

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Στις τηλεπικοινωνίες υπάρχουν πολλά κυκλώματα με εξειδικευμένη χρήση, που θα ήταν αδύνατον να παρουσιαστούν στα πλαίσια ενός κεφαλαίου. Στο προηγούμενο κεφάλαιο γνωρίσαμε τους ενισχυτές συντονισμού ως αντιπροσωπευτική οικογένεια γραμμικών τηλεπικοινωνιακών κυκλωμάτων. Η επεξεργασία τηλεπικοινωνιακών σημάτων απαιτεί την ύπαρξη και μη γραμμικών κυκλωμάτων. Μια τέτοια αντιπροσωπευτική κατηγορία κυκλωμάτων είναι οι μίκτες σημάτων, που επιτελούν την πράξη του πολλαπλασιασμού δύο σημάτων. Οι μίκτες, ως προς τη δομή τους, σχετίζονται πολύ με ενισχυτές συντονισμού. Με τη μίξη δυο σημάτων π.χ., επιτυγχάνεται η διαμόρφωση και η αποδιαμόρφωση πλάτους ραδιοφωνικών σημάτων, καθώς και άλλων λειτουργιών, γι' αυτό και δικαιούνται ξεχωριστής παρουσίας. Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά, αναπτύσσονται ορισμένες βασικές λειτουργίες, που απαιτούν την πράξη του πολλαπλασιασμού, και στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα κυκλώματα, μέσω των οποίων, οι λειτουργίες αυτές πραγματοποιούνται.

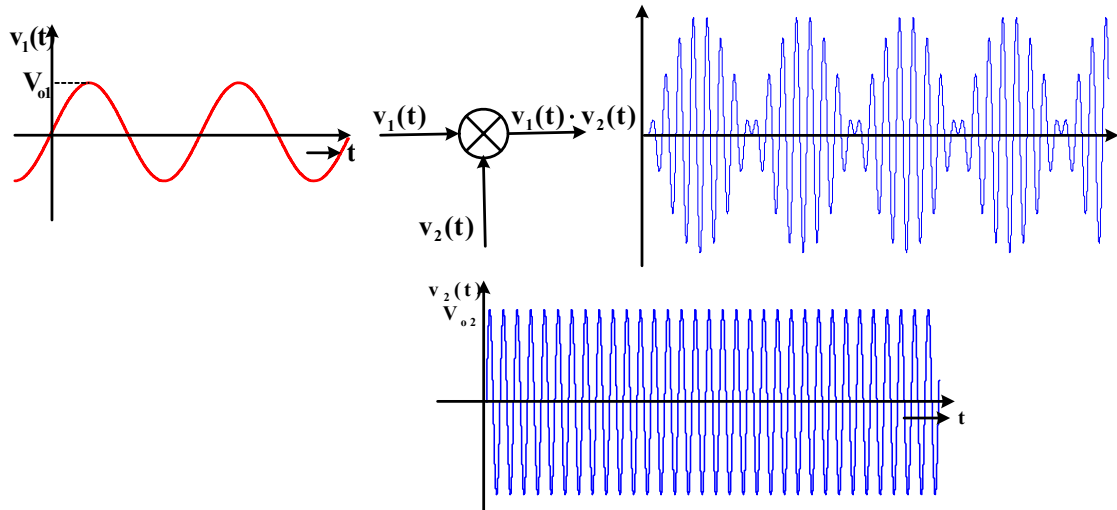
6.2 Μίκτες συχνοτήτων

Οι μίκτες είναι κυκλώματα, που επιτελούν τον πολλαπλασιασμό δύο σημάτων.

$$v_o(t) = v_1(t) \cdot v_2(t) = (V_{o1} \sin \omega_1 t) \cdot (V_{o2} \sin \omega_2 t) \quad (6-1)$$

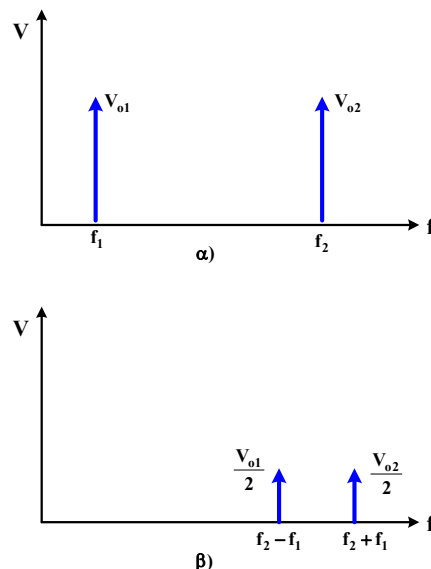
$$v_o(t) = \frac{1}{2} V_{o1} V_{o2} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \quad (6-2)$$

Η πράξη του πολλαπλασιασμού δυο ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μία μη γραμμική πράξη, γι' αυτό και οι μίκτες λειτουργούν ως μη γραμμικά κυκλώματα, σε αντίθεση με τα κυκλώματα, που γνωρίσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια.



Σχ.6.1 Σύμβολο μίκτη και σήματα στις εισόδους και την έξοδό του

Ο μίκτης, του οποίου το σύμβολο δεικνύεται στο σχ.5.36, είναι ένα ιδεατό στοιχείο, αφού η αμιγής λειτουργία του πολλαπλασιασμού δεν επιτελείται από κανένα στοιχείο. Για το λόγο αυτό, η λειτουργία του μίκτη προσεγγίζεται από διάφορα κυκλώματα. Ορισμένα από τα κυκλώματα αυτά υλοποιούνται με διόδους, που λειτουργούν ως διακόπτες, (switching mixers). Άλλοι μίκτης πραγματοποιούν τον πολλαπλασιασμό, με βάση, είτε τον, (μη γραμμικό), τετραγωνικό νόμο, που περιγράφει το MOS τρανζίστορ. είτε τον, (μη γραμμικό), εκθετικό νόμο, που περιγράφει το BJT τρανζίστορ. Οι νόμοι αυτοί, σε ανάπτυγμα, εμφανίζουν ως πρώτο όρο το γινόμενο δύο τάσεων και ένα πλήθος άλλων όρων ανώτερης τάξης. Οι όροι ανώτερης τάξης μπορεί να απομακρυνθούν με φιλτράρισμα συχνοτήτων και έτσι, να παραμείνει ως λειτουργία ο πολλαπλασιασμός των δύο τάσεων.



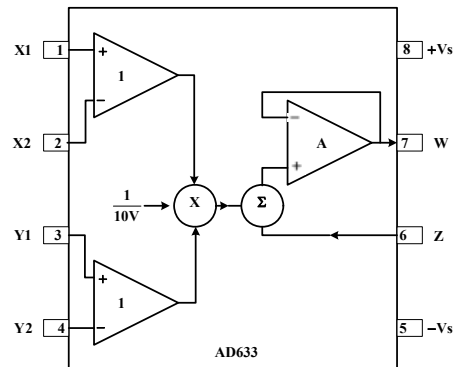
Σχ.6.2 α) Φάσμα πριν από τον πολλαπλασιασμό
β) Φάσμα μετά τον πολλαπλασιασμό

Από την (6-2) προκύπτει ότι, στην έξοδο του μίκτη εμφανίζεται ένα φάσμα συχνοτήτων, που αποτελείται από το άθροισμα και τη διαφορά των συχνοτήτων εισόδου. Σύμφωνα με αυτό, οι μίκτης χρησιμοποιούνται ως μετατροπείς συχνοτήτων ή ως

διαμορφωτές σημάτων. Στα επόμενα παρουσιάζονται ενεργοί μίκτες με τρανζίστορ, που, ταυτόχρονα με τη λειτουργία τους ως πολλαπλασιαστές, παρουσιάζουν και ενίσχυση.

6.3 Ολοκληρωμένα κυκλώματα μικτών

Στο εμπόριο διατίθενται ολοκληρωμένοι μίκτες σε διάφορες τεχνολογίες. Ένα τυπικό κύκλωμα ολοκληρωμένου μίκτη είναι ο AD633, που δεικνύεται στο σχ.6.3.



Σχ.6.3 Ολοκληρωμένο κύκλωμα μίκτη

Το κύκλωμα διαθέτει δυο διαφορεικές εισόδους και πραγματοποιεί τη σχέση,

$$V(w) = \frac{[V(x1) - V(x2)] \cdot [V(y1) - V(y2)]}{10} + V(z) \quad (6-3)$$

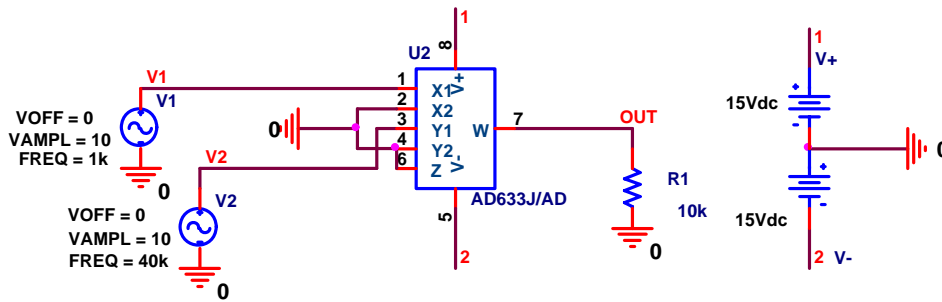
Ο παράγων 10, (scale factor), διαιρεί το γινόμενο των δυο τάσεων και είναι χαρακτηριστικό μέγεθος σε πολλαπλασιαστές. Η τάση V_z , είναι τάση αντιστάθμισης συνεχούς, (DC offset). Το κύκλωμα τροφοδοτείται με συμμετρική τάση συνεχούς. Το μέγιστο όριο των τάσεων εισόδου προσεγγίζει την τάση τροφοδοσίας.

Με τη χρήση κυκλώματος πολλαπλασιαστή, μπορεί να πραγματοποιηθούν λειτουργίες όπως,

- Πολλαπλασιασμός σημάτων
- Διαίρεση σημάτων
- Τετραγωνισμός σήματος
- Τετραγωνική ρίζα σήματος
- Αναγνώριση διαφοράς φάσης δυο σημάτων
- Διαμόρφωση σήματος κατά πλάτος, AM
- Αποδιαμόρφωση σήματος AM

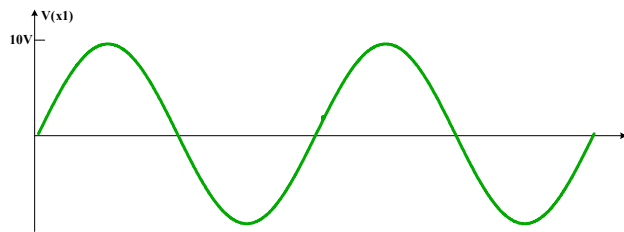
Παράδειγμα 6.1: Πολλαπλασιαστής σημάτων

Το κύκλωμα του σχ.6.4, όπου χρησιμοποιείται ο ολοκληρωμένος μίκτης AD633, λειτουργεί ως πολλαπλασιαστής των σημάτων x1 και y1, και παρέχει έξοδο στον ακροδέκτη w.

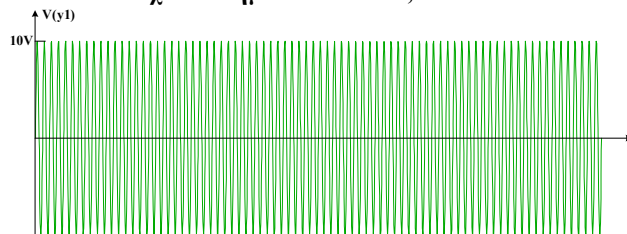


Σχ.6.4 Πολλαπλασιαστής δυο σημάτων σε εξομοίωση SPICE

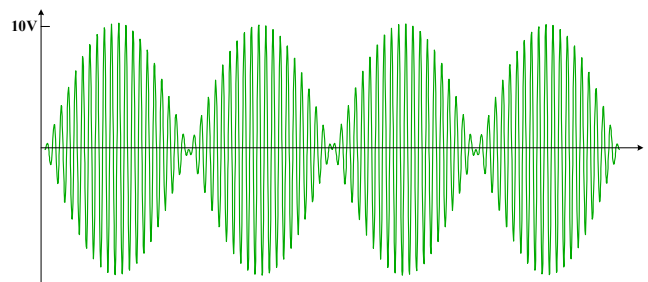
Οι κυματομορφές των σημάτων στις εισόδους και στην έξοδο του κυκλώματος δεικνύονται στα σχ.6.5, 6.6 και 6.7, αντίστοιχα.



Σχ.6.5 Σήμα εισόδου x1, f=1 KHz



Σχ.6.6 Σήμα εισόδου y1, f=40 KHz



Σχ.6.7 Σήμα εξόδου, $w=0.1*x1*y1$

MATLAB
<pre>%Signal multiplier t=0:1e-6:1e-3; x1=10*sin(2*pi*1000*t);y1=10*sin(2*pi*40000*t); w=0.1*x1.*y1; plot (t,x1,t,y1,t,w); xlabel('Time,sec');ylabel('Volt');</pre>

6.4 Διαμόρφωση σημάτων

Η μετάδοση της πληροφορίας πραγματοποιείται, είτε, μέσω του ενσύρματου δικτύου, είτε, μέσω του ελεύθερου χώρου με ραδιοεκπομπή. Είναι ευνόητο ότι, δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη μετάδοση, μέσα από το ίδιο μέσο, περισσότερων του ενός σημάτων, λόγω αμοιβαίας παρεμβολής τους. Επίσης, όπως είναι γνωστό από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, για 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. Τα προβλήματα αυτά υπερπηδούνται με τη χρησιμοποίηση κάποιου άλλου σήματος υψηλής συχνότητας, το οποίο κατάλληλα διαμορφωμένο, (modulated), από το σήμα πληροφορίας, μεταφέρει την πληροφορία. Η διεργασία αυτή, γνωστή ως **διαμόρφωση**, (modulation), συνίσταται στη δημιουργία ενός σύνθετου σήματος, ορισμένα χαρακτηριστικά του οποίου, μεταβάλλονται σύμφωνα με τη στιγμιαία τιμή του σήματος πληροφορίας.

Το σήμα υψηλής συχνότητας, που επενεργεί ως φορέας του σήματος πληροφορίας, ονομάζεται **φέρον σήμα**, (carrier).

Με τη διαμόρφωση το φάσμα συχνοτήτων ενός σήματος μετατοπίζεται. Η μετατόπιση αυτή καλύπτει διαφορετική περιοχή, η οποία δεν πρέπει να καλύπτεται από το φάσμα άλλων σημάτων, που διαδίδονται με διαφορετικά φέροντα κύματα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η ταυτόχρονη μετάδοση πολλών σημάτων μέσα από το ίδιο μέσο, και επιπλέον είναι δυνατή η ραδιοεκπομπή τους.

6.4.α Τρόποι διαμόρφωσης σημάτων

Το φέρον σήμα μπορεί να είναι ένα ημιτονικό σήμα υψηλής συχνότητας ή διάφοροι παλμοί σημάτων. Εδώ θα ασχοληθούμε μόνο με τη διαμόρφωση ημιτονικών σημάτων.

Ένα ημιτονικό φέρον σήμα περιγράφεται από τη σχέση,

$$v_c(t) = V_{oc} \sin(\omega_c t + \varphi) \quad (6-4)$$

Το σήμα αυτό μπορεί να διαμορφωθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- Με διαμόρφωση του πλάτους V_{oc} , σύμφωνα με τις στιγμιαίες μεταβολές πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος, οπότε, πρόκειται για **διαμόρφωση πλάτους**, **AM**, (Amplitude Modulation).
- Με διαμόρφωση της γωνίας του σήματος $(\omega_c t + \varphi)$, σύμφωνα με τις στιγμιαίες μεταβολές πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος, οπότε, πρόκειται για **διαμόρφωση**

γωνίας, (angle modulation). Η διαμόρφωση της γωνίας του φέροντος μπορεί να γίνει, είτε, με μεταβολή της συχνότητας ω_c , οπότε, πρόκειται για **διαμόρφωση συχνότητας**, **FM**, (Frequency Modulation), είτε, με μεταβολή της φάσης ϕ , οπότε πρόκειται για **διαμόρφωση φάσης**, (Phase Modulation).

Στις τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιούνται και άλλοι τρόποι διαμόρφωσης για την ψηφιακή διάδοση σημάτων. Οι ψηφιακές διαμορφώσεις ξεφεύγουν του στόχου αυτού του βιβλίου.

6.4.β Διαμόρφωση πλάτους, AM

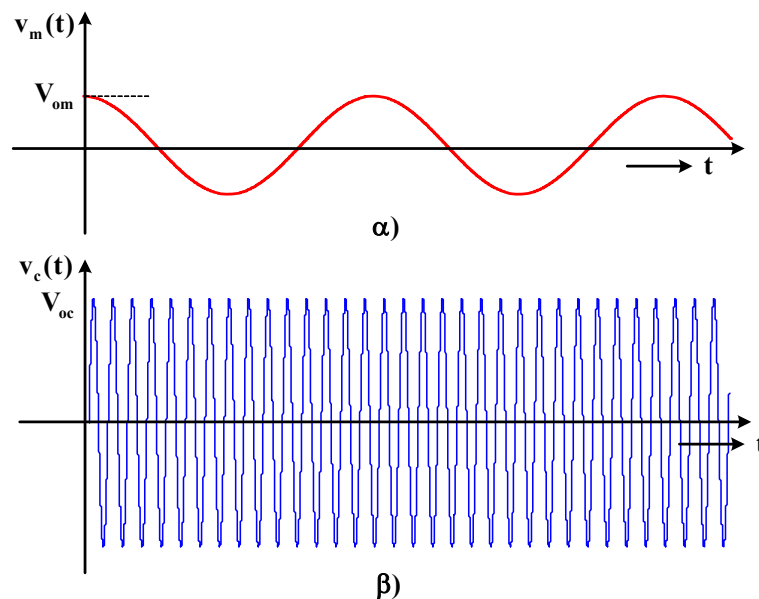
Όταν το πλάτος του φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την στιγμιαία τιμή του διαμορφώνοντος σήματος, τότε, το φέρον σήμα διαμορφώνεται κατά πλάτος, AM. Η διαμόρφωση πλάτους ενός φέροντος σήματος από ένα διαμορφώνον σήμα γίνεται με μίξη των δύο σημάτων. Η διαφορά της διαμόρφωσης πλάτους από την μίξη, που ήδη γνωρίσαμε, είναι ότι, στο διαμορφώνον σήμα προστίθεται ένας συνεχής όρος ανάλογος του πλάτους του φέροντος σήματος. Έτσι, αν το φέρον και το διαμορφώνον σήμα, που δεικνύονται στο σχ.5.37, εκφράζονται, αντίστοιχα, από τις σχέσεις,

$$v_c(t) = V_{oc} \sin \omega_c t$$

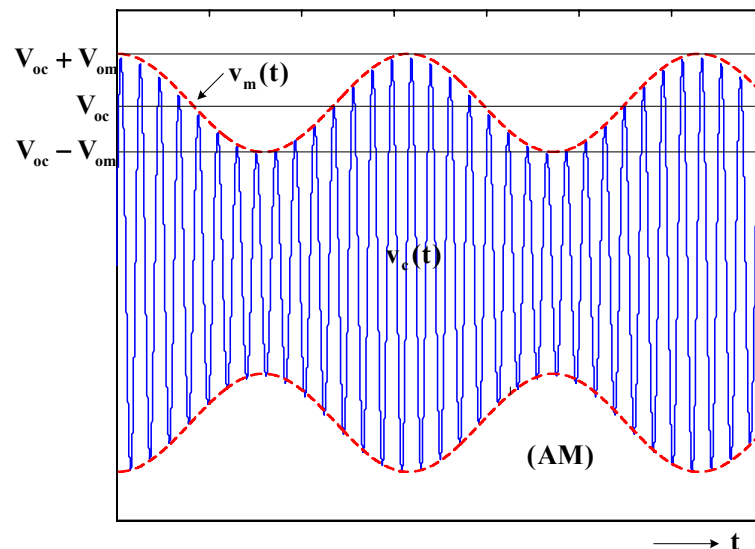
$$v_m(t) = V_{om} \sin \omega_m t$$

Τότε, το διαμορφωμένο σήμα εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση,

$$v_{AM}(t) = (V_{oc} + V_{om} \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (6-5)$$



Σχ.6.8 α) Διαμορφώνον σήμα πληροφορίας
β) Φέρον σήμα



Σχ.6.9 Διαμορφωμένο σήμα κατά πλάτος

Το διαμορφωμένο σήμα, που ορίζεται σύμφωνα με την (5-51), δεικνύεται στο σχ.6.9. Η (5-51) μπορεί να γραφεί ως,

$$v_{AM}(t) = V_{oc}(1 + k \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (6-6)$$

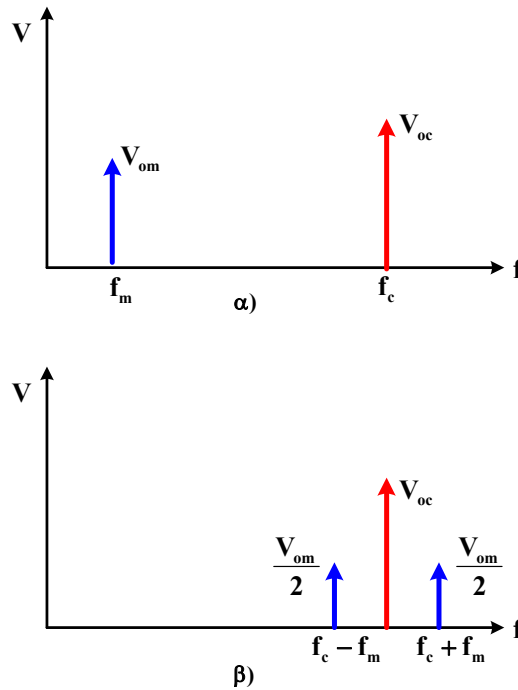
Όπου, $k = V_{om}/V_{oc}$. V_{oc} είναι ο δείκτης διαμόρφωσης.

Το γινόμενο $k \cdot 100$ εκφράζει την επί τοις εκατόν διαμόρφωση, δηλαδή, όταν είναι $k=0,5$, η διαμόρφωση είναι 50%. Διαμόρφωση μεγαλύτερη του 100%, ($V_{om} > V_{oc}$), συνεπάγεται παραμόρφωση, διότι, η περιβάλλουσα του διαμορφωμένου σήματος δεν ακολουθεί, πλέον, το διαμορφώνον σήμα σε όλη την περίοδο. Η περίπτωση αυτή αναφέρεται ως υπερδιαμόρφωση.

Η (5-52) μπορεί να αναπτυχθεί ως,

$$v_{AM}(t) = V_{oc} \left[\sin \omega_c t + \frac{1}{2} k [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \right] \quad (6-7)$$

Από την (6-7) προκύπτει ότι, το φάσμα του διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος, (σχ.6.10), συνίσταται από το αρχικό φέρον σήμα και δυο νέα σήματα με συχνότητες, $(\omega_c + \omega_m)$ και $(\omega_c - \omega_m)$. Οι δυο νέες συχνότητες ονομάζονται, αντίστοιχα, **ανώτερη και κατώτερη πλευρική συχνότητα**. Η διαφορά του φάσματος του κατά πλάτος διαμορφωμένου σήματος από το φάσμα του απλού μίκτη, (σχ.6.2), βρίσκεται στο ότι, στην έξοδο του πρώτου εμφανίζεται και το φέρον σήμα.



Σχ.6.10 Φάσμα διαμορφωμένου σήματος κατά πλάτος
 α) Φάσμα πριν από την διαμόρφωση β) φάσμα μετά την διαμόρφωση

Το εύρος 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.

6.4 Μίκτες τετραγωνικού και εκθετικού νόμου

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε τη λειτουργία των μικτών ως δεδομένη. Ωστόσο, θα πρέπει να γνωρίζουμε, βάσει ποιού νόμου επιτελείται αυτή η λειτουργία.

Αν θεωρήσουμε ένα μη γραμμικό ενισχυτικό στοιχείο, για το οποίο ισχύει ο τετραγωνικός νόμος, τότε, η έξοδος του ενισχυτή θα περιγράφεται από τη σχέση,

$$v_o(t) = k \cdot v_i(t)^2$$

Στην περίπτωση, που το σήμα εισόδου $v_i(t)$ είναι το άθροισμα δύο ημιτονικών σημάτων, ενός διαμορφώνοντος σήματος χαμηλής συχνότητας ω_m , και ενός φέροντος σήματος υψηλής συχνότητας ω_c , τότε,

$$v_o(t) = k \cdot [V_m \sin \omega_m t + V_c \sin \omega_c t]^2$$

ή

$$v_o(t) = k \cdot [(V_m \sin \omega_m t)^2 + (V_c \sin \omega_c t)^2] + 2k[(V_m \sin \omega_m t) \cdot (V_c \sin \omega_c t)]$$

$$v_o(t) = k \cdot \left[\left(\frac{V_m}{2} - \frac{1}{2} V_m \cos 2(\omega_m t) \right) + \left(\frac{V_c}{2} - \frac{1}{2} V_c \cos 2(\omega_c t) \right) \right] + 2k[(V_m \sin \omega_m t) \cdot (V_c \sin \omega_c t)]$$

$$v_o(t) = k \cdot \left[V_{DC} - \frac{1}{2} V_m \cos 2(\omega_m t) - \frac{1}{2} V_c \cos 2(\omega_c t) \right] + 2k[(V_m \sin \omega_m t) \cdot (V_c \sin \omega_c t)]$$

Στην παραπάνω σχέση εμφανίζονται, ένας όρος με συνεχή συνιστώσα, που μπορεί να απομακρυνθεί με χωρητική σύζευξη, και δυο όροι με συχνότητες διπλάσιες των θεμελιωδών συχνοτήτων, που μπορούν, επίσης, να απομακρυνθούν με χρήση ζωνοδιαβατού φίλτρου συχνοτήτων, συντονισμένου στη συχνότητα του φέροντος σήματος. Έτσι, τελικά, μετά την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων όρων, το σήμα εξόδου του ενισχυτή θα περιγράφεται από τη σχέση,

$$v_o(t) = 2k \cdot (V_m \sin \omega_m t) \cdot (V_c \sin \omega_c t) \quad (6-8)$$

Δηλαδή, με έναν ενισχυτή τετραγωνικού νόμου και ένα κύκλωμα φίλτρου συντονισμού, επιτυγχάνεται ο πολλαπλασιασμός δύο σημάτων.

Το MOS τρανζίστορ, ως γνωστό, περιγράφεται από τον τετραγωνικό νόμο, σύμφωνα με τη σχέση,

$$i_D = \beta (v_{GS} - V_T)^2$$

Εάν η τάση πύλης του τρανζίστορ είναι,

$$v_{GS} = V_{GS} + v_c \pm v_m$$

τότε, MOS ενισχυτές συντονισμού, σε μη γραμμική λειτουργία, μπορεί να λειτουργήσουν ως μίκτες.

Το BJT τρανζίστορ περιγράφεται από τον εκθετικό νόμο,

$$i_C = I_s e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

Ο εκθετικός νόμος σε ανάπτυγμα δίνει, μεταξύ άλλων, και τετραγωνικό όρο. Επομένως, αν θεωρήσουμε ότι,

$$v_{BE} = V_{BE} + v_c \pm v_m$$

τότε, BJT ενισχυτές συντονισμού, σε μη γραμμική λειτουργία, μπορεί να λειτουργήσουν ως μίκτες.

6.6 Κυκλώματα διαμόρφωσης πλάτους AM

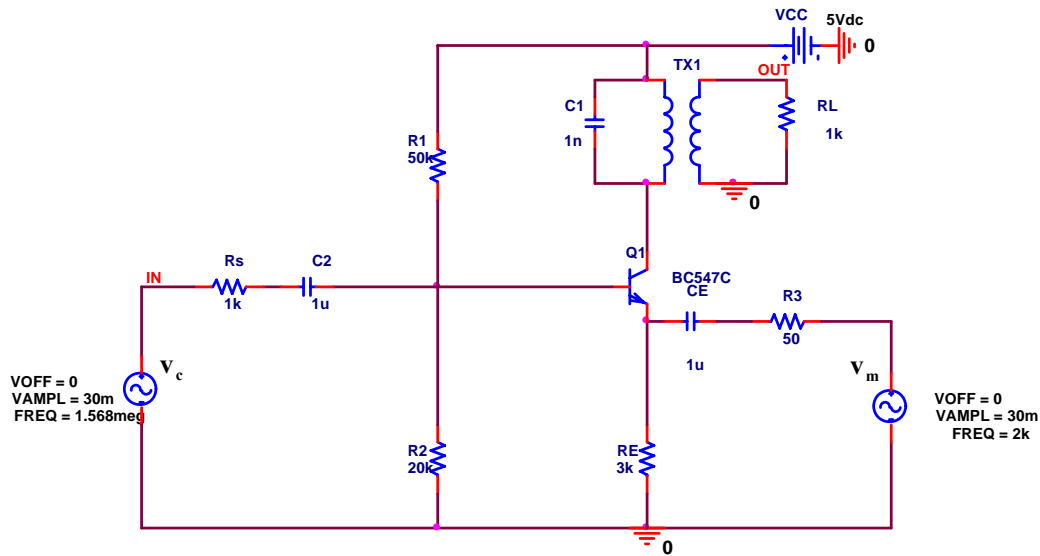
Στον ενισχυτή συντονισμού του σχ.6.11, το φέρον σήμα και το διαμορφώνον σήμα εφαρμόζονται εκατέρωθεν της επαφής βάσης του τρανζίστορ, με τρόπο ώστε να είναι,

$$v_{BE} = V_{BE} + k(v_c - v_m)$$

Με τον τρόπο αυτό, το ρεύμα συλλέκτη θα περιγράφεται από τη σχέση,

$$i_C = I_s e^{\frac{V_{BE} + k(v_c - v_m)}{V_T}}$$

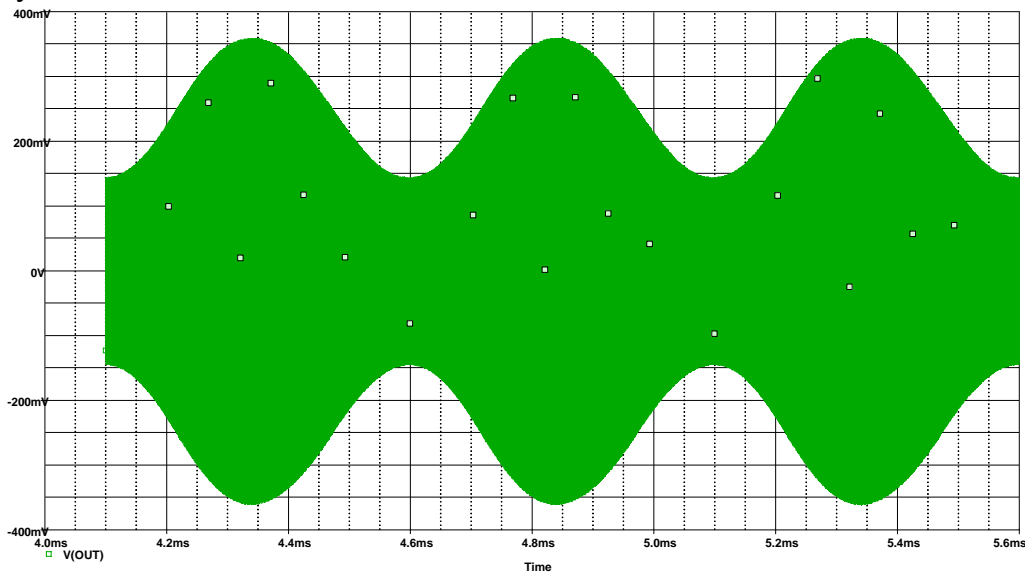
Ο εκθετικός νόμος σε ανάπτυγμα δίνει, μεταξύ άλλων, και τετραγωνικό όρο, που είναι αναγκαίος για τη δημιουργία του γινομένου των δυο σημάτων. Το LC κύκλωμα συντονισμού, που λειτουργεί ως ζωνοδιαβατό φίλτρο, είναι συντονισμένο στη συχνότητα του φέροντος σήματος, ενώ, το εύρος συχνοτήτων καλύπτει και τη ζώνη των πλευρικών συχνοτήτων. Η σύζευξη του φορτίου, μέσω μετασχηματιστή, αποκρίνει τη συνεχή συνιστώσα από το φορτίο. Έτσι, ενισχύονται μόνον το φέρον σήμα και οι πλευρικές συχνοτήτες. Επομένως, σύμφωνα με όσα αναπτύξαμε στην προηγούμενη παράγραφο, το κύκλωμα του σχ.6.11 μπορεί να λειτουργήσει ως μίκτης. Με δεδομένα πλάτη των πηγών σήματος, ο αντιστάτης R_E ρυθμίζει το ποσοστό διαμόρφωσης του φέροντος σήματος.



Σχ.6.11 Διαμορφωτής πλάτους, AM

Το σήμα εξόδου του κυκλώματος του σχ.6.11, όπως ελήφθη με εξομοίωση SPICE, δεικνύεται στο σχ.6.12.

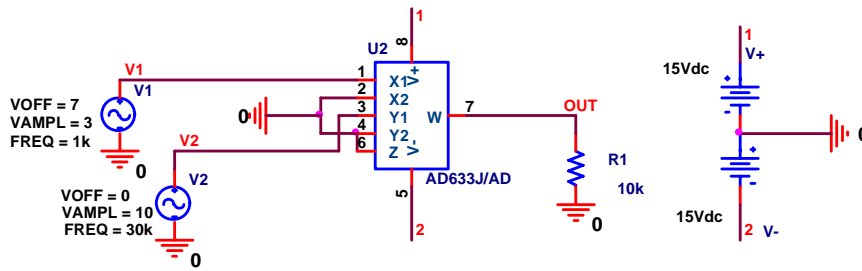
Πολλές παραλλαγές του κυκλώματος του σχ.6.11 δημιουργούνται, με διαφορετικές τοπολογίες ενισχυτών και τρόπους σύζευξης των πηγών φέροντος και διαμορφώνοντος σήματος.



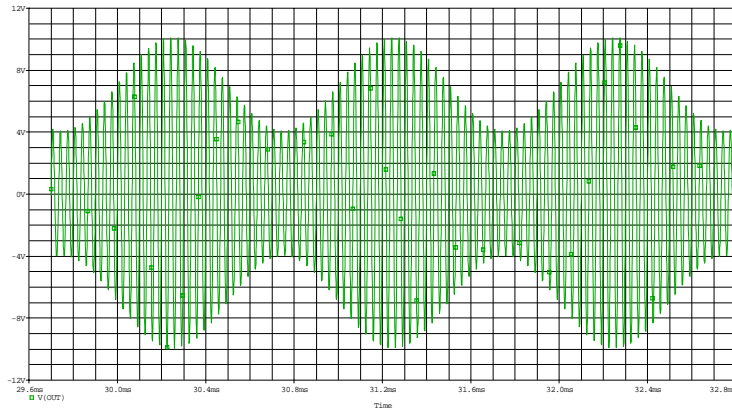
Σχ.6.12 Διαμορφωμένο σήμα στην έξοδο του κυκλώματος του σχ.6.11
Εξομοίωση με SPICE

Παράδειγμα 6.2: Διαμόρφωση σήματος

Με μια διάταξη αντίστοιχη αυτής, που γνωρίσαμε στο παράδειγμα 6.1, με τη χρήση του ολοκληρωμένου μίκτη σημάτων AD633, μπορούμε να προκαλέσουμε διαμόρφωση ενός φέροντος σήματος, αν στο διαμορφώνον σήμα προστεθεί μια συνεχής συνιστώσα, όπως δεικνύεται στο σχ.6.13.



Σχ.6.13 Διάταξη διαμόρφωσης AM



Σχ.6.14 Διαμορφωμένο σήμα AM

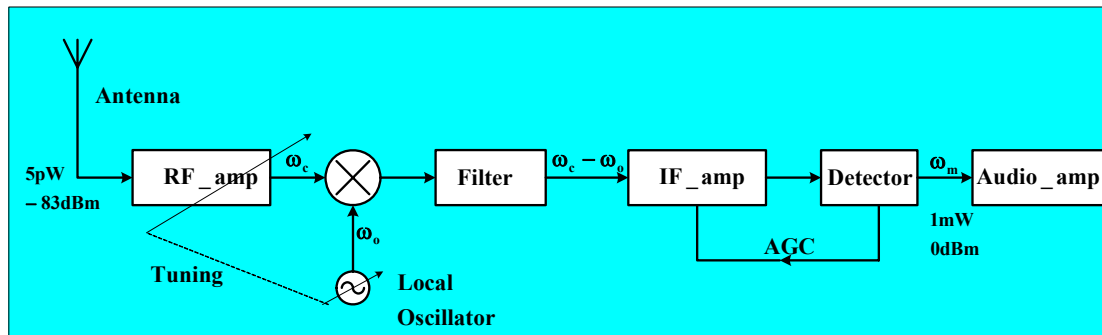
Το κύκλωμα εξομοιώνεται, πολύ εύκολα, με το SPICE και το αποτέλεσμα της εξομοίωσης δεικνύεται στο σχ.6.14.

MATLAB
<pre>%Amplitude Modulation t=0:1e-6:2e-3; x1=(7+3*sin(2*pi*1000*t));y1=10*sin(2*pi*40000*t); w=0.1*x1.*y1; plot (t,w); xlabel('Time,sec'); ylabel('Volt');</pre>

Η διαδικασία της διαμόρφωση σημάτων κατά πλάτος αναπτύσσεται εύκολά και με το MATLAB. Στον κώδικα, που παρατίθεται, όπως και στην εξομοίωση με το SPICE, είναι εμφανής η παρουσία της συνεχούς συνιστώσας των 7 V στο διαμορφώνον σήμα.

6.7 Ραδιοφωνικός δέκτης AM

Η διεργασία διαμόρφωσης σημάτων, που γνωρίσαμε προηγουμένως, είχε ως στόχο τη διάδοση του σήματος πληροφορίας, που είναι το διαμορφώνων σήμα. Όταν το διαμορφωμένο σήμα φτάσει στην κεραία του δέκτη, τότε, ο ρόλος του δέκτη είναι να απομακρύνει το φέρον σήμα και να αξιοποιήσει κατάλληλα το σήμα πληροφορίας. Διάφορες διατάξεις δεκτών έχουν προταθεί κατά καιρούς. Στην τοπολογία του σχ.5.40, δεικνύεται η βασική δομή ενός ετεροδύνου δέκτη.



Σχ.6.15 Διάταξη υπερετεροδύνου δέκτη

Το διαμορφωμένο σήμα με συχνότητα φέροντος ω_c , περνάει από την κεραία λήψης, στην είσοδο ενός ενισχυτή συντονισμού, που αναφέρεται ως ενισχυτής RF, (**R**adio **F**requency amplifier). Ο RF ενισχυτής έχει ως στόχο, την **επιλογή**, μεταξύ πλήθους άλλων σημάτων που καταφθάνουν στην κεραία, και **ενίσχυση** του διαμορφωμένου σήματος. Το επιλεγμένο και ενισχυμένο διαμορφωμένο σήμα οδηγείται στην είσοδο ενός μίκτη, στην άλλη είσοδο του οποίου εφαρμόζεται το σήμα ενός τοπικού ταλαντωτή. Στην έξοδο του μίκτη εμφανίζονται οι δυο πλευρικές συχνότητες, που σχηματίζονται από το άθροισμα και τη διαφορά των συχνοτήτων, του φέροντος και διαμορφώνοντος σήματος. Με τη χρήση ενός ζωνοδιαβατού φίλτρου, επιλέγεται η κατώτερη πλευρική συχνότητα, έτσι ώστε, δημιουργείται ένα νέο σήμα, με ενδιαμέση συχνότητα IF, (**I**ntermediate **F**requency), που είναι η διαφορά συχνοτήτων ($\omega_c - \omega_0$), του φέροντος σήματος και του σήματος του τοπικού ταλαντωτή.

Σε ένα κλασικό AM ραδιόφωνο, π.χ., η διαφορά συχνοτήτων μεταξύ του σήματος κεραίας και του τοπικού ταλαντωτή είναι 455 KHz. Έτσι, αν το φέρον σήμα είναι συχνότητας 800 KHz, ο τοπικός ταλαντωτής συντονίζεται στα 1255 KHz. Η σταθερού εύρους διαφορά συχνοτήτων επιτυγχάνεται με ταυτόχρονο συντονισμό του RF ενισχυτή και του ταλαντωτή. Η διαδικασία της μίξης του φέροντος σήματος με το σήμα του τοπικού ταλαντωτή αναφέρεται ως **ετεροδύνηση**, (heterodyning or mixing).

Το IF σήμα οδηγείται σ' έναν IF ενισχυτή μεταβλητής ενίσχυσης, (VGA), με στο στόχο τη δημιουργία ενός ενισχυμένου σήματος, με πλάτος σχεδόν ανεξάρτητο από τις διακυμάνσεις μεγέθους του σήματος στην κεραία. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν βρόχο αυτόματου ελέγχου απολαβής, (AGC), στην λειτουργία του οποίου αναφερόμαστε στην παράγραφο 6.??.. Ο IF ενισχυτής συντονισμού είναι σταθερά συντονισμένος στη διαφορά των δυο συχνοτήτων, φέροντος σήματος και τοπικού ταλαντωτή. Η κύρια ενίσχυση του σήματος επιτυγχάνεται στον IF ενισχυτή, που είναι, συνήθως, ενισχυτής πολλών βαθμίδων.

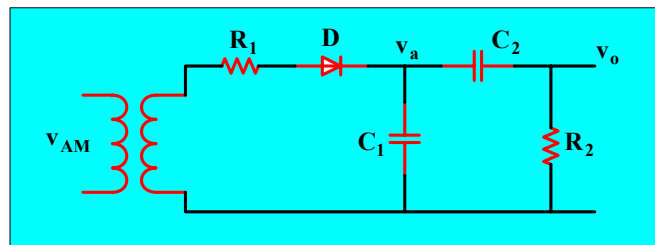
Το σήμα από την έξοδο του IF ενισχυτή οδηγείται στον **φωρατή**, (detector or demodulator), που απορρίπτει την υψίσυχη συνιστώσα του σήματος και αναδεικνύει το διαμορφώνον σήμα πληροφορίας. Απ' εκεί και πέρα την υπόθεση αναλαμβάνουν οι ενισχυτές ισχύος για την αξιοποίηση του σήματος πληροφορίας.

Στα επόμενα θα γνωρίσουμε τη λειτουργία των φωρατών, ενώ, σε ανεξάρτητα κεφάλαια θα γνωρίσουμε τους ενισχυτές ισχύος και τους ταλαντωτές.

6.8 Κυκλώματα αποδιαμόρφωσης πλάτους AM

Η διεργασία του διαχωρισμού του σήματος πληροφορίας από το διαμορφωμένο σήμα καλείται **αποδιαμόρφωση** ή **φώραση**.

Ένα απλό κύκλωμα φωρατή δεικνύεται στο σχ.6.16. Το διαμορφωμένο σήμα εφαρμόζεται στη δίοδο D, που δρα ως ημιανορθωτής, όπως δεικνύεται στο σχ.6.17. Ο πυκνωτής C_1 επιλέγεται, έτσι ώστε, να φιλτράρει το υψίσυχο φέρον σήμα προς τη γη, ενώ δεν επιτρέπει το σήμα πληροφορίας, χαμηλής συχνότητας να διέλθει απ' αυτόν. Έτσι, το σήμα πληροφορίας, απαλλαγμένο από το φέρον σήμα, υπερτιθέμενο σε μια συνεχή συνιστώσα, που προέκυψε από την ανόρθωση, εμφανίζεται στα άκρα το πυκνωτή C_1 .

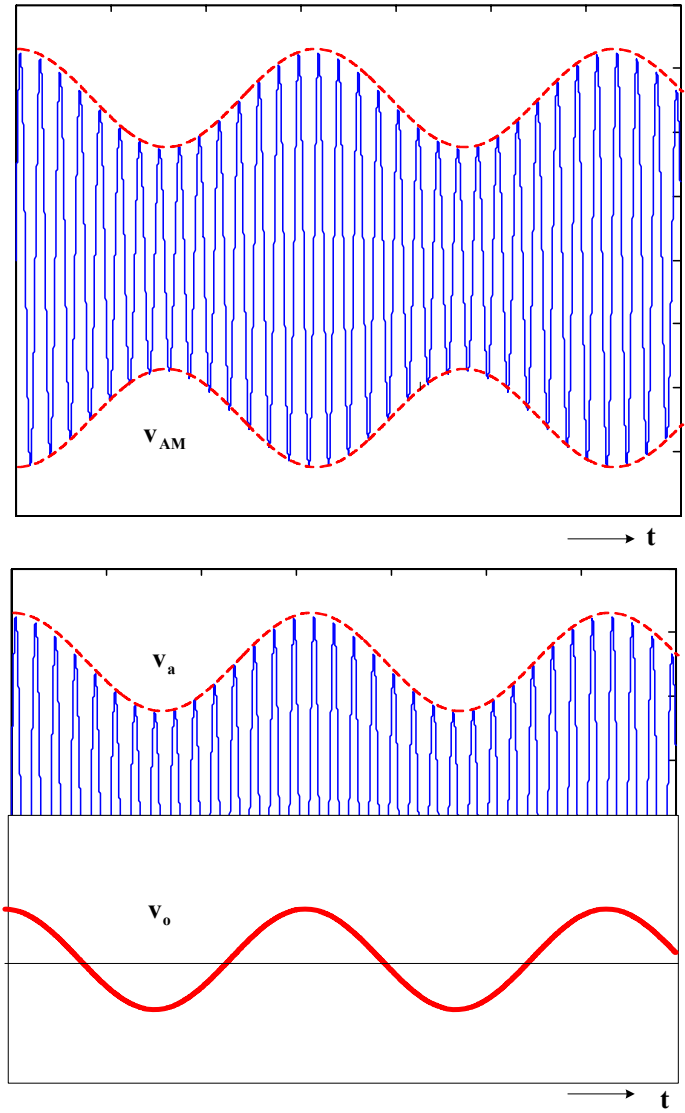


Σχ.6.16 Φωρατής AM με δίοδο

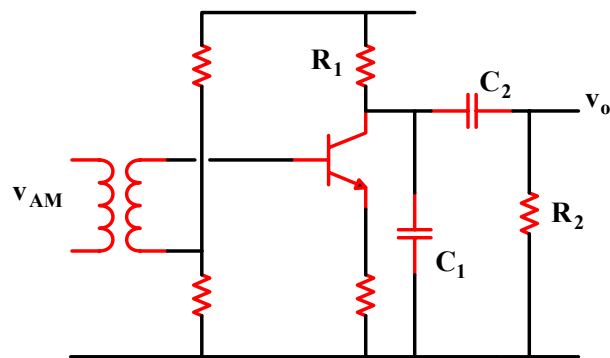
Για την αποκοπή της συνεχούς συνιστώσας τοποθετείται ο πυκνωτής C_2 , οπότε, στα άκρα της R_2 εμφανίζεται μόνον το σήμα πληροφορίας. Η αποδιαμόρφωση ενός σήματος δεικνύεται παραστατικά στο σχ.6.17.

Ο φωρατής AM με δίοδο δεν εμφανίζει καμία ενίσχυση στο σήμα πληροφορίας, γι' αυτό προτιμώνται φωρατές με τρανζίστορ, που λειτουργούν πάνω στην ίδια αρχή με τον φωρατή δίοδου, ενώ ταυτόχρονα ενισχύουν το σήμα πληροφορίας. Το κύκλωμα του σχ.6.18 είναι ένας φωρατής AM με τρανζίστορ. Το τρανζίστορ του κυκλώματος πολώνεται σε πολύ μικρό ρεύμα ηρεμίας, ώστε η επαφή βάσης-εκπομπού να λειτουργεί ως δίοδος ανόρθωσης. Ο πυκνωτής C_1 δρα ως φίλτρο για το φέρον σήμα, ενώ, για την αποκοπή της συνεχούς συνιστώσας τοποθετείται ο πυκνωτής C_2 .

Η πρόσθετη συνεχής συνιστώσα, που προέκυψε από την ανόρθωση, εμφανίζεται στο εκπομπό και χρησιμοποιείται ως AGC σήμα επιστροφής για τον αυτόματο έλεγχο της ενίσχυσης του δέκτη.



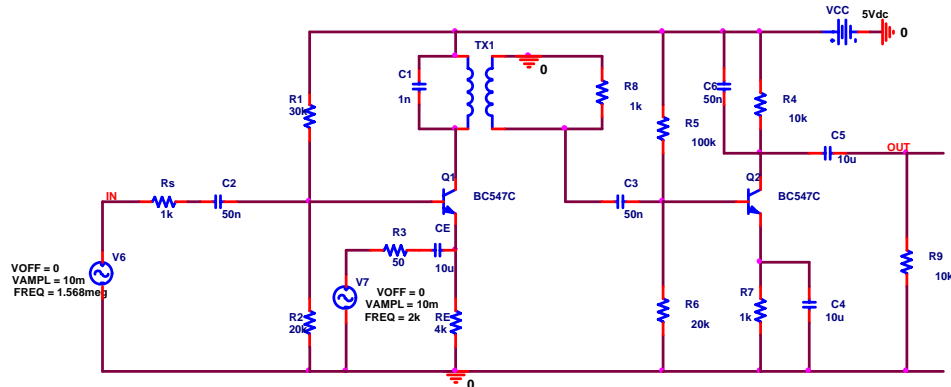
Σχ.6.17 Αποδιαμόρφωση σήματος



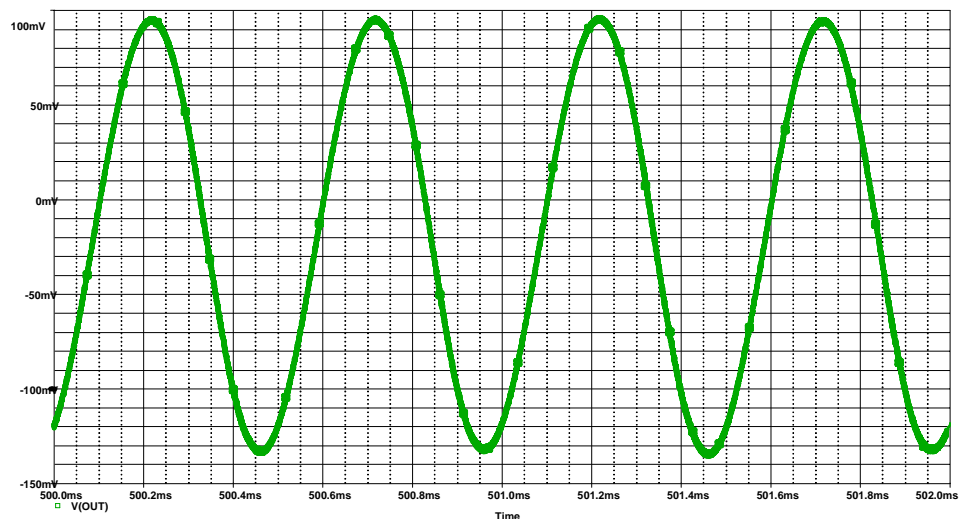
Σχ.6.18 Φωρατής AM με τρανζίστορ

Παράδειγμα 6.3 AM διαμόρφωση-αποδιαμόρφωση σήματος

Το κύκλωμα του σχ.6.19 συνδυάζει ένα μίκτη ενισχυτή συντονισμού, και έναν φωρατή με τρανζίστορ. Θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι, ο μίκτης λειτουργεί ως IF ενισχυτής συντονισμένος στη συχνότητα του 1,568 MHz, και οδηγεί με το σήμα εξόδου του την είσοδο του φωρατή.



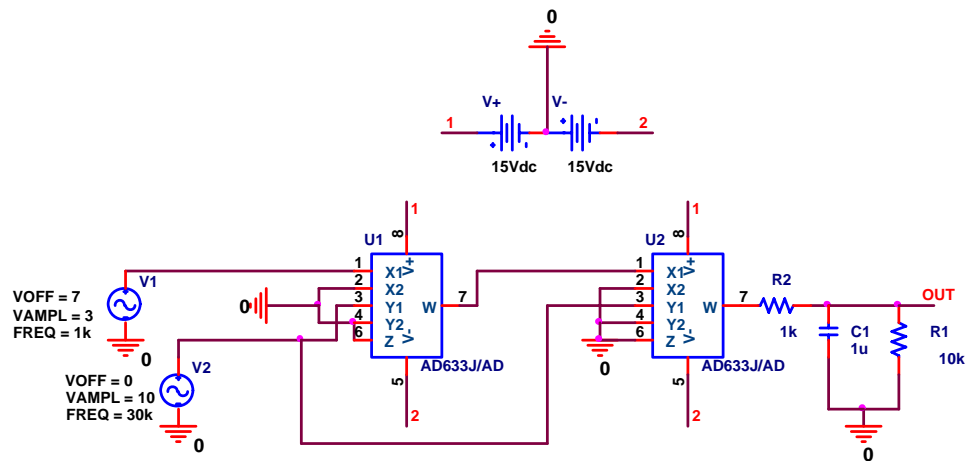
Σχ.6.19 Κύκλωμα IF ενισχυτή και φωρατή με τρανζίστορ



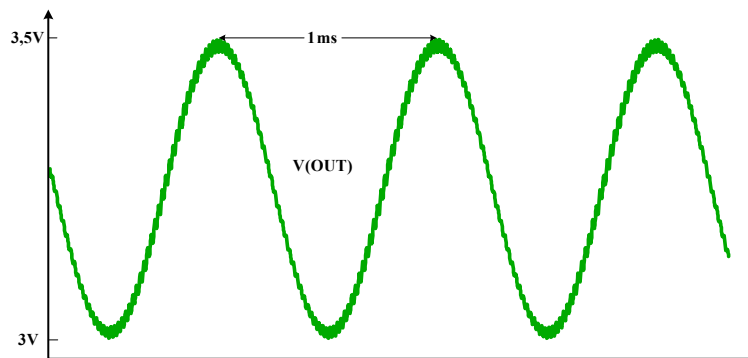
Σχ.6.20 Σήμα στην έξοδο του κυκλώματος του σχ.5.45

Παρατηρούμε ότι, στην έξοδο του φωρατή εμφανίζεται, ενισχυμένο, το διαμορφώνον σήμα, συχνότητας 2 KHz. Ο πυκνωτής C_6 λειτουργεί ως φίλτρο απομάκρυνσης του φέροντος σήματος, ενώ, ο πυκνωτής C_5 αποκόπτει τη συνεχή συνιστώσα.

Αποδιαμόρφωση σήματος επιτυγχάνεται και με τη χρήση ενός μίκτη. Στο σχ.6.21 δεικνύεται μια διάταξη, που λειτουργεί ως AM διαμορφωτής-αποδιαμορφωτής σήματος. Με τον πρώτο μίκτη επιτυγχάνεται η διαμόρφωση του φέροντος σήματος, όπως στο παράδειγμα 2, ενώ, με τον δεύτερο μίκτη πραγματοποιείται η αποδιαμόρφωση. Οι δυο είσοδοι του δεύτερου μίκτη τροφοδοτούνται, η μία με το διαμορφωμένο σήμα και η άλλη με το φέρον σήμα. Η παρουσία βαθυπερατού φίλτρου στην έξοδο του κυκλώματος είναι απαραίτητη.



Σχ.6.21 Κύκλωμα διαμόρφωσης-αποδιαμόρφωσης AM



Σχ.6.22 Σήμα εξόδου του κυκλώματος του σχ.6.21

Η έξοδος του κυκλώματος, που προέκυψε από εξομοίωση, δεικνύεται στο σχ.6.22.

6.9 Διαμόρφωση συχνότητας FM

Όταν η συχνότητα του φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα προς τη στιγμιαία τιμή του διαμορφώνοντος σήματος, τότε, το φέρον σήμα διαμορφώνεται κατά συχνότητα, FM, (Frequency Modulation). Κατά την διαμόρφωση FM, η συχνότητα του διαμορφωμένου σήματος δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά, μεταβάλλεται με το χρόνο, σύμφωνα με τη σχέση,

$$\omega(t) = \omega_c + \alpha V_m \cos \omega_m t = \omega_c + \omega_d \cos \omega_m t \quad (6-9)$$

όπου, ω_c είναι η συχνότητα του φέροντος σήματος, ω_m είναι η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος και $\omega_d = \alpha V_m$ είναι η μέγιστη απόκλιση της συχνότητας του φέροντος σήματος.

Εάν το διαμορφωμένο σήμα περιγράφεται ως,

$$v_c(t) = V_{oc} \sin \phi(t) \quad (6-10)$$

όπου, $\phi(t)$ είναι η ολική γωνία φάσης, τότε, επειδή, εξ ορισμού, $\omega(t) = d\phi/dt$, προκύπτει,

$$\phi = \int_0^t \omega(t)dt = \int_0^t (\omega_c + \omega_d \cos \omega_m t) dt = \omega_c t + \frac{\omega_d}{\omega_m} \sin \omega_m t$$

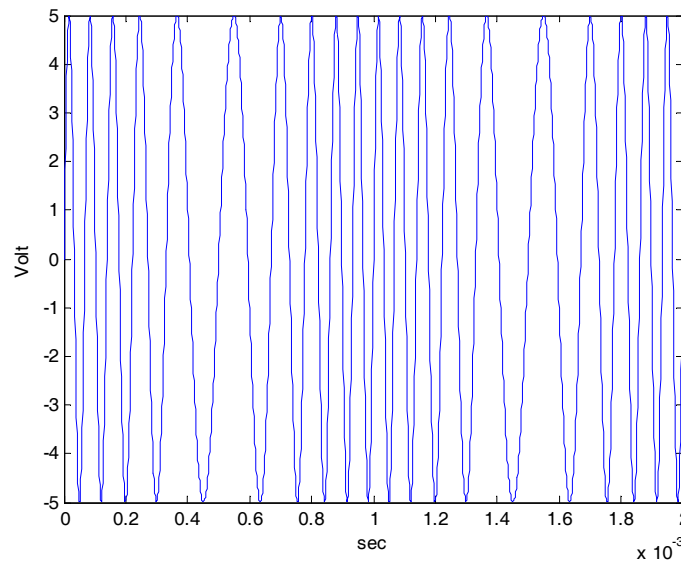
ή
$$\phi = \omega_c t + m \sin \omega_m t \quad (6-11)$$

όπου,
$$m = \frac{\omega_d}{\omega_m} \quad (6-12)$$

είναι ο δείκτης διαμόρφωσης FM.

Αντικαθιστώντας την (6-12) στην (6-10), το διαμορφωμένο σήμα θα περιγράφεται ως,

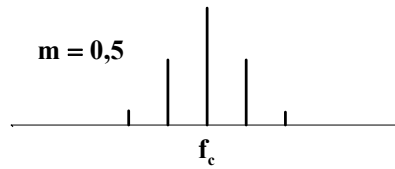
$$v_c(t) = V_{oc} \sin(\omega_c t + m \sin \omega_m t) \quad (6-13)$$



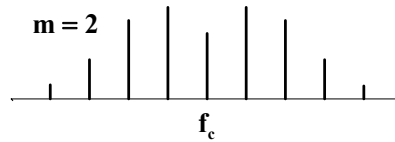
Σχ.6.23 Σήμα διαμορφωμένο κατά συχνότητα

MATLAB
<pre>% Frequency Modulation t=0:1e-6:2e-3; v=5*sin(2*pi*10000*t+5*sin(2*pi*1000*t)); plot (t,v); xlabel('sec'); ylabel('Volt')</pre>

Το φάσμα συχνοτήτων ενός σήματος διαμορφωμένου κατά συχνότητα περιέχει τη θεμελιώδη συχνότητα του φέροντος σήματος και ένα άπειρο αριθμό πλευρικών συχνοτήτων, $f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, f_c \pm 3f_m, \dots$, των οποίων το πλάτος εξαρτάται από τον δείκτη διαμόρφωσης. Στο σχ.6.24 δεικνύονται τα φάσματα συχνοτήτων ενός σήματος με διαφορετικό δείκτη διαμόρφωσης.



α) Διαμόρφωση στενού εύρους



β) Διαμόρφωση μεγάλου εύρους

Σχ.6.24 Φάσματα συχνοτήτων FM σήματος

Ο αριθμός N των σημαντικών ζευγών των πλευρικών συχνοτήτων, εκατέρωθεν της κεντρικής συχνότητας δίνεται από τον εμπειρικό τύπο,

$$N = m + 1 \quad (6-14)$$

Δηλαδή, σ' ένα FM σήμα το εύρος του φάσματος εξαρτάται, ουσιαστικά, από το δείκτη διαμόρφωσης, σε αντίθεση με το φάσμα ενός AM σήματος, που εξαρτάται από τη συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος.

Συγκρίσεις μεταξύ διαμορφώσεων FM και AM

Διαμόρφωση AM :

Υπέρ	Κατά
<ul style="list-style-type: none"> • Μικρή απαίτηση εύρους συχνοτήτων • Ευκολία υλοποίησης 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη απαίτηση ισχύος εκπομπής • Ισχυρές εξωτερικές παρεμβολές

Διαμόρφωση FM :

Υπέρ	Κατά
<ul style="list-style-type: none"> • Ανοσία στο θόρυβο • Σχεδόν ανεπηρέαστη από εξωτερικές παρεμβολές, (interference) • FM σήματα σταθερού πλάτους 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη απαίτηση εύρους συχνοτήτων • Ισχύς εκπομπής ανάλογη του δείκτη διαμόρφωσης • Σύνθετα και ακριβά κυκλώματα

Περίληψη

- Με το όρο μίξη δυο σημάτων αναφερόμαστε στον πολλαπλασιασμό των σημάτων.
- Το φάσμα και η κυματομορφή του σήματος εξόδου, που προκύπτει ως αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού, διαφέρει από το αρχικό φάσμα και τις κυματομορφές των δυο σημάτων.
- Με τη χρήση κυκλώματος πολλαπλασιαστή, μπορεί να πραγματοποιηθούν λειτουργίες όπως,
 - Πολλαπλασιασμός σημάτων
 - Διαίρεση σημάτων
 - Τετραγωνισμός σήματος
 - Τετραγωνική ρίζα σήματος
 - Αναγνώριση διαφοράς φάσης δυο σημάτων
 - Διαμόρφωση σήματος κατά πλάτος, AM
 - Αποδιαμόρφωση σήματος AM
- Με την διαμόρφωση φερόντων σημάτων, παρέχεται η δυνατότητα μετάδοσης σήματος πληροφορίας, χαμηλότερης συχνότητας από τα φέροντα σήματα, σε μεγάλες αποστάσεις και μέσα από κοινό μέσο μετάδοσης.
- Υπάρχουν πολλοί τρόποι διαμόρφωσης σημάτων.
- Οι μίκτες διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης AM σημάτων βασίζονται στη μη γραμμική χαρακτηριστική λειτουργίας των τρανζίστορ.
- Ο ραδιοφωνικός δέκτης AM αποτελεί χαρακτηριστικό σύνθετο κύκλωμα πολλών βαθμίδων, όπου μπορεί κανείς να διακρίνει την αύξηση της στάθμης ισχύος από την κεραία μέχρι τη βαθμίδα εξόδου, καθώς και την επεξεργασία σήματος, που επιτελείται, μέσω των διαφόρων βαθμίδων.
- Ο ραδιοφωνικός δέκτης AM αποτελεί χαρακτηριστικό απλό κύκλωμα, που από πλευράς σχεδιασμού μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα ηλεκτρονικό σύστημα.
- Το πρόγραμμα MATLAB, καθώς και άλλα προγράμματα, προσφέρονται για τον αρχικό σχεδιασμό ηλεκτρονικών συστημάτων.