

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 7** Μελετήστε τη θεωρία και προσπαθήστε να απαντήσετε στις πιο κάτω Ερωτήσεις.

1. Σήμα βασικής ζώνης με μέση ισχύ  $P_m=1$  Watt πολλαπλασιάζεται με φέρον υψηλής συχνότητας πλάτους  $=10$  Volts. Πόση είναι η μέση ισχύς  $P_u$  του διαμορφωμένου σήματος που προκύπτει;
2. Σήμα βασικής ζώνης με κανονικοποιημένη ισχύ  $P_{mn}=0.3$  διαμορφώνει κατά πλάτος φέρον υψηλής συχνότητας, πλάτους  $=10$  Volts. Πόσος πρέπει να είναι ο δείκτης διαμόρφωσης  $\alpha$  ώστε η μέση ισχύς  $P_u$  του διαμορφωμένου σήματος να ισούται με  $60$  Watt;
3. Με τη βοήθεια κατάλληλου φίλτρου αποκόπτονται από σήμα DSB  $u(t) = Am(t) \cos(2\pi t)$  οι πάνω πλευρικές ζώνες και προκύπτει σήμα SSB  $u_1(t) = Bm(t) \cos(2\pi t) - B\hat{m}(t) \sin(2\pi t)$ . Να υπολογίσετε το πλάτος  $B$  συναρτήσει του πλάτους  $A$  του DSB. Ισχύει ότι  $P_m = P_{\hat{m}}$ , δηλαδή η μέση ισχύς του σήματος  $m(t)$  και του μετασχηματισμού Hilbert  $\hat{m}(t)$  του σήματος είναι ίσες.
4. Στην κεραία ενός δέκτη φθάνουν συγχρόνως δύο σήματα DSB με την ίδια συχνότητα φέροντος  $f_c$  και διαφορά φάσης στο φέρον  $90^\circ$ . Η εξίσωση του συνολικού σήματος είναι  $u(t) = Am_1(t) \cos(2\pi f_c t) + Am_2(t) \sin(2\pi f_c t)$ . Μπορείτε να σκεφθείτε τεχνική με την οποία στην έξοδο του δέκτη θα ληφθούν διαχωρισμένα τα σήματα βασικής ζώνης  $m_1(t)$  και  $m_2(t)$ ;
5. Ένα διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα οδηγείται στην είσοδο ενός PM αποδιαμορφωτή και στην έξοδο λαμβάνεται το σήμα  $m(t)$ . Πώς από το  $m(t)$  θα ανακατασκευάσουμε το σήμα βασικής ζώνης που διαμόρφωσε το FM;
6. Ένα διαμορφωμένο κατά φάση σήμα οδηγείται στην είσοδο ενός FM αποδιαμορφωτή και στην έξοδο λαμβάνεται το σήμα  $m(t)$ . Πώς από το  $m(t)$  θα ανακατασκευάσουμε το σήμα βασικής ζώνης που διαμόρφωσε το PM;
7. Ένα σήμα βασικής ζώνης  $m_n(t)$  με εύρος ζώνης  $W=20$  KHz διαμορφώνει κατά συχνότητα φέρον συχνότητας  $f_c=100$  MHz με δείκτη διαμόρφωσης  $\beta_{FM}=7$ . Να υπολογίσετε το εύρος ζώνης  $B_C$  του διαμορφωμένου σήματος. Επίσης να υπολογίσετε την περιοχή συχνοτήτων στην οποία μεταβάλλεται η στιγμιαία συχνότητα  $f_i$  του FM. Δεχθείτε ότι για το  $m_n(t)$  ισχύει  $-1 \leq m_n(t) \leq 1$ .

8. Σήμα  $m(t) = \cos(10^5 \times t)$  διαμορφώνει φέρον με συχνότητα  $f_C = 100$  MHz κατά PM με δείκτη διαμόρφωσης  $\beta_{PM} = 2.5$ . Να υπολογίσετε το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος καθώς και το διάστημα συχνοτήτων στο οποίο μεταβάλλεται η στιγμιαία συχνότητα του διαμορφωμένου σήματος.

### ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

1

$$P_u = (A^2/2)P_m = (10^2/2) \times 1 \Rightarrow P_u = 50 \text{ Watt.}$$

2

$$P_u = \frac{A^2}{2}(1 + \alpha^2 P_{mn}) \Rightarrow \alpha = \sqrt{(2P_u/A^2 - 1) / P_{mn}}$$

$$\alpha = 0.82$$

3

Οι δύο συνιστώσες του σήματος  $u_1(t) = Bm(t) \cos(2\pi t) - B\hat{m}(t) \sin(2\pi t)$  είναι ασυσχέτιστες, οπότε ισχύει:

$$P_{u1} = (B^2/2)P_m + (B^2/2)P_{\hat{m}} = B^2 P_m$$

Από τη δημιουργία όμως του σήματος  $u_1(t)$  ισχύει:

$$P_{u1} = 0.5 \frac{A^2}{2} P_m \Rightarrow P_{u1} = \frac{A^2}{4} P_m$$

Από τις δύο πιο πάνω σχέσεις προκύπτει εύκολα  $B = A/2$ .

4

Ο δέκτης χρησιμοποιεί δύο τοπικούς ταλαντωτές με την ίδια συχνότητα  $f_C$  και με διαφορά φάσης  $90^\circ$ , που παράγουν τα σήματα  $u_{L1} = A_L \cos(2\pi f_C t)$  και  $u_{L2} = A_L \sin(2\pi f_C t)$ . Λαμβάνονται σε χωριστά κυκλώματα τα γινόμενα  $u(t)u_{L1}(t)$  και  $u(t)u_{L2}(t)$  και μετά από το φιλτράρισμα των υψηλών συχνοτήτων από το πρώτο κύκλωμα λαμβάνεται το σήμα  $x_1(t) = (AA_L/2)m_1(t)$  και από το δεύτερο κύκλωμα το σήμα  $x_2(t) = (AA_L/2)m_2(t)$ .

5

Η εξίσωση του FM διαμορφωμένου σήματος είναι

$$u(t) = A \cos(2\pi f_C t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m_x(\tau) d\tau).$$

Ο PM αποδιαμορφωτής είναι κατασκευασμένος να δίνει στην έξοδο του σήμα  $m(t)$  ανάλογο της φάσης  $\phi(t)$  ενός σήματος της μορφής  $u_1(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$ , δηλαδή  $m(t) = k_d \phi(t)$ . Με το  $u(t)$  στην είσοδο ο PM αποδιαμορφωτής θα δώσει στην έξοδο

$$m(t) = k_d 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m_x(\tau) d\tau.$$

Επομένως για να αποκτηθεί το  $m_x(t)$  πρέπει μετά τον PM απόδιαμορφωτή να ακολουθήσει ένα κύκλωμα διαφορίσης.

**6**

Η εξίσωση του PM διαμορφωμένου σήματος είναι

$$u(t) = A \cos(2\pi f_c t + k_p m_x(t)).$$

Ο FM αποδιαμορφωτής είναι κατασκευασμένος να δίνει στην έξοδο του σήμα  $m(t)$  ανάλογο της παραγώγου της φάσης  $\phi(t)$  ενός σήματος της μορφής  $u_1(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$ , δηλαδή  $m(t) = k_d \frac{d\phi(t)}{dt}$ . Με το  $u(t)$  στην είσοδο ο FM αποδιαμορφωτής θα δώσει στην έξοδο

$$m(t) = k_d k_p \frac{dm_x(t)}{dt}.$$

Επομένως για να αποκτηθεί το  $m_x(t)$  πρέπει μετά τον FM απόδιαμορφωτή να ακολουθήσει ένα κύκλωμα ολοκλήρωσης.

**7**

Το εύρος ζώνης  $B_C$  του διαμορφωμένου σήματος δίνεται κατά προσέγγιση από τη σχέση Carlson

$$B_c = 2W(\beta_{FM} + 1) = 2 \times 20 \times 10^3 \times (7 + 1) \Rightarrow B_C = 320 \text{ KHz}$$

Για το FM ισχύει:

$$f_i = f_C + k_f m_n(t) \quad \text{και} \quad \beta_f = k_f / W$$

Επομένως

$$f_i = f_C + W\beta_f m_n(t) \Rightarrow f_C - W\beta_f \leq f_i \leq f_C + W\beta_f$$

δηλαδή

$$99.86\text{MHz} \leq f_i \leq 100.14\text{MHz}$$

**8**

Το σήμα  $m_n(t) = \cos(10^5 t) = \cos(2\pi \frac{10^5}{2\pi} t)$  έχει συχνότητα  $f_m = \frac{10^5}{2\pi}$  Hz και εύρος ζώνης  $W = f_m = \frac{10^5}{2\pi}$  Hz, ή  $W = 15.9$  KHz.

Το εύρος ζώνης  $B_C$  του διαμορφωμένου σήματος δίνεται κατά προσέγγιση από τη σχέση Carlson

$$B_c = 2W(\beta_{PM} + 1) = 2 \times 15.9 \times 10^3 \times (2.5 + 1) \Rightarrow B_C = 111.3 \text{ KHz}$$

Για το PM ισχύει  $\beta_{PM} = k_p$  και επίσης

$$f_i = f_C + \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = f_C - \frac{1}{2\pi} k_p 10^5 \sin(10^5 t)$$

Δηλαδή

$$f_i = f_C - \frac{1}{2\pi} \beta_p 10^5 \sin(10^5 t) = f_C - 3.98 \times 10^4 \sin(10^5 t)$$

Επομένως

$$99.960 \text{ MHz} \leq f_i \leq 100.040 \text{ MHz}$$