



Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε

**<<Μετασχηματισμος Laplace,Συναρτηση μεταφορας-
εφαρμογες στις ασυρματες και οπτικες επικοινωνιες>>**

Υπεύθυνος καθηγητής:

Κούγιας Ιωάννης

Σπουδαστες:Σκαρτσίλας Αθανάσιος

Γκιώνης Άγγελος

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μετασχηματισμός Laplace και ο μετασχηματισμός Z είναι δύο πολύ χρήσιμα μαθηματικά εργαλεία για την ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων αυτομάτου και ιδιαίτερα ΓΧΑ (Γραμμικών Χρονικά Αναλλοίωτων συστημάτων).

Ο μετασχηματισμός Laplace μετασχηματίζει συναρτήσεις από το πεδίο του χρόνου (t) στο πεδίο της μιγαδικής συχνότητας s .

Η συνάρτηση μεταφοράς $H(s)$ είναι μια μαθηματική σχέση στο πεδίο της μιγαδικής συχνότητας. Ισχύει για Γ.Χ.Α με μηδενικές αρχικές συνθήκες. Συνάρτηση μεταφοράς είναι ο όρος που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία σήματος για να περιγραφεί η συμπεριφορά ενός γραμμικού, αιτιατού συστήματος. Ως γραμμικό σύστημα θεωρούμε μια οποιαδήποτε διάταξη που έχει μία ή περισσότερες εισόδους και μία ή περισσότερες εξόδους. Οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι σήματα, δηλαδή συναρτήσεις (πραγματικές ή μιγαδικές) του χρόνου.

Το δίκτυο της κοινής τηλεφωνίας (PSTN) δημιουργήθηκε με κύριο στόχο την παροχή υπηρεσιών για την μετάδοση φωνής. Ο τρόπος μεταφοράς των δεδομένων απαιτεί την εγκατάσταση μιας ειδικής συσκευής στο τέρμα της γραμμής από την πλευρά του χρήστη. Η τεχνολογία xDSL (Digital Subscriber Line) αποτελεί μια εξέλιξη της τεχνολογίας ISDN η οποία και αυτή χρησιμοποιεί τα χάλκινα τηλεφωνικά καλώδια που χρησιμοποιούνται ήδη για τη μετάδοση φωνής.

Το πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζει τις ιδιότητες του μετασχηματισμού Laplace.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναλύει συνάρτηση μεταφοράς ενώ το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα δίκτυα: δίκτυο pstn (public switched telephone network) , το δίκτυο isdn (intergraded services digital network) και το δίκτυο xdsl (digital subscriber line).

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει την τυπική τοπολογία dsl και τα είδη ειδών dsl δικτύων, adsl (asymmetric dsl), hdsl (high bit rate dsl), sdsl (single line dsl), vdsl (very high bit rate dsl) , vdsl2.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει τη DMT διαμόρφωση δεδομένων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	6
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ LAPLACE	6
1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ LAPLACE.....	6
1.2.1 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ LAPLACE	6
1.3 ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ.....	10
1.4 Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ LAPLACE	11
1.5 Ο ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ LAPLACE	12
1.6 ΖΕΥΓΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ LAPLACE.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	16
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	16
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	16
2.2 Η ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ:.....	17
2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ.....	18
2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	22
ΕΙΔΗ ΔΙΚΤΥΩΝ – ΓΡΑΜΜΩΝ.....	22
3.1 ΔΙΚΤΥΟ PSTN (PUBLIC SWITCHED TELEPHONE NETWORK).....	23
3.2 ΔΙΚΤΥΟ ISDN (INTERGRADED SERVICES DIGITAL NETWORK)	25
3.3 ΔΙΚΤΥΟ XDSL (DIGITAL SUBSCRIBER LINE)	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	29
4.1 ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ DSL	29
4.2 ΕΙΔΗ DSL ΔΙΚΤΥΩΝ	30
4.2.1 ADSL (ASYMMETRIC DSL).....	31
4.2.2 HDSL (HIGH BIT RATE DSL)	38
4.2.3 SDSL (SINGLE LINE DSL)	40

4.2.4 VDSL (VERY HIGH BIT RATE DSL).....	41
4.2.5 VDSL2	45
4.2.6 ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	51
DMT ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	51
5.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΩΔΙΚΑ DMT.....	51
5.2 Η ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ BIT LOADING ΤΟΥ DMT.	53
5.3 ΕΙΔΗ ΘΟΡΥΒΩΝ	55
5.3.1 ΔΙΑΦΩΝΙΑ.....	56
5.3.2 ΛΟΓΟΣ SNR (SIGNAL TO NOISE RATIO).....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ LAPLACE

1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ LAPLACE

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες ιδιότητες του μετασχηματισμού Laplace.

Γραμμικότητα. Ο μετασχηματισμός Laplace του γραμμικού αθροίσματος δύο συναρτήσεων $f_1(t)$ και $f_2(t)$ ισούται με το γραμμικό άθροισμα των μετασχηματισμένων συναρτήσεων $F_1(s)$ και $F_2(s)$. Συγκεκριμένα,

$$L\{\alpha_1 f_1(t) + \alpha_2 f_2(t)\} = \int_0^{\infty} \{\alpha_1 f_1(t) + \alpha_2 f_2(t)\} e^{-st} dt = \alpha_1 F_1(s) + \alpha_2 F_2(s)$$

Μετασχηματισμός Laplace πρώτης παραγώγου. Ο μετασχηματισμός Laplace της πρώτης παραγώγου της συνάρτησης $f(t)$ δίνεται από τη σχέση:

$$L\left\{\frac{d(f(t))}{dt}\right\} = \int_0^{\infty} \frac{df}{dt} e^{-st} dt = sF(s) - f(0)$$

1.2.1 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ LAPLACE

Ιδιότητα 1: Γραμμικότητα:

$$(\alpha) L[\alpha_1 f_1(t) + \alpha_2 f_2(t)] = \alpha_1 F_1(s) + \alpha_2 F_2(s), \text{ όπου } \alpha_1, \alpha_2 \text{ σταθερές}$$

$$(\beta) L^{-1}[b_1 F_1(s) + b_2 F_2(s)] = b_1 f_1(t) + b_2 f_2(t), \text{ όπου } b_1, b_2 \text{ σταθερές}$$

Ιδιότητα 2: Παραγωγή στο πεδίο του χρόνου:

$$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = sF(s) - f(0)$$

$$L\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right] = s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} \left.\frac{df(t)}{dt}\right|_{t=0} - s^{n-3} \left.\frac{d^2 f(t)}{dt^2}\right|_{t=0} - \dots - \left.\frac{d^{n-1} f(t)}{dt^{n-1}}\right|_{t=0}$$

Ιδιότητα 3: Ολοκλήρωση στο πεδίο του χρόνου:

$$L\left[\int_0^t f(\tau) d\tau\right] = \frac{F(s)}{s} + \frac{1}{s} \int_{-\infty}^0 f(\tau) d\tau$$

Ιδιότητα 4: Θεώρημα αρχικής τιμής:

$$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s), \quad t > 0$$

Ιδιότητα 5: Θεώρημα τελικής τιμής:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s), \quad \text{εφόσον το όριο } \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) \text{ υπάρχει}$$

Ιδιότητα 6: Αλλαγή κλίμακας χρόνου:

$$L\left[f\left(\frac{t}{a}\right)\right] = aF(as), \quad \text{όπου } a \text{ σταθερά}$$

Ιδιότητα 7: Αλλαγή κλίμακας μιγαδικής συχνότητας:

$$L^{-1}\left[F\left(\frac{s}{a}\right)\right] = af(at)$$

Ιδιότητα 8: Χρονική καθυστέρηση:

$$L[f(t-T)] = e^{-sT}F(s), \quad \text{όπου } T>0, \text{ και } f(t-T)=0 \text{ για } t \leq T.$$

Ιδιότητα 9: Μιγαδική μετατόπιση:

$$L^{-1}[F(s+a)] = e^{-at}f(t), \quad \text{όπου } T>0, \text{ και } f(t-T)=0 \text{ για } t \leq T.$$

Ιδιότητα 10: Παραγώγιση στο πεδίο της συχνότητας:

$$\frac{dF(s)}{ds} = -L[tf(t)]$$

$$\frac{d^n F(s)}{ds^n} = (-1)^n L[t^n f(t)]$$

Ιδιότητα 11: Ολοκλήρωση στο πεδίο της συχνότητας:

$$L\left[\frac{f(t)}{t}\right] = \int_s^\infty F(w)dw$$

Ιδιότητα 12: Συνέλιξη στο πεδίο του χρόνου:

$$f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau = \int_0^t f_2(\tau) f_1(t-\tau) d\tau = L^{-1}[F_1(s) \cdot F_2(s)]$$

1.3 ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ

Το θεώρημα της αρχικής τιμής. Το θεώρημα αυτό αναφέρεται στη συμπεριφορά μιας συνάρτησης $f(t)$ καθώς $t \rightarrow 0$, γι' αυτό ονομάζεται θεώρημα της αρχικής τιμής. Με την προϋπόθεση ότι η πρώτη παράγωγος $f^{(1)}(t)$ μπορεί να μετασχηματισθεί κατά Laplace, το θεώρημα αυτό διατυπώνεται ως εξής:

$$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$$

Το θεώρημα της τελικής τιμής. Το θεώρημα αυτό αναφέρεται στη συμπεριφορά της συνάρτησης $f(t)$ καθώς $t \rightarrow \infty$, γι' αυτό και ονομάζεται θεώρημα της τελικής τιμής. Με την προϋπόθεση ότι η $f^{(1)}(t)$ μπορεί να μετασχηματισθεί κατά Laplace και ο παρονομαστής της ρητής συνάρτησης $sF(s)$ δεν έχει ρίζες στον άξονα των φανταστικών αριθμών ή στο δεξιό μιγαδικό ημιεπίπεδο, το θεώρημα αυτό διατυπώνεται ως εξής:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$$

1.4 Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ LAPLACE

Έστω η πραγματική συνάρτηση $f(t)$ της πραγματικής μεταβλητής t (π.χ χρόνος). Ο μετασχηματισμός Laplace της συνάρτησης $f(t)$ δίνεται από τη σχέση:

$$L[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-st} dt$$

Ο μετασχηματισμός Laplace της συνάρτησης $f(t)$ υπάρχει εφόσον το ολοκλήρωμα

$$I = \int_0^{\infty} |f(t)| \cdot e^{-\sigma_0 t} dt$$

συγκλίνει για κάποιο πραγματικό αριθμό σ_0 , δηλαδή ισχύει $I < +\infty$.

Παράδειγμα

Ο μετασχηματισμός Laplace της συνάρτησης $f(t) = e^{-t}$ υπάρχει διότι το ολοκλήρωμα I υπάρχει για κάθε $\sigma_0 > -1$.

$$I = \int_0^{\infty} |e^{-t}| \cdot e^{-\sigma_0 t} dt = \int_0^{\infty} e^{-(1+\sigma_0)t} dt = -\frac{1}{1+\sigma_0} e^{-(1+\sigma_0)t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{1+\sigma_0} \quad (\text{A.8})$$

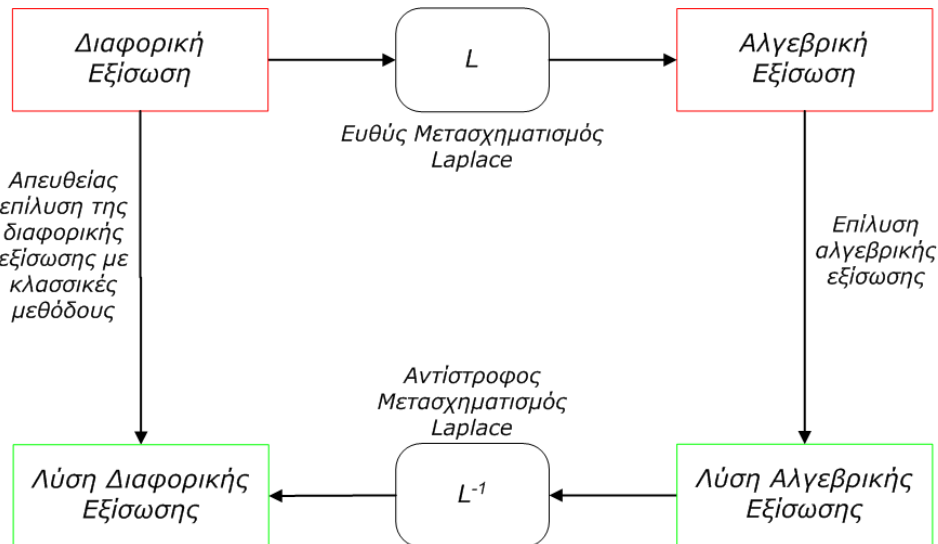
Επομένως ο μετασχηματισμός Laplace $L[f(t)] = F(s)$ της συνάρτησης $f(t) = e^{-t}$ θα είναι:

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-t} \cdot e^{-st} dt = \int_0^{\infty} e^{-(1+s)t} dt = -\frac{1}{1+s} e^{-(1+s)t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{1+s} \quad (\text{A.9})$$

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 1) δίνεται η φιλοσοφία της χρήσης του μετασχηματισμού Laplace στη μελέτη των συστημάτων Σ.Α.Ε. Συγκεκριμένα πολλά ΓΧΑ Σ.Α.Ε περιγράφονται από σχέσεις της μορφής:

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^i y(t)}{dt^i} = u(t)$$

των οποίων η επίλυση είναι δυσχερής. Η χρήση του μετασχηματισμού Laplace απλοποιεί τη διαδικασία επίλυσης:



Σχήμα 1: Παράδειγμα χρήσης του μετασχηματισμού Laplace

1.5 Ο ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ LAPLACE

Έστω $F(s)$ ο μετασχηματισμός Laplace $L[f(t)]$ της συνάρτησης $f(t)$. Η συνάρτηση $f(t)$ υπολογίζεται από τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace $L^{-1}[F(s)] = f(t)$ με τη βοήθεια του επικαμπύλιου ολοκληρώματος:

$$L^{-1}[F(s)] = f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s) \cdot e^{st} ds$$

για c πραγματικό αριθμό τέτοιο ώστε $c > \sigma_0$.

Στη πράξη και εξαιτίας της δυσκολίας υπολογισμού του παραπάνω ολοκληρώματος ο αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace υπολογίζεται με ανάλυση σε μερικά κλάσματα και χρήση γνωστών ζευγών του μετασχηματισμού Laplace. Αν δηλαδή ο μετασχηματισμός Laplace $F(s)$ μιας συνάρτησης $f(t)$ έχει τη μορφή (δηλαδή εκφράζεται ως ρητή συνάρτηση):

$$F(s) = \frac{b(s)}{a(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

τότε η συνάρτηση $F(s)$ αναλύεται σε μερικά κλάσματα ως εξής:

$$F(s) = \frac{b(s)}{a(s)} = \frac{c_1}{s - \lambda_1} + \frac{c_2}{s - \lambda_2} + \dots + \frac{c_n}{s - \lambda_n}$$

όπου $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n$ οι ρίζες του πολυωνύμου $a(s)$.

Για κλάσματα της μορφής $\frac{c_i}{s - \lambda_i}$ ο αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace είναι γνωστός. Συγκεκριμένα ο αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace της $F(s)$ είναι:

$$L^{-1}[F(s)] = c_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \dots + c_n \cdot e^{\lambda_n t}$$

1.6 ΖΕΥΓΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ LAPLACE

Συνάρτηση	Μετασχηματισμός Laplace
$\delta(t)$	1
$\delta(t-t_0)$	e^{-st_0}
$u_s(t)$	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$
te^{-at}	$\frac{1}{(s+a)^2}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
$\sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\cos(\omega t)$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$

$$e^{-at} \cos(\omega t)$$

$$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$$

Πίνακας 1: Ζεύγη Μετασχηματισμών Laplace

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η συνάρτηση μεταφοράς $G(s)$ έχει γενικότερη έννοια της απολαβής A . Η απολαβή, ως γνωστόν ορίζεται ως το πηλίκο δυο ομοειδών μεγεθών εξόδου προς είσοδο (π.χ. τάσεων) και εξυπακούεται ότι η συχνότητα του σήματος εισόδου παραμένει σταθερή.

Στην περίπτωση όμως της συνάρτησης μεταφοράς, αυτή μπορεί να ορίζεται και ως πηλίκο δύο ανομοειδών μεγεθών εξόδου προς είσοδο (π.χ. V_o/I) και μάλιστα με μεταβλητή τη συχνότητα του σήματος εισόδου.

Γενικότερα, η συνάρτηση μεταφοράς $G(s)$ ορίζεται:

$$G(s) = X_o(s)X_i(s)$$

όπου $X_i(s)$, $X_o(s)$ η μεταβλητή αναφοράς και η ελεγχόμενη μεταβλητή αντίστοιχα και $s = j\omega$ με ω την κυκλική συχνότητα του σήματος εισόδου και j η φανταστική μονάδα $j = \sqrt{-1}$.

Η συνάρτηση μεταφοράς $G(s)$ περιγράφει τη συμπεριφορά του συστήματος. Για να βρούμε τη συνάρτηση μεταφοράς των ηλεκτρικών συστημάτων εφαρμόζονται οι γνωστοί νόμοι του Ohm, Kirchhoff και του Lenz. Για συστήματα μηχανικής φύσεως εφαρμόζονται ανάλογοι (αντίστοιχοι) νόμοι της μηχανικής.

2.2 Η ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ:

1. βηματική (step),
 2. γραμμική (linear),
 3. μη γραμμική (non-linear),
 4. στοχαστική (stochastic).
- Βηματική συνάρτηση (step transfer function)

Η βηματική συναρτηση μεταφοράς μπορεί να είναι:

$$\phi(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

ή οποιαδήποτε άλλη βηματική συνάρτηση.

- Γραμμική συνάρτηση (linear transfer function)

Η γραμμική συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να είναι:

$$\phi(x) = x$$

ή οποιαδήποτε άλλη γραμμική συνάρτηση.

- Μη γραμμική συνάρτηση (non-linear transfer function)

Η μη γραμμική συνάρτηση μεταφοράς που χρησιμοποιείται συνήθως στα νευρωνικά δίκτυα καλείται σιγμοειδής συνάρτηση:

$$\phi(x) = \frac{1}{1 + e^x}$$

- Στοχαστική συνάρτηση (stochastic transfer function)

2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός εξαρτήματος είναι η σχέση μεταξύ του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου. Η σχέση αυτή ερμηνεύεται από τη συνάρτηση μεταφοράς του εξαρτήματος και ορίζεται ως ο λόγος του μετασχηματισμένου κατά Laplace σήματος εξόδου προς το μετασχηματισμένο κατά Laplace σήμα εισόδου. Η συνάρτηση μεταφοράς αποτελείται από δυο μέρη

- 1) Ένα μέρος είναι η σχέση μεγέθους μεταξύ της εισόδου και της εξόδου
- 2) Το άλλο μέρος είναι η σχέση τους ως προς το χρόνο ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο.

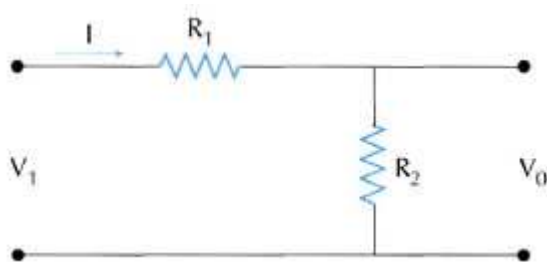
Αν το εξάρτημα είναι γραμμικό και το σήμα εισόδου είναι ένα ημιτονοειδές σήμα, η σχέση μεγέθους μετριέται με το κέρδος (gain) και ο χρόνος με τη διαφορά φάσης (phase difference). Το κέρδος του εξαρτήματος είναι ο λόγος του μεγέθους του σήματος εξόδου προς το μέγεθος του σήματος εισόδου. Η διαφορά φάσης του εξαρτήματος είναι η γωνία φάσης του σήματος εξόδου μείον τη

γωνία φάσης του σήματος εισόδου. Το κέρδος ενός εξαρτήματος εκφράζεται σαν ο λόγος της αλλαγής στο μέγεθος της εξόδου προς την ανταποκρινόμενη αλλαγή στο μέγεθος της εισόδου. Το κέρδος ενός εξαρτήματος μας δίνει το μέγεθος των μονάδων εξόδου πάνω σ αυτών της εισόδου. Το κέρδος και η διαφορά φάσης ενός εξαρτήματος για μια συγκεκριμένη συχνότητα αναφέρονται σαν απόκριση συχνότητας του εξαρτήματος σ' αυτή τη συχνότητα.

Η συνάντηση μεταφοράς ενός εξαρτήματος περιγράφει τη σχέση μεγέθους και χρόνου μεταξύ του σήματος εισόδου και εξόδου.

2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Θεωρούμε το παρακάτω κύκλωμα (δαιρέτη τάσης) και βρίσκουμε τη συνάρτηση μεταφοράς.



Σχήμα 2. Κύκλωμα δαιρέτη τάσης.

Η εφαρμογή του 2^{ου} νόμου του Kirchhoff δίνει:

$$V_i = iR_1 + iR_2 = i(R_1 + R_2)$$

$$\text{ή } i = \frac{V_i}{R_1 + R_2}$$

Η τάση εξόδου V_0 στα άκρα της R_2 είναι:

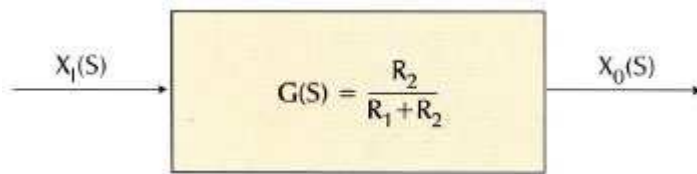
$$V_0 = iR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

Επομένως, η συνάρτηση μεταφοράς του κυκλώματος είναι:

$$G(s) = X_0(s)X_i(s) = V_0V_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Στην περίπτωση αυτή, η συνάρτηση μεταφοράς **εξαρτάται μόνο** από τα κατασκευαστικά στοιχεία του κυκλώματος (R_1 , R_2) και όχι από την κυκλική συχνότητα ω του σήματος εισόδου, αφού οι ωμικές αντιστάσεις δεν μεταβάλουν τη συχνότητα του σήματος.

Το σχήμα 3 παριστάνει το δομικό διάγραμμα του κυκλώματος αυτού.



Σχήμα 3. Δομικό διάγραμμα του διαιρέτη τάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΔΗ ΔΙΚΤΥΩΝ – ΓΡΑΜΜΩΝ

Ο μετασχηματισμός La place παρουσιάζεται σαν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στην ανάλυση συστημάτων. Έχει την ικανότητα να ερμηνεύει πλήθος σημάτων.

Θεωρείτε σκόπιμη η αναφορά -εν συντομία- όλων των γραμμών οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν μέχρι σήμερα διότι, μας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την αρχή λειτουργίας την κάθε γραμμής, τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά που εμφανίζει, τα προβλήματα που αναγνωρίστηκαν στην κάθε μια και ο τρόπος που αυτά ξεπεράστηκαν με την ανακάλυψη της νέας τεχνολογίας. Η σειρά παρουσίασης του κάθε δικτύου βασίζεται στην χρονική του εμφάνιση ξεκινώντας από το παλαιότερο στο νεότερο και από την τεχνολογική πολυπλοκότητα που εμφανίζουν ξεκινώντας από την λιγότερο πολύπλοκη στην περισσότερο πολύπλοκη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μετασχηματισμός La place χρησιμοποιείτε στην εύρεση της μέσης Πιθανότητα Σφάλματος Bit και στην εν γένη διακοπή της επικοινωνίας. Η Πιθανότητα Διακοπής Επικοινωνίας στα Δίκτυα μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως

$$P_{out} \triangleq \mathcal{F}_{\gamma_{gsc}}(\gamma_{th}) = \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{\mathcal{M}_{\gamma_{gsc}}(s)}{s} \right] \Big|_{\gamma_{gsc}=\gamma_{th}}$$

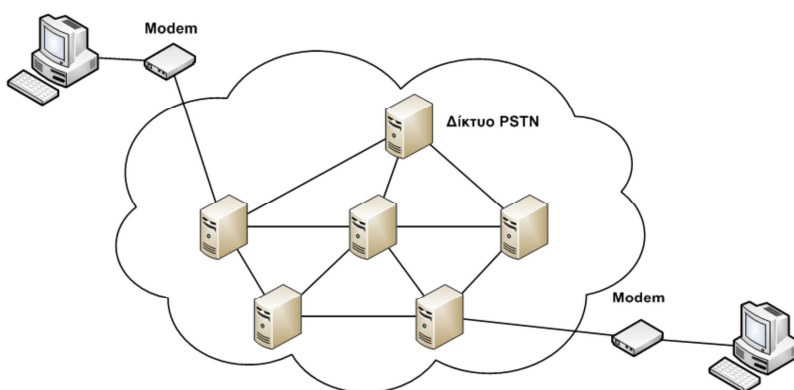
όπου F_{ygs} είναι η ΑΣΚ του SNR της εξόδου του δέκτη και το L^{-1} δηλώνει τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace.

3.1 ΔΙΚΤΥΟ PSTN (PUBLIC SWITCHED TELEPHONE NETWORK)

Το δίκτυο της κοινής τηλεφωνίας (PSTN) δημιουργήθηκε με κύριο στόχο την παροχή υπηρεσιών για την μετάδοση φωνής. Η δυνατότητα επικοινωνίας με τον συνδρομητή που επιλέγεται για συνομιλία πραγματοποιείται σχηματίζοντας τον κατάλληλο αριθμό κλήσης που ανήκει σε αυτόν. Από τεχνική άποψη, το δίκτυο χρησιμοποιεί ζεύγη συνεστραμμένων καλωδίων χαλκού για τη μετάδοση φωνής τα οποία ξεκινούν από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο και καταλήγουν στον τελικό χρήστη ενώ ο ρόλος του κέντρου είναι η διαχείριση της μεταφοράς του σήματος μεταξύ δύο συνδρομητών. Τα καλώδια συστρέφονται μεταξύ τους για εξασφαλιστεί η μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών μεταξύ των ζευγών ενώ η διάμετρος του κυμαίνεται από 0,44 mm έως και 0,8 mm. Για την μετάδοση φωνής χρησιμοποιείται το φάσμα των 4 kHz πάνω στο καλώδιο χαλκού.

Μέσω του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN), δίνεται η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων και μεταξύ υπολογιστών. Όμως υπόκεινται σε ένα περιορισμό ο οποίος επικεντρώνεται στο μικρό εύρος συχνοτήτων που μπορεί να υποστηρίξει λόγο ότι ο αρχικός σχεδιασμός του όπως ειπώθηκε και παραπάνω είναι η μεταφορά φωνής. Για τον υπερκερασμό του παραπάνω εμποδίου χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές τα modems. Η αρχή λειτουργία μιας συσκευής modem είναι η μετατροπή του αναλογικού σήματος

που μεταφέρεται πάνω από τις γραμμές του δικτύου, σε ψηφιακό σήμα το οποίο τροφοδοτείται στον υπολογιστή στον οποίο είναι διασυνδεδεμένη η συσκευή. Ακόμη, υποστηρίζουν την αναστροφή διεργασία δηλαδή, την μετατροπή του σήματος από ψηφιακό σε αναλογικό ώστε αυτό να μεταφερθεί πάνω από τις γραμμές του δικτύου, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο ένα μοντέλο μεταφοράς δεδομένων από τις τυπικές διασυνδέσεις. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από τα PSTN modems είναι έως 56 Kbps ένα τυπικό δίκτυο PSTN παρουσιάζεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Τυπικό δίκτυο PSTN για την διασύνδεση μεταξύ δύο υπολογιστών

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι το δίκτυο PSTN είναι ένα δίκτυο χαμηλού κόστους και κατά συνέπεια μπορεί να είναι διαθέσιμο σχεδόν σε όλους τους χρήστες ενώ από την άλλη δεν παρέχει ικανοποιητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και η ποιότητα και η αξιοπιστία του σήματος δεν είναι σταθερή.

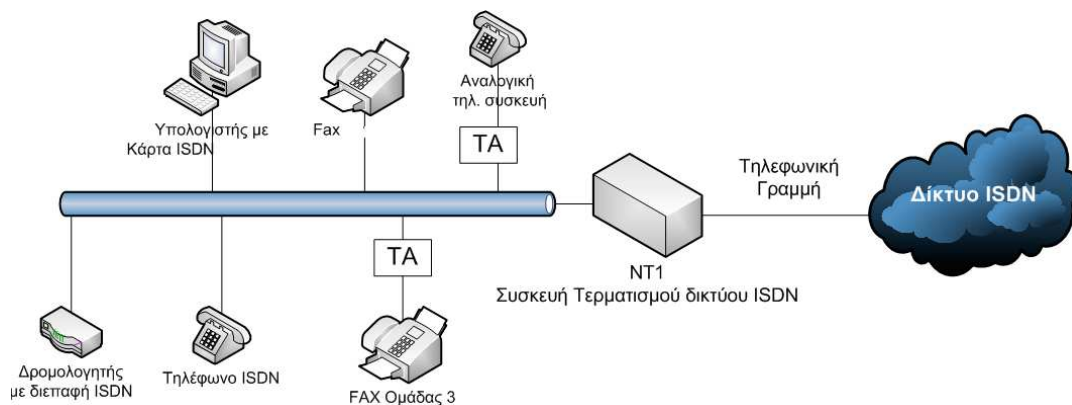
3.2 ΔΙΚΤΥΟ ISDN (INTERGRADED SERVICES DIGITAL NETWORK)

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και με την αύξηση των αναγκών μεταφοράς δεδομένων από τον άνθρωπο σε διαφορετικές μορφές όπως εικόνα, video, fax το δίκτυο PSTN φαίνεται μάλλον αδιέξοδη λύση για την αντιμετώπιση των παραπάνω γεγονότων. Από την άλλη η ανάπτυξη ενός νέο δικτύου δεν θα πρέπει να μην προϋποθέτει υψηλό κόστος ανάπτυξης, συντήρησης ξεχωριστού εξοπλισμού για τον πάροχο και επιπλέον κόστους αγοράς εξειδικευμένου εξοπλισμού από τον τελικό χρήστη. Η λύση του παραπάνω γρίφου ήρθε να λύση ένας νέος τύπος δικτύου το ISDN (*Intergraded Services Digital Network*) το οποίο επιτρέπει τη μετάδοση φωνής, εικόνας, video και δεδομένων σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή των τηλεφωνικών καλωδίων. Με την εφαρμογή το ISDN το παρόν δίκτυο αποκτά την ανεξαρτησία του ως προς το είδος της πληροφορίας που μπορεί να μεταφέρει και μάλιστα με ικανοποιητική ταχύτητα η οποία αγγίζει τα 128 Kbps από τα 58 που υποστήριζε το PSTN δίκτυο.

Ο τρόπος μεταφοράς των δεδομένων απαιτεί την εγκατάσταση μιας ειδικής συσκευής στο τέρμα της γραμμής από την πλευρά του χρήστη.

Η ειδική συσκευή τερματισμού δικτύου NT1 όπως ονομάζεται, εγκαθίσταται από τον παροχο. στο χώρο του συνδρομητή και συνδέει στον κόμβο ISDN στο τηλεφωνικό κέντρο του παρόχου. Η σύνδεση πραγματοποιείται με το χάλκινο καλώδιο του συνδρομητή

που χρησιμοποιούνταν παλιότερα για το απλό τηλέφωνο. Η κίνηση έπειτα δρομολογείται στο δίκτυο του παρόχου με ψηφιακό τρόπο χρησιμοποιώντας τεχνικές μεταγωγής πακέτων. Η συσκευή NT1 μπορεί να συνδεθεί με μέχρι 8 συσκευές όπως φαίνεται στο σχήμα 3



Σχήμα 3 : Τυπική σύνδεση μιας ISDN γραμμής

Συμπερασματικά η ISDN γραμμή πλεονεκτεί διότι μπορεί να ανεξαρτητοποιήσει την γραμμή από το είδος της πληροφορίας (εικόνα, video, ήχος) που μεταφέρεται ενώ το κόστος για την μετατροπή μιας γραμμής σε ISDN είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Από την άλλη πλευρά το κόστος αυξάνεται ραγδαία όσο υπάρχει μεταφορά δεδομένων λόγω της χρήσης της γραμμής.

3.3 ΔΙΚΤΥΟ XDSL (DIGITAL SUBSCRIBER LINE)

Η τεχνολογία xDSL (Digital Subscriber Line) αποτελεί μια εξέλιξη της τεχνολογίας ISDN η οποία και αυτή χρησιμοποιεί τα

χάλκινα τηλεφωνικά καλώδια που χρησιμοποιούνται ήδη για τη μετάδοση φωνής. Ο όρος Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) ή DSL ή xDSL περιγράφει μια οικογένεια τεχνολογιών όπου το x στην ονομασία μπορεί να συμβολίζει το ADSL, HDSL, SDSL, VDSL.

Η τεχνολογία xDSL αποτελεί μια οικογένεια τεχνολογιών ευρυζωνικής πρόσβασης η οποία εφαρμόζεται στο ήδη υπάρχον δίκτυο (χάλκινα καλώδια) μετατρέποντάς το σε έναν δίαυλο ψηφιακής επικοινωνίας μεγάλου εύρους χρησιμοποιώντας κατάλληλα modems τα οποία είναι τοποθετημένα και στις δύο άκρες μιας γραμμής. Τα modem του DSL δεν πραγματοποιούν κάτι το διαφορετικό σε σχέση με τα modems των προηγούμενων τεχνολογιών (ISDN), δηλαδή, και αυτά μετατρέπουν αναλογικό σε ψηφιακό σήμα και το ανάστροφο με την μόνη διαφορά ότι το πραγματοποιούν με αλγόριθμους (πχ DMT) οι οποίοι πλεονεκτούν σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες και θα αναφερθούν παρακάτω. Η διαφορετική προσέγγιση του προβλήματος της γρήγορης μετάδοσης δεδομένων αντιμετωπίζεται -με μια πρώτη ματιά- από το DSL ως εξής:

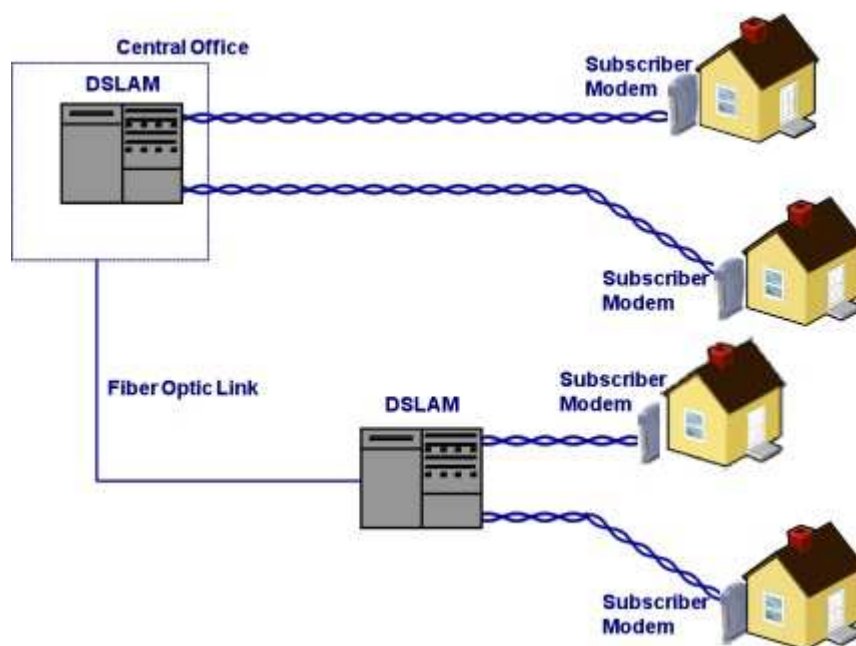
Η χρήση των χάλκινων καλωδίων για την μεταφορά της ανθρώπινης φωνής αποτελεί μια άριστη λύση διότι οι ιδιότητες του χαλκού για το συγκεκριμένο πρόβλημα ξεπερνούν κατά πολύ τις ελάχιστες απαιτήσεις του προβλήματος. Χαρακτηριστικότερα, η ανθρώπινη φωνή παράγει ήχους συχνοτήτων με εύρος μεταξύ 100 – 4000 Hz το εύρος αυτό δεν χρησιμοποιείται κατά το σύνολο του για την μετάδοση της φωνής σε μια επικοινωνία, με αποτέλεσμα να αφαιρείται με κατάλληλες μεθόδους το πλεονάζον φάσμα διότι μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα θορύβου. Το εύρος ζώνης

στο οποίο πραγματοποιείται η μετατροπή της φωνής εντοπίζεται περί τα 4 KHz, μέγεθος το οποίο είναι κατά πολύ μικρότερο από το 1.1 MHz που μπορεί να υποστηρίξει ένα χάλκινο καλώδιο. Άρα η χρήση του εύρους ζώνης του χαλκού χρησιμοποιείται σε πολύ μικρό ποσοστό και κατά συνέπεια με την χρήση ενός κοινού modem η ταχύτητα μετάδοσης δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 56Kbps στις ιδανικότερες συνθήκες. Στην παρατήρηση αυτή στηρίζεται το DSL το οποίο με την ανάπτυξη αλγορίθμων όπως οι CAP (Carrierless Amplitude Phase Modulation), 2B1Q (Two-binary, one-quaternary) και DMT (Discrete multitone modulation) αλλά και κάνοντας χρήση των βελτιωμένων τεχνολογικά μετασχηματιστών, φίλτρων και μετατροπέων σήματος επιτυγχάνει σημαντικότερη αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης (της τάξης των Mbps) χωρίς να μεταβληθεί το υπάρχον δίκτυο. Από την άλλη πλευρά ένας βασικός παράγοντας επηρεασμού της απόδοσης του DSL είναι η εξάρτηση του από την απόσταση των χάλκινων καλωδίων. Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μετάδοσης σήματος διαμέσου των χάλκινων καλωδίων τόσο μεγαλύτερη είναι η εξασθένιση του σήματος (λόγω αύξησης των κρούσεων των ηλεκτρονίων του σήματος στο κρυσταλλικό πλέγμα του χαλκού) ενώ παράλληλα αυξάνεται και ο θόρυβος. Βέβαια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές οι οποίες περιορίζουν σε έναν βαθμό το μειονέκτημα της χρήσης του χαλκού από την άποψη θορύβου και ταχύτητας ενώ η απόσταση που θεωρείται ως άνω όριο για την εφαρμογή του DSL είναι περί τα 5.5 km.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ DSL

Ένα τυπικό δίκτυο DSL έχει την παρακάτω δομή : Αρχικά αποτελείται από δύο πλευρές μία του χρήστη και μια του παρόχου. Στην πλευρά του χρήστη υπάρχει ένα DSL modem το οποίο είναι συνδεδεμένο στην γραμμή τηλεφώνου και η γραμμή αυτή συνδέεται με ένα DSLAM (digital subscriber line access multiplexer) το οποίο ουσιαστικά συγκεντρώνει ένα μεγάλο αριθμό γραμμών DSL σε μια συσκευή. Η θέση του DSLAM είναι καθοριστικής σημασίας διότι δεν πρέπει να απέχει πολύ μακριά από την θέση του χρήστη διότι τότε η σύνδεση θα επηρεάζεται αρνητικά από την απόσταση των καλωδίων. Στην συνέχεια το DSLAM συνδέεται με το κέντρο του παρόχου μέσω οπτικής ίνας, η τυπική τοπολογία της παραπάνω περιγραφής δίνεται στην εικόνα 2



Εικόνα 2: Τυπική τοπολογία ενός DSL δικτύου στην οποία εμφανίζονται δύο περιπτώσεις τοποθέτησης του DSLAM α) εντός κεντρικού κτιρίου του παρόχου στην οποία δεν παρεμβάλλεται οπτική ίνα (άνω πλευρά της εικόνας) β) εκτός του κέντρου με την χρήση οπτικής ίνας

Κατά την έναρξη λειτουργίας του modem του χρήστη πραγματοποιούνται έλεγχοι συνδεσιμότητας του modem με το DSLAM ανταλλάζοντας δεδομένα τα οποία βασίζονται σε πληροφορίες παραμετροποίησης της μεταξύ τους σύνδεσης. Η διαδικασία αυτή είναι περισσότερη γνωστή και ως συγχρονισμός και μόλις επιτευχθεί το δίκτυο είναι έτοιμο προς χρήση.

4.2 ΕΙΔΗ DSL ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα xDSL δίκτυα ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες με κριτήριο την ίδια ή διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης και λήψης δεδομένων. Έτσι, αν η ταχύτητα μετάδοσης (upstream) είναι ίδια με την ταχύτητα λήψης (downstream) τότε το δίκτυο ονομάζεται συμμετρικό ενώ την αντίθετη περίπτωση ονομάζεται ασύμμετρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ασύμμετρης γραμμής είναι η ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) διότι διαφορετικές ταχύτητες ισχύουν κατά το upstream και διαφορετικές για το downstream. Αντίθετα, η SDSL (Single Line Digital Subscriber Line) γραμμή, παρουσιάζει ίδια ταχύτητα upstream και downstream.

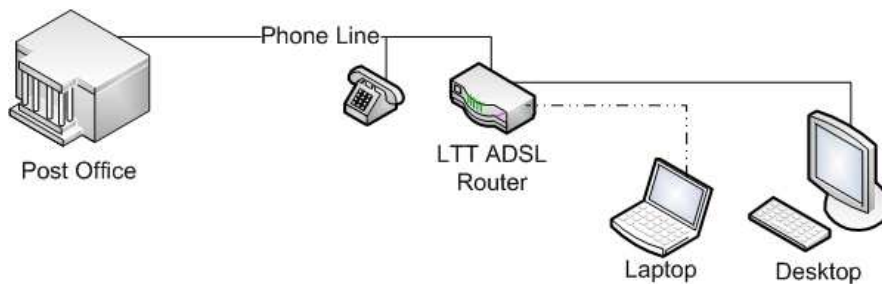
Το κριτήριο επιλογής της πιο κατάλληλης εφαρμογής δεν είναι άλλο από τις ανάγκες του χρήστη. Επί παραδείγματι αν ο χρήστης επιθυμεί πρόσβαση στο διαδίκτυο για οικιακή χρήση μονό τότε η καταλληλότερη λύση θα περιλαμβάνει υψηλή ταχύτητα λήψης δεδομένων – διότι μας ενδιαφέρει ο χρήστης να μπορεί να κατεβάζει γρήγορα μεγάλους σε μέγεθος τύπους αρχείων όπως video ή να εκτελεί πολλαπλές ταυτόχρονες λειτουργίες στο διαδίκτυο (multitasking) – και μικρότερη αποστολή δεδομένων (upstream) άρα θα κατευθυνθεί σε μια λύση όπως το ADSL. Αντίστοιχα αν ο χρήστης του δικτύου ενδιαφέρεται για μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων (upstream) όπως στην περίπτωση του παρόχου υπηρεσιών μέσω διαδικτύου τότε το συμμετρικό δίκτυο είναι η καταλληλότερη λύση με αντιπροσωπευτικό παράδειγμα το SDSL

Όλη η οικογένεια των DSL δικτύων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το λόγο αυτό θεωρείται σημαντικό να αναφερθούμε εκτενέστερα στις παρακάτω κυριότερες διαμορφώσεις.

- SDSL (*Single Line DSL*)
- HDSL (*High bit rate DSL*)
- ADSL (*Asymmetric DSL*)
- VDSL (*Very high bit rate DSL*)

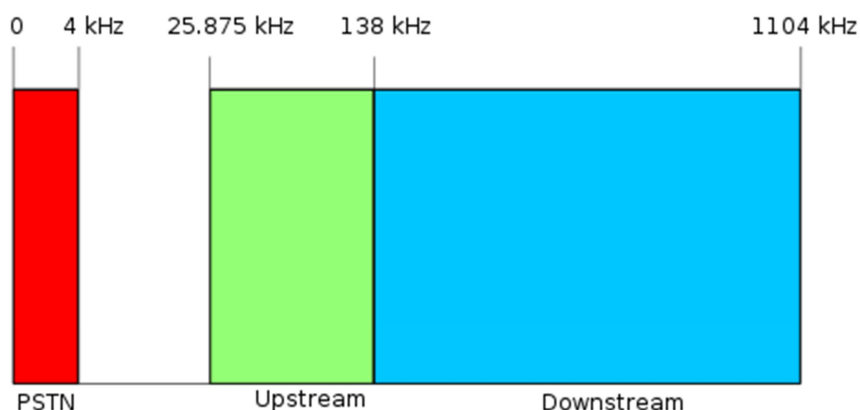
4.2.1 ADSL (ASYMMETRIC DSL)

Το ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) είναι η πιο γνωστή έκδοση του DSL λόγω της ευρείας χρήσης του σήμερα . Είναι το πιο διαδεδομένα ασύμμετρο δίκτυο, έχει τροποποιηθεί αρκετές φορές συγκροτώντας μια οικογένεια ADSL δικτύων . Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη τοπολογία της εικόνας 3



Εικόνα 3 : Τυπική τοπολογία ADSL δικτύου

Στα δύο άκρα της γραμμής τοποθετούνται ADSL modems, ένα από την πλευρά του συνδρομητή και ένα από την πλευρά της τηλεφωνικής εταιρείας. Προκειμένου να επιτευχθεί η ασύμμετρη λειτουργία το ADSL χρησιμοποιεί το ανώτερο τμήμα του εύρος ζώνης του βρόγχου, δηλαδή το τμήμα το οποίο μένει αναξιοποίητο από την κλασική τηλεφωνία (PSTN ή ISDN).



Εικόνα 4: Σύγκριση περιοχής λειτουργίας PSTN και ADSL. Με κόκκινο φαίνεται η περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιεί η απλή

τηλεφωνική σύνδεση(PSTN), με πράσινο η περιοχή του upload και με μπλε η περιοχή που χρησιμοποιείται για download

Πηγή Wikipedia

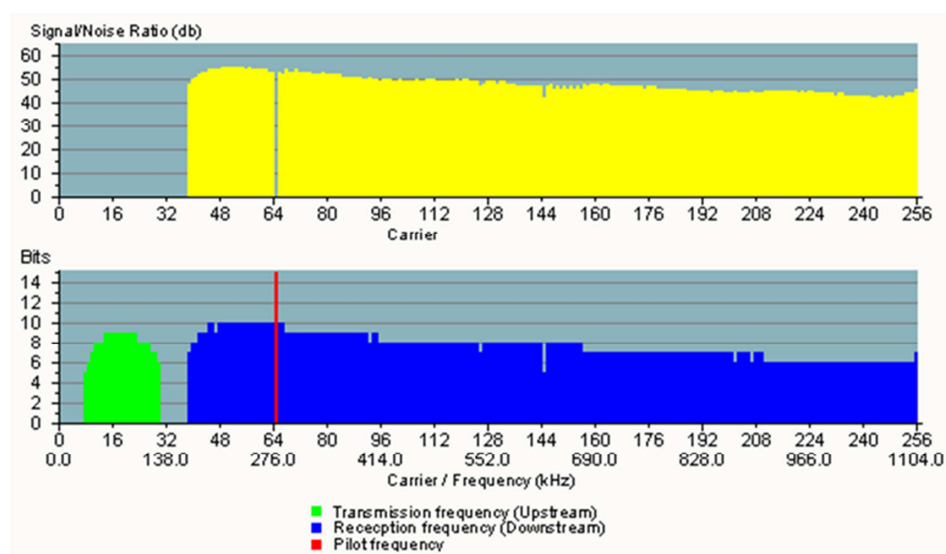
Σύμφωνα με την εικόνα (παραπάνω) η μπάντα από τα 25.875 kHz μέχρι τα 137.825 kHz χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων (upstream) ενώ η μπάντα από 138 kHz – 1104 kHz χρησιμοποιείται για την λήψη δεδομένων. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο DMT (Discrete Multitone Modulation) οι παραπάνω μπάντες διαιρούνται σε μικρότερα κανάλια συχνοτήτων (bins) της τάξης των 4.3125 kHz.

Κατά την αρχική διαδικασία αποστολής των δεδομένων το modem για να βελτιστοποιήσει την ποιότητα και την ταχύτητα της μετάδοσης, το μόντεμ ADSL προχωρά σε μια σειρά από ελέγχους όπως:

- 1) Δοκιμάζει κάθε ένα από τα κανάλια (bins) για να προσδιορίσει την αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR, signal to noise ratio) σε κάθε συχνότητα καναλιού
- 2) Μετρά την απόσταση από το τηλεφωνικό κέντρο, τα χαρακτηριστικά του καλωδίου,
- 3) Λαμβάνει υπόψη τις παρεμβολές από ραδιοφωνικούς σταθμούς AM και των τοπικών παρεμβολών και του ηλεκτρικού θορύβου στη θέση του μόντεμ που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αναλογία σήματος προς θόρυβο σε συγκεκριμένες συχνότητες

Μετά τον έλεγχο όλων των παραπάνω παραγόντων τα κανάλια που θα εμφανίσουν επίπεδα SNR τα οποία είναι μη αποδεκτά τότε αυτά θα χρησιμοποιηθούν ελάχιστα ή και καθόλου. Ο αποκλεισμός μερικών συχνοτήτων μπορεί να μειώνει την συνολική διαθεσιμότητα σε μεταφορά δεδομένων της γραμμής αλλά από την άλλη θα εξασφαλίσει μια επαρκής λειτουργία.

Στο επόμενο στάδιο το modem θα σχεδιάσει ένα πλάνο σχετικά με το πώς θα εκμεταλλευτεί το κάθε κανάλι για την μεταφορά των δεδομένων. Είναι προφανές ότι τα κανάλια με την καλύτερη αναλογία SNR θα επιλεγούν έτσι ώστε να μεταφέρουν τον μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και σταδιακά θα μειώνεται η αναλογία για κανάλια με όχι καλή αναλογία SNR. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή με την ονομασία bit per bin κατανομή η ακριβής χωρητικότητα δεδομένων ανά κανάλι εξαρτάται από τη μέθοδο διαμόρφωσης (στην περίπτωση του ADSL η μέθοδος διαμόρφωσης είναι ο αλγόριθμος DMT) που χρησιμοποιείται



Εικόνα 5: Απεικόνιση αξιολόγησης τιμής SNR για κάθε συχνότητα καναλιού. Το κάτω διάγραμμα μας δίνει τις συχνότητες και τα bits που τους ανατέθηκαν να μεταφέρουν ενώ στο πάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η αναλογία σήματος και θορύβου που εμφανίζουν.

Αν για τον οποιονδήποτε λόγο (πχ προβλήματα λήψης ή αποκωδικοποίησης από τον αποδέκτη) αλλάξει η αναλογία SNR στο ισχύον μοτίβο καναλιών τότε το modem έχει την δυνατότητα να αλλάξει την σειρά προτεραιότητας των καναλιών (επιλέγοντας πάντα σύμφωνα με το SNR που εμφανίζει το κάθε κανάλι) και να θέσει διαφορετική σειρά προτεραιότητας καναλιών έτσι ώστε να διατηρηθεί σε αξιοπρεπές επίπεδο η μεταφορά δεδομένων. Η παραπάνω διαδικασία είναι γνωστή και ως bitswap. Η συνολική ικανότητα μεταφοράς δεδομένων (capacity) της γραμμής υπολογίζεται αθροίζοντας τα bit της κατανομή (bits per bin) έτσι γίνεται αντιληπτό ότι όσο υψηλότερο ρυθμό SNR και αριθμό καναλιών υφίσταται σε μια γραμμή τόσο μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης θα εμφανίζει ενώ αντίθετα όσο ο ρυθμός SNR είναι χαμηλός και τα κανάλια λιγοστά σε αριθμό τόσο η ταχύτητα της σύνδεσης θα είναι χαμηλή. Η μέγιστη συνολική χωρητικότητα μιας γραμμής ονομάζεται και sync rate.

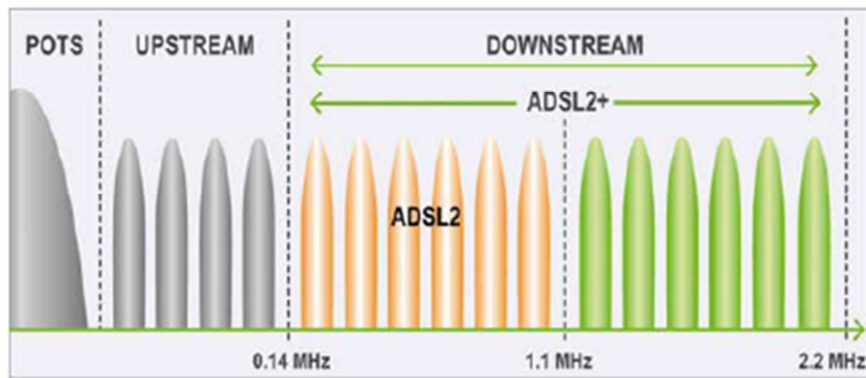
Ο τρόπος λειτουργίας του ADSL άλλαξε με την πάροδο του χρόνου και με την έρευνα επάνω στην εύρεση τρόπων μετάδοσης δεδομένων με μεγαλύτερη ταχύτητα και ποιότητα. Στην εικόνα 6 δίνονται όλες οι εκδόσεις και τα πρότυπα λειτουργίας της κάθε έκδοσης του ADSL.

Πίνακας : Τα πρότυπα και οι αποδόσεις της κάθε έκδοσης του ADSL

Όνομα προτύπου	Κοινή ονομασία	Μέγιστος ρυθμός λήψης	Μέγιστος ρυθμός αποστολής
ANSI T1.413-1998 Issue 2	ADSL	8 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.1	ADSL (G.DMT)	8 Mbps	1.0 Mbps
ITU G.992.1 Annex A	ADSL over POTS	8 Mbps	1.0 Mbps
ITU G.992.1 Annex B	ADSL over ISDN	8 Mbps	1.0 Mbps
ITU G.992.2	ADSL Lite (G.Lite)	1.5 Mbps	0.5 Mbps
ITU G.992.3/4	ADSL2	12 Mbps	1.0 Mbps
ITU G.992.3/4 Annex J	ADSL2	12 Mbps	3.5 Mbps
ITU G.992.3/4 Annex L	RE-ADSL2	5 Mbit/s	0.8 Mbit/s
ITU G.992.5	ADSL2+	24 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.5 Annex L	RE-ADSL2+	24 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.5 Annex M	ADSL2+	24 Mbit/s	3.5 Mbit/s

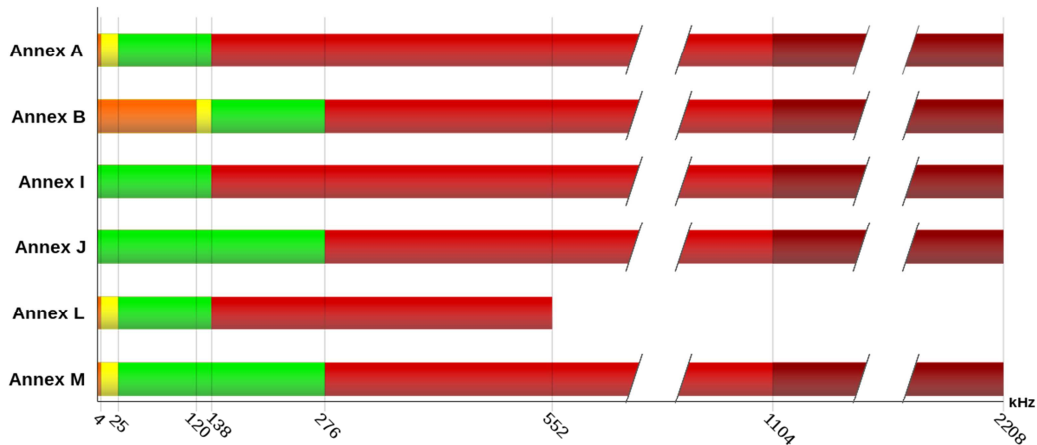
Εικόνα 6: Τα πρότυπα που ακολουθεί το ADSL σε όλα τις εκδόσεις του

Εξελιγμένες εκδόσεις του ADSL είναι το ADSL2 και το ADSL2+, οι οποίες παρέχουν μεγαλύτερες ταχύτητες αξιοποιώντας διαφορετικά το εύρος ζώνης του καλωδίου. Πιο συγκεκριμένα το ADSL2+ διευρύνει τις δυνατότητες του σε σχέση με το ADSL αυξάνοντας τα κανάλια που χρησιμοποιούνται για την λήψη δεδομένων (downstream channels). Επίσης διπλασιάζει το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας (σε σχέση με το ADSL) από 1.1 MHz σε 2.2 MHz με αποτέλεσμα να διπλασιαστεί και ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα όπως το ADSL2 (12 Mbits/s) με τον περιορισμό της απόστασης μεταξύ DSLAM και CPE χρήστη όμως να καταλαμβάνει μεγάλο ρόλο ως προς την διατήρησης των παραπάνω στοιχείων μετά μια ελάχιστη απόσταση. Στην εικόνα 7 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ του ADSL2+ σε σχέση με προηγούμενα πρότυπα της ίδιας οικογένειας.



Εικόνα 7: Εύρος συχνοτήτων λειτουργίας μεταξύ ADSL και ADSL2+

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ρυθμός λήψης (downstream) δεδομένων που φτάνει τα 24 Mbits/s και ρυθμός αποστολής δεδομένων (upstream) της τάξης των 1.4 Mbits/s και περισσότερο. Οι ρυθμοί που αναφέρθηκαν προηγουμένως βρίσκονται σε άμεση συνάντηση με την απόσταση μεταξύ του DSLAM του παρόχου και το CPE του χρήστη. Όσο η απόσταση αυτόν των δύο αυξάνεται τόσο μικρότερη γίνεται και η δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων, αντίστοιχα όσο πιο μικρή είναι η μεταξύ τους απόσταση (DSLAM-CPE) τόσο μεγαλύτερη ρυθμοί επιτυγχάνονται και στις δύο κατευθύνσεις μεταφορά δεδομένων. Τέλος άλλη μια σημαντική δυνατότητα του ADSL2+ είναι το λεγόμενο *port bonding* στο οποίο ουσιαστικά 2 γραμμές των 24 Mbits/s ενώνονται σε μια των 48 Mbits/s, η συγκεκριμένη λειτουργία ονομάζεται και G.Bond από το πρότυπο στο οποίο έχει καταγραφεί Στην εικόνα 8 που ακολουθεί δίνονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων αποστολής και λήψης δεδομένων για κάθε πρότυπο του ADSL.



Εικόνα 8: Περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας κάθε πρότυπου POTS/ISDN █ Guard Band █ Upstream █ Downstream ADSL/ADSL2 █ Additional Downstream ADSL2+

4.2.2 HDSL (HIGH BIT RATE DSL)

Το HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line) υπήρξε η πρώτη εμπορικά αξιοποιημένη έκδοση του DSL. Χρησιμοποιεί το ίδιο εύρος και για την αποστολή και για τη λήψη των δεδομένων, με αποτέλεσμα να προσφέρει σχετικά μικρές ταχύτητες (2Mbps). Η τεχνολογία HDSL είναι από τις πρώτες που αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 από την BellCore. Δημιουργήθηκε με απώτερο σκοπό να εκμεταλλευτεί και τελικά να αντικαταστήσει την υπάρχουσα τεχνολογία των κυκλωμάτων T1. Οι γραμμές T1 είναι ψηφιακές και φτάνουν σε ταχύτητες της τάξεως των 1.544Mbps. Η κωδικοποίηση γραμμής που πραγματοποιήθηκε ήταν η AMI (Alternate Mask Inversion). Αυτή απαιτεί ένα εύρος ζώνης της τάξεως των 1.5MHz.

Οι υψηλές συχνότητες που χρησιμοποιούνται από την AMI οδηγούν στην εξασθένηση του σήματος, εξαιτίας της ευαισθησίας που εμφανίζουν σε φαινόμενα θορύβου. Αυτό σημαίνει ότι όταν η τεχνολογία HDSL επιστράτευε την τεχνική AMI το σήμα μπορούσε να ταξιδεύει με ασφάλεια σε αποστάσεις της τάξεως του 1Km. Πέρα από αυτές τις αποστάσεις όμως ήταν αναγκαία η χρήση κάποιου επαναλήπτη (Repeater) ή ενισχυτή (Amplifier) σήματος. Μια εναλλακτική λύση στην κωδικοποίηση της γραμμής αποτέλεσε η τεχνική 2B1Q. Πρόκειται για μια τεχνική που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για τις τεχνολογίες HDSL, SDSL και την ISDN-BRI. Η 2B1Q είναι λιγότερο ευαίσθητη σε φαινόμενα εξασθένησης σήματος δεδομένου ότι περιορίζεται σε πολύ μικρότερες συχνότητες σε σχέση με την AMI. Με την 2B1Q κατέστη δυνατό να επιτευχθούν ταχύτητες της τάξεως των 2Mbps για αποστάσεις μεγαλύτερες των 3.6Km.

Συγκριτικά με την τεχνολογία ADSL, η HDSL προσφέρει απόλυτα συμμετρικές υπηρεσίες, δηλαδή το εύρος ζώνης και προς τις δύο κατευθύνσεις είναι το ίδιο. Για την επίτευξη της πλήρους αμφίδρομης μετάδοσης χρησιμοποιούνται 2 καλώδια συνεστραμμένων ζευγών. Αυτό είναι και ένα σημαντικό μειονέκτημα σε σχέση με το ADSL που χρησιμοποιεί μόνο ένα καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών. Τα βασικά πλεονεκτήματα του HDSL ήταν τα ακόλουθα:

- Μεγάλη ανοχή σε οποιαδήποτε τροποποίηση του τοπικού βρόχου από την εταιρεία παροχής τηλεφωνικών υπηρεσιών.
- Πλήρη συνεργασία με κυκλώματα T1, δεδομένου ότι το HDSL δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό.

- Δυνατότητα αντιμετώπισης περιπτώσεων αποτυχίας του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι το HDSL μπορεί να ανακάμψει όταν ένα από τα δύο καλώδια αποτύχει. Απλά η χρήση μόνο του ενός καλωδίου περιορίζει τις επιδόσεις του συστήματος στο μισό.

4.2.3 SDSL (SINGLE LINE DSL)

Το SDSL (Single-line Digital Subscriber Line) πρακτικά είναι το ίδιο με το HDSL, μόνο που χρησιμοποιεί μία μόνο γραμμή σύνδεσης. Η τεχνολογία SDSL είναι γνωστή και ως ψηφιακή γραμμή συνδρομητή απλού καλωδίου. Αποτελώντας τον «πρόδρομο» του HDSL2. Πρόκειται για την HDSL με τη μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιείται ένα απλό καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών, αντί για δύο. Δεδομένου ότι η τοπική εγκατάσταση του συνδρομητή λαμβάνει υπόψη μόνο ένα καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών για σύνδεση με το τοπικό τηλεπικοινωνιακό κέντρο, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το SDSL είναι περισσότερο προσιτό στον απλό χρήστη από ότι το HDSL. Βέβαια οι επιδόσεις του SDSL παραμένουν οι ίδιες με αυτές του HDSL μπορεί να επιτύχει ρυθμούς ανόδου και καθόδου δεδομένων της τάξεως των 2Mbps αλλά για να γίνει κάτι τέτοιο πρέπει επίσης η ποιότητα της τοπικής γραμμής χαλκού να έχει μέγιστη δυνατή τιμή. Διαφοροποιείται επίσης (νεώτερη του HDSL τεχνολογία) στο ότι για την δημιουργία των συμμετρικών ψηφιακών ζωνών ανόδου και καθόδου δεδομένων χρησιμοποιείται η τεχνική διαγραφής της ηχούς (echo cancellation), ενώ η κωδικοποίηση της πληροφορίας στη γραμμή

μετάδοσης πραγματοποιείται ομοίως, με χρήση της μεθόδου 2B1Q.

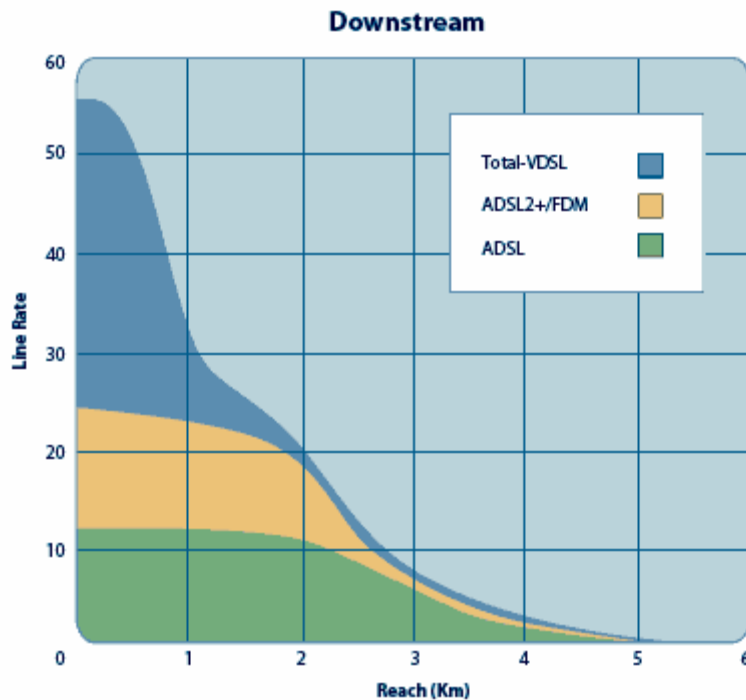
Το SDSL βρίσκει πολλές εφαρμογές σε επιχειρησιακό επίπεδο. Αποτελεί ακόμα και τώρα μια από τις καλύτερες λύσεις για τη σύνδεση εξυπηρετητών (servers) στο διαδίκτυο. Αν και το κανάλι της παραδοσιακής τηλεφωνικής υπηρεσίας μπορεί να είναι διαχωρισμένο από αυτά των δεδομένων, συνήθως, η τηλεφωνική επικοινωνία δεν μπορεί να πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες δεδομένων. Κάτι τέτοιο δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα σε επιχειρησιακό επίπεδο εξαιτίας της ύπαρξης εναλλακτικών λύσεων.

4.2.4 VDSL (VERY HIGH BIT RATE DSL)

Το VDSL (Very-high-data-rate Digital Subscriber Line) αποτελεί την τελευταία οικογένεια DSL δικτύων η οποία βρίσκεται σε φάση συνεχούς βελτίωσης με το VDSL2 να αποτελεί την τελευταία έκδοση του. Τα χαρακτηριστικά που εμφανίζει η VDSL διαμόρφωση είναι ότι μπορεί να ξεπεράσει σε ταχύτητα λήψης δεδομένων τα 54 Mbits/s (downstream) και πάνω από τα 16 Mbits/s στην αποστολή δεδομένων (upstream) χρησιμοποιώντας, όπως και στο ADSL, το υπάρχον δίκτυο χάλκινων καλωδίων και σε εύρος συχνοτήτων από 25KHz μέχρι 12 MHz. Έτσι σε βρόχους μικρού μήκους οι συχνότητες που χρησιμοποιεί είναι πολύ υψηλότερες από αυτές του ADSL (1.1MHz) με αποτέλεσμα να

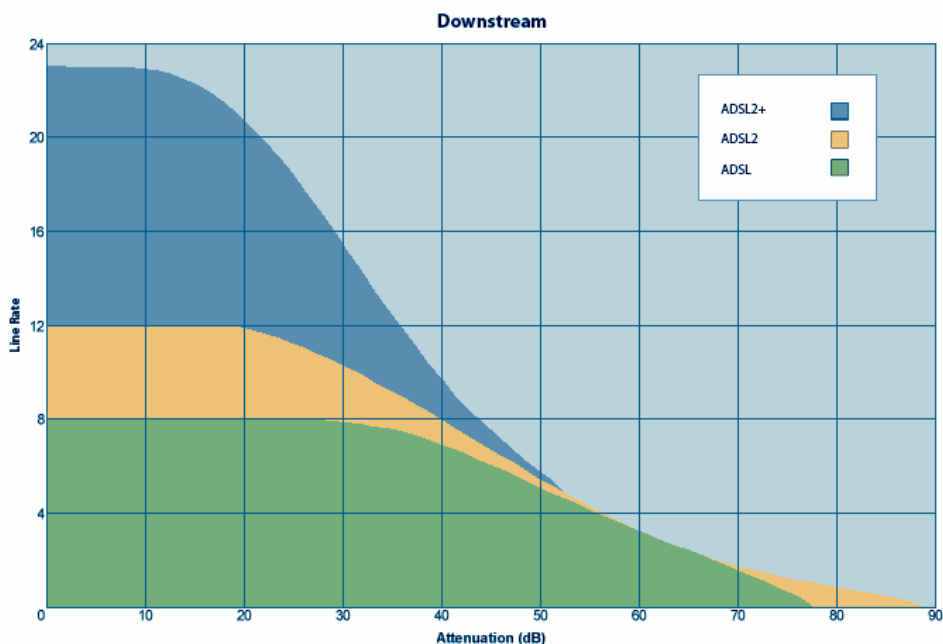
αυξάνονται και οι ταχύτητες ως προς των ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και στις δύο κατευθύνσεις.

Τα πλεονεκτήματα από την πλευρά του είδους των δεδομένων που μπορεί να μεταφέρει είναι ότι λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών παρέχει δυνατότητα μεταφοράς εικόνας σε υψηλή ανάλυση (High Definition), υπηρεσίες επικοινωνίας όπως VoIP (Voice over IP), VoD (Video on Demand) και φυσικά διευρυμένη ταχύτητα στην πρόσβασή στο διαδίκτυο. Από τεχνικής πλευρά είναι ένα δίκτυο το οποίο μπορεί να συμπεριφερθεί και ως συμμετρικό και ως ασύμμετρο γεγονός που το κάνει να ξεχωρίζει από όλα τα υπόλοιπα και φυσικά να απευθύνεται σε μεγαλύτερο εύρος καταναλωτών. Η απόσταση και στην περίπτωση του VDSL είναι ένας αποθαρρυντικός παράγοντας ως προς την χρήση του διότι χάνει απότομα τις δυνατότητες του όσο η απόσταση αυξάνεται. Βεβαία το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την χρήση δικτύων όπου ο φορέα της πληροφορίας δεν είναι ο χαλκός ή μόνο ο χαλκός αλλά και η οπτική ίνα όπως το FTTE, FTTC, FTTB τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.



Εικόνα 9: Συγκριτικά αποτελέσματα τα μεταξύ ADSL και VDSL ως προς την απόσταση των καλωδίων και των ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στην λήψη των δεδομένων .

Το VDSL διατηρεί την τεχνική διαμόρφωση του ADSL δηλαδή το DMT αν και χρησιμοποιήθηκε και ο QAM σε εκδόσεις του VDSL προ του 2003. Έχει αποδειχθεί όμως ότι ο DMT εμφανίζει μεγαλύτερη δια-λειτουργικότητα (interoperability) και συνάμα έχει αποδειχτεί από την χρήση του στο ADSL ότι κρατά χαμηλά τα επίπεδα θορύβου όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα



Εικόνα 10 : Συγκριτικά αποτελέσματα αποσβέσεων θορύβου σε σχέση με τον ρυθμό μετάδοσης κατά την λήψη δεδομένων.

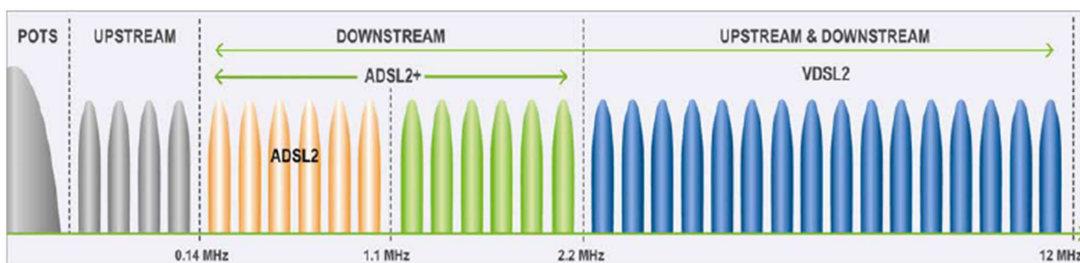
Τα πρότυπα που εμφανίζεται σήμερα το VDSL παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα 3

Πίνακας 3 : Πρότυπα εκδόσεων VDSL

Έκδοση	Ονομασία Προτύπου	Κοινή ονομασία	Downstream	Upstream
VDSL	ITU G.993.1	VDSL	55 Mbits/s	3 Mbits/s
VDSL	ITU G.993.2	VDSL2	100 Mbits/s	100 Mbits/s

4.2.5 VDSL2

Το VDSL2 αποτελεί την νεότερη και πιο προηγμένη έκδοση του VDSL. Είναι σχεδιασμένο να υποστηρίξει την ευρεία ανάπτυξη των υπηρεσιών triple play, όπως φωνής, βίντεο, δεδομένα, τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) και δια-δραστικά παιχνίδια. Το VDSL2 έχει ως στόχο την σταδιακή αναβάθμιση οικιακών χρηστών αλλά και επιχειρήσεων στην χρήση ενός DSL δικτύου πιο ευέλικτου, πιο αποδοτικού και με χαμηλό κόστος. Το VDSL2 επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων και με συμμετρικό και με ασύμμετρο τρόπο, με ρυθμό μεταφοράς δεδομένων που φτάνει τα 200 Mbits/s και για downstream και για upstream χρησιμοποιώντας ένα εύρος συχνοτήτων που ξεπερνά τα 30 MHz.



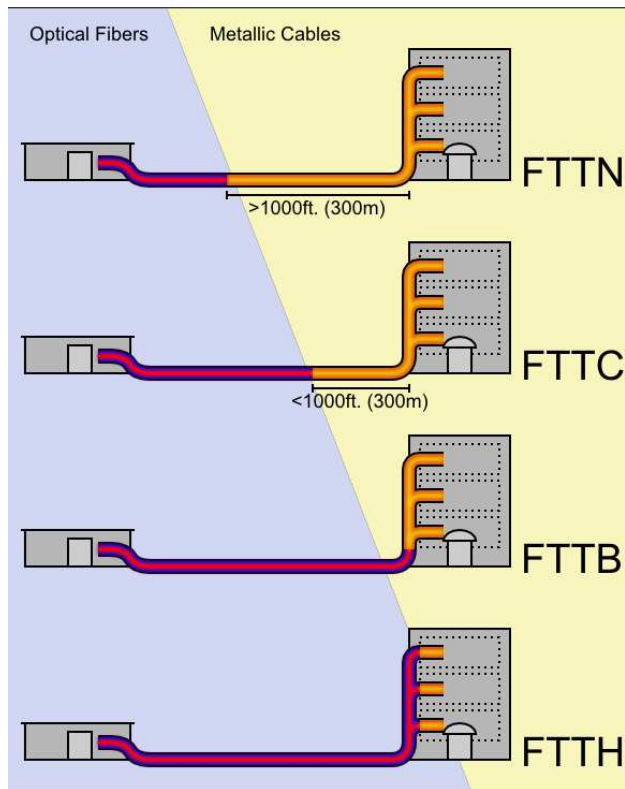
Εικόνα 11: Σύγκριση λειτουργίας εύρους συχνοτήτων μεταξύ VDSL2 και προηγούμενων τεχνολογιών.

Η εξάρτηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων από την απόσταση DSLAM - CPE παραμένει καθοριστικής σημασίας αφού η ταχύτητα μετάδοσης μπορεί να μειωθεί στα 50 Mbits σε απόσταση μεγαλύτερη του 1.5 Km. .Για τον ελάττωση του παραπάνω προβλήματος είναι λογικό να σκεφτεί κανείς ότι θα πρέπει να μειωθεί η απόσταση μεταξύ παρόχου και χρήστη. Για τον σκοπό

αυτό και σε συνδυασμό με την χρησιμοποίηση της οπτική ίνας έχουν προταθεί τέσσερα διαφορετικά πρότυπα αρχιτεκτονικής του δίκτυου τα οποία έχουν ως κοινή αφετηρία την μεταφορά των δεδομένων μέσω οπτική ίνα από το πυρήνα παροχής των δεδομένων και τερματισμό σε τρία διαφορετικά πιθανά σημεία όπως :

- Fiber to the Exchange (FTTE ή FTTN): όπου οι οπτικές ίνες καταλήγουν στο τερματικό κέντρο
- Fiber to the Cabinet (FTTC): όπου οι οπτικές ίνες καταλήγουν σε καμπίνα στο δρόμο.
- Fiber to the Building (FTTB): όπου οι οπτικές ίνες καταλήγουν το υπόγειο ενός κτηρίου.
- Fiber-to-the-home (FTTH): όπου οι οπτικές ίνες καταλήγουν κατευθείαν στο σπίτι

Στην εικόνα 12 απεικονίζονται οι διαφορές των παραπάνω προτύπων σχηματικά.

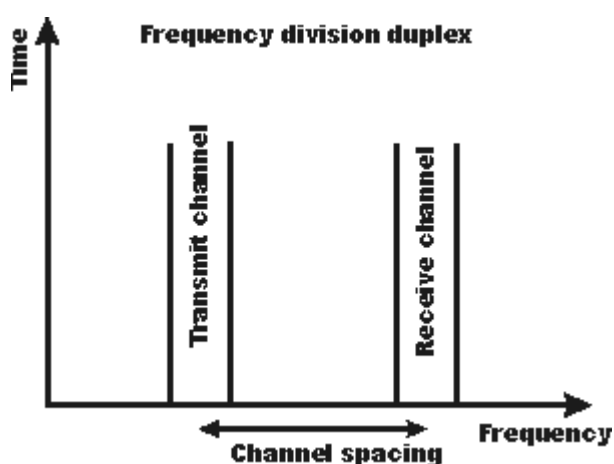


Εικόνα 12: Σύγκριση προτύπων σε σχέση με το σημείο κατάληξης των οπτικών ινών.

Σήμερα στην Ελλάδα χρησιμοποιείται το πρώτο πρότυπο (FTTE) διότι δεν υπάρχει ακόμη δυνατότητα επέκτασης του δικτύου οπτικής ίνας με τελικό αποδέκτη τον χρήστη (FTTH) σε μια τέτοια περίπτωση τα χαρακτηριστικά του VDSL2 θα διατηρηθούν ως προς την ταχύτητα και την ποιότητα των δεδομένων στα άνω όρια τους.

4.2.6 ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

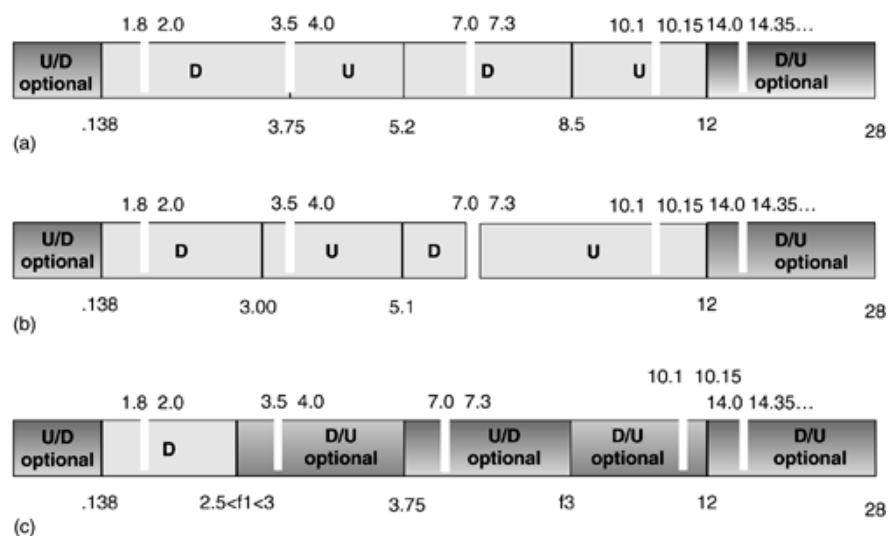
Το εύρος των συχνοτήτων που χρησιμοποιεί το VDSL και VDSL2 είναι απαραίτητο να διαχωριστεί σε ένα τμήμα συχνοτήτων που θα είναι διαθέσιμες για upstream και ένα τμήμα που θα είναι διαθέσιμο για downstream. Η διαδικασία αυτή εκτελείται από ένα σύστημα διαχωρισμού ζωνών FDD (Frequency Division Duplexing) στο οποίο όπως φαίνεται και στην εικόνα13 χωρίζει την διαθέσιμη περιοχή συχνοτήτων σε περιοχή upstream και downstream ή το ανάποδο.



Εικόνα 13: Διαχωρισμός τμημάτων συχνοτήτων για upstream, και Downstream

Βρόχος ενός VDSL δικτύου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 1,5 Km διότι με την αύξηση του μήκους του βρόχου μειώνεται και ο μέγιστος αριθμός διαθέσιμων συχνοτήτων. Για να υφίσταται μετάδοση διπλής κατεύθυνσης θα πρέπει να υπάρχει ικανό εύρος ζώνης με την χρήση μέγιστης συχνότητας. Η επιλογή ζώνης και για τις δύο κατευθύνσεις εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης (bits/s) της κάθε κατεύθυνσης. Ο καθορισμός ζωνών για την ασύμμετρη μετάδοση διαφέρει σημαντικά από την συμμετρική μετάδοση. Τέλος η πολυπλοκότητα του παραπάνω προβλήματος αυξάνεται αν αναλογιστούμε τα διαφορετικά πρότυπα (και άρα μήκη)

βρόχων που υπάρχουν. Μετά την χρήση του FDD σημαντικός παράγοντας για το VDSL είναι το λεγόμενο Frequency plan το οποίο ουσιαστικά αποτελεί τον σχεδιασμό των ζωνών συχνοτήτων. Για τον διαχωρισμό των ζωνών το VDSL2 χρησιμοποιεί αποκλειστικά τον DMT (Discrete Multitone) σε αντίθεση με το VDSL1 το οποίο μέχρι το 2003 χρησιμοποιούσε και DMT διαμόρφωση αλλά και QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Ο DMT είναι μια μέθοδος διαχωρισμού DSL σήματος όπου το συνολικό διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων χωρίζεται σε πού μικρότερα τμήματα –ζώνες συχνοτήτων. Χρησιμοποιεί πάνω από 4096 ζώνες συχνοτήτων (tones) οι οποίες απέχουν 4 ή 8 KHz μεταξύ τους. Κάθε μια ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για downstream είτε για upstream. Λόγο της δυνατότητας ασύμμετρης και συμμετρικής μετάδοσης δεδομένων το VDSL απευθύνεται σε ένα μεγάλο εύρος καταναλωτών με διαφορετικές ανάγκες για τον σκοπό αυτό έπρεπε να επιλεγούν και συγκεκριμένα plan frequencies έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι ανάγκες. Έτσι, κατά καιρούς εμφανίστηκαν πολλά πλάνα ζωνών όπως το Plan 998, Plan 997 και FX –Plan τα οποία φαίνονται στην εικόνα 14



Εικόνα 14 : Βασικά πλάνα ζωνών του VDSL

Σήμερα το VDSL2 εμφανίζεται σε 8 διαφορετικά προτυπα (Πίνακας που ακολουθεί)ως προς των διαχωρισμό των ζωνών έτσι ώστε να μπορεί να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Πίνακας 4 : Προφίλ ζωνών VDSL2 με διαφορετικά χαρακτηριστικά για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών του χρήστη

Profile	Bandwidth (MHz)	Number of carriers	Carrier bandwidth (kHz)	Power (dBm)	Max. downstream throughput (Mbit/s)
8a	8.832	2048	4.3125	+17.5	50
8b	8.832	2048	4.3125	+20.5	50
8c	8.5	1972	4.3125	+11.5	50
8d	8.832	2048	4.3125	+14.5	50
12a	12	2783	4.3125	+14.5	68
12b	12	2783	4.3125	+14.5	68
17a	17.664	4096	4.3125	+14.5	100
30a	30	3479	8.625	+14.5	200

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

DMT ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΩΔΙΚΑ DMT

Ο κώδικας DMT αποτελεί μια τεχνική πολλαπλής διαμόρφωσης στην οποία φορείς σειριακών δεδομένων υψηλής ταχύτητας διαιρούνται σε πολλαπλά παράλληλα χαμηλότερης ταχύτητας κανάλια τα οποία διαμορφώνονται σε πολλαπλούς υποφορείς διαφορετικών συχνοτήτων για ταυτόχρονη μετάδοση. Η διαδικασία της διαμόρφωσης (modulation) και της ανάστροφής διαμόρφωσης (demodulation) επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του αλγορίθμου του μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform, FFT). Λεπτομερέστερα, η λειτουργία του DMT έχει ως εξής: Από μια υψηλής ταχύτητας σειριακή δίοδο, εισέρχεται η δυαδική ακολουθία των δεδομένων μέσα σε N παράλληλα χαμηλής ταχύτητας σειριακά κανάλια (streams). Το κάθε κανάλι καταδεικνύεται από το σύμβολο n όπου $n = 0, 1, \dots, N-1$. Σε κάθε n κανάλι ομαδοποιούνται και χαρτογραφούνται σε μιγαδικές τιμές M αριθμός από bits με την βοήθεια της παρακάτω σχέσης

$$C_n = A_n + iB_n$$

Όπου C_n η μιγαδική τιμή

Σύμφωνα με το πλάτος τετραγωνισμού (quadrature amplitudemodulation (QAM)) η βαθμοί ελευθερίας είναι της τάξης το 2^M καταστάσεων.

Προκειμένου να δοθούν πραγματικές τιμές (δηλαδή να εξαληφεί το φανταστικό μέρος της σχέσης []) η DMT μετάδοση χωρίζεται σε N υποφορείς (subcarriers), το οποίο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του ανάστροφου μετασχηματισμού Fourier σε $2N$ σημεία. Οι $2N$ είσοδοι στον ανάστροφο μετασχηματισμό Fourier αναπαρίστανται ως n όπου $n = 0, 1, \dots, 2N-1$. Στο πρώτο μισό δίνονται οι τιμές C_n ενώ στο δεύτερο μισό πρέπει να αποδοθούν οι σύνθετες τιμές του C_n εκπληρώνοντας πάντα την Ερμιτιανή ιδιότητα συμμετρίας η οποία δίνεται από την σχέση ()

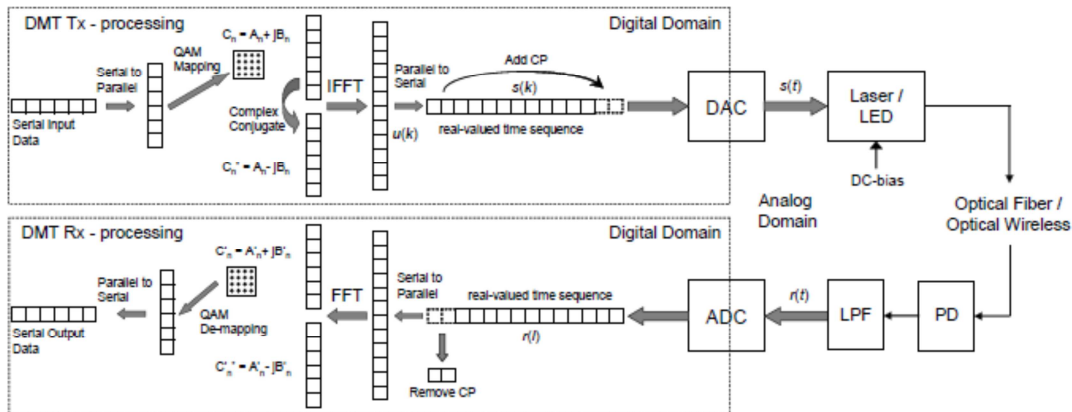
$$C_{2N-n} = C_n^*$$

Όπου $n = 1, 0, \dots, N-1$ και $\text{Im}\{C_0\} = \text{Im}\{C_N\} = 0$

Έτσι λοιπόν και με πιο απλοϊκή ματιά θέτοντας $C_0 = C_N = 0$ το αποτέλεσμα της ακολουθίας DMT θα είναι απαλλαγμένο από συνεχείς τιμές.

Στην εικόνα 15 παρουσιάζεται η εφαρμογή του DMT σε ένα δίκτυο οπτικής ίνας.

¹ Φανταστικό μέρος μιγαδικού αριθμού



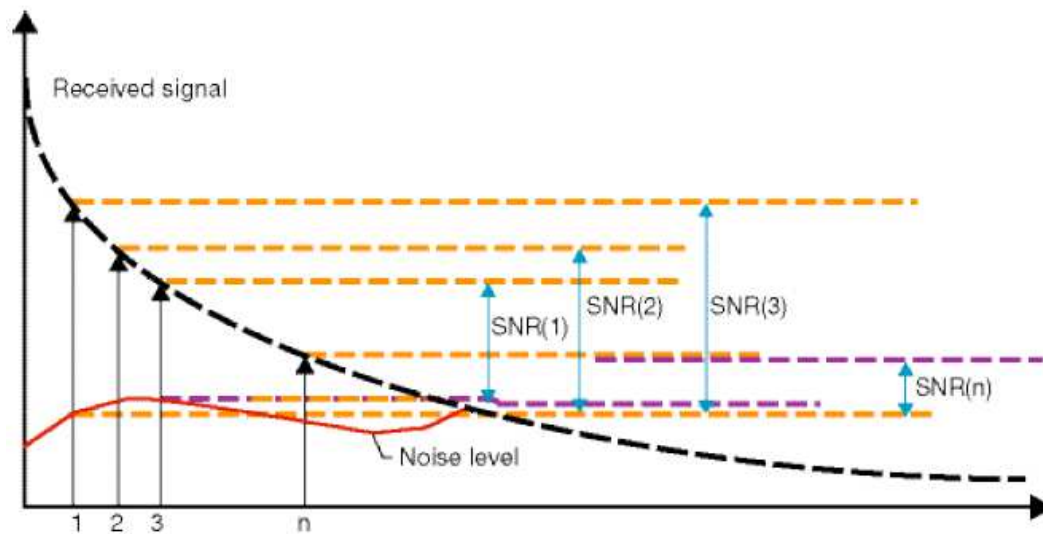
Εικόνα15 : Λειτουργία το DMT αλγορίθμου δίκτυο οπτικής ίνας.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής του DMT είναι στο ADSL Annex A (POTS) όπου χωρίζει το σε 256 bins με εύρος 4,31 KHz το καθένα μέχρι την τιμή των 1104MHz. Για το upstream χρησιμοποιούνται οι τόνοι 6-31 για την μετάδοση από το modem στο DSLAM Με μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης ίσο με $26\text{bins} \times 15\text{ bits} \times 4000\text{bins/sec} = 1.56\text{ Mb/s}$. Αντίστοιχα για το downstream χρησιμοποιούνται τα bins 32 – 255 με μέγιστο θεωρητικό όριο 13,44 Mb/s. Στην πραγματικότητα όμως η τιμή των 13,44 Mb/s δεν μπορεί να ξεπεράσει, λόγω περιορισμών (πχ overheads)

τα 8,1Mb/s

5.2 Η ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ BIT LOADING ΤΟΥ DMT.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του DMT είναι η δυνατότητα διανομής του αριθμού των bits ανά υποφορέα (subcarrier) σύμφωνα με τον ρυθμό σήματος- θορύβου (signal to noise ratio SNR). Η ιδιότητα αυτή είναι γνωστή με την ονομασία bit loading.



Εικόνα 16: Απεικόνιση αποτελεσμάτων εφαρμογής της τεχνικής *bit loading*

Το bit loading χωρίζεται σε δύο είδη το rate- adaptive και το margin adaptive, οι rate adaptive αλγόριθμοι μεγιστοποιούν τον ρυθμό των bits για ένα καθορισμένο ρυθμό μεταξύ bit και error (bit –error ratio BER) και μιας καθορισμένης ισχύς ενώ οι αλγόριθμοι margin adaptive ελαχιστοποιούν το BER για ένα καθορισμένο ρυθμό bits. Σε πρακτικό επίπεδο το bit loading εφαρμόζεται συνήθως σε ενσύρματα δίκτυα όπως το DSL αυτό συμβαίνει διότι ενσύρματα κανάλια μετάδοσης δεν διαφοροποιούνται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα η εφαρμογή του bit loading να προσφέρει σημαντικά ωφέλει απόδοσης σε σχετικά χαμηλής πολυπλοκότητας δίκτυα. Αυτό επιτυγχάνεται διότι οι αλγόριθμοι bit loading υπολογίζονται και εφαρμόζονται κατά την εγκατάσταση του δικτύου και στην συνέχεια δεν χρειάζονται ενημέρωση συνεχώς. Μέχρι σήμερα μόνο αλγόριθμοι τύπου rate

adaptive έχουν αποδειχτεί ευρείας χρήσης σε εμπορικά συστήματα και αυτό διότι ανεξάρτητα με το πόσο καλό η κακό είναι το κανάλι μετάδοσης το bit loading είναι εφαρμόσιμο και άρα η μεταφορά δεδομένων είναι δυνατή. Ο rate adaptive αλγόριθμος αποτελεί μια αναδιατύπωση της σχέσης του Shannon και μπορεί να εκφραστεί ως ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης του συνολικού εφικτού ρυθμού bits R μετρούμενο σε bits /s ο οποίος αποτελεί το άθροισμα των διανεμόμενων bits ανά υποφορέα (subcarrier) που χρησιμοποιούνται στο DMT.

5.3 ΕΙΔΗ ΘΟΡΥΒΩΝ

Όπως είναι γνωστό η μεταφορά των δεδομένων πραγματοποιείται διαμέσου των δικτύων τηλεφωνική σύνδεσης το οποίο δεν αποτελεί ένα περιβάλλον προστατευμένο από θορύβους. Αυτό, συμβαίνει διότι η μεταφορά δεδομένων περνά από ένα δισύρματο καλώδιο χωρίς θωράκιση το οποίο όσο αυξάνεται το μήκος του γίνεται και πιο ευαίσθητο σε θορύβους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα θορύβου είναι όπως

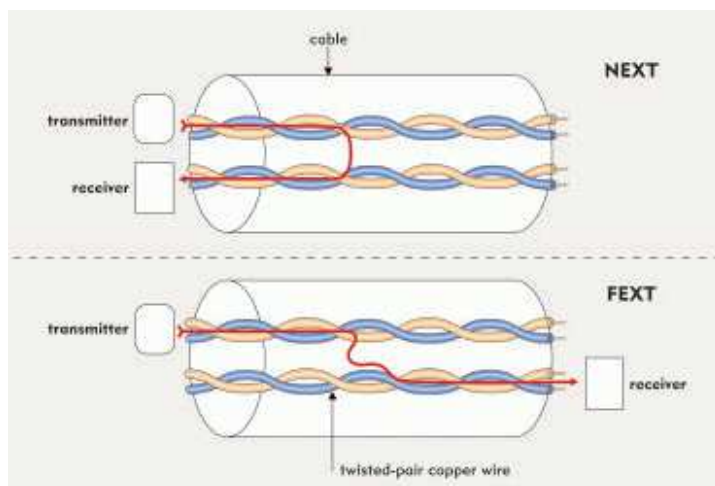
- Διαφωνία: Είναι το είδος του θορύβου το οποίο δημιουργείται από παρεμβολές γειτονικών γραμμών που βρίσκονται στο ίδιο καλώδιο
- Ραδιοφωνικές παρεμβολές
- Κρουστικός θόρυβος
- Shot Noise: Είναι το είδος του εγγενούς θορύβου ο οποίος παράγεται από το ηλεκτρικό φορτίο.

- Λόγος SNR (Signal to Noise Ratio)

Μερικά είδη θορύβου κρίνεται σκόπιμο να αναλυθούν μεμονωμένα για τις ιδιότητες και την εξάρτηση που εμφανίζουν σε σχέση με άλλα μεγέθη.

5.3.1 ΔΙΑΦΩΝΙΑ

Η παρουσία πολλών ζευγών καλωδίων (πλεξούδα) εντός ενός μεγαλύτερου καλωδίου χωρίς θωράκισης δημιουργεί φαινόμενα μετάβασης ενέργεια από το ένα καλώδιο στο άλλο. Η διαφωνία αποτελεί ένα από κυριότερα προβλήματα στο VDSL. Η διαφωνία χωρίζεται σε δύο είδη την τηλεδιαφωνία ή far –end (FEXT) και την παραδιαφωνία ή near-end (NEXT) όπως φαίνονται και στην εικόνα 17.



Εικόνα 17: Τα δύο είδη του θορύβου διαφωνία

Η παραδιαφωνία συναντάται σε απόσταση πολύ κοντά στο κέντρο μετάδοσης και την στιγμή που το ασθενές σήμα upsteam

παρενοχλείται από το ισχυρό downstream. Αποτελεί πιο σημαντική πηγή θορύβου από την τηλεφωνία η οποία αν δεν αντιμετωπιστεί ελαττώνει σημαντικά την απόδοση της μετάδοσης. Μια συνήθεις μεθοδολογία αντιμετώπισης της είναι το μοίρασμα της χωρητικότητας και στις δυο κατευθύνσεις. Ο υπολογισμός της φασματικής πυκνότητας ($PSD_N(f)$) της παραφωνίας δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$PSD_N(f) = S_d(f)K_N f^{1.5} \left(\frac{N}{49}\right)^{0.6}$$

Όπου

$S_d(f)$: φασματική πυκνότητα ισχύος ενός παρενοχλητή

N : Ο αριθμός των παρενοχλητών

K_N : 8.818×10^{-14}

Από την άλλη η τηλεδιαφωνία εμφανίζεται και στα δύο άκρα του καλωδίου και προκύπτει λόγω των διαφορετικών μεταδιδόμενων σημάτων στην ίδια κατεύθυνση και η αντίστοιχη φασματική πυκνότητα υπολογίζεται από την σχέση

$$PSD_F(f) = S_d(f)K_F f^2 d H(f)^2 \left(\frac{N}{49}\right)^{0.6}$$

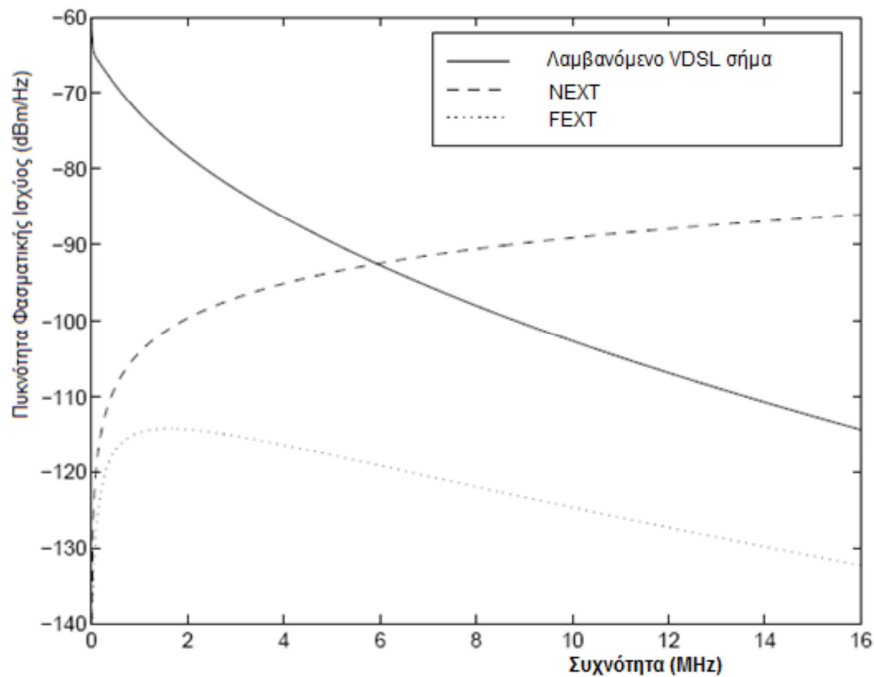
Όπου

d : Το μήκος του καλωδίου

$H(f)$: Η απόκριση συχνότητας του καναλιού

K_F : 7.999×10^{-20}

Στην εικόνα 18 δίνονται τα αποτελέσματα μετρήσεων διαφωνίας σε καλώδιο τύπου TP1



Εικόνα 18 : Μετρήσεις της φασματικής πυκνότητας για διαφωνία τύπου NEXT,FEXT σε καλώδιο τύπου TP1

5.3.2 ΛΟΓΟΣ SNR (SIGNAL TO NOISE RATIO)

Ο δείκτης SNR διότι αντιπροσωπεύει έναν λόγο μεταξύ δύο μεγεθών, του επιπέδου του επιθυμητού σήματος προς το επίπεδο του θορύβου που υφίσταται κατά την μεταφορά. Πιο συγκεκριμένα ορίζει ως ο λόγος από ισχύος του σήματος από την ισχύ θορύβου, που εκφράζεται συχνά σε decibels (dB) και εκφράζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}},$$

όπου P είναι η μέση ισχύς

Τόσο η ισχύς του σήματος όσο και η ισχύς του θορύβου πρέπει να μετρούνται στα ίδια σημεία σε ένα σύστημα, και μέσα στο ίδιο εύρος ζώνης του συστήματος.

Από την παραπάνω σχέση γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι ένα λόγος μεγαλύτερος του 1:1 (δηλαδή μεγαλύτερο από 0 dB) δείχνει περισσότερο σήμα από το θόρυβο

Η παραπάνω σχέση μπορεί να πάρει διάφορες μορφές ανάλογος με τα γνωστά δεδομένα του προβλήματος για παράδειγμα αν είναι γνωστές οι διακυμάνσεις τότε η σχέση παίρνει την παρακάτω μορφή.

$$\text{SNR} = \frac{\sigma_{\text{signal}}^2}{\sigma_{\text{noise}}^2}.$$

Με τον λόγο σήματος προς θόρυβο ως κριτήριο μπορούν αν επιλεγούν οι καλύτερες (όχι απαραίτητα η γρηγορότερες) διαδρομές μετάδοσης σήματος (κανάλια) ενώ μπορεί ο λόγος SNR να αποτελεί και ένα μέτρο σύγκρισης ή ένα κριτήριο για την επιλογή μιας ομάδας καναλιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, “Δίκτυα Ευρείας Ζώνης”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
- [2] Σύσταση της ITU-T G.992.1 (1999), *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers*.
- [3] Σύσταση της ITU-T G.992.2 (1999), *Splitterless Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers*.
- [4] Σύσταση της ITU-T G.992.3 (2002), *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers -2 (ADSL2)*
- [5] Σύσταση της ITU-T G.992.4 (2002), *Splitterless Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - 2 (ADSL2)*
- [6] Σύσταση της ITU-T G.992.5 (2003), *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers– Extended Bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)*
- [7] Roger L. Freeman Manual for Telecommunications Engineering second edition
- [8] Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements- ETSI
- [9] “A VDSL Tutorial”- Frank Sjoberg
- [10] Thomas Starr, Massimo Sorbara, John M. Cioffi, Peter J. Silverman- ‘DSL Advances’- Prentice Hall PTR
- [11] Starr, T., Cioffi, J. M., and Silverman, P. J.(1999) Understanding digital subscriber line technology, Prentice Hall, Inc.
- [12] Sian Chong Je_rey Lee,.(2009). Discrete Multitone Modulation for Short-Range Optical Communications Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- [13] Wiley - Broadband Optical Access Networks and Fiber to the Home [2006]

[14] Σοφιανός, Γεώργιος Σ. Παλιατσός, Αθανάσιος Γ. Μετασχηματισμός Laplace και εφαρμογές, Σύγχρονη εκδοτική [1998]

ΗΛΕΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

[14] [www. Wikipedia. Com](http://www.Wikipedia.Com)

[15] http://www.kentrox.com/solutions/cellworx/wp/xdsl_comp/xDSL.html

