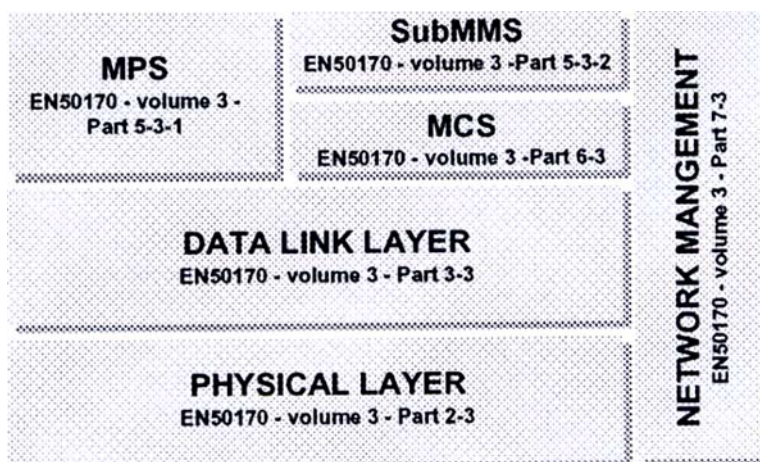


2.10 Δίκτυο WorldFIP

Το δίκτυο WorldFIP (FLUX D' INFORMATION VERS LE PROCESSUS) ξεκίνησε από την Γαλλία και υιοθετήθηκε από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50170 για βιομηχανικές επικοινωνίες. Προσφέρει ένα ντετερμινιστικό και αξιόπιστο σύστημα για επικοινωνία σε μια διεργασία με αισθητήρες, ενεργοποιητές, PLCs, κ.λ.π.. Διαφέρει από άλλα δίκτυα του επιπέδου μηχανής στο ότι έχει απλό πρωτόκολλο, εξασφαλίζοντας τόσο τη βασική όσο και την πραγματικού χρόνου πληροφόρηση που απαιτεί ένα σύστημα ελέγχου και μετρήσεων.

Το δίκτυο WorldFIP παρέχει επικοινωνία μεταβλητών της διεργασίας (παράγονται από τους αισθητήρες και υλοποιούνται από τους ενεργοποιητές) και μηνυμάτων (αναγγελία γεγονότων, εντολές διαμόρφωσης κ.α.) με ταχύτητες μέχρι 1Mbps μέσω ενός φθηνού συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίου. Χρησιμοποιεί ένα πρωτότυπο μηχανισμό σύμφωνα με τον οποίο ο “διαιτητής” του διαύλου εκπέμπει μία μεταβλητή ταυτότητας σε όλους τους κόμβους του διαύλου, προκαλώντας το κόμβο που παράγει αυτή τη μεταβλητή να τοποθετήσει τις τιμές του στο δίκτυο. Όλοι οι κόμβοι του δικτύου που χρειάζονται αυτή την πληροφορία την λαμβάνουν ταυτόχρονα. Αυτή η ιδέα έχει ως αποτέλεσμα μία αποκεντρωμένη βάση δεδομένων στους κόμβους και αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά πραγματικού χρόνου. Με την ιδιομορφία αυτή το δίκτυο WorldFIP παρακάμπτει την έννοια των διευθύνσεων των κόμβων και καθιστά δυνατή την σχεδίαση πραγματικά κατανεμημένων συστημάτων ελέγχου.

Το πρωτόκολλο του WorldFIP καθορίζεται σύμφωνα με τα ακόλουθα τρία επίπεδα: φυσικό, διασύνδεσης δεδομένων και εφαρμογής. Επιπλέον, όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.52, το πρωτόκολλο συμπεριλαμβάνει και μία κατακόρυφη δομή που αποτελεί διαχείριση δικτύου (Network Management). Το ευρωπαϊκό πρότυπο αντικατέστησε τα γαλλικά αντίστοιχα FIP C46 601 μέχρι C46 607. Η βασική διαφορά μεταξύ του ευρωπαϊκού και του γαλλικού προτύπου έγκειται στην υιοθέτηση του διεθνούς προτύπου IEC για το φυσικό επίπεδο (1158-2).



Σχ.2.52. Τα επίπεδα του πρωτοκόλλου WorldFIP.

2.10.1 Καλωδίωση

Το σύστημα καλωδίωσης του WorldFIP αποτελείται από ένα κύριο καλώδιο που συνδέεται με κάθε κόμβο με δευτερεύοντα καλώδια. Τα δευτερεύοντα αυτά καλώδια συνδέονται στην κύρια γραμμή με στοιχεία σύνδεσης (Tap Boxes). Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί τον κατάλληλο συνδετήρα ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται βαριά ή ήπια βιομηχανία. Το κύριο καλώδιο απαιτεί μία σύνθετη αντίσταση τερματισμού σε κάθε άκρο και για ευκολία συμπεριλαμβάνεται συνήθως στα στοιχεία σύνδεσης (Tap Boxes) των κόμβων. Το δίκτυο μπορεί να επεκτείνεται με έναν συνδυασμό από επαναλήπτες και κουτιά σύνδεσης (Junction Boxes).

2.10.2 Βασικοί κανόνες συνδεσμολογίας

Σε ένα τμήμα απλού καλωδίου ενός δικτύου WorldFIP του 1 Mbps μπορούν να συνδεθούν έως και 64 συσκευές. Για την επέκταση του κύριου καλωδίου που μπορεί να φτάσει τα 3.75 km χρησιμοποιούνται έως και 4 επαναλήπτες. Ένας επαναλήπτης υπολογίζεται ως συσκευή σε κάθε τμήμα που ενώνει. Το μέγιστο μήκος ανά τμήμα είναι 750 m. Στον Πιν. 2.8 βλέπουμε ορισμένα χαρακτηριστικά για τις ταχύτητες επικοινωνίας.

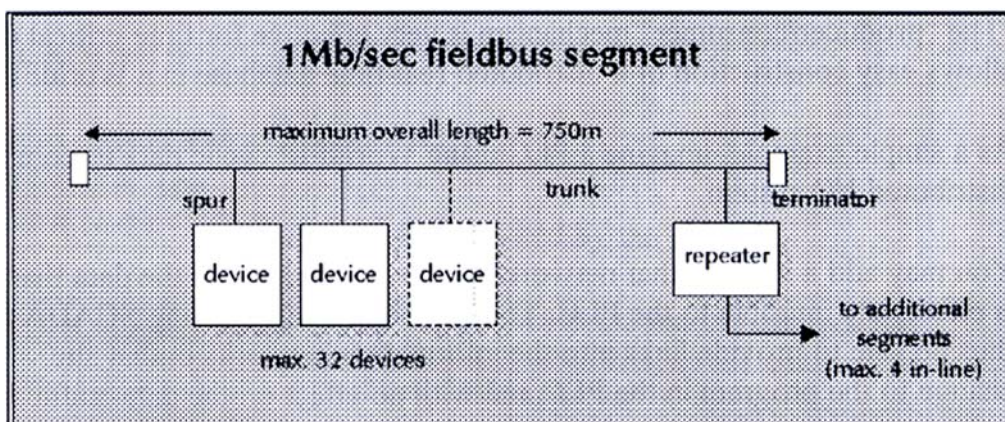
Το καλώδιο πρέπει να είναι συνεστραμμένο ζεύγος με θωράκιση και χαρακτηριστική αντίσταση 150 ohm. Χρήσιμα είναι και τα καλώδια με δύο ξεχωριστά θωρακισμένα ζεύγη, όπου το επιπλέον ζεύγος χρησιμοποιείται ως δεύτερος δίαυλος ή για διανομή ισχύος. Το κύριο καλώδιο απαιτεί τερματισμό για να συνδυάζει τη σύνθετη αντίσταση του καλωδίου και να αποτρέπει ανεπιθύμητες

ανακλάσεις σήματος. Το απλό τερματικό είναι ένας αντιστάτης 150 ohm συνδεδεμένος μεταξύ των αγωγών.

Ταχύτητα	31.25 Kb/sec	1 Mb/sec	2.5 Mb/sec
Μέγιστος αριθμός συσκευών	32	64	32
Μήκος τμήματος	1900m	750m	500m
Μέγιστος αριθμός επαναληπτών	4	4	4
Ποσοστό λαθών	6 σε 10^9	1 σε 10^{12}	1 σε 10^{12}
Αναστολέας (jabber inhibit)	Ναι	Ναι	Ναι
Ανάκτηση (s/c recovery)		< 1ms	< 1ms

Πιν.2.8. Πίνακας με τα χαρακτηριστικά ταχυτήτων επικοινωνίας.

Κάθε συσκευή συνδέεται παράλληλα μεταξύ των δύο αγωγών. Το καλώδιο συνδέει την συσκευή στην κύρια γραμμή συνήθως μέσω ενός στοιχείου σύνδεσης (Tap Box). Για τοπική σύνδεση είναι ικανοποιητικό ένα καλώδιο μήκους 0.5 m για τη διακλάδωση (spur). Για τον εξοπλισμό στο επίπεδο μηχανής είναι πιο κατάλληλο να επεκταθεί η κύρια γραμμή σε κάθε συσκευή. Για τέτοιου τύπου συνδέσεις βρόχου συνίσταται καλώδιο με δύο συνεστραμμένα ζεύγη και μία ολική θωράκιση. Η επέκταση αυτή του κύριου καλωδίου ως τις συσκευές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο συνολικό μήκος του καλωδίου. Στο Σχ. 2.53 βλέπουμε ένα τμήμα του δικτύου για ταχύτητα 1 Mb/sec.



Σχ.2.53. Ένα τμήμα του δικτύου WorldFIP.

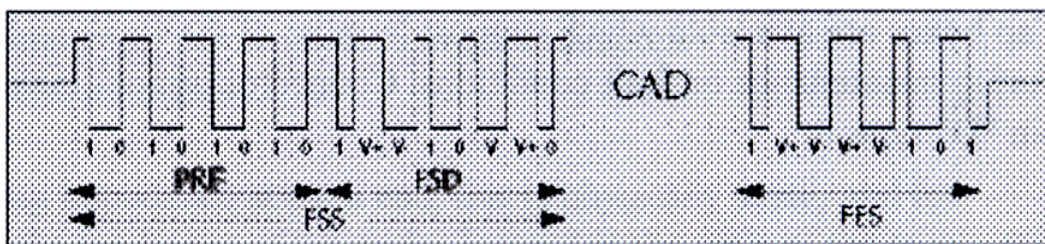
2.10.3 Μοντέλο παραγωγού/καταναλωτή

Κύριο ρόλο στην αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου του WorldFIP έχει το μοντέλο του παραγωγού/καταναλωτή. Το μοντέλο αυτό δίνει ντετερμινιστικές αποκρίσεις υψηλής ταχύτητας, επιτρέποντας τα δεδομένα που παράγονται από έναν κόμβο να παραλαμβάνονται ταυτόχρονα από οποιοδήποτε άλλον κόμβο ή και από όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου. Ο κόμβος που αποστέλλει τα δεδομένα δεν χρειάζεται να γνωρίζει ποιοι κόμβοι θα τα παραλάβουν. Η λειτουργία διατησίας του διαύλου ελέγχει τον κόμβο αποστολέα (producer), όπως ο διευθυντής μίας ορχήστρας, εξασφαλίζοντας έτσι τη μετάδοση δεδομένων σε γνωστά χρονικά διαστήματα. Η ακεραιότητα των δεδομένων διαπιστώνεται με σήματα κατάστασης τα οποία δείχνουν την “επικαιρότητα” και “ανανέωση” αυτών. Σε περίπτωση διακοπής δεν υπάρχει επαναμετάδοση αλλά απλά η επόμενη τιμή αντικαθιστά την προηγούμενη. Ο μηχανισμός αυτός είναι πολύ αποδοτικός για δεδομένα κρίσιμου χρόνου και επιτρέπει απλή δόμηση κατανεμημένης βάσης δεδομένων πραγματικού χρόνου.

2.10.4 Πακέτα δεδομένων του WorldFIP

Όλα τα πακέτα του δικτύου WorldFIP αποτελούνται από τρία τμήματα όπως φαίνεται στο Σχ. 2.54.

- Ακολουθία έναρξης πακέτου [Frame Start Sequence (FSS)]
- Πεδίο ελέγχου και δεδομένων [Control and Data field (CAD)]
- Ακολουθία λήξης πακέτου [Frame End Sequence (FES)]



Σχ.2.54. Πακέτο WorldFIP.

Η ακολουθία έναρξης πακέτου (FSS) περιέχει τα ακόλουθα δύο πεδία:

- Επικεφαλίδα (Preamble - PRE): Μία σειρά από 8 bits του "1" χρησιμοποιείται από τους δέκτες για να συγχρονισθούν με το ρολόι του πομπού.

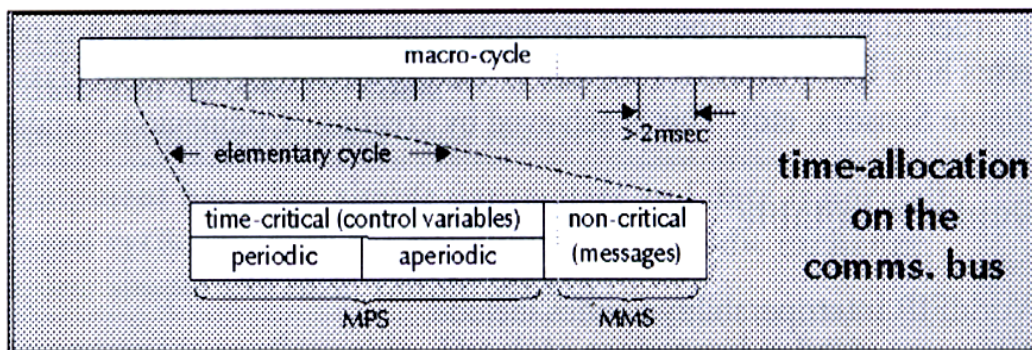
- Οριοθέτης πακέτου (Frame Start Delimiter-FSD): Αυτή η σειρά bits δείχνει στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων την αρχή της χρήσιμης πληροφορίας (του CAD πεδίου).

Το πεδίο ελέγχου και δεδομένων (Control and Data) περιέχει μόνο την λογική πληροφορία ("0" και "1") από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων. Το πεδίο ελέγχου και δεδομένων (CAD) έχει τρία τμήματα:

- Πεδίο ελέγχου: περιέχει πληροφορίες ελέγχου και διευθύνσεων τις οποίες χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο.
- Πεδίο δεδομένων: περιέχει τα δεδομένα του χρήστη.
- Πεδίο επαλήθευσης: περιέχει έναν 16 bit κώδικα CRC.

Το πεδίο της ακολουθίας λήξης πακέτου (FES) χρησιμοποιείται από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων για το τέλος του CAD πεδίου.

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει υπηρεσίες κρίσιμες (time critical) ή μη στο πεδίο του χρόνου. Οι κρίσιμες υπηρεσίες διευθύνονται μέσω της κατανεμημένης βάσης δεδομένων του WorldFIP και είναι για παράδειγμα μεταβλητές ελέγχου. Οι μη κρίσιμες λειτουργίες παρέχονται από υπηρεσίες δρομολόγησης (MMS- Manufacturing Message Specification) και είναι μηνύματα όπως αναφορές διάγνωσης. Οι κυκλικές μεταβλητές (cyclic variables) μεταδίδονται μέσα στο δίκτυο χρησιμοποιώντας περιοδικές υπηρεσίες. Ο ρυθμός επανάληψης μπορεί να είναι σταθερός (κάτω από 2 msec) ή μεταβλητός. Τέτοιες μεταβλητές έχουν πάντα προτεραιότητα και τυπικά χρησιμοποιούνται για μεταφορά δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε βρόχους ελέγχου μεγάλης ταχύτητας. Άλλες μεταβλητές οδηγούμενες από γεγονότα (event variables) στέλνονται μόνο μετά από αίτηση χρησιμοποιώντας μη περιοδικές υπηρεσίες, όπως ανταπόκριση σε αλλαγή κατάστασης (βλ. Σχ. 2.55).



Σχ.2.55. Κύκλος μετάδοσης δεδομένων.

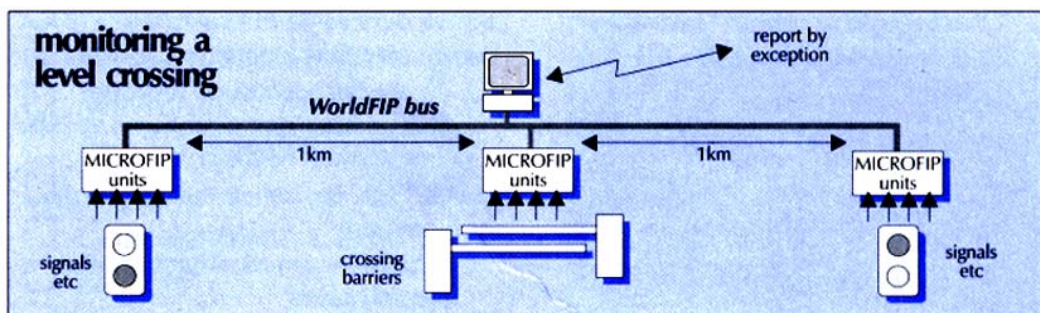
Ο χρόνος του δικτύου χωρίζεται σε κύκλους (macro-cycles), οι οποίοι συνήθως βασίζονται στον χρόνο ενημέρωσης της πιο αργής περιοδικής μεταβλητής του δικτύου. Αυτοί οι κύκλοι διαχωρίζονται περαιτέρω σε στοιχειώδεις κύκλους (elementary cycles) με ίδιο μήκος ο καθένας (min 2 msec).

Τα δεδομένα τοποθετούνται στους κύκλους με την ακόλουθη σειρά προτεραιότητας:

- Κυκλικές μεταβλητές (cyclic variables)
- Μεταβλητές γεγονότων (event variables)
- Μηνύματα (μη κρίσιμα στο χρόνο)

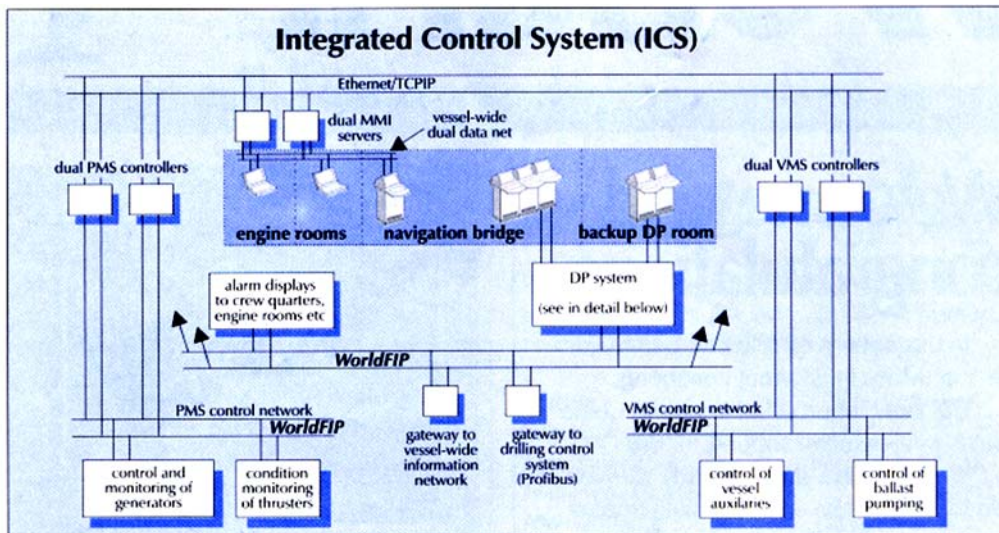
Οι κυκλικές μεταβλητές μεταδίδονται πάντα εγκαίρως ανεξάρτητα από άλλες μεταδόσεις. Μετά δρομολογούνται οι αιτήσεις (event request) και ακολουθούν τα μηνύματα. Όταν υπάρχει κίνηση στον δίαυλο τα μηνύματα μπαίνουν σε σειρά αναμονής.

Παρακάτω βλέπουμε μερικά παραδείγματα στα οποία εφαρμόζονται δίκτυα WorldFIP. Στο Σχ.2.56 φαίνεται το δίκτυο WorldFIP σε ισόπεδη διάβαση σιδηροδρομικής γραμμής. Μέσω του δικτύου επιβλέπεται η διάβαση για ύπαρξη λαθών που θα οδηγούσαν σε καθυστέρηση. Ένας υπολογιστής επεξεργάζεται τα δεδομένα που συλλέγει από τις δύο διαβάσεις και όταν ανακαλύψει λάθος, στέλνει αμέσως σήμανση στις διαβάσεις και στους υπεύθυνους συντήρησης των γραμμών.

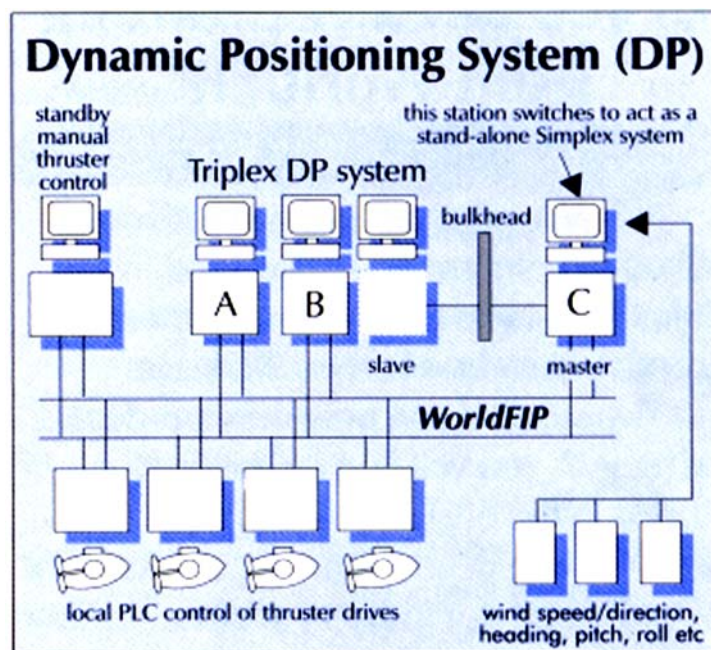


Σχ.2.56. Ελεγχόμενη διάβαση πεζών μέσω WorldFIP.

Στο Σχ. 2.57 βλέπουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου σε θαλάσσια γεώτρηση, όπου και εδώ χρησιμοποιείται το δίκτυο WorldFIP, ενώ στο Σχ. 2.58 βλέπουμε τμήμα του συστήματος για τον έλεγχο θέσης δηλαδή το δυναμικό σύστημα τοποθέτησης (Dynamic Positioning System-DP).



Σχ.2.57. Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου σε θαλάσσια γεώτρηση.



Σχ.2.58. Σύστημα ελέγχου τοποθέτησης.

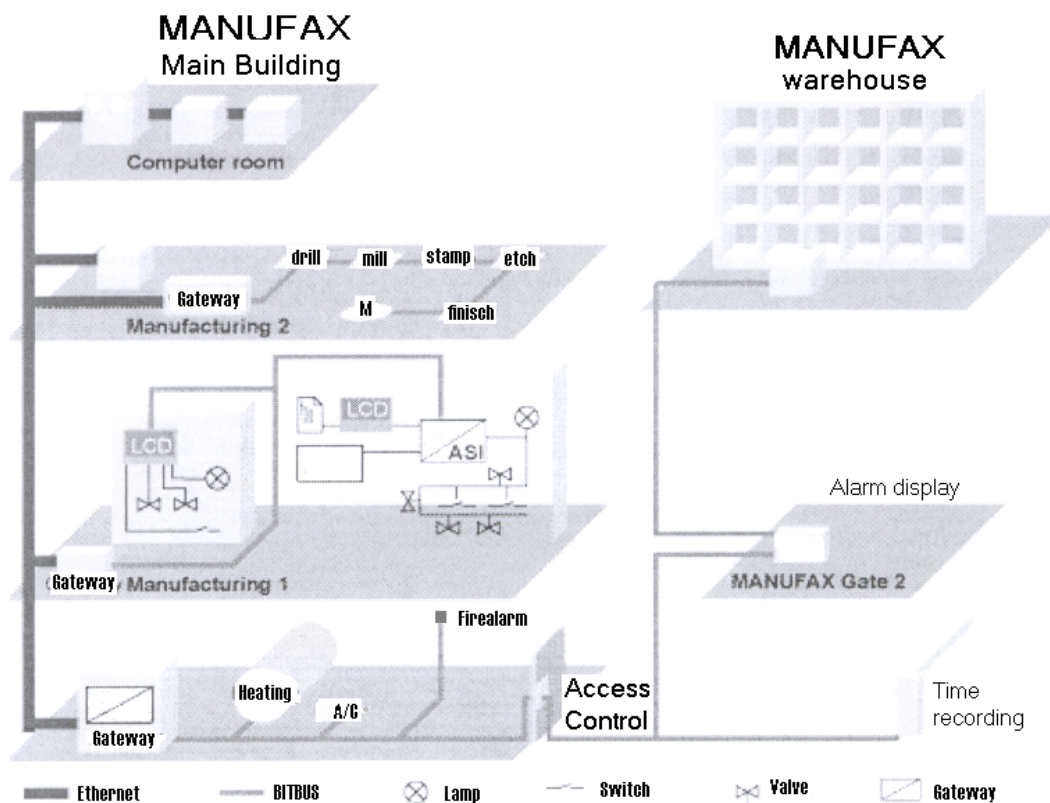
Συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου WorldFIP:

- Προέλευση:** από WorldFIP (γαλλικό προϊόν), 1988.
- Πρότυπο:** σύμφωνο με EN 50170 και IEC 1158-2.
- Τοπολογία:** διαύλου.

- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου και οπτικές ίνες.
- Μέγιστο μήκος:** έως 10 Km (με επαναλήπτες).
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 31.25 kbps, 1 και 2.5 Mbps, 66 Mbps (με οπτικές ίνες).
- Αριθμός χρηστών:** 256 κόμβοι.
- Μέθοδος προσπέλασης:** σημείο προς σημείο (peer to peer).
- Έλεγχος λαθών:** 16-bit κυκλικό κώδικα CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** απεριόριστο (συνήθως 128 bytes).

2.11 Δίκτυο BITBUS

Το δίκτυο BITBUS αναπτύχθηκε από την εταιρία Intel, περίπου το 1980, για να λύσει το πρόβλημα της σύνδεσης απομακρυσμένων I/O συσκευών σε ένα πολυ-δικτυακό σύστημα. Σήμερα είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα δίκτυα, όπως και πολλά άλλα, που υποστηρίζουν κατακεντρωμένο έλεγχο. Το δίκτυο αυτό είναι από το 1991 διεθνές πρότυπο σύμφωνα με το IEEE-1118 και βασίζεται σε κλασικές τεχνολογίες όπως RS-485 και SDLC (Synchronous Data Link Control). Είναι ένα απλό στην χρήση σύστημα επικοινωνίας με δομή κυρίου και εξαρτημένου σταθμού, όπου ένας κύριος σταθμός μπορεί να ανταλλάσσει πληροφορίες με άλλους 249 εξαρτημένους. Οι περισσότερες εφαρμογές ελέγχου σε μία βιομηχανία είναι οργανωμένες ιεραρχικά, κάτι που δεν είναι τίποτε άλλο από μία ταξινόμηση κυρίου και εξαρτημένων σταθμών.



Σχ.2.59. Ένα ιεραρχικό σύστημα δικτύου σε βιομηχανική εφαρμογή.

Το γεγονός ότι μόνο ένας κύριος σταθμός οργανώνει όλες τις αιτήσεις και τις λαμβανόμενες απαντήσεις από τους εξαρτημένους κόμβους, εξυπηρετεί στο να μην υφίστανται προβλήματα δισυμμετρίας. Ο κύριος κόμβος στέλνει αίτηση στον επόμενο εξαρτημένο σταθμό πριν ακόμη πάρει την απάντηση του προηγούμενου γεγονότος που επιφέρει οικονομία χρόνου. Ένας εξαρτημένος σταθμός δεν μπορεί να ξεκινήσει μία επικοινωνία παρά μόνο να απαντά σε αιτήσεις του κύριου σταθμού. Τα μηνύματα που μεταφέρονται είναι σύντομα και η ταχύτητα μετάδοσης μπορεί να φτάσει τα 375 Kbit/s. Σε ορισμένες εφαρμογές απαιτείται μετάδοση μέσω οπτικών ινών στις οποίες η ταχύτητα μετάδοσης φτάνει 1.5 Mbit/s σε απόσταση 1000 m χωρίς την παρεμβολή επαναληπτών. Μία επιπρόσθετη ταχύτητα μετάδοσης μέσω οπτικών ινών για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη απόδοση καθορίζεται αυτή των 3 Mbit/s.

Το δίκτυο BITBUS είναι εύκολο και γρήγορο στην εκμάθησή του. Οι κόμβοι του προγραμματίζονται με πρότυπα εργαλεία προγραμματισμού όπως C-Compilers, την IEC-1131 γλώσσα PLC, γλώσσα pascal ή μηχανής ανάλογα πάντα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούμε. Είναι αξιόπιστο δίκτυο ενώ χρησιμοποιεί για την ανίχνευση λαθών τον κυκλικό κώδικα CRC. Βρίσκει πολλές εφαρμογές, όχι μόνο σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και γενικά συστήματα με PLCs, αλλά και σε έλεγχο κτηρίων, σε συστήματα ασφαλείας, σε συστήματα ισχύος, σε σταθμούς στάθμευσης, σε μεγάλα εμπορικά κτίρια και σε πολλά άλλα. Παρά το γεγονός ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις, υπάρχουν και μερικές εφαρμογές στις οποίες θα ήταν καλύτερη κάποια άλλη επιλογή. Τέτοιες είναι οι εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από εξαρτημένο σε εξαρτημένο σταθμό ή σε εφαρμογές όπου υπάρχουν αποκλειστικά αισθητήρες και ενεργοποιητές οι οποίοι πρέπει να ενωθούν ξεχωριστά στο δίκτυο.

Στο Σχ. 2.59 βλέπουμε ένα ιεραρχικό σύστημα που συμπεριλαμβάνει και το δίκτυο BITBUS.

2.11.1 Δομή του μηνύματος BITBUS

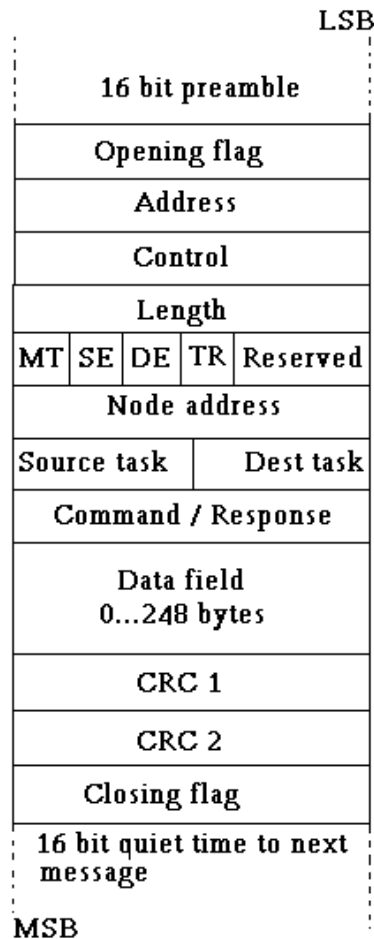
Η δομή ενός μηνύματος του δικτύου BITBUS είναι αυτή που φαίνεται στο Σχ. 2.60. Ο χρήστης είναι υπεύθυνος να βάλει στο μήνυμα BITBUS τις ακόλουθες πληροφορίες:

- MT (message type): το οποίο διαφοροποιεί τις αιτήσεις του κύριου σταθμού (MT=0) από τις απαντήσεις του εξαρτημένου σταθμού (MT=1).
- SE (source extension): υποδεικνύει ότι το μήνυμα δεν δημιουργείται από τον επεξεργαστή του δικτύου αλλά από τον επεξεργαστή που ελέγχει

αυτόν π.χ ο επεξεργαστής ενός προσωπικού υπολογιστή που αποτελεί τον κύριο σταθμό.

- DE (destination extension): δρομολογεί το μήνυμα σε έναν επεξεργαστή του κόμβου παραλήπτη.
- TR (transmit/receive flag): “σημαία” μετάδοσης/παραλαβής.

Τα υπόλοιπα πεδία συμπληρώνονται ανάλογα μέχρι και το πεδίο δεδομένων. Το πεδίο δεδομένων έχει μεταβλητό μήκος μεταξύ 0 και 248 bytes. Για όλες τις τυπικές εφαρμογές ο χρήστης δεν χρειάζεται να γνωρίζει περισσότερα για τα εσωτερικά θέματα του BITBUS. Ο χρήστης πρέπει απλά να συμπληρώσει έναν καταχωρητή με τις πληροφορίες του μηνύματος και να τις παραδώσει στην αντίστοιχη λειτουργία.

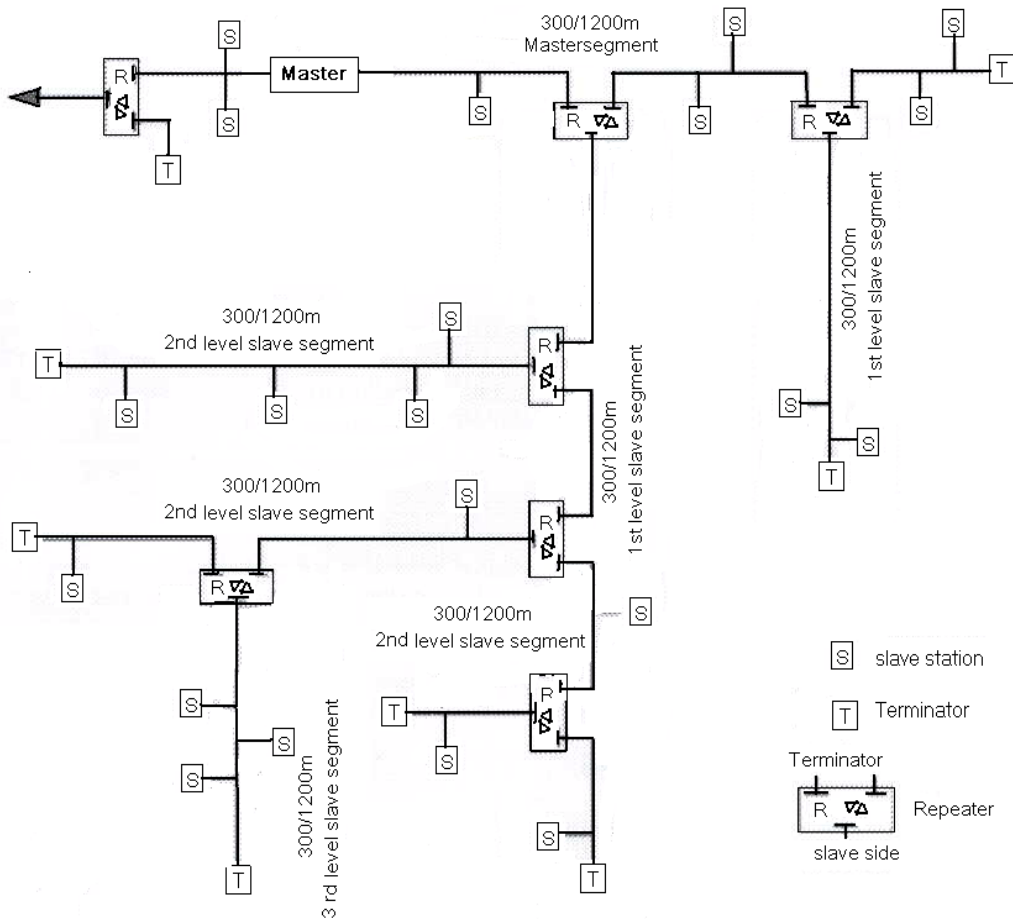


Σχ.2.60. Δομή μηνύματος δικτύου BITBUS.

2.11.2 Οι Επαναλήπτες και η λειτουργία τους

Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο BITBUS πρέπει να συνδέονται κατευθείαν στην γραμμή του δικτύου. Σε διαφορετική περίπτωση όπως και σε αυτήν της επέκτασης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται επαναλήπτες. Ο επαναλήπτης είναι ένας ενισχυτής που συνήθως χρησιμοποιεί ένα τυπικό δέκτη και πομπό του RS485. Αποτελεί μέρος του δικτύου όπως κάθε άλλος κόμβος του δικτύου και έχει μία τρίτη σύνδεση από την πλευρά της ενίσχυσης που καλείται πλευρά εξαρτημένου σταθμού (slave side). Ως ενισχυτής δεν μπορεί να δρομολογεί δεδομένα προς και τις δύο κατευθύνσεις την ίδια χρονική στιγμή.

Το δίκτυο BITBUS επιτρέπει δύο επαναλήπτες σε γραμμή μεταξύ του κυρίου και οποιουδήποτε εξαρτημένου σταθμού (αλλά έως 28 με την πλευρά του κυρίου σε ένα τμήμα) σε ταχύτητες των 375 Kbit/s. Οι επαναλήπτες με τον τρόπο αυτό μπορούν να δημιουργήσουν παρακλάδια στην κύρια γραμμή (Βλ. Σχ. 2.61).



Σχ.2.61. Επέκταση ενός δικτύου BITBUS με την βοήθεια επαναληπτών.

2.11.3 Επίπεδο εφαρμογής (επίπεδο 7)

Ένα από τα πλεονεκτήματα του δικτύου BITBUS είναι ότι περιλαμβάνει στο επίπεδο εφαρμογής τις εντολές απομακρυσμένης πρόσβασης και ελέγχου RAC (Remote Access & Control). Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 1118 οι εντολές αυτές είναι γνωστές ως γενικές υπηρεσίες δικτύου GBS (Generic Bus Services). Είναι ένα σύνολο εντολών για την εκτέλεση γενικού σκοπού λειτουργιών σε ένα εξαρτημένο κόμβο. Δεν παρέχονται μόνο εντολές ανάγνωσης και εγγραφής απομακρυσμένων εισόδων/εξόδων, αλλά και ανάγνωση και εγγραφής περιοχών μνήμης. Με το σύνολο των εντολών RAC/GBS ελέγχονται και επιβλέπονται οι ενέργειες των εξαρτημένων σταθμών.

Παρακάτω φαίνονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του δικτύου BITBUS:

-Προέλευση: από την εταιρία Intel

-Πρότυπο: σύμφωνο με το IEEE 1118

-Τοπολογία: διαύλου, αστέρα.

-Μέσο μετάδοσης: συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου και οπτικές ίνες.

-Μέγιστο μήκος: 1.2 Km χωρίς επαναλήπτη, 13.2 Km με επαναλήπτη

-Ταχύτητα μετάδοσης: 375 Kbit/s για 300 m, 62,5 Kbit/s για 1200 m και 1.5 Mbit/s για τουλάχιστον 1000 m με οπτικές ίνες .

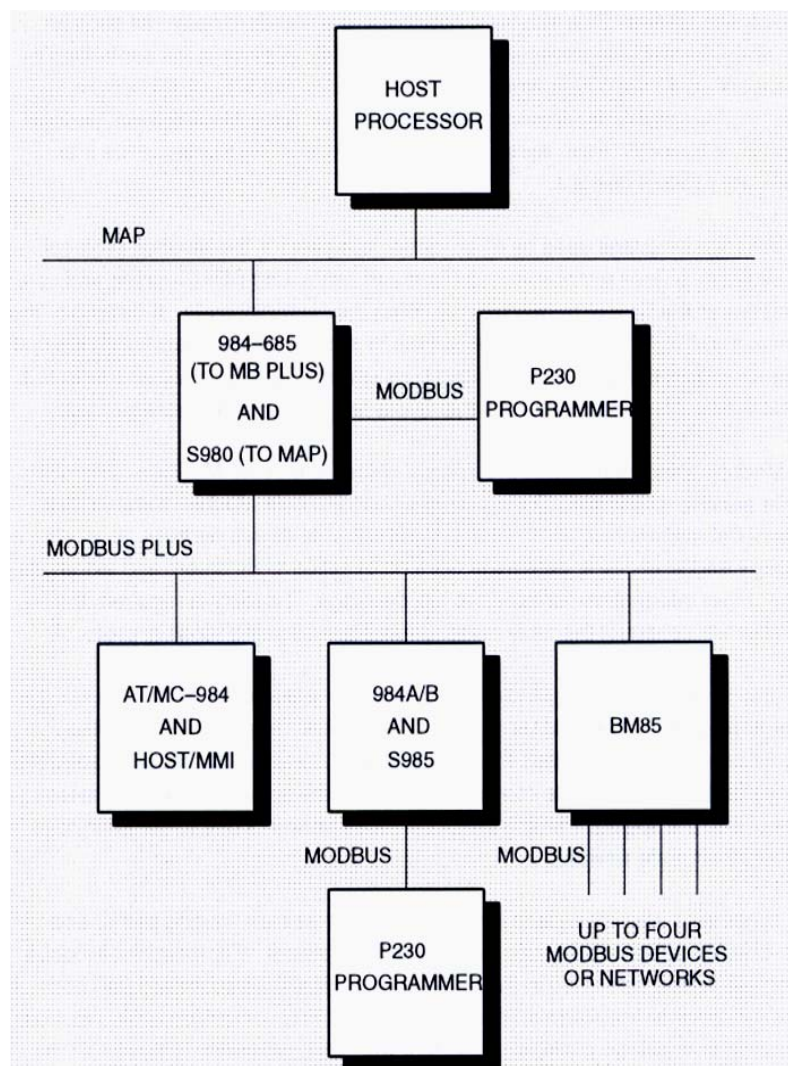
-Αριθμός χρηστών: 28 κόμβοι χωρίς και 250 κόμβοι με επαναλήπτη

-Μέθοδος προσπέλασης: κύριος/ εξαρτημένος σταθμός

-Μέγιστο μήκος δεδομένων: από 0 έως 248 bytes.

2.12 Δίκτυο Modbus

Η εταιρεία Modicon χρησιμοποιεί διάφορα δίκτυα για την επικοινωνία μεταξύ προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών που η ίδια κατασκευάζει, καθώς και για την επικοινωνία αυτών με διάφορες άλλες συσκευές. Υποστηρίζει τα δίκτυα Modbus και το Modbus Plus όπως επίσης και τα πρότυπα δίκτυα MAP και Ethernet. Μία συνύπαρξη αυτών φαίνεται στο Σχ. 2.62. Όλοι οι ελεγκτές της



Σχ.2.62. Μία επικοινωνιακή αρχιτεκτονική με δίκτυα MAP, Modbus και Modbus Plus.

εταιρείας Modicon χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο Modbus. Το πρωτόκολλο αυτό καθορίζει μία δομή μηνύματος η οποία αναγνωρίζεται και χρησιμοποιείται από τους ελεγκτές ανεξάρτητα από τον τύπο του δικτύου μέσω του οποίου επικοινωνούν. Περιγράφει τη διαδικασία με την οποία ένας ελεγκτής ζητά πρόσβαση σε μία άλλη συσκευή, τον τρόπο με τον οποίο θα ανταποκριθεί σε αιτήσεις από άλλες συσκευές και τον τρόπο με τον οποίο ανιχνεύονται και αναφέρονται τα σφάλματα. Ορίζει μία κοινή φόρμα για τη μορφή και το περιεχόμενο των μηνυμάτων. Σε περίπτωση που το πρωτόκολλο Modbus χρησιμοποιείται από άλλο δίκτυο, τότε τα μηνύματα Modbus ενσωματώνονται στη δομή του πλαισίου ή του πακέτου του άλλου δικτύου.

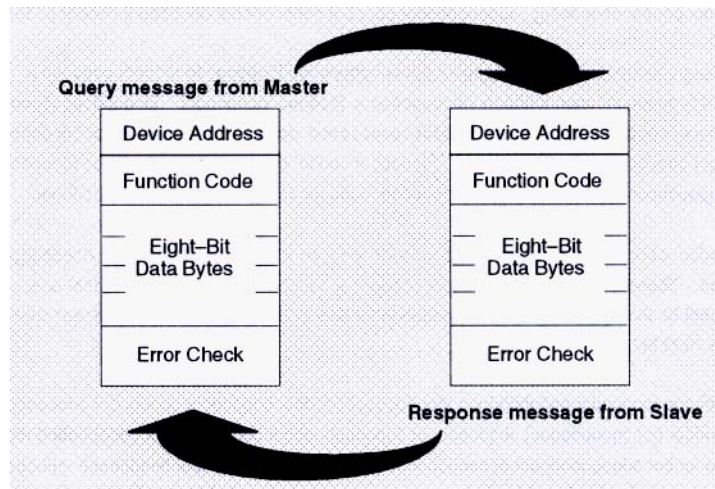
2.12.1 Μετάδοση μέσω δικτύου Modbus

Οι προγραμματιζόμενοι ελεγκτές στο δίκτυο Modbus επικοινωνούν χρησιμοποιώντας την τεχνική του κυρίου και εξαρτημένου σταθμού, όπου μόνο μία συσκευή (ο κύριος σταθμός) μπορεί να ξεκινήσει μία μετάδοση δεδομένων. Οι άλλες συσκευές (εξαρτημένοι σταθμοί) απαντούν παρέχοντας τα ζητούμενα δεδομένα στον κύριο σταθμό ή εκτελώντας την ενέργεια που τους ζητείται. Οι κύριοι σταθμοί είναι συνήθως κεντρικοί επεξεργαστές και συσκευές προγραμματισμού ενώ οι εξαρτημένοι σταθμοί είναι προγραμματιζόμενοι ελεγκτές. Οι αιτήσεις από τον κύριο σταθμό μπορούν να απευθύνονται προς μία συγκεκριμένη συσκευή ή να είναι ευρείας εκπομπής. Οι εξαρτημένοι σταθμοί απαντούν με αποστολή μηνύματος μόνο στις αιτήσεις που έχουν καθορισμένη διεύθυνση ενώ στην περίπτωση ευρείας εκπομπής δεν απαντούν καθόλου.

Το πρωτόκολλο Modbus προσδιορίζει τη δομή του μηνύματος αίτησης του κυρίου σταθμού, τοποθετώντας σε αυτό τη διεύθυνση της συσκευής προορισμού, έναν κωδικό λειτουργίας που καθορίζει την ζητούμενη ενέργεια, δεδομένα προς αποστολή και ένα πεδίο ελέγχου λαθών. Το μήνυμα απάντησης του εξαρτημένου σταθμού έχει την ίδια δομή. Σε περίπτωση προβλήματος κατά τη λήψη ενός μηνύματος ή σε περίπτωση που ο εξαρτημένος σταθμός δεν μπορεί να εκτελέσει την ζητούμενη ενέργεια, τότε ο εξαρτημένος σταθμός στέλνει ως απόκριση ένα μήνυμα που δηλώνει το λάθος.

Μερικοί ελεγκτές της Modicon επικοινωνούν μέσω του δικτύου Modbus Plus ή του MAP με τη βοήθεια ενσωματωμένων “προσαρμογών” δικτύου. Όταν η μετάδοση γίνεται σε άλλου είδους δίκτυο, τότε χρησιμοποιείται τεχνική σύνδεσης σημείο-προς-σημείο, με την οποία κάθε ελεγκτής μπορεί να ξεκινήσει επικοινωνία με τους άλλους ελεγκτές. Έτσι, ένας ελεγκτής μπορεί να λειτουργήσει σε άλλες μεταδόσεις ως κύριος και σε άλλες ως εξαρτημένος σταθμός. Ακόμη και αν η μέθοδος επικοινωνίας του δικτύου είναι σημείο-προς-σημείο το πρωτόκολλο Modbus εφαρμόζει στο επίπεδο μηνύματος την αρχή του

κυρίου/εξαρτημένου σταθμού. Στο Σχ.2.63 φαίνεται ο κύκλος κυρίου/εξαρτημένου σταθμού.



Σχ.2.63. Κύκλος αίτησης – απάντησης κυρίου – εξαρτημένου σταθμού αντίστοιχα.

Η επικοινωνία μεταξύ δύο ελεγκτών σε ένα δίκτυο Modbus μπορεί να γίνει με δύο τρόπους μετάδοσης, την ASCII (American Standard Code for Information Interchange) και την RTU (Remote Terminal Unit). Ο χρήστης επιλέγει την επιθυμητή μετάδοση μαζί με τις υπόλοιπες παραμέτρους της σειριακής επικοινωνίας. Στην μετάδοση ASCII κάθε byte των 8 bit σε ένα μήνυμα στέλνεται ως 2 χαρακτήρες ASCII. Στην RTU μετάδοση κάθε byte των 8 bit σε ένα μήνυμα περιέχει δύο δεκαεξαδικούς χαρακτήρες των 4 bit. Σε κάθε μία από τις μεθόδους μετάδοσης η συσκευή που μεταδίδει τοποθετεί το μήνυμα μέσα σε ένα πλαίσιο του οποίου τα άκρα είναι γνωστά. Το πλεονέκτημα στην ASCII μέθοδο είναι ότι επιτρέπει την εμφάνιση χρονικών παύσεων μεταξύ των χαρακτήρων ίσα με ένα δευτερόλεπτο χωρίς την εμφάνιση λάθους. Το πλεονέκτημα της RTU είναι ότι η μεγάλη πυκνότητα χαρακτήρων επιτρέπει αποδοτικότερη μετάδοση δεδομένων (throughput) από την ASCII μέθοδο για την ίδια ταχύτητα μετάδοσης. Από τα σχήματα 2.64 και 2.65, πλαίσιο ASCII και RTU αντίστοιχα, βλέπουμε ότι

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	LRC CHECK	END
1 CHAR :	2 CHARS	2 CHARS	N CHARS	2 CHARS	2 CHARS CRLF

Σχ.2.64. Πλαίσιο μηνύματος ASCII.

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC CHECK	END
T1-T2-T3-T4	8 BITS	8 BITS	NX8 BITS	16 BITS	T1-T2-T3-T4

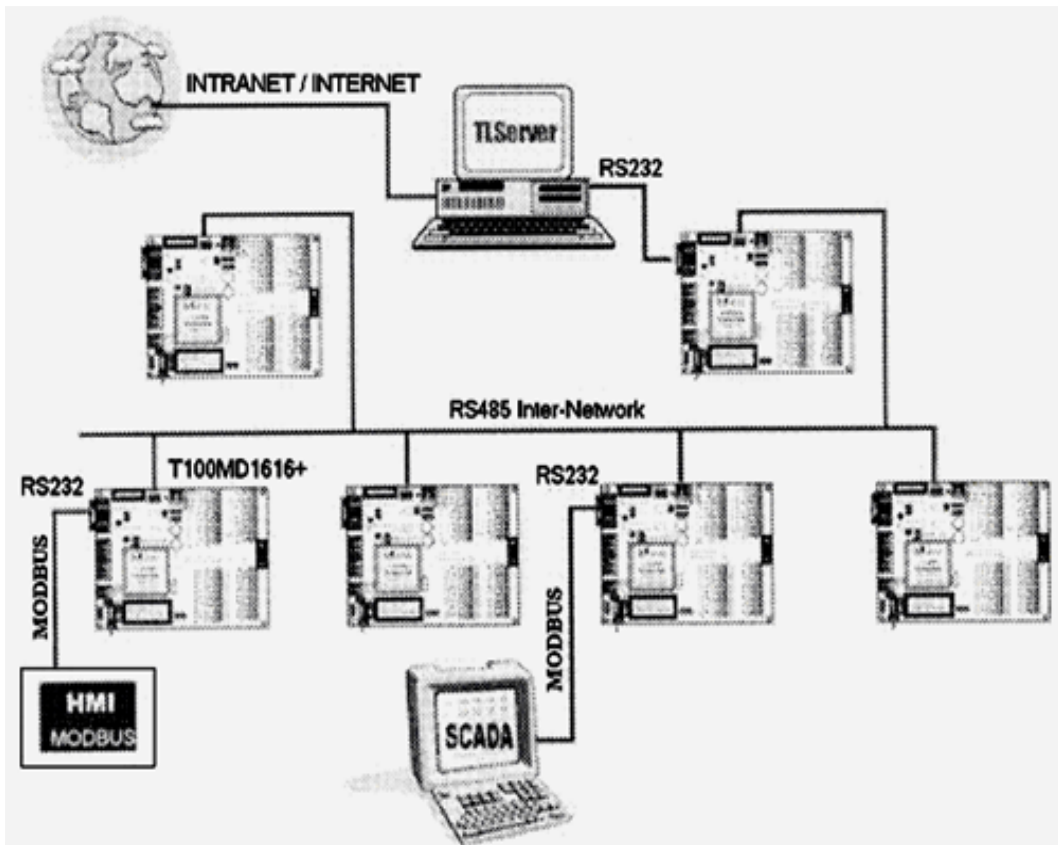
Σχ.2.65. Πλαίσιο μηνύματος RTU.

διαφέρει και το πεδίο ελέγχου λαθών. Η μέθοδος ASCII χρησιμοποιεί τον κυκλικό έλεγχο CRC (Cyclical Redundancy Check) ενώ η RTU τον διαμήκη έλεγχο LRC (Longitudinal Redundancy Check). Επίσης, διαφέρει η έναρξη και η λήξη των δύο μεθόδων. Στην ASCII μετάδοση τα μηνύματα αρχίζουν με το χαρακτήρα άνω και κάτω τελεία (:) και τελειώνουν με ένα διπλό χαρακτήρα επιστροφής-νέας γραμμής CRLF (Carriage Return- Line Feed). Στην RTU μετάδοση η αρχή και το τέλος των μηνυμάτων περιέχουν ένα βουβό διάστημα αντίστοιχου χρόνου τουλάχιστον 3.5 χαρακτήρων (στο Σχ. 2.65 δείχνονται ως T1-T2- T3-T4).

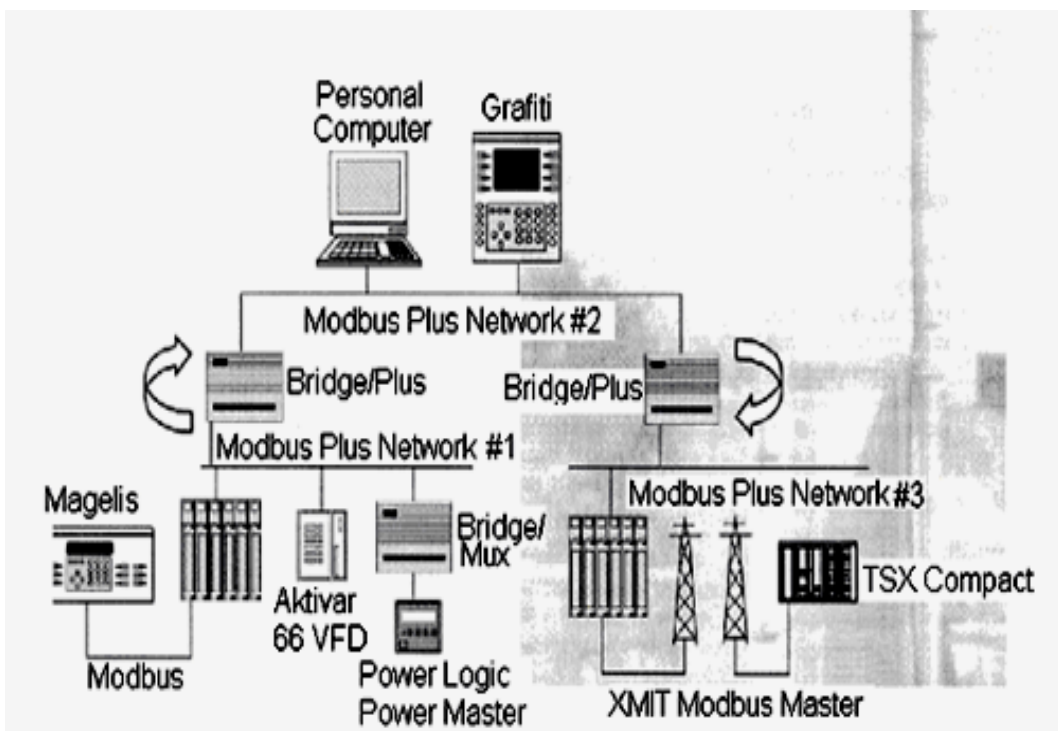
2.12.2 Διαφορές μεταξύ Modbus και Modbus Plus

Το Modbus Plus πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι σχεδιασμένο (όπως και το Modbus) από την εταιρία Modicon (ομάδα Schneider). Σε αντίθεση με το Modbus, το Modbus Plus είναι αποκλειστικής εκμετάλλευσης και για τον λόγο αυτό απαιτείται άδεια χρήσης από την ομάδα Schneider. Το Modbus Plus βασίζεται στο πρωτόκολλο του Modbus αλλά είναι πιο ισχυρό και αποτελεσματικό. Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο κυρίου-εξαρτημένου σταθμού που έχει γίνει πρότυπο σε πολλές βιομηχανίες. Οι εφαρμογές του ποικίλουν από αργά συστήματα SCADA μέχρι υψηλής ταχύτητας RS-485 διασυνδέσεις. Πλεονεκτήματά του είναι η εύκολη εγκατάσταση και ο μεγάλος αριθμός φυσικών μέσων-επιπέδων στα οποία μπορεί να λειτουργήσει. Μειονέκτημά του είναι η χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης. Αντίθετα, το Modbus Plus είναι ένα ταχύτερο σημείο-προς- σημείο δίκτυο, με πέρασμα κουπονιού και ταχύτητα μετάδοσης 1 Mbps. Για την εγκατάστασή του απαιτείται άδεια χρήσης και ένα σύνολο ολοκληρωμένων κυκλωμάτων της εταιρείας Modicon.

Στα σχήματα 2.66 και 2.67 φαίνονται εφαρμογές των δικτύων Modbus και Modbus Plus. Στο Σχ. 2.66 βλέπουμε ένα σύστημα δικτύων Modbus, RS485 και διασυνδετικών T100MD1616+. Στο Σχ. 2.67 φαίνεται ένας συνδυασμός της προσαρμοστικότητας του Modbus και της αποδοτικότητας του Modbus Plus για επίλυση προβλημάτων δικτύωσης σε βιομηχανίες.



Σχ.2.66. Δίκτυο Modbus με συνδέσεις RS232 και T100MD1616+.



Σχ.2.67. Συνεργασία δικτύου Modbus με Modbus Plus.

Τα χαρακτηριστικά του δικτύου Modbus είναι συνοπτικά τα εξής:

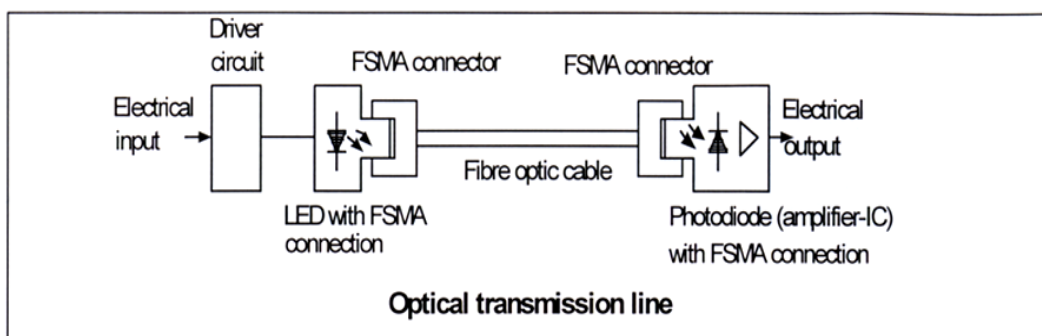
- Προέλευση:** από την εταιρεία AEG και Modicon το 1970.
- Πρότυπο:** το επίπεδο 7 σύμφωνα με το πρότυπο EN 1434-3 και το επίπεδο 2 με το IEC 870-5.
- Τοπολογία:** γραμμής, αστέρα, δενδρική.
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου.
- Μέγιστο μήκος:** 350 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 300 bps-38.4 Kbps.
- Αριθμός χρηστών:** 250 κόμβοι ανά τμήμα.
- Μέθοδος προσπέλασης:** κυρίου/εξαρτημένου σταθμού.
- Έλεγχος λαθών:** CRC ή LRC
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 0-254 bytes.

Τα χαρακτηριστικά του Modbus plus:

- Προέλευση:** από την εταιρεία AEG Modicon το 1980.
- Πρότυπο:** κανένα.
- Τοπολογία:** γραμμής.
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου.
- Μέγιστο μήκος:** 500 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 1 Mbps.
- Αριθμός χρηστών:** 32, με μέγιστο 64 ανά τμήμα με δυνατότητα γεφύρωσης.
- Μέθοδος προσπέλασης:** με πέρασμα κουπονιού.
- Έλεγχος λαθών:** 16 bit κυκλικό κώδικα CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 256 byte δεδομένων + επικεφαλίδα.

2.13 Δίκτυο SERCOS

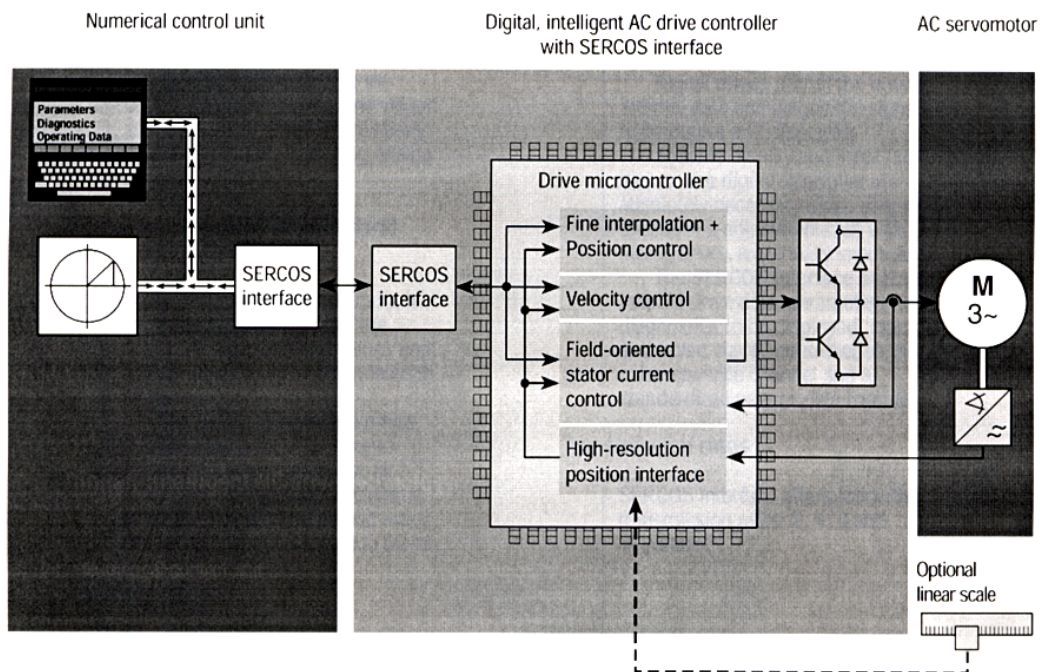
Το δίκτυο SERCOS προήλθε από τη βόρεια Αμερική ενώ τα αρχικά του προέρχονται από τις λέξεις SERIAL Real-time COMMUNICATION SYSTEM που σημαίνουν “σύστημα σειριακής επικοινωνίας πραγματικού χρόνου”. Η πρώτη εφαρμογή του έγινε σε μηχανή πακεταρίσματος το 1991 και από τότε επεκτάθηκε σε όλο τον κόσμο. Το μέσο μετάδοσης σε ένα σύστημα SERCOS είναι οι οπτικές ίνες (Βλ. Σχ. 2.68), οι οποίες προσφέρουν υψηλή απόδοση, μέγιστη ακρίβεια και ταχύτητα ενώ ελαχιστοποιούν το κόστος του εξοπλισμού. Το ψηφιακό διασυνδεδετικό SERCOS έχει γίνει διεθνές πρότυπο διασύνδεσης, για ‘οδηγούς’ σε αριθμητικά ελεγχόμενες μηχανές και συγκεκριμένα είναι σύμφωνο με τα πρότυπα IEC 61491 και EN 61491. Για να λειτουργεί άψογα μία εγκατάσταση, το ψηφιακό διασυνδεδετικό σύστημα δεν πρέπει μόνο να αντιμετωπίζει τις λειτουργικές απαιτήσεις των διαφόρων εφαρμογών, αλλά πρέπει επίσης να εξασφαλίζει ανοιχτή, τυποποιημένη και χωρίς προβλήματα λειτουργία μεταξύ ελεγκτών και ‘οδηγών’ διαφόρων κατασκευαστών.



Σχ.2.68. Γραμμή επικοινωνίας οπτικών ινών.

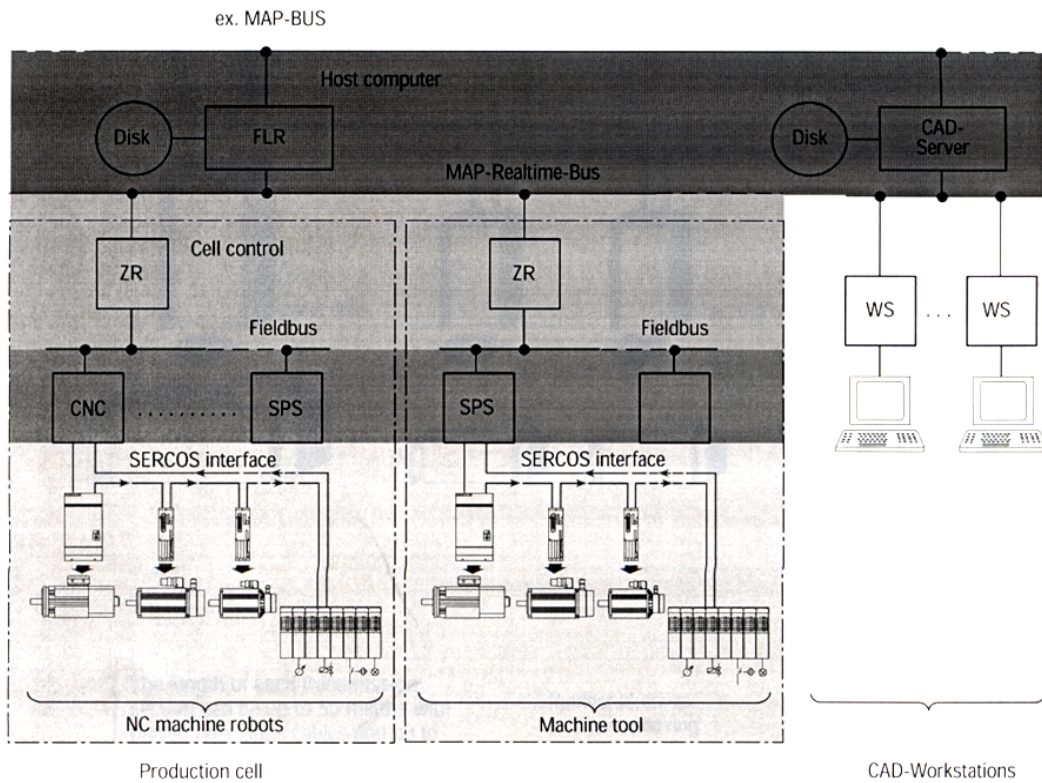
Στο Σχ. 2.69 φαίνεται μία ψηφιακή εφαρμογή αριθμητικού ελέγχου με μικροϋπολογιστή που χρησιμοποιεί ως μέσο διασύνδεσης τις οπτικές ίνες SERCOS. Ο κύκλος στο σχήμα δείχνει τον τοπολογικό έλεγχο, με τον οποίο

επιτυγχάνεται ο αριθμητικός έλεγχος των αξόνων της μηχανής. Οι μεταβλητές για τον έλεγχο θέσης υπολογίζονται κυκλικά για κάθε άξονα της μηχανής σε τακτά και πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα όπως επίσης και οι ψηφιακοί οδηγοί (Drivers) λειτουργούν κυκλικά. Σε κάθε κύκλο του ελεγκτή, όλες οι μεταβλητές όλων των οδηγών πρέπει να ενημερώνονται. Έτσι, το διασυνδεδετικό SERCOS προσφέρει κυκλική ανταλλαγή των μεταβλητών για όλους τους οδηγούς με επιλέξιμο κυκλικό χρόνο μεταξύ 62μs, 125μs, 250μs και κάθε ακέραιο πολλαπλάσιο από 250 μs έως 65 ms. Η ψηφιακή διασύνδεση πρέπει να προσφέρει συγχρονισμό μεταξύ του ελεγκτή και των ψηφιακών οδηγών. Ο συγχρονισμός αυτός πρέπει να έχει ακρίβεια μs, ώστε να επιτυγχάνεται ακριβής συντονισμός των “οδηγών” που σημαίνει ότι οι τρέχουσες τιμές πρέπει να μετρούνται την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή σε όλους τους “οδηγούς”. Αυτόν τον επιθυμητό συγχρονισμό τον παρέχει το διασυνδεδετικό SERCOS. Οι ταχύτητες μετάδοσης που προσφέρει είναι 2, 4, 8 και 16 Mbit/s.



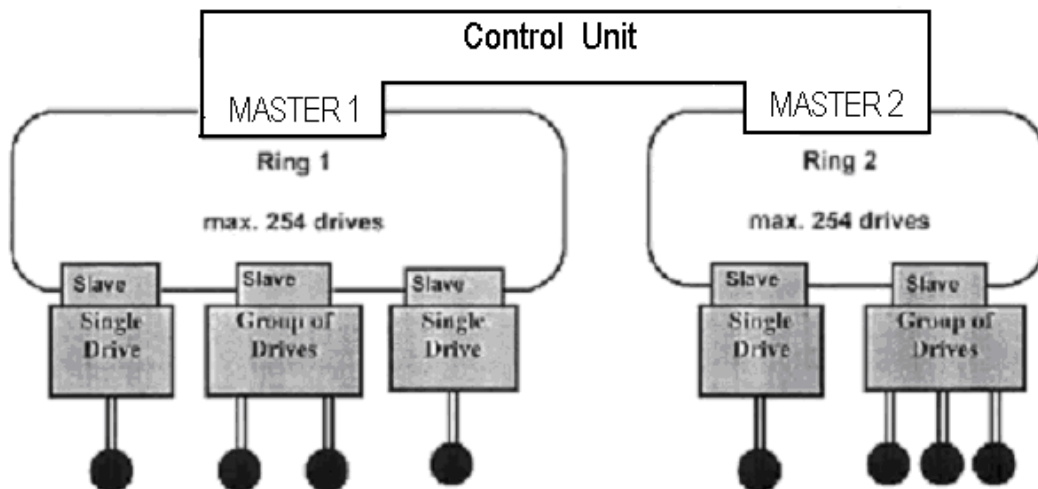
Σχ.2.69. Ψηφιακή λογική της τεχνολογίας των αριθμητικών ελεγκτών με διασυνδεδετικό SERCOS.

Όλες οι εργασίες στο διασυνδεδετικό SERCOS γίνονται με την χρήση οπτικών ινών δομής δακτυλίου (Βλ. Σχ. 2.70). Οι οπτικές ίνες παρέχουν υψηλή αντοχή σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές κάτι που είναι συνηθισμένο στο βιομηχανικό περιβάλλον. Η δομή δακτυλίου έχει τον μικρότερο αριθμό καλωδίων οπτικών ινών και απαιτεί απλούς διακλαδωτές τύπου T. Το μήκος κάθε τμήματος



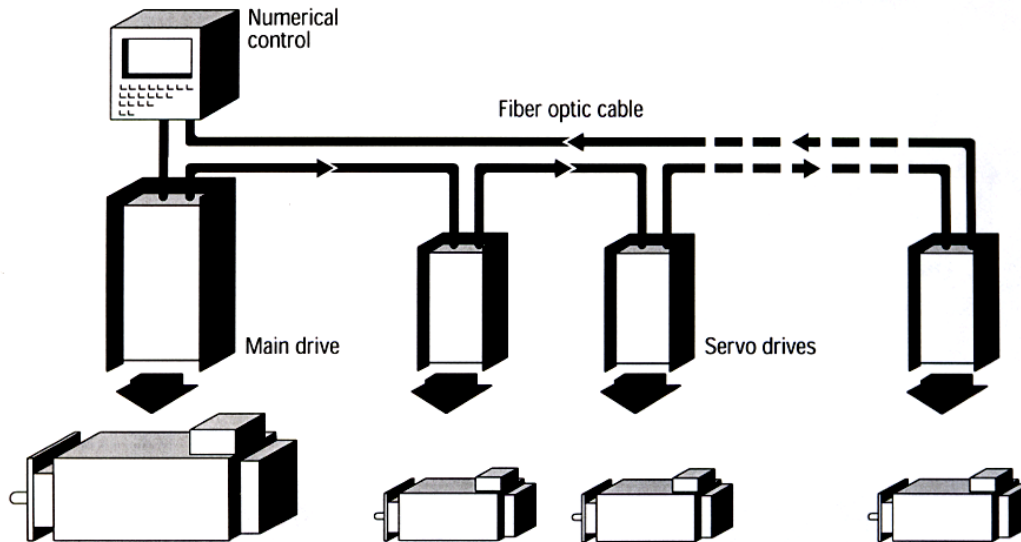
Σχ.2.70. Διαδικτύωση με οπτικές ίνες SERCOS δομής δακτυλίου σε αυτοματοποιημένη βιομηχανία.

μετάδοση με καλώδια πλαστικών οπτικών ινών φτάνει τα 50 m, ενώ με γυάλινες οπτικές ίνες τα 250 m. Ο μέγιστος αριθμός κόμβων ανά δακτύλιο οπτικών ινών είναι 254 (Βλ. Σχ. 2.71). Ο μέγιστος αριθμός “οδηγών” που μπορούν να είναι σε



Σχ.2.71. Τοπολογία δακτυλίου

λειτουργία ανά καλώδιο οπτικών ινών, εξαρτάται από τον απαιτούμενο χρόνο κύκλου επικοινωνίας, δηλαδή το επιλεγμένο σύνολο των λειτουργικών δεδομένων και της ταχύτητας μετάδοσης αυτών. Στο Σχ. 2.72 φαίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής οπτικών ινών.



Σχ.2.72. Ψηφιακοί οδηγοί AC με διασυνδεδετικό SERCOS.

2.13.1 Κυκλική επικοινωνία

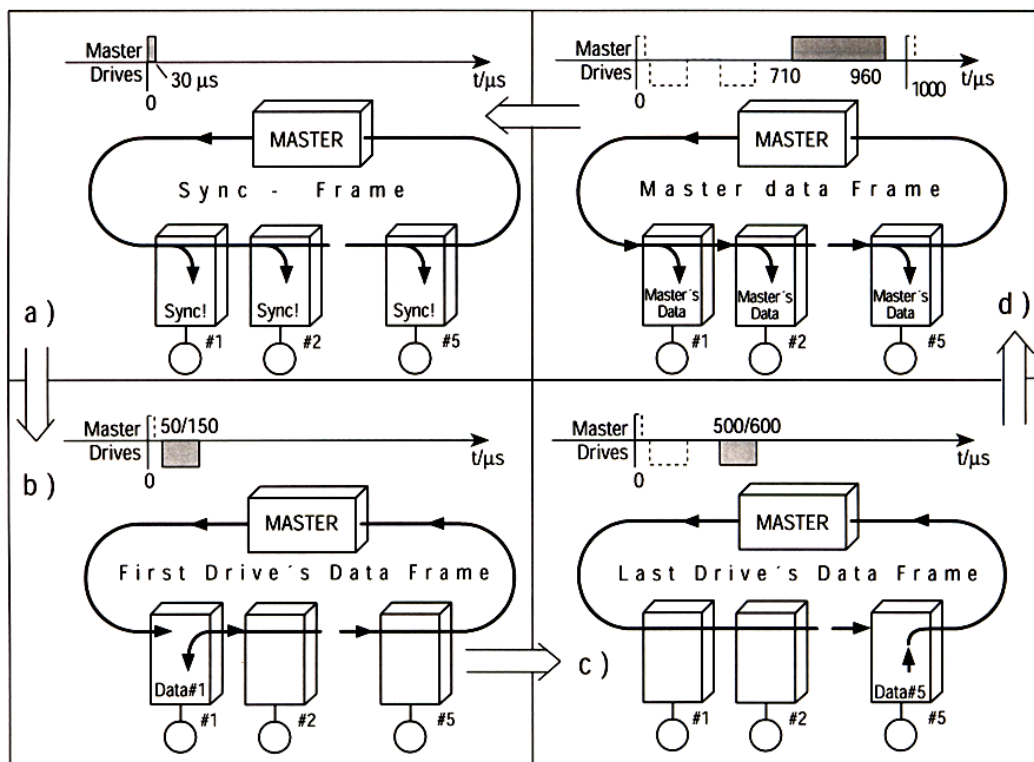
Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, η επικοινωνία γίνεται κυκλικά με τη μέθοδο κυρίου/ εξαρτημένου σταθμού σύμφωνα με το χρόνο κύκλου επικοινωνίας που έχει επιλεγεί αρχικά. Αυτός ο χρόνος μπορεί να είναι $62\mu\text{s}$, $125\mu\text{s}$, $250\mu\text{s}$ ή οποιοδήποτε ακέραιο πολλαπλάσιο του $250\mu\text{s}$ και έως 65ms . Ο χρόνος κύκλου επικοινωνίας καθορίζεται με σκοπό την επίτευξη του συγχρονισμού της λειτουργίας του χρόνου κύκλου του ελεγκτή και των οδηγών. Σε ένα σύστημα SERCOS, κύριος σταθμός επικοινωνίας είναι πάντα ο αριθμητικός ελεγκτής όπως φαίνεται στο Σχ. 2.73.

Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω τριών διαφορετικού τύπου μηνυμάτων:

- Το μήνυμα συγχρονισμού του κυρίου σταθμού, το οποίο λαμβάνουν συγχρόνως όλοι οι “οδηγοί” και το οποίο χρησιμοποιείται για συγχρονισμό όλων των σχετιζόμενων με το χρόνο ενεργειών στον αριθμητικό ελεγκτή και στους “οδηγούς”.
- Το μήνυμα δεδομένων του κυρίου σταθμού, το οποίο όπως και το μήνυμα συγχρονισμού, λαμβάνεται ταυτόχρονα από όλους τους

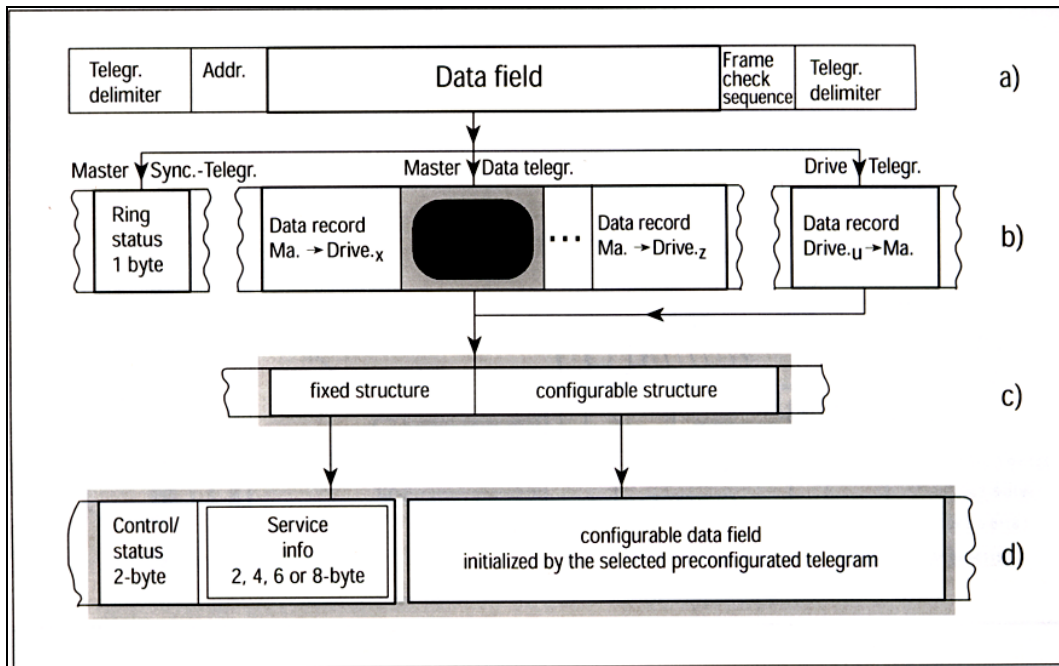
“οδηγούς”. Περιλαμβάνει τα κυκλικά δεδομένα και τα δεδομένα υπηρεσιών για όλους τους “οδηγούς” του δακτυλίου.

- Το μήνυμα των “οδηγών”, το οποίο στέλνεται διαδοχικά από κάθε ένα “οδηγό” σε διαθέσιμα και καταναμημένα κενά χρόνου .



Σχ.2.73. Κυκλική επικοινωνία σύμφωνα με τη μέθοδο κυρίου/εξαρτημένου σταθμού.

Για την επικοινωνία χρησιμοποιείται ο κώδικας NRZI. Σε κάθε επικοινωνιακό κύκλο, τα δεδομένα πραγματικού χρόνου μεταδίδονται στο καλούμενο διαμορφώσιμο πεδίο δεδομένων (data field) όπως φαίνεται και στη δομή του μηνύματος στο Σχ.2.74. Κατά τη φάση της αρχικοποίησης, το σύστημα αναγνώρισης καθορίζει ποια δεδομένα πραγματικού χρόνου μεταδίδονται. Εκτός από αριθμητικά δεδομένα όπως τιμές εντολών και κατάστασης, αναγνωρίζει και λίστες από bits με οδηγίες εισόδου/εξόδου. Μηνύματα προτεραιότητας που περιέχουν ειδικά δεδομένα έχουν καθοριστεί για τις τρεις βασικές καταστάσεις λειτουργίας, δηλαδή έλεγχο ροπής, ταχύτητας και θέσης, όπως επίσης και συνδυασμό του ελέγχου ταχύτητας/θέσης. Η δυνατότητα διαμόρφωσης των δεδομένων πραγματικού χρόνου επιτρέπει την ανεξάρτητη χρήση οποιουδήποτε τρόπου λειτουργίας.

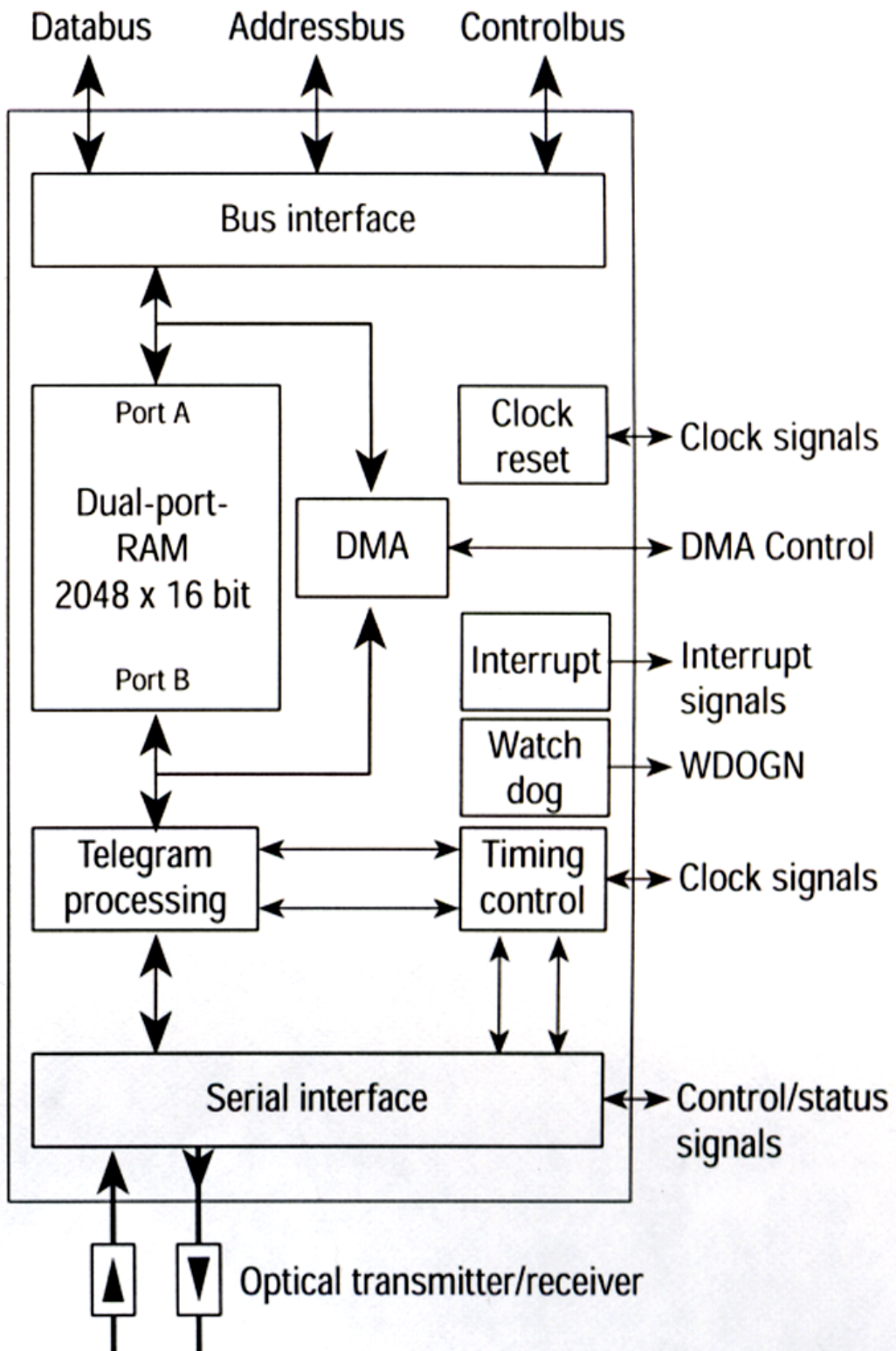


Σχ.2.74. Δομή μηνύματος.

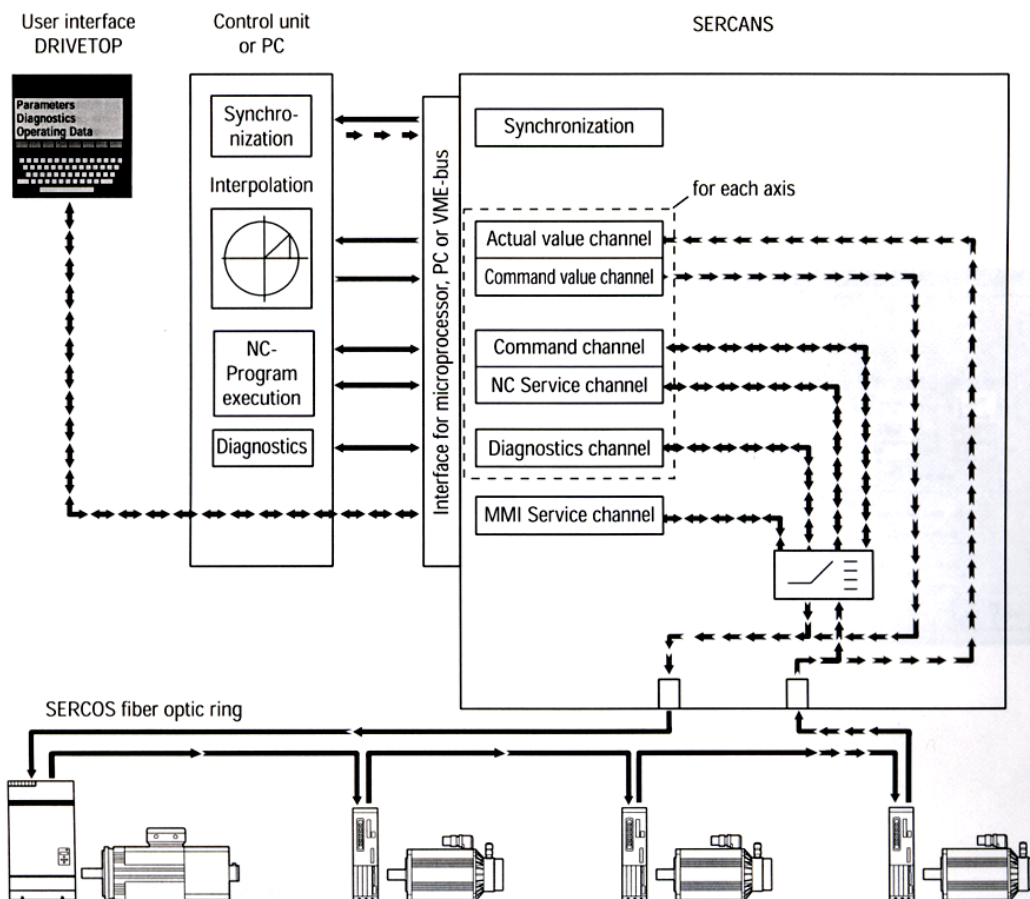
Τα δεδομένα υπηρεσιών αλλάζουν μόνο αν το ζητήσει ο κύριος σταθμός. Αυτά τα δεδομένα μεταδίδονται σε ποσότητες των 2, 4, 6 ή 8 byte στο πεδίο πληροφορίας υπηρεσιών (service info field) και μετά συντίθενται εκ νέου στον παραλήπτη. Η τυποποίηση της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία δεν εξασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ ελεγκτή και οδηγών. Διαλειτουργικότητα έχουμε μόνο όταν και ο τύπος των δεδομένων που ανταλλάσσονται είναι τυποποιημένος.

Στο Σχ. 2.75 φαίνεται το διασυνδεδετικό SERCOS ASIC, το οποίο ως ένα έξυπνο ολοκληρωμένο κύκλωμα διαχειρίζεται όλες τις επικοινωνίες μεταξύ του δακτυλίου οπτικών ινών και του μικροεπεξεργαστή.

Στο Σχ.2.76 βλέπουμε ένα δακτύλιο οπτικών ινών SERCOS σε συνεργασία με το SERCANS και DRIVETOP. Το SERCANS είναι μία πλήρης λειτουργική μονάδα η οποία καθιστά δυνατή την χρήση ψηφιακών και ευφυών οδηγών με διασυνδεδετικό SERCOS σε συνεργασία με CNCs, PCs, και VME ελεγκτές διαύλου. Το SERCANS αυτόματα διαχειρίζεται όλες τις επικοινωνίες, όπως συγχρονισμό και ανεύρεση λαθών μεταξύ του ελεγκτή και των ψηφιακών ευφυών οδηγών. Το DRIVETOP είναι διασυνδεδετικό του χρήστη συμβατό με το SERCANS και με το περιβάλλον των Windows. Παρέχει τη διαχείριση, την παραμετροποίηση και τη διάγνωση των ψηφιακών οδηγών όπως και αποθήκευση και φόρτωση των παραμέτρων του “οδηγού”.



Σχ.2.75. Διασυνδεδετικό SERCOS ASIC.



Σχ.2.76. Δίκτυο SERCOS σε συνεργασία με SERCANS και DRIVETOP.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του δικτύου SERCOS:

- Προέλευση:** ξεκίνησε από την βόρεια Αμερική το 1991.
- Πρότυπο:** σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61491 από το 1995 και EN 61491 από το 1998.
- Τοπολογία:** δακτυλίου.
- Μέσο μετάδοσης:** οπτικές ίνες.
- Μέγιστο μήκος:** 50 m με πλαστικές οπτικές ίνες και 250 m με οπτικές ίνες από γυαλί.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 2, 4, 8 και 16 Mbit/s.
- Αριθμός χρηστών:** 254 συνδρομητές ανά δακτύλιο οπτικών ινών.
- Μέθοδος προσπέλασης:** κύριος/εξαρτημένος σταθμός.
- Έλεγχος λαθών:** με τον διορθωτικό κώδικα του Hamming.