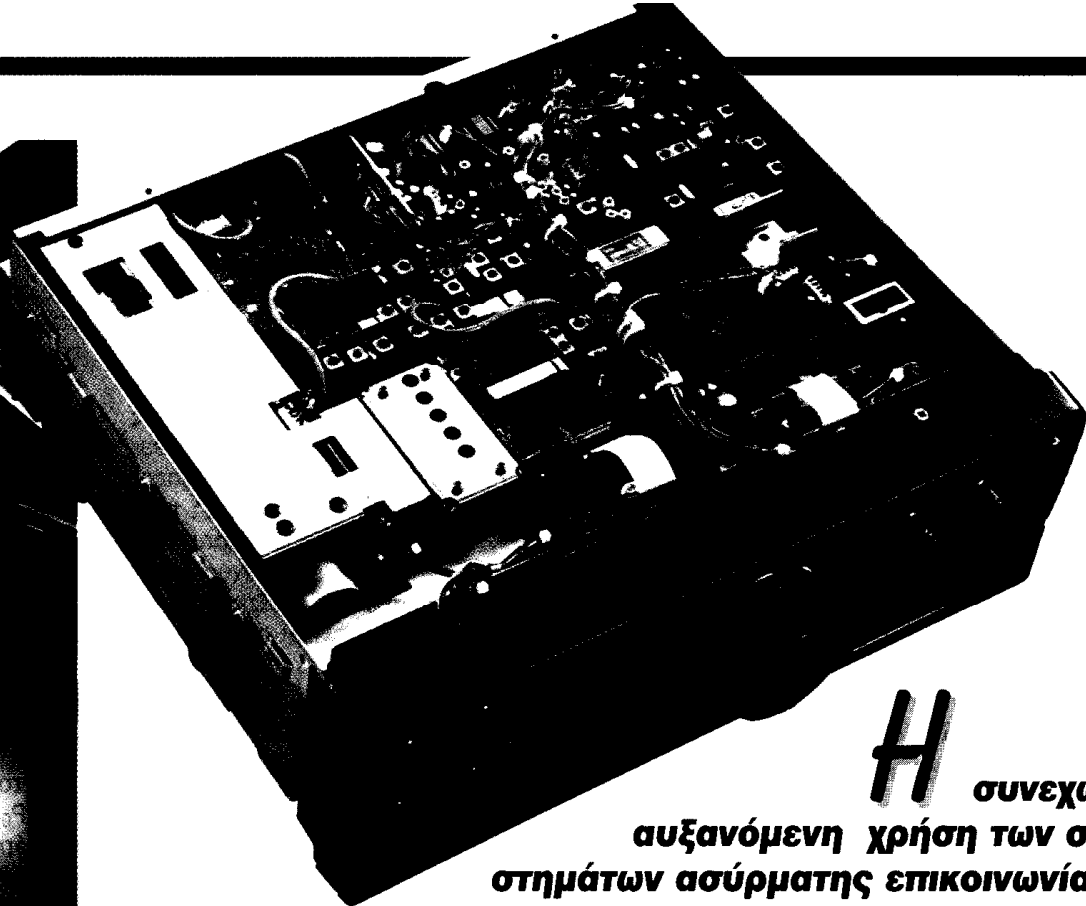
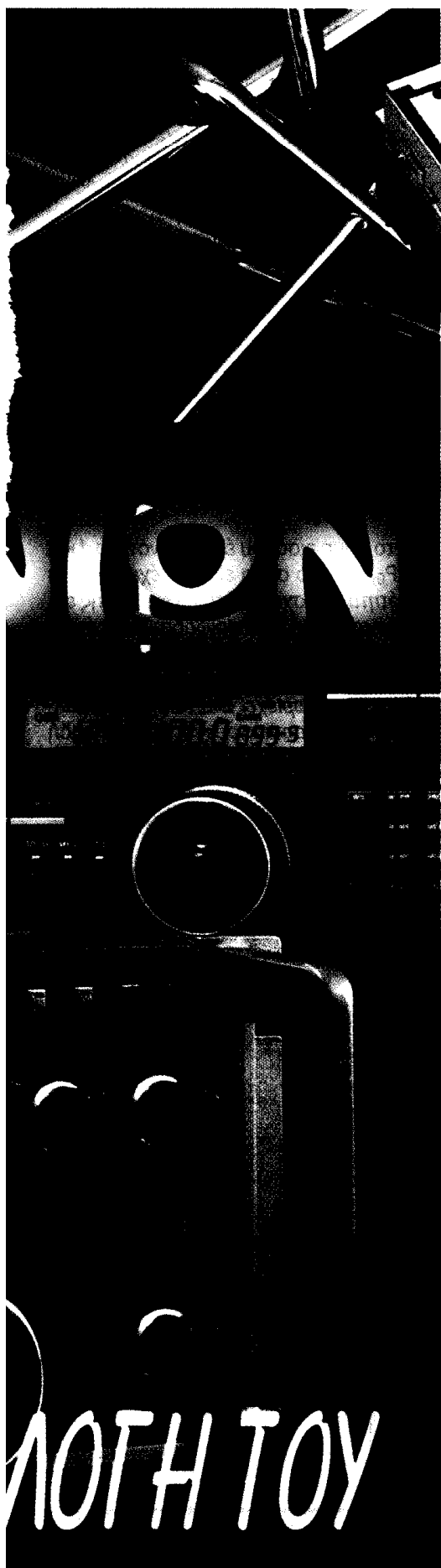




Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, από τις πρωτόγονες συσκευές CB μέχρι τα τεχνολογίας αιχμής ασύρματα τηλέφωνα GSM, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμυρίδας ραδιοσημάτων σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Το πλέον ευαίσθητο τμήμα στην αλυσίδα της ραδιοεπικοινωνίας, σ' αυτό το εξαιρετικά δυσμενές "ραδιοπεριβάλλον", είναι ο δέκτης. Πρέπει να είναι ικανός να "ακούει" πολύ ασθενικά σήματα που βρίσκονται στο όριο της στάθμης θορύβου, ενώ παράλληλα πρέπει να απορρίπτει πολύ ισχυρά ανεπιθύμητα σήματα. Το μεγαλύτερο βάρος της σωστής διεκπεραίωσης αυτής της αντιφατικής λειτουργίας πέφτει κυρίως στο ακροτελευταίο προς την κεραία τμήμα του δέκτη (front end). Η συμπεριφορά του, σε συνθήκες υπεροδήγησης (front end overload) αποτελεί ακανθώδες πρόβλημα για τους σύγχρονους δέκτες τηλεπικοινωνιών.

Ο γενικός όρος "υπεροδήγηση" είναι η αιτία δημιουργίας αρκετών διαφορετικών φαινομένων. Τα τέσσερα κυριότερα είναι:

- Ενδοδιαμόρφωση (intermodulation)
- Συρρίκνωση της δυναμικής περιοχής λήψης (dynamic range compression)
- Μείωση της απολαβής – αποευαισθητοποίηση του δέκτη (gain compression –

receiver densensitization)

- Ανάστροφη μίξη (reciprocal mixing)

Οι έννοιες αυτές, δεν αναλύονται στο βαθμό που απαιτείται -αν αναφέρονται καθόλου- στα λιγοστά ελληνικά βιβλία που αναφέρονται στο θέμα, γι' αυτό και στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να δώσουμε αρκετές πληροφορίες, χωρίς να καταφύγουμε σε δυσνόητα μαθηματικά και εξισώσεις.



Το φαινόμενο της ενδοδιαμόρφωσης ως αποτέλεσμα της μη γραμμικότητας της βαθμίδας ενίσχυσης

Αν και η ακροτελευταία προς τη κεραία βαθμίδα του δέκτη χειρίζεται σήματα εξαιρετικά χαμηλής ισχύος (επαγόμενη τάση

στην κεραία της τάξεως του $0,1\mu V$), εν τούτοις εμφανίζει μερικά από τα χαρακτηριστικά ενός ενισχυτή ισχύος, με κύριο το φαινόμενο της υπερ-οδήγησης (overload).

Όταν ένας γραμμικός ενισχυτής (linear amplifier) "υπεροδηγείται", τότε κάθε περαιτέρω

αύξηση της ισχύος εισόδου δεν επιφέρει ανάλογη αύξηση στην ισχύ εξόδου. Δηλαδή, η ενισχυτική βαθμίδα είναι "γραμμική" μόνο κατά το όνομα, ενώ η λειτουργία της είναι σαφώς μη γραμμική. Το φαινόμενο μπορεί να γίνει πιο εύκολα κατανοητό με τη βοήθεια του σχήματος 1. Η καμπύλη απεικονίζει τη σχέση ισχύων εισόδου-εξόδου και λέγεται χαρακτηριστική μεταφοράς. Ο ιδανικός γραμμικός ενισχυτής ραδιοσυχνότητας έχει γραμμική χαρακτηριστική μεταφοράς (εστιασμένη γραμμή στο σχήμα 1), επομένως σε σήμα εισόδου με ισχύ P_0 αποδίδει την ισχύ εξόδου P_1 . Στην πραγματικότητα

όμως η χαρακτηριστική μεταφοράς εμφανίζει μη γραμμικότητα (κοίλα προς τα κάτω) και η παραγόμενη ισχύς εξόδου είναι P_2 .

Η μη γραμμική μορφή της χαρακτηριστικής μεταφοράς του σήματος από την είσοδο του ενισχυτή στην έξοδό του, αλλοιώνει το φασματικό περιεχόμενο του σήματος εισόδου. Η αλλοίωση του φασματικού περιεχομένου παρουσιάζεται σε δύο μορφές:

- δημιουργία αρμονικών συχνοτήτων, όταν στην είσοδο του δέκτη υπάρχει ένα μόνο ισχυρό σήμα.
- δημιουργία μη αρμονικών συχνοτήτων (ενδοδιαμόρφωση) όταν στην είσοδο του δέκτη υπάρχουν δύο ισχυρά σήματα με παραπλήσιες συχνότητες.

Δημιουργία αρμονικών συχνοτήτων

Αν το σήμα εισόδου έχει συχνότητα f και ισχύ P_0 , τότε το σήμα εξόδου έχει την ίδια συχνότητα και ισχύ P_1 , όταν ο ενισχυτής εμφανίζει γραμμική συμπεριφορά. Όταν όμως παρουσιάζεται το φαινόμενο της μη γραμμικής συμπεριφοράς, το σήμα εξόδου έχει ισχύ P_2 και περιέχει όλα τα ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας. Δηλαδή εκτός από τη θεμελιώδη συχνότητα f εμφανίζονται και οι $2f, 3f, 4f, 5f, 6f, \dots$ με διαφορετικά πλάτη (αρμονικές). Για την εξήγηση του

ΦΡΟΝΤΙΣ

ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΕΙ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ
ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

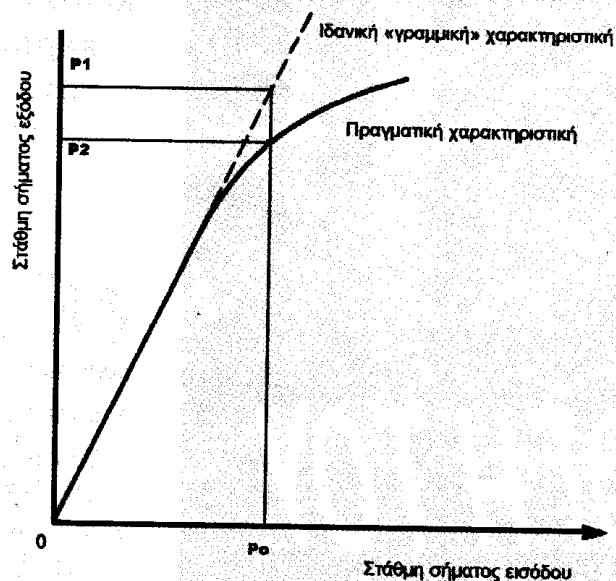
ΕΞΑΦΑΝΙΖΕΙ ΘΟΡΥΒΟΥΣ & ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ
ΑΠΟ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ Ή ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

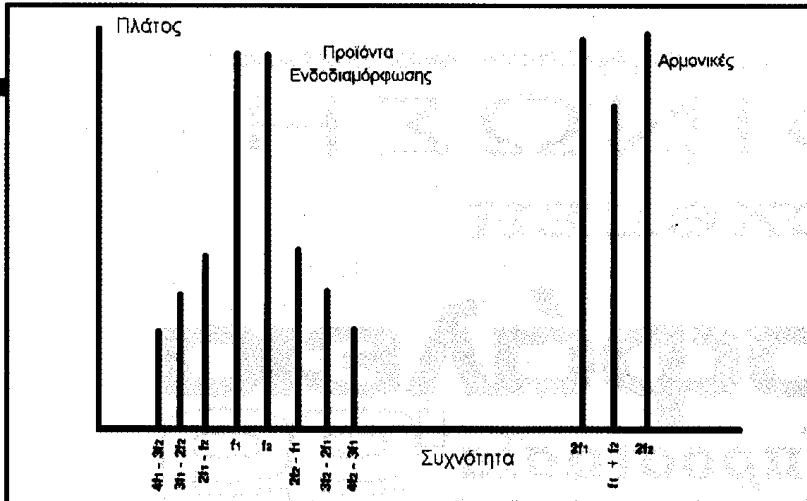
COMPUTERS
MONITORS
PRINTERS
MODEMS
FAX
VIDEO
ΤΗΛΕΟΡΑΣΕΙΣ
ΣΤΕΡΕΟΦΩΝΙΚΑ

CELTON

ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ 130, 20 100 ΚΟΡΙΝΘΟΣ • ΤΗΛ.: (0741) 83 411 • FAX: 71 769
E-mail: celton@otenet.gr

Σχήμα 1: Η καμπύλη απεικονίζει τη σχέση ισχύων εισόδου-εξόδου του ενισχυτή (πλήρης γραμμή = πραγματική, εστιασμένη γραμμή = ιδανική) και λέγεται χαρακτηριστική μεταφοράς. Ο ιδανικός γραμμικός ενισχυτής ραδιοσυχνότητας έχει γραμμική χαρακτηριστική μεταφοράς επομένως σε σήμα εισόδου με ισχύ P_0 αποδίδει την ισχύ εξόδου P_1 . Στην πραγματικότητα όμως η χαρακτηριστική μεταφοράς εμφανίζει μη γραμμικότητα (κοίλα προς τα κάτω) και η παραγόμενη ισχύς εξόδου είναι P_2 .





Σχήμα 2:
Φασματική
κατανομή των
"προϊόντων"
ενδοδιαμόρ-
φωσης

φαινομένου αρκούν λίγα εύκολα μαθηματικά, αλλά δεν θα επεκταθούμε περισσότερο εδώ. Η πλήρης ανάλυση μπορεί να βρεθεί στο εξαιρετικό βιβλίο "Introduction to Radio frequency Design" του Wes Hayward, το οποίο κυκλοφορεί σε αρκετά προσιτή τιμή από την ARRL (Ενωση Ραδιοερασιτεχνών των ΗΠΑ). Η προφανής λύση στο εμφανιζόμενο πρόβλημα είναι η λειτουργία των ενισχυτών στο γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής τους, κάτι που είναι εύκολο όταν πρόκειται για ενισχυτές ισχύος, στους οποίους η ισχύς εισόδου καθορίζεται και ελέγχεται εύκολα. Δυστυχώς, είναι πολύ δύσκολο να πετύχουμε τέτοιο έλεγχο στη περίπτωση των ενισχυτών μικρού σήματος των ραδιοδεκτών, γιατί τα σήματα εισόδου είναι τυχαία και μεταβαλλόμενα σε ευρεία κλίμακα (από 0,1μV έως 100mV) δηλαδή περίπου κατά 120 dB!

Όταν λοιπόν ένας ενισχυτής ραδιοσυχνότητας σχεδιασμένος για το χειρισμό πολύ ασθενών σημάτων, δεχτεί στην είσοδο του υπερβολικά ισχυρό σήμα *υπεροδηγείται* με αποτέλεσμα την εμφάνιση των αρμονικών συχνοτήτων που αναφέραμε προηγουμέ-

νως και οι οποίες εκλαμβάνονται από τις υπόλοιπες βαθμίδες του δέκτη σαν κανονικά σήματα. Συμβαίνει δηλαδή το παράδοξο φαινόμενο της λήψης σημάτων και σε άλλες συχνότητες από αυτές που πραγματικά εκπέμπονται!

Ενδοδιαμόρφωση (δημιουργία μη αρμονικών συχνοτήτων)

Εκτός από τη δημιουργία σημάτων "φαντάσματα" με συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια της βασικής, η μη γραμμικότητα μπορεί να οδηγήσει και στη δημιουργία σημάτων με συχνότητες που δεν έχουν αρμονική σχέση (σχέση απλού πολλαπλάσιου) με τη βασική. Στην περίπτωση αυτή τα πράγματα είναι πιο δύσκολα. Το φαινόμενο λέγεται *ενδοδιαμόρφωση (intermodulation)* και παρατηρείται όταν στην είσοδο του ενισχυτή οδηγηθούν δύο σήματα με παραπλήσιες συχνότητες, έστω f_1 και f_2 . Με απλή μαθηματική ανάλυση, που δεν θα αναφέρουμε εδώ, αποδεικνύεται ότι

δημιουργούνται σήματα με συχνότητες $kf_1 + lf_2$, όπου k, l , μικροί ακέραιοι αριθμοί (σχήμα 2).

Από όλες τις συχνότητες που αποτελούν προϊόν της μη γραμμικότητας της ενισχυτικής βαθμίδας οι πλέον ανεπιθύμητες είναι οι $2f_1 - f_2$ και $2f_2 - f_1$, γιατί βρίσκονται πολύ κοντά στις βασικές f_1, f_2 και επομένως είναι αδύνατο να απομακρυνθούν με κάποιο φίλτρο. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ό-

τι $f_1 = 144.500\text{MHz}$ και $f_2 = 144.510\text{MHz}$.

Τότε:

$2f_1 = 289.000\text{MHz}$ (αρμονική)

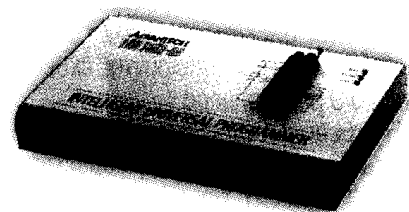
$2f_2 = 289.200\text{MHz}$ (αρμονική)

$f_1 + f_2 = 289.010\text{MHz}$ (προϊόν ενδοδιαμορφώσεως δευτέρας τάξεως)

$f_1 - f_2 = 0.010\text{MHz}$ (προϊόν ενδοδιαμορφώσεως δευτέρας τάξεως)

$2f_1 + f_2 = 433.510\text{MHz}$ (προϊόν ενδοδιαμορφώσεως τρίτης τάξεως)

Automation with PCs ADVANTECH® LabTool-48 Universal Programmer



- Ασυναγώνιστη ταχύτητα προγραμματισμού 8-Mbit Flash σε λιγότερο από 60sec
- Υποστηρίζει χωρίς επιπλέον μετατροπέα οποιαδήποτε συσκευή DIL έως 48 pins
- Συνδέεται στη παράλληλη θύρα του Η/Υ
- Προγραμματίζει chips 5V και 3,3V
- Μετατροπέας για 44-pin PLCC/QFP/TQFP/PSOP και 40/48 TSOP
- Διατίθεται προαιρετικός εξομοιωτής ROM
- Έλεγχει τη λειτουργία λογικών κυκλωμάτων και δυνατότητα λειτουργίας βιβλιοθηκών
- Ενημέρωση του software μέσω Web

SMM ABEE

Λ. Βουλιαγμένης 401, 163 46 Ηλιούπολη
Τηλ. 97 10 512 Fax 97 05 171
E-mail: mail@smm.gr
www.smm.gr www.advantech.gr

TABLE 1.2 Specifications of a Modern VLF/HF Receiver (Rohde and Schwarz Model EK-070)

Interference immunity, nonlinearities	
Intermodulation*	
d_3 within A3J sideband	>46 dB down, wanted signals 2 @ 10 mV EMF
$d_3, \Delta f \geq 30 \text{ kHz}$	>70 dB down, unwanted signals 2 @ 100 mV EMF
d_2 (1.5 to 30 MHz)	>70 dB down, unwanted signals 2 @ 100 mV EMF
Blocking*	<3-dB signal attenuation, wanted signal 1 mV EMF, $m = 30\%/1 \text{ kHz}$; unwanted signal 1 mV EMF, $\Delta f \geq 30 \text{ kHz}$
Cross modulation*	<10% modulation transfer; unwanted signal 200 mV EMF, $m = 30\%/1 \text{ kHz}$; wanted signal 1 mV EMF, $\Delta f \geq 20 \text{ kHz}$
Desensitization*	20 dB SINAD; wanted signal 30 μV EMF, $B = 3.1 \text{ kHz}$; unwanted signal 300 mV EMF, $\Delta f \geq 30 \text{ kHz}$
Inherent spurious signals	<0.5 μV equivalent EMF
Spurious responses	>90 dB down at $\Delta f \geq 30 \text{ kHz}$
Image frequency rejection	>80 dB
IF rejection	>90 dB

Σχήμα 3: Χαρακτηριστικές τιμές των παραμετρών ενδοδιαμόρφωσης, IP_3 , απορροσθησιμότητας και ενδογενούς παραγωγής ανεπιθύμητου σήματος ενός από τους καλύτερους συγχρονικούς δέκτες τηλεπικοινωνιών (Rohde & Schwarz)



$f_1 + 2f_2 = 433.520\text{MHz}$ (προϊόν
ενδοδιαμορφώσεως τρίτης τάξεως)
 $2f_1 - f_2 = 144.490\text{MHz}$ (προϊόν
ενδοδιαμορφώσεως τρίτης τάξεως)
 $2f_2 - f_1 = 144.520\text{MHz}$ (προϊόν
ενδοδιαμορφώσεως τρίτης τάξεως)

Μόνο οι δύο τελευταίες συχνότητες δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν από την κατάλληλη βαθμίδα φίλτρων του δέκτη (αν διαθέτει φυσικά!), και αυτό γιατί βρίσκονται πολύ κοντά στις επιθυμητές για λήψη. Οι συχνότητες $2f_1 - f_2$ και $2f_2 - f_1$, ονομάζονται "προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξεως" (*third order intermodulation products*). Ο όρος "τρίτης τάξεως" προκύπτει από το γεγονός ότι στην περίπτωση αυτή οι συντελεστές των f_1 , f_2 (2 και 1 αντίστοιχα), έχουν άθροισμα 3. Αντίστοιχα οι συχνότητες $3f_2 - 2f_1$, $3f_1 - 2f_2$, ονομάζονται "προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης 5ης τάξεως", οι $4f_2 - 3f_1$, $4f_1 - 3f_2$ "προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης 7ης τάξεως" κλπ.

Η τάξη των προϊόντων ενδοδιαμορφώσεως, εξαρτάται από τη μορφή της μη γραμμικής χαρακτηριστικής (μαθηματική εξίσωση της καμπύλης). Γενικά οι λυχνίες και τα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (FET) παράγουν προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης δεύτερης τάξεως, ενώ τα τρανζίστορ κυρίως 3ης και 5ης τάξεως, και αυτός είναι ο λόγος που τα FET χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην σχεδίαση ενισχυτών μικρού σήματος.

Το φαινόμενο της ενδοδιαμόρφωσης παρατηρείται πολύ συχνά στους δέκτες αυτόματης ανίχνευσης συχνοτήτων (*scanners*). Οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ οι δέκτες αυτοί προορίζονται για τη λήψη πολύ εκτεταμένων ζωνών συχνοτήτων (συνήθως από 25-2.000MHz), στην προσπάθεια διατήρησης χαμηλού κόστους κατασκευής, δεν διαθέτουν κατάλληλες βαθμίδες φίλτρων προεπιλογής. Συμβαίνει λοιπόν πολύ συχνά

ένα σήμα να εκπέμπεται στη συχνότητα των 144 MHz και να λαμβάνεται από το δέκτη στους 288 MHz, ή ακόμη χειρότερα δύο σταθμοί να εκπέμπουν στους 144.50MHz και 144.60MHz και να τους ακούμε ταυτόχρονα στη συχνότητα 144.70MHz ($2 \times 144.60 - 144.5$)! Οι δέκτες που διατίθενται στην ελεύθερη αγορά και οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε εκτεταμένες ζώνες λήψεως, χωρίς να παρουσιάζουν ενδοδιαμόρφωση είναι ελάχιστοι και ακριβοί. Μέχρι πρότινος δε, διατίθεντο μόνο για στρατιωτική ή κυβερνητική χρήση και η απόκτησή τους από ιδιώτες, ήταν εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση. Τυπικά παραδείγματα δεκτών με καλές επιδόσεις στον τομέα της ενδοδιαμόρφωσης, του σημείου ανάσχεσης (IP_3) και της εκτεταμένης δυναμικής περιοχής (θα αναφερθούμε στη συνέχεια σ' αυτές τις παραμέτρους), είναι οι AOR AR3000A, AR7030 (βραχέα), AR5000 και οι ICOM IC8500, IC7100, IC9000, IC R75, Fairhaven RD500, οι τιμές των οποίων όμως αρχίζουν από 300.000 δρχ. και φτάνουν μέχρι 1.200.000 δρχ. Σ' αυτή τη μικρή επιλογή δεν έχουμε φυσικά περιλάβει επαγγελματικούς δέκτες, όπως οι Watkins-Johnson, Racal, Marconi, JRC για να αναφέρουμε τις πιο γνωστές εταιρείες.

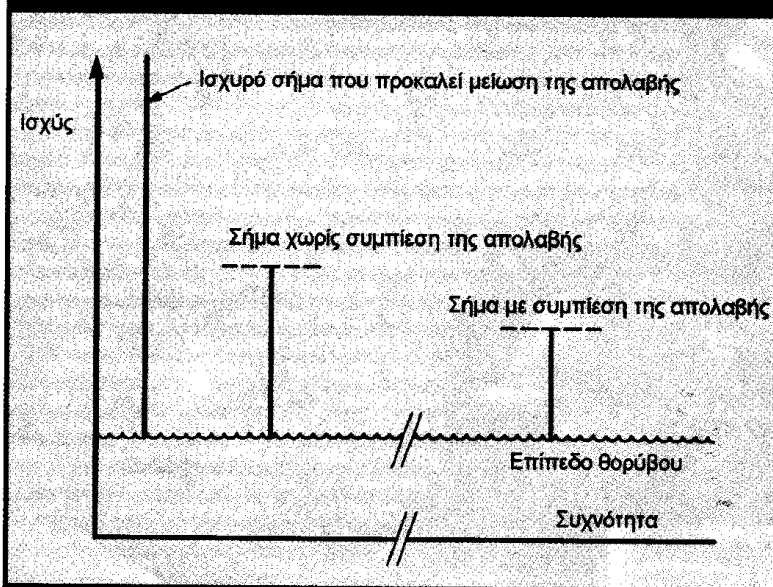
Οι δέκτες τηλεπικοινωνιών είναι συνήθως εφοδιασμένοι με ένα αριθμό ζωνοπερατών (*bandpass*) φίλτρων με τα οποία επιτυγχάνεται προεπιλογή στη βαθμίδα ραδιοσυχνότητας καθώς και περαιτέρω επιλογή με-

ταξύ της βαθμίδας αυτής και του πρώτου μείκτη. Η τριπλή ή και η τετραπλή μεταλλαγή συχνότητας χρησιμοποιείται επίσης ευρέως με μέσες συχνότητες της τάξης των 40MHz, 9MHz, και 455kHz. Αν η πρώτη "μέση συχνότητα" είναι αρκετά υψηλή, τότε περιορίζονται πολύ οι συχνότητες "είδωλα", επειδή πέφτουν έξω από τη ζώνη λήψεως του δέκτη. Σε κάθε περίπτωση πάντως αν υπάρχουν ισχυρά, πολύ γειτονικά σε συχνότητα σήματα, ακόμη και ο καλύτερα σχεδιασμένος δέκτης δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς την εμφάνιση ενδοδιαμόρφωσης. Η κατάσταση γίνεται απελπιστική, όταν χρησιμοποιείται προενισχυτής υψηλού κέρδους ή ενεργός κεραία. Δεδομένου ότι μια τέτοια διάταξη επιφέρει ενίσχυση περίπου 12 dB (δηλαδή το σήμα εισόδου αυξάνει περίπου 4 φορές), ο ενισχυτής του δέκτη λειτουργεί αναγκαστικά στη μη γραμμική περιοχή του, προκαλώντας έντονα φαινόμενα υπερδιαμόρφωσης.

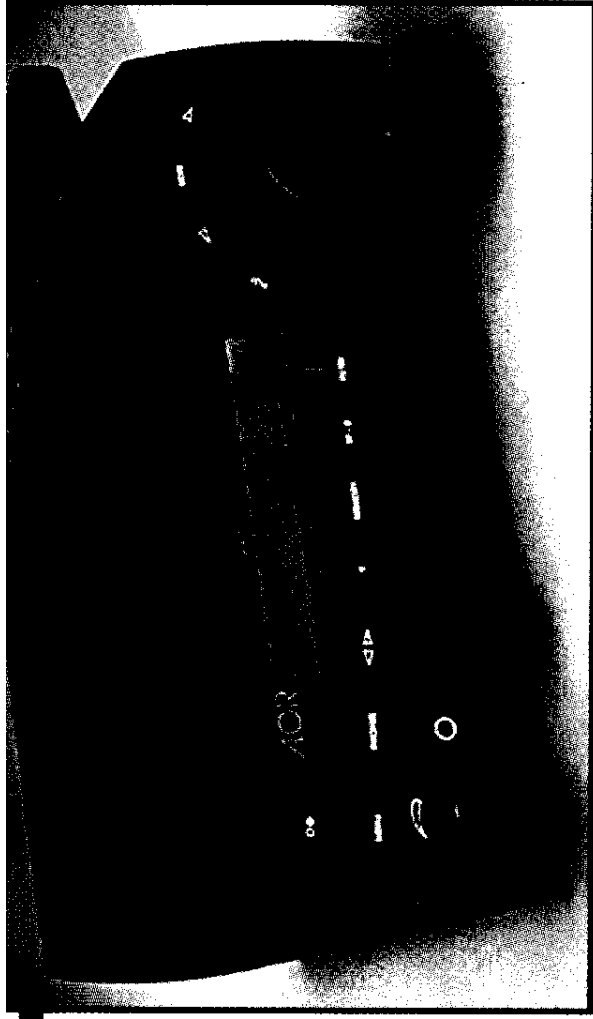
Μείωση απολαβής

Πολλές φορές ονομάζεται και "μπλοκάρισμα" (*blocking*) του δέκτη και συμβαίνει όταν ένα πολύ ισχυρό σήμα εμφανιστεί μέσα στη ζώνη λήψεως, κοντά στο επιθυμητό σήμα με αποτέλεσμα τη μείωση της απολαβής λήψεως (*gain*). Στην περίπτωση αυτή η ενισχυτική βαθμίδα υπεροδηγείται και αναγκάζεται να λειτουργήσει σε κατάσταση κορεσμού (*saturation*) με αποτέλεσμα η ενίσχυση να μειωθεί και να συμπαρασύρει σε ανάλογη μείωση και τα υπόλοιπα σήματα

Σχήμα 4: Ο ενισχυτής ραδιοσυχνότητας εκτός από το χαμηλό συντελεστή θορύβου πρέπει να έχει και τη δυνατότητα χειρισμού ισχυρών σημάτων. Συνήθως η ονομαστική απολαβή του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας αναφέρεται στα ασθενή σήματα. Αν η ισχύς του σήματος εισόδου αυξηθεί τότε για κάποια τιμή της στάθμης του η ενισχυτική βαθμίδα δεν θα μπορεί να αποδώσει πλέον την επιθυμητή απολαβή και η ενίσχυση για το συγκεκριμένο, αλλά και για



όλα τα άλλα ασθενέστερα σήματα θα μειωθεί. Για παράδειγμα αν η ονομαστική απολαβή του ενισχυτή είναι 20dB για σήματα χαμηλής στάθμης, μπορεί να μειωθεί στα 17dB αν στην είσοδο του εμφανιστεί κάποιο ισχυρό σήμα. Η μείωση θα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο ισχυρότερο είναι το σήμα. Η ίδια ενίσχυση όμως θα εφαρμοστεί και στα ασθενή σήματα για τα οποία όμως θα είναι καταστροφική.



Σχήμα 8: Διαφήμιση σε ένα από τα ειδικευμένα αγγλικά περιοδικά τηλεπικοινωνιών, ενός από τους καλύτερους (και προσιτούς οικονομικά) τηλεπικοινωνιακούς δέκτες βραχέων (AOR AR7030) που υπάρχουν στην παγκόσμια αγορά. Παρατηρήστε ότι το μοναδικό χαρακτηριστικό που διαφημίζει ο κατασκευαστής είναι τα σημεία IP2 (+82dBm) και IP3 (+32dBm). Για τους γνώστες αρκούν, αφού οι περισσότεροι δέκτες του εμπορίου δεν ξεπερνούν τις τιμές +57dBm και +21dBm.

γειας r.f. μέσα στη ζώνη λήψεως του δέκτη (off-channel energy) -φαινόμενο που εμφανίζεται όταν ο δέκτης λειτουργεί κοντά σε κεραιές εκπομπής- μειώνει δραματικά την ευαισθησία λήψεως του δέκτη.

Στο φαινόμενο αυτό οφείλει την ύπαρξή του και το γνωστό φαινόμενο της αλληλοδιαμόρφωσης (κροσάρισμα, cross-modulation), το οποίο εμφανίζεται κυρίως σε δέκτες AM (ή κακοφτιαγμένους δέκτες FM). Αν το ανεπιθύμητο ισχυρό σήμα μεταβάλει την ισχύ του ανάλογα με το ποσοστό διαμόρφωσης του, τότε στον ίδιο ρυθμό μεταβάλλεται και η απολαβή του ενισχυτή! Επομένως θα μεταβάλλεται ανάλογα και το πλάτος του επιθυμητού σήματος σε τρόπο ώστε να ακούγεται η διαμόρφωση του ανεπιθύμητου σήματος (τα γνωστά "μουστάκια") μέσα στο επιθυμητό!

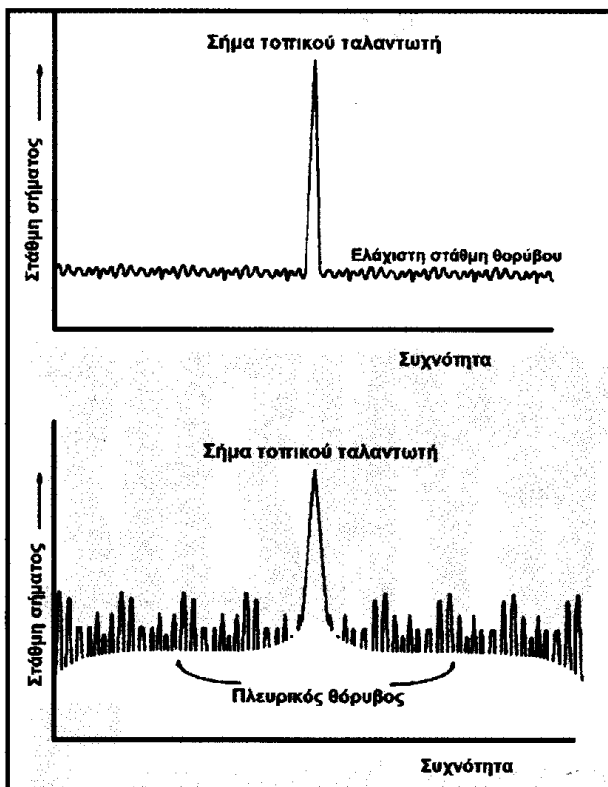
Ανάστροφη μίξη

Μια άλλη καταστροφική επίδραση των ισχυρών ραδιοσημάτων είναι η λεγόμενη "ανάστροφη μίξη" (reciprocal mixing) η οποία

μειωθεί. Δηλαδή, η εμφάνιση ενός ισχυρού σήματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απολαβής της ενισχυτικής βαθμίδας και για τα ασθενή σήματα τα οποία ξαφνικά "εξαντίζονται" και χάνονται από τον "ορίζοντα λήψης".

Συναφές φαινόμενο είναι η "αποευαισθητοποίηση" (desensitization) του δέκτη, κατά το οποίο η ύπαρξη σημαντικής ενέρ-

που λαμβάνονται εκείνη τη στιγμή. Συνήθως η ονομαστική απολαβή του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας αναφέρεται στα ασθενή σήματα. Αν η ισχύς του σήματος εισόδου αυξηθεί τότε για κάποια τιμή της στάθμης του η ενισχυτική βαθμίδα δεν θα μπορεί να αποδώσει πλέον την επιθυμητή απολαβή και η ενίσχυση για το συγκεκριμένο αλλά και για όλα τα άλλα ασθενέστερα σήματα θα

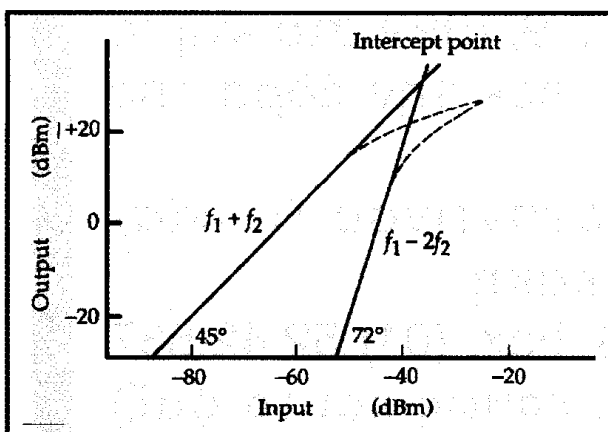


Σχήμα 5: Το φαινόμενο της "αναστροφής μίξης" (reciprocal mixing). Παρατηρείται όταν ο τοπικός ταλαντωτής του δέκτη, λόγω κακής σχεδίασης παράγει "μη καθαρό" σήμα, δηλαδή σήμα που περιέχει θόρυβο. Αν ένα ισχυρό σήμα με συχνότητα παραπλήσια με τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή εμφανισθεί στην είσοδο του δέκτη, θα φτάσει μέχρι τον πρώτο μεικτή και θα θεωρηθεί από αυτόν και ως ένα δεύτερο σήμα τοπικού ταλαντωτή. Ταυτόχρονα ο θόρυβος του σήματος του ταλαντωτή θα εκληφθεί και ως επιθυμητό σήμα με αποτέλεσμα να διαμορφώσει το ανεπιθυμητό σήμα. Θα δημιουργηθεί τελικά ένα σήμα διαμορφωμένο από θόρυβο. Το σήμα αυτό θα "πνίξει" το επιθυμητό μειώνοντας το λόγο σήματος προς θόρυβο. Δηλαδή οι ρολοί αναστραφούν και ο μεικτης λειτουργήσει και ως τοπικός ταλαντωτής-διαμορφωτής για το παραπλευρο (co-channel) σήμα, ενώ ο πλευρικός θόρυβος του σήματος του ταλαντωτή λειτουργήσει σαν επιθυμητό σήμα.

μειώνοντας το λόγο σήμα προς θόρυβο. Δηλαδή, οι ρολοί αναστραφούν και ο μεικτης λειτουργήσει και ως τοπικός ταλαντωτής-διαμορφωτής για το παραπλευρο (co-channel) σήμα, ενώ ο πλευρικός θόρυβος του σήματος του ταλαντωτή λειτουργήσει ως επιθυμητό σήμα. Σε σοβαρές σχεδιαστικές-κατασκευαστικές ατέλειες ο πλευρικός θόρυβος μπορεί να επικαλύψει ολοκληρωτικά το επιθυμητό σήμα.

Σημείο ανασχεσης τρίτης τάξης

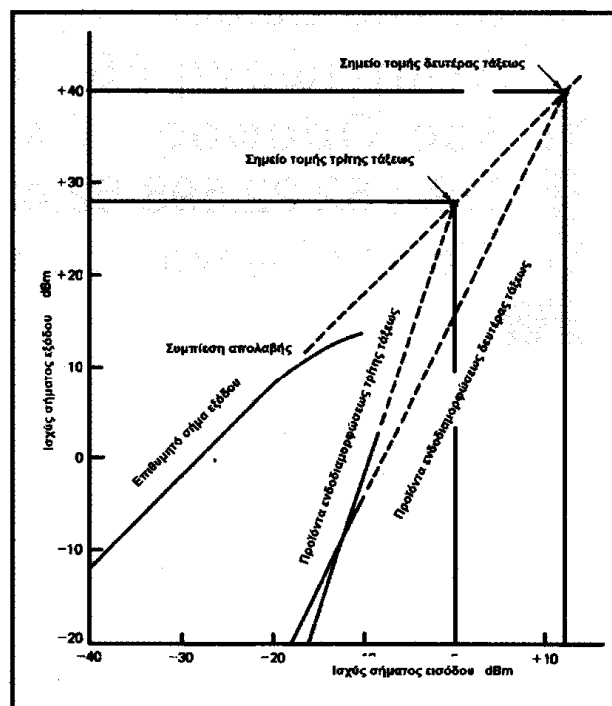
Μια εξαιρετικά επιτυχημένη έκφραση του μέτρου της επίδρασης των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης από την οποία υποφέρει ένας δέκτης, δίνεται από το "σημείο ανασχεσης τρίτης τάξης" (3rd-order intercept point, IP_3). Προτάθηκε από τους μηχανικούς της αμερικανικής εταιρείας ηλεκτρονικών οργάνων Avantek, με ένα άρθρο που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό *Electronic Design*, Φεβρουάριος 1967, και θεωρείται πλέον κλασικό. Σήμερα έχει πλέον καθιερωθεί ως το κυριότερο κριτήριο της σωστής σχεδίασης και αξιολόγησης των τηλεπικοινωνιακών δεκτών.



Σχήμα 6: Χαρακτηριστικές συσχετίσεις των σημάτων εισόδου-εξόδου (χαρακτηριστικές μεταφορές) στον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας. Οι άξονες είναι λογαριθμικοί (log-log) ενοποιημένα η κλίση των χαρακτηριστικών μεταφορές είναι 1 (εμφ=1, άρα $\phi=45^\circ$) για τη θεμελιώδη, 2 (εμφ=2, άρα $\phi=63^\circ$) για τη χαρακτηριστική των προϊόντων δεύτερης τάξεως και 3 (εμφ=3, άρα $\phi=72^\circ$) για την τρίτης τάξεως. Το σημείο τομής της θεμελιώδους χαρακτηριστικής (απόκριση στο σήμα $f_1 + f_2$) με τη χαρακτηριστική τρίτης τάξεως (απόκριση στο σήμα $f_1 - 2f_2$, στη προκειμένη περίπτωση) αντιστοιχεί στο σημείο τομής (ανασχεσης) intercept point- τρίτης τάξεως. Το σημείο τομής τρίτης τάξης είναι "ιδεατό" ή "φανταστικό" σημείο, και αντιστοιχεί στο σημείο στο οποίο αν εμφανίσε η στάθμη του σήματος εισόδου, τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης θα εξισωνόνταν με το επιθυμητό σήμα εξόδου από το μεικτή. Εκφράζεται σε dBm (dB πάνω από το 1mW).

του δέκτη, σήματος που περιέχει θόρυβο όπως φαίνεται και στο σχήμα 5. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και από τις όχι καλά σχεδιασμένες και "φτηνιάρικες" μονάδες σύνθεσης συχνότητας (PLL).

Ας υποθέσουμε ότι ο δέκτης μας είναι συντονισμένος στη συχνότητα f_1 και ότι η πρώτη μέση συχνότητα είναι f_m , επομένως ο πρώτος τοπικός ταλαντωτής παράγει σήμα συχνότητας $f_1 - f_m$. Αν ένα ισχυρό σήμα με συχνότητα f_2 πολύ κοντά στην f_1 εμφανιστεί στην είσοδο του δέκτη, θα φτάσει μέχρι τον πρώτο μεικτή και θα θεωρηθεί από αυτόν και ως ένα δεύτερο σήμα τοπικού ταλαντωτή. Ταυτόχρονα ο θόρυβος του σήματος του ταλαντωτή θα εκληφθεί και σαν επιθυμητό σήμα με αποτέλεσμα να διαμορφώσει το ανεπιθυμητό σήμα και να δημιουργηθεί ένα σήμα με συχνότητα f_2 διαμορφωμένο από θόρυβο. Το σήμα αυτό θα "πνίξει" το επιθυμητό,



Σχήμα 7: Το σημείο τομής τρίτης τάξης είναι το "ιδεατό" ή "φανταστικό" σημείο τομής των προεκτάσεων των χαρακτηριστικών θεμελιώδους και τρίτης τάξης, δηλαδή το σημείο στο οποίο αν εμφανίσε η στάθμη του σήματος εισόδου, τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης θα εξισωνόνταν με το επιθυμητό σήμα εξόδου από το μεικτή. Εκφράζεται σε dBm (dB πάνω από το 1mW) εισόδου (input intercept) ή εξόδου (output intercept).

αντίθετα με την ενδοδιαμόρφωση και την μείωση της απολαβής δεν οφείλεται στη μη γραμμικότητα. Η αιτία δημιουργίας της είναι η παραγωγή από τον τοπικό ταλαντωτή

νεπιθυμητό σήμα και να δημιουργηθεί ένα σήμα με συχνότητα f_2 διαμορφωμένο από θόρυβο. Το σήμα αυτό θα "πνίξει" το επιθυμητό,

δομένα του συγκεκριμένου δέκτη και των σχέσεων:

$IM_2=IP_2-F$ και $IM_3=2(IP_3-F)$, όπου

- IM_2, IM_3 , είναι οι στάθμες προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης δευτέρας ή τρίτης τάξεως και εκφράζονται σε dB κάτω από τη στάθμη του θεμελιώδους σήματος
- IP_2, IP_3 , είναι τα σημεία ανάσχεσης δευτέρας και τρίτης τάξεως
- F , είναι η στάθμη ισχύος του θεμελιώδους σήματος

Για παράδειγμα, αν η στάθμη ισχύος του σήματος εξόδου στον ενισχυτή είναι +10 dBm, και το σημείο $IP_3 = 40$ dBm, τότε η στάθμη του σήματος παρενόχλησης τρίτης τάξεως είναι $IM_2=2(40-10)=60$ dB κάτω από τη θεμελιώδη στάθμη. Αν η θεμελιώδης στάθμη είναι +10 dBm, το απόλυτο μέγεθος της IM_2 είναι 10 dBm-60 dBm=-50 dBm.

Το σημείο τομής τρίτης τάξης σχετίζεται άμεσα με τη δυναμική περιοχή (dynamic range) του δέκτη, καθώς και με το σημείο έναρξης της μείωσης της απολαβής ή σημείο



συμπίεσης 1dB (1dB compression point), όπως είναι περισσότερο γνωστό.

Σημείο συμπίεσης 1dB

Το σημείο συμπίεσης 1dB (1dB compression point), είναι η στάθμη στην οποία η απολαβή του ενισχυτή είναι κατά 1dB μικρότερη από την αναμενόμενη αν ο ενισχυτής ήταν γραμμικός. Αν για παράδειγμα η στάθμη του σήματος εισόδου είναι -50 dBm και η στάθμη του σήματος IF είναι -30 dBm, τότε η απολαβή είναι 20 dBm. Αν η στάθμη του σήματος εισόδου αυξηθεί κατά βήματα των 10 dBm μέχρι να φτάσουμε στην τιμή -20 dBm, τότε αναμένουμε η στάθμη του σήματος εξόδου να πάρει την τιμή 0 dBm. Αν η μετρούμενη στάθμη είναι -1 dBm, τότε έχουμε φτάσει στο σημείο συμπίεσης 1 dB. Το σημείο ανάσχεσης τρίτης τάξης είναι περίπου 10-15 dB μεγαλύτερο από το σημείο συμπίεσης 1dB.

Δυναμική περιοχή

Η δυναμική περιοχή (dynamic range, DR) του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας, είναι η διαφορά των επιπέδων ισχύος του πλέ-

ον ασθενούς και του πλέον ισχυρού σήματος που μπορεί να χειριστεί ο ενισχυτής ή μείκτης ραδιοσυχνότητας, χωρίς τη δημιουργία προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης. Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$DR=2/3 (IP-G-MDS)$

όπου:

DR, το εύρος της δυναμικής περιοχής
IP, το σημείο ανάσχεσης
G (gain), η απολαβή του ενισχυτή

MDS, (minimum detectable signal) η στάθμη του ελάχιστου σήματος που μπορεί να λάβει ο δέκτης-ενισχυτής. Δίνεται από την εξίσωση:

$MDS = -114 \text{ dBm} + 10 \log(NBW/1\text{MHz}) + NF$

όπου:

NF (noise figure), ο συντελεστής θορύβου του δέκτη,
NBW (noise band width), το ισοδύναμο εύρος θορύβου σε MHz

Για παράδειγμα, θεωρήστε έναν ενισχυτή με απολαβή $G=20$ dB, συντελεστή θορύβου $NF=1,5$ dB, σημείο ανάσχεσης $IP=+30$ dBm και ισοδύναμο εύρος θορύβου $BW=10$ MHz.

Τότε, $MDS=-114+10 \log 10 + 1,5 = -102,5$ dBm.

Επομένως $DR = 2/3[30-20 - (-102,5)] = 75$ dB.

Βιβλιογραφία

1. "Mobile Radio Servicing Handbook", R. Belecher, D. Ogley, Heinemann Newnes, London 1990
2. "Application Note 92", Trontech Communications, New Jersey 1992
3. "Θεωρία Θορύβου", Κ. Καρούμπαλου, Αθήνα 1986
4. "Introduction to Radio frequency Design", Wes Hayward, κυκλοφορεί σε αρκετά προσιτή τιμή από την ARRL (Ενωση Ραδιοερασιτεχνών των ΗΠΑ).

ΤΕΧΝΙΚΑ

ηλεκτρονικά
ανταρρακτικά

Η ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟΘΗΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΝΕΑ ΙΩΝΙΑ

- ΜΕΓΑΦΩΝΑ, ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ, ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΕΦΕ
- ΚΕΡΑΙΕΣ T.V. -C.B. -ΠΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ
- ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΑ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΠΙΤΙΟΥ
- ΣΥΜΑΓΕΡΜΟΙ, ΣΕΙΡΗΝΕΣ, RADAR
- ΑΞΕΣΟΥΑΡ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ
- ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ, ΕΡΓΑΛΕΙΑ
- ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ



Πρόθυμη **ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ**

Τεράστια **ΠΟΙΚΙΛΙΑ**

Καταπληκτικές **ΤΙΜΕΣ**

Α.ΠΑΛΑΝΤΖΗΣ Γ.ΜΕΪΜΑΡΟΓΛΟΥ Ο.Ε. ΑΓΚΥΡΑΣ 14 Ν. ΙΩΝΙΑ ΤΗΛ. 2774474