

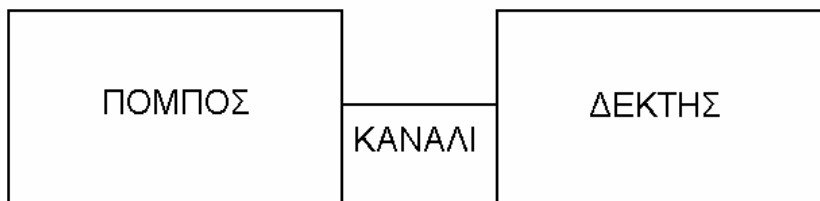
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ
ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ιωάννης Γ. Τίγκελης και Δημήτριος Ι. Φραντζεσκάκης
Αναπληρωτές Καθηγητές
Αθήνα, Μάρτιος 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι σημειώσεις αυτές αποτελούν μια πρώτη προσπάθεια για να καλυφθούν οι διδακτικές ανάγκες του μαθήματος *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ*, το οποίο διδάσκεται στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Για το λόγο αυτό τυχόν λάθη ή ασάφειες θεωρούνται αναμενόμενα και καλό είναι να υποδεικνύονται από τους αναγνώστες στους συγγραφείς των σημειώσεων.



Γενικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα.

Ένα γενικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα έχει τη δομή του παραπάνω σχήματος, στο οποίο ο πομπός περιλαμβάνει το μετατροπέα (*TRANSDUSER*) της πληροφορίας από φυσική σε ηλεκτρική μορφή, τον κωδικοποιητή (*CODER*) της πληροφορίας, το διαμορφωτή (*MODULATOR*), που διαμορφώνει κάποιο χαρακτηριστικό ενός σήματος σύμφωνα με την πληροφορία, τις γραμμές μεταφοράς (*TRANSMISSION LINES*) και τις κεραίες (*ANTENNAS*). Το κανάλι μπορεί να είναι είτε ενσύρματο είτε ασύρματο. Ο δέκτης περιλαμβάνει την κεραία, τις γραμμές μεταφοράς, τον αποδιαμορφωτή (*DEMODULATOR*), τον αποκωδικοποιητή (*DECODER*) και το μετατροπέα της πληροφορίας από ηλεκτρική σε φυσική μορφή. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι έννοιες και οντότητες (λειτουργίες, όροι, ορισμοί) όπως πληροφορία ή σήμα, θόρυβος, λόγος σήματος–προς–θόρυβο, διαμόρφωση, αποδιαμόρφωση, εύρος ζώνης συχνοτήτων, δειγματοληψία αναλογικών σημάτων, κωδικοποίηση, αποκωδικοποίηση, πολυπλεξία σημάτων, ψηφιακές τηλεπικοινωνίες, διόρθωση σφαλμάτων, πρωτόκολλα επικοινωνιών, ποιότητα σημάτων πρέπει να γίνουν κατανοητά ώστε να είναι δυνατή η μελέτη, σχεδίαση, εποπτεία, συντήρηση και αξιολόγηση των σημερινών πολύπλοκων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Ο σκοπός του μαθήματος αυτού είναι η αναλυτική παρουσίαση των βασικότερων μεθόδων και συστημάτων διαμόρφωσης, χωρίς να παραβλέπεται το γεγονός ότι το

μάθημα αυτό αποτελεί μια εισαγωγή στα συστήματα τηλεπικοινωνιών και έχει διάρκεια ένα εξάμηνο. Με στόχο την όσο το δυνατόν πληρέστερη παρουσίαση το μάθημα έχει χωριστεί σε επτά κεφάλαια.

Στο *Κεφάλαιο 1* καλύπτεται το μαθηματικό υπόβαθρο, που χρειάζεται για την πληρέστερη κατανόηση του μαθήματος. Έτσι, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των σειρών *Fourier*, του Μετασχηματισμού *Fourier* και της Φασματικής Ανάλυσης. Βέβαια αρκετές έννοιες σχετικές με τα παραπάνω αντικείμενα μπορεί να έχουν αναλυθεί στα πλαίσια άλλων μαθημάτων (π.χ. στα Μαθηματικά των δύο πρώτων ετών), κρίθηκε όμως σκόπιμο να παρουσιαστούν αναλυτικά και ολοκληρωμένα τονίζοντας επιπλέον και την πρακτική τους εφαρμογή. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά η αυτοσυσχέτιση και η ετεροσυσχέτιση μεταξύ σημάτων.

Στο *Κεφάλαιο 2* γίνεται η μαθηματική περιγραφή του θορύβου, που διακρίνεται σε "θερμικό" και σε θόρυβο "βολής" δίνοντας έμφαση στην ανάλυση του θερμικού θορύβου, ενώ παρουσιάζονται, επίσης, και μεγέθη με τα οποία γίνεται η "μέτρηση" του θερμικού θορύβου (θερμοκρασία θορύβου και συντελεστής ή εικόνα θορύβου).

Η ανάλυση των συστημάτων τηλεπικοινωνιών αρχίζει στο *Κεφάλαιο 3*, όπου γίνεται η παρουσίαση των αναλογικών σημάτων διαμόρφωσης πλάτους (*AM*), δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο εύρος ζώνης καθώς και στο λόγο σήματος–προς–θόρυβο, με τη βοήθεια των οποίων γίνεται μια πρώτη σύγκριση των διαφόρων συστημάτων *AM*.

Στο *Κεφάλαιο 4* περιγράφεται η γωνιακή διαμόρφωση, η οποία διακρίνεται στη διαμόρφωση συχνότητας (*FM*) και στη διαμόρφωση φάσης (*PM*) και εξετάζεται ο θόρυβος στα συστήματα αυτά σε συνάρτηση με το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος. Τέλος, αναλύεται η πολυπλεξία σημάτων στο πεδίο της συχνότητας (*FDM*).

Στο *Κεφάλαιο 5* γίνεται μια στοιχειώδης παρουσίαση της θεωρίας πληροφορίας και αναλύονται έννοιες όπως η πληροφορία, η ποσότητα πληροφορίας, η μέση πληροφορία (εντροπία), η χωρητικότητα του καναλιού και ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας. Επίσης, δίνεται ο νόμος των *HARTLEY-SHANNON*, που συνδέει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας με το εύρος ζώνης του καναλιού και το λόγο σήματος–προς–θόρυβο.

Στο *Κεφάλαιο 6* αποδεικνύεται το θεώρημα της δειγματοληψίας, το οποίο αποτελεί τη βάση της λειτουργίας των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών. Στη συνέχεια, εξετάζονται τα συστήματα διαμόρφωσης παλμών πλάτους (*PAM*), διάρκειας (*PDM*) και θέσης (*PPM*). Τέλος, εξηγείται η πολυπλεξία σημάτων στο πεδίο του χρόνου (*TDM*) καθώς και οι διαφορές μεταξύ των δύο ειδών πολυπλεξίας *FDM* και *TDM*.

Στο *Κεφάλαιο 7* περιγράφονται τα συστήματα παλμοκωδικής διαμόρφωσης. Το πρώτο μέρος του κεφαλαίου αυτού είναι αφιερωμένο στην κβάντιση σημάτων και στην κωδικοποίηση δειγμάτων, ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται τα βασικότερα στοιχεία του συστήματος Παλμοκωδικής Διαμόρφωσης (*PCM*), του συστήματος Διαμόρφωσης Δέλτα (*DM*), του συστήματος Δέλτα–Σίγμα (*DSM*) και του συστήματος Διαφορικού *PCM* (*DPCM*).

Θα ήταν παράλειψη, αν δεν εκφράζαμε τις ευχαριστίες μας στους μεταπτυχιακούς φοιτητές Γιάννη Βαμιαδάκη, Κυριάκο Ματιάτο και Δημήτριο Σαλαμούρα για την πολύτιμη βοήθεια τους στην άποψη παρουσίαση των σημειώσεων αυτών.

Αθήνα, Μάρτιος 2008

Ιωάννης Γ. Τίγκελης

Δημήτριος Ι. Φραντζεσκάκης

Αναπλ. Καθηγητές

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

σελίδα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1.1 Ταξινόμηση των Σημάτων και Συστημάτων	1
1.1.1 Σήματα συνεχούς χρόνου	3
1.1.2 Σήματα διακριτού χρόνου	4
1.1.3 Περιοδικά σήματα	5
1.1.4 Εκθετικά σήματα	5
1.1.5 Ημιτονοειδή σήματα	6
1.1.6 Η συνάρτηση δέλτα	7
1.1.7 Η βηματική συνάρτηση	9
1.1.8 Το τραίνο ώσεων	10
1.1.9 Σήματα παλμών	10
1.1.10 Η συνάρτηση δειγματοληψίας	11
1.1.11 Μέσες και ενεργές τιμές σημάτων	12
1.1.12 Ενέργεια και ισχύς σημάτων	13
1.2 Σειρές <i>Fourier</i> και Φάσματα Περιοδικών Σημάτων	14
1.2.1 Τριγωνομετρική σειρά <i>Fourier</i> μορφής A	19
1.2.2 Τριγωνομετρική σειρά <i>Fourier</i> μορφής B	19
1.2.3 Εκθετική σειρά <i>Fourier</i>	19
1.3 Μετασχηματισμός <i>Fourier</i> και Φάσματα μη Περιοδικών Σημάτων	28
1.4 Ιδιότητες του Μετασχηματισμού <i>Fourier</i>	31
1.4.1 Γραμμική ιδιότητα	31
1.4.2 Συμμετρική ιδιότητα	31
1.4.3 Μετατόπιση στο χρόνο	31
1.4.4 Μετατόπιση στη συχνότητα	32
1.4.5 Ιδιότητα κλιμάκωσης	32
1.4.6 Ιδιότητα αντιστροφής	33
1.4.7 Συνέλιξη στο πεδίο του χρόνου	33

1.4.8 Συνέλιξη στο πεδίο της συχνότητας	34
1.5 Φασματικές Πυκνότητες Ενέργειας και Ισχύος	35
1.6 Απόκριση Γραμμικών και Χρονικά Αμετάβλητων Συστημάτων - Φίλτρα ..	37
1.6.1 Χαμηλοπερατό φίλτρο	38
1.6.2 Ζωνοπερατό φίλτρο	38
1.6.3 Υψιπερατό φίλτρο	39
1.7 Θεωρία Συσχέτισης	43
Πίνακας 1: Σειρές Fourier	52
Πίνακας 2: Μετασχηματισμοί Fourier Μαθηματικών Διαδικασιών	53
Πίνακας 3: Μετασχηματισμοί Fourier Σημάτων Ισχύος	54
Πίνακας 4: Μετασχηματισμοί Fourier Σημάτων Ενέργειας	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΘΟΡΥΒΟΣ

2.1 Εισαγωγή	56
2.2 Θερμικός Θόρυβος	57
2.3 Θόρυβος Βολής	58
2.4 Διαθέσιμο Φάσμα Ισχύος	59
2.5 Θόρυβος από ένα Δίκτυο	59
2.6 Ισοδύναμο Εύρος Ζώνης Θορύβου	63
2.7 Ενεργός Θερμοκρασία Θορύβου	64
2.7.1 Ενεργός θερμοκρασία πηγής T_s	64
2.7.2 Ενεργός θερμοκρασία θορύβου ενισχυτή	64
2.7.3 Ενεργός θερμοκρασία γραμμής μεταφοράς	65
2.8 Συντελεστής Θορύβου Γραμμικού Συστήματος	65
2.9 Συντελεστής Θορύβου Συστήματος Πολλαπλών Βαθμίδων	66
2.10 Λευκός, Έγχρωμος και Κανονικός Θόρυβος	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ

3.1 Εισαγωγή	76
3.2 Διαμόρφωση Πλάτους (<i>Amplitude Modulation, AM</i>)	77
3.3 Διαμόρφωση Πλάτους Διπλής Πλευρικής Ζώνης (<i>Amplitude Modulation Double Side Band, AM-DSB</i>)	90
3.4 Διαμόρφωση Πλάτους μιας Πλευρικής Ζώνης (<i>Amplitude Modulation Single Side Band, AM-SSB</i>)	98

3.5 Διαμόρφωση Κατάλοιπης Πλευρικής Ζώνης (<i>Vestigial Side Band, VSB</i>) .	104
3.6 Ραδιοφωνική Εκπομπή και Λήψη <i>AM</i>	106
3.7 Επίδραση του Θορύβου στη Διαμόρφωση Πλάτους	108
3.7.1 Σύστημα <i>DSB</i>	110
3.7.2 Σύστημα <i>AM</i>	111
3.7.3 Σύστημα <i>SSB</i>	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή	114
4.2 Διαμόρφωση Συχνότητας Στενής Ζώνης (<i>Narrow Band FM, NBFM</i>)	118
4.3 Διαμόρφωση Συχνότητας Ευρείας Ζώνης (<i>Wide Band FM, WBFM</i>)	120
4.4 Μέθοδοι Διαμόρφωσης και Αποδιαμόρφωσης Σημάτων <i>FM</i>	131
4.5 Πολυπλεξία με Διαιρέση Συχνότητας (<i>Frequency Division Multiplexing, FDM</i>)	140
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Διαγράμματα και Τιμές Συναρτήσεων Bessel	143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή	145
5.2 Μέση Πληροφορία ή Εντροπία	146
5.3 Ρυθμός Πληροφορίας	148
5.4 Χωρητικότητα Καναλιού - Θεώρημα <i>Shannon</i>	149
5.5 Χωρητικότητα ενός Καναλιού Κατανομής <i>Gauss</i>	149

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΑΛΜΩΝ

6.1 Εισαγωγή	153
6.2 Θεωρία Δειγματοληψίας	153
6.3 Θεώρημα Δειγματοληψίας (<i>Shannon</i>)	154
6.4 Φυσική Δειγματοληψία	158
6.5 Δειγματοληψία και Κατακράτηση (<i>Sampling and Holding</i>)	170
6.6 Δειγματοληψία Διαπλατυσμένης Κορυφής (<i>Flat-top Sampling</i>)	171
6.7 Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (<i>Pulse Amplitude Modulation, PAM</i>) και Πολυπλεξία στο Πεδίο του Χρόνου (<i>Time Division Multiplexing, TDM</i>)	172
6.8 Διαμόρφωση Διάρκειας Παλμών (<i>Pulse Duration Modulation, PDM</i>)	175
6.9 Διαμόρφωση Θέσης Παλμών (<i>Pulse Position Modulation, PPM</i>)	177

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

7.1 Εισαγωγή	180
7.2 Κβάντιση	180
7.3 Κωδικοποίηση	182
7.4 Το Σύστημα <i>PCM</i>	184
7.5 Χαρακτηριστικά Σημεία της Διαμόρφωσης <i>PCM</i>	184
7.6 Το Σύστημα Δέλτα Διαμόρφωσης (<i>DM</i>)	191
7.7 Το Σύστημα Δέλτα-Σίγμα Διαμόρφωσης (<i>DSM</i>)	194
7.8 Το Διαφορικό <i>PCM</i> (<i>DPCM</i>)	194
7.9 Σύγκριση των Συστημάτων <i>PCM</i> και Δέλτα	195
7.10 Σύγκριση του <i>PCM</i> με τις Αναλογικές Διαμορφώσεις	195