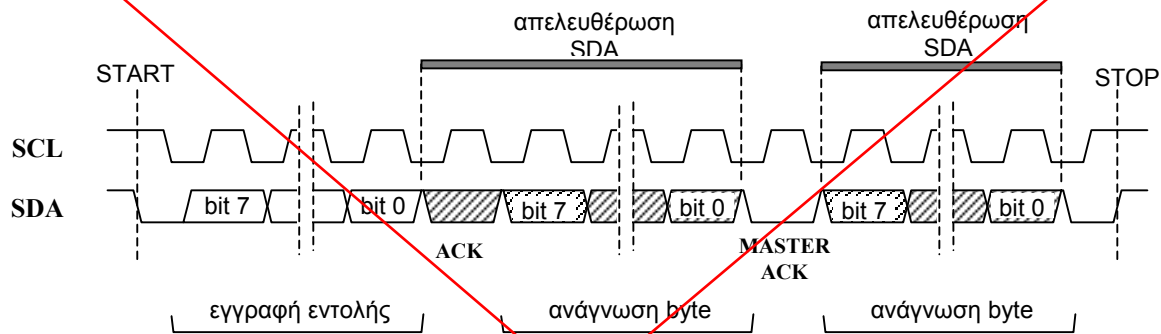


τον slave. Όποιος δεν οδηγεί το SDA, οφείλει να έχει έξοδο '1' ("απελευθέρωση SDA"). Και τα δύο μέρη, όταν δεν μεταδίδουν, διαβάζουν τα περιεχόμενα του SDA.



Σχήμα 7

Η ανάγνωση ξεκινά με τη δημιουργία μίας κατάστασης START από τον master, έτσι ώστε να αρχίσουν να λαμβάνουν όλοι οι συνδεδεμένοι slaves.

Στη συνέχεια, ο master αποστέλλει μία λέξη εντολή προς την EEPROM. Η λέξη αυτή περιέχει τη διεύθυνση της EEPROM και το είδος της προσπέλασης (π.χ. "ανάγνωση από επόμενη διεύθυνση μνήμης").

Αμέσως μετά ο master απελευθερώνει το SDA (το οδηγεί με '1'), για να λάβει α) την επιβεβαίωση (acknowledge) από την EEPROM ότι η εντολή έγινε αντιληπτή και β) τα περιεχόμενα της επιλεγμένης θέσης μνήμης. Ο master μπορεί να διακόψει τη μεταφορά με μία κατάσταση STOP, ή εναλλακτικά να επιβεβαιώσει (master acknowledge) τη λήψη της λέξης δεδομένων. Αν συμβεί το δεύτερο, η EEPROM επιστρέφει τη λέξη από την αμέσως επόμενη διεύθυνση μνήμης, κ.ο.κ.

4.3 Σειριακή μετάδοση εκτός τυπωμένου κυκλώματος.

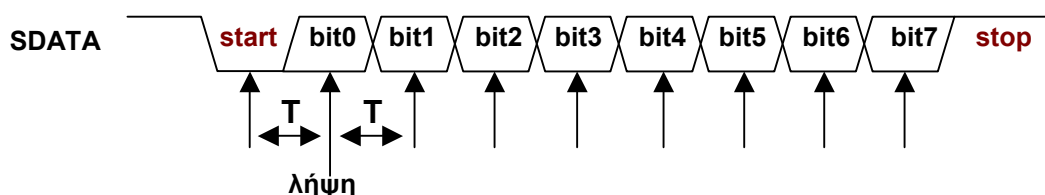
Το πλέον γνωστό πρότυπο για τη σειριακή μεταφορά δεδομένων μεταξύ συστημάτων είναι το RS-232 (EIA232). Το αρχικό πρότυπο καθορίζει το φυσικό (ηλεκτρικό) επίπεδο, τα αντίστοιχα σήματα και τις υποδοχές σύνδεσης (connectors) για την επικοινωνία μεταξύ ενός "Data Terminal Equipment" (DTE, συνήθως ένας υπολογιστής) και ενός "Data Communications Equipment" (DCE, συνήθως ένα modem). Στην πράξη όμως το RS-232 χρησιμοποιείται σε μία ευρεία κλίμακα εφαρμογών.

Τα σήματα του RS232 περιλαμβάνουν γραμμές μετάδοσης και λήψης δεδομένων (TxD, RxD), σήματα ελέγχου modem (request to send - RTS, clear to send - CTS, data terminal ready - DTR, data set ready - DSR κ.ά.), καθώς και την κοινή τάση αναφοράς (γείωση).

Οι λογικές στάθμες είναι οι ακόλουθες:

- το '1' αντιπροσωπεύεται από τάση -3 έως -25V (mark).
- το '0' αντιπροσωπεύεται από τάση 3 έως 25V (space).

Η μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι περίπου 20Kbps, η σύνδεση είναι πάντοτε μεταξύ δύο σημείων (point-to-point) και το μήκος του καλωδίου μπορεί να φτάσει τα 10 έως 15m.



Σχήμα 8

Η μετάδοση μέσα από το RS-232 απεικονίζεται στο σχήμα 8. Τα δεδομένα μεταφέρονται σειριακά με σταθερό ρυθμό, με πρώτο το λιγότερο σημαντικό bit (LSB). Η μεταδιδόμενη λέξη έχει μήκος από 5 έως 8 bits.

Πριν από κάθε λέξη μεταδίδεται ένα start bit, σκοπός του οποίου είναι ο συγχρονισμός του παραλήπτη. Σε γενικές γραμμές η λειτουργία δειγματοληψίας είναι η ακόλουθη:

α) Ο παραλήπτης ελέγχει περιοδικά (πολύ πιο γρήγορα από τον ρυθμό μετάδοσης) τη γραμμή, έως ότου εντοπίσει την κατερχόμενη ακμή του start bit.

β) Αμέσως μετά περιμένει χρόνο $T/2$ (όπου T ισούται με τον ονομαστικό χρόνο κάθε bit) και εφόσον η γραμμή είναι ακόμα '0', ξεκινά να δειγματοληπτεί τα επόμενα bits ανά χρόνο T . Με τον τρόπο αυτόν, η δειγματοληψία συντελείται περίπου στο μέσο κάθε bit.

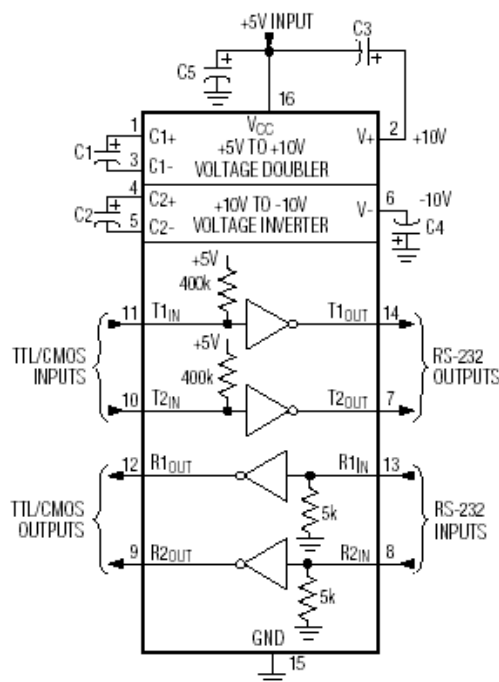
Η λέξη συμπληρώνεται προαιρετικά από ένα parity bit (με επιλεγόμενη μονή ή ζυγή ισοτιμία) και ολοκληρώνεται με 1 έως 2 stop bits. Τα bits αυτά εξασφαλίζουν ότι η γραμμή θα είναι για κάποιο διάστημα σε υψηλή κατάσταση πριν το επόμενο start bit. Επίσης δίνουν ένα περιθώριο χρόνου στον παραλήπτη (π.χ. για αποθήκευση της λέξης), πριν την έναρξη της επόμενης μεταφοράς.

Τη διαδικασία ασύγχρονης σειριακής αποστολής και λήψης δεδομένων σε ένα υπολογιστικό σύστημα αναλαμβάνει συνήθως τμήμα υλικού, το οποίο ονομάζεται Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART). Κάθε UART διαθέτει ουρά FIFO αποστολής, όπου ο επεξεργαστής εισάγει τις λέξεις προς μετάδοση. Το UART μετατρέπει τις λέξεις σε σειριακή ακολουθία bits, προσθέτει start/stop και parity bits, και στη συνέχεια μεταδίδει τα δεδομένα με τον επιλεγμένο ρυθμό.

Η διαδικασία λήψης είναι η ακριβώς αντίστροφη. Μόλις ληφθεί η πλήρης λέξη τοποθετείται σε ουρά FIFO λήψης. Όταν η FIFO γεμίσει στον επιθυμητό βαθμό, τότε ειδοποιείται ο μικροεπεξεργαστής μέσω διακοπής (interrupt) για την παραλαβή των λέξεων.

Ένα UART παράγει επίσης τα σήματα ελέγχου modem, στην περίπτωση που το τελευταίο χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω τηλεφωνικής γραμμής. Επίσης πολλά UART μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα και με σύγχρονο τρόπο (με σήμα clock – USART). Στα αρχικά υπολογιστικά συστήματα το UART ήταν αυτόνομο ολοκληρωμένο κύκλωμα, κάτι που σήμερα σπάνια συναντάται. Τώρα πλέον, τα κυκλώματα του UART έχουν ενσωματωθεί σε μικροελεγκτές ή περιλαμβάνονται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα πολλαπλών λειτουργιών.

Για τη μετάφραση των λογικών επιπέδων TTL/CMOS από και προς τα επίπεδα του RS-232 χρησιμοποιούνται ειδικά κυκλώματα οδήγησης, όπως το (κλασσικό πλέον) MAX232 του σχήματος 9.



Σχήμα 9

Τα κυκλώματα αυτά χρησιμοποιούν διατάξεις με πυκνωτές (charge pumps) για να παράγουν από την απλή τροφοδοσία +5V τις απαιτούμενες από το πρότυπο RS-232 τάσεις. Το κύκλωμα του σχήματος παράγει +10/-10V.

Τα κυκλώματα οδήγησης έχουν σχεδιαστεί με τέτοιον τρόπο, έτσι ώστε να ανθίστανται σε μη φυσιολογικές καταστάσεις, όπως για παράδειγμα εάν τυχαία βραχυκυκλωθεί μία έξοδος με τη γείωση, ή δύο σήματα μεταξύ τους. Επίσης υπάρχει πρόβλεψη για εσωτερική οδήγηση (pullup ή pulldown) των ασύνδετων εισόδων.

4.3.1 Διαφορική σειριακή μετάδοση.

Μία παραλλαγή του RS-232 αποτελεί το πρότυπο RS-422. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, η μετάδοση της πληροφορίας επιτυγχάνεται με διαφορική μέθοδο (κανονικό και συμπληρωματικό σήμα, σχήμα 10). Για τη λήψη της πληροφορίας χρησιμοποιείται η διαφορά των δύο σημάτων. Το σήμα που μεταδίδεται με διαφορικό τρόπο είναι πολύ ανθεκτικό σε κοινό θόρυβο (που επηρεάζει εξίσου τα δύο σήματα), διότι κατά τη λήψη, η διαφορά των σημάτων δεν αλλάζει.



Σχήμα 10

Κατά το πρότυπο RS-422, κάθε ένα από τα δύο συμπληρωματικά σήματα έχει στάθμη 0-5V. Η διαφορά τους όμως είναι είτε θετική είτε αρνητική, ανάλογα με το μεταδιδόμενο bit. Στην πράξη, το κύκλωμα λήψης μεταφράζει σε '0' κάθε διαφορά μεγαλύτερη από 200mV και σε '1' κάθε διαφορά μικρότερη από -200mV.

Με τη χρήση κυκλωμάτων οδήγησης κατά το πρότυπο RS-422 επιτυγχάνεται η σύνδεση έως και 10 κυκλωμάτων λήψης σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 1km. Ο ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων ανέρχεται έως τα 10Mbps.

Η λήψη του σήματος εξαρτάται μόνο από τη διαφορά των δύο συμπληρωματικών σημάτων και δεν απαιτείται κοινή τάση αναφοράς (γείωση) μεταξύ των συστημάτων μετάδοσης και λήψης για την αναγνώριση των λαμβανόμενων bits. Επειδή όμως το κύκλωμα λήψης έχει κάποιο μέγιστο όριο για τις τάσεις εισόδου του (σε σχέση με την τοπική γείωση) και οι είσοδοι οδηγούνται από το κύκλωμα μετάδοσης (σε σχέση με τη δική του γείωση), συχνά ένας πρόσθετος αγωγός διασυνδέει τις γειώσεις των δύο συστημάτων, έτσι ώστε να διατηρείται μία κοινή τάση γείωσης.

Σε μεγάλες αποστάσεις η διαφορά μεταξύ των δύο απομακρυσμένων γειώσεων μπορεί στιγμιαία να γίνει σημαντική (από αιχμές ρεύματος ή λόγω φορτίων καιρικών συνθηκών). Συχνά τα σήματα του RS-422 απομονώνονται ηλεκτρικά μεταξύ των δύο συστημάτων, με οπτικούς απομονωτές (opto-isolators).

4.4 Universal Serial Bus (USB).

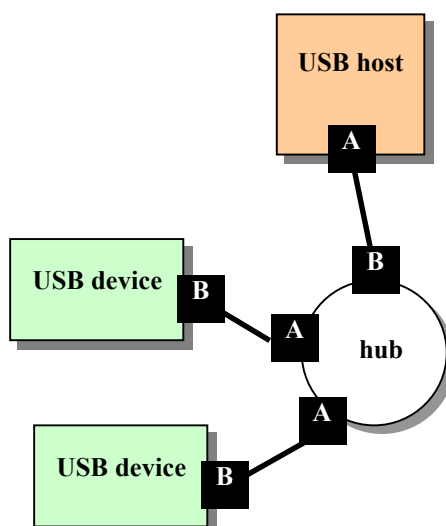
Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους διασύνδεσης, όπου περιγράφεται μόνο το υλικό (hardware), το σύνολο των προδιαγραφών του σειριακού διαύλου USB (Universal Serial Bus) περιγράφει την πλήρη ιεραρχία επιπέδων (υλικού και λογισμικού) για την υλοποίηση του διαύλου. Η στενή συνεργασία μεταξύ υλικού και λογισμικού επιτρέπουν την υλοποίηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του διαύλου, όπως η αυτόματη αναγνώριση και αρχικοποίηση (configuration) των συνδεδεμένων συσκευών κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος (hot swap).

Το πρότυπο USB περιγράφει τρεις ταχύτητες λειτουργίας, στα 480, 12 και 1.5Mbps. Η μετάδοση του σήματος γίνεται με διαφορετικό τρόπο (συμπληρωματικό ζεύγος σημάτων D+ και D-), ενώ σε ορισμένες καταστάσεις ελέγχου τα D+ και D- μπορούν να έχουν την ίδια τιμή. Η σύνδεση των D+ και D- είναι πάντοτε μεταξύ δύο σημείων (point-to-point) και ο δίαυλος επεκτείνεται με συσκευές διακλάδωσης (hubs). Οι γραμμές D+ και D- χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση σύνδεσης μίας συσκευής (με την αλλαγή της τάσης στη γραμμή) καθώς επίσης και για την αναγνώριση της ταχύτητας λειτουργίας της νεο-συνδεδεμένης συσκευής (ανάλογα με το ποια γραμμή από τις D+ και D- οδηγείται σε υψηλή τάση κατά τη σύνδεση).

Ο δίαυλος μπορεί να παρέχει τροφοδοσία στις συνδεδεμένες συσκευές, μέσω δύο πρόσθετων αγωγών (+5V, GND). Στην αρχική κατάσταση λειτουργίας κάθε συσκευή μπορεί να καταναλώνει από τον δίαυλο έως 100mA, ενώ ο ελεγκτής του διαύλου θα πρέπει να παρέχει τουλάχιστον 5x100mA. Το υλικό διασύνδεσης (ελεγκτές διαύλου) διαθέτει διατάξεις ελέγχου της τροφοδοσίας και μπορεί να αποσυνδέσει από τον δίαυλο μία συσκευή, η οποία καταναλώνει περισσότερο ρεύμα από το επιτρεπτό.

4.4.1 Τοπολογία διαύλου USB.

Ένας δίαυλος USB μπορεί να διασυνδέσει έως και 127 **συσκευές** με τοπολογία τύπου “αστέρα”. Στον δίαυλο υπάρχει μόνο ένας **ελεγκτής** (host) και οι συσκευές διασυνδέονται σε μία δενδρική δομή, όπου ο κόμβος διακλάδωσης υλοποιούνται από ειδικές διατάξεις (hubs). Κάθε συσκευή USB στα άκρα της δενδρικής δομής υλοποιεί **συναρτήσεις** (functions), ενώ τα δεδομένα σε κάθε function μεταφέρονται από/προς πολλαπλά **endpoints**. Ένα endpoint μπορεί να θεωρηθεί ως η πηγή/προορισμός των δεδομένων κάθε μεταφοράς (transfer).

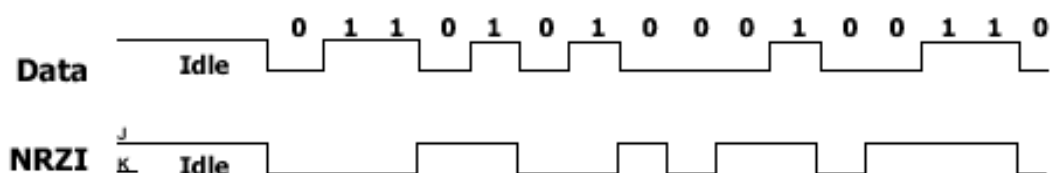


Σχήμα 11

Η διασύνδεση των καλωδίων USB μεταξύ των διάφορων τμημάτων χρησιμοποιεί υποδοχές σύνδεσης (connectors) δύο διαφορετικών τύπων (A και B), ανάλογα με το άκρο σύνδεσης (σχήμα 11).

4.4.2 Συγχρονισμός μεταφοράς στον δίαυλο USB.

Ο συγχρονισμός της μεταφοράς δεδομένων στον δίαυλο USB επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση της χρονικής πληροφορίας μέσα στην ακολουθία των σειριακά μεταδιδόμενων bits δεδομένων (σχήμα 12).



Σχήμα 12

Για τον επιτυχή συγχρονισμό του παραλήπτη θα πρέπει να υπάρχει στην εκπεμπόμενη ακολουθία ικανός αριθμός ακμών (δηλ. τα bits να εναλλάσσουν τιμή συχνά).

Για να εξασφαλιστεί ένας ελάχιστος αριθμός ακμών τα δεδομένα

α) πρώτα κωδικοποιούνται κατά NRZI (Non Return to Zero Invert): ένα ‘0’ προκαλεί αλλαγή τιμής του μεταδιδόμενου bit (σε σχέση με το προηγούμενο), ενώ κάθε ‘1’ δεν αλλάζει τη στάθμη του παραγόμενου σήματος

β) και στη συνέχεια οι μεγάλες ακολουθίες συνεχόμενων '1' διασπώνται για να εξασφαλιστεί η ύπαρξη ακμής (bit stuffing): μετά από έξι συνεχόμενα '1', εισάγεται υποχρεωτικά ένα πρόσθετο '0'. Το bit αυτό απορρίπτεται κατά τη λήψη.

Για την ενίσχυση του συγχρονισμού, κάθε μεταδιδόμενο πακέτο ξεκινά με ένα τμήμα συγχρονισμού (sync pattern, επτά '0' και ένα '1'), το οποίο μετά την κωδικοποίηση εμφανίζεται ως εναλλασσόμενα '0' και '1'. Από το σήμα αυτό ο δέκτης μπορεί να εξάγει αρχικά τον ρυθμό μετάδοσης κάθε bit.

4.4.3 Τύποι μεταφοράς.

Η προδιαγραφή USB καθορίζει τέσσερις τύπους μεταφοράς (transfer types):

1. Control. Οι μεταφορές αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και αρχικοποίηση των συνδεδεμένων συσκευών καθώς και για την ανίχνευση της κατάστασής τους. Οι μεταφορές τύπου Control προστατεύονται μέσω ελέγχου CRC, έτσι ώστε η ορθότητα της μετάδοσης να είναι εγγυημένη.

2. Bulk. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων, χωρίς αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς. Η μετάδοση στην περίπτωση αυτή δεν είναι χρονικά εγγυημένη, διότι οι μεταφορές bulk έχουν τη χαμηλότερη "προτεραιότητα" από όλους τους άλλους τύπου μεταφορών στον δίαυλο USB. Και για τη μεταφορά bulk χρησιμοποιείται μηχανισμός διόρθωσης σφαλμάτων μετάδοσης.

3. Interrupt. Σε αντίθεση με τη συνήθη έννοια του "interrupt", στο USB οι μεταφορές αυτού του τύπου είναι, όπως όλες οι άλλες, ελεγχόμενες από τον host. Δηλαδή πρόκειται στην ουσία για polling. Μία μεταφορά τύπου interrupt περιλαμβάνει μικρές ποσότητες δεδομένων και συμβαίνει μη περιοδικά.

4. Isochronous. Χρησιμοποιείται για τη συνεχή μεταφορά δεδομένων με σταθερό ρυθμό (audio, video). Το USB εξασφαλίζει εγγυημένη χρονική μετάδοση για την ισόχρονη μεταφορά, ενώ δεν υπάρχει επανάληψη της μετάδοσης σε περίπτωση σφάλματος ούτε έλεγχος επιτυχούς λήψης. Στα δεδομένα αυτού του τύπου έχει περισσότερη σημασία η έγκαιρη μετάδοση από την περιστασιακή απώλεια ορισμένων δεδομένων.

4.4.4 Πακέτα μετάδοσης.

Ένα πακέτο μετάδοσης δεδομένων στον δίαυλο USB περιέχει τα εξής πεδία:

- το τμήμα συγχρονισμού (sync pattern)
- το πεδίο τύπου, το οποίο καθορίζει το είδος του πακέτου
- τη διεύθυνση της συσκευής και endpoint στα οποία απευθύνεται
- τα δεδομένα
- πεδίο CRC για τον έλεγχο της ορθής μετάδοσης
- ένδειξη τέλους - End of Packet (EOP)

Τα κύρια είδη των μεταδιδόμενων πακέτων είναι:

- **Token:** καθορίζουν την λειτουργία μεταφοράς που θα ακολουθήσει στη συνέχεια.
- **Data:** περιέχουν τα δεδομένα της μεταφοράς (έως 1024 bytes ανά πακέτο).

- **Handshake:** για αναγνώριση ορθής ή εσφαλμένης μετάδοσης.
- **Start of Frame (SOF):** τα πακέτα αυτά χρησιμοποιούνται για να χωρίσουν τον χρόνο του διαύλου σε περιοδικά τμήματα (frames), με βάση τα οποία συγχρονίζονται οι χρονικά εγγυημένες μεταφορές.

Σε κάθε περίπτωση, **μόνο ο ελεγκτής** (USB host) καθοδηγεί τη μετάδοση κάθε πακέτου. Αυτό σημαίνει ότι οι ελεγχόμενες συσκευές του διαύλου μεταδίδουν πληροφορία μόνο όταν αυτό ζητηθεί από τον host.

4.4.5 Διαδικασία αρχικοποίησης USB.

Για την ενεργοποίηση και αρχικοποίηση κάθε συνδεδεμένης συσκευής στον δίαυλο USB χρησιμοποιούνται δομές δεδομένων (**descriptors**), οι οποίες περιγράφουν τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες κάθε συσκευής. Κάθε συσκευή διαθέτει πληροφορία αναγνώρισης (προϊόν, κατασκευαστής), πληροφορία για το είδος της συσκευής, για τα endpoints (τι τύπος μεταφοράς απαιτείται), τις απαιτήσεις σε τροφοδοσία κλπ.

Κατά την αρχική σύνδεση κάθε συσκευής ή τη συνολική ενεργοποίηση του διαύλου (διαδικασία “καταμέτρησης” – enumeration), οι συσκευές αναγνωρίζονται από τον ελεγκτή (USB host) και μέσω της πληροφορίας των descriptors επιτυγχάνεται η αυτόματη αρχικοποίηση των συσκευών και η σύνδεση με τους κατάλληλους οδηγούς λογισμικού (drivers) του λειτουργικού συστήματος.

4.4.6 Διασύνδεση USB.

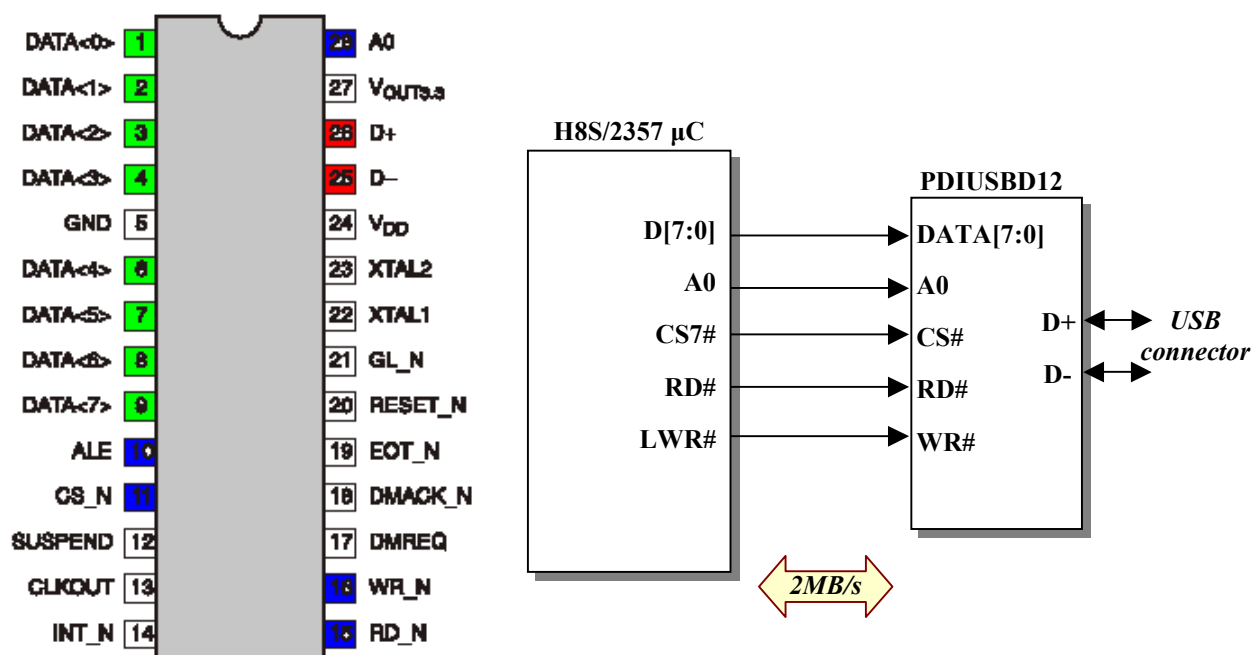
Για τη διασύνδεση ενός συστήματος με τον δίαυλο USB προσφέρονται οι εξής λύσεις:

1. Χρήση μικροελεγκτή με ενσωματωμένο USB interface.
2. Χρήση γενικής χρήσης μικροεπεξεργαστή/ελεγκτή με την προσθήκη ολοκληρωμένου κυκλώματος, το οποίο υλοποιεί το πλήρες USB interface.
3. Εάν η πλήρης λειτουργικότητα του USB interface αλλά όχι και το ηλεκτρικό interface περιλαμβάνεται σε ένα κύκλωμα ειδικού σκοπού (ASIC), τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας USB transceiver για τη φυσική διασύνδεση με τον δίαυλο USB.

Στο παράδειγμα του σχήματος 13, ο μικροελεγκτής H8S/2356 (Hitachi) διασυνδέεται με ένα κύκλωμα USB interface (PDIUSB12, Philips), το οποίο διαθέτει παράλληλο 8-bit bus για σύνδεση με μικροεπεξεργαστή.

Η διασύνδεση είναι άμεση και δεν απαιτεί πρόσθετα κυκλώματα λογικής.

Χρησιμοποιούνται τα χαμηλότερα 8 bits δεδομένων (D[7:0]) και μόνο μία γραμμή διεύθυνσης (A0, για την επιλογή φάσης εντολής ή δεδομένων). Το



PDIUSB12 ειδοποιεί τον επεξεργαστή όταν απαιτείται παρέμβαση μέσω της γραμμής διακοπής IRQ0. Η γραμμή αυτή οδηγείται από έξοδο ανοικτού συλλέκτη, οπότε απαιτείται αντίσταση pullup.

Σχήμα 13

Για την επιλογή (chip select) του PIDUSB12 χρησιμοποιείται ένα από τα σήματα επιλογής του μC (CS7#), και η διασύνδεση ολοκληρώνεται με τα σήματα LWR# (low data byte write) και RD#.