

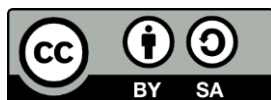
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ**

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 1

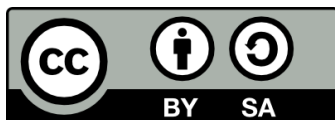
Δρ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΠΑΠΑΤΣΩΡΗΣ
Καθηγητής

ΣΕΡΡΕΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2015



Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

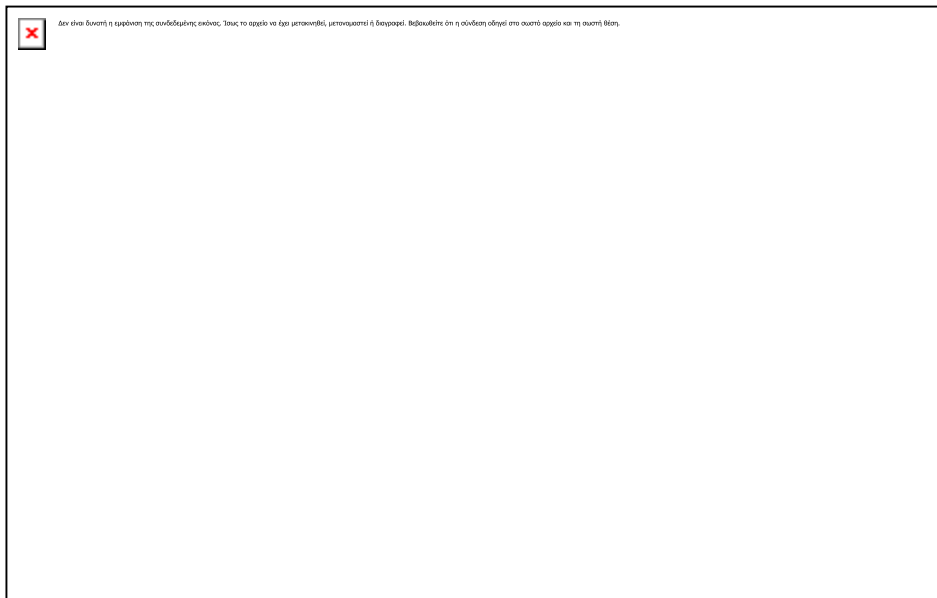


2 Διαμόρφωση κατά Πλάτος (ΑΜ)

Υπενθυμίζεται ότι η διαδικασία με την οποία το σήμα χαμηλής συχνότητας της πληροφορίας υπερτίθεται σε ένα σήμα υψηλής συχνότητας (φορέας) ονομάζεται διαμόρφωση. Η διαδικασία της διαμόρφωσης μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταβολή του πλάτους, της συχνότητας ή της φάσης του φορέα από την πληροφορία. Η περίπτωση στην οποία η πληροφορία μεταβάλλει το πλάτος του φορέα ορίζει την διαμόρφωση πλάτους (amplitude modulation – ΑΜ). Η διαμόρφωση πλάτους αποτελεί το θέμα του κεφαλαίου αυτού.

2.1 Βασικές Αρχές στη Διαμόρφωση ΑΜ

Ο γραμμικός συνδυασμός δύο πολύ διαφορετικών στη συχνότητα κυματομορφών, δηλαδή της πληροφορίας και του φορέα έχει ως αποτέλεσμα την απλή αλγεβρική τους πρόσθεση, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο Σχήμα 2-1. Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από ένα γραμμικό στοιχείο, όπως μιας αντίστασης, και θα μπορούσε να υλοποιήσει την αλγεβρική πρόσθεση παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-1(α).

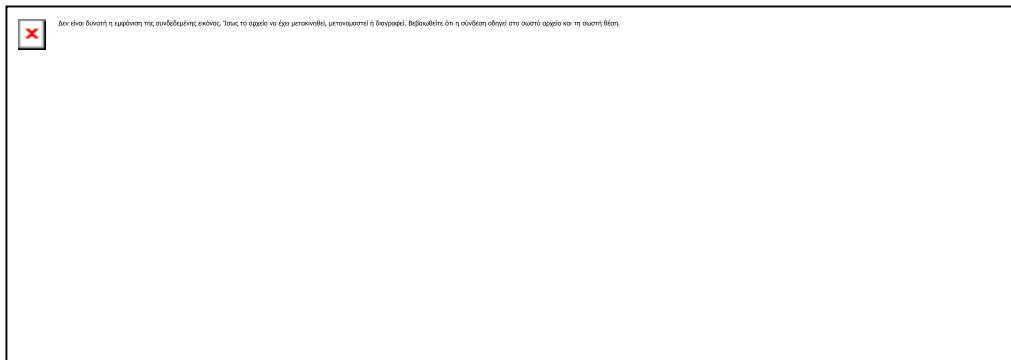


Σχήμα 2-1. Γραμμική πρόσθεση δύο ημιτονοειδών κυματομορφών.

Δυστυχώς, η συνδυασμένη κυματομορφή που εικονίζεται στο Σχήμα 2-1(d) δεν είναι κατάλληλη για μετάδοση, λόγω του ότι η κεραία λήψης ‘συλλαμβάνει’ μόνο το σήμα υψηλής συχνότητας αφού το σήμα χαμηλής συχνότητας δεν μπορεί να μεταδοθεί αποδοτικά ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Για την παραγωγή σημάτων διαμορφωμένων κατά πλάτος τα σήματα της πληροφορίας και του φορέα πρέπει να συνδυαστούν δια μέσου μιας μη γραμμικής διάταξης. Μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικά, ότι μια μη γραμμική διάταξη στις οποίες την είσοδο εφαρμόζονται δύο καθαρά ημιτονικά σήματα (φορέας και πληροφορία στην περίπτωση μας) παράγει στην έξοδό της τις ακόλουθες συχνοτικές συνιστώσες:

1. Μια στάθμη dc
2. Συνιστώσες στις συχνότητες εισόδου
3. Συνιστώσες στις συχνότητες του αθροίσματος και της διαφοράς των αρχικών συχνοτήτων
4. Αρμονικές των δύο αρχικών συχνοτήτων

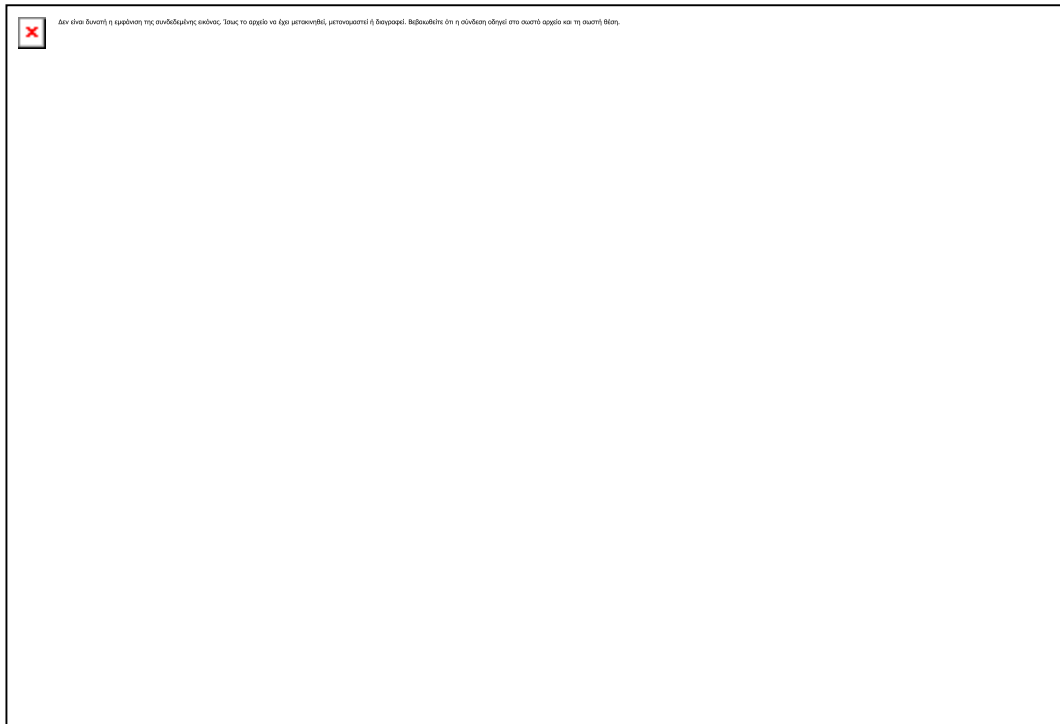


Σχήμα 2-2. Μίξη με την χρήση μη γραμμικού δικτύου

Το Σχήμα 2-2 απεικονίζει την διαδικασία αυτή σημειώνοντας τα ημιτονικά σήματα ως f_i και f_c για τις συχνότητες της πληροφορίας και του φορέα, αντίστοιχα. Η αποκοπή όλων των συχνοτικών συνιστωσών εκτός των $f_c - f_i$, f_c , και $f_c + f_i$, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία της κυματομορφής ΑΜ. Οι συνιστώσες αυτές αναφέρονται ως η χαμηλή πλευρική συχνότητα, η συχνότητα του φορέα και η άνω πλευρική συχνότητα, αντίστοιχα.

2.1.1 Κυματομορφές ΑΜ

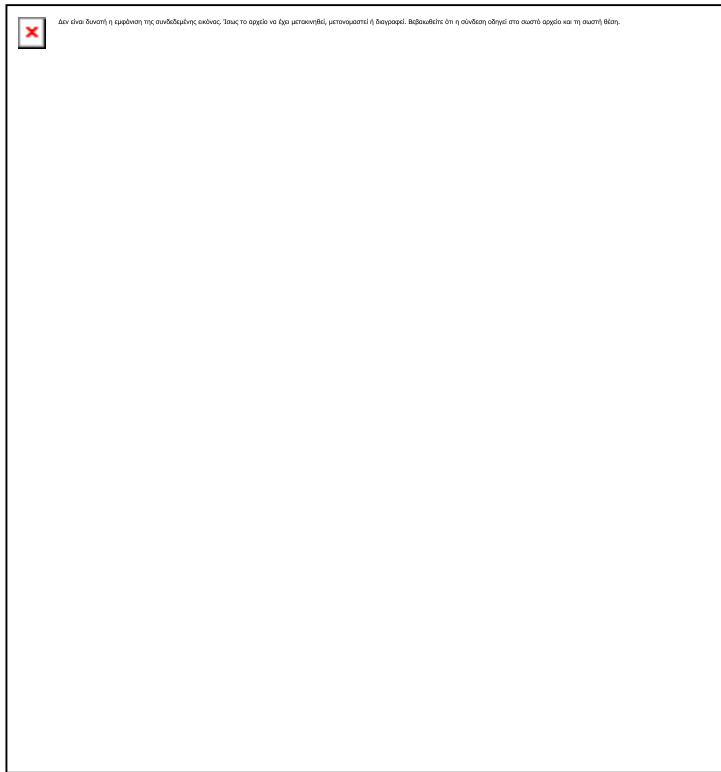
Το Σχήμα 2-3 παρουσιάζει διάφορες περιπτώσεις σύνθεσης των κυματομορφών της πληροφορίας και του φορέα και την παραγόμενη κυματομορφή ΑΜ. Παρατηρούμε, ότι η παραγόμενη κυματομορφή ΑΜ είναι ουσιαστικά ένα σήμα με τη συχνότητα του φορέα του οποίου το πλάτος μεταβάλλεται ανάλογα με το ρυθμό μεταβολής του σήματος της πληροφορίας. Έτσι, την χρονική στιγμή που το πλάτος της πληροφορίας φθάνει στη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή του, η κυματομορφή ΑΜ φθάνει επίσης στη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή της, αντίστοιχα.



Σχήμα 2-3. Παραγόμενη κυματομορφή ΑΜ για διάφορες περιπτώσεις κυματομορφών πληροφορίας.

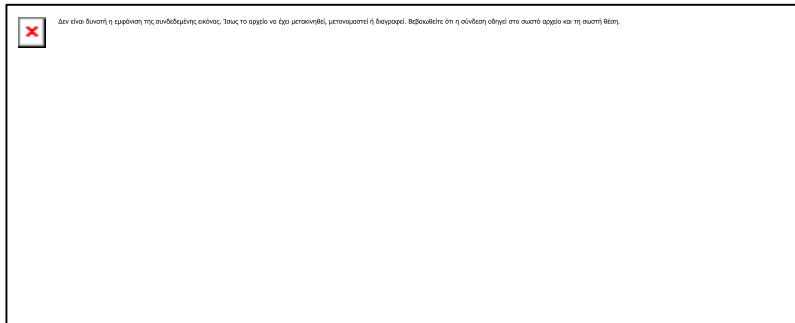
Είναι επίσης φανερό ότι οι άνω και κάτω περιβάλλουσες της κυματομορφής ΑΜ είναι αντίγραφα της συχνότητας και του πλάτους της πληροφορίας, ενώ η ολίσθηση φάσης είναι 180° . Εν τούτοις, η καθαυτού ΑΜ κυματομορφή δεν περιέχει καμιά συχνοτική συνιστώσα του σήματος της πληροφορίας. Οι περιβάλλουσες της ΑΜ κυματομορφής δεν αποτελούν στην πραγματικότητα συστατικό στοιχείο της κυματομορφής και δεν είναι ορατές στην οθόνη ενός παλμογράφου. Απλά, λόγω της υψηλής συχνότητας του φορέα δημιουργείται στο ανθρώπινο μάτι η ψευδαίσθηση ότι η περιβάλλουσες είναι συνεχείς γραμμές. Οι περιβάλλουσες είναι προϊόν του μη γραμμικού συνδυασμού του

φορέα με δύο μικρότερου πλάτους σήματα που απέχουν στη συχνότητα ίδιο εύρος ζώνης εκατέρωθεν της συχνότητας του φορέα. Η διαδικασία του μη γραμμικού αυτού συνδυασμού απεικονίζεται στο Σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-4. Σύνθεση AM κυματομορφής από τον φορέα και τις πλευρικές συχνότητες.

Μέχρι τώρα αναλύσαμε τη διαμόρφωση AM για την απλούστερη των περιπτώσεων όπου το σήμα της πληροφορίας παρίστατο από μια απλή ημιτονοειδή κυματομορφή. Στην πραγματικότητα όμως το φάσμα του σήματος της πληροφορίας περιέχει πολλές συχνοτικές συνιστώσες. Για παράδειγμα, η ανθρώπινη φωνή περιέχει συχνότητες που εκτείνονται τυπικά από 200Hz έως 3kHz, και η χρησιμοποίησή της για την κατά πλάτος διαμόρφωση του φορέα, οδηγεί στη δημιουργία πλευρικών ζωνών συχνοτήτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-5. Κατ' αναλογία, οι πλευρικές ζώνες συχνοτήτων, ονομάζονται η άνω και κάτω πλευρική ζώνη.



Σχήμα 2-5. Διαμόρφωση φορέα AM από τυπικό σήμα ομιλίας.

2.2 Δείκτης Διαμόρφωσης

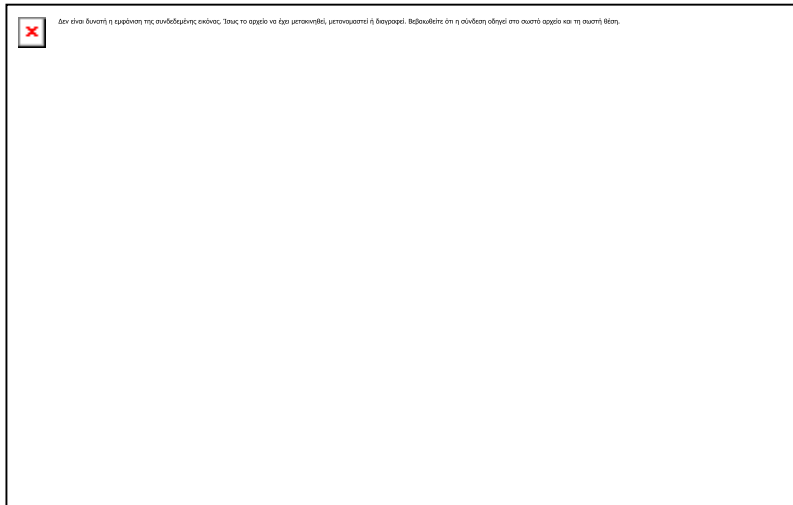
Στο Σχήμα 2-3 διαπιστώσαμε την επίδραση του πλάτους της πληροφορίας στην παραγόμενη AM κυματομορφή. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να έχουμε ένα τρόπο για να εκτιμήσουμε το συσχετισμό των πλατών του φορέα και της πληροφορίας. Αυτό καθίσταται εφικτό με τον ορισμό του ποσοστού διαμόρφωσης (**percentage modulation**), ο οποίος αποτελεί μέτρο του ποσοστού μεταβολής του φορέα από την πληροφορία. Το **ποσοστό διαμόρφωσης** ή **δείκτης διαμόρφωσης** (**modulation index**) ορίζεται ως:

$$(2.1) \quad m = \frac{E_i}{E_c},$$

όπου E_i και E_c είναι τα μέγιστα πλάτη της πληροφορίας και του φορέα, αντίστοιχα. Εναλλακτικά, και στην περίπτωση που είναι δυνατή η εποπτεία της παραγόμενης AM κυματομορφής στην οθόνη παλμογράφου, ο δείκτης διαμόρφωσης δίδεται και ως το πηλίκο:

$$(2.2) \quad m = \frac{B - A}{B + A},$$

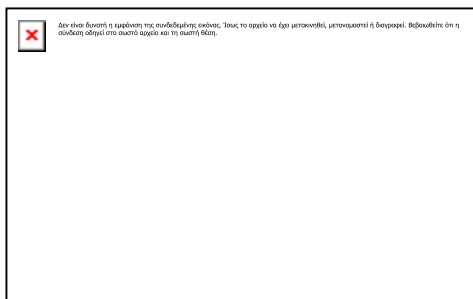
όπου οι συντελεστές B και A αντιστοιχούν στο μέγιστο και ελάχιστο από-κορυφή-σε-κορυφή πλάτος της AM κυματομορφής, αντίστοιχα (σημεία w και x στο Σχήμα 2-6, αντίστοιχα).



Σχήμα 2-6. Ορισμός του δείκτη διαμόρφωσης για κυματομορφή ΑΜ.

2.2.1 Υπερδιαμόρφωση

Όταν τα πλάτη της πληροφορίας και του φορέα είναι ίσα, δηλαδή $E_i = E_c$ ή ισοδύναμα $A=0$, ο δείκτης διαμόρφωσης m λαμβάνει την μέγιστη τιμή του, δηλαδή μονάδα. Στην περίπτωση αυτή, το πλάτος του φορέα κυμαίνεται μεταξύ του μηδενός και του διπλασίου της τιμής του αδιαμόρφωτου σήματος. Περαιτέρω αύξηση του πλάτους της πληροφορίας ($E_i > E_c$) οδηγεί στην κατάσταση της **υπερδιαμόρφωσης (overmodulation)**. Στην κατάσταση υπερδιαμόρφωσης, το πλάτος του διαμορφωμένου φορέα λαμβάνει τιμή μεγαλύτερη του διπλασίου της αδιαμόρφωτης τιμής του, αλλά επίσης μηδενίζεται για κάποιο χρονικό διάστημα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-7.



Σχήμα 2-7. Κατάσταση υπερδιαμόρφωσης.

Το 'κενό' αυτό προκαλεί αλλοίωση της πληροφορίας, ονομάζεται **πλευρικός θόρυβος (sideband splatter)** και έχει ως αποτέλεσμα την μετάδοση συχνοτήτων εκτός του καθορισμένου για ένα σταθμό εύρους ζώνης και την πρόκληση σημαντικής παρεμβολής σε όμορους σταθμούς. Η κατάσταση υπερδιαμόρφωσης είναι ανεπιθύμητη και μεγάλη προσοχή πρέπει να δίδεται ώστε να αποφεύγεται.

2.3 Μαθηματική Ανάλυση Διαμόρφωσης AM

Η στιγμιαία τιμή e της κυματομορφής AM δίδεται από την σχέση:

$$(2.3) \quad e = E \cdot \sin(\omega_c \cdot t)$$

όπου E είναι το πλάτος της AM κυματομορφής και $\omega_c = 2\pi f_c$ η κυκλική συχνότητα του φορέα. Το πλάτος E της AM κυματομορφής μπορεί να γραφεί ως το άθροισμα της μέγιστης τιμής του πλάτους του φορέα E_c και της στιγμιαίας τιμής της πληροφορίας e_i , δηλαδή:

$$(2.4) \quad E = E_c + e_i = E_c + E_i \cdot \sin(2\pi f_i \cdot t),$$

και εκφράζοντας το πλάτος της πληροφορίας συναρτήσει του δείκτη διαμόρφωσης έχουμε:

$$(2.5) \quad E = E_c + m \cdot E_c \cdot \sin(2\pi f_i \cdot t) = E_c \cdot [1 + m \cdot \sin(2\pi f_i \cdot t)].$$

Αντικαθιστώντας την τιμή του πλάτους της κυματομορφής AM που προσδιορίστηκε στην Εξίσωση (2.5) στην Εξίσωση (2.3), προκύπτει για τη στιγμιαία τιμή της κυματομορφής AM:

$$(2.6) \quad e = E \cdot \sin(2\pi f_c \cdot t) = E_c \cdot [1 + m \cdot \sin(2\pi f_i \cdot t)] \cdot \sin(2\pi f_c \cdot t).$$

Παρατηρώντας ότι η έκφραση για την AM κυματομορφή εμπλέκει το γινόμενο ημιτόνων και ανακαλώντας τη γνωστή από την τριγωνομετρία σχέση

$$\sin A \cdot \sin B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)], \text{ έχουμε τελικά για την AM κυματομορφή:}$$

$$(2.7) \quad e = \overset{1}{E_c \cdot \sin(2\pi f_c \cdot t)} + \overset{2}{\frac{mE_c}{2} \cdot \cos[2\pi(f_c - f_i) \cdot t]} - \overset{3}{\frac{mE_c}{2} \cdot \cos[2\pi(f_c + f_i) \cdot t]}.$$

Η Εξίσωση (2.7) επιβεβαιώνει την ποιοτική ανάλυση που εδόθη στην ενότητα 2.1, δείχνοντας ότι το συχνοτικό περιεχόμενο της κυματομορφής AM που προκύπτει από τη διαμόρφωση φορέα από ένα καθαρά ημιτονικό σήμα, απαρτίζεται από τις συχνότητες: του φορέα (όρος 1), της κάτω πλευρικής συχνότητας $f_c - f_i$ (όρος 2), και της άνω πλευρικής συχνότητας $f_c + f_i$ (όρος 3). Επίσης, το πλάτος των πλευρικών συνιστωσών ισούται με $mE_c/2$.

Στη διαμόρφωση AM το πλάτος και η συχνότητα του φορέα παραμένουν σταθεροί, ενώ οι πλευρικές ζώνες συνήθως αλλάζουν πλάτος και συχνότητα. Καθότι ο φορέας παραμένει αμετάβλητος, δεν μεταφέρει κανένα περιεχόμενο πληροφορίας¹! Εν τούτοις, καταναλώνει την περισσότερη ισχύ διότι το πλάτος του είναι τουλάχιστον διπλάσιο (αυτό συμβαίνει για $m=1$) του πλάτους των πλευρικών συνιστωσών. Το περιεχόμενο της μεταδιδόμενης πληροφορίας μεταφέρεται στις πλευρικές ζώνες.

2.3.1 Η σπουδαιότητα υψηλού δείκτη διαμόρφωσης

Η μαθηματική ανάλυση της διαμόρφωσης AM έδειξε ότι το περιεχόμενο της πληροφορίας μεταφέρεται από τις πλευρικές ζώνες. Είναι επομένως θεμιτό να επιδιώκουμε την χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου δείκτη διαμόρφωσης, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την αποφυγή της καταστάσεως της υπερδιαμορφώσεως. Όπως είναι προφανές, η ισχύς των πλευρικών ζωνών μεγιστοποιείται για $m=1$. Μια ιδιαίτερα χρήσιμη σχέση που συνδέει την ισχύ του φορέα με αυτήν που συνολικά μεταδίδεται από την κυματομορφή AM, συνάγεται εύκολα κάνοντας χρήση του αποτελέσματος της Εξισώσεως (2.7), ήτοι:

$$(2.8) \quad P_{AM} = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right),$$

όπου P_{AM} και P_c είναι οι ισχείς της κυματομορφής AM και του φορέα, αντίστοιχα.

Με ανάλογο τρόπο προκύπτουν και οι σχέσεις:

$$(2.9) \quad I_{AM} = I_c \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}},$$

¹ Ανακαλέστε τον ορισμό της πληροφορίας στη Θεωρία Πληροφοριών.

$$(2.10) \quad E_{AM} = E_c \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}},$$

όπου I_{AM} και I_c είναι τα ρεύματα (rms) και E_{AM} και E_c οι τάσεις (rms) της κυματομορφής AM και του φορέα, αντίστοιχα.

2.3.2 Δείκτης διαμόρφωσης για πολλαπλές συχνότητες

Εάν ο φορέας διαμορφώνεται κατά πλάτος από σήμα πληροφορίας που περιέχει n το πλήθος συχνοτικές συνιστώσες, τότε ο ισοδύναμος δείκτης διαμόρφωσης m_{eff} ορίζεται ως:

$$(2.11) \quad m_{eff} = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i^2},$$

όπου m_i είναι ο δείκτης διαμόρφωσης που αντιστοιχεί στη συχνότητα f_i .

2.4 Κυκλώματα για Παραγωγή AM

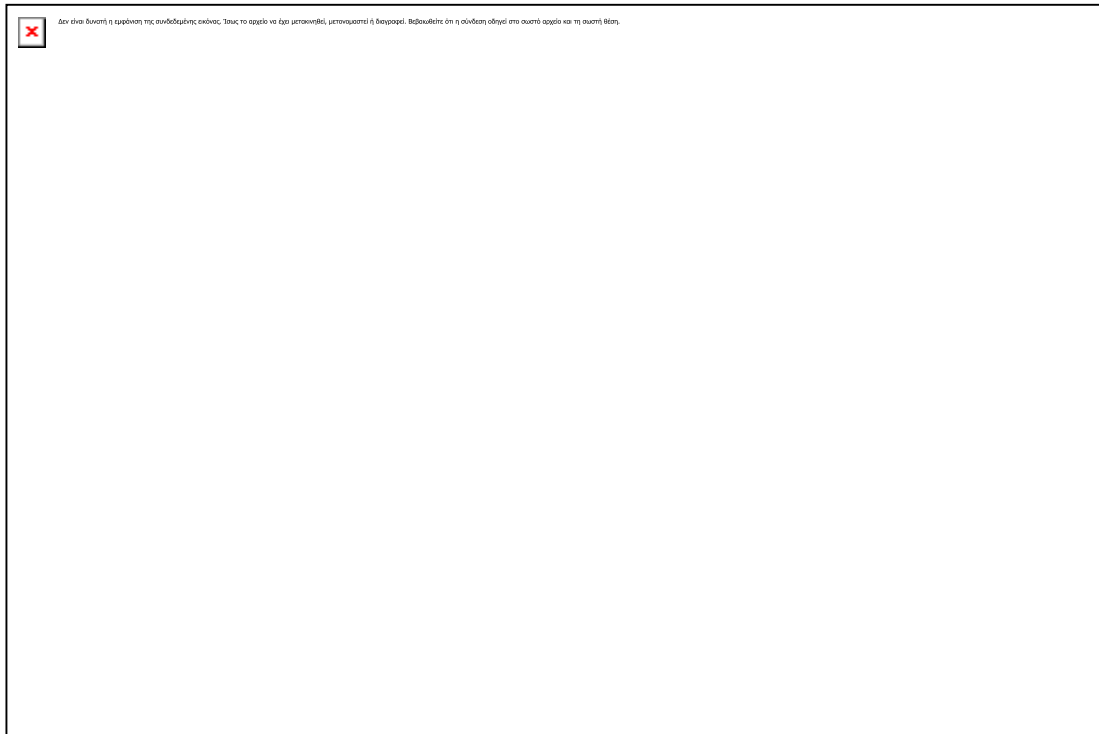
Η διαμόρφωση AM επιτυγχάνεται με το μη γραμμικό συνδυασμό των σημάτων του φορέα και της πληροφορίας. Οι δίοδοι αν και έχουν περιοχές μη γραμμικής λειτουργίας δεν ενδείκνυνται για την παραγωγή AM, διότι ως παθητικά ηλεκτρονικά στοιχεία δεν προσφέρουν καθόλου ενισχυτικό κέρδος. Τα τρανζίστορ όμως, τα οποία ως ενεργά στοιχεία εξασφαλίζουν σημαντικό κέρδος ενίσχυσης και μπορούν να λειτουργήσουν με κατάλληλη πόλωση σε μη γραμμική περιοχή λειτουργίας, αποτελούν την ιδανική λύση για παραγωγή AM. Το Σχήμα 2-8 απεικονίζει μια πολύ απλή διάταξη παραγωγής AM βασισμένη σε ένα BJT τρανζίστορ.



Σχήμα 2-8. Απλός BJT διαμορφωτής AM.

Στο Σχήμα 2-8 η πληροφορία εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ και για αυτό το λόγο η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται **διαμόρφωση βάσης (base modulation)**. Εναλλακτικά, με την εισαγωγή του σήματος της πληροφορίας στο συλλέκτη ή τον εκπομπό προκύπτει διαμόρφωση συλλέκτη ή εκπομπού, αντίστοιχα.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των διαμορφωτών AM είναι σε ποια βαθμίδα του κυκλώματος του πομπού εισάγεται το σήμα της πληροφορίας. Η εισαγωγή της πληροφορίας σε σημείο του πομπού κατά το δυνατόν πλησιέστερο της κεραίας μετάδοσης, ορίζει την **διαμόρφωση υψηλής βαθμίδας (high-level modulation)**. Σε κάθε άλλη περίπτωση η εισαγωγή της πληροφορίας σε προηγούμενες βαθμίδες ορίζει την **διαμόρφωση χαμηλής βαθμίδας (low-level modulation)**. Η διαμόρφωση υψηλής και χαμηλής βαθμίδας απεικονίζεται διαγραμματικά σε επίπεδο βαθμίδων στο Σχήμα 2-9.



Σχήμα 2-9. AM διαμόρφωση υψηλής και χαμηλής βαθμίδας.

Η επιλογή της διάταξης διαμόρφωσης υψηλής ή χαμηλής βαθμίδας γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της ισχύος εξόδου. Για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ισχύ εξόδου, όπως για παράδειγμα στην καθιερωμένη εκπομπή ραδιοφωνικού προγράμματος στα μεσαία κύματα (525kHz – 1.6MHz), η διαμόρφωση υψηλής βαθμίδας είναι προτιμότερη διότι είναι πιο οικονομική. Αυτό οφείλεται στην επιλογή ενισχυτή κλάσης C στην έξοδο του πομπού, ο οποίος έχει απόδοση περίπου 70% έως 80% συγκρινόμενος με την απόδοση ενός γραμμικού ενισχυτή κλάσης B, που αποτελεί την αμέσως καλύτερη επιλογή με αποδόσεις που κυμαίνονται από 50% έως 60%. Εν τούτοις, ενίσχυση κλάσης C (μη γραμμική) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί παρά μόνο στην τελευταία βαθμίδα του πομπού, με αποτέλεσμα να απαιτείται η συνεισφορά μεγάλης ισχύος του σήματος της πληροφορίας στη βαθμίδα αυτή προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλό ποσοστό διαμόρφωσης.

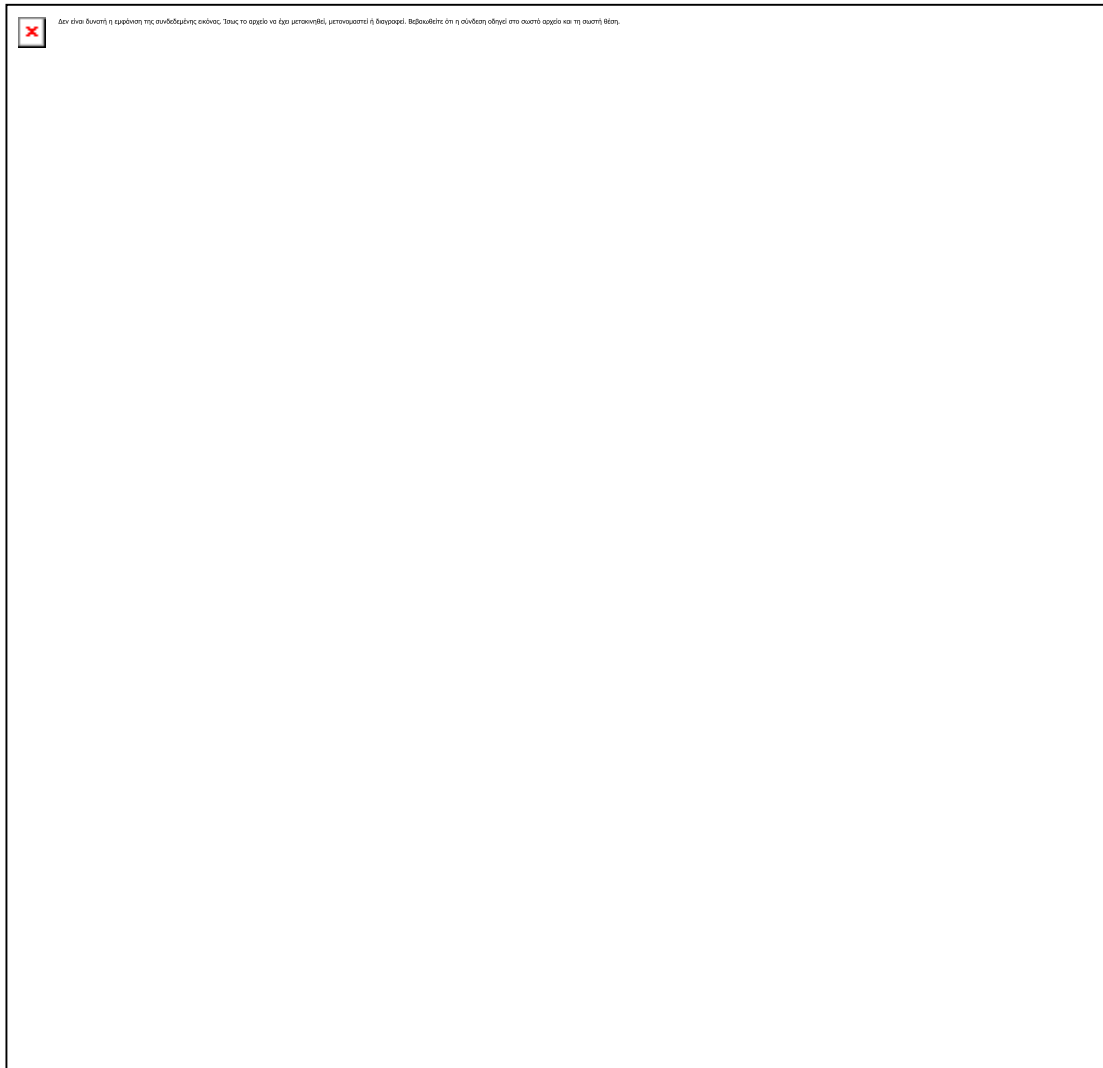
Μπορεί η διαδικασία της παραγωγής AM διαμόρφωσης να απαιτεί την χρήση μιας μη γραμμικής διάταξης, αλλά από το σημείο παραγωγής μέχρι την έξοδο του πομπού όλες οι επόμενες διατάξεις-βαθμίδες πρέπει να είναι γραμμικές. Αυτό είναι απαραίτητο για την διασφάλιση της αναπαραγωγής του AM σήματος χωρίς

παραμορφώσεις. Ο ενισχυτής κλάσης C είναι σε θέση να ενισχύσει αποδοτικά το φορέα, αλλά αναπόφευκτα λόγω της μη γραμμικότητάς του παραμορφώνει τους συνδυασμούς του φορέα και της πληροφορίας στην άνω και κάτω πλευρικές ζώνες. Στην περίπτωση πομπού με διαμόρφωση χαμηλής βαθμίδας, η σημαντική ενίσχυση λαμβάνει χώρα στον τελικό ενισχυτή ο οποίος όμως λόγω της γραμμικότητάς του είναι λιγότερο αποδοτικός. Συμπερασματικά λοιπόν, η διαμόρφωση υψηλής βαθμίδας απαιτεί σήμα πληροφορίας μεγάλης ισχύος αλλά επιτυγχάνει εξαιρετικά αποδοτική ενίσχυση του μεγαλύτερου σε ισχύ σήματος του φορέα. Από την άλλη πλευρά, η διαμόρφωση χαμηλής βαθμίδας επιτρέπει την χρήση σημάτων πληροφορίας μικρής ισχύος επιβάλλοντας όμως την χρήση μικρότερης απόδοσης γραμμικών ενισχυτικών μονάδων στις επόμενες βαθμίδες.

2.4.1 Γραμμικοί διαμορφωτές με ολοκληρωμένα κυκλώματα

Η παραγωγή διαμόρφωσης σημάτων ΑΜ υψηλής ποιότητας και με οικονομικό τρόπο έχει καταστεί σήμερα εφικτή με την χρήση χαμηλού κόστους γραμμικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (linear integrated circuits – LIC). Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα βεβαίως λόγω της περιορισμένης ισχύος που μπορούν να χειριστούν χρησιμοποιούνται κατά κόρο για την υλοποίηση συστημάτων διαμόρφωσης χαμηλής βαθμίδας. Το απεικονίζει ένα διαμορφωτή ΑΜ. Την καρδιά του διαμορφωτή αποτελεί ο προγραμματιζόμενος διπλός τελεστικός ενισχυτής HA-2735, του οποίου το ένα μισό χρησιμοποιείται για την παραγωγή της συχνότητας του φορέα (A_1) και το άλλο μισό για την παραγωγή της ΑΜ κυματομορφής (A_2).

Στο ολοκληρωμένο HA-2735 η ρύθμιση του ρεύματος θέσης I_{set} (ακίδες 1 και 13) ‘προγραμματίζει’ την απόκριση συχνότητας και το κέρδος του κάθε τελεστικού ενισχυτή. Στην περίπτωση της χρησιμοποίησης του πρώτου τελεστικού ενισχυτή για την υλοποίηση του κυκλώματος ταλαντωτή δεν απαιτείται κάποιος ιδιαίτερος ‘προγραμματισμός’ και το ρεύμα I_{set1} λαμβάνει μια σταθερή τιμή, συνδέοντας την ακίδα 1 με τη γείωση μέσω μιας αντιστάσεως 147kΩ. Με τον ενισχυτή A_1 είναι δυνατή η παραγωγή συχνοτήτων φορέα έως και 2MHz.



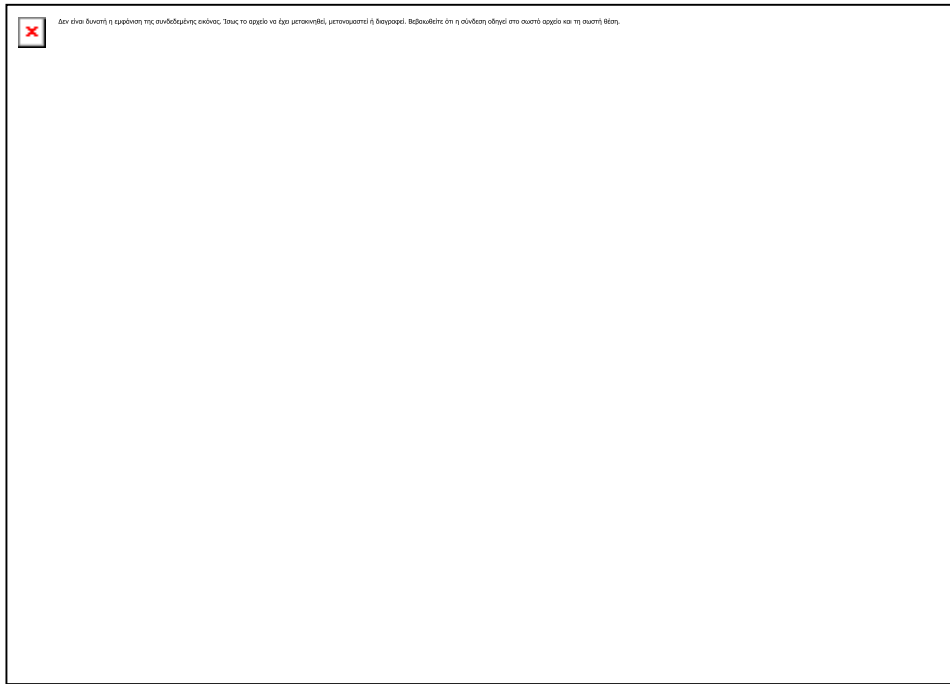
Σχήμα 2-10. Υλοποίηση διαμορφωτή AM με γραμμικό ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Ο ενισχυτής A_1 λειτουργεί ως ταλαντωτής γέφυρας Wien. Ο έλεγχος του πλάτους του ταλαντωτή επιτυγχάνεται με τις διόδους σύλληψης (clamping diodes) 1N914 στο βρόχο ανάδρασης. Εάν η έξοδος αυξηθεί, το κέρδος ελαττώνεται διότι λόγω της αγωγιμότητας των διόδων. Η αντίσταση R_1 ρυθμίζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η παραμόρφωση και να ελέγχεται το κέρδος της ενίσχυσης και κατ' επέκταση η στάθμη ισχύος του φορέα. Η συχνότητα του φορέα ρυθμίζεται από το συνδυασμό των στοιχείων RC του βρόχου ανάδρασης του κυκλώματος της γέφυρας Wien. Για τις τιμές των στοιχείων που δίδονται στο Σχήμα 2-10, δηλαδή $R=1k\Omega$ και $C=120pF$, η συχνότητα του φορέα είναι 1.33MHz.

Η απόκριση ανοικτού βρόχου του τελεστικού ενισχυτή A_2 ρυθμίζεται από την τάση του διαμορφώνοντος σήματος που εφαρμόζεται μέσω της αντιστάσεως R_2 . Όταν εφαρμόζεται ένα ημιτονοειδές σήμα διαμόρφωσης στην αντίσταση R_2 το κέρδος του κυκλώματος κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής A_L και μιας μέγιστης τιμής A_H , καθώς η απόκριση συχνότητας του ενισχυτή A_2 στη συχνότητα του φορέα f_c διαμορφώνεται από το **ρεύμα θέσης** I_{set2} (**set current**). Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή σήματος ΑΜ στην έξοδο του κυκλώματος (ακίδα 12) που είναι πολύ καλής ποιότητας και μηδαμινής παραμόρφωσης. Αν η γέφυρα Wien αντικατασταθεί από έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή τότε καθίσταται δυνατή η κατασκευή ενός πομπού ΑΜ πολύ υψηλής ποιότητας.

2.4.2 Μέτρηση παραμόρφωσης αρμονικών

Η μη γραμμική διαδικασία δια της οποίας παράγεται η κυματομορφή ΑΜ παράγει εκτός από τις επιθυμητές συνιστώσες, -δηλαδή το φορέα και τις πλευρικές συχνότητες-, και άλλες ανεπιθύμητες συχνοτικές συνιστώσες που ονομάζονται **παρασιτικές εκπομπές** (**spurious emissions**). Η εμφάνιση των παρασιτικών συχνοτήτων είναι σχεδόν αναπόφευκτη και για το λόγο αυτό οι αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές (όπως π.χ. αρχές διαχείρισης φάσματος) θέτουν συγκεκριμένα και πολύ αυστηρά κριτήρια για να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές σε γειτονικά κανάλια. Ένας τρόπος εκτίμησης του πλάτους των παρασιτικών εκπομπών είναι με την επισκόπηση της εξόδου του κυκλώματος διαμόρφωσης στην οθόνη ενός αναλυτή φάσματος. Εφαρμόζοντας ένα καθαρά ημιτονοειδές σήμα στην είσοδο της υπό εξέταση διάταξης (device under test – DUT), σημειώνουμε τα πλάτη των αρμονικών που καταγράφονται στην οθόνη του φασματικού αναλυτή. Το Σχήμα 2-11 δείχνει μια τυπική εικόνα στην οθόνη ενός φασματικού αναλυτή.



Σχήμα 2-11. Εικόνα στην οθόνη φασματικού αναλυτή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του πλάτους των παρασιτικών αρμονικών.

Στη συνέχεια, μπορούμε να εκτιμήσουμε την συνεισφορά της κάθε παρασιτικής αρμονικής στην αλλοίωση του σήματος εισόδου σχηματίζοντας τον λογαριθμικό λόγο HD που ονομάζεται **αρμονική αλλοίωση (harmonic distortion –HD)**:

$$(2.12) \quad HD = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_f}{V_s} \right),$$

όπου V_f και V_s είναι τα πλάτη της θεμελιώδους και της παρασιτικής αρμονικής, αντίστοιχα. Θέτοντας όπου V_s το πλάτος της μεγαλύτερης αρμονικής V_{Smax} , προκύπτει ο ορισμός της **σχετικής αρμονικής αλλοίωσης RHD (relative harmonic distortion –RHD)**:

$$(2.13) \quad RHD = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_f}{V_{Smax}} \right).$$

Σε πρακτικές εφαρμογές η συνεισφορά των παρασιτικών αρμονικών στην αλλοίωση του σήματος εκτιμάται μέσω μια παραμέτρου που ονομάζεται **ολική αρμονική αλλοίωση (total harmonic distortion –THD)** και η οποία λαμβάνει υπόψη της την ισχύ όλων των σημαντικών αρμονικών. Η ολική αρμονική αλλοίωση ορίζεται ως:

$$(2.14) \quad THD = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^n V_i^2}{V_1^2}},$$

όπου V_i είναι η *rms* τιμή της τάσης της i -οστής αρμονικής και V_1 η *rms* τιμή της τάσης της θεμελιώδους συχνότητας.

2.5 Προβλήματα

- 1) Σχεδιάστε το διάγραμμα της περιβάλλουσας ενός φορέα, ο οποίος διαμορφώνεται κατά 50% από ένα ημιτονοειδές σήμα.
- 2) Ένας μη διαμορφωμένος φορέας έχει τάση 300V p-p (peak-to-peak, από-κορυφή-σε-κορυφή). Υπολογίστε το ποσοστό διαμόρφωσης όταν η μέγιστη p-p τιμή του φθάνει στα 400, 500, 600 και 700V.
- 3) Σχεδιάστε τα πλάτη των πλευρικών συνιστωσών μιας κυματομορφής AM ως ποσοστό του πλάτους του φορέα συναρτήσει του δείκτη διαμόρφωσης.
- 4) Φορέας του οποίου το πλάτος είναι 40V (peak value) και η συχνότητα 1MHz, διαμορφώνεται από πληροφορία που περιέχει τις συχνότητες 1, 2, 3, 4 και 5kHz. Ο δείκτης διαμόρφωσης που αντιστοιχεί σε κάθε συχνότητα είναι 1, 0.9, 0.8, 0.7 και 0.6, αντίστοιχα. Η συνολικά παραγόμενη AM κυματομορφή εφαρμόζεται στην είσοδο μιας κεραίας μετάδοσης που έχει σύνθετη αντίσταση εισόδου 50Ω. Υπολογίστε τον ισοδύναμο δείκτη διαμόρφωσης και την ισχύ κάθε συνιστώσας που εισέρχεται στη κεραία.
- 5) Η ενεργός τιμή (*rms*) του ρεύματος εισόδου στην βάση κεραίας πομπού AM είναι 6.2A όταν ο φορέας είναι αδιαμόρφωτος και αυξάνεται στα 6.7A όταν διαμορφώνεται από την πληροφορία. Προσδιορίστε το ποσοστό διαμόρφωσης.
- 6) Ένας πομπός AM έχει φορέα ισχύος 1kW και διαμορφώνεται από τρεις ημιτονοειδείς κυματομορφές που έχουν ίδιο πλάτος. Εάν ο ισοδύναμος δείκτης διαμόρφωσης είναι 0.8, υπολογίστε το δείκτη διαμόρφωσης για κάθε κυματομορφή και τη συνολική μεταδιδόμενη ισχύ.

- 7) Φορέας πλάτους $50V_{rms}$ διαμορφώνεται από διπολική ακολουθία τετραγωνικών παλμών πλάτους $20V$. Εάν ληφθούν υπόψη μόνο οι πρώτες πέντε αρμονικές υπολογίστε τον ισοδύναμο δείκτη διαμόρφωσης.
- 8) Στην είσοδο ενός ενισχυτή που έχει κέρδος τάσης $14dB$ εφαρμόζεται ένα καθαρό ημιτονοειδές σήμα πλάτους $50mV_{rms}$. Η έξοδος του ενισχυτή οδηγείται στην είσοδο φασματικού αναλυτή, εις του οποίου την οθόνη καταγράφονται αρμονικές με πλάτη $0.035V$, $0.027V$, $0.019V$, $0.011V$ και $0.005V$. Προσδιορίστε την σχετική και ολική αρμονική παραμόρφωση.

