



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

Μετρητικό σύστημα γεννήτριας υψηλών κρουστικών τάσεων

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

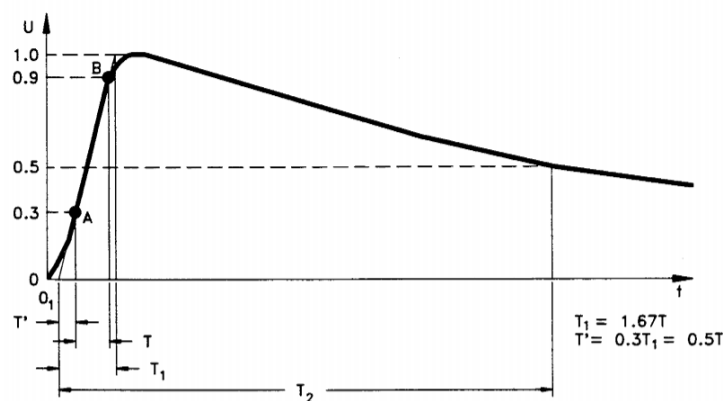
Μετρητικό σύστημα γεννήτριας υψηλών κρουστικών τάσεων

1. Κρουστικές τάσεις

Οι κρουστικές τάσεις χρησιμοποιούνται κατά τη διεξαγωγή τεχνικών δοκιμών υψηλών τάσεων, με στόχο την προσομοίωση των διηλεκτρικών καταπονήσεων που υφίστανται οι εγκατεστημένες στα ηλεκτρικά δίκτυα διατάξεις και στοιχεία, κατά την ανάπτυξη επί των δικτύων εσωτερικών και εξωτερικών υπερτάσεων, καθώς, επίσης, και κατά την έρευνα και μελέτη διάσπασης μονωτικών υλικών [1-6].

Ως κρουστική τάση χαρακτηρίζεται ένας μοναδιαίος και ενιαίος πολικότητας παλμός τάσης. Διακρίνουμε ορθογωνικές, σφηνοειδείς και διπλοεκθετικές κρουστικές τάσεις. Για τη διεξαγωγή δοκιμών χρησιμοποιούνται προτυποποιημένες διπλοεκθετικές κρουστικές τάσεις. Κρουστικές τάσεις με διάρκεια μετώπου της τάξης $1\mu\text{s}$ και ημίσεος εύρους μερικές δεκάδες μs προσομοιώνουν τις υπερτάσεις που δημιουργούνται από κεραυνούς, ενώ σημαντικά μεγαλύτερης διάρκειας κρουστικές τάσεις προσομοιώνουν τις υπερτάσεις που ακολουθούν τους διάφορους χειρισμούς ζεύξης και απόζευξης σε ένα δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνήθως χρησιμοποιούνται μικρής διάρκειας κρουστικές τάσεις, με χρόνο μετώπου T_1 $1,2\mu\text{s}\pm 30\%$ και χρόνου ημίσεος εύρους T_2 $50\mu\text{s}\pm 20\%$, χαρακτηριζόμενες ως κρουστικές τάσεις μορφής $1,2/50\mu\text{s}$. Σε περίπτωση κρουστικών τάσεων μικρής διάρκειας εμφανίζεται επί της κυματομορφής υψίσυχνες ταλαντώσεις, των οποίων το εύρος στην περιοχή του μεγίστου δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 5% της U_K [1, 2, 7].



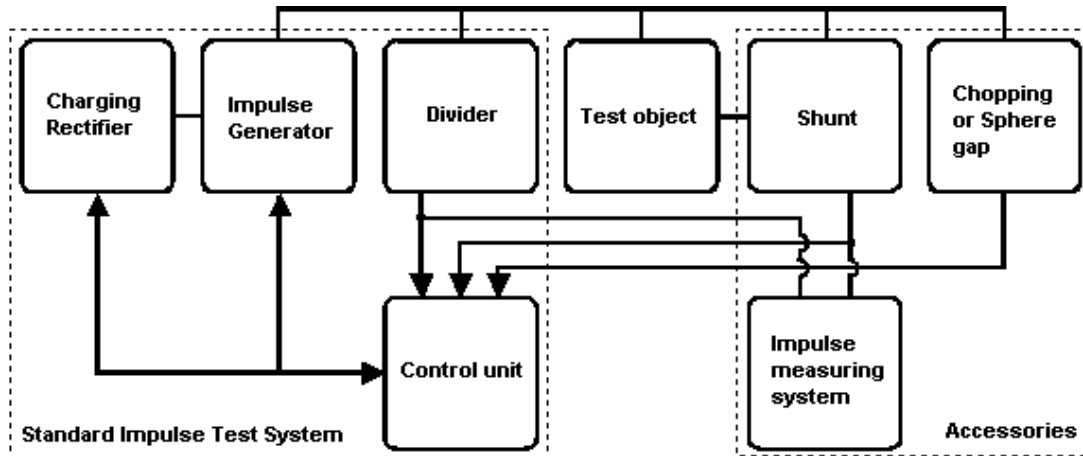
Σχήμα 1: Κρουστική τάση

Για τον ορισμό του χρόνου μετώπου λαμβάνονται υπόψη τα σημεία του μετώπου που βρίσκονται στο 30% και στο 90% του μεγίστου (Σχήμα 1). Η χρονική διαφορά των δύο σημείων πολλαπλασιαζόμενη επί 1,67 δίνει το χρόνο μετώπου. Η ευθεία που συνδέει τα δύο προαναφερθέντα σημεία ορίζει στον άξονα του χρόνου την ονομαστική αρχή του χρόνου. Το σημείο στην ουρά της κρουστικής τάσης που αντιστοιχεί στο 50% του μεγίστου ορίζει, σε συνδυασμό με την ονομαστική αρχή του χρόνου το χρόνο ημίσεος εύρους [1, 7].

2. Γεννήτρια κρουστικών τάσεων Ε.Μ.Π.

Το σύστημα παραγωγής και μέτρησης κρουστικών τάσεων (σχήμα 2) αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία [8, 9]:

- σύστημα χειρισμού και καταγραφής (λογισμικά CRATOS και Win TR-AS, σύστημα μέτρησης DR STRAUSS / TR-AS 100-12)
- σύστημα φόρτισης συνεχούς τάσης (APITZ / $\pm 100\text{kVdc}$)
- πολυβάθμια κρουστική γεννήτρια (9-βάθμια γεννήτρια κρουστικών τάσεων 1.8MV APITZ / Cratos 1800-90)
- καταμεριστή (APITZ / CR 1800kV-470pF)

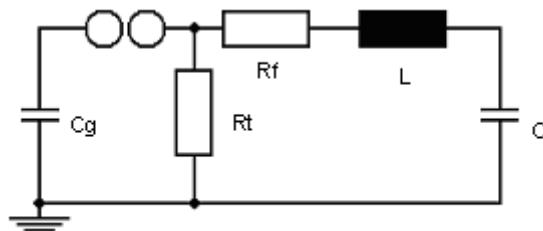


Σχήμα 2: Λογικό διάγραμμα συστήματος παραγωγής και μέτρησης κρουστικών τάσεων

Στο λογικό διάγραμμα του σχήματος 2 παρουσιάζεται η βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος: περισσότεροι του ενός πυκνωτές φορτίζονται σε παράλληλη σύνδεση μέσω ωμικών αντιστάσεων και στη συνέχεια εκφορτίζονται συνδεδεμένοι εν σειρά μέσω των διακένων, δίνοντας συνολική τάση ίση με το άθροισμα των τάσεων των επί μέρους πυκνωτών. Η καταγραφή των κρουστικών τάσεων γίνεται αφού πρώτα υποβιβαστεί η τάση μέσω του χωρητικού καταμεριστή, ώστε να μπορεί να καταγραφεί από το μετρητικό σύστημα.

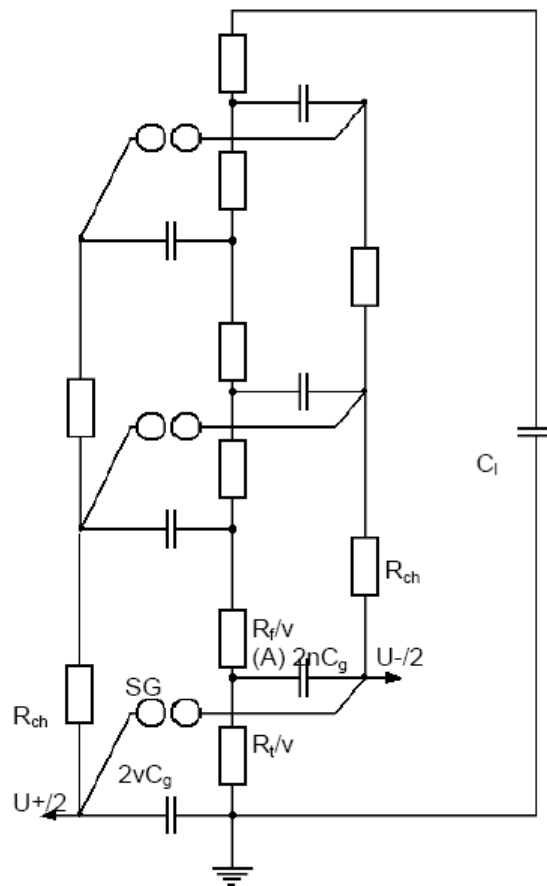
Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται μία βαθμίδα της πολυβάθμιας γεννήτριας κρουστικών τάσεων, η οποία συνίσταται από πέντε βασικά στοιχεία [8]:

- τον πυκνωτή κρούσης C_g
- τον πυκνωτή φορτίου C_l
- την αντίσταση μετώπου R_f
- την αντίσταση ουράς R_t
- την παράσιτη αυτεπαγωγή L



Σχήμα 3: Ισοδύναμο διάγραμμα κρουστικής γεννήτριας μίας βαθμίδας

Κατά τη λειτουργία της κρουστικής γεννήτριας διακρίνουμε δύο φάσεις: τη φάση φόρτισης (I) και την φάση εκφόρτισης (II). Κατά τη **φάση I** ο πυκνωτής κρούσης C_g φορτίζεται με συνεχή τάση. Η **φάση II** αρχίζει μετά τη διάσπαση του διακένου. Τότε ο πυκνωτής C_g αρχίζει να εκφορτίζεται, οπότε και εμφανίζεται η κρουστική τάση στους ακροδέκτες του πυκνωτή φορτίου C_l . Πιο αναλυτικά, όταν ο πυκνωτής C_g φορτισθεί στην τάση U -, δημιουργείται ένας σπινθήρας στο σπινθηριστή, με τη βοήθεια της συσκευής εναύσεως (trigatron), η οποία είναι ενσωματωμένη σε μία από τις δύο σφαίρες του σπινθηριστή. Μέσω του σπινθήρα συνδέεται ο πυκνωτής C_g στο υπόλοιπο κύκλωμα. Επειδή η αντίσταση R_f είναι πολύ μικρότερη από την R_t , ο C_g φορτίζεται μέσω της R_f με μία σταθερά χρόνου $R_f C_l$. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης του C_l σχηματίζεται το μέτωπο της κρουστικής τάσης. Στη συνέχεια οι πυκνωτές C_l και C_g εκφορτίζονται μέσω της R_t με μια σταθερά χρόνου $(C_l + C_g)R_t$. Κατά την περίοδο εκφόρτισης των δύο πυκνωτών σχηματίζεται η ουρά της κρουστικής τάσης. Επειδή κατά κανόνα ισχύουν $C_g \gg C_l$ και $R_t \gg R_f$, η ουρά της κρουστικής τάσης διαρκεί περισσότερο από το μέτωπο.



Σχήμα 4: Ισοδύναμο διάγραμμα τριών βαθμίδων της κρουστικής γεννήτριας του ΕΜΠ

Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται τρεις, από τις εννέα, βαθμίδες του κυκλώματος της κρουστικής γεννήτριας APITZ / CRATOS η οποία αποτελεί τροποποίηση της πολυβάθμιας κρουστικής γεννήτριας τύπου Marx. Η τροποποίηση αφορά τον εν σειρά συνδυασμό δύο πυκνωτών ανά βαθμίδα. Ο ένας πυκνωτής φορτίζεται έως το 50% της προεπιλεγμένης τιμής της τάσης φόρτισης, ενώ ο άλλος φορτίζεται (σε αντίθετη πολικότητα) έως το -50% της προεπιλεγμένης τάσης φόρτισης.

Κατά τη διάρκεια της φόρτισης όλες οι βαθμίδες είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Όταν η τάση φόρτισης φθάσει στην προεπιλεγμένη τιμή το διάκενο σφαιρών της πρώτης βαθμίδας διασπάται και η τάση εξόδου της πρώτης βαθμίδας (A) αυξάνει γρήγορα από το μηδέν μέχρι την τιμή της τάσης φόρτισης. Το γεγονός αυτό προκαλεί εσωτερική μεταβατική τάση, η οποία αυξάνει την τάση στο διάκενο της δεύτερης βαθμίδας και προκαλεί διάσπαση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, διαδοχικά, και μέσα σε μερικά ns όλες οι βαθμίδες διασπώνται και συνδέονται σε σειρά.

Τα πλεονεκτήματα του τροποποιημένου κυκλώματος σε σύγκριση με τη γεννήτρια Marx είναι η ανάπτυξη υψηλότερων εσωτερικών υπερτάσεων (που αυξάνουν το εύρος έναυσης) και η χαμηλότερη τιμή της παράσιτης αυτεπαγωγής.

Οι χρόνοι μετώπου και ημίσεος εύρους και ο συντελεστής χρησιμοποίησης δίνονται από τους παρακάτω τύπους [8]:

$$\text{Χρόνος μετώπου: } T \approx 2R \cdot \frac{C_g}{C_g + C_l} \quad (1)$$

$$\text{Χρόνος ημίσεος εύρους: } T_{0.5} \approx R \cdot \frac{C_g}{C_g + C_l} \quad (2)$$

$$\text{Συντελεστής χρησιμοποίησης: } \eta \approx \frac{C_g}{C_g + C_l} \quad (3)$$

Η μέγιστη τάση εξαρτάται από τον αριθμό των βαθμίδων, την τάση φόρτισης κάθε βαθμίδας και το συντελεστή χρησιμοποίησης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\hat{u} = v \cdot U_{ch} \cdot \eta \quad (4)$$

όπου

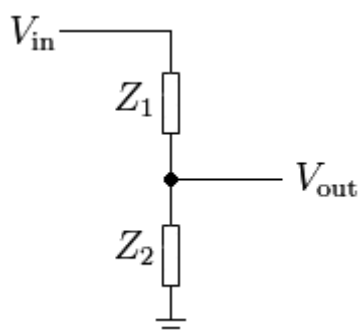
- v ο αριθμός των βαθμίδων
- U_{ch} η τάση φόρτισης κάθε βαθμίδας
- η ο συντελεστής χρησιμοποίησης

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης εξαρτάται από τη διάταξη της γεννήτριας και την τιμή του πυκνωτή φορτίου, επομένως η τιμή του εξαρτάται από το είδος του δοκιμίου.

3. Καταμεριστές

Ένας καταμεριστής αποτελείται από δύο αντιδράσεις Z₁ και Z₂ εν σειρά, από τις οποίες η Z₁ είναι πολύ μεγαλύτερη από τη Z₂ και ονομάζεται βραχίονας υψηλής τάσης, ενώ η Z₂ ονομάζεται βραχίονας χαμηλής τάσης. Η υψηλή τάση V_{in} εφαρμόζεται στο πάνω άκρο της Z₁, ενώ το κάτω άκρο της Z₂ συνδέεται με τη γη. Το ρεύμα I που διαρρέει τις Z₁ και Z₂ υπό την επίδραση της V_{in} είναι I = V_{in} / (Z₁ + Z₂). Εάν V_{out} είναι η τάση που αναπτύσσεται στο μη γειωμένο άκρο της Z₂ θα είναι:

$$V_{out} = I \cdot Z_2 = V_{in} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = V_{in} \cdot \kappa \quad (5)$$



Σχήμα 5: Καταμεριστής

Ο λόγος

$$K = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (6)$$

ονομάζεται σχέση μεταφοράς ή λόγος καταμερισμού, και πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η τάση V_{out} να είναι αρκετά μικρή για να μετρηθεί από όργανο χαμηλής τάσης [3].

3.1. Ωμικοί καταμεριστές

Οι ωμικοί καταμεριστές χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συνεχών, εναλλασσόμενων και κρουστικών τάσεων. Για τη μέτρηση συνεχών τάσεων ο βραχίονας υψηλής τάσης πρέπει να έχει πολύ μεγάλη τιμή, ώστε να περιορίζεται το ρεύμα. Ο σχεδιασμός της αντίσταση πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να περιορίζεται το φαινόμενο “Corona” και τα ρεύματα διαρροής. Η μέτρηση εναλλασσόμενων τάσεων με ωμικούς καταμεριστές επηρεάζεται από τις παράσιτες χωρητικότητες, για το λόγο αυτό απαιτείται καλή θωράκιση γύρω από την κάθε επιμέρους αντίσταση. Για τη μέτρηση κρουστικών τάσεων πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο οι παράσιτες χωρητικότητες, όσο και οι αυτεπαγωγές του καταμεριστή. Ο λόγος του καταμεριστή πρέπει να είναι σταθερός για ένα εύρος συχνοτήτων, για να αποφευχθεί η αλλοίωση της κρουστικής κυματομορφής [2-4].

3.2. Χωρητικοί καταμεριστές

Οι χωρητικοί καταμεριστές χρησιμοποιούνται για υψηλότερες τάσεις (εναλλασσόμενες ή κρουστικές) και η μέγιστη μετρούμενη τάση περιορίζεται μόνο από την παράσιτη επαγωγή και τις διηλεκτρικές απώλειες του πυκνωτή. Ο πυκνωτής στην πλευρά υψηλής τάσης συνίσταται από πολλούς επί μέρους πυκνωτές, με χαμηλή αυτεπαγωγή, συνδεδεμένους εν σειρά ή παράλληλα. Για υψηλές συχνότητες η σχέση καταμερισμού είναι $C_1/(C_1+C_2)$, για χαμηλότερες, όμως, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η χωρητικότητα του καλωδίου μέτρησης C_c , η οποία είναι μικρή και προκαλεί μικρή παραμόρφωση της μετρούμενης κρουστικής τάσης. Οι χωρητικοί καταμεριστές είναι δυνατόν να προκαλέσουν ταλαντώσεις στο μέτωπο απότομων κυματομορφών, λόγω των παράσιτων επαγωγών. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με χρήση αντιστάσεων απόσβεσης, που συνδέονται εν σειρά με τους πυκνωτές του καταμεριστή. Σε αυτήν την περίπτωση ο καταμεριστής λειτουργεί ως ωμικός για υψηλές συχνότητες και ως χωρητικός για χαμηλές συχνότητες. Μπορεί συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για μεγάλη περιοχή συχνοτήτων, δηλ. για κρουστικές τάσεις ποικίλης διάρκειας και για εναλλασσόμενες

τάσεις [2-5]. Η παράσιτη χωρητικότητα επηρεάζει μόνο το λόγο καταμερισμού και όχι την απόκριση ενός χωρητικού καταμεριστή [5].

4. Η έννοια της αβεβαιότητας

Η αξιοπιστία, η εγκυρότητα και η ποιότητα μιας μέτρησης αποτελούσε στο παρελθόν περισσότερο μια αφηρημένη επιδίωξη και λιγότερο μια οργανωμένη προσπάθεια αναζήτησης τρόπων διασφάλισης και συγκεκριμενοποίησης της ποιότητας αυτής. Τις τελευταίες, όμως, δεκαετίες έγινε επιτακτική η ανάγκη για έναν κοινά αποδεκτό και έγκυρο **τρόπο «μέτρησης» της ποιότητας μέτρησης**, αφού έχει μεγάλη σημασία τα όργανα όχι μόνο να μετράνε σωστά, αλλά και να είναι γνωστό το πόσο σωστά μετράνε. Το ζητούμενο λοιπόν είναι η αποδοχή ενός ενιαίου μηχανισμού αποτίμησης της ποιότητας μέτρησης, δηλαδή της **αβεβαιότητας (uncertainty)** [10].

Κάθε μέτρηση, ανεξάρτητα από το πόσο καλά έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκειται σε σφάλματα και επομένως το αποτέλεσμα μιας μέτρησης εμπεριέχει κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας. Με τον όρο αβεβαιότητα προσδιορίζεται το εύρος τιμών εκατέρωθεν της μετρούμενης τιμής από το όργανο (\pm) μέσα στο οποίο βρίσκεται η «αληθινή» ή «πραγματική» τιμή του μετρούμενου μεγέθους, με μια συγκεκριμένη πιθανότητα (επίπεδο εμπιστοσύνης). Είναι φανερό ότι βασικό πρόβλημα της μετρολογίας είναι η εύρεση της «αληθινής» τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Παλαιότερα, η χρήση του όρου ακρίβεια προσδιόριζε τη μέγιστη απόκλιση της μετρούμενης τιμής από την «αληθινή», ως εάν η «αληθινή» τιμή να ήταν απολύτως γνωστή. Εάν αυτό ήταν αληθές, τα προβλήματα της μετρολογίας θα είχαν επιλυθεί. Αντί για αυτό προσπαθούμε να προσεγγίσουμε το «σύννεφο» που περιβάλλει την «αληθινή» τιμή με όρους στατιστικής.

Επομένως, σήμερα είναι κοινά αποδεκτό ότι μια ποσοτική δήλωση σχετική με οποιοδήποτε μέγεθος δεν μπορεί να είναι πλήρης εάν δεν περιλαμβάνει, εκτός από το αποτέλεσμα της μέτρησης, μια αναφορά στην αβεβαιότητα που συνοδεύει το αποτέλεσμα αυτό. Το να συμπεριληφθεί η αβεβαιότητα στις πληροφορίες ποσοτικού προσδιορισμού ενός μεγέθους υπακούει σε μια διπλή αναγκαιότητα: αφενός επισημαίνεται στο χρήστη της μέτρησης η πιθανότητα ύπαρξης σφαλμάτων, επιστώντας την προσοχή του στον πεπερασμένο χαρακτήρα της γνώσης μας για μια συγκεκριμένη ποσότητα, αφετέρου δίνεται μια ποσοτική εκτίμηση του διαστήματος μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή του μετρούμενου μεγέθους, καθώς και της πιθανότητας να βρίσκεται η αληθής αυτή τιμή σε μια συγκεκριμένη περιοχή του διαστήματος αυτού.

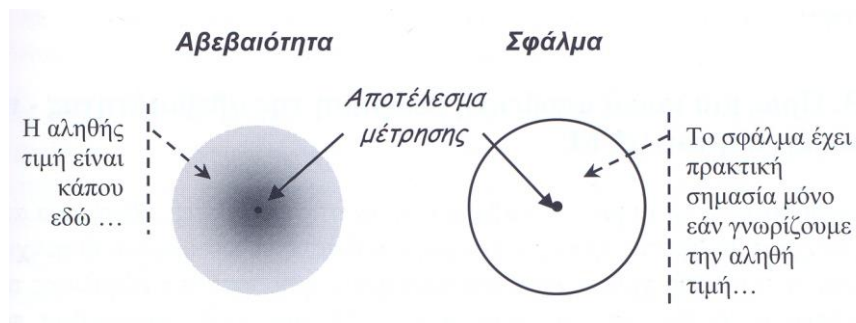
5. Από το σφάλμα στην αβεβαιότητα

Ως **σφάλμα** ορίζεται η *διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης και μιας αληθούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους*. Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη λέξη αληθής χρησιμοποιείται το αόριστο άρθρο «μια» και όχι το οριστικό «η» για να τονιστεί ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές συμβατές με τον ορισμό του μετρούμενου μεγέθους και ότι δεν μπορούμε να ξέρουμε ποια είναι η αληθής τιμή. Δηλαδή το σφάλμα είναι εξ ορισμού μια μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια, που **αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους** [10].

Τα σφάλματα διακρίνονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται στην κακή βαθμονόμηση ή χρήση των οργάνων, στην παράβλεψη ορισμένων φαινομένων, στον μη απόλυτο έλεγχο των συνθηκών του πειράματος, στον παρατηρητή ή σε άλλα εξωτερικά αίτια. Η αιτία των συστηματικών σφαλμάτων είναι γνωστή, όχι, όμως, και η τιμή τους, ενώ υπακούουν σε φυσικούς νόμους. Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται στην έλλειψη ευαισθητής απόκρισης του οργάνου ή του παρατηρητή, σε φαινόμενα, όπου το ίδιο το σύστημα χαρακτηρίζεται από διακυμάνσεις, σε εξωτερικό «θόρυβο» ή σε στατιστικές διαδικασίες. Τα τυχαία σφάλματα έχουν άγνωστη αιτία και τιμή, δεν υπακούουν σε φυσικούς νόμους, ενώ μελετώνται στη θεωρία σφαλμάτων [10, 11].

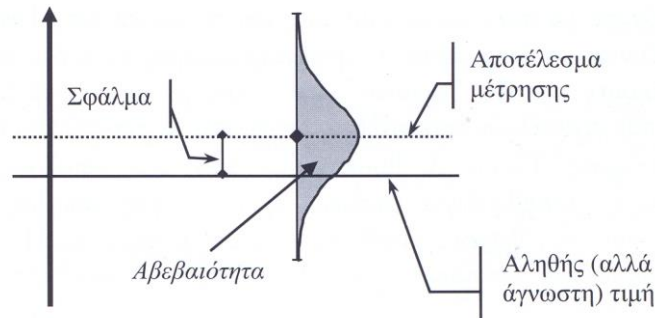
Με τον όρο σφάλμα, λοιπόν, δεν εννοούμε την απόκλιση της μέτρησης από τη θεωρητικά αποδεκτή τιμή. Η έννοια του σφάλματος αναφέρεται στην αβεβαιότητα των μετρήσεων, την οποία δεν μπορούμε να διορθώσουμε. Ακόμα και αν επαναλάβουμε τις μετρήσεις δεν μπορεί να εξαλειφθεί, μπορεί, όμως, να οδηγήσει σε μια κατανομή των μετρούμενων μεγεθών που μπορούν να αναλυθούν στατιστικά. Πρέπει, επομένως, το σφάλμα να διαφοροποιείται προσεκτικά από την αβεβαιότητα, η οποία αποτελεί ένα ποσοτικό μέτρο της ποιότητας των γνώσεων που διαθέτουμε για το μετρούμενο μέγεθος. Τελικά, το σφάλμα δεν έχει ιδιαίτερα πρακτική χρησιμότητα, αφού εκφράζει τη διαφορά της αληθούς τιμής, που δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε, από μια μέτρηση, για την αξιοπιστία της οποίας δε διαθέτουμε καμία ένδειξη. **Το σφάλμα αποτελεί μια αφηρημένη έννοια σχετική με ένα σημείο, ενώ η αβεβαιότητα περιγράφει ένα εύρος τιμών** [10, 12].

Σε αντιδιαστολή με τον αφηρημένο χαρακτήρα του σφάλματος, η αβεβαιότητα ορίζεται πρακτικά –σύμφωνα με τον ISO/IEC Guide 98:1995 [13] - ως παράμετρος συνδεδεμένη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος.



Σχήμα 6: Η αβεβαιότητα, συγκρινόμενη με το σφάλμα, δίνει μια θολή αλλά ρεαλιστική εικόνα για την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Σχηματικά μπορεί να ειπωθεί ότι η τοποθέτηση του σφάλματος στο επίκεντρο της προσοχής έχει τις ρίζες της σε μια ντετερμινιστική προσέγγιση, ενώ η αβεβαιότητα συνδέεται με μια στοχαστική προσέγγιση.

Η πληροφορία επομένως που διαθέτουμε για το αποτέλεσμα μιας μέτρησης αφορά όχι μόνο στην εκτιμούμενη καλύτερη προσέγγιση της τιμής του μετρούμενου μεγέθους, αλλά και στη διασπορά των πιθανών τιμών που το μέγεθος αυτό θα μπορούσε να έχει, με επίγνωση της αδυναμίας να εντοπιστεί η μία και μοναδική αληθής τιμή [10].



Σχήμα 7: Σφάλμα και αβεβαιότητα

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ένα αποτέλεσμα μέτρησης μπορεί τελικά να εμπεριέχει μικρό (αλλά άγνωστο) σφάλμα και να χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα, όπως και αντίστροφα, μπορεί να χαρακτηρίζεται από μικρή αβεβαιότητα αλλά στην πραγματικότητα το σφάλμα να είναι μεγάλο. Αυτό που απαιτείται είναι η διατύπωση ενός διαστήματος $\Delta X = (x_a, x_b)$, μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή με μια λιγότερο ή περισσότερο σημαντική πιθανότητα p , αποκαλούμενη **πιθανότητα κάλυψης** (coverage probability) ή **επίπεδο εμπιστοσύνης** (confidence level). Για τις συνήθεις κατανομές πιθανοτήτων η επιλογή ενός διαστήματος ΔX εκατέρωθεν της αναμενόμενης τιμής x_e , οδηγεί σε χαμηλά επίπεδα εμπιστοσύνης. Εάν επιζητείται μεγαλύτερη πιθανότητα κάλυψης, είναι αναγκαία η αύξηση του διαστήματος, πολλαπλασιάζοντας αντίστοιχα την τυπική αβεβαιότητα με ένα **συντελεστή κάλυψης k** , η τιμή του οποίου εξαρτάται από το είδος της κατανομής $f(x)$ και από το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης. Το γινόμενο $U_x = k u_x$ ονομάζεται διευρυμένη αβεβαιότητα και το τελικό αποτέλεσμα διατυπώνεται ως $x_e \pm U_x$ [10, 11]

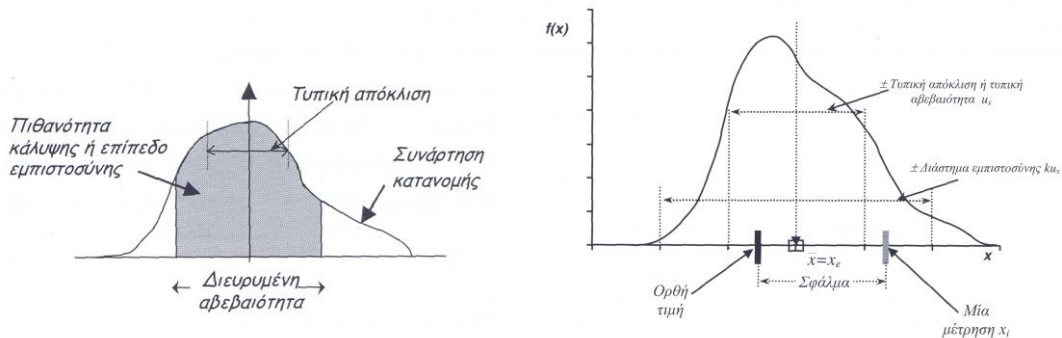
Πέρα λοιπόν από την πιθανότερη τιμή, απαιτείται η γνώση της τυπικής απόκλισης σ_x των πιθανών τιμών, αλλά και πληροφορίες για το είδος της κατανομής $f(x)$, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η τυπική αβεβαιότητα $u_x = \sigma_x$ και το διάστημα $(x_e - k u_x, x_e + k u_x)$, μέσα στο οποίο περιέχεται η ορθή αλλά άγνωστη τιμή για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης, το οποίο ορίζεται με τη βοήθεια του συντελεστή κάλυψης k , που εξαρτάται με τη σειρά του από την επιθυμητή πιθανότητα εμπιστοσύνης [12].

6. Κατηγοριοποίηση αβεβαιοτήτων (Τύπου A & Τύπου B)

Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης δεν περιορίζεται σε καμία περίπτωση στην τιμή του μετρούμενου μεγέθους, αφού πρόκειται για μία στοχαστική μεταβλητή και η αποδιδόμενη τιμή χαρακτηρίζεται από μία αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή μπορεί να εκφραστεί είτε ως τυπική απόκλιση της συνάρτησης κατανομής που χαρακτηρίζει το αποτέλεσμα, και αποκαλείται τότε «τυπική αβεβαιότητα», είτε ως διάστημα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή, με μια ορισμένη στάθμη σιγουριάς ή εμπιστοσύνης, και αποκαλείται «διευρυμένη αβεβαιότητα».

Πρέπει να τονισθεί ότι, η αβεβαιότητα χαρακτηρίζει την ποιότητα μίας μέτρησης και πιο συγκεκριμένα το αποτέλεσμά της. Δεν αφορά άμεσα τα παρατηρούμενα μεγέθη, τα οποία είναι δεδομένα και ανεξάρτητα από τη δυνατότητα του παρατηρητή να τα προσεγγίσει. Η αβεβαιότητα αφορά πάντα μια συγκεκριμένη τιμή, όπως αυτή εκτιμήθηκε κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, σύμφωνα με συγκεκριμένη διαδικασία,

και χαρακτηρίζει τη γνώση που διαθέτουμε για το μετρούμενο μέγεθος. Είναι επομένως δυνατόν, κάποιος άλλος να δώσει μια άλλη εκτίμηση τόσο για την τιμή του ίδιου μεγέθους, όσο και για την αβεβαιότητα που συνοδεύει την τιμή αυτή.



Σχήμα 8: Κατανομή πιθανοτήτων των πιθανών τιμών μιας μεταβλητής

Η αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται γενικά από πολλές συνιστώσες, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους: οι αβεβαιότητες **τύπου Α**, που υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους, και οι αβεβαιότητες **τύπου Β**, που υπολογίζονται με άλλα μέσα. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αντιστοιχεί στη διάκριση μεταξύ «τυχαίων» και «συστηματικών» αβεβαιοτήτων [10-15].

Οι συνιστώσες **τύπου Α** προκύπτουν από τη μεταβλητότητα (variance) ή την τυπική απόκλιση (standard deviation) και τους βαθμούς ελευθερίας του αποτελέσματος, ενώ είναι συχνά απαραίτητη και η γνώση της συμμεταβλητότητας (covariance).

Οι συνιστώσες **τύπου Β**, παρά το ότι δεν προκύπτουν απευθείας από κάποια στατιστική επεξεργασία, οφείλουν να παρουσιάζονται με όρους τυπικής αβεβαιότητας. Η τυπική αυτή αβεβαιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως προσέγγιση της αντίστοιχης μεταβλητότητας, η ύπαρξη της οποίας υφίσταται ως υπόθεση.

Η τελική συνδυασμένη αβεβαιότητα προκύπτει από το συνδυασμό όλων των επιμέρους συνιστωσών, εκφραζόμενων με τη μορφή τυπικών αποκλίσεων.

6.1. Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου Α

Η **αβεβαιότητα τύπου Α (random uncertainty)**, σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60-2 [14], χρησιμοποιείται όταν το αποτέλεσμα x μιας μέτρησης προκύπτει από τις τιμές x_i , $i=1,2,\dots,n$ των n ανεξάρτητων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μιας μη μεταβαλλόμενης ποσότητας X , κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες επαναληψιμότητας, χρησιμοποιώντας όργανα μέτρησης χαρακτηριζόμενα από αμελητέα απόκλιση στο χρονικό διάστημα που διαρκεί η μέτρηση.

Οι αβεβαιότητες τύπου Α υπολογίζονται βάσει στατιστικών κανόνων. Πραγματοποιείται ένας αριθμός μετρήσεων και προκύπτει η στατιστική κατανομή των αποτελεσμάτων μέτρησης. Η πραγματική κατανομή σπάνια είναι γνωστή με ακρίβεια και, για λόγους τόσο πρακτικούς, όσο και στατιστικούς, προσεγγίζεται με την κανονική κατανομή.

Ανάλογα με το πλήθος των μετρήσεων διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις [14] :

α) U_r για μικρό αριθμό μετρήσεων (π.χ. 10)

Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση :

$$U_r = \frac{ts_r}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

όπου t : συντελεστής Student (Student's factor) από Πίνακα 1

P : το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level)

s_r : τυπική απόκλιση του δείγματος των μετρήσεων που δίνεται από τη σχέση

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \quad (8)$$

όπου n : ο αριθμός των μετρήσεων

x_i : οι μετρηθείσες τιμές

x_m : η μέση τιμή των μετρήσεων

Πίνακας 1: Τιμές του συντελεστή Student 't' για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης συναρτήσει του αριθμού των μετρήσεων [14]

n \ P%	68,3	90	95	99,7
2	1,84	6,31	12,7	-
3	1,32	2,92	4,30	-
4	1,20	2,35	3,18	9,22
5	1,14	2,13	2,78	6,62
6	1,11	2,02	2,57	5,51
7	1,09	1,94	2,45	4,90
8	1,08	1,89	2,36	4,53
9	1,07	1,86	2,31	4,28
10	1,06	1,83	2,26	4,09
20	1,03	1,73	2,09	3,45
∞	1,00	1,65	1,96	3,00

β) U_r μεγάλο αριθμό μετρήσεων ($n \gg 10$)

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (που είναι και αυτό που ζητείται συνήθως) και για ένα δείγμα με περισσότερες από 10 μετρήσεις ($n \gg 10$), ο συντελεστής Student t μπορεί να αντικατασταθεί από το συντελεστή κάλυψης k , που είναι ο συντελεστής t για άπειρο πλήθος μετρήσεων (τελευταία γραμμή πίνακα 1). Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα της μέσης τιμής είναι :

$$U_r = \frac{ks_r}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

γ) Χρησιμοποίηση προϋπάρχουσας γνώσης για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όταν υφίσταται προηγούμενη πληροφορία για τη συμπεριφορά του οργάνου ή της μεθόδου μέτρησης. Η πληροφορία αυτή αφορά

μια ήδη γνωστή τυπική απόκλιση s_r , η οποία υπολογίστηκε από μεγάλο αριθμό επαναλαμβανόμενων μετρήσεων n_1 παρόμοιου μεγέθους, σε παρόμοιες συνθήκες μέτρησης. Στην περίπτωση αυτή για το μικρό δείγμα μετρήσεων πλήθους n_2 αντί να χρησιμοποιηθεί η τυπική απόκλιση του μικρού τρέχοντος δείγματος μετρήσεων, χρησιμοποιείται η παλαιότερα υπολογισμένη s_r και η αβεβαιότητα λαμβάνεται ίση με :

$$U_r = \frac{k s_r}{\sqrt{n_2}} \quad (10)$$

6.2. Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου B

Αβεβαιότητα τύπου B (systematic uncertainty) έχουμε στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή η αβεβαιότητα υπολογίζεται αξιοποιώντας κάθε διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με την πιθανή μεταβλητότητα του μετρούμενου μεγέθους, έτσι ώστε να οικοδομηθεί μια εικόνα για την πιθανή κατανομή των τιμών του μεγέθους. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι δυνατόν να προέρχονται από :

- πιστοποιητικά διακρίβωσης
- δεδομένα από προηγούμενες μετρήσεις
- εμπειρία ή επιστημονική ανάλυση
- χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης
- υποκειμενικές κρίσεις του μετρολόγου [5]

Η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων τύπου B είναι:

$$U_s = k \cdot s_s = k \cdot \sqrt{s_{sa}^2 + s_{sg}^2} \quad (11)$$

όπου s_{sa} η τυπική απόκλιση για την περίπτωση ορθογώνιας κατανομής και s_{sg} η τυπική απόκλιση στην περίπτωση κανονικής κατανομής.

Όταν η διαθέσιμη πληροφορία αφορά μόνο στα όρια $\pm a$ ανάμεσα στα οποία κυμαίνεται το αναμενόμενο σφάλμα, χωρίς να υπάρχουν ειδικότερες ενδείξεις για την κατανομή ανάμεσα στα όρια αυτά, τότε η υποτιθέμενη κατανομή είναι ομοιόμορφη (ορθογώνια) και η τυπική απόκλιση είναι ίση με:

$$s_{sa} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Στην περίπτωση που έχουμε n ανεξάρτητες κατανομές η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση :

$$s_{sa} = \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3}} \quad (13)$$

Όταν η αβεβαιότητα δίνεται μαζί με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε πρέπει να υποτεθεί ότι έχουμε κανονική κατανομή. Εάν το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι της τάξης του 95%, η τιμή του συντελεστή k είναι 2 και η τυπική απόκλιση είναι:

$$s_{sg} = \frac{U_{95}}{2} \quad (14)$$

Έτσι η εξίσωση (11) γίνεται :

$$U_s = k \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_{95}}{2}\right)^2} \quad (15)$$

Η γενική μορφή της εξίσωσης (11) γίνεται :

$$U_s = k \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{k_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{U_m}{k_m}\right)^2} \quad (16)$$

όπου U_1 έως U_m είναι οι αβεβαιότητες (calibration contribution) με δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης

k_1 έως k_m οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης [14]

6.3. Υπολογισμός ολικής αβεβαιότητας

Η ολική αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση :

$$u_{total} = \sqrt{U_r^2 + U_s^2} \quad (17)$$

6.4. Συνδυασμός αβεβαιοτήτων – Νόμος διάδοσης αβεβαιοτήτων

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους Y πραγματοποιείται έμμεσα, δηλαδή στη βάση απευθείας μετρήσεων μιας σειράς πρωτογενών μεγεθών X_i , $i=1,2,\dots,N$. Η μετρούμενη κάθε φορά τιμή y_i του Y προκύπτει από το συνδυασμό των τιμών x_1, x_2, \dots, x_N των πρωτογενών μεγεθών μέσω μιας συνάρτησης $Y=M(X_1, X_2, \dots, X_N)$ η οποία αντιπροσωπεύει το φυσικό μοντέλο συσχέτισης των μετρούμενων στην πράξη με το προς μέτρηση μέγεθος.

Ο νόμος διάδοσης των αβεβαιοτήτων (law of error propagation) προκύπτει από την ανάπτυξη σε 1^{ης} τάξης σειρά Taylor της συνάρτησης $M(Y)$ γύρω από το σημείο της μέτρησης $y_e=M(x_{1e}, x_{2e}, \dots, x_{Ne})$. Η τυπική συνδυασμένη αβεβαιότητα (standard combined uncertainty) γύρω από την τιμή μέτρησης δίνεται από την παρακάτω σχέση, γνωστή και ως νόμος διάδοσης των αβεβαιοτήτων [10]:

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial M}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial M}{\partial x_i} \frac{\partial M}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (18)$$

όπου u_{x_i} είναι η τυπική αβεβαιότητα του μεγέθους X_i και $u(x_i, x_j)$ είναι η συμμεταβλητότητα μεταξύ X_i και X_j .

Συνήθως στις δοκιμές τα μεγέθη X_1, X_2, \dots, X_N θεωρούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους και η παραπάνω σχέση γράφεται :

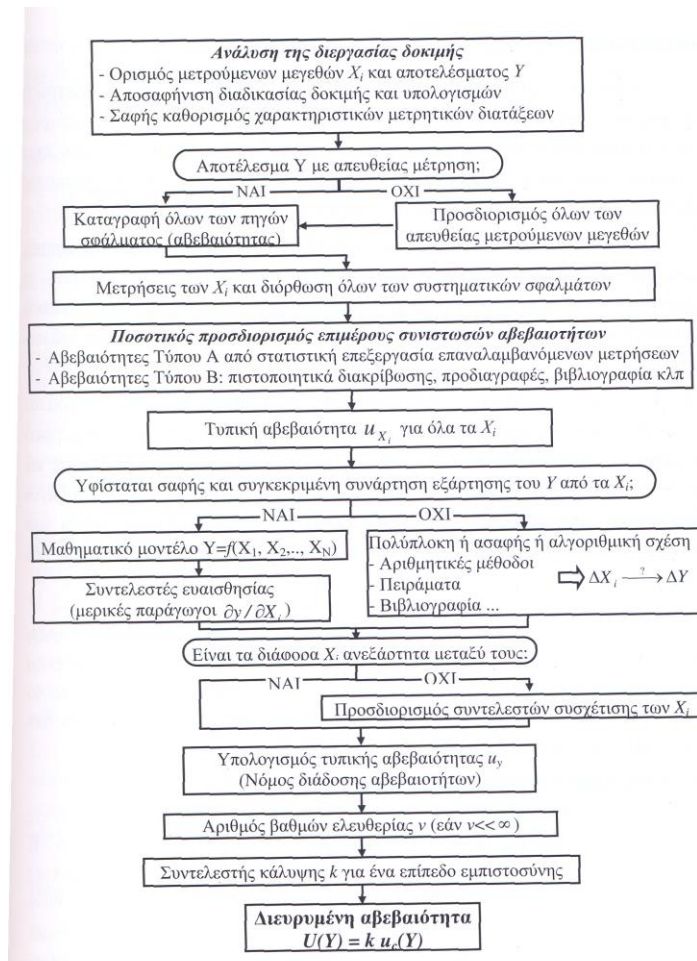
$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial M}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 \quad (19)$$

7. Διαδικασία υπολογισμού αβεβαιότητας

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας στις δοκιμές έχει σκοπό την ποσοτική εκτίμηση της ποιότητας του αποτελέσματος. Τα ζητήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι:

- Ποιες παράμετροι επηρεάζουν το αποτέλεσμα και επομένως ποιες είναι οι δυνατές πηγές σφάλματος
- Πώς διαχέονται τα σφάλματα αυτά κατά τη δοκιμή μέχρι το τελικό αποτέλεσμα

Στο σχήμα 9 δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής των ενεργειών που απαιτούνται για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας στις δοκιμές [10].



Σχ. 9: Ροή ενεργειών για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας στο αποτέλεσμα της δοκιμής

Αναλυτικότερα, η γενική ροή ενεργειών περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα γενικής εφαρμογής:

Ανάλυση – σαφής διατύπωση του προβλήματος. Αναλύεται η διαδικασία της δοκιμής με τη μεγαλύτερη δυνατή σαφήνεια και καθορίζονται οι μετρούμενες τιμές, τα αποτελέσματα και οι απαιτούμενοι υπολογισμοί βήμα προς βήμα.

Καταγραφή όλων των πηγών αβεβαιότητας. Εξετάζονται όλες οι παράμετροι που είναι δυνατόν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της δοκιμής: μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς, μεγέθη που μετρώνται, αλλά δε συνυπολογίζονται και παράμετροι που δε μετρώνται, αλλά επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Εντοπίζονται, επίσης, τυχούσες αβεβαιότητες οφειλόμενες στον πιθανά προσεγγιστικό χαρακτήρα των υπολογισμών ή του μοντέλου συμπεριφοράς του προϊόντος.

Υπολογισμός τυπικών αβεβαιοτήτων για κάθε παράμετρο επιρροής. Υπολογίζονται οι τυπικές αβεβαιότητες για καθεμία από τις παραμέτρους επιρροής, εφαρμόζοντας την Τύπου Α ή την Τύπου Β διαδικασία υπολογισμού.

Καθορισμός συντελεστών ευαισθησίας και συμμεταβλητότητας. Προσδιορίζονται οι συντελεστές ευαισθησίας του τελικού αποτελέσματος σε σχέση με τα μεγέθη επιρροής, δηλαδή πόσο επηρεάζεται το αποτέλεσμα από μικρές μεταβολές των τιμών των μεγεθών αυτών. Η ύπαρξη συντελεστών συμμεταβλητότητας διαφορετικών του μηδενός είναι σπάνια στις δοκιμές και μπορεί κατά κανόνα να αποφευχθεί αν οι σχέσεις μεταξύ αποτελέσματος και μετρήσεων διατυπωθούν με τρόπο ώστε να μην εμφανίζονται ενδιάμεσες μεταβλητές, οι οποίες είναι συνάρτηση των ίδιων πρωτογενών μετρήσεων.

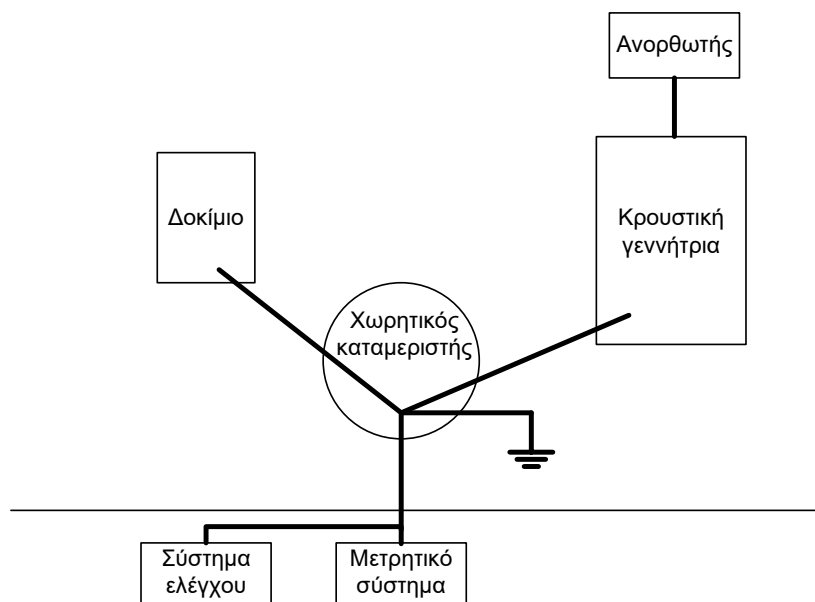
Υπολογισμός τυπικής συνδυασμένης αβεβαιότητας του αποτελέσματος. Ο υπολογισμός της τυπικής συνδυασμένης αβεβαιότητας του αποτελέσματος γίνεται με εφαρμογή του νόμου διάδοσης των αβεβαιοτήτων.

Καθορισμός συντελεστή κάλυψης και υπολογισμός διευρυμένης αβεβαιότητας. Συνήθως λαμβάνεται $k=2$ και ο υπολογισμός της διευρυμένης αβεβαιότητας γίνεται με χρήση της σχέσης (11), [10].

8. Διαδικασία επαλήθευσης καταμεριστών υψηλής τάσης

Στο φυλλάδιο της εργαστηριακής άσκησης σημειώνουμε:

- i. Την ημερομηνία και τις ώρες έναρξης - λήξης της άσκησης.
- ii. Τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- iii. Τα χαρακτηριστικά των καταμεριστών.
- iv. Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιούμε.



Σχήμα 10: Διάταξη των γειώσεων

Για τη διακρίβωση ενός καταμεριστή σε κρουστική τάση πρέπει να εφαρμοστούν 10 θετικές και κατόπιν 10 αρνητικές κρουστικές τάσεις $1,2/50\mu\text{s}$ στον παράλληλο συνδυασμό δύο καταμεριστών.

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης εξαρτάται από τις ονομαστικές τιμές των δύο καταμεριστών.

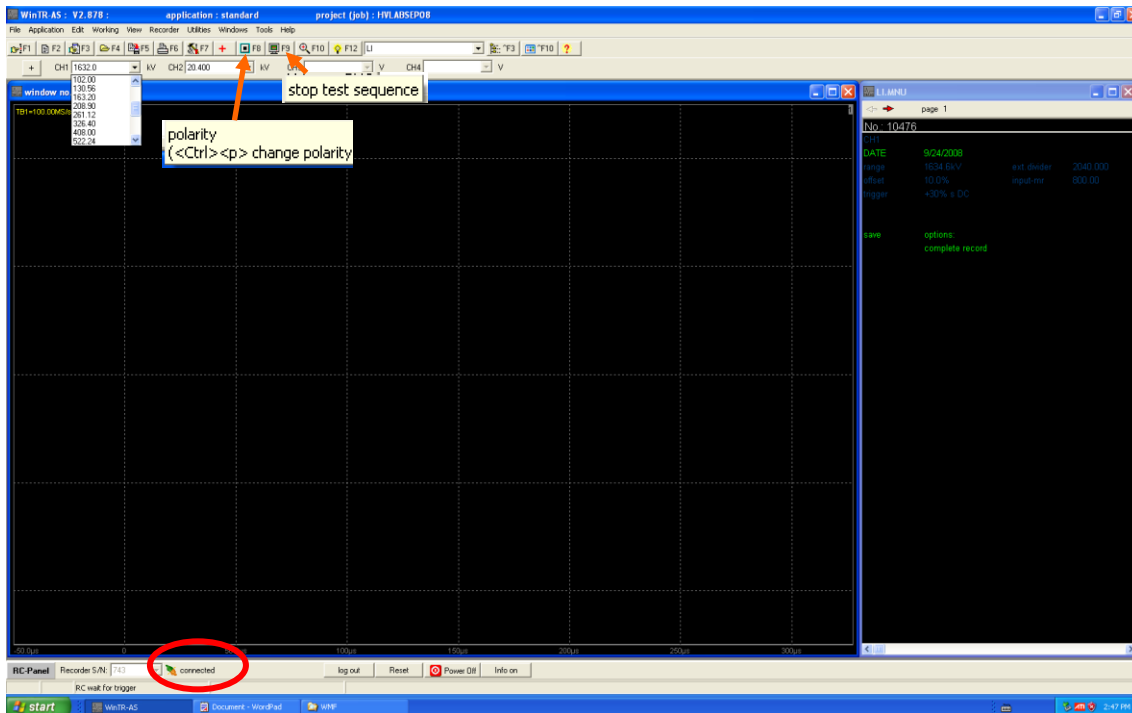
Για κάθε σειρά (θετική και αρνητική) κρουστικών τάσεων καταγράφονται, τουλάχιστον, η πρώτη και η τελευταία κυματομορφή της κρουστικής τάσης.

Πριν την εφαρμογή των κρουστικών τάσεων γίνονται οι παρακάτω έλεγχοι και συνδέσεις (γειώσεις και καταμεριστές):

- i. Πραγματοποιείται έλεγχος για την ορθή σύνδεση των γειώσεων σύμφωνα με το Σχήμα 10.
- ii. Συνδέεται κάθε καταμεριστής στο μετρητικό σύστημα με τη βοήθεια ομοαξονικών καλωδίων.
- iii. Παραλληλίζονται οι δύο καταμεριστές και συνδέονται με την κρουστική γεννήτρια.
- iv. Ελέγχεται η σύνδεση της γεννήτριας με τους καταμεριστές στην πλευρά υψηλής τάσης.
- v. Ελέγχεται ότι ο κινητός γειωτήρας δεν είναι τοποθετημένος σε κάποιο σημείο πάνω στη διάταξη.

Πριν την εφαρμογή των κρουστικών τάσεων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία (ηλεκτρονικοί υπολογιστές και γεννήτρια):

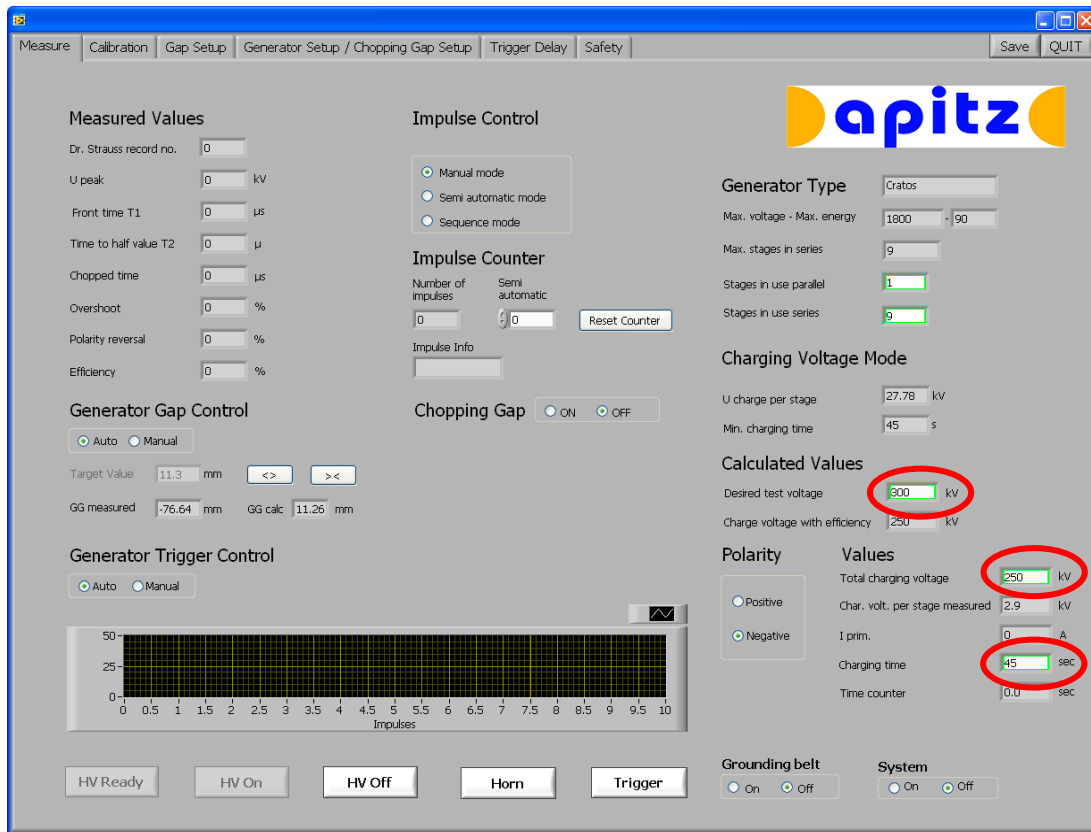
- i. Συνδέουμε τους υπολογιστές (σύστημα ελέγχου και μετρητικό σύστημα) στην τροφοδοσία και τους ανοίγουμε.
- ii. Πατάμε το Power στο TR-AS 100-12.
- iii. Ελέγχουμε την τροφοδοσία (τριφασική 400V) της γεννήτριας και ανεβάζουμε την ασφάλεια στον αντίστοιχο υποπίνακα.
- iv. Θέτουμε το διακόπτη του πίνακα ελέγχου της κρουστικής γεννήτριας στη θέση ON.
- v. Ανοίγουμε το πρόγραμμα “Cratos” στο σύστημα ελέγχου.
- vi. Ανοίγουμε το πρόγραμμα “Win TR-AS v2.878” στο μετρητικό σύστημα (Σχήμα 12).
 - Ελέγχουμε ότι οι δύο υπολογιστές και τα αντίστοιχα λογισμικά επικοινωνούν. Δηλαδή, ότι έχει εμφανισθεί η ένδειξη Connected του σχήματος 11.
 - Ανοίγουμε ένα νέο ή επιλέγουμε ένα ήδη υπάρχον πακέτο εργασιών (project) ακολουθώντας τη διαδρομή File → project (job) select / create. Το όνομα του project είναι ίδιο με τον αριθμό της ομάδας.
 - Επιλέγουμε την πολικότητα. Επιλέγουμε την κλίμακα της τάσης (μέγιστη τιμή), η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τάση που θα επιβληθεί στους δύο καταμεριστές.
 - Τέλος, πατάμε F8 για αυτόματο trigger.



Σχήμα 11

Στο πρόγραμμα Cratos έχουμε τη δυνατότητα να αλλάζουμε όσα πεδία είναι πράσινα. Γενικά, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- i. Καθορίζουμε την πολικότητα.
- ii. Προαιρετικά, στο πεδίο calculated values → desired test voltage βάζουμε την επιθυμητή τιμή της τάσης και υπολογίζεται η τάση φόρτισης (charge voltage with efficiency).
- iii. Στο πεδίο Values → Total charging voltage βάζουμε την τάση φόρτισης (περίπου αυτή που έχει υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα).
- iv. Στο πεδίο Values → Charging time καθορίζουμε το χρόνο φόρτισης (μεγαλύτερο των 45sec).
- v. Ελέγχουμε ότι δεν είναι πατημένο το κομβίο κινδύνου (Emergency stop)
- vi. Στο πεδίο System επιλέγουμε το ON.
- vii. Στο πεδίο Grounding belt επιλέγουμε το ON.
- viii. Πατάμε “HV Ready”. **ΠΡΟΣΟΧΗ: Στην πρώτη δοκιμή πρέπει το σύστημα να μείνει σε κατάσταση “HV Ready”, δηλαδή πριν πατηθεί το “HV On”, τουλάχιστον για 3 λεπτά.**
- ix. Πατάμε “HV On” και μετά τον προκαθορισμένο χρόνο πραγματοποιείται η εκφόρτιση.
- x. Σε περίπτωση κινδύνου πατάμε το Emergency stop.
- xi. Για προειδοποίηση μπορούμε να πατήσουμε την κόρνα “Horn”.



Σχήμα 12

Όταν καταγραφεί η κυματομορφή στο Win TR-AS v2.878, τότε τη σώζουμε ακολουθώντας τη διαδρομή File → curves → save as WMF file. Το αρχείο αυτό αποτελεί ηλεκτρονικό αρχείο της εργαστηριακής άσκησης, το οποίο το σώζουμε στο C:\WinTrasJob\Αριθμός ομάδας\WMF (π.χ. C:\WinTrasJob\2009\WMF). Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν οι αντίστοιχοι φάκελοι, τους δημιουργούμε. Τα ηλεκτρονικά αρχεία ή/και οι φωτογραφίες δίνονται στους φοιτητές.

Πριν κάνουμε οποιοδήποτε χειρισμό στους καταμεριστές φροντίζουμε:

- i. Η γεννήτρια να είναι γειωμένη (Grounding belt “OFF”).
- ii. Η κινητή γείωση να είναι συνδεδεμένη στον καταμεριστή.

Στο τέλος των δοκιμών:

- θέτουμε Grounding belt: Off και System: Off,
- κλείνουμε τα προγράμματα TR-AS v2.878 και Cratos. Κατά το κλείσιμο του προγράμματος TR-AS v2.878 τίθεται η ερώτηση αν επιθυμούμε να κλείσουμε το μετρητικό σύστημα (Remote-system power off), οπότε πατάμε Yes,
- αποσυνδέουμε τους υπολογιστές από την τροφοδοσία,
- θέτουμε το διακόπτη του πίνακα ελέγχου της κρουστικής γεννήτριας στη θέση OFF,
- κατεβάζουμε την ασφάλεια τροφοδοσίας της γεννήτριας στον αντίστοιχο υποπίνακα.

9. Ερωτήσεις

- 1) Να σχεδιασθεί το κύκλωμα της διάταξης.
- 2) Να σχεδιασθούν τα διαγράμματα των μετρούμενων μεγεθών (μέγιστη τάση, χρόνος μετώπου, χρόνος ημίσεος εύρους). Σε κάθε διάγραμμα θα υπάρχουν οι αντίστοιχες μετρήσεις και από τους δύο καταμεριστές.
- 3) Να πραγματοποιήσετε και για τους δύο καταμεριστές τον υπολογισμό αβεβαιότητας τύπου A για τα τρία μεγέθη (μέγιστη τάση, χρόνος μετώπου, χρόνος ημίσεος εύρους) και για το βαθμό εμπιστοσύνης που θα σας δοθεί.
- 4) Να πραγματοποιήσετε και για τους δύο καταμεριστές τον υπολογισμό αβεβαιότητας τύπου B σύμφωνα με τα δεδομένα που θα σας δοθούν.
- 5) Συγκρίνετε τους δύο καταμεριστές ως προς τη συνολική αβεβαιότητα όλων των παραμέτρων (για τις οποίες έχετε στοιχεία).
- 6) Πώς επηρεάζει ο βαθμός εμπιστοσύνης τα αποτελέσματα του υπολογισμού της αβεβαιότητας;
- 7) Πώς επηρεάζει το πλήθος των μετρήσεων την εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου A;
- 8) Γιατί όσο πιο πολύπλοκο είναι το μετρητικό σύστημα τόσο δυσκολεύει και ο υπολογισμός της αβεβαιότητας;
- 9) Να σχεδιασθεί διάγραμμα στο οποίο να φαίνονται η μέση τιμή κάθε μετρούμενου μεγέθους και τα όρια όπου βρίσκεται η αληθής τιμή σύμφωνα με τους υπολογισμούς της αβεβαιότητας.
- 10) Με βάση τις υπολογισμένες τιμές της αβεβαιότητας για κάθε μέγεθος και τα στοιχεία των διακριβώσεων αποφανθείτε εάν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη κρουστική τάση συγκεκριμένης μορφής για την πραγματοποίηση δοκιμής.
- 11) Πώς οι χρησιμοποιούμενοι καταμεριστές επηρεάζουν τη μορφή της τάσης; Ποιος από τους δύο την επηρεάζει πιο πολύ και γιατί;
- 12) Η καταγραφόμενη τάση πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 60-1 [7];

10. Βιβλιογραφία

- [1] Ι.Α. Σταθόπουλος, «Υψηλές Τάσεις Ι», Αθήνα, 1988.
- [2] Μιχ. Δανίκας, «Στοιχεία Υψηλών Τάσεων», Εκδόσεις Οικονομικών, Αθήνα 2005.
- [3] Χ. Μαινεμενλής, «Τεχνική του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων», Πάτρα, 1984.
- [4] Π.Ν. Νικολόπουλος «Υψηλαί τάσεις, Τόμος Α», Αθήνα, 1994.
- [5] Κ.Α. Στασινόπουλος, «Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων», Θεσσαλονίκη, 1992.
- [6] D. Kind “An Introduction to High Voltage Experimental Techniques”, 1984.
- [7] IEC 60-1, High Voltage Test Techniques, Part 1: General definitions and test requirements, 1989.
- [8] Cratos, Operating Manual, Apitz, 2007.
- [9] Digital Impulse Measuring Systems, Operating Manual, Dr Strauss, 2008.
- [10] Μανώλης Ε. Μαθιουλάκης, «Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα», Ελληνική Έκδοση Εργαστηρίων, Αθήνα 2004.
- [11] <http://physlab.phys.uoa.gr> Ιστοσελίδα του εργαστηρίου φυσικής του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- [12] users.forthnet.gr/the/c3t/articles/aal01/aal01.htm, Α. Λευκόπουλος, «Αβεβαιότητα μετρήσεων».
- [13] ISO/IEC Guide 98, Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 1995.
- [14] IEC 60-2, High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems, 1994.
- [15] Χ.Α.Χριστοδούλου, Γ.Π.Φώτης, Ι.Φ.Γκόνορας, Ι.Α.Σταθόπουλος: «Διαδικασία επαλήθευσης εξοπλισμού και υπολογισμού αβεβαιότητα για μετρήσεις υψηλών τάσεων», 2ο Τακτικό Συνέδριο Μετρολογίας, Θεσσαλονίκη 19-20 Οκτωβρίου 2007.