



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

Εισάγετε τον Τίτλο της Εργασίας

"Ηλεκτρονική Μελέτη Ανιχνευτών Micromegas Διπλών Λωρίδων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΠΜΣ, «ΦΥΣΙΚΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ», ΣΕΜΦΕ-ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Ανδρέα Μακρομάλλης

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

Εισάγετε τον Τίτλο της Εργασίας

"Ηλεκτρονική Μελέτη Ανιχνευτών Micromegas Διπλών Λωρίδων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Ανδρέα Μακρομάλλης

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Φεβρουάριο 2013. Αθήνα, 2013

Θ. Αλεξόπουλος
Καθηγητής, ΕΜΠ

Ε. Γαζής
Καθηγητής, ΕΜΠ

Γ. Τσιπολίτης
Αν. Καθηγητής, ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Ανδρέα Μακρομάλλης
Διπλωματούχος Φυσικός Εφαρμογών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Μακρομάλλης, 2013.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δασκάλους και καθηγητές μου όλα αυτά τα χρόνια, για την αγάπη που μου ενέπνευσαν στη μόρφωση και ιδιαιτέρως όλους αυτούς που με καθοδήγησαν και με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου.

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κύριο Θεόδωρο Αλεξόπουλο , κύριο Γιώργο Τσιπολίτη και κύριο Κόκκορη Μιχαήλ για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια τους. Ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον κ. Αλεξόπουλο ως επιβλέπων της διπλωματικής αλλά και ως σύμβουλο στις αποφάσεις που είχα να κάνω για θέματα εκτός διπλωματικής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στους γονείς μου για την αστείρευτη αγάπη τους, την υπομονή τους, την κατανόηση, καθώς επίσης και την ηθική και υλική υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου και γενικότερα στη ζωή μου.

Πρόλογος

Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με τους ανιχνευτές Micromegas. Οι ανιχνευτές Micromegas αποτελούν μια καινούρια γενιά ανιχνευτών με πολλά υποσχόμενες ιδιότητες (όπως η καλή χωρική ακρίβεια, σκληρότητα ακτινοβολίας, υψηλός ρυθμός μέτρησης, γρήγορη ανάκαμψη, καλή ενεργειακή ανάλυση κλπ) που τους καθιστούν κατάλληλους για διάφορες εφαρμογές. Έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ή θα χρησιμοποιηθούν σε διάφορα πειράματα σωματιδιακής φυσικής σε όλο τον κόσμο (π.χ. CAST, COMPASS, HELLAZ, TOF), μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές εφαρμογές (π.χ. κρυσταλλογραφία πρωτεϊνών, ιατρική ραδιογραφία, ακτινογραφία-β) και είναι υπό μελέτη ώστε να χρησιμοποιηθούν ως ανιχνευτές ανίχνευσης τροχίας (όπως οι μιονικοί ανιχνευτές) στο πείραμα super LHC.

Με βάση τον στόχο για την χρήση τους στο ποιο πάνω πείραμα έκανα την μελέτη του Micromegas ως προς το φαινόμενο crosstalk και πως εμφανίζεται σε αυτόν με την χρήση του προγράμματος Ansoft Maxwell και Simplorer που κάνουν προσωμοίωση διατάξεων και κυκλωμάτων.

Abstract

In this paper we dealt with Micromegas detectors. Micromegas detectors are a new generation of detectors with promising properties (such as good spatial accuracy, toughness radiation, high rate measurement, rapid recovery, good energy resolution, etc.) that make them suitable for various applications. They have been used or will be used in various particle physics experiments around the world (eg CAST, COMPASS, HELLAZ, TOF), also can be used in medical applications (eg protein crystallography, medical radiography, X-b) and are under study to be used as detectors for track detection (like miuon detectors) in the experiment super LHC. Based on the objective to use them to the above experiment, i did the study of Micromegas in the crosstalk phenomenon and how it appears to him, by using the programs Ansoft Maxwell and Simplorer for simulation electronic circuits.

Περιεχόμενα

1 Περιγραφή φαινομένων που εμφανίζονται κατά την ανίχνευση σωματιδίων σε αέρια	4
1.1 Φωτόνια	4
1.1.1 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	5
1.2 Ηλεκτρόνια	6
1.2.1 Απώλεια ενέργειας λόγω αλληλεπίδρασης Coulomb	6
1.2.2 Η κατανομή απώλεια ενέργειας	6
1.2.3 Βεληνεκές αργών ηλεκτρονίων	7
1.3 Διέγερση και ιονισμός αερίων	8
1.3.1 Διέγερση	8
1.3.2 Ιονισμός	8
1.4 Μεταφορά ηλεκτρονίων και ιόντων στα αέρια	8
1.4.1 Διάχυση	9
1.4.2 Ολίσθηση και ευκινησία	10
1.4.3 Πολλαπλασιασμός Χιονοστοιβάδα	10
2 Ανιχνευτές Αερίων	12
2.1 Micromegas	16
2.1.1 Περιγραφή της διάταξης του Micromegas	16
2.1.2 Διαμόρφωση Ηλεκτρικού Πεδίου	17
2.1.3 Πλεονέκτηματα του μικρού χάσματος	17
2.1.4 Ιδιότητες του Gain(κέρδους)	19
2.1.5 Εξέλιξη του σήματος και χρονική ανάλυση	21
2.1.6 Χωρική ανάλυση	22
2.1.7 Micromegas με resistive layer(resistive anode readout)	23
2.1.8 Θεωρία Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων	26
3 Simulation στο Maxwell και Simplorer	31
3.0.9 Περιγραφή Simplorer	31
3.0.10 Περιγραφή Maxwell	32
3.0.11 2D απεικόνιση Micromegas από το Maxwell	33
3.0.12 3D απεικόνιση Micromegas από το Maxwell	35
4 Συμπεράσματα	48

1.

Κεφάλαιο 1

Περιγραφή φαινομένων που εμφανίζονται κατά την ανίχνευση σωματιδίων σε αέρια

Παρακάτω θα παρουσιάσω τα κύρια φαινόμενα που συναντήσουμε κατά την μελέτη της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με την ύλη σε ανιχνευτή αερίου.

1.1 Φωτόνια

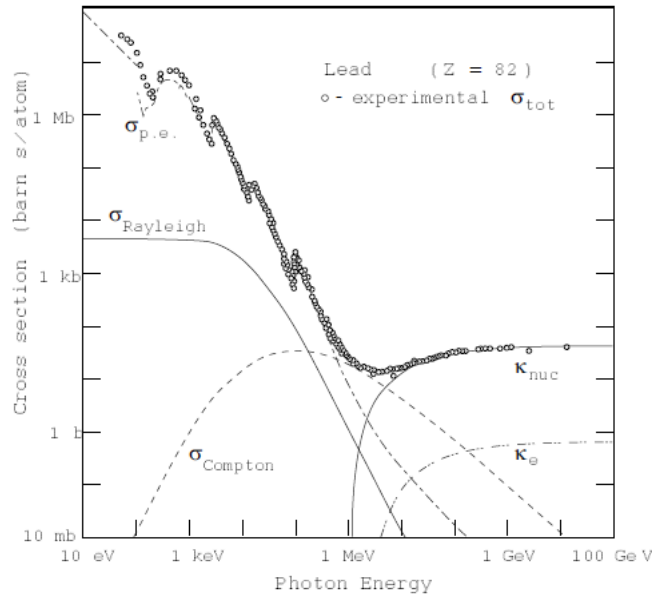
Μια δέσμη φωτονίων με ένταση I_0 περνώντας μέσα από ένα μέσο πάχους x θα έχει ένταση

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

όπου $\mu = N\sigma$ είναι ο συνολικός συντελεστής απορρόφησης, με N η η πυκνότητα των ατόμων και σ η συνολική ενεργός διατομή των φωτονίων ανά άτομο. Η εικόνα 1.1 δείχνει ένα παράδειγμα για σ , το οποίο αποτελείται από τρεις βασικούς παράγοντες,

$$\sigma = \sigma_{photo} + Z\sigma_C + \tau_{pair}$$

το καθένα αντιστοιχεί σε μία από τις κύριες αλληλεπιδράσεις των φωτονίων: το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, Compton σκέδαση και την παραγωγή ζεύγους. Η πιο ενδιαφέρουσα διαδικασία είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Κάθε μια από αυτές τις αλληλεπιδράσεις δείχνουν την προτίμησή τους σε ένα μέρος του φάσματος της ενέργειας των φωτονίων: το κατώτερο τμήμα του φάσματος, μέχρι αρκετά keV διέπεται από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Έπειτα έρχεται η σκέδαση Compton, δεσπόζει μέχρι εκατοντάδες keV, ενώ η τελευταία περιοχή (πάνω από 1.22MeV) έχει απομείνει για την παραγωγή ζεύγους.



Σχήμα 1.1: Η συνολική διατομή για την απορρόφηση φωτονίων σε μόλυβδο. Ανάλογα με την ενέργεια του φωτονίου, η αλληλεπίδραση μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικούς μηχανισμούς. Σε χαμηλές ενέργειες και μέχρι αρκετές keV, το φωτοηλεκτρικό (σ_{p.e.}) κατέχει δεσπόζουσα θέση. Μέχρι μερικές εκατοντάδες keV η σκέδαση Compton (σ_{Compton}) παρουσιάζεται με περισσότερη πιθανότητα, ενώ όταν φτάνουμε το φράγμα του 1.22MeV (2 × 0.511MeV) η παραγωγή ζεύγους (κ_{nuc}) ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου είναι η πιο πιθανή διαδικασία. Στο σχήμα σημειώνονται επίσης η σ_{Rayleigh}, για σκέδαση Rayleigh (coherent) και κ_e για την παραγωγή ζεύγους στον πεδίο του ηλεκτρονίου.

1.1.1 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Ένα φωτόνιο συναντά ένα ατομικό ηλεκτρόνιο και απορροφάται, επιτρέποντας στο ηλεκτρόνιο να εκτιναχτεί από το άτομο, με μια ενέργεια

$$E = h\nu - E_\beta$$

για $h\nu$ την ενέργεια του φωτονίου και E_β την ενέργεια σύνδεσης των ηλεκτρονίων. Στην περιοχή της ενέργειας των ακτίνων X, η ενεργός διατομή(ανά άτομο) υπολογίζεται

$$\Phi_{photo} = 4\alpha^4 \Phi_0 \left(\frac{m_e c^2}{h\nu} \right)^{\frac{7}{2}} Z^5$$

Όπου $\alpha = 1/137$, $\Phi_0 = 8\pi r_e^2/3 = 6.651 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$ (r_e η ακτίνα του ηλεκτρονίου) και Z ο ατομικός αριθμός. Από την εξίσωση που πάνω προκύπτει η ισχυρή εξάρτηση από το Z , το οποίο, ανάλογα με την εφαρμογή, θα έχει σημαντικό ρόλο στην απόφαση για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που προκύπτει είναι αυτό που ακολουθεί μετά την εκπομπή των ηλεκτρονίων. Όταν βγαίνει, το ηλεκτρόνιο προκαλεί μια αναδιάρθρωση στο κέλυφος, η οποία μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

α) Η επίδραση Auger (μετάβαση χωρίς εκπομπή ακτινοβολίας), η οποία είναι η εκπομπή ενός ηλεκτρονίου ενέργειας κοντά στην ενέργεια σύνδεσης μετά από μια εσωτερική αναδιάρθρωση των ηλεκτρονίων, ή

β) φθορισμό, η διαδικασία μέσω της οποίας ένα ηλεκτρόνιο από μια εσωτερική στοιβάδα παίρνει τη θέση του ηλεκτρονίου που εκτινάχθηκε, εκπέμποντας ένα φωτόνιο με ενέργεια την ενεργειακή διαφορά μεταξύ των δύο στοιβάδων.

1.2 Ηλεκτρόνια

Από όλες τις αλληλεπιδράσεις τα φορτισμένα σωματίδια μπορούν ενδεχομένως να συμμετέχουν, μόνο οι ηλεκτρομαγνητικές πρακτικά που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευσή τους (Coulomb αλληλεπιδράσεις, bremsstrahlung, Cerenkov, ακτινοβολία μετάβασης), των οποίων η διατομή είναι μερικές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες. Σε ανιχνευτές αερίου, η ανίχνευση των σωματιδίων οφείλεται κυρίως στις αλληλεπιδράσεις Coulomb.

1.2.1 Απώλεια ενέργειας λόγω αλληλεπίδρασης Coulomb

Ο βασικός υπολογισμός της απώλειας ενέργειας δίνεται από την Bethe-Bloch φόρμουλα

$$-\frac{dE}{dx} = K\rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 E_{max}}{I^2 (1 - \beta^2)} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2\frac{C}{Z} \right]$$

όπου:

$$K = \frac{2\pi N_a e^4}{m_e c^2}$$

$$N_a = 6.022 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1} \quad (\text{ο αριθμός Avogadro})$$

$$\rho, Z, A \quad \text{πυκνότητα, Ατομικός αριθμός, μάζα του μέσου}$$

$$I = I_0 Z \quad \text{όπου } I_0 \simeq 10 \text{ eV} \quad (\text{ενεργό δυναμικό ιονισμού του μέσου})$$

$$z, \beta \quad \text{φορτίο (σε μονάδες } e \text{), ταχύτητα του προσπίπτοντος σωματιδίου}$$

$$E_{max} = \frac{2m_e c^2 \beta^2}{1 - \beta^2} \quad (\text{μέγιστη επιτρεπτή μεταφερόμενη ενέργεια})$$

και οι δύο παράγοντες διόρθωσης:

$$\delta \quad \text{η διόρθωση της επίδρασης της πυκνότητας, σημαντική για υψηλές ενέργειες}$$

$$C \quad \text{η διόρθωση για το κέλυφος, σημαντικό για χαμηλές ενέργειες}$$

1.2.2 Η κατανομή απώλεια ενέργειας

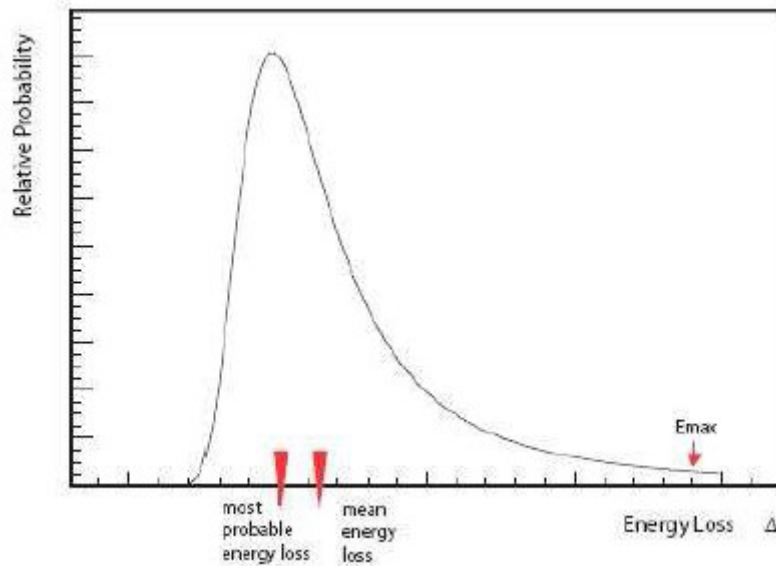
Η Bethe-Bloch φόρμουλα παρέχει τη μέση τιμή της απώλειας ενέργειας. Ωστόσο, λόγω της στατιστική διακυμάνσεις του αριθμού των συγκρούσεων που λαμβάνουν χώρα τελικά, και για την μεταφερόμενη ενέργεια σε κάθε μία από αυτές, η ενέργεια που χάνεται από οποιοδήποτε σωματίδιο θα είναι, πιθανότατα, διαφορετική από αυτή. Το σχήμα 1.2 δείχνει μια τυπική κατανομή των απωλειών ενέργειας σε λεπτά μέσα. Αυτή η Landau κατανομή έχει ένα πολύ χαρακτηριστικό σχήμα, που μπορεί να εκφραστεί ως:

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\lambda + e^{-\lambda})}$$

Όπου λ υποδηλώνει την κανονικοποιημένη απόκλιση από την πιο πιθανή απώλεια ενέργειας $(\Delta E)_{mp}$ όταν

το ΔE είναι η πραγματική απώλεια και ξ η μέση απώλεια ενέργειας:

$$\lambda = \frac{\Delta E - (\Delta E)_{mp}}{\xi}$$



Σχήμα 1.2: Η χαρακτηριστική κατανομή Landau. Η αιχμή δείχνει την πιθανότερη απώλεια ενέργειας ΔE_{mp} . Η κατανομή αυτή δείχνει μια ουρά στην υψηλή περιοχή απώλεια ενέργειας, λόγω σπάνιων ενεργητικών δ ηλεκτρονίων. Αυτή η ουρά προκαλεί η μέση τιμή ξ της απώλεια ενέργειας να μετατοπιστεί προς τα δεξιά της κορυφής της κατανομής. Φαίνεται και η μέγιστη επιτρεπόμενη απώλεια ενέργειας ανά σύγκρουση (E_{max}).

1.2.3 Βεληγεκές αργών ηλεκτρονίων

Το ηλεκτρόνιο που εκτινάσσεται μετά από ιονισμού, μπορεί να έχει οποιαδήποτε ενέργεια μέχρι E_{max} , η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Εκείνα με ενέργεια πάνω από λίγα keV, είναι γνωστά ως δ-rays. Ο αριθμός των δ-rays που μπορούν να έχουν ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από E_0 είναι:

$$N(E \geq E_0) = \int_{E_0}^{E_{max}} P(E) dE = W \left(\frac{1}{E_0} - \frac{1}{E_{max}} \right)$$

όπου $P(E)$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ενός ηλεκτρονίου να έχει ενέργεια E και είναι ουσιαστικά ο πρώτος όρος της Bethe-Bloch. Αυτά τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται σε μια γωνία που δίνεται:

$$\cos^2 \theta = \frac{E}{E_{max}}$$

πράγμα που σημαίνει ότι για υψηλές ενέργειας (αρκετά keV) εκπέμπονται κάθετα. Παρ'όλα αυτά, πολλαπλές σκέδασεις μέσα στο μέσο προκαλείται τυχαία κατεύθυνση τους, και περιορίζει την κίνησή τους. Μια εμπειρική φόρμουλα για τον υπολογισμό του εύρους είναι (E σε MeV)

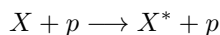
$$R_p = 0.71 E^{1.72}$$

1.3 Διέγερση και ιονισμός αερίων

Η απώλεια ενέργειας που συζητήσαμε πιο πάνω μπορεί να μεταφερθεί στα ηλεκτρόνια με δύο μηχανισμούς, διέγερση και ιονισμό.

1.3.1 Διέγερση

Η διέγερση ενός ατόμου X αποδίδεται με την μορφή:



και είναι μια συντονισμένη αντίδραση, όπου δεν παράγονται ζεύγη ηλεκτρονίων-ιόντων. Το άτομο τελικά επιστρέφει στην σταθερή του κατάσταση, συνήθως με την εκπομπή ενός φωτονίου. Ένα μόριο μπορεί να έχει πολλούς χαρακτηριστικούς τρόπους διέγερσης, για παράδειγμα ευγενή αέρια μπορούν να διεγερθούν μόνο μέσω της απορρόφησης φωτονίων ή εκπομπής, ενώ πολυατομικά μόρια έχουν μεταβάσεις περιστροφικής και δόνητικής φύσης. Η διέγερση μπορεί να οδηγήσει σε ιονισμό. Σε ένα μείγμα αερίων, που αποτελείται από ένα ευγενές αέριο και ένα πολυατομικά αέριο, συνήθως υδρογονάνθρακες, το διεγερμένο ευγενές αέριο μπορεί να ιονίσει το άλλο, η αποδιέγερση γίνεται μέσω συγκρούσεων (Penning effect).

1.3.2 Ιονισμός

Σε αντίθεση με τη διέγερση, ένας ιονισμός λαμβάνει χώρα, όταν ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-ιόντος έχει δημιουργηθεί. Για να συμβεί αυτό, η ενέργεια του σωματιδίου που περνά θα πρέπει να είναι πάνω από ένα όριο ίσο με το δυναμικό ιονισμού του μέσου. Όταν ο ιονισμός γίνεται από το ίδιο το προσπίπτον σωματίδιο, καλείται πρωτοβάθμιος ιονισμός. Αν το ηλεκτρόνιο του ζεύγους πάρει ενέργεια πάνω από το όριο αυτό ιονίζει περαιτέρω, και παράγει δευτερογενή ιονισμό. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να συνεχιστεί μέχρι να φτάσει το όριο για αντιδράσεις ιονισμού.

Αν και δεν υπάρχει απλός τρόπος υπολογισμού του αριθμού των πρωτογενών ζευγών ιονισμού που παράγονται, είναι περίπου γραμμική η αύξηση με το μέσο ατομικό αριθμό του αερίου (με εξαίρεση το Xe). Ωστόσο, δεδομένου ότι ακολουθούν Poissonian κατανομή, μπορεί κανείς να υπολογίσει ότι η πιθανότητα να έχουμε k σε ένα γεγονός, είναι:

$$P_k^n = \frac{n^k}{k!} e^{-n}$$

όπου n είναι ο μέσος αριθμός των πρωτογενών αλληλεπιδράσεων. Ο συνολικός αριθμός των ζευγών που δημιουργούνται (το άθροισμα της πρωτογενών και δευτερογενών ιονισμών) δίνεται από:

$$n_T = \frac{\Delta E}{W_i}$$

ΔE είναι η ενέργεια που χάθηκε και W_i η αποτελεσματική ενέργεια για τη δημιουργία ενός ηλεκτρονίου-ιόντος ζεύγους. Για μείγματα αερίων ο προηγούμενος τύπος παίρνει τη μορφή:

$$n_T = \sum_i \frac{\Delta E}{W_i} \times q$$

όπου i υποδηλώνει κάθε στοιχείο(αέριο), και q το ποσοστό του συστατικού στο μίγμα.

1.4 Μεταφορά ηλεκτρονίων και ιόντων στα αέρια

Για τους ανιχνευτές ιονισμού, η κατανόηση της κίνησης των ηλεκτρονίων και των ιόντων μέσα στα αέρια, είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς η κίνηση αυτή επηρεάζει πολλά λειτουργικά χαρακτηριστικά του ανιχνευτή. Κατά κύριο λόγο η κίνηση αυτή περιγράφεται από την κλασική κινητική θεωρία των αερίων. Τα κυριότερα φαινόμενα που απαντώνται κατά την κίνηση αυτή είναι δυο, η διάχυση (diffusion) και η ολίσθηση (drift) σε ένα ηλεκτρικό πεδίο.

1.4.1 Διάχυση

Ο ιονισμός του αερίου από ιονίζουσα ακτινοβολία παράγει ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα. Όταν κανένα ηλεκτρικό πεδίο δεν είναι παρόν, τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που παράγονται με τη διάβαση της ακτινοβολίας αυτής, διαχέονται ομοιόμορφα απομακρυνόμενα από το σημείο δημιουργίας τους. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, ακολουθώντας ακανόνιστες τροχιές, χάνουν την ενέργειά τους σύντομα λόγω των πολλαπλών συγκρούσεων με τα μόρια του αερίου και τελικά επανενώνονται. Η μέση ενέργεια που αποκτούν μετά από τις συγκρούσεις αυτές, ονομάζεται θερμική και δίνεται από τον τύπο του Maxwell:

$$\epsilon_r = \frac{3}{2}kT$$

όπου K η σταθερά του Boltzmann και T η θερμοκρασία, ενώ η μέση ταχύτητά τους είναι:

$$u = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

όπου m η μάζα του σωματιδίου. Είναι προφανές ότι η μέση ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή των ιόντων, λόγω της διαφοράς των μαζών τους. Σε θερμοκρασία δωματίου η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι της τάξης των 106 cm/s, ενώ η αντίστοιχη των θετικών ιόντων είναι της τάξης των 104 cm/s.

$$\frac{dN}{dx} = \frac{N_0}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$$

όπου το N_0 είναι ο συνολικός αριθμός των φορτίων, x η απόσταση από το σημείο της δημιουργίας και D ο συντελεστής διάχυσης. Η σταθερή απόκλιση (rms spread) κατά τον άξονα x , εκφράζεται χρησιμοποιώντας το συντελεστή διάχυσης

$$\sigma(x) = \sqrt{2Dt}$$

ενώ για τις τρεις διαστάσεις, η “σφαιρική” απόκλιση δίνεται:

$$\sigma(x) = \sqrt{6Dt}$$

όπου r είναι η ακτινική απόσταση. Η ακτινική απόκλιση των ιόντων στον αέρα υπό φυσιολογικές συνθήκες, για παράδειγμα, είναι περίπου 1mm το δευτερόλεπτο. Ο συντελεστής διάχυσης είναι μια παράμετρος η οποία δύναται να υπολογιστεί από την κινητική θεωρία και συγκεκριμένα είναι:

$$D = \frac{1}{3}v\lambda$$

όπου λ είναι η μέση ελεύθερη διαδρομή του ηλεκτρονίου ή του ιόντος στο αέριο. Για ένα κλασικό ιδανικό αέριο η μέση ελεύθερη διαδρομή εξαρτάται από την θερμοκρασία T και την πίεση p , ως εξής:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{KT}{p\sigma_0}$$

όπου σ_0 η συνολική ενεργός διατομή για μια σύγκρουση με ένα μόριο αερίου. Αντικαθιστώντας στην συνέχεια στον τύπο του συντελεστή διάχυσης την μέση ελεύθερη διαδρομή και την μέση ταχύτητα καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση, στην οποία φαίνεται καθαρά η εξάρτηση του συντελεστή D από τις παραμέτρους του αερίου:

$$D = \frac{2}{3\sqrt{\pi}} \frac{1}{p\sigma_0} \frac{\sqrt{KT^3}}{m}$$

Τυπικές τιμές των παραμέτρων του συντελεστή διάχυσης, δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Gas	λ (cm)	u (cm/s)	D (cm ² /s)	μ (cm ² s ⁻¹ V ⁻¹)
H ₂	1.8×10^{-5}	2.0×10^5	0.34	13.0
He	2.8×10^{-5}	1.4×10^5	0.26	10.2
Ar	1.0×10^{-5}	4.4×10^4	0.04	1.7
O ₂	1.0×10^{-5}	5.0×10^4	0.06	2.2

1.4.2 Ολίσθηση και ευκινησία

Με την παρουσία ηλεκτρικού πεδίου, τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που έχουν απελευθερωθεί από την ακτινοβολία επιταχύνονται κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του πεδίου προς την άνοδο και την κάθοδο αντίστοιχα. Η επιτάχυνση αυτή διακόπτεται από τις συγκρούσεις με τα μόρια του αερίου, τα οποία περιορίζουν την μέγιστη μέση ταχύτητα που δύναται να αποκτηθεί από τα φορτία κατά μήκος της διεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου. Η μέση αυτή ταχύτητα η οποία αποκτάται είναι γνωστή με τον όρο ταχύτητα ολίσθησης (drift velocity) του φορτίου και είναι αποτέλεσμα της τυχαίας κίνησης των φορτίων. Συγκρινόμενη με την θερμική ταχύτητα, η ταχύτητα αυτή των ιόντων είναι μικρή, ενώ η αντίστοιχη των ηλεκτρονίων είναι αρκετά μεγαλύτερη, δεδομένου ότι τα ηλεκτρόνια είναι πολύ ελαφρύτερα συγκρινόμενα με τα ιόντα. Στην κινητική θεωρία, είναι πολύ χρήσιμο να καθορίσουμε το μέγεθος της ευκινησίας ενός φορτίου. Το μέγεθος αυτό ισούται με τον όρο:

$$\mu = \frac{v}{E}$$

όπου v είναι η ταχύτητα ολίσθησης και E το ηλεκτρικό πεδίο.

Για θετικά ιόντα έχει βρεθεί ότι η v εξαρτάται γραμμικά από το πηλίκιο, E/p (το οποίο ονομάζεται ανηγμένο ηλεκτρικό πεδίο), ακόμη και για αρκετά ισχυρά πεδία. Για σταθερή πίεση, αυτό συνεπάγεται ότι η ευκινησία μ είναι σταθερή, ενώ για δοσμένο ηλεκτρικό πεδίο E , γίνεται εμφανές ότι το μ μεταβάλλεται ανάλογα με το $1/p$.

Για ιδανικά αέρια στα οποία τα κινούμενα φορτισμένα σωματίδια παραμένουν σε θερμική ισορροπία με το αέριο είναι εύκολο να δειχθεί ότι η ευκινησία συνδέεται με την σταθερά διάχυσης μέσω του τύπου:

$$\frac{D}{\mu} = \frac{KT}{e}$$

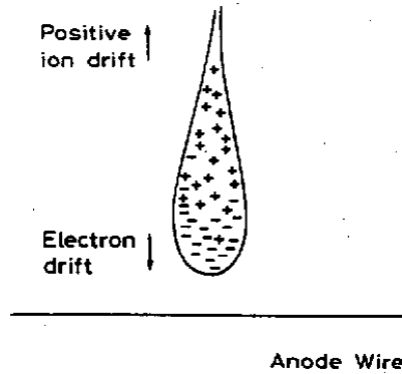
ο οποίος ονομάζεται τύπος του Einstein.

Στην περίπτωση των ηλεκτρονίων, η ευκινησία είναι πολύ μεγαλύτερη και εξαρτάται από την ένταση E του ηλεκτρικού πεδίου. Ενδεικτικά, παρατηρούνται ταχύτητες της τάξης των 106cm/s προτού επέλθει κορεσμός. Σε αυτήν την περιοχή ταχυτήτων το E είναι της τάξης του 1 kV/cm.

Η απολαβή του ενισχυτή (Gain) στην ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι επίσης πιθανό να επηρεάσει το ρυθμό διάχυσης στην περίπτωση που η μέση ενέργεια των ηλεκτρονίων ξεπερνά τις θερμικές ενέργειες. Ο παράγοντας KT στη σχέση $D/\mu=KT/e$ αντικαθίσταται τότε από την μέση ενέργεια. Η σταθερά διάχυσης, D , τότε αυξάνεται και οδηγεί σε μεγαλύτερη διασπορά και εξάπλωση του ηλεκτρονικού νέφους. Αυτό έχει σημαντικές συνέπειες για τους ανιχνευτές, όπως για παράδειγμα στους θαλάμους ιονισμού, οι οποίοι προσπαθούν να καθορίσουν την τροχιά του σωματιδίου μετρώντας τον χρόνο ολίσθησης των ηλεκτρονίων ιονισμού (drift time).

1.4.3 Πολλαπλασιασμός Χιονοστιβάδα

Στους ανιχνευτές αερίων η εμφάνιση και ο πολλαπλασιασμός της χιονοστιβάδας λαμβάνει χώρα όταν τα αρχικά ηλεκτρόνια, από τον ιονισμό που προκάλεσε το σωματίδιο που διέσχισε το χώρο του αερίου, αποκτήσουν κατά την ελεύθερη διαδρομή τους, αρκετή ενέργεια εξαιτίας της δράσης του εξωτερικού πεδίου, ώστε να είναι σε θέση να προκαλέσουν την δημιουργία νέων ιονισμών στο αέριο. Έτσι, τελικά επιτυγχάνεται ο σχηματισμός μεγάλου πλήθους ζευγών ιόντων-ηλεκτρονίων που έχουν σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό της χιονοστιβάδας. Επειδή τα ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη κινητικότητα, η χιονοστιβάδα έχει σχήμα σταγόνας υγρού με τα ηλεκτρόνια να προπορεύονται, αποτελώντας την «κεφαλή» αυτής, ενώ τα πιο αργά ιόντα ακολουθούν πίσω, διαμορφώνοντας, έτσι, την «ουρά» της σταγόνας.



Αν λ είναι η μέση ελεύθερη διαδρομή του ηλεκτρονίου μεταξύ συγκρούσεων που οδηγούν σε ιονισμό, τότε το $\alpha=1/\lambda$ συμβολίζει την πιθανότητα ιονισμού ανά μονάδα μήκους. Αυτός ο συντελεστής, λέγεται “first Townsend coefficient” και αναπαριστά τη μέση ελεύθερη διαδρομή ανάμεσα σε δύο ιονισμούς. Μια καλή προσέγγιση του συντελεστή αυτού δίνεται από την σχέση:

$$\alpha = pAe^{\frac{Bp}{E}}$$

όπου E είναι το ηλεκτρικό πεδίο και A, B είναι παράμετροι, οι οποίοι εξαρτώνται από το μίγμα του αερίου. Αν υπάρχουν n ηλεκτρόνια, τότε σε μια διαδρομή dx θα έχουμε δημιουργία επιπλέον dn ηλεκτρονίων, όπου ισχύει ότι:

$$dn = n\alpha \cdot dx$$

Από αυτή τη σχέση βρίσκουμε τον αριθμό των ηλεκτρονίων, n , που δημιουργούνται σε διαδρομή x , μέσω της σχέσης:

$$n = n_0 \cdot e^{\alpha x}$$

όπου n_0 ο αριθμός των αρχικών ηλεκτρονίων που προέκυψαν από τον ιονισμό που προκάλεσε το σωματίδιο. Ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας (ή ενίσχυση αερίου) είναι επομένως,

$$M = \frac{n}{n_0} e^{\alpha x}$$

Ο παράγοντας πολλαπλασιασμού ή αλλιώς gas gain είναι σημαντικός για την ανάπτυξη αναλογικών απεριθμητών (proportional counters). Γενικότερα στην περίπτωση ενός ανομοιόμορφου ηλεκτρικού πεδίου, η πιθανότητα ιονισμού α , θα είναι μια συνάρτηση του x της μορφής $\alpha = \alpha(x)$, οπότε θα ισχύει ότι:

$$M = e^{\int \alpha(x) dx}$$

όπου η ολοκλήρωση γίνεται από το σημείο r_1 μέχρι το σημείο r_2 .

Ενώ η σχέση αυτή για το M δύναται να αυξάνει χωρίς κάποιο περιοριστικό όριο, ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας M δύναται να φτάσει μέχρι την τιμή 108 (ή αλλιώς, $\alpha x \leq 20$). Αυτό το όριο είναι γνωστό ως όριο του Raether. Πέρα από αυτήν την τιμή διαδικασίες όπως η εκπομπή ηλεκτρονίου που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία χιονοστιβάδας καθώς επίσης και ο μετασχηματισμός φορτίου-χώρου του ηλεκτρικού πεδίου, το οποίο γίνεται πολύ μεγάλο κοντά στην χιονοστιβάδα, έχουν σαν αποτέλεσμα την κατάρρευση, καθώς γίνεται διάσπαση του αερίου με αποτέλεσμα την εμφάνιση σπινθήρα. Η αποφυγή της ενδεχόμενης κατάρρευσης αυτής επιβάλλει την λειτουργία σε παράγοντα πολλαπλασιασμού M μέχρι την τάξη μεγέθους 106. Η αύξηση του πάχους του χάσματος (gap), έχει σαν αποτέλεσμα το όριο Raether να συναντάται σε χαμηλότερες τιμές της πιθανότητας. Το γεγονός αυτό μαρτυράει ότι για συγκεκριμένο πεδίο, η πιθανότητα κατάρρευσης μειώνεται, όσο μειώνεται το πάχος του χάσματος.

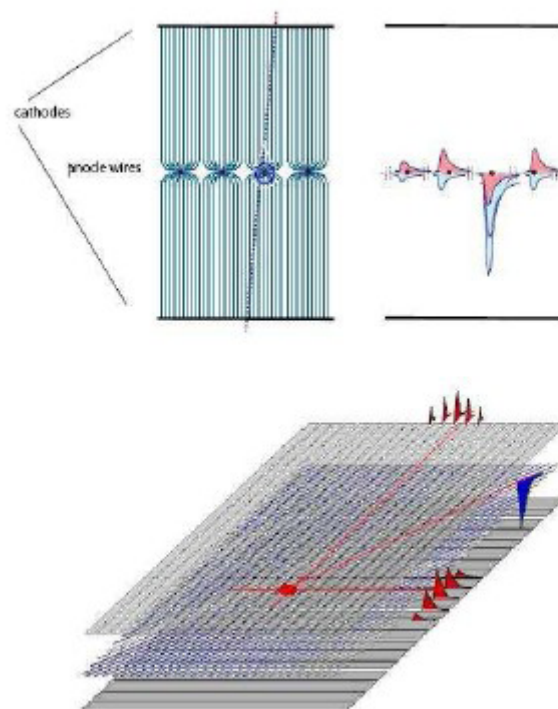
Κεφάλαιο 2

Ανιχνευτές Αερίων

Από την ανακάλυψη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εμφανίστηκε το ερώτημα πώς την ανιχνεύουμε. Λόγω της μεγαλύτερης κινητικότητας των ηλεκτρονίων και των ιόντων, ένα αέριο είναι το ιδανικό μέσο για να χρησιμοποιηθεί. Έγιναν πολλές εφευρέσεις, που χωρίζουν την ιστορία των ανιχνευτών αερίου σε περιόδους. Παρακάμπτοντας την πρώτη περίοδο με τις τρεις αρχικές συσκευές, τον θάλαμο ιονισμού, το αναλογικό μετρητή και την Geiger-Muller μετρητή, αυτό το ταξίδι μέσα από το χρόνο θα ξεκινήσει από μια πολύ σημαντική στιγμή η οποία αξίζει το βραβείο Νόμπελ (1992) στον εφευρέτη του MultiWire Αναλογικού θαλάμου τον G. Charpak το 1968.

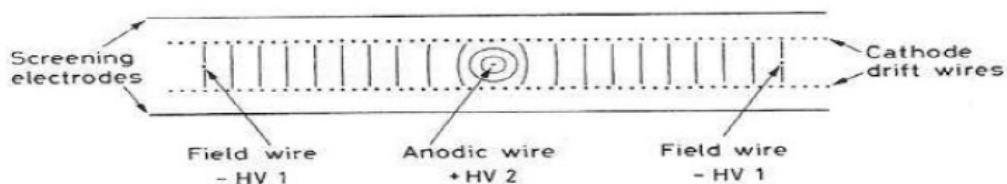
Τα κύρια χαρακτηριστικά του MWPC (σχήμα 2.1) είναι η καλή διακριτική ικανότητα στο χώρο (λίγες εκατοντάδες μm), η εξαιρετική διακριτική ικανότητα της ενέργειας και μια μεσαίου ρυθμού μετρητική ικανότητα (10^4 γεγονότα $\text{mm}^{-2}\text{s}^{-2}$). Ο θάλαμος χρησιμοποιείται ευρέως εκτός από τη σωματιδιακή φυσική και σε άλλους τομείς όπως οι ακτίνες X για ιατρική απεικόνιση, νετρονίων και μελέτες περίθλασης κρυστάλλων, και άλλα.

Η ανακάλυψη του MWPC πυροδότησε πολλές ιδέες, όπως η χρησιμοποίηση του χρόνου ολίσθησης των ηλεκτρονίων για απόκτηση χωρικών πληροφοριών: ο θάλαμος ολίσθησης. Με τη βοήθεια ενός σπινθηριστή (trigger chamber), υπολογίζουμε την «ώρα μηδέν» του γεγονότος, και μετρώντας το χρόνο ολίσθησης των ηλεκτρονίων, το μήκος της διαδρομής του και ως εκ τούτου την προέλευσή του είναι εύκολο να βγει καποιο συμπεράσμα (σχήμα 2.2)



Σχήμα 2.1: Αναπαράσταση MWPC θαλάμου

Στο πάνω αριστερό μέρος της προηγούμενης εικόνας εμφανίζεται η αναπαράσταση ενός θαλάμου MWPC. Συγκεκριμένα, ένα επίπεδο από ισαπέχοντα σύρματα, είναι ορατό, τοποθετημένα στο μέσο ανάμεσα στα δυο επίπεδα καθόδου. Τυπικές αποστάσεις ανάμεσα στα σύρματα ανόδου είναι 1 έως 4 mm, ενώ τα δυο επίπεδα καθόδου κυμαίνονται από 5 έως 15 mm. Στην εικόνα μπορούμε ακόμα να δούμε τις γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Τα ηλεκτρόνια που παράγονται στην περιοχή σταθερού πεδίου θα ολισθήσουν προς το πιο κοντινό σύρμα ανόδου, όπου θα επιταχυνθούν και θα παράγουν χιονοστιβάδα υπό την πίεση του μεγαλύτερου πεδίου. Στο πάνω δεξί μέρος της εικόνας, παρατηρούμε το σήμα που προκαλείται στο πιο κοντινό σύρμα και στα γειτονικά του. Θα είναι αρνητικό ως προς το προηγούμενο, ενώ θα είναι θετικό ως προς τα γειτονικά. Τέλος, στο κάτω μέρος της εικόνας, με την υλοποίηση του δεύτερου επιπέδου συρμάτων που τοποθετούνται κάθετα στο πρώτο, βελτιώνονται οι χωρικές πληροφορίες.

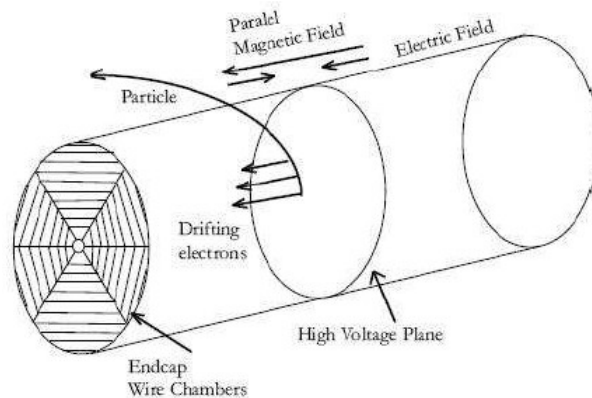


Σχήμα 2.2: Ανοδικά σύρματα θαλάμου ολίσθησης με τα πεδία ανόδου

Στον θάλαμο ολίσθησης πληροφορίες για το χώρο αποκτούνται με τη μέτρηση του χρόνου ολίσθησης των ηλεκτρονίων προς την άνοδο. Για μια τέτοια μέτρηση η ταχύτητα ολίσθησης και ως εκ τούτου το ηλεκτρικό

πεδίο πρέπει να διατηρούνται σταθερά. Στο θάλαμο που φαίνεται στο σχήμα, αυτο επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των πρόσθετων καλωδίων μεταξύ των ανόδων. Το δυναμικό του κάθοδικου σύρματος κυμαίνεται ομοιόμορφα από 0 έως μια υψηλή αρνητική τάση, διατηρώντας το ηλεκτρικό πεδίο σταθερό, όπως αποδεικνύουν οι ισοδυναμικές γραμμές. Συνήθως οι περιοχές ολίσθησης είναι περίπου 5-10 cm, συνεπώς, για μια τυπική ταχύτητα μετακίνησης από 5 cm/μs η μέτρηση του χρόνου μετακίνησης θα πρέπει να είναι 1 ή 2 μ s.

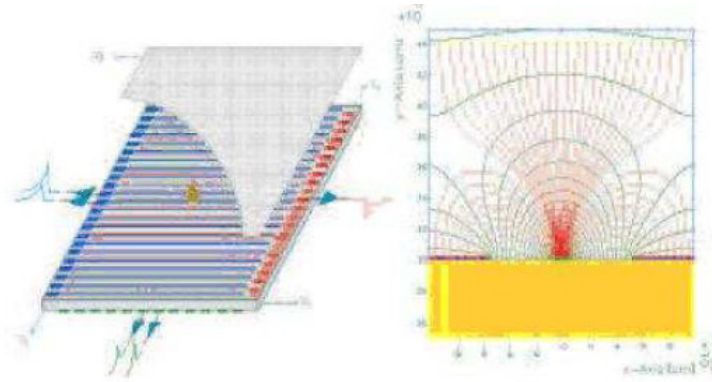
Η τρισδιάστατη πληροφορία των σωματιδίων επιτεύχθηκε με την κατασκευή του Time Projection Chamber (TPC): μια πιο εξελιγμένη συσκευή που συνδυάζει τα χαρακτηριστικά τόσο του θαλάμου ολίσθησης όσο και του MWPC. Ένας τυπικός TPC παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3. Οι πληροφορίες σχετικά με τις δύο διαστάσεις δίνονται από τις ανόδους και καθόδους των endcaps, ενώ η τρίτη συνάγεται από το χρόνο ολίσθησης.



Σχήμα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση θαλάμου TPC

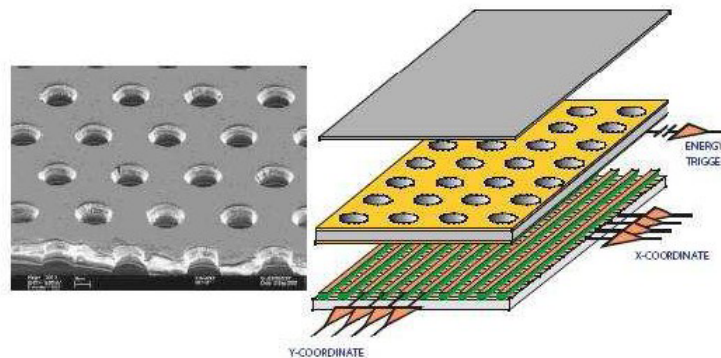
Όσο επιτυχής και να ήταν αυτοί οι θαλάμοι, συναντήσαν βασικούς περιορισμούς όταν ζητήθηκε από αυτούς καλύτερη ανάλυση χώρου και υψηλότερες μετρητικές ικανότητες : καλώδια δεν μπορούσαν να τοποθετηθούν πιο κοντά χωρίς να συναντήσουν λειτουργικά προβλήματα, και όσο αφορά τις μετρήσεις τα θετικά ιόντα δεν εκκενώνονταν αρκετά γρήγορα.

Για την κάλυψη αυτών των περιορισμών, ο Oed εφηύρε τον Micro-Strip θάλαμο αερίων (MSGC), σηματοδοτώντας μια νέα εποχή στην ιστορία των ανιχνευτών αερίων. Αξιοποιώντας τη βελτίωση της μικροηλεκτρονικής και την ανάπτυξη της διαδικασίας της φωτολιθογραφίας, πολύ λεπτές λωρίδες αποτυπώνονται σε μια απομονωμένη πλακέτα σχήμα 2.4, σε μια σειρά από στενές ανόδους και καθόδους, πιο κοντά από τα καλώδια σε ένα MWPC (τυπικές αποστάσεις γύρω στα 50 έως 100 μm). Λόγω της μορφής του ηλεκτρικού πεδίου, τα ιόντα που παράγονται από τη χιονοστιβάδα γρήγορα εκκενώνονται, αυξάνοντας την μετρητική χωρητικότητα του θαλάμου κατά 100 φορές περισσότερο από ότι τον MWPC, φτάνοντας τα $10^6 \text{ counts mm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Παραλλαγές αυτού του σχεδίου ήταν, για παράδειγμα, Micro-Gap Chamber (MGC) και ο WELL ανιχνευτής. MSGCs έγιναν δεκτοί και αναπτύχθηκαν για να συμπεριληφθούν στα πειράματα υψηλής φωτεινότητας. Ωστόσο, ήταν ευαίσθητοι στη γήρανση και ζημιών λόγω αποφόρτισης. Η εποχή των MSGC ακολουθείται από μια σειρά από άλλες εφευρέσεις, που οδηγεί στο σχεδιασμό των "Micro-Pattern" ανιχνευτών, που αξιοποιούν την νέα τεχνολογία σε μικρο-ηλεκτρονική και φωτολιθογραφία. Η "Compteur a Trous" (CAT) (εξελιχθηκε αργότερα στο micro-CAT) ήταν ένα από τα πρώτα παραδείγματα του 1996, μια τρύπα (0,1 έως 2mm σε διάμετρος) σε μια (λιγότερο από) πάχους 2mm μεταλλική πλάκα πάνω από την άνοδο, συνθέτει μια συσκευή η οποία δρα ως φακός συγκεντρώνοντας τα ηλεκτρόνια ολίσθησης και σχηματίζει έτσι μια χιονοστιβάδα. Το gain που επιτυγχάνεται είναι περίπου 10^4 .



Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση θαλάμου MicroStrip Gas Chamber

Περίπου την ίδια εποχή, ο Micromegas εισήχθη. Η αρχή του ανιχνευτής θα εξηγηθεί αργότερα. Στην ίδια γενιά ανήκει ο ανιχνευτής microdot και το GEM. Ο Microdot (μDOT) ανιχνευτής αποτελείται από μια περιοδική δομή ομοαξονικών καθόδων και ανόδων δαχτυλιδίων με πολύ μικρή διάμετρο, 200 και 20 μm, αντίστοιχα, πάνω σε ένα διηλεκτρικό υπόστρωμα. Με αυτόν τον τύπο του ανιχνευτή έφθασε το gain στην τάξη του 10^5 . Παραλλαγές του είναι η 3D έκδοση του ανιχνευτή, ή το Micro-Pin Array (MIPA). Χρησιμοποιώντας την Karton-etching τεχνολογία, το λεγόμενο πολλαπλασιαστή ηλεκτρονίων Αερίου (GEM), (σχήμα 2.5) εισάγεται μια νέα έννοια. Ένα λεπτό (50 μm) φύλλο Karton, επιμεταλλωμένο και στις δύο πλευρές, έχει τρύπες των 100 μm σε διάμετρο κάθε 150 μm. Επιτυγχάνεται έτσι gain 10^4 , και κατά τη χρήση πολλαπλών στρώσεων GEMs η ικανότητα μέτρησης φθάνει το 10^6 .



Σχήμα 2.5: Τρισδιάστατη αναπαράσταση ανιχνευτή micromegas

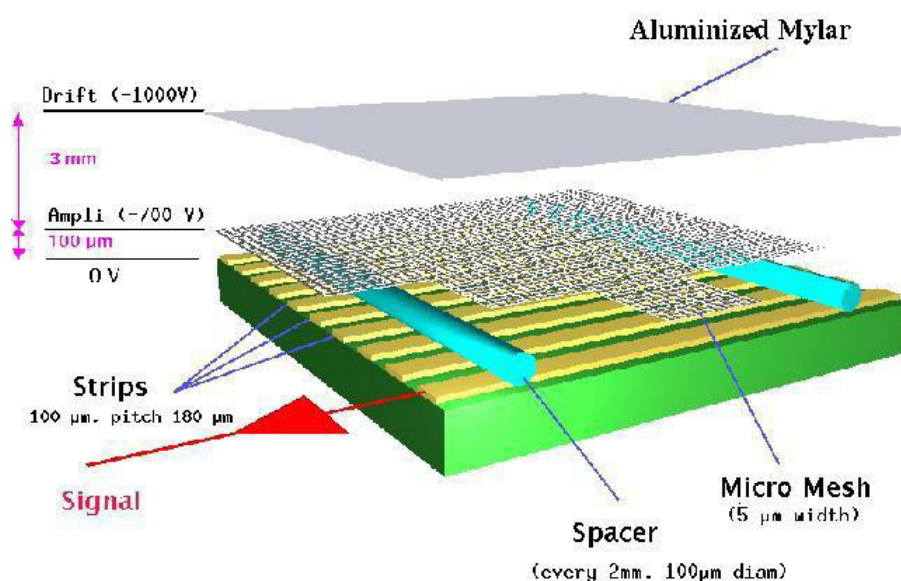
2.1 Micromegas

Ο Micromegas είναι ένας υψηλής απολαβής ανιχνευτής αερίου, ο οποίος μπορεί να σταθεί μόνος του χωρίς την ανάγκη ενός επιπλέον ενισχυτή. Συνδυάζει υψηλή ακρίβεια, υψηλή ικανότητα μέτρησης, εξαιρετικές χρονικές ιδιότητες και ευρωστία.

2.1.1 Περιγραφή της διάταξης του Micromegas

Όπως φαίνεται πιο κάτω ένας τέτοιος ανιχνευτής αποτελείται από τρία βασικά επίπεδα. Το ανώτερο επίπεδο αποτελεί την κάθοδο. Στην ουσία είναι το ηλεκτρόδιο της ολίσθησης (drift electrode) στο οποίο εφαρμόζεται μία αρνητική τάση της τάξης των 1000V. Η δομή του είναι πλεγματική, φτιαγμένη από νικέλιο πάχους 100μm. Η διαφάνεια του προσεγγίζεται γύρω στα 80 % με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η διέλευση μέσα από αυτό ποικίλες ραδιενεργές ακτινοβολίες, διατηρώντας όμως παράλληλα μεγάλη αποδοτικότητα. Το κατώτερο επίπεδο αποτελεί το ηλεκτρόδιο της ανόδου. Είναι και αυτό πλεγματικής διάταξης, κατασκευασμένο από χάλκινες λωρίδες (strips), επικαλυμμένες με χρυσό, μήκους 150 μm. Το πάχος της κάθε χάλκινης λωρίδας είναι 5 μm. Οι λωρίδες αυτές τοποθετούνται, για κάθε μια από τις δύο διευθύνσεις, η μια παράλληλα με την άλλη με μια απόσταση ανάμεσά τους ίση με 200 μm. Οι τιμές αυτές είναι τυπικές καθώς τα κενά ανάμεσα τους όπως και το πλάτος των λωρίδων αυτών δύναται να μεταβληθεί αναλόγως με το πείραμα που λαμβάνει χώρα κάθε φορά. Όλες οι λωρίδες τοποθετούνται στην θέση τους μέσω διαφόρων τεχνικών επιμετάλλωσης σε ένα απομονωμένο στρώμα από αρωματικό πολυμερές (Karton) πάχους 50 μm και γειώνονται μέσω προενισχυτών υψηλής ενίσχυσης (4 V/pC) και χαμηλού εσωτερικού θορύβου.

Το μεσαίο επίπεδο αποτελεί το μικρο-πλέγμα (micromesh), το οποίο φαινομενικά διαχωρίζει της δύο περιοχές της μετατροπής και της ενίσχυσης, παρόλα αυτά ο ρόλος του είναι πολλαπλός. Αποτελεί το μεσαίο ηλεκτρόδιο της όλης διάταξης. Πρόκειται για ένα μεταλλικό πλέγμα, πάχους 5 μm, με ανοίγματα 25μm με βήμα 50 μm. Είναι κατασκευασμένο από χαλκό, χρησιμοποιώντας την τεχνική της φωτολιθογραφίας. Είναι εύκαμπτο και προσδίδει στο στρώμα έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας εναπόθεσης ηλεκτρονίων. Η τάση η οποία εφαρμόζεται σε αυτό είναι της τάξης των 500V.

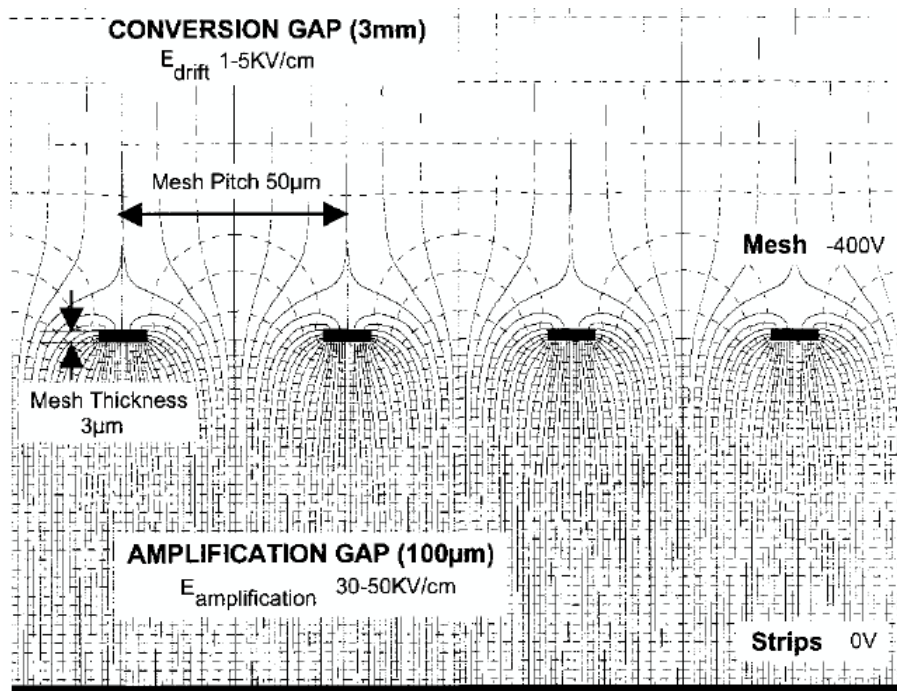


Σχήμα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση τυπικού ανιχνευτή micromegas

2.1.2 Διαμόρφωση Ηλεκτρικού Πεδίου

Η γνώση του σχήματος των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών του πεδίου κοντά στο micromesh είναι ένα βασικό κλειδί για τη βέλτιστη λειτουργία του ανιχνευτή και ιδιαίτερα για την αποτελεσματική μεταφορά των ηλεκτρονίων στην περιοχή ενίσχυσης. Το ηλεκτρικό πεδίο είναι ομοιογενές και στις δύο περιοχές μετατροπής(ολίσθησης) και ενίσχυσης. Παρουσιάζουν ένα σχήμα σαν χωνί γύρω από τα ανοίγματα του microgrid: οι γραμμές του πεδίου είναι πολύ πυκνές προς το κέντρο των ανοιγμάτων, σε μια μικρή διαδρομή ίση με μερικά μικρά σε διάμετρο. Ο συντελεστής συμπίεσης είναι ευθέως ανάλογος προς το λόγο των ηλεκτρικών πεδίων μεταξύ των δύο περιοχών.

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται λεπτομερώς οι δυναμικές γραμμές του πεδίου κοντα στο grid



Σχήμα 2.7: Χάρτης των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών γύρω από το micromesh(50µm βήμα, 37µm διάμετρο των ανοιγμάτων

Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται στην περιοχή ολίσθησης από την ιοντίζουσα ακτινοβολία ακολουθούν τις γραμμές και συγκεντρώνονται στην περιοχή ενίσχυσης όπου εκεί γίνεται η διαδικασία της ενίσχυσης. Ο λόγος μεταξύ του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή ενίσχυσης και της περιοχής ολίσθησης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 5 για να γίνει η πλήρης μεταφορά των ηλεκτρονίων, και να μειώσει μέρος του νέφους των ιόντων που δημιουργείται στην χιονοστιβάδα να ξεφύγει στην περιοχή ολίσθησης.

2.1.3 Πλεονέκτηματα του μικρού χάσματος

Μια ενδιαφέρουσα ιδιότητα του Micromegas είναι ότι, χάρη στο στενό χάσμα του, σε τοπικό επίπεδο μικρές διακυμάνσεις στο χάσμα (περιοχή) ενίσχυσης, λόγω, για παράδειγμα, μηχανικών βλάβων, δεν προκαλούν διακύμανση στην ενίσχυση, οι διακυμάνσεις αυτές αντισταθμίζονται από μια αντίστροφη μεταβολή του συντελεστή ενίσχυσης. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί από μια απλή θεωρία:

Ο πολλαπλασιασμός των ηλεκτρονίων (M), στο ενιαίο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο παράλληλων πλακών σε ένα αέριο με πίεση p , περιγράφεται από:

$$M = e^{ad}$$

Όπου d είναι το μήκος του κενού μεταξύ των δύο παράλληλων ηλεκτροδίων και το a είναι ο πρώτος συντελεστής Townsend, ο οποίος αντιπροσωπεύει την μέση ελεύθερη διαδρομή μεταξύ δύο ιονισμών. Μια καλή προσέγγιση αυτού του συντελεστή δίνεται από την Rose and Korff φόρμουλα:

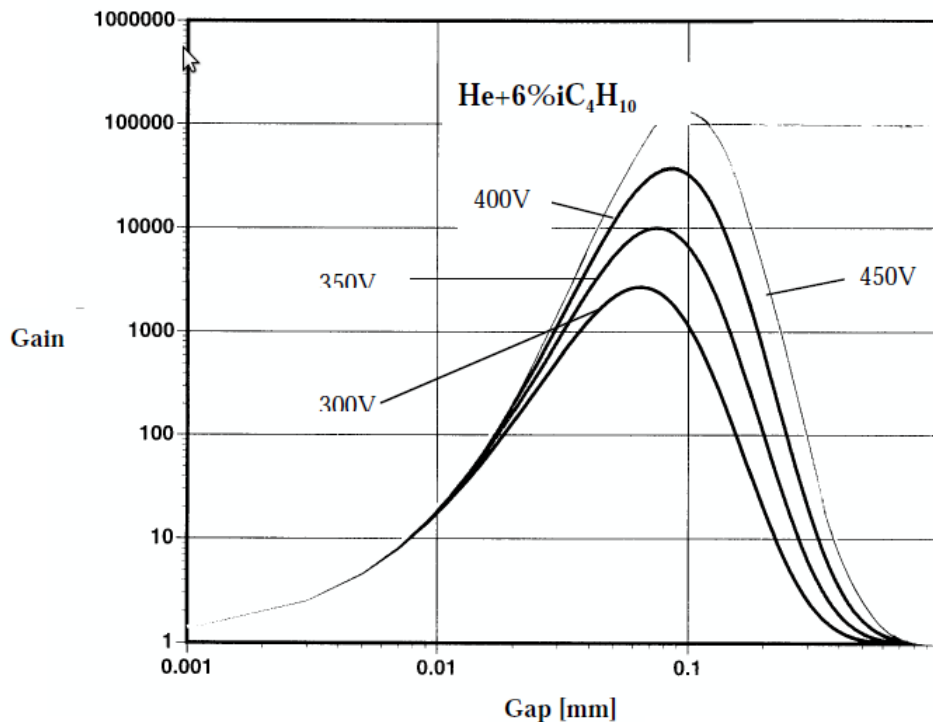
$$a = pAe^{Bp/E}$$

όπου E είναι το ηλεκτρικό πεδίο και A, B παράμετροι εξαρτώμενοι από το μίγμα του αερίου.

Σε υψηλές τιμές ηλεκτρικού πεδίου ο πρώτος συντελεστής Townsend φτάνει σε κορεσμό, επειδή η τιμή του προσεγγίζει τα μέση ελεύθερη διαδρομή που δίνει η ανελαστική σύγκρουση ενεργός διατομή. Το ηλεκτρικό πεδίο είναι $E = V / d$, όπου V είναι η εφαρμοζόμενη τάση. Αντικαθιστώντας την προηγούμενη εξίσωση στην προ-προηγούμενη έχουμε:

$$\text{Log}(M) = A p d e^{-B p d / V}$$

Ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας M είναι μια συνάρτηση της ποσότητας $p d$. Η επόμενη εικόνα δίνει το M συναρτήσει του χάσματος (d) για μίγμα αερίου Ar + 5% DME, και για τάση $V=300, 350, 400$ volts με πίεση 1 bar.

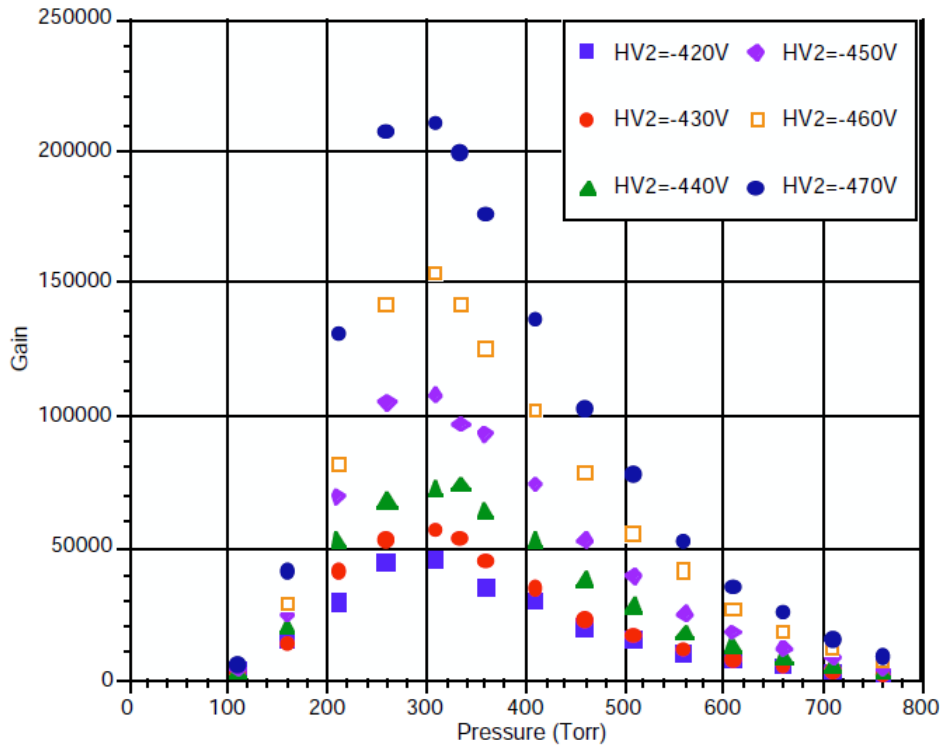


Σχήμα 2.8: Κέρδος αερίου He + 6% Ισοβουτάνιο ως συνάρτηση του μήκους της περιοχής ενίσχυσης για διάφορα δυναμικά που εφαρμόζονται στο microgrid.

Μπορούμε να δούμε ότι το M αυξάνεται όσο το d αυξάνει, φθάνει σε ένα μέγιστο και στη συνέχεια πέφτει, σε μεγάλες τιμές του d . Η μέγιστη τιμή επιτυγχάνεται με μια διαφοροποίηση της προηγούμενης εξίσωσης, με αποτέλεσμα $\Delta M / M = ad(1 - Bd/V)$. Η μέγιστη τιμή είναι για $d = V/B$ σε $p = 1$ bar. Το χάσμα ενίσχυσης εξαρτάται ελαφρώς από το μίγμα του αερίου. Για ένα δεδομένο εφαρμοζόμενο δυναμικό, ο συντελεστής πολλαπλασιασμού είναι στο μέγιστο του για μέγεθος περιοχής ενίσχυσης 30-100 μικρά. Αυτό είναι το φάσμα που χρησιμοποιείται σήμερα από τους ανιχνευτές Micromegas. Σε αυτό το φάσμα ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας μεγιστοποιείται και εκμηδενίζονται οι διακυμάνσεις λόγω των ελαττωμάτων της επιπεδότητας των δύο παράλληλων ηλεκτροδίων. Με λίγες λέξεις τέτοιου μεγέθους χάσματα είναι ιδανικά για τη βέλτιστη λειτουργία των παραλλήλων πλακών των ανιχνευτών αερίων, δεδομένου ότι όλες οι διακυμάνσεις λόγω μηχανικής βλάβης, ατμοσφαιρικής πίεσης ή τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας εκμηδενίζονται.

Είναι λίγο δύσκολο να επιβεβαιωθούν τα προηγούμενα αποτελέσματα πειραματικά λόγω του ότι χρειάζεται ένα μεγάλο πλήθος στενών χάσμάτων. Είναι ποιο εύκολο να επιβεβαιωθεί η μεταβολή του M συναρτήσει της πίεσης, το οποίο αναμένεται να είναι ισότιμο με τη μεταβολή λόγω της αλλαγής του χάσματος.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας συναρτήσει της πίεσης σε περιοχή ενίσχυσης 50 μικρά και αναλογίες αερίου He+6% ισοβουτάνιο.



Σχήμα 2.9: Gain σε αέριο He+6% ισοβουτάνιο ως συνάρτηση της πίεσης του αερίου για διάφορες τιμές της τάσης που εφαρμόζεται στο micro-grid

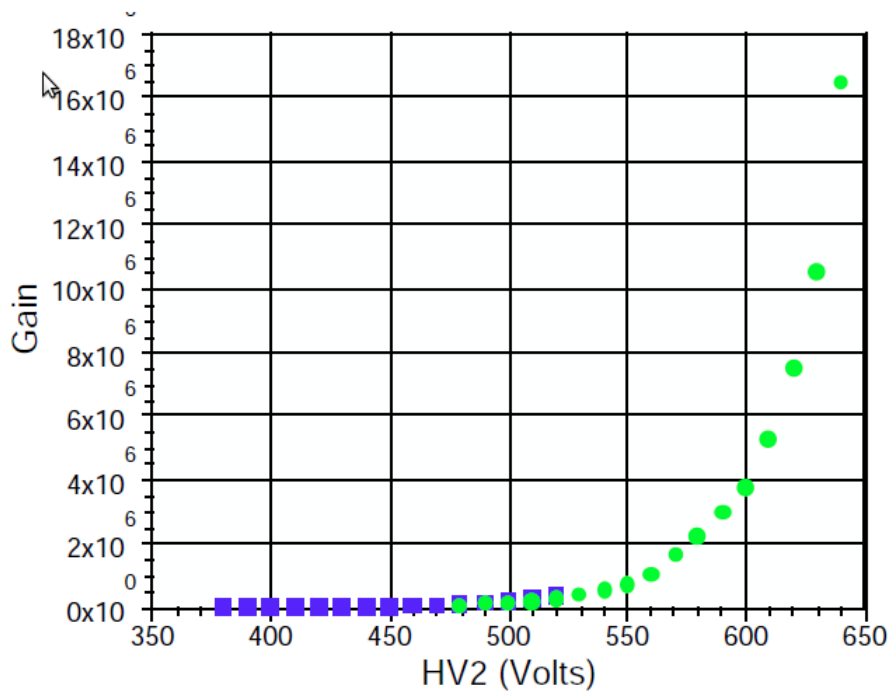
Οι καμπύλες δείχνουν καθαρά ότι υπάρχει ένα μέγιστο στην πίεση $p=500\text{mbar}$.

2.1.4 Ιδιότητες του Gain(κέρδους)

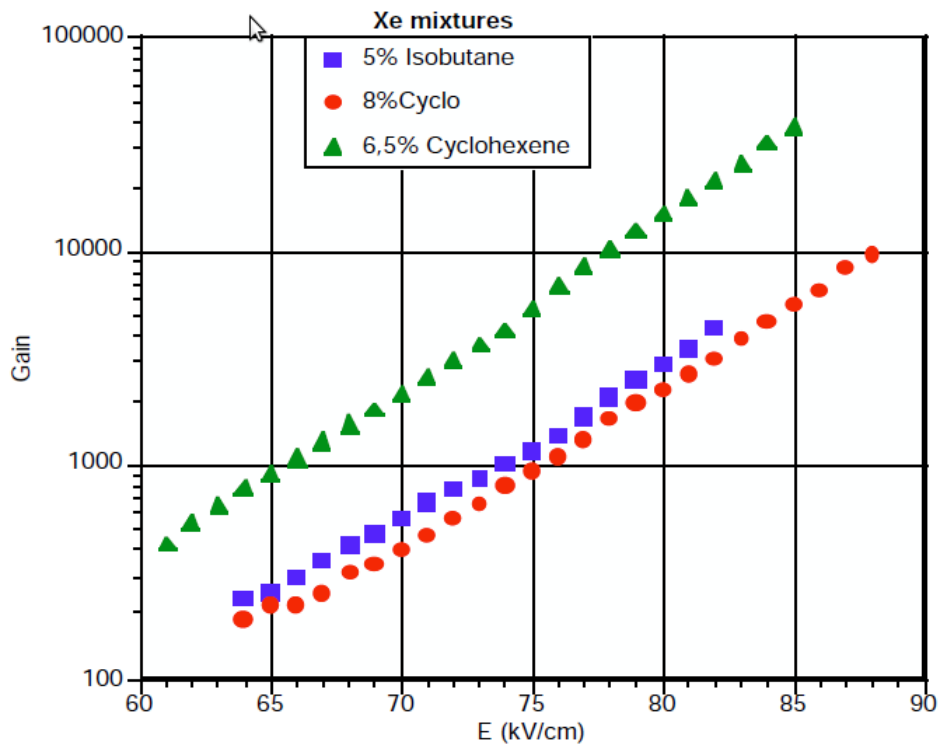
Το μέγιστο gain που μπορεί να έχει ένας ανιχνευτής αερίου είναι σημαντικό στοιχείο για ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Ποιό συγκεκριμένα, η ανίχνευση της ελάχιστης ιονίζουσας ενέργειας σωματιδίων απαιτεί ένα μεγάλο εύρος δυναμικών, λόγω της Landau διακύμανση της εναποτεθημένης ενέργειας και την εκπομπή βαρέων ιονίζουσων σωματιδίων. Ο στόχος ενός «καλού» ανιχνευτή είναι να επιτευχθεί μία σταθερή λειτουργία πριν από την ανάλυση, η οποία αντιστοιχεί σε συνολικό φορτίο(ηλεκτρόνια) ανά χιονοστιβάδα $10^7 - 10^8$ (το λεγόμενο Rather όριο).

Ο Micromegas δοκιμάστηκε με μια μεγάλη γκάμα από μίγματα αερίου. Τα αποτελέσματα έχουν δημοσιευθεί για μείγματα αργού με διάφορους υδρογονάνθρακες. Το ανώτατο ασφαλές κέρδος είναι κοντά στο 10^5 με 5-10% προσθήκη Ισοβουτάνιο, και τρεις φορές υψηλότερο με την προσθήκη μικρού ποσοστού από κυκλοεξάνιο. Προσθέτοντας CF_4 στα προηγούμενα μείγματα είναι σημαντικό, διότι βελτιώνει την ανάλυση χρόνου και τη συνολική εναποτιθέμενη ενέργεια. Μείγματα Neon ή He με υδρογονάνθρακες επιτρέπουν την αύξηση του συνολικού φορτίου ανά χιονοστιβάδα, σε τιμές υψηλές κοντά στο όριο Rather (περίπου 10^8).

Για παράδειγμα, το επόμενο σχήμα δείχνει το gain που μετράται σε He + 6% μίγμα Ισοβουτάνιο χρησιμοποιώντας απλά φωτοηλεκτρόνια που παράγονται κάτω από υπεριώδη φωτισμό. Το μέγιστο gain που έφτασε ήταν $\approx 1.8 * 10^7$.



Σχήμα 2.10: Gain σε αέριο He+6% ισοβουτάνιο ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης

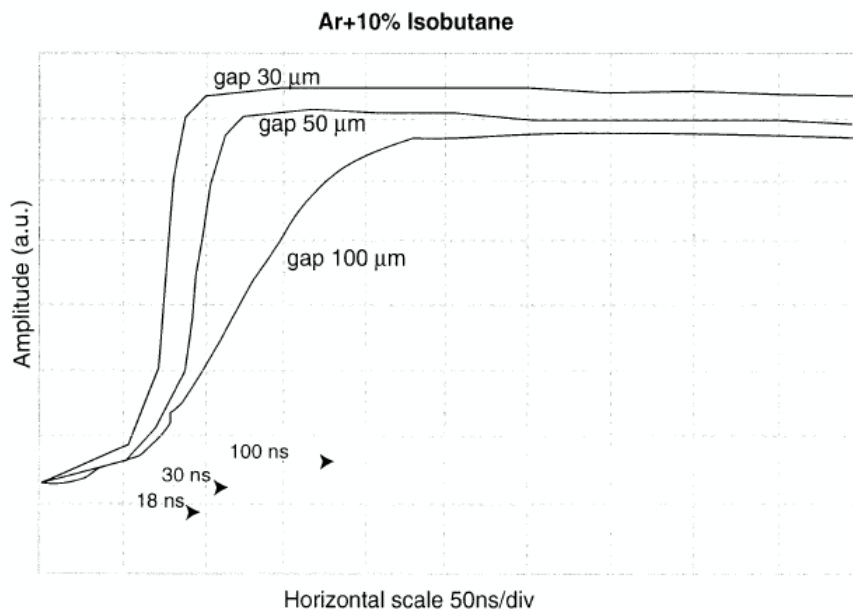


Σχήμα 2.11: Gain σε μίγματα αέριου Xe ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης

Μίγματα αερίου με μεγάλο Z αριθμό όπως Kr και Xe είναι σημαντικά για εφαρμογές όπως X-ray ψηφιακή ραδιογραφία, κρυσταλλογραφία και μελέτη της ακτινοβολίας συγχρότρου. Έγιναν πολλά tests με τη χρήση αυτών των μιγμάτων αερίου στο εραστήριο για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ανιχνευτή. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι το μέγιστο εφικτό κέρδος του αερίου αυξάνεται με βαρύτερους υδρογονάνθρακες με χαμηλότερο δυναμικό ιονισμού. Για παράδειγμα, το προηγούμενο σχήμα δείχνει το κέρδος του αερίου που μετريέται ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης και για διάφορους υδρογονάνθρακες ανιμιγμένους στο αέριο Xenon. Το μέγιστο εφικτό κέρδος αερίου αυξάνεται από το Ισοβουτάνιο (4500) για το κυκλοεξάνιο (10^4), και τελικά το κυκλοεξενο ($3 \cdot 10^4$). Ένα τέτοιο υψηλό gain παρέχει τον απαιτούμενο συντελεστή όταν ένας ανιχνευτής έχει να αντιμετωπίσει περιβάλλοντα με υψηλές ενέργειες ακτίνες X, ή σε υψηλής πίεσης λειτουργίες.

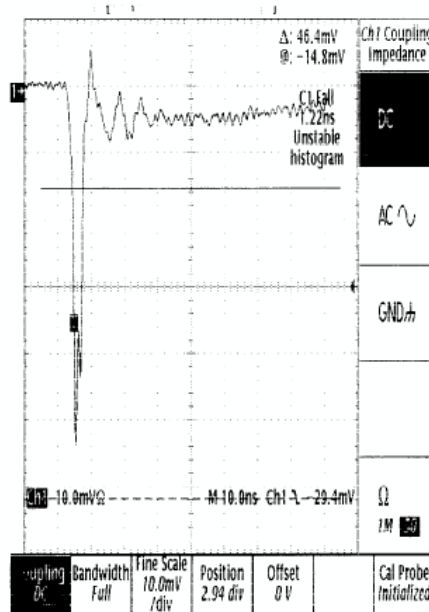
2.1.5 Εξέλιξη του σήματος και χρονική ανάλυση

Ένα σήμα που προκαλείται από την άνοδο είναι ένα σήμα άθροισμα των ηλεκτρονίων και ιόντων. Το φορτίο του σήματος είναι κυρίως λόγω των θετικών ιόντων που ολισθαίνουν προς το ηλεκτρόδιο micromesh, η διαδικασία λαμβάνει χώρα συνήθως εντός 100ns, ανάλογα σχετικά με το χάσμα ενίσχυσης και το μίγμα αερίων. Το επόμενο σχήμα δείχνει την ανταπόκριση του προενισχυτή για ένα μίγμα αερίου Ar + 10% Ισοβουτάνιο και για διάφορα χάσματα. Η μείωση του χάσματος ενίσχυσης 100 έως 50 microns μειώνει το χρόνο άνοδο του σήματος, κατά ένα παράγοντα 3. Χρησιμοποιώντας ένα κενό 30 mm ο χρόνος ανόδου είναι μόνο 17ns, μείωση κατά ένα παράγοντα 2. Έτσι, στην τελευταία περίπτωση, τη διαμόρφωση του σήματος στα 17ns επιτρέπεται να ανιχνευτή όλο το προκαλούμενο φορτίο και κατά συνέπεια επιτρέπει μια άνετη λειτουργία του ανιχνευτή σε μέτρια επίπεδα gain. Πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη ότι ο χρόνος συλλογής ιόντων μειώνεται με τη χρήση αερίων όπου τα ιόντα έχουν μεγαλύτερη κινητικότητα όπως Ne ή He.



Σχήμα 2.12: Σήμα που δίνει ένας προενισχυτής φορτίου για διάφορα μήκη της πειοχής ενίσχυσης: 100, 50, 25 mm

Το συμπέρασμα είναι ότι Micromegas μπορεί να χρησιμοποιηθεί με χαμηλού θορύβου προενισχυτές φορτίου χωρίς απώλεια που οφείλεται σε βαλλιστικό έλλειμμα, που συμβαίνει σε άλλους micro-strip μηχανισμούς. Επιλέγοντας τη σωστή ενίσχυση και το σωστό μίγμα αερίου, την άνοδο του ανιχνευτή μπορεί να είναι συμβατή με την διαμόρφωση του ενισχυτή του φορτίου. Λόγω της ταχύτερης ταχύτητας ολίσθησης, το ρεύμα ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερο και ταχύτερο (περίπου 1ns αντί 100ns για το σήμα ιόντων). Κατά συνέπεια, μια πολύ γρήγορη άνοδος του σήματος, ακολουθούμενη από μια ουρά που οφείλεται στο νέφος ιόντων, είναι αναμενόμενο. Τέτοια γρήγορα σήματα ηλεκτρονίων είναι αρκετά δύσκολο να τα πιάσεις, αλλά είναι εφικτό με τα σημερινά ηλεκτρονικά. Για παράδειγμα, με χρησιμοποιώντας τους τώρα ευαίσθητους προενισχυτές με έναν γρήγορο χρόνο ανόδου ($t < 1$ ns), το αποτέλεσμα είναι θεαματικό (βλέπε επόμενο διάγραμμα).



Σχήμα 2.13: Σήμα γρήγορων ηλεκτρονίων από το ρεύμα του προενισχυτή σε μίγμα αερίου Ar + 10% ισοβουτάνιο. Παρατηρούμε επίσης ότι το σήμα των ηλεκτρονίων και της ουράς των θετικών ιόντων αναπτύσσεται μάζα σε 5ns και 80ns αντίστοιχα.

Το γρήγορο σήμα έχει άνοδο σε 1ns και πλάτος δέκα φορές υψηλότερο από την ουρά ιόντων. Τέτοια γρήγορα σήματα θα επιτρέψουν την ανάπτυξη νέων τμημάτων ολίσθησης ή μικρά TCP με χρονική ανάλυση κάτω από 1ns.

Η χρονική ανάλυση του Micromegas για πρώτη φορά διερευνήθηκε με χρήση του Lecroy-MQS104 προενισχυτή. Το καλύτερο αποτέλεσμα (4.5ns) έχει ληφθεί με αέριο υψηλής ταχύτητας ολίσθησης: μείγμα αργού, CF_4 και ισοβουτάνιο. Συνεπώς, είναι απολύτως λογικό να υποθέσουμε ότι χρησιμοποιώντας CF_4 ως φέρον αέριο, σε βάθος μετατροπής 1 mm και ποιό γρήγορα ηλεκτρονικά, μπορεί κανείς να φτάσει σε χρονική ακρίβεια 1ns.

2.1.6 Χωρική ανάλυση

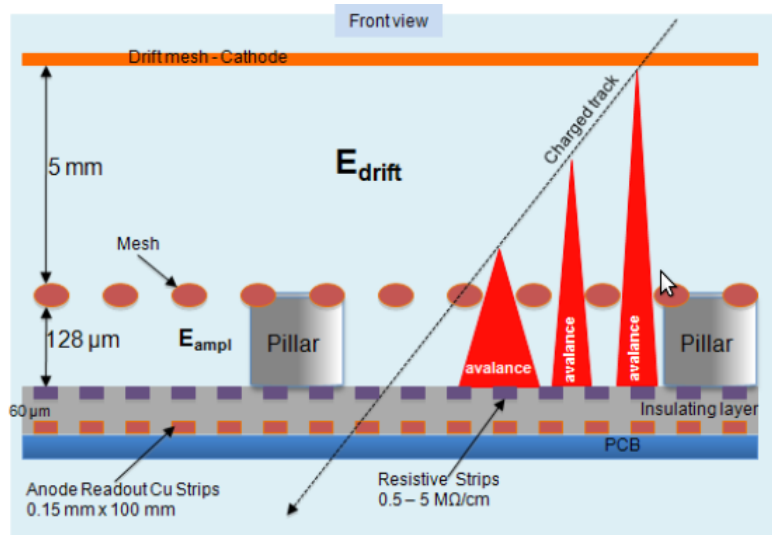
Διάφορες ομάδες, χρησιμοποιώντας διάφορες συνθέσεις του ανιχνευτή, διερεύνησαν την χωρική ανάλυση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έχουν δημοσιευθεί και παρουσιάζονται στον ποιο κάτω πίνακα.

Η ομάδα Saclay έχει δοκιμάσει αρχικά ανιχνευτές, που έχουν 317 micron pitch. Μετρήθηκε ακρίβεια 60 μm με τη χρήση αργού + DME μίγματος. Πρόσφατα αποτελέσματα με μικρό pitch ανιχνευτές (50 και 100 μm) έδωσε χωρική ανάλυση 25 μm με μίγμα He + 20% DME, και 12 μm με μίγμα CF_4 και 20% Ισοβουτάνιο. Η Subathec-Nantes ομάδα, χρησιμοποιώντας ένα pitch 200 μm, έχει μετρήσει ακρίβεια 45 μm. Ένα συγκρίσιμο αποτέλεσμα έχει προκύψει από την ομάδα Mulhouse χρησιμοποιώντας Ne + 10% DME αέριο. Το συμπέρασμα είναι ότι η ακρίβεια των Micromegas μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των περισσότερων από τις υψηλής ενέργειας πειραμάτων για σκοπούς παρακολούθησης. Επιπλέον, με στενές λωρίδες (strips) και χαμηλής διάχυσης συμπληρωματικά αέρια, η χωρική ανάλυση μπορεί να φτάσει αυτή του silicon micro-strip detector. Μπορεί κάποιος να υποθέσει ότι μπορεί ο Micromegas να χρησιμοποιηθεί ως micro-vertex ανιχνευτής στην περιοχή αλληλεπίδρασης των επιταχυντών σωματιδίων με πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση τον ανιχνευτή πυριτίου: υψηλότερη αντίσταση ακτινοβολίας, χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερο προϋπολογισμό υλικού.

Table I

Resolution MICROMEAS			
σ (μm)	PITCH (μm)	Gas mixture	Institute
80	317	Ar+10% iC_4H_{10}	Saclay
60	317	Ar+10% DME	Saclay
45	200	Ar+25% CO_2	Subatech
		Ne+10% DME	UNI-Mulhouse
24	50	He+10% DME	Saclay
12	100	CF_4 +20% iC_4H_{10}	

2.1.7 Micromegas με resistive layer(resistive anode readout)



Η τεχνική micromegas εφευρέθηκε στα μέσα του 1990. Επιτρέπει την κατασκευή ενός λεπτού ασύρματου ανιχνευτή αερίου σωματιδίων. Ο Micromegas ανιχνευτής αποτελείται από ένα επίπεδο (drift) ηλεκτρόδιο, ένα κενό αερίου λίγα mm πάχος που ενεργεί ως μετατροπέας και περιοχή drift, και ένα λεπτό μεταλλικό πλέγμα συνήθως 100 μm απόσταση από το ηλεκτρόδιο ανάγνωσης, δημιουργώντας την περιοχή ενίσχυσης. Το ηλεκτρόδιο μετατόπιση και το πλέγμα ενίσχυσης βρίσκονται σε αρνητικές υψηλές τάσης (HV), το readout ηλεκτρόδιο είναι στο δυναμικό εδάφους. Οι τάσης HV επιλέγονται τέτοιες ώστε το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή του drift είναι μερικές εκατοντάδες V/cm και περίπου 50 kV/cm στην περιοχή ενίσχυσης. Φορτισμένα σωματίδια που διέρχονται στο χώρο του drift ιονίζουν το αέριο, τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται από τον ιονισμό ολισθάνουν προς την κατεύθυνση του mesh. Το mesh είναι διαφανείς για τα περισσότερα ηλεκτρόνια για όσο διάστημα το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή ενίσχυση είναι της τάξης του 100 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο στο drift. Η χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων λαμβάνει χώρα στη λεπτή περιοχή ενίσχυσης, αμέσως πάνω από το ηλεκτρόδιο ανάγνωσης.

Το εξέχον χαρακτηριστικό της τεχνικής Micromegas είναι ότι επιτρέπει τη λειτουργία σε πολύ υψηλές ροές σωματιδίων, κυρίως λόγω της γρήγορης εκκένωσης περίπου 100 ns των θετικών ιόντων.

Η Micromegas τεχνολογία αναπτύχθηκε λίγα χρόνια μετά την εφεύρεση της τεχνικής Micromegas. Απασχολεί βιομηχανικές διεργασίες, που χρησιμοποιούνται στην printed board τεχνολογία, για την τοποθέτηση του πλέγματος σε σταθερή απόσταση πάνω από το ηλεκτρόδιο ανάγνωσης.

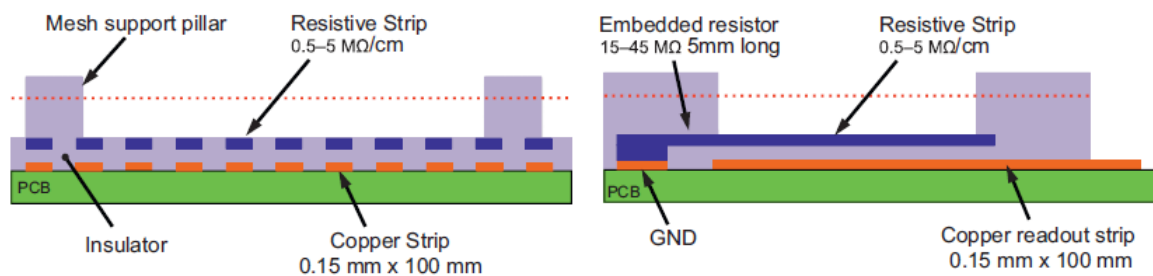
Micromegas ανιχνευτές έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πειράματα φυσικής υψηλής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, όταν καλή χωρική ανάλυση σε υψηλά ποσοστά δεδομένων ήταν απαραίτητη. Micromegas έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί με επιτυχία θαλάμοι ανάγνωσης σε Time Projection Chambers.

Το ιδιαίτερα σκληρό περιβάλλον υποβάθρου στους ανιχνευτές στο Large Hadron Collider στο CERN για τη φωτεινότητα που υπερβαίνει τα $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ θέτει μια σειρά από σοβαρούς περιορισμούς στις απόδοση αυτών των ανιχνευτών. Για παράδειγμα, ρυθμοί μέτρησης μέχρι 20 kHz/cm² στις πλέον αντίξοες περιοχές του συστήματος μιονίων στο ATLAS μπορεί να χρειαστεί να αντιμετωπιστούν. Λιγότερο από το 10% αυτού του ρυθμού είναι αναμενόμενο να προέλθει από μόνια, περίπου το 20% από τα πρωτόνια και τα πιόνια, το υπόλοιπο, σε κατά προσέγγιση αναλογία 2:1, πηγάζει από φωτόνια και αλληλεπιδράσεις νετρονίων. Τα νετρόνια που αλληλεπιδρούν στους θαλάμους δημιουργούν αργά κινούμενα οπισθοσκεδαζόμενα από ελαστική σκέδαση και/ή με χαμηλή ενέργειας ανδρόνια από την πυρηνική διάσπαση. Και οι δύο είναι σε μεγάλο βαθμό ιοντίζουσες και οδηγούν σε μεγάλη εναπόθεση ενέργειας στους θαλάμους μιονίων με τον κίνδυνο σπινθήρων. Εκτός από νετρόνια, επίσης φορτισμένα ανδρόνια αλληλεπιδρούν και μπορούν να δημιουργήσουν με χαμηλής ενέργειας συντρίμια αδρονίων.

Οι συγκεκριμένες ιδιότητες του Micromegas θαλάμου, με μια πολύ λεπτή περιοχή ενίσχυσης, τους κάνουν ιδιαίτερα ευάλωτους σε σπινθήρες. Οι σπινθήρες εμφανίζονται όταν ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρονίων σε μια χιονοστιβάδα φτάνει τιμές των 10^7 (Raether όριο). Υψηλή αποτελεσματικότητα ανίχνευσης για μόνια ελάχιστου ιονισμού επιφέρει ένα παράγοντα ενίσχυσης αερίου της τάξης των 10^4 . Ως εκ τούτου, διαδικασίες ιονισμού που παράγουν περισσότερα από 1000 ηλεκτρόνια σε αποστάσεις συγκρίσιμες με τη χαρακτηριστική πλευρική έκταση μιας χιονοστιβάδας (μερικές εκατοντάδες μικρά) ενέχει τον κίνδυνο να προκαλέσει σπινθήρα. Τέτοια επίπεδα ιονισμού εύκολα πετυχεύονται από χαμηλής ενέργειας σωματίδια άλφα- ή αργά κινούμενα φορτισμένα συντρίμια από αλληλεπιδράσεις νετρονίων (ή άλλες) στο αέριο του ανιχνευτή ή τα υλικά του ανιχνευτή. Οι σπινθήρες μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στον ανιχνευτή και τα ηλεκτρονικά ανάγνωσης ή/και να οδηγήσει σε μεγάλο νεκρό χρόνο, ως αποτέλεσμα της βλάβης του HV.

Παρακάτω θα παρουσιάσω μια μέθοδο κατασκευής θαλάμων Micromegas πιο ανθεκτικούς σε σπινθήρες, διατηρώντας παράλληλα την ικανότητά τους να μέτρουν με εξαιρετική ακρίβεια σωματίδια ελάχιστου ιονισμού σε υψηλού ρυθμού περιβάλλοντα.

Σχεδιασμός ανιχνευτή Η αρχή του σχεδιασμού του ανιχνευτή φαίνεται στο επόμενο σχήμα, το οποίο δείχνει δύο ορθογώνιες πλευρικές εμφανίσεις του θαλάμου. Πρόκειται για μια Micromegas δομή χτισμένη στην κορυφή ενός τυπωμένου κυκλώματος (PCB) με 18μm πάχους Cu strips ανάγνωσης που καλύπτονται από ένα στρώμα προστατευτικής αντίστασης, όπως εξηγείται στη συνέχεια.



Η προστασία αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα μονωτή (στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι κατασκευασμένο από photoimageable coverlay και 64 μm πάχος) πάνω από το οποίο τοποθετούνται strips από αντιστατικό στρώμα (με ειδική αντίσταση των λίγων MΩ/cm). Γεωμετρικά, η αντιστατικές λωρίδες strips ταυριάζουν με το μοτίβο των strips ανάγνωσης. Και οι δύο είναι 150μm πλάτος και περίπου 100 mm μήκος, το strip pitch (απόσταση μεταξύ των strips) τους είναι 250 μm. Τα αντιστατικά strips είναι 64 μm πάχος, το 100 μm εύρος χάσμα μεταξύ των γειτονικών strips είναι γεμισμένα με μονωτικό υλικό. Τα αντιστατικά strips είναι γειωμένα στο ένα άκρο μέσω μιας περιοχής του strip το οποίο έχει μεγαλύτερη αντίσταση, που ισοδυναμεί με 15-50 MΩ αντίσταση.

Τα ωμικά στρώματα πάνω από το ηλεκτρόδιο ανάγνωσης έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Ωστόσο, στη γνώση μας, όλοι χρησιμοποίησαν συνεχή ωμικά στρώματα, στις περισσότερες περιπτώσεις με πρωταρχικό στόχο την εξάπλωση του παραγόμενου φορτίου για να αποκτήσουν καλή ανάλυση με ευρύτερα (λιγότερες)

strips. Για την προστασία επίσης από τα sparks δοκιμάστηκαν και ωμικά mesh.

Η προσέγγισή που θα περιγράψω είναι διαφορετική. Έχουμε επιλέξει χωριστές ωμικές λωρίδες αντί για μια συνεχή ωμικό στρώμα για να αποφευχθεί η εξάπλωση του φορτίου σε διάφορα strip ανάγνωσης και να κρατήσει την όσο ποιά μικρή περιοχή ανεπηρέαστη από κάποια αποφόρτιση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πιθανότητα αποφόρτισης είναι η ίδια για ένα ωμικό και ένα τυπικό θάλαμο. Τα sparks σπινθήρες είναι ηλεκτρικά τόξα μεταξύ των mesh και της ανόδου στο δυναμικό της γείωσης, είτε πρόκειται για ωμικά strips ή μεταλλικά strips ανάγνωσης. Ο σκοπός του στρώματος προστασίας από σπίθες είναι να περιοριστεί, σε περίπτωση σπίθας, το ρεύμα αποφόρτισης σε τέτοιο επίπεδο ώστε η πτώση της τάσης HV του mesh να γίνει ασήμαντη.

Η δομή Micromegas είναι χτισμένη πάνω από τα ωμικά strips. Έχει ένα ανοξείδωτο πλέγμα με 400 γραμμές ίντσα και πάχος σύρματος 18 μ m. Το πλέγμα διατηρείται σε απόσταση 128 μ m από τα ωμικά strips μέσω μικρών πυλώνων (400 μ m διάμετρο) κατασκευασμένους από το ίδιο photoimageable coverlay υλικό που χρησιμοποιείται για το στρώμα μόνωσης. Οι πυλώνες είναι τοποθετημένοι σε σχήμα τακτικής μήτρας με απόσταση μεταξύ γειτονικών πυλώνων 2,5 mm στους x και y άξονες. Ο διαστάσεις του mesh είναι 100X100 mm², η ενεργός περιοχή του ανιχνευτή είναι 90mm εγκάρσιως και 80 mm κατά μήκος των strips.

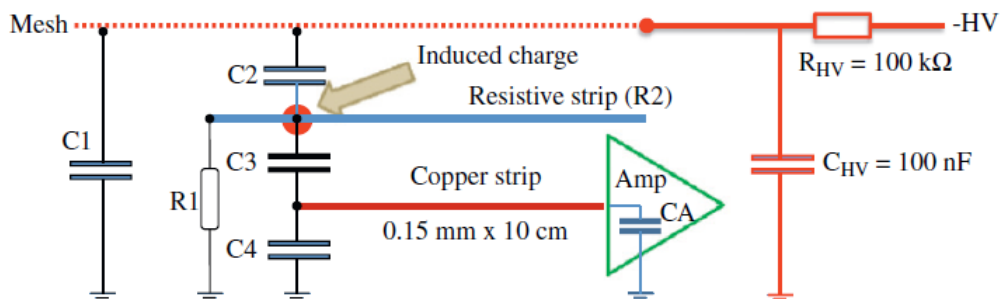
Πάνω από το πλέγμα ενίσχυσης, σε απόσταση 4 ή 5 mm, ένα άλλο δικτυωτό πλέγμα από ανοξείδωτο χάλυβα (350 γραμμές/ίντσα με διάμετρο σύρματος από 22 μ m) χρησιμεύει ως ηλεκτρόδιο drift ολίσθησης. Οι πλευρικές διαστάσεις του είναι οι ίδιες όπως και για το πλέγμα ενίσχυσης.

Ο θάλαμος αποτελείται από 360 strips ανάγνωσης. Τα strips ανάγνωσης είναι αφημένες να αιωρούνται στο ένα άκρο. Στο άλλο άκρο είναι συνδεδεμένα σε ομάδες των 72 strips σε πέντε υποδοχείς 80 ακίδων. Ο υπόλοιπες οκτώ ακίδες του κάθε υποδοχέα χρησιμεύουν ως σημεία γείωσης.

Το περίβλημα του ανιχνευτή αποτελείται από ένα 20 mm ύψους αλουμινένιο πλαίσιο, τοποθετημένο στην κορυφή της πλάκας ανάγνωσης και σφραγισμένο από ένα O-ring, και ένα κάλυμμα (και πάλι σφραγισμένο από O-ring) με κάποια παράθυρα που ανοίγουν, κατασκευασμένο από 50 μ m πάχους φύλλο Krypton.

Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του θαλάμου φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



R1 είναι η αντίσταση μεταξύ του ωμικού strip και της γείωσης του ανιχνευτή (βλ. επόμενο Πίνακα).

Table 13: Resistivity values for the three tested chambers.

Chamber	Resistance to ground R1 (MΩ)	Resistance along strip R2 (MΩ/cm)	Equivalent surface resistivity R2 (MΩ/□)
R11	15	2	0.030
R12	45	5	0.075
R13	20	0.5	0.0075

C1 είναι η χωρητικότητα μεταξύ των mesh και της γείωσης του ανιχνευτή. Είναι περίπου 4 nF, πολύ μεγάλη σε σχέση τις άλλες χωρητικότητες που εμπλέκονται. C2 είναι η χωρητικότητα μεταξύ του ωμικού strip και του mesh, C3 είναι η χωρητικότητα μεταξύ του ωμικού strip και των strips ανάγνωσης. Οι τιμές τους εξαρτώνται από την εξάπλωση του φορτίου στα ωμικά strips, τις σχετικές αποστάσεις των resistive strips με τα strip ανάγνωσης και το mesh, και στην τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς του μονωτικού υλικού μεταξύ των resistive strips και των strips ανάγνωσης(readout). Μια υψηλότερη αντίσταση οδηγεί σε μια μικρότερη εξάπλωση του φορτίου και, συνεπώς, μικρότερες χωρητικότητες για τις C2 και C3. Οι αναλογίες τους, όμως, παραμένει σταθερή. Στην παραπάνω περιγραφόμενη ρύθμιση είναι περίπου 1:8. C4 είναι η χωρητικότητα μεταξύ των readout strips και της γείωσης του ανιχνευτή, η τιμή του είναι περίπου 1,5 pF. C αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα εισόδου του προ-ενισχυτή.

Η HV παρέχεται στο πλέγμα μέσω ενός αντιστάτη 100KΩ, ακολουθούμενη από μια ρυθμιστική χωρητικότητα των 100 nF στη γείωση του ανιχνευτή.

Σε περίπτωση που δεν έχουμε το ωμικό στρώμα η κίνηση της χιονοστιβάδας ηλεκτρονίων προκαλεί ένα σήμα άμεσα στα readout strips. Σε περίπτωση που ένα συνεχές ωμικό στρώμα είναι παρόν μεταξύ του κενού(χάσμα, περιοχή αερίου) του αερίου και των readout strips, η κίνηση του φορτίου στο στρώμα έχει ως αποτέλεσμα ένα `RC-τύπου` διαφοριστή του σήματος. Προκαλεί επίσης την εξάπλωση του σήματος σε γειτονικά strips. Εάν, ωστόσο, η ωμική στρώση είναι κατακερματισμένη, όπως αναφέρθηκε, η διάδοση του σήματος σε γειτονικές λωρίδες αποφεύγεται. Μόνο το φορτίο που προκαλείται στα strip ανάγνωσης κάτω από τα resistive strip φαίνεται από τον προ-ενισχυτή. Το φορτίο στο resistive strip οδηγείται στη γείωση μέσω της αντίστασης R1.

Έχουν σχεδιαστεί και δοκιμαστεί τρεις θαλάμους με ενεργό περιοχή 100X80 mm², οι R11, R12, R13, με διαφορετικές τιμές της αντίστασης κατά μήκος των strips και της αντίστασης στη γείωση. Οι αντίστοιχες τιμές της αντίστασης δίνονται στον πάνω πίνακα.

Οι τιμές των αντιστάσεων των τριών θαλάμων επιλέχθηκαν ως συμβιβαστική λύση για τη διατήρηση της ικανότητας ροής του ανιχνευτή ενώ παράλληλα αυξάνουν την αντίσταση για την καλύτερη προστασία από σπινθήρες. Με τα resistive strips μπορούμε να επιλέξουμε υψηλές τιμές της αντίστασης στη γείωση (20-50 MΩ) διατηρώντας παράλληλα την ισοδύναμη αντίσταση επιφανείας κάτω από 0,1MΩ/square. Οι τιμές αντίστασης που χρησιμοποιήθηκαν για αυτούς τους θαλάμους δεν έχουν βελτιστοποιηθεί, αλλά, όπως έχει αποδειχθεί πληρούν όλες τις απαιτήσεις.

2.1.8 Θεωρία Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων

RC κύκλωμα

Το πιο απλό κύκλωμα RC είναι ένας πυκνωτής και μια αντίσταση σε σειρά. Όταν ένα κύκλωμα αποτελείται μόνο από έναν φορτισμένο πυκνωτή και μια αντίσταση, ο πυκνωτής θα ελευθερώσει την αποθηκευμένη ενέργεια του στην αντίσταση. Η τάση κατά μήκος του πυκνωτή, η οποία εξαρτώνται από το χρόνο, μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας τον νόμο του Kirchhoff, όπου το ρεύμα του πυκνωτή πρέπει να ισούται με το ρεύμα της αντίστασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη γραμμική διαφορική εξίσωση

$$C \frac{dV}{dt} + \frac{v}{R} = 0$$

Λύνοντας την εξίσωση αυτή για το V αποδόσεις του τύπου για την εκθετική αποσύνθεση:

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

όπου V_0 είναι η τάση πυκνωτή τη χρονική στιγμή $t = 0$.

Ο χρόνος που απαιτείται για την τάση να πέσει στο $\frac{V_0}{e}$ ονομάζεται RC σταθερά χρόνου και δίνεται από

$$\tau = RC$$

The complex impedance, Z_C (in ohms) of a capacitor with capacitance C (in farads) is

$$Z_c = \frac{1}{sC}$$

The complex frequency s is, in general, a complex number,

$$s = \sigma + j\omega$$

where

* j represents the imaginary unit:

$$j^2 = -1$$

* σ is the exponential decay constant (in radians per second), and

* ω is the sinusoidal angular frequency (also in radians per second).

Ημιτονοειδή μόνιμη κατάσταση είναι μια ειδική περίπτωση στην οποία η τάση εισόδου αποτελείται από μια καθαρή ημιτονοειδής (χωρίς εκθετική αποσύνθεση). Ως εκ τούτου,

$$\sigma = 0$$

και η τιμή της S γίνεται

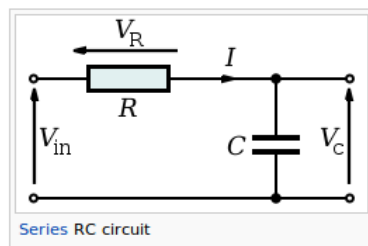
$$s = j\omega$$

Προβάλλοντας το κύκλωμα ως διαιρέτη τάσης, η τάση σε όλη την πυκνωτή είναι:

$$V_C(s) = \frac{1/Cs}{R + 1/Cs} V_{in}(s) = \frac{1}{1 + RCS} V_{in}(s)$$

και η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι:

$$V_R(s) = \frac{R}{R + 1/K} V_{in}(s) = \frac{RCS}{1 + RCS} V_{in}(s)$$



Ο πιο απλός τρόπος για να καταλάβει κάποιος τη συμπεριφορά στο χρόνο του συστήματος είναι να χρησιμοποιήσει το μετασχηματισμό Laplace των εκφράσεων για V_C και V_R που δίνεται παραπάνω. Αυτό ουσιαστικά μετατρέπει το $j\omega$ σε s . Εάν υποθεθεί μια βηματική είσοδο (δηλαδή $V_{in} = 0$ πριν από $t = 0$ και στη συνέχεια $V_{in} = V$ στη συνέχεια):

$$V_{in}(s) = V \frac{1}{s}$$

$$V_C(s) = V \frac{1}{1 + SRC} \frac{1}{s}$$

και

$$V_R(s) = V \frac{SRC}{1 + SRC} \frac{1}{s}$$

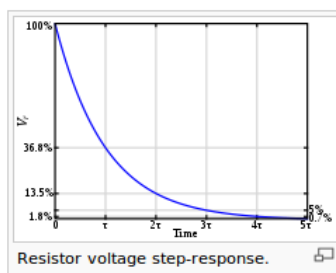
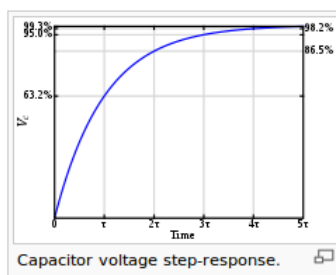
Ο αντίστροφος Μετασχηματισμός Laplace:

$$V_C(t) = V \left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

$$V_R(t) = V e^{-t/RC}$$

Οι εξισώσεις αυτές είναι για τον υπολογισμό της τάσης στον πυκνωτή και την αντίσταση, αντίστοιχα, ενώ ο πυκνωτής φορτίζεται. Για την εκφόρτιση, οι εξισώσεις είναι το αντίστροφο. Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να ξαναγραφτούν με τη χρήση των σχέσεων $C = Q/V$ και $V = IR$ (νόμος του Ohm).

Έτσι, η τάση σε όλο τον πυκνωτή τείνει προς V όσο περνάει ο καιρός, ενώ η τάση σε όλη την αντίσταση τείνει προς 0, όπως φαίνεται στις εικόνες. Αυτό είναι σύμφωνο με το διαισθητικό σημείο ότι ο πυκνωτής θα φόρτιση από την τάση τροφοδοσίας όσο περνάει ο καιρός, και τελικά θα φορτιστεί πλήρως.



Αυτές οι εξισώσεις δείχνουν ότι μια σειρά RC κύκλωμα έχει μια σταθερά χρόνου, συνήθως συμβολίζεται $\tau = RC$ είναι ο χρόνος που χρειάζεται η τάση σε όλη την συνιστώσα για είτε να αυξηθεί (σε C) ή μείωση (σε όλη την R) μέχρι $1/e$ της τελικής αξίας της. Δηλαδή, τ είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το V_C σε $V(1-1/e)$ και V_R να φτάσει $V(1/e)$.

Ο ρυθμός της αλλαγής είναι ένα κλάσμα $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$ ανά τ . Έτσι, για να μεταβούμε από $t = N\tau$ σε $t = (N + 1)\tau$, η τάση θα έχει μετακινηθεί περίπου 63,2% προς την τελική αξία της. Έτσι, ο C θα φορτιστεί σε περίπου 63,2% μετά από χρόνο τ , και κατ' ουσίαν πλήρως φορτισμένη (99,3%) μετά από περίπου 5τ . Όταν η πηγή τάσης αντικαθίσταται με ένα βραχυκύκλωμα, με τον πυκνωτή C φορτισμένο πλήρως, η τάση στα άκρα C πέφτει εκθετικά με το χρόνο t από V προς 0. Ο C θα αποφορτίζεται στο περίπου 36,8% μετά από τ ,

και κατ' ουσίαν πλήρως αποφορτιστεί (0,7%) μετά από περίπου 5τ. Σημειώστε ότι το τρέχον, I, στο κύκλωμα συμπεριφέρεται όπως η τάση σε όλη την R, μέσω του νόμου του Ohm.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν επίσης να προκύψουν από την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν το κύκλωμα:

$$\frac{V_{in} - V_C}{R} = C \frac{dV_C}{dt}$$

και

$$V_R = V_{in} - V_C$$

Οι λύσεις είναι ακριβώς οι ίδιες με εκείνες που λαμβάνονται μέσω των μετασχηματισμών Laplace.

Ολοκληρωτής

Εξετάζουμε την έξοδο στον πυκνωτή σε υψηλή συχνότητα, δηλαδή

$$\omega \gg \frac{1}{RC}$$

Αυτό σημαίνει ότι ο πυκνωτής δεν έχει αρκετό χρόνο για να φορτιστεί και έτσι η τάση του είναι πολύ μικρή. Έτσι, η τάση εισόδου ισούται περίπου με την τάση στα άκρα της αντίστασης. Για να δείτε αυτό, θεωρήστε την έκφραση για το I αφού έχουμε κύκλωμα σε σειρά:

$$I = \frac{V_{in}(s)}{R + 1/j\omega C}$$

αλλά σημειώνουμε ότι η κατάσταση της συχνότητας που περιγράφεται σημαίνει ότι

$$\omega C \gg \frac{1}{R}$$

έτσι
 $I \approx \frac{V_{in}}{R}$ που είναι μόνο ο νόμος του Ohm.
 τώρα,

$$V_C = \frac{1}{C} \int_0^t I dt$$

έτσι

$$V_C \approx \frac{1}{RC} \int_0^t V_{in} dt$$

η οποία είναι ένας ολοκληρωτής κατά μήκος του πυκνωτή.

Διαφοριστής

Εξετάζουμε την έξοδο σε όλη την αντίσταση σε χαμηλή συχνότητα, δηλαδή,

$$\omega \ll \frac{1}{RC}$$

Αυτό σημαίνει ότι ο πυκνωτής έχει το χρόνο να φορτιστεί μέχρι η τάση του να είναι σχεδόν ίση με την τάση της πηγής. Λαμβάνοντας υπόψη την έκφραση για το ρεύμα και πάλι, όταν

$$R \ll \frac{1}{\omega C}$$

έτσι

$$I \approx \frac{V_{in}}{1/j\omega C}$$

$$V_{in} \approx \frac{I}{j\omega C} = V_C$$

τόρα,

$$V_R = IR = C \frac{dV_C}{dt} R$$

$$V_R \approx RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

η οποία είναι στοιχείο διαφοροποίησης σε όλη την αντίσταση.

Φαινόμενο crosstalk:

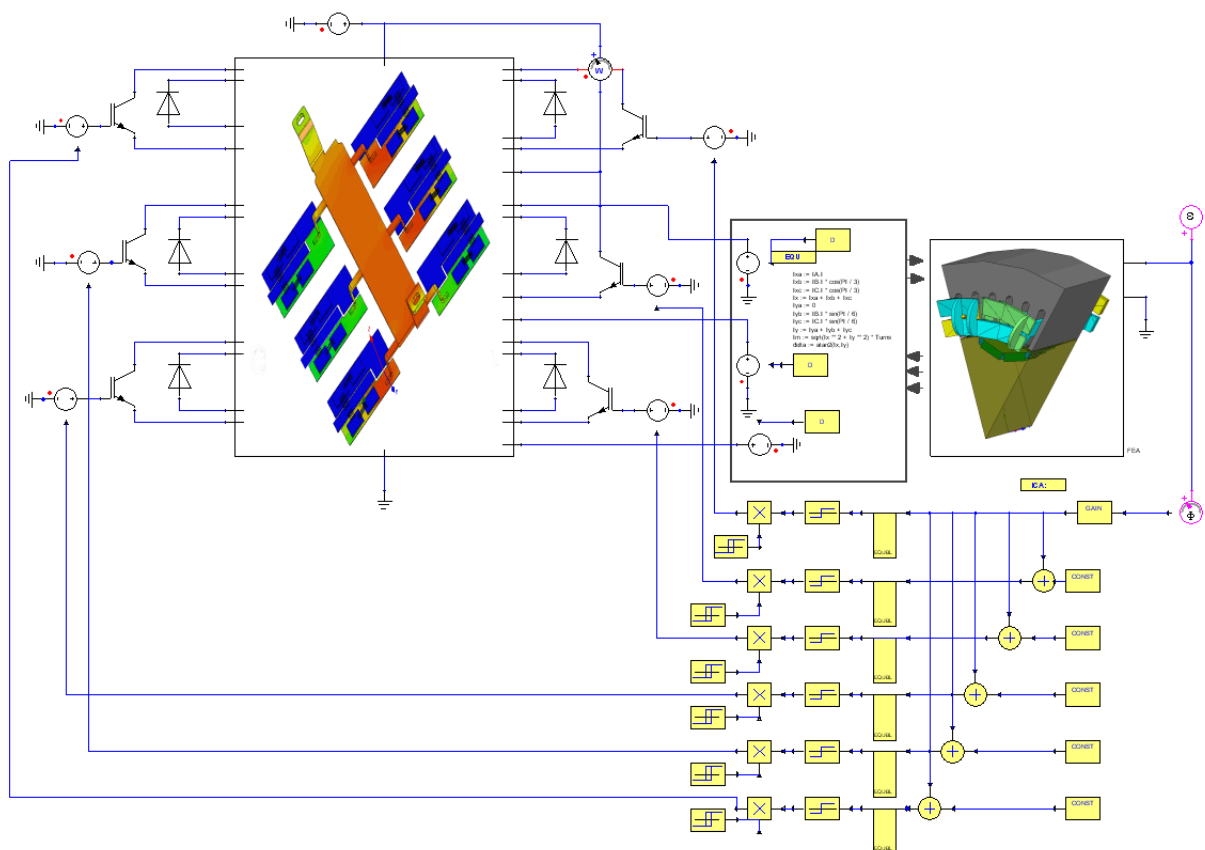
Είναι το φαινόμενο το οποίο παρατηρείται στα strips του ανιχνευτή, διάχυση του ρεύματος (αρχικού σήματος) από το ένα στο άλλο.

Κεφάλαιο 3

Simulation στο Maxwell και Simplorer

3.0.9 Περιγραφή Simplorer

ANSYS Simplorer είναι ένα διαισθητικό, σε πολλούς τομείς, πολυ-τεχνολογικό πρόγραμμα προσομοίωσης που επιτρέπει στους μηχανικούς την προσομοίωση πολύπλοκων ηλεκτρονικών ισχύος και ηλεκτρικά ελεγχόμενων συστημάτων. Η ισχυρή τεχνολογία του Simplorer σας επιτρέπει να αναλύσετε όλες τις πτυχές των συστημάτων μεγάλης κλίμακας, από λεπτομερή ανάλυση συστατικών κυκλώματος ως την απόδοση συστήματος, σε ένα ενιαίο εικονικό περιβάλλον σχεδίασης.



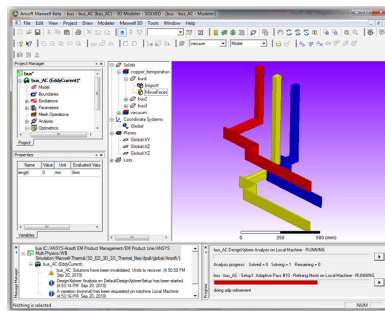
Σχήμα 3.1: ANSYS Simplorer είναι ένα multi-domain λογισμικό προσομοίωσης του συστήματος με απευθείας συνδέσεις με το ANSYS Maxwell για την ακριβή μοντελοποίηση

Το Simplorer άψογα ενσωματώνει πολλαπλές τεχνικές μοντελοποίησης (κυκλώματα, διαγράμματα μπλοκ, state machines, εξισώσεις) και γλώσσες μοντελοποίησης (VHDL-AMS, Simplorer Modeling Language, C/C) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα στο ίδιο σχήμα. Το γεγονός αυτό καθιστά το Simplorer το ιδανικό εργαλείο για συστήματα modeling. Με τις σημερινές ραγδαίες εξελισσόμενες τεχνολογίες πολλαπλών συστημάτων, αλληλεπιδράσεων μεταξύ εξαρτημάτων, τα υποσυστήματα και συστήματα γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα. Για τις βιομηχανίες όπου τα προϊόντα εξαρτώνται από την ακριβή αλληλεπίδραση μεταξύ των ηλεκτρομηχανικών στοιχείων, ηλεκτρονικά κυκλώματα ισχύος και συστημάτων ηλεκτρικού και μηχανικού ελέγχου, το Simplorer μέσα σε αυτό το τεχνολογικό χάος προσφέρει ένα απaráμιλλο επίπεδο χρηστικότητας και αριθμητικής δύναμης.

3.0.10 Περιγραφή Maxwell

Το ANSYS Maxwell είναι το πρώτο λογισμικό προσομοίωσης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου για μηχανικούς το οποίο έχει σκοπό να επιφορτιστεί με το σχεδιασμό και την ανάλυση των 3-D και 2-D ηλεκτρομαγνητικών και ηλεκτρομηχανικών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων, μετασχηματιστών, πηνίων και αισθητήρων. Το Maxwell χρησιμοποιεί την ακριβή μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων για την επίλυση στατικών, πεδίου-συχρότητας, και χρονικώς μεταβαλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία. Ένα βασικό πλεονέκτημα του ANSYS Maxwell είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία λύσης, για την οποία είμαστε υποχρεωμένοι να καθορίσουμε μόνο γεωμετρία, ιδιότητες των υλικών και την επιθυμητή έξοδο. Από αυτό το σημείο, το Maxwell δημιουργεί αυτόματα κατάλληλο, αποτελεσματικό και ακριβές πλέγμα για την επίλυση του προβλήματος. Αυτή η αποδεδειγμένη διαδικασία πλέγματος καταργεί την πολυπλοκότητα από τη διαδικασία ανάλυσης και σου δίνει τη δυνατότητα να επωφεληθείς από ένα πολύ αποδοτικό, εύκολο στη χρήση ροής σχεδιασμό.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό στο ANSYS Maxwell είναι η ικανότητα να παράγει υψηλής πιστότητας, μοντέλα από τη λύση επερασμένων στοιχείων για χρήση σε ANSYS Simplorer, το πολλών τομέων λογισμικό προσομοίωσης από το ANSYS. Η δυνατότητα αυτή δημιουργεί μια ισχυρή ροή ηλεκτρομαγνητικού σχεδιασμού που δίνει τη δυνατότητα να συνδυάζονται πολύπλοκα κυκλώματα με ακριβή μοντέλα από το Maxwell για το σχεδιασμό πλήρη υψηλής απόδοσης ηλεκτρομηχανολογικών, μηχανοτρονικών και ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος.



Σχήμα 3.2

Μελέτη του Crosstalk φαινομένου Εφαρμόζουμε ένα παλμό ρεύματος 10nsec στην κάθοδο κάτω από το κεντρικό strip δηλαδή το τρίτο. Το ρεύμα ρέει κυρίως στο τρίτο strip αλλά διαρρέει και στα γειτονικά. Το μεγαλύτερο σήμα στο σχήμα (αρνητικό πλάτος) είναι από το 3 strip. Αρχικά, όλο το φορτίο από τη χιονοστιβάδα εκβάλλει σε αυτό το strip, αλλά μετά από αρκετό χρόνο κάποια $t=RC$ το αναδιανέμει εξίσου σε όλη την κάθοδο, προκαλώντας έτσι ίσο φορτίο σε όλα τα άλλα strips. Σήματα σχετικά με τα γειτονικά strips είναι αποτέλεσμα της αναδιανομής του φορτίου στην κάθοδο και της χαμηλής αναλογίας του χρόνου τ με το χρόνο κορύφωσης του διαμορφωτή. Το κλάσμα του crosstalk, ορίζεται ως ο λόγος του πλάτους παλμού σε κάθε μία από τα γειτονικά strips με το πλάτος του strip το οποίο έχει.

Το πρόβλημα που είχα:

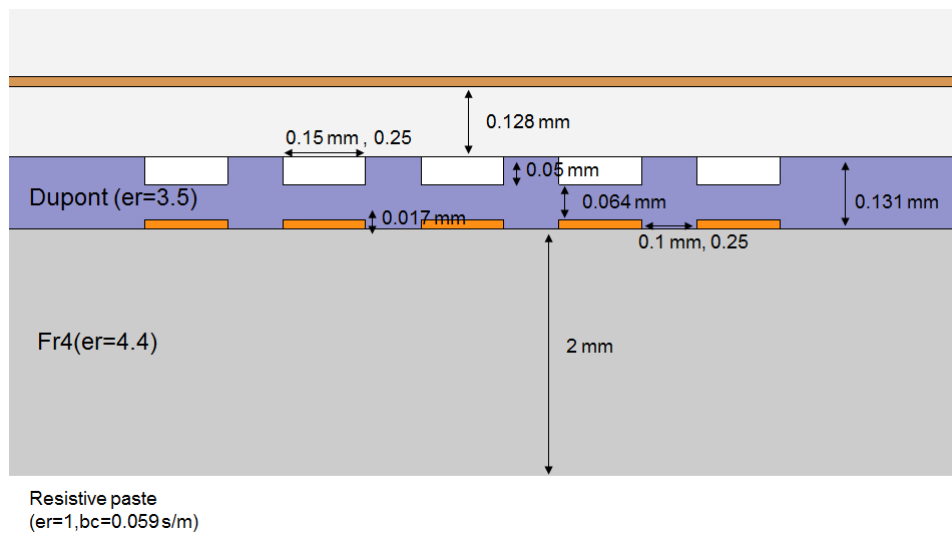
Μελέτη του φαινομένου crosstalk με το σχεδιασμό 3D μοντέλου με το λογισμικό Maxwell και ακολούθως η δημιουργία αναλογικού κυκλώματος με τον ανιχνευτή μέσω του λογισμικού Simplorer και τον αποτελεσμάτων που πήραμε από το Maxwell.

Βήματα που ακολούθησα:

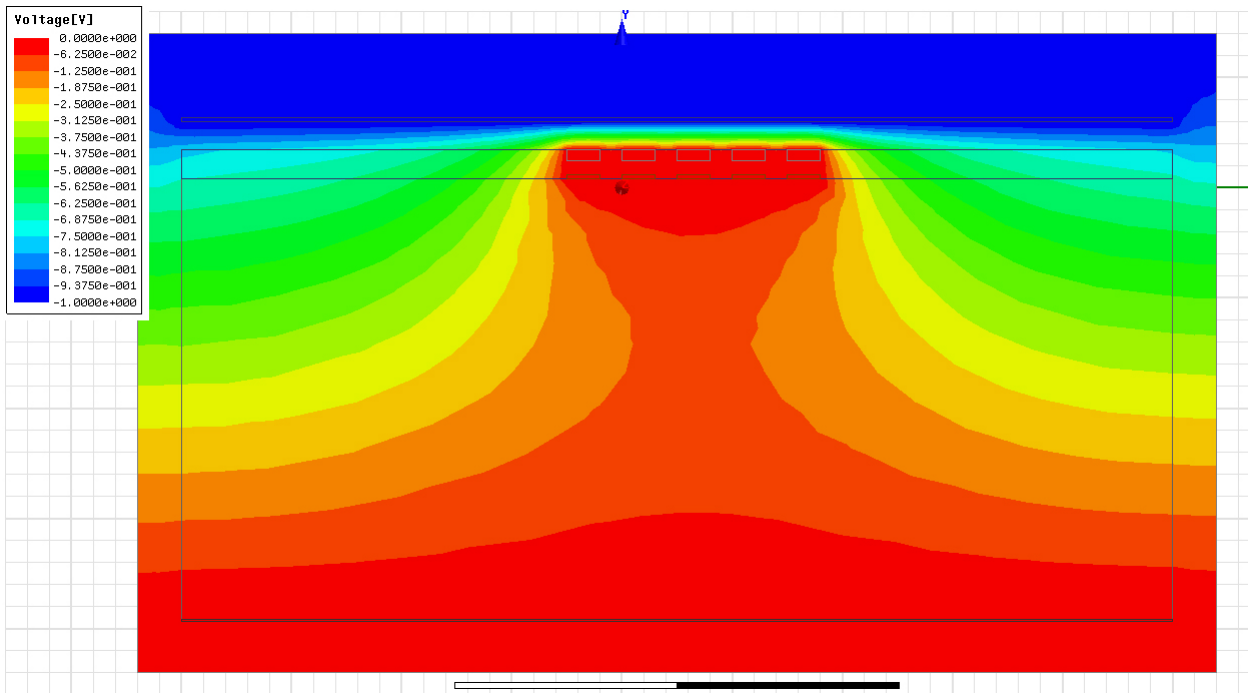
1. Σχεδιασμός του δισδιάστατου μοντέλου και του ανιχνευτή Micromegas όπως φαίνεται παρακάτω και μελέτη της κατανομής του ηλεκτρικού και δυναμικού πεδίου στον χώρο. Ακολούθως από το μοντέλο αυτό πήραμε τις τιμές των πυκνωτών που φτιάχνουν ένα κύκλωμα που αντικατοπτρίζει την λειτουργία του ανιχνευτή και τα εισαγάγαμε στο Simplorer και στο κύκλωμα το οποίο σχεδιάσαμε για τον ανιχνευτή.

2. Σχεδιασμός του τρισδιάστατου ανιχνευτή Micromegas με κάθετα και παράλληλα strips με τα resistive strips όπως φαίνεται πιο κάτω. Μελετήθηκαν 2 μοντέλα στον τρισδιάστατο σχεδιασμό. Ένα με πρώτα τα παράλληλα Strips μετά τα Resistive strips και δεύτερο πρώτα να είναι τα κάθετα. Πήραμε και από αυτά τα μοντέλα τις τιμές των πυκνωτών όπως αυτή φαίνονται πιο κάτω και σχεδιάσαμε το ισοδύναμο κύκλωμα. Από αυτό το κύκλωμα μελετήθηκαν οι έξοδοι από τα πρώτα strips και έξοδοι από τα δεύτερα strips.

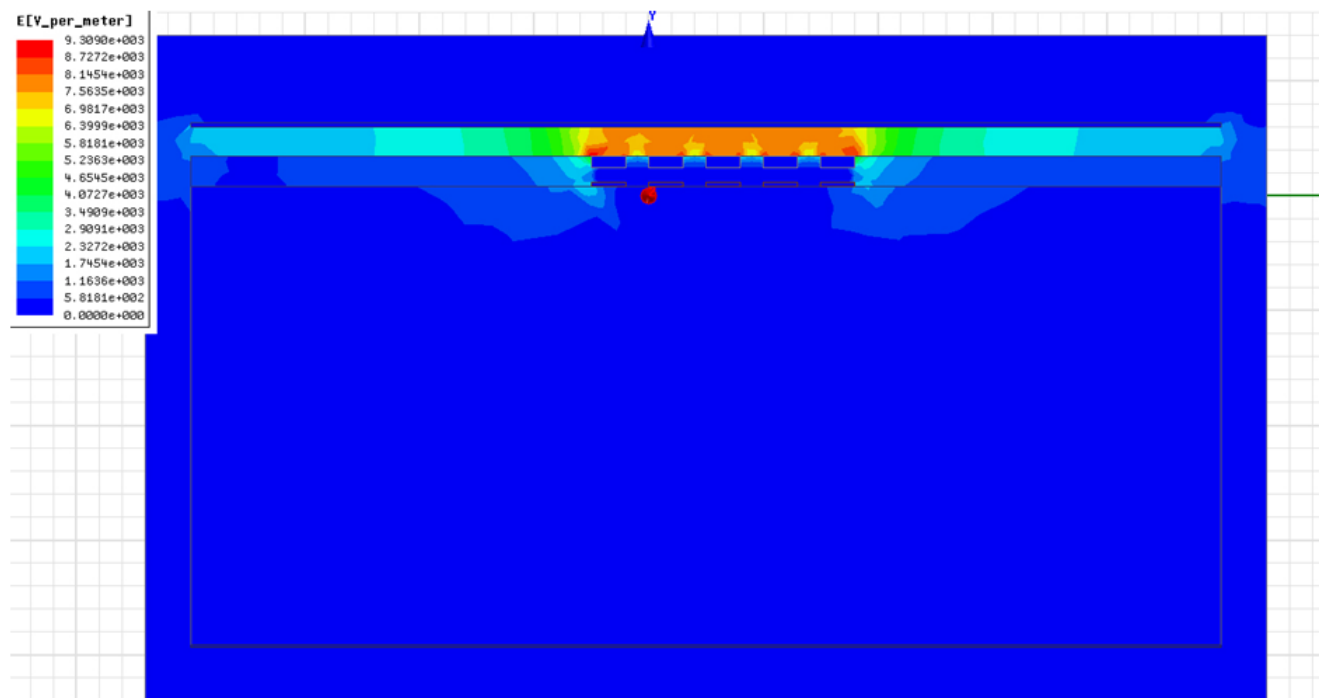
3.0.11 2D απεικόνιση Micromegas από το Maxwell

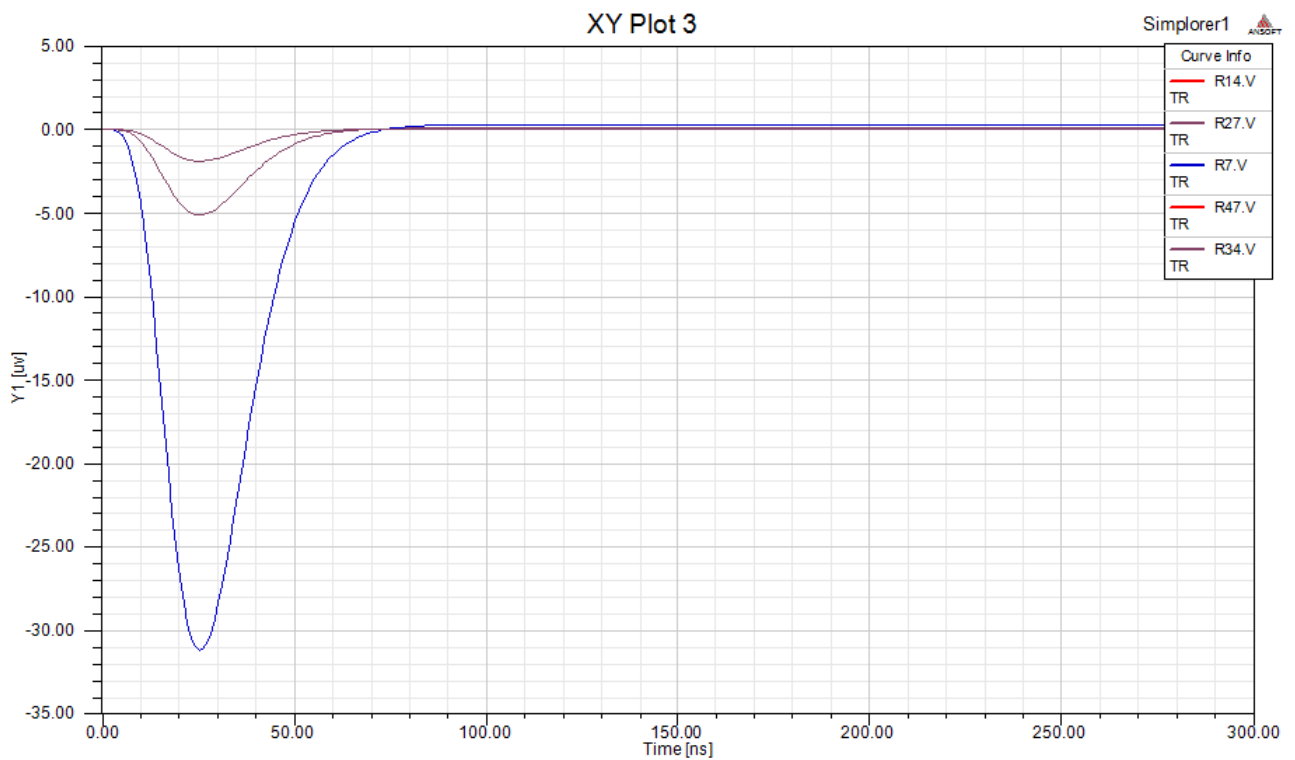


Volts (Δυναμικό) Πεδίο:



E (Ηλεκτρικό)- Πεδίο:



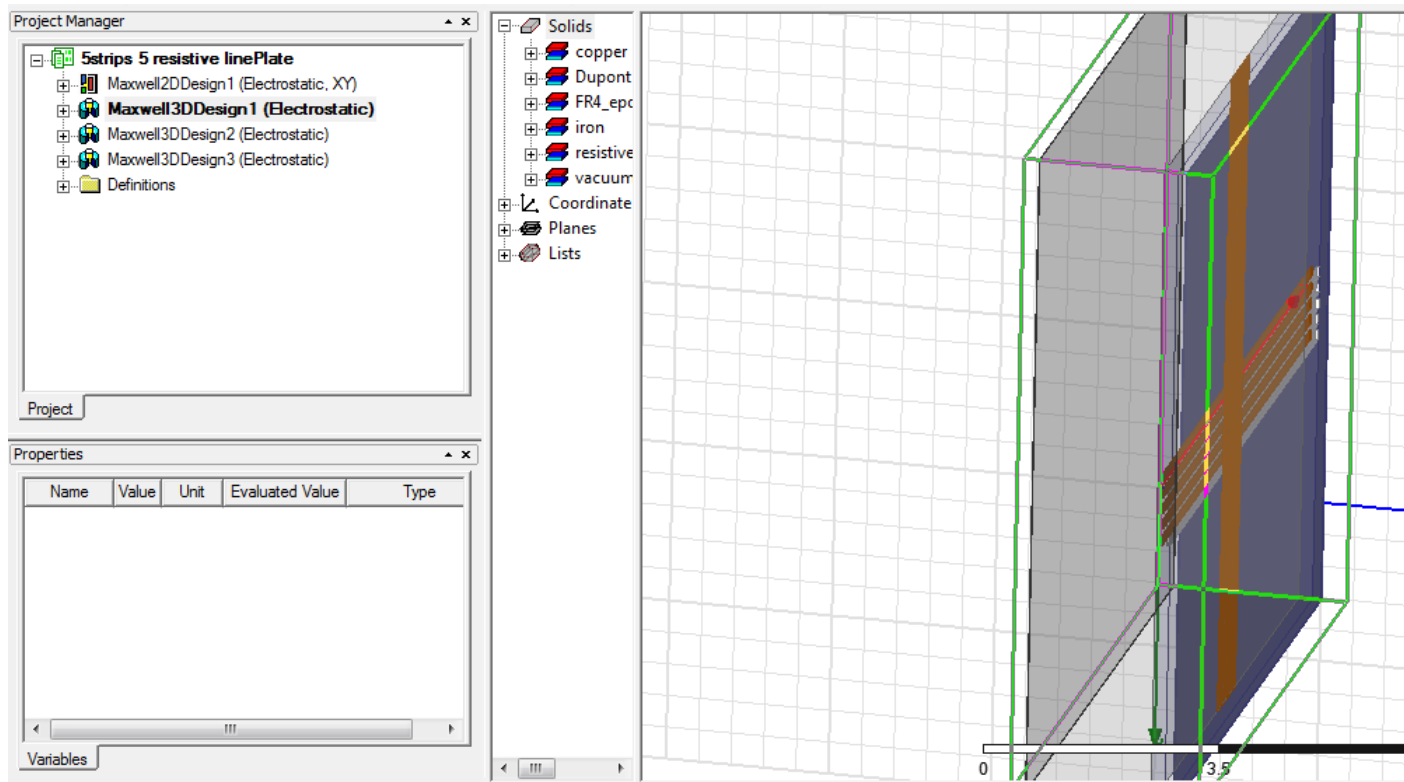


Όπως φαίνεται από την ανάλυση το φαινόμενο στο 2D σχεδιασμό δεν είναι καθόλου έντονο.

Παρακάτω θα δούμε πως παρατηρείται το φαινόμενο στο 3D Micromegas από δύο διαφορετικούς σχεδιασμούς.

3.0.12 3D απεικόνιση Micromegas από το Maxwell

3D- Απεικόνιση του ανιχνευτή Micromegas με 2 σειρές από strips μετα από resistive strips παράλληλα και κάθετα με τα resistive. (10 X 10 mm διαστάσεις ανιχνευτής, αναλογία του 10 X 10 cm πραγματικού ανιχνευτή)



Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- 1)Χαλκός: Strips κάθετα και παράλληλα και Ground.
- 2)Dupont Type 100 HN film: Χώρος γύρω από τα strips και τα resistive strips.
- 3)FR4 epoxy: Χώρος γύρω από τα strips και ground.
- 4)Σίδηρος: Drift.
- 5)Resistive Paste: Resistive strips.

Δυναμικό που δόθηκε στα διάφορα υλικά του ανιχνευτή για τον υπολογισμό των στοιχείων του ισοδύναμου κυκλώματος ήταν -1V στο Drift και στα υπόλοιπα στοιχεία τάση=0V.

Πηγή: 5um V με περίοδο $1.002 \cdot 10^{-8}$ sec. Rise time: 0.01ns, Fall time: 0,01ns, Pulse width 10ns όπου εφαρμόζεται στο κεντρικό strip.

Διαστάσεις:

Strip μέγεθος: 10mm μήκος, 0.017mm πάχος, 0.15mm ύψος

Ground: 4.5mm μήκος, 2mm πάχος

Resistive Strips: 10mm μήκος, 0.05mm πάχος, 0.15mm ύψος

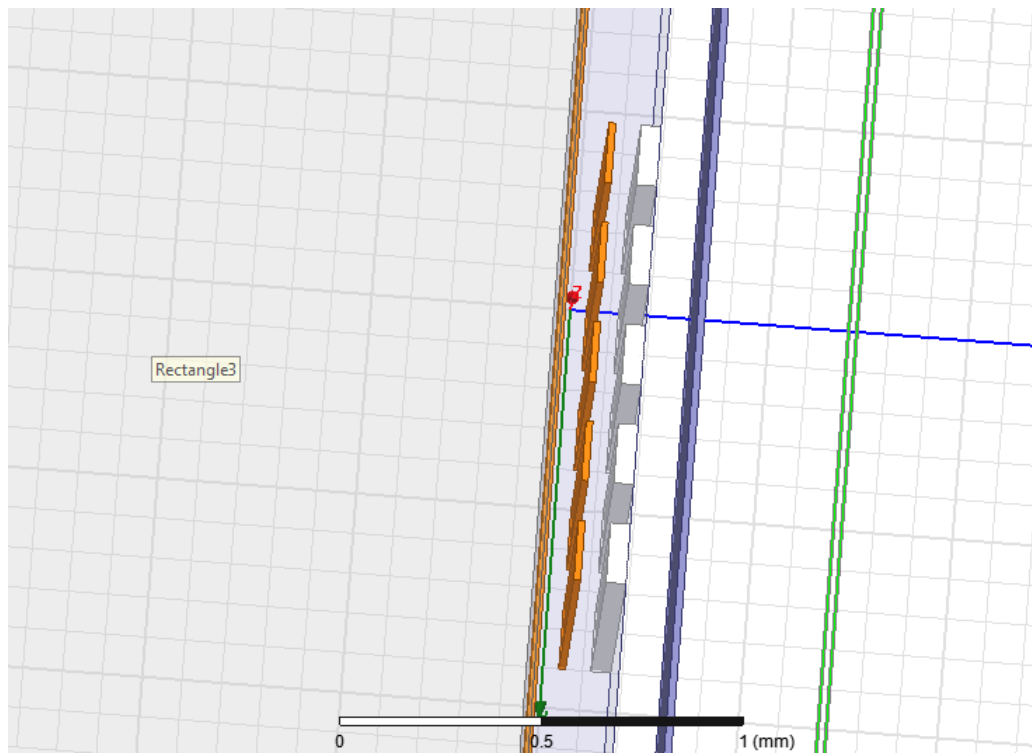
Drift: 4.5mm μήκος, 0.018mm πάχος, 1.15mm ύψος

Απόσταση μεταξύ resistive και drift: 0.128mm

Απόσταση μεταξύ strips κάθετων και παράλληλων με resistive: 0.064mm

Απόσταση μεταξύ resistive και strips: 0.064mm

Κύκλωμα 3D σχεδιασμού στο Simplorer με τα πρώτα strips να είναι παράλληλα με τα resistive strips(10X10 mm)



Πίνακας ο οποίος πάρθηκε από το Maxwell για τις τιμές των πυκνωτών που θα χρησιμοποιηθούν στο Simplorer για την δημιουργία του αναλογικού κυκλώματος με τον ανιχνευτή.

Solutions: 5strips 5 resistive linePlate - Maxwell3DDesign1

Simulation: Setup1 LastAdaptive

Design Variation: [OK]

Profile | Convergence | Force | Torque | Matrix | Mesh Statistics

Parameter: Matrix1 Type: Capacitance Export Solution...

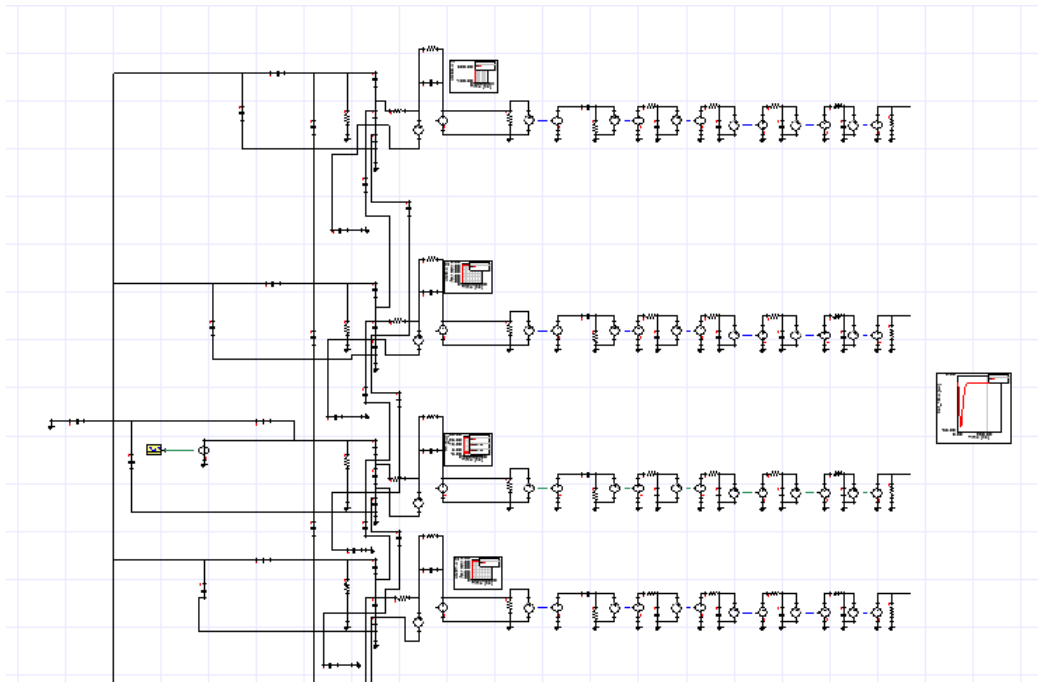
Pass: 10 Capacitance Units: pF Export Circuit...

	drift	ground	resistive1	resistive2	resistive3	resistive4	resistive5	stripx1	stripx2	stripx3	stripx4	stripx5	stripz1	stripz2	stripz3	stripz4
drift	2.9894	-0.88932	-0.23278	-0.1674	-0.16693	-0.16724	-0.2338	-0.23494	-0.13108	-0.12283	-0.13085	-0.23605	-0.099796	-0.027082	-0.022587	-0.027533
ground	-0.88932	1.625	-0.015508	-0.0014722	-0.0011269	-0.0014072	-0.015436	-0.11109	-0.063231	-0.05955	-0.063222	-0.11236	-0.074314	-0.047396	-0.046677	-0.048484
resistive1	-0.23278	-0.015508	1.575	-0.19424	-0.00010446	-4.325E-005	-0.00015457	-0.0062586	-0.0035648	-0.003733	-0.0040453	-0.0059053	-1.0256	-0.077359	-0.0030394	-0.0014981
resistive2	-0.1674	-0.0014722	-0.19424	1.6233	-0.19279	-8.5135E-005	-4.1771E-005	-0.00085793	-0.00037011	-0.00045752	-0.00047496	-0.00048728	-0.072413	-0.9156	-0.075696	-0.00056913
resistive3	-0.16693	-0.0011269	-0.00010446	-0.19279	1.6237	-0.19282	-0.00012862	-0.00074595	-0.0002561	-0.00023028	-0.0007369	-0.0011009	-0.00074255	-0.072254	-0.91935	-0.073724
resistive4	-0.16724	-0.0014072	-4.325E-005	-8.5135E-005	-0.19282	1.6238	-0.19573	-0.00088539	-0.00025073	-0.00028963	-0.001033	-0.0013394	-0.0003382	-0.00067655	-0.072388	-0.91898
resistive5	-0.2338	-0.015436	-0.00015457	-4.1771E-005	-0.00012862	-0.19573	1.5816	-0.0054377	-0.0033625	-0.0035637	-0.0040912	-0.0067344	-0.0011	-0.0014203	-0.0029575	-0.077656
stripx1	-0.23494	-0.11109	-0.0062586	-0.00085793	-0.00074595	-0.00088539	-0.0054377	1.2068	-0.54002	-0.054009	-0.019497	-0.013337	-0.045354	-0.04248	-0.04535	-0.043167
stripx2	-0.13108	-0.063231	-0.0035648	-0.00037011	-0.0002561	-0.00025073	-0.0033625	-0.54002	1.4585	-0.49589	-0.046223	-0.019333	-0.031006	-0.030316	-0.027259	-0.032837
stripx3	-0.12283	-0.05955	-0.003733	-0.00045752	-0.00023028	-0.00028963	-0.0035637	-0.054009	-0.49589	1.46	-0.52164	-0.048857	-0.031272	-0.027793	-0.029327	-0.028316
stripx4	-0.13085	-0.063222	-0.0040453	-0.00047496	-0.0007369	-0.001033	-0.0040912	-0.019497	-0.046223	-0.52164	1.5722	-0.62971	-0.033027	-0.029772	-0.028042	-0.027688
stripx5	-0.23605	-0.11236	-0.0059053	-0.00048728	-0.0011009	-0.0013394	-0.0067344	-0.013337	-0.019333	-0.048857	-0.62971	1.314	-0.048692	-0.058141	-0.046908	-0.041209
stripz1	-0.099796	-0.074314	-1.0256	-0.072413	-0.00074255	-0.0003382	-0.0011	-0.045354	-0.031006	-0.031272	-0.033027	-0.048692	1.7755	-0.26492	-0.027517	-0.011312
stripz2	-0.027082	-0.047396	-0.077359	-0.9156	-0.072254	-0.00067655	-0.0014203	-0.04248	-0.030316	-0.027793	-0.029772	-0.058141	-0.26492	1.9739	-0.35484	-0.013053
stripz3	-0.022587	-0.046677	-0.0030394	-0.075696	-0.91935	-0.072388	-0.0029575	-0.04535	-0.027259	-0.029327	-0.028042	-0.048692	-0.027517	-0.35484	2.0881	-0.35811
stripz4	-0.027533	-0.048484	-0.0014981	-0.00056913	-0.073724	-0.91898	-0.077656	-0.043167	-0.032837	-0.028316	-0.027688	-0.041209	-0.011312	-0.013053	-0.35811	2.0009
stripz5	-0.099215	-0.074428	-0.0011172	-0.00032755	-0.00063177	-0.070311	-1.03	-0.043365	-0.033499	-0.032197	-0.032171	-0.043886	-0.0081347	-0.010848	-0.028097	-0.29673

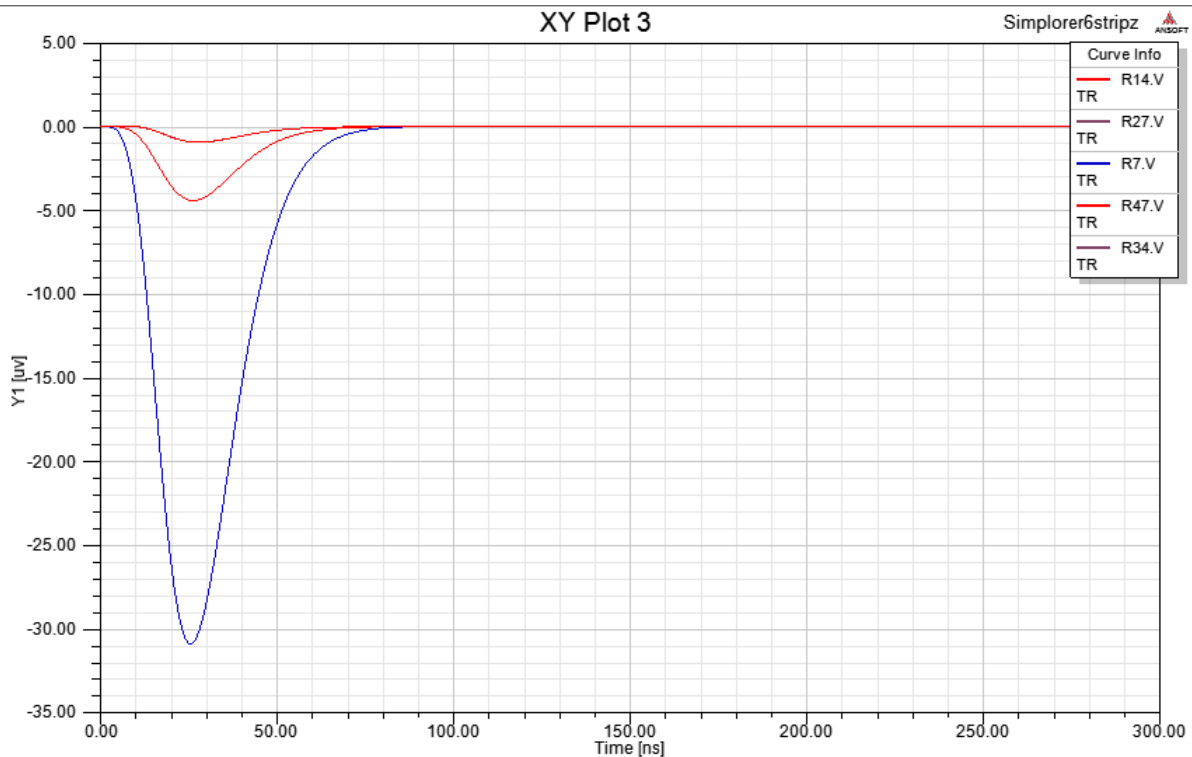
Close

EN 12:48 PM 8/10/2012

Παράλληλα πρώτα strips με resistive και σήμα από τα strips που είναι παράλληλα με τα resistive (Sx). Το κύκλωμα που σχεδιάστηκε στο simplorer από τα αποτελέσματα του maxwell φαίνεται κάτω:

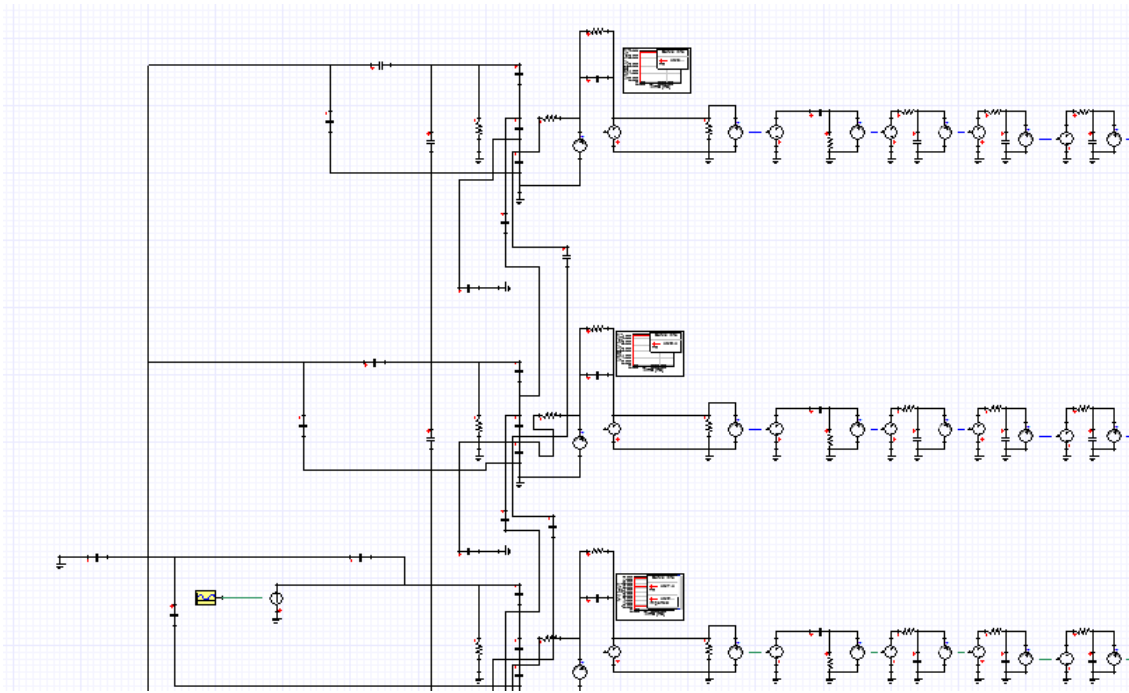


Crosstalk, στα strips που είναι στο ποίο κάτω σημείο του ανιχνευτή.

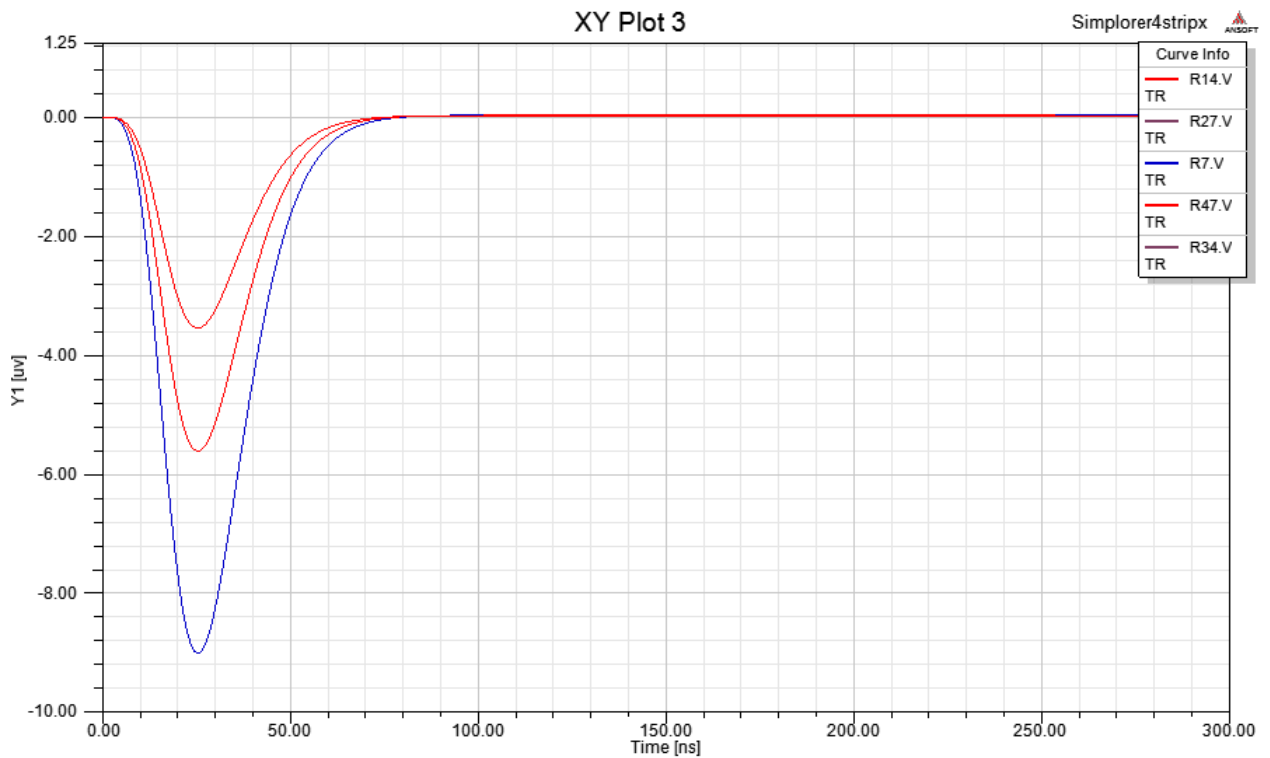


Παραπάνω φαίνεται πολύ μικρό φαινόμενο crosstalk αλλά πάρακατω αν πάρω το σήμα από τα ποίο κάτω strips που είναι κάθετα με τα resistive το φαινόμενο είναι έντονο.

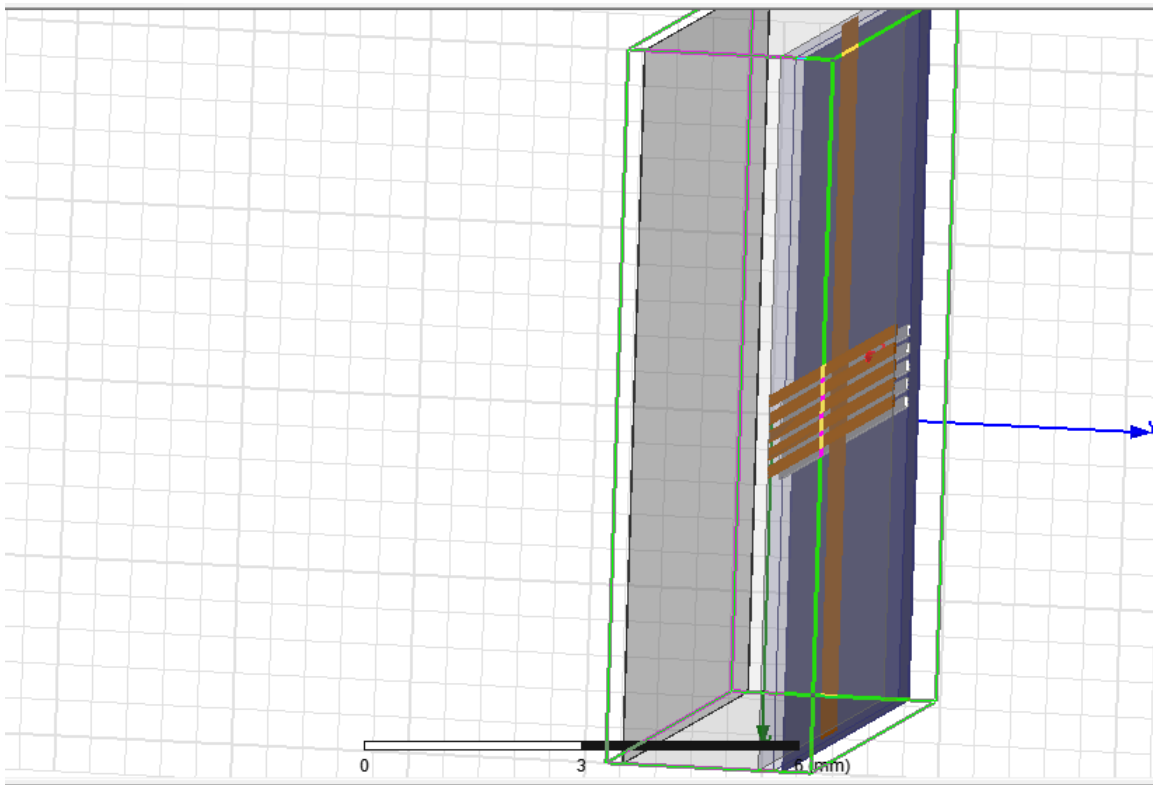
Παράλληλα strips με resistive και σήμα από τα strips που είναι κάθετα (τα πρώτα strips) με τα resistive (Sz). Το κύκλωμα που σχεδιάστηκε στο simplorer από τα αποτελέσματα του maxwell φαίνεται κάτω:



Crosstalk φαινόμενο για την παραπάνω διάταξη, φαίνεται πιο κάτω:



Κύκλωμα 3D σχεδιασμού στο Simplorer με τα πρώτα strips να είναι κάθετα με τα resistive strips



Πίνακας πυκνωτών από Maxwell

Solutions: 5strips 5 resistive linePlate - Maxwell3DDesign2

Simulation: Setup1 | LastAdaptive

Design Variation: []

Profile | Convergence | Force | Torque | Matrix | Mesh Statistics

Parameter: Matrix1 | Type: Capacitance | Export Solution...

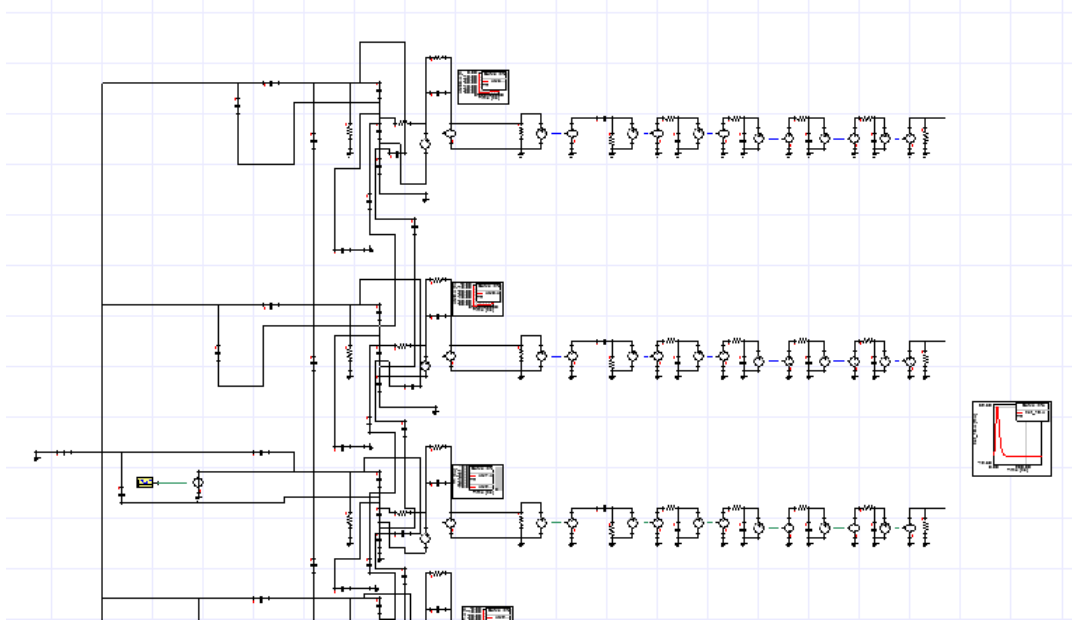
Pass: 10 | Capacitance Units: pF | Export Circuit...

	drift	ground	resistive1	resistive2	resistive3	resistive4	resistive5	stripx1	stripx2	stripx3	stripx4	stripx5	stripz1	stripz2	stripz3	stripz4	stripz5
drift	3.0831	-0.88618	-0.24438	-0.16872	-0.16864	-0.16872	-0.2438	-0.24349	-0.14615	-0.13851	-0.14608	-0.24375	-0.10833	-0.024431	-0.019422	-0.024875	-0.10763
ground	-0.88618	1.6251	-0.016101	-0.00047313	-0.00035158	-0.00055711	-0.016341	-0.084613	-0.050548	-0.047651	-0.050519	-0.084659	-0.10258	-0.061618	-0.059334	-0.061568	-0.10204
resistive1	-0.24438	-0.016101	1.1701	-0.26246	-0.00075169	-1.1774E-005	-9.957E-005	-0.03395	-0.030096	-0.029348	-0.030877	-0.037335	-0.41056	-0.068662	-0.0030678	-0.0013218	-0.0010294
resistive2	-0.16872	-0.00047313	-0.26246	1.292	-0.27564	-0.0001837	1.6462E-005	-0.030383	-0.026622	-0.026506	-0.025446	-0.036137	-0.061833	-0.31401	-0.063043	-0.00046501	-7.1421E-005
resistive3	-0.16864	-0.00035158	-0.00075169	-0.27564	1.2974	-0.26608	-0.00066288	-0.032227	-0.026982	-0.0254	-0.024831	-0.035746	0.00054871	-0.067581	-0.30844	-0.063385	-0.0012565
resistive4	-0.16872	-0.00055711	-1.1774E-005	-0.0001837	-0.26608	1.2829	-0.26691	-0.028126	-0.026961	-0.026429	-0.024701	-0.032921	-0.0018336	0.0024503	-0.0661	-0.3126	-0.063161
resistive5	-0.2438	-0.016341	-9.957E-005	1.6462E-005	-0.00066288	-0.26691	1.1661	-0.033017	-0.029824	-0.029794	-0.029098	-0.034656	-0.0029434	0.0019959	-0.0037225	-0.071671	-0.40557
stripx1	-0.24349	-0.084613	-0.03395	-0.030383	-0.032227	-0.028126	-0.033017	1.1479	-0.41822	-0.034964	-0.013698	-0.0097641	-0.043869	-0.032965	-0.032904	-0.034801	-0.040904
stripx2	-0.14615	-0.050548	-0.030096	-0.026622	-0.026982	-0.026961	-0.029824	-0.41822	1.3421	-0.3795	-0.029456	-0.013384	-0.036875	-0.030207	-0.029585	-0.028065	-0.039657
stripx3	-0.13851	-0.047651	-0.029348	-0.026506	-0.0254	-0.026429	-0.029794	-0.034964	-0.3795	1.3322	-0.39152	-0.036866	-0.036704	-0.029369	-0.025923	-0.032369	-0.041358
stripx4	-0.14608	-0.050519	-0.030877	-0.025446	-0.024831	-0.024701	-0.029098	-0.013698	-0.029456	-0.39152	1.3756	-0.44932	-0.038235	-0.02933	-0.026774	-0.028024	-0.037678
stripx5	-0.24375	-0.084659	-0.037335	-0.036137	-0.035746	-0.032921	-0.034656	-0.0097641	-0.013384	-0.036866	-0.44932	1.2288	-0.039153	-0.04849	-0.049106	-0.034112	-0.043429
stripz1	-0.10833	-0.10258	-0.41056	-0.061833	0.00054871	-0.0018336	-0.0029434	-0.043869	-0.036875	-0.036704	-0.038235	-0.039153	1.9728	-1.1472	0.1019	-0.021186	-0.023967
stripz2	-0.024431	-0.061618	-0.068662	-0.31401	-0.067581	0.0024503	0.0019959	-0.032965	-0.030207	-0.029369	-0.02933	-0.04849	-1.1472	3.073	-1.2442	0.0092125	0.011325
stripz3	-0.019422	-0.059334	-0.0030678	-0.063043	-0.00046501	-0.30844	-0.0661	-0.0037225	-0.032904	-0.029585	-0.025923	-0.026774	-0.049106	0.1019	-1.2442	2.7721	-0.9162
stripz4	-0.024875	-0.061568	-0.0013218	-0.00046501	-0.063385	-0.3126	-0.071671	-0.034801	-0.028065	-0.032369	-0.028024	-0.034112	-0.021186	0.0092125	-0.9162	2.2208	-0.5994
stripz5	-0.10763	-0.10204	-0.0010294	-7.1421E-005	-0.0012565	-0.063161	-0.40557	-0.040904	-0.039657	-0.041358	-0.037678	-0.043429	-0.023967	0.011325	-0.026232	-0.5994	1.5221

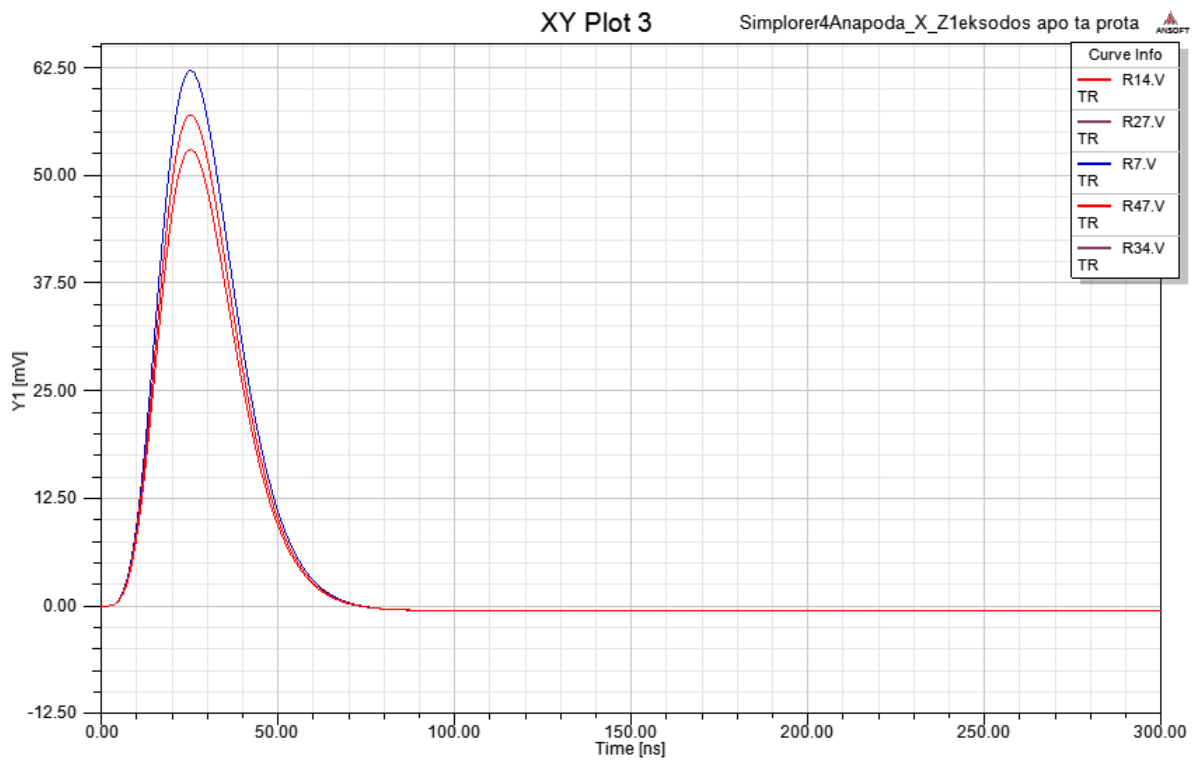
Close

EN 12:19 PM 8/14/2012

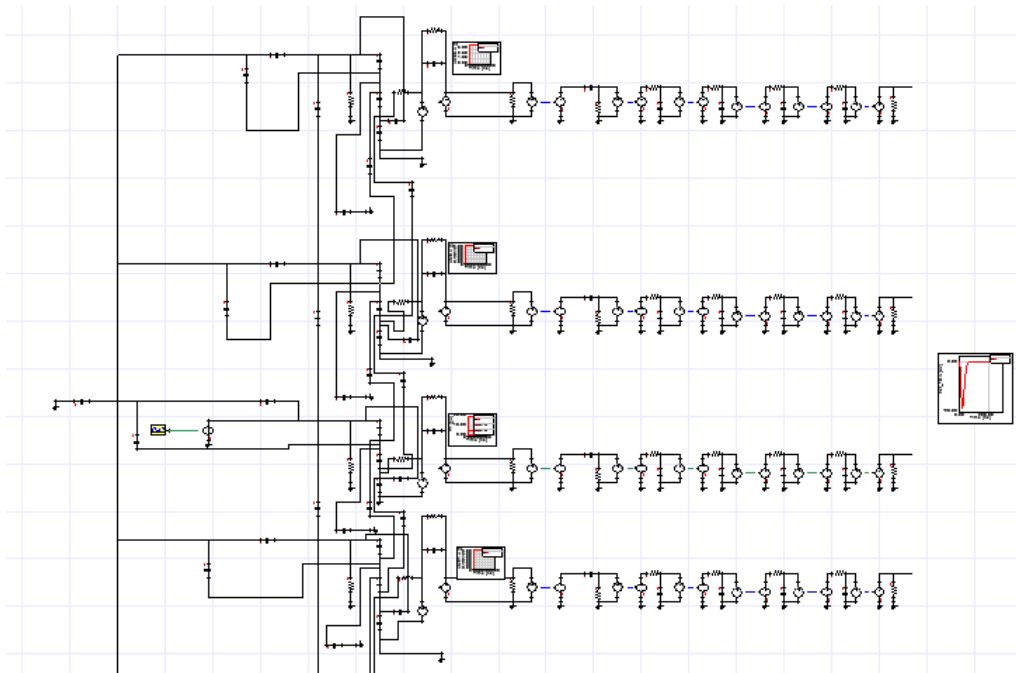
Κάθετα strips με resistive και σήμα από τα strips που είναι κάθετα με τα resistive (Sx) (πρώτα strips).



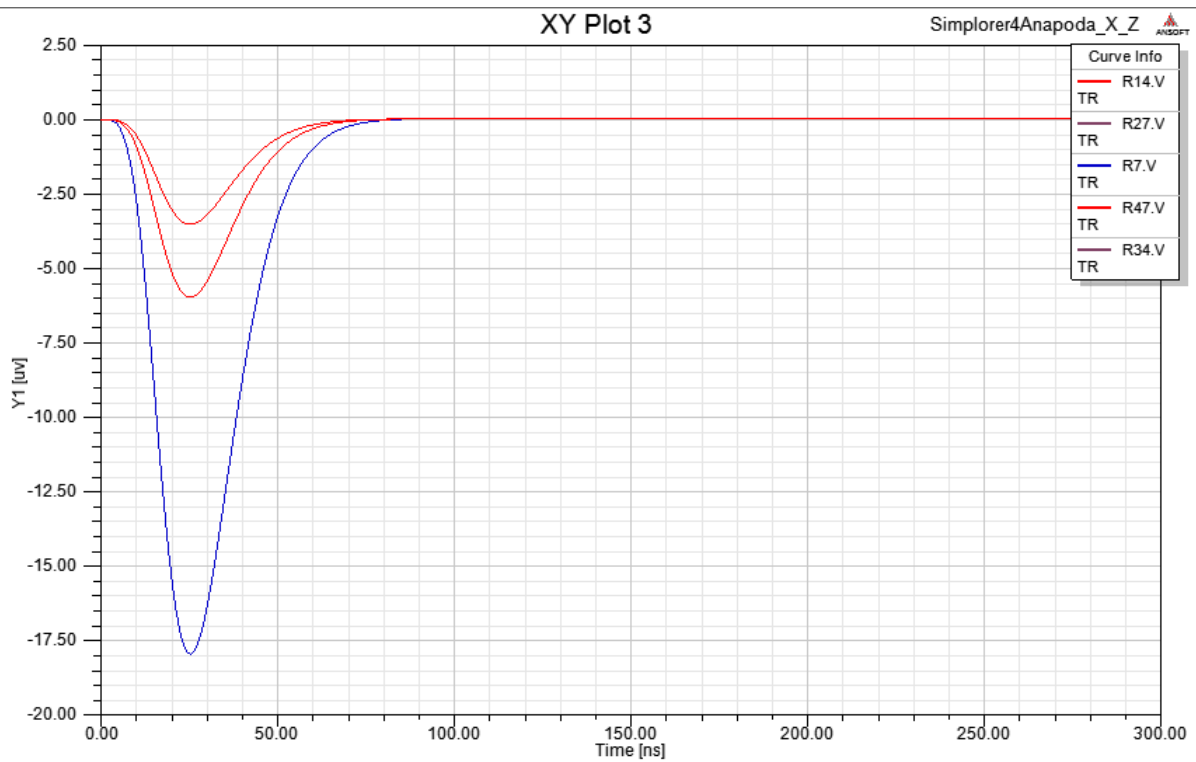
Έξοδος από τα πρώτα Strips



Κάθετα strips με resistive και σήμα από τα strips που είναι παράλληλα με τα resistive (Sz)



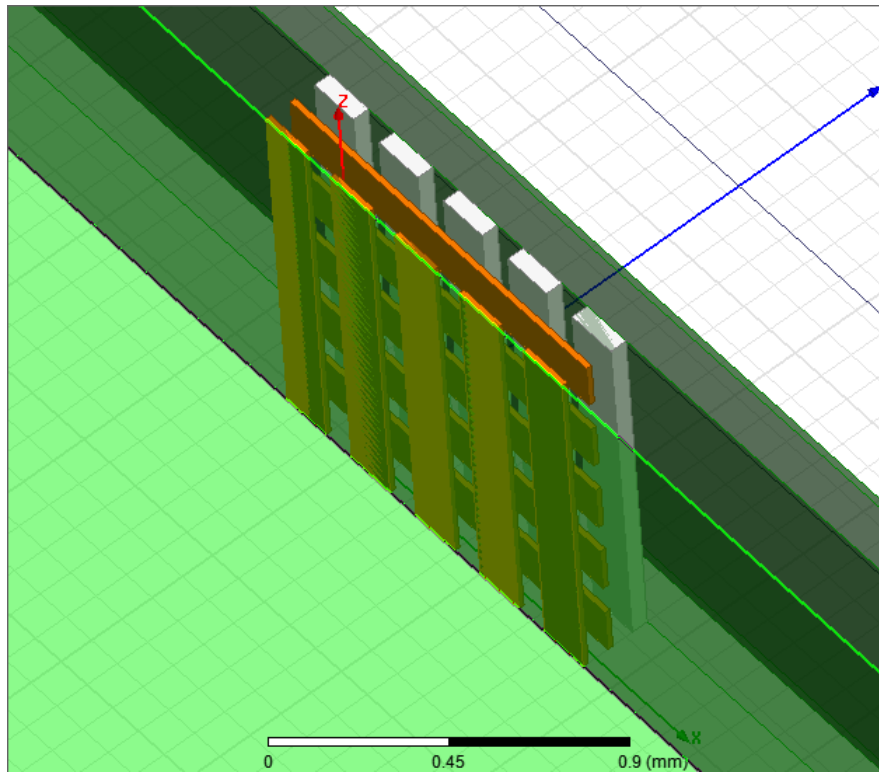
Έξοδος από τα τελευταία Strips



Όπως φαίνεται από την παραπάνω γραφική παράσταση της εξόδου από τα τελευταία strips αυτής της διάταξης παρουσιάζεται ποιο εξασθενημένο το φαινόμενο crosstalk από ότι στην προηγούμενη διάταξη.

Μελέτη έγινε και με ποιά μικρής διάστασης πυκνωτή ανάλογο με της πραγματικές διαστάσεις του ανιχνευτή Micromegas

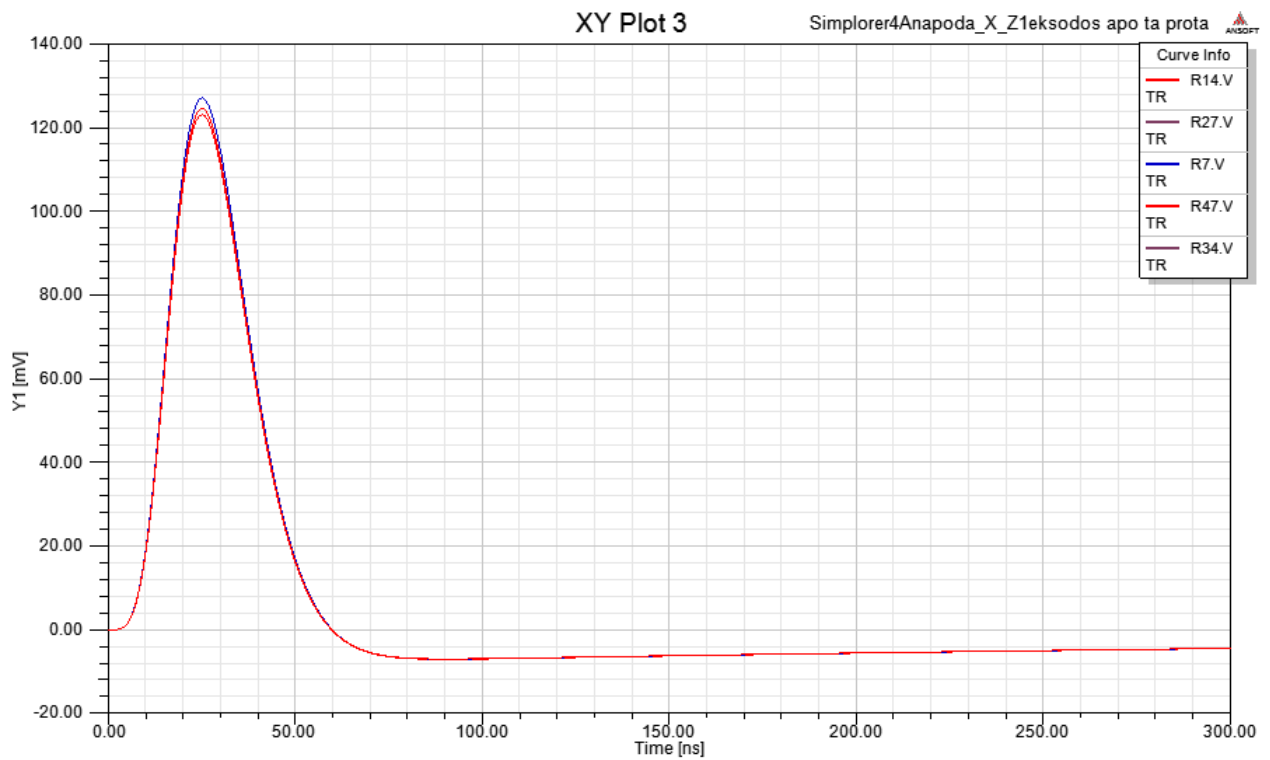
Mikos Strips 1.15mm Διάταξη



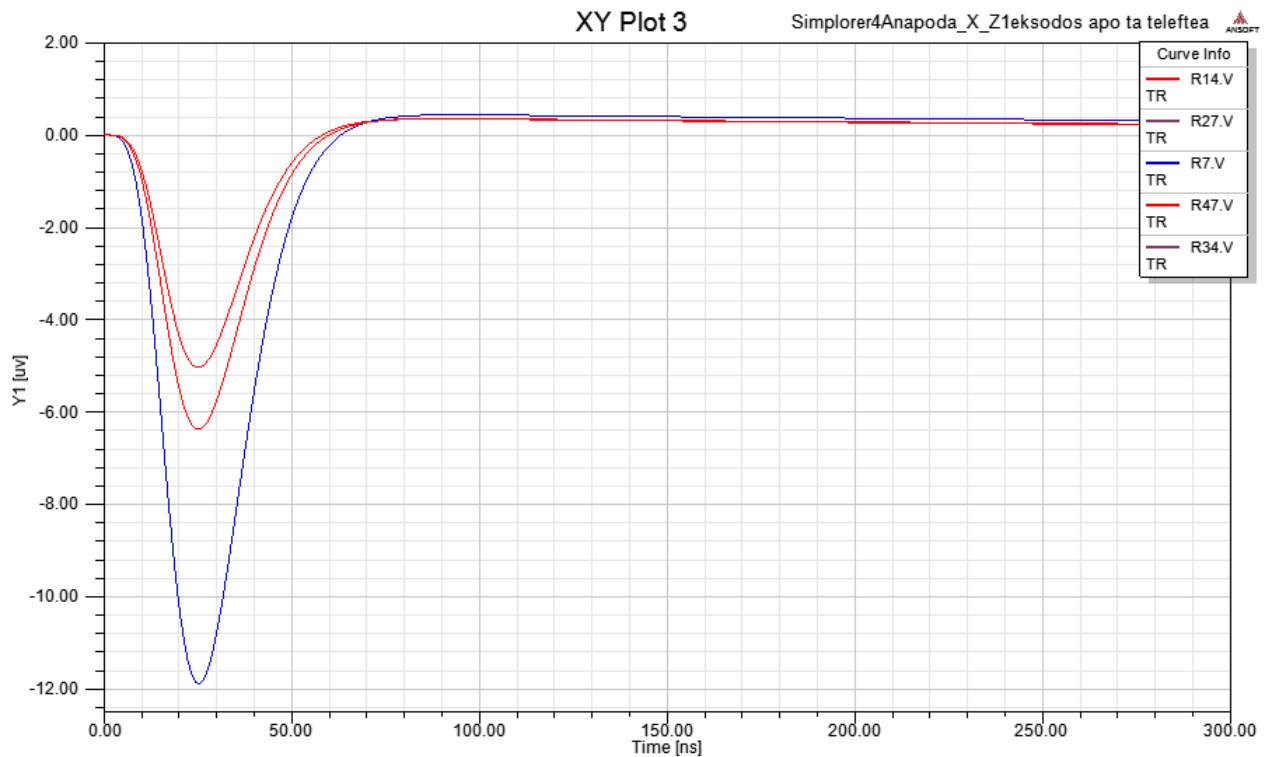
Αποτέλεσμα πυκνωτών από την ανάλυση στο Maxwell

	drift	stripx1	stripx2	stripx3	stripx4	stripx5	stripz1	stripz3	stripz4	stripz2	stripz5	ground	resistive1	resistive2	resistive3
drift	0.19477	-0.0020766	-0.0025042	-0.0024611	-0.0024752	-0.0020612	-0.01219	-0.0024652	-0.00313	-0.0031583	-0.012123	-0.039321	-0.026898	-0.019073	-0.019085
stripx1	-0.0020766	0.2235	-0.012243	-5.9445E-005	-2.167E-005	-1.1826E-005	-0.020519	-0.021569	-0.021377	-0.021808	-0.020193	-0.0006901	-0.020388	-0.020887	-0.020887
stripx2	-0.0025042	-0.012243	0.27415	-0.011891	-5.708E-005	-2.111E-005	-0.024241	-0.025624	-0.025801	-0.025651	-0.023714	-0.00082324	-0.023314	-0.025005	-0.02501
stripx3	-0.0024611	-5.9445E-005	-0.011891	0.27428	-0.011783	-5.9559E-005	-0.023967	-0.025792	-0.025858	-0.025699	-0.023762	-0.0008186	-0.023314	-0.025276	-0.025291
stripx4	-0.0024752	-2.167E-005	-5.708E-005	-0.011783	0.27209	-0.011551	-0.023696	-0.025641	-0.025648	-0.025567	-0.023589	-0.00082907	-0.02322	-0.025068	-0.025017
stripx5	-0.0020612	-1.1826E-005	-2.111E-005	-5.9559E-005	-0.011551	0.22063	-0.020116	-0.021439	-0.021209	-0.021544	-0.020191	-0.00067623	-0.019565	-0.020922	-0.020808
stripz1	-0.01219	-0.020519	-0.024241	-0.023967	-0.023696	-0.020116	0.19213	-0.0044702	-0.0018548	-0.037175	-0.0012574	-0.011371	-0.010719	-5.0781E-006	-2.0247E-006
stripz3	-0.0024652	-0.021569	-0.025624	-0.025792	-0.025641	-0.021439	-0.0044702	0.2214	-0.038555	-0.039968	-0.0044985	-0.0067981	-0.00024081	-0.0030187	-0.0005421
stripz4	-0.00313	-0.021377	-0.025801	-0.025858	-0.025648	-0.021209	-0.0018548	-0.038555	0.21585	-0.0037023	-0.036871	-0.0070935	-0.00012542	-0.00050387	-0.0030284
stripz2	-0.0031583	-0.021808	-0.025651	-0.025699	-0.025567	-0.021544	-0.037175	-0.039968	-0.0037023	0.21789	-0.0018842	-0.0071169	-0.001052	-0.0005433	-5.7002E-006
stripz5	-0.012123	-0.020193	-0.023714	-0.023762	-0.023589	-0.020191	-0.0012574	-0.0044985	-0.036871	-0.0018842	0.19085	-0.011307	-9.7234E-005	-5.5336E-006	-0.00053115
ground	-0.039321	-0.0006901	-0.00082324	-0.0008186	-0.00082907	-0.00067623	-0.011371	-0.0067981	-0.0070935	-0.0071169	-0.011307	0.090069	-0.0016082	-5.9469E-006	-8.45E-006
resistive1	-0.026898	-0.020388	-0.023314	-0.023314	-0.02322	-0.019565	-0.010719	-0.00024081	-0.00012542	-0.001052	-9.7234E-005	-0.0016082	0.1721	-1.0167E-005	-8.9929E-008
resistive2	-0.019073	-0.020887	-0.025005	-0.025276	-0.025068	-0.020922	-5.0781E-006	-0.0030187	-0.00050387	-0.0005433	-5.5336E-006	-5.9469E-006	-1.0167E-005	0.18365	-0.021688
resistive3	-0.019085	-0.020887	-0.02501	-0.025291	-0.025017	-0.020808	-2.0247E-006	-0.0005421	-0.0030284	-5.7002E-006	-0.00053115	-8.45E-006	-8.9929E-008	-0.021688	0.18345
resistive4	-0.019074	-0.021172	-0.025136	-0.025126	-0.024952	-0.021015	-0.00044299	-0.00052968	-5.0644E-006	-0.002889	-1.7862E-006	-7.0667E-006	-0.021537	-0.021629	-2.446E-006
resistive5	-0.026676	-0.019597	-0.023119	-0.023123	-0.022979	-0.01944	-9.818E-005	-0.00024479	-0.0010829	-0.00012784	-0.01082	-0.0015947	-8.0777E-006	-5.812E-006	-0.021544

Έξοδος από τα πρώτα Strips

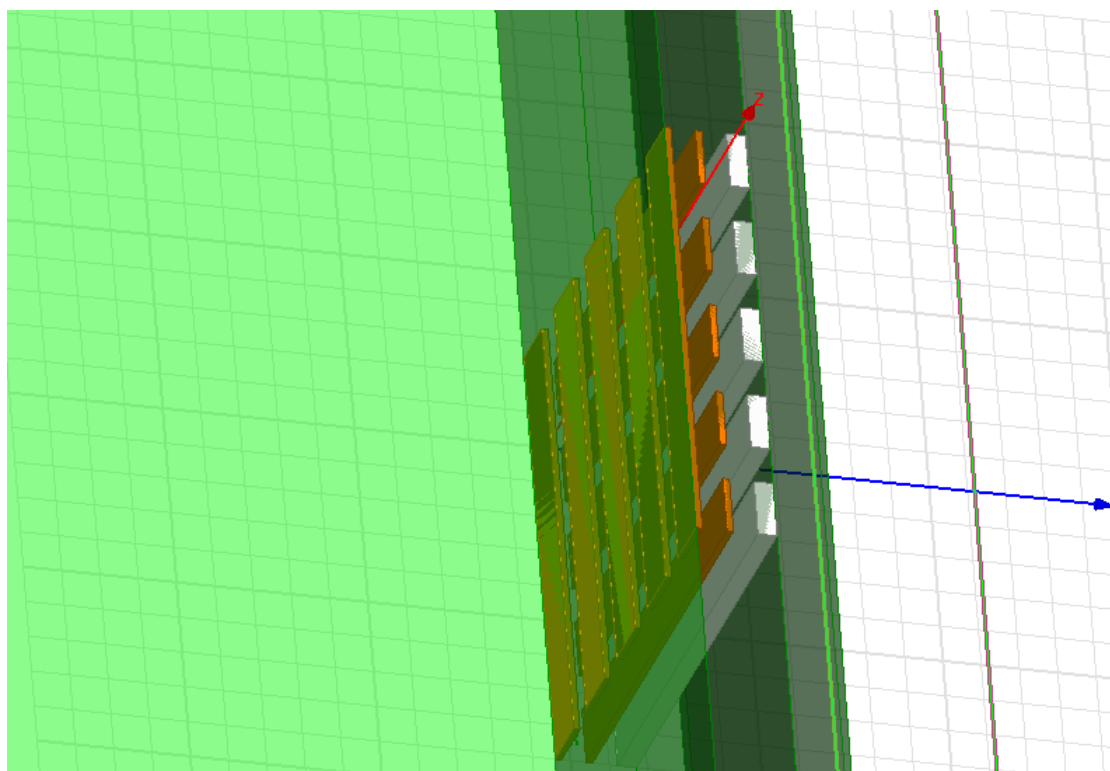


Έξοδος από τα τελευταία Strips



Όπως φαίνεται από την παραπάνω ανάλυση δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά από την διάταξη με τα μεγαλύτερα Strips

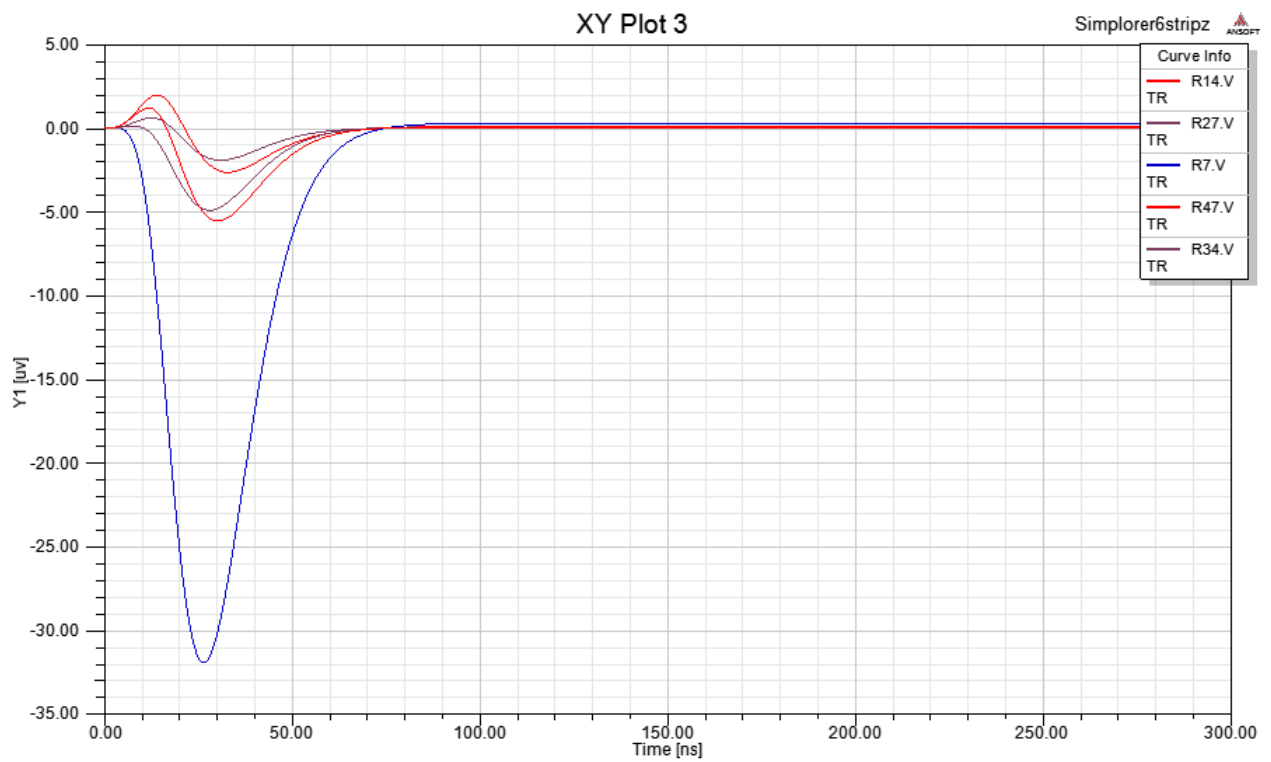
Αντίστροφη διάταξη των Strips



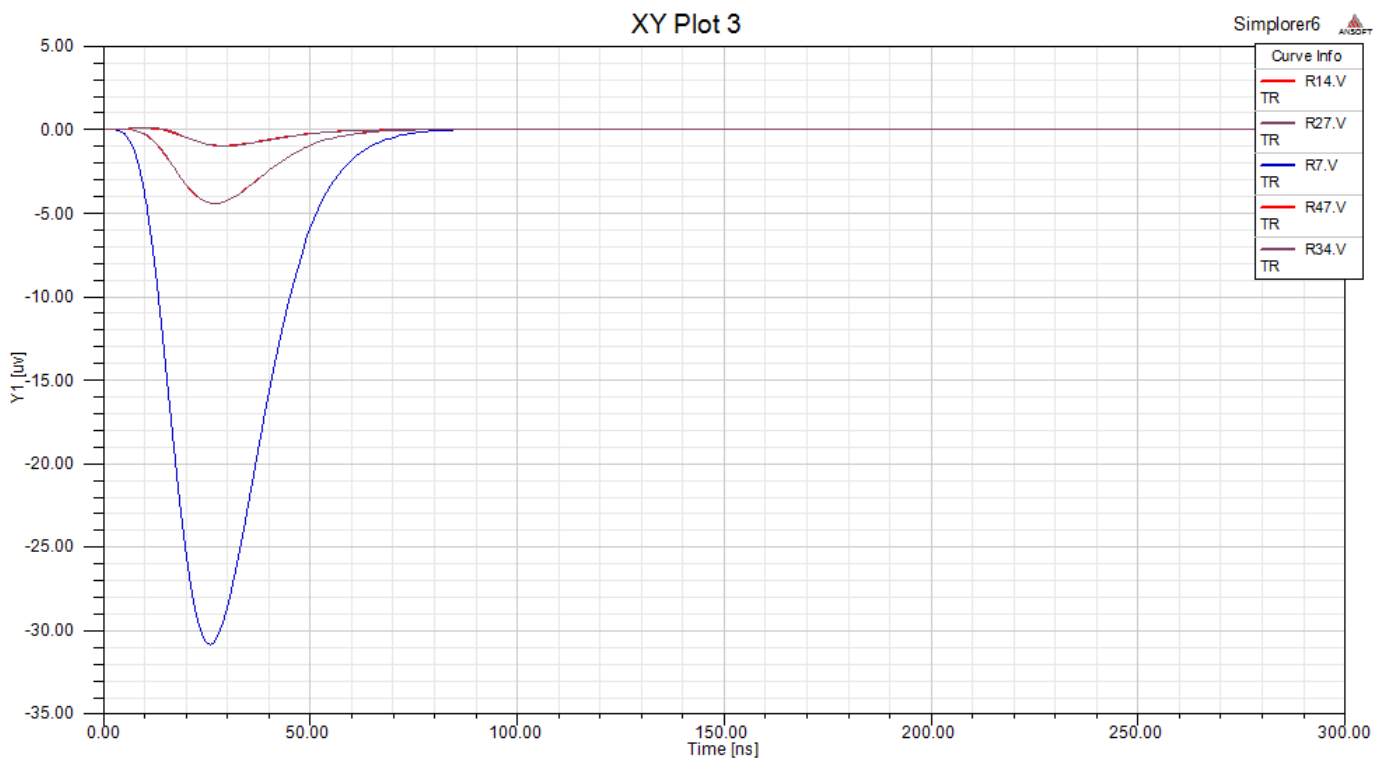
Αποτέλεσμα πυκνωτών από την ανάλυση στο Maxwell

	drift	stripx1	stripx2	stripx3	stripx4	stripx5	stripz1	stripz3	stripz4	stripz2	stripz5	ground	re
drift	0.19469	-0.0057245	-0.0067707	-0.0067896	-0.0067605	-0.0055683	-0.0059936	-0.00043776	-0.00044793	-0.00047681	-0.0059363	-0.039404	-0.026518
stripx1	-0.0057245	0.17744	-0.046638	-0.0046058	-0.0020672	-0.0012022	-0.020352	-0.020723	-0.020986	-0.020811	-0.020788	-0.0076361	-0.019109
stripx2	-0.0067707	-0.046638	0.24079	-0.038702	-0.0046956	-0.0021179	-0.024306	-0.026012	-0.025522	-0.02557	-0.024372	-0.0092043	-0.019153
stripx3	-0.0067896	-0.0046058	-0.038702	0.23562	-0.038951	-0.004625	-0.024681	-0.025515	-0.025411	-0.025455	-0.024677	-0.0092108	-0.019118
stripx4	-0.0067605	-0.0020672	-0.0046956	-0.038951	0.2354	-0.041587	-0.024787	-0.025319	-0.025272	-0.025223	-0.02453	-0.0091742	-0.0078423
stripx5	-0.0055683	-0.0012022	-0.0021179	-0.004625	-0.041587	0.17161	-0.020193	-0.020915	-0.020919	-0.020975	-0.020189	-0.0075303	-0.0078495
stripz1	-0.0059936	-0.020352	-0.024306	-0.024681	-0.024787	-0.020193	0.25007	-1.1827E-005	-4.8578E-006	-0.011658	-2.063E-005	-0.0021494	-0.0078495
stripz3	-0.00043776	-0.020723	-0.026012	-0.025515	-0.025319	-0.020915	-1.1827E-005	0.25936	-0.012103	-0.011696	-2.0439E-005	-0.00012382	-0.0078495
stripz4	-0.00044793	-0.020986	-0.025522	-0.025411	-0.025272	-0.020919	-4.8578E-006	-0.012103	0.2599	-5.2045E-006	-0.012088	-0.00016792	-0.0078495
stripz2	-0.00047681	-0.020811	-0.02557	-0.025455	-0.025223	-0.020975	-0.011658	-0.011696	-5.2045E-006	0.25915	-4.882E-006	-0.00017038	-0.0078495
stripz5	-0.0059363	-0.020788	-0.024372	-0.024677	-0.02453	-0.020189	-2.063E-005	-2.0439E-005	-0.012088	-4.882E-006	0.25076	-0.002108	-0.0078495
ground	-0.039404	-0.0076361	-0.0092043	-0.0092108	-0.0091742	-0.0075303	-0.0021494	-0.00012382	-0.00016792	-0.00017038	-0.002108	0.090002	-0.0078495
resistive1	-0.026518	-0.0016851	-0.0020611	-0.0020443	-0.0019839	-0.0016918	-0.10875	-6.2796E-006	-2.8073E-006	-0.0072112	-1.2633E-005	-0.0015664	-0.0078495
resistive2	-0.019109	-0.00078423	-0.00087875	-0.0010014	-0.001057	-0.0008021	-1.7474E-006	-0.10238	-0.0070549	-0.0070816	-4.1569E-006	-5.2771E-006	-0.0078495
resistive3	-0.019153	-0.00084617	-0.00095452	-0.00093555	-0.00098428	-0.00080017	-2.2457E-007	-0.0070758	-0.10286	-2.6511E-006	-0.0069402	-8.1788E-006	-0.0078495
resistive4	-0.019118	-0.00078495	-0.00096468	-0.00099887	-0.00098423	-0.00079781	-0.0071554	-0.0070144	-2.2926E-006	-0.10281	-2.1034E-007	-7.5943E-006	-0.0078495
resistive5	-0.026486	-0.0018043	-0.0020211	-0.0020158	-0.0020258	-0.0016933	-1.2615E-005	-8.392E-006	-0.0070595	-2.8366E-006	-0.10907	-0.0015347	-0.0078495

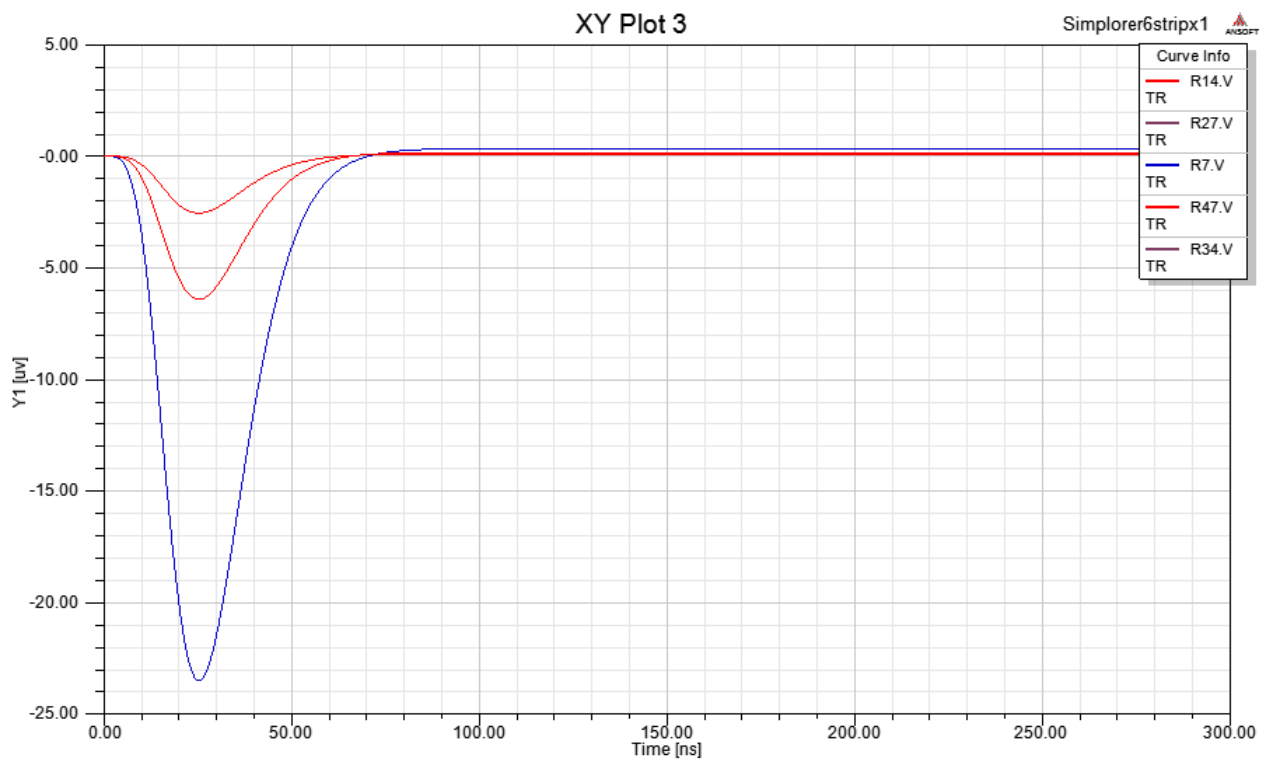
Έξοδος από τα πρώτα Strips



Έξοδος από τα πρώτα Strips αλλά με σχεδιασμό με 20 Strips, όπου εξαφανίζεται το φαινόμενο της ταλάντωσης που φαίνεται



Έξοδος από τα τελευταία Strips



Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα

1. Στην διάταξη όπου εμφανίζονται τα πρώτα strips που είναι κάθετα με τα resistive strips η έξοδος που πέρνουμε από τα πρώτα strips είναι πολύ θορυβώδης και έχουμε έντονο φαινόμενο crosstalk. Επίσης αυτά τα strips είναι κάθετα με τα resistive και πέρνουν έντονο σήμα από το drift.

2. Στην πρώτη διάταξη δεν παρατηρείται το ποιό πάνω φαινόμενο στην πρώτη έξοδο όπου είναι παράλληλα τα strips με τα resistive. Ενώ τα δεύτερα strips που είναι κάθετα δεν πέρνουν το ίδιο σήμα όπως στην δεύτερη διάταξη.

3. Στην δεύτερη διάταξη η έξοδος όπως είδαμε από τα τελευταία strips παρατηρείται μειωμένο το φαινόμενο crosstalk άρα μπορούμε να πούμε ότι το σήμα είναι ποιό καθαρό σε αυτήν την διάταξη.

4. Περισσότερη ανάλυση χρειάζεται με περισσότερα strips με ανάλογες διατάξεις.

Βιβλιογραφία

1. Theo Alexopoulos NTU Athens On behalf of the Muon ATLAS MicroMegs Activity (MAMMA R&D) Progress Report on Micromegas Chambers
2. T. Alexopoulos, J. Burnens, R. deOliveira, G. Glonti, O. Pizzirusso, V. Polychronakos, G. Sekhniadze, G. Tsipolitis, J. Wotschack
A spark-resistant bulk-micromegas chamber for high-rate applications
Nucl. Instrum. Meth. A640 (2011) 110-118
3. Y. Giomataris Development and prospects of the new gaseous detector Micromegas
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment
Volume 419, Issues 2–3, 21 December 1998, Pages 239–250
4. G. Charpak, J. Derre, Y. Giomataris, Ph. Rebourgeard
Micromegas, a multipurpose gaseous detector
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A 478 , 1-2 (2002) 26-36
5. I. Giomataris Micromegas: Results and prospects
6. P. Desauvais, J. Jeanjean, V. Puill
Performance of a new type of Micromegas detector with stainless Steel woven wire mesh and resistive anode readout
Nuclear Science Symposium Conference Record, 2003 IEEE
7. Ansoft Maxwell Manual
8. Ansoft Simplorer Manual
9. Ε. Δρης Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά (Σημειώσεις)