



Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος



[Εικόνα]

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

ΝΙΓΙΑΝΝΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
Εμμανουήλ Καραπιδάκης

Χαλιά 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ MICRO GRID: ΜΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

- 1 Εισαγωγή
- 2 Μοντελοποίηση συστήματος
- 3 Προβλήματα τυποποίησης
- 4 Στρατηγική επίλυσης
 - 4.1 Δυναμικός προγραμματισμός τυποποίησης
 - 4.2 Αξιολόγηση αξιοπιστίας
 - 4.3 Στρατηγική
- 5 Εφαρμογή
- 6 **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ.ΕΝΝΟΙΑ MICRO GRID

- 1 επισκόπηση και εισαγωγή
- 2 Υπόβαθρο
 - 2.1 τεχνολογίες
 - 2.2 Θερμότητα και ισχύς σε συνδυασμό
 - 2.3 Ζητήματα διασύνδεσης
- 3 Δομή Micro Grid
 - 3.1 Ελεγκτής Micro source
 - 3.2 Ενεργειακή διεύθυνση
 - 3.3 Συντονιστής προστασίας
- 4 Παρουσίαση του Micro Grid στο πλέγμα χρησιμότητας
 - 4.1 Το φορτίο ως πόρος
 - 4.2 Δυναμικές αλληλεπιδράσεις
- 5 Μέθοδοι ελέγχου για Micro Grids
 - 5.1 Λειτουργίες έλεγχου Micro source

- 5.2 Υπόδειγμα συστήματος
- 6 Προστατευτική αναμετάδοση και Micro Grids
 - 6.1 Γεγονότα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας
 - 6.2 Γεγονότα στο απομονωμένο Micro Grid
- 7 Οικονομικά των Micro Grids
 - 7.1 Micro Grids και παραδοσιακά οικονομικά συστήματα ισχύος
 - 7.2 Νεότερα οικονομικά ζητήματα στα Micro Grids
 - 7.3 Οικονομικά ζητήματα μεταξύ Micro Grids και συστημάτων χρησιμότητας
- 8 Περίληψη
- 9 **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΟΜΕΝΗ ΓΕΝΙΑ ΣΥΝΔΕΜΕΝΩΝ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΠΡΕΥΜΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

- 1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ
- 2 Πολύ κύρια λειτουργία
- 3 Διανομή δύναμης χωρίς επικοινωνία
- 4 Παραλληλισμός πηγών τάσης των αναστροφέων
- 5 Παράλληλη τριφασική λειτουργία
- 6 Εφαρμογές στις εγκαταστάσεις HYBRIX
- 7 Συμπέρασμα
- 8 **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ MICRO GRID:

ΜΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Η σημερινή υποδομή διανομή ισχύος λειτουργεί κάτω από την ακραία πίεση. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουμε δει ελάχιστη επένδυση στην υποδομή και έχουν γίνει λίγα ώστε να προετοιμαστεί ο παλιός εξοπλισμός για την αυξανόμενη ανάπτυξη φορτίων και τις απαιτήσεις για ανοικτή πρόσβαση. Συνεπώς, η επέκταση των διανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER) γίνεται μια όλο και περισσότερο ελκυστική εναλλακτική λύση σε σύγκριση με ακριβές και χρονοβόρες διαδικασίες για την αναβάθμιση και την αύξηση των συστημάτων μετάδοσης και διανομής. Τα DERs είναι μικρές, πηγές επιμέρους ενοτήτων (παραγωγή ή αποθήκευση) ενέργειας που είναι συχνά πιο επαρκείς και ελεγχόμενες από τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Αυτές οι συσκευές θα εγκατασταθούν μέσα ή κοντά στα κέντρα χρήσης. Τελικά, καθώς η διείσδυσή τους θα αυξηθεί αρκετά, θα διασυνδεθούν σε ένα πλέγμα δημιουργώντας μια μόδα για σταθερότητα και ενισχυμένη αξιοπιστία. Αυτά τα πλέγματα καλούνται «microgrids».

Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια λογική μέθοδο οικοδόμησης μικροπλεγμάτων που βελτιστοποιείται για το κόστος και υπόκειται σε περιορισμούς αξιοπιστίας. Η μέθοδος βασίζεται σε δυναμικό προγραμματισμό και αποτελείται από τον καθορισμό της βέλτιστης διασύνδεσης μεταξύ των μικροπηγών και των σημείων φορτίου, λαμβάνοντας υπόψη τις θέσεις τους και τα δικαιώματα για τον τρόπο που θα γίνουν οι πιθανές διασυνδέσεις. Μια νέα προσέγγιση εισάγεται επίσης, που καλείται «προσθήκη μονάδων συνδέσεων». Η μέθοδος καταδεικνύεται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα 22 διαύλων.

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία του προγραμματισμού και της επέκτασης των συστημάτων έχει αυξηθεί πολλαπλά κατά τη διάρκεια των τελευταίων λίγων ετών λόγω των ριζικών αλλαγών που συνεχίζονται στη βιομηχανία ενέργειας [1]. Το σύστημα αναδομείται. Η άρση των ελέγχων επιτρέπει την ανοικτή πρόσβαση στις γραμμές μετάδοσης και στην μεταφορά μεγάλων ποσών ενέργειας από τις γεωγραφικά απόμακρες περιοχές. Το σύστημα μετάδοσης που σχεδιάστηκε αρχικά για σταθερότητα αντιμετωπίζει τώρα έντονη πίεση. Περαιτέρω, η γερασμένη υποδομή δεν είναι πλέον ικανή να προσαρμοστεί στην αύξηση φορτίων. Οι πρόσφατες συσκοτίσεις έχουν δείξει ότι το σύστημα αντιμετωπίζει πράγματι πρωτοφανή ποσά πίεσης. Μια πιθανή λύση είναι να κατασκευαστούν νέες εγκαταστάσεις μετάδοσης. Εντούτοις, αυτό είναι μια πολύ ακριβή και χρονοβόρα διαδικασία. Η άλλη εναλλακτική λύση είναι να χρησιμοποιηθεί η επιτόπια παραγωγή. Αυτό είναι υπό μορφή διανεμημένης παραγωγής, η οποία

μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα ή κοντά στα σημεία χρήσης. Αυτή η μέθοδος είναι ελκυστικότερη επειδή αφενός, ανακουφίζει την ανάγκη για την κατασκευή του δαπανηρού πλέγματος μετάδοσης. Αφετέρου, λόγω της ίδιας της φύσης τους, οι διανεμημένες γεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν μετά από ζήτηση, αντί να περιμένουν πολύ καιρό για να κατασκευαστούν οι παραδοσιακές εγκαταστάσεις. Για αυτό τον λόγο, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες και από την κυβέρνηση και από τις βιομηχανικές αντιπροσωπείες για την ανάπτυξη και την επέκταση αυτών των πόρων. Ειδικότερα, το αμερικανικό τμήμα ενέργειας (USDoE) έχει σχεδιάσει ένα στρατηγικό σχέδιο [2],3] για την αποτελεσματική τοποθέτηση και τη χρήση των DERs υπό μορφή microgrids.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα DERs είναι πιθανό να εγκατασταθούν στα σημεία φορτίων, π.χ στο δίκτυο διανομής. Αυτή η ενσωμάτωση θα αλλάξει σημαντικά τη δομή αυτών των δικτύων. Παραδοσιακά τα δίκτυα διανομής είναι ακτινωτά, και η εστίαση των μεθοδολογιών σχεδιασμού ήταν πρώτα για τη διατήρηση του ακτινωτού συστήματος διανομής [4],5]. Εντούτοις, καθώς η διείσδυση των DERs αυξάνεται, μπορεί να είναι συνετό να διασυνδεθούν αυτές τις συσκευές παραγωγής για να διαμορφωθεί ένα πλέγμα. Αυτό θα ήταν μια εφαρμογή ενός microgrid.

Σημαντική έρευνα έχει διεξαχθεί στους τομείς επέκτασης μετάδοσης που σχεδιάζουν [6] και αναπτύσσουν τα microgrids. [7] - [12]. Η πιο αξιοσημείωτη είναι η "CERTS Microgrid Concept" που εστιάζει σε μια αυτόνομη παροχή θερμότητας και ηλεκτρικού ρεύματος σε μια συμπαγή συστάδα φορτίων. Πολλές από τις προσεγγίσεις έχουν εστιάσει στη βέλτιστη τοποθέτηση των DERs στο δίκτυο διανομής [11],12]. Με αυτές τις προσεγγίσεις έχουν γίνει υποθέσεις και προσπάθειες να διατηρηθεί πλήρως η ακτινωτή δομή του πλέγματος διανομής. Αντίθετα, αντιμετωπίζουμε το ζήτημα επέκτασης δικτύων διανομής με ένα κριτήριο αξιοπιστίας χρησιμοποιώντας την ανάπτυξη των διανεμημένων πόρων. Η προσέγγισή μας κατευθύνεται προς την ανάπτυξη των microgrids που είναι δικτυωμένα στη δομή και προσαρμόζονται στο όραμα του αμερικανικού τμήματος ενέργειας των microgrids που μπορεί να λειτουργήσει ως συνδεδεμένο στο πλέγμα και ως απομονωμένο.

Αυτό η εργασία παρουσιάζει μια λογική μέθοδο δημιουργίας microgrids με βέλτιστες δαπάνες που υπόκεινται σε περιορισμούς αξιοπιστίας. Αυτή η εργασία είναι ένα αρχικό βήμα προς το να ολοκληρωθεί μια άμεση ανάγκη για εργαλεία σχεδιασμού συστημάτων που λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές που γίνονται στη βιομηχανία. Θα επιτρέψει το σχέδιο αξιόπιστων αρχιτεκτονικών για το μελλοντικό σχεδιασμό συστημάτων.

1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

1) Γεννήτριες: Αυτές μοντελοποιούνται ως συσκευές δύο καταστάσεων. Κάθε γεννήτρια i περιγράφεται από τη μέγιστη παραγωγική ικανότητά της G_{maxi} και τον εξαναγκασμένο ρυθμό διακοπής λειτουργίας της (Forced Outage Rate) FOR_i

2) Φορτίο: Ένα σενάριο απλού φορτίου εξετάζεται, το φορτίο να είναι στην μέγιστη τιμή σε κάθε δίαυλο.

3) Γραμμές μετάδοσης: Το βασικό στοιχείο του δικτύου μετάδοσης είναι η unit-link που είναι μια γραμμή μετάδοσης με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η unit-link έχει μια καθορισμένη χωρητικότητα που καλείται τη χωρητικότητα μονάδας, που συμβολίζεται με Cap_u .

- Κάθε σύνδεση μονάδων αποτελείται από το μήκος μονάδων και τη σύνθετη αντίσταση μονάδων. Η unit-link που αντιστοιχεί σε οποιουδήποτε δύο κόμβους i και j , που συμβολίζονται από την unit-link- ij , έχει μήκος μονάδων ίσο με την απόσταση μεταξύ των κόμβων. Έτσι, έχουμε μια μονάδα-κόστους που συνδέει δύο κόμβους i και j που δίνεται από το $Cost_{uij} = k \times l_{ij}$, όπου το k είναι μια σταθερά. Οι δαπάνες λόγω άλλων παραγόντων μπορούν να προστεθούν στα ανωτέρω για να πάρουν το συνολικό κόστος τοποθέτησης μιας σύνδεσης χωρητικότητας μονάδων μεταξύ αυτών των δύο κόμβων. Περαιτέρω η σύνθετη αντίσταση της unit-link μεταξύ ίδιων κόμβων είναι $z \times l_{ij}$ όπου το z είναι η μονάδα-σύνθετης αντίστασης.

4) Πρότυπο δικτύων: Ένα γραμμικό πρότυπο δικτύων υπό μορφή ροής D.C φορτίων έχει χρησιμοποιηθεί σε αυτήν την εργασία.

1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

Αυτή η εργασία στοχεύει στο να καθορίσει το βέλτιστο δίκτυο ρύθμισης που ικανοποιεί μια ελάχιστη απαίτηση αξιοπιστίας. Από μαθηματική άποψη, αυτό το πρόβλημα μπορεί να τεθεί ως εξής: Ελαχιστοποιήστε:

$$J = \sum_{ij} J_{ij} \times x_{ij} \quad \text{for } 1 \leq i < j \leq N_n \quad (1)$$

υπό τον όρο:

$$EIR > R_0 \quad (2)$$

όπου,

J = Κόστος δικτύου μετάδοσης

J_{ij} = Κόστος διασυνδεδεμένων κόμβων i και j

x_{ij} = Επιλογή θέσης σύνδεσης $i - j$

N_n = Αριθμός κόμβων στο σύστημα

EIR = Ενεργειακός δείκτης αξιοπιστίας, και

R_0 = ελάχιστη απαιτούμενη αξιοπιστία.

Αυτό το πρόβλημα υπόκειται σε μια σταδιακή-σοφή ανάλυση. Σε κάθε στάδιο μια γραμμή προστίθεται στο υπάρχον δίκτυο. Επομένως, ο δυναμικός

προγραμματισμός γίνεται ένα κατάλληλο εργαλείο για τη μέθοδο επίλυσης. Αυτή η προσέγγιση με την έννοια της unit-link δίνει μαζί με τη χωρητικότητα της κάθε σύνδεσης το βέλτιστο δίκτυο.

1.4 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Το πρόβλημα αναλύεται σε πολλά στάδια, όπου στο κάθε στάδιο το δίκτυο αυξάνεται από μια άλλη μονάδα-σύνδεση (unit-link). Πριν περιγράψουμε τη στρατηγική, χρειαζόμαστε κατά πρώτον να ορίσουμε τις διαφορετικές δομές του δυναμικού προγραμματισμού

1.4.1 Ο ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

Κάθε στάδιο αντιπροσωπεύει το συνολικό αριθμό unit-links που έχουν προστεθεί στο σύστημα. Υπάρχουν πολλές ρυθμίσεις που χρησιμοποιούν τον ίδιο συνολικό αριθμό unit-links. Κάθε ρύθμιση έχει ένα σχετικό κόστος και προσφέρει μια αξία αξιοπιστίας. Αυτό το μέτρο αξιοπιστίας επιλέγεται ως το "επίπεδο DP".

Επίπεδα για το επόμενο στάδιο χτίζονται με την προσθήκη μιας άλλης μονάδας-σύνδεσης(unit-link). Κάθε πιθανό unit-link μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού κόμβων είναι μια εναλλακτική λύση. Αυτές είναι οι "αποφάσεις DP".

Είναι αρκετά πιθανό ότι σε ένα δεδομένο στάδιο, διαφορετικές ρυθμίσεις μπορούν να έχουν την ίδια αξία αξιοπιστίας, αλλά με διαφορετικές δαπάνες. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό κατά τη διάρκεια της οικοδόμησης των σταδίων να γίνει έλεγχος για διπλά επίπεδα . Όποτε παράγεται ένα νέο επίπεδο για το επόμενο στάδιο δοκιμάζοντας μια απόφαση, εκτελείται ένας έλεγχος για να φανεί εάν υπάρχει οποιοδήποτε άλλο με την ίδια αξία αξιοπιστίας. Εάν υπάρχει ένα τέτοιο και έχει ένα υψηλότερο κόστος, τότε αντικαθίσταται με το πιο πρόσφατα παραγόμενο επίπεδο . Με άλλα λόγια, αυτό εξασφαλίζει ότι η ρύθμιση που αντιπροσωπεύεται από ένα επίπεδο σε ένα δεδομένο στάδιο είναι ο βέλτιστος τρόπος για να επιτευχθεί η αξιοπιστία που προσφέρει προσθέτοντας τόσα πολλά unit-links όπως απεικονίζονται από το στάδιο.

1.4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Επιλέγεται ένας ενεργειακός δείκτης αξιοπιστίας. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο μονάδων παραγωγής, η αναμενόμενη ελάχιστη περικοπή που αξιολογείται πέρα από απρόοπτα μέχρι την πρώτη εντολή χρησιμοποιείται ως μέτρο αξιοπιστίας των συστημάτων.

Ο πυρήνας του μοντέλου αξιολόγησης αξιοπιστίας είναι μια τυποποίηση LP βασισμένη στη DC ροή ενέργειας. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η συνολική περικοπή για ένα δεδομένο δίκτυο, το οποίο δίνεται από:

$$\text{Loss of Load} = \text{Min} \left(\sum_{i=1}^{N_b} C_i \right) \quad (3) \quad (\text{Loss of Load} = \text{Απώλεια φορτίου})$$

υπό τον όρο:

$$\begin{aligned} \hat{B}\theta + G + C &= D \\ G &\leq G^{\max} \\ C &\leq D \\ b\hat{A}\theta &\leq F_f^{\max} \\ -b\hat{A}\theta &\leq F_r^{\max} \\ G, C &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

⊖ απεριορίστο

όπου ,

N_b = αριθμός διαύλων

N_t = αριθμός γραμμών μετάδοσης

C = N_b - διάνυσμα των περικοπών φορτίου διαύλων

C_i = i -στο στοιχείο του C , π.χ. των ανικανοποίητων απαιτήσεων στον δίαυλο i

D = N_b - διάνυσμα των απαιτήσεων διαύλου

G_{\max} = N_b -διάνυσμα της διαθέσιμης παραγωγής στον δίαυλο

$F_f \max$ = N_t -διάνυσμα της εμπρόσθιας ροής χωρητικότητας στις γραμμές μετάδοσης

$F_r \max$ = N_t -διάνυσμα της αντιστροφής ροής χωρητικότητας στις γραμμές μετάδοσης

G = N_b -διάνυσμα της αποσταλμένης παραγωγής στους διαύλους

θ = γωνίες του N_b -διανυσματος της τάσης διαύλων

b = $N_t \times N_t$ πρωτόγονος (διαγώνιος) πίνακας της ευαισθησίας των γραμμών μετάδοσης

A = $N_t \times N_b$ στοιχείο-κόμβος του πίνακα επίπτωσης

B = $N_b \times N_b$ αυξημένου κόμβου πίνακας ευαισθησίας = $\hat{A}^T b \hat{A}$

Η ανωτέρω διαδικασία ελαχιστοποίησης εκτελείται για κάθε ενδεχόμενο. Σε αυτήν την εργασία, απρόοπτα παραγωγής μέχρι την πρώτη παραγγελία έχουν υπολογιστεί.

Έστω LOL_i να είναι η απώλεια φορτίου αποκτηθείσα για το i -στο απρόοπτο, με μια πιθανότητα $prob_i$. Τότε η αναμενόμενη δύναμη που δεν εξυπηρετείται δίνεται από:

$$EPNS = \sum_1^{N_c} LOL_i \times prob_i \quad (5)$$

όπου,

$EPNS$ = Αναμενόμενη δύναμη που δεν εξυπηρετείται

N_c = Αριθμός απρόοπτων

Η αξιοπιστία του δικτύου δίνεται τότε από:

$$EIR = 1 - \frac{EPNS}{DT} \quad (6)$$

όπου,

EIR = Ενεργειακός δείκτης αξιοπιστίας

DT = Συνολική απαίτηση ισχύος

Κανονικά, το EIR υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$EIR = 1 - \frac{EUE}{ET} \quad (7)$$

όπου,

EUE = Αναμενόμενη ενέργεια που δεν εξυπηρετείται

ET = Συνολική ενεργειακή απαίτηση

Η εξίσωση (7) γίνεται ισοδύναμη με την (6) όταν η απαίτηση είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της περιόδου ενδιαφέροντος. Σε αυτήν την εργασία, μόνο το μέγιστο φορτίο στους διαύλους έχει εξεταστεί το οποίο είναι επαρκές για σκοπούς σχεδίασης. Έτσι η απαίτηση ισχύος παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της περιόδου ενδιαφέροντος.

1.4.3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ

Αν και το πρόβλημα μπορεί να λυθεί σε ένα είδος σοφού-σταδίου, είναι μόνο το τελικό στάδιο που μας ενδιαφέρει. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη το παρόν στάδιο, δεν χρειάζεται να αποθηκευτούν τα άλλα στάδια εκτός από το τρέχον, το οποίο χρησιμοποιείται για να χτίσει το επόμενο στάδιο. Έτσι, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία των συστημάτων, το επίπεδο DP περιέχει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τις ρυθμίσεις του δικτύου. Αυτή η προσέγγιση εξαλείφει την ανάγκη για backtracking.

Περαιτέρω, αυτό είναι αποδοτικό από πλευρά μνήμης καθώς δεν χρειάζεται να σώσουμε τα προηγούμενα στάδια. Οι πληροφορίες δικτύων που αποθηκεύονται στο επίπεδο DP είναι ελάχιστες και η γενική δαπάνη μνήμης που προκύπτει από αυτό είναι ασήμαντη σε σύγκριση με τις απαιτήσεις αποθήκευσης όλων των σταδίων.

Αυτό το πρόβλημα λύνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση, τα επίπεδα DP χτίζονται διαδοχικά μέχρι ένα από τα στάδια στο επίπεδο που έχει δημιουργηθεί να ξεπεράσει τα κατώτατα όρια αξιοπιστίας. Είναι δυνατό στο τελευταίο επίπεδο αυτής της φάσης να υπάρχουν άλλα στάδια που αντιπροσωπεύουν τις ρυθμίσεις του συστήματος προσφέροντας μια υψηλότερη αξιοπιστία από τα κατώτατα όρια αξιοπιστίας. Από όλα τα εν λόγω στάδια, το στάδιο που δίνει τη χαμηλότερη αξιοπιστία επιλέγεται και χαρακτηρίζεται ως στάδιο αναφοράς. Αυτό το στάδιο είναι καθορισμένο ως στάδιο αναφοράς, με αξιοπιστία R_{ref} και κόστος J_{ref} .

Στη δεύτερη φάση, από όλα τα στάδια από το τελευταίο επίπεδο της πρώτης φάσης επιλέγεται αυτο που ικανοποιεί τα ακόλουθα κριτήρια:

- 1) Κόστος $\leq J_{ref}$
- 2) Αξιοπιστία $\leq R_{ref}$

Αυτά τα κράτη αντιπαραβάλλονται σε ένα στάδιο που διαμορφώνει το πρώτο στάδιο της δεύτερης φάσης. Από αυτό το στάδιο τα επόμενα στάδια δημιουργούνται. Εντούτοις, σε αυτήν την φάση, η δημιουργία των σταδίων για οποιαδήποτε τροχιά τελειώνει εάν το κόστος εκείνης της τροχιάς δεν είναι πλέον λιγότερο από J_{ref} . Με άλλα λόγια, η συνέχιση της τροχιάς δεν θα προσφέρει κανένα πλεονέκτημα περισσότερο από αυτό που παρέχεται από από το κράτος αναφοράς. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, όλα τα στάδια που συναντούν το κριτήριο του κατωφλιού αξιοπιστίας αναγνωρίζονται. Μεταξύ όλων των εν λόγω κρατών, το κράτος που έχει το χαμηλότερο κόστος είναι το βέλτιστο κράτος.

Η ρύθμιση που αντιπροσωπεύεται από το βέλτιστο κράτος είναι η βέλτιστη λύση.

1.4.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Τα διαγράμματα ροής για την πρώτη και την δεύτερη φάση δείχνονται στα σχήματα 1 και 2 αντίστοιχα.

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ο ανωτέρω αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε ένα σύστημα 22 διαόλων. Αυτό το σύστημα προήλθε από το δίκτυο διανομής στον διάυλο του RBTS [14]. Από το σχεδιάγραμμα που δίνεται στο ενιαίο διάγραμμα γραμμών του

προαναφερθέντος δικτύου, τα δικαιώματα του δρόμου μεταξύ των κόμβων και οι δαπάνες επ' αυτού καθορίστηκαν. Για χάρη της επίδειξης, το κόστος διασύνδεσης στους κόμβους i και j υποτίθεται ότι είναι ανάλογο προς την απόσταση όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα. Το φορτίο υποτίθεται ότι είναι στην κορυφή για όλους τους διαύλους. Υποτίθεται ότι η θέση και το μέγεθος των μονάδων παραγωγής είναι γνωστά από πριν. Περαιτέρω, οι τυπικές τιμές των ποσοστών εξαναγκασμένης διακοπής λειτουργίας λήφθηκαν.

Σε αυτό το σύστημα, ο διαυλος 22 είναι το σημείο της κοινής σύζευξης (PCC). Όμως μια χειρότερη περίπτωση έχει αναλυθεί όπου δεν υπάρχει καμία βοήθεια από το πλέγμα και το φορτίο δεν είναι στην κορυφή του συστήματος.

Το δεδομένα παραγωγής και φορτίου παράγονται παρακάτω στον πίνακα I και στον πίνακα II αντίστοιχα. Η χωρητικότητα κάθε unit-link λήφθηκε να είναι 0.2 MW, με τη σύνθετη αντίσταση 0.006 p.u. ανά μίλι. Το πρόγραμμα εκτελέστηκε με καθορισμό του μέγιστου EPNS στο 4% της συνολική απαίτηση. Το προκύπτουν δίκτυο παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Οι ρυθμίσεις του δικτύου είναι ταξινομημένες στον πίνακα III.

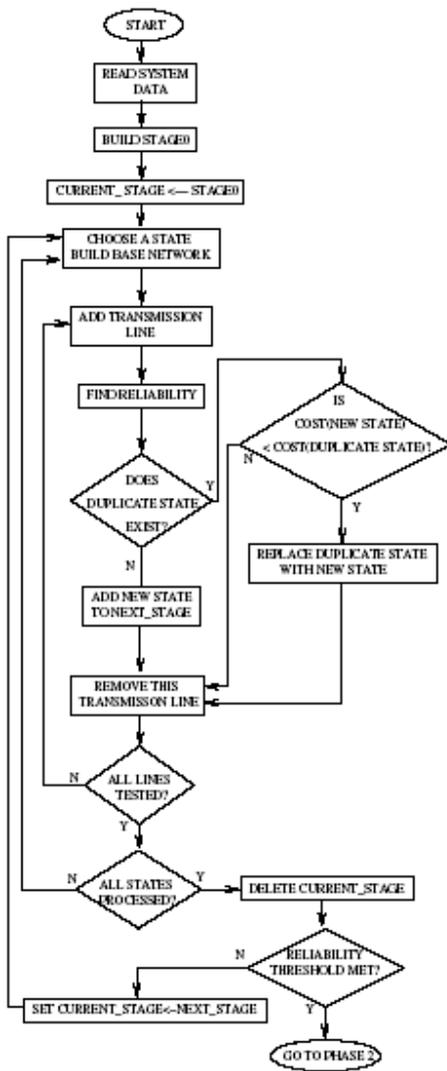


Fig. 1. Flowchart for Phase I

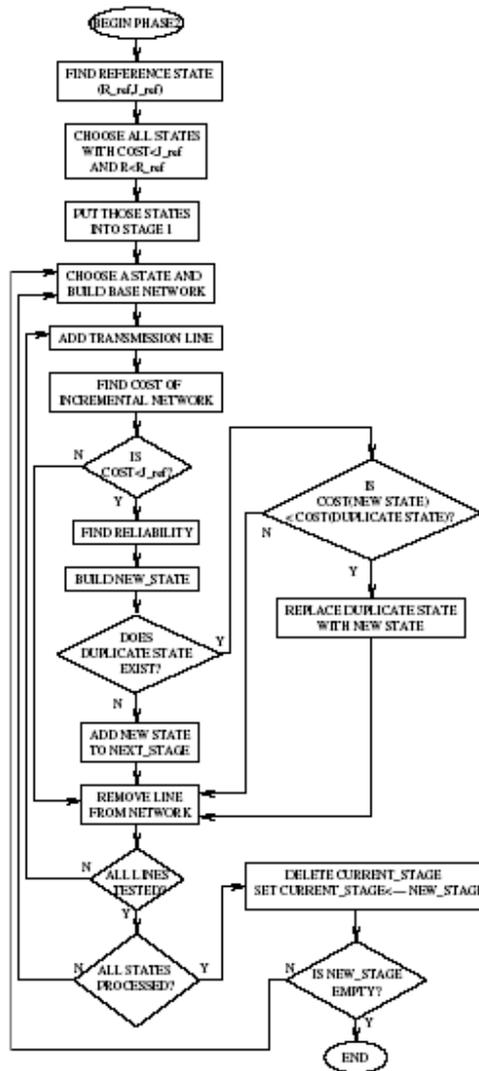


Fig. 2. Flowchart for Phase II

TABLE I
GENERATION DATA FOR THE 22-BUS SYSTEM

Bus	Gen (MW)	FOR
1	5.0	0.06
5	10.0	0.10
10	3.5	0.08
11	5.0	0.10
22	7.5	0.10

TABLE II
LOAD DATA FOR 22-BUS SYSTEM

Bus	Load (MW)	Bus	Load (MW)	Bus	Load (MW)
1	0.8668	9	1.8721	16	0.7500
2	0.8668	10	0.8668	17	0.7291
3	0.8668	11	0.8668	18	0.7291
4	0.9167	12	0.7291	19	0.7291
5	0.9167	13	0.9167	20	0.9167
6	0.7500	14	0.9167	21	0.9167
7	0.7500	15	0.7500	22	0.7500
8	1.6279				

TABLE III
RESULTING NETWORK CONFIGURATION FOR 22-BUS SYSTEM

LINE	Cap (MW)	LINE	Cap (MW)	LINE	Cap (MW)
1-18	0.8	11-12	0.8	21-22	1.0
1-2	1.0	5-6	0.8	10-16	0.6
4-5	0.8	5-7	0.8	8-11	1.6
15-22	0.8	1-19	0.8	10-17	0.6
3-5	0.2	20-22	0.8	17-22	0.4
1-3	0.8	1-16	0.4	1-17	0.4
1-4	0.2	10-14	0.8	11-16	0.4
10-13	0.8	2-5	0.2	16-22	0.2
5-9	1.8	14-22	0.2	11-13	0.2
5-16	0.2	11-14	0.2	11-17	0.4
1-20	0.2	9-11	0.2	5-8	0.2
5-11	0.6				

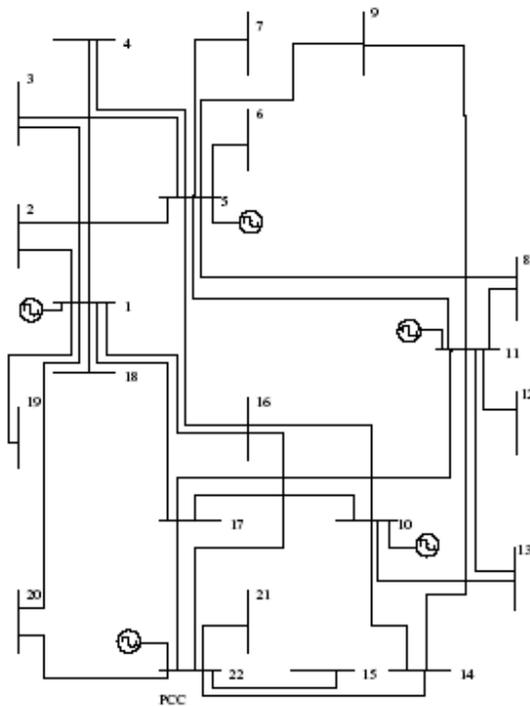


Fig. 3. Resulting Microgrid of the 22-Bus System

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

REFERENCES [7] R. Lasseter and P. Piagi, Industrial Application of Microgrids, CERTS, Oct 2001.

[1] E. Hirst and B. Kirby, Transmission Planning and the Need for New Capacity, U.S. Department of Energy National Transmission Grid Study, A. S. Meliopoulos, R. Yinger, J. Eto, Integration of Distributed Energy May 2002. Resources: The CERTS MicroGrid Concept, CERTS, April 2002.

[2] U. S. Department of Energy, Strategic Plan for Distributed Energy [9] C. Marnay and O. Bailey, The CERTS Microgrid and the Future of the Resources, Sep 2000. Macrogrid, CERTS, Aug 2004.

[3] U. S. Department of Energy, Transmission Reliability Multi-Year Program Plan FY2001-2005, Jul 2001. [10] R. H. Lasseter, P. Piagi, Microgrid: A Conceptual Solution, CERTS, June 2004.

[4] Nicholas G. Boulaxis and Michael P. Papadopoulos, "Optimal feeder routing in distribution system planning using dynamic programming distribution networks", 22nd IEEE PES International Conference on technique and GIS facilities", IEEE Transactions on Power Delivery, Power Industry Computer

Applications PICA 2001, 20-24 May 2001, Vol. 17, No. 1, January 2002, pp. 242-247. Sydney, Australia, pp. 81-86.

[5] L. A. F. M. Ferreira, P. M. S. Carvalho, L. A. Jorge, S. N. C. Grave, [12] A. R. Wallace and G. P. Harrison, "Planning for optimal accommodation L. M. F. Barruncho, OptimalDistributionPlanningbyevolutionaryof dispersed generation in distribution networks", 17th International Computation-HowtoMakeItWork, IEEE PES Transmission and Dis-conference on Electricity Distribution, CIRED 2003, 12-15 May 2003,

tribution Conference and Exposition, 2001. Barcelona, Spain.

[6] Gerardo Latorre, Ruben Dario Cruz, Jorge Mauricio Areiza and Andres [13] N.S. Rau and Y. H. Wan, "Optimum location of resources in distributed Villegas, "Classification of publications and models on transmission planning", IEEE Transactions on Power systems, 1994, pp. 2014-2020.

expansion planning", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, [14] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel and K. S. So, "A reliability No. 2, May 2003. test system for educational purposes -basic distribution system data and results", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991.

Shashi B. Patra, StudentMemberJoydeep Mitra, SeniorMemberSatish Θ*ι. Ranade, SeniorMemberKlipsch σχολείο ηλεκτρικού και Klipsch σχολείο ηλεκτρικού και σχολείο Klipsch πανεπιστημίου Las Cruces, NM 88003 Las Cruces, NM 88003 Las Cruces, NM 88003 ηλεκτρονικό ταχυδρομείο του New Mexico κρατικού πανεπιστημίου του New Mexico κρατικού πανεπιστημίου του New Mexico εφαρμοσμένης μηχανικής υπολογιστών εφαρμοσμένης μηχανικής υπολογιστών ηλεκτρικής και εφαρμοσμένης μηχανικής υπολογιστών του κρατικού: patra@nmsu.edu ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: jmitra@nmsu.edu ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: sranade@nmsu.edu

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ. ΕΝΝΟΙΑ MICRO GRID.

1. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευή νέων μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας δεν συμβαδίζει με την αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στα δυτικά και τα βορειοανατολικά των ΗΠΑ. Συγχρόνως, η ζήτηση πελατών για ακόμη μεγαλύτερη αξιόπιστη ενέργεια αυξάνεται σε ολόκληρο το έθνος. Ακόμα κι αν χτίστηκε ένας ικανοποιητικός αριθμός νέων παραγωγικών εγκαταστάσεων, τα «γερασμένα» συστήματα μετάδοσης και διανομής της χώρας είναι απίθανο να παραδώσουν αξιόπιστα την αυξανόμενη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτείται. Επιπλέον, το κόστος των βελτιώσεων που απαιτούνται για να επιτρέψουν στο σημερινό σύστημα ενέργειας να παραδώσει το επίπεδο της αξιοπιστίας που απαιτείται είναι πολύ παραπάνω από αυτό που η κοινωνία ήταν μέχρι τώρα πρόθυμη να αντέξει. Σε αυτό το πλαίσιο, διανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DER), μικρές γεννήτριες ισχύος που βρίσκονται χαρακτηριστικά στα σημεία των πελατών όπου χρησιμοποιείται η ενέργεια που παράγουν, έχουν προκύψει ως ελπιδοφόρος επιλογή για να ικανοποιήσουν τις τωρινές και τις μελλοντικές απαιτήσεις των πελατών για την όλο και περισσότερο πιο αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια. Τα DER περιλαμβάνουν γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, ενεργειακή αποθήκευση, έλεγχο φορτίων, και, για ορισμένες κατηγορίες συστημάτων, προηγμένες ηλεκτρονικές διεπαφές ισχύος μεταξύ των γεννητριών και του πλέγματος διανομής.

Αυτή το σύγγραμμα προτείνει ότι η σημαντική δυνατότητα μικρότερου DER (< 100 kW/ μονάδα) να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών και των χρησιμότητων μπορεί να συλληφθεί καλύτερα με την οργάνωση αυτών των πόρων σε MicroGrids. Τα MicroGrids προβλέπονται ως συστάδες γεννητριών (συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας), αποθήκευσης, και φορτίων που λειτουργούν ως ενιαία ελέγξιμα συστήματα. Τα MicroGrids μπορούν να λειτουργήσουν εξίσου συνδεδεμένα και συγχρονισμένα με το πλέγμα διανομής χρησιμότητας όσο και σε απομόνωση από το πλέγμα διανομής χρησιμότητας (ως "island"). Οι συνθήκες του συστήματος, και σημαντικότερα, οικονομικοί παράγοντες θα υπαγορεύσουν τον κυρίαρχο τρόπο λειτουργίας.

Τα MicroGrids αντιπροσωπεύουν μια εξ ολοκλήρου νέα προσέγγιση στο να ενσωματώνουν DER, ειδικά μικρές γεννήτριες, στα συστήματα διανομής χρησιμότητας. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις για την ενσωμάτωση DER εστιάζουν στις επιδράσεις στην απόδοση πλέγματος μιας, δύο, ή ενός σχετικά μικρού αριθμού χωριστά διασυνδεδεμένων μικρογεννητριών. Ένα παράδειγμα παραδοσιακής προσέγγισης σε DER βρίσκεται στο ισοτιτούτο προτύπων σχεδίων

ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών μηχανικών (IEEE) P1547 για τους διανεμημένους πόρους που διασυνδέονται με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρότυπο αυτό εστιάζει στο να επιβεβαιώσει ότι οι διασυνδεδεμένες γεννήτριες θα κλείσουν αυτόματα εάν εμφανισθούν προβλήματα στο πλέγμα χρησιμότητας. Σε αντίθετη περίπτωση, τα micro grids θα σχεδιάζονταν για να χωριστούν ή να απομονωθούν από το πλέγμα χρησιμότητας και για να συνεχίσουν να λειτουργούν ανεξάρτητα και να υπηρετούν τις ενεργειακές ανάγκες των πελατών τους όταν συμβαίνουν προβλήματα πλέγματος, επανασυνδέοντας με το πλέγμα μόλις θα επιλύονταν τα προβλήματα.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των Micro grids είναι η παρουσίαση τους στην περιβαλλοντική διανομή πλέγματος ως ένα μοναδικό ελέγξιμο σύστημα. "Κλειδί" σε αυτό το χαρακτηριστικό είναι η αξιοπιστία στην ευελιξία των προηγμένων ηλεκτρονικών ενεργειών που ελέγχει το εσωτερικό μεταξύ μικροπηγών και το περιβαλλοντικό AC σύστημα. Με άλλα λόγια, η έννοια micro grid ελαχιστοποιεί πλήρως τις παραδοσιακές ανάγκες και προσεγγίσεις χρησιμότητας για την ενσωμάτωση DER. Η αρχιτεκτονική του Micro Grid διαβεβαιώνει ότι η ηλεκτρική επίδραση στο πλέγμα διανομής δεν είναι μόνο όπως ένας καλός πολίτης που δεν κάνει καμία ζημιά αλλά και που ως πρότυπο πολίτη, προσθέτει οφέλη στο σύστημα διανομής - μειώνει τη συμφόρηση, αντισταθμίζει την ανάγκη για μια νέα γενιά, και ανταποκρίνεται στις ραγδαίες αλλαγές στα επίπεδα των φορτίων.

Από την προοπτική της χρησιμότητας, το κεντρικό πλεονέκτημα ενός MicroGrid είναι ότι μπορεί να θεωρηθεί ως ελεγχόμενο στοιχείο μέσα στο σύστημα ισχύος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενιαίο αναπόσπαστο φορτίο, το οποίο θα ανταποκριθεί σε δευτερόλεπτα στις ανάγκες του συστήματος διανομής. Οι πελάτες ωφελούνται επίσης από ένα MicroGrid που σχεδιάστηκε με σκοπό να ικανοποιήσει τις τοπικές ανάγκες τους, π.χ., για αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος/ ενισχυμένη τοπική αξιοπιστία, μειωμένες απώλειες τροφοδοτών, υποστηρικτικές τοπικές τάσεις/διόρθωση πτώσης τάσης, και αυξανόμενη αποδοτικότητα μέσω της χρήσης της θερμότητας των αποβλήτων. Αυτό το σύγγραμμα ερευνά τα βασικά τεχνικά ζητήματα που προκύπτουν από την έννοια του MicroGrid. Το υπόβαθρο και οι βασισμένες στα συμφραζόμενα πληροφορίες σχετικά με τα MicroGrids παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.0, η οποία περιγράφει εν συντομία τις τεχνολογίες παραγωγής που περιλαμβάνονται στα MicroGrids και τον ιδιαίτερο ρόλο που η συνδυασμένη θερμική και ηλεκτρική παραγωγή θα μπορούσε να διαδραματίσει στα MicroGrids. Η παράγραφος 3.0 περιγράφει το σχέδιο Micro Grid και τη λειτουργία με λεπτομέρειες. Οι επόμενες τρεις παράγραφοι σκιαγραφούν τις βασικές τεχνικές προκλήσεις που συνδέονται με τα MicroGrids: την παρουσία τους στο πλέγμα χρησιμότητας (παράγραφος 4.0), τους ελέγχους που απαιτούνται για αυτά για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά τόσο στη σύνδεση με το πλέγμα χρησιμότητας

όσο και σε απομόνωση(ή απομονωμένα) από το πλέγμα (παράγραφος 5.0), και τα ζητήματα προστασίας και ασφάλειας που πρέπει να αντιμετωπιστούν (παράγραφος 6.0). Η παράγραφος 7.0 συζητά τα οικονομικά των MicroGrid λεπτομερώς επειδή η επιχειρησιακή περίπτωση που πρέπει να καθιερωθεί θα υπαγορεύσει τη διαμόρφωση και τη λειτουργία των MicroGrid. Η παράγραφος 8.0 συνοψίζει τα ζητήματα που παρουσιάζονται στο σύγγραμμα και δίνει έμφαση στους τομείς που χρειάζονται έρευνα. Τα παραρτήματα Α-Δ εξετάζουν λεπτομερώς το ακόλουθο υπόβαθρο και τα βασισμένα στα συμφραζόμενα ζητήματα σχετικά με τα MicroGrids: τεχνολογίες παραγωγής, ηλεκτρικά ζητήματα και περιβαλλοντικοί και ρυθμιστικοί περιορισμοί.

2. ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Οι σύγχρονες τάσεις στα DER είναι προς τις μικρές τεχνολογίες. Μια σημαντική DER τεχνολογία είναι οι μικρές βενζινοκίνητες micro turbines στην περιοχή των 25-100 kW, που πολλοί αναμένουν να είναι μαζικής παραγωγής και χαμηλού κόστους. Αυτές οι συσκευές - που είναι υψηλής ταχύτητας (50,000-100,000 rpm) στρόβιλοι με ρουλεμάν αλουμινίου αέρος- είναι σχεδιασμένες να συνδυάζουν την αξιοπιστία των γεννητριών εμπορικών αεροσκαφών με το χαμηλό κόστος των αυτοκινουμένων στροβιλοεναλλακτήρων. Οι microturbines βασίζονται στην ηλεκτρονικά ισχύος για να διασυνδεθούν με τα φορτία. Παραδείγματος χάριν περιλαμβάνονται προϊόντα : Allison Engine Company's 50-kW generator, Capstone's 30-kW and 60-kW systems, and (formerly) Honeywell's 75-kW Turbo generator.

Οι κυψέλες καυσίμων επίσης ταιριάζουν καλά στις διανεμημένες εφαρμογές παραγωγής. Προσφέρουν υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλές εκπομπές αλλά είναι για την ώρα ακριβές. Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος είναι εμπορικά διαθέσιμες στο όριο των 200-kW , και έχουν καταδειχθεί στερεού οξειδίου και λειωμένου ανθρακικού άλατος. Μια σημαντική προσπάθεια ανάπτυξης από αυτοκινούμενες επιχειρήσεις έχει εστιάσει στη δυνατότητα να χρησιμοποιείται βενζίνη σαν καύσιμο για πολυμερείς μεμβράνες ηλεκτρολυτών (PEM) κυψελών καυσίμων. Το 1997, τα Συστήματα Παραγωγής Ballard διαμόρφωσαν μια στρατηγική συμμαχία με τη Daimler- Benz και τη Ford για να αναπτύξουν νέες μηχανές οχημάτων χρησιμοποιώντας κυψέλες καυσίμων PEM Ballard. Οι δαπάνες κυψελών καυσίμων για αυτές τις μηχανές αναμένονται να είναι \$200 ανά kW. Τα σχέδια μηχανών των κυψελών καυσίμων είναι ελκυστικά επειδή υπόσχονται υψηλή αποδοτικότητα χωρίς σημαντικές ρυπογόνες εκπομπές που συνδέονται με τις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Πολλές άλλες σημαντικές διεθνείς εταιρείες επενδύουν στις κυψέλες καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της

General Motors, της Chrysler, της Honda, της Nissan, της VOLKSWAGEN, της VOLVO, και της Matsushita Electric.

Οι Microturbines και οι κυψέλες καυσίμων είναι μια σημαντική βελτίωση πέρα από τις συμβατικές μηχανές καύσεως στις εκπομπές τους όζοντος, μοριακού θέματος λιγότερο από 10 μm στη διάμετρο (PM-10), οξειδίου αζώτου (NOx), και μονοξειδίου άνθρακα (CO). Το πρωταρχικό καύσιμο για τις μικροπηγές είναι φυσικό αέριο, το οποίο έχει λιγότερα μόρια και λιγότερο άνθρακα από τα περισσότερα παραδοσιακά καύσιμα των μηχανών καύσεως. Οι μικροπηγές οι οποίες χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τη θερμότητα που αποβάλλεται μπορούν να έχουν εκπομπές CO τόσο χαμηλές όσο εκείνες των γεννητριών συνδυασμένου κύκλου. Οι NOx εκπομπές είναι κυρίως μια συνέπεια της καύσης. Μερικά παραδοσιακά καύσιμα, ειδικότερα ο άνθρακας, περιέχουν άζωτο που είναι οξειδωμένο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης. Εντούτοις, ακόμη και τα καύσιμα που δεν περιέχουν κανένα άζωτο εκπέμπουν NOx, που σχηματίζεται στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης από το άζωτο και το οξυγόνο στον αέρα. Οι στρόβιλοι αερίου, οι εναλλασσόμενες μηχανές, και οι μεταρρυθμιστές όλοι περιλαμβάνουν τις υψηλές θερμοκρασίες που οδηγούν στην παραγωγή NOx. Οι microturbines και οι κυψέλες καυσίμων έχουν πολύ χαμηλότερες εκπομπές NOx λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών καύσης τους.

Οι διανεμημένοι πόροι περιλαμβάνουν περισσότερα εκτός από microturbines και κυψέλες καυσίμων. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης όπως μπαταρίες, υπερπυκνωτές, και σφόνδυλοι είναι σημαντικές. Ο συνδυασμός της αποθήκευσης με μικροπηγές προβλέπει μέγιστη ισχύ και διαδρομή-μέσω ικανοτήτων κατά τη διάρκεια διαταραχών του συστήματος. Τα συστήματα αποθήκευσης έχουν γίνει πολύ αποδοτικότερα από ό,τι ήταν πριν πέντε χρόνια. Τα συστήματα σφονδύλων μπορούν να μεταφέρουν 700 kW για πέντε δευτερόλεπτα, και οι υπερπυκνωτές 28 κυψελών μπορούν να παρέχουν μέχρι 12,5 kW για μερικά δευτερόλεπτα.

Αυτές οι μικρές τεχνολογίες DER απαιτούν ηλεκτρονική ισχύος για να διασυνδεθούν με το δίκτυο ισχύος και τα φορτία του. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες μικροπηγών: πηγές συνεχούς ρεύματος, όπως οι κυψέλες καυσίμων, οι φωτοβολταϊκές κυψέλες, και η αποθήκευση μπαταριών και πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας όπως οι microturbines, οι οποίες πρέπει να διορθωθούν. Και στις δύο περιπτώσεις, η συνεχής τάση που παράγεται πρέπει να μετατραπεί σε τάση εναλλασσόμενου ρεύματος ή σε ρεύμα στην απαιτούμενη συχνότητα, μέγεθος, και γωνία φάσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μετατροπή εκτελείται από έναν αναστροφέα τάσης που μπορεί τάχιστα να ελέγξει το μέγεθος και τη φάση παραγωγής της τάσης του. Η θεμελιώδης συχνότητα σε έναν αναστροφέα δημιουργείται χρησιμοποιώντας ένα εσωτερικό ρολόι που δεν αλλάζει καθώς το σύστημα φορτώνεται. Αυτή η ρύθμιση είναι πολύ διαφορετική από αυτήν των σύγχρονων γεννητριών για τις οποίες η αδράνεια από την περιστροφή της μάζας καθορίζει και διατηρεί τη συχνότητα

του συστήματος. Οι μικροπηγές, σε αντίθεση, είναι αποτελεσματικά λιγότερο σε αδράνεια. Κατά συνέπεια, τα βασικά ζητήματα του συστήματος περιλαμβάνουν υπό έλεγχο: τον τροφοδότη ισχύος από το πλέγμα, την ταχύτητα απάντησης των μικροπηγών, τη διανομή και τον εντοπισμό των φορτίων μεταξύ των διανεμημένων πόρων, την αντιδραστική ροή ισχύος, τον παράγοντα ισχύος, και την παροδική κατάσταση σταθερότητας του συστήματος και δεν μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τις μεθόδους που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του χρόνου για τις σύγχρονες γεννήτριες.

Ο έλεγχος των αναστροφών που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ισχύ από ένα MicroGrid σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος πρέπει να βασιστεί σε πληροφορίες διαθέσιμες τοπικά σε κάθε αναστροφή επειδή η επικοινωνία των πληροφοριών μεταξύ πολλών μικροπηγών είναι μη πρακτική. Οι πληροφορίες μπορούν να μεταβιβαστούν μεταξύ DER για να ενισχύσουν την απόδοση του συστήματος, αλλά δεν πρέπει να είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του συστήματος.

2.2 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ (CHP)

Ένα σημαντικό δυνητικό όφελος των MicroGrids είναι μια επεκταθείσα ευκαιρία να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα που αποβάλλεται από τη μετατροπή των αρχικών καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα πιθανά κέρδη από τη χρησιμοποίηση αυτής της θερμότητας είναι σημαντικά παραγωγικά, επειδή χαρακτηριστικά κατά το ήμισυ τα τρία τέταρτα της πρωταρχικής ενέργειας που καταναλώνονται στην ηλεκτρική παραγωγή απελευθερώνονται τελικά αχρησιμοποίητα στο περιβάλλον.

Τα κέρδη της αυξανόμενης αποδοτικότητας μετατροπής είναι τριπλάσια. Κατ' αρχήν, οι δαπάνες καυσίμων θα μειωθούν επειδή θα μειωθούν τόσο οι μεμονωμένες αγορές καυσίμων όσο και η περιορισμένη γενική απαίτηση και θα οδηγήσουν προς τα κάτω τις τιμές καυσίμων. Δεύτερον, οι εκπομπές άνθρακα θα μειωθούν. Και, τρίτον, το περιβαλλοντικό πρόβλημα της μεγάλης θερμότητας που αποβάλλεται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στο περιβάλλον θα μικρύνει. Η εμφάνιση και η επέκταση των τεχνολογιών για να διευκολύνουν την αποδοτική τοπική χρήση της θερμότητας που αποβάλλεται, είναι, επομένως, βασικές για τα MicroGrids για να προκύψουν ως μια σημαντική συνεισφορά στον εθνικό ανεφοδιασμό ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χρήση της θερμότητας που αποβάλλεται στα μικρότερης κλίμακας συστήματα CHP είναι πιο κοινή σε πολλές οικονομίες απ' ό,τι στις ΗΠΑ όπου βρίσκεται χαρακτηριστικά μόνο στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Παραδείγματος χάριν, στη Δανία από το 1996, 48 % της οικιακής απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας και 38 % της οικιακής απαίτησης θερμότητας ικανοποιήθηκαν από τις εγκαταστάσεις CHP. Αυτό το επίπεδο συμβολής CHP θεωρείται ότι θα μειώσει τις εκπομπές του CO₂ περίπου 7-10 Mt ετησίως, ή περισσότερο από 10 % των συνολικών

εκπομπών του CO₂ της χώρας σε σχέση με τις εκπομπές όταν η θερμότητα και η ισχύς παράγονται χωριστά. Άλλες ευρωπαϊκές χώρες στηρίζονται επίσης στο CHP για να συμβάλουν σημαντικά στην παραγωγή ισχύος: οι Κάτω Χώρες παράγουν περίπου 30% της ισχύος τους από τα συστήματα CHP, η Γερμανία παράγει περίπου 14%, και η Ιταλία παράγει περίπου 12 %. Συγκριτικά, οι ΗΠΑ παράγουν μόνο περίπου 9% της ισχύος από το CHP .

Αντίθετα από την ηλεκτρική ενέργεια, η θερμότητα, συνήθως υπό μορφή ατμού ή καυτού ύδατος, δεν μπορεί εύκολα ή οικονομικά να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, έτσι τα συστήματα CHP παρέχουν χαρακτηριστικά θερμότητα για τις βιομηχανικές διαδικασίες, επιτόπια θέρμανση χώρου, ή τοπική θέρμανση περιοχής. Τα συστήματα CHP για να καταστούν βιώσιμα, πρέπει να υπάρξει μια επαρκώς μεγάλη ανάγκη για θερμότητα μέσα σε μια αρκετά πυκνή περιοχή έτσι ώστε η κυκλοφορία ατμού, καυτού ύδατος, ή ενός άλλου κατάλληλου μέσου να είναι εφικτή και οικονομική.

Τα MicroGrids μπορούν να συλλάβουν δύο σημαντικά πιθανά πλεονεκτήματα πάνω στα υπάρχοντα συστήματα CHP:

1. Η παραγωγή της θερμότητας μπορεί να κινηθεί κοντά στο σημείο χρήσης. Σε ένα ακραίο παράδειγμα, οι κυψέλες καυσίμων υψηλής θερμοκρασίας θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε κάθε πάτωμα ενός νοσοκομείου για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες σε καυτό νερό κάθε πατώματος. Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται ευκολότερα από τη θερμότητα, η παραγωγή της θερμότητας κοντά στη θέση του φορτίου θερμότητας θα έχει συνήθως περισσότερο νόημα από την παραγωγή της θερμότητας κοντά στο ηλεκτρικό φορτίο. Η ίδια αρχή ισχύει στα μεγάλα εργοστάσια ισχύος, τα οποία τείνουν να βρίσκονται κοντά σε πηγές δροσερού ύδατος αλλά μακριά από τους χρήστες ισχύος τους. Καθώς το Micro Grid επιτρέπει μικρές, διαφορετικές γεννήτριες να λειτουργούν με ένα παθητικά συντονισμένο τρόπο, οι γεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν βέλτιστα σε σχέση με τα φορτία.

2. Η κλίμακα παραγωγής θερμότητας για ατομικές μονάδες είναι μικρή και επομένως προσφέρει μεγάλη ευελιξία στην ταύτιση με τις απαιτήσεις θερμότητας. Ένα Micro Grid θα πρέπει να δομηθεί από τον πιο οικονομικό συνδυασμό γεννητριών παραγωγής θερμότητας (π.χ. κυψέλες καυσίμων υψηλής θερμοκρασίας και micro turbines) και γεννητριών μη παραγωγής θερμότητας (π.χ. ανεμόμυλοι ή φωτοβολταϊκά/ (PV) μοντέλα) έτσι ώστε η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας να βελτιστοποιείται, με άλλα λόγια η ευκολία του συνολικού κόστους παροχής θερμότητας και ηλεκτρισμού ελαχιστοποιείται.

2.3 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τα τοπικά πρότυπα διασύνδεσης ποικίλλουν αρκετά από τη μια χρησιμότητα στην επόμενη. Ένα εθνικό πρότυπο, ANSI πρότυπο P1547 (Σχέδιο), το πρότυπο για τους διανεμημένους πόρους που διασυνδέονται με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας συντάσσεται από την ομάδα εργασίας IEEE SC21. Αυτό το πρότυπο

στηρίζεται σε ορισμένες υποθέσεις για τη συμβολή των DER στην ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία του συστήματος. Αν και το P1547 δεν χρησιμοποιεί τον όρο MicroGrid, επιτρέπει την εφαρμογή μιας ομάδας των DER, στην οποία αναφέρεται ως τοπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (LEPS). Το πρότυπο ισχύει στο σημείο όπου ένα LEPS ή ένα MicroGrid συνδέει με τη χρησιμότητα και συσχετίζεται με τη συνολική εκτίμηση DER μέσα στο MicroGrid. Με άλλα λόγια, οι κανόνες που εφαρμόζονται σε ένα MicroGrid που περιέχει πολλές μικρές συσκευές DER θα ήταν οι ίδιοι όπως για ένα μεγάλο DER. Εντούτοις, η δυνατότητα εφαρμογής P1547 περιορίζεται σε μια εκτίμηση DER 10 MVA, η οποία είναι μεγαλύτερη από τις εκτιμήσεις που αναμένονται για τα MicroGrids.

3. ΔΟΜΗ ΤΟΥ MICROGRID

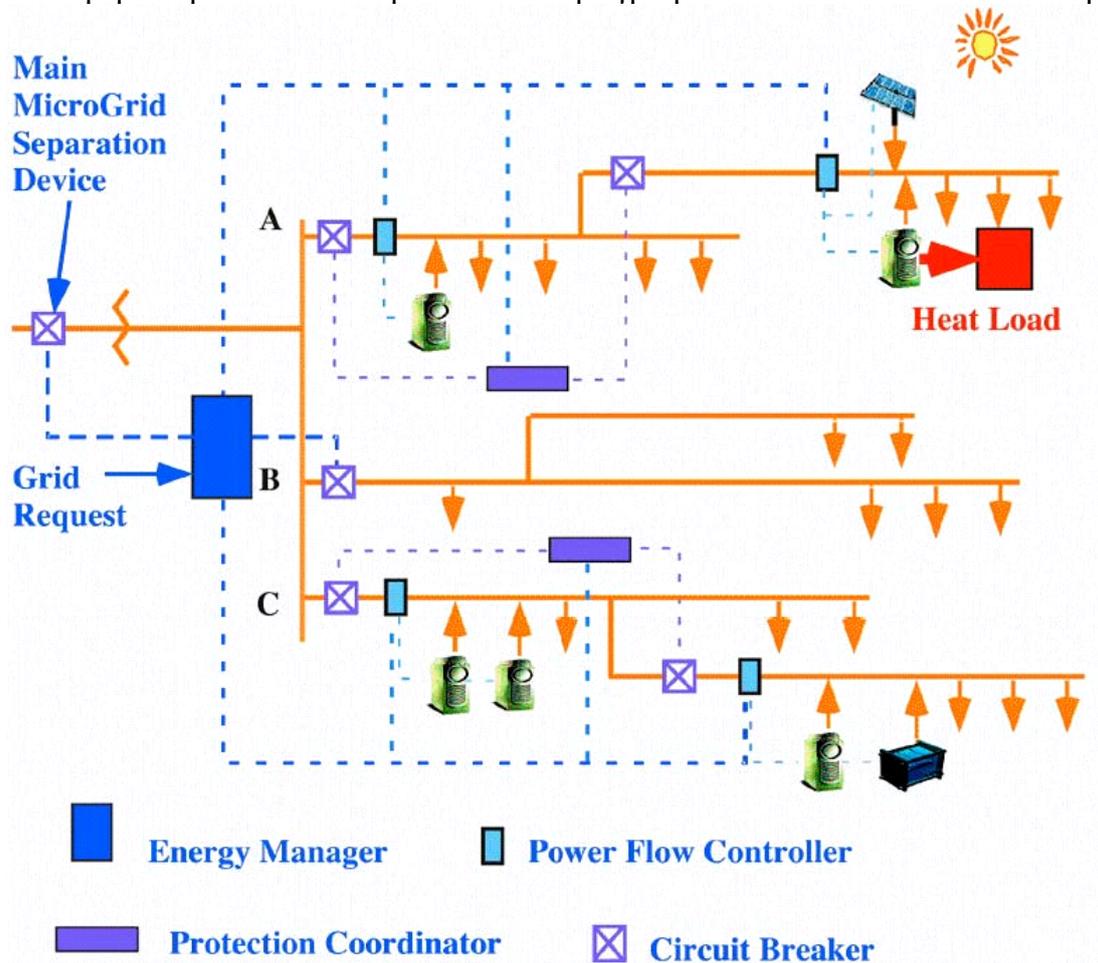
Όπως σημειώθηκε, ανωτέρω, οι μικροπηγές ειδικού ενδιαφέροντος για τα MicroGrids είναι μικρές (< 100-kW), χαμηλού κόστους, χαμηλής τάσης, χαμηλής εκπομπής, ιδιαίτερα αξιόπιστες μονάδες που αθροίζονται με το φορτίο στις περιοχές των πελατών. Τα ηλεκτρονικά ισχύος παρέχουν τον έλεγχο και την ευελιξία που απαιτούνται από την έννοια του MicroGrid, διαβεβαιώνοντας ότι το MicroGrid μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών του καθώς επίσης και τις ανάγκες χρησιμότητας. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να επιτευχθούν από μια αρχιτεκτονική συστημάτων που έχει τρία κρίσιμα συστατικά:

- . • Τοπικούς ελεγκτές μικροπηγών
- . • Υπεύθυνους ενέργειας

- . • Διανεμημένους συντονιστές προστασίας

Το σχήμα 3.1 επεξηγεί τη βασική αρχιτεκτονική του MicroGrid. Το ηλεκτρικό σύστημα συμπεραίνεται ότι είναι ακτινωτό με τρεις τροφοδότες - A, B, και C - και μια συλλογή από φορτία. Το ακτινωτό σύστημα συνδέεται με το σύστημα διανομής μέσω μιας συσκευής διαχωρισμού (π.χ., ένας στατικός διακόπτης). Οι τροφοδότες είναι συνήθως 480 βολτ ή μικρότεροι. Ο τροφοδότης A παρουσιάζει αρκετές μικροπηγές, μια εκ των οποίων παρέχει και την ισχύ και τη θερμότητα. Κάθε τροφοδότης έχει διακόπτες και ελεγκτές ροής ισχύος. Ο ελεγκτής ροής ισχύος κοντά στο φορτίο θερμότητας στον τροφοδότη A, παραδείγματος χάριν, ρυθμίζει τη ροή ισχύος του τροφοδότη σε ένα επίπεδο που ορίζεται από τον ενεργειακό διευθυντή. Καθώς τα προς τα κάτω φορτία αλλάζουν, η παραγωγή ισχύος των τοπικών μικροπηγών αυξάνεται ή μειώνεται για να διατηρήσει τη συνολική ροή ισχύος σταθερή. Σε αυτό το σχήμα, οι τροφοδότες A και C περιλαμβάνουν μικροπηγές και συμπεραίνεται ότι έχουν σημαντικά φορτία, και ο τροφοδότης B συμπεραίνεται ότι δεν έχει σημαντικά φορτία που μπορούν να αποβάλλονται όταν χρειάζεται. Σε απάντηση στα ποιοτικά προβλήματα ισχύος, το MicroGrid μπορεί να απομονωθεί (να χωριστεί από το σύστημα διανομής και

να λειτουργήσει ανεξάρτητα) χρησιμοποιώντας τη συσκευή διαχωρισμού που παρουσιάζεται στο σχήμα. Ο μη σημαντικός τροφοδότης μπορεί επίσης να πέσει χρησιμοποιώντας το διακόπτη στο Β. Η απομόνωση (islanding) συζητείται λεπτομερέστερα στην παράγραφο 5.0 κατωτέρω.



Σχήμα 3.1 Αρχιτεκτονική του Micro Grid

Τα MicroGrids έχουν μια διαστρωματωμένη υποδομή ελέγχου με τρία συστατικά:

- Τον Ελεγκτή Μικροπηγών, ο οποίος χρησιμοποιεί τοπικές πληροφορίες για να ελέγξει την μικροπηγή και αποκρίνεται στα γεγονότα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου.
- Τον υπεύθυνο ενέργειας, που βελτιστοποιεί μεμονωμένες μικροπηγές για να ικανοποιήσει τις ανάγκες ισχύος των προμηθευτών και των πελατών συλλέγοντας πληροφορίες για το σύστημα και παρέχοντας σε κάθε μικροπηγή σημεία μεμονωμένης λειτουργίας (κανονικά καθορισμένα σημεία ισχύος και τάσης), η χρονική απάντηση αυτής της λειτουργίας μετριέται σε λεπτά .

- Τον συντονιστή προστασίας, που απομονώνει γρήγορα τα ελαττώματα των τροφοδοτών μέσα στο MicroGrid και ενημερώνει τον ενεργειακό υπεύθυνο για τις αλλαγές στη θέση των τροφοδοτών.

3.1 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΜΙΚΡΟΠΗΓΩΝ

Το σημαντικότερο συστατικό της υποδομής Micro Grid είναι ο τοπικός ελεγκτής σε κάθε μικροπηγή. Αυτός ο ελεγκτής αποκρίνεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου και χρησιμοποιεί τοπικές πληροφορίες για να ελέγξει τη μικροπηγή κατά τη διάρκεια όλων των γεγονότων στο σύστημα ή στο πλέγμα. Η επικοινωνία μεταξύ των μικροπηγών δεν είναι απαραίτητη για τη βασική λειτουργία του MicroGrid, κάθε αναστροφέας είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις αλλαγές φορτίων με έναν προκαθορισμένο τρόπο χωρίς στοιχεία από άλλες πηγές ή θέσεις. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει στις μικροπηγές "να συνδέσουν και να παίξουν" - δηλαδή οι μικροπηγές μπορούν να προστεθούν στο MicroGrid χωρίς αλλαγές στον έλεγχο και στην προστασία των μονάδων που είναι ήδη μέρος του συστήματος. Οι βασικές εισαγωγές στον τοπικό ελεγκτή είναι καθορισμένα σημεία κατάστασης για την ισχύ παραγωγής, P , και ο τοπικός διαυλος τάσης, V . Η παράγραφος 5.0 συζητά για τους τοπικούς ελεγκτές λεπτομερέστερα.

3.2 ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο υπεύθυνος ενέργειας βελτιστοποιεί τη λειτουργία του συστήματος χρησιμοποιώντας πληροφορίες για τις τοπικές ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες, τις απαιτήσεις ποιότητας ισχύος, τις δαπάνες ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου, τις χονδρικές/λιανικές ανάγκες των υπηρεσιών, τις ειδικές ανάγκες πλέγματος, τα διοικητικά αιτήματα απαιτήσεων, τα επίπεδα συμφόρησης, κ.λπ. για να καθορίσει την ποσότητα ισχύος που το MicroGrid πρέπει να πάρει από το σύστημα διανομής. Μερικές βασικές λειτουργίες του υπεύθυνου ενέργειας είναι:

- Να παρέχει το μεμονωμένο καθορισμένο σημείο ισχύος και τάσης για κάθε ελεγκτή ροής ισχύος / μικροπηγής
- Να διασφαλίζει ότι η θερμότητα και τα ηλεκτρικά φορτία ικανοποιούνται
- Να διασφαλίζει ότι το MicroGrid ικανοποιεί τις λειτουργικές ανάγκες με το σύστημα μετάδοσης
- Να ελαχιστοποιεί τις εκπομπές και τις απώλειες του συστήματος
- Να μεγιστοποιεί τη λειτουργική αποδοτικότητα των μικροπηγών και
- Να παρέχει λογική και έλεγχο για να απομονώνει και να επανασυνδέει το MicroGrid κατά τη διάρκεια γεγονότων.

3.3 ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ο συντονιστής προστασίας πρέπει να αποκριθεί στα λάθη και του συστήματος και του MicroGrid. Εάν ένα λάθος είναι στο πλέγμα χρησιμότητας, η επιθυμητή απάντηση μπορεί να είναι να απομονωθεί το MicroGrid από το πλέγμα χρησιμότητας τόσο γρήγορα όσο απαραίτητο είναι να προστατεύσει τα φορτία MicroGrid. Η ταχύτητα με την οποία το MicroGrid απομονώνει από το πλέγμα χρησιμότητας θα εξαρτηθεί από τα συγκεκριμένα τυπικά φορτία στο MicroGrid. Σε μερικές περιπτώσεις, η αναπλήρωση καμπίης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προστατεύσει κρίσιμα φορτία χωρίς διαχωρισμό από το σύστημα διανομής. Εάν εμφανιστεί ένα λάθος μέσα στο MicroGrid, ο συντονιστής προστασίας απομονώνει το μικρότερο δυνατό τμήμα του ακτινωτού τροφοδότη για να ελαχιστοποιήσει το λάθος. Περαιτέρω συζήτηση του ρόλου του συντονιστή προστασίας βρίσκεται στην παράγραφο 6.0 κατωτέρω.

3.3.1 Μεγάλα συστήματα - διασυνδεδεμένα με Micro Grids - πάρκα ενέργειας

Επειδή ένα MicroGrid εκμεταλλεύεται τη χαμηλή τάση, τη χρήση της θερμότητας που αποβάλλεται, και την ευελιξία της ηλεκτρονικής ισχύος, το πρακτικό μέγεθος του μπορεί να περιοριστεί σε λίγα MVA (ακόμα κι αν τα πρότυπα σχεδίων Ansi P1547 καθορίζουν ένα ανώτερο όριο 10MVA). Σε ένα μεγάλο σύμπλεγμα, τα φορτία θα μπορούσαν να διαιρεθούν σε πολλές ελέγξιμες μονάδες π.χ., μεταξύ κτιρίων ή βιομηχανικών περιοχών. Κάθε μονάδα θα μπορούσε να παρασχεθεί από ένα ή περισσότερα MicroGrids που συνδέθηκαν μέσω ενός συστήματος διανομής.

Παραδείγματος χάριν, σκεφτείτε ένα πάρκο ενέργειας με ένα συνολικό φορτίο παραπάνω από 50 MVA. Αυτό το σύστημα θα μπορούσε να παρασχεθεί από το σύστημα μετάδοσης μέσω ενός ή δύο υποσταθμών χρησιμοποιώντας υπόγεια καλώδια 13.8-kV. Κάθε ομάδα φορτίων (θερμότητα και/ή ηλεκτρισμός) θα ήταν ένα MicroGrid συνδεδεμένο με ανεφοδιασμό 13,8 kV -. Επιπροσθέτως με αυτά τα MicroGrids, το πάρκο ενέργειας θα μπορούσε να υιοθετήσει μεγαλύτερη παραγωγή όπως ένας στους δέκα στρόβιλους αερίου MVA που θα ήταν άμεσα συνδεδεμένοι με τροφοδότη 13.8-kV. Κάθε MicroGrid θα ήταν ένα αναπόσπαστο φορτίο. Οι έλεγχοι στο πάρκο ενέργειας θα παρείχαν σε κάθε MicroGrid το επίπεδο φορτίων του (ισχύ drawing από τροφοδότη 13.8-kV) ενώ οι στρόβιλοι αερίου P και Q/V θα αποσπώνταν είτε τοπικά είτε από τη χρησιμότητα. Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ότι η δομή του MicroGrid διασφαλίζει μεγαλύτερη σταθερότητα και δυνατότητα ελέγχου, επιτρέπει ένα διανεμημένο σύστημα εντολών και ελέγχου, και παρέχει πλεονασμό για να διασφαλίσει μεγαλύτερη αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για το πάρκο ενέργειας.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ MICRO GRID ΣΤΟ ΠΛΕΓΜΑ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Τα MicroGrids πρέπει να συνδεθούν με το πλέγμα χρησιμότητας χωρίς να συμβιβάσουν την αξιοπιστία του πλέγματος ή την προστασία των σχεδίων ή πρόκληση άλλων προβλημάτων, σύμφωνα με τα ελάχιστα πρότυπα για όλες τις συνδεδεμένες συσκευές. Εντούτοις, τα MicroGrids μπορούν να προσφέρουν περισσότερη αξία στο πλέγμα από απλά να "μην κάνουν καμία ζημιά." Τα MicroGrids μπορούν να ωφελήσουν το πλέγμα με τη μείωση συμφόρησης και άλλων απειλών στην επάρκεια του συστήματος εάν επεκτείνονται ως ενεργά, διακοπτόμενα, ή ελεγχόμενα φορτία που μπορούν μερικώς να αποβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες σε απάντηση στις μεταβαλλόμενες συνθήκες πλέγματος. Θα μπορούσε επίσης να έχει ως σκοπό να συμπεριφερθεί και ένα φορτίο σύνθετης αντίστασης, ένα διαμορφωμένο φορτίο ή ένα αποσταλμένο φορτίο για να απαριθμήσει μερικά. Επιπλέον, τα MicroGrids θα μπορούσαν να παρέχουν υπηρεσίες ισχύος και βοηθητικές, όπως η τοπική υποστήριξη τάσης.

4.1 ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΩΣ ΠΟΡΟΣ

Ένα MicroGrid μπορεί να θεωρηθεί ως μια ελεγχόμενη κυψέλη του συστήματος ισχύος μέσα στο οποίο η θερμότητα και η ισχύς παράγονται για τοπικούς πελάτες, και η παραγωγή και το φορτίο ελέγχονται παθητικά. Το φορτίο MicroGrid θα μπορούσε να αποβάλλεται ή να αποστέλλεται από το σύστημα χρησιμότητας ισχύος σε απάντηση στις ανάγκες του συστήματος, και το MicroGrid θα μπορούσε επίσης να συμβληθεί να παρέχει προβλέψιμα, σταθερά επίπεδα ενέργειας και βοηθητικές υπηρεσίες στο κύριο πλέγμα. Το MicroGrid θα μπορούσε να μειώσει το φορτίο του στο πλέγμα χρησιμότητας είτε αυξάνοντας το μερίδιο που παράγει για να ικανοποιήσει τα φορτία του είτε μειώνοντας το φορτίο του. Εάν η αξία του MicroGrid που παρουσιάζεται ως ένα αναπόσπαστο φορτίο λήφθηκε υπόψη όταν εγκαταστάθηκε ο εξοπλισμός του MicroGrid, θα μπορούσαν να χτιστούν στο σύστημα ουσιαστικές ικανότητες εκπομπής φορτίων.

Οι παραδοσιακές εκπομπές φορτίων ήταν υπό μορφή διακοπόμενων συμβάσεων ή δασμολογίων.² Χαρακτηριστικά, ένας πελάτης συμφωνεί να περιοριστεί μέχρι έναν συμφωνηθέντα αριθμό χρόνου και διάρκειας. Η ανταμοιβή του πελάτη είναι είτε ένα μειωμένο ενεργειακό ποσοστό που χαμηλώνει το γενικό ενεργειακό λογαριασμό του πελάτη ή μια ικανότητα πληρωμής και/ή ενέργειας στο πραγματικό φορτίο που τοποθετείται σε κίνδυνο διακοπής. Συνήθως, οι πελάτες ειδοποιούνται τηλεφωνικώς, με fax, ή με γραπτά μηνύματα μέσω κινητού, όταν πρέπει να διακοπεί η υπηρεσία τους, και με επαλήθευση ότι το φορτίο πελατών εκπέμπεται όπως ζητείται να πραγματοποιείται εκ των υστέρων βασισμένο στα στοιχεία μετρητών. Ένας

πελάτης μπορεί να επιλέξει να μην συμμορφωθεί με την κατεύθυνση να εκπέμπει φορτίο αν και ποινικές ρήτρες επιβάλλονται συχνά και μπορούν να είναι αυστηρές για τη μη συμμόρφωση. Ένα Micro Grid θα μπορούσε εύκολα να συμμετάσχει σε αυτόν τον τύπο προγράμματος εκπομπής φορτίου. Σε μερικά προγράμματα περικοπής φορτίου, τα φορτία διακόπτονται αμέσως και χωρίς προειδοποίηση. Στη Νέα Ζηλανδία, παραδειγματος χάριν, μεγάλοι αριθμοί φορτίων έχουν συμφωνηθεί με την εγκατάσταση αναμεταδόσεων υπο-συχνότητας που επιτρέπουν την εξαιρετικά γρήγορη περικοπή. Ένα MicroGrid θα μπορούσε να συμμετάσχει σε ένα παρόμοιο πρόγραμμα εάν είχε την ικανότητα να αποκριθεί γρήγορα αυξάνοντας την παραγωγή του ή μειώνοντας το φορτίο του.

Ο κοινός, τοπικός έλεγχος παραγωγής και το φορτίο είναι στην καρδιά της έννοιας του MicroGrid, η οποία δίνει ένα ιδιαίτερο νόημα στη διαχείριση της πλευράς της ζήτησης. Παρά τον έλεγχο του φορτίου με σκοπό τη ρύθμιση του σχεδιαγράμματός του για να ωφελήσει το ευρύτερο σύστημα ισχύος, το MicroGrid ελέγχει την παραγωγή και το φορτίο για να επιτύχει τους στόχους των πελατών του MicroGrid όσο το δυνατόν οικονομικότερα. Το βασικό ζήτημα για την αξιοπιστία του πλέγματος χρησιμότητας είναι πώς να προσφέρει τα κίνητρα στα MicroGrids για να επενδύσει και να συμπεριφερθεί σε μια μόδα που ενισχύει την αξιοπιστία του πλέγματος: π.χ., πραγματική χρονική τιμολόγηση ή συμβάσεις/ποσοστό επιλογών έκπτωσης για περικοπή φορτίων. Η εκπομπή φορτίων, που πραγματοποιείται γρηγορότερα από την αγορά προϊόντων ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποκριθεί στις συνθήκες του συστήματος (π.χ. περικοπή φορτίων), είναι μια ιδιαίτερα σημαντική υπηρεσία που το MicroGrid θα μπορούσε να προσφέρει.

4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Στα DER είναι αρκετά σπάνιο σε αυτό το σημείο, όπου η επιρροή τους στη σταθερότητα του συστήματος μετάδοσης υψηλής τάσεως δεν είναι ζήτημα. Εντούτοις, εάν τα DER γίνονταν πιο κοινά, θα μπορούσαν να έχουν μια ουσιαστική επιρροή στη σταθερότητα του πλέγματος χρησιμότητας. Οι ανεπιθύμητες δυναμικές αλληλεπιδράσεις θα μπορούσαν να προκαλέσουν βασικές, βαριά φορτωμένες γραμμές μετάδοσης στη διαδρομή, διακόπτοντας τις εξαγωγές ισχύος και τις εισαγωγές μεταξύ των περιοχών. Εντούτοις, εάν τα MicroGrids σχεδιάζονται ώστε η δυναμική επίδρασή τους στο σύστημα μετάδοσης να λαμβάνεται υπόψη, μπορούν να ενισχύσουν τη σταθερότητα των γραμμών μετάδοσης, η οποία θα μπορούσε να επιτρέψει στα όρια μετάδοσης ισχύος να αυξηθούν. Το θέμα του πόση διείσδυση από το DER μπορεί να χειριστεί το πλέγμα πριν από το αποτέλεσμα προβλημάτων σταθερότητας δεν είναι ένα ζήτημα που αφορά τα MicroGrids, επειδή σχεδιάζονται έτσι ώστε 100 τοις εκατό του φορτίου τους να μπορεί να χειριστεί από τις μικροπηγές τους

χωρίς να δημιουργεί οποιαδήποτε προβλήματα σταθερότητας για το σύστημα μετάδοσης.

Τα βασικά ζητήματα ελέγχου που θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν στη σχεδίαση και την εγκατάσταση νέου DER συζητούνται στην παράγραφο 5.0 κατωτέρω. Ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα θα είναι η επιλογή διάφορων σχεδίων ελέγχου που μπορούν να επιλεγτούν ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του πλέγματος έτσι ώστε το MicroGrid να μπορεί αυτόματα να μεταπηδήσει στον τρόπο που παρέχει το μέγιστο όφελος.

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΑ MICRO GRIDS

Τα ηλεκτρονικά ισχύος παρέχουν τον έλεγχο και την ευελιξία ώστε το MicroGrid να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών του καθώς επίσης και των χρησιμοτήτων (τις ανάγκες). Οι έλεγχοι του MicroGrid πρέπει να διασφαλίσουν ότι: νέες μικροπηγές μπορούν να προστεθούν στο σύστημα χωρίς τροποποίηση του υπάρχοντος εξοπλισμού, το MicroGrid μπορεί να συνδεθεί με ή να απομονωθεί από το πλέγμα χρησιμότητας με ένα γρήγορο και ανεπιπρόσπαστο τρόπο, η αντιδραστική και η δραστική ισχύς μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα, η πτώση τάσης και οι ανισορροπίες του συστήματος μπορούν να διορθωθούν, και το MicroGrid μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις χρησιμότητας της δυναμικής των φορτίων του.

Οι τεχνικές ελεγκτών των μικροπηγών που περιγράφονται κατωτέρω στηρίζονται στις διεπαφές των αντιστροφών που βρίσκονται στις κυψέλες καυσίμων, στα φωτοβολταϊκά, στα microturbines , και στις τεχνολογίες αποθήκευσης. Ένα βασικό στοιχείο του σχεδίου ελέγχου είναι ότι η επικοινωνία μεταξύ των μικροπηγών είναι περιττή για το βασικό έλεγχο MicroGrid. Κάθε αντιστροφέας πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στις αλλαγές φορτίων χωρίς απαίτηση στοιχείων από άλλες πηγές ή θέσεις.

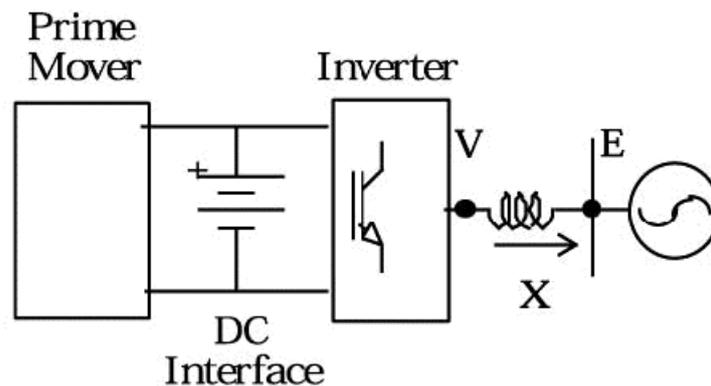
5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΗΓΩΝ

Τα ηλεκτρονικά ισχύος προσφέρουν δυνατότητες ελέγχου διεπαφών που υπερβαίνουν τον απλό έλεγχο πραγματικής ισχύος, οι απαιτήσεις ελέγχου του βασικού MicroGrid είναι ότι κάθε μικροπηγή παρέχει:

- . • Έλεγχο της πραγματικής και αντιδραστικής ισχύος,
- . • Ρύθμιση τάσης μέσω καμπυλών,
- . • Γρήγορος εντοπισμός και αποθήκευση φορτίων, και
- . • Καμπύλες συχνότητας για διανομή ισχύος.

Βασικός έλεγχος πραγματικής και αντιδραστικής ισχύος

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες μικροπηγών : πηγές συνεχούς ρεύματος, όπως οι κυψέλες καυσίμων, οι φωτοβολταϊκές κυψέλες, και η αποθήκευση μπαταριών και οι υψηλής συχνότητας πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος όπως τα microturbines, τα οποία πρέπει να αποκατασταθούν. Και στις δύο περιπτώσεις η τάση συνεχούς ρεύματος που παράγεται μετατρέπεται χρησιμοποιώντας έναν αντιστροφέα πηγής τάσης. Το γενικό πρότυπο για μια μικροπηγή παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1. Περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: πρωταρχικός μετακινητής, διεπαφή συνεχούς ρεύματος, και αντιστροφέας πηγής τάσης. Τα ζεύγη μικροπηγών στο σύστημα ισχύος χρησιμοποιούν ένα πηνίο. Ο αντιστροφέας πηγής τάσης ελέγχει και το μέγεθος και τη φάση παραγωγής της τάσης του, V . Η διανυσματική σχέση μεταξύ των αντιστροφέων τάσης, V , και της τάσης του συστήματος, E , μαζί με την αντίσταση του πηνίου, X , καθορίζει τη ροή της πραγματικής και αντιδραστικής ισχύος (P και Q) από τις μικροπηγές στο σύστημα



Σχήμα 5.1 Σύστημα διεπαφών αντιστροφέων

Τα μεγέθη P και Q συνδέονται όπως φαίνεται στις εξισώσεις κατωτέρω. Για μικρές αλλαγές το P εξαρτάται κυρίως από τη γωνία ισχύος, DP , και το Q εξαρτάται από το μέγεθος της τάσης του αντιστροφέα, V . Αυτές οι σχέσεις αποτελούν ένα βασικό σύστημα ανατροφοδότησης πληροφοριών για τον έλεγχο ισχύος παραγωγής και μεταφέρουν την τάση, E , μέσω της ρύθμισης της αντιδραστικής ροής ισχύος.

$$3 VE$$

$$P = \sin^2 \delta X_p$$

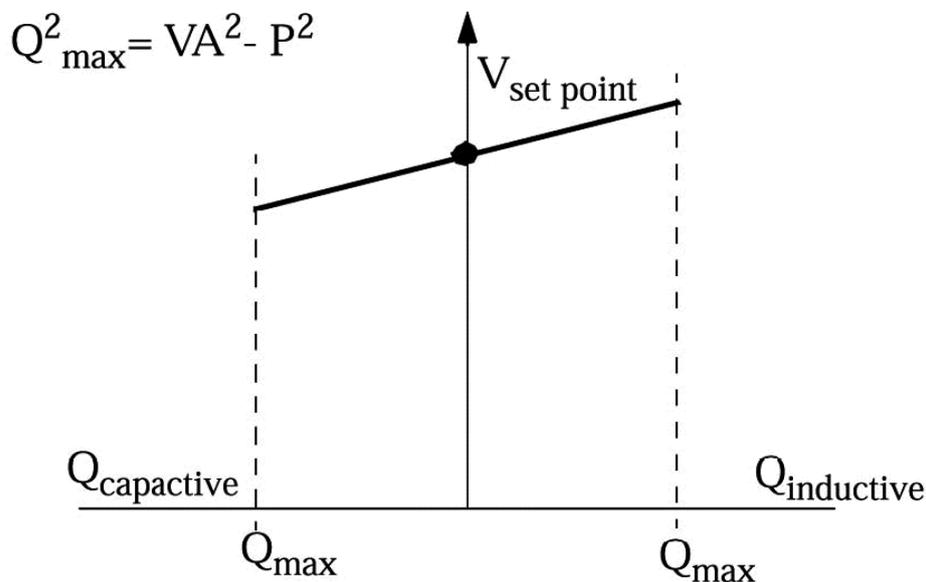
$$3 V$$

$$Q = (V - E \cos \delta p)$$

$$2 X dp = dV - dE$$

- Ρύθμιση τάσης μέσω καμπύλων

Η ολοκλήρωση μεγάλων αριθμών μικροπηγών σε ένα MicroGrid δεν είναι δυνατή με βασικούς ελέγχους P-Q, η ρύθμιση τάσης είναι απαραίτητη για την τοπική αξιοπιστία και σταθερότητα. Χωρίς τοπικό έλεγχο τάσης, τα συστήματα με υψηλές διεισδύσεις μικροπηγών θα μπορούσαν να δοκιμάσουν την τάση ή/και τις ταλαντώσεις αντίδρασης ισχύος. Ο έλεγχος τάσης πρέπει να διασφαλίσει ότι δεν υπάρχει κανένα μεγάλο κυκλοφορικό ρεύμα αντίδρασης μεταξύ των πηγών. Τα ζητήματα είναι ίδια με εκείνα που περιλαμβάνονται στον έλεγχο των μεγάλων σύγχρονων γεννητριών. Στο πλέγμα ισχύος, η σύνθετη αντίσταση μεταξύ των γεννητριών είναι συνήθως αρκετά μεγάλη για να μειώσει πολύ τη δυνατότητα των κυκλοφορικών ρευμάτων. Εντούτοις, σε ένα MicroGrid, που είναι χαρακτηριστικά ακτινωτό, το πρόβλημα των μεγάλων κυκλοφορικών ρευμάτων αντίδρασης είναι απέραντο. Με μικρά λάθη στα καθορισμένα σημεία τάσης, το κυκλοφορικό ρεύμα μπορεί να υπερβεί τις εκτιμήσεις των μικροπηγών. Αυτή η κατάσταση απαιτεί μια τάση εναντίον του ελεγκτή καμπύλης ρεύματος αντίδρασης έτσι ώστε, καθώς το ρεύμα αντίδρασης που παράγεται από τη μικροπηγή γίνεται πιο χωρητικό, το τοπικό καθορισμένο σημείο τάσης μειώνεται. Αντιθέτως, καθώς το ρεύμα γίνεται πιο επαγωγικό, το καθορισμένο σημείο τάσης αυξάνεται. Η λειτουργία του βασικού ελεγκτή παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2. Το όριο του Q που παρουσιάζεται στο σχήμα είναι μια λειτουργία της εκτίμησης βολτ-αμπέρ (VA) του αντιστροφέα και της ενέργειας που παρέχεται από τον πρωταρχικό μετακινητή.



Σχήμα 5.2 Καθορισμένο σημείο τάσης με καμπύλη

- Ο γρήγορος εντοπισμός φορτίων και η ανάγκη για αποθήκευση

Ένα MicroGrid με συστάδες μικροπηγών και αποθήκευση θα μπορούσε να έχει ως σκοπό να λειτουργήσει και μεμονωμένα και συνδεδεμένο με το πλέγμα ισχύος. Όταν το MicroGrid λειτουργεί μεμονωμένα, θα προκύψουν προβλήματα εντοπισμού φορτίου επειδή τα microturbines και οι κυψέλες καυσίμων αποκρίνονται αργά (οι χρονικές σταθερές κυμαίνονται από 10 έως 200 δευτερόλεπτα) και είναι σε λιγότερη αδράνεια. Στα συστήματα χρησιμότητας ισχύος η αποθήκευση είναι προσωρινά υπό μορφή αδράνειας των γεννητριών. Όταν ένα νέο φορτίο έρχεται σε ανοικτή επικοινωνία, η αρχική ενεργειακή ισορροπία ικανοποιείται από την αδράνεια του συστήματος, η οποία οδηγεί σε μια μικρή μείωση της συχνότητας του συστήματος. Ένα MicroGrid δεν μπορεί να στηριχθεί στην αδράνεια των γεννητριών και πρέπει να παρέχει κάποια μορφή αποθήκευσης για να διασφαλίσει την αρχική ενεργειακή ισορροπία.

Η αποθήκευση του MicroGrid μπορεί να γίνει με διάφορες μορφές: μπαταρίες ή υπερπυκνωτές στο δίκτυο συνεχούς ρεύματος για κάθε μικροπηγή, άμεση σύνδεση συσκευών αποθήκευσης εναλλασσόμενου ρεύματος (μπαταρίες, σφόνδυλοι κ.λ.π...), ή χρήση παραδοσιακής παραγωγής με αδράνεια μαζί με γεννήτριες μικροπηγών. Εάν το MicroGrid δεν απαιτείται να λειτουργήσει με απομονωτικό τρόπο, η ενεργειακή δυσαναλογία μπορεί να καλυφτεί από το σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, και η αποθήκευση στο MicroGrid δεν είναι απαραίτητη.

- **Καμπύλη συχνότητας για διανομή ισχύος (με απομονωτικό τρόπο λειτουργίας)**

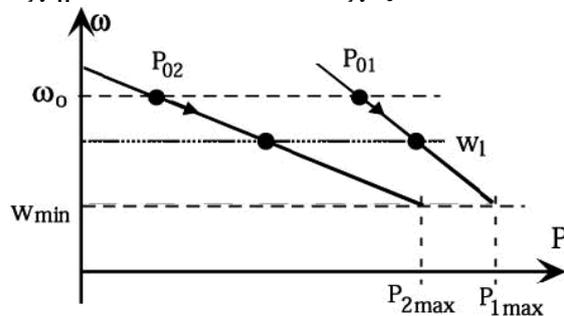
Τα Micro Grids παρέχουν πρωταρχική ισχύ επειδή μπορούν να κινήσουν απαλά την κίνηση από ταχύτερους τρόπους ισχύος (ενώ συνδέονται με το πλέγμα χρησιμότητας) στην ανεύρεση φορτίου (όταν είναι σε μορφή απομόνωσης). Στην μορφή απομόνωσης, προβλήματα όπως μικρά λάθη στην παραγωγή συχνότητας σε κάθε αντιστροφή και η ανάγκη να αλλαχτούν τα σημεία που λειτουργούν με ισχύ για να ταιριάζουν με τις αλλαγές φορτίων πρέπει να εξεταστούν. Η ισχύς έναντι των λειτουργιών της καμπύλης συχνότητας σε κάθε μικροπηγή μπορεί να φροντίσει τα προβλήματα χωρίς την ανάγκη για ένα σύνθετο δίκτυο επικοινωνίας.

Όταν το MicroGrid συνδέεται με το πλέγμα χρησιμότητας, τα φορτία MicroGrid λαμβάνουν ισχύ και από το πλέγμα και από τις μικροπηγές, ανάλογα με την κατάσταση του πελάτη. Εάν η ισχύς πλέγματος χρησιμότητας χάνεται λόγω πτώσεων της τάσης, ελαττωμάτων, συσκοτίσεων, κ.λ.π., το MicroGrid μπορεί να μεταφέρει ομαλά στη λειτουργία απομόνωσης. Όταν το MicroGrid χωρίζεται από το πλέγμα χρησιμότητας, οι γωνίες φάσης τάσης σε κάθε μικροπηγή στο MicroGrid αλλάζουν, οδηγώντας σε μια προφανή μείωση της τοπικής συχνότητας. Αυτή η μείωση συχνότητας που συνδέεται με μια αύξηση ισχύος

επιτρέπει σε κάθε μικροπηγή να παρέχει το ανάλογο μερίδιο φορτίου χωρίς νέα αποστολή ισχύος από τον ενεργειακό υπεύθυνο. Στην πραγματικότητα, ο ενεργειακός υπεύθυνος δεν χρησιμοποιείται σε λειτουργία απομόνωσης εκτός από την διάρκεια της επανασύνδεσης στο πλέγμα χρησιμότητας.

Εξετάστε δύο μικροπηγές όπως στο σχήμα 5.3. Σε αυτό το παράδειγμα, οι πηγές υποτίθεται ότι έχουν διαφορετικές εκτιμήσεις, P_{1max} , και P_{2max} . Η αποσταλμένη ισχύς σε μορφή πλέγματος (P_{01} και P_{02}) καθορίζεται στη βάση συχνότητας, ω_0 . Η καμπύλη καθορίζεται για να διασφαλίσει ότι και τα δύο συστήματα είναι στην εκτιμημένη ισχύ στην ίδια ελάχιστη συχνότητα.

Σχήμα 5.3 Ισχύς έναντι ελέγχου καμπύλης συχνότητας

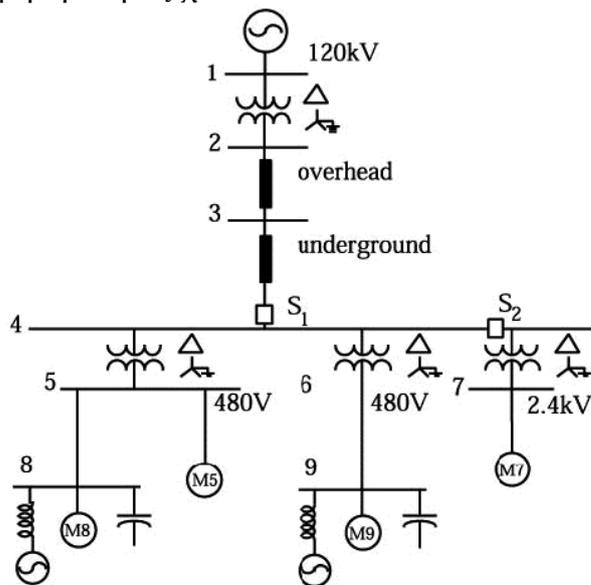


Κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής στην απαίτηση ισχύος, αυτές οι δύο πηγές λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες προκαλούν μια αλλαγή στις σχετικές γωνίες ισχύος μεταξύ τους. Όταν αυτή η αλλαγή εμφανίζεται, οι δύο συχνότητες τείνουν να παρασύρουν προς μια χαμηλότερη, ενιαία τιμή για το ω . Η μονάδα 2 αναπτύσσει αρχικά λειτουργίες σε χαμηλότερο επίπεδο ισχύος από τη μονάδα 1. Εντούτοις, στο νέο επίπεδο ισχύος, η μονάδα 2 αυξάνει το μερίδιο των συνολικών της αναγκών ισχύος. Αν και η ισχύς προσαρμόζεται μέσα σε κλάσματα ενός δευτερολέπτου, η αποκατάσταση συχνότητας μπορεί να πάρει περισσότερο. Επειδή η ρύθμιση καμπύλης μειώνει τη συχνότητα του MicroGrid πρέπει να περιληφθεί σε κάθε ελεγκτή μια λειτουργία αποκατάστασης. Ο σχεδιασμός ελέγχου καμπύλης είναι βασισμένος σε κάθε μικροπηγή που έχει μια μέγιστη εκτίμηση ισχύος. Κατά συνέπεια, η καμπύλη εξαρτάται από το αποσταλμένο επίπεδο ισχύος ενώ οι μικροπηγές συνδέονται με το πλέγμα.

5.2 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

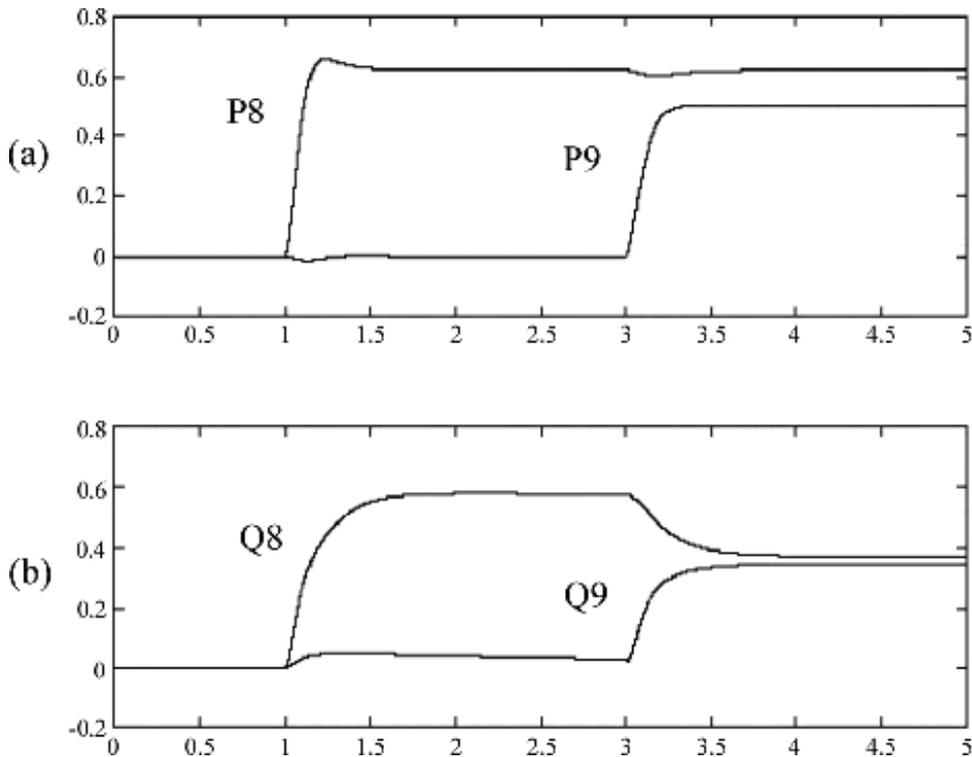
Μια βιομηχανική εγκατάσταση με υψηλά φορτία μηχανών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεξηγήσει τη δυναμική των ελέγχων MicroGrid που παρουσιάζονται στο προηγούμενο τμήμα. Αυτή η βιομηχανική περιοχή έχει σχεδόν 1,6 MW φορτίου μηχανών με μηχανές που κυμαίνονται από 50 έως 150

Ηρ η καθεμία, υπάρχουν επίσης δύο μεγάλες σύγχρονες μηχανές. Μια γραμμή 120-kV παρέχει ενέργεια μέσω ενός μεγάλου τροφοδότη 13.8-kV που αποτελείται από εναέριες γραμμές και υπόγεια καλώδια. Η εγκατάσταση έχει τρεις κύριους τροφοδότες, δύο στα 480V και έναν στα 2.4kV. Τα φορτία στους τροφοδότες των 480-V είναι κρίσιμα και πρέπει να συνεχίσουν να εξυπηρετούνται εάν η ισχύς χρησιμότητας χαθεί.



Σχήμα 5.4 Υπόδειγμα συστήματος, one-line

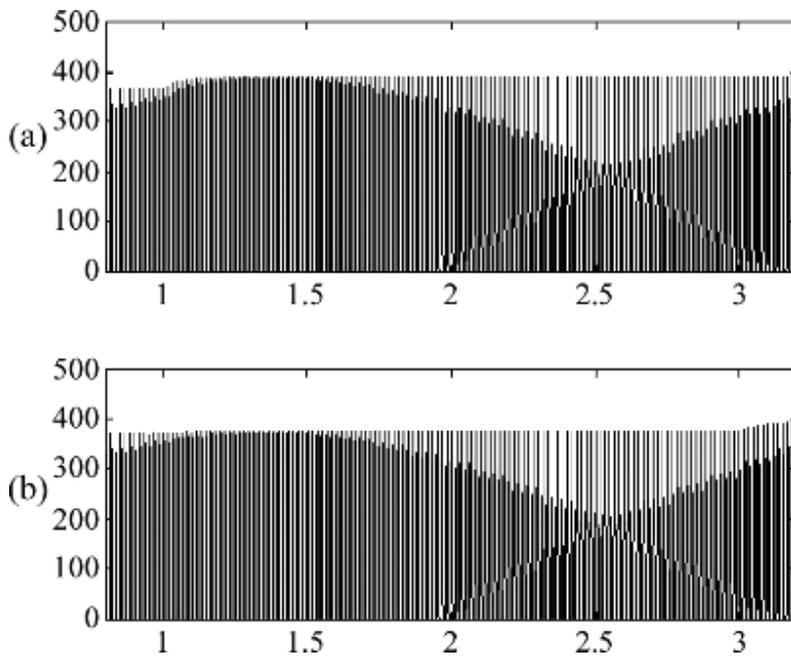
Οι λεπτομέρειες της εγκατάστασης παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4. Οι συστάδες μηχανών επαγωγής (M8 και M9) συνδέονται με τους διαύλους 8 και 9 με τη χωρητική υποστήριξη τάσης. Δύο συστάδες μικροπηγών συνδέονται επίσης με τους διαύλους 8 και 9 για να παρέχουν υποστήριξη ισχύος και τάσης. Ελλείψει της τοπικά παραγμένης ισχύος, οι τάσεις των διαύλων 8 και 9 είναι 0,933 και 0,941 ανά μονάδα (pu, στη βάση των 480-V) αντίστοιχα. Οι συνολικές απώλειες είναι 70 kW. Κάθε συστάδα μικροπηγών εκτιμάται στα 600 KVA και παρέχει και την έγχυση ισχύος και την τοπική υποστήριξη τάσης. Η έγχυση ισχύος των μικροπηγών είναι περίπου το ενάμισιο της συνολικής ισχύος. Με αυτές τις πηγές που λειτουργούν, οι τάσεις στους διαύλους 8 και 9 είναι ρυθμισμένες στο 1 pu, και η συνολική πτώση απωλειών στα 6kW, μια μείωση στα 64kW. Η προσομοίωση της συνδεδεμένης με το πλέγμα λειτουργίας παρουσιάζεται στα σχήματα 5.5 και 5.6. Στην αρχική κατάσταση, οι τοπικές πηγές δεν παράγουν ισχύ, έτσι το σχήμα 5.5 παρουσιάζει μια μηδενική πραγματική και αντιδραστική έγχυση ισχύος και μειωμένες τάσεις στους διαύλους 8 και 9. Στο σημείο $t =$ ένα δευτερόλεπτο, οι γεννήτριες στον διαυλο 8 παρουσιάζονται σε ανοικτή επικοινωνία με μια ρύθμιση ισχύος 446 kW και με τοπικό έλεγχο τάσης. Παρατηρήστε τη διόρθωση τάσης στο σχήμα 5.6 (α)



Σχήμα 5.5 Έναρξη των μικροπηγών P και Q σε μορφή συνδεδεμένου πλέγματος (α) Δραστική Ισχύς pu, (β) Αντιδραστική Ισχύς pu

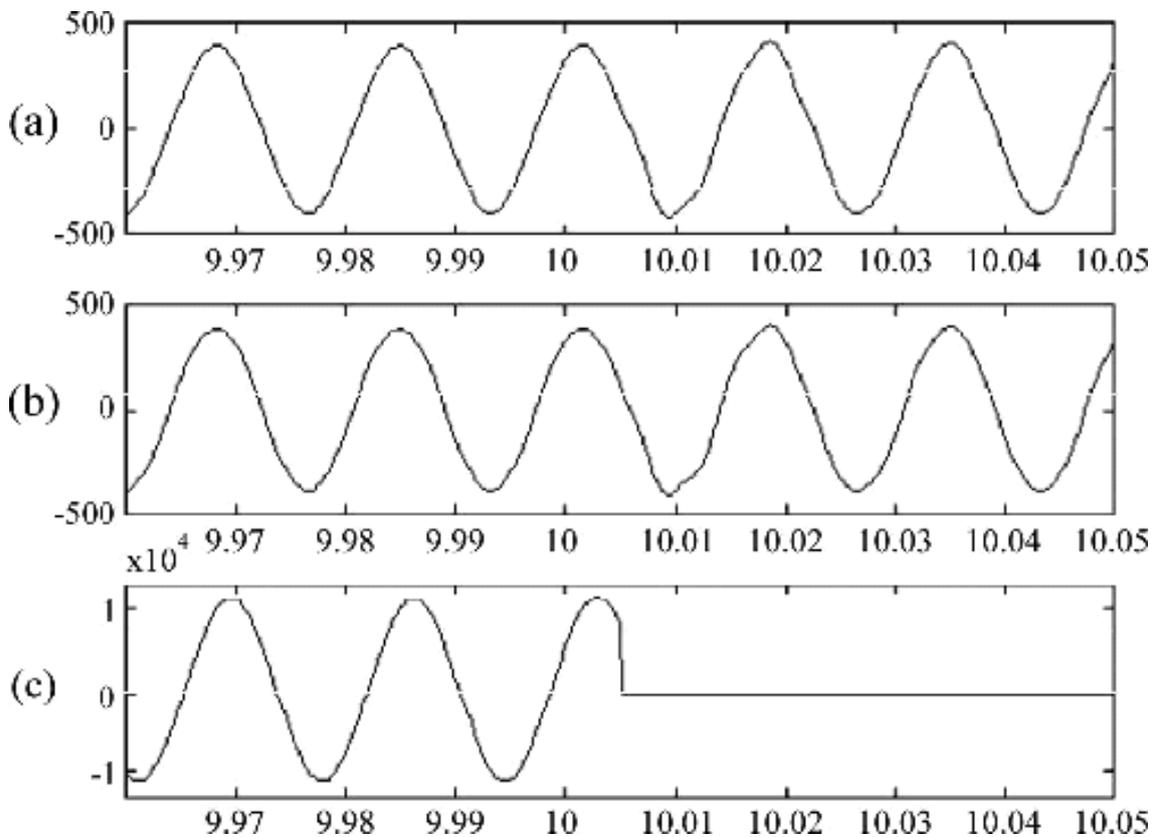
(β) Αντιδραστική ισχύς pu

Στο $t =$ τρία δευτερόλεπτα, οι μονάδες στο διαύλο 9 παρουσιάζονται σε ανοικτή επικοινωνία με ένα καθορισμένο σημείο ισχύος 360 kW και τοπικό έλεγχο τάσης. Το σχήμα 5.5 παρουσιάζει τις εγχύσεις ισχύος δράσης και αντίδρασης στους διαύλους όπου βρίσκονται οι μονάδες. Καθώς η δεύτερη μικροπηγή παρουσιάζεται σε ανοικτή επικοινωνία, η έγχυση του Q στον διαύλο 8 για να διατηρήσει το τοπικό μέγεθος τάσης μειώνεται. Το σχήμα 5.6 παρουσιάζει το μισό της τάσης που περιβάλλει στους ρυθμισμένους διαύλους κατά τη διάρκεια της ακολουθίας έναρξης. Η τάση στον διαύλο 9 ελέγχεται στο 1 pu μέσα σε λίγους κύκλους.



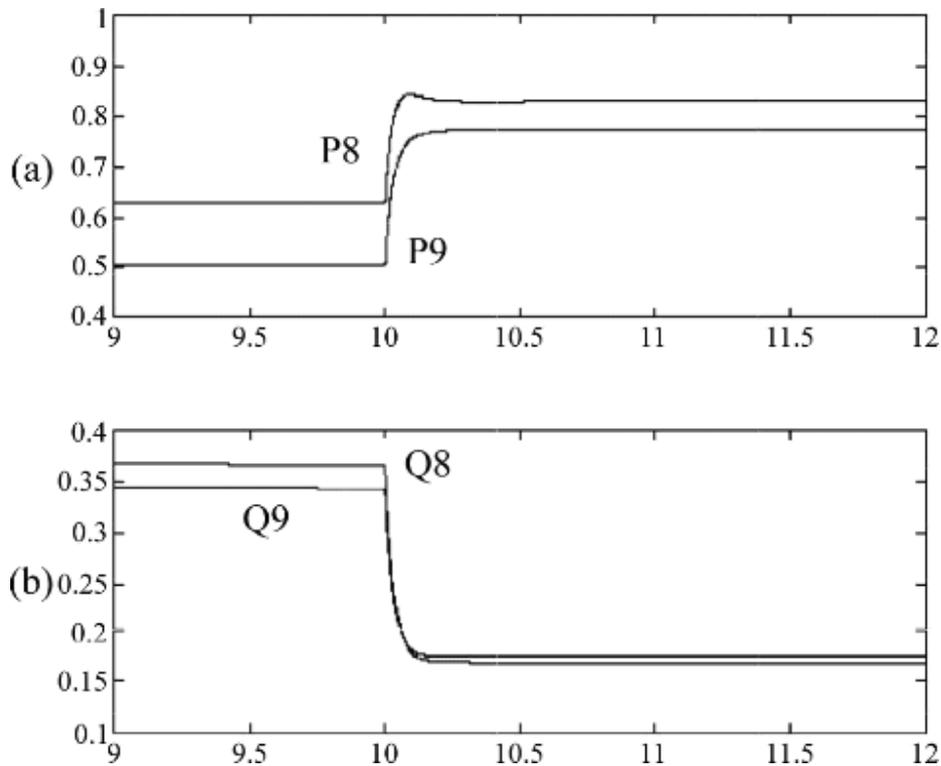
Σχήμα 5.6 Ρυθμισμένη τάση (α) διαυλος 8 (β) διαυλος 9

Αυτό το παράδειγμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μιμηθεί τη λειτουργία απομόνωσης με διανομή ισχύος μέσω της καμπύλης. Συμπεραίνεται ότι οι εκτιμήσεις των μικροπηγών δεν είναι επαρκείς για να παρέχουν το συνολικό φορτίο. Οι δύο τροφοδότες των 480-V παρέχουν κρίσιμα φορτία, και το φορτίο M7 στον διαυλο 7 μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας το διακόπτη S 2 (σχήμα 5.4)



Σχήμα 5.7 Ρυθμισμένες τάσεις κατά τη διάρκεια μεταφοράς σε λειτουργία απομόνωσης (α) διαύλος 8 (β) διαύλος 9 (γ) τροφοδότης 13.8-kV

Στο $t=10$ δευτερόλεπτα, το σύστημα κινείται από τη σύνδεση στο πλέγμα προς στη λειτουργία απομόνωσης από τη θέση σε λειτουργία του διακόπτη S 1 σε απάντηση στα προβλήματα ανεφοδιασμού (σχήμα 5.7γ). Συγχρόνως, ο μη κρίσιμος τροφοδότης μειώνεται χρησιμοποιώντας το S 2. Τα κυματοειδή για τις τάσεις των διαύλων 8 και 9 κατά τη διάρκεια της αλλαγής σε μορφή διαύλων παρουσιάζονται στα σχήματα 5.7 (α) (β) Υπάρχει μόνο μια μικρή αλλαγή από την ημιτονοειδή σταθερή κατάσταση, η αλλαγή διαρκεί λιγότερο από έναν κύκλο.



Σχήμα 5.8 P και Q παροδικά κατά τη διάρκεια μεταφοράς από τη σύνδεση στο πλέγμα στη λειτουργία απομόνωσης

Το σχήμα 5.8 παρουσιάζει τις αλλαγές στην ισχύ δράσης και αντίδρασης κατά τη διάρκεια της μετάβασης. Η ισχύς δράσης πρέπει να λάβει το κρίσιμο φορτίο ελλείψει της ισχύος πλέγματος. Και οι δύο συστάδες μηχανών αυξάνουν την έγχυση δύναμής τους όπως αναμένεται από τον σχεδιασμό των χαρακτηριστικών της καμπύλης. Η μηχανή με το ελαφρύτερο φορτίο (σχήμα 5.3.) στο διαυλο 9 παίρνει το μεγαλύτερο μέρος των νέων απαιτήσεων των φορτίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8 (α) που η αντιδραστική έγχυση ισχύος μειώνει αλλά κρατά τις τάσεις σε 1 PU. Η έγχυση ισχύος αντίδρασης μειώνεται αλλά διατηρεί τις τάσεις στο 1pu. Η ρύθμιση της ισχύος πραγματοποιείται πολύ γρήγορα και η ισχύς σταθερής κατάστασης αποκαθίσταται σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο. Η συχνότητα καμπυλών του συστήματος είναι λίγο περισσότερο από 1 Hz. Εν τω μεταξύ, ο loop αποκατάστασης συχνότητας έχει αρχίσει και αποκαθιστά τη συχνότητα σε 60 Hz.

6. ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΑΝΑΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ MICRO GRIDS

Ο προστατευτικός σχεδιασμός ηλεκτρονόμων για MicroGrids πρέπει να είναι διαφορετικός από αυτό που έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά για τα συστήματα διανομής χρησιμότητας επειδή τα MicroGrids προσθέτουν έναν σημαντικό αριθμό ηλεκτρικών πηγών στο σύστημα ενός πελάτη, το οποίο ιστορικά περιέχει μόνο φορτία. Μερικές από τις διαφορές ως αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής είναι προφανείς, παραδειγματος χάριν, μόλις προστεθούν οι πηγές, η ενέργεια μπορεί να διατρέξει σε καθεμία κατεύθυνση μέσω των αισθητήριων συσκευών του συστήματος προστασίας. Δεν υπάρχει καμία αμφίδρομη ροή στα περισσότερα ακτινωτά συστήματα. Μια λεπτότερη διαφορά μεταξύ MicroGrids και παραδοσιακών πλεγμάτων διανομής χρησιμότητας είναι ότι τα MicroGrids θα βιώσουν μια σημαντική αλλαγή στη σύντομη ικανότητα κυκλωμάτων όταν μεταπηδήσουν από τη σύνδεση στο πλέγμα στη λειτουργία απομόνωσης. Αυτή η αλλαγή στη σύντομη ικανότητα κυκλωμάτων θα ασκήσει βαθιά επίδραση στη μεγάλη πλειοψηφία των σχεδίων προστασίας που χρησιμοποιούνται στα σημερινά συστήματα, τα οποία είναι βασισμένα στην τρέχουσα αντίληψη του βραχυκυκλώματος.

Τα ζητήματα προστασίας που πρέπει να επιλυθούν για τα MicroGrids θα συζητηθούν με δύο σενάρια:

1. Το πρώτο σενάριο είναι η "κανονική" λειτουργία, στην οποία το MicroGrid συνδέεται με το πλέγμα χρησιμότητας όταν εμφανίζεται ένα γεγονός πλέγματος. Το σύστημα προστασίας πρέπει να καθορίσει την απάντηση του μεμονωμένου DER που αποτελεί το MicroGrid καθώς επίσης και την απάντηση της συσκευής που θα αποσυνδέσει το MicroGrid από το πλέγμα χρησιμότητας και θα το μεταστρέψει σε απομονωμένη λειτουργία. Αυτή η συσκευή στο σχήμα 6.1 ονομάζεται "κύρια συσκευή διαχωρισμού MicroGrid". (το σχήμα 6.1 είναι μια παραλλαγή του σχήματος 3.1 που τροποποιείται για να δώσει έμφαση στα ζητήματα προστασίας).
2. Το δεύτερο σενάριο περιλαμβάνει ένα γεγονός στο MicroGrid ενώ το MicroGrid είναι σε μορφή λειτουργίας απομόνωσης.

6.1 ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

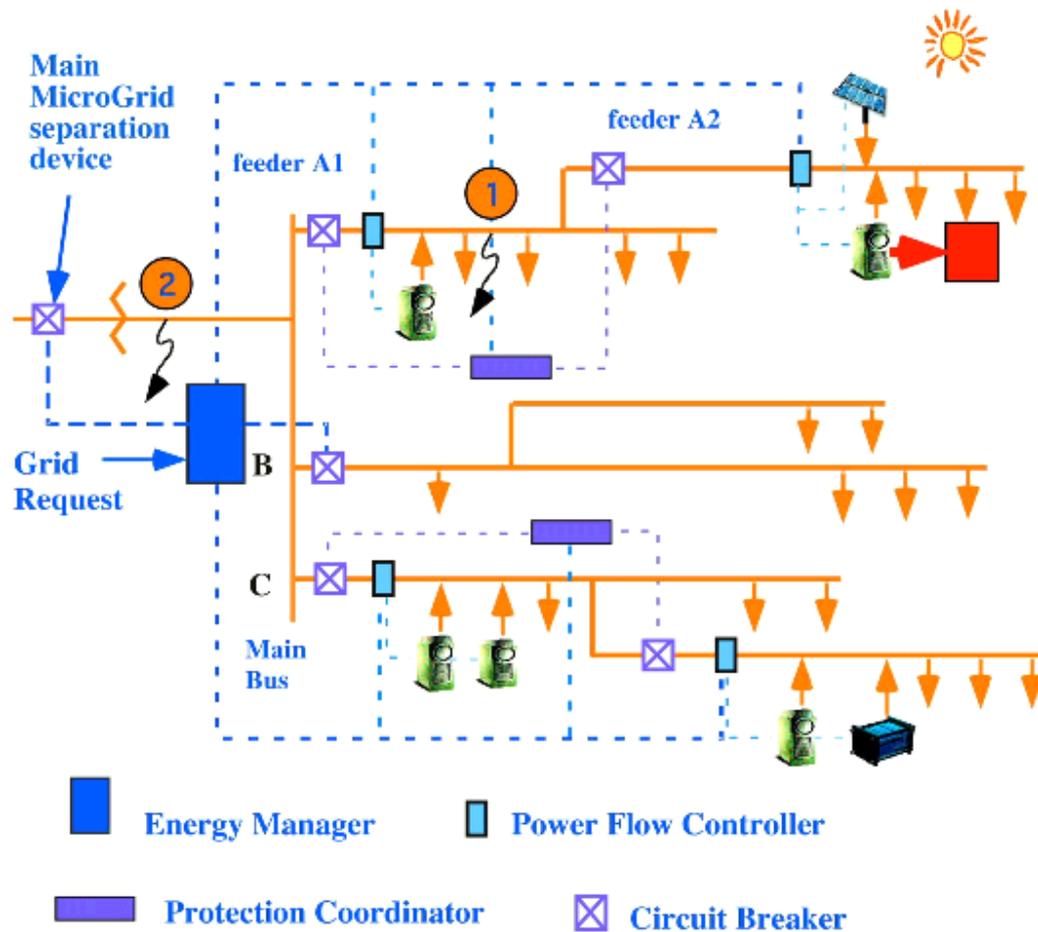
Η "κανονική λειτουργία" σε αυτό το πλαίσιο σημαίνει ότι το MicroGrid συνδέεται με το πλέγμα χρησιμότητας (δηλ., η κύρια συσκευή διαχωρισμού MicroGrid, που υποδεικνύεται στο σχήμα 6.1, είναι κλειστή.) Τα ζητήματα που αντιμετωπίζονται σε αυτό το λειτουργικό σενάριο είναι οι απαντήσεις του μεμονωμένου DER και ολόκληρου του MicroGrid στα γεγονότα στο πλέγμα χρησιμότητας και στα γεγονότα μέσα στο MicroGrid.

Η κατάλληλη απάντηση σε ένα γεγονός στο πλέγμα χρησιμότητας θα ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις των φορτίων MicroGrid. Παραδείγματος χάριν, εάν τα φορτία MicroGrid είναι κυρίως λιανικές επιχειρήσεις, η κύρια ανησυχία θα είναι να διατηρηθούν έτσι ώστε οι επιχειρήσεις να μπορούν να συνεχίσουν να εξυπηρετούν τους πελάτες. Οποιαδήποτε ευαίσθητα φορτία, όπως οι υπολογιστές που συνδέονται με ταμειακές μηχανές και έλεγχο απογραφής, πρέπει να έχουν αφιερωθεί σε αδιάκοπα συστήματα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (UPS) έτσι ώστε μια συνοπτική διακοπή λειτουργίας (δηλ., αρκετά δευτερόλεπτα) να μην επηρεάσει την επιχειρηματική ικανότητα να συνεχίσει με την επιχείρηση όπως συνήθως.

Εάν οι επιχειρήσεις στο MicroGrid περιλαμβάνουν ευαίσθητα φορτία όπως εκείνα που είναι μέρος πολλών γραμμών κατασκευής, οι χρόνοι διακοπής λειτουργίας που μπορούν να ανεχτούν μπορούν να είναι σημαντικά μικρότεροι απ' ό,τι στο λιανικό παράδειγμα πελατών ανωτέρω. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα εάν οι εν λόγω επιχειρήσεις συμμετέχουν ρητώς στο MicroGrid επειδή παρέχει αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και έτσι αυτοί οι πελάτες δεν έχουν επενδύσει σε UPSs. Εάν αυτές οι επιχειρήσεις περιλαμβάνουν κατασκευαστές ημιαγωγών, ο εξοπλισμός τους μπορεί να ανταποκριθεί στο πρότυπο SEMI F47, το οποίο έχει πολύ μεγάλες απαιτήσεις ανοχής τάσης. Αυτοί οι πελάτες θα έχουν υψηλές προσδοκίες αξιοπιστίας από ένα MicroGrid.

Γεγονότα στο πλέγμα χρησιμότητας

Η επιθυμητή απάντηση σε πολλά γεγονότα στο πλέγμα χρησιμότητας θα είναι να απομονωθεί το MicroGrid τόσο γρήγορα όσο απαραίτητο είναι για να προστατεύσει τα φορτία MicroGrid. Όπως σημειώνεται ανωτέρω, η ταχύτητα με την οποία η απομόνωση πρέπει να ολοκληρωθεί για να αποφευχθεί η διάσπαση στους πελάτες εξαρτάται από τα συγκεκριμένα φορτία στο MicroGrid.



Σχήμα 6.1 Λάθη στο MicroGrid

Η συσκευή διακοπής των μεγάλων ελαττωμάτων που είναι απαραίτητη για να αποσυνδέσει το MicroGrid παρατηρείται στο σχήμα 6.1 ως κύρια συσκευή διαχωρισμού του MicroGrid. Ανάλογα με την κατηγορία τάσης, η ταχύτητα λειτουργίας που απαιτείται, και η διαθεσιμότητα λάθους του ρεύματος, η συσκευή μπορεί να ποικίλλει από ένα φορμαρισμένο κύκλωμα διακόπτη με διαδρομή διακλαδώσεων σε έναν μεγάλο στατικό διακόπτη. Σε όλες τις περιπτώσεις, θα πρέπει να σχεδιαστεί ένα σχέδιο προστασίας για τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης διασύνδεσης έτσι ώστε η συσκευή διαχωρισμού MicroGrid να διατρέχεται όπως απαιτείται. Αυτό το σχέδιο μπορεί να είναι σχετικά απλό, όπως ο έλεγχος του τρέχοντος μεγέθους και της κατεύθυνσης σε κάθε φάση και η αποστολή ενός σήματος διαδρομής στη συσκευή διαχωρισμού εάν τα προετοιμασμένα όρια ξεπερνιούνται, ή μπορεί να είναι ένα σχετικά σύνθετο σχέδιο που ελέγχει το κυματοειδές και τις προσπάθειες να επιτύχει το πολυσυζητημένο χρόνο διαδρομής ενός τεταρτοκυκλίου.

Το μεμονωμένο DER στο ανωτέρω σενάριο πρέπει να έχει σχέδια προστασίας που τους επιτρέπει να συνεχίσουν να λειτουργούν ενώ πραγματοποιείται η

αλλαγή, κάτι το οποίο θα αποσυνδέσει το MicroGrid από το πλέγμα χρησιμότητας. Αυτό σημαίνει ότι το γεγονός δεν πρέπει να διατρέχει στο DER έως ότου έχει το σχέδιο προστασίας μια πιθανότητα να χωρίσει το Micro Grid από το πλέγμα χρησιμότητας. Εάν το ελάττωμα παραμείνει στο MicroGrid μόλις αποσυνδεθεί το MicroGrid, και καθορίζεται το γεγονός να μην είναι στο πλέγμα χρησιμότητας, πρέπει να ληφθεί ένα δεύτερο σύνολο προστατευτικών αποφάσεων, οι οποίες θα συζητηθούν κατωτέρω.

Πρέπει επίσης να εξεταστούν οι ενοχλητικοί (αναπόφευκτοι) διαχωρισμοί. Συνήθως δεν οδηγούν σε απώλεια φορτίου στους πελάτες του MicroGrid, αλλά μπορούν να οδηγήσουν σε αυξανόμενες δαπάνες λόγω της αυξανόμενης λειτουργίας της συσκευής διαχωρισμού MicroGrid (η οποία θα μειώσει τη διάρκεια ζωής τους) και σε αυξανόμενη εργασία για να αποκατασταθούν οι κανονικές λειτουργίες. Το τρέχον σχέδιο IEEE πρότυπο P1574 απαιτεί διαχωρισμό για ορισμένες διαταραχές τάσης και συχνότητας. Αυτές οι απαιτήσεις διερευνώνται προσεκτικά για να διαβεβαιώσουν ότι παρέχεται επαρκής προστασία και ελαχιστοποιούνται οι διαδρομές ενόχλησης.

•Γεγονότα στο MicroGrid ενώ συνδέεται με την κύρια χρησιμότητα

Από την προοπτική του μεμονωμένου DER και των μεμονωμένων φορτίων MicroGrid, δεν υπάρχει καμία περίπτωση να διακρίνουμε μεταξύ ενός γεγονότος που εμφανίζεται στον τροφοδότη που παρέχει το MicroGrid που είναι από την πλευρά χρησιμότητας του MicroGrid αποσυνδέοντας τη συσκευή και ενός γεγονότος που είναι στην πλευρά MicroGrid αυτής της συσκευής, όπως υποδεικνύεται από "το ελάττωμα 1" στο σχήμα 6.1. Εντούτοις, οι απαντήσεις σε αυτά τα δύο γεγονότα πρέπει να είναι διαφορετικές. Όπως συζητήθηκε ανωτέρω, η απάντηση στο γεγονός από την πλευρά χρησιμότητας αυτής της συσκευής πρέπει να είναι να ο διαχωρισμός του MicroGrid από την κύρια χρησιμότητα και η διατήρηση κανονικής λειτουργίας του MicroGrid. Να σημειωθεί ότι "η διατήρηση κανονικής λειτουργίας" σημαίνει να διατηρηθούν τα φορτία λειτουργικά, για να ολοκληρωθεί αυτό, η μέθοδος ελέγχου DER μπορεί να χρειάζεται να αλλαχτεί από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται όσο το MicroGrid είναι πλέγμα που συνδέεται προκειμένου να αποτελέσει τη σημαντικά "μαλακότερη" λειτουργία MicroGrid ελλείψει της υποστήριξης πλέγματος χρησιμότητας. Αυτός ο αλλαγμένος έλεγχος συζητείται στην παράγραφο 5.0.

Η απάντηση σε ένα γεγονός της συσκευής διαχωρισμού στην πλευρά MicroGrid θα συμπεριλάβει, εκτός από τη λήψη κατάλληλων μέτρων απομόνωσης μέσα στο MicroGrid, το άνοιγμα της συσκευής διαχωρισμού. Παραδείγματος χάριν, το ελάττωμα A στο σχήμα 6.1 θα απαιτούσε το άνοιγμα της συσκευής διαχωρισμού MicroGrid καθώς επίσης και το άνοιγμα των τριών διακοπών του κυκλώματος που συνδέονται με τον κύριο δίαυλο. Το ελάττωμα 2 θα απαιτούσε το άνοιγμα των διακοπών που προστατεύουν τους τροφοδότες A1 και A2.

Στην περίπτωση ενός ελαττώματος μέσα στο MicroGrid, ο διαχωρισμός από το πλέγμα χρησιμότητας πρέπει να είναι χρονομετρημένος για να συντονιστεί με την προστασία "προς τα πάνω" (στην κατεύθυνση της πηγής χρησιμότητας) από την κύρια συσκευή διαχωρισμού MicroGrid. Αυτός ο συντονισμός θα εξαρτηθεί από τη φιλοσοφία προστασίας της διασυνδεδεμένης χρησιμότητας. Ο χαρακτηριστικός συντονισμός μπορεί να απαιτεί τη διαδρομή συσκευών διαχωρισμού MicroGrid πριν από οποιαδήποτε προς τα πάνω διαδρομή συσκευών, για να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό πελατών που επηρεάζονται από ένα ιδιαίτερο γεγονός. Να σημειωθεί ότι ο χρόνος που απαιτείται σε αυτήν την περίπτωση για να ανοίξει η συσκευή διαχωρισμού μπορεί να είναι διαφορετικός από το χρόνο που απαιτείται για να ανοίξει η ίδια συσκευή σε απάντηση σε ένα γεγονός στην πλευρά χρησιμότητας.

Εκτός από το άνοιγμα της συσκευής διαχωρισμού MicroGrid, θα είναι απαραίτητο να απομονωθεί από το υπόλοιπο του MicroGrid το τμήμα γραμμών μέσα στο MicroGrid που περιέχει το γεγονός, όπως συζητήθηκε ανωτέρω για το ελάττωμα 2. Πώς αυτό θα επιτευχθεί θα εξαρτηθεί από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και την πολυπλοκότητα του MicroGrid. Οι βασικές απαντήσεις των προστατευτικών συσκευών μέσα στο MicroGrid θα είναι οι ίδιες με εκείνες που συζητούνται κατωτέρω για το απομονωμένο MicroGrid.

• Επανασυγχρονισμός

Τελικά, μόλις αποκατασταθεί η υπηρεσία στο πλέγμα χρησιμότητας αφότου ένα γεγονός έχει προκαλέσει το διαχωρισμό του MicroGrid από το πλέγμα χρησιμότητας, το MicroGrid πρέπει να έχει τα μέσα να συγχρονιστεί και να επανασυνδεθεί με το πλέγμα χρησιμότητας. Ιδανικά, αυτό πρέπει να πραγματοποιηθεί μόλις το πλέγμα χρησιμότητας έχει μια ευκαιρία να συλλέξει όλα τα προηγούμενα αποσυνδεδεμένα φορτία και να τα σταθεροποιήσει, κάτι που μπορεί να απαιτήσει από αρκετά δευτερόλεπτα σε αρκετά λεπτά, ανάλογα με τη φύση του τροφοδότη και των φορτίων. Ο ενεργειακός υπεύθυνος MicroGrid πρέπει να έχει ένα σχέδιο ελέγχου που μπορεί να φέρει όλο το DER σε συγχρονισμό με την κύρια χρησιμότητα στο MicroGrid, βασισμένο στη μέτρηση της τάσης και στις δύο πλευρές της συσκευής διαχωρισμού. Εάν αυτός ο επανασυγχρονισμός και η επανασύνδεση γίνονται αυτόματα ή χειροκίνητα μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του MicroGrid και της διασυνδεδεμένης χρησιμότητας. Οι φιλοσοφίες και οι τεχνικές επανασυγχρονισμού πρέπει να μελετηθούν για να καθορίσουν τις κατάλληλες προσεγγίσεις.

6.2 ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΣΤΟ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ MICRO GRID

Εξετάστε, όπως συζητήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ένα γεγονός που εμφανίζεται στην πλευρά MicroGrid της συσκευής διαχωρισμού MicroGrid, όπως παρουσιάζεται από το ελάττωμα 1 στο σχήμα 6.1. Απαιτείται να ανοίξει η συσκευή διαχωρισμού MicroGrid σε αυτές τις περιπτώσεις, και ο συγχρονισμός θα πρέπει να συντονιστεί με τις προς τα πάνω συσκευές.

Απαιτούνται επίσης απαντήσεις από τις συσκευές μέσα στο MicroGrid επειδή το MicroGrid περιέχει πηγές που μπορούν να διατηρήσουν ένα ελάττωμα. Η απάντηση των προστατευτικών συσκευών μέσα στο MicroGrid ποικίλει εντυπωσιακά ανάλογα με την πολυπλοκότητα του MicroGrid. Ένα απομονωμένο MicroGrid που περιέχει μόνο μια πηγή μπορεί να είναι σε θέση να υιοθετήσει ένα σχέδιο προστασίας παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό ακτινωτό σύστημα διανομής. Πιο σύνθετα MicroGrids με διάφορα DER απαιτούν πιο σύνθετα σχέδια προστασίας. Οι αποφάσεις για το κόστος και την πολυπλοκότητα των σχεδίων προστασίας εξαρτώνται από τις ανάγκες των πελατών του MicroGrid.

Για ένα MicroGrid στο ποιους πελάτες κάθε ένα έχει επαρκές DER για να εξυπηρετήσει τις ενεργειακές ανάγκες τους, η προστασία μπορεί να είναι απλή: κάθε ένας από τους πελάτες μπορούν να απομονωθούν από το υπόλοιπο του MicroGrid σε απάντηση σε ένα γεγονός. Εντούτοις, αυτό το σενάριο προστασίας αποτυγχάνει να εκμεταλλευθεί την ποικιλομορφία του φορτίου και της παραγωγής που είναι πιθανά σε ένα MicroGrid. Μια προσέγγιση που μοιράζεται αποτελεσματικότερα τους πόρους ενός MicroGrid απαιτεί απαραίτητως πιο σύνθετη προστασία. Το ελάττωμα 2 στο σχήμα 6.1, παραδείγματος χάριν, απαιτεί ότι οι διακόπτες του κυκλώματος για τους τροφοδότες A1 και A2 διατρέχονται. Κατά συνέπεια, τα φορτία στον τροφοδότη A1 δεν θα εξυπηρετηθούν (αυτό είναι αναπόφευκτο χωρίς μεμονωμένο φορτίο UPSs) ενώ εκείνα στον τροφοδότη A2 θα παραμείνουν ενεργά. Εντούτοις, η μέθοδος για τον εντοπισμό του ελαττώματος 2 δεν είναι τόσο απλή όπως μπορεί να φαίνεται λόγω της εντυπωσιακά μειωμένης διαθεσιμότητας ρεύματος βραχυκυκλώματος στο απομονωμένο MicroGrid, όπως θα συζητηθεί στην επόμενη υποενότητα.

- **Μειωμένη διαθεσιμότητα ρεύματος βραχυκυκλώματος**

Όταν εμφανίζεται ένα σφάλμα στο απομονωμένο MicroGrid, η μειωμένη ικανότητα ρεύματος βραχυκυκλώματος του MicroGrid ασκεί σημαντική επίδραση. Όταν το MicroGrid συνδεθεί με το πλέγμα χρησιμότητας, η πηγή χρησιμότητας μπορεί να παρέχει ελαττωματικό ρεύμα όπου οι ρυθμίσεις μεγεθών είναι μεγαλύτερες από το ρεύμα φορτίων. Αυτό το μεγάλο σφάλμα ρεύματος διακρίνεται εύκολα από το ρεύμα φορτίων και έτσι χρησιμοποιείται συμβατικά για να ανιχνεύσει σφάλματα στα ακτινωτά συστήματα διανομής.

Η συμβατικότερη προστασία διανομής είναι βασισμένη στην αντίληψη ρεύματος βραχυκυκλώματος . Υπάρχει μια μεγάλη κατηγορία DER - που συμπεριλαμβάνει κυψέλες καυσίμων, πολλά microturbines, φωτοβολταϊκά συστήματα, πολλά συστήματα αέρα, και συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών - η οποία χρησιμοποιεί τους αντιστροφείς για να διασυνδεθεί με το πλέγμα χρησιμότητας. Αυτή η κατηγορία DER μπορεί να είναι ικανή να παρέχει μόνο δύο φορές το ρεύμα φορτίων ή λιγότερο σε ένα σφάλμα, έτσι οι ρυθμίσεις του μεγέθους του μεγαλύτερου σφάλματος του ρεύματος στα οποία είναι βασισμένη η συμβατική προστασία περισσότερου ρεύματος δεν είναι παρούσα. Μερικές αισθητήριες συσκευές με πιο πολύ ρεύμα δεν αποκρίνονται ακόμη και σε αυτό το μικρό ποσό περισσότερου ρεύματος , εκείνες που αποκρίνονται διαρκούν πιο πολλά δευτερόλεπτα για να κάνουν έτσι από το κλάσμα ενός δευτερολέπτου που απαιτείται. Κατά συνέπεια, πρέπει να υιοθετηθούν εναλλακτικά μέσα ανίχνευσης ενός συμβάντος. Υπάρχουν διαθέσιμα εναλλακτικά μέσα, όπως η χρήση της σύνθετης αντίστασης, ή η επίγεια αναμετάδοση ρεύματος. Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών στα συστήματα διανομής και πελατών δεν είναι τόσο κατανοητή όσο τα σχέδια προστασίας περισσότερου ρεύματος.

7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΟΥ MICRO GRID

Η περίπτωση οικονομικών ή επιχειρήσεων για το MicroGrid καθορίζει τη διαμόρφωση και τη λειτουργία του MicroGrid. Τα ζητήματα των οικονομικών του MicroGrid μπορούν να διαιρεθούν κατά προσέγγιση σε τρεις κατηγορίες:

1. Η πρώτη αφορά τα βασικά οικονομικά της βέλτιστης επένδυσης και τη λειτουργία των διαθέσιμων τεχνολογιών στο MicroGrid. Αυτά είναι προβλήματα που, τουλάχιστον στην κλίμακα χρησιμότητας, έχουν λάβει έντονη ακαδημαϊκή διερεύνηση, κατά συνέπεια, καθιερωμένα και αξιόπιστα εργαλεία είναι διαθέσιμα να οδηγήσουν σε μια λήψη απόφασης και πρέπει, με κάποια προσαρμογή στις λεπτομέρειες των MicroGrids, να είναι αποτελεσματικά.

2. Η δεύτερη αφορά σε μερικές από τις μοναδικές πτυχές των MicroGrids που απαιτούν καινοτομία. Γενικά, αυτές είναι περιοχές στις οποίες τα MicroGrids διαφέρουν σημαντικά από τα συστήματα διανομής, παραδείγματος χάριν, η δυνατότητα να παρέχουν ετερογενή επίπεδα αξιοπιστίας σε διάφορες τελικές χρήσεις, και η κρίσιμη κεντρική σημασία μερικών λειτουργικών περιορισμών, όπως ο θόρυβος, οι οποίοι είναι σχετικά ασήμαντοι στα οικονομικά χρησιμότητας.

3. Η τρίτη αφορά στη σχέση του MicroGrid με το σύστημα διανομής. Από πολλές απόψεις αυτά τα προβλήματα μοιάζουν γνωστά με αυτά που σχετίζονται με τη διεπαφή μεταξύ πελατών και χρησιμότητων, παραδείγματος χάριν, η ανάγκη να παρασχεθεί ένα σήμα τιμών σε πραγματικό χρόνο στο MicroGrid έτσι ώστε η

βέλτιστη χρήση των πόρων και από το MicroGrid και από τη χρησιμότητα να μπορεί να επιτευχθεί ταυτόχρονα. Άλλα προβλήματα είναι νεότερα και πιο προκλητικά. Παραδείγματος χάριν, η ικανότητα των MicroGrid να συμμετέχει σε πλέγμα-κλίμακας αγορών βοηθητικών υπηρεσιών θα περιοριστεί πιθανότατα από την τάση και τις απώλειες, αλλά τα MicroGrids θα μπορούσαν ακόμα να παρέχουν μερικές τοπικές υπηρεσίες, όπως η υποστήριξη τάσης. Η δημιουργία μιας αγοράς για τοπική υποστήριξη τάσης, ή ακόμα και η τοποθέτηση σημαντικής αξίας σε αυτή, φαίνεται απίθανη αυτή την περίοδο.

7.1 MICRO GRIDS ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

Ένα MicroGrid σχεδιάζεται, εγκαθίσταται, και χρησιμοποιείται από έναν πελάτη ή μια ομάδα πελατών πρώτιστα για το οικονομικό όφελός του. Αν και οι συμμετέχοντες MicroGrid μπορεί να ανησυχήσουν για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ενεργειακού ανεφοδιασμού του συστήματος τους καθώς επίσης και για το θόρυβο και άλλες παρόμοιες εκτιμήσεις, το σημαντικότερο όφελος που οι συμμετέχοντες επιδιώκουν είναι ένας χαμηλότερος συνολικός ενεργειακός λογαριασμός (δηλ., συνδυασμένος λογαριασμός για θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια, και μεταφορά). Το MicroGrid μπορεί να είναι σε θέση να λειτουργήσει μερικές ή όλες τις τελικές χρήσεις του με χαμηλότερο κόστος από ότι θα ήταν δυνατό στο σύστημα χρησιμότητας. Το κόστος της μεταφερόμενης ενέργειας από το παραδοσιακό σύστημα ισχύος περιλαμβάνει απώλειες, υπηρεσίες πελατών, συμφόρηση, και άλλες δαπάνες που μαζί χαρακτηριστικά υπερβαίνουν την παραγωγή (φραγμός διαύλων) κόστους. Το MicroGrid θα έχει πιθανώς μικρότερες απώλειες καθώς επίσης και άλλα πλεονεκτήματα που θα χαμηλώσουν τις δαπάνες του σε σχέση με τις δαπάνες του συστήματος διανομής.

Ο πίνακας 1 παρουσιάζει παρούσες πληροφορίες δαπανών για μερικές μικρής κλίμακας παραγωγικές τεχνολογίες που είναι σήμερα διαθέσιμες για την επέκταση στα MicroGrids. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει προβλέψεις αυτών των δαπανών για το 2010. Το πρώτο ξεχωριστό χαρακτηριστικό γνώρισμα δαπανών του πίνακα 1 είναι ότι η επιτόπια παραγωγή είναι αυτήν την περίοδο ανταγωνιστική με την κεντρική παραγωγή σταθμών σε ορισμένους χρόνους και σε ορισμένα σημεία. Εντούτοις, η διαθέσιμη σήμερα τεχνολογία που είναι προφανώς η φτηνότερη, με εναλλασσόμενες μηχανές, έχει μερικά έντονα μειονεκτήματα, ειδικότερα επιδράσεις ατμοσφαιρικής ποιότητας (και δυσκολία για λήψη σχετικών αδειών), θόρυβο και δαπάνες διασύνδεσης. Κατά τη διάρκεια της ερχόμενης δεκαετίας, δαπάνες άλλων, νέων τεχνολογιών είναι πιθανό να πέσουν σημαντικά, έτσι ώστε, μέχρι το 2010, μια άλλη επιλογή, κυψέλες καυσίμων παραδείγματος χάριν, μπορεί να είναι η φτηνότερη διαθέσιμη επιτόπια παραγωγική τεχνολογία κάτω από ορισμένες περιστάσεις. Οι κυψέλες καυσίμων και άλλοι τύποι DER έχουν λιγότερα μειονεκτήματα από τις

εναλλασσόμενες μηχανές. Ακόμη και χωρίς εκτίμηση άλλων οφελών DER, τα οικονομικά τους προτείνουν ότι θα προκαλέσουν τις οικονομίες κλίμακας που παρακίνησαν αρχικά την εμπιστοσύνη στην παραδοσιακή κεντρική παραγωγή σταθμών.

•Table 1

	Name	DER Type	Source	Nameplate	lifetime	\$/kW cost	\$/kW cost	OMFix	OMVar	Lev Cost	Heat Rate
				kW	(a)	FOB cost	Turnkey cost	\$/kW/a	\$/kWh	c/kWh	kJ/kWh
1	MTL-C-30	MT	SCE	30	12.5	1200	1333	119	in Fix O&M	12.14	12,186
2	PAFC-O-200	PAFC	TAG	200	12.5	3500	PR	PR	PR	13.68	PR
3	DE-K-30	Diesel Backup	manufacturer	30	12.5	473	1290	26.5	0.000033	5.51	11,887
4	DE-K-60	Diesel Backup	manufacturer	60	12.5	290	864	26.5	0.000033	6.30	11,201
5	DE-K-500	Diesel Backup	manufacturer	500	12.5	166	386	26.5	0.000033	4.65	10,314
6	DE-C-7	Diesel Backup	manufacturer	7.5	12.5	213	627	26.5	0.000033	N/A	10,458
7	DE-C-200	Diesel Backup	manufacturer	200	12.5	135	416	26.5	0.000033	4.94	9,944
8	GA-K-55	Gas Backup	manufacturer	55	12.5	290	970	26.5	0.000033	7.55	12,997
9	GA-K-500	Gas Backup	manufacturer	500	12.5	408	936	26.5	0.000033	7.33	12,003
10	WD-10	Wind	Bergey Windpower	10	12.5	2805	6055	5.7	0	27.05	
11	PV-5	PV	Jeff Oldman, Real Goods	5	20	7150	8650	14.3	0	55.23	
12	PV-50	PV	Jeff Oldman, Real	50	20	5175	6675	5	0	42.62	

			Goods								
13	PV-100	PV	Jeff Oldman, Real Goods	100	20	5175	6675	2.85	0	42.62	

Table 2

Name	DER Tech Type	Source	Plant	Capacity (MW)	\$/kW cost	\$/kW cost	OM Fix	OM Var	Lev Cost	Heat Rate	
				(a)	FOB cost	Turkey cost	\$/kW Wa	\$/kW Wh	c/kWh	kJ/kWh	
1	MTL-C-30	MT	SCE	30	12.5	120	1333	119	in Fix O&M	12.14	12,186
2	PAFC-O-200	PAFC	TAG	20	12.5	130	PR	PR	PR	10.15	9,480
3	PAFC-O-1200	PAFC	TAG	12	12.5	130	PR	PR	PR	8.14	9,080
4	SOFC-SW-3100	SOFC-CT	TAG	31	12.5	600	PR	PR	PR	7.66	6,153
5	PEM-BA-250	PEM-FC	TAG	25	12.5	710	PR	PR	PR	8.68	9,154
6	SOFC-C8-500	SOFC	TAG	50	12.5	750	PR	PR	PR	8.97	6,692
7	PEM-25kW	PEM-FC	Ogden & Kreutz	25	12.5	976	1000	4	0.0007	11.75	10,800

8	PEM-50kW	PEM-FC	Ogden & Kreutz	50	12.5	786	800	2	0.0006	7.70	10,800
9	FCV-75	FCV-75	Tim Lipman	30	12.5	0	83	20	0.029000	7.75	9,231
10	DE-K-30	Diesel Backupp	manufacturer	30	12.5	473	1260	27	0.00033	5.51	11,887
11	DE-K-60	Diesel Backupp	manufacturer	60	12.5	290	864	27	0.00033	6.30	11,201
12	DE-K-500	Diesel Backupp	manufacturer	500	12.5	166	386	27	0.00033	4.65	10,314
13	DE-C-37	Diesel Backupp	manufacturer	75	12.5	213	627	27	0.00033	N/A	10,458
15	DE-C-200	Diesel Backupp	manufacturer	200	12.5	135	416	27	0.00033	4.94	9,944
17	GA-K-55	Gas Backupp	manufacturer	55	12.5	290	866	27	0.00033	7.55	12,997
18	GA-K-500	Gas Backupp	manufacturer	500	12.5	408	936	27	0.00033	7.33	12,003
19	WD-10	Wind	Bergey Windpower	10	12.5	280	6055	6	0	27.05	
20	PV-50	PV	Jeff Oldman, Real Goods	5	20	358	5080	14	0	32.43	
21	PV-50	PV	Jeff Oldman, Real Goods	50	20	258	4088	5	0	26.10	
22	PV-100	PV	Jeff Oldman, Real Goods	100	20	258	4088	3	0	26.10	

Η απλή εφαρμογή των μηχανικών-οικονομικών αρχών μπορεί να βοηθήσει στο να καθορίσει ποιες τεχνολογίες είναι πιθανό να είναι ελκυστικές στα MicroGrids και πώς αυτές οι τεχνολογίες θα επεκταθούν και θα χρησιμοποιηθούν. Σε πολλά σημεία, τα οικονομικά των MicroGrids είναι παρόμοια με εκείνα των συστημάτων χρησιμότητας-κλίμακας. Παραδείγματος χάριν, οι κανόνες οικονομικής αποστολής ισχύουν και για τα δύο(συστήματα) και η ελαχιστοποίηση των δαπανών και για τους δύο τύπους συστημάτων απαιτεί ότι ο χαμηλότερος-πιθανός συνδυασμός κόστους πόρων πρέπει να λειτουργεί πάντα, μέχρι το σημείο που τα χαρακτηριστικά εξοπλισμού επιτρέπουν. Η αγορά και η πώληση ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατές και στα συστήματα χρησιμότητας-κλίμακας και στα συστήματα MicroGrid, και αυτές οι δύο δραστηριότητες μπορούν να εμφανιστούν σε διαφορετικούς χρόνους. Η ποικιλία των κύκλων καθήκοντος που απαιτούνται υπονοεί ότι ο βέλτιστος συνδυασμός πόρων που επλέγονται από το MicroGrid θα είναι τεχνολογικά διαφορετικός, όπως οι συνδυασμοί που χρησιμοποιούνται στις χρησιμότητες. Σε αυτό το πλαίσιο, οι τεχνολογικά διαφορετικοί πόροι περιλαμβάνουν εκείνους που χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν μια σειρά απαιτήσεων: ανάγκες φορτίου-βάσης κύκλου καθήκοντων, μέγιστη ζήτηση, και άλλες βαθμίδες απαίτησης μεταξύ αυτών των δύο άκρων. Οι διαφορετικοί τύποι γεννητριών θα είναι αποδοτικότεροι στην ικανοποίηση διαφορετικών τύπων απαιτήσεων. Η κλασική λύση στα συστήματα χρησιμότητας είναι ότι το υψηλό κεφάλαιο, οι τεχνολογίες χαμηλού μεταβλητού κόστους είναι κατάλληλα για το φορτίο-βάσης και οι γεννήτριες με τις αντίθετες ιδιότητες είναι κατάλληλες για τη μέγιστη ζήτηση, αυτή η αρχή θα μπορούσε να αποδειχθεί εξίσου αληθινή για τα MicroGrids.

Αν και υπάρχουν πολυάριθμες ομοιότητες μεταξύ MicroGrid και οικονομικών χρησιμότητας, μερικές πτυχές παραδοσιακών οικονομικών του MicroGrid είναι νέες και απαιτούν επανεξέταση ή επέκταση οικείων εργαλείων. Δύο ξεχωριστά παραδείγματα είναι η κοινή βελτιστοποίηση παροχής θερμότητας και ηλεκτρικού ρεύματος και η κοινή βελτιστοποίηση φορτίων και ανεφοδιασμού. Το CHP είναι ένας σχετικά υπανάπτυκτος τομέας των οικονομικών συστημάτων ισχύος. Η χρήση του CHP είναι κοινή στην αμερικανική βιομηχανία, και περίπου εννέα τοις εκατό της αμερικανικής ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται αυτήν την περίοδο σε συστήματα CHP. Μια σημαντική μη - βιομηχανική εφαρμογή είναι τα περιφερειακά συστήματα θέρμανσης, τα οποία χρησιμοποιούνται εκτενώς σε μερικές ευρωπαϊκές πόλεις του βορρά, όπως η Βαρσοβία. Εντούτοις, αυτά τα συστήματα τείνουν να αναπτυχθούν σε απάντηση στις απομονωμένες ευκαιρίες για τη χρήση της θερμότητας που αποβάλλεται, μέχρι σήμερα, η χρήση της θερμότητας δεν ήταν ένας από τους κεντρικούς στόχους ανάπτυξης της χρησιμότητας-κλίμακας των συστημάτων ισχύος. Ένας

Βασικός λόγος για τρέχουσα επανεξέταση αυτού του ζητήματος είναι η κίνηση να μειωθούν οι εκπομπές άνθρακα. Η αύξηση της συνολικής αποδοτικότητας της ηλεκτρικής παραγωγής στις ΗΠΑ θα μπορούσε από τα αναμενόμενα περίπου 33 τοις εκατό το 2010 σε περίπου 70 τοις εκατό, χωρίς μετατροπή καυσίμων, να παρέχει το ένα δεύτερο του 28 τοις εκατό (περίπου 500 Tt) της συνολικής μείωσης των συνολικών εκπομπών άνθρακα στην Αμερική που προτάθηκε από το πρωτόκολλο του Κιότο για αυτό το έτος. Το CHP είναι η μόνη προσέγγιση που θα μπορούσε να μεταφέρει βελτιώσεις αποδοτικότητας ηλεκτρικής παραγωγής αυτού του μεγέθους.

Συνεπεία του πενιχρού ιστορικού ενδιαφέροντος για το CHP, τα συστήματα χρησιμότητας τείνουν να τοποθετήσουν τους σταθμούς παραγωγής κοντά σε κατάλληλους δροσερούς πόρους παρά στις θέσεις που θα διευκόλυναν τη χρήση της θερμότητας που αποβάλλεται. Επειδή μια από τις κατευθυντήριες δυνάμεις για τα MicroGrids είναι η επιθυμία να κινηθεί η ηλεκτρική παραγωγή προς τη χρησιμοποίηση της θερμότητας που αποβάλλεται, το CHP θα είναι πιθανώς στην καρδιά των οικονομικών του MicroGrid.

Υπάρχουν τρεις άμεσες προφανείς δυνητικές εφαρμογές του CHP σε MicroGrids:

1. Θέρμανση χώρου, οικιακή θέρμανση και αποστείρωση,
2. Βιομηχανικές ή κατασκευαστικές διαδικασίες και
3. Χώρος ψύξης και ψύξη μέσω της χρήσης απορρόφησης chilling.

Για να φανεί ότι η έλξη της εκμετάλλευσης των ευκαιριών CHP θα είναι βασικό κίνητρο για τους πελάτες για να αυτοπαραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, είναι ικανοποιητικό να παρουσιαστούν τεχνικά εφικτά παραδείγματα στα οποία οι εφαρμογές CHP μπορούν να χαμηλώσουν το κοινό κόστος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας/ψύξης σε οποιονδήποτε από τους τρεις τύπους σχετικά με το κόστος παροχής αυτών των υπηρεσιών από χωριστές αγορασμένες πηγές (η χαρακτηριστικά αγορασμένη ισχύς και το φυσικό αέριο προέρχονται από συστήματα τοπικής χρησιμότητας). Για να φανεί ότι μόνο του το CHP είναι ένα ισχυρό κίνητρο για πολλούς πελάτες να ενωθούν μαζί και να διαμορφώσουν τα MicroGrids, είναι επίσης απαραίτητο να δείχτει ότι η συνάθροιση φορτίων θερμότητας και ισχύος έχει οικονομικά οφέλη. Δεν είναι δύσκολο να φανεί ότι αυτό θα ίσχυε σε ορισμένες περιπτώσεις, π.χ. χρησιμοποιώντας εγκαταστάσεις με μέτρια θερμότητα χώρου και μεγάλα φορτία αποστείρωσης βέλτιστα να παραγάγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια την οποία μπορούν να καταναλώσουν και να ωφελούνται από την ένταξή τους ως τμήμα ενός MicroGrid. Εντούτοις, δεν έχουν δοθεί ακόμα πλήρη οικονομικά επιχειρήματα σχετικά με το βαθμό στον οποίο οι ευκαιρίες CHP θα παρακινήσουν τους πελάτες να διαμορφώσουν MicroGrids.

Η κοινή βελτιστοποίηση προσφοράς και ζήτησης είναι μια δεύτερη, βασική περιοχή όπου απαιτείται κάποια επέκταση παραδοσιακών οικονομικών συστημάτων ισχύος για τα MicroGrids. Στα συστήματα χρησιμότητας-κλίμακας, ο έλεγχος των φορτίων εξετάζεται συνήθως κατά τη διάρκεια ανάλυσης και προγραμματισμού ως διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης (DSM), ως έλεγχος φορτίων, ή ως εκπομπή φορτίων και διακοπτόμενων δασμολογίων ή συμβάσεων. Τα MicroGrids είναι διαφορετικά από διάφορες βασικές απόψεις. Πρώτιστα και πιο σημαντικά, η πρόσθετη δαπάνη αυτό-παραγωγής είναι ευρέως γνωστή και πραγματικά εκτιμημένη από το MicroGrid σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο. Με άλλα λόγια, οι ιδιοτροπίες της αποκατάστασης δαπανών επένδυσης, οι διαγώνιες επιχορηγήσεις, και η ανακριβής δοσολογία και δασμολογία, αποφεύγονται όλες. Η γεννήτρια και ο καταναλωτής είναι οι ίδιοι ιθύνοντες, και αποβάλλεται η προσπάθεια να συντονιστεί η επένδυση και οι λειτουργικές αποφάσεις σχετικά με αυτά που θεωρήθηκαν τυπικά ως απέναντι πλευρές του μετρητή. Το MicroGrid μπορεί εύκολα να ξέρει και την πρόσθετη δαπάνη παροχής ισχύος σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο και τις ισοδύναμες δαπάνες επενδύσεων στην ενεργειακή αποδοτικότητα, και με κάποια ενδοσκοπήση και ανάλυση, να αποφασίσει ποιο είναι το κόστος περικοπής του και έπειτα να ανταλλάξει και τα τρία εύκολα. Αυτή η απλή πραγματικότητα ανυψώνει τον έλεγχο φορτίων σε ένα νέο επίπεδο σπουδαιότητας στα MicroGrids απαιτώντας μια επέκταση της τρέχουσας αντίληψης.

7.2 ΝΕΟΤΕΡΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ MICRO GRIDS

Η δεύτερη ομάδα οικονομικών ζητημάτων σχετικών με τα MicroGrids καλύπτει μερικά μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του MicroGrid που απαιτούν καινοτομία στα παραδοσιακά οικονομικά συστήματα ισχύος. Γενικά, αυτές είναι περιοχές στις οποίες τα MicroGrids διαφέρουν σημαντικά από τα συστήματα χρησιμότητας, παραδείγματος χάριν, η δυνατότητα παροχής ετερογενών επιπέδων αξιοπιστίας στις διάφορες τελικές χρήσεις μέσα στο MicroGrid, και η κεντρική σημασία μερικών λειτουργικών περιορισμών, όπως ο θόρυβος, οι οποίοι είναι σχετικά ασήμαντοι στα οικονομικά χρησιμότητας.

Τα συστήματα ισχύος της χρησιμότητας-κλίμακας παραδοσιακά έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί γύρω από την έννοια της "καθολικής υπηρεσίας," η οποία υποστηρίζει ότι η ποιότητα και η αξιοπιστία της ισχύος που μεταφέρεται σε όλους τους πελάτες πρέπει να ανταποκρίνεται κυρίως στα ίδια πρότυπα. Στην πράξη, υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από αυτά τα καθολικά πρότυπα, εν μέρει λόγω των προβλημάτων εξυπηρέτησης των απέραντων και διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών, αλλά ο στόχος είναι ακόμα να εμμένουν σε καθολικά πρότυπα. Ένα βασικό κίνητρο των MicroGrids είναι η επιθυμία να υπάρξει έλεγχος αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος πιο κοντά προς το σημείο τελικής χρήσης έτσι ώστε αυτές οι ιδιότητες να μπορούν να βελτιστοποιηθούν για τα

συγκεκριμένα φορτία που εξυπηρετούν. Τα απλά οικονομικά μας λένε ότι η προσαρμογή αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος στις τελικές χρήσεις που εξυπηρετούν μπορούν να προσδώσουν οφέλη επειδή απλά, σε περιόδους ενεργειακού ελλείμματος, η ενέργεια μπορεί να κινηθεί από χαμηλότερες τελικές χρήσεις αξίας σε υψηλότερες τελικές χρήσεις αξίας. Επίσης, με δεδομένη την παροχή υψηλότερης ποιότητας και αξιοπιστίας μπορεί να συμπεραίνεται ότι συνήχθη κάποιο κόστος, η αποταμίευση θα οδηγήσει στις τελικές χρήσεις εάν η υψηλότερη ποιοτική εξουσία δεν προβλέπεται. Τα παραδοσιακά οικονομικά συστήματα ισχύος έχουν δώσει ιδιαίτερη προσοχή σε μερικές πτυχές για να εκτιμήσουν την ποιότητα και την αξιοπιστία ισχύος, ειδικότερα στον υπολογισμό του κόστους των γενικών διακοπών λειτουργίας και στα σχέδια διατίμησης προτεραιότητας που θα επέτρεπαν στους πελάτες να ασκήσουν επιλογή στο επίπεδο αξιοπιστίας τους, εντούτοις, η θεωρία ότι τα συστήματα θα μπορούσαν να χτιστούν γύρω από μια ετερογενή ποιότητα υπηρεσιών είναι αρκετά νέα. Ένα άλλο σχετικό ζήτημα (που αντιμετωπίζεται λεπτομερέστερα κατωτέρω) αφορά στο βέλτιστο επίπεδο ποιότητας για την καθολική υπηρεσία που παρέχεται από τη χρησιμότητα. Εάν διαδεδομένα Micro Grids εξυπηρετούν αποτελεσματικά ευαίσθητα φορτία με τοπικά ελεγχόμενη παραγωγή, υποστήριξη, και αποθήκευση, τα μαζικά οφέλη του συστήματος ισχύος δεν περιορίζονται πλέον για να θέσουν απαιτήσεις αξιοπιστίας και να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των ευαίσθητων τοπικών τελικών χρήσεων.

7.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΞΥ MICRO GRIDS ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Το τρίτο σύνολο οικονομικών ερωτήσεων σχετικά με τα MicroGrids καλύπτει τη σχέση των MicroGrids με τη χρησιμότητα. Μια θεμελιώδης αρχή του παραδείγματος MicroGrid είναι ότι το MicroGrid πρέπει να αντιπροσωπευθεί στη χρησιμότητα όπως ένας καλός πολίτης, δηλαδή πρέπει να εμμένει αυστηρά στους κανόνες που ισχύουν για όλες τις συνδεδεμένες συσκευές. Το MicroGrid πρέπει να συμπεριφερθεί ως νόμιμος πελάτης ή γεννήτρια ή και τα δύο, και μπορεί να ενισχύσει αυτούς τους παραδοσιακούς οικονομικούς ρόλους.

Η μεταφορά αληθινών σημάτων τιμών στο χρόνο και στο χώρο θίγει μερικά σημαντικά προβλήματα. Επειδή τα MicroGrids ενσωματώνουν τη νέα γενεά μέσα στο υπάρχον ακτινωτό σύστημα διανομής, οι αναβαθμίσεις του συστήματος, που ειδάλως θα ήταν απαραίτητες για να ικανοποιήσουν το αυξανόμενο φορτίο, μπορούν να αναβληθούν ή να αποφευχθούν εξ ολοκλήρου. Ιδανικά ένα σήμα τιμών θα μπορούσε να παραδοθεί στους πελάτες μέσα στο σύστημα διανομής σε περίοδο αυξανόμενης συμφόρησης σε μια μορφή που θα ενθάρρυνε την ανάπτυξη MicroGrid και την επένδυση στον έλεγχο παραγωγής ή/και φορτίων για να μετριάσει τη συμφόρηση. Εντούτοις, αυτό είναι δύσκολο στην πράξη. Το σχέδιο συστημάτων διανομής στις πυκνά κατοικημένες περιοχές είναι αρκετά εύκαμπτο έτσι ώστε οποιοδήποτε φορτίο τελικής χρήσης να μπορεί

να εξυπηρετηθεί από διάφορες εναλλακτικές διαμορφώσεις του συστήματος. Κατά συνέπεια, οι δαπάνες συμφόρησης που φαίνονται από οποιοδήποτε MicroGrid θα εξαρτώνταν από μια κατά κάποιο τρόπο αυθαίρετη διαμόρφωση του δικτύου που θα μπορούσε να αλλάξει απότομα, αναστατώνοντας έτσι τα οικονομικά που εξαρτώνται από αυτή τη διαμόρφωση.

Η συμμετοχή MicroGrid στις αγορές είναι και δυνατή και επιθυμητή, αλλά υπάρχουν μερικά πιθανά όρια σε αυτή. Οι χαμηλές τάσεις του MicroGrid εμποδίζουν τη δυνατότητά του να παραδώσει αποτελεσματικά ενέργεια πέρα από τον υποσταθμό, και περιορίζεται ομοίως η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών. Είναι μια υπηρεσία που το MicroGrid μπορεί εύκολα να παρέχει, εντούτοις, είναι διακοπόμενο φορτίο, που εκμεταλλεύεται τα επιτόπια σχέδια παραγωγής και ελέγχου για να προστατεύσει τα ευαίσθητα φορτία. Αυτό θα μπορούσε να είναι μια πολύτιμη συμβολή στη γενική υγεία του συστήματος ισχύος καθώς οι απαντήσεις αγοράς στις αλλαγές φορτίων γίνονται όλο και λιγότερο εφικτές όταν οι χρόνοι απόκρισης πρέπει να είναι εντός δευτερολέπτων ή λεπτών.

Τέλος, όπως αναφέρεται ανωτέρω, εάν προβλέπονται ευρέως ευαίσθητα φορτία τοπικά μέσα στα MicroGrids, τότε το κατάλληλο επίπεδο στόχων της αξιοπιστίας χρησιμότητας θα μπορούσε να αλλάξει σημαντικά. Η αξιοπιστία του μαζικού συστήματος ισχύος θα μπορούσε να τεθεί σε κατάλληλα επίπεδα με στόχο την κίνηση μεγάλων ποσοτήτων ισχύος από μακρινές παραγωγικές πηγές σε συγκεντρώσεις φορτίων απ' ό,τι σε ένα αντιληπτό μέγιστο αποδεκτό επίπεδο αποτυχίας που ανταποκρίνεται στα ευαίσθητα φορτία που εξυπηρετούνται από το σύστημα. Με άλλα λόγια, εάν το φορτίο που πρέπει να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις αξιοπιστίας των ευαίσθητων τελικών χρήσεων απομακρύνεται από το μαζικό σύστημα ισχύος, το μαζικό σύστημα ισχύος μπορεί να υιοθετήσει ένα επίπεδο αξιοπιστίας καταλληλότερο προς τον αρχικό του σκοπό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα μικρά DER μπορούν να ικανοποιήσουν καλύτερα τις ανάγκες των πελατών και να προσθέσουν όφελος στο πλέγμα χρησιμότητας εάν αυτοί οι πόροι οργανώνονται μέσα στα MicroGrids λειτουργώντας ως ενιαία, ελέγξιμα συστήματα που μπορούν να συνδεθούν με το πλέγμα χρησιμότητας ή να λειτουργήσουν ανεξάρτητα, αυτό είναι μια νέα προσέγγιση για την ενσωμάτωση DER μέσα στο σύστημα διανομής χρησιμότητας.

Τα οφέλη ενός MicroGrid περιλαμβάνουν:

1. Στους πελάτες του, οικονομικά αποδοτική παροχή αξιόπιστης, υψηλής ποιότητας ισχύ που ικανοποιεί τις απαιτήσεις των ευαίσθητων φορτίων και εκμεταλλεύεται τις ευκαιρίες να χρησιμοποιεί τη θερμότητα που αποβάλλεται. Το μικρό μέγεθος των μεμονωμένων πηγών επιτρέπει ευελιξία τοποθέτησης για να βελτιστοποιηθούν οι ανάγκες των ηλεκτρικών ή/και φορτίων θερμότητας.

2. Στο πλέγμα χρησιμότητας, ένα MicroGrid λειτουργεί ως ενιαίο, ελέγξιμο σύστημα όπως ένα ταχύτατο φορτίο που μπορεί να μειώσει τη συμφόρηση πλέγματος και να αντισταθμίσει την ανάγκη για νέα παραγωγική χωρητικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΟΜΕΝΗ ΓΕΝΙΑ ΣΥΝΔΕΜΕΝΩΝ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3 ΦΑΣΙΚΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΙ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

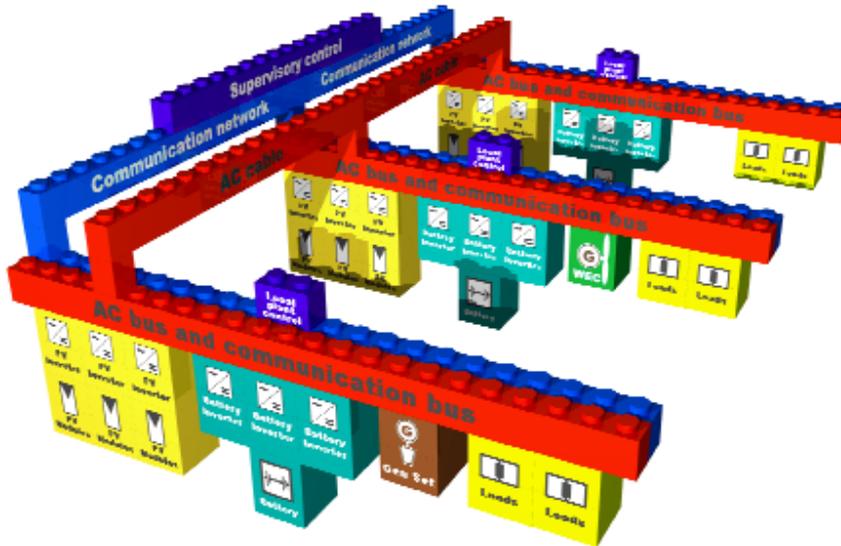
1.ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σύζευξη εναλλασσόμενου ρεύματος των συστατικών για τα αυτόνομα συστήματα υβριδικής δύναμης με PV-μπαταρία-πετρέλαιο και η διανεμημένη παραγωγή στα μικροπλέγματα ανανεώσιμης ενέργειας είναι ένας προκλητικός στόχος για την τεχνολογία ελέγχου. Τα σημερινά συστήματα τρέχουν συνήθως σε λειτουργία κυρίου/σκλάβου με έναν αντιστροφέα μπαταριών ή ένα genset ως κύριος πλέγμα. Οι διανεμημένες παροχές ισχύος με δυνατότητα επέκτασης μπορούν να βελτιωθούν αρκετά με την εισαγωγή των πολύ-κύριων εννοιών ελέγχου για τα υβριδικά συστήματα που καταδείχθηκαν από ISET και SMA για πρώτη φορά παγκοσμίως. Στα πειράματα και τις πρώτες πειραματικές εγκαταστάσεις αποδείχθηκε ότι είναι δυνατή μια συμβατή παράλληλη λειτουργία πλέγματος από αντιστροφής και μικρά τυποποιημένα σύνολα ασύγχρονων και σύγχρονων μηχανών-γεννητριών. Αυτή η τεχνολογία ελέγχου έχει επεκταθεί από τη λειτουργία ενιαίας φάσης στη λειτουργία τριών φάσεων.

2.ΠΟΛΥ-ΚΥΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η εφαρμογή μιας πολύ-κύριας έννοιας ελέγχου στους αντιστροφής μπαταριών επιτρέπει ένα απλό σχέδιο συστημάτων PV-μπαταρίας-πετρελαίου. Αυτό

χαρακτηρίζεται από εύκολη επεκτασιμότητα με τους περαιτέρω αντιστροφής μπαταριών ή/και gensets (σχήμα 1).



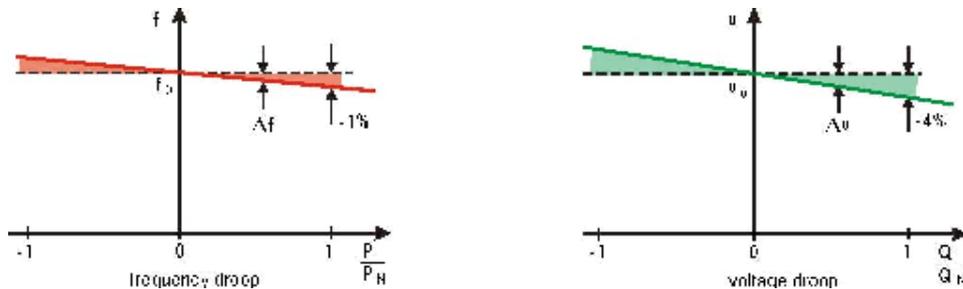
Σχήμα 1: Σύζευξη εναλλασσόμενου ρεύματος υβριδικού συστήματος με επιμέρους ενότητες

3.ΔΙΑΜΟΝΗ ΔΥΝΑΜΗΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Η επικοινωνία και η πρόσθετη καλωδίωση μπορούν να αποφευχθούν εάν τα συστατικά τα ίδια καθορίζουν τη στιγμιαία καθορισμένη αξία τους για την δραστική και την αντιδραστική ισχύ. Στα σχήματα 1 και 2 έχει αναπτυχθεί μια έννοια χρησιμοποιώντας τις καμπύλες αντιδραστικής δύναμης/τάσης και της δραστικής ισχύος/ συχνότητας (σχήμα 2) για τον έλεγχο των αντιστροφών. Οι καμπύλες είναι παρόμοιες με εκείνες στα πλέγματα χρησιμότητας. Ο εποπτικός έλεγχος παρέχει απλά τις ρυθμίσεις των παραμέτρων για κάθε συστατικό. Ακριβά συστήματα ελέγχου διαύλου αντικαθίστανται χρησιμοποιώντας την τάση και τη συχνότητα του πλέγματος για τον έλεγχο των συστατικών. Αυτή η προσέγγιση οδηγεί στα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Απλή επέκταση του συστήματος
2. Αυξανόμενος πλεονασμός, καθώς το σύστημα δεν στηρίζεται σε ένα τρωτό σύστημα διαύλων
3. Για τη βελτιστοποίηση ένα απλό σύστημα διαύλων είναι ικανοποιητικό
4. Απλουστευμένος εποπτικός έλεγχος

Οι πιο περίπλοκες εργασίες ελέγχου απαιτούν το ελάχιστο της δύναμης υπολογισμού, για παράδειγμα, έναν ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (DSP).



Σχέδιο 2: Συμβατά πλέγματα με καμπύλες συχνότητας και τάσης για το συγχρονισμό

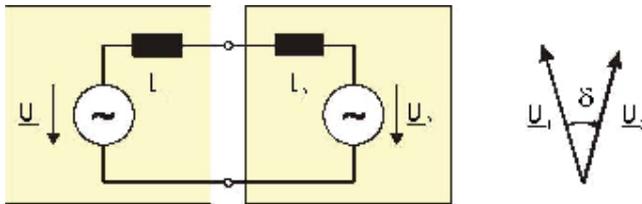
4.ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ ΠΗΓΩΝ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ

Ο πρόσθετος πλεονασμός στα υβριδικά συστήματα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τους αντιστροφής πηγών τάσης (VSI) παράλληλα. Αυτή η προσέγγιση αποφεύγει τη λειτουργία κύριου/σκάβου. Κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να διακρίνει μεταξύ της διαμόρφωσης πλέγματος και των υποστηρικτικών μονάδων πλέγματος. Στην πραγματικότητα όλες οι VSI διαμορφώνουν το πλέγμα. Οι αντιστροφείς συνδέονται μέσω αυτεπαγωγών με αποτέλεσμα την καλωδίωση και τα φίλτρα για την καταστολή των παλμών των αντιστροφών (σχέδιο 3α). Ωστόσο, όπως θα παρουσιαστεί, η ρύθμιση στο σχέδιο 3α είναι δύσκολο να χειριστεί. Η ενεργός ισχύς P και η αντιδραστική ισχύς Q των πηγών τάσης που συνδέονται με τα πηνία μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{\omega \cdot (L_1 + L_2)} \cdot \sin(\delta) \quad (1) \quad \text{and} \quad Q = \frac{U_1^2}{\omega \cdot (L_1 + L_2)} - \frac{U_1 \cdot U_2}{\omega \cdot (L_1 + L_2)} \cdot \cos(\delta) \quad (2).$$

- | | |
|---|---|
| <p>P: ενεργός ισχύς</p> <p>Q: αντιδραστική δύναμη</p> <p>$U_1 U_2$: RMS-values των πηγών τάσης</p> | <p>δ : μετατόπιση φάσης μεταξύ των πηγών τάσης</p> <p>ω : κυκλική συχνότητα του πλέγματος</p> <p>$L_{1,2}$: αυτεπαγωγές συζεύξεων</p> |
|---|---|

Η εξίσωση 1 αποκαλύπτει ότι μια μετατόπιση φάσης δ μεταξύ δύο πηγών τάσης προκαλεί ενεργό μετάδοση ισχύος. Η μετάδοση αντιδραστικής ισχύος οφείλεται στις διαφορές τάσης $U_1 - U_2$ (εξίσωση 2).

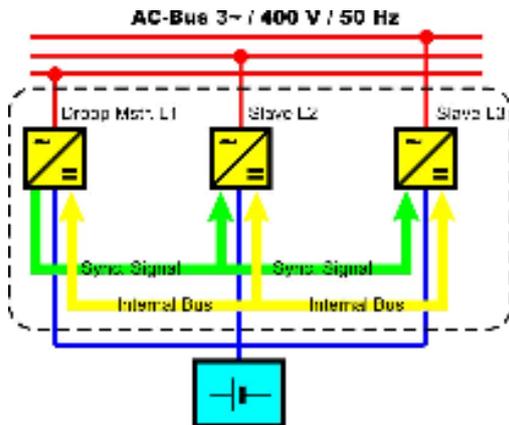


α) β) u_1 διαφορών τάσης - u_2 σχήμα 3: Πηγές τάσης που συνδέονται μέσω πηνίων (ισοδύναμο κύκλωμα και διάγραμμα φάσης)

Συμπερασματικά, πρότυπα τιμές για την αυτεπαγωγή $L_1 + L_2$ οδηγούν σε πολύ ευαίσθητα συστήματα, όπου ακόμη και οι μικρότερες αποκλίσεις της φάσης και του μεγέθους προκαλούν υψηλά ρεύματα μεταξύ των αντιστροφών. Επομένως απαιτείται ένας ακριβής έλεγχος με σύνθετους αλγορίθμους για την παράλληλη λειτουργία των αντιστροφών με πηγές τάσης [σχήμα 3].

5.ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η περιγραφόμενη αρχή έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για μονοφασική εφαρμογή στον εμπορικό αντιστροφέα μπαταριών, καλούμενο ως "Sunny island " [σχήμα 4]. Επιπλέον, ο αντιστροφέας έχει επεκταθεί σε τριφασικές παράλληλες εφαρμογές, στοιχίζοντας τρεις μονοφασικές συσκευές σε ένα " τριφασικό αντιστροφέα συστάδας". Το σχήμα 4 δίνει μια επισκόπηση στην εσωτερική δομή μιας τέτοιας συστάδας. Μια συστάδα περιλαμβάνει τρεις μονοφασικούς αντιστροφείς που συνδέονται με μια μπαταρία. Η "κύρια καμπύλη" (droop master) είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της λειτουργίας της συστάδας. Αυτή λειτουργεί όπως περιγράφηκε στην παραπάνω «λειτουργία καμπύλης» και έτσι συγχρονίζει αντίστοιχα στο γενικό σύστημα ισχύος άλλους «τριφασικούς αντιστροφείς συστάδας». Η "κύρια καμπύλη" (droop master) επικοινωνεί με την φάση τροφοδότησης σκλάβων L2 και L3 με ένα σχετικά αργό RS485 διαύλο. Αυτή η επικοινωνία χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφοριών όπως τα σήματα έναρξης/παύσης και οι τιμές μέτρησης (π.χ. ρεύμα μπαταριών των σκλάβων φάσης, ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος κ.λπ.). Επιπλέον, η "κύρια κλίση" (droop master) παράγει ένα σήμα συγχρονισμού στην αρχή κάθε ημιτόνου της εναλλασσόμενης τάσης. Αυτό το σήμα διανέμεται μέσω των ξεχωριστών καλωδίων στους αντιστροφείς σκλάβους οι οποίοι υπολογίζουν τη συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματός τους και ελέγχουν την τάση όσον αφορά στη μετατόπιση φάσης στα τριφασικά συστήματα (+-120°).



Σχέδιο 4 : τριφασικός αντιστροφέας συστάδας

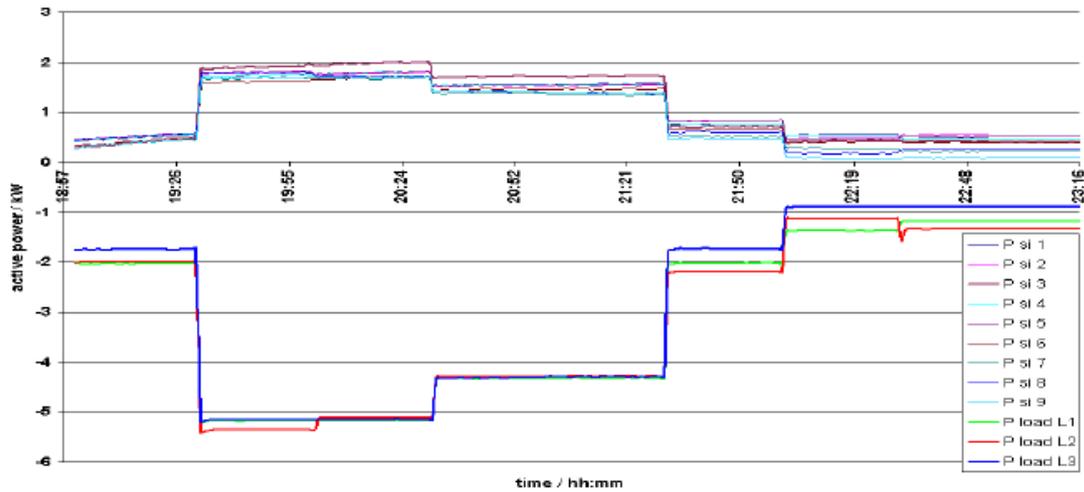
6.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΙΔΕΙΞΕΙΣ "HYBRIX" (SAN Agustin, ΙΣΠΑΝΙΑ)

Η τριφασική παράλληλη λειτουργία αυτήν την περίοδο εφαρμόζεται στην πειραματική εγκατάσταση "HYBRIX". Το σύστημα είναι μέρος του "κέντρου δοκιμής και επίδειξης Iberdrola ". Αποτελείται από τους "Sunny island" αντιστροφείς μπαταριών 3 X 3, τρεις μπαταρίες οξειδίου του μολύβδου (2x2200 Ah, 1x800 Ah, 60 volts), δεκαπέντε Sunny Boy PV string αντιστροφείς(27kW), ένα 10 kW Vergnet μετατροπέα ενέργειας αέρος(WEC) και γεννητριών πετρελαίου 20 kVA. Κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής φάσης το σύστημα είναι συνδεδεμένο με ένα σύνολο φορτίων που επιτρέπουν την αυτόματη εφαρμογή ενός δοσμένου προφίλ φορτίου . Σαν ένα επόμενο βήμα, μια επιλογή είναι η αυτόνομη προμήθεια του κτιρίου της Iberdrola .



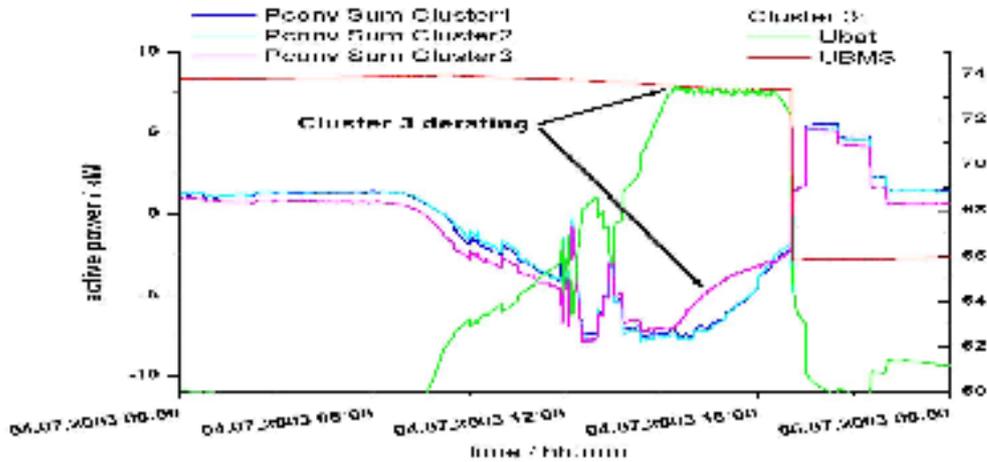
Σχήμα 5α: PV and WEC , Σχήμα 5β: αντιστροφείς «Sunny Island», Σχήμα 5γ: 20 kVA εγκατάσταση γεννητριών πετρελαίου

Το σχήμα 6 δείχνει ελεγκτικά αποτελέσματα από το σύστημα στην τριφασική παράλληλη λειτουργία. Η απαίτηση φορτίων (αρνητικές τιμές), περίπου 15 kW μέγιστη τιμή, καλύπτεται σε αυτήν την περίπτωση, από τρεις συστάδες "Sunny island" (PSI 1-3, PSI 4-6, PSI 7-9). Όλες οι συστάδες λόγω του ελέγχου καμπύλης αποκρίνονται αμέσως στα βήματα των φορτίων.



Σχήμα 6: ενεργός διανομή ισχύος τριών συστάδων “Sunny Island”

Η ενεργός διανομή ισχύος μεταξύ των αντιστροφένων μπορεί να επηρεαστεί αλλάζοντας το αδρανές καθορισμένο σημείο της συχνότητας κάθε συστάδας. Το ακόλουθο σχέδιο δείχνει αποτελέσματα ελέγχου κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας φόρτισης. Τη στιγμή όπου η τάση μπαταρίας της συστάδας τρία φθάνει στη συνιστώμενη τάση (έξοδος του συστήματος διαχείρισης μπαταριών), ο έλεγχος λειτουργίας επηρεάζει το αδρανές καθορισμένο σημείο της συχνότητας. Αυτό οδηγεί στη χαμηλότερη λαμβανόμενη ισχύ και μια ελεγχόμενη τάση μπαταριών.



Σχήμα 7: Ενεργός διανομή δύναμης κατά τη διάρκεια της φόρτισης

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η δυνατότητα πραγματοποίησης και τα πλεονεκτήματα των αντιστροφών μπαταριών παράλληλης λειτουργίας, σε PV επιμέρους ενοτήτων και σε RE υβριδικά συστήματα, έχουν παρουσιαστεί. Η απόδοση και η επεκτασιμότητα των υβριδικών συστημάτων βελτιώνονται με την εισαγωγή των αλγορίθμων ελέγχου που εφαρμόζονται στα ενεργά χαρακτηριστικά της ισχύος/συχνότητας και επομένως και της ισχύος/τάσης. Αυτοί είναι συμβατοί με τα συμβατικά διασυνδεδεμένα πλέγματα. Τα υβριδικά συστήματα με τέτοια χαρακτηριστικά γνωρίσματα για τη διανομή ισχύος είναι τα καταλληλότερα για αποκεντρωμένους σκοπούς ηλεκτρικής και έτσι για τη διάδοση των PV και των RE τεχνολογιών. Η ανάπτυξη των αντιστροφών μπαταριών που συγχρονίζονται με κλίση θα αυξήσει επομένως την αξιοπιστία των συστημάτων ανεφοδιασμού και θα απλοποιήσει τον εποπτικό έλεγχο. Ένα καινοτόμο σχέδιο συστημάτων που χαρακτηρίζεται από εύκολο επεκτασιμότητα θα αποδώσε

