

# ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ: EMRP ENG04 “METROLOGY FOR SMART ELECTRICAL GRIDS”

Μυρτώ Χολιαστού<sup>1</sup> Ειρήνη Φλουδά<sup>2</sup> και Θεοδώρα Τόδη<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, ο.τ.45 57022 Σίνδος, Θεσσαλονίκη

<sup>3</sup>Τοσίτσα 21, 55525, Θεσσαλονίκη

e-mail: holiastou@eim.gr

## Περίληψη

Η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ηλεκτρικά δίκτυα καθιστά τη μετατροπή τους σε «έξυπνα» δίκτυα αναγκαία. Σε ένα ερευνητικό έργο διάρκειας τριών ετών, 18 ευρωπαϊκά εθνικά ινστιτούτα μετρολογίας και 4 Πανεπιστήμια-ερευνητικά κέντρα, συνδυάζουν τις έρευνές τους για την ανάπτυξη των μετρολογικών εργαλείων που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο των νέων τεχνολογιών που υπεισέρχονται. Το έργο ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2010 και χρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα Μετρολογίας EMRP, το οποίο υλοποιείται από τον οργανισμό εθνικών μετρολογικών ινστιτούτων της Ευρώπης EURAMET. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι κυριότεροι στόχοι του προγράμματος και τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα στα τέσσερα θεματικά πεδία του, που είναι:

1. Ανάπτυξη του πλαισίου ελέγχου της σταθερότητας των δικτύων με τη χρήση μονάδων μέτρησης του διανύσματος φάσης (Phasor Measurement Units-PMUs) και μετρήσεις του διανύσματος φάσης επί τόπου στο πεδίο σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες.
2. Ιχνηλάσιμες μετρήσεις ενέργειας σε όλα τα επίπεδα τάσης του δικτύου (χαμηλή, μέση, υψηλή) και ανάπτυξη τεχνικής μη παρεμβατικού ελέγχου για τη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας (non intrusive load monitoring-NILM) με κίνητρο τη δίκαιη τιμολόγηση.
3. Χρήση καινοτομικού μετρολογικού εξοπλισμού στην μέτρηση ποιότητας ισχύος επί τόπου σε δίκτυα που περιλαμβάνουν συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ανεμογεννήτριες) σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες.
4. Ανάπτυξη δυναμικών μοντέλων και τεχνικών αβεβαιότητας για την καταγραφή της κατάστασης του συστήματος στα έξυπνα δίκτυα και τη βελτίωση της σταθερότητάς τους, συμπεριλαμβάνοντας και απαιτήσεις κρυπτογράφησης.

*Λέξεις-Κλειδιά: ενέργεια, ποιότητα ενέργειας, έξυπνος μετρητής, phasor, μονάδα μέτρησης φάσης (PMU), επί τόπου μετρήσεις δικτύου.*

## Abstract

The insertion of renewable energy sources in the electric grids makes their transfer to “smart” grids necessary. In a three year research project 18 European National Metrology Institutes and 4 Universities and research centers combine their efforts for the development of the metrological tools necessary for the control of the new technologies involved. The project started in September 2010 and is funded by the European Metrology Research Program EMRP, which is realized within the European Association of National Metrology Institutes EURAMET. In this work the basic scopes of the program are presented and its results until today, which lie in four work packages:

1. Development of the control of grid stability by using phasor measurement units (PMUs) and by performing phasor measurements on site in various European countries.

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

2. Traceable energy measurements in all grid voltage levels (low, medium, high) and development of the non intrusive load monitoring technique (NILM) with main motive fair trade in revenue metering.
3. Use of innovative metrological equipment for on-site energy quality measurement in grids that contain non conventional renewable energy sources (wind turbines) in various European countries.
4. Development of dynamic models and uncertainty techniques for system state recording in the smart grids and the improvement of their stability taking into account cryptographic requirements.

*Key words: energy, power quality, smart meter, phasor measurement unit (PMU), on site network measurements.*

## 1. Εισαγωγή

Η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ηλεκτρικά δίκτυα καθιστά τη μετατροπή τους σε «έξυπνα» δίκτυα αναγκαία<sup>1</sup>. Σε ένα ερευνητικό έργο<sup>2</sup> διάρκειας τριών ετών, 18 ευρωπαϊκά εθνικά ινστιτούτα μετρολογίας και 4 Πανεπιστήμια-ερευνητικά κέντρα (Σχήμα 1.), συνδυάζουν τις έρευνές τους για την ανάπτυξη των μετρολογικών εργαλείων που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο των νέων τεχνολογιών που υφίστανται. Το έργο ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2010 και χρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα Μετρολογίας, EMRP<sup>3</sup> που υλοποιείται από τον οργανισμό εθνικών μετρολογικών ινστιτούτων της Ευρώπης EURAMET<sup>4</sup>. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι κυριότεροι στόχοι του προγράμματος και τα μέχρι στιγμής αποτελέσματά του.



Σχήμα 1 . Τα μέλη του προγράμματος EMRP ENG04 “Smart grids”

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

## **2. Συνοπτική παρουσίαση των επί μέρους έργων του προγράμματος**

### **2.1. Πακέτο έργου 1: Συστήματα μέτρησης ανύσματος φάσης (Phasor measurement units, PMUs)**

Τα συστήματα μέτρησης ανύσματος φάσης χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της κατάστασης των μεγάλων δικτύων μεταφοράς και σήμερα αποδεικνύονται πολύ χρήσιμα και στα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης ως προς την επίτευξη της σταθερότητάς τους. Ωστόσο έχει αναγνωριστεί ότι τα διαφορετικά συστήματα PMU<sup>5</sup> εμπορικού τύπου που είναι εγκατεστημένα στο δίκτυο εμφανίζουν τέτοιες διαφορές απόδοσης που τα καθιστούν αμφισβητήσιμα.

Στο ερευνητικό αυτό πρόγραμμα αναπτύσσονται όλες οι μετρολογικές παράμετροι που αφορούν τη λειτουργία των PMU και καθορίζεται η ιχνηλασιμότητα για αυτά. Συγκεκριμένα: θα μελετηθούν οι διαφορετικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα PMU και θα κατασκευαστεί πρότυπο σύστημα PMU, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις στο εργαστήριο αλλά και στο πεδίο. Θα κατασκευαστεί πρότυπος διακριβωτής για τα PMU και θα καθοριστούν οι διαδικασίες διακρίβωσης σύμφωνα με τις μετρολογικές απαιτήσεις. Τέλος, χρησιμοποιώντας το πρότυπο PMU, θα πραγματοποιηθούν επί τόπου μετρήσεις στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής σε διάφορες χώρες της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας.

### **2.2. Πακέτο έργου 2: Μέτρηση της ενέργειας επί τόπου με στόχο τη δίκαιη τιμολόγηση**

Η μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι πολύ σημαντικό να γίνεται σωστά, καθώς σε αυτή βασίζεται η τιμολόγηση. Στη σημερινή εποχή, χάρις στην απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εισέρχονται στο δίκτυο και ταυτόχρονα εμφανίζονται νέοι παραγωγοί. Τα δεδομένα αυτά δημιουργούν την απαίτηση να υπάρχει ακρίβεια στη μέτρηση και προστασία των δεδομένων προς όφελος του καταναλωτή.

Στο πακέτο έργου 2 του προγράμματος αναπτύσσονται μέθοδοι μη παρεμβατικού ελέγχου για τη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας στις οικιακές εγκαταστάσεις, με απώτερο στόχο τη χρήση τους στους νέους «έξυπνους» μετρητές. Με αυτούς θα μπορεί ο καταναλωτής να γνωρίζει την κατανάλωση των μεμονωμένων συσκευών μέσα στο σπίτι του κάθε στιγμή. Παράλληλα, τα υπάρχοντα συστήματα μέτρησης θα αξιολογηθούν με μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν επί τόπου σε πραγματικές εγκαταστάσεις. Θα αναπτυχθούν μέθοδοι για την ταυτόχρονη διακρίβωση των εγκατεστημένων μετρητών. Τέλος, θα αναπτυχθούν νέες ιχνηλάσιμες διατάξεις στο δίκτυο μέσης και υψηλής τάσης, όπου το περιβάλλον είναι εχθρικό και με αυτές θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις ενέργειας και διακριβώσεις των μετασχηματιστών τάσης και ρεύματος.

### **2.3. Πακέτο έργου 3: Μέτρηση ποιότητας ισχύος επί τόπου και από απόσταση**

Η εξέλιξη των ενεργειακών δικτύων στα «έξυπνα» δίκτυα που περιέχουν νέες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και πληθώρα νέων παραγωγών συνοδεύεται από μείωση της ποιότητας: διακύμανση της τάσης, εισαγωγή αρμονικών συνιστωσών, ασταθής διαθεσιμότητα ενέργειας κλπ. Σε αυτό το πακέτο έργου θα κατασκευαστεί εξοπλισμός που θα επιτρέπει τη μέτρηση της ποιότητας ισχύος στο πεδίο με υψηλή ακρίβεια. Θα χρησιμοποιηθούν και θα τροποποιηθούν αλγόριθμοι που ως τώρα χρησιμοποιούνταν για μετρήσεις ποιότητας ισχύος μόνο στο εργαστήριο. Θα αναπτυχθούν νέες μεθοδολογίες εφαρμόσιμες σε ποικίλα δίκτυα: ανανεώσιμων πηγών (ανεμογεννήτριες), πιλοτικά «έξυπνα» δίκτυα, δίκτυα συνεχούς ρεύματος, δίκτυα

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

μεταφοράς και σε υποσταθμούς τάσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να αξιοποιηθούν για βελτίωση του σχεδιασμού των δικτύων και για να ελεγχθεί αν ικανοποιούνται τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας ενέργειας.

#### 2.4. Πακέτο έργου 4: Σχεδιασμός του συστήματος και σταθερότητα

Τα νέα δίκτυα είναι εκτεθειμένα επίσης σε κινδύνους αστάθειας και κατάρρευσης. Ο λόγος είναι η ασυνεχής εισροή και εκροή ενέργειας, τα πολλαπλά σημεία διασύνδεσης με τους νέους παραγωγούς, η ελλιπής πληροφορία για κατάσταση του συστήματος κ.ά. Στα πλαίσια του έργου αυτού του προγράμματος θα αναπτυχθούν μοντέλα που θα στοχεύουν στην αύξηση των γνωστών δεδομένων για την κατάσταση του συστήματος, και στη βελτίωση του σχεδιασμού του και στον καλύτερο έλεγχό του. Θα διερευνηθεί ποιος είναι ο βέλτιστος αριθμός μετρητών που απαιτείται, ποια η βέλτιστη θέση και η ακρίβειά τους. Το μοντέλο θα τροποποιηθεί και θα συμπληρωθεί με μετρήσεις σε εργαστηριακά δίκτυα και σε πραγματικά δίκτυα. Η ιχνηλασιμότητα των μετασχηματιστών ρεύματος που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο θα διερευνηθεί. Τέλος θα μελετηθεί το ζήτημα της κρυπτογράφησης για την προστασία των δεδομένων.

### 3. Αποτελέσματα του προγράμματος μέχρι σήμερα

#### 3.1. Πακέτο έργου 1: Συστήματα μέτρησης ανύσματος φάσης (Phasor measurement units, PMUs)

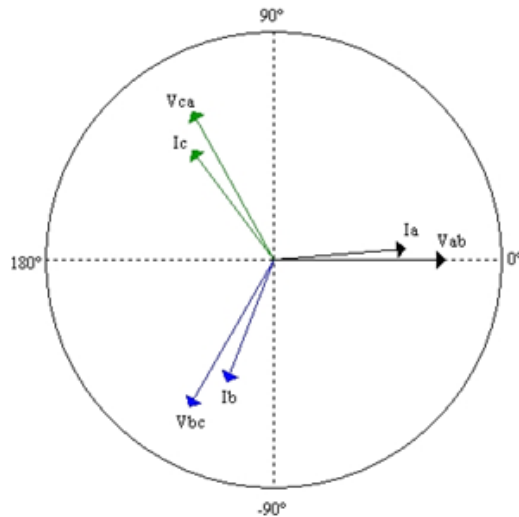
Η τεχνολογία μέτρησης φάσης αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80 και αντικατέστησε τα παραδοσιακά συστήματα SCADA με μεγάλη επιτυχία. Η χρήση των συστημάτων αυτών (PMUs) μάλιστα, αυξήθηκε κατά πολύ μετά το μπλακάουτ που συνέβη στη Βόρεια Αμερική το 2003 και την έκθεση της Καναδικής εταιρίας US Canadian System Outage Task Force, η οποία τόνιζε ότι χρειάζεται καλύτερη γνώση της κατάστασης των δικτύων την ώρα της λειτουργίας τους.

Οι μονάδες μέτρησης φάσης (PMUs)<sup>6,7</sup> (Σχήμα 2) κάνουν συγχρονισμένη και υψηλής ταχύτητας δειγματοληψία της τάσης, της έντασης του ρεύματος του δικτύου και της διαφοράς φάσης τους με ένα ανεξάρτητο, παγκόσμιο σήμα συγχρονισμένο με τη διεθνή ώρα Universal Time Coordinated (UTC), το οποίο λαμβάνεται από το ίδιο το PMU μέσω GPS από δορυφόρους. Το κάθε σημείο του δικτύου αντιπροσωπεύεται από ένα άνυσμα με συγκεκριμένη φάση (Σχήμα 3) και το σύνολο όλων των ανυσμάτων δείχνει την κατάσταση του δικτύου. Τα δεδομένα μετασχηματίζονται βάσει συγκεκριμένου προτύπου IEEE Standard C37.118-2005<sup>8</sup> και χρησιμοποιούνται από το διαχειριστή του συστήματος (Σχήμα 4.).

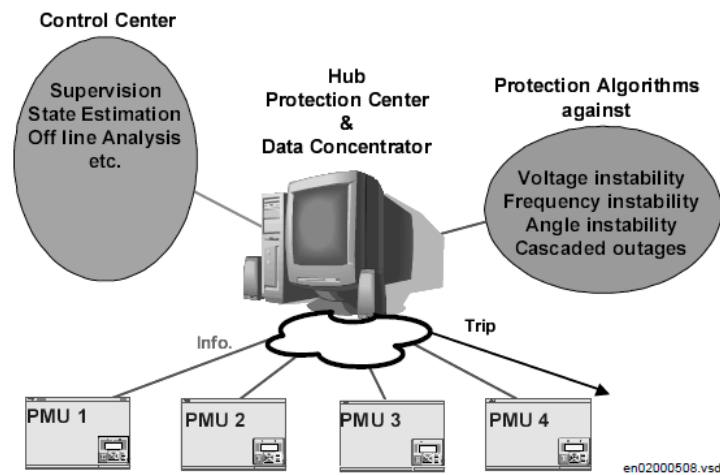


Σχήμα 2. Μονάδες μέτρησης ανύσματος φάσης (PMU) εμπορικού τύπου

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”



Σχήμα 3. Τα ανύσματα τάσης και έντασης του δικτύου



Σχήμα 4. Έλεγχος του συστήματος με όργανα μέτρησης φάσης PMU

Οι ατέλειες στα εσωτερικά πρότυπα των οργάνων PMU και το γεγονός ότι δεν υπάρχει η μετρολογική υποδομή στην Ευρώπη για το χαρακτηρισμό τους, είναι το θέμα του πακέτου εργασίας 1 του προγράμματος, το οποίο έχει τους εξής στόχους :

- Δημιουργία υπολογιστικής πλατφόρμας προσομοίωσης του PMU με την οποία θα συγκριθούν οι μεθοδολογίες των διάφορων PMU εμπορικού τύπου. Η πλατφόρμα ολοκληρώθηκε και παραδόθηκε μόλις το Δεκέμβριο 2011 από τα ινστιτούτα INRIM (Ιταλία) και SIQ (Τσεχία). Βασίστηκε στο σύγχρονο ευρωπαϊκό πρότυπο IEEE Standard C37.118-2005<sup>8</sup>, χρησιμοποιεί γλώσσα προγραμματισμού MATLAB και περιλαμβάνει ως βασικά στοιχεία μία γεννήτρια κυματομορφών, ένα συγκριτή, αλγόριθμοι PMU και φιλική επιφάνεια αλληλεπίδρασης με το χρήστη (Σχήμα 5.).
- Κατασκευή ενός πρότυπου PMU αναφοράς με το οποίο θα μπορούν να γίνουν μετρήσεις ανύσματος φάσης στο εργαστήριο και στο πεδίο. Κύριο ινστιτούτο υπεύθυνο είναι το LNE (Γαλλία) και προβλέπεται να παραδοθεί το Σεπτέμβριο του 2012.

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

- Κατασκευή ενός πρότυπου διακριβωτή για τις διατάξεις PMU σύμφωνα με τα μετρολογικά πρότυπα. Υπεύθυνο ινστιτούτο είναι το METAS (Ελβετία) και η ολοκλήρωση της διάταξης θα γίνει τον Αύγουστο του 2012.

Σχήμα 5. Υπολογιστική πλατφόρμα προσομοίωσης PMU

- Ορισμός της μεθόδου διακρίβωσης των PMU και των συγκεκριμένων μετρήσεων που πρέπει να εκτελούνται. Υπεύθυνο ινστιτούτο είναι το SIQ (Τσεχία) και η παράδοση του τελικού οδηγού που θα περιλαμβάνει τη μεθοδολογία ελέγχου και διακρίβωσης των PMU θα γίνει τον Αύγουστο του 2013.
- Πραγματοποίηση μετρήσεων στο πεδίο, σε διάφορα σημεία του δικτύου σε Ελλάδα (συμμετοχή του ΕΙΜ στο πρόγραμμα), Ρουμανία και Σουηδία. Οι μετρήσεις προβλέπεται να ξεκινήσουν τον Αύγουστο του 2013.

#### Μετρήσεις στο σουηδικό σύστημα μεταφοράς

Θα πραγματοποιηθούν στα σημεία τερματισμού εναέριων γραμμών μεταφοράς 150-200 km, όπου χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές τάσης με σφάλμα λόγου και σφάλμα μετατόπισης φάσης γνωστά. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με τις μετρήσεις του διαχειριστή του συστήματος και η αβεβαιότητα που προκύπτει θα εκτιμηθεί με ή χωρίς την εισαγωγή του σφάλματος των μετασχηματιστών.

#### Μετρήσεις στο ελληνικό σύστημα μεταφοράς

Χρησιμοποιώντας το πρότυπο PMU που θα κατασκευαστεί στο πρόγραμμα θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις ανύσματος φάσης σε δύο κομβικά σημεία του ελληνικού δικτύου μεταφοράς: στο Κέντρο Υψηλής τάσης (KYT) Ωραιοκάστρου Θεσσαλονίκης, όπου γίνεται η διασύνδεση με τη Βουλγαρία και στο Κέντρο Υψηλής Τάσης (KYT) Αγ. Στεφάνου Αττικής. Στα σημεία αυτά ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΔΕΣΜΗΕ<sup>9</sup> έχει ήδη εγκαταστήσει εμπορικά συστήματα PMU, τα οποία είναι συνδεδεμένα με το σύγχρονο διασυνδεδεμένο Σύστημα ENTSO-E<sup>10</sup> και στέλνουν στο ευρωπαϊκό κέντρο τα δεδομένα τους αδιάλειπτα. Η σύγκριση των εγκατεστημένων PMU και του πρότυπου PMU θα μας δώσει μία ρεαλιστική εκτίμηση της αβεβαιότητας του

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

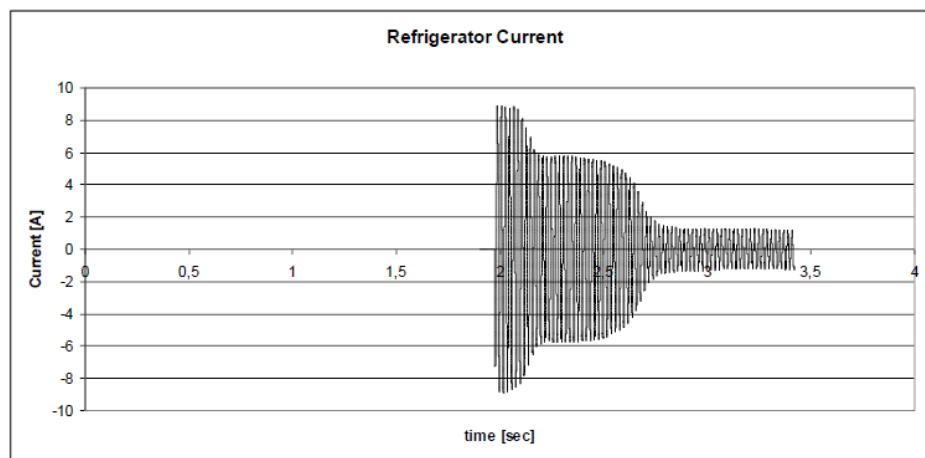
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

PMU και του βάρους που πρέπει να έχουν οι μετρήσεις του για το διαχειριστή του συστήματος, ιδίως όταν δεν είναι γνωστό το σφάλμα των μετασχηματιστών τάσης της εγκατάστασης.

### 3.2. Πακέτο έργου 2: Μέτρηση της ενέργειας επί τόπου με στόχο τη δίκαιη τιμολόγηση

Το έργο του τμήματος αυτού του προγράμματος χωρίζεται σε τρεις παράλληλες δράσεις:

- Ανάπτυξη της τεχνικής μη παρεμβατικού ελέγχου του φορτίου οικιακής εγκατάστασης. Υπεύθυνο είναι το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Πολυτεχνική σχολή. Σχεδιάστηκε μία πλατφόρμα λογισμικού που προσομοιάζει τις χαρακτηριστικές των φορτίων και αναγνωρίζει τις συσκευές που τίθενται σε λειτουργία. Έχουν ταυτοποιηθεί ήδη οι «υπογραφές» περισσότερων από 10 φορτίων χαμηλής τάσης στο εργαστήριο (Σχήμα 6) και διερευνάται η επίδραση που έχει σε αυτές το υπόλοιπο δίκτυο των οικιακών συσκευών που βρίσκονται σε λειτουργία.



Σχήμα 6. «Υπογραφή» του φορτίου ενός ψυγείου (το ρεύμα κατά τη χρονική στιγμή εκκίνησης)

- Διακρίβωση των μετρητών ενέργειας που είναι τοποθετημένοι σε πραγματικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (θα πραγματοποιηθεί από το μετρολογικό ινστιτούτο της Φινλανδίας MIKES). Στόχος είναι να διερευνηθεί αν οι μετρητές μπορούν να ελεγχθούν και να διακριβωθούν επί τόπου χωρίς την απομάκρυνσή τους από την εγκατάσταση. Η έρευνα έδειξε ότι η μέθοδος εφαρμόζεται με επιτυχία. Υπολείπεται να γίνουν μετρήσεις και στη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου.
- Μετρήσεις ενέργειας σε δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης επί τόπου από το Ολλανδικό μετρολογικό ινστιτούτο (VSL) και το Ισπανικό LCOE. Το Ινστιτούτο πρόκειται να προμηθευτεί νέο εξοπλισμό για την υλοποίηση του προγράμματος: μετασχηματιστές τάσης, μετασχηματιστές ρεύματος, ενεργειακό μετρητή για μετρήσεις επί τόπου σε δίκτυα μέσης τάσης (36 kV, 1 kA) και υψηλής τάσης (100 kV, 2 kA) με επιδιωκόμενη αβεβαιότητα < 0.1%. Στο ίδιο πακέτο του έργου το Ισπανικό εργαστήριο LCOE αναπτύσσει μετρητική διάταξη για τη διακρίβωση δικτύων μέσης και υψηλής τάσης (36kV έως 400 kV). Αυτή περιλαμβάνει: πηγή ρεύματος 4000 A, πηγή τάσης 300kV μετασχηματιστές ρεύματος και τάσης και τριφασικό ενεργειακό μετρητή.

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων θα εκδοθεί τεχνική οδηγία για τα συστήματα μέτρησης ενέργειας σε δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης από το Σουηδικό μετρολογικό ινστιτούτο (SP).

### **3.3. Πακέτο έργου 3: Τα εργαλεία για τη μέτρηση της ποιότητας ισχύος από απόσταση**

Αυτό το τμήμα του έργου περιλαμβάνει μετρήσεις ποιότητας ισχύος που θα πραγματοποιηθούν σε πραγματικά δίκτυα διαφόρων τύπων και διαφόρων ευρωπαϊκών χωρών. Τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν είναι: συμμετρία, ενέργεια, ισχύς, συχνότητα, αρμονικές, τρεμοσβήσιμο (flicker), μέσες τιμές RMS μεγεθών κλπ. Τα αποτελέσματα θα παραδοθούν υπό μορφή αναλυτικών εκθέσεων στις παρακάτω κατηγορίες δικτύων:

#### Δίκτυα ανεμογεννητριών

- Μέτρηση ποιότητας ισχύος σε εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες (Trescal-Δανία)
- Φαινόμενο τρεμοσβήματος (flicker) σε ανεμογεννήτριες (NPL-Αγγλία)

#### Δίκτυα διανομής και δίκτυα συνεχούς ρεύματος

- Μετρήσεις ποιότητας ισχύος σε δίκτυα υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (INRIM-Ιταλία)
- Δίκτυο διανομής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (CEM-Ισπανία)
- Μετρήσεις ποιότητας ισχύος στο Βελγικό δίκτυο (SMD-Βέλγιο)

#### Υποσταθμοί Μέσης και Υψηλής τάσης

- Μετρήσεις ποιότητας ισχύος σε υποσταθμούς μέσης/υψηλής τάσης (UME-Τουρκία, INM-Ρουμανία, INRIM-Ιταλία, SMU-Σλοβακία)
- Σταθερότητα γραμμής μεταφοράς υψηλής τάσης (VSL-Ολλανδία)

Ήδη έχουν πραγματοποιηθεί αδιάλειπτες μετρήσεις 54 ημερών στην Αγγλία με ενδιαφέροντα συμπεράσματα, όπως αστάθεια της τάσης τις απογευματινές ώρες, μείωση της ολικής αρμονικής διαταραχής με την έναρξη λειτουργίας των ανεμογεννητριών (απρόσμενο αποτέλεσμα που μπορεί όμως να εξηγηθεί). Επίσης έχουν ήδη ξεκινήσει μετρήσεις στις γραμμές υψηλής συνεχούς τάσης (10kV έως MV) στην Ιταλία.

Οι μετρήσεις θα δώσουν συμπεράσματα για τα προβλήματα ποιότητας ισχύος που υπάρχουν στα δίκτυα και θα προτείνουν διορθωτικές ενέργειες. Επίσης, μέσω των ταυτόχρονων μετρήσεων και εκτεταμένων σε όλο το δίκτυο της Ευρώπης, θα μελετηθεί η διάδοση της ποιότητας ισχύος στις διαφορετικές περιοχές του δικτύου, στοιχείο πολύ χρήσιμο στους σχεδιαστές δικτύων.

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα και θα συνταχθεί ένας τελικός μετρολογικός οδηγός για βέλτιστη μεθοδολογία μετρήσεων ποιότητας ισχύος στο δίκτυο, που είναι επίσης χρήσιμη στους κατασκευαστές προτύπων ενέργειας στη βιομηχανία.

### **3.4. Πακέτο έργου 4. Σχεδιασμός του συστήματος και σταθερότητα στο δίκτυο**

Ο στόχος του προγράμματος στο τμήμα αυτό είναι να αυξήσει την αξιοπιστία των δικτύων, ορίζοντας τη μετρολογική στρατηγική που απαιτείται για την παρατήρηση και τον έλεγχό τους.

Οι επιμέρους δράσεις του είναι:

- Δημιουργία ενός μοντέλου δικτύου (STRAT, Πανεπιστήμιο Strathclyde, Αγγλία), στο οποίο θα μπορούν να εισάγονται δεδομένα από πραγματικές μετρήσεις ροής ισχύος και στη συνέχεια θα διερευνάται η ικανότητα να εκτιμηθεί η κατάσταση σε θέσεις όπου δεν υπάρχουν μετρητικά όργανα. Στο λογισμικό δημιουργήθηκε μία

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



ευαίσθητη μήτρα με την οποία προδιορίζεται το ελάχιστο σύνολο μετρήσεων το οποίο εξασφαλίζει ακριβή εικόνα του συστήματος με το ελάχιστο κόστος. Τα αποτελέσματα του λογισμικού παρουσιάστηκαν στο συνέδριο του “Innovative Smart Grid Technology (ISGT)”, στο Manchester, το Δεκέμβριο 2011<sup>11</sup>.

Δημιουργία ενός δεύτερου μοντέλου δικτύου που διερευνά την τοπολογία των μετρητικών κόμβων και το πλήθος τους, ώστε να μειωθεί το κόστος. Επίσης, μελετώνται οι προδιαγραφές των μετρητών: οι κοινοί έξυπνοι μετρητές δεν είναι «έξυπνοι», ενώ οι βιομηχανικοί πληρούν τις επιστημονικές απαιτήσεις, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα λόγω του κόστους τους (PTB, Γερμανία).

Επίσης, θα διερευνηθεί η επίδραση που έχει η φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο (TU-BS Technical University of Braunschweig, Γερμανία).

- Επιβεβαίωση του μοντέλου με πειραματικά δεδομένα από εργαστηριακό δίκτυο και πραγματικά δεδομένα από τα δίκτυα χαμηλής και μέσης τάσης. Οι μετρήσεις χαμηλής τάσης θα πραγματοποιηθούν σε ένα δίκτυο που είναι εγκατεστημένο στην Ελβετία και τροφοδοτεί με 5,4 GWh το χρόνο 140 καταναλωτές, οικιακούς και βιομηχανικούς. Για τις μετρήσεις θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο ευρωπαϊκό πρόγραμμα: iMERA+Power & Energy JRP<sup>12</sup>
- Οι μετασχηματιστές ρεύματος είναι οι πιο διαδεδομένοι αισθητήρες για τη μέτρηση του ρεύματος και χρησιμοποιούνται από τα μετρολογικά ινστιτούτα για την ακριβή μέτρηση ρευμάτων από μερικά mA μέχρι εκατοντάδες kA. Στη δράση αυτή θα αναπτυχθεί από το PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt, Γερμανία) ένα σύστημα βαθμονόμησης μετασχηματιστών ρεύματος, το οποίο θα προορίζεται για μετρήσεις σε δίκτυα «μολυσμένα» με υψηλές συχνότητες. Για το σκοπό αυτό θα κατασκευαστεί ένας μετασχηματιστής με δευτερεύον ρεύμα στην περιοχή 50 mA – 5 A και εύρος συχνοτήτων τα 20 kHz κατά την απαίτηση των προτύπων ισχύος και με ακρίβεια <0.01%.
- Τα νέα δίκτυα περιλαμβάνουν πολλαπλή ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των διαφόρων μερών (παραγωγών, δικτύων, καταναλωτών κλπ.) και μεταφορά δεδομένων μεγάλου όγκου. Στη δράση αυτή θα αναλυθούν οι νέες αυξημένες απαιτήσεις για την ασφάλεια και την προστασία των δεδομένων σε συμβατότητα με τους κανονισμούς του Ευρωπαϊκού οργανισμού τυποποίησης Mandate 441 και mandate 490<sup>13</sup>. Στη συνέχεια, με βάση την ανάλυση αυτή θα προταθεί πλαίσιο κρυπτογράφησης για τα έξυπνα δίκτυα.

#### 4. Συνεργάτες-Παρατηρητές

Το πρόγραμμα αυτό υποστηρίζει έντονα τη συνεργασία επιστήμης και παραγωγής: 17 διαχειριστές δικτύων, κατασκευαστές οργάνων, ηλεκτρικές εταιρίες και ερευνητές από όλη την Ευρώπη εκδήλωσαν το ενδιαφέρον τους και συμμετέχουν σ’ αυτό ως συνεργάτες-παρατηρητές. Οι συνεργάτες λαμβάνουν γνώση των αποτελεσμάτων του προγράμματος και είναι σε θέση να μεταφέρουν στη βιομηχανία όλες τις χρήσιμες πληροφορίες που προκύπτουν από την εξέλιξή του. Η ομάδα των παρατηρητών παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



Σχήμα 7. Η ομάδα των παρατηρητών του προγράμματος

## 5. Συμπεράσματα

Παρουσιάστηκαν οι κυριότερες δράσεις του προγράμματος EMRP 2009, ENG04 “Metrology for Smart Electrical Grids”, που ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2010 και βρίσκεται σε εξέλιξη. Οι στόχοι του προγράμματος ποικίλουν από τη βελτίωση του σχεδιασμού των δικτύων και της παρατηρησιμότητάς τους, μέχρι την ανάπτυξη εργαλείων για τη μέτρηση της ποιότητας ισχύος, τη δίκαιη τιμολόγηση και την προστασία των δεδομένων. Τα αποτελέσματά του έχουν άμεσο αντίκτυπο στην επιστήμη, την οικονομία, την κοινωνία, το περιβάλλον με τελικό αποδέκτη τον πολίτη και την ποιότητα ζωής του.

## Βιβλιογραφία

1. “European Technology Platform Smart Grids- Vision and Strategy for Europe’s Electrical Networks of the Future”, European Commission EUR 22040, 2006 [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf)
2. ENG04 SmartGrids “Metrology for Smart Electrical Grids”, EMRP 2009 Joint Research Project Protocol <http://www.smartgrid-metrology.eu/>
3. EMRP European Metrology Research Programme <http://www.emrponline.eu>
4. EURAMET European Association of National Metrology Institutes <http://www.euramet.org>
5. A.P. Meliopoulos, V. Madani, D. Novosel, G. Cokkinides et al. “Synchronphasor Measurement Accuracy Characterization”, North American Synchronphasor Initiative Performance & Standards Task Team (2007-2010)
6. P. Bonanomi, “Phase angle measurement with synchronized clocks”, IEEE Transactions on power apparatus and Systems, vol. PAS 100, no 12, pp 5036-5043, Dec 1981
7. A.G. Phadke, “Synchronized phasor measurements in power systems”, IEEE computer applications in power, vol. 6, no2, pp 10-15, April 1993
8. IEEE “Standard for synchronphasors for power systems”, Std C37.118-2005

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

9. Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΔΕΣΜΗΕ, Institutes <http://www.desmie.gr>
10. European Network of Transmission System Operators for Electricity, <http://www.entsoe.eu>
11. Innovative Smart Grid Technologies ISGT December 5-7, 2011 <http://www.ieee-isgt-2011.eu/>
12. “The Next generation of power and energy measuring techniques” JRP Summary for Project T4 J01 Power & Energy  
[http://projects.npl.co.uk/power\\_energy/docs/T4J01\\_Publishable\\_JRP\\_Summary.pdf](http://projects.npl.co.uk/power_energy/docs/T4J01_Publishable_JRP_Summary.pdf)
13. “Standardization Mandate to European Standardisation Organisations (ESOs) to support European Smart Grid deployment”, M/490 EN, 1<sup>st</sup> March 2011

*Η έρευνα που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία είναι μέρος του Προγράμματος European Metrology Research Program (EMRP), το οποίο συγχρηματοδοτείται από τις χώρες του EURAMET που συμμετέχουν στο EMRP και στην Ευρωπαϊκή Ένωση.*

Μυρτώ Χολιαστού, Ειρήνη Φλουδά, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας  
Παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος: EMRP ENG04 “Metrology for smart electrical grids”

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012