

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2023-2024

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ: ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΛΕΙΣΟΣ

ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΛΥΚΕΙΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΙ:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΤΡΟΧΟΥΤΣΟΣ ΠΕ04.01 – ΙΩΑΝΝΑ ΑΜΑΝΑΤΙΔΟΥ ΠΕ04.02

ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: “ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ”

Περιεχόμενα

Εισαγωγή - Βαθμονόμηση ανιχνευτικής μονάδας	1
Βαθμονόμηση της ανιχνευτικής μονάδας 16.....	5

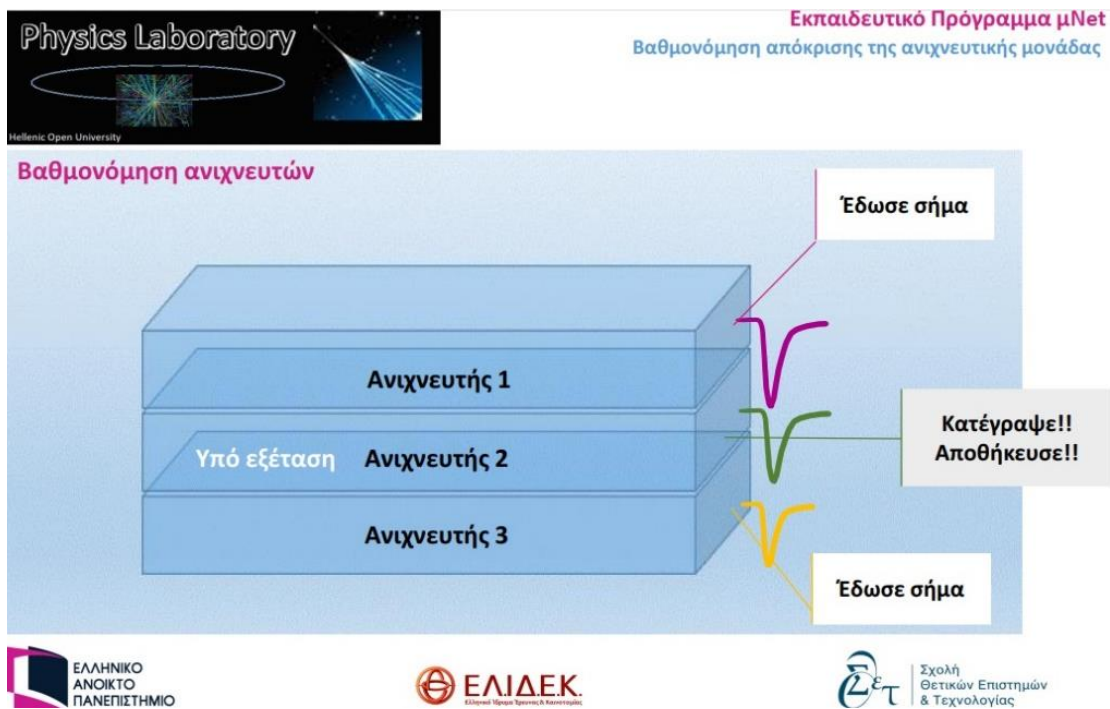
Εισαγωγή - Βαθμονόμηση ανιχνευτικής μονάδας

Η βαθμονόμηση μιας ανιχνευτικής μονάδας είναι ουσιαστικά η διαδικασία της κατάλληλης ρύθμισης έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε με ποιο τρόπο συμπεριφέρεται αυτή και ποια είναι τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της, όπως για παράδειγμα πόσο ακριβής είναι στην μέτρηση των χρόνων. Όλα αυτά συνίστανται στον προσδιορισμό της μορφής του ηλεκτρικού παλμού που παράγεται κατά μέσο όρο από τον ανιχνευτή όταν ένα φορτισμένο σωματίο διέλθει μέσα από αυτόν, όπως και στον προσδιορισμό της ακρίβειας της χρονικής στιγμής που το σωματίο διέρχεται από τον ανιχνευτή. Απαιτείται η συλλογή πολλών δεδομένων και η στατιστική τους ανάλυση. Συνεπώς για να λειτουργήσει καλά ο σταθμός μας και να πάρουμε αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας απαιτείται πρώτα να γίνει η βαθμονόμηση του, δηλαδή να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του σήματος που παράγει ο κάθε ανιχνευτής. Αυτά είναι:

- α) Το ύψος του παλμού (μέγιστη τάση σε mV που δίνει κατά μέσο όρο)
- β) Το σφάλμα στον χρονισμό του σήματος (δηλαδή η ακρίβεια στον υπολογισμό του χρόνου από την στιγμή που περνά το σωματίο από τον

ανιχνευτή μέχρι να έρθει το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται στο σύστημα μας).

Η διαδικασία αυτή απαιτεί να τοποθετηθούν οι ανιχνευτές μας σε διάταξη "οδοσκοπίου" δηλαδή ο ένας πάνω στον άλλο, έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε ότι τα σήματα που δίνουν οι τρεις ανιχνευτές μας προέρχονται κατά κύριο λόγο από το ίδιο σωματίο που τους διαπέρασε σχεδόν ταυτόχρονα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Τοποθέτηση ανιχνευτών σε διάταξη οδοσκοπίου

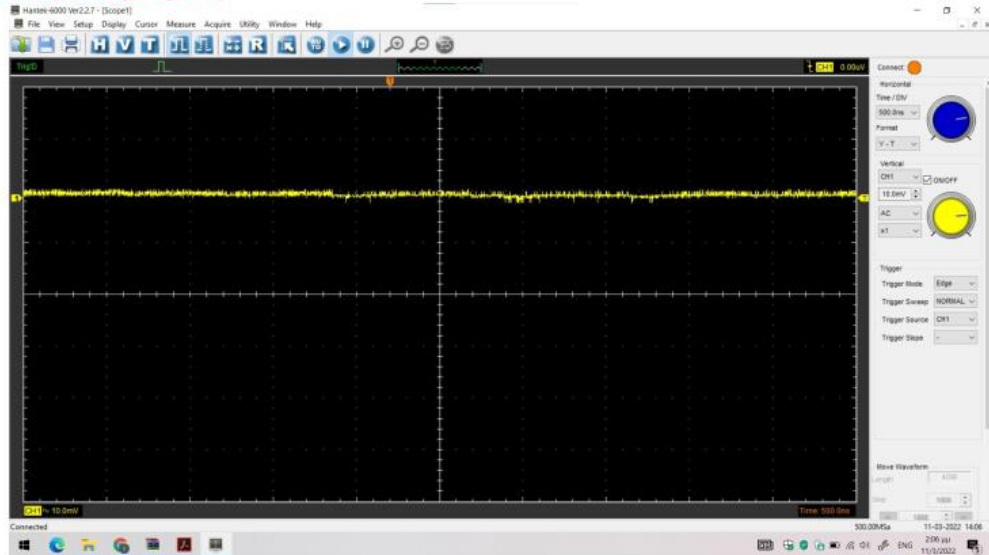
Το σύστημα καταγράφει σήματα, οπότε μπορεί να καταγράψει και από τους τρεις ανιχνευτές, συνεπώς όταν καταγράφει σήμα στον 1 και στον 3 τότε αυτό σημαίνει ότι κάτι πέρασε ταυτόχρονα από αυτούς και θέλουμε να δούμε τι μέτρησε ο 2. Δηλαδή όταν το σύστημα καταγράφει σήμα ταυτόχρονα από τους ανιχνευτές 1 και 3 του λέμε να καταγράψει και να αποθηκεύσει ότι δίνει και ο 2. Με αυτό τον τρόπο αποθηκεύω τα σήματα του 2 τα οποία οφείλονται αποκλειστικά σε μόνια, χωρίς να μετράμε θόρυβο. Τον θόρυβο μπορούμε να τον απομονώσουμε, αλλά πάντα υπάρχει έστω και σε ένα μικρό ποσοστό.

Όταν ο ανιχνευτής συνδεθεί σε ένα παλμογράφο και αυτός σε ένα υπολογιστή τότε βλέπουμε στην οθόνη το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται, το οποίο είναι σχεδόν ευθεία γραμμή δηλαδή θόρυβος. Το σήμα δηλαδή που έρχεται στην είσοδο του παλμογράφου έχει πολύ μικρές διακυμάνσεις της τάσης. Επειδή ο θόρυβος είναι συνεχής, ακόμη και να πέρναγε ένα μόνιο και να είχε παραχθεί ένα μεγάλο σήμα δεν θα προλαβαίναμε να το δούμε γιατί ο παλμογράφος είναι απασχολημένος με τον θόρυβο που έρχεται συνέχεια. Για να αποφύγουμε τον θόρυβο επιλέγουμε μια λειτουργία που λέγεται **σκανδαλισμός**.

Με τον σκανδαλισμό επιλέγουμε τότε ο παλμογράφος θα απεικονίσει ένα σήμα που φτάνει στην είσοδό του. Ο πιο απλός τρόπος σκανδαλισμού είναι να ορίσουμε ένα

ύψος παλμού πάνω από το οποίο θέλουμε να απεικονίζονται οι παλμοί, δηλ. να δείχνουν σήματα μόνο όταν ο παλμός είναι πάνω από ένα ύψος τάσης (Εικόνες 2,3).

Ηλεκτρονικός Θόρυβος



Εικόνα 2: Σήμα ηλεκτρονικού θορύβου



Παλμός από μίονιο

Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα mNet
Βαθμονόμηση απόκρισης της ανιχνευτικής μονάδας



Εικόνα 3: Ηλεκτρικός παλμός από μίονιο

Με αυτό τον τρόπο επιλέγουμε ποια σήματα θα απεικονίζει ο παλμογράφος και αυτό γίνεται γιατί γνωρίζουμε ότι ο θόρυβος αφού έχει σήματα με μικρό ύψος, επιλέγοντας να απεικονίζονται σήματα από ένα κατάλληλο ύψος και πάνω, ουσιαστικά απορρίπτουμε τα σήματα θορύβου και βλέπουμε σήματα που προέρχονται από γεγονότα. Στην βαθμονόμησή μας επιλέξαμε **τάση κατωφλίου τα 5mV** για τους ανιχνευτές μας.

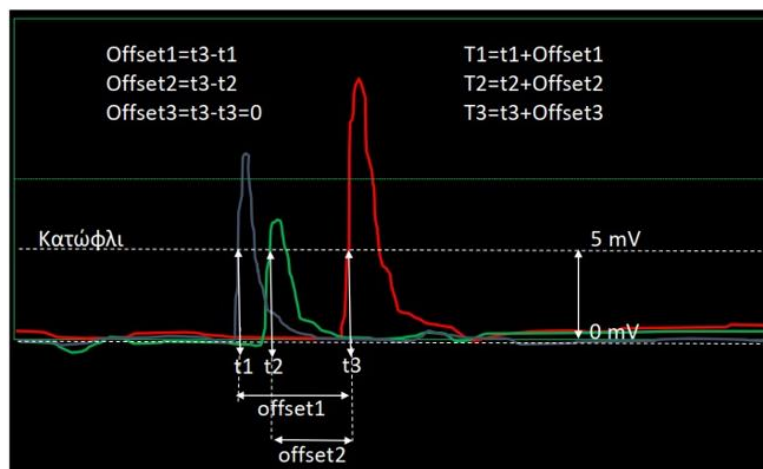
Ένα δεύτερο σημείο της βαθμονόμησης αφορά στον **συγχρονισμό των ανιχνευτών**, δηλαδή να εξασφαλιστεί ότι όταν διεγείρονται ταυτόχρονα οι ανιχνευτές, οι ηλεκτρικοί παλμοί θα καταγράφονται και αυτοί ταυτόχρονα στο σύστημα λήψης των δεδομένων. Αυτό το γεγονός δεν είναι καθόλου αυτονόητο για αρκετούς λόγους όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι τα καλώδια που μεταφέρουν το σήμα μπορεί να έχουν διαφορετικό μήκος και έτσι να υπάρχει χρονοκαθυστέρηση ακόμη και αν οι παλμοί παράγονται ταυτόχρονα.

Ο χρονισμός μπορεί να γίνει αν επιλέξουμε αυθαίρετα τον ένα από τους τρεις ανιχνευτές ως ανιχνευτή αναφοράς και μετατοπίσουμε χρονικά τους παλμούς από τους άλλους δύο ανιχνευτές ώστε να συμπέσουν με τον παλμό του ανιχνευτή αναφοράς. Αυτές οι διαφορές χρόνου είναι τα **offset₁** και **offset₂**. Επομένως τα offset είναι η απαιτούμενη διόρθωση που πρέπει να γίνει σε κάθε παλμό ώστε οι χρόνοι που δίνουν οι ανιχνευτές να είναι οι σωστοί.

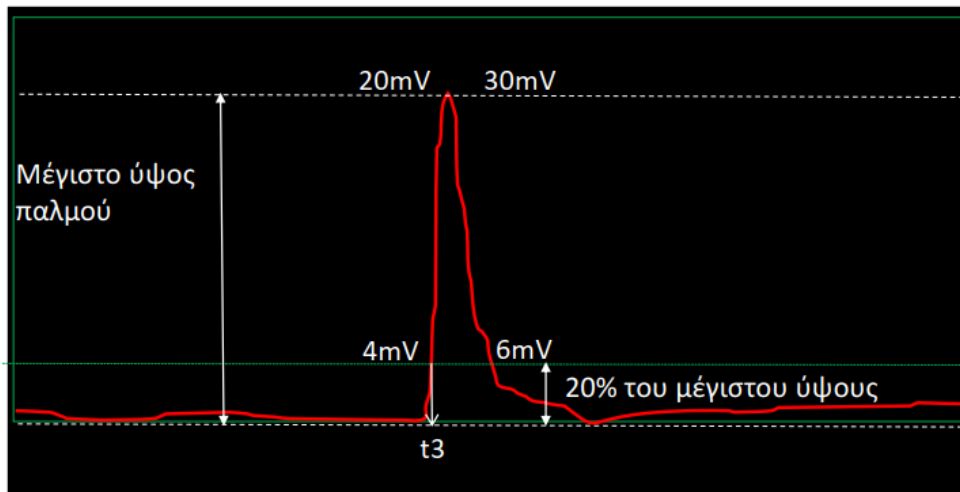
Ένα ζήτημα που προκύπτει είναι ποια χρονική στιγμή θα θεωρήσουμε εμείς ως **χρόνο άφιξης του παλμού**. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι να θεωρήσουμε ως χρόνο άφιξης του παλμού την χρονική στιγμή που η τάση ξεπερνά ένα αυθαίρετα ορισμένο από εμάς επίπεδο, μια δηλαδή τάση κατωφλίου που στην περίπτωσή μας **ορίστηκε στα 5mV**. Με αυτό τον τρόπο, έχοντας τις χρονικές στιγμές έλευσης t_1, t_2, t_3 και θεωρώντας ότι ανιχνευτής αναφοράς είναι ο 3 βρίσκουμε τα αντίστοιχα offset και κάνουμε τις αντίστοιχες διορθώσεις των χρόνων των παλμών (Εικόνα 4).



Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα μNet
Συγχρονισμός των ανιχνευτικών μονάδων



Ο άλλος τρόπος χρονισμού μπορεί να γίνει με βάση το **ύψος του παλμού**. Συγκεκριμένα μπορούμε να θεωρήσουμε ως χρόνο άφιξης την χρονική στιγμή που ο παλμός ξεπέρασε ένα ποσοστό της μέγιστης τιμής του, που στην εργασία μας αυτό το ποσοστό αντιστοιχεί στο 20% του μέγιστου ύψους του παλμού (Εικόνα 5).

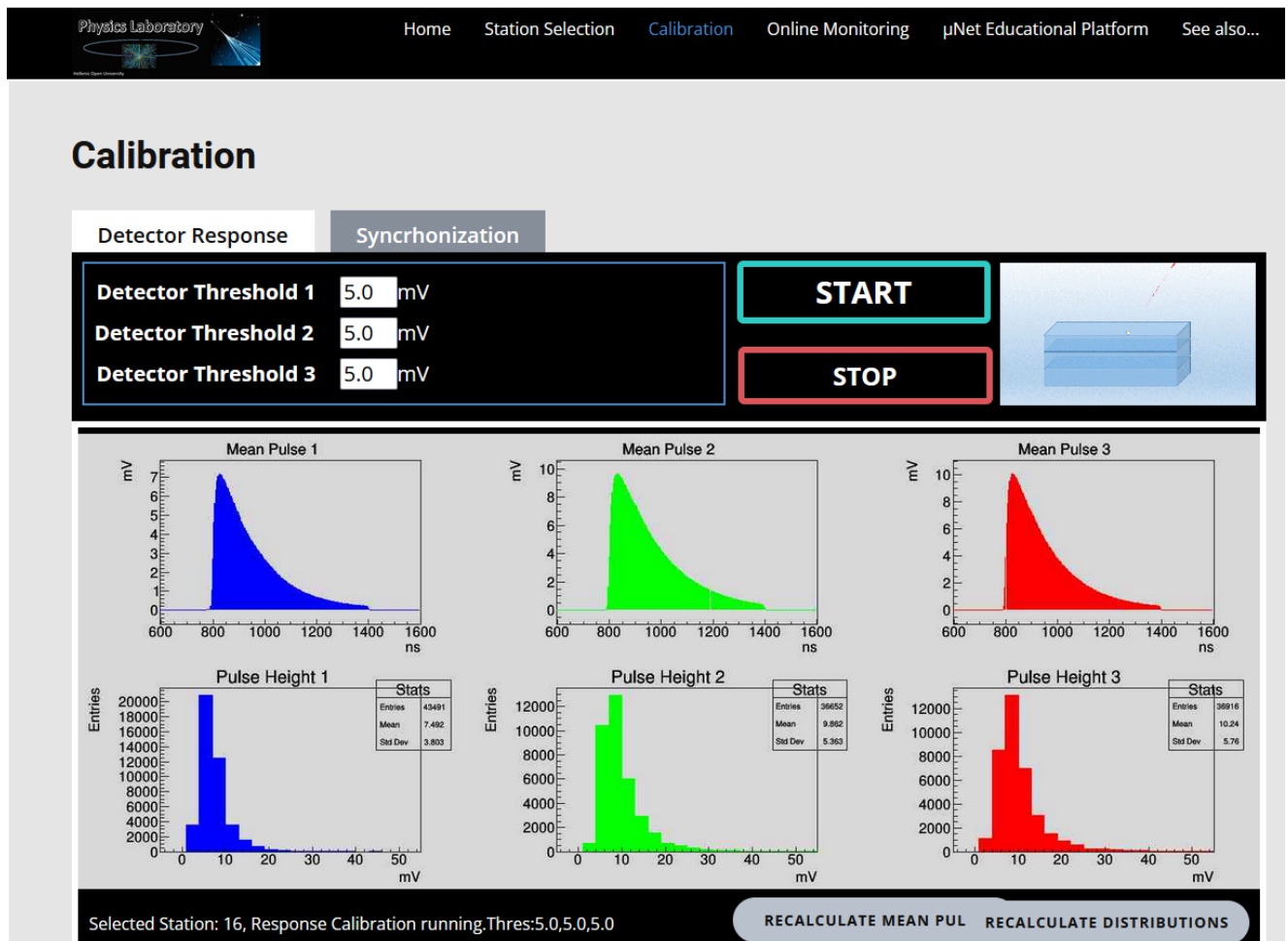


Εικόνα 5: Χρονισμός με βάση το ποσοστό του μέγιστου ύψους

Βαθμονόμηση της ανιχνευτικής μονάδας 16

Στην παρούσα εργασία βαθμονομήθηκε με χρήση του λογισμικού εξ αποστάσεως ο ανιχνευτικός σταθμός 16 του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών του σχολείου μας. Η βαθμονόμηση χρονισμού των ανιχνευτών έγινε και με τους δύο τρόπους, δηλαδή **και με χρήση της τάσης κατωφλίου με τιμή τα 5mV** καθώς και με βάση το **20% του μέγιστου ύψους του παλμού**. Για την **αποφυγή του θορύβου** επίσης επιλέχθηκε **τάση κατωφλίου με τιμή τα 5mV**. Ως ανιχνευτής αναφοράς για τον χρονισμό και στις δύο περιπτώσεις επιλέχθηκε ο ανιχνευτής 3. Ο χρόνος λήψης δεδομένων είναι περίπου 7 ώρες και στις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα για την περίπτωση που ο χρονισμός έγινε με χρήση της τάσης κατωφλίου (αναφοράς) φαίνονται στην Εικόνα 6 και στην Εικόνα 7.

1. Βαθμονόμηση και χρονισμός με χρήση της τάσης κατωφλίου των 5 mV



Εικόνα 6: Ηλεκτρικά σήματα ανιχνευτών με τάση κατωφλίου τα 5mV

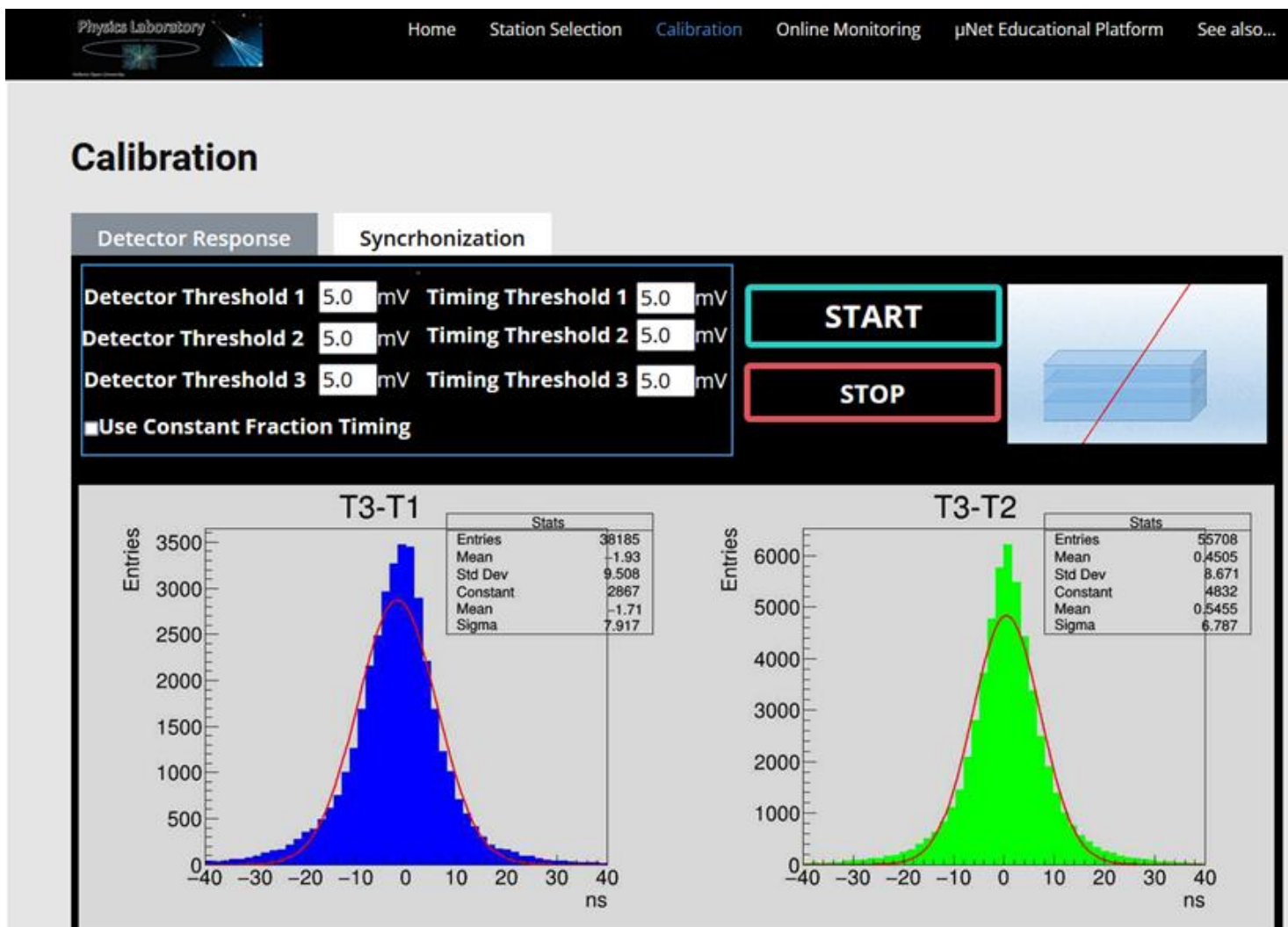
Στην Εικόνα 6 παρατηρούμε τα μέσα ύψη των παλμών στους ανιχνευτές 1, 2 και 3 καθώς και το χρονικό τους εύρος το οποίο κυμαίνεται από 800ns έως περίπου 1400ns. Από τις μετρήσεις μας, τα γεγονότα, η μέση τιμή της τάσης καθώς και διασπορά για τους τρεις ανιχνευτές παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 1.

	Γεγονότα	Μέση τιμή τάσης (mV)	Διασπορά (mV)
Ανιχνευτής 1	43491	7,492	3,803
Ανιχνευτής 2	36652	9,862	5,363
Ανιχνευτής 3	36916	10,24	5,76

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των παλμών των ανιχνευτών

Στην πάνω σειρά της Εικόνας 6 παρουσιάζεται η μορφή του μέσου παλμού για κάθε ανιχνευτή, ενώ στην κάτω σειρά παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ιστογράμματα τα οποία στον κατακόρυφο άξονα μας παρουσιάζουν το πλήθος των παλμών ανά κλάση, ενώ στον οριζόντιο το ύψος του παλμού σε mV. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν και παλμοί με τιμές τάσεων αρκετά μεγάλες και στους τρεις ανιχνευτές της τάξεως των

25 mV. Στην περίπτωση του ανιχνευτή 3 ο αριθμός των παλμών με μεγάλες τιμές τάσεων είναι περισσότερος από ότι στους ανιχνευτές 1 και 2 και αυτό το γεγονός αποτυπώνεται και στην μέση τιμή του παλμού όπως βλέπουμε και στον Πίνακα 1. Την μικρότερη διασπορά την παρουσιάζει ο ανιχνευτής 1, ενώ οι ανιχνευτές 2 και 3 δεν έχουν τόσο μεγάλη διαφορά όσον αφορά την διασπορά. Μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα συλλογής δεδομένων μας παρέχουν πιο αξιόπιστες μετρήσεις διότι το φαινόμενο είναι **στοχαστικό**. Για την μέτρηση των καταιονισμών θα κρατήσουμε την διασπορά του μέσου ύψους του παλμού για κάθε ανιχνευτή όπως και το μέσο ύψος του. Επίσης παρατηρούμε ότι οι παλμοί δεν είναι σταθεροί αλλά διαφέρουν με αποτέλεσμα το ύψος του παλμού να έχει μια φαρδιά κατανομή και το γεγονός αυτό οφείλεται στην στοχαστικότητα του φαινομένου. Πράγματι ο αριθμός των φωτονίων που θα παραχθεί όταν περάσει ένα σωματίο εξαρτάται από το είδος του (μάζα, φορτίο, ενέργεια), τον τρόπο που αλληλεπιδρά με το υλικό και την γωνία με την οποία πέφτει στον ανιχνευτή. Επίσης ο αριθμός των φωτονίων που φτάνουν στον φωτοαισθητήρα, εξαρτάται από το σημείο πρόσπτωσης, πόσο κοντά ήταν στις οπτικές ίνες, πόσες ίνες ήταν δίπλα, το ποσοστό ανάκλασης και απορρόφησης φωτονίων που έχει ο γύρω χώρος, το ανακλαστικό χαρτί Tyvek, το ποσοστό διαφυγής φωτονίων από τον ανιχνευτή. Ακόμη και ο ίδιος ο φωτοαισθητήρας παρουσιάζει στοχαστικότητα.



Εικόνα 7: Χρονισμός των ανιχνευτών με χρήση τάσης κατοφλίου 5mV

Στην Εικόνα 7 παρατηρούμε τα ιστογράμματα των χρονικών διαφορών του ανιχνευτή 1 από τον 3 και του ανιχνευτή 2 από τον 3. Οι κατανομές αυτές είναι κανονικές κατανομές Gauss. Στο ένθετο πλαίσιο παρουσιάζεται ο αριθμός των γεγονότων, η μέση τιμή της χρονικής διαφοράς άφιξης του παλμού δηλ. τα offset και η τυπική απόκλιση των μετρήσεων, αντίστοιχα. Οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2.

	Γεγονότα	Offset (ns)	Τυπική απόκλιση (ns)
T_3-T_1	38185	-1,93	9,508
T_3-T_2	55708	0,4505	8,671

Πίνακας 2: Δεδομένα χρονισμού με χρήση τάσης κατοφλίου 5mV

Παρατηρούμε από την τυπική απόκλιση ότι υπάρχει ένα εύρος τιμών και στην μία περίπτωση και στην άλλη, διότι το φαινόμενο όπως προαναφέρθηκε είναι στοχαστικό. Βέβαια όσο περισσότερα δεδομένα έχουμε τόσο πιο αξιόπιστες είναι οι μετρήσεις μας. Από τις τιμές της Εικόνας 7 αλλά και του Πίνακα 2 βλέπουμε ότι στην περίπτωση των ανιχνευτών 2 και 3 η κατανομή είναι σχεδόν "κεντραρισμένη" στο μηδέν επομένως τα καλώδια για τους ανιχνευτές αυτούς έχουν περίπου το ίδιο μήκος, δηλαδή οι χρονική διαφορά μεταξύ τους είναι σχεδόν μηδέν. Αντίθετα κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται τόσο πολύ μεταξύ των ανιχνευτών 1 και 3. Σε αυτή την περίπτωση ο ανιχνευτής 1 καθυστερεί σε σχέση με τον ανιχνευτή 3 κατά μέσο όρο 1,93 ns. Οι διαφορές όμως είναι αρκετά μικρές και αν λάβουμε υπόψη μας την ταχύτητα του φωτός, αντιστοιχούν περίπου σε διαφορά μήκους 40cm κάτι που θα μπορούσε να οφείλεται σε ενώσεις των καλωδίων ή σε στριψίματα τους. Γενικά προκύπτει ότι τα μήκη των καλωδίων είναι σχεδόν τα ίδια. Τέλος όπως παρατηρούμε από την Εικόνα 7 στην περίπτωση των ανιχνευτών 1 και 3 η μέση τιμή της θεωρητικής καμπύλης είναι -1,71ns και το εύρος της καμπύλης Gauss είναι 7,917ns, ενώ στην περίπτωση των ανιχνευτών 2 και 3 οι αντίστοιχες τιμές είναι 0,5455ns και 6,787ns. Οι διορθωμένοι χρόνοι για τους ανιχνευτές μας θα είναι με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:

$$\alpha) \quad T_1 = t_1 + \text{offset}_1 \Rightarrow T_1 = t_1 - 1,93 \text{ σε μονάδες S.I}$$

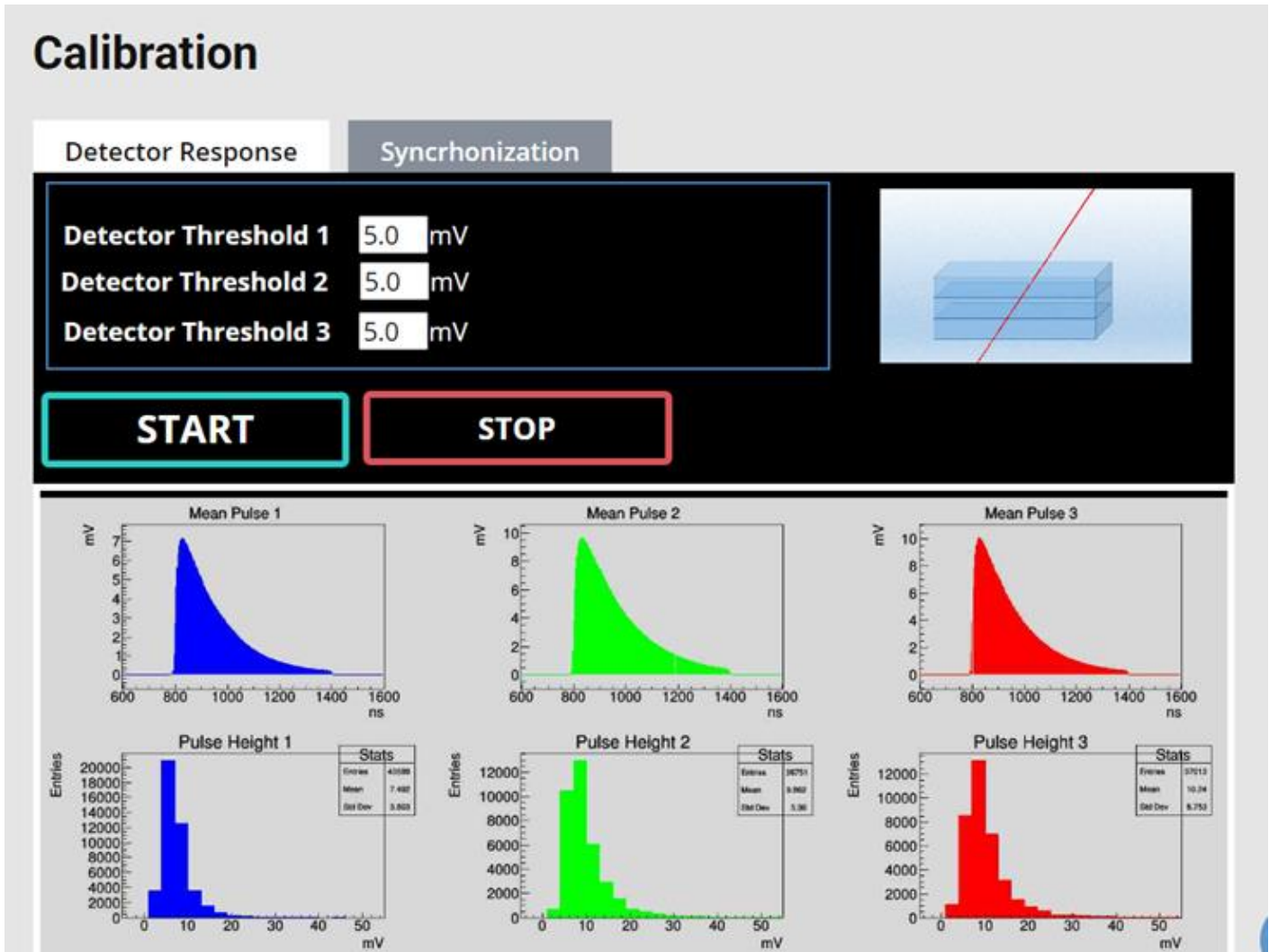
$$\beta) \quad T_2 = t_2 + \text{offset}_2 \Rightarrow T_2 = t_2 + 0,4505 \text{ σε μονάδες S.I}$$

$$\gamma) \quad T_3 = t_3 + 0 \Rightarrow T_2 = t_2 \text{ σε μονάδες S.I}$$

Διότι ο ανιχνευτής 3 είναι ο ανιχνευτής αναφοράς.

2. Βαθμονόμηση και χρονισμός με χρήση της τάσης κατοφλίου των 5 mV και το 20% του μέγιστου ύψους του παλμού

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στις Εικόνες 8 και 9.



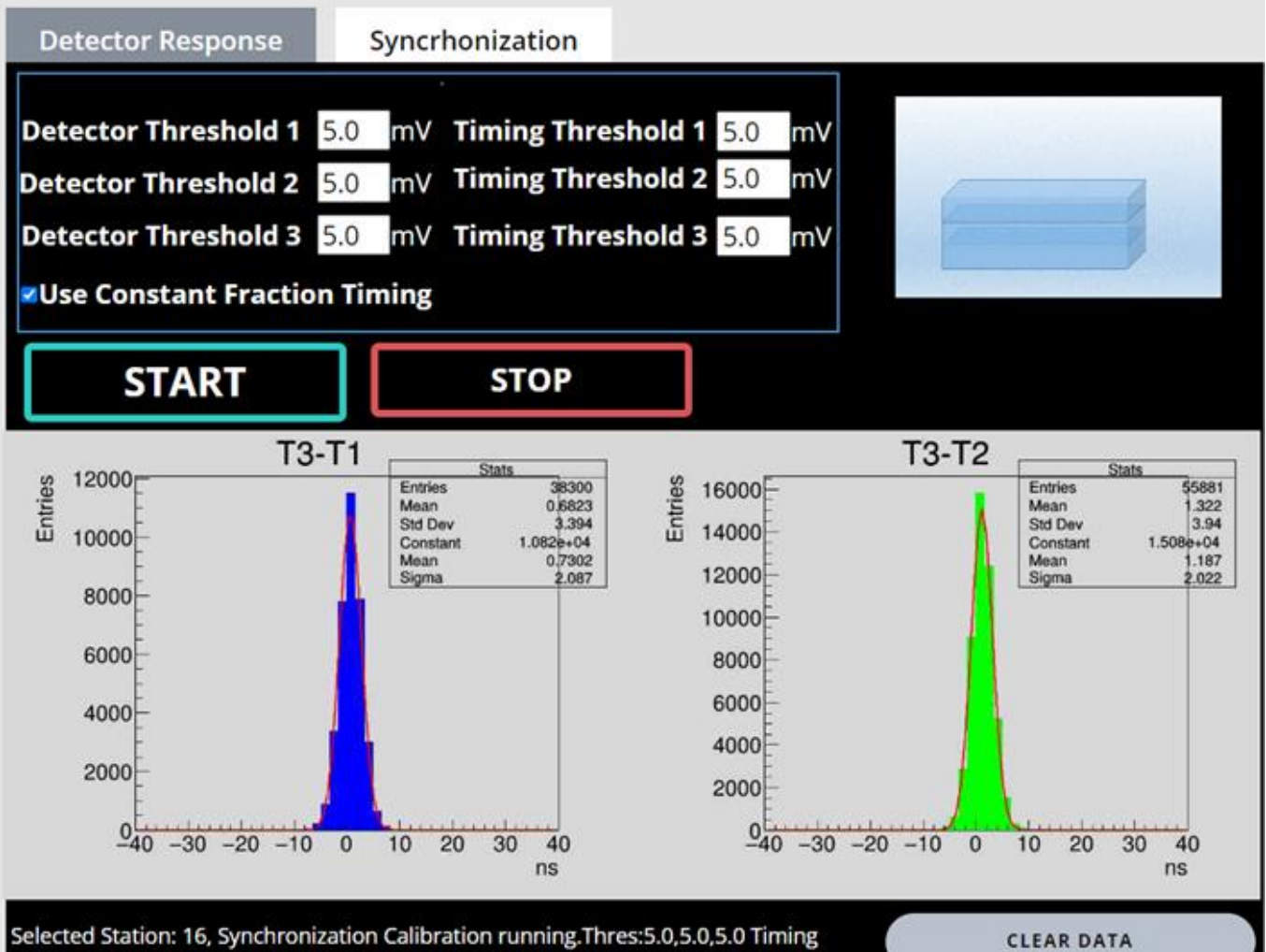
Εικόνα 8: Ηλεκτρικά σήματα ανιχνευτών με τάση κατοφλίου τα 5mV

Τα συμπεράσματά μας σε αυτή την περίπτωση είναι σε γενικές γραμμές περίπου τα ίδια όπως και προηγουμένως. Οι μετρήσεις μας φαίνονται στον Πίνακα 3.

	Γεγονότα	Μέση τιμή τάσης (mV)	Διασπορά (mV)
Ανιχνευτής 1	43599	7,492	3,803
Ανιχνευτής 2	38751	9,862	5,36
Ανιχνευτής 3	37013	10,24	5,753

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά των παλμών των ανιχνευτών

Calibration



Εικόνα 9: Χρονισμός των ανιχνευτών με χρήση του 20% του μέγιστου ύψους του παλμού

Οι αντίστοιχες μετρήσεις μας φαίνονται στον Πίνακα 4

	Γεγονότα	Offset (ns)	Τυπική απόκλιση (ns)
T_3-T_1	38300	0,6823	3,394
T_3-T_2	55881	1,322	3,94

Πίνακας 4: Δεδομένα χρονισμού με χρήση του 20% του μέγιστου ύψους του παλμού

Και σε αυτή την περίπτωση οι παρατηρήσεις που μπορούμε να κάνουμε είναι σε γενικές γραμμές οι ίδιες με προηγουμένως με τις εξής όμως διαφορές:

Όπως μπορούμε να δούμε από τα ιστογράμματα αλλά και από τις τιμές του Πίνακα 4 οι καμπύλες Gauss είναι πιο "στενές", υπάρχει μικρότερη διασπορά των τιμών, με συνέπεια η μέθοδος αυτή του χρονισμού των ανιχνευτών να είναι περισσότερο ακριβής, σε σχέση με την προηγούμενη. Επίσης όπως παρατηρούμε από την Εικόνα 9 στην περίπτωση των ανιχνευτών 1 και 3 η μέση τιμή της θεωρητικής καμπύλης είναι 0,7302ns που σε αυτή την περίπτωση διαφέρει πολύ λίγο με την μέση τιμή των μετρήσεων, και το εύρος της καμπύλης Gauss είναι 2,087ns, ενώ στην περίπτωση των

ανιχνευτών 2 και 3 οι αντίστοιχες τιμές είναι 1,187ns και 2,022ns. Οι διορθωμένοι χρόνοι για τους ανιχνευτές μας θα είναι με βάση τα όσα αναφέρθηκαν:

- α) $T_1 = t_1 + \text{offset}_1 \Rightarrow T_1 = t_1 + 0,6823$ σε μονάδες S.I
 β) $T_2 = t_2 + \text{offset}_2 \Rightarrow T_2 = t_2 + 1,322$ σε μονάδες S.I
 γ) $T_3 = t_3 + 0 \Rightarrow T_2 = t_2$ σε μονάδες S.I

Διότι ο ανιχνευτής 3 είναι ο ανιχνευτής αναφοράς. Από την διαφορά χρόνου των ανιχνευτών 1 και 3 και 2 με τον 3 μπορούμε να δούμε ότι η διαφορά δρόμου είναι πολύ μικρή, της τάξεως περίπου των 2cm, κάτι που επιβεβαιώνει την υποψία ότι τα καλώδια έχουν περίπου το ίδιο μήκος. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος οι διαφορές χρόνου περιφέρονται γύρω από το σημείο μηδέν, ενώ παράλληλα η τάση κατωφλίου των 5mV είναι κοντά στο επίπεδο του ηλεκτρονικού θορύβου, με συνέπεια να καταγράφονται και μικρά σήματα. Αυτά τα γεγονότα μπορούν πιστεύουμε να εξηγήσουν ικανοποιητικά τις διαφορές που παρατηρούνται στον συγχρονισμό με τους δύο τρόπους, δηλ. την χρήση της τάσης κατωφλίου των 5mV και του 20% του μέγιστου ύψους του παλμού.