ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Χ.Σφέτσιου[1], Μ.Χολιαστού[2], Χ.Πολάτογλου[3]
[1] Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
[2] Εργαστήριο Χαμηλών συχνοτήτων, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας
[3] Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
e-mail: sfetsiouchristina@gmail.com

Περίληψη

Η διακρίβωση του εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος επιτυγχάνεται με τη διαδικασία που ονομάζεται μεταφορά AC-DC (AC-DC Transfer) και αφορά τη σύγκριση του εναλλασσόμενου (AC) με ένα συνεχές (DC) ρεύμα. Η σύγκριση βασίζεται στο θερμικό αποτέλεσμα που έχουν αντίστοιχα το AC και DC ρεύμα πάνω σε πρότυπους θερμικούς μετατροπείς πολλών επαφών (Planar multijunction thermal converters, PMJTC). Τα πρότυπα αυτά περιέχουν δεκάδες θερμοστοιχεία σε σειρά τα οποία δίνουν μια τάση εξόδου ανάλογη με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους που με τη σειρά της είναι ανάλογη της θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε σε αυτά. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του προτύπου του εναλλασσόμενου ρεύματος για το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ). Ένα πλήρες πρότυπο εναλλασσόμενου ρεύματος αποτελείται από ένα σύνολο θερμικών μετατροπέων, που συνδυάζονται με αντιστάσεις. Κάθε ζεύγος θερμικού μετατροπέα-αντίστασης αποτελεί ένα βήμα μίας πλήρους κλίμακας (scale up), εύρους από 0 έως 20A. Για τη διακρίβωσή τους εφαρμόζεται διαδοχικά συνεχές ρεύμα και εναλλασσόμενο ρεύμα ίδιας rms τιμής και καταγράφονται οι αντίστοιχες τάσεις εξόδου του μετατροπέα PMJTC. Η διαφορά ανάμεσα σε αυτές αποτελεί τη διαφορά AC-DC (AC-DC Transfer Difference), συμβολίζεται με το γράμμα **δ** και είναι της τάξης μεγέθους μερικών ppm. Το πρόσημο του **δ** είναι θετικό όταν απαιτείται περισσότερο ac ρεύμα από ότι dc για την ίδια τάση εξόδου του θερμικού μετατροπέα. Σε ένα μετρολογικό ινστιτούτο, οι θερμικοί μετατροπείς διακριβώνονται και στη συνέχεια, συνδυασμένοι με τις πρότυπες αντιστάσεις υλοποιούν το πρότυπο εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος για το ινστιτούτο. Οποιοδήποτε άλλο προς διακρίβωση αντικείμενο στο AC ρεύμα έχει ιχνηλασιμότητα στο πρότυπο αυτό. Η εργασία αυτή αφορά στην εφαρμογή της παραπάνω διεθνούς μεθοδολογίας για την πραγματοποίηση της κλίμακας (AC) ρεύματος από 10 mA έως 1 A για συχνότητα 1kHz. Τα απαιτούμενα βήματα καταχωρήθηκαν στο αρχείο εσωτερικών διακριβώσεων του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (ΕΙΜ). Επιπλέον διενεργήθηκε τεχνοοικονομική έρευνα σχετικά με τη την υλοποίηση της πλήρους κλίμακας εναλλασσόμενου ρεύματος AC και την παροχή διακριβώσεων από το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ).

Λέξεις-Κλειδιά: μεταφορά ac-dc, ac ρεύμα, θερμικός μετατροπέας, διακρίβωση.

Abstract

The calibration of alternating (AC) current is achieved by a procedure called AC-DC Transfer which is the comparison of alternate to direct current. This comparison is based upon the thermal effect that AC and DC current respectively have on standard Planar Multijunction Thermal Converters (PMJTC). These standards consist of many thermocouples connected in series providing an output voltage proportional to the voltage applied on them which is respectively proportional to the raise of temperature. Aim of this task is to study, configure and implement the standard of alternating current for Hellenic Institute of Metrology. A complete alternating current standard consists of Planar Multijunction Thermal Converters combined with current shunts. Every pair of a thermal converter and a shunt is a step on the full scale up of alternating current, ranged from 0A to 20A. To calibrate every step, it is applied consecutively alternating and direct current of the same rms value and the output voltage is recorded. There is a difference between the amount of AC and DC current needed to achieve the same amount of heat on the thermal converters. This difference between the outputs constitutes the AC-DC Transfer Difference which is represented by the Greek letter **δ** and it is measured in ppm. The sign of the **δ** is such that more AC than DC is required for the same output voltage when δ is positive. Consequently, an AC current equals the knows average DC current plus δ. When the average DC current and δ are traceable to a national laboratory, the AC-DC transfer standard measured AC current is also traceable and any other device calibrated on ac current has traceability on this standard. This paper regards the application of this international method to implement a scale up from 10mA to 1A, for 1KHz frequency. The required steps and data were registered on the internal calibration records of the institute. Moreover, a techno-economic research was carried out about implementing the full scale up of ac current and enhance the calibration provisions of the Hellenic Institute.

Key words: ac-dc transfer, ac current, thermal converter, calibration

1. Εισαγωγή

Η διακρίβωση του εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος επιτυγχάνεται με τη σύγκρισή του με το συνεχές (DC) ρεύμα. Η σύγκριση βασίζεται στο θερμικό αποτέλεσμα που έχουν αντίστοιχα το AC και το DC ρεύμα πάνω σε επίπεδους θερμικούς μετατροπείς (PMJTC). Από τη σύγκριση αυτή εμφανίζεται μια διαφορά στο θερμικό αποτέλεσμα για ίδιες ονομαστικές τιμές AC και DC ρεύματος.
Μετά από διαδοχικές μετρήσεις καταγράφεται ο μέσος όρος της διαφοράς αυτής και υπολογίζεται η αβεβαιότητα της. Τα μεγέθη αυτά είναι της τάξης των λίγων ppm. Έτσι σχηματίζεται ένα πλήρες πιστοποιητικό για κάθε πρότυπο θερμικό μετατροπέα.
Αυτοί οι πιστοποιημένοι θερμικοί μετατροπείς στη συνέχεια αποτελούν το πρότυπο διακρίβωσης εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος για οποιοδήποτε άλλο προς διακρίβωση αντικείμενο στο μέγεθος αυτό.
Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του προτύπου του εναλλασσόμενου ρεύματος για το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ). Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρειάστηκε:

1. Η μελέτη της θεωρίας του αντίστοιχου προτύπου για την τάση (V).
   Φαινόμενα μεταφοράς εναλλασσόμενων και συνεχών μεγεθών (AC-DC Transfer).
2. Στήσιμο της διάταξης μεταφοράς της τάσης (V) και ενδεικτικές μετρήσεις.
   Κατανόηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των επί μέρους εξαρτημάτων.
3. Μελέτη θεωρίας και πιθανά σενάρια διάταξης μεταφοράς ρεύματος.
4. Υλοποίηση και διακρίβωση εναλλασσόμενου ρεύματος με τον ήδη υπάρχον εξοπλισμό.
5. Ολοκληρωμένες προτάσεις υλοποίησης προτύπου.

2. Διαφορά Ac-dc

Η μεταφορά AC-DC ενώνει την συνεχή τάση (DC-V), της οποίας η ιχνηλασιμότητα πηγάζει από το κβαντικό φαινόμενο Hall, με την εναλλασσόμενη, σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος. Δεκαετίες τεχνολογικής ανάπτυξης έχουν συμπληρωθεί έως ότου να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί αυτή η απλή ιδιότητα για την ανίχνευση των τιμών της αβεβαιότητας (τάξης μεγέθους ppm) τόσο στην εναλλασσόμενη τάση όσο και στο ρεύμα, πέρα από τις συχνότητες που ανιχνεύει το ανθρώπινο αυτί, 20-20.000Hz.
Τα εναλλασσόμενα ρεύματα και οι τάσεις συνδέονται με τα αντίστοιχα συνεχή τους χρησιμοποιώντας κατάλληλες συσκευές AC—DC μεταφοράς. Οι συσκευές αυτές ανταποκρίνονται (θερμαίνονται) και στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο, με τρόπο γνωστό σε εμάς και στις δυο περιπτώσεις. Το πιο γνωστό είδος τέτοιας συσκευής, το οποίο προσφέρει υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις, είναι ένα θερμικό πρότυπο AC-DC μεταφοράς. Η καρδιά ενός τέτοιου προτύπου είναι ένα θερμοστοιχείο ένα πολύ κοντό θερμαίνων καλώδιο (αντίσταση) με ένα θερμό ζεύγος προσαρμοσμένο στις άκρες του, κλεισμένα σε μια γυάλινη φυσαλίδα κενού (SJTC). Το συνεχές και το εναλλασσόμενο σήμα εφαρμόζονται εναλλάξ στην αντίσταση ενώ ταυτόχρονα η τάση εξόδου του θερμό ζεύγους μας πληροφορεί για τη θερμοκρασία της.
Σε μια ιδανική συσκευή η ένδειξη της θερμοκρασίας, τάση εξόδου, θα ήταν η ίδια είτε εφαρμοζόταν συνεχές σήμα είτε εναλλασσόμενο (ενεργός τιμή) της ίδια τιμής, στην αντίσταση. Το ιδανικό αυτό σενάριο πλησιάζουν πολύ οι πολλαπλοί θερμικοί μετατροπείς πολλών επαφών (MJTC), οι οποίοι χρησιμοποιούνται και σε αυτή την εργασία. Ο πρώτος

κατασκευάστηκε στο NPL το 1965. Πριν από αυτούς χρησιμοποιήθηκε στις διατάξεις μεταφοράς το απλό θερμοστοιχείο, που περιγράφηκε πιο επάνω, το οποίο δυστυχώς λόγω των φαινομένων Peltier και Thomson εμφανίζει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές κι άρα και μεγάλες διαφορές στις τάσεις εξόδου του (ακόμα κι όταν έχουμε ίδια ενεργό τιμή εναλλασσόμενου και συνεχούς σήματος).
Η διαφορά κατά την AC-DC μεταφορά (AC-DC Transfer Difference) είναι ουσιαστικά η διαφορά ανάμεσα στο απαιτούμενο συνεχές σήμα και στο αντίστοιχο εναλλασσόμενο σήμα ώστε να μετρήσουμε την ίδια τάση εξόδου (θερμοκρασία). Η διαφορά αυτή εκφράζεται σε ppm, parts per million, του συνεχούς σήματος.
Η διαφορά στην απόκριση της μέσης τιμής dc και ac τάσης είναι η «ac-dc διαφορά» και ένας διορθωτικός παράγοντας, ο οποίος ως επί το πλείστον συμβολίζεται παραδοσιακά με το γράμμα **δ**, ισοσταθμίζει τη διαφορά αυτή. Το πρόσημο του **δ** είναι τέτοιο ώστε περισσότερο ac από ότι dc τάση απαιτείται για την ίδια έξοδο, όταν το πρόσημο είναι θετικό. Συνεπώς μια ac τάση ισούται με τη γνωστή μέση τιμή dc τάσης συν το **δ**. Όταν η μέση τιμή της dc τάσης και το **δ** είναι ανιχνεύσιμα (traceable) σε ένα εθνικό ινστιτούτο, το ινστιτούτο αυτό μπορεί να ανιχνεύσει και να διακριβώσει μέσω του προτύπου της και την ac τάση. Η τιμή του **δ** ενός προτύπου μεταφοράς ac-dc καθορίζεται και πιστοποιείται είτε από ένα εθνικό ινστιτούτο είτε από κάποιο δευτερεύον πιστοποιημένο ινστιτούτο.
Η διαφορά ac-dc ενός προτύπου αναφοράς ορίζεται ως: $\delta = \frac{I_{AC}-I_{DC}}{I_{DC}} \mid out^{AC} = out^{DC}$
I_{AC} είναι η rms τιμή του ac ρεύματος εισόδου που δέχεται το πρότυπο I_{DC} είναι το dc ρεύμα εισόδου που πρέπει να εφαρμόσουμε στο πρότυπο, ώστε να δώσει την ίδια τάση εξόδου, όπως και στην I_{AC}. Εφόσον στην έξοδο των θερμικών μετατροπέων μετράτε τάση υπολογίζονται για τα αντίστοιχα ρεύματα εισόδου οι τάσεις εισόδου.

3. Πειραματική διαδικασία Ac-dc ρεύματος

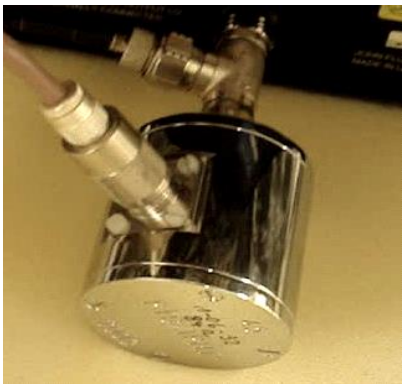
Στη διάρκεια όλων των μετρήσεων οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας ήταν αυστηρά ελεγχόμενες και καταγράφηκαν ως εξής:

	Ελάχιστη	Μέγιστη
Θερμοκρασία ^{o}C	22,2	23,0
Υγρασία %	36	55

3.1 Περιγραφή των προτύπων αναφοράς του ΕΙΜ

Ως πρότυπο αναφοράς για τις τάσεις εισόδου 100 mV έως 1V χρησιμοποιείται ένας επίπεδος θερμικός μετατροπέας πολλών επαφών (planar multijunction thermal converter, ή PMJTC), ο οποίος κατασκευάστηκε στο Γερμανικό Εθνικό Μετρολογικό Ινστιτούτο PTB με αισθητήρα που παρασκευάστηκε στο κέντρο Τεχνολογίας Institutfur Physikalische HochtechnologieeV, Jena στη Γερμανία. Η σχέση της τάσης εισόδου με την τάση εξόδου του PMJTC είναι τετραγωνική, έτσι σε είσοδο 1 V παράγεται έξοδος 100mV, ενώ στην είσοδο των 100mV, που αποτελεί το 1/10 της ονομαστικής τιμής εισόδου παράγεται έξοδος 1mV, το 1/100 της μέγιστης εξόδου.

PMJTC	
Αντίσταση	90Ω
Υλικό αντίστασης	NiCrSi
Αριθμός θερμοστοιχείων	100
Ονομαστική τάση εισόδου	1V
Τάση εξόδου (στην ονομαστική είσοδο)	100mV
Σφάλμα εξάρτησης από την αντιστροφήDC	<1ppm



Εικόνα 2: PMJTC 1V

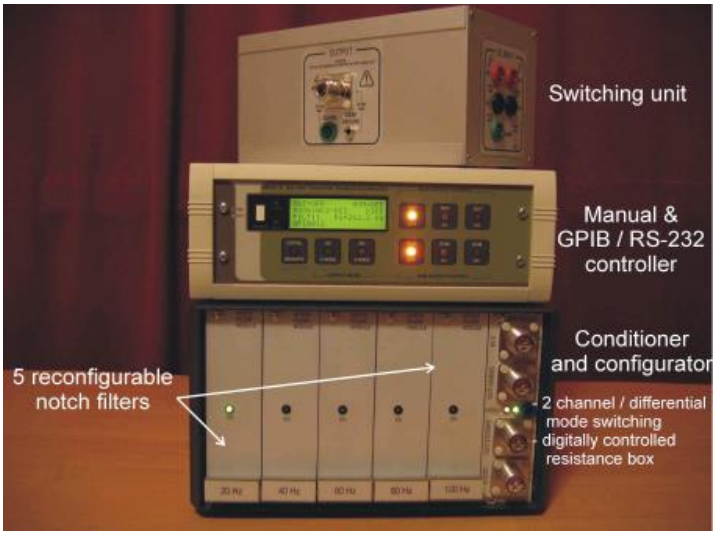
Ως πρότυπο αναφοράς για τις τάσεις εισόδου 200 mV έως 2 V χρησιμοποιείται ένας επίπεδος θερμικός μετατροπέας πολλών επαφών (planar multijunction thermal converter, ή PMJTC), ο οποίος κατασκευάστηκε στο Γερμανικό Εθνικό Μετρολογικό Ινστιτούτο PTB με αισθητήρα που παρασκευάστηκε στο κέντρο Τεχνολογίας Institutfur Physikalische Hochtechnologiee.V, Jena στη Γερμανία. Η σχέση της τάσης εισόδου με την τάση εξόδου του PMJTC είναι τετραγωνική ομοίως.

PMJTC	
Αντίσταση	400Ω
Υλικό αντίστασης	NiCrSi
Αριθμός θερμοστοιχείων	100
Ονομαστική τάση εισόδου	2V
Τάση εξόδου (στην ονομαστική είσοδο)	200mV
Σφάλμα εξάρτησης από την αντιστροφήDC	<1ppm

3.2 Εξοπλισμός και μέσα

- Ως πρότυπη πηγή AC και DC ρεύματος χρησιμοποιείται ο Διακριβωτής Πολλαπλών λειτουργιών Wavetek 4808
- Τρείς αντιστάσεις ρεύματος (διακλαδωτές) Guildline 7320 των 1Ω,10Ω και 100Ω και ένας Quadtech των 10Ω
- Πρότυπο Νανοβολτόμετρο. Η τάση εξόδου του Προτύπου Μεταφοράς AC-DC τάσης μετράται με το νανοβολτόμετροKeithley 2182A αφού διέλθει από τη μονάδα του διαμορφωτή.
- Ηλεκτρονική μονάδα Διαμορφωτή / Ελεγκτή
  Η μονάδα του διαμορφωτή περιέχει :
  - πέντε φίλτρα αιχμής (notchfilters) για να ελαχιστοποιήσουν το θόρυβο (ripples) του σήματος εξόδου των θερμικών μετατροπέων στις χαμηλές συχνότητες.
  - αντιστάσεις που ελέγχονται ηλεκτρονικά για να μηδενίσουν τη διαφορά των τάσεων εξόδου των θερμικών μετατροπέων όταν η διακρίβωση γίνεται με το διαφορικό τρόπο (differentialmode).

- διαμορφωτή ο οποίος καθορίζει αν ο τρόπος διακρίβωσης θα είναι δύο καναλιών ή διαφορικός. Στον τρόπο δυο καναλιών μετρώνται οι τάσεις



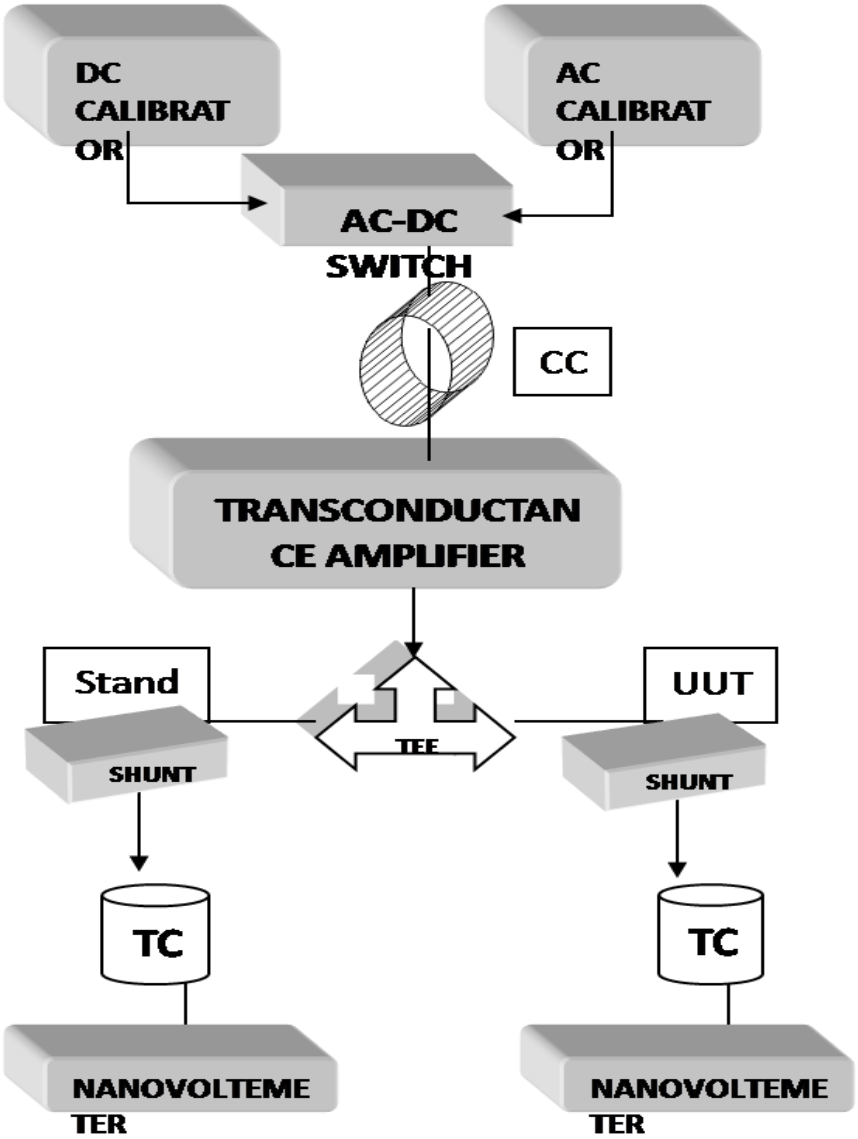
Εικόνα 3: Διακόπτης- Ελεγκτής-Φίλτρο

εξόδου των δύο προτύπων ανεξάρτητα η μία από την άλλη, ενώ στο διαφορικό τρόπο μετράται η έξοδος του ενός προτύπου και η διαφορά των εξόδων των δύο προτύπων.

Η μονάδα του ελεγκτή που επιτρέπει τον χειροκίνητο έλεγχο ή τον έλεγχο μέσω Η/Υ και είναι εξοπλισμένη με πληκτρολόγιο, οθόνη LCD και δύο θύρες επικοινωνίας GPIB και RS-232.

3.3 Πειραματική διάταξη

Η πρότυπη πηγή συνδέεται με το ένα ζεύγος θερμικού μετατροπέα κι αντίστασης και μετά με το επόμενο ζεύγος σε σειρά. Σε αντίθεση με τη διάταξη της τάσης όπου τα ζεύγη αντίστασης και θερμικού μετατροπέα είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους, με ένα κατάλληλο Tee, εδώ υλοποιείται η σύνδεση ανάμεσα στο στάνταρ και στο προς διακρίβωση ζεύγος σα να υπήρχε ένα Tee σύνδεσης σε σειρά. Στην πραγματικότητα έχει υλοποιηθεί μια σύνδεση ανάμεσα στα ζεύγη θερμικών μετατροπέων και αντιστάσεων που να προσομοιάζει ένα Tee σύνδεσης σε σειρά. Το επίπεδο αναφοράς (referenceplane) όταν χρησιμοποιείται συνδετήρας Τ βρίσκεται στο μέσω του συνδετήρα Τ. Σε κάθε πιστοποιητικό διακρίβωσης θα πρέπει να ορίζεται το επίπεδο αναφοράς των μετρήσεων. Η διάταξη υλοποιείται κατά αυτό τον τρόπο ώστε να δέχονται το ίδιο ρεύμα ακριβώς και οι δυο θερμικοί μετατροπείς. Κάθε θερμικός μετατροπέας είναι συνδεδεμένος με μια έξοδο N-type με ένα νανοβολτόμετρο αφού περάσει πρώτα από τον διαμορφωτή.



Σχήμα 1: Διάταξη Διακρίβωσης AC Ρεύματος

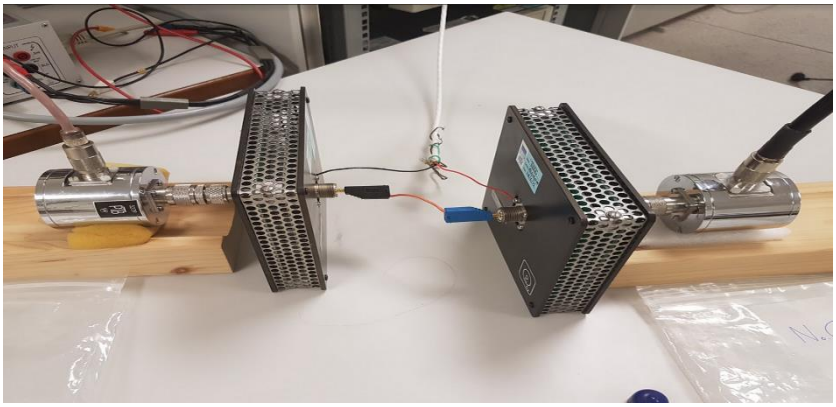
3.4 Μετρητική διαδικασία

Όλα τα όργανα και τα βολτόμετρα προθερμαίνονται για περισσότερες από 2 ώρες, ενώ οι συνδέσεις μεταξύ τους και με τα πρότυπα πραγματοποιούνται μισή ώρα πριν την έναρξη της μέτρησης ώστε να επιτυγχάνεται θερμική ισορροπία.

Η διαδικασία της μέτρησης αυτοματοποιήθηκε πλήρως με τη χρήση Η/Υ. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται αναπτύχθηκε σε περιβάλλον προγραμματισμού LABVIEW και η επικοινωνία με τις πηγές και τα όργανα μέτρησης του εργαστηρίου έγινε με το πρωτόκολλο GPIB. Στο πρόγραμμα τίθενται οι παράμετροι των σημάτων εισόδου, δηλαδή οι τιμές ρεύματος dc, ac και η συχνότητα και όλες οι παράμετροι που αφορούν τη μέτρηση των σημάτων εξόδου, όπως οι κλίμακες των βολτομέτρων και ο αριθμός των σημείων που θα

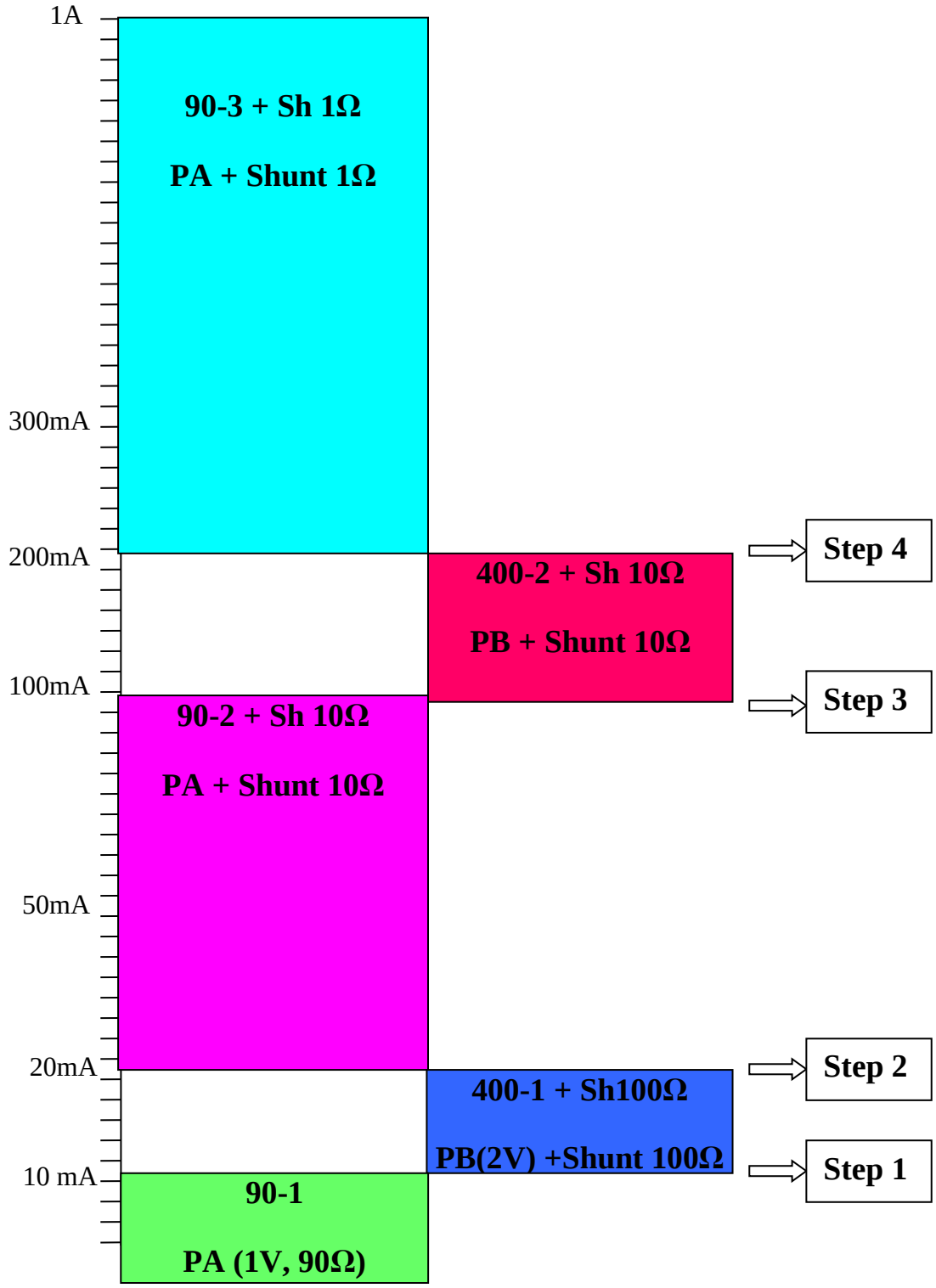
λαμβάνονται για κάθε μία μέτρηση. Επίσης ορίζεται συγκεκριμένη χρονοκαθυστέρηση που θα μεσολαβήσει από την εφαρμογή του ρεύματος εισόδου έως τη μέτρηση της τάσης εξόδου. Το ρεύμα εισόδου εφαρμόζεται σε κύκλους, καθένας από τους οποίους έχει την αλληλουχία: ac, dc^+, ac, dc^-, ac, όπου ένα επιπλέον βήμα ac έχει παρεμβληθεί ανάμεσα στην εφαρμογή των ρευμάτων dc^+ και dc^- για να αποφευχθεί η θερμική αποσταθεροποίηση των θερμικών μετατροπέων κατά το νεκρό χρόνο της αλλαγής από dc^+ σε dc^-. Σε κάθε βήμα, την εφαρμογή του ρεύματος εισόδου ακολουθεί χρονοκαθυστέρηση 60 sec και στη συνέχεια λαμβάνονται μετρήσεις των τάσεων εξόδου των δύο προτύπων. Στο τέλος κάθε κύκλου υπολογίζεται η σχετική διαφορά

$\frac{V_{DC}^S - V_{AC}^S}{n^S V_{DC}^S}$ όπου V_{DC}^S είναι η μέση τιμή των βημάτων dc^+, dc^- και V_{AC}^S η μέση τιμή των τριών βημάτων ac. Όταν επιτευχθεί η συνθήκη ρύθμισης του προγράμματος (στην πράξη, αυτή είναι η σχετική διαφορά, να είναι μικρότερη από 10ppm), τότε εκτελούνται 12 τελευταίοι κύκλοι, σε καθέναν από τους οποίους υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ των χαρακτηριστικών δ_X, δ_S. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή των 12 κύκλων, τίθεται η γνωστή τιμή δ_S του προτύπου αναφοράς και υπολογίζεται από την η ζητούμενη διαφορά ac-dc του προς διακρίβωση προτύπου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποθηκεύονται στον υπολογιστή σε μορφή αρχείου Excel για περαιτέρω επεξεργασία. Υπόδειγμα του αρχείου αυτού υπολογισμών της τιμής δ παρατίθεται στο E.05-(ELF-F-1)-1 «Αρχείο Υπολογισμών Διαφοράς AC - DC». Στη συνέχεια ο υπολογισμός του δ_χ εκτελείται σε ένα αρχείο Excel, το οποίο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα για όλα τα πρότυπα και όλα τα βήματα για τη διαδικασία αύξησ ης της κλίμακας (step up procedure).



Εικόνα 4:Πρότυπα και Shunts σε διακρίβωση

4.Scale-up-Αποτελέσματα



Σχήμα 2: Scale Up

Date	Standard		UUT		Current	δ (ppm)
	Thermal Converter	Shunt	Thermal Converter	Shunt		1 kHz
EIM's Standard	PMJTC (1V)				10mA	0,61
8/7/2016	PMJTC (1V)		PMJTC (2V)	100 Ω	10mA	7,5
EIM's Standard	PMJTC (2V)	100 Ω			20mA	8
9/6/2016	PMJTC (2V)	100 Ω	PMJTC (1V)	10 Ω	20mA	187
EIM's Standard	PMJTC (1V)	10 Ω			100mA	195
29/6/2016	PMJTC (1V)	10 Ω	PMJTC (2V)	10 Ω	100mA	29
EIM's Standard	PMJTC (2V)	10 Ω			200mA	224
10/6/2016	PMJTC (2V)	10 Ω	PMJTC (1V)	1 Ω	200mA	161
EIM's Standard	PMJTC (1V)	1 Ω			1 A	385

Πίνακας 1: Αποτελέσματα δ

4.1 Αβεβαιότητα

Η αβεβαιότητα που αναφέρεται είναι το γινόμενο της τυπικής αβεβαιότητας (u) με τον συντελεστή κάλυψης k = 2 (διευρυμένη αβεβαιότητα) και προσδιορίστηκε σύμφωνα με το έντυπο «*Guide to the Expressionof Uncertaintyin Measurements*» (ISO 1995). Γενικώς, η τιμή της μετρούμενης ποσότητας περιέχεται στο προσδιοριζόμενο εύρος με πιθανότητα 95% περίπου. Η εκτίμηση της αναφερόμενης αβεβαιότητας δεν εμπεριέχει ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες μεταβολές.
Ο γενικός τύπος που εκφράζει τη διαφορά ac-dc με όλες τι απαραίτητες διορθώσεις είναι ο εξής:

$\delta\chi=\delta_s+\delta+\delta_{con}+\delta_{drift}+\delta_{lev}+\delta_{Res\ \ level}$ όπου $\delta = \frac{V_{DC}^X - V_{AC}^X}{n^X V_{DC}^X} - \frac{V_{DC}^S - V_{AC}^S}{n^S V_{DC}^S}$ είναι το πειραματικό αποτέλεσμα της διαφοράς μεταξύ των δύο προτύπων. Η αβεβαιότητα είναι $u_{tot} = \sqrt{u_{\delta_s}^2+u_\delta^2\ +u_{\delta_{con}}^2+u_{\delta_{drift}}^2+u_{\delta_{lev}}^2+u_{\delta_{Res\ level}}^2}$ όπου

1. $u_{\delta s}$ είναι η αβεβαιότητα του προτύπου αναφοράς, η οποία δίνεται στο πιστοποιητικό του
2. u_δ είναι η αβεβαιότητα που προέρχεται από τη μέτρηση των τάσεων εξόδου και περιλαμβάνει την τυπική απόκλιση των μετρήσεων και τις αβεβαιότητες των βολτομέτρων
3. $u_{\delta con}$ είναι η αβεβαιότητα των συνδέσμων και συνδέσεων

4. $u_{\delta drift}$ είναι η αβεβαιότητα λόγω του χρόνου που έχει περάσει από την τελευταία διακρίβωση του προτύπου
5. $u_{\delta lev}$ είναι η αβεβαιότητα λόγω των διαφορετικών επιπέδων των μεγεθών εισόδου
6. $u_{\delta Reslevel}$ είναι η αβεβαιότητα λόγω του ότι οι αντιστάσεις που συνδέθηκαν στα πρότυπα χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορα επίπεδα τιμών εισόδου

Τα τελικά απότελέσματα της διαφοράς ac-dc και η αντίστοιχη διευρυμένη αβεβαιότητα (για συντελεστή k=2) δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

δ EIM's Standards	10mA	20mA	100mA	200mA	1A
Μέση τιμή (ppm)	0,61	8	195	224	385
Διευρυμένη αβεβαιότητα (ppm)	4	6	8	8	12

Πίνακας 2: δ και διευρυμένη αβεβαιότητα

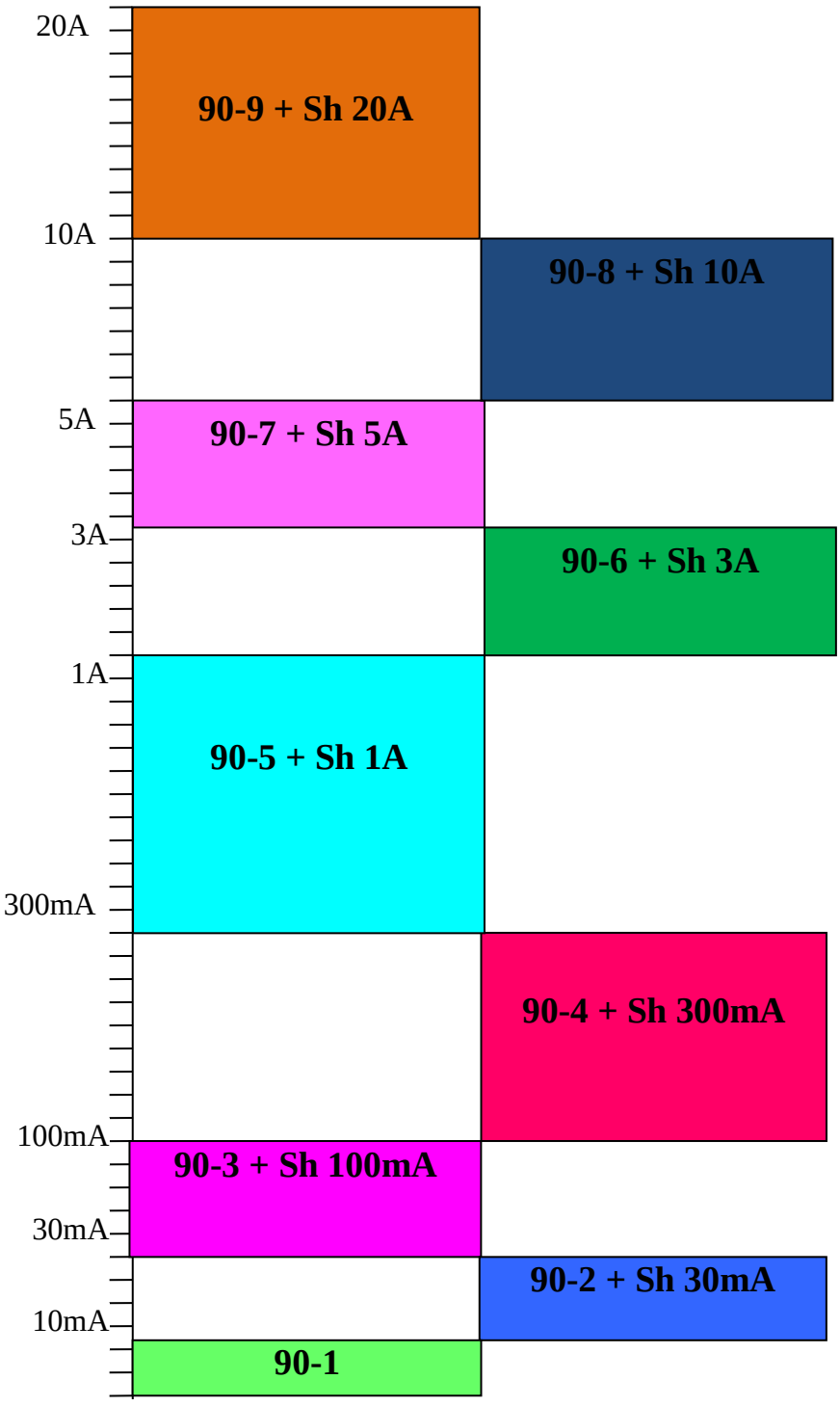
5. Πρόταση Justervesenet

Η πρόταση αυτή είναι η πιο πλήρης και συνιστώμενη παγκοσμίως για τη σύσταση προτύπου εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος. Τα shunts του Justervesenet συνιστά και ο ειδικός στη μελέτη και στο σχεδιασμό πρότυπων διατάξεων ac-dc μεταφοράς Manfred Klonz από το PTB, με τον οποίο υπήρξε επικοινωνία και λήψη συμβουλευτικών οδηγιών. Παρακάτω παρατίθεται η πρόταση που έγινε για την σύσταση μια πλήρους πρότυπης διάταξης.
Η διάταξη αποτελείται από:

Number	Items	Description
1	8	Shunts
2	1	Tee
3	9	T.C.
4	1	Switch
5	1	Amplifier
6	2	Sources
7	1	Choke
8	2	Nanovoltemeters

Εικόνα 5: πλήρες set shunts του Justervesenet

Και το πλήρες scale up έχει την παρακάτω δομή:


20A
10A
5A
3A
1A
300mA
100mA
30mA
10mA
90-9 + Sh 20A
90-8 + Sh 10A
90-7 + Sh 5A
90-6 + Sh 3A
90-5 + Sh 1A
90-4 + Sh 300mA
90-3 + Sh 100mA
90-2 + Sh 30mA
90-1

Προϋπολογισμός:

Justervesenet Full ScaleUp			
Shunt Nominal Current		**Connectors**	**Price (EUR)**
30	mA	N	1 467
100	mA	N	1 532
300	mA	N	1 312
1	A	N	1 789
3	A	N	1 789
5	A	N	2 040
10	A	N	2 226
20	A	UHF In/N out	3 214
Total:			15 369

All Included	**Cost (EUR)**
Shunts	15 369
T.C.	6 750
Tee	200
Calibration	390
Total:	**22.709**

Στόχος:

- ιχνηλασιμότητα και καινούρια CMCs για το ΕΙΜ
- Ιχνηλασιμότητα στο AC ρεύμα
- Τροποποίηση των DMM.
- Υποστήριξη εταιριών που ζητούν διακριβώσεις σε αυτό το μέγεθος

6. Βιβλιογραφία

[1] EIM's Archives
[2] Fluke. "Calibration Philosophy in Practise".
[3] Commission of the European Communities. Bcr information Applied Metrology. Repot 15013. "Intercomparison of thermal AC-DC current standards."
[4] INTI (instituto nacional de technologia industrial. Argentina. "AC DC current transfer step-up calibration and uncertainty calculation" M. Klonz, H. Laiz, T. Spiegel, P. Bittel
[5] "INMETRO'S PRIMARY AC-DC CURRENT TRANSFER STANDARD BASED ON PMJTCS" R. Afonso , M. Klonz, R. M. Souza , R. P. Landim.
[6] Francis L. Hermach, "Thermal Converters as AC-DC Transfer Standards for Current and Voltage Measurements at Audio Frequencies", J. Res. Natl. Bur. Stand. 48, 121-138, 1952.
[7] R. E. Elmquist, M. E. Cage, Y-H. Tang, A-M. Jeffery, J. R. Kinard, R. F. Dziuba, N. M. Oldham, and E. R. Williams, "The Ampere and Electrical Units", J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., January-February, 2001.

[8] M. Klonz, ”AC-DC Transfer Difference of the PTB Multijunction Thermal Converter in the Frequency Range from 10 Hz to 100 kHz,” IEEE Trans. Instrum Meas., vol 36, No. 2, pp. 320-329, June 1987.
[9] M. Klonz, H. Laiz, T. Spiegel, P. Bittel, “AC-DC Current Transfer Step-up and Step-down Calibration and Uncertainty Calculation”, IEEE Trans. Instrum Meas., vol. 51, No. 5, pp. 1027-1034, 2002.
[10] L. D. Lillo, “SIM.EM-K12 Comparison Protocol – AC-DC Current Transfer Difference”, 2010
[11] T. Funck, and M. Klonz: Improved AC-DC current transfer step-up with new current shunts and potential driven guarding. IEEE Trans. Instrum. Meas.,Vol. 56, pp 361-364, April 2007.