

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΙ

Δ.Σαμψωνίδης

Αναλογικός Ανιχνευτής ολίσθησης Σύστημα λήψης δεδομένων CAMAC

Σκοπός

Στην άσκηση γίνεται μελέτη του αναλογικού ανιχνευτή ολίσθησης φορτίου ο οποίος χρησιμοποιείται στο φασματόμετρο μιονίων του πειράματος ATLAS στο CERN. Σκοπός της άσκησης, εκτός από τη μελέτη του αναλογικού ανιχνευτή, είναι και η εξοικείωση με τη λειτουργία ενός σύγχρονου συστήματος λήψης δεδομένων CAMAC, με δεδομένη την προγραμματιστική υλοποίηση των βασικών εντολών-λειτουργιών του συστήματος

Εισαγωγή

Στα περισσότερα πειράματα της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων έχουμε αλληλεπιδράσεις σωματιδίων υψηλών ενεργειών όπου μελετούμε τις ιδιότητες των τελικών καταστάσεων. Η μέτρηση της ορμής των σωματιδίων που παράγονται είναι πρωταρχικής σημασίας στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης. Η ακριβής μέτρηση της ορμής των φορτισμένων σωματιδίων υλοποιείται με τη μέτρηση της εκτροπής του σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση και η διεύθυνση είναι γνωστή με καλή ακρίβεια, μετρώντας την κατεύθυνση πριν και μετά την είσοδο του σωματιδίου στο μαγνητικό πεδίο ή άμεσα με μέτρηση των συντεταγμένων κατά μήκος της τροχιάς του φορτισμένου σωματιδίου όπως αυτό ταξιδεύει μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Και οι δύο τεχνικές απαιτούν τη μέτρηση των χωρικών συντεταγμένων κατά μήκος της τροχιάς του φορτισμένου σωματιδίου. Χρησιμοποιείται η γνωστή σχέση για τη δύναμη σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που κινείται στο μαγνητικό πεδίο $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ από την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την ορμή εάν ξέρουμε την ακτίνα του τόξου που διαγράφει το σωματίδιο μέσα στο μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιώντας τη σχέση $\mathbf{F} = m\mathbf{v}^2/r$. Σε αυτές τις εξισώσεις το B είναι το μαγνητικό πεδίο, το q και το v το φορτίο και η ταχύτητα του σωματιδίου και r η ακτίνα καμπυλότητας που διαγράφεται από το σωματίδιο που κινείται στο μαγνητικό πεδίο.

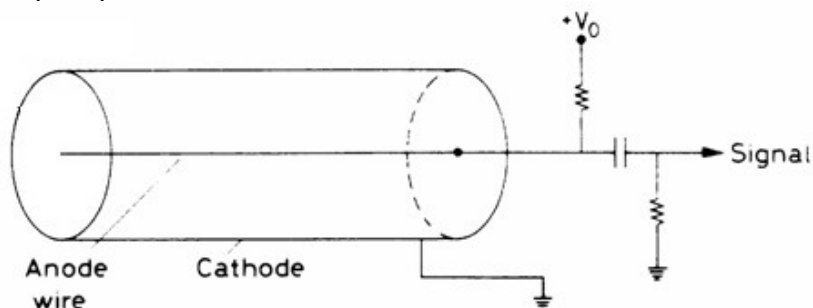
Στο φασματόμετρο μιονίων του πειράματος ATLAS η μέτρηση των συντεταγμένων κατά μήκος της τροχιάς φορτισμένων σωματιδίων γίνεται με τη χρησιμοποίηση των ανιχνευτών αερίου γεμίσματος σωλήνων ολίσθησης (Monitored Drift Tubes, MDTs).

Ο σωλήνας ολίσθησης φορτίου είναι ανιχνευτής αερίου γεμίσματος, ο οποίος λειτουργεί στην αναλογική περιοχή και αποτελείται από ένα κυλινδρικό αλουμινένιο σωλήνα, εξωτερικής διαμέτρου 30mm. Στο εσωτερικό του φέρει επιχρυσωμένο σύρμα βολφραμίου W διαμέτρου 50μm. Το αέριο που χρησιμοποιείται είναι το μη εύφλεκτο αέριο μίγμα Ar/CO₂ με αναλογία 93/7 σε απόλυτη πίεση 3 bar. Το σύρμα ανόδου τροφοδοτείται με θετική υψηλή τάση (~3000 V) ενώ το μεταλλικό τοίχωμα του σωλήνα γειώνεται. Όταν ένα ιονιστικό σωματίδιο, π.χ. ένα μόνιο, διασχίσει ένα σωλήνα ολίσθησης φορτίου, προκαλεί ιονισμό του αερίου του ανιχνευτή (δημιουργία πρωτογενών ζευγών ηλεκτρονίων-ιόντων).

Η συντεταγμένη του φορτισμένου σωματιδίου καθορίζεται με τη μέτρηση του χρόνου ολίσθησης ηλεκτρονίων ιονισμού δηλαδή του χρόνου που χρειάζεται το φορτίο ιονισμού, (τα ηλεκτρόνια που παράγονται από το φορτισμένο σωματίδιο που διαπερνά το σωλήνα) για να φτάσει στο σύρμα της ανόδου.

Δημιουργία του σήματος

Ένα σωματίδιο που περνά μέσω της ύλης αλληλεπιδρά με τα ηλεκτρόνια και τους πυρήνες του μέσου, (μέσω ακτινοβολίας Cherenkov, ακτινοβολίας πέδησης). Η απώλεια ενέργειας (dE/dx) περιγράφεται από τη σχέση Bethe-Bloch. Το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας ενέργειας πηγαίνει στη διέγερση των μορίων και των ατόμων καθώς και στον ιονισμό των ατόμων του αερίου. Λόγω της ενεργειακής απώλειας η οποία δαπανάται στη διέγερση των μορίων/ατόμων του αερίου, η μέση ενεργειακή απώλεια για τον ιονισμό είναι περίπου δύο φορές μεγαλύτερος από την ενέργεια ιονισμού των ατόμων του αερίου. Για παράδειγμα για το Αργό, η ενέργεια ιονισμού είναι περίπου 15 eV, αλλά η μέση ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία ενός ζεύγους ιόντων/ηλεκτρονίων είναι 26 eV.



Καθώς το φορτίο κινείται σε ηλεκτρικό φορτίο παράγει έργο (ηλεκτρική ενέργεια)

$$dW = q * E * dr = q * dV,$$

όπου q είναι το φορτίο, E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, V το δυναμικό, r η απόσταση. Η εξίσωση αυτή σημαίνει ότι το φορτίο για να παραγάγει κάποιο έργο, πρέπει να διασχίσει μια διαφορά δυναμικού. Επίσης παράγεται κάποιο έργο καθώς το φορτίο κινείται, το οποίο μπορούμε να δούμε σαν σήμα (φορτίο εξ επαγωγής), όχι όταν το φορτίο φτάνει στην άνοδο. Τη στιγμή που το ηλεκτρόνιο αγγίζει την άνοδο, το σήμα στην πραγματικότητα τελειώνει!

Η ενέργεια που παράγεται με την κίνηση του φορτίου δίνεται από το εξωτερικό κύκλωμα, το οποίο παρέχει ένα φορτίο dQ στην άνοδο κρατώντας την τάση που εφαρμόζουμε σταθερά. Κατά συνέπεια έχουμε $q \cdot dV = V_0 \cdot dQ$, και το σήμα (τάση) που προκαλείται στην άνοδο θεωρώντας την χωρητικότητα C του σωλήνα είναι

$$dV_a = dQ/C = q \cdot (dV/V_0)$$

Έτσι, σε κάθε στιγμή το σήμα τάσης είναι ανάλογο προς τη διαφορά δυναμικού dV μεταξύ των αρχικών και τελικών σημείων που κινείται το φορτίο q. Για να πάρουμε το σύνολο του σήματος από το κινούμενο φορτίο, αυτό θα πρέπει να περάσει μέσω του δυναμικού V_0 .

Στον κυλινδρικό ανιχνευτή όπου το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου παράγεται στην γειτονιά της ανόδου, τα ηλεκτρόνια περνούν μέσω μιας πολύ μικρής διαφοράς δυναμικού και παράγουν πολύ μικρό έργο (αρνητική τάση εξ επαγωγής). Σε αντίθεση, τα θετικά ιόντα διαπερνούν σχεδόν ολόκληρο το δυναμικό που εφαρμόζεται V_0 και παράγουν πολύ μεγαλύτερη επαγωγική τάση.

Αλλά χρησιμοποιούμε το σήμα των ηλεκτρονίων στους ανιχνευτές μας! Πώς; Η απάντηση είναι ότι η κινητικότητα των ηλεκτρονίων και των ιόντων είναι πολύ διαφορετικές, τα ηλεκτρόνια κινούνται πολύ-πολύ γρηγορότερα. Έτσι χρησιμοποιούμε τον ανιχνευτή ως πηγή φορτίου. Η χιονοστιβάδα κοντά στο σύρμα της ανόδου διαρκεί λίγα νανοδευτερόλεπτα (ns), ενώ τα ιόντα κινούνται προς την κάθοδο πολλά μικροδευτερόλεπτα (μs), ακόμη και σχεδόν χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms). Εάν η χωρητικότητα του ανιχνευτή είναι C, τα φορτία που επάγονται στο ηλεκτρόδιο (άνοδος ή κάθοδος) είναι $Q=V(t)/C$ και το ρεύμα που προκαλείται θα είναι $I=dQ/dt=1/C \cdot dV/dt$. Κατά συνέπεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε γρήγορα και ευαίσθητα ηλεκτρονικά για να ανιχνεύσουμε το σήμα. Κατά τη διάρκεια των 5-10 ns συλλέγουμε ένα μικρό ποσοστό του συνολικού φορτίου του παλμού (ρεύματος).

Τα ηλεκτρόνια ολισθαίνουν προς την άνοδο ενώ τα θετικά ιόντα προς την κάθοδο μέσα στο ακτινικά συμμετρικό ηλεκτρικό πεδίο

$$E(r) = \frac{V}{\ln(b/a)^2} \cdot \frac{1}{r}$$

όπου V είναι το δυναμικό της ανόδου, b είναι η ακτίνα του σωλήνα και a είναι η ακτίνα του σύρματος.

Τα φορτία q τα οποία παράγονται κατά τις διαδικασίες του ιονισμού και της ενίσχυσης, κινούνται υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου και επάγουν στο σύρμα ηλεκτρικό ρεύμα I. Η ένταση του επαγόμενου ρεύματος μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια του θεωρήματος Ramo, υπό την προϋπόθεση ότι το δυναμικό της ανόδου διατηρείται σταθερό, και δίνεται από την εξίσωση:

$$I = -q \cdot \frac{\vec{v} \cdot \vec{E}(r)}{V}$$

Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι τα πρωταρχικά ηλεκτρόνια αποκτούν ικανή ενέργεια για να προκαλέσουν δευτερογενείς ιονισμούς κοντά στην άνοδο. Επομένως το μεγαλύτερο ποσοστό των ζευγών ηλεκτρονίων-ιόντων δημιουργούνται κοντά στο σύρμα και έτσι τα ηλεκτρόνια συλλέγονται στην άνοδο αμέσως μετά τη δημιουργία τους χωρίς να συνεισφέρουν σημαντικά στη δημιουργία του ρεύματος. Το ηλεκτρικό

ρεύμα δημιουργείται κυρίως από τα θετικά ιόντα τα οποία ολισθαίνουν προς τα τοιχώματα του σωλήνα. Η διαδικασία κατά την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα μετατρέπεται σε παλμό, τον οποίο παρατηρούμε στην έξοδο ενός σωλήνα ολίσθησης, εξαρτάται κυρίως από τα ηλεκτρονικά του ανιχνευτή.

Η μέση ενέργεια που χρειάζεται για να ιονιστούν τα άτομα του Ar είναι $n_p = 26 \text{ eV}$ και είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του ιονιστικού σωματιδίου. Το ηλεκτρικό πεδίο κοντά στο σύρμα (άνοδος) είναι πολύ ισχυρό έτσι ώστε τα ολισθαίνοντα ηλεκτρόνια αποκτούν αρκετά μεγάλη κινητική ενέργεια και προκαλούν δευτερογενείς ιονισμούς. Η συμπεριφορά των ιόντων που προκύπτουν από τους ιονισμούς είναι διαφορετική από αυτή των ηλεκτρονίων εξ αιτίας της μεγαλύτερης μάζας τους. Αποτέλεσμα της ολίσθησης των ηλεκτρονίων είναι ο πολλαπλασιασμός του ιονισμού ο οποίος περιγράφεται από τον πρώτο συντελεστή Townsend α . Πιο συγκεκριμένα όταν πραγματοποιείται πολλαπλασιασμός, η αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων dN σε μια απόσταση ολίσθησης ds δίνεται από τη σχέση

$$dN = N \alpha ds$$

Ο συντελεστής α εξαρτάται ισχυρά από το είδος του αερίου που χρησιμοποιείται, την πυκνότητα του αερίου ρ καθώς και από το ηλεκτρικό πεδίο. Αν N_0 και N είναι ο αρχικός και τελικός αριθμός των ηλεκτρονίων αντίστοιχα, ο λόγος N/N_0 ονομάζεται ενίσχυση του αερίου (gas gain) G ή παράγοντας ενίσχυσης και αποτελεί χαρακτηριστικό του αναλογικού ανιχνευτή.

Στην περίπτωση της ανίχνευσης φωτονίων, τα φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από 1.02 MeV μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το υλικό του σωλήνα είτε με φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ή με σκέδαση Compton. Στην πρώτη περίπτωση, η οποία κυριαρχεί στις χαμηλές ενέργειες, όλη η ενέργεια του φωτονίου E μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρόνιο. Για $E < 25 \text{ keV}$ η διαδρομή που διανύει το φωτοηλεκτρόνιο στο Αργό, σε πίεση 3 atm , είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Συνέπεια αυτού είναι όλη η ενέργεια του φωτονίου να αποτίθεται μέσα στο αέριο. Για φωτόνια υψηλότερης ενέργειας ($E > 100 \text{ keV}$) επικρατεί η σκέδαση Compton. Η ενέργεια E_e που μεταφέρεται από το φωτόνιο σε ένα δέσμιο ηλεκτρόνιο σε μια αλληλεπίδραση Compton δεν είναι σταθερή. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ανακρουόμενων ηλεκτρονίων έχει ικανή ενέργεια για να διασχίσει όλη τη διάμετρο του σωλήνα. Επομένως στην περίπτωση της σκέδασης Compton το ηλεκτρόνιο αφήνει μέρος της ενέργειάς του μέσα στο σωλήνα.

Πειραματική διάταξη

- Σωλήνας ολίσθησης φορτίου με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά παροχής υψηλής τάσης, προενισχυτή και ενισχυτή.
- Τροφοδοτικό υψηλής τάσης.

Μονάδες NIM

- Διευκρινιστής (Discriminator)
Δέχεται αρνητικά σήματα στην είσοδο. Αν το σήμα εισόδου έχει ύψος μεγαλύτερο από το κατώφλι που έχουμε θέσει τότε δίνει στην έξοδο ένα τετραγωνικό σήμα -0.8 V με πλάτος το οποίο ρυθμίζεται.
- FI/FO (Fan-in Fan-out):
Γενικά, χρησιμοποιείται για να αθροίσει κάποιον αριθμό σημάτων ή/και να αντιστρέψει το αποτέλεσμα αν είναι απαραίτητο. Στη συγκεκριμένη άσκηση

χρησιμοποιείται για να πάρουμε από ένα αναλογικό σήμα δύο όμοια αντίγραφα του (FAN Out).

- Μονάδα καθυστέρησης
Μας επιτρέπει να καθυστερήσουμε ένα σήμα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από 0- 66 ns.

Μονάδες CAMAC

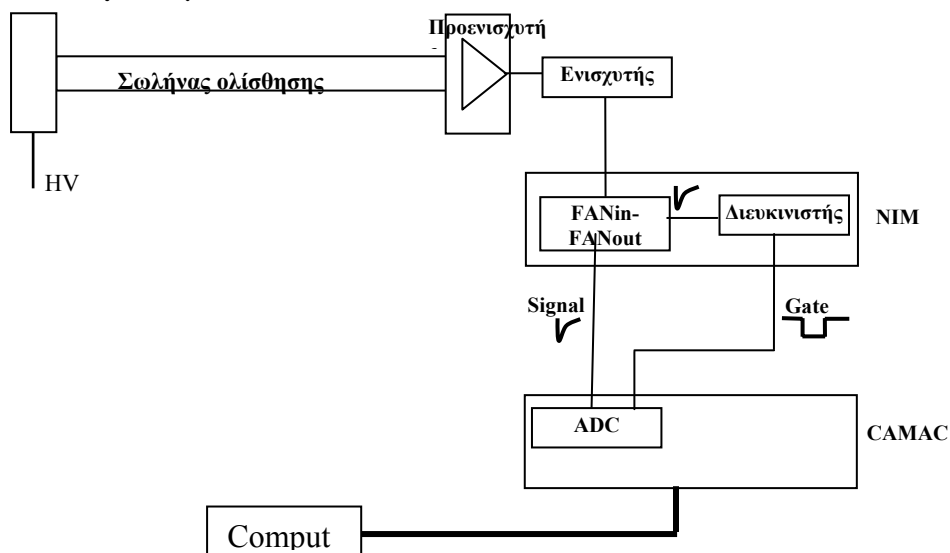
- ADC (Analog to Digital Converter)
Ψηφιοποιεί αρνητικούς αναλογικούς παλμούς ύψους μέχρι 1 V. Διαθέτει μια είσοδο Gate και 12 αναλογικές εισόδους. Στην είσοδο Gate εφαρμόζεται αρνητικός τετραγωνικός παλμός (standard NIM) ο οποίος καθορίζει τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια της ψηφιοποίησης. Η ψηφιοποίηση γίνεται όταν το κατά τη διάρκεια του παλμού Gate φτάνει σε μια αναλογική είσοδο ένας αναλογικός παλμός. Οι δύο παλμοί πρέπει να είναι ταυτόχρονοι.

Και Ηλεκτρονικός Υπολογιστής.



CAMAC Crate και NIM Crate

Συνδεσμολογία



Το σήμα από τον ενισχυτή διπλασιάζεται στη μονάδα FANinFANout. Η μια έξοδος χρησιμοποιείται σαν αναλογικό σήμα στην ψηφιοποίηση και η άλλη οδηγείται στο διευκρινιστή. Η έξοδος του διευκρινιστή χρησιμοποιείται σαν Gate στο ADC. Προσοχή στο συγχρονισμό των δύο παλμών.

Μέτρηση του παράγοντα ενίσχυσης

Ο παράγοντας ενίσχυσης G ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου που εναποτίθεται στο σύρμα προς το αρχικό φορτίο που παράγεται από το ιονιστικό σωματίο, $q = G \sum q_i$.

Από το φορτίο που φτάνει στην άνοδο ο προενισχυτής “βλέπει” μόνο ένα μέρος (f) και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η ακτίνα της ανόδου, η κινητικότητα των ιόντων, η πίεση του αερίου γεμίσματος κ.α. Για τις συνθήκες της άσκησης

Ακτίνα ανόδου (μm)	Τάση V_a (kV)	Πίεση (bar)	f
25	3.0	3	0.07

Το φορτίο που ψηφιοποιεί το ADC δίνεται από τη σχέση

$$q = q_i G f 1.6 \times 10^{-19} \text{ (Cb)}$$

όπου q_i το πρωταρχικό φορτίο που παράχθηκε από τους ιονισμούς. Για ένα φωτόνιο χαμηλής ενέργειας (π.χ. $E_\gamma = 17.4 \text{ keV}$ του Mo) η σχέση γίνεται

$$q = \frac{E_\gamma}{0.026} \cdot G \cdot f \cdot 1.6 \times 10^{-19}$$

Χρησιμοποιώντας την είσοδο TEST του προενισχυτή στέλνουμε παλμούς από τη γεννήτρια παλμών και όχι από τον σωλήνα. Στην περίπτωση αυτή το φορτίο ψηφιοποιεί το ADC είναι

$$q = V_p C_{cal}$$

όπου V_p το ύψος του παλμού της γεννήτρια και C_{cal} η χωρητικότητα στην είσοδο TEST η οποία είναι $\approx 1 \text{ pF}$.

Στην περίπτωση που το σήμα που ψηφιοποιείται από την γεννήτρια παλμών αντιστοιχεί στο ίδιο κανάλι με την φωτοκορυφή ενέργειας E_γ τότε ισχύει :

$$V \cdot C_{cal} = \frac{E_\gamma}{0.026} \cdot G \cdot f \cdot 1.6 \times 10^{-19}$$

με μόνο άγνωστο τον παράγοντα ενίσχυσης G έχουμε

$$G = \frac{V \cdot C_{cal}}{E_\gamma \cdot f} \cdot 1.6 \times 10^5$$

(V σε Volt, C σε pF, E σε keV).

Πειραματική εργασία

1. Αναγνώριση Συστήματος Camac.
2. Έλεγχος συνδεσμολογίας σωλήνα MDT.
3. $HV = 2900\text{ V}$
4. Χρησιμοποιώντας πηγή Am-Mo (17.4 keV) δείτε στον παλμογράφο το σήμα.
5. Αφού ελέγξετε το κατώφλι του διευκρινιστή (40 mV) δείτε την έξοδο στον παλμογράφο.
6. Τα δύο σήματα (αναλογικό από τον σωλήνα και λογικό από τον διευκρινιστή) πρέπει να είναι ταυτόχρονα για να χρησιμοποιηθούν στο ADC. Ελέγξτε το χρονισμό των σημάτων παρεμβάλλοντας αν χρειάζεται καθυστέρηση. .
7. Πάρτε φάσμα ADC με gate 250 nsec.
8. Αν υπάρχει θόρυβος, αλλάξτε το κατώφλι του διευκρινιστή για (60, 90, 120 mV) και πάρτε το φάσμα.
9. Με gate 200 nsec πάρτε φάσματα ADC μεταβάλλοντας την ενέργεια των φωτονίων, Rb (13.4 keV, Mo (17.4 keV), Ag (22.1 keV), Ba (32.1 keV).
10. Ενεργειακή βαθμολογία του ADC.
11. Χρησιμοποιώντας τα 17.4 keV του Mo και τη γεννήτρια παλμών, δίνοντας παλμούς στην είσοδο TEST του προενισχυτή υπολογίστε τον παράγοντα ενίσχυσης. Ρυθμίστε το ύψος του παλμού της γεννήτριας ώστε να αντιστοιχεί, στο ίδιο κανάλι με την κορυφή του Mo.
12. Βαθμολογία του ADC ως προς το πραγματικό φορτίο. (Πάρτε φάσματα με τη γεννήτρια μεταβάλλοντας το ύψος του παλμού).
13. Μεταβολή του παράγοντα ενίσχυσης με την HV. Χρησιμοποιείστε τα 17.4 keV του Mo.

Εισαγωγή στο CAMAC

Το σύστημα CAMAC είναι ένα διεθνώς καθιερωμένο σύστημα επικοινωνίας μεμονωμένων ηλεκτρονικών. Η λειτουργία του έγκειται στην προσφορά ενός σχήματος που να επιτρέπει την ενδοεπικοινωνία μεμονωμένων ηλεκτρονικών μονάδων και ταυτόχρονα την επικοινωνία αυτών με έναν υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο, η επέκταση ενός συστήματος μεταφοράς δεδομένων και ελέγχου, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την προσθήκη νέων ηλεκτρονικών μονάδων και τις αντίστοιχες προσθήκες στο λογισμικό. Έτσι, το CAMAC επιτρέπει τη μεταφορά πληροφορίας από και προς τις ηλεκτρονικές μονάδες.

Οι μονάδες CAMAC τοποθετούνται στο κιβώτιο (crate) CAMAC που περιλαμβάνει 25 σταθμούς ¹(stations) αριθμημένους από το 1 μέχρι το 25. Ο δεξιότερος σταθμός (25)² χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του ελεγκτή (crate controller), ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί (1-24) για κανονικές μονάδες CAMAC. Ο σκοπός του ελεγκτή είναι να εξασφαλίσει τη σωστή μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ του υπολογιστή και των διαφόρων μονάδων.

Η μεταφορά πληροφορίας, ο έλεγχος των λειτουργιών καθώς και η τροφοδοσία των μονάδων πραγματοποιείται μέσω του dataway. Αυτό αποτελείται από μια σειρά συζευγμένων (bus) και ανεξάρτητων γραμμών κατά μήκος του πίσω μέρους του κιβωτίου CAMAC. Οι γραμμές του dataway περιλαμβάνουν ψηφιακές γραμμές μεταφοράς πληροφορίας, γραμμές σήματος (strobe signal), καθώς και γραμμές ελέγχου και κατεύθυνσης.

Ορισμός των εντολών

Σε μία τυπική λειτουργία του dataway, ο ελεγκτής μεταδίδει μια εντολή CAMAC, η οποία περιλαμβάνει τον αριθμό ενός σταθμού (**N**), την υποδιεύθυνση στον σταθμό αυτό (**A**) και τον κωδικό της ενέργειας που πρέπει να εκτελεστεί (**F**). Σε απάντηση, η υποδιεύθυνση της μονάδας θα δημιουργήσει το σήμα, λήψη έγκυρης εντολής (**X-response**) και θα ενεργήσει κατάλληλα. Αν η εντολή απαιτεί τη μεταφορά πληροφορίας θα ενεργοποιηθούν και οι κατάλληλες γραμμές διαβάσματος (**R**) ή γραψίματος (**W**). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι όροι διάβασμα και γράψιμο αφορούν στον ελεγκτή και όχι στη μονάδα. Για παράδειγμα, με μια εντολή διαβάσματος, ο ελεγκτής διαβάζει δεδομένα που βρίσκονται στη μονάδα.

Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια μιας ενέργειας του dataway, ο ελεγκτής δημιουργεί μια εντολή που περιλαμβάνει σήματα σε γραμμές μεμονωμένων σταθμών για να ορίσει συγκεκριμένα μία ή περισσότερες μονάδες, σήματα σε γραμμές υποδιευθύνσεων για να ορίσει την υποενότητα της μονάδας που θα δεχθεί την εντολή και σήματα στις γραμμές ενεργειών για να προσδιορίσει τη συγκεκριμένη ενέργεια που θα πραγματοποιηθεί. Τα παραπάνω σήματα συνοδεύονται και από ένα σήμα στη γραμμή κατειλημμένου (busy), που είναι διαθέσιμο σε όλους τους σταθμούς και δηλώνει ότι βρίσκεται σε εξέλιξη μια ενέργεια του dataway.

Οποτεδήποτε δεν βρίσκεται σε εξέλιξη κάποια ενέργεια του dataway (οπότε δεν είναι ενεργοποιημένο το σήμα busy), οποιαδήποτε μονάδα μπορεί να

¹ Υποδοχές τοποθέτησης μονάδων

² Συχνά για τον ελεγκτή απαιτείται και ο σταθμός 24, αφού οι περισσότερες τέτοιες μονάδες έχουν πλάτος δύο θέσεων

ενεργοποιήσει ένα σήμα στην δικιά της γραμμή Look-At-Me, δηλώνοντας έτσι ότι απαιτεί την προσοχή.

Αριθμός Σταθμού (station number) (N)

Σε κάθε σταθμό (εκτός του ελεγκτή) απευθυνόμαστε με ένα σήμα στην αποκλειστική γραμμή του (N) που προέρχεται από τον αντίστοιχο ακροδέκτη του ελεγκτή σταθμού. Οι σταθμοί είναι αριθμημένοι, σε δεκαδική βάση, από το 1 μέχρι το 25 ξεκινώντας από αριστερά όπως βλέπουμε το κιβώτιο CAMAC.

Υποδιεύθυνση (sub-address) (A8, A4, A2, A1)

Απευθυνόμαστε σε διαφορετικές υποδιευθύνσεις ενός σταθμού, μέσω σημάτων στις τέσσερις γραμμές (A). Τα σήματα αυτά αποκωδικοποιούνται στη μονάδα για να επιλεγθεί μία από τις 16 δυνατές επιλογές.

Ενέργεια (function) (F16, F8, F4, F2, F1)

Η ενέργεια που θα πρέπει να πραγματοποιηθεί στην επιλεγμένη υποδιεύθυνση του επιλεγμένου σταθμού ορίζεται από σήματα στις 5 γραμμές F. Τα σήματα αποκωδικοποιούνται στη μονάδα ώστε να επιλεγθεί μία από τις 32 δυνατές ενέργειες. Στη γενική τους μορφή οι δυνατές ενέργειες περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα, δεν είναι όμως απαραίτητο μια μονάδα να ανταποκρίνεται σε όλες από αυτές.

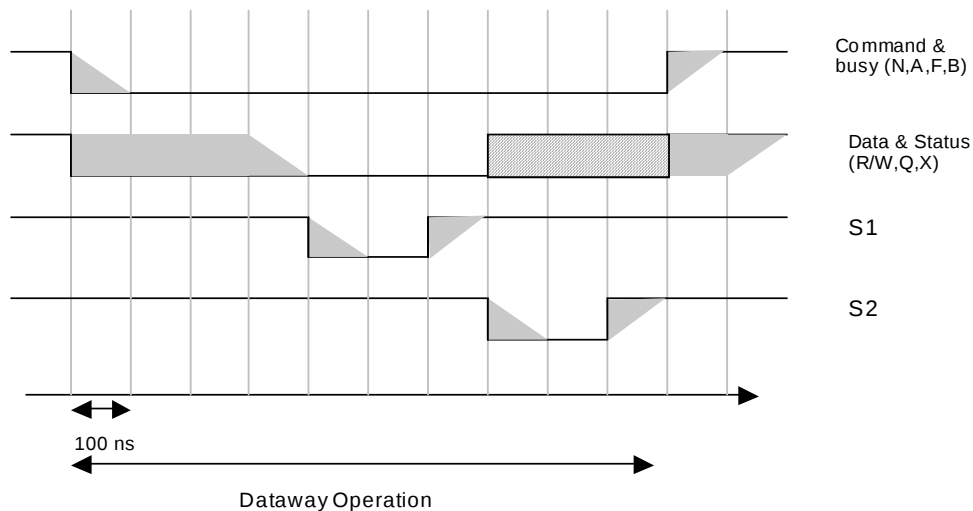
Εντολές CAMAC

F()	Περιγραφή εντολής	F16	F8	F4	F2	F1
0	Διάβασμα Καταχωρητή 1	0	0	0	0	0
1	Διάβασμα Καταχωρητή 2	0	0	0	0	1
2	Διάβασμα και καθάρισμα K 1	0	0	0	1	0
3	Διάβασμα και καθάρισμα K 2	0	0	0	1	1
4	Ακαθόριστο	0	0	1	0	0
5	Δεσμευμένο	0	0	1	0	1
6	Ακαθόριστο	0	0	1	1	0
7	Δεσμευμένο	0	0	1	1	1
8	Έλεγχος LAM	0	1	0	0	0
9	Καθάρισμα Καταχωρητή 1	0	1	0	0	1
10	Έλεγχος και καθάρισμα LAM	0	1	0	1	0
11	Καθάρισμα Καταχωρητή 1	0	1	0	1	1
12	Ακαθόριστο	0	1	1	0	0
13	Δεσμευμένο	0	1	1	0	1
14	Ακαθόριστο	0	1	1	1	0
15	Δεσμευμένο	0	1	1	1	1
16	Γράψιμο Καταχωρητή 1	1	0	0	0	0
17	Γράψιμο Καταχωρητή 2	1	0	0	0	1
18	Επιλεγμένο γράψιμο K 1	1	0	0	1	0
19	Επιλεγμένο γράψιμο K 2	1	0	0	1	1
20	Ακαθόριστο	1	0	1	0	0
21	Επιλεγμένο καθάρισμα K 1	1	0	1	0	1
22	Ακαθόριστο	1	0	1	1	0
23	Επιλεγμένο καθάρισμα K 2	1	0	1	1	1
24	Απενεργοποίηση	1	1	0	0	0
25	Εκτέλεση	1	1	0	0	1
26	Ενεργοποίηση	1	1	0	1	0
27	Έλεγχος κατάστασης	1	1	0	1	1
28	Ακαθόριστο	1	1	1	0	0
29	Δεσμευμένο	1	1	1	0	1
30	Ακαθόριστο	1	1	1	1	0
31	Δεσμευμένο	1	1	1	1	1

Σήματα χρονισμού (strobe signals) (S1, S2)

Δύο σήματα χρονισμού δημιουργούνται σε σειρά σε διαφορετικές γραμμές. Αυτά τα σήματα χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν πληροφορίες στις μονάδες ή για να οδηγούν τις μονάδες στην έναρξη κάποιας ενέργειας. Και τα δύο σήματα δημιουργούνται κατά την εκτέλεση ενός κύκλου του dataway. Το S1 χρησιμοποιείται για ενέργειες που δε μεταβάλλουν την κατάσταση των σημάτων στο dataway. Όλες οι μονάδες οι οποίες διαβάζουν ή γράφουν δεδομένα, το κάνουν σε απάντηση του σήματος S1. Το S2 χρησιμοποιείται για ενέργειες που μπορεί να μεταβάλλουν την κατάσταση των σημάτων στο dataway, για παράδειγμα το καθάρισμα ενός καταχωρητή (register).

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται ο χρονισμός των σημάτων για μία κατευθυνόμενη ενέργεια του dataway. Ο κύκλος του CAMAC διαρκεί τουλάχιστον 1μs για την ενέργεια αυτή (τυπικά 1.2μs). Για μη κατευθυνόμενες ενέργειες (Z,C,I) το παρακάτω σχήμα διαφέρει ως προς το ότι χρησιμοποιείται μόνο το S2.



Χρονισμός σημάτων στο dataway για μία κατευθυνόμενη ενέργεια

Μεταφορά δεδομένων

Η μεταφορά δεδομένων γίνεται μέσω παραλλήλων γραμμών. Μέχρι 24 bits μπορούν να μεταφερθούν παράλληλα μεταξύ του ελεγκτή και της επιλεγμένης μονάδας. Υπάρχουν ανεξάρτητες γραμμές για διάβασμα και γράψιμο.

Γραμμές γραψίματος (Write lines) (W1-W24)

Κατά τη διάρκεια μιας ενέργειας γραψίματος, ο ελεγκτής δημιουργεί σήματα στις γραμμές W. Τα σήματα αυτά φτάνουν σε σταθερή κατάσταση πριν από το S1 και παραμένουν σε αυτή μέχρι το τέλος της ενέργειας, εκτός αν μεταβληθούν από το S2.

Γραμμές διαβάσματος (Read lines) (R1-R24)

Κατά τη διάρκεια μιας ενέργειας διαβάσματος, η επιλεγμένη μονάδα δημιουργεί σήματα στις γραμμές R. Τα σήματα αυτά φτάνουν σε σταθερή κατάσταση πριν από το S1 και παραμένουν σε αυτή μέχρι το τέλος της ενέργειας, εκτός αν μεταβληθούν από το S2.

Πληροφορίες κατάστασης και εντολές ελέγχου

Οι πληροφορίες κατάστασης μεταφέρονται με σήματα στις γραμμές Look-at-Me (LAM), busy (B) και response (Q).

Look-at-Me (LAM)

Αυτή, όπως και γραμμή N, είναι μια ανεξάρτητη γραμμή μεταξύ κάθε σταθμού και ενός ακροδέκτη του ελεγκτή σταθμού. Όταν δεν υπάρχει κάποια ενέργεια σε εξέλιξη στο dataway (το B δεν είναι ενεργοποιημένο), οποιαδήποτε μονάδα μπορεί να ενεργοποιήσει σήμα στη δική της γραμμή LAM, για να δείξει ότι απαιτεί προσοχή.

Busy (B)

Το σήμα αυτό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πρόσβασης διαδικασιών που ανταγωνίζονται στη χρήση του dataway. Δημιουργείται κατά την εκτέλεση μιας ενέργειας στο dataway και ειδικότερα οποτεδήποτε είναι ενεργοποιημένη κάποια γραμμή N είναι ενεργοποιημένο και το B.

Response (Q)

Η γραμμή αυτή χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια μιας ενέργειας στο dataway, για τη μεταφορά σήματος που δηλώνει την κατάσταση ενός επιλεγμένου χαρακτηριστικού της μονάδας που ενεργοποιείται.

Τα κοινά σήματα ελέγχου μεταβιβάζονται σε όλες τις μονάδες, χωρίς να χρειάζονται διεύθυνση κατά την εντολή. Για να αποφεύγονται ενέργειες «κατά λάθος», τα σήματα Initialize (Z) και Clear (C) πρέπει να έχουν ταυτόχρονη ενεργοποίηση του S2.

Initialize (Z)

Το σήμα αυτό έχει απόλυτη προτεραιότητα απέναντι σε όλα τα υπόλοιπα. Θέτει όλες τις μονάδες στη βασική τους κατάσταση, αρχικοποιώντας ταυτόχρονα όλα τα σήματα και τους καταχωρητές.

Inhibit (I)

Η παρουσία αυτού του σήματος αποτρέπει οποιαδήποτε δραστηριότητα του συστήματος (όπως για παράδειγμα η λήψη δεδομένων).

Clear (C)

Το σήμα αυτό καθαρίζει όλους τους καταχωρητές