



Κόντης Ελευθέριος

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών

kontislefteris@gmail.com

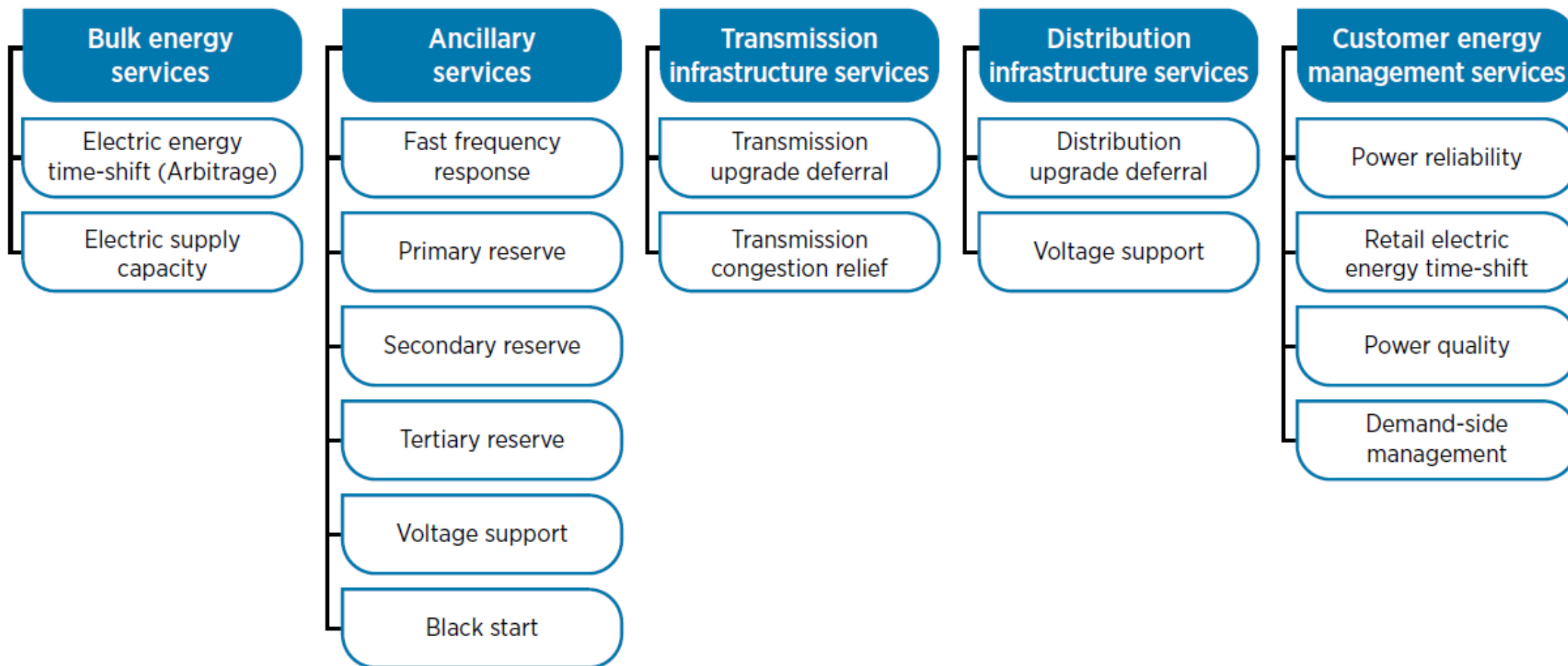
Δικτυακοί τόποι μαθήματος:

ΠΕ: <https://eclass.uowm.gr/courses/HMMY112/>

ΤΕ: <https://eclass.teiwm.gr/courses/EE193/>



Υπηρεσίες ΣΑΕ στο ΣΗΕ



Πηγή: "Electricity Storage Valuation Framework: Assessing system value and ensuring project viability," International Renewable Energy Agency, March 2020.



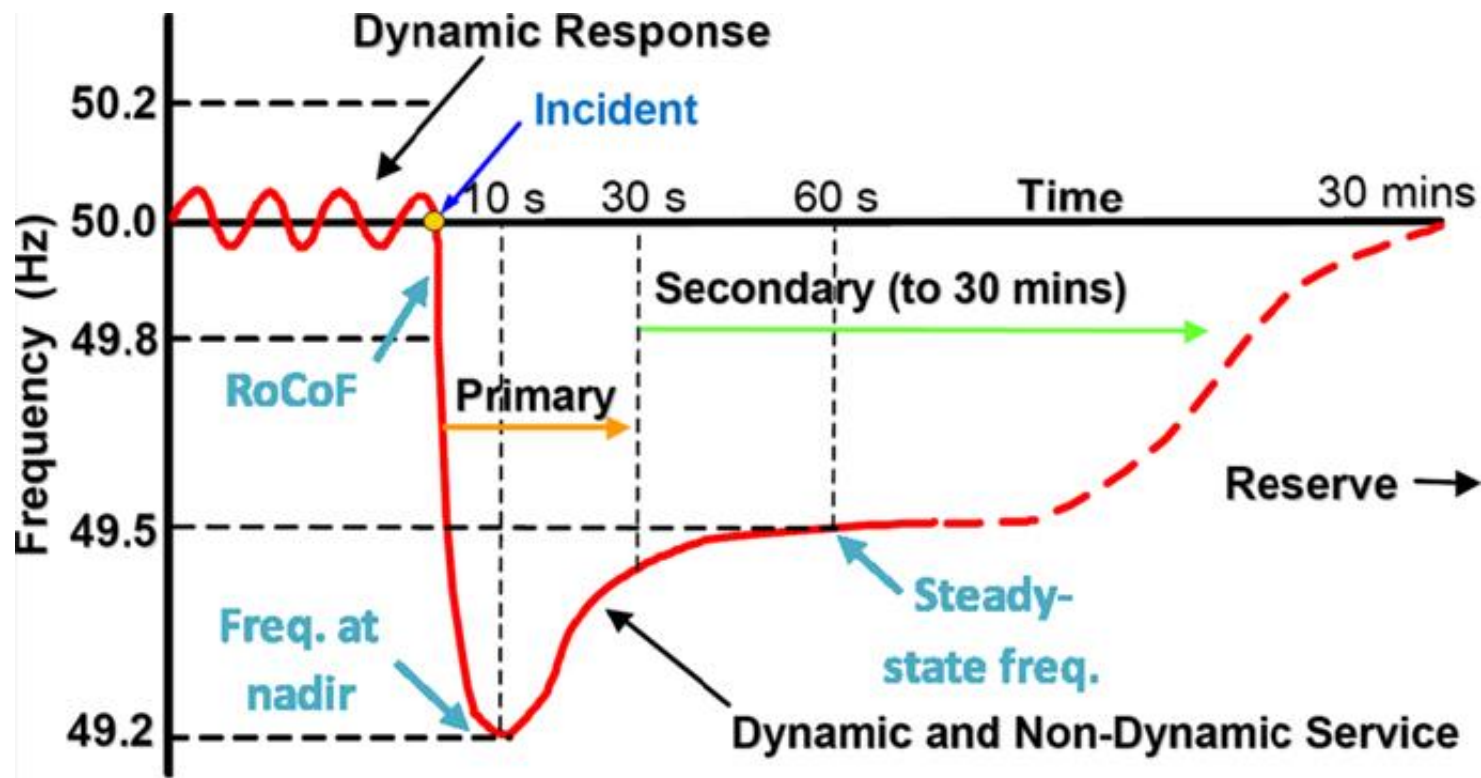
- ✓ Επικουρικές υπηρεσίες (ancillary services) είναι οι υπηρεσίες που απαιτούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τα σημεία παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης και για τη διασφάλιση της ποιότητας της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Σύμφωνα με τον κώδικα Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ως επικουρική υπηρεσία ορίζεται **κάθε υπηρεσία που είναι αναγκαία για τη διαχείριση του συστήματος μεταφοράς ή του δικτύου διανομής**, όπως για παράδειγμα η ρύθμιση της τάσης, η ρύθμιση της συχνότητας, η παροχή εφεδρειών, η παροχή άεργης ισχύος, η επανεκκίνηση του ΣΗΕ μετά από διακοπή και η παρακολούθηση της διακύμανσης του φορτίου. Στο μέλλον, λόγω του παροπλισμού συμβατικών μονάδων που λειτουργούν με σύγχρονες γεννήτριες, αναμένεται να προκύψει η ανάγκη και για νέου είδους επικουρικές υπηρεσίες. Ενδεικτικά, αναφέρονται:
 - Παροχή αδράνειας (inertia response)
 - Παροχή ρευμάτων βραχυκύκλωσης για την ενεργοποίηση μέσω προστασίας
- ✓ Στις μέρες μας, οι δύο προαναφερθείσες δεν θεωρούνται επικουρικές υπηρεσίες, καθώς παρέχονται εγγενώς από τις σύγχρονες γεννήτριες



- ✓ Στον **κώδικα Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας** ορίζονται οι ακόλουθες επικουρικές υπηρεσίες:
 - ✓ Υπηρεσίες ρύθμισης συχνότητας
 1. Πρωτεύουσα Ρύθμιση και Εφεδρεία
 2. Δευτερεύουσα Ρύθμιση και Εύρος
 3. Τριτεύουσα Ρύθμιση και Στρεφόμενη Εφεδρεία
 4. Τριτεύουσα Μη Στρεφόμενη Εφεδρεία
 - 5. Στατή Εφεδρεία
 - 6. Ρύθμιση Τάσης και
 - 7. Επανεκκίνηση του Συστήματος



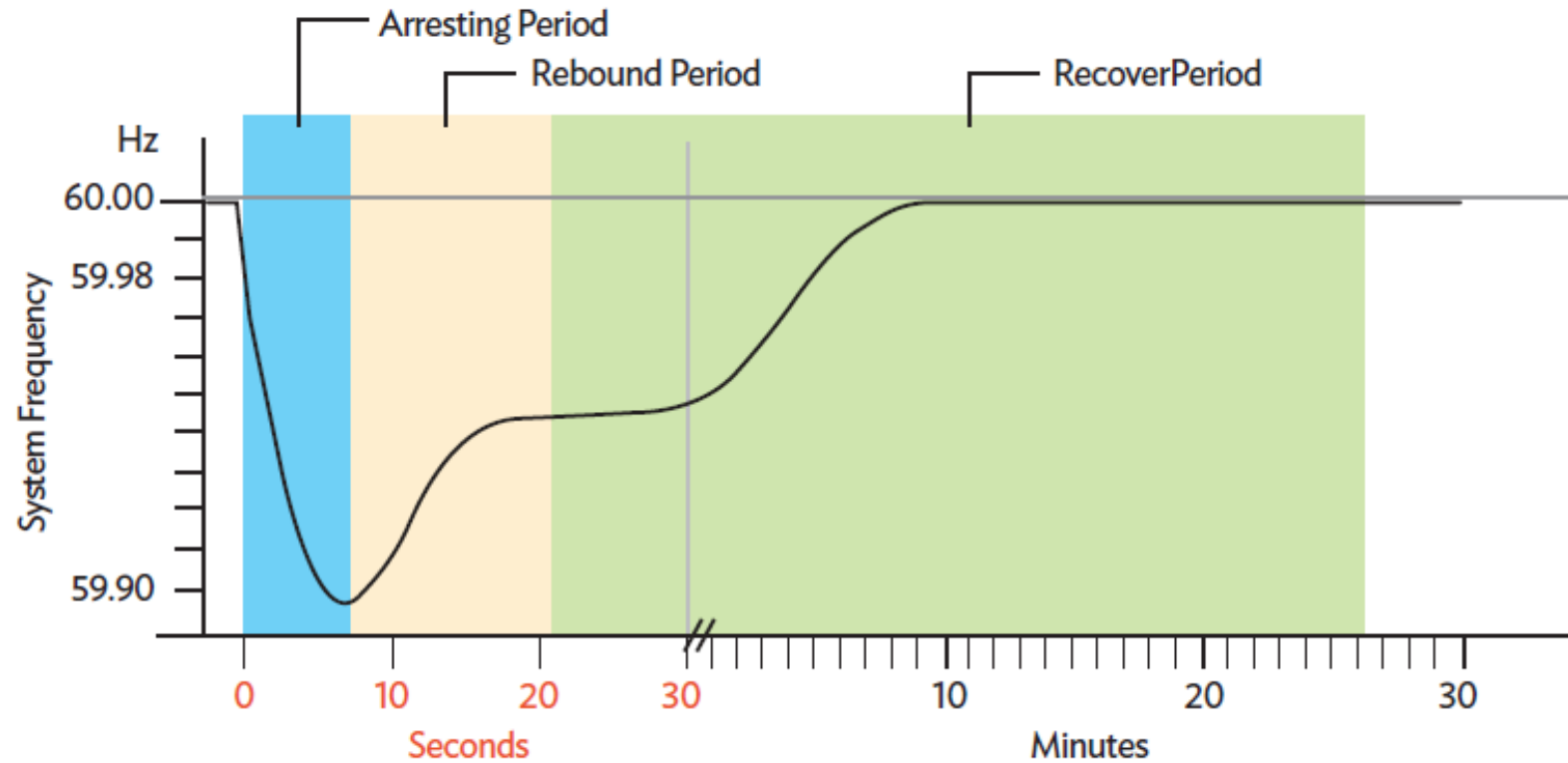
Υπηρεσίες Ρύθμισης Συχνότητας



doi: [10.3389/fenrg.2015.00036](https://doi.org/10.3389/fenrg.2015.00036)



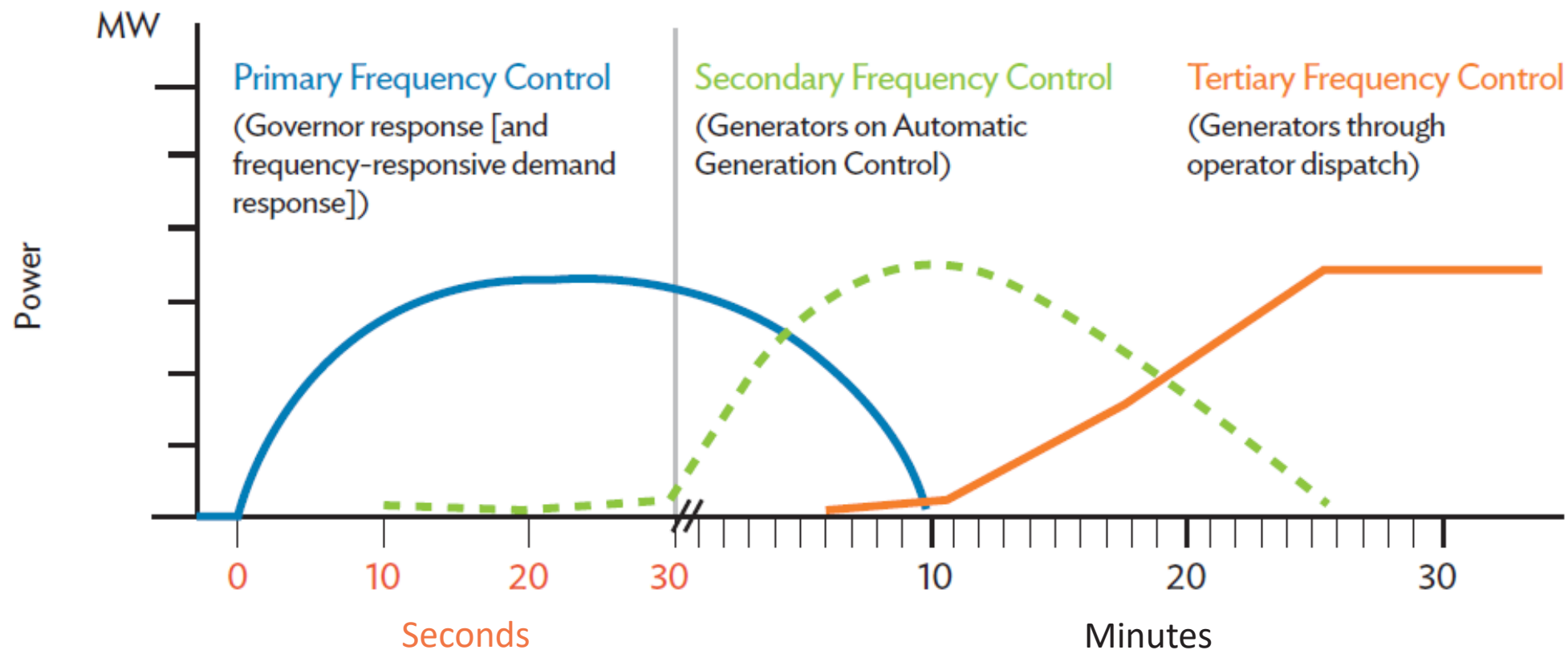
Υπηρεσίες Ρύθμισης Συχνότητας



Source: Sandia National Laboratories (2013).



Υπηρεσίες Ρύθμισης Συχνότητας



Source: Sandia National Laboratories (2013).



- ✓ **Πρωτεύουσα ρύθμιση** συστήματος είναι η συλλογική **αυτόματη διορθωτική αντίδραση των μονάδων παραγωγής και των φορτίων στις αποκλίσεις της πραγματικής συχνότητας** του ΣΗΕ από τη συχνότητα αναφοράς (50 Hz για το ελληνικό σύστημα)
- ✓ Η αυτόματη διορθωτική αντίδραση είναι το αποτέλεσμα της αυτόματης ρύθμισης της ενεργής ισχύος εξόδου των μονάδων ανάλογα με το **στατισμό του ρυθμιστή φορτίου** της κάθε μονάδας
- ✓ Μέσω της πρωτεύουσας ρύθμισης συχνότητας **επιδιώκεται η εξισορρόπηση της συνολικής παραγωγής με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας** και η **σταθεροποίηση της συχνότητας εντός 30 δευτερολέπτων** από την εκδήλωση διαταραχής
- ✓ Η ρύθμιση αυτή μπορεί να μην επαναφέρει τη συχνότητα στο επίπεδο της συχνότητας αναφοράς!!



- ✓ **Εφεδρεία πρωτεύουσας ρύθμισης** είναι η μεταβολή της παραγόμενης ενεργής ισχύος ως αυτόματη αντίδραση του ρυθμιστή στροφών, προκειμένου να λαμβάνει χώρα η πρωτεύουσα ρύθμιση συστήματος, για απόκλιση της συχνότητας από τη συχνότητα αναφοράς ίση με $\pm 0,2$ Hz
- ✓ Η μεταβολή της ισχύος πρέπει να λαμβάνει χώρα εντός 30 δευτερολέπτων από την εκδήλωση διαταραχής της συχνότητας και το επίπεδο παραγωγής ισχύος πρέπει να διατηρείται τουλάχιστον για 15 λεπτά
- ✓ Ως πρωτεύουσα εφεδρεία ορίζεται η συλλογική συνεισφορά των μονάδων του συστήματος σε εφεδρεία πρωτεύουσας ρύθμισης



- ✓ **Δευτερεύουσα ρύθμιση** συστήματος είναι η ρύθμιση η οποία είναι το αποτέλεσμα **κεντρικής λειτουργίας της αυτόματης ρύθμισης παραγωγής μέσω της οποίας τηλερυθμίζεται η παραγωγή ενεργής ισχύος των μονάδων παραγωγής**, εφόσον η ρύθμιση μπορεί να πραγματοποιείται σε χρονικό διάστημα από 10 δευτερόλεπτα έως 15 λεπτά από την ενεργοποίησή της
- ✓ Η ρύθμιση αυτή επιδιώκει την **ελαχιστοποίηση του σφάλματος ρύθμισης περιοχής**, το όριο ανοχής του οποίου καθορίζεται από τον διαχειριστή



- ✓ **Δευτερεύουσα εφεδρεία** συστήματος και εύρος δευτερεύουσας ρύθμισης συστήματος είναι η συλλογική συνεισφορά των μονάδων του συστήματος αντίστοιχα σε εφεδρεία και εύρος δευτερεύουσας ρύθμισης ώστε να λαμβάνει χώρα η δευτερεύουσα ρύθμιση συστήματος



- ✓ **Τριτεύουσα ρύθμιση** συστήματος είναι η ρύθμιση η οποία λαμβάνει χώρα **περιοδικά προκειμένου να αποκατασταθεί το επίπεδο δευτερεύουσας εφεδρείας** συστήματος εφόσον αυτό έχει μεταβληθεί ως αποτέλεσμα λειτουργίας της δευτερεύουσας ρύθμισης συστήματος
- ✓ Η ρύθμιση πραγματοποιείται περιοδικά (η περίοδος καθορίζεται από το διαχειριστή)
- ✓ Η ρύθμιση αυτή αφορά στη μεταβολή της ενεργής ισχύος των μονάδων παραγωγής με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της συνολικής έγχυσης ενέργειας



- ✓ **Εφεδρεία τριτεύουσας** ρύθμισης είναι το **περιθώριο μεταβολής της παραγόμενης ισχύος μονάδας στο χρονικό διάστημα μεταξύ 90 δευτερολέπτων και 15 λεπτών μετά από σχετική εντολή**. Το περιθώριο καθορίζεται βάσει των ρυθμών ανόδου και καθόδου της παραγωγής κάθε μονάδας
- ✓ Τριτεύουσα εφεδρεία συστήματος είναι η συλλογική συνεισφορά των μονάδων του συστήματος σε εφεδρεία τριτεύουσας ρύθμισης ώστε να λαμβάνει χώρα η τριτεύουσα ρύθμιση συστήματος



- ✓ Η **στρεφόμενη εφεδρεία** (spinning reserve) του συστήματος σε μια χρονική στιγμή υπολογίζεται αν αφαιρέσουμε από τη συνολική διαθέσιμη ισχύ των συγχρονισμένων στο δίκτυο (στρεφόμενων) μονάδων το φορτίο (συν τις απώλειες μεταφοράς) που εξυπηρετείται αυτή τη στιγμή
- ✓ Πρέπει πάντα να υπάρχει αρκετή στρεφόμενη εφεδρεία στο σύστημα ώστε η απώλεια μιας μονάδας να μην προκαλέσει μεγάλη πτώση στη συχνότητα. Με άλλα λόγια, αν πάθει βλάβη μια μονάδα, θα πρέπει να υπάρχει αρκετή εφεδρεία στις υπόλοιπες μονάδες που λειτουργούν ώστε να μπορέσουν αυτές να αναπληρώσουν τη χαμένη παραγωγή σε σύντομο χρονικό διάστημα



- ✓ Η κατανομή της στρεφόμενης εφεδρείας γίνεται σύμφωνα με ορισμένους κανόνες που διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή
- ✓ Συνήθως απαιτείται η στρεφόμενη εφεδρεία να είναι μεγαλύτερη από κάποιο ποσοστό (π.χ. 10%) της προβλεπόμενης αιχμής φορτίου ή να είναι αρκετή για να καλύψει την απώλεια της μεγαλύτερης μονάδας του δικτύου
- ✓ Κατά τον υπολογισμό της στρεφόμενης εφεδρείας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ταχύτητα απόκρισης των μονάδων (MW/min) έτσι ώστε να μπορέσει ο αυτόματος έλεγχος παραγωγής να αποκαταστήσει τη συχνότητα σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την απώλεια μιας μονάδας



- ✓ **Τριτεύουσα μη στρεφόμενη εφεδρεία** ορίζεται η εφεδρεία τριτεύουσας ρύθμισης μονάδας η οποία **δεν είναι συγχρονισμένη στο σύστημα** (περιθώριο μεταβολής της παραγόμενης ισχύος μονάδας στο χρονικό διάστημα μεταξύ 90 δευτερολέπτων και 15 λεπτών μετά από σχετική εντολή)



- ✓ **Στατή εφεδρεία μονάδας** είναι η μέγιστη ποσότητα ενεργής ισχύος η οποία δύναται να διατεθεί στο σύστημα από μη συγχρονισμένη μονάδα, εντός χρονικού διαστήματος από 20 λεπτά έως τέσσερις 4 ώρες μετά την έκδοση εντολής κατανομής συγχρονισμού της μονάδας
- ✓ **Στατή εφεδρεία συστήματος** είναι το άθροισμα στατής εφεδρείας των μονάδων οι οποίες έχουν προγραμματιστεί ή μπορούν να προγραμματισθούν για την παροχή της υπηρεσίας αυτής για κάθε περίοδο κατανομής. Ο προγραμματισμός για την παροχή της υπηρεσίας αυτής διενεργείται από τον διαχειριστή του συστήματος προκειμένου να γίνεται δυνατή η ρύθμιση συχνότητας και ενεργής ισχύος ενόψει απρόβλεπτων διαταραχών της ισορροπίας του φορτίου του συστήματος σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας κατανομής



- ✓ Οι εφεδρείες πρέπει να είναι **κατανεμημένες** στο ηλεκτρικό δίκτυο έτσι ώστε:
 - Να **αποφεύγονται** πιθανές **υπερφορτίσεις** των γραμμών μεταφοράς του δικτύου, όταν παραστεί ανάγκη χρησιμοποίησής τους
 - Για να εξασφαλισθεί **ελαχιστοποίηση κινδύνου**
- ✓ Η **εξασφάλιση εφεδρείας ενέχει κόστος**, καθώς θα πρέπει να συνδέονται στο δίκτυο περισσότερες μονάδες από αυτές που απαιτούνται για να καλυφθεί το φορτίο
- ✓ Οι μονάδες δε λειτουργούν σε ονομαστική ισχύ τους και άρα σε μέγιστη απόδοση
- ✓ Επιπλέον κόστος για την ένταξη (εκκίνηση, συγχρονισμό) μονάδων
- ✓ Κατασκευή μονάδων με τάχιστη ανάληψη φορτίου
- ✓ Το κόστος της εφεδρείας είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε μικρά συστήματα. Είναι ένας από τους βασικούς λόγους για τη διασύνδεση ΣΗΕ



- ✓ **Σύνοψη:** Μια ανισορροπία μεταξύ της προσφερόμενης και της παρεχόμενης ισχύος μπορεί να οδηγήσει σε πτώση ή αύξηση της συχνότητας του δικτύου πέρα από τα καθορισμένα όρια. Παραδοσιακά, οι υπηρεσίες ελέγχου συχνότητας παρέχονταν στα ΣΗΕ μέσω των σύγχρονων γεννητριών των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής. Στις μέρες μας, όμως, μεγάλο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από μονάδες ΑΠΕ. Έτσι, η παροχή ρύθμισης συχνότητας από τις σύγχρονες γεννήτριες των θερμοηλεκτρικών σταθμών καθίσταται αναποτελεσματική και δαπανηρή, καθώς απαιτεί πολλές μονάδες παραγωγής είτε να βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής είτε να αναγκάζονται να λειτουργούν σε χαμηλά επίπεδα δυναμικότητας (και κατ' επέκταση να λειτουργούν με χαμηλούς βαθμούς απόδοσης), αυξάνοντας έτσι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Για την παροχή υπηρεσιών ρύθμισης συχνότητας, απαιτούνται **ΣΑΕ με δυνατότητα πολύ γρήγορης (άμεσης) παροχής ισχύος** στο ΣΗΕ (inertia, fast frequency response) καθώς και **ΣΑΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παροχή εφεδρείας**



- ✓ Για παροχή υπηρεσιών **ρύθμισης συχνότητας**, απαιτούνται **ΣΑΕ** με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 10 έως 40 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης που κυμαίνεται από μερικά s έως μερικά min
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης: 250 – 10000 ανά χρόνο
- ✓ ΣΑΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τέτοιου είδους εφαρμογές:
 - ΣΑΕ που χρησιμοποιούν σύγχρονες γεννήτριες, π.χ. μονάδες αντλησιοταμίευσης, συστήματα πεπιεσμένου αέρα, κλπ. (inertia, fast frequency response)
 - Σφόνδυλοι (inertia, fast frequency response)
 - Υπερ-πυκνωτές και υπεραγώγιμα πηνία (inertia, fast frequency response)
 - Υπό προϋποθέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συστήματα μπαταριών (ανάλογα τη τεχνολογία τους, τον επιτρεπόμενο αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης και την ταχύτητα απόκρισης τους). Συστήματα μπαταριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ καλά ως μονάδες παροχής πρωτεύουσας ρύθμισης συχνότητας



- ✓ Για **παροχή εφεδρείας** (κάθε είδους από αυτές που συζητήθηκαν στις προηγούμενες διαφάνειες), απαιτούνται **ΣΑΕ** με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 10 έως 100 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης που κυμαίνεται από 15 min έως 1 h
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης: 20 – 50 ανά χρόνο
- ✓ ΣΑΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστήματα παροχής εφεδρείας σε ΣΗΕ:
 - Συστήματα μπαταριών (όλες οι τεχνολογίες)
 - ΣΑΕ που χρησιμοποιούν σύγχρονες γεννήτριες, π.χ. μονάδες αντλησιοταμίευσης, συστήματα πεπιεσμένου αέρα, κλπ.



- ✓ Σύμφωνα με τον κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ **η ρύθμιση της τάσης** του συστήματος αποσκοπεί στη διατήρηση της τάσης εντός του εύρους κανονικής λειτουργίας. Το εύρος αυτό για το ελληνικό σύστημα ορίζεται ως εξής:
 - 380 kV έως 420 kV στο σύστημα μεταφοράς των 400 kV
 - 142.5 kV έως 162 kV στο σύστημα μεταφοράς των 150 kV
- ✓ Η ρύθμιση τάσης του συστήματος επιτυγχάνεται με ευθύνη του διαχειριστή με τα εξής μέσα (ως επικουρική υπηρεσία νοούνται αυτές που περιγράφονται στα 2 και 3):
 1. Χρήση μέσων του συστήματος: αλλαγή θέσης μεταγωγέων των αυτομετασχηματιστών του συστήματος, διακοπή/ενεργοποίηση γραμμών, χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων αντιστάθμισης ή άλλων συστημάτων παραγωγής άεργης ισχύος, ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση αυτεπαγωγών και πυκνωτών
 2. Αλλαγή θέσης των μεταγωγέων των μετασχηματιστών των μονάδων
 3. Ρύθμιση της παραγωγής άεργης ισχύος των μονάδων τοπικά ή κεντρικά και χειροκίνητα ή αυτόματα



- ✓ Για εφαρμογές ρύθμισης τάσης σε επίπεδο συστήματος μεταφοράς, απαιτούνται ΣΑΕ με τα εξής χαρακτηριστικά:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 1 έως 100 MVA. Τα ΣΑΕ θα πρέπει να λειτουργούν με συντελεστή ισχύος διαφορετικό της μονάδας, ώστε να μπορούν να ρυθμίσουν (μέσω άεργου ισχύος) τις τάσεις του δικτύου
 - Κατάλληλα επιλεγμένη τοποθεσία. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μεγάλα (**κεντρικά**) ΣΑΕ τοποθετημένα σε στρατηγικά σημεία (σημεία που εμφανίζουν προβλήματα τάσης) είτε μικρότερης ισχύος ΣΑΕ (**κατανεμημένα**). Τα κατανεμημένα συστήματα τοποθετούνται συνήθως κοντά σε μεγάλα φορτία του ΣΗΕ
- ✓ ΣΑΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ρύθμιση τάσης:
 - ✓ Μονάδες αντλησιοταμίευσης
 - ✓ Συστήματα πεπιεσμένου αέρα
 - ✓ Μπαταρίες (όλες οι τεχνολογίες)



- ✓ Σύμφωνα με τον κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ επικουρική υπηρεσία επανεκκίνησης του συστήματος μετά από γενική ή μερική διακοπή λειτουργίας του ορίζεται η υπηρεσία η οποία παρέχεται από μονάδες και συνίσταται στη **δυνατότητα επανεκκίνησης των μονάδων χωρίς τροφοδότηση από εξωτερική πηγή ισχύος**, και στην έγχυση ενέργειας στο σύστημα, εντός 1 ώρας, ή εντός 15 λεπτών αν πρόκειται για υδροηλεκτρική μονάδα
- ✓ Για την παροχή υπηρεσιών επανεκκίνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΣΑΕ. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα ΣΑΕ χρησιμοποιούνται για την ηλέκτριση γραμμών του ΣΗΕ και την μετέπειτα επανεκκίνηση σταθμών παραγωγής. Τα ΣΑΕ, λοιπόν, πρέπει να είναι **κατάλληλα διαστασιολογημένα** ώστε να μπορούν να εκκινήσουν παρόμοιας ισχύος μονάδες παραγωγής. Φυσικά θα πρέπει να υπάρχει “ηλεκτρικός δρόμος” (**ηλεκτρική σύνδεση**) μεταξύ των χρησιμοποιούμενων ΣΑΕ και των σταθμών/μονάδων παραγωγής που θα εκκινήσουν
- ✓ Για τέτοιου είδους υπηρεσίες, απαιτούνται ΣΑΕ με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 5 έως 50 MW
 - Χρόνο εκφόρτισης που κυμαίνεται από 15 min έως 1 h



- ✓ **Χρονική μετατόπιση ηλεκτρικής ενέργειας** (Electric energy time shift – **arbitrage**)
 - Η χρονική μετατόπιση ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την αγορά φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας (ενέργειας, δηλαδή, που είναι διαθέσιμη σε περιόδους με χαμηλό οριακό κόστος συστήματος) και την αποθήκευση της στο ΣΑΕ. Η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να πωληθεί σε μελλοντικό χρόνο (όταν η τιμή ή το κόστος ενέργειας είναι υψηλό)
 - Εναλλακτικά, το ΣΑΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας από ΑΠΕ, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα απορρίπτονταν (περικόπτονταν)



- ✓ Για εφαρμογές σε επίπεδο ΣΗΕ, απαιτούνται ΣΑΕ με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 1 έως 500 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης < 1 h
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης > 250 ανά χρόνο
- ✓ ΣΑΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές μετατόπισης ηλεκτρικής ενέργειας:
 - Μονάδες αντλησιοταμίευσης
 - Συστήματα πεπιεσμένου αέρα
 - Μπαταρίες



- ✓ **Ικανότητα παροχής ενέργειας** (Electric supply capacity)
 - Τα ΣΑΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναβληθεί (ή να μειωθεί) η ανάγκη ένταξης νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΣΗΕ
- ✓ Για τέτοιου είδους εφαρμογές, απαιτούνται ΣΑΕ με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 1 έως 500 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης που κυμαίνεται από 2 h έως 6 h
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης: 5 - 100 ανά χρόνο
- ✓ ΣΑΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτές τις εφαρμογές: Μονάδες αντλησιοταμίευσης, συστήματα πεπιεσμένου αέρα, μπαταρίες



- ✓ Καθυστέρηση (ή και πλήρης αποφυγή) επενδύσεων κοινής ωφελείας για αναβαθμίσεις υφιστάμενων δικτύων. Οι εν λόγω αναβαθμίσεις έχουν ως στόχο την αποφυγή προβλημάτων συμφόρησης
- ✓ **Αφορά τόσο τα δίκτυα μεταφοράς** ηλεκτρικής ενέργειας (transmission upgrade deferral) **όσο και τα δίκτυα διανομής** (distribution upgrade deferral). Οι αναβαθμίσεις αφορούν κυρίως:
 - Αντικατάσταση αγωγών με νέους αυξημένης δυνατότητας μεταφοράς ισχύος
 - Αντικατάσταση μετασχηματιστών ισχύος
- ✓ Σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση ακόμα και μικρών ΣΑΕ μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη αποφυγή τέτοιων επενδύσεων. Οι διαχειριστές των δικτύων θα πρέπει μέσω μελετών να προσδιορίζουν τις τοποθεσίες στις οποίες θα πρέπει να εγκατασταθούν τα ΣΑΕ. Ακολούθως, μέσω πλειοδοτικών διαγωνισμών εταιρείες αναλαμβάνουν την κατασκευή και διαχείριση των ΣΑΕ. Έτσι, εξασφαλίζεται το χαμηλότερο δυνατό κόστος για τους καταναλωτές



- ✓ Για τέτοιου είδους εφαρμογές σε δίκτυα μεταφοράς, απαιτούνται ΣΑΕ με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 10 έως 100 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης που κυμαίνεται από 2 h έως 8 h
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης: 10 έως 50 ανά χρόνο
- ✓ Για τέτοιου είδους εφαρμογές σε δίκτυα διανομής, απαιτούνται ΣΑΕ με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 500 kW έως 10 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης που κυμαίνεται από 1 h έως 4 h
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης: 10 έως 50 ανά χρόνο
- ✓ ΣΑΕ μπαταριών θεωρούνται ιδανικά για τις παραπάνω εφαρμογές



- ✓ Για τη διασφάλιση υψηλής **ποιότητας ισχύος**, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΣΑΕ τοποθετημένα σε επίπεδο δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν (ενδεικτικά) για την παροχή των εξής υπηρεσιών:
 - Ελαχιστοποίηση διακυμάνσεων τάσης (αποφυγή βραχυπρόθεσμων αιχμών και βυθίσεων τάσης, καθώς και για μακροπρόθεσμη ρύθμιση τάσης)
 - Αντιστάθμιση άεργου ισχύος
 - Εξάλειψη αρμονικών και ασυμμετριών τάσης
 - Διακοπές τροφοδότησης καταναλωτών, οποιασδήποτε διάρκειας (από ένα κλάσμα του δευτερολέπτου έως και αρκετά λεπτά)



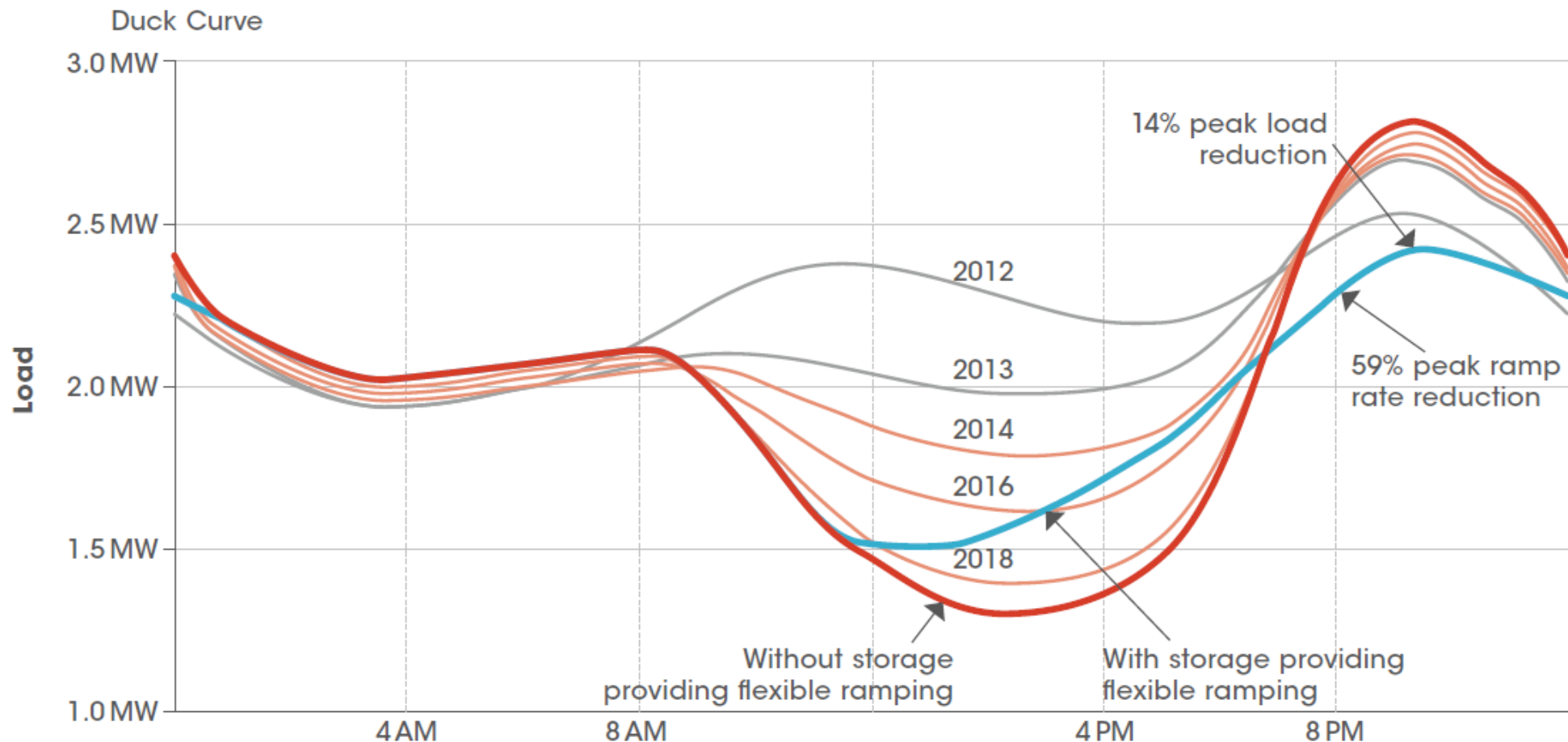
- ✓ Για τέτοιου είδους εφαρμογές, απαιτούνται ΣΑΕ με:
 - Ισχύ που κυμαίνεται από 100 kW έως 10 MW
 - Χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης που κυμαίνεται από 10 s έως 4 h
 - Ελάχιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης: 10 έως 200 ανά χρόνο
- ✓ Υβριδικά ΣΑΕ είναι ιδανικά για τέτοιες εφαρμογές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να συνδυάζουν μπαταρίες με σφονδύλους ή υπερ-πυκνωτές (μελλοντικά και υπερ-αγώγιμα πηνία)



- ✓ Η μεγάλη διείσδυση μονάδων ΑΠΕ μεταβάλλει τα συμβατικά μοτίβα φόρτισης των ΣΗΕ. Εξαιτίας της μεταβλητότητας της παραγωγής των ΑΠΕ, **παρατηρούνται γρήγορες μεταβολές της παραγόμενης ισχύος**. Αυτές οι μεταβολές θα πρέπει να καλυφθούν, ώστε να αντιμετωπιστούν ενδεχόμενα προβλήματα ποιότητας ισχύος στο δίκτυο
- ✓ Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η λεγόμενη καμπύλη της πάπιας, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλες μεταβολές ισχύος κατά τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες. Αυτές οι μεταβολές σχετίζονται με την παραγωγή ισχύος από φωτοβολταϊκά συστήματα. Έτσι, τις πρωινές ώρες που τα φωτοβολταϊκά ξεκινούν να παράγουν, το συνολικό φορτίο του συστήματος φαίνεται να μειώνεται. Τις απογευματινές ώρες, που τα φωτοβολταϊκά συστήματα σταματούν να παράγουν, το συνολικό φορτίο του συστήματος αρχίζει να αυξάνεται γρήγορα
- ✓ Τα συστήματα μπαταριών είναι ιδανικά ώστε να μετριάσουν αυτές τις αυξομειώσεις ισχύος και να “ισοπεδώσουν” την καμπύλη ζήτησης



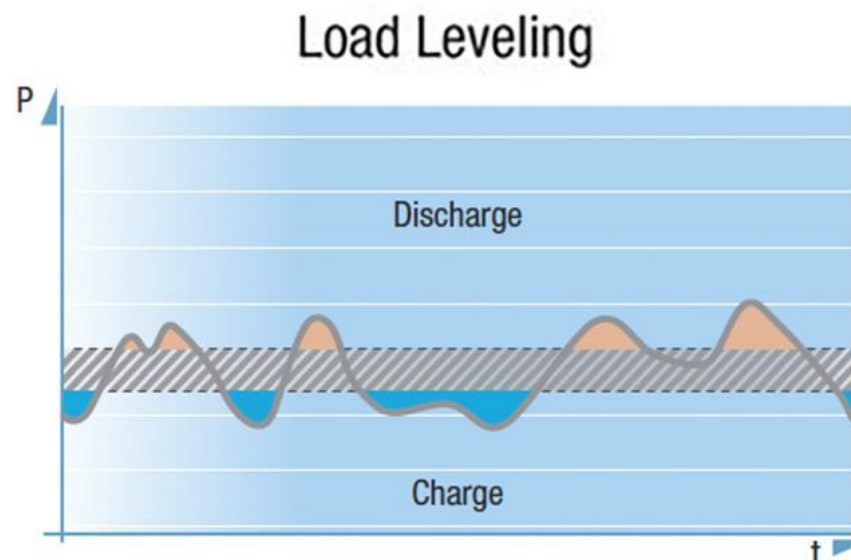
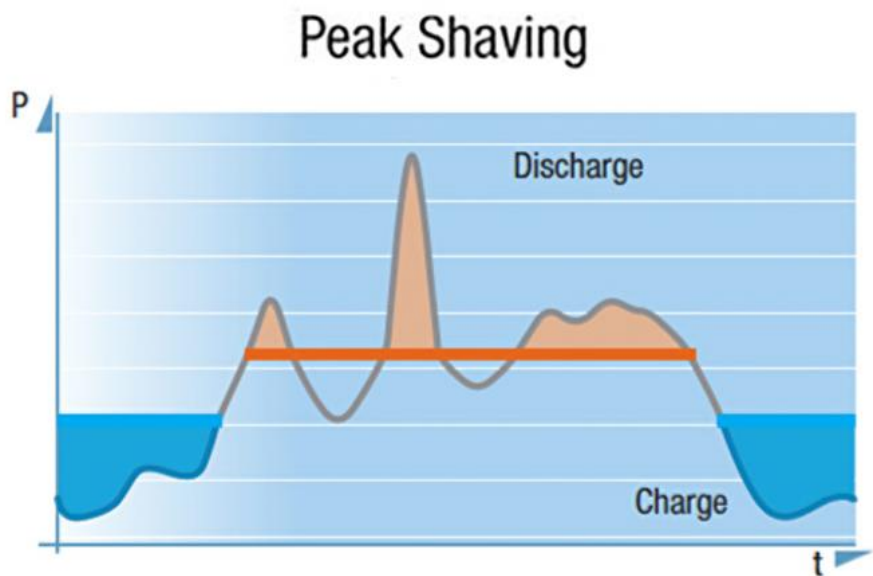
Έλεγχος Ρυθμού Μεταβολής Ισχύος



Πηγή: "Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief," International Renewable Energy Agency, 2019.



- ✓ **Περικοπή αιχμών** (peak shaving): Ενέργεια αποθηκεύεται κατά τις χρονικές στιγμές που το φορτίο του συστήματος είναι χαμηλό. Η εκφόρτιση πραγματοποιείται ώστε να εξαλειφθούν οι αιχμές του φορτίου.
- ✓ **Εξισορρόπηση φορτίου** (Load Levelling): Λαμβάνει χώρα η ίδια διαδικασία. Στόχος, όμως, είναι να εξισορροπηθεί (εξομαλυνθεί) το φορτίο αντί να εξαλειφθεί απλώς η κορυφή του





- ✓ Σε **επίπεδο καταναλωτών** ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΣΑΕ μπαταριών για τους εξής σκοπούς:
 - Αύξηση αξιοπιστίας (αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας)
 - Βελτίωση ποιότητας ισχύος (αποφυγή βυθίσεων τάσης, ασυμμετριών, κλπ.)
 - Μείωση κόστους ενέργειας. Βρίσκει εφαρμογή σε συστήματα με κυμαινόμενες (χρονικά) τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περιόδους χαμηλού κόστους αποθηκεύεται ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται σε περιόδους αιχμών (υψηλού κόστους).
 - Arbitrage



- ✓ Τα μελλοντικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να βασίζονται σε σημαντικό βαθμό σε μονάδες ΑΠΕ. Ωστόσο, η μεταβλητότητα της παραγωγής αυτών των μονάδων δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για την ασφαλή και αξιόπιστη ενσωμάτωση τους στο δίκτυο. Οι σημαντικότερες εξ αυτών είναι:
 - Προβλήματα ευστάθειας και διαχείρισης τάσης → Μπορεί να οδηγήσουν σε περικοπή ισχύος από ΑΠΕ και σε σύνδεση συμβατικών μονάδων
 - Αυξημένες ανάγκες στρεφόμενης εφεδρείας ώστε να αντιμετωπιστούν σφάλματα πρόβλεψης παραγωγής
- ✓ Η αποθήκευση ενέργειας παρέχει την απαραίτητη ευελιξία για την περαιτέρω (ασφαλή) διείσδυση ΑΠΕ. Επιπλέον, μέσω της χρήσης ΣΑΕ εξασφαλίζεται η βέλτιστη αξιοποίηση των υφιστάμενων υποδομών