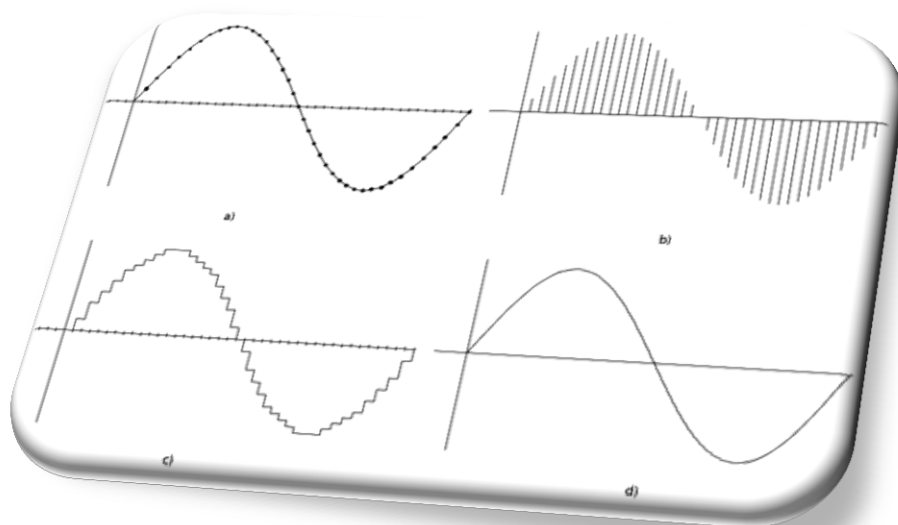


# ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ι

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

### Εργαστηριακή Άσκηση #9

*Παλμοκωδική Διαμόρφωση Αναλογικού σήματος - PCM*



Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς  
Επίκουρος Καθηγητής  
Βασίλειος Τσακανίκας  
Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Σεπτέμβριος 2014

## Πίνακας περιεχομένων

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Σκοπός .....                                                            | 3  |
| 2. Προσδοκώμενα αποτελέσματα .....                                         | 3  |
| 3. Τι θα χρειαστείτε .....                                                 | 3  |
| 4. Έννοιες κλειδιά .....                                                   | 3  |
| 5. Εισαγωγικές Παρατηρήσεις .....                                          | 3  |
| 6. Πείραμα: Παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM).....      | 4  |
| 6.1 Δημιουργία Project .....                                               | 5  |
| 6.2 Ορισμός καθολικών ρυθμίσεων συστήματος .....                           | 5  |
| 6.3 Δημιουργία διαγράμματος συστήματος.....                                | 5  |
| 6.4 Προσθήκη των δομικών στοιχείων (Blocks) στο διάγραμμα συστήματος ..... | 6  |
| 6.4.1 Προσθήκη πηγής ημιτονοειδούς σήματος.....                            | 6  |
| 6.4.2 Προσομοιωτής προσθήκης DC συνιστώσας .....                           | 7  |
| 6.4.3 Δειγματολήπτης + Κβαντιστής .....                                    | 8  |
| 6.4.4 Κωδικοποιητής .....                                                  | 8  |
| 6.4.5 Παλμοκωδική Γεννήτρια .....                                          | 8  |
| 6.4.6 Κεραία εκπομπής .....                                                | 8  |
| 6.4.7 Συνδεσμολογία αλυσίδας .....                                         | 9  |
| 6.4.8 Σημεία μέτρησης .....                                                | 9  |
| 7. Δραστηριότητες .....                                                    | 11 |
| 8. Λίστα ελέγχου γνώσεων.....                                              | 11 |
| 9. Βιβλιογραφία-Οδηγός για περαιτέρω μελέτη .....                          | 11 |
| 10. Χρήσιμοι σύνδεσμοι.....                                                | 11 |

Έκδοση: 1.0

Επιμέλεια φυλλαδίου: Βασίλειος Τσακανίκας και Παρασκευάς Μιχάλης

## 1. Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι να μελετηθεί η παλμοκωδική διαμόρφωση αναλογικού σήματος με την βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης AWR. Στην παρούσα φάση θα δοθεί έμφαση στο τμήμα του εκπομπού PCM, ενώ στην εργαστηριακή άσκηση 3 θα παρουσιαστεί το τμήμα του δέκτη PCM.

## 2. Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε ολοκληρώσει την παρούσα εργαστηριακή άσκηση, θα:

- Γνωρίζετε τα δομικά τμήματα ενός PCM εκπομπού.
- Παραμετροποιείτε τις παραμέτρους των τμημάτων ενός PCM εκπομπού.
- Λαμβάνετε μετρήσεις σε όποιο σημείο επιθυμείτε από την τηλεπικοινωνιακή αλυσίδα
- Προσομοιώνετε την λειτουργία ενός PCM διαμορφωτή.

## 3. Τι θα χρειαστείτε

Για την επιτυχή εκτέλεση της άσκησης θα χρειαστείτε τα παρακάτω:

- Η/Υ με εγκατεστημένο το λογισμικό AWR 10.08

## 4. Έννοιες κλειδιά

- Παλμοκωδική διαμόρφωση
- Δειγματοληψία
- Κβαντοποίηση
- Κωδικοποίηση

## 5. Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Οι βασικές επεξεργασίες στην παλμοκωδική διαμόρφωση PCM είναι η **Δειγματοληψία (Sampling)**, η **Κβαντοποίηση (Quantization)**, και η **Κωδικοποίηση (Encoding)**.

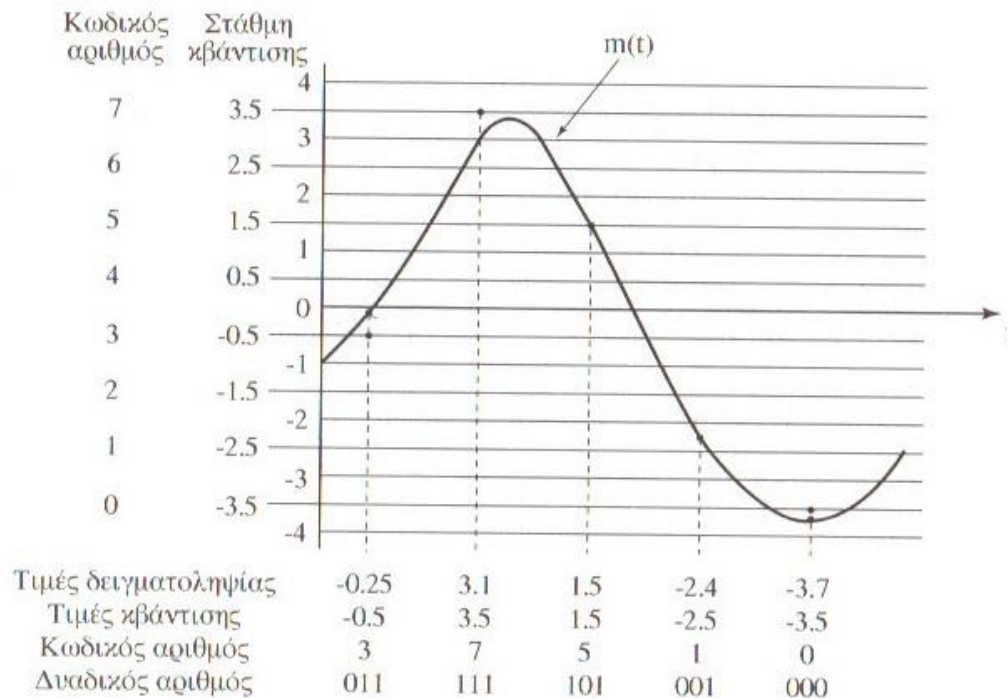


**Σχήμα 1: Βασικές επεξεργασίες στην παλμοκωδική διαμόρφωση PCM**

**Δειγματοληψία** είναι η επεξεργασία κατά την οποία ένα σήμα συνεχές στο πεδίο του χρόνου, δειγματοληπτείται μετρώντας το πλάτος του σε διακριτές τιμές του χρόνου. Το θεώρημα της Δειγματοληψίας (ένα από τα σημαντικότερα στην Θεωρία Σημάτων), μας ορίζει την ελάχιστη συχνότητα  $f_s$  που θα πρέπει να χρησιμοποιήσω για να δειγματοληπτήσω ένα σήμα με μέγιστη συχνότητα  $f_m$ , έτσι ώστε να μπορεί να ανακατασκευαστεί. Η συχνότητα αυτή, ο οποία ονομάζεται και ρυθμός Nyquist, ισούται με  $f_s = 2 f_m$ .

Η παρουσίαση των τιμών πλάτους με ένα πεπερασμένο πλήθος σταθμών πλάτους λέγεται **κβαντοποίηση**.

Η αντιστοιχία κάθε στάθμης πλάτους με ένα κώδικα (binary) λέγεται **κωδικοποίηση**.



Σχήμα 2: Κβάντιση και κωδικοποίηση σε σύστημα PCM

## 6. Πείραμα: Παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM)

Σε τρέχων παράδειγμα, θα προσπαθήσουμε να διαμορφώσουμε ψηφιακά ένα αναλογικό ημιτονοειδές σήμα συχνότητας **1 GHz** και πλάτους **5V**, χρησιμοποιώντας δειγματοληψία συχνότητας **2 GHz**, κβαντοποίηση **16 σταθμών** και κωδικοποίηση **4 bits**.

Οι δραστηριότητες που θα ακολουθήσουμε περιλαμβάνουν:

1. Τη δημιουργία ενός νέου έργου (Project)
2. Τον ορισμό προκαθορισμένων ρυθμίσεων συστήματος
3. Τη δημιουργία ενός διαγράμματος συστήματος (system block)
4. Τη προσθήκη δομικών στοιχείων (blocks) στο διάγραμμα συστήματος
5. Τον ορισμό των παραμέτρων προσομοίωσης
6. Τη προσθήκη γραφημάτων και μετρήσεων
7. Την εκτέλεση της προσομοίωσης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων

## 6.1 Δημιουργία Project

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Πάμε στο **File > New Project**

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Επιλέγουμε **File > Save Project As**. Το παράθυρο διαλόγου Save As εμφανίζεται

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Επιλέγουμε τον φάκελο στον οποίο θέλουμε να αποθηκεύσουμε το Project.

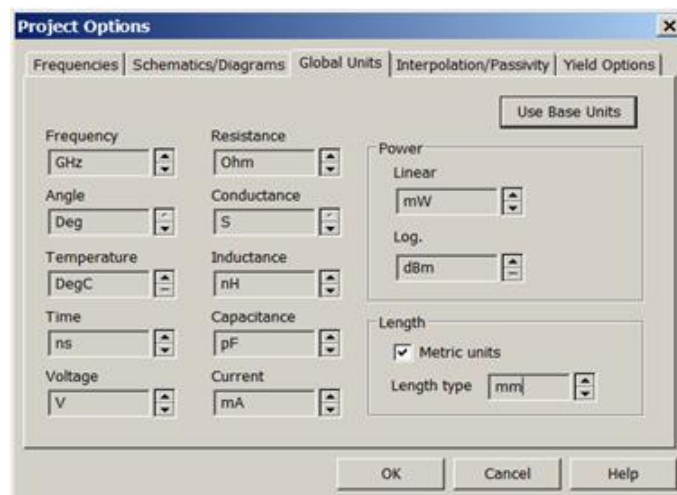
**Βήμα 4<sup>ο</sup>:** Δίνουμε μία ονομασία της επιλογής μας, π.χ. “PCM\_Transmitter” το νέο Project, στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται. Αποθηκεύουμε πατώντας **Save**.

**Σημείωση:** Συνιστάται να αποθηκεύουμε κάθε νέο Project σε ξεχωριστό φάκελο.

## 6.2 Ορισμός καθολικών ρυθμίσεων συστήματος

Πριν δημιουργήσουμε μια προσομοίωση πρέπει να ορίσουμε τις καθολικές ρυθμίσεις του συστήματος. Για να τις ορίσουμε κάνουμε τα εξής βήματα:

1. Από το οριζόντιο μενού επιλέγουμε **Options > Project Options**
2. Πηγαίνουμε στην καρτέλα **Global Units** και επιβεβαιώνουμε ότι οι ρυθμίσεις αντιστοιχούν με αυτές που δίνονται στην **Εικόνα 1**.
3. Πατάμε OK για να αποθηκεύσουμε τις ρυθμίσεις.

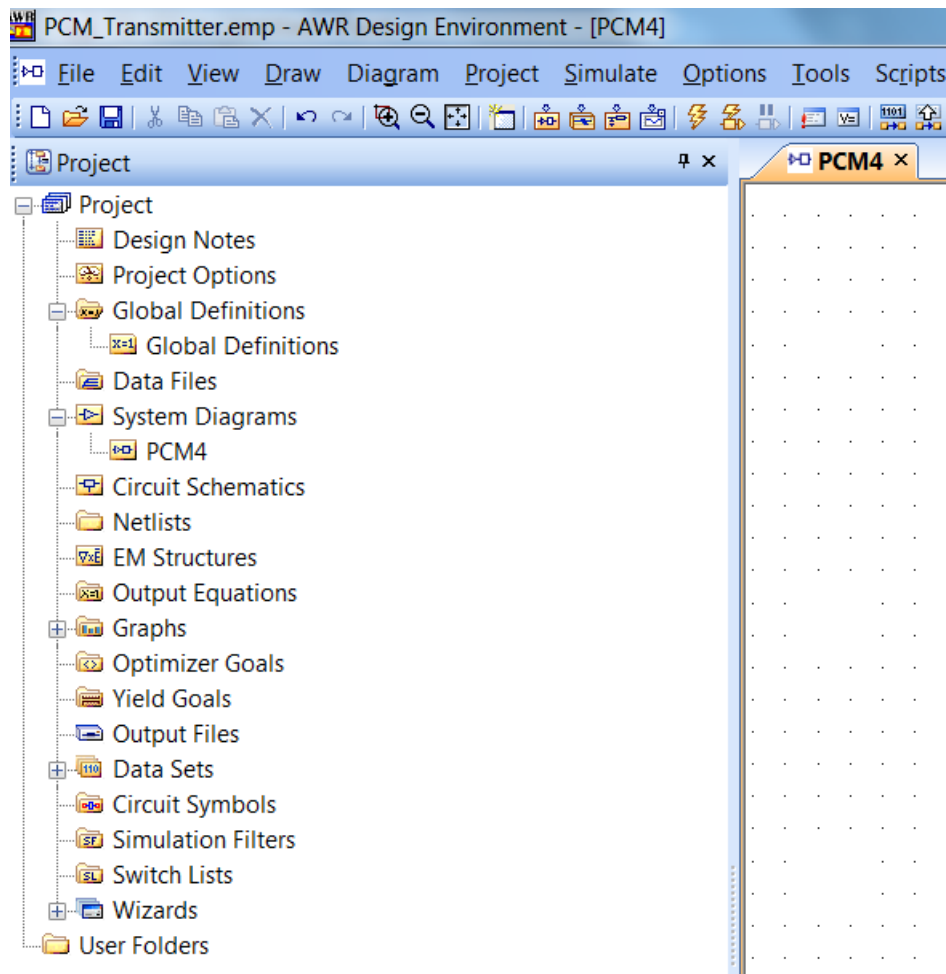


**Εικόνα 1** – Ορισμός προκαθορισμένων ρυθμίσεων συστήματος

## 6.3 Δημιουργία διαγράμματος συστήματος

Για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα συστήματος πάνω στο οποίο θα συνθέσουμε την τηλεπικοινωνιακή αλυσίδα της PCM διαμόρφωσης:

1. Επιλέγουμε **Project > Add System Diagram > New System Diagram**. Εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου του νέου διαγράμματος συστήματος
2. Πληκτρολογούμε “PCM\_Tr” και πατάμε **Create**. Ένα παράθυρο διαγράμματος συστήματος εμφανίζεται στον χώρο εργασίας (workspace) και το “PCM\_Tr” διάγραμμα συστήματος εμφανίζεται κάτω από τα System Diagrams στον πλοηγό Project (βλ. **Εικόνα 2**).



Εικόνα 2 – Διάγραμμα συστήματος

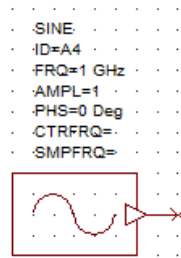
## 6.4 Προσθήκη των δομικών στοιχείων (Blocks) στο διάγραμμα συστήματος

Τα blocks που θα χρειαστούμε για την κατασκευή του PCM διαμορφωτή είναι:

1. Πηγή ημιτονοειδούς σήματος (SINE)
2. Προσομοιωτής προσθήκης DC συνιστώσας (SCALE)
3. Δειγματολήπτης + Κβαντιστής (ADC)
4. Κωδικοποιητής (SYM2B)
5. Παλμοκωδική Γεννήτρια (D2R)
6. Κεραία εκπομπής (TX\_ANTENNA)

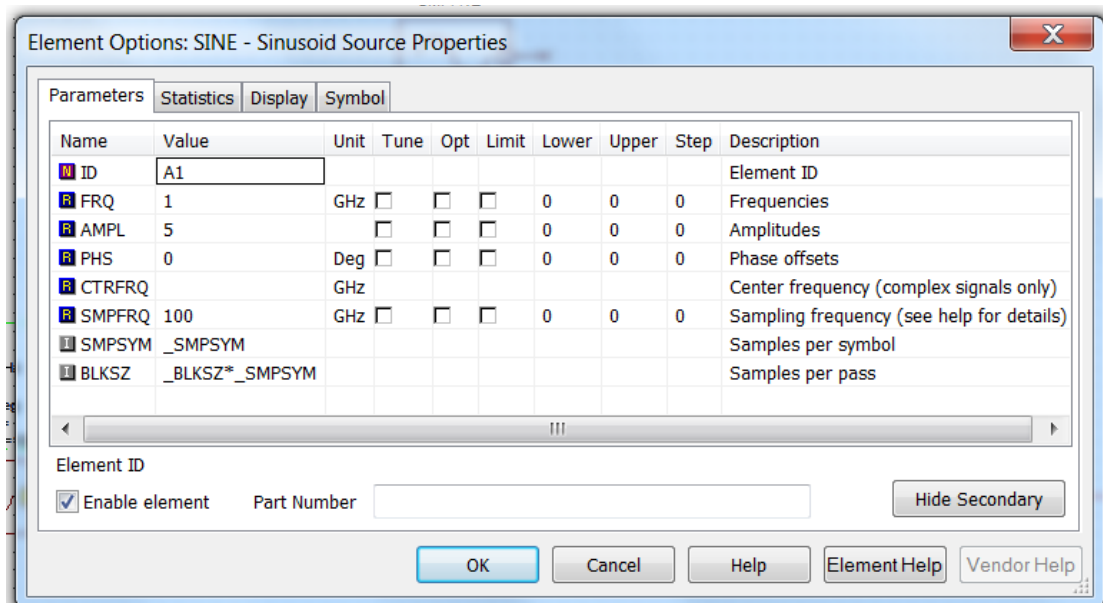
### 6.4.1 Προσθήκη πηγής ημιτονοειδούς σήματος

Θα βρείτε το block της ημιτονοειδούς πηγής στην καρτέλα **Elements > System Blocks > Sources > Waveforms** και επιλέγετε το **model SINE**.



Εικόνα 3: Πηγή ημιτονοειδούς σήματος

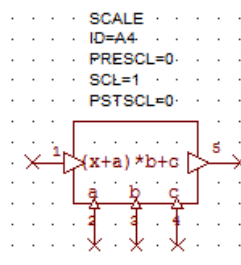
Ορίστε ένα σήμα συχνότητας 1 GHz, με πλάτος 5V και με συχνότητα δειγματοληψίας σήματος 100GHz.



Εικόνα 4: Ρυθμίσεις πηγής ημιτονοειδούς σήματος

#### 6.4.2 Προσομοιωτής προσθήκης DC συνιστώσας

Θα βρείτε το block του προσομοιωτή προσθήκης DC συνιστώσας στην καρτέλα **Elements > System Blocks > Math Tools >** και επιλέγετε το **model SCALE**.

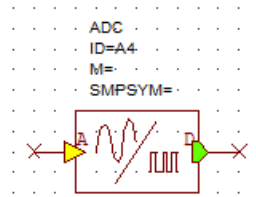


Εικόνα 5: Προσομοιωτής προσθήκης DC συνιστώσας

Θέστε τις τιμές  $a=0$ ,  $b=1$  και  $c=5$ .

#### 6.4.3 Δειγματολήπτης + Κβαντιστής

Θα βρείτε το block του δειγματολήπτη + κβαντιστή στην καρτέλα **Elements > System Blocks > Converters > Analog Converter** και επιλέγετε το **model ADC**.

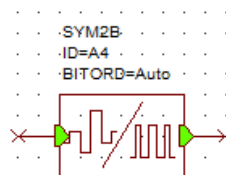


**Εικόνα 6:** Δειγματολήπτης + Κβαντιστής

Θέστε το πλήθος των επιπέδων κβάντισης  $M=16$ , και το  $SMPSYM=1$ .

#### 6.4.4 Κωδικοποιητής

Θα βρείτε το block του κωδικοποιητή στην καρτέλα **Elements > System Blocks > Converters > Binary** και επιλέγετε το **model SYM2B**. Αφήστε τις default τιμές του μοντέλου ως έχουν.

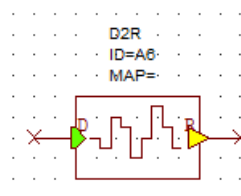


**Εικόνα 7:** Κωδικοποιητής

#### 6.4.5 Παλμοκωδική Γεννήτρια

Για να προσομοιώσουμε την αποστολή ενός PCM σήματος μέσω μίας ασύρματης ζεύξης, χρειαζόμαστε μία γεννήτρια η οποία θα οδηγήσει την κεραία εκπομπής. Αυτός είναι και ο ρόλος του block D2R.

Θα βρείτε το block του κωδικοποιητή στην καρτέλα **Elements > System Blocks > Converters > Data Type** και επιλέγετε το **model D2R**. Αφήστε τις default τιμές του μοντέλου ως έχουν.



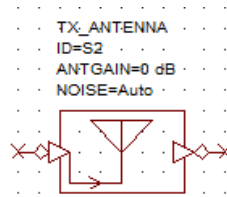
**Εικόνα 8:** Παλμοκωδική Γεννήτρια

#### 6.4.6 Κεραία εκπομπής

Η κεραία εκπομπής είναι το τελευταίο μοντέλο της τηλεπικοινωνιακής αλυσίδας του PCM εκπομπού.



Θα βρείτε το block του κωδικοποιητή στην καρτέλα **Elements > System Blocks > RF Blocks > Antennas** και επιλέγετε το **model TX\_ANTENNA**.

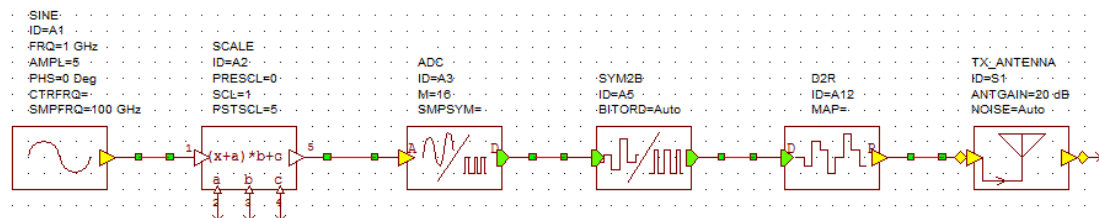


Εικόνα 9: Κεραία εκπομπής

Θέστε το κέρδος της κεραίας ANTGAIN=20dB.

#### 6.4.7 Συνδεσμολογία αλυσίδας

Ενώστε back to back τα blocks, με την σειρά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Θα πρέπει να καταλήξετε στην συνδεσμολογία που απεικονίζεται στην Εικόνα 10.

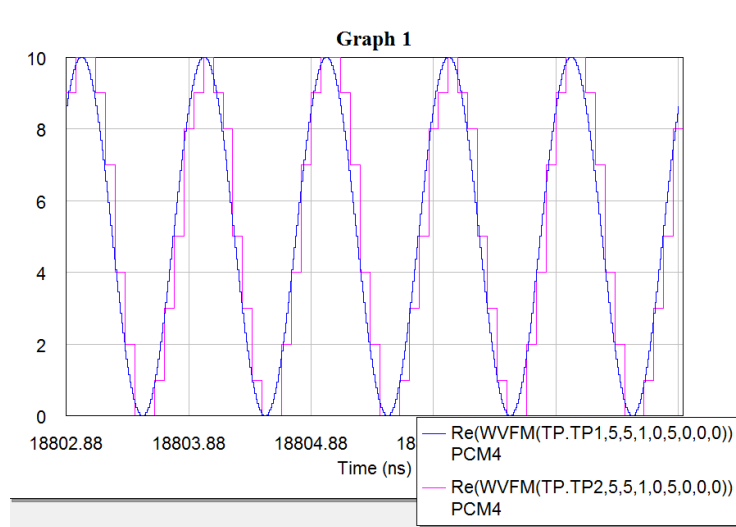


Εικόνα 10: PCM εκπομπός

#### 6.4.8 Σημεία μέτρησης

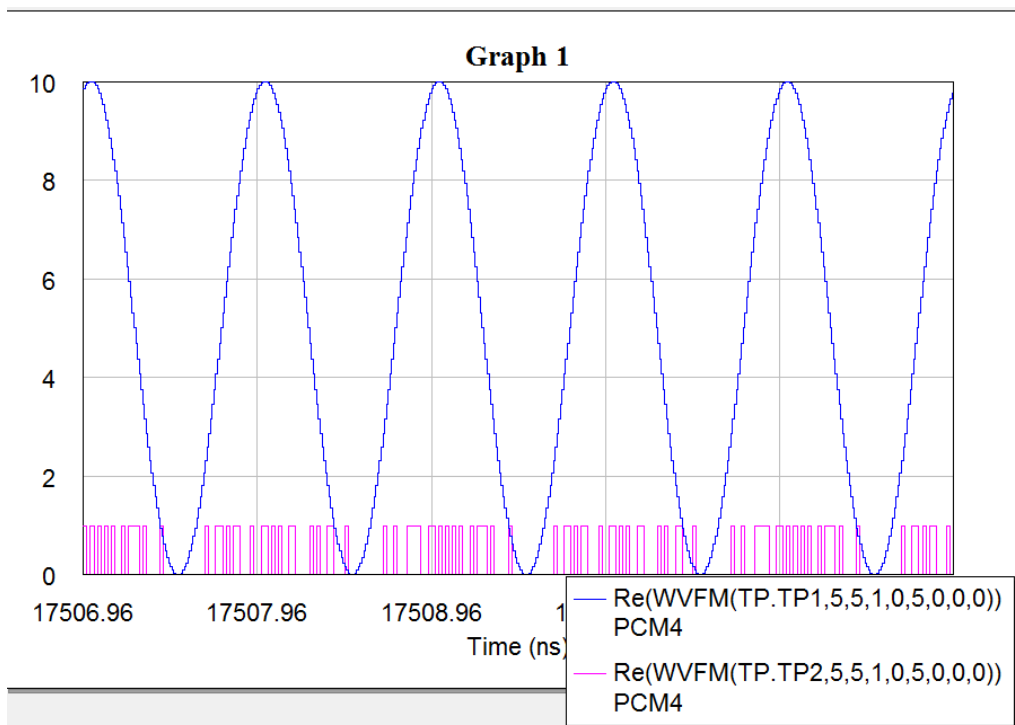
Αρχικά εισάγετε 2 σημεία μέτρησης, ένα στην έξοδο του block SCALE και ένα στην έξοδο του block ADC. Στα σημεία μέτρησης θέστε Time Span = 5ns.

Εκτελέστε την προσομοίωση. Τα αναμενόμενα αποτελέσματα απεικονίζονται στην εικόνα 11.



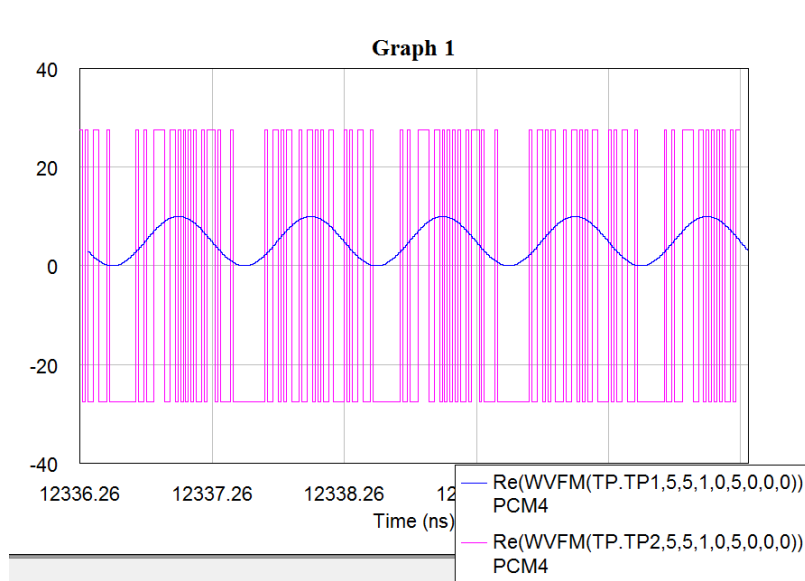
Εικόνα 11: Δειγματοληψία και κβάντιση του σήματος εισόδου.

Στην συνέχεια μετακινήστε το TP2 στην έξοδο block SYM2B, με σκοπό να παρατηρήσουμε το αποτέλεσμα της κωδικοποίησης. Θα πρέπει το αποτέλεσμα της προσομοίωσης να μοιάζει με αυτό της εικόνας 11.



Εικόνα 11 – Κωδικοποίηση σήματος

Τέλος, μετακινήστε το TP2 στην έξοδο της κεραίας για να παρατηρήσουμε το σήμα που αποστέλλεται ασύρματα (εικόνα 12).



Εικόνα 11 – Έξοδος κεραίας εκπομπής

## 7. Δραστηριότητες

1. Μεταβάλλετε το πλήθος των σταθμών από 16 σε 8. Τι παρατηρείτε σχετικά με το αποτέλεσμα της κβάντισης και της κωδικοποίησης;
2. Μεταβάλλετε την τιμή SMPSYM του block ADC. Θέστε τις τιμές 1, 2, 4, 8 και 16 διαδοχικά και παρατηρήστε την έξοδο του block ADC. Τι πιστεύετε πως επηρεάζει αυτή η τιμή;
3. Μεταβάλλετε την τιμή BITSYM του block SYM2B στις τιμές 1,2,4 και 8. Παρατηρήστε την έξοδο του block SYM2B. Σύμφωνα με τον αριθμό των σταθμών που θέσατε στο block ADC, ποιο είναι το ιδανικό BITSYM; Γιατί;

## 8. Λίστα ελέγχου γνώσεων

Αφού ολοκληρώσατε την εκτέλεση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης, επιστρέψτε στα αρχικά προσδοκώμενα αποτελέσματα και ελέγξτε κατά πόσο:

- Γνωρίζετε τα δομικά τμήματα ενός PCM εκπομπού;
- Μπορείτε να παραμετροποιήσετε τις παραμέτρους των τμημάτων ενός PCM εκπομπού;
- Μπορείτε να λάβετε μετρήσεις σε όποιο σημείο επιθυμείτε από την τηλεπικοινωνιακή αλυσίδα PCM;
- Μπορείτε να προσομοιώνετε την λειτουργία ενός PCM διαμορφωτή;

## 9. Βιβλιογραφία-Οδηγός για περαιτέρω μελέτη

- [1] Hsu H. P. (2002), *Αναλογικές και Ψηφιακές Επικοινωνίες*, Εκδόσεις Τζιόλα
- [2] Jayant N .S. and Noll P. (1984), *Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video*, Prentice Hall
- [3] Proakis J. G. and Salehi M. (2008), *Digital Communications (5th Ed.)*, McGraw-Hill Higher Education
- [4] Prandoni P. and Vetterli M. (2008), *Signal Processing for Communications*, EPFL Press (<http://www.sp4comm.org/getit.html>)

## 10. Χρήσιμοι σύνδεσμοι

1. [https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Getting\\_Started/](https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Getting_Started/)
2. <http://www.awrcorp.com/awrtv-player>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation)