

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4

ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ - PCM (ΜΕΡΟΣ Α)

3.1. ΣΚΟΠΟΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Σκοπός της εργαστηριακής αυτής άσκησης είναι η μελέτη της παλμοκωδικής διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

3.2. ΘΕΩΡΙΑ

3.2.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην AM και FM διαμόρφωση ο φορέας είναι ένα συνεχές, χρονικά μεταβαλλόμενο ημιτονοειδές σήμα. Στην διαμόρφωση παλμών όμως, ο φορέας είναι μια ακολουθία παλμών, δηλαδή είναι ένα σήμα με διακριτές τιμές στο πεδίο του χρόνου.

Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σήμα, ο παλμός χαρακτηρίζεται από το πλάτος του A , την χρονική του διάρκεια T και την φάση του φ . Όταν μια από αυτές τις παραμέτρους μεταβάλλεται, η πληροφορία του προς μετάδοση σήματος βρίσκεται από τη μεταβολή αυτής της παραμέτρου. Έτσι υπάρχουν τριών ειδών διαμορφώσεις παλμών:

1. διαμόρφωση παλμών κατά πλάτος (Pulse Amplitude Modulation ή PAM),
2. διαμόρφωση παλμών κατά διάρκεια (Pulse Width Modulation ή PWM) και
3. διαμόρφωση παλμών κατά φάση (Pulse – Phase Position Modulation ή PPM).

Οι τρεις αυτές διαμορφώσεις (PAM, PWM, PPM) δημιουργούν όμως αναλογικά σήματα διακριτού χρόνου και όχι ψηφιακά. Επιπλέον στις διαμορφώσεις αυτές, η προστασία του σήματος από τον θόρυβο είναι σχεδόν αδύνατη. Γι' αυτούς τους λόγους, οι διαμορφώσεις PAM, PWM & PPM των παλμών δεν χρησιμοποιούνται σήμερα στις τηλεπικοινωνίες.

3.2.2. ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα χρησιμοποιείται ένα άλλο είδος διαμόρφωσης, η παλμοκωδική διαμόρφωση.

Σύμφωνα με το θεώρημα της δειγματοληψίας (θεώρημα του Shannon), ένα αναλογικό σήμα $V_m(t)$ μπορεί να μετατραπεί σε μια σειρά παλμών, που ο καθένας από αυτούς αντιπροσωπεύει τη στιγμιαία τιμή του σήματος, ενώ κάθε παλμός απέχει από τον επόμενο του χρονικό διάστημα ίσο με $T=1/(2f_m)$, όπου f_m είναι η μέγιστη συχνότητα (αρμονική) του σήματος $V_m(t)$. Στην περίπτωση αυτή, η προς μετάδοση αρχική πληροφορία δεν μεταβάλλεται. Οι παλμοί αυτοί ονομάζονται δείγματα.

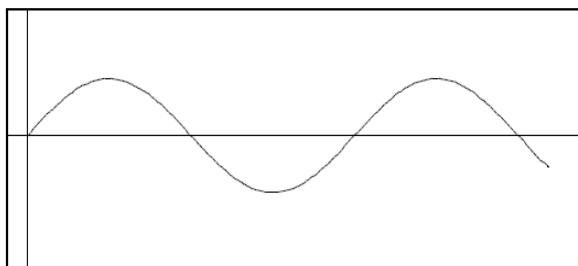
Η χρήση των δειγμάτων αυτών αντί του σήματος $V_m(t)$ έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη αρκετού ελεύθερου χώρου στον άξονα του χρόνου. Συμπληρώνοντας αυτό τον χρόνο με δείγματα που προέρχονται από άλλα αναλογικά σήματα επιτυγχάνεται η μετάδοση πληροφορίας που αφορά πολλά σήματα, σε ένα μέσο μετάδοσης. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται Πολυπλεξία με Επιμερισμό στο Πεδίο του Χρόνου (Time Division Multiplexing ή TDM).

Στην περίπτωση αυτή έχει δημιουργηθεί μια σειρά παλμών διαφορετικού πλάτους και κωδικοποιώντας το πλάτος κάθε παλμού με μια δυαδική λέξη επιτυγχάνεται η μετάδοση σειράς δυαδικών ψηφίων σε ένα μέσο. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται παλμοκωδική διαμόρφωση και ολοκληρώνεται σε τρία στάδια:

1. δειγματοληψία (sampling),
2. κβάντιση (quantizing) και
3. κωδικοποίηση (coding).

Στη συνέχεια αναλύονται τα τρία αυτά στάδια της παλμοκωδικής διαμόρφωσης.

Δειγματοληψία



Σχήμα 3.1: Αναλογικό σήμα

Με την δειγματοληψία ενός αναλογικού σήματος, λαμβάνονται δείγματά του με συγκεκριμένο υψηλό και σταθερό ρυθμό. Τα δείγματα αυτά είναι τέτοια έτσι ώστε

να αναπαραγάγουν το αρχικό αναλογικό σήμα υπό κάποιες προϋποθέσεις. Για να υπάρχει σωστή και πιστή αναπαραγωγή του αναλογικού σήματος πρέπει να ικανοποιείται το θεώρημα του Shannon, σύμφωνα με το οποίο ο ρυθμός δειγματοληψίας ενός αναλογικού σήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιος από την συχνότητα f_m της υψηλότερης αρμονικής του σήματος, δηλαδή πρέπει να λαμβάνονται δείγματα σε χρονικές αποστάσεις μικρότερες ή ίσες με $1/(2f_m)$. Στην πραγματικότητα ο δειγματολήπτης μετατρέπει το αναλογικό σήμα συνεχούς χρόνου σε σήμα διακριτού χρόνου.

Σύμφωνα με το θεώρημα του Shannon, ένα αναλογικό σήμα $V_m(t)$ μπορεί να μετατραπεί σε μια σειρά παλμών, έτσι ώστε ο καθένας από αυτούς να αντιπροσωπεύει τη στιγμιαία τιμή του σήματος (την χρονική στιγμή t) και κάθε παλμός να απέχει από τον επόμενο του χρονικό διάστημα $T=1/(2f_m)$, όπου f_m είναι η μέγιστη συχνότητα του αναλογικού σήματος $V_m(t)$. Οι παλμοί αυτοί ονομάζονται δείγματα. Με τον τρόπο αυτό, η αρχική πληροφορία που μεταδίδεται και μεταφέρεται σε ένα σύγχρονο τηλεπικοινωνιακό σύστημα δεν μεταβάλλεται, δεν παραμορφώνεται και είναι εφικτή η αξιόπιστη ανάκτηση του αναλογικού σήματος πληροφορίας.

Στην πράξη, η δειγματοληψία γίνεται με την βοήθεια ενός ηλεκτρονικού διακόπτη, ο οποίος έχει την ιδιότητα να επιτρέπει την διέλευση του σήματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα και για ορισμένο χρονικό διάστημα. Το σήμα μετά την δειγματοληψία έχει τη μορφή παλμών μεταβλητού ύψους. Στην πραγματικότητα, ένας πυκνωτής φορτίζεται και διατηρεί σταθερή την τάση στα άκρα του μέχρι να την εμφάνιση του επόμενου παλμού. Ο παλμός αυτός θα φορτίσει ή θα εκφορτίσει τον πυκνωτή ανάλογα με το ύψος του. Θεωρητικά, οι παλμοί πρέπει να έχουν την ίδια τιμή με αυτή του αρχικού σήματος πριν τη δειγματοληψία. Πρακτικά, οι υπάρχουσες χωρητικότητες και οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών διατάξεων του ηλεκτρονικού διακόπτη και του συστήματος δειγματοληψίας γενικότερα μεταβάλλουν το ύψος του παλμού, το οποίο δίνεται από την εξίσωση

$$A = S (1 - e^{-t/RC}) \quad (3.1)$$

όπου

- t είναι η χρονική διάρκεια του παλμού δειγματοληψίας και
- RC είναι μία σταθερά που εξαρτάται από τον εκάστοτε δειγματολήπτη.

Το πλάτος του σήματος - δείγματος μετά την δειγματοληψία είναι

- μικρότερο από το αρχικό σήμα, όταν η διάρκεια του παλμού δειγματοληψίας είναι μικρή και

- ίσο με το αρχικό σήμα, όταν η διάρκεια του παλμού δειγματοληψίας είναι μεγάλη.

α) Κβάντιση

Είναι η διαδικασία μετατροπής των δειγμάτων (τιμών) της εξόδου του δειγματολήπτη σε ακολουθία διακριτών τιμών, οι οποίες ανήκουν σε ένα πεπερασμένο σύνολο επιπέδων πλάτους.

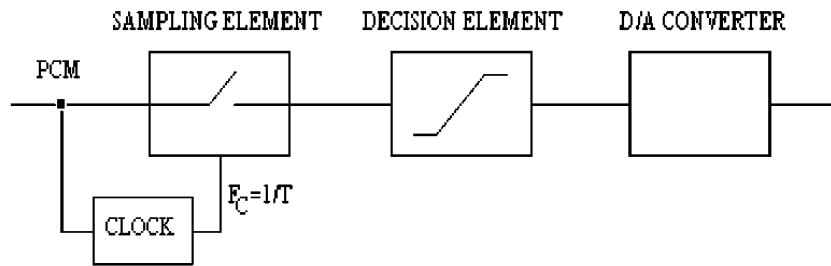
Στο στάδιο αυτό αντιστοιχίζεται στους PAM παλμούς, των οποίων το πλάτος έχει τιμή εντός διαστήματος AV , μια ορισμένη τιμή της τάσης. Έτσι, ένας πεπερασμένος αριθμός από στάθμες αντικαθιστά τον άπειρο αριθμό πλατών των παλμών δειγματοληψίας. Οι διακριτές αυτές τιμές της τάσης ονομάζονται στάθμες κβαντοποίησης - κβάντισης. Στην ουσία, ο κβαντιστής έχοντας σαν είσοδο το διακριτό σήμα της εξόδου του δειγματολήπτη προσεγγίζει τις διακριτές τιμές με συγκεκριμένα επίπεδα πλάτους.

Η κβάντιση του σήματος οδηγεί σε απώλεια της πληροφορίας. Το κρίσιμο σημείο στην επιλογή και στην σχεδίαση του κβαντιστή είναι η πληροφορία που θα χαθεί να είναι όσο το δυνατό λιγότερο χρήσιμη στο δέκτη.

Κωδικοποίηση

Η μετατροπή της τιμής του παλμού, που προήλθε από την κβαντοποίηση, σε μια σειρά από δυαδικά ψηφία ονομάζεται κωδικοποίηση. Δηλαδή ο κωδικοποιητής μετατρέπει την ακολουθία των πλατών της εξόδου του κβαντιστή σε δυαδικές κωδικολέξεις.

Στη συνέχεια στον δέκτη πραγματοποιούνται οι αντίστροφες λειτουργίες έτσι ώστε το αρχικό αναλογικό σήμα να ανακτάται αξιόπιστα. Ο αποκωδικοποιητής μετατρέπει τις λαμβανόμενες κωδικολέξεις σε επίπεδα πλάτους, τα οποία μετά από επεξεργασία ενός χαμηλοπερατού φίλτρου δίνουν στην έξοδο το ανακτημένο πιστό αντίγραφο του αρχικού αναλογικού σήματος πληροφορίας. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ο κβαντιστής δεν λειτουργεί αντίστροφα, λόγω του ότι ο σκοπός του είναι η μετατροπή των τιμών που ανήκουν σε ένα χρονικό διάστημα του αναλογικού σήματος σε ένα συγκεκριμένο διακριτό επίπεδο πλάτους. Το διάγραμμα λειτουργίας ενός PCM αποκωδικοποιητή (decoder) είναι το εξής :



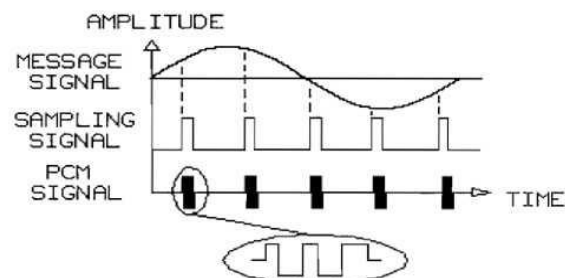
Σχήμα 3.2. PCM αποκωδικοποιητής.

Η δειγματοληψία του PCM σήματος στη συχνότητα F_c (digit frequency), πραγματοποιείται με τη βοήθεια της βαθμίδας «samplingelement». Η λογική στάθμη “1” ή “0” καθορίζεται στην βαθμίδα «decision element». Τέλος ο «D/A converter» μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε αναλογικό.

Η PCM διαμόρφωση εξαρτάται από την παρουσία ή την απουσία του παλμού στην δεδομένη στιγμή και όχι από τα χαρακτηριστικά παλμού που υπόκεινται σε παραμόρφωση. Επομένως, ο θόρυβος στην PCM διαμόρφωση έχει μικρότερη επίδραση στο σήμα, διότι εκείνο που εξετάζεται είναι η ύπαρξη παλμού ή η απουσία του και όχι το πλάτος ή η διάρκειά του.

Η βαθμίδα του κυκλώματος χρονισμού διασφαλίζει το συγχρονισμό των επιμέρους κυκλωμάτων του συστήματος και συνεισφέρει στην δειγματοληψία των αναλογικών σημάτων.

Η Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM) περιλαμβάνει τη δειγματοληψία της τάσης ενός αναλογικού σήματος και τη μετατροπή του καθενός δείγματος σε ψηφιακό κώδικα 8bit. Τα PCM σήματα είναι μια σειρά από 8bit κώδικες που αναπαριστούν το αρχικό αναλογικό σήμα.

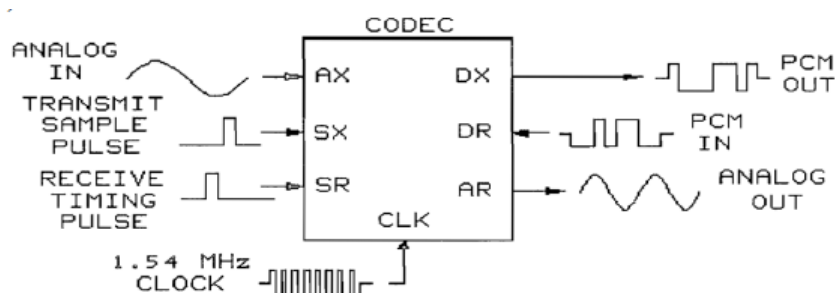


Σχήμα 3.3: Παλμοκωδική διαμόρφωση

OCODEC (encoder/decoder) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) που περιλαμβάνει τα εξής:

- τον κωδικοποιητή και
- τον αποκωδικοποιητή.

Ο κωδικοποιητής μετατρέπει το σήμα από αναλογικό (AX) σε ψηφιακό διαμορφώνοντας το PCM σήμα για αποστολή (DX), ενώ ο αποκωδικοποιητής αποκωδικοποιεί το PCM ψηφιακό σήμα (DR) και το μετατρέπει σε αναλογικό (AR).



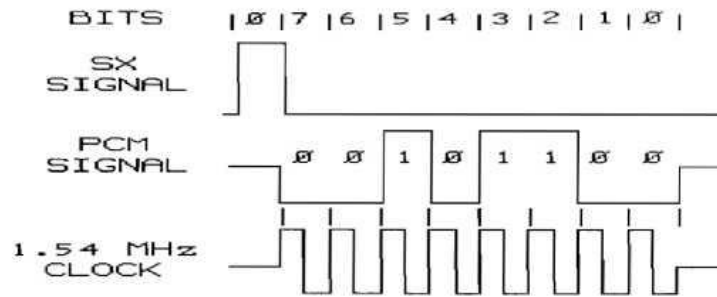
Σχήμα 3.4: Παλμοκοδική Διαμόρφωση

Ο συγχρονισμός των διαδικασιών αυτών επιτυγχάνεται με τους δύο ακόλουθους παλμούς:

- Transmit Sample Pulse και
- Receive Timing Pulse.

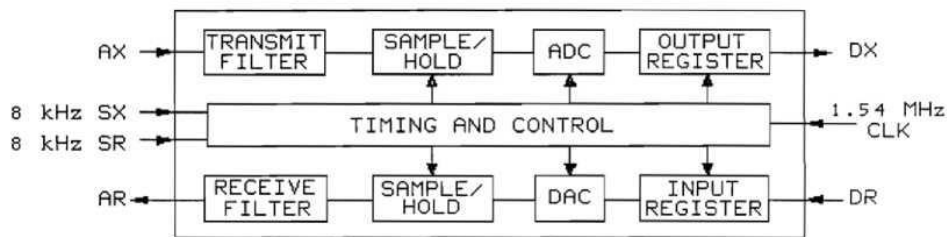
Ο παλμός (SX) που χρησιμοποιείται για την διαμόρφωση και την αποστολή του PCM σήματος έχει συχνότητα 8kHz και δημιουργείται ένα κύκλο ρολογιού (CLK) πριν την αποστολή του PCM σήματος. Επιπλέον ενεργοποιεί την δειγματοληψία του σήματος (AX) και την κωδικοποίησή του σε PCM.

Ο παλμός (SR) έχει συχνότητα 8kHz και δημιουργείται ένα κύκλο ρολογιού πριν τη λήψη του PCM σήματος (DR). Επιπλέον ενεργοποιεί την διαδικασία



Σχήμα 3.5. Ρολόι

Τα κυκλώματα που περιλαμβάνονται σε έναν CODEC παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα σε μορφή μπλοκ διαγραμμάτων :



Σχήμα 3.6: Μπλοκ διάγραμμα του CODEC.

αποκωδικοποίησης των 8bit PCM κωδικών.

Το ρολόι (CLK) έχει συχνότητα 1,54MHz και ορίζει τα ψηφία (bit rate) σε κάθε ένα PCM σήμα.

Ο κωδικοποιητής αποτελείται από τις ακόλουθες βαθμίδες:

- ζωνοδιαβατό φίλτρο (Transmit Filter) που επιτρέπει τη διέλευση συχνοτήτων μεταξύ 0,2 kHz και 3,5kHz,
- κύκλωμα δειγματοληψίας και προσωρινής αποθήκευσης ψηφίων (Sample/Hold),
- μετατροπέα σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC),
- καταχωρητή (Output Register) και
- μετατροπέα από παράλληλο σε σειριακό, ο οποίος αποστέλλει ένα - ένα τα ψηφία σειριακά και συγχρονισμένα με το ρολόι (CLK).

Ομοίως με τον κωδικοποιητή, ο αποκωδικοποιητής αποτελείται από αντίστοιχες βαθμίδες.

Ο αριθμός των bits, που χρησιμοποιούνται για την PCM κωδικοποίηση,

καθορίζει τα επίπεδα τάσης στα οποία αντιστοιχίζονται οι PCM κωδικοί. Για παράδειγμα, για 4 bit ορίζονται $2^4 = 16$ επίπεδα τάσης. Στο κύκλωμα της εργαστηριακής αυτής άσκησης χρησιμοποιούνται 8 bits, οπότε ορίζονται $2^8 = 256$ επίπεδα τάσης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η διαδικασία απόδοσης τιμής σε κάθε ένα δείγμα τάσης από το αναλογικό σήμα εισόδου, ονομάζεται κβαντοποίηση. Από τα 16 bits, το πιο σημαντικό ψηφίο (Most Significant Bit–MSB) καθορίζει το πρόσημο της τάσης. Αν το MSB είναι 1 τότε η τάση έχει θετικό πρόσημο, διαφορετικά έχει αρνητικό πρόσημο.

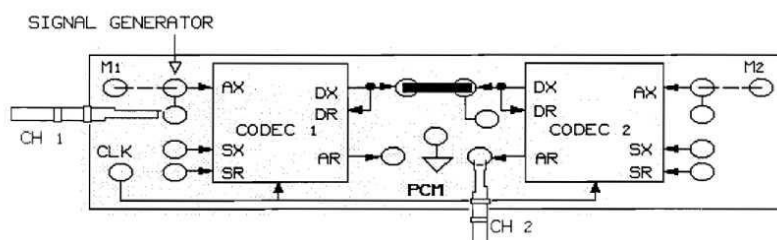
3.3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση, ο CODEC 1 δημιουργεί τα PCM σήματα και ο CODEC 2 επαναφέρει το αρχικό σήμα. Επιπλέον, γίνεται μελέτη του αναλογικού σήματος εισόδου, των παλμών συγχρονισμού, των PCM σημάτων και του αποκωδικοποιημένου αναλογικού σήματος.

Στη συνέχεια αναφέρεται αναλυτικά η πειραματική διαδικασία της εργαστηριακής αυτής άσκησης.

Συνδέστε τους CODEC 1 και CODEC 2 με έναν Connector.

2. Συνδέστε μια γεννήτρια συχνοτήτων στην είσοδο (AX) του CODEC 1.
3. Επιλέξτε ως σήμα εισόδου ένα ημιτονοειδές σήμα $4 \text{ V}_{p.p} / 1 \text{ kHz}$.
4. Συνδέστε το ένα κανάλι του παλμογράφου στην είσοδο του CODEC 1 και το άλλο στην έξοδο (AR) του CODEC 2, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.
5. Τι απεικονίζεται στο κανάλι 2 του παλμογράφου; Επιλέξτε μία από τις δύο ακόλουθες επιλογές
 - το PCMσήμα
 - το αποκωδικοποιημένο σήμα



Σχήμα 3.7. Πειραματική διάταξη

6. Μεταβάλετε το πλάτος και την συχνότητα του σήματος στην είσοδο (AX). Χρησιμοποιώντας τον παλμογράφο, παρατηρείτε αντίστοιχη μεταβολή στην έξοδο του CODEC 2;
7. Αυξήστε τη συχνότητα του σήματος της γεννήτριας στα 4 kHz (πάνω από τα 3,5 kHz) και στη συνέχεια μειώστε την στα 0,1 kHz (κάτω από τα 0,2 kHz). Πώς επηρεάζεται το αποκωδικοποιημένο σήμα;
8. Ποιο στοιχείο του κυκλώματος καθόρισε το αποτέλεσμα του προηγούμενου ερωτήματος;