



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

*ΓΙΩΝΝΑ ΕΙΡΗΝΗ
ΚΑΠΕΤΑΝΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ*

*Επιβλέπων Καθηγητής
Εμμανουήλ Καραπιδάκης*

*Χανιά
Σεπτέμβριος 2011*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	2
1.1 Πελάτες	3
1.2 Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας	5
1.3 Σύστημα διανομής	8
1.4 Διασυνδέσεις	12
1.5 Ηλεκτρικό δίκτυο (Grid)	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	14
2.1 Ηλεκτρική ενέργεια	15
2.2 Εννοιες που σχετίζονται με την ροή της ηλεκτρικής ενέργειας	19
2.3 Συνεχές ρεύμα	20
2.4 Εναλλασσόμενο ρεύμα	20
2.5 Τρεις φάσεις	23
2.6 Συγχρονισμός	23
2.7 Χαρακτηριστικά συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος	24
2.7.1 Ωμική αντίσταση	24
2.7.2 Αυτεπαγωγή και επαγωγική αντίσταση	24
2.7.3 Επαγωγική αντίσταση	25
2.7.4 Χωρητικότητα και χωρητική αντίσταση	25
2.7.5 Χωρητική αντίσταση	26
2.7.6 Ηλεκτρική αντίσταση	26
2.7.7 Μιγαδική αντίσταση	27
2.7.8 Νόμος του Ohm για το εναλλασσόμενο ρεύμα	28
2.8 Ισχύς σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος	29
2.8.1 Πραγματική ισχύς	29

2.8.2	Άεργη ισχύς	30
2.9	Πλεονεκτήματα εναλλασσόμενου ρεύματος σε σχέση με το συνεχές	32
2.10	Μετασχηματιστές	32
2.11	Ροή ισχύος	34
2.11.1	Διαχωρισμός των ροών ισχύος μεταξύ των γραμμών μεταφοράς	34
2.11.2	Πτώση τάσης και ροή άεργης ισχύος	34
2.11.3	Διαφορές ροών ισχύος και γωνιών φάσεων	35
2.12	Σταθερότητα	35
2.13	Αποτελέσματα αστάθειας	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 40

3.1	Τελικές χρήσεις ηλεκτρισμού	40
3.2	Κατηγορίες πελατών	41
3.3	Ποσοστό ομάδων	43
3.4	Ζήτηση και ενέργεια	44
3.5	Ενέργεια	45
3.6	Επιπτώσεις της πολυμορφίας του φορτίου	46
3.7	Σύστημα φορτίου	48
3.8	Διαχείριση φορτίου	50
3.9	Άεργη ισχύς	53
3.10	Προβλεψεις	53
3.11	Απώλειες και μη μετρήσιμη ενέργεια στο σύστημα παροχής	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΠΑΡΑΓΩΓΗ60

4.1	Είδη παραγωγής	61
4.1.1	Ατμοστρόβιλοι	62
4.1.2	Αεριοστρόβιλοι καύσης	63
4.1.3	Υδροστρόβιλοι	63
4.1.4	Αντλιοσταμείωση	64
4.1.5	Πυρηνικές μονάδες	65
4.1.6	Παλινδρομικοί κινητήρες	65

4.1.7	Μικρο-τουρμπίνες	66
4.1.8	Άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας	66
4.2	Χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής	68
4.2.1	Μέγεθος	70
4.2.2	Αποτελεσματικότητα	73
4.2.3	Διαθεσιμότητα	74
4.3	Κόστος κεφάλαιου παραγωγής	76
4.4	Είδη χρήσης	77
4.5	Διάρκεια ζωής	79
4.6	Σύγχρονες γεννήτριες	80
4.7	Προμήθεια πηγών	81
4.8	Μετρήσεις καυσίμων	82
4.9	Μεταφορά καυσίμων	83
4.10	Χρησιμοποιούμενα καύσιμα	84
4.11	Αγορά καυσίμων	86
4.12	Κανονισμοί εκπομπών	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	86
5.1	Συστατικά	87
5.1.1	Εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης (HVAC) - Εναέριο	87
5.2	Εκτίμηση	89
5.3	Καλώδια	90
5.3.1	Υποβρύχια καλώδια	91
5.4	Υποσταθμοί	92
5.5	Εξοπλισμός υποσταθμού	93
5.6	Ρυθμίσεις διακόπτη υποσταθμού	100
5.7	Παλαίωση συστήματος μεταφοράς	100
5.8	HVDC	101
5.9	Πλεονεκτήματα του HVDC	103
5.10	Μειονεκτήματα του HVDC	104

5.11 Γνώσεις που απαιτούνται σε ένα σύστημα μεταφοράς	104
---	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΝΟΜΗ

6.1 Αρχικοί τροφοδότες	106
6.1.1 Ακτινικά Συστήματα	107
6.1.2 Συστήματα Βρόχου	108
6.1.3 Πρωτοβάθμια Συστήματα Δικτύου	108
6.2 Μετασχηματιστές διανομής	108
6.3 Δευτερεύοντα συστήματα	109
6.4 Χωρητικότητα διανομής	111
6.5 Απώλειες	112
6.6 Εκτιμήσεις	112
6.7 Μέτρηση	113
6.8 Έλεγχος της τάσης	114
6.8.1 Πυκνωτές	115
6.8.2 Ρυθμιστές τάσης	115
6.9 Αξιοπιστία	116
6.9.1 Ποιότητα της υπηρεσίας	117
6.10 Σχεδιασμός των συστημάτων διανομής	117
6.11 Κατανεμημένη παραγωγή	118
6.12 Συστήματα λειτουργίας και διανομής	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.1 Συντονισμός	121
7.2 Λειτουργία	124
7.2.1 Περιοχές ελέγχου	124
7.2.2 Αποθεματικά λειτουργίας	129
7.2.3 Βοηθητικές υπηρεσίες	130

7.2.4	Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης	130
7.2.5	Λειτουργία έκτακτης ανάγκης	132
7.3	Παράλληλη ροή μονοπατιού και ροή βρόχου	133
7.4	Όρια μεταφοράς ενέργειας	133
7.4.1	Προσδιορισμός της συνολικής χωρητικότητας μεταφοράς	135
7.4.2	Μείωση μεταφοράς ενέργειας - Διαχείριση συμφόρησης	136
7.5	Σχεδιασμός	137
7.6	Πρότυπα σχεδιασμού	138
7.6.1	Σχεδιασμός παραγωγής	139
7.6.2	Σχεδιασμός ελάχιστου κόστους	141
7.6.3	Σχεδιασμός μεταφοράς	142
7.6.4	Μελέτες Φορτίου-Ροής	144
7.6.5	Μελέτες σταθερότητας	145
7.6.6	Μελέτες εμφάνισης βραχυκυκλώματος	146
7.7	Περιβάλλον νέου σχεδιασμού	147

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 151

8.1	Κόστος των διακοπων ενέργειας	154
8.2	Τρόποι μέτρησης της αξιοπιστίας	155
8.3	Σχεδιασμός και λειτουργία ενός αξιοπιστου και κατάλληλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	157
8.3.1	Ασφάλεια μετάδοσης και συντονιστές ασφάλειας	159
8.3.2	Πληρωμή επιπλέον αξιοπιστίας	162
8.3.3	Συμμόρφωση	163
8.4	Παραγωγή	163
8.5	Διαβίβαση	165
8.5.1	Προβλήματα του συστήματος διαβίβασης	165
8.5.2	Πρότυπα σχεδιασμού και λειτουργίας	168
8.5.3	Έλεγχος τάσης και αντίδρασης	169
8.6	Διανομή	170

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μελλοντικές συνθήκες αξιοπιστίας σχετικά με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δεν υπόκεινται σε ακριβείς αναλύσεις. Οι συνθήκες φορτίου στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας διαφοροποιούνται συνεχώς καθώς οι συσκευές που χρησιμοποιεί ο πελάτης είναι ανοιχτές και κλειστές. Καθώς τα φορτία ποικίλλουν και ο εξοπλισμός προμήθειας αφαιρείται συχνά λόγω αναγκαίας συντήρησης ή βλάβης, οι ιδανικές συνθήκες δεν μπορούν να υπάρχουν για δύο από τις 8.760 ώρες του χρόνου. Ενώ στατιστικά μπορούν να υπολογιστούν, για πολλούς άλλους παράγοντες θα πρέπει να γίνει παραδοχή. Εννοείται πως οι καλύτερες μεμονωμένες εταιρείες ή οργανισμοί που μπορούν να εκτιμήσουν τις μελλοντικές συνθήκες αξιοπιστίας, είναι αυτοί που είναι οι πλέον εξοικειωμένοι με αυτούς τους παράγοντες. Πρέπει να είναι κοντά σε αυτό που συμβαίνει, να είναι ικανοί να εκτιμήσουν τις μελλοντικές συνθήκες, να κρίνουν την βεβαιότητα των σχετικών προβλέψεων, καθώς και να αξιολογούν του σχετικούς κινδύνους των εναλλακτικών τρόπων δράσης. Οι αξιόπιστοι προσδιορισμοί είναι σχετικοί καθώς οι καλύτεροι πραγματοποιήθηκαν από τις βιομηχανίες που είχαν μεγαλύτερη εμπειρία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια επισκόπηση πάνω στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας διακινεί την ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες της, οι οποίοι, με τη σειρά τους, την χρησιμοποιούν σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ενώ η ισχύς και η ενέργεια είναι συναφή, οι πελάτες συνήθως πληρώνουν για την ενέργεια που λαμβάνουν και όχι για την ισχύ.

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- Τους πελάτες, οι οποίοι χρειάζονται την ηλεκτρική ενέργεια και τις συσκευές, με τις οποίες χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια – ηλεκτρικές συσκευές, φώτα, κινητήρες, υπολογιστές, βιομηχανικές διαδικασίες, και ούτω καθεξής.
- Τις πηγές ηλεκτρικής ενέργειας – σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας / παραγωγή ηλεκτρισμού σε διάφορα είδη και μεγέθη,
- Τα συστήματα διακίνησης, με τα οποία κινείται η ηλεκτρική ενέργεια από τις γεννήτριες στους πελάτες.

Στο σύνολό τους, όλα τα μέρη που συνδέονται μεταξύ τους με ηλεκτρισμό ή έμμεσα, λειτουργούν σε ισορροπία ηλεκτρισμού. Ο τεχνικός όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε την ισορροπία που παρατηρείται όταν οι γεννήτριες λειτουργούν σε συγχρονισμό με κάποιο άλλο από τα μέρη του συστήματος. Αργότερα, θα γίνει αναφορά για την διαδικασία συγχρονισμού που πραγματοποιείται στις Η.Π.Α. και στον Καναδά.

1.1 ΠΕΛΑΤΕΣ

Η χρήση των πελατών συνήθως αναφέρεται ως φορτίο πελατών ή «το φορτίο». Η μέγιστη χρήση, η οποία συνήθως μετράται σε ώρα, μισάωρο ή 15 λεπτά (μέγιστο ζήτησης), μετράται είτε σε κιλοβατώρες είτε σε μεγαβατώρες. Οι κιλοβατώρες χρησιμοποιούνται για την ενέργεια που χρησιμοποιείται σε ένα οικιακό ή μικρό εμπορικό πελάτη, ενώ οι μεγαβατώρες χρησιμοποιούνται από τους μεγαλύτερους εμπορικούς πελάτες.

Η χρήση στις βιομηχανίες περιλαμβάνεται σε ομάδα πελατών με κοινά πρότυπα χρήσης. Συνήθως, οι κατηγορίες πελατών διακρίνονται σε:

- Οικιακούς πελάτες
- Εμπορικούς πελάτες
- Βιομηχανικούς πελάτες
- Κρατικούς πελάτες
- Μεταφορές / Σιδηρόδρομος

Ο λόγος για τον οποίο διαχωρίζουμε τους πελάτες σε κατηγορίες, είναι για τον υπολογισμό του κόστους, το οποίο διαφέρει για κάθε ομάδα πελατών σύμφωνα με τις παροχές ηλεκτρικής ενέργειας. Από κάθε ομάδα πελατών παρατηρούνται διαφορετικές συνήθειες χρήσης με διαφορετικές επιπτώσεις στο κεφάλαιο και στο κόστος λειτουργίας. Σε ένα ρυθμιζόμενο περιβάλλον, όπου οι πελάτες χρεώνονται για την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το κόστος της παροχής αυτής, οι εν λόγω ταξινομήσεις επιτρέπουν διαφορετικούς καταλόγους με τα τέλη (ποσοστά) που αναπτόσσονται για κάθε κατηγορία πελατών.

Επίσης, αναλύοντας διαφορετικούς τύπους πελατών, διευκολύνεται η πρόβλεψη των μεταβολών των ηλεκτρικών απαιτήσεων για κάθε πελάτη. Οι προβλέψεις αυτές απαιτούνται για σχεδιασμούς μακράς εμβέλειας και λειτουργικούς σκοπούς μικρής εμβέλειας.

Οι απαιτήσεις μεμονωμένων πελατών ποικίλουν ανάλογα με το είδος του πελάτη και την ώρα κατά την διάρκεια της ημέρας, την ημέρα κατά την διάρκεια της εβδομάδας και την εποχή. Για παράδειγμα, η ώρα αιχμής για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για έναν οικιακό πελάτη είναι τις νυχτερινές ώρες κατά την διάρκεια των ζεστών ημερών του καλοκαιριού επειδή γίνεται ταυτόχρονη χρήση του κλιματισμού, των φώτων και πιθανώς, της τηλεόρασης, του υπολογιστή και άλλων συσκευών. Για την ίδια μέρα, η ώρα αιχμής της κατανάλωσης για τον εμπορικό πελάτη είναι κατά τις απογευματινές ώρες, όταν οι εργαζόμενοι δουλεύουν.

Η ώρα αιχμής που παρατηρείται σε ένα σύστημα, μία εταιρεία ή μία γεωγραφική περιοχή, εξαρτάται από την παρουσία των οικιακών, εμπορικών και βιομηχανικών πελατών στην περιοχή. Η συνολική μέγιστη ετήσια ζήτηση των πελατών εξαρτάται συνήθως από τη διάρκεια των ζεστών καλοκαιρινών ημερών ή των κρύων χειμωνιάτικων ημερών καθώς επίσης, από την γεωγραφική τοποθεσία της περιοχής και τον βαθμό χρήσης των πελατών είτε για κλιματισμό είτε για θέρμανση. Τα ηλεκτρικά συστήματα κατασκευάζονται ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στο συνολικό σύστημα και στη μέγιστη ζήτηση των πελατών σε τοπικό επίπεδο για κάθε εποχή.

Ποικιλομορφία αναφέρεται και στις διαφορές ως προς τον χρόνο που παρατηρείται μέγιστη φόρτιση. Για παράδειγμα, εάν η έκταση μιας επιχείρησης είναι αρκετά εμπορική και μίας άλλης τοπική, οι αιχμές τους παρουσιάζονται διαφορετικές ώρες κατά την διάρκεια της ημέρας ή και διαφορετικές εποχές. Αυτή η χρονική διαφορά δίνει την δυνατότητα στην εταιρεία να επιτύχει εξοικονόμηση όσο αφορά την συνολική ποσότητα ή χωρητικότητα που απαιτείται.

Επιπλέον, τα είδη των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούν οι πελάτες εμφανίζουν σημαντική ανεκτικότητα σχετικά με την απόδοση του ηλεκτρικού

συστήματος σε περιόδους φυσιολογικής λειτουργίας, αλλά και σε περιόδους όπου εμφανίζονται ηλεκτρικές διαταραχές, όπως διακοπή ρεύματος, δυσλειτουργία και έλλειψη κινητήριων πηγών ή βλάβη σε μέρη του συστήματος διακίνησης. Ορισμένα είδη εξοπλισμού των πελατών χρησιμοποιούνται με σκοπό την παροχή επιπλέον υποστήριξης των συστημάτων ενέργειας διατηρώντας την τάση.

Το ηλεκτρικό σύστημα έχει κατάλληλο εξοπλισμό μέτρησης με σκοπό την μέτρηση και την καταγραφή της ηλεκτρικής χρήσης μεμονωμένων πελατών (εξαιρέση αποτελεί ο φωτισμός των οδών) και συστημάτων ώστε να συλλέγουν τα αντίστοιχα έσοδα. Για τους περισσότερους πελάτες, οι μετρητές μετράνε την συνολική χρήση ενέργειας. Για τους μεγαλύτερους πελάτες (συνήθως εμπορικούς και βιομηχανικούς), οι μετρητές καταγράφουν επίσης, τη μέγιστη ζήτηση.

1.2 ΠΗΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπάρχει ένα πλήθος διαδικασιών για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η πιο συνηθισμένη εμπορική διαδικασία είναι η χρήση μιας σύγχρονης γεννήτριας, η οποία λειτουργεί με τη βοήθεια περιστρεφόμενης τουρμπίνας. Ο συνδιασμός ονομάζεται τουρμπινο-γεννήτρια.

Τα πιο συνηθισμένα είδη τουρμπινο-γεννητριών είναι εκείνα όπου ένα ορυκτό καύσιμο καίγεται σε ένα βραστήρα με σκοπό την παραγωγή θερμότητας και την μετατροπή του νερού σε ατμό με κίνηση της τουρμπίνας. Η τουρμπίνα έρχεται σε επαφή με τον περιστρεφόμενο άξονα (οπλισμός ή στροφείο) μίας σύγχρονης γεννήτριας, με αποτέλεσμα η ενέργεια περιστροφής να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Πέρα από την χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή θερμότητας με σκοπό την μετατροπή του νερού σε ατμό, υπάρχουν τουρμπινο-γεννήτριες οι οποίες βασίζονται

στην σχάση ραδιενεργών καυσίμων για την παραγωγή θερμότητας. Άλλες σύγχρονες γεννήτριες είναι εκείνες όπου η τουρμπίνα λειτουργεί με κίνηση ύδατος (υδρο-τουρμπίνες) καθώς και οι τουρμπίνες αερίου, οι οποίες λειτουργούν με τη βοήθεια των καυσαερίων κατά τη διαδικασία της καύσης του καυσίμου σε ένα δωμάτιο που περιέχει αέρα υπό πίεση.

Για κάθε είδος συστήματος, υπάρχουν ποικίλες παραλλαγές που ενσωματώνονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, με σκοπό την βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας. Επίσης, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα. Ένα παράδειγμα είναι ο συνδυασμός κυκλικών συστημάτων όπου η θερμότητα των καυσαερίων ενός αερίου χρησιμοποιείται ώστε να βοηθήσει την παροχή θερμότητας σε τουρμπίνες κινούμενες από ατμό. Συνήθως, παραπάνω από μία γεννήτρια διαφορετικού τύπου εγκαθίσταται στο ίδιο μέρος με σκοπό τη δυνατότητα συνδυασμού των εγκαταστάσεων υποδομής, όπως είναι τα συστήματα διακίνησης καυσίμων, οι πηγές νερού και τα κατάλληλα σημεία για την σύνδεση με το σύστημα διακίνησης.

Energy Source	Utilities Million - mWhrs	Non Utilities Million mWhrs	Total mWhrs	% of GRAND TOTAL
Coal	1,696.6	271.1	1,967.70	51.8%
Petroleum	72.2	36.6	108.80	2.9%
Gas	290.7	321.7	612.40	16.1%
Nuclear	705.4	48.5	753.90	19.8%
Hydroelectric	248.2	24.9	273.10	7.2%
Geothermal	0.2	14.0	14.20	0.4%
Other	2.1	67.8	69.90	1.8%
GRAND TOTAL	3,015.4	784.6 [§]	3,800.00	100.0%

Σχήμα 1. Εκμεταλλεύσιμες και μη πηγές ενέργειας το 2000

Ένα μικρό αλλά όχι ασήμαντο μέρος των πηγών ενέργειας περιλαμβάνουν τεχνολογίες οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Αυτές είναι η γεωθερμία, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα. Στις περισσότερες

από αυτές τις τεχνολογίες παράγεται συνεχές ρεύμα (dc), με αποτέλεσμα η χρήση μετατροπέων να είναι απαραίτητη. Για την διαβίβαση και χρήση του ρεύματος χρειάζεται το συνεχές ρεύμα να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο (ac).

Η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων και μη χρησιμοποιούμενων πηγών ενέργειας στις Η.Π.Α. το 2000, η οποία ανέρχεται σε 811.625 μεγαβάτ. Στο σχήμα 1 αναγράφονται οι ποικίλες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις Η.Π.Α.

Οι γεννήτριες, που επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν ώστε να προμηθεύουν διάφορα μέρη της ημερήσιας φόρτισης που χρειάζονται οι πελάτες, διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος. Υπάρχουν γεννήτριες που είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να λειτουργούν συνεχόμενα ολόκληρη τη μέρα. Αυτές αποτελούν το βασικό είδος γεννήτριας φόρτισης. Ένα άλλο είδος γεννήτριας είναι σχεδιασμένο ώστε λειτουργεί μόνο για μικρές περιόδους όπου παρατηρείται το μέγιστο της ζήτησης των πελατών. Αυτές οι γεννήτριες ονομάζονται γεννήτριες αιχμής. Άλλες είναι σχεδιασμένες ώστε να έχουν διακοπόμενη λειτουργία.

Μία σημαντική παράμετρος για την επιλογή συγκεκριμένης γεννήτριας είναι η σχέση κόστους εγκατάστασης και κόστους λειτουργίας. Οι βασικές γεννήτριες φόρτισης εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα χωρητικότητας από τις γεννήτριες αιχμής αλλά αρκετά μεγαλύτερη αποδοτικότητα και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Επιπλέον, πρέπει να συμπεριλάβουμε στην τελική απόφαση και το κόστος των καυσίμων.

Πριν την εφαρμογή βέβαια, θα πρέπει η πηγή ενέργειας να είναι διαθέσιμη σε τέτοια ποσότητα ώστε να μπορεί να προβλεφθεί η εποχιακή μέγιστη ζήτηση των πελατών χωρίς να απειλούνται τα αποθέματα. Τα περιθώρια αποθεματικών καθορίζονται από την διεξαγωγή μελετών που βασίζονται στις

πιθανότητες, όπως είναι η σχέση μεταξύ των υπαρχόντων πηγών και των μελλοντικών φορτίων. Τα συστήματα που βασίζονταν κυρίως σε πηγές ύδατος εμφάνισαν χαμηλότερα περιθώρια αποθεματικού (~12%), από τα συστήματα που περιέχουν πυρηνική ενέργεια, ενέργεια άνθρακα ή ενέργεια προερχόμενη από καύση πετρελαίου (~16-24%). Μεγάλο αντίκτυπο στα αποθέματα παρουσιάζει η διαθεσιμότητα μια πηγής σε γειτονικά συστήματα κατά τη διάρκεια ελλείψεων των άλλων πηγών.

1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η διανομή της ηλεκτρικής από την πηγή ενέργειας στους πελάτες γίνεται μέσω ενός συστήματος εναέριων, υπόγειων και υποθαλάσσιων καλωδίων. Το σύστημα διανομής, το οποίο λειτουργεί με ηλεκτρισμό ως τριφασικό, εναλλασσόμενο σύστημα, έχει τέσσερα μέρη:

1. Κύρια γραμμή διαβίβασης
2. Δευτερεύουσα γραμμή διαβίβασης
3. Πρωτογενής διανομή
4. Δευτερεύουσα διανομή

Τα σύρματα που συνθέτουν τις τρεις φάσεις ονομάζονται συλλογικά γραμμή, κύκλωμα, ή τροφοδότης με τη διανομή.

Το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί το κάθε ένα μέρος από τα 4 μέρη του συστήματος διανομής είναι η τάση στην οποία λειτουργούν. Σε οποιαδήποτε περιοχή της χώρας, η κύρια γραμμή διαβίβασης λειτουργεί στις υψηλότερες τάσεις, η δευτερεύουσα γραμμή διαβίβασης σε χαμηλότερη τάση, ενώ στην συνέχεια ακολουθούν η πρωτογενής διανομή και η δευτερογενής διανομή.

Όσο αφορά την κύρια γραμμή διαβίβασης, δεν έχει ορισθεί ποια πρέπει να είναι η τάση. Κάποιες οργανώσεις υποστηρίζουν ότι τα επίπεδα τάσης πρέπει

να είναι 230kV και πάνω ενώ κάποιες άλλες υποστηρίζουν τα 115kV και πάνω. Στο σχήμα 2 εμφανίζονται οι τιμές των τάσεων για κάθε μέρος του συστήματος διανομής στις Η.Π.Α.

Το σύστημα της κύριας γραμμής διαβίβασης εμφανίζει διαφορετικά χαρακτηριστικά από μέρος σε μέρος στις Η.Π.Α., λόγω των διαφορών στις θέσεις των μονάδων παραγωγής και των σταθμών σε σχέση με την φόρτιση των κέντρων, των διαφορών των μονάδων παραγωγής σε σχέση με το μέγεθος και το είδος, των διαφορών στις γεωγραφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες και της διαφορετικής ηλικία των κύριων γραμμών διαβίβασης. Λόγω αυτών των διαφορών, παρατηρούμε μία διακύμανση στις τιμές της τάσης στις κύριες γραμμές διαβίβασης σε διάφορα μέρη της χώρας, όπως για παράδειγμα 765, 500 και 345kV.

System	Voltages Included
Transmission [#]	765kV, 500kV, 345kV 230kV, 169kV, 138kV, 115kV
Subtransmission	138kV, 115kV, 69kV, 33 kV, 27 kV
Primary distribution	33kV, 27kV, 13.8kV, 4kV
Secondary distribution	120/240 volts, 120/208 volts, 240/480 volts

Σχήμα 2. Κατηγοριοποίηση των τάσεων στις Η.Π.Α.

Voltage	Miles of Transmission Line
ac	
230 kV	76.762
345 kV	49,250
500kV	26,038
765 kV	2,453
Total AC	154,503
dc	
250-300 kV	930
400 kV	852
450 kV	192
500 kV	1,333
Total DC	3,307
Total ac & dc	157,810

Σχήμα 3. Κύκλωμα κύριων γραμμής διαβίβασης σε μίλια στις Η.Π.Α. (1999)

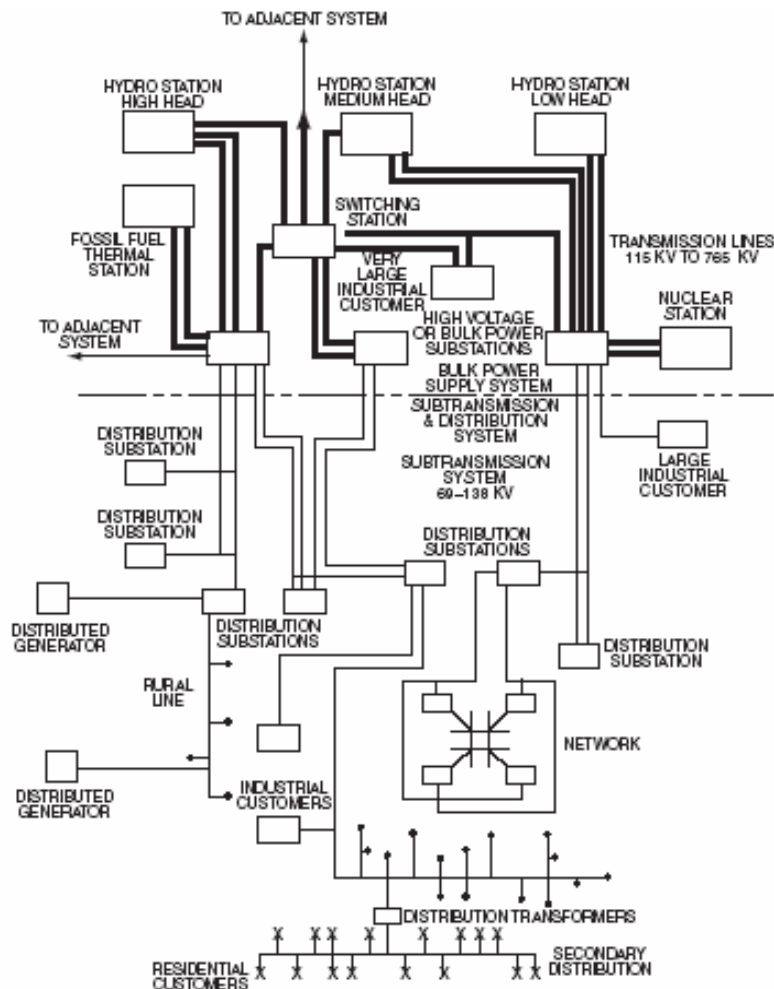
Καθώς η βιομηχανία αναπτυσσόταν, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας κατασκευάζονταν μακριά από τα πυκνοκατοικημένα κέντρα φόρτισης των πελατών, με αποτέλεσμα το σύστημα κύριων γραμμών διαβίβασης υψηλής τάσης να θεωρείται ο πιο οικονομικός και αξιόπιστος τρόπος μετακίνησης της ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές. Όταν χτίστηκαν νέες, μεγάλες, κεντρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, είτε συνδέθηκαν με τα πλησιέστερα σημεία των υφιστάμενων συστημάτων, είτε χρησιμοποιήθηκαν ως έναυσμα για την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς σε νέες υψηλότερες τάσεις. Τα σημεία σύνδεσης καλούνται υποσταθμοί ή σταθμοί μεταγωγής. Αυτές οι νέες γραμμές υψηλής τάσης συνδέθηκαν με το υπάρχον σύστημα μέσω μετασχηματιστών. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται μερικές φορές ως επικάλυψη και έχει ως αποτέλεσμα την ένωση των παλιών δικτύων με τις κύριες γραμμές διαβίβασης μέχρι κάποια τιμή τάσης και την σύνδεση νεότερων και μεγαλύτερων μονάδων παραγωγής σε νέα, υψηλότερα επίπεδα τάσης. Ως αποτέλεσμα, οι εγκαταστάσεις χαμηλότερης τάσης άρχισαν να καλούνται δευτερεύουσες γραμμές διαβίβασης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3, το 1999 υπήρχαν σχεδόν 154.000 μίλια κύριων γραμμών διαβίβασης HVAC, οι οποίοι λειτουργούσαν σε τάσεις μεγαλύτερες από 230kV στις Η.Π.Α.

Οι μετασχηματιστές επιτρέπουν στα καλώδια με διαφορετικές τάσεις να λειτουργήσουν σε ένα κοινό σύστημα. Ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται για τη σύνδεση 2 ή περισσότερων επιπέδων τάσης. Οι μετασχηματιστές εγκαθίστανται στις εγκαταστάσεις παραγωγής με σκοπό την σύνδεση των γεννητριών, οι οποίες εμφανίζουν τελική τάση μεταξύ 13 και 24kV, με τις κύριες γραμμές διαβίβασης. Αυτοί καλούνται μετασχηματιστές γεννητριών 'step-up'. Καθώς το σύστημα διανομής φέρνει την ηλεκτρική ενέργεια πιο κοντά στους πελάτες, οι μετασχηματιστές συνδέουν τα συστήματα υψηλότερης τάσης με τις εγκαταστάσεις χαμηλότερης τάσης. Οι συνδέσεις

μπορούν να πραγματοποιηθούν στα τοπικά συστήματα δευτερευόντων γραμμών διαβίβασης ή απευθείας στην πρωτογενή διανομή. Αυτοί καλούνται μετασχηματιστές 'step-down'. Στο σχήμα 4 παρατηρούμε το σχεδιάγραμμα ενός συστήματος.

Το σημείο σύνδεσης του συστήματος κύριων γραμμών διαβίβασης ή δευτερευόντων γραμμών διαβίβασης και της πρωτογενούς διανομής καλείται υποσταθμός διανομής. Ανάλογα με το μέγεθος του φορτίου που παρέχεται, μπορεί να υπάρξουν μία ή και παραπάνω κύριες ή δευτερεύουσες γραμμές διαβίβασης που να προμηθεύουν τον υποσταθμό διανομής. Ένας υποσταθμός διανομής προμηθεύει έναν αριθμό αρχικών τροφοδοτών διανομής. Αυτοί οι τροφοδοτές διανομής προμηθεύουν μεγαλύτερους πελάτες απευθείας ή συνδέονται με συστήματα δευτερογενούς διανομής μέσω ενός μετασχηματιστή που τοποθετείται στην κορυφή ενός τοπικού πόλου ή σε μια μικρή υπόγεια εγκατάσταση.

Ανάλογα με το μέγεθος της μέγιστης ζήτησης, οι πελάτες μπορούν να συνδεθούν σε ένα από τα 4 συστήματα. Συνήθως, οι οικιακοί πελάτες συνδέονται με το σύστημα δευτερογενούς διανομής. Οι εμπορικοί πελάτες, όπως μπορεί να είναι τα σούπερ μάρκετ ή ένα εμπορικό κτίριο γραφείων, συνδέονται συνήθως με το σύστημα πρωτογενούς διανομής. Οι πολύ μεγάλοι πελάτες όπως είναι οι βιομηχανίες σιδήρου ή αλουμινίου συνδέονται είτε με το σύστημα δευτερευόντων είτε με το σύστημα κύριων γραμμών διαβίβασης.



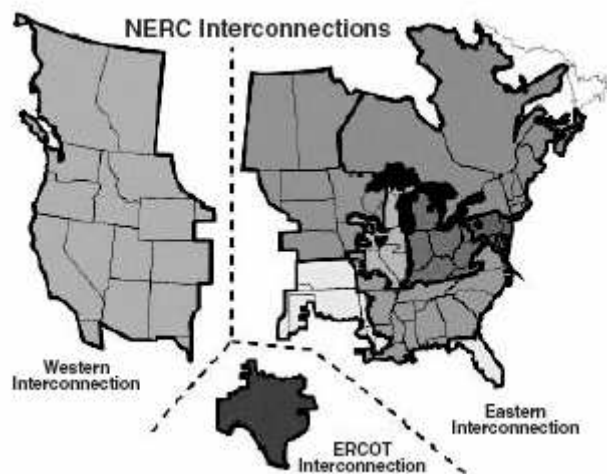
Σχήμα 4. Σχεδιάγραμμα ηλεκτρικού συστήματος

1.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΞΕΙΣ

Καθώς οι μεμονωμένες εταιρείες φτιάχνουν το δικό τους σύστημα κύριων γραμμών διαβίβασης, είναι προφανές ότι υπήρχαν πολλοί λόγοι να κατασκευαστούν συνδέσεις κύριων γραμμών διαβίβασης με τα κοντινότερα συστήματα. Κάποιοι από τους λόγους αναφέρονται παρακάτω:

- Κατανομή των αποθεμάτων παραγωγής, μειώνοντας έτσι, το συνολικό ποσό του δυναμικού παραγωγής και του απαιτούμενου επενδυτικού κεφαλαίου.
- Δυνατότητα αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό να επωφεληθούν διαφορές στο κόστος παραγωγής.

- Διευκόλυνση εργασιών, επιτρέποντας τον καλύτερο δυνατό σχεδιασμό συντήρησης.
- Δυνατότητα συνεργασίας με σκοπό την από κοινού κατασκευή και διαχείριση σταθμών παραγωγής ενέργειας.
- Παροχή τοπικής υποστήριξης φορτίου στα όρια ή κοντά στα όρια της εταιρείας.



Σχήμα 5. Τα 3 αλληλένδετα ηλεκτρικά συστήματα στις Η.Π.Α. και στον Καναδά.

1.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (GRID)

Το προκύπτον σύστημα κύριων γραμμών διαβίβασης (μεταφοράς) δεν είναι μια γραμμική διάταξη από γραμμές που τρέφονται από τον ίδιο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και δεσμεύονται σε ένα ενιαίο πρωτογενές σύστημα διανομής, αλλά κάτι πιο σύνθετο. Οι μονάδες παραγωγής βρίσκονται σε διάφορα σημεία, όπως είναι οι θέσεις των υποσταθμών διανομής. Οι θέσεις παραγωγής συνδέονται συχνά απευθείας με ηλεκτρισμό μέσω των συστημάτων κύριων γραμμών διαβίβασης στους κοντινότερους υποσταθμούς όπου το δίκτυο κύριων γραμμών διαβίβασης συνδέεται. Άλλα δίκτυα κύριων γραμμών διαβίβασης συνδέουν του υποσταθμούς μαζί, ενώ

επίσης, συνδέουν τους υποσταθμούς διανομής, όπου υπάρχουν συνδέσεις σε εγκαταστάσεις χαμηλότερης τάσης. Επίσης, παρατηρούνται διασυνδέσεις κάποιων υποσταθμών με άλλες εταιρείες.

Γενικά, η ρύθμιση των δικτύων κύριων γραμμών διαβίβασης ενωμένες μαζί σε διάφορους υποσταθμούς παρέχει ένα μεγάλο πλεόνασμα όσο αφορά το μονοπάτι διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μηχανικοί έχουν επινοήσει όρους όπως «το ηλεκτρικό δίκτυο (grid)», «το κυρίως σύστημα ενέργειας» και «διασύνδεση» για να περιγράψουν το σύστημα διανομής. Το σχήμα 5 δείχνει τα 3 μεγάλα ηλεκτρικά δίκτυα στις Η.Π.Α. και στον Καναδά: την ανατολική διασύνδεση, την δυτική διασύνδεση και το ERCOT (το σύστημα του Τέξας). Οι γεννήτριες σε κάθε ηλεκτρικό δίκτυο λειτουργούν μεταξύ τους συγχρονισμένα. Η καναδική επαρχία του Κεμπέκ είναι διασυνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο των ανατολικών Η.Π.Α χωρίς συγχρονισμένους δεσμούς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφονται, όσο πιο απλά γίνεται, οι εφαρμοσμένοι φυσικοί νόμοι και οι έννοιες που χρειάζονται ώστε να γίνει κατανοητή η φυσική λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει γίνει προσπάθεια να παρουσιαστεί η ύλη με απλό τρόπο.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας περιγράφεται από τους νόμους της φυσικής, οι οποίοι παραμένουν αναλλοίωτοι. Ωστόσο, οι εμπορικές λειτουργίες είναι ένα αντικείμενο που βασίζονται στους ανθρώπινους κανόνες, οι οποίοι υπόκεινται σε

τροποποιήσεις και αλλαγές. Υπάρχει μία εσωτερική σχέση μεταξύ των δύο σε τέτοιο επίπεδο ώστε οι κανόνες που χρησιμοποιούνται στις εμπορικές λειτουργίες να αναγνωρίζουν και να σέβονται τους φυσικούς νόμους με τους οποίους το σύστημα ενέργειας λειτουργεί και οι εμπορικοί κανόνες προσδιορίζουν τον σχεδιασμό και την λειτουργία του συστήματος.

Να σημειωθεί ότι γίνεται περιγραφή της ορολογίας. Δεδομένου ότι η βιομηχανία ηλεκτρισμού αναπτύσσεται, σχετική ορολογία έχει εξελιχθεί, μέρος της οποίας έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2. Σε μερικές περιπτώσεις, οι λέξεις που χρησιμοποιούνται είναι συντομογραφίες μεγαλύτερων λέξεων, όπως για παράδειγμα 'amps' στη θέση του 'amperes', η οποία χρησιμοποιείται για την περιγραφή του ηλεκτρικού ρεύματος. Σε άλλες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται διάφοροι όροι για να περιγράψουν μία συγκεκριμένη έννοια, όπως για παράδειγμα οι όροι «το ηλεκτρικό δίκτυο (grid)», «το κυρίως σύστημα ενέργειας» και «διασύνδεση» για να περιγράψουν το σύστημα διανομής.

2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ενέργεια ορίζεται «η ικανότητα για δουλειά». Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μία από τις πολλές μορφές ενέργειας. Άλλες μορφές ενέργειας είναι η θερμική ή θερμότητα, η ηλιακή, η μηχανική και ούτω καθεξής. Η ενέργεια μπορεί να περιγραφεί και ως κινητική, δηλαδή η ενέργεια που σχετίζεται με την κίνηση ενός σώματος καθώς επίσης, και ως δυναμική, δηλαδή η ενέργεια που συνδέεται με την θέση ενός αντικειμένου.

Για αιώνες το ανθρώπινο είδος χρησιμοποιούσε την ενέργεια μέσα από τις διάφορες μορφές της ώστε να αναβαθμίζει το βιοτικό επίπεδο. Σε αρκετές περιπτώσεις, διάφοροι τρόποι έχουν επινοηθεί για την μετατροπή της ενέργειας από την μία μορφή στην άλλη με σκοπό να αυξηθεί η χρησιμότητά

της. Ένα παράδειγμα τόσο παλιό όσο το ανθρώπινο είδος είναι η καύση ενός καυσίμου για την παραγωγή θερμότητας και φωτός. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν μια υπηρεσία (ενέργεια σε χρησιμοποιήσιμη μορφή) και όχι ένα προϊόν για καταναλωτές.

Η ηλεκτρική ενέργεια διαθέτει μοναδικά χαρακτηριστικά που την καθιστούν εξαιρετικά πολύτιμη μορφή ενέργειας. Έχει μοναδικές ιδιότητες:

- Μπορεί να παραχθεί σε ένα σημείο και να διαβιβαστεί σε ένα άλλο στιγμιαία
- Μπορεί να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας και ως αποτέλεσμα, να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.
- Η διανομή μπορεί να γίνει μέσω συστήματος καλωδίων ελεγχόμενα.
- Δεν μπορεί να αποθηκευτεί.

Ως συνέπεια, η ορολογία ήταν ανέκαθεν ένα ζήτημα όσο αφορά τον ηλεκτρισμό και την ηλεκτρική ενέργεια. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ένα σύστημα μέτρησης το οποίο βασίζεται στο σύστημα MKS (μέτρο, χιλιόγραμμα, δευτερόλεπτο).

Στο σχήμα 6 αναφέρεται η ορολογία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή διάφορων παραμέτρων της ηλεκτρικής ενέργειας και η σχέση μεταξύ αυτών. Υπάρχει ένα ηλεκτρικό φορτίο που συνδέεται με τα ηλεκτρόνια. Το φορτίο αυτό περιγράφεται από το coulomb. Ο ρυθμός ροής αυτών των φορτίων ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα και περιγράφεται από το ampere. Ένα ampere ισούται με την ροή ενός coulomb του φορτίου ανά δευτερόλεπτο σύμφωνα με ένα σημείο αναφοράς. Για την περιγραφή του ρεύματος χρησιμοποιείται το κεφαλαίο γράμμα I. Σε μερικά βιβλία, το ηλεκτρικό ρεύμα αναφέρεται ως η φυσική ροή των ηλεκτρονίων. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Τα ηλεκτρόνια δεν ρέουν. Προτιμότερο είναι να αναφέρουμε ότι ο ηλεκτρισμός είναι η ροή της ενέργειας ως αποτέλεσμα των δονήσεων των ηλεκτρονίων. Ο μηχανισμός

βασίζεται στην μεταφορά ενέργειας από ένα ηλεκτρόνιο σε ένα άλλο καθώς αυτά συγκρούονται. Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη (EMF), η τάση και η διαφορά δυναμικού είναι οι διαφορετικές περιγραφές της έννοιας που προκαλεί την μεταφορά του φορτίου. Φυσικά, η τάση θα μπορούσε να προσδιοριστεί ως την ενέργεια ανά μονάδα φορτίου όπου η ενέργεια μετράται σε watt ανά δευτερόλεπτο. Μηχανικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η διαφορά δυναμικού (ή η διαφορά τάσης) ενός volt προκαλεί ρεύμα ενός ampere ώστε να μετακινήσει σε κύκλωμα που περιέχει αντίσταση ενός ohm.

Το γράμμα E χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε την πηγή τάσης όπως είναι η γεννήτρια ή η μπαταρία και καλείται συχνά ηλεκτρομαγνητική δύναμη. Το γράμμα V σε όλες τις άλλες περιπτώσεις. Και στις δύο περιπτώσεις το μέγεθος υπολογίζεται από την τάση. Ένα volt ισούται με ένα watt ανά δευτερόλεπτο της ενέργειας ανά coulomb φορτίου.

Η τάση θα μπορούσε να αναφερθεί ως το ηλεκτρικό δυναμικό που διανέμει την ενέργεια. Μέσω των διαφορών της τάσης υπολογίζεται το έργο που χρειάζεται ώστε να μετακινηθεί μια μονάδα φορτίου από ένα σημείο συγκεκριμένης τάσης σε άλλο σημείο διαφορετικής τάσης.

Quantity	Name or Unit	Symbol	Relationships
Electric charge	Coulomb	q	
Time	Seconds, Hours	t	
Current	Amperes	I	$I = q / t = V / R$
Resistance	Ohms	R	$R = V / I$
Inductive Reactance	Ohms	X_L	$X_L = 2\pi f L$
Capacitive Reactance	Ohms	X_C	$X_C = 1 / (2\pi f C)$
Impedance	Ohms	Z	$Z = R + j(X_L + X_C)$
Voltage	Electromagnetic force (EMF), Volts, kilovolts	E, V, kV	$V = I * R$ $V = J / Q$
Power or Real Power	Watts, kiloWatts, megaWatts,	P	$P = V * I$ $P = I^2 * R$ $P = V^2 / R$
Reactive Power	VARs, kiloVARs, megaVARs	Q	$Q = I^2 * X_L$ $Q = I^2 * X_C$
Apparent Power		S	$S = P + jQ$
Energy	kiloWatthours, megaWatthours, Joules	J	$J = V * I * t$ $J = I^2 * R * t$
Frequency	Hertz, cycles per second	f	

Σχήμα 6. Βασικές σχέσεις ηλεκτρισμού

Όταν η πηγή της τάσης εφαρμοστεί στα καλώδια, το ρεύμα θα διακινηθεί. Το υλικό στα καλώδια προσφέρει κάποια αντίσταση στη ροή του ρεύματος. Η αντίσταση περιγράφεται από το μέγεθος που καλείται 'ohm'. Ένα ohm περιγράφεται ως η αντίσταση του στοιχείου του κυκλώματος όταν εφαρμόζεται τάση ένα volt και ρεύμα ενός ampere. Η αντίσταση του καλωδίου εξαρτάται από το υλικό που είναι φτιαγμένο, τη διατομή και το μήκος του καλωδίου. Για ένα συγκεκριμένο υλικό, όσο μεγαλύτερη είναι η διατομή τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση. Το γράμμα R χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αντίσταση σε ohms. Η σχέση μεταξύ της τάσης, του ρεύματος και της αντίστασης είναι γνωστά ως ο Νόμος του Ohm. Σύμφωνα με τον Νόμο ισχύει: Τάση = ρεύμα × αντίσταση. Αυτή η σχέση χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συνεχές ρεύμα. Αργότερα θα δούμε μία εναλλακτική μορφή του Νόμου για να περιάψει το εναλλασσόμενο ρεύμα.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία υπολογίζεται από το μέγεθος watt ανά δευτερόλεπτο. Συχνά, στους λογαριασμούς των πελατών η ενέργεια αναγράφεται σε watt ανά ώρα. Ένα σχετικό μέγεθος άλλα διαφορετικό είναι η ηλεκτρική ισχύς, η οποία υπολογίζεται σε watt.

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, τα μεγέθη εμφανίζουν αρκετά μεγάλες τιμές ώστε πρέπει με κάποιο τρόπο να τα περιγράψουμε. Οι μεγαλύτερες τιμές που συναντούμε περιγράφονται από τους όρους κιλό ή μέγα. Για παράδειγμα, 1 kilovolt ισούται με 1000 volts, 1 kilowatt είναι 1000 watt, 1 megawatt ισούται με 1000 kilowatt, 1 κιλοβατώρα ισούται με 1000 κιλοβατώρες.

2.2 ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΡΟΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι δύο νόμοι που προσδιορίζουν το μοντέλο ροής της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ηλεκτρικών δικτύων είναι γνωστά ως νόμοι του Kirchhoff. Αυτοί οι νόμοι αντανακλούν δύο βασικές φυσικές έννοιες:

1. το αλγεβρικό άθροισμα των αλλαγών της τάσης σε ένα κλειστό κύκλωμα ισούται με μηδέν. Η τάση μέσω μιας πηγής λαμβάνεται θετική ενώ η αλλαγή της τάσης μέσω ενός στοιχείου (π.χ. αντιστάτης) λαμβάνεται αρνητική.
2. το αλγεβρικό άθροισμα του ρεύματος όταν εισέρχεται σε κοινό σημείο (π.χ. κόμβος) όπου 3 ή περισσότερες γραμμές ενώνονται ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων που εξέρχονται από το σημείο.

Όπως διαπιστώνει κανείς, σε ένα περίπλοκο δίκτυο γραμμών συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, η ροή της ενέργειας και του φορτίου σε μία γραμμή προσδιορίζεται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής, τα χαρακτηριστικά των άλλων γραμμών του δικτύου, την τοποθεσία των

ενώσεων και τις θέσεις των σημείων διανομής της ενέργειας. Όλες οι γραμμές που λειτουργούν στο δίκτυο, συμμετέχουν σε μεγαλύτερο βαθμό κάθε φορά που υπάρχει αύξηση της παραγωγής, με σκοπό την αύξηση του φορτίου.

2.3 ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ

Τα πρώτα συστήματα που εγκαταστάθηκαν από τον Edison χρησιμοποιούσαν τεχνολογία συνεχούς ρεύματος. Η ηλεκτρική ενέργεια σε ένα συνεχές σύστημα έχει την ίδια αρχή λειτουργίας όπως η μπαταρία όταν λειτουργεί. Εάν κοιτάξουμε σε ένα διάγραμμα την τάση και το ρεύμα, παρατηρούμε ότι και τα δύο εμφανίζουν μια σταθερή τιμή. Όχι πολύ αργότερα από την εγκατάσταση του συνεχούς ρεύματος του Edison, πραγματοποιήθηκε σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο εμφάνισε προτερήματα.

2.4 ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

Τα σύγχρονα ηλεκτρικά συστήματα είναι τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από σύγχρονες γεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την περιστρεφόμενη ενέργεια ενός άξονα σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο άξονας της γεννήτριας περιστρέφεται με την βοήθεια τουρμπίνας όπως θα αναφερθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Η μετατροπή της ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο που σχετίζεται με τον μαγνητισμό και τον ηλεκτρισμό και ονομάζεται επαγωγή. Εάν ένας βρόχος καλωδίου τοποθετηθεί στο πεδίο του περιστρεφόμενου μαγνήτη, θα παρατηρηθεί επαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο καλώδιο. Τα στροφέια των ηλεκτρικών γεννητριών κατασκευάζονται έτσι ώστε να μοιάζουν με μαγνήτες, οι οποίοι δίνουν ενέργεια στους αγωγούς που είναι ενσωματωμένοι με πηγή συνεχούς ρεύματος. Το σύστημα που παρέχει συνεχές ρεύμα στα στροφέια

ονομάζεται σύστημα διέγερσης. Το σύστημα των περιελίξεων του στροφείου που βρίσκονται στο πεδίο ενέργειας καλούνται πεδίο ή πεδίο κυκλώματος. Στις σύγχρονες γεννήτριες, η διέγερση συνεχούς ρεύματος προέρχεται από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία έχει μετατραπεί ώστε να παρέχει συνεχές ρεύμα.

Η διέγερση του συνεχούς ρεύματος βασίζεται στο μαγνητικό πεδίο από μέταλλο του στροφείου, το οποίο εκτείνεται στο κενό αέρος μεταξύ του στροφείου και στο σταθερό μέρος της γεννήτριας. Η ηλεκτρική ενέργεια επάγεται σε σπείρες που είναι τοποθετημένα σε σχισμές στο σταθερό μέρος της γεννήτριας. Η τάση που επάγεται σε κάθε σπείρα αντικατοπτρίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του μαγνητικού πεδίου που δημιουργούνται ανάλογα με την περιστροφή του στροφείου κάθε στιγμή. Το μέγεθος της επαγωγικής τάσης μπορεί να προσαρμοστεί προς τα πάνω ή κάτω ανάλογα με τη ροή συνεχούς ρεύματος του στροφείου. Αυτό επιτυγχάνεται από τον ρυθμιστή τάσης στο σύστημα διέγερσης, το οποίο ελέγχει την τάση στο τερματικό της ηλεκτρικής γεννήτριας και προσαρμόζει την τάση πεδίου προς τα πάνω ή κάτω όπως απαιτείται ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή τελική τάση της γεννήτριας.

Η τάση και το ρεύμα έχουν ημιτονοειδής μορφή. Σε κάθε περίοδο το σημείο μηδέν παρουσιάζεται στις 0° , αυξάνεται σε θετικό μέγιστο στις 90° , πέφτει στο μηδέν στις 180° , συνεχίζει σε αρνητικό μέγιστο στις 270° και επιστρέφει στο μηδέν στις 360° . Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 7. Η ημιτονοειδής μορφή αντικατοπτρίζει το περιστρεφόμενο μοτίβο του μαγνητικού πεδίου που παράγεται στο στροφείο. Εάν οι σταθερές σπείρες συνδεθούν με κάποιο εξωτερικό φορτίο, θα αρχίσει η ροή ρεύματος. Το ρεύμα εμφανίζει επίσης ταλάντωση από τη φύση. Γι αυτό καλείται εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο αριθμός των περιόδων που πραγματοποιούνται σε κάποιο προκαθορισμένο χρόνο, προσδιορίζουν την ηλεκτρική συχνότητα. Στις Η.Π.Α. και σε άλλες περιοχές του κόσμου, η συχνότητα προσδιορίζεται σε 60 hertz ή περιόδους ανά

δευτερόλεπτο. Σε άλλες περιοχές παρατηρείται συχνότητα 50 hertz. Η συχνότητα καθορίζεται από τον αριθμό των μαγνητικών κυκλωμάτων που τοποθετούνται στο στροφέιο. Η ηλεκτρική συχνότητα που παράγεται σε κάποια γεννήτρια ορίζεται ως:

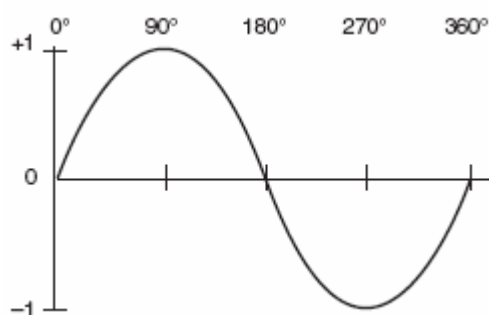
$$f = (n * p) / 60^{10}$$

Όπου, n: η ταχύτητα σε τροφές ανά λεπτό (rpm)

p: ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων

Οι τουρμπίνες ατμού περιστρέφονται σε υψηλές ταχύτητες. Για παράδειγμα, όταν δημιουργείται ένα μαγνητικό κύκλωμα, που σημαίνει 2 μαγνητικοί πόλοι (ένα ζευγάρι περιλαμβάνει τον βόρειο και τον νότιο πόλο), παρατηρείται ταχύτητα 3600 rpm και συχνότητα 60 hertz. Οι υδραυλικές τουρμπίνες περιστρέφονται σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες και εμφανίζουν αρκετούς πόλους για την παραγωγή της απαιτούμενης συχνότητας.

Λόγω της φυσικής ταλάντωσης της τάσης και του ρεύματος, προσδιορίζεται η αποτελεσματική τάση και η τιμή του ρεύματος. Αυτές οι αποτελεσματικές τιμές θεωρούνται ισοδύναμες με την τάση συνεχούς ρεύματος και το ρεύμα που θα παραγόταν για την ίδια κατανάλωση ισχύος (ή θερμότητας) σε μία αντίσταση. Η αποτελεσματική τιμή για ένα ημιτονοειδές κύμα ισούται με $0,707 \times$ μέγιστη τιμή. Στις Η.Π.Α., η τάση των νοικοκυριών συχνά αναφέρεται ίση με 120 volts, η οποία θεωρείται αποτελεσματική (μέγιστη τιμή 169,7 volts).



Σχήμα 7. Η ημιτονοειδής μορφή της τάσης και του ρεύματος

2.5 ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ

Η αποτελεσματικότητα της μετατροπής ενέργειας και της διαδικασίας διανομής βελτιώνεται όσο ο αριθμός των ανεξάρτητων σπειρών στον στάτορα αυξάνεται. Οι ηλεκτρικοί αγωγοί είναι φυσικά διατεταγμένοι στον στάτορα έτσι ώστε να παράγονται 3 ξεχωριστές αλλά ίσες τάσεις. Οι 3 αγωγοί συνδέονται μεταξύ τους σε ένα κοινό σημείο δημιουργώντας την τριγωνική διαμόρφωση 'wye'. Τα περιστρεφόμενα σημεία αυτών των τάσεων τοποθετούνται με διαφορά 120° το ένα από το άλλο. Γενικά, οι τάσεις και τα ρεύματα των 3 σπειρών αποτελούν τις 3 φάσεις ενός κυκλώματος.

Στην τριγωνική διαμόρφωση 'wye', προσδιορίζονται οι μετρήσεις 2 τάσεων: της φάση της τάσης για την τάση που παρατηρείται στο ουδέτερο σημείο, V_{LN} και της τάσης μεταξύ των φάσεων ή των γραμμών, V_{LL} . Όταν το σύστημα έρχεται σε ισορροπία, που σημαίνει ότι συνδέονται οι γεννήτριες και η φόρτιση του πελάτη με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να παρατηρείται ισορροπία των τάσεων και των ρευμάτων σε κάθε φάση του κυκλώματος, αυτές οι δύο φάσεις σχετίζονται μεταξύ τους σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$V_{LL} = \sqrt{3} * V_{LN} = 1.732 * V_{LN}$$

Η σύμβαση που γίνεται όταν αναφερόμαστε στις τάσεις συστήματος ισχύος βασίζεται στην αποτελεσματικότητα ή στην τιμή RMS της γραμμής στην γραμμή τάσης.

2.6 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ

Όταν ένας αριθμός γεννητριών συνδέονται στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο, λέγεται ότι βρίσκονται σε συγχρονισμό επειδή αυτές λειτουργούν στην ίδια συχνότητα και οι διαφορές των γωνιών μεταξύ των γωνιών των τάσεων για κάθε γεννήτρια είναι σταθερές ή μικρότερες από 90°. Οι μονάδες που

λειτουργούν σε συγχρονισμό είναι μαγνητικά συζευγμένες μέσω συνδέσεων στο σύστημα ισχύος. Εάν κάποια αλλάξει την γωνία λειτουργίας, θα επηρεαστούν και οι υπόλοιπες.

2.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

2.7.1 Ωμική αντίσταση

Σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, η τάση μεταξύ ενός αντιστάτη και της ροής ρεύματος μέσα από αυτόν λέγεται ότι βρίσκεται σε φάση, που σημαίνει ότι η τιμή 0 και οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται την ίδια στιγμή. Υπάρχουν 2 είδη πεδίων που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος: τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία. Τα ηλεκτρικά πεδία σχετίζονται με την τάση ενώ τα μαγνητικά πεδία με το ρεύμα. Οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος σχετίζονται και με τα δύο χαρακτηριστικά όταν αυτά δεν βρίσκονται σε φάση, δηλαδή όταν οι μέγιστες και οι μηδενικές τιμές δεν είναι ταυτόσημες.

2.7.2 Αυτεπαγωγή και επαγωγική αντίσταση

Όταν αναφερόμαστε στην λειτουργία της γεννήτριας, εννοούμε ότι κάποια ηλεκτρική τάση επάγεται σε ένα καλώδιο όταν ένα κινούμενο μαγνητικό πεδίο «κόβει» το καλώδιο. Ομοίως, το ρεύμα ανάλογα με τον χρόνο (εναλλασσόμενο ρεύμα) θα παράγει μαγνητικό πεδίο γύρω από το καλώδιο κουβαλώντας το ρεύμα. Το συγκεκριμένο μαγνητικό πεδίο «κόβει» τον αγωγό και η τάση επάγεται στο καλώδιο, το οποίο παρεμποδίζει το αρχικό ρεύμα.

Η σχέση μεταξύ του ρεύματος και της επαγόμενης τάσης προσδιορίζεται από το μέγεθος που καλείται αυτεπαγωγή. Ένα Henry είναι η μονάδα αυτεπαγωγής, η οποία χαρακτηρίζει την επαγωγή 1 volt όταν το ρεύμα

αλλάζει κατά 1 ampere ανά δευτερόλεπτο. Το γράμμα L συμβολίζει την επαγωγικότητα σε Henries.

Η αυτεπαγωγή L μίας φάσης στην κύρια γραμμή διαβίβασης ή στην γραμμή διανομής υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την αυτο-επαγωγικότητα των φάσεων μεμονωμένων αγωγών και την αμοιβαία επαγωγή μεταξύ αυτής της φάσης και άλλων κοντινών φάσεων στο ίδιο κύκλωμα/τροφοδότη και σε άλλα κοντινά κυκλώματα/τροφοδότες. Αυτά τα μεγέθη υπολογίζονται βάσει των φυσικών διαστάσεων των καλωδίων και των αποστάσεων μεταξύ αυτών. Η επαγόμενη τάση σε έναν επαγωγέα βρίσκεται στο μέγιστο όταν ο ρυθμός αλλαγής του ρεύματος βρίσκεται στο μέγιστο. Λόγω της ημιτονοειδούς μορφής του ρεύματος, αυτό συμβαίνει όταν το πραγματικό ρεύμα είναι μηδενικό. Ως αποτέλεσμα, η επαγόμενη τάση αγγίζει την μέγιστη τιμή στο τέταρτο της περιόδου πριν από το ρεύμα. Η τάση σε έναν επαγωγέα βρίσκεται μπροστά από το ρεύμα κατά 90° ή το ρεύμα καθυστερεί της τάσης κατά 90° .

2.7.3 Επαγωγική αντίσταση

Η επαγωγική αντίσταση X_L , είναι ένας όρος που μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το μέγεθος της πτώσης τάσης σε έναν επαγωγέα. Η επαγωγική αντίσταση υπολογίζεται σε Ohms και ισούται με: $2\pi f \times L$, όπου $2\pi f$ είναι η ταχύτητα περιστροφής σε rad ανά δευτερόλεπτο, f είναι η συχνότητα (hertz) και L η αυτεπαγωγή (Henries). Για την επαγωγικότητα καταναλώνεται ισχύς ή VARs ίσα με $I^2 X_L$.

2.7.4 Χωρητικότητα και χωρητική αντίσταση

Το ηλεκτρικό πεδίο γύρω από έναν αγωγό διαφέρει από τη διαφορά δυναμικού μεταξύ του αγωγού και του εδάφους. Υπάρχει επίσης, διαφορά δυναμικού μεταξύ κάθε αγωγού σε ένα τριφασικό κύκλωμα και οποιουδήποτε άλλου σε κοντινές κύριες γραμμές διαβίβασης. Η σχέση μεταξύ του φορτίου και της διαφοράς δυναμικού προσδιορίζεται από την χωρητικότητα. Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το 1 Farad, το οποίο εκφράζει την

διαφορά δυναμικού 1 volt που παράγεται από 1 coulomb. Η χωρητικότητα σε Farads συμβολίζεται με το γράμμα F.

Η χωρητικότητα C εξαρτάται από τις διαστάσεις του αγωγού και του χώρου μεταξύ των διπλανών γραμμών και του εδάφους. Καθώς το φορτίο του πυκνωτή εξαρτάται άμεσα από την τάση, όταν παρατηρείται μέγιστος ρυθμός αλλαγής της τάσης στον πυκνωτή, η ροή του φορτίου (το ρεύμα) είναι και αυτή μέγιστη. Το παραπάνω συμβαίνει όταν η κυματομορφή της τάσης διέρχεται από το μηδενικό σημείο. Ως αποτέλεσμα, σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, το ρεύμα σε ένα πυκνωτή αγγίζει την μέγιστη τιμή όταν βρίσκεται ένα τέταρτο της περιόδου πριν την τάση. Άρα, η τάση βρίσκεται πίσω από το ρεύμα κατά 90° ή αντίθετα, το ρεύμα βρίσκεται μπροστά από την τάση κατά 90° .

2.7.5 Χωρητική αντίσταση

Η χωρητική αντίσταση X_C είναι ένας όρος που ισούται με $1/2 \times \pi \times f \times C$, όπου C είναι η χωρητικότητα (Farads). Η μονάδα μέτρησης της χωρητικής αντίστασης μετριέται σε Ohms. Σε ένα σύστημα ισχύος, η χωρητική αντίσταση θεωρείται ως μια διακλάδωση αγωγού που συνδέεται με το έδαφος. Για τον πυκνωτή καταναλώνεται ισχύς ή VARs ίσα με $I^2 X_C$. Στο σχήμα 8 σχεδιάζεται η σχέση του ρεύματος και της τάσης για έναν αντιστάτη, έναν επαγωγέα και έναν πυκνωτή.

2.7.6 Ηλεκτρική αντίσταση

Τόσο η επαγωγική ηλεκτρική αντίσταση όσο η ηλεκτρική αντίσταση πυκνωτή είναι σημαντικές παράμετροι στη σχέση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος στα ηλεκτρικά κυκλώματα. Παρόλο που και τα δύο μετρούνται σε Ohms, δεν μπορούν να προστεθούν στην αντίσταση του κυκλώματος επειδή ο χαρακτήρας τους είναι διαφορετικός από την αντίσταση. Το ρεύμα σε έναν επαγωγέα βρίσκεται μπροστά από την τάση κατά 90° ενώ το ρεύμα σε έναν πυκνωτή βρίσκεται πίσω από την τάση κατά 90° . Λόγω αυτής της διαφοράς,

το ένα αναιρεί το άλλο. η επαγωγική ηλεκτρική αντίσταση εμφανίζει θετική τιμή όταν η χωρητική ηλεκτρική αντίσταση εμφανίζει αρνητική τιμή. Επίσης, τα VARs που καταναλώνονται κατά την επαγωγική ηλεκτρική αντίσταση τροφοδοτούνται από την χωρητική ηλεκτρική αντίσταση. Γενικά, η ηλεκτρική αντίσταση περιγράφει την καθαρή σχέση μεταξύ της επαγωγικής ηλεκτρικής αντίστασης και της χωρητικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το σύμβολό της είναι το γράμμα X.

2.7.7 Μιγαδική αντίσταση

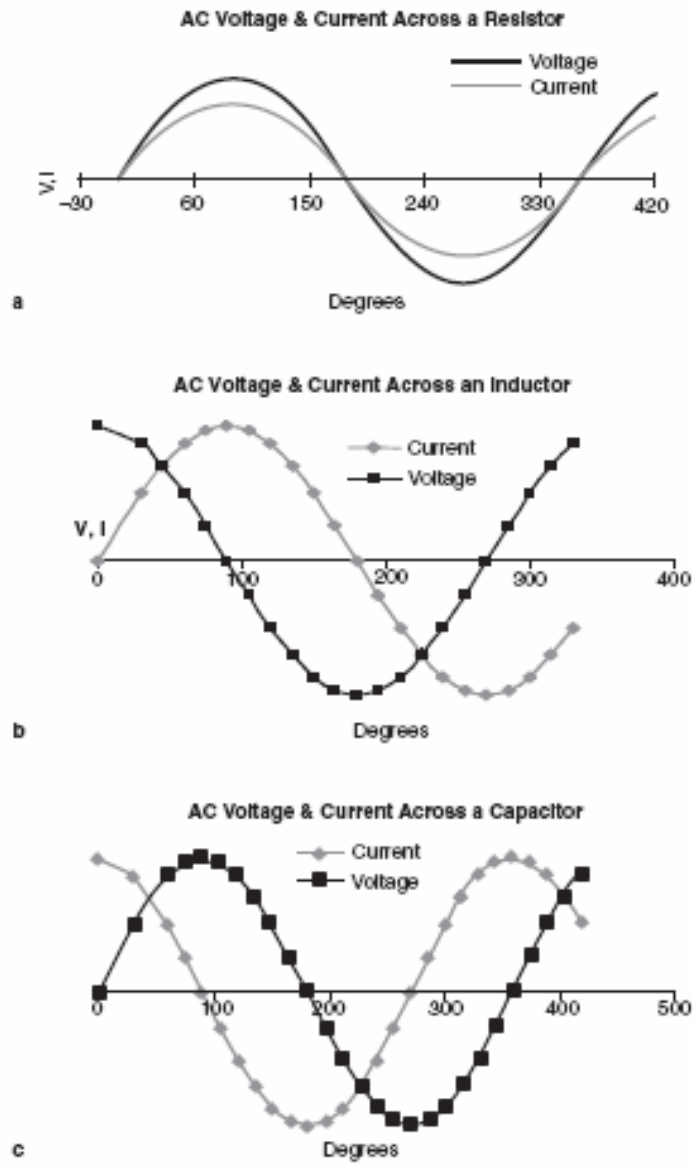
Ο συνδυασμός της ηλεκτρικής αντίστασης και της αντίστασης στο κύκλωμα καλείται μιγαδική αντίσταση και συμβολίζεται με το γράμμα Z. Με απλά λόγια, η ωμική αντίσταση και η ηλεκτρική αντίσταση είναι μέρος ενός τριγώνου με γωνία 90°. Ένας συνηθισμένος τρόπος να παρουσιάσουμε την μιγαδική αντίσταση είναι μέσω της σχέσης:

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

Όπου το j προσδιορίζει ότι η ηλεκτρική αντίσταση δεν προστίθεται άμεσα στην ωμική αντίσταση. Το μέγεθος της μιγαδικής αντίστασης προσδιορίζεται από το Θεώρημα του Πυθαγόρα, καθώς το τετράγωνο της μιγαδικής αντίστασης ισούται με το άθροισμα των τετραγώνων της ωμικής αντίστασης και της ηλεκτρικής αντίστασης.

$$Z^2 = R^2 + X^2, \text{ or}$$
$$Z = (R^2 + X^2)^{0.5},$$

Όπου $X = X_L - X_C$.



Σχήμα 8. Σχέση ρεύματος και τάσης σε (a) αντιστάτη, (b) επαγωγέα, (c) πυκνωτή

2.7.8 Νόμος του Ohm για το εναλλασσόμενο ρεύμα

Ο νόμος του Ohm μπορεί να ερμηνεύσει κατά βάση το συνεχές ρεύμα και όχι τα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος επειδή αναγνωρίζει την ωμική αντίσταση αλλά όχι την επαγωγική και χωρητική αντίσταση. Ο νόμος μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση της ηλεκτρικής αντίστασης, αντικαθιστώντας απλώς τον όρο της ωμικής αντίστασης με τον όρο της ηλεκτρικής αντίστασης του κυκλώματος και τροποποιώντας την τάση και το ρεύμα ως χρονομεταβλητά μεγέθη και όχι ως σταθερά όπως συμβαίνει στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος. Στα εγχειρίδια των μηχανικών, ταμ

μεγέθη του εναλλασσόμενου ρεύματος συμβολίζονται με μια γραμμή κάτω από τα γράμματα ή με σκούρα γράμματα. Στο παρόν κείμενο θα χρησιμοποιήσουμε τον δεύτερο συμβολισμό.

$$V = I \times Z$$

2.8 ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Σε ένα συνεχές ρεύμα, η ισχύς ισούται με την τάση επί το ρεύμα, δηλαδή $P = V \times I$. Η ίδια σχέση ισχύει και στο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, με την προϋπόθεση ότι η τάση και το ρεύμα βρίσκονται σε φάση. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που το κύκλωμα περιέχει ωμική αντίσταση. Όταν όμως, το κύκλωμα περιέχει ηλεκτρική αντίσταση, υπάρχει ένα μέγεθος ισχύος που σχετίζεται με το μαγνητικό ή/και ηλεκτρικό πεδίο. Η ισχύς που σχετίζεται με αυτά τα πεδία, δεν καταναλώνεται καθώς βρίσκεται σε ωμική αντίσταση αλλά αποθηκεύεται και στην συνέχεια χρησιμοποιείται όταν το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα/τάση περνά μέσα από το κύκλωμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε στο εξής προσδιορισμό:

Φαινομενική ισχύς = Πραγματική ισχύς (σχετίζεται με την ωμική αντίσταση)
+ Άεργη ισχύς (σχετίζεται με την αυτεπαγωγή και την χωρητικότητα)

Χρησιμοποιώντας σύμβολα ισχύει:

$$S = P + jQ$$

2.8.1 Πραγματική ισχύς

Η πραγματική ισχύς ισούται με την τιμή της ωμικής αντίστασης πολλαπλασιασμένη με το τετράγωνο του ρεύματος μέσα στην αντίσταση. Μετριέται με megawatts (mW) ή kilowatts (kW).

2.8.2 Άεργη ισχύς

Η άεργη ισχύς ούτε καταναλώνει ότι προμηθεύει την ενέργεια. Η άεργη ισχύς που σχετίζεται με την επαγωγική αντίσταση, ισούται με την τιμή της επαγωγικής αντίστασης πολλαπλασιασμένη με το τετράγωνο του ρεύματος που εισέρχεται από αυτή. Η άεργη ισχύς μετράται σε volt-ampere ή VARs. Με επιμήκυνση της γραμμής, η επαγωγική αντίσταση αυξάνεται, με αποτέλεσμα να χρειάζεται μεγαλύτερη χωρητική αντίσταση ώστε να εξισορροπήσει την επίδραση και να διατηρήσει την τάση:

$$Q_L = I^2 \times X_L$$

Η χωρητική άεργη ισχύς Q_C σχετίζεται με την εγκατάσταση ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τη γραμμή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να μετρηθεί η τιμή αλλά αυτός που ακολουθεί μας δείχνει την επίδραση στο σύστημα κύριων γραμμών διαβίβασης.

$$Q_C = 3 \cdot V_{LN}^2 / X_C \text{ or } = \sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot I_C$$

Σε φυσιολογικές συνθήκες, σε ένα σύστημα ισχύος, το επίπεδο της τάσης σε κάθε γραμμή είναι σχεδόν σταθερό, έτσι ώστε, η άεργη ισχύς, που σχετίζεται με την χωρητικότητα της γραμμής, να παραμένει επίσης, σταθερή. Το ρεύμα φόρτισης I_C , ορίζεται ως η γραμμή σε ουδέτερο φορτίο που χωρίζεται από την χωρητική αντίσταση:

$$I_C = V_{LN} / X_C$$

Εάν το ρεύμα φόρτισης γίνει αρκετά μεγάλο, μεγάλο μέρος της μεταφοράς φόρτισης της γραμμής χρησιμοποιείται για το ρεύμα φόρτισης. Λόγω αυτού του γεγονότος υπάρχουν όρια όσο αφορά το μήκος των εναέριων γραμμών ή καλωδίων τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς την εγκατάσταση κάποιων ενδιάμεσων μετρήσεων για την αντιστάθμιση του χωρητικού

ρεύματος. Η επίδραση των διάφορων διατάξεων σχετικά με την άεργη ισχύ σε ένα σύστημα ισχύος διακρίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω:

Πηγές άεργης ισχύος που αυξάνουν την τάση:

- Γεννήτριες
- Πυκνωτές
- Ελαφρώς φορτισμένα δίκτυα κύριων γραμμών διαβίβασης λόγω της επίδρασης της χωρητικής φόρτισης.

Πηγές άεργης ισχύος που μειώνουν την τάση:

- Επαγωγείς
- Μετασχηματιστές
- Αρκετά φορτισμένα δίκτυα κύριων γραμμών διαβίβασης λόγω της επίδρασης $I^2 \times X_L$
- Μέγιστη φόρτιση για τους πελάτες (λόγω της παρουσίας των κινητήρων επαγωγής και της προμήθειας σε άλλα ηλεκτρικά πεδία.

Μια σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να είναι πηγή άεργης ισχύος είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντας την τάση χρησιμοποιώντας το σύστημα διέγερσης της γεννήτριας με σκοπό την διαφοροποίηση της τάσης στο πεδίο συνεχούς ρεύματος. Κατά την περίοδο συνθηκών μέγιστης φόρτισης, οι γεννήτριες συνήθως λειτουργούν προμηθεύοντας άεργη ισχύ στο δίκτυο. Κατά την περίοδο συνθηκών χαμηλών φορτίσεων, οι γεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την απορρόφηση υπερβολικής άεργης ισχύς από το δίκτυο, ειδικά όπου υπάρχουν μακριές γραμμές κύριας διαβίβασης ή καλώδια.

2.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΝΕΧΕΣ

Η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος επιτρέπει την χρήση συστήματος διανομής ενέργεια σε πολλαπλά επίπεδα τάσης. Υψηλές τάσεις χρησιμοποιούνται για την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ισχύος. Χαμηλές τάσεις χρησιμοποιούνται για χαμηλότερα ποσά ενέργειας και διανέμονται σε τοπικό επίπεδο. Το σύστημα 120/240 volt χρησιμοποιείται για την διανομή σε μεμονωμένους πελάτες. Εάν η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρισμού (ή ισχύος) γινόταν με χρήση συνεχούς ρεύματος στα φυσιολογικά επίπεδα τάσης που βρίσκονται οι γεννήτριες (από 13kV έως 30kV), η μείωση της πραγματικής ισχύος, που σχετίζεται με την αντίσταση του συστήματος μεταφοράς, θα ήταν απαγορευτική.

Με χρήση συνεχούς ρεύματος, η προμήθεια της τάσης θα είναι η ίδια ή σχεδόν η ίδια με αυτή που παρατηρείται στον κάθε εξοπλισμό που συνδέεται με το σύστημα. Λόγω των πολλών διαφορετικών τύπων και μεγεθών ηλεκτρικών συσκευών (κινητήρες, φώτα, υπολογιστές), η χρήση συνεχούς ρεύματος είναι πρακτικά αδύνατη.

2.10 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Η συσκευή που επιτρέπει την χρήση ενός συστήματος διανομής ενέργειας με πολλαπλά επίπεδα τάσης είναι ο μετασχηματιστής. Ένας μετασχηματιστής λειτουργεί σύμφωνα με την κύρια αρχή της ηλεκτρομαγνητικής αυτεπαγωγής που έχουμε ήδη δει. Στο σχήμα 9 παρατηρούμε ένα απλουστευμένο παράδειγμα, όπου 2 ανεξάρτητα κυκλώματα βρίσκονται γύρω από έναν πυρήνα. Μια μαγνητική διαδρομή B , είναι εγκατεστημένη στο πυρήνα μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος στο ένα από τα δύο κυκλώματα. Με το πέρασμα

του χρόνου, η φύση του μαγνητικού πεδίου, που δημιουργείται στο 1^ο πηνίο, αλλάζει με αποτέλεσμα η τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος να επάγεται στο δεύτερο πηνίο (πηνίο 2). Η επαγόμενη τάση σχετίζεται με την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος που εμφανίζεται στο 1^ο πηνίο πολλαπλασιασμένο με τον λόγο των αριθμών των σπειρών (N_2/N_1) που παρατηρούνται γύρω από τον πυρήνα. Ο τύπος είναι:

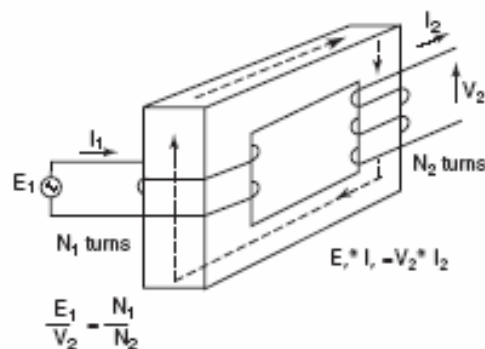
$$V_2 = V_1 * (N_2 / N_1)$$

Ανάλογα με τον αριθμό των σπειρών του καλωδίου στον μετασχηματιστή, το επίπεδο της τάσης στην δεύτερη πλευρά μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί από το αντίστοιχο της αρχικής πλευράς. Αυτή η ικανότητα προσφέρει σημαντική ευελιξία στον σχεδιασμό των συστημάτων ισχύος.

Σε μία ιδανική κατάσταση (δεν παρατηρούνται απώλειες στους μετασχηματιστές), η ισχύς που παρατηρείται στην είσοδο του μετασχηματιστή ισούται με την ισχύ στην έξοδο:

$$V_1 * I_1 = V_2 * I_2$$

Σημαντική μείωση των απωλειών στην γραμμή πραγματικής ισχύος μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση μετασχηματιστή με σκοπό να αυξήσει την τάση μεταφοράς και ως αποτέλεσμα, να μειώσει το ρεύμα με απώλειες $I^2 \times R$.



Σχήμα 9. Απεικόνιση απλού μετασχηματιστή.

2.11 ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ

Με χρήση των νόμων του Kirchhoff και της έννοιας της μιγαδικής αντίστασης, μπορούν να γίνουν υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των ρευμάτων, καθώς και των πραγματικών και άεργων ισχύων που ρέουν στις γραμμές μεταφοράς και των τάσεων στους τερματικούς σταθμούς (κόμβοι) σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην συνέχεια θα γίνει ανάλυση αυτών των σχέσεων.

2.11.1 Διαχωρισμός των ροών ισχύος μεταξύ των γραμμών μεταφοράς

Η ισχύς ρέει προς όλα τα πιθανά μονοπάτια μεταφοράς μεταξύ της πηγής της γεννήτριας και της φόρτισης κατά αναλογία των σχετικών μιγαδικών αντιστάσεων όλων των μονοπατιών. Η ροή δεν θα πραγματοποιηθεί στο μονοπάτι για το οποίο έχει γίνει εμπορική συμφωνία (μονοπάτι συμβολαίου), αλλά ούτε μόνο στις εγκαταστάσεις του ιδιοκτήτη ηλεκτρικής ενέργειας.

Για μια ολοκληρωμένη επιχείρηση κοινής ωφέλειας, η ηλεκτρική ενέργεια των σταθμών παραγωγής θα χρησιμοποιήσει όλα τα παράλληλα μονοπάτια ώστε να φτάσει την επιθυμητή φόρτιση (συμπεριλαμβανομένου τις εγκαταστάσεις κύριων γραμμών μεταφοράς καθώς και των γειτονικών εγκαταστάσεων. Όταν σχεδιάζεται μεταφορά ισχύος σε περιφερειακό επίπεδο, όλες οι εγκαταστάσεις (όχι μόνο αυτών που εμπλέκονται στην μεταφορά) μεταφέρουν κάποια ισχύ. Σε αυτή την περίπτωση, δεν μας ενδιαφέρει ποιοί είναι οι ιδιοκτήτες των σταθμών παραγωγής ή των γραμμών μεταφοράς.

2.11.2 Πτώση τάσης και ροή άεργης ισχύος

Το μέγεθος της πτώσης τάσης στη γραμμή μεταφοράς εξαρτάται αρχικά από την ποσότητα της άεργης ισχύος (Q) που ρέει σε ηλεκτρικό αντιστάτη της

γραμμής. Άρα, για μειώσουμε την πτώση πίεσης, θα πρέπει να τοποθετηθούν πηγές αεργής ισχύος όσο πιο κοντά γίνεται στην φόρτιση. Το παραπάνω περιγράφεται από το εξής:

$$(V_1 - V_2) = X_L \cdot Q/V_2$$

2.11.3 Διαφορές ροών ισχύος και γωνιών φάσεων

Το μέγεθος της ροής ισχύος σε ένα σύστημα ισχύος εξαρτάται αρχικά από τη διαφορετική γωνία της φάσης μεταξύ δύο σημείων, επειδή η γραμμή της ηλεκτρικής αντίστασης είναι σταθερή και οι τερματικές τάσεις V_1 και V_2 είναι ουσιαστικά σταθερές:

$$P_{12} = V_1 \cdot V_2/X_{12} \cdot \sin\theta_{12}$$

2.12 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

Η σταθερότητα αναφέρεται στην ικανότητα που έχουν οι γεννήτριες σε ένα σύστημα ισχύος να λειτουργούν σε συγχρονισμό σε φυσιολογικές συνθήκες και διαταραχές. Τρεις κατηγορίες αστάθειας παρατηρούνται:

- Σταθερή κατάσταση αστάθειας
- Παροδική αστάθεια
- Δυναμική αστάθεια

Η σταθερή κατάσταση αστάθειας αναφέρεται στην κατάσταση εκείνη όπου η ισορροπία των γεννητριών συνδεδεμένη στο σύστημα ισχύος δεν μπορεί να προκαλέσει αυξήσεις στις απαιτήσεις σε ισχύ, οι οποίες πραγματοποιούνται αργά καθώς και όταν απομακρύνεται η γραμμή μεταφοράς από την κατάσταση διατήρησης.

Καθώς η ροή της ισχύος από το ένα σημείο στο άλλο είναι ανάλογη με το ημίτονο της διαφοράς γωνίας μεταξύ των τάσεων των δύο σημείων και αντιστρόφως ανάλογη με την συνολική μιγαδική αντίσταση των κυκλωμάτων που συνδέονται στα 2 σημεία, υπάρχει ένα μέγιστο επίπεδο της ροής ισχύος. Το παραπάνω συμβαίνει όταν το επίπεδο διανομής βρίσκεται με διαφορά γωνίας 90° , και το ημίτονο ισούται με ένα.

Επειδή η ροή ισχύος εξαρτάται από το ημίτονο της διαφοράς γωνίας μεταξύ των τάσεων, έχει, μπορούμε να προσδιορίσουμε την μέγιστη ποσότητα της ισχύος, που μπορεί να μετακινηθεί μέσω των εγκαταστάσεων που είναι ενωμένα με την μιγαδική αντίσταση X_{12} . Εάν η ισχύς που χρειάζονται οι πελάτες είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα που μπορεί να παραχθεί στις 90° μεταξύ των τάσεων, το σύστημα είναι μη λειτουργικό. Ένας τεχνικός όρος για να περιγράψουμε ότι η φόρτιση των πελατών αυξάνεται αργά και ενώ η γωνία αγγίζει τις 90° και τις ξεπερνάει τελικά, είναι η αστάθεια και η κατάρρευση του συστήματος.

Εάν το δίκτυο των μιγαδικών αντιστάσεων αυξάνεται με απομάκρυνση μιας γραμμής, λιγότερη ισχύς μεταδίδεται. Εάν υπάρχει πλήθος γραμμών που συνδέουν τα σημεία 1 και 2, η απώλεια ή η διακοπή λειτουργίας κάποιας από αυτές θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μιγαδικής αντίστασης μεταξύ των δύο σημείων. Το συγκεκριμένο σύστημα περιγράφεται ως ασταθές. Αντίθετα, εάν το δίκτυο των μιγαδικών αντιστάσεων μειώνεται, περισσότερη ισχύς διαδίδεται. Η τιμή του δικτύου μιγαδικών αντιστάσεων μπορεί να μειωθεί από:

- Την δημιουργία επιπλέον παράλληλης γραμμής
- Την αύξηση της τάσης σε κάποια από τις υπάρχουσες γραμμές
- Την μείωση της μιγαδικής αντίστασης σε κάποια από τις υπάρχουσες γραμμές, εισάγοντας πυκνωτή σε σειρά (η X_c ακυρώνει την X_L)

Η παροδική αστάθεια αναφέρεται στην κατάσταση εκείνη όπου παρατηρείται διαταραχή στο σύστημα, με αποτέλεσμα την διαταραχή στον συγχρονισμό ή στην ισορροπία του συστήματος. Η διαταραχή εμφανίζεται σε διαφορετικές μορφές:

- Το άνοιγμα της γραμμής διαβίβασης αυξάνοντας το X_L του συστήματος.
- Η μείωση της τάσης στο σύστημα (σε περίπτωση που μία τάση πέσει στο 0, μειώνονται όλα τα συστήματα τάσεων στην περιοχή).
- Η απώλεια μιας γεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την διαταραχή της ισορροπίας της ενέργειας και την αύξηση της γωνίας διαχωρισμού, επειδή άλλες γεννήτριες προσπαθούν να επαναφέρουν την χαμένη ενέργεια.
- Η απώλεια μεγάλης ποσότητας φορτίου στην περιοχή της εξαγωγής.

Όταν παρουσιάζεται διαταραχή στο σύστημα, η ισορροπία της ενέργειας στις γεννήτριες διαταράσσεται εξίσου. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η μηχανική ενέργεια που παρατηρείται στις γεννήτριες ισούται με την ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο συν τις απώλειες κατά τη διαδικασία μετατροπής στην τουρμπίνα της γεννήτριας και την ενέργεια που καταναλώνεται για την λειτουργία του σταθμού.

Εάν η ηλεκτρική ζήτηση στην έξοδο είναι μεγαλύτερη από την μηχανική ενέργεια στην είσοδο, η γεννήτρια θα λειτουργήσει πιο αργά ώστε η ενέργεια περιστροφής να μεταφερθεί από το στροφέιο στην νέα αύξηση της ενέργειας. Εάν η ηλεκτρική ζήτηση στον τερματικό σταθμό είναι μικρότερη από την μηχανική ενέργεια στην είσοδο, η γεννήτρια θα λειτουργήσει σε μεγαλύτερες ταχύτητες ώστε να επέλθει η ισορροπία. Αυτή η αντίδραση καλείται αντίδραση αδράνειας.

Διάφορες διαταραχές μπορεί να προκαλέσουν την μεταβολή της τάσης στην έξοδο της γεννήτριας. Για παράδειγμα, το ρυθμιστικό σύστημα αυτόματης τάσης της γεννήτριας μπορεί να αναγνωρίσει τυχόν αλλαγές, με αποτέλεσμα την προσαρμογή της ανάλογα με την φορά διέγερσης (προς τα πάνω ή προς τα κάτω).

Επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί παροδική σταθερότητα ή αστάθεια αμέσως μετά την διαταραχή και πριν την σωστή λειτουργία της γεννήτριας και των συστημάτων ελέγχου. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι διαταραχές έχουν ως αποτέλεσμα την αυτόματη μετατροπή των γωνιών της γεννήτριας με σκοπό την λήψη νέου σταθερού σημείου. Σε περιπτώσεις αστάθειας, παρατηρείται αύξηση της διαφοράς της γωνίας μεταξύ μιας γεννήτριας ή μιας ομάδας γεννητριών και μιας άλλης ομάδας. Αυτό το είδος αστάθειας πραγματοποιείται τόσο γρήγορα (σε λίγα δευτερόλεπτα), ώστε οποιαδήποτε ενέργεια διόρθωσης είναι αδύνατη.

Στην περίπτωση σταθερών συνθηκών, το σύστημα ελέγχου της ταχύτητας της γεννήτριας μπορεί να αναγνωρίσει την αλλαγή της ταχύτητας αρχικά. Στη συνέχεια, ανάλογα με το συμβάν προσθέτει περισσότερη μηχανική ενέργεια στο στροφέιο με σκοπό να ανακτήσει την αρχική ταχύτητα ή μειώνει την ενέργεια στην είσοδο με σκοπό να μειώσει την ταχύτητα. Επίσης, οδηγίες από την εταιρεία από το κέντρο ελέγχου μπορούν να καθοδηγήσουν τις γεννήτριες στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Με σκοπό να βελτιώσουμε την σταθερή κατάσταση σταθερότητας, έχουν σχεδιαστεί νέες μετρήσεις έτσι ώστε να μειωθούν συγκεκριμένα είδη διαταραχών:

- Βελτίωση της ταχύτητας με την οποία μεταδίδεται η βλάβη και της ταχύτητας που λειτουργούν οι διακόπτες αποσύνδεσης των προβληματικών μηχανημάτων.

- Χρήση δυναμικών αντιστάσεων πέδησης, οι οποίες σε περίπτωση βλάβης, συνδέονται αυτομάτως, με το σύστημα των γεννητριών .
- Εγκατάσταση γρήγορων συστημάτων με βαλβίδες στις τουρμπίνες, επιτρέποντας την άμεση μείωση της μηχανικής ενέργειας στην είσοδο της τουρμπινο-γεννήτριας.
- Αυτόματη ενεργοποίηση γεννήτριας.
- Αυτόματη αποσύνδεση φορτίου.
- Ενεργοποίηση συνδυασμών ειδικών γραμμών μεταφοράς.

Η δυναμική αστάθεια αναφέρεται στην κατάσταση όπου τα συστήματα ελέγχου των γεννητριών έρχονται σε επαφή με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζουν διακυμάνσεις μεταξύ των γεννητριών ή ομάδων γεννητριών, οι οποίες αυξάνονται σε μέγεθος και έχουν ως αποτέλεσμα την αστάθεια. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ανεπαρκής απόσβεση των διακυμάνσεων. Αυτές οι συνθήκες εμφανίζονται είτε υπό κανονική λειτουργία είτε μετά από μια διαταραχή.

2.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ

Σε περιπτώσεις αστάθειας, καθώς οι γωνίες στην γεννήτρια αλλάζουν, οι σχέσεις της τάσης και της γωνίας του ρεύματος σε σχέση με το σύστημα αλλάζουν δραματικά. Μερικές από τις προστατευτικές γραμμές (ρελέ) θα ανιχνεύσουν τις αλλαγές και θα αντιδράσουν όπως θα αντιδρούσαν σε συνθήκες βλάβης, με αποτέλεσμα το άνοιγμα πολλών κύριων γραμμών διαβίβασης.

Το υπάρχον σύστημα μεταφοράς χωρίζεται σε 2 ή 3 ηλεκτρικώς απομονωμένα μέρη, κάποια από τα οποία θα έχουν επάρκεια παραγωγής ενώ κάποια άλλα ανεπάρκεια. Σε αυξημένα συστήματα παραγωγής, η συχνότητα αυξάνεται ενώ σε μειωμένα συστήματα παραγωγής, η συχνότητα μειώνεται. Εάν

παρατηρηθεί αρκετά μεγάλη πτώση της συχνότητας, τα βοηθητικά συστήματα της γεννήτριας (κινητήρας, ανεμιστήρες) θα πάψουν να λειτουργούν, με αποτέλεσμα την αυτόματη αποσύνδεση των γεννητριών από τις προστατευτικές συσκευές. Με σκοπό την αποφυγή ανεπαρκούς παραγωγής, οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν ρελέ πτώσης συχνότητας - φορτίου. Αυτά τα ρελέ, βασιζόμενα στα διάφορα επίπεδα χαμηλής συχνότητας, θα ενεργοποιήσουν την αποσύνδεση μέρους του φορτίου των πελατών έτσι ώστε να αποκαταστήσουν την ισορροπία φορτίου - παραγωγής.

Σε περιπτώσεις όπου η συχνότητα αυξάνεται λόγω υπερβολικής παραγωγής, οι γεννήτριες θα απομακρυνθούν από την λειτουργία αυτομάτως, από τις προστατευτικές συσκευές που ανιχνεύουν συνθήκες επιτάχυνσης. Σε περίπτωση που παρατηρηθούν μεγάλα κομμάτια παραγωγής, μπορεί να εγκατασταθούν επιλεγμένοι έλεγχοι αποσύνδεσης παραγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις απαιτήσεις των πελατών σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτές οι απαιτήσεις αναφέρονται στη βιομηχανία «φορτίο πελάτη». Για να προμηθεύσουμε το φορτίο του πελάτη, το σύστημα ισχύος θα πρέπει να προμηθεύσει τις απώλειες στο σύστημα όπου γίνεται η διανομή της ενέργειας. Αυτές οι απώλειες κυμαίνονται από 7 έως 12% της ισχύος που διανέμεται στους πελάτες, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από έναν μοναδικό καταναλωτή. Ο σχεδιασμός του συστήματος ισχύος θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να προβλεφθούν αυτές οι ανάγκες.

3.1 ΤΕΛΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές. Ο κάθε πελάτης που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια, θέτει τις δικές του απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις των μεμονωμένων πελατών για ηλεκτρική ενέργεια ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και την χρονική στιγμή. Οι απαιτήσεις αυτές βασίζονται στην χρήση διαφορετικών συσκευών ξεχωριστά ή σε συνδυασμό. Μεταξύ των συσκευών όπου χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια, είναι:

1. Ηλεκτρική κινητήρες
2. Ηλεκτρική ανεμιστήρες
3. Συσκευές φωτισμού
4. Συστήματα κλιματισμού
5. Ηλεκτρικές συσκευές επικοινωνίας και υπολογιστές
6. Μηχανικά εργαλεία
7. Ηλεκτρολυτικές συσκευές

Σε κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες εμφανίζεται μεγάλο εύρος εφαρμογών. Για παράδειγμα, στους ηλεκτρικούς κινητήρες περιλαμβάνονται συμπιεστές, αντλίες, ανεμιστήρες και μίαντες μεταφοράς. Επιπλέον, σε κάθε υποκατηγορία μπορεί να παρατηρηθούν διαφορετικά είδη συσκευών ανάλογα με το μέγεθος, την επάρκεια και τον ρυθμό των απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό.

3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΛΑΤΩΝ

Οι πελάτες που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια διαφέρουν από τις απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό. Οι διαφορές εμφανίζονται τόσο στην χρονική περίοδο όσο και στο μέγεθος των απαιτήσεων. Εάν και κάθε πελάτης έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, αυτοί συχνά κατηγοριοποιούνται σε διάφορες ομάδες σύμφωνα με τους τεχνικούς,

διοικητικούς και ρυθμιστικούς σκοπούς. Οι αρχικές ομάδες των πελατών χωρίζονται σύμφωνα με την τοπική, εμπορική, βιομηχανική και αγροτική χρήση. Κάποιες ειδικές χρήσεις, ωστόσο, μπορούν να προσδιορίσουν άλλες αρχικές ομάδες πελατών. Για παράδειγμα, πελάτες μπορεί να χρησιμοποιούν την ενέργεια σε χονδρική. Οι πελάτες αυτής της κατηγορίας μεταπωλούν την ενέργεια σε τιμές λιανικής στους δικούς τους πελάτες.

Άλλες ομάδες λιανικής περιλαμβάνουν το σύστημα φωτισμού των δρόμων, τα συστήματα ηλεκτρικών σιδηρόδρομων, τις εκκλησίες, κυβερνητικές χρήσεις. Ακόμα κάποιοι πελάτες θεωρούνται πελάτες προτίμησης. Αυτοί συνήθως βρίσκονται σε ομοσπονδιακές ή κρατικές υπηρεσίας κοινής ωφέλειας. Τα συστήματα αυτά αναπτύχθηκαν ειδικά για την παροχή ηλεκτρισμού προς τους πελάτες, οι οποίοι ως εκ τούτου πρέπει να λαμβάνουν το σύνολο των ηλεκτρικών αναγκών τους με το χαμηλότερο κόστος πριν η ενέργεια πουληθεί σε άλλους πελάτες εντός και εκτός των περιοχών εξυπηρέτησης των εν λόγω συστημάτων.

Μέσα σε αυτές τις ευρείες κατηγορίες υπηρεσιών, οι πελάτες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω με βάση άλλες τεχνικές και διοικητικές παραμέτρους. Κοινές διακρίσεις αυτού του τύπου περιλαμβάνουν:

- Τη φάση ή / και το επίπεδο τάσης της υπηρεσίας
- Εάν η υπηρεσία παρέχεται από υπόγειες ή εναέρια εγκαταστάσεις
- Το μέγεθος ή / και το χρονοδιάγραμμα των απαιτήσεων
- Το είδος της συγκεκριμένης τελικής χρήσης ή το μέγεθος των απαιτήσεων της τελικής χρήσης
- Η φυσική τοποθεσία της τελικής χρήσης
- Την ποιότητα ή την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών

Στις Η.Π.Α., οι πωλήσεις λιανικής των τριών κύριων κατηγοριών πελατών βρίσκονται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο για το 2000 (σχήμα 10). Ενώ οι πωλήσεις λιανικής έχουν αυξηθεί 23,6% από το 1991, η ανάμιξη των συστατικών έχει

αλλάξει, με τον εμπορικό τομέα να μοιράζεται την συνολική ανάπτυξη από 27,4% το 1991 σε 30,4% το 2000 και τον βιομηχανικό τομέα να πέφτει από 34,3 σε 31,4% την ίδια περίοδο.

Customer Class	Millions kWhrs in 2000	% of Total
Residential	1,192,446	34.9%
Commercial	1,055,232	30.8%
Industrial	1,064,239	31.1%
Other	109,496	3.2%
Total	3,421,414	100.0%

Σχήμα 10. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το 2000.

3.3 ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΜΑΔΩΝ

Τέτοιες διακρίσεις στον χαρακτήρα των παρεχόμενων υπηρεσιών είναι συχνά η βάση για τον καθορισμό των ποσοστών των ομάδων για κανονιστικούς σκοπούς και των ποσοστών για ρυθμιστικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, στον οικιακό τομέα συχνά καθορίζονται διαφορετικές ομάδες για τους πελάτες που χρησιμοποιούν ηλεκτρική θέρμανση ή ηλεκτρικό θερμοσίφωνα. Μερικές ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ειδικά ποσοστά για όλες τις ηλεκτρικές εστίες. Οι εμπορικοί και βιομηχανικοί πελάτες μπορεί να διαχωριστούν σε διαφορετικές κατηγορίες ή δημιουργήσουν κοινή ομάδα σύμφωνα κάποιων γενικών υπηρεσιών. Επίσης, μέσα στα όρια των πελατών γενικών υπηρεσιών, μπορεί να καθιερωθούν ξεχωριστά ποσοστά σύμφωνα με το μέγεθος των απαιτήσεων των πελατών, το είδος της τελικής χρήσης και της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται.

Προσδιορισμοί των ποσοστών των ομάδων μπορεί να ποικίλουν σημαντικά μεταξύ των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και μεταξύ των υπηρεσιών δικαιοδοσίας για κάθε χρήση. Μια ενιαία χρησιμότητα, η οποία παρέχει υπηρεσίες σε περισσότερες από μία ρυθμιστική αρμοδιότητα (π.χ. πάνω από

μία πολιτεία), είναι πιθανό να έχει ένα σύνολο διαφορετικών προσδιορισμών όσο αφορά τα ποσοστά των ομάδων για κάθε αρμοδιότητα.

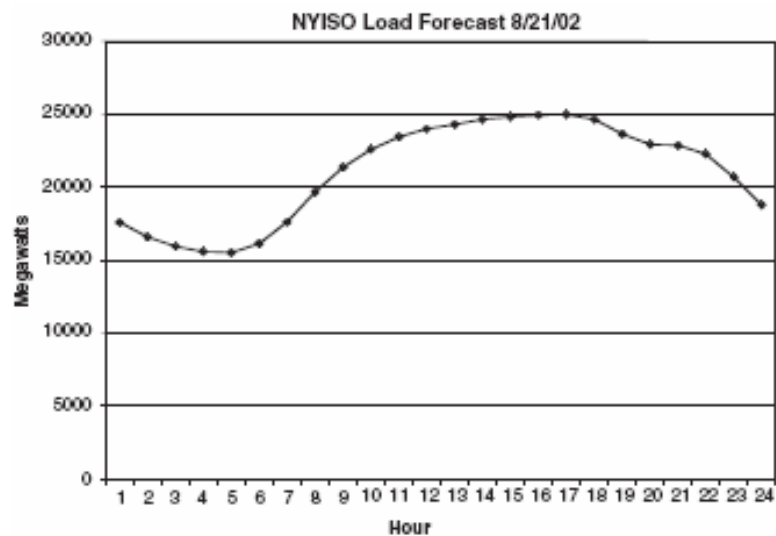
Σε κάποιες πολιτείες, τα κύρια ηλεκτρικά συστήματα παρέχουν καθημερινά τις καμπύλες ζήτησης φορτίου σε κιλοβάτ για κάθε ομάδα πελατών που βρίσκεται σε διαφορετικό ποσοστό. Αυτό σημαίνει ότι οι κύριες ηλεκτρικές συσκευές (κλιματιστικά, θερμοσίφωνες) πρέπει να υπομετρούνται σε ένα δείγμα πελατών. Για την φόρτιση άλλων ερευνητικών δραστηριοτήτων, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μετράνε περιστασιακά την κατανάλωση των καταναλωτών σε μία κύρια γραμμή διαβίβασης ή σε κύκλωμα διανομής από τον υποσταθμό ή τις τοποθεσίες μετασχηματισμού. Αυτές και άλλες συνολικές μετρήσεις της κατανάλωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό και την λειτουργία μεμονωμένων συστημάτων, εγκαταστάσεων ισχύος.

3.4 ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η μέτρηση των υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την μέτρηση του ηλεκτρισμού που χρησιμοποιήθηκε σε κάποιο χρονικό διάστημα και / ή την μέτρηση του βαθμού (βαθμών) χρήση την ίδια περίοδο. Ουσιαστικά, η μέτρηση του βαθμού χρήσης είναι η μέτρηση της ζήτησης, η οποία υπολογίζεται σε βατ ή κιλοβάτ (π.χ. 1000 watts). Ο πελάτης που ανάβει ένα λαμπτήρα 100 watt δημιουργεί μια στιγμιαία ζήτηση 100 watts στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν ο λαμπτήρας λειτουργεί ασταμάτητα για μία ώρα, θα καταναλωθούν 100 watt/h. Η μονάδα watt/h αναπαριστά την μέτρηση της ενέργειας των απαιτήσεων του πελάτη. Εάν λειτουργούν συνεχόμενα 10 λαμπτήρες των 100 watt, ο πελάτης θα καταναλώσει ηλεκτρική ενέργεια 1000watt/h ή 1Kwatt/h.

Οι ζήτηση των καταναλωτών (π.χ. ο ρυθμός με τον οποίο οι πελάτες καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια) δεν μετριέται γενικά σύμφωνα με κάποια

συγκεκριμένη βάση. Οι μετρήσεις της ζήτησης του πελάτη βασίζονται σε ένα μέσο επίπεδο χρήσης κατά την διάρκεια ενός σύντομου χρονικού διαστήματος. Η πιο συνηθισμένη περίοδος μέτρησης της ζήτησης του πελάτη είναι τα 15', 30' και η 1 ώρα. Ωστόσο, σε ειδικές περιπτώσεις, η ζήτηση μετριέται σε ένα λεπτό καθώς και στις 3 ώρες. Η καθημερινή κατανομή της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται στο σχήμα 11.



Σχήμα 11. Καθημερινή κατανομή της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας τις καλοκαιρινές καθημερινές μέρες στην Νέα Υόρκη.

3.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Για σκοπούς πληρωμής, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τους μικρότερους πελάτες (π.χ. οικιακοί πελάτες) υπολογίζεται σύμφωνα με τις κιλοβατώρες που καταναλώθηκαν. Σπανίως, η μέγιστη ζήτηση των μικρότερων χρηστών μετριέται απευθείας. Καθώς το μέγεθος των απαιτήσεων των πελατών αυξάνεται, η σημασία της μέτρησης του μέγιστου ρυθμού κατανάλωσης από τον πελάτη αυξάνεται. Οι περισσότερες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας εγκαθιστούν μετρητές που μετράνε και την κατανάλωση σε κιλοβατώρα και την μέγιστη μηνιαία ζήτηση για όλους τους πελάτες που έχουν κατηγοριοποιηθεί όσο αφορά το επίπεδο κατανάλωσης. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία κοινής ωφέλειας απαιτεί τη μέτρηση της ζήτησης

για όλους τους πελάτες, των οποίων η ζήτηση υπερβαίνει τα 25 kilowatts και / ή για όλους τους πελάτες, των οποίων η κατανάλωση υπερβαίνει τις 6000 kilowatt/h. για κάποιους συγκεκριμένους μεγάλους πελάτες ή ομάδες πελατών, η ζήτηση μετριέται σε συνεχόμενη βάση (σε αντίθεση με το μηνιαίο μέγιστο) κάθε 15', 30' ή 1 ώρα.

Η πρόσφατη τάση όσο αφορά τον χρόνο χρήσης (π.χ. το κόστος ανά κιλοβατώρα ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας) απαιτεί την μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας ή / και την μέγιστη ζήτηση ανάλογα με τις περιόδους χρήσης. Απαιτείται η μέτρηση της κατανάλωσης για ασυνεχής χρονικές περιόδους σε κάθε μηνιαία χρέωση. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία καθορίζει την περίοδο αιχμής για υψηλούς πελάτες γενικών υπηρεσιών όλες τις καθημερινές μέρες μεταξύ τις 12:00 και τις 20:00.

3.6 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Υπάρχουν δύο είδη πολυμορφίας φορτίου – αυτό που σχετίζεται με το διαφορετικό φορτίο αιχμής μεταξύ των ομάδων των πελατών και αυτό που σχετίζεται με το διαφορετικό φορτίο αιχμής σε διαφορετικές ώρες της ημέρας και ημέρες του χρόνου.

Από τη συνεχόμενη καταγραφή των δεδομένων ζήτησης μπορεί να αντληθεί ένας μεγάλος αριθμός μετρήσεων ζήτησης. Η πιο συνηθισμένη μέτρηση της ζήτησης των πελατών είναι η ατομική μέγιστη ζήτηση του πελάτη. Αυτή η μέτρηση υποδηλώνει το μέγιστο επίπεδο ζήτησης που πραγματοποιείται από τον πελάτη για κάποιο συγκεκριμένο διάστημα σε περίοδο τιμολόγησης. Λόγω των διαφορετικών χρήσεων και ειδών των ηλεκτρικών συσκευών, υπάρχουν διαφορές όσο αφορά τους χρόνους όπου οι πελάτες πραγματοποιούν την μέγιστη ατομική ζήτηση. Για παράδειγμα, ένας πελάτης, του οποίου η κύρια χρήση ηλεκτρισμού είναι για τις εξωτερικές λάμπες,

εμφανίζει μέγιστη ζήτηση τις βραδινές ώρες της ημέρας. Ένας άλλος πελάτης, του οποίου η κύρια χρήση ηλεκτρισμού είναι για τον κλιματισμό, εμφανίζει μέγιστη ζήτηση τις απογευματινές ώρες τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης, οι απαιτήσεις ηλεκτρικού φορτίου σε μία βιομηχανική διαδικασία μπορεί να σχετίζεται από το οχτάωρο εργασίας των εργατών ή να παραμένουν σταθερές στην περίπτωση που η παραγωγή είναι συνεχής όλο το εικοσιτετράωρο.

Αυτές οι διαφορές στους χρόνους μέγιστης ατομικής ζήτησης ονομάζονται ποικιλομορφία. Η ποικιλομορφία των απαιτήσεων φορτίου δεν παρατηρούνται μόνο μεταξύ των ατομικών πελατών, αλλά επίσης, και στο ποσοστό των ομάδων, των κατηγοριών πελατών, των ομάδων δικαιοδοσίας, των συστημάτων κοινής ωφέλειας και των δοχείων ισχύος.

Το αντίστροφο της ποικιλομορφίας είναι σύμπτωση. Η ζήτηση μετράει το μέγιστο μέγεθος της φόρτισης σε κάποιο συγκεκριμένο διάστημα μέτρησης. Εάν ένας πελάτης έχει 2 ή περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές σε λειτουργία στην εγκατάσταση ή στην κατοικία, η ατομική μέγιστη ζήτηση του πελάτη θα εμφανιστεί την χρονική στιγμή κατά την οποία οι απαιτήσεις για την κάθε συσκευή συμπίπτουν. Το άθροισμα των μέγιστων απαιτήσεων των μεμονωμένων συσκευών θα είναι πάντα μεγαλύτερο ή ίσο με την μέγιστη ατομική ζήτηση του πελάτη.

Άλλες μετρήσεις των ατομικών ζητήσεων του πελάτη σχετίζουν την ατομική απαίτηση του πελάτη με τα ποσοστά των ομάδων, τις κατηγορίες πελατών, τις ομάδες δικαιοδοσίας ή τα συστήματα απαιτήσεων. Λόγω της ποικιλομορφίας μεταξύ των πελατών, κάθε συνεισφορά ατομικών πελατών σε μέγιστες απαιτήσεις ομάδων, ομάδων δικαιοδοσίας ή συστημάτων δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να τείνει να είναι χαμηλότερη από την ατομική μέγιστη ζήτηση του πελάτη.

Η ζήτηση συστημάτων, δικαιοδοσίας, ομάδων ή πελατών συνήθως μετριέται ετησίως, μηνιαία ή ημερησίως. Ωστόσο, τα δεδομένα τιμολόγησης (μετρήσεις ζήτησης και ενέργειας) συνήθως δεν αντιστοιχούν στις απευθείας μετρήσεις του μηνιαίου ή ετήσιου ημερολογίου. Για παράδειγμα, η χρήση που αναφέρεται στον λογαριασμό του Ιανουαρίου μπορεί να περιλαμβάνει ουσιαστικό μέγεθος κατανάλωσης του Δεκεμβρίου του προηγούμενου χρόνου. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μετρητές του κόστους και η διαδικασία του προγράμματος του λογαριασμού δεν απαιτούν την ταυτόχρονη μέτρηση. Αντίθετα, η μέτρηση μπορεί να γίνει κάποια εργάσιμη ημέρα ή κάθε μήνα. Ο λογαριασμός κάθε πελάτη βασίζεται στην μετρούμενη κατανάλωση του προηγούμενου λογαριασμού. Οι μετρήσεις των πραγματικών απαιτήσεων σε μηνιαία βάση δεν είναι διαθέσιμες σε μεμονωμένους πελάτες. Εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση όπου έχουν εγκατασταθεί ακριβοί συνεχόμενης καταγραφής μετρητές.

Σε ένα επίπεδο συστήματος, οι συνολικές μηνιαίες απαιτήσεις προσδιορίζονται συνήθως με την προσθήκη καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας στην είσοδο και έξοδο μιας περιοχής της καθαρής παραγωγής, με την βοήθεια συνεχόμενης καταγραφής από τις εταιρείες κοινής ωφέλειας στην παραγωγή και στα επίπεδα μεταφοράς.

3.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ

Το άθροισμα κάθε ζήτησης πελατών συνεισφέρει στο «ατόφιο» φορτίο των χρησιμοποιούμενου συστήματος. Αυτή είναι η απαίτηση της ηλεκτρικής ενέργειας που τοποθετείται στο φυσικά χρησιμοποιούμενο σύστημα από πελάτες που βρίσκονται στο σύστημα διανομής. Περιλαμβάνει τις πραγματικές απαιτήσεις του πελάτη καθώς επιπλέον τις ηλεκτρικές απώλειες στο σύστημα μεταφοράς και διανομής. Αυτές οι απώλειες κυμαίνονται μεταξύ

7 και 12% της κατανάλωσης ενέργειας του πελάτη και 50% των συνολικών απαιτήσεων του συστήματος.

Πέρα από τις απαιτήσεις των πελατών και των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας, ο εξοπλισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να παρέχει και την απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ ώστε να λειτουργήσει ο συγκεκριμένος εξοπλισμός. Αυτό περιλαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των διαφόρων βοηθητικών συσκευών σε σταθμούς παραγωγής (αντλίες, θερμάστρες, κινητήρες, κ.λπ.), οι οποίοι είναι γνωστοί ως πρατήρια. Αυτή η ενέργεια είναι συνήθως περίπου 5% της ενέργειας που παράγεται σε εργοστάσια με γεννήτριες ατμού και λιγότερο για αεριοτουρμπίνες και υδροτουρμπίνες.

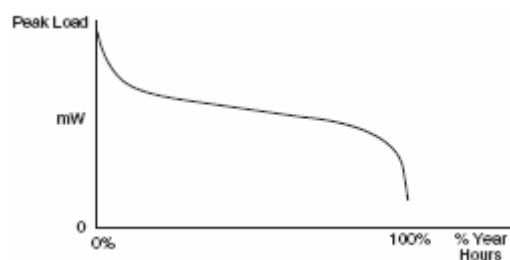
Το σύστημα ζήτησης καθαρής αιχμής είναι το φορτίο που χρησιμοποιείται για τους σκοπούς σχεδιασμού. Αυτό περιλαμβάνει το φορτίο των πελατών και το σύστημα των απωλειών, αλλά όχι το φορτίο για τα πρατήρια. Στο σχήμα 12 δίνεται μια συνηθισμένη ετήσια καμπύλη φόρτισης. Παρατηρείται η μέγιστη κορυφή φόρτισης, η οποία πραγματοποιείται μόνο ένα μικρό ποσοστό ωρών κάθε χρόνο. Σε μερικές περιοχές εξαιτίας της ευαισθησίας του καιρού, με την οποία σχετίζεται η ζήτηση των πελατών, παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό ωρών μέσα στο χρόνο όπου το σύστημα φόρτισης είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το 95% της μέγιστης φόρτισης.

Η καθαρή παραγωγή σε ένα σύστημα κοινής ωφέλειας περιλαμβάνει ένα καθαρό σύστημα φόρτισης, συν ή μείον τις αγορές ή τις πωλήσεις σε άλλες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Αυτό το φορτίο καλείται μερικές φορές συνολικό φορτίο. Όταν τα δεδομένα του φορτίου παρέχονται από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, είναι σημαντικό να υπάρχει σαφή οριοθέτηση του επιθυμητού φορτίου, δηλαδή εάν είναι αρχικό ή συνολικό. Είναι επίσης

σημαντικό το γεγονός ότι λαμβάνονται τα καθαρά φορτία, δεδομένου ότι αυτό είναι ο κανόνας της βιομηχανίας.

Σύμφωνα με την εμπειρία, το φορτίο σε μία περιοχή ποικίλει σε ημερήσια, εβδομαδιαία και εποχιακή βάση. Αυτή η διαφοροποίηση μετρείται από ένα μέγεθος που καλείται παράγοντας φορτίου. Ο παράγοντας φορτίου ορίζεται ως ο λόγος του μέσου φορτίου προς το μέγιστο φορτίο κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου (εκφράζεται σε ποσοστό). Το τοπικό φορτίο τείνει να έχει μικρότερο παράγοντα φορτίου από τον αντίστοιχο σε βιομηχανικά φορτία. Όσο χαμηλότερος είναι ο παράγοντας φορτίου, τόσο μικρότερη είναι η πλήρης χρησιμοποίηση της εγκατεστημένης ικανότητας παραγωγής και διανομής.

Η ποικιλομορφία των φορτίων αιχμής του πελάτη μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις όπου ο χρόνος του φορτίου αιχμής σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή μπορεί να διαφέρει από τη στιγμή της αιχμής του συστήματος. Για παράδειγμα, η αιχμή μίας τοπικής περιοχής το βράδυ όταν το σύστημα αιχμής πραγματοποιείται αργά το απόγευμα.



Σχήμα 12. Καμπύλη ετήσιας φόρτισης.

3.8 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Μέχρι τη δεκαετία του 1970, δόθηκε έμφαση στη διασφάλιση επαρκούς παραγωγικής ικανότητας, η οποία ήταν διαθέσιμη για την κάλυψη του φορτίου αιχμής. Αυτή η έμφαση, όμως, ήταν εξαιρετικά δαπανηρή, λόγω του αυξανόμενου κόστους κατασκευής μονάδων παραγωγής, από τις οποίες ορισμένες ήταν απαραίτητες λίγες ώρες κάθε χρόνο. Επιχειρήσεις κοινής

ωφέλειας δημιούργησαν προγράμματα για τη διαχείριση της ζήτησης, έτσι ώστε να μπορεί να μειωθεί το φορτίο αιχμής για πρόσθετες ανάγκες παραγωγής.

Το φορτίο θα μπορούσε να μειωθεί, δίνοντας παραπάνω ισχύ κάποιες συγκεκριμένες περιόδους της ημέρας ή του χρόνου, ή ελέγχοντας απευθείας την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (διαχείριση φορτίου). Στην διαχείριση φορτίου, οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας συνδέουν μια συσκευή ελέγχου σε μία ή περισσότερες συσκευές πελατών. Κατά τη διάρκεια υψηλής ζήτησης, η εταιρεία διακόπτει τη λειτουργία της συσκευής για ένα χρονικό διάστημα, καθιστώντας έτσι λιγότερο αναγκαίο να δημιουργήσει αποθεματικά ενέργειας για το βοηθητικό πρόγραμμα. Κατά μία έννοια, η εταιρεία έχει δημιουργήσει πρόσθετους πελάτες διακόποντας της παροχής. Οι δοκιμές δείχνουν ότι, για πολλά συστήματα, το κόστος εξοπλισμού για τη διαχείριση του φορτίου ανά KW της μείωσης της ζήτησης είναι πολύ μικρότερο από εκείνο της προστιθέμενης ποσότητας για την κάλυψη κάθε KW για επιπλέον ζήτηση. Ωστόσο, η μείωση των δασμών που απαιτείται για την αποδοχή από τον πελάτη μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη.

Αν και οι ακριβείς ορισμοί διαφέρουν σημαντικά, οι τεχνικές διαχείρισης φορτίου συνήθως χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τον άμεσο έλεγχο, με τον οποίο η εταιρεία ελέγχει τις συσκευές κατά την τελική χρήση, μέσω του εποπτικού ελέγχου, και τον έμμεσο έλεγχο, στο οποίο η μετατόπιση του φορτίου επαφίεται στη διακριτική ευχέρεια του πελάτη με την παροχή δελεαστικών τιμών. Δεν είναι άμεσα σαφές πώς οι διακοπτόμενες συμβάσεις παροχής υπηρεσιών θα πρέπει να ταξινομούνται σε μια τέτοια διαμέριση. Ορισμένες ορίζουν δύο ελαφρώς διαφορετικές κατηγορίες, δηλαδή: την ενεργή διαχείριση φορτίου, η οποία επιτρέπει στην εταιρεία να ελέγχει, να διακόπτει, ή να μετατοπίζει μία αρκετά ακριβή ποσότητα φορτίου για αρκετά ακριβές χρονικό διάστημα, για να φιλοξενήσει μια αρκετά συγκεκριμένη ανάγκη και την παθητική διαχείριση φορτίου, η οποία υπόκειται σε ζήτηση των πελατών και μπορεί ή αντίθετα όχι να οδηγήσει σε ένα βέλτιστο όφελος

για την εταιρία. Στην περίπτωση αυτή, η τελευταία κατηγορία σαφώς περιλαμβάνει διακοπόμενη υπηρεσία ως δραστική τεχνική διαχείρισης φορτίου.

Για τους σκοπούς αυτής της συζήτησης, οι δύο κατηγορίες θα οριστούν για τον έλεγχο της διαχείρισης φορτίου της εταιρείας και του πελάτη. Η ελεγχόμενη διαχείριση φορτίου της εταιρείας πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις μετρήσεις των τροποποιήσεων του φορτίου (ή μετατοπίσεων) με τις οποίες η εταιρεία διατηρεί τον πλήρη έλεγχο για την εφαρμογή της ή όχι, ανάλογα με τις ανάγκες. Οι ελεγχόμενες μετρήσεις των πελατών, από την άλλη πλευρά, δεν περιλαμβάνουν μόνο τις μετρήσεις για τις οποίες ο πελάτης διατηρεί τον πλήρη έλεγχο, αλλά και τις σταθερές συμφωνίες για τον έλεγχο του φορτίου (όπως η προεπιλογή, η χρονομετρημένη αλλαγή σε ένα θερμοσίφωνα), οι οποίες, από στιγμή σε στιγμή, δεν είναι υπό τον άμεσο έλεγχο και των δύο ομάδων.

Η κατηγοριοποίηση των διαφόρων χρησιμότητα ελεγχόμενων φορτίων των εταιρειών και των πελατών παρουσιάζεται στο σχήμα 13. Όπως δείχνει το σχήμα, οι ελεγχόμενες μετρήσεις της εταιρείας χωρίζονται σε αυτές, όπως η αποθήκευση και η συγκέντρωση, οι οποίες τείνουν να αυξήσουν το μέγεθος του δυναμικού κατά τη διάρκεια των συστημάτων αιχμής, και τις εν λόγω, ως διακοπόμενη λειτουργία ή ως απομακρυσμένο έλεγχο φορτίου, οι οποίες στοχεύουν στη μείωση του φορτίου σε αυτούς τους χρόνους. Σε κάθε περίπτωση, το καθαρό αποτέλεσμα αυξάνει τη διαφορά μεταξύ των διαθέσιμων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και του φορτίου του συστήματος κατά τις περιόδους αιχμής. Όλες οι ελεγχόμενες τεχνικές στην εταιρεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των διακυμάνσεων του φορτίου του συστήματος καθημερινά ή εποχιακά.

Στο σχήμα 13 δίνονται επίσης, δύο κατηγορίες ελεγχόμενης διαχείρισης του φορτίου πελατών. Η πρώτη περιλαμβάνει όλα οι μετρήσεις που λαμβάνονται

από τους πελάτες για την κάλυψη των δικών τους απαιτήσεων κατά την τελική χρήση ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Οι μετρήσεις αυτές περιλαμβάνουν την αυτο-παραγωγή και αποθήκευση της ενέργειας. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει κάθε αρχική δράση πελάτη είτε για να αποτραπούν ή για να περιορίσουν ειδικά φορτία κατά την τελική χρήση κατά τη διάρκεια καθορισμένων χρονικά διαστημάτων αιχμής των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Οι δράσεις αυτές μπορούν να βασίζονται είτε σε κάποιο διαπραγματεύσιμο συμβόλαιο ή συμφωνία μεταξύ του πελάτη και της εταιρίας είτε στην εθελοντική απάντηση του πελάτη σε άλλα κίνητρα, όπως οι λόγοι των χρόνων ανά ημέρα.

Utility Controlled		Customer Controlled	
Supply Side	Demand Side	Backup or Storage	End-Use Modification
Energy Storage	Interruptible Power	On-Peak Self Generation	Load Deferral
Power Pooling	Remote Control of Customer Load	Customer Energy Storage	Load Curtailment
			- Under contract
			- Voluntary response to incentives

Σχήμα 13. Πιθανή κατηγοριοποίηση των τεχνικών διαχείρισης του φορτίου.

3.9 ΑΕΡΓΗ ΙΣΧΥΣ

Μέχρι στιγμής, στο κεφάλαιο αυτό έχουμε μιλήσει για πραγματική ισχύ. Όπως αναφέρεται στην προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει και μια άλλη πτυχή της ισχύος, την άεργη ισχύ, η οποία είναι χρήσιμη σε εξοπλισμούς που περιλαμβάνουν πηνία ή κινητήρες, και ούτω καθεξής, με απαραίτητη προϋπόθεση τη χρήση μαγνητικού πεδίου για τη σωστή λειτουργία. Αυτές οι συσκευές μοιάζουν με επαγωγικό φορτίο στο σύστημα. Οι μηχανικοί αναφέρονται σε αυτή την επίδραση ως αποτέλεσμα ενός συντελεστή ισχύος στο σύστημα.

Αυτή η άεργη ισχύς μπορεί να παρέχεται από διάφορες πηγές, μεταξύ των οποίων είναι οι γεννήτριες στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλες πηγές

είναι οι πυκνωτές συνδεδεμένοι μεταξύ των γραμμών και του εδάφους (ονομάζονται "παράλληλοι πυκνωτές") και η επίδραση της χωρητικότητας των καλωδίων υψηλής τάσης και των μεγάλων διαστάσεων εναέριων ηλεκτρικών γραμμών.

Ένα σύστημα ισχύος δεν θα λειτουργήσει σωστά και δεν θα παραμείνει σε λειτουργία εάν δεν είναι διαθέσιμη επαρκής άεργη ισχύς ίση με τα άεργα φορτία συν τις μεγάλες άεργες απώλειες στο σύστημα.

3.10 ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

Σε μεγάλο βαθμό, η δραστηριότητα της ηλεκτρικής βιομηχανίας ενέργειας οδηγείται από προβλέψεις. Οι προβλέψεις της περιόδου αιχμής της ζήτησης ηλεκτρικής χρησιμοποιούνται ως βάση για μεγάλο βεληγεκούς αποφάσεις όσο αφορά την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Ενώ μια συνολική πρόγνωση είναι συνήθως κατάλληλη για τον σχεδιασμό της παραγωγής, η πρόβλεψη πρέπει να αναλύεται για τον σχεδιασμό της μεταφοράς και της διανομής.

Επίσης, γίνονται προβλέψεις για τις ενεργειακές ανάγκες. Οι προβλέψεις αυτές μπορεί να είναι σε βάση sendout ή με βάση τις πωλήσεις. Η διαφορά μεταξύ sendout και των πωλήσεων είναι ότι sendout είναι η ποσότητα που μετριέται στην έξοδο των γεννητριών και είναι, στην ουσία, ο "πραγματικός χρόνος". Τα δεδομένα των πωλήσεων, από την άλλη πλευρά, είναι ότι οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τους μετρητές στις εγκαταστάσεις του πελάτη και είναι συνήθως το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται από τον λήπτη του προηγούμενου μήνα (ή «κύκλος χρέωσης, η περίοδος από την στιγμή που έγινε η τελευταία μέτρηση του πελάτη»).

Οι προβλέψεις sendout χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των πηγών ενέργειας καθώς οι ενεργειακές ανάγκες των πελατών καθορίζουν το ποσό των καυσίμων που απαιτούνται για την παραγωγή. Οι προβλέψεις των πωλήσεων είναι συνήθως η βάση των απαιτούμενων προβλέψεων των εσόδων για τον χρηματοοικονομικό σχεδιασμό.

Οι προβλέψεις συνήθως εκπονούνται ετησίως, λαμβάνοντας υπόψη τις πλέον πρόσφατη εμπειρία. Πολλοί συμμετέχοντες βασίζονται στις προβλέψεις τους στις υποτιθέμενες καιρικές συνθήκες, δηλαδή, την κανονική θερμοκρασία και υγρασία, δίνοντας βάρος στην εμπειρία των προηγούμενων χρόνων. Τα φορτία αιχμής και οι ενέργειες sendout και των πωλήσεων θεωρούνται «γνωστά για κάθε καιρό». Γι αυτό τον λόγο οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται ως αφετηρία για τις προβλέψεις. Ο χρονικός ορίζοντας για τις προβλέψεις αιχμής φορτίου εξαρτάται από τον σχεδιασμό του κύκλου. Δεν υπάρχει σε ολόκληρη τη βιομηχανία ένας ετησίως χρονικός ορίζοντας για την πρόβλεψη δεδομένου ότι ο κύκλος σχεδιασμού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Αυτό οφείλεται κατά μεγάλο μέρος από το χρόνο που χρειάζεται ώστε να ληφθεί κρατική ρυθμιστική έγκριση για τις εγκαταστάσεις νέας ηλεκτρικής ενέργειας και μετάδοσής της. Σε γενικές γραμμές, τα τελευταία χρόνια, το χρονικό διάστημα για την κατασκευή νέας ενέργειας έχει μειωθεί όπως επίσης και το χρονικό διάστημα των προβλέψεων. Στις 31 του Ιουλίου του 2001, η ανακοίνωση της Proposed Rulemaking on Standard Market Design (FERC), αναφέρει ότι η ανεξάρτητη υπηρεσία μετάδοσης των παροχών θα πρέπει να υπολογίζει την προβλεπόμενη ζήτηση για ένα διάστημα από 3 έως 5 χρόνια. Πολλοί θεωρούν ότι αυτή η περίοδος είναι ανεπαρκής.

Η ενέργεια και οι προβλέψεις για τα έσοδα τείνουν να οδηγούνται από το μεμονωμένο σύστημα και τις ρυθμιστικές ανάγκες. Σε ορισμένα κράτη τα επιτόκια βασίζονται σε δοκιμαστικές προβλέψεις ετών, που απαιτούν πωλήσεις και προβλέψεις εσόδων ως εισροές προς τις αναλύσεις των προβλεπόμενων απαιτήσεων των εσόδων.

Κάθε πρόβλεψη, δεδομένου ότι εξαρτάται από τις υποθέσεις, έχει ένα βαθμό αβεβαιότητας. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος της πρόβλεψης, τόσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα. Από μια προοπτική σχεδιασμού, αυτό δημιουργεί ένα δίκοπο μαχαίρι: σε πολύ χαμηλή μπορεί να μην υπάρχουν αρκετή ενέργεια στην παροχή φορτίου για τους πελάτες. Σε υπερβολικά υψηλή πρόβλεψη τα έσοδα θα είναι λιγότερα από τα αναμενόμενα δημιουργώντας οικονομικά προβλήματα. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της μέγιστης ζήτησης. Η πιο στοιχειώδης προσέγγιση περιλαμβάνει την προβολή των έμπειρων φορτίων. Η τεχνική αυτή προϋποθέτει ότι ο βασικός τρόπος χρήσης του πελάτη παραμένει ο ίδιος. Αυτή η τεχνική έχει εφαρμογή σε βραχυπρόθεσμες ημερήσιες και εβδομαδιαίες προβλέψεις για λειτουργικούς σκοπούς.

Οι προβλέψεις μπορεί να είναι είτε "από πάνω προς τα κάτω" ή "από κάτω προς τα πάνω". Οι προβλέψεις από πάνω προς τα κάτω, ονομάζονται οικονομικό μοντέλο, το οποίο αφορά το μελλοντικό συνολικό φορτίο του συστήματος σε ένα σύνολο μακροοικονομικές προσεγγίσεων. Η ποικιλία των στατιστικών τεχνικών μοντελοποίησης χρησιμοποιείται για να συσχετίσει ένα αρχικό φορτίο με μία ή περισσότερες επεξηγηματικές μεταβλητές. Κάποιες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεταβλητές είναι οι ποικίλες μετρήσεις της εργασίας, οι τιμές του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) και οι τιμές της ενέργειας. Οι προβλέψεις αυτές των μεταβλητών γίνονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην πρόβλεψη. Οι προβλέψεις μπορεί να βασίζονται σε ένα ενιαίο πρότυπο για μια ολόκληρη περιοχή της υπηρεσίας ή σε μια σειρά μοντέλων για διαφορετικές ταξινομήσεις πελατών, όπως είναι, το οικιστικό, το εμπορικό, και ούτω καθεξής, καθένα με τις δικές του επεξηγηματικές μεταβλητές.

Ένα μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι υποθέτουμε ότι οι ηλεκτρικές χρήσεις παραμένουν οι ίδιες όπως στο παρελθόν. Κάτι τέτοιο δεν

λαμβάνει υπόψη τον αντίκτυπο των νέων τεχνολογιών και των σημαντικών μεταβολών στις υποκείμενες χρήσεις των πελατών. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο που βασίζεται στα δεδομένα του φορτίου τις δεκαετίες 1970 και 1980 δεν θα μπορεί να καταλάβει την επίπτωση που θα έχουν οι προσωπικοί υπολογιστές στη δεκαετία του 1990 στο συνολικό φορτίο. Μοντέλα που βασίζονται σε στοιχεία από ακόμη και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 δεν μπορούν να συλλάβουν την τάση για τους εργαζόμενους να εργάζονται στο σπίτι, αντί να βρίσκονται σε μεγάλα κτίρια γραφείων.

Μια λύση, που ονομάζεται προσέγγιση κατά την τελική χρήση, είναι να καθορίσουν τον ιδιαίτερο εξοπλισμό σε κάθε κατηγορία πελάτη και την χρήση της ενέργειας. Η πρόβλεψη αφορά το μελλοντικό φορτίο των γνωστών ή υποτιθέμενων μεταβολών στο απόθεμα των συσκευών κατανάλωσης ενέργειας. Ο οικιακός πελάτης θα μπορούσε να προσδιοριστεί από τον αριθμό και τον τύπο των συσκευών, τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης, φωτισμού, και ούτω καθεξής.

Χρησιμοποιώντας ένα οικιστικό πρότυπο κατά την τελική χρήση, ο προβλέπων μπορεί να έχει το λόγο σε θέματα που αφορούν τον κύκλο εργασιών των συσκευών, την αποτελεσματικότητα της συσκευής, τις επιπτώσεις DSM, τις επιπτώσεις των νέων τεχνολογιών και ούτω καθεξής. Η ευελιξία αυτή έχει κάποιο κόστος, καθώς απαιτείται μεγάλος όγκος πληροφοριών. Μια συνολική κατανάλωση έχει αναπτυχθεί για κάθε πελάτη και στη συνέχεια για όλους τους πελάτες του ίδιου τύπου. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί πληροφορίες σχετικά με τους τύπους των συσκευών των πελατών, τις ηλεκτρικές απαιτήσεις για κάθε πληροφορία σχετικά με την ηλικία και την αποτελεσματικότητά της (η πρόβλεψη να πρέπει να περιλαμβάνει την επίδραση του κύκλου εργασιών της συσκευής με νεότερες συσκευές, υψηλότερης απόδοσης), το είδος του εξοπλισμού που αγοράζουν, τον μέσο όρο του χρονικού διαστήματος που χρησιμοποιείται και τον διαφορετικό παράγοντα χρήσης των πελατών.

Η εμπορική μοντελοποίηση κατά την τελική χρήση είναι πιο περίπλοκη από την οικιακή μοντελοποίηση κατά την τελική χρήση, λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων που χρησιμοποιούνται από αυτούς τους πελάτες και το συνακόλουθο πρόβλημα της απόκτησης των αναγκαίων δεδομένων σχετικά με αυτούς. Το πρόγραμμα Commend της EPRI ορίζει δώδεκα τύπους κτιρίων, δέκα τελικές χρήσεις και τέσσερις τύπους καυσίμου (που να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση του δυναμικού της υποκατάστασης εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την ηλεκτρική ενέργεια). Επίσης, θα πρέπει να παρέχονται τα τετραγωνικά πόδια για κάθε είδος κτιρίου, καθώς και η χρήση της ενέργειας ανά τετραγωνικό πόδι. Αλλαγές στην πελατειακή βάση, όπως για παράδειγμα, ο χώρος των νέων γραφείων σε μία υπηρεσία, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο. Η μοντελοποίηση κατά την τελική χρήση των βιομηχανικών πελατών γενικά δεν χρησιμοποιείται λόγω της ποικιλίας των επιμέρους κλάδων που απαρτίζουν τον τομέα. Ο κάθε κλάδος απαιτεί δικό του μοντέλο. Μία προσέγγιση, που συχνά ονομάζεται η προσέγγιση από τη βάση, εφαρμόζει ορισμένες από αυτές τις τεχνικές για μικρότερες περιοχές ή περιοχές, οι οποίες στη συνέχεια συνδυάζονται σε μεγαλύτερα σύνολα περιοχών. Αυτή η προσέγγιση από τη βάση έχει το πλεονέκτημα της ποικιλομορφίας των παραδοχών. Ορισμένες προβλέψεις μπορεί να είναι υψηλές, μερικές χαμηλές με λάθη κατά την κατανόηση. Με τις προβλέψεις από πάνω προς τα κάτω, εάν μια μεγάλη υπόθεση είναι λάθος, τότε όλη η πρόβλεψη θα είναι λανθασμένη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται συνδυασμός τεχνικών, όπως η μοντελοποίηση κατά την τελική χρήση για το οικιακό φορτίο, το οικονομικό υπόδειγμα για το εμπορικό φορτίο και η παρέκταση αρχικού φορτίου προσαρμοσμένο για γνωστές αλλαγές (ανοίγματα ή κλείσιμο βιομηχανιών) για το βιομηχανικό φορτίο. Οι τεχνικές επιλεγμένων μοντέλων καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και το είδος του ηλεκτρικού

φορτίου, τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και των πόρων που διαθέτει ο προβλέπων.

3.11 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΜΕΤΡΗΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ

Όλη η ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής δεν αντανakλάται στους λογαριασμούς που αποστέλλονται στους πελάτες. Η διαφορά αυτή οφείλεται σε δύο θέματα. Το πρώτο ονομάζεται μη μετρήσιμη ενέργεια. Αυτή η ενέργεια δεν μετρείται από την τοπική επιχείρηση κοινής ωφέλειας και συνήθως οφείλεται σε κλοπή των υπηρεσιών. Σε ορισμένες υπανάπτυκτες χώρες, αυτή η κατηγορία μπορεί να είναι όσο το 50% της παραγόμενης ενέργειας. Το δεύτερο είναι οι απώλειες στο σύστημα που συνδέεται άμεσα με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συστήματος παράδοσης. Πρόκειται για ένα σημαντικό στοιχείο κατά την επιλογή των νέων πολιτικών για την ηλεκτρική ενέργεια, κατά τον εντοπισμό νέων μονάδων παραγωγής, όταν αποφασίζουν ποια γεννήτρια να τρέξει για τον εφοδιασμό της επόμενης αύξησης του φορτίου, όταν αποφασίζουν σχετικά με το επίπεδο τάσης και τα μεγέθη των αγωγών για νέα μεταβίβαση και, όταν αποφασίζουν για το ποσό της τάσης για την παροχή στήριξης.

Απώλειες εμφανίζονται στις γραμμές και τους μετασχηματιστές. Οι απώλειες στις γραμμή συνδέονται άμεσα με το τετράγωνο της τιμής του ρεύματος (I^2R). Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρει το σύστημα παροχής και η απόσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της ενέργειας που χάνεται ως θερμότητα. Οι απώλειες μετασχηματιστών είναι δύο ειδών: απώλεια μη φορτίου και απώλεια φορτίου. Οι απώλειες μη φορτίου συνδέονται με την υστέρηση και την απώλεια δινορευμάτων του πυρήνα του μετασχηματιστή και είναι ανεξάρτητες από την τρέχουσα. Η απώλεια μετασχηματιστή φορτίου σχετίζεται με I^2R . Οι απώλειες μη φορτίου

ποικίλλουν ως τη τρίτο με πέμπτη ισχύ της τάσης και αυξάνονται σημαντικά όταν οι τάσεις βρίσκονται εκτός του εύρους σχεδιασμού.

Οι κατασκευαστές μετασχηματιστών εξετάζουν το μέγεθος των απωλειών ως ένα στοιχείο των απαιτήσεων κατά τον σχεδιασμό ενός μετασχηματιστή. Συνήθως, το κόστος των αναμενόμενων απωλειών είναι μια ανταλλαγή με το κόστος του κεφαλαίου για την αγορά του μετασχηματιστή. Οι απώλειες μπορούν να μειωθούν με την αύξηση του μεγέθους, και συνεπώς το κόστος του μετασχηματιστή. Ο Rustebakke αναφέρει ότι οι συνολικές απώλειες σε ένα μετασχηματιστή εξόδου ανέρχονται περίπου σε 0,3 - 0,6% των kilovolt-Amperes της μονάδας. Στα περισσότερα συστήματα ισχύος οι απώλειες φορτίου είναι 60% έως 70% των συνολικών απωλειών με τις απώλειες μη φορτίου του μετασχηματιστή να είναι από 30% - 40%. Τα τελευταία χρόνια, καθώς η χονδρική αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας έχει απελευθερωθεί, νέα διαδικασίες ακολουθούνται με αποτέλεσμα να προκαλείται αύξηση των απωλειών μεταφοράς λόγω της αυξημένης ροής του ηλεκτρικού ρεύματος στο μεγαλύτερο μέρος του δικτύου μεταφοράς, σε μεγαλύτερες αποστάσεις χωρίς ανάλογη αύξηση της ικανότητας μεταφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Παραγωγή είναι η διαδικασία μετατροπής των ενεργειακών πόρων σε ηλεκτρική ενέργεια, προκειμένου να είναι σε θέση να καλύπτει τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας των πελατών ανά πάσα στιγμή. Στην περιγραφή της λειτουργίας των ηλεκτρικών μονάδων παραγωγής, είναι χρήσιμο για να λαμβάνεται κάθε μονάδα ως ένα πλήρες σύστημα με είσοδο (καύσιμα) και έξοδο (ηλεκτρική ενέργεια). Μεταξύ της εισόδου και της εξόδου υπάρχουν

διάφορες συσκευές μετατροπής ενέργειας: λέβητες, μηχανές, στρόβιλοι, ηλεκτρικές γεννήτριες. Οι συσκευές αυτές μετατρέπουν την ενέργεια που περιέχεται στο καύσιμο σε θερμική ενέργεια (θερμότητα), τη θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια και, τέλος, τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω της συντονισμένης λειτουργία αρκετών εκατοντάδων φυσικών συστατικών. Η συγκεκριμένη διαδικασία εξαρτάται από το είδος και τα μεγέθη των βιομηχανιών. Μερικά από τα γενικότερα στοιχεία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνονται καλύτερα κατανοητά μέσω της αναθεώρησης των διαφόρων είδη μονάδων και των χαρακτηριστικών τους.

Με σκοπό να αναλύσουμε, να λειτουργήσουμε και να σχεδιάσουμε τα συστήματα παραγωγής, απαιτούνται συνήθως ορισμένα είδη στοιχείων, όπως για παράδειγμα, τα δεδομένα αποτελεσματικότητας, τα ποσοστά θερμότητας, η ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πληροφορίες αυτές, μαζί με το κόστος των καυσίμων, χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό της κατανομής του φορτίου μεταξύ των διαφόρων γεννητριών στο σύστημα. Για περισσότερα από 80 χρόνια αυτό γινόταν ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος παραγωγής. Μετά την αναδιάρθρωση, η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται από τους ιδιοκτήτες των μονάδων για τον καθορισμό των τιμών τους και την μεγιστοποίηση των κερδών τους κατά την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διασφάλιση της επαρκούς χωρητικότητας είναι μια άλλη απαίτηση για το σύστημα παραγωγής. Για το σκοπό αυτό, είναι σημαντικά τα δεδομένα του εξοπλισμού βλάβης, τα δεδομένα διακοπής και οι απαιτήσεις συντήρησης. Παρόλο τη διαθεσιμότητα των δεδομένων αυτών, γίνονται αναλύσεις αξιοπιστίας για τον καθορισμό της καταλληλότητας του συνολικού ποσού του δυναμικού παραγωγής για την ικανοποίηση της μέγιστης ζήτησης που θα τεθεί για το σύστημα ay μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Είναι επίσης σημαντικό το γεγονός ότι τα συστήματα παραγωγής έχουν επαρκή καύσιμα για διάθεση ή στην αποθήκευση διάφορων ειδών μελλοντικών αναγκών σε περίπτωση διακοπής του εφοδιασμού των καυσίμων για οποιοδήποτε λόγο. Για το σκοπό αυτό, καθώς και για την ελαχιστοποίηση του κόστους των καυσίμων, θα πρέπει να τηρούνται τα δεδομένα.

4.1 ΕΙΔΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Πολλοί τύποι εγκαταστάσεων παραγωγής βρίσκονται σε χρήση στις μέρες μας και πιθανόν στο μέλλον, συμπεριλαμβανομένου τις εγκαταστάσεις ατμού που τροφοδοτούνται με άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, τα πυρηνικά εργοστάσια, τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς και τις μονάδες που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα περισσότερα είδη μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να ομαδοποιούνται σύμφωνα με την κινητήρια δύναμη, το είδος της συσκευής δηλαδή, που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια. Τα είδη των κινητήριων δυνάμεων που χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες σήμερα είναι τα εξής:

- Ατμοστρόβιλος
- Αεριοστρόβιλος καύσης
- Εμβολοφόροι κινητήρες

Διαφορετικά καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιούνται για τα διάφορα είδη των κινητήριων δυνάμεων. Η πηγή θερμότητας μπορεί να προέρχεται από την καύση άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου ή της θερμότητας που εκπέμπεται σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα.

4.1.1 Ατμοστρόβιλοι

Σε μια μονάδα παραγωγής με τουρμπίνα ατμού (ατμοστρόβιλος), ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) καίγονται σε ένα φούρνο. (Σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο η θερμότητα που παράγεται είναι αποτέλεσμα μιας

αλυσιδωτής πυρηνικής αντίδρασης.) Η θερμότητα που εκπέμπεται από την παρούσα καύση αντιστοιχεί στη θέρμανση του νερού σε ένα λέβητα σε τέτοια θερμοκρασία ώστε να παραχθεί ατμός. Το ρεύμα αυτό (που μπορεί να είναι ζεστό ως 1.000 βαθμούς F και σε πιέσεις τόσο υψηλές όσο 3.600 psi) περνάει στη συνέχεια, μέσω ενός ή περισσότερων ανεμογεννητριών. Η ενέργεια που περιέχεται στον ατμό, εξάγεται επιτρέποντας τον ατμό να επεκταθεί και να κρυώσει καθώς περνά μέσα από την τουρμπίνα (εξ). Αυτή η ενέργεια περιστρέφει τις λεπίδες του στροβίλου, που είναι συνδεδεμένες με έναν άξονα. Αυτό ο άξονας συνδέεται με την ηλεκτρική γεννήτρια και στρέφει την σπείρες του μαγνητικού πεδίου της γεννήτριας, παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια. Αφού περάσει μέσα από την τουρμπίνα, ο ατμός περνά μέσα από ένα συμπυκνωτή, όπου ψύχεται και γίνεται νερό με σκοπό την επαναφορά του στο λέβητα.

Η λειτουργία μιας μονάδας ατμού απαιτεί πολλές αντλίες, ανεμιστήρες, και βοηθητικές συσκευές. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι αντλίες νερού τροφοδοσίας, οι οποίες κατευθύνουν το νερό μέσω των λεβήτων, οι ανεμιστήρες, οι οποίοι παρέχουν επαρκή αέρα κατά την καύση στον λέβητα, καθώς και το σύστημα που εγχέει τα καύσιμα στο λέβητα. Στη συνέχεια, αφήνοντας την τουρμπίνα, επιπλέον θερμότητα αποσπάται από τον ατμό στους θερμοσίφωνες, θερμαίνοντας το νερό που πάει στον λέβητα. Ο ατμός στη συνέχεια, συμπυκνώνεται και τροφοδοτείται πίσω στο λέβητα. Οι διαφορές στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θερμότητας οδηγούν στο σχεδιασμό και τον εξοπλισμό για κάθε σταθμό παραγωγής.

4.1.2 Αεριοστρόβιλοι καύσης

Οι στρόβιλοι καύσης συνήθως τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο, αλλά μπορούν να τροφοδοτηθούν και με κάποια υγρά. Σε έναν αεριοστρόβιλο καύσης, καυτά αέρια (ανάφλεξη μείγματος καυσίμου-αέρα) καίγονται και διαστέλλονται μέσω μιας τουρμπίνας, οδηγώντας σε μια γεννήτρια. Ένα πρόσθετο στοιχείο σε ένα στρόβιλο καύσης είναι ο συμπιεστής. Η συσκευή

αυτή αυξάνει την πίεση του αέρα που χρησιμοποιείται κατά την καύση με συντελεστή περίπου 10. Όταν ο αέρας συμπιέζεται με αυτόν τον τρόπο, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Η προκύπτουσα καύση αυτού του θερμού αέρα και το μίγμα καυσίμων αυξάνουν τη θερμοκρασία του αερίου σε ποσοστό ως και 2.000 ° F. Αυτό το αέριο στη συνέχεια διέρχεται από ένα στρόβιλο, όπου ψύχεται και διαστέλλεται. Η διαχεόμενη ενέργεια περιστρέφει το στρόβιλο, ο οποίος, με τη σειρά του, φέρνει σε λειτουργία μια ηλεκτρική γεννήτρια. Οι αεριοστρόβιλοι δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί όσο οι μονάδες ατμού, αλλά είναι αισθητά χαμηλότερο το κόστος τους. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συχνά ως μονάδες "αιχμής" για την παροχή μέγιστων αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του βασικού αυτού σχεδιασμού, κάθε μία προσπαθώντας να κάνει τη μέγιστη χρήση των εισροών ενέργειας στο σύστημα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η τουρμπίνα καυσαερίων χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα πριν από την καύση. Σε άλλες περιπτώσεις, τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του ατμού σε ένα λέβητα για να λειτουργεί σε συνδυασμό με μία μικρή γεννήτρια ατμοστρόβιλου. Αυτό είναι γνωστό ως μονάδα συνδυασμένου κύκλου. Οι εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου έχουν εξαιρετική απόδοση, καθώς ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας στην τουρμπίνα αερίου εξάτμισης ανακτάται. Οι μονάδες αερίου - συνδυασμένου κύκλου χρησιμοποιούνται ευρέως στις Ηνωμένες Πολιτείες.

4.1.3 Υδροστρόβιλοι

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από νερό, διοχετεύοντας μια κατακόρυφη στήλη με νερό, το οποίο στη συνέχεια περνάει από το "πτερόγιο" ενός υδροστρόβιλου. Σε μια συνηθισμένη υδροηλεκτρική μονάδα, το νερό συλλέγεται πίσω από ένα φράγμα. Αυτό το φράγμα προκαλεί την αύξηση της στάθμης του νερού. Κατά συνέπεια, κάποια δυναμική ενέργεια αποθηκεύεται στο νερό. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το νερό θα πρέπει να

διατρέξει έναν στρόβιλο σε μια χαμηλότερη στάθμη. Η διαφορά των στάθμεων μεταξύ των δύο επιπέδων του νερού ονομάζεται «κεφάλι». Στην υδροηλεκτρική παραγωγή, το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας για μια δεδομένη στήλη νερού είναι σε εξαρτάται άμεσα από το «κεφάλι».

Στην πιο κοινή διαμόρφωση, οι υδροστρόβιλοι και οι ηλεκτρικές γεννήτριες βρίσκονται στο χώρο του φράγματος. Ωστόσο, δεν είναι ασυνήθιστο οι στρόβιλοι και οι γεννήτριες να βρίσκεται πολλά χιλιόμετρα μετά το φράγμα. Με τη ρύθμιση αυτή, το νερό ρέει μέσα από ένα μεγάλο σωλήνα ή "υδατοφράκτης" από το φράγμα στους στροβίλους.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υδροηλεκτρικών σταθμών σε λειτουργία σήμερα. Στην απλούστερη μορφή, ένα ρεύμα ή ποτάμι εκτρέπεται ώστε να περάσει μέσα από μια υδραυλική τουρμπίνα. Ωστόσο, οι ημερήσιες και οι εποχιακές διακυμάνσεις στη ροή του ρεύματος προκαλούν αλλαγές στην έξοδο του υδροηλεκτρικού σχεδίου. Για αντιμετωπίσουμε αυτή την κατάσταση, έχουν χτιστεί δεξαμενές αποθήκευσης. Ένα τμήμα της ροής εκτρέπεται στην εγκατάσταση αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της κανονικής ροής ή σε συνθήκες υψηλής ροής. Στη συνέχεια, σε χαμηλές περιόδους ροής, το νερό από τη σημείο αποθήκευσης απελευθερώνεται, διατηρώντας έτσι την ηλεκτρική απόδοση του έργου.

4.1.4 Αντλιοσταμείωση

Σε άλλες συνθήσεις, το νερό αποθηκεύεται σε μια χαμηλότερη δεξαμενή και μέσω αντλιών μεταφέρεται σε υψηλότερη δεξαμενή ανύψωσης τη νύχτα, χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από θερμικές μονάδες σε ώρες εκτός αιχμής. Κατά τη διάρκεια των ωρών μέγιστου φορτίου, το νερό απελευθερώνεται από την επάνω δεξαμενή και περνάει μέσα από ένα στροβίλου ή τουρμπίνες, οι οποίες οδηγούν στις ηλεκτρικές γεννήτριες. Συχνά αυτές οι γεννήτριες στροβίλων είναι αναστρέψιμες και χρησιμοποιούνται για την άντληση του νερού από το κάτω ταμιευτήρα πίσω

στο άνω ταμιευτήρα την επόμενη νύχτα. Αυτός ο τύπος υδροηλεκτρικού σταθμού είναι γνωστός ως αντλιοστάσιο. Σε καθαρή βάση άντλησης οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια αλλά, στην πραγματικότητα, καταναλώνουν ενέργεια, δεδομένου ότι περίπου το ένα τρίτο της αποθηκευμένης ενέργειας χάνεται κατά την διαδικασία. Επίσης, προβαίνουν σε λειτουργίες "πολλαπλασιαστών". Λαμβάνουν χαμηλού κόστους ενέργεια που παράγεται σε κάποιο χρόνο και τόπο, την κρατάνε για λίγο, και στη συνέχεια χρησιμοποιείται άλλη χρονική στιγμή σε άλλα μέρη, όπου εναλλακτικές πηγές ενέργειας θα ήταν πιο ακριβές.

4.1.5 Πυρηνικές μονάδες

Οι πυρηνικές μονάδες χρησιμοποιούν την πυρηνική αντίδραση ως πηγή θερμότητας για ένα συμβατικό κύκλο. Υπάρχουν δύο αρχικά σχέδια που χρησιμοποιούνται για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες: αντιδραστήρες βραστού ύδατος και αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος. Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχουν περίπου 100 πυρηνικές μονάδες ενέργειας εν λειτουργία. Νέες πυρηνικές μονάδες δεν έχουν εγκατασταθεί εδώ και πολλά χρόνια στις Ηνωμένες Πολιτείες, λόγω της ανησυχίας για το κόστος του κεφαλαίου και της ασφάλειας. Ως μια εποχή που υπάρχουν αρκετές πυρηνικές μονάδες, μερικοί ιδιοκτήτες ζητούν παράταση των αδειών λειτουργίας τους. Άλλες πυρηνικές μονάδες αποσύρονται.

4.1.6 Παλινδρομικοί κινητήρες

Αυτό το είδος παραγωγής αποτελείται συνήθως από ένα μεγάλο ντιζελοκινητήρα που χρησιμοποιεί πετρέλαιο ντιζελ κίνησης ως πηγή ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τη σύνδεση του άξονα εξόδου του κινητήρα σε μία ηλεκτρική γεννήτρια. Οι βελτιώσεις των ντιζελοκινητήρων έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση του βάρους και στη βελτίωση της αποδοτικότητας.

4.1.7 Μικρο-τουρμπίνες

Αυτές είναι μικρές τουρμπίνες που βρίσκονται στους πελάτες ή κοντά σε αυτούς. Αυτές μπορούν να τοποθετηθούν στον μετρητή του πελάτη ή στο σύστημα διανομής ή στο σύστημα δευτερευουσών γραμμών, ανάλογα με το μέγεθός τους. Αυτές συνήθως τροφοδοτούνται με παροχή φυσικού αερίου.

4.1.8 Άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που σήμερα συμβάλλουν μόνο σε μικρές ποσότητες σε σχέση με τη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχει μια αναγέννηση στην ανάπτυξη πολλών νέων «μικρών» τεχνολογιών ειδικά στις μέρες μας που το κόστος των καυσίμων έχει αυξηθεί. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούν τον ήλιο, την υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς και άλλες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν κυψέλες καυσίμου, φωτοβολταϊκά κύτταρα, ανεμόμυλους, και ούτω καθεξής. Η σύγκριση ορισμένων από αυτές τις μικρές τεχνολογίες φαίνονται στο Σχήμα 14.

<u>Dispersed technology</u>	<u>Typical Size</u>	<u>Cost Compared to Conventional Plants</u>			<u>Use of Scarce Fuel Resources</u>	<u>Environmental Impact</u>	<u>Probable Date Of Introduction Into Power Systems</u>	<u>Special Considerations</u>
		<u>Capital</u>	<u>Operating</u>	<u>Maintenance</u>				
Small wind systems	100 W-750 kW	L	L	L	L	L	Now	An intermittent power source
Small scale hydro	1 kW – 15 mW	L	L	L	L	L	Now	Output varies seasonally; seasonal pattern may vary from year to year
Solar								
Thermal	1-10 mW	G	L	G	L	L	5 – 10 yrs	Truly intermittent; operates only during daylight, output varies with weather
Photovoltaics	1-500 kW	G	L	L	L	L	5 – 10 yrs	Same as above, also requires very large surface area
Fuel cells	5kW-30 mW	E	L	G	Depends on fuel	L	5 – 15 yrs	Modular and expandable, no moving parts
Cogeneration	20-100 mW	G	L	L	Depends on fuel	Depends on fuel	now	Electrical output typically depends on demand for thermal output
Waste derived fuels	1-20 mW	G	L	G	Depends on emission controls	Depends on emission controls	now	Economics may require fuel cost to be "negative"
Storage								
Batteries	0-5 mW	E	L	L	L	L	Depends on technology	Battery lifea concern
Compressed Air	0-100 mW	G	E	E	L	E	now	Limited sites available
Microturbines	0-5 mW	G	E	G	G	L	now	Limited site availability
Diesels	0-10mW	E	E	E	G	G	now	Limited site availability

Σχήμα 14. Σύγκριση μικρών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

G = Μεγαλύτερη από, L = Μικρότερη από, E = Ίση με

Το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει κεντρίσει επίσης, την ανάπτυξη βελτιωμένων μεθόδων για την παραγωγή ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια. Ο άνεμος κατευθύνεται σε ένα στρόβιλο, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια. Λόγω της μεταβλητής φύσης της πηγής ενέργειας, η ταχύτητα των ανεμογεννητριών δεν είναι σταθερή με αποτέλεσμα την εφαρμογή νέων μηχανών διαφορετικών από σύγχρονες γεννήτριες. Αυτές περιλαμβάνουν την επαγωγή γεννητριών, τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, και τις μεταβλητές γεννήτριες. Περαιτέρω ανάπτυξη του ηλεκτρονικού ελέγχου της ισχύς αναμφίβολα θα οδηγήσει σε δημιουργία νέων συστημάτων παραγωγής

ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια. Η πραγματική ικανότητα παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια είναι κατά πολύ μικρότερη από την ικανότητα των γεννητριών διότι υπάρχουν περιοδοί όπου ο άνεμος δεν είναι διαθέσιμος.

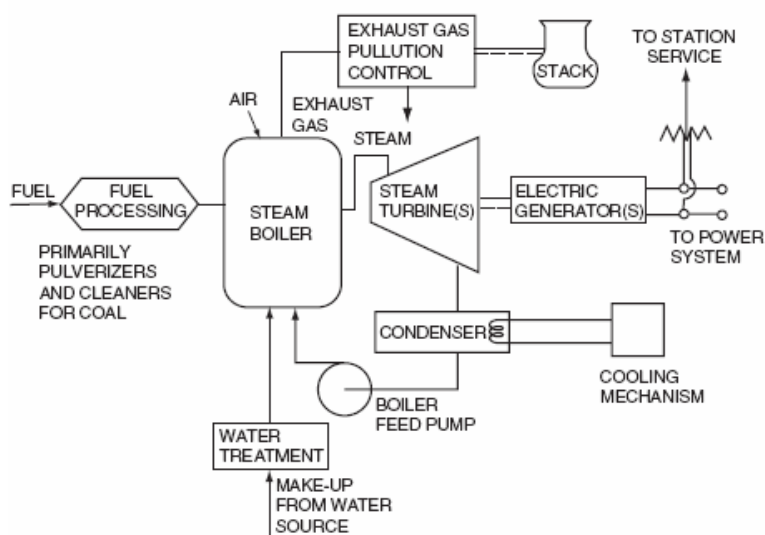
Η παραγωγή ρεύματος απευθείας από την ηλιακή ενέργεια δεν κατέχει προς το παρόν ένα σημαντικό μερίδιο της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή έχει προσελκύσει το προσοχή των ηλεκτρικών επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των βιομηχανιών ως εναλλακτική λύση για το μέλλον της παραγωγής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά είναι συσκευές ημιαγωγών που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία (Ηλιακό φως) απευθείας σε ηλεκτρισμό. Ενώ η ηλεκτρική ενέργεια είναι ουσιαστικά ελεύθερη, μιας και δεν υπάρχει το κόστος καυσίμων, τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως, λόγω της υψηλής αρχικής επένδυσης που απαιτείται για την συσκευή, της αδυναμίας τους για την παραγωγή ενέργειας κατά τις περιόδους σκότους, και της έλλειψης γνώσης για το διάστημα που διαρκεί. Ωστόσο, είναι η οικονομική σε εφαρμογές όπου δαπανηρές επεκτάσεις των αγωγών είναι αναγκαίες για την παροχή κανονικής υπηρεσίας ηλεκτρισμού, όπως για παράδειγμα, οι διαβάσεις του σιδηροδρόμου. Τόσο η αιολική όσο και η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρειαστεί να συμπληρωθούν με αποθήκευση ενέργειας από κάποιο τύπο ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητά τους όσον αφορά τις απαιτήσεις του συστήματος σε ηλεκτρική ενέργεια.

4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

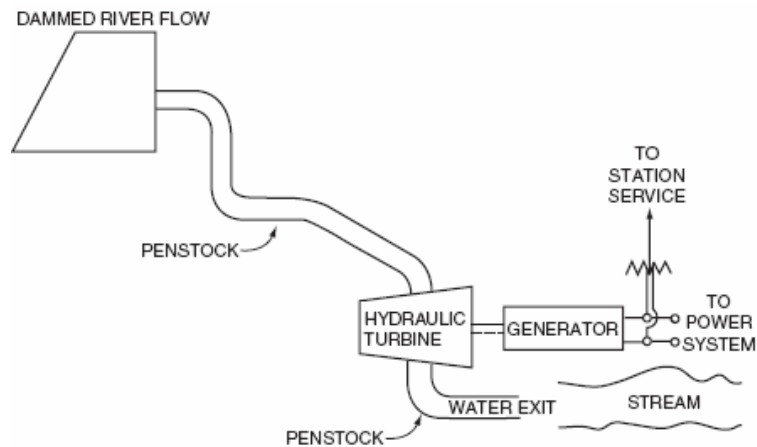
Μερικά από τα πιο κοινά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για να περιγράψει κανείς τις εγκαταστάσεις ηλεκτρικής παραγωγής είναι το μέγεθος, η πηγή ενέργειας, η αποδοτικότητα, η χρήση και η διαθεσιμότητα. Τα στοιχεία αυτά δεν είναι βεβαίως all inclusive των πληροφοριών που

διατίθενται για την περιγραφή του εξοπλισμού. Στην πράξη, εκατοντάδες, αν όχι χιλιάδες, των μετρήσεων έχουν να κάνουν με τη μονάδα λειτουργίας που είναι κατασκευασμένες και / ή με την καταγραφή σε ημερήσια, ωριαία, ή συνεχή βάση. Πολλές από τις μετρήσεις αυτές περιγράφουν τη λειτουργία των επιμέρους στοιχείων των μονάδων παραγωγής και όχι του σύνολο της μονάδας ή του εργοστασίου.

Σημαντικό ενδιαφέρον, εντούτοις, εμφανίζουν τα χαρακτηριστικά της συνολικής μονάδας παραγωγής που αποτελείται από μια συλλογή συσκευών τροφοδοσίας καυσίμων, παραγωγών θερμότητας, ενεργειακών μετατροπέων, διεγερτών, καθώς και ηλεκτρικών γεννητριών, οι οποίες θα πρέπει να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγεται επιτυχώς ηλεκτρική ενέργεια. Μία μονάδα μπορεί να αποτελείται από αρκετούς αεριοστρόβιλους, περισσότερους λέβητες για την παροχή ατμού σε δύο ή περισσότερους ατμοστρόβιλους, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν δύο ή περισσότερες ηλεκτρικές γεννήτριες. Μια τυπική μονάδα ατμού παρουσιάζεται στο Σχήμα 15, ενώ μια τυπική υδροηλεκτρική μονάδα φαίνεται στο Σχήμα 16.



Σχήμα 15. Απεικόνιση μιας τυπικής μονάδας ατμού.

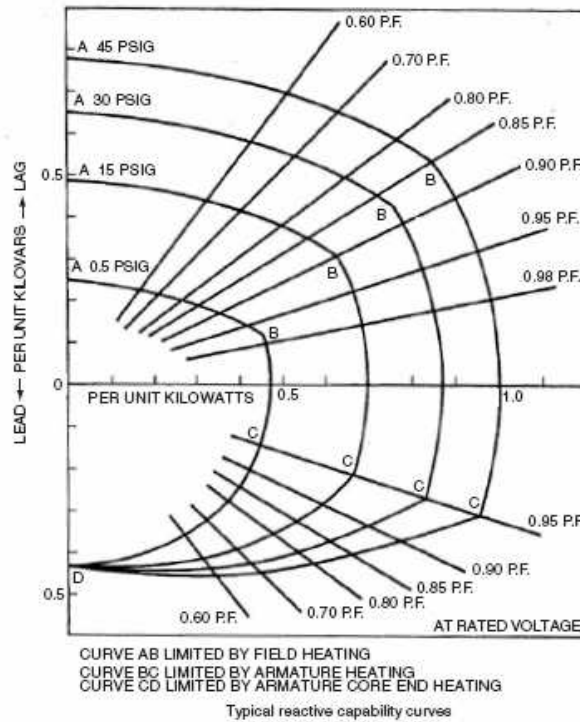


Σχήμα 16. Απεικόνιση μιας τυπικής υδροηλεκτρικής μονάδας.

4.2.1 Μέγεθος

Το μέγεθος μιας μονάδας παραγωγής μετριέται από τον αριθμό των μεγαβάτ που χρειάζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χωρητικότητα της μονάδας μπορεί να περιορίζεται από οποιοδήποτε από τα συστατικά του, όπως για παράδειγμα, από τον λέβητα, την τουρμπίνα, τον συμπυκνωτή, την γεννήτρια, ή τον μετασχηματιστή. Κάθε μονάδα παραγωγής προέρχεται από τον κατασκευαστή με πινακίδα (ονομασία) που επισυνάπτεται σε αυτήν. Αυτή η "πλάκα" δίνει την σχεδιαστική χωρητικότητα της ηλεκτρικής γεννήτριας και του ατμοστρόβιλου. Αυτή η πληροφορία δεν χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσδιορισμό των πραγματικών μεγεθών μιας μονάδας παραγωγής. Και τα δύο μεγέθη mW και $mVAr$ της παραγωγής δίνονται στην καρμπόλη χωρητικότητας, όπως αυτής που φαίνεται στο Σχήμα 17.

Η πραγματική χωρητικότητα καθορίζεται από τις δοκιμές που πραγματοποιούνται σε τακτική βάση, όταν εξετάζεται η έξοδος μιας μονάδας για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών παρέχουν μια ένδειξη της μέγιστης χωρητικότητας της μονάδας υπό κανονικές συνθήκες και συνθήκες έκτακτης ανάγκης, αξιολογώντας έτσι, την μονάδα.



Σχήμα 17. Καμπύλη χωρητικότητα της γεννήτριας.

Ανάλογα με τις συνθήκες του συστήματος, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η διάρκεια της περιόδου παραγωγής, καθώς και η ανάγκη για τη μέγιστη χωρητικότητα, ακόμη και σε βάρος της αποδοτικότητας, οι μονάδες παραγωγής δίνουν μια σειρά διαφορετικών ποσοστών αξιολόγησης της χωρητικότητας, τα οποία συνήθως διαφέρουν από τα αντίστοιχα στις πινακίδες των κατασκευαστών. Συνήθως πρακτική προβλέπεται για τη δημιουργία καθαρών αξιόπιστων χωρητικοτήτων και χωρητικοτήτων επείγουσας ανάγκης με σκοπό τη δημιουργία των μονάδων. Μερικές φορές η αξιολόγηση βασίζεται στις διάφορες εποχές, όπως το καλοκαίρι και το χειμώνα, λόγω της επίδρασης των διαφορών των θερμοκρασιών στην ατμόσφαιρα και του κρύου νερού. Καθαρές αξιόπιστες χωρητικότητες χρησιμοποιούνται για την κανονική λειτουργία και είναι τη βάση για τις περισσότερες μελέτες του κόστους παραγωγής και της χρήσης του καυσίμου. Σε επείγουσες συνθήκες, όταν επιπλέον χωρητικότητα απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης των πελατών για ηλεκτρικό ρεύμα, χρησιμοποιούνται διάφορες βοηθητικές συσκευές, όπως θερμοσίφωνες ύδατος, οι οποίες

μπορούν να παρακαμφθούν, μειώνοντας έτσι, την αποτελεσματικότητα της μονάδας, αλλά αυξάνοντας την χωρητικότητά της. Επείγουσες χωρητικότητες χρησιμοποιείται μερικές φορές για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας, καλύπτοντας σχετικά σπάνιες εμφανίσεις μικρής διάρκειας.

Όταν συζητάμε για το μέγεθος και την χωρητικότητα των μονάδων παραγωγής, θα πρέπει να αναφερόμαστε στις ακαθάριστες και καθαρές τιμές. Η μικτή χωρητικότητα είναι η παραγωγή μιας μονάδας, όπως μετράται στους ακροδέκτες της ηλεκτρικής γεννήτριας. Ωστόσο, πολλά από τα κομμάτια του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία της μονάδας παραγωγής (θραυστήρες, κονιορτοποιητές, αντλίες, θερμαντήρες κτιρίων, και ούτω καθεξής) είναι και οι ίδιοι χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας (συνήθως περίπου 5% της παραγωγής της μονάδας σε βιομηχανία ατμού). Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από τη μονάδα παραγωγής μέσω ενός ειδικού βοηθητικού μετασχηματιστή με αποτέλεσμα να μειώνει το ποσό της χωρητικότητας της μονάδας, που θα μπορούσε να παραδοθεί στο σύστημα διαβίβασης. Αυτή η εσωτερική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται ως "πρατήριο" και η προκύπτουσα χωρητικότητα που παραδίδεται από το εργοστάσιο είναι γνωστή ως καθαρή χωρητικότητα.

Τα μεγέθη των μονάδων παραγωγής κυμαίνονται από λίγα κιλοβάτ μέχρι χίλια μεγαβάτ. Οι μονάδες που κινούνται από κινητήρες εσωτερικής καύσης και τουρμπίνες καύσης είναι γενικά στο κατώτερο άκρο της κλίμακας μεγέθους. Οι μικροτουρμπίνες που κινούνται από αέριο έχουν το μικρότερο μέγεθος. Το μέγεθος των μονάδων ατμού κυμαίνεται σε μερικές εκατοντάδες κιλοβάτ. Οι παρούσες τεχνολογίες και η ανταγωνιστική οικονομία έχουν προσδιορίσει το βέλτιστο μέγεθος των μονάδων ατμού.

Η καθαρή αξιόπιστη χωρητικότητα μπορεί να αλλάξει με αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού ψύξης, στη θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος, στην ατμοσφαιρική πίεση ή στη δυσλειτουργία των συστατικών. Για

παράδειγμα, μία μονάδα παραγωγής με καύση άνθρακα έχει μια σειρά από κονιορτοποιητές που αλέθουν τον άνθρακα πριν από την καύση. Η δυσλειτουργία ενός ή περισσότερων κονιορτοποιητών θα μπορούσε να μειώσει τη μέγιστη ποσότητα καυσίμου με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση της χωρητικότητας της μονάδας. Αυτό ονομάζεται "μερική διακοπή".

Η χωρητικότητα μιας υδροηλεκτρικής μονάδας παραγωγής προσδιορίζεται από το μέγεθος των υδραυλικών στροβίλων, την ηλεκτρική γεννήτρια και το ύψος του wate (κεφάλι). Ο όγκος του νερού δεν επηρεάζει άμεσα τη μέγιστη χωρητικότητα της μονάδας ή της εγκατάστασης, αλλά επηρεάζει το ανώτατο ποσό της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Στην πράξη, οι μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας προγραμματίζονται για να λειτουργούν, στην περίπτωση που μπορούν να αντικαταστήσουν την θερμική γεννήτρια με το υψηλότερο κόστος. Αν ο όγκος του διαθέσιμου νερού είναι περιορισμένος, το ποσό που απορρίπτεται ανά ώρα πρέπει να είναι περιορισμένο, προκειμένου να επιτρέψει στη μονάδα να λειτουργεί για ένα επιθυμητό χρονικό διάστημα. Έτσι, η χωρητικότητα της μονάδας μπορεί να μειωθεί για μια περίοδο όπου παρατηρούνται χαμηλές συνθήκες νερού, δεδομένου ότι το «κεφάλι» θα είναι μειωμένο. Όταν διευκρινίζεται η χωρητικότητα των υδροηλεκτρικών μονάδων, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις υποτιθέμενες συνθήκες ροής του νερού καθώς η χωρητικότητα βασίζεται από αυτές.

4.2.2 Αποτελεσματικότητα

Η θερμική αποτελεσματικότητα μιας μονάδας παραγωγής είναι η μέτρηση του ποσού της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται ανά μονάδα εισροών ενέργειας. Στην περίπτωση των θερμικών μονάδων, η είσοδος των καυσίμων και η σημασία των μέτρησης της απόδοσης καλούνται βαθμός θερμότητας. Ο βαθμός θερμότητας ορίζεται ως ο λόγος του ποσού των καυσίμων στην είσοδο (σε BTUs) σε μια μονάδα παραγωγής προς την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας στην έξοδο (κιλοβατώρες). Ο τιμή που προκύπτει είναι σε μονάδες BTU / kWh. Για τις θερμικές μονάδες, η αναλογία αυτή μεταβάλλεται όταν το

επίπεδο της μονάδας στην έξοδο αλλάζει. Σε γενικές γραμμές, η απόδοση της μονάδας αυξάνεται (δηλαδή, ο ρυθμός θερμότητας μειώνεται), όταν το επίπεδο παραγωγής της μονάδας στην έξοδο αυξάνεται μέχρι την κανονική αναλογία της μονάδας.

Μια μονάδα παραγωγής που είναι 100% αποτελεσματική, θα χρησιμοποιήσει 3.412 BTUs των καυσίμων για την παραγωγή 1 κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σύγχρονες μονάδες ατμού έχουν βαθμούς θερμότητας που κυμαίνονται από 9.000 έως 10.000 / kWh (BTU). Νεότερες συνδυασμένοι κύκλοι έχουν χαμηλότερους βαθμούς θερμότητας, κάποιιοι από τους οποίους βρίσκονται κάτω από 7.000 BTU / kWh. Διαιρώντας 3412 από τον πραγματικό βαθμό θερμότητας της μονάδας και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας επί 100 θα έχουμε τη συνολική αποτελεσματικότητα (%) της μονάδας. Όταν το ποσοστό θερμότητας πολλαπλασιάζεται από το μοναδιαίο κόστος BTUs στο καύσιμο, προσδιορίζεται το κόστος της παραγωγής ενέργειας της μονάδας (\$ / κιλοβατώρα). Δύο βασικά είδη βαθμών θερμότητας χρησιμοποιούνται: ο μέσος και ο οριακός βαθμός θερμότητας. Ο μέσος βαθμός θερμότητας καθορίζει απλώς το ποσό των καυσίμων που καταναλώθηκαν πραγματικά για κάθε ώρα που η μονάδα παραγωγής λειτουργεί σε ένα δεδομένο επίπεδο ηλεκτρισμού στην έξοδο. Ο οριακός βαθμός θερμότητας δίνει την αύξηση της θερμικής ισχύος που απαιτείται για την παραγωγή πρόσθετης αύξησης της ηλεκτρικής ενέργειας (BTU / kWh). Οι αλλαγές, όπως οι μειώσεις της παραγωγής, ονομάζονται μερικές φορές μειωμένος βαθμός θερμότητας. Τόσο ο οριακός βαθμός θερμότητας όσο ο μέσος βαθμός θερμότητας δίνονται σε μονάδες BTU / kWh. Ωστόσο, είναι σημαντικό το γεγονός ότι το είδος του βαθμού θερμότητας καθορίζεται από τα ζητούμενα ή παρεχόμενα δεδομένα του βαθμού θερμότητας.

4.2.3 Διαθεσιμότητα

Η λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής απαιτεί τη συντονισμένη λειτουργία εκατοντάδων επιμέρους στοιχείων. Κάθε στοιχείο έχει ένα διαφορετικό επίπεδο σημασίας για τη συνολική λειτουργία της μονάδας παραγωγής. Παράλειψη μερικών κομματιών του εξοπλισμού θα μπορούσαν να προκαλέσουν ελάχιστη ή καμία απομείωση της λειτουργίας της μονάδας. Ακόμα άλλα μπορεί να προκαλέσουν την άμεση και ολική διακοπή της λειτουργίας της μονάδας, εάν αποτύχουν. Τα ποσοστά αποτυχίας όλων των διαφόρων συνιστωσών μιας μονάδας παραγωγής συμβάλλουν στη γενική αδυναμία της μονάδας. Η μη διαθεσιμότητα μιας μονάδας παραγωγής λόγω αποτυχίας ενός στοιχείου ονομάζεται «ποσοστό αναγκαστικής διακοπής της λειτουργίας». Εκφράζεται ως το ποσοστό του χρόνου και είναι το μέτρο του ποσού του χρόνου κατά τον οποίο η μονάδα μη διαθέσιμη κατά τη ζήτηση των πελατών. Η φύση της αναγκαστικής διακοπής είναι ότι πρόκειται για τυχαία γεγονότα επί των οποίων ο ιδιοκτήτης της μονάδας δεν έχει ή έχει ελάχιστο έλεγχο. Ο συνηθισμένος ορισμός του ποσοστού της αναγκαστικής διακοπής είναι ο αριθμός των ωρών κατά τις οποίες η μονάδα βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Διαιρείται με το άθροισμα των αριθμών ωρών που η συσκευή είναι συνδεδεμένη με το σύστημα εξουσίας συν τον συνολικό αριθμό των ωρών που η μονάδα είναι αναγκαστικά εκτός λειτουργίας.

Υπάρχουν δύο τύποι αναγκαστικών διακοπών: η μερική και η πλήρης. Οι μερικές αναγκαστικές διακοπές είναι οι μειώσεις στην χωρητικότητα της μονάδας που οφείλονται σε βλάβη ενός στοιχείου. Οι πλήρεις αναγκαστικές διακοπές συμβαίνουν όταν μια κρίσιμη συνιστώσα της μονάδας αποτυγχάνει και η μονάδα δεν μπορεί πλέον να λειτουργήσει. Αυτό μπορεί να συμβεί με δύο τρόπους: με τις προστατευτικές διατάξεις που μπορεί να σταματήσουν την λειτουργία της μονάδας ή τους διαχειριστές των εγκαταστάσεων που μπορεί να σταματήσουν τη μονάδα για την προστασία του εξοπλισμού ή του προσωπικού. Ισοδύναμο Ποσοστό Αναγκαστικής Διακοπής (EFOR) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον συνδυασμό του ποσοστού της πλήρους και της προϋπολογιζόμενης μερικής αναγκαστικής διακοπής.

Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στη διαθεσιμότητα της μονάδας είναι η συντήρηση. Διαφόρων συνιστώσες στις μονάδες παραγωγής πρέπει να αφαιρούνται από την υπηρεσία σε τακτική βάση για την προληπτική συντήρηση ή αντικατάσταση των εξαρτημάτων πριν εμφανιστούν συμπτώματα αναγκαστικής διακοπής. Κύριες εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν την επισκευή των τουρμπίνων, την επαναφορά των γεννητριών και τον καθαρισμό του λέβητα. Για κάθε μία από αυτές τις επισκευές απαιτείται η πλήρης παύση της λειτουργίας. Σε γενικές γραμμές, κάθε συνθήκη που απαιτεί επισκευή, η οποία μπορεί να αναβάλλεται σε ένα Σαββατοκύριακο, ονομάζεται διακοπή συντήρησης. Αν η μονάδα πρέπει να αφαιρεθεί από την υπηρεσία κατά τη διάρκεια της εβδομάδας ονομάζεται αναγκαστική διακοπή. Οι καταναγκαστικές διακοπές είναι εκδηλώσεις, των οποίων το συγκεκριμένο συμβάν δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί, αλλά μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση μετρήσεων πιθανότητας. Οι διακοπές συντήρησης είναι φαινόμενα τα οποία μπορούν να προγραμματιστούν εκ των προτέρων. Λόγω αυτής της διαφοράς είναι σημαντική η διενέργεια αναλύσεων των συνολικών αναγκών της γεννήτριας στο σύστημα. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν μεγάλες περιοχές με χρήσιμα δεδομένα που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν. Αυτή η διαθεσιμότητα συχνά επηρεάζεται από τις οικονομικές εκτιμήσεις και τις εκτιμήσεις αξιοπιστίας. Για αυτό το λόγο η ανάλυση των δεδομένων διαθεσιμότητας απαιτούν εκτεταμένη κρίση και εμπειρία.

4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ένας βασικός παράγοντας για την επιλογή νέων εγκαταστάσεων παραγωγής είναι το κόστος του κεφαλαίου. Το κόστος του κεφαλαίου είναι το ποσό που επενδύεται για την κατασκευή της μονάδας ή για οποιαδήποτε σημαντική βελτίωση που θα μπορούσε να γίνει. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής είναι η

απαραίτητη η επιλογή του ανάδοχου φορέα και η αγορά του εξοπλισμού. Οι εν λόγω δαπάνες περιλαμβάνουν το κόστος των επιτοκίων, το οποίο στη συνέχεια θα πρέπει να ανακτηθεί μαζί με τις άμεσες δαπάνες του αρχικού κεφαλαίου, μετά τη λειτουργία του εργοστασίου.

Ο συνδυασμός του κόστους του κεφαλαίου με το κόστος των καυσίμων και του κόστους της συντήρησης (O & M), καθορίζει το συνολικό κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μία εγκατάσταση. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, αυτό μπορεί να προσδιοριστεί κατά μέσο όρο ή σε κάποια οριακή βάση, τόσο από μια βραχυπρόθεσμη όσο από μια μακροπρόθεσμη προοπτική. Το βραχυπρόθεσμο οριακό κόστος περιλαμβάνει τα καύσιμα και την εργασία. Οι μακροπρόθεσμες και σταδιακές δαπάνες περιλαμβάνουν τα καύσιμα, την εργασία, και τη συντήρηση. Τόσο η επιστροφή του κεφαλαίου όσο και η απόδοση των κεφαλαίων πρέπει να εξετάζονται στις μακροπρόθεσμες δαπάνες.

4.4 ΕΙΔΗ ΧΡΗΣΗΣ

Οι μονάδες παραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες με βάση τη μορφή της λειτουργίας τους. Αυτές είναι:

1. Βασικό φορτίο
2. Ενδιάμεσο φορτίο
3. Μέγιστο φορτίο

Οι μονάδες βασικού φορτίου τείνουν να είναι μεγάλες μονάδες με χαμηλό λειτουργικό κόστος. Γενικά λειτουργούν με πλήρη χωρητικότητα τις πιο πολλές ώρες. Έχουν σχεδιαστεί ώστε να λειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα ή κοντά στη μέγιστη εξαρτώμενη χωρητικότητα. Εμφανίζεται

χαμηλότερο λειτουργικό κόστος με χρήση χαμηλού κόστους πυρηνικών και καυσίμων άνθρακα ή / και με χαμηλότερα ποσοστά θερμότητας (υψηλότερη αποτελεσματικότητα) σε σχέση με άλλες μονάδες του συστήματος. Για μια τυπική περιοχή, το βασικό φορτίο είναι της τάξης του 40% έως 60% του ετήσιου μέγιστου ωριαίου φορτίου, καθώς αυτό αντιπροσωπεύει την ποσότητα του φορτίου που παρέχεται στην περιοχή όλες τις ώρες. Αντιπροσωπεύει ίσως το 60% έως 70% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών της περιοχής.

Συνήθως, οι μονάδες βασικού φορτίου κλείνουν σε αναγκαστικές διακοπές ή για διακοπές συντήρησης. Λόγω του μεγέθους και της πολυπλοκότητάς τους, οι μονάδες αυτές μπορούν να απαιτούν από 24 ώρες μέχρι αρκετές ημέρες ώστε να γίνει επανεκκίνηση από μία "ψυχρή" κατάσταση. Μόλις ληφθεί η απόφαση για το κλείσιμο κάποιων από αυτές τις μονάδες, απαιτούνται μέχρι 24 ώρες για να γίνει άλλη έναρξη. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται την στιγμή της επανεκκίνησης της μονάδας παίζουν σημαντικό ρόλο στο ωριαίο χρονοδιάγραμμα της παραγωγής.

Οι μονάδες ενδιάμεσου φορτίου είναι μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας σχετικά με τη ζήτηση των πελατών. Είναι σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν επαναλαμβανόμενους κύκλους θέρμανσης και ψύξης, οι οποίοι προκαλούνται από τις αλλαγές στα επίπεδα παραγωγής. Οι ενδιάμεσα μονάδες έχουν συνήθως, χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, και κάπως υψηλότερα ποσοστά θερμότητας (χαμηλή αποτελεσματικότητα) από τις μονάδες βασικού φορτίου. Το ενδιάμεσο φορτίο μπορεί να είναι της τάξης του 30-50% από το μέγιστο ωριαίο φορτίο για ένα συνηθισμένο σύστημα και αντιπροσωπεύει ίσως το 20-30% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών για το επιχείρημα κοινής ωφέλειας.

Οι μονάδες μέγιστου φορτίου είναι οι μονάδες παραγωγής που καλούνται να προμηθεύσουν την ζήτηση του πελάτη για ηλεκτρική ενέργεια μόνο κατά τη διάρκεια των ωρών μέγιστου φορτίου για μια ορισμένη περίοδο (ημέρα, μήνας, έτος). Τουρμπίνες καύσης, παλινδρομικοί κινητήρες και μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες αποτελούν την πλειοψηφία των συγκεκριμένων μονάδων. Αυτές οι μονάδες έχουν συνήθως, την πιο χαμηλή χωρητικότητα (συνήθως λιγότερο από 150 MW). Είναι ικανές να επιτύχουν από μια ψυχρή κατάσταση λειτουργία με πλήρες φορτίο μέσα σε δέκα λεπτά. Από τις τρεις κατηγορίες των μονάδων, οι μονάδες μέγιστου φορτίου έχουν συνήθως τον υψηλότερο βαθμό θερμότητας και το χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου. Επιπλέον, ενδέχεται να κληθούν να αντικαταστήσουν την χωρητικότητα άλλη μονάδας βασικού φορτίου ή άλλες κυκλικές μονάδες που έχουν ξαφνικά αφαιρεθεί από την λειτουργία εξαιτίας κάποιας αναγκαστικής διακοπής. Καλύπτουν γενικά περίπου το 5% των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων του συστήματος.

Ως μονάδες παραγωγής ενέργειας με συγκεκριμένο όριο ηλικίας, η αποτελεσματικότητά τους καθώς και η απόδοσή τους μειώνεται. Επιπλέον, νεώτερες και πιο αποδοτικές, μονάδες χαμηλότερου κόστους προστίθενται συνεχώς στα συστήματα ενέργειας. Λόγω των παραπάνω, οι μονάδες παραγωγής λειτουργούν λιγότερες ώρες καθώς γερνούν.

4.5 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ

Οι περισσότερες μονάδες παραγωγής έχουν σχεδιαστεί για να έχουν ζωή περίπου 25-30 χρόνια. Καθώς οι παλιές μονάδες ξεπερνούν την απαιτούμενη διάρκεια ζωής, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα πρέπει να αντικαταστήσουν την χαμένη τους χωρητικότητα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το κόστος των τροποποιήσεων των εν λόγω παλαιών μονάδων είναι περισσότερο οικονομικό από τη δημιουργία νέας παραγωγικής μονάδας. Οι

ιδιοκτήτες των εγκαταστάσεων αξιολογούν αυτές τις επιλογές ως μέρος της συνηθισμένης διαδικασίας σχεδιασμού.

Το θέμα της διάρκειας ζωής είναι αμφιλεγόμενο λόγω του ζητήματος της επιβολής των νέων προτύπων ρύπανσης. Σύμφωνα με το Clean Air Act, οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής έχουν εξαιρεθεί από τα νέα πρότυπα. Ωστόσο, ορισμένες παλαιότερες μονάδες έχουν αναβαθμιστεί ώστε σε συνδυασμό με τα προγράμματα διάρκειας ζωής να υπόκεινται στα νέα πρότυπα.

4.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Ουσιαστικά, όλη η παγκόσμια ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από σύγχρονα μηχανήματα. Μία σύγχρονη γεννήτρια έχει αποδειχθεί ότι είναι αξιόπιστη και αποτελεσματική συσκευή για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Δεδομένου ότι ένα τυπικό ηλεκτρικό σύστημα χρησιμοποιεί το εναλλασσόμενο ρεύμα (60 Hz στις ΗΠΑ), η κύρια απαίτηση μιας τέτοιας συσκευής είναι ότι παράγει ενέργεια σε μια ελεγχόμενη τάση και με σταθερή συχνότητα. Μία τοπική σύγχρονη μηχανή αποτελείται από ένα στροφείο με δυνατότητα περιέλιξης και πηνίο με εναλλασσόμενη τριφασική περιέλιξη. Ο ρότορας έχει συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Το πηνίο είναι συνδεδεμένο με το σύστημα ισχύος μέσω ενός step-up μετασχηματιστή στη γεννήτρια. Ο στρόβιλος περιστρέφει το πεδίο με σταθερή ταχύτητα, συχνά μέχρι και 3.600 rpm.

Εάν οι περιελίξεις του πηνίου είναι συνδεδεμένες με ένα φορτίο, το ρεύμα ρέει μέσω των περιελίξεων και του φορτίου. Καθώς το ηλεκτρικό φορτίο αυξάνεται, η κινητήρια μηχανή (τουρμπίνα) πρέπει να δαπανήσει περισσότερη μηχανική ενέργεια για να κρατήσει το στροφείο περιστροφής με

σταθερή ταχύτητα. Έτσι, μηχανική ενέργεια στην είσοδο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της τουρμπίνας. Οι γεννήτριες στις μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι επίσης σύγχρονες μηχανές, οι οποίες περιστρέφονται με μικρότερη ταχύτητα από ό, τι οι τουρμπίνες αερίου σε μια μονάδα ατμού. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια σύγχρονη γεννήτρια είναι σχεδόν ίση με τη μηχανική ισχύς. Η απόδοση είναι της τάξης του 98%. Ο διαχωρισμός του ηλεκτρικού φορτίου μεταξύ ορισμένων γεννητριών καθορίζεται από μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του οικονομικού. Σε ένα δεδομένο σημείο λειτουργίας κάθε γεννήτρια τουρμπίνας έχει ένα επιπλέον κόστος, το οποίο ισούται με το κόστος ανά kWh για την παραγωγή μίας πρόσθετης μικρής ποσότητας ισχύος. Τα μέγιστα αποτελέσματα όσο αφορά τον οικονομικό παράγοντα εμφανίζονται όταν όλες οι γεννήτριες λειτουργούν με το ίδιο οριακό κόστος παραγωγής. Ο έλεγχος της πραγματικής ισχύος και η ρύθμιση της ταχύτητας (η οποία πρέπει να παραμένει σταθερή για να παρέχει σταθερή συχνότητα) γίνεται με τον ρυθμιστή της ταχύτητας και τους αυτόματους ελέγχους των γεννητριών (AGC) και την αλληλεπίδραση με το σύστημα του Κέντρου Ελέγχου.

4.7 ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΠΗΓΩΝ

Τα καύσιμα είναι η βασική πηγή ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες ηλεκτρικών καυσίμων. Τα αρχικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, τα πυρηνικά καύσιμα (ουράνιο), και το νερό. Η ηλιακή ενέργεια και η αιολική ενέργεια συμβάλλουν σήμερα μια αμελητέα ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Οι φυσικές μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται είναι οι τόνοι, τα βαρέλια και τα κυβικά πόδια για τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, αντίστοιχα.

Μια συγκεκριμένη ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παράγει ποικίλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με την απόσταση από όπου το νερό πέφτει (αλλιώς το κεφάλι), κάτι που αλλάζει και το επίπεδο του νερού πίσω από το φράγμα. Ομοίως, η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου πυρηνικού καυσίμου μετριέται σύμφωνα με το περιεχόμενο της συνολικής θερμότητας ή την ικανότητά να παράγει μία ορισμένη ποσότητα ηλεκτρικής ισχύος σε κιλοβάτ ανά ώρες.

Το καύσιμο φτάνει στο σταθμούς παραγωγής από πολλές διαφορετικές πηγές και με διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς. Ακόμη και στο πλαίσιο ενός ενιαίου συστήματος, οι σταθμοί παραγωγής είναι πιθανό να λαμβάνουν καύσιμα από διαφορετικούς προμηθευτές και περιφέρειες της χώρας. Αυτές οι διαφορές όσο αφορά την πηγή εφοδιασμού και το κόστος μεταφοράς συμβάλλουν στις μεγάλες διαφορές στην τιμή παράδοσης των καυσίμων και στην ποιότητά τους.

4.8 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ένα από τα κύρια μέσα μέτρησης της ποιότητας των καυσίμων είναι η καταγραφή της ποσότητας θερμότητας που περιέχεται σε μια συγκεκριμένη ποσότητα. Για τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) η καταγραφή γίνεται συνήθως σε μονάδες BTU (British Thermal Units) ανά λίβρα, γαλόνι ή κυβικά πόδι. Η τιμή που καταβάλλεται από την επιχείρηση για μία ποσότητα καυσίμων βασίζεται στο θερμικό περιεχόμενο της συγκεκριμένης ποσότητας. Για παράδειγμα, ο άνθρακας που φθάνει σε δύο διαφορετικούς σταθμούς παραγωγής από δύο διαφορετικά ορυχεία θα μπορούσε να έχει θερμότητα 10.000 BTU ανά λίβρα στην μία περίπτωση και 12.000 BTU ανά λίβρα στην άλλη. Αν και οι ποσότητες καούν σε πανομοιότυπη μονάδες παραγωγής, ο ένας τόνος των 12.000 BTU ανά λίβρα

άνθρακα θα παράγει 20% περισσότερες κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας από τον τόνο των BTU 10.000 ανά λίβρα άνθρακα. Για το λόγο αυτό, οι τιμές των καυσίμων αναφέρονται συχνά με βάση το κόστος ανά BTU παρά ως κόστος ανά τόνο, βαρέλι, ή κυβικά πόδια.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των καυσίμων είναι το ποσό των μη καύσιμων υλικών που περιέχονται σε μια συγκεκριμένη ποσότητα. Όσον αφορά τον άνθρακα και το πετρέλαιο, οι περισσότερα από αυτές τις «προσμεϊξεις» είναι στάχτη και θείο. Το ύψος αυτών των στοιχείων που περιέχονται σε κάποια ποσότητα καυσίμου προσδιορίζεται με χημική ανάλυση που διεξάγεται στο σταθμού παραγωγής. Τα αποτελέσματα δίνονται ως ποσοστό του βάρους του άνθρακα. Θεωρώντας μια τιμή για την ποσότητα του καυσίμου, ο προμηθευτής καθορίζει τις ελάχιστες θερμικό περιεχόμενο των καυσίμων καθώς και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα των άλλων προσμεϊξεων. Οποιαδήποτε παρέκκλιση από αυτές τις προδιαγραφές, που καθορίζονται από την χημικές αναλύσεις, έχει ως αποτέλεσμα την προσαρμογή της τιμής που καταβάλλεται για την συγκεκριμένη ποσότητα των καυσίμων έτσι ώστε να διατηρηθεί το συνηθισμένο κόστος ανά BTU. Συνηθισμένες τιμές καυσίμων δίνονται στο σχήμα 18.

Η παράδοση του φυσικού αερίου σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε μια πιο μόνιμη βάση, σε σχέση με τις παραδόσεις του πετρελαίου ή του άνθρακα. Κατά συνέπεια, η μέτρηση της ποιότητας των καυσίμων είναι λιγότερο αυστηρή και πιο σποραδική από ότι για τον άνθρακα ή το πετρέλαιο.

Fuel	Sulfur Content	Price Range \$/MMBTU
Oil:		
Heavy (No. 6)		1.50-3.50
Light (No.2)		
	Low Sulfur	1.35-1.50
	High Sulfur	3.00-4.50
Gas		3.00-6.00
Coal:		
	Low Sulfur	1.50-1.60
	High Sulfur	1.00-1.40

Σχήμα 18. Συνηθισμένες τιμές καυσίμων (\$/MMBTU).

4.9 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ο τρόπος μεταφοράς των καυσίμων από την πηγή εφοδιασμού σε σταθμούς παραγωγής ποικίλλει από σταθμό σε σταθμό. Ο άνθρακας γενικά μεταφέρεται από το ορυχεία στους σταθμούς με τον σιδηρόδρομο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, λόγω της θέσης των σταθμών παραγωγής και της γεωγραφία της περιοχής, ένα τμήμα της διαδρομής μεταφοράς άνθρακα επιτυγχάνεται με φορτηγίδες πάνω στο νερό. Μετά την παράδοση, ο άνθρακας εναποτίθεται πάνω σένα σωρό αποθήκευση άνθρακα. Από εκεί τροφοδοτείται από μεταφορείς σε χωνιά δημιουργώντας σταθμούς χροανών. Αυτού οι σταθμοί είναι μεγάλα δοχεία σχεδιασμένα για να κρατήσουν αρκετό κάρβουνο, ικανό να τρέξει στη μονάδα παραγωγής μέχρι και 24 ώρες μεταξύ την τοποθέτησή του, σύμφωνα βέβαια με τη στάθμη εξόδου της μονάδας.

Προτού διοχετευθεί σε λέβητα, ο άνθρακας περνά μέσα από μια σειρά αλέσεως και κονιορτοποίησης με αποτέλεσμα ο άνθρακας να έχει την μορφή πούδρας. Αυτά τα σωματίδια του άνθρακα αναμειγνύονται με τον αέρα και "ψεκάζονται" στο λέβητα όπου καίγονται. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο φθάνουν στο σύστημα παραγωγής μέσω σωληνώσεων. Παρόλο που διατηρείται κάποια ποσότητα πετρελαίου αποθηκευμένη, υπάρχει μια στενότερη συσχέτιση μεταξύ της διάθεσης και της χρήσης των καυσίμων αυτών με τον άνθρακα. Μία μεγάλη μονάδα παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα θα μπορούσε να λάβει ένα τρένο με 80 βαγόνια άνθρακα ανά ημέρα και να διατηρεί τον άνθρακα αποθηκευμένο μέχρι και 90 ημέρες. Οι αποφάσεις πρέπει να γίνονται μεταξύ του ύψους των αποθεμάτων άνθρακα, που διατηρούνται στο σταθμό παραγωγής σε περίπτωση διακοπής του εφοδιασμού και του κόστους διατήρησης αυτής της απογραφής. Το πετρέλαιο τείνει να ρέει σε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας σε διακοπτόμενη βάση, με

εγκαταστάσεις αποθήκευσης που αντιστοιχούν σε 30 ημέρες. Το φυσικό αέριο συνήθως, λαμβάνεται απευθείας μέσω ενός αγωγού χωρίς αποθήκευση στη μονάδα παραγωγής ενέργειας.

4.10 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Το φυσικό αέριο είναι η κύρια πηγή καυσίμων στις νέες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Προκαλεί χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο και βρίσκεται εύκολα διαθέσιμο. Μία σημαντική ανησυχία, ωστόσο, είναι η ικανότητα των αγωγών αερίου για την κάλυψη απαιτήσεων μεγάλου βεληνεκούς και την ικανότητα της βιομηχανίας φυσικού αερίου για την κάλυψη απαιτήσεων ηλεκτρισμού και τοπικής θέρμανσης.

Ο άνθρακας είναι το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η χρήση του άνθρακα απαιτεί την τήρηση των περιβαλλοντικών περιορισμών που αναφέρονται στο Clean Air Act και σε άλλες νομοθεσίες. Ο άνθρακας χαρακτηρίζεται σε υψηλή περιεκτικότητα θείου ή σε χαμηλή περιεκτικότητα θείου. Οι διαδικασίες για την τήρηση των περιβαλλοντικών απαιτήσεων ποικίλλουν. Οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής έχουν διάφορες συσκευές, όπως φίλτρα καυσαερίων και συστήματα αποθείωσης αερίων. Άλλη εναλλακτική λύση που χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των περιβαλλοντικών απαιτήσεων είναι ο λέβητας ρευστοποιημένης κλίνης.

Ο πιο κοινός τύπος πετρελαίου που χρησιμοποιούνται στις ατμοηλεκτρικές μονάδες παραγωγής είναι το υπόλειμμα ή το πετρέλαιο 6. Το πετρελαίο με το συγκεκριμένο βαθμό πρέπει να θερμαίνεται με υψηλότερη καύση (πετρέλαιο 2) προτού εισαχθεί στο λέβητα. Εκτός από τη χρήση ως αρχικό καύσιμο και ως σταθεροποιητή φλόγας (όταν αναμειγνύεται με άνθρακα), το πετρέλαιο 2 χρησιμοποιείται εκτενώς, για τη λειτουργία των γεννητριών, οι

οποιές κινούνται από ντιζελομηχανές. Η ποσότητα του πετρελαίου 2, που χρησιμοποιείται για αυτούς τους σκοπούς, είναι συνήθως αρκετά μικρή ώστε να επιτρέπεται η διανομή από βυτιοφόρο όχημα με το ελάχιστο ποσό αποθήκευσης.

Ορισμένες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα που λειτουργούν στις Ηνωμένες Πολιτείες, έχουν σχεδιαστεί με την ικανότητα της καύσης περισσότερων από έναν τύπο καυσίμου. Αυτή ικανότητα παρατηρείται στο τμήμα καύσης ή στο φούρνο. Ακόμη και αν ο εξοπλισμός χειρισμού των καυσίμων ή οι εναλλακτικές δυνατότητες αποθήκευσης των καυσίμων δεν υπάρχουν σε μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, η δυνατότητα καύσης εναλλακτικού καυσίμου παραμένει πολύτιμη μελέτη για μελλοντικό σχεδιασμό. Τα τελευταία 15 χρόνια, η ικανότητα καύσης εναλλακτικών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βοήθησε τις επιχειρήσεις να αμβλύνουν τις συνέπειες μακροπρόθεσμων διαταραχών και να αντιμετωπίσουν τις σημαντικές αλλαγές στις τιμές των ορυκτών καυσίμων.

4.11 ΑΓΟΡΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Κάθε γεννήτρια μπορεί να λάβει καύσιμα από διάφορες πηγές, μετά από μια σειρά ρυθμίσεων. Ορισμένες γεννήτριες έχουν μακροχρόνιες συμβάσεις για τα περισσότερα από τα καύσιμα με την τιμή να κυμαίνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου, αλλά η ποσότητα να είναι σταθερή και εγγυημένη. Άλλες γεννήτριες βασίζονται κυρίως στην στιγμιαία αγορά των καυσίμων. Πολλές γεννήτριες χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω τρόπων ώστε να εξασφαλίζεται ο συνεχής εφοδιασμός με καύσιμα με τη χαμηλότερη εφικτή τιμή.

4.12 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Σύμφωνα με την περιβαλλοντική νομοθεσία, οι γεννήτριες έχουν δικαιώματα εκπομπών σχετικά με το είδος του καταναλισκόμενου καυσίμου στη μονάδα. Τα δικαιώματα εκπομπών αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης σε μια ανοικτή αγορά, έτσι ώστε να βρεθεί μια λύση με το ελάχιστο κόστος που σκοπό έχει την επίτευξη των περιβαλλοντικών απαιτήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με τα στοιχεία του συστήματος μεταφοράς. Περιλαμβάνεται περιγραφές των εναέριων και υπόγειων γραμμών μεταφοράς και των υποσταθμών. Η μετάδοση είναι το μέσο με το οποίο οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας μετακινούνται από τους σταθμούς παραγωγής, όπου αυτή η ενέργεια παράγεται, στους υποσταθμούς, όπου μέσω των εγκαταστάσεων διανομής, μεταφέρεται το ρεύμα στους πελάτες. Οι γραμμές διαβίβασης χρησιμοποιούνται επίσης για τη διασύνδεση με τα γειτονικά συστήματα.

5.1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Το σύστημα μετάδοσης αποτελείται από τις γραμμές μεταφοράς 3-φάσεων και τα τερματικά που ονομάζονται υποσταθμοί ή σταθμοί μεταγωγής. Οι γραμμές διαβίβασης μπορούν να είναι είτε εναέριες, υπόγειες (καλώδιο) ή υποβρύχιες. Υπάρχουν γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης (HVAC) και γραμμές συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC). Οι εναέριες γραμμές

μεταφοράς, οι δευτερεύουσες γραμμές μεταφοράς και οι γραμμές πρωτογενούς διανομής είναι αρμαθιές μεταξύ πύργων ή στύλων. Σε αστικές περιοχές, χρησιμοποιούνται κυρίως τα υπόγεια καλώδια λόγω της δυσλειτουργίας των εναέριων γραμμών κατά μήκος των δρόμων της πόλης. Ενώ τα υπόγεια καλώδια είναι πιο αξιόπιστα από τις εναέριες γραμμές (επειδή έχουν μικρότερη έκθεση στις κλιματολογικές συνθήκες, όπως τους τυφώνες, τις καταιγίδες, τον πάγο, τους ανεμοστρόβιλους, κλπ.), είναι πολύ πιο δαπανηρά από τις εναέριες γραμμές όσο αφορά την κατασκευή τους ενώ χρειάζεται πολύ περισσότερο χρόνο για να επισκευή τους λόγω της δυσκολίας στην εξεύρεση της θέσης όπου το καλώδιο θέλει αντικατάσταση.

5.1.1 Εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης (HVAC)

Εναέριο:

Τα κύρια συστατικά μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς είναι τα εξής:

- Αγωγοί
- Σύρματα εδάφους ή ασιπίδας
- Μονωτήρες
- Δομές Στήριξης
- Έδαφος ή right-of-way (R-O-W).

Αγωγοί είναι τα καλώδια μέσω των οποίων το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει. Τα καλώδια διάδοσης είναι συνήθως από αγωγούς αλουμινίου ενισχυμένους από χάλυβα (ACSR). Κατασκευάζονται από νηματοειδές αλουμίνιο υφασμένο γύρω από έναν πυρήνα νηματοειδούς χάλυβα, το οποίο παρέχει αντοχή. Όταν υπάρχουν δύο ή περισσότερα από αυτά τα καλώδια σε κάθε φάση, δημιουργούνται δεσμοποιημένοι αγωγοί. Τα καλώδια εδάφους ή ασιπίδας είναι δεσμοποιημένα καλώδια από την κορυφή ενός πύργου μετάδοσης σε έναν άλλο, πάνω από τις γραμμές μεταφοράς. Η λειτουργία τους είναι να προστατεύουν την γραμμή μεταφοράς από τους κεραυνούς. Οι μονωτήρες είναι κατασκευασμένοι από υλικά, τα οποία δεν επιτρέπουν τη ροή του ηλεκτρισμού. Χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση των ενεργοποιημένων αγωγών στις υποστηρικτικές δομές που είναι γειωμένες. Όσο υψηλότερη

είναι η τάση της γραμμής, τόσο μεγαλύτερες είναι οι γραμμές του μονωτή. Τα τελευταία χρόνια, οι μονωτές από πολυμερές αντικαθιστούν τους μονωτές από διάφορα είδη πορσελάνης. Οι συγκεκριμένοι μονωτές έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν θρυμματίζονται όταν χτυπηθούν από βλήμα. Η πιο κοινή μορφή της δομής υποστήριξης των γραμμών μεταφοράς είναι ένας πύργος από πλέγμα χάλυβα. Ωστόσο, το ξύλο καρέ Η (που ονομάστηκε έτσι λόγω του σχήματός τους) χρησιμοποιείται επίσης. Τα τελευταία χρόνια, καθώς το ενδιαφέρον για τον οπτικό αντίκτυπο αυτών των δομών έχει αυξηθεί, πύργοι από χάλυβα σε μορφή σωλήνα, επίσης, έχουν τεθεί σε χρήση. Ο κύριος σκοπός της δομής στήριξης είναι η διατήρηση των αγωγών ηλεκτρικής ενέργειας σε ασφαλή απόσταση από το έδαφος καθώς επίσης, και από τους άλλους. Οι γραμμές μεταφοράς υψηλότερης τάσης απαιτούν μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των φάσεων καθώς επίσης, και από τους αγωγούς στο έδαφος και από τις γραμμές χαμηλότερης τάσης. Ως εκ τούτου απαιτούν μεγαλύτερους πύργους. Η απόσταση από το έδαφος της γραμμής μεταφοράς καθορίζεται στο μέσο μεταξύ των δύο διαδοχικών πύργων, δηλαδή στο χαμηλότερο σημείο της αλυσοειδούς μορφής που σχηματίζεται από τη γραμμή.

5.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Η χωρητικότητα μίας ατομικής γραμμής μεταφοράς, ή η εκτίμησή της, καθορίζεται από το γεγονός ότι η γραμμή δεν πρέπει να υπερβαίνει την συγκεκριμένη απόσταση με το έδαφος. Καθώς η ηλεκτρική ενέργεια ρέει μέσω της γραμμής μεταφοράς, θερμότητα παράγεται λόγω της επίδρασης I^2R . Η θερμότητα θα προκαλέσει διαστολή των μετάλλων καθώς και μια επακόλουθη αύξηση στο ποσό της κατάρπτωσης. Το ποσό της κατάρπτωσης επηρεάζεται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ταχύτητα του άνεμο και τις συνθήκες του φωτός του ήλιου. Συνήθως, οι εκτιμήσεις είναι ειδών: κανονικές και επείγουσας ανάγκης. Καθορίζονται από τις συνθήκες που επικρατούν το

καλοκαίρι και το χειμώνα. Ορισμένες επιχειρήσεις εκτιμούν τις συνθήκες την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίζοντας το μέσο όρο του καλοκαιριού και του χειμώνα. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για τον υπολογισμό των εκτιμήσεων για τις κρίσιμες σημασίας γραμμές μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο με την πραγματική θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπως καθώς και τη πρόσφατη φόρτιση (και ως εκ τούτου θέρμανση).

Επίσης, οι εκτιμήσεις καθορίζονται για διάφορες χρονικές περιόδους. Μια φυσιολογική εκτίμηση βασίζεται στο γεγονός ότι το επίπεδο της ροής ρεύματος μεταφέρεται συνεχόμενα σε μία γραμμή. Μία εκτίμηση έκτακτης ανάγκης βασίζεται στο επίπεδο της ροής του ρεύματος που μπορεί να μεταφέρει για διάφορες χρονικές περιόδους μία γραμμή (π.χ. 15 λεπτά, 30 λεπτά, 2 ώρες, 4 ώρες, 24 ώρες, και ούτω καθεξής). Η γη όπου η γραμμή του πύργου είναι συνδεδεμένη, ονομάζεται *right-of-way* (ROW). Για να διατηρηθεί η κατάλληλη διαβάθμιση, όπως η αύξηση της τάσης μετάδοσης, θα πρέπει να αυξηθεί το εύρος του R-OW. Σε περιοχές όπου είναι δύσκολο να επιτευχθεί R-O-W, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σχεδιάζουν πύργους που μπορούν να φέρουν πολλαπλά κυκλώματα. Σε πολλές περιοχές της χώρας δεν είναι ασυνήθιστο να δούμε μια δομή που υποστηρίζει δύο γραμμές μεταφοράς και μία ή περισσότερες δευτερεύουσες γραμμές ή γραμμές διανομής.

Υπάρχουν διαφορετικές φιλοσοφίες σχετικά με την επιλογή των RO-Ws. Μία φιλοσοφία είναι ότι προσπαθούμε να τοποθετήσουμε τους διαδρόμους όπου υπάρχει ελάχιστη ή και καμία οπτική επίδραση στους ανθρώπους. Το άλλο είναι ότι η σειρά θα πρέπει να είναι δίπλα σε ήδη υπάρχουσες υποδομές, όπως είναι ο σιδηρόδρομος, οι αυτοκινητόδρομοι, οι αγωγοί φυσικού αερίου, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός αριθμός των διαδρόμων αποκλειστικά για τις ανάγκες των υποδομών. Σύμφωνα με ανησυχίες που αφορούν την αξιοπιστία, πιστεύεται ότι ο διαχωρισμός μεταξύ των γραμμών μεταφοράς R-OWs θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι

πιθανότητες περιστατικών που θα μπορούσαν να βλάψουν όλες τις γραμμές σε ένα R-O-W (οι λεγόμενες κοινές αποτυχίες αναμονής, όπως είναι οι καταιγίδες, ο πάγο, οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι, οι δασικές πυρκαγιές, τα αεροπορικά δυστυχήματα). Ένα θέμα που αφορά τα R-OWs είναι ότι θα πρέπει να αποφευχθεί η υπερβολική αύξηση της βλάστησης, καθώς μειώνει τα διάκενα μεταξύ της γραμμής και του εδάφους.

5.3 ΚΑΛΩΔΙΑ

Η πλειοψηφία των καλωδιακών συστημάτων μετάδοσης στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι καλωδιακά συστήματα σε μορφή σωληνώσεων με ρευστό υψηλής πίεσης (HPFF) ή με υγρό υψηλής πίεσης (HPLF). Κάθε φάση καλωδίου ρεύματος υψηλής τάσης αποτελείται από πολύκλινα καλώδια χαλκού εμποτισμένα με λάδι με μόνωση από χαρτί. Και οι τρεις φάσεις βρίσκονται μέσα σε ένα σωλήνα χάλυβα. Η μόνωση διατηρείται με συνεχή εφαρμογή υδραυλικής πίεσης μέσω μιας εξωτερικής δεξαμενής πετρελαίου ώστε να αντισταθμιστεί ενδεχόμενη διαστολή ή συστολή του καλωδίου που προκαλείται από αλλαγή της θερμοκρασίας. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται ως μονωτικό υλικό στρώσεις χαρτιού από πολυπροπυλένιο. Επίσης, χρησιμοποιούνται καλώδια με δικτυωτό πολυαιθυλένιο (XLPE) για χαμηλότερες τάσεις μεταφοράς. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει μεταλλική θήκη με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη ευελιξία και μικρότερο βάρος, σε σύγκριση με τα καλώδια με μονωτή το συμβατικό χαρτί. Τα καλώδια που είναι καλυμμένα με πετρέλαιο καθώς και τα καλώδια XLPE είναι διαθέσιμα σήμερα, για τη λειτουργία σε τάσεις έως 500kV εναλλασσόμενου ρεύματος, αν και υπάρχει περιορισμένη εμπειρία με τα καλώδια XLPE σε τάσεις μεγαλύτερες από 220kV.

Η χωρητικότητα του καλωδίου εξαρτάται από την επίδραση της θερμότητας και το καλώδιο μόνωσης. Δεδομένου ότι το καλώδιο είναι σε ένα σωλήνα που

βρίσκεται θαμμένο σε μια τάφρο, διάχυση της θερμότητας I^2R είναι ένα μείζον θέμα όσον αφορά το σχεδιασμό και τη λειτουργία καλωδίου. Η χωρητικότητα του καλωδίου μπορεί να αυξηθεί εάν περιβάλλουμε το σωλήνα με θερμική άμμο, η οποία βοηθά να απομακρυνθεί η θερμότητα. Με σκοπό να διατηρηθεί η ακεραιότητα της μόνωσης, η τοποθέτηση τμημάτων του καλωδίου γίνεται υπό ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Για να αυξήσουμε τη χωρητικότητα του καλωδίου HPLF, θα πρέπει να διανεμηθεί το διηλεκτρικό ρευστό για το μετριασμό τοπικών εστιών ρύπανσης και για την μείωση της εκλυόμενης θερμότητας. Αερόψυκτοι εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να προστεθούν για τη βελτίωση της διάχυσης της παραγόμενης θερμότητας από το πετρέλαιο που βρίσκεται στην κυκλοφορία. Τουλάχιστον μία επιχείρηση έχει χρησιμοποιήσει ψύκτη ως εναλλάκτη θερμότητας. Ο περιορισμός σχετικά με την εφαρμογή των καλωδίων HPLF εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το υψηλό επίπεδο χωρητικότητας που εμφανίζουν, το οποίο προκαλεί υψηλές ρεύματα φορτίου. Ως αποτέλεσμα, περιορίζεται το μήκος του καλωδίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κάποια ενδιάμεση θέση όπου να μπορεί να εγκατασταθεί κάποιος αντιδραστήρας ελέγχοντας τα καλώδια XLPE, δεδομένου ότι δεν έχουν θήκη από μέταλλο, έχουν χαμηλότερα επίπεδα χωρητικότητας.

5.3.1 Υποβρύχια καλώδια

Τα υποβρύχια καλώδια βρίσκονται συνήθως, κάτω από τη θάλασσα σε τάφρους, με την απόσταση ανάμεσα σε κάθε φάση να μετράται σε πόδια. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι ότι η τάφρος θα πρέπει αρκετά μεγάλο βάθος και πλάτος ώστε να μην υπάρχει περίπτωση καταστροφής από άγκυρες ή άλλα εξαρτήματα αλιεύσης. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από διαρροές διηλεκτρικού ρεύματος σε ένα φθαρμένο καλώδιο είναι σημαντικές. Επίσης, ανησυχητική είναι η ανάγκη για μεγάλα μήκη ανταλλακτικών καλωδίων ώστε να διευκολυνθούν οι διάφορες επισκευές σε περίπτωση βλάβης ή αποτυχίας. Σε κάθε περίπτωση, οι χρόνοι επισκευής παίρνουν αρκετό χρόνο, ενδεχομένως, ένα μήνα ή μήνες.

5.4 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ

Οι υποσταθμοί είναι θέσεις όπου οι γραμμές μεταφοράς ενώνονται μεταξύ τους. Οι υποσταθμοί πληρούν ορισμένες λειτουργίες.

- Επιτρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια από διαφορετικούς σταθμούς παραγωγής να τροφοδοτηθεί σε κύριους διαδρόμους μεταφοράς.
- Παρέχουν ένα τέρμα για τις διασυνδέσεις με άλλα συστήματα.
- Παρέχουν μια θέση όπου οι μετασχηματιστές μπορούν να τροφοδοτήσουν με ενέργεια τα συστήματα δευτερεύουσας μεταφοράς ή τα συστήματα διανομής.
- Επιτρέπουν στις γραμμές μεταφοράς να χωρίζονται σε μικρότερα μέρη ώστε να παρέχεται πλεόνασμα στα μονοπάτια μετάδοσης.
- Παρέχουν μια θέση όπου οι συσκευές αντιστάθμισης, όπως οι αντιδραστήρες ή οι πυκνωτές σε σειρά να μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο μεταφοράς.
- Παρέχουν μια τοποθεσία όπου οι γραμμές μεταφοράς μπορούν να απενεργοποιούνται, είτε για συντήρηση είτε λόγω μιας ηλεκτρικής δυσλειτουργίας στη συγκεκριμένη γραμμή.
- Παρέχουν μια θέση για την προστασία, τον έλεγχο και τον εξοπλισμό μέτρησης.

5.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ

Υπάρχει μια σειρά από σχέδια που χρησιμοποιούνται για τους υποσταθμούς. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια στοιχεία κοινά για όλους:

- Λεωφορείο (Bus) είναι το όνομα που δίνεται για να χαρακτηρίσει την ηλεκτρική δομή, στην οποία όλες οι γραμμές και οι μετασχηματιστές συνδέονται μεταξύ τους. Υπάρχουν λεωφορεία δύο γενικών τύπων: υπαίθρια και κλειστά. Τα κλειστά λεωφορεία χρησιμοποιούνται όταν οι υποσταθμοί βρίσκονται σε κτίρια ή σε εξωτερικούς χώρους όπου ο χώρος είναι πολύτιμος. Περιλαμβάνουν τη χρήση μονωτικού αερίου, όπως το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) που επιτρέπει την μειωμένη απόστασης μεταξύ των ενεργοποιημένων φάσεων. Οι δομές «Bus» είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να αντέχουν μεγάλες μηχανικές δυνάμεις, οι οποίες μπορούν να προκύψουν από τα πεδία που παράγονται από υψηλά ρεύματα βραχυκυκλώματος. Οι δυνάμεις αυτές ποικίλλουν ανάλογα με την τρίτη δύναμη του ρεύματος. Ένα τμήμα του λεωφορείου είναι μέρος του λεωφορείου με το οποίο μία μόνο γραμμή ή μετασχηματιστής είναι συνδεδεμένη.

- Τα ρελέ προστασίας είναι συσκευές που παρακολουθούν συνεχώς τις τάσεις και τα ρεύματα που συνδέονται με τη γραμμή και τους τερματικούς σταθμούς της, με σκοπό την ανίχνευση βλαβών ή δυσλειτουργίας στη γραμμή / εξοπλισμού. Οι βλάβες αυτές ονομάζονται ρήγματα και είναι αποτέλεσμα της επαφής μεταξύ των φάσεων ή μεταξύ μίας ή περισσότερων φάσεων και του εδάφους. Το ρελέ ενεργοποιείται με διακόπτες.

- Οι διακόπτες του κυκλώματος είναι συσκευές που μπορούν να διακόπτουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να μπορέσει να απομονωθεί είτε μια γραμμή είτε ένας μετασχηματιστής. Αυτοί λειτουργούν με άνοιγμα του κυκλώματος και κλείσιμο του τόξου που σχηματίζεται χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνολογιών όπως το πετρέλαιο, το κενό, το μέσο του αέρα ή το εξαφθοριούχο θείο (SF_6). Οι διακόπτες μπορεί να είναι σε σειρά με την γραμμή ή τον μετασχηματιστή ή μπορεί να εγκατασταθούν και στις δύο πλευρές του τμήματος των λεωφορείων, όπου η γραμμή συνδέεται. Επιτρέπουν μεμονωμένες γραμμές ή μετασχηματιστές να αφαιρεθούν από την υπηρεσία (απενεργοποιούνται) αυτόματα, όταν ο εξοπλισμός (Ρελέ

προστασίας) ανιχνεύει συνθήκες λειτουργίας έξω από το εύρος ασφάλειας. Θα πρέπει να μπορούν να διακόπτουν τα πολύ υψηλά ρεύματα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια βλάβης. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να είναι βαθμολογημένοι με τα ποσά του τρέχοντος ρεύματος που μπορούν να διακόψουν. Τα επίπεδα ρεύματος στα ρήγματα αυτά μπορεί να είναι 20 ή 30 φορές μεγαλύτερα από την τρέχουσα ροή υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας (χιλιάδες αμπέρ). Για να ελαχιστοποιηθεί ο αντίκτυπος των ηλεκτρικών "σοκ" στο σύστημα μετάδοσης, ελαχιστοποιούμε το συνολικό χρόνο που χρειάζεται το ρελέ για να ανιχνεύσει την κατάσταση και ο διακόπτης για να ανοίξει το κύκλωμα στο κρίσιμο σημείο. Επίσης, με τη χρήση των διακοπών είναι δυνατή η απομάκρυνση γραμμών ή μετασχηματιστών για λόγους συντήρησης. Οι διακόπτες διακόπτουν και τις τρεις φάσεις ταυτόχρονα, αν και σε ορισμένες ειδικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται μονοφασικοί διακόπτες, έτσι ώστε να είναι ανοικτή μόνο η φάση με το πρόβλημα.

- Οι μετασχηματιστές είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εγκαταστάσεων που λειτουργούν σε δύο διαφορετικά επίπεδα τάσης. Για παράδειγμα, ένα μετασχηματιστής χρησιμοποιείται για την σύνδεση bus 138 kV με bus 13kV. Ο μετασχηματιστής συνδέεται με τις τρεις φάσεις του λεωφορείου. Οι μετασχηματιστές μπορούν να περιλάβουν και τις τρεις φάσεις μέσα σε μία δεξαμενή ή μπορεί να υπάρχουν τρεις χωριστές δεξαμενές, μία για κάθε φάση. Οι μονάδες με μεγαλύτερη χωρητικότητα μπορεί να έχουν τρεις χωριστές δεξαμενές επειδή το μέγεθος τους και το βάρος τους είναι ένας περιοριστικός παράγοντας όσο αφορά τη μεταφορά. Οι μετασχηματιστές σχεδιάζονται με δύο μηχανισμούς για την προσαρμογή της αναλογίας της τάσης. Ένας μηχανισμός είναι η παροχή περισσότερων από μία μόνιμη είσοδο στη μία πλευρά του μετασχηματιστή. Για παράδειγμα, ένας μετασχηματιστής μπορεί να έχει ονομαστικές στροφές σε αναλογία 345/138, με σταθερές εισόδους σε 345kV και στροφές σε 327,8, 336,7, 345, 353,6 και 362,3. Ο μετασχηματιστής θα πρέπει να από-ενεργοποιηθεί ώστε να ρυθμιστεί

σε αναλογία σταθερής εισόδου. Ένας άλλος μηχανισμός ονομάζεται μεταβαλλόμενη εισόδος υπό φορτίο (TCUL). Σε αυτό το μηχανισμό ο λόγος μπορεί να προσαρμοστεί ενώ ο μετασχηματιστής είναι ενεργοποιημένος, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία. Ορισμένοι μετασχηματιστές έχουν και τα δύο είδη μηχανισμών: η σταθερή είσοδος είναι προσαρμοσμένη σε υψηλή τάση περιέλιξης ενώ το TCUL είναι προσαρμοσμένο σε χαμηλή τάση περιέλιξης.

Ένας άλλος τύπος μετασχηματιστή είναι ο αυτομετασχηματιστής, ο οποίος χρησιμοποιείται όταν συνδέονται εγκαταστάσεις με παρόμοια τάση (π.χ. 138kV και 115kV). Αντί να έχουμε δύο χωριστά μονοπάτια ηλεκτρισμού, έχουμε σύνδεση μίας μόνο μαγνητικής ροής μέσω του μετασχηματιστή, όπως συμβαίνει σε μία συμβατική μονάδα. Η περιέλιξη του αυτομετασχηματιστή περιλαμβάνει μια είσοδο στην περιέλιξη υψηλότερης τάσης, η οποία προμηθεύει την χαμηλότερη τάση. Όλα οι μεγαλύτεροι μετασχηματιστές έχουν μηχανισμούς για την απομάκρυνση της θερμότητας που παράγεται εντός της δεξαμενής που περιλαμβάνει κάποιο διαδικασία για τη διάδοση του πετρελαίου μόνωσης / ψύξης του μετασχηματιστή μέσω ενός εξωτερικού εναλλάκτη θερμότητας. Ο εναλλάκτης θερμότητας περιλαμβάνει πτερύγια που είναι τοποθετημένα στην πλευρά του μετασχηματιστή και ανεμιστήρες που κινούν τον αέρα στα πτερύγια με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απαγωγής θερμότητας.

- Οι διακόπτες αποσύνδεσης χρησιμοποιούνται για να ανοίξουμε ένα κύκλωμα, όταν παρατηρείται μόνο η τρέχουσα "φόρτιση". Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως για την σύνδεση ή την αποσύνδεση διακοπών κυκλώματος ή μετασχηματιστών που δεν μεταφέρουν τρέχων φορτίο. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με διακόπτες κυκλώματος για την παροχή επιπλέον ασφάλειας για τους εργαζόμενους με την εισαγωγή ενός δευτέρου ανοίγματος μεταξύ του εξοπλισμού του σταθμού που είναι εκτός λειτουργίας και της ενεργοποιημένης περιοχής της γραμμής ή του λεωφορείου.

- Τα ανασχετικά Lightning χρησιμοποιούνται για την προστασία μετασχηματιστών και διακοπών από τις επιπτώσεις της υψηλής τάσης λόγω κεραυνού ή αλλαγής της λειτουργίας. Είναι σχεδιασμένα να αναφλέγονται όταν η τάση του μετασχηματιστή υπερβαίνει ένα προεπιλεγμένο επίπεδο, που επιλέγεται από τους μηχανικούς σχεδιασμού του σταθμού για να συντονίσουν το βασικό επίπεδο μόνωσης του μετασχηματιστή (BIL).

- Ο εξοπλισμός μέτρησης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των φορτίσεων της γραμμής και του μετασχηματιστή φορτίσεις και των τάσεων του λεωφορείου, έτσι ώστε το προσωπικό λειτουργίας να μπορεί να διασφαλίσει ότι οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων. Επίσης, ο εξοπλισμός μέτρησης παρέχεται σε ορισμένες τοποθεσίες για τη μέτρηση της ροής της ενέργειας λόγω των τιμολογήσεων που απαιτούνται για την πώληση και αγορά της ενέργειας μεταξύ των διαφόρων συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

- SCADA είναι ένα αρκτικόλεξο για το σύστημα ελέγχου και απόκτησης δεδομένων. Αντανακλά τις βελτιώσεις στη μέτρηση, στις τηλεπικοινωνίες και στην πληροφορική, που επιτρέπουν όλο και περισσότερο την αυτοματοποίηση της λειτουργίας των υποσταθμών.

Ανάλογα με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου τμήματος του συστήματος μετάδοσης χρησιμοποιούνται διάφορα είδη εξοπλισμού στους υποσταθμούς:

- Παράλληλοι αντιδραστήρες (shunt reactors - αντιδραστήρες που συνδέονται από το ενεργοποιημένο λεωφορείο προς το έδαφος) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των υψηλών τάσεων που εμφανίζονται κυρίως τη νύχτα, λόγω της επίδρασης της χωρητικότητας των ελαφρά φορτισμένων γραμμών μεταφοράς. Οι αντιδραστήρες μπορούν να

ενεργοποιούνται πάντα ή να μπορούν να ενεργοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες ώρες. Οι παράλληλοι αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται επίσης για να μειώσουν ή να κάνουν έλεγχο των υψηλών τάσεων που συμβαίνουν όταν εμφανίζεται μια ξαφνική απώλεια ενός μπλοκ του φορτίου των πελατών. Οι περιελίξεις, η μόνωση και η εξωτερική δεξαμενή είναι παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στους μετασχηματιστές.

- Οι αντιδραστήρες σε σειρά χρησιμοποιούνται σε μια γραμμή μεταφοράς για την αύξηση της αντίστασης της γραμμής, για τη μείωση του τρέχοντος επιπέδου σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, ή για την μείωση του φορτίου σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

- Οι παράλληλοι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για την παροχή mVAr στο σύστημα ώστε να υπάρξει υποστήριξη των επιπέδων της τάσης.

- Οι πυκνωτές σε σειρά χρησιμοποιούνται για τη μείωση της αποτελεσματικής αντίστασης μίας γραμμής. Μπορούν να εγκατασταθούν σε πολύ μεγάλες γραμμές μεταφοράς για την αποτελεσματική μείωση της ηλεκτρικής γωνίας μεταξύ των τμημάτων αποστολής και λήψης του συστήματος, επιτρέποντας περισσότερη δύναμη να ρεύσει πάνω από τη γραμμή και αυξάνοντας τα όρια σταθερότητας.

- Οι μετασχηματιστές ρύθμισης της γωνίας της φάσης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής ισχύος μέσω μιας γραμμής μεταφοράς, προκαλώντας λιγότερη ή περισσότερη δύναμη να ρεύσει πάνω από επιθυμητή κατεύθυνση. Ο σχεδιασμός τους εμφανίζει μια διαφοροποίηση σε σύγκριση με το σχεδιασμό ενός κανονικού μετασχηματιστή, η οποία βασίζεται στην γωνιακή μετατόπιση της φάσης σε μία γραμμή λόγω εισαγωγής ηλεκτρισμού. Η γωνία μπορεί να σχηματιστεί είτε με αύξηση ή με μείωση της ροής ενέργειας στη γραμμή. Δεδομένου ότι είναι ακριβοί, χρησιμοποιούνται συχνά σε καλωδιακά συστήματα, όπου, λόγω του κόστους και της περιορισμένης

χωρητικότητας των καλωδίων, η μέγιστη αξιοποίηση της χωρητικότητας όλων των παράλληλων καλωδίων είναι απαραίτητη. Τα τελευταία χρόνια, ορισμένοι από αυτούς έχουν τοποθετηθεί σε εναέριες γραμμές μεταφοράς για τον έλεγχο της ροής παράλληλων μονοπατιών, όταν οι ροές της ηλεκτρικής ενέργειας δεν συμμετέχουν σε συναλλαγές, ή δεν επαρκούν σε μονοπάτια σε άλλα συστήματα.

- FACTS (Flexible ac Transmission Systems). Είναι ένα γενικό όνομα που χρησιμοποιείται για την ποικιλία των προϊόντων που προορίζονται για τον έλεγχο της τάσης, της αντίστασης ή της γωνίας φάσης των γραμμών HVAC. Η ανάπτυξη τέτοιων συσκευών έγινε για πρώτη φορά το 1975 με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον J.A. Casazza. Η ανάπτυξη των εν λόγω προϊόντων έγινε αισθητή τη δεκαετία του 1980 από ένα πρόγραμμα, το Electric Power Research Ινστιτούτο (EPRI). Αυτές οι συσκευές καθρεφτίζουν τα οφέλη της σταθερής σειράς και των πηνίων και πυκνωτών που προηγουμένως αναλύθηκαν, στις συσκευές FACTS καθώς επιτρέπεται η ταχεία και ακριβής προσαρμογή τους. Ανάλογα με τη συσκευή, οι συσκευές FACTS παρέχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα: αυξημένη ικανότητα μεταφοράς ισχύος, γρήγορος έλεγχος της τάσης, βελτιωμένο σύστημα σταθερότητας, και μετριασμό των υπο-σύγχρονων αντηχήσεων (μια κατάσταση που παρατηρείται σε ορισμένες περιοχές των Η.Π.Α. Εμφανίζονται ταλαντώσεις που προκαλούν αλληλεπιδράσεις στο σύστημα ελέγχου των γεννητριών και στη χωρητικότητα μεγάλων αποστάσεων μεταφοράς). Υπάρχουν πολλές συσκευές από πολλούς κατασκευαστές, ορισμένες από τα οποίες βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης. Τα ονόματα των συσκευών διαφέρουν, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Παρακάτω βρίσκεται ένας κατάλογος ορισμένων τέτοιων προϊόντων:

- Static VAR Αντισταθμιστές (Svcs). Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούν σταθερές τράπεζες πυκνωτών, που ελέγχονται με αλεξικέραυνα, τα οποία μπορούν να ανάβουν και να σβήνουν γρήγορα. Σε πολλές περιπτώσεις,

υπάρχουν και επαγωγείς με αλεξικέραυνο για τη πρόληψη ατυχήματος στο σύστημα.

- Αλεξικέραυνοι Ελεγχόμενοι Αντισταθμιστές σε Σειρά (ή Πυκνωτές σε Σειρά) (TCSCs)-ένας ελεγχόμενος αντιδραστήρας τοποθετείται παράλληλα με μια σειρά πυκνωτή, επιτρέποντας τη συνεχείς και ραγδαίες μεταβλητές σειρές του συστήματος αντιστάθμισης.

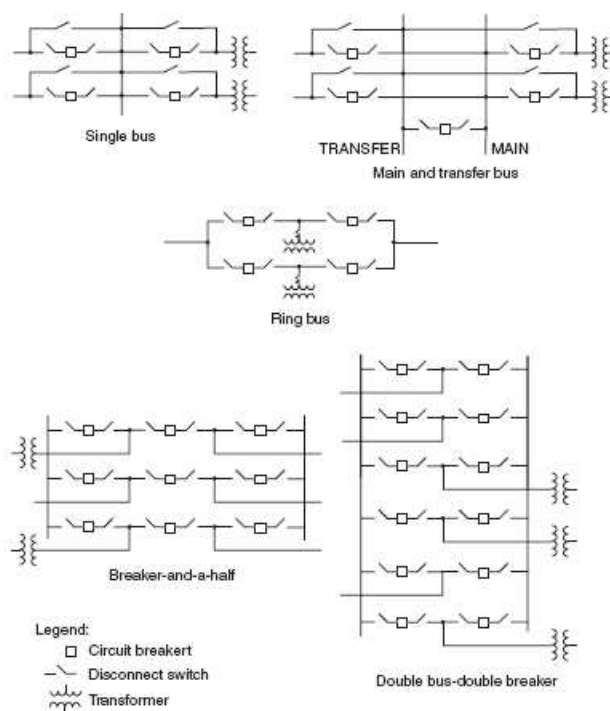
- Οι Στατικοί Αντισταθμιστές (STATCOMs) είναι κλειστού τύπου αλεξικέραυνα (GTO) που βασίζονται στα SVCs. Είναι στερεάς κατάστασης σύγχρονες γεννήτριες τάσης που αποτελούνται από πολλαπλά παλμικά, και μετατροπείς τάσης που συνδέονται σε διακλάδωση με γραμμές μεταφοράς. Δεν απαιτούν πυκνωτές και παράλληλους αντιδραστήρες, αλλά βασίζονται στην ηλεκτρονική επεξεργασία της τάσης και στις κυματομορφές του ρεύματος ώστε να παρέχουν επαγωγική ή χωρητική άεργη ισχύ. Έχουν την πρόσθετο πλεονέκτημα ότι η παραγωγή τους δεν επηρεάζεται σοβαρά από σύστημα τάσης.

- Ενοποιημένοι Ελεγκτές Ροής Ενέργειας (Unified Power Flow Controllers - UPFC). Αυτές οι συσκευές συνδέονται με τα STATCOM με μια πρόσθετη σειρά στη γραμμή μετάδοσης όπου παρέχεται συνεχές ρεύμα στο κύκλωμα του STATCOM. Αυτές οι συσκευές είναι συγκρίσιμες με τους μετασχηματιστές σταδιακής μετατόπισης. Μπορούν να ελέγχουν και τις τρεις παραμέτρους μεταφοράς ενέργειας: την τάση, την αντίσταση και τη γωνία φάσης.

- SVC Light (STATCOM). Βασίζονται στην τεχνολογία των μετατροπέων τάσης που είναι εξοπλισμένοι με Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT), μια συνιστώσα ελέγχου της ενέργειας. Παρέχουν άεργη ισχύ, καθώς και απορρόφηση αποκλειστικά μέσω της ηλεκτρονικής επεξεργασίας των κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος.

5.6 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ

Στο σχήμα 19 βλέπουμε τους πιο συνηθισμένες ρυθμίσεις σε ένα λεωφορείο / διακόπτη κυκλώματος. Ο σχεδιασμός του διακόπτη χρησιμοποιείται στους νεότερους υποσταθμούς μετάδοσης καθώς παρέχεται εξαιρετική αξιοπιστία και ευελιξία της λειτουργίας.



Σχήμα 19. Ρυθμίσεις διακόπτη κυκλώματος σε ένα υποσταθμό.

5.7 ΠΑΛΑΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τα συστήματα μεταφοράς παλαιώνονται με το χρόνο. Μια μεγάλη μερίδα των καλωδίων, των γραμμών, και του εξοπλισμού του υποσταθμού

εμφανίζουν όριο ηλικίας τα 30 έτη, ενώ κάποια άλλα εμφανίζουν τα 75 έτη. Αυτό έχει αυξήσει τα μελλοντικά ποσοστά αποτυχίας και τις απαιτήσεις συντήρησης προκαλώντας προβλήματα αξιοπιστίας.

5.8 HVDC

Ένας εναλλακτικός τρόπος μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η χρήση τεχνολογίας συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC). Όπως υποδηλώνει το όνομα, το HVDC χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα για τη μετάδοση ισχύος. Οι εγκαταστάσεις συνεχούς ρεύματος συνδέονται με τα συστήματα HVAC μέσω ανορθωτών, οι οποίοι μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ρεύμα, καθώς και μετατροπέων, που μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι πρώτες εφαρμογές χρησιμοποιούσαν βαλβίδες τόξου από υδράργυρο για τους ανορθωτές και τους μετατροπείς, αλλά από τη δεκαετία του 1970 και μετά, προτιμάται το θυρίστορ ως τη βαλβίδα.

Τα θυρίστορ είναι ελεγχόμενοι ημιαγωγοί που μπορούν να μεταφέρουν πολύ υψηλά ρεύματα και μπορούν να μπλοκάρουν πολλές υψηλές τάσεις. Είναι συνδεδεμένα σε σειρά, έτσι ώστε να σχηματίζουν βαλβίδα θυρίστορ, η οποία επιτρέπει στην ηλεκτρική ενέργεια να ρέει μέσω του θετικού μισού του κυκλώματος του εναλλασσόμενου ρεύματος (όχι όμως από το αρνητικό μισό). Δεδομένου ότι και οι τρεις φάσεις του συστήματος HVAC είναι συνδεδεμένες με τις βαλβίδες, η συνισταμένη τάση είναι μιας κατεύθυνσης, αλλά με κάποια φθίνουσα ταλάντωση. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες εξομάλυνσης, έτσι ώστε να αμβλύνουν αυτή την ταλάντωση.

Οι γραμμές μεταφοράς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης μπορεί να είναι είτε με ενιαίο πόλο ή διπολικές. Οι διπολικές γραμμές χρησιμοποιούν δύο αγωγούς που λειτουργούν σε διαφορετικές πολικότητες όπως τα + / -500kV.

Τα HVDC υποβρύχια καλώδια είναι είτε στερεού τύπου με μονωτικό χαρτί εμποτισμένο με λάδι ή τύπου που περιέχει από μόνο του λάδι. Νέες εφαρμογές χρησιμοποιούν επίσης, καλώδια μονωμένου πλέγματος πολυαιθυλενίου.

Αν και σύγχρονη μετάδοση HVAC προτιμάται λόγω της ευελιξίας της, ιστορικά έχουν υπάρξει διάφορες εφαρμογές όπου η τεχνολογία των HVDC εμφανίζει πλεονεκτήματα:

- Η ανάγκη για μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας (> 500 mW) σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (> 500 χιλιόμετρα), όπου μεγάλες ηλεκτρικές γωνίες σε μεγάλες HVAC γραμμές μεταφοράς (λόγω αντιστάσεις τους) θα οδηγούσε σε ένα ασταθές σύστημα. Παραδείγματα αυτής της εφαρμογής είναι τα 1.800 MW για το Nelson River Project, όπου η ενέργεια μεταφέρεται στο Winnipeg του Καναδά, περίπου 930 χιλιόμετρα μακριά, τα 3.000 MW του συστήματος για το Three Gorges Project στην Σαγκάη της Κίνας, περίπου 1.000 χιλιόμετρα μακριά και τα 1.920 mW της γραμμής για το σχέδιο Cabora Bassa από τη Μοζαμβίκη στον Απόλλωνα, της Νότιας Αφρικής, 1.456 χιλιόμετρα μακριά. Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα 3100 mW του Pacific HVDC Intertie (PDCI) συνδέει το Pacific Northwest (Celilo Converter Station) με την περιοχή του Λος Άντζελες (Sylmar Converter Σταθμός) με μια γραμμή 1.361 χιλιομέτρων.
- Η ανάγκη για τη μετάδοση ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις στο νερό, όπου δεν υπάρχει μέθοδος για την παροχή των ενδιάμεσων τιμών τάσης που το HVAC απαιτεί. Ένα παράδειγμα είναι τα 64 χιλιόμετρα της γραμμής διασύνδεσης Moyle από Βόρεια Ιρλανδία στη Σκωτία.
- Όταν γραμμές HVAC δεν θα έχουν αρκετή χωρητικότητα για να αντέχουν τις ηλεκτρικές διακομάνσεις που μπορούν να σημειωθούν μεταξύ δύο συστημάτων. Ένα παράδειγμα είναι οι δεσμοί από το Hydro Κεμπέκ προς τις Ηνωμένες Πολιτείες.

- Την ανάγκη να συνδέσετε δύο υπάρχοντα συστήματα με ασύγχρονο τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες του όγκου παραγωγής σε ένα σύστημα λόγω της μεταφοράς υπερφορτίσεων σε άλλο σύστημα, εφόσον συνδέεται με HVAC. Ένα παράδειγμα είναι η σύνδεση με HVAC του Τέξας με άλλα περιφερειακά συστήματα.
- Σύνδεση ηλεκτρικών συστημάτων που λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες. Οι εφαρμογές αυτές αναφέρονται ως σύνδεση back-to-back. Ένα παράδειγμα είναι η σύνδεση HVDC μεταξύ Αγγλίας και Γαλλίας.
- Παροχή απομόνωσης συντελεστών βραχυκυκλώματος από γειτονικά συστήματα καθώς το dc δεν μεταδίδει ρεύματα βραχυκυκλώματος από ένα σύστημα σε άλλο.

Με την απελευθέρωση της χονδρικής αγοράς ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας HVDC ώστε να διευκολυνθούν οι νέες αγορές. Το HVDC προβλέπει τον άμεσο έλεγχο της ροής ενέργειας και ως εκ τούτου έναν καλύτερο τρόπο για την παροχή συμβατικών υπηρεσιών μετάδοσης. Μερικοί έχουν προτείνει ότι η διαίρεση των μεγάλων σύγχρονων περιοχών στις Ηνωμένες Πολιτείες σε μικρότερες περιοχές που συνδέονται μεταξύ τους με HVDC θα εξαλείψει προβλήματα συντονισμού μεταξύ των περιφερειών, θα παρέχει καλύτερο έλεγχο σε τοπικό επίπεδο και θα μειώσει δασμούς βραχυκυκλώματος, μειώνοντας σημαντικά το κόστος.

5.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ HVDC

Καθώς η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί, η νεκρή απόσταση των γραμμών μεταφοράς HVDC έναντι των γραμμών μεταφοράς έχει μειωθεί HVAC. Ορισμένες μελέτες δείχνουν νεκρή απόσταση 60 χιλιομέτρων όπου

χρησιμοποιείται η σύγχρονη τεχνολογία HVDC. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Μη τεχνικά όρια στην απόσταση μεταφοράς. Η αύξηση των απωλειών παρέχουν οικονομικό όριο.
- Πολύ γρήγορο έλεγχο της ροής ισχύος, η οποία επιτρέπει βελτιώσεις στο σύστημα σταθερότητας.
- Η κατεύθυνση της ροής του ρεύματος μπορεί να αλλάξει πολύ γρήγορα (bidirectionality).
- Η σύνδεση συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης δεν αυξάνει τα ρεύματα βραχυκυκλώματος στο σημείο σύνδεσης. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι αναγκαίο να αλλάξουν οι διακόπτες στο υπάρχον δίκτυο.
- Το HVDC μπορεί να μεταφέρει περισσότερη ενέργεια από το HVAC για δεδομένο μέγεθος αγωγού.
- Η ανάγκη για ROW είναι πολύ μικρότερη για HVDC από ότι για HVAC, για την ίδια μετάδοση ισχύος.

5.10 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ HVDC

Τα κύρια μειονεκτήματα του HVDC είναι το υψηλότερο κόστος του και το ότι παραμένει μια τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε εφαρμογές point-to-point λόγω έλλειψης οικονομικού και αξιόπιστου διακόπτη στο κύκλωμα HVDC. Η έλλειψη διακόπτη στο κύκλωμα HVDC έχει ως αποτέλεσμα τεχνολογικά προβλήματα, όπως στο γεγονός όπου στο σύστημα συνεχούς ρεύματος δεν υπάρχει σημείο όπου η τάση να είναι μηδενική, όπως συμβαίνει σε σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο διακόπτης στο κύκλωμα HVAC εμφανίζει αυτό το χαρακτηριστικό, όταν ανοίγει το κύκλωμα.

5.11 ΓΝΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Όσοι είναι εξοικειωμένοι με προβλήματα συστημάτων μεταφοράς καθώς και με τις πολιτικές τους, έχουν αναπτύξει την ακόλουθη λίστα, η οποία μερικές φορές, ονομάζεται «δέκα εντολές» της μετάδοσης γνώσης. Θα πρέπει να κατανοήσουν και να εξετάσουν τα εξής:

1. Πώς τα συστήματα σχεδιάζονται και λειτουργούν
 2. Η επίδραση της παραγωγής στη μεταφορά και το αντίστροφο
 3. Οι αιτίες της κυκλοφορούμενης ενέργειας, της παράλληλης ροής, και της ροής βρόχου
 4. Οι διαφορές μεταξύ της χωρητικότητας ενός μεμονωμένου κυκλώματος και της χωρητικότητας της μεταφοράς.
 5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναλλασσόμενου ρεύματος.
 6. Άεργη ισχύς και ο ρόλος της
 7. Αίτιες και συνέπειες των διακοπών ρεύματος
 8. Ανάγκη για νέες τεχνολογίες
 9. Αντικίνητρα για την κατασκευή νέας μεταφοράς
 10. Ανάγκη για ειδική κατάρτιση και εκπαίδευση
- Ορισμένα από αυτά έχουν συζητηθεί σε αυτό και τα προηγούμενα κεφάλαια. Τα υπόλοιπα θα καλυφθούν στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΝΟΜΗ

Η βασική λειτουργία του συστήματος διανομής είναι η σύνδεση του κύριου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με τους πελάτες απαιτώντας τάσεις χαμηλότερες από αυτές που απαιτούνται στο κύριο και δευτερεύον σύστημα διανομής. Το σύστημα διανομής είναι τμήμα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πιο εύκολα γίνεται ορατό από τον πελάτη και το οποίο συμβάλλει περισσότερο άμεσα στην παροχή ηλεκτρισμού.

Από τις τρεις κύριες λειτουργίες της εταιρείας ηλεκτρικής ενέργειας (παραγωγή, μεταφορά, και διανομής), το σύστημα διανομής παίζει το μεγαλύτερο ρόλο στην ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνονται από τους καταναλωτές. Στο σχήμα 20 δίνεται η σχέση του συστήματος διανομής στο συνολικό σύστημα. Τα πρωταρχικά μέρη του συστήματος διανομής είναι:

- Υποσταθμός διανομής
- Αρχικός τροφοδότης
- Μετατροπέας διανομής
- Δευτερεύουσες υπηρεσίες

Ο υποσταθμός διανομής λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από το κύριο και δευτερεύον σύστημα μεταφοράς και τη μετατρέπει σε χαμηλότερη τάση για χρήση στον αρχικό τροφοδότη διανομής. Σε μια κοινή διαμόρφωση σε ένα υποσταθμό διανομής μπορεί να υπάρχουν πολλοί μετασχηματιστές και μια σειρά από αρχικούς τροφοδότες διανομής που προέρχονται από τον υποσταθμό. Αυτοί οι τροφοδότες συνήθως στηρίζονται σε πόλους σε ξύλινα στηρίγματα σε κατοικημένους δρόμους.

Συνήθως σε ένα πόλο, ο μετασχηματιστής διανομής παρέχεται από αρχικό τροφοδότη διανομής (αρχικά μέρη) καθώς επίσης, μετατρέπει την τάση του αρχικού τροφοδότη (2400 βολτ μέσω 34500 βολτ) σε χαμηλότερη τάση, που χρησιμοποιείται από τους καταναλωτές. Οι δευτερεύουσες γραμμές (δευτερεύοντα μέρη) και οι συνδέσεις των υπηρεσιών παρέχουν ηλεκτρισμό απευθείας στον τελικό καταναλωτή σε χαμηλότερες τάσεις που παράγεται στους τερματικούς σταθμούς των μετασχηματιστών διανομής.

6.1 ΑΡΧΙΚΟΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΣ

Στις εταιρείες των Η.Π.Α. η πρωτοβάθμια τάση στη "κατηγορία 13 kV" κυριαρχεί. Τα συστήματα της κατηγορίας 4 kV είναι παλιότερα και σταδιακά αντικαθίστανται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, 34 kV χρησιμοποιούνται σε νέες

περιοχές υψηλής πυκνότητας φορτίου. Το τριφασικό, τεσσάρων συρμάτων πρωτεύον σύστημα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο. Υπό ισορροπημένες συνθήκες λειτουργίας, οι τάσεις της κάθε φάσης είναι ίσες σε μέγεθος και απέχουν 120° η κάθε μία από τις άλλες δύο φάσεις. Το τέταρτο σύρμα σε αυτά τα συστήματα που είναι συνδεδεμένα σε μορφή Υ χρησιμοποιείται ως ουδέτερο στο αρχικό στάδιο, είτε ως ένα κοινά ουδέτερο όταν εμφανίζεται το αρχικό και το δευτερεύον στάδιο. Το ουδέτερο στηρίζεται επίσης, σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά μήκος του πρωτογενούς τροφοδότη, σε μετασχηματιστές διανομής, και στις εισόδους της εξυπηρέτησης των πελατών.

Αγροτικές και ημιαστικές περιοχές συνήθως εξυπηρετούνται από εναέριες γραμμές, με μετασχηματιστές διανομής, ασφάλειες, διακόπτες και άλλο εξοπλισμό που είναι τοποθετημένο στις περιοχές των πόλων. Αστικές περιοχές με φορτία υψηλής πυκνότητας εξυπηρετούνται από συστήματα υπόγειων καλωδίων, με μετασχηματιστές διανομής και με διακόπτες που έχουν εγκατασταθεί σε σταθμούς υπογείως ή στο έδαφος. Υπάρχει επίσης, μια αυξανόμενη τάση για υπόγεια μονοφασικά αρχικά μέρη που εξυπηρετούν κατοικημένες περιοχές. Υπόγεια καλωδιακά συστήματα είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα και ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, καθώς επίσης, εμφανίζουν μεγαλύτερο αριθμό επισκευών. Το κόστος της υπόγειας διανομής είναι σημαντικά υψηλότερο από ότι συνήθως. Η πρωτοβάθμια διανομή περιλαμβάνει τρεις βασικούς τύπους: (1) ακτινικά, (2) βρόχου, (3) και τα πρωτογενή συστήματα δικτύου.

6.1.1 Ακτινικά Συστήματα

Το ακτινικό σύστημα είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο, οικονομικό σύστημα που βρίσκεται συχνά σε περιοχές χαμηλής πυκνότητας φορτίου. Για να μειωθεί η διάρκεια των διακοπών, οι εναέριοι τροφοδότες προστατεύονται από αυτόματες συσκευές επαναφοράς που βρίσκονται στον υποσταθμό ή σε διάφορα σημεία στον τροφοδότη. Αυτές οι συσκευές αναζωογονούν τον

τροφοδότη εάν η βλάβη είναι προσωρινή. Για να μειώσουμε την περαιτέρω διάρκεια και έκταση των διακοπών στους πελάτες, έχουμε εγκαταστήσει επιλεγμένες ασφάλειες σε κλάδους των ακτινικών τροφοδοτών επιτρέποντας τα ανεπιπρόσπαστα τμήματα ενός τροφοδότη να παραμείνουν στην υπηρεσία.

6.1.2 Συστήματα Βρόχου

Το σύστημα βρόχου χρησιμοποιείται όταν είναι επιθυμητό ένα υψηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας των υπηρεσιών. Δύο τροφοδοτές αποτελούν ένα κλειστό κύκλωμα, ανοιχτό στο ένα σημείο, έτσι ώστε το φορτίο να μπορεί να μεταφερθεί από το ένα τροφοδοτικό σε άλλο σε περίπτωση βλάβης του ενός κυκλώματος, κλείνοντας το ανοικτό σημείο και ανοίγοντας το σε άλλη θέση. Ένα ή περισσότεροι πρόσθετοι τροφοδοτές σε ξεχωριστές διαδρομές, μπορούν να προβλέψουν τα κρίσιμα φορτία, όπως σε νοσοκομεία που δεν μπορεί να υπάρχουν μεγάλες διακοπές. Αλλαγή από τον κανονικό τροφοδότη σε ένα εναλλακτικό τροφοδότη μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή αυτόματα με διακόπτες και ηλεκτρικές ασφαλιστικές δικλείδες για την αποτροπή της σύνδεσης ενός καλού τροφοδότη σε ένα χαλασμένο τροφοδότη.

6.1.3 Πρωτοβάθμια Συστήματα Δικτύου

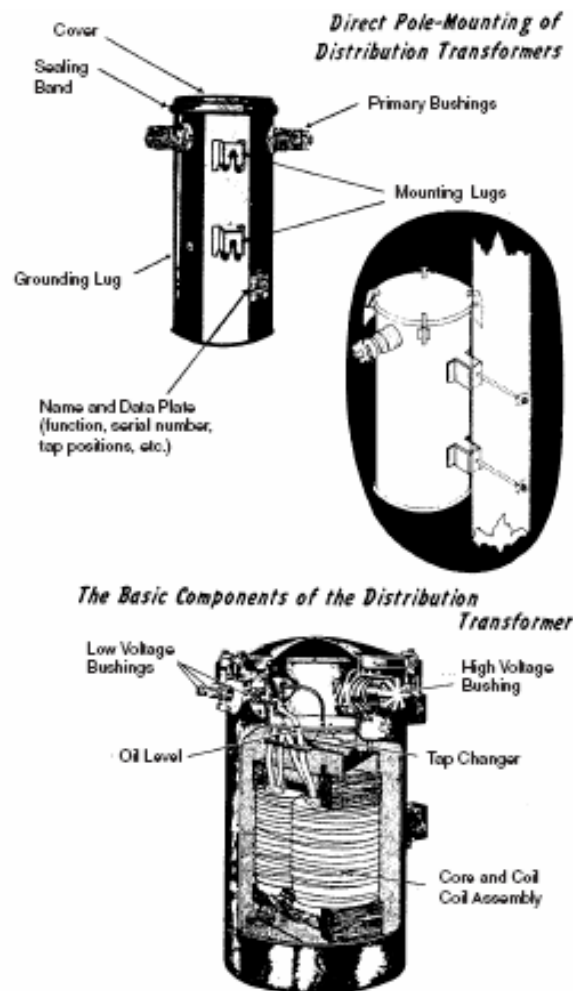
Ένα πρωτοβάθμιο σύστημα δικτύου αποτελείται από ένα πλέγμα διασυνδεδεμένων πρωτογενών τροφοδοτικών που παρέχονται από έναν αριθμό υποσταθμών. Παρέχει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ποιότητα υπηρεσιών σε σχέση με το ακτινικό σύστημα και το σύστημα βρόχου. Μόνο λίγα πρωτοβάθμια δίκτυα βρίσκονται σε λειτουργία σήμερα. Αυτά συνήθως, βρίσκονται στο κέντρο μεγάλων πόλεων με υψηλή πυκνότητα φορτίου.

6.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Οι μετασχηματιστές διανομής είναι διαφόρων τύπων:

- Μονοφασικοί ή τριφασικοί
- Συναρμολογημένοι στους πόλους ή σε δέσμες
- Υπόγειοι

Υπάρχουν σε διάφορα μεγέθη. Συνήθως βρίσκονται σε μικρές μονοφασικές μονάδες και είναι γεμάτοι με ένα διηλεκτρικό ρευστό. Τα βασικά συστατικά των τυπικών μετασχηματιστών διανομής φαίνονται στο Σχήμα 20. Ανάλογα με την αποδοτικότητά τους το κόστος διαφέρει.



Σχήμα 20. Συνηθισμένοι μετασχηματιστές διανομής

6.3 ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η δευτερογενούς διανομή παρέχει ενέργεια σε τάσεις που χρησιμοποιούν οι πελάτες από τους μετασχηματιστές διανομής στους μετρητές στις εγκαταστάσεις των πελατών. Στο σχήμα 21 φαίνονται συνηθισμένες δευτεροβάθμιες τάσεις και εφαρμογές στις Ηνωμένες Πολιτείες. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι δευτερευόντων συστημάτων. Συνήθως στις κατοικημένες περιοχές παρέχονται μονοφασικά συστήματα τριών καλωδίων. Το ένα από τα τρία καλώδια είναι το καλώδιο γείωσης, ενώ τα άλλα δύο είναι ενεργοποιημένα. Συνδέοντας τα δύο ενεργοποιημένα καλώδια παρέχονται 240 βολτ. Συνδέοντας κάθε ενεργοποιημένο καλώδιο με το έδαφος παρέχονται 120 βολτ. Κάθε μετασχηματιστής παρέχει ένα ξεχωριστό δευτερεύον σύστημα. Σε πολλές περιπτώσεις, υπάρχουν σημεία σύνδεσης μεταξύ των δευτερευόντων συστημάτων, έτσι ώστε να μπορεί να ληφθεί παροχή από ένα παρακείμενο σύστημα, σε περίπτωση βλάβης του μετασχηματιστή. Επειδή τα εμπορικά και βιομηχανικά φορτία είναι βαρύτερα από τα φορτία σε κατοικημένες περιοχές, γίνεται συχνά, εγκατάσταση τριφασικού συστήματος με 4 καλώδια. Σε αυτή την περίπτωση, οι μεγάλοι κινητήρες που τοποθετούνται, χρησιμοποιούν τριφασική ενέργεια.

Voltage	# Phases	# Wires	Application
120/240 V	Single phase	Three	Residential
208Y/120 V	Three phase	Four	Residential/Commercial
480 Y/ 277 V	Three phase	Four	Commercial/Industrial/High Rise

Σχήμα 21. Συνηθισμένες τάσεις σε δευτερογενούς διανομή στις Η.Π.Α.

Για την παροχή περιοχών υψηλής πυκνότητας φορτίου, όπως είναι τα κέντρα των πόλεων, όπου απαιτείται μεγαλύτερος βαθμός αξιοπιστίας, χρησιμοποιούνται τα δευτερεύοντα δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά παρέχονται από δύο ή περισσότερους πρωτογενείς τροφοδότες μέσω των μετασχηματιστών δικτύου. Αυτοί οι μετασχηματιστές προστατεύονται από συσκευές που ανοίγουν για να αποσυνδέσουν το μετασχηματιστή από το δίκτυο, αν ο μετασχηματιστής ή ο τροφοδότης εφοδιασμού εμφανίσει βλάβη. Ειδικά οι σημερινές συσκευές περιορισμού χρησιμοποιούνται σε διάφορες τοποθεσίες

στο δευτερεύον δίκτυο ώστε να αποτραπεί πιθανή εξάπλωση του προβλήματος. Τα μικρότερα δευτερεύοντα δίκτυα, τα οποία ονομάζονται δίκτυα σημείου, χρησιμοποιούνται επίσης, για την προμήθεια φορτίων που χρειάζονται περισσότερη αξιοπιστία.

6.4 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η χωρητικότητα του συστήματος διανομής καθορίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις από τη θερμική αξιολόγηση του εξοπλισμού. Στις περισσότερες αγροτικές περιοχές με χαμηλή πυκνότητα φορτίου, μπορεί να προσδιοριστούν όρια τάσης. Η χωρητικότητα του υποσταθμού διανομής εξαρτάται από το μέγεθος των μετασχηματιστών και την παροχή ενός επιπλέον εφεδρικό μετασχηματιστή. Αν ένας υποσταθμός έχει δύο μετασχηματιστές, όλο το φορτίο πρέπει να παρασχεθεί από τον υπόλοιπο σε περίπτωση βλάβης. Στην περίπτωση αυτή, η χωρητικότητα του υποσταθμού θα εξαρτηθεί από την ικανότητα του εφεδρικού μετασχηματιστή ώστε να αντέξει το φορτίο για το χρόνο που απαιτείται για την αντικατάσταση του άλλου μετασχηματιστή. Σε περίπτωση που ο χρόνος αντικατάστασης είναι μεγαλύτερος, θα πρέπει η χωρητικότητα να είναι χαμηλότερη. Σε υποσταθμούς με ένα μόνο μετασχηματιστή, το φορτίο περιορίζεται σε αυτό που μπορεί να μεταφερθεί σε άλλους απομακρυσμένους υποσταθμούς μέσω των τροφοδοτικών στα σημεία σύνδεσης.

Τα επιτρεπόμενα πρωτογενή τροφοδοτικά φόρτωσης μπορούν να περιοριστούν από το μέγεθος των αγωγών που χρησιμοποιούνται και τα χαρακτηριστικά του φορτίου που παρέχεται. Εάν το φορτίο μεταβάλλεται, τα υψηλότερα φορτία κατ'ανώτατο όριο μπορούν να μεταφερθούν καλύτερα από τον τροφοδότη σε σχέση με τα σταθερά φορτία, επειδή η ικανότητα του τροφοδοτικού εξαρτάται από τη θερμαντική επίδραση του φορτίου κατά την

πάροδο του χρόνου. Ο τροφοδότης φόρτωσης μπορεί επίσης, να περιοριστεί από την πτώση τάσης που εμφανίζεται στο τέλος των μακρύτερων τροφοδοτών.

Η χωρητικότητα του μετασχηματιστή διανομής καθορίζεται από το μέγεθος του μετασχηματιστή και τα χαρακτηριστικά του φορτίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μετασχηματιστές διανομής είναι μονοφασικοί. Όταν απαιτείται τριφασική παροχή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις μονοφασικοί μετασχηματιστές, από τους οποίους ο κάθε ένας είναι συνδεδεμένος με την κάθε φάση της αρχικής τριφασικής παροχής. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τριφασικός μετασχηματιστής, όπου οι τρεις φάσεις βρίσκονται σε μια ενιαία δεξαμενή. Η χωρητικότητα των δευτερευόντων καθορίζεται από το μέγεθος των καλωδίων που χρησιμοποιούνται, το μήκος τους, και τα χαρακτηριστικά του φορτίου που προμηθεύουν.

6.5 ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Τα συστήματα διανομής έχουν δύο ειδών απώλειες ενέργειας: τις απώλειες σε αγωγούς και στους τροφοδότες, λόγω του μεγέθους του φορτίου και των απωλειών στον πυρήνα μετασχηματιστή που είναι ανεξάρτητες από το ρεύμα. Οι απώλειες λόγω του ρεύματος ισούνται με το τετράγωνο της έντασης επί την αντίσταση του τροφοδοτικού ή του μετασχηματιστή (I^2R). Επιπλέον, υπάρχουν απώλειες λόγω αντιδράσεων που δίνονται από την σχέση (I^2X). Οι απώλειες στον πυρήνα απορρέουν από την ενέργεια που χρησιμοποιείται στους πυρήνες των μετασχηματιστών, ως αποτέλεσμα της υστέρησης και των δινορευμάτων. Αυτές οι απώλειες εξαρτώνται από το μαγνητικό υλικό που χρησιμοποιείται μέσα στον πυρήνα. Καθώς οι τάσεις ποικίλλουν από το επίπεδο του σχεδιασμού, οι απώλειες στον πυρήνα μπορεί να ποικίλουν, όπως από V3 έως και V5. Οι απώλειες του πυρήνα σε ένα σύστημα ισχύος μπορεί να υπερβαίνει το 3% της ενέργειας που παράγεται, αποτελώντας το 40% του

συνόλου των ζημιών στο σύστημα. Η χωρητικότητα της παραγωγής και ενεργές πηγές πρέπει να επαρκούν για την κάλυψη αυτών των ζημιών.

6.6 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

Όπως και στην περίπτωση των εγκαταστάσεων μεταφοράς, οι εκτιμήσεις των στοιχείων διανομής δίνονται γενικά, ως το γινόμενο της τάσης, στο οποίο αυτά λειτουργούν με το ρεύμα που ρέει μέσα από αυτά (kVA). Συνήθως χρησιμοποιούνται κανονικές εποχιακές εκτιμήσεις ώστε να αναγνωρισθούν οι διαφορές στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Οι εγκαταστάσεις διανομής είναι γενικά σε θέση να λειτουργήσουν στην εκτιμώμενη τιμή για συγκεκριμένες περιόδους του χρόνου και για συγκεκριμένες περιόδους, που συνήθως, εκφράζονται ως «παράγοντες απώλειας». Η μέγιστη εκτίμηση και χρονική περίοδο κατά την οποία ένα συστατικό μπορεί να λειτουργήσει στη μέγιστη εκτίμηση, εξαρτώνται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τον αέρα, το φως του ήλιου, καθώς και τα επίπεδα φορτίου λίγο πριν από την ώρα της αιχμής της ζήτησης.

6.7 ΜΕΤΡΗΣΗ

Η μέγιστη ισχύς και ενέργεια που παρέχεται στον υποσταθμό διανομής, καθώς και η τάση στον υποσταθμό, συνεχώς μετρούνται με καταγραφή των μετρητών του υποσταθμού. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον κάθε πελάτη μετρείται συνεχώς από τους μετρητές του πελάτη. Η ηλεκτρονική επικοινωνία του μετρητή του πελάτη και της εταιρίας κοινής ωφέλειας γίνεται για σκοπούς χρέωσης και παροχής των δεδομένων, ώστε να υποστηριχθούν οι εργασίες και να αυξηθεί ο σχεδιασμός του συστήματος. Σημαντικές αλλαγές στις απαιτήσεις των μετρήσεων έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της αναδιάρθρωσης της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα να διατηρηθεί το κομμάτι της ενέργειας που παρέχεται από

διάφορους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση της τηλεμετρίας αυξάνεται ώστε να παρέχονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, συμβάλλει στη μείωση πιθανών διακοπών και στην επιτάχυνση της αποκατάστασης της ενέργειας προς τους πελάτες.

6.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η καλή ποιότητα των υπηρεσιών ηλεκτρισμού προϋποθέτει ότι η τάση στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών θα πρέπει να διατηρούνται εντός ενός αποδεκτού εύρους τάσης ώστε να είναι ικανοποιητική η λειτουργία των καταναλωτικών ειδών. Για επίπεδο τάσης 120, θα πρέπει να παρατηρείται ένα εύρος τάσεων 110-126 βολτ. Είναι σύνηθες για τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας να κρατούν τάση στο μετρητή πελάτη μεταξύ 114 και 126 βολτ, το οποίο επιτρέπει μία πτώση 4 volt πτώση στο χρησιμοποιούμενο σημείο του πελάτη. Η τοποθεσία των άκρων των τάσεων δίνεται από τις αρχικές και τις τελευταίες τοποθεσίες των πελατών στον πρωτογενή τροφοδότη. Κατά τη διάρκεια συνθηκών υψηλών φορτίων (ώρες αιχμής), ο πρώτος πελάτης λαμβάνει συνήθως την υψηλότερη τάση ενώ ο τελευταίος πελάτης την χαμηλότερη τάση. Οι διαφορές από το χαμηλό στο υψηλό φορτίο καθορίζουν το εύρος της τάσης του κυκλώματος.

Πρώτο βήμα στον έλεγχο της τάσης σε ένα τέτοιο κύκλωμα είναι η ρύθμιση της τάσης στους υποσταθμούς από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Η εταιρεία φροντίζει τις διακυμάνσεις της τάσης που παρέχεται στον υποσταθμό και τη διακύμανση από τον τροφοδότη έως τους πρώτους πελάτες. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως για τη ρύθμιση είναι οι βαλβίδες μετατροπής στους μετασχηματιστές του υποσταθμού ή οι χωριστοί τροφοδότες ρύθμισης της

τάσης. Στους περισσότερους αστικούς τροφοδότες, δεν χρειάζεται άλλος εξοπλισμός ρύθμισης, αν και εγκαθίστανται συχνά πυκνωτές ώστε να παρέχεται μέρος του φορτίου. Σε μεγαλύτερους ή περισσότερους τροφοδότες, οι ρυθμιστές τάσης και οι πυκνωτές ενδέχεται να χρειαστούν στους τροφοδότες ώστε να παρέχουν συμπληρωματικό έλεγχο της τάσης και ενεργή προμήθεια. Σε γενικές γραμμές, ο έλεγχος της τάσης είναι η πιο οικονομικός εάν χρησιμοποιηθούν οι ρυθμιστές τάσης και οι πυκνωτές διακλάδωσης μαζί και εάν ο έλεγχος της τάσης διανομής συντονιστεί με τον έλεγχο της τάσης του συστήματος μετάδοσης και της παραγωγής.

6.8.1 Πυκνωτές

Οι πυκνωτές ως ένα οικονομικό μέσο, εφαρμόζονται για τη μείωση των απωλειών του συστήματος, παρέχοντας kilovars σε τοπικό επίπεδο. Παράλληλοι πυκνωτές συμπεριλαμβανομένων των σταθερών καθώς και των τραπεζών μεταγωγής, χρησιμοποιούνται στους πρωτοβάθμιους τροφοδότες για τη μείωση της πτώσης της τάσης, τη μείωση των απωλειών ισχύος και τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Όσο πιο κοντά στο φορτίο μπορούν να εγκατασταθούν, τόσο μεγαλύτερο είναι το οικονομικό όφελος. Οι πυκνωτές δεν είναι μόνο ένα οικονομικό μέσο στο σύστημα διανομής, αλλά και στο σύστημα ισχύος, καθώς μπορούν να εξαλείψουν την ανάγκη για προσθήκη πηγών αντίδρασης στο μεγαλύτερο μέρος του συστήματος. Τα kilovars που παρέχονται απευθείας στις περιοχές του φορτίου μειώνουν το ρεύμα σε όλα τα τμήματα του συστήματος. Αυτό απελευθερώνει την χωρητικότητα της μεταφοράς και μειώνει τις απώλειες του συστήματος.

Για χαμηλά φορτία, οι πυκνωτές, που εγκαθίστανται για λειτουργία με πλήρες φορτίο, μπορεί να προκαλέσουν υπερβολική τάση στο σύστημα διανομής. Ως αποτέλεσμα, πολλοί πυκνωτές θα πρέπει να απενεργοποιηθούν κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων. Διάφορα μέσα χρησιμοποιούνται ώστε να πραγματοποιηθεί η διακοπή.

6.8.2 Ρυθμιστές τάσης

Οι ρυθμιστές τάσης είναι συνήθως, ένας αυτομετασχηματιστής με αυτόματη βαλβίδα αλλαγής υπο-φορτίου. Η αυτόματη μέτρηση και ο εξοπλισμός αλλαγής φορτίου κρατάει την τάση εξόδου σε ένα προκαθορισμένο εύρος τιμών. Με τη χρήση μικρότερου εύρους τιμών, μπορεί να επιτραπεί μεγαλύτερη πτώση τάσης κατά μήκος του τροφοδοτικού, διατηρώντας την τάση των καταναλωτών εντός αποδεκτών ορίων. Κάτι τέτοιο, που ονομάζεται αντισταθμιστής πτώσης, είναι αναπόσπαστο τμήμα των ελέγχων του ρυθμιστή.

6.9 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Το σύστημα διανομής είναι το τμήμα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που έχει το μεγαλύτερο άμεσο αντίκτυπο στο επίπεδο αξιοπιστίας που αντιμετωπίζει ο καταναλωτής. Η διακοπή της λειτουργίας μιας μεγάλης μονάδας παραγωγής μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα, την αγορά ενέργειας από γειτονική επιχείρηση κοινής ωφέλειας ή την τοποθέτηση υψηλότερου κόστους παραγωγής εξοπλισμό στο δικό τους σύστημα. Η βλάβη μιας σημαντικής γραμμής μεταφοράς μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του φορτίου σε άλλες γραμμές μεταφοράς εντός της συγκεκριμένης επιχείρησης κοινής ωφέλειας, καθώς και την απαίτηση αποστολής νέας γραμμής στο σύστημα παραγωγής. Ωστόσο, η διακοπή ενός ενιαίου τροφοδότη διανομής συνήθως, έχει ως αποτέλεσμα την άμεση διακοπή της υπηρεσίας στους καταναλωτές, που συνδέονται άμεσα με το τροφοδοτικό.

Στα εναέρια κυκλώματα, το 80-90% των βλαβών έχουν προσωρινό χαρακτήρα, καθώς προκαλούνται από τον άνεμο, τις αστραπές, την πάχνη, τα πουλιά, τα μικρά ζώα, και την επαφή με κλαδιά δέντρων. Αν η βλάβη είναι προσωρινή, που διαρκεί μόνο για ένα μικρό χρονικό διάστημα, το κύκλωμα μπορεί να επαναφορτιστεί, αποκαθιστώντας την παροχή υπηρεσιών σε όλους

τους καταναλωτές. Η προστασία των πρωτογενών κυκλωμάτων από υπερβολικά ρεύματα παρέχεται από διακόπτες, αυτόματους reclosers κυκλώματος, ασφάλειες, και sectionalizers, οι οποίοι διαιρούν το πρωτεύον κύκλωμα σε διάφορα τμήματα. Τα χαρακτηριστικά του ρεύματος και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά αυτών των συσκευών είναι συντονισμένα έτσι ώστε η υπηρεσία να αποκαθίσταται σε όλους τους καταναλωτές μετά την προσωρινή βλάβη, και μόνο ένας ελάχιστος αριθμός καταναλωτών να εμφανίζει προβλήματα μόνιμης βλάβης. Οι διακόπτες επαναφοράς κυκλώματος και οι αυτόματοι reclosers κυκλώματος έχουν χαρακτηριστικά στιγμιαίας υπερέντασης καθώς και υπερέντασης με χρονική καθυστέρηση. Αρχικά, οι εν λόγω συσκευές εμφανίζουν πρόβλημα ακαριαία, διακόπτοντας το ρεύμα που εμφανίζει τη βλάβη τόσο γρήγορα ώστε να αποφευχθεί η εμφύσηση ή τήξη των ασφαλειών. Εάν το πρόβλημα εξακολουθεί να υφίσταται όταν το κύκλωμα είναι ξανά κλειστό, αυτές οι συσκευές μετατρέπονται με χαρακτηριστικά χρονικής καθυστέρησης. Αυτό επιτρέπει στις ασφάλειες να φουσήσουν και να απομονώνουν μια μόνιμη βλάβη πριν τον διακόπτη ή το recloser. Σε κυκλώματα καλωδίων δεν χρησιμοποιείται γενικά, η αυτόματη επαναφορά για να εμποδίσουν την εξάπλωση της βλάβης από χαλασμένα καλώδια. Πρότυπα έχουν καθοριστεί για τη μέτρηση και τη σύγκριση της αξιοπιστίας με σκοπό να παρέχονται στους πελάτες της διανομής.

6.9.1 Ποιότητα της υπηρεσίας

Τα συστήματα διανομής αποτελούν επίσης, αντικείμενο πτώσεων και άλλων διαφοροποιήσεων στην ποιότητα της υπηρεσίας. Αυτές οι πτώσεις μπορεί να προκληθούν από τις επιπτώσεις συσκευών άλλων πελατών ή από τα ελαττώματα ή τα βραχυκυκλώματα σε άλλα σημεία του συστήματος. Όταν συμβεί κάτι τέτοιο, η τάση θα πέσει στο μηδέν στο σημείο του σφάλματος. Οι τάσεις σε κοντινά σημεία θα μειωθούν σημαντικά κατά τη διάρκεια της βλάβης. Οι τάσεις θα μειωθούν σε χαμηλότερο βαθμό σε πιο απομακρυσμένα σημεία. Αλλά τα σφάλματα στο σύστημα μετάδοσης μπορεί να προκαλέσουν

πτώσεις σε θέσεις ως και 100 μίλια μακριά, ανάλογα με το επίπεδο τάσης στο σημείο της βλάβης. Αυτή η πτώση της τάσης μπορεί να επηρεάσει ψηφιακά ρολόγια, ηλεκτρονικούς υπολογιστές, και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να οδηγεί τη βιομηχανία σε πιο δραστικά μέτρα ώστε να μπορεί να κρατά σε αξιόπιστα επίπεδα τη ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

6.10 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Ένα αξιόπιστο σύστημα διανομής πρέπει να είναι σχεδιασμένο για να καλύπτει τις μελλοντικές απαιτήσεις της τροφοδοσίας. Πρέπει επίσης, να έχει επαρκή προστασία για διάφορα είδη βλαβών και βραχυκυκλωμάτων που μπορεί να συμβούν. Αυτό προϋποθέτει ότι οι διακόπτες, οι ασφάλειες, καθώς και άλλες προστατευτικές διατάξεις έχουν την ικανότητα να διακόψουν πολύ υψηλά ρεύματα που μπορεί να συμβούν όταν πραγματοποιηθεί βραχυκύκλωμα. Η ύπαρξη προστατευτικών συσκευών είναι εξίσου σημαντική κατά την διάρκεια ανίχνευσης τέτοιων βλαβών. Υπάρχει μία σημαντική ποσότητα διαθέσιμου λογισμικού για το σχεδιασμό και την λειτουργία συστημάτων διανομής, συμπεριλαμβανομένου:

- Βελτιστοποίηση των θέσεων των πυκνωτών
- Χρήση διακοπών κυκλώματος
- Διαστασιολόγηση αγωγών - υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης ρεύματος και θερμοκρασίας
- Διαχείριση βάσης δεδομένων
- Αξιολόγηση της αξιοπιστίας διανομής
- Υπολογισμοί βραχυκυκλωμάτων διανομής
- Γραφικά διαγραμμάτων μονής γραμμής και χαρτογράφηση συστημάτων
- Ανάλυση αρμονικών
- Μοτέρ εκκίνησης

- Συντελεστή διόρθωσης ισχύος
- Υπολογισμοί ροής ισχύος και πτώσης τάσης
- Υπολογισμοί απωλειών ενέργειας και κόστος των απωλειών

6.11 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η αυξανόμενη εφαρμογή των μικρών πηγών παραγωγής στο σύστημα διανομής σχετίζεται με διάφορες παραμέτρους όπως είναι η οικονομία, η αξιοπιστία και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Μερικές γεννήτριες διανομής θα εγκατασταθούν στο σημείο εφοδιασμού του μετρητή των πελατών. Άλλοι θα εγκατασταθούν στο σημείο του μετρητή από τους πελάτες ώστε να επιδράσουν με το σύστημα διανομής και την διανομή των άλλων πελατών. Η σύνδεση των πετρελαιοκινητήρων, των κυψελών καυσίμου, των φωτοβολταϊκών στοιχείων, των ανεμογεννητριών και των πολύ μικρών ανεμογεννητριών δημιουργεί νέες ανησυχίες και προβλήματα στα συστήματα διανομής. Αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης βραχυκυκλωμάτων, απαιτούν αλλαγές που έχουν σχέση με την μετεγκατάσταση και την προστασία, ενώ τίθενται ερωτήματα που αφορούν την ασφάλεια των εργαζομένων στις εταιρείες κοινής ωφέλειας και των καταναλωτών.

Η χρήση κατανεμημένης παραγωγής για την παροχή ενέργειας έχει αντίκτυπο στον σχεδιασμό και στην λειτουργία των συστημάτων εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένου διάφορες βοηθητικές υπηρεσίες, όπως είναι η ενεργή χωρητικότητα, το αποθεματικό των σπειρών, και ούτω καθεξής. Για τον σχεδιασμό και την λειτουργία του συστήματος τροφοδοσίας και του συστήματος διανομής είναι απαραίτητος ο συντονισμός. Αυτό περιπλέκεται από το γεγονός ότι ο κύριος όγκος του συστήματος ενέργειας και διανομής ανήκουν σε διαφορετικά κόμματα και ρυθμίζονται χωριστά, με την ομοσπονδιακή κυβέρνηση να ρυθμίζει το μεγαλύτερο μέρος της τροφοδοσίας και την Πολιτειακή Κυβέρνηση να ρυθμίζει τα συστήματα διανομής. Μια

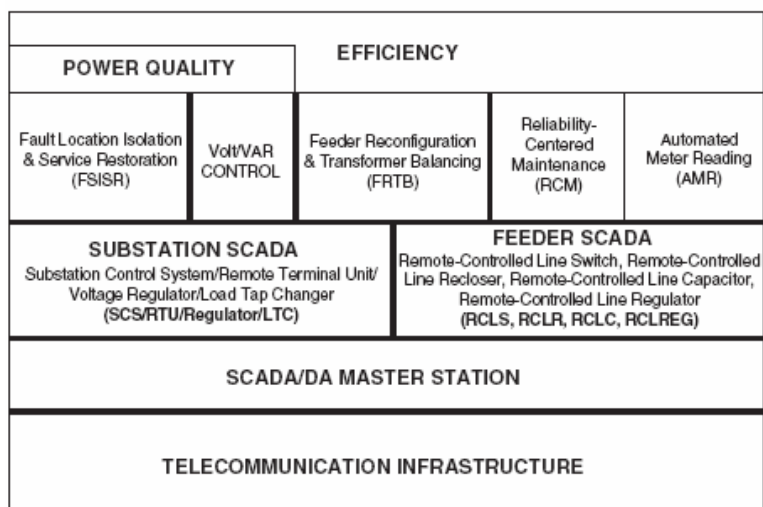
εναλλακτική λύση είναι η ανάπτυξη συμβάσεων συντονισμού μεταξύ των κομμάτων, η οποία θα προβλέπει μια δικαιότερη κατανομή των κερδών από τον συντονισμό.

6.12 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Το σύστημα διανομής είναι σε λειτουργία και ελέγχονται με τη χρήση του συστήματος SCADA (Σύστημα Ελέγχου και Αυτοματοποίηση Διανομής) σε ένα κέντρο αποστολής. Τα συστήματα αυτά είναι διαφόρων τύπων και βρίσκονται υπό συνεχή ανάπτυξη. Χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στοιχεία που απαιτούνται για τη λειτουργία καθώς και τις νέες απαιτήσεις για την τιμολόγηση. Η αυτοματοποίηση των συστημάτων διανομής συνεχίζει να αυξάνεται. Τα οφέλη της αυτοματοποίησης διανομής περιλαμβάνουν:

- Βελτιωμένη αξιοπιστία της διανομής.
- Μειωμένες διακοπές στους πελάτες καθώς και μειωμένη διάρκεια διακοπής με αυτόματο εντοπισμό και απομόνωση της βλάβης στο κύκλωμα διανομής και με αυτόματη αποκατάσταση των υπηρεσιών στα τμήματα που δεν έχει δημιουργηθεί πρόβλημα.
- Μείωση των παραπόνων των πελατών.
- Μείωση των απωλειών ενέργειας στους μετασχηματιστές υποσταθμού, στους τροφοδότες της διανομής, και στους μετασχηματιστές διανομής.
- Πιο αποτελεσματική χρήση της διανομής μέσω του αυτόματου ελέγχου της τάσης, της διαχείρισης του φορτίου, της απόρριψης του φορτίου, καθώς και άλλων αυτόματων λειτουργιών ελέγχου.
- Βελτίωση των μεθόδων για την καταγραφή, την αποθήκευση, τη διανομή και την προβολή των δεδομένων.
- Βελτίωση της μηχανικής, του σχεδιασμού, της λειτουργίας και της συντήρησης της διανομής.

Η τρέχουσα κατάσταση της ανάπτυξης αυτοματοποιημένης διανομής παρουσιάζεται στο Σχήμα 22.



Σχήμα 22. Αυτοματοποίηση των συστημάτων διανομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μέχρι στιγμής έχουμε εξετάσει τα στοιχεία του ηλεκτρικού συστήματος. Αυτό το κεφάλαιο πραγματεύεται τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα στοιχεία συγκεντρώνονται για να εξασφαλίσουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι διαθέσιμη. Το κεφάλαιο θα καλύψει τόσο τη λειτουργία όσο και τον προγραμματισμό του συστήματος. Η διαδικασία με την οποία το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί, χωρίζεται σε τεχνικά και οργανωτικά χαρακτηριστικά. Κατά την διάρκεια του γραψίματος αυτού του βιβλίου, οι οργανωτικές δομές έχουν υποστεί αλλαγές λόγω των προσπαθειών αναδιάρθρωσης σε εθνικό επίπεδο και σε επίπεδο πολιτειών.

7.1 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

Η λειτουργία του μεγαλύτερου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες αντικατοπτρίζει την αλληλεξάρτηση των διαφόρων φορέων που εμπλέκονται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Αυτές οι αλληλεξαρτήσεις οφείλονται στο γεγονός ότι οι εταιρείες κοινής ωφέλειας μεγαλώνουν και επεκτείνονται με το πέρασμα του χρόνου.

Δεδομένου ότι το ηλεκτρικό σύστημα λειτουργεί σε μεγάλες σύγχρονες διασυνδέσεις, οι επιδράσεις των ροών ηλεκτρικής ενέργειας και οι ηλεκτρικές διαταραχές είναι εμφανείς σε όλα τα συστήματα που συνδέονται σε ένα σύγχρονο πλέγμα. Σε ένα σύστημα ενέργειας, ο συντονισμός όλων των στοιχείων του συστήματος και όλων των συμμετεχόντων βασίζονται από την οικονομική προοπτική και την προοπτική της αξιοπιστίας. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής, μεταφοράς, διανομής πρέπει να λειτουργούν με ένα συντονισμένο προγραμματισμό. Ο σχεδιασμός της παραγωγής πρέπει να αναγνωρίζει την χωρητικότητα του συστήματος μετάδοσης. Ο έλεγχος της τάσης θα πρέπει να γίνεται στις γεννήτριες, καθώς και στις εγκαταστάσεις μετάδοσης και διανομής. Δράσεις και αποφάσεις από ένα συμμετέχοντα, συμπεριλαμβανομένου των αποφάσεων σχετικές με τη μη δράση, επηρεάζουν όλους τους συμμετέχοντες. Παράλληλα με τις πρώιμες φάσεις ανάπτυξης του, η βιομηχανία αναγνώρισε ότι ήταν σημαντικό να υπάρξει συντονισμός των λειτουργιών και του σχεδιασμού του συστήματος όπως επίσης, να σχηματιστούν οργανισμοί που θα διευκολύνουν την από κοινού λειτουργία και τον προγραμματισμό του εθνικού ηλεκτρικού δικτύου. Αρχικά, ιδρύθηκαν μητρικές εταιρείες και στη συνέχεια, δεξαμενές ενέργειας, με σκοπό να συντονίσουν την λειτουργία των ομίλων των εταιρειών.

Μετά τη Βορειοανατολική συσκότιση του 1965, συγκροτήθηκαν περιφερειακά συμβούλια για την ηλεκτρική αξιοπιστία για να προωθήσουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των διασυνδεδεμένων συστημάτων παραγωγής

ενέργειας στις γεωγραφικές περιοχές τους. Αυτά τα περιφερειακά συμβούλια ενώθηκαν αργότερα για να σχηματίσουν έναν εθνικό όμιλο, τον NERC (Βορειοαμερικανικό Συμβούλιο Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας). Σήμερα, υπάρχουν δέκα περιφερειακά συμβούλια. Τα μέλη αυτών των Περιφερειακών Συμβουλίων προέρχονται από όλα τα τμήματα της ηλεκτρικής βιομηχανίας: επενδυτές που τους ανήκουν οι εταιρείες κοινής ωφελείας, ομοσπονδιακές υπηρεσίες ενέργειας, αγροτικοί συνεταιρισμοί ηλεκτρισμού, κρατικές, δημοτικές και επαρχιακές επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, επενδυτές ενέργειας και οι τελικοί καταναλωτές. Όλοι αυτοί έχουν την ευθύνη για το σύνολο σχεδόν της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά, και ένα τμήμα της Μπάχα Καλιφόρνια Νόρτε, στο Μεξικό. Από την ίδρυσή του το 1968, το Βορειοαμερικανικό Συμβούλιο Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας (NERC) λειτουργεί ως μια εθελοντική οργάνωση για την προώθηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοπιστία και ασφάλεια. Αυτό εξαρτάται από την αμοιβαιότητα, την πίεση, και το αμοιβαίο συμφέρον όλων των εμπλεκόμενων. Στο πλαίσιο της προώθησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοπιστία και ασφάλεια, το NERC, μεταξύ άλλων,;

- Δημιουργεί πολιτική λειτουργίας και σχεδιασμό προτύπων ώστε να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος.
- Αναφέρει την αξιοπιστία των υφιστάμενων και των σχεδιαζόμενων συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς.
- Μελετάει παλιές διαταραχές του ηλεκτρικού συστήματος για την άντληση διδαγμάτων και την παρακολούθηση της τωρινής λειτουργίας για την τήρηση και συμμόρφωση σύμφωνα με τις πολιτικές της.
- Διατηρεί δεσμούς με τις ομοσπονδιακές, πολιτειακές και επαρχιακές κυβερνήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά και τους οργανισμούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και στις δύο χώρες.

Η αύξηση του ανταγωνισμού και οι διαρθρωτικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στη βιομηχανία έχουν αλλάξει σημαντικά τα κίνητρα και τις ευθύνες

των συμμετεχόντων της αγοράς στο σημείο ότι ένα σύστημα εθελοντικής συμμόρφωσης δεν είναι πλέον επαρκές. Σε απάντηση σε αυτές τις αλλαγές, το NERC βρίσκεται στη διαδικασία μετασχηματισμού του σε έναν οργανισμό αυτορρύθμισης της αξιοπιστίας (SRO) που σκοπό έχει να αναπτύσσει πρότυπα αξιοπιστίας για το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρικού συστήματος της Βόρειας Αμερικής.

Μετά τις αποφάσεις 888 και 889 που εξέδωσε το FERC το 1996, ορισμένες περιοχές της χώρας ίδρυσαν τα Ανεξάρτητα Συστήματα Διαχείρισης (Independent System Operators - ISOs). Οι δηλώσεις της Νέας Υόρκης και των PJM ISOs είναι χαρακτηριστικές:

1. Νέα Υόρκη - «... να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη, ασφαλής και αποδοτική λειτουργία του κρατικού συστήματος μεταφοράς και να διαχειριστεί μια ανοικτή, ανταγωνιστική και χωρίς διακρίσεις χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην πολιτεία της Νέας Υόρκης.»
2. PJM - «Να διατηρηθεί η ασφάλεια, η επάρκεια, η αξιοπιστία και η ασφάλεια του συστήματος ενέργειας. Δημιουργία και λειτουργία μιας ισχυρής, ανταγωνιστικής, χωρίς διακρίσεις αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.»

Πρόσφατα, σε απάντηση των οδηγιών της FERC, σχηματίστηκαν Οργανισμοί Περιφερειακής Μεταφοράς (RTOs). Οι οργανισμοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των αντίστοιχων δικτύων ενέργειας.

7.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

7.2.1 Περιοχές ελέγχου

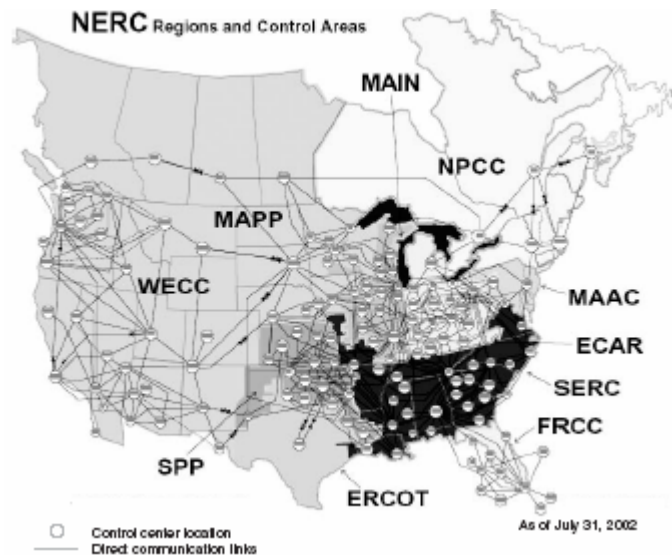
Οι στόχοι προτεραιότητας των ατόμων που ευθύνονται για την λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος είναι να εξασφαλιστεί ότι κάθε στιγμή του χρόνου υπάρχει επαρκή παραγωγή ώστε να προμηθεύονται αξιόπιστα οι

απαιτήσεις του πελάτη και όλων των σχετικών απωλειών στο σύστημα διανομής. Η διαδικασία περιπλέκεται από το γεγονός ότι το φορτίο των πελατών μεταβάλλεται συνεχώς και, ως εκ τούτου, η παραγωγή πρέπει να προσαρμόζεται αμέσως, είτε προς τα πάνω ή προς τα κάτω, για να φιλοξενήσει την αλλαγή του φορτίου. Καθώς η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευθεί, η αλλαγή της παραγωγής πρέπει να επιτευχθεί με μια φυσική προσαρμογή του εξοπλισμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το συντονισμό της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, έχει εξελιχθεί ένα σύστημα περιοχών ελέγχου. Κάθε περιοχή ελέγχου είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση του φορτίου / ισοζυγίου παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου τακτικών ανταλλαγών, όπως είναι αγορές ή πωλήσεις. Η ζώνη ελέγχου μπορεί να αποτελείται από μια γεννήτρια ή από ομάδα γεννητριών, μία μεμονωμένη επιχείρηση, ή ένα τμήμα μιας επιχείρησης ή ενός ομίλου εταιριών που ικανοποιούν ορισμένα κριτήρια ποσοποίησης που καθορίζονται από το NERC. Μπορεί να είναι μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, με οριοθετημένα όρια ή μπορεί να είναι διάσπαρτη παραγωγή και φορτίο.

Το Σχήμα 23 δείχνει τη θέση του καθενός από τα συμβούλια αξιοπιστίας, καθώς και τη θέση πάνω από 140 περιοχών ελέγχου εντός NERC. Οι περιοχές ελέγχου διαφέρουν σημαντικά όσο αφορά τη γεωγραφική θέση και το ύψος παραγωγής / φορτίου που ελέγχουν. Ένα από τα αποτελέσματα της διαδικασίας που πρέπει να θέσουν οι RTOs, είναι η μείωση του αριθμού των περιοχών αυτών.

Κάθε κέντρο ελέγχου διατηρεί επικοινωνία με τις γειτονικές περιοχές ώστε να συντονίσει τις λειτουργίες. Οι δραστηριότητες συντονισμού περιλαμβάνουν ανταλλαγές ρεύματος μέσα στα όρια της περιοχής, όρια μεταφοράς ενέργειας για ροή ηλεκτρικής ενέργειας σε κίνηση ή ακούσια.



Σχήμα 24. Οι περιοχές ελέγχου στο NERC.

Πέρα από τη διατήρηση της επικοινωνίας με άλλες περιοχές ελέγχου, το κέντρο ελέγχου πρέπει να είναι σε επαφή με τους πελάτες του, που μπορεί να είναι είτε εταιρείες είτε μεμονωμένοι σταθμοί παραγωγής είτε μονάδες παραγωγής είτε μεμονωμένοι υποσταθμοί. Αν έρχονται σε επαφή με μια μεμονωμένη εταιρεία, η εταιρία αυτή, με τη σειρά της, έχει δεσμούς επικοινωνίας με τις μονάδες παραγωγής ή τα λειτουργικά κέντρα μετάδοσης έτσι ώστε τα σήματα ελέγχου να μπορούν να περάσουν γρήγορα.

Καθώς η αλλαγή του φορτίου των πελατών από λεπτό προς λεπτό δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα, όπου οι αλλαγές της παραγωγής γίνονται σε συνάρτηση με τις αλλαγές του φορτίου. Αυτό το σύστημα βασίζεται στην έννοια του σφάλματος ελέγχου περιοχής. Τα κέντρα ελέγχου απαιτούν, επίσης, πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση του συστήματος. Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν τις ροές γραμμής ρεύματος, τις τάσεις υποσταθμού, την παραγωγή όλων των γεννητριών, την κατάσταση του συνόλου των γραμμών μεταφοράς και των διακοπών στους υποσταθμούς (σε λειτουργία ή εκτός υπηρεσίας) και τις ρυθμίσεις στις βαλβίδες των μετασχηματιστών. Ορισμένες περιοχές εφαρμόζονται σε συστήματα διαβάθμισης των γραμμών μεταφοράς σε

πραγματικό χρόνο, που απαιτούν πρόσθετες πληροφορίες, όπως οι καιρικές συνθήκες, η θερμοκρασία του αγωγού, και ούτω καθεξής. Κάθε παροχή ελέγχου παρακολουθεί σε συνεχή βάση τη ροή του ρεύματος σε κάθε εσωτερικό δεσμό (σε μερικές περιπτώσεις σημεία παράδοσης) και στην έξοδο της κάθε γεννήτριας. Το άθροισμα της εσωτερικής παραγωγής και της καθαρής ροής στους εσωτερικούς δεσμούς (interties) είναι ίσο με το φορτίο των πελατών και όλες τις απώλειες μετάδοσης εντός της περιοχής.

Τα διάφορα εμπορικά συμφέροντα που εμπλέκονται στην περιοχή θα πρέπει να είναι γνωστά στο προσωπικό της περιοχής ελέγχου. Θα πρέπει να γίνεται έλεγχος των συμβολαίων και των κανονισμών σε συνεχή βάση είτε για την αγορά ή την πώληση την ηλεκτρικής ενέργειας σε φορείς εκτός των ορίων της περιοχής. Επιπρόσθετα, οι γειτονικοί φορείς μετέχουν σε συναλλαγές που θα προκαλέσουν την ροή της ενέργειας στην περιοχή ελέγχου. Ωστόσο, υποχρεούνται να ενημερώνουν τη περιοχή ελέγχου και να προβλέπουν τις συνακόλουθες απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Διάφοροι Κανονισμοί επισημοποιήθηκαν από το FERC το 1996 (888 και 889). Ο Κανονισμός αναφέρει μεταξύ άλλων ότι:

"Μια δημόσια επιχείρηση κοινής ωφέλειας ... πρέπει να βασίζεται στο ίδιο δίκτυο ηλεκτρονικών πληροφοριών, του οποίου οι πελάτες διαβίβασης πρέπει να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη διαβίβαση του συστήματος κατά την αγορά ή την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας."

Όλες οι αναφορές εισάγονται στο σύστημα Open Access Same-Time Information System (OASIS), μια διαδικτυακή βάση ανακοινώσεων που δίνει στους εμπόρους ενέργειας, στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, καθώς και σε άλλους πελάτες χονδρικής της ενέργειας, πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε πληροφορίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα της χωρητικότητας της γραμμής μεταφοράς. Το OASIS παρέχει τη δυνατότητα προγραμματισμού των συναλλαγών μια επιχείρησης ή μη επιχείρησης. Με αυτές τις πληροφορίες, οι

φορείς εκμετάλλευσης της περιοχής ελέγχου μπορούν να συγκρίνουν τη συνολική προγραμματισμένη ανταλλαγή με την πραγματική ανταλλαγή μέσα ή έξω από τη περιοχή ελέγχου. Εάν η παραλαβή της ηλεκτρικής ενέργειας υπερβαίνει το χρονοδιάγραμμα, η περιοχή ελέγχου θα πρέπει να προκαλέσει την αύξηση των προγραμματισμένων επιπέδων παραγωγής. Εάν η λήψη είναι πολύ χαμηλή, η προγραμματισμένη παραγωγή μειώνεται εντός της περιοχής ελέγχου. Αυτές οι προσαρμογές γίνονται συνήθως μία ημέρα πριν και στη συνέχεια σε πραγματικό χρόνο. Καθώς αυτές οι προσαρμογές βρίσκονται σε εξέλιξη ταυτόχρονα από όλες τις περιοχές του ελέγχου, οι προσαρμογές παύουν να βρίσκονται σε ισορροπία.

Η διαδικασία όπου προγραμματίζονται οι ατομικές συμβάσεις με το OASIS με σκοπό τον προσδιορισμό της πηγής του πελάτη, είναι γνωστή ως tagging. Οι πληροφορίες αυτές, ενώ μπορεί να είναι ευαίσθητες από εμπορική άποψη, είναι ζωτικής σημασίας εάν οι φορείς εκμετάλλευσης του συστήματος πρόκειται να προσαρμοστούν στη ροή του συστήματος ενέργειας, με σκοπό τη διατήρηση αξιόπιστων επιπέδων.

Παράλληλα, οι διαχειριστές συστημάτων μπορούν να αξιολογούν τις αναμενόμενες ροές ενέργειας μέσα στην ζώνη ελέγχου ώστε να διαπιστώσουν εάν απαιτούνται προσαρμογές κατά την παραγωγή, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι όλες οι εγκαταστάσεις μεταφοράς λειτουργούν στο μέτρο των δυνατοτήτων τους.

Κάθε ζώνη ελέγχου συμμετέχει στη διατήρηση της μέσης συχνότητας του συστήματος στα 60 Hertz. Η συχνότητα του συστήματος μπορεί να αποκλίνει από την κανονική όταν μια μεγάλη μονάδα παραγωγής ή μία ποσότητα φορτίου χαθεί. Πέρα από τις προσαρμογές που γίνονται λόγω διακυμάνσεων των ροών σε σχέση με τις προγραμματισμένες, πραγματοποιείται μία άλλη προσαρμογή, που έχει σκοπό την διόρθωση των αποκλίσεων των συχνοτήτων. Κάθε ζώνη ελέγχου οφείλει να έχει συντελεστή προσαρμογή που σχετίζεται με

τις λογικές τιμές της συχνότητας. Ο όρος ονομάζεται «tie-line frequency bias» (σε mW/0.1 Hz).

Επιπλέον, δεδομένου ότι η διαδικασία ελέγχου είναι ευέλικτη, μπορεί να υπάρξει μια μετατόπιση σε μέση συχνότητα του συστήματος, η οποία, με τη σειρά της, επηρεάζει την ακρίβεια ηλεκτρικών ρολογιών. Για κάποιο χρονικό διάστημα γίνεται παρακολούθηση αυτής της αλλαγής ενώ η απαιτούμενη συχνότητα προσαρμόζεται ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη αποζημίωση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται Time Error Correction.

Υπάρχει μια πλήθος κανόνων της αγοράς, οι οποίοι διαφέρουν σε ολόκληρη τη χώρα, και με τους οποίους έχουν προγραμματιστεί οι έξοδοι επιμέρους γεννητριών. Οι κανόνες αυτοί είναι σήμερα σε μια ρευστή κατάσταση, καθώς το FERC κινείται σε ένα καθεστώς ελεύθερης αγοράς για την αποστολή ενέργειας. Με την αναδιάρθρωση της βιομηχανίας, η εμφάνιση ιδιοκτητών εργοστασίων παραγωγής ενέργειας, η ανάπτυξη των ISOs, RTOs και των κερδοσκοπικών εταιρειών μετάδοσης, καθώς και η εφαρμογή της λιανικής πρόσβασης σε ορισμένες αρμοδιότητες, κάνουν τη δουλειά του καθορισμού και της εφαρμογής Προτύπων ακόμα πιο περίπλοκη. Καθώς ορισμένες περιοχές ελέγχου ενεργούν ως προμηθευτές υπηρεσίας μεταφοράς, τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο περίπλοκα. Η NERC κάνει μια προσπάθεια, η οποία σκοπό έχει τον εξορθολογισμό της διαδικασίας αυτής. Έχει αρχίσει ορίζοντας σχεδόν 100 λειτουργίες αξιοπιστίας που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

7.2.2 Αποθεματικά Λειτουργίας

Κάθε περιοχή ελέγχου πρέπει να προβλέπει λειτουργικά αποθέματα για την αποκατάσταση των ροών που είναι προγραμματισμένες εντός 15 λεπτών από την στιγμή που υπάρχει έκτακτη ανάγκη. Λειτουργικά αποθεματικά

αποτελούνται από στρεφόμενα και μη στρεφόμενα αποθέματα. Τα στρεφόμενα αποθέματα είναι η παραγωγή που είναι συγχρονισμένη και διαθέσιμη για την προμήθεια στοιχειώδους φορτίου σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα μη στρεφόμενα αποθέματα δεν είναι συγχρονισμένα, αλλά μπορούν να διατίθενται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η διακοπόμενη απομόνωση φορτίου και οι συντονισμένες ρυθμίσεις για την ανταλλαγή προγραμμάτων μπορούν να θεωρηθούν ως μέρος των λειτουργικών αποθεματικών.

Κάθε περιοχή ελέγχου πρέπει να παρέχει δραστικές πηγές εντός των ορίων, ώστε να προστατεύσει τα επίπεδα της τάσης σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης. Καθώς υπάρχει εξισορρόπηση φορτίου και παραγωγής, κάθε περιοχή ελέγχου έχει την ευθύνη να διασφαλίσει ότι το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος ενέργειας εξυπηρετεί ένα συνεκτικό σύνολο κριτηρίων, προτύπων και διαδικασιών. Η NERC έχει δημιουργήσει επιχειρηματικές πολιτικές και προγραμματικά πρότυπα για να εξασφαλίσει την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος. Οι συγκεκριμένες λεπτομέρειες έχουν κωδικοποιηθεί από καθένα από τα δέκα περιφερειακά συμβούλια αξιοπιστίας. Επιπλέον, τοπικές περιοχές μπορεί να εφαρμόσουν αυστηρότερα κριτήρια, κανόνες και διαδικασίες, αν δικαιολογηθεί η κατάστασή τους. Οι περιοχές ελέγχου, επίσης, οφείλουν να συντονίζουν τη συντήρηση και την προστατευτική μετεγκατάσταση και να εμφανίζουν ένα σχέδιο αποκατάστασης του συστήματος.

7.2.3 Βοηθητικές υπηρεσίες

Στην Διάταξη 888 η FERC καθορίζει τις βοηθητικές υπηρεσίες που απαιτούνται για τη διευκόλυνση της λειτουργίας ενός συστήματος τροφοδοσίας. Οι υπηρεσίες αυτές ομαδοποιήθηκαν σε τρεις ευρείες κατηγορίες. Αυτές είναι:

- Απαιτείται να παρέχονται από παρόχους μετάδοσης:
 - Προγραμματισμός, σύστημα ελέγχου και αποστολή

- Δραστική προμήθεια και έλεγχος της τάσης από τις γεννήτριες
- Απαιτείται να προσφέρονται από τον πάροχο μετάδοσης:
 - Κανονισμός (AGC)
 - Αποθεματικό λειτουργίας-στρεφόμενη
 - Αποθεματικό λειτουργίας-συμπληρωματική
 - Ενεργειακή ανισορροπία (ωριαίες αναντιστοιχίες)
- Δεν απαιτείται διαβίβαση των παρόχων:
 - Συνεχόμενη φόρτιση (ώρα ή ημέρα)
 - Παροχή Back-up
 - Πραγματική αντικατάσταση απώλειας ισχύος
 - Δυναμικός προγραμματισμός
 - Ικανότητα συστήματος μαύρης εκκίνησης
 - Υπηρεσίες σταθερότητας δικτύου

7.2.4 Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης

Σήμερα, δύο βασικές φιλοσοφίες υπάρχουν σχετικά με πιθανές έκτακτες καταστάσεις.

1. *Προληπτική Φιλοσοφία.* Μια προσέγγιση που εφαρμόστηκε στην Ηνωμένες Πολιτείες για πολλά χρόνια έχει προληπτική λειτουργία. Αυτό που σημαίνει είναι ότι, εάν ο διαχειριστή συστήματος ανακαλύψει έναν όρο στο σύστημά, όπου σε έκτακτη ανάγκη θα προκαλέσει υπερφόρτωση και δυνατά προβλήματα σε άλλες εγκαταστάσεις, θα προσαρμόσει τη λειτουργία του συστήματός του με σκοπό τη μείωση των συνθηκών φόρτωσης και την εξάλειψη αυτής της βλάβης. Με αυτή τη φιλοσοφία, η μεταφορά ενέργειας, οι αποστολές μετεπιβίβασης και οι οικονομικές αποστολές, που θα μπορούσαν να είναι οικονομικά ευεργετικές, συχνά δεν είναι. Αυτή είναι η φιλοσοφία που συνιστάται από το North American Reliability Council.

2. *Διορθωτική Φιλοσοφία.* Υπάρχει ένα αυξανόμενο ποσό προσοχής που δίνεται στις επιπτώσεις της λήψης μεγαλύτερων κινδύνων κατά τη λειτουργία των

συστημάτων μετάδοσης, λόγω σημαντικών εξοικονομήσεων που μπορούν να γίνουν. Η διορθωτική φιλοσοφία δεν προβλέπει τη μείωση των μεταβιβάσεων έως ότου επέλθει κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Αυτό σημαίνει ότι τη μεγαλύτερη διάρκεια που δεν παρατηρούνται καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, προκύπτουν οικονομικά οφέλη. Ωστόσο, αυτό σημαίνει ότι για τη μικρή διάρκεια εκτάκτων αναγκών, το σύστημα δεν είναι αξιόπιστο καθώς παρατηρούνται μεγάλες διακοπές της ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Η διορθωτική φιλοσοφία χρησιμοποιείται γενικά σε όλες τις Η.Π.Α..

Τελικά τόσο η ικανότητα όσο και η αξιοπιστία των δικτύων μεταφοράς θα πρέπει να βελτιωθούν ταυτόχρονα μέσω της ανάπτυξης ενός ιδιαίτερα αυτοματοποιημένου, "έξυπνου " σύστημα ενέργειας. Το πλέγμα χρειάζεται τεχνολογικές εξελίξεις σε τέσσερις μεγάλους τομείς:

1. Βελτίωση του φυσικού ελέγχου για την επιτάχυνση των λειτουργιών στο δίκτυο με γρηγορότερη παραγωγή ενέργειας και πρόληψη της διάδοσης διαταραχών.
2. Παρακολούθηση συστημάτων με σκοπό την βελτίωση της αξιοπιστίας, ερευνώντας τις συνθήκες του δικτύου σε μια ευρεία περιοχή.
3. Αναλυτική ικανότητα για την ερμηνεία των στοιχείων που παρέχονται από το σύστημα παρακολούθησης της ευρύτερης περιοχής που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του δικτύου
4. Ένα ιεραρχικό σύστημα ελέγχου που θα ενσωματώνει όλες τις παραπάνω τεχνολογίες και θα εγκαθιστά ευέλικτες λειτουργίες του δικτύου σε ηπειρωτική κλίμακα.

Τα ηλεκτρικά συστήματα προσθέτουν τώρα αυτές τις τεχνολογίες στα σύστημα μεταφοράς, δημιουργώντας έτσι τα «έξυπνα» δίκτυα. Το δυνατό μέλλον αυτών των «έξυπνων» συστημάτων ελέγχου θα πρέπει να αναλυθεί προσεκτικά προκειμένου να αναγνωριστεί και να αξιολογηθεί ένα τέτοιο δυναμικό μέλλον.

7.2.5 Λειτουργία έκτακτης ανάγκης

Η NERC απαιτεί από κάθε σύστημα, ζώνη ελέγχου και Περιφέρεια την ύπαρξη ενός συνόλου σχεδίων για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Τα σχέδια αυτά πρέπει να καλύπτουν:

- Συμφωνίες για την έκτακτη βοήθεια από γειτονικά συστήματα
- Διαδικασίες για διαχειριστές συστημάτων?
- Υπεύθυνη αρχή να «ρίξει» το φορτίο για την αποκατάσταση της παραγωγής / ισορροπίας φορτίου
- Διαδικασίες για την αποκατάσταση του συστήματος.

Στοιχεία που πρέπει να εξετάζονται, περιλαμβάνουν καύσιμα εφοδιασμού και αποθέματα, εναλλαγή καυσίμων σε γεννήτριες όπου είναι δυνατόν, περιβαλλοντικούς περιορισμούς και μείωση ενέργειας μέσα στο σύστημα, δημόσιες εκκλήσεις, εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης φορτίου και μείωση της τάσης έκκληση προς τους μεγάλους πελάτες να μειώσουν τη χρήση, λειτουργία γεννητριών σε μέγιστη ισχύ, αιτήσεις για κυβερνητική βοήθεια για την εφαρμογή μείωσης της ενέργειας, και υποχρεωτική ακούσια περικοπή φορτίου.

Σε περίπτωση που η παραπάνω δράσεις είναι ανεπαρκείς ή αν η κατάσταση εξελίσσεται

υπερβολικά γρήγορα για την εφαρμογή τους, κάθε περιοχή απαιτείται να εγκαταστήσει απόρριψη φορτίου με μειωμένη συχνότητα (underfrequency load shedding). Αυτό είναι ένα σύστημα όπου τα προστατευτικά Ρελέ ανιχνεύουν συνθήκες χαμηλής συχνότητας και ενεργοποιούν την αποσύνδεση του μπλοκ του φορτίου σε μια προσπάθεια να συγκρατήσουν την πτωτική πορεία της συχνότητας και να αποκαταστήσουν τη λειτουργία των 60 Hz πριν εμφανιστούν τα αποτελέσματα των χαμηλών συχνοτήτων στην απώλεια της πρόσθετης παραγωγής.

7.3 ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΡΟΗ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ ΚΑΙ ΡΟΗ ΒΡΟΧΟΥ

Η παράλληλη ροή ηλεκτρικής ενέργειας αντικατοπτρίζει τη διασυνδεδεμένη φύση του κυρίου μέρους του συστήματος ενέργειας που έχουμε αναφέρει στο παρελθόν. Δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια ρέει σε όλους τα μονοπάτια μετάδοσης, δεν είναι ασυνήθιστο να βρεθούν περιπτώσεις όπου μέσα σε ένα σύστημα ελέγχου, μέρος της παροχής ενέργειας ρέει στις γραμμές μεταφοράς σε παρακείμενες περιοχές ή όπου μέρος της ενέργειας παράδοσης ανάμεσα σε δύο περιοχές ελέγχου, ρέει πάνω στις εγκαταστάσεις μεταφοράς μίας τρίτης περιοχής. Επιπλέον, παρατηρείται η ροή βρόχου, η οποία είναι αποτέλεσμα της τοποθεσίας παραγωγής και του σχεδιασμού του συστήματος μεταφοράς. Αντικατοπτρίζει την κατάσταση κατά την οποία όλα τα συστήματα προμηθεύουν το φορτίο τους από τις δικές τους πηγές, αλλά έχουν ως αποτέλεσμα τη ροή της ενέργειας σε άλλα συστήματα. Αυτές οι συνθήκες αναφέρονται ως γραμμές συναρμογής.

7.4 ΟΡΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μια βασική πτυχή της ευθύνης ενός κέντρου ελέγχου ως προς την αξιοπιστία του μεγαλύτερου μέρους του συστήματος ενέργειας είναι το γεγονός ότι θα πρέπει να καταστεί βέβαιο ότι τα επίπεδα των μεταβιβάσεων ενέργειας που λαμβάνουν χώρα, είναι εντός της χωρητικότητας του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αντανακλώντας τα κριτήρια λειτουργίας της περιοχής. Προκειμένου να καθοριστεί το ποσό της χωρητικότητας της μεταφοράς που είναι διαθέσιμη για εμπορικές συναλλαγές, η NERC έχει αναπτύξει τους ακόλουθους ορισμούς:

$$\begin{aligned} \text{Διαθέσιμη Χωρητικότητα Μεταφοράς} &= \text{Συνολική Χωρητικότητα Μεταφοράς} \\ &- \text{Υπάρχουσες Δεσμεύσεις} - \text{Ανοχή Αξιοπιστίας Μεταφοράς} - \text{Ανοχή} \\ &\quad \text{Ωφέλιμης Χωρητικότητας} \end{aligned}$$

Όπου:

- Διαθέσιμη Χωρητικότητα Μεταφοράς (Available Transfer Capability - ATC): είναι ένα μέτρο της χωρητικότητας μεταφοράς που παραμένει στο φυσικό δίκτυο μεταφοράς για περαιτέρω εμπορική δραστηριότητα πέρα και πάνω από ήδη δεσμευτικές χρήσεις.
- Συνολική Χωρητικότητα Μεταφοράς (Total Transfer Capability - TTC): είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να μεταφερθεί μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου μεταφοράς με αξιόπιστο τρόπο, ενώ πληρούνται όλα όσα αφορούν τις προ- και μετά- έκτακτης ανάγκης συνθήκες του συστήματος.
- Ανοχή Αξιοπιστίας Μεταφοράς (Transmission Reliability Margin - TRM): είναι το ποσό της χωρητικότητας μεταφοράς που είναι απαραίτητο για να εξασφαλιστεί ότι το διασυνδεδεμένο δίκτυο μετάδοσης είναι ασφαλές κάτω από μια λογική σειρά από αβεβαιότητες στις συνθήκες του συστήματος.
- Ανοχή Ωφέλιμης Χωρητικότητας (Capacity Benefit Margin - CBM): είναι το ποσό της χωρητικότητας μεταφοράς που διατηρείται από το φορτίο που εξυπηρετεί τους φορείς για να εξασφαλιστεί από τα διασυνδεδεμένα συστήματα πρόσβαση στην παραγωγή ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

7.4.1 Προσδιορισμός της συνολικής χωρητικότητας μεταφοράς

Η συνολική χωρητικότητα μεταφοράς είναι το αποδεκτό μέγεθος της ροής ενέργειας σε μία κατεύθυνση πάνω σε μία ομάδα γραμμών μεταφοράς που συχνά αναφέρονται ως διεπαφή (interface) ή flowgate. Η ζώνη ελέγχου μπορεί να έχει πολλές από αυτές τις διασυνδέσεις τόσο στο εσωτερικό όσο στην περιοχή και στα σημεία της σύνδεσης με τις γειτονικές περιοχές. Οι

γραμμές διαβίβασης, που περιλαμβάνουν μία ολοκληρωμένη διεπαφή, δεν έχουν την ίδια τάση ή δεν βρίσκονται μεταξύ ίδιων υποσταθμών κατ'ανάγκη.

Η χωρητικότητα προσδιορίζεται από την εξέταση της απόδοσης του συστήματος μετάδοσης για μια ποικιλία απρόβλεπτων συνθηκών, ώστε να διαπιστωθεί το επίπεδο της ροής ενέργειας κατά τη διάρκεια της απρόβλεπτης συνθήκης. Συμβαίνει όταν:

- Η φόρτιση μιας μεμονωμένης γραμμής μεταφοράς υπερβαίνει τη χωρητικότητα της γραμμής.
- Το μεγαλύτερο μέρος της τάσης τροφοδοσίας είναι υπερβολικά χαμηλό σε οποιοδήποτε υποσταθμό.
- Το σύστημα γίνεται ασταθές σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Η συνολική χωρητικότητα μεταφοράς καθορίζεται από το επίπεδο της ροής ενέργειας κατ'ανώτατο όριο περιορισμού. Μπορεί να είναι:

- Σχετικές προ-διαταραχές:
 - Μη αποδεκτές φορτίσεις ή τάσεις της γραμμής.
- Σχετικές διαταραχές:
 - Παροδική ή δυναμική αστάθεια.
- Σχετικές μετα-διαταραχές:
 - Μη αποδεκτές φορτίσεις ή τάσεις της γραμμής.

Για ένα όριο σταθερότητας ή ένα όριο τάσης, καμία από τις γραμμές μεταφοράς στην διεπιφάνεια δεν μπορεί να φορτισθεί με μεμονωμένη χωρητικότητα. Στην περίπτωση όπου η φόρτιση μιας μεμονωμένης γραμμής φθάσει το όριο, οι φορτίσεις των παράλληλων γραμμών έχουν πιθανότατα χαμηλότερες χωρητικότητες. Αυτός είναι και ο λόγος για το ενδιαφέρον όσον αφορά τη χρήση μετασχηματιστών σταδιακής μετατόπισης και την ανάπτυξη συσκευών FACTS, που επιτρέπουν στο σύστημα να μεταδίδουν περισσότερη ενέργεια με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

Οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό της Συνολικής Χωρητικότητας Μεταφοράς, δίνονται λεπτομερώς στην NERC και στα επιμέρους κριτήρια των συμβουλίων αξιοπιστίας. Ως ελάχιστη απαίτηση, το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος ενέργειας πρέπει να λειτουργεί σε αυτό που αποκαλείται κριτήριο N - 1. Η NERC αναφέρει: "Όλες οι περιοχές ελέγχου πρέπει να λειτουργεί έτσι ώστε να μην προκύψουν αστάθεια, ανεξέλεγκτη διάσπαση ή μετακύλιση των διακοπών λειτουργίας ως αποτέλεσμα της πιο σοβαρής κατάστασης έκτακτης ανάγκης."

7.4.2 Μείωση μεταφοράς ενέργειας - Διαχείριση συμφόρησης

Η συμφόρηση είναι ένας όρος που εφαρμόζεται σε καταστάσεις στις οποίες το ποσό της ενέργειας που ρέει ή που πρόκειται να ρεύσει σε μια ομάδα γραμμών μεταφοράς (flowgate ή interface) υπερβαίνει την προγραμματισμένη χωρητικότητα. Για την χαλάρωση σε περίπτωση υπερφόρτωσης, η ηλεκτρική λειτουργία του συστήματος πρέπει να προσαρμοστεί:

- Με μείωση της ροής ηλεκτρικής ενέργεια μειώνοντας την παραγωγή στο σύστημα αποστολής και αυξάνοντας την παραγωγή ή μειώνοντας το φορτίο στο σύστημα λήψης, ή
- με αλλαγή των ρυθμίσεων του συστήματος ανοίγοντας γραμμές ή κλείνοντας ή χωρίζοντας τις διαδρομές.

Η διαδικασία αυτή καλύπτεται από το πρόγραμμα της NERC «Transmission Loading Relief Procedure». Με τις συνεχιζόμενες προσπάθειες να ανοιχθούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή χονδρικής συναλλαγής, προκύπτουν διάφορες περιπλοκές κατά την προσπάθεια να αποστείλει εκ νέου το σύστημα για την εξάλειψη ή την αποφυγή παραβιάσεων ορίου μεταφοράς ενέργειας - συγκεκριμένα, πως θα πρέπει να ληφθούν από οικονομικής πλευράς οι προσαρμογές. Μια επιπλοκή είναι ότι οι μονάδες παραγωγής που θα μπορούσαν να έχουν την πιο άμεση επίδραση στη μείωση

του ορίου παραβίασης της μεταφοράς, μπορούν να έχουν χαμηλότερο κόστος σε σχέση με άλλες μονάδες πιο απομακρυσμένες από το σημείο παραβίασης. Μια περαιτέρω επιπλοκή συμβαίνει όταν οι διάφορες γεννήτριες που θα μπορούσαν να ανακουφίσουν την παραβίαση, βρίσκονται σε περιοχές που χρησιμοποιούν διαφορετικούς κανόνες της αγοράς. Αυτό είναι μια άλλη πτυχή του ίδιου ζητήματος.

Τα όρια της συμφόρησης είναι κατά βάση οικονομικοί περιορισμοί που ασχολούνται με τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας. Η τοποθεσία αυτών των ορίων δεν είναι πάντα η ίδια με τη θέση των πραγματικών κινδύνους αξιοπιστίας στο σύστημα μεταφοράς.

7.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Πριν από την έναρξη του συστήματος μεταφοράς σε πολλούς διαφορετικούς χρήστες, η διαδικασία του σχεδιασμού δικαιολογημένα προείχε. Η διαδικασία της πρόβλεψης του ολοκληρωμένου φορτίου, ο προγραμματισμός της παραγωγής και ο σχεδιασμός της μεταφοράς γινόταν συνήθως από μια οντότητα, μια εταιρεία ή μια περιοχή συλλογής ενέργειας. Ο συντονισμός των σχεδίων έγινε υπό την αιγίδα των Περιφερειακών Συμβουλίων. Η διαδικασία ξεκίνησε κανονικά, με τη προβλέψη του μέγιστου φορτίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εκτίμηση προγραμμάτισε την αύξηση κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου. Οι στόχοι σχεδιασμού ήταν:

- Παραγωγή: Να υπάρχει χωρητικότητα ηλεκτροπαραγωγής για την κάλυψη του προβλεπόμενου φορτίου συν ένα περιθώριο αποθεματικού.
- Μετάδοση: Να υπάρχει σύνδεση των γεννητριών στο δίκτυο, να υπάρχει αρκετή δυνατότητα μεταφοράς, να διανέμει αξιόπιστα την παραγωγή και τις αγορές των εταιρειών σε υφιστάμενα και νέα κέντρα

φορτίου, να μοιράζεται την κατανομή των αποθεματικών με τις κοντινές περιοχές, και να επιτρέπει την καλύτερη μεταφορά ενέργειας από οικονομικής πλευράς τόσο εντός της περιοχής όσο και μεταξύ περιοχών.

- Να παρέχει αυτές τις υπηρεσίες για παρατεταμένη χρονική περίοδο και με το ελάχιστο κόστος.

Και στις δύο περιπτώσεις, η οικονομική απόδοση μέσα και έξω από τις εγκαταστάσεις, ρυθμίζεται και βασίζεται στο κόστος της παρεχόμενης υπηρεσίας. Τα περιφερειακά Συμβούλια είχαν συμφωνήσει να καλύπτουν τα εξής κριτήρια:

- Η αξιοπιστία της παραγωγής εκφράζεται με βάση ένα συγκεκριμένο αποθεματικό ή με την ελάχιστη αποδεκτή απώλεια πιθανότητας φορτίου.
- Η αξιοπιστία μετάδοσης εκφράζεται με βάση μια σειρά διαταραχών που πρέπει να αντέξει το σύστημα μεταφοράς, τηρώντας τους προαναφερόμενους στόχους.

7.6 ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τα πρότυπα σχεδιασμού του NERC καθορίζουν την αξιοπιστία των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών συστημάτων σε δύο διαστάσεις:

1. Επάρκεια: η ικανότητα των ηλεκτρικών συστημάτων να παρέχουν την συνολική ηλεκτρική ζήτηση και τις ενεργειακές απαιτήσεις των πελατών τους όλες τις φορές, λαμβάνοντας υπόψη προγραμματισμένες και λογικά αναμενόμενα έκτακτες διακοπές λειτουργίας των στοιχείων του συστήματος.
2. Ασφάλεια: η ικανότητα των ηλεκτρικών συστημάτων να αντέχουν αιφνίδιες διαταραχές όπως ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα ή απροσδόκητες απώλειες των στοιχείων του συστήματος.

Σε αυτά θα πρέπει να προσθέσουμε την ασφάλεια των εργαζομένων και γενικά του κόσμου, ιδίως μετά τις 11 Σεπτεμβρίου 2001, όπου αυξήθηκε η έννοια της μακροπρόθεσμης ασφάλειας.

7.6.1 Σχεδιασμός παραγωγής

Οι στόχοι για περιθώριο αποθεματικού κατά την παραγωγή καθορίστηκαν με τη χρήση τεχνικών που βασίζονται στην πιθανότητα σχετικά με τη δημιουργία διαθεσιμότητας και πιθανών σφαλμάτων πρόβλεψης φορτίου για μερικές ώρες το χρόνο, όπου το φορτίο δεν μπόρεσε να παραδοθεί. Αυτά τα περιθώρια αποθεματικού καθιερώθηκαν προηγουμένως ως απαιτήσεις σχεδιασμού. Ο πιο συνηθισμένος χρησιμοποιούμενος στόχος ήταν μία ημέρα στα δέκα χρόνια. Ο προσδιορισμός πραγματοποιείται κάθε έτος με στατιστικά στοιχεία σχετικά με την αξιοπιστία των μεμονωμένων παραγωγών, με πιθανή μέτρηση των ωριαίων φορτίων αιχμής, με το αποτέλεσμα των ενισχύσεων σε κοντινά συστήματα, με τις εντός ζώνης δυνατότητες μετάδοσης και με τα διάφορα επίπεδα των διορθωτικών μέτρων από τους φορείς εκμετάλλευσης.

Αυτές οι τεχνικές πιθανότητας διαμόρφωσαν τις επιπτώσεις των υπάρχοντων inerties με τα γειτονικά συστήματα και απέδειξαν ότι η στήριξη για την παροχή βοήθειας έκτακτης ανάγκης από τις γειτονικές περιοχές θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε δραματικές μειώσεις στα απαιτούμενα εγκατεστημένα αποθεματικά και για τις δύο περιοχές, υπό την προϋπόθεση ότι τα inerties μετάδοσης ήταν σε θέση να υποστηρίξουν τις μεταβιβάσεις της ενέργειας. Οι πιθανοτικές τεχνικές ονομάζονται απώλεια της πιθανότητας φορτίου για τα συστήματα ελεγχόμενης μεταφορικής δυναμικότητας, ή απώλεια της πιθανότητας ενέργειας για τα περιορισμένα συστήματα ενέργειας.

Πρόσφατα, η ανάγκη για στοχευμένα περιθώρια αποθέματος έχει αμφισβητηθεί. Το θέμα είναι κατά πόσο η αγορά θα πρέπει να καθορίζει το επίπεδο των εγκατεστημένων αποθεματικών. Ορισμένες περιοχές απαιτούν

ότι οι φορείς εξυπηρέτησης του φορτίου θα πρέπει να διασφαλίσουν ότι διαθέτουν επαρκή δυνατότητα να παράσχουν φορτίο αιχμής και ότι έχουν ένα διαθέσιμο αποθεματικό στο περιθώριο. Μόλις η ποσότητα του φορτίου καθοριστεί, η χωρητικότητα παραγωγής που απαιτείται για την επίτευξη των επιδιωκόμενων επιπέδων αποθεματικού γίνεται γνωστή. Το επόμενο βήμα ήταν να αποφασίσουν σχετικά με τους ειδικούς τύπους παραγωγής που θα περιλαμβάνει το μίγμα. Το αρχικό σημείο ήταν πάντα, η υπάρχουσα εγκατεστημένη βάση παραγωγής. Οι αναλύσεις έγιναν για να καθοριστεί αν κάποιες από αυτές τις γεννήτριες θα πρέπει να αποσυρθούν κατά τη διάρκεια της περιόδου της πρόβλεψης. Συνήθως, οι μονάδες των γεννητριών έχουν ωφέλιμη ζωή 40 ή/και παραπάνω χρόνια. Σε ένα ρυθμιζόμενο σύστημα, αυτές οι παλαιότερες γεννήτριες θα μπορούσαν να έχουν σημαντικά υψηλότερο κόστος λειτουργίας από ότι οι νεότερες γεννήτριες, αλλά αυτό κάπως αντισταθμίστηκε από τη μείωση του αρχικού κεφαλαίου λόγω απόσβεσης. Το προκύπτον κεφάλαιο και το κόστος λειτουργίας μετατοπίστηκαν σε ένα σύστημα μέσης τιμής που επιβάρυναν τους πελάτες. Σε ορισμένες από τις υφιστάμενες μονάδες, μια επιλογή ήταν η πραγματοποίηση σημαντικής αναθεώρησης καθώς και η ανοικοδόμηση, η οποία μερικές φορές αναφέρεται ως προέκταση ζωής.

Οι επιλογές για παραγωγή νέας γενιάς έχουν δύο διαστάσεις: την τεχνολογία κατά την χρήση και εάν η εταιρεία κοινής ωφελείας θα πρέπει να προχωρήσει μόνη της ή να γίνει μέρος μιας ομάδας που διαχειρίζεται την μονάδα ώστε να μοιραστεί το οικονομικό βάρος και τα διάφορα είδη κινδύνου. Τα είδη παραγωγής επιλέχθηκαν με βάση τον αριθμό των ωρών που αναμενόταν να τρέξει η νέα μονάδα. Για παράδειγμα, εάν η χωρητικότητα που χρειαζόταν, ήταν μόνο κατά τις ώρες αιχμής, θα γινόταν επιλογή μιας μονάδας κατά την ώρα αιχμής. Οι μονάδες κατά την ώρα αιχμής θα είχαν ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος του αρχικού κεφαλαίου, το σχετικά υψηλό λειτουργικό κόστος με σύντομους χρόνους παράδοσης. Αντίθετα, εάν η μονάδα ήταν να τρέχει σχεδόν συνεχώς, θα γινόταν επιλογή ενός σχεδίου βασικού φορτίου.

Συνήθως, αυτές οι μονάδες είχαν υψηλό κόστος του αρχικού κεφαλαίου, αλλά χαμηλό λειτουργικό κόστος. Επίσης, δόθηκε σημασία στη διαθεσιμότητα των χώρων για την παραγωγή συμπεριλαμβανομένης της γης, του νερού ψύξης, και των μέσων παροχής καυσίμου, καθώς και στο κόστος και στη διαθεσιμότητα των διαφόρων επιλογών καυσίμου. Διάφορα σχέδια επέκτασης καλύπτουν πολυετή περίοδο, έτσι ώστε μεμονωμένες αποφάσεις για την προσθήκη ειδικών τύπων χωρητικότητας να εντάσσονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο.

Οι επιλογές έχουν προβληθεί και αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας προγράμματα που διαμορφώνουν την ετήσια αποστολή όλων των μονάδων στο σύστημα ή στο σημείο συγκέντρωσης της ενέργειας, όπου η μονάδα θα λειτουργεί. Αυτά τα προγράμματα κοστολόγησης της παραγωγής λαμβάνουν υπόψη το ετήσιο φορτίο, τη συντήρηση και την έλλειψη παραγωγής, τις πωλήσεις και τις αγορές από παρακείμενες περιοχές, την χωρητικότητα της ενδο- και δια- περιοχής μεταφοράς και το σταθερό και μεταβλητό κόστος λειτουργίας των ατομικών γεννητριών συμπεριλαμβανομένου του κόστους των καυσίμων σε σχέση με την έξοδο του ηλεκτρισμού (ποσοστά θερμότητας). Συνήθως. Οι οικονομικές πωλήσεις πραγματοποιήθηκαν με βάση τον διαχωρισμό των αναμενόμενων εξοικονομήσεων.

7.6.2 Σχεδιασμός ελάχιστου κόστους

Στο παρελθόν, οι σχεδιαστές αξιολογούσαν τα μέσα με τα οποία το προβλεπόμενο φορτίο αιχμής θα μπορούσε να παρέχεται. Ξεκινώντας στη δεκαετία του 1970, μια διαδικασία γνωστή ως σχεδιασμός ελάχιστου κόστους, ήρθε σε ευρεία χρήση. Συμβιβασμοί έγιναν μεταξύ της νέας παραγωγής και των προγραμμάτων των ινστιτούτων με σκοπό τη μείωση του μέγιστου φορτίου του περάτη. Όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα φορτία αιχμής πραγματοποιούνται πολύ λίγες ώρες το χρόνο. Η μείωση της κορυφής του φορτίου, σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν μια λιγότερο δαπανηρή εναλλακτική διαδικασία από τη δημιουργία νέας παραγωγής. Εκείνη την

εποχή, το οικονομικό κριτήριο δεν ήταν τα κέρδη αλλά ο καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων των εσόδων από τους πελάτες.

7.6.3 Σχεδιασμός μεταφοράς

Η NERC προσδιορίζει τα πρότυπα σχεδιασμού των συστημάτων μεταφοράς που καλύπτουν τις κατηγορίες των εκτάκτων αναγκών που πρέπει να εξετάζονται σε όλες τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε υπηρεσία και σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται εκτός υπηρεσίας λόγω συντήρησης. Επίσης, παραδίδει την έξοδο της γεννήτριας ώστε να σχεδιάσει τις προβλεπόμενες απαιτήσεις των πελατών και παρέχει προβλεπόμενες σταθερές (μη ανακλητές) υπηρεσίες μεταφοράς, σε όλα τα επίπεδα της ζήτησης. Αυτά οι απρόβλεπτες συνθήκες μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια απλών ή πολλαπλών στοιχείων. Για κάθε μία από αυτές τις απρόβλεπτες συνθήκες, το σύστημα πρέπει να είναι σταθερό και τα θερμικά όρια καθώς και τα όρια της τάσης πρέπει να τηρούνται. Σε περίπτωση απώλειας πολλών συστατικών, είναι απαραίτητη η ελεγχόμενη διακοπή της ζήτησης των πελατών, η σχεδιαζόμενη κατάργηση των γεννητριών ή η περικοπή της σταθερής (μη ανακλητής) μεταφοράς ενέργειας.

Τα πρότυπα αυτά απαιτούν επίσης, την αξιολόγηση των κινδύνων και των συνεπειών ακραίων συνθηκών όπως είναι η απώλεια όλων των κυκλωμάτων σε R-O-W και των γεννητριών σε ένα σταθμό παραγωγής ενέργειας ή η αποτυχία των διακοπών του κυκλώματος ώστε να σταματήσουν τη βλάβη. Μεμονωμένες περιοχές μπορούν να αναπτύξουν τα δικά τους κριτήρια όσο αφορά τον περιφερειακό σχεδιασμό, αντικατοπτρίζοντας τις συνθήκες που ισχύουν στη δική τους περιφέρεια. Αυτά τα Περιφερειακά Κριτήρια αξιολογούνται από την NERC, ώστε να διασφαλιστεί η συνέπεια με τον προγραμματισμό των προτύπων της NERC. Η NERC καλύπτει επίσης, τα πρότυπα σχεδιασμού:

- Αξιολόγηση αξιοπιστίας

- Απαιτήσεις της εγκατάστασης σύνδεσης
- Υποστήριξη της τάσης και της άεργου ισχύος
- Ικανότητα μεταφοράς
- Παρακολούθηση διαταραχών

Η σημερινή πολυπλοκότητα των προτύπων της NERC αντικατοπτρίζει τη μεταβολή της κατάστασης της βιομηχανίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν η NERC και τα Περιφερειακά Συμβούλια σχηματίζονταν, τα μέλη τους ήταν σχεδόν εξ ολοκλήρου υπηρεσίες κοινής ωφέλειας ενώ οι κανόνες, τα πρότυπα, οι βέλτιστες πρακτικές λάμβαναν χώρα χάριν στον εθελοντισμό των μελών τους. Καθώς η βιομηχανία έχει μετακινηθεί προς την παρούσα δομή της, με πολλούς περισσότερους συμμετέχοντες, η NERC έχει εργαστεί ώστε να κάνει το σχεδιασμό και τους κανόνες λειτουργίας σαφείς, καθολικούς, και πλήρως ενημερωμένους για τη βιομηχανία κοινής ωφέλειας. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος των συναφών υλικών έχει αυξηθεί σε τέτοιο επίπεδο που κανένα κείμενο δεν θα μπορούσε να τα καλύψει όλα. Τα άτομα που επιθυμούν περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με αυτά τα θέματα, μπορούν να ψάξουν στο website της NERC: www.nerc.com.

Καθώς έχει αναπτυχθεί το μοτίβο ανάπτυξης της παραγωγής, οι σχεδιαστές μετάδοσης θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν την επέκταση της μετάδοσης που απαιτείται για να αντιμετωπιστεί η παραγωγή και η προβλεπόμενη αύξηση του φορτίου. Η ανάπτυξη ενός σχεδίου μεταφοράς έχει περιγραφεί από τη μία ως επιστήμη και από την άλλη ως τέχνη. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μετάδοσης:

1. σύνδεση νέας γεννήτριας ή σταθμού παραγωγής με το δίκτυο
2. σύνδεση νέου υποσταθμού με το δίκτυο
3. ενίσχυση του υφιστάμενου δικτύου

Το προφανές πρώτο βήμα για τη σύνδεση νέας γεννήτριας ή νέου υποσταθμού διανομής είναι να οικοδομήσουμε μία ή περισσότερες γραμμές

στο πλησιέστερο υποσταθμό ενέργειας. Ωστόσο, αυτό ενδέχεται να μην επαρκεί. Μία εξέταση είναι απαραίτητη ώστε να δούμε αν η ικανότητα του υφιστάμενου δικτύου είναι επαρκής για να φιλοξενήσει κάποιο από αυτά. Η εξέταση αυτή πρέπει να λάβει υπόψη ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένου τα διαφορετικά επίπεδα φορτίου, τους διάφορους τύπους μεταφοράς ενέργειας στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, καθώς και τις διάφορες διακοπές λόγω συντήρησης. Η ανάλυση πρέπει να αξιολογεί την κατάσταση για μία μεγάλη χρονική περίοδο, συμπεριλαμβανομένου οποιαδήποτε πρόσθετη παραγωγή καθώς και τις απαιτήσεις στους υποσταθμούς διανομής. Είναι πολύ πιθανό ότι, λόγω των μελλοντικών εξελίξεων, μεγαλύτερες πιο αυτοδύναμες εγκαταστάσεις θα πρέπει να εγκατασταθούν αρχικά ή, ακόμη, ότι η μελλοντική επέκταση μπορεί να αμβλύνει την ανάγκη για εγκαταστάσεις την παρούσα στιγμή. Για παράδειγμα, εάν η παραγωγή στην παρούσα κατάσταση, βρίσκεται εκτός της περιοχής ανεπαρκούς φορτίου, μια πρώτη αντίδραση θα μπορούσε να δημιουργήσει μια μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη μετάδοσης στην εν λόγω περιοχή. Ωστόσο, τι θα συμβεί αν οι μεταγενέστερες προσθήκες παραγωγής βρίσκονται στην ανεπαρκή περιοχή παραγωγής; Το αποτέλεσμα να είναι ότι οι προσθήκες μετάδοσης θα μπορούσαν να είναι ελαφρά φορτωμένες και δεν θα ασκούσαν αρκετή ενέργεια για να πληρώσουν για το κόστος τους. Ένα σημαντικό στοιχείο είναι ότι οι προσθήκες μεταφοράς δεν επιτρέπεται να είναι πάντα κοντά στη νέα παραγωγή. Ο περιορισμός σχετικά με την χωρητικότητα ενός τμήματος του πλέγματος είναι ότι μπορεί να είναι πολύ μακριά από τη νέα πρόσθετη γεννήτρια. Άλλα περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί όταν οι νέες γραμμές προστεθούν για την αύξηση της σταθερότητας των περιθωρίων παρά το γεγονός ότι μεταφέρουν ελάχιστη ή και καμία ενέργεια. Μετά την εξέταση της ανάγκης για μεγάλο χρονικό διάστημα, παίρνονται αποφάσεις που απαιτούνται για τα επίπεδα της τάσης της νέας γραμμής (-ες), τη θερμική ισχύς τους, τις τοποθεσίες των τερματικών και τις ρυθμίσεις του διακόπτη σε αυτές τις θέσεις.

7.6.4 Μελέτες Φορτίου-Ροής: Η διαδικασία σχεδιασμού της μετάδοσης χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης που ονομάζεται φορτίο-ροή ή ενέργεια-ροή. Το πρόγραμμα αυτό λύνει τις εξισώσεις του Kirchoff για μια στιγμή στο χρόνο. Προβλέπει, για κάθε κατάσταση σε ένα δεδομένο δίκτυο τοπολογίας, το επίπεδο του φορτίου και το χρονοδιάγραμμα της παραγωγής, τη συνακόλουθη πραγματική και άεργη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε γραμμή και μετασχηματιστή, τη τάση σε κάθε διαδρομή και τη παραγωγή mVAr στην έξοδο κάθε γεννήτριας.

Η προσομοίωση απαιτεί ένα τεράστιο ποσό πληροφοριών από τη κάθε μεμονωμένη εταιρεία κοινής ωφέλειας και από όλες τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας των οποίων η δραστηριότητα μπορεί να αλληλεπιδράσει με το σύστημα του σχεδιαστή. Λόγω του διασυνδεδεμένου χαρακτήρα του συστήματος μεταφοράς ενέργειας, απαιτείται η μοντελοποίηση των μεγάλων γεωγραφικών τμημάτων της χώρα σε αρκετή λεπτομέρεια, ώστε να αποτυπωθούν τα αποτελέσματα των ροών ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα τα παρακείμενα συστήματα ή συλλογή αποτελεσμάτων από τα πρότυπα παραγωγής / φορτίου σε όλα τα γειτονικά συστήματα. Το μοντέλο επιτρέπει σε κάθε ζώνη ελέγχου να διαμορφωθεί χωριστά. Κάθε περιοχή ελέγχου χαρακτηρίζεται συνήθως από την επισύναψη ενός αναγνωριστικού σε κάθε διαδρομή και την καθορισμένη συναλλαγή. Η έξοδος mW μιας γεννήτριας σε κάθε περιοχή έχει οριστεί ως μεταβλητή για την εξισορρόπηση των ανταλλαγών της περιοχής στο επιθυμητό επίπεδο.

Επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις επιτρέπουν στον αρμόδιο για το σχεδιασμό την αξιολόγηση των επιδόσεων του συστήματος σε διάφορα επίπεδα, όσο αφορά τη μεταφορά της ενέργειας πριν και μετά από απρόβλεπτες συνθήκες όπως είναι η απώλεια μιας γραμμής μεταφοράς, του μετασχηματιστή, ή της γεννήτριας. Σε ορισμένες περιοχές της χώρας, καθώς το ηλεκτρικό σύστημα θεωρείται ηλεκτρικά σφιχτό, ο σχεδιαστής μπορεί να παρεμβάλει τα αποτελέσματα των διάφορων απρόβλεπτων συνθηκών για τον

καθορισμό του περιορισμού της έκτακτης ανάγκης, τον περιορισμό του στοιχείο, και το επίπεδο περιορισμού της ροής του ρεύματος.

7.6.5 Μελέτες σταθερότητας: Ένα άλλο πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία σχεδιασμού της μεταφοράς ονομάζεται πρόγραμμα σταθερότητας. Χρησιμοποιεί, ως σημείο εκκίνησης, ένα λυμένο πρόγραμμα φορτίου-ροής. Διευρύνει την παρουσία της παραγωγής σε διάφορα επίπεδα όσο αφορά τα ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των τουρμπινογεννητριών, συμπεριλαμβανομένου τη σειρά της γεννήτριας, τα χαρακτηριστικά του συστήματος διέγερσης, και τα χαρακτηριστικά του στροβίλου. Επίσης, μπορεί να συμπεριληφθούν τα χαρακτηριστικά του προστατευτικού ρελέ. Το πρόγραμμα προσομοιώνει την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, συνήθως μερικά δευτερόλεπτα, μετά από μια διαταραχή. Το μήκος του χρόνου της προσομοίωσης και της πολυπλοκότητας των ηλεκτρικών επιπτώσεων καθορίζονται από την ποσότητα των λεπτομερειών που παρέχονται σχετικά με τις τουρμπινογεννήτριες. Όπως σημειώθηκε στη συζήτηση των μελετών φορτίου-ροής, η συλλογή των απαιτούμενων πληροφοριών για αυτές τις μελέτες θεωρείται σημαντική προσπάθεια.

7.6.6 Μελέτες εμφάνισης βραχυκυκλώματος: Σε ορισμένες περιοχές η εμφάνιση βραχυκυκλώματος αποτελεί πρόβλημα. Η εμφάνιση βραχυκυκλώματος αναφέρεται στην ικανότητα ενός διακόπτη για να διακόψει το ρεύμα που ρέει σε ένα ελαττωματικό σημείο ή την ικανότητα όλων των στοιχείων του υποσταθμού (διαδρομή, μετασχηματιστές, κλπ.) να αντέχουν τις μηχανικές δυνάμεις που προκύπτουν από κάποιο λανθασμένο ρεύμα. Οι θεωρήσεις που λαμβάνονται υπόψη είναι: ο αριθμός των φάσεων που εμπλέκονται στη βλάβη, η αντίσταση της βλάβης καθώς και η ηλεκτρική εγγύτητα των πηγών παραγωγής (πηγές ρεύματος).

Οι σχεδιαστές πρέπει να αξιολογήσουν την ικανότητα διακοπής που απαιτείται σε όλους τους νέους υποσταθμούς και σε όλους τους υφιστάμενους υποσταθμούς αφού και οι δύο θα επηρεαστούν από την νέα παραγωγή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ικανότητα διακοπής μπορεί να επιτευχθεί με αγορά διακοπών που έχουν επαρκή χωρητικότητα και / ή την αναβάθμιση των υφισταμένων διακοπών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η απαιτούμενη χωρητικότητα των διακοπών δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να χρειαστεί η πλήρης ανοικοδόμηση του υποσταθμού ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη μηχανική αντοχή σε πολύ υψηλό κόστος. Άλλες λύσεις μπορούν εξίσου να είναι αναγκαίες. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- Εγκατάσταση συσκευών που περιορίζουν το λανθασμένο ρεύμα, όπως είναι οι συνδέσεις σε σειρά
- Αλλαγή των ρυθμίσεων του συστήματος με το άνοιγμα των δεσμών της διαδρομής ή με χρήση ρεύματος back-to-back dc.

7.7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΝΕΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τόσο οι στόχοι όσο και η διαδικασία του σχεδιασμού έχουν αλλάξει. Ο βαθμός της αλλαγής εξαρτάται από την περιοχή της χώρας καθώς και σε ποιο βαθμό οι τοπικές ρυθμιστικές αρχές έχουν προχωρήσει σε διαδικασία αναδιάρθρωσης, δηλαδή, πόσο έχει τεθεί σε εφαρμογή η εκποίηση ή / και η λιανική πρόσβαση της παραγωγής. Ως ζήτημα εθνικής πολιτικής, οι παραγωγοί χονδρικής ενέργειας ενθαρρύνονται δίνοντας πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς υπό τους ίδιους όρους και προϋποθέσεις όπως η τοπική υπηρεσία κοινής ωφελείας. Η διαδικασία σχεδιασμού της παραγωγής έχει αλλάξει στο νέο περιβάλλον σε τέτοιο βαθμό που μια σφαιρική προσέγγιση δεν χρησιμοποιείται πλέον. Η NERC δεν έχει πλέον τα κριτήρια καθορισμού του ελάχιστου αποδεκτού επιπέδου αξιοπιστίας της παραγωγής. Ορισμένες

περιφερειακές περιοχές διατηρούν ένα απαιτούμενο απόθεμα παραγωγής, ενώ κάποιες άλλες δεν το κάνουν.

Η τιμολόγηση της παραγωγής γίνεται με βάση την αγορά και όχι το κόστος. Με τόσες διαφορετικές εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε απόφαση για την κατασκευή γίνεται σύμφωνα με την κατάσταση του ανταγωνισμού. Η επιλογή του μεγέθους και του είδους των μονάδων γίνεται σύμφωνα με το ποιά θα είναι η πλέον κερδοφόρα και όχι με το ποιά θα είναι το χαμηλότερο κόστος για τον καταναλωτή. Πολλοί θεώρησαν, ίσως και ανόητα, ότι η αγορά θα κατέβαζε τις τιμές κάτω.

Ο στόχος του σχεδιασμού για το σύστημα μεταφοράς είναι να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει πρόβλεψη για επαρκή ικανότητα μετάδοσης για να διευκολυνθεί γεωγραφικά σε ευρεία κλίμακα η χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η FERC ενεργά επιδιώκοντας αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο το σύστημα μεταφοράς έχει προγραμματιστεί:

- Με τη διάταξη του 2000, προσδιορίζεται μία από τις ελάχιστες λειτουργίες ενός RTO όπως, εν μέρει, ότι ". . . πρέπει να αναπτυχθεί μια πρόταση σχεδιασμού και ανάπτυξης, η οποία να ενθαρρύνει την αγορά-κίνητρα λειτουργίας και τις επενδυτικές δράσεις για την πρόληψη και την ανακούφιση της συμφόρησης. "
- Ένας από τους στόχους του Στρατηγικού Σχεδίου για την FY 2002-2007, είναι "η σταθερή καθιέρωση της λειτουργίας σχεδιασμού μετάδοσης σε τακτική βάση, με ποικιλία των τεχνολογικών λύσεων για την κάλυψη της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και τις ανάγκες της αγοράς. "

Κάτι αρκετά συνηθισμένο είναι η ύπαρξη μιας λίστας με τις προτεινόμενες νέες παραγωγές για κάθε κατάσταση. Ωστόσο, μόνο ορισμένες από αυτές τις προτάσεις έχουν τεθεί σε εφαρμογή. Η έγκριση των νέων μονάδων παραγωγής ενέργειας πραγματοποιείται στο πλαίσιο των ρυθμιστικών

κανόνων που διαφέρουν σε κάθε πολιτεία. Σε μερικές πολιτείες η διαδικασία είναι σχετικά γρήγορη, ενώ σε άλλες δεν είναι. Ο ιδιοκτήτης του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προφανώς, θα επιλέξει για την κατασκευή του σύμφωνα με τον κανονισμό δικαιοδοσίας. Αυτό στη συνέχεια μεταφράζεται σε αυξημένη ανάγκη για ικανότητα μετάδοσης ώστε να κινηθεί ενέργεια από αυτές τις πολιτείες σε άλλες πολιτείες όπου η κατασκευή εργοστασίου παρεμποδίζεται, εφόσον οι τελευταίες αγορές πιθανότατα έχουν υψηλότερο κόστος αγοράς.

Η NERC περιλαμβάνει επίσης, τη έννοια της οικονομικής ανταλλαγής όταν αυτή καθορίζει τους σκοπούς του συστήματος μεταφοράς:

- Παράδοση Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Περιοχές Ζήτησης του Πελάτη: Τα συστήματα μεταφοράς παρέχουν την ενσωμάτωση των πόρων ηλεκτρικής παραγωγής και τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις του συστήματος ώστε να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πελατών μέσα από μια ευρεία ποικιλία συνθηκών λειτουργίας του συστήματος.
- Παροχή Ευελιξίας σε Αλλαγές Συνθηκών του Συστήματος: Η χωρητικότητα μεταφοράς πρέπει να είναι διαθέσιμη στα διασυνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς με σκοπό να παρέχεται ευελιξία, με την οποία θα επιτρέπεται η αλλαγή στη φόρτιση της εγκατάστασης, η οποία προκαλείται λόγω συντήρησης του εξοπλισμού παραγωγής και μεταφοράς, αναγκαστικών διακοπών του εν λόγω εξοπλισμού, καθώς και λόγω ενός μεγάλου φάσματος μεταβλητών των συνθηκών του συστήματος, όπως είναι οι καθυστερήσεις στην κατασκευή, οι μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες απαιτήσεις του πελάτη και η έλλειψη των καυσίμων στην μονάδα παραγωγής.
- Μείωση της Εγκατεστημένη Χωρητικότητας Παραγωγής: Οι διασυνδέσεις μετάδοσης με τα γειτονικά ηλεκτρικά συστήματα επιτρέπουν την κατανομή της χωρητικότητας της παραγωγής μέσω της ποικιλομορφίας των απαιτήσεων των πελατών και της διαθεσιμότητας

της γεννήτριας, μειώνοντας έτσι τις επενδύσεις σε εγκαταστάσεις παραγωγής.

- Έγκριση Οικονομικών Ανταλλαγών Μεταξύ Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας: Οι διασυνδέσεις μετάδοσης μεταξύ συστημάτων, σε συνδυασμό με τις εγκαταστάσεις εσωτερικού συστήματος μετάδοσης, επιτρέπουν την οικονομική ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ όλων των συστημάτων και των φορέων του κλάδου. Αυτές οι οικονομικές μεταβιβάσεις βοηθούν ώστε να μειωθεί το κόστος της ηλεκτρικής παροχής στους πελάτες.

Επίσης, ενώ ορισμένοι τονίζουν την υποχρέωση να σχεδιαστεί ένα σύστημα μετάδοσης που θα διευκολύνει την ηλεκτρική αγορά, άλλοι τονίζουν την ανάγκη δημιουργία επαρκούς και αξιόπιστης παροχής με ελάχιστο κόστος. Ενώ ο στόχος του σχεδιασμού ενός συστήματος ώστε να διευκολυνθεί η χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι αξιόπαινος, τα μέσα για να πραγματοποιηθεί αυτό είναι εξαιρετικά πολύπλοκα, κάτι που οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στις διαρθρωτικές αλλαγές που εφαρμόζονται για τον καθορισμό των αγορών.

Ο σχεδιασμός μετάδοσης συνήθως συνεπάγεται με την αντιμετώπιση ενός περισσότερο ή λιγότερο συνεκτικού προτύπου της ροής ενέργειας από γνωστές πηγές σε γνωστά πακέτα φορτίου. Ακόμη και τότε, σε πολλές περιοχές, ο χρόνος που χρειάστηκε για να σχεδιαστεί και να πάρει την έγκριση ένα νέο δίκτυο γραμμών μετάδοσης θα μπορούσε να πάρει αρκετά χρόνια, ακόμη και όταν υπήρχαν σχετικά λίγες ρυθμιστικές αρμοδιότητες. Με τον καιρό, το επίπεδο της αβεβαιότητας έχει αυξηθεί δραματικά. Οι αβεβαιότητες εμφανίζουν τόσο ένα τεχνικό χαρακτήρα όσο και ένα διαρθρωτικό / χρηματοοικονομικό χαρακτήρα. Κάποιοι από αυτές είναι:

- Πόση ικανότητα μετάδοσης είναι απαραίτητη, προς τις δύο κατευθύνσεις, μεταξύ κάθε υπάρχοντος και μελλοντικού interface και flowgate;
- Πώς είναι το μέγεθος αυτής της ικανότητας που καθορίζεται από:
 - Παρόλο τις πολλές προτάσεις για τη δημιουργία εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι πιθανότητες είναι ότι πολλά δεν θα κατασκευαστούν ποτέ.
 - Οι θέσεις και τα μεγέθη και τα πρότυπα αποστολής αυτών που θα κατασκευαστούν είναι άγνωστα.
 - Το μέλλον των υφιστάμενων σταθμών μπορεί να είναι άγνωστο.
 - Ο αντίκτυπος των διασπαρμένων συστημάτων παραγωγής είναι άγνωστος.
 - Από τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που κατασκευάζονται, πώς θα πρέπει να λειτουργήσουν, δεδομένης της εμπορικής ευαισθησίας όσο αφορά τις συμβατικές ρυθμίσεις που καθορίζουν την πώληση του ρεύματος ή τη στρατηγική υποβολής προσφορών;
- Πώς οι διακυμάνσεις της υποτιθέμενης μονάδας ή της επεκταμένης με υποτιθέμενη καλύτερης παραγωγής μονάδα έχει αντίκτυπο στην ανάπτυξη σχεδίου όσο αφορά την μετάδοση;
- Πώς θα γίνει η συναλλαγή μεταξύ των διαφόρων επιλογών παραγωγής, των συσκευών FACTS και των μετρήσεων περικοπής φορτίου ώστε να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν τα δεδομένα των διαφορετικών δημοσιονομικών προοπτικών των διαφόρων εμπλεκόμενων μερών;
- Υπάρχει κάποια δυνατότητα για την πραγματοποίηση προγραμματισμένων οικονομιών, δηλαδή, αρχικά, την δημιουργία γραμμής με υψηλότερη τάση αντί τη δημιουργία γραμμών σε σειρά με χαμηλότερη τάση / χωρητικότητα γραμμών;
- Μπορούν οι γραμμές να κατασκευαστούν αποκλειστικά για λόγους αξιοπιστίας;

- Ποιος θα χρηματοδοτήσει και θα κατασκευάσει τη μετάδοση;
- Ποιοι θα είναι οι κανόνες για την πληρωμή σύμφωνα τη χρήση της διαβίβασης;
- Τι είδους αντάλλαγμα θα χρειαστεί για τη διαβίβαση των επενδύσεων;
- Με δεδομένες τις αβεβαιότητες που εμπλέκονται, πώς μπορούν να ληφθούν οι αναγκαίες ρυθμιστικές εγκρίσεις για ένα σχέδιο, ιδίως αν πρόκειται για περισσότερες δικαιοδοσίες;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Οι διακοπές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους πελάτες μπορεί να εμφανιστούν σε οποιαδήποτε ώρα της ημέρας ή της νύχτας και μπορεί να διαρκέσουν από κλάσματα του δευτερολέπτου έως πολλές ώρες ή ακόμα και μέρες. Οι διακοπές μπορεί να προκληθούν από διαταραχές ή δυσλειτουργίες σε μία από τις τρεις συνιστώσες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: (1) παραγωγή, (2) διαβίβαση, ή (3) διανομή. Μπορεί επίσης, να προκληθούν από την έλλειψη επαρκών πόρων κατά την προμήθεια του φορτίου των πελατών. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας, δηλαδή η ασφάλεια και η επάρκεια, χαρακτηρίζονται από την NERC.

Τα δεδομένα δείχνουν ότι πάνω από το 90% των διακοπών λειτουργίας των πελατών προκαλούνται από προβλήματα που προέρχονται σχετικά με το σύστημα της τοπικής παραγωγής. Παρόλο που οι διακοπές που σχετίζονται με την διαβίβαση και την παραγωγή είναι λιγότερο συχνές από αυτές που σχετίζονται με το σύστημα διανομής, έχουν συχνά πολύ πιο σοβαρές συνέπειες λόγω του αριθμού των πελατών που επηρεάζονται και της διάρκειας της διακοπής. Οι διαταραχές μπορεί να οφείλονται:

- Σε εξωτερικούς παράγοντες όπως:

- Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ο αέρας, η βροχή, οι αστραπές, ο πάγος, η φωτιά, οι πλημμύρες, οι σεισμοί
- Ατυχήματα, όπως χτύπημα αυτοκινήτων στις κολόνες, και δυστυχώς
- Δολιοφθορά.
- Σε εσωτερικούς παράγοντες όπως:
 - Ανεπαρκής χωρητικότητα
 - Αποτυχία του εξοπλισμού λόγω ηλεκτρικών ή μηχανικών καταπονήσεων
 - Εσφαλμένες λειτουργίες ή αποφάσεις.

Η έλλειψη πόρων μπορεί να οφείλεται σε:

- Σε ανεπαρκή παραγωγή λόγω:
 - Προβλέψεις χαμηλού φορτίου
 - Έλλειψη καυσίμων λόγω περιορισμένης προμήθειας διακοπών ή προβλημάτων κατά την παράδοση / μεταφορά
 - Αντίθεση στην κατασκευή απαιτούμενης χωρητικότητας νέων εγκαταστάσεων παραγωγής
 - Αποτυχία του εξοπλισμού λόγω ηλεκτρικών ή μηχανικών καταπονήσεων
 - Κακός προγραμματισμός
 - Υπερβολικές διακοπές λόγω συντήρησης
 - Περιορισμός της λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ενέργειας λόγω ρυθμιστικών δράσεων
 - Περιορισμούς διαβίβασης
 - Απόσυρση παραγωγής λόγω μη-ανταγωνιστικότητας σε νέα ανταγωνιστική αγορά.
- Σε ανεπαρκή διαβίβαση ή διανομή λόγω:
 - Προβλέψεις χαμηλού φορτίου
 - Αντίθεση στην κατασκευή απαιτούμενων νέων γραμμών διαβίβασης ή διανομής

- Αποτυχία εξοπλισμού λόγω ηλεκτρικών ή μηχανικών καταπονήσεων
- Κακός προγραμματισμός
- Διακοπές εκ προθέσεως λόγω άλλων εργασιών υποδομής, όπως είναι, η διαπλάτυνση των οδών

Η διάρκεια της διακοπής θα επηρεαστεί από τη σοβαρότητα της διαταραχής, τις εγκαταστάσεις του συστήματος ενέργειας, τον πλεονασμό ή το αποθεματικό που βρίσκεται στο σύστημα, καθώς και την άμεση ανταπόκριση των εμπλεκόμενων φορέων που δραστηριοποιούνται. Μερικές διακοπές είναι πολύ μικρής διάρκειας, διότι η διαταραχή είναι παροδική και το σύστημα αυτό-διορθώνεται. Μερικές διακοπές, όπως αυτών που προκαλούνται από τυφώνες ή καταιγίδες, ζημιώνουν σημαντικές μερίδες του συστήματος με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολλές ημέρες για να αποκατασταθεί η υπηρεσία. Όταν οι πόροι παραγωγής είναι ανεπαρκείς, οι διακοπές μπορεί να είναι ελεγχόμενες και με περιστρεφόμενη φύση. Η διάρκειά τους μπορεί να είναι μόνο κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου.

Η έκταση της διακοπής θα καθοριστεί από την αρχική διαταραχή και από τις εγκαταστάσεις που επηρεάζονται. Για παράδειγμα, η διακοπή λόγω υπερχειλίσσης προκαλείται από το σφάλμα που πραγματοποιείται όταν ένα σύστημα λειτουργεί πάνω από το επίπεδο ασφαλείας συμπεριλαμβανομένων διάφορων σταδίων, όπως είναι μια διαδεδομένη θύελλα πάγου. Αντίθετα, μια κατεστραμμένη κολώνα διανομής λόγω ατυχήματος με αμάξι επηρεάζει μόνο μερικά σπίτια.

Μια ολόένα και πιο σημαντική πτυχή της αξιοπιστίας του συστήματος ενέργειας είναι η ποιότητα της υπηρεσίας ή η ποιότητα της ενέργειας. Με την αυξανόμενη σημασία των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των νέων διαδικασιών ηλεκτρονικής επικοινωνίας, οι ατέλειες στις ηλεκτρικές

υπηρεσίες καθίσταται όλο και πιο σημαντικές για τον καταναλωτή. Τέτοιου είδους ατέλειες περιλαμβάνουν:

- Στιγμιαίες διακοπές
- Τάσεις εκτός αποδεκτών ορίων
- Πτώσεις τάσης πολύ μικρής διάρκειας.

Η προστασία κατά των ατελειών στην ποιότητα της ενέργειας μπορεί συχνά να εξεταστεί από τους καταναλωτές. Η πίεση για βελτίωση της ποιότητας αυξάνεται, ωστόσο, και για τον προμηθευτή. Αυτό θέτει το ζήτημα της ευθύνης για τις εν λόγω βελτιώσεις σε μία αδεσμοποίητης βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας με ξεχωριστές εταιρείες που παρέχουν τη διανομή, τη μετάδοση, καθώς και τις υπηρεσίες εφοδιασμού με ενέργεια.

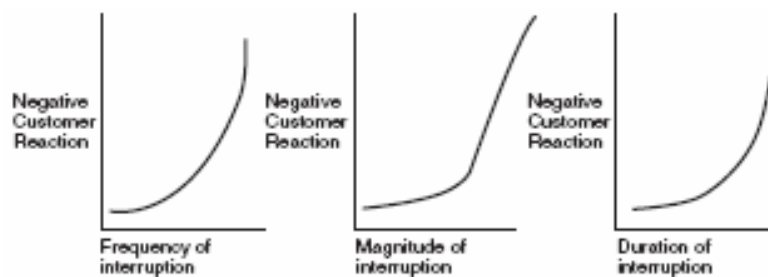
8.1 ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το κόστος των διακοπών του ηλεκτρικού ρεύματος στους αμερικάνους πελάτες ονομάζεται «κοινωνικό-οικονομικό» κόστος. Έχουν γίνει προσπάθειες να ποσοτικοποιηθούν αυτές οι δαπάνες, αλλά οι εκτιμήσεις ποικίλλουν ευρέως. Μια πηγή αναφέρει ότι οι δαπάνες ισούνται με 26 δισεκατομμύρια δολάρια κάθε έτος και ότι αυξάνονται όσο πραγματοποιείται αναδιάρθρωση της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας. Μια έκθεση του 2001 από το Electric Power Research Institute (EPRI) αναφέρει ότι οι διακοπές ρεύματος και τα προβλήματα με την ποιότητα της ενέργειας κοστίζουν στην οικονομία των ΗΠΑ πάνω από 119 δισ. δολάρια ετησίως.

Πολλές επιπτώσεις των διακοπών ρεύματος έχουν προσδιοριστεί. Κάποιες από αυτές τις επιπτώσεις είναι οι εξής:

- Απώλεια ζωής λόγω ατυχημάτων (π.χ., δεν ανάβουν τα φώτα του δρόμου)

- Απώλεια ζωής ασθενών και ηλικιωμένων (το ποσοστό θνησιμότητας αυξάνεται)
- Απώλεια παραγωγικότητας της βιομηχανίας
- Απώλεια πωλήσεων από τις επιχειρήσεις
- Απώλεια μισθών του εργατικού δυναμικού
- Ζημιές σε εξοπλισμό στη βιομηχανία
- Φωτιές και εκρήξεις
- Ταραχές και κλοπές
- Αυξημένα ποσοστά ασφάλισης



Σχήμα 25: Σχέση καταναλωτών με τις διακοπές

8.2 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Η αξιοπιστία του συστήματος είναι δύσκολο να μετρηθεί. Ίσως ο καλύτερος τρόπος είναι μέσω της αξιολόγησης των συνεπειών των πιθανών διακοπών των καταναλωτών. Έρευνες έχουν δείξει ότι το καλύτερο μέτρο της αξιοπιστίας είναι σχέση του καταναλωτή. Πέντε συνθήκες που έχουν εντοπιστεί, έχουν αντίκτυπο στην αξία που ένας μέσος καταναλωτής φέρει μη εφοδιασμένη mWh της χαμένης ενέργειας:

1. Οι δραστηριότητες που επηρεάζονται από την περικοπή και, συνεπώς, την ώρα της ημέρας και τη σύνθεση των πελατών
2. Ο αριθμός των διακοπών
3. Διαθεσιμότητα για έγκαιρη προειδοποίηση
4. Οι καιρικές συνθήκες και, συνεπώς, η εποχή του έτους

5. Η διάρκεια της διακοπής

Στο σχήμα 25 φαίνεται ότι η σχέση αυτή αυξάνεται δραματικά καθώς η συχνότητα των διακοπών αυξάνεται, δεδομένου ότι η διάρκεια της διακοπής λειτουργίας αυξάνεται, όπως το μέγεθος ή η έκταση της διακοπής. Η ακόλουθη λειτουργία παρουσιάζεται μέσω της αξιολόγησης αυτής της αντίδραση:

$$R = \text{εξίσωση των } \{K F T P t\}$$

Όπου, K: είναι ένας εμπειρικός συντελεστής που σχετίζεται με την εξάρτηση του καταναλωτή για ηλεκτρική ενέργεια

F: είναι η συχνότητα των διακοπών

T: ισούται με τη διάρκεια των διακοπών

P: είναι το ποσό του φορτίου που έχει διακοπεί

t: είναι ο χρόνος όταν πραγματοποιείται η διακοπή

Η εμπειρία έχει δείξει ότι το K αυξάνει με την αύξηση της κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος ανά πελάτη, ενώ το t είναι μεγαλύτερο εκείνη την περίοδο της ημέρας, της εβδομάδας ή του έτους, όπου οι άνθρωποι υποφέρουν περισσότερο από την διακοπή. Το κριτήριο για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας δεν λαμβάνει υπόψη άλλες περικοπές των παρεχόμενων υπηρεσιών, όπως διακοπές της τάση ή της συχνότητας. Αυτές οι "μερικές" περικοπές δεν είναι τόσο σημαντικές για τους περισσότερους καταναλωτές όσο μια πλήρης διακοπή, αλλά επίσης, θα πρέπει να εξετάζονται. Ένας αριθμός δεικτών έχει αναπτυχθεί, κυρίως για το σύστημα διανομής, ώστε να παρέχουν ένα άλλο μέτρο της αξιοπιστίας:

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index): Μετράει τη μέση συχνότητα της διακοπής ανά πελάτη.

SAIDI (System Average Interruption Duration Index): Μετράει το μέσο χρόνο που διακόπτονται όλοι οι πελάτες.

CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index): Εκπροσωπεί το μέσο χρόνο που απαιτείται για την αποκατάσταση της παροχής υπηρεσιών με το μέσο όρο πελάτη ανά διακοπή.

MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index): Δείχνει τη μέση συχνότητα των στιγμιαίων διακοπών, που ορίζεται συνήθως λιγότερο από πέντε λεπτά.

8.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η βιομηχανία κοινής ωφέλειας, με την πάροδο του χρόνου, ανέπτυξε το σχεδιασμό, τη λειτουργία και την κατασκευή προτύπων για την αντιμετώπιση των προσδοκιών των πελατών όσο αφορά την αξιοπιστία της υπηρεσίας. Αυτά τα πρότυπα είχαν αρχικά τοπική προοπτική, αλλά, όταν δημιουργήθηκαν interties έγινε εμφανής μια αλληλεξάρτηση του συστήματος, με αποτέλεσμα πολλά από τα πρότυπα επεκτάθηκαν με μια περιφερειακή και, στη συνέχεια, με μια εθνική προοπτική.

Παράλληλα, κατά τον τελευταίο αιώνα και συνεχίζοντας μέχρι σήμερα, οι προσδοκίες των πελατών όσο αφορά την αξιοπιστία των υπηρεσιών αυξήθηκαν. Οι διακοπές που κάποτε ήταν συνηθισμένες, τώρα θεωρούνται μη αποδεκτές. Οι στιγμιαίες διακοπές, που κάποια στιγμή έγιναν αντιληπτές από λίγους μόνο πελάτες, τώρα έχουν αντίκτυπο σε πολλούς πελάτες, λόγω της ευρείας χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών.

Πίσω από την προσέγγιση της βιομηχανίας όσο αφορά την αξιοπιστία, θέση είχε η συνειδητοποίηση της πολυδιάστατης μορφής που θα πρέπει να έχουν οι προσπάθειες:

- Σχέδιο του συστήματος ώστε να υπάρχει αρκετή χωρητικότητα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής.
- Σχεδιασμός του συστήματος ώστε να μειωθεί η πιθανότητα αστοχίας του εξοπλισμού.
- Λειτουργία του συστήματος ώστε να παραμείνει εντός ασφαλών ορίων λειτουργίας.
- Ετοιμότητα όσο αφορά τη γρήγορη αποκατάσταση του συστήματος σε περίπτωση διαταραχής της προμήθειας.

Σε όλες τις περιπτώσεις, συνεπάγεται μια προσπάθεια των βιομηχανιών για συμβιβασμό μεταξύ αξιοπιστίας και κόστους. Θα ήταν αδύνατο να κατασκευαστούν αρκετές εγκαταστάσεις ή να λειτουργήσουν με αρκετό αποθεματικό στο περιθώριο ώστε να υπάρξει ένα απόλυτα αξιόπιστο σύστημα. Για παράδειγμα, ορισμένα είδη κοινών αποτυχιών οφείλονται σε αίτια, όπως οι ανεμοστρόβιλοι, οι καταιγίδες ή οι τυφώνες, με αποτέλεσμα να είναι οικονομικά αδύνατο να κατασκευαστούν πολλές εγκαταστάσεις που να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να ανέχονται αυτές τις αποτυχίες. Για το λόγο αυτό, η απαίτηση για αποκατάσταση των σχεδίων είναι αρκετά σημαντική.

Οι βάσεις για τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί ποικίλουν. Όλα τα πρότυπα αντικατοπτρίζουν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, μια άποψη ως προς ένα αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας. Τα πρότυπα σχεδιασμού της παραγωγής βασίζονταν στις στατιστικές μετρήσεις στο παρελθόν. Τα πρότυπα για τη λειτουργία των συστημάτων παραγωγής και μεταβίβασης βασίζονται κυρίως, στις συλλογικές αποφάσεις του προσωπικού της εταιρείας. Με τα χρόνια, αυτά τα πρότυπα έχουν εγκριθεί και νομιμοποιηθεί από τοπικούς, πολιτειακούς και εθνικούς ρυθμιστές μετά από μελέτη πιθανών περιπτώσεων

και μετά από αναφορές που έχουν γίνει μετά τις διακοπές. Σε πολλές από αυτές τις αναφορές, τα παράπονα των πελατών πάνω στην αξιοπιστία των υπηρεσιών και του κόστους, έχουν προκαλέσει τροποποιήσεις όσο αφορά στα επιμέρους πρότυπα. Για παράδειγμα, τα προβλήματα σε ορισμένες περιοχές μετά μεγάλες καταιγίδες και με μεγάλο χρόνο αποκατάστασης οδήγησαν σε απαιτήσεις για λεπτομερή και δημοσιευμένη αποκατάσταση, αντικατοπτρίζοντας έτσι, τις εισροές του πελάτη.

Πολλά από τα πρότυπα της βιομηχανίας, ιδιαίτερα εκείνων που σχετίζονται με το μεγαλύτερο μέρος σύστημα της ηλεκτροπαραγωγής, συγκεντρώνονται και εφαρμόζονται σε εθνικό επίπεδο από την NERC και τις επιτροπές και τις ομάδες εργασίας. Η προσπάθεια αυτή αντανακλά την επέκταση του αριθμού των συμμετεχόντων που δραστηριοποιούνται στον κλάδο.

8.3.1 Ασφάλεια μετάδοσης και συντονιστές ασφάλειας

Η πολιτική της NERC για την αντιμετώπιση της ασφάλειας μετάδοσης αναφέρεται στο ότι για τον έλεγχο των περιοχών, μεμονωμένα και από κοινού, θα πρέπει να δημιουργούνται, να διατηρούνται και να εφαρμόζονται επίσημα οι πολιτικές και διαδικασίες σχετικά με την ασφάλεια της μετάδοσης. Αυτές οι πολιτικές και οι διαδικασίες θα πρέπει να καλύπτουν την εκτέλεση και το συντονισμό των δραστηριοτήτων, οι οποίες έχουν επιπτώσεις στην ασφάλεια εντός περιφέρειας ή μεταξύ περιφερειών. Κάποιες από αυτές περιλαμβάνουν:

- Αξιολόγηση εξοπλισμού
- Παρακολούθηση και έλεγχος των επιπέδων της τάσης και των ροών της πραγματικής και της άεργου ισχύος
- Αλλαγή στοιχείων μετάδοσης
- Προγραμματισμένες διακοπές των στοιχείων μετάδοσης
- Ανάπτυξη των ορίων ασφαλείας της λειτουργίας
- Αντιμετώπιση των παραβιάσεων στο όριο ασφαλείας της λειτουργίας

- Ευθύνη για την ασφάλεια της μετάδοσης. Όταν παρατηρούνται παραβιάσεις των ορίων ασφαλείας της λειτουργίας ή αναμένεται να εμφανιστούν, επηρεάζονται οι ζώνες ελέγχου ενώ οι περιοχές ελέγχου που συμβάλλουν σε αυτές τις παραβιάσεις, θέτουν σε εφαρμογή κοινές δράσεις για την αποκατάσταση της ασφαλείας μετάδοσης.
- Δράση ώστε να κρατηθεί η μετάδοση εντός ορίων. Οι περιοχές ελέγχου πρέπει να λαμβάνουν όλα τα κατάλληλα μέτρα έως και κατάργηση του σταθερού φορτίου, ώστε να συμμορφώνονται με το Πρότυπο 2.A.2.

Επίσης, είναι εφικτό, κάθε περιοχή, υποπεριοχή, ή διαπεριφερειακή ομάδα συντονισμού να καταρτίζει έναν ή περισσότερους συντονιστές ασφαλείας ώστε να έχει συνεχή αξιολόγηση της ασφαλείας μετάδοσης καθώς και συντονισμό των ενεργειών έκτακτης ανάγκης μεταξύ των περιοχών ελέγχου μέσα στην υπο-περιφέρεια, την περιοχή και σε όλη περιοχή εντός ορίων περιφέρειας. Οι φορείς μετάδοσης που δραστηριοποιούνται, υποχρεούνται να συνεργάζονται με τις περιοχές ελέγχου ώστε να διασφαλίσουν ότι οι δραστηριότητές τους στηρίζουν την αξιοπιστία της διασύνδεσης. Αυτό περιλαμβάνει το συντονισμό στο σχεδιασμό των διακοπών μετάδοσης με οποιοδήποτε σύστημα του οποίου οι μελέτες σχεδιασμού της λειτουργίας επηρεάζονται. Οι πληροφορίες σχετικά με τα ζητήματα αξιοπιστίας προέρχονται επίσης, από αναφορές που έχουν γίνει μετά από κάποιο ατύχημα καλύπτοντας σημαντικές περιφερειακές διαταραχές, τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες όσο και στο εξωτερικό. Διάφορα γεγονότα διακοπών που πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό, θα μπορούσαν γόνιμα να αξιολογηθούν από τις Η.Π.Α., με σκοπό την συνεχή αναβάθμιση των νόμων που αφορούν την ηλεκτρική ενέργεια.

Κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα σημαντικών διαταραχών που αξιολογήθηκαν, είναι τα εξής:

- 1965 - Μπλακάουτ στις Βορειοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες
- 1967 - Μπλακάουτ στην περιοχή Mid-Atlantic

- 1977 - Μπλακάουτ στην πόλη της Νέας Υόρκης
- 1978 - Μπλακάουτ στην Γαλλία
- 1997 - Μπλακάουτ στην Καλιφόρνια
- 1997 - Μπλακάουτ στην Νέα Ζηλανδία

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα διδάγματα είχαν τεχνικό χαρακτήρα, όπως η κρισιμότητα της υποστήριξης της τάσης, όπως φαίνεται από το γαλλικό μπλακάουτ του 1978. Σε άλλες περιπτώσεις, τα διδάγματα είναι οργανωτικά, όπως ήταν η ανάγκη για ενίσχυση του σχεδιασμού και του επιχειρησιακού συντονισμού μετά το μεγάλο βορειοανατολικό μπλακάουτ το 1965 και η ανάγκη για καλύτερη ενδοεπικοινωνία και επικοινωνία μεταξύ των περιοχών μετά το μπλακάουτ της Νέας Υόρκη το 1977.

Δεδομένου ότι η δομή του κλάδου εξελίσσεται, οι συμβιβασμοί μεταξύ αξιοπιστίας και κόστους γίνονται πιο δύσκολοι. Γι αυτό, οι διάφορες εταιρείες εμπλέκονται στην αλυσίδα προμήθειας-διανομής και η καθεμία έχει μια διαφορετική προοπτική σχετικά με τη σχέση κόστους-οφέλους της αξιοπιστίας. Η αξιοπιστία θα εξαρτηθεί από το εάν χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση "τρεις σωματοφύλακες" ή "απομονωμένος δασοφύλακας» Με την πρώτη προσέγγιση τα προβλήματα του ενός συστήματος ή της εταιρείας μοιράζονται όλα σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κοινωνικό κόστος. Στη δεύτερη προσέγγιση, κάθε σύστημα ή εταιρικός πελάτης αναλάβουν μόνοι τους τις συνέπειες. Μερικοί πιστεύουν ότι αυτό θα αποτελέσει κίνητρο ώστε να πληρούν όλοι τις υποχρεώσεις τους.

8.3.2 Πληρωμή επιπλέον αξιοπιστίας

Με αναζήτηση στη βιβλιογραφία παρατηρεί κανείς την προθυμία του πελάτη να πληρώσει ώστε να έχει μεγαλύτερο επίπεδο αξιοπιστίας. Υπάρχουν δύο

τρόποι ώστε να δοθούν μεγαλύτερα επίπεδα υπηρεσίας σε μεμονωμένους πελάτες:

1. Παροχή μεγαλύτερης ποσότητας της προμήθειας σε έναν πελάτη από ότι συνήθως.
2. Σε περίπτωση διαταραχής ή ανεπαρκούς χωρητικότητας, αποσύνδεση ή διακοπή του πελάτη που δεν πληρώνει ένα ποσοστό ασφάλιστρου για την ηλεκτρική ενέργεια.

Εάν αναλογιστούμε στην πραγματικότητα πώς ένα σύστημα παραγωγής είναι δομημένο φυσικά, η επιλογή του πλεονασμού έχει περιορισμένη εφαρμογή όσον αφορά την προστασία συγκεκριμένων πελατών από διακοπές στις εγκαταστάσεις μετάδοσης, ειδικά όταν η έκθεση είναι για παραβίαση της ασφάλειας, όπως είναι η απώλεια της εγκατάστασης. Σε επιλεγμένες συνθήκες, ένας μεγαλύτερος πελάτης μπορεί να έχει υψηλότερο επίπεδο της τοπικής υπηρεσίας διανομής, η οποία του παρέχει άλλο τροφοδοτή διανομής ή μετασηματιστή. Ωστόσο, επεκτείνοντας την επιλογή, ο συνηθισμένος πελάτης θα θεωρήσει απαγορευτικό το κόστος εάν οι επιμέρους εγκαταστάσεις διανομής απευθύνονται σε μεμονωμένους πελάτες. Η ίδια λογική ισχύει στο δίκτυο μεταφοράς. Επιπλέον, η προσπάθεια να γίνει διάκριση μεταξύ των πελατών στο επίπεδο της μεταφοράς κατά τη διάρκεια δυναμικών συνθηκών, έχει ως αποτέλεσμα την αστάθεια που εμφανίζεται σε πολλές περιπτώσεις.

Υπάρχει μία περίπτωση το πρόβλημα της αξιοπιστίας να οφείλεται στην επάρκεια, όπως είναι η ανεπάρκεια πόρων. Όταν το προσωπικό λειτουργίας έχει χρόνο να λάβει διορθωτικά μέτρα, οι πελάτες που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν υψηλότερη τιμή, θα μπορούσαν να δώσουν προτεραιότητα στις προσαρμογές που πρέπει να γίνουν για την αποκατάσταση της ισορροπίας φορτίου-παραγωγής. Σε ένα επίπεδο παραγωγής, οι μεμονωμένοι πελάτες θα μπορούσαν να διευθετήσουν το γεγονός ότι ο προμηθευτής τους θα μπορούσε να διατηρήσει επιπλέον αποθεματικό με την καταβολή επιπλέον χρημάτων. Η διαδικασία της εφαρμογής τέτοιου σχεδίου θα μπορούσε να βασιστεί είτε σε

μηχανισμούς χρηματοδότησης είτε σε φυσικούς μηχανισμούς ώστε να αποσυνδεθούν οι πελάτες από την επιλογή υψηλότερων επιπέδων αξιοπιστίας.

8.3.3 Συμμόρφωση

Στο παρελθόν, η συμμόρφωση με τα εθνικά πρότυπα αξιοπιστίας βασιζόταν στην εθελοντική συνεργασία των εταιρειών που συμμετείχαν. Διαδικασίες τίθενται προς θέσπιση σε ορισμένες περιοχές, για την εφαρμογή οικονομικών κυρώσεων λόγω μη συμμόρφωση. Αναγνωρίζοντας τη μεταβαλλόμενη φύση του κλάδου, η NERC, η National Association of Utility Commissioner's (NARUC), καθώς και πολυάριθμες άλλες οργανώσεις πιέζουν το Κογκρέσο για επιβολή υποχρεωτικής νομοθεσίας όσο αφορά τη συμμόρφωση με πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος ενέργειας, υπό την αιγίδα της NERC.

8.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα πρότυπα επάρκειας της παραγωγής είναι δύο ειδών: εκείνων που καλύπτουν το ποσό της χωρητικότητας της εγκατάστασης της παραγωγής και εκείνων που καλύπτουν το ποσό της χωρητικότητας της λειτουργίας της παραγωγής. Η χωρητικότητα της παραγωγής κατά παράδοση, εγκαθίσταται προκειμένου να επιτευχθεί μια στατιστικά καθορισμένη απαίτηση αποθεματικών, που ισούται με το ποσό της εγκατεστημένης χωρητικότητας που βρίσκεται πάνω από το αναμενόμενο φορτίο αιχμής του προμηθευτή. Το ποσό των απαιτούμενων αποθεματικών συνδεόταν με την πιθανότητα της απώλειας του φορτίου. Ο ακριβής προσδιορισμός ήταν προσαρμοσμένος στο κάθε σύστημα και αντικατόπτριζε την φιλοσοφία του σχεδιασμού και της λειτουργίας.

Στην εξελισσόμενη βιομηχανία, το ερώτημα του κατά πόσον το επίπεδο της χωρητικότητας της εγκατάστασης της παραγωγής θα πρέπει να είναι απαίτηση του σχεδιασμού ή απόφαση της αγοράς, παραμένει αναπάντητο. Η NERC έχει απομακρυνθεί από τα κριτήρια σχεδιασμού της απαίτησης συγκεκριμένου αποθεματικού σε μία εγκατάσταση. Η NARUC ως μέρος του Εθνικής Πολιτικής Ηλεκτρισμού αναφέρει: «Το κογκρέσο θα πρέπει να εκδώσει εντολή συμμόρφωσης της βιομηχανίας καθώς και τη δημιουργία ανεπτυγμένες προδιαγραφών αξιοπιστίας για το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος ενέργειας που περιλαμβάνει επαρκή περιθώρια αποθέματος και διατηρεί την Κυβέρνηση των Πολιτειών να θέτουν πιο αυστηρά πρότυπα, όταν θεωρείται ότι είναι προς το δημόσιο συμφέρον».

Εκτός από την εγκατάσταση εφεδρικού αποθεματικού παραγωγής, καθορίζεται επίσης, το αποθεματικό λειτουργίας. Μέρα με τη μέρα και ώρα με την ώρα, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής παραγωγή συγχρονισμένη με το δίκτυο, ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του φορτίου τη δεδομένη στιγμή, να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται στις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις της φορτίου στους πελάτες, καθώς να καλύπτονται οι απώλειες άλλης γεννήτριες. Η βιομηχανία έχει κανόνες που διέπουν το ποσό του αποθεματικού λειτουργίας που απαιτείται κάθε χρονική στιγμή. Το αποθεματικό συνήθως, σχετίζεται με την ποσότητα της παραγωγής που θα μπορούσε να χαθεί ως αποτέλεσμα κάποιας από τις ομάδες των διαταραχών. Το αποθεματικό λειτουργίας πρέπει να είναι διαθέσιμο μέσα σε 15 λεπτά. Συνήθως, κατανέμεται μεταξύ των ομίλων των επιχειρήσεων που έχουν συμφωνήσει να διατηρούν από κοινού αυτά τα αποθεματικά. Η ανάθεση της αξιοπιστίας για την κάθε εταιρεία βασίζεται με την συμφωνία που έχει γίνει με τις μεμονωμένες μονάδες παραγωγής. Επίσης, δίνεται επίδομα για μείωση του φορτίου καθώς επίσης για την κάλυψη μέρους του αποθεματικού λειτουργίας.

Αυτά τα αποθεματικά και αυτός ο πλεονασμός πρέπει να καλύπτει τόσο τις πραγματικές και τις άεργες ανάγκες του συστήματος. Εάν πραγματοποιείται

ανεπαρκής αντίδραση, οι τάσεις σχετικά με το σύστημα θα μειωθούν, με αποτέλεσμα το σύστημα να υποστεί μια διαδοχική διακοπή ρεύματος η οποία να οδηγεί σε ένα πλήρες μπλακάουτ. Ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η διαφοροποίηση της προσφοράς καυσίμων. Σύμφωνα με το κόστος, ένα διαφορετικό μίγμα καυσίμων παραγωγής παρέχει ένα επιπλέον επίπεδο αξιοπιστίας. Παράδειγμα αποτελούν τα υδροσυστήματα τα οποία είναι εκτεθειμένα στις επιπτώσεις της ξηρασίας. Άλλο παράδειγμα είναι τα συστήματα καύσης άνθρακα και πετρελαίου που επηρεάζονται από διάφορες διαταραχές περιλαμβανομένων των περιπτώσεων απεργίας των εργαζομένων, της αναστάτωσης στις παραδόσεις καυσίμου με πλοίο, στο πάγωμα των πασσάλων του άνθρακα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, κλπ.

8.5 ΔΙΑΒΙΒΑΣΗ

8.5.1 Προβλήματα του συστήματος διαβίβασης

Τα συστήματα διαβίβασης «γερνάνε» γρήγορα και με τον καιρό γίνονται λιγότερο αποτελεσματικά. Η μέση ηλικία των γραμμών μεταφοράς, των καλωδίων μεταφοράς, των διακόπτες, των υποσταθμών, των μετασχηματιστών και άλλου εξοπλισμού πλησιάζει τα 30 χρόνια, με ορισμένες βασικές εγκαταστάσεις να υπερβαίνουν τα 75 χρόνια. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος και να βελτιωθούν τα κέρδη των εταιριών, η υποχρεωτική συντήρηση δεν έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα οι ανάγκες συντήρησης να αυξάνονται ραγδαία. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια αυτής της συντήρησης θα πρέπει εξοπλισμός να τεθεί εκτός υπηρεσίας. Αναμένεται η συνεχής αύξηση των διακοπών στα υπάρχοντα συστήματα διαβίβασης. Είναι δύσκολο να οριστεί ένα χρονοδιάγραμμα αυτών των διακοπών χωρίς την λήψη μεγάλων κινδύνων αξιοπιστίας ή της επιβολής μεγάλων κυρώσεων του λόγω της αδυναμίας να παραδοθεί χαμηλού κόστους ενέργεια.

Η ικανότητα για την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου συστήματος μεταφοράς μειώθηκε απότομα τα τελευταία χρόνια, καθώς γεννήτριες προστίθενται και αποσύρονται από την υπηρεσία. Οι συνθήκες φόρτισης του συστήματος μεταφοράς και η χωρητικότητα επηρεάζονται κάθε φορά που μια γεννήτρια προστίθεται ή αποσύρεται από την μονάδα. Σχέδια υπάρχουν για την προσθήκη πολλών νέων μονάδων. Οι αγοραστές των υφιστάμενων εγκαταστάσεων έχουν το δικαίωμα να αποσύρουν εκείνες τις μονάδες που δεν είναι οικονομικά επικερδείς ή να τις χρησιμοποιήσουν για άλλους σκοπούς. Πολλές από αυτές τις μονάδες κατασκευάζονται χωρίς να έχει γίνει μελέτη πάνω στις επιπτώσεις σχετικά με το σύστημα μεταφοράς. Ο χρόνος που απαιτείται για την ενίσχυση του συστήματος μεταφοράς είναι συχνά πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο που απαιτείται για την προσθήκη νέας παραγωγής. Παρά την αντίθεση της κοινής γνώμης όσο αφορά την προσθήκη νέων γραμμών μεταφοράς, δεν παρατηρείται μείωση των νέων τοποθετήσεων. Η απόσυρση της γεννήτριας μπορεί να γίνει οποιαδήποτε στιγμή από τον ιδιοκτήτη χωρίς να το αντιληφθεί κανείς. Δεν υπάρχουν διατάξεις που μπορεί να είναι απαραίτητες για τις ενισχύσεις της μετάδοσης λόγω των αποσύρσεων που είναι επί πληρωμή. Ως αποτέλεσμα, μειώσεις του αρχικού κεφαλαίου και των δαπανών, μείωση των δαπανών συντήρησης, αυξημένες διακοπές μετάδοσης, έλλειψη χρόνου για τη διατήρηση και ενίσχυση του συστήματος. Η προσθήκη νέων γραμμών μεταφοράς είναι αναγκαία, κάτι που δεν πραγματοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια. (Κατά μέσο όρο περίπου 13.000 μίλια διαβίβασης προστέθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά την περίοδο 1990-1992, ενώ ο μέσος όρος την περίοδο 1996-1999 ήταν περίπου 6.000.) Αυτή η τάση δημιουργεί το δυναμικό για μια εθνική καταστροφή.

Ένα βασικό ερώτημα είναι: «Μπορούν οι δυνάμεις της αγοράς να οδηγήσουν σε ένα οικονομικό και αξιόπιστο σύστημα μεταφοράς;» Στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουμε τρία τεράστια σύγχρονα συστήματα. Καθένα από αυτά τα σύγχρονα συστήματα είναι μία «μοναδική μηχανή». Αυτό σημαίνει ότι οι αλλαγές των διακοπών, της παραγωγής και της διαβίβασης σε οποιαδήποτε

περιοχή του σύγχρονου δικτύου μπορεί να επηρεάσει το σύνολο του δικτύου. Οι αλλαγές σε μια τοποθεσία επηρεάζουν όχι μόνο τη φόρτιση της γραμμής και τις τάσεις, αλλά και τα όρια της σταθερότητας, την εμφάνιση των βραχυκυκλωμάτων και την απαίτηση της μετεγκατάστασης σε άλλα συστήματα. Προβλήματα στην Καλιφόρνια επηρεάζουν τα βορειοδυτικά και την Αριζόνα. Εάν μία γεννήτρια χάνεται στη Νέα Υόρκη, τα αποτελέσματά της είναι αισθητά στη Γεωργία, στη Φλόριντα, στην Μινεάπολη, στο Σαιντ Λούις και στη Νέα Ορλεάνη. Οι γραμμές διαβίβασης δεν μπορούν να προστίθενται με αποκλειστικό κριτήριο τα κέρδη του ιδιοκτήτη. Η χωροθέτηση και ο σχεδιασμός νέων υποσταθμών που επιλέγονται από τα συστήματα διανομής, θα πρέπει να γίνεται με σκοπό την αναγνώριση του συστήματος μεταφοράς που θα προμηθεύει. Το σύστημα διαβίβασης πρέπει να λειτουργεί ως ένα ενιαίο σύνολο. Δεν μπορεί κανείς να σχεδιάσει ένα αξιόπιστο χαμηλού κόστους αυτοκίνητο που έχει ξεχωριστά σχέδια για τα φρένα, τη μετάδοση, τη μηχανή, και άλλα βασικά συστήματα. Το ίδιο ισχύει για το ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης. Θα πρέπει να σχεδιαστεί ως ένα ολοκληρωμένο σύνολο.

Επίσης, τα συστήματα διαβίβασης πρέπει να έχουν βελτιστοποιηθεί σε «τρεις διαστάσεις», προκειμένου να επιτευχθεί απαραίτητη αξιοπιστία και ελάχιστο κόστος για την ηλεκτρική ενέργεια. Θα πρέπει να γίνει «γεωγραφική» βελτιστοποίηση, που σημαίνει ότι το σύστημα μετάδοσης θα πρέπει να ικανοποιεί τις ανάγκες όλων όσων εξυπηρετούνται από το σύγχρονο δίκτυο και όχι να ικανοποιεί μόνο τις ανάγκες ή τα κέρδη κάποιου συστήματος, περιοχής ή περιφέρειας. Θα πρέπει να γίνει «λειτουργική» βελτιστοποίηση, που σημαίνει ότι το σύστημα μετάδοσης θα πρέπει να πληρεί τόσο τις απαιτήσεις της παραγωγής όσο και τις απαιτήσεις του συστήματος διανομής. Αυτές οι απαιτήσεις πρέπει να είναι ισορροπημένες σε μια συνολική βάση. Τέλος, τα συστήματα μετάδοσης, πρέπει να αναπτυχθούν για να καλύψουν τις ανάγκες σε ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, δεδομένου ότι δεν μπορούν να αλλαχθούν αφού κατασκευαστούν. Πρέπει να αναπτύξουμε συστήματα μεταφοράς, τα οποία δεν ικανοποιούν μόνο τις ανάγκες του τρέχοντος έτους,

αλλά του επόμενου έτους και των επόμενων πέντε ετών. Τα συστήματα διαβίβασης που θα αναπτύξουμε θα πρέπει να αναγνωρίζουν τις μακροπρόθεσμες ανάγκες μας. Θα πρέπει να βελτιστοποιηθούν με «χρονολογική σειρά».

Μπορούν οι δυνάμεις της αγοράς να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη αυτών των βελτιστοποιημένων συστημάτων διαβίβασης μεγάλων αποστάσεων; Σύμφωνα με τις τρέχουσες διαδικασίες, οι θέσεις των προγραμματισμένων πρόσθετων γεννητριών δεν είναι γνωστές πέρα από ένα ή δύο χρόνια στο μέλλον. Πολλοί πιστεύουμε ότι ο μόνος τρόπος να αναπτύξουμε ένα σύστημα μεταφοράς που να πληρεί τις ανάγκες αυτού του έθνους είναι μέσω μιας Εθνικής Έρευνας Ενέργειας, στην οποία γίνεται επισκόπηση των μακροπρόθεσμων μελλοντικών αναγκών και των συστημάτων μετάδοσης που έχουν προταθεί σε εθνική βάση από παρόμοιες προηγούμενες Εθνικές Έρευνες Ενέργειας.

8.5.2 Πρότυπα σχεδιασμού και λειτουργίας

Τα πρότυπα και σχεδιασμού και λειτουργίας του συστήματος ενέργειας έχουν τον πιο εθνικό χαρακτήρα. Αρχικά, αυτά τα πρότυπα αναπτύσσονταν από μεμονωμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, στη συνέχεια, εγκρίνονταν από τα περιφερειακά συμβούλια και τέλος, εμφάνιζαν εθνικό χαρακτήρα υπό το πρίσμα της NERC. Τα στοιχεία αυτών των προτύπων συζητήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για τον καθορισμό και την ρύθμιση της αξιοπιστίας του συστήματος διαβίβασης έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες που βασίζονται στην αξιοπιστία του καθενός από τα συστατικά του συστήματος. Παρότι στη θεωρία ελκυστική, αυτή η προσπάθεια δεν είναι επιτυχείς σχετικά με το μέγεθος και τις παραλλαγές του εξοπλισμού που αποτελούν ένα σύστημα ενέργειας. Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι, ώστε να αντισταθεί στην ορθής κρίση όσο αφορά την μηχανική. Για παράδειγμα, ένας μηχανικός μπορεί να επιλέξει έναν αριθμό σχεδίων και υποδειγμάτων για ένα νέο υποσταθμό ρεύματος, ανάλογα με κρισιμότητα. Ο αρμόδιος για το σχεδιασμό

θα μπορούσε να επιλέξει έναν υποσταθμό με ένα διακόπτη και μισή ρύθμιση, η οποία παρέχει μεγαλύτερη επάρκεια και, κατά συνέπεια, ένα υψηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας σε σχέση με ένα σχέδιο που παρέχει κυκλική διαδρομή.

Καθώς τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών διαταραχών μπορούν να εξαπλωθούν πέρα από μια ευρεία περιοχή που καλύπτει έναν αριθμό Πολιτειών, η ανάγκη περιφερειακού συντονισμού κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία είναι αναγκαία. Καθώς αναπτύσσονται νέοι κανόνες αγοράς όσο αφορά το ηλεκτρικό σύστημα, η ιδέα είναι ότι οι κανόνες σε οποιαδήποτε περιοχή δεν μειώνουν τις τοπικές προδιαγραφές αξιοπιστίας και ως εκ τούτου, δεν έχουν επιπτώσεις ή δεν βλάπτουν την αξιοπιστία του δικτύου.

8.5.3 Έλεγχος τάσης και αντίδρασης

Τα ισχύοντα πρότυπα αξιοπιστίας της NERC απαιτούν:

1. Παρακολούθηση και έλεγχος της τάσης και των ροών mVAr. Κάθε ζώνη ελέγχου μεμονωμένα ή από κοινού, πρέπει να εξασφαλίσει ότι οι επίσημες πολιτικές και διαδικασίες που αναπτύσσονται, τηρούνται και εφαρμόζονται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των επιπέδων τάσης και ροών mVAr εντός των συνόρων της περιοχής καθώς και με γειτονικές περιοχές ελέγχου.
2. Παροχή ενεργών πόρων. Κάθε περιοχή ελέγχου θα πρέπει να έχει επάρκεια σε πόρους εντός των συνόρων, με σκοπό την προστασία των επιπέδων τάσης σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει το μερίδιο της περιοχής ελέγχου από τις ενεργές απαιτήσεις της διασύνδεσης των κυκλωμάτων μεταφοράς.
 - a. 2.1. Παροχή ενεργών απαιτήσεων. Κάθε φορέας πωλήσεων-αγορών φροντίζει ώστε να υπάρχουν ενεργοί πόροι αντιδραστικά πόρων για τις συγκεκριμένες ενεργές απαιτήσεις.
3. Λειτουργικοί ενεργοί πόροι. Κάθε περιοχή ελέγχου πρέπει να λειτουργεί τους χωρητικούς και επαγωγικούς ενεργούς πόρους για τη

συντήρηση του συστήματος και τη διασύνδεσή των τάσεων εντός καθορισμένων ορίων.

- a. 3.1. Δράσεις. Ο προγραμματισμός της ενεργής παραγωγής, η γραμμή μεταφοράς και η ενεργή αλλαγή των πόρων, κ.λπ. και η απόρριψη φορτίου, εφόσον είναι αναγκαίο, θα πρέπει να εφαρμοστούν ώστε να διατηρηθούν αυτά τα επίπεδα τάσης.
 - b. 3.2. Ενεργοί πόροι. Κάθε περιοχή ελέγχου διατηρεί ενεργούς πόρους για τη υποστήριξη της τάσης που σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί η πρώτη έκτακτη κατάσταση.
 - c. 3.2.1. Θέση. Ο ενεργοί πόροι πρέπει να διαχέονται και να τοποθετούνται ηλεκτρικά, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά και γρήγορα, σε περίπτωση έκτακτων αναγκών.
 - d. 3.2.2. Ενεργή αποκατάσταση. Όταν ο ρυθμιστής της τάσης μιας γεννήτριας είναι εκτός λειτουργίας, θα πρέπει να διατηρείται η διέγερση του πεδίου σε τέτοιο επίπεδο που να διατηρείται η διασύνδεση και η σταθερότητα της γεννήτριας.
4. Παροχή πληροφοριών χειριστή. Ο διαχειριστής του δικτύου πρέπει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με όλες τις διαθέσιμες ενεργές πηγές ενέργειας κατά την παραγωγή και διαβίβαση, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης των ρυθμιστών τάσης και των σταθεροποιητών του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής.
 5. Πρόληψη κατάρρευσης της τάσης. Ο διαχειριστής του δικτύου πρέπει να λαμβάνει διορθωτικές δράσεις, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του φορτίου, η οποία είναι αναγκαία ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση της τάσης όταν ενεργοί πόροι είναι ανεπαρκείς.
 6. Παροχή τάσης και άεργων συσκευών. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης μετάδοσης και άεργη ροή, θα πρέπει να διατίθενται υπό τη διεύθυνση του διαχειριστή του συστήματος.

8.6 ΔΙΑΝΟΜΗ

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του συστήματος διανομής εξακολουθούν να γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα και τις πρακτικές των επιμέρους επιχειρήσεων κοινής ωφελείας και να αντικατοπτρίζουν τις τοπικές απαιτήσεις αξιοπιστίας και τις εκτιμήσεις του κόστους. Η ευρωστία του εφοδιασμού σε μια κορεσμένη αστική περιοχή θα είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη σε μια αγροτική περιοχή εκμετάλλευσης. Ωστόσο, η εποπτεία των επιδόσεων της τοπικής εταιρείας κοινής ωφελείας ασκείται συνήθως, από κρατικές ρυθμιστικές αρχές. Δεν είναι ασυνήθιστο να παρατηρούνται αναφορές από τις ρυθμιστικές αρχές μετά από σημαντικές τοπικές διακοπές. Σε πολλές περιοχές, είναι δημοφιλής η χρήση των ποσοστών κινήτρων επιστροφής που αντανακλούν τις επιδόσεις του συστήματος διανομής. Οι πρακτικές σχεδιασμού της εταιρείας κοινής ωφέλειας αντανακλούν τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν από τους εθνικούς οργανισμούς όπως το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.