

Σύγχρονοι σειριακοί δίαυλοι

Κάθε παλμός και ένα bit

Από τους καθ. Δρ. Bernd vom Berg και τον Peter Groppe

Οι ανταλλαγές δεδομένων μεταξύ μικροελεγκτών και περιφερειακών με τη βοήθεια σύγχρονων σειριακών διαύλων έχουν κερδίσει προ πολλού την εμπιστοσύνη των σχεδιαστών. Όσο μάλιστα αυξάνεται η ταχύτητά τους τόσο πιο πολύ γίνονται αναγκατάστατοι.

Η αλήθεια των παραπάνω λόγων αποδεικνύεται ξεκάθαρα ρίχνοντας μια ματιά στην αγορά ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Όλες οι μεγάλες εταιρίες κατασκευής μικροελεγκτών (Analog Devices, Atmel, Burr-Brown, Maxim / Dallas, Microchip και άλλες) εξοπλίζουν πλέον όλα τα 'ευφυή' προϊόντα τους με βαθμίδες ανταλλαγής σειριακών δεδομένων εξαιρετικά υψηλών ταχυτήτων. Αυτό δεν είναι βέβαια τυχαίο, αφού η σειριακή μετάδοση έχει αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα σε σχέση με την παράλληλη. Στο άρθρο που ακολουθεί θα αναφερθούμε στις βασικές αρχές λειτουργίας των σύγχρονων σειριακών διαύλων, τονίζοντας ταυτόχρονα τα σημεία που πρέπει να προσέξει κάποιος που ασχολείται με τέτοιου είδους εφαρμογές.

Το βασικό πρόβλημα

Ίσως να μην το έχετε σκεφτεί μέχρι τώρα, αλλά αν κάποια στιγμή θελήσετε να επεκτείνετε ένα υπάρχον σύστημα μικροελεγκτή, ο τύπος του περιφερειακού που θα επιλέξετε θα εξαρτηθεί άμεσα από τον τύπο του 'ευφυούς' εξαρτήματος που ήδη χρησιμοποιείται. Ας το συζητήσουμε.

- Ο μικροελεγκτής έχει πολλές ακίδες, άρα διαθέτει πλήρεις διαύλους δεδομένων, διευθύνσεων και ελέγχου. Σε μια τέτοια περίπτωση η προσθήκη ενός πρόσθετου 'παράλληλου' περιφερειακού αποτελεί μια εύκολη υπόθεση. Σε αυτό άλλωστε συνηγορεί και η μεγάλη ποικιλία τέτοιου είδους περιφερειακών.

- Ο μικροελεγκτής έχει ελάχιστες ακίδες περιορίζοντας όλους τους διαύλους στο εσωτερικό του.

Ακόμα, όλες (σχεδόν) οι ακίδες του είναι δεσμευμένες για την επικοινωνία των εσωτερικών περιφερειακών με τον εξωτερικό κόσμο. Ένα άλλο σημείο που αποδεικνύεται και αυτό εξ ίσου καθοριστικό είναι η απόσταση μεταξύ μικροελεγκτή και περιφερειακού. Η απόσταση αυτή επηρεάζει άμεσα το εύρος και το μήκος της αναγκαίας καλωδίωσης.

Μιλώντας γενικά μπορούμε να κατατάξουμε τις αποστάσεις σε τρεις κατηγορίες:

- Από 1 έως 10 εκατοστά – όταν το περιφερειακό βρίσκεται στην ίδια πλακέτα με τον μικροελεγκτή.

- Μερικά μέτρα – όταν το περιφερειακό βρίσκεται στο ίδιο κουτί με το μικροελε-

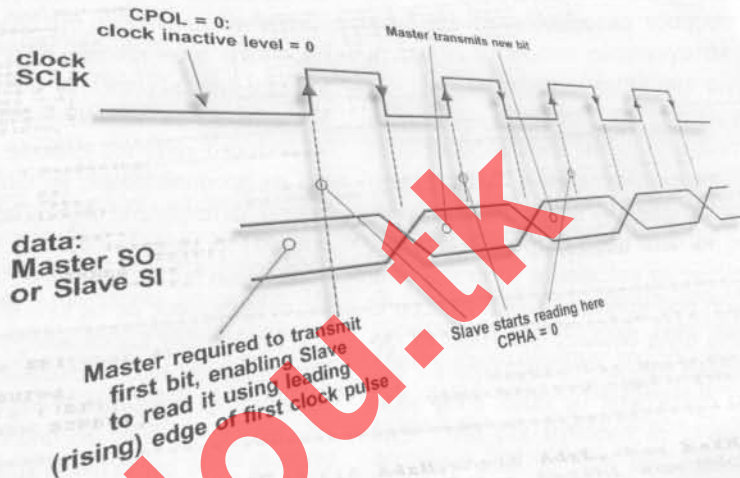
γκτή, στο ίδιο ρακ ή στο ίδιο συγκρότημα ελέγχου.

- Από 10 μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα – όταν τα περιφερειακά είναι 'σκορπισμένα' σε ένα μεγάλο όχημα (τραίνο ή πλοίο), σε ένα εργοστάσιο ή στις εγκαταστάσεις μιας βιομηχανικής ζώνης.

Θα συμφωνήσετε και εσείς πως ένας παράλληλος δίαυλος αποτελούμενος από 10 έως 20 αγωγούς είναι μάλλον 'δυσκίνητος' για μεγάλες αποστάσεις. Και δεν είναι μόνο το κόστος των καλωδίων που πρέπει να μας προβληματίσει. Είναι και ο ηλεκτρικός θόρυβος, που όσο αυξάνεται το μήκος του, αυξάνεται και αυτός μαζί!!

Σειριακή μετάδοση δεδομένων

Μέχρι και πριν από λίγα χρόνια όταν μιλάγαμε για διαύλους, το μυαλό πήγαινε



αυτόματα σε κάποιους από τους πολλούς 'παράλληλους' που κυριαρχούσαν τότε στην αγορά.

Σήμερα τα πράγματα έχουν αλλάξει ριζικά. Οι σειριακοί δίαυλοι έχουν φθάσει σε τέτοιο σημείο ωρίμανσης, ώστε να αποτελούν την μοναδική επιλογή των σχεδιαστών. Θα μπορούσαμε, σε μια πρώτη προσέγγιση, να τους κατατάξουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στους σύγχρονους / ασύγχρονους που εξυπηρετούν τις ανάγκες επικοινωνίας μεταξύ δύο μόνο συσκευών και σε αυτούς που προορίζονται για την υποστήριξη περισσότερων συσκευών. Και στις δύο περιπτώσεις η μετάδοση ενός byte πραγματοποιείται σε πολλές επιμέρους φάσεις, που κατά τη διάρκεια της κάθε μιας μεταδίδεται ένα μόνο δυαδικό ψηφίο. Αυτός ο τρόπος αποτελεί τη βασικότερη διαφορά μεταξύ της σειριακής και της παράλληλης μετάδοσης.

Θυμίζουμε πως στην παράλληλη μετάδοση, και τα οκτώ ψηφία ενός byte μεταδίδονται με μια μόνο 'κίνηση'. Η εγκατάσταση ενός σειριακού διαύλου είναι κατά πολύ απλούστερη από την εγκατάσταση ενός παράλληλου. Απαιτούνται σαφώς λιγότερα καλώδια που τα άκρα τους θα πρέπει να καταλήγουν στους αντίστοιχους μετατροπείς στάθμης ή οδηγούς γραμμής. Από τη μεριά του μικροελεγκτή απαιτούνται μόλις μια ή δύο ακίδες πάνω στις οποίες θα αναδεικνύονται τα σειριακά σήματα. Αν οι ακίδες αυτές καταλήγουν σε ενσωματωμένα UART, τότε το απαιτούμενο λογισμικό υποστήριξης θα είναι μάλλον μικρό. Αν όχι θα πρέπει να γραφτούν ειδικά προγράμματα που θα 'μετατρέπουν' τις ακίδες αυτές σε ακίδες σειριακής επικοινωνίας.

Ένα από τα μειονεκτήματα του σειριακού διαύλου σε σχέση με τον παράλληλο είναι η συγκριτικά μικρότερη ταχύτητά του. Για τη μετάδοση ενός byte απαιτούνται 8 παλμοί χρονισμού, τη στιγμή που ο παράλληλος δίαυλος κάνει την ίδια δουλειά μόνο με έναν. Αυτό όμως έχει πάψει σιγά – σιγά να έχει σημασία, μιας που οι συχνότητες λειτουργίας των σημερινών σειριακών διαύλων είναι πολύ πιο μεγάλες σε σχέση με αυτές που είχαν παλαιότερα.

Ακόμα, το αμελητέο αυτό μειονέκτημα άνετα μπορεί κάποιος να το αγνοήσει, αν λάβει υπόψη του όλα τα άλλα πλεονεκτήματα που του προσφέρουν. Ενδεικτικά σημειώνουμε πως ο σειριακός δίαυλος SATA, που χρησιμοποιείται από τους σκληρούς δίσκους, είναι σε θέση να μεταφέρει δεδομένα με ταχύτητες μεγαλύτερες από εκείνες των παλαιότερων παράλληλων 16ψη-

φίων διαύλων.

Δυαδικά ψηφία και υπολογιστές

Μια από τις πολλές λέξεις – κλειδιά που χαρακτηρίζουν τις σύγχρονες σειριακές μεταδόσεις είναι η λέξη 'Συγχρονισμός' (σχ. 1). Ο πομπός εφαρμόζει πάνω στη γραμμή μεταφοράς τα δυαδικά ψηφία που αποτελούν τα byte, το ένα πίσω από το άλλο. Πως όμως καταφέρνει ο δέκτης να τα ξεχωρίζει;

Είναι προφανές πως η απώλεια ενός ψηφίου όπως και η ανάγνωση ενός ψηφίου δύο φορές αποτελούν ανεπίτρεπτα σφάλματα που κάνουν το τηλεπικοινωνιακό κανάλι τελειώς αναξιόπιστο. Για να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα θα πρέπει ο δέκτης να γνωρίζει με ακρίβεια τις χρονικές στιγμές που εμφανίζεται το κάθε ένα ψηφίο στη γραμμή. Μοναδική λύση γι' αυτό αποτελεί η παρουσία ενός δευτέρου σήματος το οποίο θα τον ειδοποιεί για αυτό. Το παραπάνω σήμα αποτελεί ένα είδος σήματος χρονισμού και στέλνεται στον δέκτη από τον πομπό με τη βοήθεια ενός δεύτερου αγωγού.

Ένα σενάριο για το πως αξιοποιεί ο δέκτης το σήμα χρονισμού θα μπορούσε να είναι το εξής:

Μόλις εμφανισθεί ένα ανερχόμενο μέτωπο στη γραμμή χρονισμού, τότε αυτόματα δειγματοληπτείται η κατάσταση της γραμμής δεδομένων. Αφού ξεκαθαριστεί αν η στάθμη αντιστοιχεί σε 0 ή 1 μεταφέρεται είτε στην είσοδο ενός καταχωρητή μετατόπισης είτε σε μια θέση μνήμης. Το προϊόν της δειγματοληψίας προσδιορίζει εξ ορισμού ένα δυαδικό ψηφίο. Κατά τη διάρκεια του κατερχόμενου μετώπου που ακολουθεί το ανερχόμενο, ο δέκτης παραμένει αδρανής, μιας που εκείνη τη στιγμή ο πομπός εισάγει στη γραμμή δεδομένων την ηλεκτρική στάθμη που αντιστοιχεί στο επόμενο δυαδικό ψηφίο.

Μόλις ολοκληρωθεί η λήψη ενός byte, τα κυκλώματα του δέκτη αποφασίζουν για το που θα το αποθηκεύσουν ή για το πως θα το ερμηνεύσουν αν αυτό αντιπροσωπεύει κάποια εντολή. Μετά από όλα αυτά είναι προφανές πως για την υλοποίηση ενός σύγχρονου σειριακού διαύλου απαιτούνται δύο 'θερμοί' αγωγοί (δεδομένων και παλμών χρονι-

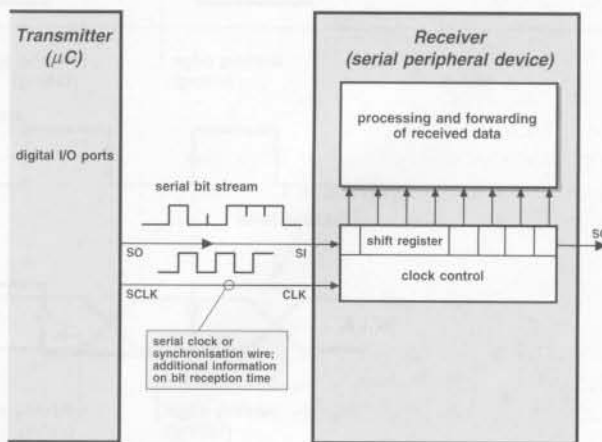
σμού) μαζί με έναν ακόμα που θα μεταφέρει το δυναμικό της γης. Η παραπάνω μέθοδος ονομάζεται 'Σύγχρονη' μέθοδος μεταφοράς, αφού η λήψη των δεδομένων 'συγχρονίζεται' από τον πομπό. Υπάρχει και άλλη μια μέθοδος γνωστή σαν 'Ασύγχρονη', η οποία δεν απαιτεί την εκπομπή του σήματος συγχρονισμού. Το σήμα αυτό παράγεται από τον ίδιο τον δέκτη, ο οποίος αυτο-συγχρονίζεται.

Τέτοιες μεταδόσεις έχουμε στο δίαυλο CAN και στις θύρες COM των PC. Οι τελευταίες χρησιμοποιούν βαθμίδες UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter, Γενικής χρήσης Ασύγχρονος Πομπό-δέκτης) που καταφέρνουν να κάνουν θαυμάσια αυτήν τη δουλειά. Στο παρόν άρθρο θα ασχοληθούμε μόνο με τις Σύγχρονες μεταδόσεις.

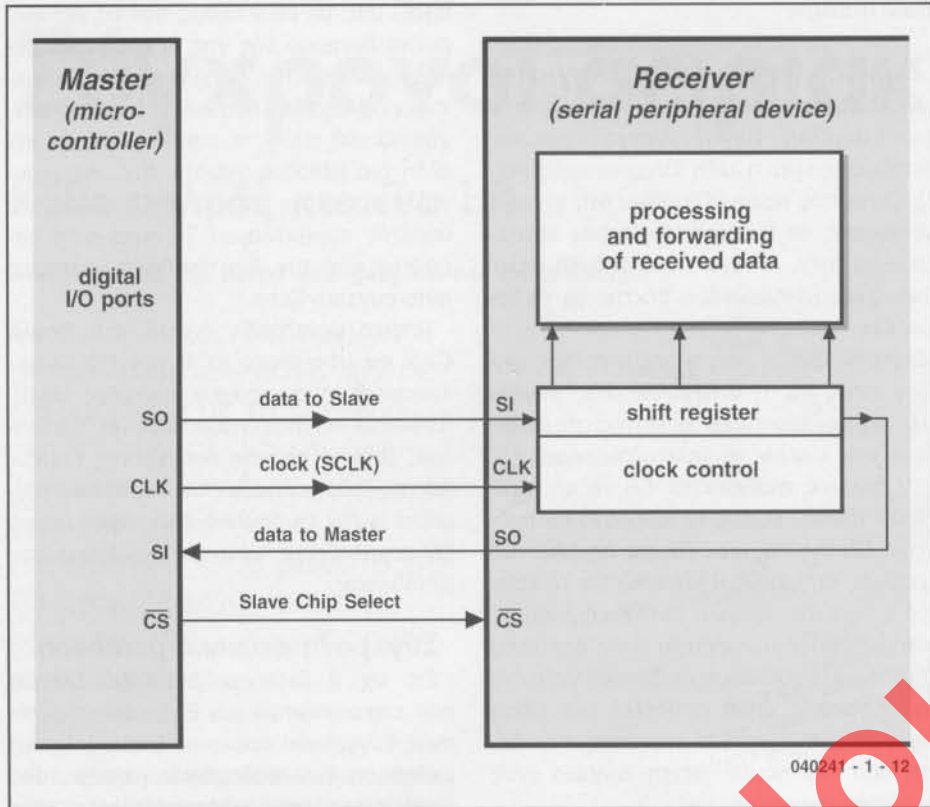
Σύγχρονη σειριακή μετάδοση

Στο σχ. 2 βλέπουμε μια Κύρια μονάδα που επικοινωνεί με μια Εξαρτώμενη μέσω ενός Σύγχρονου σειριακού διαύλου. Για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ τους χρησιμοποιούνται δύο αγωγοί, ένας για κάθε διαφορετική κατεύθυνση.

Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για το σήμα χρονισμού. Αντί να έχουμε δύο αγωγούς έχουμε μόνο έναν, ο οποίος παρέχει παλμούς είτε η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται από αριστερά προς τα δεξιά είτε αντιστρόφως. Η μονάδα που παράγει τους παραπάνω παλμούς είναι πάντα η Κύρια, η οποία κατά κανόνα βασίζεται σε ένα μικροελεγκτή. Η συχνότητα των παλμών συγχρονισμού είναι εκείνη που καθορίζει την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων. Θα πρέπει να είναι πάντα μικρότερη από εκείνη που μπορούν να 'αντέξουν'



Σχ. 1. Η διαδικασία συγχρονισμού δεδομένων μεταξύ πομπού και δέκτη.



Σχ. 2. Σύγχρονη σειριακή μετάδοση δεδομένων.

τόσο η Κύρια όσο και η Εξαρτώμενη μονάδα, έτσι ώστε να εκμηδενίζεται ο κίνδυνος ενδεχόμενων σφαλμάτων. Μετά από όλα όσα είπαμε είμαστε πλέον σε θέση να πούμε δυό λόγια για το πως πραγματοποιείται μια τέτοια μετάδοση.

- Το σήμα χρονισμού (SCLK (Serial Cloc-

k) παράγεται από την Κύρια μονάδα και τροφοδοτεί την αντίστοιχη είσοδο του καταχωρητή μετατόπισης της Εξαρτώμενης μονάδας.

- Η Κύρια μονάδα εφαρμόζει τα δυαδικά ψηφία στην ακίδα εξόδου SO (Serial Output) που συνδέεται άμεσα στην ακίδα SI (Se-

rial Input) της Εξαρτώμενης μονάδας. Από εδώ εισάγονται στον εξαρτώμενο καταχωρητή μετατόπισης με τη χρήση του σειριακού χρονιστή.

Μόλις συμπληρωθούν όλα τα ψηφία ενός byte, η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' τις εξόδους του καταχωρητή και αποφασίζει για το τι θα κάνει στη συνέχεια. Το byte που έφθασε μπορεί να έχει σημασία εντολής ή να μεταφέρει απλώς κάποια χρήσιμη πληροφορία.

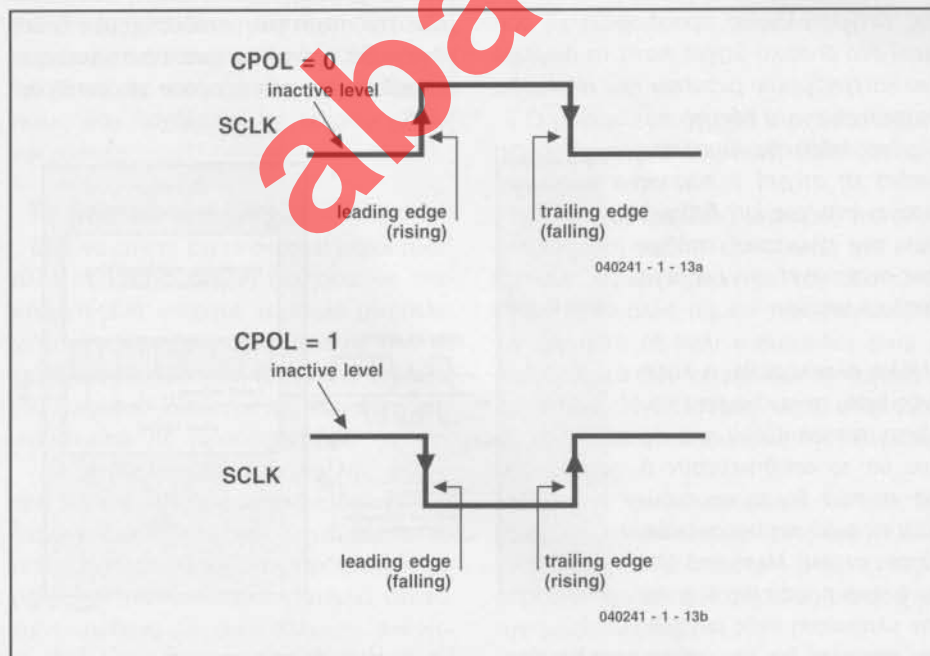
- Με ανάλογο τρόπο μπορεί η Εξαρτώμενη μονάδα να στείλει δεδομένα στην Κύρια. Αρκεί να 'φορτώσει' τον Καταχωρητή μετατόπισης που διαθέτει με το επιθυμητό byte και να αφήσει την Κύρια μονάδα να τον 'αδειάσει' μέσω των αποστελλόμενων παλμών χρονισμού. Τα ψηφία μεταδίδονται διαδοχικά μέσω της δεύτερης γραμμής δεδομένων που συνδέει την ακίδα SO της Εξαρτώμενης μονάδας με την SI της Κύριας. Αν η Κύρια μονάδα δεν έχει να στείλει δεδομένα τότε τα δεδομένα που υπάρχουν στο καταχωρητή μετατοπίζονται εκτός αυτού. Αυτό το είδος μετάδοσης χαρακτηρίζεται από την ονομασία 'Πλήρης Αμφίδρομη Μετάδοση' (Full Duplex).

- Το τέταρτο σήμα CS (Chip Select) χρησιμεύει για την ενεργοποίηση της επιθυμητής Εξαρτώμενης μονάδας, στην περίπτωση που πάνω στο δίαυλο είναι συνδεδεμένες περισσότερες από μια. Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση του δεύτερου αγωγού δεδομένων (από την Εξαρτώμενη στην Κύρια μονάδα) είναι περιττή. Σκεφτείτε π.χ. την περίπτωση που η Εξαρτώμενη μονάδα αποτελεί μια βαθμίδα απεικόνισης με LED. Είναι προφανές πως δεν χρειάζεται να στέλνει δεδομένα πίσω στην Κύρια, άρα δεν χρειάζεται καμία επιπλέον γραμμή δεδομένων.

Το πλήθος, λοιπόν, των αγωγών σύνδεσης περιορίζεται σε τρεις. Αντίθετα, αν η Εξαρτώμενη μονάδα είναι π.χ. ένα απομακρυσμένο θερμομέτρο, τότε απαραίτητως χρειάζεται και η αντίστροφη σύνδεση. Μέσω αυτής θα μεταφέρονται οι μετρούμενες τιμές θερμοκρασίας στην Κύρια, ενώ αυτή θα μπορεί να 'προγραμματίζει' την Εξαρτώμενη στέλνοντας τα κατάλληλα byte - εντολές. Μια τέτοια σύνδεση απαιτεί τρεις αγωγούς.

CPOL και CPHA

Σε κάποια είδη σύγχρονων σειριακών μεταδόσεων (όπως π.χ. στο SPI) έχει σημασία να γνωρίζουμε την πολικότητα του σήματος χρονισμού (CPOL, Clock Polarity), όπως επίσης και το ποιο από τα δύο



Σχ. 3. Το μέτωπο έναρξης και το μέτωπο λήξης του παλμού χρονισμού.

Πίνακας 1. Οι τέσσερις τρόποι λειτουργίας του σειριακού διαύλου κατά τη μετάδοση δεδομένων από την Κύρια στην Εξαρτώμενη μονάδα.

CPOL	CPHA	Τρόπος λειτουργίας
0	0	Mode 0 Τρόπος λειτουργίας σειριακού διαύλου (SPI Mode) Η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' δεδομένα στο μέτωπο Έναρξης (ανερχόμενο) του παλμού χρονισμού. Η Κύρια μονάδα εζάγει δεδομένα στο μέτωπο Λήξης (κατερχόμενο) του προηγούμενου παλμού.
0	1	Mode 1 Η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' δεδομένα στο μέτωπο Λήξης (κατερχόμενο) του παλμού χρονισμού. Η Κύρια μονάδα εζάγει δεδομένα στο μέτωπο Έναρξης (ανερχόμενο) του τρέχοντος παλμού.
1	0	Mode 2 Η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' δεδομένα στο μέτωπο Έναρξης (κατερχόμενο) του παλμού χρονισμού. Η Κύρια μονάδα εζάγει δεδομένα στο μέτωπο Λήξης (ανερχόμενο) του προηγούμενου παλμού.
1	1	Mode 3 Η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' δεδομένα στο μέτωπο Λήξης (ανερχόμενο) του παλμού χρονισμού. Η Κύρια μονάδα εζάγει δεδομένα στο μέτωπο Λήξης (κατερχόμενο) του τρέχοντος παλμού.

μέτωπα (CPHA, Clock PHAse) του παλμού χρονισμού σηματοδοτεί την εγγραφή ή την ανάγνωση της γραμμής δεδομένων. Όλα τα ολοκληρωμένα που προορίζονται για την υποστήριξη σύγχρονων σειριακών μεταδόσεων διαθέτουν δύο ακίδες με τα παραπάνω ονόματα (ή, εναλλακτικά, δύο αντίστοιχα ψηφία στον Καταχωρητή Κατάστασής τους) μέσω των οποίων τους γνωστοποιούμε τα χαρακτηριστικά του διαύλου στον οποίο συνδέονται.

Γνωρίζοντας ότι η κάθε μια από τις παραπάνω ακίδες (ή ψηφία) έχει τιμή 0 ή 1, εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι τα ολοκληρωμένα μπορούν να προγραμματιστούν με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Θυμίζουμε ακόμα, πως πριν από την εκκίνηση οποιασδήποτε μετάδοσης, η ακίδα SCK θα πρέπει να βρίσκεται στην κατάσταση ηρεμίας. Η κατάσταση αυτή ορίζεται από την CPOL.

CPOL = 0: Η κατάσταση ηρεμίας του σήματος χρονισμού είναι τα 0 V. Η έναρξη

της σειριακής μετάδοσης ξεκινάει με το ανερχόμενο μέτωπο του παλμού.

CPOL = 1: Η κατάσταση ηρεμίας του σήματος χρονισμού είναι τα +5 V. Η έναρξη της σειριακής μετάδοσης ξεκινάει με το κατερχόμενο μέτωπο του παλμού. Σε μια σύγχρονη σειριακή μετάδοση τόσο το μέτωπο έναρξης όσο και το μέτωπο λήξης του παλμού χρονισμού έχουν ιδιαίτερη σημασία.

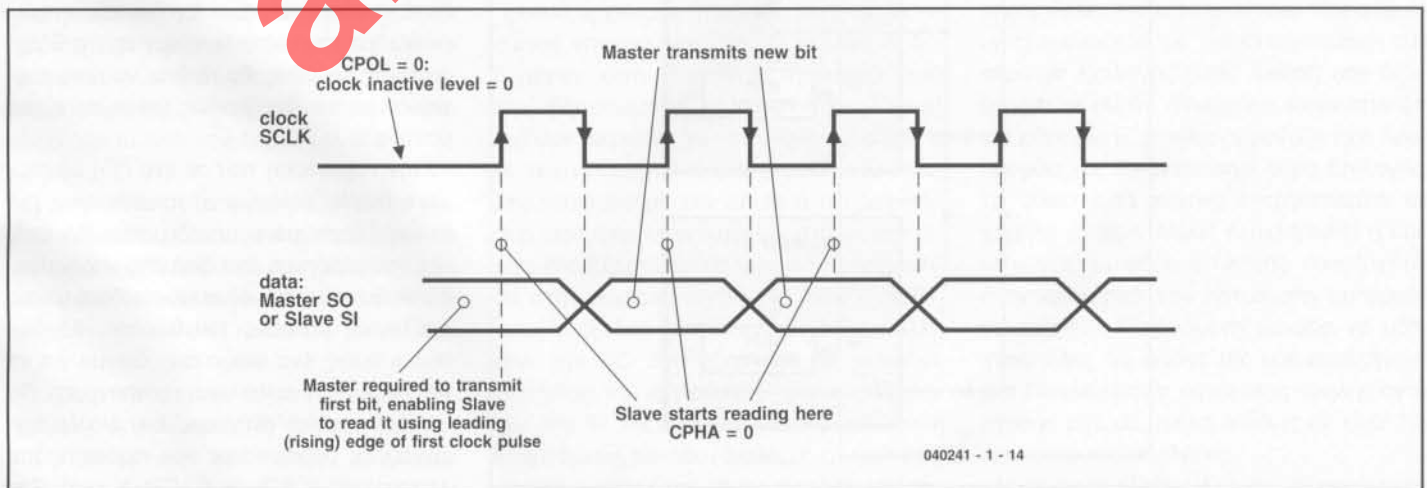
Με το ένα από αυτά ο πομπός εισάγει δεδομένα στον αγωγό μεταφοράς, ενώ με το άλλο ο δέκτης 'διαβάζει' τα δεδομένα και τα αποθηκεύει στους εσωτερικούς καταχωρητές του. Κατά συνέπεια για να εξασφαλίσουμε μια αξιόπιστη μεταφορά θα πρέπει να γνωρίζουμε εκ των προτέρων. Σε ποιο από τα δύο μέτωπα του παλμού χρονισμού 'διαβάζει' η Εξαρτώμενη μονάδα από την ακίδα SI τα δυαδικά ψηφία από το σειριακό δίαυλο. Σε ποιο από τα δύο μέτωπα του παλμού χρονισμού εισάγει η

Κύρια μονάδα τα δυαδικά ψηφία στην ακίδα δεδομένων SO του σειριακού διαύλου. Τα ψηφία αυτά 'διαβάζονται' από την Εξαρτώμενη στο επόμενο μέτωπο του σήματος χρονισμού.

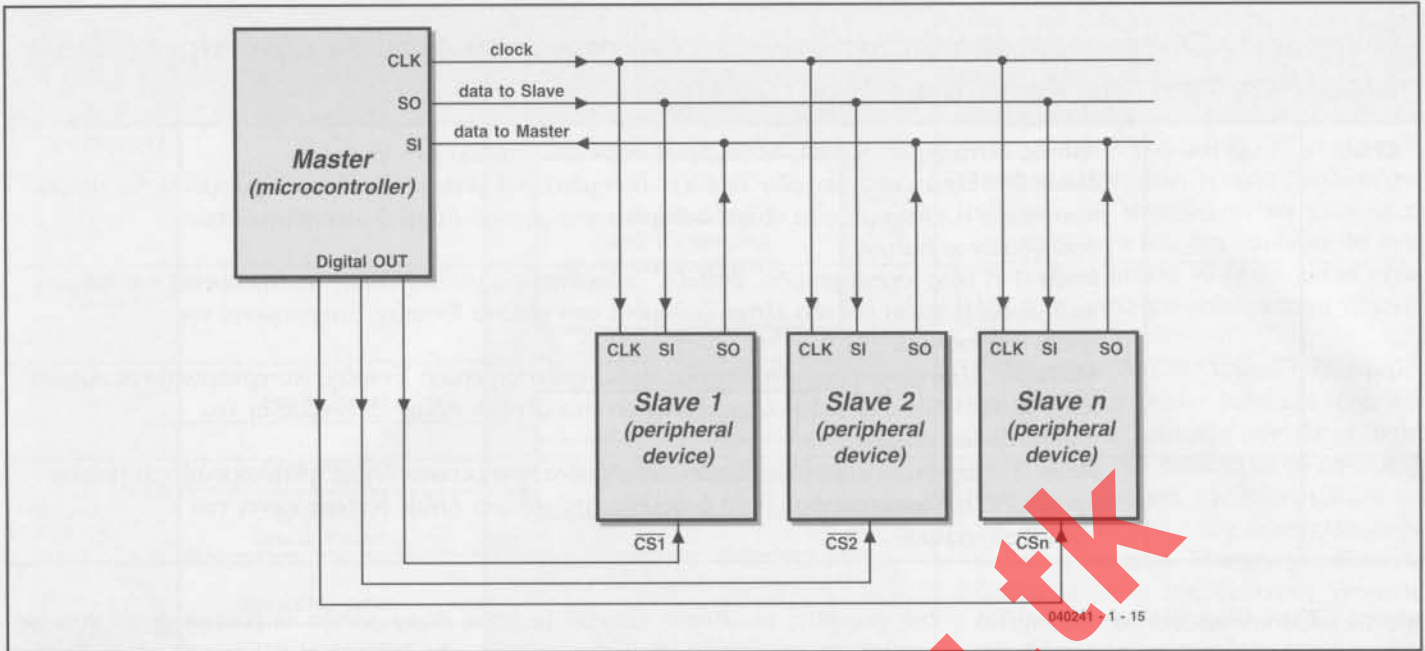
Όπως και προηγουμένως έτσι και εδώ έχουμε δύο περιπτώσεις που εξαρτώνται άμεσα από την κατάσταση της παραμέτρου CPHA. Είναι επίσης εξ ίσου σημαντικό να έχουμε ξεκαθαρίσει την κατάσταση ηρεμίας της γραμμής χρονισμού (πάρμετρος CPOL) μιας που αυτή ορίζει το αν τα μέτωπα έναρξης και λήξης των παλμών χρονισμού θα είναι ανερχόμενα ή κατερχόμενα (σχ. 3).

Αν η **CPOL = 0** το μέτωπο έναρξης είναι ανερχόμενο και το μέτωπο λήξης κατερχόμενο.

Αν η **CPOL = 1** ισχύουν τα αντίθετα. Από όλα τα παραπάνω προκύπτει πως για να περιγράψουμε σωστά τις καταστάσεις ενός σειριακού διαύλου θα πρέπει να ξέρουμε



Σχ. 4. Η σημασία των μετώπων σε μια σειριακή μετάδοση σύμφωνα με τους κανόνες του τρόπου λειτουργίας 0.



Σχ. 5. Σειριακός διάυλος με παράλληλη σύνδεση Εξαρτώμενων μονάδων.

τις τιμές και των δύο αυτών παραμέτρων.

CPHA = 0 Η Εξαρτώμενη μονάδα αξιοποιεί το μέτωπο έναρξης του παλμού χρονισμού προκειμένου να εισάγει πληροφορία από την ακίδα SI. Αν η παράμετρος CPOL = 0 το μέτωπο έναρξης είναι ανερχόμενο. Αν, αντίθετα, ισχύει ότι CPOL = 1

τότε το μέτωπο έναρξης είναι κατερχόμενο. Η Κύρια μονάδα οφείλει να έχει 'φορτώσει' από πριν στο διάλογο την μεταδιδόμενη πληροφορία και ειδικότερα κατά τη διάρκεια του μετώπου λήξης του προηγούμενου παλμού χρονισμού.

CPHA = 1 Η Εξαρτώμενη μονάδα αξιο-

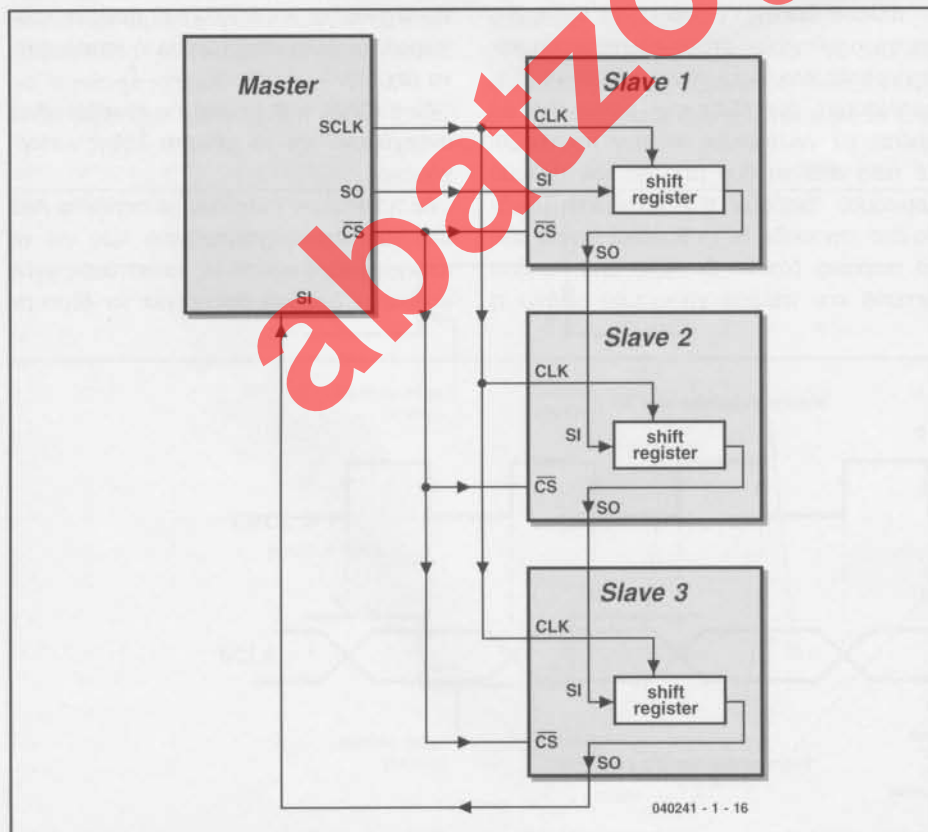
ποιεί το μέτωπο λήξης του παλμού χρονισμού προκειμένου να εισάγει πληροφορία από την ακίδα SI.

Αν η παράμετρος CPOL = 0 το μέτωπο λήξης είναι κατερχόμενο. Αν, αντίθετα, ισχύει ότι CPOL = 1 τότε το μέτωπο λήξης είναι ανερχόμενο.

Η Κύρια μονάδα οφείλει να έχει 'φορτώσει' από πριν στο διάλογο την μεταδιδόμενη πληροφορία και ειδικότερα κατά τη διάρκεια του μετώπου έναρξης του τρέχοντος παλμού χρονισμού. Οι τέσσερις πιθανοί συνδυασμοί των παραμέτρων CPHA και CPOL σημειώνονται μαζί με επεξηγηματικά σχόλια στον Πίνακα 1.

Εξυπακούεται ότι για μια σωστή μεταφορά δεδομένων, θα πρέπει τόσο η Κύρια όσο και η Εξαρτώμενη μονάδα να χρησιμοποιούν τον ίδιο συνδυασμό CPOL, CPHA. Κατά συνέπεια, αφού ο σχεδιαστής ενημερωθεί 'για τον τρόπο λειτουργίας της Εξαρτώμενης μονάδας, θα πρέπει να προγραμματίσει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο την Κύρια μονάδα.

Στην περίπτωση που σε ένα ήδη υφιστάμενο διάλογο θέλουμε να προσθέσουμε μια ακόμα Εξαρτώμενη μονάδα, τότε θα πρέπει να επέμβουμε στα δικά της χαρακτηριστικά ώστε να την κάνουμε συμβατή με τις υπόλοιπες μονάδες του διαύλου. Ας δώσουμε όμως, ένα ακόμα παράδειγμα για να δείξουμε πόσο απλά είναι τα πράγματα. Θα υποθέσουμε ότι 'στήνουμε' ένα διάλογο που εργάζεται σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο λειτουργίας (CPOL = 0, CPHA = 0). Στο διάγραμμα του σχ. 4 φαίνονται οι κυματο-



Σχ. 6. Σειριακός διάυλος σε συνδεσμολογία σειράς.

Πίνακας 2. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των σειριακών διαύλων

Σειριακός δίαυλος με παράλληλα συνδεδεμένες εξαρτώμενες μονάδες

Πλεονεκτήματα	Ανεξάρτητη διευθυνοδότηση για κάθε μια Εξαρτώμενη συσκευή. Κατάλληλη για χρήση με Εξαρτώμενες μονάδες χωρίς ακίδα εξόδου SO. Η μετάδοση δεδομένων πραγματοποιείται πάντα με τη μέγιστη ταχύτητα ανεξάρτητα του πόσες άλλες μονάδες είναι συνδεδεμένες στο δίαυλο.
Μειονεκτήματα	Κάθε μια Εξαρτώμενη μονάδα απαιτεί ένα ξεχωριστό σήμα Επιλογής ή μια ξεχωριστή ακίδα I/O του μικροελεγκτή.

Σειριακός δίαυλος με Εξαρτώμενες μονάδες σε συνδεσμολογία σειράς

Πλεονεκτήματα	Η προσθήκη μιας επιπλέον Εξαρτώμενης μονάδας δεν απαιτεί κανένα πρόσθετο σήμα. Η μετάδοση δεδομένων γίνεται ταυτόχρονα για όλες τις μονάδες, δηλ. όλες οι μονάδες θα αξιολογήσουν τα δεδομένα που έλαβαν τη στιγμή που 'ανεβαίνει' το σήμα Επιλογής. Υλοποίηση διαύλου με ελάχιστα εξαρτήματα.
Μειονεκτήματα	Βολική συνδεσμολογία ιδίως, όταν οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων έχουν δευτερεύουσα σημασία. Όλες οι Εξαρτώμενες μονάδες πρέπει να έχουν ακίδα εξόδου SO. Μικροί ρυθμοί μετάδοσης, ειδικά όταν η επικοινωνία πρέπει να πραγματοποιηθεί με μια μόνο μονάδα. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης του διαύλου ισούται με το ρυθμό μετάδοσης της βραδύτερης Εξαρτώμενης μονάδας.

μορφές που τον περιγράφουν, ενώ παράλληλα σημειώνονται οι 'κρίσιμες' χρονικές στιγμές του.

1. Η κατάσταση ηρεμίας του σήματος χρονισμού είναι η χαμηλή (0 V)

2. Η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' την κατάσταση της σειριακής γραμμής στο ανερχόμενο μέτωπο του παλμού. Η Κύρια οφείλει να την έχει προσδιορίσει από πριν, κατά τη διάρκεια του προηγούμενου μετώπου του σήματος χρονισμού. Με αυτόν τον τρόπο είμαστε σίγουροι πως θα έχει σταθεροποιηθεί.

3. Η Κύρια μονάδα εισάγει στο δίαυλο την ηλεκτρική κατάσταση που αντιστοιχεί στο επόμενο δυαδικό ψηφίο. Η εισαγωγή γίνεται κατά τη διάρκεια του κατερχόμενου μετώπου του παλμού χρονισμού. Ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι το επόμενο ανερχόμενο μέτωπο επαρκεί για την σταθεροποίησή της. Το σήμα χρονισμού παράγεται πάντα από την Κύρια μονάδα.

Για την εγκατάσταση ενός αξιόπιστου σειριακού διαύλου επικοινωνίας θα πρέπει να μελετήσουμε προσεκτικά τα εγχειρίδια όλων των μονάδων που συνδέονται σε αυτόν και να απαντήσουμε στις παρακάτω ερωτήσεις:

1. Ποια είναι η κατάσταση ηρεμίας της γραμμής χρονισμού SCK; Υψηλή ή χαμηλή;

2. Ποιο μέτωπο του παλμού χρονισμού αξιοποιεί η Εξαρτώμενη μονάδα για την ανάγνωση των δυαδικών ψηφίων; Το ανερχόμενο ή το κατερχόμενο;

3. Ποιο μέτωπο του παλμού χρονισμού χρησιμοποιεί η Κύρια μονάδα για να εισαγει στο δίαυλο τα δυαδικά ψηφία; Το ανερχόμενο ή το κατερχόμενο;

Από τη στιγμή που δοθούν οι απαντήσεις στα τρία παραπάνω ερωτήματα είμαστε έτοιμοι να προγραμματίσουμε το μικροελεγκτή της Κύριας μονάδας. Όλα τα τεχνικά εγχειρίδια που αφορούν σειριακές μονάδες χρησιμοποιούν κατά κανόνα την παραπάνω ορολογία προσδιορίζοντας με ακρίβεια τις παραμέτρους CPOL και CPHA, όπως επίσης και τις φορές μετάβασης των μετώπων έναρξης και λήξης των παλμών χρονισμού. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό να έχουμε κατανοήσει πλήρως τη σημασία τους προτού αρχίσουμε την ανάπτυξη του λογισμικού επικοινωνίας. Για τη μεταφορά δεδομένων κατά την αντίθετη έννοια (από την Εξαρτώμενη μονάδα στην Κύρια) ισχύουν ακριβώς τα ίδια πράγματα. Αιτία γι' αυτό αποτελεί η ίδια η φύση του διαύλου σύμφωνα με την οποία η πληροφορία που εισάγεται στον καταχωρητή μετατόπισης της Εξαρτώμενης μονάδας υπερχειλίζει στην σειριακή έξοδο του ίδιου καταχωρητή. Η έξοδος αυτή δεν είναι, βέβαια, άλλη από την SO της Εξαρτώμενης μονάδας που μέσω του αντίστοιχου αγωγού καταλήγει στη SI της Κύριας. Κάθε φορά που η Εξαρτώμενη μονάδα 'διαβάζει' τη κατάσταση της εισόδου της με το ένα μέτωπο του παλμού χρονισμού, με το αμέσως επόμενο

'αδειάζει' στην ακίδα εξόδου της ένα ψηφίο που προορίζεται για την Κύρια μονάδα. Το σήμα χρονισμού παρέχεται σε όλες τις περιπτώσεις από την Κύρια μονάδα.

Ο σύγχρονος σειριακός δίαυλος

Όσα αναφέραμε μέχρι τώρα αφορούσαν κυρίως σε σύνδεση 'σημείου προς σημείο' ή με απλούστερα λόγια στη σύνδεση μιας Κύριας μονάδας με μια μόνο Εξαρτώμενη. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να επεκταθεί, δημιουργώντας ένα σειριακό δίαυλο στον οποίο όλες οι Εξαρτώμενες μονάδες θα συνδέονται παράλληλα στους αγωγούς του (σχ. 5).

Φυσικά, η παρουσία πολλών Εξαρτώμενων μονάδων υποχρεώνει την Κύρια να επιλέγει εκ των προτέρων αυτήν με την οποία θέλει να επικοινωνήσει. Η επιθυμία αυτή εκφράζεται με την ενεργοποίηση του σήματος Επιλογής (Chip Select) που αντιστοιχεί σε αυτήν. Θεωρούμε αυτόνομο ότι για κάθε μια Εξαρτώμενη μονάδα έχει προβλεφθεί και το αντίστοιχο σήμα Επιλογής, το οποίο κατά κανόνα ενεργοποιείται σε χαμηλή στάθμη. Μόλις ολοκληρωθεί η επικοινωνία, το σήμα Επιλογής επανέρχεται στην ανενεργή του κατάσταση υποχρεώνοντας την Εξαρτώμενη μονάδα να οδηγήσει όλες τις ακίδες της που καταλήγουν στο δίαυλο είτε σε κατάσταση υψηλής αντίστασης είτε σε υψηλή στάθμη αν είναι τύπου ανοικτού συλλέκτη.

Η σειριακή έξοδος SO της Εξαρτώμενης μονάδας επιτρέπει την αναστροφή ροής των

δεδομένων. Η λειτουργία αυτή όμως δεν είναι πάντα απαραίτητη με αποτέλεσμα τη σύνδεση της Εξαρτώμενης μονάδας στο δίαυλο με δύο μόνο αγωγούς. Το κάθε νέο-εισερχόμενο byte θα προκαλεί απλώς την ολίσθηση του προηγούμενου στην SO, όπου πρακτικά θα χάνεται. Αμέσως μετά την επιστροφή του σήματος επιλογής στην ανενεργή του κατάσταση, τα εσωτερικά κυκλώματα της Εξαρτώμενης μονάδας μπορούν να 'διαβάσουν' το byte που έχει ήδη ληφθεί. Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων καθορίζεται από την Κύρια μονάδα. Είναι πολύ σημαντικό να διατηρείται επαρκώς μικρή ώστε να μην επηρεάζεται η αξιοπιστία του διαύλου, ιδίως όταν η Εξαρτώμενη μονάδα στέλνει δεδομένα στην Κύρια. Αν το σήμα χρονισμού παράγεται με τη βοήθεια λογισμικού τότε ίσως είναι απαραίτητη η εισαγωγή ρουτινών καθυστέρησης προκειμένου να εξασφαλιστούν οι σωστές χρονικές διάρκειες.

Η μέθοδος αυτή δεν είναι όμως πάντα η καλύτερη. Οι ρουτίνες καθυστέρησης αναγκάζουν το μικροελεγκτή να εκτελεί ένα σύνολο άσκοπων εντολών μόνο και μόνο για να περάσει η ώρα, τη στιγμή που θα μπορούσε να κάνει κάτι παραγωγικότερο. Η κατάσταση αυτή γίνεται ακόμα χειρότερη όταν ο ρυθμός μετάδοσης είναι σχετικά μικρός οπότε οι ρουτίνες καθυστέρησης διαρκούν περισσότερο. Μια υπερβολική μείωση θα έχει επίσης σαν συνέπεια την μείωση της απόδοσης του συνολικού διαύλου μιας και όλες οι μεταφορές πραγματοποιούνται μέσω της Κύριας μονάδας. Το κέρδος που θα έχετε ίσως να μην είναι τόσο σημαντικό μιας που όλες οι λειτουργίες του διαύλου πραγματοποιούνται τις στιγμές των μεταβάσεων των παλμών χρονισμού και όχι κατά τη διάρκεια που αυτοί βρίσκονται στη χαμηλή ή την υψηλή τους στάθμη.

Εξαρτώμενες μονάδες σε συνδεσμολογία σειράς

Στο **σχ. 6** βλέπουμε μια συνδεσμολογία μάλλον ασυνήθιστη για διαύλους. Στην τεχνική ορολογία αναφέρετε σαν συνδεσμολογία 'Καταρράκτη' ή αν μεταφράσουμε πιστά την πρωτότυπη ονομασία σαν 'Αλυσίδα από μαργαρίτες' (Daisy Chain.). Με την πρώτη ματιά φαίνεται πως αν κάπου 'σπάσουμε' την αλυσίδα, τότε όλος ο δίαυλος τίθεται εκτός λειτουργίας.

Στη συνδεσμολογία καταρράκτη όλοι οι καταχωρητές μετατόπισης των Εξαρτώμενων μονάδων ενώνονται μεταξύ τους σε σειρά μοιραζόμενοι ταυτόχρονα το ίδιο σήμα

Επιλογής (Chip Select). Η έξοδος της κάθε μιας μονάδας οδηγείται στην είσοδο της επόμενης έως ότου εξαντληθούν οι Εξαρτώμενες μονάδες. Η Κύρια μονάδα τροφοδοτεί με δεδομένα την είσοδο SI της πρώτης Εξαρτώμενης, ενώ η έξοδος SO της τελευταίας οδηγεί την είσοδο SI της Κύριας (αν χρειάζεται). Από τη μεριά της Κύριας μονάδας, η συνδεσμολογία αυτή ισοδυναμεί με την οδήγηση μιας μόνο Εξαρτωμένης μονάδας εξοπλισμένης με ένα 'μεγάλο' καταχωρητή μετατόπισης ικανό να 'χωράει' πολλά byte.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί θα υποθέσουμε ότι ο δίαυλος φιλοξενεί τρεις Εξαρτώμενες μονάδες κάθε μια από τις οποίες περιέχει ένα καταχωρητή μετατόπισης των 8 ψηφίων.

Οι επιμέρους φάσεις μιας μετάδοσης είναι οι εξής:

1. Ενεργοποίηση του σήματος επιλογής (Chip Select)
2. Εξαγωγή των ψηφίων που προορίζονται για την τρίτη Εξαρτώμενη μονάδα (8 ψηφία)
3. Εξαγωγή άλλων 16 ψηφίων έτσι ώστε τα 8 πρώτα να φθάσουν στην τρίτη μονάδα.
4. Απενεργοποίηση του σήματος Επιλογής.

Το παραπάνω σκεπτικό φαίνεται καλό, αλλά με μια προσεκτική ματιά εντοπίζουμε το πρόβλημα. Τι θα συμβεί αν θέλουμε να στείλουμε δεδομένα στην τρίτη μονάδα, χωρίς να τροποποιήσουμε το περιεχόμενο των δύο πρώτων; Με δοσμένο ότι με το προηγούμενο σκεπτικό οι δύο πρώτες θα λάβουν οπωσδήποτε κάποια ψηφία, τι τιμές θα πρέπει να έχουν αυτά τα ψηφία ώστε να μη διαταράξουν τη λειτουργία τους; Αρκετές 'προχωρημένες' Εξαρτώμενες μονάδες έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνονται σε μια συγκεκριμένη εντολή η οποία τις υποχρεώνει να μην κάνουν τίποτα! Η εντολή αυτή είναι γνωστή σαν 'NOP' (No Operation, Καμία λειτουργία) και, όπως ήδη θα αντιληφθήκατε, αποτελεί τη λύση του προβλήματός μας.

Αν λοιπόν θέλουμε να στείλουμε ένα χρήσιμο byte στην τρίτη μονάδα, αφήνοντας τις άλλες δύο στην τρέχουσα κατάστασή τους, δεν έχουμε παρά να προβούμε στις παρακάτω ενέργειες:

1. Ενεργοποίηση του σήματος επιλογής (Chip Select)
2. Εξαγωγή των ψηφίων που προορίζονται για την τρίτη Εξαρτώμενη μονάδα (8

ψηφία)

3. Εξαγωγή άλλων 16 ψηφίων που αντιστοιχούν σε δύο εντολές 'NOP' απαραίτητες για την δεύτερη και πρώτη μονάδα (τοποθέτηση της εξαρτώμενης μονάδας 3 στην σωστή θέση).

4. Απενεργοποίηση του σήματος Επιλογής.

Αμέσως μετά την επαναφορά του σήματος Επιλογής στην ανενεργό κατάστασή του, μόνο η τρίτη μονάδα θα αντιδράσει σε αυτά που έλαβε, ενώ οι δύο άλλες θα παραμείνουν στην κατάσταση που βρίσκονταν πριν από τη λήψη των 'NOP'. Μια άλλη λύση, στην περίπτωση που οι μονάδες δεν αντιλαμβάνονται εντολές 'NOP' είναι η αποστολή των ίδιων δεδομένων που είχαν σταλεί σε αυτές κατά την προηγούμενη εκπομπή. Με αυτόν τον τρόπο, το περιεχόμενο των καταχωρητών τους μόλις τελειώσει η μετάδοση θα είναι το ίδιο, με συνέπεια την περαιτέρω απραγία τους.

Γενικά, μπορούμε να στέλνουμε οποιαδήποτε byte σε οποιαδήποτε Εξαρτωμένη μονάδα θέλουμε, αρκεί να εισάγουμε τα δυαδικά ψηφία στις σωστές θέσεις τους μέσα στον σειριακό συρμό. Εξαρτώμενες μονάδες σε συνδεσμολογία Καταρράκτη χρησιμοποιούνται συνήθως σε βαθμίδες απεικόνισης με LED ικανές να εμφανίζουν πολλούς χαρακτήρες. Θεωρητικά μπορεί να σχηματιστεί μια αλυσίδα με άπειρο πλήθος μονάδων, που όλες θα υπακούουν στα σήματα μιας μοναδικής Κύριας.

Στην πράξη όμως το πλήθος των Εξαρτωμένων πρέπει να είναι επαρκώς μικρό έτσι ώστε ο χρόνος ανανέωσης της οθόνης να παραμένει, επίσης, μικρός. Στον **Πίνακα 2** σημειώνονται μερικά από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συνδεσμολογίας Καταρράκτη.

(040241-1)

Για περισσότερες πληροφορίες, ιδέες, παρατηρήσεις και προτάσεις επισκεφτείτε το **Forum**.
www.elektor.gr/forum