

ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΠΟΛΥΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Ε. ΦΛΟΥΔΑ, Μ. ΧΟΛΙΑΣΤΟΥ, Σ. ΣΔΡΑΚΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ
Eirini.Flouda@eim.gr

Περίληψη: Τα τελευταία χρόνια, η εισαγωγή των υψηλής ακρίβειας ηλεκτρονικών συσκευών, όπως ψηφιακών πολυμέτρων και πολυλειτουργικών διακριβωτών, στον τομέα των ηλεκτρικών μετρήσεων, άλλαξε σημαντικά τον τρόπο μεταφοράς της ιχνηλασιμότητας από τα μετρολογικά εργαστήρια στα κέντρα διακριβώσεων και στα βιομηχανικά εργαστήρια. Οι συσκευές αυτές αντιπροσωπεύουν τα πλέον χρησιμοποιούμενα πρότυπα εργασίας στα εργαστήρια διακρίβωσης. Αυτό καθιστά πολλή σημαντική την ανεύρεση μιας μεθόδου για τον σωστό υπολογισμό α) της σταθερότητας μικρού και μέσου χρόνου και β) της αβεβαιότητας κατά την χρήση τους, για το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διακριβώσεων, των συσκευών αυτών.

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο Χαμηλών Συχνοτήτων του ΕΙΜ για τον προσδιορισμό της σταθερότητας και της αβεβαιότητας των συσκευών αυτών. Επίσης, συγκρίνεται η μέθοδος μεταφοράς της ιχνηλασιμότητας με χρήση του πολυλειτουργικού διακριβωτή ως πρότυπο αναφοράς με εκείνη που ως πρότυπο αναφοράς χρησιμοποιείται πρότυπο ψηφιακό πολύμετρο.

Λέξεις- Κλειδιά: Σταθερότητα Συσκευής, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Πρότυπα Αναφοράς και Μεταφοράς, Πολυλειτουργικές Συσκευές, Διακριβωτής,

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η εισαγωγή των υψηλής ακρίβειας ηλεκτρονικών συσκευών, όπως ψηφιακών πολυμέτρων και πολυ-λειτουργικών διακριβωτών, στον τομέα των ηλεκτρικών μετρήσεων, βοήθησε σημαντικά στην διάδοση της αβεβαιότητας των πρωτεύοντων προτύπων στα πρότυπα εργασίας και άλλαξε σημαντικά τον τρόπο μεταφοράς της ιχνηλασιμότητας από τα μετρολογικά εργαστήρια στα κέντρα διακριβώσεων και στα βιομηχανικά εργαστήρια. Οι συσκευές αυτές αντιπροσωπεύουν τα πλέον χρησιμοποιούμενα πρότυπα εργασίας στα εργαστήρια διακρίβωσης.

Η αβεβαιότητα γι' αυτού του είδους τις συσκευές είναι δύσκολο να αποτιμηθεί, κυρίως εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους, όπως:

Ευρύ πεδίο μετρήσεων: παρέχουν λειτουργίες μπορούν συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης και ρεύματος, έως 1000 V και 10 A, αντίστοιχα, αντίστασης και πολύ συχνά και συχνότητας.

Σύνθετη εσωτερική δομή: κάθε ένα από αυτά τα όργανα ελέγχεται από έναν μικροεπεξεργαστή, ο οποίος είναι ένας συνδυασμός πολλών ψηφιακών και αναλογικών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Αυτό έχει ως συνέπεια, το αποτέλεσμα μιας και μόνης μέτρησης να μπορεί να ρυθμιστεί από τη σωστή λειτουργία πολλών από

αυτά τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρομηχανικά εξαρτήματα, και επίσης από τις τιμές πολλών παραγόντων διορθώσεων, οι οποίοι αποθηκεύονται στις εσωτερικές μνήμες και καθορίζονται και από τη διακρίβωση και από τις διαδικασίες ιδιο-διακρίβωσης που εκτελούνται πριν από τη χρήση των ίδιων των συσκευών

Πολύ υψηλό επίπεδο αβεβαιότητας: σε πολλές μετρήσεις παρουσιάζουν αβεβαιότητα σχεδόν παρόμοια με εκείνη των καλύτερων, εμπορικά διαθέσιμων, προτύπων μέτρησης.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί μια αποδεκτή τιμή αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της διακρίβωσης, είναι απαραίτητο να επιλεγούν οι πρότυπες συσκευές με πολλή προσοχή και να εξασφαλισθεί το καλύτερο δυνατό επίπεδο ιχνηλασιμότητας. Παρόλα αυτά, πολύ συχνά η αβεβαιότητα σε όλη την ακολουθία της ιχνηλασιμότητας δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα έναντι αυτής που δηλώνεται από τον κατασκευαστή στις προδιαγραφές της συσκευής. Για να μπορέσει, λοιπόν, να εξασφαλιστεί ένα επαρκές επίπεδο ιχνηλασιμότητας για τα Ψηφιακά Πολύμετρα και τους υψηλής ακρίβειας πολυ-λειτουργικούς διακριβωτές, δεν είναι αρκετή μια γενική περιοδική διακρίβωση μιας πρότυπης συσκευής, αλλά είναι απαραίτητο που τίθεται υπό αυστηρό έλεγχο ολόκληρη η μεταφορά της ιχνηλασιμότητας και η διατήρηση των διαδικασιών. Η απαίτηση εφαρμογής αυτών των ελέγχων σημαίνει ότι είναι απαραίτητο να εκτελούνται από τα εργαστήρια διακρίβωσης όλες εκείνες οι διαδικασίες που σκοπό έχουν την επιτήρηση των μετρολογικών ικανοτήτων των συσκευών αναφοράς και εργασίας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος της δήλωσης μικρότερης αβεβαιότητας από την πραγματική.

2. Χρήση μιας πολυ-λειτουργικής συσκευής ως πρότυπο αναφοράς

Όταν ένας πολυ-λειτουργικός διακριβωτής και ένα Ψηφιακό Πολύμετρο χρησιμοποιούνται ως πρότυπα, οι παράγοντες που παρεμβαίνουν στον υπολογισμό της αβεβαιότητας διακρίβωσης είναι αρκετοί. Σε αυτήν την περίπτωση η πολυ-λειτουργική συσκευή συνήθως ρυθμίζεται και επαληθεύεται, αλλά τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής δεν χρησιμοποιούνται ως παράγοντες διόρθωσης, για να διορθωθούν δηλαδή οι τιμές που θέτονται ή οι ενδείξεις των συσκευών. Αυτή είναι και η πλέον συνήθης τακτική που ακολουθείται από τα εργαστήρια διακρίβωσης.

Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- **Η αβεβαιότητα ρύθμισης της πολυ-λειτουργικής συσκευής:** Υπάρχουν δύο πιθανές καταστάσεις: 1) Εάν η συσκευή είναι συσκευή αναφοράς για το εργαστήριο διακρίβωσης, τότε αυτός ο όρος θα εξαχθεί από το πιστοποιητικό διακρίβωσης το οποίο προέρχεται από ένα ανώτερου επιπέδου εργαστήριο διακρίβωσης. 2) Εάν η συσκευή είναι πρότυπο εργασίας του εργαστηρίου, αυτός ο παράγοντας θα υπολογιστεί από την διαδικασία διακρίβωσής του μέσω της οποίας συγκρίνεται με το πρότυπο αναφοράς του εργαστηρίου.
- **Μετρολογικά χαρακτηριστικά της πολυ-λειτουργικής συσκευής.** Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν πολλές συνιστώσες αβεβαιότητας, όπως:
 - Ολίσθηση συσκευής, σε σχέση με το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών επαναδιακρίβώσεων.

- Γραμμικότητα συσκευής και απόκριση συχνότητας, καθώς η συσκευή ρυθμίζεται συνήθως σε δύο ή τρία σημεία της κάθε κλίμακας ενώ χρησιμοποιείται σε όλο το εύρος κλίμακας.
- Περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες μπορεί να είναι διαφορετικές κατά την χρήση της συσκευής από αυτές κατά την διακρίβωσή της. Για να είναι, λοιπόν, εφικτός ο προσδιορισμός της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών, και κατά συνέπεια και η αντίστοιχη συνιστώσα της αβεβαιότητας, είναι σημαντικό κατά την διακρίβωση της συσκευής να καταγράφονται ποσότητες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικού θορύβου κλπ.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να καθοριστούν πειραματικά μέσω συγκρίσεων έναντι υψηλότερου επιπέδου προτύπων. Αυτή η διαδικασία παρουσιάζει πολλές δυσκολίες κυρίως εξαιτίας της πολυπλοκότητας τόσο της δομής όσο και της λειτουργίας αυτών των συσκευών. Για την ακρίβεια, ο πειραματικός χαρακτηρισμός αυτών των συσκευών απαιτεί χρόνο και κόστος σχεδόν απαγορευτικά για ένα εργαστήριο διακρίβωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την αβεβαιότητα της συσκευής, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι δηλούμενες προδιαγραφές της.

Σε αυτές τις περιπτώσεις γεννάται το εξής θέμα: Καθώς αυτές οι προδιαγραφές αναφέρονται σε όλη την σειρά παρόμοιων συσκευών και όχι στην συγκεκριμένη, θα πρέπει να επαληθευτεί, μέσω μετρολογικής επιβεβαίωσης, ότι αφορούν και την συγκεκριμένη συσκευή που χρησιμοποιείται από το εργαστήριο διακρίβωσης.

- **Αβεβαιότητα κατά την χρήση της πολυ-λειτουργικής συσκευής:** ο υπολογισμός αυτού του όρου είναι πολύ σημαντικός αφενός γιατί αποτελεί μέρος της αβεβαιότητας κατά την διαδικασία διακρίβωσης αφετέρου, δε, γιατί η ίδια ποσότητα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αρχικών ορίων επαλήθευσης.
- **Αβεβαιότητα του κυκλώματος και της μεθόδου:** Η εκτίμηση αυτού του όρου γίνεται κατά την δημιουργία της διαδικασίας διακρίβωσης. Στην πραγματικότητα, μια διαδικασία διακρίβωσης είναι καλή όταν η επιλογή των συσκευών, η σύνθεση του ηλεκτρικού κυκλώματος και η ακολουθία των χειρισμών γίνεται με γνώμονα την ελαχιστοποίηση της συνολικής αβεβαιότητας. Μετά από αυτό, μια ακριβής εκτέλεση της διαδικασίας εγγυάται ότι αυτός ο όρος αβεβαιότητας είναι ο μικρότερος ανάμεσα στους υπόλοιπους.
- **Καθορισμός επιπέδου αβεβαιότητας της υπό διακρίβωση συσκευής:** αυτός ο όρος της αβεβαιότητας δεν μπορεί να υπολογισθεί εκ των προτέρων, μια και η ίδια διαδικασία διακρίβωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διακρίβωση συσκευών διαφορετικού επιπέδου ακρίβειας.

Στην πραγματικότητα, για γεννήτριες ηλεκτρικών ποσοτήτων και Ψηφιακά Πολύμετρα με μεγάλο αριθμό ψηφίων αυτός ο όρος μπορεί να αντιπροσωπευθεί από την σταθερότητα μικρού χρόνου της συσκευής. Για τα Ψηφιακά Πολύμετρα με μικρό αριθμό ψηφίων, όπου οι ενδείξεις είναι πολύ πιο σταθερές, η αβεβαιότητα εξάγεται από την διακριτική ικανότητα της συσκευής. Τέλος, για αναλογικά όργανα η αβεβαιότητα καθορίζεται κυρίως από την επαναληψιμότητα.

Όταν περιγράφεται μια ακολουθία διακρίβωσης σε μια διαδικασία, ο υπολογισμός της αβεβαιότητας γίνεται όπως έχει μέχρι τώρα περιγραφεί. Καθώς, όμως, δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί εκ των προτέρων ο τύπος της προς διακρίβωση συσκευής, και άρα και το επίπεδο αβεβαιότητας, γίνεται η υπόθεση ότι με την συγκεκριμένη διαδικασία διακρίβώνεται το πλέον ακριβές όργανο, οπότε και η αβεβαιότητα που υπολογίζεται γι' αυτήν την διαδικασία είναι η καλύτερη δυνατή. Για την διακρίβωση μιας συσκευής χαμηλότερων προδιαγραφών θα πρέπει να γίνει ένας εκ νέου υπολογισμός αβεβαιότητας.

3. Διαδικασία μετρολογικής επιβεβαίωσης

Ο καθορισμός της μετρολογικής επιβεβαίωσης που δίνεται από την οδηγία ISO 10012-1 είναι: “Σύνολο των διαδικασιών που απαιτούνται για να εξασφαλίσουν ότι μια συγκεκριμένη συσκευή των οργάνων μέτρησης συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις για την προοριζόμενη χρήση της.” [1]. Επιπλέον, σκοπός ενός συστήματος μετρολογικής επιβεβαίωσης είναι να περιλαμβάνει και τον κίνδυνο παραγωγής μετρήσεων με μη αποδεκτά σφάλματα εντός των αποδεκτών ορίων. Η εφαρμογή αυτών των εννοιών στη χρήση ενός πολλών χρήσεων οργάνου ως πρότυπο σημαίνει ότι πρέπει να προσδιοριστεί ένα σύνολο διαδικασιών που πρέπει να εκτελούνται περιοδικά ή σύμφωνα με τη συχνότητα χρήσης των συσκευών. Όλη αυτή η ακολουθία εργασιών πρέπει να αναφέρεται και να περιγράφεται επακριβώς στα εγχειρίδια χρήσης και στις εσωτερικές διαδικασίες του εργαστηρίου διακρίβωσης. Η ακολουθία αυτή διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της συσκευής, π.χ. εάν είναι ένα πρότυπο αναφοράς ή πρότυπο χρήσης.

Στην περίπτωση που αφορούν ένα πρότυπο εργασίας, οι εργασίες που οφείλουν να διενεργούνται μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- **Διαδικασία διακρίβωσης:** είναι η πλέον αξιοσημείωτη εργασία, καθώς επιτυγχάνει δύο, ιδιαίτερα σημαντικούς, σκοπούς :
 - Τη μεταφορά ιχνηλασιμότητας από τα πρότυπα όργανα υψηλότερου επιπέδου.
 - Την επαλήθευση των μετρολογικών χαρακτηριστικών των οργάνων.

Από αυτά γίνεται σαφές ότι μια γραπτή διαδικασία διακρίβωσης πρέπει να περιγράφει ολόκληρη τη διαδικασία με ακριβή τρόπο, και πρέπει επίσης να αναφέρει τα όρια αποδοχής των αποτελεσμάτων επαλήθευσης. Για τα πολλών χρήσεων όργανα η διακρίβωση εκτελείται συνήθως μία φορά το χρόνο.

- **Περιοδική επαλήθευση κατά τη διάρκεια της περιόδου ισχύος της διακρίβωσης :** ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να διατηρεί ελεγχόμενα τα χαρακτηριστικά των οργάνων, να διακρίνει απροσδόκητες δυσλειτουργίες πριν από την επόμενη διακρίβωση, να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο πραγματοποίησης μη αποδεκτών μετρήσεων που εκτελούνται κατά την περίοδο ισχύος της διακρίβωσης. Η συχνότητα αυτού του ελέγχου εξαρτάται από τον τύπο του οργάνου, συνήθως δε οι επαληθεύσεις που εκτελούνται κάθε τρεις-τέσσερις μήνες είναι ικανοποιητικές στις περισσότερες από τις περιπτώσεις. Αυτή η εργασία πρέπει να αναφέρεται στις εσωτερικές διαδικασίες του εργαστηρίου.

- **Διαδικασίες ιδιο-διακρίβωσης και διακρίβωσης-ελέγχου οργάνων:** πολλά πολλών χρήσεων όργανα υψηλής ακρίβειας μπορούν να ενεργοποιήσουν τις αυτόματες διαδικασίες των συγκρίσεων μεταξύ των εσωτερικών προτύπων αναφοράς, για να εκτελέσουν τη σύνθετη αυτόματη διακρίβωση ή τον έλεγχο διακρίβωσης, ανάλογα με τον τύπο του οργάνου. Η περιοδικότητα εκτέλεσης αυτών των ενεργειών μπορεί να ποικίλει μεταξύ 48 ωρών και 90 ημερών, όπως συστήνεται από τους κατασκευαστές, και τα αποτελέσματα τους μπορούν να σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά αβεβαιότητας οργάνων, άρα και αυτές οι ενέργειες πρέπει να αναφέρονται στις διαδικασίες.
- **Έλεγχος ορθής λειτουργίας οργάνων:** συνίσταται σε έναν έλεγχο των εξαρτημάτων των οργάνων, και εκτελείται στην αρχή της διαδικασίας διακρίβωσης για ένα πρότυπο όργανο.

Η λειτουργία της μετρολογικής επιβεβαίωσης που περιγράφηκε ισχύει και για τα όργανα εργασίας και για τα όργανα αναφοράς, με τη διαφορά ότι στην περίπτωση των οργάνων αναφοράς η διακρίβωση πρέπει να πραγματοποιηθεί από ένα εργαστήριο διακρίβωσης υψηλότερου μετρολογικού επιπέδου από αυτό του εργαστηρίου χρήσης των οργάνων. Τέτοια διακρίβωση πρέπει να γίνεται με τέτοιες συνθήκες και επίπεδα αβεβαιότητας που να είναι συμβατά με τις απαιτήσεις του εργαστηρίου που χρησιμοποιεί τις συσκευές, και συντίθεται ουσιαστικά από το βήμα τρία: αρχική επαλήθευση, ρύθμιση και τελική επαλήθευση. Σε αυτήν την περίπτωση οι διαδικασίες του εργαστηρίου που αναφέρονται στα πρότυπα αναφοράς του πρέπει να περιλαμβάνουν:

- **Ανάλυση του πιστοποιητικού διακρίβωσης των προτύπων αναφοράς,** για να ελέγξει τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά σταθερότητας του οργάνου στο χρόνο που μεσολάβησε μεταξύ των δύο διακρίβώσεων.
- **Ανάλυση της επίδρασης της μετακίνησης/ μεταφοράς της συσκευής** , η οποία συνίσταται σε μια σύγκριση μεταξύ της συσκευής αναφοράς και άλλων εργαστηριακών συσκευών πριν και μετά από την αποστολή προς το εργαστήριο υψηλότερου επιπέδου για τη διακρίβωση. Αυτή η ανάλυση δεν είναι αυστηρά απαραίτητη, αλλά συνιστάται για αυτό το είδος συσκευών.
- Τέλος, για να ολοκληρωθεί ο κύκλος της μετρολογικής επιβεβαίωσης συνιστάται **η συμμετοχή σε διεργαστηριακά σχήματα**, έτσι ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος όλης της μετρητικής διαδικασίας.

4. Διαδικασία Διακρίβωσης

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία της περιοδικής διακρίβωσης ενός υψηλής ακρίβειας πολυ-λειτουργικού οργάνου, το οποίο χρησιμοποιείται ως πρότυπο εργασίας από ένα εργαστήριο διακρίβωσης. Σε αυτήν την διαδικασία οι εργασίες μέτρησης και ρύθμισης (μεταφορά ιχνηλασιμότητας) συνδέονται με αυτές που υλοποιούν την μετρολογική επιβεβαίωση του οργάνου.

Ιδιαίτερα, η σημαντικότερη λειτουργία, στο πλαίσιο της μετρολογικής επιβεβαίωσης, είναι η αρχική επαλήθευση, επειδή σε αυτήν ελέγχεται η αβεβαιότητα της συσκευής κατά την χρήση της . Αυτή η λειτουργία εκτελείται σε πολλά σημεία μέτρησης, σε όλες τις κλίμακες και σε όλες τις λειτουργίες της συσκευής. Για κάθε σημείο

ελέγχεται ότι η διαφορά μεταξύ της ένδειξης ή της τιμής θέσης (ανάλογα με εάν είναι ένα Ψηφιακό Πολύμετρο ή ένας πολλών χρήσεων διακριβωτής) της συσκευής , και του μετρούμενου μεγέθους δεν υπερβαίνει τα όρια της αβεβαιότητας όπως αυτά υπολογίστηκαν κατά τον συνδυασμό της αβεβαιότητας χρήσης της συσκευής , της αβεβαιότητας ρύθμισης του προτύπου αναφοράς και της αβεβαιότητας που οφείλεται στην μέθοδο και στο κύκλωμα μέτρησης.

Εάν οι μετρήσεις μένουν μέσα σε αυτά τα όρια για κάθε σημείο μέτρησης, μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια ότι το όργανο έχει διατηρήσει την αξιολογημένη αβεβαιότητα χρήσης του για το έτος μετά από την τελευταία διακρίβωσή του. Επομένως μπορεί να υποτεθεί ότι το όργανο θα διατηρήσει την ίδια κατάσταση και στο μέλλον επίσης. Συνεπώς, επιβεβαιώνεται και η αξιολογημένη αβεβαιότητα των διαδικασιών που χρησιμοποιούν το όργανο ως πρότυπο.

Εάν οι μετρήσεις δεν παραμένουν μέσα στα όρια, είναι απαραίτητο να εξακριβωθεί εάν αυτό οφείλεται σε δυσλειτουργία της συσκευής, οπότε πρέπει να σταλεί για επισκευή, ή οφείλεται σε υποτίμηση της αβεβαιότητας εξαιτίας των μετρολογικών χαρακτηριστικών της συσκευής. Στην τελευταία περίπτωση πρέπει να επανεκτιμηθούν τόσο η αβεβαιότητα χρήσης της συσκευής, καθώς επίσης και η αξιολογημένη αβεβαιότητα των διαδικασιών που χρησιμοποιούν εκείνο το όργανο ως πρότυπο. Είναι επίσης απαραίτητο να αναθεωρηθούν τα πιστοποιητικά διακρίβωσης που έχουν εκδοθεί στο παρελθόν για να εντοπισθούν τα μη έγκυρα . Φυσικά όλη αυτή η διαδικασία πρέπει να περιγράφεται στο εγχειρίδιο ποιότητας του εργαστηρίου.

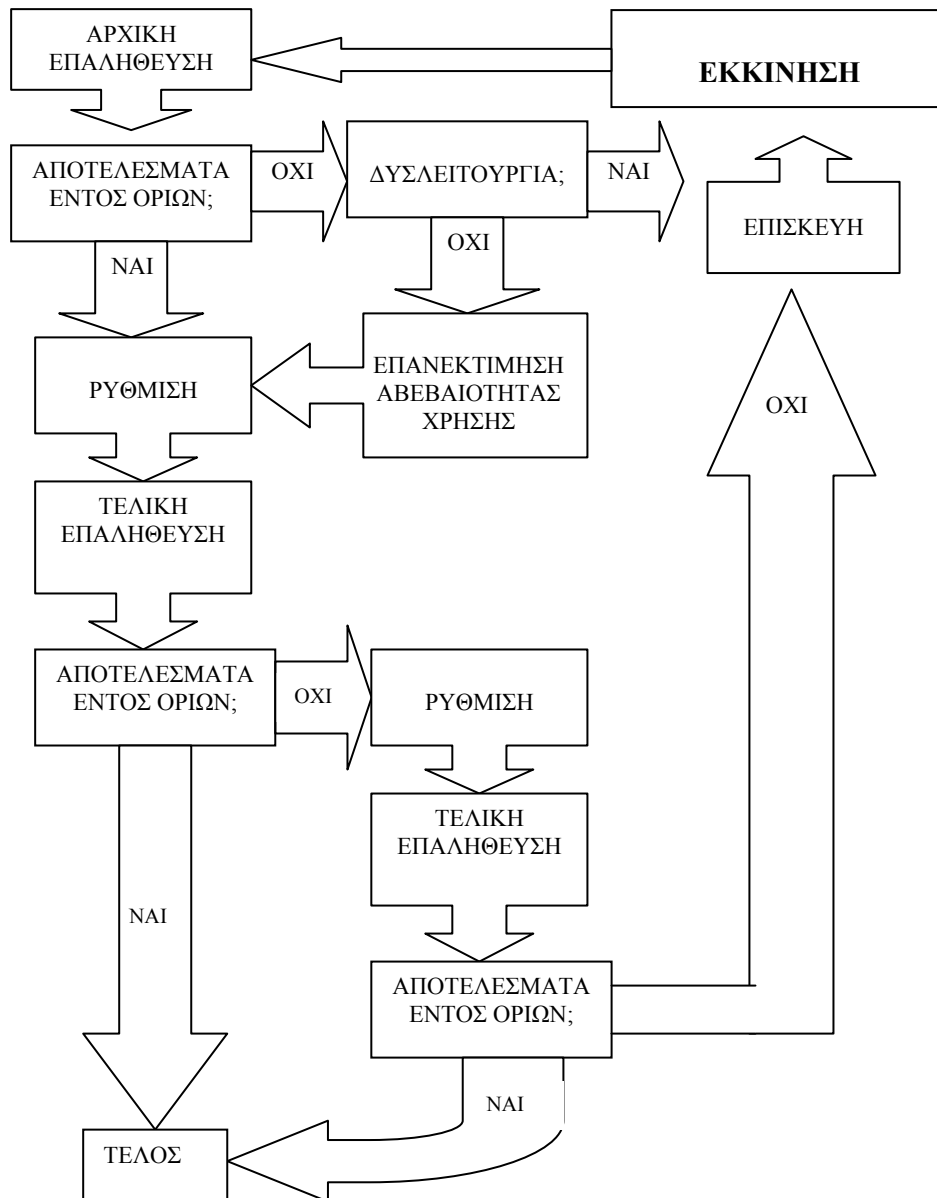
Η διαδικασία ρύθμισης εκτελείται σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου της συσκευής. Αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη επίσης εάν η αρχική επαλήθευση έδωσε θετικά αποτελέσματα, επειδή κατ' αυτό τον τρόπο τα όργανα αρχίζουν την περίοδο χρήσης τους πάντα στην ίδια κατάσταση, και είναι δυνατό να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους σε εκείνη την περίοδο.

Η τελική επαλήθευση εκτελείται συνήθως μέσα σε 24 ώρες μετά από τη διαδικασία ρύθμισης προκειμένου να ελεγχθεί εάν έχει πραγματοποιηθεί σωστά. Τα σημεία μέτρησης επιλέγονται για να επαληθεύσουν τις προδιαγραφές της γραμμικότητας και της απόκρισης συχνότητας του οργάνου. Οι όροι που εξετάζονται στον υπολογισμό των ορίων αβεβαιότητας, εκτός από την επανάληψιμότητα της μέτρησης, είναι:

Η σταθερότητα 24 ωρών του υπό διακρίβωση οργάνου και των προτύπων αναφοράς για κάθε σημείο μέτρησης κατά τη διαδικασία ρύθμισης.

Οι προδιαγραφές 24 ωρών για τα άλλα σημεία.

Εάν τα αποτελέσματα κατά την τελική επαλήθευση είναι έξω από τα παραπάνω όρια, εκτελούνται μια πρόσθετη διαδικασία ρύθμισης και μια τελική επαλήθευση.



Σχήμα 1: Διαδικασία Διακρίβωσης πολυ-λειτουργικής συσκευής

6. Περιοδική Επαλήθευση κατά την διάρκεια Ισχύος της Διακρίβωσης

Ο τρόπος να εκτελεσθεί αυτή η λειτουργία μπορεί να αλλάξει σημαντικά ανάλογα με το όργανο μέτρησης του εργαστηρίου. Γενικά η επαλήθευση μπορεί να γίνει συγκρίνοντας το πολλών χρήσεων όργανο με:

- όργανα υψηλότερης ακρίβειας: σε αυτήν την περίπτωση το πολλών χρήσεων όργανο χρησιμοποιείται ως πρότυπο εργασίας , με συνέπεια η επαλήθευση να γίνεται περιοδικά χρησιμοποιώντας συσκευές αναφοράς υψηλής ακρίβειας, όπως πρότυπα τάσης τύπου Zener, πρότυπα αντίστασης, πρότυπα AC/DC μεταφοράς και διαιρέτες τάσης. Η διαδικασία αυτή καθιστά αυτόν τον τρόπο επαλήθευσης ιδιαίτερα απαιτητικό και δύσκολο να αυτοματοποιηθεί, έτσι είναι απαραίτητο να μειωθεί ο αριθμός των σημείων μέτρησης στο ελάχιστο και να εκτελεσθεί η επαλήθευση μόνο δύο ή τρεις φορές ετησίως.

- όργανα με συγκρίσιμη αβεβαιότητα, δηλ. η περίπτωση των εργαστηρίων που διαθέτουν έναν πολλών χρήσεων διακριβωτή και ένα Ψηφιακό Πολύμετρο με συγκρίσιμη ακρίβεια. Σε αυτήν την περίπτωση η διαδικασία επαλήθευσης μπορεί να αυτοματοποιηθεί μέσω H/Y , γεγονός που καθιστά δυνατή την επαλήθευση σε πολλά σημεία μέτρησης.

Εάν τα όργανα αντιπροσωπεύουν τα όργανα αναφοράς του εργαστηρίου, η επαλήθευση μπορεί να επισημάνει τις ανώμαλες καταστάσεις, αλλά δεν μπορεί να προσδιορίσει την συσκευή που παρουσιάζει δυσλειτουργίες. Αντ' αυτού εάν τα όργανα χρησιμοποιούνται ως πρότυπα εργασίας, το εργαστήριο μπορεί να πραγματοποιήσει την περιοδική επαλήθευση περισσότερες φορές ετησίως και μόνο κάποτε να εκτελέσει μια σύγκριση με το όργανο της υψηλότερης ακρίβειας.

7. Ανάλυση του πιστοποιητικού διακρίβωσης της συσκευής και της επίδρασης της διαδικασίας μεταφοράς

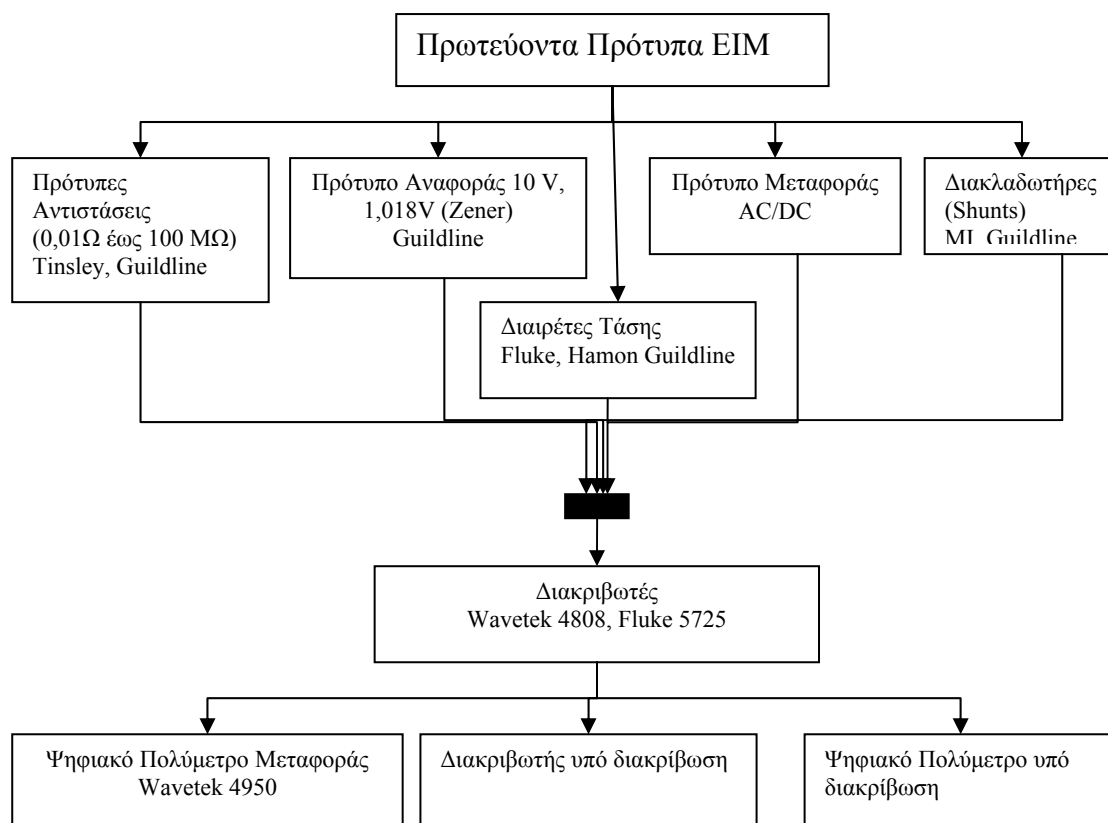
Όπως είπαμε ήδη, ένα εργαστήριο διακρίβωσης πρέπει να εκτελέσει αυτή την λειτουργία όταν οι πολυλειτουργικές συσκευές του αντιπροσωπεύουν τα όργανα αναφοράς του. Το υψηλότερου επιπέδου εργαστήριο διακρίβωσης , στο οποίο αποστέλλεται η πολυλειτουργική συσκευή, εκτελεί διαδικασία διακρίβωσης παρόμοια με εκείνη που περιγράφεται στην παράγραφο 5, χωρίς τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της αρχικής και τελικής επαλήθευσης. Αυτός ο έλεγχος, καθώς και ο υπολογισμός των ορίων ισχύος και η αξιολόγηση των συνιστωσών της αβεβαιότητας, εμπίπτει στην ικανότητα του εργαστηρίου που χρησιμοποιεί το όργανο. Οι πληροφορίες που απαιτούνται για αυτόν τον έλεγχο συνάγονται από την ανάλυση του πιστοποιητικού διακρίβωσης.

Η επίδραση της διαδικασίας μεταφοράς της συσκευής μπορεί να ελεγχθεί μόνο από το χρήστη της πολυλειτουργικής συσκευής, και αυτό πρέπει να γίνει μέσω σύγκρισης με όργανα με συγκρίσιμη ακρίβεια, πριν και μετά από τη μεταφορά. Εάν το εργαστήριο δεν έχει τέτοιο όργανο, η σύγκριση μπορεί να εκτελεσθεί έναντι ενός οργάνου χαμηλότερης ακρίβειας μεν, αλλά με τέτοια σταθερότητα που να μπορεί να εγγυηθεί τις απαιτήσεις της επαλήθευσης. Οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των δεδομένων των δύο συγκρίσεων πρέπει να διορθωθούν με βάση τις διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων της αρχικής και της τελικής επαλήθευσης, εφόσον εκτελέστηκε μια λειτουργία ρύθμισης, και πρέπει να είναι μέσα στα όρια που έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τη σταθερότητα των συγκρινόμενων οργάνων και με την επαναληψιμότητα των μετρήσεων σύγκρισης. Εάν υπάρχει μια σημαντική απόκλιση από αυτά τα όρια η συσκευή πρέπει να επαναδιακριβωθεί ή να σταλεί για επισκευή.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται στο Εργαστήριο Χαμηλών Συχνοτήτων του EIM η μεταφορά της ιχνηλασιμότητας από τα Πρωτεύοντα Πρότυπα στα Πρότυπα Εργασίας.

Το Εργαστήριο διαθέτει τρεις πολυ-λειτουργικούς διακριβωτές οι οποίοι διακριβώνονται περιοδικά. Η διαδικασία της διακρίβωσης περιλαμβάνει τις διαδικασίες ρύθμισης και επαλήθευσης, μέσω της σύγκρισης με τα πρότυπα αναφοράς. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και πολύπλοκη και είναι προτιμότερο να ακολουθείται όταν απαιτούνται εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ψηφιακό πολύμετρο ως πρότυπο αναφοράς και ο πολυ-λειτουργικός διακριβωτής να διακριβώνεται έναντι αυτού. Η

διαδικασία αυτή είναι απλούστερη αλλά οι τελικές αβεβαιότητες είναι προφανώς μεγαλύτερες. Μέχρι το τέλος του 2008 θα έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία σύγκρισης των δύο μεθόδων που υλοποιούνται στο EIM. Οι διακριβωτές που χρησιμοποιούνται είναι οι Wavetek 4808 και ο Fluke 5725, ενώ τα πολύμετρα είναι το Wavetek 4950 και το Agilent 3458A.



Σχήμα 2: Υλοποίηση της ιχνηλασιμότητας κατά την διακρίβωση πολ-λειτουργικών συσκευών στο Εργαστήριο Χαμηλών Συχνοτήτων του EIM

8. Συμπεράσματα

Η ενεργοποίηση των προαναφερθέντων διαδικασιών επιτρέπει την άσκηση ενός καλύτερου ελέγχου στις συνθήκες διακρίβωσης των προτύπων συσκευών, με συνέπεια τόσο τα αποτελέσματα των μετρήσεων να καθίστανται πιο αξιόπιστα, όσο και τα διαπιστευμένα επίπεδα αβεβαιότητας να βελτιώνονται.

Ένα από τα αποτελέσματα είναι ο προσδιορισμός της διαφορετικής επίδρασης που έχουν οι αβεβαιότητες ρύθμισης και επαλήθευσης στη διαδικασία διακρίβωσης. Στην πραγματικότητα, η πρώτη επεμβαίνει στον προσδιορισμό της αβεβαιότητας χρήσης, ενώ η δεύτερη στον υπολογισμό των ορίων επαλήθευσης. Αυτός ο διαχωρισμός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν το όργανο έχει την εσωτερική ικανότητα ιδιο-διακρίβωσης, μια διαδικασία διακρίβωσης βασισμένη σε διάφορα πρότυπα αναφοράς μέσα στο όργανο, μέσω ενός εσωτερικού λογισμικού διακρίβωσης, και σε ένα μικρό αριθμό εξωτερικών προτύπων (συνήθως πρότυπα για τα 10 V, 10 kΩ και 1 Ω). Εάν η διακρίβωση πραγματοποιείται με την εφαρμογή αυτών των εξωτερικών προτύπων και

την εκτέλεση αυτού του εσωτερικού λογισμικού διακρίβωσης, η τελική επαλήθευση πραγματοποιείται με πρότυπα ικανά να εφαρμοστούν και στις πέντε ηλεκτρικές λειτουργίες και σε όλες τις κλίμακες. Τέτοια πρότυπα μπορούν να χαρακτηριστούν από διαφορετικά επίπεδα αβεβαιότητας σε σχέση με εκείνα των προτύπων που χρησιμοποιούνται στην αυτόματη διαδικασία διακρίβωσης.

Γενικά, είναι απαραίτητο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο υπολογισμού της αβεβαιότητας και των ορίων αποδοχής. Στην πραγματικότητα, για αυτό το είδος οργάνων πρέπει να εκφραστούν όχι σε μεμονωμένα σημεία αλλά σε ολόκληρο το εύρος χρήσης.

Μια πιο σύνθετη κατάσταση αντιπροσωπεύεται από τον υπολογισμό των ορίων αποδοχής κατά την επαλήθευση του πολυ-λειτουργικού οργάνου υψηλής ακρίβειας. Εδώ η δυσκολία έγκειται στην υψηλή ακρίβειά του, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα η αβεβαιότητα των χρησιμοποιημένων προτύπων να μην είναι αμελητέα έναντι εκείνης της υπό επαλήθευση συσκευής.

9. Αναφορές

1. «Quality assurance requirements for measuring equipment- Metrological confirmation system for measuring equipment», *ISO 10012-1:1992, Part 1*.
2. «Stability Evaluation of High-Precision Multifunction Instruments for Traceability Transfer», C. Cassiago, G. La Paglia, U. Pogliano, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, pp. 1206–1210, Dec. 2000.
3. «M3003-The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement», 2nd Edit., *UKAS*, Jan. 2007.
4. «A Statistical Approach to Calibrate High End Digital Multimeters», D. Agy, W. Wong, *CAL-LAB- The International Journal of Metrology*, March-April 1997.
5. «Calibrating Precision Multimeters Using a Characterized Multifunction Calibrator», G. Bennett, *NCSL International Workshop and Symposium*, 2004