



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

**Τεχνικά Και Οικονομικά Οφέλη Για Το Διαχειριστή Του  
Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Την  
Εγκατάσταση Μετασηματιστών Ισχύος Με Ενσωματωμένο  
Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πασιώτης Κ. Αναστάσιος**

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2021





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

**Τεχνικά Και Οικονομικά Οφέλη Για Το Διαχειριστή Του  
Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Την  
Εγκατάσταση Μετασχηματιστών Ισχύος Με Ενσωματωμένο  
Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πασιώτης Κ. Αναστάσιος**

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....  
Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γεώργιος Κορρές  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Παύλος Γεωργιλάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2021

.....  
**Πατσιώτης Κ. Αναστάσιος**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Πατσιώτης Κ. Αναστάσιος, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Τις τελευταίες δύο (2) δεκαετίες 2000 – 2020 παρατηρούνται έντονες αλλαγές στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Οι αλλαγές αυτές οφείλονται τόσο σε μεταβολές στον κλάδο της παραγωγής, όσο και σε αυτόν της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) εντάσσονται νέες μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι χαρακτηριστικότεροι τέτοιοι σταθμοί Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) είναι οι μικροί αιολικοί σταθμοί, τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β), η μικρής κλίμακας Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ), οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, οι σταθμοί βιομάζας-βιοαερίου, οι σταθμοί γεωθερμίας και η διεσπαρμένη αποθήκευση (κυρίως μέσω μπαταριών). Σύντομα, θα ενταθεί και η ενσωμάτωση στα ΔΔΗΕ νέων μορφών ηλεκτρικών καταναλώσεων, εξαιτίας και της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση.

Η διείδυση αυτή των μονάδων ΔΠ από ΑΠΕ και των νέων ηλεκτρικών φορτίων, κυρίως λόγω της ηλεκτροκίνησης, παρά την πληθώρα πλεονεκτημάτων, έχει και κάποιες δυσκολίες εμπόδια όπως είναι τα τεχνικά ζητήματα σύνδεσης στο ΔΔΗΕ. Ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά αυτά τεχνικά ζητήματα είναι η ανύψωση ή η πτώση της τάσης  $V$  στο σημείο σύνδεσης του σταθμού ΔΠ ή της ηλεκτρικής κατανάλωσης αντίστοιχα στο ΔΔΗΕ και στα σημεία κοινής σύνδεσής (ΣΚΣ) του.

Τα μέσα (εξοπλισμός) που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη ρύθμιση της τάσης  $V$  των ΔΔΗΕ, έναντι πτώσεων ή ανυψώσεων αυτής, είναι τα Συστήματα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) με τα οποία είναι εξοπλισμένοι οι Μετασχηματιστές (Μ/Σ) ισχύος των Υποσταθμών (Υ/Σ) μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)), οι λήψεις των Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ διανομής (ΜΤ / Χαμηλή Τάση(ΧΤ)) (δευτερεύοντες Υ/Σ), η μεταβολή των οποίων γίνεται μόνο χειροκίνητα και με το Μ/Σ αποσυνδεδεμένο από το ΔΔΗΕ (χωρίς φορτίο) και οι εγκάρσιοι πυκνωτές. Την τελευταία δεκαετία έχει αναπτυχθεί μία νέα τεχνολογία που συνδυάζει τις δύο αρχικές από τις παραπάνω περιπτώσεις και έρχεται να δώσει απάντηση στην απαίτηση για λειτουργία των ΔΔΗΕ υπό σταθερή τάση  $V$ . Πλέον είναι εφικτή η εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και στους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) (δευτερεύοντες Υ/Σ) των ΔΔΗΕ. Το γεγονός αυτό, συγκριτικά και με όλους τους έως σήμερα συμβατικούς τρόπους ρύθμισης της τάσης  $V$  των ΔΔΗΕ, μας παρέχει πλήθος από τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα.

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η θεωρητική μελέτη και ανάλυση αυτών των τεχνικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων, αλλά και των περιορισμών που προκύπτουν για το διαχειριστή του ΔΔΗΕ σχετικά με την εγκατάσταση Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ στους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) (δευτερεύοντες Υ/Σ) του ΔΔΗΕ.

Επίσης, επιβεβαιώσαμε την παραπάνω θεωρητική μελέτη και ανάλυσή μας και με πειραματικό τρόπο, μέσω ανάλογων προσομοιώσεων στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, τμημάτων ΔΔΗΕ. Ελέγχθηκαν και προσομοιώθηκαν διάφορα μοντέλα ΔΔΗΕ, μέσω των οποίων αναδείχτηκε η τεχνολογική υπεροχή των Μ/Σων διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Τεκμηριώθηκε ότι αποτελούν μία πολύ πιο αποτελεσματική και αποδοτική από πλευράς κόστους επιλογή, σε σύγκριση και με τους συμβατικούς τρόπους ενίσχυσης των ΔΔΗΕ, όπως για παράδειγμα είναι η κατασκευή νέων δευτερευόντων Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) και γραμμών διανομής ΜΤ και ΧΤ.

**Λέξεις κλειδιά:** δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, μετασχηματιστής ισχύος, σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο, ρύθμιση τάσης, υποσταθμός διανομής, υποσταθμός μεταφοράς, μέση τάση, χαμηλή τάση, διεσπαρμένη παραγωγή, PowerWorld Simulator.

## Abstract

In the last two (2) decades 2000 – 2020 there are strong changes in the power electricity systems. These changes are due to both changes in the field of generation and the field of the consumption of electricity. New production units from Renewable Energy Systems (RES) are included in the Electricity Distribution Networks. The most typical such Distributed Production (DP) stations are small wind farms, photovoltaic parks (PV), small scale Heat and electricity Power Cogeneration (CHP), small hydroelectric power plants, biomass-biogas stations, geothermal stations and distributed energy storage (mainly with batteries). Soon, the integration of new forms of electricity consumption in the Distribution Network will be intensified, due to the transition to electromobility.

This penetration of RES production units and new electrical loads, due to the electromobility, despite the many advantages, has some difficulties and obstacles, such as the technical issues of connection to the Distribution Network. One of the most characteristic technical issues is the increase or decrease of the voltage  $V$  at the connection point of the DP station or the electricity consumption's respectively, at the Distribution Network and its common connection points.

The equipment that are usually used to regulate the voltage  $V$  of Distribution Networks against its decrease or increase out of the limits are the On Load Tap Changers (OLTCs) with which the power Transformers (T/F) of the transmission Substations (S/S) (High Voltage (HV) / Medium Voltage (MV)) are equipped, the taps of the power T/F of the distribution S/S (Medium Voltage (MV) / Low Voltage (LV)) (secondary substations), the change of which is done only manually and with the T/F disconnected from the Distribution Network (off load) and the capacitors. In the last decade a new technology has been developed that combines the two initials from the above cases and covers the technical requirement for the operation of the Distribution Network under constant voltage  $V$ . Nowadays is possible the installation and the commissioning in the distribution S/S (MV /LV) (secondary substations) of the Distribution Networks, power T/F with integrated OLTC. This new choice, compared with all the conventional ways of regulating the voltage  $V$  of Distribution Network, provides us with many technical and economic advantages.

The object of the present postgraduate thesis was the theoretical study and analysis of these technical and economic advantages, but also the limitations for the administrator of the Distribution Network, from the installation and commissioning power T/F with integrated OLTC in the distribution S/S (MV /LV) (secondary S/S) of the Distribution Network.

We also confirmed the above theoretical study and analysis in an experimental way, through corresponding simulations in the PowerWord Simulator program, parts of the Distribution Network. Various Distribution Network models were tested and simulated, through which was highlighted the technological superiority of the distribution T/F with integrated OLTC. It was documented that this is a much more efficient and cost-effective option, compared to the conventional ways of reinforcement of Distribution Networks such as the construction of new secondary distribution S/S (MV /LV) and distribution lines MV and LV.

**Key words:** electricity distribution network, power transformer, on load tap changer, voltage reregulation, distribution substation, transmission substation, medium voltage, low voltage, distributed power production, PowerWorld Simulator.



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Νικόλαο Χατζηαργυρίου, καθηγητή του Ε.Μ.Π. και διευθυντή του διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών Παραγωγή Και Διαχείριση Ενέργειας, για τη συνολική οργάνωση του μεταπτυχιακού. Η επιθυμία μου για την παρακολούθηση του μεταπτυχιακού και η πραγματοποίησή της, αποτελεί μία από τις πλέον εξαιρετικές επιλογές που έχω κάνει, τόσο σε σχέση με τον επαγγελματικό μου βίο όσο και σε προσωπικό επίπεδο. Εκτός από τα εφόδια με τα οποία εξοπλίστηκα για την επαγγελματική μου διαδρομή, είχα τη δυνατότητα και την τιμή να διδαχτώ από εξαιρετικούς καθηγητές, το σύνολο των οποίων θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω μέσω και της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Χατζηαργυρίου, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία και για την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησής της. Το θέμα της, εκτός του ότι έχει για εμένα εξαιρετικό επιστημονικό ενδιαφέρον, σχετίζεται και με επιστημονικά πεδία με τα οποία καταπιάνομαι καθημερινά στην εργασία μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ενθάρρυνση και τη στήριξη που μου παρείχε αυτά τα δύο (2) έτη, ώστε να καταστεί εφικτή η πραγματοποίηση του μεταπτυχιακού και η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, φέροντας παράλληλα σε πέρας τις οικογενειακές και επαγγελματικές μου υποχρεώσεις.

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract .....	7
Ευχαριστίες.....	9
Περιεχόμενα .....	10
Συνοτομογραφίες .....	15
Κεφάλαιο 1.....	16
<b>Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής Και Μετάβαση Στην Ηλεκτροκίνηση .....</b>	<b>16</b>
1.1 Εισαγωγή.....	16
1.2 Μικροί Αιολικοί Σταθμοί.....	18
1.3 Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) .....	19
1.4 Μικρής Κλίμακας Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΥΘΗΑ) ..	20
1.5 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.....	22
1.6 Σταθμοί Βιομάζας - Βιοαερίου.....	22
1.7 Σταθμοί Γεωθερμίας .....	23
1.8 Αποθήκευση.....	23
1.9 Πλεονεκτήματα – Οφέλη Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ).....	24
1.10 Δυσκολίες - Εμπόδια Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) .....	25
1.11 Σύνδεση Σταθμών Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) Στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....	27
1.12 Μετάβαση Στην Ηλεκτροκίνηση Και Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....	29
<b>Κεφάλαιο 2.....</b>	<b>31</b>
<b>Έλεγχος Τάσης Και Άεργου Ισχύος Σε Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....</b>	<b>31</b>
2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Πτώση Και Ανύψωση Τάσης Σε Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....	32
2.3 Απώλειες Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....	36
2.4 Προδιαγραφές Μέτρου Τάσης.....	36
2.5 Μέσα Ρύθμισης Του Μέτρου Της Τάσης.....	37
2.6 Συστήματα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	38
2.6.1 Αρχή Λειτουργίας Συστημάτων Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	44
2.6.2 Τα Κύρια Μέρη Ενός Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ).....	47
2.6.3 Βασικές Διατάξεις Σύνδεσης Των Ρυθμιστικών Τυλιγμάτων Των Συστημάτων Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	56
2.6.4 Πρακτική Εφαρμογή Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Και Διαδικασία Αλλαγής Λήψης (Από Την 3η Στην 4η Λήψη) .....	58

2.7 Έλεγχος Άεργου Ισχύος Με Συστοιχία Πυκνωτών Σε Παράλληλη Σύνδεση.....	63
2.8 STATCOM, SVC, DVR.....	64
2.9 Τρόποι Ελέγχου Τάσης Και Άεργου Ισχύος Παρουσία Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ).....	70
2.9.1 Δυνατότητα Ρύθμισης Άεργου Ισχύος - Power Factor Control .....	70
2.9.2 Μέθοδοι Εφαρμογής Της Ρύθμισης Άεργου Ισχύος .....	72
2.9.3 Περικοπή Ενεργού Ισχύος - Active Power Curtailment .....	74
2.9.4 Αποθήκευση Περίσσειας Ισχύος Σε Συσσωρευτές (Μπαταρίες).....	76
2.9.5 Αναβάθμιση Του Δικτύου Διανομή Ηλεκτρική Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....	76
<b>Κεφάλαιο 3.....</b>	<b>77</b>
<b>Τεχνολογία Ενσωματωμένου Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Μετασχηματιστές (Μ/Σ) Ισχύος, Εγκατεστημένους Στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ). .....</b>	<b>77</b>
3.1 Εισαγωγή.....	77
3.2 Η Τεχνολογία Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	79
3.2.1 Γενικά .....	79
3.2.2 Δομή Ενός Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	80
3.2.3 Τεχνική Υλοποίηση Του Στοιχείου Ελέγχου Και Της Μονάδας Ελέγχου .....	80
3.3 Πληροφορίες Σχεδιασμού.....	82
3.3.1 Τρόπος Λειτουργίας Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	82
3.3.2 Εφαρμογές .....	85
3.3.2.1 Διόρθωση Προβλημάτων Της Ζώνης Τάσης.....	85
3.3.2.2 Βελτιστοποίηση Της Τοπολογίας Του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ).....	89
3.3.2.3 Υποστήριξη Της Διαχείρισης Άεργου Ισχύος στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Μέσης (ΜΤ) Και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ) .....	90
3.3.3 Περιορισμοί Και Ειδικές Περιπτώσεις Στη Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ).....	90
3.3.3.1 Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) με Απομακρυσμένα Τμήματα.....	91
3.3.3.2 Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Ανομοιογενείς Καλωδιακές Γραμμές.....	91
3.3.3.3 Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Παράλληλη Λειτουργία.....	91
3.3.4 Διαδικασίες Ρύθμισης.....	92
3.3.4.1 Ρύθμιση Σε Μία Σταθερή, Επιθυμητή Τιμή Τάσης.....	92

3.3.4.2 Ρύθμιση Σε Μία Επιθυμητή Τιμή Τάσης, Εξαρτώμενη Από Τη Ροή Ισχύος .....	93
3.3.4.3 Ρύθμιση Που Περιλαμβάνει Μία Απομακρυσμένη Μετρούμενη Τιμή Τάσης Από Έναν Αισθητήρα .....	94
3.3.5 Παράμετροι Ελέγχου.....	95
3.3.5.1 Παράμετροι Διαμόρφωσης.....	95
3.3.5.2 Παράμετροι Ρύθμισης .....	96
3.3.6 Συντελεστής Flicker .....	99
3.3.7 Ρύθμιση Τάσης Σε Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Που Επιδρούν Και Άλλοι Ρυθμιστές.....	99
3.3.7.1 Αλληλεπίδραση Μεταξύ Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Και Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Ισχύος Στον Υποσταθμό Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)), Επίσης Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ).....	99
3.3.7.2 Αλληλεπίδραση Μεταξύ Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Και Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	100
3.3.7.3 Παράλληλη Λειτουργία Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	100
3.3.8 Ανάλυση Κόστους-Οφέλους .....	100
3.3.8.1 Κόστη.....	100
3.3.8.2 Οφέλη.....	101
3.3.8.3 Ρυθμιστικές Πτυχές.....	103
3.3.9 Ο Μετασχηματιστής (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Ως Βασικός Εξοπλισμός .....	103
3.3.9.1 Αποφεύγοντας Την Ενίσχυση Του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Χαμηλής Τάσης (ΧΤ) .....	104
3.3.9.2 Αποφεύγοντας Την Ενίσχυση Του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Μέσης Τάσης (ΜΤ).....	106
3.4 Πληροφορίες Λειτουργίας .....	109
3.4.1 Αρχική Θέση Σε Λειτουργία Του Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	109
3.4.2 Αντιμετώπιση Προβλημάτων.....	110
3.4.3 Χρησιμοποιώντας Τροφοδοσία Έκτακτης Ανάγκης.....	110
3.4.4 Διασυνδέοντας Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Χαμηλής Τάσης (ΧΤ) ...	111
3.4.5 Συντήρηση Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	111
3.4.6 Προαιρετική Σύνδεση Με Τεχνολογίες Πληροφοριών Και Επικοινωνίας.....	111
<b>Κεφάλαιο 4.....</b>	<b>113</b>
<b>Προσομοιώσεις Και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων .....</b>	<b>113</b>

4.1 Εισαγωγή.....	113
4.2 Πρόγραμμα PowerWorld Simulator .....	113
4.3 Νο1 Μοντέλο Προσομοίωσης Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Με Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	115
4.3.1 Ζυγός Ταλάντωσης (System Slack Bus) Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) .....	115
4.3.2 Μετασχηματιστής (Μ/Σ 1) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) ....	116
4.3.3 Γραμμή Διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ) ACSR-95 .....	117
4.3.4 Μετασχηματιστής (Μ/Σ 2) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάση (ΧΤ)) Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) ..	118
4.3.5 Γραμμή Διανομής Χαμηλής Τάσης (ΧΤ) .....	120
4.3.6 Επαγωγικό Φορτίο .....	121
4.3.7 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής Που Δε Διαθέτει Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	123
4.3.8 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	124
4.3.9 Συμπεράσματα Από Τη Σύγκριση Και Την Αξιολόγηση Των Αποτελεσμάτων Της Προσομοίωσης Του Μοντέλου Νο1 .....	125
4.4 Νο2 Μοντέλο Προσομοίωσης Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Με Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	128
4.4.1 Ζυγός Ταλάντωσης (System Slack Bus) Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) .....	128
4.4.2 Μετασχηματιστής (Μ/Σ 1) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) ....	129
4.4.3 Γραμμή Διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ) ACSR-95 .....	129
4.4.4 Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) – Ζυγός 3 Μέσης Τάσης (ΜΤ).....	129
4.4.5 Κλάδος Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Με Κυμαινόμενα Επαγωγικά Φορτία.....	129
4.4.6 Σταθμός Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) – Αιολικό Πάρκο (Α/Π) .....	130
4.4.7 Κυμαινόμενα Επαγωγικά Οικιακά Φορτία .....	130
4.4.7.1 Μετασχηματιστής (Μ/Σ 2) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάση (ΧΤ)), Μέσω Του Οποίου Συνδέεται Ο Οικισμός Στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) (Ζυγός ΜΤ Νο3) του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ).....	131
4.4.8 Κυμαινόμενο Επαγωγικό Βιομηχανικό Φορτίο .....	131

4.4.8.1 Μετασχηματιστής (Μ/Σ 3) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάση (ΧΤ)), Μέσω Του Οποίου Συνδέεται Η Βιομηχανία Στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) (Ζυγός ΜΤ Νο3) του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) ...	132
4.4.9 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 3) Διανομής Που Δε Διαθέτει Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) .....	134
4.4.9.1 Περίπτωση Μέγιστου Φορτίου $maxL$ – Ελάχιστης Παραγωγής $minG$ .....	134
4.4.9.2 Περίπτωση Ελάχιστου Φορτίου $minL$ – Μέγιστης Παραγωγής $maxG$ .....	136
4.4.10 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 3) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ). .....	137
4.4.10.1 Περίπτωση Μέγιστου Φορτίου $maxL$ – Ελάχιστης Παραγωγής $minG$ .....	138
4.4.10.2 Περίπτωση Ελάχιστου Φορτίου $minL$ – Μέγιστης Παραγωγής $maxG$ .....	139
4.4.11 Συμπεράσματα Από Τη Σύγκριση Και Την Αξιολόγηση Των Αποτελεσμάτων Της Προσομοίωσης Του Μοντέλου Νο2 .....	140
<b>Κεφάλαιο 5</b> .....	<b>143</b>
<b>Συμπεράσματα – Προοπτικές Συνέχισης</b> .....	<b>143</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>145</b>

## Συντομογραφίες

Μ/Σ	Μετασχηματιστής Ισχύος
ΣΑΤΥΦ	Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο
ΔΔΗΕ	Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
Υ/Σ	Υποσταθμός
ΔΠ	Διεσπαρμένη Παραγωγή
ΥΥΤ	Υπερηψηλή Τάση
ΥΤ	Υψηλή Τάση
ΜΤ	Μέση Τάση
ΧΤ	Χαμηλή Τάση
ΣΙ	Συντελεστής Ισχύος ( $\cos \varphi$ )
ΣΣΔ	Σημείο Σύνδεσης Δικτύου
ΣΚΣ	Σημείο Κοινής Σύνδεσης
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΣΥΘΗΑ	Συμπαράγωγή Θερμότητας Ηλεκτρισμού Υψηλής Απόδοσης
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
Α/Π	Αιολικό Πάρκο
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
ΜΕΚ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
ΟΡΚ	Οργανικός Κύκλος Rankine
ΥΗΕ	ΥδροΗλεκτρική Ενέργεια
UPS	Μονάδα Αδιάλειπτης Παροχής Ενέργειας
ΤΑΣ	Τηλεχειρισμός Ακουστικής Συχνότητας
Η/Ο	Ηλεκτρικό Όχημα
Σ/Φ	Συσκευή ενσύρματης Φόρτισης
ΑΜΣ	Αυτομετασχηματιστής
3Φ	Τριφασικό
1Φ	Μονοφασικό
Υ-Δ	Συνδεσμολογία Αστέρα-Τριγώνου
STATCOM	Static Synchronous Compensator
SVC	Static Var Compensator
DVR	Dynamic Voltage Restorer
VSC	Voltage Sourced Converter
PFC	Power Factor Control
APC	Active Power Curtailment
ACS	Automatic Control System

# Κεφάλαιο 1

## Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής Και Μετάβαση Στην Ηλεκτροκίνηση

### 1.1 Εισαγωγή

Για περισσότερο από μισό αιώνα, η ανάπτυξη του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) είχε βασιστεί στο παραδοσιακό μοντέλο της κεντρικής ηλεκτροπαραγωγής (Εικόνα 1.1 , 1.3). Κύριο χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού, είναι η απομακρυσμένη παραγωγή από την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σταθμοί παραγωγής μεγάλου μεγέθους ( $10^2 - 10^3 MW$ ) είναι συνήθως συγκεντρωμένοι κοντά σε πηγές (π.χ. λιγνίτης, νερά) και μακριά από την κατανάλωση. Στην Ελλάδα οι κύριες λιγνιτικές μονάδες και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι εγκατεστημένοι στο βορρά, ενώ οι μεγαλύτερες καταναλώσεις στα μεγάλα αστικά κέντρα, προέρχονται κυρίως από το νότο.

Έτσι αποτελεί αναγκαιότητα η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Από τους σταθμούς παραγωγής της στα κέντρα της κατανάλωσης, μέσω του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται σε υψηλά επίπεδα τάσης  $V_n > 36 kV$ , για λόγους τεχνικής εφικτότητας (μείωση ρεύματος και πτώσης τάσης) και περιορισμού των απωλειών. Στο ελληνικό δίκτυο μεταφοράς ενέργειας τα δύο επίπεδα τάσης που συναντάμε είναι  $V_n = 150 kV$  για την Υψηλή Τάση (ΥΤ) και  $V_n = 400 kV$  για την Υπερηψηλή Τάση (ΥΥΤ).

Ακολούθως, πραγματοποιείται ο υποβιβασμός της τάσης και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές, μέσω του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) και στα επίπεδα τάσης  $0 kV < V_n \leq 36 kV$ . Το ελληνικό ΔΔΗΕ περιλαμβάνει γραμμές διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ), με δύο επίπεδα τάσης  $V_n = 20 kV$  και  $V_n = 15 kV$ , γραμμές διανομής Χαμηλής Τάσης (ΧΤ), με επίπεδο τάσης  $V_n = 0,4 kV$ , καθώς και Υποσταθμούς (Υ/Σ) υποβιβασμού (Υ/Σ διανομής, δευτερεύοντες Υ/Σ) μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων τάσης. Σε αυτό συνδέονται οι τελικοί καταναλωτές.

Τις τελευταίες δύο (2) δεκαετίες, 2000 – 2020, παρατηρείται η έντονη αλλαγή της αρχιτεκτονικής των ΣΗΕ λόγω της ένταξης σε αυτά μικρής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέεται στο ΔΔΗΕ και στα επίπεδα ΜΤ και ΧΤ και ονομάζεται Διεσπαρμένη Παραγωγή (ΔΠ) (Εικόνα 1.2, 1.3). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της ΔΠ είναι η μικρής κλίμακας παραγωγή ( $1KW - 10MW$ ) και οι πολλοί και μικροί σταθμοί παραγωγής που βρίσκονται αρκετά κοντά ή ακόμη είναι και ενσωματωμένοι στην κατανάλωση.

Οι σπουδαιότερες έως σήμερα ανεπτυγμένες τεχνολογίες ΔΠ είναι:

- Οι μικροί αιολικοί σταθμοί,
- Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β),



- Η μικρής κλίμακας Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΥΘΗΑ),
- Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί,
- Οι σταθμοί βιομάζας-βιοαερίου,
- Οι σταθμοί γεωθερμίας και
- Η διεσπαρμένη αποθήκευση κυρίως με μπαταρίες. [1]

Οι έντονες αυτές αλλαγές στην αρχιτεκτονική των ΣΗΕ λόγω της ΔΠ αναμένεται τα αμέσως προσεχή έτη να ενταθούν, εξαιτίας και της μετάβασης της ανθρωπότητας στην ηλεκτροκίνηση που θα προκαλέσει την ενσωμάτωση στα ΔΔΗΕ νέων, μεγάλων ηλεκτρικών καταναλώσεων.

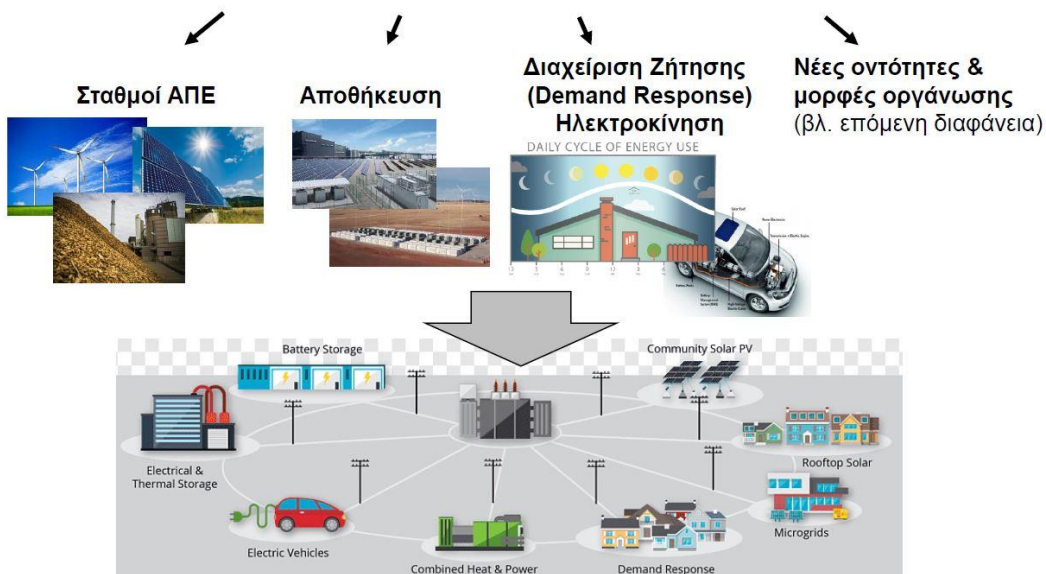
## Βασική Δομή ΣΗΕ



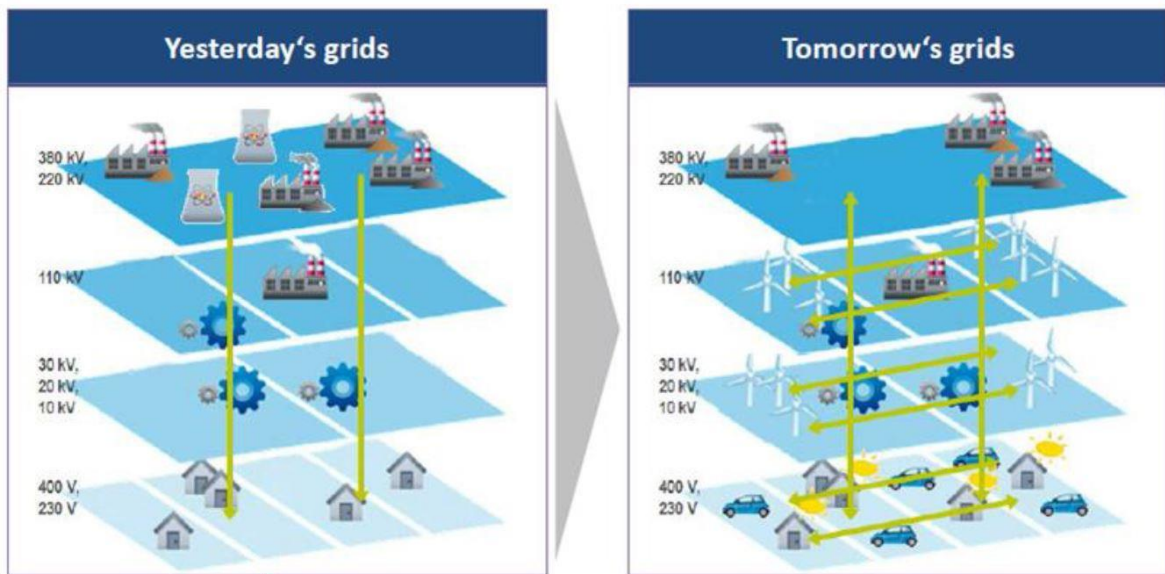
Εικόνα 1.1: ΣΗΕ βασισμένο στο μοντέλο κεντρικής ηλεκτροπαραγωγής

## Διεσπαρμένοι Ενεργειακοί Πόροι

Αλλαγή στο τοπίο παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 1.2: Ένταξη στο ΣΗΕ Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ).



Εικόνα 1.3: Ένταξη στο ΣΗΕ Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ).

## 1.2 Μικροί Αιολικοί Σταθμοί

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη. Αν

υπήρχε η δυνατότητα, με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος.

Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες σύμφωνα και με τα σημερινά δεδομένα. Άλλωστε, το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει μία "πρώτη" περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας.

Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται Ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τις Α/Γ με οριζόντιο άξονα όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς, παράλληλα προς τον άνεμο και
- Τις Α/Γ με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερός.

Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι Α/Γ οριζόντιου άξονα σε ποσοστό 90 %. Μπορούν να συνδεθούν κατευθείαν στο ΔΔΗΕ της χώρας. Έτσι, μια συστοιχία πολλών Α/Γών που ονομάζεται Αιολικό Πάρκο (Α/Π) μπορεί να λειτουργήσει σαν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η κύρια πρόκληση της τεχνολογίας των Α/Πων είναι η αξιοπιστία του ΔΔΗΕ το οποίο παρουσιάζει διάφορα προβλήματα στην απορρόφηση όλης της παραγόμενης ενέργειας. Εφόσον η αιολική παραγωγή ενέργειας είναι βασισμένη σε φυσικές δυνάμεις (αέρας), δεν μπορεί να αποστείλει την απαιτούμενη ενέργεια αλλά μόνο την ενέργεια που παράγεται η οποία ενδέχεται στις περισσότερες των περιπτώσεων να μην συμπίπτει με τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Κατά συνέπεια, καθώς το μερίδιο της αιολικής ενέργειας αυξάνεται, η ένταξη των Α/Γων στο ΔΔΗΕ χρειάζεται ιδιαίτερη μελέτη και προσοχή. Ένα άλλο εμπόδιο είναι η διαθεσιμότητα μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει επειδή, τις περισσότερες φορές, οι ιδανικές θέσεις εγκατάστασης των Α/Πων είναι σε απομακρυσμένες περιοχές, χωρίς εύκολη και κοντινή πρόσβαση σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. [2]

### 1.3 Φωτοβολταϊκά (Φ/Β)

Τα Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα περιλαμβάνουν την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς χρήση οποιασδήποτε θερμικής μηχανής. Τα Φ/Β έχουν χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας για πολύ μικρές εφαρμογές όπως αριθμομηχανές και ρολόγια αλλά και για άντληση νερού, μακρινά κτίρια, τηλεπικοινωνίες, δορυφόρους και διαστημικά οχήματα. Τέλος, χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα.

Αν και μια Φ/Β συσκευή έχει πολύ χαμηλή λειτουργική δαπάνη, απαιτεί μεγάλα κεφάλαια και παρουσιάζει χαμηλή αποδοτικότητα. Αυτό καθιστά τα Φ/Β συστήματα σχετικά ακριβά με προοπτικές όμως συνεχούς μείωσης του κόστους προμήθειας και εγκατάστασής τους. Χωρίς επιχορηγήσεις, η ενέργεια από Φ/Β συστήματα παραμένει πιο

ακριβή από την παραγόμενη ενέργεια από άλλες πηγές, σε μέρη φυσικά όπου υπάρχει ΔΔΗΕ. Εντούτοις, όπου δεν υπάρχει ΔΔΗΕ, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να είναι η φτηνότερη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Φ/Β μπορούν επίσης να είναι ανταγωνιστικά κατά τη διάρκεια περιόδων μέγιστης ζήτησης.

Η εφαρμογή Φ/Βων συστημάτων ενθαρρύνεται από τη σχεδόν απεριόριστη διαθεσιμότητα του ηλιακού φωτός, τον μακροχρόνιο κύκλο ζωής τους, τον υψηλό σχεδιασμό και την ευελιξία τους, την εύκολη συντήρησή τους (δεδομένου ότι συνήθως δεν περιλαμβάνουν κανένα κινούμενο μέρος), το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας τους, καθώς και από το ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον, από τη δυνατότητα για εφαρμογή τους εκτός ΔΔΗΕ, αλλά και από το σχετικά μικρό απαιτούμενο χρόνο για το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία τους. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των Φ/Βων συστημάτων είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε επιφάνεια εδάφους για την εγκατάστασή τους, λόγω της διάχυτης φύσης του φωτός, το υψηλότερο κόστος εγκατάστασής τους σε σχέση με άλλες τεχνολογίες σταθμών ΔΠ και η διαλείπουσα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλό συντελεστή φορτίου.

#### **1.4 Μικρής Κλίμακας Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΥΘΗΑ)**

Συμπαραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας, από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας. Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας οδηγεί σε υψηλούς βαθμούς χρησιμοποίησης του καυσίμου, οι οποίοι τις περισσότερες φορές ξεπερνάνε το 80%.

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είτε σε κεντρικές, είτε σε αποκεντρωμένες μονάδες αναγνωρίζεται πλέον, ως μια από τις αποδοτικότερες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας. Κατά την τεχνολογία αυτή, η οποία παρουσίασε σημαντική εξέλιξη και εφαρμογές στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ μετά τη δεκαετία του '70, πραγματοποιείται η ταυτόχρονη παραγωγή δύο ωφέλιμων προϊόντων (θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας), από μία μονάδα και μία διεργασία. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάκτηση, στο μεγαλύτερο μέρος της, της αποβαλλόμενης θερμότητας από τις θερμικές μηχανές, ή τους θερμικούς σταθμούς.

Τεχνολογίες συμπαραγωγής μπορεί κανείς να συναντήσει:

- Σε μεγάλα κτίρια (π.χ. κτίρια γραφείων, εκπαιδευτικά ιδρύματα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα κλπ.), των οποίων τόσο οι θερμικές, όσο και οι ηλεκτρικές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν από αποδοτικά συμπαραγωγικά συστήματα (πιο αποδοτικά από ότι αν τα δύο προϊόντα παράγονταν χωριστά).
- Σε πόλεις όπως είναι για παράδειγμα η Κοζάνη, η Πτολεμαΐδα, το Αμύνταιο, οι Σέρρες, όπου συστήματα τηλεθέρμανσης χρησιμοποιούν την αποβαλλόμενη θερμότητα από τους λιγνιτικούς σταθμούς για θέρμανση των κατοικιών και των κτιρίων των πόλεων.
- Σε μικρές και μεγάλες βιομηχανίες, στις οποίες οι ενεργειακές ανάγκες είναι αυξημένες και στις οποίες η ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση πρωτογενούς πηγής

ενέργειας (καυσίμου). Τέτοιες βιομηχανίες μπορεί να είναι για παράδειγμα, η βιομηχανία χαρτιού στην οποία σημαντικά ποσά θερμότητας χρειάζονται για την ξήρανση του χαρτιού, η βιομηχανία τροφίμων, η βιομηχανία Αλουμινίου στην οποία η θερμότητα είναι απαραίτητη για την παραγωγή του μετάλλου, η Τσιμεντοβιομηχανία κλπ.

- Σε διάφορες αγροτικές χρήσεις, όπου πέρα από τη χρήση του ηλεκτρισμού και της θερμότητας, πραγματοποιείται ταυτόχρονη χρήση του  $CO_2$  για αγροτικούς σκοπούς.

Η συμπαραγωγή παρουσιάζει πολλά οφέλη και είναι πολύ σημαντική για την περίπτωση αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων, τόσο από οικονομικής όσο και από ενεργειακής άποψης. Λόγω της παραγωγής δύο προϊόντων, τα έσοδα των εγκαταστάσεων αυξάνονται, με αποτέλεσμα επενδύσεις αποκεντρωμένης συμπαραγωγής π.χ. με βιομάζα, να προκύπτουν πιο βιώσιμες σε σχέση με επενδύσεις καθαρής ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, λόγω της αποκεντρωμένης συμπαραγωγής, παρατηρείται σημαντική μείωση των απωλειών που παρουσιάζονται κατά τη μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι τεχνολογίες συμπαραγωγής, οι οποίες έχουν εφαρμογή σε σύγχρονες εγκαταστάσεις, χαρακτηρίζονται από το λόγο της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια, ενώ μπορούν να περιλαμβάνουν είτε εσωτερική, είτε εξωτερική καύση. Αυτές είναι:

- Συστήματα Ατμοστροβίλου:
  - Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.
  - Συστήματα συμπαραγωγής ατμοστροβίλου συμπύκνωσης με απομάστευση.
  - Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο και σύστημα αποσύμπλεξης χαμηλής πίεσης.
- Συστήματα συμπαραγωγής με Αεριοστρόβιλο:
  - Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου.
  - Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου με έγχυση ατμού στο θάλαμο καύσης.
  - Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού τύπου.
- Συστήματα εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ).
- Συμπαραγωγή με συνδυασμένο κύκλο αεριοστροβίλου-ατμοστροβίλου.
- Τεχνολογίες μικροστροβίλων.
- Οργανικός κύκλος Rankine (ORC).
- Συστήματα εμβολοφόρων ή κοχλιωτών ατμομηχανών.
- Συστήματα Κυψελών Καυσίμου
- Συστήματα με μηχανές Stirling. [3]

## 1.5 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

Στην Ευρώπη τουλάχιστον οι δύο-τρεις δεκαετίες μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως η χρυσή περίοδος των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων. Η έντονη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού έγινε με μονάδες μεγάλης ισχύος, μερικών εκατοντάδων  $MW$  η κάθε μία, ως αποτέλεσμα της μεγάλης αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ύστερα από την καταστροφή της υποδομής που είχε λάβει χώρα κατά τον πόλεμο. Η επέκταση και η αυξανόμενη πρόσβαση στα δίκτυα μεταφοράς είχε οδηγήσει στη συγκέντρωση της ηλεκτρικής παραγωγής σε μεγάλες μονάδες παραγωγής, έτσι ώστε να επωφεληθούν από οικονομικής απόψεως. Αυτό οδήγησε σε μια τάση οικοδόμησης της ΥδροΗλεκτρικής Ενέργειας (ΥΗΕ) σε μεγάλες εγκαταστάσεις, παρά σε μικρές, για αρκετές δεκαετίες. Από τη δεκαετία του 1980 περίπου, ξεκίνησε να παρατηρείται διεθνώς ένα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών, που εκδηλώνεται με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων. Η απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας έχει συμβάλλει, σε μερικές περιοχές, στην ανάπτυξη μικρής παραγωγικής δύναμης σε ΥΗΕ από ανεξάρτητους παραγωγούς.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι από πλευράς αρχής λειτουργίας, τόσο κατά τη μετατροπή της ΥΗΕ σε μηχανική, όσο και κατά τη μετατροπή της τελευταίας σε ηλεκτρική, ένα μικρό υδροηλεκτρικό δε διαφέρει από ένα μεγάλο. Επίσης, δε διαφέρουν ως προς το πλήθος και το είδος των επιμέρους έργων-τμημάτων από τα οποία απαρτίζεται ένα υδροηλεκτρικό. Ως μικρό χαρακτηρίζεται ένα υδροηλεκτρικό όταν η ονομαστική ισχύς του  $P_n \leq 10 MW$ . Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι "μίνι" (mini) υδροηλεκτρικό με ικανότητα  $100 kW \leq P_n \leq 1 MW$  και "μίκρο" (micro) υδροηλεκτρικό με ικανότητα  $P_n \leq 100 kW$ . [4]

## 1.6 Σταθμοί Βιομάζας - Βιοαερίου

Οι πόροι βιομάζας περιλαμβάνουν γεωργικά απόβλητα, ζωικό λίπασμα, δασικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανίας, δημοτικά απόβλητα, απόβλητα καθαρισμού λυμάτων, συγκομιδές κλπ. Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια (ή σε θερμότητα) με διάφορες διαδικασίες.

Η πλειοψηφία της ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα παράγεται χρησιμοποιώντας έναν κύκλο ατμού όπου το υλικό της βιομάζας μετατρέπεται αρχικά σε ατμό σε ένα λέβητα. Ο εξαγόμενος ατμός χρησιμοποιείται έπειτα για να κινήσει μια γεννήτρια στροβίλων. Η βιομάζα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μαζί με άνθρακα για να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας (co-firing). Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι η πιο οικονομική βραχυπρόθεσμη επιλογή για να εισαγάγει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα και ελαττώνει τις εκπομπές αερίων στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από κάρβουνο ή λιγνίτη. Άλλη εναλλακτική λύση είναι να μετατραπεί η στερεά βιομάζα σε ένα αέριο καύσιμο. Το αέριο καύσιμο μπορεί κατόπιν να χρησιμοποιηθεί σε μια έμβολο-οδηγημένη μηχανή, σε μία γεννήτρια αεριοστροβίλων υψηλής αποδοτικότητας ή σε κυψέλες καυσίμου.

Η χρήση βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας και στην παραγωγή συνδυασμένης θερμότητας και ενέργειας επεκτείνεται σταθερά στην Ευρώπη.

Τα κύρια εμπόδια στη διάδοση της χρήσης της βιομάζας για την ηλεκτρική παραγωγή είναι το κόστος, η χαμηλή απόδοση μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια και η διαθεσιμότητα σε πρώτη ύλη. Η βιομάζα έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία κάνει τη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις δαπανηρή. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η υπερεκμετάλλευση των πηγών βιομάζας. Για να βελτιωθεί η αποδοχή χρήσης δασικών περιοχών και γης πρέπει να δίδονται πιστοποιήσεις ότι οι πρώτες ύλες βιομάζας αποκτώνται σε ανεκτά επίπεδα.

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση απόβλητης και υπολειμματικής βιομάζας, όπως αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων (βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων), οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων άλλων αγροτοβιομηχανικών μονάδων, λυμάτων μονάδων βιολογικών καθαρισμών, διαφόρων κλασμάτων απορριμμάτων που μπορούν να βιοαποικοδομηθούν, καθώς και καλλιεργειών που μπορούν να αναπτυχθούν με σκοπό την παραγωγή ενέργειας, μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης (ζύμωσης).

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $CH_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) σε ποσοστά 55 – 70% και 30 – 45% αντίστοιχα. Επίσης, περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο ( $N_2$ ), υδρογόνο ( $H_2$ ), αμμωνία ( $NH_3$ ), υδρατμούς ( $H_2O$ ), υδρόθειο ( $H_2S$ ) κ.α.

Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου κυμαίνεται από 20 έως 25  $MJ/m^3$  ή 5,5 έως 7,0  $kWh/m^3$ .

Το βιοαέριο τροφοδοτεί ΜΕΚ, καυστήρες αερίου ή και αεριοστρόβιλους με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. [5]

## 1.7 Σταθμοί Γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη ως θερμότητα που εκπέμπεται από μέσα από τη γη, συνήθως υπό μορφή θερμού ρευστού ή ατμού. Ενώ η παραπάνω ενέργεια αποτελεί μια άφθονη πηγή, μόνο ένα πολύ μικρό μέρος μπορεί να μετατραπεί εμπορικά σε ηλεκτρική ενέργεια με βάση τουλάχιστον τη σημερινή τεχνολογία.

Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας απαιτούν ιδιαίτερα υψηλά κεφάλαια αλλά έχουν χαμηλές λειτουργικές δαπάνες. Οι εγκαταστάσεις είναι καθαρές, χωρίς εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους. Μία νέα και σημαντική ευκαιρία θα αναδυθεί τα επόμενα χρόνια, για τη γεωθερμική ανάπτυξη, εφόσον η μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ), ως απάντηση στις ανησυχίες για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, θεωρηθεί ως πίστωση. [6]

## 1.8 Αποθήκευση

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης, με χαρακτηριστικότερη την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες, δεν παράγουν καθαρή ενέργεια, αλλά μπορούν να προμηθεύουν τους καταναλωτές ηλεκτρική ενέργεια για μικρά χρονικά διαστήματα. Χρησιμοποιούνται ακόμη για τη διόρθωση καταστάσεων πτώσεων τάσης, φαινομένου flicker και έντονης κυμάτωσης.

Η αποθήκευση ενέργειας είναι απαραίτητη για ένα υψηλής απόδοσης σύστημα ΑΠΕ. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Power to Power.
- Power to Heat.
- Power to Fuel.

Επίσης, οι τεχνολογίες αποθήκευσης κατηγοριοποιούνται σε σχέση με τη σύνδεση των σταθμών αποθήκευσης ενέργειας ή μη με το δίκτυο, σε:

- Συνδεδεμένους σταθμούς αποθήκευσης με το δίκτυο (Mainland-Grid Connected (CG))
- Μη συνδεδεμένους σταθμούς αποθήκευσης στο δίκτυο, λειτουργίας ησίδας, αυτόνομης λειτουργίας (Not Connected To The Grid, Islands, Autonomous Operation).

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως συστήματα Αδιάλειπτου Παροχής Ενέργειας (UPS). Σαν τέτοια, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες θεωρούνται τεχνολογίες ΔΠ. [7]

## 1.9 Πλεονεκτήματα – Οφέλη Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ)

Η ένταξη των μονάδων ΔΠ στο ΔΔΗΕ έχει πληθώρα πλεονεκτημάτων – οφελών, τόσο για τους παραγωγούς όσο και για τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κύριοι άξονες των πλεονεκτημάτων αυτών αναλύονται παρακάτω:

- Καθαρή ηλεκτροπαραγωγή – Εκμετάλλευση των ΑΠΕ.

Όπως είδαμε και παραπάνω η ΔΠ καλύπτει μία πολύ ευρεία γκάμα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών. Η εκτεταμένη χρήση ΑΠΕ μειώνει την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και επιβλαβείς εκπομπές όπως τα Οξειδία του Θείου ( $SO_x$ ) και του Αζώτου ( $NO_x$ ), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος.

- Ευελιξία / Ευχέρεια ανάπτυξης.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών ΑΠΕ δημιουργεί νέες ευκαιρίες στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, προσφέρει πιο προβλέψιμο ενεργειακό κόστος άρα και μικρότερο ρίσκο.

Πρακτικά είναι ευκολότερο να βρεθούν τοποθεσίες για εγκατάσταση ΑΠΕ και άλλων τεχνολογιών ΔΠ από ότι για έναν κεντρικό, μεγάλο θερμικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μάλιστα, οι μονάδες αυτές ΔΠ είναι πιο εύκολο και κυρίως πιο γρήγορο (απαιτούν λιγότερο χρόνο) να συνδεθούν στο ΔΔΗΕ. Η έκθεση και το ρίσκο του κεφαλαίου μειώνονται και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.



- Μείωση απωλειών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι σταθμοί ΔΠ εγκαθίστανται σε τοποθεσίες κοντά στους χρήστες-καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην τοποθεσία στην οποία χρησιμοποιείται ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς και διανομής, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς και διανομής που αποτελεί ένα σημαντικό μέρος, πάνω από το 10%, του συνολικού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.

- Δυνατότητα για βελτίωση της αξιοπιστίας και συνέχειας τροφοδότησης της κατανάλωσης.

Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των μονάδων ΔΠ εκτός από την υψηλότερη απόδοση ενέργειας, κάνει πιο αξιόπιστη και ασφαλή την παρεχόμενη ενέργεια και μειώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας.

Όσο αυξάνεται η ζήτηση για περισσότερη και καλύτερης ποιότητας ηλεκτρική ισχύ, η ΔΠ παρέχει εναλλακτικές λύσεις για αξιόπιστη και οικονομική ισχύ σε νοικοκυριά, επιχειρήσεις και βιομηχανίες. Μπορεί να εξασφαλίσει στους καταναλωτές ότι η παροχή θα είναι συνεχής και αδιάλειπτη. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει διακοπή ηλεκτροδότησης, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποκατασταθεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Παρέχει ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η επιλογή των παραδοσιακών γραμμών διανομής είναι χαμηλής αξιοπιστίας ή ακόμη και αδύνατη. Τέτοιες περιοχές όπως πύργοι κεραιών, μικρά απομακρυσμένα ορεινά χωριά ή πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου στον ωκεανό που υπόκεινται σε συχνές διακοπές ηλεκτροδότησης ή ακόμη βρίσκονται εκτός του ηλεκτρικού δικτύου, επωφελούνται από τη ΔΠ ως βασική πηγή ενέργειας.

- Δυνατότητα περικοπής αιχμών ζήτησης → Μείωση συμφόρησης – Αποφυγή / Μετάθεση επενδύσεων για ενισχύσεις δικτύου.

Οι σταθμοί ΔΠ μπορούν να ανταποκριθούν πολύ γρήγορα σε νέες απαιτήσεις ισχύος. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της ΔΠ είναι ότι οι αυξομειώσεις στην εγκατεστημένη ισχύ μπορούν να γίνουν με μικρές προσαυξήσεις, σε πλήρη συμφωνία με τη ζήτηση, σε αντίθεση με την κατασκευή κεντρικών, μεγάλων θερμικών σταθμών ενέργειας, κατασκευασμένων για την κάλυψη μελλοντικής κυρίως και όχι τρέχουσας ζήτησης.

Έτσι, η ένταξη στο ΔΔΗΕ μονάδων ΔΠ μειώνει ή αναβάλλει ακόμη τις επενδύσεις για νέα έργα υποδομής, όπως ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς και διανομής και υποσταθμούς και επιτρέπει την πιο αποτελεσματική οικονομική διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας και φορτίων. [1]

## **1.10 Δυσκολίες - Εμπόδια Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ)**

Η διείσδυση των μονάδων ΔΠ στα ΔΔΗΕ εκτός από τα πλεονεκτήματα – οφέλη, παρουσιάζει και κάποιες δυσκολίες – εμπόδια, οι κύριοι άξονες των οποίων είναι:

- Ρυθμιστικά (αδειοδότηση, συμμετοχή σε αγορά / τρόπος και ύψος αποζημίωσης, χρηματοδότηση).
- Ωριμότητα και βιωσιμότητα (διαφέρουν ανά τεχνολογία).
- Τεχνικά ζητήματα ενσωμάτωσης στο ΔΔΗΕ.
- Δυσκολία κεντρικής εποπτείας και διαχείρισης.
- Αύξηση πολυπλοκότητας ελέγχου ΣΗΕ.

Αξίζει να σταθούμε και να αναλύσουμε ιδιαίτερα τα τεχνικά ζητήματα ενσωμάτωσης στο ΔΔΗΕ, αφού, ένας από τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι να ερευνήσει και να προτείνει τεχνικούς τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος των μεταβολών της τάσης των ΔΔΗΕ, που προκαλούνται από την ένταξη σε αυτά σταθμών ΔΠ.

Έτσι, τα τεχνικά ζητήματα ενσωμάτωσης σταθμών ΔΠ στο ΔΔΗΕ μπορούν να διακριθούν σε:

- Αλλαγές στο επίπεδο της τάσης των ΔΔΗΕ. Ποιότητα τάσης.

Ρύθμιση τάσης σε αργές μεταβολές. Με την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα προσπαθήσουμε να ερευνήσουμε και να απαντήσουμε, αν η εφαρμογή της νέας τεχνολογίας των Μετασχηματιστών (Μ/Σ) ισχύος με ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ), η οποία και θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 3, μπορεί να δώσει απάντηση στο συγκεκριμένο τεχνικό πρόβλημα, που προκαλείται από την ένταξη σταθμών ΔΠ στα ΔΔΗΕ.

- Ποιότητας παραγόμενης ισχύος.

Γρήγορες μεταβολές και flicker, αύξηση των παραγόμενων αρμονικών στο ΔΔΗΕ από τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος και έγχυση DC συνιστώσας.

- Μεταβολή των ρευμάτων από σφάλματα δικτύου – αλλαγή του επιπέδου βραχυκύκλωσης.

Η ΔΠ επαυξάνει τη συνολική στάθμη βραχυκύκλωσης, αφού το ρεύμα βραχυκύκλωσης πηγών υπερτίθεται στη συμβολή του ανάντη συστήματος. Η προκύπτουσα συνολική στάθμη βραχυκύκλωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη σχεδιασμού του ελληνικού ΔΔΗΕ που είναι  $S_{k,max} = 250 \text{ MVA}$ . Αυτό φυσικά έχει ως συνέπεια, η συμβολή στη στάθμη βραχυκύκλωσης να αποτελεί κρίσιμο περιορισμό για τη διείσδυση ΔΠ στο ελληνικό ΔΔΗΕ ΜΤ και ΧΤ.

- Ανάγκη τροποποίησης των μηχανισμών προστασίας του δικτύου.

Εξασφάλιση της προστασίας απόζευξης των σταθμών (όρια τάσης – συχνότητας, αντηνισδοποίηση) και επανασχεδιασμός και επανέλεγχος της λειτουργίας των προστασιών του ΔΔΗΕ.

- Επιπτώσεις στην ευστάθεια του ΣΗΕ και στην επάρκεια του ΔΔΗΕ. Ικανότητα Μ/Σ, γραμμών κλπ.
- Θέματα λειτουργίας και εκμετάλλευσης όπως:
  - Η αντίστροφη ροή ισχύος (επίπτωση σε ανάντη ΔΔΗΕ και σε μέσα ρύθμισής τάσης),
  - Η μείωση του συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi$ , ηλεκτρικών γραμμών και Υ/Σ,
  - Η εκτίμηση φόρτισης κλάδων του ΔΔΗΕ,
  - Η επίπτωση στις απώλειες ισχύος και ενέργειας και
  - Ειδικότερα τεχνικά θέματα (επίπτωση σε Τηλεχειρισμό Ακουστικής Συχνότητας (ΤΑΣ) και μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας). [1]

### **1.11 Σύνδεση Σταθμών Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) Στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)**

Όπως ήδη είδαμε, υπάρχουν διαθέσιμες πολλές τεχνολογίες ΔΠ. Η ΔΠ μπορεί να βασιστεί σε διάφορες πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Ο τύπος της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, σε ένα μεγάλο βαθμό, καθορίζει τον τύπο σύνδεσης στο ΔΔΗΕ που εφαρμόζεται και τα χαρακτηριστικά εξόδου της ΔΠ.

Με βάση τα χαρακτηριστικά παραγωγής, η ΔΠ μπορεί να ταξινομηθεί ως «dispatchable» ή «non-dispatchable». Όταν η ΔΠ είναι «dispatchable», ο χειριστής μπορεί να καθορίσει το μέγεθος της παραγωγής των μονάδων της, με έλεγχο των πρωτογενών πηγών ενέργειας που παρέχονται στις μονάδες. Όταν η ΔΠ είναι «non-dispatchable», ο χειριστής δεν μπορεί να αποδεσμεύσει τις μονάδες ΔΠ, επειδή η συμπεριφορά των πηγών ενέργειας δεν μπορεί να ελεγχθεί. «Non-dispatchable» είναι κατά κύριο λόγο οι μονάδες που οδηγούνται από ΑΠΕ, όπου η παραγωγή εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας.

Η ΔΠ μπορεί να συνδεθεί στο ΔΔΗΕ χρησιμοποιώντας απ' ευθείας σύγχρονες γεννήτριες και γεννήτριες επαγωγής ή μέσω ηλεκτρονικών ισχύος.

- Οι σύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται για ΔΠ με ΜΕΚ, απλούς αεριοστρόβιλους και αεριοστρόβιλους συνδυασμένου κύκλου. Ακόμα, χρησιμοποιούνται στη θερμική ενέργεια, στη βιομάζα και στη γεωθερμική ενέργεια.
- Η ΔΠ με γεννήτριες επαγωγής χρησιμοποιείται εκτενώς στην αιολική ενέργεια και σε μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις.
- Η ΔΠ που διασυνδέεται με τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος χρησιμοποιείται στην ηλιακή παραγωγή από Φ/Β, στις κυψέλες καυσίμων, στους μικροστρόβιλους καθώς και στις Α/Γ.

Χρησιμοποιώντας στη ΔΠ σύγχρονες γεννήτριες ή ηλεκτρονικά ισχύος για τη διασύνδεση στο ΔΔΗΕ, έχουμε το πλεονέκτημα ότι μπορούμε να τις ελέγξουμε, ώστε να απορροφούν ή να αποδίδουν άεργο ισχύ.

Ως ΔΠ ορίζεται η μικρής κλίμακας παραγωγή και συγκεκριμένα η παραγωγή έως  $10 MW$ , που συνδέεται με τα τοπικά ΔΔΗΕ. Ως εκ τούτου, όταν το μέγεθος της ονομαστικής ισχύος  $P_n$  της τεχνολογίας παραγωγής γίνεται μεγαλύτερο ( $P_n > 10 MW$ ) και αυτή δεν μπορεί πλέον να συνδεθεί με το σύστημα διανομής, η παραγωγή δεν θεωρείται πλέον ΔΠ.

Το σημείο του ΔΔΗΕ στο οποίο συνδέεται ο σταθμός ονομάζεται Σημείο Σύνδεσης στο Δίκτυο (ΣΣΔ), βρίσκεται στην έξοδο των εγκαταστάσεων του σταθμού και συνιστά το όριο διαχωρισμού μεταξύ ΔΔΗΕ και χρήστη. Το εγγύτερο σημείο του δικτύου από το οποίο διέρχεται ηλεκτρική ενέργεια προς / από τις εγκαταστάσεις άλλων χρηστών ονομάζεται Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ). Ο τρόπος σύνδεσης των σταθμών ΔΠ στο ΔΔΗΕ, στα επίπεδα της ΜΤ και της ΧΤ, διαφοροποιείται για κάθε μία από τις παρακάτω ονομαστικές τιμές ισχύος  $P_n$  των σταθμών αυτών:

- $0 < P_n \leq 5kW$ .

Αφορά κυρίως Φ/Β σταθμούς σε στέγες υφιστάμενων χρηστών, κατασκευασμένων είτε τα παρελθόντα έτη με το ειδικό πρόγραμμα στεγών, είτε πλέον υπό το καθεστώς του Net Metering. Συνδέονται σε υφιστάμενη γραμμή ΧΤ με νέα ή υφιστάμενη μονοφασική (1Φ) παροχή.

- $5 < P_n \leq 100kW$ .

Αφορά κυρίως ανεξάρτητους Φ/Β σταθμούς επί εδάφους. Η σύνδεσή τους στο ΔΔΗΕ μπορεί να υλοποιηθεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Σύνδεση σε υφιστάμενη γραμμή ΧΤ με νέα Τριφασική (3Φ) παροχή.
- Σύνδεση σε νέα αποκλειστική γραμμή ΧΤ, για αποστάσεις έως  $\sim 200 - 300 m$ , με νέα 3Φ παροχή.
- Με νέο Υποσταθμό (Υ/Σ) διανομής, Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλής Τάσης (ΧΤ), κύριος του οποίου και υπεύθυνος της κατασκευής του είναι ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ. Η σύνδεση πραγματοποιείται στη ΧΤ με νέα 3Φ παροχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της περίπτωσης αυτής αποτελούν οι Φ/Β σταθμοί επί γηπέδων, σε θέσεις όπου δεν προ-υπήρχε ΔΔΗΕ ΧΤ.

- $100 < P_n \leq 10MW$  (Εικόνα 1.4)

Αφορά τη συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών ΔΠ, κάθε τεχνολογίας. Η σύνδεσή τους στο ΔΔΗΕ πραγματοποιείται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

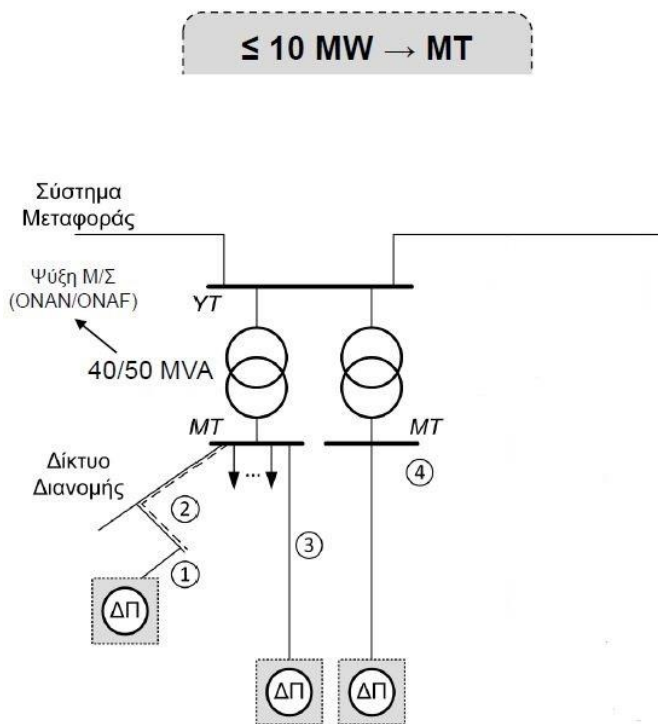
- Για ονομαστική ισχύ του σταθμού ΔΠ,  $100 < P_n \leq 5 MW$ , η σύνδεση του σταθμού υλοποιείται είτε:
  - Απευθείας σε υφιστάμενη γραμμή ΜΤ.
  - Σε επίσης υφιστάμενη γραμμή ΜΤ, αφού πρώτα όμως έχει πραγματοποιηθεί η ενίσχυσή της.

Ο Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) που απαιτείται σε αυτή την περίπτωση σύνδεσης, αποτελεί ευθύνη και ιδιοκτησία του κυρίου του σταθμού ΔΠ.

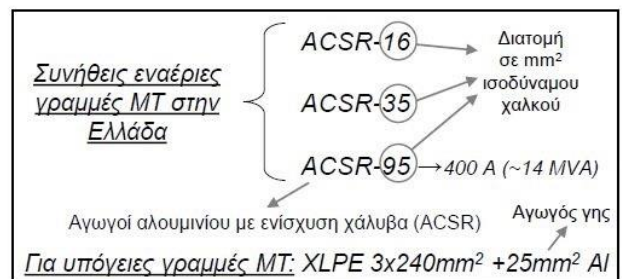
- Για ονομαστική ισχύ του σταθμού ΔΠ,  $5 MW < P_n \leq 10 MW$ , η σύνδεση του σταθμού υλοποιείται είτε:

- Με αποκλειστική γραμμή ΜΤ, απλού κυκλώματος, μεταξύ του ζυγού ΜΤ του Μ/Σ ισχύος που είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / ΜΤ) και του σταθμού ΔΠ.
- Με την εγκατάσταση νέου Μ/Σ ισχύος στον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) και μονή ή διπλή γραμμή ΜΤ μεταξύ του ζυγού ΜΤ του νέου Μ/Σ και του σταθμού ΔΠ. Στην τελευταία αυτή περίπτωση σύνδεσης, η οποία είναι και η πιο περίπλοκη και κοστοβόρα, ο κύριος του σταθμού ΔΠ επωμίζεται αναλογικά το κόστος του νέου Μ/Σ, αφού μελλοντικά στο ζυγό ΜΤ αυτού θα μπορούν να συνδεθούν παρόμοιοι σταθμοί ΔΠ. Επίσης, προς διευκόλυνσή του, δεν απαιτείται να εκδώσει άδεια κατασκευής νέου Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), αφού ο νέος Μ/Σ εγκαθίσταται στον υφιστάμενο Υ/Σ, αν φυσικά είχε γίνει πρόβλεψη κατά την κατασκευή του και υπάρχει διαθέσιμος χώρος. [1]

## Σύνδεση στη ΜΤ και ΥΤ



Ισχύς	Περιγραφή Σύνδεσης	Επίπεδο Τάσης
① ≤ 5 MW	σε υφιστάμενη γραμμή	ΜΤ
② ≤ 5 MW	με ενίσχυση υφιστάμενης γραμμής	ΜΤ
③ ≤ 10 MW	με αποκλειστική γραμμή απλού κυκλώματος	ΜΤ
④ ≤ 10 MW	σε νέο Μ/Σ με επέκταση Υ/Σ – μονή ή διπλή γραμμή ΜΤ	ΜΤ/ΥΤ



Εικόνα 1.4: Σύνδεση στο ΔΔΗΕ σταθμού ΔΠ με ονομαστική ισχύ  $100 \text{ kW} < P_n \leq 10 \text{ MW}$ .

## 1.12 Μετάβαση Στην Ηλεκτροκίνηση Και Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Τα αμέσως προσεχή έτη αναμένεται η υλοποίηση της απόφασης για τη μετάβαση της ανθρωπότητας στην ηλεκτροκίνηση. Τα ΔΔΗΕ και η αξιοπιστία τους θα έχουν τον ενεργότερο ρόλο στην προώθηση της ηλεκτροκίνησης. Οι υποδομές των ΔΔΗΕ θα πρέπει να

επαρκούν για να καλύψουν τους στόχους της ηλεκτροκίνησης και η αγορά θα πρέπει να ανταποκριθεί για να εγκαταστήσει τις απαιτούμενες υποδομές φόρτισης, ανάλογα με το βαθμό διείσδυσης των Ηλεκτρικών Οχημάτων (Η/Ο).

Το σύνολο των Συσκευών ενσύρματης Φόρτισης (Σ/Φ) οχημάτων που εγκαθίστανται και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά θα πρέπει από τώρα να δηλώνονται υποχρεωτικά στο διαχειριστή του ΔΔΗΕ, για την αποφυγή τοπικών προβλημάτων στο μέλλον. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η διείσδυση 350.000 Η/Ο στη χώρα μας θα οδηγούσε σε αύξηση της κατανάλωσης ρεύματος κατά 4%, μέγεθος που θα πρέπει να είναι διαχειρίσιμο τόσο από πλευράς επάρκειας παραγωγής, όσο και από τα ΔΔΗΕ, ακόμη και αν η φόρτιση γίνεται ταυτοχρονισμένα σε ώρες αιχμής.

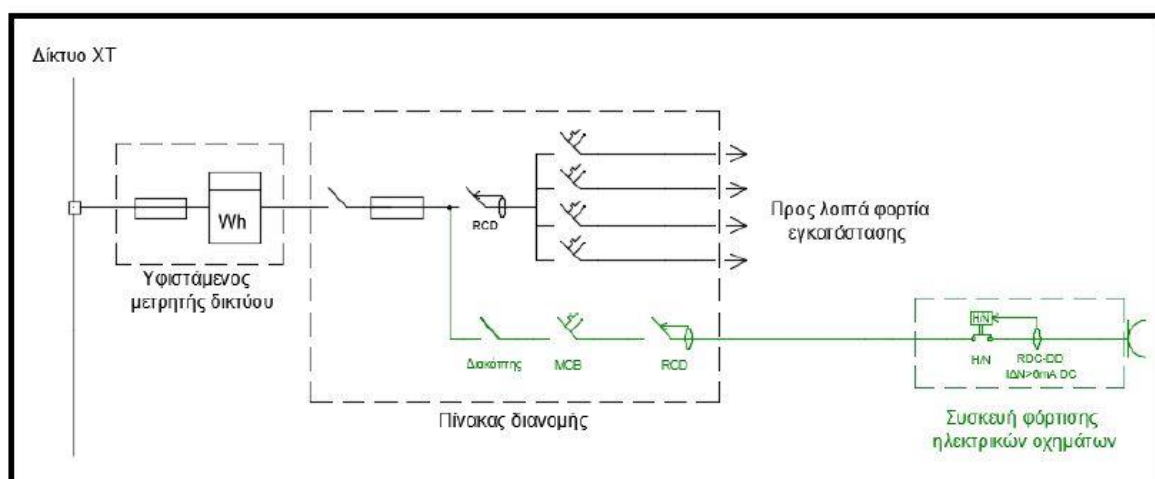
Σχετικά με τις ειδικές απαιτήσεις που ισχύουν για υποδομές φόρτισης Η/Ο, με βάση την ενότητα ΕΛΟΤ 60364-7-722: «Απαιτήσεις για ειδικές εγκαταστάσεις ή χώρους – Τροφοδοσία για ηλεκτρικά οχήματα», οι συσσωρευτές Η/Ο μπορούν να λειτουργούν μόνο ως φορτία. Δεν επιτρέπεται η ανατροφοδότηση ενέργειας από το Η/Ο προς το ΔΔΗΕ (V2G).

Οι ειδικές απαιτήσεις για υποδομές φόρτισης σε δημόσιους χώρους (οδοί, πλατείες κλπ.) περιλαμβάνουν:

- Τροφοδοσία από νέα παροχή μέσω υπογείου καλωδίου.
- Τοποθέτηση μετρητή δικτύου σε διαμέρισμα τυποποιημένων διαστάσεων εντός της Σ/Φ, για παροχές έως και 55 kVA (No 2,3,4).

Αντίστοιχα, για τις υποδομές φόρτισης Η/Ο για ιδιωτική χρήση προβλέπεται:

- Η σύνδεση σε ανεξάρτητη νέα παροχή, αποκλειστικά για την τροφοδοσία της υποδομής φόρτισης Η/Ο.
- Η σύνδεση μέσω νέου αποκλειστικού κυκλώματος στον κεντρικό πίνακα διανομής της ιδιωτικής ηλεκτρικής εγκατάστασης, μεταξύ γενικής ασφάλειας και RCD που προστατεύει τα λοιπά φορτία της εγκατάστασης (Εικόνα 1.5). Φυσικά για την περίπτωση αυτή αν απαιτείται θα πρέπει να γίνει και επαύξηση ισχύος. [8]



Εικόνα 1.5: Σύνδεση Σ/Φ Η/Ο μέσω νέου αποκλειστικού κυκλώματος σε ιδιωτική ηλεκτρική εγκατάσταση.

## Κεφάλαιο 2

# Έλεγχος Τάσης Και Άεργου Ισχύος Σε Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

### 2.1 Εισαγωγή

Η ένταξη Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) επιδρά καταλυτικά στον έλεγχο και τη διαχείριση του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ). Μερικές από τις σπουδαιότερες επιρροές είναι ο έλεγχος της τάσης και της ευστάθειας του συστήματος διανομής.

Οι υπάρχουσες συσκευές ελέγχου τάσης, στα συμβατικά ΔΔΗΕ, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο βασιζόμενες στο γεγονός ότι η τάση μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τον Υποσταθμό (Υ/Σ) μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) και φτάνουμε στους καταναλωτές. Η διείσδυση όμως της ΔΠ κάνει τον παραπάνω ισχυρισμό αβάσιμο. Υψηλή διείσδυση ΔΠ προκαλεί αλλαγή στη ροή ισχύος από το σταθμό ΔΠ προς τον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) και όπως είναι φυσικό, υψηλότερο επίπεδο τάσης όσο απομακρυνόμαστε από τον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) προς το σταθμό ΔΠ.

Η βασική λειτουργία των ρυθμιστών τάσης στο σύστημα διανομής είναι να κρατηθεί η τάση σταθερή, σε ένα αποδεκτό επίπεδο, καθ' όλη τη διάρκεια της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας του συστήματος. Τα επιθυμητά επίπεδα τάσης μπορούν να επιτευχθούν, είτε άμεσα ελέγχοντας την τάση, είτε με τον έλεγχο της ροής άεργου ισχύος, η οποία στη συνέχεια έχει επιπτώσεις στην πτώση τάσης. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της τάσης και της άεργου ισχύος είναι οι Μετασχηματιστές (Μ/Σ) ισχύος στον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) με ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ), για τους οποίους θα μιλήσουμε εκτεταμένα παρακάτω, η χρήση πυκνωτών σε παράλληλη λειτουργία και οι ρυθμιστές τάσης σε βήματα. Τέτοιος εξοπλισμός χρησιμοποιείται συνήθως βασιζόμενος στην υπόθεση ότι η ισχύς ρέει σε μια κατεύθυνση μόνο και ότι η τάση μειώνεται κατά μήκος της γραμμής, από τον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) προς τους καταναλωτές.

Ένας Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι ένας Μ/Σ εξοπλισμένος με ένα μηχανισμό αλλαγής της τάσης εξόδου του. Τα ΣΑΤΥΦ αποτελούν ένα σημαντικότατο τμήμα των Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Οι παράλληλα συνδεδεμένοι πυκνωτές παράγουν άεργο ισχύ, για να αντισταθμιστεί η άεργος απαίτηση σε ισχύ και με αυτόν τον τρόπο βοηθούν στη ρύθμιση της τάσης. Οι πυκνωτές μπορούν να εγκατασταθούν στον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) (Πυκνωτές Υ/Σ) ή κατά μήκος της γραμμής (Πυκνωτές Τροφοδοτών). Ένας ρυθμιστής τάσης σε βήματα είναι ένας Αυτομετασχηματιστής (ΑΜΣ) με αυτοματοποιημένες και διευθετήσιμες αλλαγές λήψης. Εγκαθίσταται όταν η γραμμή διανομής είναι αρκετά μεγάλη σε μήκος, σε τέτοιο βαθμό ώστε η ρύθμιση τάσης με ΣΑΤΥΦ και πυκνωτές να μην επαρκεί.

Ο έλεγχος ρύθμισης τάσης και άεργου ισχύος περιλαμβάνει τον κατάλληλο συντονισμό μεταξύ του διαθέσιμου εξοπλισμού τάσης και άεργου ισχύος. Πολλοί διαχειριστές ΔΔΗΕ λειτουργούν τέτοιον εξοπλισμό τοπικά με τη χρήση συμβατικών ελεγκτών, για να διατηρηθούν οι τάσεις στο σύστημα διανομής μέσα σε αποδεκτά επίπεδα και για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ισχύος. Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί για να βελτιωθεί ο έλεγχος τάσης και άεργου ισχύος στο σύστημα διανομής, τόσο κατά το σχεδιασμό όσο και στο στάδιο της λειτουργίας του.

Τελευταία, πολλοί ερευνητές αντιμετωπίζουν το πρόβλημα του ελέγχου τάσης και άεργου ισχύος επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον τους σε αυτοματοποιημένα συστήματα διανομής. Ο τρόπος που το επιτυγχάνουν αυτό είναι είτε με “offline” έλεγχο ρυθμίσεων του συστήματος διανομής, είτε με έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Ο “offline” έλεγχος γίνεται μέσω κατάλληλου σχεδιασμού των πυκνωτών του συστήματος και του ΣΑΤΥΦ, ώστε να ανταποκριθούν στις ανάγκες του ΔΔΗΕ, έχοντας σαν βάση την πρόβλεψη του φορτίου της επόμενης μέρας ή κάποιων ωρών μέσα στην ίδια την ημέρα. Ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο στοχεύει στον έλεγχο πάλι των πυκνωτών του συστήματος και του ΣΑΤΥΦ, ώστε να κρατήσουν την τάση σταθερή, αλλά γίνεται με βάση μετρήσεις και υπολογισμούς σε πραγματικό χρόνο. Το κύριο εμπόδιο στον “offline” έλεγχο είναι η εξάρτησή του από την ανάγκη ύπαρξης επικοινωνίας μεταξύ του ρυθμιστή και των πυκνωτών σε κάθε ζυγό ξεχωριστά, κάτι που πολλά ΔΔΗΕ δεν το παρέχουν. Το μειονέκτημα του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο από την άλλη είναι ότι απαιτεί ακόμα μεγαλύτερη αυτοματοποίηση του ΔΔΗΕ από την ήδη υπάρχουσα. [9]

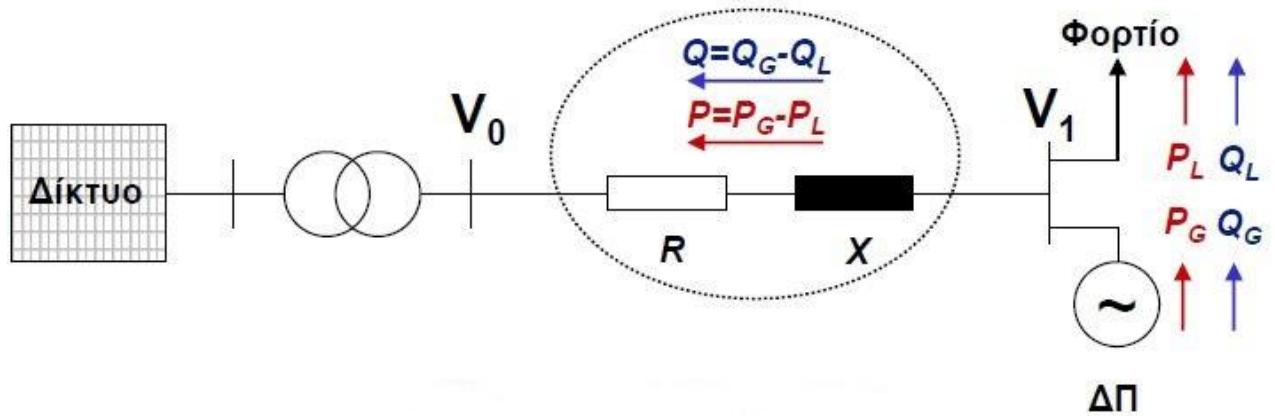
## 2.2 Πτώση Και Ανύψωση Τάσης Σε Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Έστω το τριφασικό ακτινικό ΔΔΗΕ της Εικόνας 2.1, το οποίο τροφοδοτεί το τριφασικό (3Φ) φορτίο  $L$  του κόμβου 1 και ενσωματώνει την τριφασική παραγωγή  $G$  από το σταθμό ΔΠ, ο οποίος συνδέεται στον κόμβο 1 (Σημείο Κοινής Σύνδεσης του ΔΔΗΕ, (ΣΚΣ)), μέσω της τριφασικής (3Φ) γραμμής διανομής 0 – 1, η οποία έχει μήκος  $L$  και σύνθετη αντίσταση ανά φάση:

$$\mathbf{Z}_T = \mathbf{Z}_0 \cdot L = (R_0 + jX_0) \cdot L = R_0 \cdot L + jX_0 \cdot L = R_T + jX_T \quad (2.1)$$

όπου  $\mathbf{Z}_T$  (σε  $\Omega$ ) η σύνθετη αντίσταση ανά φάση,  $\mathbf{Z}_0$  (σε  $\Omega/m$ ) η σύνθετη αντίσταση ανά φάση και ανά μονάδα μήκους,  $L$  (σε  $m$ ) το μήκος της γραμμής διανομής 0-1,  $R_0$  (σε  $\Omega/m$ ) η ωμική αντίσταση ανά φάση και ανά μονάδα μήκους,  $X_0$  (σε  $\Omega/m$ ) η επαγωγική αντίδραση ανά φάση και ανά μονάδα μήκους,  $R_T$  (σε  $\Omega$ ) η ωμική αντίσταση ανά φάση και  $X_T$  (σε  $\Omega$ ) η επαγωγική αντίδραση ανά φάση της γραμμής 0 – 1.





Εικόνα 2.1: Μονογραμμικό διάγραμμα τριφασικού ακτινικού ΔΔΗΕ με συγκεντρωμένο φορτίο και ΔΠ στον κόμβο 1.

Έστω  $S_B$  (σε VA) η βασική ισχύς και  $V_B$  (σε V) η ονομαστική βασική τάση του κόμβου 1. Η ανά μονάδα σύνθετη αντίσταση της γραμμής διανομής είναι:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Z}_T \cdot \frac{S_B}{V_B^2} = (R_T + jX_T) \cdot \frac{S_B}{V_B^2} = R + jX \quad (2.2)$$

όπου  $\mathbf{Z}$  (σε pu) η ανά μονάδα σύνθετη αντίσταση ανά φάση,  $R$  (σε pu) η ανά μονάδα ωμική αντίσταση ανά φάση και  $X$  (σε pu) η ανά μονάδα επαγωγική αντίδραση ανά φάση της γραμμής διανομής 0 – 1.

Έστω ότι η ανά μονάδα τάση του κόμβου 1 είναι:

$$\mathbf{V}_1 = V_1 \cdot (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) = V_1 \quad (2.3)$$

Το ανά μονάδα φορτίο του κόμβου 1 είναι:

$$\mathbf{S}_1 = P_1 + jQ_1 \quad (2.4)$$

Το ανά μονάδα ρεύμα του κόμβου 2 είναι:

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{S}_1^*}{V_1^*} = \frac{P_1 - jQ_1}{V_1} \quad (2.5)$$

Με εφαρμογή του νόμου τάσεων Kirchhoff και με τη βοήθεια των σχέσεων (2.2), (2.3) και (2.5), η ανά μονάδα τάση του κόμβου 1 είναι:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_0 &= \mathbf{V}_1 + \mathbf{I} \cdot \mathbf{Z} \rightarrow \mathbf{V}_0 = V_1 + \left[ \frac{P_1 - jQ_1}{V_1} \right] \cdot [R + jX] \rightarrow \\ \mathbf{V}_0 &= V_1 + \left[ \frac{R \cdot P_1 - X \cdot Q_1}{V_1} \right] - j \left[ \frac{R \cdot Q_1 - X \cdot P_1}{V_1} \right] \quad (2.6) \end{aligned}$$

Η εξίσωση (2.6) είναι η ακριβής σχέση υπολογισμού της ανά μονάδα τάσης του κόμβου 1. Από την εξίσωση (2.6) προκύπτει η ακόλουθη προσεγγιστική σχέση υπολογισμού του ανά μονάδα μέτρου της τάσης του κόμβου 0:

$$V_0 \approx V_1 + \left[ \frac{R \cdot P_1 - X \cdot Q_1}{V_1} \right] \quad (2.7)$$

Η εκατοστιαία πτώση τάσης στη γραμμή 0-1 ορίζεται ως ακολούθως:

$$\varepsilon_{0-1} = \left[ \frac{V_0 - V_1}{V_B} \right] \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Αντικαθιστώντας την (2.7) στην (2.8), προκύπτει ότι:

$$\varepsilon_{0-1} \approx \left[ \frac{V_0 - V_1}{V_1 \cdot V_B} \right] \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Επειδή τα μέτρα των τάσεων των ΔΔΗΕ πρέπει να βρίσκονται κοντά στις ονομαστικές τους τιμές, μπορεί να γίνει η υπόθεση:

$$V_1 \approx V_B \quad (2.10)$$

Αντικαθιστώντας την (2.10) στην (2.9), προκύπτει η ακόλουθη προσεγγιστική σχέση υπολογισμού της εκατοστιαίας πτώσης τάσης της γραμμής διανομής 0-1:

$$\varepsilon_{0-1} \approx \left[ \frac{R \cdot P_1 + X \cdot Q_1}{V_B^2} \right] \cdot 100\% \quad (2.11)$$

όπου  $R$  (σε  $\mu\Omega$ ) είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση της γραμμής διανομής 0-1,  $X$  (σε  $\mu\Omega$ ) είναι η ανά μονάδα επαγωγική αντίδραση ανά φάση της γραμμής διανομής 0-1,  $P_1$  (σε  $\mu W$ ) είναι η ανά μονάδα ενεργός ισχύς του φορτίου του κόμβου 1,  $Q_1$  (σε  $\mu VAR$ ) είναι η ανά μονάδα άεργος ισχύς του φορτίου του κόμβου 1 και  $V_B = 1 pu$  είναι η ανά μονάδα βασική τάση του κόμβου 1.

Η εξίσωση (2.11) δίνει την εκατοστιαία πτώση τάσης της γραμμής διανομής 0-1 στο ανά μονάδα σύστημα. Στο φυσικό σύστημα, η εκατοστιαία πτώση τάσης της γραμμής διανομής 0-1 είναι:

$$\varepsilon_{0-1} \approx \frac{R_T \cdot P_{0-1} + X_T \cdot Q_{0-1}}{10 \cdot V_B^2} \quad (2.12)$$

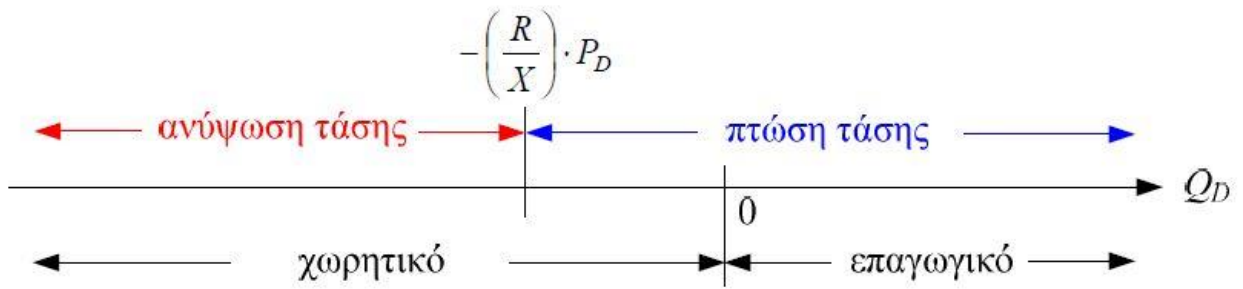
όπου  $R_T$  (σε  $\Omega$ ) είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση της γραμμής διανομής 0-1,  $X_T$  (σε  $\Omega$ ) είναι η επαγωγική αντίδραση ανά φάση της γραμμής διανομής 0-1,  $P_{0-1}$  (σε  $kW$ ) είναι η ενεργός ισχύς που ρέει στη γραμμή διανομής 0-1 με κατεύθυνση από το άκρο 0 προς το άκρο 1,  $Q_{0-1}$  (σε  $kVAR$ ) η άεργος ισχύς που ρέει στη γραμμή διανομής 0-1 με κατεύθυνση από το άκρο 0 προς το άκρο 1 και  $V_B$  (σε  $kV$ ) η βασική τάση του κόμβου 1, όπου:

$$P_{0-1} \approx P_1 \cdot S_B \approx (P_G - P_L) \cdot S_B, \quad Q_{0-1} \approx Q_1 \cdot S_B \approx (Q_G - Q_L) \cdot S_B \quad (2.13)$$

όπου  $P_1$  (σε  $\mu W$ ) είναι η ανά μονάδα ενεργός ισχύς του κόμβου 1,  $Q_1$  (σε  $\mu VAR$ ) είναι η ανά μονάδα άεργος ισχύς του κόμβου 1 και  $S_B$  (σε  $kVA$ ) είναι η βασική ισχύς. Επίσης,  $P_G$  (σε  $kW$ ) είναι η παραγόμενη ενεργός ισχύς από το σταθμό ΔΠ, που συνδέεται στον κόμβο 1 (ΣΚΣ) και  $P_L$  (σε  $kW$ ) είναι η απορροφούμενη από το συνδεδεμένο φορτίο στον κόμβο 1 ενεργός ισχύς. Αντίστοιχα,  $Q_G$  (σε  $kVAR$ ) είναι η παραγόμενη άεργος ισχύς από το σταθμό ΔΠ, που συνδέεται στον κόμβο 1 (ΣΚΣ) και  $Q_L$  (σε  $kVAR$ ) είναι η απορροφούμενη από το συνδεδεμένο φορτίο στον κόμβο 1 άεργος ισχύς.

Από τη σχέση (2.11) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την  $\varepsilon_{0-1}$ :

- Κατά μήκος της γραμμής διανομής 0-1 υπάρχει πτώση τάσης ( $\varepsilon_{0-1} > 0$ ) όταν  $R \cdot P_1 + X \cdot Q_1 > 0$ . Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2, αυτό συμβαίνει όταν στον κόμβο 1 έχουμε επαγωγική ροή ισχύος ( $Q_1 > 0$ ). Επίσης, συμβαίνει και όταν η ροή ισχύος του κόμβου 1 είναι χωρητική με  $0 > Q_1 > -(R/X) \cdot P_1$ .
- Κατά μήκος της γραμμής 0-1 υπάρχει ανύψωση τάσης ( $\varepsilon_{0-1} < 0$ ) όταν  $R \cdot P_1 + X \cdot Q_1 < 0$ . Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2, αυτό συμβαίνει όταν στον κόμβο 1 έχουμε χωρητική ροή ισχύος με  $Q_1 < -(R/X) \cdot P_1$ .



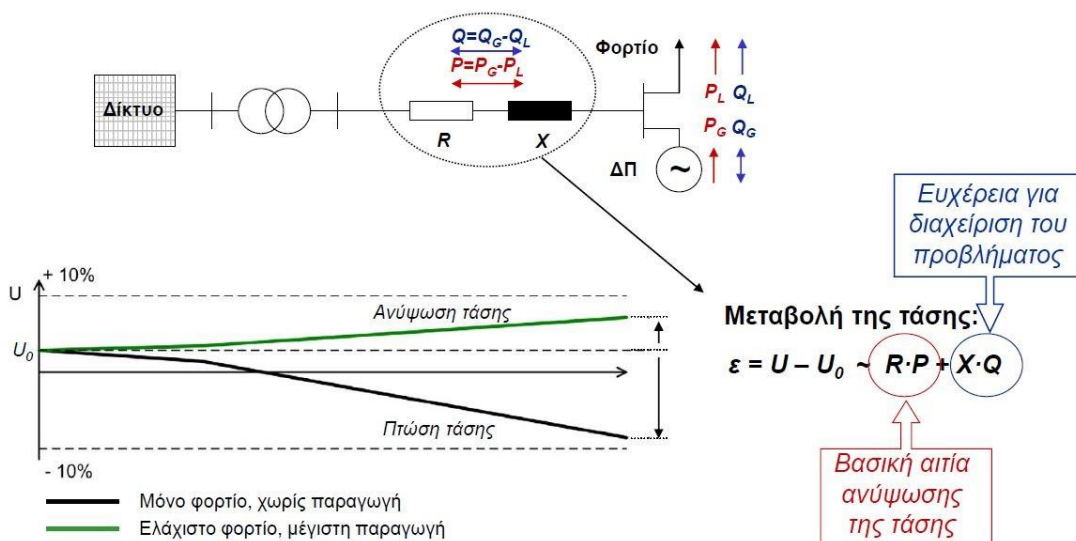
Εικόνα 2.2: Πτώση τάσης ή ανύψωση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής 0 – 1 ανάλογα με το είδος της της ροής ισχύος (επαγωγική ή χωρητική) στον κόμβο 1.

Συμπερασματικά και πάντα σε σχέση με τη σύνδεση σταθμών ΔΠ στα ΔΔΗΕ, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ενσωμάτωση σταθμών ΔΠ προκαλεί ανύψωση της τάσης στα ΣΚΣ. Αιτία αυτού αποτελεί η αντίστροφη ροή ενεργούς ισχύος από το ΣΚΣ προς τον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), όταν η παραγόμενη από το σταθμό ΔΠ ενεργός ισχύς  $P_G$  είναι μεγαλύτερη από την απορροφούμενη ενεργό ισχύ από το φορτίο  $P_L$  που είναι συνδεδεμένο στο ΣΚΣ ( $P_G > P_L$ ).

Ευχέρεια διαχείρισης αυτού του προβλήματος μας παρέχει η δυνατότητα λειτουργίας του σταθμού ΔΠ με επαγωγική συμπεριφορά  $Q_G > 0$ , αφού στη συμπεριφορά του συνδεδεμένου στο ΣΚΣ φορτίου  $L$  δεν μπορούμε να παρέμβουμε. Με την απορρόφηση, του επιτρεπόμενου ποσοστού και από τους υπόλοιπους τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς φυσικά, άεργου ισχύος από το σταθμό ΔΠ, επιτυγχάνεται η μείωση της τάσης στο ΣΚΣ του ΔΔΗΕ και η επαναφορά της σε επιθυμητά επίπεδα. (Εικόνα 2.3) [1], [10]

## Ρύθμιση (αργές μεταβολές) της τάσης

Ανάλυση του προβλήματος



Εικόνα 2.3: Πτώση ή ανύψωση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής 0 – 1, ανάλογα με το είδος της ροής ισχύος (επαγωγική ή χωρητική) στον κόμβο 1.

## 2.3 Απώλειες Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Οι απώλειες των ΔΔΗΕ ΜΤ και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ), αν και αποτελούν μικρό σχετικά ποσοστό της διακινούμενης ενέργειας, είναι σημαντικές λόγω των μεγάλων ποσών της διακινούμενης ενέργειας. Συγκεκριμένα, για το ελληνικό σύστημα (ανάλογα ισχύουν για τα σύγχρονα συστήματα άλλων χωρών) οι ετήσιες απώλειες ενέργειας των δικτύων ΜΤ και ΧΤ είναι περίπου το 6,5% της ετήσιας εισερχόμενης ενέργειας από τα δίκτυα μεταφοράς. Οι ετήσιες αυτές απώλειες ενέργειας κατανέμονται ως ακολούθως:

- Δίκτυο ΜΤ: ~ 3,0%
- Δίκτυο ΧΤ: ~ 2,0%
- Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ): ~ 1,5%

Το αντίστοιχο ποσοστό απωλειών για τα δίκτυα μεταφοράς (150kV και 400kV) του ελληνικού συστήματος είναι 4,0% περίπου.

Ο περιορισμός των απωλειών των ΔΔΗΕ συνήθως επιτυγχάνεται:

- Με εγκατάσταση εγκάρσιων πυκνωτών, οι οποίοι μειώνουν τη διακινούμενη άεργο ισχύ στα ΔΔΗΕ.
- Με αύξηση των διατομών των αγωγών. [10]

## 2.4 Προδιαγραφές Μέτρου Τάσης

Οι μεταβολές και οι αντίστοιχες αποκλίσεις της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών από την ονομαστική τάση, μπορούν να διακριθούν:

1. Στις αργές μεταβολές (ή διακυμάνσεις) της τάσης, οι οποίες οφείλονται στις μεταβολές του φορτίου, που προκαλούν πτώσεις τάσης στα στοιχεία του ΔΔΗΕ (Γραμμές και Μ/Σ).
2. Στις απότομες μεταβολές της τάσης (συχνά διάρκειας δευτερολέπτων), οι οποίες μπορεί να οφείλονται στο περιοδικά μεταβαλλόμενο φορτίο ορισμένων μηχανημάτων (για παράδειγμα, κατά τη λειτουργία του κινητήρα ενός συμπιεστή), στις μεταβατικές καταστάσεις λειτουργίας ορισμένων συσκευών (για παράδειγμα, την εκκίνηση κινητήρων) ή τη διακοπτόμενη λειτουργία αυτών (για παράδειγμα, ηλεκτροκάμινι και ηλεκτροσυγκολλήσεις).

Η αποφυγή εμφάνισης ενοχλητικών απότομων μεταβολών της τάσης επιτυγχάνεται κυρίως με περιορισμούς, τους οποίους θέτουν οι Κανονισμοί και οι Ηλεκτρικές Επιχειρήσεις, για τις ηλεκτρικές συσκευές κατανάλωσης.

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας είναι οι αργές μεταβολές της τάσης. Επειδή η τάση τροφοδότησης των συσκευών κατανάλωσης δεν είναι πρακτικά εφικτό να τηρείται συνεχώς ίση με την ονομαστική της τιμή  $V_n$ , με βάση την οποία κατασκευάζονται οι συσκευές κατανάλωσης, από τα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης των συστημάτων διανομής

καθιερώθηκαν ορισμένα αποδεκτά όρια διακύμανσης της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών, τα οποία υποχρεούνται να τηρούν οι Ηλεκτρικές Επιχειρήσεις Διανομής. Ως τάση τροφοδότησης ενός καταναλωτή του ΔΔΗΕ νοείται η μετρούμενη τάση στο Σημείο Σύνδεσης (ΣΣΔ) του καταναλωτή με το ΔΔΗΕ, όπου εγκαθίσταται και ο μετρητής.

Με βάση το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 50160, στο Ευρωπαϊκό και στο Ελληνικό ΔΔΗΕ ΧΤ, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, με εξαίρεση τις διακοπές τάσης, σε διάστημα μίας εβδομάδας, το 95% των ανά δεκάλεπτο μέσων τιμών των ενδεικνύμενων τιμών της τάσης πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των ορίων του  $\pm 10\%$  της ονομαστικής τάσης του ΔΔΗΕ ΧΤ. Η ίδια προδιαγραφή ισχύει και για το ΔΔΗΕ ΜΤ, δηλαδή, το 95% των ανά δεκάλεπτο μέσων τιμών των ενδεικνύμενων τιμών της τάσης πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των ορίων του  $\pm 10\%$  της ονομαστικής τάσης του ΔΔΗΕ ΜΤ.

Πριν από την εφαρμογή του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 50160, εφαρμοζόταν η ακόλουθη προδιαγραφή για τη διακύμανση της τάσης του ελληνικού ΔΔΗΕ ΜΤ:

- Η μέση τιμή της τάσης να βρίσκεται εντός των ορίων  $\pm 5\%$  της ονομαστικής τάσης του ΔΔΗΕ.
- Η διακύμανση της τάσης να μην υπερβαίνει το  $\pm 3\%$  της μέσης τιμής της μετρούμενης τάσης.

Στην προδιαγραφή αυτή, η μέση τιμή της τάσης  $V_{\mu}$  και η διακύμανση της τάσης  $V_{\delta}$  είναι:

$$V_{\mu} = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} \quad (2.14)$$

$$V_{\delta} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2} \quad (2.15)$$

όπου  $V_{max}$  και  $V_{min}$  είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, αντίστοιχα, του μέτρου της τάσης του κόμβου. Σε ένα ΔΔΗΕ με επαγωγικά φορτία:

- Η μέγιστη τάση  $V_{max}$ , άρα και η ελάχιστη πτώση τάσης  $\varepsilon_{min}$ , εμφανίζεται την ώρα του ελάχιστου φορτίου  $min\{L\}$ .
- Η ελάχιστη τάση  $V_{min}$ , άρα και η μέγιστη πτώση τάσης  $\varepsilon_{max}$ , εμφανίζεται την ώρα του μέγιστου φορτίου  $max\{L\}$ . [10]

## 2.5 Μέσα Ρύθμισης Του Μέτρου Της Τάσης

Από τις εξισώσεις (2.12), (2.13) και την Εικόνα 2.3 συμπεραίνουμε ότι το φορτίο  $L$  προκαλεί πάντα πτώση τάσης και ότι το προφίλ της τάσης σε ένα συμβατικό ΔΔΗΕ (μόνο με φορτία  $L$ ) μειώνεται όσο φτάνουμε στο απομακρυσμένο άκρο του συστήματος διανομής. Αυτή η πτώση τάσης και το προφίλ της τάσης είναι η βάση για τη ρύθμιση τάσης στα ΔΔΗΕ. Το δευτερεύον του Μ/Σ ισχύος μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας το λόγο τάσης και η πτώση τάσης στον τροφοδότη μπορεί να μειωθεί δίνοντας άεργο ισχύ στο δίκτυο μέσω παράλληλα συνδεδεμένων πυκνωτών. Παρακάτω παρατίθενται τρόποι αντιμετώπισης του

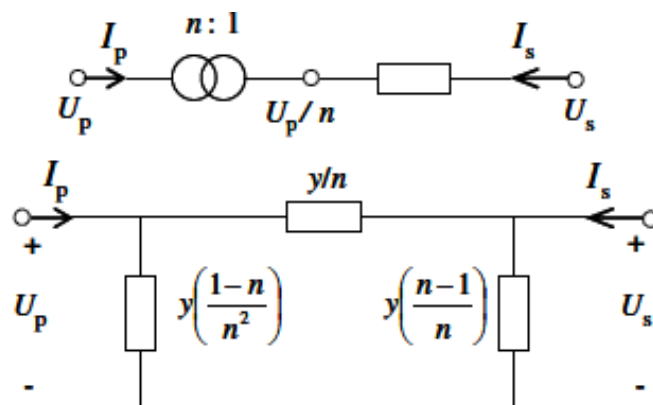
φαινόμενου της πτώσης τάσης σε ένα ΔΔΗΕ αλλά και του φαινομένου της ανύψωσης της τάσης, σε περίπτωση ενσωμάτωσης ΔΠ στο ΔΔΗΕ.

Τα μέσα (εξοπλισμός) που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης των ΔΔΗΕ είναι κυρίως τα ακόλουθα:

1. Οι ρυθμιστές τάσης υπό φορτίο, οι οποίοι μπορούν να διακριθούν: α) στους ενσωματωμένους στους Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) και β) στους ανεξάρτητους, οι οποίοι εγκαθίστανται στην αρχή ή κατά μήκος των γραμμών ΜΤ. Οι ρυθμιστές τάσης υπό φορτίο, που ονομάζονται και Συστήματα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ), μεταβάλλουν την τάση εξόδου τους αυτόματα, σε χρονικά διαστήματα δευτερολέπτων.
2. Οι λήψεις των Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), οι οποίες μπορούν να μεταβάλλονται μόνο όταν ο Μ/Σ είναι αποσυνδεδεμένος από το δίκτυο. Οι μεταβολές των λήψεων των Μ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) γίνονται χειροκίνητα σε πολύ αραιά χρονικά διαστήματα.
3. Οι εγκάρσιοι πυκνωτές, οι οποίοι εγκαθίστανται: α) στους ζυγούς ΜΤ των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) (όταν πρόκειται να συμβάλλουν στη ρύθμιση της ροής ισχύος και των τάσεων κυρίως του συστήματος μεταφοράς) και β) στις γραμμές ΜΤ ή (σπανιότερα) στις γραμμές ΧΤ. [9], [10]

## 2.6 Συστήματα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Ο λόγος ενός Μ/Σ ισχύος μπορεί να αλλάξει προσθέτοντας ή αφαιρώντας ελιγμάτα, είτε στο πρωτεύον είτε στο δευτερεύον του Μ/Σ, με αλλαγές της λήψης των τυλιγμάτων. Ένας τέτοιος Μ/Σ ισχύος φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 2.4, καθώς και το ισοδύναμο  $\Pi$  του.  $I$ ,  $U$  και  $y$  είναι το ρεύμα, η τάση και η αγωγιμότητα αντίστοιχα,  $n$  είναι ο λόγος μετασχηματισμού και  $p$ ,  $s$  είναι το πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα αντίστοιχα.



Εικόνα 2.4: Μονογραμμικό ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και ισοδύναμο  $\Pi$  αυτού.

Οι Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), τα τελευταία εκατό (100) χρόνια, είναι εφοδιασμένοι με μηχανισμούς αλλαγής της τάσης εξόδου τους, χωρίς διακοπή του φορτίου. Οι ρυθμιστές τάσης υπό φορτίο δεν μεταβάλλουν την τάση τους συνεχώς, αλλά κατά σταθερά βήματα. Η μεταβολή αυτή επιτυγχάνεται με αλλαγή λήψεως στα τυλίγματα του Μ/Σ ισχύος, δεδομένου ότι η τάση ανά σπείρα παραμένει σταθερή. Ο ενσωματωμένος στον Μ/Σ ισχύος αυτός μηχανισμός που επιτελεί τις αλλαγές στις λήψεις, ονομάζεται Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο ή ΣΑΤΥΦ (Εικόνα 2.4). Πιο συγκεκριμένα, στα ΣΑΤΥΦ που είναι ενσωματωμένα στους Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), σε σειρά προς το πρωτεύον συνήθως τύλιγμα, συνδέεται το τύλιγμα ρύθμισης, το οποίο περιλαμβάνει πολλές λήψεις. Τα ΣΑΤΥΦ βρίσκονται συνήθως στην πλευρά της ΥΤ καθώς εκεί ρέουν μικρότερα ρεύματα και υπάρχουν περισσότερες σπείρες, επιτρέποντας την ακριβέστερη ρύθμιση της τάσης.

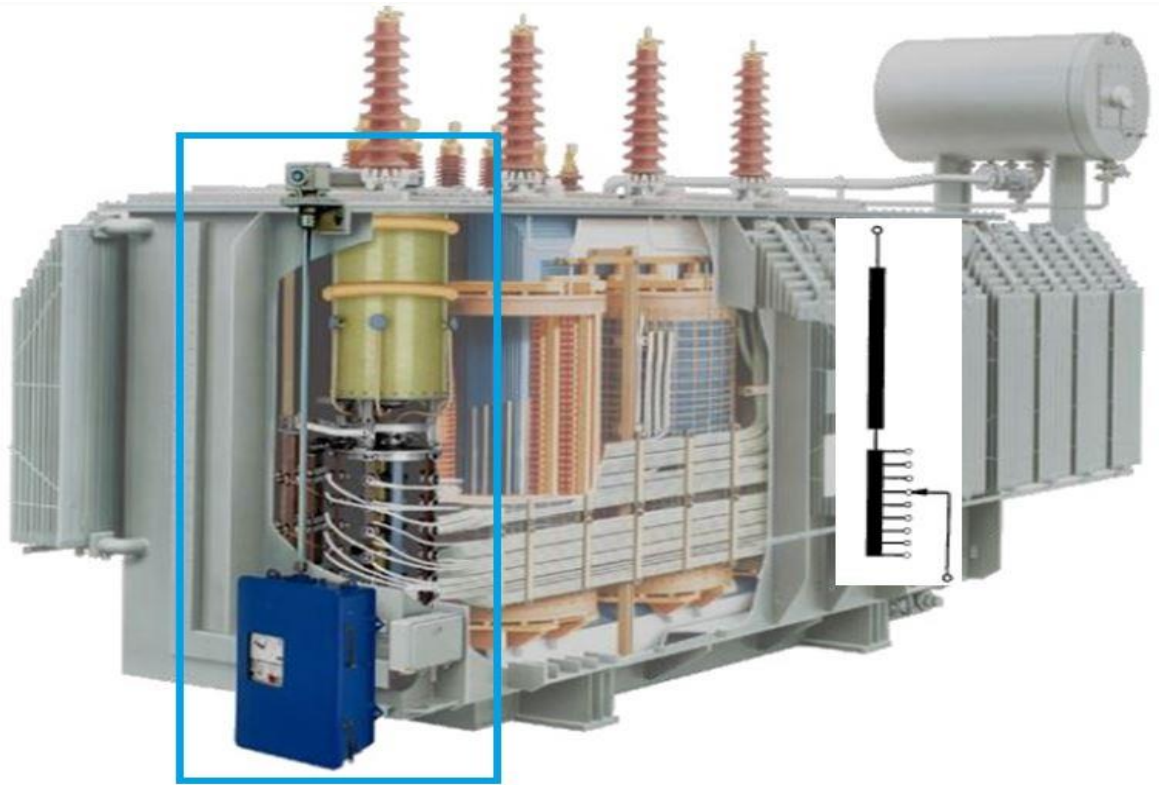
Η επαγόμενη τάση στο τύλιγμα ρύθμισης μπορεί να προστίθεται ή να αφαιρείται στην τάση του κύριου τυλίγματος, μέσω ενός αναστροφέα. Συνήθως η τάση ρύθμισης κυμαίνεται σε ποσοστό  $\pm 10\%$  (και σπανιότερα μέχρι  $\pm 15\%$ ) της τάσης του κύριου τυλίγματος σε σταθερά βήματα, μεγέθους περί το 1% της ονομαστικής τάσης. Από την τάση ρύθμισης και το βήμα προκύπτει εύκολα ο αριθμός των λήψεων. Για παράδειγμα, έστω ΣΑΤΥΦ ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος 150/20 kV, όπου το τύλιγμα ρύθμισης είναι στο πρωτεύον (πλευρά 150 kV), η τάση ρύθμισης είναι  $\pm 10\%$  και το σταθερό βήμα 1%. Αυτό το ΣΑΤΥΦ έχει 21 λήψεις στο πρωτεύον του Μ/Σ ισχύος.

Από την αρχή της ανάπτυξης των ΣΑΤΥΦ έχουν επικρατήσει οι ακόλουθοι δύο (2) τύποι τους:

- High Speed Resistor ΣΑΤΥΦ και
- Reactor ΣΑΤΥΦ.

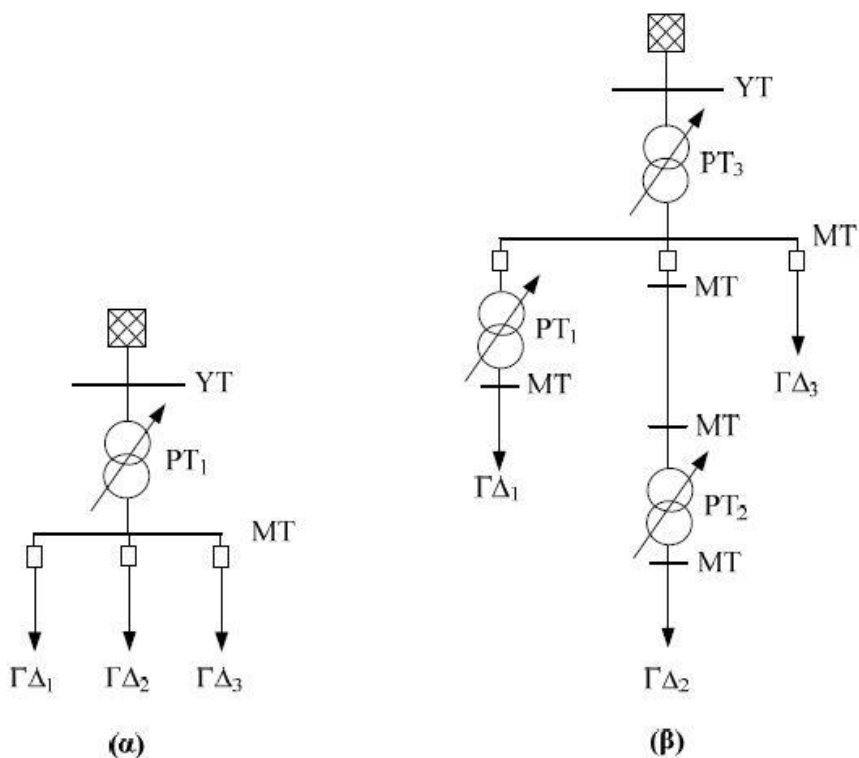
Η πλειοψηφία των High Speed Resistor ΣΑΤΥΦ είναι εγκατεστημένα στο εσωτερικό του λέβητα των Μ/Σ ισχύος, δηλαδή ενσωματωμένα στους Μ/Σ. Αντιθέτως τα Reactor ΣΑΤΥΦ είναι εγκατεστημένα σε ξεχωριστό διαμέρισμα, το οποίο είναι συγκολλημένο ή παραπλεύρως του λέβητα των Μ/Σ ισχύος.

Η επιδιωκόμενη ρύθμιση της τάσης μπορεί να επιτευχθεί ταυτόχρονα για όλες τις γραμμές διανομής ΜΤ που αναχωρούν από τον ίδιο Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.5 (α), όπου ο ρυθμιστής τάσης  $PT_1$  ρυθμίζει ταυτόχρονα την τάση των γραμμών διανομής  $\Gamma\Delta_1$ ,  $\Gamma\Delta_2$  και  $\Gamma\Delta_3$ . Η ταυτόχρονη ρύθμιση της τάσης δε δημιουργεί προβλήματα, όταν τα φορτία των γραμμών διανομής μεταβάλλονται περίπου ταυτόχρονα, κατά τη διάρκεια του 24-ώρου, όπως συμβαίνει για τα φορτία της ίδιας κατηγορίας (για παράδειγμα, οικιακά φορτία). Αν όμως αυτό δεν συμβαίνει, τότε μπορεί να εγκαθίστανται ανεξάρτητοι ρυθμιστές τάσης ανά γραμμή διανομής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9 (β), όπου ο ανεξάρτητος ρυθμιστής τάσης  $PT_1$  ρυθμίζει την τάση της γραμμής διανομής  $\Gamma\Delta_1$ , ο ανεξάρτητος ρυθμιστής τάσης  $PT_2$  ρυθμίζει την τάση της γραμμής διανομής  $\Gamma\Delta_2$ , ενώ ο ρυθμιστής τάσης  $PT_3$ , ο οποίος είναι ενσωματωμένος στο Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), ρυθμίζει την τάση της γραμμής διανομής  $\Gamma\Delta_3$ .



Εικόνα 2.5: ΣΑΤΥΦ ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).





Εικόνα 2.6: Θέσεις εγκατάστασης ΣΑΤΥΦ.

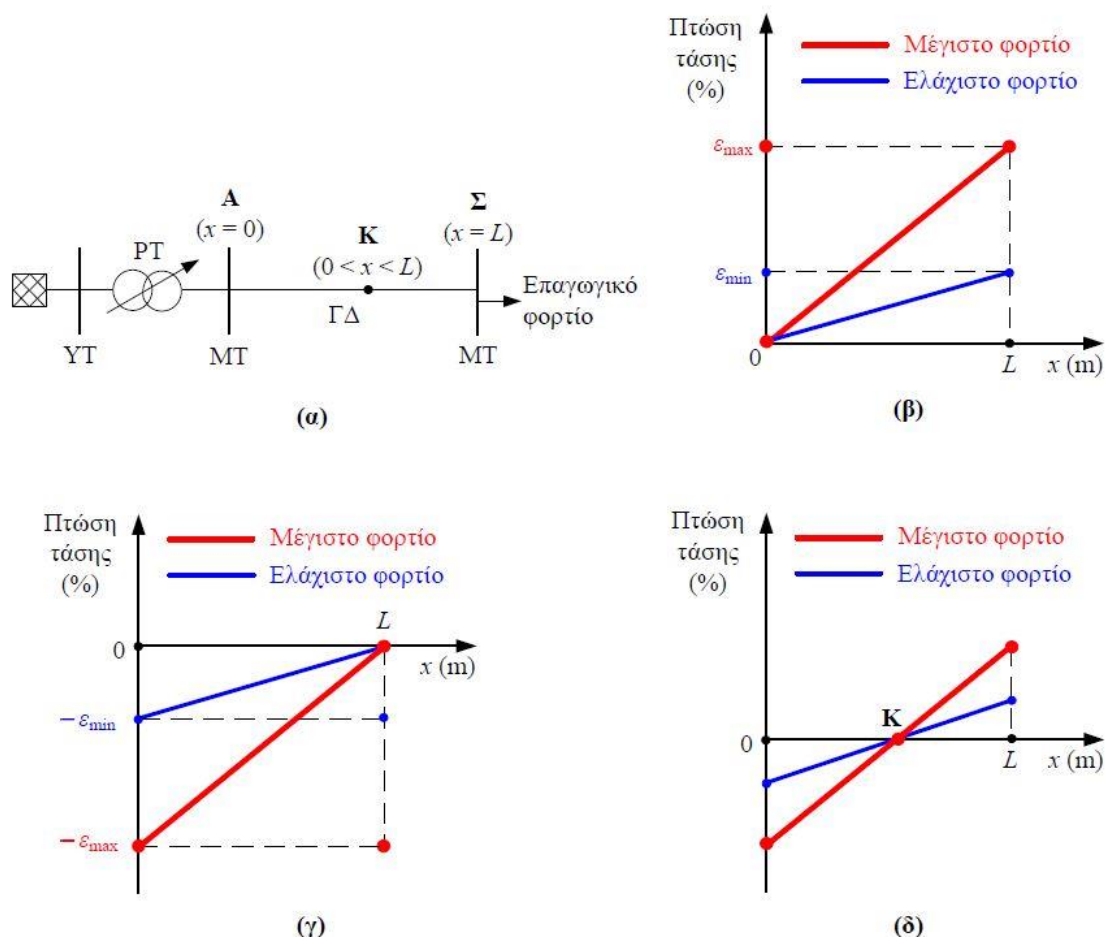
Στην Εικόνα 2.7(α) φαίνεται μια γραμμή διανομής MT μήκους  $L$ , η οποία τροφοδοτεί ένα επαγωγικό φορτίο συνδεδεμένο στο άκρο της (σημείο  $\Sigma$ ). Στην αρχή της γραμμής διανομής (σημείο  $A$ ) είναι εγκατεστημένος ένας ρυθμιστής τάσης υπό φορτίο. Στην Εικόνα 2.6(β) φαίνεται η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής MT, την ώρα του μεγίστου και την ώρα του ελαχίστου φορτίου  $L$ , όταν ο ρυθμιστής τάσης (που είναι ενσωματωμένος στο M/Σ του Y/Σ μεταφοράς (YT / MT) ρυθμίζει την τάση στο σημείο  $A$  (που απέχει απόσταση  $x = 0$  από τον Y/Σ μεταφοράς (YT / MT), προκειμένου να είναι ίση με την ονομαστική. Στην περίπτωση της Εικόνας 2.6(β), το σημείο  $A$  ονομάζεται σημείο ρύθμισης της τάσης. Στην Εικόνα 2.6(γ) φαίνεται η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής MT, την ώρα του μεγίστου και την ώρα του ελάχιστου φορτίου, όταν ο ρυθμιστής τάσης ρυθμίζει την τάση στο σημείο  $\Sigma$  (δηλαδή στο σημείο σύνδεσης του φορτίου  $L$ ), προκειμένου να είναι ίση με την ονομαστική, οπότε στην περίπτωση αυτή το σημείο  $\Sigma$  είναι το σημείο ρύθμισης της τάσης. Στην Εικόνα 2.6(δ) φαίνεται η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής MT, την ώρα του μεγίστου και την ώρα του ελάχιστου φορτίου, όταν ο ρυθμιστής τάσης ρυθμίζει την τάση στο σημείο  $K$  (το οποίο βρίσκεται σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο της γραμμής διανομής, προκειμένου να είναι ίση με την ονομαστική, οπότε στην περίπτωση αυτή το σημείο  $K$  είναι το σημείο ρύθμισης της τάσης. Από την προηγούμενη ανάλυση προκύπτει το συμπέρασμα ότι το σημείο ρύθμισης της τάσης του ρυθμιστή τάσης μπορεί να βρίσκεται στην αρχή (σημείο  $A$ ), στο τέλος (σημείο  $\Sigma$ ) ή σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο (σημείο  $K$ ) της γραμμής διανομής MT.

Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα φορτίο  $L$ , Εικόνα 2.7(α), η καλύτερη ρύθμιση είναι η διατήρηση σταθερής τάσης στο φορτίο, ίσης με την ονομαστική τάση, δηλαδή το

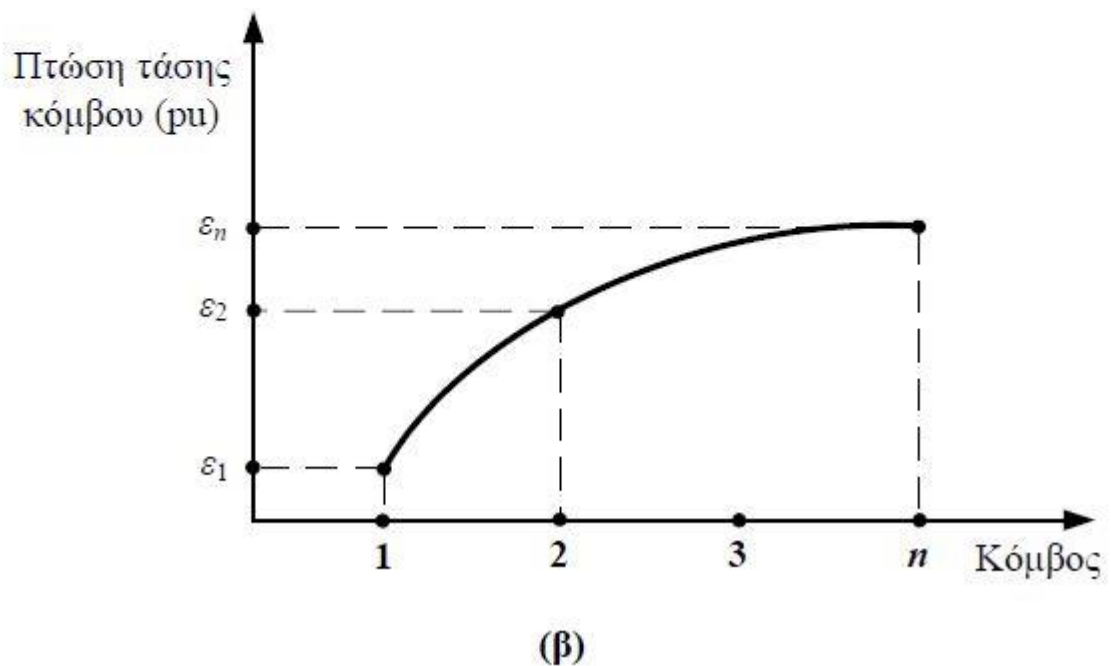
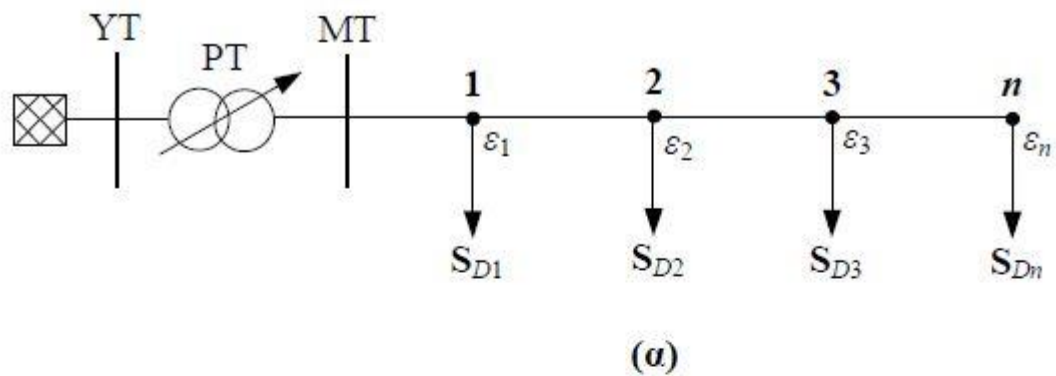
καλύτερο σημείο ρύθμισης της τάσης είναι το σημείο  $\Sigma$ , Εικόνα 2.7(γ). Εάν όμως υπάρχουν πολλά φορτία κατά μήκος της γραμμής διανομής, τότε το σημείο ρύθμισης της τάσης του ρυθμιστή τάσης επιλέγεται με κριτήριο τη διατήρηση της τάσης όλων των καταναλωτών μέσα σε προκαθορισμένα όρια, για παράδειγμα, τα όρια που καθορίστηκαν στην Ενότητα 2.4. Έστω, για παράδειγμα, το  $\Delta\Delta\text{ΗΕ}$  της Εικόνας 2.8(α), όπου στον  $\Upsilon/\Sigma$  μεταφοράς ( $\Upsilon\text{T} / \text{ΜΤ}$ ) είναι ενσωματωμένος ρυθμιστής τάσης υπό φορτίο. Το  $\Delta\Delta\text{ΗΕ}$  της Εικόνας 2.8(α) τροφοδοτεί η επαγωγικά φορτία, όπου το κάθε φορτίο είναι συγκεντρωμένο σε έναν από τους η κόμβους. Στην Εικόνα 2.8(β) φαίνεται η πτώση τάσης των κόμβων του  $\Delta\Delta\text{ΗΕ}$  της Εικόνας 2.8(α) την ώρα του μέγιστου φορτίου, όταν ο ρυθμιστής τάσης είναι σε ονομαστική λήψη ( $e = 0$ ), από όπου προκύπτει το συμπέρασμα ότι:

$$\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_n \quad (2.16)$$

όπου  $\varepsilon_i$  (σε  $\rho\mu$ ) είναι η πτώση τάσης του κόμβου  $i$  την ώρα του μέγιστου φορτίου, όταν ο ρυθμιστής τάσης είναι σε ονομαστική λήψη ( $e = 0$ ).



Εικόνα 2.7: (α) Γραμμή διανομής  $\text{MT}$  τροφοδοτεί επαγωγικό φορτίο  $L$  στο άκρο της, (β) Πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής  $\text{MT}$  όταν ο ρυθμιστής τάσης είναι σε ονομαστική λήψη και η τάση στο σημείο  $A$  ρυθμίζεται ίση με την ονομαστική, (γ) Πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής  $\text{MT}$  όταν ο ρυθμιστής τάσης ρυθμίζει την τάση του σημείου  $\Sigma$  να είναι ίση με την ονομαστική, (δ) Πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής διανομής  $\text{MT}$  όταν ο ρυθμιστής τάσης ρυθμίζει την τάση του σημείου  $K$  να είναι ίση με την ονομαστική.



Εικόνα 2.8: (α) Γραμμή διανομής MT τροφοδοτεί  $n$  επαγωγικά φορτία  $L$  συγκεντρωμένα σε  $n$  κόμβους, (β) Πτώση τάσης κάθε ενός από τους  $n$  κόμβους την ώρα του μέγιστου φορτίου  $L$ .

Συχνά, χωρίς σημαντικό λάθος, μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι όλα τα φορτία  $L$  της γραμμής διανομής μεταβάλλονται ομοιόμορφα και ότι ο συντελεστής ισχύος ( $\Sigma I$ ) τους  $\cos \varphi$  παραμένει σταθερός. Με αυτή την παραδοχή, αν ο λόγος ελάχιστου προς μέγιστο φορτίο  $L$  είναι  $\lambda$ , τότε θα ισχύει ότι:

$$\epsilon_{i,min} = \lambda \cdot \epsilon_i \quad , \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.17)$$

$$e_{min} = \lambda \cdot e \quad (2.18)$$

όπου  $\epsilon_{i,min}$  (σε  $\rho u$ ) είναι η πτώση τάσης του κόμβου  $i$  την ώρα του ελάχιστου φορτίου  $L$ , όταν ο ρυθμιστής τάσης είναι σε ονομαστική λήψη ( $e = 0$ ),  $e_{min}$  (σε  $\rho u$ ) είναι η λήψη του ρυθμιστή τάσης την ώρα του ελάχιστου φορτίου  $L$  και  $e$  (σε  $\rho u$ ) είναι η λήψη του ρυθμιστή τάσης την ώρα του μέγιστου φορτίου  $L$ .

Αν, την ώρα του μέγιστου φορτίου  $L$ , ο ρυθμιστής τάσης τεθεί σε λήψη  $e \neq 0$ , τότε το ανά μονάδα ( $pu$ ) μέτρο της τάσης του κόμβου  $i$  την ώρα του μέγιστου φορτίου  $L$  είναι:

$$V_i = 1 - \varepsilon_i + e \quad , \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.19)$$

Αν την ώρα του ελάχιστου φορτίου  $L$ , ο ρυθμιστή τάσης τεθεί σε λήψη  $e_{min} \neq 0$ , τότε το μέτρο της τάσης του κόμβου  $i$  την ώρα του ελάχιστου φορτίου  $L$  είναι:

$$V_{i,min} = 1 - \varepsilon_{i,min} + e_{min} \quad , \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.20)$$

Με βάση τη σχέση (2.15), η διακύμανση του μέτρου της τάσης του κόμβου  $i$  είναι:

$$\delta_i = \frac{V_i - V_{i,min}}{2} \quad , \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.21)$$

Αντικαθιστώντας τις (2.17) έως (2.20) στη (2.21) προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \delta_i &= \frac{V_i - V_{i,min}}{2} \rightarrow \delta_i = \frac{(1 - \varepsilon_i + e) - (1 - \varepsilon_{i,min} + e_{min})}{2} \rightarrow \\ \delta_i &= \frac{(e - \varepsilon_i) - (e_{min} - \varepsilon_{i,min})}{2} \rightarrow \delta_i = \frac{(e - \varepsilon_i) - (\lambda \cdot e - \lambda \cdot \varepsilon_i)}{2} \rightarrow \\ \delta_i &= \frac{(1-\lambda)}{2} \cdot (e - \varepsilon_i) \quad , \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.22) \end{aligned}$$

Ένα κριτήριο για την εύρεση του σημείου ρύθμισης του ρυθμιστή τάσης είναι η διατήρηση του μέτρου της τάσης όλων των καταναλωτών ( $V_1, V_2, \dots, V_n$ ) μέσα σε προκαθορισμένα όρια.

Ένα άλλο κριτήριο για την εύρεση του σημείου ρύθμισης του ρυθμιστή τάσης είναι να είναι ίδια η διακύμανση της τάσης του κόμβου με την ελάχιστη πτώση τάσης (κόμβος 1 με πτώση τάσης  $\varepsilon_1$ ) και του κόμβου με τη μέγιστη πτώση τάσης (κόμβος  $n$  με πτώση τάσης  $\varepsilon_n$ ):

$$\begin{aligned} |\delta_i| = |\delta_n| &\rightarrow \left| \frac{(1-\lambda)}{2} \cdot (e - \varepsilon_1) \right| = \left| \frac{(1-\lambda)}{2} \cdot (e - \varepsilon_n) \right| \rightarrow \\ |e - \varepsilon_1| = |e - \varepsilon_n| &\rightarrow e - \varepsilon_1 = e - \varepsilon_n \quad \text{ή} \quad e - \varepsilon_1 = \varepsilon_n - e \rightarrow \\ \varepsilon_1 = \varepsilon_n \quad (\text{αδύνατο}) &\quad \text{ή} \quad 2 \cdot e = \varepsilon_1 + \varepsilon_n \rightarrow \\ e &= \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_n}{2} \quad (2.23) \end{aligned}$$

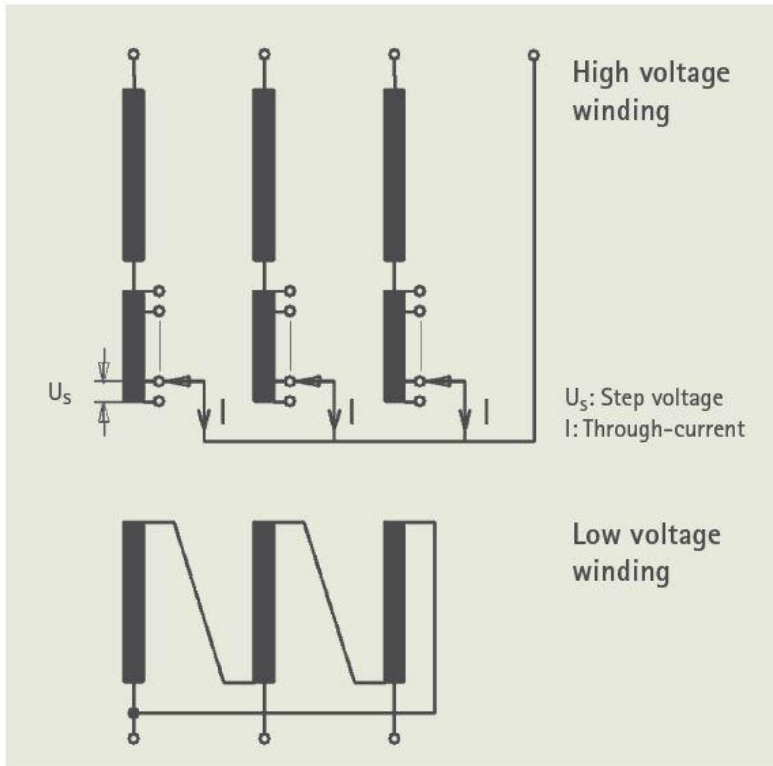
Η σχέση (2.23) δίνει τη ρύθμιση (ανύψωση τάσης) του ρυθμιστή τάσης, η οποία οδηγεί σε ίδια διακύμανση τάσης για τον κόμβο με την ελάχιστη πτώση τάσης (κόμβος 1 με πτώση τάσης  $\varepsilon_1$ ) και για τον κόμβο με τη μέγιστη πτώση τάσης (κόμβος  $n$  με πτώση τάσης  $\varepsilon_n$ ). [10], [11]

## 2.6.1 Αρχή Λειτουργίας Συστημάτων Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

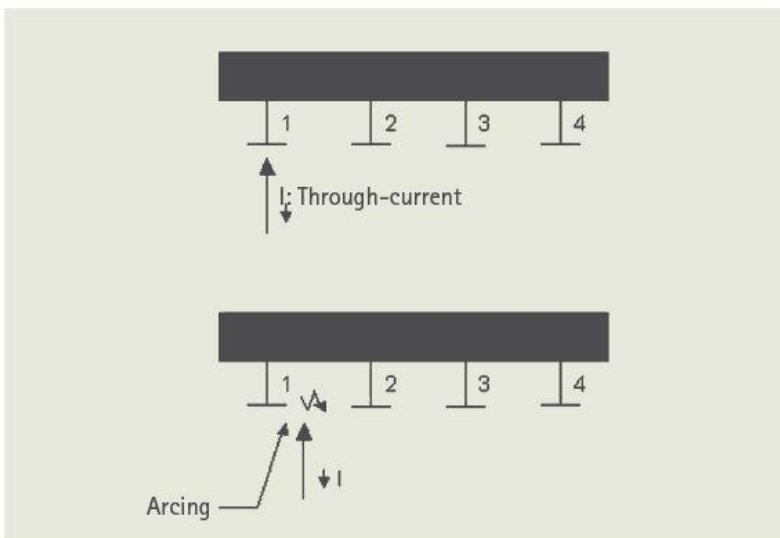
Τα ΣΑΤΥΦ που είναι ενσωματωμένα στους Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) ρυθμίζουν το λόγο μετασχηματισμού, προσθέτοντας ή αφαιρώντας τυλίγματα στο πρωτεύον κυρίως και σπανιότερα στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ. Οι Μ/Σ είναι εξοπλισμένοι με ένα ρυθμιστικό τύλιγμα το οποίο συνδέεται στο ΣΑΤΥΦ.

Στην Εικόνα 2.9 απεικονίζεται η αρχή διάταξης των τυλιγμάτων ενός Τριφασικού (3Φ) Μ/Σ ισχύος, συνδεσμολογίας Αστέρα-Τριγώνου (Υ-Δ) με το ΣΑΤΥΦ να είναι ενσωματωμένο στο τύλιγμα ΥΤ (πρωτεύον τύλιγμα).

Η απλή αλλαγή λήψης τυλίγματος ενώ ο Μ/Σ ισχύος είναι ενεργοποιημένος δεν είναι αποδεκτή αφού προκαλεί απώλεια φορτίου  $L$  κατά τη διάρκεια της διακοπτικής λειτουργίας (Εικόνα 2.10).



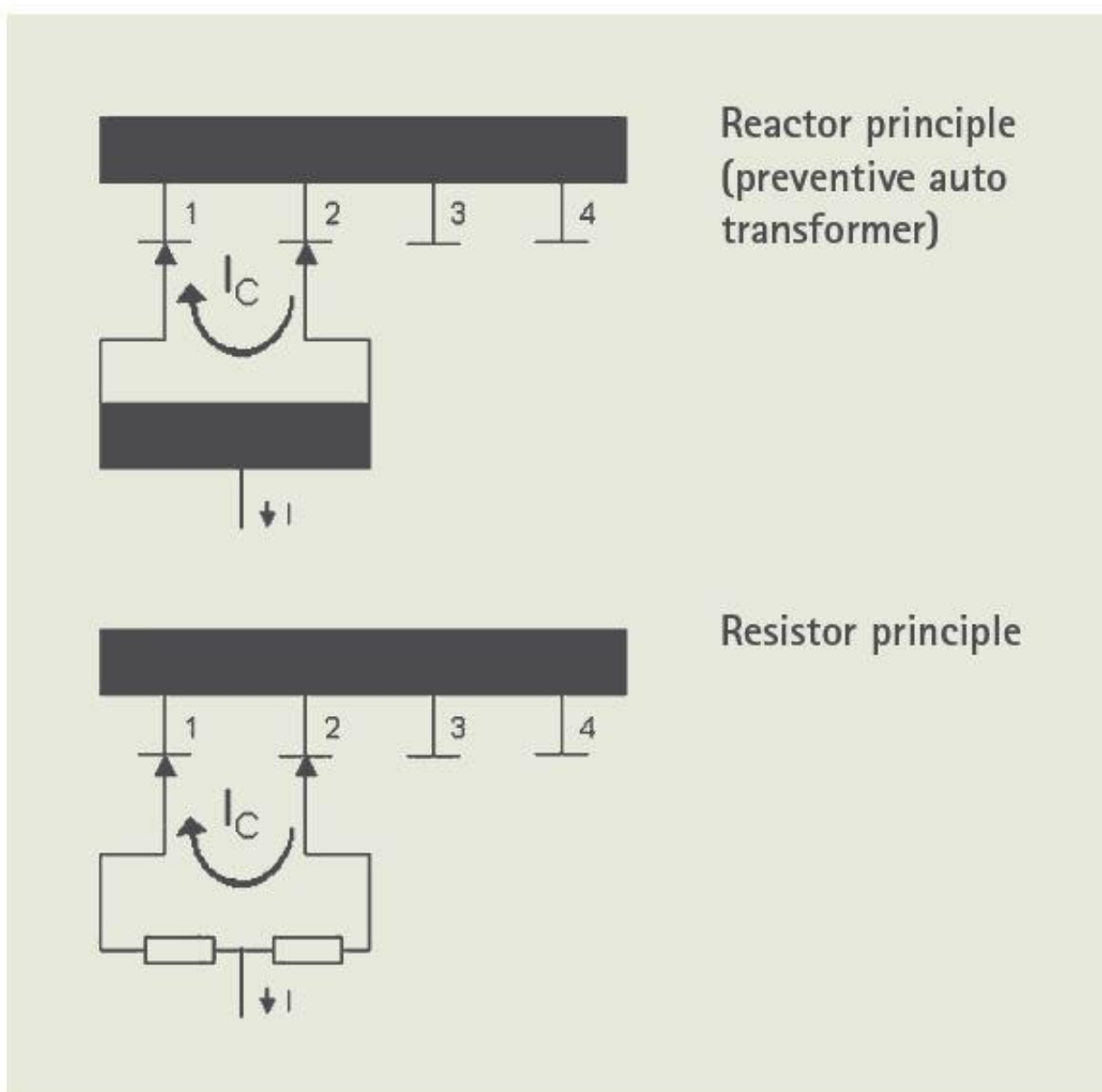
Εικόνα 2.9: Αρχή διάταξης των τυλιγμάτων σε ένα Μ/Σ συνδεσμολογίας Υ-Δ.



Εικόνα 2.10: Απώλεια φορτίου σε περίπτωση απλής διακοπτικής λειτουργίας (αλλαγής λήψης).

Επομένως η ιδέα για «σύνδεση στη λήψη 2 πριν την αποσύνδεση από τη λήψη 1», η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 2.11, αποτελεί τη βασική μέθοδο σχεδιασμού των Συστημάτων ΣΑΤΥΦ. Η αντίσταση μετάβασης (με τη μορφή resistor ή reactor) αποτελείται από μία ή περισσότερες μονάδες, οι οποίες γεφυρώνουν τις παρακαείμενες λήψεις με σκοπό τη μεταφορά του φορτίου  $L$  από τη μία λήψη στην άλλη, χωρίς διακοπή ή σημαντική αλλαγή του ρεύματος του φορτίου  $I$ . Ταυτόχρονα, περιορίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_C$  για την περίοδο που χρησιμοποιούνται και οι δύο λήψεις. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, ένα τύπου reactor ΣΑΤΥΦ χρησιμοποιεί τη θέση γεφύρωσης ως θέση συντήρησης και επομένως έχει σχεδιαστεί για συνεχή τροφοδότηση του φορτίου  $L$ .

Η τάση μεταξύ δύο (2) διαδοχικών λήψεων ονομάζεται βηματική τάση και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,8% και 2,5% της ονομαστικής τάσης του Μ/Σ ισχύος. [11]



Εικόνα 2.11: Βασική διακοπτική λειτουργία «σύνδεση στη λήψη 2 πριν την αποσύνδεση από τη λήψη 1» με χρήση αντιστάσεων μετάβασης.

## 2.6.2 Τα Κύρια Μέρη Ενός Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Τα κύρια μέρη ενός ΣΑΤΥΦ είναι:

- Ο Μεταγωγικός Διακόπτης (Diverter Switch) (Εικόνα 2.12).

Αποτελείται από τις επαφές για τη διέλευση και διακοπή των ρευμάτων, των ρευμάτων μεταφοράς (βραχυκύκλωσης), τις αντιστάσεις μετάβασης, τα γρανάζια και τα ελατήρια συσσώρευσης ενέργειας.

Οι μεταγωγικοί διακόπτες διακρίνονται, βάση της τεχνολογίας τους, σε ελαίου (oil) (Εικόνα 2.12) και κενού (vacuum) (Εικόνα 2.13). Στους μεταγωγικούς διακόπτες τεχνολογίας ελαίου η σβέση των τόξων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της μεταγωγής πραγματοποιείται στο λάδι μέσα στο οποίο είναι εγκατεστημένοι οι διακόπτες. Στην περίπτωση τεχνολογίας κενού, η σβέση των τόξων πραγματοποιείται στο κενό, μη επιβαρύνοντας έτσι το λάδι του διακόπτη (Εικόνα 2.14).

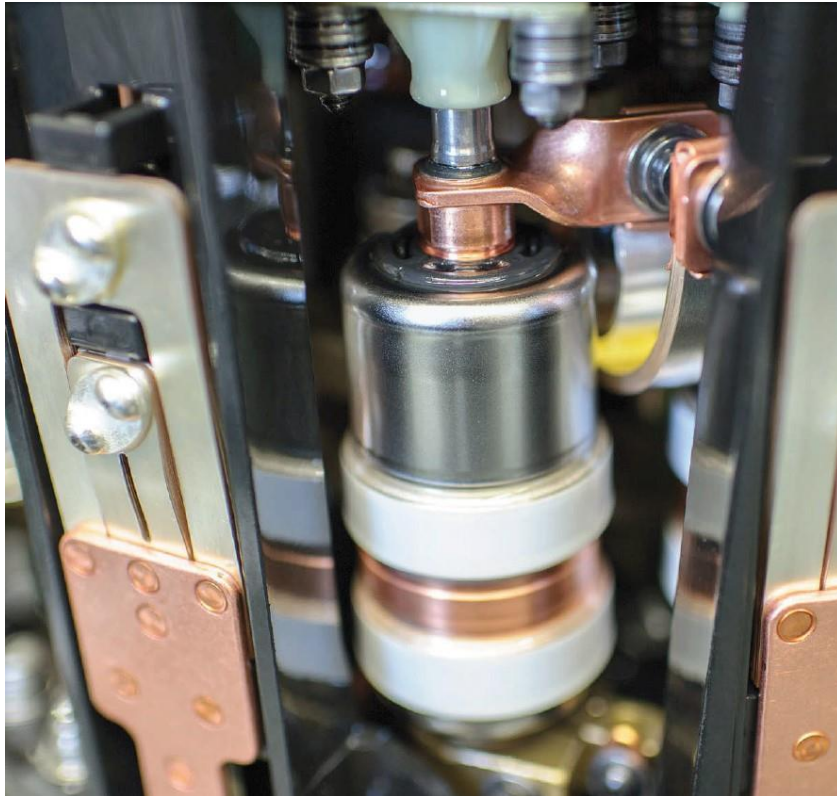
Προφανώς, οι μεταγωγικοί διακόπτες λόγω των συνεχών και αλληπάλληλων κάποιες φορές μηχανικών κινήσεών τους, αλλά και της δημιουργίας και σβέσης ηλεκτρικών τόξων στο σώμα τους, καταπονούνται περισσότερο από κάθε άλλο τμήμα του ΣΑΤΥΦ και χρήζουν ανάγκης συντήρησης. Συνήθως, για τους μεταγωγικούς διακόπτες τεχνολογίας ελαίου η συντήρηση αυτή πραγματοποιείται κάθε 100.000 κινήσεις – χειρισμούς, λειτουργίες του διακόπτη ή κάθε πέντε (5) έτη λειτουργίας (όποιο από τα δύο (2) αυτά κριτήρια προηγηθεί). Η αντίστοιχη απαίτηση συντήρησης για μεταγωγικούς διακόπτες τεχνολογίας κενού είναι ανεξάρτητη του χρονικού κριτηρίου και πραγματοποιείται κάθε 300.000 κινήσεις – χειρισμούς, λειτουργίες του διακόπτη, αφού σε αυτή την περίπτωση έχουμε το πλεονέκτημα να μη γίνεται σβέση του τόξου που δημιουργείται κατά τη μεταγωγή από το λάδι μέσα στο οποίο βρίσκεται ο διακόπτης, αλλά η σβέση να επιτυγχάνεται στο κενό.

Ανάλογα με τις διάφορες διατάξεις των τυλιγμάτων και το σχεδιασμό των ΣΑΤΥΦ χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι μεταγωγικών διακοπτών.



Εικόνα 2.12: Μεταγωγικός διακόπτης (diverter switch) τεχνολογίας ελαίου (oil) μετά το πέρας της συντήρησής του και πριν την επανεγκατάστασή του στο Μ/Σ ισχύος.

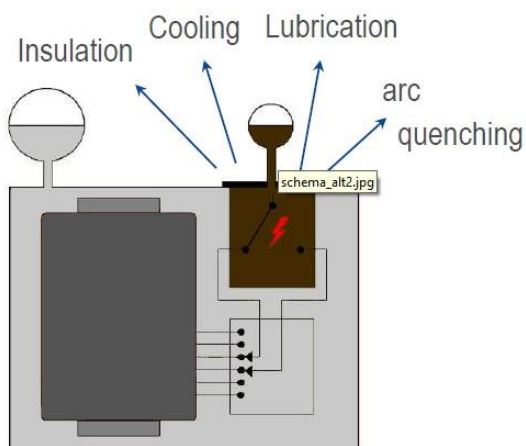




Εικόνα 2.13: Επαφή κενού (vacuum) σε μεταγωγικό διακόπτη (diverter switch) τεχνολογίας κενού.

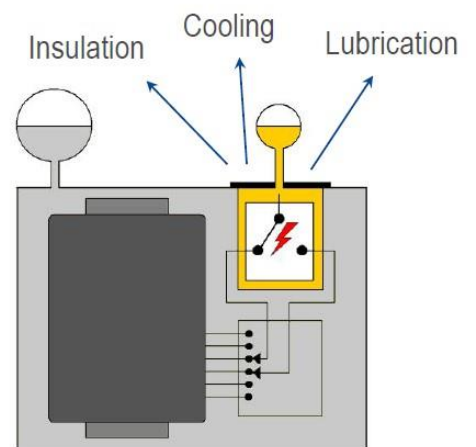
### Conventional technology (OILTAP®)

| Current breaking in oil



### Vacuum technology (VACUTAP®)

| Current breaking in vacuum interrupter



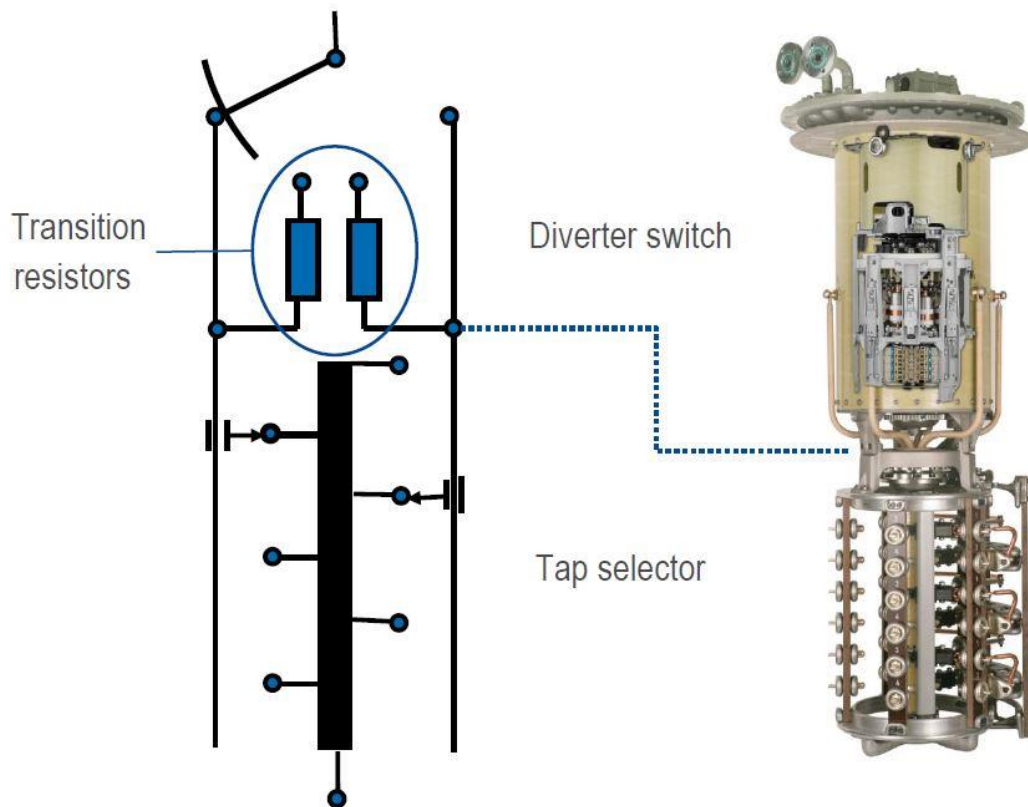
Εικόνα 2.14: Σθέση τόξου και λειτουργίες του ελαίου για μεταγωγικούς διακόπτες (diverter switches) τεχνολογίας ελαίου (oil) και κενού (vacuum) αντίστοιχα.

- Ο Επιλογέας (Tap-Selector) (Εικόνα 2.15).

Συνδέεται με τις απολήξεις του ρυθμιστικού τυλίγματος και με το μεταγωγικό διακόπτη και είναι εγκατεστημένος στο κυρίως σώμα (λέβητα) του Μ/Σ ισχύος. Ανάλογα με τις διάφορες διατάξεις των τυλιγμάτων και το σχεδιασμό των ΣΑΤΥΦ χρησιμοποιούνται οι διαφορετικοί τύποι επιλογέων, αντιστρόφου ή χονδροειδούς τύπου.



Εικόνα 2.15: Επιλογέας (tap-selector), κατά τη διάρκεια εργασιών επισκευής του, συνδεδεμένος τόσο με τις απολήξεις του ρυθμιστικού τυλίγματος όσο και με το μεταγωγικό διακόπτη (diverter switch).



Εικόνα 2.16: Σχηματική αναπαράσταση και φωτογραφία επιλογέα (tap-selector) και μεταγωγικού διακόπτη (diverter switch).

- Το Διαμέρισμα Ελαίου (Oil Compartment) (Εικόνα 2.17).

Είναι ο ειδικός χώρος (σχήματος κυλινδρικού βαρελιού) μέσα στον οποίο είναι εγκατεστημένος ο μεταγωγικός διακόπτης, για να εξασφαλίζεται ο διαχωρισμός του ελαίου του διακόπτη, το οποίο δέχεται καταπονήσεις και έντονη φθορά της διηλεκτρικής αντοχής του από τη σβέση των τόξων, από το έλαιο του κυρίως σώματος (λέβητα) του Μ/Σ ισχύος. Έτσι, διασφαλίζεται η προστασία του ελαίου του κυρίως σώματος (λέβητα) του Μ/Σ ισχύος (μεγάλη ποσότητα, τάξης μεγέθους 80tn) από την ανάμειξή του με το λάδι του μεταγωγικού διακόπτη (μικρή ποσότητα, τάξης μεγέθους 200lt), που θα είχε ως συνέπεια την ταχύτατη και έντονη αλλοίωση και φθορά του.



Εικόνα 2.17: Εσωτερικό διαμερίσματος ελαίου (oil compartment) κατά τη διάρκεια αφαίρεσης από αυτό του μεταγωγικού διακόπτη (diverter switch) για την πραγματοποίηση εργασιών συντήρησης.

- Η Μονάδα Οδήγησης (Motor Drive Unit, (MDU)) (Εικόνα 2.18).

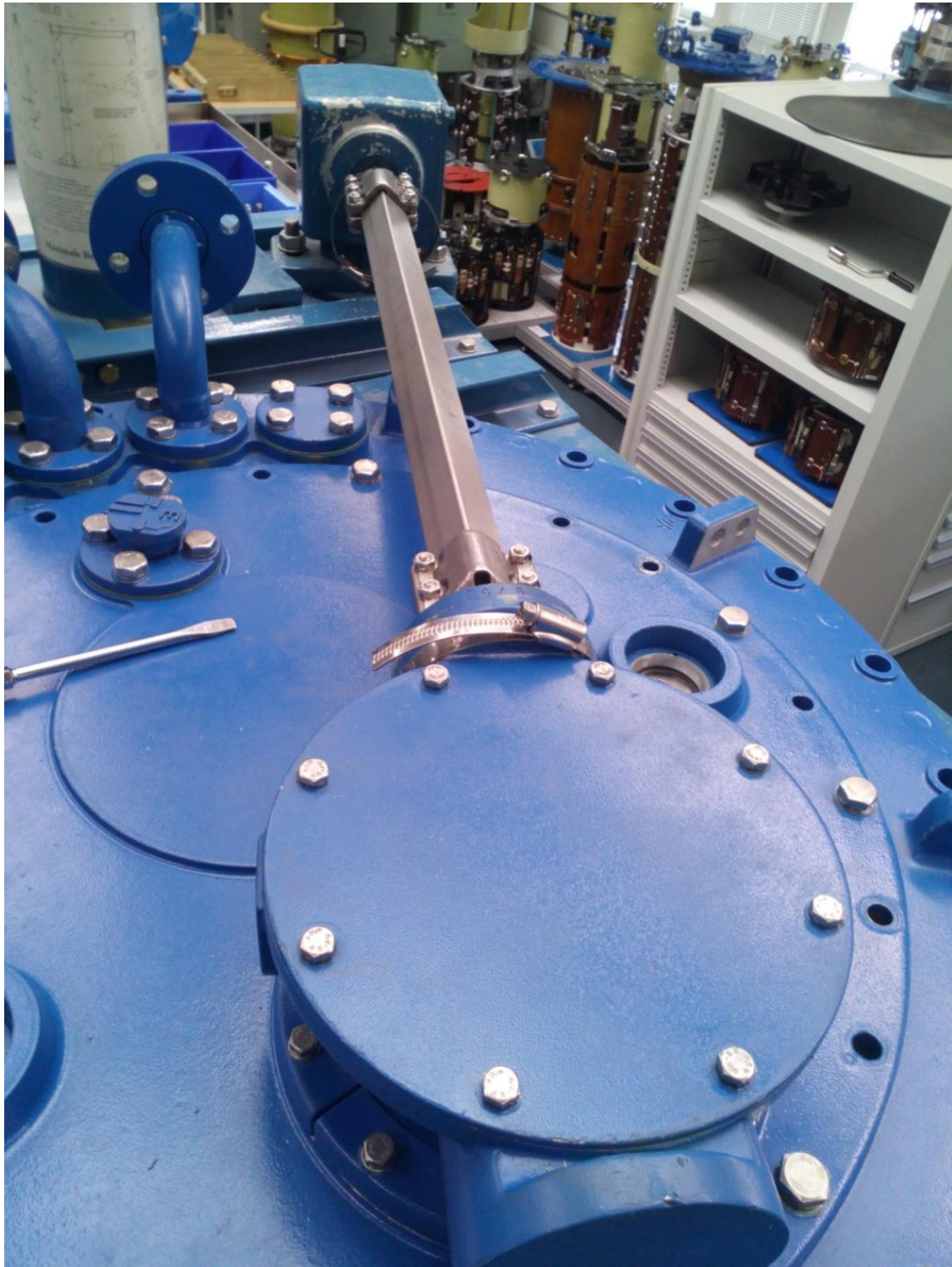
Είναι η μονάδα η οποία μέσω του μοτέρ που εμπεριέχει, προκαλεί την κίνηση στο ΣΑΤΥΦ.



Εικόνα 2.18: Μονάδα οδήγησης (Motor Drive Unit, (MDU)) ενός ΣΑΤΥΦ.

- Ο κάθετος και οριζόντιος Άξονας Οδήγησης (Drive Shafts) και το Κιβώτιο Σύνδεσής τους (Metal Gear) (Εικόνα 2.19).

Μέσω αυτών υλοποιείται η μετάδοση της κίνησης από τη μονάδα οδήγησης στο ΣΑΤΥΦ.



Εικόνα 2.19: Οριζόντιος άξονας οδήγησης (drive shaft), χωρίς το προστατευτικό του κάλυμμα, συνδεδεμένος με το κιβώτιο σύνδεσης (metal gear) και το ΣΑΤΥΦ.

- Το Relay Προστασίας RS2001 (Εικόνα 2.20).

Ανιχνεύει ηλεκτρικά και θερμικά σφάλματα στο εσωτερικό του διαμερίσματος ελαίου, τα οποία προκαλούνται κατά τη διάρκεια της κίνησης του μεταγωγικού διακόπτη. Η ενεργοποίηση των επαφών του προκαλείται από τη γρήγορη κίνηση φυσαλίδων που δημιουργούνται από τέτοιου είδους ηλεκτρικά και θερμικά σφάλματα εντός του λαδιού και έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας του Μ/Σ ισχύος για λόγους προστασίας του.



*Εικόνα 2.20: Relay Προστασίας RS2001 με αποσπασμένο το εξωτερικό του κάλυμμα για να είναι ορατές οι επαφές του.*

- Δοχείο Διαστολής (Oil Conservator) (Εικόνα 2.21).

Το ΣΑΤΥΦ συνδέεται σε δοχείο διαστολής που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από αυτό. Συνήθως, ένα (1) δοχείο διαστολής διαμοιράζεται σε δύο (2) διαφορετικά διαμερίσματα, ένα (1) για το λάδι του Μ/Σ ισχύος και ένα (1) αποκλειστικά για το λάδι του ΣΑΤΥΦ. Ο όγκος του δοχείου διαστολής πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να υπάρχει ποσότητα λαδιού ακόμα και στη χαμηλότερη στάθμη, αλλά να μην υπάρχει περίπτωση υπερχείλισης στην υψηλότερη στάθμη. Το δοχείο διαστολής είναι εφοδιασμένο με συσκευή ένδειξης της στάθμης του (Oil Level Indicator) και συσκευή εξαερισμού (Breather) που δεν επιτρέπει να εισέλθει σε αυτό υγρασία (απορροφάται από το silica gel που περιέχεται στη συσκευή εξαερισμού), αλλά ταυτοχρόνως επιτρέπει στα αέρια που σχηματίζονται από τα τόξα διάσπασης να εξέλθουν από το δοχείο διαστολής.



Εικόνα 2.21: Δοχείο διαστολής (oil conservator). Διακρίνεται η διαμερισματοποίηση για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός του δοχείου διαστολής του ΣΑΤΥΦ (μικρό-εσωτερικό, τετράγωνο διαμέρισμα) από αυτό του Μ/Σ ισχύος (μεγάλο-εξωτερικό, κυλινδρικό διαμέρισμα).

- Αυτόματος Ρυθμιστής Τάσης (Automatic Voltage Regulator, (AVR)) (Εικόνα 2.22).

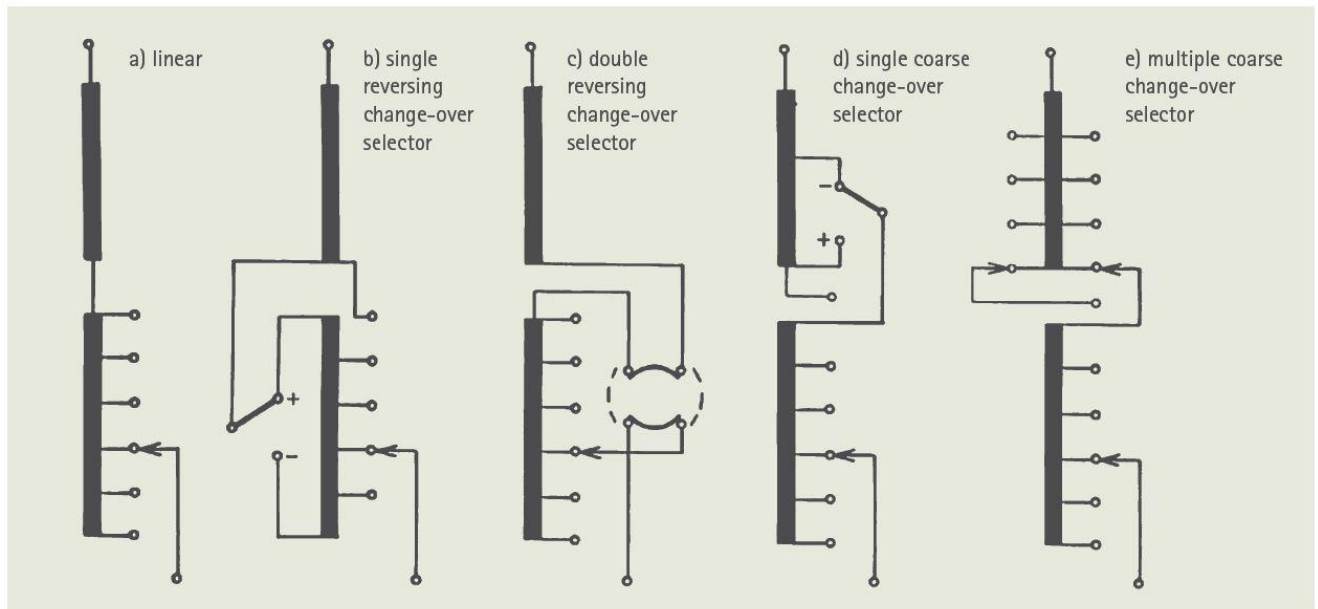
Οι Αυτόματοι Ρυθμιστές Τάσης (Automatic Voltage Regulators, (AVRs)) δέχονται ως σήματα εισόδου τις μετρήσεις των Μ/Σ μετρήσεων, τάσεως και εντάσεως και αναλόγως εντολοδοτούν, αυτόματα και βάση των ρυθμίσεών τους, προς τη μονάδα οδήγησης ώστε να προκαλέσουν την κίνηση του ΣΑΤΥΦ προς εκείνη τη θέση όπου η τάση του δευτερεύοντος του Μ/Σ ισχύος είναι πιο κοντά στην ονομαστική της τιμή.



Εικόνα 2.22: Αυτόματος Ρυθμιστής Τάσης (Automatic Voltage Regulator, (AVR)), τύπου TAPCON®260 της εταιρίας Maschinenfabrik Reinhausen (MR).

### 2.6.3 Βασικές Διατάξεις Σύνδεσης Των Ρυθμιστικών Τυλιγμάτων Των Συστημάτων Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Οι κυριότερες διατάξεις σύνδεσης των χρησιμοποιούμενων ρυθμιστικών τυλιγμάτων φαίνονται στην ακόλουθη Εικόνα 2.23.



Εικόνα 2.23: Βασικές συνδέσεις ρυθμιστικών τυλιγμάτων.

Η ευθύγραμμη διάταξη σύνδεσης (Εικόνα 2.23(α)) είναι γενικά χρησιμοποιούμενη σε Μ/Σ ισχύος με μέτριο εύρος ρύθμισης που φτάνει έως το μέγιστο ποσοστό του 20%. Οι λήψεις του ρυθμιστικού τυλίγματος προστίθενται σε σειρά στο κύριο τύλιγμα και αλλάζουν έτσι το λόγο μετασχηματισμού. Η επιλεγμένη θέση λήψης μπορεί να είναι οποιαδήποτε από τις θέσεις λήψης του ρυθμιστικού τυλίγματος.

Η διάταξη σύνδεσης τύπου «απλή αντιστροφή μέσω ενός επιλογέα» (“single reversing change-over selector”) (Εικόνα 2.11(β)) είναι ένας ακόμη τρόπος σύνδεσης του ρυθμιστικού τυλίγματος με το κύριο. Με αυτή τη διάταξη το επιπλέον τύλιγμα προστίθεται ή αφαιρείται από το κύριο τύλιγμα, διπλασιάζοντας έτσι το εύρος ρύθμισης του ΣΑΤΥΦ ή μειώνοντας τις αλλαγές λήψης. Κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας το ρυθμιστικό τύλιγμα αποσυνδέεται από το κύριο τύλιγμα. Οι μεγαλύτερες απώλειες χαλκού παρατηρούνται στη θέση με το ελάχιστο μήκος ενεργού τυλίγματος. Η επίτευξη της λειτουργίας της αντιστροφής γίνεται μέσω ενός επιλογικού διακόπτη που είναι μέρος του ρυθμιστικού τυλίγματος. Η λήψη στην οποία παίρνουμε την ονομαστική τιμή της τάσης είναι συνήθως η μεσαία λήψη ή όπως αλλιώς ονομάζεται η ουδέτερη λήψη.

Με τη διάταξη σύνδεσης τύπου «διπλή αντιστροφή μέσω ενός επιλογέα» (“double reversing change-over selector”) (Εικόνα 2.11(γ)) αποφεύγεται, κατά τη διάρκεια της αλλαγής λήψης, η αποσύνδεση του ρυθμιστικού τυλίγματος του ΣΑΤΥΦ από το κύριο τύλιγμα του Μ/Σ ισχύος. Σε Μ/Σ ισχύος τύπου αλλαγής φάσης (phase shifting transformers) η διάταξη αυτή ονομάζεται διακόπτης προκαθυστέρησης.



Χρησιμοποιώντας διάταξη σύνδεσης τύπου «απλή κοινή αντιστροφή μέσω ενός επιλογέα» (“single coarse change-over selector”) (Εικόνα 2.11(δ)), το ρυθμιστικό τύλιγμα του ΣΑΤΥΦ συνδέεται είτε στη θετική είτε στην αρνητική λήψη του κοινού τυλίγματος. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της παραπάνω διάταξης, το ρυθμιστικό τύλιγμα αποσυνδέεται από το κύριο τύλιγμα και επιπρόσθετα ελέγχεται η αντίσταση σειράς του τυλίγματος για τυχόν εμφάνιση προβλημάτων. Στην περίπτωση αυτή οι απώλειες χαλκού είναι ελάχιστες στη θέση με το ελάχιστο μήκος ενεργού τυλίγματος. Παρόλα αυτά το παραπάνω πλεονέκτημα ανεβάζει τις απαιτήσεις σε μονωτικό υλικό και απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό τυλιγμάτων.

Τέλος, με τη διάταξη σύνδεσης τύπου «πολλαπλή κοινή αντιστροφή μέσω ενός επιλογέα» (“multiple coarse change-over selector”) (Εικόνα 2.11(ε)) γίνεται εφικτή η αύξηση και ο πολλαπλασιασμός του εύρους ρύθμισης του ΣΑΤΥΦ. Χρησιμοποιείται κυρίως σε Μ/Σ βαρέων βιομηχανικών χρήσεων, όπως είναι οι Μ/Σ καμινιών στον κλάδο της χαλυβουργίας. Ο επιλογέας και σε αυτήν την περίπτωση αποτελεί τμήμα του ρυθμιστικού τυλίγματος του ΣΑΤΥΦ.

Ποια από αυτές τις παραπάνω αναλυόμενες βασικές διατάξεις σύνδεσης του ρυθμιστικού τυλίγματος χρησιμοποιείται σε κάθε μεμονωμένη περίπτωση, εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συστήματος λειτουργίας. Αυτές οι διατάξεις σύνδεσης μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε συμβατικούς Μ/Σ ισχύος διπλού τυλίγματος, όσο και σε ΑΜΣ αλλά και σε Μ/Σ αλλαγής φάσης. Το σημείο σύνδεσης του ρυθμιστικού τυλίγματος άρα και του ΣΑΤΥΦ στην πλευρά του τυλίγματος ΥΤ ή ΜΤ, εξαρτάται από τις προδιαγραφές κατασκευής και το σχεδιασμό του Μ/Σ ισχύος. [11]

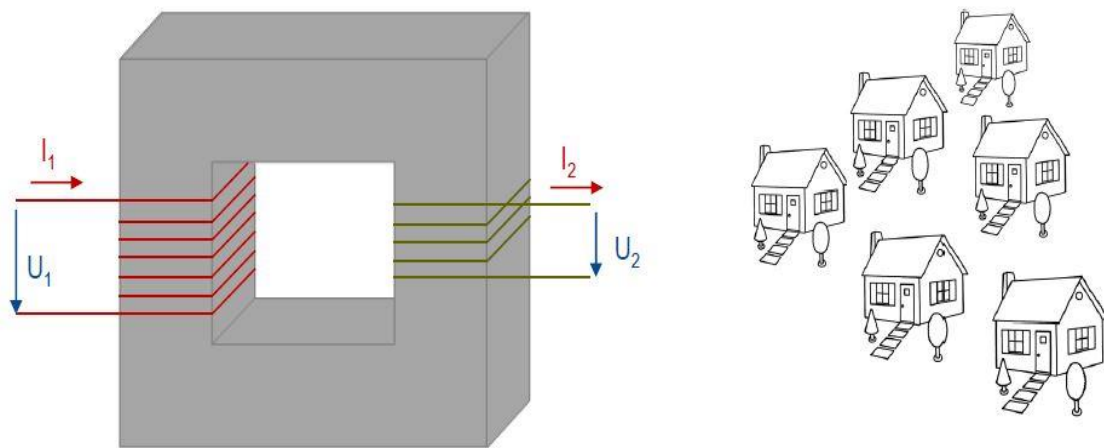
## 2.6.4 Πρακτική Εφαρμογή Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Και Διαδικασία Αλλαγής Λήψης (Από Την 3η Στην 4η Λήψη)

Στις παρακάτω Εικόνες 2.24 – 2.27, παρατίθεται η αρχή λειτουργίας της ρύθμισης της τάσης με ΣΑΤΥΦ, ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος που είναι εγκατεστημένος σε Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).

Example with an increasing energy demand:

$$U_1 = 150\text{kV} \text{ (880turns +/- 5x14turns); } 170\text{V/turns nom.}$$

$$U_2 = 170\text{V/turns} \times 118\text{turns} = 20,06\text{kV}$$



Εικόνα 2.24: Αρχή λειτουργίας της ρύθμισης τάσης με ΣΑΤΥΦ, ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος εγκατεστημένο σε Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).

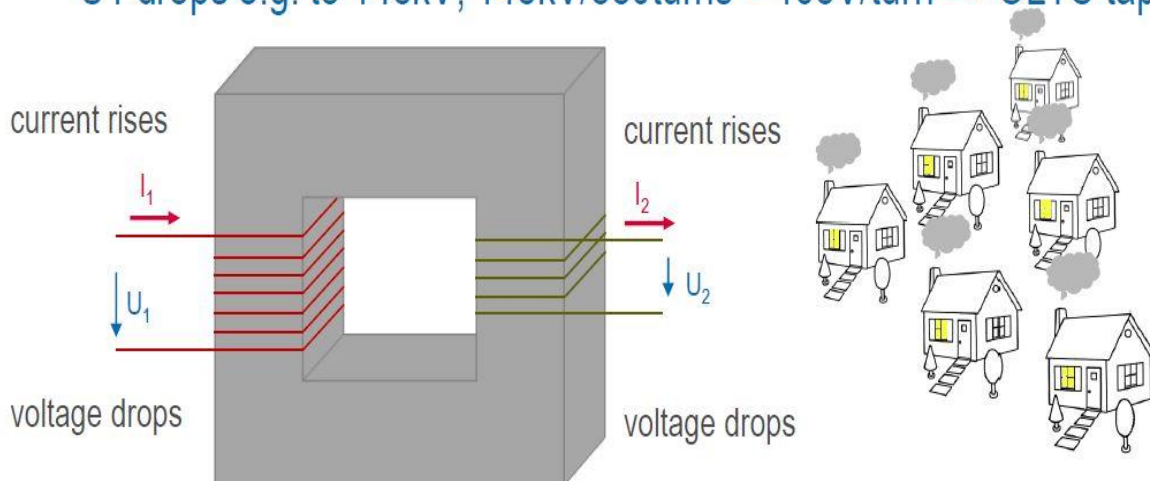
### Εικόνα 2.24

Το πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ ισχύος αποτελείται από συνολικό μήκος 880 συστροφών, με ονομαστική τιμή τάσης για κάθε μία (1) από αυτές τις συστροφές  $U_{nom} = 170 \text{ Volt/turn}$ . Έτσι, η ονομαστική τάση στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ είναι  $U_1 = 880 \text{ turns} \times 170 \text{ Volt/turn} = 149,6 \text{ kV} \approx 150 \text{ kV}$ . Αντίστοιχα, το δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ αποτελείται από συνολικό μήκος 118 συστροφών, με ίδια ονομαστική τιμή τάσης  $U_{nom} = 170 \text{ Volt/turn}$ . Η ονομαστική τάση στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ είναι  $U_2 = 118 \text{ turns} \times 170 \text{ Volt/turn} = 20,06 \text{ kV}$ . Το ΣΑΤΥΦ που είναι ενσωματωμένο στο Μ/Σ ισχύος έχει τη δυνατότητα, μέσω του ρυθμιστικού του τυλίγματος, να προσθέσει ή να αφαιρέσει στο πρωτεύον τύλιγμα μήκη  $5 \times 14 \text{ turns}$ , άρα και να μειώσει ή να αυξήσει αντίστοιχα την τάση του πρωτεύοντος κατά  $5 \times 14 \text{ turns} \times 170 \text{ Volt/turn} = 5 \times 2,38 \text{ kV}$ . Ο Μ/Σ ισχύος λειτουργεί υπό ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος  $I_1$  και δευτερεύοντος  $I_2$ , ενώ τροφοδοτεί οικιακούς καταναλωτές.

Energy demand increases:

$U_2$  drops

$U_1$  drops e.g. to 148kV;  $148\text{kV}/880\text{turns} = 168\text{V/turn} \Rightarrow$  OLTC tap change



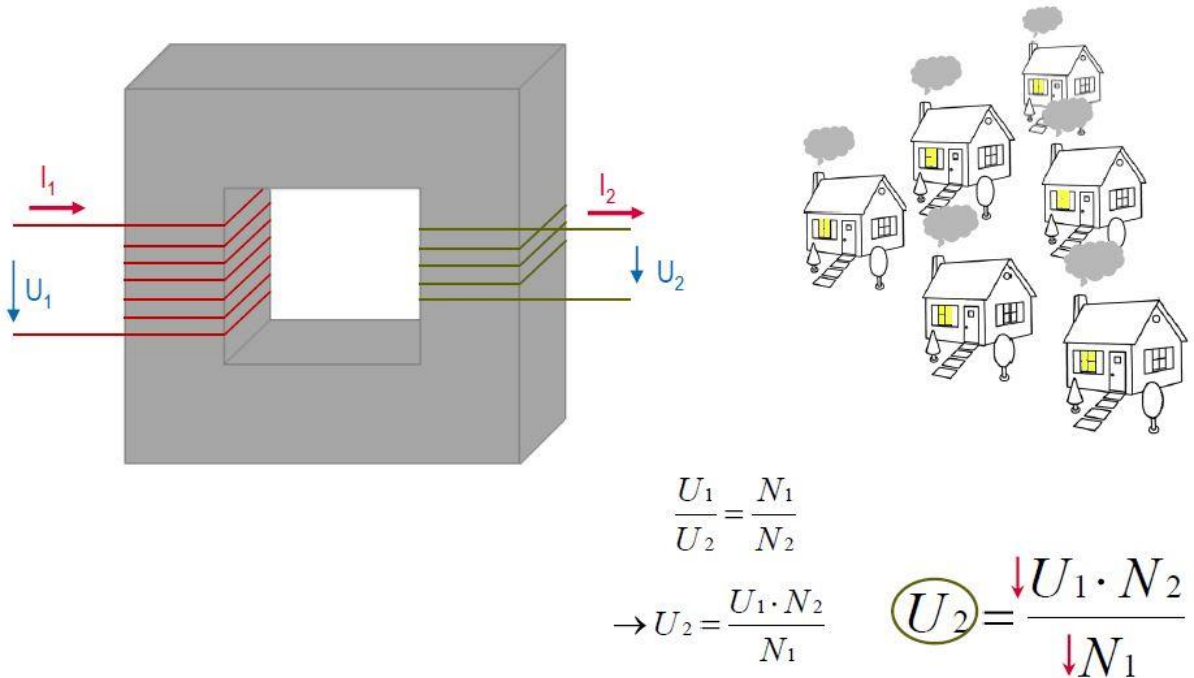
Εικόνα 2.25: Αρχή λειτουργίας της ρύθμισης τάσης με ΣΑΤΥΦ ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος εγκατεστημένο σε Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Αύξηση καταναλισκόμενης ενέργειας.

### Εικόνα 2.25

Η αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας (παρεχόμενης ενέργειας από το Μ/Σ ισχύος προς τους οικιακούς καταναλωτές) προκαλεί αύξηση των ρευμάτων δευτερεύοντος και πρωτεύοντος  $I_2$  και  $I_1$ , άρα και μείωση των τάσεων δευτερεύοντος και πρωτεύοντος  $U_2$  και  $U_1$ . Για μία υποθετική μείωση της τάσης του πρωτεύοντος έως και την τιμή των  $U_1 = 148\text{ kV}$ , η αντίστοιχη τάση για μήκος μίας (1) συστροφής γίνεται  $U = 148.000\text{ Volt}/880\text{ turns} \approx 168\text{ Volt/turn}$ .

Compensate the voltage-drop with the OLTC:

decrease number of turns  $\rightarrow$  constant induction ( $U_1/N_1 = \text{constant}$ )



Εικόνα 2.26: Αρχή λειτουργίας της ρύθμισης τάσης με ΣΑΤΥΦ ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος εγκατεστημένο σε Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Εξισορρόπηση τάσης μέσω της λειτουργίας του ΣΑΤΥΦ.

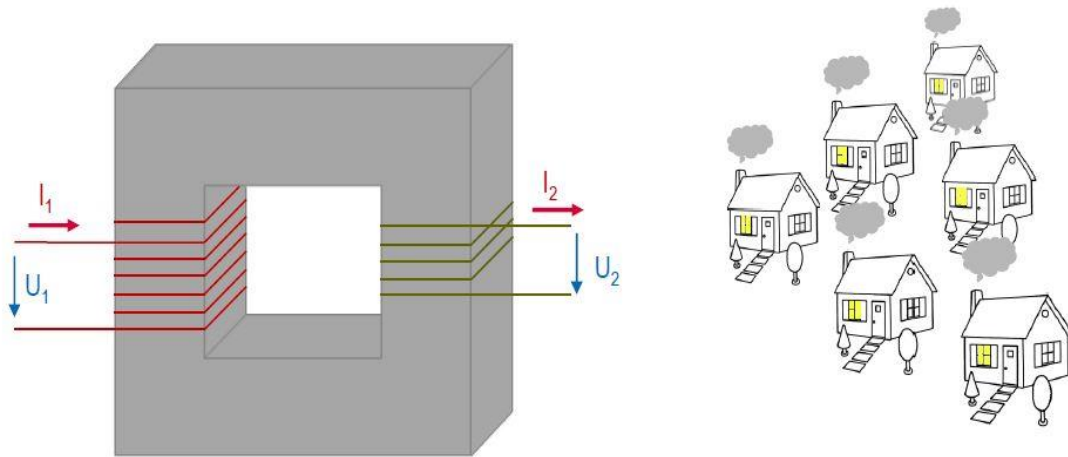
Εικόνα 2.26

Από την ισχύουσα σχέση για τις τάσεις πρωτεύοντος  $U_1$  και δευτερεύοντος  $U_2$  του Μ/Σ ισχύος  $U_2 = \frac{U_1 \cdot N_2}{N_1}$ , όπου  $N_1$  το μήκος του τυλίγματος του πρωτεύοντος και  $N_2$  το μήκος του τυλίγματος του δευτερεύοντος, συμπεραίνουμε ότι η σταθεροποίηση της τάσης του δευτερεύοντος  $U_2$ , ενώ μειώνεται η τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος  $U_1$  και παραμένει σταθερό το μήκος του τυλίγματος του δευτερεύοντος  $N_2$ , μπορεί να επιτευχθεί με αντίστοιχη μείωση του μήκους του τυλίγματος του πρωτεύοντος  $N_1$ . Η μείωση αυτή του μήκους του τυλίγματος του πρωτεύοντος  $N_1$ , πραγματοποιείται μέσω του ρυθμιστικού τυλίγματος, με την αντίστοιχη λειτουργία – κίνηση του ΣΑΤΥΦ.

OLTC switches to a lower position:

$$148\text{kV}/(880\text{turns} - 14\text{turns}) = 170\text{V/turn}$$

$$\Rightarrow U_2 \text{ stays constantly at } 170\text{V/turn} \times 118 \text{ turns} = 20,06\text{kV}$$



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\rightarrow U_2 = \frac{U_1 \cdot N_2}{N_1} \rightarrow U_2 \text{ keeps the required level}$$

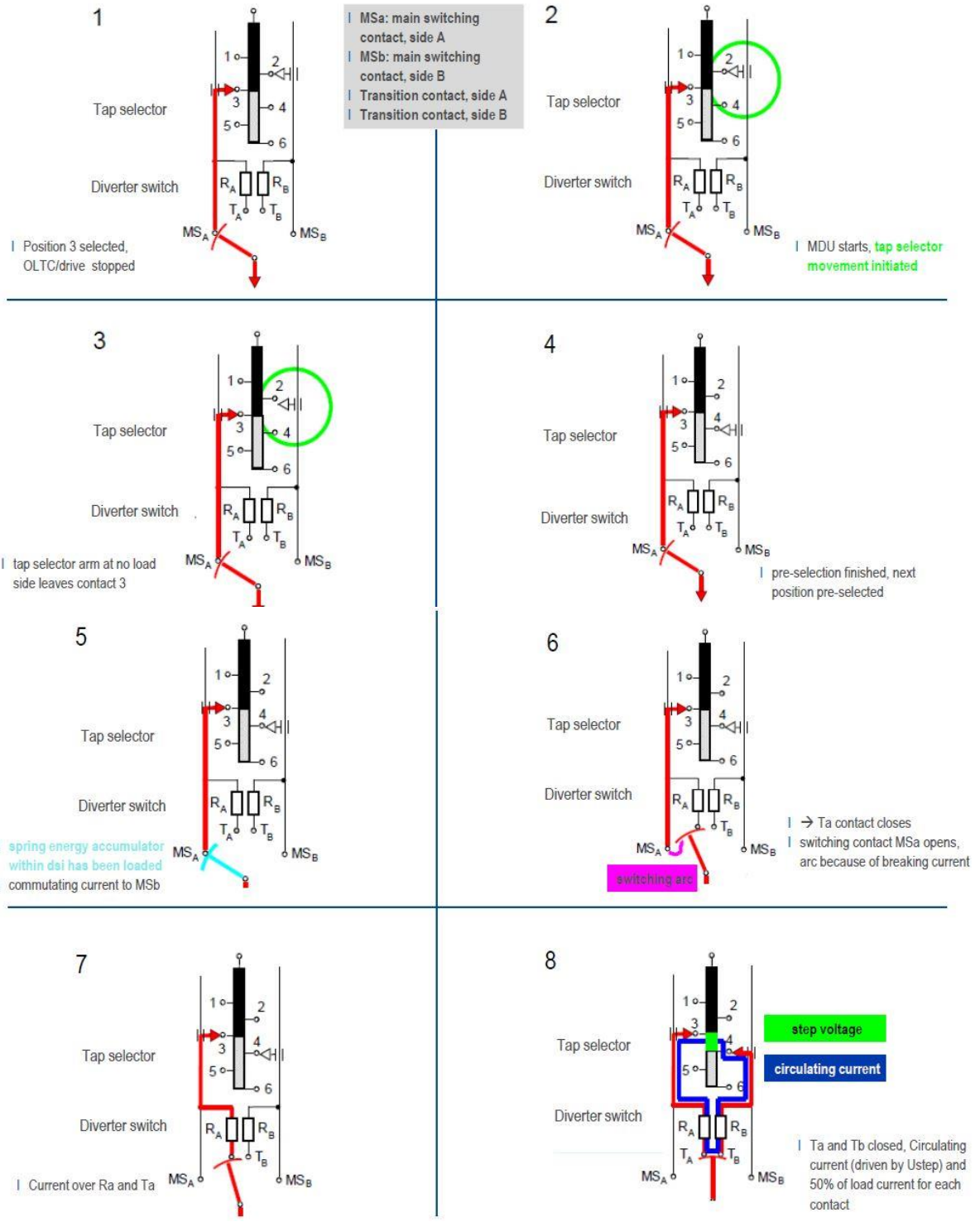
Εικόνα 2.27: Αρχή λειτουργίας της ρύθμισης τάσης με ΣΑΤΥΦ ενσωματωμένο σε Μ/Σ ισχύος εγκατεστημένο σε Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Εξισορρόπηση τάσης μέσω της λειτουργίας του ΣΑΤΥΦ.

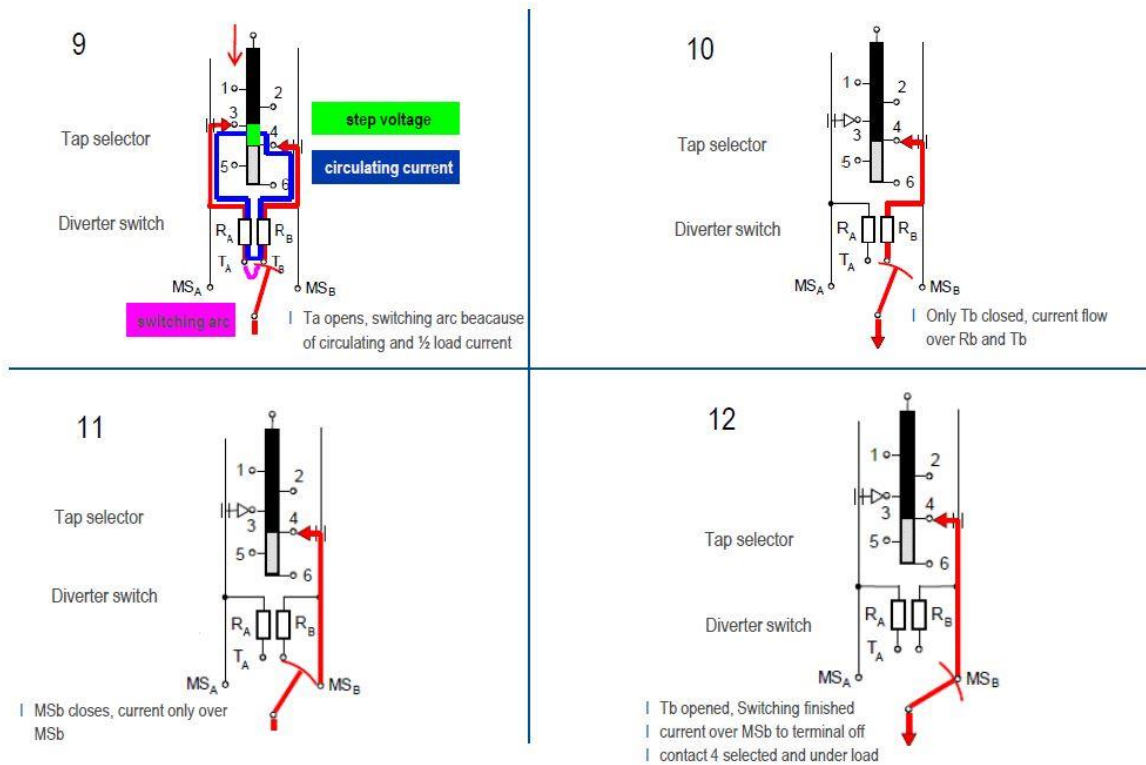
### Εικόνα 2.27

Με την αφαίρεση από την αντίστοιχη λειτουργία – κίνηση του ΣΑΤΥΦ μήκους πρωτεύοντος τυλίγματος ίσου με 14 *turns*, το πρωτεύον τύλιγμα έχει πλέον συνολικό μήκος  $880 \text{ turns} - 14 \text{ turns} = 866 \text{ turns}$  και η αντίστοιχη τάση για μήκος μίας (1) συστροφής γίνεται και πάλι  $U_{nom} = 148.000 \text{ Volt} / 866 \text{ turns} \approx 170 \text{ Volt/turn}$ . Άρα, με την αντίστοιχη λειτουργία – κίνηση του ΣΑΤΥΦ η τάση του δευτερεύοντος επανέρχεται στην επιθυμητή τιμή των  $U_2 = 118 \text{ turns} \times 170 \text{ Volt/turn} = 20,06 \text{ kV}$ .

Ακριβώς τα αντίστροφα, δηλαδή, αύξηση της τάσης του δευτερεύοντος  $U_2$ , αύξηση της τάσης του πρωτεύοντος  $U_1$  και λειτουργία – κίνηση του ΣΑΤΥΦ για την προσθήκη, μέσω του ρυθμιστικού τυλίγματος, κατάλληλου μήκους τυλίγματος στο πρωτεύον του Μ/Σ ισχύος, ώστε να επιτευχθεί η επαναφορά της τάσης του δευτερεύοντος  $U_2$  στο επιθυμητό επίπεδο, ισχύουν στην περίπτωση που έχουμε ροή ενέργειας προς το Μ/Σ ισχύος από κάποιο σταθμό ΔΠ και ταυτόχρονα μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας (παρεχόμενης ενέργειας από τον Μ/Σ προς τους οικιακούς καταναλωτές).

Επίσης, στην παρακάτω Εικόνα 2.28 αναπαρίσταται με λεπτομέρεια η διαδικασία μετάβασης από την 3η στην 4η λήψη σε ένα ΣΑΤΥΦ, οι κινήσεις αρχικά του επιλογέα και αμέσως μετά του μεταγωγικού διακόπτη, καθώς και η δημιουργία ηλεκτρικών τόξων διάσπασης εντός του διαμερίσματος ελαίου του μεταγωγικού διακόπτη, λόγω των κινήσεων –λειτουργιών αυτού.





Εικόνα 2.28: Διαδικασία μετάβασης από την 3η στην 4η λήψη σε ένα ΣΑΤΥΦ.

## 2.7 Έλεγχος Άεργου Ισχύος Με Συστοιχία Πυκνωτών Σε Παράλληλη Σύνδεση

Οι πυκνωτές γνωρίζουμε ότι εγχέουν άεργο ισχύ στο ΔΔΗΕ, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Q_C = Q_{C, \text{rat}} \times V_C^2 \quad (2.24)$$

όπου  $Q_C$  είναι η άεργος ισχύς που εγχέουν οι πυκνωτές σε  $MVar$ ,  $Q_{C, \text{rat}}$  είναι η ονομαστική άεργος ισχύς των πυκνωτών και πάλι σε  $MVar$  και  $V_C$  η τάση στο ανά μονάδα σύστημα ( $pu$ ) (σχετική με την ονομαστική τάση των πυκνωτών).

Η άεργος ισχύς που εγχέουν οι πυκνωτές αντισταθμίζει τη ζήτηση σε άεργο ισχύ από το ΔΔΗΕ και συνεπώς βοηθά στην ενίσχυση της τάσης. Για παράδειγμα, αν στο απλό ΔΔΗΕ της Εικόνας 2.1 συνδέσουμε στο ζυγό του φορτίου  $L$  μία συστοιχία πυκνωτών με ισχύ  $Q_C$ , τότε η πτώση τάσης στον τροφοδότη (feeder) υπολογίζεται περίπου ίση με:

$$\Delta V \cong \frac{R \times P_L + X \times (Q_L - Q_C)}{V_1} \quad (2.25)$$

Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι οι πυκνωτές μειώνουν την πτώση τάσης στο ΔΔΗΕ. Ακόμα, όταν οι πυκνωτές αντισταθμίζουν κατάλληλα τη ζήτηση σε άεργο ισχύ, τότε παράλληλα μειώνουν το ρεύμα του feeder. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τις απώλειες ισχύος στη γραμμή μεταφοράς ( $P_{Loss}$ ) σύμφωνα με τον τύπο:

$$I = \frac{\sqrt{P_L^2 + (Q_L - Q_C)^2}}{V_1} \quad (2.26)$$

$$P_{Loss} = I^2 \times R \quad (2.27)$$

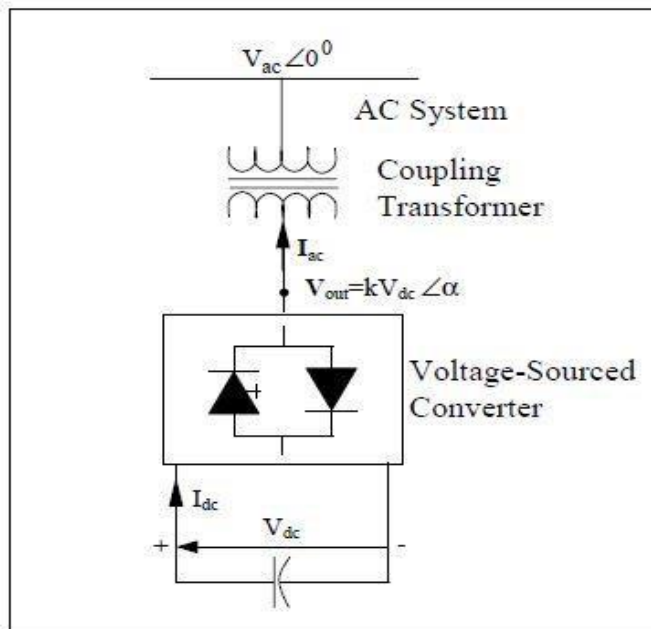
Για να μπορεί να αντισταθμιστεί σωστά η ζήτηση σε άεργο ισχύ, εφόσον μπορεί να αλλάζει αρκετά γρήγορα από ελάχιστη *min* σε μέγιστη *max* τιμή, οι πυκνωτές πρέπει να ενεργοποιούνται όταν έχουμε μέγιστο φορτίο  $L_{max}$  και να απενεργοποιούνται στο ελάχιστο φορτίο  $L_{min}$ . Κατά τη διάρκεια της ημέρας το φορτίο  $L$  αλλάζει αρκετά συχνά, οπότε οι πυκνωτές πρέπει να ελέγχονται τακτικά και κατάλληλα. Διάφοροι συμβατικοί έλεγχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τους πυκνωτές, όπως ο χρόνος, η τάση και η άεργος ισχύς. Οι πυκνωτές που ελέγχονται από το χρόνο έχουν εφαρμογές σε ΔΔΗΕ με πρόβλεψη φορτίου κυρίως ημερήσια, αλλά σε μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, ώστε να μπορεί να προβλέψει ο ελεγκτής την ενεργοποίηση και απενεργοποίησή τους. Ένα μεγάλο μειονέκτημα αυτού του τύπου του ελέγχου είναι η μη ελαστικότητα που παρέχει, καθώς δε μπορεί να ανταποκριθεί σε διακυμάνσεις φορτίου που προκαλούνται από τον καιρό, την περίοδο των διακοπών κ.α. Όταν ο κύριος ρόλος των πυκνωτών είναι η ρύθμιση της τάσης του ΔΔΗΕ, τότε πλέον κατάλληλοι θεωρούνται οι πυκνωτές ελέγχου τάσης. Τέλος, οι πυκνωτές που ελέγχονται από την άεργο ισχύ, χρησιμοποιούνται και είναι αποτελεσματικοί όταν ο ρυθμιστής του συστήματος έχει σκοπό να ελαττώσει τη ροή άεργου ισχύος. [9]

## 2.8 STATCOM, SVC, DVR

Το Static Synchronous Compensator (STATCOM) είναι μία συσκευή αντισταθμίστης, της οικογένειας των ευέλικτων συστημάτων μεταφοράς (FACTS), που χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά ισχύος για να ελέγχει τη ροή ισχύος και να βελτιώνει την μεταβατική ευστάθεια στα ηλεκτρικά δίκτυα. Αποτελεί στην ουσία μια προέκταση του Static Var Compensator (SVC). Η βασική ιδέα λειτουργίας του είναι ο έλεγχος του ποσού της άεργου ισχύος που εισάγεται ή απορροφάται από το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) στο οποίο είναι συνδεδεμένο το STATCOM, με τελικό στόχο τη διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά επίπεδα. Όταν η τάση του συστήματος είναι χαμηλή το STATCOM παράγει άεργο ισχύ (χωρητική λειτουργία), ενώ όταν είναι υψηλή απορροφά άεργο (επαγωγική λειτουργία). Η μεταβολή της άεργου ισχύος επιτυγχάνεται με ένα μετατροπέα πηγής τάσης (Voltage Sourced Converter – VSC), συνδεδεμένο στο δευτερεύον τύλιγμα ενός Μ/Σ σύζευξης. Ο μετατροπέας πηγής τάσης χρησιμοποιεί διακοπτικές διατάξεις εξαναγκασμένης σβέσης (όπως GTOs, IGBTs ή IGCTs), για να συνθέσει μία εναλλασσόμενη AC τάση από μία συνεχή DC τάση. Το STATCOM χρησιμοποιεί αυτήν την παραγόμενη τάση ως αναφορά, έτσι ώστε να καθορίσει αν θα εκτελέσει χωρητική ή επαγωγική λειτουργία.

Στην πιο απλή μορφή του, το STATCOM αποτελείται από ένα Μ/Σ σύζευξης, ένα μετατροπέα πηγής τάσης και μία συσκευή αποθήκευσης DC ενέργειας. Αυτή η συσκευή αποθήκευσης είναι συνήθως ένας σχετικά μικρός DC πυκνωτής και επομένως το STATCOM είναι δυνατό να ανταλλάξει μόνο άεργο ισχύ με το σύστημα. Αν μία DC μπαταρία ή κάποια άλλη DC πηγή τάσης χρησιμοποιούταν αντί του πυκνωτή, θα ήταν δυνατή η ανταλλαγή και ενεργού ισχύος. Ένα σχηματικό μοντέλο του STATCOM φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 2.29.





Εικόνα 2.29: Σχηματικό μοντέλο ενός STATCOM.

Τόσο το πλάτος όσο και η φάση της τάσης εξόδου του STATCOM μπορούν να ελεγχθούν. Αλλάζοντας την φασική γωνία  $\alpha$  των διακοπών του μετατροπέα σε σχέση με τη φασική γωνία της εναλλασσόμενης AC τάσης του δικτύου, η τάση στα άκρα του DC πυκνωτή μπορεί να ελεγχθεί, ελέγχοντας έτσι το πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας της εναλλασσόμενης AC τάσης εξόδου του μετατροπέα, αφού  $V_{out} = k \times V_{DC}$ . Η σταθερά  $k$  σε αυτήν την εξίσωση εξαρτάται από τη διάταξη, τον έλεγχο του μετατροπέα και τον αριθμό των διακοπτικών παλμών. Η διαφορά μεταξύ της τάσης εξόδου του μετατροπέα και της εναλλασσόμενης AC τάσης του δικτύου είναι αυτή που καθορίζει τη ροή αέργου ισχύος μέσω του Μ/Σ σύζευξης από ή προς το σύστημα.

Η ενεργός ισχύς που διαρρέει τον μετατροπέα καλύπτει τις απώλειες του λόγω της διακοπτικής λειτουργίας και φορτίζει τον DC πυκνωτή σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο τάσης. Ο πυκνωτής φορτίζεται και αποφορτίζεται κατά τη διάρκεια κάθε διακοπτικού κύκλου, αλλά στη μόνιμη κατάσταση η μέση τιμή της τάσης του παραμένει σταθερή. Αν δε συνέβαινε αυτό θα υπήρχε ροή ενεργού ισχύος προς ή από τον μετατροπέα και ο πυκνωτής θα κέρδιζε ή θα έχανε φόρτιση σε κάθε κύκλο. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, όλη η ισχύς από το εναλλασσόμενο AC σύστημα χρησιμοποιείται για να καλύψει τις διακοπτικές απώλειες. Η ικανότητα του STATCOM να απορροφά / παρέχει ενεργό ισχύ εξαρτάται από το μέγεθος του DC πυκνωτή και τις ενεργές απώλειες λόγω της διακοπτικής λειτουργίας. Εφόσον τόσο ο DC πυκνωτής όσο και οι απώλειες είναι σχετικά μικρές, το ποσό της μεταφερόμενης ενεργού ισχύος είναι επίσης σχετικά μικρό. Αυτό δηλώνει ότι το ρεύμα εξόδου του STATCOM  $I_{AC}$  πρέπει να είναι περίπου  $\pm 90^\circ$  σε σχέση με την τερματική εναλλασσόμενη AC τάση του συστήματος.

Η μεταβολή του πλάτους της 3Φ τάσης εξόδου του μετατροπέα  $V_{out}$  ελέγχει την παραγωγή / απορρόφηση της άεργου ισχύος του STATCOM. Αν το πλάτος της τάσης εξόδου του μετατροπέα  $V_{out}$  αυξηθεί πάνω από την τιμή του πλάτους της εναλλασσόμενης AC τάσης του συστήματος  $V_{AC}$ , τότε το εναλλασσόμενο AC ρεύμα  $I_{AC}$  ρέει δια μέσου της αντίδρασης  $X$  του Μ/Σ από το μετατροπέα στο εναλλασσόμενο AC σύστημα, παράγοντας άεργο ισχύ. Σε αυτήν την περίπτωση, το εναλλασσόμενο AC σύστημα απορροφάει χωρητικό ρεύμα που προηγείται κατά μία γωνία  $90^\circ$  από την εναλλασσόμενη AC τάση του

συστήματος, υποθέτοντας ότι οι απώλειες του μετατροπέα είναι μηδενικές. Το εναλλασσόμενο AC ρεύμα ρέει από το σύστημα στο μετατροπέα πηγής τάσης αν το πλάτος της τάσης εξόδου του μετατροπέα μειωθεί κάτω από αυτό του εναλλασσόμενου AC συστήματος και συνεπώς, ο μετατροπέας απορροφά άεργο ισχύ. Για την επαγωγική λειτουργία, το ρεύμα έπεται της εναλλασσόμενης AC τάσης κατά  $90^\circ$ , αγνοώντας και πάλι τις απώλειες του μετατροπέα. Αν τα πλάτη της εναλλασσόμενης AC τάσης του συστήματος και του μετατροπέα είναι ίσα, δεν θα υπάρξει ροή εναλλασσόμενου AC ρεύματος από / προς τον μετατροπέα και κατά συνέπεια ούτε παραγωγή / απορρόφηση άεργου ισχύος.

Το πλάτος του ρεύματος μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

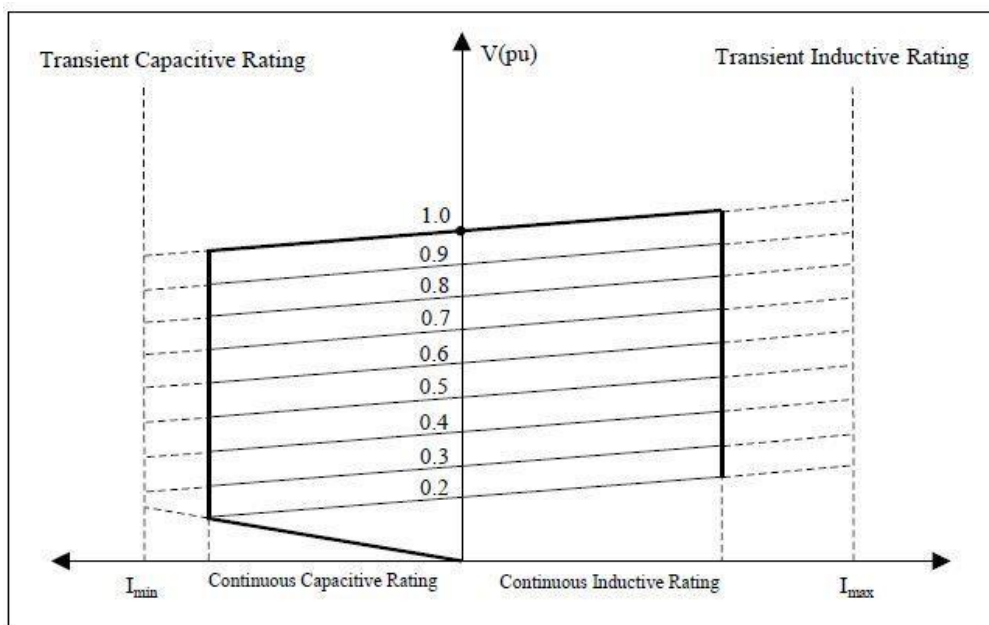
$$I_{AC} = \frac{V_{out} - V_{AC}}{X} \quad (2.28)$$

υποθέτοντας ότι το εναλλασσόμενο AC ρεύμα ρέει από τον μετατροπέα στο σύστημα, όπου  $V_{out}$  και  $V_{AC}$  είναι τα πλάτη της τάσης εξόδου του μετατροπέα και του εναλλασσόμενου AC συστήματος αντίστοιχα, ενώ η μεταβλητή  $X$  αντιπροσωπεύει την αντίδραση του Μ/Σ σύζευξης. Η αντίστοιχη άεργος ισχύς μπορεί να εκφραστεί ως:

$$Q = \frac{V_{out}^2 - V_{out} \times V_{AC} \times \cos a}{X} \quad (2.29)$$

όπου η  $a$  είναι γωνία μεταξύ της εναλλασσόμενης AC τάσης του συστήματος και της τάσης εξόδου του μετατροπέα.

Η χαρακτηριστική  $V - I$  του STATCOM παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 2.30. Σε αυτή φαίνεται η ικανότητα του STATCOM να στηρίζει πολύ χαμηλές τάσεις δικτύου, μέχρι και 0,15 ανά μονάδα ( $pu$ ), που είναι τιμή που έχει να κάνει με την αντίδραση του Μ/Σ σύζευξης. Αυτό έρχεται σε μεγάλη αντίθεση με την αντίστοιχη διάταξη FACTS με thyristor, δηλαδή το SVC, το οποίο σε κατάσταση πλήρους χωρητικής εξόδου μετατρέπεται σε έναν μη ελεγχόμενο πυκνωτή. Ένα STATCOM μπορεί να στηρίζει τάσεις δικτύου σε ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες τάσεως, με την προϋπόθεση ότι ο DC πυκνωτής περιέχει αρκετή ενέργεια για να υποστηρίξει τις απώλειες.



Εικόνα 2.30: Χαρακτηριστική λειτουργίας  $V - I$  ενός STATCOM.

Τα SVCs είναι ένα σύνολο ηλεκτρικών συσκευών οι οποίες παρέχουν γρήγορης απόκρισης άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο και εμφανίζονται κυρίως στην ΥΤ. Τα SVCs ανήκουν στην οικογένεια συσκευών συστημάτων μετάδοσης εναλλασσόμενου AC ρεύματος, ρυθμίζοντας την τάση  $V$ , το συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi$ , τις αρμονικές και βοηθούν στη σταθεροποίηση του ΣΗΕ. Αντίθετα από ένα σύγχρονο συμπυκνωτή που είναι μια περιστρεφόμενη ηλεκτρική μηχανή, το SVC δεν έχει κανένα σημαντικό κινούμενο μέρος (εκτός από τον εσωτερικό μηχανισμό διανομής).

Το SVC είναι μια αυτοματοποιημένη συσκευή αντιστάθμισης της σύνθετης αντίστασης της γραμμής, με σκοπό να κάνει το σύστημα να λειτουργεί με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος ( $\cos \varphi = 1$ ). Τα SVCs χρησιμοποιούνται σε δύο κύριες καταστάσεις:

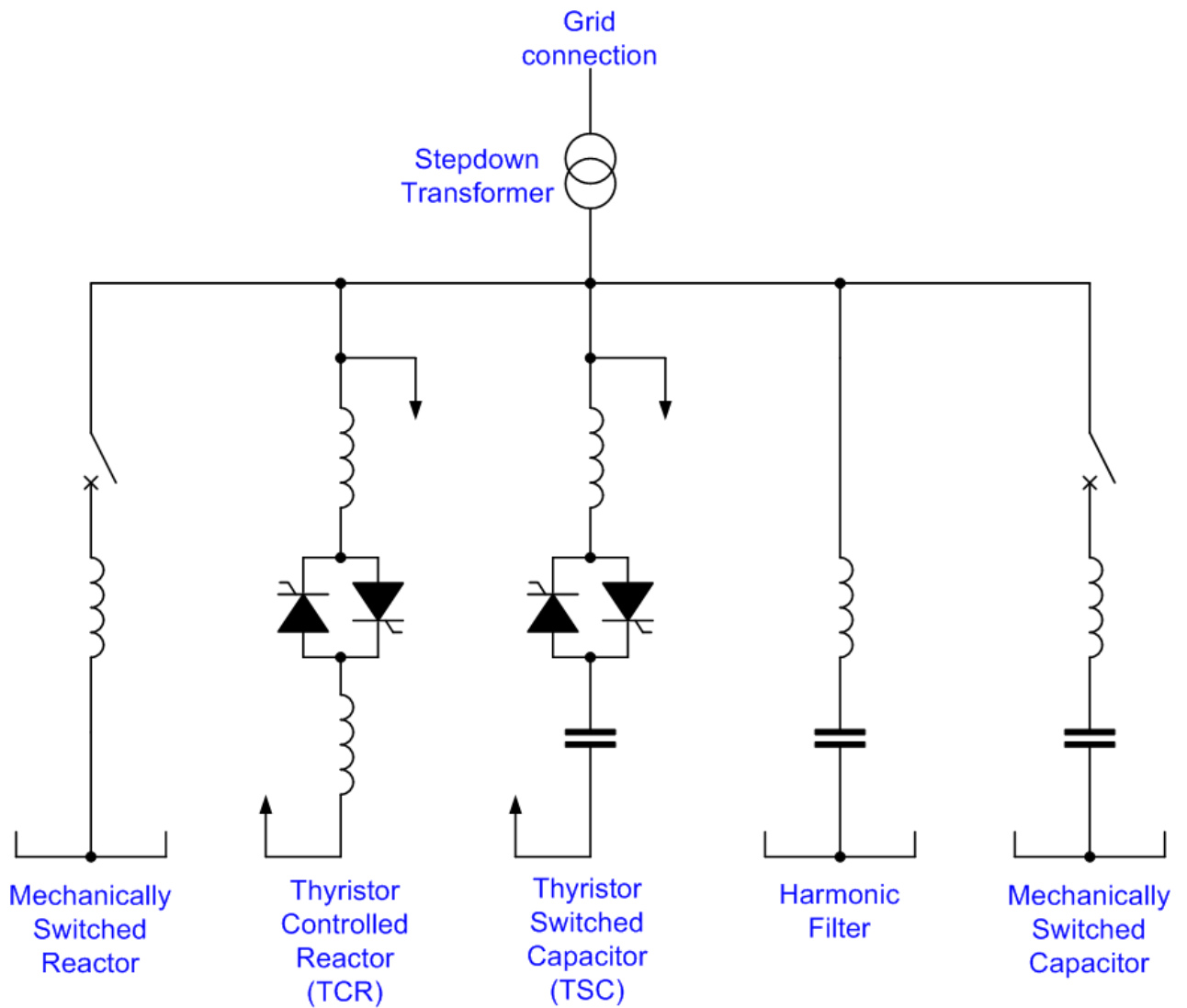
- Συνδεδεμένα με το σύστημα ισχύος, για να ρυθμίσουν την τάση μεταφοράς (Transmission SVCs).
- Συνδεδεμένα κοντά στα μεγάλα βιομηχανικά φορτία, για να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος (Industrial SVCs).

Στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ΥΤ, το SVC χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει την τάση του δικτύου. Εάν το φορτίο  $L$  του συστήματος είναι χωρητικό, το SVC θα χρησιμοποιήσει ελεγχόμενα thyristors για να καταναλώσει άεργο ισχύ από το σύστημα, ώστε να μειώσει την τάση του δικτύου. Υπό επαγωγικό φορτίο  $L$ , οι εγκατεστημένοι πυκνωτές του συστήματος ενεργοποιούνται αυτόματα παρέχοντας άεργο ισχύ στο δίκτυο και συνεπώς αυξάνουν τη τάση.

Στις βιομηχανικές εφαρμογές, τα SVCs τοποθετούνται κατά κύριο λόγο κοντά στα υψηλά και γρήγορα μεταβαλλόμενα φορτία  $L$ , όπως χυτήρια, όπου μπορούν να καταστείλουν τις διακυμάνσεις (flicker) της τάσης.

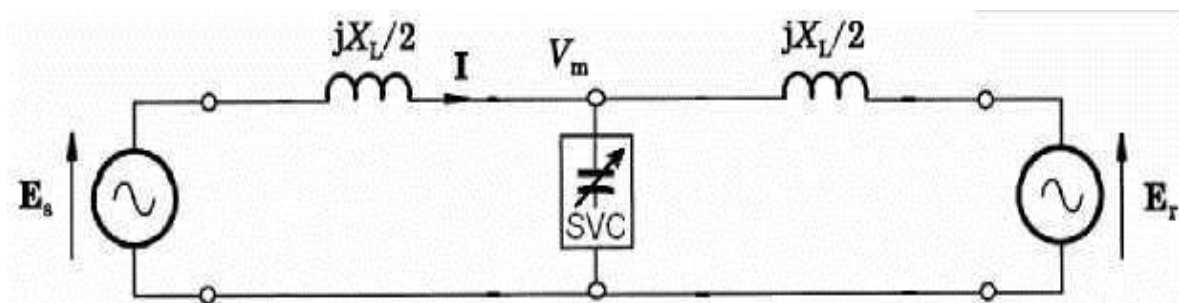
Χαρακτηριστικά, ένα SVC περιλαμβάνει μία ή περισσότερες συστοιχίες πυκνωτών ή αντιδραστήρες, εκ των οποίων τουλάχιστον μία συστοιχία ελέγχεται από thyristor. Στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν ένα SVC περιλαμβάνουν συνήθως τα εξής:

- Αντιδραστήρες ελεγχόμενους από thyristor (TCR), όπου ο αντιδραστήρας μπορεί να είναι πυρήνα αέρα ή σιδήρου.
- Πυκνωτές ελεγχόμενους από thyristor (TSC).
- Φίλτρα αρμονικών.
- Αντιδραστήρες ή πυκνωτές ελεγχόμενους μηχανικά (μέσω ενός διακλαδωτή κυκλώματος).

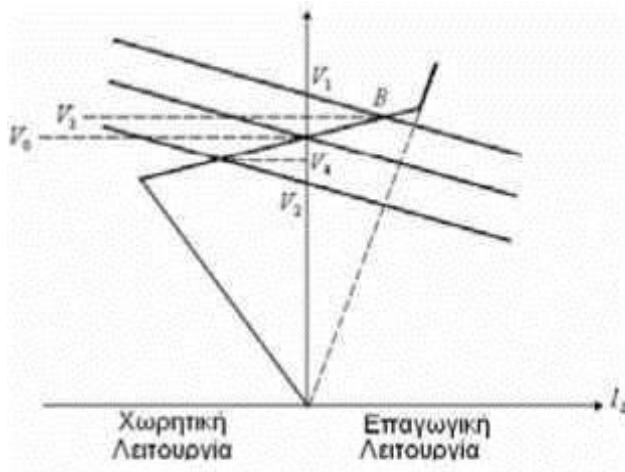


Εικόνα 2.31: Τρόποι σύνδεσης και λειτουργίας ενός SVC συνδεδεμένου στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα δικτύου με έλεγχο SVC (Εικόνα 2.32) και πιο κάτω η χαρακτηριστική  $V - I$  ενός SVC (Εικόνα 2.33).



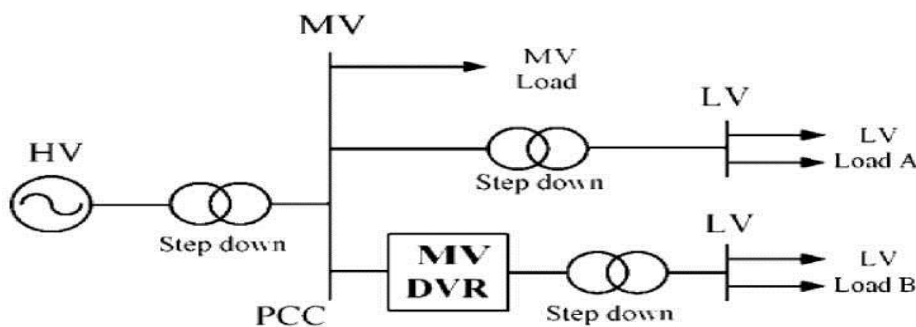
Εικόνα 2.32: Παράδειγμα κυκλώματος παρουσία SVC.



Εικόνα 2.33: Χαρακτηριστική λειτουργίας  $V - I$  ενός SVC.

Έστω ότι το σύστημα στην παραπάνω χαρακτηριστική λειτουργεί υπό τάση  $V$ . Εάν η τάση του συστήματος αυξηθεί (σε σχέση με το σημείο λειτουργίας  $V$ ), το SVC μετακινεί το σημείο λειτουργίας στο  $B$  απορροφώντας επαγωγικό ρεύμα και κρατάει την τάση στο  $V_3$ . Κατά παρόμοιο τρόπο, εάν η τάση του συστήματος μειωθεί, το SVC κρατάει την τάση στο  $V_4$ , παράγοντας αυτή τη φορά χωρητικό ρεύμα.

Τέλος, το Dynamic Voltage Restorer (DVR) είναι επίσης μια συσκευή με ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιείται για τη στήριξη της τάσης του δικτύου  $V$  και την προστασία ευαίσθητων φορτίων  $L$  από τις διαταραχές τάσης στο ΣΚΣ. Συνήθως η σύνδεσή του γίνεται στα ΔΔΗΕ ΜΤ, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί σε μια λύση με καλή σχέση τιμής - απόδοσης και για τα ΔΔΗΕ ΧΤ. Η χρήση του στη ΜΤ το υποβάλλει σε συχνή εμφάνιση σφαλμάτων, με αποτέλεσμα να ρέουν στο εσωτερικό του μεγάλα ρεύματα πριν προλάβουν να ενεργοποιηθούν τα μέσα προστασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη πτώση τάσης στο ΣΚΣ, κάτι που επηρεάζει τα φορτία  $L$  που είναι συνδεδεμένα σε αυτό. Εάν δε γίνει σωστός έλεγχος της διάταξης, το DVR, στην προσπάθειά του να αντισταθμίσει την πτώση τάσης που παρατηρείται, μπορεί να συνεισφέρει στη βύθιση τάσης, χειροτερεύοντας έτσι το πρόβλημα και πετυχαίνοντας τον αντίθετο στόχο από τον επιθυμητό.



Εικόνα 2.34: Διάταξη DVR συνδεδεμένη στο ΔΔΗΕ ΜΤ.

Αξίζει εδώ να τονίσουμε ότι το STATCOM έχει καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με το SVC. Στην περίπτωση που η τάση του συστήματος βυθίζεται σε βαθμό που το ρεύμα εξόδου του STATCOM μεγιστοποιείται, το άεργο ρεύμα εξόδου του δεν επηρεάζεται από το μέτρο της τάσης. Συνεπώς χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη σταθερότητα όταν η τάση είναι μονίμως κάτω του ορίου. Αντίθετα, το άεργο ρεύμα εξόδου του SVC είναι ανάλογο του τετραγώνου της τάσης. Αυτό σημαίνει ότι η παρεχόμενη άεργος ισχύς μειώνεται ταχύτατα με τη μείωση της τάσης, οπότε δεν μπορεί να παρέχει αξιόπιστη στήριξη στο δίκτυο. Επιπρόσθετα, το STATCOM έχει ταχύτερες αποκρίσεις και μικρότερες εγχύσεις αρμονικών συνιστωσών. Ωστόσο, το STATCOM προκαλεί μεγαλύτερες απώλειες και είναι ακριβότερη διάταξη σε σχέση με το SVC, συνεπώς το τελευταίο, που αποτελεί και παλαιότερη τεχνολογία, εξακολουθεί να είναι αρκετά διαδεδομένο.

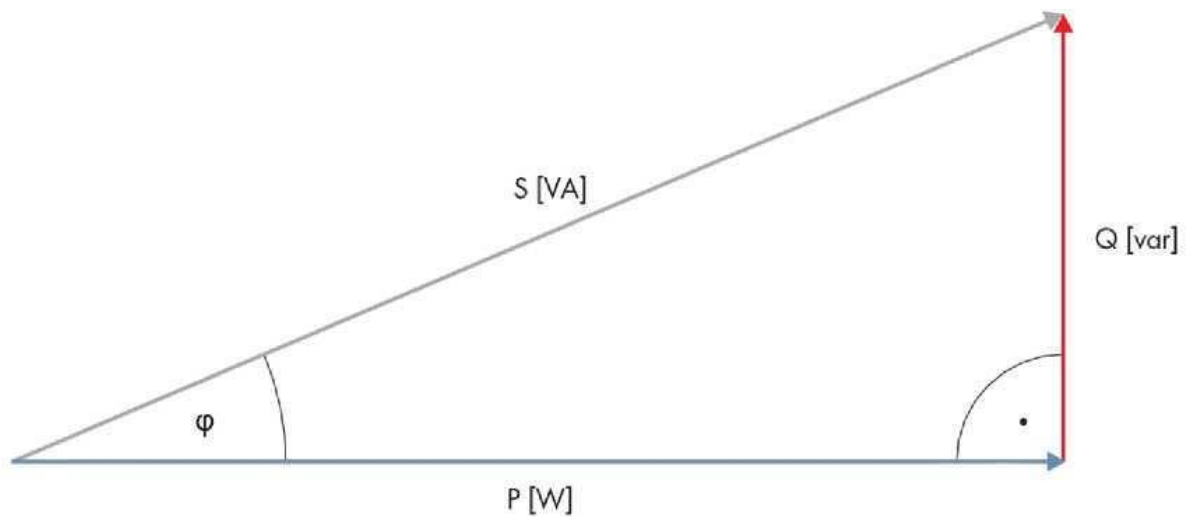
Τα μειονεκτήματα των παραπάνω διατάξεων είναι αφενός το υψηλό κόστος εγκατάστασής τους και αφετέρου ο προσδιορισμός της βέλτιστης θέσης τοποθέτησής τους, όταν μάλιστα το φορτίο  $L$  και η  $\Delta\pi$  της γραμμής μεταβάλλονται συνεχώς. [9]

## 2.9 Τρόποι Ελέγχου Τάσης Και Άεργου Ισχύος Παρουσία Διεσπαρμένης Παραγωγής ( $\Delta\pi$ )

### 2.9.1 Δυνατότητα Ρύθμισης Άεργου Ισχύος - Power Factor Control

Με βάση τη σχέση (2.7) στην οποία αντί για  $P_1$  και  $Q_1$  έχουμε  $P_G - P_L$  και  $Q_G - Q_L$ , παρατηρούμε ότι ενδεχόμενη μεταβολή της άεργου ισχύος θα επηρεάσει την ανύψωση τάσης στο ζυγό. Στα δίκτυα ΥΤ όπου  $X \gg R$ , μπορεί να εφαρμοσθεί η μέθοδος της απορρόφησης άεργου ισχύος από τους αντιστροφείς των Φωτοβολταϊκών (Φ/Β) για τη μείωση της τάσης στους ζυγούς. Ουσιαστικά οι αντιστροφείς των Φ/Β αναγκάζονται να δουλέψουν με επαγωγικό συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi < 1$ , ενώ αντίστοιχα σε περίπτωση βύθισης τάσης παρέχουν άεργο ισχύ στο δίκτυο δουλεύοντας με χωρητικό συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi > 1$ . Η δυνατότητα αυτή ονομάζεται Power Factor Control (PFC).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κάθε αντιστροφέας έχει ένα όριο στη φαινόμενη ισχύ εξόδου του  $S$ , που προκύπτει από το μέγιστο ρεύμα εξόδου του  $I$ . Το όριο στο ρεύμα  $I$  είναι αποτέλεσμα του ρεύματος αντοχής των διακοπτικών στοιχείων του αντιστροφέα. Έτσι, μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι αδύνατο να καταναλώσει την απαιτούμενη άεργο, ώστε να φτάσει η τάση στα επιθυμητά επίπεδα. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντιστροφέας με μεγαλύτερη ονομαστική φαινόμενη ισχύ  $S$  από την ονομαστική ισχύ εξόδου των Φ/Β. Παρακάτω (Εικόνα 2.35), παρατίθεται ένα σχήμα στο οποίο φαίνεται η άεργος  $Q$  ισχύς που μπορεί να παραχθεί ή να απορροφηθεί αντίστοιχα από έναν αντιστροφέα, σε σχέση με την τιμή της φαινόμενης  $S$  και ενεργού  $P$  ισχύος του.

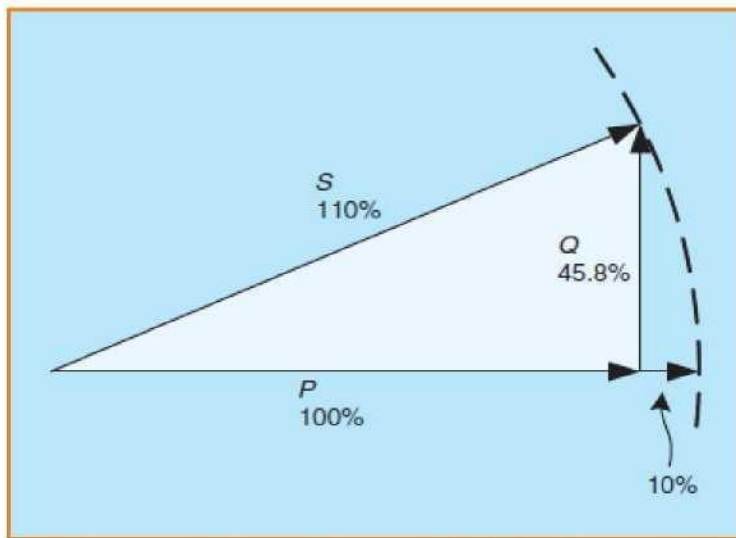


Εικόνα 2.35: Φαινόμενη ισχύς  $S$  αντιστροφείας με συντελεστή ισχύος διάφορο της μονάδας ( $\cos \varphi \neq 1$ ).

Ο λόγος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντιστροφείας με μεγαλύτερη ονομαστική φαινόμενη ισχύ  $S$  από την ονομαστική ισχύ εξόδου των Φ/Β παρουσιάζεται στο παρακάτω παράδειγμα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια Φ/Β εγκατάσταση που μπορεί να παράγει  $P = 10 MW$  ενεργού ισχύος. Στην περίπτωση που ο αντιστροφείας λειτουργεί με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi = 1$ , δηλαδή δεν παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης άεργου ισχύος, η φαινόμενη ισχύς του είναι  $S = P = 10 MVA$ . Στην περίπτωση ωστόσο που θέλουμε να δουλεύει με συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi = 0,95$ , τότε ο αντιστροφείας θα πρέπει να μπορεί να χειριστεί  $Q = P \times \tan \varphi = 3,3 MVar$  άεργου ισχύος. Συνεπώς η φαινόμενη ισχύς του θα πρέπει να είναι:  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 10,5 MVA$ . Οπότε, πρέπει να γίνει επιλογή αντιστροφείας με μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ από αυτή των Φ/Β.

Εύκολα προκύπτει όπως φαίνεται και στην επόμενη Εικόνα 2.36 ότι η αύξηση της ονομαστικής ισχύος του αντιστροφείας κατά μόλις 10%, αυξάνει την ικανότητα αέργου ισχύος από μηδέν έως περίπου 46% κατά τη διάρκεια της μέγιστης παραγωγής από τα Φ/Β. Αυτό οδηγεί σε ένα συντελεστή ισχύος από  $\cos \varphi = 0,91$  επαγωγικό (απορρόφηση αέργου) έως  $\cos \varphi = 0,91$  χωρητικό (παραγωγή αέργου). [9]



Εικόνα 2.36: Σχέση φαινόμενης  $S$  ισχύος του αντιστροφέα και ικανότητα διαχείρισης άεργου ισχύος

### 2.9.2 Μέθοδοι Εφαρμογής Της Ρύθμισης Άεργου Ισχύος

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι εφαρμογής της ρύθμισης άεργου ισχύος  $Q$  για τη μείωση της τάσης  $V$  σε ένα δίκτυο με μεγάλη διείδυση  $\Phi/B$ . Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- Καθορισμένη άεργος ισχύς [Fixed  $Q$ ].
- Καθορισμένος ΣΙ [Fixed  $\cos\varphi$ ].
- ΣΙ εξαρτώμενος από την ενεργό ισχύ [ $\cos\varphi(P)$ ].
- Άεργος ισχύς εξαρτώμενη από την τάση [ $Q(U)$ ].

Σύμφωνα με τη μέθοδο της καθορισμένης άεργου ισχύος [Fixed  $Q$ ], επιβάλλεται σε όλους τους αντιστροφείς του δικτύου να απορροφούν την ίδια ποσότητα άεργου  $Q$ , ανεξάρτητα με το αν υπάρχει ανεπιθύμητη ανύψωση τάσης  $V$  ή όχι. Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι το δίκτυο υποβάλλεται σε μη χρειαζόμενη και μη επιθυμητή κυκλοφορία άεργου ισχύος  $Q$ , η οποία οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες. Επίσης, καθώς η άεργος ισχύς  $Q$  είναι προκαθορισμένη, θα πρέπει να ξέρουμε εκ των προτέρων τι ποσότητα θα χρειαστούμε για την αντιμετώπιση της δυσμενέστερης περίπτωσης, οπότε θα πρέπει να έχουν προηγηθεί διάφορες μελέτες στο δίκτυο για το σκοπό αυτό.

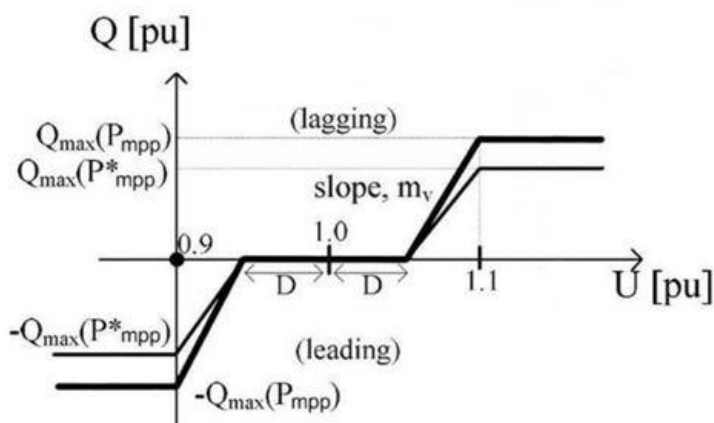
Το πρόβλημα αυτό λύνει η μέθοδος του καθορισμένου συντελεστή ισχύος [Fixed  $\cos\varphi$ ]. Στην περίπτωση αυτή, η άεργος ισχύς  $Q$  που απορροφούν οι αντιστροφείς είναι εξαρτώμενη της παραγόμενης ενεργού ισχύος  $P$  του  $\Phi/B$  ( $Q = P \times \tan\varphi$ ). Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η ενεργός ισχύς  $P$  εξόδου της  $\Phi/B$  γεννήτριας, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απορρόφηση άεργου ισχύος  $Q$ , οδηγώντας σε καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος ανύψωσης της τάσης  $V$ . Ωστόσο, σε περίπτωση μικρής  $\Phi/B$  παραγωγής, η πιθανότητα αύξησης της τάσης  $V$  μικραίνει, οπότε η κατανάλωση άεργου ισχύος  $Q$  είναι αχρείαστη, προκαλώντας και πάλι απώλειες στο δίκτυο.



Στη μέθοδο όπου ο ΣΙ του αντιστροφέα δεν είναι προκαθορισμένος, αλλά εξαρτώμενος από την ενεργό ισχύ που παράγουν τα Φ/Β [ $\cos\phi(P)$ ], προκύπτουν ακόμη καλύτερα αποτελέσματα, καθώς περιορίζεται κατά πολύ η κυκλοφορία άεργου ισχύος  $Q$  στο δίκτυο.

Οι παραπάνω μέθοδοι υποστηρίζουν την τάση  $V$  του δικτύου έμμεσα, μετρώντας μόνο την παραγόμενη ισχύ των Φ/Β και κάνοντας την υπόθεση ότι αύξηση της παραγωγής θα οδηγήσει σε ανεξέλεγκτη αύξηση της τάσης, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τα φορτία  $L$  στους ζυγούς. Σε πολλές περιπτώσεις, τα διαστήματα μεγιστοποίησης της Φ/Β παραγωγής μπορεί να συμπίπτουν με μεγάλη ζήτηση από τα φορτία  $L$ , οπότε να μην εμφανιστεί καν το πρόβλημα ανύψωσης της τάσης.

Η μέθοδος όπου η άεργος ισχύς είναι εξαρτώμενη της τάσης [ $Q(U)$ ] μετράει κατευθείαν την τάση  $V$  του ζυγού και ο καθορισμός της άεργου ισχύος  $Q$  που θα απορροφηθεί γίνεται με τη χρήση καμπυλών στατισμού (droop control) (Εικόνα 2.37). Με τη μέθοδο αυτή, σε περίπτωση που η τάση  $V$  είναι εντός επιθυμητών ορίων, ο αντιστροφέας δεν απορροφά άεργο ισχύ  $Q$ , μειώνοντας έτσι κατά πολύ τις άεργες απώλειες που εμφανίζονται στις υπόλοιπες μεθόδους. Επίσης, σε περίπτωση που είχαμε περισσότερους από έναν αντιστροφέα, λόγω περισσότερων από μία Φ/Β μονάδων, ανάλογα με το επίπεδο της τάσης  $V$  σε κάθε ζυγό, γίνεται απορρόφηση διαφορετικής ποσότητας άεργου ισχύος  $Q$  από τον κάθε αντιστροφέα. Η καμπύλη στατισμού που μπορεί να επιβληθεί στον αντιστροφέα φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 2.37, όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για ένα διάστημα  $(-D, D)$  δεν υπάρχει ούτε απορρόφηση ούτε παραγωγή άεργου ισχύος  $Q$  από τους αντιστροφείς. Το  $D$  (pu) είναι το πλάτος του εύρους ζώνης της τάσης  $V$  στο οποίο δεν είναι επιθυμητό να απορροφάται άεργος ισχύς  $Q$ , δεδομένου ότι δεν εμφανίζεται έντονο πρόβλημα ανύψωσης ή πτώσης τάσης  $V$ . Ουσιαστικά είναι ένας συντελεστής ευαισθησίας του αντιστροφέα για το πότε θα αρχίσει να παράγει ή να απορροφά άεργο ισχύ  $Q$ . Όσο πιο μικρό είναι το πλάτος  $D$  τόσο πιο μεγάλη θεωρείται η ευαισθησία, δηλαδή τόσο πιο εύκολα μπαίνει σε λειτουργία ο αντιστροφέας για να στηρίξει την τάση  $V$  στο ζυγό που είναι συνδεδεμένος.



Εικόνα 2.37: Διαχείριση άεργου ισχύος  $Q$  για στήριξη της τάσης  $V$  του δικτύου

Στην παραπάνω περίπτωση η άεργος ισχύς  $Q$  που θα πρέπει να απορροφηθεί ή να παραχθεί από τον αντιστροφέα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = \begin{cases} Q_{max}, V \leq 0,97 \\ Q_{max} \times \frac{V-1+D}{0,03-D}, 0,9 < V < 1 - D \\ 0, 1 - D \leq V \leq 1 + D \\ Q_{max} \times \frac{V-1-D}{0,03-D}, 1 + D < V < 1,03 \\ Q_{max}, V \geq 1,03 \end{cases} \quad (2.30)$$

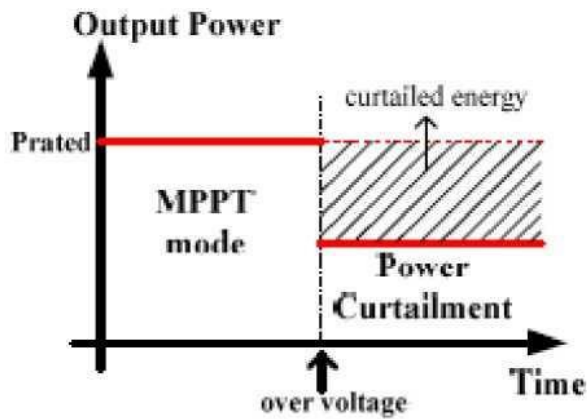
όπου  $Q_{max} = P_{MPP} \times \tan \varphi_{inv}$ , με  $\cos \varphi_{inv}$  να είναι ο μικρότερος ΣΙ λειτουργίας του αντιστροφέα, διότι όσο πιο μικρός ο ΣΙ τόσο πιο μεγάλη η δυνατότητα σε παραγωγή ή απορρόφηση άεργου ισχύος  $Q$  από αυτόν. Βέβαια, πρέπει να προσέξουμε ώστε να θέσουμε τέτοιο  $\cos \varphi_{inv}$ , ώστε η μέγιστη ποσότητα άεργου ισχύος  $Q$  που παράγουν οι αντιστροφείς να μην υπερφορτίζει τις γραμμές διανομής και τον Μ/Σ ισχύος.

Είναι άξιο προσοχής, ότι ο προτεινόμενος ελεγκτής άεργου ισχύος  $Q$  έχει τη δυνατότητα να προσφέρει άεργο ισχύ  $Q$  στο δίκτυο σε περίπτωση βύθισης της τάσης  $V$ , δουλεύοντας έτσι με χωρητικό χαρακτήρα ( $\cos \varphi > 1$ ). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να παρέχει πλήρη στήριξη στη ρύθμιση τάσης  $V$  του δικτύου. [9]

### 2.9.3 Περικοπή Ενεργού Ισχύος - Active Power Curtailment

Ο έλεγχος των αντιστροφέων με καμπύλες στατισμού (droop control) είναι συνηθισμένη τεχνική που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία και το διαμοιρασμό ισχύος σε γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες παράλληλα και αφορά συνήθως τη σχέση μεταξύ της ενεργού ισχύος  $P$  και της συχνότητας  $f$ . Για την αντιμετώπιση του προβλήματος ανύψωσης της τάσης  $V$ , μπορούμε να επιβάλουμε στον αντιστροφέα έλεγχο στατισμού που θα συνδέει την ενεργό ισχύ  $P$  με την τάση  $V$ .

Με τον τρόπο αυτό, μόλις η τάση  $V$  στον αντιστροφέα ξεπεράσει το επιθυμητό όριο, η ενεργός ισχύς  $P$  περιορίζεται, μεταφέροντας το σημείο λειτουργίας από το σημείο  $MPPT$  σε ένα σημείο πιο κοντά στην τάση ανοιχτοκύκλωσης  $V_{oc}$  του Φ/Β πλαισίου. Εάν η τάση  $V$  στο ΣΚΣ εξακολουθεί να παραμένει πάνω από το επιτρεπτό όριο, τότε ο αντιστροφέας παύει τη λειτουργία του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται περικοπή ενεργού ισχύος  $P$  - Active Power Curtailment (APC) και παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 2.38.



Εικόνα 2.38: Περικοπή ενεργού ισχύος  $P$  λόγω ανύψωσης τάσης  $V$ .

Ένας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί η μέθοδος, είναι η ενεργός ισχύς που εγχέεται στο δίκτυο από τον αντιστροφέα  $P_{inv}$  να είναι συνάρτηση της τάσης  $V$  ως εξής:

$$P_{inv} = \begin{cases} P_{MPPT}, & V \leq V_{limit} \\ P_{MPPT} - k \times (V - V_{limit}), & V_{limit} < V \leq V_{crit} \\ 0, & V > V_{crit} \end{cases} \quad (2.31)$$

όπου  $P_{MPPT}$  είναι η μέγιστη δυνατή ισχύς που μπορεί να παράγει η συστοιχία των Φ/Β για μια δεδομένη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας [MW],  $k$  ένας παράγοντας κλίσης (συντελεστής στατισμού-droop coefficient) [MW/KV], ενώ  $V_{limit}$  είναι η τάση πάνω από την οποία η ισχύς που προσφέρει ο αντιστροφέας μειώνεται με το συντελεστή κλίσης  $k$ . Όσο ισχύει  $V < V_{limit}$ , ο αντιστροφέας παρέχει τη μέγιστη ισχύ  $P_{MPPT}$ , ενώ για  $V > V_{limit}$  μειώνει την ισχύ εξόδου του  $P_{inv}$ . Σε περίπτωση που η τιμή της τάσης  $V$  ξεπεράσει το  $V_{crit}$  ( $V > V_{crit}$ ), ο αντιστροφέας θα πρέπει να αποσυνδεθεί από το δίκτυο. Γίνεται συνεχώς καταμέτρηση της τάσης  $V$  στους ακροδέκτες για να καθοριστεί πόση ισχύς  $P$  θα πρέπει να περικοπεί.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η στρατηγική αυτή περιορισμού της ενεργού ισχύος  $P$  δεν είναι η καλύτερη δυνατή, εφόσον, ουσιαστικά περιορίζεται η εκμεταλλεύσιμη ισχύς  $P$  που παράγουν τα Φ/Β, κάτι το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις μεγάλου προβλήματος ανύψωσης τάσης  $V$  οδηγεί σε σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος  $P$ , γεγονός που αδικεί ορισμένους παραγωγούς που έχουν σημαντικές οικονομικές απώλειες, έναντι άλλων. Εκτός όμως του παραγωγού ζημιώνεται και το ίδιο το δίκτυο το οποίο αντί να εκμεταλλεύεται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας χρειάζεται να παράγει μόνο του την καθορισμένη ενέργεια, μέσω κυρίως υδροηλεκτρικών, ώστε να καλύψει τα καταναλωτικά του φορτία  $L$ . Μια λύση, όπως θα δούμε και παρακάτω, θα μπορούσε να είναι η αποθήκευση της ισχύος  $P$  που έχει περικοπεί σε συσσωρευτές. [9]

#### 2.9.4 Αποθήκευση Περίσσειας Ισχύος Σε Συσσωρευτές (Μπαταρίες)

Όπως έχουμε αναφέρει, σε περίπτωση που η Φ/Β παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση των φορτίων  $L$ , τότε αυτή καλύπτει τις ανάγκες των φορτίων  $L$  και η περίσσεια ισχύος  $P$  εγχέεται στο δίκτυο, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της τάσης  $V$  των ζυγών. Μια λύση του προβλήματος είναι η αποθήκευση της περίσσειας ισχύος  $P$  σε συσσωρευτές (μπαταρίες).

Με τη χρήση ενός έξυπνου αντιστροφέα μπορεί να αποφασιστεί το ποσό της παραγόμενης ισχύος που θα χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των φορτίων  $L$ , καθώς και το ποσό ισχύος  $P$  που θα αποθηκεύεται στους συσσωρευτές, σε διαστήματα με μεγάλη πιθανότητα ανύψωσης της τάσης  $V$ . Η αποθηκευμένη ισχύς  $P$  μπορεί να αποδοθεί στο δίκτυο σε περιόδους μηδενικής ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. βράδυ, συννεφιά, κλπ.).

Πρόκειται για μια πολύ αξιόλογη προοπτική, ωστόσο οι αποθηκευτικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι ακόμη πολύ ακριβές και η σχέση κόστους - απόδοσης είναι πολύ μικρή, ιδίως σε περιπτώσεις πολύ μεγάλης Φ/Β παραγωγής, όπου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μεγάλες διατάξεις συσσωρευτών, άρα ακόμα πιο ακριβές διατάξεις. Καθότι η μελέτη της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας επικεντρώνεται σε ΔΔΗΕ ΜΤ, οπότε τα φορτία  $L$  ξεκινούν από 250 KVA έως και 15 MVA και εξίσου ανάλογες θα είναι και οι Φ/Β παραγωγές, η αποθήκευση περίσσειας ισχύος  $P$  σε μπαταρίες καθίσταται ακόμη σχετικά ασύμφορη. Στη ΧΤ όμως, θα ήταν μία πολύ καλή επιλογή, σε αντίθεση με την περικοπή ενεργού ισχύος  $P$ . [9]

#### 2.9.5 Αναβάθμιση Του Δικτύου Διανομή Ηλεκτρική Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Ένας τελευταίος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος ανύψωσης της τάσης  $V$  είναι η αναβάθμιση του ΔΔΗΕ. Τα συμβατικά ΔΔΗΕ είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να τροφοδοτούν με ισχύ φορτία  $L$  σε συγκεκριμένη απόσταση, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τις μονάδες ΔΠ. Με τη διείσδυση όμως των ΑΠΕ και την αντίστροφη ροή ισχύος στο δίκτυο, οι ισορροπίες έχουν αλλάξει. Για να μπορέσει το δίκτυο να ανταπεξέλθει στις αλλαγές, πολλές φορές είναι απαραίτητο να γίνει αναβάθμιση των συστατικών τμημάτων του. Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει αντικατάσταση των υφιστάμενων ηλεκτρικών γραμμών διανομής με νέες, με αγωγούς με καλύτερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (μικρότερη σύνθετη αντίσταση  $z$ ), είτε και κατασκευή νέων γραμμών διανομής. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν Μ/Σ μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα υπερφόρτισής τους, λόγω των μεγάλων άεργων ρευμάτων και της ροής μεγάλων ποσοτήτων ισχύος στο ΔΔΗΕ.

Με βάση τη σχέση (2.7), προκύπτει ότι μείωση της ωμικής αντίστασης  $R$  και της επαγωγικής αντίδρασης  $X$  της γραμμής, δηλαδή της σύνθετης αντίστασης του δικτύου  $z$ , θα επιφέρει μείωση των διακυμάνσεων της τάσης  $V$ . Συνεπώς, πρόκειται για μία λύση που θα μετριάσει το πρόβλημα σε μεγάλο βαθμό, ωστόσο η εφαρμογή της συνεπάγεται πολύ μεγάλο κόστος, ιδίως αν πρόκειται για την αντικατάσταση γραμμών διανομής του υπόγειου ΔΔΗΕ. Ο παράγοντας αυτός καθιστά συνήθως τη συγκεκριμένη πρόταση τη λιγότερο συμφέρουσα, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους προτεινόμενους τρόπους. [9]

## Κεφάλαιο 3

# Τεχνολογία Ενσωματωμένου Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Μετασχηματιστές (Μ/Σ) Ισχύος, Εγκατεστημένους Στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ).

### 3.1 Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτείται στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) από μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ), παρουσιάζει νέες προκλήσεις για τους διαχειριστές των ΔΔΗΕ. Οι ροές ισχύος που αυξάνονται από την πρόσθετη τροφοδοσία επιδρούν σημαντικά στην ανάγκη ενίσχυσης του ΔΔΗΕ, ειδικά σε αγροτικά ΔΔΗΕ. Αυτό συχνά απαιτείται για να διασφαλιστεί η σταθερότητα της τάσης  $V$ .

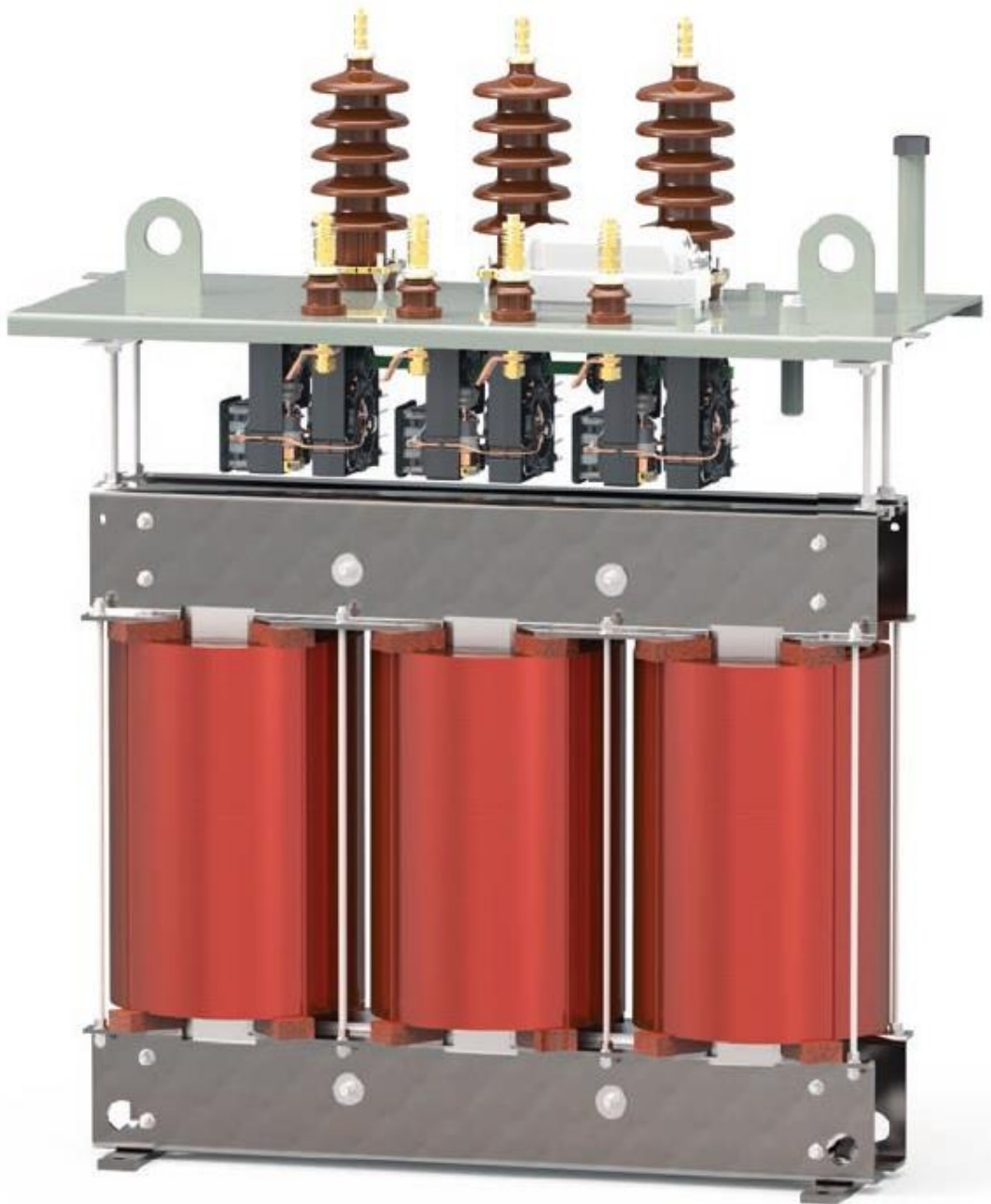
Η χρήση στους Υποσταθμούς (Υ/Σ) διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάσης (ΧΤ)) Μετασχηματιστών (Μ/Σ) ισχύος με ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) είναι μια πιθανή εναλλακτική λύση, έναντι της συμβατικής ενίσχυσης του ΔΔΗΕ η οποία είναι πολύ δαπανηρή. Αυτού του τύπου οι Μ/Σ ισχύος επαναρυθμίζουν τα επίπεδα τάσης των ΔΔΗΕ ΜΤ και ΧΤ, καθιστώντας δυνατή την καλύτερη χρήση του εύρους της τάσης  $V$ .

Η εξαιρετικά στοχαστική διείδυση ηλεκτρικής ενέργειας στα ΔΔΗΕ από σταθμούς ΔΠ προκαλεί πολύ μεγάλες διακυμάνσεις της τάσης, ειδικά στα ΔΔΗΕ ΜΤ και ΧΤ. Το γεγονός αυτό καθιστά ακόμη δυσκολότερη τη συμμόρφωση με τις οριακές τιμές που ορίζονται για την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του ΔΔΗΕ και ειδικά με τις απαιτήσεις για τη σταθερότητα της τάσης, όπως αυτές ορίζονται στο πρότυπο DIN EN 50160. Συχνά έτσι προκύπτει η ανάγκη ενίσχυσης του ΔΔΗΕ και οι εργασίες αυτές ενίσχυσης είναι δαπανηρές και χρονοβόρες.

Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, έχουν αναπτυχθεί πολλές εναλλακτικές τεχνικές λύσεις και ο συνδυασμός τους δοκιμάστηκε σε πραγματικά ΔΔΗΕ. Μια αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων της τάσης  $V$  στο ΔΔΗΕ ΧΤ, είναι η χρήση στους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (Voltage Regulating Distribution Transformer, (VRDT)). Σε πολλές περιπτώσεις, η εγκατάσταση αυτού του είδους Μ/Σ ισχύος είναι μία οικονομικότερη εναλλακτική λύση από τη συμβατική της ενίσχυσης του ΔΔΗΕ. Για κάποιους διαχειριστές ΔΔΗΕ, ως τυπικό πλέον εργαλείο, η χρήση στους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, έχει καταστεί σημαντικό συστατικό για τη μετατροπή των ΔΔΗΕ σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids).

Στη μεταπτυχιακή αυτή εργασία προσπαθούμε να εστιάσουμε στη χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, για την επίτευξη του στόχου σταθεροποίησης της

τάσης  $V$  του ΔΔΗΕ. Στόχος μας είναι να περιγράψουμε τη βασική λειτουργία των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και να παρουσιάσουμε πιθανές εφαρμογές τους στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των ΔΔΗΕ. Επίσης, προσπαθούμε να υποστηρίξουμε τη λήψη της απόφασης σχετικά με το εάν η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι εφικτή και εάν είναι, με ποιο τρόπο μπορούν να ενταχθούν στο ΔΔΗΕ. Παρέχουμε προτάσεις και πληροφορίες σχετικά με τις τεχνικές, τις λειτουργικές και τις σχεδιαστικές επιλογές χρήσης ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε ένα ΔΔΗΕ, στα επίπεδα της ΧΤ και ΜΤ, έως την τιμή των  $V_m = 36 \text{ kV}$ . [12]



Εικόνα 3.1: Ενεργό μέρος και ελεγχόμενο στοιχείο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

## 3.2 Η Τεχνολογία Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

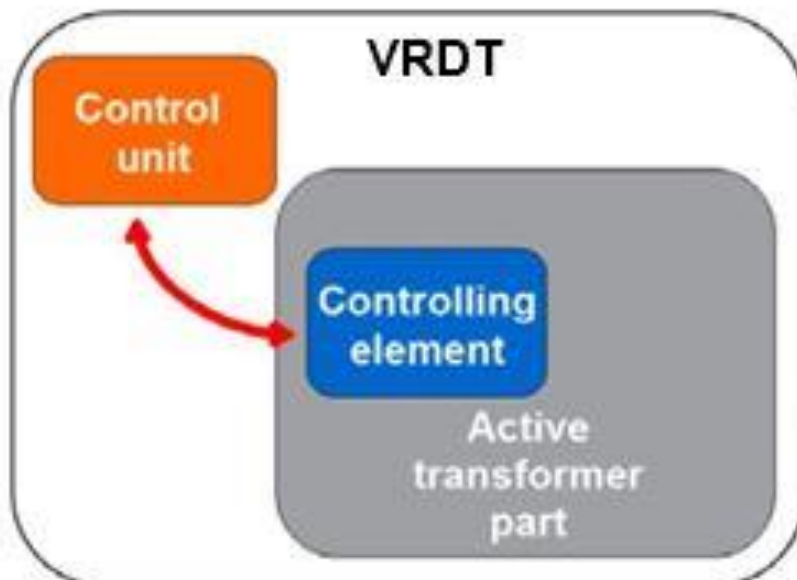
### 3.2.1 Γενικά

Με τους συμβατικούς Μ/Σ διανομής ορίζεται ένας ιδανικός λόγος μετασχηματισμού, μέσω του Συστήματος Αλλαγής Τάσης Χωρίς Φορτίο (De-Energized Tap-Changer, DETC) που διαθέτουν. Επιλέγοντας τον κατάλληλο λόγο μετασχηματισμού, η τάση στην πλευρά της ΧΤ του ΔΔΗΕ μπορεί να διατηρηθεί εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Τα Συστήματα Αλλαγής Τάσης Χωρίς Φορτίο τα οποία είναι συνήθως εγκατεστημένα στους συμβατικούς Μ/Σ διανομής, προσαρμόζουν σπάνια το λόγο μετασχηματισμού και αποκλειστικά με χειροκίνητο (μη αυτόματο) τρόπο. Αυτό απαιτείται να γίνεται όταν συντελείται κάποια σημαντική αλλαγή στο ΔΔΗΕ.

Ωστόσο, λόγω του συνεχούς αυξανόμενου ρυθμού αλλαγών στη δομή της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η ρύθμιση της τάσης  $V$  με γνώμονα τον καταναλωτή αποτελεί πολλές φορές χρήσιμη συμβολή στη σταθερότητα της τάσης  $V$ . Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, η ενεργοποίηση του οποίου μπορεί να γίνει με αυτόματο ή χειροκίνητο τρόπο.

Ανεξαρτήτως της τεχνικής εφαρμογής και της αρχής λειτουργίας του, ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ αποτελείται γενικά από το ενεργό μέρος του Μ/Σ, το στοιχείο ελέγχου και μία μονάδα ελέγχου (Εικόνα 3.2). [12]



Εικόνα 3.2: Σχηματική απεικόνιση των στοιχείων από τα οποία αποτελείται ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

### 3.2.2 Δομή Ενός Μετασηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Αναλόγως της αρχής λειτουργίας των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, το Σύστημα αλλαγής Τάσης Χωρίς Φορτίο αντικαθίσταται ή συμπληρώνεται από ένα στοιχείο ελέγχου. Το ενεργό μέρος του Μ/Σ πρέπει να έχει τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά, τα οποία γενικά περιλαμβάνουν τον αριθμό και τις θέσεις των λήψεων ή εάν χρειάζεται συμπληρωματικά στοιχεία, όπως περιοριστές, μετατροπείς, επιπλέον τυλίγματα, κλπ.

Ο Μ/Σ ισχύος και το στοιχείο ελέγχου σχηματίζουν μία λειτουργική μονάδα, όπου το στοιχείο ελέγχου συνήθως εγκαθίσταται εντός ή επάνω από το κύριο σώμα (λέβητα) του Μ/Σ. Αυτό σημαίνει ότι η γεωμετρία του κυρίου σώματος (λέβητα) του Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, ο όγκος του μονωτικού του ελαίου, το ψυκτικό σύστημα, κλπ., είναι διαφορετικά από αυτά ενός συμβατικού Μ/Σ ισχύος. Επομένως, ένας συμβατικός Μ/Σ διανομής είναι ιδιαίτερα δύσκολο να μετατραπεί κατάλληλα σε Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, εξετάζοντας τη μετασκευή αυτή και με οικονομικά κριτήρια.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι διαστάσεις των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (επιφάνεια βάσης, ύψος) μπορούν να επιλεγούν έτσι ώστε εύκολα να εγκαθίστανται σε υπάρχοντες συμβατικούς Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ).

Ανάλογα με την τεχνική εφαρμογή τους και την αρχή λειτουργίας των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, προκύπτουν πρόσθετες απώλειες από το στοιχείο ελέγχου ή / και τα πρόσθετα εξαρτήματα, τις λήψεις των τυλιγμάτων, κλπ. Αυτές γενικά λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαμόρφωση της μονάδας λειτουργίας (που περιλαμβάνει το ενεργό τμήμα του Μ/Σ ισχύος και το ελεγχόμενο στοιχείο), έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του σχετικού κανονισμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (Directive (EU) no.548 / 2014 (Ecodesign Directive)).

Οι Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ πληρούν τα εφαρμοζόμενα πρότυπα, τόσο για τους Μ/Σ ισχύος, όσο και για τις τυπικές βιομηχανικές εφαρμογές (διαστάσεις σταθμού, διάρκεια ζωής). [12]

### 3.2.3 Τεχνική Υλοποίηση Του Στοιχείου Ελέγχου Και Της Μονάδας Ελέγχου

Όσον αφορά τα στοιχεία ελέγχου, τα τελευταία χρόνια, οι κατασκευαστές Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ έχουν δοκιμάσει διάφορες τεχνολογικές λύσεις για την εναλλαγή της λήψης του τυλίγματος υπό φορτίο. Από τα στοιχεία ελέγχου που είναι διαθέσιμα για μαζική βιομηχανική παραγωγή, γίνεται διάκριση μεταξύ τριών κύριων τεχνολογικών μέσων, για την εναλλαγή λήψεων σε τύλιγμα Μ/Σ υπό τάση:

- Εναλλαγή με το ΣΑΤΥΦ στην πλευρά της ΜΤ.
- Εναλλαγή με επαφές στην πλευρά της ΧΤ.
- Εναλλαγή με επαφές στην πλευρά της ΧΤ, σε συνδυασμό με ένα Μ/Σ ενίσχυσης.

Επιπρόσθετα με το στοιχείο ελέγχου, αναγκαία είναι και μία μονάδα ελέγχου (Εικόνα 3.3) που χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο ρύθμισης τάσης. Η μονάδα ελέγχου επιτελεί τις παρακάτω βασικές λειτουργίες:



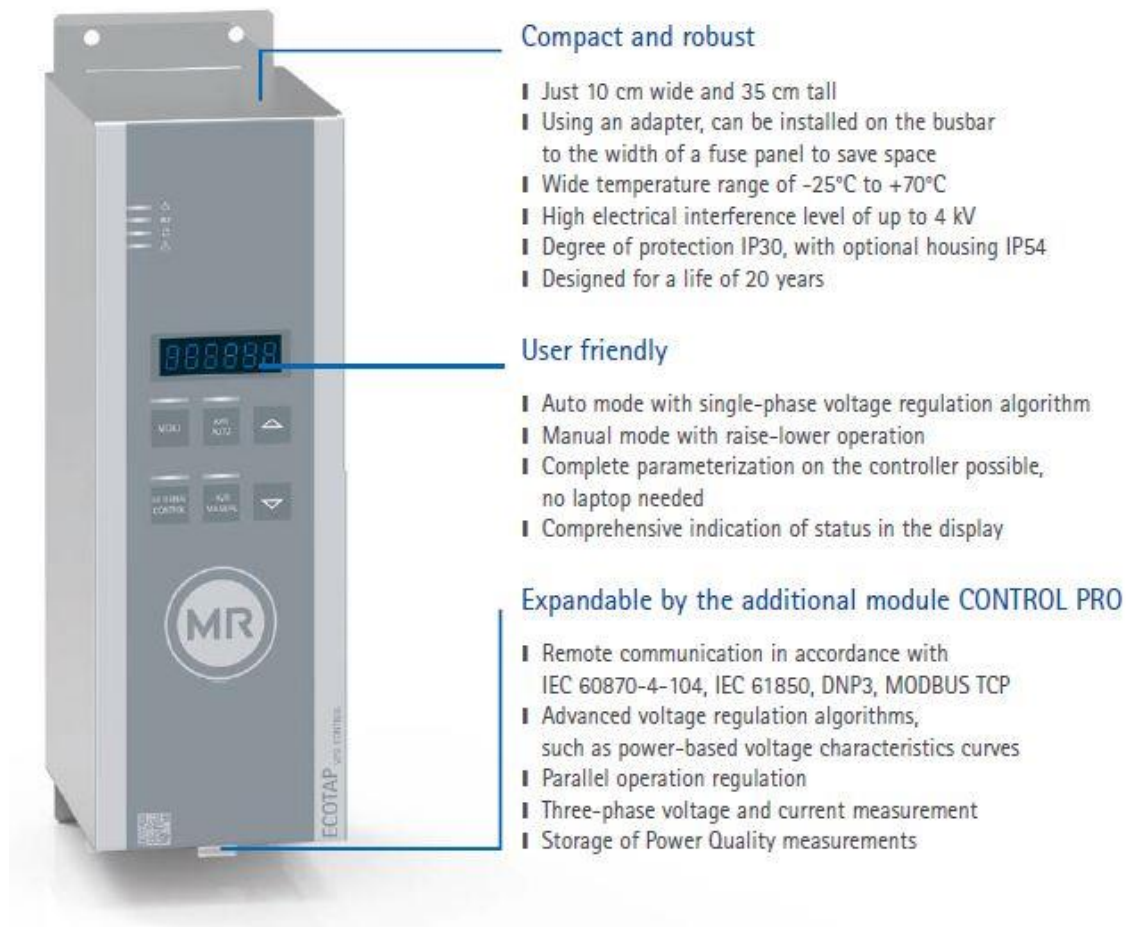
- Μέτρηση και αξιολόγηση της τιμής της τάσης  $V$ .
- Μετατροπή σήματος και ενεργοποίηση λειτουργιών εναλλαγής μέσω αλγορίθμων.
- Χειρισμοί για τη θέση σε λειτουργία και χειροκίνητος έλεγχος του στοιχείου ελέγχου.
- Οπτική ένδειξη της ενεργής θέσης της λήψης τυλίγματος και της κατάστασης της μονάδας ελέγχου.
- Επιλογή λειτουργίας ελέγχου της εναλλαγής λήψης τυλίγματος υπό φορτίο (χειροκίνητη, αυτόματα, απομακρυσμένη).

Ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν επίσης, ως προαιρετικές, τις ακόλουθες λειτουργίες της μονάδας ελέγχου:

- Μέτρηση ηλεκτρικών ή αναλογικών / ψηφιακών σημάτων του Μ/Σ ή / και του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) (πχ. θερμοκρασίες, κλπ.).
- Σύνδεση απομακρυσμένων αισθητήρων για τον καθορισμό της επιθυμητής τιμής της τάσης  $V$ .
- Επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου του ΔΔΗΕ.

Η βασική λειτουργία της μονάδας ελέγχου επιτρέπει την ανεξάρτητη ρύθμιση της τάσης  $V$  σε μία σταθερή επιθυμητή τιμή στο ζυγό της ΧΤ. Η ρύθμιση σε μια επιθυμητή τιμή (ρεύματος / ισχύος) αναλόγως της ροής ισχύος και του επιλεγμένου σεναρίου ρύθμισης, που λαμβάνουν υπόψη την απομακρυσμένη μετρούμενη τιμή μέσω ενός αισθητήρα, είναι επίσης διαθέσιμες ως επιλογές.

Οι μονάδες ελέγχου που μπορεί να βρει κάποιος επί του παρόντος στην αγορά είναι διαθέσιμες σε διάφορες διαστάσεις. Αυτές εγκαθίστανται τοπικά, στο εσωτερικό του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ). [12]



Εικόνα 3.3: Μονάδα ελέγχου Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

### 3.3 Πληροφορίες Σχεδιασμού

#### 3.3.1 Τρόπος Λειτουργίας Μετασηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

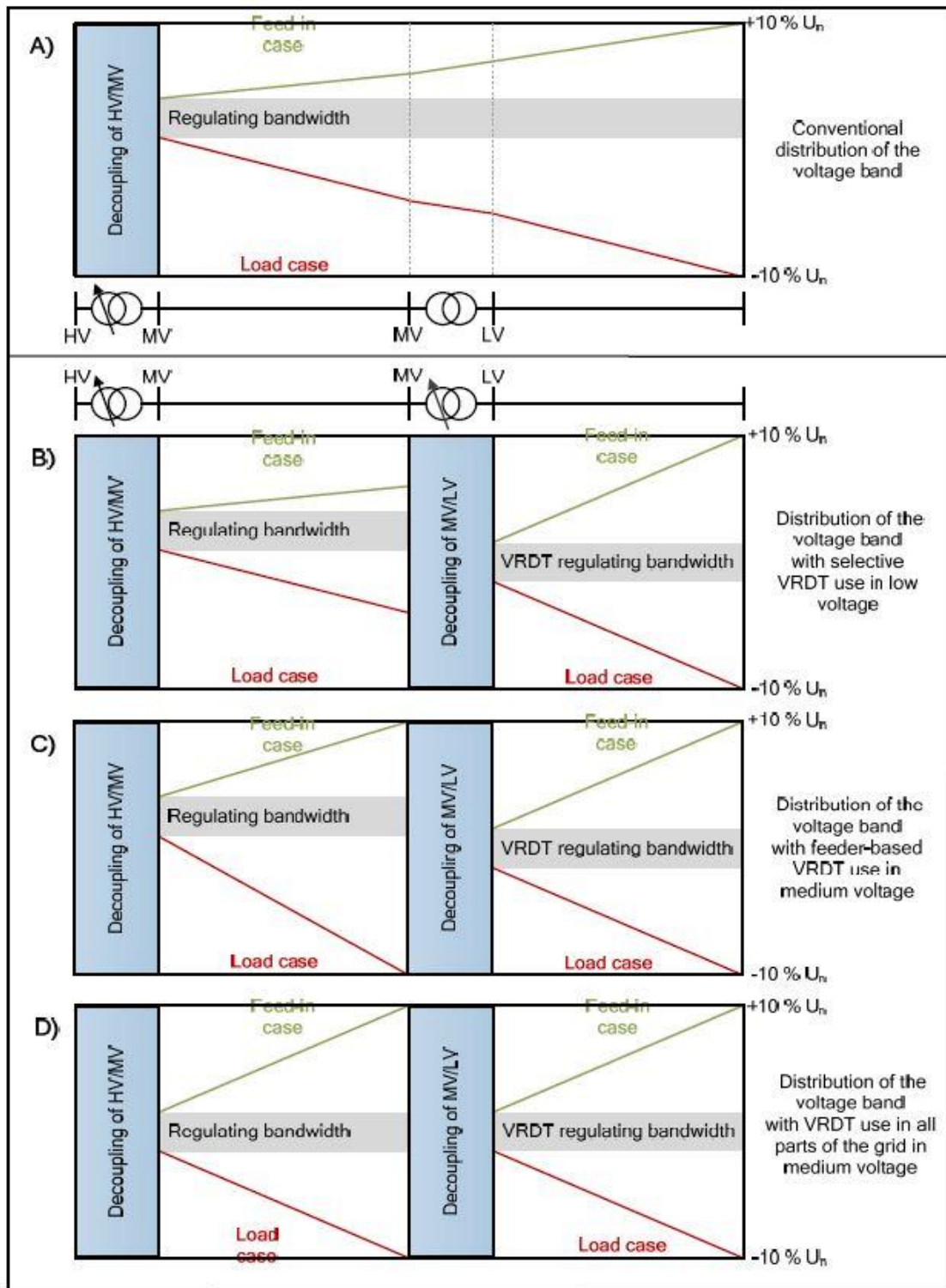
Η λειτουργία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ στηρίζεται στην απόζευξη της ΜΤ και ΧΤ. Στο χαρακτηριστικό αυτό οφείλεται το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, που είναι η ικανότητα αναδιανομής της διαθέσιμης ζώνης τάσης  $V$  και η επαναρύθμιση της τάσης  $V$  στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), σύμφωνα και με το πρότυπο DIN EN 50160.

Ξεκινώντας από το Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / ΜΤ), η τάση  $V$  ρυθμίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές της στα καλώδια ΜΤ, στο συμβατικό Μ/Σ διανομής, στα καλώδια ΧΤ και αθροιστικά έως το σημείο σύνδεσης του φορτίου  $L$ . Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 3.4 - Περίπτωση Α.

Λόγω της απόζευξης της ΜΤ και ΧΤ στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), η επιλεκτική χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μας παρέχει έναν τρόπο επαναρύθμισης της ζώνης τάσης  $V$ , σύμφωνα με τις απαιτήσεις. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 3.4 - Περίπτωση Β.

Όταν χρησιμοποιούνται Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ βάση γραμμής, η απόζευξη της τάσης της γραμμής ΜΤ από την τάση του ΔΔΗΕ ΧΤ σε αυτήν τη γραμμή, επιτρέπει τη χρήση της ζώνης τάσης  $V$  στην εν λόγω γραμμή ΜΤ, μέχρι και το όριο της άνω και κάτω τάσης. Ωστόσο, αυτό σημαίνει, ότι η επιθυμητή τιμή στο Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) δεν μπορεί να επιλεγεί ελεύθερα, αλλά μάλλον καθορίζεται από την κατανομή της ζώνης τάσης  $V$  στις άλλες γραμμές ΜΤ. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 3.4 - Περίπτωση Γ.

Λόγω της πλήρους απόζευξης της ΧΤ από τη ΜΤ, η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε όλες τις περιοχές του ΔΔΗΕ, παρέχει έναν εναλλακτικό τρόπο για την ανακατανομή της ζώνης τάσης  $V$  και την επαναρύθμιση της τάσης  $V$  εντός των αποδεκτών τιμών, σύμφωνα και με τις απαιτήσεις, πριν και μετά τον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ). Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 3.4 - Περίπτωση Δ. [12]



Εικόνα 3.4: Διανομή των ζωνών της τάσης  $V$ :

A) Με συμβατικό Μ/Σ διανομής.

B) Με επιλεκτική χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Γ) Με χρήση βάση γραμμής Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Δ) Με χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε όλες τις περιοχές του ΔΔΗΕ.

### 3.3.2 Εφαρμογές

Ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί καλύτερη αξιοποίηση της χωρητικότητας της διαθέσιμης ζώνης τάσης  $V$ , αποσυνδέοντας την τάση στο σημείο σύνδεσης ΜΤ και ΧΤ. Τα τελευταία χρόνια είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους Μ/Σ, για τη σύνδεση στο ΔΔΗΕ επιπρόσθετων σταθμών ΔΠ. Φυσικά, με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εξυπηρετηθούν επιπλέον φορτία σε ένα υπάρχον ΔΔΗΕ. Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δώσουμε στη βελτιστοποίηση της τοπολογίας των ΔΔΗΕ, π.χ. συγχωνεύοντας δύο διαφορετικά ΔΔΗΕ για την εξάλειψη ενός δευτερεύοντος Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) και βελτιστοποιώντας τη διαχείριση άεργου ισχύος. Αυτές οι εφαρμογές θα εξηγηθούν και στη συνέχεια της μεταπτυχιακής εργασίας. [12]

#### 3.3.2.1 Διόρθωση Προβλημάτων Της Ζώνης Τάσης

Η παραβίαση των οριακών τιμών της τάσης  $V$  μπορεί εύκολα να αποφευχθεί με τη χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Αυτό συμβαίνει τόσο σε ΔΔΗΕ ΧΤ, όσο και σε ΔΔΗΕ ΜΤ, κάνοντας χρήση των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε όλες τις περιοχές των ΔΔΗΕ ή χρήση αυτών εφαρμόζοντας ευφυή επιλεκτικότητα. Κάποιες τέτοιου είδους εφαρμογές θα παρουσιαστούν παρακάτω.

##### Επιλεκτική χρήση με έμφαση στο ΔΔΗΕ ΧΤ.

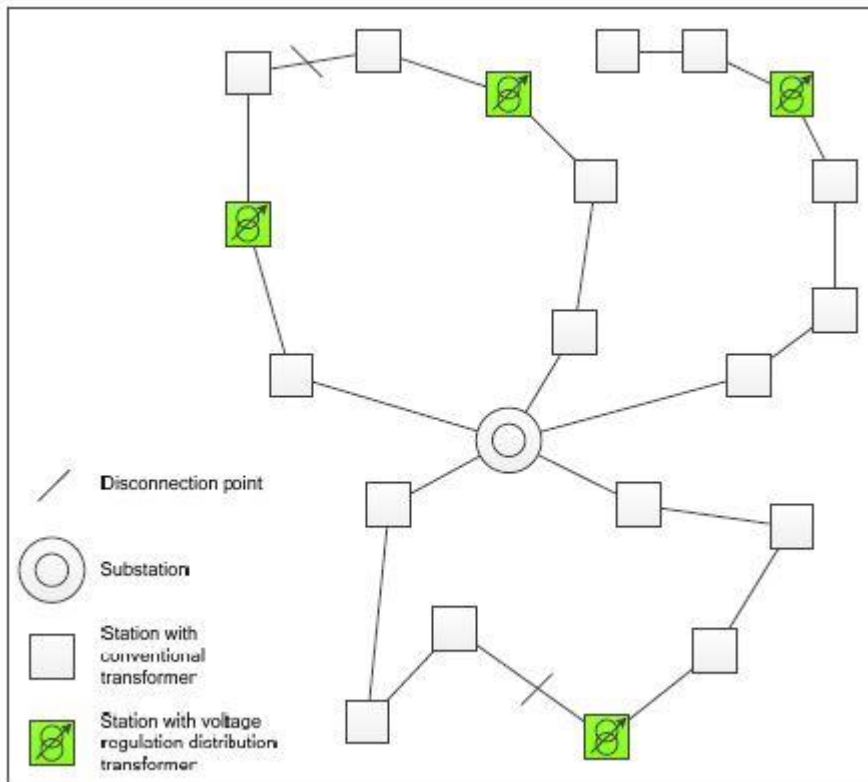
Η επιλεκτική χρήση ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ έχει νόημα όταν οι οριακές τιμές της τάσης  $V$ , που ορίζονται στις αρχές σχεδιασμού του ΔΔΗΕ, παραβιάζονται για το ΔΔΗΕ ΧΤ. Η αποσύνδεση της ΜΤ από το επίπεδο της ΧΤ παρέχει στο σχεδιαστή του ΔΔΗΕ μια ευρύτερη ζώνη τάσης  $V$ . Στην Εικόνα 3.5 απεικονίζεται ένα παράδειγμα από απομονωμένους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) με Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Παραδείγματα τέτοιου είδους εφαρμογών περιλαμβάνουν:

- Περιπτώσεις όπου οι ζώνες τάσης  $V$  παραβιάζονται σε μεμονωμένα σημεία του ΔΔΗΕ ΧΤ από τροφοδοσίες ή καταναλώσεις (π.χ. αντλίες θερμότητας ή σταθμούς φόρτισης για την ηλεκτροκίνηση).
- Περιπτώσεις όπου οι ζώνες τάσης  $V$  παραβιάζονται σε μεμονωμένα σημεία του ΔΔΗΕ ΜΤ από εξαιρετικά κυμαινόμενες τροφοδοσίες (π.χ. Ανεμογεννήτριες (Α/Γ)) ή καταναλώσεις (π.χ. βιομηχανικές εγκαταστάσεις), κοντά στον εν λόγω Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ).

Πλεονεκτήματα:

- Αποφυγή μέτρων ενίσχυσης του ΔΔΗΕ ΧΤ, ελαχιστοποίησή τους ή καθυστέρησή τους. Αυτά μπορούν να πραγματοποιηθούν μελλοντικά και με ένα βελτιστοποιημένο τρόπο.
- Η επιλεκτική χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, με έμφαση στο ΔΔΗΕ ΧΤ, παρέχει μεγαλύτερη βεβαιότητα σχεδιασμού από τη συμβατική ενίσχυση του ΔΔΗΕ, γιατί συνεπάγεται μεγαλύτερη δυνατότητα ενσωμάτωσης τροφοδοσιών και ζητήσεων σε ολόκληρο το ΔΔΗΕ.



Εικόνα 3.5: Επιλεκτική χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε ΔΔΗΕ ΜΤ.

#### Ανά γραμμή χρήση με έμφαση στο ΔΔΗΕ ΜΤ.

Η ανά γραμμή χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ έχει νόημα όταν οι οριακές τιμές τάσης  $V$ , που ορίζονται στις αρχές σχεδιασμού του ΔΔΗΕ, παραβιάζονται για το ΔΔΗΕ ΜΤ, μετά από μία ορισμένη απόσταση από τον πρωτεύον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αποσύνδεση της αντίστοιχης γραμμής ΜΤ από την πλευρά της ΧΤ, διασφαλίζει ότι ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ διατηρεί την τάση  $V$  στο ΔΔΗΕ ΧΤ σταθερή, παρά την τιμή της τάσης  $V$  στην πλευρά της ΜΤ του ΔΔΗΕ που μπορεί να είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή. Στην Εικόνα 3.6 απεικονίζεται ένα ΔΔΗΕ ΜΤ στο οποίο όλοι οι δευτερεύοντες Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) που υπερβαίνουν μία συγκεκριμένη οριακή τιμή της τάσης  $V$ , είναι εξοπλισμένοι με ΣΑΤΥΦ, για τη μεταβολή της τάσης  $V$  αυτής και την επαναφορά της εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Αυτό επιτρέπει πολύ μεγαλύτερες μεταβολές της τάσης  $V$  από ό, τι συνήθως σε ένα ΔΔΗΕ ΜΤ, χωρίς επίσης να χρειάζεται η ενίσχυση του συγκεκριμένου ΔΔΗΕ.

Παραδείγματα τέτοιου είδους εφαρμογών περιλαμβάνουν:

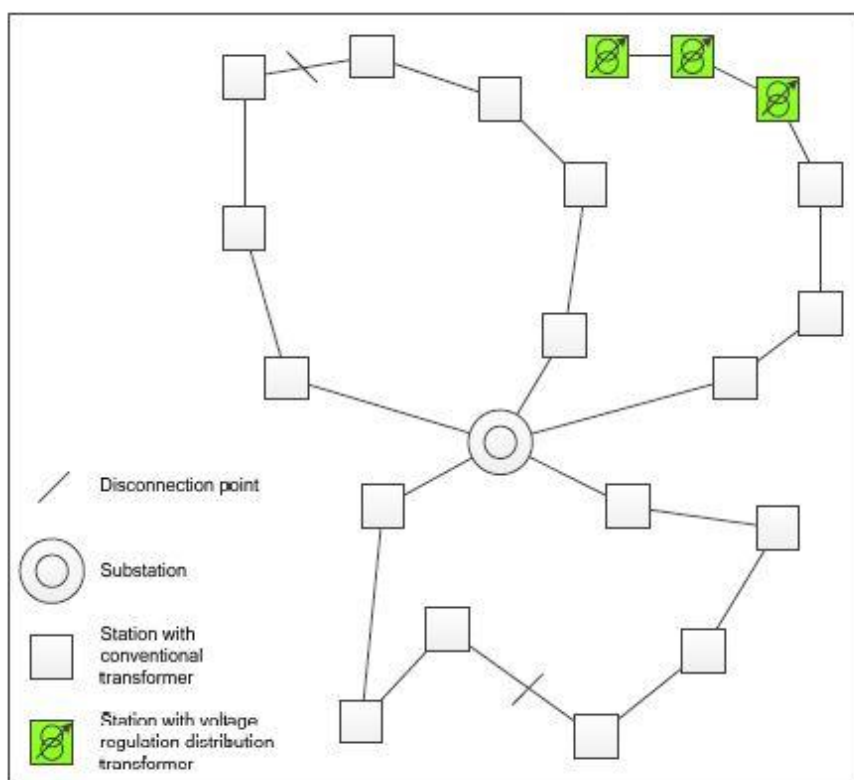
- Περιπτώσεις όπου οι ζώνες τάσης  $V$  παραβιάζονται σε μεμονωμένα σημεία του ΔΔΗΕ ΧΤ από τροφοδοσίες ή καταναλώσεις (π.χ. αντλίες θερμότητας ή σταθμούς φόρτισης για την ηλεκτροκίνηση). Περιπτώσεις όπου οι ζώνες τάσης παραβιάζονται σε μια μεγαλύτερη διασυνδεδεμένη περιοχή στο επίπεδο της ΜΤ (π.χ. στο τέλος κλάδων ή σε δομές ανοικτού δακτυλίου του ΔΔΗΕ), λόγω μεγάλων διακυμάνσεων ή και σταθερών τροφοδοσιών ή / και καταναλώσεων κοντά στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ).

Πλεονεκτήματα:

- Όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν και στην περίπτωση της επιλεκτικής χρήσης Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ με έμφαση στο ΔΔΗΕ ΧΤ.
- Αποφυγή μέτρων ενίσχυσης του ΔΔΗΕ ΜΤ, ελαχιστοποίησή τους ή καθυστέρησή τους. Αυτά μπορούν να πραγματοποιηθούν μελλοντικά και με ένα βελτιστοποιημένο τρόπο.

Σημειώσεις:

- Επειδή οι απαιτήσεις του προτύπου DIN EN 50160 εξακολουθούν να τηρούνται σε κάθε σύνδεση του ΔΔΗΕ στο επίπεδο της ΜΤ, οι Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) την ευθύνη κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας των οποίων φέρουν οι πελάτες του διαχειριστή του ΔΔΗΕ, μπορούν να είναι ακόμη εξοπλισμένοι και με συμβατικούς Μ/Σ διανομής.
- Ίσως να μην είναι απαραίτητο να γίνει χρήση ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε ΔΔΗΕ ΧΤ με πολύ μικρές ή ανύπαρκτες αυξήσεις ή πτώσεις της τάσης  $V$ .



Εικόνα 3.6: Ανά γραμμή χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε ΔΔΗΕ ΜΤ.

### Χρήση σε όλα τα σημεία του ΔΔΗΕ με έμφαση στο ΔΔΗΕ ΜΤ.

Η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ έχει νόημα όταν υπάρχει ο κίνδυνος παραβίασης της ζώνης τάσης  $V$  σε ολόκληρο το ΔΔΗΕ ΜΤ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι αναγκαία η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) οι οποίοι βρίσκονται κοντά στον πρωτογενή Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Μια λογική προσέγγιση σε αυτό το σενάριο θα ήταν να εξοπλίσουμε διαδοχικά όλους τους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) που επηρεάζονται από παραβάσεις της ζώνης της τάσης  $V$  του ΔΔΗΕ, ξεκινώντας με αυτούς που βρίσκονται πιο μακριά από τον πρωτεύοντα Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) (Εικόνα 3.7). Σε αντίθεση με τη χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε μεμονωμένες γραμμές, σε αυτήν την περίπτωση, η επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  στο Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) μπορεί να μειωθεί και έτσι να επιτραπεί ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της τάσης  $V$  στο ΔΔΗΕ ΜΤ. Αυτό απεικονίζεται και στην Εικόνα 3.4 - Περίπτωση Γ.

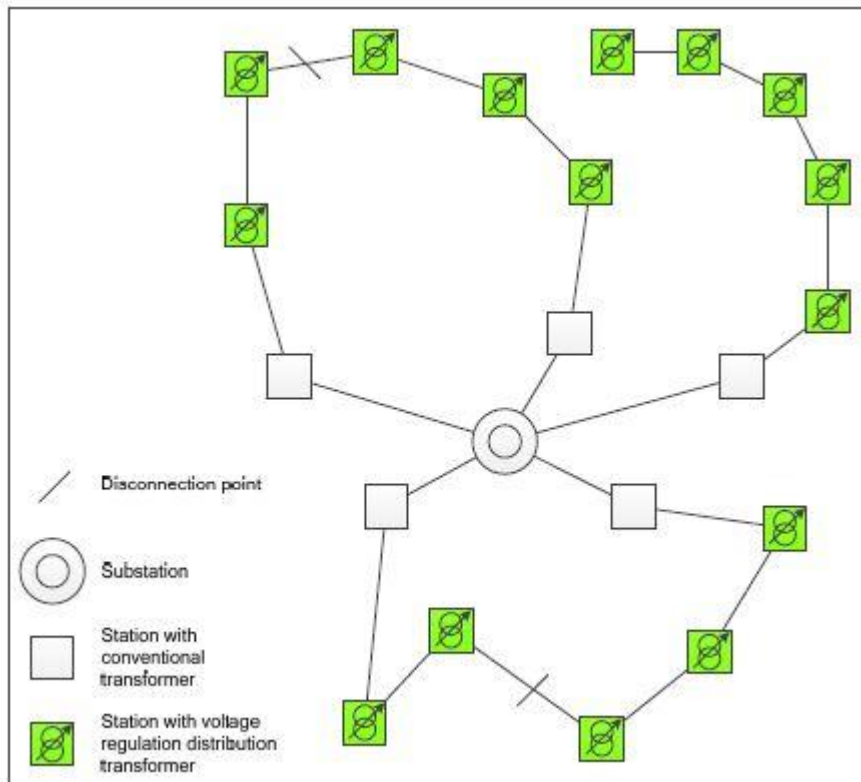
Παραδείγματα τέτοιου είδους εφαρμογών περιλαμβάνουν:

- Περιπτώσεις όπου οι ζώνες τάσης  $V$  παραβιάζονται σε μία μεγαλύτερη διασυνδεδεμένη περιοχή στο επίπεδο της ΜΤ, ως αποτέλεσμα υπερβολικών τάσεων  $V$  προερχόμενων από το επίπεδο της ΥΤ, οι οποίες δεν μπορούν να αντισταθμιστούν από το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).
- Περιπτώσεις όπου οι ζώνες τάσης  $V$  παραβιάζονται σε μια μεγαλύτερη διασυνδεδεμένη περιοχή στο επίπεδο της ΜΤ, ως αποτέλεσμα κάποιας εξαιρετικά κυμαινόμενης ή συνεχούς τροφοδοσίας, η οποία είναι σε άμεση σύνδεση με τον πρωτεύοντα Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Οι παραβιάσεις αυτές της ζώνης τάσης  $V$  δεν μπορούν να αντισταθμιστούν από το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).
- Περιπτώσεις σύνδεσης περισσότερων πηγών – γεννητριών ισχύος σε ένα ΔΔΗΕ που χαρακτηρίζεται από τροφοδοσίες, μειώνοντας την επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  με το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).

Πλεονεκτήματα:

- Όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν και στην περίπτωση της επιλεκτικής χρήσης Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ με έμφαση στο ΔΔΗΕ ΧΤ.
- Αποφυγή μέτρων ενίσχυσης του ΔΔΗΕ ΜΤ, ελαχιστοποίησή τους ή καθυστέρησή τους. Αυτά μπορούν να πραγματοποιηθούν μελλοντικά και με ένα βελτιστοποιημένο τρόπο.
- Η αντικατάσταση του Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) με έναν Μ/Σ με διαφορετικό λόγο μετασχηματισμού και / ή η αποφυγή ή καθυστέρηση της αντικατάστασης του ΣΑΤΥΦ. [12]



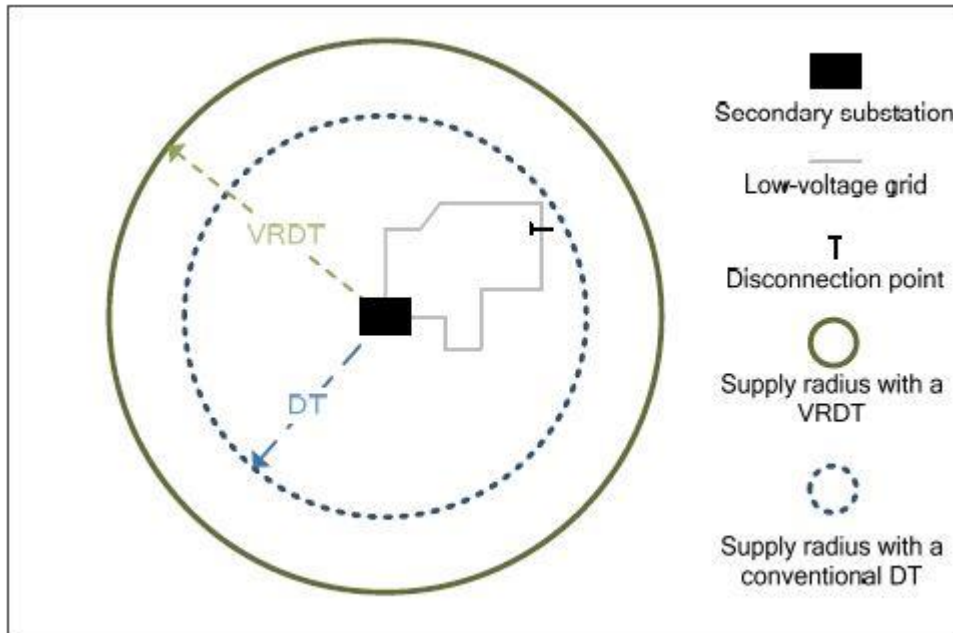


Εικόνα 3.7: Χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε όλα τα σημεία του ΔΔΗΕ ΜΤ.

### 3.3.2.2 Βελτιστοποίηση Της Τοπολογίας Του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Ένας επιπλέον στόχος που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, είναι ότι η ένταξη αυτής της νέας τεχνολογίας στο σχεδιασμό των ΔΔΗΕ μπορεί να βελτιστοποιήσει τις υπάρχοντες τοπολογίες των ΔΔΗΕ. Αυτό αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον πλεονέκτημα, δεδομένου ότι η φυσιογνωμία των ΔΔΗΕ αλλάζει τόσο από άποψη τροφοδοσιών όσο και ζήτησεων. Για παράδειγμα, δύο (2) ή περισσότερα ΔΔΗΕ ΧΤ μπορούν να συνδυαστούν για να σχηματίσουν ένα (1) ΔΔΗΕ μεγαλύτερης περιοχής, ώστε να εξοικονομήσουμε έναν (1) ή και περισσότερους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ). Στη συνέχεια, ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ αντισταθμίζει τα υψηλότερα επίπεδα διακύμανσης της τάσης που προκύπτουν. Οι ακτίνες τροφοδοσίας των δευτερευόντων Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) που είναι εξοπλισμένοι με Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορούν να αυξηθούν όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.8.

Επιπλέον, η αυτοματοποίηση και η παρακολούθηση των δευτερευόντων Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), καθώς και η ενσωμάτωση συστημάτων παρακολούθησης στο ΔΔΗΕ ΧΤ ή έξυπνων μετρητών, μέσω των δευτερευόντων Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), προσφέρουν πληθώρα τεχνικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα κόστη επιθεώρησης. Τέτοιου είδους σενάρια έχουν ήδη εφαρμοστεί. [12]



Εικόνα 3.8: Παράδειγμα αύξησης της τροφοδοτούμενης ακτίνας του δευτερεύοντος Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), λόγω της χρήσης Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

### 3.3.2.3 Υποστήριξη Της Διαχείρισης Άεργου Ισχύος στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Μέσης (ΜΤ) Και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)

Η χρήση ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ επιτρέπει στους διαχειριστές του ΔΔΗΕ την αξιοποίηση του πρόσθετου δημιουργικού περιθωρίου όσον αφορά τη διαχείριση της άεργης ισχύος  $Q$  στα χαμηλότερα επίπεδα του ΔΔΗΕ. Η βελτιωμένη αξιοποίηση της χωρητικότητας των διαθέσιμων ζωνών τάσης  $V$  που γίνεται εφικτή μέσω της χρήσης Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, θα μπορούσε να επιφέρει νέα συμπεριφορά για τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας σε σχέση με την παραγόμενη άεργη ισχύ  $Q$  τους. Αυτό μπορεί να είναι ευεργετικό:

- Όσον αφορά την υπερφόρτιση του εξοπλισμού του ΔΔΗΕ (φαινόμενα ρεύματα).
- Αντισταθμίζοντας τη διαχείριση της άεργου ισχύος  $Q$  (στο σημείο εκείνο που το ΔΔΗΕ συνδέεται με το ανάντη ΔΔΗΕ).
- Σε σχέση με τις διακοπτικές ικανότητες και / ή τις προϋποθέσεις ακύρωσης των διακοπών (επαγωγικά ή χωρητικά ρεύματα). [12]

### 3.3.3 Περιορισμοί Και Ειδικές Περιπτώσεις Στη Χρήση Μετασηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Παρόλο που ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό σημείων των ΔΔΗΕ, για να αυξησει με ιδανικό τρόπο

τη χωρητικότητα των συνδέσεών τους, εντούτοις θα πρέπει να σημειωθούν και κάποιοι περιορισμοί στη χρήση τους, σε λίγες ειδικές περιπτώσεις. Ακόμη και όταν σε κάποιο σημείο του ΔΔΗΕ χρησιμοποιείται Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, η διερχόμενη ισχύς στο σημείο αυτό σύνδεσης του Μ/Σ δεν μπορεί να υπερβεί τα ανώτερα επιτρεπτά θερμικά όρια του εξοπλισμού (καλωδίων, Μ/Σ). Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι συμβατικοί τρόποι ενίσχυσης του ΔΔΗΕ ή αντικατάστασης του Μ/Σ ισχύος για την ικανοποίηση των φορτίων  $L$  εντός των επιτρεπόμενων ορίων τάσης  $V$  και συχνότητας  $f$  ή για την ενσωμάτωση σταθμών ΔΠ, δεν μπορούν να αποφευχθούν απλώς με τη χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. [12]

### **3.3.3.1 Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) με Απομακρυσμένα Τμήματα**

Σε ένα απομακρυσμένο ΔΔΗΕ με καλωδιακές γραμμές μεγάλου μήκους και υψηλή συνδεδεμένη ισχύ παραγωγής, θα πρέπει η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ να μελετάται για κάθε μεμονωμένη περίπτωση. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ επιτρέπει τη διεύρυνση της ζώνης τάσης κατά 3% έως 8%. Εάν όμως είναι απαραίτητο, για να ικανοποιήσουμε τα φορτία ή τους σταθμούς ΔΠ, εντός των επιτρεπόμενων ορίων της τάσης  $V$  και της συχνότητας  $f$ , η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να συνδυαστεί και με άλλα τεχνικά μέτρα, όπως είναι η ενίσχυση του ΔΔΗΕ αλλά και η χωριστή παροχή άεργου ισχύος  $Q$  από σταθμούς παραγωγής ή ελεγκτές γραμμής. [12]

### **3.3.3.2 Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Ανομοιογενείς Καλωδιακές Γραμμές**

Εάν οι καλωδιακές γραμμές σε ένα ΔΔΗΕ ΧΤ είναι φορτισμένες ανομοιογενώς, δηλαδή για παράδειγμα εάν υπάρχουν κυρίως σταθμοί παραγωγής σε ένα κλάδο του και αντιθέτως, κυρίως καταναλωτές εγκατεστημένοι σε άλλο κλάδο του, τότε τα προφίλ της τάσης  $V$  αυτών των κλάδων αποκλίνουν σημαντικά. Μελετώντας αυτό το σενάριο από ηλεκτρική σκοπιά, μπορούμε να πούμε ότι είναι συγκρίσιμο και ανάλογο με αυτό του ΔΔΗΕ με τα απομακρυσμένα τμήματα (καλωδιακές γραμμές μεγάλου μήκους), οπότε ισχύουν οι πληροφορίες που παρέχονται στην παράγραφο § 3.3.3.1. [12]

### **3.3.3.3 Χρήση Μετασχηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Σε Παράλληλη Λειτουργία**

Σε περιπτώσεις παράλληλης λειτουργίας Μ/Σ ισχύος, μπορεί να γίνει διάκριση της παράλληλης αυτή λειτουργίας, είτε με κριτήριο τη θέση των Μ/Σ ισχύος, σε παράλληλη λειτουργία δικτύου και παράλληλη λειτουργία ζυγού, είτε με κριτήριο σχετιζόμενο με το χρόνο  $t$ , σε συνεχή παράλληλη λειτουργία και σύντομη παράλληλη λειτουργία.

Η συνεχής παράλληλη λειτουργία των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι εφικτή σε θεωρητικό επίπεδο. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψιν μας την πιθανή επιπρόσθετη φόρτιση των κυκλωμάτων του Μ/Σ ισχύος από τα παραγόμενα άεργα ρεύματα, καθώς και τις σχεδιαζόμενες μελλοντικές επεκτάσεις του ΔΔΗΕ, δεν συνίσταται αυτός ο τρόπος λειτουργίας.

Όταν η σύντομη παράλληλη λειτουργία των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι αναγκαία, αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί ακολουθώντας κάποιους συγκεκριμένους κανόνες και οδηγίες.

Είναι σημαντικό οι Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ να λειτουργούν συγχρονισμένα, ακόμη και για σύντομα χρονικά διαστήματα παράλληλης λειτουργίας. Οι κατασκευαστές τους μας παρέχουν διάφορες διαδικασίες / λύσεις για την επίτευξη αυτού του σκοπού, όπως η λειτουργία master – slave των Μ/Σ ισχύος ή ο περιορισμός των άεργων ρευμάτων που ρέουν στο κύκλωμά τους. [12]

### 3.3.4 Διαδικασίες Ρύθμισης

Κατ' αρχήν, μπορούμε να διακρίνουμε, τις ακόλουθες περιπτώσεις, με σειρά αύξουσας πολυπλοκότητας, για τη ρύθμιση, στο ζυγό της ΧΤ, της τάσης  $V$  από ένα Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ:

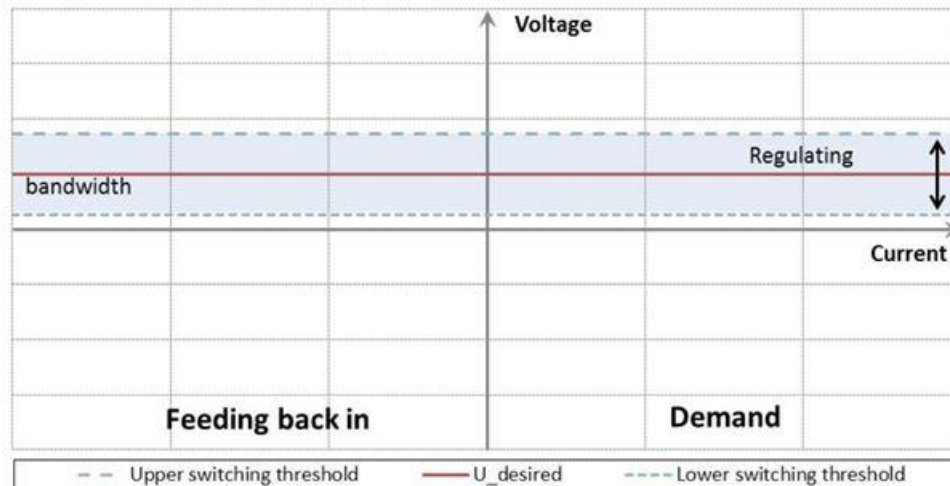
- Ρύθμιση σε μία σταθερή, επιθυμητή τιμή τάσης  $V$  (παράγραφος § 3.3.4.1).
- Ρύθμιση σε μία επιθυμητή τιμή τάσης  $V$  που εξαρτάται από τη ροή ισχύος (παράγραφος § 3.3.4.2).
- Ρύθμιση που περιλαμβάνει μία απομακρυσμένη, μετρούμενη τιμή τάσης  $V$  από έναν αισθητήρα (παράγραφος § 3.3.4.3).

Η πρώτη περίπτωση είναι η συνηθέστερη για τους περισσότερους από τους Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Η πρόσθετη εργασία που περιλαμβάνεται σε πιο περίπλοκες διαδικασίες ρύθμισης, θα πρέπει να εγγυάται κάποιο σημαντικό όφελος από τη σκοπιά του σχεδιασμού του ΔΔΗΕ. Σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι δυνατή η πλήρης χρήση όλων των θεωρητικά διαθέσιμων αποθεμάτων της ζώνης τάσης  $V$ , επειδή, λαμβάνεται υπόψη και η μέγιστη τρέχουσα ικανότητα μεταφοράς των καλωδίων του ΔΔΗΕ ΧΤ. Ανάλογα με την επιλεγμένη διαδικασία ρύθμισης τάσης, απαιτούνται διαφορετικές μετρήσεις και σε ορισμένες περιπτώσεις και διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας. Οι περιπτώσεις των διαδικασιών ρύθμισης της τάσης  $V$  περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες στις παρακάτω παραγράφους (§ 3.3.4.1, § 3.3.4.2 και § 3.3.4.3). [12]

#### 3.3.4.1 Ρύθμιση Σε Μία Σταθερή, Επιθυμητή Τιμή Τάσης

Σε αυτήν τη διαδικασία ρύθμισης, η επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  στην πλευρά ΧΤ του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ καθορίζεται από μια σταθερή τιμή τάσης  $V$  (π.χ.  $V = 400 V$ ), ανεξάρτητα από την τρέχουσα ροή ισχύος. Εάν η μετρούμενη τιμή της τάσης  $V$  είναι εκτός του προδιαγραφόμενου εύρους γύρω από την επιθυμητή τιμή, για περισσότερο από έναν καθορισμένο χρόνο καθυστέρησης  $t$ , ενεργοποιείται από το

ρυθμιστή η αλλαγή θέσης λήψης τυλίγματος. Στην Εικόνα 3.9 απεικονίζεται το πιθανό εύρος της τάσης εξόδου  $V$  του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ κατά τη διάρκεια της ρύθμισης σε μία σταθερή, επιθυμητή τιμή τάσης  $V$ .



Εικόνα 3.9: Τυπικό εύρος ζώνης ρύθμισης της τάσης  $V$ , στην περίπτωση ρύθμισης σε μία σταθερή επιθυμητή τιμή τάσης  $V$ .

Το εύρος ρύθμισης της ζώνης της τάσης  $V$  χρειάζεται να έχει μια ελάχιστη τιμή, διότι διαφορετικά, εάν με διαβαθμισμένους (διακριτούς) ρυθμιστές ξεπεραστούν τα όρια μεταγωγής μετά από μια διαδικασία αλλαγής θέσης τυλίγματος, η τάση  $V$  του ζυγού δεν μπορεί να επανέλθει εντός του επιθυμητού εύρος και θα ξεκινήσουν περαιτέρω διαδικασίες ελέγχου επιστροφής. [12]

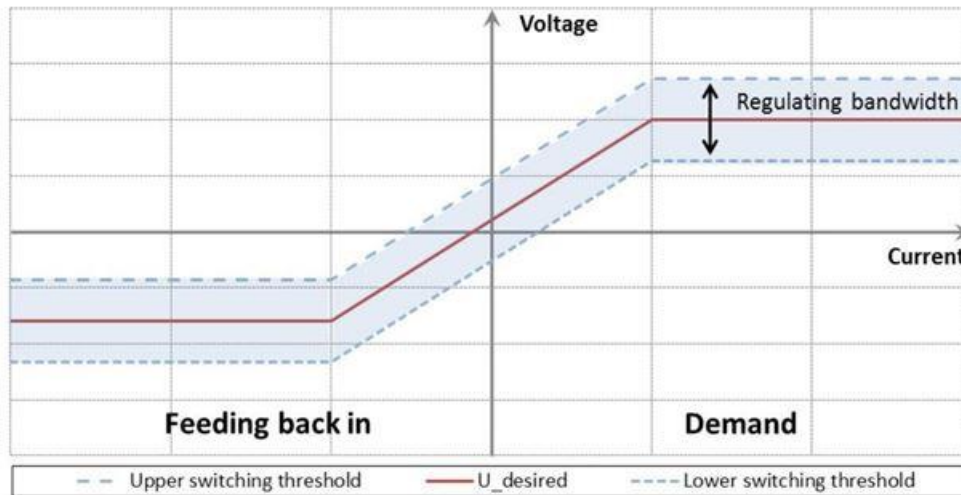
### 3.3.4.2 Ρύθμιση Σε Μία Επιθυμητή Τιμή Τάσης, Εξαρτώμενη Από Τη Ροή Ισχύος

Αυτή η διαδικασία ρύθμισης της τάσης  $V$ , γνωστή ως τρέχουσα σύνθεση (current compounding), δεν απαιτεί μόνο τη μέτρηση της τάσης  $V$  του ζυγού ΧΤ, αλλά και μία καταγραφή της κατεύθυνσης και της τιμής της εξαρτώμενης ροής ισχύος που διέρχεται από το Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Αυτή η επιπλέον πληροφορία χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει την επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  στην τρέχουσα κατάσταση ροής ισχύος. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει ήδη αποδείξει την αξιοπιστία της σε υψηλότερα επίπεδα τάσης.

Σε περιπτώσεις ομοιογενούς φόρτισης και όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση στο ΔΔΗΕ ΧΤ, η τάση  $V$  μειώνεται στην πορεία της προς τους καταναλωτές και κατά συνέπεια επιλέγεται υψηλότερη τιμή ρύθμισης της τάσης  $V$  στο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Εάν η ροή ισχύος έχει αντίστροφη κατεύθυνση, δηλαδή από τους σταθμούς ΔΠ προς το Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, επιλέγεται χαμηλότερη τιμή ρύθμισης της

τάσης  $V$ , για να μην αυξηθεί περαιτέρω η τάση  $V$  στην πλευρά της ΧΤ του ΔΔΗΕ. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση του επιτρεπόμενου από τα πρότυπα εύρους της ΧΤ. Στην Εικόνα 3.10 απεικονίζεται ένα παράδειγμα της εξέλιξης της επιθυμητής τιμής της τάσης  $V$  και του εύρους ρύθμισης γύρω από αυτήν την τιμή.



Εικόνα 3.10: Εύρος ζώνης ρύθμισης τάσης  $V$ , στην περίπτωση ρύθμισης σε μία επιθυμητή τιμή τάσης  $V$  εξαρτώμενη από τη ροή ισχύος.

Η τιμή της ισχύος μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  σε σχέση με το ρεύμα  $I$ . Η χαρακτηριστική καμπύλη  $V_{desired}/I_{demand}$  συνήθως καθορίζεται μέσω ανάλυσης και συχνά προδιαγράφεται για όλες ή κάθε συγκεκριμένη κατηγορία ΔΔΗΕ. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπολογισμοί δικτύου για να παράξουν τις χαρακτηριστικές καμπύλες οι οποίοι είναι περισσότερο ακριβείς και πραγματοποιούν καλύτερη αξιοποίηση του εύρους της τάσης  $V$ , αλλά δεν μπορούν πια να χρησιμοποιούνται για γενικούς σκοπούς.

Όπως και στην περίπτωση της ρύθμισης σε μία σταθερή, επιθυμητή τιμή τάσης  $V$  και σε αυτήν την περίπτωση, για διαβαθμισμένους (διακριτούς) ρυθμιστές, απαιτείται μία ελάχιστη τιμή του εύρους της ρύθμισης της ζώνης της τάσης  $V$ . [12]

### 3.3.4.3 Ρύθμιση Που Περιλαμβάνει Μία Απομακρυσμένη Μετρούμενη Τιμή Τάσης Από Έναν Αισθητήρα

Καταγράφοντας, με τη χρήση τεχνολογίας μέτρησης, τουλάχιστον ένα σημείο του ΔΔΗΕ ΧΤ, η επιθυμητή τιμή της ρύθμισης της τάσης  $V$  στο σημείο αυτό μπορεί να τεθεί στο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Αυτό το είδος ρύθμισης μπορεί να προσφέρει επιπλέον δυνατότητες ενσωμάτωσης. Ωστόσο, απαιτείται εκ των προτέρων υπολογισμός του ΔΔΗΕ, για τον προσδιορισμό των σημείων του όπου η τιμή της τάσης  $V$  είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από την επιθυμητή τιμή της. Η τεχνολογία μέτρησης πρέπει στη

συνέχεια να εφαρμοστεί σε τουλάχιστον ένα από αυτά τα σημεία και να συνδεθεί με τη μονάδα ελέγχου για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία τους. Σε περίπτωση που η επικοινωνία αυτή αποτύχει, θα πρέπει να καθοριστεί στο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ ένα εναλλακτικό σενάριο ρύθμισης. [12]

### 3.3.5 Παράμετροι Ελέγχου

Η απόκριση ελέγχου ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ καθορίζεται από διάφορες παραμέτρους διαμόρφωσης και ρύθμισης που αναλύονται με περισσότερες λεπτομέρειες στις παρακάτω παραγράφους (§ 3.3.5.1 και § 3.3.5.2). [12]

#### 3.3.5.1 Παράμετροι Διαμόρφωσης

Εκτός από τις κλασικές μεταβλητές διαμόρφωσης όπως η ονομαστική τάση  $V$  ή η ισχύς  $S$ , κατά την παραγγελία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ πρέπει να αναφέρονται και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Αυτά είναι, τουλάχιστον, το εύρος ρύθμισης της τάσης  $V$ , η θέση βάσης και η τάση του βήματος  $V_{Step}$ .

Σε διαβαθμισμένους Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ που αλλάζουν τη σχέση μετασχηματισμού τους σε διακριτά βήματα, η βηματική τάση  $V_{Step}$  περιγράφει το σχεδόν στατικό άλμα στην τάση  $V$  που σχετίζεται με τη μεταγωγή. Αυτή συνήθως αναφέρεται στην ονομαστική τάση  $V$  του Μ/Σ ισχύος και μαζί με το πλήθος των βημάτων ορίζει το εύρος ρύθμισης της τάσης  $V$ . Το εύρος ρύθμισης ορίζει το προσαρμοσμένο εύρος της τάσης  $V$  του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και συνήθως αναφέρεται με τη μορφή της θέσης βάσης (ονομαστικός λόγος μετασχηματισμού) του Μ/Σ και το πλήθος των βημάτων προς την κατεύθυνση υψηλότερης και χαμηλότερης τάσης  $V$ . Για παράδειγμα, έστω Μ/Σ διανομής εξοπλισμένος με ΣΑΤΥΦ που έχει τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:  $20\text{ kV} / 0,4\text{ kV}$ ,  $\pm 4 \times 2,5\%$ . Στο συγκεκριμένο παράδειγμα  $20\text{ kV} / 0,4\text{ kV}$  είναι ο ονομαστικός λόγος μετασχηματισμού και / ή ο λόγος μετασχηματισμού στην θέση βάσης. Ο συγκεκριμένος Μ/Σ ισχύος διαθέτει τέσσερις (4) μεταγωγικές θέσεις, τόσο προς την κατεύθυνση υψηλότερης όσο και προς την κατεύθυνση χαμηλότερης τάσης  $V$ , ενώ η βηματική τάση  $V_{Step}$  είναι το 2,5% της ονομαστικής τιμής της τάσης του  $V$ , δηλαδή  $2,5\% \times 20\text{ kV} = 0,5\text{ kV}$ . Ωστόσο, το εύρος ρύθμισης ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να διευθετηθεί και ασύμμετρα γύρω από τη θέση βάσης. Για παράδειγμα,  $20\text{ kV} / 0,4\text{ kV}$ ,  $+2 \times 2,5\% - 6 \times 2,5\%$ .

Όταν επιλέγουμε τη βηματική τάση  $V_{Step}$ , θα πρέπει να θυμόμαστε ότι αυτή επηρεάζει την τιμή του συντελεστή flicker του ΔΔΗΕ. Η επιλογή του εύρους ρύθμισης καθορίζει την επιπλέον χρησιμοποιούμενη ζώνη τάσης  $V$ , την απορροφούμενη ισχύ από σταθμούς ΔΠ και την ισχύ της επιπρόσθετης κατανάλωσης που μπορεί να ενσωματωθεί, καθώς και το μήκος της τροφοδοτούμενης γραμμής την οποία ένας δευτερεύον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) μπορεί να εξυπηρετήσει. [12]

### 3.3.5.2 Παράμετροι Ρύθμισης

Οι παράμετροι ρύθμισης είναι χαρακτηριστικά ελέγχου τα οποία μπορούν να αλλάξουν ανά πάσα στιγμή και μετά την αγορά και θέση σε λειτουργία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Οι πιο σημαντικές παράμετροι ρύθμισης περιλαμβάνουν:

- Την επιθυμητή τιμή της τάσης  $V_{desired}$  σε [Volt].

Η τιμή για της οριζόμενης επιθυμητής τάσης  $V_{desired}$  μπορεί να είναι σταθερή ή να μεταβάλλεται ανάλογα και με τους άλλους παράγοντες που την επηρεάζουν. Επειδή στην πράξη η επιθυμητή τιμή της τάσης  $V_{desired}$  δεν μπορεί να επιτευχθεί και να διατηρηθεί με απόλυτη ακρίβεια με διαβαθμισμένους Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και η μεταγωγή οδηγεί μέσω ενός άλματος στην τάση  $V$  που αντιστοιχεί στην τάση βήματος  $V_{Step}$ , πρέπει να επιτρέπεται μικρή απόκλιση από την επιθυμητή τιμή τάσης  $V_{desired}$ .

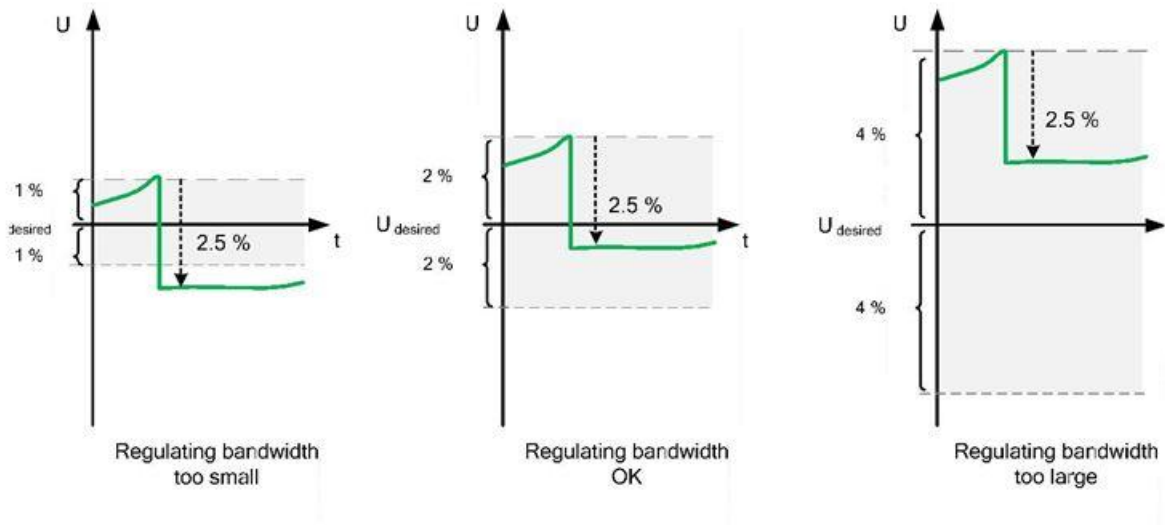
- Ανώτερο και κατώτερο όριο μεταγωγής, ως ποσοστό επί τοις εκατό [%] σε σχέση με την ονομαστική τιμή της τάσης  $V$ .

Αυτές οι δύο τιμές δηλώνουν πόσο περισσότερο πάνω και κάτω από την επιθυμητή τιμή μπορεί να αποκλίνει το μετρούμενο μέγεθος της τάσης  $V$  (εξαιρουμένων των σφαλμάτων μέτρησης), πριν ο ρυθμιστής εκτελέσει μια αλλαγή θέσης τυλίγματος. Συνήθως, αποτελεί καλή πρακτική να ορίσουμε το ανώτερο και το κατώτερο όριο της μεταγωγής συμμετρικά γύρω από την επιθυμητή τιμή της τάσης  $V_{desired}$ . Ωστόσο, η περιοχή μεταξύ του άνω και του κάτω ορίου της μεταγωγής, η οποία είναι επίσης γνωστή ως ρυθμιστικό εύρος ζώνης ή υστέρηση ρύθμισης είναι απολύτως σχετική. Όσο μικρότερο είναι το ρυθμιστικό εύρος ζώνης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ζώνη τάσης  $V$  που μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί (βλέπε Εικόνα 3.4).

Το ρυθμιστικό εύρος ζώνης θα πρέπει επίσης πάντα να είναι μεγαλύτερο από τη βηματική τάση  $V_{Step}$ . Μία τιμή περίπου 1,6 φορές μεγαλύτερη από τη βηματική τάση  $V_{Step}$  έχει αποδειχτεί ικανοποιητικά αποδοτική σε πραγματικές υλοποιήσεις.

Ένα υψηλότερο εύρος ρύθμισης επιτρέπει τη μείωση του αριθμού των μεταγωγών.





Εικόνα 3.11: Διαφορετικές διαμορφώσεις της ρύθμισης του εύρους ζώνης με βηματική τάση  $V_{Step} = 2,5\%$ .

Επίσης, μπορεί να οριστεί το ακόλουθο σύνολο παραμέτρων για ορισμένους τύπους Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και να κάνει βελτιστοποίηση της πιθανής απόκρισης ελέγχου:

- Χρόνος καθυστέρησης  $T_1$  [s].

Η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει το χρόνο καθυστέρησης  $T_1$  της μεταγωγής, όταν η τάση  $V$  έχει υπερβεί / πέσει κάτω από την άνω / κάτω οριακή τιμή μεταγωγής. Η μεταγωγή ξεκινά μόνο όταν η τάση  $V$  είναι εκτός των οριακών τιμών του εύρους ζώνης, για χρόνο ίσο με το χρόνο καθυστέρησης  $T_1$ . Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αποφύγουμε περιττές μεταγωγικές κινήσεις, εξαιτίας πολύ σύντομων φαινομένων απότομης αύξησης ή μείωσης της τάσης  $V$  (π.χ. από το πολύ σύντομο πέρασμα ενός σύννεφου επάνω από ένα Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πάρκο (σταθμό ΔΠ). Ως εκ τούτου, συνιστάται να τίθεται ως ελάχιστη τιμή του χρόνου καθυστέρησης  $T_1$  μία τιμή ίση περίπου με 10 sec. Σε συνδυασμό με τον κανονισμό  $Q(V)$ , θα μπορούσαν σε ένα ΔΔΗΕ να είναι αποδεκτές, για το χρόνο καθυστέρησης  $T_1$  και τιμές μεγαλύτερες των 10 sec.

- Μεταγωγή υψηλής ταχύτητας.

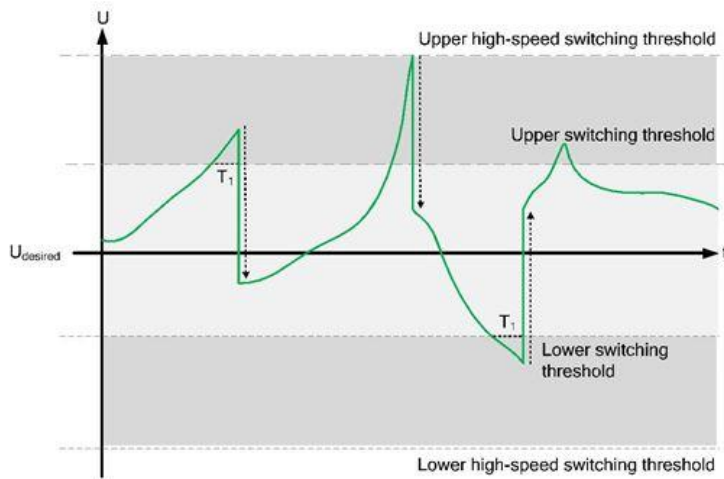
Προκειμένου να έχουμε τη δυνατότητα να ανταποκρινόμαστε γρηγορότερα σε περιπτώσεις μεγαλύτερων αποκλίσεων από την επιθυμητή τιμή τάσης  $V$ , μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή μεταγωγής υψηλής ταχύτητας.

Η πραγματοποίηση της μεταγωγής υψηλής ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί με τις ακόλουθες επιλογές:

- Όριο υψηλής ταχύτητας μεταγωγής, ως ποσοστό επί τοις εκατό [%] σε σχέση με την ονομαστική τάση  $V$ .

Αυτές οι παράμετροι βρίσκονται εκτός του εύρους ζώνης ρύθμισης και διασφαλίζουν ότι στις περιπτώσεις που η τάση  $V$  υπερβεί ή πέσει κάτω από τις

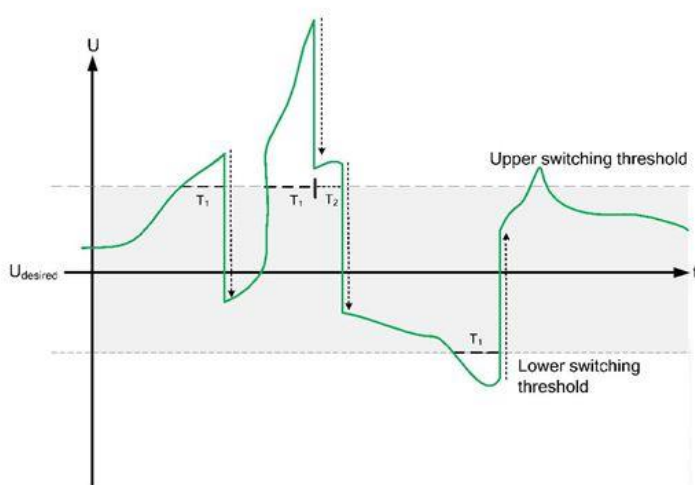
καθορισμένες οριακές τιμές μεταγωγής υψηλής ταχύτητας, η μεταγωγή θα ξεκινήσει άμεσα, παρακάμπτοντας τον προκαθορισμένο χρόνο καθυστέρησης  $T_1$  (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12: Χρήση οριακών τιμών μεταγωγής υψηλής ταχύτητας.

- Συντομότερος χρόνος καθυστέρησης  $T_2$  [s].

Εάν ύστερα από μία μεταγωγή η μετρούμενη τιμή της τάσης  $V$  εξακολουθεί να βρίσκεται εκτός του επιθυμητού ρυθμισμένου εύρους ζώνης, μία δεύτερη μεταγωγή ξεκινά μετά από συντομότερο χρόνο καθυστέρησης  $T_2$  ( $T_2 < T_1$ ) (Εικόνα 3.13). [12]



Εικόνα 3.13: Χρήση συντομότερου χρόνου καθυστέρησης  $T_2$ .

### 3.3.6 Συντελεστής Flicker

Οι διαδικασίες μεταγωγής σε ένα Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ προκαλούν γρήγορες αλλαγές της τάσης και επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή flicker. Η ποσότητα του συντελεστή flicker που παράγεται από τη λειτουργία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, εξαρτάται κυρίως από την βηματική τάση  $V_{Step}$  και τη συχνότητα των μεταγωγών. Η συχνότητα των μεταγωγών επηρεάζεται από το ρυθμισμένο εύρος ζώνης της τάσης  $V$  και τον καθορισμένο χρόνο καθυστέρησης  $T_1$  για την πραγματοποίηση της μεταγωγής. Το πρότυπο IEC 61000 – 3 – 11 μπορεί να τηρείται με κατάλληλη επιλογή αυτών των παραμέτρων (βλέπε παράγραφο § 3.3.5). [12]

### 3.3.7 Ρύθμιση Τάσης Σε Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Που Επιδρούν Και Άλλοι Ρυθμιστές

#### 3.3.7.1 Αλληλεπίδραση Μεταξύ Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Και Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Ισχύος Στον Υποσταθμό Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)), Επίσης Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Μία μεταγωγή στο Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) επηρεάζει όλες τις υποκείμενες τάσεις  $V$  των κόμβων. Η μεταγωγή αυτή στο Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) είναι πιθανό να προκαλέσει μεταγωγή σε ένα Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ που βρίσκεται σε κάποιον υποκείμενο κόμβο του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ).

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί, ότι όλες οι μεταγωγές του Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) δεν έχουν ως αποτέλεσμα την πρόκληση μεταγωγής και στο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ στον υποκείμενο κόμβο. Αυτό εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από την τιμή της τάσης  $V$  λίγο πριν από τη λειτουργία της μεταγωγής και από τη βηματική τάση  $V_{Step}$  του Μ/Σ του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Η πρακτική εμπειρία αλλά και θεωρητικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι μεταγωγές που προκαλούνται στο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ εξαιτίας των μεταγωγών του ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), είναι περιορισμένες και επομένως δεν επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής του Μ/Σ διανομής.

Ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται οι Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε ευρείες περιοχές, η επίδραση στο ρεύμα  $I$  και τη ροή άεργου ισχύος  $Q$  στο ΔΔΗΕ ΜΤ είναι πολύ μικρή. Επομένως, οι Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) δεν επηρεάζονται από την ένταξη και τη λειτουργία στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. [12]

### 3.3.7.2 Αλληλεπίδραση Μεταξύ Μετασηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Και Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Εάν οι παράμετροι ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ έχουν ρυθμιστεί σωστά, η λειτουργία του δεν επηρεάζει σημαντικά την ενεργή ισχύ  $P$  τροφοδοσίας του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ρυθμίσεις τάσης που προκαλούνται από το Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, έχουν ως αποτέλεσμα, μικρές αλλαγές στις ροές ισχύος και η υστέρηση της ρύθμισης διασφαλίζει ότι δεν αντιδρά σε αυτές. Επομένως, οι αλληλεπιδράσεις που σχετίζονται με την ενεργό ισχύ  $P$  μπορούν να αγνοηθούν.

Εάν η άεργη ισχύς  $Q$  παρέχεται υπό ένα σταθερό συντελεστή ισχύος  $\cos \varphi$  ή υπό ένα συντελεστή ισχύος εξαρτώμενο από την ενεργό ισχύ  $\cos \varphi(P)$ , δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε περίπτωση που από το σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται χρήση ρύθμισης  $Q(V)$  στην πλευρά του ΔΔΗΕ ΧΤ, θα πρέπει να σημειωθούν πιθανές αλληλεπιδράσεις με τους Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Για παράδειγμα, μια μεταγωγή που θα γίνει στο Μ/Σ διανομής θα προκαλέσει την αλλαγή της τάσης  $V$ , που με τη σειρά της θα επηρεάσει την παροχή άεργου ισχύος  $Q$  από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εφαρμόζουν ρύθμιση  $Q(V)$ . Και οι δύο διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν παράλληλα, με την κατάλληλη φυσικά παραμετροποίηση. Η περαιτέρω βελτιστοποίηση της παραμετροποίησης αποτελεί αντικείμενο μελέτης. [12]

### 3.3.7.3 Παράλληλη Λειτουργία Μετασηματιστών (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Λεπτομερής αναφορά στην περίπτωση αυτή έγινε στην παράγραφο § 3.3.3.3.

## 3.3.8 Ανάλυση Κόστους-Οφέλους

### 3.3.8.1 Κόστη

Όταν αποφασιστεί η ένταξη στο ΔΔΗΕ ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ θα πρέπει να λάβει υπόψιν του τα κόστη επένδυσης, καθώς και τα λειτουργικά κόστη αυτού. Υπάρχουν επίσης και κάποια αρχικά κόστη, όπως για παράδειγμα αυτό της παραγωγής των εγγράφων τεκμηρίωσης αλλά και της εκπαίδευσης του προσωπικού που θα είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του.

Η επένδυση σε ένα Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ περιλαμβάνει τους ακόλουθους παράγοντες:

- Προμήθεια.

Τα κόστη προμήθειας εξαρτώνται από την επιλεγμένη τεχνική λύση και τις παραμέτρους της. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μονάδα ελέγχου είναι πιθανό να χρειαστεί αντικατάσταση κατά τη συνολική διάρκεια ζωής του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

- Συναρμολόγηση.

Κατά τη φάση συναρμολόγησης του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όχι μόνο τα κόστη εγκατάστασης του ίδιου του Μ/Σ ισχύος, αλλά και τα κόστη εγκατάστασης των αισθητηρίων (π.χ. Μ/Σ έντασης, τάσης, κλπ.) και των ηλεκτρονικών ελέγχου που είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία του.

- Επικοινωνία.

Το κόστος για την εγκατάσταση προαιρετικού συστήματος μεταφοράς δεδομένων στο κέντρο ελέγχου εξαρτάται από τον τύπο του διαύλου επικοινωνίας και από τον όγκο των δεδομένων που θα πρέπει να μεταφέρονται-ανταλλάσσονται. Γενικά δεν απαιτείται υποχρεωτική εγκατάσταση επικοινωνίας όταν ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ λειτουργεί με μία σταθερή επιθυμητή τιμή τάσης  $V$  ή με μία επιθυμητή τιμή τάσης  $V$  που εξαρτάται από τη ροή ισχύος. Εάν όμως λειτουργεί με αισθητήρες για απομακρυσμένες μετρήσεις, θα πρέπει να υπολογίσουμε το επιπλέον κόστος για την υλοποίηση της επικοινωνιακής σύνδεσης αυτών των αισθητήρων.

- Τεκμηρίωση.

Όταν εγκαθίσταται και τίθεται σε λειτουργία ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν από το διαχειριστή του ΔΔΗΕ η τεκμηρίωση των τεχνικών δεδομένων του και η εισαγωγή του στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (Geographical Information System (GIS)).

Σε σύγκριση με ένα συμβατικό Μ/Σ διανομής, υπάρχουν μόνο μικρές διαφορές όσον αφορά το λειτουργικό κόστος, υπό την προϋπόθεση βέβαια της μη ύπαρξης συστήματος επικοινωνίας. Το κόστος συντήρησης ενός Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) στον οποίο είναι εγκατεστημένος Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, δεν είναι σημαντικά υψηλότερο σε σύγκριση με την περίπτωση που στον ίδιο Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) θα ήταν εγκατεστημένος ένας συμβατικός Μ/Σ ισχύος. Επίσης και πάλι συγκρίνοντας με την περίπτωση ενός συμβατικού Μ/Σ διανομής, δεν θα πρέπει να αναμένουμε κάποια σημαντική αύξηση των ηλεκτρικών απωλειών. Οι Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ που είναι πλέον διαθέσιμοι στην αγορά ικανοποιούν τη σχετική από το 2015 οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για οικολογικό σχεδιασμό (DIRECTIVE (EU) no. 548/2014 (ECODESIGN DIRECTIVE)). [12]

### 3.3.8.2 Οφέλη

Τα περισσότερα από τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, αναφέρονται παρακάτω:

- Εναλλακτική λύση έναντι της συμβατικής ενίσχυσης του ΔΔΗΕ.

- Μεγαλύτερη ευελιξία και αύξηση της χωρητικότητας του ΔΔΗΕ.
- Μείωση της πολυπλοκότητας.
- Εξοικονόμηση στο δευτερεύον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ).

Το κυριότερο πλεονέκτημα της εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, είναι ότι αυτό μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να αποτελέσει εναλλακτική λύση, έναντι της συμβατικής ενίσχυσης του ΔΔΗΕ ΜΤ και ΧΤ. Τέτοιου είδους εφαρμογές έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο § 3.3.2. Η συμβατική ενίσχυση του ΔΔΗΕ είναι αναγκαία πολλές φορές για να μπορεί να ικανοποιηθεί η απαίτηση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής τάσης  $V$ , εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων. Συνήθως, το κόστος εγκατάστασης των καλωδιακών γραμμών αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους των έργων ενίσχυσης του ΔΔΗΕ, εξαιτίας και του υψηλού κόστους των υπόγειων εργασιών. Με την εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, μπορεί πολύ συχνά να αναβληθεί ή ακόμη και να αποτραπεί τελείως η δαπανηρή συμβατική ενίσχυση του ΔΔΗΕ.

Το ερώτημα αν η εγκατάσταση στο ΔΔΗΕ και θέση σε λειτουργία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι μια οικονομικότερη εναλλακτική επιλογή, έναντι της συμβατικής ενίσχυσης του ΔΔΗΕ, εξαρτάται από την έκταση του ΔΔΗΕ στην οποία θα αποφευχθεί η συμβατική ενίσχυση, εξαιτίας της εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Το κόστος της ενίσχυσης του ΔΔΗΕ εξαρτάται κυρίως από παράγοντες όπως η φύση του εδάφους και της επιφάνειας (προφανώς το κόστος ενίσχυσης του ΔΔΗΕ στις αστικές περιοχές είναι υψηλότερο από ότι στις αγροτικές). Ανάλογα με τους παραπάνω αναφερόμενους παράγοντες, η εγκατάσταση στο ΔΔΗΕ και θέση σε λειτουργία ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, είναι τις περισσότερες φορές μία πιο οικονομική από πλευράς κόστους εναλλακτική λύση, έναντι της συμβατικής ενίσχυσης του ΔΔΗΕ.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα από τη χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, είναι η μεγαλύτερη ευελιξία και ευρωστία που προσδίδουν στις εφαρμογές, ειδικά έναντι και μελλοντικών αβεβαιοτήτων. Ενώ για την ενίσχυση των καλωδιακών γραμμών απαιτούνται συνήθως μακροχρόνιες διαδικασίες σχεδιασμού, έγκρισης και εφαρμογής, οι σύντομοι χρόνοι που σχετίζονται με τους Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (προγραμματισμός, προμήθεια, υλοποίηση), μας παρέχουν τη δυνατότητα γρήγορων λύσεων σε περιπτώσεις που είναι αναγκαία επιπρόσθετη παραγόμενη ισχύς. Επίσης, μπορεί να αποφευχθεί ο κίνδυνος των λεγόμενων λανθασμένων επενδύσεων (stranded investments) (κόστη ενίσχυσης του ΔΔΗΕ τα οποία τελικά αποδεικνύονται περιττά όταν τα έργα για την εξυπηρέτηση των οποίων αποφασίστηκε η ενίσχυση δεν προχωρούν πραγματικά), αφού ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από ένα συμβατικό Μ/Σ διανομής και προφανώς ο πρώτος να εγκατασταθεί και να τεθεί σε λειτουργία σε κάποια άλλη τοποθεσία και σημείο του ΔΔΗΕ.

Η χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν σε αρκετές περιπτώσεις διασύνδεσης διαφορετικών ΔΔΗΕ, σε σχέση με τη διατήρηση της σταθερότητας της τιμής της τάσης  $V$ . Η μείωση της πολυπλοκότητας, σε περιπτώσεις όπως η διασύνδεση διαφορετικών ΔΔΗΕ, από την εγκατάσταση σε αυτά και θέση σε λειτουργία Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, απλοποιεί τη διαχείριση του ΔΔΗΕ.

Πληροφορίες σχετικά με την εξοικονόμηση που μπορούμε να πετύχουμε στο δευτερεύον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), από την εγκατάσταση σε αυτόν Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, δίδονται και στην παράγραφο § 3.3.2.2 που αναφέρεται στη βελτιστοποίηση της τοπολογίας του ΔΔΗΕ. [12]

### **3.3.8.3 Ρυθμιστικές Πτυχές**

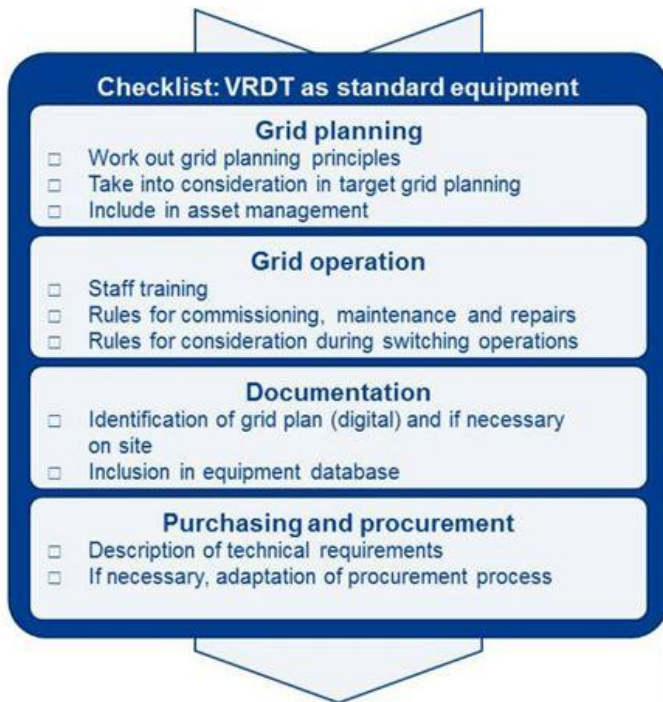
Από κανονιστική άποψη, η εγκατάσταση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ αποτελεί μία κεφαλαιακή επένδυση (CAPital EXpenditure (CAPEX)) και όπως και η συμβατική ενίσχυση του ΔΔΗΕ αυξάνει το κεφάλαιο των παγίων και αποδίδει και τόκους.

Εξαιτίας του κανονισμού «τεχνολογικής ουδετερότητας» για την παροχή κινήτρων, η χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ δεν παρεμποδίζεται, αλλά ούτε και ενθαρρύνεται ιδιαίτερα. Οι Μ/Σ διανομής λοιπόν, με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, αποτελούν μία καλή επένδυση όταν αντιπροσωπεύουν την καλύτερη επιλογή από τεχνική και οικονομική άποψη. [12]

### **3.3.9 Ο Μετασηματιστής (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) Ως Βασικός Εξοπλισμός**

Οι πτυχές που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ απεικονίζονται στην Εικόνα 3.14.

Σε περιπτώσεις ενίσχυσης του ΔΔΗΕ ΧΤ σχετιζόμενες με την τάση  $V$  και/ή προσθήκης Υ/Σ διανομής (ΜΤ /ΧΤ) για λόγους σχετιζόμενους με την απόδοση και/ή αντικατάστασης Μ/Σ ισχύος, η επιλογή εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργίας στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει να διερευνάται με κριτήρια κόστους, αποτελεσματικότητας, τεχνικής καταλληλότητας και ανθεκτικότητας (για συγκεκριμένη πρόβλεψη παραγωγής / φορτίου  $L$ , πιθανότητα προσθηκών και εναπομένουσα διάρκεια ζωής) ως εναλλακτική επιλογή, έναντι των συμβατικών μέτρων ενίσχυσης του ΔΔΗΕ. [12]

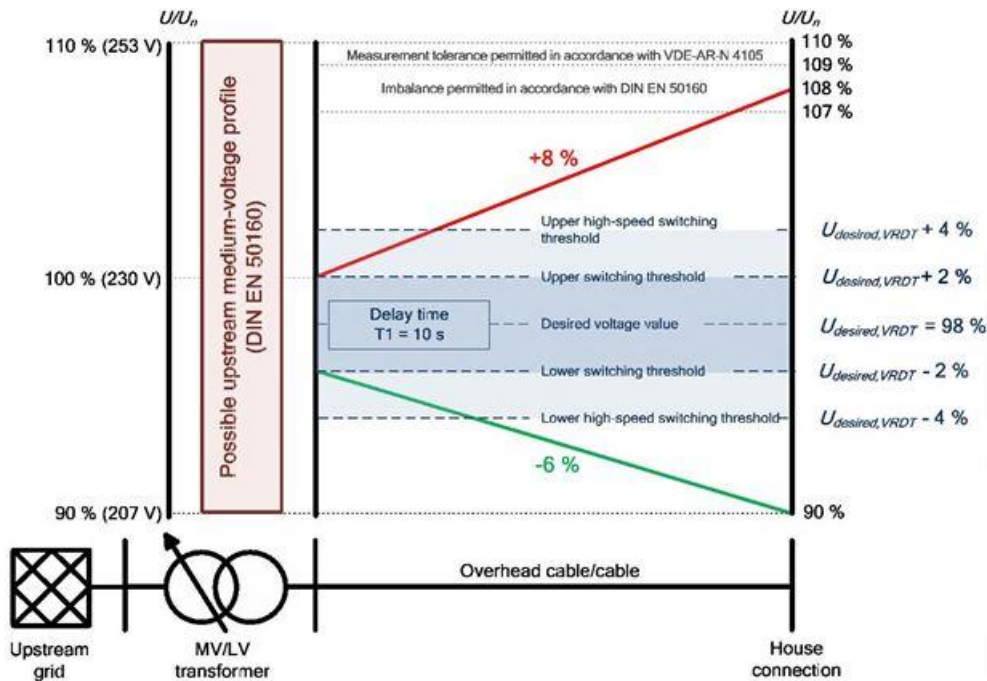


Εικόνα 3.14: Πτυχές που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

### 3.3.9.1 Αποφεύγοντας Την Ενίσχυση Του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)

Τα επιλεγμένα κριτήρια σχεδιασμού του ΔΔΗΕ που αναφέρονται παρακάτω, προϋποθέτουν την πλήρη αποσύνδεση από τη ζώνη ΜΤ του ΔΔΗΕ, ένα Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και εύρος ρύθμισης  $\pm 10\%$ , 9 θέσεις τυλιγμάτων και βηματική τάση  $V_{Step} = 2,5\%$ . Θεωρούμε επίσης ότι ο συγκεκριμένος Μ/Σ ισχύος έχει παραμετροποιηθεί έτσι ώστε να πραγματοποιεί ρύθμιση σε μία σταθερή τιμή τάσης  $V$ . Το παρακάτω παράδειγμα αναφέρεται επίσης σε επιθυμητή τιμή τάσης  $V$ , τουλάχιστον ίση με το 98% της ονομαστικής τιμής της. Εάν η λειτουργία του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ βασίζεται στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η επιλεγόμενη επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  μπορεί να αυξηθεί όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.15.





Εικόνα 3.15: Παράδειγμα κατανομής της ζώνης τάσης  $V$  με χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και επιλεγμένη επιθυμητή τιμή τάσης  $V$ , ίσης τουλάχιστον με το 98% της ονομαστικής της τιμής.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγεται ως ρυθμιστικό εύρος ζώνης (εύρος μεταξύ ανώτερου και κατώτατου ορίου μεταγωγής) ένα ποσοστό ίσο με το 4% της ονομαστικής τάσης  $V$ , δηλαδή όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο § 3.3.5.2, 1,6 φορές επί τη βηματική τάση  $V_{Step}$  ( $1,6 \times 2,5\% = 4\%$ ). Σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN 50160, για το διαχειριστή του ΔΔΗΕ είναι διαθέσιμο ένα ποσοστό ίσο με το 10% της ονομαστικής τάσης  $V$ . Λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή προστασίας του 1% που μας επιτρέπει το πρότυπο VDE-AR-N 4105, μεταξύ της καθορισμένης τιμής και της τιμής ενεργοποίησης έναντι αυξήσεων τάσης  $V$ , ένα αντίστοιχο εύρος 1% δεσμεύεται στη ζώνη τάσης στην Εικόνα 3.15. Επιπλέον, ανισορροπίες τάσης (σύστημα αρνητικής ακολουθίας / σύστημα θετικής ακολουθίας) έως το ποσοστό 2% της ονομαστικής τιμής της τάσης  $V$  είναι αποδεκτές, σύμφωνα και με το πρότυπο DIN EN 50160. Στο παράδειγμά μας αρχικά θεωρούμε ότι έχουμε περίπτωση τροφοδοσίας από σταθμό ΔΠ προς το Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και υποθέτουμε ότι είναι στο 1% της ζώνης τάσης  $V$ . Μετέπειτα, θεωρούμε την περίπτωση φορτίου  $L$  (χρησιμοποιώντας στο παράδειγμά μας ένα ποσοστό 6%), όπως έχει γίνει και κατά τον τυπικό σχεδιασμό του ΔΔΗΕ.

Όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 3.15, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτρέπεται μία μέγιστη αργή αύξηση της τάσης  $V$  στο ΔΔΗΕ, ίσης με το ποσοστό του 8% για την περίπτωση σταθμού ΔΠ και μία μείωση της τάσης  $V$  ίσης με το ποσοστό του 6% για την περίπτωση φορτίου  $L$ .

Εάν υποθέσουμε ότι οι ανισορροπίες που επιτρέπονται από το πρότυπο DIN EN 50160 έχουν εξαντληθεί πλήρως, η επιτρεπόμενη αργή αλλαγή τάσης  $V$  θα πρέπει να μειωθεί σε σχέση με το παραπάνω ποσοστό.

Για την περίπτωση υπολογισμών σε ΔΔΗΕ στο οποίο έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, θα πρέπει να δοθεί πολύ μεγάλη προσοχή στο επίπεδο χρήσης του εξοπλισμού. Αυτό ισχύει ειδικά για τη χρήση των δευτερευόντων Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), των υπάρχοντων καλωδιακών γραμμών και των εναέριων καλωδιακών γραμμών.

#### Επιτρεπόμενες αργές μεταβολές της τάσης V.

Κατά τη διάρκεια της ομαλής λειτουργίας του ΔΔΗΕ, όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 3.15, το επίπεδο των μεταβολών της τάσης V που προκαλούνται από όλους τους σταθμούς ΔΠ που συνδέονται στο ΔΔΗΕ ΧΤ, δε θα πρέπει να υπερβαίνει το ποσοστό του 8% της ονομαστικής τάσης V, συγκριτικά με την τιμή της τάσης V που θα είχαμε στην περίπτωση που δε θα συνδεόντουσαν οι σταθμοί ΔΠ σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ:

$$\Delta V \leq 8\%.$$

Σύμφωνα και με το πρότυπο VDE-AR-N 4105, η τιμή  $\Delta V \leq 3\%$  μπορεί να αποκλίνει δικαιολογημένα σε κάποιες απομονωμένες περιπτώσεις, βάσει και των απαιτήσεων του διαχειριστή του ΔΔΗΕ. Η χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι μια τέτοια περίπτωση.

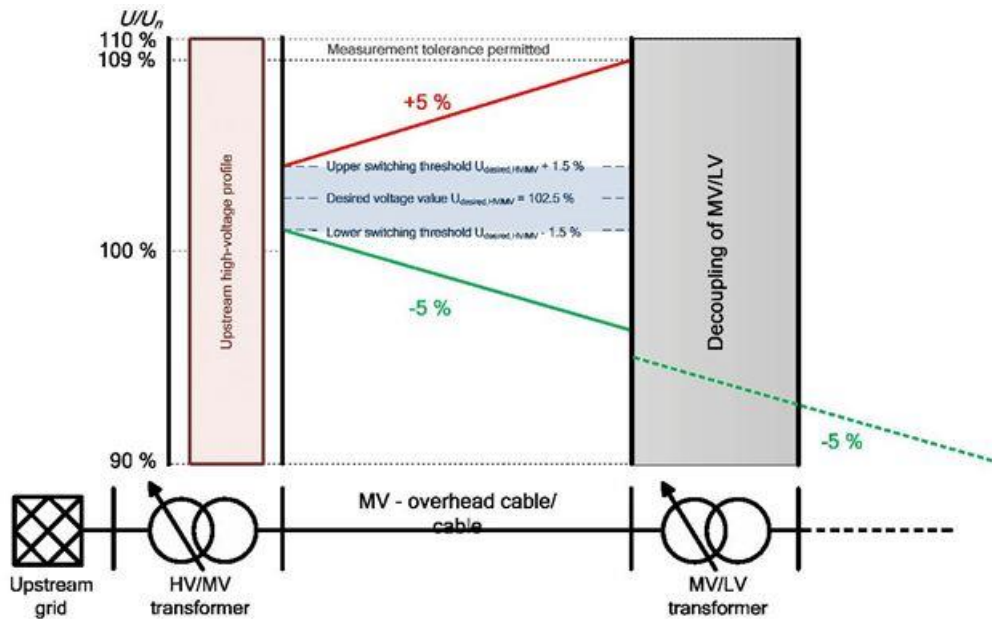
#### Επιτρεπόμενες ταχείες μεταβολές της τάσης V.

Οι μεταβολές της τάσης V που προκαλούνται σε ένα Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) του ΔΔΗΕ από την ταυτόχρονη ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των σταθμών ΔΠ, δεν έχουν ως αποτέλεσμα μη επιτρεπόμενες διαταραχές του ΔΔΗΕ, όταν η μέγιστη μεταβολή της τάσης V δεν υπερβαίνει το ποσοστό του 3% της ονομαστικής της τιμής στο ΣΚΣ:

$$\Delta V \leq 3\% \text{ (σύμφωνα και με το πρότυπο VDE-AR-N 4105). [12]}$$

### **3.3.9.2 Αποφεύγοντας Την Ενίσχυση Του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Μέσης Τάσης (ΜΤ)**

Τα κριτήρια σχεδιασμού του ΔΔΗΕ στο οποίο αναφερόμαστε παρακάτω, προϋποθέτουν την πλήρη αποσύνδεση των ζωνών τάσης V, Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και εύρος ρύθμισης  $\pm 10\%$ , 9 θέσεις τυλιγμάτων και βηματική τάση  $V_{Step} = 2,5\%$ . Σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN 50160, για το διαχειριστή του ΔΔΗΕ είναι διαθέσιμο ένα ποσοστό ίσο με το 10% της ονομαστικής τάσης V. Λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή προστασίας του 1% που μας επιτρέπει το πρότυπο VDE-AR-N 4105, μεταξύ της καθορισμένης τιμής και της τιμής ενεργοποίησης έναντι αυξήσεων τάσης V, ένα αντίστοιχο εύρος 1% παρέχεται στη ζώνη τάσης στην Εικόνα 3.16, όσον αφορά το ΔΔΗΕ ΜΤ. Επιπλέον, σύμφωνα και με το πρότυπο DIN EN 50160, επιτρέπονται ανισορροπίες της τάσης V ίσες με το ποσοστό του 2% της ονομαστικής της τιμής. Στο παράδειγμά μας το ποσοστό αυτό του 2% έχει ληφθεί υπόψη.



Εικόνα 3.16: Παράδειγμα κατανομής της ζώνης τάσης  $V$ , με χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ στη ΜΤ.

Κατά τη διανομή της ζώνης τάσης  $V$  πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, επιπρόσθετα με τις απαιτήσεις που ορίζονται στο πρότυπο DIN EN 50160, η αποτελεσματική τροφοδοσία και η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος για την εξυπηρέτηση του φορτίου  $L$  που έχει ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός. Σε περίπτωση διαμόρφωσης της ζώνης τάσης  $V$ , όταν υπερέχουν οι σταθμοί ΔΠ στο ΔΔΗΕ ΜΤ, για να γίνει εφικτή μία αξιολόγηση που θα καλύπτει όλες τις περιοχές, θα πρέπει να αξιολογούνται όλοι οι δευτερεύοντες Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της περιοχής που εξυπηρετείται από τον πρωτεύοντα Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ). Οι Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) εκείνοι που παρουσιάζουν αυξημένες τιμές τάσης  $V$ , θα πρέπει να εξοπλίζονται με Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (δηλαδή να εξετάζονται όλες οι περιοχές και να χρησιμοποιούνται Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, όπου απαιτείται). Εάν η επιτρεπόμενη πτώση τάσης στο ΔΔΗΕ ΧΤ είναι 5%, στο Μ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) είναι 1% και η επιτρεπόμενη πτώση τάσης για τους υπόλοιπους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) στο επίπεδο του ΔΔΗΕ ΜΤ είναι 5%, αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επιθυμητή τιμή της τάσης να είναι ίση με το 102,5% της ονομαστικής της τιμής  $V$ , για ένα εύρος ρύθμισης στο Μ/Σ ισχύος του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) ίσο με 3%. Με τη βοήθεια της Εικόνας 3.16, μπορούμε να δούμε ότι αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέγιστη επιτρεπόμενη αργή αύξηση της τάσης  $V$  στο ΔΔΗΕ ΜΤ να είναι ίση με το 5% της ονομαστικής της τιμής  $V$ , για την περίπτωση σταθμών ΔΠ και η αντίστοιχη μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση της τάσης για την περίπτωση φορτίου  $L$ , επίσης ίση με το 5% της ονομαστικής της τιμής  $V$ .

Εάν χρησιμοποιούνταν Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ σε όλες τις περιοχές του ΔΔΗΕ, σύμφωνα και με το πρότυπο EN 50160, ολόκληρη η ζώνη τάσης  $V$  θα ήταν διαθέσιμη τόσο στο επίπεδο ΜΤ του ΔΔΗΕ, όσο και στο επίπεδο ΧΤ, ανεξάρτητα από την αλληλεπίδραση του ενός με το άλλο. Εάν είναι αναγκαίο, η επιθυμητή τιμή της τάσης  $V$  στο Μ/Σ του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), μπορεί να μειωθεί περαιτέρω, προκειμένου να μπορεί

να επιτραπεί η ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της ήδη αυξημένης τάσης  $V$  στην πλευρά της ΜΤ του ΔΔΗΕ.

Για την περίπτωση υπολογισμών σε ΔΔΗΕ στο οποίο έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, θα πρέπει να δοθεί πολύ μεγάλη προσοχή στο επίπεδο χρήσης του εξοπλισμού. Αυτό ισχύει ειδικά για τη χρήση των υπαρχόντων καλωδιακών γραμμών και των εναέριων καλωδιακών γραμμών.

#### Επιτρεπόμενες αργές μεταβολές της τάσης $V$ .

Κατά τη διάρκεια της ομαλής λειτουργίας του ΔΔΗΕ, όπως αυτή που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.16, το επίπεδο των μεταβολών της τάσης  $V$  που προκαλούνται από όλους του σταθμούς ΔΠ που συνδέονται στο ΔΔΗΕ ΧΤ, δε θα πρέπει να υπερβαίνει το ποσοστό του 5% της ονομαστικής τάσης  $V$ , συγκριτικά με την τιμή της τάσης  $V$  που θα είχαμε στην περίπτωση που δε θα συνδεόντουσαν οι σταθμοί ΔΠ σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ:

$$\Delta V \leq 5\%.$$

Η τιμή  $\Delta V \leq 2\%$  μπορεί να αποκλίνει δικαιολογημένα σε κάποιες απομονωμένες περιπτώσεις, βάσει και των απαιτήσεων του διαχειριστή του ΔΔΗΕ. Η χρήση σε όλες τις περιοχές του ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και η ταυτόχρονη μικρή αύξηση της τιμής της τάσης  $V$  στο ΔΔΗΕ ΜΤ, λόγω των σταθμών ΔΠ που συνδέονται στο ΔΔΗΕ ΧΤ, είναι μία τέτοια περίπτωση.

#### Επιτρεπόμενες ταχείες μεταβολές της τάσης $V$ .

Οι μεταβολές της τάσης  $V$  που προκαλούνται σε ένα ΣΚΣ του ΔΔΗΕ από την ταυτόχρονη ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των σταθμών ΔΠ, δεν έχουν ως αποτέλεσμα μη επιτρεπόμενες διαταραχές του ΔΔΗΕ, όταν η μέγιστη μεταβολή της τάσης  $V$  δεν υπερβαίνει το ποσοστό του 2% της ονομαστικής της τιμής στο ΣΚΣ:

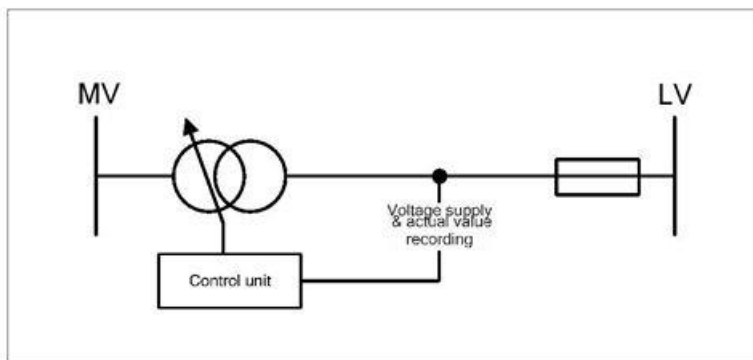
$$\Delta V \leq 2\%.$$

Οι δυνητικές καταστάσεις λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένης τόσο της ομαλής λειτουργίας, όσο και των πιθανών βλαβών σε ένα Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, πρέπει να απεικονίζονται και να είναι ορατές στη μονάδα ελέγχου. Επίσης, θα πρέπει να απεικονίζεται η τρέχουσα θέση του τυλίγματος του ΣΑΤΥΦ, καθώς και να διασφαλίζεται εάν χρειαστεί η επί τόπου χειροκίνητη λειτουργία του. Ακόμη, η χειροκίνητη λειτουργία θα πρέπει να περιλαμβάνει την εναλλαγή μεταξύ χειροκίνητης και αυτόματης λειτουργίας και την επιλογή χειροκίνητων μεταγωγών της θέσης του ΣΑΤΥΦ κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. [12]

## 3.4 Πληροφορίες Λειτουργίας

### 3.4.1 Αρχική Θέση Σε Λειτουργία Του Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Όταν ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ εγκαθίσταται στο ΔΔΗΕ και τίθεται για πρώτη φορά σε λειτουργία, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι προδιαγραφές του κατασκευαστή καθώς και η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω. Θα πρέπει προφανώς να έχουν προκαθοριστεί όλες οι παράμετροι ελέγχου, έτσι ώστε η επί τόπου παραμετροποίηση και η έναρξη λειτουργίας του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ να μην είναι μία χρονοβόρα διαδικασία. Επίσης, θα πρέπει να είναι διασφαλισμένη η παροχή τροφοδοσίας στη μονάδα ελέγχου, ακόμη και αν δεν έχει ενεργοποιηθεί η πλευρά της ΧΤ του ΔΔΗΕ (Εικόνα 3.17).



Εικόνα 3.17: Διασφαλίζοντας τάση τροφοδοσίας για τη μονάδα ελέγχου.

Όταν ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ ενεργοποιείται για πρώτη φορά, θα πρέπει να επιθεωρηθεί διεξοδικά, σύμφωνα και με τα συνήθη κριτήρια που ισχύουν και για έναν συμβατικό Μ/Σ διανομής. Τα επιπρόσθετα εξαρτήματά του, όπως η μονάδα ελέγχου, θα πρέπει να ελέγχονται σε σχέση με την τάση τροφοδοσίας και την καλωδίωσή τους. Ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει αρχικά να ενεργοποιηθεί σε συνθήκες πλήρους αδράνειας της πλευράς της ΜΤ του ΔΔΗΕ. Στη συνέχεια ενεργοποιείται η μονάδα ελέγχου του. Για το ρυθμιστή της τάσης, αρχικά, επιλέγεται η θέση λειτουργίας «Χειροκίνητο». Αμέσως μετά, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν ακριβείς μετρήσεις (με τη χρήση κατάλληλου πολυμέτρου), για τον έλεγχο της τάσης εξόδου  $V$  του Μ/Σ ισχύος, σε όλες τις θέσεις τυλιγμάτων του, ώστε να δοκιμαστεί ο ρυθμιστής της τάσης  $V$ . Θα πρέπει να ελέγξουμε την τάση εξόδου  $V$  σε όλες τις πιθανές θέσεις των τυλιγμάτων του και στις ακραίες θέσεις, πραγματοποιώντας χειροκίνητες μεταγωγές έως αυτές. Ακολούθως, δοκιμάζεται για το ρυθμιστή της τάσης  $V$  η επιλογή «Αυτόματης» λειτουργίας. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή ελέγχου του ρυθμιστή της τάσης  $V$ , θα πρέπει να επιλεγεί η «Αυτόματη» λειτουργία του.

Ο εσωτερικός αλγόριθμος λειτουργίας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει να διασφαλίζει ότι αυτόματα προσεγγίζει το εύρος λειτουργίας του, όπως αυτό καθορίζεται από τις παραμέτρους που έχουν τεθεί. Αυτό επίσης θα πρέπει να ελέγχεται ξανά, με τη χρήση ενός πολυμέτρου όσο δυνατόν μεγαλύτερης ακρίβειας. Η τάση  $V$  θα πρέπει πάντα να βρίσκεται εντός του ρυθμισμένου εύρους ζώνης.

Εάν όλα λειτουργούν σωστά, ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει να ρυθμιστεί στο «Χειροκίνητο» και να προσαρμοστεί στην πλευρά της ΧΤ του ΔΔΗΕ. Στη συνέχεια μπορεί να ενεργοποιηθεί. Μόλις επιβεβαιωθεί η κανονική λειτουργία των μεταγωγών, ο ρυθμιστής θα πρέπει να τεθεί σε «Αυτόματη» λειτουργία. Η τάση εξόδου  $V$  θα πρέπει να ελέγχεται ξανά και για αυτήν την περίπτωση λειτουργίας. [12]

### 3.4.2 Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Κατά την αντιμετώπιση προβλημάτων λειτουργίας ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι σχετικές οδηγίες του κατασκευαστή. Αρχικά, θα πρέπει πάντα να επανεκκινείται η μονάδα ελέγχου. Εάν το σφάλμα λειτουργίας παραμένει, θα πρέπει να ληφθούν περαιτέρω μέτρα για τον εντοπισμό της πηγής του σφάλματος, όπως αυτά αναφέρονται στην παράγραφο § 3.4.1. Μπορούν επίσης, στην περίπτωση αυτή, να χρησιμοποιηθούν τρόποι διάγνωσης σφαλμάτων που προτείνονται από τον κατασκευαστή του Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, όπως η διάγνωση μέσω της διεπαφής με τη μονάδα ελέγχου, η οπτική απεικόνιση του σφάλματος στην οθόνη της μονάδας ελέγχου και η διάγνωση του σφάλματος με χρήση λογισμικού. Η αντιμετώπιση προβλημάτων λειτουργίας ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί επίσης να απαιτεί σε κάποιες περιπτώσεις, επί τόπου, στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) όπου έχει εγκατασταθεί και τεθεί σε λειτουργία, αντικαταστάσεις στοιχείων του εξοπλισμού του. [12]

### 3.4.3 Χρησιμοποιώντας Τροφοδοσία Έκτακτης Ανάγκης

Όταν χρησιμοποιείται τροφοδοσία έκτακτης ανάγκης, ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί γενικά να παραμείνει σε κατάσταση «Αυτόματης» λειτουργίας.

Εναλλακτικά, ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να συμπεριφερθεί όπως ένας συμβατικός Μ/Σ ισχύος, απενεργοποιώντας την αυτόματη μονάδα ελέγχου του. Για να γίνει αυτό εφικτό, θα πρέπει ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ να ρυθμιστεί σε «Χειροκίνητη» κατάσταση λειτουργίας πριν την ενεργοποίηση της τροφοδοσίας έκτακτης ανάγκης. Μόλις το τροφοδοτικό έκτακτης ανάγκης πάρει το φορτίο, ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να αποσυνδεθεί. Η επανενεργοποίησή του θα πρέπει πρώτα να γίνει μόνο στην πλευρά της ΜΤ του ΔΔΗΕ. Πριν την ενεργοποίηση και στην πλευρά της ΧΤ του ΔΔΗΕ, η δευτερεύουσα τάση  $V$  θα πρέπει να ευθυγραμμιστεί με την τάση  $V$  του ΔΔΗΕ, κάνοντας χρήση των εντολών (μέσω κουμπιών) «Αύξησης» / «Μείωσης». Ακολούθως, η τροφοδοσία έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να αποσυνδέεται από

το ΔΔΗΕ. Μόλις επιβεβαιωθεί η κανονική κατάσταση της μεταγωγικής λειτουργίας, η μονάδα ελέγχου θα πρέπει και πάλι να τεθεί σε "Αυτόματο" τρόπο λειτουργίας.

Συνήθως, χρησιμοποιούνται και οι δύο επάνω αναφερόμενες διαδικασίες. [12]

#### **3.4.4 Διασυνδέοντας Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)**

Κατά τη διασύνδεση ΔΔΗΕ ΧΤ θα πρέπει να ελέγχεται η αλληλουχία των φάσεων και η διαφορά στην τάση τους  $V$ . Εάν η αλληλουχία φάσεων μεταξύ των διαφορετικών ΔΔΗΕ ΧΤ που διασυνδέουμε είναι διαφορετική, θα πρέπει να καθοριστεί η ορθή αλληλουχία αυτών. Επίσης, εάν η διαφορά στην τάση τους  $V$  είναι πολύ μεγάλη, ο Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ μπορεί να αξιοποιηθεί μεταβαίνοντας στη «Χειροκίνητη» λειτουργία και πραγματοποιώντας χειροκίνητες μεταγωγές, με χρήση των εντολών (μέσω κουμπιών) «Αύξησης» / «Μείωσης». Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η διαφορά της τάσης  $V$  των διαφορετικών ΔΔΗΕ ΧΤ που θέλουμε να διασυνδέσουμε και / ή ο λόγος μετασχηματισμού είναι ισορροπημένος, ώστε να καθίσταται εφικτή η διασύνδεσή τους. Μετά την αποκατάσταση της κανονικής κατάστασης της μεταγωγικής λειτουργίας, η μονάδα ελέγχου πρέπει να επαναρυθμιστεί σε «Αυτόματη» λειτουργία. [12]

#### **3.4.5 Συντήρηση Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)**

Ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ δεν απαιτεί επιπλέον εργασίες συντήρησης συγκριτικά με ένα συμβατικό Μ/Σ ισχύος ενός Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ).

Κατά τη διάρκεια της συντήρησης του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) προτείνεται να ελέγχεται η ορθή λειτουργία του Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, με το ίδιο ακριβώς τρόπο και ακολουθώντας τις ίδιες διαδικασίες όπως αυτές που εφαρμόζονται κατά την αρχική του θέση σε λειτουργία. Μπορεί επίσης να εξεταστεί ως ορθή πολιτική συντήρησης, η αποδοχή των συνθηκών ή των τιμών εκείνων της κατάστασης που προτείνονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της συντήρησής του (π.χ. συντήρηση ύστερα από έναν συγκεκριμένο αριθμό λειτουργιών μεταγωγής ή ύστερα από κάποια έτη λειτουργίας). [12]

#### **3.4.6 Προαιρετική Σύνδεση Με Τεχνολογίες Πληροφοριών Και Επικοινωνίας**

Τα οφέλη της χρήσης στο ΔΔΗΕ ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ ξεκινούν με τον αυτόνομο έλεγχο αυτού. Επομένως, δεν υπάρχει η ανάγκη για την απομακρυσμένη σύνδεσή του με το κέντρο ελέγχου του ΔΔΗΕ για την αναφορά των δεδομένων μετρήσεων και της κατάστασής του.

Ωστόσο, οι σύγχρονες τεχνολογίες Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ παρέχουν την επιλογή σύνδεσης με τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας και μπορούν να ενσωματωθούν, εάν είναι απαραίτητο, σε υψηλότερου επιπέδου οντότητες

ελέγχου. Η σύνδεση ενός Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ με τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας μπορεί να κυμαίνεται από μία απλή ένδειξη σφάλματος, έως την ολοκληρωμένη ενσωμάτωση σε μία υποδομή ελέγχου και μέτρησης ή ακόμη και μία σύνδεση με το κέντρο ελέγχου του ΔΔΗΕ, χρησιμοποιώντας κοινά πρωτόκολλα του τομέα της παροχής ενέργειας. [12]



## Κεφάλαιο 4

### Προσομοιώσεις Και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

#### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε το πειραματικό μέρος της μεταπτυχιακής εργασίας. Ένα μεγάλο μέρος του χρόνου που αφιερώθηκε στην εργασία, αφορούσε την κατασκευή στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator διαφόρων μοντέλων Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ), με ή χωρίς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ). Τα ΔΔΗΕ αυτά μελετήθηκαν ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους σε σχέση με την παρουσία Μετασχηματιστών (Μ/Σ) διανομής με ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ). Παρακάτω θα παραθέσουμε κάποια από τα πιθανά σενάρια ΔΔΗΕ από το σύνολο αυτών που μελετήσαμε, τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε για τη σωστή και ομαλή λειτουργία τους υπό την παρουσία ή μη σταθμών ΔΠ και τέλος τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να ξεπεραστούν τα προβλήματα πτώσης και ανύψωσης της τάσης  $V$  στα ΔΔΗΕ. Αξίζει εδώ να τονίσουμε ότι όλες οι τιμές των ωμικών αντιστάσεων  $[R]$ , των επαγωγικών αντιδράσεων  $[X]$ , των μηκών  $[L]$  των γραμμών μεταφοράς, καθώς και τα φορτία  $L$  Μέσης (ΜΤ) και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ), αναφέρονται σε πραγματικές τιμές που συναντάμε σε ΔΔΗΕ ΜΤ και ΧΤ.

#### 4.2 Πρόγραμμα PowerWorld Simulator

Για τη μελέτη των ΔΔΗΕ που εξετάζονται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό προσομοίωσης PowerWorld Simulator ([PowerWorld » The visual approach to electric power systems](#)). [13]

Το PowerWorld Simulator είναι ένα διαδραστικό πρόγραμμα προσομοίωσης, το οποίο έχει σχεδιαστεί ώστε για να εξετάζει Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) Υψηλής (ΥΤ) κυρίως, αλλά και ΜΤ. Το πρόγραμμα διαθέτει τη δυνατότητα επίλυσης ροών φορτίου για ΣΗΕ που αποτελούνται έως και από 250.000 ζυγούς. Ωστόσο, στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε η εκπαιδευτική, δωρεάν έκδοσή του υπ' αριθμό 21, με δυνατότητα ένταξης στα μοντέλα προσομοίωσης έως και 13 ζυγών.

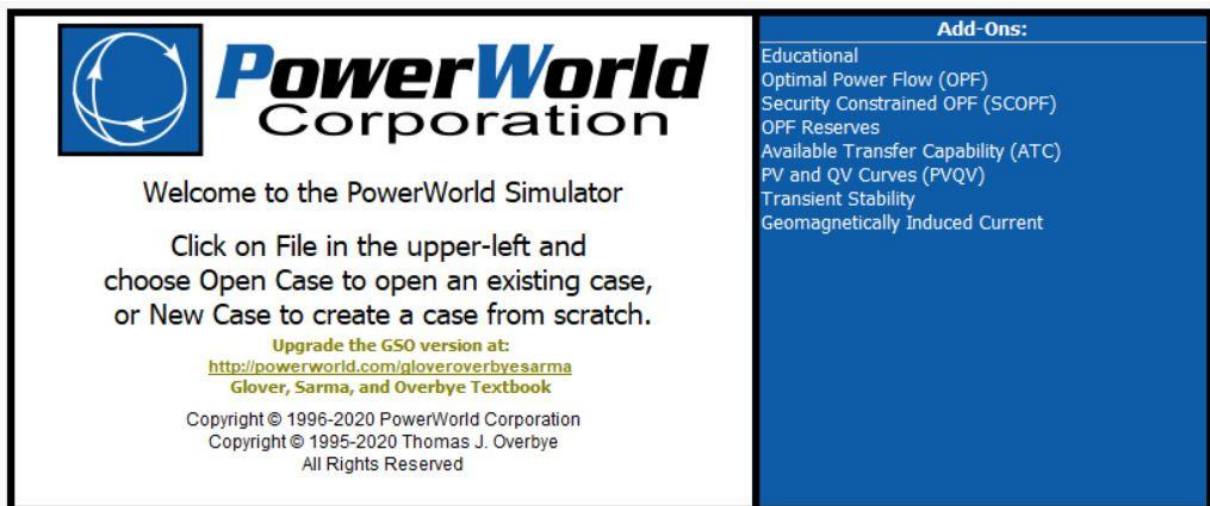
Με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης PowerWorld Simulator μπορεί να επιτευχθεί η παράσταση του ΔΔΗΕ στη μόνιμη κατάσταση. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση της ροής φορτίου των υπό εξέταση μοντέλων ΔΔΗΕ, μόνο για διάφορα στιγμιότυπα που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Η επίλυση του προβλήματος της ροής φορτίου στο PowerWorld Simulator πραγματοποιείται με τον αμέσως παρακάτω περιγραφόμενο τρόπο. Το πρόβλημα ροής

ισχύος εμπεριέχει ένα σύστημα με μη γραμμικές εξισώσεις. Για τη λύση ενός μη γραμμικού συστήματος απαιτείται η χρήση ενός επαναληπτικού αλγορίθμου σύγκλισης. Το PowerWorld Simulator δίνει τη δυνατότητα χρήσης επαναληπτικών μεθόδων υπολογισμού. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιείται η επαναληπτική μέθοδος Newton-Raphson η οποία υλοποιείται με τους εξής τρεις (3) επαναληπτικούς βρόχους:

- **Εσωτερικός Βρόχος:** Σε αυτό το βρόχο υπολογίζεται η μήτρα αγωγιμοτήτων  $[Y]$  και επιλύονται οι κλασσικές εξισώσεις ροής φορτίου με τη χρήση των πινάκων που δημιουργούνται.
- **Μεσαίος Βρόχος:** Εφόσον πραγματοποιηθεί ο εσωτερικός βρόχος, οι συσκευές ελέγχου πραγματοποιούν με την παρακάτω σειρά προτεραιότητας έλεγχο:
  1. Ορίων άεργης παραγωγής  $[MVar]$  των γεννητριών.
  2. DC επίλυσης της γραμμής.
  3. Των διακοπών των χωρητικοτήτων.
  4. Των ΣΑΤΥΦ και των συσκευών D-FACTS εάν υπάρχουν.
- **Εξωτερικός Βρόχος:** Στον εξωτερικό βρόχο ή αλλιώς *MW Control Loop*, η παραγωγή (και πιθανώς και τα φορτία  $L$ ) οδηγείται στις τιμές που έχουν τεθεί. Όταν απαιτείται κάποια μεταβολή στον έλεγχο της ενεργού ισχύος (*MW Control*), τότε υπολογίζονται εκ νέου οι δύο εσωτερικοί επαναληπτικοί βρόχοι.

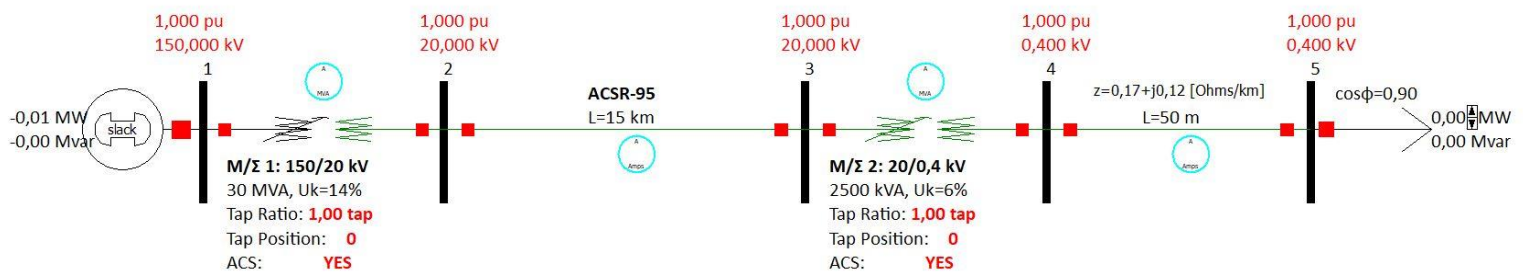
Η μοναδική λύση του συστήματος υπολογίζεται όταν τελικά συγκλίνουν και οι τρεις (3) επαναληπτικοί βρόχοι.



Εικόνα 4.1: Στιγμιότυπο από την αρχική οθόνη εκκίνησης του λογισμικού PowerWorld Simulator.

### 4.3 Νο1 Μοντέλο Προσομοίωσης Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Με Μετασηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

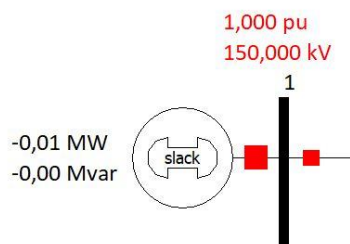
Το αρχικό μοντέλο Νο1 που επιλέχτηκε για να μελετήσουμε την επίδραση των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, όταν αυτοί εγκαθίστανται και τίθενται σε λειτουργία στα ΔΔΗΕ, απεικονίζεται στην Εικόνα 4.2. Το μοντέλο Νο1 είναι περισσότερο θεωρητικό, έχει μεγάλες διαφοροποιήσεις από κλάδους πραγματικών ΔΔΗΕ, αλλά παρόλα αυτά θα μας βοηθήσει να εξάγουμε κάποια πρώτα χρήσιμα συμπεράσματα για την ένταξη των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ στα ΔΔΗΕ. Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία.



Εικόνα 4.2: Μοντέλο προσομοίωσης Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator.

#### 4.3.1 Ζυγός Ταλάντωσης (System Slack Bus) Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ))

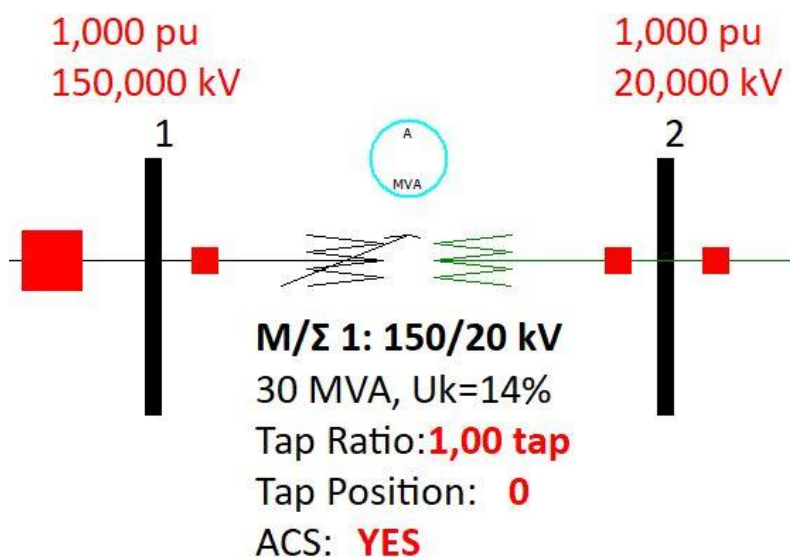
Ο ζυγός Νο1 ονομαστικής τάσης  $V_{n1} = 150 \text{ kV}$ , σε συνδυασμό με την σύνδεσή του με τη γεννήτρια, ορίζεται ως ζυγός ταλάντωσης (system slack bus). Θεωρητικά, η παραγωγή ενεργού  $P$  και άεργου  $Q$  ισχύος της γεννήτριας είναι τόση ώστε η τάση του ζυγού Νο1 να είναι πάντα σταθερή και ίση με την ονομαστική της τιμή  $V_{n1} = 150 \text{ kV}$ . Επομένως, το σύστημα (υπόλοιπο ΔΔΗΕ) αριστερά του ζυγού ταλάντωσης Νο1 μπορεί να θεωρηθεί ως άπειρο σύστημα.



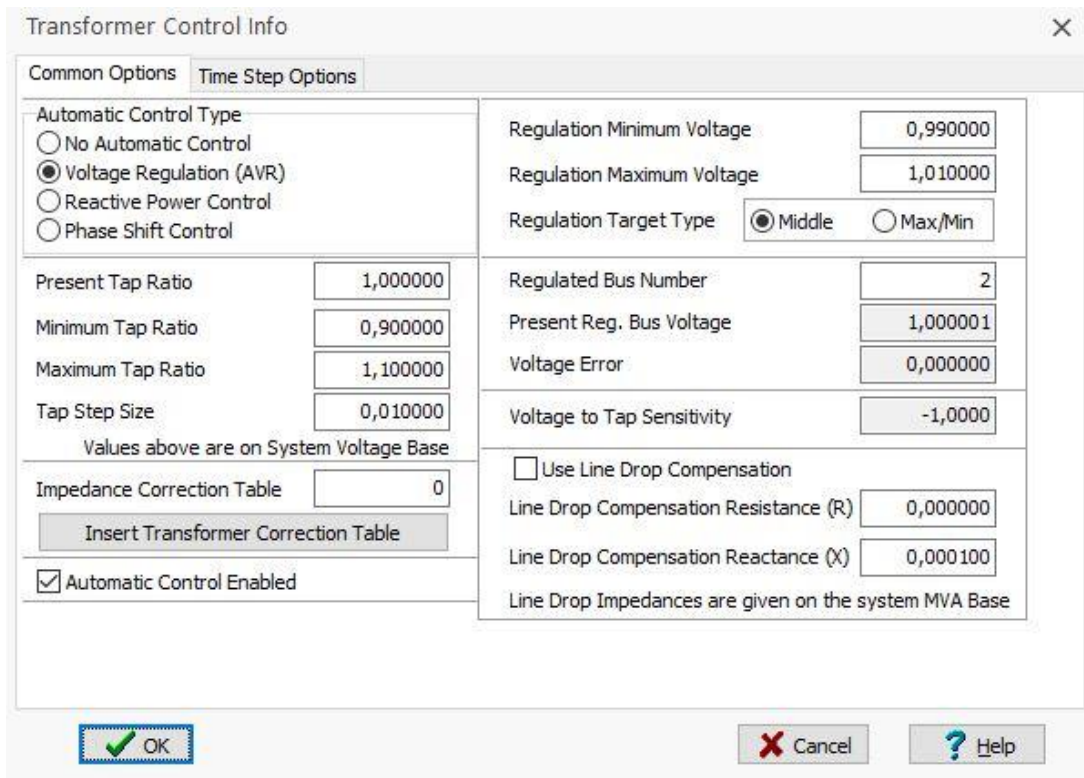
Εικόνα 4.3: Ο ζυγός ταλάντωσης Νο1 (system slack bus) ονομαστικής τάσης  $V_{n1} = 150 \text{ kV}$ .

#### 4.3.2 Μετασηματιστής (Μ/Σ 1) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Η ονομαστική τάση του πρωτεύοντος του Μ/Σ 1 του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ), επιλέγεται να είναι  $V_{n1} = 150 \text{ kV}$  και αντιστοίχως του δευτερεύοντος τυλίγματος του  $V_{n2} = 20 \text{ kV}$ . Επίσης, η ισχύς του Μ/Σ 1 καθορίζεται σε  $S_{M/\Sigma} = 30 \text{ MVA}$ , η τάση βραχυκύκλωσής του σε  $V_k = 14\%$  (Series Reactance  $X = 0,14$ ) και φυσικά, όπως συμβαίνει και στα πραγματικά ΔΔΗΕ, ο Μ/Σ 1 είναι εξοπλισμένος με ΣΑΤΥΦ (Automatic Control System (ACS): YES). Ο ζυγός No2 με ονομαστική τάση  $V_{n2} = 20 \text{ kV}$  καθορίζεται ως ο ζυγός εκείνος την τάση  $V$  του οποίου το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 1 προσπαθεί να διατηρήσει όσο το δυνατό πλησιέστερα στην προδιαγεγραμμένη ονομαστική τιμή της  $V_{n2} = 20 \text{ kV}$ , για τις διάφορες διακυμάνσεις τόσο των φορτίων  $L$  όσο και της παραγωγής από σταθμούς ΔΠ. Η τιμή της τάσης  $V$  του πρωτεύοντος τυλίγματος του Μ/Σ 1 ώστε να είναι εφικτή η επιθυμητή ρύθμιση της τάσης  $V$  του ζυγού No2, επιλέγεται να μπορεί να κυμανθεί μεταξύ του 0,9 και 1,1 της ονομαστικής της τιμής  $V_{n1} = 150 \text{ kV}$ . Δηλαδή, η τάση  $V$  στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ 1 μπορεί να πάρει τιμές για *Minimum Tap Ratio* = 0,9  $V'_{n1} = 0,9 \times V_{n1} = 0,9 \times 150 \text{ kV} = 135 \text{ kV}$  και για *Maximum Tap Ratio* = 1,1  $V''_{n1} = 1,1 \times V_{n1} = 1,1 \times 150 \text{ kV} = 165 \text{ kV}$ . Η βηματική τάση  $V_{Step}$  του Μ/Σ 1 με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ καθορίζεται επίσης στο 1% της ονομαστικής της τιμής  $V_{n1}$ , δηλαδή *Tap Step Size* =  $V_{Step} = 0,01 \times 150 \text{ kV} = 1,5 \text{ kV}$ . Τέλος, οι επιθυμητές εκείνες τιμές της τάσης  $V$  του ζυγού No2 εντός των οποίων η λειτουργία του ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 1 θα προσπαθήσει να επαναφέρει την τάση  $V$  από τυχόν διακυμάνσεις της (λόγω διακυμάνσεων των φορτίων  $L$  ή της παραγωγής από σταθμούς ΔΠ), κυμαίνονται μεταξύ του 0,99 και 1,01 της ονομαστικής της τιμής  $V_{n2} = 20 \text{ kV}$ . Δηλαδή, *Regulation Minimum Voltage* =  $0,99 \times 20 \text{ kV} = 19,8 \text{ kV}$  και *Regulation Maximum Voltage* =  $1,01 \times 20 \text{ kV} = 20,2 \text{ kV}$ . Το σύνολο της παραμετροποίησης του ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 1 στο λογισμικό του PowerWorld Simulator απεικονίζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.4: Ο Μ/Σ 1 στον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (ACS: YES).



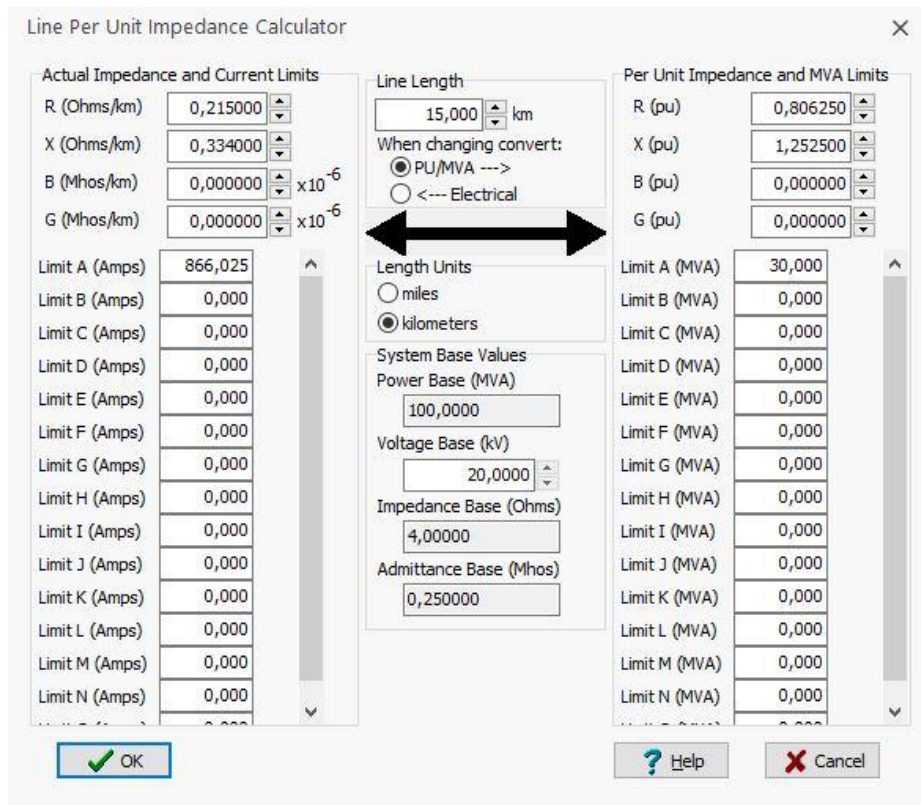
Εικόνα 4.5: Οθόνη πραγματοποίησης επιθυμητών ρυθμίσεων για το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 1.

### 4.3.3 Γραμμή Διανομής Μέσης Τάσης (MT) ACSR-95

Ο τύπος της γραμμής διανομής MT που επιλέχτηκε είναι ACSR-95 (Aluminium Conductor Steel Reinforced, αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα). Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται ευρύτατα στις εναέριες γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας MT. Η ωμική αντίσταση της γραμμής διανομής MT είναι  $R = 0,215 \Omega/km$  και η επαγωγική της αντίδραση  $X = 0,334 \Omega/km$ . Έτσι λοιπόν, η σύνθετη αντίσταση σειράς ανά φάση της γραμμής διανομής MT είναι  $z = (0,215 + j0,334) \Omega/km$ . Το συνολικό μήκος της γραμμής διανομής MT επιλέγεται  $L = 15 km$ .



Εικόνα 4.6: Γραμμή διανομής MT ACSR-95, μήκους  $L = 15 km$ .



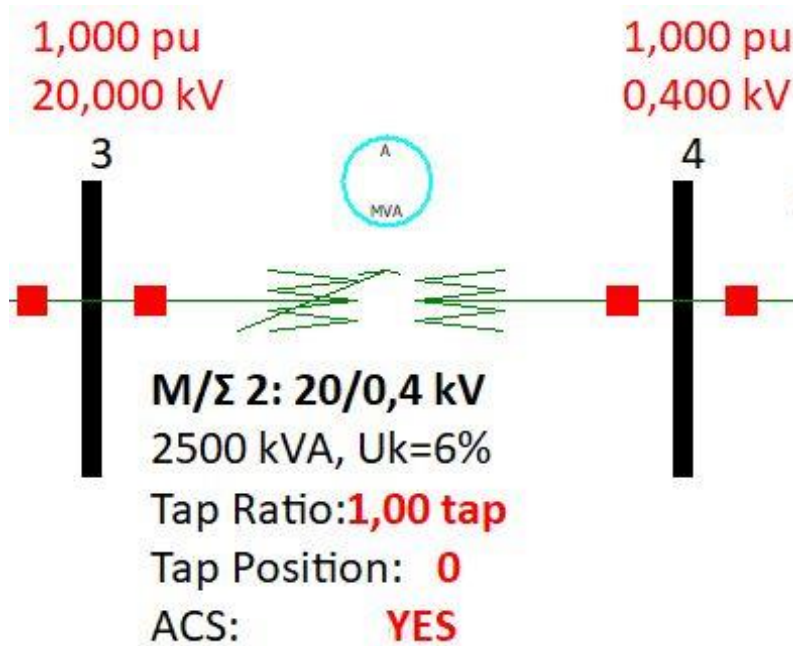
Εικόνα 4.7: Οθόνη επιλογής ωμικής αντίστασης  $R$ , επαγωγικής αντίδρασης  $X$  και μήκους  $L$  της γραμμής διανομής MT ACSR-95.

#### 4.3.4 Μετασηματιστής (Μ/Σ 2) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάση (ΧΤ)) Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

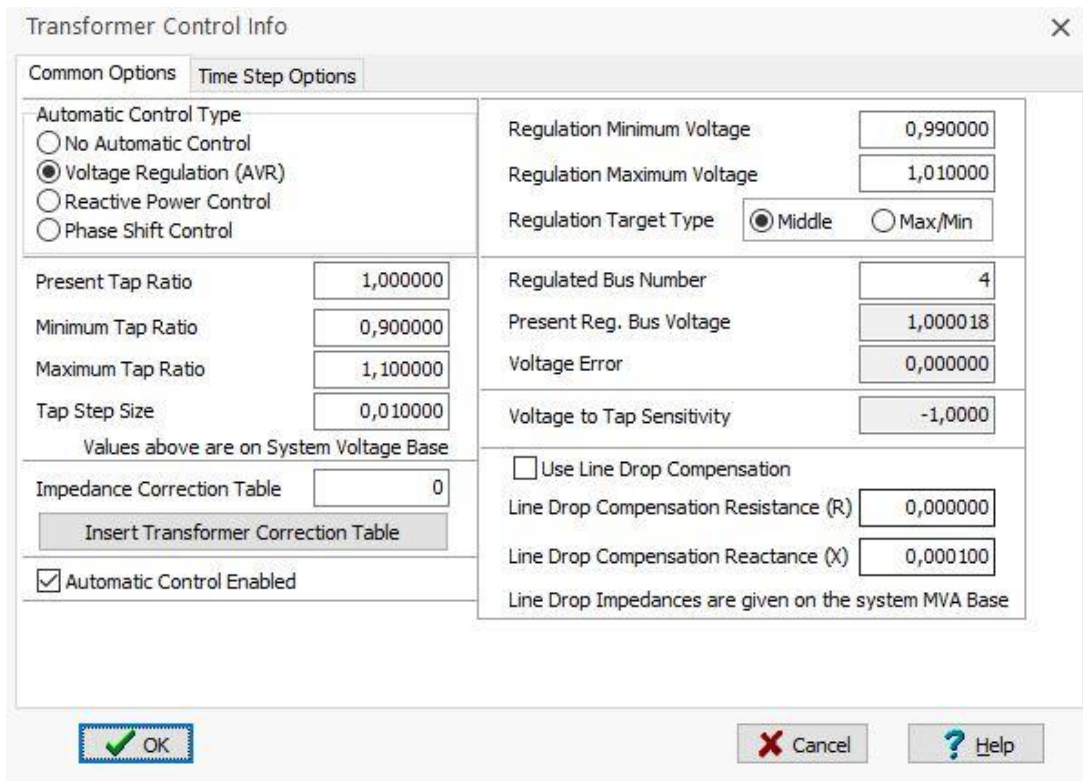
Η ονομαστική τάση του πρωτεύοντος του Μ/Σ 2 του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), επιλέγεται να είναι  $V_{n1} = 20 \text{ kV}$  και αντιστοίχως του δευτερεύοντος τυλίγματος του  $V_{n2} = 0,4 \text{ kV}$ . Επίσης, η ισχύς του Μ/Σ 2 καθορίζεται σε  $S_{M/\Sigma} = 2,5 \text{ MVA}$  και η τάση βραχυκύκλωσης του σε  $V_k = 6\%$  (Series Reactance  $X = 2,4$ ). Για το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης Νο1 έχουμε τις επιλογές, είτε ο Μ/Σ 2 να μη διαθέτει ΣΑΤΥΦ (ACS: NO), είτε να είναι εξοπλισμένος με ΣΑΤΥΦ (ACS: YES).

Για την περίπτωση που ο Μ/Σ 2 έχει ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (ACS: YES), ο ζυγός Νο4 με ονομαστική τάση  $V_{n4} = 0,4 \text{ kV}$  καθορίζεται ως ο ζυγός εκείνος την τάση του οποίου το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 2 προσπαθεί να διατηρήσει όσο το δυνατό πλησιέστερα στην προδιαγεγραμμένη ονομαστική τιμή της  $V_{n4} = 0,4 \text{ kV}$ , για τις διάφορες διακυμάνσεις τόσο των φορτίων  $L$  όσο και της παραγωγής από σταθμούς ΔΠ. Η τιμή της τάσης  $V$  του πρωτεύοντος τυλίγματος του Μ/Σ 2 ώστε να είναι εφικτή η επιθυμητή ρύθμιση της τάσης  $V$  του ζυγού Νο4, επιλέγεται να μπορεί να κυμανθεί μεταξύ του 0,9 και 1,1 της ονομαστικής της τιμής  $V_{n1} = 20 \text{ kV}$ . Δηλαδή, η τάση  $V$  στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ 2 μπορεί να πάρει τιμές για *Minimum Tap Ratio* = 0,9  $V'_{n1} = 0,9 \times V_{n1} = 0,9 \times 20 \text{ kV} = 18 \text{ kV}$  και για *Maximum Tap Ratio* = 1,1  $V''_{n1} = 1,1 \times V_{n1} = 1,1 \times 20 \text{ kV} = 22 \text{ kV}$ . Η βηματική τάση  $V_{Step}$  του Μ/Σ 2 με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ καθορίζεται επίσης στο 1% της ονομαστικής της τιμής  $V_{n1}$ , δηλαδή *Tap Step Size* =  $V_{Step} = 0,01 \times 20 \text{ kV} = 0,2 \text{ kV}$ .

Τέλος, οι επιθυμητές εκείνες τιμές της τάσης  $V$  του ζυγού No4 εντός των οποίων η λειτουργία του ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 2 θα προσπαθήσει να επαναφέρει την τάση  $V$  από τυχόν διακυμάνσεις της (λόγω διακυμάνσεων των φορτίων  $L$  ή της παραγωγής από σταθμούς ΔΠ), κυμαίνονται μεταξύ του 0,99 και 1,01 της ονομαστικής της τιμής  $V_{n2} = 0,4 \text{ kV}$ . Δηλαδή,  $Regulation \ Minimum \ Voltage = 0,99 \times 0,4 \text{ kV} = 0,396 \text{ kV}$  και  $Regulation \ Maximum \ Voltage = 1,01 \times 0,4 \text{ kV} = 0,404 \text{ kV}$ . Το σύνολο της παραμετροποίησης του ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 2 στο λογισμικό του PowerWorld Simulator απεικονίζεται στην Εικόνα 4.9.



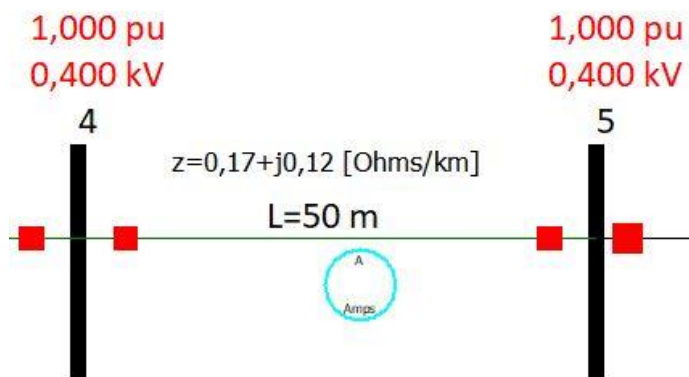
Εικόνα 4.8: Ο Μ/Σ 2 στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) με ενσωματωμένο ή μη ΣΑΤΥΦ (ACS: YES ή NO).



Εικόνα 4.9: Οθόνη πραγματοποίησης επιθυμητών ρυθμίσεων για το ΣΑΤΥΦ Μ/Σ 2.

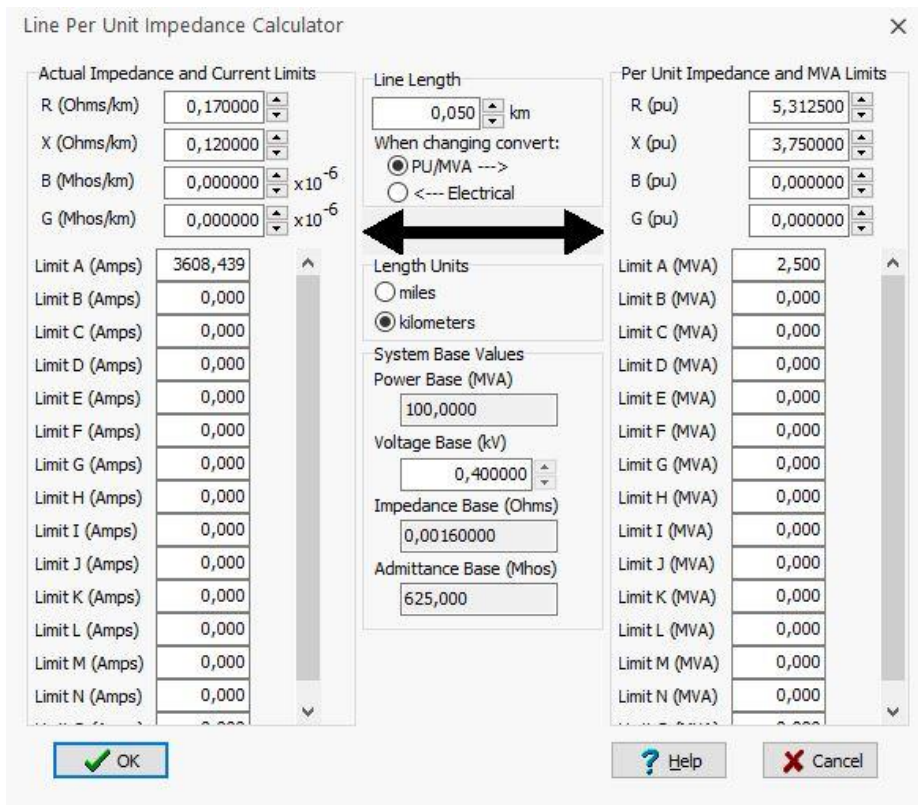
#### 4.3.5 Γραμμή Διανομής Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)

Η ωμική αντίσταση της γραμμής διανομής ΧΤ επιλέγεται  $R = 0,17 \Omega/km$  και η επαγωγική της αντίδραση  $X = 0,12 \Omega/km$ . Έτσι λοιπόν, η σύνθετη αντίσταση σειράς ανά φάση της γραμμής διανομής ΧΤ είναι  $z = (0,17 + j0,12) \Omega/km$ . Το συνολικό μήκος της γραμμής διανομής ΧΤ επιλέγεται  $L = 50 m$ .



Εικόνα 4.10: Γραμμή διανομής ΧΤ με σύνθετη αντίσταση σειράς ανά φάση  $z = (0,17 + j0,12) \Omega/km$  και μήκος  $L = 50m$ .

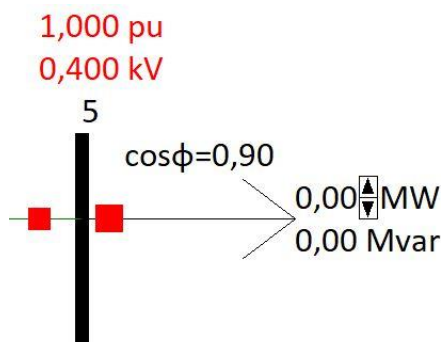




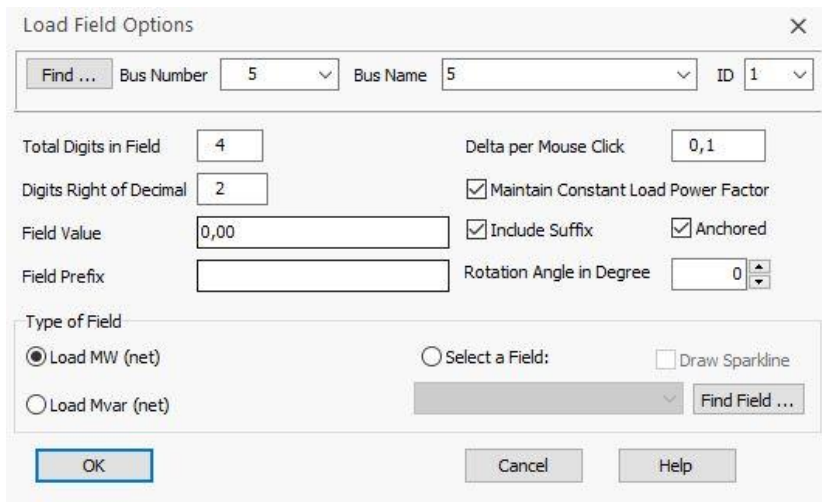
Εικόνα 4.11: Οθόνη επιλογής ωμικής αντίστασης  $R$ , επαγωγικής αντίδρασης  $X$  και μήκους  $L$  της γραμμής διανομής ΧΤ.

#### 4.3.6 Επαγωγικό Φορτίο

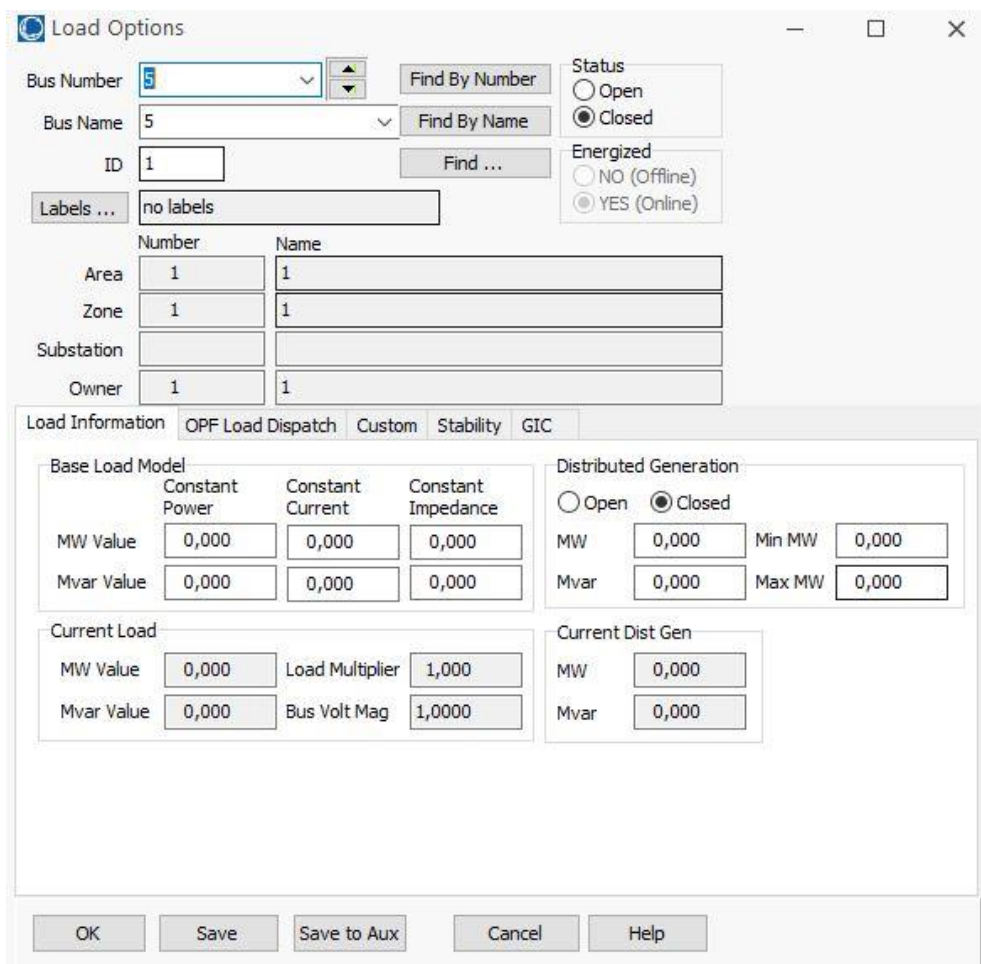
Στο ζυγό ΧΤ Νο5 επιλέγεται να εγκατασταθεί επαγωγικό φορτίο  $L$  με σταθερό Συντελεστή Ισχύος ( $\text{SI}$ )  $\cos \varphi = 0,9$ . Το επαγωγικό αυτό φορτίο  $L$  μπορεί στο λογισμικό προσομοίωσης PowerWorld Simulator να αυξομειώνεται με συγκεκριμένο ή μη ρυθμό, όπως ακριβώς θα συνέβαινε και στην πραγματικότητα κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Επίσης, μπορεί να επιλεγεί εάν το στιγμιαίο αυτό φορτίο  $L$  είναι σταθερής ισχύος (Constant Power) ή σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance).



Εικόνα 4.12: Επαγωγικό φορτίο  $L$  με σταθερό  $\text{SI}$   $\cos \varphi = 0,9$  στο ζυγό Νο5 ΧΤ.



Εικόνα 4.13: Οθόνη επιλογής του ρυθμού αυξομείωσης του επαγωγικού φορτίου  $L$  με σταθερό  $\cos \varphi = 0,9$ .

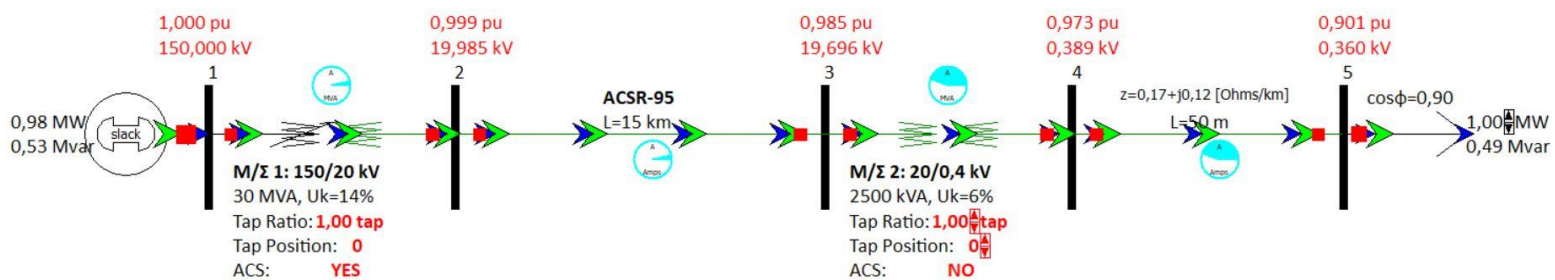


Εικόνα 4.14: Οθόνη επιλογής φορτίου  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power) ή σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance).

#### 4.3.7 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής Που Δε Διαθέτει Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Στην αρχική προσομοίωση που πραγματοποιήσαμε, θεωρήσαμε ότι ο Μ/Σ 2 διανομής δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ (ACS: NO). Ξεκινήσαμε να αυξάνουμε την απαιτούμενη ισχύ από το φορτίο  $L$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ), παρατηρώντας τη μεταβολή της τάσης  $V$  σε όλους τους ζυγούς του μοντέλου προσομοίωσης Νο1. Όταν η ισχύς του ζυγού ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) γίνει  $P = 0,7 \text{ MW}$  και  $Q = 0,33 \text{ Mvar}$ , για σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 0,9$ , παρατηρούμε ότι η τάση  $V$  στους ζυγούς του μοντέλου προσομοίωσης Νο1 διαμορφώνεται ως εξής:

- Στο ζυγό Νο1 ( $V_{n1} = 150 \text{ kV}$ , ΥΤ),  $V_1 = 1 \text{ pu}$ , δηλαδή  $V_1 = 150 \text{ kV}$ .
- Στο ζυγό Νο2 ( $V_{n2} = 20 \text{ kV}$ , ΜΤ),  $V_2 = 0,999 \text{ pu}$ , δηλαδή  $V_2 = 19,985 \text{ kV}$ .
- Στο ζυγό Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ , ΜΤ),  $V_3 = 0,985 \text{ pu}$ , δηλαδή  $V_3 = 19,696 \text{ kV}$ .
- Στο ζυγό Νο4 ( $V_{n4} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ),  $V_4 = 0,973 \text{ pu}$ , δηλαδή  $V_4 = 0,389 \text{ kV}$ .
- Στο ζυγό Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ),  $V_5 = 0,901 \text{ pu}$ , δηλαδή  $V_5 = 0,360 \text{ kV}$ .



Εικόνα 4.15: Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, για Μ/Σ 2 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ.

Για οποιαδήποτε τιμή ισχύος στο ζυγό Νο5 ΧΤ ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ)  $P > 1 \text{ MW}$  και  $Q > 0,49 \text{ Mvar}$  και για σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 0,9$ , η τάση του ζυγού γίνεται  $V_5 < 0,9 \text{ pu}$  ή  $V_5 < 0,36 \text{ kV}$ . Επομένως, βάση και της απαίτησης του προτύπου EN50160 για απόκλιση σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ έως  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τιμή της τάσης  $V_n$ , η τάση του ζυγού Νο5  $V_5$  παίρνει μη αποδεκτές τιμές.

Όπως φυσικά είναι αναμενόμενο, για μικρότερο και σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 0,8 < 0,9$  η μέγιστη επιτρεπόμενη ενεργός ισχύς  $P$  που μπορεί να διέρχεται από το ζυγό Νο5 ΧΤ ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ), βάση και της παραπάνω αναφερόμενης απαίτησης του προτύπου EN50160, είναι  $P = 0,8 \text{ MW} < 1 \text{ MW}$  και  $Q = 0,6 \text{ Mvar} > 0,49 \text{ Mvar}$ . Αντίστοιχα, για μεγαλύτερο και σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 1 > 0,9$ , η μέγιστη επιτρεπόμενη ενεργός ισχύς  $P$  που μπορεί να διέρχεται από το ζυγό Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ) είναι  $P = 1,3 \text{ MW} > 1 \text{ MW}$  και  $Q = 0 \text{ Mvar} < 0,49 \text{ Mvar}$ .

Η παραπάνω αναφερόμενη προσομοίωση του μοντέλου Νο1 αρχικά πραγματοποιήθηκε για στιγμιαία φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power). Ακολούθως, η ίδια προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για στιγμιαία φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας

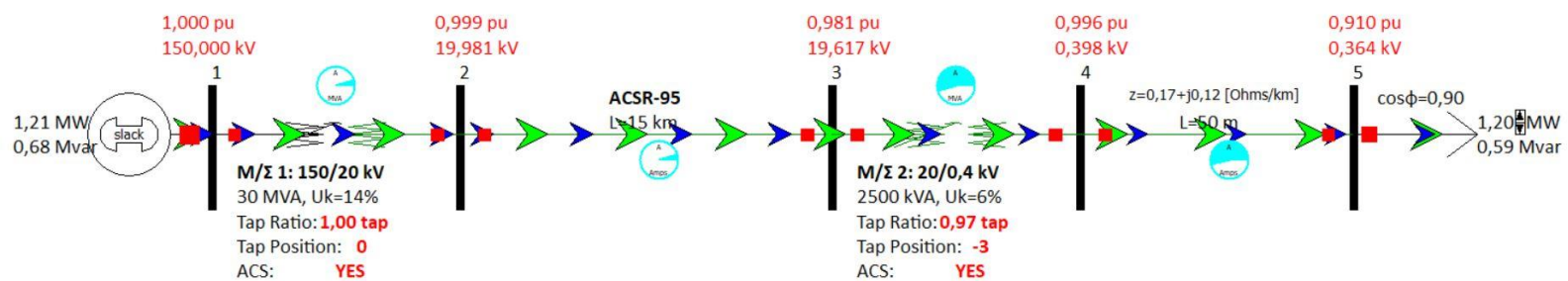
(Constant Impedance) αυτήν τη φορά. Τα αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις ήταν πανομοιότυπα με τα παραπάνω αναφερόμενα.

#### 4.3.8 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Για τη συνέχεια των προσομοιώσεων, μετατρέψαμε το Μ/Σ 2 διανομής σε Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (ACS: YES). Όπως και πριν, ξεκινήσαμε να αυξάνουμε την απαιτούμενη ισχύ από το φορτίο  $L$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ), παρατηρώντας αυτή τη φορά τόσο τη μεταβολή της τάσης  $V$  σε όλους τους ζυγούς του μοντέλου προσομοίωσης Νο1, όσο και τη μεταβολή της θέσης του τυλίγματος του ΣΑΤΥΦ (Tap Position) του Μ/Σ 2 διανομής. Προς διευκόλυνση της ανάγνωσης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων αυτής της περίπτωσης προσομοίωσης, αυτά καταγράφονται στον ακόλουθο Πίνακα 4.1. Στην πρώτη στήλη του Πίνακα 4.1 αναγράφεται η στιγμιαία ισχύς  $S$  που διέρχεται από το ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) και στις υπόλοιπες στήλες η τάση  $V$  όλων των ζυγών του μοντέλου προσομοίωσης Νο1, καθώς και η θέση του τυλίγματος του ΣΑΤΥΦ (Tap Position) του Μ/Σ 2 διανομής.

Ισχύς Ζυγού Νο5	$V_1$	$V_2$	$V_3$	Tap Position	$V_4$	$V_5$
$P = 0,3 \text{ MW}$ $Q = 0,15 \text{ Mvar}$	1 pu 150 kV	1 pu 19,997 kV	0,997 pu 19,939 kV	0	0,995 pu 0,398 kV	0,98 pu 0,392 kV
$P = 0,4 \text{ MW}$ $Q = 0,2 \text{ Mvar}$	1 pu 150 kV	1 pu 19,994 kV	0,994 pu 19,876 kV	-1	0,999 pu 0,4 kV	0,969 pu 0,388 kV
$P = 0,7 \text{ MW}$ $Q = 0,34 \text{ Mvar}$	1 pu 150 kV	0,999 pu 19,992 kV	0,992 pu 19,989 kV	-2	1 pu 0,4 kV	0,947 pu 0,379 kV
$P = 1,2 \text{ MW}$ $Q = 0,59 \text{ Mvar}$	1 pu 150 kV	0,999 pu 19,981 kV	0,981 pu 19,617 kV	-3	0,996 pu 0,398 kV	0,91 pu 0,364 kV

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, για Μ/Σ 2 διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.



Εικόνα 4.16: Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, για Μ/Σ 2 διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Για οποιαδήποτε τιμή ισχύος στο ζυγό Νο5 ΧΤ ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ)  $P > 1,2 \text{ MW}$  και  $Q > 0,59 \text{ Mvar}$  και για σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 0,9$ , η τάση του ζυγού γίνεται  $V_5 < 0,9 \text{ pu}$  ή  $V_5 < 0,36 \text{ kV}$ . Επομένως, βάση και της απαίτησης του προτύπου EN50160 για απόκλιση σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ έως  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τιμή της τάσης  $V_n$ , η τάση του ζυγού Νο5  $V_5$  παίρνει μη αποδεκτές τιμές.

Όπως συμβαίνει και στην προηγούμενη περίπτωση προσομοίωσης του μοντέλου Νο1 με Μ/Σ 2 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ και όπως φυσικά και σε αυτήν την περίπτωση είναι αναμενόμενο, για μικρότερο και σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 0,8 < 0,9$  η μέγιστη επιτρεπόμενη ενεργός ισχύς  $P$  που μπορεί να διέρχεται από το ζυγό Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ), βάση και της παραπάνω αναφερόμενης απαίτησης του προτύπου EN50160, είναι  $P = 1 \text{ MW} < 1,2 \text{ MW}$  και  $Q = 0,75 \text{ Mvar} > 0,59 \text{ Mvar}$ . Αντίστοιχα, για μεγαλύτερο και σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 1 > 0,9$ , η μέγιστη επιτρεπόμενη ενεργός ισχύς  $P$  που μπορεί να διέρχεται από το ζυγό Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ) είναι  $P = 1,5 \text{ MW} > 1,2 \text{ MW}$  και  $Q = 0 \text{ Mvar} < 0,59 \text{ Mvar}$ .

Όπως και προηγουμένως, η παραπάνω αναφερόμενη προσομοίωση του μοντέλου Νο1 αρχικά πραγματοποιήθηκε για στιγμιαία φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power). Ακολούθως, η ίδια προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για στιγμιαία φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant impedance) αυτήν τη φορά. Τα αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις ήταν πανομοιότυπα με τα παραπάνω αναφερόμενα.

#### 4.3.9 Συμπεράσματα Από Τη Σύγκριση Και Την Αξιολόγηση Των Αποτελεσμάτων Της Προσομοίωσης Του Μοντέλου Νο1

Για να μπορούν εύκολα να συγκριθούν και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του Μοντέλου Νο1 του ΔΔΗΕ με Μ/Σ 2 διανομής με ή χωρίς ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, αυτά καταγράφονται στους παρακάτω Πίνακες 4.2 και 4.3.

Συντελεστής Ισχύος	Ενεργός Ισχύς $P$ και Άεργος Ισχύς $Q$ Που Μπορεί Να Διέλθει Από Το Ζυγό Νο5ΧΤ ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ), Για Φορτία $L$ Σταθερής Ισχύος (Constant Power)	
	Με Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής <u>Χ</u> ωρίς ΣΑΤΥΦ	Με Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής <u>Μ</u> ε ΣΑΤΥΦ
$\cos \varphi = 0,8$	$P = 0,8 \text{ MW}$ $Q = 0,6 \text{ Mvar}$	$P = 1 \text{ MW}$ $Q = 0,75 \text{ Mvar}$
$\cos \varphi = 0,9$	$P = 1 \text{ MW}$ $Q = 0,49 \text{ Mvar}$	$P = 1,2 \text{ MW}$ $Q = 0,59 \text{ Mvar}$
$\cos \varphi = 1$	$P = 1,3 \text{ MW}$ $Q = 0 \text{ Mvar}$	$P = 1,5 \text{ MW}$ $Q = 0 \text{ Mvar}$

Πίνακας 4.2: Συγκριτικά αποτελέσματα για το μοντέλο προσομοίωσης Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, για Μ/Σ 2 διανομής με ή χωρίς ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και για φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power), για διάφορους ΣΙ ( $\cos \varphi$ ).

Συντελεστής Ισχύος	Ενεργός Ισχύς $P$ και Άεργος Ισχύς $Q$ Που Μπορεί Να Διέλθει Από Το Ζυγό Νο5ΧΤ ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , ΧΤ), Για Φορτία $L$ Σταθερής Αγωγιμότητας (Constant Impedance)	
	Με Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής <u>Χ</u> ωρίς ΣΑΤΥΦ	Με Μετασχηματιστή (Μ/Σ 2) Διανομής <u>Μ</u> ε ΣΑΤΥΦ
$\cos \varphi = 0,8$	$P = 0,75 \text{ MW}$ $Q = 0,56 \text{ Mvar}$	$P = 1,08 \text{ MW}$ $Q = 0,81 \text{ Mvar}$
$\cos \varphi = 0,9$	$P = 0,94 \text{ MW}$ $Q = 0,46 \text{ Mvar}$	$P = 1,28 \text{ MW}$ $Q = 0,63 \text{ Mvar}$
$\cos \varphi = 1$	$P = 1,39 \text{ MW}$ $Q = 0 \text{ Mvar}$	$P = 1,64 \text{ MW}$ $Q = 0 \text{ Mvar}$

Πίνακας 4.3: Συγκριτικά αποτελέσματα για το μοντέλο προσομοίωσης Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, για Μ/Σ 2 διανομής με ή χωρίς ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και για φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance), για διάφορους ΣΙ ( $\cos \varphi$ ).

Τα συμπεράσματα που μπορούμε να εξάγουμε από την προσομοίωση του μοντέλου Νο1 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator και τη σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτής, είναι:

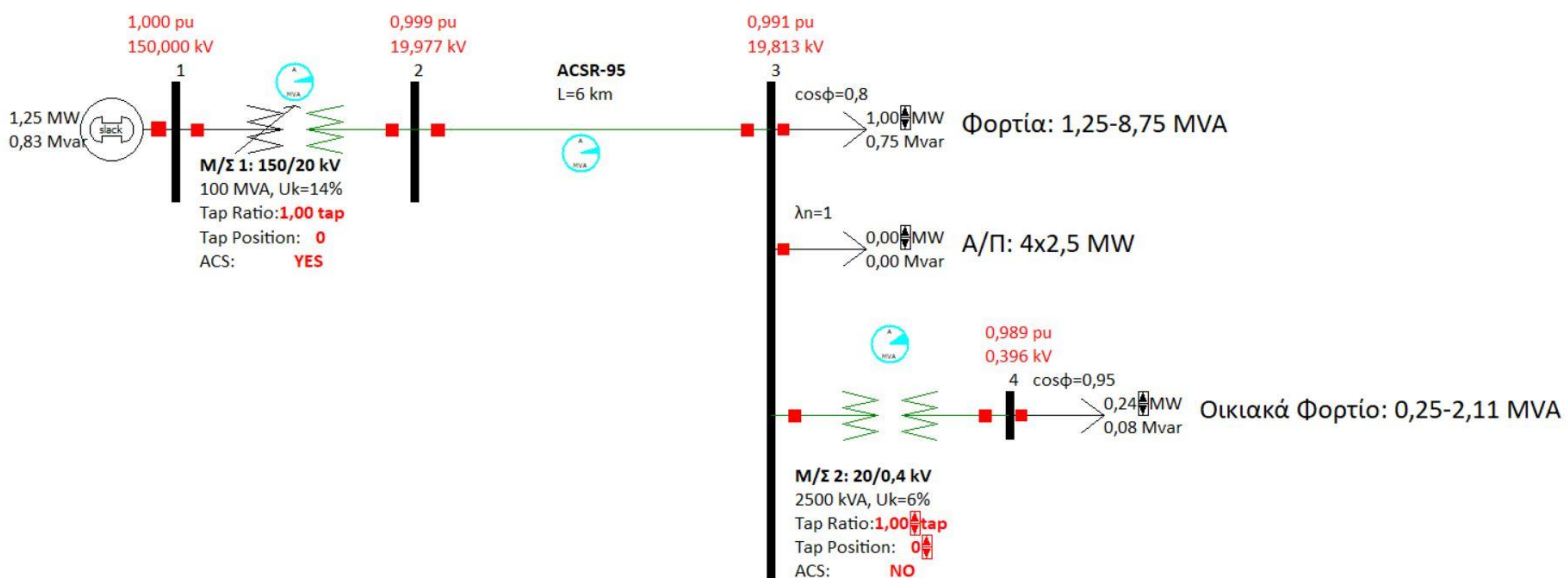
- Η εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, μας επιτρέπει, συγκριτικά με τους συμβατικούς Μ/Σ διανομής που δε διαθέτουν ΣΑΤΥΦ, την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων ηλεκτρικών φορτίων  $L$  σε

συγκεκριμένη απόσταση από το Μ/Σ διανομής και για συγκεκριμένο  $\Sigma I \cos \varphi$  (γίνεται εφικτή η ροή μεγαλύτερης ενεργού ισχύος  $P$ , μέσω της αλλαγής θέσης τυλίγματος (Tap Position) του ΣΑΤΥΦ, για τη διατήρηση της τάσης  $V$  στα επιθυμητά επίπεδα τιμών). Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου Νο1 (Πίνακες 4.2 και 4.3), προκύπτει ότι το παραπάνω συμπέρασμα ισχύει είτε τα εξυπηρετούμενα φορτία  $L$  είναι σταθερής ισχύος (Constant Power), είτε είναι φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance).

- Η χρήση στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, σε σύγκριση με τους συμβατικούς Μ/Σ διανομής που δε διαθέτουν ΣΑΤΥΦ, μας επιτρέπει την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων επαγωγικών ( $\cos \varphi < 1$ ) ή χωρητικών ( $\cos \varphi > 1$ ) φορτίων  $L$  σε συγκεκριμένη απόσταση από το Μ/Σ διανομής (γίνεται εφικτή η ροή μεγαλύτερης άεργου ισχύος  $Q$ , μέσω της αλλαγής θέσης τυλίγματος (Tap Position) του ΣΑΤΥΦ, για τη διατήρηση της τάσης  $V$  στα επιθυμητά επίπεδα τιμών). Όπως και το προηγούμενο, έτσι και αυτό το συμπέρασμα ισχύει, είτε τα εξυπηρετούμενα επαγωγικά ( $\cos \varphi < 1$ ) ή χωρητικά ( $\cos \varphi > 1$ ) φορτία  $L$  είναι σταθερής ισχύος (Constant Power), είτε είναι φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance).
- Με την εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, συγκριτικά με τους συμβατικούς Μ/Σ διανομής που δε διαθέτουν ΣΑΤΥΦ, αποκτάμε τη δυνατότητα εξυπηρέτησης του ίδιου ηλεκτρικού φορτίου  $L$  σε μεγαλύτερη απόσταση από το Μ/Σ διανομής, είτε το φορτίο  $L$  είναι επαγωγικό ( $\cos \varphi < 1$ ), είτε χωρητικό ( $\cos \varphi > 1$ ), είτε αναφερόμαστε σε φορτίο  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power), είτε σε φορτίο  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance) (μέσω της αλλαγής θέσης τυλίγματος (Tap Position) του ΣΑΤΥΦ για τη διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά επίπεδα τιμών).

#### 4.4 Νο2 Μοντέλο Προσομοίωσης Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Με Μετασηματιστή (Μ/Σ) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ).

Σε συνέχεια του αρχικού και περισσότερο θεωρητικού μοντέλου Νο1, προσπαθήσαμε το επόμενο μοντέλο Νο2 που επιλέχτηκε με σκοπό να μελετήσουμε την επίδραση των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, κατά την εγκατάσταση και λειτουργία τους στα ΔΔΗΕ, να είναι πλησιέστερο σε έναν πραγματικό κλάδο ενός ΔΔΗΕ, έτσι ώστε τα συμπεράσματά μας από αυτήν την προσομοίωση, σε σχέση και με την προηγούμενη, να είναι περισσότερο πρακτικά. Το αρχικά επιλεγμένο αναφερόμενο ως μοντέλο Νο2, απεικονίζεται στην Εικόνα 4.17 και θα σταθούμε παρακάτω στα στοιχεία του εκείνα που το διαφοροποιούν από το προηγούμενο μοντέλο Νο1.



Εικόνα 4.17: Μοντέλο προσομοίωσης Νο2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator.

##### 4.4.1 Ζυγός Ταλάντωσης (System Slack Bus) Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ))

Για το ζυγό ταλάντωσης (system slack bus) στον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) ισχύει ότι ακριβώς για το ίδιο στοιχείο του μοντέλου προσομοίωσης Νο1. Για το λόγο αυτό δε θα ξανά αναλύσουμε το στοιχείο με λεπτομέρεια (δείτε §4.3.1).



#### 4.4.2 Μετασηματιστής (Μ/Σ 1) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)) Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Ομοίως και για το Μ/Σ 1 που είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, ισχύει ότι ακριβώς για το ίδιο στοιχείο του μοντέλου προσομοίωσης Νο1. Προφανώς είναι ακριβώς ίδιες και οι σχετικές με τη λειτουργία του ΣΑΤΥΦ ρυθμίσεις του. Για το λόγο αυτό δε θα ξανά αναλύσουμε το στοιχείο αυτό με λεπτομέρεια (δείτε §4.3.2).

#### 4.4.3 Γραμμή Διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ) ACSR-95

Ο τύπος της γραμμής διανομής ΜΤ που επιλέχτηκε για το μοντέλο προσομοίωσης Νο2 αλλά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της, είναι ακριβώς τα ίδια με τη γραμμή διανομής ΜΤ που είχαμε και στο προηγούμενο μοντέλο προσομοίωσης Νο1. Για το λόγο αυτό δε θα ξανά αναλύσουμε το στοιχείο αυτό με λεπτομέρεια (δείτε §4.3.3). Η μοναδική διαφορά μεταξύ των μοντέλων προσομοίωσης Νο1 και Νο2, σχετικά με τη γραμμή διανομής ΜΤ που έχουμε σε αυτά, αφορά το γεωμετρικό χαρακτηριστικό του μήκους  $L$  αυτής. Συγκεκριμένα, το συνολικό μήκος της γραμμής διανομής ΜΤ στο μοντέλο προσομοίωσης Νο2 επιλέγεται  $L = 6 \text{ km}$ .

#### 4.4.4 Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) – Ζυγός 3 Μέσης Τάσης (ΜΤ)

Η γραμμή διανομής ΜΤ καταλήγει στο ζυγό ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ ). Ο ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ ) αποτελεί ΣΚΣ του ΔΔΗΕ.

#### 4.4.5 Κλάδος Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) Με Κυμαινόμενα Επαγωγικά Φορτία

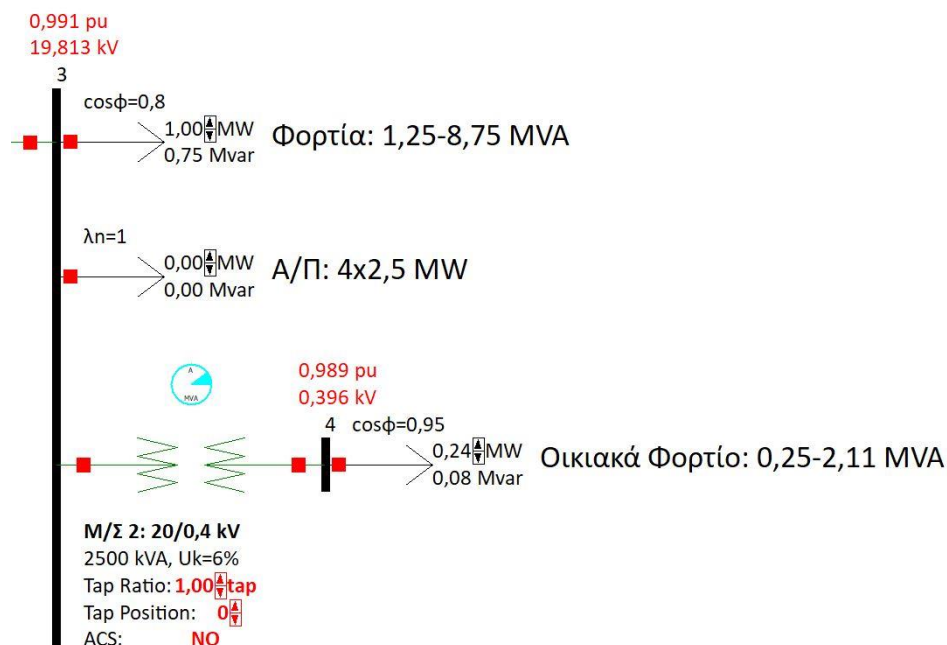
Αρχικά, στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ συνδέεται επιμέρους κλάδος ΔΔΗΕ, με κυμαινόμενα στη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) επαγωγικά φορτία  $L$ , σταθερής ισχύος (Constant Power). Θεωρούμε ότι το συνολικό φορτίο  $L$  του κλάδου έχει σταθερό  $\text{SI} \cos \varphi = 0,8$  σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (του 24ώρου). Η ελάχιστη (*minimum*) έτσι ισχύς που απορροφάται από τον κλάδο ΔΔΗΕ στη διάρκεια ενός 24ώρου στο ΣΚΣ είναι  $S_{min} = 1,25 \text{ MVA}$ ,  $P_{min} = 1 \text{ MW}$ ,  $Q_{min} = 0,75 \text{ Mvar}$  και αντίστοιχα η μέγιστη (*maximum*) ισχύς που απορροφάται στη διάρκεια του ίδιου 24ώρου είναι  $S_{max} = 8,75 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 7 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 5,25 \text{ Mvar}$ .

#### 4.4.6 Σταθμός Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ) – Αιολικό Πάρκο (Α/Π)

Πλησίον του ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ υπάρχει εγκατεστημένο Α/Π αποτελούμενο από τέσσερις (4) Ανεμογεννήτριες (Α/Γ), ονομαστικής και μέγιστης ισχύος  $P_n = P_{max} = 2,5 \text{ MW}$  η κάθε μία. Ο ονομαστικός ΣΙ των Α/Γ είναι  $\lambda_n = 1$ . Ο ζυγός ΜΤ Νο3 (ΣΚΣ του ΔΔΗΕ, ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )), δηλαδή το ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ είναι και το σημείο σύνδεσης του Α/Π με το ΔΔΗΕ.

#### 4.4.7 Κυμαινόμενα Επαγωγικά Οικιακά Φορτία

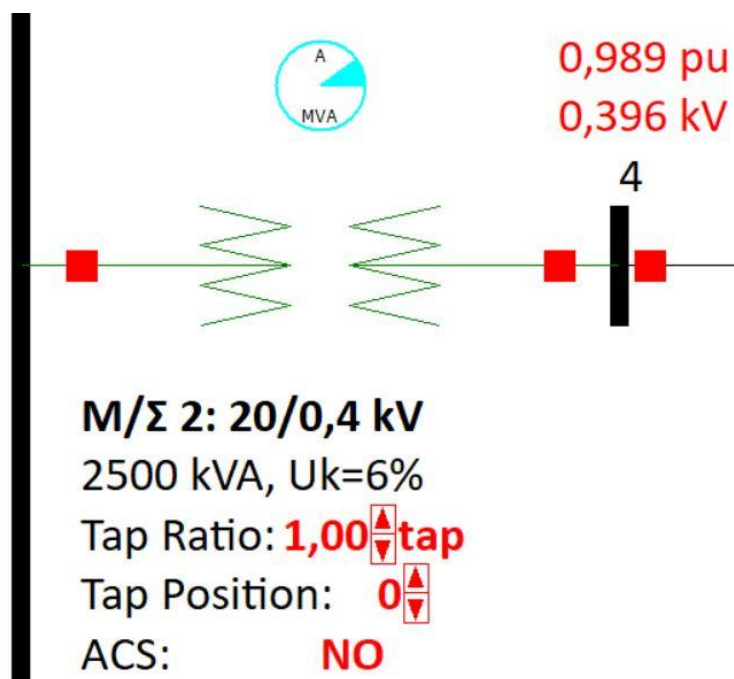
Επίσης, σε πολύ κοντινή απόσταση από το ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ υπάρχει οικισμός με κυμαινόμενα στη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) επαγωγικά οικιακά φορτία  $L$ , σταθερής ισχύος (Constant Power). Θεωρούμε ότι το συνολικό φορτίο  $L$  του οικισμού έχει σταθερό ΣΙ  $\cos \varphi = 0,95$  σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (του 24ώρου). Η ελάχιστη (*minimum*) έτσι ισχύς που απορροφάται από τον οικισμό στη διάρκεια ενός 24ώρου στο ΣΚΣ είναι  $S_{min} = 0,25 \text{ MVA}$ ,  $P_{min} = 0,24 \text{ MW}$ ,  $Q_{min} = 0,08 \text{ Mvar}$  και αντίστοιχα η μέγιστη (*maximum*) ισχύς που απορροφάται στη διάρκεια του ίδιου 24ώρου είναι  $S_{max} = 2 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 1,9 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0,63 \text{ Mvar}$ . Η σύνδεση του οικισμού στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ γίνεται μέσω του Μ/Σ 2 διανομής.



Εικόνα 4.18: ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) ΔΔΗΕ στο οποίο συνδέεται επιμέρους κλάδος ΔΔΗΕ, Α/Π και οικισμός μέσω του Μ/Σ 2 διανομής.

#### 4.4.7.1 Μετασχηματιστής (Μ/Σ 2) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάση (ΧΤ)), Μέσω Του Οποίου Συνδέεται Ο Οικισμός Στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) (Ζυγός ΜΤ Νο3) του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Η ονομαστική τάση του πρωτεύοντος του Μ/Σ 2 του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), μέσω του οποίου συνδέεται ο οικισμός στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ, είναι  $V_{n1} = 20 \text{ kV}$  και αντιστοίχως του δευτερεύοντος τυλίγματός του  $V_{n2} = 0,4 \text{ kV}$ . Επίσης, η ισχύς του Μ/Σ 2 καθορίζεται σε  $S_{Μ/Σ} = 2,5 \text{ MVA}$  και η τάση βραχυκύκλωσής του σε  $V_k = 6\%$  (Series Reactance  $X = 2,4$ ). Ο Μ/Σ 2 είναι συμβατικού τύπου Μ/Σ ισχύος και δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ (ACS: NO).

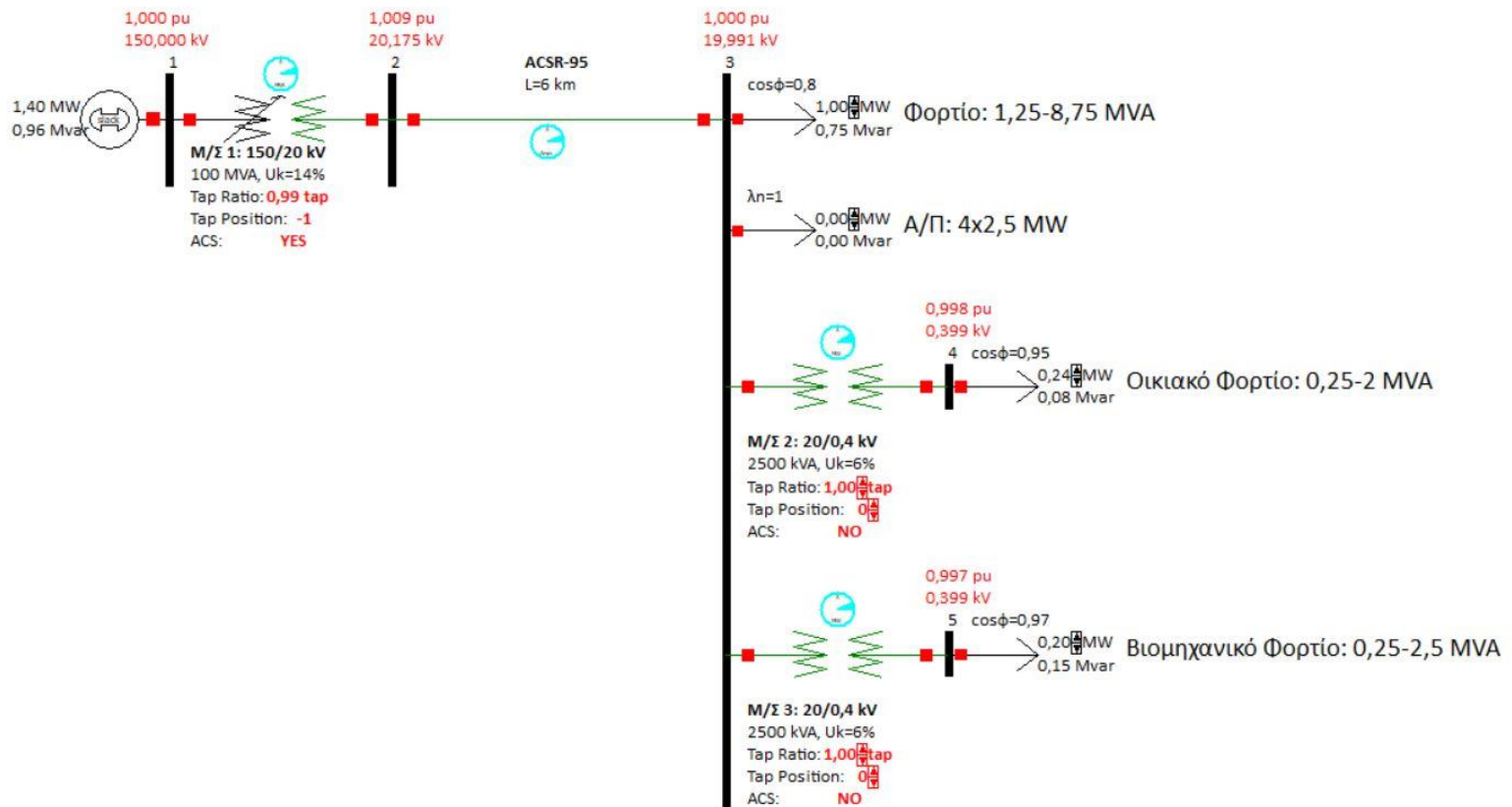


Εικόνα 4.19: Ο Μ/Σ 2 του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), χωρίς ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (ACS: NO), μέσω του οποίου συνδέεται ο οικισμός στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ και εξυπηρετούνται τα οικιακά φορτία του.

#### 4.4.8 Κυμαινόμενο Επαγωγικό Βιομηχανικό Φορτίο

Μία νέα βιομηχανία εγκαθίσταται πλησίον του ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ. Θεωρούμε ότι το επαγωγικό βιομηχανικό φορτίο  $L$ , σταθερής ισχύος (Constant Power), έχει και σταθερό  $\text{SI } \cos \varphi = 0,8$  για όλη τη διάρκεια της ημέρας (του 24ώρου). Η ελάχιστη (*minimum*) έτσι ισχύς που απορροφάται από τη βιομηχανία στη διάρκεια ενός 24ώρου στο ΣΚΣ είναι  $S_{min} = 0,25 \text{ MVA}$ ,  $P_{min} = 0,2 \text{ MW}$ ,  $Q_{min} = 0,15 \text{ Mvar}$  και αντίστοιχα η μέγιστη (*maximum*) ισχύς που απορροφάται στη διάρκεια του ίδιου 24ώρου είναι  $S_{max} = 2,5 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 2 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 1,5 \text{ Mvar}$ .

Η ευθύνη κατασκευής και λειτουργίας του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας ανήκει στην ιδιοκτησία της, ενώ ευθύνη του διαχειριστή του ΔΔΗΕ είναι η κατασκευή της γραμμής διανομής ΜΤ έως τον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας και η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας σε αυτόν.



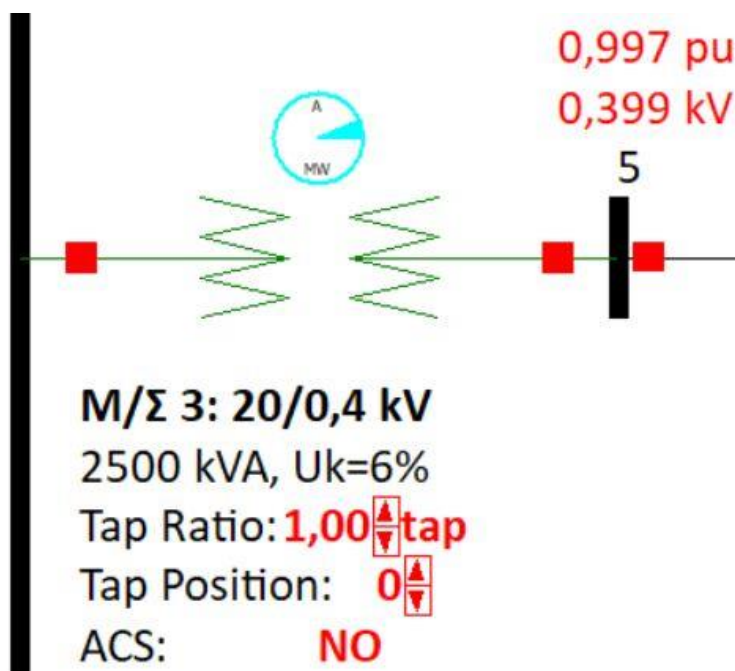
Εικόνα 4.20: Μοντέλο προσομοίωσης Νο2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, μετά και τη σύνδεση του νέου βιομηχανικού καταναλωτή στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ.

#### 4.4.8.1 Μετασηματιστής (Μ/Σ 3) Ισχύος Στον Υποσταθμό (Υ/Σ) Διανομής (Μέση Τάση (ΜΤ) / Χαμηλή Τάση (ΧΤ)), Μέσω Του Οποίου Συνδέεται Η Βιομηχανία Στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) (Ζυγός ΜΤ Νο3) του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)

Η ονομαστική τάση του πρωτεύοντος του Μ/Σ 3 του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), μέσω του οποίου συνδέεται η βιομηχανία στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ, είναι  $V_{n1} = 20 \text{ kV}$  και αντιστοίχως του δευτερεύοντος τυλίγματος του  $V_{n2} = 0,4 \text{ kV}$ . Επίσης, η ισχύς του Μ/Σ 3 καθορίζεται σε  $S_{M/\Sigma} = 2,5 \text{ MVA}$  και η τάση βραχυκύκλωσής του σε  $V_k = 6\%$  (Series Reactance  $X = 2,4$ ). Ο Μ/Σ 3 μπορεί να είναι είτε συμβατικού τύπου, δηλαδή να μη διαθέτει ΣΑΤΥΦ (ACS: NO), είτε να έχει ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (ACS: YES).

Για την περίπτωση που ο Μ/Σ 3 έχει ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (ACS: YES), ο ζυγός ΧΤ Νο5 με ονομαστική τάση  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$  καθορίζεται ως ο ζυγός εκείνος την τάση του οποίου

το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 3 προσπαθεί να διατηρήσει όσο το δυνατό πλησιέστερα στην προδιαγεγραμμένη ονομαστική τιμή της  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , για τις διάφορες διακυμάνσεις της τάσης  $V$  στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ. Οι διακυμάνσεις αυτές της τάσης  $V$  στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ, μπορεί να οφείλονται είτε στη διακύμανση των φορτίων  $L$  στη διάρκεια μιας ημέρας (ενός 24ώρου), είτε στη διακύμανση της παραγωγής από το Α/Π στη διάρκεια της ίδιας ημέρας (το ίδιο 24ώρο). Η τιμή της τάσης  $V$  του πρωτεύοντος τυλίγματος του Μ/Σ 3 ώστε να είναι εφικτή η επιθυμητή ρύθμιση της τάσης  $V$  του ζυγού ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ), επιλέγεται να μπορεί να κυμανθεί μεταξύ του 0,9 και 1,1 της ονομαστικής της τιμής  $V_{n1} = 20 \text{ kV}$ . Δηλαδή, η τάση  $V$  στο πρωτεύον τυλίγμα του Μ/Σ 3 μπορεί να πάρει τιμές για  $Minimum \ Tap \ Ratio = 0,9$   $V'_{n1} = 0,9 \times V_{n1} = 0,9 \times 20 \text{ kV} = 18 \text{ kV}$  και για  $Maximum \ Tap \ Ratio = 1,1$   $V''_{n1} = 1,1 \times V_{n1} = 1,1 \times 20 \text{ kV} = 22 \text{ kV}$ . Η βηματική τάση  $V_{Step}$  του Μ/Σ 3 με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ καθορίζεται επίσης στο 1% της ονομαστικής της τιμής  $V_{n1}$ , δηλαδή στα  $Tap \ Step \ Size = V_{Step} = 0,01 \times 20 \text{ kV} = 0,2 \text{ kV}$ . Τέλος, οι επιθυμητές εκείνες τιμές της τάσης  $V$ , του ζυγού Νο5 εντός των οποίων η λειτουργία του ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 3 θα προσπαθήσει να επαναφέρει την τάση  $V$  από τυχόν διακυμάνσεις της στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ, κυμαίνονται μεταξύ του 0,99 και 1,01 της ονομαστικής της τιμής  $V_{n2} = 0,4 \text{ kV}$ . Δηλαδή,  $Regulation \ Minimum \ Voltage = 0,99 \times 0,4 \text{ kV} = 0,396 \text{ kV}$  και  $Regulation \ Maximum \ Voltage = 1,01 \times 0,4 \text{ kV} = 0,404 \text{ kV}$ .



Εικόνα 4.21: Ο Μ/Σ 3 στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας με ενσωματωμένο ή μη ΣΑΤΥΦ (ACS: YES ή NO).

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε για το Μ/Σ 3 του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας, με την πραγματοποίηση των παρακάτω προσομοιώσεων, τις δύο (2) αυτές περιπτώσεις (με ή χωρίς ΣΑΤΥΦ), για διάφορες πιθανές καταστάσεις και τιμές των

υπόλοιπων στοιχείων (φορτίων  $L$  και σταθμών ΔΠ) του ΔΔΗΕ, στην διάρκεια μίας ημέρας (ενός 24ώρου).

#### 4.4.9 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (Μ/Σ 3) Διανομής Που Δε Διαθέτει Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)

Η αρχική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε αφορούσε Μ/Σ 3 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ (ACS: NO). Για την περίπτωση αυτή, εξετάσαμε τις εξής υπό περιπτώσεις ροής φορτίου για τις ακραίες λειτουργικές καταστάσεις του συνόλου των στοιχείων (φορτία  $L$  και σταθμοί ΔΠ) του ΔΔΗΕ:

- Μέγιστο Φορτίο  $\max\{L\}$  – Ελάχιστη Παραγωγή  $\min\{G\}$ , για την οποία αναμένουμε μέγιστη πτώση τάσης  $V$ .
- Ελάχιστο Φορτίο  $\min\{L\}$  – Μέγιστη Παραγωγή  $\max\{G\}$ , για την οποία αναμένουμε μέγιστη ανύψωση τάσης  $V$ .

##### 4.4.9.1 Περίπτωση Μέγιστου Φορτίου $\max\{L\}$ – Ελάχιστης Παραγωγής $\min\{G\}$

Για την περίπτωση αυτή, οι τιμές των απορροφούμενων και προσδιδόμενων ισχύων στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ είναι:

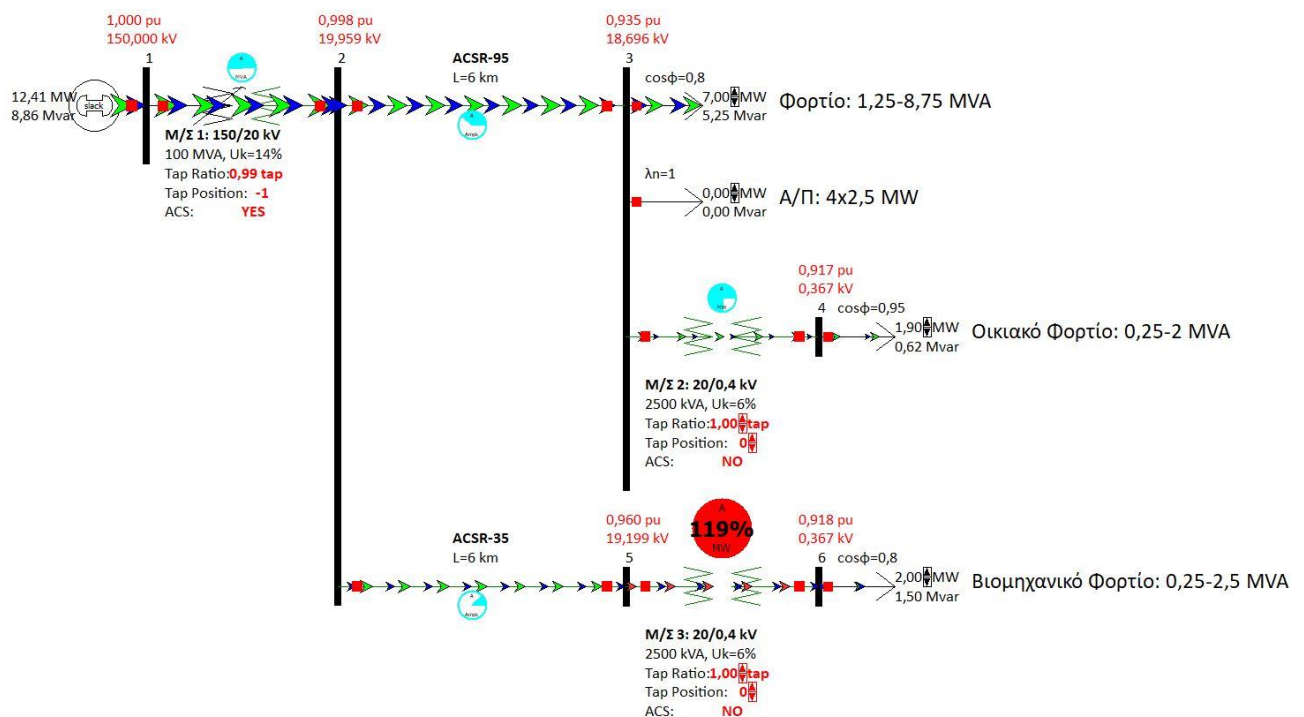
- Απορροφούμενη ισχύς  $S_{max} = 8,75 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 7 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 5,25 \text{ Mvar}$ , από τον κλάδο του ΔΔΗΕ με τα επαγωγικά φορτία  $L$ , αφού έχουμε θεωρήσει ότι ο ΣΙ αυτών είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) και ίσος με  $\cos \varphi = 0,8$ .
- Προσδιδόμενη ισχύς  $S_{max} = 0 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 0 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0 \text{ Mvar}$ , από το Α/Π.
- Απορροφούμενη ισχύς  $S_{max} = 2 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 1,9 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0,63 \text{ Mvar}$ , από τα επαγωγικά φορτία  $L$  του οικισμού, αφού έχουμε θεωρήσει ότι ο ΣΙ αυτών είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) και ίσος με  $\cos \varphi = 0,95$ .
- Απορροφούμενη ισχύς  $S_{max} = 2,5 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 2 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 1,5 \text{ Mvar}$ , από τα επαγωγικά φορτία  $L$  της βιομηχανίας, αφού έχουμε θεωρήσει ότι ο ΣΙ αυτών είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) και ίσος με  $\cos \varphi = 0,8$ .

Τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής προσομοίωσης του μοντέλου Νο2 παρουσιάζονται στην ακόλουθη Εικόνα 4.22.

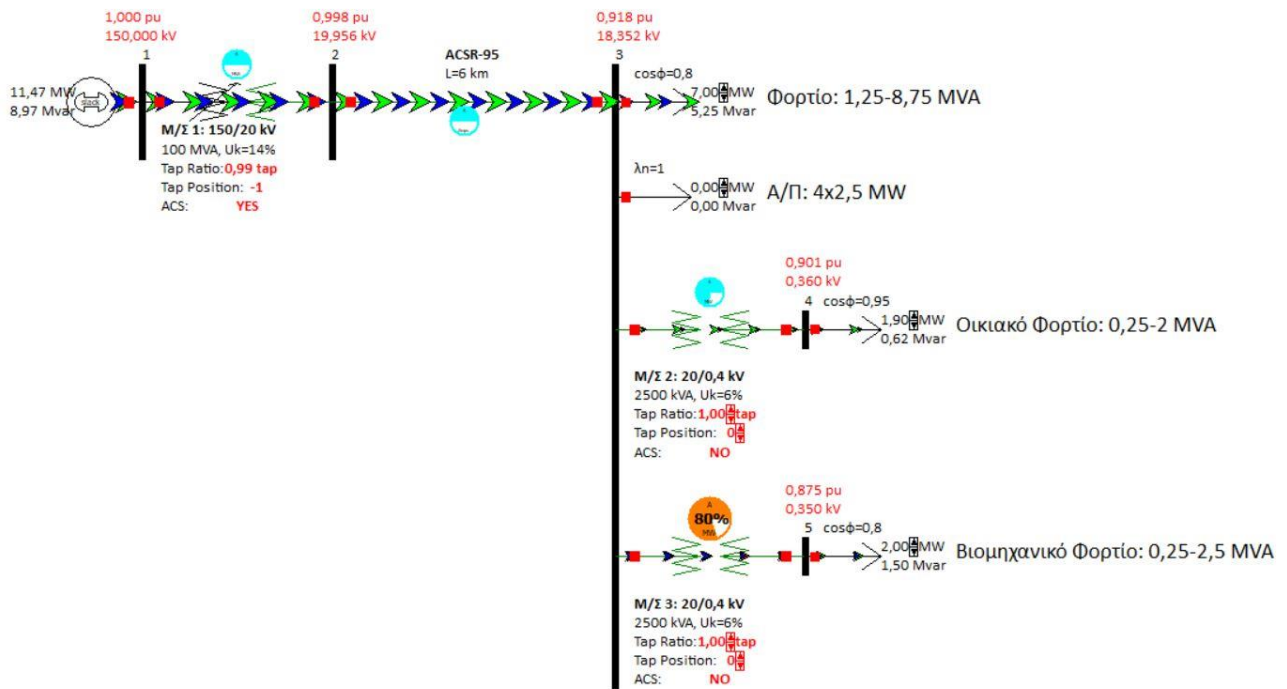
Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής της προσομοίωσης του μοντέλου Νο2, παρατηρούμε ότι η τιμή της τάσης  $V$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας, είναι εκτός των οριακών τιμών της τάσης  $V$  που τίθενται από το προτύπου EN50160 (αποδεκτή απόκλιση έως  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τιμή της τάσης  $V_n$  σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ). Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για την περίπτωση εγκατάστασης στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας συμβατικού Μ/Σ 3 ισχύος που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ, είναι αδύνατη η τροφοδότησή της βιομηχανίας από το κοντινό ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, η τιμή της τάσης  $V$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας να είναι για κάποιες

τουλάχιστον ώρες της ημέρας (του 24ώρου) εκτός των οριακών τιμών της τάσης  $V$  που τίθενται από το πρότυπο EN50160.

Η μοναδική λοιπόν λύση για το διαχειριστή του ΔΔΗΕ, εκτός φυσικά από εκείνη της εγκατάστασης στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ /ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ (περίπτωση που θα εξετάσουμε στη συνέχεια), είναι η πραγματοποίηση νέων έργων ΔΔΗΕ για την κάλυψη των φορτίων  $L$  της βιομηχανίας και ταυτόχρονα για τη διατήρηση της τιμής της τάσης  $V$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας εντός των οριακών τιμών της τάσης  $V$  που τίθενται από το πρότυπο EN50160, για όλες τις ώρες της ημέρας (του 24ώρου). Συγκεκριμένα στην περίπτωση μας, ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ θα πρέπει να κατασκευάσει μια νέα γραμμή διανομής ΜΤ τύπου ACSR-35 (ωμικής αντίστασης  $R = 0,576 \Omega/\text{km}$  και επαγωγικής αντίδρασης  $X = 0,397 \Omega/\text{km}$ ) με μήκος  $L = 6 \text{ km}$ , αφετηρία το ζυγό ΜΤ Νο2 ( $V_{n2} = 20 \text{ kV}$ ) του Υ/Σ μεταφοράς (ΥΤ / ΜΤ) και τερματισμό στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας. Εδώ θα πρέπει να θυμίσουμε ότι ο Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας βρίσκεται πλησίον του ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ. Επίσης, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το κόστος των νέων αυτών έργων ΔΔΗΕ θα το επωμιστούν τόσο ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ, όσο και νέος βιομηχανικός καταναλωτής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της εναλλακτικής αυτής λύσης από πλευράς του διαχειριστή ΔΔΗΕ παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.23.



Εικόνα 4.22: Περίπτωση  $\text{Max}\{L\} - \text{Min}\{G\}$ . Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης Νο2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator για Μ/Σ 3 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ.



Εικόνα 4.23: Περίπτωση  $\text{Max}\{L\} - \text{Min}\{G\}$ . Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης No2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator για M/Σ 3 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ, αλλά τροφοδοτείται με μέσω εναλλακτικής γραμμής μεταφοράς ACSR-35 μήκους  $L = 6 \text{ km}$ .

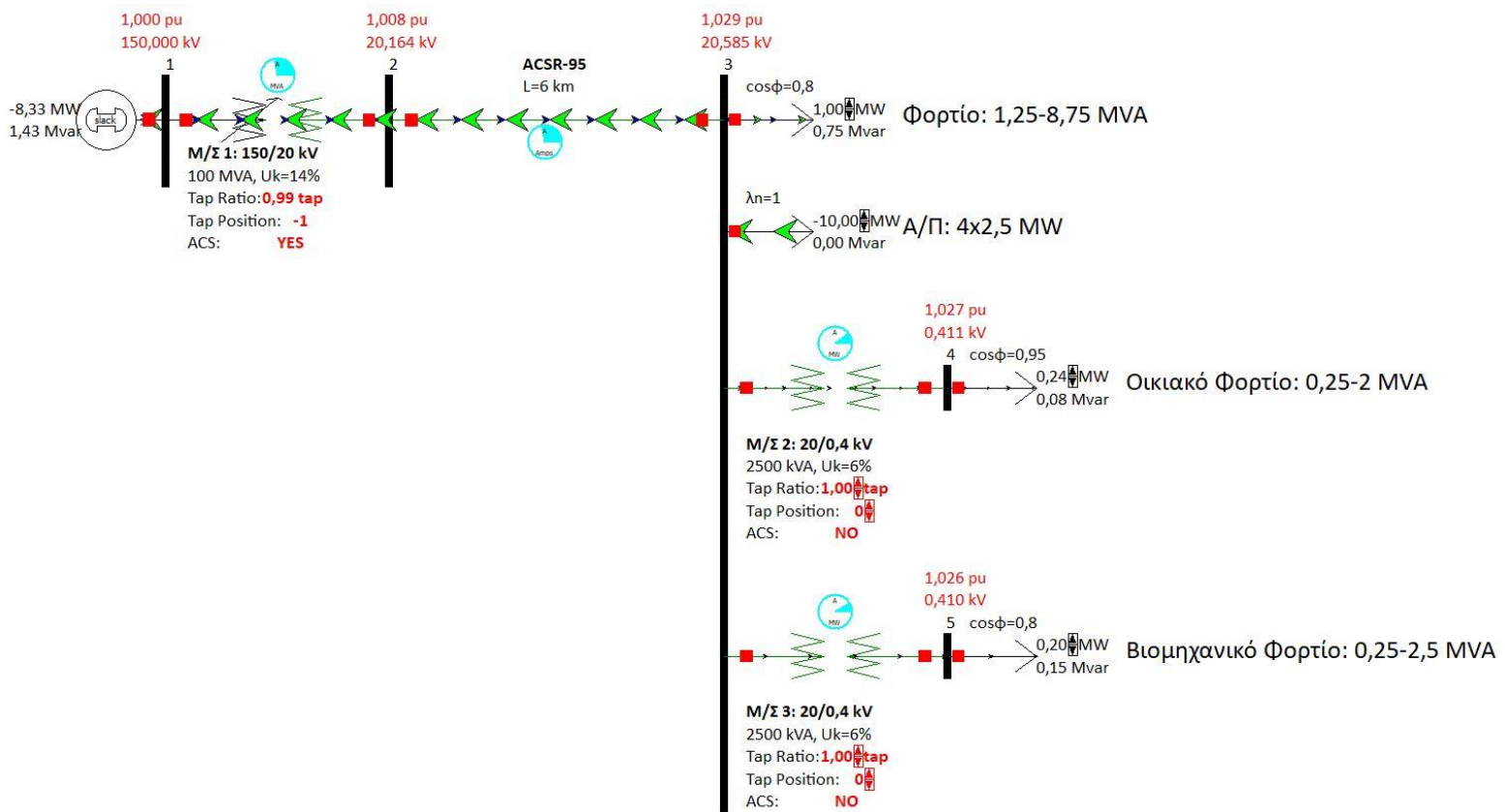
#### 4.4.9.2 Περίπτωση Ελάχιστου Φορτίου $\text{min}\{L\} - \text{Μέγιστης Παραγωγής } \text{max}\{G\}$

Για την περίπτωση αυτή, οι τιμές των απορροφούμενων και προσδιδόμενων ισχύων στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ είναι:

- Απορροφούμενη ισχύς  $S_{max} = 1,25 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 1 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0,75 \text{ Mvar}$ , από τον κλάδο του ΔΔΗΕ με τα επαγωγικά φορτία  $L$ , αφού έχουμε θεωρήσει ότι ο ΣΙ αυτών είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) και ίσος με  $\cos \varphi = 0,8$ .
- Προσδιδόμενη ισχύς  $S_{max} = 10 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 10 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0 \text{ Mvar}$ , από το Α/Π.
- Απορροφούμενη ισχύς  $S_{max} = 0,25 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 0,24 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0,08 \text{ Mvar}$ , από τα επαγωγικά φορτία  $L$  του οικισμού, αφού έχουμε θεωρήσει ότι ο ΣΙ αυτών είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) και ίσος με  $\cos \varphi = 0,95$ .
- Απορροφούμενη ισχύς  $S_{max} = 0,25 \text{ MVA}$ ,  $P_{max} = 0,2 \text{ MW}$ ,  $Q_{max} = 0,15 \text{ Mvar}$ , από τα επαγωγικά φορτία  $L$  της βιομηχανίας, αφού έχουμε θεωρήσει ότι ο ΣΙ αυτών είναι σταθερός σε όλη τη διάρκεια της ημέρας (ενός 24ώρου) και ίσος με  $\cos \varphi = 0,8$ .

Τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής προσομοίωσης του Μοντέλου No2 παρουσιάζονται μέσω της ακόλουθης Εικόνας 4.24.





Εικόνα 4.24: Περίπτωση  $\text{Min}\{L\} - \text{Max}\{G\}$ . Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης No2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator για M/Σ 3 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής της προσομοίωσης του μοντέλου No2, παρατηρούμε ότι οι τιμές της τάσης  $V$  σε όλους τους ζυγούς του μοντέλου No2, είναι εντός των οριακών τιμών τάσης  $V$  που τίθενται από το προτύπου EN50160 (αποδεκτή απόκλιση έως  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τιμή της τάση  $V_n$  σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ. Ειδικά για το ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας, η τιμή της τάσης του είναι  $V_5 = 1,026 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,41 \text{ kV}$ .

#### 4.4.10 Προσομοίωση Για Μετασχηματιστή (M/Σ 3) Διανομής Με Ενσωματωμένο Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ).

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση προσομοίωσης με M/Σ 3 διανομής που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ, έτσι και στην περίπτωση αυτή που ο M/Σ 3 διανομής έχει ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, εξετάσαμε τις εξής υπό περιπτώσεις ροής φορτίου  $L$  για τις ακραίες λειτουργικές καταστάσεις του συνόλου των στοιχείων (φορτία  $L$  και σταθμοί ΔΠ) του ΔΔΗΕ:

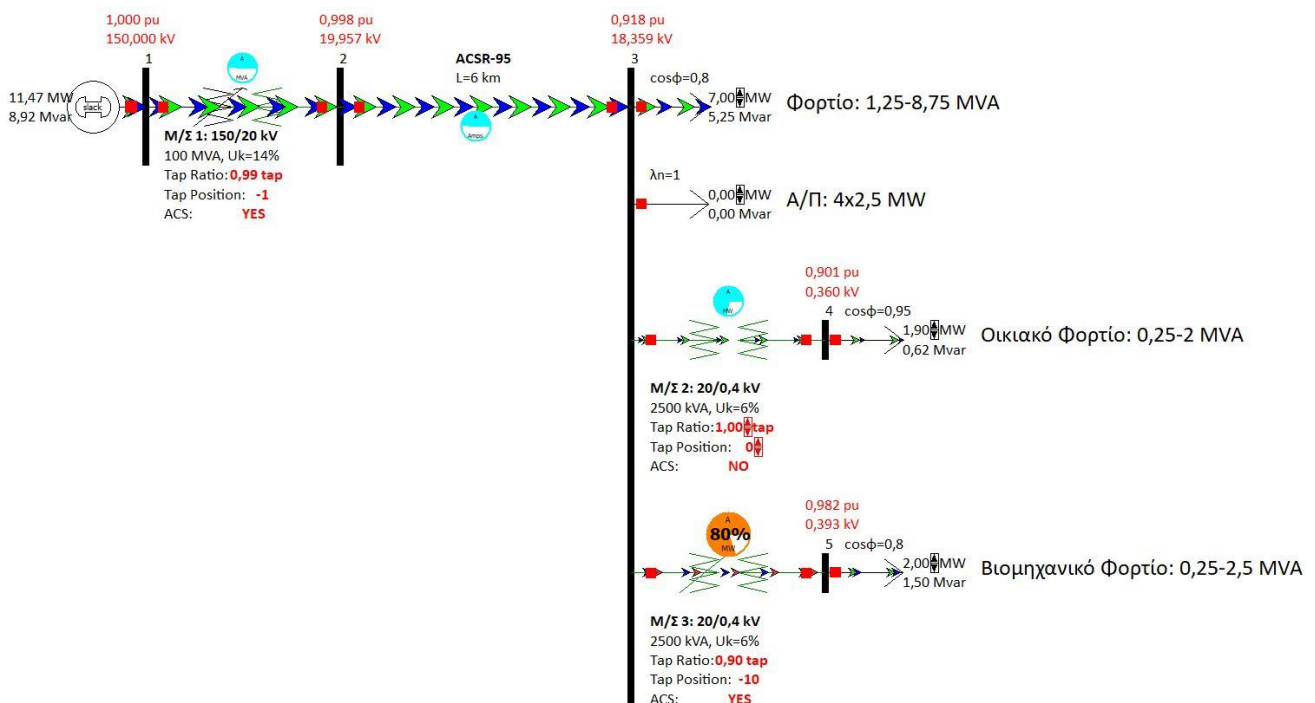
- Μέγιστο Φορτίο  $\text{max}\{L\}$  – Ελάχιστη Παραγωγή  $\text{min}\{G\}$ , για την οποία αναμένουμε μέγιστη πτώση τάσης  $V$ .
- Ελάχιστο Φορτίο  $\text{min}\{L\}$  – Μέγιστη Παραγωγή  $\text{max}\{G\}$ , για την οποία αναμένουμε μέγιστη ανύψωση τάσης  $V$ .

#### 4.4.10.1 Περίπτωση Μέγιστου Φορτίου $max\{L\}$ – Ελάχιστης Παραγωγής $min\{G\}$

Για την περίπτωση αυτή, οι τιμές των απορροφούμενων και προσδιδόμενων ισχύων στο ΣΚΣ (ζυγός ΜΤ Νο3 ( $V_{n3} = 20\text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ είναι ακριβώς ίδιες με αυτές της παραγράφου §4.4.9.1 (για το λόγο αυτό δεν τις επαναλαμβάνουμε).

Τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής προσομοίωσης του μοντέλου Νο2 παρουσιάζονται στην ακόλουθη Εικόνα 4.25.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές της τάσης  $V$  σε όλους τους ζυγούς του μοντέλου Νο2, είναι εντός των οριακών τιμών της τάσης  $V$  που τίθενται από το προτύπου EN50160 (αποδεκτή απόκλιση έως  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τάση  $V_n$  σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ). Το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 3 ισχύος που είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας, έχει μετακινηθεί αυτόματα στην τερματική του θέση  $-10$  (tap position  $-10$ ). Για τη θέση αυτή τυλίγματος (tap position  $-10$ ) του Μ/Σ 3 ισχύος που είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας, η τιμή της τάσης στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4\text{ kV}$ ) της βιομηχανίας είναι  $V_5 = 0,982\text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,393\text{ kV}$ . Προφανώς, η τιμή αυτή της τάσης του ζυγού ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4\text{ kV}$ ) της βιομηχανίας είναι βελτιωμένη και πιο κοντά στην ονομαστική τιμή της τάσης του  $V_{n5} = 0,4\text{ kV}$ , σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της τάσης ( $V_5 = 0,918\text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,367\text{ kV}$ ) για την περίπτωση που ο Μ/Σ 3 ισχύος του Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας δεν είναι εξοπλισμένος με ΣΑΤΥΦ, αλλά τροφοδοτείται μέσω νέας γραμμής διανομής ΜΤ τύπου ACSR-35 και μήκους  $L = 6\text{ km}$  (περίπτωση §4.4.9.1).



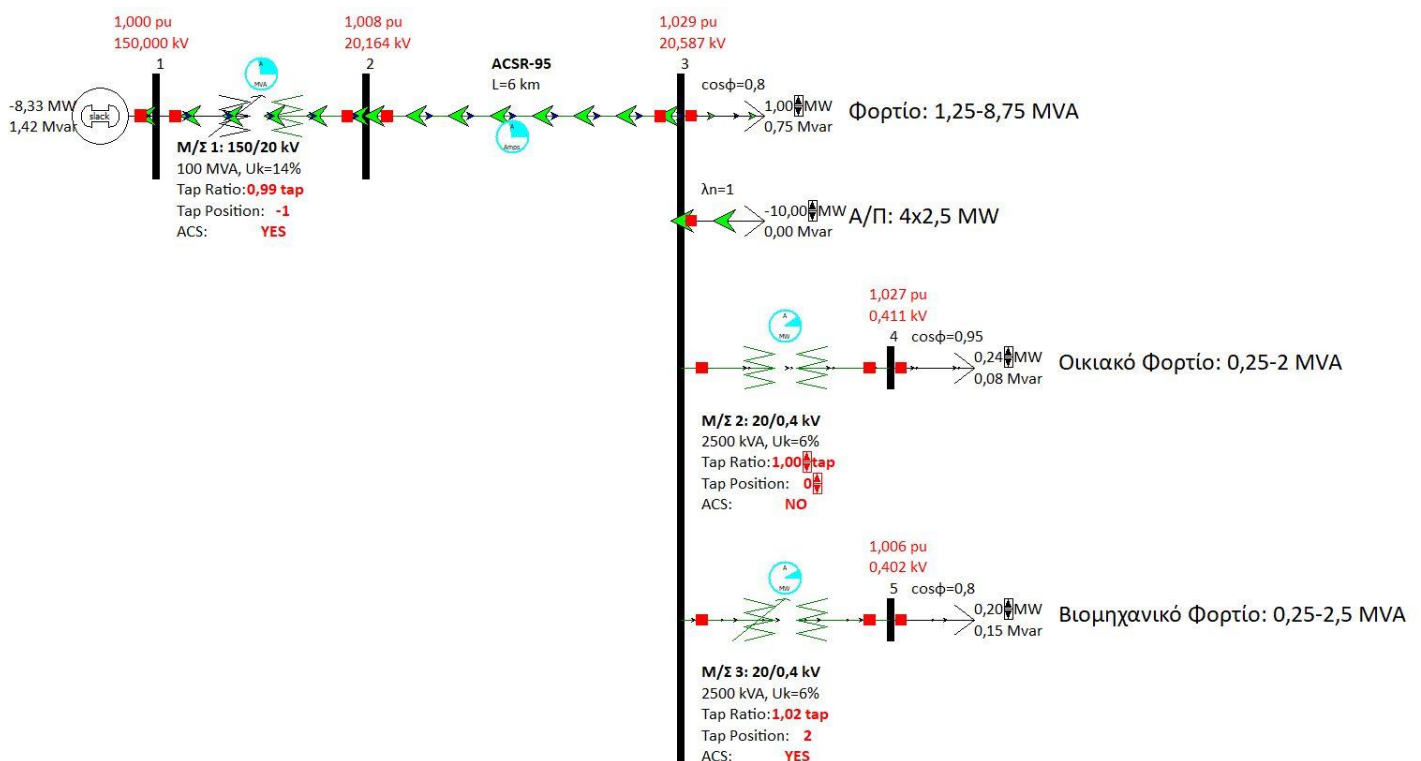
Εικόνα 4.25: Περίπτωση  $Max\{L\} - Min\{G\}$ . Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης Νο2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator για Μ/Σ 3 διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

#### 4.4.10.2 Περίπτωση Ελάχιστου Φορτίου $\min\{L\}$ – Μέγιστης Παραγωγής $\max\{G\}$

Και για αυτή την περίπτωση, οι τιμές των απορροφούμενων και προσδιδόμενων ισχύων στο ΣΚΣ (ζυγός MT No3 ( $V_{n3} = 20 \text{ kV}$ )) του ΔΔΗΕ είναι ακριβώς ίδιες με αυτές της παραγράφου §4.4.9.2 (για το λόγο αυτό δεν τις επαναλαμβάνουμε).

Τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής προσομοίωσης του μοντέλου No2 παρουσιάζονται στην ακόλουθη Εικόνα 4.26.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές της τάσης  $V$  σε όλους τους ζυγούς του μοντέλου No2 είναι αποδεκτές, αφού είναι εντός των οριακών τιμών της τάσης  $V$  που τίθενται από το προτύπου EN50160 (αποδεκτή απόκλιση έως  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τάση  $V_n$  σε οποιοδήποτε σημείο του ΔΔΗΕ). Το ΣΑΤΥΦ του Μ/Σ 3 που είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ διανομής (MT / ΧΤ) της βιομηχανίας, έχει μετακινηθεί αυτόματα στη θέση 2 (Tap Position 2). Για τη θέση αυτή τυλίγματος (tap position 2) του Μ/Σ 3 ισχύος που είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ διανομής (MT / ΧΤ) της βιομηχανίας, η τιμή της τάσης στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας γίνεται  $V_5 = 1,006 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,402 \text{ kV}$ . Προφανώς, η τιμή αυτή της τάσης του ζυγού ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας είναι βελτιωμένη και πιο κοντά στην ονομαστική τιμή της τάσης του  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ , σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της τάσης ( $V_5 = 1,026 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,410 \text{ kV}$ ) για την περίπτωση που ο Μ/Σ 3 ισχύος του Υ/Σ διανομής (MT / ΧΤ) της βιομηχανίας δεν είναι εξοπλισμένος με ΣΑΤΥΦ (περίπτωση §4.4.9.2).



Εικόνα 4.26: Περίπτωση  $\min\{L\}$  –  $\max\{G\}$ . Αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης No2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator για Μ/Σ 3 διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

#### 4.4.11 Συμπεράσματα Από Τη Σύγκριση Και Την Αξιολόγηση Των Αποτελεσμάτων Της Προσομοίωσης Του Μοντέλου Νο2

Το σύνολο όλων των παραπάνω προσομοιώσεων για το μοντέλο Νο2 πραγματοποιήθηκε τόσο για ηλεκτρικά φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power), όσο και για ηλεκτρικά φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του μοντέλου Νο2 για ηλεκτρικά φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power) είναι όλα τα παραπάνω αναγραφόμενα. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του Μοντέλου Νο2 για ηλεκτρικά φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance) είναι ανάλογα με αυτά για τα φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power) και μας οδηγούν σε παρόμοια συμπεράσματα. Τα σπουδαιότερα από αυτά συμπεράσματα που μπορούμε να εξάγουμε από όλες τις παραπάνω περιπτώσεις προσομοίωσης του μοντέλου Νο2, είτε αυτό περιλαμβάνει ηλεκτρικά φορτία  $L$  σταθερής ισχύος (Constant Power), είτε ηλεκτρικά φορτία  $L$  σταθερής αγωγιμότητας (Constant Impedance), είναι:

- Για την περίπτωση εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ, η τάση στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας, για τις ώρες εκείνες της ημέρας (του 24ώρου) που το ΔΔΗΕ λειτουργεί στην ακραία του κατάσταση  $\max\{L\} - \min\{G\}$ , είναι  $V_5 = 0,875 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,350 \text{ kV}$ , άρα εκτός των αποδεκτών τιμών της τάσης  $V$  (βάση προτύπου EN50160, επιτρεπτή απόκλιση  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τάση του ζυγού  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ).
- Εξαιτίας αυτού του γεγονότος και για την επαναφορά της τάσης του ζυγού ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας εντός των αποδεκτών τιμών της τάσης  $V$  για όλες τις ώρες της ημέρας (του 24ώρου), σύμφωνα και με το πρότυπο EN50160, ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ σε συνεργασία με την ιδιοκτησία της βιομηχανίας έχει τις εξής επιλογές:
  - Την πραγματοποίηση νέων έργων ΔΔΗΕ και συγκεκριμένα την κατασκευή νέας γραμμής διανομής ΜΤ τύπου ACSR-35 και μήκους  $L = 6 \text{ km}$ . Στην περίπτωση αυτή, η τάση στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας  $V_5 = 0,918 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,367 \text{ kV}$  είναι αποδεκτή βάση και του προτύπου EN50160. Στην περίπτωση που επιλέγονταν από το διαχειριστή του ΔΔΗΕ η νέα γραμμή διανομής ΜΤ να ήταν η ακριβότερου τύπου ACSR-95, η τάση στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας θα γινόταν  $V_5 = 0,938 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,375 \text{ kV}$
  - Την εγκατάσταση στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ /ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Το επιπλέον κόστος του Μ/Σ 3 διανομής, εξαιτίας του ενσωματωμένου ΣΑΤΥΦ, το επωμίζεται αποκλειστικά ο βιομηχανικός πελάτης. Στην περίπτωση αυτή, η τάση στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας  $V_5 = 0,982 \text{ pu}$  ή  $V_5 = 0,393 \text{ kV}$  είναι αποδεκτή βάση και του προτύπου EN50160.

Άρα τελικά, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η επιλογή εγκατάστασης στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ /ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, είναι προτιμότερη, αφού η τάση  $V$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας είναι πιο κοντά στην ονομαστική της τιμή  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$  από ότι στην περίπτωση

κατασκευής νέας γραμμής διανομής ΜΤ, είτε αυτή είναι τύπου ΑCSR-35 (οικονομικότερη επιλογή), είτε τύπου ΑCSR-95 (ακριβότερη επιλογή).

- Εκτός όμως του παραπάνω τεχνικού πλεονεκτήματος που παρουσιάζει η εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία Μ/Σ 3 διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, έναντι των νέων έργων ΔΔΗΕ και της κατασκευής νέας γραμμής διανομής ΜΤ, η επιλογή αυτή υπερτερεί συγκρίνοντας τις δύο (2) επιλογές μας και από οικονομικής πλευράς. Συγκεκριμένα, το ενδεικτικό κόστος ενός Μ/Σ ισχύος με  $S_{M/\Sigma} = 2500 \text{ kVA}$ , 20 kV / 0,4 kV (Μ/Σ 3) είναι περίπου 20.000,00 €. Το επιπλέον κόστος στην περίπτωση που ο ίδιος Μ/Σ ισχύος είναι εξοπλισμένος με ΣΑΤΥΦ ανέρχεται περίπου στο 50% της αρχικής τιμής του, ήτοι στα 10.000,00 €. Αντίστοιχα, το κόστος κατασκευής μιας νέας γραμμής διανομής ΜΤ, τύπου ΑCSR-35 (που αποτελεί και την οικονομικότερη επιλογή μας, έναντι της κατασκευής νέας γραμμής διανομής ΜΤ τύπου ΑCSR-95), ανέρχεται περίπου στα 20.000,00 €/km. Έτσι, το συνολικό κόστος της κατασκευής γραμμής διανομής ΜΤ, τύπου ΑCSR-35 και συνολικού μήκους  $L = 6 \text{ km}$ , είναι περίπου  $6 \text{ km} \times 20.000,00 \text{ €/km} = 120.000,00 \text{ €}$ . Σε περίπτωση μάλιστα κατασκευής νέας γραμμής διανομής ΜΤ τύπου ΑCSR-95 (ακριβότερη επιλογή), το κόστος αυτό θα είναι ακόμη μεγαλύτερο. Προφανώς, από όλα τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι η επιλογή εγκατάστασης στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, υπερτερεί όχι μόνο τεχνικά, αλλά και βάση οικονομικών κριτηρίων έναντι των νέων έργων ΔΔΗΕ και της κατασκευής νέας γραμμής διανομής ΜΤ.
- Για την περίπτωση εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος που δε διαθέτει ΣΑΤΥΦ, η τάση στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας, για τις ώρες εκείνες της ημέρας (του 24ώρου) που το ΔΔΗΕ λειτουργεί στην ακραία του κατάσταση  $\min\{L\} - \max\{G\}$ , είναι  $V_5 = 1,026$  ή  $V_5 = 0,410 \text{ kV}$ , άρα εντός των αποδεκτών τιμών της τάσης  $V$  (βάση προτύπου EN50160, επιτρεπτή απόκλιση  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τιμή της τάσης του ζυγού  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ). Για την εναλλακτική περίπτωση εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία στον υποσταθμό Υ/Σ διανομής (ΜΤ /ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, η τάση στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας, για τις ώρες εκείνες της ημέρας (του 24ώρου) που το ΔΔΗΕ λειτουργεί στην ακραία του κατάσταση  $\min\{L\} - \max\{G\}$ , παραμένει επίσης εντός των αποδεκτών τιμών της τάσης  $V$  (βάση προτύπου EN50160, επιτρεπτή απόκλιση  $\pm 10\%$  από την ονομαστική τιμή της τάσης του ζυγού  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) και συγκεκριμένα είναι  $V_5 = 1,006$  ή  $V_5 = 0,402 \text{ kV}$ . Παρατηρούμε λοιπόν ότι και σε αυτή την περίπτωση λειτουργίας του ΔΔΗΕ στην ακραία του κατάσταση  $\min\{L\} - \max\{G\}$ , για κάποιες ώρες τις ημέρας (του 24ώρου), η εγκατάσταση και λειτουργία στον Υ/Σ διανομής (ΜΤ /ΧΤ) της βιομηχανίας Μ/Σ 3 ισχύος που διαθέτει ΣΑΤΥΦ, υπερτερεί τεχνικά έναντι της εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία Μ/Σ 3 διανομής χωρίς ΣΑΤΥΦ, αφού μας δίνει τιμές τάσης  $V$  στο ζυγό ΧΤ Νο5 ( $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ ) της βιομηχανίας πιο κοντά στην ονομαστική του τιμή  $V_{n5} = 0,4 \text{ kV}$ .

Το σύνολο όλων των παραπάνω συμπερασμάτων, σχετικά με όλες τις περιπτώσεις προσομοίωσης του μοντέλου Νο2 που εξετάσαμε, απεικονίζονται και αριθμητικά στον παρακάτω Πίνακα 4.4.

	Τάση Ζυγού ΧΤ Νο5, $V_5$		
	Μ/Σ 3 <u>Χωρίς</u> ΣΑΤΥΦ	Μ/Σ 3 <u>Χωρίς</u> ΣΑΤΥΦ Τροφοδότηση Με Νέα Γραμμή Διανομής Τύπου ACSR-35 Και Μήκους $L = 6 \text{ km}$	Μ/Σ 3 <u>Με</u> ΣΑΤΥΦ
$\max\{L\}$ $\min\{G\}$	0,875 pu 0,350 kV	0,918 pu 0,367 kV	0,982 pu 0,393 kV
Επιπλέον Κόστος	-	100.000,00 €	10.000,00 €
$\min\{L\}$ $\max\{G\}$	1,026 pu 0,410 kV	-	1,006 pu 0,402 kV

Πίνακας 4.4: Συγκριτικά αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης No2 στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, για Μ/Σ 3 διανομής με ή χωρίς ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ και για τις ακραίες λειτουργικές καταστάσεις ( $\max\{L\} - \min\{G\}$  και  $\min\{L\} - \max\{G\}$ ) του συνόλου των στοιχείων (φορτία  $L$  και σταθμοί ΔΠ) του ΔΔΗΕ.

## Κεφάλαιο 5

### Συμπεράσματα – Προοπτικές Συνέχισης

Η ένταξη στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) νέων ηλεκτρικών καταναλώσεων, που σύντομα θα ενταθεί και εξαιτίας της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση, αλλά και η μεγάλη διείδυση σε αυτό σταθμών Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ), δημιουργεί προβλήματα πτώσης και ανύψωσης της τάσης  $V$  που προκαλούνται από την κανονική ή αντίστροφη ροή ισχύος στο ΔΔΗΕ.

Τα μέσα (εξοπλισμός) που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη ρύθμιση της τάσης  $V$  των ΔΔΗΕ είναι τα Συστήματα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) με τα οποία είναι εξοπλισμένοι οι Μετασηματιστές (Μ/Σ) ισχύος των Υποσταθμών (Υ/Σ) μεταφοράς (Υψηλή Τάση (ΥΤ) / Μέση Τάση (ΜΤ)), οι λήψεις των Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ διανομής (ΜΤ / Χαμηλή Τάση(ΧΤ)), η μεταβολή των οποίων γίνεται μόνο χειροκίνητα και με το Μ/Σ αποσυνδεδεμένο από το ΔΔΗΕ (χωρίς φορτίο) και οι εγκάρσιοι πυκνωτές. Την τελευταία δεκαετία έχει αναπτυχθεί μία νέα τεχνολογία που συνδυάζει τις δύο αρχικές από τις παραπάνω περιπτώσεις και έρχεται να δώσει απάντηση στην απαίτηση για λειτουργία των ΔΔΗΕ υπό σταθερές τάσεις  $V$ . Πλέον, είναι εφικτή η εγκατάσταση και στους Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ) (δευτερεύοντες Υ/Σ) των ΔΔΗΕ Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ είναι πανομοιότυπος με έναν συμβατικό Μ/Σ διανομής, μόνο που σε αυτόν έχει γίνει προσθήκη ενός στοιχείου ελέγχου και μιας μονάδας ελέγχου.

Στις ημέρες μας οι Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ παράγονται μαζικά και μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν και να τεθούν σε λειτουργία σε ήδη υπάρχοντες δευτερεύοντες Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ).

Είναι εύκολοι στη χρήση τους και η λειτουργία τους προσδίδει πληθώρα τεχνικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων, συγκριτικά και με τους συμβατικούς Μ/Σ διανομής που δε διαθέτουν ΣΑΤΥΦ αλλά και τις διαθέσιμες προαναφερόμενες τεχνολογίες για τη ρύθμιση της τάσης  $V$ . Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη πολλών σκοπών, συμπεριλαμβανομένων:

- Της διόρθωσης προβλημάτων της ζώνης τάσης  $V$  για τα ΔΔΗΕ ΜΤ και ΧΤ.
- Της βελτιστοποίησης της τοπολογίας των ΔΔΗΕ.
- Της βελτιστοποίησης της διαχείρισης της άεργου ισχύος  $Q$  που ρέει στα ΔΔΗΕ.

Ωστόσο, εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε προβλήματα υπερφόρτωσης των ΔΔΗΕ.

Σε ΔΔΗΕ που αποτελούνται από γραμμές διανομής πολύ μεγάλου μήκους και / ή από ανομοιογενείς κλάδους, θα πρέπει να γίνεται κατά περίπτωση μελέτη για το εάν είναι αναγκαία και αποδοτική η χρήση Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ.

Στις περισσότερες εφαρμογές Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, στους δευτερεύοντες Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), αρκεί η απλούστερη διαδικασία ελέγχου, η οποία συνοψίζεται με τη φράση «Ρύθμιση της τάσης  $V$  σε μία σταθερή – επιθυμητή τιμή».

Η εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία στο ΔΔΗΕ Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, συνήθως, δεν απαιτεί και δεν προϋποθέτει τη σύνδεσή τους με κάποια από τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας.

Εάν όλες οι παράμετροι λειτουργίας των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ έχουν ρυθμιστεί καταλλήλως, δεν υπάρχουν αρνητικές αλληλεπιδράσεις με τον υπόλοιπο εξοπλισμό που σχετίζεται με τη ρύθμιση της τάσης  $V$  των ΔΔΗΕ. Επίσης, με την ορθή παραμετροποίηση των λειτουργικών ρυθμίσεων των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ, εκμηδενίζεται η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου «Κατάρρευσης Τάσης» από την αυτόματη λειτουργία των ΣΑΤΥΦ αυτών.

Ένα ακόμη από τα πλέον σπουδαιότερα συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας, το οποίο μάλιστα επιβεβαιώσαμε και με τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήσαμε στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, είναι ότι ένας Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ θα πρέπει να αποτελεί ένα ακόμη σημαντικότερο στοιχείο για το σχεδιασμό των ΔΔΗΕ. Η τεχνολογική του υπεροχή τον καθιστά συχνά μια πολύ πιο αποτελεσματική και αποδοτική από πλευράς κόστους επιλογή, σε σύγκριση και με τους συμβατικούς τρόπους ενίσχυσης των ΔΔΗΕ, όπως για παράδειγμα είναι η κατασκευή νέων δευτερευόντων Υποσταθμών (Υ/Σ) διανομής (ΜΤ / ΧΤ) και γραμμών διανομής ΜΤ και ΧΤ.

Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, έχουν σημαντικές προοπτικές εξέλιξης σχετικά με τη μελέτη των Μ/Σ διανομής με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ. Αρχικά, θα μπορούσαν να μοντελοποιηθούν τμήματα και κλάδοι του ΔΔΗΕ που είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Θα μπορούσε να δοκιμαστούν μοντέλα του ΔΔΗΕ, χαρακτηριστικό των οποίων είναι η μεγαλύτερη διείδυση σταθμών Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΔΠ), αφού αυτό επιβάλλεται και από τις σύγχρονες τάσεις των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Ακόμη, θα μπορούσαν να προσομοιωθούν και άλλες περιπτώσεις ΔΔΗΕ, πιο περίπλοκων και με διαφορετικά ηλεκτρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά γραμμών διανομής ΜΤ και ΧΤ, ώστε να μελετηθεί και η αλληλεπίδραση μεταξύ των ρυθμιστών της τάσης  $V$  του ΔΔΗΕ. Συνεχίζοντας την παραπάνω σκέψη, θα μπορούσε να κατασκευαστεί, με σκοπό την προσομοίωσή του, ένα μοντέλο ΔΔΗΕ που θα περιλάμβανε εκτός από τα στοιχεία που εμείς εξετάσαμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας και άλλα μέσα ρύθμισης της τάσης  $V$  του ΔΔΗΕ, όπως το STATCOM, το SVC και το DVR.

Τέλος, μία ακόμη προοπτική εξέλιξης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας θα ήταν η αναζήτηση μέσω προσομοιώσεων στο πρόγραμμα PowerWorld Simulator, εκείνων των ειδικών περιπτώσεων, τμημάτων – κλάδων ΔΔΗΕ, στα οποία αναφερθήκαμε θεωρητικά και στα οποία η εγκατάσταση και η θέση σε λειτουργία, εντός των δευτερευόντων Υ/Σ διανομής (ΜΤ / ΧΤ), Μ/Σ ισχύος με ενσωματωμένο ΣΑΤΥΦ παρουσιάζει συγκεκριμένους περιορισμούς. Ολοκληρώνοντας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε στο σημείο αυτό και η αναλυτική μελέτη της επίδρασης των ΣΑΤΥΦ των Μ/Σ διανομής στο φαινόμενο της «Κατάρρευσης Τάσης», που προκαλείται από την αυτόματη και ταυτόχρονη λειτουργία τους ύστερα από κάποια απότομη διαταραχή της τάσης  $V$  του ΔΔΗΕ, η οποία με τη σειρά της μπορεί για παράδειγμα να προκληθεί από μία ξαφνική απώλεια μιας γραμμής μεταφοράς ή διανομής.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Διαφάνειες μαθήματος Διεσπαρμένη Παραγωγή ΑΠΕ του ΔΠΜΣ: "Παραγωγή & Διαχείριση Ενέργειας», Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου.
- [2] <http://www.allaboutenergy.gr/>
- [3] Σημειώσεις μαθήματος Διεσπαρμένη Παραγωγή Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Ε. Κακαράς, Καθηγητής ΕΜΠ, Σ. Καρέλλας, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ.
- [4] Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, Καθηγητής ΕΜΠ, 2008.
- [5] <http://www.agroenergy.gr/categories/%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF>
- [6] Σημειώσεις μαθήματος Γεωθερμίας, Μιχαήλ Βροχόπουλου, Καθηγητή και διευθυντή του Εργαστηρίου Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Ερευνών του Γενικού Τμήματος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- [7] Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ομάδα εργασίας της Επιτροπής Ενέργειας της Ακαδημίας Αθηνών, 6 Οκτωβρίου 2017 «Ενεργειακές Προοπτικές της Ελλάδας το 2030 με προοπτική του 2050», Εμμανουήλ Κακαράς, Καθηγητής ΕΜΠ.
- [8] Τεχνικές απαιτήσεις για τη σύνδεση συσκευών φόρτισης οχημάτων σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, Ευάγγελος Τασιούλης, Σταύρος Παπαθανασίου, 30th CIGRE Greece National Conference "e-Session 2020", Paper Reference: B1-2020, 26.11.2020.
- [9] Γκιάτης Γ. Ανδρέας, Ρύθμιση τάσης με ΣΑΤΥΦ σε δίκτυα με διεσπαρμένη παραγωγή, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ, 2015.
- [10] Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Παύλος Σ. Γεωργιλιάκης, 2015.
- [11] ON-LOAD TAP-CHANGERS FOR POWER TRANSFORMERS, MR KNOWLEDGE BASE, AUTHOR: DR. DIETER DOHNAL, 2009.
- [12] FNN Recommendation, Voltage Regulating Distribution Transformer (VRDT)-Use in Grid Planning and Operation, FNN VDE, July 2016.
- [13] PowerWorld Simulator, "The visual approach to electric power systems" (<https://www.powerworld.com>).