

Δίκτυα Διανομής και Διανεμημένη Παραγωγή:
Μια λύση για την παροχή
επικουρικών υπηρεσιών που θα επιτρέψει την πολύ
μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ

Χάρης Δημουλιάς
Καθηγητής Ηλεκτρικής Ενέργειας-Ποιότητας Ισχύος
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
ΑΠΘ

Εισαγωγή: Ευστάθεια Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

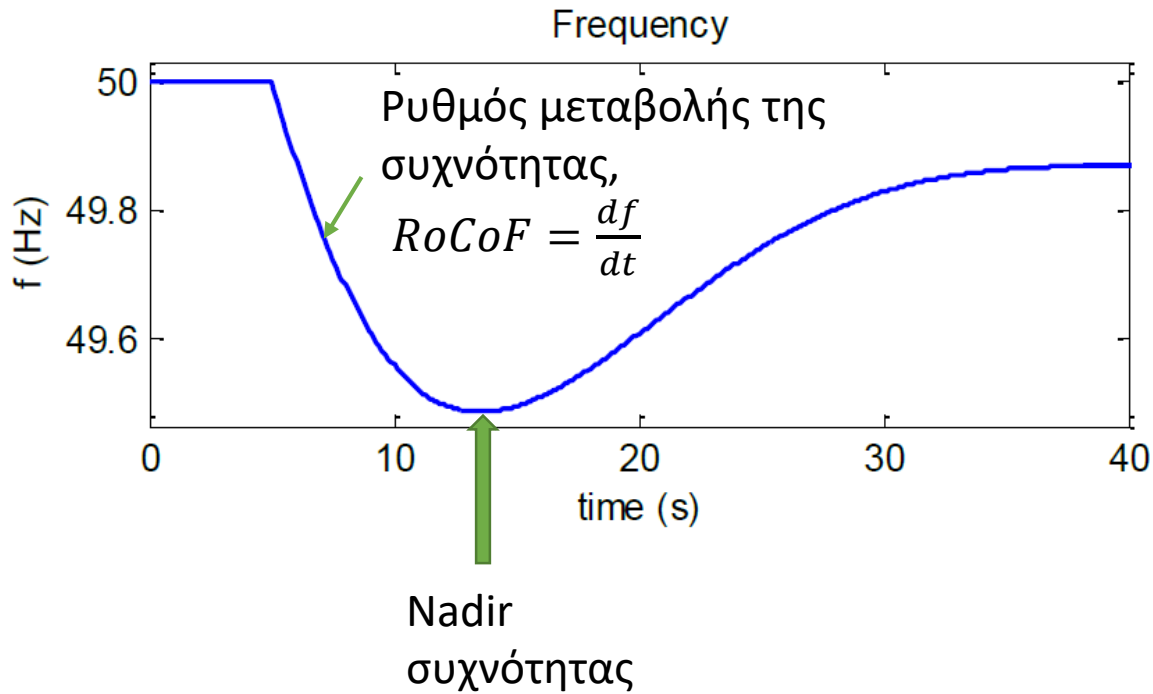
Ευσταθές είναι ένα ΣΗΕ όταν μπορεί να αντιμετωπίζει ανισορροπίες μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος.

- Ανισορροπία στην **ενεργό ισχύ** εκδηλώνεται ως μεταβολή της συχνότητας από την ονομαστική της τιμή (50Hz στην Ευρώπη)
- Ανισορροπία στην **άεργο ισχύ** εκδηλώνεται ως μεταβολή της τάσης από την ονομαστική της τιμή

Σημαντικότερη θεωρείται η διατήρηση της συχνότητας μεταξύ προκαθορισμένων ορίων επειδή έχει να κάνει με το ισοζύγιο ενεργού ισχύος (παραγωγή και κατανάλωση).

Πιο κρίσιμη θεωρείται η *υποσυχνότητα* η οποία υποδηλώνει έλλειμα παραγωγής ισχύος.

Εισαγωγή: Ευστάθεια Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας



Παράδειγμα μεταβολής
της συχνότητας σε
περίπτωση ελλείματος
ισχύος

Στο ηπειρωτικό Ευρωπαϊκό Συνδεδεμένο σύστημα (Continental European Synchronous Area), ως nadir θεωρούνται τα **47.5Hz**. Εάν η συχνότητα φτάσει εκεί κοντά, υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα για **blackout**.

Επικουρικές Υπηρεσίες (Ancillary Services-AS): Ορισμός

Ο ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) ορίζει τις επικουρικές υπηρεσίες (AS) ως υπηρεσίες που προσφέρονται σε Διαχειριστές Δικτύων Διανομής (DSO) και μεταφοράς (TSO) με **στόχο τη διατήρηση της λειτουργίας των δικτύων μέσα σε αποδεκτά όρια για την ασφάλεια της τροφοδοσίας**.

Θεωρείται ότι οι AS μπορούν να προσφέρονται από τρίτους (σε σχέση με τον έλεγχο των πηγών ενέργειας) ή από τους ίδιους τους TSOs και DSOs. [1].

Σήμερα οι κύριες AS αφορούν

- Την υποστήριξη της συχνότητας του δικτύου
- Την υποστήριξη της τάσης των δικτύων μέσω αέργου ισχύος
- Την δυνατότητα επαναδημιουργίας του ηλεκτρικού δικτύου εκ του μηδενός (black starting)

[1] Tech. Report by ENTSO-E, E.DSO, Eurelectric, GEODE & CEDEC “An Integrated Approach To Active System Management With The Focus On TSO–DSO Coordination In Congestion Management And Balancing”, Apr. 2019, Available [Online]:

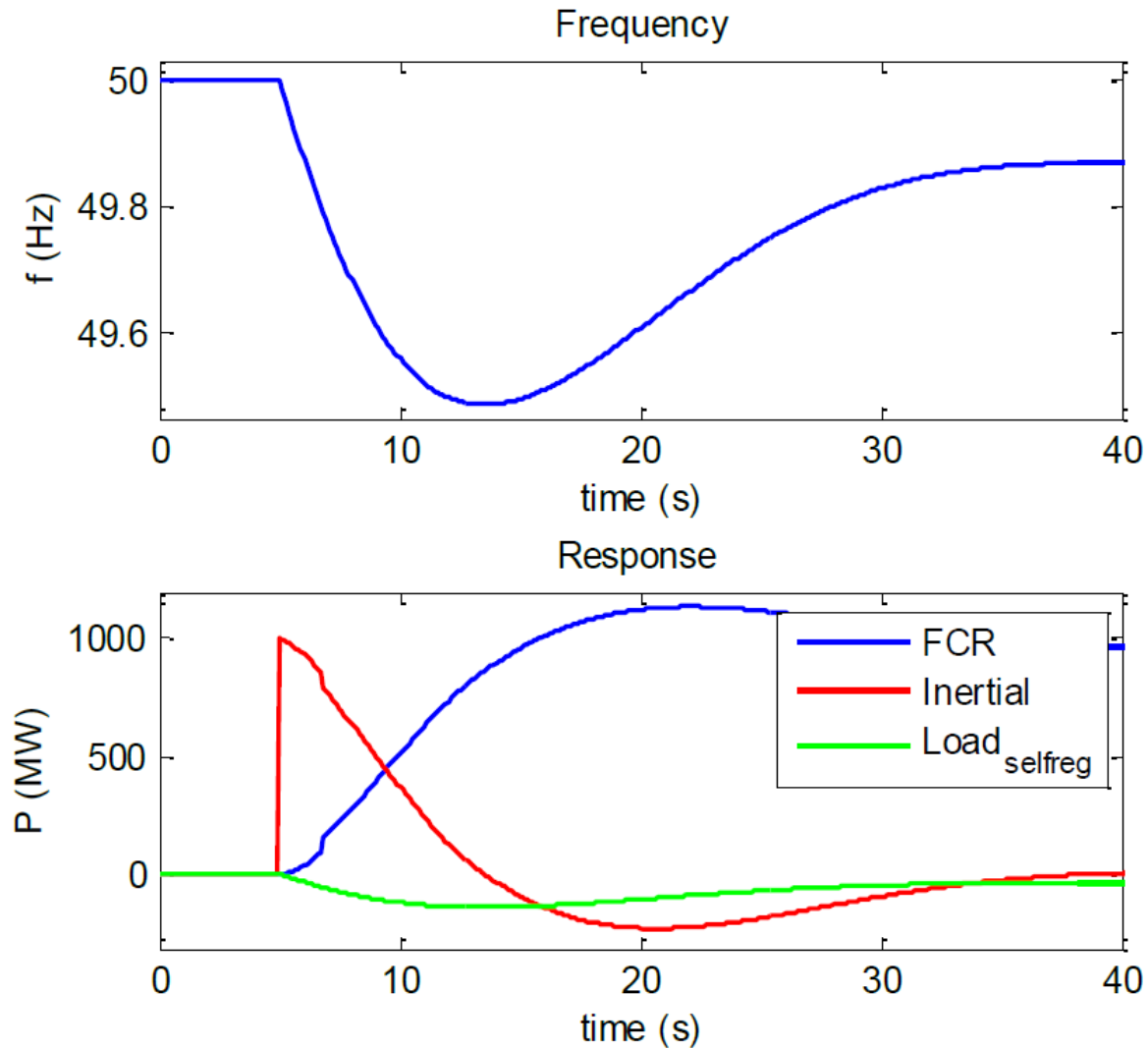
https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/TSO-DSO_ASM_2019_190416.pdf

Επικουρικές Υπηρεσίες (Ancillary Services-AS): Ορισμός

Μια άλλη διάκριση των AS είναι:

- AS σχετιζόμενες με την συχνότητα όπως οι εφεδρείες εξισορρόπησης ισχύος:
 - Εφεδρείες για περιορισμό της μεταβολής της συχνότητας (Frequency Containment Reserves-FCR),
 - Εφεδρείες για αποκατάσταση της συχνότητας (Frequency Restoration Reserves-FRR) και
 - εφεδρείες αντικατάστασης των προηγούμενων εφεδρειών (Replacement Reserves-RR)
- AS σχετιζόμενες με την αποφυγή συμφόρησης του δικτύου.
- AS μη σχετιζόμενες με την συχνότητα όπως ο έλεγχος της τάσης και το black start.

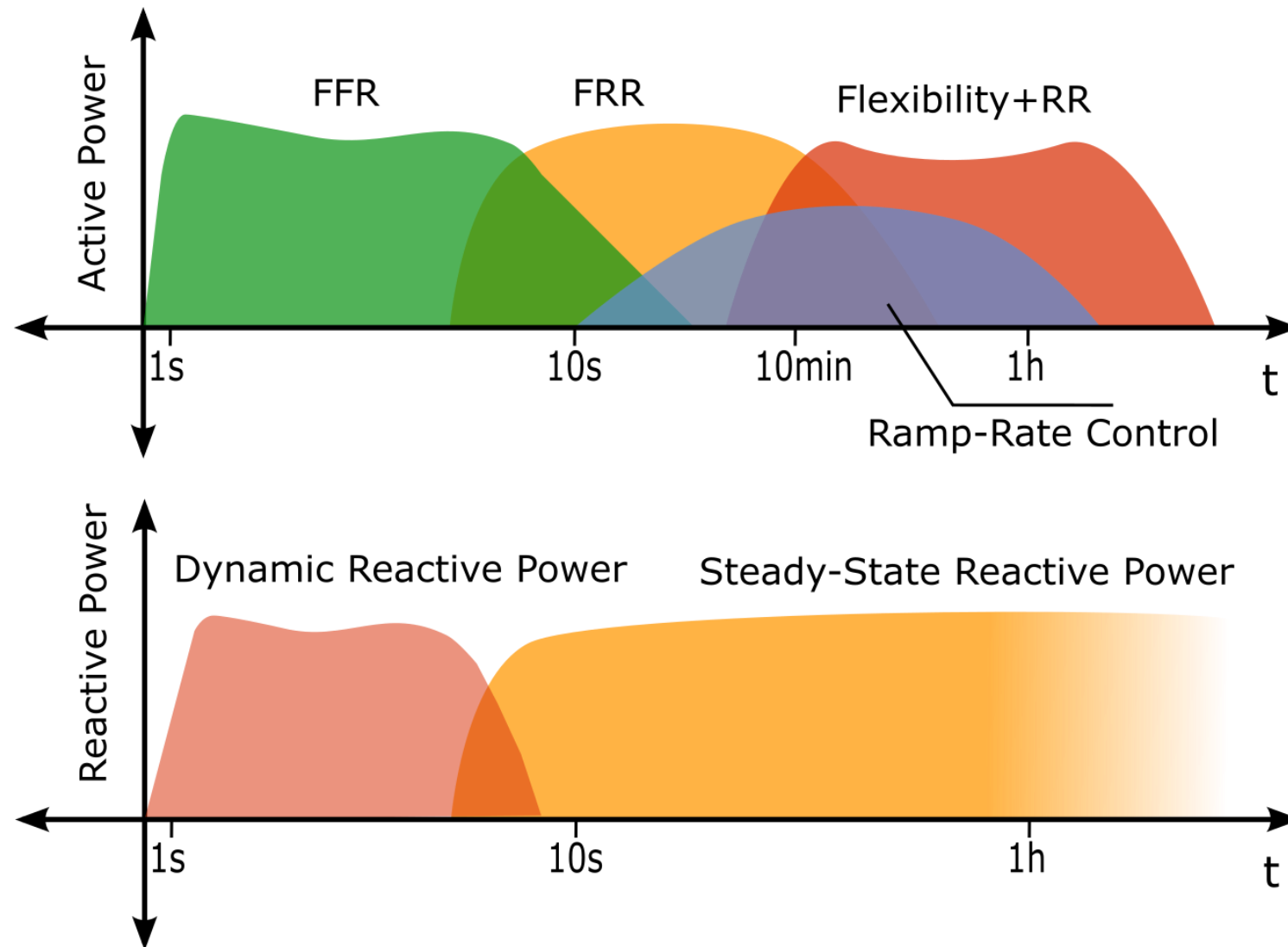
Παράδειγμα απόκρισης μιας Σύγχρονης Γεννήτριας που λειτουργεί ως FCR σε απότομη μεταβολή της συχνότητας



Ο ρόλος των παραδοσιακών Σύγχρονων Γεννητριών

- Προσφέρουν εγγενώς **αδράνεια** λόγω της στρεφόμενης μάζας τους (δρομέας + κινητήριοι μηχανισμοί)
- Εγγενώς παράγουν συμμετρικές τάσεις στα 50Hz.
- Συμπεριφέρονται σαν **πηγές τάσης** πίσω από μια αντίδραση. Έτσι εγχέουν σημαντικά ρεύματα σε περιπτώσεις σφαλμάτων τα οποία είναι σημαντικά για τον **συντονισμό της προστασίας των δικτύων**.
- Κινούνται από κινητήριους μηχανισμούς με **πλήρως ελεγχόμενη ισχύ**
- Μπορούν να ρυθμίσουν την ανταλλαγή άεργης ισχύος και επομένως **επικουρούν στην ρύθμιση της τάσης**

Ο ρόλος των παραδοσιακών Σύγχρονων Γεννητριών



Προβλήματα λόγω της αύξησης της διείσδυσης ΑΠΕ

Distributed Renewable Energy Sources (DRES)



Biomass



Small
Hydro



PV



Wind

Dispatchable.

Mostly use SGs **directly**
coupled to the grid.

Non-Dispatchable

They use **Power-Electronic Converters** as
interface to the grid

Προβλήματα λόγω της αύξησης της διείσδυσης ΑΠΕ

Distributed Renewable Energy Sources (DRES)



Biomass



Small
Hydro



PV

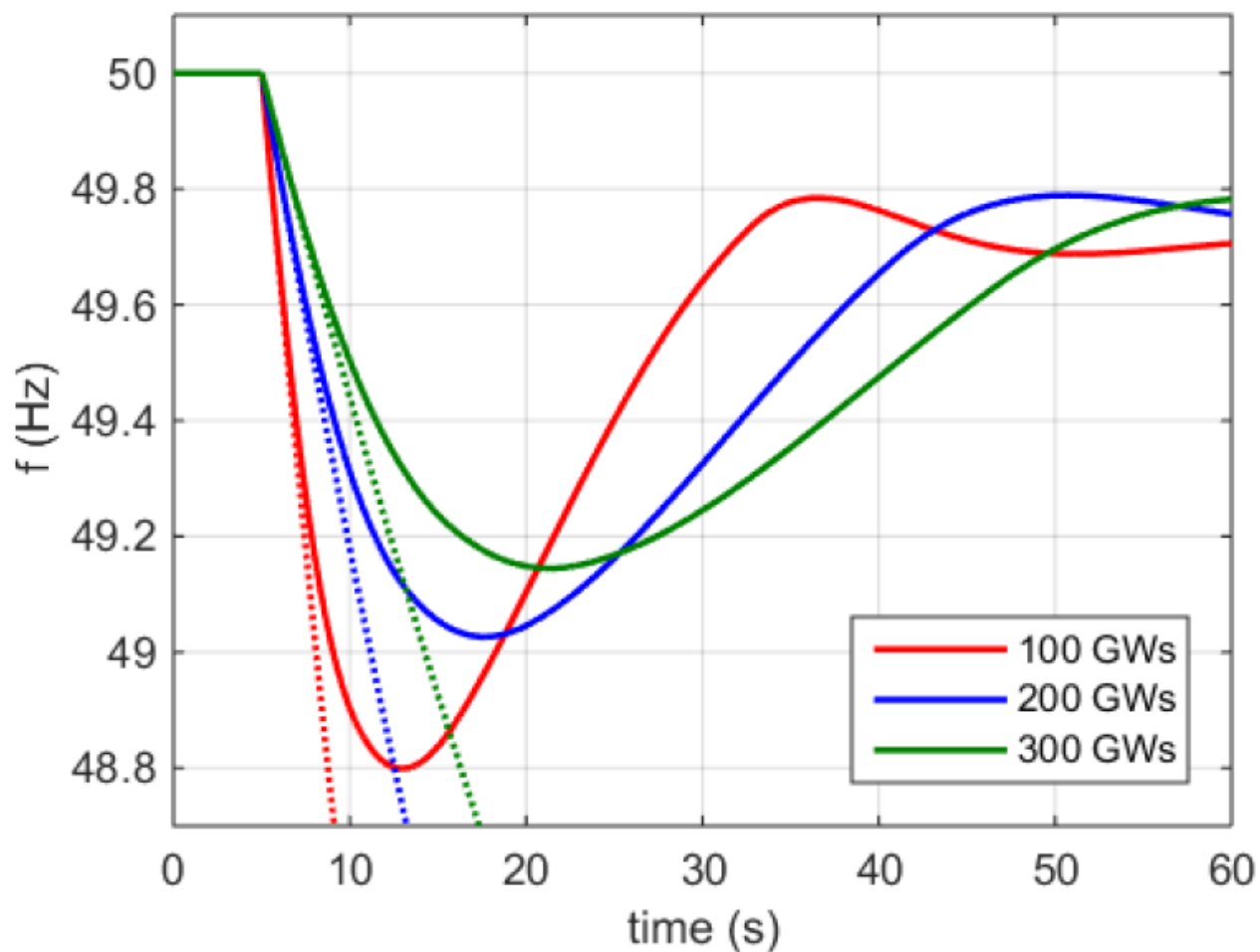


Wind

Εκτοπίζουν συμβατικές Σύγχρονες Γεννήτριες, αλλά

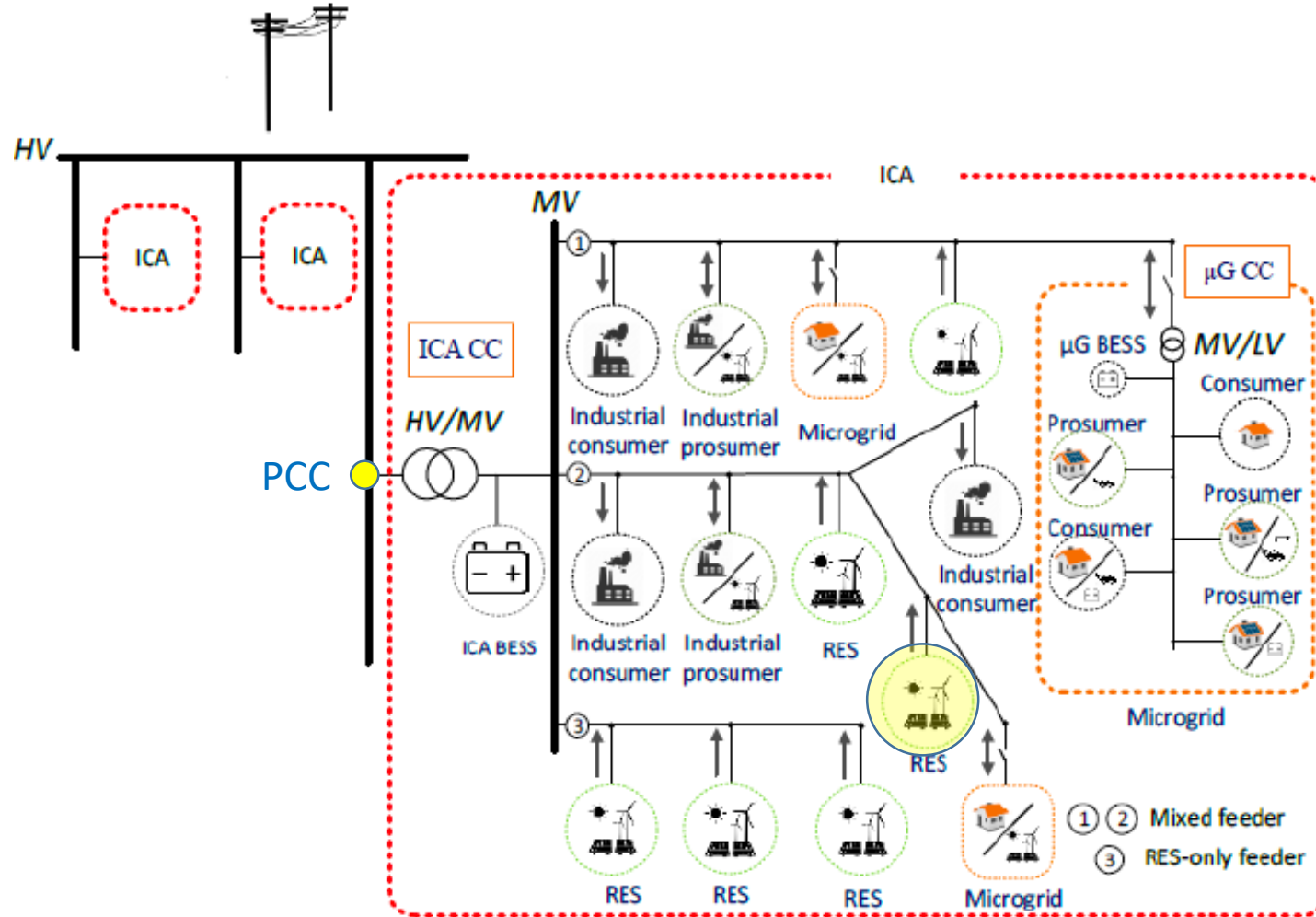
- Ελέγχονται μέσω ηλεκτρονικών ισχύος (inverters) και επομένως **δεν παρουσιάζουν αδράνεια**
- Η ισχύς των PV και Wind είναι μη ελεγχόμενη και έχει **σημαντικές διακυμάνσεις**.
- Οι περισσότερες έχουν πολύ μικρή ισχύ (<1MW) με αποτέλεσμα οι TSO (μέχρι σήμερα) να μην τις δίνουν σημασία- ένας επιπλέον λόγος είναι ότι ανήκουν στην **δικαιοδοσία του DSO**.

Προβλήματα λόγω της αύξησης της διείσδυσης ΑΠΕ



Η μείωση της κινητικής ενέργειας στο ΣΗΕ έχει επίπτωση τόσο στον ρυθμό μεταβολής της συχνότητας (διακεκομμένη γραμμή) όσο και στο nadir της συχνότητας.

Προτεινόμενη λύση μέσω του EASY-RES²



- 1) Οι Inverters των ΦΒ και Α/Γ ελέγχονται εσωτερικά με νέο τρόπο έτσι ώστε να συμπεριφέρονται σαν ελεγχόμενες ΣΓ προσφέροντας νέες ΑΣ.
- 2) Αναπτυχθήκαν μέθοδοι για τον προσδιορισμό, στο PCC και σε πραγματικό χρόνο, της σωρευτικής (aggregated) ΑΣ όλου του δικτύου διανομής
- 3) Διαχωρισμός ΑΣ που προσφέρονται σωρευτικά στον TSO και αυτών που προσφέρονται στον DSO.

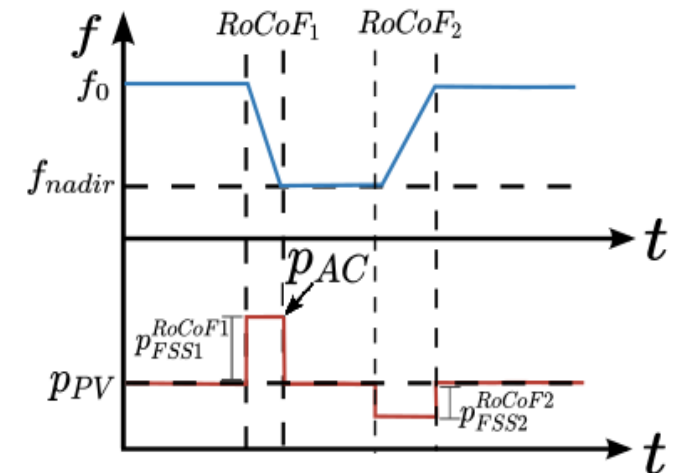
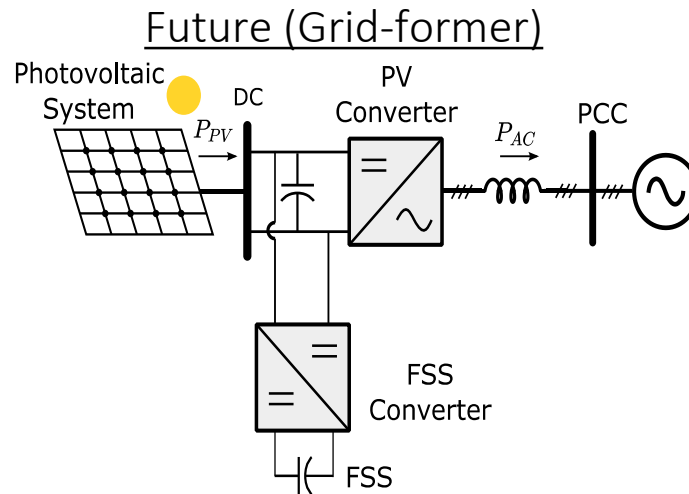
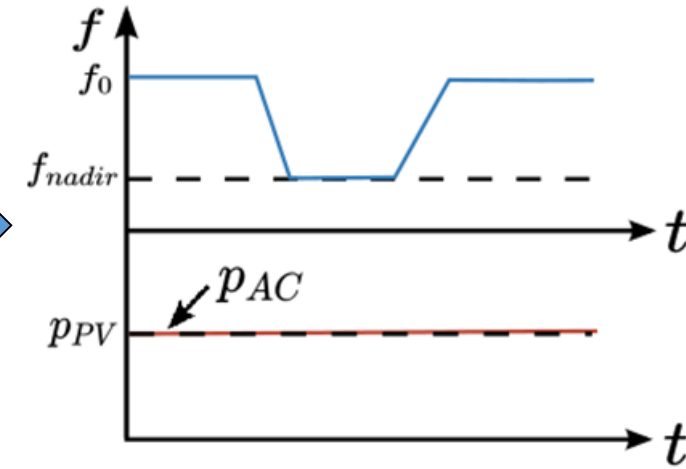
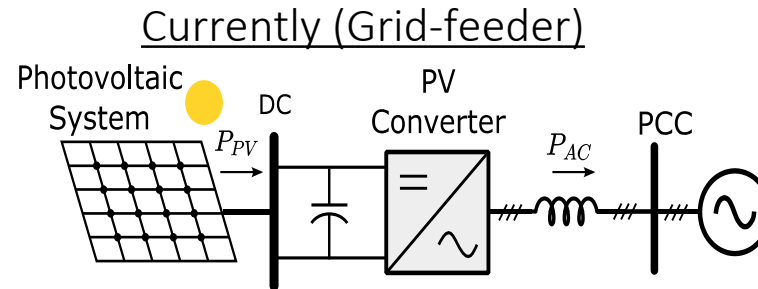
[2] EASY-RES is a EU funded project (GA 764090). www.easyres-project.eu. Aristotle University is the coordinator.



Προτεινόμενη λύση μέσω του EASY-RES²

Οι Inverters των ΦΒ και Α/Γ ελέγχονται εσωτερικά με νέο τρόπο έτσι ώστε να συμπεριφέρονται σαν ελεγχόμενες ΣΓ προσφέροντας:

1. Ελεγχόμενη και σταθερή αδράνεια
2. Λειτουργία σαν FCR με ελεγχόμενο τρόπο
3. Περιορισμό της μεταβλητότητας της ισχύος (ramp-rate limitation)
4. Άεργο ισχύ για ρύθμιση της τάσης στο εσωτερικό του δικτύου διανομής
5. Ελεγχόμενη και συντονισμένη έγχυση ρευμάτων για αντιμετώπιση σφαλμάτων
6. Μείωση της αρμονικής παραμόρφωσης στο δίκτυο διανομής μέσω της λειτουργίας ως ενεργά φίλτρα.



[2] EASY-RES is a EU funded project (GA 764090). www.easyres-project.eu.

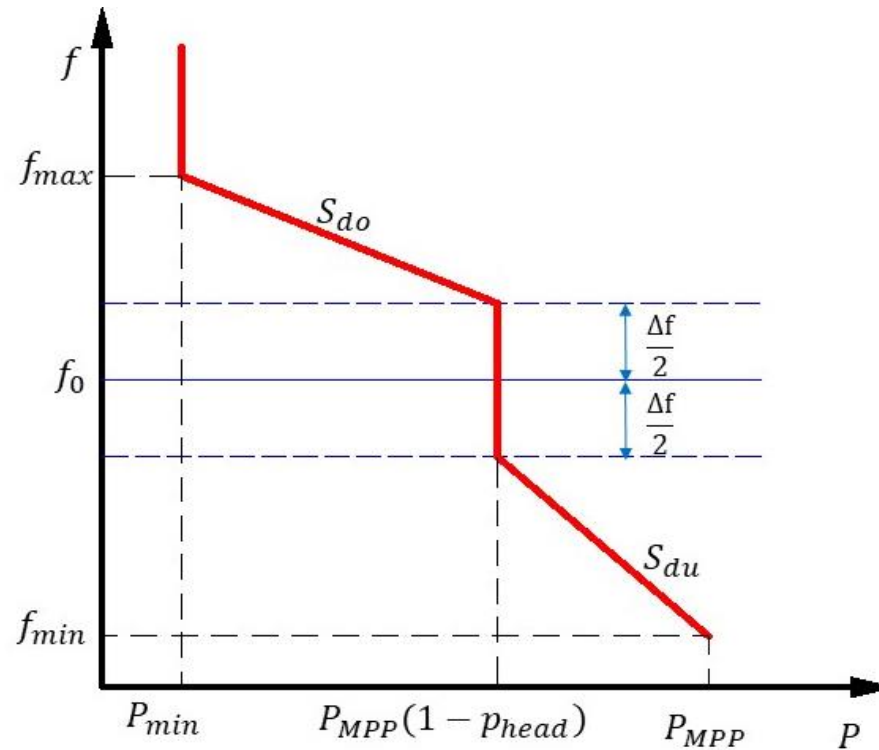
Aristotle University is the coordinator.



Προτεινόμενη λύση μέσω του EASY-RES²

Οι Inverters των ΦΒ και Α/Γ ελέγχονται εσωτερικά με νέο τρόπο έτσι ώστε να συμπεριφέρονται σαν ελεγχόμενες ΣΓ προσφέροντας:

1. Ελεγχόμενη και σταθερή αδράνεια
2. Λειτουργία σαν FCR με ελεγχόμενο τρόπο
3. Περιορισμό της μεταβλητότητας της ισχύος (ramp-rate limitation)
4. Άεργο ισχύ για ρύθμιση της τάσης στο εσωτερικό του δικτύου διανομής
5. Ελεγχόμενη και συντονισμένη έγχυση ρευμάτων για αντιμετώπιση σφαλμάτων
6. Μείωση της αρμονικής παραμόρφωσης στο δίκτυο διανομής μέσω της λειτουργίας ως ενεργά φίλτρα.



[2] EASY-RES is a EU funded project (GA 764090). www.easyres-project.eu.

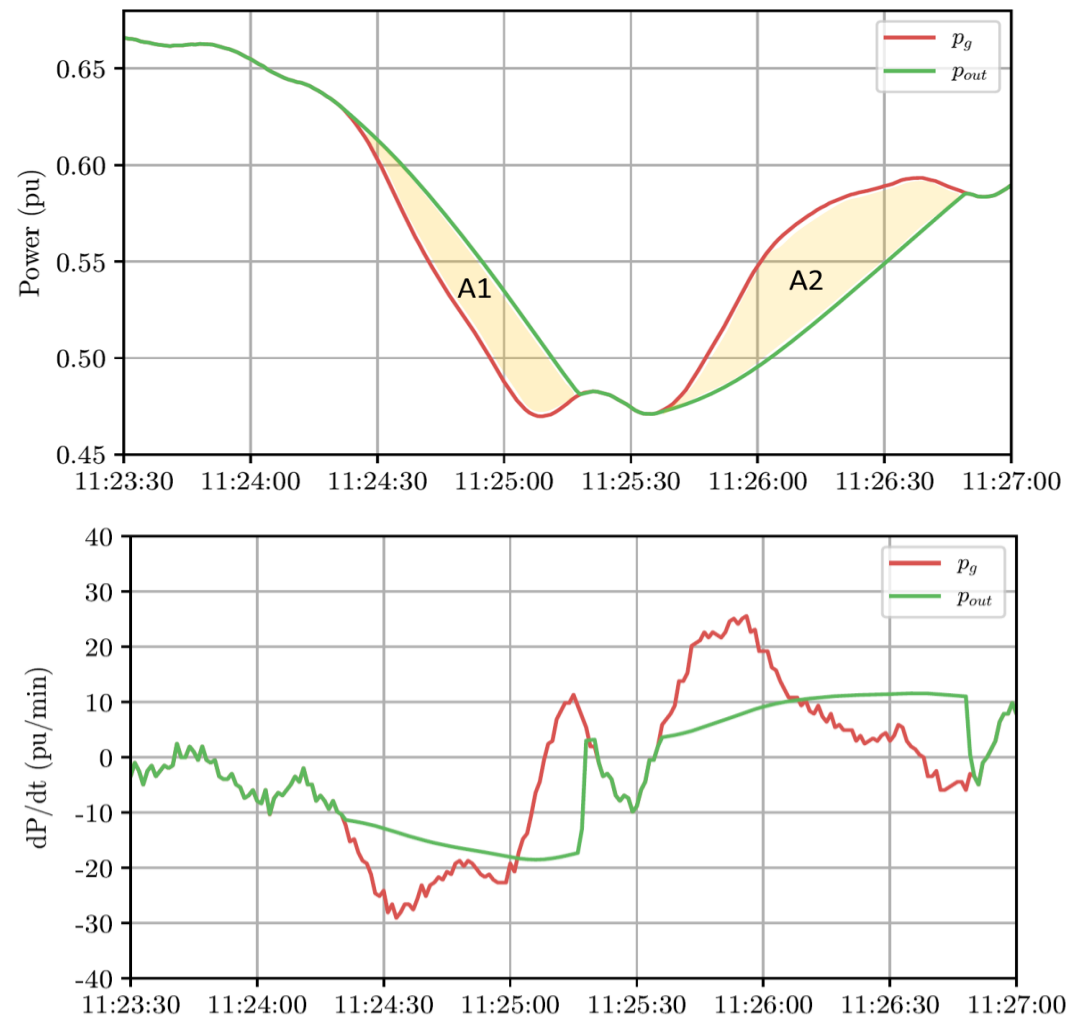
Aristotle University is the coordinator.



Προτεινόμενη λύση μέσω του EASY-RES²

Οι Inverters των ΦΒ και Α/Γ ελέγχονται εσωτερικά με νέο τρόπο έτσι ώστε να συμπεριφέρονται σαν ελεγχόμενες ΣΓ προσφέροντας:

1. Ελεγχόμενη και σταθερή αδράνεια
2. Λειτουργία σαν FCR με ελεγχόμενο τρόπο
3. Περιορισμό της μεταβλητότητας της ισχύος (ramp-rate limitation)
4. Άεργο ισχύ για ρύθμιση της τάσης στο εσωτερικό του δικτύου διανομής
5. Ελεγχόμενη και συντονισμένη έγχυση ρευμάτων για αντιμετώπιση σφαλμάτων
6. Μείωση της αρμονικής παραμόρφωσης στο δίκτυο διανομής μέσω της λειτουργίας ως ενεργά φίλτρα.



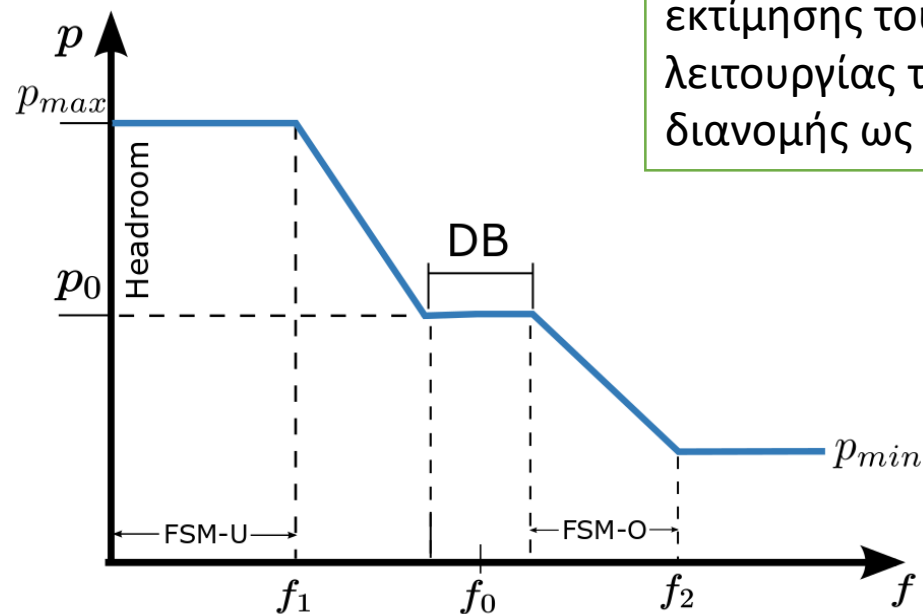
[2] EASY-RES is a EU funded project (GA 764090). www.easyres-project.eu.

Aristotle University is the coordinator.



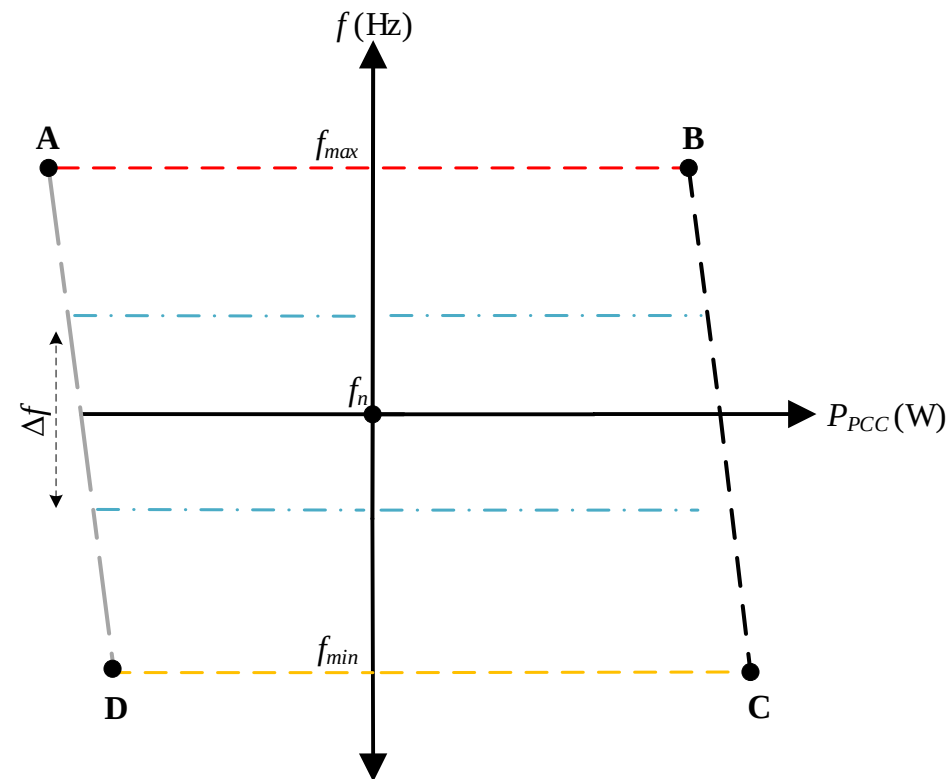
Προτεινόμενη λύση μέσω του EASY-RES²

Παράδειγμα σωρευτικής
εκτίμησης του εύρους
λειτουργίας του δικτύου
διανομής ως FCR



Συμβατική ΣΓ

f_{max} ---
 f_{min} ---
 Δf ---
 $P_{max,PCC}$ ---
 $P_{min,PCC}$ ---



Δυνατότητα ελεγχόμενης λειτουργίας
ολόκληρου του δικτύου διανομής σαν FCR
εντός των ορίων ABCD

[2] EASY-RES is a EU funded project (GA 764090). www.easyres-project.eu.

Aristotle University is the coordinator.



Προτεινόμενη λύση μέσω του EASY-RES²

- Η FCR είναι υφιστάμενη AS.
- Η αδράνεια αναμένεται να γίνει και αυτή AS.
- Ο περιορισμός της διακύμανσης ισχύος αναμένεται να γίνει και αυτός AS.

Επομένως μέσω σώρευσης μπορεί να συμμετάσχει σε αυτή ακόμη και ένας μικρός ιδιοκτήτης ΑΠΕ.

Οι υπόλοιπες νέες δυνατότητες

1. Άεργος ισχύς για ρύθμιση της τάσης στο εσωτερικό του δικτύου διανομής
2. Ελεγχόμενη και συντονισμένη έγχυση ρευμάτων για αντιμετώπιση σφαλμάτων
3. Μείωση της αρμονικής παραμόρφωσης στο δίκτυο διανομής μέσω της λειτουργίας ως ενεργά φίλτρα.

Παρέχονται εντός του δικτύου διανομής. Στόχος του EASY-RES είναι να δημιουργήσει business models για κάθε μια από αυτές για να λειτουργούν σε **νέες αγορές εντός των δικτύων διανομής**.



Συμπέρασμα

1. Για να λειτουργήσουν ΣΗΕ με πολύ μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ εκτοπίζοντας συμβατικούς σταθμούς με ΣΓ, θα πρέπει οι ΑΠΕ-ειδικά αυτές με μεταβλητή ισχύ- να μπορούν να προσφέρουν υφιστάμενες και νέες AS στα δίκτυα.
2. Αν δεν γίνει το ανωτέρω, θα χρειαστούν τεράστιες αποθήκες ενέργειας (μπαταρίες, ΥΗΣ) για την αντιμετώπιση της ευστάθειας του δικτύου.
3. Με την προτεινόμενη λύση, στην διατήρηση της ευστάθειας των δικτύων, συμμετέχουν όλοι οι ιδιοκτήτες ΑΠΕ ανεξαρτήτως μεγέθους.
4. Χρειάζεται αλλαγή μοντέλου: από παραγωγοί ενέργειας πρέπει να γίνουν και πάροχοι AS. Με αντίστοιχη οικονομική αποζημίωση φυσικά.



Ευχαριστώ για την προσοχή σας.
Καθηγητής Χάρης Δημουλιάς