

2.14 Δίκτυο HART

Το δίκτυο ή πρωτόκολλο HART (Highway Addressable Remote Transducer) εισήχθη από την εταιρία Rosemount το 1986 και αργότερα έγινε ευρύτερα γνωστό από το ίδρυμα HART Communication Foundation (HCF). Σχεδιάστηκε για την επικοινωνία συσκευών πεδίου και υποστηρίζει συμβατότητα με το ήδη υπάρχων 4–20 mA σύστημα. Χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση FSK (Frequency Shift Keying) μεταδίδει ταυτόχρονα αναλογικά και ψηφιακά σήματα δια μέσου του ίδιου ζεύγους καλωδίου. Το πρωτόκολλο HART ακολουθεί το μοντέλο OSI καλύπτοντας μόνο τα επίπεδα 1,2 και 7 όπως φαίνεται στο Σχ.2.80. Το επίπεδο εφαρμογής αποτελείται από τρία είδη εντολών ή μηνυμάτων. Τις γενικές εντολές, οι οποίες απαιτείται να εφαρμόζονται από όλες τις συσκευές HART. Τις συνήθεις εντολές στην πράξη, εφαρμόσιμες σε μεγάλο τμήμα των συσκευών πεδίου και ορισμένες ειδικές εντολές μοναδικές σε επιμέρους συσκευές πεδίου.

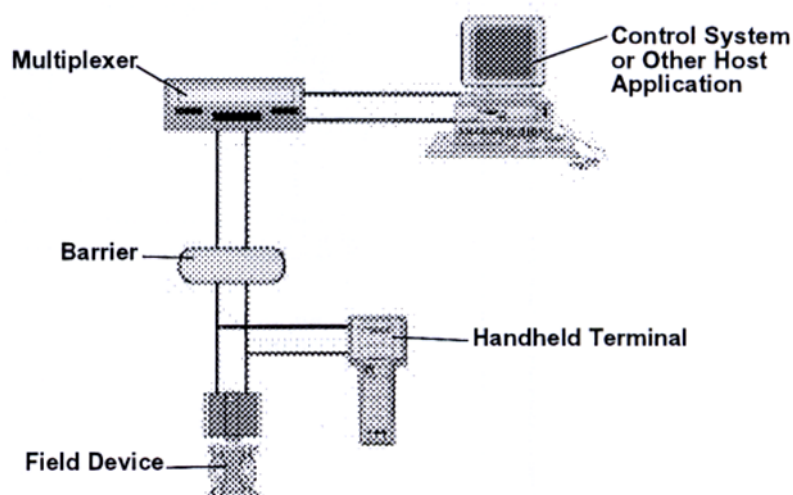
LAYER	FUNCTION	HART	
7	Application	provides formatted data	HART Commands
6	Presentation	converts data	
5	Session	handles the dialogue	
4	Transport	secures the transport connection	
3	Network	establishes network connections	
2	Link	establishes the data link connection	HART protocol Message Structure
1	Physical	connects the equipment	Bell 202

Σχ.2.80. Το δίκτυο HART σύμφωνα με το μοντέλο OSI.

Το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων του δικτύου HART (2ο επίπεδο OSI) είναι υπεύθυνο για την αξιόπιστη και ασύγχρονη μετάδοση των bytes δεδομένων των 8 bits, οργανωμένα σε πλαίσια και ακολουθώντας τη μέθοδο κυρίου-εξαρτημένου σταθμού. Η πρόσβαση στο δίκτυο ρυθμίζεται με χρονισμό διαύλου και κανόνες διαιτησίας. Το φυσικό επίπεδο (1^ο επίπεδο OSI) του δικτύου HART χρησιμοποιεί το πρότυπο Bell 202 της κωδικοποίησης FSK για επικοινωνία με ψηφιακά δεδομένα σε ταχύτητα 1200 Bits/sec. Αυτό γίνεται υπερθέτοντας τα σήματα FSK σένα αναλογικό σήμα 4–20 mA.

2.14.1 Λειτουργία των συσκευών του δικτύου

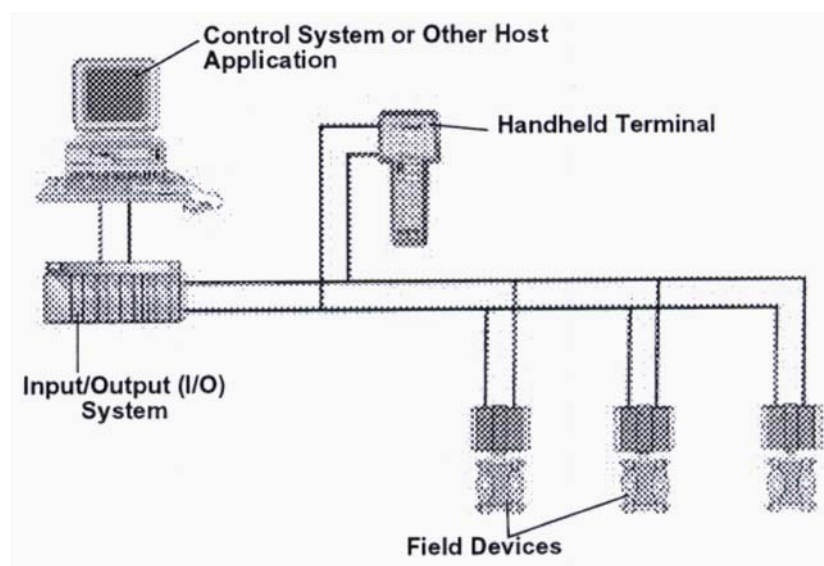
Οι συσκευές σε ένα δίκτυο HART μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με δύο τρόπους συνδεσμολογίας, την σημείο-προς-σημείο (Βλ. Σχ. 2.81) ή την πολλαπλών σημείων. Στην σημείο-προς-σημείο επικοινωνία χρησιμοποιούνται τα κλασικά σήματα των 4–20 mA για μετάδοση μιας μεταβλητής διεργασίας, ενώ επιπρόσθετες μεταβλητές, παράμετροι διαμόρφωσης και άλλα δεδομένα συσκευών μεταδίδονται σε ψηφιακή μορφή με χρήση του πρωτοκόλλου HART. Τα 4–20 mA αναλογικά σήματα δεν επηρεάζονται από τα σήματα HART και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έλεγχο. Τα ψηφιακά σήματα επικοινωνίας δίνουν πρόσβαση σε δευτερεύουσες μεταβλητές και δεδομένα που χρησιμοποιούνται για γενικές λειτουργίες, εντολές, συντηρήσεις και σκοπούς διάγνωσης.



Σχ.2.81. Μέθοδος λειτουργίας σημείο προς σημείο.

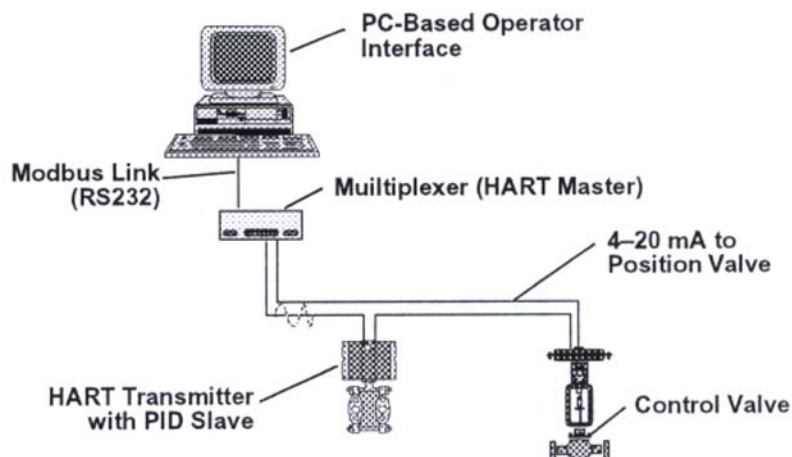
Στην συνδεσμολογία πολλαπλών σημείων απαιτείται μόνο ένα ζεύγος αγωγών και αν είναι εφικτό προστατευτικά και βοηθητική παροχή ισχύος για έως 15

συσκευές του πεδίου μηχανής (Βλ. Σχ. 2.82). Στη περίπτωση αυτή όλες οι μεταβλητές της διεργασίας μεταδίδονται ψηφιακά. Η συνδεσμολογία πολλαπλών σημείων χρησιμοποιείται για εκτεταμένες εγκαταστάσεις που απαιτούν εποπτικό έλεγχο, όπως πετρελαιοαγωγοί, σταθμοί μεταφοράς και γήπεδα δεξαμενών.



Σχ.2.82. Λειτουργία με τη μέθοδο πολλαπλών σημείων.

Οι συσκευές του επίπεδου μηχανής που βασίζονται σε τεχνολογία HART μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα και γρήγορα. Το πρωτόκολλο HART υποστηρίζει την επικοινωνία διαφόρων συσκευών μέσω της ίδιας γραμμής συνεστραμμένου ζεύγους αγωγών. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο αριθμός των καλωδιώσεων. Ορισμένα έξυπνα όργανα μέτρησης που περιέχουν μικροϋπολογιστή επιτρέπουν σε αλγορίθμους ελέγχου να υλοποιηθούν σε συσκευές πεδίου κοντά στη διεργασία. Μερικοί μετατροπείς και ενεργοποιητές με δικτύωση HART υποστηρίζουν λειτουργίες ελέγχου σε μια συσκευή πεδίου, όπως για παράδειγμα PID έλεγχο που φαίνεται στο Σχ.2.83, εξαλείφοντας την ανάγκη για ξεχωριστό ελεγκτή. Με την τοποθέτηση του ελέγχου στο επίπεδο μηχανής αυξάνεται η λειτουργικότητά του και διασφαλίζεται η αξιοπιστία των μετρήσεων αφού τα δεδομένα δεν χρειάζεται να μεταφερθούν σε απομακρυσμένους ελεγκτές. Ενώ ο αλγόριθμος ελέγχου χρησιμοποιεί το αναλογικό σήμα, η επικοινωνία HART επιτρέπει τη ρύθμιση- μετατροπή των παραμέτρων ελέγχου. Επίσης, το πρωτόκολλο παρέχει προσπέλαση σε όλες τις πληροφορίες των συσκευών, όπως δεδομένα μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επαλήθευση ή στον υπολογισμό του μεγέθους της εγκατάστασης και της καταναλισκόμενης ενέργειας.

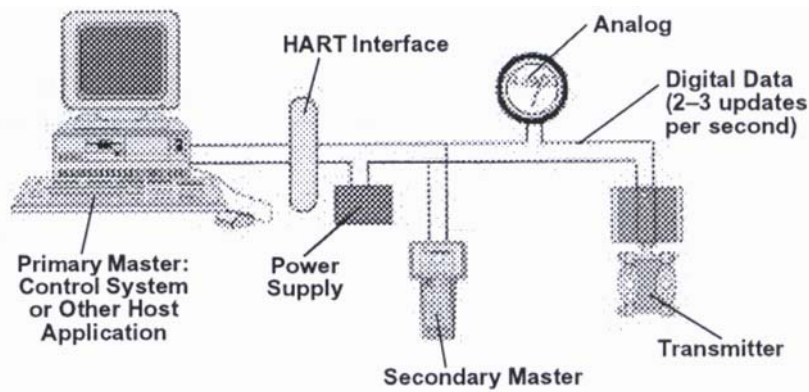


Σχ.2.83. Μεταδότης με ενσωματωμένο PID ελεγκτή (εξαρτημένος σταθμός HART).

Το πρωτόκολλο HART επιτρέπει την ύπαρξη δύο κύριων σταθμών (πρωτεύων και δευτερέων) οι οποίοι μπορούν να επικοινωνούν με εξαρτημένες συσκευές, παρέχοντας επιπλέον λειτουργικότητα και προσαρμοστικότητα (Βλ. Σχ. 2.84). Ο πρωτεύων κύριος σταθμός είναι συνήθως ένα κατακευματισμένο σύστημα ελέγχου (DCS), ένα PLC ή ένας υπολογιστής (PC). Ο δευτερέων κύριος σταθμός μπορεί να είναι ένα τερματικό χειρόσ ή ένας άλλος υπολογιστής. Οι εξαρτημένοι σταθμοί είναι μεταδότες, ενεργοποιητές και ελεγκτές που ανταποκρίνονται σε εντολές των κύριων σταθμών. Ορισμένες συσκευές HART υποστηρίζουν μία κατάσταση επικοινωνίας που χαρακτηρίζεται ως “καταιγιστική επικοινωνία” (burst communication mode). Με αυτήν την μέθοδο επικοινωνίας ο κύριος σταθμός δίνει εντολή στην εξαρτημένη συσκευή να στέλνει αδιάκοπα μήνυμα ευρείας εκπομπής π.χ τη τιμή μιας μεταβλητής της διεργασίας. Έτσι, ο κύριος σταθμός παραλαμβάνει το μήνυμα πιο γρήγορα (3-4 ενήμερώσεις δεδομένων ανά δευτερόλεπτο) μέχρι να δώσει εντολή στην εξαρτημένη συσκευή να σταματήσει την επικοινωνία αυτού του είδους. Στο δίκτυο εξασφαλίζεται διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών δια μέσου γενικών εντολών που επιτρέπουν εύκολη πρόσβαση των κυρίων σταθμών στις παραμέτρους που χρησιμοποιούν οι συσκευές πεδίου. Στο δίκτυο HART μπορούν να επικοινωνήσουν συσκευές από κάθε κατασκευαστή.

2.14.2 Καλωδίωση

Για την καλωδίωση του δικτύου HART χρησιμοποιείται συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου άλλοτε θωρακισμένο και άλλοτε όχι. Καλώδια που δεν είναι



Σχ.2.84. Σύστημα πολλαπλών κύριων σταθμών.

θωρακισμένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μικρές αποστάσεις, όπου περιβαλλοντικές επιδράσεις δεν θα επηρεάζουν τη μετάδοση. Η διάμετρος του αγωγού είναι 0.51 mm για αποστάσεις μικρότερες από 1524 m και 0.81 mm για μεγαλύτερες αποστάσεις. Η μέγιστη απόσταση για ένα δίκτυο HART είναι 3000 m. Όμως το μέγιστο μήκος του δικτύου μπορεί να επηρεαστεί από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του καλωδίου (κυρίως τη χωρητικότητα) και τον συνδυασμό των συνδεδεμένων συσκευών. Στον Πίν.2.9 φαίνονται η επίδραση της χωρητικότητας του καλωδίου και του αριθμού συσκευών στο μήκος καλωδίου.

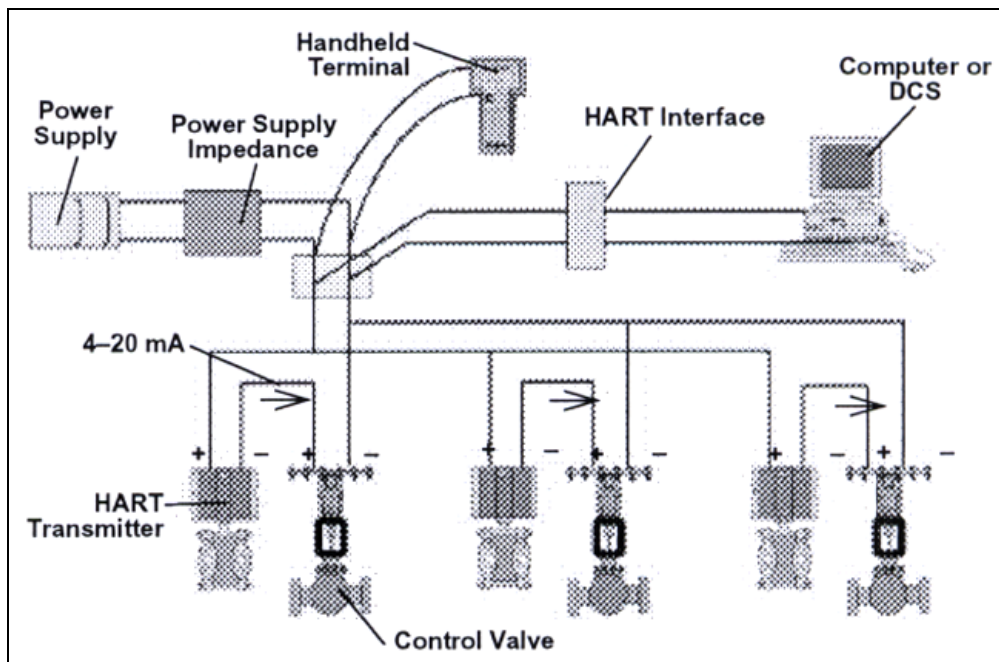
Χωρητικότητα καλωδίου (pF/m)				
Μήκος καλωδίου (m)				
Αριθμός συσκευών	65 pF/m	95 pF/m	160 pF/m	225 pF/m
1	2769 m	2000 m	1292 m	985 m
5	2462 m	1815 m	1138 m	892 m
10	2154 m	1600 m	1015 m	769 m
15	1846 m	1415 m	892 m	708 m

Πιν.2.9. Πίνακας με τα επιτρεπτά μήκη καλωδίου για θωρακισμένο συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου με διάμετρο 1.02 mm.

2.14.3 Σύνδεση πολλαπλών σημείων (Multidrop) και πολυπλέκτες (Multiplexer)

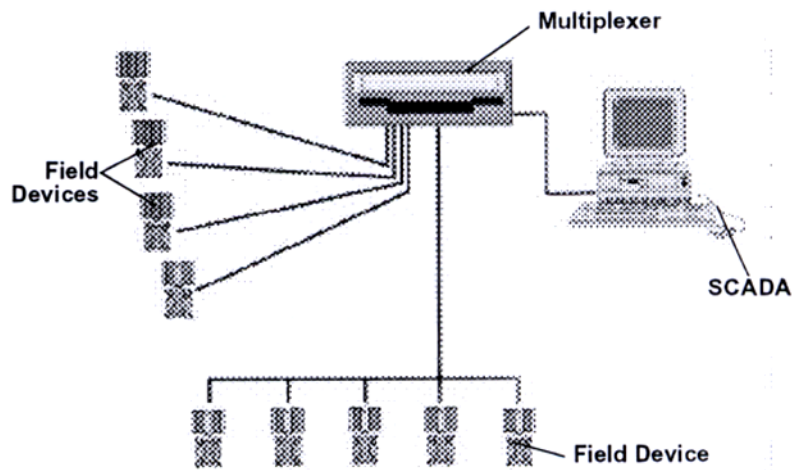
Στο δίκτυο HART οι διάφορες συσκευές μπορούν να συνδέονται στο ίδιο ζεύγος καλωδίου σε διάταξη πολλαπλών σημείων. Το ρεύμα μέσω κάθε συσκευής πεδίου

σταθεροποιείται σε μία ελάχιστη τιμή, τυπικά 4 mA, που είναι ικανό για τη λειτουργία της συσκευής. Ο τυπικός χρόνος ενός κύκλου ανάγνωσης-μετάδοσης μιας μεταβλητής από μία μόνο συσκευή HART είναι 500 ms. Για δίκτυο με 15 συσκευές απαιτούνται 7.5 δευτερόλεπτα για τη σάρωση και ανάγνωση των μεταβλητών από όλες τις συσκευές. Σε μία τέτοια μορφή δικτύου μπορούν επίσης να συνδεθούν και οι HART ελεγκτές πεδίου όπως φαίνεται στο Σχ.2.85. Αυτή η μορφή δικτύου είναι πιο οικονομική από την διαμόρφωση σημείο-προς-σημείο αφού το απαιτούμενο μήκος καλωδίου είναι μικρότερο.



Σχ.2.85. Ελεγκτές HART σε διασύνδεση πολλαπλών σημείων.

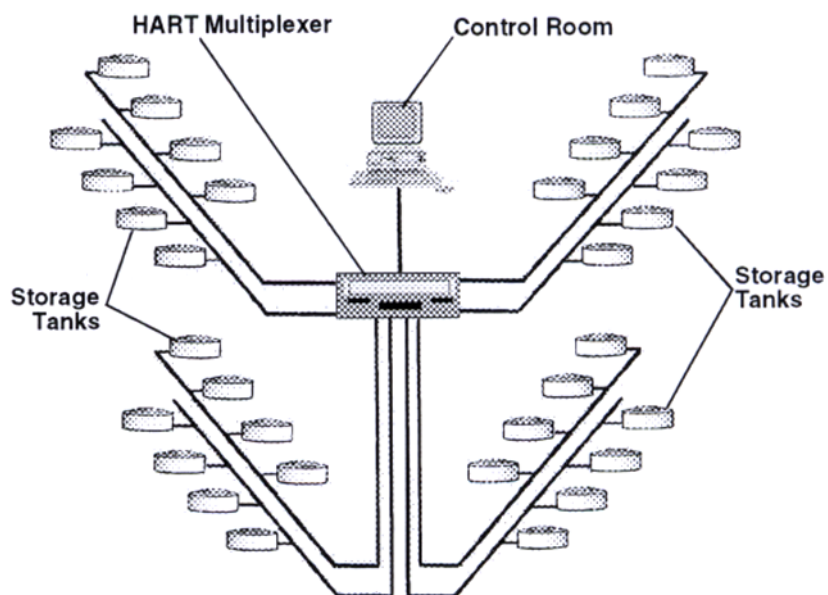
Στην περίπτωση που ένας μεγάλος αριθμός συσκευών πρέπει να συνδεθεί στο δίκτυο, χρησιμοποιούμε πολυπλέκτες συμβατούς με το δίκτυο HART όπως φαίνεται και στο Σχ.2.86. Οι πολυπλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδεσμολογία σημείο-προς-σημείο αλλά και σε αντίστοιχη πολλαπλών σημείων. Ένας πολυπλέκτης συμπεριφέρεται και ως πύλη που μετατρέπει τα μηνύματα του δικτύου HART σε αντίστοιχα άλλων πρωτοκόλλων για να διαβάζονται και από άλλα δίκτυα όπως τα Modbus, PROFIBUS ή Ethernet.



Σχ.2.86. Πολυπλέκτης HART ως βασικό σύστημα I/O.

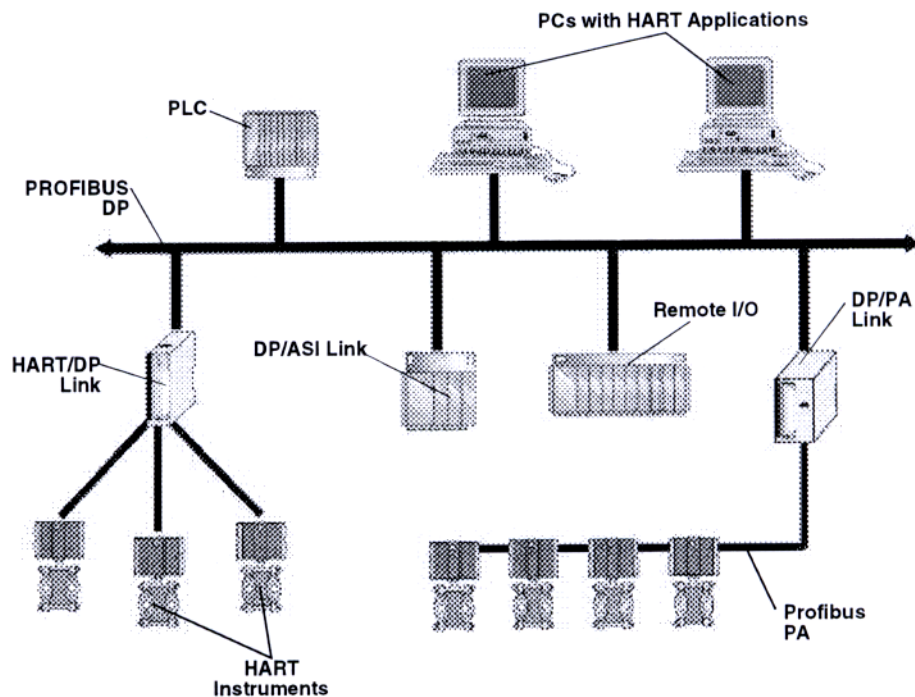
2.14.4 Εφαρμογές

Το πρωτόκολλο HART εφαρμόζεται σήμερα σε πολλές βιομηχανίες. Ένα παράδειγμα είναι στην παρακολούθηση δεξαμενών όπως φαίνεται στο Σχ.2.87. Η αρχιτεκτονική HART μειώνει την απαιτούμενη καλωδίωση και έτσι και το κόστος εγκατάστασης.



Σχ.2.87. Παρακολούθηση δεξαμενών με διασύνδεση πολλαπλών σημείων.

Στο Σχ.2.88 βλέπουμε μία εφαρμογή συνδυασμού του δικτύου HART με το Profibus DP.



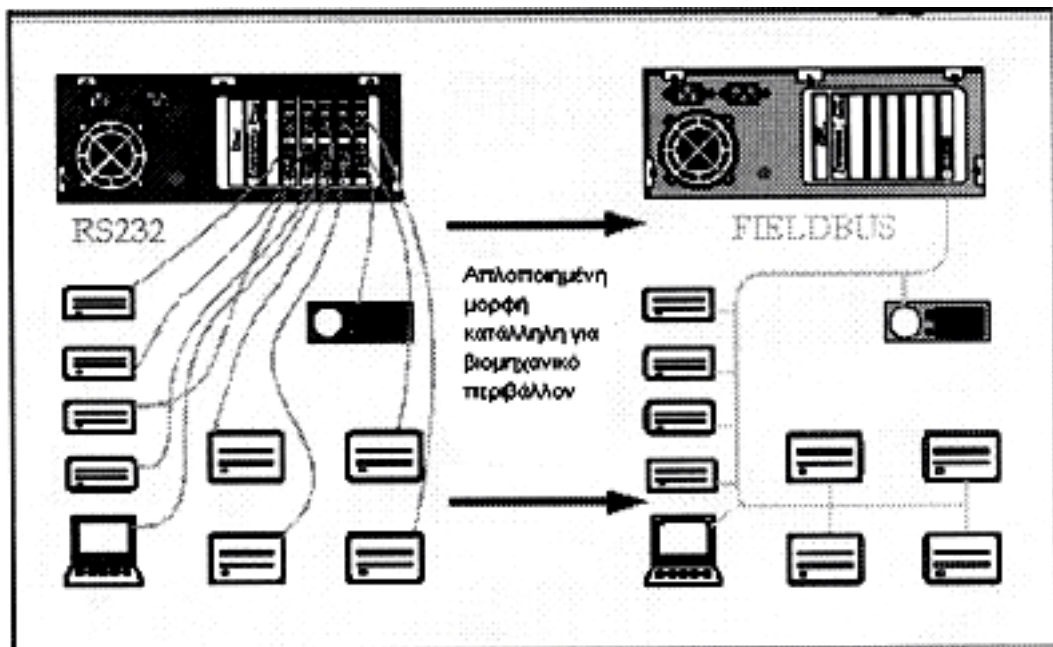
Σχ.2.88. Το HART σε συνεργασία με το δίκτυο Profibus DP.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του δικτύου HART:

- Προέλευση:** από την εταιρεία Rosemount, το 1986.
- Πρότυπο:** είναι σύμφωνο με το μοντέλο OSI.
- Τοπολογία:** διαδρόμου
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου.
- Μέγιστο μήκος:** 3000 m
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 1200 bits/s.
- Αριθμός χρηστών:** 15 συσκευές ή περισσότερες με πολύπλεξη.
- Μέθοδος προσπέλασης:** κυρίου/εξαρτημένου σταθμού.
- Έλεγχος λαθών:** με την μέθοδο της ισοτιμίας.

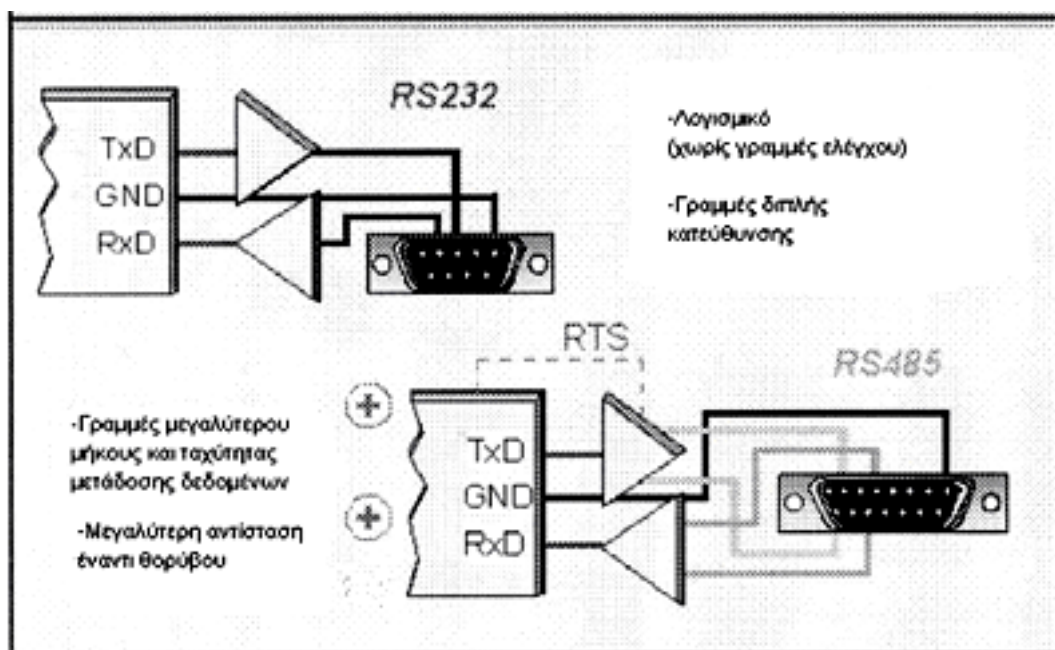
2.15 Δίκτυο Measurement Bus

Το DIN-Messbus είναι από το 1989 ένα γερμανικό πρότυπο δικτύου (DIN 66348.2 = επίπεδα 1 και 2, DIN 66348.3 = επίπεδο 7(3,4,5)). Βασίζεται στα εξής διεθνές στάνταρ: ISO 4903 (σύνδεσης), ISO 8482 (επίπεδο 1), ISO 1745/2111 (επίπεδο 2) και ISO 9506 (επίπεδο 7). Είναι ένα απλό, πραγματικά ανοικτό δίκτυο όπου ο κάθε μηχανικός είναι σε θέση να το εγκαταστήσει με τα συνήθη εργαλεία και υλικά που διαθέτει, χωρίς να είναι απαραίτητα ειδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Στο Σχ.2.89 είναι εμφανές το πλεονέκτημα της μετάβασης από την κλασική καλωδίωση τύπου RS232 σε ένα όσο το δυνατόν πιο απλοποιημένο δίκτυο.



Σχ.2.89. Από πολλαπλή σύνδεση RS232 σε σύνδεση διαύλου.

Το αρχικό DIN Messbus ξεκίνησε με το σκεπτικό να διατηρήσει την απλότητα της κλασικής καλωδίωσης (RS232) παραλείποντας όμως τα βασικά προβλήματά της. Προβλήματα όπως η ξεχωριστή καλωδίωση της κάθε συσκευής με τον υπολογιστή, που απαιτεί επίσης και τις επιμέρους συνδετικές κάρτες, η ευαισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο βιομηχανικό περιβάλλον και το περιορισμένο μήκος καλωδίου (15m για ταχύτητα 19200 Bit/s). Έτσι, με το Measurement Bus έχουμε τη μετάβαση από τις εφαρμογές των τριών γραμμών του RS232 σε εφαρμογές των πέντε γραμμών του RS485 (βλ. Σχ.2.90), διατηρώντας την ικανότητα διπλής κατεύθυνσης, την έννοια ενός συστήματος πολλών συσκευών σε μία γραμμή και προσθέτοντας τη δυνατότητα για μακρύτερες γραμμές. Σε περίπτωση που οι 4 ή 5 αγωγοί θεωρηθούν πολλοί, το DIN-Messbus προσφέρει και τη δυνατότητα των 2 ή 3 αγωγών χάνοντας όμως κάποια πλεονεκτήματα.

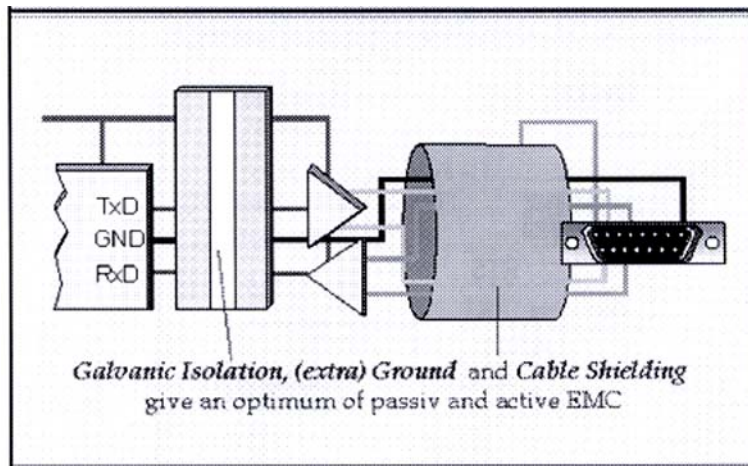


Σχ.2.90. Απλό συνδετικό για υπολογιστή σε βιομηχανικό περιβάλλον.

Για να είναι το δίκτυο κατάλληλο για βιομηχανικό περιβάλλον απαιτείται γαλβανική μόνωση όπως φαίνεται και στο Σχ.2.91.

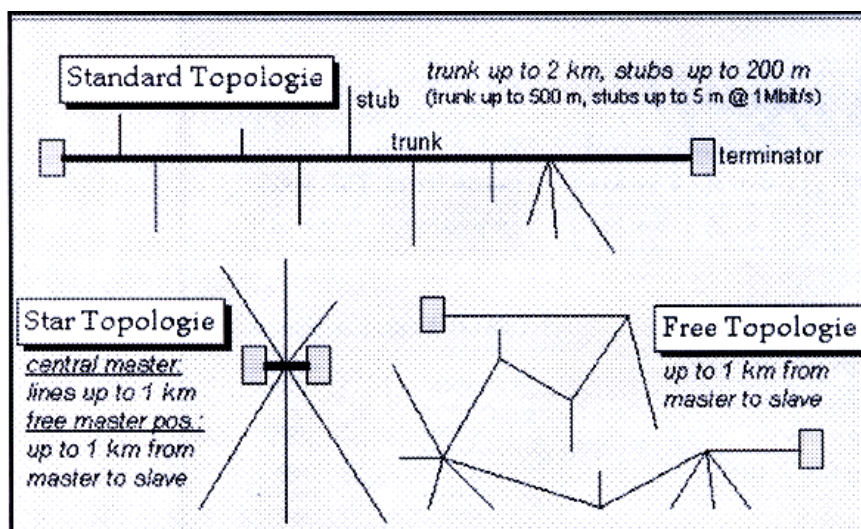
2.15.1 Τοπολογία και ταχύτητα μετάδοσης

Το 'επίπεδο 1' του δικτύου DIN-Messbus προέρχεται από το πρότυπο ISO 8482 που βασίζεται στο EIA-485 (διάυλος 2(3) και 4(5) αγωγών). Σε μία γραμμή 500 m μπορούν να συνδεθούν μέχρι 32 σταθμοί με μήκος διακλάδωσης 5 m. Η



Σχ.2.91. Γαλβανική μόνωση για το DIN–Messbus.

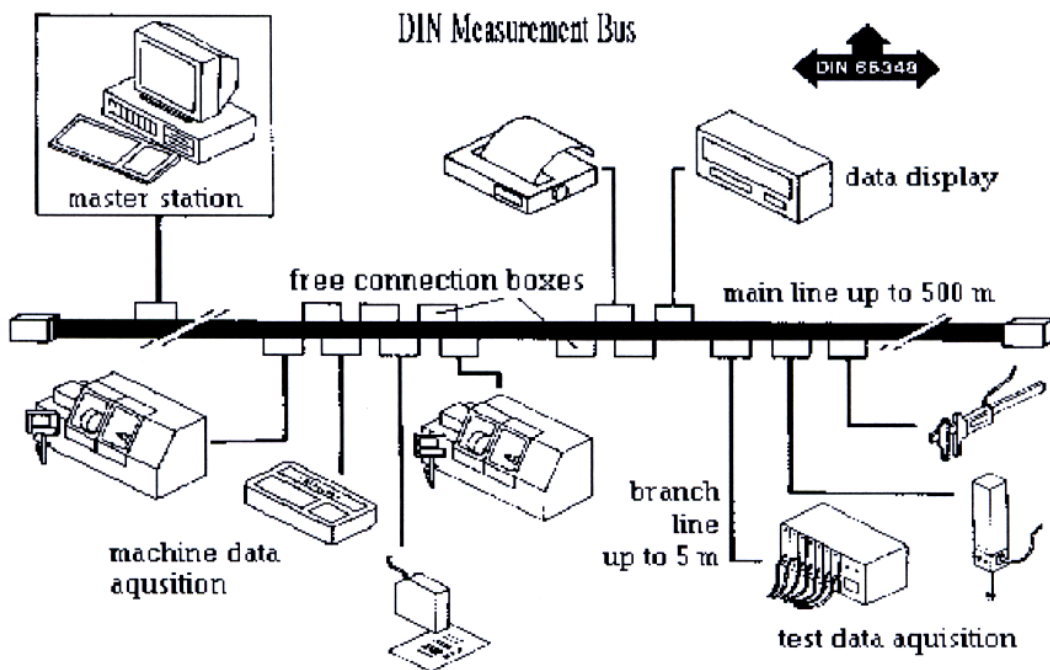
μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης είναι 1 Mbit/s. Για ταχύτητα μετάδοσης πάνω από 100 Kbit/s μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε από τις κλασικές τοπολογίες, διαύλου, αστέρα και συνδυασμού αυτών που φαίνονται στο Σχ.2.92. Αυτό μπορεί να γίνει υπό την προϋπόθεση ότι η απόσταση μεταξύ του κύριου (master) και του εξαρτημένου (slave) σταθμού δεν θα είναι μεγαλύτερη από 1000 m (για κλασική καλωδίωση). Με ειδικά καλώδια είναι δυνατή και μεγαλύτερη απόσταση, ενώ άλλα απλά καλώδια δεν επιτρέπουν απόσταση μεγαλύτερη από 500 m. Έτσι, με έναν κεντρικό κύριο σταθμό και τοπολογία διαύλου το δίκτυο μπορεί να έχει εμβέλεια 2000 m.



Σχ.2.92. Πιθανές τοπολογίες (ελεγμένες σε ταχύτητα των 57600 bits/s).

2.15.2 Μέθοδος προσπέλασης

Το DIN–Messbus χρησιμοποιεί ως μέθοδο προσπέλασης αυτή του κυρίου και εξαρτημένου σταθμού, η οποία υλοποιείται εύκολα και ικανοποιεί το αρχικό στόχο να είναι το DIN–Messbus ένα απλό δίκτυο. Στο Σχ.2.93 βλέπουμε μία κλασική τέτοια δομή κύριου-εξαρτημένου σταθμού. Με την δομή αυτή τα προγράμματα εφαρμογής τρέχουν μόνο στον κύριο σταθμό γεγονός που μας επιτρέπει να έχουμε μία εποπτική εικόνα των εφαρμογών και επιπλέον μία καλύτερη διαχείριση του



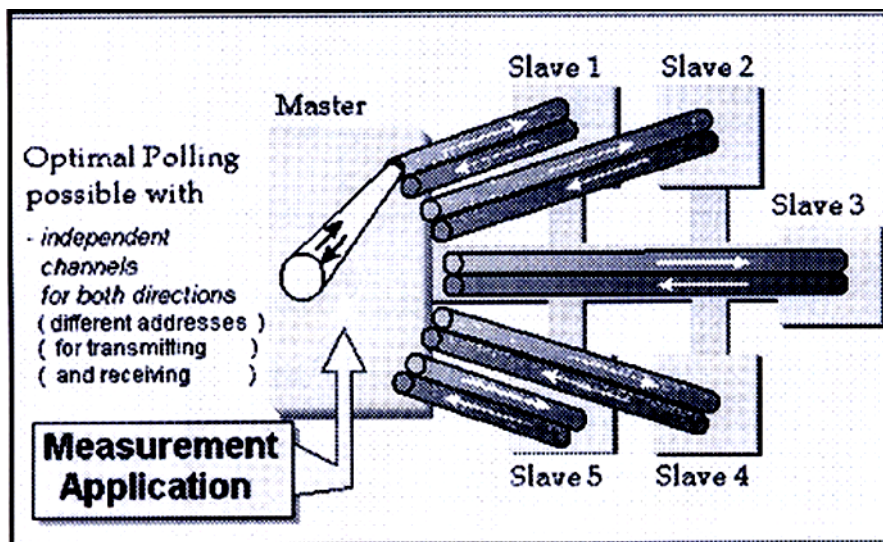
Σχ.2.93. Συγκρότηση διαύλου σύμφωνα με το DIN 66348.

διαύλου. Η μέθοδος αυτή είναι εξαρχής ντετερμινιστική, που σημαίνει ότι ο χρόνος απόκρισης του συστήματος είναι ανά πάσα στιγμή υπολογίσιμος.

Το δίκτυο DIN–Messbus παρέχει τρόπους για βελτιστοποίηση της διαδικασίας ερωτοαποκρίσεων (Polling), δηλαδή της διαδικασίας κατά την οποία ο κύριος ελεγκτής επιτρέπει διαδοχικά σε όλους τους εξαρτημένους σταθμούς να μεταδώσουν. Διαθέτει διαφορετικές διευθύνσεις για μετάδοση δεδομένων από τον κύριο στον εξαρτημένο σταθμό και διαφορετικές από τον εξαρτημένο στον κύριο (βλ. Σχ.2.94). Έτσι, σε μια ειδική περίπτωση μπορούμε να επιλέξουμε αν θα ζητηθεί από τον εξαρτημένο σταθμό να παραλάβει δεδομένα (π.χ. για μετάδοση μηνύματος έκτακτης ανάγκης) ή αν θα αποστείλει δεδομένα (π.χ. ανίχνευση ενός περιστατικού). Το δικαίωμα μετάδοσης των εξαρτημένων σταθμών δεν δίνεται με συγκεκριμένη σειρά. Όταν μία εφαρμογή αναμένει ένα σημαντικό γεγονός από

ένα συγκεκριμένο εξαρτημένο σταθμό, τότε αυτός ο σταθμός θα ερωτάται πιο συχνά, σε σχέση με τους υπόλοιπους, για αποστολή των δεδομένων του. Η μέθοδος του κυρίου και εξαρτημένου σταθμού είναι πιο κατάλληλη για εφαρμογές με συγκεντρωμένη οργάνωση. Έτσι, είναι δυνατόν να ρυθμίζεται ποιος σταθμός και με ποια σειρά θα μεταδώσει, σύμφωνα πάντα με τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών. Είναι επίσης δυνατόν να προσδιοριστούν προτεραιότητες μετάδοσης δημιουργώντας έτσι “αργούς” και “γρήγορους” σταθμούς. Τέτοιου είδους ρυθμίσεις είναι δύσκολες ή και ακατόρθωτες σε μεθόδους πρόσβασης πολλαπλού κυρίου.

Κύριος/εξαρτημένος σταθμός σημαίνει, όπως επανειλημμένα έχει αναφερθεί, ότι υπάρχει ένας συγκεκριμένος σταθμός ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συμπεριφορά του συστήματος. Στο δίκτυο DIN–Messbus η συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να βελτιστοποιηθεί από την εφαρμογή ενώ βρίσκεται σε κατάσταση εκτέλεσης. Προφανώς, το πρωτόκολλο μετάδοσης πρέπει να συμπεριλαμβάνει τα απαιτούμενα λογισμικά εργαλεία για την βελτιστοποίηση.

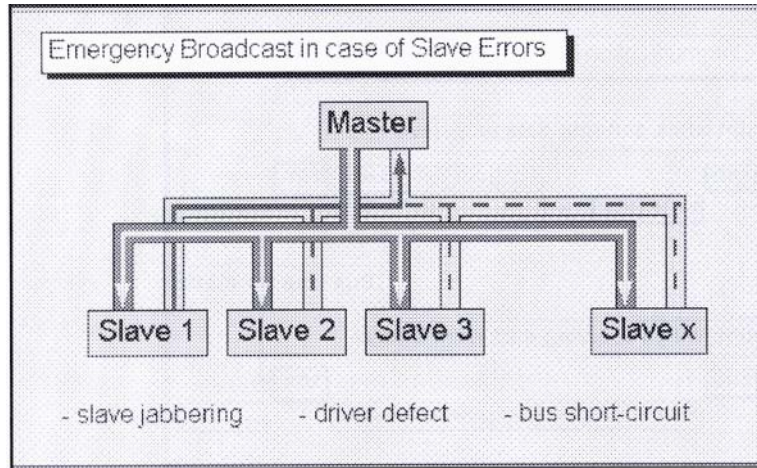


Σχ.2.94. Κύριος / εξαρτημένος σταθμός απλή και ευέλικτη μέθοδος.

Στο Σχ.2.95 φαίνονται τα πλεονεκτήματα της διπλής γραμμής μεταξύ κυρίου και εξαρτημένου σταθμού. Για ορισμένες εφαρμογές είναι σημαντικό το σύστημα να μπορεί να ελέγχεται για βλάβη κάποιου εξαρτημένου σταθμού ή του διαύλου, όπως:

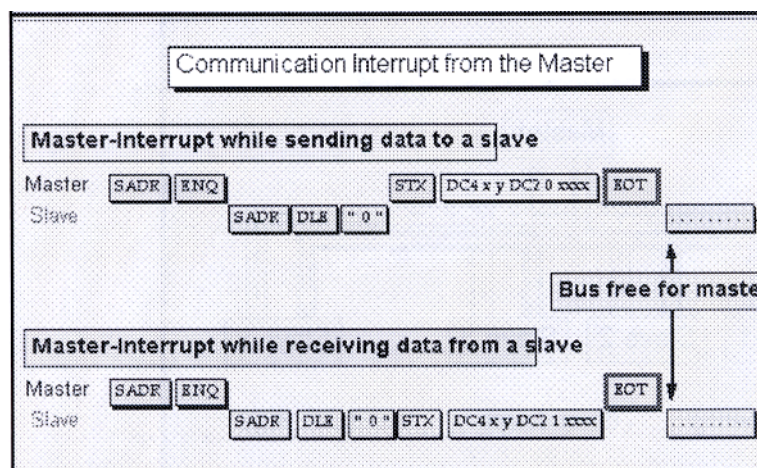
- Όταν ένας σταθμός δεν σταματά τη μετάδοση δεδομένων (jabbering slaves). Συνήθως οφείλεται σε λάθος στο λογισμικό.

- Βλάβη στους “οδηγούς” του σταθμού (slave driver defects). Για παράδειγμα από επίδραση της θερμοκρασίας.
- Βραχυκύκλωμα του δικτύου (bus short-circuit), Οφείλεται συνήθως σε λανθασμένη συνδεσμολογία.



Σχ.2.95. Χαρακτηριστικά διπλής γραμμής.

Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατή η αποστολή μηνύματος ευρείας εκπομπής σε όλους τους εξαρτημένους σταθμούς. Συνήθως, ο κύριος σταθμός γνωρίζει ποιος εξαρτημένος σταθμός έχει πρόβλημα και έτσι μπορεί να ενημερώνει την εφαρμογή. Η διακοπή του πρωτοκόλλου γίνεται σε οποιαδήποτε κατάσταση με έναν ειδικό χαρακτήρα διακοπής τον EOT (βλ. Σχ.2.96). Η διακοπή του πρωτοκόλλου σχεδιάστηκε για περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Έτσι, με απλή



Σχ.2.96. Διακοπή επικοινωνίας από τον κύριο σταθμό.

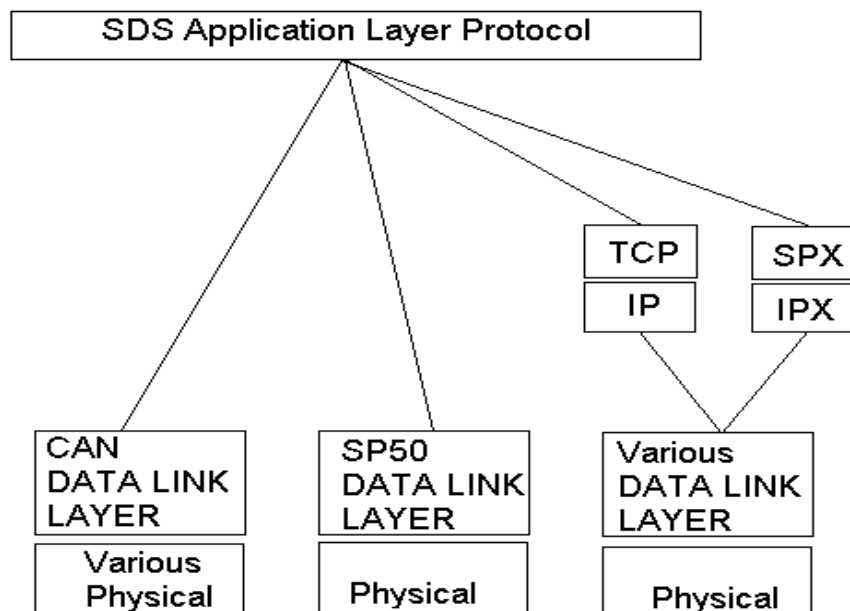
ανίχνευση του χαρακτήρα EOT γίνεται διακοπή χωρίς να απαιτείται η χρήση μικροελεγκτών και ειδικών προγραμμάτων. Το δικαίωμα της διακοπής δεν το έχει μόνο ο κύριος σταθμός. Σε ορισμένες περιπτώσεις διένεξης, ο εξαρτημένος σταθμός διακόπτει την επικοινωνία για να ελευθερώσει το δίαυλο και να αναφέρει στον κύριο σταθμό ότι υπάρχει σφάλμα.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου DIN–Messbus είναι συνοπτικά:

- Προέλευση:** Γερμανία.
- Πρότυπο:** είναι σύμφωνο με το διεθνές πρότυπο ISO 4903 και άλλα.
- Τοπολογία:** γραμμή με διακλαδώσεις, αστέρα ή ελεύθερη διαμόρφωση.
- Μέσο μετάδοσης:** διπλή γραμμή σύμφωνα με EIA PR 485.
- Μέγιστο μήκος:** 2000 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** από 110 bit/s έως 1Mbit/s ρυθμιζόμενο.
- Αριθμός χρηστών:** 32 σταθμοί.
- Μέθοδος προσπέλασης:** κύριου/εξαρτημένου σταθμού.
- Έλεγχος λαθών:** με έλεγχο της ισοτιμίας.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 128 bytes.

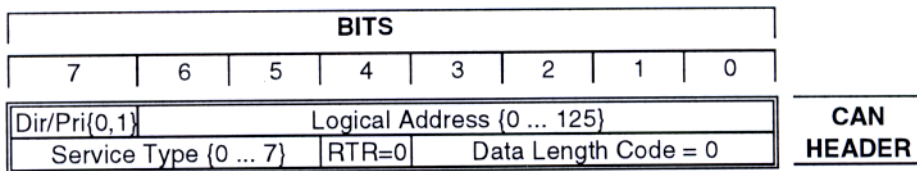
2.16 Δίκτυο SDS

Η εταιρεία Honeywell εισήγαγε το δίκτυο SDS (Smart Distributed System) το 1993 προκειμένου να ικανοποιήσει την ταχύτητα, την αξιοπιστία και την ευελιξία που απαιτούν οι εφαρμογές αυτοματοποιημένης παραγωγής καθώς και τις απαιτήσεις για έλεγχο πραγματικού χρόνου. Οι κόμβοι του δικτύου είναι έξυπνοι αισθητήρες και ενεργοποιητές των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην γνωστή τεχνολογία CAN (Controller Area Network) και στα αντίστοιχα ολοκληρωμένα. Είναι κατάλληλο για βιομηχανικές εφαρμογές κάθε είδους, παρέχοντας την ικανότητα μετάδοσης μηνυμάτων μεταξύ PC-Ελεγκτών, PLCs και άλλων συσκευών. Πάνω σε απλή γραμμή τεσσάρων αγωγών μπορεί να διασυνδέει μέχρι 64 κόμβους με μέγιστο αριθμό διευθύνσεων 126. Βασίζεται στο μοντέλο OSI και καλύπτει τρία επίπεδά του, το φυσικό (επίπεδο 1), το σύνδεσης δεδομένων (επίπεδο 2) και το εφαρμογών (επίπεδο 7). Το επίπεδο εφαρμογών χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που παρέχει το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων του πρωτοκόλλου CAN, το οποίο είναι συμβατό με διάφορα φυσικά μέσα. Όπως φαίνεται και στο Σχ.2.97, το πρωτόκολλο SDS μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλα επίπεδα

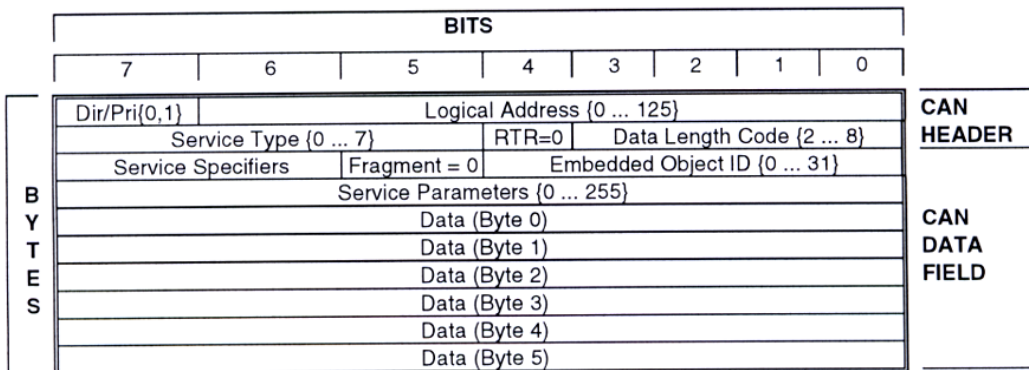


Σχ.2.97. Το πρωτόκολλο του επιπέδου εφαρμογών σε συνεργασία με άλλα πρωτόκολλα.

διασύνδεσης δεδομένων πέραν από το CAN. Η χρήση άλλων επιπέδων διασύνδεσης δεδομένων γίνεται υπό την προϋπόθεση ότι αναθεωρούνται η διευθυνσιοδότηση και οι μηχανισμοί που φιλτράρουν τις διευθύνσεις, όπως επίσης απαιτείται και ρύθμιση του μήκους των διαφόρων πεδίων της μονάδας δεδομένων του πρωτοκόλλου εφαρμογών (Application Protocol Data Unit). Μία εγκατάσταση δικτύου SDS επιτρέπει σε πολλαπλούς κόμβους να μοιράζονται μία απλή γραμμή έτσι ώστε να μειώνεται σημαντικά η σημείο-προς-σημείο καλωδίωση μεταξύ ελεγκτών (κύριοι σταθμοί) και συσκευών εισόδου/εξόδου (εξαρτημένοι σταθμοί). Το δίκτυο επιτρέπει βελτιωμένη ροή πληροφορίας στο σύστημα ελέγχου, όπως και διάγνωση και καταναμημένο έλεγχο στις συσκευές. Το σύστημα SDS βασισμένο στο γεγονός ότι πολλά δεδομένα της διεργασίας είναι απλές ψηφιακές τιμές εισόδων/εξόδων παρέχει κατάλληλες υπηρεσίες για να πληροφορεί για τις αλλαγές κατάστασης. Αυτές οι υπηρεσίες είναι τα μηνύματα σύντομης μορφής (“Short-Form Messages”). Τα μηνύματα εκτεταμένης μορφής (“Long-Form Messages”) περιλαμβάνουν υπηρεσίες όπως διάβασε (Read), γράψε (Write), ενήργησε (Action) και γεγονός (Event), οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταβολής μιας μεταβλητής ή άλλα γεγονότα της διεργασίας, Στο Σχ.2.98 βλέπουμε μία σύντομη (Σχ.2.98α) και μία εκτεταμένη μορφή μηνύματος (Σχ.2.98β). Το μήνυμα SDS είναι μέσα σε ένα πλαίσιο CAN και στην σύντομη μορφή του περιέχει μόνο δύο bytes, δεν έχει δηλαδή δεδομένα όπως συμβαίνει στην εκτεταμένη του μορφή.



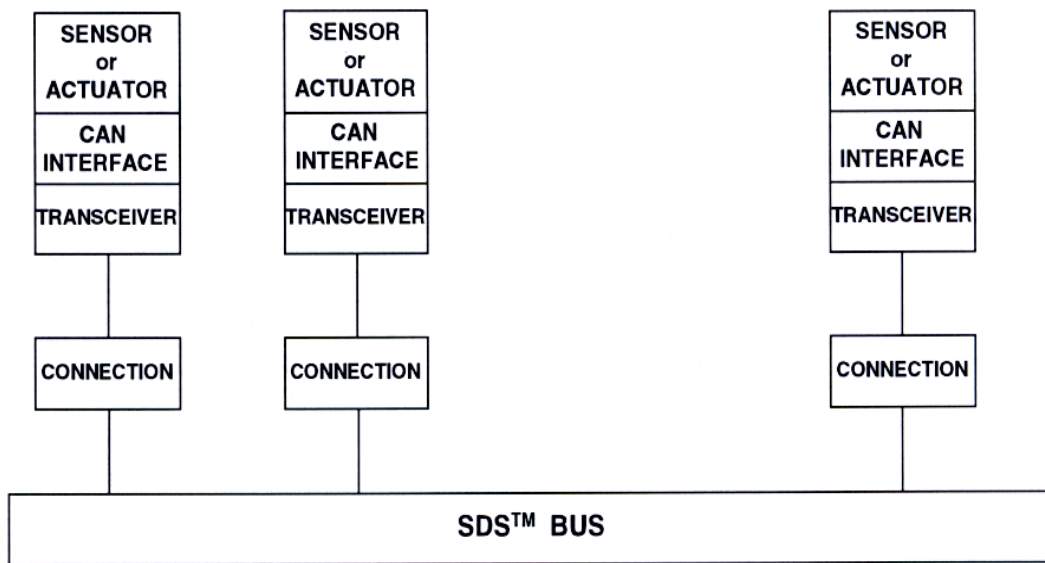
Σχ.2.98α. Σύντομη μορφή μηνύματος SDS.



Σχ.2.98β. Εκτεταμένη μορφή μηνύματος SDS.

2.16.1 Περιγραφή λειτουργίας

Το φυσικό μοντέλο για ένα σύστημα SDS περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους διαύλους, ένα διασυνδεδετικό για τον κάθε δίαυλο και τις συσκευές ενεργοποιητές ή αισθητήρες (Βλ. Σχ.2.99). Η τοπολογία του δικτύου είναι αυτή του διαδρόμου με διακλαδώσεις και κόμβους. Η πρότυπη τοπολογία του δικτύου SDS είναι μία απλή γραμμή με μικρές διακλαδώσεις. Στον Πίν.2.10 δίνονται τα μέγιστα μήκη που μπορεί να έχει μία γραμμή ανάλογα με τις διάφορες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.



Σχ.2.99. Φυσικό μοντέλο SDS.

Μέγιστο μήκος γραμμής (m)	Ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων	Μέγιστο μήκος διακλάδωσης (m)	Μέγιστος αριθμός κόμβων
22.8	1 Mbit/s	0.3	32
91.4	500 Kbit/s	0.9	64
182.8	250 Kbit/s	1.8	64
457.2	125 Kbit/s	3.6	64

Πίν.2.10. Μέγιστα μήκη γραμμών για διάφορες ταχύτητες μετάδοσης.

Ένα δίκτυο πρέπει να παρέχει επικοινωνία από μία συσκευή προς οποιαδήποτε άλλη του δικτύου. Είναι πιθανόν, σε διαφορετικούς φυσικούς κόμβους του δικτύου να χρησιμοποιούνται τα ίδια διαγνωστικά δεδομένα ή δεδομένα της διεργασίας. Αυτό απαιτεί ένα γρήγορο μηχανισμό κατανομής δεδομένων από έναν κόμβο σε πολλούς άλλους. Το πρωτόκολλο SDS παρέχει για το σκοπό αυτό ένα μηχανισμό πολλαπλής εκπομπής. Όσες συσκευές έχουν δυνατότητα πολλαπλής εκπομπής κατέχουν μία λίστα έκδοσης που τους λέει ποια δεδομένα, σε ποια χρονική στιγμή και με ποιο σχήμα θα μεταδοθούν σε όλο το δίκτυο. Η μετάδοση των δεδομένων μπορεί να γίνεται κυκλικά ή σε σχέση με κάποιο γεγονός. Κάθε συσκευή με δυνατότητα πολλαπλής εκπομπής διαθέτει επίσης μία λίστα “καταναλωτών” η οποία ορίζει ποια πληροφορία και από ποιες συσκευές θα μεταδοθεί σε άλλες συσκευές. Μέσω του συγκεκριμένου μηχανισμού η εφαρμογή ή η διεργασία υπαγορεύει το τρόπο με τον οποίο θα κατανεμηθούν τα δεδομένα. Για περιβάλλον με κατανεμημένο έλεγχο το δίκτυο SDS παρέχει εναλλακτικά ανταλλαγή δεδομένων με τον μηχανισμό σημείο-προς-σημείο. Αυτή η υπηρεσία του επιπέδου εφαρμογών είναι μηχανισμός ανταλλαγής δεδομένων χαμηλής προτεραιότητας, μέσω του οποίου δύο συσκευές ανταλλάσσουν δεδομένα μέχρι 256 bytes (με κατάτμηση σε πακέτα των 6 bytes) με μία αντίστοιχη αίτηση. Ο διάλογος σημείο-προς-σημείο είναι ένα πραγματικά αμφίδρομο επικοινωνιακό κανάλι.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του δικτύου SDS είναι:

- Προέλευση:** από την εταιρεία Honeywell το 1994.
- Πρότυπο:** είναι σύμφωνο με το IEC και το πρότυπο ISO11898.
- Τοπολογία:** γραμμή πολλαπλών συνδέσεων και διακλαδώσεων.
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου για σήματα και ισχύ.
- Μέγιστο μήκος:** 500 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 1 Mbps, 500 kbps, 250 kbps, 125 kbps.
- Αριθμός χρηστών:** 64 κόμβοι (126 διευθύνσεις).
- Μέθοδος προσπέλασης:** κύριου/εξαρτημένου σταθμού, σημείο-προς-σημείο, ευρείας εκπομπής και πολλαπλοί κύριοι σταθμοί.
- Έλεγχος λαθών:** με κυκλικό κώδικα CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 8 bytes μεταβλητό μήνυμα.

2.17 Δίκτυο LonWorks

Το δίκτυο LonWorks αναπτύχθηκε από την εταιρεία Echelon και αναγνωρίζεται παγκοσμίως ως ένα πρότυπο για διαλειτουργικά δίκτυα ελέγχου. Το σύστημα LonWorks, με τις χιλιάδες αναπτυσσόμενες εφαρμογές και τα εκατομμύρια συσκευές που είναι εγκατεστημένες σε παγκόσμια κλίμακα, αποτελεί μία σημαντική λύση ανοικτού δικτύου ελέγχου για αυτοματισμό κτηρίων, σπιτιών, βιομηχανιών και εφαρμογών δημόσιας ωφέλειας. Η βάση της Echelon είναι στην Καλιφόρνια έχοντας όμως γραφεία σε όλο τον κόσμο όπως Γερμανία, Γαλλία, Κίνα, κ.λ.π.. Όπως και άλλα δίκτυα έτσι και αυτό προσφέρει λύση σε προβλήματα σχεδίασης, εγκατάστασης και συντήρησης των δικτύων ελέγχου. Ο αριθμός των συσκευών σε ένα δίκτυο LonWorks κυμαίνεται από 2 έως 32,000 και η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης είναι 1.25 Mbps. Το δίκτυο αυτό είναι οικονομικό, προσφέρει διαλειτουργικότητα και κατανεμημένο έλεγχο. Δεν απαιτείται κεντρικός έλεγχος ή δομή κυρίου/εξαρτημένου σταθμού. Οι κόμβοι, ως ευφυείς ελεγκτές, επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας κοινό πρωτόκολλο. Κάθε κόμβος στο δίκτυο περιέχει ενσωματωμένη ευφυΐα που εκπληρώνει το πρωτόκολλο και εκτελεί λειτουργίες ελέγχου. Επιπλέον, κάθε κόμβος συμπεριλαμβάνει ένα διασυνδεδετικό που διασυνδέει τον μικροελεγκτή του κόμβου με το μέσο επικοινωνίας.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του δικτύου LonWorks:

- Προέλευση:** από την εταιρεία Echelon
- Τοπολογία:** διαύλου, δακτυλίου, αστέρα.
- Μέσο μετάδοσης:** συνεστραμμένο ζεύγος, οπτικές ίνες και γραμμή ισχύος.
- Μέγιστο μήκος:** 2000 m.
- Ταχύτητα μετάδοσης:** 1.25 Mbps ταυτόχρονης κατεύθυνσης.
- Αριθμός χρηστών:** 32.000 ανά περιοχή.
- Μέθοδος προσπέλασης:** CSMA/CD, σημείο προς σημείο.
- Έλεγχος λαθών:** 16 bit κυκλικός κώδικας CRC.
- Μέγιστο μήκος δεδομένων:** 228 bytes.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] "Δίκτυα Υπολογιστών", A.S. Tanenbaum, Prentice Hall International, Εκδόσεις Παπασωτηρίου 1991.
- [2] "Βιομηχανικά Δίκτυα Υπολογιστών", Σταύρου Κουμπιά, Αναπ. Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2000.
- [3] "Σημειώσεις Δικτύων Υπολογιστών", Ε.Ν. Πρωτονοτάριος, Ε.Δ. Σύκας, Μ.Ε. Αναγνώστου και Σ.Θ. Πάσχος, Αθήνα 1987.
- [4] "Ψηφιακά Συστήματα Επικοινωνιών", Γ. Στασινόπουλος, Αθήνα 1986.
- [5] "Πληροφορικός έλεγχος", R. King, Πάτρα 1993.
- [6] "Βιομηχανική Πληροφορική, Έλεγχος και Εποπτεία Διεργασιών με Υπολογιστές", R. King, Πάτρα 1991.
- [7] "Οπτικές Ινες, Θεωρία και εφαρμογές", Χ.Ι. Γεωργόπουλος, Ξάνθη 1988.
- [8] "The role of MAP in Factory Integration", H.A. Schutz, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.35, No.1, Febr. 1988.
- [9] "Real-time Communications in a Computer-Controlled Workcell" IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.7, No.1, Febr. 1991.
- [10] "Industrial Communications Networks: The Key to Integrated Automation", G. Stauss, Siemens Review, R & D Special, 1992.
- [11] "Kommunikation in der Automatisierungstechnik", Von Hans Peter Beuerle und Gunther Bash Bezenar, Siemens Aktiengesellschaft.
- [12] "Networking Programmable Controllers, An Introduction to Beginners", Klockner Moeller 1990.
- [13] "Protocols for communicating in the factory", M.A. Kaminski General Motors Corp., IEEE Spectrum, April 1986.
- [14] "Communicating in the technical office", Steven A. Farowich Boeing Computer Services, IEEE Spectrum, April 1986.
- [15] "MAP/TOP in CIM Distributed Computing", IEEE Network, vol.2 No.3, pp 23-31, May 1988.
- [16] "The delay Characteristics of CSMA/CD networks", S.L. Beuerman & E.J. Coyle, IEEE Transactions in Communications, vol.36, No.5, May 1988.
- [17] "CNMA, Communications Network for Manufacturing Applications, European Initiative for Network Management in Industrial Communication", W. Kiesel and K.H. Deiretsbachner, Siemens AG - Automation Group.
- [18] "Migration to OSI in Factory Communication", Hubert Krepel, Siemens AG.
- [19] "OSI Network Management for Industrial Communication", K.H. Deiretsbachner, Siemens AG, LAN 90.
- [20] "Performance Analysis of a Token-Bus Protocol and Comparison with other LAN Protocols", S.R. Sachs, K. Kan and J.A. Silvester, Proc. of 10th Conf. on Local Computer Networks, pp 46-51, 1985.

- [21] "Fieldbus standardization, another way to go", K. Schwarz, Siemens, Automation Products Div., Germany March 1991.
- [22] "Kommunikation über lokale Netze", P. Kurt, Siemens Components.
- [23] "Kommunikations sicherheit in industriellen Netzen", Walter Fumy und Hans Peter Rieb, Siemens AG.
- [24] "Standards bieten Sicherheit, CIM Praxis", Februar 1991.
- [25] "Profibus", J. Goddertz, Bonn, Klockner-Moeller.
- [26] "A Third Generation Communication Platform, Map Program Manager COMPUTROL", Connecticut, CT 06877, AEG.
- [27] "MMS: MAP Application Services for the manufacturing industry", Manfred Brill, Ulrich Gramm, AEG Germany.
- [28] "The World of Automation Technology", MODICON, AEG.
- [29] "MODNET, The AEG Communication System", AEG, Germany.
- [30] "FTX 507, Terminal User's Manual", Telemecanique.
- [31] "TSX MAP 1074, Mapway Module, User's Manual", Telemecanique.
- [32] "Telemecanique Catalogue" 03-1991.
- [33] "PL7.2 Languages", Operating Modes V3, Telemecanique.
- [34] "Telway 7 Network", User's Manual, Telemecanique.
- [35] "Telemecanique Catalogue", 01-1990.
- [36] "CNMA, Bringing Communications out into the Open", P. Mac Conaill, Siemens Review, March 1988.
- [37] "OSI Network Service and ISDN Terminal Equipment: A Structure for the future", R. Prinoth, E. Giessler and K. Bahr Siemens Review, R & D Special, 1990.
- [38] "Supporting Standards", J. Weir, Communications International, vol.14, No.11, Nov. 1987.
- [39] "Standardising LAN Management", A. Sarsby, Communications International, vol.13, No.3, March 1986.
- [40] "Toward Open Communications in Computer Integrated Manufacturing", H. Schulze, Siemens Review, March 1988.
- [41] Γέττυ Μποσδογιάννη, "Δίκτυα Υπολογιστών", COMPUPRESS A.E., Εκδόσεις ANUBIS 1993.
- [42] Άρης Αλεξόπουλος & Γιώργος Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών", ΑΦΟΙ ΡΟΗ Α.Ε, Αθήνα 1999.
- [43] George Thomas, "ETHERNET, ARCNET and CAN – Proposed Network Hierarchy for Open Control", Contemporary Controls, 1999.
- [44] Charles E. Spurgeon, "Practical Networking With Ethernet", International Thomson Computer Press, 1997.
- [45] Wilfhard Lawrenz, "CAN System Engineering From Theory to Practical Applications", Springer – Verlag, 1997.

- [46] Robert Breyer and Sean Riley, "Switched and Fast Ethernet Second Edition", Macmillan Computer Publishing USA, 1996.
- [47] Peter Loshin, "TCP/IP Clearly Explained, Second Edition", Academic Press, 1997.
- [48] W. Richard Stevens, "TCP/IP Illustrated Volume 1, The Protocols", Addison – Wesley Publishing Company, 1994.
- [49] Contemporary Controls, "ARCNET Tutorial & Product Guide", 1998.
- [50] George Thomas, "Extending CAN Networks by incorporating Remote Bridging", 4th CAN Conference, Berlin, Germany 1997.
- [51] The Institute of Electrical and Electronic Engineers, "International Standard ISO/ IEC 8802 – 3 ANSI / IEEE Std 802.3" 1996.
- [52] Datapoint Corporation, "ARCNET Designer's Handbook", Document 61610, 1983.
- [53] Datapoint Corporation, "ARCNET Cabling Guide", Document 51087, 1988.
- [54] Contemporary Control Systems, Inc., "ARCNET Factory LAN Primer", 1987.
- [55] Standard Microsystems Corporation, "RS-485 Cabling Guidelines for the COM 20020", Technical Note 7-5, Revision E, May 1994.
- [56] George Thomas, "ARCNET's Already Flexible Physical Layer Enhanced with Several EIA-485 Variants", Fieldcomms USA, June 1997.
- [57] Microsoft Corporation, "Microsoft Developer Network CD ", January 1998.
- [58] SIEMENS, "Industrial Communication for Automation", Overview, 2000.
- [59] IEEE Robotics & Automation Magazine, "Experimental Performance Evaluation of Profibus-FMS", December 2000.
- [60] K. Bender, "PROFIBUS–The Fieldbus for Industrial Automation", München and Englewood Cliffs, NJ, Carl Hanser Verlag and Prentice Hall, 1993.
- [61] "The US Market for Industrial Automation Products Incorporating Device/Sensor Buses", Venture Development Corporation, September 1995.
- [62] "The LONWORKS Network Services (LNS) Architecture", Technical Overview, February 1996.
- [63] CAN in Automation (CiA), "Controller Area Network – A Serial Bus System – Not Just for Vehicles".
- [64] Buehring Peter, "Bit Timing Parameters for CAN Networks", Application Note, Report No. KIE 07/91 ME, Philips Components, 1991.
- [65] Duerfler, Frank, "PC Magazine Guide to Connectivity Second Edition", Ziff – Davis Press, 1992.
- [66] "Local Area Network: Token Bus", ANSI/ATA 878.1–1999, ARCNET Trade Association, 1999.
- [67] "ARCNET Tutorial and Product Guide", Contemporary Control Systems, Inc., 1998.

- [68] "DeviceNet Specification", Volume 1, Release 2.0, Open DeviceNet Vendors Association, 1997.
- [69] "Smart Distributed System Physical Layer Specification", GS 052 104 Version 2.0.
- [70] William H. Moss, "ControlNet Product Catalog", 4th Printing, ControlNet international, Ltd., November 1998.
- [71] James Moyne, Nader Najafi, Daniel Judd and Allen Stock, "Analysis of Sensor/Actuator Bus Interoperability Standard Alternatives for Semiconductor Manufacturing", Sensors Expo Conference, Sept. 1994.
- [72] G. M. Lundy, Raymond E. Miller, "Analysing a CSMA/CD protocol through a systems of communicating machines specification", IEEE Transaction on Communications 41, March 1993.
- [73] Robert Bosch GmbH, "CAN Specification", Part A and B, Germany, 1991.
- [74] James Moyne, Jigney Shah, "Conformance Testing", FieldComms USA, 1997.
- [75] "DeviceNet Specifications Vol. I & II", Version 2.0, Open DeviceNet Vendors Association, 1997.
- [76] Herbert V. Bertine, "Overview of protocol testing programs, methodologies and standards", AT&T Technical Journal, Jan/Feb. 1990.
- [77] "Sensor/Actuator Network Common Device Model", SEMI Standards, SEMI.
- [78] Yih-long Chang, Sheldon Shen, "Simulation investigation on message based CSMA/CD priority protocols", Simulation 50, May 1988.
- [79] "Smart Distributed System Specifications", Honeywell Inc.
- [80] Behcet Sarikaya, Gergor Bochmann, "Synnchronisation and Specification Issues in Protocol Testing", IEEE Transc. Comm., Vol COM-32, No. 4, April 1984.
- [81] N. Navet, P. Belissent, Y. Q. Song, "VACANS: A Software Tool for Validating Real – Time Applications Distributed over CAN", University of Nancy, France.
- [82] "INTERBUS Basics", INTERBUS – International Marketing Service BASICS, 10/1997.
- [83] "WorldFIP Fieldbus", published by WorldFIP organization, Iss. 19, Sep. 1998.
- [84] "WorldFIP Fieldbus", published by WorldFIP organization, Iss. 20, Dec. 1998.
- [85] "WorldFIP 1998", Page created by Caxton 2000, Latest revision 10 April 1998.
- [86] "The P–NET FIELDBUS", Data sheet, produced by PROCES – DATA A / S.
- [87] "The P–NET Fieldbus for Process Automation", International P–NET User Organisation, 1996.

- [88]“Modbus Protocol Reference Guide”, MODICON, Inc., Industrial Automation Systems, North Andover, Massachusetts, June 1996.
- [89]“Control system platform Modicon TSX Momentum Open architecture system”, GRUPE SCHNEIDER (Merlin Gerin, Modicon, Square D, Telemecanique), Schneider Automation Inc., March 1998.
- [90]“Control system platform Modicon TSX Quantum High performance architecture”, GRUPE SCHNEIDER (Merlin Gerin, Modicon, Square D, Telemecanique), Schneider Automation Inc., March 1998.
- [91]“IEC 61491, EN 61491 SERCOS interface”, Technical Short Description, Group SERCOS interface, Germany, 06/1999.
- [92]Rigobert Kynast, “SERCOS interface Technical Overview”, Presented at National Manufacturing Week, 1999.
- [93]“About Foundation Technology”, FIELDBUS ONLINE, Fieldbus Foundation, 1998.
- [94]“Frequently – asked Questions”, FIELDBUS ONLINE, Fieldbus Foundation, 1999.
- [95]“Fieldbus Technology: Supports Interoperability”, FIELDBUS ONLINE, Fieldbus Foundation, 1998.
- [96]“Fieldbus Technology: Based on International Standards”, FIELDBUS ONLINE, Fieldbus Foundation, 1998.
- [97]Mark T. Hoske, “Implementing Industrial Networks”, Manufacturing Marketplace partner site, Control Engineering, July 1998.
- [98]“Why BITBUS?”, ELZET 80 MIKROCOMPUTER, ELZET 80 Gmbh & Co., Germany.
- [99]“BITBUS Installation”, ELZET 80 MIKROCOMPUTER, ELZET 80 Gmbh & Co., Germany.
- [100] Frank J. Furrer, “BITBUS FIBRE OPTIC MEDIA SPECIFICATION”, A BITBUS European User Group (BEUG) Recommendation, Baden–Baden, Germany, July 1998.
- [101]Frank J. Furrer, Volker Goller, Niels Trapp, “BITBUS IEEE 1118 BROADCAST SERVICE IMPLEMENTATION”, A BITBUS European User Group (BEUG) Recommendation, Baden–Baden, Germany, July 1998.
- [102]IEEE Std 1118 – 1990, “IEEE Standard Microcontroller System Serial Bus”, August 1991.
- [103]Frank J. Furrer (Ed.), “BITBUS–Grundlagen und Praxis”, Hüthig Buch–Verlag, GmbH, Heidelberg, 1994. ISBN 3–7785–2250–7.
- [104] “The BITBUS Interconnect Serial Control Bus Specification”, INTEL Corporation.
- [105] “Measurement Bus DIN 66348 Characteristics and Areas of Application”, Association of Measurement Bus Users (ADM e.V.), Germany, 1999.

- [106] [67] Robert Patzke, U. Wagner, “MEASUREMENT BUS, A Simple Way of Fieldbus Technology”, Measurement Bus User Group, Germany, 28th-29th October, 1997.
- [107] CISCO’s John Chambers, “The Internet Consumer Revolution at CES using Demo Based on Echelon’s LonWorks Technology”, ECHELON The LONWORKS Company, Las Vegas, Nevada, January 1999.
- [108] “HART Field communication protocol”, Application Guide HCF LIT 34, HART communication Foundation, Texas, 1999.
- [109] Romilly Bowden, “HART and Fieldbus”, 1997.
- [110] “Smart Distributed System (SDS) – Component Modeling Specification”, Honeywell Inc. MICRO SWITCH Division, USA, 1995.
- [111] Bosch V2.0 CAN Specification, Sept. 1991.
- [112] ISO 7498–1984, Information Processing Systems, Open Systems Interconnection, Basic Reference Model.
- [113] “Bit Timing Parameters for CAN”, Philips Application Note, Report No. KIE 07/91 ME, Date 20.03.1991.
- [114] <http://www.ccontrol.com>
- [115] <http://www.controlnet.org>
- [116] <http://www.arcnet.com>
- [117] <http://www.profibus.com>
- [118] <http://www.ad.siemens.de>
- [119] <http://www.access-profibus.com>
- [120] <http://www.synergetic.com>
- [121] <http://www.ccontrol.com>
- [122] <http://www.interbusclub.com>
- [123] <http://www.gespac.com>
- [124] <http://www.worldfip.org>
- [125] <http://www.modicon.com>
- [126] <http://www.fieldnet.com>
- [127] <http://www.schneider automation.com>
- [128] <http://www.modbus.org>
- [129] <http://www.sercos.com>
- [130] <http://www.fieldbus.org>
- [131] <http://www.controleng.com>
- [132] <http://www.bitbus.org>
- [133] <http://www.honeywell.com>
- [134] <http://www.measurement-bus.de>
- [135] <http://www.echelon.com>
- [136] <http://www.hartcomm.org>
- [137] <http://www.industrialethernet.com>

