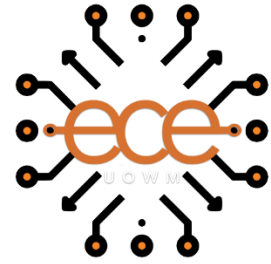




ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΕΚΤΩΝ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (ΤΑΣ) ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΖΕΤΤΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Επιβλέπων: Τσιαμήτρος Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΚΟΖΑΝΗ/ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ/2022



HELLENICDEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA

FUCULTYOFENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL &
COMPUTER ENGINEERING



AUDIO-FREQUENCY RIPPLE SIGNALING APPLICATIONS FOR PHOTOVOLTAIC'S OUTPUT POWER CONTROL

THESIS

ZETTAS ATHANASIOS

SUPERVISOR: Tsiamitros Dimitrios

Associate professor

KOZANI/SEPTEMBER/2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Εφαρμογές δεκτών τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας (ΤΑΣ) για έλεγχο ισχύος εξόδου φωτοβολταϊκών πάρκων” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Τσιαμήτρου Δημήτριο, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Ζέττας Αθανάσιος, Τσιαμήτρος Δημήτριος, 2022, Κοζάνη

Copyright (C) Zettas Athanasios, Tsiamitros Dimitrios, 2022, Kozani

Υπογραφή Φοιτητή: _____

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να παρουσιάσει το σύστημα τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων, τον τρόπο λειτουργίας του, καθώς και πώς αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για τον έλεγχο της κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας στο δίκτυο διανομής. Αρχικά δίνεται μια γενική περιγραφή του συστήματος, αναφέρονται τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται και η αρχή λειτουργίας του. Επίσης αναφέρονται οι λόγοι, οι οποίοι περιορίζουν τη χωρητικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) κατανεμημένης παραγωγής, σε οποιαδήποτε γραμμή δικτύου μέσης τάσης (ΜΤ) και τα προβλήματα που προκύπτουν. Έπειτα παρουσιάζεται η μεθοδολογία και περιγράφονται οι τεχνολογικές απαιτήσεις για την εκμετάλλευση του συστήματος τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας (ΤΑΣ), για τον έλεγχο της ισχύς εξόδου σε φωτοβολταϊκά πάρκα. Εν συνεχεία πραγματοποιείται προσομοίωση ενός μέρους του ελληνικού δικτύου διανομής, με αυξημένη διείσδυση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, με και χωρίς έλεγχο, για διάφορα λειτουργικά σενάρια. Κλείνοντας δίνονται κάποια συνοπτικά συμπεράσματα και προτάσεις για ευρεία εφαρμογή του συστήματος τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων.

Λέξεις Κλειδιά:

Δίκτυο Διανομής, Τηλεχειρισμός Ακουστικής Συχνότητας, Κατανεμημένη παραγωγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Φωτοβολταϊκά πάρκα

Abstract

This diploma thesis aims to present the AUDIO frequency remote control system, how it works, as well as how it can be used, to control distributed energy production in the distribution network. First, a general description of the system is given, the elements of which it consists and the principle of its operation are mentioned. The reasons, which limit the capacity of renewable energy sources (RES) of distributed generation, in any medium voltage (MV) network line and the resulting problems are also mentioned. Then the methodology is presented and the technological requirements are described for the exploitation of the acoustic frequency remote control system (TAS), for the control of the output power in photovoltaic parks. Afterwards, a simulation of a part of the Greek distribution network is carried out, with increased penetration of photovoltaic (PV) power plants, with and without control, for various operational scenarios. In closing, some brief conclusions and suggestions for wide application of the acoustic frequency remote control system are given

Keywords:

Distribution Network, Audio Frequency Remote Control, Distributed Generation, Renewable Energy Sources, Photovoltaic Parks

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2021-2022, στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, τον κύριο Τσιαμήτρο Δημήτριο για την βοήθεια, την καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Μπουτσιάδη Ευάγγελο, προϊστάμενο του ΔΕΔΔΗΕ Καστοριάς και υποψήφιο διδάκτωρ του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για όλη την βοήθεια του και τον αμέριστο χρόνο που μου παρείχε.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που όπως ήταν δίπλα μου σε όλη μου την ζωή, έτσι και κατά την διάρκεια της φοίτησής μου στην σχολή με στήριξε ψυχολογικά και οικονομικά βοηθώντας με να πραγματοποιήσω τους στόχους μου.

Τέλος αισθάνομαι την υποχρέωση να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και συμφοιτητές μου, με την βοήθεια των οποίων κατάφερα να ολοκληρώσω τον προπτυχιακό κύκλο των σπουδών μου και μοιράστηκα μαζί τους στιγμές που θα θυμάμαι για πάντα.

Περιεχόμενα

Περίληψη	- 1 -
Abstract	3
Ευχαριστίες	5
Περιεχόμενα	7
Κατάλογος Σχημάτων	10
Κατάλογος Πινάκων	12
Κεφάλαιο 1: Σύστημα τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων	14
1.1 Εισαγωγή	14
1.2 Κύριες Εφαρμογές	15
1.3 Μέρη Συστήματος και σημεία πιθανής τοποθέτησης στο δίκτυο	15
1.4 Κεντρική Μονάδα Ελέγχου	16
1.5 Συχνότητα Λειτουργίας	16
1.6 Τάση Τοποθέτησης Πομπού ΤΑΣ	17
1.7 Μετασχηματιστές Εγχύσεως	17
1.8 Ηλεκτρονόμος έγχυσης και Παράλληλο κύκλωμα συντονισμού	18
1.8.1 Ηλεκτρονόμος έγχυσης	19
1.8.2 Παράλληλο κύκλωμα συντονισμού	20
1.9 Αποστελλόμενα μηνύματα και κωδικοποίηση σημάτων	20

1.9.1 Παράδειγμα λειτουργίας λήψης παλμοσειράς από δέκτη	22
1.10 Παράδειγμα εφαρμογής ενός εγκατεστημένου συστήματος	23
Κεφάλαιο 2: Μαθηματική Ανάλυση λειτουργίας του συστήματος ΤΑΣ	24
2.1 Εισαγωγή - Επιλογή της συχνότητας 175 Hz	24
2.2 Αρμονικές	24
2.2.1 1 ^η Αρμονική	26
2.2.1 3 ^η Αρμονική	26
2.2.2 5 ^η Αρμονική	27
2.2 Ενδιάμεση αρμονική (interharmonic) 175 Hz	29
2.3 Συνέλιξη σημάτων και φασματική απομόνωση πληροφορίας	29
Κεφάλαιο 3: Χωρητικότητα ΑΠΕ κατανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο	31
3.1 Εισαγωγή	31
3.2 Τεχνικά κριτήρια και προϋποθέσεις για τη σύνδεση σταθμών παραγωγής στο Δίκτυο	32
3.3 Δείκτες ποιότητας ισχύος δικτύου	32
3.4 Θερμική ικανότητα των γραμμών	32
3.5 Προβλήματα λόγω υπέρβασης των ορίων Τάσεως	33
3.5.1 Επιπτώσεις στην πλευρά των παραγωγών	33
3.5.2 Επιπτώσεις στην πλευρά των καταναλωτών	34
Κεφάλαιο 4: Το σύστημα ΤΑΣ ως λύση των επιπτώσεων των διασυνδεδεμένων γραμμών	35
4.1 Εισαγωγή	35
4.2 Περιορισμός της ενεργού ισχύος εξόδου σταθμών παραγωγής	36
4.3 Πως εμπλέκεται το σύστημα ΤΑΣ	36
4.4 Απόρριψη όλων των Φ/Β μονάδων της διασυνδεδεμένης γραμμής	37
4.5 Απόρριψη των μισών Φ/Β πάρκων κάθε γραμμής	38
4.6 Απόρριψη των μισών inverters κάθε πάρκου	39
4.7 Τρόποι αποφυγής κακής λειτουργίας	41
4.8 Πλεονεκτήματα και σύγκριση με άλλες τεχνολογίες	41

Κεφάλαιο 5: Περιγραφή του υπό έρευνα δικτύου MT και μοντελοποίηση των γραμμών	43
5.1 Γενικά στοιχεία	43
5.2 Μοντελοποίηση γραμμών	44
Κεφάλαιο 6: Σενάρια και αποτελέσματα προσομοίωσης	46
6.1 Γενικά	46
6.2 Σενάριο πρώτο	47
6.3 Σενάριο δεύτερο	50
6.4 Σενάριο τρίτο	53
6.5 Σενάριο τέταρτο	56
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	60
Βιβλιογραφία	61
Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια	62
Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων	63

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Λειτουργικό Διάγραμμα Ηλεκτρονόμου Έγχυσης [1]	19
Σχήμα 2 Παράλληλο Κύκλωμα Συντονισμού [1]	20
Σχήμα 3 Σύστημα Διαμόρφωσης Παλμών ΤΑΣ [1]	21
Σχήμα 4 Ακολουθία Παλμών για την Δημιουργία Εντολής [2]	22
Σχήμα 5 Σύστημα ΤΑΣ με Έγχυση Σειράς σε Υποσταθμό ΜΤ [1]	23
Σχήμα 6 1 ^η , 3 ^η , 5 ^η Αρμονική και Συνολική Παραμόρφωση [11]	25
Σχήμα 7 Ρεύματα γραμμών σε συμμετρικά τριφασικά φορτία	25
Σχήμα 8 Κυματομορφή Τάσης στα 50 Hz	29
Σχήμα 9 Κυματομορφή Τάσης κατά την διάρκεια εκπομπής του σήματος (175 Hz)	30
Σχήμα 10 Πλάτος Φασικής Τάσης στο πεδίο της συχνότητας	30
Σχήμα 11 Παράδειγμα Ελέγχου Κεντρικού Διακόπτη ενός Φ/Β Πάρκου με ΤΑΣ	37
Σχήμα 12 Παράδειγμα Απόρριψης όλων των Φ/Β πάρκων της μεταφερόμενης γραμμής	38
Σχήμα 13 Παράδειγμα Ελέγχου Φ/Β πάρκων σε ομάδες με διαφορετικούς δέκτες ΤΑΣ	39
Σχήμα 14 Παράδειγμα inverters σε ομάδες μέσα στο ίδιο Φ/Β πάρκο	40
Σχήμα 15 Παράδειγμα inverters σε ομάδες και κατά τόπους αποσύνδεση αυτών	40
Σχήμα 16 Οι δύο επιλεγμένες Κεντρικές Γραμμές ΜΤ [5]	45
Σχήμα 17 Σενάριο Προσομοίωσης 1 [5]	48
Σχήμα 18 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 1 [5]	50
Σχήμα 19 Σενάριο Προσομοίωσης 2 [5]	51

Σχήμα 20 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 2	53
Σχήμα 21 Σενάριο Προσομοίωσης 3 [5]	54
Σχήμα 22 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 3	56
Σχήμα 23 Σενάριο Προσομοίωσης 4 [5]	57
Σχήμα 24 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 4	59

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Σύγκριση Τεχνολογίας ΤΑΣ και RTU	42
Πίνακας 2 Τάσεις Κόμβων των δύο Γραμμών για Σενάριο NO 1 (Όριο Τάσης 22 kV)	49
Πίνακας 3 Τάσεις Κόμβων των 2 Γραμμών για Σενάριο NO 2	52
Πίνακας 4 Τάσεις Κόμβων των δύο Γραμμών για Σενάριο NO 3	55
Πίνακας 5 Τάσεις Κόμβων των δύο Γραμμών για Σενάριο 4	58

Κεφάλαιο 1: Σύστημα τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων

1.1 Εισαγωγή

Το σύστημα Τηλεχειρισμού Ακουστικών Συχνοτήτων (ΤΑΣ), είναι μία μέθοδος επικοινωνίας που χρησιμοποιείται εκτενώς από τους διανομείς ηλεκτρικής ενέργειας για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση φορτίων, που βρίσκονται στο δίκτυο διανομής στέλνοντας σε αυτά ένα σήμα μέσω των αγωγών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το σήμα που χρησιμοποιεί το σύστημα ΤΑΣ για την αποστολή πληροφοριών είναι ένα σήμα τάσης, χαμηλής συχνότητας, το οποίο δημιουργείται στους υποσταθμούς μέσης τάσης (ΜΤ). Η τεχνολογία αυτή έγκειται στη σύνθεση δύο σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων. Ένα σήμα των 50Hz που παρέχει τροφοδοσία στις ηλεκτρικές συσκευές, και ένα σήμα υψηλότερης συχνότητας από αυτή των 50Hz που επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων. Το διαμορφωμένο σήμα επιτρέπει την μεταφορά πληροφορίας χωρίς να επηρεάζεται η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο τύπος της επικοινωνίας που επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος ΤΑΣ είναι τύπος μονόδρομης επικοινωνίας, από ένα κεντρικό πομπό προς ένα μεγάλο αριθμό δεκτών. Με την τοποθέτηση στα επιθυμητά σημεία των κατάλληλων συσκευών εκπομπής και λήψης των παραπάνω σημάτων, το ήδη εγκατεστημένο ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικότερα ως κανάλι για την μεταφορά εντολών τηλεχειρισμού. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγεται η εγκατάσταση νέων δικτύων τηλεχειρισμού που θα προκαλούσε έργα μεγάλης κλίμακας και κόστους.

1.2 Κύριες Εφαρμογές

Οι συνηθέστερες χρήσεις της τεχνολογίας Τηλεχειρισμού Ακουστικών Συχνοτήτων, είναι η δυνατότητα επιβολής πολλαπλού τιμολογίου χρέωσης σε καταναλωτές οι οποίοι είναι συμβεβλημένοι, καθώς επίσης και ο τηλεχειρισμός του τοπικού δημοτικού φωτισμού. Η εφαρμογή της χαμηλής χρέωσης στους μετρητές των καταναλωτών, γνωστή και ως «νυκτερινό τιμολόγιο», έχει ως αποτέλεσμα την αυτόματη ενεργοποίηση της νυκτερινής θερμοσυσώρευσης. Είναι γνωστό πως η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της ημέρας. Προς αποφυγή της αύξησης της διαθέσιμης ισχύος των υποσταθμών καθώς και των γραμμών μεταφοράς εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, παρουσιάστηκε μία πρόταση, σύμφωνα με την οποία, το ηλεκτρικό ρεύμα θα δινόταν με μειωμένη τιμή από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές μέσα στην ημέρα, σε χρονικές στιγμές που υπάρχει μειωμένη ζήτηση, δίνοντας έτσι κίνητρο στους καταναλωτές να χρησιμοποιούν τις ηλεκτρικές τους συσκευές εκείνη ακριβώς τη στιγμή όπου σύμφωνα με την πρόβλεψη του διαχειριστή του συστήματος είναι η περίοδος χαμηλής φόρτισης του συστήματος. Όσον αφορά τη εκμετάλευση του συστήματος τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων για τον χειρισμό του δημοτικού φωτισμού, τα οφέλη είναι ότι δεν χρειάζονται ξεχωριστά καλώδια και διακόπτες αφού το καλώδιο τροφοδοσίας των φωτιστικών συνδέεται απευθείας στην παροχή δια μέσου του δέκτη ΤΑΣ. Επίσης η χρήση χρονοδιακοπών οι οποίοι απαιτούσαν ξεχωριστή παροχή για την τροφοδοσία τους καθώς και για τον συγχρονισμό τους αποφεύγεται.

1.3 Μέρη Συστήματος και σημεία πιθανής τοποθέτησης στο δίκτυο

Το σύστημα ΤΑΣ στην πλήρη ανάπτυξή του, από την παραγωγή μέχρι και τον καταναλωτή, αποτελείται από την κεντρική μονάδα ελέγχου, την γεννήτρια παλμών, το κύκλωμα έγχυσης και τέλος από τους καταναλωτές στους οποίους υπάρχει ο δέκτης για το σήμα. Αν υπάρχουν πολλοί Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, υπάρχει και κεντρική μονάδα ελέγχου στο ΚΕΔΑ της περιοχής.

Όσον αφορά τα σημεία τοποθέτησης, μπορεί να γίνει εφαρμογή της τεχνολογίας του ΤΑΣ σε όλα τα επίπεδα τάσεων ενός τυπικού τριφασικού δικτύου ηλεκτρισμού όπως το ελληνικό. Η έγχυση των σημάτων, γίνεται συμμετρικά και στις 3 φάσεις, για να είναι εφικτή η ανίχνευση αυτών των σημάτων από τους δέκτες, σε όποια φάση και αν είναι συνδεδεμένοι. Ο πομπός του ΤΑΣ, μπορεί να συνδεθεί με δύο τρόπους, εν σειρά και παράλληλα.

Λόγω της τοπολογίας του κυκλώματος, στην περίπτωση της παράλληλης σύνδεσης, ένα μέρος της εγχεόμενης ενέργειας οδηγείται μέσω της επαγωγικής αντίδρασης του Μ/Σ στον ζυγό της ΥΤ, έχοντας ως αποτέλεσμα τον αυξημένο κίνδυνο πιθανών παρεμβολών σε γειτονικά δίκτυα που χρησιμοποιούν ανάλογες εφαρμογές ΤΑΣ. Οι παραπάνω απώλειες στο σήμα του ΤΑΣ μπορούν να μειωθούν, με την αύξηση της συχνότητας λόγω της επίδρασης της επαγωγικής αντίδρασης του Μ/Σ. Για τον λόγο αυτό, η χρήση της παραπάνω συνδεσμολογίας, προτείνεται με κάτω όριο συχνοτήτων λειτουργίας τα 250 Hz. Βασικό της πλεονέκτημα είναι το μικρό κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού, το οποίο μεταφράζεται στην κατασκευή ενός ειδικού ερμαρίου (κυψέλη ΜΤ) στον χώρο ΜΤ του υποσταθμού. Η σημαντικότητα του παραπάνω πλεονεκτήματος αναιρείται εάν η εν σειρά αντίδραση των τυλιγμάτων του Μ/Σ προσφέρει μικρή απομόνωση των

σημάτων του ΤΑΣ από την ΥΤ, με αποτέλεσμα να απαιτείται επιπλέον εγκατάσταση φίλτρων απομόνωσης των σημάτων του ΤΑΣ από την ΥΤ.

Η ευρύτερη χρήση του ΤΑΣ με συχνότητες κάτω των 250 Hz προκάλεσε αντίστοιχη αύξηση της χρήσης της εν σειρά συνδεσμολογίας. Σε αυτήν την περίπτωση, το ρεύμα των ακουστικών συχνοτήτων του ΤΑΣ, διατρέχει εν σειρά τα δίκτυα ΥΤ και ΜΤ. Από τη σχέση των αντιδράσεων των παραπάνω δύο δικτύων, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη πτώση τάσης των σημάτων του ΤΑΣ εμφανίζεται στο δίκτυο ΜΤ. Η αξιόπιστη λειτουργία του ΤΑΣ διασφαλίζεται όταν το πλάτος της τάσης των ακουστικών συχνοτήτων στη θέση του Δέκτη, είναι ικανό να ενεργοποιήσει τον μηχανισμό ανίχνευσης. Η δημιουργία παρεμβολών σε γειτονικά εγκατεστημένα συστήματα ΤΑΣ αποφεύγεται λόγω της χαμηλής αντίστασης που εμφανίζει το δίκτυο ΥΤ.

1.4 Κεντρική Μονάδα Ελέγχου

Η κεντρική μονάδα ελέγχου τροφοδοτεί την γεννήτρια παλμών με τις εντολές σε μορφή τηλεγραφήματος και ελέγχει τις υπόλοιπες μονάδες του συστήματος ΤΑΣ. Οι εντολές προγραμματίζονται από τον χρήστη ή αποθηκεύονται στην τοπική μονάδα από την οποία και στέλνονται. Στην ουσία είναι ένας Ηλεκτρονικός Υπολογιστής με τις εξής λειτουργίες:

- Προγραμματισμός τηλεγραφήματος: κάθε τηλεγράφημα ονομάζεται με έναν αριθμό και μπορεί να περιέχει ένα, δύο ή περισσότερες εντολές.
- Προγραμματισμός αστρονομικών δεδομένων.
- Αυτόματη εκπομπή των εντολών στον προγραμματισμένο χρόνο.
- Έλεγχος καλής λειτουργίας των άλλων μονάδων του συστήματος.
- Σύνδεση με κεντρική μονάδα ελέγχου (αν υπάρχει όλες οι λειτουργίες στέλνονται από εκεί).
- Εκπομπή εντολών με εξωτερικές επαφές.
- Δυνατότητα χειροκίνητης εκπομπής τηλεγραφήματος.

1.5 Συχνότητα Λειτουργίας

Ένα από τα βασικότερα και αρχικά στάδια του σχεδιασμού ενός συστήματος ΤΑΣ, είναι η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας. Όπως έχει αναφερθεί αρκετές φορές έως τώρα, το σύστημα τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων χρησιμοποιεί το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο έχει ονομαστική συχνότητα λειτουργίας τα 50Hz. Σε αυτήν τη συχνότητα λοιπόν πρέπει να διεισδύσει η συχνότητα με την οποία θα γίνει η μετάδοση της πληροφορίας. Έτσι, η συχνότητα αυτή θα πρέπει, αφενός μεν, να μπορεί να διαχωριστεί εύκολα από τη βασική συχνότητα του δικτύου, αφετέρου δε, να είναι ικανή να μεταφέρει την ζητούμενη πληροφορία με την ελάχιστη εξασθένιση του σήματος και σε διαφορετικές αποστάσεις.

Ξεκινώντας από τον διαχωρισμό της συχνότητας υπάρχει ένα κάτω όριο λειτουργίας, το οποίο καθορίζεται από την απόσταση που θα πρέπει να έχει το σήμα στο πεδίο της συχνότητας από την συχνότητα λειτουργίας του δικτύου (50 Hz) για την σωστή λειτουργία των φίλτρων του ΤΑΣ. Το σήμα των 50 Hz στον κλάδο που βρίσκεται ο πομπός του ΤΑΣ θα πρέπει να απομονώνεται επαρκώς, και για να επιτευχθεί αυτό, τα δύο σήματα πρέπει να έχουν μια ικανή φασματική απόσταση μεταξύ. Συνήθως στην πράξη, η περιοχή συχνοτήτων λίγο πάνω από την 3η αρμονική του δικτύου (> 150Hz), αποτελεί το κάτω όριο λειτουργίας του ΤΑΣ.

Αντίστοιχα, για τον καθορισμό του άνω ορίου, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι χωρητικές απώλειες πάνω στις διανεμημένες χωρητικότητες των γραμμών. Έχει διαπιστωθεί ότι είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν συχνότητες πάνω από 1400 Hz ακόμα και σε δίκτυα διανομής μικρής έκτασης.

Επίσης σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτό στην Ελλάδα, που έχουμε εγκατάσταση πυκνωτών για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος και την αύξηση της ικανότητας φόρτισης των γραμμών, το παραπάνω άνω όριο περιορίζεται σε τιμές κάτω από τα 300 Hz. Επίσης, από την παραπάνω διαθέσιμη περιοχή συχνοτήτων (150 με 300 Hz), θα πρέπει να αφαιρεθούν οι περιττές αρμονικές του δικτύου, στις οποίες υπάρχει σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο.

Οι δύο συνηθέστερες τιμές που επιλέγονται από τους διαχειριστές των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του ΤΑΣ, είναι τα 175 και τα 188 Hz, οι οποίες όπως μπορούμε να διακρίνουμε, πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις και βρίσκονται αρκετά κοντά στη συχνότητα για την οποία έχει σχεδιαστεί το δίκτυο των 50 Hz.

1.6 Τάση Τοποθέτησης Πομπού ΤΑΣ

Η έγχυση του σήματος μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης. Είτε στην χαμηλή τάση (ΧΤ), είτε στη μέση τάση (ΜΤ) , είτε στη υψηλή (ΥΤ). Η ανάγκη της αποδοτικής χρήσης του συστήματος ΤΑΣ όμως, θέτει κάποιους περιορισμούς ώστε η εγκατάσταση του να είναι συμφέρουσα. Για τον λόγο αποφεύγεται η χρήση του ΤΑΣ όταν ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται σε επίπεδα τάσεων τα οποία διασυνδέονται με τη χρήση πολλών ενδιάμεσων μετασχηματιστών. Όπως είναι φανερό, οι αυτεπαγωγές σκέδασης των ενδιάμεσων μετασχηματιστών είναι ένα σημαντικό εμπόδιο για τα σήματα του ΤΑΣ. Μια αποδοτική λύση που επιλέγεται σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι η εγκατάσταση του πομπού του ΤΑΣ στο επίπεδο της Μέσης Τάσης (20 KV) και των δεκτών στη Χαμηλή Τάση (400/230 V).

1.7 Μετασχηματιστές Εγχύσεως

Στην περίπτωση της εν σειρά σύνδεσης του ΤΑΣ χρησιμοποιούνται Μ/Σ έγχυσης οι οποίοι τοποθετούνται στην έξοδο του δευτερεύοντος του Μ/Σ υποβιβασμού στους υποσταθμούς των δικτύων ηλεκτρισμού, στη ΜΤ.

Οι Μ/Σ έγχυσης λειτουργικά θεωρούνται ως Μ/Σ ισχύος και ως Μ/Σ ρεύματος. Αναλυτικότερα, χαρακτηρίζονται ως Μ/Σ ισχύος διότι στις ακουστικές συχνότητες (πχ 175 Hz) μετασχηματίζουν την έξοδο της γεννήτριας ακουστικών συχνοτήτων ($= 1000 \text{ V}$) σε μια τάση ανάλογη του λόγου σπειρών τους, η οποία εγχέεται στο δίκτυο ΜΤ. Δηλαδή η τάση εγχύσεως είναι 1,2% έως 2,3% της φασικής τάσεως του συστήματος, δηλαδή $138/265[\text{V}]$, όταν η πολική τάση του δικτύου είναι $20[\text{kV}]$, στην πλευρά της χαμηλής τάσεως του δικτύου το πλάτος της τάσεως (σήματος) γίνεται $2,8/5,3[\text{V}]$. Επίσης, χαρακτηρίζονται ως Μ/Σ ρεύματος, διότι στη συχνότητα του δικτύου (50 Hz) το δευτερεύον τους τύλιγμα είναι εν σειρά με το κύκλωμα ΜΤ.

Οι Μ/Σ ρεύματος, αντίθετα από τους Μ/Σ τάσης, δεν κινδυνεύουν από βραχυκύκλωμα στο δευτερεύον τύλιγμα ΧΤ αλλά από τη χωρίς φορτίο λειτουργία τους. Η ξαφνική αποσύνδεση του φορτίου από το δευτερεύον ενός Μ/Σ ρεύματος οδηγεί στην εξίσωση του ρεύματος μαγνήτισης του Μ/Σ με το ρεύμα του δικτύου που διαρρέει το πρωτεύον τύλιγμα ΥΤ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον βαθύ κορεσμό και την υπερθέρμανση του σιδήρου του Μ/Σ, την ανάπτυξη επικίνδυνα υψηλή τάσης στα άκρα του τυλίγματος ΧΤ (τάξης μεγέθους 1-10 kV), την καταστροφή του τυλίγματος ΧΤ, και τέλος βραχυκύκλωμα στο δίκτυο, στο σημείο που βρίσκεται ο Μ/Σ.

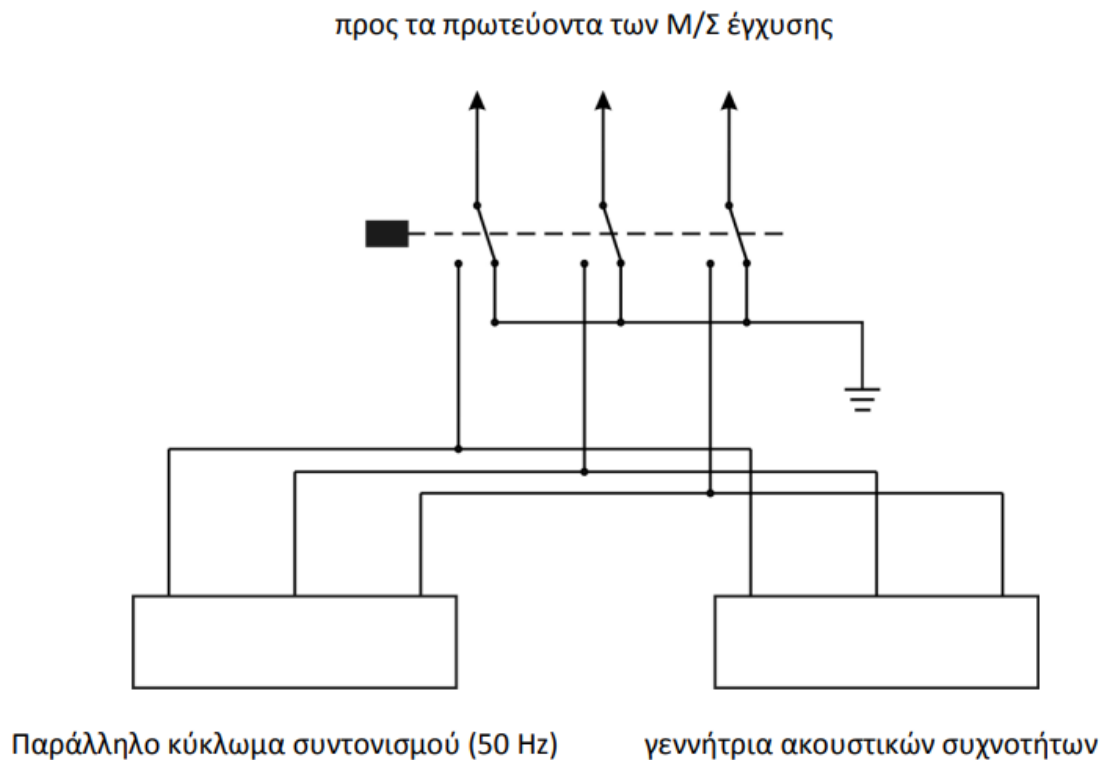
Για τους παραπάνω λόγους ο Μ/Σ ρεύματος πρέπει πάντοτε να βραχυκυκλώνεται, προτού αποσυνδεθεί το φορτίο στο δευτερεύον του.

1.8 Ηλεκτρονόμος έγχυσης και Παράλληλο κύκλωμα συντονισμού

Ο Ηλεκτρονόμος έγχυσης και το παράλληλο κύκλωμα συντονισμού συντελούν κυρίως στην προστασία του μετασχηματιστή εγχύσεως ο οποίος κινδυνεύει από ποικίλες καταστάσεις οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω.

1.8.1 Ηλεκτρονόμος έγχυσης

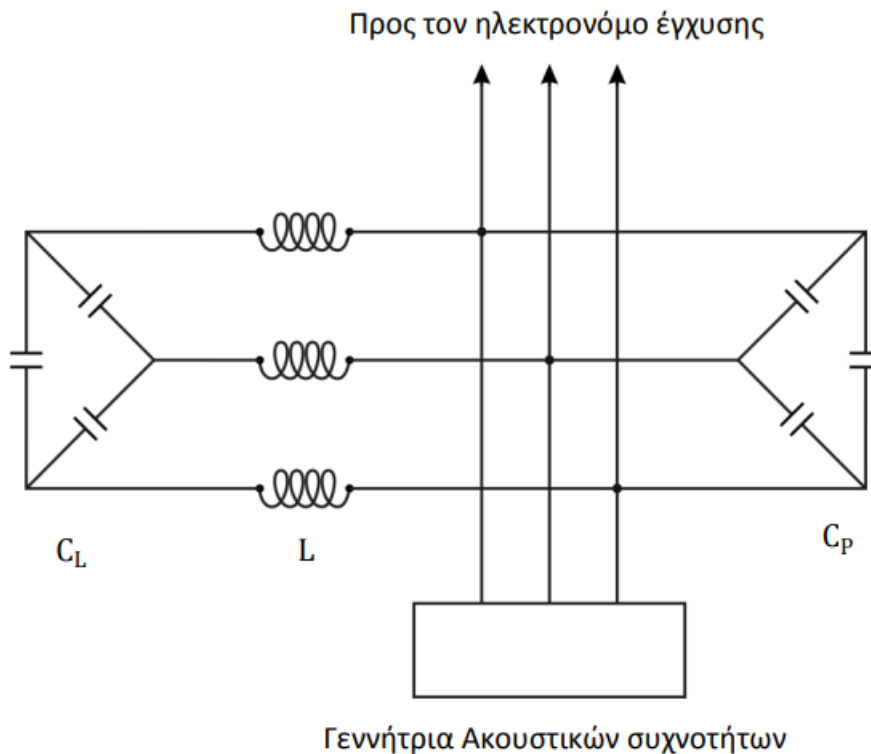
Ο Ηλεκτρονόμος έγχυσης του ΤΑΣ αποτελείται από δύο τριπολικούς τηλεχειριζόμενους διακόπτες και χρησιμοποιείται στην εν σειρά συνδεσμολογία του ΤΑΣ. Ο ένας τριπολικός διακόπτης εντάσσει το συντονισμένο κύκλωμα (50 Hz) στην είσοδο (πρωτεύων τυλίγμα) των Μ/Σ έγχυσης, ενώ ο δεύτερος, υλοποιεί ένα γειωμένο τριφασικό βραχυκύκλωμα όταν αφαιρείται το συντονισμένο κύκλωμα. Όταν δεν αποστέλλεται κάποιο μήνυμα από το σύστημα ΤΑΣ, ο ηλεκτρονόμος έγχυσης εφαρμόζει το γειωμένο τριφασικό βραχυκύκλωμα. Με τη ενεργοποίηση του παραπάνω ηλεκτρονόμου, αίρεται το γειωμένο τριφασικό βραχυκύκλωμα, και συνδέεται στα πρωτεύοντα τυλίγματα των Μ/Σ έγχυσης το συντονισμένο τριφασικό κύκλωμα καθώς και η γεννήτρια των σημάτων ακουστικών συχνοτήτων. Η παραπάνω διάταξη και ο τρόπος λειτουργίας της, εγγυάται ότι τα πρωτεύοντα των Μ/Σ έγχυσης θα είναι πάντα συνδεδεμένα με ένα κύκλωμα μηδενικής αντίστασης (βραχυκύκλωμα) ή πάρα πολύ χαμηλής αντίστασης (κύκλωμα συντονισμού), πράγμα που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι αναγκαίο για την λειτουργία κάθε Μ/Σ ρεύματος



Σχήμα 1 Λειτουργικό Διάγραμμα Ηλεκτρονόμου Έγχυσης [1]

1.8.2 Παράλληλο κύκλωμα συντονισμού

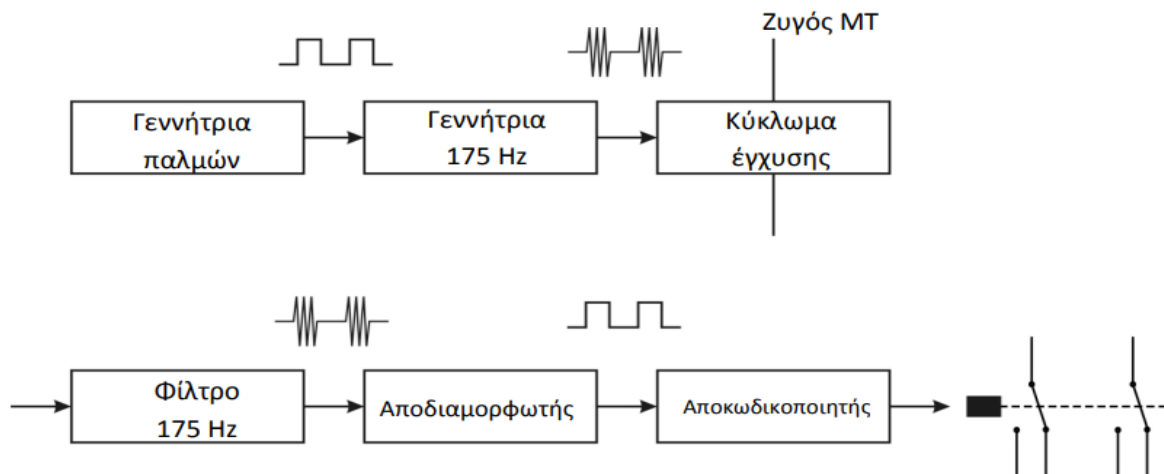
Το παράλληλο κύκλωμα συντονισμού χρησιμοποιείται όταν το σύστημα ΤΑΣ συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο. Αποτελείται από μία τριφασική διάταξη πυκνωτών και πηνίων με συχνότητα συντονισμού τα 50 Hz για την προσφορά της αναγκαίας χαμηλής αντίστασης στο πρωτεύον των Μ/Σ έγχυσης και από ένα τριφασικό κύκλωμα πυκνωτών το οποίο συμβάλει στην αντιστάθμιση της απορροφούμενης άεργου ισχύος στην ακουστική συχνότητα (175 Hz), από το συντονισμένο κύκλωμα των 50 Hz και από τους Μ/Σ έγχυσης.



Σχήμα 2 Παράλληλο Κύκλωμα Συντονισμού [1]

1.9 Αποστελλόμενα μηνύματα και κωδικοποίηση σημάτων

Η πληροφορία που μεταδίδεται με τα αποστελλόμενα μηνύματα του ΤΑΣ, είναι κωδικοποιημένη και αποστέλλεται σε μορφή παλμών. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχ. 3), η παλμοσειρά όταν βρίσκεται σε λογική κατάσταση 1, ενεργοποιεί την έγχυση της συχνότητας λειτουργίας του ΤΑΣ (175 Hz) στον ζυγό ΜΤ, ενώ όταν βρίσκεται σε λογική κατάσταση 0, η έγχυση διακόπτεται. Από την πλευρά του καταναλωτή, έχουμε τον δέκτη, ο οποίος περιέχει ένα ζωνοπερατό φίλτρο, έναν αποδιαμορφωτή και έναν αποκωδικοποιητή για την λήψη του σήματος, έτσι παράγει ένα αντίγραφο της αρχικής παλμοσειράς και στη συνέχεια δίνεται η εντολή.



Σχήμα 3 Σύστημα Διαμόρφωσης Παλμών ΤΑΣ [1]

Σχετικά με τον τρόπο κωδικοποίησης και διαμόρφωσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπορικά συστήματα, όπως τα PULSADIS, SEMAGYR και VERSACOM. Στην Ελλάδα, ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), χρησιμοποιεί το PULSADIS 40, η λειτουργία του οποίου θα αναλυθεί παρακάτω.

Η διαμόρφωση του αποστελλόμενου σήματος γίνεται με δυαδικούς παλμούς ακολουθώντας τον παρακάτω κώδικα. Αναφερόμαστε σε κώδικα 40 παλμών:

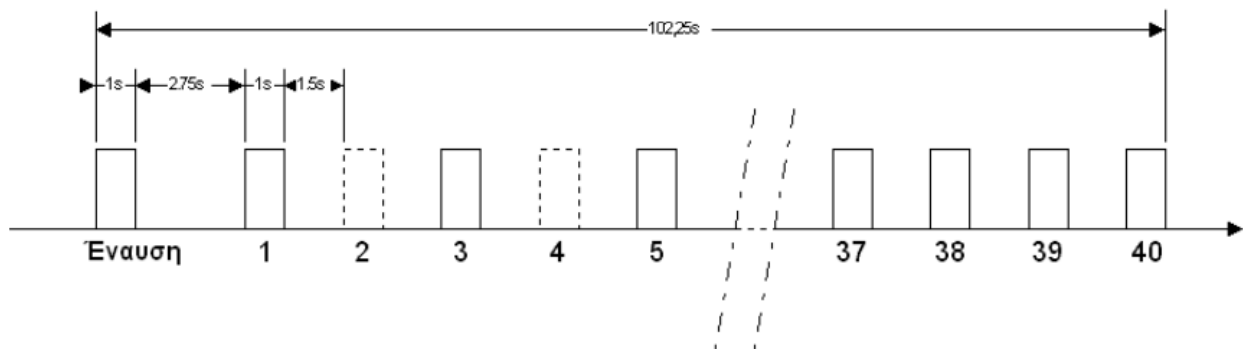
Ξεκινάει ένα σήμα του 1 δευτερολέπτου (1sec) το οποίο ακολουθείτε από μία παύση διάρκειας 2,75 δευτερολέπτων (2,75sec). Αυτός ο πρώτος παλμός είναι ο παλμός έναυσης. Ο παλμός έναυσης έχει τον ρόλο της ταυτόχρονης ενεργοποίησης του συστήματος παρακολούθησης και αποκωδικοποίησης του σήματος σε όλους τους δέκτες ΤΑΣ των καταναλωτών. Εάν οι χρονικές διάρκειες ταυτοποιηθούν σύμφωνα με τις προκαθορισμένες και αποθηκευμένες τιμές, οι δέκτες θα αναγνωρίσουν ότι πρόκειται για μια αποστολή του πομπού ΤΑΣ και όχι για κάποια τυχαία διαταραχή με παρόμοιο αρμονικό περιεχόμενο. Θα περιέλθουν λοιπόν σε κατάσταση λήψης της εντολής χειρισμού η οποία βρίσκεται διαμορφωμένη στα επόμενα bits της παλμοσειράς.

Στη συνέχεια έχουμε την αποστολή των παλμών εντολής των οποίων η χρονική διάρκειά τους αλλά και η διάρκεια των παύσεων μεταξύ τους μεταφέρουν την πληροφορία που επιθυμούμε. Συγκεκριμένα η ακολουθία εντολών περιλαμβάνει 40 εναλλαγές των 2,5 δευτερολέπτων (2,5sec) με συνολική διάρκεια 102,25 δευτερόλεπτα (102,25sec). Κάθε εναλλαγή αποτελείται από έναν παλμό διάρκειας 1 δευτερολέπτου (1sec) στον οποίο μπορεί να γίνεται ή όχι εκπομπή της φέρουσας συχνότητας των 175Hz, και από μία παύση του 1,5 δευτερολέπτου (1,5sec) η οποία χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό από την επόμενη εναλλαγή. Έτσι δημιουργείται ένας κώδικας. Αφού ληφθεί, ελέγχεται από τον επεξεργαστή του δέκτη, ο οποίος τον συγκρίνει με τον αποθηκευμένο κώδικα λειτουργίας και προχωρά στην εκτελεστή των εντολών δηλαδή στην ενεργοποίηση του ρελέ.

Μια άλλη ακολουθία εντολών κατασκευάζεται για να δοθεί το σήμα της αντιστροφής του ρελέ στην αρχική του κατάσταση. Αν καμία από τις δυο παραπάνω ακολουθίες παλμών δεν ανιχνευτεί από τον δέκτη, παραμένει σε όποια κατάσταση βρίσκεται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι για μία λειτουργία ενός δέκτη ΤΑΣ όπως για παράδειγμα η αλλαγή σε νυκτερινό τιμολόγιο και αντιστρόφως, χρειάζονται 2 διαφορετικοί κώδικες. Ένας για την ενεργοποίηση του μετρητή και ένας άλλος για την απενεργοποίησή του.

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται ονομάζεται κώδικας χρονικής διακοπής και χαρακτηρίζεται από τον αριθμό των παλμών, την χρονική τους διάρκεια και την διάρκεια των χρονικών διακοπών μεταξύ των διαδοχικών παλμών. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μιας ακολουθίας 40 εναλλαγών στην οποία λείπουν δύο παλμοί, ο δεύτερος και ο τέταρτος.



Σχήμα 4 Ακολουθία Παλμών για την Δημιουργία Εντολής [2]

Καταλαβαίνουμε, ότι για να ολοκληρωθεί η αποκωδικοποίηση όλης της διαδικασίας απαιτείται η ανίχνευση του σήματος των 175 Hz, ο εντοπισμός του παλμού έναυσης, ο καθορισμός των στιγμών παρουσίας των αναμενόμενων εναλλαγών, η παρατήρηση της παρουσίας ή απουσίας τους και τέλος η εκτέλεση των ενεργειών ως αποτέλεσμα αυτών.

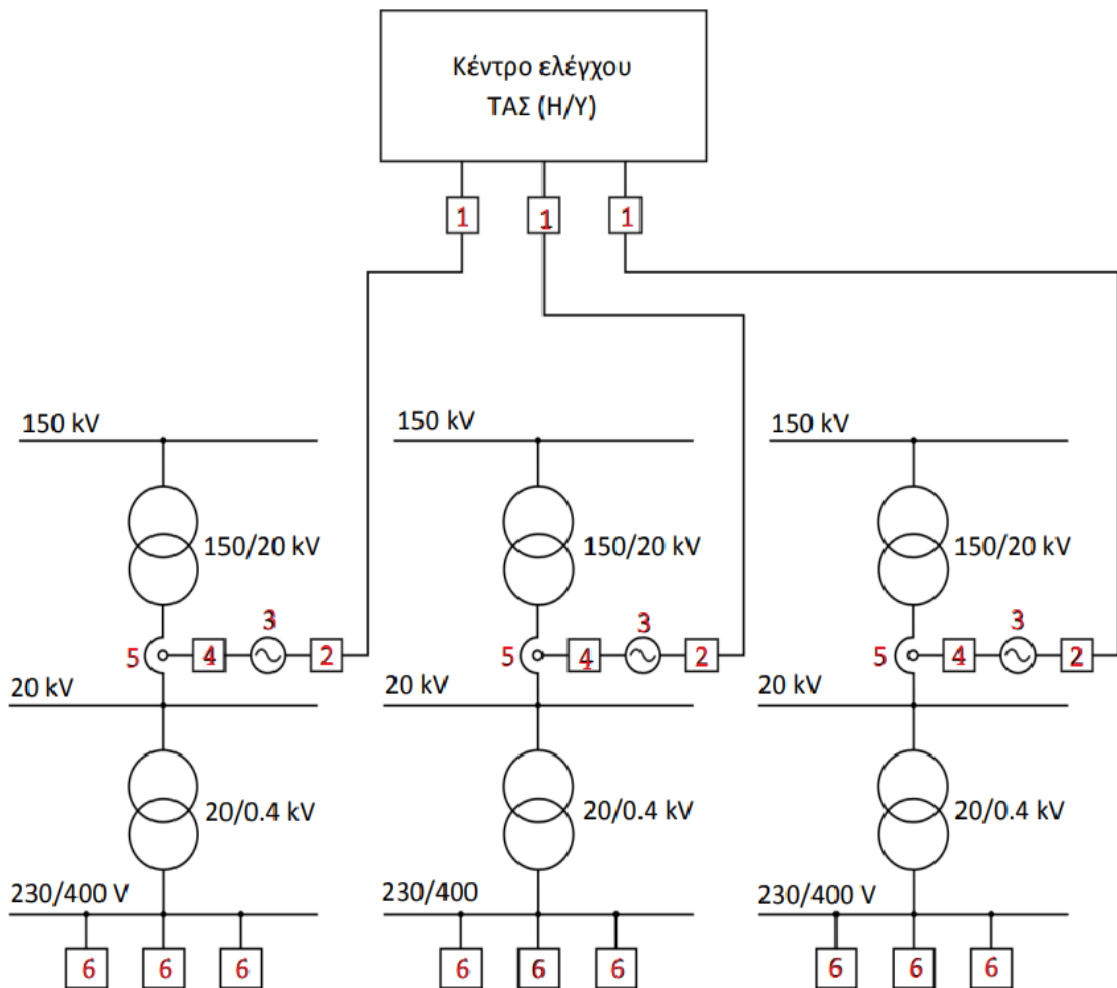
Συνοψίζοντας το σύστημα PULSADIS 40 έχει την δυνατότητα πολλών συνδυασμών εντολών τροποποιώντας τα διαστήματα μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών, με την προϋπόθεση ότι αποθηκεύεται στη μνήμη κάθε επεξεργαστή η αντιστοιχία σειράς παλμών και είδος εντολής. Ένα ζεύγος των εντολών αυτών θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς στην εφαρμογή των δεκτών ΤΑΣ για τον έλεγχο της ισχύς εξόδου Φ/Β, που θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια

1.9.1 Παράδειγμα λειτουργίας λήψης παλμοσειράς από δέκτη

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 4, όταν σε μια καθορισμένη ώρα της ημέρας αρχίζει να εγχέεται ένα σήμα για 1 δευτερόλεπτο, ακολουθούμενο από 2,75 δευτερόλεπτα σιωπής, όλοι οι δέκτες του πλέγματος το αντιλαμβάνονται, ενεργοποιούνται και αναμένουν την ανάγνωση της παλμοσειράς. Στο τέλος των 2,75 δευτερολέπτων σιωπής, οι δέκτες αρχίζουν να μετρούν χρονικές περιόδους 1 δευτερολέπτου ακολουθούμενες από σιωπή 1,5 δευτερολέπτου. Εάν ένας δέκτης ήταν προρυθμισμένος να αναγνωρίζει την δεύτερη περίοδο μετάδοσης, ως ενέργεια «ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ» για αυτήν, τότε και εάν η μεταδιδόμενη παλμοσειρά περιλαμβάνει μια μετάδοση στην δεύτερη περίοδο, ο δέκτης θα αναγνωρίσει, π.χ. ότι πρέπει να κλείσει ένα ρελέ, και να ανάψει τα φώτα της πόλης. Όταν το πρωί, μία άλλη παλμοσειρά περιλαμβάνει ένα σήμα μετάδοσης στην τέταρτη χρονική περίοδο, ο ίδιος δέκτης, όπως προκαθορίζεται, θα αναγνωρίσει ότι π.χ. πρέπει να απενεργοποιήσει το ρελέ και έτσι να σβήσει τα φώτα της πόλης.

1.10 Παράδειγμα εφαρμογής ενός εγκατεστημένου συστήματος

Η γενική περιγραφή ενός εγκατεστημένου συστήματος ΤΑΣ έγχυσης σειράς σε έναν τυπικό υποσταθμό ΜΤ, αποτυπώνεται στο Σχήμα 5 παρακάτω.



Σχήμα 5 Σύστημα ΤΑΣ με Έγχυση Σειράς σε Υποσταθμό ΜΤ [1]

1. Αποστολή παλμοσειράς από κέντρο ελέγχου
2. Λήψη παλμοσειράς
3. Γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων
4. Ηλεκτρονόμος έγχυσης και συντονισμένο κύκλωμα
5. Μ/Σ έγχυσης
6. Δέκτης ΤΑΣ

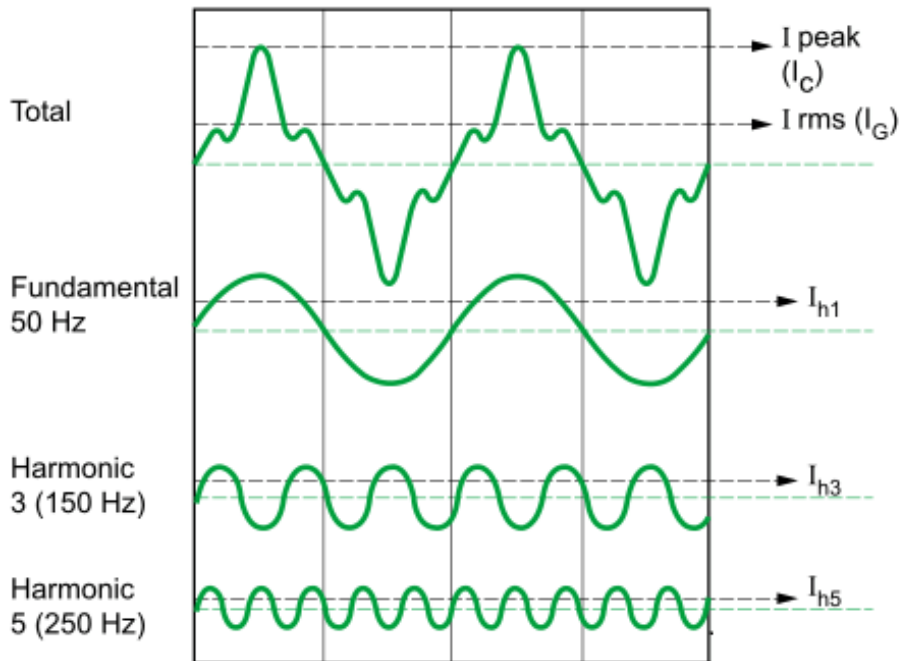
Κεφάλαιο 2: Μαθηματική Ανάλυση Λειτουργίας του συστήματος ΤΑΣ

2.1 Εισαγωγή - Επιλογή της συχνότητας 175 Hz

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το κάτω όριο συχνότητας λειτουργίας του ΤΑΣ είναι οι περιοχές συχνοτήτων λίγο πάνω από την 3η αρμονική του δικτύου ($> 150\text{Hz}$) έτσι ώστε να απομονώνεται επαρκώς το σήμα των 50 Hz στον κλάδο που βρίσκεται ο πομπός του ΤΑΣ. Επίσης για τους λόγους που αναλύθηκαν μακράν προηγουμένως, το άνω όριο περιορίζεται σε τιμές κάτω από τα 300 Hz. Έτσι το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων είναι από 150 μέχρι 300 Hz. Σε αυτό το φάσμα υπάρχουν η 3η και η 5η αρμονική οι οποίες όπως θα δούμε παρακάτω είναι ανεπιθύμητες στο δίκτυο, καθώς επίσης και η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος ΤΑΣ (175 Hz) η οποία βρίσκεται ενδιάμεσα από τις αρμονικές. Τέτοιες συχνότητες χαρακτηρίζονται ως Interharmonics [10].

2.2 Αρμονικές

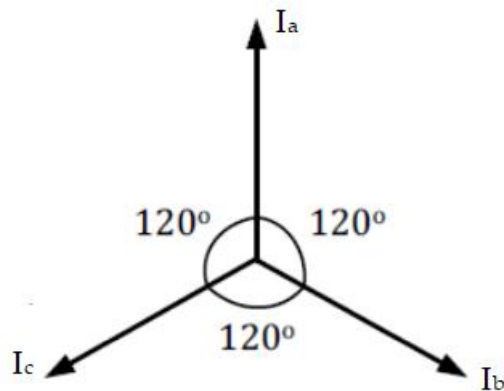
Οι αρμονικές αποτελούν ημιτονοειδείς συνιστώσες του εναλλασσομένου ρεύματος, διαφορετικής συχνότητας, οι οποίες παραμορφώνουν την καθαρή κυματομορφή του. Τα προηγούμενα χρόνια τα πιο πολλά φορτία ήταν γραμμικά, επαγωγικοί κινητήρες, αντιστάσεις θέρμανσης, λάμπες πυρακτώσεως και έτσι η κυματομορφή της τάσης ήταν ίδια με αυτή του ρεύματος. Σήμερα όμως χρησιμοποιούνται ευρέως, φορτία μη γραμμικά τα οποία όταν συνδέεται με μία πηγή τάσης ημιτονοειδούς μορφής άγουν ρεύμα μη ημιτονοειδούς μορφής. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μόλυνση του δικτύου με αρμονικές, με συνιστώσες του ρεύματος δηλαδή σε συχνότητες πολλαπλάσιες των 50 Hz, οι οποίες διαρρέουν τα καλώδια τροφοδοσίας των φορτίων και επηρεάζουν ολόκληρη την ηλεκτρική εγκατάσταση. Τα προβλήματα τα δημιουργούν συνήθως οι 3^η, 5^η και 7^η αρμονική.



Σχήμα 6 1^η, 3^η, 5^η Αρμονική και Συνολική Παραμόρφωση [11]

Σε ένα τριφασικό σύστημα, τα ρεύματα των γραμμών (φάσεων) τροφοδοσίας είναι:

$$i_a(t) = I \sin(\omega t) \quad i_b(t) = I \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad i_c(t) = I \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$



Σχήμα 7 Ρεύματα γραμμών σε συμμετρικά τριφασικά φορτία

Στην περίπτωση μη συμμετρικών φορτίων, το άθροισμα των τριών στιγμιαίων τιμών του ρεύματος δεν ισούται με μηδέν. Έτσι ο ουδέτερος αγωγός διαρρέεται από ρεύμα και δεν μπορεί να καταργηθεί. Λόγω της διαφοράς φάσης, το άθροισμα των 3 ρευμάτων στην χειρότερη περίπτωση ασυμμετρίας, είναι ίσο με το μέγιστο ρεύμα του ενός αγωγού.

Στις τρεις υποενότητες που ακολουθούν, πραγματοποιείται ανάλυση των ρευμάτων της κάθε αρμονικής που θα εξετάσουμε, και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

2.2.1 1^η Αρμονική

Στην περίπτωση της 1ης αρμονικής (50 Hz), που είναι η συχνότητα λειτουργίας του δικτύου το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων στην περίπτωση συμμετρικών φορτίων ισούται με 0. Άρα ο ουδέτερος αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύμα και έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα υπερφόρτωσης του.

$$i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) = 0$$

2.2.1 3^η Αρμονική

Στην περίπτωση της 3ης αρμονικής (150 Hz), τα ρεύματα των φάσεων έχουν ως εξής:

$$i_a(t) = I \sin 3(\omega t) = I \sin(3\omega t)$$

$$i_b(t) = I \sin 3\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = I \sin(3\omega t + 2\pi)$$

$$i_c(t) = I \sin 3\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = I \sin(3\omega t - 2\pi)$$

Το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων δίνει το εξής αποτέλεσμα:

$$\begin{aligned} i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) &= I \sin(3\omega t) + I \sin(3\omega t + 2\pi) + I \sin(3\omega t - 2\pi) = \\ &= I \sin(3\omega t) + I[\sin(3\omega t) \cdot \cos(2\pi) - \sin(2\pi) \cdot \cos(3\omega t)] \\ &\quad + I[\sin(3\omega t) \cdot \cos(2\pi) + \sin(2\pi) \cdot \cos(3\omega t)] = \\ &= I \sin(3\omega t) + I[\sin(3\omega t) - 0] + I[\sin(3\omega t) + 0] = \\ &= I \sin(3\omega t) + I \sin(3\omega t) + I \sin(3\omega t) = 3 \cdot I \sin(3\omega t) \end{aligned}$$

Το πρόβλημα που δημιουργείται εδώ είναι πως ο ουδέτερος αγωγός υπερφορτίζεται, καθώς το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων που τον διαρρέουν δεν είναι πλέον ίσο με μηδέν(περίπτωση συμμετρικών φορτίων), με αποτέλεσμα να διαρρέεται από ρεύμα. Επίσης στην περίπτωση μη συμμετρικών φορτίων, από την στιγμή που ο ουδέτερος αγωγός διαρρέεται από ρεύμα σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό που είχαμε εκτιμήσει, ζεσταίνεται και η μόνωσή του καταπονείται και φθείρεται γρηγορότερα. Αυτό μας οδηγεί στην ανάγκη της αύξησης της

διατομής του ουδετέρου και κατά συνέπεια στην αύξηση του κόστους εγκατάστασης ενός συστήματος.

2.2.2 5^η Αρμονική

Στην περίπτωση της 5ης αρμονικής (250 Hz), τα ρεύματα των φάσεων έχουν ως εξής:

$$i_a(t) = I \sin 5(\omega t) = I \sin(5\omega t)$$

$$i_b(t) = I \sin 5\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = I \sin\left(5\omega t + \frac{10\pi}{3}\right) = I \sin\left(5\omega t + \frac{9\pi}{3} + \frac{\pi}{3}\right) = I \sin\left(5\omega t + \left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right)\right)$$

$$i_c(t) = I \sin 5\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = I \sin\left(5\omega t - \frac{10\pi}{3}\right) = I \sin\left(5\omega t - \left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right)\right)$$

Το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων δίνει το εξής αποτέλεσμα:

$$\begin{aligned}
 i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) &= I \sin(5\omega t) + I \sin\left(5\omega t + \left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right)\right) + I \sin\left(5\omega t - \left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right)\right) = \\
 &= I \sin(5\omega t) + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \cos\left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right) + \sin\left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos(5\omega t) \right] \\
 &\quad + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \cos\left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right) - \sin\left(3\pi + \frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos(5\omega t) \right] = \\
 &= I \sin(5\omega t) + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \left(\cos(3\pi) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) - \sin(3\pi) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \right) \right. \\
 &\quad \left. + \left(\sin(3\pi) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos(3\pi) \right) \cdot \cos(5\omega t) \right] \\
 &\quad + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \left(\cos(3\pi) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) - \sin(3\pi) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \right) \right. \\
 &\quad \left. - \left(\sin(3\pi) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos(3\pi) \right) \cdot \cos(5\omega t) \right] = \\
 &= I \sin(5\omega t) + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \left((-1) \cdot \frac{1}{2} - 0 \right) + \left(0 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (-1) \right) \cdot \cos(5\omega t) \right] \\
 &\quad + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \left((-1) \cdot \frac{1}{2} - 0 \right) - \left(0 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (-1) \cdot \cos(5\omega t) \right) \right] = \\
 &= I \sin(5\omega t) + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) + \left(\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \cos(5\omega t) \right) \right] \\
 &\quad + I \left[\sin(5\omega t) \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) - \left(\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \cos(5\omega t) \right) \right] = \\
 &= I \sin(5\omega t) + I \left[-\frac{\sin(5\omega t)}{2} - \frac{\sqrt{3} \cos(5\omega t)}{2} \right] + I \left[-\frac{\sin(5\omega t)}{2} + \frac{\sqrt{3} \cos(5\omega t)}{2} \right] = \\
 &= I \sin(5\omega t) - \frac{I \sin(5\omega t)}{2} - \frac{I\sqrt{3} \cos(5\omega t)}{2} - \frac{I \sin(5\omega t)}{2} + \frac{I\sqrt{3} \cos(5\omega t)}{2} = \\
 &= I \sin(5\omega t) - \frac{I \sin(5\omega t)}{2} - \frac{I \sin(5\omega t)}{2} = \\
 &= I \sin(5\omega t) - \frac{2I \sin(5\omega t)}{2} = \\
 &= I \sin(5\omega t) - I \sin(5\omega t) = 0
 \end{aligned}$$

Στην περίπτωση αυτή, το πρόβλημα δεν είναι η υπερφόρτωση του ουδετέρου, μιας και το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων είναι 0, αλλά η αντιστροφή ακολουθία των φάσεων. Η ακολουθία φάσεων, A B C, είναι η σειρά των φάσεων όπου το πολυφασικό σύστημα επιτυγχάνει την μέγιστη τιμή του. Στην περίπτωση της 5ης αρμονικής οι ακολουθία αυτή γίνεται C B A, προκαλώντας πληθώρα προβλημάτων. Ένα από τα πιο σημαντικά είναι το πρόβλημα που δημιουργεί στους κινητήρες καθώς η αντιστροφή της φάσεως εξασθενεί το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που απαιτείται από τους κινητήρες, και ειδικά τους κινητήρες επαγωγής, αναγκάζοντάς τους να παράγουν λιγότερη μηχανική ισχύ.

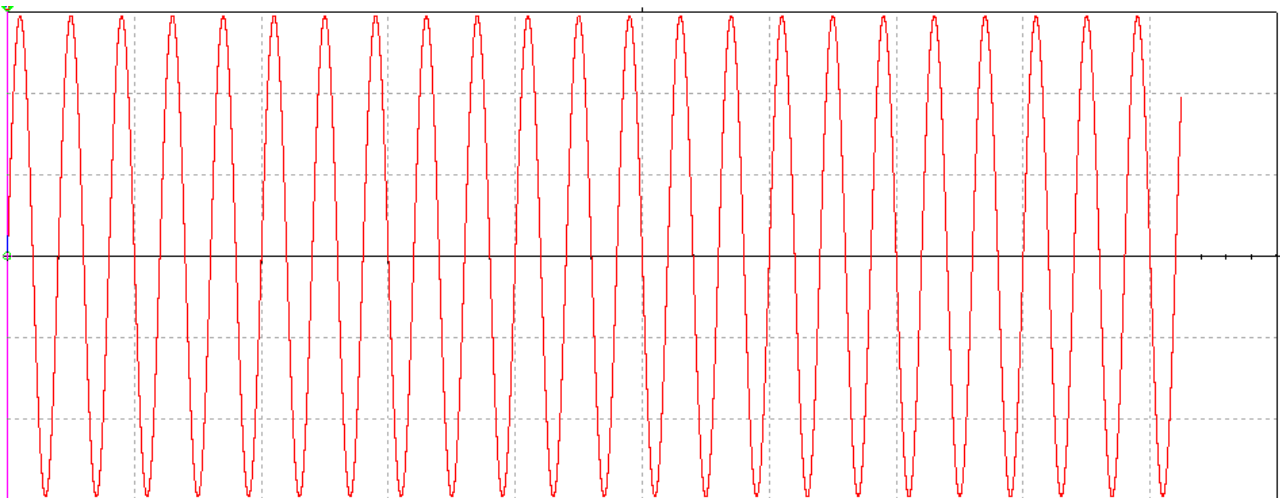
2.2 Ενδιάμεση αρμονική (interharmonic) 175 Hz

Όσον αφορά την συχνότητα 175 Hz, που είναι και συχνότητα λειτουργίας του συστήματος ΤΑΣ, παρατηρούμε ότι δεν επηρεάζει σημαντικά τον ουδέτερο αγωγό και δεν προκύπτουν προβλήματα αντιστροφής των φάσεων. Επίσης είναι μια συχνότητα να μεν κοντά στην συχνότητα 50 Hz του δικτύου αλλά παρέχει και μια ικανή φασματική απόσταση έτσι ώστε να απομονώνεται επαρκώς το σήμα των 50 Hz στον κλάδο που βρίσκεται ο πομπός του ΤΑΣ .

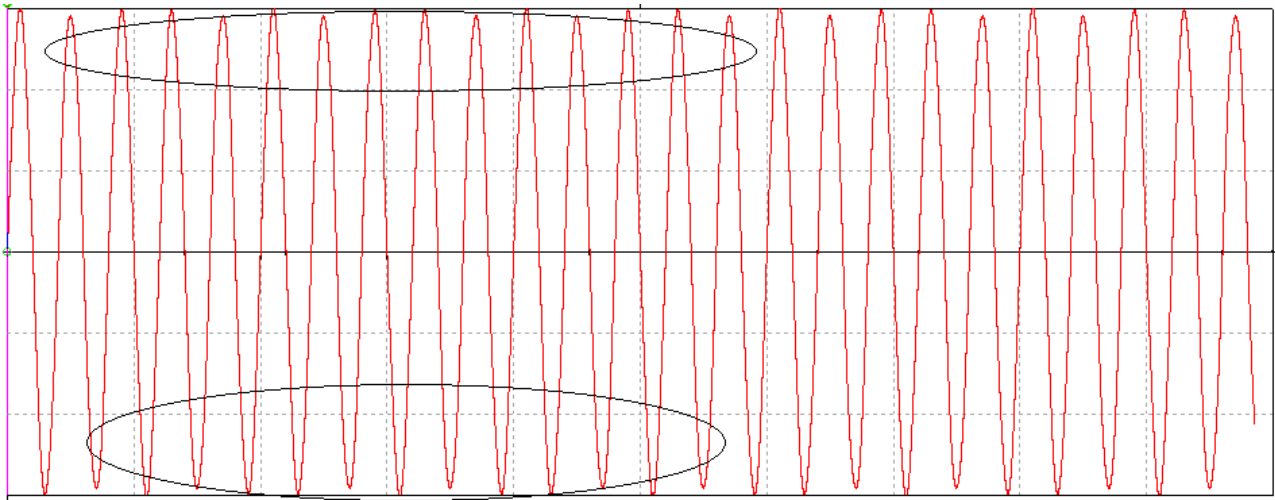
2.3 Συνέλιξη σημάτων και φασματική απομόνωση πληροφορίας

Η συνέλιξη δύο σημάτων, στην περίπτωση μας των 50 και 175 Hz, καθώς και η φασματική απομόνωση του δευτέρου από το πρώτο, γίνεται με την βοήθεια του μετασχηματισμού Fourier και συγκεκριμένα με την εφαρμογή του αλγορίθμου Fast Fourier Transform (FFT). Δραστηριότητα αναμένεται μόνο στα 175 Hz αφού έχει αδρανοποιηθεί η πηγή των 50 Hz, με την βοήθεια ενός ζωνοπερατού φίλτρου, οπότε εστιάζοντας στην κατάλληλη περιοχή μπορεί να καταγραφεί το πλάτος (peak) της τάσης σε αυτή την συχνότητα.

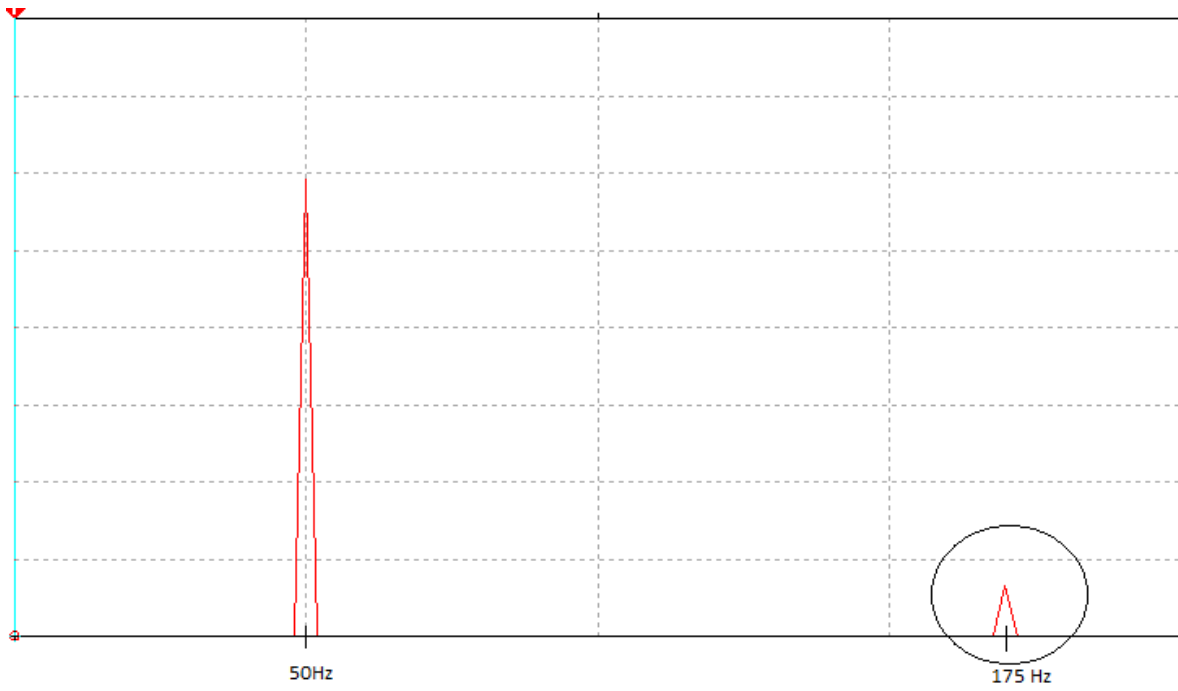
Ακολουθούν τρία σχήματα, που απεικονίζουν την κυματομορφή της τάσης στην συχνότητα των 50 Hz (σχ. 8), την κυματομορφή της τάσης όταν το σήμα της γεννήτριας ακουστικών συχνοτήτων με τάση 5V και συχνότητα 175 Hz υπερτίθεται στην προηγούμενη 'καθαρή' κυματομορφή (σχ. 9) και η ένα διάγραμμα με τα πλάτη της φασικής τάσης των δύο σημάτων στο πεδίο της συχνότητας αντίστοιχα (σχ.10).



Σχήμα 8 Κυματομορφή Τάσης στα 50 Hz



Σχήμα 9 Κυματομορφή Τάσης κατά την διάρκεια εκπομπής του σήματος (175 Hz)



Σχήμα 10 Πλάτος Φασικής Τάσης στο πεδίο της συχνότητας

Κεφάλαιο 3: Χωρητικότητα ΑΠΕ κατανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο

3.1 Εισαγωγή

Όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) έχουν δεσμευτεί για αύξηση του μεριδίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες ωστόσο είναι κυμαινόμενες και αβέβαιες. Επομένως, σε πολλές χώρες της ΕΕ, οι νόμοι επιτρέπουν προτεραιότητα για πρόσβαση στο δίκτυο για ΑΠΕ. Ωστόσο, υπάρχουν μερικοί γνωστοί δείκτες ποιότητας ισχύος δικτύου, οι οποίοι περιορίζουν τη χωρητικότητα των ΑΠΕ κατανεμημένης παραγωγής σε οποιαδήποτε γραμμή δικτύου μέσης τάσης (ΜΤ).

Επιπλέον, πολλοί Διαχειριστές Δικτύων Διανομής, έχουν επενδύσει για να διασταυρώσουν γραμμές δικτύου (διασυνδεδεμένες γραμμές) μεταξύ δύο κύριων γραμμών και έχουν επίσης επενδύσει σε απομακρυσμένους ελεγχόμενους διακόπτες κυκλώματος στις άκρες, προς την προσπάθεια τους να μην απενεργοποιηθούν σημαντικά τμήματα μιας γραμμής δικτύου, κατά την επισκευή ή εργασιών συντήρησης και τέλος να συμμορφώνονται με τους δείκτες SAIDI και SAIFI που δείχνουν την μέση ετήσια διάρκεια διακοπών και την μέση ετήσια συχνότητα διακοπών αντίστοιχα. Μετά την ένταξη των ΑΠΕ στο δίκτυο, ένα βασικό πρόβλημα με μεγάλη επίδραση στη λειτουργία του δικτύου εντοπίστηκε. Οι διασυνδεδεμένες γραμμές επηρεάστηκαν λόγω υψηλής διείσδυσης των ΑΠΕ, πράγμα που οδηγεί σε προβλήματα που θα εξετάσουμε στις παρακάτω ενότητες

3.2 Τεχνικά κριτήρια και προϋποθέσεις για τη σύνδεση σταθμών παραγωγής στο Δίκτυο

Η δυνατότητα και ο τρόπος σύνδεσης σταθμών παραγωγής στο Δίκτυο αξιολογούνται από τον Διαχειριστή του Δικτύου με βάση τα ακόλουθα κριτήρια και προϋποθέσεις:

- Επάρκεια των στοιχείων του Δικτύου, κατά κύριο λόγο γραμμών και μετασχηματιστών, για τη διακίνηση της μέγιστης αναμενόμενης ισχύος κανονικής λειτουργίας, όπως αυτή διαμορφώνεται μετά τη σύνδεση του υπό εξέταση σταθμού, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των Χρηστών που εξυπηρετούνται από τα συγκεκριμένα στοιχεία του Δικτύου και τις αναμενόμενες καταστάσεις λειτουργίας του Δικτύου και του υπό εξέταση σταθμού.
- Συμβολή του σταθμού στη στάθμη βραχυκύκλωσης του Δικτύου, η οποία δεν μπορεί να υπερβαίνει τη στάθμη σχεδιασμού, συνεκτιμώντας τη συμβολή του ανάντη ηλεκτρικού συστήματος και όλων των Χρηστών που συνδέονται στο εξεταζόμενο τμήμα του Δικτύου.
- Προκαλούμενο επίπεδο διαταραχών της Ποιότητας Τάσης του Δικτύου από τη σύνδεση και λειτουργία του σταθμού, το οποίο θα πρέπει να υπολείπεται των ορίων σχεδιασμού. [8]

3.3 Δείκτες ποιότητας ισχύος δικτύου

Όπως προαναφέραμε, υπάρχουν μερικοί δείκτες ποιότητας ισχύος δικτύου, οι οποίοι περιορίζουν τη χωρητικότητα των ΑΠΕ κατανεμημένης παραγωγής σε οποιαδήποτε γραμμή δικτύου μέσης τάσης. Αναφορικά:

- Ο πρώτος δείκτης, έχει να κάνει με τη θερμική ικανότητα των γραμμών (αγωγών, εναέριες γραμμές ή υπόγεια καλώδια).
- Ένας άλλος περιορισμός έχει να κάνει με τα κάτω και τα πάνω όρια της τάσης του δικτύου.
- Υπάρχουν επίσης όρια διακύμανσης τάσης για ένα πλήρες έτος λειτουργίας.

Οι διασυνδεδεμένες γραμμές που οι διαχειριστές των δικτύων διανομής έχουν κατασκευάσει, επηρεάστηκαν λόγω της μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις οι παραπάνω δείκτες ποιότητας ισχύος που αναφέρθηκαν παραβιάστηκαν.

3.4 Θερμική ικανότητα των γραμμών

Γενικά οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις των καλωδίων ή γυμνών αγωγών εξαρτώνται από την επιτρεπόμενη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας των αγωγών. Η μέγιστη παραγωγή όλων των ΑΠΕ μιας γραμμής επιτρέπεται να φτάσει έως και το 80% του θερμικού ορίου μιας γραμμής. Όταν μεταφέρεται το φορτίο και η κατανεμημένη παραγωγή σε άλλη γραμμή, μέσω του διασυνδεδεμένων γραμμών, ο υποσταθμός τροφοδοτεί στην πραγματικότητα δύο γραμμές σε σειρά. Έτσι, σε περίπτωση χαμηλής κατανάλωσης και μέγιστης παραγωγικότητας των ΑΠΕ των δύο

γραμμών, όπως για παράδειγμα η χρονική περίοδο ενός κυριακάτικου γεύματος, η νέα γραμμή θα αναγκαστεί να λειτουργήσει με αντίστροφα ρεύματα κοντά ή πάνω από τη θερμική της ικανότητα ή ακόμη και στο 120 % της χωρητικότητάς της (σύνδεση σε σειρά). Αν υπάρχει μια τέτοια δυσάρεστη κατάσταση, τότε η τροφοδοσία της γραμμής θα σταματήσει.

Η υπέρβαση της επιτρεπόμενης φόρτισης (υπερφόρτιση) των καλωδίων μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση των χαρακτηριστικών της μόνωσης τους και πρόωρη γήρανση τους. Η υπερφόρτιση των γυμνών αγωγών αντίστοιχα μπορεί να προκαλέσει μείωση της μηχανικής αντοχής τους. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει ο αγωγός στην κανονική λειτουργία να έχει φορτίο μεγαλύτερο του επιτρεπόμενου θερμικού ορίου.

3.5 Προβλήματα λόγω υπέρβασης των ορίων Τάσεως

Μια βασική υποχρέωση των Διαχειριστών Δικτύων Διανομής είναι να τροφοδοτούν όλους τους καταναλωτές χαμηλής και μέσης τάσης με σταθερή τάση και συχνότητα, που κυμαίνονται σε περιορισμένα όρια. Για τον λόγο αυτό πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα όρια τάσης στις γραμμές μεταφοράς βρίσκονται εντός αυτών των ορίων.

3.5.1 Επιπτώσεις στην πλευρά των παραγωγών

Για τη σύνδεση εγκαταστάσεων Χρήστη στο Δίκτυο είναι υποχρεωτικό να εγκαθίστανται μέσα ζεύξεως και προστασίας βάσει των διατάξεων και όπως εξειδικεύεται στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης στο Δίκτυο ή στις σχετικές Οδηγίες Εφαρμογής. Έτσι στις εγκαταστάσεις των παραγωγών ΜΤ και των παραγωγών ΥΤ εγκαθίσταται μέσο διακοπής και εξασφαλισμένης απομόνωσης, στο οποίο θα πρέπει με μέριμνα του παραγωγού να διασφαλίζεται ότι έχει πρόσβαση ο Διαχειριστής του Δικτύου, ενώ στις εγκαταστάσεις των παραγωγών ΧΤ παρόμοιο μέσο μπορεί να εγκαθίσταται κατά περίπτωση με βάση τα οριζόμενα στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης στο Δίκτυο.

Επίσης σε όλες τις περιπτώσεις σύνδεσης εγκαταστάσεων Χρηστών με το Δίκτυο, εγκαθίσταται απαραίτητως κατάλληλο μέσο προστασίας υπερεντάσεως, το οποίο διασφαλίζει την απομόνωση της εγκατάστασης του Χρήστη σε περίπτωση σφάλματος σε αυτή. Ακόμα πρέπει να διασφαλίζεται ότι σε περίπτωση οποιουδήποτε σφάλματος εντός της εγκατάστασης του Χρήστη, αυτά τα μέσα προστασίας, λειτουργούν και προκαλούν την απομόνωση των εγκαταστάσεων από το Δίκτυο πριν από τη λειτουργία των προστασιών του Δικτύου.[8]

Ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα στις διασταυρωμένες γραμμές, είναι το επίπεδο της τάση κατά μήκος της «νέας γραμμής» που αποτελείται πλέον από δύο κύριες γραμμές σε σειρά. Είναι βέβαιο ότι στο Σημείο Σύνδεσης Δικτύου πολλών Φ/Β εγκαταστάσεων, η τιμή τάσης rms θα φτάσει ή θα υπερβεί τα ανώτερα όρια τάσης και τα ρελέ προστασίας θα απενεργοποιήσουν πάρα πολλές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Μετά από τρία λεπτά (περίοδος συγχρονισμού στην Ελλάδα), εάν υπάρχει επαναφορά τάσης εντός των ορίων, η Φ/Β εγκατάσταση θα παρέχει ενέργεια ξανά στο δίκτυο, αυξάνοντας την τιμή της τάσης στο Σημείο Σύνδεσης του στο Δίκτυο και πάλι. Εάν αυτή η αύξηση υπερβεί το ανώτατο όριο, θα αποσυνδεθεί, και αυτή η κατάσταση θα επαναληφθεί ξανά και ξανά, σε πολλές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις της «νέας γραμμής» .

3.5.2 Επιπτώσεις στην πλευρά των καταναλωτών

Μια τρίτη δυσάρεστη κατάσταση, μπορεί να συμβεί στην μέση τιμή τάσης στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Το ανώτερο επίπεδο της τάσης στο σημείο της κοινής ζεύξης (Point of Common Coupling)(PCC) μιας μονάδας Κατανεμημένης Παραγωγής, έχει ρυθμιστεί στα 253 V στη χαμηλή τάση (ΧΤ) δικτύου και στα 22 kV στις γραμμές μέσης τάσης (ΜΤ). Αν υπάρξει αύξηση της παραγωγής ενέργειας των μονάδων Κατανεμημένης Παραγωγής στο τέλος της «νέας γραμμής», και υπάρχουν καταναλωτές στην ίδια «γειτονιά», αυτοί οι καταναλωτές θα αντιμετωπίσουν αυξημένα επίπεδα τάσης , ειδικά εάν οι μονάδες Κατανεμημένης Παραγωγής, είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο ΧΤ (πχ. πάρα πολλοί φωτοβολταϊκοί σταθμοί οροφής).

Κεφάλαιο 4: Το σύστημα ΤΑΣ ως λύση των επιπτώσεων των διασυνδεδεμένων γραμμών

4.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε την μεθοδολογία για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των διασυνδεδεμένων γραμμών, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3, χρησιμοποιώντας το σύστημα τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας. Κύριος στόχος είναι η ανάπτυξη και η προσομοίωση εύκολα σε εφαρμογή τόσο τεχνικά όσο και νομικά, οικονομικά αποδοτικές λύσεις που χρησιμοποιούν το ήδη υπάρχον σύστημα ΤΑΣ των Διαχειριστών, προκειμένου να εκτελούνται λειτουργίες στο δίκτυο διανομής χωρίς να ανησυχούν για παραβίαση των παραμέτρων του δικτύου και των δεικτών αξιοπιστίας, τόσο των καταναλωτών όσο και των παραγωγών. Επίσης ο απαιτούμενος εξοπλισμός και η διαδικασία εγκατάστασης, προγραμματισμού και δοκιμής του συστήματος ΤΑΣ στο πραγματικό δίκτυο παρουσιάζεται και συγκρίνεται σε σχέση με άλλες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν τα ίδια προβλήματα.

4.2 Περιορισμός της ενεργού ισχύος εξόδου σταθμών παραγωγής

Ο Διαχειριστής του Δικτύου δύναται να επιβάλλει περιορισμούς στην ενεργό ισχύ εξόδου των σταθμών παραγωγής που συνδέονται στο Δίκτυο ή και διακοπή της λειτουργίας τους, στις ακόλουθες περιπτώσεις:

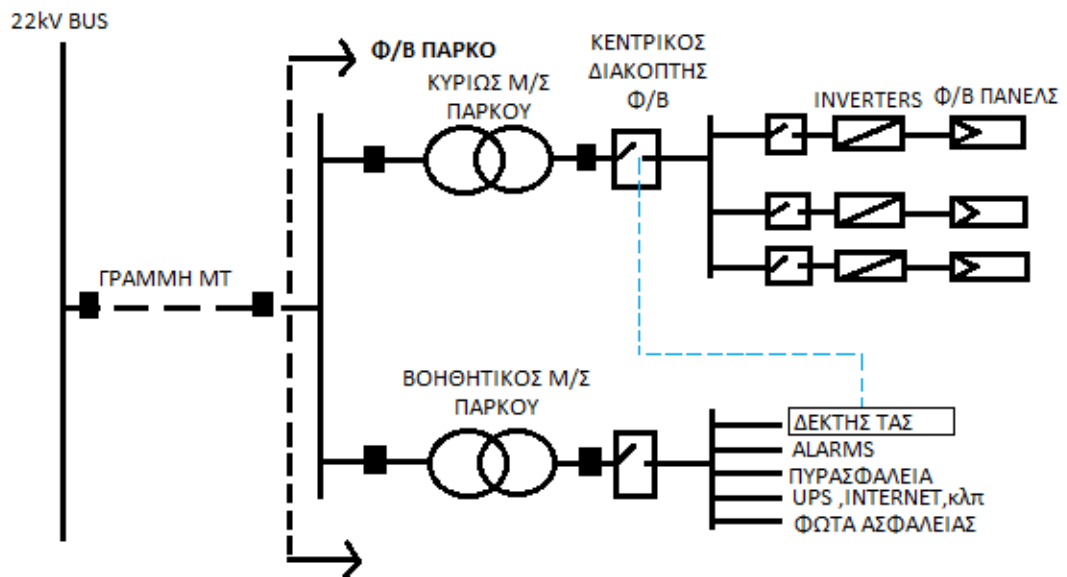
- Όταν αυτό επιβάλλεται κατ' εντολή του Διαχειριστή του Συστήματος, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος, ή του Διαχειριστή μη διασυνδεδεμένων νησιών (ΜΔΝ), σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης ΜΔΝ, προκειμένου για σταθμούς που συνδέονται στο δίκτυο των ΜΔΝ.
- Σε έκτακτες καταστάσεις, όπου ο Διαχειριστής του Δικτύου δύναται να προβαίνει σε χειρισμούς απενεργοποίησης τμημάτων του Δικτύου και εγκαταστάσεων χρηστών, πέραν αυτών που διενεργούνται στο πλαίσιο Συμβάσεων Ελέγχου της Ζήτησης, στην έκταση που αυτό είναι αναγκαίο για την ασφαλή λειτουργία του Δικτύου ή εγκαταστάσεων χρηστών και ιδίως σε περιπτώσεις κατά τις οποίες προκαλούνται ή ενδέχεται να προκληθούν: (α) κίνδυνος για την ασφάλεια προσώπων, (β) κίνδυνος για την ευστάθεια του Συστήματος ή του Δικτύου, (γ) κίνδυνος για το Δίκτυο ή για ορισμένη εγκατάσταση ή συσκευή χρήστη, (δ) υπερφόρτιση στοιχείων του Δικτύου, (ε) σημαντικές αποκλίσεις της τάσης του Δικτύου πέραν των ορίων.
- Σε περιπτώσεις βλάβης ή συντήρησης στοιχείων του Δικτύου, καθώς και για την εκτέλεση των αναγκαίων χειρισμών επί του Δικτύου.
- Εφόσον στη Σύμβαση Σύνδεσης με το Δίκτυο ή/ και στη Σύμβαση Πώλησης του σταθμού προβλέπεται ρητώς σχετική δυνατότητα του Διαχειριστή.

Ο Διαχειριστής του Δικτύου μεριμνά για την ελαχιστοποίηση των επιβαλλόμενων περιορισμών της ενεργού ισχύος εξόδου των σταθμών παραγωγής του Δικτύου, σύμφωνα με τις ανωτέρω περιπτώσεις.

4.3 Πως εμπλέκεται το σύστημα ΤΑΣ

Τα τρία συγκεκριμένα προβλήματα που αναφέρονται στις ενότητες 4 και 5 του κεφαλαίου 3 παραπάνω, θα μπορούσαν εύκολα να λυθούν με την εγκατάσταση δεκτών ελέγχου ακουστικής συχνότητας σε κάθε Μονάδα Παραγωγής. Όλοι οι σύγχρονοι φωτοβολταϊκοί inverters, ενσωματώνουν απομακρυσμένο έλεγχο ηλεκτρικών επαφών, και είναι έτοιμοι για χρήση από έναν δέκτη ΤΑΣ. Πολλοί από τους inverters των Φ/Β επιτρέπουν τη σύνδεση ομάδων των πέντε στον ίδιο δέκτη ΤΑΣ. Για να μειώσουμε περισσότερο το κόστος της εγκατάστασης των δεκτών ελέγχου κυματισμού, εάν υπάρχει μηχανοκίνητος κεντρικός διακόπτης κυκλώματος στην παραγωγική πλευρά της μονάδας παραγωγής, μπορούμε να τον ελέγξουμε μέσω βοηθητικών επαφών I-O.

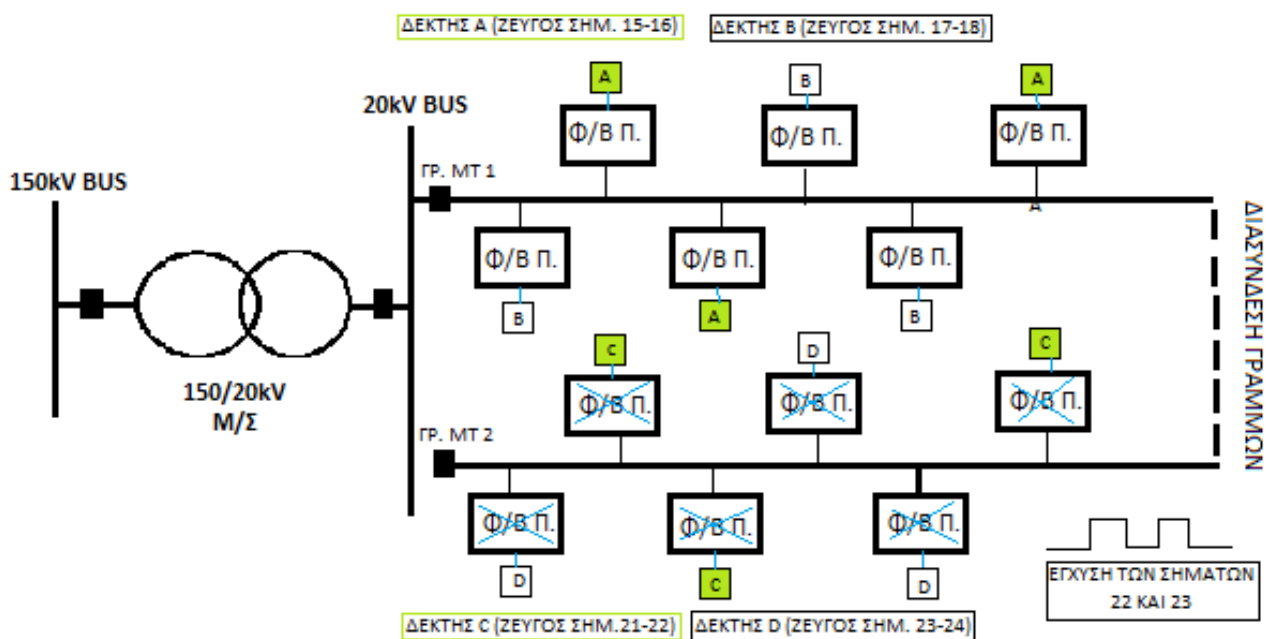
Η κύρια ιδέα είναι να επηρεαστεί μόνο η πλευρά παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού πάρκου και όχι η βοηθητική πλευρά προκειμένου να αφήσουμε την περιοχή ελέγχου του Φ/Β σταθμού στον ιδιοκτήτη (κάμερες, ηλεκτρικές πόρτες, ανιχνευτές πυρκαγιάς, σύνδεση στο διαδίκτυο, κλπ).



Σχήμα 11 Παράδειγμα Ελέγχου Κεντρικού Διακόπτη ενός Φ/Β Πάρκου με ΤΑΣ

4.4 Απόρριψη όλων των Φ/Β μονάδων της διασυνδεδεμένης γραμμής

Πριν γίνει η μεταφορά φορτίου και των Μονάδων Παραγωγής σε άλλη γραμμή, με τη βοήθεια του συστήματος ΤΑΣ, μπορούμε εύκολα να αποσυνδέσουμε μόνο τα Φ/Β πάρκα της γραμμής που πρόκειται να μεταφερθεί. Ως εκ τούτου, η «νέα γραμμή», μετά τη διασύνδεση, θα αποτελείται από την κύρια γραμμή συνδεδεμένη σε σειρά στη νέα γραμμή χωρίς τις μονάδες παραγωγής της (αφού αποσυνδέθηκαν μετά τη σηματοδότηση ακουστικής συχνότητας).

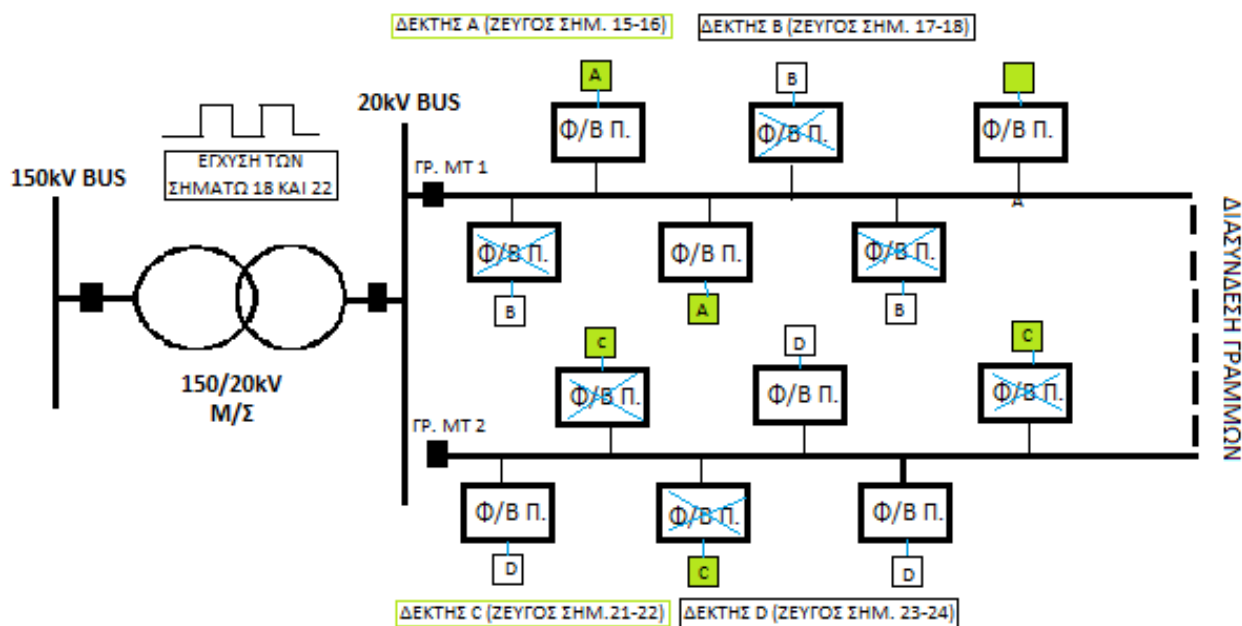


Σχήμα 12 Παράδειγμα Απόρριψης όλων των Φ/Β πάρκων της μεταφερόμενης γραμμής

4.5 Απόρριψη των μισών Φ/Β πάρκων κάθε γραμμής

Εάν αυτή η μεταφορά φορτίου διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, π.χ. 8 ώρες, προτείνονται μερικές πολύ χρήσιμες λύσεις.

Ομαδοποιώντας τις Μονάδες Παραγωγής, μετά από μελέτες προσομοίωσης, μπορούμε να εγκαταστήσουμε διαφορετικούς δέκτες ελέγχου κυματισμού σε ξεχωριστές ομάδες (ίδιοι δέκτες, προγραμματισμένοι να ενεργούν σε διαφορετικά ζεύγη σημάτων), προκειμένου να αποσυνδεθεί ή να συνδεθεί διαφορετική ομάδα Φ/Β πάρκων, με τη μεγαλύτερη επίδραση στις τιμές τάσης.

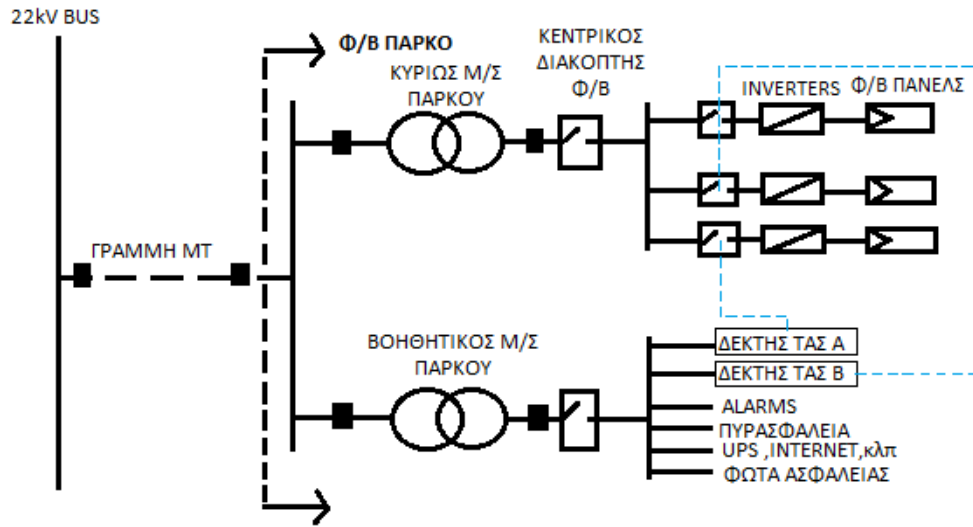


Σχήμα 13 Παράδειγμα Ελέγχου Φ/Β πάρκων σε ομάδες με διαφορετικούς δέκτες ΤΑΣ

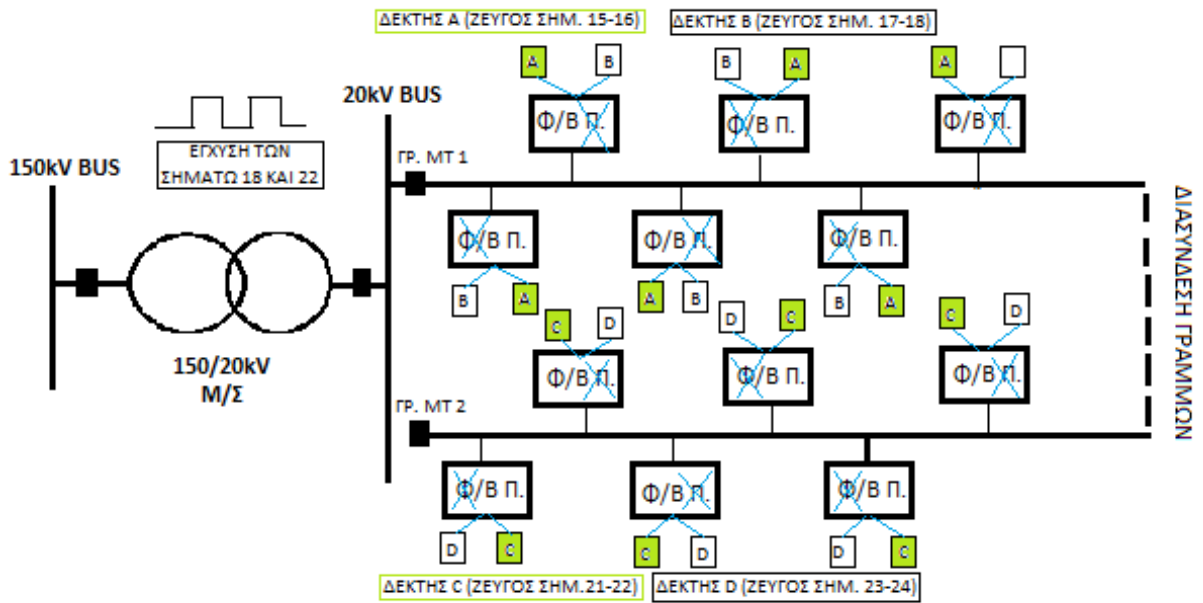
4.6 Απόρριψη των μισών inverters κάθε πάρκου

Ομαδοποιώντας τους μετατροπείς (inverters) στο ίδιο Φ/Β πάρκο και ελέγχοντας αυτές τις ομάδες μέσω διαφορετικών δεκτών ελέγχου κυματισμού (σχ. 14) ή εγκαθιστώντας έναν δέκτη ανά μετατροπέα και τέλος ορίζοντας έναν αριθμό δεκτών ώστε να λειτουργούν σαν μια ομάδα στο ίδιο ζεύγος σημάτων και τα άλλα σαν μια άλλη ομάδα, ενεργώντας σε διαφορετικό ζεύγος σημάτων μπορούμε να αποσυνδέσουμε ένα μέρος κάθε σταθμού, μειώνοντας έτσι την παραγωγή ισχύος του.

Αυτή η λειτουργία μπορεί να κρατήσει τους παράγοντες ποιότητας τάσης μέσα στα όρια και μειώνει αρκετά την παραγωγή όλων των Μονάδων Παραγωγής της «νέας γραμμής».



Σχήμα 14 Παράδειγμα inverters σε ομάδες μέσα στο ίδιο Φ/Β πάρκο



Σχήμα 15 Παράδειγμα inverters σε ομάδες και κατά τύπους αποσύνδεση αυτών

4.7 Τρόποι αποφυγής κακής λειτουργίας

Προς αποφυγή κακής λειτουργίας του συστήματος μετάδοσης, όπως η αδυναμία των Μονάδων Παραγωγής να επανασυνδεθούν στο Δίκτυο Διανομής (που μπορεί να θέτουν νομικά ζητήματα), θα υπάρχει ένα δίκτυ ασφαλείας, με εφαρμογή εφεδρικών λύσεων μία προς μία ή όλων μαζί, όπως:

1. Θα υπάρξει προαναγγελία (σε τοπικές εφημερίδες, ραδιοφωνικούς σταθμούς, site του ΔΕΔΔΗΕ, sms ή e-mail) της περιόδου βοηθητικής υπηρεσίας, ώστε όλοι να μπορούν να είναι έτοιμοι να παρακολουθούν την κατάσταση του Φ/Β σταθμού τους.
2. Για να εξαλειφθεί η πιθανότητα «παρεξήγησης» των σημάτων από έναν δέκτη, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον παραδοσιακό τρόπο της εκ νέου μετάδοσης μετά από λίγα λεπτά. Αυτό διότι όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 1, το σύστημα ΤΑΣ , είναι ένα σύστημα μονόδρομης επικοινωνίας και έτσι δεν υπάρχει τρόπος επιβεβαίωσης ότι ο δέκτης λειτούργησε σύμφωνα με την εντολή που του δόθηκε.

4.8 Πλεονεκτήματα και σύγκριση με άλλες τεχνολογίες

Αυτό που κάνει την προτεινόμενη μεθοδολογία τόσο αποτελεσματική είναι ότι ο απαιτούμενος νέος εξοπλισμός ελέγχου σηματοδότησης κυματισμού περιλαμβάνει μόνο τους δέκτες που θα εγκατασταθούν στην πλευρά των παραγωγών Φ/Β, οι οποίοι είναι εξαιρετικά οικονομικοί. Οι πομποί στην πλευρά του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής, δεν απαιτεί κάποιον εξοπλισμό ή αλλαγή κάποιου υπάρχοντα. Η μόνη αλλαγή λογισμικού είναι του Graphical User Interface (GUI) στο γραφικό περιβάλλον του ανθρώπου χειριστή του σήματος ακουστικής συχνότητας στο δωμάτιο ελέγχου. Αυτή η προσθήκη επιτρέπει τα ζεύγη σημάτων 18-19 και 23-24 για την γραμμή 1 και την γραμμή 2 αντίστοιχα.

Από την άλλη πλευρά, οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units)(RTU), που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση των ίδιων προβλημάτων, αποτελούν μια πολύ πιο ακριβή λύση, τόσο από άποψη κόστους εγκατάστασης καθώς και από άποψη κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Στον πίνακα παρακάτω, παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ των λύσεων του συστήματος ΤΑΣ και του RTU, συμπεριλαμβανομένου και θεμάτων κυβερνοασφάλειας.

Πίνακας 1 Σύγκριση Τεχνολογίας ΤΑΣ και RTU

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΛΥΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ Φ/Β ΠΑΡΚΟ (€)	ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΑ Φ/Β ΠΑΡΚΟ (€)	ΜΗΝΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ Φ/Β ΠΑΡΚΟ (€)	ΘΕΜΑΤΑ ΚΥΒΕΡΝΟΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
ΤΑΣ	20	100	0	Εγγενώς Κυβερνοασφαλές διότι το σύστημα ΤΑΣ δεν έχει IP και το δίκτυο αποστολής σήματος είναι εσωτερικό-κλειστό
RTU	1.000-1.500	100	10 (για σύνδεση internet)	Ευαίσθητο σε κυβερνοεπιθέσεις

Κεφάλαιο 5: Περιγραφή του υπό έρευνα δικτύου MT και μοντελοποίηση των γραμμών

5.1 Γενικά στοιχεία

Ένα μέρος του ελληνικού δικτύου διανομής με αυξημένη διείσδυση των Φ/Β σταθμών ηλεκτροπαραγωγής προσομοιώνεται, με και χωρίς έλεγχο, μέσω του συστήματος ΤΑΣ, για διάφορα λειτουργικά σενάρια. Συγκεκριμένα δύο πραγματικές διασυνδεδεμένες γραμμές του δικτύου μέσης τάσης (MT) της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας στη Βόρεια Ελλάδα, η γραμμή 25 και η γραμμή 26.

Η επιλογή των συγκεκριμένων δύο βασικών γραμμών του Σχ. 13 του Δίκτυο MT στο νομό Καστοριάς, βασίστηκε στα εξής κριτήρια:

- Αυτές οι δύο γραμμές συνδέονται μεταξύ τους με διασυνδέσεις λειτουργικά απαραίτητες και χρησιμοποιούμενες στην καθημερινή εκμετάλλευση του Δικτύου Διανομής της περιοχής.
- Και οι δύο γραμμές παρουσιάζουν μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ, σε σύγκριση με άλλες τακτικές γραμμές στην Ελλάδα.
- Η αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στις επιλεγείσες γραμμές, υπερβαίνει τη θερμική ικανότητα κάθε γραμμής, μη λαμβάνοντας υπόψη τις καταναλώσεις των γραμμών, όταν η τροφοδότηση της μίας ληφθεί εξ' ολοκλήρου από την δεύτερη γραμμή (συνδεδεμένες σε σειρά).
- Η μέγιστη συμμετοχή των Φ/Β αυτών των δύο γραμμών στην εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ, συμπίπτει με το ημερήσιο μέγιστο παραγωγής, με τις συνήθεις ώρες εκτέλεσης λειτουργικών χειρισμών από τον Διαχειριστή του Δικτύου και με τα ελάχιστα κατανάλωσης κατά τις μεσημβρινές ώρες και τα πρωινά των Σαββατοκύριακων

Αυτές οι δύο γραμμές έχουν συνολικά 169 συνδεδεμένους παραγωγούς Φ/Β, οι 45 εκ των οποίων έχουν εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από 95 kWp το καθένα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ αυτών των 45 παραγωγών φτάνει τα 15.879 MWp και αντιστοιχεί στο 92 % της συνολικής

εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών των δύο γραμμών. Ως εκ τούτου, για τους σκοπούς της προσομοίωσης προτείνεται ότι μόνο αυτοί οι 45 Φ/Β παραγωγοί θα ελέγχονται από το σύστημα ΤΑΣ, αν και όλοι οι παραγωγοί Φ/Β των γραμμών λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης και προσομοίωσης.

5.2 Μοντελοποίηση γραμμών

Η εισαγωγή των στοιχείων των γεννητριών όλων των προς εξέταση Φ/Β σταθμών, αποκτήθηκαν από το λογισμικό υπολογισμών συνιστωσών ΔΔ (Δίκτυο Διανομής) του ΔΕΔΔΗΕ.

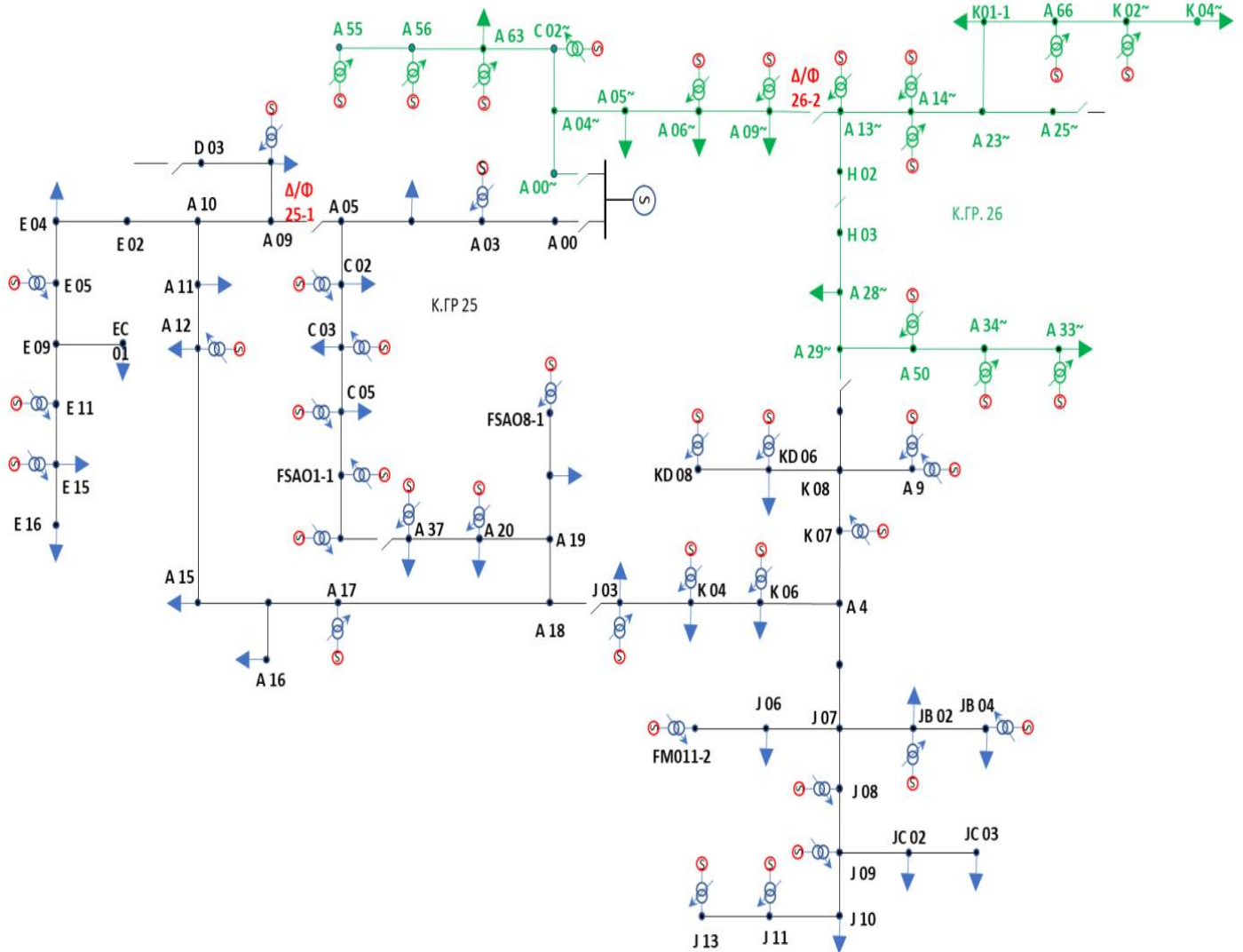
Τα «μικρά ΦΒ» (το υπόλοιπο 8% δηλαδή), ομαδοποιήθηκαν και τοποθετήθηκαν κεντροβαρικά, όσο αφορά την ηλεκτρική τους επίδραση στο Δίκτυο διανομής. Επίσης συγχωνεύθηκαν τα αρχεία με τα μονογραμμικά σχέδια ανάπτυξης των δύο γραμμών, ώστε να είναι δυνατή η από κοινού εξέτασή τους.

Αφού λήφθηκαν υπόψη όλα τα δυνατά σενάρια μεταφοράς φορτίων από την μία γραμμή στην άλλη, εισάχθηκαν και εξετάστηκαν στο αντίστοιχο λογισμικό ηλεκτρικών υπολογισμών του ΔΕΔΔΗΕ, τα πιο δυσμενή εξ αυτών, βάση των οποίων θα πρέπει :

- Να πληρούνται οι Διεθνείς και Εθνικοί Κανονισμοί για την ποιότητα παρεχόμενης τάσης.
- Να είναι εφικτή η ικανοποίηση, όπως και πριν την ύπαρξη των ΑΠΕ, της ανάγκης εξ' ολοκλήρου τροφοδότησης της κάθε μίας γραμμής από την άλλη. Το σενάριο αυτό είναι και διπλό και το πιο δυσμενές, διότι η τοπογραφική κατανομή των ΦΒ δεν προκαλεί την ίδια επίδραση στα χαρακτηριστικά του δικτύου σε κάθε μία εκ των δύο τροφοδοτήσεων.
- Θα είναι αρκούντως απλή, κατανοητή και αυτοματοποιημένη η διαδικασία μεταγωγής και ελέγχου της παραγωγής από το προσωπικό της βάρδιας μιας Περιοχής Διανομής του ΔΕΔΔΗΕ.
- Θα απαιτηθεί ο μικρότερος όγκος εξοπλισμού για την επίτευξη του αποτελέσματος, μειώνοντας και την ανάγκη παρακολούθησης του συστήματος διαχρονικά.
- Θα επηρεάζεται ο ελάχιστος αναγκαίος αριθμός ΦΒ σταθμών, με μείωση του ποσοστού παραγωγής των γεννητριών του και όχι με ολική αποσύνδεση του σταθμού από το Δίκτυο Διανομής, εξασφαλίζοντας έτσι και δικαιότερη κατανομή των απαραίτητων ωρών μειωμένης παραγωγής αλλά και αποφυγή προβλημάτων παραγωγής, ιδιαίτερα μεγάλων σταθμών που συμμετέχουν στο Χρηματιστήριο ενέργειας.

Επίσης για την μέγιστη εποπτική κατανόηση και την σύνθεση των σεναρίων είναι απαραίτητο να αναγνωριστούν τα σημεία των υπαρχόντων ηλεκτρικών τομών μεταξύ των δύο γραμμών και οι πιθανοί λειτουργικοί χειρισμοί μεταφοράς φορτίων που εκτελούνται κατά την διάρκεια εργασιών στην καθημερινή εκμετάλλευση του Δικτύου Διανομής.

Το αρχείο με τους ηλεκτρικούς κόμβους και του διακόπτες φορτίου των δύο γραμμών, παρουσιάζεται στο παρακάτω μονογραμμικό διάγραμμα. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η γραμμή 25 και με πράσινο η γραμμή 26, οι κόκκινες AC πηγές δείχνουν που ακριβώς βρίσκονται τα Φ/Β πάρκα ενώ οι διακόπτες φορτίου που θα μας απασχολήσουν αναγράφονται πάνω από την θέση τους.



Σχήμα 16 Οι δύο επιλεγμένες Κεντρικές Γραμμές MT [5]

Κεφάλαιο 6: Σενάρια και αποτελέσματα προσομοίωσης

6.1 Γενικά

Η μοντελοποίηση των δύο γραμμών και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποκτήθηκαν από το αντίστοιχο λογισμικό του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Λόγω των μεγάλων ποσοτήτων ΑΠΕ που συνδέονται με τα τμήματα ΧΤ και ΜΤ των γραμμών, ορισμένες παράμετροι του δικτύου δεν μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια και πολλές λειτουργίες μεταφοράς φορτίου απαγορεύονται λόγω θερμικής ικανότητας ή ορίων τάσης.

Σε όλα τα σενάρια έγινε έλεγχος αποτελεσμάτων για δύο επίπεδα τάσης ζυγών του Υ/Σ 150/20 kV Καστοριάς, σε 20,7 kV και 21 kV αντίστοιχα, λαμβάνοντας ως δεδομένη την μικρότερη δυνατή συμβολή των τοπικών καταναλώσεων (π.χ. μία ηλιόλουστη Κυριακή μεσημέρι).

Επίσης, σε κάθε περίπτωση, ακολουθήθηκε ο κώδικας του χρωματισμού του κάθε τμήματος γραμμής σε συμφωνία με την Κύρια Γραμμή στην οποία εντάσσεται κάθε φορά, ενώ στο γενικό μονογραμμικό διάγραμμα που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο αποδίδεται χρωματικά η αρχική κατάσταση των ΚΓΡ 25 και 26 δίχως επέμβαση μεταφοράς φορτίων σε αυτές.

Ακολουθούν τέσσερα σενάρια τα οποία αντιστοιχούν στις συνήθεις πράξεις που γίνονται λόγω προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης ή λόγω αναδιαμόρφωσης δικτύου λόγω μιας βλάβης ή λόγω έργων υπόγειων καλωδίων ή λόγω προσθήκης νέων καταναλωτών ΜΤ στο δίκτυο. Σε κάθε περίπτωση παρουσιάζεται το μονογραμμικό διάγραμμα όπου φαίνονται οι κόμβοι, οι διασυνδέσεις και οι ζώνες που επηρεάζονται, ένας πίνακας με τα αποτελέσματα των υπολογισμών των απόλυτων τιμών των τάσεων κόμβων που επιτυγχάνονται στα δυσμενή σημεία του δικτύου και ένα διάγραμμα που απεικονίζει το προφίλ της τάσης στις διάφορες εκδοχές του κάθε σεναρίου.

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε όλα τα σενάρια λαμβάνει διαδοχικά υπόψη τις παραδοχές ότι δεν επεμβαίνουμε στην δυνατότητα παραγωγής των Φ/Β σταθμών, στην πρώτη περίπτωση (100% παραγωγή), ενώ στην δεύτερη περίπτωση, επιτρέπουμε στους Φ/Β σταθμούς να παράγουν έως το 60% της δυνατότητάς τους. Ακόμα στο τρίτο και τέταρτο σενάριο δίνεται και η περίπτωση μείωσης της τάξης του 50%. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με δύο αναμενόμενες τιμές τάσεων εκκίνησης των ζυγών 20 kV όπου και ανήκουν οι δύο γραμμές, τα 20,7 και τα 21 kV, αντίστοιχα.

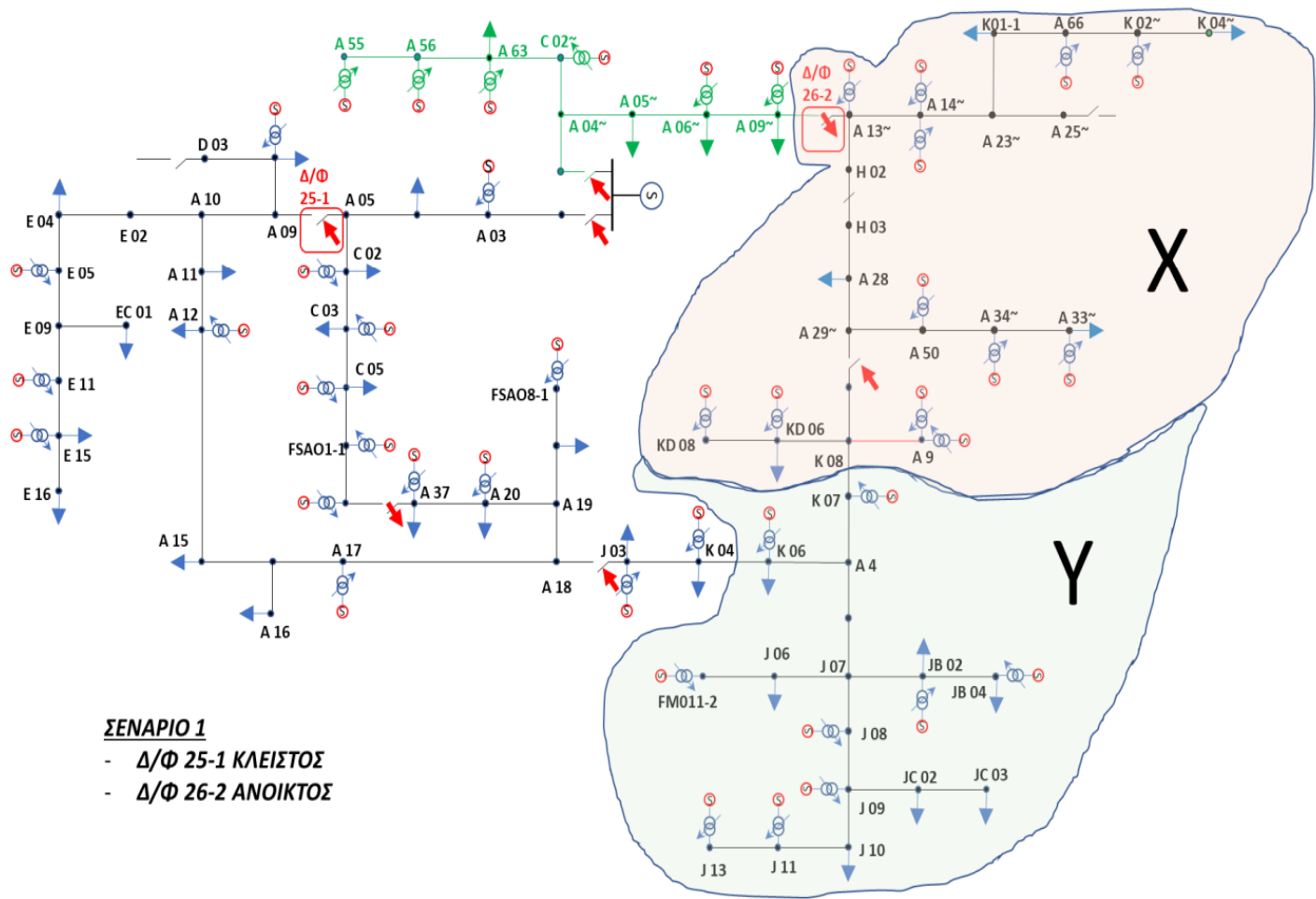
6.2 Σενάριο πρώτο

Τροφοδότηση του τμήματος Χ (βλ. εικ. Τάδε) της ΚΓΡ 26 από την ΚΓΡ 25 μέσω της διασύνδεσης αυτών, με ανοιχτό τον Δ/Φ 26-2.

Στο πρώτο σενάριο, πραγματοποιήθηκε μελέτη λαμβάνοντας διαδοχικά υπόψη τις παραδοχές που προαναφέραμε, σχετικά με τις περιπτώσεις της συνολικής παραγωγής του κάθε Φ/Β πάρκου, καθώς επίσης και των δύο αναμενόμενων τιμών τάσεων εκκίνησης των ζυγών 20 kV. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών των απόλυτων τιμών των τάσεων κόμβων που επιτυγχάνονται στα δυσμενή σημεία του δικτύου, αποτυπώνονται στο παρακάτω σκαρίφημα και στον πίνακα που το συνοδεύει. Επίσης οι τάσεις των κόμβων όλου του κυκλώματος για το σενάριο αυτό, παριστάνονται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ Τάδε), ταξινομημένες κατά αύξουσα τιμή.

Από τη μελέτη των τάσεων των κόμβων στα δυσμενέστερα σημεία, προκύπτει σημαντική υπέρβαση του ορίου των 22 kV για 100% παραγωγή, όχι μόνο σε όλη την ζώνη δικτύου της ΚΓΡ 26 που μεταφέρεται στην ΚΓΡ 25 (ζώνη Χ), για κάθε εξεταζόμενη τάση ζυγών αλλά και σε μεγάλο τμήμα της διασυνδεδετικής γραμμής της ΚΓΡ 25 (ζώνη Υ) για τάση ζυγών 21 kV.

Αν η παραγωγή λειτουργεί στο 60% της δυναμικότητάς της, τότε για τάση ζυγών 21 kV από τους υπολογισμούς προκύπτει τάση κόμβων οριακών τιμών στην ζώνη Α, ενώ ανεκτές εμφανίζονται οι τιμές των τάσεων όλων των κόμβων εάν η τάση ζυγών ληφθεί στα 20.7 kV.



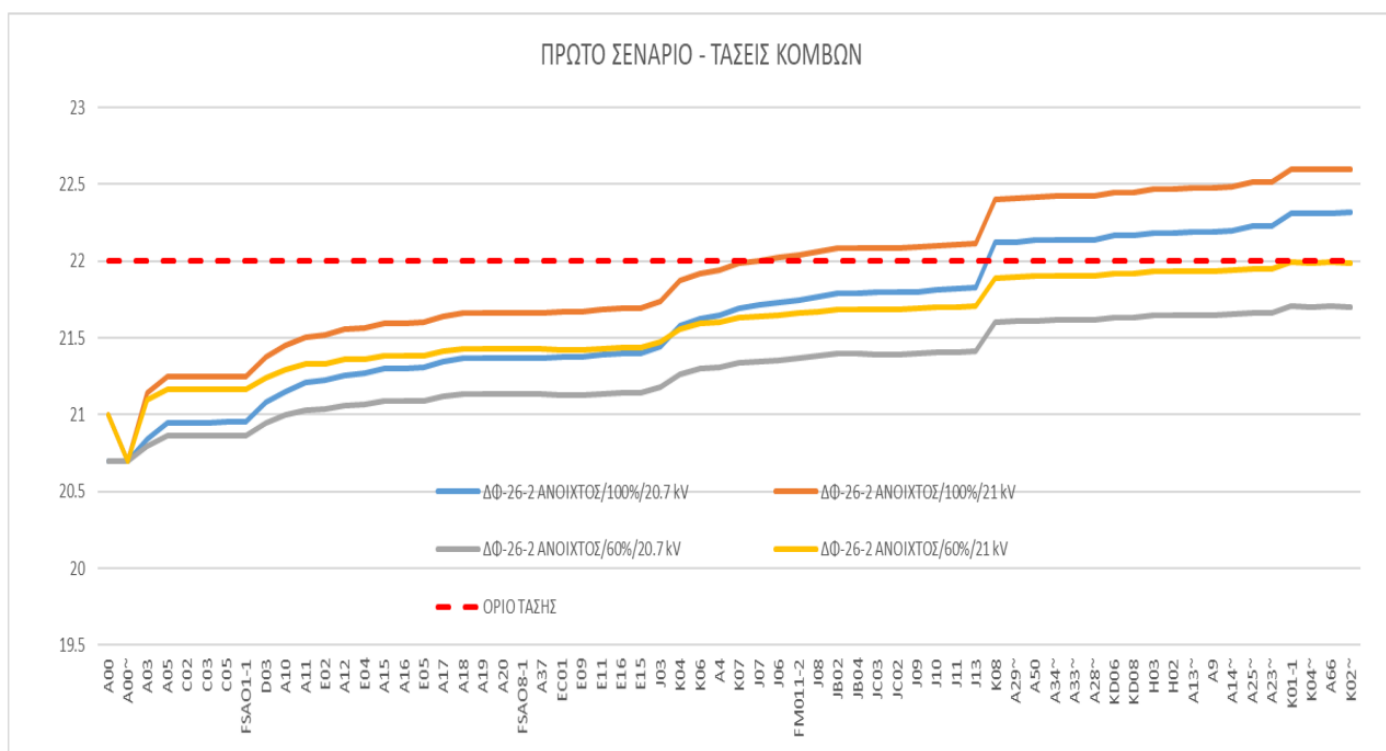
ΣΕΝΑΡΙΟ 1

- Δ/Φ 25-1 ΚΛΕΙΣΤΟΣ
- Δ/Φ 26-2 ΑΝΟΙΚΤΟΣ

Σχήμα 17 Σενάριο Προσομοίωσης 1 [5]

Πίνακας 2 Τάσεις Κόμβων των δύο Γραμμών για Σενάριο ΝΟ 1 (Όριο Τάσης 22 kV)

ΔΦ-26-2 ΑΝΟΙΧΤΟΣ					
		ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΒ (%)			
		100%		60%	
ΤΑΣΗ ΖΥΓΟΥ (kV)		20.7	21	20.7	21
ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΒΟΥ	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗ ΚΟΜΒΟΥ (kV)				
	20	21.63	21.92	21.30	21.59
K06	20	21.65	21.94	21.31	21.60
A4	20	21.70	21.99	21.34	21.63
K07	20	21.71	22.00	21.35	21.64
J06	20	21.73	22.02	21.36	21.65
FM011-2	20	21.75	22.04	21.37	21.66
J08	20	21.77	22.06	21.38	21.67
JB02	20	21.79	22.08	21.40	21.69
JB04	20	21.79	22.08	21.40	21.69
JC03	20	21.80	22.08	21.39	21.69
JC02	20	21.80	22.08	21.39	21.69
J09	20	21.80	22.09	21.40	21.69
J10	20	21.81	22.10	21.41	21.70
J11	20	21.82	22.11	21.41	21.70
J13	20	21.82	22.11	21.41	21.70
K08	20	22.12	22.40	21.60	21.89
A29	20	22.13	22.41	21.61	21.90
A50	20	22.13	22.42	21.61	21.90
A64	20	22.14	22.42	21.62	21.90
A33	20	22.14	22.42	21.62	21.90
A28	20	22.14	22.43	21.62	21.91
KD06	20	22.16	22.745	21.63	21.92
KD08	20	22.16	22.745	21.63	21.92
H03	20	22.18	22.47	21.64	21.93
H02	20	22.18	22.47	21.64	21.93
A13	20	22.19	22.47	21.65	21.994
A9	20	22.19	22.47	21.65	21.93
A14	20	22.20	22.48	21.66	21.94
A25	20	22.23	22.51	21.66	21.95
A23	20	22.23	22.51	21.66	21.95
K01-1	20	22.31	22.59	21.70	21.99
K04	20	22.31	22.59	21.70	21.98
A66	20	22.31	22.60	21.71	21.99
K02	20	22.32	22.90	21.70	21.99



Σχήμα 18 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 1 [5]

6.3 Σενάριο δεύτερο

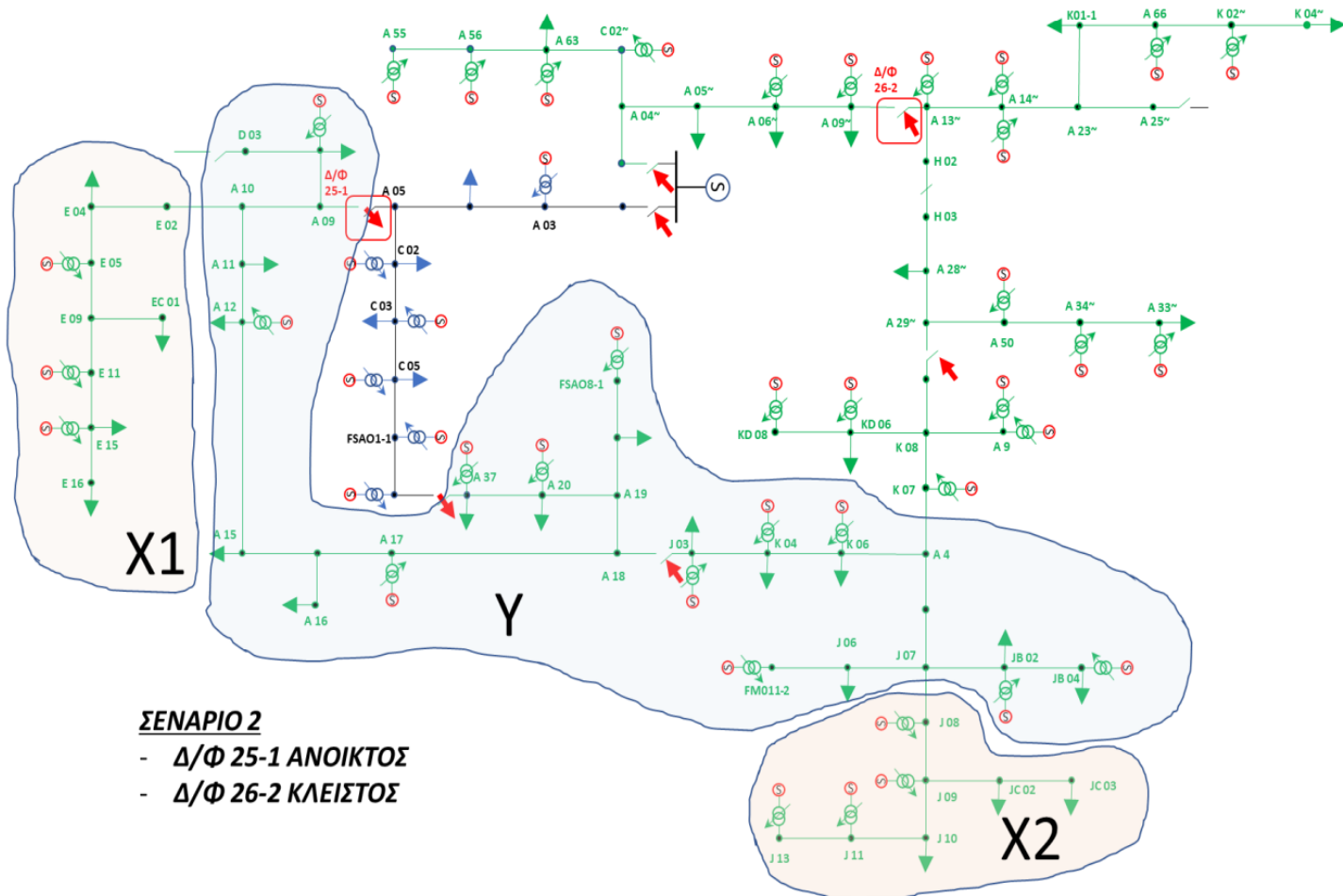
Τροφοδότηση του τμήματος Υ (βλ εικ. Τάδε) της ΚΓΡ 25 από την ΚΓΡ 26 μέσω της διασύνδεσης αυτών, με ανοιχτό τον Δ/Φ 25-1.

Στο δεύτερο σενάριο, η μελέτη που πραγματοποιήθηκε έλαβε και πάλι υπόψη τις παραδοχές που προαναφέραμε, σχετικά με τις περιπτώσεις της συνολικής παραγωγής του κάθε Φ/Β πάρκου, καθώς επίσης και των δύο αναμενόμενων τιμών τάσεων εκκίνησης των ζυγών 20 kV. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών τόσο των τιμών των τάσεων στα δυσμενέστερα σημεία του δικτύου, όσο και των τάσεων όλων των κόμβων αυτού, ταξινομημένων κατά αύξουσα τιμή, αποδίδονται στο διάγραμμα, το συνοδευόμενο πίνακα αυτού, και στο διάγραμμα τάσεων αντίστοιχα.

Προκύπτει ότι χωρίς καμία επέμβαση στην παραγωγή (100 %) και για τάση ζυγού 21 kV, οι τιμές των τάσεων που εμφανίζονται είναι απαγορευτικές σε μεγάλη έκταση δικτύου (ζώνες Χ1 και Χ2), ενώ εμφανίζονται οριακές τιμές τάσης σε όλη την ζώνη Υ.

Υψηλές, αλλά εντός ορίων, είναι οι τιμές των τάσεων των κόμβων Ε05, Ε01, Ε09, Ε11, Ε15, Ε16, για τάση ζυγών 20,7, που όμως στην πραγματική διάσταση δικτύου αντιπροσωπεύουν έκταση δικτύου μεγαλύτερη των 20 Km σε πλήρη ανάπτυξη.

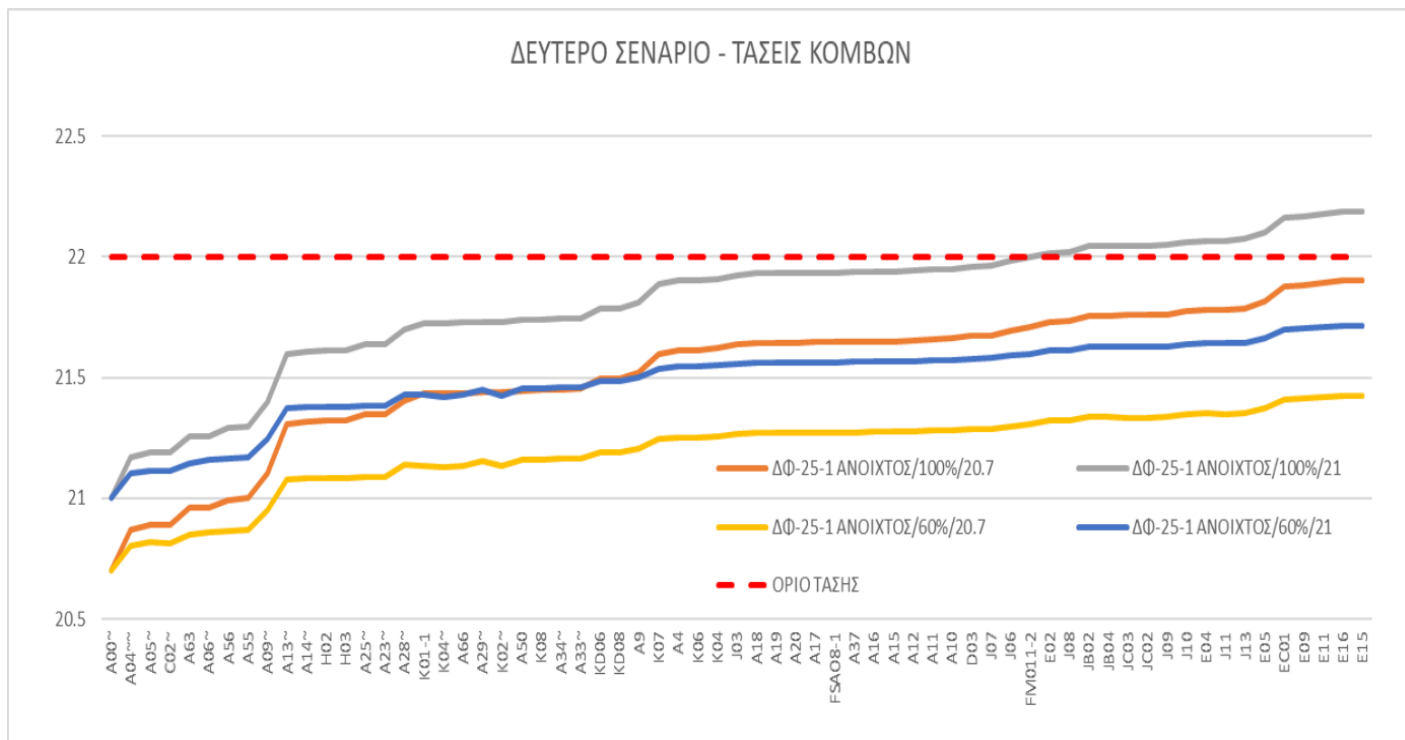
Τέλος, εάν η παραγωγή μειωθεί στο 60 % της δυναμικότητάς της, τότε κατά την τροφοδότηση του δικτύου που αναλύει το σενάριο αυτό, δεν διαπιστώνονται απαγορευτικές τιμές τάσεων κόμβων.



Σχήμα 19 Σενάριο Προσομοίωσης 2 [5]

Πίνακας 3 Τάσεις Κόμβων των 2 Γραμμών για Σενάριο ΝΟ 2

ΔΦ-25-1 ΑΝΟΙΧΤΟΣ					
		ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΒ (%)			
		100%		60%	
ΤΑΣΗ ΖΥΓΟΥ(kV)		20.7	21	20.7	21
ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΒΟΥ	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ (kV)				
A4	20	21.61	21.90	21.25	21.54
K06	20	21.61	21.90	21.25	21.55
K04	20	21.62	21.91	21.26	21.55
J03	20	21.64	21.93	21.27	21.56
A18	20	21.64	21.93	21.27	21.56
A19	20	21.64	21.93	21.27	21.56
A20	20	21.64	21.93	21.27	21.56
A17	20	21.65	21.93	21.27	21.56
FSA08-1	20	21.65	21.95	21.27	21.56
A37	20	21.65	21.95	21.27	21.56
A16	20	21.65	21.95	21.27	21.57
A15	20	21.65	21.95	21.27	21.57
A12	20	21.65	21.95	21.28	21.57
A11	20	21.66	21.96	21.28	21.57
A10	20	21.66	21.96	21.28	21.57
D03	20	21.67	21.96	21.29	21.58
J07	20	21.67	21.96	21.29	21.58
J06	20	21.69	21.98	21.30	21.59
FM011-2	20	21.71	22.00	21.31	21.60
E02	20	21.73	22.02	21.32	21.61
J08	20	21.73	22.02	21.32	21.61
JB02	20	21.76	22.04	21.34	21.63
JB04	20	21.76	22.04	21.34	21.63
JC03	20	21.76	22.05	21.33	21.63
JC02	20	21.76	22.05	21.33	21.63
J09	20	21.76	22.05	21.34	21.63
J10	20	21.78	22.06	21.35	21.64
E04	20	21.78	22.07	21.35	21.64
J11	20	21.78	22.07	21.35	21.64
J13	20	21.79	22.07	21.35	21.65
E05	20	21.81	22.10	21.37	21.66
EC01	20	21.88	22.16	21.40	21.70
E09	20	21.88	22.17	21.40	21.70
E11	20	21.89	22.18	21.42	21.71
E16	20	21.90	22.19	21.43	21.72
E15	20	21.90	22.19	21.43	21.72



Σχήμα 20 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 2

6.4 Σενάριο τρίτο

Τροφοδότηση της ΚΓΡ 25 από την ΚΓΡ 26.

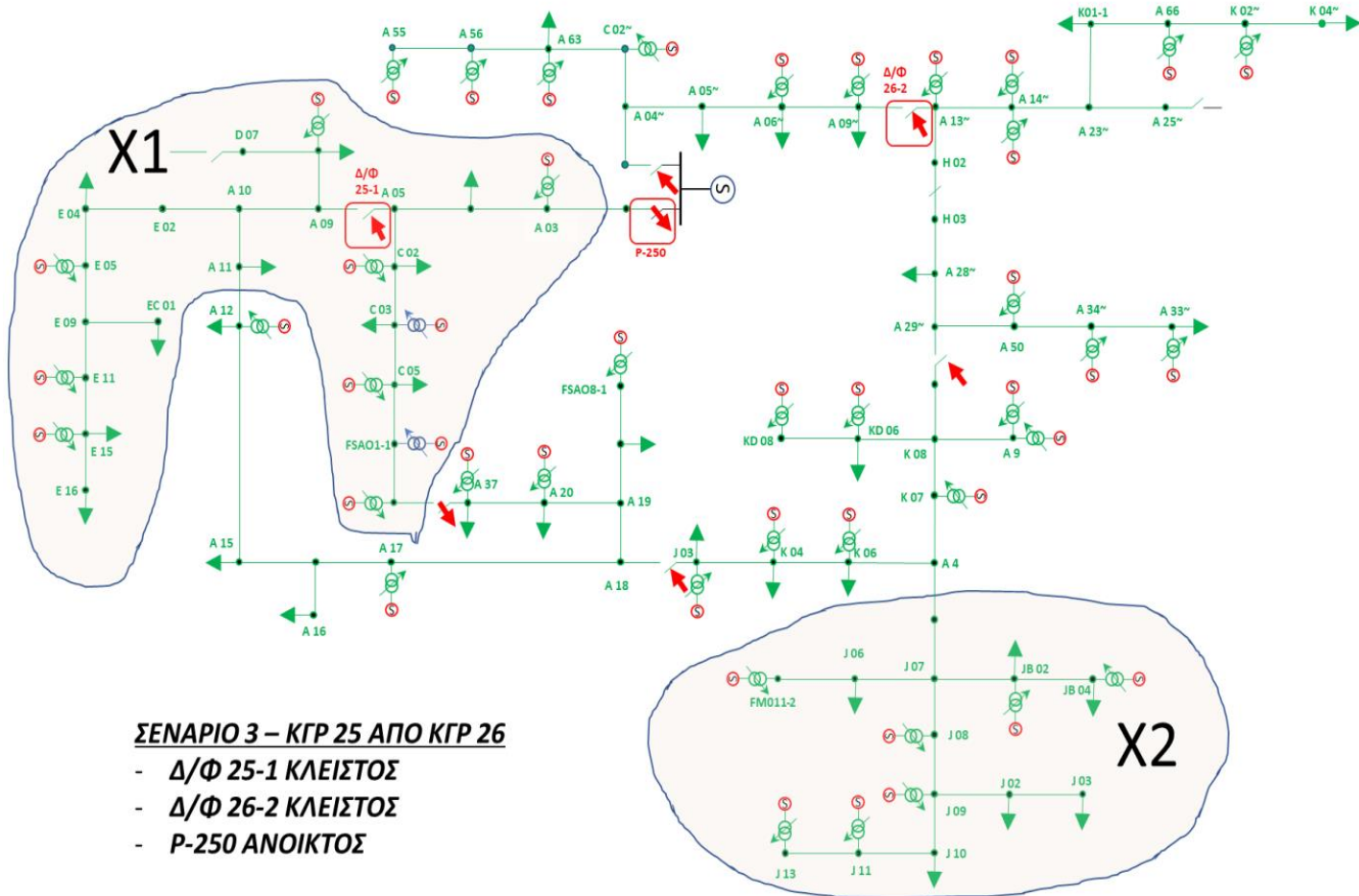
Στο τρίτο σενάριο, η μελέτη που πραγματοποιήθηκε, αυτή τη φορά, εκτός από τις παραδοχές που προαναφέραμε, σχετικά με τη συνολική παραγωγή του κάθε Φ/Β πάρκου στο 100% και στο 60%, έλαβε υπόψη την περίπτωση μείωσης της συνολικής παραγωγής στο 50% της ονομαστικής. Εξετάζοντας αυτό το σενάριο, όπου παρατηρώντας κανείς ότι μεγάλο ποσοστό της κατανεμημένης παραγωγής συνδέεται στα πρώτα χιλιόμετρα της ΚΓΡ 26 και ένα μεγάλο φορτίο, αυτό μιας κωμόπολης της περιοχής, προστίθεται στο τέλος της δημιουργούμενης γραμμής, αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα των προηγούμενων, σε καταστάσεις μείωσης της παραγωγής, τα οποία δίνονται από τα παρακάτω διαγράμματα και σκαριφήματα.

Οι ζώνες X1 και X2 παρουσιάζουν απαγορευτικές τιμές τάσεων όταν δεν επεμβαίνουμε στην δυνατότητα παραγωγής.

Υψηλές, αλλά εντός ορίων όπως και στο προηγούμενο σενάριο, είναι οι τιμές των τάσεων των κόμβων EC01, E09, E11, E15, E16, για τάση ζυγών 20,7, που όπως τονίστηκε στην πραγματική διάσταση δικτύου αντιπροσωπεύουν έκταση δικτύου μεγαλύτερη των 20 Km σε πλήρη ανάπτυξη.

Τέλος, από τη μελέτη στα δύο υποσενάρια, αυτό της μείωσης της παραγωγής στο 60% αλλά και στο 50% της ονομαστικής, διαπιστώνεται ότι οι τιμές τάσεων κόμβων που προκύπτουν, δεν ξεπερνούν τα 21,75 kV. Ακόμη και αυτή η μέγιστη τιμή προσδίδει περισσότερη ασφάλεια στον εν

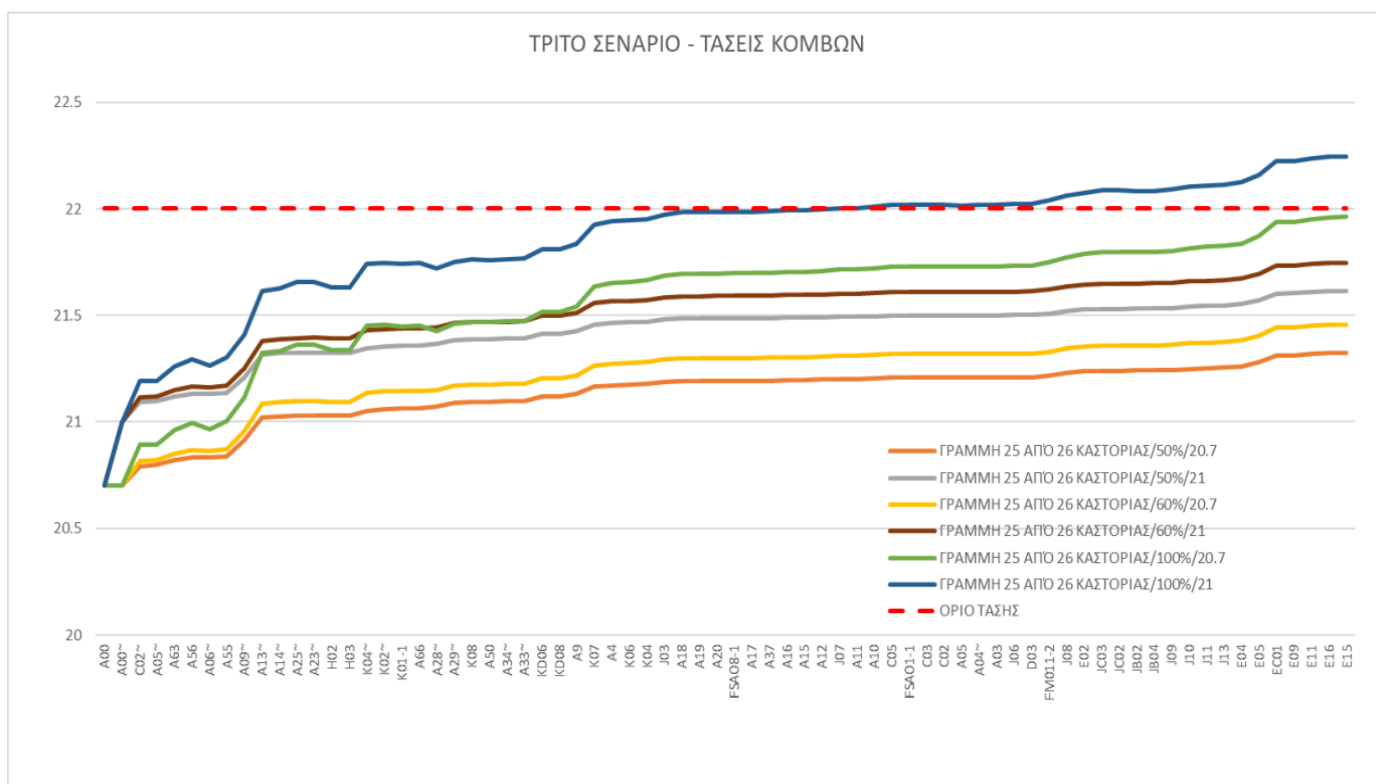
λόγω χειρισμό τροφοδότησης, διότι επιτρέπει την κατά περίπτωση μη ελέγξιμη αλλά πιθανή υπέρβαση των 21 kV τάσης ζυγού, σε συνθήκες υψηλής τάσης από το Σύστημα των 150 kV.



Σχήμα 21 Σενάριο Προσομοίωσης 3 [5]

Πίνακας 4 Τάσεις Κόμβων των δύο Γραμμών για Σενάριο ΝΟ 3

ΓΡΑΜΜΗ 25 ΑΠΟ ΓΡΑΜΜΗ 26							
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΒ (%)		100%		60%		50%	
ΤΑΣΗ		20.7	21	20.7	21	27	21
ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΒΟΥ	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ(κV)						
K07	20	21.63	21.92	21.26	21.56	21.17	21.46
A4	20	21.65	21.94	21.27	21.57	21.17	21.47
K06	20	21.66	21.94	21.28	21.57	21.17	21.47
J04	20	21.66	21.95	21.28	21.57	21.18	21.47
J03	20	21.8	21.97	21.29	21.58	21.19	21.48
A18	20	21.70	21.98	21.30	21.59	21.19	21.48
A19	20	21.70	21.98	21.30	21.59	21.19	21.48
A20	20	21.70	21.98	21.30	21.59	21.19	21.49
FSA08-1	20	21.70	21.99	21.30	21.59	21.19	21.49
A17	20	21.70	21.99	21.30	21.59	21.19	21.49
A37	20	21.70	21.99	21.30	21.59	21.19	21.49
A16	20	21.70	21.99	21.30	21.59	21.20	21.49
A15	20	21.70	21.99	21.30	21.59	21.20	21.49
A12	20	21.71	22.00	21.31	21.60	21.20	21.49
A11	20	21.72	22.00	21.31	21.60	21.20	21.49
J07	20	21.72	22.00	21.31	21.60	21.20	21.49
A10	20	21.72	22.01	21.31	21.60	21.20	21.50
A05	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
C02	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
A04	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
C03	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
A03	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
C05	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
FSA01-1	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
J06	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
D03	20	21.73	22.02	21.32	21.61	21.21	21.50
FM011-2	20	21.75	22.04	21.33	21.62	21.22	21.51
J08	20	21.77	22.06	21.34	21.63	21.23	21.52
E02	20	21.79	22.07	21.35	21.64	21.24	21.53
JB02	20	21.80	22.08	21.36	21.65	21.24	21.53
JB04	20	21.80	22.08	21.36	21.65	21.24	21.53
JC03	20	21.80	22.09	21.36	21.65	21.24	21.53
JC02	20	21.80	22.09	21.36	21.65	21.24	21.53
J09	20	21.80	22.09	21.36	21.65	21.24	21.53
J10	20	21.82	22.10	21.37	21.66	21.25	21.54
J11	20	21.82	22.11	21.37	21.66	21.25	21.54
J13	20	21.89	22.11	21.38	21.67	21.26	21.55
E04	20	21.84	22.12	21.38	21.67	21.26	21.55
E05	20	21.87	22.16	21.41	21.70	21.28	21.57
EC01	20	21.94	22.22	21.44	21.73	21.31	21.60
E09	20	21.94	22.22	21.44	21.73	21.31	21.60
E11	20	21.95	22.23	21.45	21.74	21.32	21.61
E16	20	21.96	22.25	21.46	21.75	21.32	21.61
E15	20	21.96	22.25	21.46	21.75	21.32	21.61



Σχήμα 22 Προφίλ. Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 3

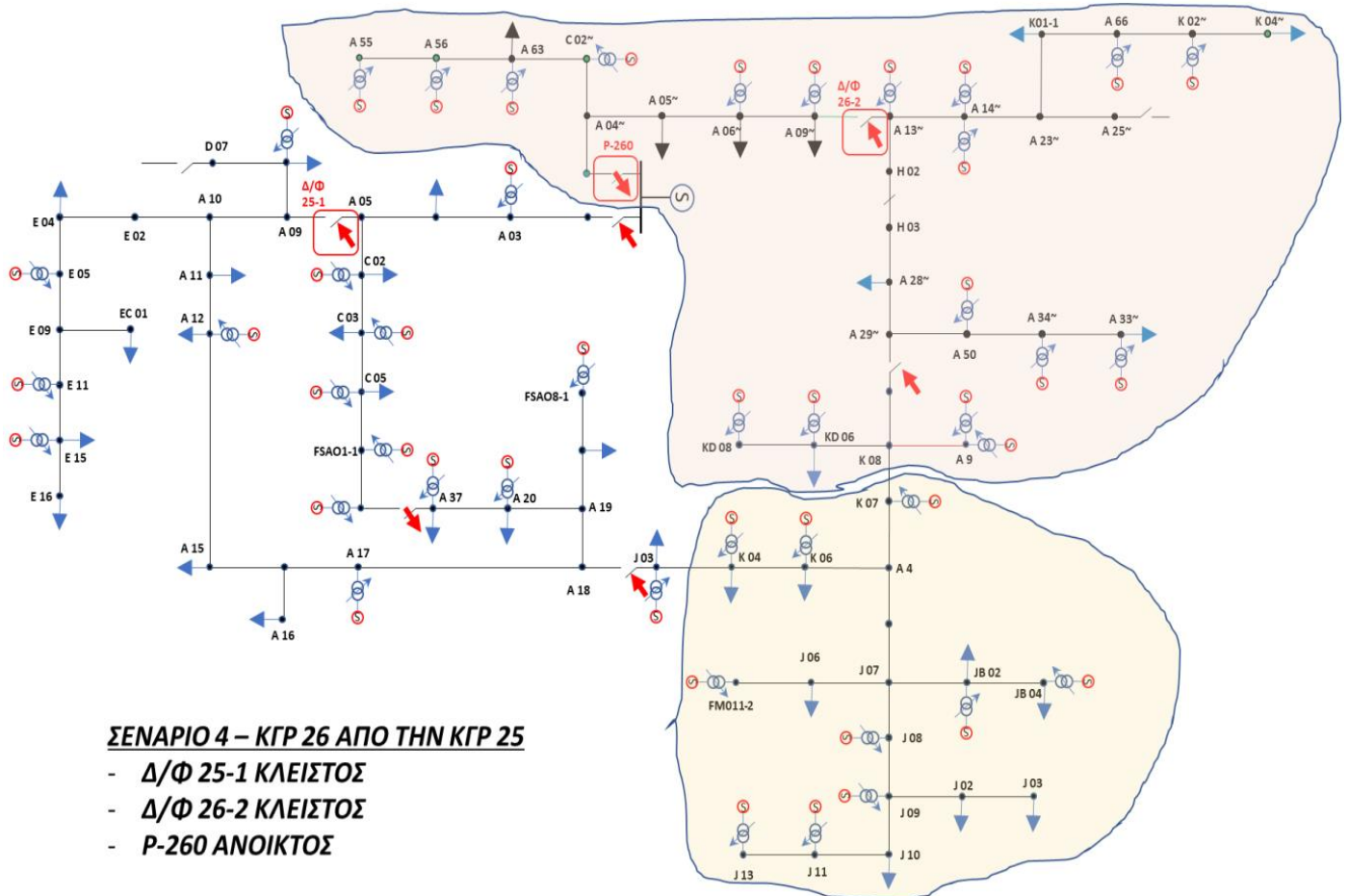
6.5 Σενάριο τέταρτο

Τροφοδότηση της ΚΓΡ 26 από την ΚΓΡ 25.

Το τέταρτο και τελευταίο σενάριο, είναι διαφαινόμενα και το δυσμενέστερο. Βάση των αποτελεσμάτων των παραπάνω σεναρίων, παρουσιάζονται απλά για επισκόπηση, τα απαγορευτικά υποσενάρια τροφοδότησης της ΚΓΡ 26 από την ΚΓΡ 25 με τάση εκκίνησης ζυγών 20,7 και 21 kV αντίστοιχα, για παραγωγή στο 100 % και στο 60 % της μέγιστης δυνατότητας.

Από αυτά τα δύο υποσενάρια, μόνο στην περίπτωση μείωσης της παραγωγής στο 60% και τάσης ζυγών 20,7 kV, διαφαίνεται τότε και μόνο τότε η τάση να μη υπερβαίνει τα 21,9 kV.

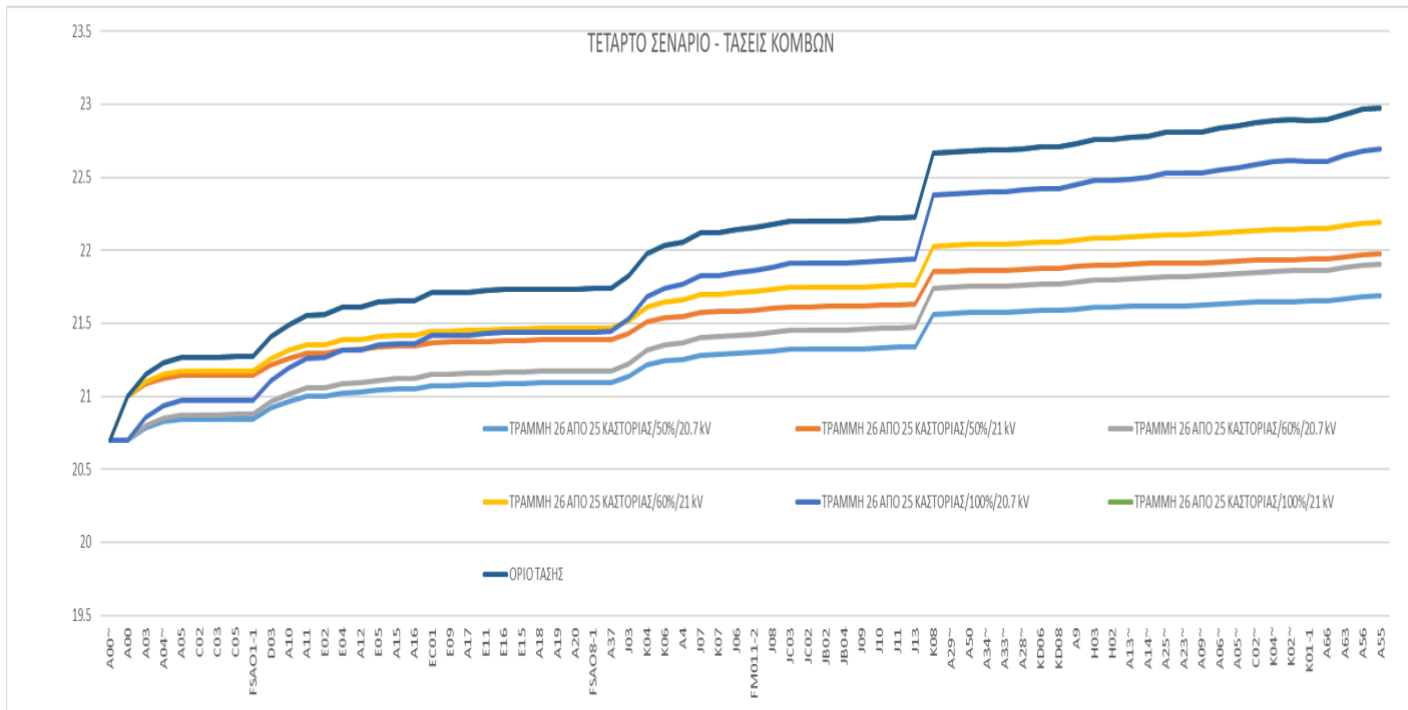
Έτσι παίρνουμε και πάλι ένα υποσενάριο, αυτό της μείωσης της παραγωγής στο 50% της εγκατεστημένης, και τα αποτελέσματα των υπολογισμών καταδεικνύουν τις οριακές τιμές τάσης σε μεγάλη έκταση του δικτύου, όταν η τάση ζυγών ανέρχεται στα 21 kV.



Σχήμα 23 Σενάριο Προσομοίωσης 4 [5]

Πίνακας 5 Τάσεις Κόμβων των δύο Γραμμών για Σενάριο 4

ΓΡΑΜΜΗ 26 ΑΠΟ ΓΡΑΜΜΗ 25							
ΤΑΣΗ	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΒ (%)					
		100%		60%		50%	
		20.7	21	20.7	21	27	21
ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΒΟΥ	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ(Kv)						
K04	20	21.68	21.98	21.32	21.61	21.21	21.51
K06	20	21.74	22.03	21.36	21.65	21.24	21.54
A4	20	21.76	22.06	21.37	21.66	21.25	21.55
J07	20	21.83	22.12	21.40	21.70	21.28	21.58
K07	20	21.83	22.12	21.41	21.70	21.29	21.58
J06	20	21.85	22.14	21.42	21.71	21.29	21.58
FM011-2	20	21.86	22.16	21.43	21.72	21.30	21.59
J08	20	21.89	22.18	21.44	21.73	21.31	21.60
JC03	20	21.91	22.20	21.45	21.74	21.32	21.61
JC02	20	21.91	22.20	21.45	21.74	21.32	21.61
JB02	20	21.91	22.20	21.45	21.75	21.32	21.62
JB04	20	21.91	22.20	21.45	21.75	21.32	21.62
J09	20	21.92	22.21	21.46	21.75	21.32	21.62
J10	20	21.93	22.22	21.46	21.76	21.33	21.62
J11	20	21.93	22.22	21.47	21.76	21.33	21.63
J13	20	21.94	22.23	21.47	21.76	21.34	21.63
K08	20	22.38	22.66	21.74	22.03	21.56	21.85
A29	20	22.39	22.67	21.75	22.03	21.57	21.86
A50	20	22.40	22.68	21.75	22.04	21.57	21.86
A34	20	22.40	22.68	21.76	22.04	21.57	21.86
A33	20	22.40	22.69	21.76	22.04	21.58	21.86
A28	20	22.41	22.70	21.76	22.05	21.58	21.87
KD06	20	22.42	22.71	21.77	22.06	21.59	21.88
KD08	20	22.42	22.71	21.77	22.06	21.59	21.88
A9	20	22.45	22.73	21.78	22.07	21.60	21.89
H03	20	22.48	22.76	21.80	22.09	21.61	21.90
H02	20	22.48	22.76	21.80	22.09	21.61	21.90
A13	20	22.49	22.77	21.81	22.09	21.61	21.90
A14	20	22.50	22.78	21.81	22.10	21.62	21.91
A25	20	22.53	22.81	21.82	22.10	21.62	21.91
A23	20	22.53	22.81	21.82	22.10	21.62	21.91
A09	20	22.53	22.81	21.82	22.11	21.63	21.91
A06	20	22.55	22.84	21.83	22.12	21.63	21.92
A05	20	22.57	22.85	21.84	22.13	21.64	21.93
C02	20	22.59	22.87	21.85	22.14	21.64	21.93
K04	20	22.61	22.89	21.85	22.14	21.64	21.93
K02	20	22.61	22.89	21.86	22.14	21.65	21.94
K01-1	20	22.61	22.89	21.86	22.15	21.65	21.94
A66	20	22.61	22.89	21.86	22.15	21.65	21.94
A63	20	22.65	22.93	21.88	22.17	21.67	21.96
A56	20	22.68	22.96	21.90	22.19	21.68	21.97
A55	20	22.69	22.97	21.91	22.19	21.69	21.97



Σχήμα 24 Προφίλ Τάσης για το Σενάριο Προσομοίωσης 4

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Λόγω της μεγάλης ποσότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως φωτοβολταϊκών πάρκων, που έχουν συνδεθεί τελευταία στο δίκτυο χαμηλής και μέσης τάσης, ορισμένοι παράμετροι του δικτύου δεν μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια και πολλές λειτουργίες μεταφοράς φορτίου έχουν απαγορευτεί λόγω της θερμικής ικανότητας των γραμμών καθώς επίσης και των τιμών τάσης. Με την βοήθεια του συστήματος τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας (ΤΑΣ), μπορούμε να ελέγξουμε την λειτουργία και την ισχύ εξόδου αυτών των ΦΒ πάρκων. Η λύση περιλαμβάνει ήδη γνωστά και υπάρχοντα συστήματα, με παρεμβάσεις χαμηλού κόστους και νόμιμης συμβατότητας. Επίσης είναι εγγενώς ασφαλής στον κυβερνοχώρο, αφού η μετάδοση σήματος περιλαμβάνει μόνο το δίκτυο διανομής και δεν λαμβάνει χώρα στο διαδίκτυο. Σε σύγκριση με την λύση RTU, η σηματοδότηση με ΤΑΣ είναι πολύ πιο αποτελεσματική, ειδικά από την άποψη της επένδυσης και κόστους συντήρησης και φυσικά περισσότερο αποτελεσματική στην ασφάλεια του κυβερνοχώρου και την προστασία των ιδιωτικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι απολύτως ενθαρρυντικά καθώς με τον έλεγχο μέσω ΤΑΣ το επίπεδο τάσης κάθε κόμβου του δικτύου MT είναι κάτω από το όριο των 22kV, κάτι που δεν ίσχυε προηγουμένως, ειδικά σε απομακρυσμένους από τους υποσταθμούς κόμβους.

Βιβλιογραφία

- [1] Καλλισθένης Ι. Σγούρας, 2009, Διπλωματική εργασία 'Επιδράσεις στη λειτουργία του τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων από φορτία και πηγές του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας'
- [2] Ευάγγελος Ν. Σάρλης, 2012, Διπλωματική εργασία 'Ανάλυση λειτουργίας συστήματος τηλεχειρισμού ακουστικών συχνοτήτων'
- [3] Θεματολογικά δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση/ Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Διαθέσιμο από: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/renewable-energy>
- [4] Το δίκτυο ηλεκτρισμού/Πο των παρεχόμενων υπηρεσιών(ιστοσελίδα ΔΕΔΔΗΕ) Διαθέσιμο από: <https://deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/poioitita-twn-parexomenwn-upiresiwn/>
- [5] Evangelos Boutsiadis, Dimitrios Tsiमितros, Dimitrios Stimoniariis, Distributed generation control via ripple signaling for establishment of ancillary services in distribution networks
- [6] REGULATORY AUTHORITY OF ENERGY (RAE)/Management code of the Greek Electricity Distribution Network. Διαθέσιμο από: www.rae.gr
- [7] Ψαθάς Ηλίας, 2013, Διπλωματική εργασία "ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ"
- [8] Άρθρο 72 της Εφημερίδας της Κυβερνήσεως, τεύχος 2, 20 Ιανουαρίου 2017
- [9] Ηλεκτρολόγοι 1ης ΕΠΑΣ ΟΑΕΔ Θεσσαλονίκης, Αρμονικές συνιστώσες ρεύματος, 6 Ιουνίου 2015, διαθέσιμο από: https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2015/04/blog-post_26.html?fbclid=IwAR3wRtMhd7DLFYix5wof57Ijx4zuSxNYGxHWjBbV1eeSQJgMFVBHX B4L8XQ
- [10] Chun Li, Wilsun Xu, Thavatchai Tayjasant, Interharmonics: Basic concepts and techniques for their detection and measurement
- [11] Tariku Sinshaw Tamir, Analysis of Harmonics Detection and their Filtration by using Active Band Pass Filter for Domestic Appliances

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

βλ	βλέπε
κ.λπ.	και λοιπά
κ.ο.κ	και ούτω καθεξής
π.χ.	παραδείγματος χάρη
ΤΑΣ	Τηλεχειρισμός Ακουστικής Συχνότητας
ΥΤ	Υψηλή Τάση
ΜΤ	Μέση Τάση
ΧΤ	Χαμηλή Τάση
Hz	Hertz
V	Volt
W	Watt
sec	second
PCC	Point of Common Coupling
GUI	Graphical User Interface
RTU	Remote Terminal Units
AC	Alternative Current
FFT	Fast Fourier Transform
Υ/Σ	Υποσταθμός
Μ/Σ	Μετασχηματιστής
Φ/Β	Φωτοβολταϊκό
Η/Υ	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
σχ.	σχήμα
εικ.	εικόνα
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΚΓΡ	Κεντρική Γραμμή
ΔΔ	Δίκτυο Διανομής
Δ/Φ	Διακόπτης Φορτίου
ΜΔΝ	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων

Αρμονική

δευτερόλεπτα

Γρήγορος Μετασχηματισμός Φουριέ

μέγιστο/κορυφή

σημείο κοινής ζεύξης

αντιστροφέας

Harmonic

seconds

Fast Fourier Transform

peak

point of common coupling

inverter

