

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ
ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ SIMULINK ΤΟΥ MATLAB**

Πτυχιακή Εργασία των
Χαράλαμπου Δημότσιου (2052)
Κωνσταντίνου Τσελεκίδη (1115)

Επιβλέπων: Απόστολος Γεωργιάδης ,Μηχανικός Η/Υ & Πληροφορικής

ΣΕΡΡΕΣ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής & Επικοινωνιών του Τ.Ε.Ι. Σερρών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1	Αντικείμενο και σκοπός της πτυχιακής εργασίας.....	5
1.2	Περίληψη της πτυχιακής εργασίας.....	5
1.3	Σύντομη περιγραφή του Simulink.....	5
2	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΜΑΤΩΝ.....	7
2.1	Εισαγωγή.....	7
	Προσομοίωση συστημάτων διαμόρφωσης πλάτους.....	11
2.2	Διαμόρφωση Πλάτους AM(Full AM ή DSB-LC).....	11
2.2.1	Δείκτης Διαμόρφωσης.....	14
2.2.2	Προσομοίωση Διαμόρφωσης κατά πλάτος (AM / DSB-LC) στο SIMULINK	16
2.3	Αποδιαμόρφωση πλάτους AM (DSB-LC).....	20
2.3.1	Ανιχνευτής Περιβάλλουσας.....	21
2.3.2	Αποδιαμορφωτής τετραγωνικού νόμου.....	23
2.3.3	Προσομοίωση Αποδιαμόρφωσης κατά πλάτος (AM / DSB-LC) στο SIMULINK.....	24
2.4	Διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης χωρίς φέρον DSB-SC.....	27
2.4.1	Προσομοίωση διαμόρφωσης AM (DSB-SC) στο SIMULINK.....	29
2.5	Αποδιαμόρφωση πλάτους AM (DSB-SC).....	33
2.5.1	Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης AM (DSB - SC) στο SIMULINK.....	34
2.6	Διαμόρφωση πλάτους μονής πλευρικής ζώνης SSB (Single Side Band).....	39
2.6.1	Προσομοίωση διαμόρφωσης πλάτους AM μονής πλευρικής ζωνης (SSB).....	40
2.7	Αποδιαμόρφωση Μονής πλευρικής ζώνης (SSB).....	45
2.7.1	Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης πλάτους AM μονής πλευρικής ζωνης (SSB).....	46
	Προσομοίωση συστημάτων διαμόρφωσης γωνίας.....	48
2.8	Διαμόρφωση συχνότητας FM.....	49

	2.8.1 Δείκτης διαμόρφωσης.....	52
	2.8.2 Εύρος Ζώνης των σημάτων FM.....	53
	2.8.3 Προσομοίωση διαμόρφωσης συχνότητας FM....	56
2.9	Αποδιαμόρφωση συχνότητας FM.....	61
	2.9.1 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης συχνότητας FM	64
2.10	Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση φάσης PM.....	67
	2.10.1 Προσομοίωση διαμόρφωσης PM.....	69
	2.10.2 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης PM.....	71
3	ΘΟΡΥΒΟΣ.....	73
3.1	Θερμικός θόρυβος και μοντέλο AWGN.....	73
3.2	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟ SIMULINK.....	76
	3.2.1 Διαμόρφωση-αποδιαμόρφωση AM.....	76
	3.2.2 Διαμόρφωση-Αποδιαμόρφωση AM DSB-SC.....	79
	3.2.3 Διαμόρφωση-Αποδιαμόρφωση SSB.....	82
	3.2.4 Διαμόρφωση-αποδιαμόρφωση FM.....	85
	3.2.5 Διαμόρφωση-αποδιαμόρφωση PM.....	88
4	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ (Simulink).....	91
4.1	Προσομοίωση Διαμόρφωσης AM (DSB-LC).....	92
4.2	Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης AM (DSB-LC).....	102
4.3	Προσομοίωση Διαμόρφωσης-Αποδιαμορφωσης AM (DSB-SC).....	109
4.4	Προσομοίωση Διαμόρφωσης-Αποδιαμορφωσης AM (SSB).....	115
4.5	Προσομοίωση Διαμόρφωσης FM	121
4.6	Προσομοίωση Αποδιαμόρφωσης FM	126
4.7	Προσομοίωση Διαμόρφωσης – Αποδιαμόρφωσης PM	131
4.8	Προσομοίωση αναλογικών διαμορφώσεων με εισαγωγή AWGN.....	135
5	ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΩΝ BLOCK ΤΟΥ SIMULINK	153
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	156

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Η πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τις αναλογικές διαμορφώσεις AM, DSB, SSB, FM και PM. Επίσης λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση του θορύβου (Προσθετικός Γκαουσιανός Λευκός Θόρυβος-Additive White Gaussian Noise (AWGN)) στις προαναφερθείσες διαμορφώσεις. Χρησιμοποιείται το περιβάλλον Simulink του Matlab με σκοπό την βελτιστοποίηση του «Εργαστήριο Επικοινωνίες Ι» με την προσθήκη ασκήσεων στο περιβάλλον του Simulink.

1.2 Περίληψη της πτυχιακής εργασίας

Αρχικά μοντελοποιούνται τα συστήματα διαμόρφωσης για όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις. Το παραγόμενο διαμορφωμένο σήμα απεικονίζεται στο πεδίο του χρόνου αλλά και της συχνότητας. Εν συνεχεία, μοντελοποιούνται τα συστήματα αποδιαμόρφωσης, προστίθεται Προσθετικός Λευκός Γκαουσιανός Θόρυβος (AWGN) και διαπιστώνεται (στο πεδίο του χρόνου αλλά και της συχνότητας) η εγγύτητα του παραγόμενου σήματος σε σχέση με το αρχικό καθώς και το μέγεθος επίδρασης του θορύβου στο κάθε σύστημα.

Κατόπιν έχουν σχεδιαστεί εκπαιδευτικές ασκήσεις, με οδηγίες για την κατανόηση των συστημάτων και την σωστή και ομαλή ροή επίλυση των ασκήσεων.

1.3 Σύντομη περιγραφή του Simulink

Το λογισμικό πακέτο Simulink είναι μια προέκταση του MATLAB που επιτρέπει στους χρήστες να κατασκευάζουν με ταχύτητα και ακρίβεια υπολογιστικά μοντέλα δυναμικών συστημάτων χρησιμοποιώντας μπλοκ διαγράμματα (*block diagrams*). Είναι, έτσι, εύκολο να υλοποιούνται

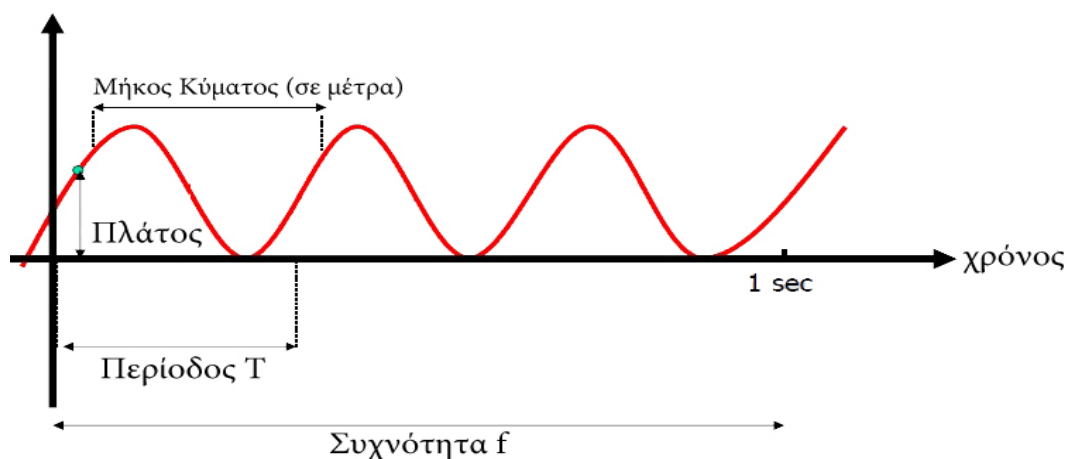
πολύπλοκα μοντέλα μη γραμμικών συστημάτων, όπως επίσης και να επεξεργάζονται αναλογικά ή ψηφιακά σήματα. Επιπλέον, κατά την κατασκευή ενός μοντέλου στο Simulink είναι δυνατή η δημιουργία γραφικών παραστάσεων που δείχνουν την πρόοδο της προσομοίωσης, αυξάνοντας σημαντικά την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Με την κατασκευή μπλοκ διαγραμμάτων αποφεύγουμε τη μελέτη των συστημάτων ως ηλεκτρονικές διατάξεις και ασχολούμαστε μόνο με τις ιδιότητες των διαφόρων βαθμίδων. Στο πίνακα παρουσιάζονται και περιγράφονται με συντομία οι βασικότερες διατάξεις που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την κατασκευή μπλοκ διαγραμμάτων. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται στο Simulink μπλοκ (*blocks*) και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη λειτουργία την οποία επιτελούν. Για παράδειγμα το μπλοκ *Sine-wave* χρησιμοποιείται ως πηγή και έτσι τοποθετείται στην υποομάδα *Sources*. Αντίθετα, τα μπλοκ *Scope* και *Spectrum-Scope* χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση αποτελεσμάτων και κατηγοριοποιούνται στην υποομάδα *Sinks*. Όλα τα μπλοκ βρίσκονται μέσα μέσα στον Library Browser.

2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί τη δημιουργία δύο κυμάτων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού. Τα κύματα είναι αλληλένδετα, και λέγονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ονομάζονται και *σήματα*.



Σχήμα 1

-Περίοδος T : (Διάρκεια πλήρους ταλάντωσης (sec)) $T = 1 / f$

-Μήκος λ : Η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το σήμα σε χρόνο (σε μέτρα).

-Συχνότητα f : Αριθμός πλήρων ταλαντώσεων (κύκλοι) ανά δευτερόλεπτο (Hertz - Hz)

$$F = 1/T.$$

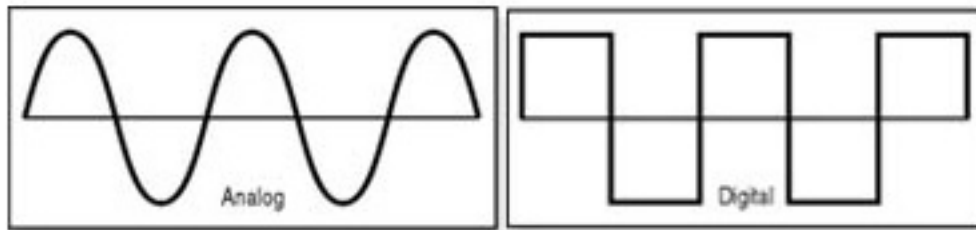
-Ταχύτητα μετάδοσης c : Η ταχύτητα με την οποία το σήμα διαπερνά το μέσο μετάδοσης

$c = \lambda \cdot f$ (Στο κενό, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν την ταχύτητα του φωτός ($3 \cdot 10^8$ m/s))

-Πλάτος a : Η τιμή του σήματος μια χρονική στιγμή.

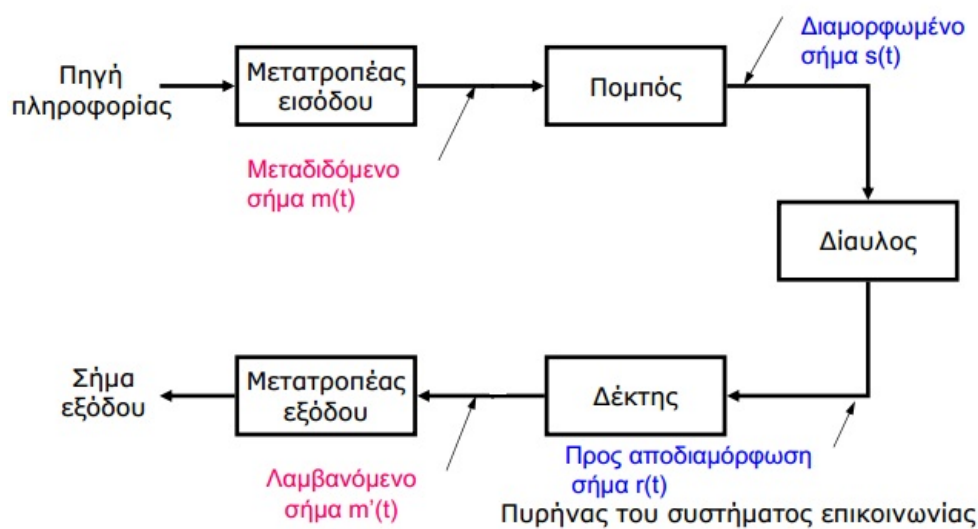
-Φάση φ : Η «σχετική» (relative) θέση ενός σήματος.

Το σήμα είναι είτε **Αναλογικό** (συνεχώς μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα (τάση, ρεύμα)) είτε **Ψηφιακό** (μη συνεχής ροή παλμών 0 και 1). Όταν αυτό φτάσει στον **Πομπό** μετατρέπεται από ηλεκτρικό σήμα σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση μέσω του **Διαύλου** (το φυσικό μέσο ανάμεσα στον πομπό και δέκτη , ενσύρματο ή ασύρματο).



Σχήμα 2

Η Διαμόρφωση (Modulation) και η Αποδιαμόρφωση (Demodulation) αποτελούν βασικό κομμάτι στην μετάδοση πληροφορίας για ένα σύστημα επικοινωνίας, το οποίο περιληπτικά εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3

Η **Πηγή** παράγει την προς μετάδοση πληροφορία είτε είναι Συνεχής (Φωνή, Βίντεο) είτε Διακριτή (κείμενο, δεδομένα). Ο **Μετατροπέας** (transducer) μετατρέπει την έξοδο της πηγής σε σήμα (συνήθως ηλεκτρικό) προς μετάδοση και αντιστρόφως το λαμβανόμενο σήμα σε έξοδο.

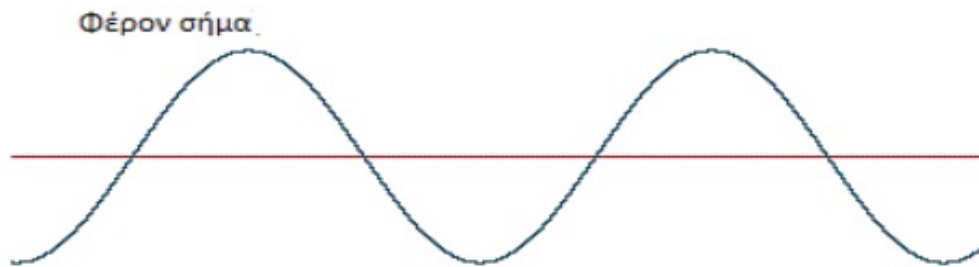
Στην ενσύρματη μετάδοση δεν δύναται η ταυτόχρονη μετάδοση, μέσα από το ίδιο μέσο, περισσότερων του ενός σημάτων, λόγω αμοιβαίας παρεμβολής τους. Στην ασύρματη μετάδοση σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία για να είναι δυνατή η ραδιοεκπομπή ενός σήματος, θα πρέπει, *το μήκος της κεραίας εκπομπής να είναι ίσο, τουλάχιστον, προ το ένα δέκατο του μήκους κύματος του σήματος*. Αυτό σημαίνει ότι, για την εκπομπή της ανθρώπινης φωνής θα χρειαζόταν κεραία με μήκος δεκάδων χιλιομέτρων.

Αυτά τα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν με την διαδικασία της διαμόρφωσης. **Διαμόρφωση** καλείται η διαδικασία κατά την οποία το σήμα της πληροφορίας υπερτίθεται σε ένα σήμα υψηλότερης συχνότητας. Το σήμα υψηλής συχνότητας, που επενεργεί ως φορέας του σήματος πληροφορίας, ονομάζεται **φέρων σήμα**, (carrier).

Το φέρον δίνεται από την σχέση:

$$c(t) = A_c \cdot \sin(2\pi f_c t + \varphi)$$

,όπου A_c είναι το πλάτος, f_c είναι η συχνότητα του φέροντος και φ είναι η φάση του.



Σχήμα 4

Έτσι δημιουργείται ένα σύνθετο σήμα, χαρακτηριστικά (ορισμένα) του οποίου μεταβάλλονται σύμφωνα με την στιγμιαία τιμή του σήματος πληροφορίας.

Με τη διαμόρφωση πετυχαίνουμε :

-*Πολυπλεξία* καθώς δύναται η ταυτόχρονη μετάδοση πολλών σημάτων αφού το φάσμα του σήματος μετατοπίζεται.

-Υπάρχει πλήρης *αξιοποίηση του φάσματος*.

-Η μετάδοση σε άλλη συχνότητα γίνεται ποιο αποδοτική και συμφέρουσα.

Για παράδειγμα

Για την μετάδοση ήχου 100 Hz θα χρειάζονταν κεραία μήκους 300 km.

Με διαμόρφωση στα 100 MHz το μέγεθος κεραίας περιορίζεται στο 1m.

Σύμφωνα με τις σχέσεις $c = \lambda \cdot f$ και τον κανόνα της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας.

Η διαμόρφωση ενός σήματος διαχωρίζεται σε ψηφιακή και αναλογική. **Στην αναλογική διαμόρφωση** ανάλογα με τις παραμέτρους A_c , f_c και ϕ καθορίζουμε και το είδος της.

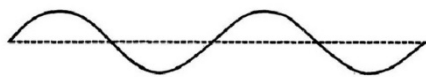
- Αν διαμορφώσουμε το πλάτος A_c βασιζόμενοι στις στιγμιαίες μεταβολές του διαμορφώνοντος σήματος, θα έχουμε **Διαμόρφωση Πλάτους AM (Amplitude Modulation)**
- Με διαμόρφωση της γωνίας του σήματος ($f_c t + \phi$), σύμφωνα με τις στιγμιαίες μεταβολές πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος έχουμε **διαμόρφωση γωνίας (angle modulation)** .

Αυτή επιτυγχάνεται με δύο τρόπους :

-Διαμορφώνοντας την συχνότητα f_c θα έχουμε **Διαμόρφωση Συχνότητας FM (Frequency Modulation)**.

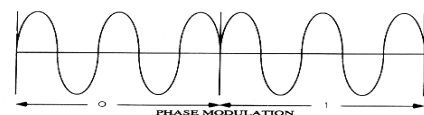
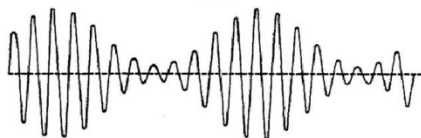
-Αντίστοιχα αν διαμορφώσουμε την φάση ϕ θα έχουμε **Διαμόρφωση Φάσης PM (Phase Modulation)**.

Εν συνεχεία θα αναλυθούν με την βοήθεια του προγράμματος MATLAB και ειδικότερα με την ενσωματωμένη πλατφόρμα του Simulink οι προαναφερθείσες διαμορφώσεις.



α) Αρχικό σήμα (ημιτονοειδής κυματομορφή)

γ) Διαμόρφωση Γωνίας (Συχνότητας - FM)



β) Διαμόρφωσης Πλάτους (AM)

δ) Διαμόρφωση Γωνίας (Φάσης - PM)

Σχήμα 5

Προσομοίωση συστημάτων διαμόρφωσης πλάτους

Στις ενότητες που ακολουθούν μοντελοποιούνται τα συστήματα διαμόρφωσης πλάτους . Πιο συγκεκριμένα, θα υλοποιηθούν οι διαμορφωτές γινομένου για διαμορφώσεις AM ,DSB και SSB. Στη συνέχεια , οι παραπάνω διαμορφωτές θα συνδυαστούν με συστήματα αποδιαμόρφωσης για την ανακατασκευή του αρχικού σήματος πληροφορίας.

2.2 Διαμόρφωση πλάτους AM (Full AM ή DSB-LC)

Η διαμόρφωση πλάτους AM περιγράφεται ως η διαδικασία με την οποία το πλάτος του φέροντος σήματος μεταβάλλεται κατά μέση τιμή με γραμμικό τρόπο σε σχέση με το σήμα βασικής ζώνης.

Στη διαμόρφωση πλάτους θεωρούμε ότι η φάση του φέροντος σήματος είναι 0. Δηλαδή:

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) , \quad (1)$$

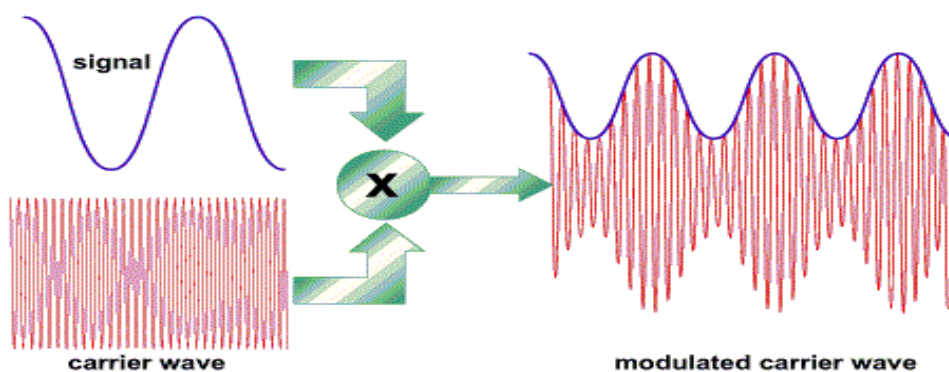
όπου A_c είναι το πλάτος και f_c είναι η συχνότητα του φέροντος σήματος και ότι το σήμα διαμόρφωσης (modulating signal - information signal – σήμα πληροφορίας) είναι επίσης ένα ημίτονο (τόνος) της μορφής :

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) , \quad (2)$$

Ακολουθως το κατά πλάτος διαμορφωμένο AM(DSB-LC) σήμα εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$s(t) = [A_c + m(t)] \cos(2\pi f_c t) \text{ ή}$$

$$s(t) = [A_c + A_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) , \quad (3)$$



Σχήμα 6 : Αναπαράσταση Διαμόρφωσης Πλάτους

Ο όρος πλάτους του σήματος AM $s(t)$ είναι:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= (A_c + \mathbf{A}_m \cos(2\pi f_m t)) \\ &= (A_c + \mathbf{m} A_c \cos(2\pi f_m t)) \\ &= A_c (1 + \mathbf{m} \cos(2\pi f_m t)) \end{aligned}$$

όπου το $m = \frac{A_m}{A_c}$ στην παραπάνω σχέση ονομάζεται δείκτης διαμόρφωσης και η σπουδαιότητα του θα εξηγηθεί παρακάτω.

Επομένως το πλήρες διαμορφωμένο σήμα AM μπορεί να γραφτεί:

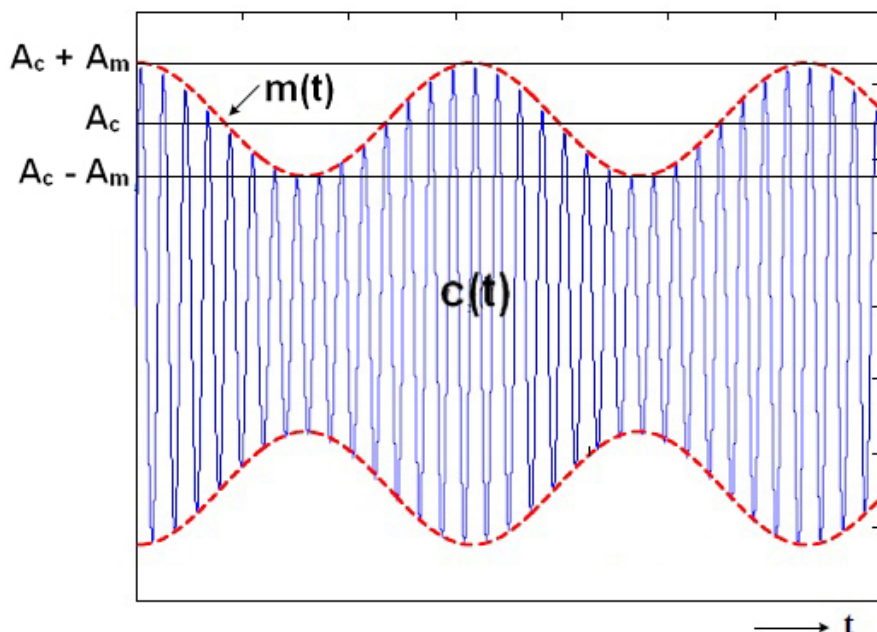
$$s(t) = A_c (1 + m \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_c t) \quad (4)$$

Για λόγους ευκολίας θεωρούμε πως $w_m = 2\pi f_m t$ και $w_c = 2\pi f_c t$ έτσι χρησιμοποιώντας την τριγωνομετρική σχέση:

$$\cos A \cos B = 1/2 [\cos(A + B) + \cos(A - B)]$$

στην (4) λαμβάνουμε:

$$s(t) = \underbrace{A_c \cos w_c t}_{\text{carrier}} + \underbrace{\frac{mA_c}{2} \cos(w_c + w_m)t}_{\text{USB}} + \underbrace{\frac{mA_c}{2} \cos(w_c - w_m)t}_{\text{LSB}}$$



Σχήμα 7 : Διαμορφωμένο σήμα κατά πλάτος στο πεδίο του χρόνου

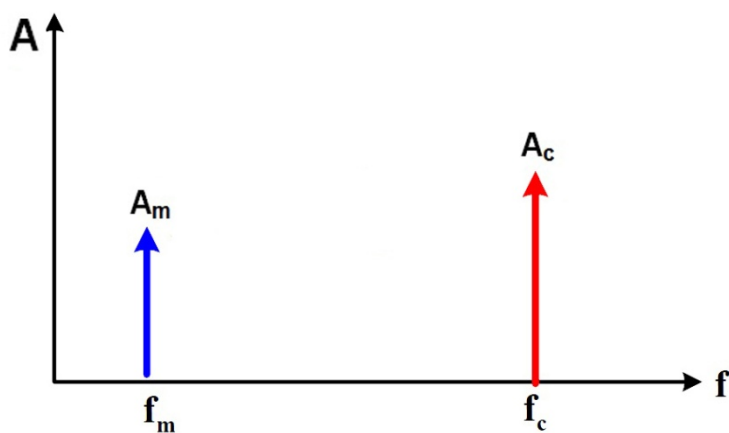
Η μαθηματική έκφραση για αυτό το παραπάνω σύνθετο σήμα δείχνει ότι είναι το άθροισμα τριών ημίτονων διαφορετικών συχνοτήτων. Ειδικότερα :

- Ένα από αυτά τα ημίτονα έχει την ίδια συχνότητα και πλάτος με το μη διαμορφωμένο φέρον.

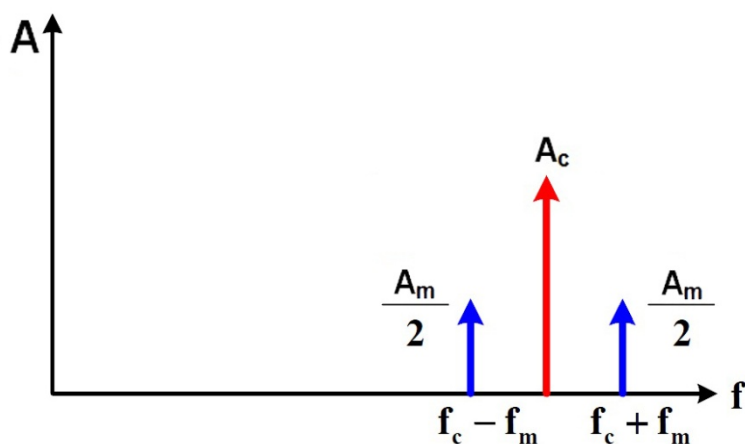
-Το δεύτερο ημίτονο είναι σε μια συχνότητα ίση με το άθροισμα της συχνότητας του φέροντος και της συχνότητας του διαμορφώνοντος σήματος και αποτελεί την άνω πλευρική ζώνη συχνοτήτων.

-Το τρίτο ημίτονο είναι σε μια συχνότητα ίση με τη συχνότητα του φέροντος μείον τη συχνότητα του διαμορφώνοντος και αποτελεί την κάτω πλευρική ζώνη συχνοτήτων.

-Τα δύο τμήματα πλευρικών ζωνών συχνοτήτων έχουν ίσα πλάτη, τα οποία είναι ανάλογα προς το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος.



α : Φάσμα πριν από την διαμόρφωση



β : φάσμα μετά την διαμόρφωση

Σχήμα 8 : Φάσμα διαμορφωμένου σήματος AM (πεδίο συχνοτήτων)

Μέσα από το AM σήμα όπως εκφράζεται στο πεδίο των συχνοτήτων (Σχήμα 8) εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα :

- Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα το φάσμα του DSB-LC AM σήματος περιέχει τρεις συνιστώσες.

- Μια συνιστώσα στη συχνότητα του φέροντος (f_c).
- Μια ανώτερη πλευρική ζώνη συχνοτήτων (USB), της οποίας η υψηλότερη συχνότητα είναι ($f_c + f_m$).
- Μια κατώτερη πλευρική ζώνη συχνοτήτων (LSB), της οποίας η υψηλότερη συχνότητα είναι ($f_c - f_m$).

- Το *εύρος ζώνης B* του διαμορφωμένου σήματος είναι το διπλάσιο του εύρους ζώνης του σήματος πληροφορίας ($B=2f_m$). Το *εύρος των συχνοτήτων, (frequency band)*, ενός σήματος διαμορφωμένου κατά πλάτος, καθορίζεται από τη *συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος και όχι από το πλάτος αυτού.*

- Βέβαια το διαμορφώνον σήμα μπορεί να περιέχει όχι μόνο μια συχνότητα, αλλά μια ζώνη συχνοτήτων, οπότε, αντί για τις δυο πλευρικές συχνότητες, προκύπτουν δυο ζώνες πλευρικών συχνοτήτων. Αποκαλείται σήμα διπλής πλευρικής ζώνης συχνοτήτων με φέρον (AM ή DSB-LC) λόγω των δύο πλευρικών ζωνών συχνοτήτων και του φέροντος στο φάσμα συχνοτήτων.

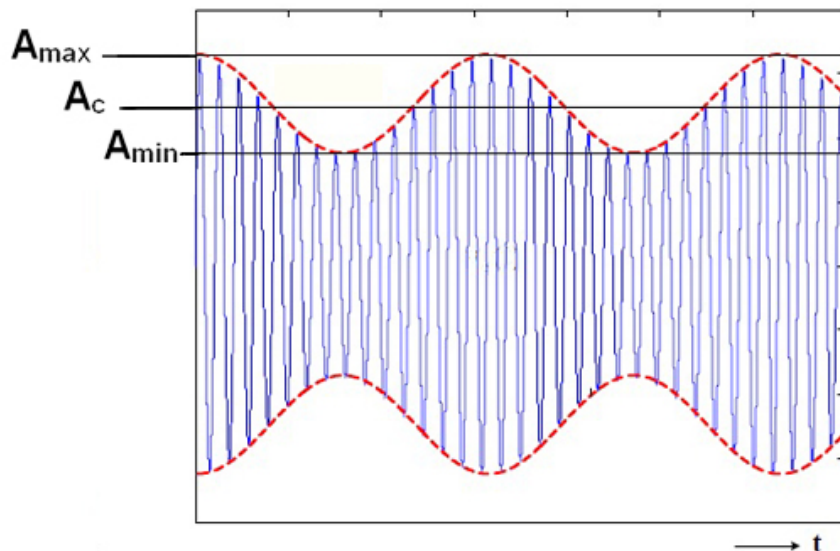
- Διάφορα σήματα βασικής ζώνης μπορούν να διαβιβαστούν ταυτόχρονα από ένα κανάλι σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες (πολυπλεξία) υπό τον όρο ότι οι πλευρικές ζώνες συχνοτήτων δεν κάνουν καμία επικάλυψη.

- Οι πληροφορίες στο σήμα βασικής ζώνης αναπαράγονται και στην LSB και στην USB ζώνη ενώ το φέρον δεν περιέχει καμία πληροφορία γεγονός αρνητικό για την διαμόρφωση πλάτους AM (αν και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα) μιας και υπάρχει μεγάλη απώλεια ισχύος γιατί τα 2/3 της μεταδιδόμενης πληροφορίας εμφανίζονται στο φορέα.

2.2.1 Δείκτης Διαμόρφωσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο δείκτης διαμόρφωσης ή βαθμός διαμόρφωσης m αποτελεί σημαντικό παράγοντα για μια σωστή διαμόρφωση ενός σήματος κατά πλάτος. Ουσιαστικότερα ο m είναι ένα μέτρο ποσοστού

διαμόρφωσης και με βάση τις μεταβλητές του παρακάτω σχήματος (9) στο πεδίο του χρόνου μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του.



Σχήμα 9

$$m = \frac{A_{max} - A_c}{A_c}$$

,όπου :

- A_{max} , είναι το μισό της μέγιστης τιμής από κορυφή σε κορυφή τιμή του DSB-LC AM σήματος $A_{max} / 2$.

- A_{min} , είναι το μισό της ελάχιστης τιμής από κορυφή σε κορυφή τιμή του DSB-LC AM σήματος $A_{min} / 2$.

- A_m , είναι το πλάτος του σήματος πληροφορίας και είναι το μισό της διαφοράς A_{max} και A_{min} .

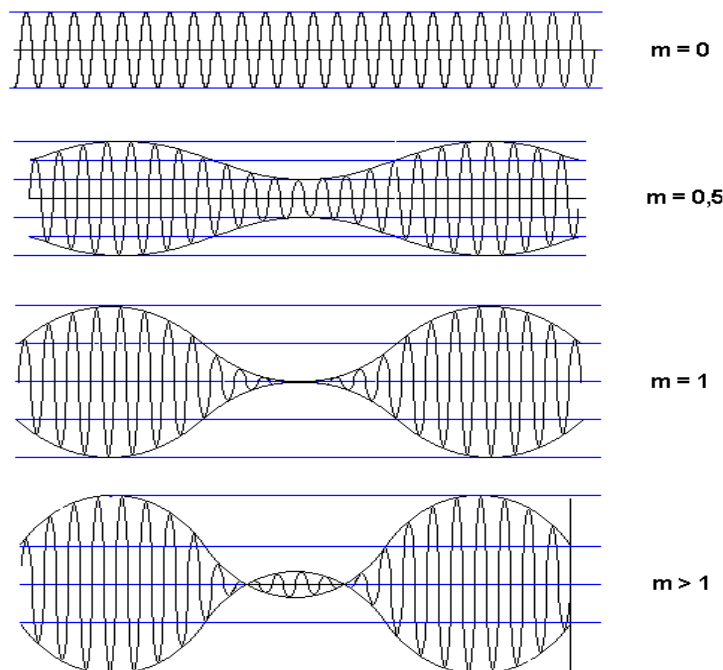
- A_c , είναι το πλάτος του φέροντος σήματος και είναι $A_{max} - A_c = A_c - A_{min}$ το μισό του αθροίσματος A_{max} και A_{min} . Δεδομένου ότι η διαμόρφωση είναι συμμετρική και :

$$A_c = \frac{A_{max} + A_{min}}{2}$$

Από αυτό είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι σε μια ημιτονοειδή διαμόρφωση χωρίς προβλήματα πρέπει η τάση του διαμορφώνοντος σήματός A_m να είναι μικρότερη από την τάση του φορέα A_c :

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} = \frac{A_m}{A_c}$$

Ο δείκτης διαμόρφωσης πρέπει να είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 και 1. Αν το πλάτος της διαμορφώνουσας τάσης είναι μεγαλύτερο από την τάση του φορέα ο δείκτης διαμόρφωσης θα είναι μεγαλύτερος του 1 και αυτό προκαλεί σοβαρή παραμόρφωση της διαμορφωμένης κυματομορφής που ονομάζεται υπερδιαμόρφωση (Σχήμα 10, όταν $m > 1$).

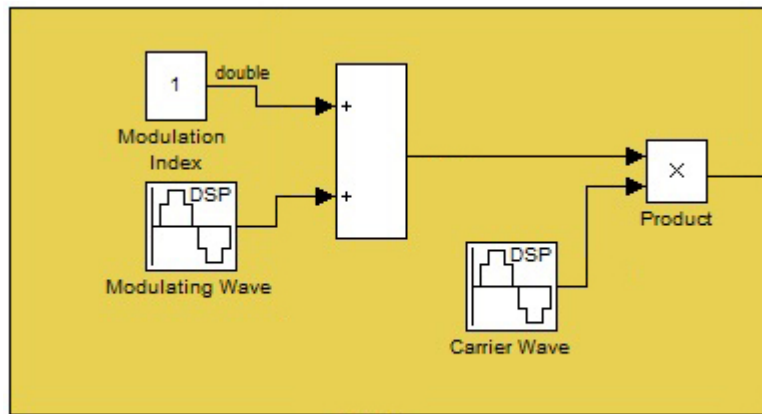


Σχήμα 10 : Αποτελέσματα της μεταβολής, του βαθμού διαμόρφωσης m και της συχνότητα διαμόρφωσης f_m στο πεδίο του χρόνου.

Για διαμόρφωση 100% ($m=1$), το πλάτος κάθε πλευρικής ζώνης συχνοτήτων θα είναι το μισό του πλάτους του φέροντος. Δεδομένου ότι το φέρον δεν αλλάζει με τη διαμόρφωση πλάτους, η συνολική ισχύς στο 100% διαμορφωμένο σήμα είναι 50% υψηλότερη απ' ότι στο μη διαμορφωμένο φέρον.

2.2.2 Προσομοίωση Διαμόρφωσης κατά πλάτος (AM / DSB-LC) στο SIMULINK

Παρακάτω ακολουθεί προσομοίωση της Διαμόρφωσης AM (DSB-LC) όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Στο Σχήμα 11 απεικονίζεται το μπλοκ διάγραμμα του διαμορφωτή πλάτους για διαμόρφωση με φέρον :



AM Modulator

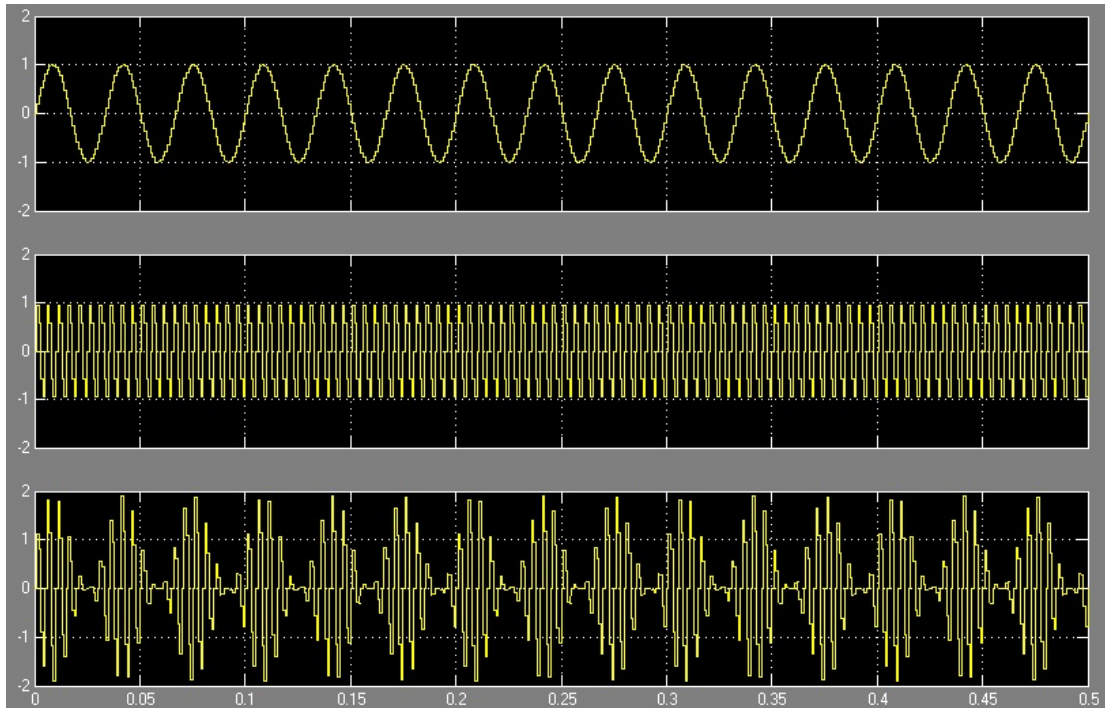
Σχήμα 11 : Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή πλάτους AM στο Simulink

Ως σήμα πληροφορίας (Modulating Wave) στην είσοδο του διαμορφωτή χρησιμοποιήθηκε ένα ημίτονο με πλάτος A_m 1, συχνότητα 30Hz και περίοδο δειγματοληψίας 1/1000 sec. Ενώ ως Φέρον (Carrier Wave) έχουμε ένα ημιτονικό σήμα πλάτους $A_c = 1$ και συχνότητας 200 Hz με την ίδια περίοδο δειγματοληψίας (1 / 1000).

Για να πετύχουμε σωστή διαμόρφωση του σήματος και να μην έχουμε υπερδιαμόρφωση, πρέπει οι τάσεις των σημάτων (Modulating wave - πληροφορία και Carrier Wave - φέρον) να ικανοποιούν την σχέση που προαναφέρθηκε σχετικά με τον δείκτη διαμόρφωση :

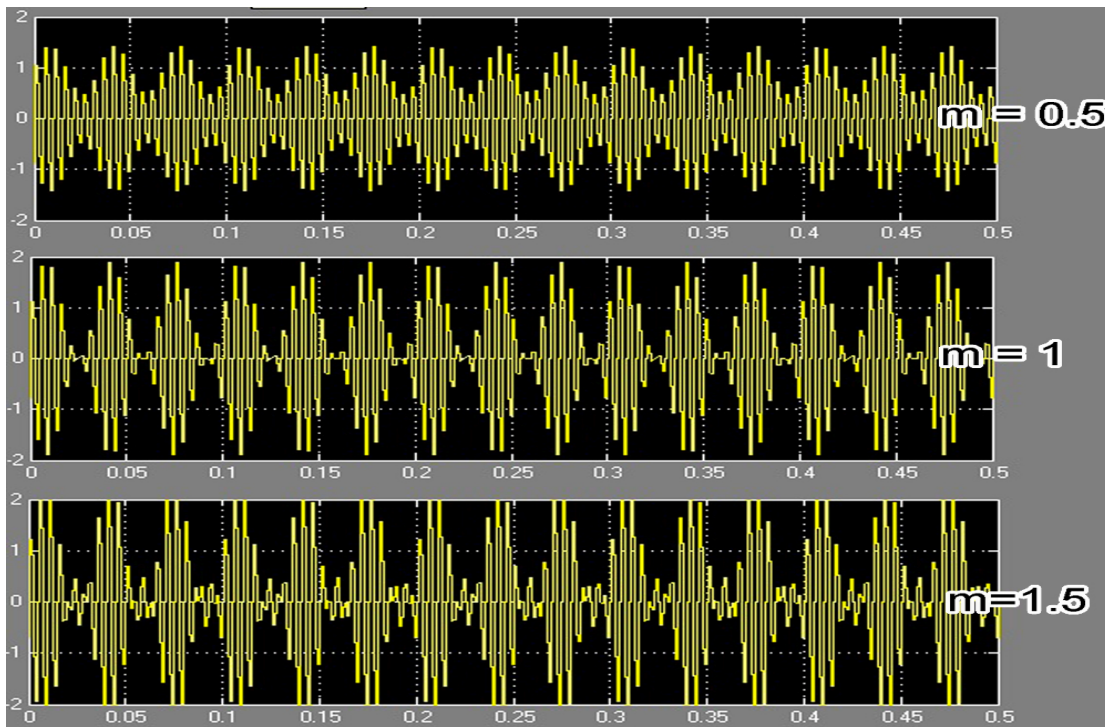
$$m = \frac{A_m}{A_c}$$

Ο λόγος των δύο μεγεθών (A_m και A_c) που εκφράζει το δείκτη διαμόρφωσης πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα. Στο σήμα που βγαίνει από το μείκτη προστίθεται το φέρον με τη χρήση του αθροιστή. Το αποτέλεσμα είναι το διαμορφωμένο σήμα. Μέσα από τον παλμογράφο (scope) βλέπουμε το σήμα της πληροφορίας, το φέρον αλλά και το διαμορφωμένο σήμα στη διάρκεια του χρόνου (Σχήμα 12) :



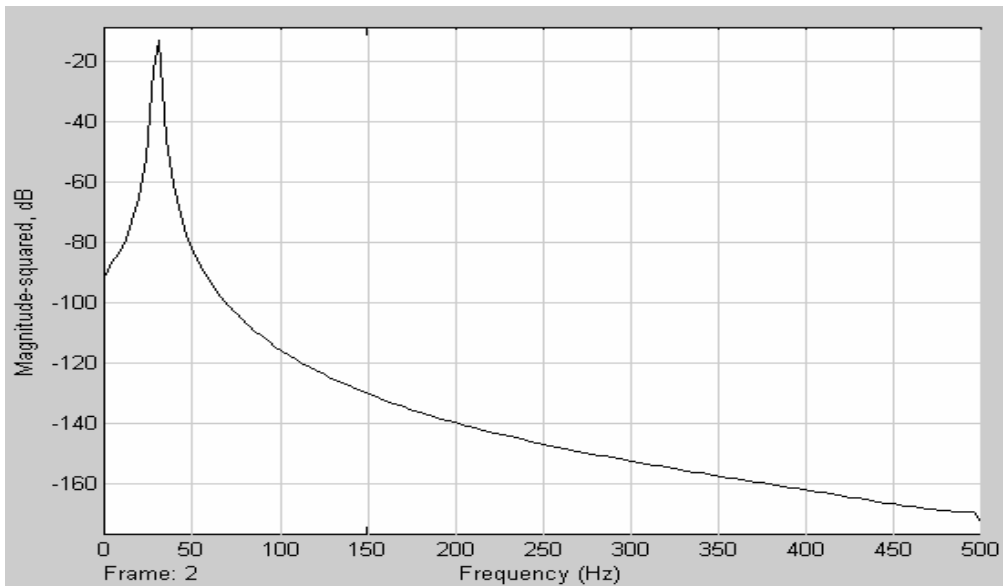
Σχήμα 12 : Αρχικό σήμα (α) , Φέρον σήμα (β) και Διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα AM (γ) με $m = 1$.

Επίσης παρακάτω φαίνεται στο Σχήμα 13 η επίδραση του Δείκτη διαμόρφωσης m για διάφορες τιμές δείχνοντας το πόσο σημαντικός όρος είναι για την ομαλή και αξιόπιστη διαμόρφωση .

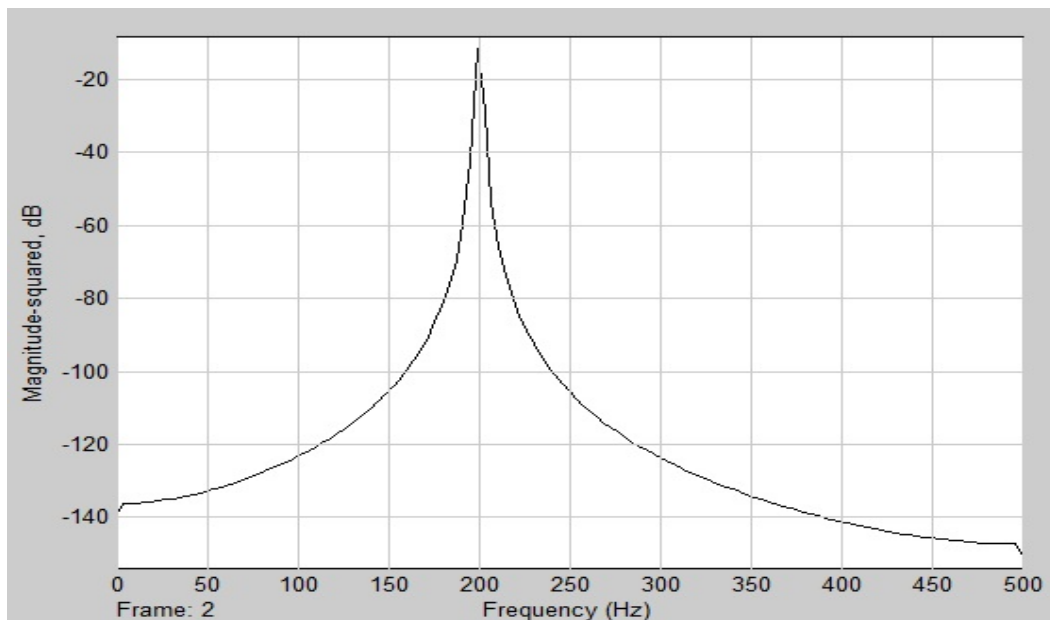


Σχήμα 13 : Επίδραση του δείκτη m στα διαμορφωμένα κατά AM σήματα

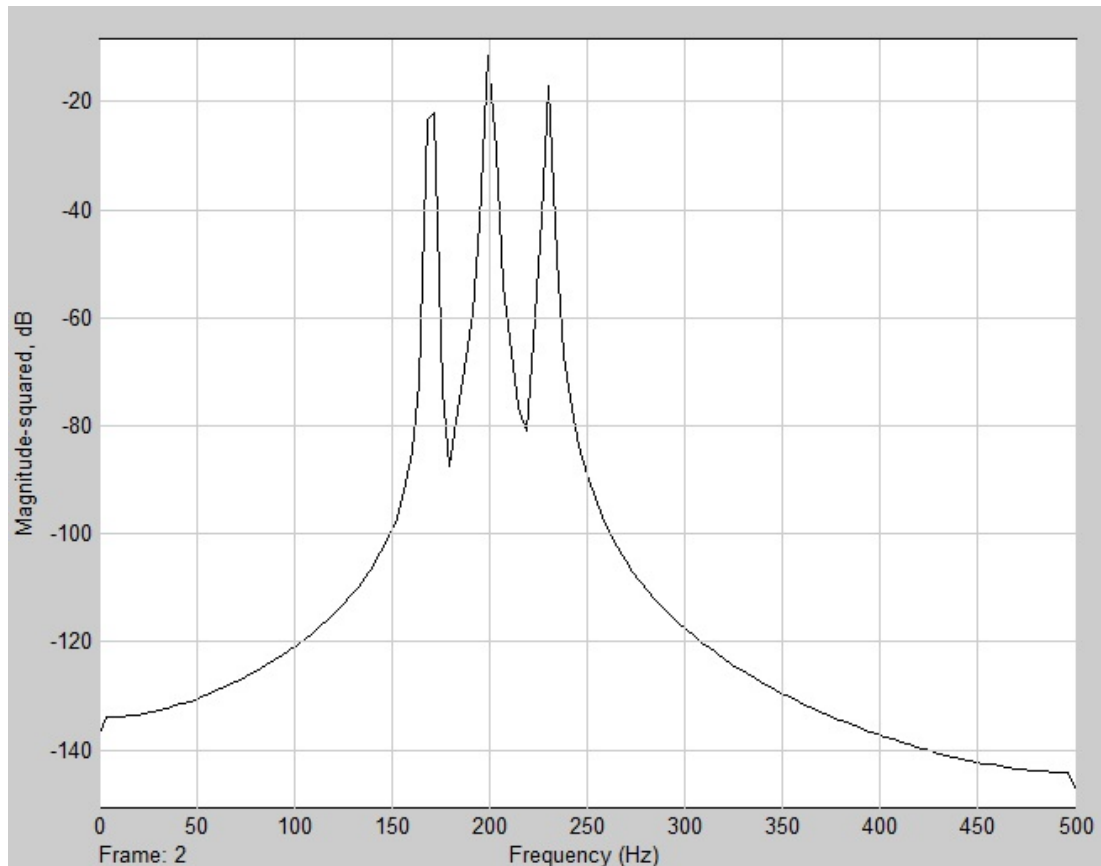
Από το φασματικό αναλυτή (*Spectrum Scope*) στα σχήματα που ακολουθούν έχουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα στο πεδίο της συχνότητας:



Σχήμα 14 : Το σήμα πληροφορίας πριν την εισοδο στον διαμορφωτή (πεδίο συχνοτήτων)



Σχήμα 15 : Το Φέρον πριν την εισοδο στον διαμορφωτή (πεδίο συχνοτήτων)



**Σχήμα 16 : Το Διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα
(πεδίο συχνοτήτων)**

Από το Σχήμα 16 παρατηρούμε στη συχνότητα ότι το διαμορφωμένο σήμα είναι κεντραρισμένο στα 200Hz, όπου υπάρχει το φέρον με τις δύο πλευρικές ζώνες να βρίσκονται στα 170Hz και στα 230Hz, όπως αναμένονταν.

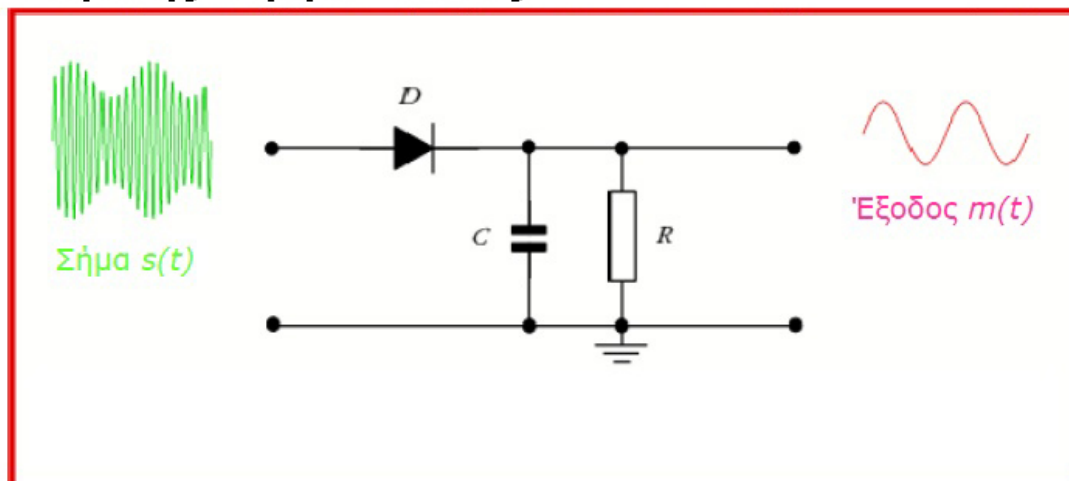
2.3 Αποδιαμόρφωση πλάτους AM (DSB-LC)

Η Αποδιαμόρφωση ή Φώραση δεν αποτελεί τίποτα παραπάνω από την εξαγωγή του αρχικού σήματος πληροφορίας με τον διαχωρισμό του από το διαμορφωμένο σήμα. Έτσι, το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος πληροφορίας επανέρχεται στη βασική ζώνη και μπορεί να διαβαστεί από τον δέκτη. Η αποδιαμόρφωση επιτυγχάνεται με τον ανιχνευτή περιβάλλουσας ή με μια διάταξη ανιχνευτή βασιζόμενο σε ανορθωτή.

2.3.1 Ανιχνευτής Περιβάλλουσας

Η απλούστερη και κατά συνεπεία περισσότερο διαδεδομένη στους εμπορικούς δέκτες είναι η ασύγχρονη τεχνική που επιτυγχάνεται με το φωρατή περιβάλλουσας (Σχήμα 17). Ένα κύκλωμα φωρατή περιβάλλουσας παράγει στην έξοδο του ένα σήμα το οποίο ακολουθεί τις μεταβολές της περιβάλλουσας του διαμορφωμένου σήματος AM, η οποία για τις περιπτώσεις που ο δείκτης διαμόρφωσης είναι μικρότερος ή ίσος με 1 είναι ανάλογη του διαμορφώνοντος σήματος. Αξίζει να σημειωθεί πως για περιπτώσεις όπου $m > 1$ η ανίχνευση της περιβάλλουσας δεν επιτυγχάνεται αφού έχουμε υπερδιαμόρφωση και συνεπώς παραμόρφωση.

Φωρατής περιβάλλουσας

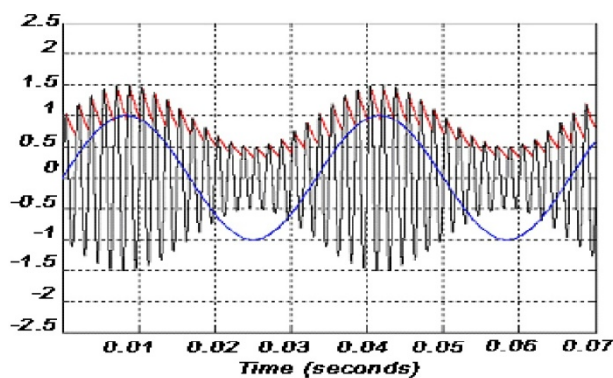
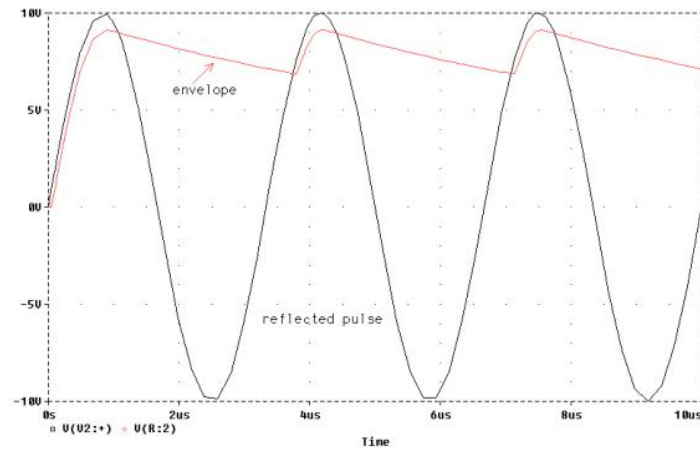


Σχήμα 17

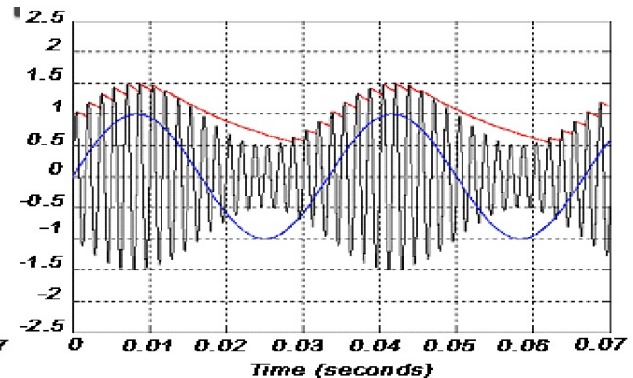
Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από έναν ημιανορθωτή ακολουθούμενο από ένα φίλτρο εξομάλυνσης RC. Η ημιανόρθωση του εισερχόμενου σήματος επιτυγχάνεται από τη δίοδο D. Όταν το σήμα εισόδου είναι μεγαλύτερο από την τάση V_c του πυκνωτή C, η δίοδος άγει και ο πυκνωτής φορτίζει αναγκάζοντας την V_c να αυξηθεί. Όταν το σήμα εισόδου πέφτει κάτω από την τιμή V_c της τάσης του πυκνωτή, αυτός εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης R και η τάση V_c μειώνεται. Η σταθερά χρόνου RC επιλέγεται έτσι ώστε να είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο του φέροντος αλλά αρκετά μικρή έτσι ώστε η τάση V_c να μπορεί να παρακολουθεί τη μέγιστη συχνοτική μεταβολή της περιβάλλουσας.

$$\frac{1}{fc} \ll RC \ll \frac{1}{B}$$

Όπου B το εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας.



A



B

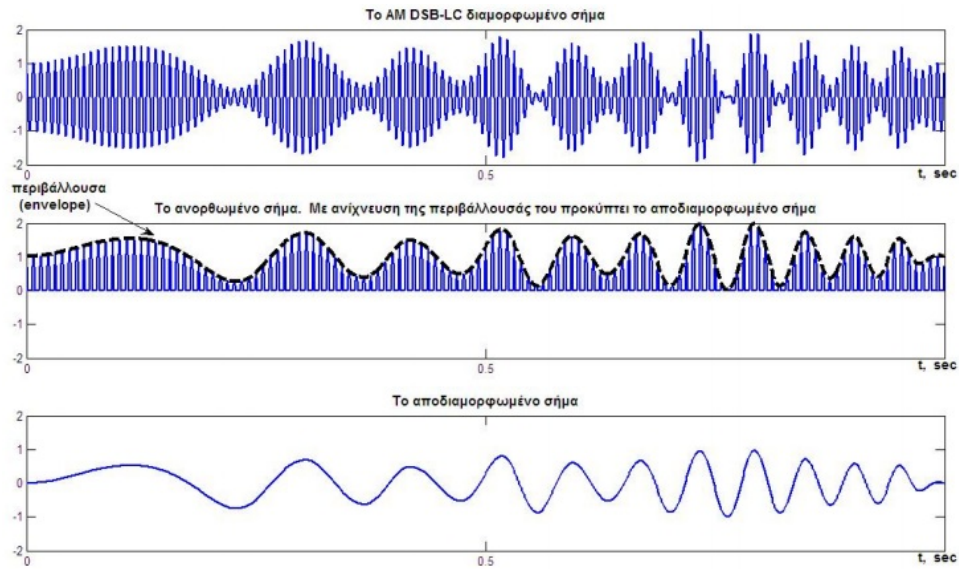
Σχήμα 18: Η τάση στα άκρα του πυκνωτή του φωρατή περιβάλλουσας.

A) με μικρή σταθερά χρόνου (βαθείς οδοντώσεις).

B) με μεγάλη σταθερά χρόνου (ρηχές οδοντώσεις αλλά μη παρακολούθηση της περιβάλλουσας).

Απαιτείται κατάλληλη επιλογή της RC καθώς :

- Αν η τιμή της RC είναι πολύ μικρή θα παρατηρηθούν υψηλοί κυματισμοί (ripples). Αυτούς τους κυματισμούς δύναται να τους εξαλείψουμε με ένα βαθυπερατό φίλτρο.
- Αν η τιμή της RC είναι μεγάλη τότε η εκφόρτιση του πυκνωτή θα είναι αργή και το κύκλωμα δεν θα ακολουθεί την περιβάλλουσα.

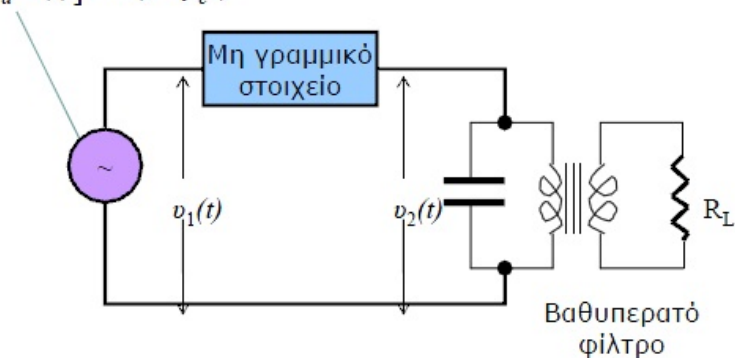


Σχήμα 19 : Τα στάδια αποδιαμόρφωσης AM σήματος με ανίχνευση περιβάλλουσας

2.3.2 Αποδιαμορφωτής τετραγωνικού νόμου

Ένα AM σήμα μπορεί εναλλακτικά να αποδιαμορφωθεί αν το περάσουμε μέσα από ένα μη γραμμικό στοιχείο, για παράδειγμα μια δίοδο με χαρακτηριστική τάση ρεύματος και αφού το σήμα υψωθεί στο τετράγωνο στη συνέχεια οδηγούμε την έξοδο του γραμμικού στοιχείου σε ένα βαθυπερατό φίλτρο.

$$v_1(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$



Σχήμα 20 : Κύκλωμα αποδιαμόρφωσης τετραγωνικού νόμου

Υποθέτουμε για απλότητα ότι η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου του μη γραμμικού στοιχείου περιγράφεται από μια σχέση τετραγωνικού νόμου της μορφής :

$$u_0(t) = k_1 u_i(t) + k_2 u_i^2(t)$$

,όπου $u_i^2(t)$ το σήμα εισόδου, $u_0(t)$ το σήμα εξόδου και k_1, k_2 σταθερές.

Αν η είσοδος του αποδιαμορφωτή είναι ένα σήμα AM,

$$u_i(t) = s(t) = A_c[1+m(t)]\cos(2\pi f_c t),$$

η προκύπτουσα έξοδος θα δίνεται από τη σχέση :

$$\begin{aligned} u_0(t) &= k_1 u_i(t) + k_2 u_i^2(t) = \\ &= k_1 [A_c[1+m(t)]\cos(2\pi f_c t)] + k_2 [A_c[1+m(t)]\cos(2\pi f_c t)]^2 \end{aligned}$$

Εφαρμόζοντας την έξοδο του μη γραμμικού στοιχείου σε ένα κατάλληλο βαθυπερατό φίλτρο το οποίο απορρίπτει τις φασματικές συνιστώσες στις περιοχές των συχνοτήτων f_c και $2f_c$ καθώς επίσης και τούς dc όρους, έχουμε στην έξοδο του φίλτρου :

$$y_0(t) = k_2 A_c^2 [2m(t) + m^2(t)]$$

Παρατηρούμε ότι το επιθυμητό σήμα $m(t)$ εμφανίζεται στην έξοδο του αποδιαμορφωτή μαζί με τη συνιστώσα $m^2(t)$, η οποία συνεισφέρει επίσης στη φασματική περιοχή του σήματος βασικής ζώνης και το παραμορφώνει. Η επίδραση του δευτέρου όρου θα είναι μικρή αν ισχύει :

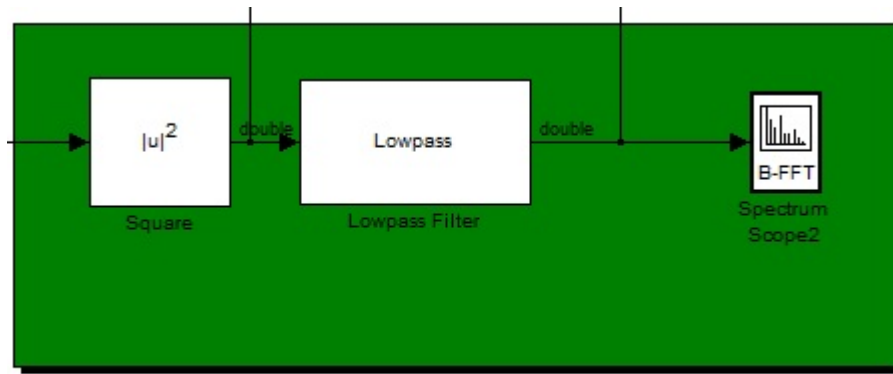
$$\frac{1}{2} m^2(t) \ll |m(t)| \quad \text{ή} \quad |m(t)| \ll 2$$

2.3.3 Προσομοίωση Αποδιαμόρφωσης κατά πλάτος (AM / DSB-LC) στο SIMULINK

Η διαδικασία από της αποδιαμόρφωσης εκτελείται στο δέκτη για την ανάκτηση και κατανόηση του σήματος πληροφορίας.

Το block διάγραμμα που χρησιμοποιούμε για την αποδιαμόρφωση του σήματος λειτουργεί ουσιαστικά σαν ένας αποδιαμορφωτής τετραγωνικού νόμου (Σχήμα 21).

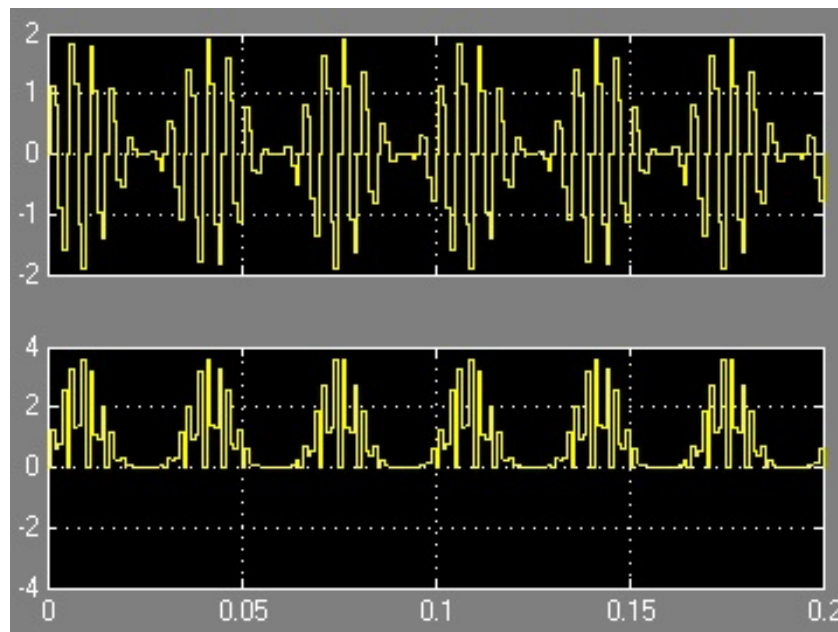
Το σήμα περνά από ένα μη γραμμικό στοιχείο, για παράδειγμα μια δίοδο με χαρακτηριστική τάση ρεύματος και αφού το σήμα υψωθεί στο τετράγωνο στη συνέχεια οδηγούμε την έξοδο του γραμμικού στοιχείου σε ένα βαθυπερατό φίλτρο.



AM Demodulator

Σχήμα 21 : Αποδιαμορφωτής τετραγωνικού νόμου AM (DSB-LC)

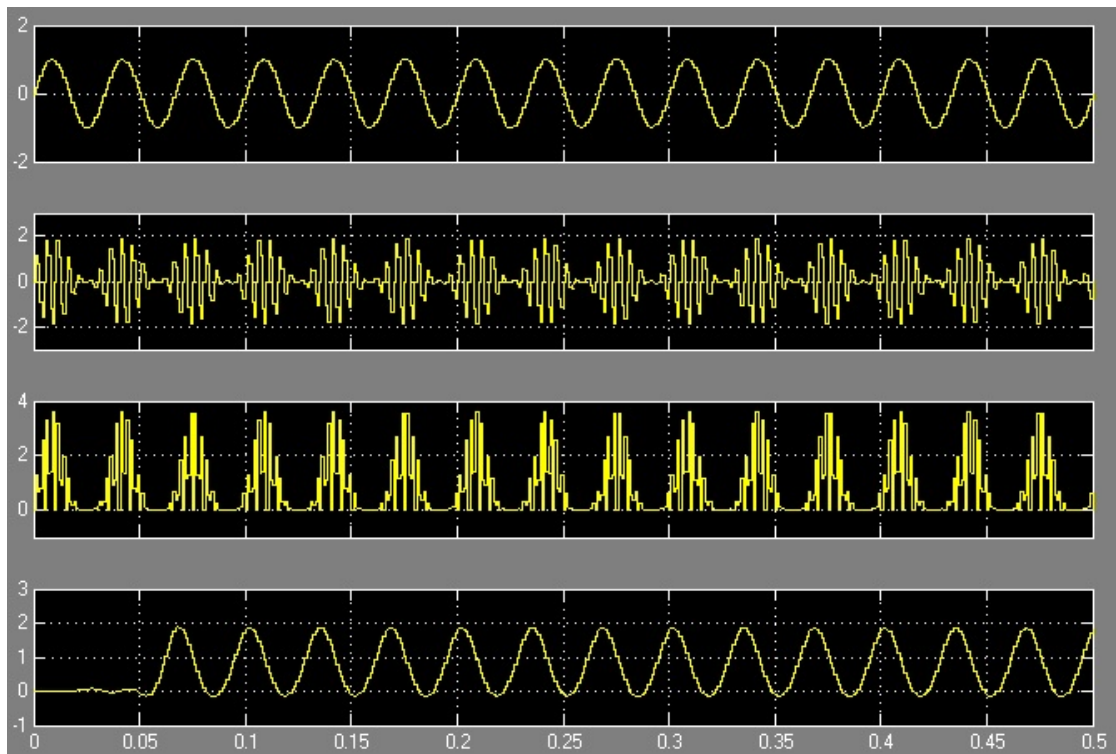
Με την είσοδο του διαμορφωμένου σήματος στο μη γραμμικό στοιχείο (Square-Σχημα 21) εξαφανίζεται τα αρνητικό μέρος του σήματος αλλά αυξάνεται και το πλάτος του αφού έχουμε ύψωση στο τετράγωνο όπως φαίνεται από το scope του ακόλουθου σχήματος.



Σχήμα 22 : Διαμορφωμένο σήμα κατά AM (πάνω)

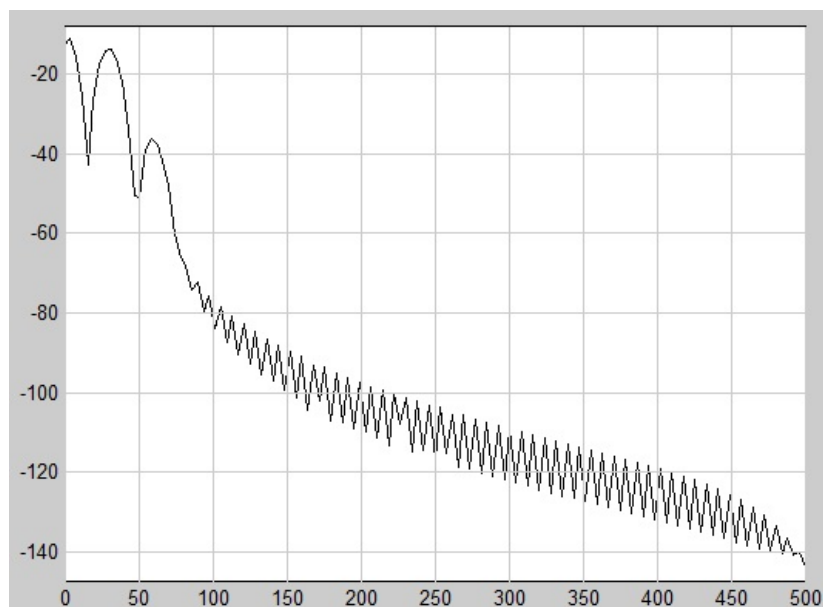
Έξοδος από το γραμμικό στοιχείο Square (κάτω)

Ακολουθώς το σήμα μετά την έξοδο του από το μη γραμμικού στοιχείου οδηγείται σε ένα βαθυτερατό φίλτρο (Lowpass Filter – Σχήμα 23) και έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα στο πεδίο του χρόνου.



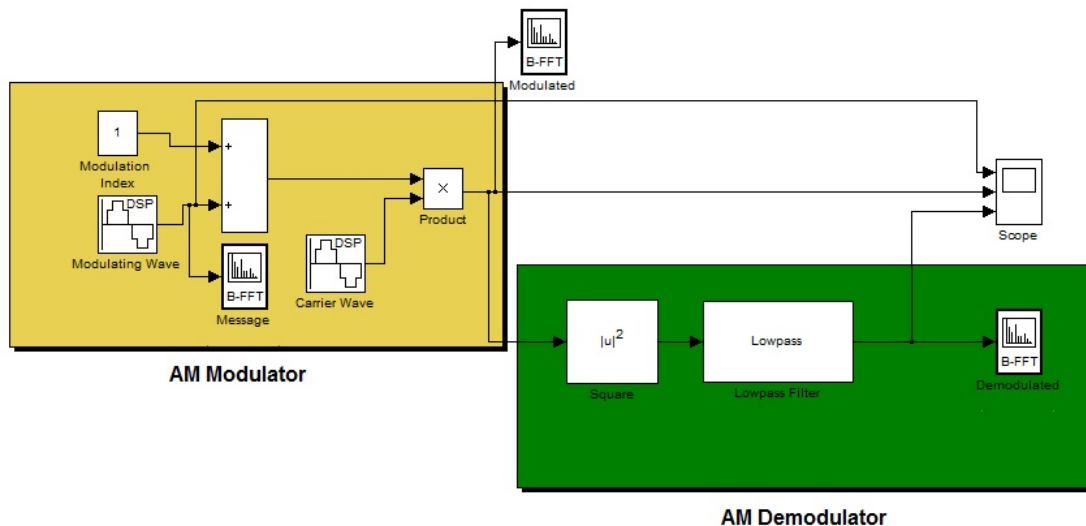
Σχήμα 23 : Γραφική παράσταση στο χρόνο του σήματος πληροφορίας, του διαμορφωμένου σήματος, της εξόδου από το μη γραμμικό στοιχείο και του αποδιαμορφωμένου σήματος AM, με δείκτη διαμόρφωσης 1.

Αντίστοιχα στο πεδίο των συχνοτήτων παίρνουμε την συχνότητα του αρχικού σήματος που αποτελούσε το μήνυμα (Σχήμα 24).



Σχήμα 24 : Αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου

Εφόσον έχουν αποκοπεί από το φίλτρο οι υψηλές αρμονικές του σήματος, βλέπουμε πως έμεινε η συχνότητα $+f_m$ (30 Hz) και το μισό σήμα του φέροντος (από την πλευρά θετικών συχνοτήτων στα 0 Hz).



Σχήμα 25 : Το κύκλωμα Διαμόρφωσης και Αποδιαμόρφωσης AM(DSB-LC) προσομοιωμένο στο Simulink.

2.4 Διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης χωρίς φέρον DSB-SC

Όπως προαναφέρθηκε πιο πάνω ο φορέας καταλαμβάνει περίπου τα 2/3 της ισχύος ενός διαμορφωμένου κατά πλάτος (AM ή DSB-LC) σήματος χωρίς να μεταφέρει κάποια πληροφορία αφού αυτή εναποτίθεται στις δύο πλευρικές ζώνες. Προκειμένου να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση ισχύος το φέρον πρέπει να αφαιρεθεί ή να κατασταλεί κατά την διαμόρφωση. Αυτού του είδους η διαμόρφωση, δηλαδή, χωρίς την παρουσία φέροντος σήματος καλείται *διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης χωρίς φέρον (DSB-SuppressedCarrier)*.

Έστω φέρον της μορφής :

$$c(t) = A_c \cos(w_c t) , \text{ όπου } w_c = 2\pi f_c$$

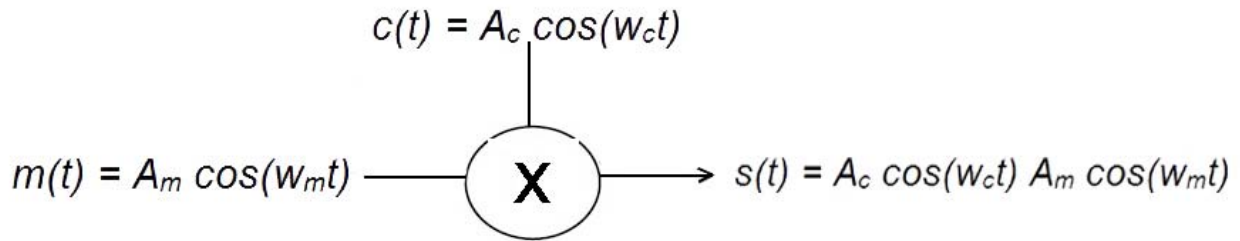
και ένα ημιτονοειδές σήμα που αποτελεί την πληροφορία της μορφής :

$$m(t) = A_m \cos(w_m t) , \text{ όπου } w_m = 2\pi f_m$$

Το διαμορφωμένο σήμα είναι απλά το γινόμενο των δύο παραπάνω σημάτων

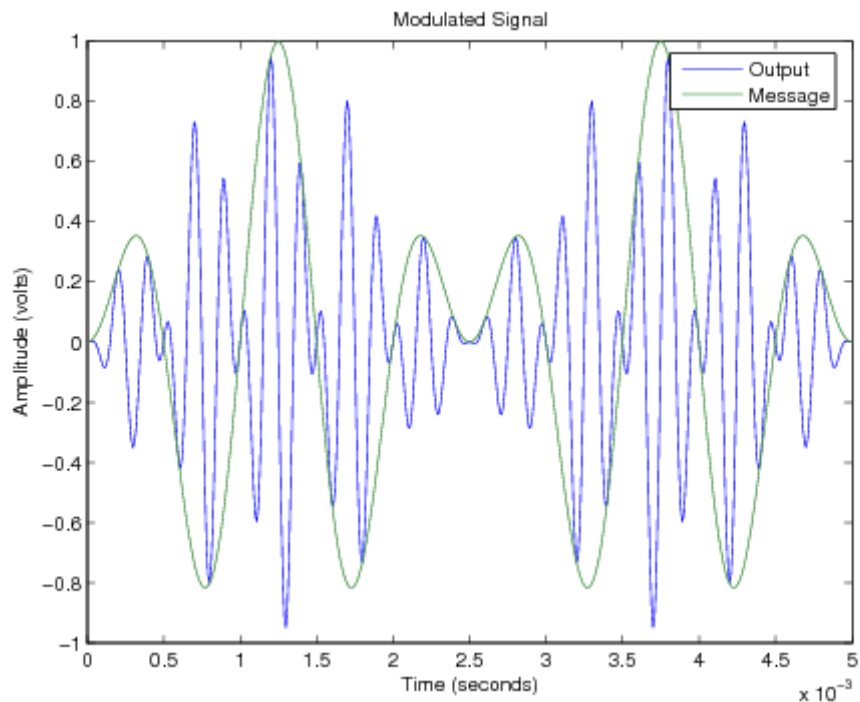
$$s(t) = A_c \cos(w_c t) A_m \cos(w_m t) =$$

$$= \frac{AmAc}{2} \cos(Wc + Wm) t + \frac{AmAc}{2} \cos(Wc - Wm) t$$



Σχήμα 26 : Σύστημα διαμόρφωσης AM DSB - SuppressedCarrier

Όπως προκύπτει μαθηματικά από το διαμορφωμένο σήμα κατά DSB-SC το φέρων έχει εξαλειφθεί. Στο πεδίο του χρόνου το διαμορφωμένο σήμα έχει την παρακάτω μορφή όπως απεικονίζεται από το σχήμα 27.



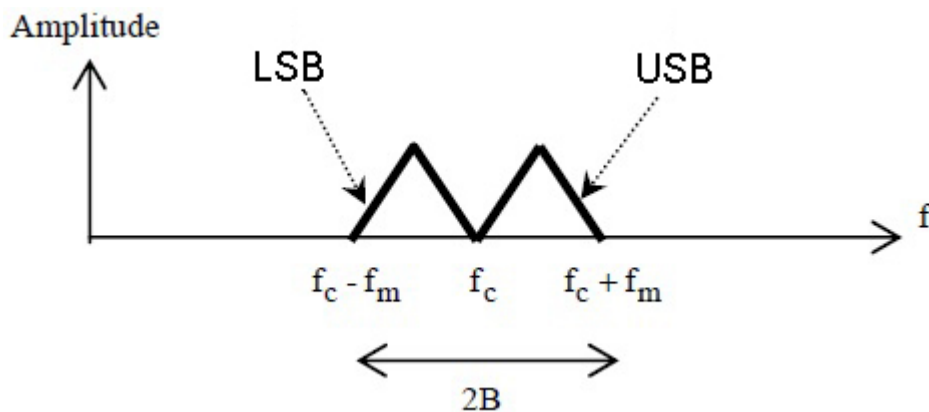
Σχήμα 27 : Διαμορφωμένο κατά DSB-SC σήμα στο πεδίο του χρόνου

Το πλάτος του σήματος μεταβάλλεται μεταξύ +/- ($A_m A_c$).

Στο πεδίο της συχνότητας εφαρμόζοντας την ιδιότητα διαμόρφωσης του μετασχηματισμού Fourier, βρίσκουμε για την φασματική πυκνότητα του $s(t)$:

$$S(f) = FT \{s(t)\} =$$

$$= \frac{A_c}{2} \{F(\omega_c + \omega_m) + F(\omega_c - \omega_m)\}$$



Σχήμα 28 : Το φάσμα συχνοτήτων του διαμορφωμένου σήματος κατά DSB-SC.

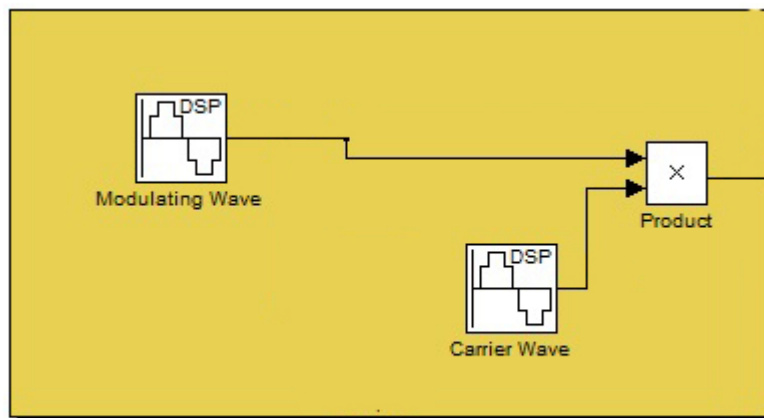
Από το παραπάνω σήμα παρατηρούμε πως το φάσμα συχνοτήτων μετακινείται κατά ω_c rad/sec. Δημιουργούνται 2 πλευρικές ζώνες συχνοτήτων στις οποίες :

- Όλη η εκπεμπόμενη ισχύς περιλαμβάνεται στις δύο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων αφού το φέρον δεν υπάρχει. Η ισχύς πλευρικής ζώνης στη DSB είναι τετραπλάσια αυτής της AM.
- Το εύρος ζώνης είναι δύο φορές το εύρος ζώνης του διαμορφώνοντος σήματος.
- Το φασματικό περιεχόμενο των θετικών συχνοτήτων άνω της ω_c ονομάζεται άνω πλευρική (Upper sideband), και αντίστοιχα κάτω της ω_c κάτω πλευρική (Lower sideband). Η πληροφορία βρίσκεται στις δύο πλευρικές ζώνες. Η USB ζώνη περιέχει τα θετικά συστατικά του $s(t)$ και η LSB ζώνη περιέχει τα αρνητικά συστατικά του $s(t)$.

2.4.1 Προσομοίωση διαμόρφωσης AM (DSB-SC) στο SIMULINK

Το μοντέλο που υλοποιείται είναι αυτό του Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής με Καταργημένο Φέρον, (Double-Sideband Suppressed Carrier), σε συντομία DSB-SC. Στο παρακάτω Σχήμα 29 απεικονίζεται το μπλοκ διάγραμμα του διαμορφωτή πλάτους για διαμόρφωση χωρίς φέρον όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Ως σήμα πληροφορίας στην είσοδο του διαμορφωτή χρησιμοποιήθηκε ένα ημίτονο με πλάτος 1, συχνότητα 30Hz και περίοδο

δειγματοληψίας 1/1000 sec. Το ημίτονο αυτό πολλαπλασιάζεται με ένα φέρον πλάτους 1 και συχνότητας 100Hz με περίοδο δειγματοληψίας επίσης 1/1000.

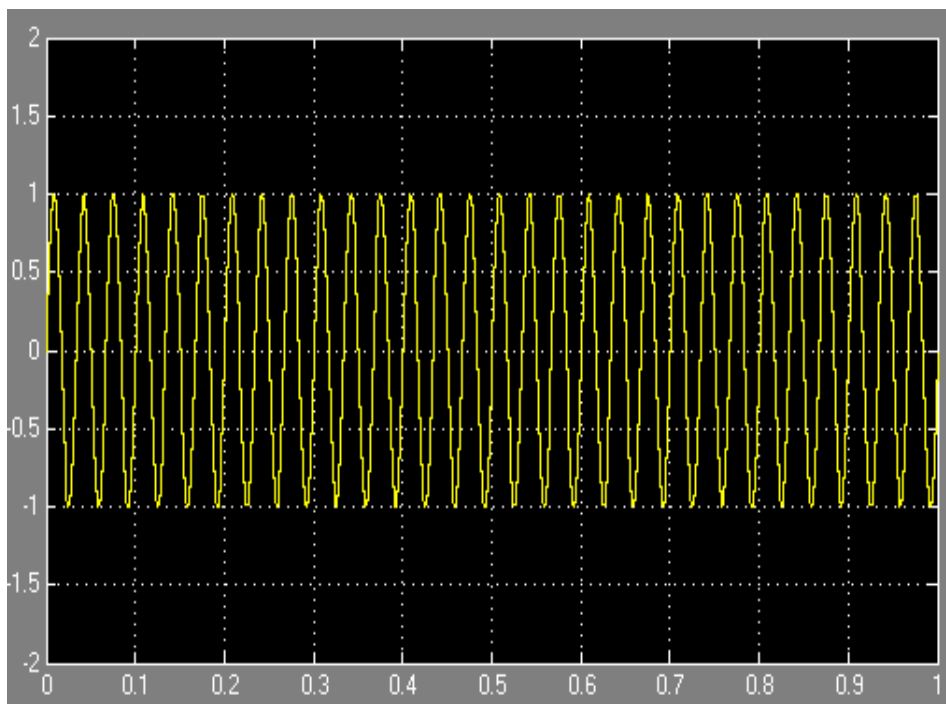


AM(DSB-SC) Modulator

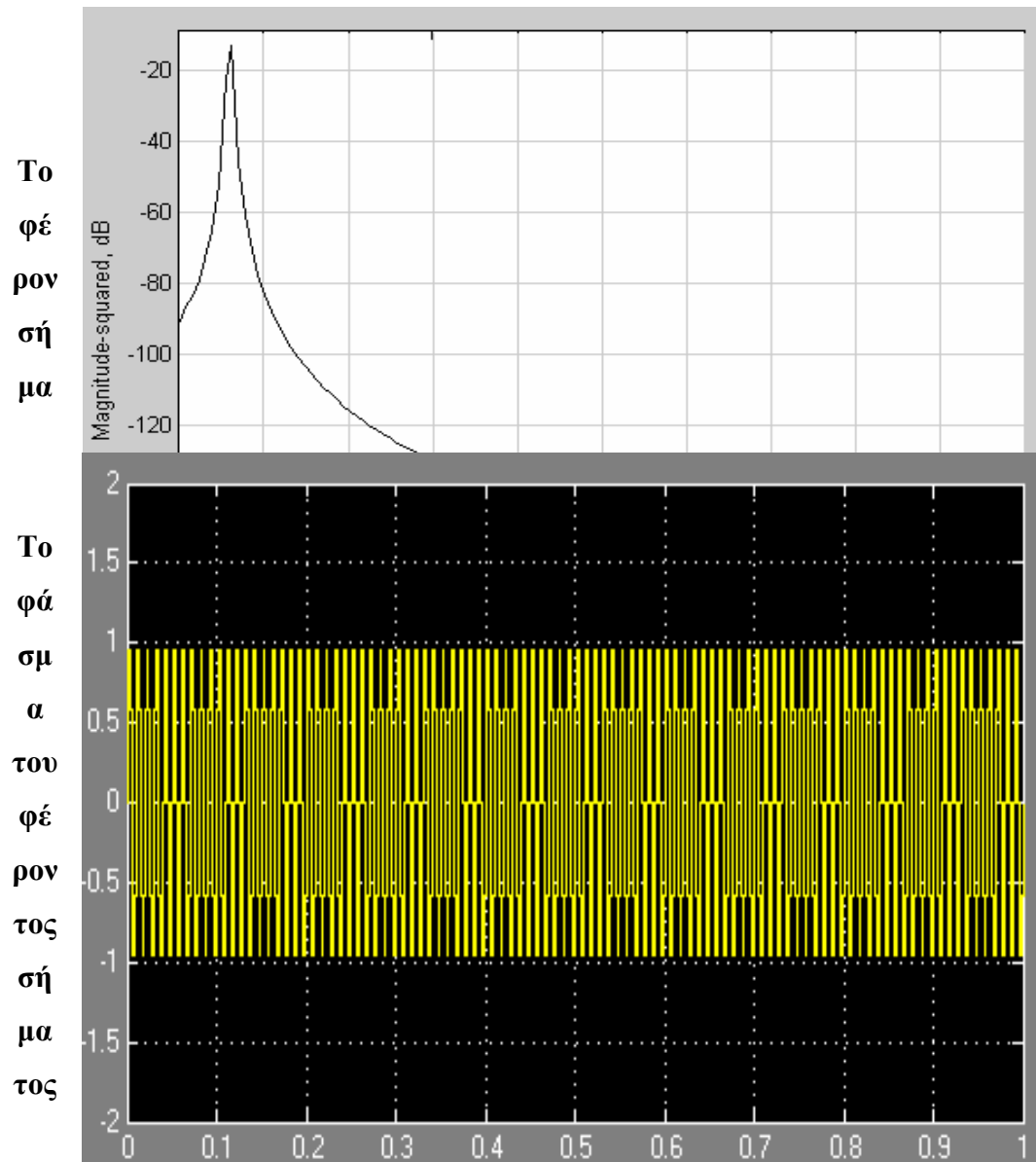
Σχήμα 29 : Μπλοκ Διαμορφωτή DSB-SC στο SIMULINK

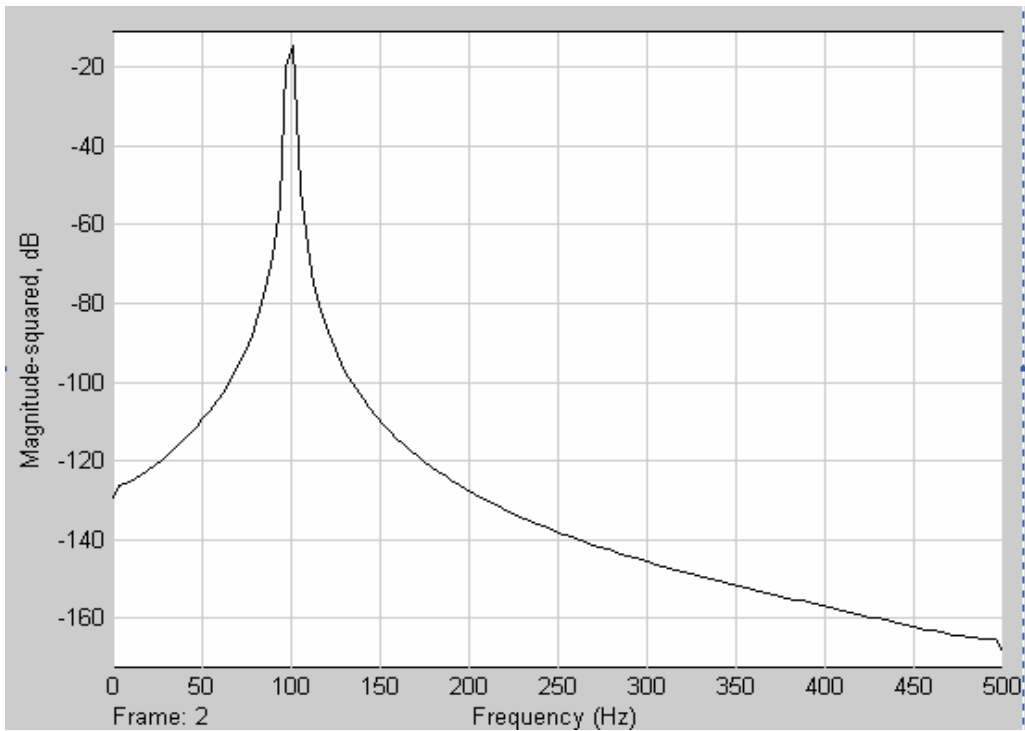
Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα της διαμόρφωσης του σήματος πληροφορίας μέσα από τα Scope και Spectrum Scope του Simulink στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας αντίστοιχα.

Το αρχικό σήμα

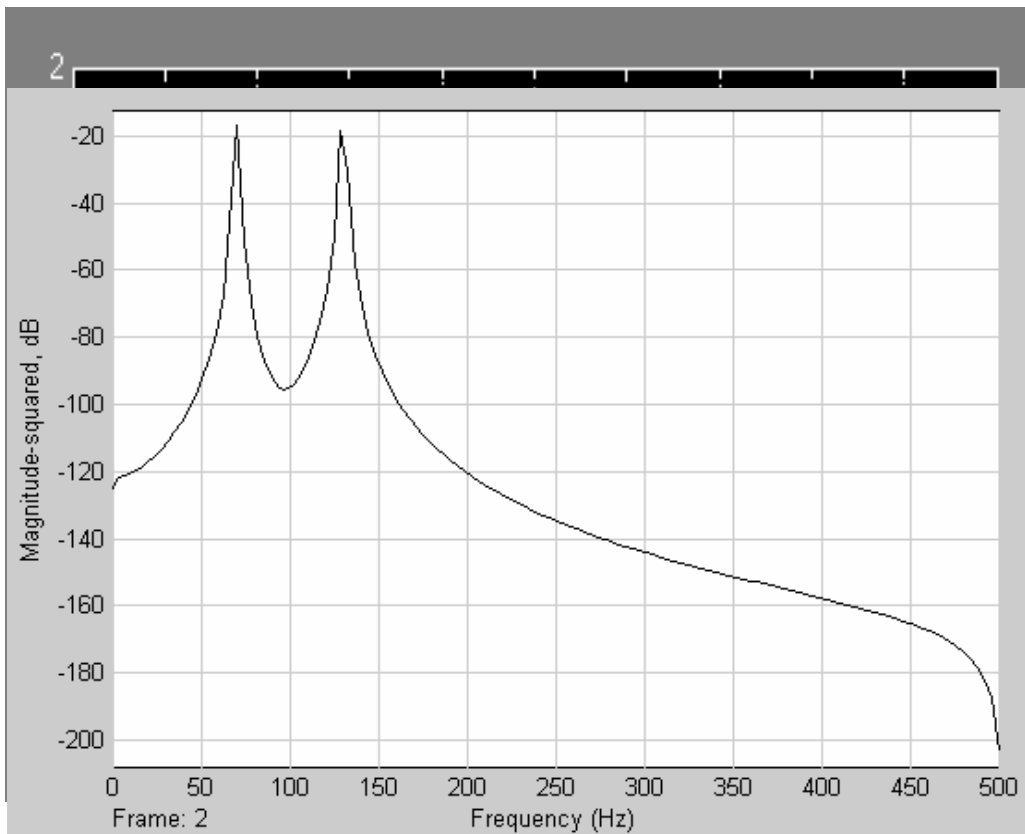


Το φάσμα του αρχικού σήματος





Το διαμορφωμένο σήμα

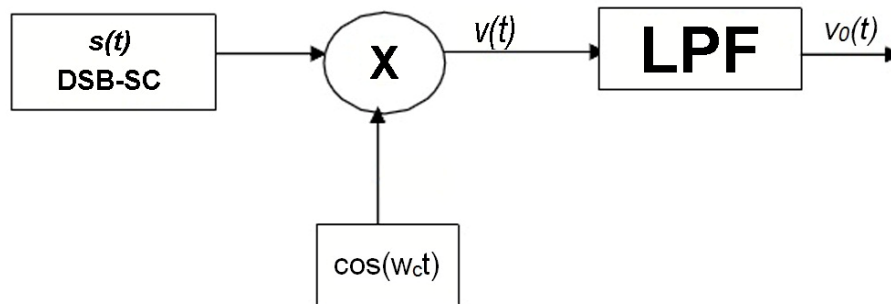


Το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος

Όπως παρατηρείται και στα γραφήματα της προσομοίωσης του Simulink το φέρον απουσιάζει και έχουμε άνω και κάτω πλευρική ζώνη συχνοτήτων στις οποίες είναι συγκεντρωμένη η ισχύς του σήματος και η πληροφορία.

2.5 Αποδιαμόρφωση πλάτους AM (DSB-SC)

Δεδομένου ότι το φέρον καταστέλλεται πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύγχρονος αποδιαμορφωτής και το block διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 30 .



Σχήμα 30 : Ανιχνευτής γινομένου για αποδιαμόρφωση DSB-SC σήματος.

Έχουμε,

$$v(t) = s(t) \cos(w_c t) =$$

$$= A_c \cos(w_m t) \cos(w_c t) m(t) =$$

$$= \frac{A_c}{2} m(t) + \frac{A_c}{2} \cos(2W_c t) m(t)$$

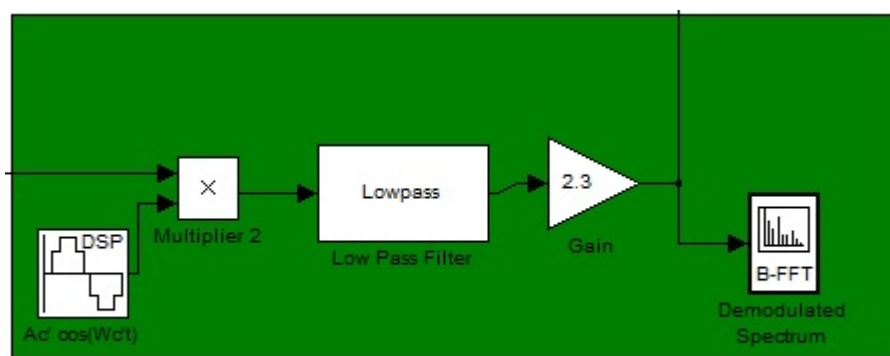
,όπου ο πρώτος όρος αποτελεί και το επιθυμητό σήμα που θέλουμε να κρατήσουμε. Ο δεύτερος όρος αφαιρείται μετά από το πέρασμα του σήματος από το φίλτρο LPF. Οπότε θα έχουμε :

$$v_o(t) = \frac{A_c}{2} m(t)$$

Για μια κατάλληλη ανάκτηση του σήματος θα πρέπει, $w_c > w_m$. Στην παραπάνω περίπτωση θα πρέπει να σημειωθεί πως απαιτείται ο δέκτης να παράγει φέρον της ίδιας συχνότητας και φάσης με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την διαμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος. Η συχνότητα και η φάση του φέροντος στον πομπό θα πρέπει να είναι γνωστά στον δέκτη για την σωστή αποδιαμόρφωση. Αλλιώς θα υπάρξει διαφορετική ολίσθηση των παραμέτρων των ηλεκτρονικών στοιχείων για διαφορετικές f και διαφορετικός τοπικός χρονισμός για διαφορές της ϕ (φάσης) των δύο φερόντων.

2.5.1 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης AM (DSB - SC) στο SIMULINK

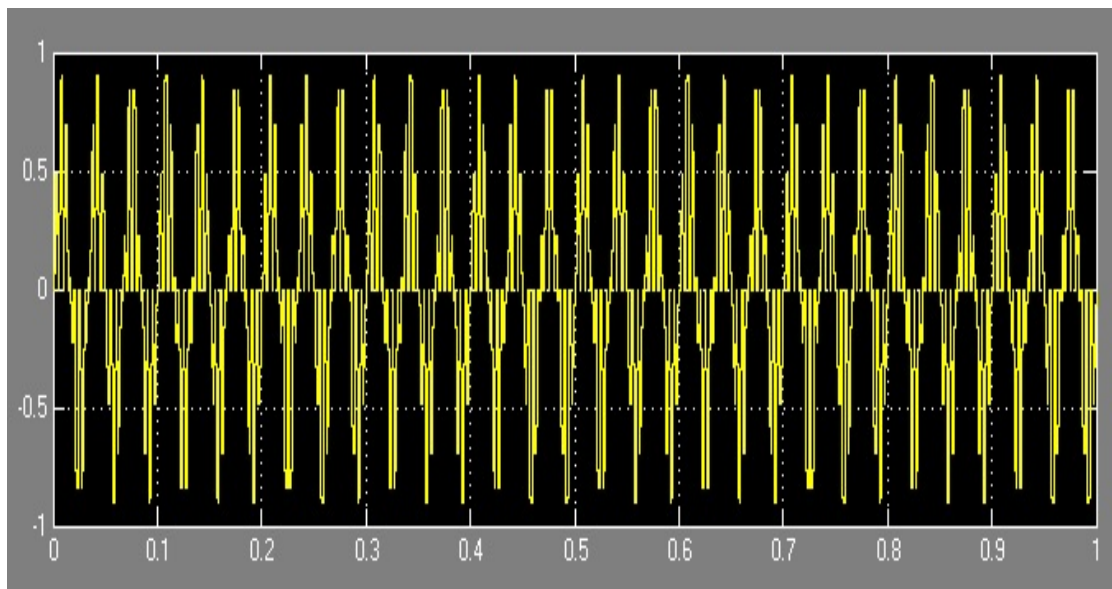
Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 31) απεικονίζεται το μπλοκ διάγραμμα του αποδιαμορφωτή όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Το διαμορφωμένο σήμα πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα πανομοιότυπο με το αρχικό φέρον σήμα και αμέσως μετά περνά μέσα από ένα βαθυπερατό φίλτρο (Low Pass Filter) ώστε να απομακρυνθούν οι όροι διπλάσιας συχνότητας. Για την ανάκτηση του αρχικού πλάτους του σήματος, το αποδιαμορφωμένο σήμα πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή (σταθερά) που έχει την τιμή 2.3 που έχει φυσικά εξαρτώμενη τιμή από την τιμή του πλάτους που προσδίδουμε σε Message Signal και Carrier .



AM(DSB-SC) Demodulator

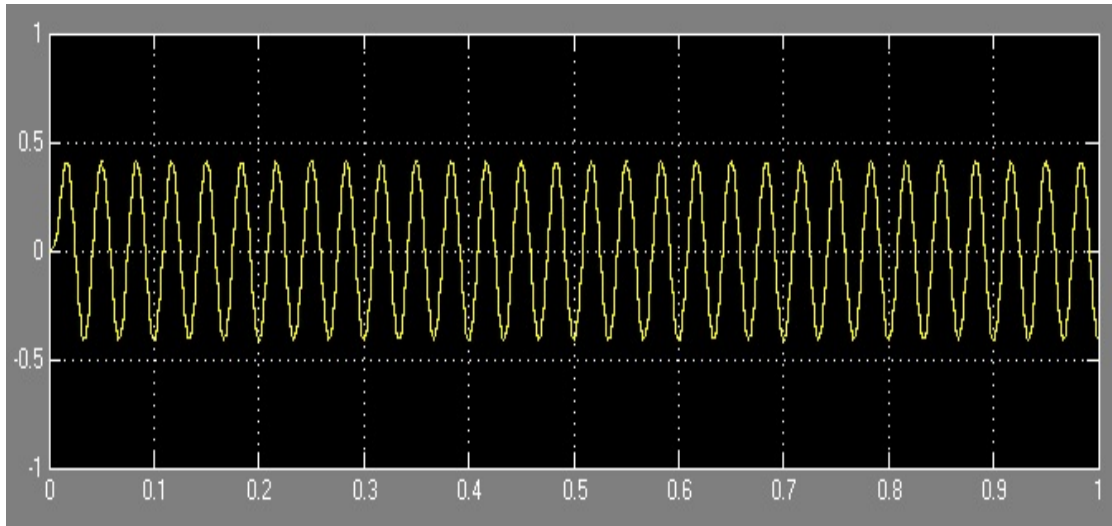
Σχήμα 31 : Αποδιαμορφωτής DSB-SC

Το διαμορφωμένο σήμα εισέρχεται σε έναν πολλαπλασιαστή με ένα σήμα πανομοιότυπο με το αρχικό φέρον που χρησιμοποιήθηκε πριν την διαμόρφωση. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 32 που ακολουθεί.



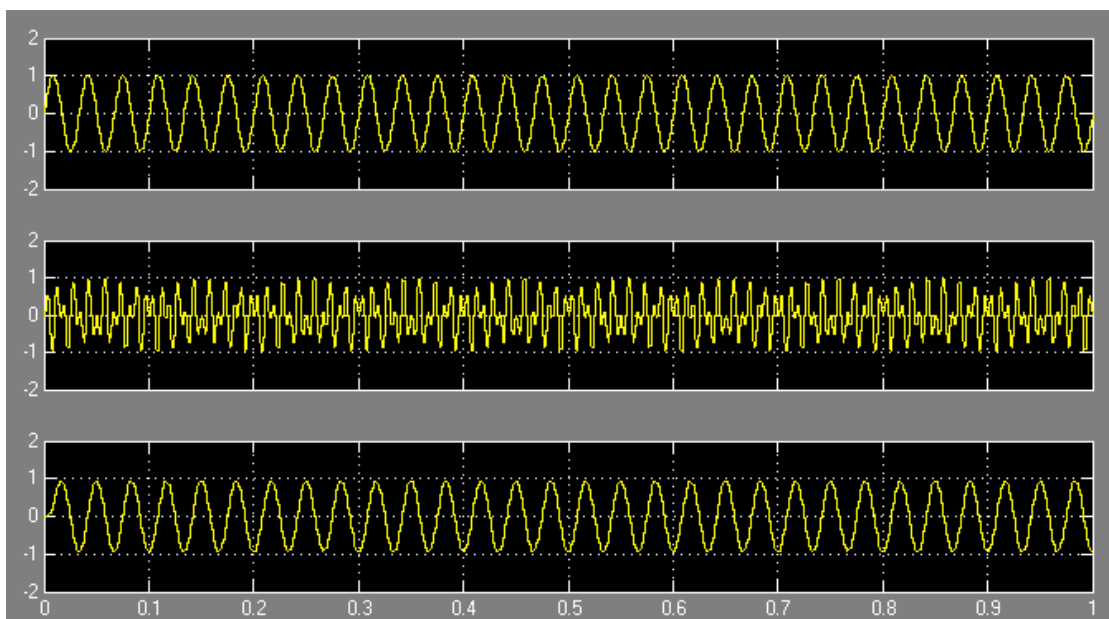
Σχήμα 32 : Το διαμορφωμένο σήμα DSB-SC μετά την έξοδο του από τον πολλαπλασιαστή με πανομοιότυπο με το αρχικό φέρον, στο πεδίο του χρόνου.

Η έξοδος του πολλαπλασιαστή εισέρχεται στο Βαθυπερατό φίλτρο(Low Pass Filter-Σχήμα 31) για την απομάκρυνση των μη επιθυμητών όρων, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 33 παρακάτω.

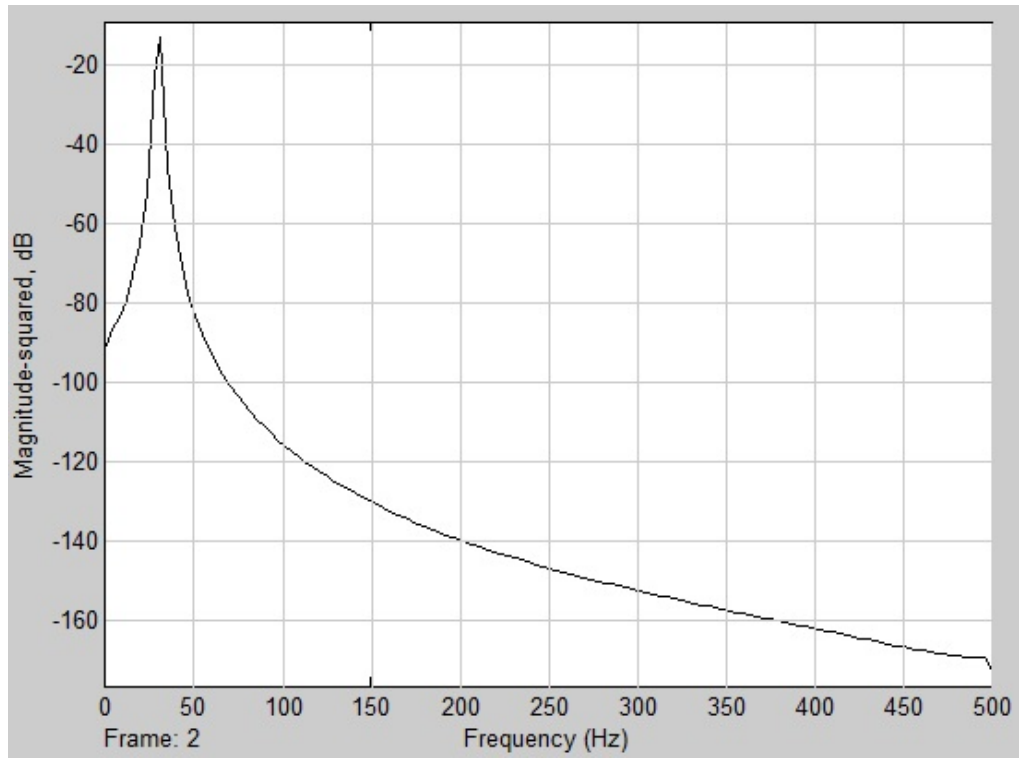


Σχήμα 33 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα μετά την έξοδο του από το βαθυπερατό φίλτρο στο πεδίο του χρόνου.

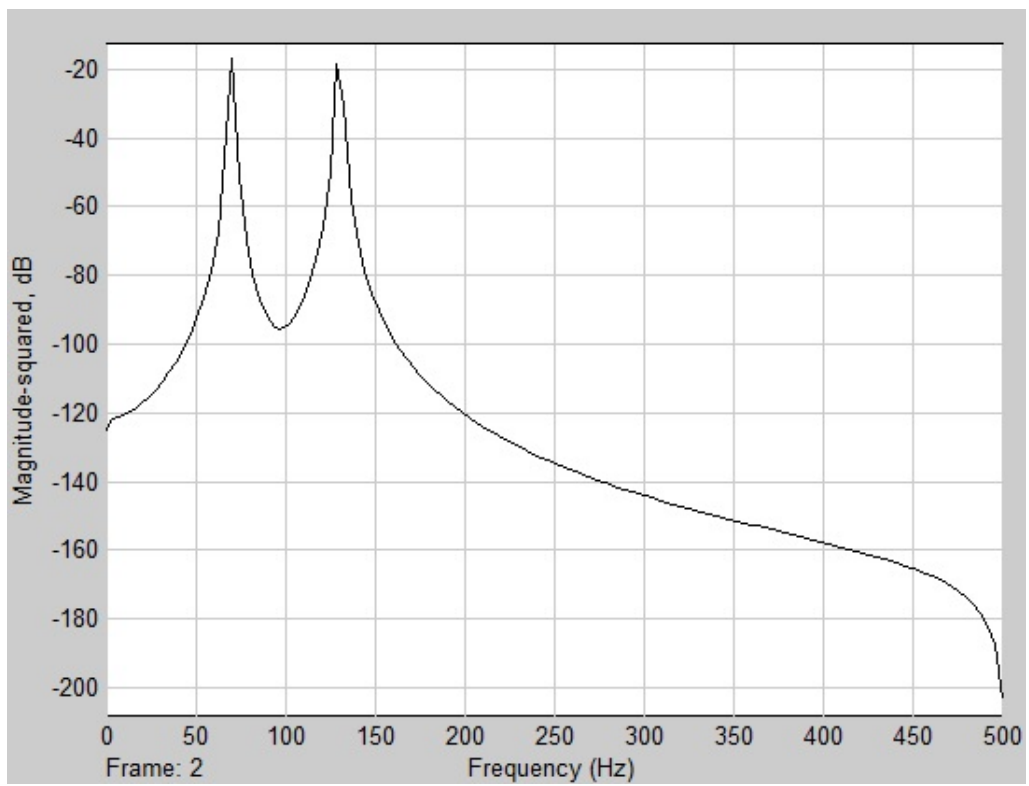
Τελικώς για να έχουμε το ίδιο πλάτος με το αρχικό σήμα ενισχύουμε το σήμα με μια σταθερά (τιμή σταθεράς = 2.3) , που όπως έχει τονιστεί εξαρτάται από τις τιμές που προσδίδονται σε Message Signal και Carrier στην αρχή. Χρειάζεται προσοχή στο σήμα που χρησιμοποιούμε για την αποδιαμόρφωση ώστε να είναι το ίδιο με το φέρον πριν την διαμόρφωση. Ακολουθούν τα συνολικά αποτελέσματα στο πεδίο του χρόνου και το φάσμα αυτών στο πεδίο της συχνότητας.



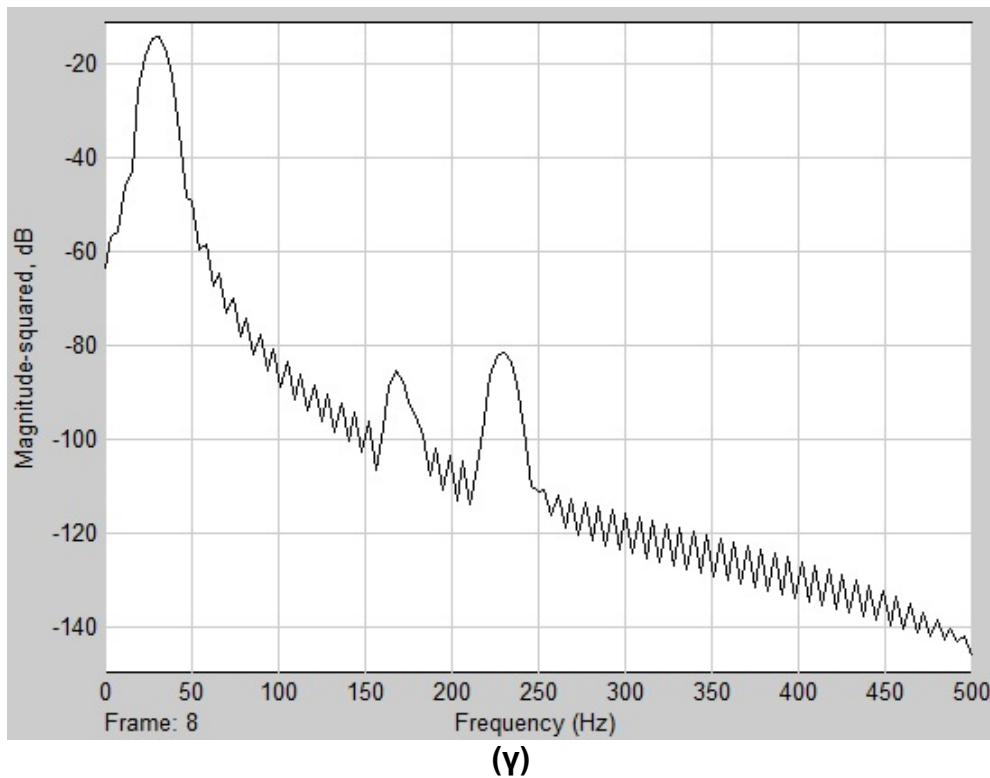
Σχήμα 34 : Σήμα πληροφορίας (πρώτο) , διαμορφωμένο σήμα (δεύτερο) και αποδιαμορφωμένο σήμα (τρίτο).



(a)

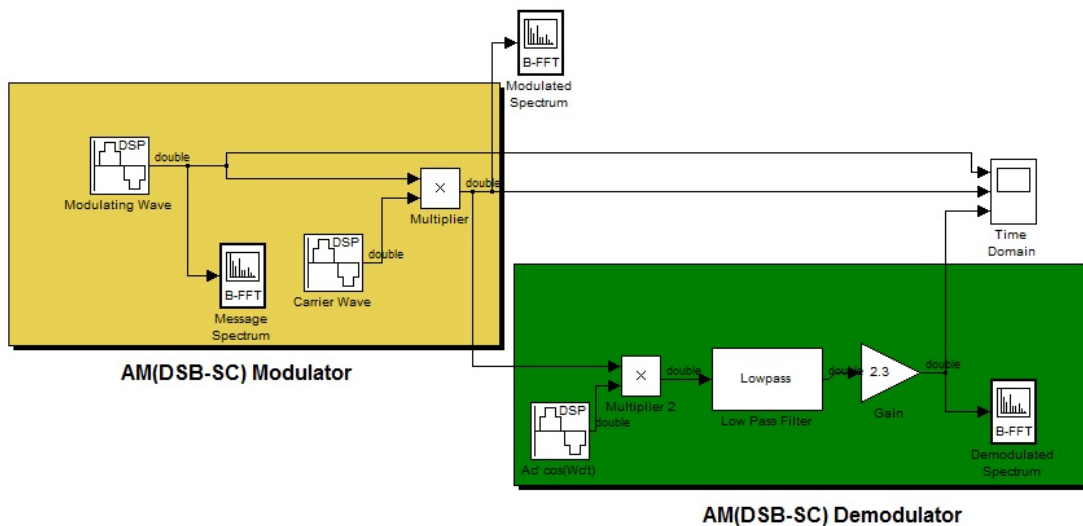


(b)



Σχήμα 35 : Το φάσμα του αρχικού σήματος (α) , διαμορφωμένου σήματος DSB-SC (β) και αποδιαμορφωμένου σήματος (γ).

Τέλος ακολουθεί μια εικόνα του κυκλώματος διαμόρφωσης κατά AM (DSB-SC) όπως αυτό υλοποιήθηκε στο SIMULINK(Σχήμα 36).



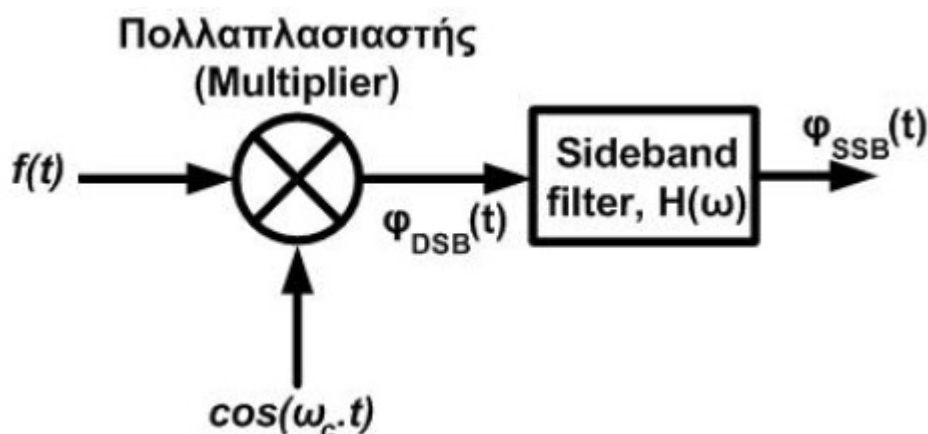
Σχήμα 36 : Κύκλωμα διαμόρφωσης κατά AM (DSB-SC)- αποδιαμόρφωσης στο SIMULINK.

2.6 Διαμόρφωση πλάτους μονής πλευρικής ζώνης SSB (Single Side Band)

Η SSB ή διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης είναι μια βελτίωση της διαμόρφωσης πλάτους που χρησιμοποιεί πιο αποτελεσματικά την ηλεκτρική ισχύ και το εύρος ζώνης. Η διαμόρφωση πλάτους παράγει ένα διαμορφωμένο σήμα που έχει το διπλάσιο εύρος ζώνης από το αρχικό. Η SSB αποφεύγει αυτό το διπλασιασμό καθώς και την ισχύ που χάνεται στον φορέα με κόστος όμως την αυξημένη πολυπλοκότητα της συσκευής και τη δυσκολότερη ρύθμιση του δεκτή.

Το εύρος ζώνης εκπομπής μπορεί να μειωθεί στο μισό μεταδίδοντας μόνο μια πλευρική ζώνη χωρίς απώλεια πληροφορίας. Η μέθοδος αυτή οδηγεί στην διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης.

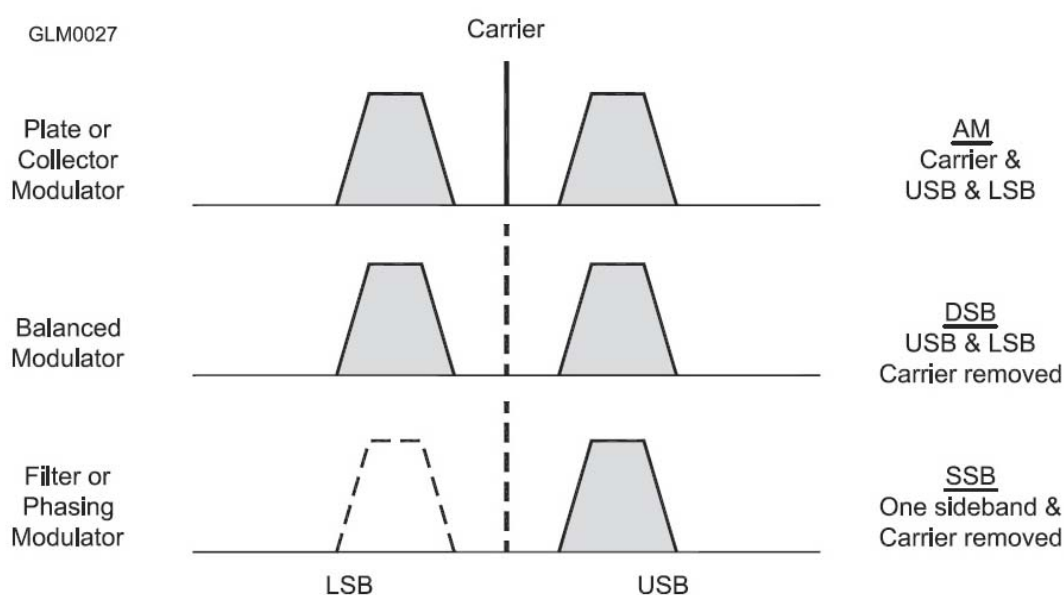
Ο απλούστερος τρόπος παράγωγης SSB σήματος είναι να δημιουργήσουμε ένα σήμα DSB και στη συνέχεια να φιλτράρουμε με κατάλληλα ζωνοπερατό φίλτρο την πάνω ή την κάτω πλευρική ζώνη.



Σχήμα 37 : Κύκλωμα διαμορφωτή SSB.

Ο τρόπος παράγωγης SSB σήματος είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί διότι απαιτείται η χρήση ενός ζωνοπερατού φίλτρου με ιδανική συμπεριφορά. Είναι πολύ δύσκολο να κατασκευασθούν φίλτρα τα οποία να προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια την ιδανική συμπεριφορά και να παρουσιάζουν χαρακτηριστική συχνотικής απόκρισης με απότομη μεταβολή στην περιοχή των συχνοτήτων αποκοπής. Η μη ιδανική συμπεριφορά των φίλτρων έχει σαν συνέπεια την εξασθένιση των φασματικών συνιστωσών ενός τμήματος της επιθυμητής πλευρικής ζώνης και τη διέλευση ενός τμήματος του φάσματος

της ανεπιθύμητης πλευρικής ζώνης. Σε αρκετά σήματα βασικής ζώνης η συνεισφορά των χαμηλών συχνοτήτων είναι πολύ μικρή ή μηδαμινή. Ακόμα και στις περιπτώσεις σημάτων με μηδενικό φασματικό περιεχόμενο στις χαμηλές συχνότητες το φιλτράρισμα σε υψηλές συχνότητες είναι δύσκολο γιατί το εύρος της διαχωριστικής ζώνης μεταξύ των δυο πλευρικών αποτελεί πολύ μικρο ποσοστό της φέρουσας συχνότητας και απαιτούνται φίλτρα οξείας επιλεκτικότητας που δύσκολα κατασκευάζονται. Για το λόγο αυτό η μετατόπιση του σήματος βασικής ζώνης στην τελική φέρουσα συχνότητα συνηθίζεται να γίνεται σε περισσότερα από ένα βήματα.

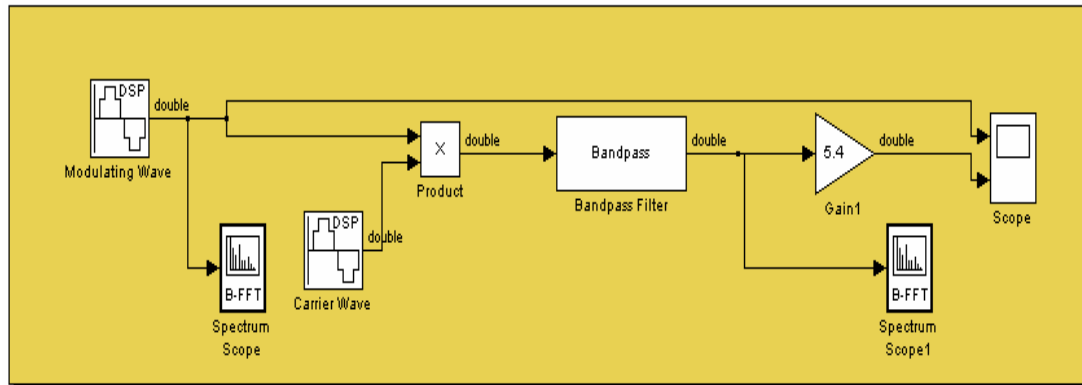


Σχήμα 38 : Οι διαμορφώσεις κατά πλάτος AM , DSB-SC και SSB.

2.6.1 Προσομοίωση διαμόρφωσης πλάτους AM μονής πλευρικής ζωνής (SSB)

Το μοντέλο που ακολουθεί (Σχήμα 39) είναι αυτό του διαμορφωτή μονής πλευρικής ζώνης (single-sideband modulation) όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Ως σήμα πληροφορίας στην είσοδο του διαμορφωτή χρησιμοποιήθηκε ένα ημίτονο με πλάτος 1, συχνότητα 30Hz και περίοδο δειγματοληψίας 1/1000 sec. Το ημίτονο αυτό πολλαπλασιάζεται με ένα φέρον συχνότητας 100Hz και πλάτους 1. Σε εκείνο το σημείο το σήμα έχει την εικόνα ενός DSB διαμορφωμένου σήματος. Για αυτόν τον λόγο πρέπει να περάσει μέσα από ένα ζωνοπερατό φίλτρο (Bandpass) για να φιλτράρουμε την πάνω

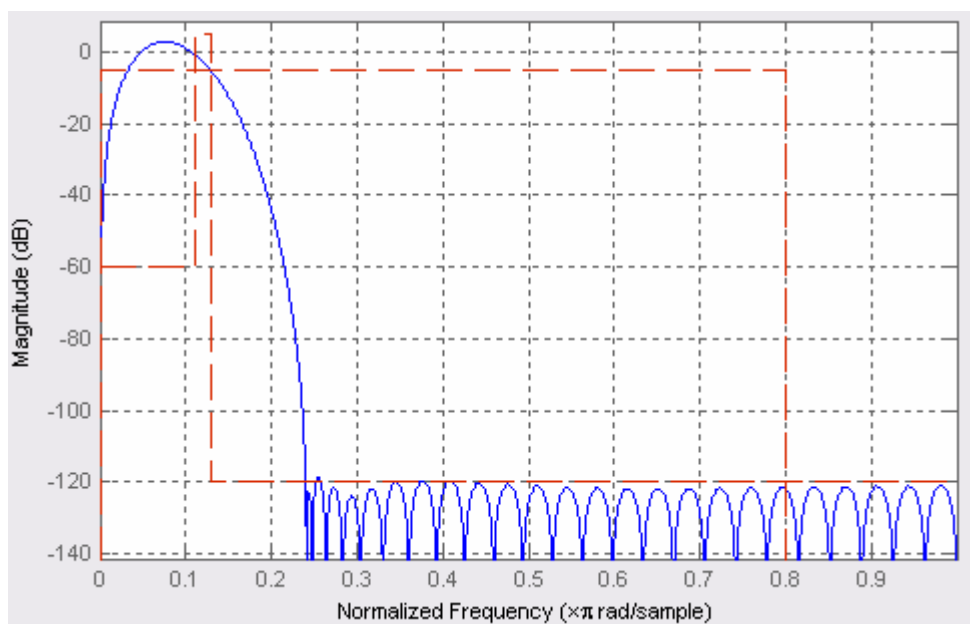
ή την κάτω πλευρική ζώνη. Στο παράδειγμα μας θα φιλτράρουμε την άνω πλευρική ζώνη.



SSB Modulator

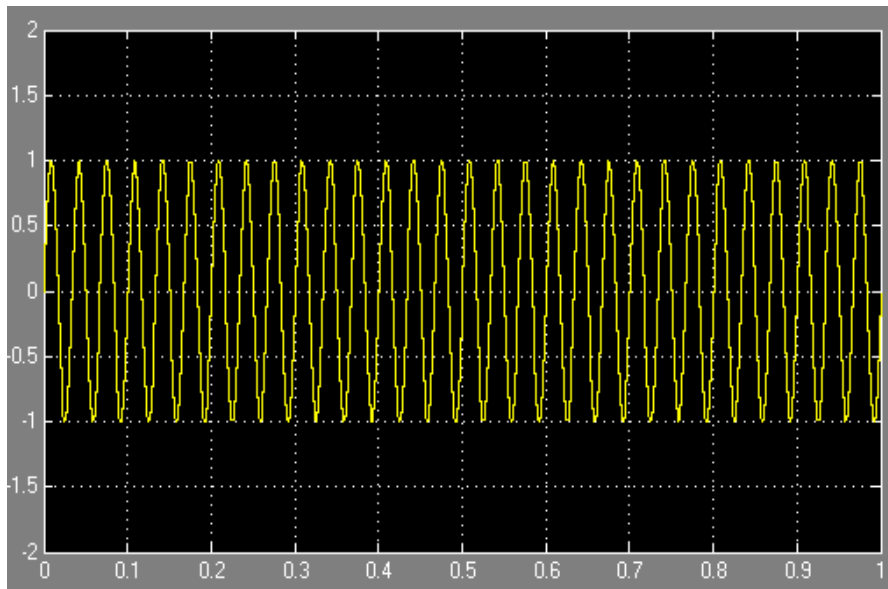
Σχήμα 39 : Διαμορφωτής κατά πλάτος (SSB) προσομοιωμένος στο SIMULINK

Το Bandpass Filter που τοποθετήσαμε ρυθμίστηκε έτσι ώστε να αφήνει να περάσουν όλες οι συχνότητες μέχρι τα 70Hz και κόβει όλες τις υπόλοιπες συχνότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να κοπεί και η άνω πλευρική ζώνη του σήματος που βρίσκεται στα 130Hz.

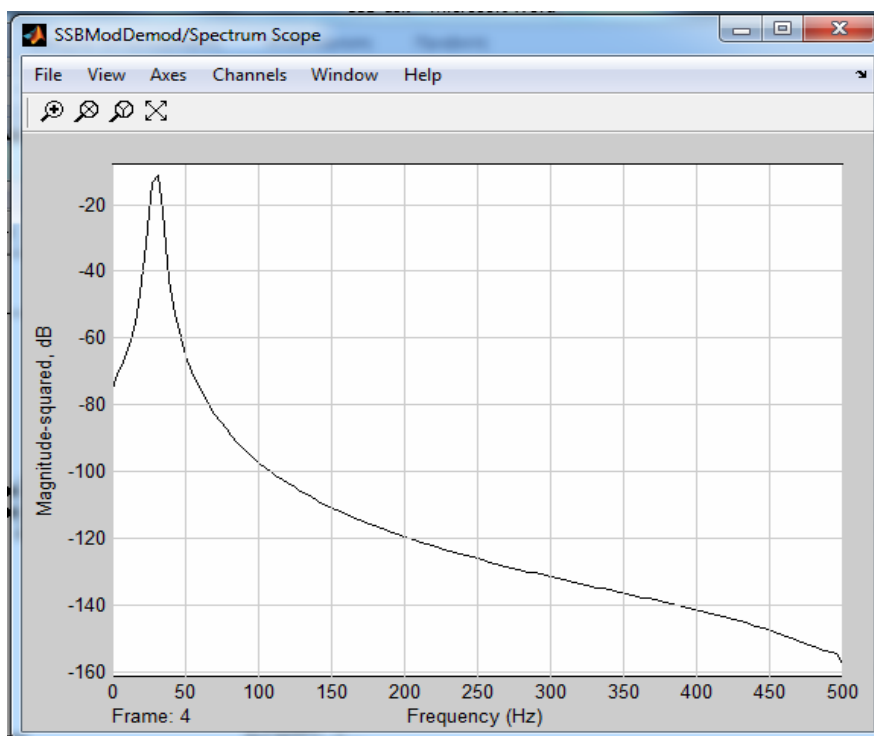


Σχήμα 40 : Ζωνοπερατό φίλτρο που αποκόπτει την άνω πλευρική ζώνη

Ακολουθούν τα αποτελέσματα σε πεδίο χρόνου και συχνότητας του αρχικού σήματος πληροφορίας , του φέροντος και του διαμορφωμένου κατά SSB σήματος:

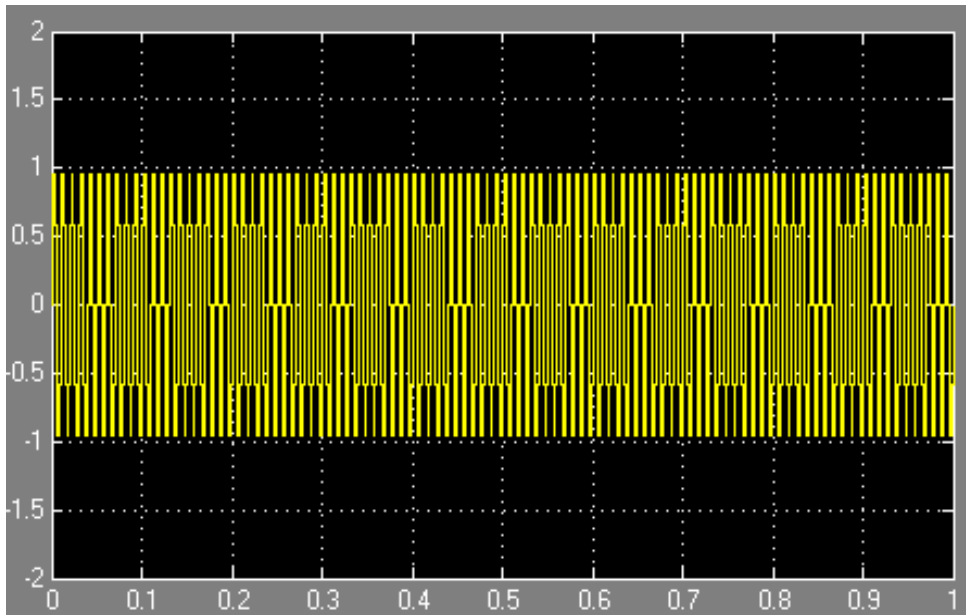


(α)

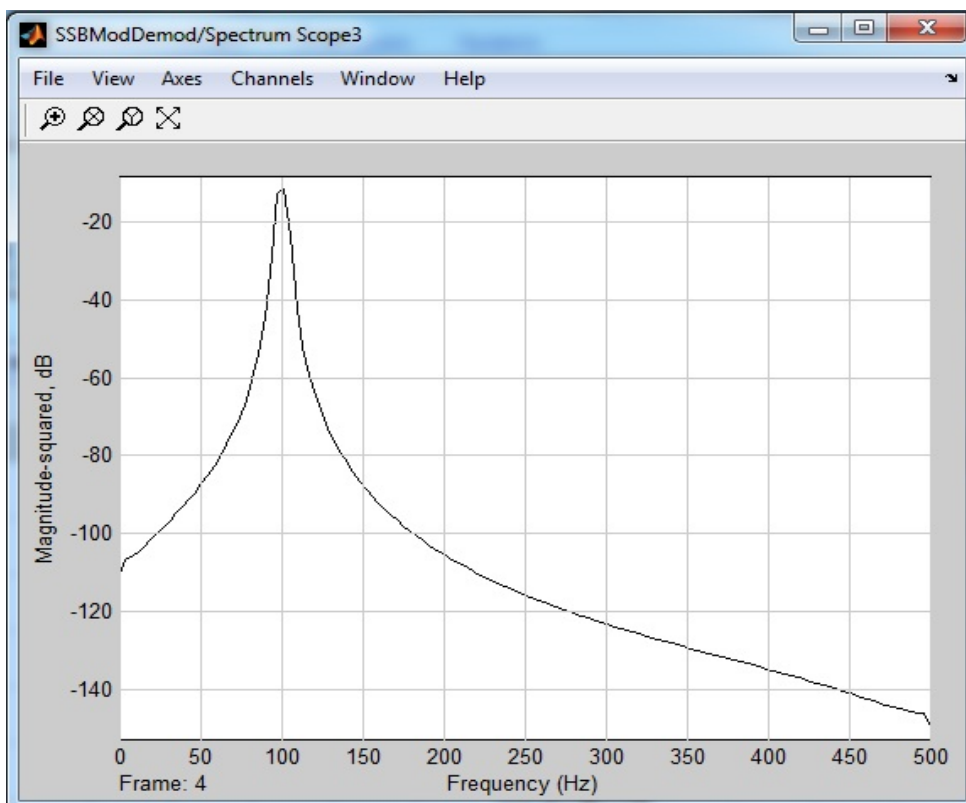


(β)

Σχήμα 41 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας πλάτους 1 και συχνότητας 30 Hz στο (α) πεδίο του χρόνου και (β) πεδίο της συχνότητας.

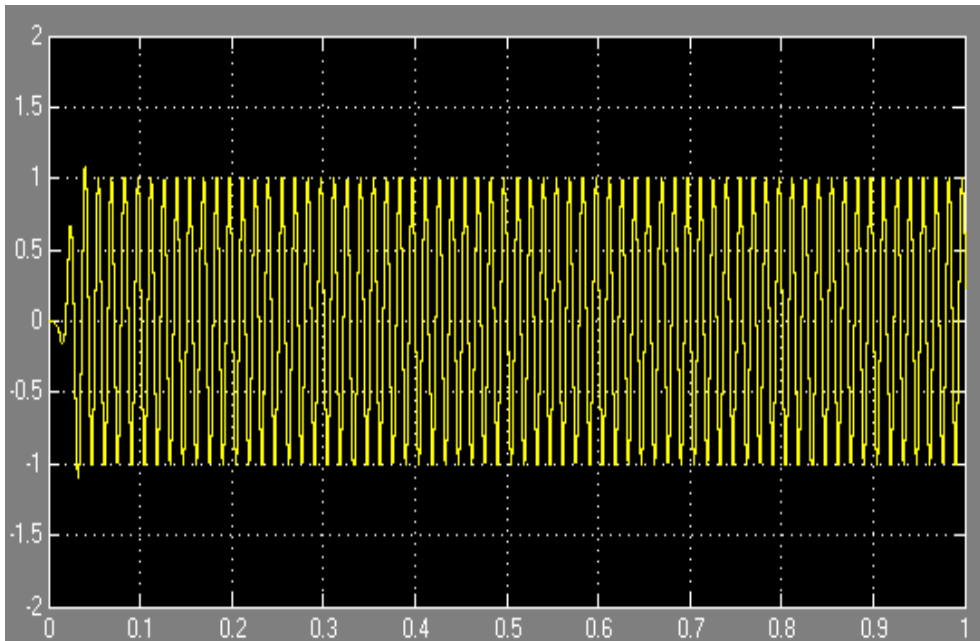


(α)

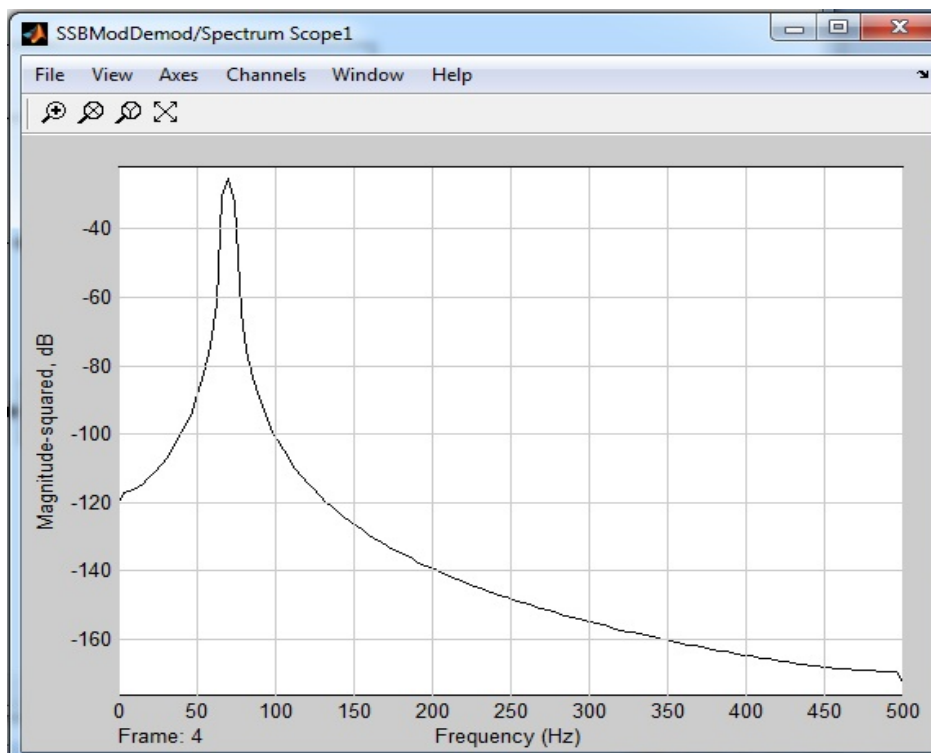


(β)

Σχήμα 42 : Το Φέρον σήμα πλάτους 1 και συχνότητας 100 Hz (α) στο πεδίο του χρόνου και (β) στο πεδίο της συχνότητας.



(α)

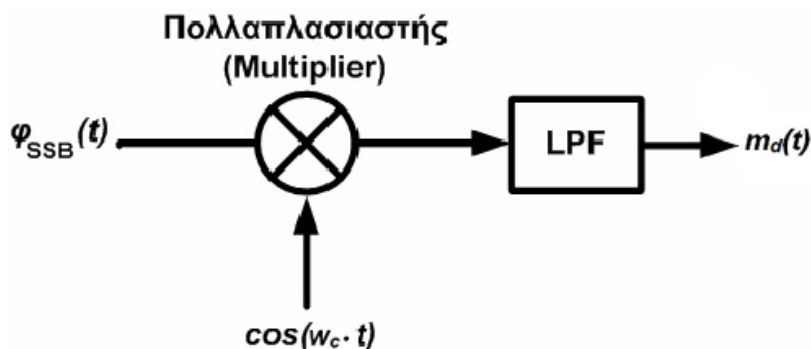


(β)

Σχήμα 43 : Το διαμορφωμένο σήμα μονής πλευρικής ζώνης (SSB) στο πεδίο του χρόνου (α) και στο πεδίο της συχνότητας (β).

2.7 Αποδιαμόρφωση Μονής πλευρικής ζώνης (SSB)

Για την ανάκτηση του σήματος πληροφορίας από το λαμβανόμενο SSB σήμα απαιτείται σύγχρονος αποδιαμορφωτής ο οποίος απεικονίζεται στο Σχήμα 44 που ακολουθεί.

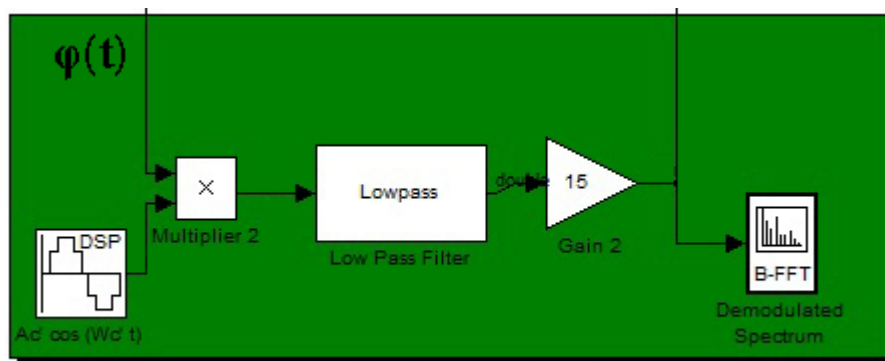


Σχήμα 44 : Αποδιαμορφωτής SSB σήματος

Το SSB σήμα που λαμβάνεται στο δέκτη πολλαπλασιάζεται με το συμφασικό φέρον και στη συνέχεια ένα βαθυτερατό φίλτρο αποκόπτει τα σήματα διπλάσιας συχνότητας και επιτρέπει τη διέλευση του σήματος βασικής ζώνης. Οι αποκλίσεις φάσης και συχνότητας έχουν σαν αποτέλεσμα τη σημαντική παραμόρφωση του αναδιαμορφωμένου σήματος. Για την εξασφάλιση σύγχρονης αποδιαμόρφωσης στο δέκτη μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος είναι η ενσωμάτωση μια συνιστώσας του φέροντος στο εκπεμπόμενο σήμα. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται το κλείδωμα του τοπικού ταλαντωτή του δέκτη στη φέρουσα συχνότητα χωρίς αποκλίσεις φάσης και συχνότητας. Αν η προστιθέμενη συνιστώσα του φέροντος είναι σημαντική τότε μπορούμε στο δέκτη να επιτύχουμε αποδιαμόρφωση του σήματος AM SSB με τη χρήση φωρατή περιβάλλουσας. Στην περίπτωση αυτή βεβαία θα έχουμε κάποια παραμόρφωση του ανακτημένου σήματος πληροφορίας και σπατάλη στην εκπεμπόμενη ισχύ λόγω εκπομπής του φέροντος. Η φασματική απόδοση της διαμόρφωσης AM SSB καθιστά τη μέθοδο αυτή ιδιαίτερα ελκυστική και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στη μετάδοση τηλεφωνικών σημάτων ομιλίας.

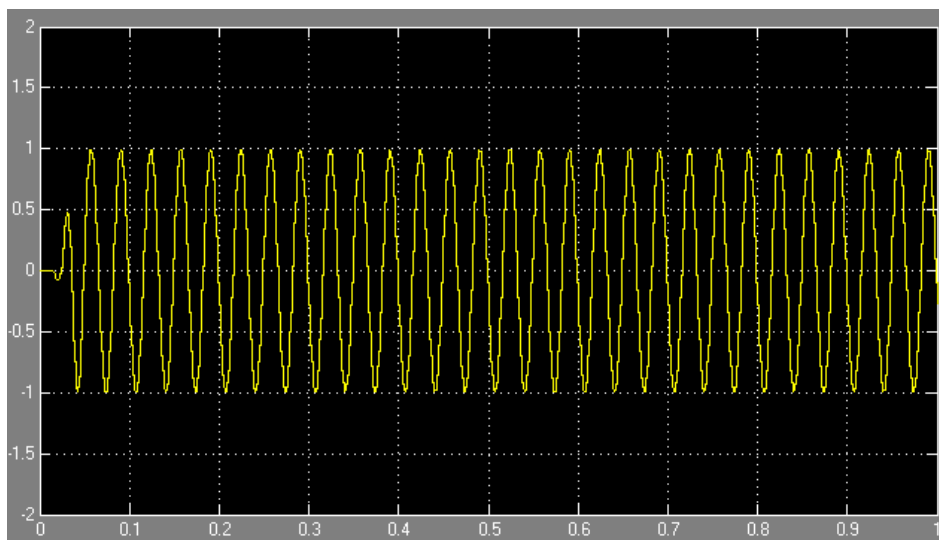
2.7.1 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης πλάτους AM μόνης πλευρικής ζωνής (SSB)

Ακολουθεί το Σχήμα 45 του μπλοκ διαγράμματος του αποδιαμορφωτή όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Το διαμορφωμένο σήμα πολλαπλασιάζεται με το φέρον σήμα και αμέσως μετά περνά μέσα από ένα βαθυτερατό φίλτρο (Low Pass Filter) για να απομακρυνθούν οι όροι διπλάσιας συχνότητας. Για την ανάκτηση του πλάτους του αρχικού σήματος, το αποδιαμορφωμένο σήμα πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή 15, ο οποίος όπως έχει προαναφερθεί και στις προηγούμενες περιπτώσεις διαμορφώσεων εξαρτάται από τις τιμές των χαρακτηριστικών των σημάτων (πλάτος, συχνότητα).

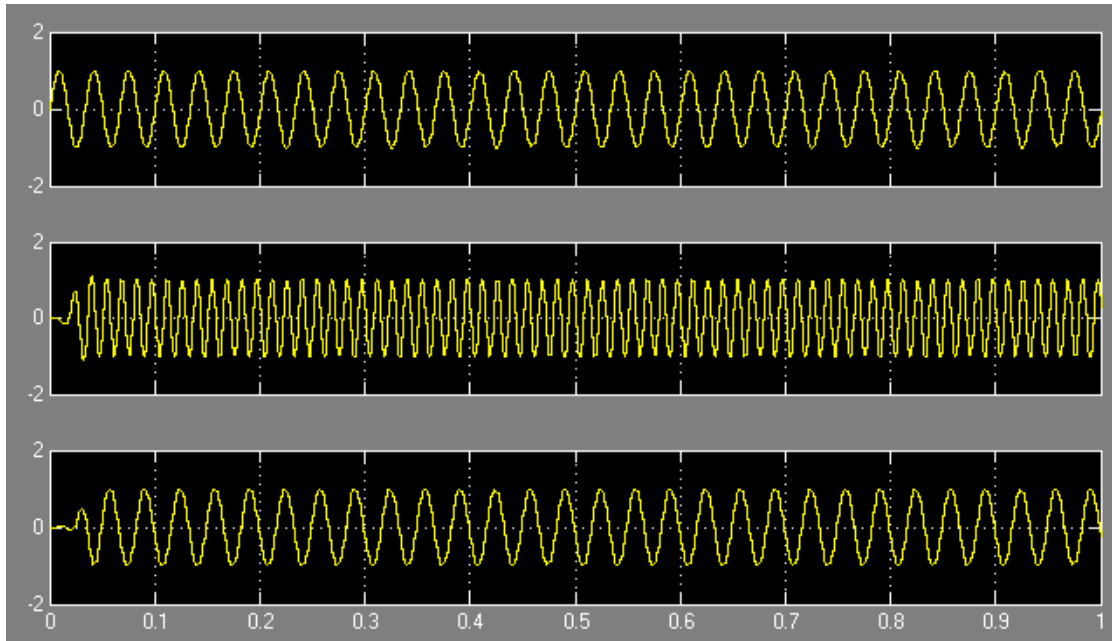


SSB Demodulator

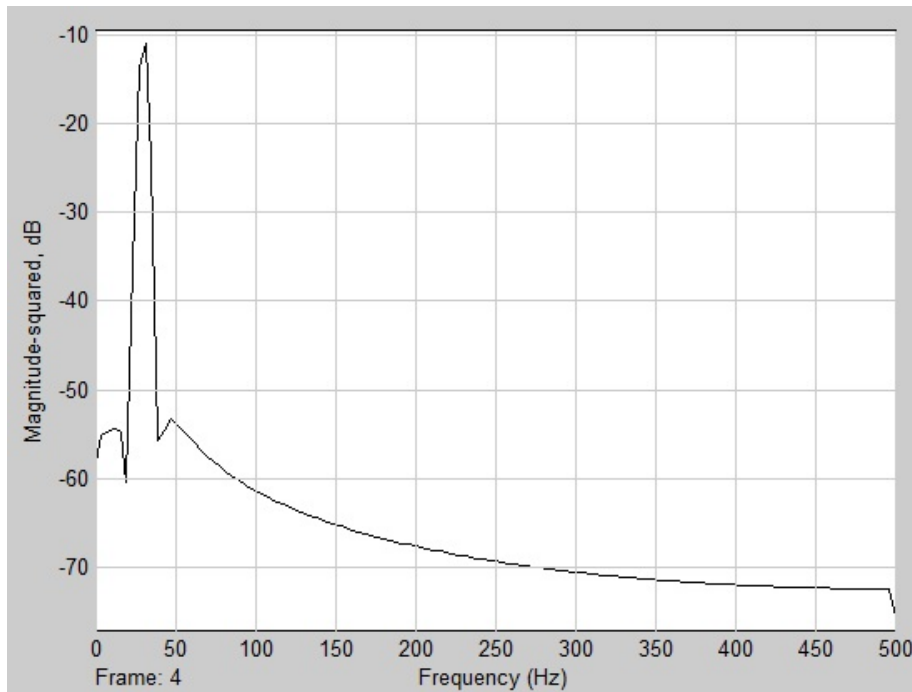
Σχήμα 45 : Αποδιαμορφωτής SSB σήματος στο SIMULINK.



Σχήμα 46 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου

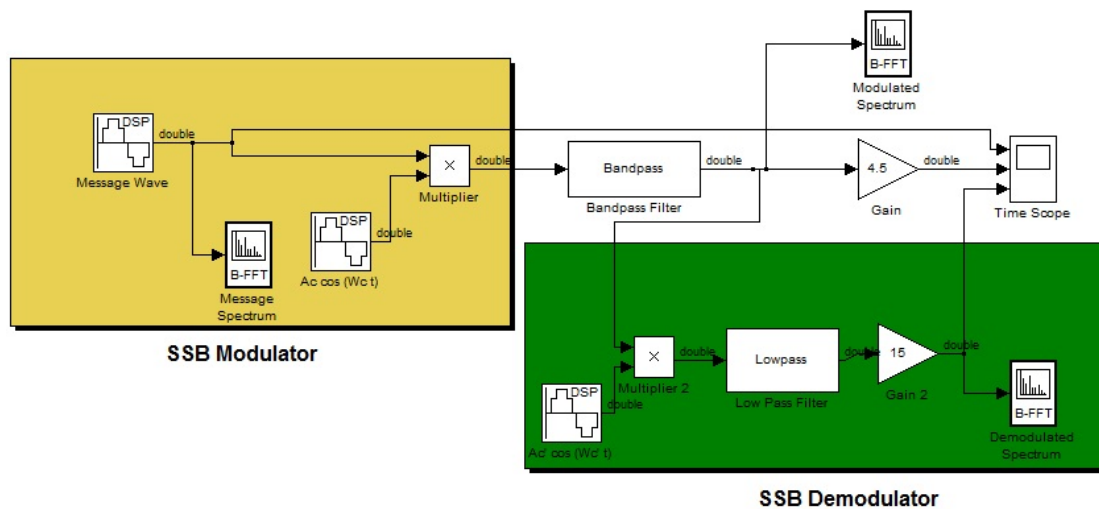


Σχήμα 47 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας , το διαμορφωμένο σήμα και το αποδιαμορφωμένο σήμα.



Σχήμα 48 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας.

Τέλος έχουμε την απεικόνιση του συνολικού κυκλώματος διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης Single Side Band όπως αυτό διεκπεραιώθηκε στο SIMULINK.



Σχήμα 49 : Κύκλωμα διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης SSB.

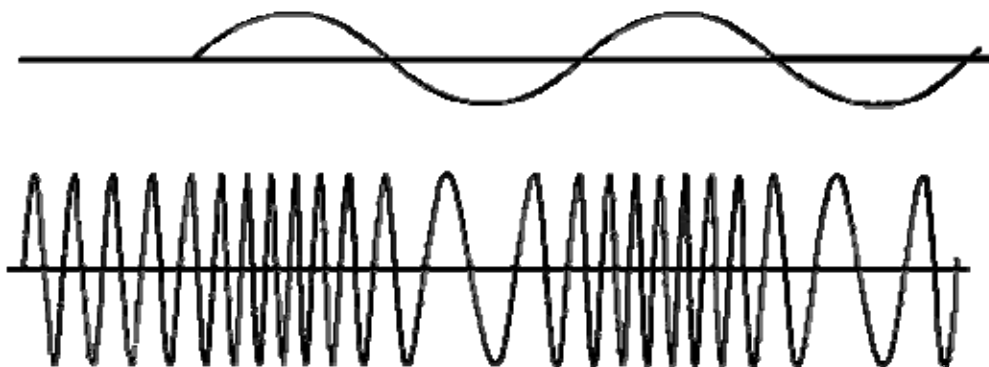
Προσομοίωση συστημάτων Διαμόρφωσης γωνίας

Αφού αναλύσαμε την διαμόρφωση πλάτους στις διάφορες μορφές της θα μελετήσουμε έναν άλλο τύπο διαμόρφωσης. Την διαμόρφωση γωνίας, μία μη γραμμική διαδικασία διαμόρφωσης όπου το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος δεν συνδέεται απλά με αυτό του σήματος πληροφορίας. Έχουμε αποτύπωση του σήματος πληροφορίας στην συχνότητα ή την φάση του φέροντος και όχι στο πλάτος όπως συνέβαινε μέχρι τώρα (AM , DSB-SC, SSB). Στην διαμόρφωση γωνίας η συχνότητα του φέροντος καθώς και η φάση μεταβάλλονται σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας. Και στις δύο περιπτώσεις διαμόρφωσης το πλάτος του φέροντος διατηρείται σταθερό. Πέρα από την πολυπλοκότητα της υλοποίησης της διαμόρφωσης γωνίας καθώς και των σύνθετων μαθηματικών αναλύσεων της, το εύρος ζώνης των διαμορφωμένων σημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του σήματος μηνύματος. Αξιοσημείωτο που συγκαταλέγεται στα θετικά της διαμόρφωσης γωνίας όμως είναι η βελτίωση της επίδοσης σε σχέση με τον θόρυβο και τις παρεμβολές.

Στην διαμόρφωση γωνίας η πληροφορία του σήματος μεταφέρεται στους μηδενισμούς (zero crossing) του διαμορφωμένου σήματος ενώ είναι δύσκολο να ξεχωρίσουμε τα σήματα FM και PM σε παλμογράφο αφού είναι παρόμοια.

2.8 Διαμόρφωση συχνότητας FM

Στην διαμόρφωση συχνότητας η συχνότητα του φέροντος κύματος μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος του σήματος πληροφορίας. Το διαμορφωμένο σήμα που προκύπτει έχει σταθερό πλάτος αλλά μεταβάλλεται η συχνότητα του και μοιάζει να δημιουργούνται “πυκνώματα” και “αραιώματα” όπως αυτά φαίνονται στο Σχήμα 50 που ακολουθεί. Το πλάτος του σήματος πληροφορίας επηρεάζει το φέρον με τον εξής τρόπο. Όταν το πλάτος του σήματος πληροφορίας είναι μεγάλο έχουμε αύξηση της συχνότητας του φέροντος και όπου έχει μικρό πλάτος έχουμε μείωση της συχνότητας του φέροντος.

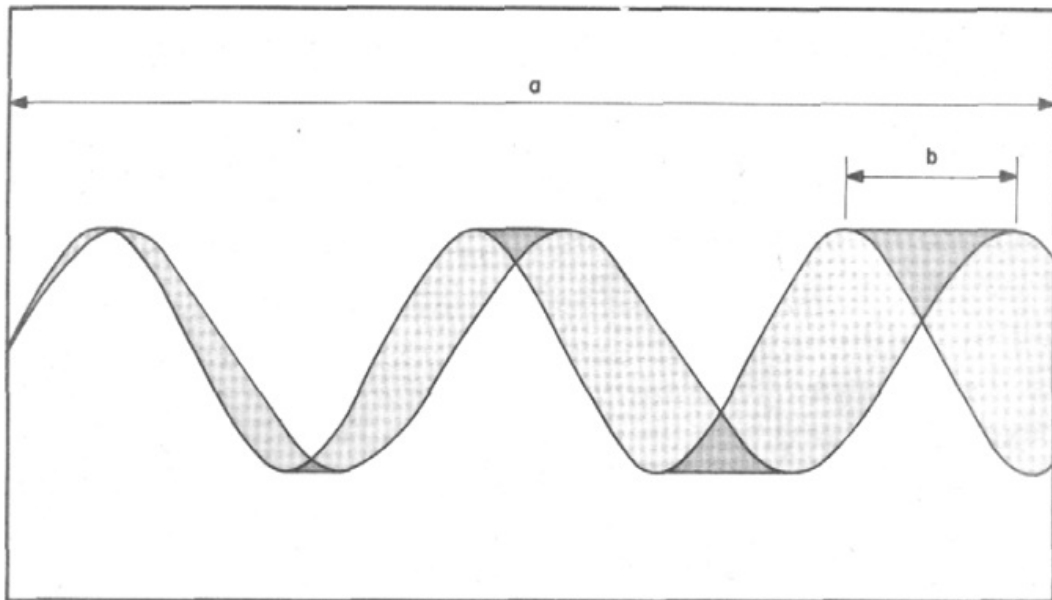


Σχήμα 50 : Διαμόρφωση Συχνότητας FM

Στο παραπάνω σχέδιο (Σχήμα 50) βλέπουμε τη μορφή του διαμορφωμένου σήματος μετά από τη διαμόρφωση συχνότητας με τα χαρακτηριστικά “πυκνώματα” και “αραιώματα” που αναφέραμε παραπάνω.

Η διαμόρφωση συχνότητας χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μουσικής και λόγου, σε καταγραφείς μαγνητικών ταινιών και σε μερικά συστήματα μετάδοσης video. Στα ραδιοσυστήματα με επαρκές εύρος ζώνης παρέχει ένα πλεονέκτημα στην ακύρωση του θορύβου που προκαλείται φυσικά.

Η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος καθορίζει πόσες φορές ανά δευτερόλεπτο η συχνότητα του φορέα αποκλίνει πάνω και κάτω από την ονομαστική του κεντρική συχνότητα. Αυτό καλείται ρυθμός απόκλισης συχνότητας.



Σχήμα 51 : Απόκλιση συχνότητας FM σήματος

Επομένως η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος προσδιορίζει το ρυθμό της απόκλισης συχνότητας αλλά δεν επηρεάζει το ποσό της απόκλισης που είναι αυστηρά μια συνάρτηση του πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος.

Ακολουθεί το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα:

$$s(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c + \frac{\Delta f}{f_m} \sin(2\pi f_m t)\right) = A_c \cos(2\pi f_c + m_f \sin(2\pi f_m t))$$

Όπου m_f είναι ο δείκτης διαμόρφωσης για την FM και είναι ο εξής :

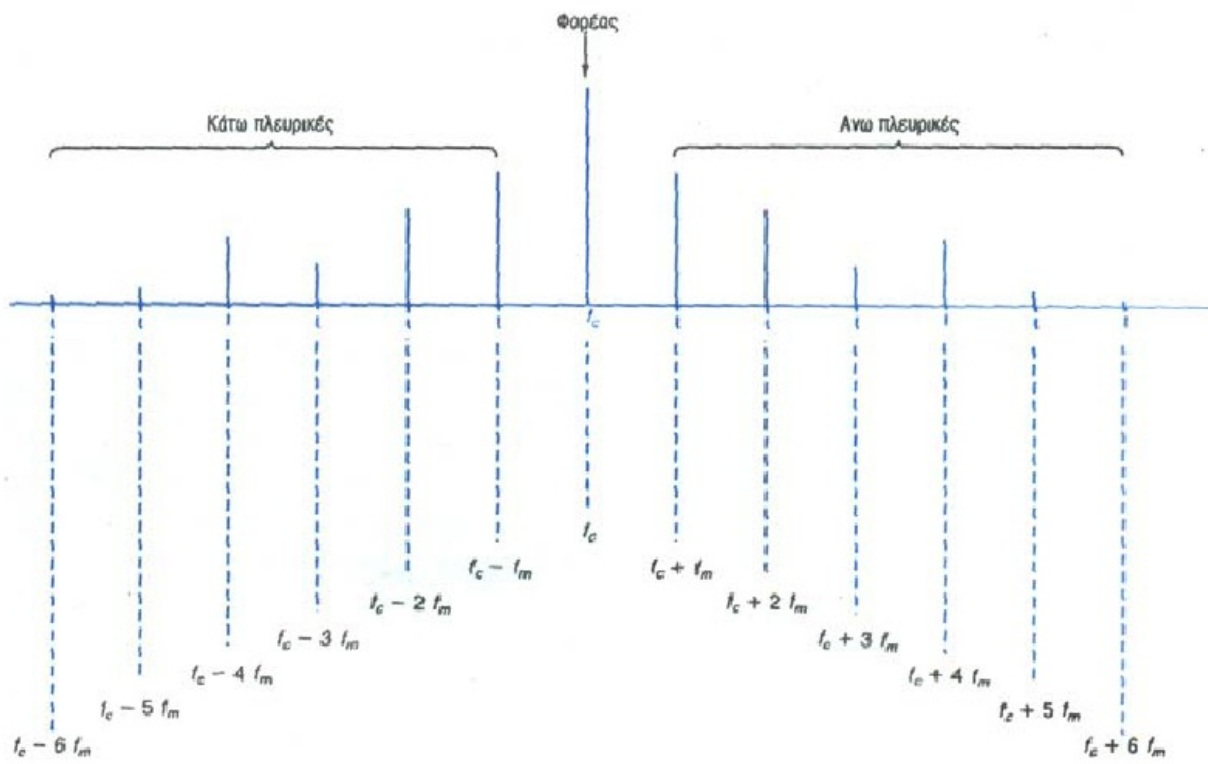
$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{k_f A_m}{f_m}$$

Δf : απόκλιση συχνότητας (μέγιστη διαφορά της στιγμιαίας συχνότητας του διαμορφωμένου σήματος σε σχέση με τη συχνότητα του αδιαμόρφωτου).

K_f : σταθερά απόκλισης συχνότητας.

A_m & f_m : Το πλάτος και η συχνότητα αντίστοιχα του σήματος πληροφορίας.

Στη διαμόρφωση συχνότητας παράγονται άνω και κάτω πλευρικές συχνότητες .Επιπλέον, παράγεται και ένας άπειρος αριθμός ζευγών άνω και κάτω πλευρικών με αποτέλεσμα το φάσμα ενός FM σήματος να είναι ευρύτερο από ένα ισοδύναμο AM σήμα. Οι πλευρικές ζώνες απέχουν από τον φορέα και μεταξύ τους κατά μια συχνότητα ίση με τη διαμορφώουσα συχνότητα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (Σχήμα 52). Επίσης τα πλάτη των πλευρικών διαφέρουν.



Σχήμα 52 : Φάσμα συχνοτήτων ενός FM σήματος

Ο αριθμός των πλευρικών που παράγονται, το πλάτος τους και η απόσταση μεταξύ τους εξαρτώνται από την απόκλιση συχνότητας και τη διαμορφώουσα συχνότητα. Στην FM επεξεργασία μόνο οι πλευρικές με τα μεγαλύτερα πλάτη είναι σημαντικές ως προς τη μεταφορά πληροφορίας και έτσι το εύρος ζώνης ενός FM σήματος στενεύει.

2.8.1 Δείκτης διαμόρφωσης

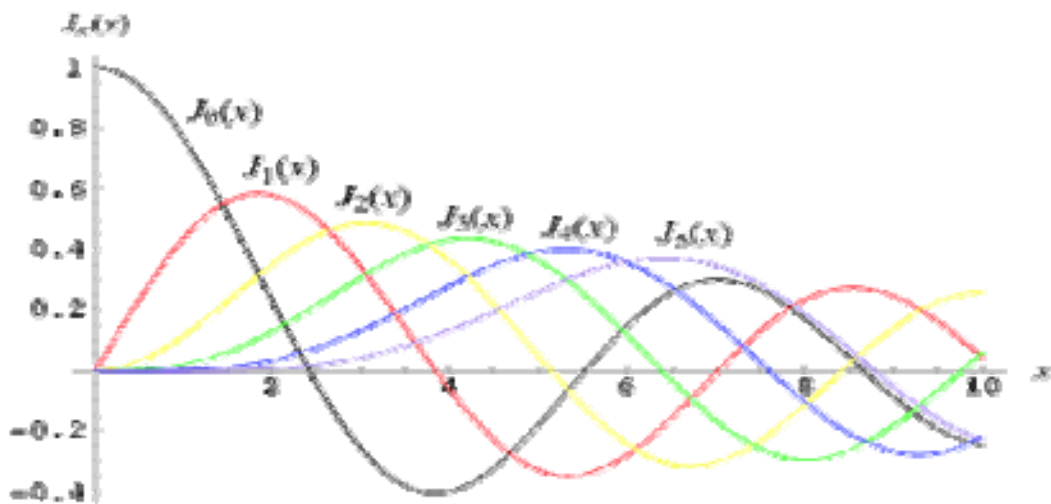
Παραπάνω αναφέρθηκε ο δείκτης διαμόρφωσης m ο οποίος ορίζεται ως η απόκλιση συχνότητας Δf προς την διαμορφώνουσα συχνότητα f_m για διαμόρφωση FM. Οποτεδήποτε η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση συχνότητας και η μέγιστη επιτρεπτή διαμορφώνουσα συχνότητα χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του δείκτη διαμόρφωσης αυτός είναι γνωστός σαν λόγος απόκλισης. Γνωρίζοντας τον δείκτη διαμόρφωσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό αλλά και το πλάτος των σημαντικών πλευρικών. Αυτό επιτυγχάνεται με τις συναρτήσεις *Bessel* το διάγραμμα των οποίων παρουσιάζεται στα σχήματα 53 και 54 που ακολουθούν.

x (CARRIER) (m)	n OR ORDER																
	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—
12.0	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.0	-0.01	0.21	0.04	-0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

Source: B. Cambi, *Bessel Functions*, Dover Publications, Inc., New York, 1948. Courtesy of the publisher.

Σχήμα 53 : Πίνακας πλατών του φορέα και των πλευρικών ζωνών για διαφορετικούς δείκτες διαμόρφωσης των FM σημάτων , βασιζόμενος στις συναρτήσεις Bessel.

Παρατηρώντας τον πίνακα του σχήματος 53 βλέπουμε ότι μερικά από τα πλάτη του φορέα και των πλευρικών έχουν αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα που αντιπροσωπεύεται από αυτό το πλάτος είναι απλώς ολισθημένο σε φάση 180° .



Σχήμα 54: Συναρτήσεις Bessel

Στο Σχήμα 54 παρατηρούμε ότι η συνιστώσα του φέροντος J_0 και οι διάφορες πλευρικές ζώνες συχνοτήτων J_n έχουν μηδενικό πλάτος για συγκεκριμένες τιμές του m . Από αυτές τις καμπύλες μπορούμε να καθορίσουμε τα πλάτη του φέροντος και των πλευρικών ζωνών συχνοτήτων σε σχέση με το μη διαμορφωμένο φέρον. Ο δείκτης διαμόρφωσης m_f μπορεί να αλλάζει μεταβάλλοντας είτε την μέγιστη απόκλιση συχνότητας, είτε την συχνότητα του σήματος που διαμορφώνει.

2.8.2 Εύρος Ζώνης των σημάτων FM

Το φάσμα ενός σήματος μεταβάλλεται σημαντικά σε εύρος ζώνης ανάλογα με το δείκτη διαμόρφωσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διαμόρφωσης, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης του σήματος FM. Έτσι όταν χρειάζεται εξοικονόμηση φάσματος μπορούμε να περιορίσουμε το φάσμα του σήματος θέτοντας ένα ανώτερο όριο στο δείκτη διαμόρφωσης.

Το εύρος ζώνης μπορεί να προσδιορισθεί με τον απλό τύπο :

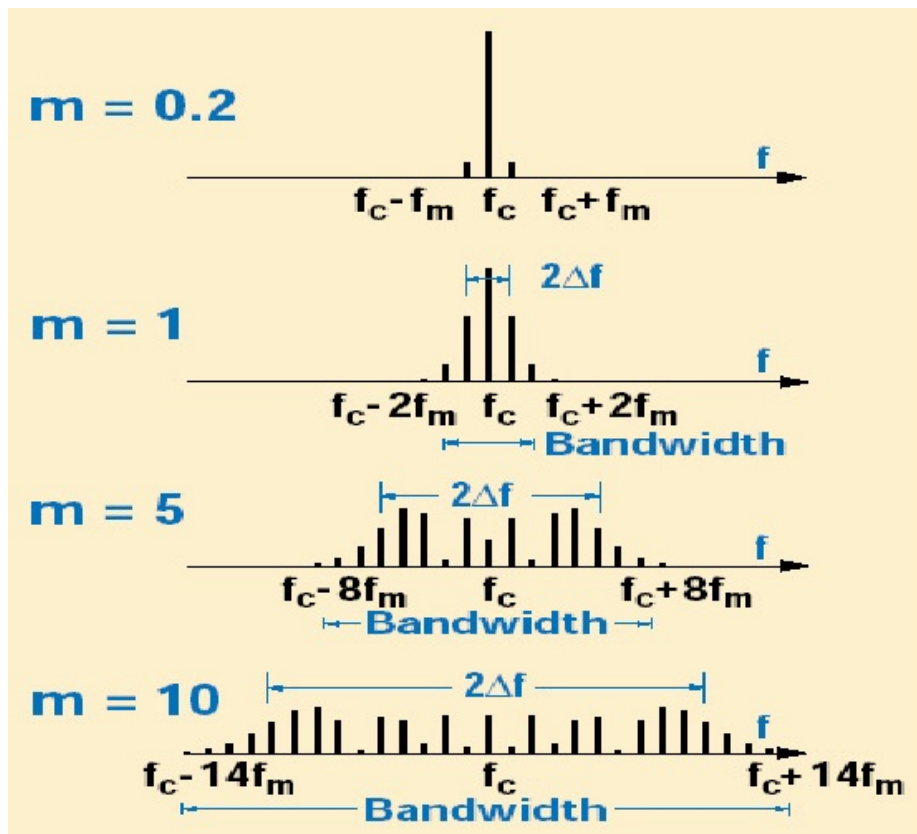
$$BW = 2f_m^* \text{ (αριθμός σημαντικών πλευρικών)}$$

Ένας άλλος τρόπος να υπολογίσουμε το εύρος ζώνης είναι με τον κανόνα του Carson που δίνεται από τη σχέση που ακολουθεί :

$$BW = 2 (\Delta f_{\max} + f_{m \max})$$

Όπου Δf_{\max} είναι η μέγιστη απόκλιση συχνότητας. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος ζώνης του FM είναι ίσο με το διπλάσιο του αθροίσματος του εύρους ζώνης του σήματος που διαμορφώνει και της μέγιστης απόκλισης συχνότητας. Εφόσον ισχύει για ένα σύστημα ο κανόνας Carson, τότε, θα διέρχεται αρκετή ισχύς από τις πλευρικές ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης ευκρίνεια του σήματος πληροφορίας.

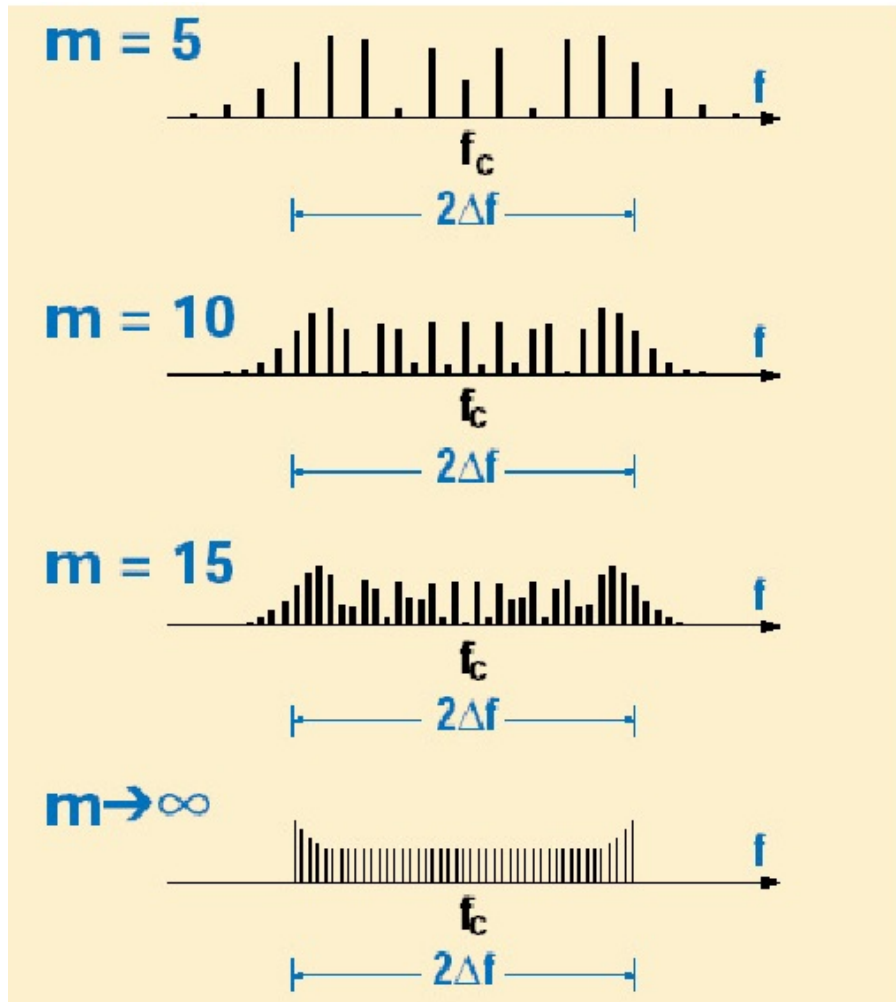
Παρακάτω στο Σχήμα 55 βλέπουμε τα φάσματα ενός σήματος για $m = 0.2, 1, 5,$ και 10 . Το ημιτονοειδές διαμορφώνον σήμα έχει σταθερή συχνότητα f_m , έτσι το m είναι ανάλογο προς το πλάτος του.



Σχήμα 55 : Φάσματα σήματος FM για f_m σταθερό και με μεταβαλλόμενο m (δείκτη διαμόρφωσης) για $0.2, 1, 5$ και 10 .

Ακολουθεί το Σχήμα 56 όπου το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος κρατιέται σταθερό και το m ποικίλλει με την αλλαγή της συχνότητας του

διαμορφώνοντας σήματος. Σημειώστε ότι τα επιμέρους φασματικά συστατικά παρουσιάζονται για $m = 5$, 10 , και 15 . Για $m \rightarrow \infty$, τα συστατικά δεν διακρίνονται, αλλά η περιβάλλουσα είναι σωστή.



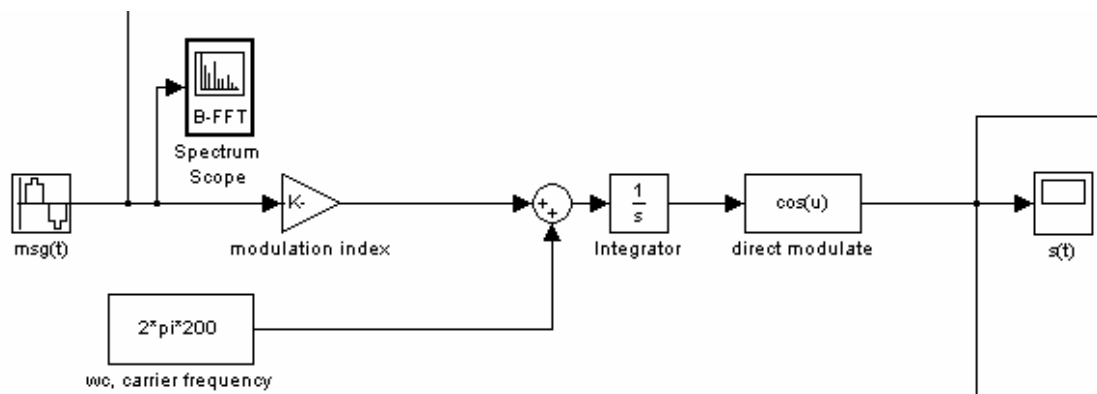
Σχήμα 56 : Φάσματα σήματος FM για $m_f = 5$, 10 , και 15 και με το πλάτος A_m σταθερό.

Συμπεραίνουμε πως για πολύ χαμηλούς δείκτες διαμόρφωσης (m_f λιγότερο από 0.2), παίρνουμε μόνο ένα σημαντικό ζευγάρι των πλευρικών ζωνών συχνοτήτων. Η απαραίτητη ζώνη μετάδοσης (Bandwidth – B) είναι σε αυτήν την περίπτωση δύο φορές το f_m , ($B \approx 2 f_m$) όπως και στην AM διαμόρφωση. Για πολύ υψηλούς δείκτες διαμόρφωσης (το m περισσότερο από 100), το εύρος ζώνης μετάδοσης είναι δύο φορές το Δf . Για τις τιμές του m μεταξύ αυτών των ορίων, πρέπει να μετρήσουμε τις σημαντικές πλευρικές ζώνες συχνοτήτων για να καθορίσουμε το εύρος ζώνης μετάδοσης. Στις

περιπτώσεις αυτές το εύρος ζώνης μετάδοσης προσδιορίζεται από τον κανόνα Carson.

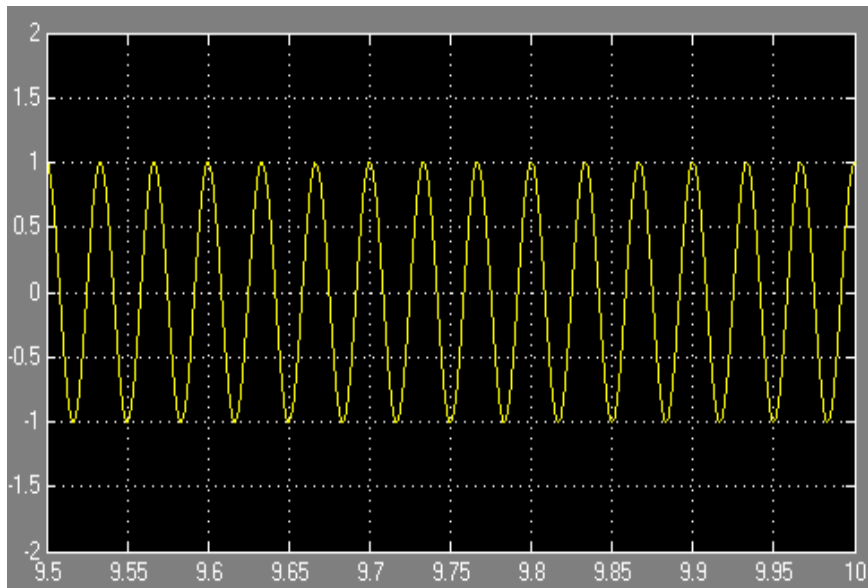
2.8.3 Προσομοίωση διαμόρφωσης συχνότητας FM

Το μοντέλο που υλοποιείται είναι αυτό του διαμορφωτή συχνότητας FM. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 57) απεικονίζεται το μπλοκ διάγραμμα του διαμορφωτή συχνότητας ενός απλού τόνου όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Ως σήμα πληροφορίας στην είσοδο του διαμορφωτή χρησιμοποιήθηκε ένα ημίτονο με πλάτος 1, συχνότητα 30Hz και περίοδο δειγματοληψίας 1/1000 sec. Αυτό το ημίτονο πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή $1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3$ (δείκτης διαμόρφωσης m_f) και στην συνέχεια προστίθεται στο σήμα πληροφορίας ένα φέρων σήμα συχνότητας 200Hz, το σήμα που προκύπτει περνά μέσα από έναν ολοκληρωτή και στην συνέχεια εισέρχεται ως όρος ενός συνημίτονου.

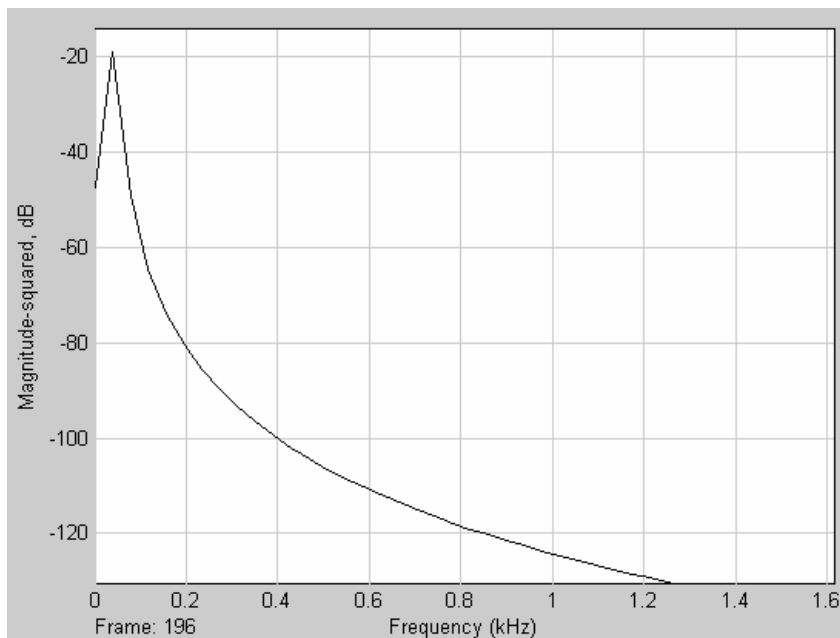


Σχήμα 57 : Κύκλωμα διαμόρφωσης συχνότητας ενός σήματος στο Simulink.

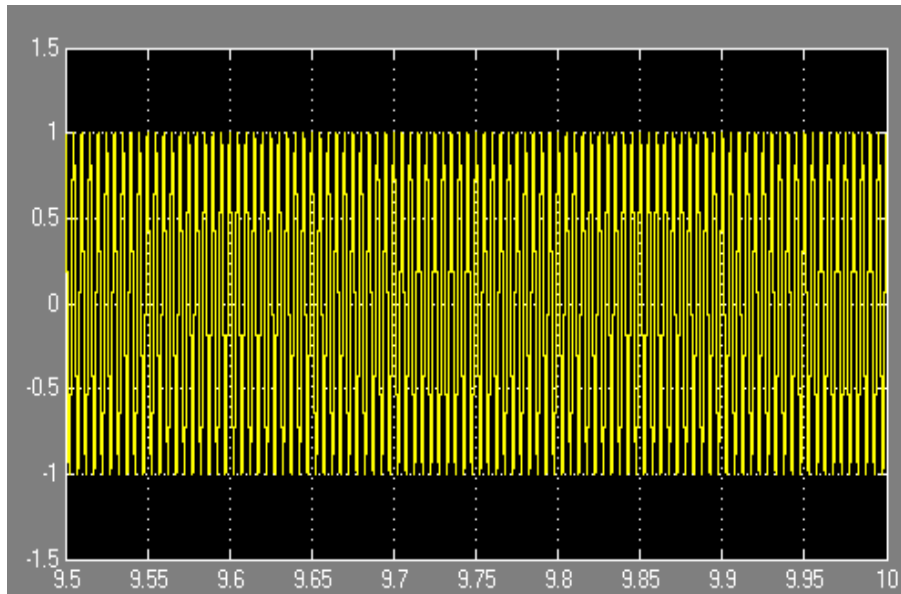
Ακολουθούν στο πεδίο του χρόνου αλλά και της συχνότητας το σήμα πληροφορίας, το φέρων αλλά και το διαμορφωμένο σήμα .



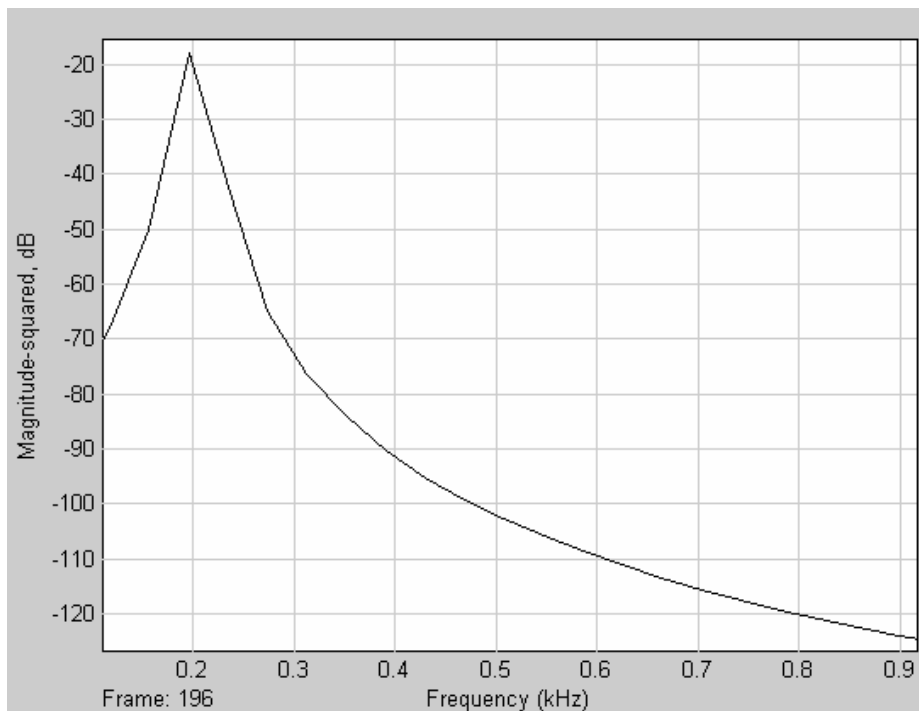
Σχήμα 58 : Το σήμα πληροφορίας στο πεδίο του χρόνου.



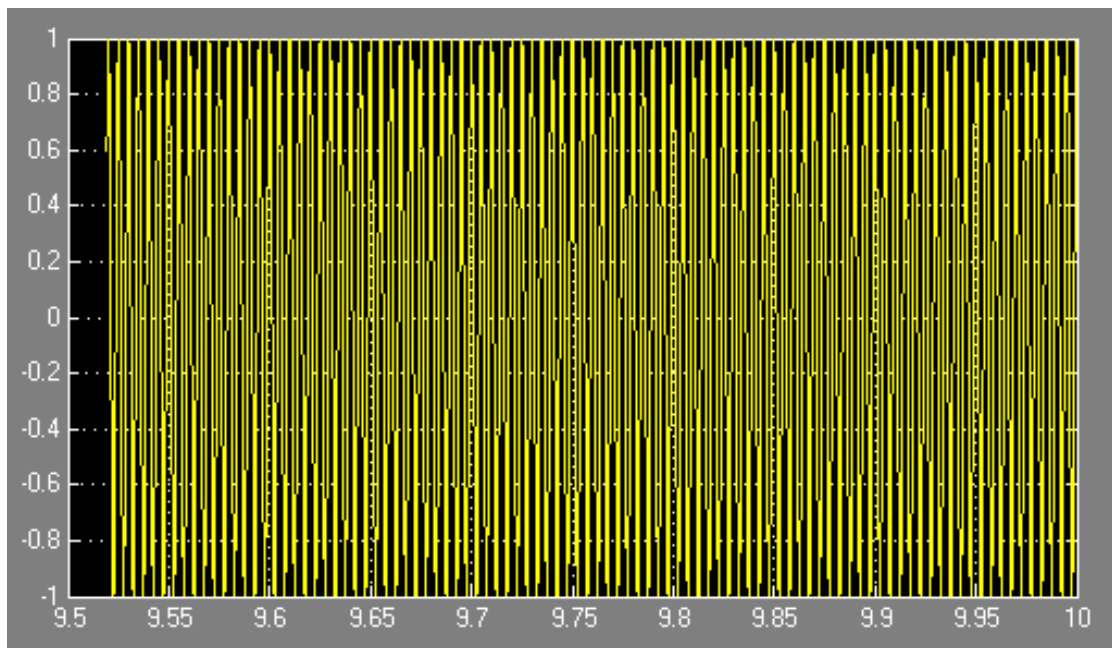
Σχήμα 59 : Το σήμα πληροφορίας στο πεδίο της συχνότητας



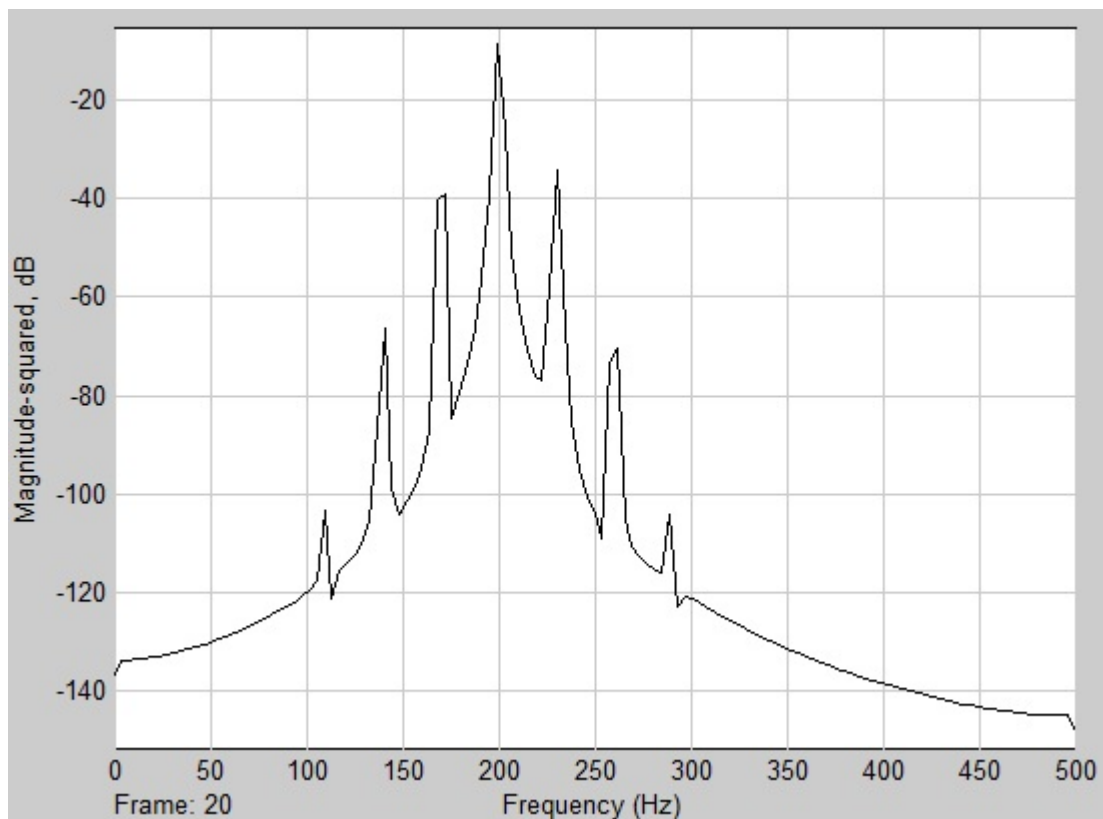
Σχήμα 60 : Το φέρον στο πεδίο του χρόνου



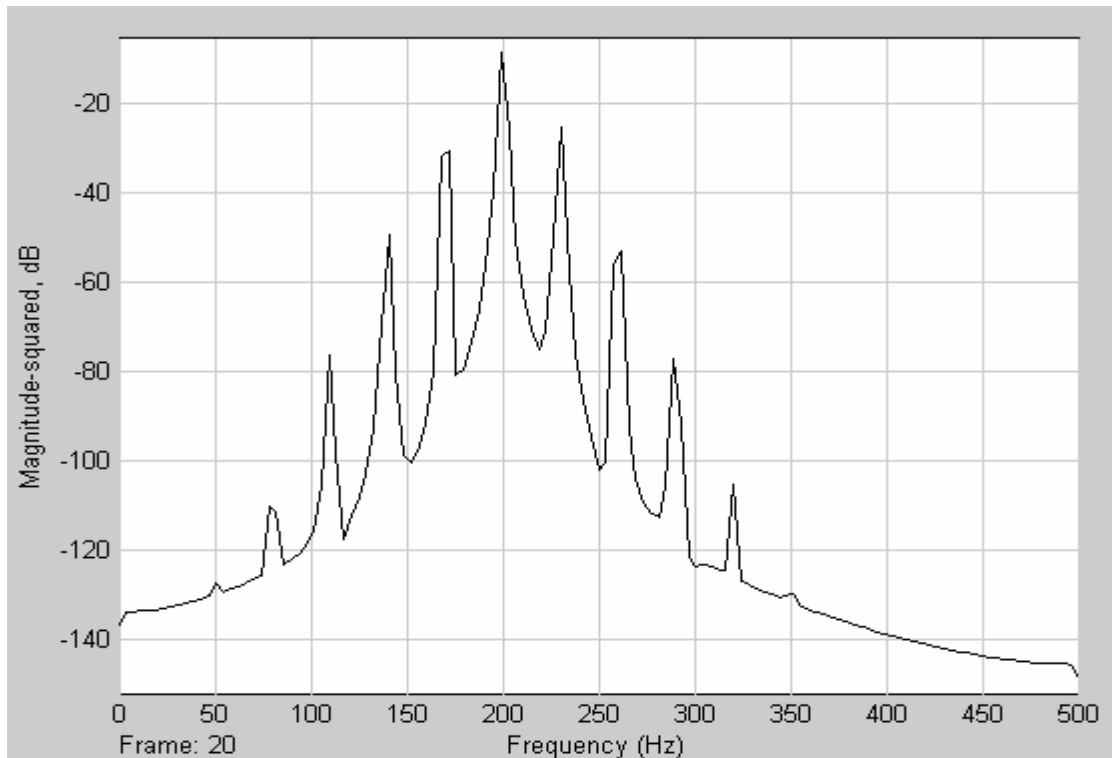
Σχήμα 61 : Το φέρον στο πεδίο της συχνότητας



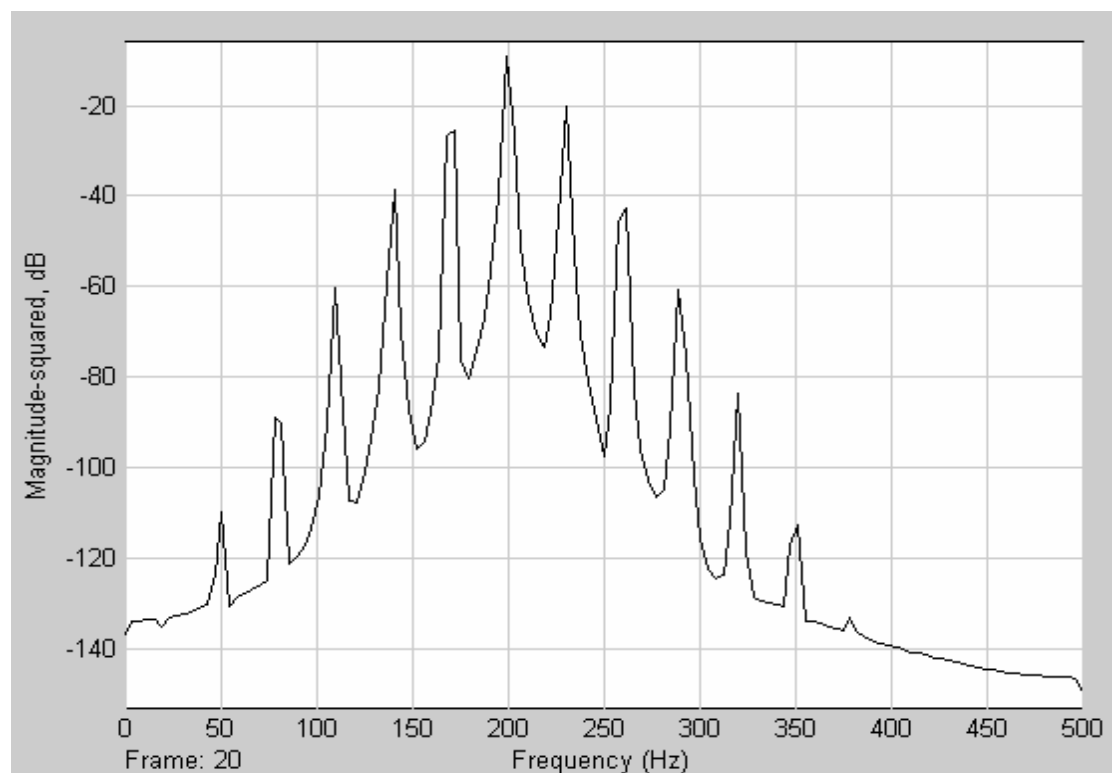
Σχήμα 62 : Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου



Σχήμα 63 : Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας, όπου το $m_f = 3$.

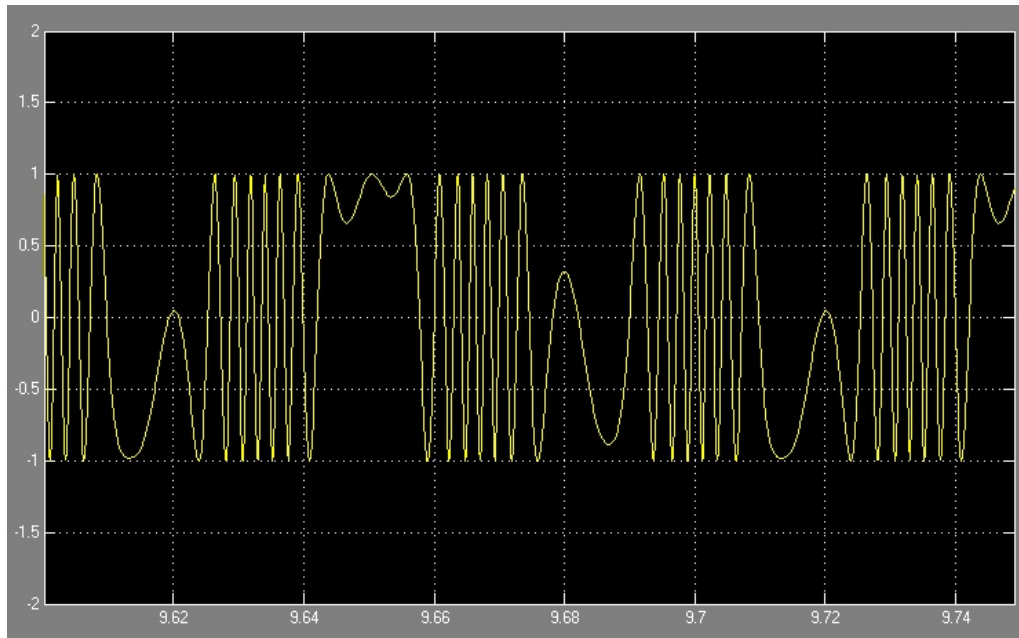


Σχήμα 64 : Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας, όπου το $m_f = 8$.



Σχήμα 65 : Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας, όπου το $m_f = 15$.

Στην προσομοίωση για να παρατηρήσουμε τις αλλαγές που παρουσιάζει το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου, πρέπει να έχουμε πολύ μεγάλο δείκτη διαμόρφωσης. Π.χ. για $m_f = 250$:

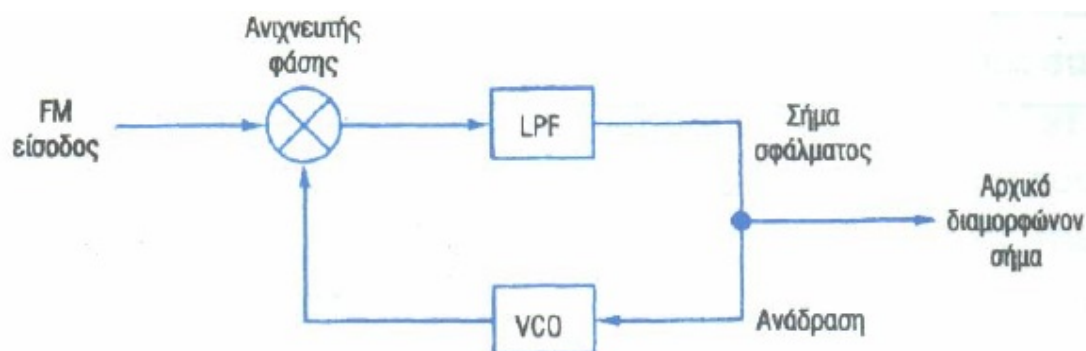


Σχήμα 66 : Το διαμορφωμένο σήμα κατά FM στο πεδίο του χρόνου με δείκτη διαμόρφωσης $m_f = 250$

2.9 Αποδιαμόρφωση συχνότητας FM

Ο καλύτερος αποδιαμορφωτής συχνότητας είναι ο *βρόγχος κλειδωμένης φάσης (PLL)*, που είναι ένα κύκλωμα ελέγχου με ανάδραση συχνότητας. Χρησιμοποιείται όχι μόνο στην αποδιαμόρφωση συχνότητας αλλά επίσης σε συνθέτες συχνοτήτων και σε διάφορες εφαρμογές φιλτραρίσματος και ανίχνευσης σημάτων.

Τα τρία βασικά στοιχεία που συνθέτουν το PLL και απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 67) είναι ένας ανιχνευτής φάσης ή ένας μίκτης για σύγκριση του σήματος εισόδου ή αναφοράς με την έξοδο VCO. Η συχνότητα VCO μεταβάλλεται από την dc τάση εξόδου ενός χαμηλοπερατού φίλτρου. Ενώ η dc τάση ελέγχου παράγεται από το χαμηλοπερατό φίλτρο χρησιμοποιώντας την έξοδο του ανιχνευτή φάσης.



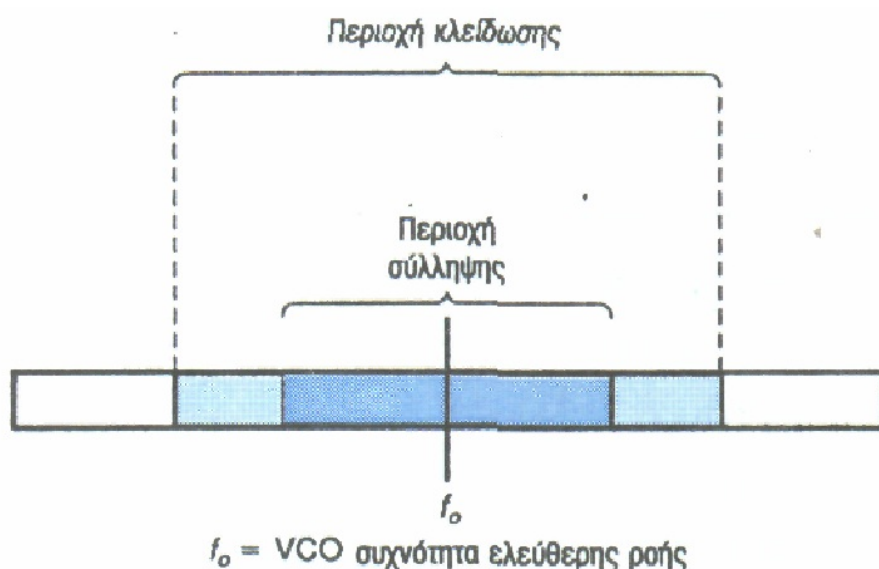
Σχήμα 67 : Τα θεμελιώδη στοιχεία ενός PLL (Phase-Locked -loop)

Η κύρια δουλειά του ανιχνευτή φάσης είναι να συγκρίνει τα δύο σήματα εισόδου και να παράγει ένα σήμα εξόδου που κατόπιν φιλτραρίσματος μέσω ενός LowPassFilter θα ελέγχει το VCO. Αν υπάρχει διαφορά φάσης ή συχνότητας μεταξύ των δύο σημάτων εισόδου και του VCO, η έξοδος του ανιχνευτή φάσης θα μεταβάλλεται ανάλογα. Η έξοδος του φίλτρου θα ρυθμίζει τη συχνότητα VCO ώστε να διορθώνει τις μεταβολές της αρχικής συχνότητας. Αυτή η dc τάση καλείται σήμα σφάλματος και είναι επίσης η ανάδραση σε αυτό το κύκλωμα.

Όταν οι έξοδοι του ανιχνευτή φάσης και του χαμηλοπερατού φίλτρου είναι μηδέν ο VCO λειτουργεί σε μια *συχνότητα ελεύθερης ροής* που καθορίζεται από τα εσωτερικά του στοιχεία καθορισμού συχνότητας.

Εφαρμόζοντας ένα σήμα εισόδου με συχνότητα κοντά στην συχνότητα του VCO ο ανιχνευτής φάσης θα συγκρίνει τις δύο συχνότητες και θα δώσει μια τάση εξόδου ανάλογη με την διαφορά συχνότητας. Η dc τάση που προκύπτει εφαρμόζεται στον VCO και αναγκάζει την συχνότητα του να κινηθεί προς μία κατεύθυνση που να μειώνει την dc τάση σφάλματος. Με την σειρά της η τάση σφάλματος ωθεί την VCO συχνότητα να αλλάζει προς μια κατεύθυνση που

ελαττώνει την διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων, των VCO και της εισόδου. Κάποια στιγμή η τάση σφάλματος θα ωθήσει την VCO συχνότητα να γίνει ίση με την συχνότητα εισόδου. Τότε λέμε πως το PLL είναι «κλειδωμένο» (Locked). Επίσης θα υπάρχει μία διαφορά φάσης (μεταξύ των συχνοτήτων VCO και εισόδου) η οποία θα παράγει την dc τάση εξόδου που αναγκάζει το VCO με την σειρά του να παράγει την συχνότητα που θα κρατά το κύκλωμα «κλειδωμένο». Οποιαδήποτε μεταβολή συμβεί στην συχνότητα του σήματος εισόδου θα ρυθμιστεί με μια μεταβολή της VCO συχνότητας με σκοπό την διατήρηση του «κλειδωμένου» κυκλώματος.



Σχήμα 68 : Περιοχές σύλληψης και κλειδωσης ενός PLL.

Σε ένα PLL ο VCO παρακολουθεί την συχνότητα εισόδου μέσα σε μια περιοχή συχνοτήτων (πάνω και κάτω από την συχνότητα ελεύθερης ροής του VCO) κατά την οποία το PLL θα παραμένει «κλειδωμένο». Αυτή η περιοχή ονομάζεται *περιοχή κλειδωσης*. Σε περίπτωση που η συχνότητα εισόδου δεν βρίσκεται εντός της προαναφερθείσα περιοχής η VCO συχνότητα εξόδου παίρνει την τιμή της συχνότητας ελεύθερης ροής του VCO.

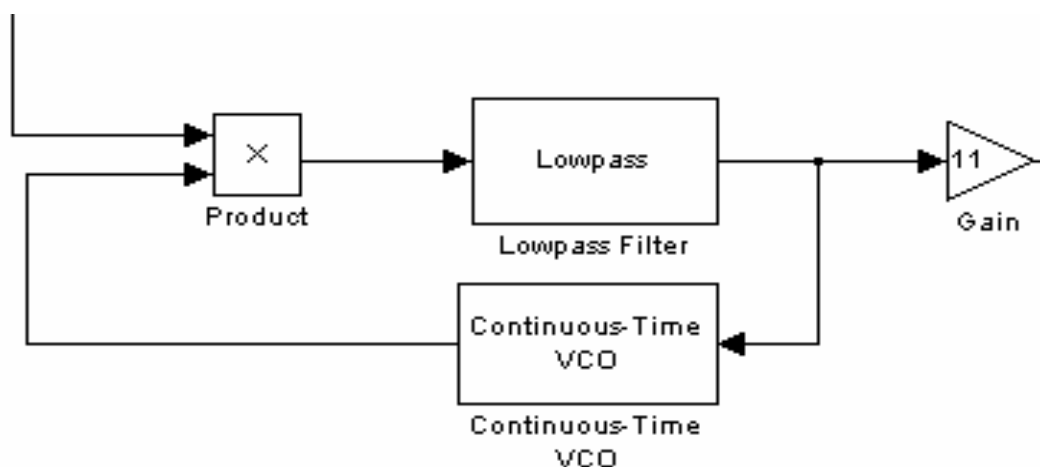
Εφόσον το κύκλωμα βρίσκεται σε κλειδωμένη κατάσταση, ο ανιχνευτής φάσης θα καθορίζει την διαφορά φάσης μεταξύ VCO συχνότητας (ελεύθερης ροής) και των συχνοτήτων εισόδου που θα δημιουργούν το σήμα σφάλματος το οποίο θα αναγκάζει το VCO να εξισώνεται με τη συχνότητα εισόδου. Αφού ληφθεί το σήμα εισόδου το PLL παραμένει κλειδωμένο παρακολουθώντας το

για τυχόν μεταβολές και για όσο χρόνο παραμένει στην περιοχή κλείδωσης. Η λήψη του σήματος εισόδου γίνεται σε μια περιοχή συχνοτήτων γνωστή ως περιοχή σύλληψης. Όπως φαίνεται παραπάνω στο Σχήμα 68 είναι πολύ στενότερη από την περιοχή κλείδωσης και γύρω από την συχνότητα ελεύθερης ροής του VCO.

Με μια πρώτη όψη το PLL θυμίζει ζωνοπερατό φίλτρο, είναι πολύ αποτελεσματικό στην εξάλειψη του θορύβου και των παρεμβολών σε ένα σήμα.

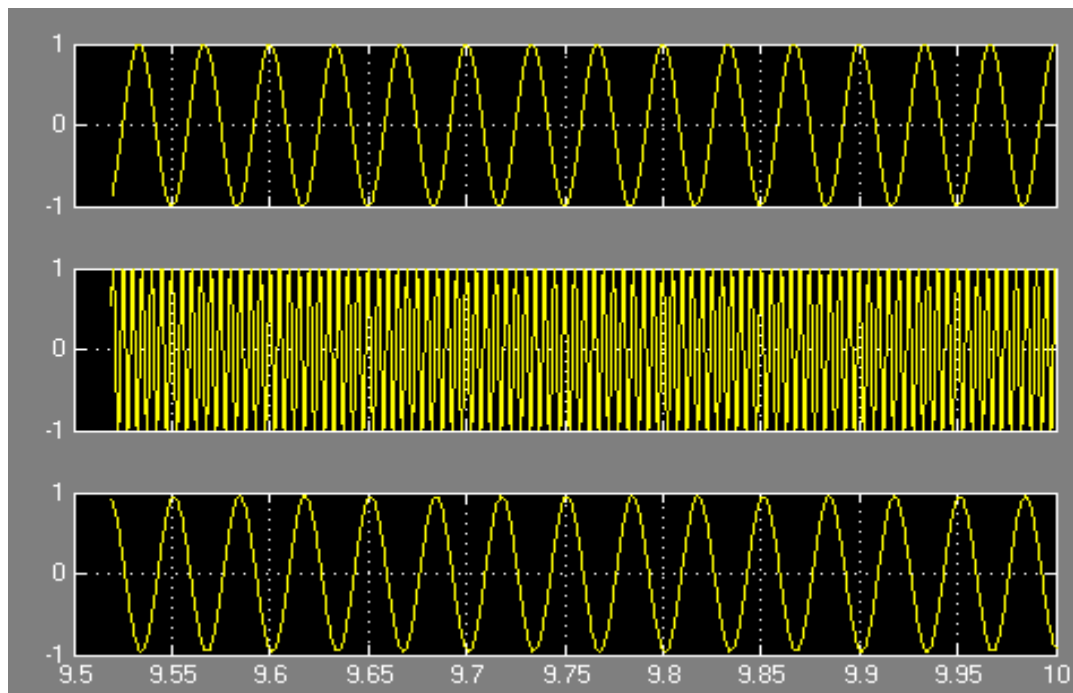
2.9.1 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης συχνότητας FM

Παρακάτω στο Σχήμα 69 φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα του αποδιαμορφωτή συχνότητας όπως σχεδιάστηκε στο Simulink. Το διαμορφωμένο σήμα μπαίνει ως είσοδος σε ένα PLL το οποίο αποτελείται από ένα βαθυπερατό φίλτρο (Lowpass filter) και έναν ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση (VCO), στην έξοδο από το PLL, το αναδιαμορφωμένο σήμα πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή 11 για να αποκτήσει το επιθυμητό πλάτος (Η τιμή αυτή αλλάζει ανάλογα με τις τιμές των σημάτων που επιλέγει ο χρήστης).

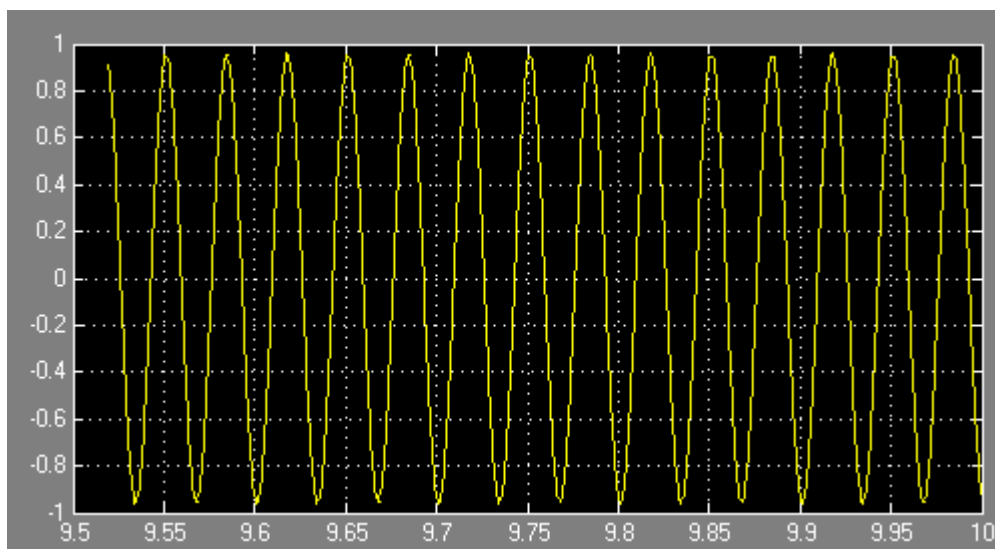


Σχήμα 69 : Προσομοίωση ενός αποδιαμορφωτή συχνότητας (PLL) στο Simulink

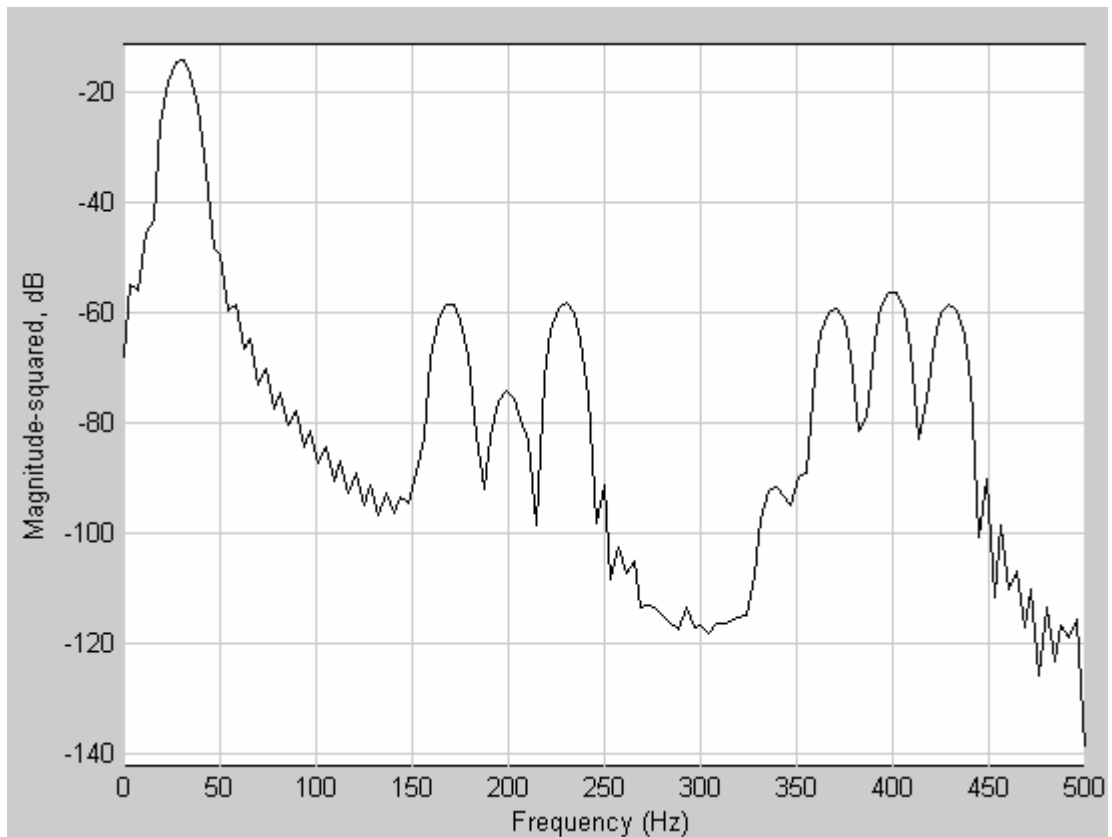
Ακολουθούν τα αποτελέσματα σε πεδίο χρόνου και συχνότητας για το αποδιαμορφωμένο σήμα :



Σχήμα 70 : Κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω εμφανίζονται στο πεδίο του χρόνου - Το αρχικό σήμα πληροφορίας , το διαμορφωμένο σήμα και το αποδιαμορφωμένο σήμα.



Σχήμα 71 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου



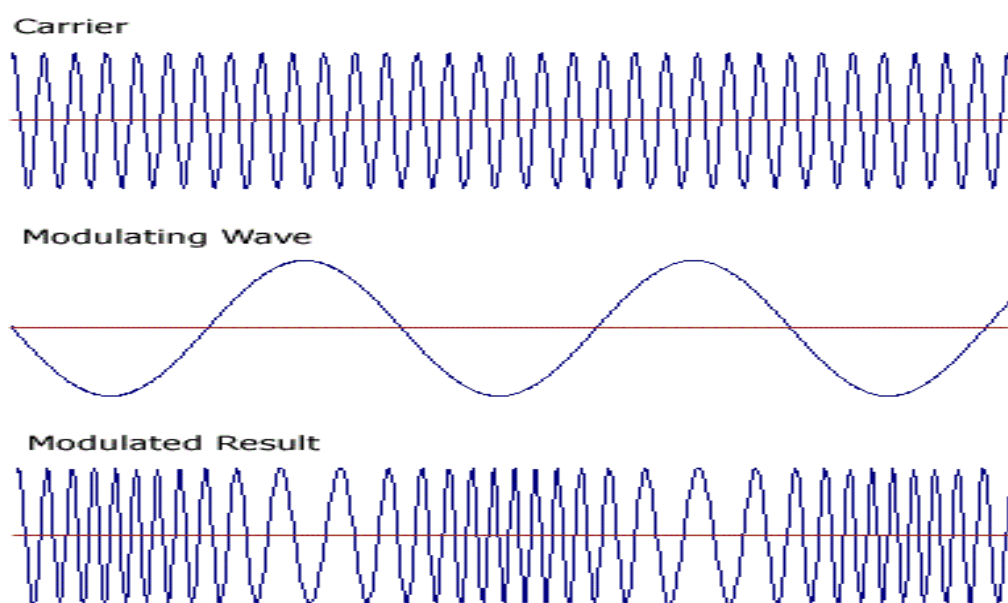
Σχήμα 72 : Το φάσμα του αποδιαμορφωμένου σήματος

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 70 διακρίνεται μία διαφορά φάσης μεταξύ αποδιαμορφωμένου και αρχικού σήματος πληροφορίας. Επίσης, η συχνότητα του αποδιαμορφωμένου σήματος (Σχήμα 72) είναι ίδια με την συχνότητα του αρχικού σήματος πληροφορίας, 30Hz.

2.10 Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση φάσης PM

Ένας άλλος τρόπος γωνιακής διαμόρφωσης είναι να μεταβάλλουμε το ποσό της ολισθησης της φάσης ενός φορέα σταθερής συχνότητας σύμφωνα με ένα διαμορφώνον σήμα. Η έξοδος που προκύπτει είναι ένα **Phase-Modulated** σήμα. Τα σήματα FM και PM είναι παρόμοια και οι μηδενισμοί των σημάτων δεν απέχουν το ίδιο. Στους μηδενισμούς αυτούς μεταφέρεται και η πληροφορία του διαμορφωμένου σήματος. Το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος παραμένει το ίδιο ενώ με μια πρώτη όψη σε έναν παλμογράφο τα δύο είδη διαμορφώσεων δεν διακρίνονται εύκολα.

Παρακάτω στο Σχήμα 73 φαίνεται μια διαμορφωμένη κατά PM κυματομορφή.



Σχήμα 73 : Διαμόρφωση Φάσης PM

Αν στον ολισθητή φάσης εφαρμοσθεί ένας φορέας ημιτονικού κύματος σταθερού πλάτους και σταθερής συχνότητας, η έξοδος του ολισθητή φάσης θα είναι ένα PM κύμα. Έστω ότι ένα ημιτονικό σήμα πληροφορίας $m(t)$, όπου :

$$m(t) = A_m \cos (2\pi f_m t)$$

Το προκύπτον διαμορφωμένο κατά PM σήμα θα έχει την μορφή :

$$s(t) = A_c \cos (2 \pi f_c t + m_p \cos (2 \pi f_m t))$$

, όπου το m_p είναι ο δείκτης διαμόρφωσης της PM διαμόρφωσης:

$$m_p = k_p A_m$$

K_p : σταθερά απόκλισης φάσης,

A_m : Πλάτος σήματος πληροφορίας.

Όταν το διαμορφώνον σήμα αυξάνεται προς τα θετικά, το ποσό της καθυστέρησης της φάσης αυξάνεται ανάλογα με το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος του φορέα καθυστερεί. Η καθυστέρηση αυτή αυξάνεται με το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος. Το αποτέλεσμα στην έξοδο είναι το σήμα του φορέα να έχει μια απλωμένη μορφή ή να φαίνεται με ελαττωμένη τη συχνότητα. Όταν το διαμορφώνον σήμα πηγαίνει προς τα αρνητικά, η ολίσθηση φάσης προπορεύεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο φορέας να εμφανίζεται σαν να επιταχύνεται ή συμπιέζεται ή με άλλα λόγια, σαν να αυξήθηκε η συχνότητα του. Η διαμόρφωση φάσης παράγει διαμόρφωση συχνότητας. Εφόσον το ποσό ολίσθησης της φάσης μεταβάλλεται, το αποτέλεσμα είναι σαν να μεταβάλλεται η συχνότητα του φορέα.

Στην PM το μέγιστο ποσό προήγησης ή καθυστέρησης της ολίσθησης της φάσης συμβαίνει στις κορυφές πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος. Η απόκλιση συχνότητας στην έξοδο του ολισθητή φάσης εξαρτάται από το ρυθμό μεταβολής του διαμορφώνοντος σήματος. Όσο πιο γρήγορα μεταβάλλεται η τάση του διαμορφώνοντος σήματος τόσο πιο μεγάλη απόκλιση συχνότητας παράγεται. Λόγω αυτού η απόκλιση συχνότητας που παράγεται στην PM αυξάνεται με τη συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος. Όσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος τόσο πιο γρήγορα μεταβάλλεται η τάση. *Μεγαλύτερες διαμορφώνουσες τάσεις παράγουν μεγαλύτερη ολίσθηση φάσης η οποία στη συνέχεια παράγει μεγαλύτερη απόκλιση συχνότητας.* Ωστόσο υψηλότερες διαμορφώνουσες συχνότητες παράγουν ένα ταχύτερο ρυθμό μεταβολής της διαμορφώνουσας και επομένως παράγουν επίσης μεγαλύτερη απόκλιση συχνότητας. *Άρα στην PM η απόκλιση συχνότητας του φορέα είναι ανάλογη και της διαμορφώνουσας συχνότητας και του διαμορφώνοντος πλάτους.*

Συμπεραίνεται λοιπόν πως υπάρχει μια ισοδυναμία μεταξύ FM και PM σημάτων όπου :

Το διαμορφωμένο σήμα FM που προκύπτει από την παράγωγο, του προς διαμόρφωση σήματος αντιστοιχεί σε διαμορφωμένο σήμα PM.

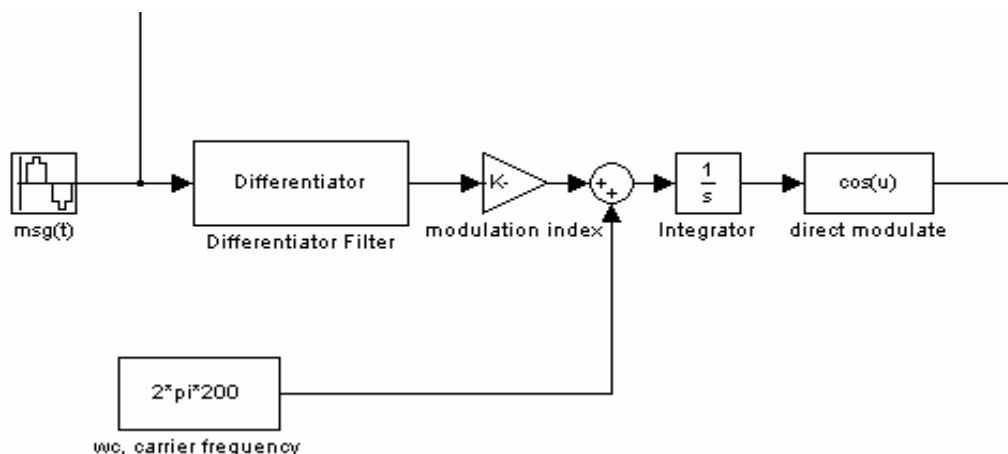
Το διαμορφωμένο σήμα PM που προκύπτει από το ολοκλήρωμα, του προς διαμόρφωση σήματος αντιστοιχεί σε διαμορφωμένο σήμα FM.



Η **αποδιαμόρφωση των PM σημάτων** γίνεται όπως και στην FM με την χρήση ενός βρόγχου κλειδωμένης φάσης (PLL) που αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο (Αποδιαμόρφωση FM).

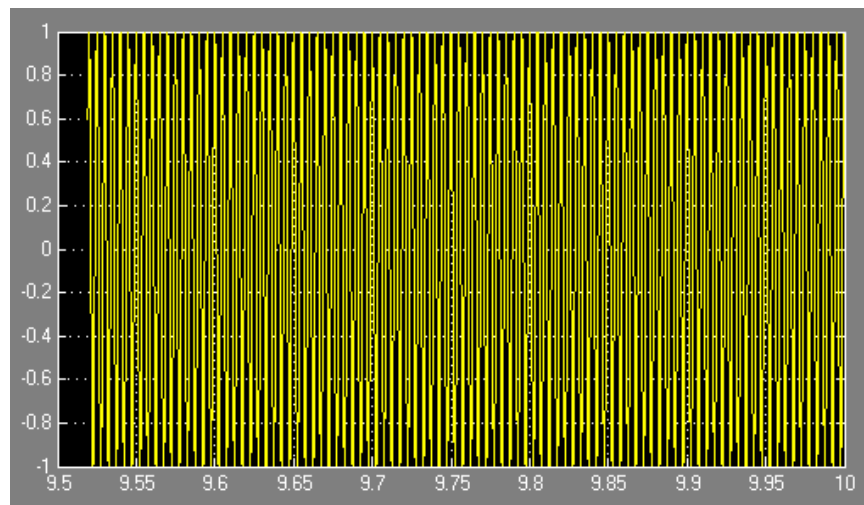
2.10.1 Προσομοίωση διαμόρφωσης PM

Η διαφορά του μοντέλου προσομοίωσης της διαμόρφωσης PM από το μοντέλο FM είναι ένας differentiator που τοποθετούμε πριν από το block του δείκτη διαμόρφωσης. Για την προσομοίωση χρησιμοποιούνται οι ίδιες τιμές με την διαμόρφωση FM. Ακολουθεί ένας διαμορφωτής PM σχεδιασμένος στο Simulink.

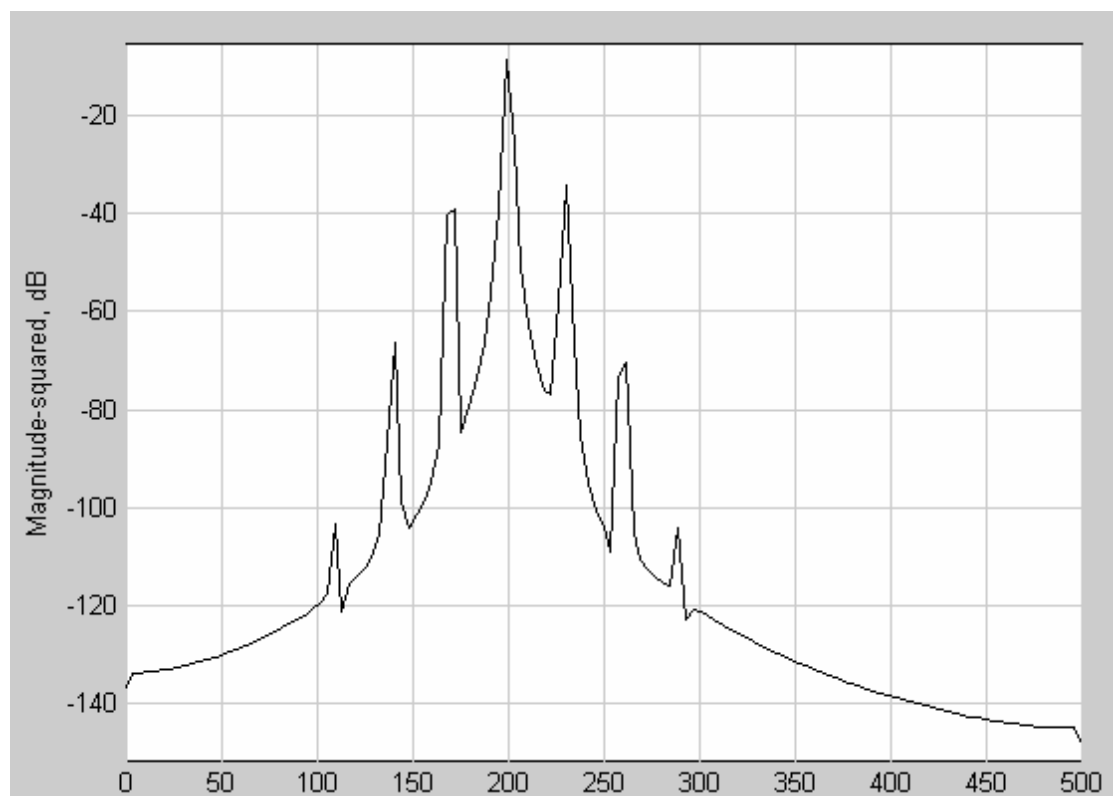


Σχήμα 74 : Διαμορφωτής PM

Ακολουθούν τα αποτελέσματα σε πεδίο χρόνου και συχνότητας για ένα διαμορφωμένο κατά φάσης σήματος :



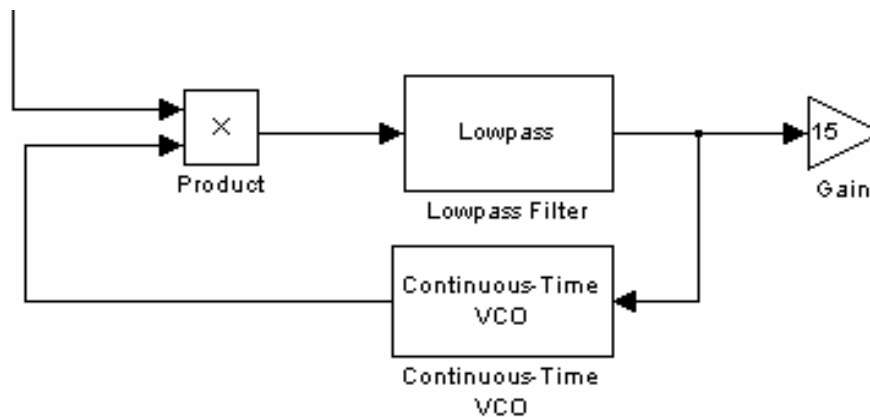
Σχήμα 75 : Το διαμορφωμένο PM σήμα στο πεδίο του χρόνου



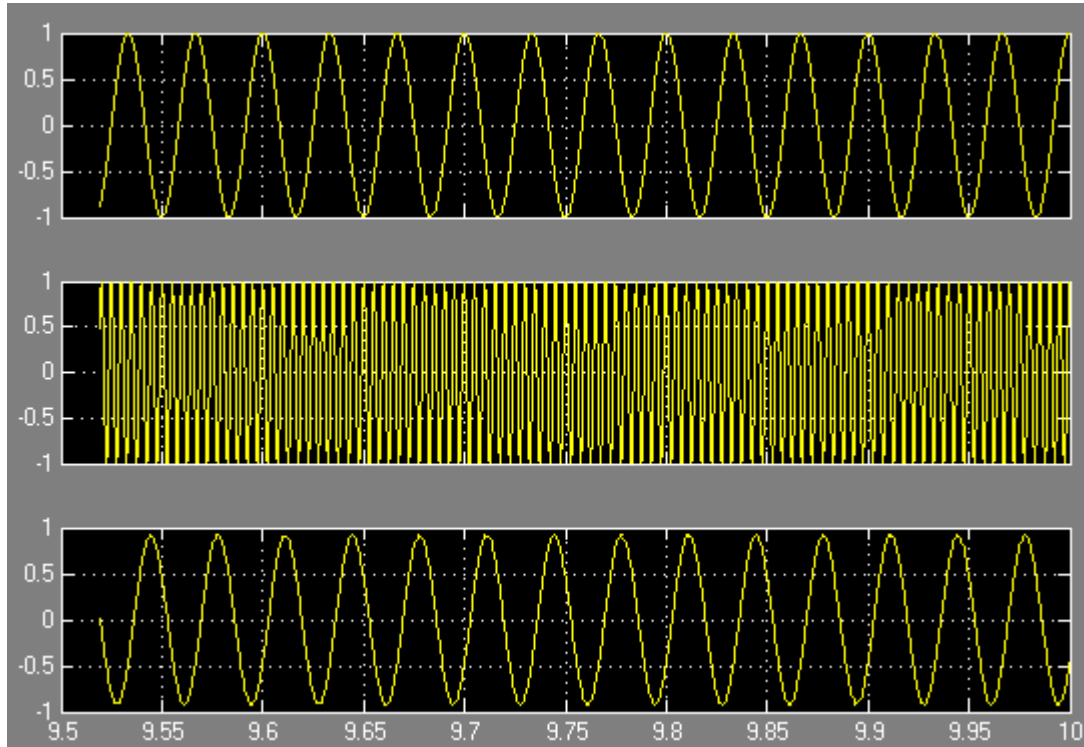
Σχήμα 76 : Το φάσμα συχνοτήτων του διαμορφωμένου PM σήματος για $m_p = 100$

2.10.2 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης PM

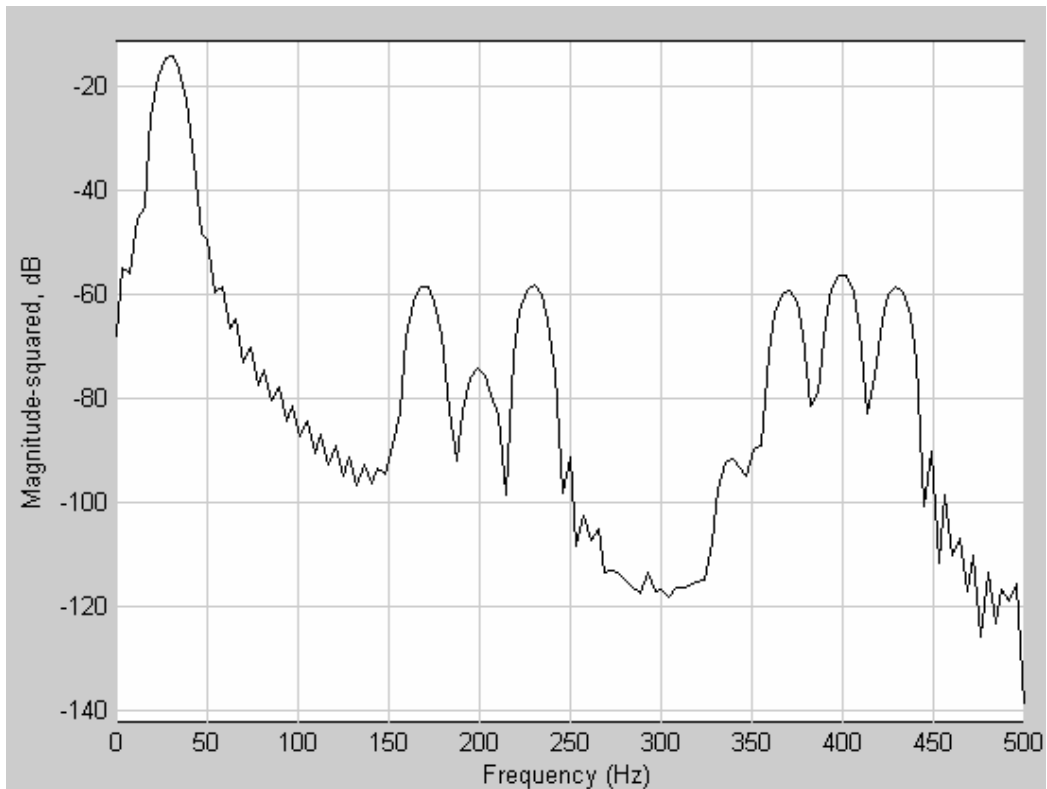
Για την αποδιαμόρφωση PM εφαρμόζουμε την τεχνική του βρόγχου κλειδωμένης φάσης (PLL) με μόνη αλλαγή τον συντελεστή που πολλαπλασιάζεται το αποδιαμορφωμένο σήμα για να αποκτήσει το κατάλληλο πλάτος.



Σχήμα 77 : Αποδιαμορφωτής PM σήματος

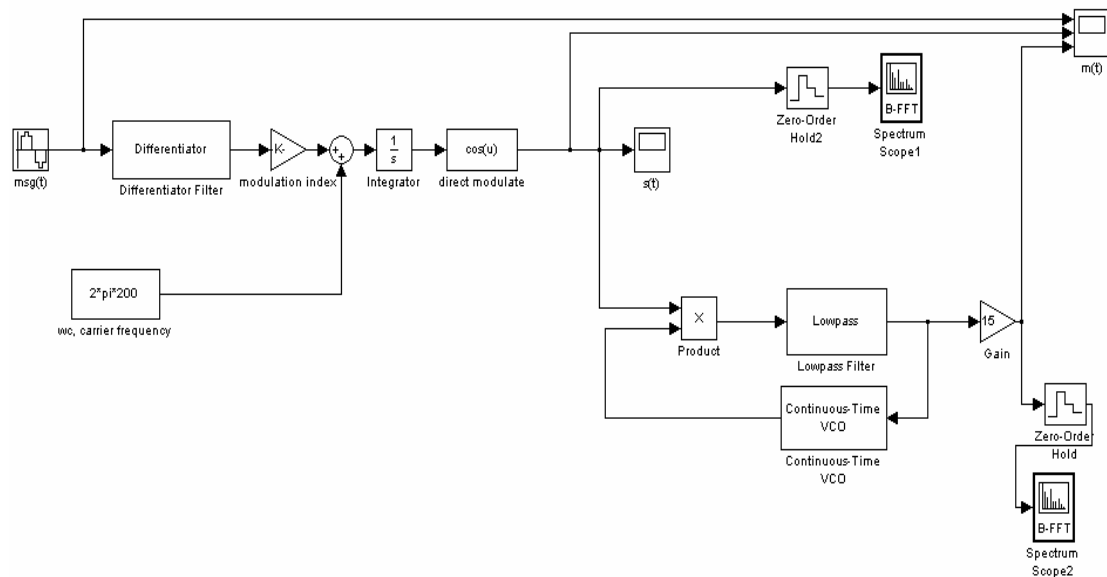


Σχήμα 78 : Σήμα πληροφορίας, διαμορφωμένο κατά PM σήμα και αποδιαμορφωμένο σήμα (με σειρά από πάνω προς τα κάτω).



Σχήμα 79 : Το φάσμα συχνοτήτων του αποδιαμορφωμένου σήματος.

Τέλος παρατίθενται και ολόκληρο το κύκλωμα διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης PM , όπως αυτό σχεδιάστηκε στο Simulink.



Σχήμα 80 : Μοντέλο διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης PM στο Simulink

3. ΘΟΡΥΒΟΣ

Ο θόρυβος (noise) ορίζεται σαν ένα ανεπιθύμητο σήμα, που υπάρχει πάντοτε στα συστήματα τηλεπικοινωνιών και δυσκολεύει την ανάκτηση της πληροφορίας στο δέκτη. Η μελέτη του θορύβου είναι αναγκαία, αφού αυτός αποτελεί έναν από τους καθοριστικότερους παράγοντες της ποιότητας ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Παρόμοιο ρόλο με το θόρυβο παίζει και η παρεμβολή, όμως υπάρχει μια βασική διαφορά μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, ενώ ο θόρυβος είναι ένα σύνολο τυχαίων σημάτων με ανεξάρτητες φάσεις και συχνότητες, η παρεμβολή προέρχεται από ένα καθορισμένο σήμα και δίνει ένα σήμα με κάποια περιοδικότητα και φάσης.

Οι πηγές που παράγουν θόρυβο ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, από τις οποίες η πρώτη περιλαμβάνει τον τεχνητό και η δεύτερη το φυσικό θόρυβο. Ο τεχνητός θόρυβος προέρχεται από ηλεκτρικές συσκευές όπως συλλέκτες κινητήρων, διακόπτες και ηλεκτρονόμους κακών επαφών, συστήματα ανάφλεξης αυτοκινήτων και μηχανών, οικιακές ηλεκτρικές συσκευές κ.λ.π. Όλες αυτές οι ηλεκτρικές συσκευές παράγουν ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μπορούν να εντοπιστούν και να απαλειφθούν ή τουλάχιστον να περιοριστούν. Ο φυσικός θόρυβος διακρίνεται στο θόρυβο που έχει ως πηγή του την κοσμική ακτινοβολία ή την ατμόσφαιρα και στο θόρυβο που έχει ως πηγή τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και στοιχεία. Ο κοσμικός και ατμοσφαιρικός θόρυβος εισάγεται στο δέκτη με την κεραία και ο μιν πρώτος προέρχεται από ηλιακές ακτινοβολίες ή από ακτινοβολίες αστέρων των γαλαξιών, ο δε δεύτερος από ατμοσφαιρικές διαταραχές, καταιγίδες κ.λ.π. Ο κοσμικός και ατμοσφαιρικός θόρυβος, που είναι γνωστός και σαν θερμοκρασία ουράνιου θορύβου είναι ασήμαντος σε σχέση μ' εκείνον που παράγεται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

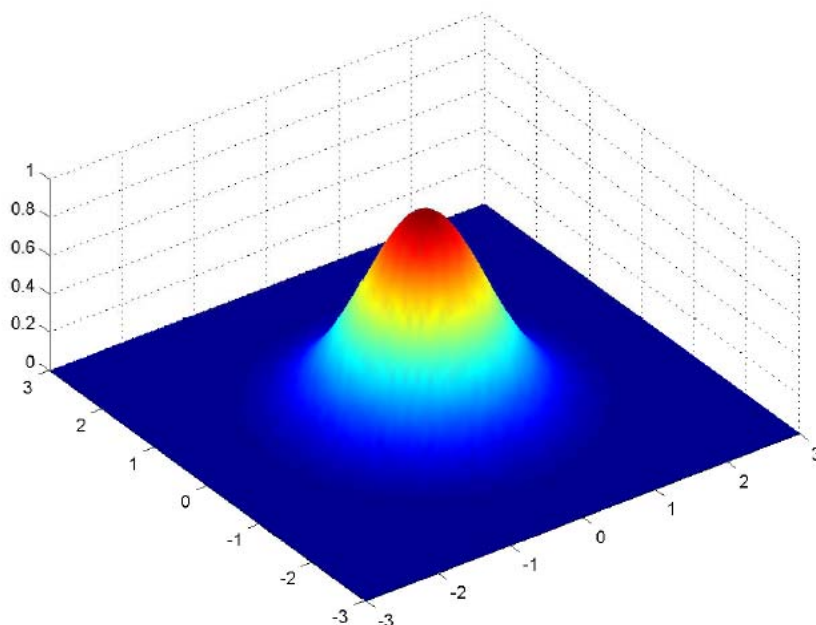
3.1 Θερμικός θόρυβος και μοντέλο AWGN

Στην ενότητα αυτή αρχικά θα περιγράψουμε το θερμικό θόρυβο που παρατηρείται σε οποιοδήποτε τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα θεωρήσουμε κανάλι απείρου εύρους ζώνης που παρουσιάζει μόνο προσθετικό θερμικό θόρυβο. Ο θόρυβος αυτός οφείλεται στην κίνηση

των ηλεκτρονίων μέσα στα αγωγιμα υλικά του συστήματος, και εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί το σύστημα. Μπορεί να παρατηρηθεί στη μετάδοση οποιουδήποτε σήματος και οφείλεται στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του συστήματος. Ο θερμικός θόρυβος είναι μια στοχαστική διαδικασία η οποία μπορεί να μοντελοποιηθεί με το μοντέλο του λευκού προσθετικού γκαουσιανού θορύβου (Additive White Gaussian Noise – AWGN). Χαρακτηριστικό του λευκού θορύβου είναι ότι παρουσιάζει την ίδια πυκνότητα ισχύος σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Μόνο για θετικές συχνότητες, η φασματική πυκνότητα θορύβου (μονόπλευρη) ισούται με N_0 (W/Hz), ενώ για θετικές και αρνητικές συχνότητες (δίπλευρη) με $N_0/2$ (W/Hz).

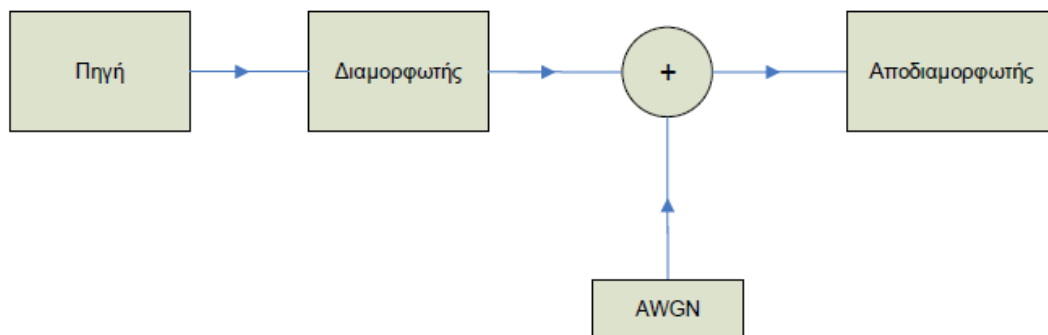
Στο πεδίο του χρόνου, ο λευκός θόρυβος είναι μια τυχαία διαδικασία $n(t)$ με μηδενική μέση τιμή και διακύμανση $\sigma^2 = N_0/2$, ενώ ακολουθεί κανονική κατανομή (Gaussian) και τα δείγματα θορύβου στο πεδίο του χρόνου είναι ασυσχέτιστα. Η πιθανότητα, επομένως, να λάβει ο θόρυβος μία συγκεκριμένη τιμή n , είναι :

$$f(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} e^{-\frac{n^2}{N_0}}$$



Σχήμα 81 : Τρισδιάστατη αναπαράσταση μιας δισδιάστατης Gaussian κατανομής πυκνότητας πιθανότητας.

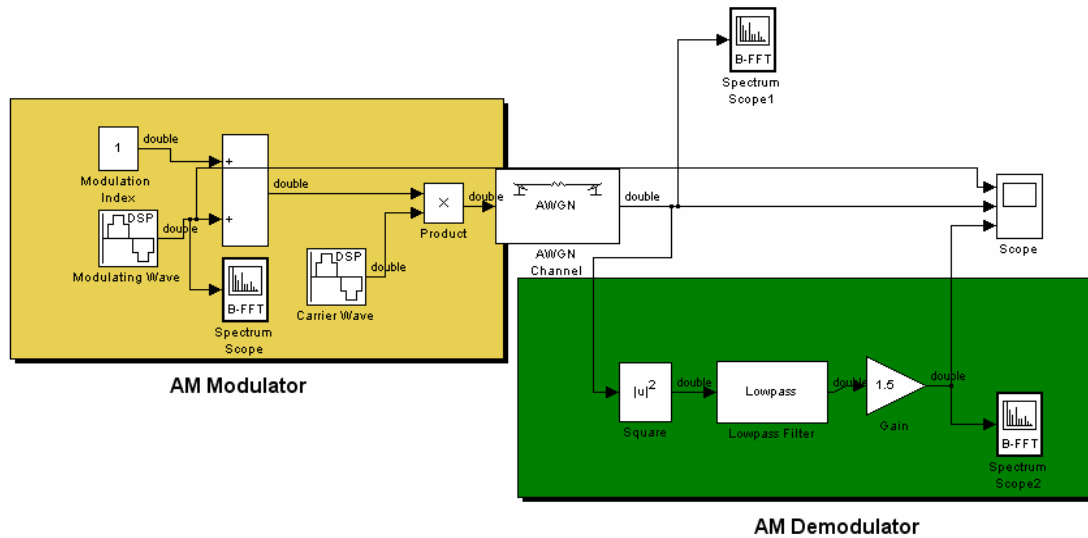
Το απλούστερο μοντέλο καναλιού προσθετικού θορύβου είναι αυτό του λευκού Gaussian θορύβου (AWGN), δηλαδή λευκού θορύβου με σταθερή φασματική πυκνότητα ισχύος και πλάτος που ακολουθεί Gaussian κατανομή. Το μοντέλο αυτό δεν περιλαμβάνει φαινόμενα διαλείψεων, παρεμβολών ή μη γραμμικότητας, ωστόσο μπορεί να παράγει απλά μαθηματικά μοντέλα, τα οποία δίνουν μια κατά το δυνατό πιο σαφή άποψη για τη συμπεριφορά ενός συστήματος πριν λάβουν δράση τα φαινόμενα αυτά. Το σύστημα μετάδοσης μέσω AWGN καναλιού φαίνεται παρακάτω:



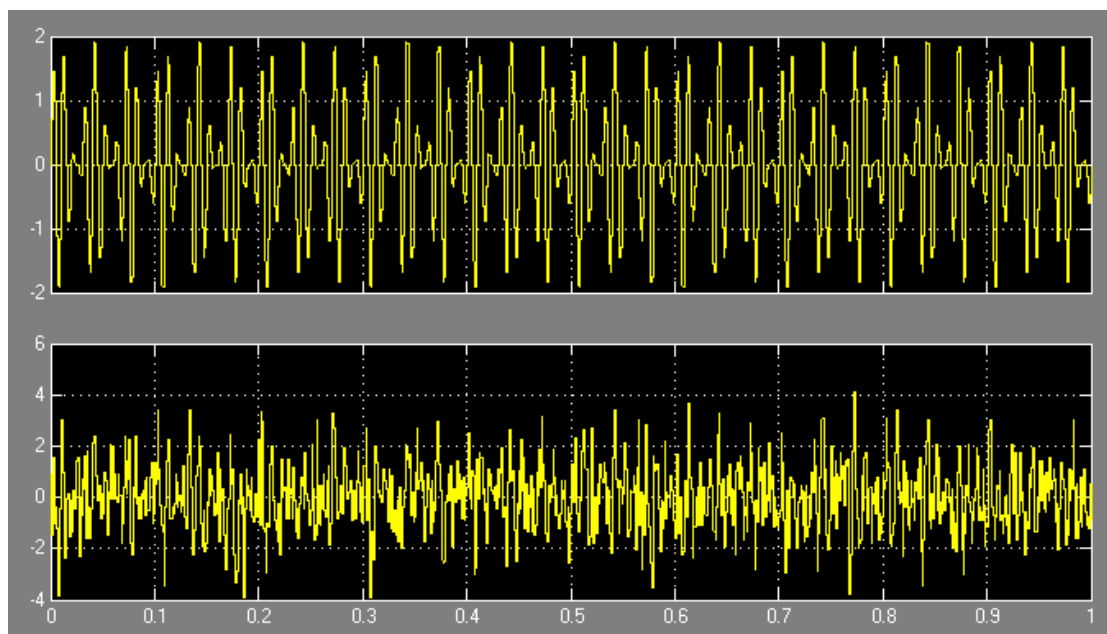
Σχήμα 82 : Σύστημα στο οποίο έχει προστεθεί «λευκός προσθετικός γκαουσιανός θόρυβος» (AWGN).

3.2 ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟ SIMULINK

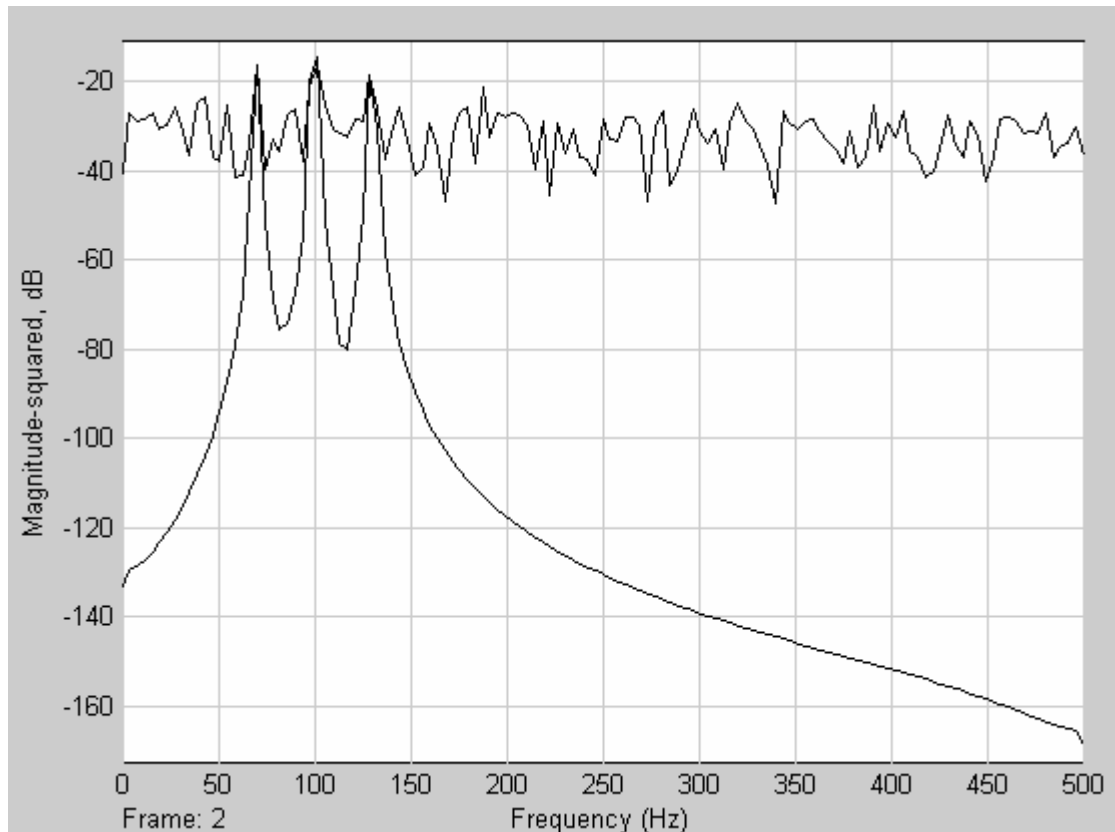
3.2.1 Διαμόρφωση - αποδιαμόρφωση AM



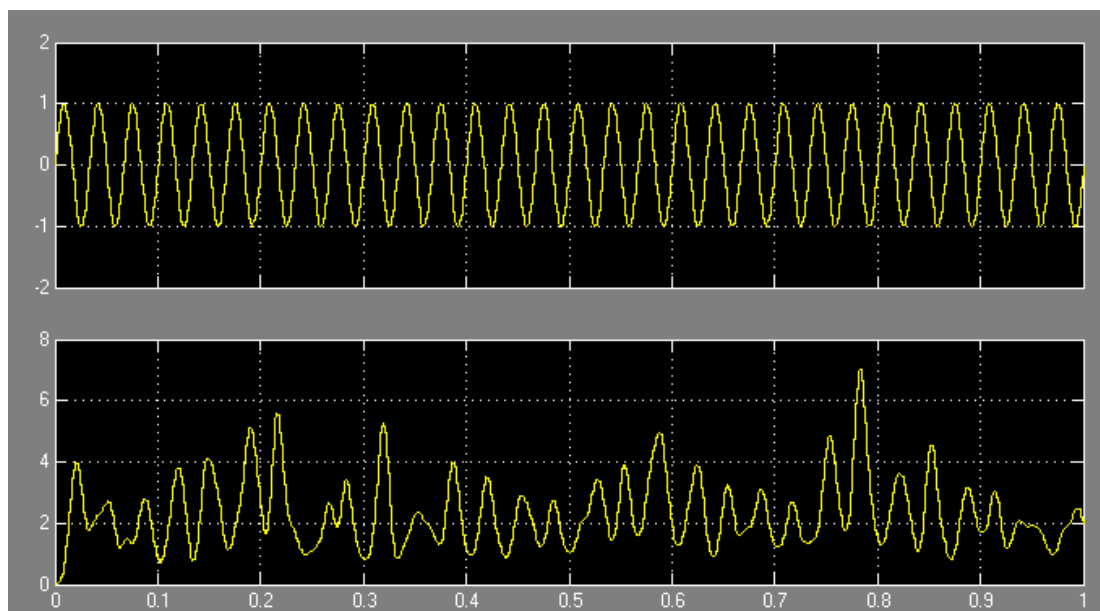
Σχήμα 83 : Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή AM με την προσθήκη θορύβου στο Simulink.



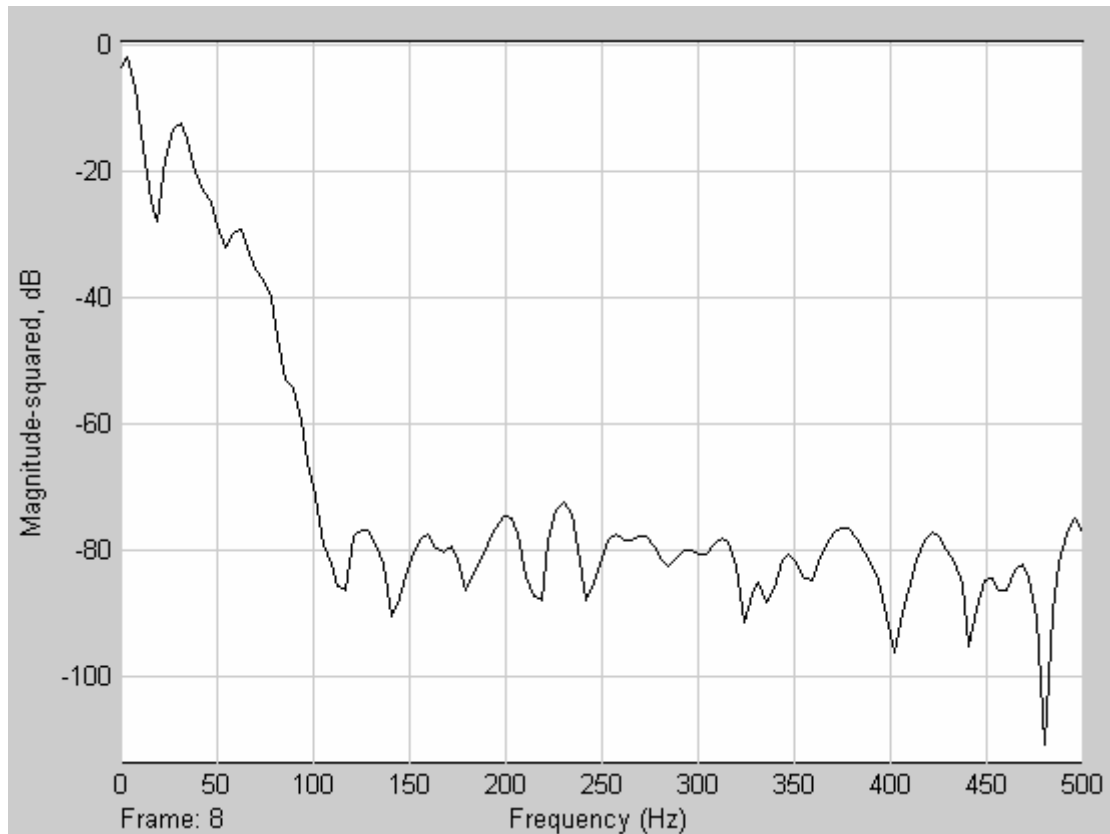
Σχήμα 84 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 85 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



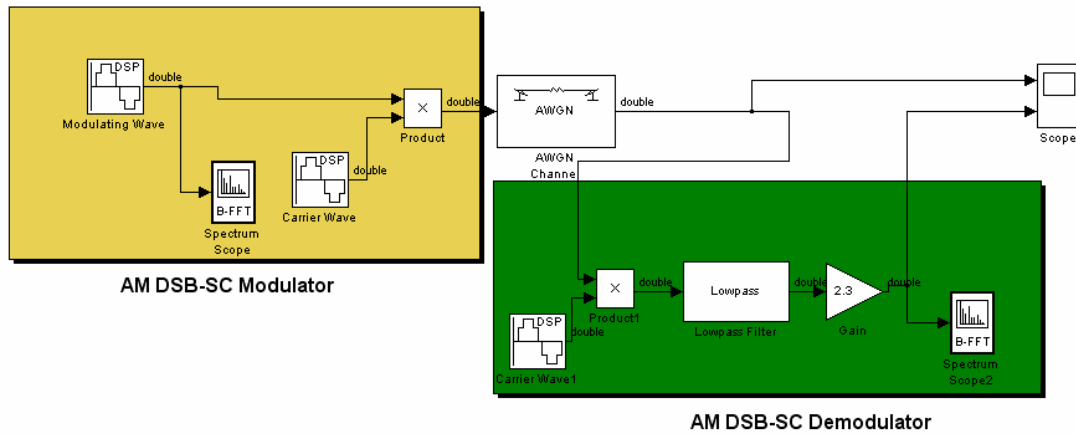
Σχήμα 86 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας και το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



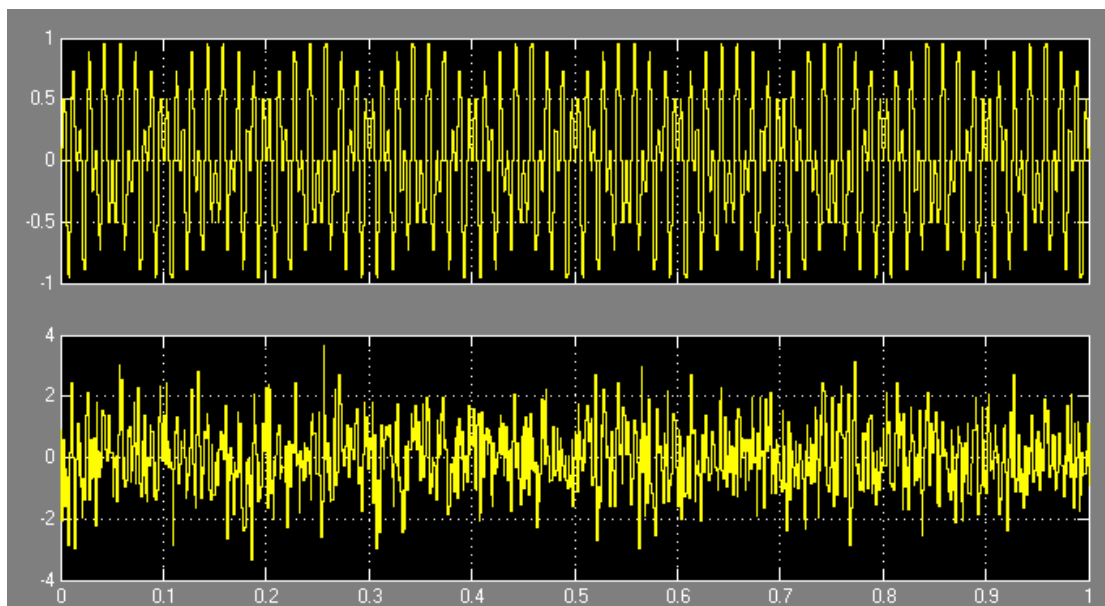
Σχήμα 87 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα υπάρχουν 20dB θορύβου στο αποδιαμορφωμένο σήμα. Αυτό φαίνεται αν συγκρίνουμε την κρυφή της συχνότητας του αποδιαμορφωμένου σήματος με την αμέσως υψηλότερη κορυφή μετά από αυτήν προς τα δεξιά της, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

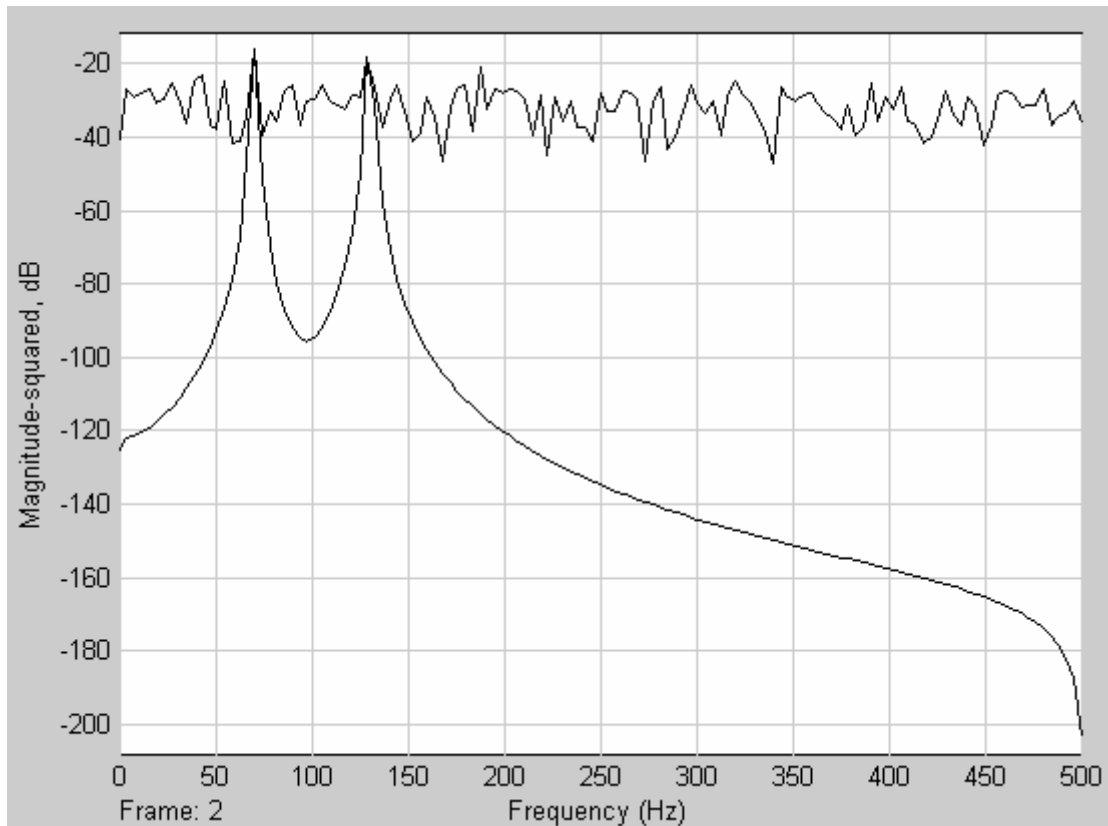
3.2.2 Διαμόρφωση-Αποδιαμόρφωση AM DSB-SC



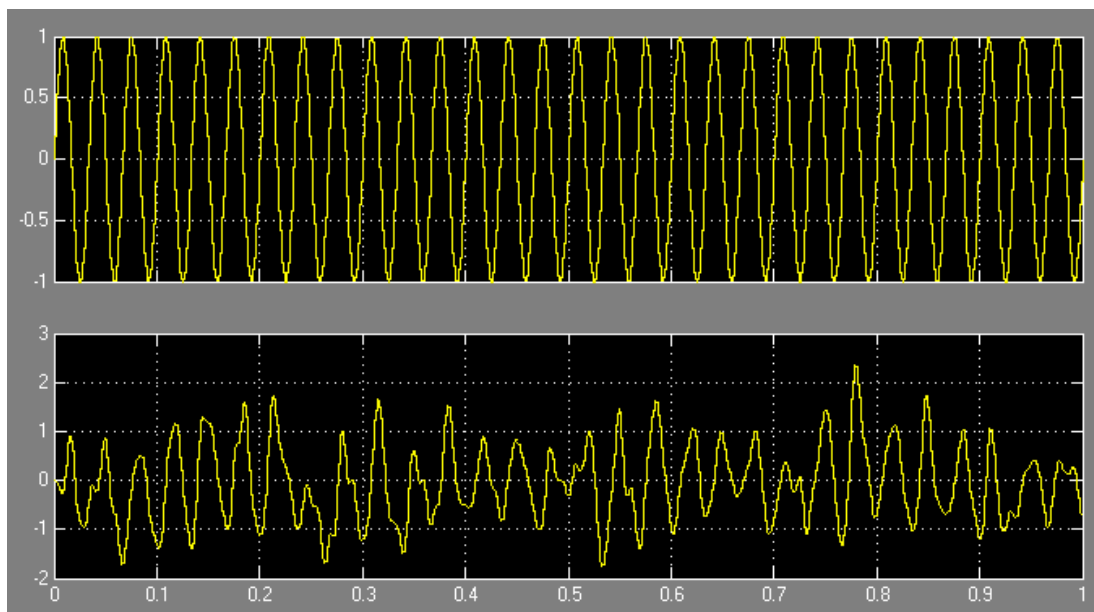
Σχήμα 88 : Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή DSB με την προσθήκη θορύβου στο Simulink.



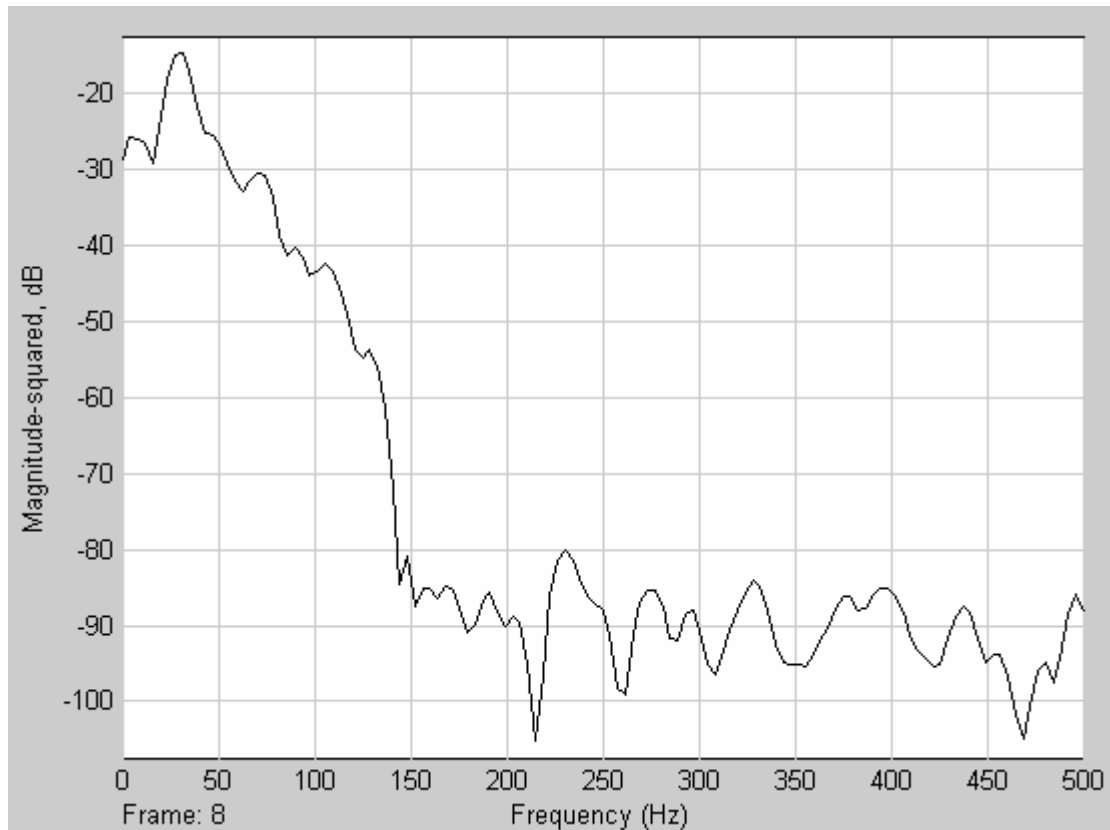
Σχήμα 89 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 90 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



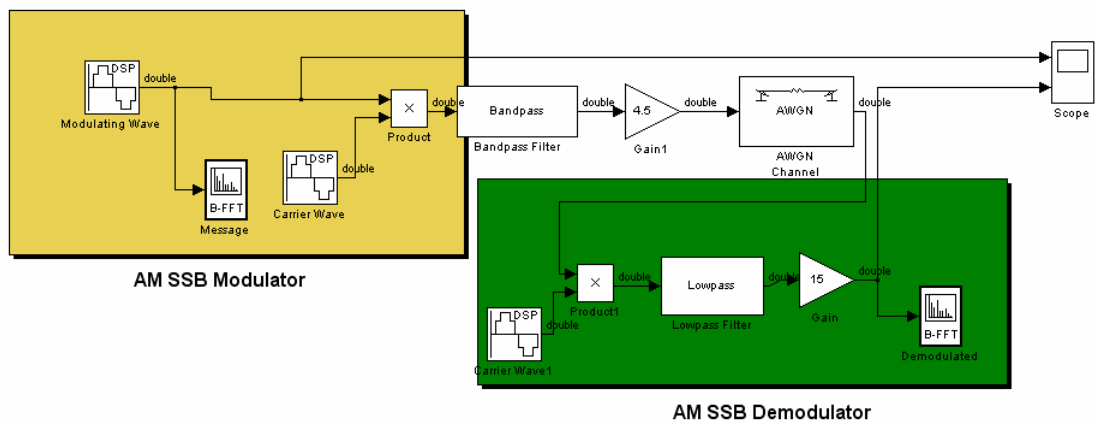
Σχήμα 91 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας και το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



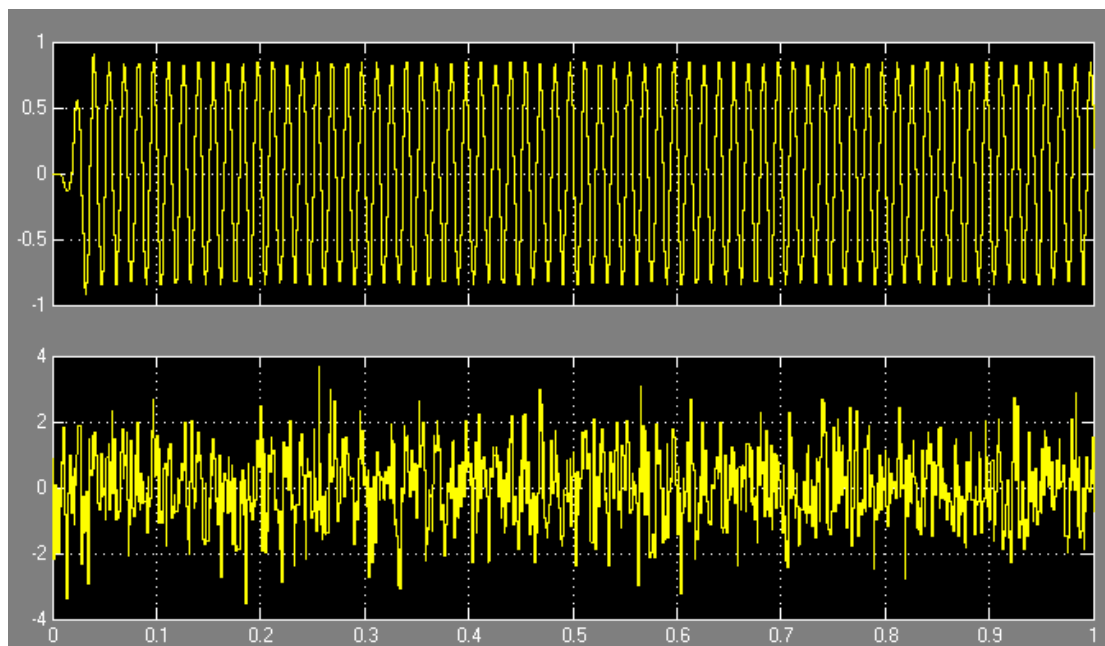
Σχήμα 92 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα υπάρχουν 15dB θορύβου στο αποδιαμορφωμένο σήμα.

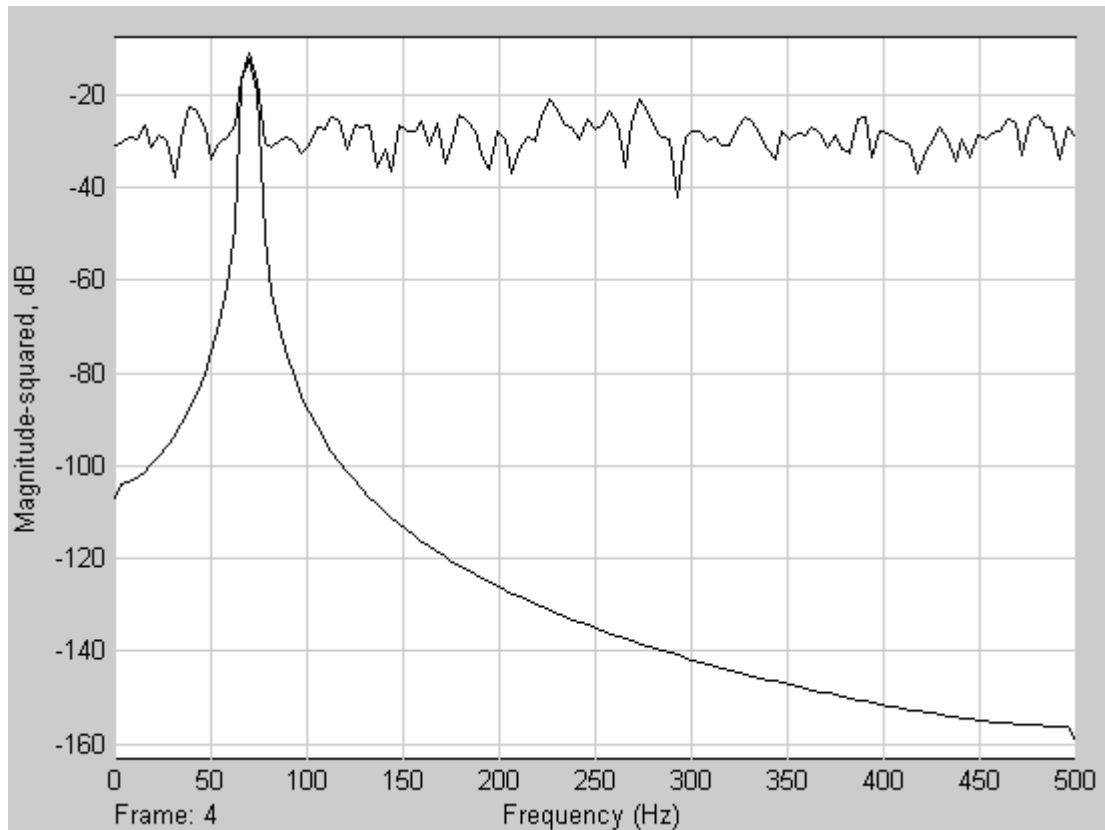
3.2.3 Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση SSB



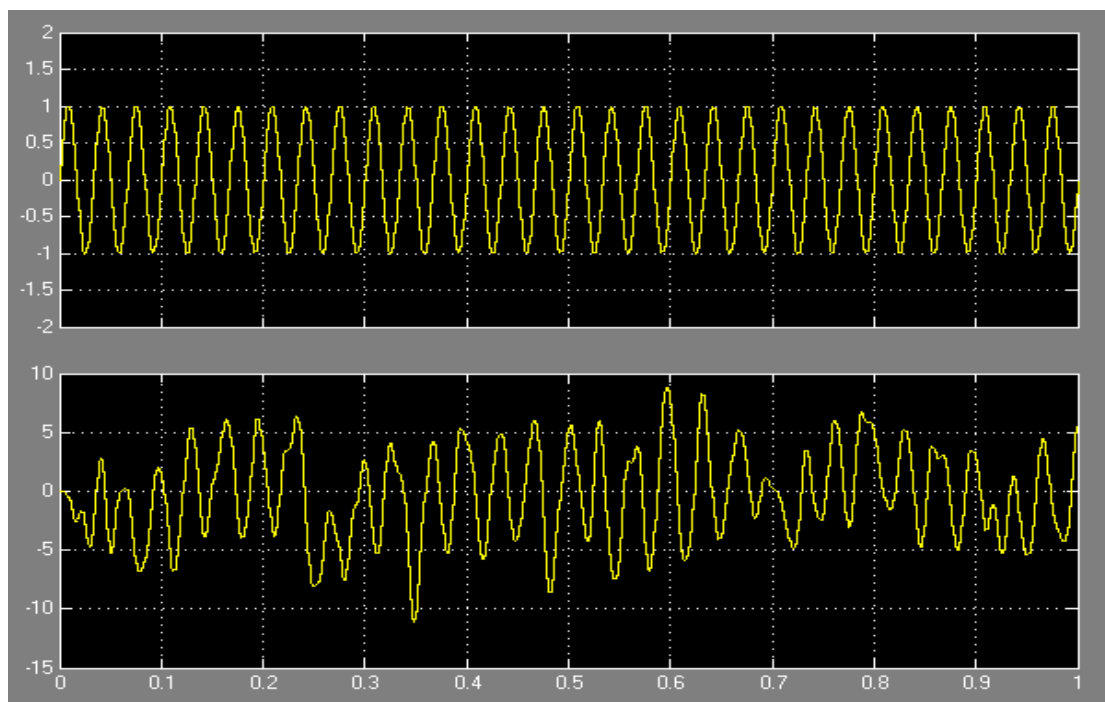
Σχήμα 93 : Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή SSB με την προσθήκη θορύβου στο Simulink



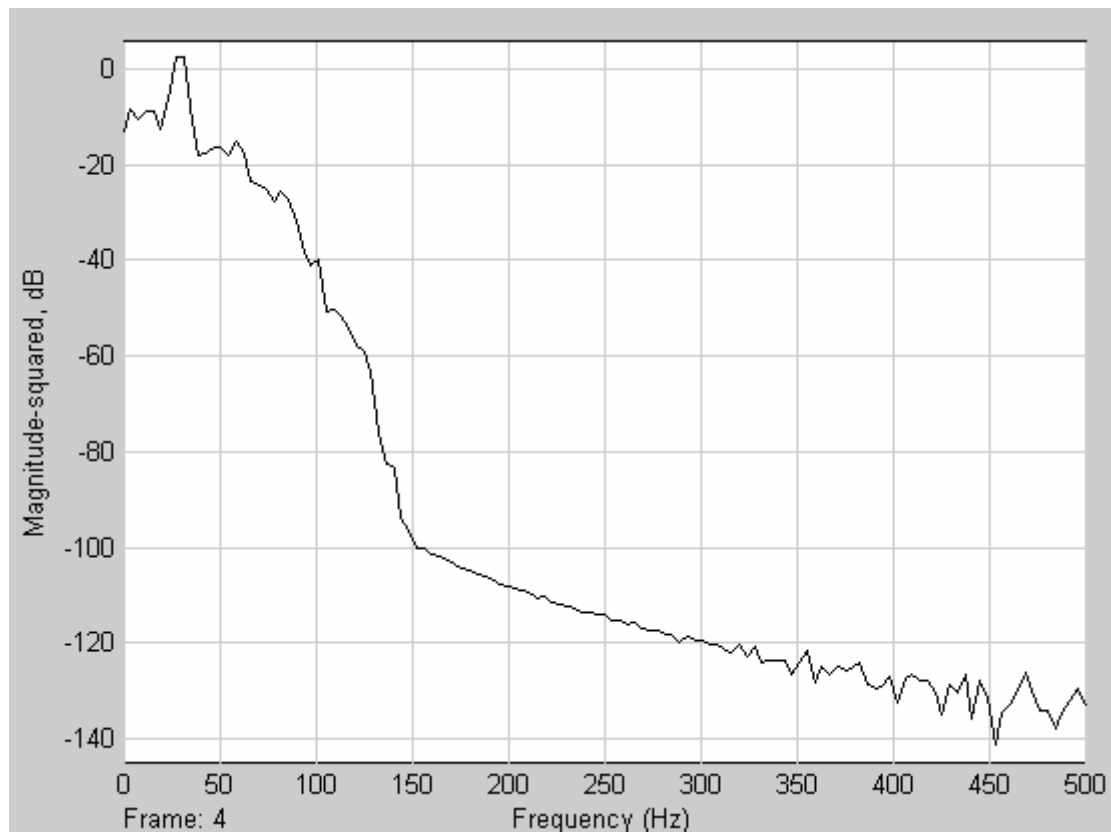
Σχήμα 94 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 95 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



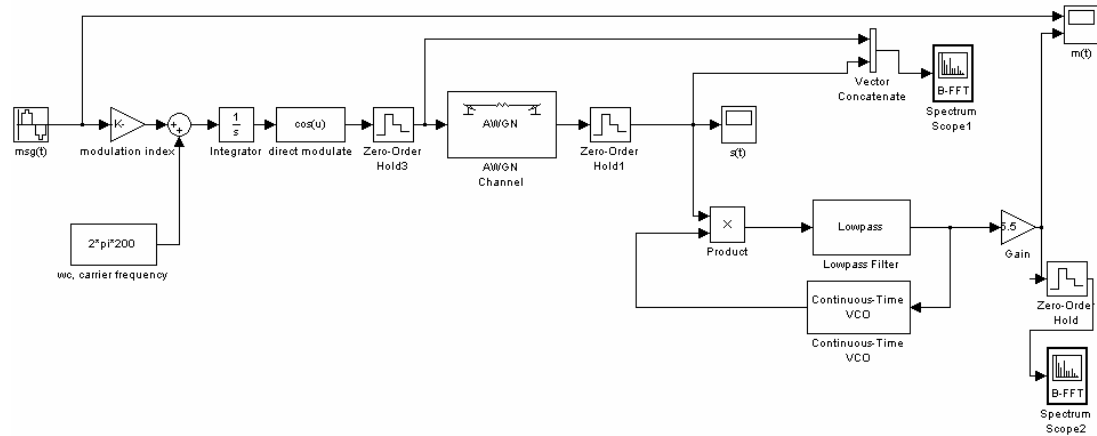
Σχήμα 96 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας και το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



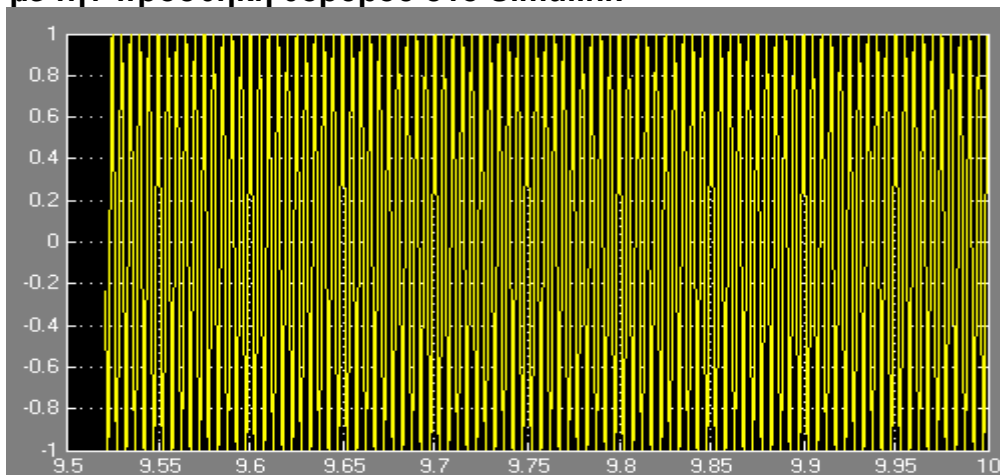
Σχήμα 97 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα υπάρχουν 20 dB θορύβου.

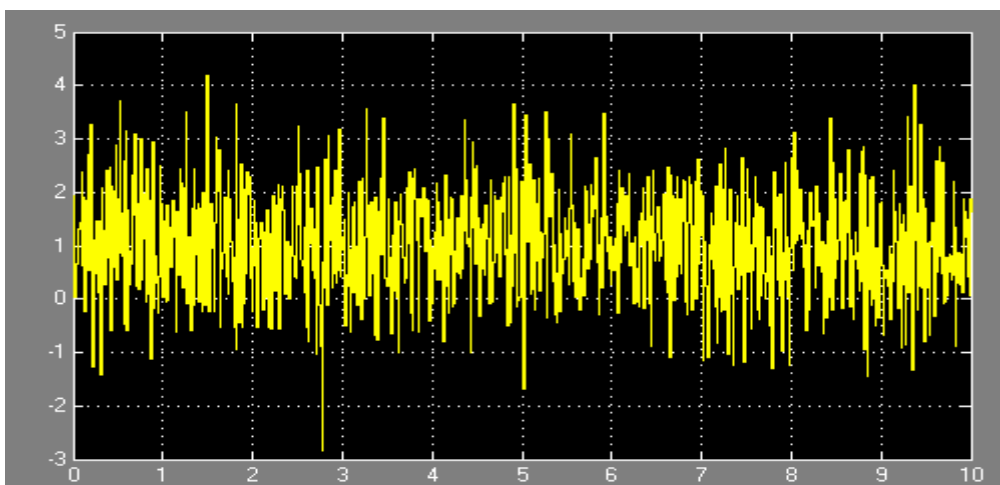
3.2.4 Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση FM



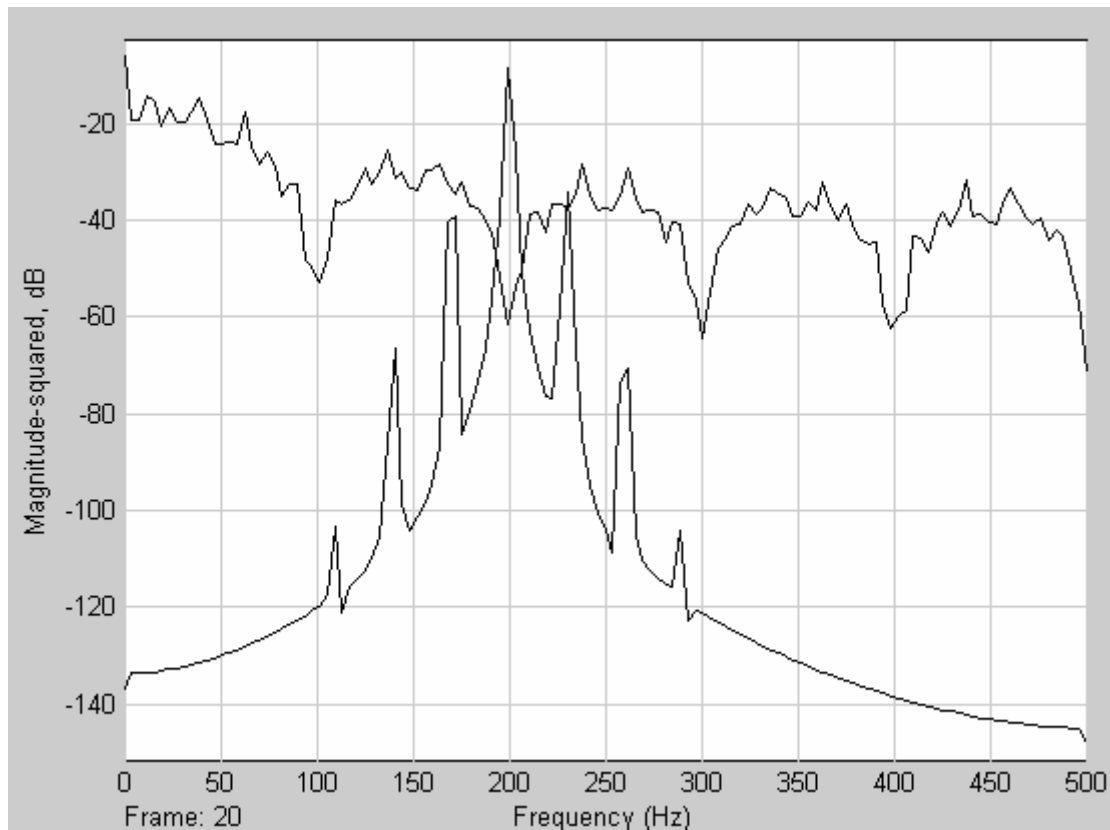
Σχήμα 98 : Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή FM με την προσθήκη θορύβου στο Simulink



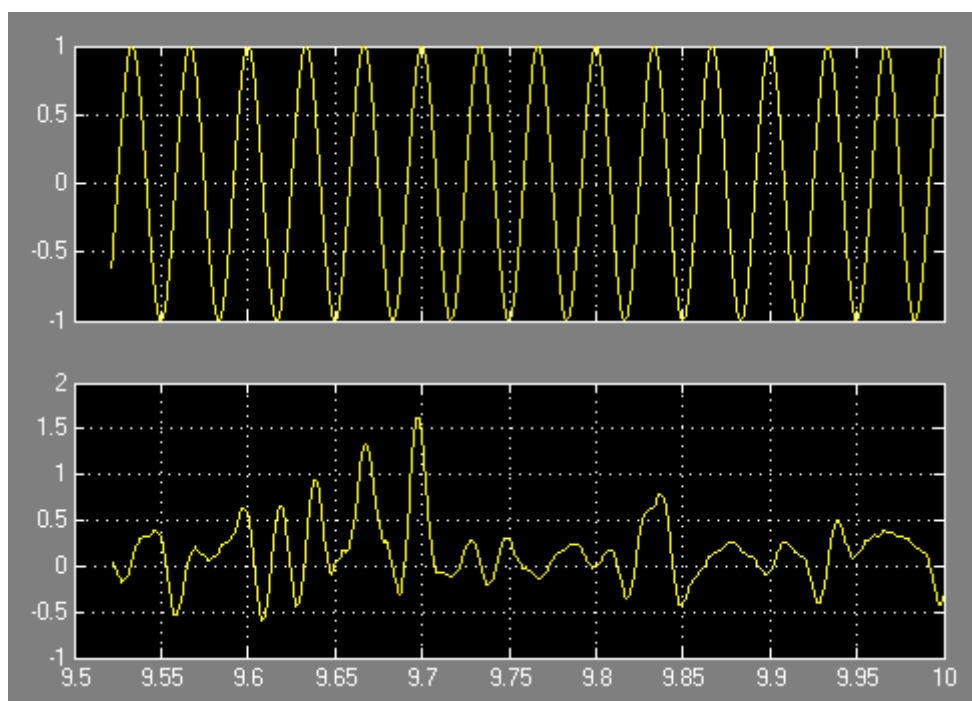
Σχήμα 99 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



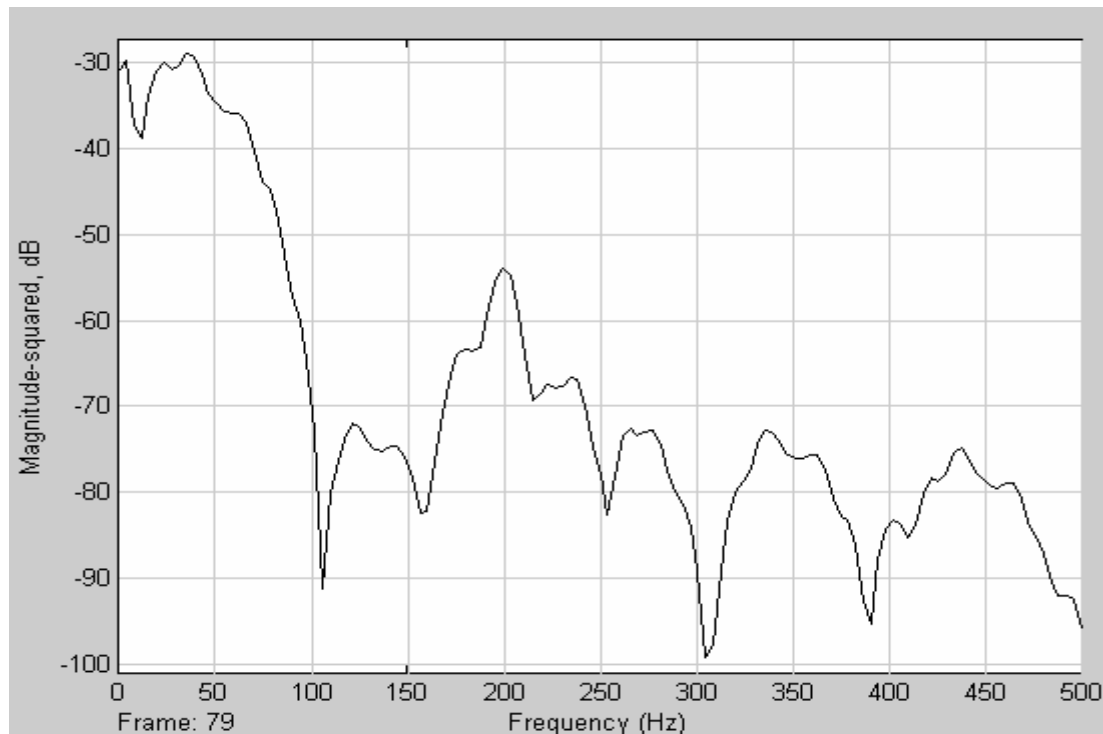
Σχήμα 100 : Το διαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 101 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



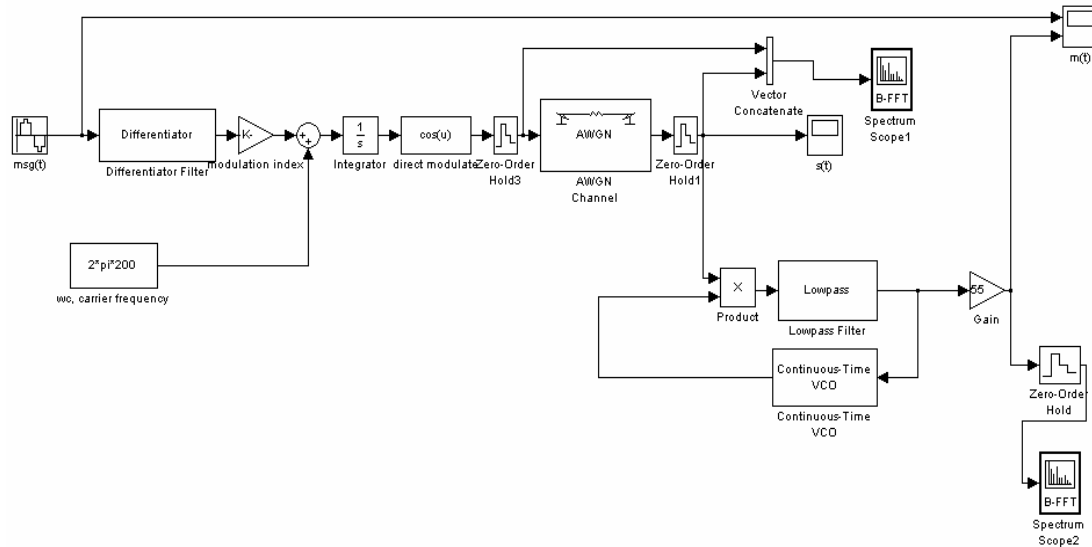
Σχήμα 102 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας και το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



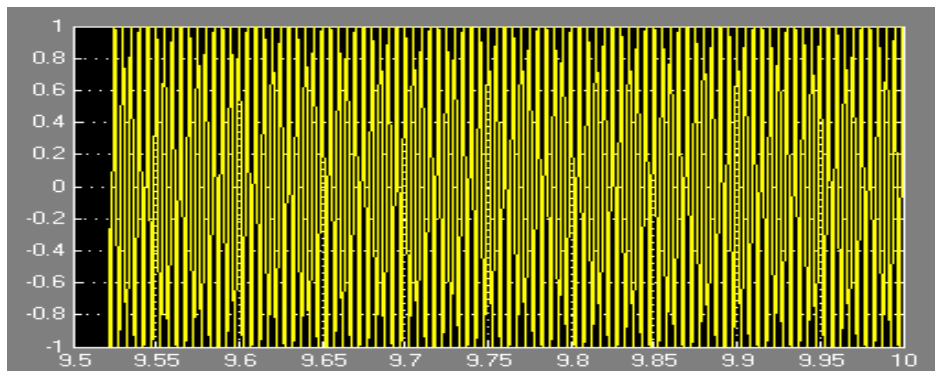
Σχήμα 103 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα υπάρχουν 5 dB θορύβου στο αποδιαμορφωμένο σήμα.

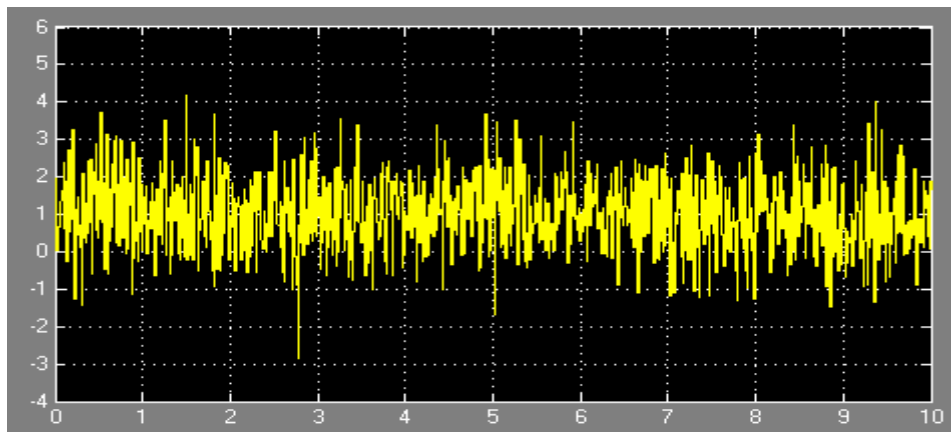
3.2.5 Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση PM



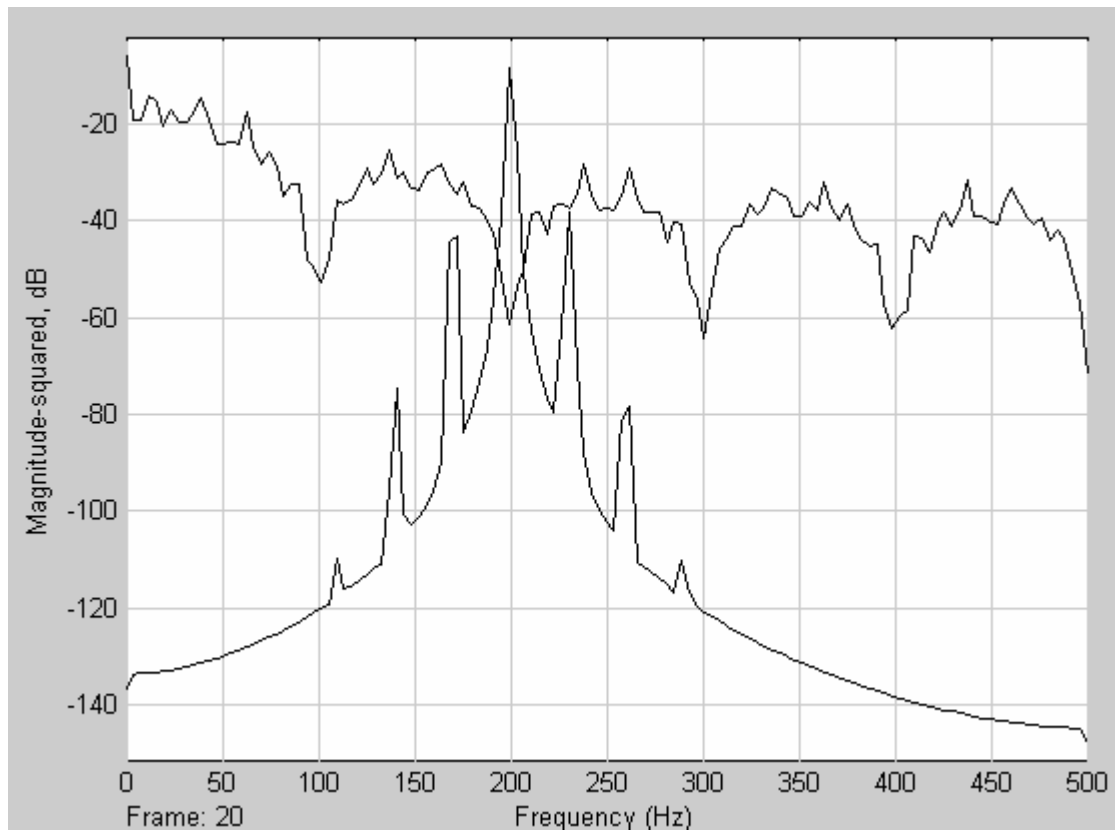
Σχήμα 104 : Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή PM με την προσθήκη θορύβου στο Simulink.



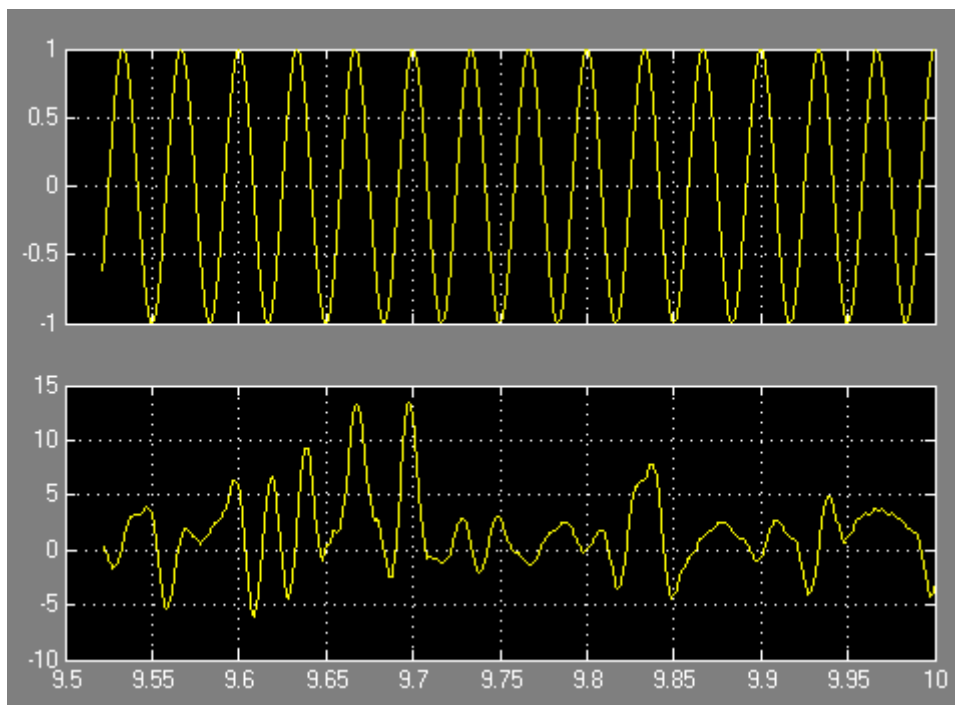
Σχήμα 105 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



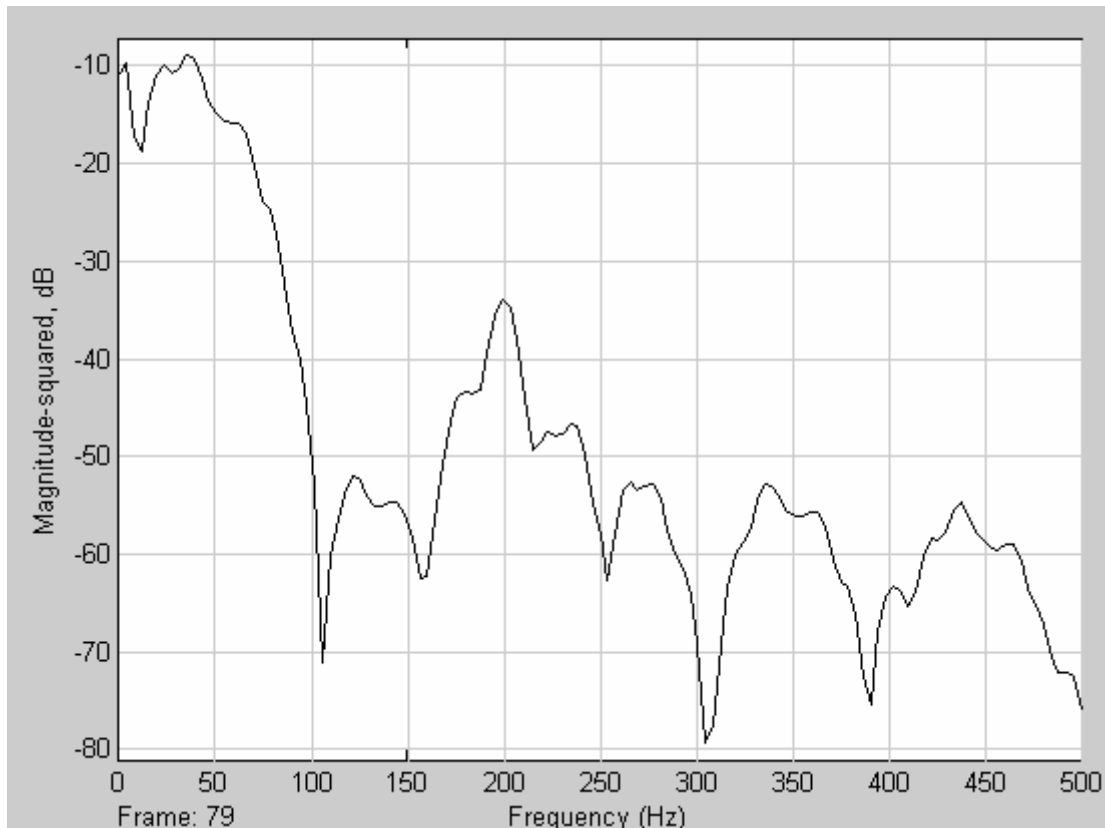
Σχήμα 106 : Το διαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 107 : Το διαμορφωμένο σήμα χωρίς θόρυβο και με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



Σχήμα 108 : Το αρχικό σήμα πληροφορίας και το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 109 : Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα υπάρχουν 5 dB θορύβου στο αποδιαμορφωμένο σήμα.

Με βάση τα διαγράμματα των αποδιαμορφωμένων σημάτων μετά την προσθήκη θορύβου, προκύπτει πως *ανθεκτικότερες διαμορφώσεις στον θόρυβο είναι οι FM και η PM.*

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ (Simulink)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό πακέτο Simulink για την προσομοίωση συστημάτων διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης.

Αρχικά, θα εξηγήσουμε τι είναι το Simulink, πώς λειτουργεί και γιατί είναι ένα τόσο σημαντικό εργαλείο. Θα δούμε πώς υλοποιείται ένα μοντέλο σε αυτό και πώς μπορούμε να αναλύσουμε μοντέλα μέσα από γραφικές παραστάσεις και σχήματα. Στη συνέχεια, τα συστήματα διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης.

Σύντομη περιγραφή του Simulink

Το λογισμικό πακέτο Simulink είναι μια προέκταση του MATLAB που επιτρέπει στους χρήστες να κατασκευάζουν με ταχύτητα και ακρίβεια υπολογιστικά μοντέλα δυναμικών συστημάτων χρησιμοποιώντας μπλοκ διαγράμματα (*block diagrams*). Είναι, έτσι, εύκολο να υλοποιούνται πολύπλοκα μοντέλα μη γραμμικών συστημάτων, όπως επίσης και να επεξεργάζονται αναλογικά ή ψηφιακά σήματα. Επιπλέον, κατά την κατασκευή ενός μοντέλου στο Simulink είναι δυνατή η δημιουργία γραφικών παραστάσεων που δείχνουν την πρόοδο της προσομοίωσης, αυξάνοντας σημαντικά την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Με την κατασκευή μπλοκ διαγραμμάτων αποφεύγουμε τη μελέτη των συστημάτων ως ηλεκτρονικές διατάξεις και ασχολούμαστε μόνο με τις ιδιότητες των διαφόρων βαθμίδων. Στο πίνακα παρουσιάζονται και περιγράφονται με συντομία οι βασικότερες διατάξεις που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την κατασκευή μπλοκ διαγραμμάτων. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται στο Simulink μπλοκ (*blocks*) και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη λειτουργία την οποία επιτελούν. Για παράδειγμα το μπλοκ *Sine-wave* χρησιμοποιείται ως πηγή και έτσι τοποθετείται στην υποομάδα *Sources*. Αντίθετα, τα μπλοκ *Scope* και *Spectrum-Scope* χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση αποτελεσμάτων και κατηγοριοποιούνται στην υποομάδα *Sinks*. Όλα τα μπλοκ βρίσκονται μέσα μέσα στον Library Browser.

Να σημειωθεί πως όλες οι εργαστηριακές ασκήσεις υλοποιήθηκαν με βάση την έκδοση R2010a του MATLAB. Στον πίνακα (σελ. 153) των χρησιμοποιηθέντων μπλοκ οι διαδρομές ισχύουν για την έκδοση R2011a.

4.1 Προσομοίωση Διαμόρφωσης AM (DSB-LC)

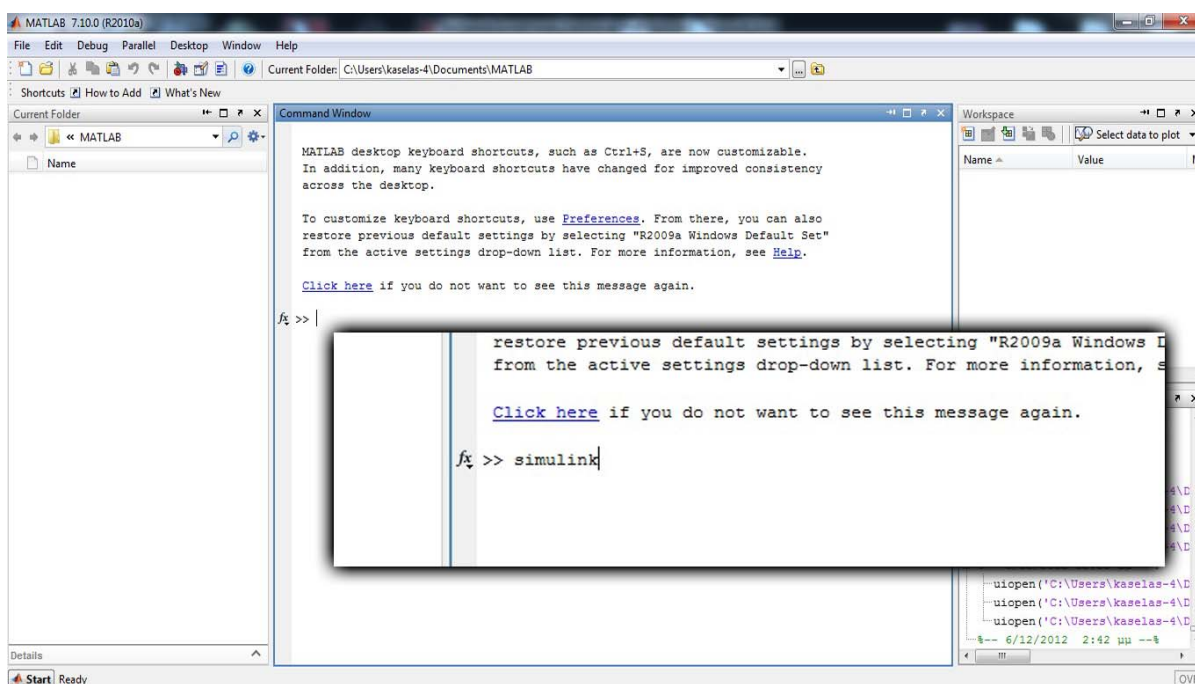
Στόχοι της Άσκησης

Στόχος της παρούσας άσκησης είναι η γνωριμία με το περιβάλλον του Simulink καθώς και η εξοικείωση με το σχηματισμό κυκλωμάτων σε αυτό. Αρχικά θα ασχοληθούμε με τον σχηματισμό του κυκλώματος διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης σημάτων AM (DSB-LC) που αποτελεί πρότυπο για την σωστή διεκπεραίωση και των υπολοίπων ασκήσεων στο Simulink. Η κατανόηση των τμημάτων του κυκλώματος και των αποτελεσμάτων τους είναι άκρως σημαντική καθώς έτσι θα απλοποιείται ακόμα περισσότερο η κατανόηση των υπόλοιπων διαμορφώσεων.

Εργαστηριακή άσκηση 1

Αρχικά θα πρέπει να ανοίξουμε το πρόγραμμα του MATLAB. Αφού το πρόγραμμα έχει φορτωθεί πλήρως για να ανοίξουμε το Simulink υπάρχουν δύο επιλογές :

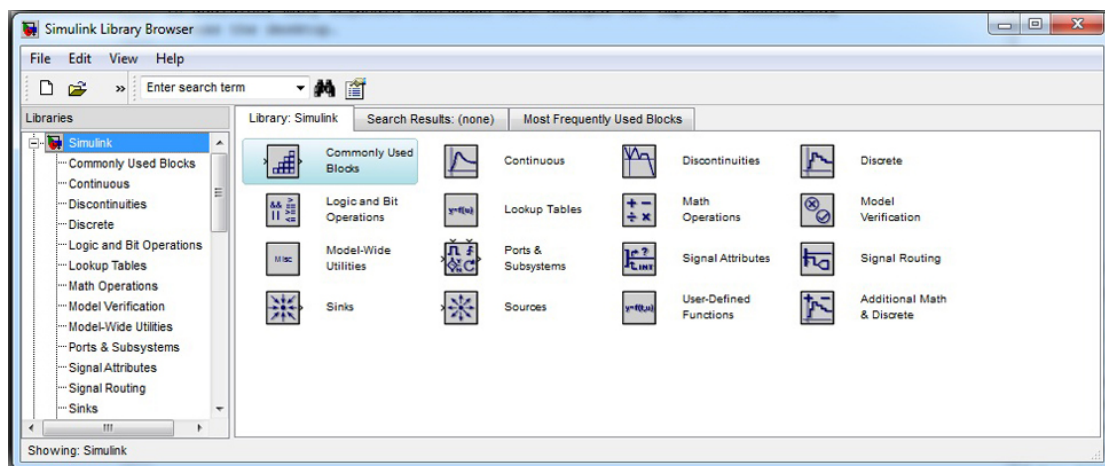
- α) Γράφοντας « simulink » στην γραμμή εντολών του *Command Window* , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



β) Πατώντας το κουμπί της Γραμμής Εργαλείων του Matlab :



Μετα από λίγη αναμονή ανοίγει το παράθυρο του Library Browser το οποίο εμπεριέχει όλα τα μπλοκ προς χρήση για την διεκπεραίωση των μοντέλων διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης που προαναφέρθηκαν και στο θεωρητικό μέρος. Η μορφή του είναι όπως στο παρακάτω σχήμα :



Εφόσον βρίσκεστε σε αυτό το σημείο είμαστε έτοιμοι να αρχίσουμε την δημιουργία ενός νέου κυκλώματος – μοντέλου.

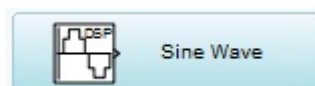
Δημιουργία νέου μοντέλου

1. Από την μπάρα εργαλείων του Library Browser , επιλέξτε :

File → New → **Model**

Ανοίγει ένα νέο παράθυρο με όνομα *Untitled** και αποτελεί τον χώρο δημιουργίας του κυκλώματος διαμόρφωσης-αποδιαμόρφωσης AM (DSB-LC).

2. Από τον κατάλογο *Signal Processing Blockset* → *Signal Processing Sources*, επιλέγουμε το **Sine Wave**

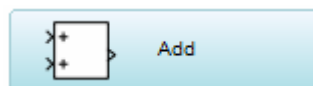


που αποτελεί την πηγή του σήματος πληροφορίας. Για να το τοποθετήσουμε μέσα στον χώρο του μοντέλου μας είτε το επιλέγουμε και κρατώντας πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού το «σέρνουμε» αποδεσμεύοντας το μέσα στον χώρο είτε με δεξί κλικ του ποντικιού πάνω στο εικονίδιο όπου επιλέγουμε Add to “x” (όπου x το όνομα του μοντέλου που δουλεύουμε).

3. Ακολούθως τοποθετήστε το **Constant** που βρίσκεται στο *Simulink* → *Sources* και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως σταθερά στο κύκλωμα μας.

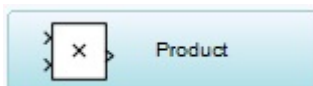


4. Μέσα από το *Simulink* → *Math Operations* επιλέγουμε και τοποθετούμε το αντικείμενο **Add**.



5. Τοποθετούμε ένα δεύτερο *Sine Wave* παρόμοια με το βήμα 2.

6. Από το *Simulink* → *Math Operations* εισάγουμε ένα **Product**.



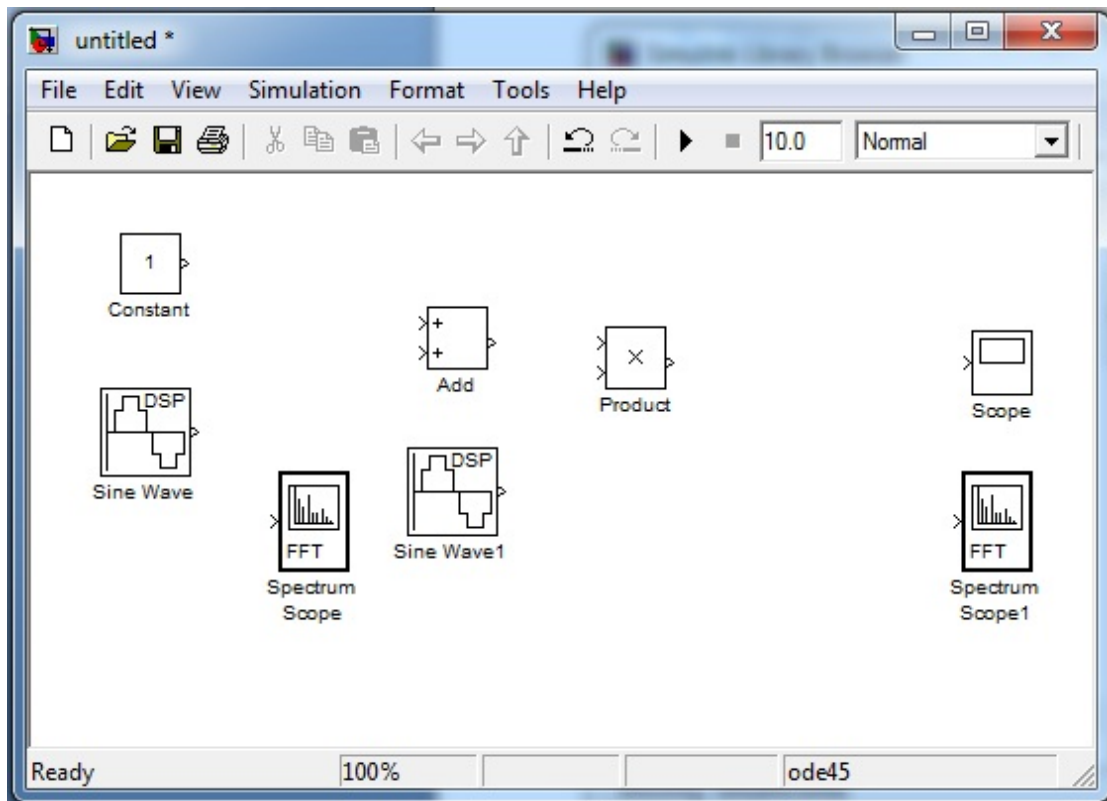
7. Από το *Simulink* → *Sinks* , επιλέγουμε και τοποθετούμε ένα **Scope** το οποίο είναι στην ουσία ένας παλμογράφος που εμφανίζει την εξέλιξη των σημάτων στο πεδίο του χρόνου.



8. Από το *Signal Processing Blockset* → *Signal Processing Sinks* εισάγουμε δύο **Spectrum Scope** που είναι ο φασματικός αναλυτής του σήματος.

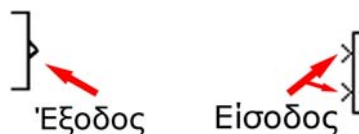


9. Αφού έχετε εισάγει τα αντικείμενα που προαναφέρθηκαν , καλό θα ήταν να τα τακτοποιήσετε στον χώρο του παραθύρου όπως δείχνει η παρακάτω εικόνα , για μεγαλύτερη ευκολία :

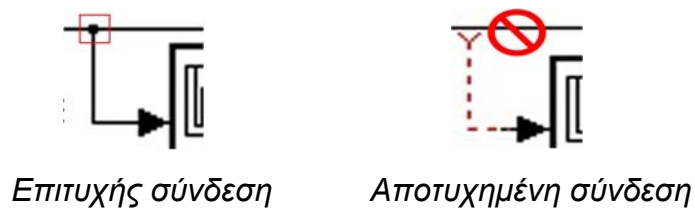


Αφού τελειώσαμε με την εισαγωγή , επόμενο βήμα είναι η σύνδεση των αντικειμένων μεταξύ τους. Για να τα συνδέσετε επιλέγετε την άκρη κάθε αντικειμένου και πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού σέρνετε με κατεύθυνση την είσοδο του αντικειμένου που θέλετε να ενώσετε. Η σύνδεση γίνεται ως εξής :

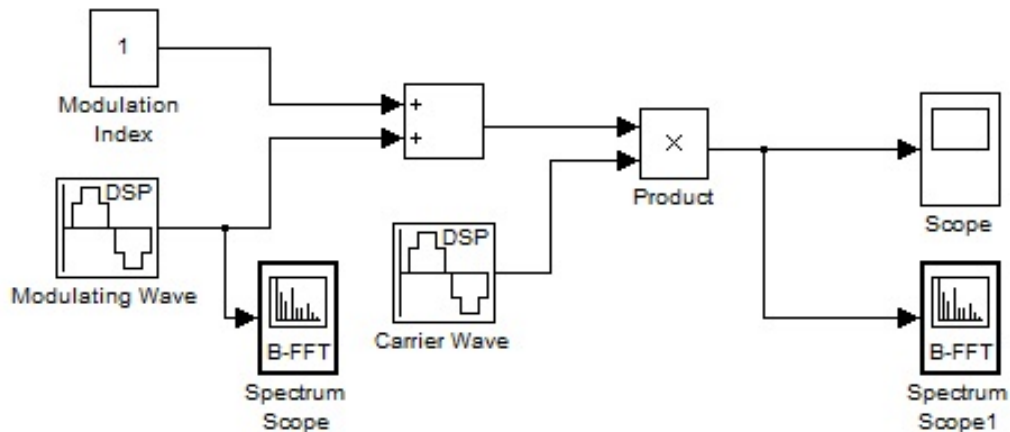
α) Συνδέουμε με κατεύθυνση Έξοδος → Είσοδος.



β) Επίσης δύναται να ενώσουμε τμήμα ενός καλωδίου του κυκλώματος με την είσοδο ενός block, «τραβώντας» από την είσοδο προς το καλώδιο.



Με την χρήση των παραπάνω οδηγιών συνδέστε το κύκλωμα σύμφωνα με την εικόνα που ακολουθεί.



AM Modulator

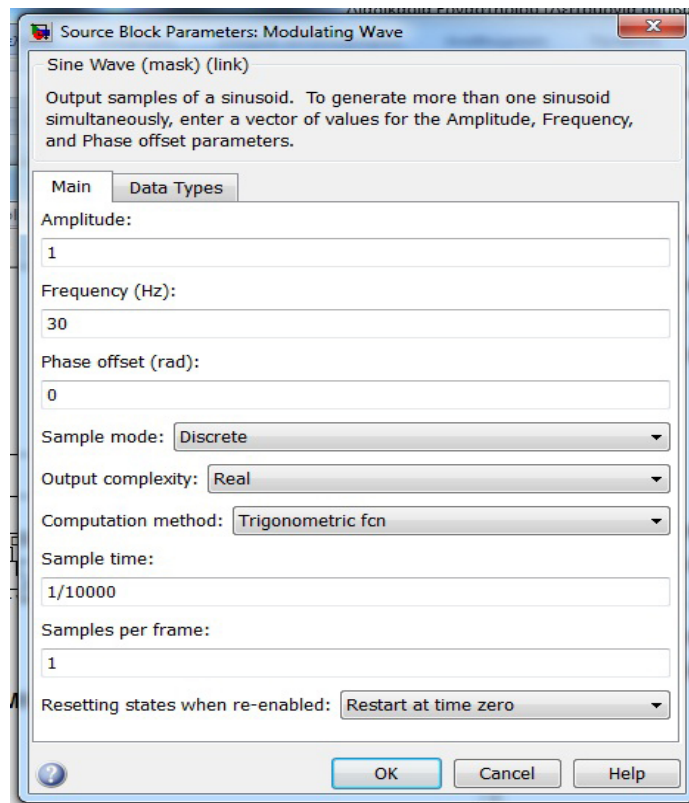
Για να αλλάξετε τα ονόματα των blocks αρκεί να πατήσετε με ένα αριστερό κλικ του ποντικιού μέσα στο όνομα. Αφού το αλλάξετε κάνετε κλικ σε κενό σημείο του χώρου του παραθύρου για να αποθηκευτεί . (Με Enter αλλάζετε σειρά στο πλαίσιο γραφής του ονόματος)

Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

1. Ξεκινάμε από το αρχικό σήμα πληροφορίας κάνοντας διπλό-κλικ στο εικονίδιο του *Modulating Wave*. Στην καρτέλα Main :

- α) Ρυθμίζουμε το πλάτος του σήματος : Amplitude = 1
- β) Την συχνότητα του σήματος : Frequency (Hz) = 30
- γ) Η περίοδος δειγματοληψίας : Sample time = 1/10000
(Για μεγάλες τιμές συχνοτήτων η περίοδος δειγματοληψίας αντίστοιχα πρέπει να μικραίνει)

Μετά την εισαγωγή των ρυθμίσεων η κάρτα Main του *Modulating Wave* θα έχει την μορφή του σχήματος που ακολουθεί.

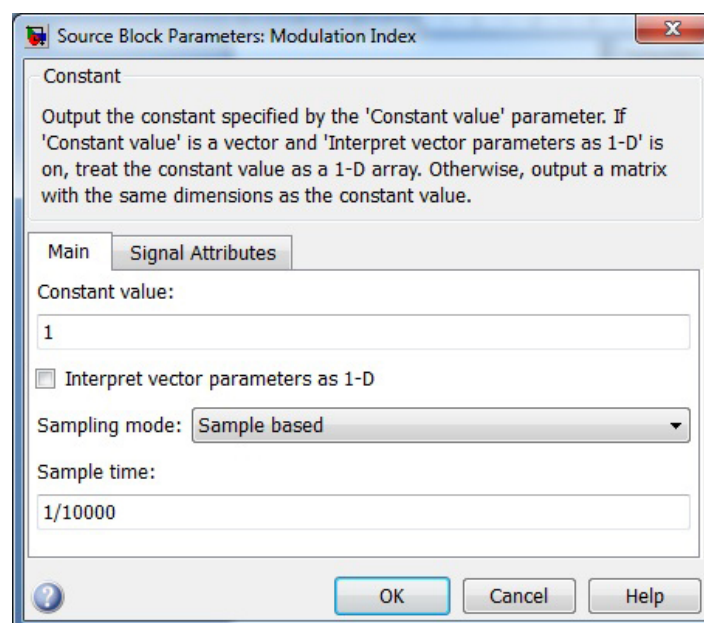


2. Ακολούθως ανοίγουμε το *Modulation index* και ρυθμίζουμε τις τιμές της καρτέλας *Main* :

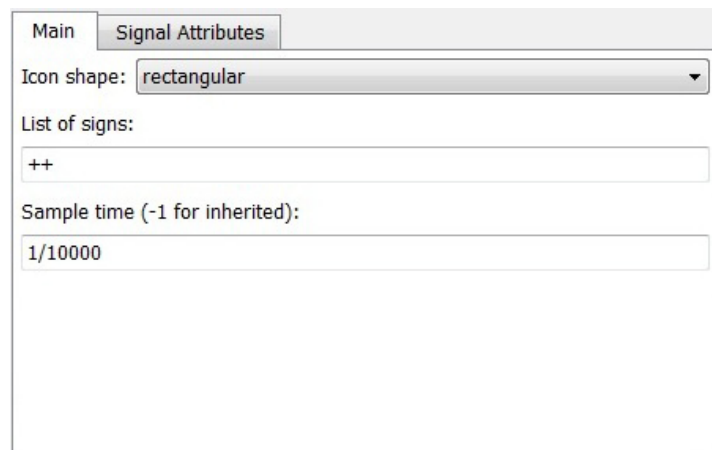
α) Constant Value = 1

β) Sample Time = 1/10000

γ) Απενεργοποίηση της επιλογής *Interpret vector parameters as 1-D* εφόσον είναι επιλεγμένη.



3. Στο block Add αλλάζουμε MONO to Sample time = 1/10000.



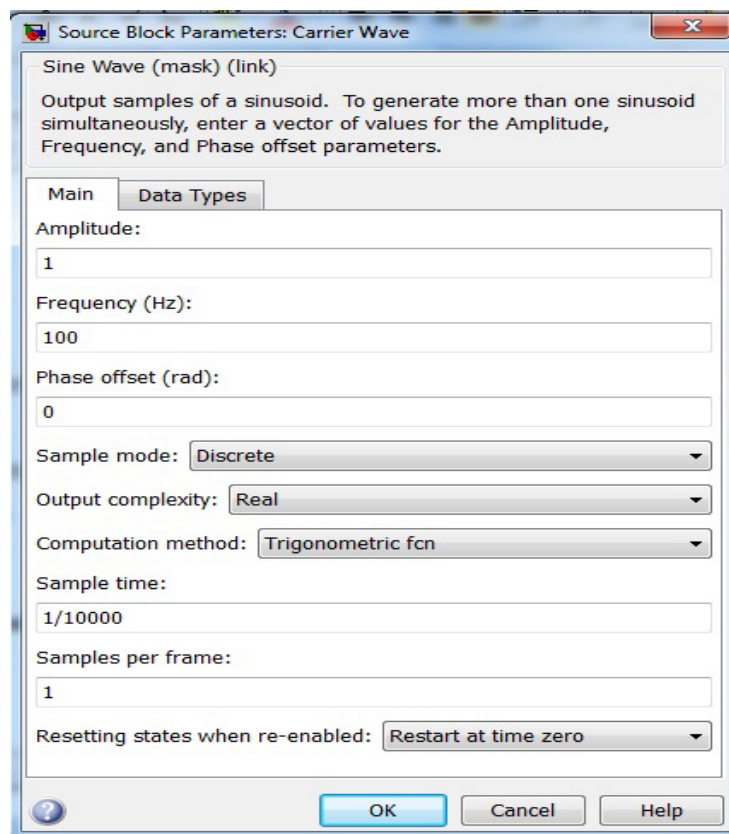
4. Τώρα θα διαμορφώσουμε τις τιμές του block *Carrier Wave* που αφορούν το φέρον κύμα :

α) Ρυθμίζουμε το πλάτος του σήματος : Amplitude = 1

β) Την συχνότητα του σήματος : Frequency (Hz) = 100

γ) Η περίοδος δειγματοληψίας : Sample time = 1/10000

Μετά την εισαγωγή των ρυθμίσεων η κάρτα Main του *Carrier Wave* θα έχει την μορφή του σχήματος που ακολουθεί.



5. Τώρα αλλάζουμε τις τιμές στα *Spectrum Scope* και *Spectrum Scope1* τα οποία θα έχουν τις ίδιες ρυθμίσεις:

α) Στην καρτέλα *Scope Properties* , επιλέγουμε

Spectrum type = One-sided ([0...Fs/2])

β) Τσεκάρουμε την επιλογή *Buffer Input* και βάζουμε

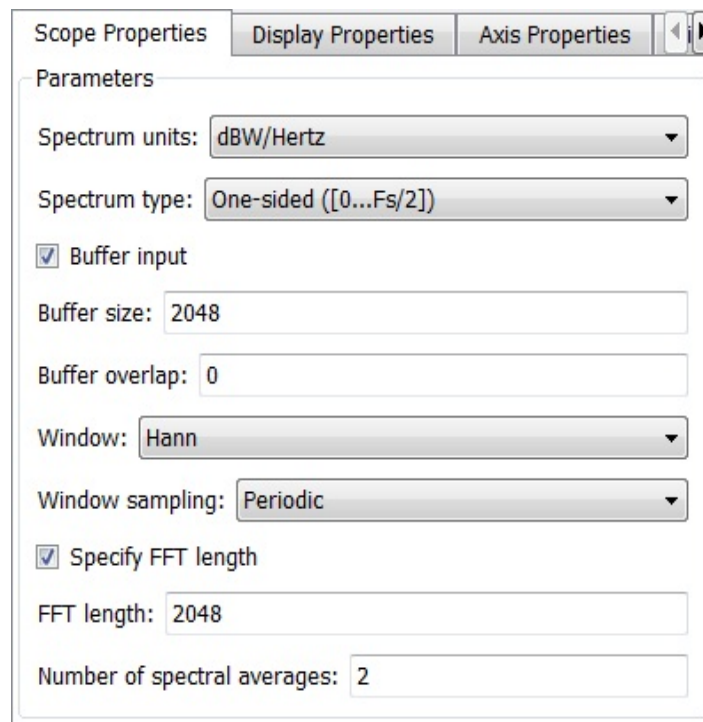
- *Buffer size* = 2048

- *Buffer overlap* = 0

γ) Τσεκάρουμε την επιλογή *Specify FFT Length* και βάζουμε

- *FFT Length* = 2048

Το παράθυρο παραμέτρων και των δύο *Spectrum scope* θα πρέπει να ναι ως εξής:



- Ο Buffer χρησιμοποιείται για την δειγματοληψία. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του buffer τόσο περισσότερα δείγματα θα ληφθούν.

- Να σημειωθεί πως όσο ανεβαίνει η τιμή της συχνότητας για το αρχικό σήμα πληροφορίας και το φέρον ο buffer πρέπει να αυξάνεται.

- Το FFT length είναι ο αριθμός των δειγμάτων πάνω στα οποία θα εφαρμοστεί ο μετασχηματισμός Fourier. Αν δεν ενεργοποιήσουμε το FFT length τότε θα πάρει την τιμή που έχουμε δώσει στον buffer.

6. Ρύθμιση χρόνου προσομοίωσης σε 1



7. Πατάμε το κουμπί του Play (όπως φαίνεται στην πάνω εικόνα) και εκτελούμε την προσομοίωση της διαμόρφωσης AM.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

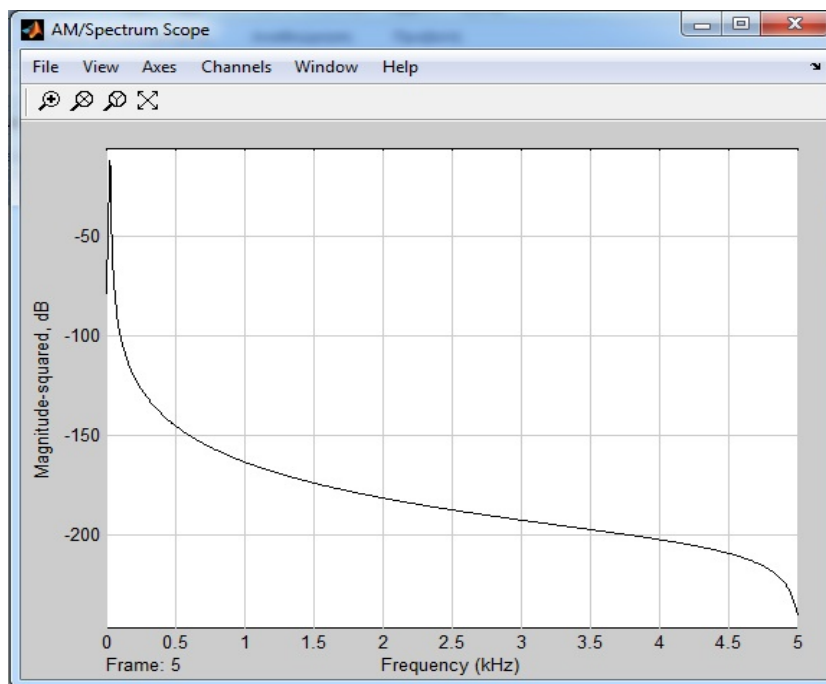
Αφού τελειώσει ο χρόνος επεξεργασίας της προσομοίωσης εμφανίζονται τα παράθυρα τον Spectrum Scope που απεικονίζουν το φάσμα του αρχικού σήματος και του διαμορφωμένου στο πεδίο της συχνότητας. Κάνοντας διπλό κλικ στο Scope (παλμογράφος) εμφανίζεται το διαμορφωμένο κατά AM σήμα και στο πεδίο του χρόνου.


Προσοχή: για να εμφανιστούν τα αποτελέσματα στο εύρος τιμών που μας ενδιαφέρει στα Spectrum Scope αλλά και στο Scope , κάνουμε :

Δεξί κλικ → **Autoscale**. , μέσα στα διαγράμματα.

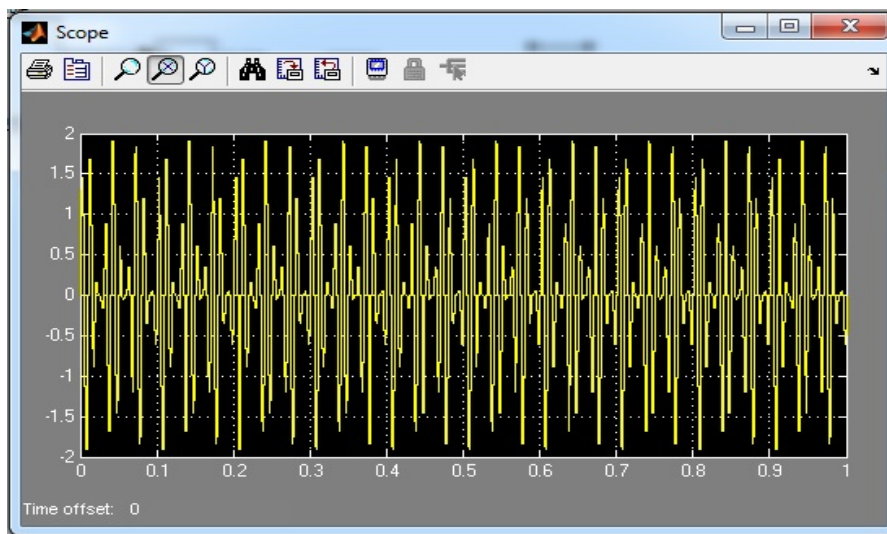
Τα αποτελέσματα που θα πρέπει να εμφανιστούν είναι τα εξής :

A) Το φάσμα συχνοτήτων του αρχικού σήματος πληροφορίας ,



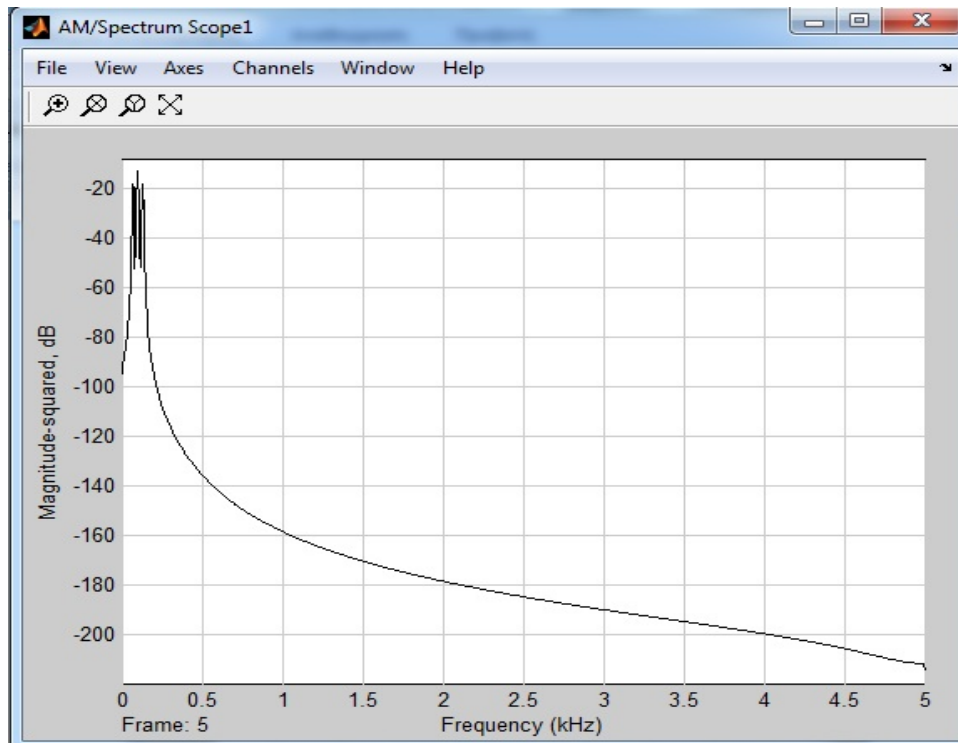
Όπως παρατηρούμε με **χρήση του Zoom**  στην περιοχή της η συχνότητα είναι στα 30 Hz όπως την ορίσαμε στην αρχή.

Β) Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου ,



Για να δούμε οποιοδήποτε σήμα στο πεδίο του χρόνου αρκεί να εισάγουμε ένα καινούργιο Scope και να το συνδέσουμε σε οποιοδήποτε τμήμα (καλώδιο) του κυκλώματος.

Γ) Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας,



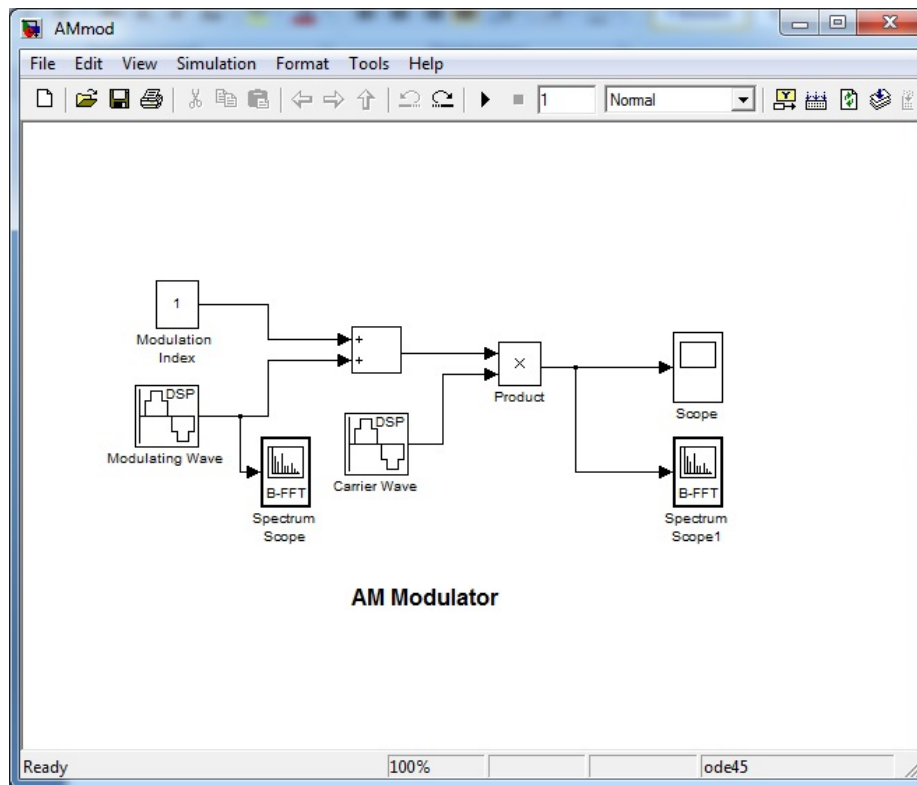
Όπως παρατηρούμε , αφού κάνουμε zoom, το διαμορφωμένο σήμα αποτελείται από το φέρων κύμα στα 100 Hz με άνω και κάτω πλευρική ζώνη συχνοτήτων στα +/- 30 Hz .

Στο τέλος μην ξεχάσετε να αποθηκεύσετε το αρχείο σας , με όνομα αντιπροσωπευτικό της λειτουργίας του, για ευκολία (**File** → **Save As...**) .
Για παράδειγμα “ AMmod “ (mod από το modulation).

4.2 Προσομοίωση αποδιαμόρφωσης AM (DSB-LC)

Η αποδιαμόρφωση έχει ,ως στόχο την ανάκτηση του αρχικού σήματος πληροφορίας από έναν δέκτη για την ανάλυση του.

1. Εφόσον έχετε κλείσει το αρχείο από την επεξεργασία της διαμόρφωσης AMmod.mdl , το ανοίγετε για να προχωρήσουμε με την αποδιαμόρφωση.
2. Έχουμε το κύκλωμα μας όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



3. Για να εισέλθουμε στον τομέα της αποδιαμόρφωσης του σήματος AM θα εισάγουμε ένα **Math function** στο μοντέλο που βρίσκεται στον Library Browser στο *Simulink* → *Math Operations* → *Math function* .



4. Τοποθετούμε ένα βαθυπερατό φίλτρο **Lowpass Filter** που βρίσκεται στον κατάλογο *Signal Processing Blockset* → *Filtering* → *Filter Designs*



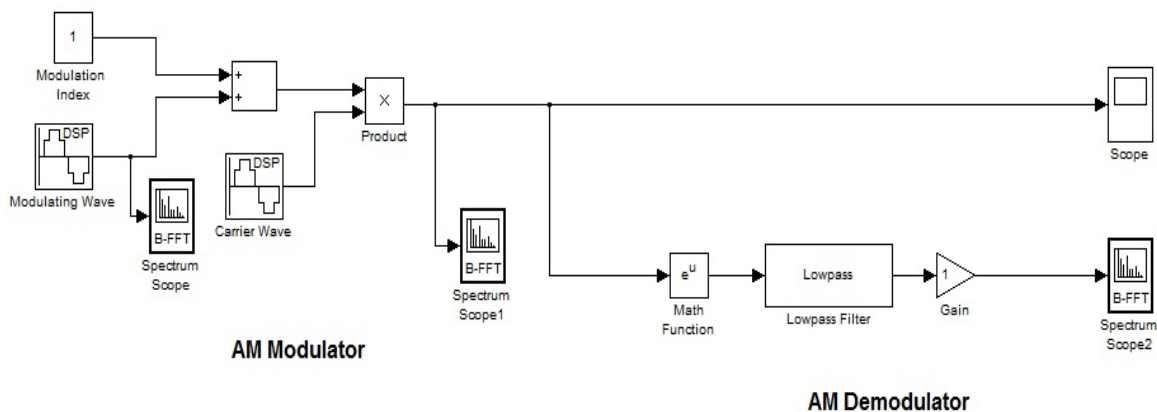
5. Εισάγουμε ένα **Gain** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Math Operations* → *Gain*.



6. Από το *Signal Processing Blockset* → *Signal Processing Sinks* εισάγουμε ένα **Spectrum Scope** τον φασματικό αναλυτή του σήματος.



7. Αφού έχετε τοποθετήσει τα προαναφερθέντα αντικείμενα (blocks) συνδέστε τα σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα.



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Αφού ολοκληρώσατε την σύνδεση των αντικειμένων σειρά έχει η ρύθμιση των παραμέτρων τους.

α) Για το *Math function* στην καρτέλα *Main* αλλάζουμε μόνο την τιμή του *Function* : $magnitude^2$, έτσι ώστε κάθε τιμή του διαμορφωμένου σήματος που εισέρχεται στο block να υψωθεί στο τετράγωνο για να απαλειφθούν οι αρνητικές τιμές.

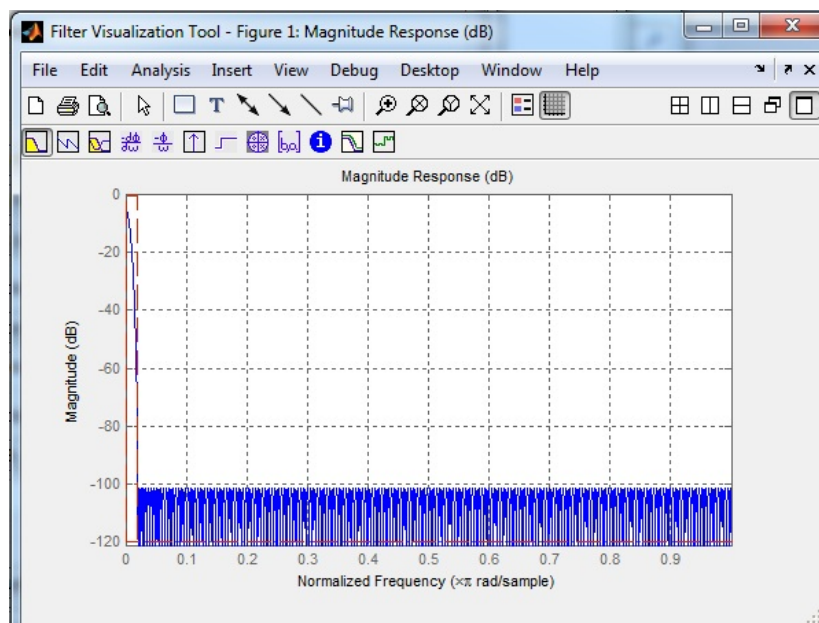
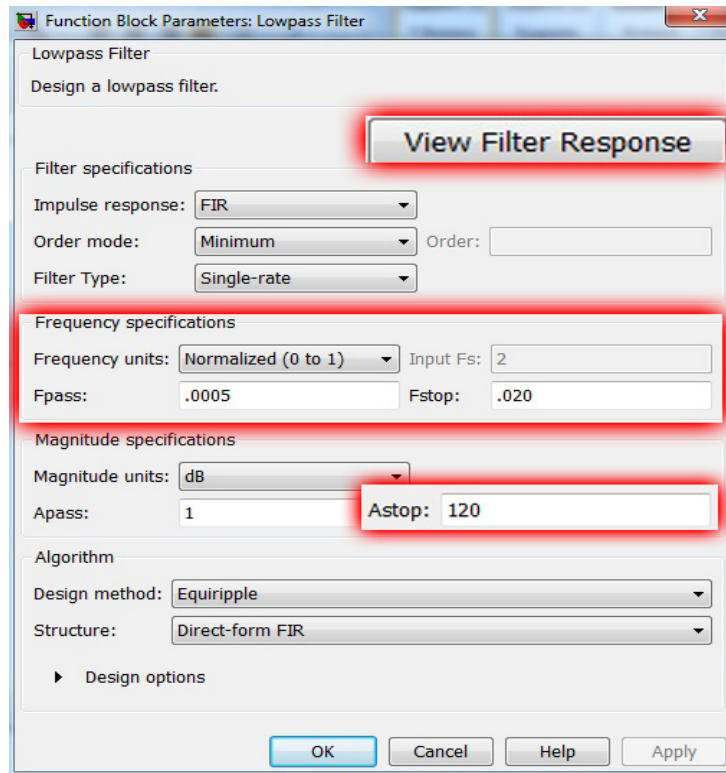


β) Για το βαθυπερατό φίλτρο *Lowpass Filter* εισάγουμε τις εξής παραμέτρους:

- Αλλάζουμε τις τιμές F_{pass} και F_{stop} του πεδίου *Frequency specifications* :

$F_{pass} = .0005$ και $F_{stop} = .020$ και $A_{stop} = 120$

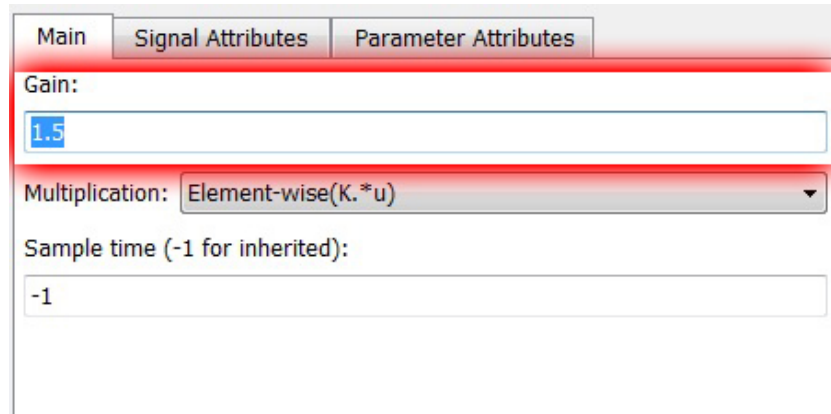
- Στην συνέχεια πατάμε το πλήκτρο *View Filter Response* για να δούμε την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης του βαθυπερατού φίλτρου.



Όπως παρατηρούμε το φίλτρο επιτρέπει μόνο τις χαμηλές συχνότητες του συνολικού φάσματος του σήματος να διέλθουν ελεύθερα , αποκόπτοντας τα υπόλοιπες.

γ) Στον ενισχυτή πλάτους, του εξαγόμενου εκ βαθυπερατού φίλτρου σήματος, *Gain* αλλάζουμε την τιμή :

$$Gain = 1.5$$



δ) Τώρα αλλάζουμε τις τιμές στο *Spectrum Scope2* το οποίο θα έχει τις παρακάτω ρυθμίσεις:

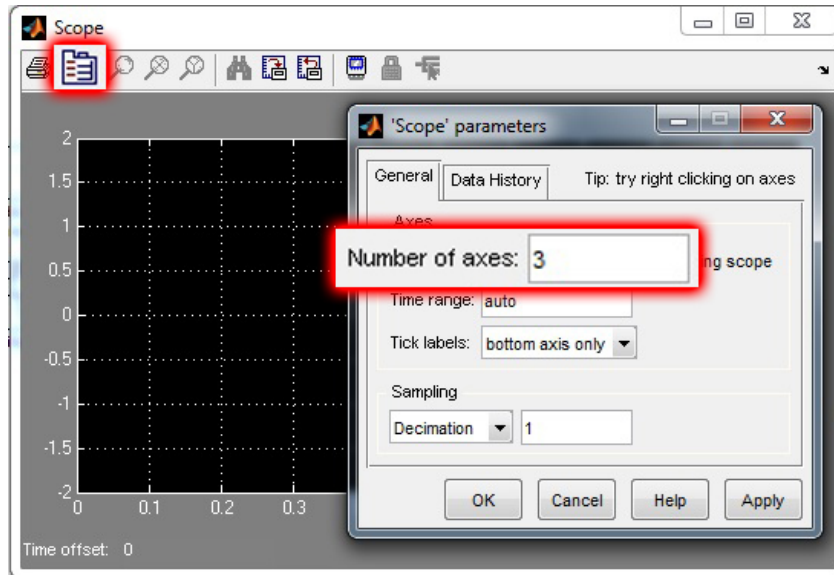
- Στην καρτέλα *Scope Properties* , επιλέγουμε
 - *Spectrum type* = One-sided ([0...Fs/2])
- Τσεκάρουμε την επιλογή *Buffer Input* και βάζουμε
 - *Buffer size* = 128
 - *Buffer overlap* = 0
- Τσεκάρουμε την επιλογή *Specify FFT Length* και βάζουμε
 - *FFT Length* = 256

ε) Ο χρόνος προσομοίωσης παραμένει ίδιος , δηλαδή 1.

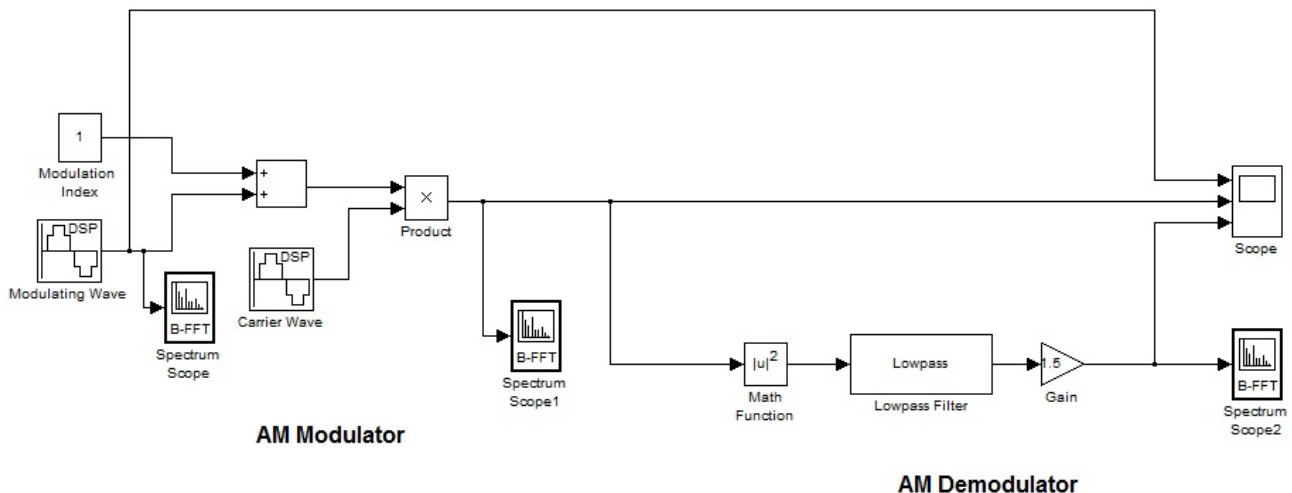
Αποτελέσματα προσομοίωσης

1. Υπάρχει η δυνατότητα για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων να αυξήσουμε τις εισόδους του παλμογράφου ώστε να εμφανιστούν στον ίδιο παλμογράφο 2 ή περισσότερα σήματα στο πεδίο του χρόνου. Για να το επιτύχουμε αυτό ανοίγουμε το *Scope* και επιλέγουμε από την γραμμή εργαλείων το κουμπί *Parameters*. Ακολούθως στο παράθυρο που ανοίγει:

- Στην επιλογή *Number of axes* εισάγουμε τον αριθμό εισόδων ή σημάτων που θέλουμε να εμφανίσει ο παλμογράφος. Αλλάζετε την τιμή σε :
Number of axes = 3



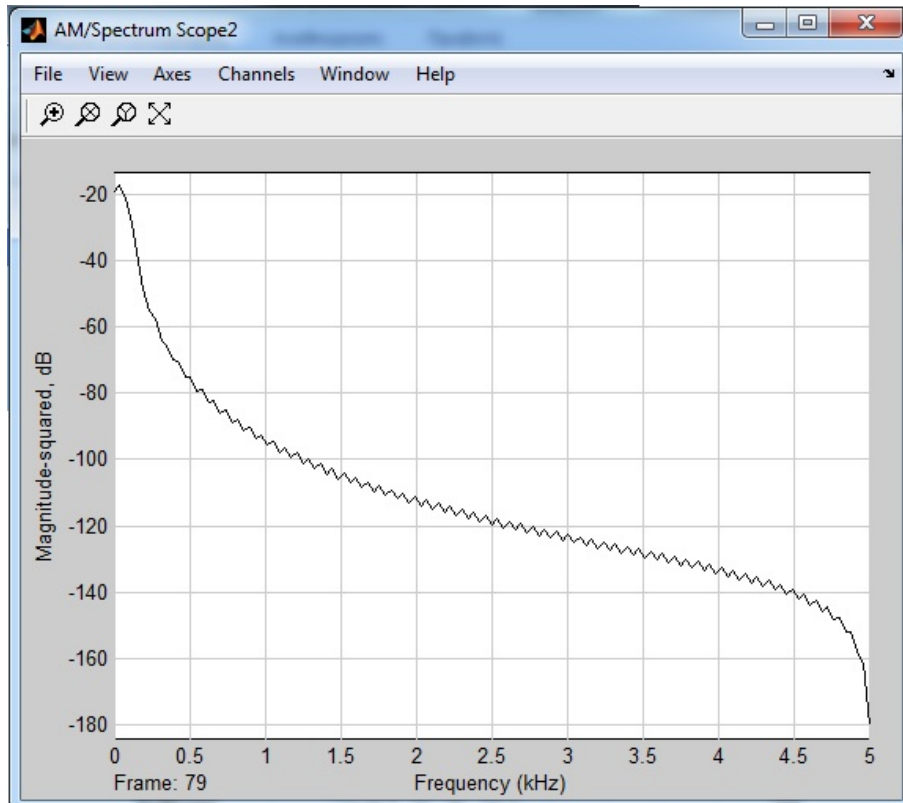
Να σημειωθεί πως η σειρά εμφάνισης των σημάτων στον παλμογράφο γίνεται με σύνδεση από πάνω προς τα κάτω των επιμέρους καλωδίων στις εισόδους του παλμογράφου. Η σύνδεση και το τελικό κύκλωμα θα έχει την μορφή του παρακάτω σχήματος:



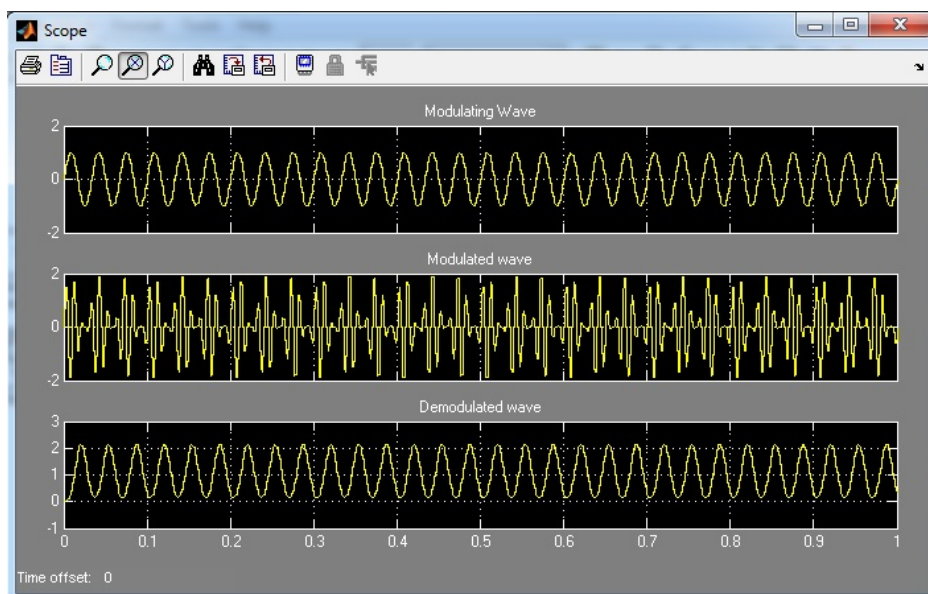
2. Επόμενο βήμα είναι να τρέξουμε την προσομοίωση πατώντας του κουμπι Play.
3. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε πεδίο συχνοτήτων και χρόνου αντίστοιχα :

Απαραίτητο είναι να κάνουμε **Δεξί κλικ** → **Autoscale** μέσα στα διαγράμματα της συχνότητας και στις κυματομορφές του παλμογράφου ξεχωριστά.

A) Το αποδιαμορφωμένο AM σήμα στο πεδίο της συχνότητας.



B) Το αποδιαμορφωμένο σήμα σε σύγκριση με το διαμορφωμένο και το αρχικό στο πεδίο του χρόνου:

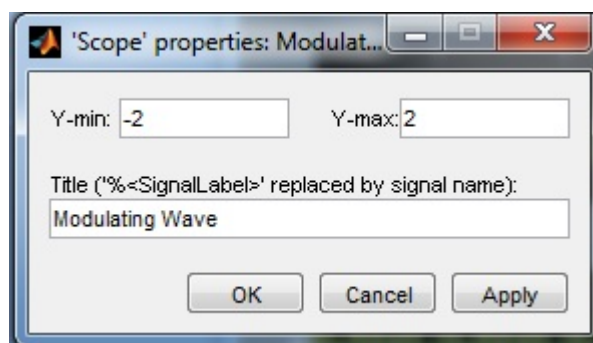


Παρατηρούμε ότι η συχνότητα του αποδιαμορφωμένου σήματος βρίσκεται στα 30 Hz όπως και του αρχικού σήματος πληροφορίας.

Όσο αφορά τους κάθετους άξονες των *Scope* και συγκεκριμένα του παρόντος για να εμφανίζουν όπως επιθυμούμε τις κυματομορφές κάνουμε το εξής :

- Δεξί κλικ σε κάθε οθόνη ξεχωριστά (Μέσα σε αυτήν) και επιλέγουμε το ***Axes Properties...***

- Στο παράθυρο που θα εμφανιστεί επιλέγουμε το εύρος του κάθετου άξονα στα δύο πρώτα πεδία και το αντιπροσωπευτικό όνομα της κάθε κυματομορφής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



4) Αποθηκεύστε το αρχείο της διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης AM με όνομα “ AMmodDemod”

Ασκήσεις – Ερωτήσεις

1. Ποια θα πρέπει να είναι η συχνότητα του σήματος πληροφορίας και ποια του φέροντος, ώστε το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας να έχει δύο πλευρικές στα **60 Hz** και στα **100 Hz** αντίστοιχα.

2. Το παράδειγμα που μόλις πραγματοποιήσαμε είχε δείκτη διαμόρφωσης 1. Ποια θα είναι η μορφή του διαμορφωμένου κατά AM σήματος στο πεδίο του χρόνου για τιμές του δείκτη διαμόρφωσης : 0.2 0.5 1.5

3. Αλλάξτε την συχνότητα του σήματος πληροφορίας και του φέροντος σήματος σύμφωνα με τις τιμές που ακολουθούν:

Αρχικό σήμα πληροφορίας – Φέρον σήμα : 60 - 200 , 80 - 300

Παρατηρείστε τις αλλαγές του διαμορφωμένου σήματος στο πεδίο της συχνότητας και να ελεγχθεί αν το αποδιαμορφωμένο σήμα έχει την ίδια συχνότητα με το σήμα πληροφορίας σε κάθε περίπτωση.

4.3 Προσομοίωση Διαμόρφωσης – Αποδιαμόρφωσης AM (DSB-SC)

Στόχοι της Άσκησης

Θα ασχοληθούμε με τον σχηματισμό του κυκλώματος διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης σημάτων AM (DSB-SuppressedCarrier) με κατεσταλμένο φέρον στο Simulink καθώς και η ανάλυση των σημάτων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

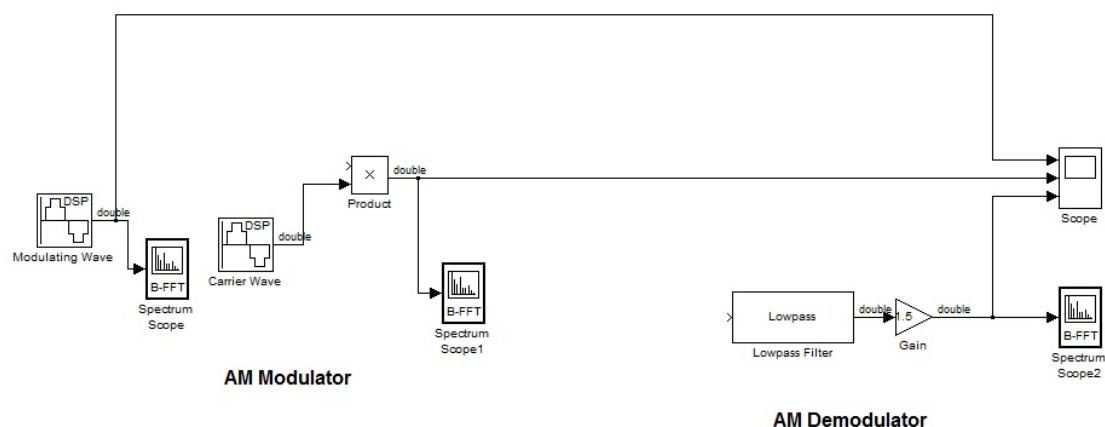
Εργαστηριακή άσκηση 2

Αφού έχουμε ανοίξει το πρόγραμμα του MATLAB και έχουμε πατήσει για άνοιγμα το Simulink, μέσα από το παράθυρο του Library Browser φορτώνουμε την προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση (AMmodDemod.mdl) :

File → Open → ../AMmodDemod.mdl

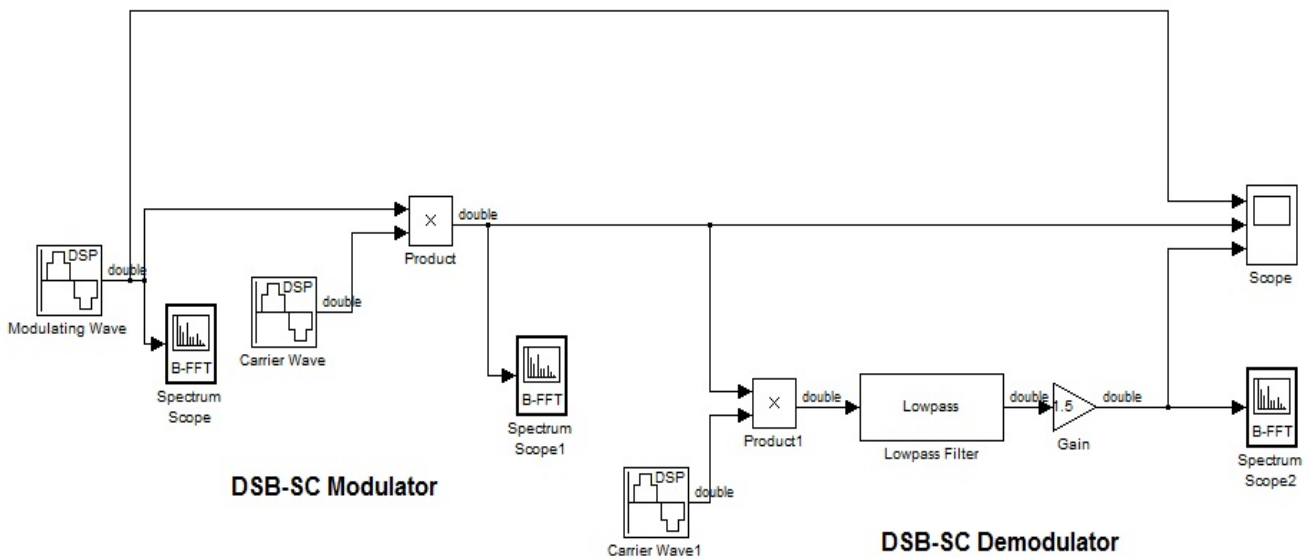
Δημιουργία μοντέλου

1. Από την εργαστηριακή άσκηση 1 σβήνουμε τα blocks *Constant (Modulation Index)*, *Add* από την περιοχή της διαμόρφωσης και *Math function* από αυτή της αποδιαμόρφωσης καθώς και τα καλώδια που συνδέονταν με αυτά. Μετά από τις αλλαγές αυτές το κύκλωμα θα έχει την παρακάτω μορφή:



2. Εισάγετε στο κύκλωμα από τον κατάλογο *Signal Processing Blockset* → *Signal Processing Sources*, ένα **Sine Wave**.
3. Από το *Simulink* → *Math Operations* εισάγουμε ένα **Product**.
4. Με αριστερό κλικ του ποντικιού πάνω στις κεφαλίδες των τμημάτων του κυκλώματος αλλάζουμε τους τίτλους σε DSB-SC.

Αφού τοποθετήσαμε τα αντικείμενα που προαναφέρθηκαν τα συνδέουμε σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα:



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

1. Διαμορφώνουμε αρχικά τις τιμές του *Sine Wave* (*Carrier Wave1*) που προσθέσαμε ώστε να είναι ΔΙΕΣ με τις τιμές του φέροντος (*Carrier Wave*).

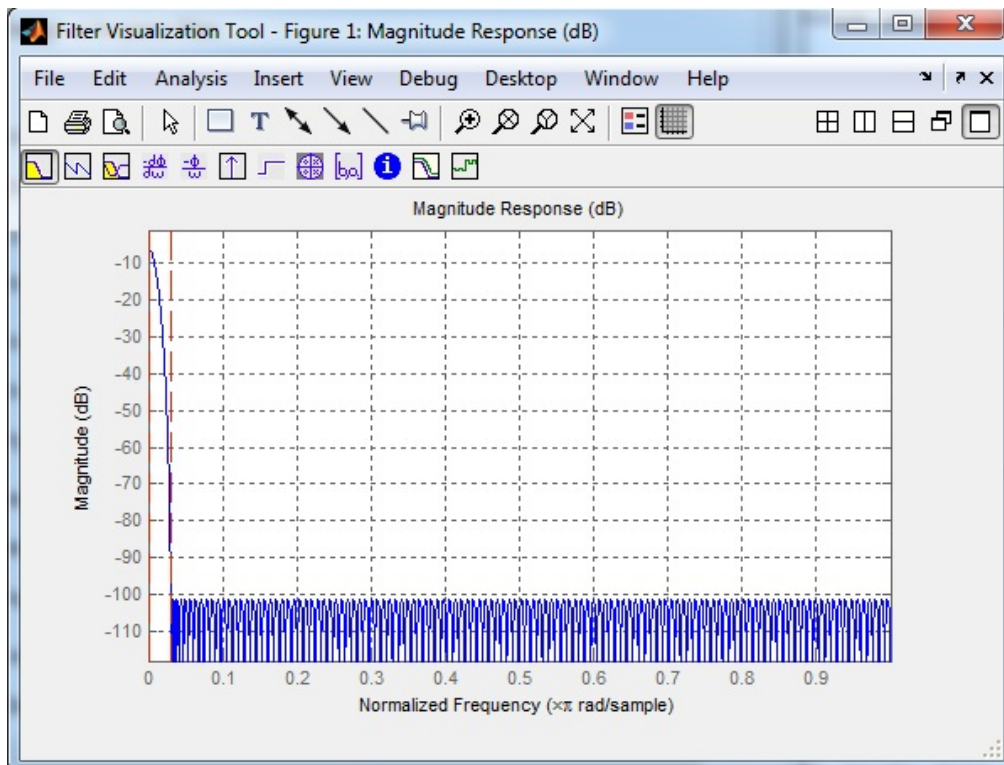
Δηλαδή :

- α) Ρυθμίζουμε το πλάτος του σήματος : Amplitude = 1
- β) Την συχνότητα του σήματος : Frequency (Hz) = 100
- γ) Η περίοδος δειγματοληψίας : Sample time = 1/10000

2. Στην συνέχεια αλλάζουμε την τιμή *Fstop* του φίλτρου:

$$F_{stop} = .030$$

, του οποίου η εικόνα (View Filter Response) είναι η ακόλουθη.



3. Τελικώς διαμορφώνουμε την παράμετρο του Gain:

$$Gain = 4.8$$

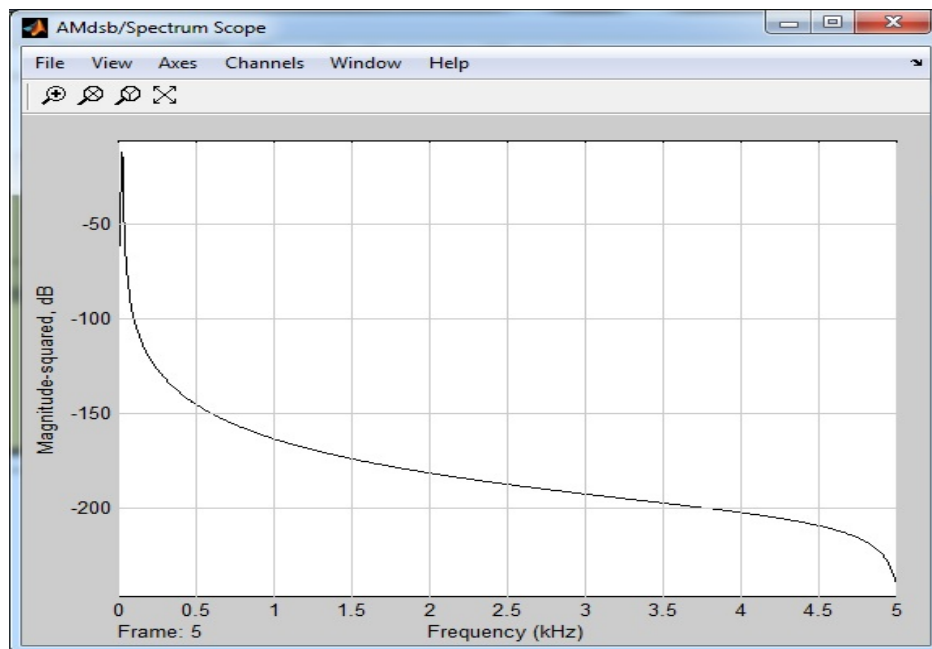
4. Αποθηκεύουμε το αρχείο μας ως "DSBscModDemod".

5. Τρέχουμε την προσομοίωση πατώντας το Run.

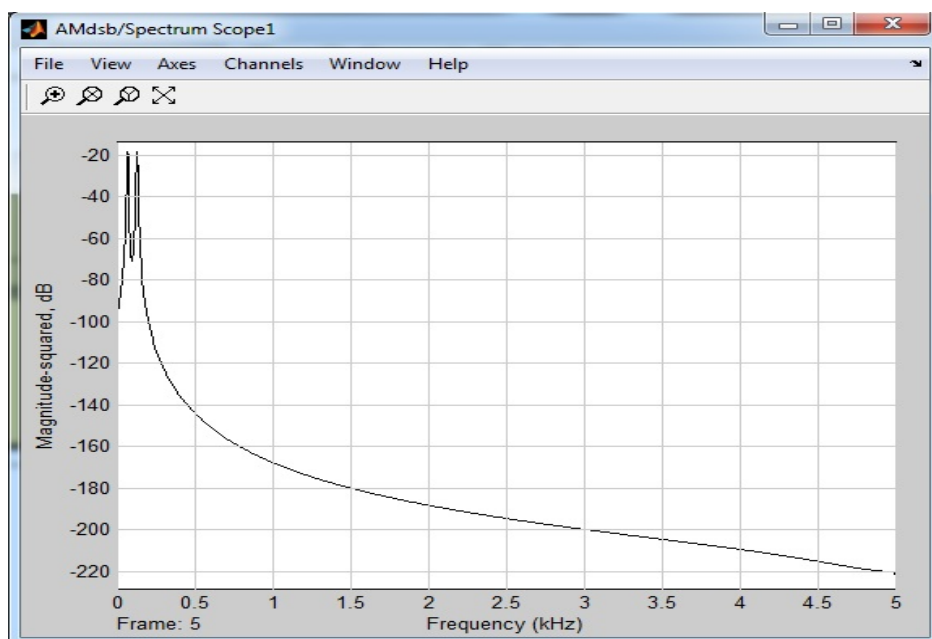
Αποτελέσματα προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο πεδίο των συχνοτήτων και του χρόνου θα πρέπει τα εξής:

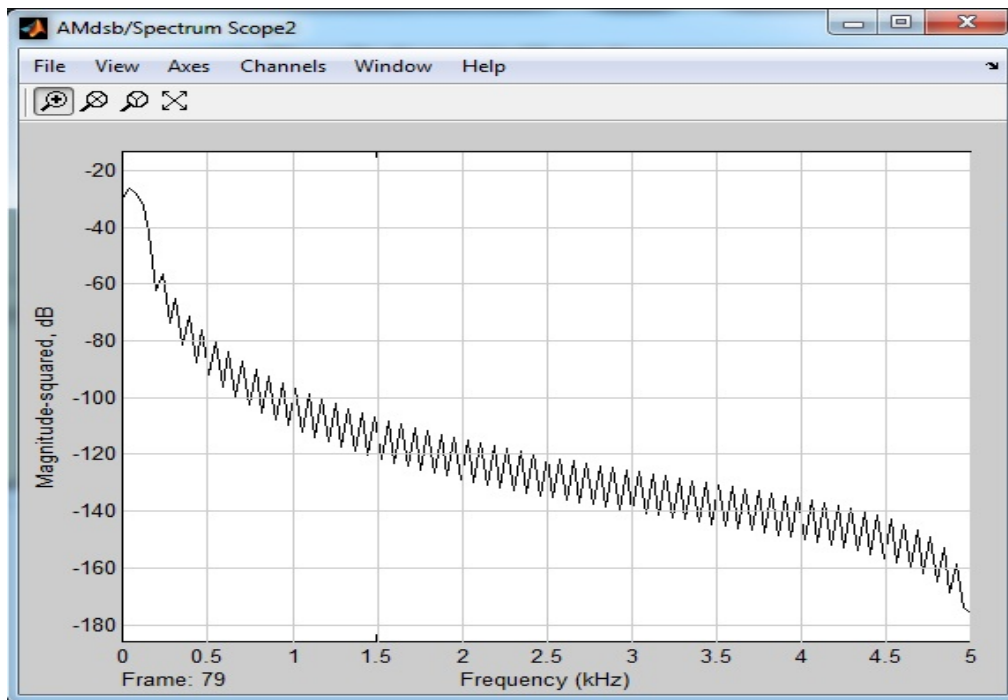
A) Το αρχικό σήμα πληροφορίας στο πεδίο της συχνότητας.



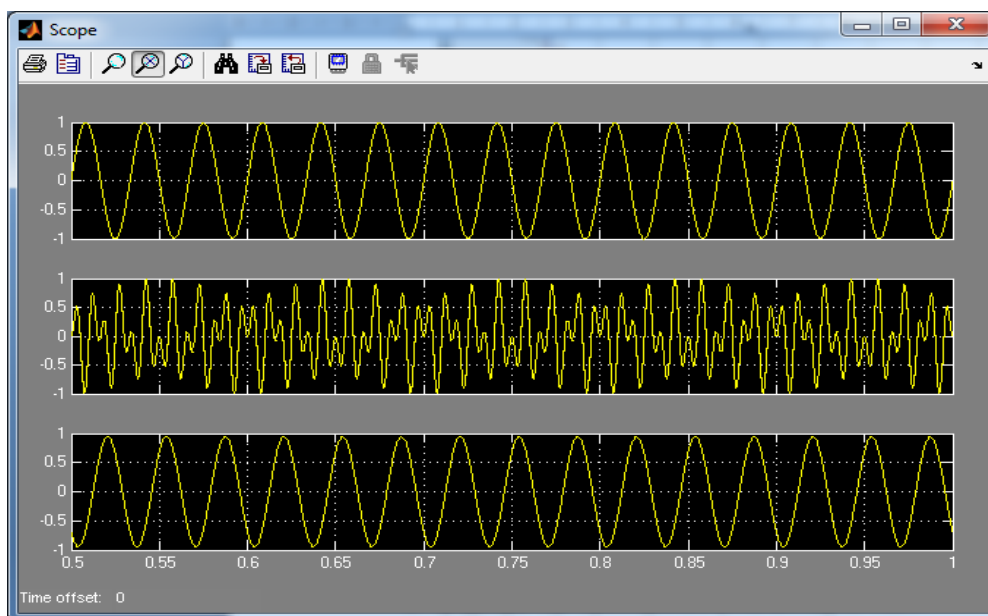
B) Το διαμορφωμένο κατά DSB-SC σήμα στο πεδίο της συχνότητας.



Γ) Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας.



Δ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας σε σύγκριση με το διαμορφωμένο και το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου.



Είναι απαραίτητο μετά από κάθε προσομοίωση να κάνουμε *Δεξί κλικ / Autoscale* στο κάθε διάγραμμα ξεχωριστά είτε στο πεδίο του χρόνου είτε αυτό της συχνότητας.

Ασκήσεις – Ερωτήματα

1. Παρατηρείστε τις αλλαγές του σήματος στο πεδίο του χρόνου πριν και μετά από το βαθυπερατό φίλτρο.
2. Ορίστε το πλάτος του αρχικού σήματος πληροφορίας σε **3** και των *Carrier Wave* & *Carrier Wave1* σε **2** και τρέξτε την προσομοίωση. Τι παρατηρείτε :
 - α) στο πλάτος του διαμορφωμένου σήματος.
 - β) ποια μαθηματική σχέση αντιπροσωπεύει την αλλαγή που παρατηρήσατε.
3. Ποια τιμή πρέπει να έχει η παράμετρος του *Gain* ώστε το πλάτος του αποδιαμορφωμένου σήματος να είναι ίδιο με το πλάτος του σήματος πληροφορίας

4.4 Προσομοίωση Διαμόρφωσης – Αποδιαμόρφωσης μονής πλευρικής ζώνης SSB (Single Side Band)

Στόχοι της Άσκησης

Η δημιουργία και η κατανόηση του κυκλώματος διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης σημάτων Μονής πλευρικής ζώνης με κατεσταλμένο φέρον στο Simulink καθώς και η ανάλυση των σημάτων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

Εργαστηριακή άσκηση 3

Αφού έχουμε ανοίξει το πρόγραμμα του MATLAB και έχουμε πατήσει για άνοιγμα το Simulink, μέσα από το παράθυρο του Library Browser φορτώνουμε την προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση (DSBscModDemod.mdl) :

File → Open → ../DSBscModDemod.mdl

Δημιουργία μοντέλου

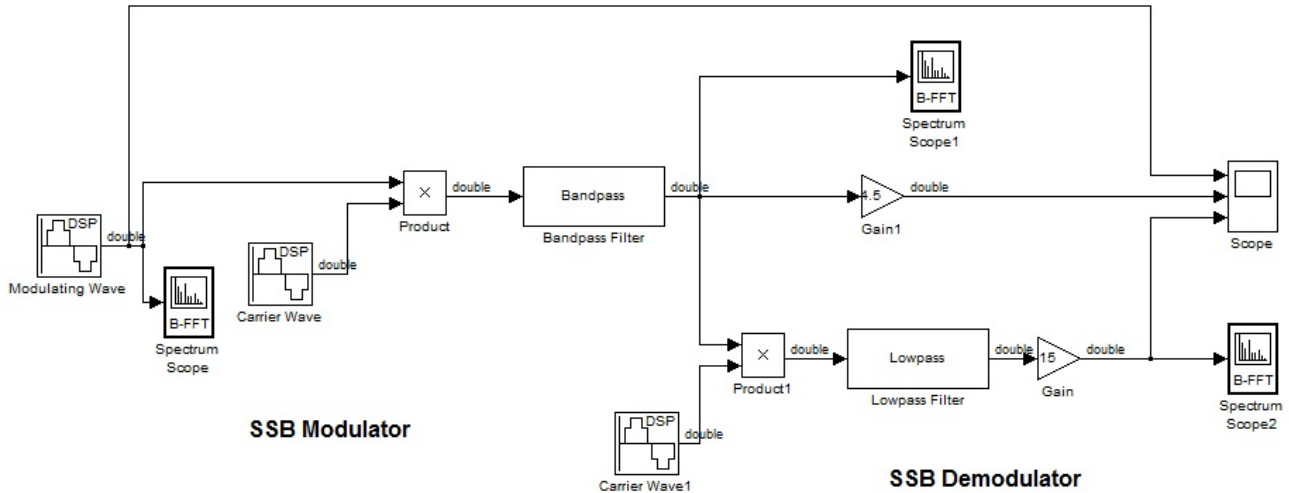
1. Αφού ανοίξατε το μοντέλο της DSB-SC διαμόρφωσης , θα πρέπει να εισάγουμε αρχικά ένα καινούργιο, ζωνοπερατό αυτή την φορά, φίλτρο ώστε να μπορέσουμε να εξαλείψουμε την μία εκ των δύο πλευρικών. Από τον κατάλογο *Signal Processing Blockset → Filtering → Filter Designs* επιλέγουμε και εισάγουμε το **Bandpass Filter**.



2. Εισάγουμε επίσης ακόμα ένα **Gain** στο κύκλωμα από τον υποκατάλογο

Simulink → Math Operations → Gain .

Αφού έχετε τοποθετήσει στον χώρο του μοντέλου τα αντικείμενα σχεδιάστε το κύκλωμα με βάση την εικόνα που ακολουθεί :



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

α) Για το ζωνοπερατό φίλτρο *Bandpass filter* εισάγουμε τις εξής παραμέτρους:

- Αλλάζουμε τις τιμές F_{pass1} , F_{pass2} και F_{stop1} , F_{stop2} του πεδίου *Frequency specifications* :

$$F_{stop1} = .00001 \quad \text{και} \quad F_{pass1} = .011$$

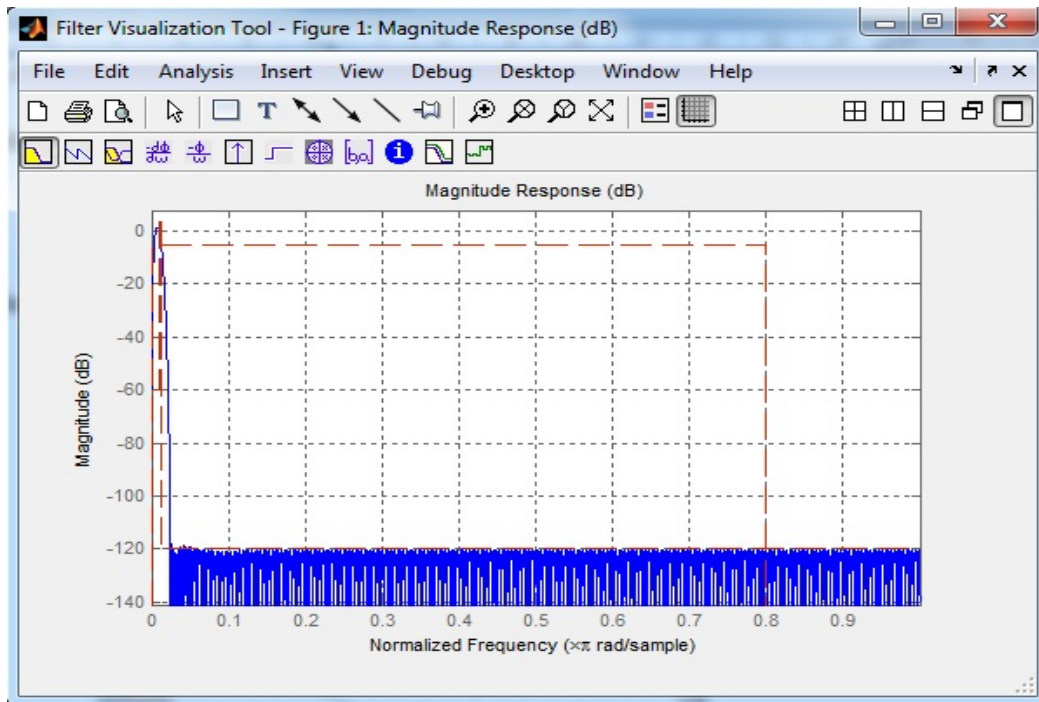
$$F_{pass2} = .013 \quad \text{και} \quad F_{stop2} = .80$$

- Τώρα πηγαίνουμε στο πεδίο *Magnitude Specifications* των ρυθμίσεων του Bandpass filter και εισάγουμε τις εξής τιμές:

$$A_{stop1} = 60 \quad \text{και} \quad A_{pass} = 10$$

$$A_{stop2} = 120$$

- Στην συνέχεια πατάμε το πλήκτρο *View Filter Response* για να δούμε την καμπύλη συχνотικής απόκρισης του ζωνοπερατού φίλτρου.



Όπως διακρίνουμε το φίλτρο μας επιτρέπει μόνο μια περιοχή χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος να διέλθει ελεύθερα, στην οποία βρίσκεται και η κάτω πλευρική την οποία θέλουμε να κρατήσουμε. Στο υπόλοιπο κομμάτι με χρήση μεγάλου πλάτους αποκοπής εξαλείφουμε την άνω πλευρική.

β) Στο *Lowpass filter* ρυθμίζουμε της επιλογή *Astop* του πεδίου *Magnitude Specifications*:

$$A_{stop} = 120$$

γ) Ρυθμίζουμε το **Gain** που μόλις προσθέσαμε (*Gain1*):

$$\text{Gain} = 6$$

δ) Ρυθμίζουμε το *Gain* (μετά το *Lowpass filter*):

$$\text{Gain} = 30$$

ε) Ρυθμίζουμε MONO ΣΤΟ *Spectrum Scope 2*:

$$\text{Buffer size} = 256$$

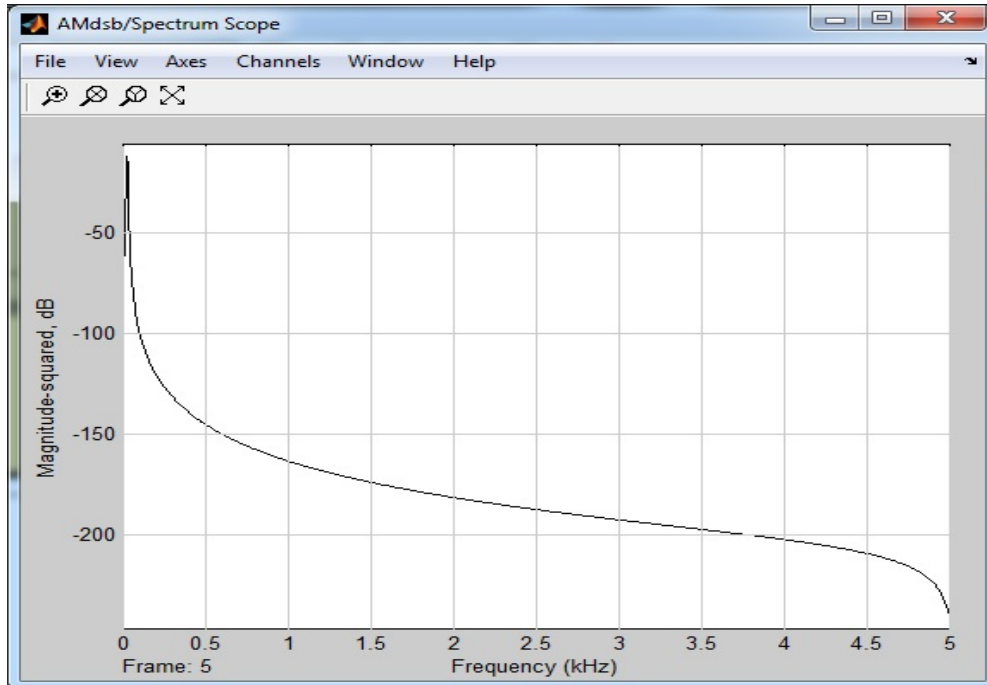
στ) Όλες οι υπόλοιπες ρυθμίσεις του κυκλώματος παραμένουν αναλλοίωτες.

Πατήστε το Run για να τρέξει η προσομοίωση.

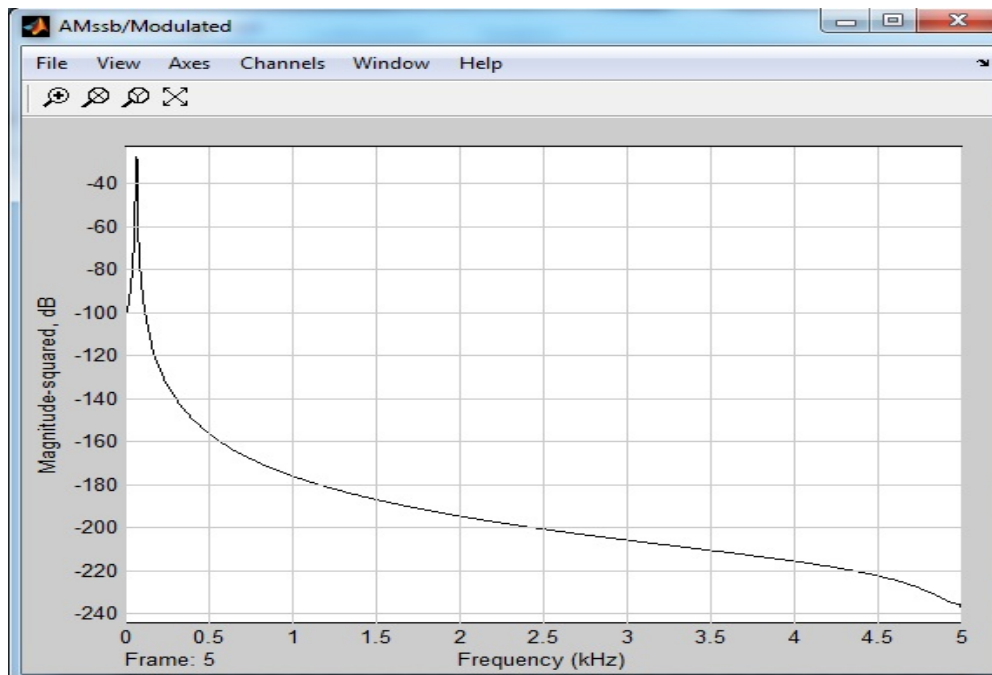
Αποτελέσματα προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο πεδίο των συχνοτήτων και του χρόνου θα πρέπει να εξής:

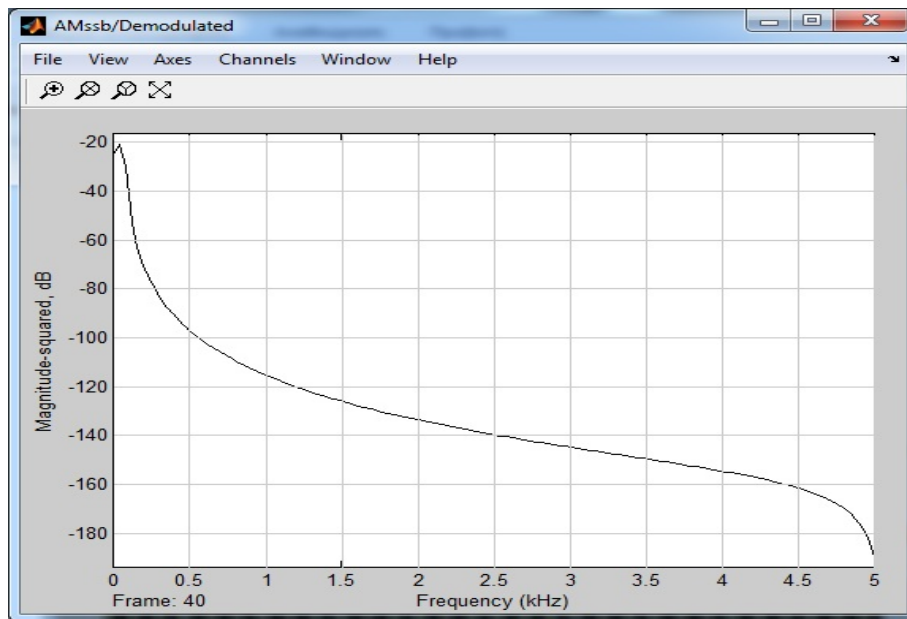
A) Το αρχικό σήμα πληροφορίας στο πεδίο της συχνότητας :



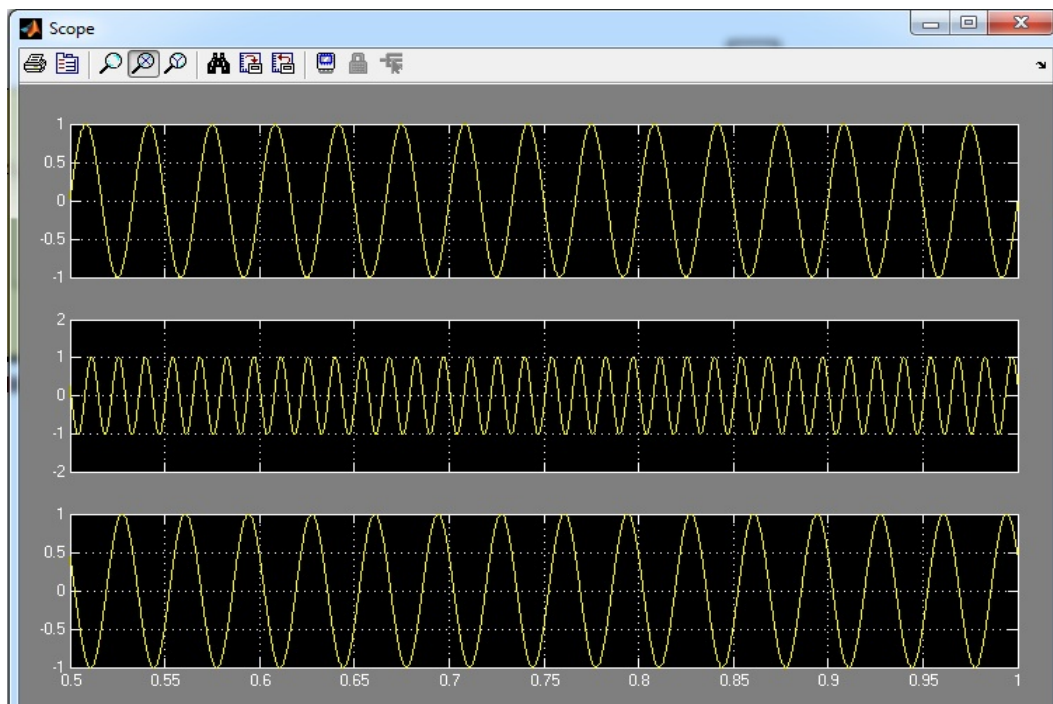
B) Το διαμορφωμένο κατά SSB σήμα στο πεδίο της συχνότητας :



Γ) Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας :



Δ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας σε σύγκριση με το διαμορφωμένο και το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου.



Μην ξεχνάτε πως κάνουμε *Δεξί κλικ / Autoscale* στο κάθε διάγραμμα ξεχωριστά είτε στο πεδίο του χρόνου είτε αυτό της συχνότητας, για να δούμε τα αποτελέσματα σωστά.

Αποθηκεύστε το αρχείο με όνομα “SSBModDemod”.

Ασκήσεις – Ερωτήσεις

1. Στο παράδειγμα που πραγματοποιήσαμε εμφανίζεται η κάτω πλευρική LSB. Εμφανίστε την USB με την βοήθεια του Band pass filter και παρατηρήστε το αποτέλεσμα στο πεδίο της συχνότητας. Οι τιμές των παραμέτρων των σημάτων είναι οι ίδιες.

4.5 Προσομοίωση Διαμόρφωσης FM

Στόχοι της Άσκησης

Εισερχόμαστε στο κεφάλαιο της Διαμόρφωσης γωνίας όπου θα ασχοληθούμε με τον σχηματισμό του κυκλώματος διαμόρφωσης και μετέπειτα αποδιαμόρφωσης σημάτων FM στο Simulink, ενώ θα μελετηθούν και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

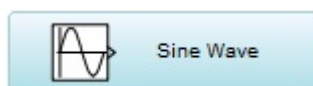
Εργαστηριακή άσκηση 4

Ξεκινώντας από την αρχή, δημιουργήστε ένα καινούργιο Model όπως εξηγήθηκε αναλυτικά στην *Εργαστηριακή άσκηση 1*.

1. Όταν ανοίξει το παράθυρο καλό θα ήταν να το αποθηκεύσετε με το όνομα "FMmod".

2. Στο Model που έχει ανοίξει εισάγουμε τα εξής αντικείμενα :

α) Ένα **Sine Wave** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Sources*.



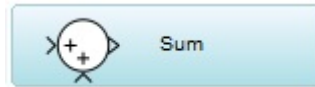
β) Από τον ίδιο κατάλογο *Sources* εισάγουμε και ένα **Constant**.

γ) Από το *Simulink* → *Math Operations* τοποθετούμε ένα **Gain**

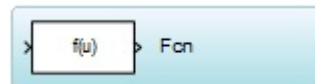
δ) Στον υποκατάλογο *Simulink* → *Continuous*, βρίσκουμε και εισάγουμε στο κύκλωμα έναν ολοκληρωτή, **Integrator**.



ε) Ακολουθώντας, από το *Simulink* → *Math Operations* υποκατάλογο τοποθετούμε ένα **Sum**.



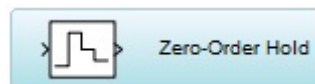
στ) Εισάγετε ένα **Fcn** από *Simulink* → *User-Defined Functions*.



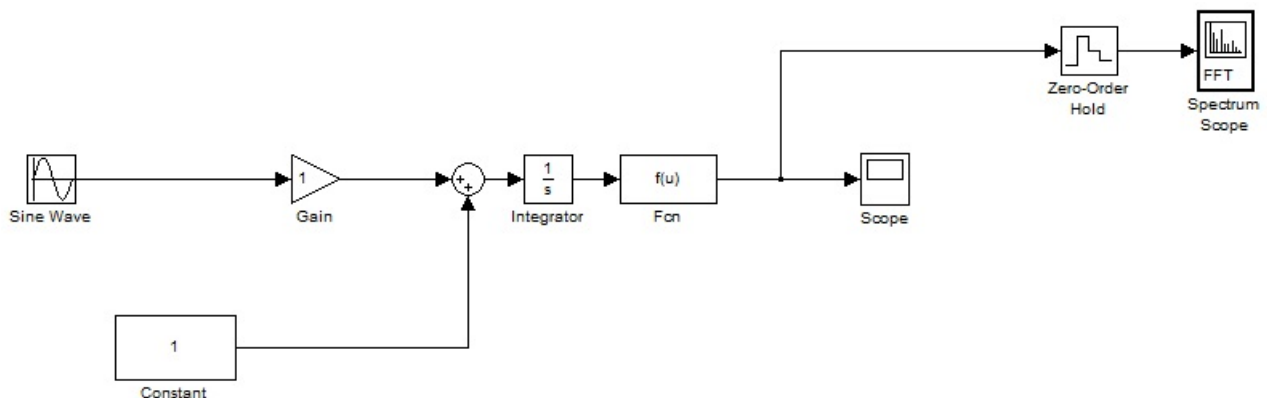
ζ) Χρειαζόμαστε ένα **Scope** για την απεικόνιση στο πεδίο του χρόνου. (*Simulink* → *Sinks*)

η) Επίσης βάζουμε ένα **Spectrum Scope** για την απεικόνιση στο πεδίο της συχνότητας. (*Signal Processing Blockset* → *Signal Processing Sinks*).

θ) Τέλος τοποθετούμε ένα **Zero-Order Hold** (δειγματολήπτης) που βρίσκεται στον κατάλογο *Simulink* → *Discrete*.



Σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα συνδέετε τα αντικείμενα που μόλις εισήγαμε και το κύκλωμα θα έχει αυτήν την μορφή :



FM Modulator

Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Μετά το χτίσιμο του κυκλώματος διαμόρφωσης FM σημάτων βάζουμε τις κατάλληλες τιμές παραμέτρων των αντικειμένων.

α) Για το *Sine Wave* οι ρυθμίσεις που αλλάζουν είναι οι εξής :

- Frequency (rad/sec) = $2\pi \cdot 30$
- Phase (rad) = $\pi/2$
- Sample time = $1/10000$

β) Στο *Constant* αλλάζουμε την τιμή του σε :

- Constant value = $2\pi \cdot 200$

(Στην ουσία το constant παράγει ως σταθερά το φέρον σήμα που είναι 200 Hz)

γ) Το αντικείμενο *Gain* παίρνει την τιμή :

- Gain = $2\pi \cdot 1$

(Το *1 εκφράζει τον δείκτη διαμόρφωσης)

δ) Το *Sum ΔΕΝ* αλλάζει.

ε) Ο ολοκληρωτής *Integrator* έχει σαν έξοδο το ολοκλήρωμα κάθε δείγματος της εισόδου. Τσεκάρουμε την επιλογή :

- Ignore limit and reset when linearizing.

στ) Στην συνέχεια στο block *Fcn* ορίζουμε :

- Expression = $\cos(u)$

, έτσι ώστε η έξοδος του να είναι το συνημίτονο κάθε τιμής του σήματος εισόδου.

ζ) Ο δειγματολήπτης *Zero-Order Hold* θα έχει τιμή :

- Sample time = $1/1000$

,περίοδο δειγματοληψίας.

η) Στο *Spectrum Scope*:

α) Στην καρτέλα *Scope Properties* , επιλέγουμε
Spectrum type = One-sided ([0...Fs/2])

β) Τσεκάρουμε την επιλογή *Buffer Input* και βάζουμε

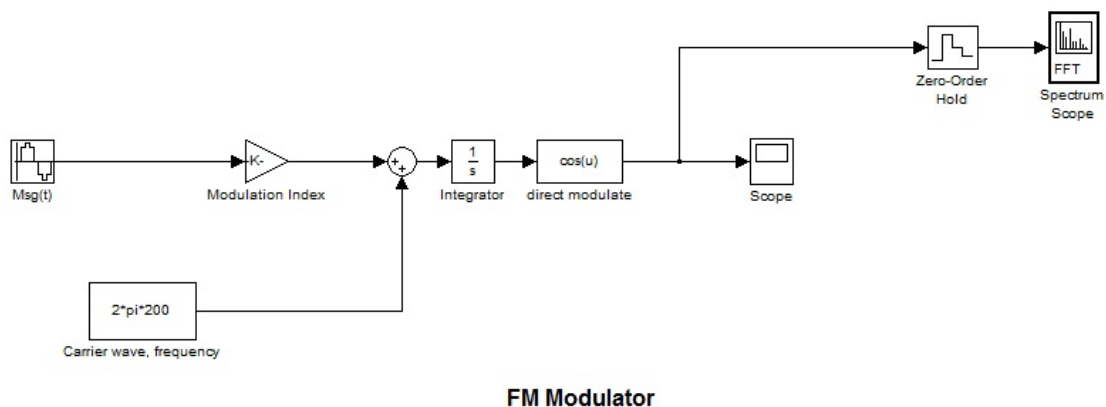
- *Buffer size = 512*

- *Buffer overlap = 0*

γ) Τσεκάρουμε την επιλογή *Specify FFT Length* και βάζουμε

- *FFT Length = 256*

Κάνοντας κλικ στα ονόματα των μπλοκ μπορούμε να τα αλλάξουμε για δική μας διευκόλυνση. Έτσι έχουμε μια κατατοπιστικότερη εικόνα ενός διαμορφωτή FM .



Ο συγκεκριμένος διαμορφωτής λειτουργεί παρόμοια με ένα VCO ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση, τον οποίο θα δούμε παρακάτω στην διαδικασία αποδιαμόρφωσης.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

Αφού σώσετε το αρχείο σας, ρυθμίζετε τον χρόνο προσομοίωσης :

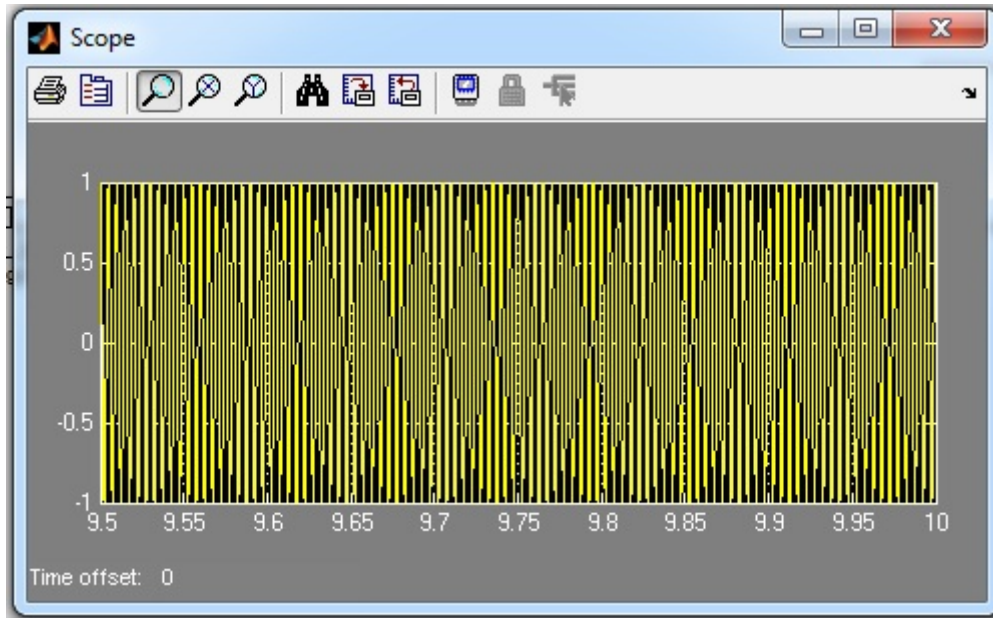
- Run = 10

και τρέχετε την προσομοίωση.

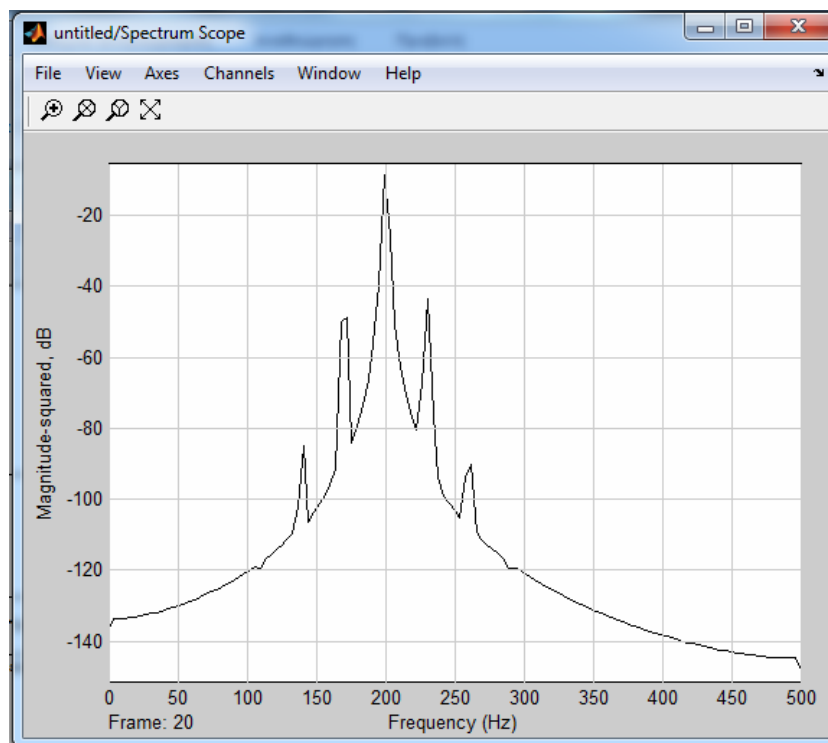


Τα αποτελέσματα που θα πρέπει να εμφανιστούν είναι τα εξής :

A) Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου ,



B) Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας,



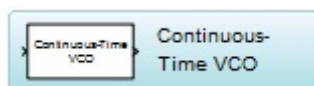
4.6 Προσομοίωση Αποδιαμόρφωσης FM

1. Εφόσον έχετε κλείσει το αρχείο, ανοίγετε το “FMmod.mdl”
2. Στην αποδιαμόρφωση FM χρησιμοποιούμε έναν βρόγχο κλειδώματος φάσης PLL, που αποτελείται από τα εξής αντικείμενα :

α) Εισάγετε από τον κατάλογο *Simulink* → *Math Operations* ένα **Product** και ένα **Gain**.

β) Τοποθετούμε ένα βαθυπερατό φίλτρο **Lowpass Filter** που βρίσκεται στον κατάλογο *Signal Processing Blockset* → *Filtering* → *Filter Designs*.

γ) Βάζουμε στο μοντέλο έναν VCO ταλαντωτή, **Continuous-Time VCO** στο κύκλωμα μας από τον υποκατάλογο *Communications Blockset* → *Synchronization* → *Components* :

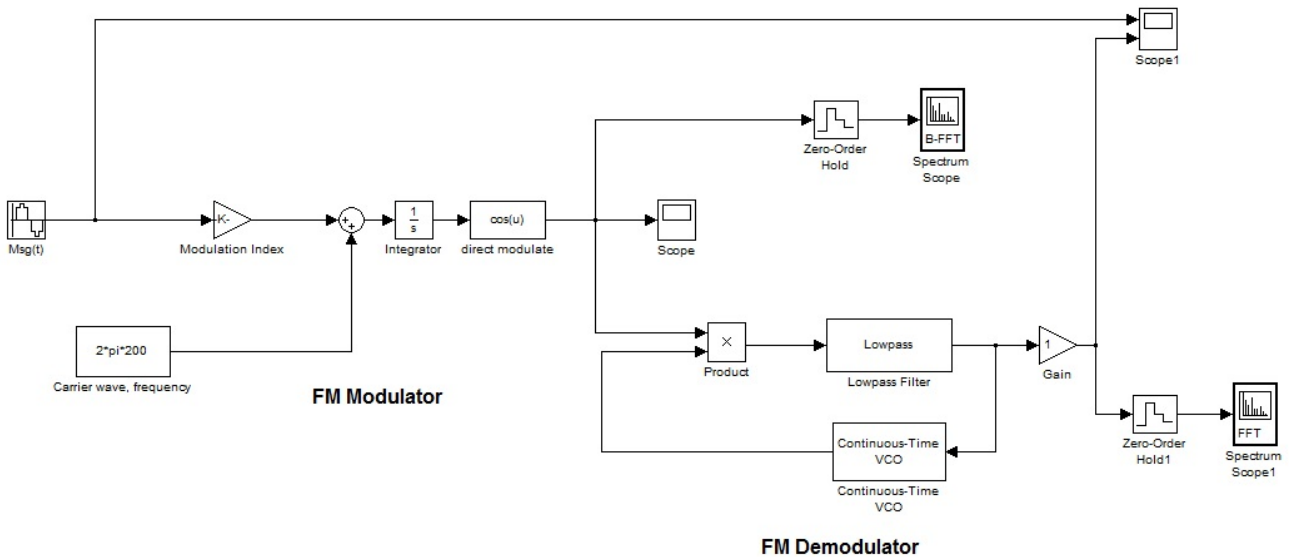


Αφού τοποθετηθεί επιλέγετε το αντικείμενο, κάνετε *Δεξί* → *Format* → *Flip Block* ή πατήστε **Ctrl + I** αφού το έχετε επιλεγμένο.

δ) Επίσης χρειαζόμαστε έναν δειγματολήπτη **Zero-Order Hold** που βρίσκεται στον κατάλογο *Simulink* → *Discrete* και ένα **Spectrum Scope** από τον *Signal Processing Blockset* → *Signal Processing Sinks*.

ε) Τέλος τοποθετούμε και έναν παλμογράφο **Scope** από τον κατάλογο *Simulink* → *Sinks*. Ρυθμίστε το ώστε να έχει 2 οθόνες παλμογράφου, όπως υποδείχθηκε στην Εργαστηριακή Άσκηση 1.

Αφού ολοκληρώσαμε την εισαγωγή των αντικειμένων θα τα συνδέσουμε σύμφωνα με το σχήμα του κυκλώματος που ακολουθεί .



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

α) Για το βαθυπερατό φίλτρο *Lowpass Filter* εισάγουμε τις εξής παραμέτρους:

- Αλλάζουμε τις τιμές F_{pass} και F_{stop} του πεδίου *Frequency*

specifications :

$$F_{pass} = 0.000000000001 \quad F_{stop} = 0.02$$

$$A_{pass} = 1 \quad A_{stop} = 120$$

(Για την αποθήκευση των ρυθμίσεων ενδέχεται να υπάρξει καθυστέρηση)

β) Στον *Continuous-Time VCO* έχουμε αλλαγή στην εξής ρύθμιση :

- *Quiescent frequency (Hz)* = 200

Parameters	
Output amplitude (V):	1
Quiescent frequency (Hz):	200
Input sensitivity (Hz/V):	1
Initial phase (rad):	0

Τα δύο παραπάνω αντικείμενα (*Lowpass filter*, *VCO*) μαζί με το *product* που λειτουργεί ως ανιχνευτής φάσης συνθέτουν έναν *βρόγχο κλειδωμένης φάσης*

και αποτελούν τον καλύτερο αποδιαμορφωτή συχνότητας, ένα κύκλωμα ελέγχου με ανάδραση συχνότητας. Η κύρια δουλειά του ανιχνευτή φάσης είναι να συγκρίνει τα δύο σήματα εισόδου και να παράγει ένα σήμα εξόδου που κατόπιν φιλτραρίσματος μέσω του Lowpass filter θα ελέγχει το VCO. Αν υπάρχει διαφορά φάσης ή συχνότητας μεταξύ των δύο σημάτων εισόδου και του VCO, η έξοδος του ανιχνευτή φάσης θα μεταβάλλεται ανάλογα. Η έξοδος του φίλτρου θα ρυθμίζει τη συχνότητα VCO ώστε να διορθώνει τις μεταβολές της αρχικής συχνότητας.

Όταν οι έξοδοι του ανιχνευτή φάσης και του χαμηλοπερατού φίλτρου είναι μηδέν ο VCO λειτουργεί σε μια συχνότητα ελεύθερης ροής την οποία μόλις καθορίσαμε.

γ) Ο δειγματολήπτης Zero-Order Hold θα έχει τιμή :

- Sample time = 1/1000

,περίοδο δειγματοληψίας.

δ) Στο *Spectrum Scope*:

α) Στην καρτέλα Scope Properties , επιλέγουμε
Spectrum type = One-sided ([0...Fs/2])

β) Τσεκάρουμε την επιλογή Buffer Input και βάζουμε

- *Buffer size* = 128

- *Buffer overlap* = 0

γ) Τσεκάρουμε την επιλογή Specify FFT Length και βάζουμε

- *FFT Length* = 256

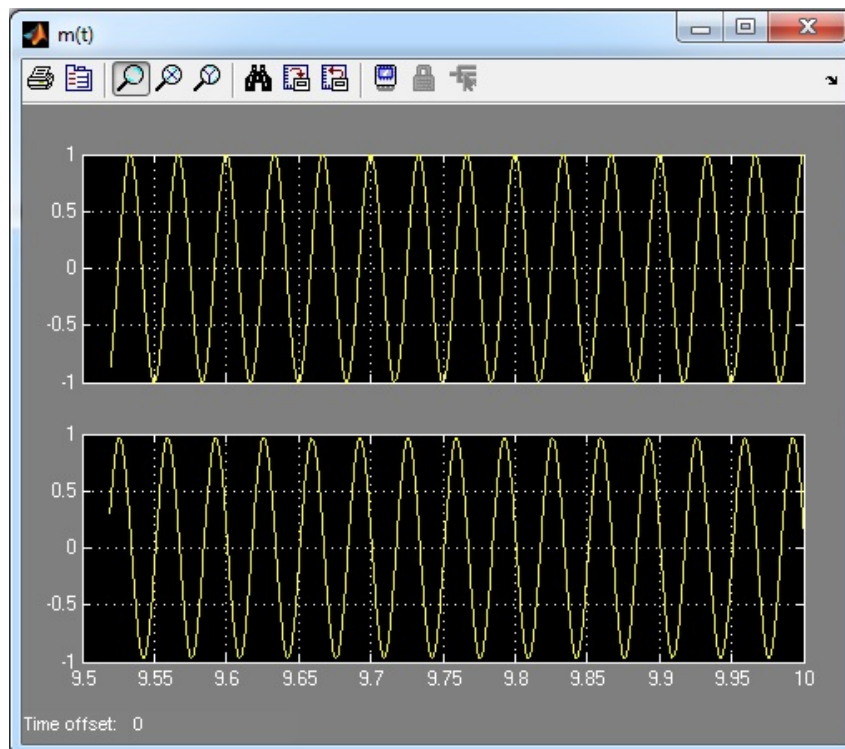
ε) Το *Gain* θα έχει την τιμή 200.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

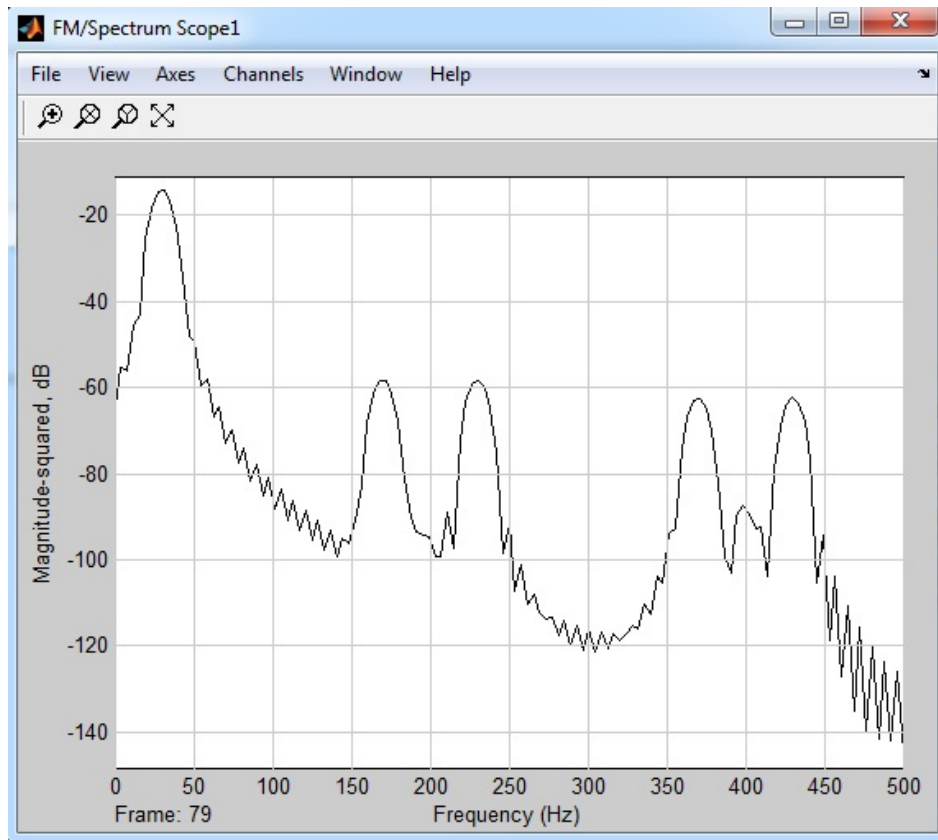
Εφόσον ολοκληρώσαμε την ρύθμιση των block της αποδιαμόρφωσης του σήματος FM, αποθηκεύουμε το αρχείο ως "FMmodDemod" και τρέχουμε την προσομοίωση με χρόνο : - Run = 10.

Τα αποτελέσματα στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας είναι τα ακόλουθα. Για να τα είτε κάντε Autoscale στα γραφήματα του πεδίου συχνότητας αλλά και του χρόνου ξεχωριστά.

A) Το αρχικό σήμα πληροφορίας και το αποδιαμορφωμένο στο πεδίο του χρόνου.



B) Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας



Ασκήσεις - Ερωτήματα

1. Αλλάξτε την συχνότητα του σήματος πληροφορίας σε **60 Hz** και του φέροντος σε **350 Hz**. Τρέξτε την προσομοίωση. Τι αλλαγή παρατηρείτε στο διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας ;

2. Το παράδειγμα που πραγματοποιήσαμε αναλυτικά παραπάνω είχε δείκτη διαμόρφωσης **1**. Αφού επαναφέρετε από την προηγούμενη άσκηση τις τιμές της συχνότητας του αρχικού σήματος πληροφορίας σε **30 Hz** και του φέροντος σε **200 Hz**:

α) Αλλάξτε τον δείκτη διαμόρφωσης σε **0,2**. Συμφωνεί ο αριθμός των πλευρικών συχνοτήτων με αυτόν της θεωρίας ; Και πόσες είναι ;

β) Ποια θα πρέπει να είναι η τιμή του *Gain* μετά την αποδιαμόρφωση ώστε να έχει το αποδιαμορφωμένο σήμα ίδιο πλάτος με το αρχικό ;

4.7 Προσομοίωση Διαμόρφωσης – Αποδιαμόρφωσης PM

Στόχοι της Άσκησης

Θα ασχοληθούμε με το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου της διαμόρφωσης γωνίας και ποιο συγκεκριμένα με τον σχηματισμό του κυκλώματος διαμόρφωσης και μετέπειτα αποδιαμόρφωσης σημάτων PM στο Simulink, ενώ θα μελετηθούν και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

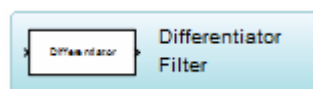
Εργαστηριακή άσκηση 5

Αφού έχουμε ανοίξει το πρόγραμμα του MATLAB και έχουμε πατήσει για άνοιγμα το Simulink μέσα από το παράθυρο του Library Browser φορτώνουμε την προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση:

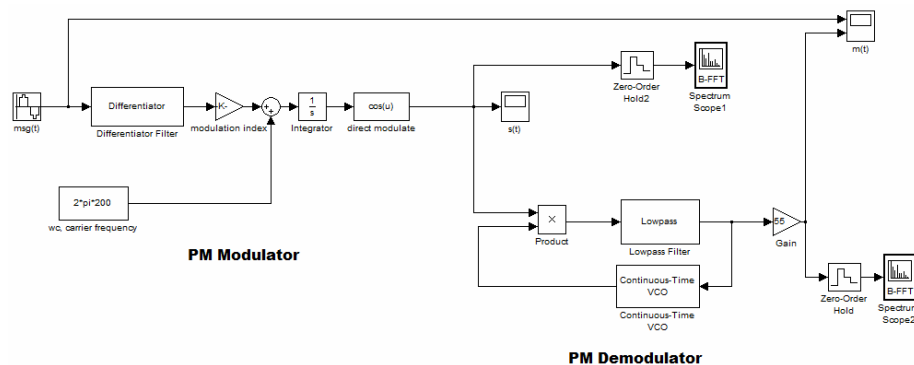
File → Open → .../FMmodDemod.mdl

Δημιουργία μοντέλου

Το μόνο αντικείμενο που θα εισάγουμε είναι ένας διαφοριστής **Differentiator Filter**. Από τον κατάλογο *Signal Processing Blockset → Filtering → Filter Designs*.



Αφού το τοποθετήσαμε, συνδέουμε τον διαφοριστή όπως δείχνει η παρακάτω εικόνα.



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

α) Ο *differentiator* μένει ως έχει χωρίς να αλλάξουμε τις τιμές του.

β) Αλλάζουμε τα δύο *Gain* :

- *Modulation Index* = $2 \cdot \pi \cdot 100$

(το 100 είναι ο δείκτης διαμόρφωσης)

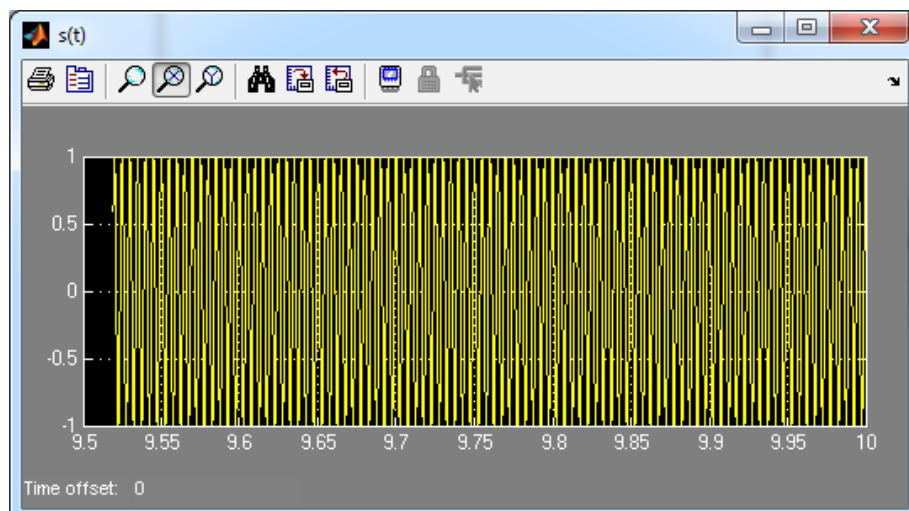
- *Gain* = 110

γ) Σώζουμε το αρχείο με **Save As...** και όνομα **“PMmodDemod”**

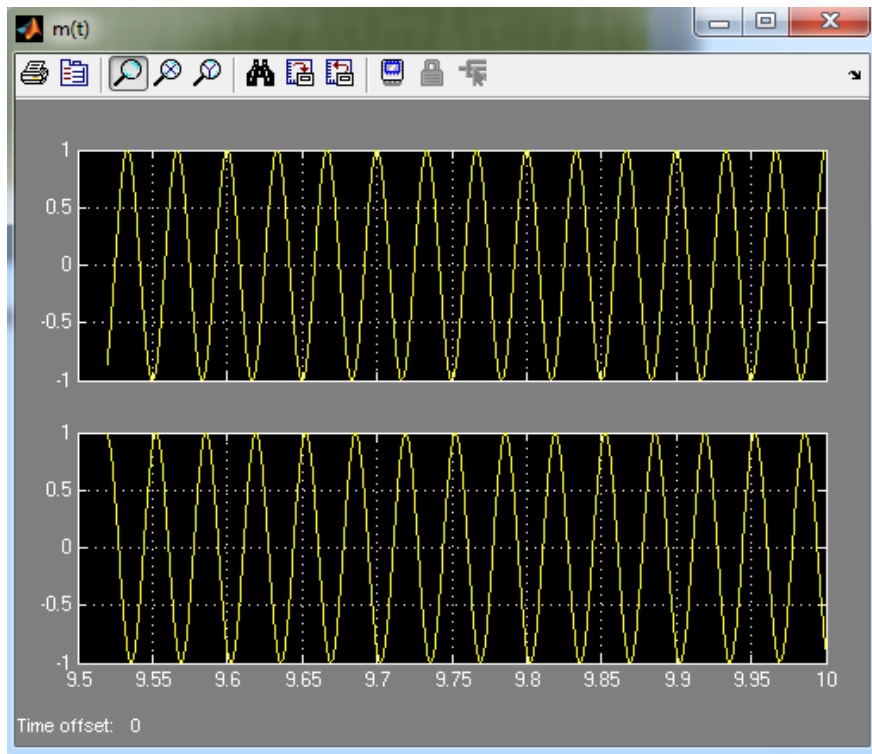
δ) Τρέχουμε την προσομοίωση με Run = 10 .

Αποτελέσματα προσομοίωσης

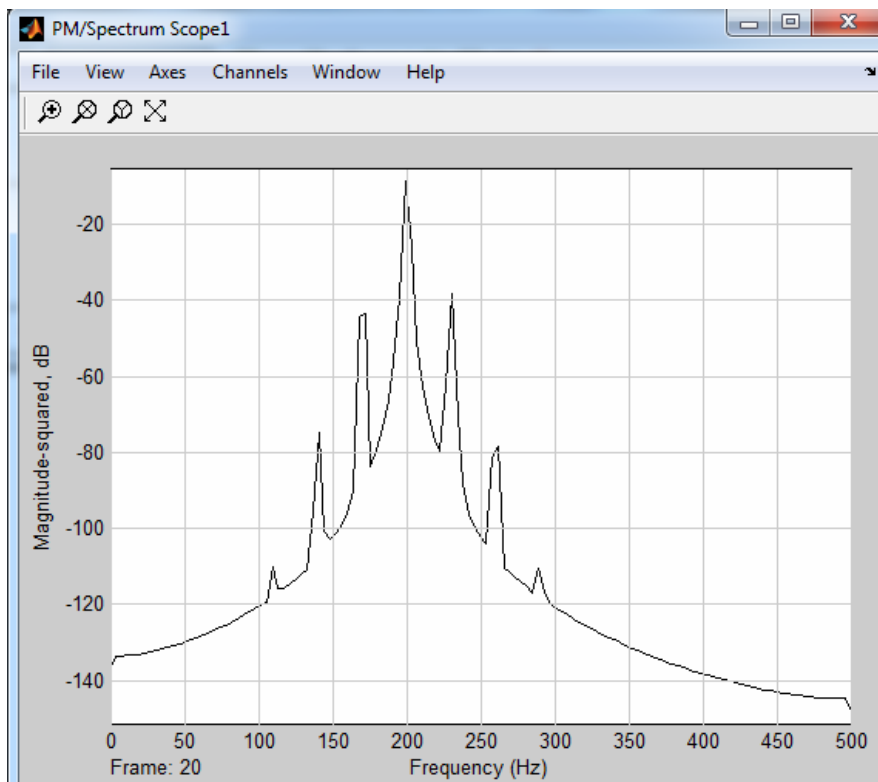
A) Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου.



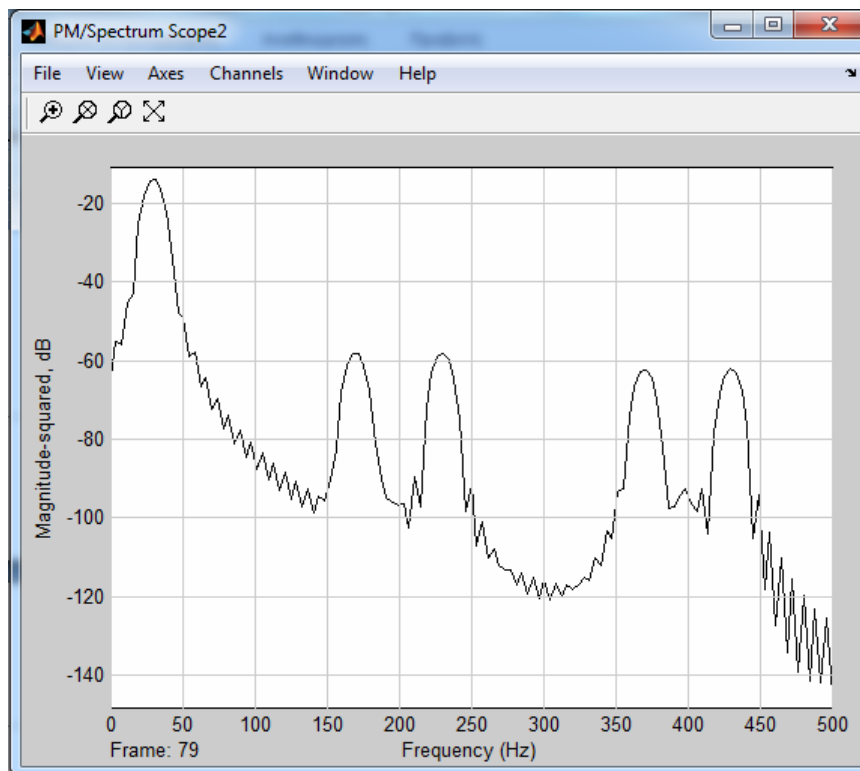
Β) Το αρχικό σήμα πληροφορίας σε σύγκριση με το αποδιαμορφωμένο στο πεδίο του χρόνου.



Γ) Το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας.



Δ) Το αποδιαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας.



Ασκήσεις – ερωτήσεις

1. Αλλάξτε τον δείκτη διαμόρφωσης και παρατηρήστε τις αλλαγές στο διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο της συχνότητας. Ποια θα πρέπει να είναι η τιμή του *Gain* ώστε το αποδιαμορφωμένο σήμα να έχει το ίδιο πλάτος με το αρχικό.
2. Δείτε το αρχικό σήμα πληροφορίας στο πεδίο της συχνότητας και ελέγξτε αν η συχνότητα του είναι ίδια με του αποδιαμορφωμένου σήματος.

4.8 Προσομοίωση αναλογικών διαμορφώσεων με εισαγωγή AWGN

Στόχοι της Άσκησης

Ως τελευταίο βήμα μοντελοποίησης των αναλογικών διαμορφώσεων θα εισάγουμε θόρυβο στα συστήματα διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης αυτών. Ο θόρυβος θα είναι **Προσθετικός Λευκός Γκαουσιανός Θόρυβος (AWGN)**.

Εργαστηριακή άσκηση 6

Ο AWGN , όπως λέει και το όνομα του, προσθετικός (additive), γεγονός που σημαίνει ότι το σήμα θορύβου προστίθεται στο υπάρχον σήμα, με αποτέλεσμα την αλλοίωση του πληροφοριακού σήματος. Η ποιότητα του σήματος καθορίζεται από τον λόγο της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου. *Η ποσότητα αυτή ονομάζεται Λόγος Σήματος προς Θόρυβο (Signal to Noise Ratio, SNR).*

$$SNR = \frac{\text{Ισχύς_σήματος}}{\text{Ισχύς_θορύβου}}$$

Ένας δημοφιλής τρόπος με τον οποίο εκφράζεται ο Λόγος Σήματος προς Θόρυβο είναι σε κλίμακα decibel (dB). Η τιμή αυτή υπολογίζεται από την τιμή που έχει ο SNR σε Watt ως εξής:

$$SNR_{dB} = 10 * \log_{10}(SNR_{watt})$$

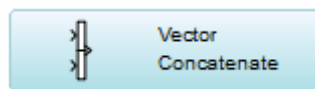
Δημιουργία μοντέλου

AM (DSB-LC) – θόρυβος

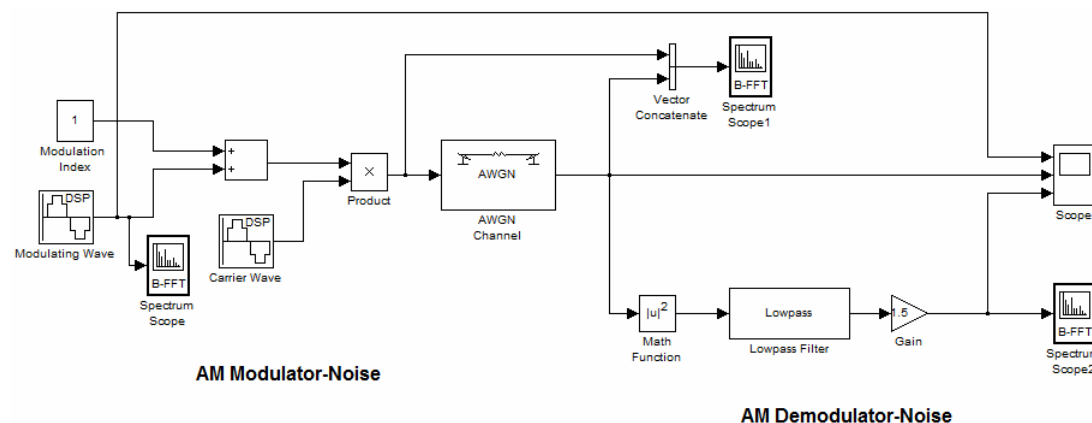
α) Φορτώνουμε την Εργαστηριακή άσκηση 1 (όπως την αποθηκεύσαμε, “AMmodDemod.mdl”) και προσθέτουμε το block του **AWGN channel**, από τον κατάλογο *Communications Blockset* → *Channels* :



β) Αφού το προσθέσαμε στον χώρο του μοντέλου, προσθέτουμε και ένα **Vector Concatenate** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Math Operations* :



Συνδέστε το κύκλωμα όπως την παρακάτω εικόνα :



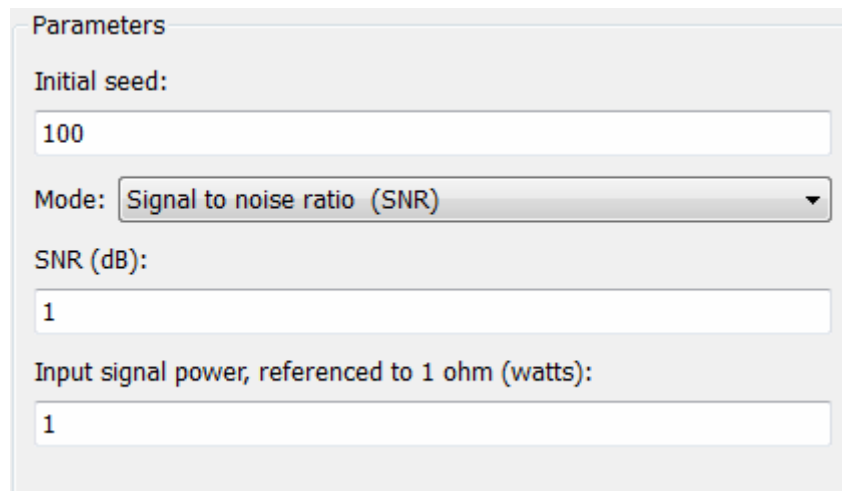
Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Τα μόνα στοιχεία του συστήματος που αλλάζουν είναι τα νεοεισεληθέντα *AWGN Channel* και *Vector Concatenate* :

α) Στο block του *AWGN* αλλάζουμε τις παραμέτρους :

- Initial seed = 100
- Mode = Signal to noise ratio (SNR)
- SNR (dB) = 1

Μόλις τελειώσουμε το παράθυρο του block πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή :



Parameters

Initial seed:
100

Mode: Signal to noise ratio (SNR)

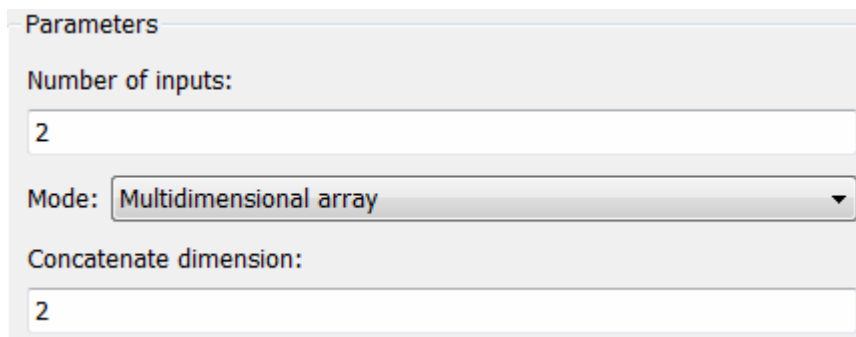
SNR (dB):
1

Input signal power, referenced to 1 ohm (watts):
1

β) Για το *Vector Concatenate* έχουμε τις εξής αλλαγές τιμών :

- Mode = Multidimensional array
- Concatenate dimension = 2

Παρομοίως ακολουθεί το παράθυρο ρυθμίσεων :



Parameters

Number of inputs:
2

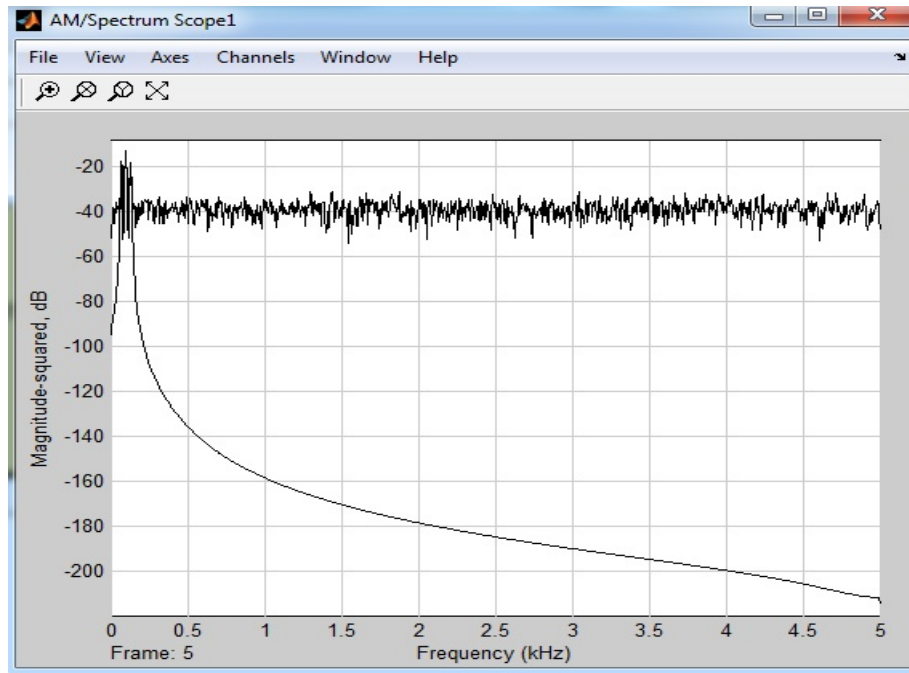
Mode: Multidimensional array

Concatenate dimension:
2

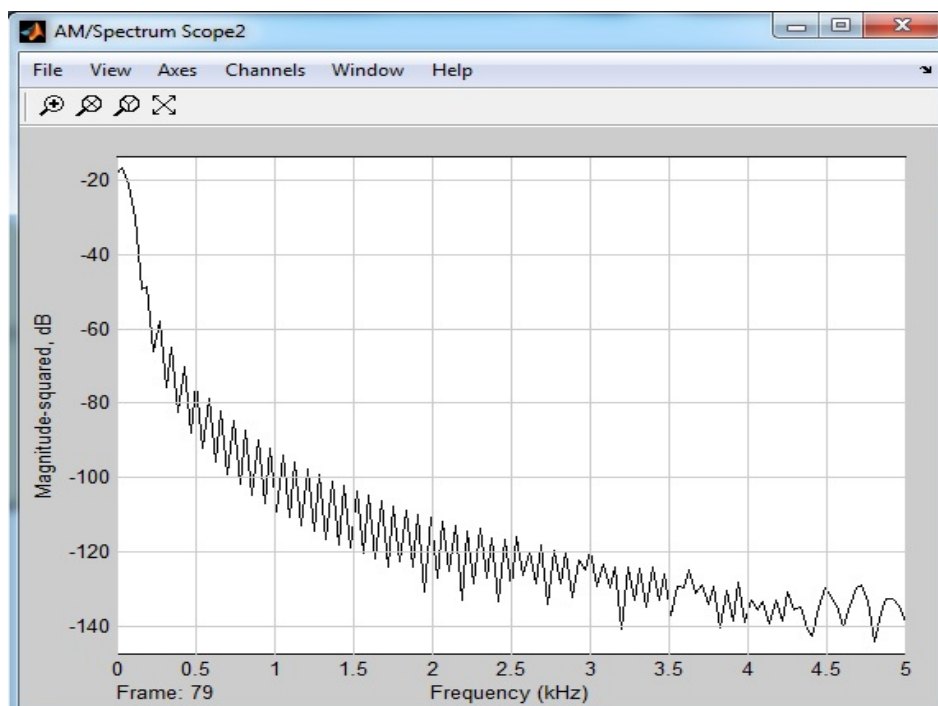
Αφού αλλάξαμε τις τιμές , αποθηκεύουμε το αρχείο ως (Save As...) "AMnoise" και πατάμε Run για να τρέξουμε την προσομοίωση.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

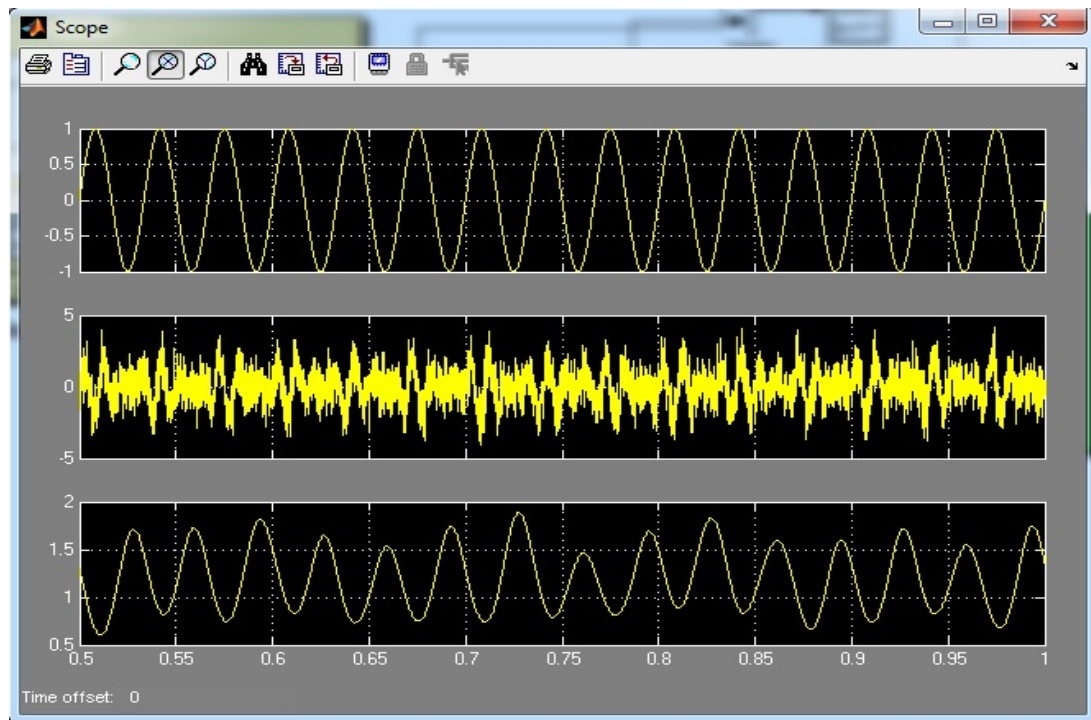
A) Σύγκριση διαμορφωμένου σήματος με θόρυβο και χωρίς θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



B) Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας



Γ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας , το διαμορφωμένο και το αποδιαμορφωμένο σήμα παρουσία θορύβου.

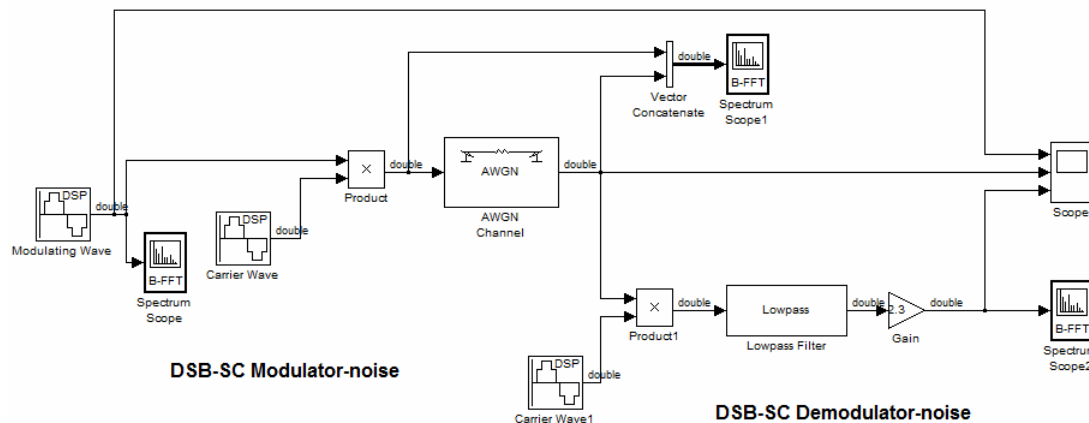


DSB-SC – θόρυβος

α) Φορτώνουμε την Εργαστηριακή άσκηση 2 (όπως την αποθηκεύσαμε, “DSBscModDemod.mdl”) και προσθέτουμε το block του **AWGN channel**, από τον κατάλογο *Communications Blockset* → *Channels* .

β) Αφού το προσθέσαμε στον χώρο του μοντέλου, προσθέτουμε και ένα **Vector Concatenate** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Math Operations* .

Συνδέστε το κύκλωμα όπως την παρακάτω εικόνα :



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Τα μόνα στοιχεία του συστήματος που αλλάζουν είναι τα νεοεισελθέντα *AWGN Channel* και *Vector Concatenate* :

α) Στο block του *AWGN* αλλάζουμε τις παραμέτρους :

- Initial seed = 100
- Mode = Signal to noise ratio (SNR)
- SNR (dB) = 1

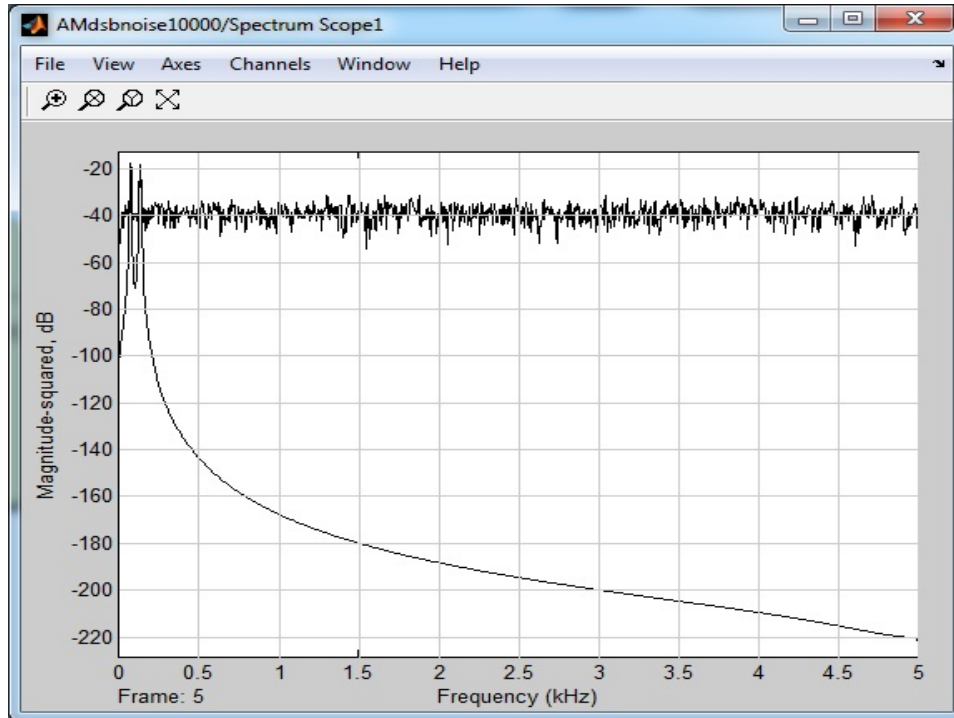
β) Για το *Vector Concatenate* έχουμε τις εξής αλλαγές τιμών :

- Mode = Multidimensional array
- Concatenate dimension = 2

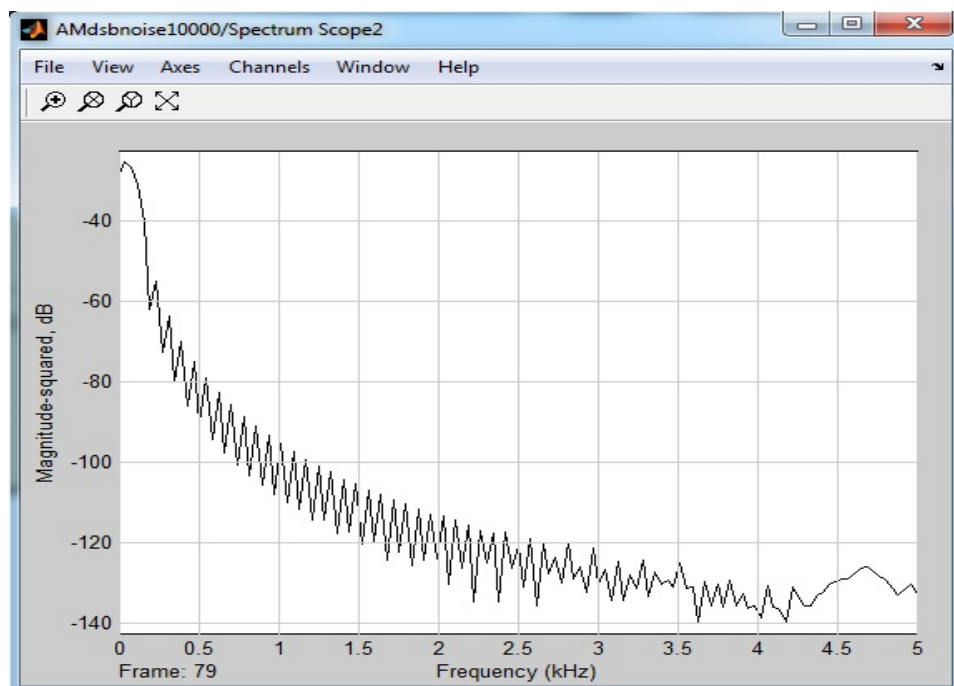
Αφού αλλάξαμε τις τιμές , αποθηκεύουμε το αρχείο ως (*Save As...*) “*DSBscnoise*” και πατάμε Run για να τρέξουμε την προσομοίωση.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

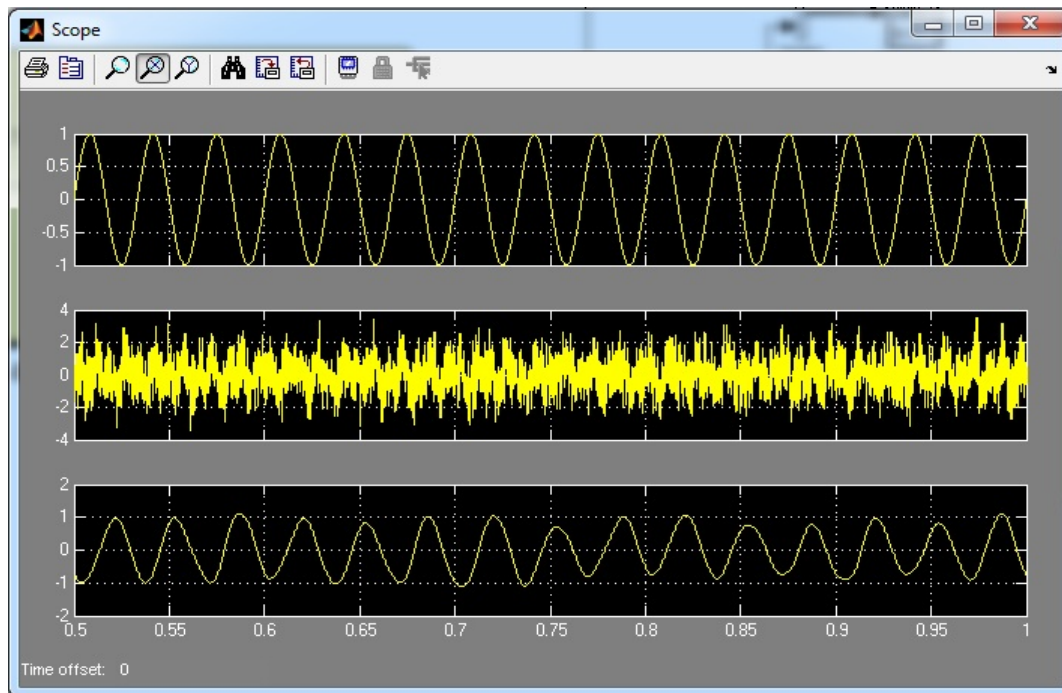
A) Σύγκριση διαμορφωμένου σήματος με θόρυβο και χωρίς θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



B) Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας



Γ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας , το διαμορφωμένο και το αποδιαμορφωμένο σήμα παρουσία θορύβου.

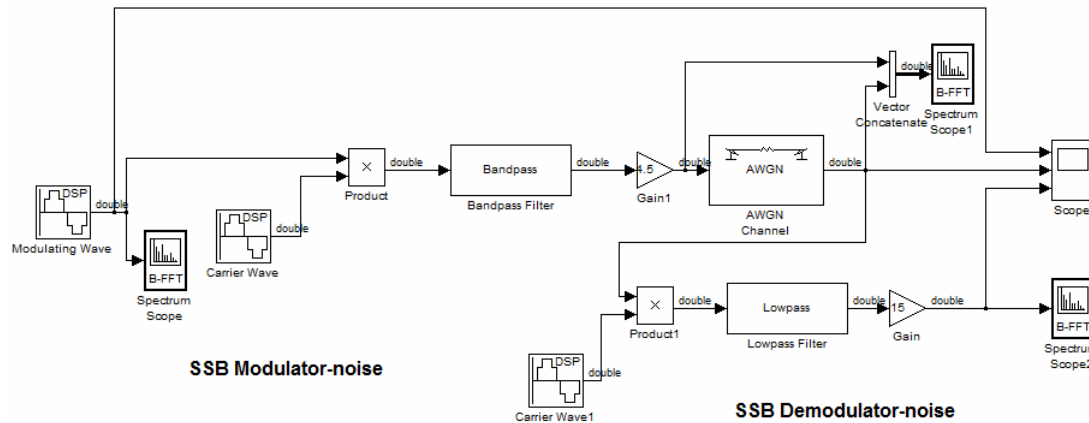


SSB – θόρυβος

α) Φορτώνουμε την Εργαστηριακή άσκηση 3 (όπως την αποθηκεύσαμε, “SSBModDemod.mdl”) και προσθέτουμε το block του **AWGN channel**, από τον κατάλογο *Communications Blockset* → *Channels* .

β) Αφού το προσθέσαμε στον χώρο του μοντέλου, προσθέτουμε και ένα **Vector Concatenate** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Math Operations* .

Συνδέστε το κύκλωμα όπως την παρακάτω εικόνα :



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Τα μόνα στοιχεία του συστήματος που αλλάζουν είναι τα νεοεισελθόντα *AWGN Channel* και *Vector Concatenate* :

α) Στο block του *AWGN* αλλάζουμε τις παραμέτρους :

- Initial seed = 100
- Mode = Signal to noise ratio (SNR)
- SNR (dB) = 1

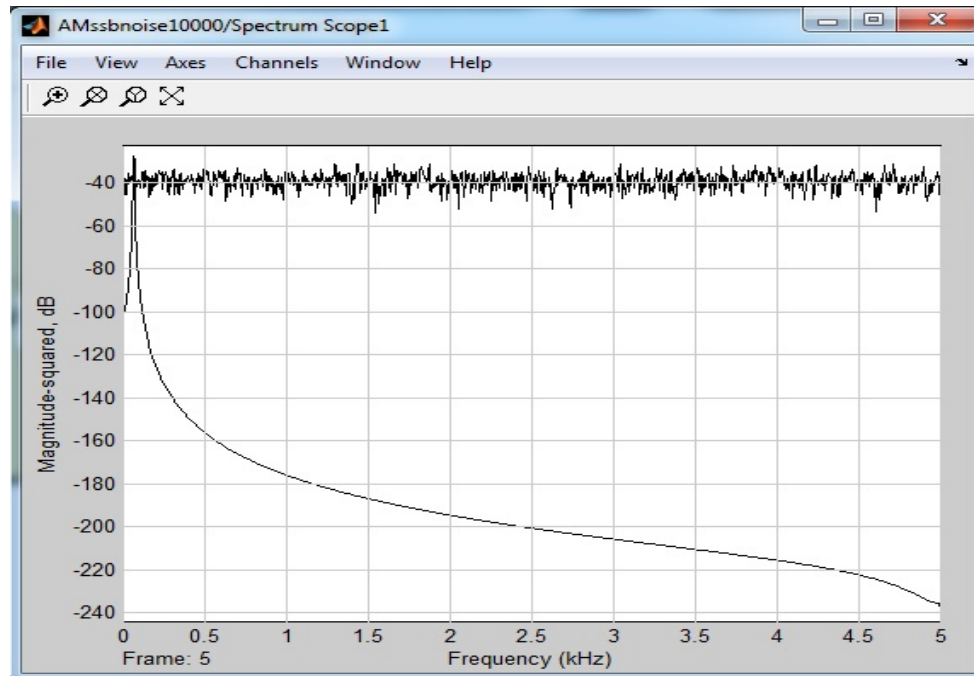
β) Για το *Vector Concatenate* έχουμε τις εξής αλλαγές τιμών :

- Mode = Multidimensional array
- Concatenate dimension = 2

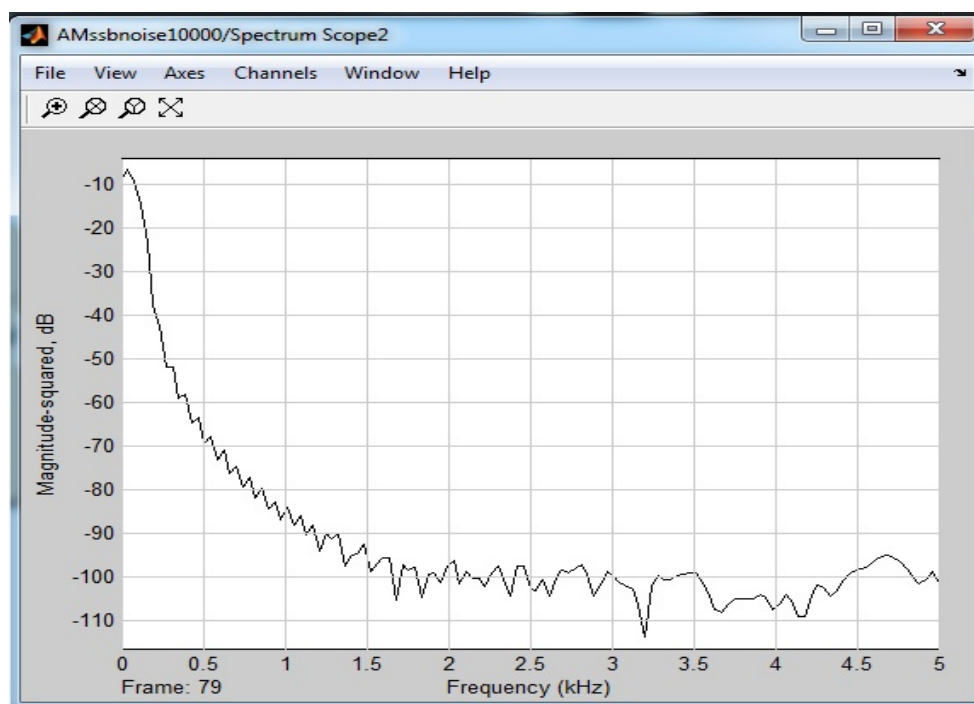
Αφού αλλάξαμε τις τιμές , αποθηκεύουμε το αρχείο ως (*Save As...*) “SSBnoise” και πατάμε Run για να τρέξουμε την προσομοίωση.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

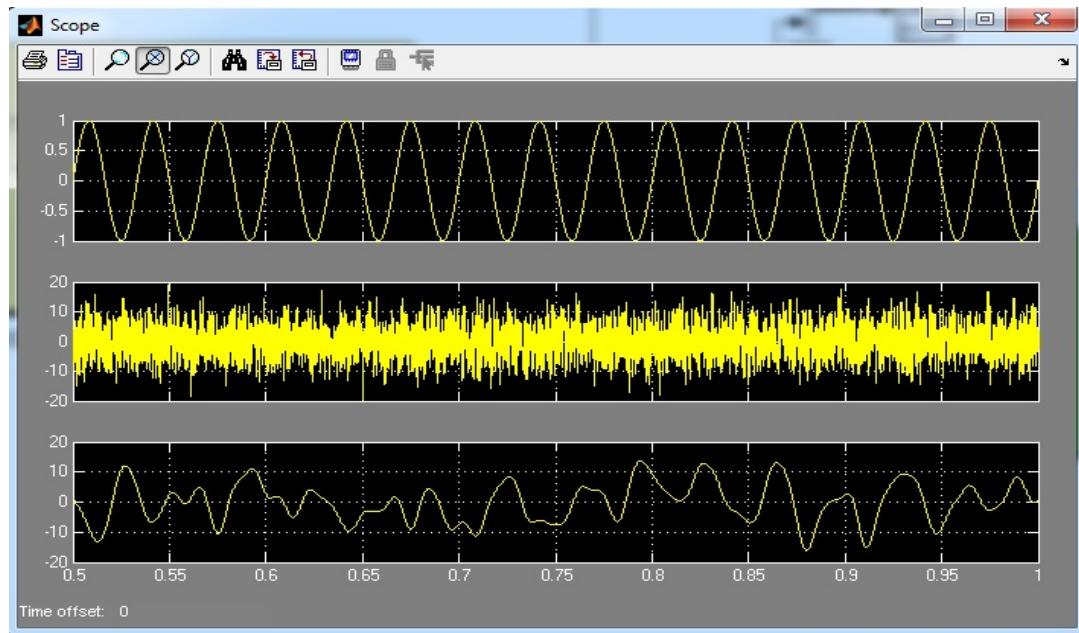
A) Σύγκριση διαμορφωμένου σήματος με θόρυβο και χωρίς θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



B) Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας



Γ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας , το διαμορφωμένο και το αποδιαμορφωμένο σήμα παρουσία θορύβου.



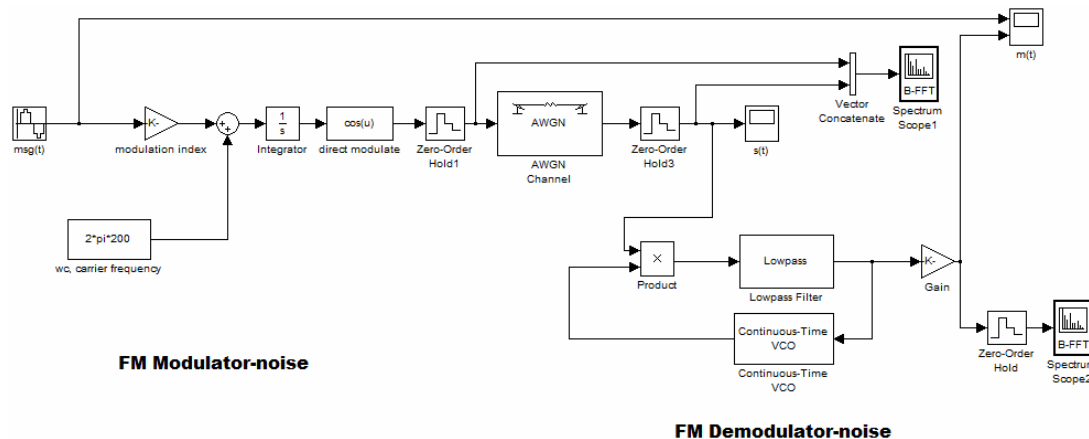
FM – θόρυβος

α) Φορτώνουμε την Εργαστηριακή άσκηση 4 (όπως την αποθηκεύσαμε, “FMmodDemod.mdl”) και προσθέτουμε το block του **AWGN channel**, από τον κατάλογο *Communications Blockset* → *Channels* .

β) Αφού το προσθέσαμε στον χώρο του μοντέλου, προσθέτουμε και ένα **Vector Concatenate** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Math Operations* .

γ) Προσθέτουμε και δύο **Zero-Order Hold** από τον κατάλογο *Simulink* → *Discrete*.

Συνδέστε το κύκλωμα όπως την παρακάτω εικόνα :



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Τα μόνα στοιχεία του συστήματος που αλλάζουν είναι τα νεοεισελθέντα *AWGN Channel* , *Vector Concatenate* και τα δύο *Zero – Order Hold* :

α) Στο block του *AWGN* αλλάζουμε τις παραμέτρους :

- Initial seed = 100
- Mode = Signal to noise ratio (SNR)
- SNR (dB) = 1

β) Για το *Vector Concatenate* έχουμε τις εξής αλλαγές τιμών :

- Mode = Multidimensional array
- Concatenate dimension = 2

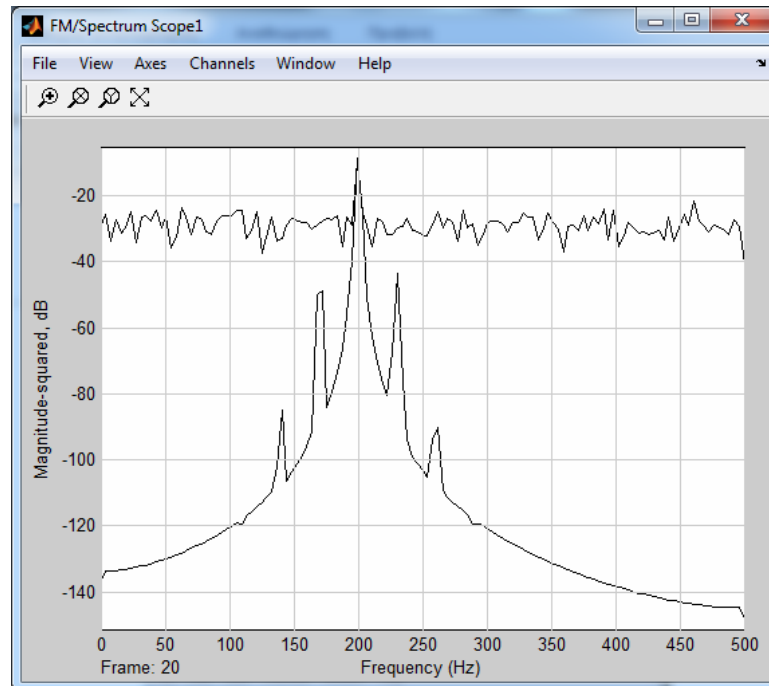
γ) Στα *Zero-Order Hold* αλλάζουμε την τιμή:

- Sample time = 1/1000

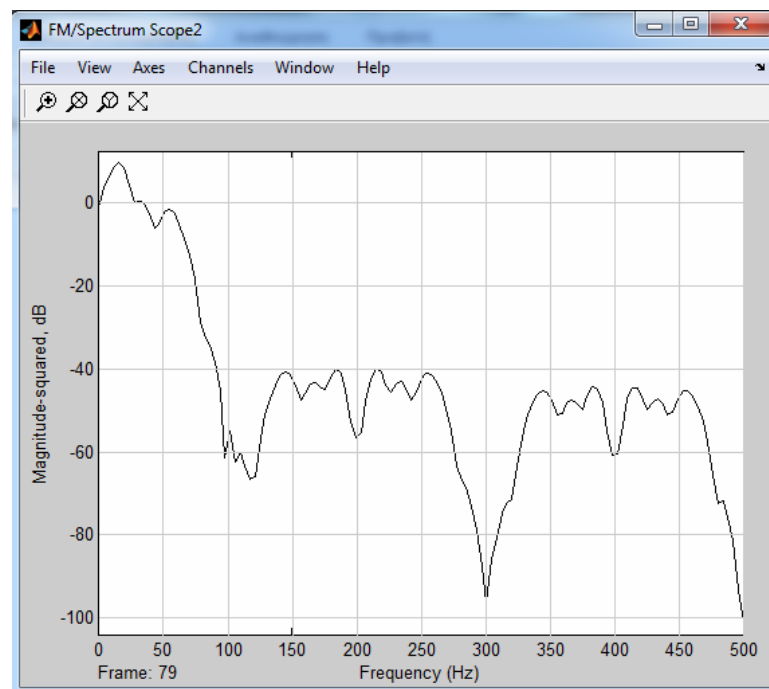
Αφού αλλάξαμε τις τιμές , αποθηκεύουμε το αρχείο ως (Save As...) “FMnoise” και πατάμε Run με χρόνο προσομοίωσης 10 για να τρέξουμε την προσομοίωση.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

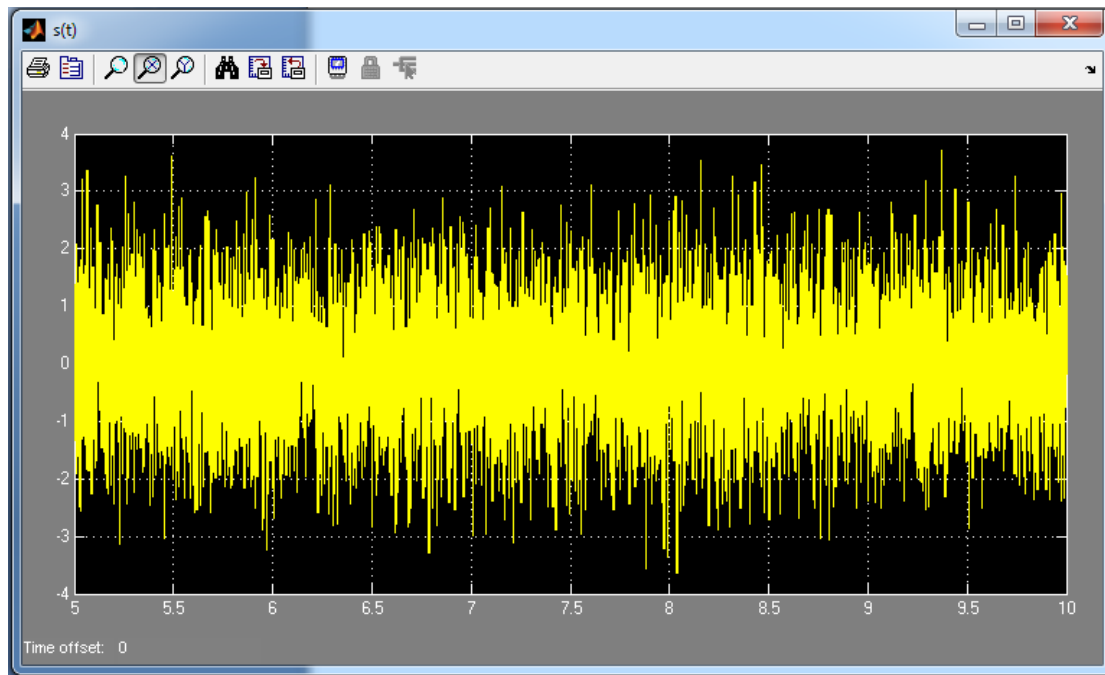
A) Σύγκριση διαμορφωμένου σήματος με θόρυβο και χωρίς θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



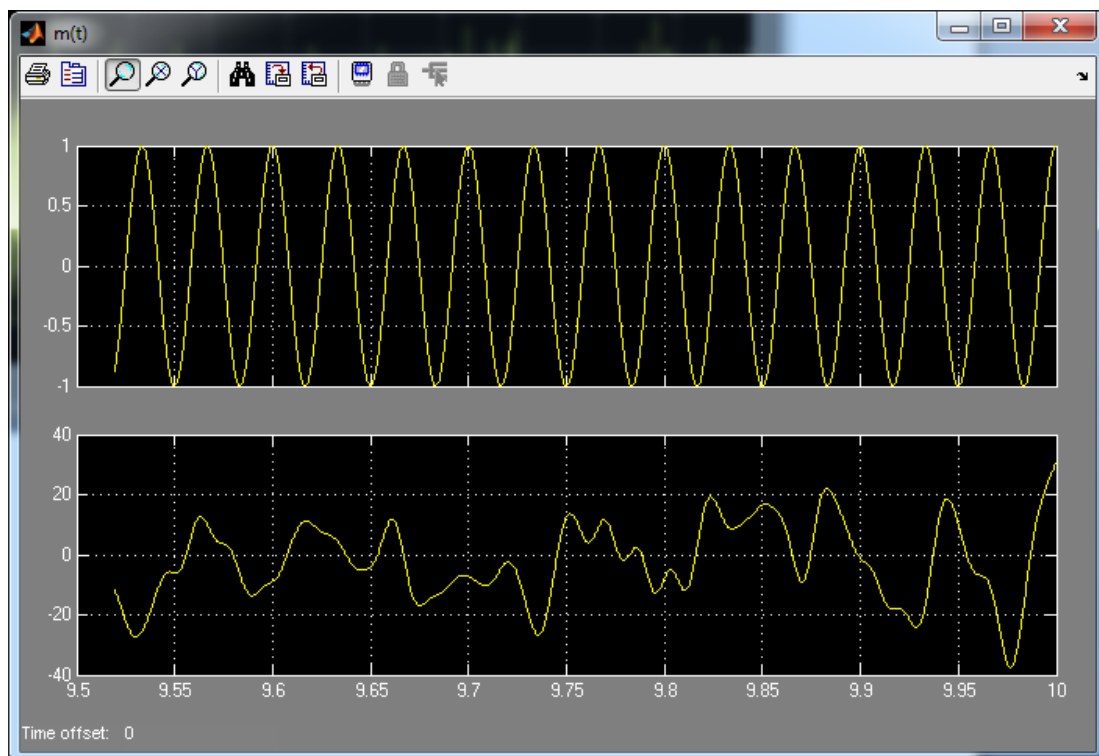
B) Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας



Γ) Το διαμορφωμένο σήμα παρουσία θορύβου.



Δ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας σε σύγκριση με το αποδιαμορφωμένο σήμα FM παρουσία θορύβου.



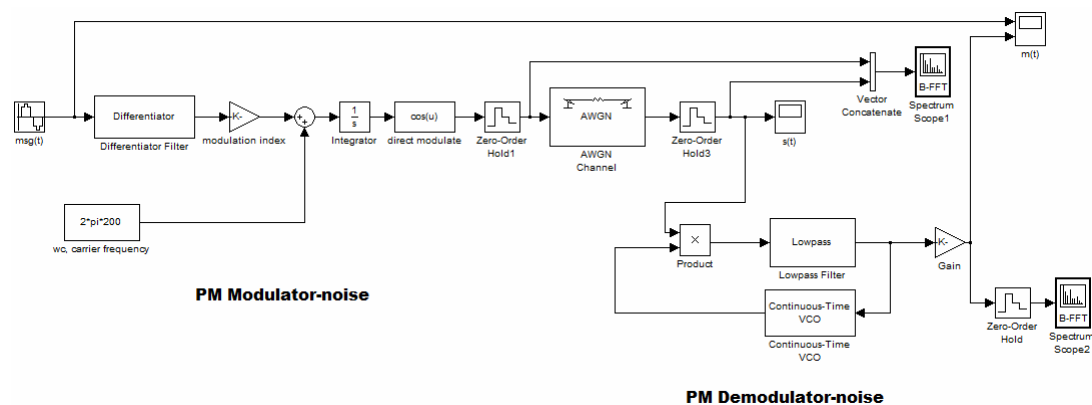
PM – θόρυβος

α) Φορτώνουμε την Εργαστηριακή άσκηση 5 (όπως την αποθηκεύσαμε, “PMmodDemod.mdl”) και προσθέτουμε το block του **AWGN channel**, από τον κατάλογο *Communications Blockset* → *Channels* .

β) Αφού το προσθέσαμε στον χώρο του μοντέλου, προσθέτουμε και ένα **Vector Concatenate** από τον υποκατάλογο *Simulink* → *Math Operations* .

γ) Προσθέτουμε και δύο **Zero-Order Hold** από τον κατάλογο *Simulink* → *Discrete*.

Συνδέστε το κύκλωμα όπως την παρακάτω εικόνα :



Ρυθμίσεις των block της προσομοίωσης

Τα μόνα στοιχεία του συστήματος που αλλάζουν είναι τα νεοεισελθέντα *AWGN Channel* , *Vector Concatenate* και τα δύο *Zero – Order Hold* :

α) Στο block του *AWGN* αλλάζουμε τις παραμέτρους :

- Initial seed = 100
- Mode = Signal to noise ratio (SNR)
- SNR (dB) = 1

β) Για το *Vector Concatenate* έχουμε τις εξής αλλαγές τιμών :

- Mode = Multidimensional array
- Concatenate dimension = 2

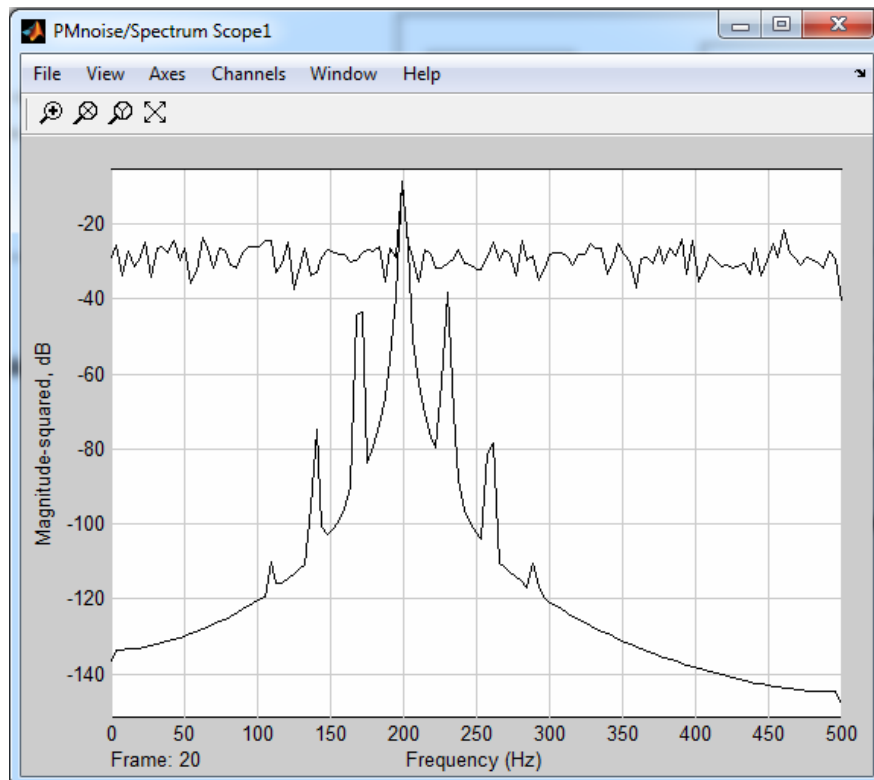
γ) Στα Zero-Order Hold αλλάζουμε την τιμή:

- Sample time = 1/1000

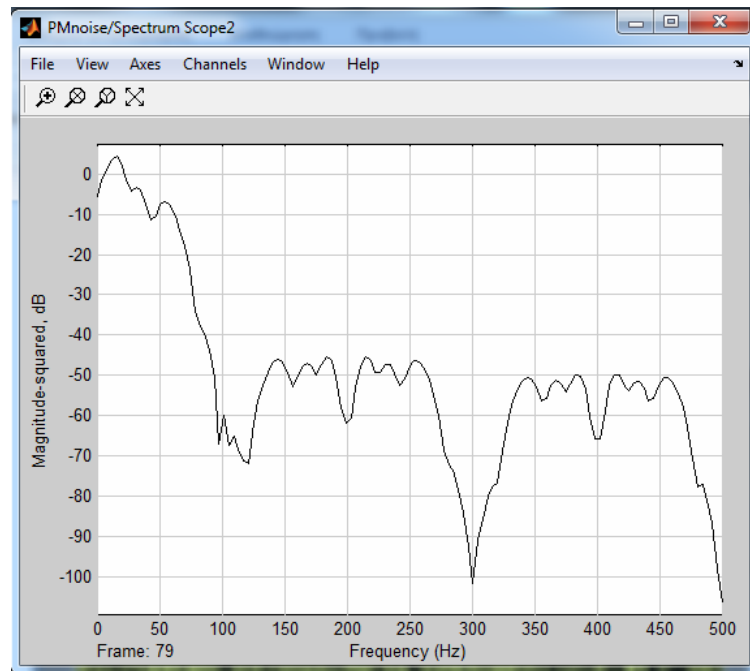
Αφού αλλάξαμε τις τιμές , αποθηκεύουμε το αρχείο ως (Save As...) "PMnoise" και πατάμε Run με χρόνο προσομοίωσης 10 για να τρέξουμε την προσομοίωση.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

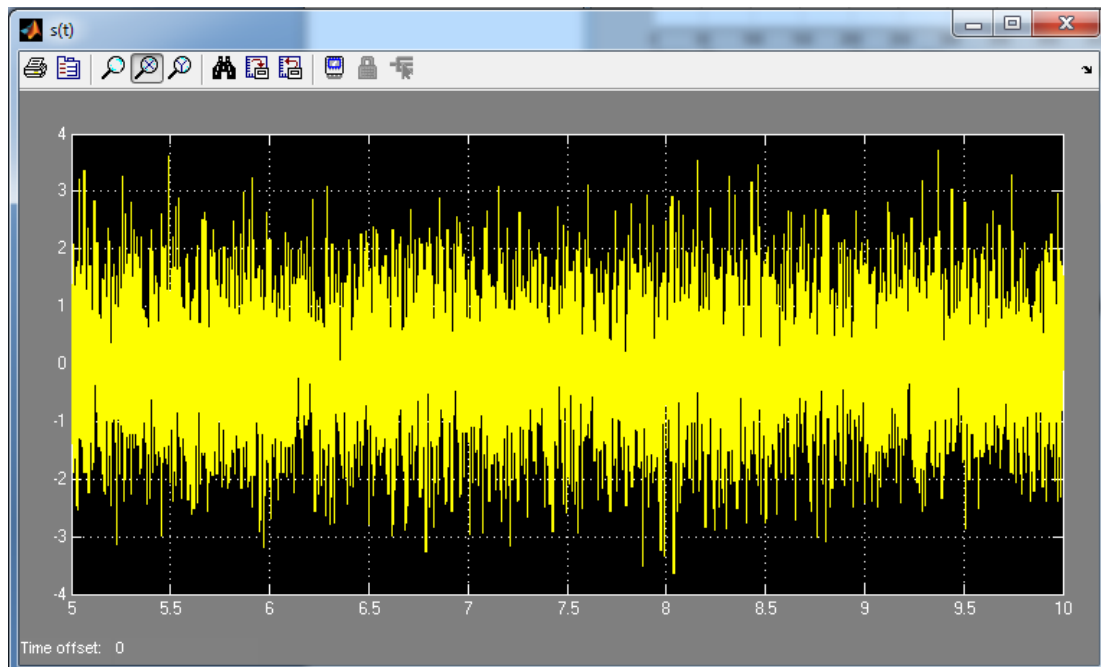
A) Σύγκριση διαμορφωμένου σήματος με θόρυβο και χωρίς θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας.



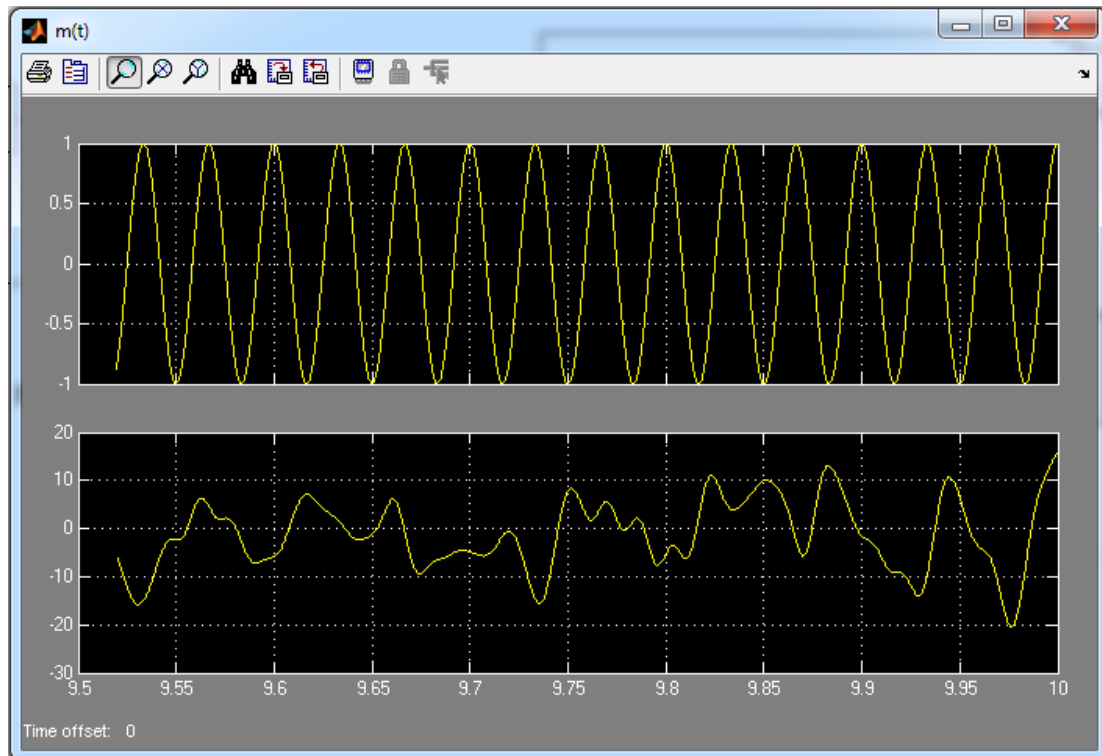
Β) Το αποδιαμορφωμένο σήμα με θόρυβο στο πεδίο της συχνότητας



Γ) Το διαμορφωμένο σήμα παρουσία θορύβου.



Δ) Το αρχικό σήμα πληροφορίας σε σύγκριση με το αποδιαμορφωμένο σήμα PM παρουσία θορύβου.



Ασκήσεις – Ερωτήσεις

1. Ελέγξτε σε κάθε προσομοίωση διαμόρφωσης, τις διαφορές του διαμορφωμένου σήματος στο πεδίο του χρόνου, πριν και μετά την προσθήκη AWGN.






2. Μετρήστε τα dB του θορύβου σε κάθε προσομοίωση διαμόρφωσης από το διάγραμμα αποδιαμορφωμένου σήματος στο πεδίο της συχνότητας. Ποια διαμόρφωση έχει μεγαλύτερη ανοχή στον θόρυβο ;

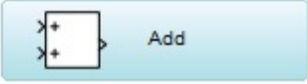
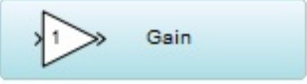
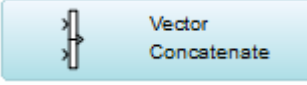

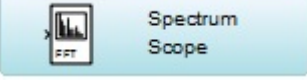
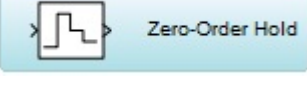
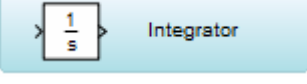
3. Αλλάξτε τον SNR του θορύβου με τις παρακάτω τιμές :

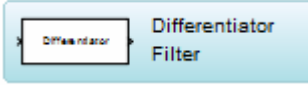
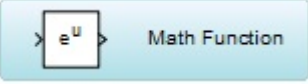





0,2 10 20 50

, τι παρατηρείτε ;

5. Χρησιμοποιηθέντα BLOCKS των προσομοιώσεων του Simulink

ΟΝΟΜΑΣΙΑ (Διαδρομή)	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Πηγή ημιτόνου (DSP System Toolbox → Signal Processing Sources)		Παραγωγή ενός ημιτονικού σήματος. Μπορούμε να ορίσουμε το πλάτος, την φάση και την συχνότητα του σε Hertz
Πηγή ημιτόνου (Simulink → Sources)		Παραγωγή ενός ημιτονικού σήματος. Μπορούμε να ορίσουμε το πλάτος, την φάση και την συχνότητα του σε rad/sec
Σταθερά (Simulink → Sources)		Παράγει έναν σταθερό όρο (αριθμό) ή μια συχνότητα με σταθερή τιμή
Μείκτης (Simulink → Math Operations)		Ο μείκτης μπορεί να αποτελείται από μια ή περισσότερες εισόδους. Η έξοδος ισούται με τον πολλαπλασιασμό των εισόδων μεταξύ τους
Αθροιστής (Simulink → Math Operations)		Υπολογίζει το αλγεβρικό άθροισμα των εισόδων. Μπορούμε επίσης να ορίσουμε τον αριθμό των εισόδων και το πρόσημο τους

ΟΝΟΜΑΣΙΑ (Διαδρομή)	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<p>Αθροιστής (Simulink → Math Operations)</p>		<p>Υπολογίζει το αλγεβρικό άθροισμα των εισόδων. Μπορούμε επίσης να ορίσουμε τον αριθμό των εισόδων και το πρόσημο τους</p>
<p>Κέρδος (Simulink → Math Operations)</p>		<p>Πολλαπλασιάζει το σήμα εισόδου του block με μία σταθερά</p>
<p>Συγχωνευτής διανυσμάτων (Simulink → Math Operations)</p>		<p>Προσφέρει την δυνατότητα ταυτόχρονης εμφάνισης δύο ή περισσότερων σημάτων στο πεδίο της συχνότητας</p>
<p>Παλμογράφος (Simulink → Sinks)</p>		<p>Εμφανίζει ένα ή περισσότερα σήματα στο πεδίο του χρόνου με την μορφή γραφικής παράστασης</p>
<p>Φασματικός αναλυτής (DSP System Toolbox → Signal Processing Sinks)</p>		<p>Εμφανίζει το συχνοτικό περιεχόμενο ενός σήματος</p>
<p>Δειγματολήπτης (Simulink → Discrete)</p>		<p>Λαμβάνει τα δείγματα</p>
<p>Ολοκληρωτής (Simulink → Continuous)</p>		<p>Ολοκληρώνει το σήμα εισόδου στον χρόνο</p>

ΟΝΟΜΑΣΙΑ (Διαδρομή)	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Διαφοριστής (DSP System Toolbox → Filtering → Filter Designs)		Έχει σαν έξοδο την παράγωγο του σήματος εισόδου
Μαθηματική συνάρτηση (Simulink → Math Operations → Math function)		Μαθηματικές συναρτήσεις όπως λογαριθμική, εκθετική, δύναμη, μέτρο κ.λπ.
Μπλοκ Μαθηματικής Έκφρασης (Simulink → User-Defined Functions)		Εισάγουμε μια μαθηματική έκφραση που επιθυμούμε
Βαθυπερατό φίλτρο (DSP System Toolbox → Filtering → Filter Designs)		Επιτρέπει την διέλευση μόνο των χαμηλών συχνοτήτων
Ζωνοπερατό φίλτρο (DSP System Toolbox → Filtering → Filter Designs)		Επιτρέπει την διέλευση μιας καθορισμένης από τον χρήστη ζώνης συχνοτήτων
Ταλαντωτής ελεγχόμενος από τάση (Communications System Toolbox → Synchronization → Components)		Παράγει ημιτονικό σήμα στην έξοδο του η συχνότητα του οποίου εξαρτάται από το πλάτος του σήματος εισόδου
Κανάλι θορύβου (Communications System Toolbox → Channels)		Προσθέτει σήμα λευκού θορύβου με γκαουσιανή κατανομή

Η συγκεκριμένες διαδρομές ισχύουν στην έκδοση R2011a του MATLAB

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **J. Dabney and T. Harman**, *Mastering Simulink*, Pearson Education inc., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2004.
2. **J Proakis, M. Salehi and G. Bauch**, *Contemporary Communication Systems using MATLAB*, Brooks/Cole – Thompson Learning inc., Toronto, 2004.
3. **A. Bateman**, Ψηφιακές επικοινωνίες, Σχεδίαση Συστημάτων στην πράξη. Εκδόσεις Τζιόλα, 2000
4. **www.mathworks.com**
5. **http://charon.phys.uoa.gr/moag/admin/pdf_files/**
6. **<http://www.codeforge.com/>**
7. **<http://12000.org/index.htm>**
8. **<http://www.edaboard.com/forum.php>**
9. **<http://www.sfu.ca/>**
10. **<http://eclass2.teilam.gr/index.php>**
11. **<http://www.weizmann.ac.il/matlab/toolbox/dspblks/spectrumscope.html>**
12. **http://charon.phys.uoa.gr/moag/admin/pdf_files/**
13. **courses.cn.ntua.gr/file.php/7/SSB_08.pdf**
14. **<http://artemis.cslab.ntua.gr/>**
15. **<http://www.sfu.ca/~jje1/>**