



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Προστασία του δικτύου χαμηλής τάσης απο υπερτάσεις**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Δημήτριος Κ. Πολύζος**

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Προστασία του δικτύου χαμηλής τάσης απο υπερτάσεις

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Κ. Πολύζος

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29<sup>η</sup> Ιουλίου 2015.

.....  
Καραγιαννόπουλος Κων/νος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Θεοδώρου Ν.  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Τσαραμπάρης Π.  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2015

.....  
Δημήτριος Κ. Πολύζος

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

Copyright © Δημήτριος Πολύζος, 2015

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.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ-Ευχαριστίες .....	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
ABSTRACT .....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΚΡΟΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ.....	13
1.1 Αιτίες δημιουργίας κρουστικών υπερτάσεων .....	13
1.1.1 Υπερτάσεις λόγω κεραυνών .....	14
1.1.2 Υπερτάσεις λόγω διακοπτικών χειρισμών.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙ ΚΕΡΑΥΝΟΥ .....	19
2.1 Το φυσικό φαινόμενο .....	19
2.2 Επιπτώσεις των κεραυνικών πληγμάτων .....	23
2.3 Σχεδιασμός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ).....	26
2.3.1 Στοιχεία αντικεραυνικής προστασίας .....	26
2.3.1.α Εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας.....	26
2.3.1.β Εσωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας.....	27
2.3.2 Στάθμες προστασίας .....	27
2.3.2 Εξωτερική Εγκατάσταση Αντικεραυνικής Προστασίας (ΕΑΠ).....	30
2.3.3 Εσωτερική εγκατάσταση του ΕΑΠ .....	30
2.4 Αναπαράσταση των κεραυνικών ρευμάτων .....	32
2.4.1 Μαθηματική έκφραση.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΠΑΓΩΓΕΙΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ .....	34
3.1 Γενικά.....	34
3.1.1 Είδη απαγωγών υπέρτασης.....	34
3.1.2 Περιοριστές υπερτάσεων.....	36
3.1.3 Διακόπτες υπερτάσεων .....	37
3.1.4 Τυπικοί απαγωγοί υπερτάσεων.....	39
3.2 Τυπικά χαρακτηριστικά των απαγωγέων τάσης.....	45
3.3 Τοποθέτηση των SPD σε δίκτυο Χ.Τ.....	48
3.3.1 Σημεία τοποθέτησης .....	48
3.3.2 Επίδραση του μήκους των αγωγών .....	50
3.4 Επιπρόσθετη προστασία με SPD και συντονισμός του συνόλου των διατάξεων προστασίας .....	52
3.5 Επιλογή του κατάλληλου απαγωγού υπέρτασης.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΔΙΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ & ΘΥΡΙΣΤΟΡ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ.....	57
4.1 Γενικά.....	57
4.2 Δίοδος καταστολής υπερτάσεων (Transient-voltage-suppression diode).....	57
4.3 Κύκλωμα παροχέτευσης (Crowbar circuit) .....	58
4.4 Λειτουργία του Trisil ως απαγωγού υπέρτασης τύπου διακόπτη/παροχέτευσης.....	60
4.4.1 Γενικά.....	60

4.4.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Trisil.....	60
4.4.3 Χαρακτηριστικά περιορισμού υπερτάσεων .....	63
4.4.4 Συμπεριφορά σε περιπτώσεις κρουστικών ρευμάτων.....	64
4.4.5 Λειτουργία κατά την αγωγή προ κατάρρευσης.....	66
4.4.6 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	68
4.5 Σύγκριση διόδου καταστολής (Transil) και θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (Trisil) .....	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΧΡΗΣΗ TRISIL ΩΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ENANTI ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>75</b>
5.1 Εμφάνιση υπερτάσεων σε δίκτυα χαμηλής τάσης.....	75
5.2 Επιλογή στοιχείων κυκλώματος προστασίας υπερτάσεων .....	75
5.3 Επιλογή κατάλληλων ονομαστικών στοιχείων Trisil.....	77
5.4 Επιλογή στοιχείου προστασίας υπερέντασης σύνδεσης εν σειρά.....	81
5.5 Πειραματική διάταξη κυκλώματος προστασίας υπερτάσεων με χρήση Trisil .....	82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>87</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>91</b>
<b>Βιβλιογραφία: .....</b>	<b>95</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας 2.1:</u> Τιμές παραμέτρων κεραυνικού ρεύματος.....	22
<u>Σχήμα 2.2:</u> Μέτωπο κεραυνού θετικής εκκένωσης.....	22
<u>Σχήμα 2.3:</u> Ουρά κεραυνού θετικής εκκένωσης .....	23
<u>Πίνακας 2.4:</u> Συγκεντρωτικός πίνακας πιθανών καταστροφών από κεραυνικό πλήγμα.....	24
<u>Πίνακας 2.5:</u> Στάθμη προστασίας συναρτήσει της αποτελεσματικότητας.....	28
<u>Σχήμα 2.6:</u> Διάγραμμα ροής διαδικασίας επιλογής ΣΑΠ.....	29
<u>Σχήμα 2.4.1</u> Μορφή «μετώπου» και «ουράς» κρουστικού ρεύματος 10/350 μsec....	33
<u>Σχήμα 3.1:</u> Παράδειγμα σύνδεσης μονοπολικού και διπολικού απαγωγού .....	35
<u>Σχήμα 3.2:</u> Καμπύλη λειτουργίας υπερτάσεων .....	36
<u>Σχήμα 3.3:</u> Διάφοροι τύποι MOV της εταιρείας ABB.....	37
<u>Σχήμα 3.4:</u> Καμπύλη λειτουργίας διακοπτών υπερτάσεων.....	38
<u>Σχήμα 3.5:</u> Τρόποι σύνδεσης των SPD στην αρχή της εγκατάστασης .....	49
<u>Πίνακας 3.6:</u> Πιθανά σημεία εγκατάστασης SPD σε δίκτυα XT .....	49
<u>Σχήμα 3.7:</u> Συνδεσμολογία SPDs σε δίκτυα TN-C-S.....	50
<u>Σχήμα 3.8:</u> Τρόποι σύνδεσης των SPD.....	50
<u>Σχήμα 3.9:</u> Εφαρμογές τρόπων σύνδεσης SPD με τα φορτία.....	51
<u>Σχήμα 3.10:</u> Επιπλέον προστασία του εξοπλισμού.....	53
<u>Σχήμα 3.11:</u> Δύο απαγωγείς τάσης εν σειρά (Cascade Connection) .....	54
<u>Σχήμα 3.12:</u> Αποσύζευξη απαγωγέων τάσης με πηνίο.....	54
<u>Σχήμα 4.1:</u> Ενδεικτικό κύκλωμα προστασίας παροχέτευσης (crowbar).....	59
<u>Σχήμα 4.2:</u> I/V χαρακτηριστική του Trisil.....	61
<u>Σχήμα 4.3:</u> Χαρακτηριστική ομαλής λειτουργίας .....	61
<u>Σχήμα 4.4:</u> Χαρακτηριστική διάσπασης του Trisil.....	62
<u>Σχήμα 4.5:</u> Χαρακτηριστική πυροδότησης και λειτουργίας του Trisil .....	62
<u>Σχήμα 4.6:</u> Επιστροφή σε κατάσταση αναμονής.....	63
<u>Σχήμα 4.7:</u> Συσχέτιση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος υπέρτασης.....	64
<u>Σχήμα 4.8:</u> Συσχέτιση μεταξύ της περιοριζόμενης τάσης και της κλίσης της κρουστικής υπέρτασης .....	64
<u>Σχήμα 4.9:</u> Σύγκριση των μέγιστων περιοριζόμενων ρευμάτων για τα Transil και Trisil παρόμοιων συσκευασιών (SMB).....	65
<u>Σχήμα 4.10:</u> Δοκιμή υπερφόρτισης μακράς διάρκειας.....	66

<u>Σχήμα 4.11:</u> AC λειτουργία, προ της τάσης κατάρρευσης.....	67
<u>Σχήμα 4.12:</u> Συνθήκες για μη καταστρεπτική σε λειτουργία κατάρρευσης.....	68
<u>Σχήμα 4.13:</u> Λειτουργία σε κατάσταση μη αγωγής.....	68
<u>Σχήμα 4.14:</u> Λειτουργία σε κατάσταση αγωγής, προ κατάρρευσης.....	69
<u>Σχήμα 4.15:</u> Λειτουργία ως θυρίστορ.....	70
<u>Σχήμα 4.16:</u> Κλασική τοπολογία παράλληλης προστασίας.....	71
<u>Σχήμα 4.17:</u> Σύγκριση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών.....	71
<u>Σχήμα 4.18:</u> Σχηματική αναπαράσταση.....	72
<u>Σχήμα 4.19:</u> Ηλεκτρική συμπεριφορά ενός Transil και ενός Trisil.....	73
<u>Πίνακας 4.1:</u> Αντοχή ρευμάτων των Transil 1.5KE και Trisil TPB.....	73
<u>Πίνακας 4.2:</u> Συγκριτική σύνοψη Transil/Trisil.....	74
<u>Πίνακας 4.3:</u> Σημαντικά πλεονεκτήματα του κάθε στοιχείου.....	74
<u>Σχήμα 5.1:</u> Τοπολογία προστασίας μίας γραμμής.....	77
<u>Σχήμα 5.2:</u> Σκαρίφημα και σύμβολο ενός Trisil.....	78
<u>Πίνακας 5.1:</u> Διεθνή πρότυπα συμμόρφωσης του Trisil.....	79
<u>Πίνακας 5.2:</u> Μέγιστες ανεκτές τιμές Trisil ( $T_{amb}= 25^{\circ}C$ ).....	79
<u>Πίνακας 5.3:</u> Θερμικές αντοχές.....	80
<u>Σχήμα 5.3:</u> Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά – Ορισμοί.....	80
<u>Σχήμα 5.4:</u> Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά – Τιμές.....	80
<u>Σχήμα 5.5:</u> Υλοποίηση κυκλώματος προστασίας με χρήση Trisil.....	82
<u>Σχήμα 5.6:</u> Φωτογραφία κυκλώματος εν ώρα πειραματικών δοκιμών.....	83
<u>Σχήμα 5.7:</u> Αυτομετασχηματιστής 1kVA 0-260V.....	84
<u>Σχήμα 5.8:</u> Μετασχηματιστής ανύψωσης.....	84
<u>Σχήμα 5.9:</u> Κυκλωματικό διάγραμμα διάταξης μετρήσεων.....	85
<u>Σχήμα 5.10:</u> Τάση εξόδου υπό υπέρταση.....	86



## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ-Ευχαριστίες**

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015, στα πλαίσια εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων.

Η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας έγινε με σκοπό την εύρεση τρόπου προστασίας από υπερτάσεις στα δίκτυα χαμηλής τάσης 230V. Ως προτεινόμενη μέθοδος επιλέχθηκε το στοιχείο Trisil της ST Microelectronics.

Η βοήθεια του καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Κωνσταντίνου Καραγιαννόπουλου σε όλα τα στάδια της προετοιμασίας της ήταν συνεχής και αμέριστη και τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την συμβολή του στην συγγραφή του τελευταίου και σημαντικότερου κειμένου μου ως προπτυχιακός φοιτητής στο Ε.Μ.Π.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την αγάπη, την στήριξη και την υπομονή τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου, καθώς και τους φίλους και συναδέλφους για την στήριξη, βοήθεια και αγάπη τους.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

*Το παρόν σύγγραμμα αποτελεί τη διπλωματική εργασία του φοιτήτη Δημήτριου Πολύζου για την απόκτηση του διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών του ΕΜΠ. Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των απαγωγέων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης και μια πρόταση για εφαρμογή ενός από αυτούς για την αντιμετώπιση του προβλήματος .*

*Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των θεμάτων που καλύπτονται σε κάθε κεφάλαιο.*

*Στο Κεφάλαιο 1 της παρούσας εργασίας γίνεται μια αναφορά στα αίτια που δημιουργούν τις κρουστικές υπερτάσεις σε ένα δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης. Ειδικότερα, θα αναλυθούν οι αιτίες δημιουργίας υπερτάσεων που προέρχονται από κεραυνόπτωση και από σκόπιμες ενέργειες στο σύστημα, η συμπεριφορά αυτών των υπερτάσεων, καθώς και η συχνότητα εμφάνισής τους.*

*Στο Κεφάλαιο 2 παρατίθεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στο φαινόμενο του κεραυνού, τις επιπτώσεις των κεραυνικών πληγμάτων και το μαθηματικό μοντέλο που τον αναπαριστά σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.*

*Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στην γενική λειτουργία, τα τυπικά χαρακτηριστικά και τα είδη των απαγωγέων υπερτάσεων. Επίσης στους τρόπους σύνδεσής τους με το δίκτυο και στον απαραίτητο συντονισμό της λειτουργίας των διατάξεων προστασίας έναντι υπερτάσεων.*

*Στο Κεφάλαιο 4 θα μελετήσουμε ακροθιγώς τις διόδους απαγωγής (καταστολής) υπερτάσεων (TVS) και τα θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (TSPD) και θα παραθέσουμε μια σύγκριση των δύο.*

*Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται ο απαγωγέας Trisil που εμείς επιλέξαμε να μελετήσουμε ως πρόταση για την αντιμετώπιση των υπερτάσεων. Εν συνέχειά παρατίθενται τα εργαστηριακά αποτελέσματα που διεξήγαμε για διαφορετικούς τύπους πληγμάτων και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη αυτών.*

*Λέξεις κλειδιά , προστασία απο υπερτάσεις, trisil, απαγωγείς υπερτάσεων, χαμηλή τάση*

## **ABSTRACT**

*The object of this work is to study the behavior of surge arresters in case of a surge overvoltage event at the low voltage distribution network, and a proposal for application of one of them to address the problem.*

*A brief description of the topics covered in each chapter follows.*

*Chapter 1 of this thesis is a reference to the causes that create surges in a low voltage distribution network. In particular, it will analyze the surge creation causes from lightning strikes and operations in the system, the behavior of these surges and their incidence.*

*Chapter 2 presents a literature review on the lightning effect, the effects of lightning strikes and the mathematical model that represents that in accordance with the international regulations.*

*Chapter 3 refers to the overall functioning, the typical characteristics and types of surge arresters. Furthermore, to their connection modes to the network and the necessary coordination of the operation of protection devices against surges.*

*In Chapter 4 we will consider briefly the transient voltage suppression (TVS) diode and the thyristor surge protection device (TSPD) and cite a comparison of the two.*

*Chapter 5 provides a thorough analysis of the Trisil protection device which we chose as a proposal for overvoltage protection. In conclusion laboratory tests were carried out for different types of surges and from the results conclusions were drawn from this study.*

**Key Words** : overvoltage protection, crowbar, surge, trisil, low voltage

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΚΡΟΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ**

Ως κρουστικές υπερτάσεις θεωρούμε εκείνες τις υπερτάσεις για τις οποίες έχουμε κάνει τις εξής παραδοχές:

- 1) η κορυφή τους υπερβαίνει την διπλάσια τιμή του πλάτους της ονομαστικής τάσης λειτουργίας του συστήματος (για παράδειγμα για το τυποποιημένο σύστημα διανομής των 230V το οποίο και θα μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία, η κορυφή της υπέρτασης θα πρέπει να υπερβαίνει τα  $2 * \sqrt{2} * 230 = 650 \text{ V}$
- 2) η διάρκειά τους κυμαίνεται από 1  $\mu\text{sec}$  έως και 1 msec

Σε άλλες περιπτώσεις, δηλαδή για υπερτάσεις μεγαλύτερης διάρκειας (όταν η διάρκειά τους υπερβαίνει τα μερικά msec) ή χαμηλότερης κορυφής, δεν χρησιμοποιούμε τεχνικές προστασίας που να περιλαμβάνουν τους συμβατικούς απαγωγείς υπερτάσεων (SPD), τους οποίους και θα μελετήσουμε στη συνέχεια.

Στην ακόλουθη παράγραφο θα αναφερθούμε στα αίτια δημιουργίας αυτών των υπερτάσεων, τη συμπεριφορά τους και τη συχνότητα εμφάνισής τους, ενώ στο επόμενο Κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε στις κρουστικές υπερτάσεις που προκαλούνται από κεραυνόπτωση, μιας και αυτές θα μας απασχολήσουν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

#### **1.1 Αιτίες δημιουργίας κρουστικών υπερτάσεων**

Οι κρουστικές υπερτάσεις εμφανίζονται στα συστήματα διανομής Χ.Τ. εξαιτίας:

- 1) φυσικών φαινομένων, όπως κεραυνοί που είτε πλήττουν άμεσα το σύστημα τροφοδοσίας είτε επάγουν υπερτάσεις πλήττοντας παρακείμενα αντικείμενα ή εγκαταστάσεις

2) σκόπιμων ενεργειών στο σύστημα, όπως σύνδεση/αποσύνδεση πυκνωτών για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος, μεγάλων φορτίων ή μετασχηματιστών και διακοπή/επανασύνδεση ηλεκτρικής τροφοδοσίας όσον αφορά το σύστημα μεταφοράς και διανομής της ενέργειας, καθώς επίσης και λανθασμένοι χειρισμοί από τερματικούς χρήστες σε επίπεδο κατανάλωσης

3) τυχαίων συμβάντων, όπως σφάλματα στο δίκτυο ή σύζευξη διαφορετικών συστημάτων όπως αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος ενεργείας και τηλεπικοινωνιακού συστήματος

Παρακάτω θα δοθεί περαιτέρω ανάλυση για τα δύο πρώτα αίτια.

### **1.1.1 Υπερτάσεις λόγω κεραυνών**

Ο κεραυνός αποτελεί ένα αναπόφευκτο συμβάν που επηρεάζει τα συστήματα χαμηλών τάσεων (τόσο τα ενεργειακά όσο και τα τηλεπικοινωνιακά) με διάφορους τρόπους. Η προφανής επίδραση είναι ένα άμεσο πλήγμα στο σύστημα, ενώ υπέρταση μπορεί να προκληθεί και από άλλους συζευκτικούς μηχανισμούς. Συνολικά οι τρόποι με τους οποίους ένα δίκτυο μπορεί να αυτοπληγεί από κεραυνό είναι οι εξής:

1. Άμεσα πλήγματα στο δίκτυο, τα οποία μπορεί να συμβούν στη μεριά του πρωτεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή Μ.Τ./Χ.Τ., στο σύστημα διανομής Χ.Τ. ή και στα κτίρια. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί διαμέσου του μετασχηματιστή υποβιβασμού Μ.Τ./Χ.Τ, αλλά και μέσω της γης. Το ποσό ενέργειας το οποίο μεταδίδεται με αυτό τον τρόπο εξαρτάται από το σύστημα γείωσης του δικτύου χαμηλής τάσης, τα χαρακτηριστικά της γραμμής και των φορτίων, το σχεδιασμό του μετασχηματιστή κλπ.
2. Απευθείας πλήγματα στο δίκτυο χαμηλής τάσης, όπως κεραυνόπτωση σε γραμμή. Σε αυτή την περίπτωση οι τάσεις  $V$  καθορίζονται από την χαρακτηριστική εμπέδηση  $Z$  της γραμμής. Το ρεύμα  $I$  χωρίζεται σε δύο μέρη και οι υπερτάσεις που προκύπτουν έχουν μέτρο  $V=0.5*Z*I$ . Αν υποθέσουμε ένα μέσο κρουστικό ρεύμα 10 kA σε γραμμή που εμφανίζει σε κάποιο σημείο της χαρακτηριστική αντίσταση 400 Ω, τότε αναμένεται να εμφανιστεί μια κρουστική 2000 kV. Σε γραμμές του δικτύου Χ.Τ. μετά από έναν κεραυνό πάνω στις γραμμές ή στις περισσότερες των περιπτώσεων στη γείωση, ακόμη και αν είναι μειωμένη η χαρακτηριστική αντίσταση λόγω της ύπαρξης γείωσης και έχει τιμή για παράδειγμα 10 Ω, η τάση που θα εμφανιστεί στη γραμμή θα φτάσει τα 100 kV για το ρεύμα των 10 kA που υποθέσαμε παραπάνω. Γενικά, ισχύει ότι σε σύστημα Χ.Τ. οι υπερτάσεις θα είναι μειωμένες όχι μόνο λόγω της χαμηλότερης

χαρακτηριστικής αντίστασης των καλωδίων, αλλά και γιατί η ολική χωρητικότητα που εμφανίζεται μεταξύ των γραμμών και της γης είναι μικρότερη.

→ Χαρακτηριστική ή κρουστική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς: Χαρακτηριστικό μέγεθος της θεωρούμενης ηλεκτρικής γραμμής με διαστάσεις ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία εξαρτάται από την χωρητικότητα και την επαγωγή ανά μονάδα μήκους της γραμμής.

3. Έμμεσα πλήγματα, δηλαδή κεραυνοπτώσεις σε αντικείμενα που βρίσκονται πλησίον του δικτύου, οι οποίες δημιουργούν υπερτάσεις στο σύστημα διανομής είτε με επαγωγική σύζευξη είτε με σύζευξη κοινού δρόμου. Αυτές οι υπερτάσεις μπορεί μεν να είναι λιγότερο σοβαρές από αυτές που σχετίζονται με ένα άμεσο πλήγμα, όμως η συχνότητα εμφάνισής τους είναι κατά πολύ μεγαλύτερη. Από τη στιγμή που επέρχεται αλλαγή στο περιβάλλον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο των γραμμών εξαιτίας ενός κεραυνού, εμφανίζεται μια επαγόμενη τάση που υπολογίζεται προσεγγιστικά από τον τύπο:

$$V=30*k*h*d/I, \text{ όπου}$$

I: το ρεύμα του κεραυνού,

h: η απόσταση των αγωγών από το έδαφος,

k: παράγοντας που εξαρτάται από την ταχύτητα του οχετού επιστροφής με  $1,0 < k < 1,3$  και

d: η απόσταση των γραμμών από το σημείο εκδήλωσης του κεραυνού.

Για παράδειγμα, ένας κεραυνός των 30kA που εμφανίζεται σε απόσταση 1km από το θεωρούμενο σημείο του δικτύου, του οποίου οι γραμμές βρίσκονται σε ύψος 5m από το έδαφος, θα επάγει υπέρταση 5 kV στο δίκτυο, ενώ ένας κεραυνός των 100 kA δίνει επαγόμενη τάση 1.8 kV ακόμη και από απόσταση 10 km από το δίκτυο.

4. Άμεσα πλήγματα στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας ή σε εξωτερικό εξοπλισμό κτιρίων καταναλωτών (δομικό ατσάλι, σωλήνες νερού, αγωγούς θέρμανσης και κλιματισμού, φρεάτια ανελκυστήρων κλπ). Τέτοια πλήγματα έχουν δύο ειδών επιπτώσεις: επαγωγική σύζευξη των κεραυνικών ρευμάτων που διαρρέουν τον εξωτερικό εξοπλισμό με τα ημιτονικά ρεύματα των αγωγών της εγκατάστασης και εισροή των υπερτάσεων από την εγκατάσταση στο σύστημα διανομής Χ.Τ., η οποία είναι και αναπόφευκτη λόγω της θεμελιακής γείωσης με τον ισοδυναμικό ζυγό ή της πιθανής χρήσης SPD στην εγκατάσταση. Για δεδομένο κεραυνό, η δυναμικότητα της υπέρτασης που εμφανίζεται σε μια εγκατάσταση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δρόμου σύζευξης, όπως η απόσταση και η φύση του συστήματος από το σημείο πλήγματος, οι πρακτικές γείωσης, η παρουσία ή μη των SPD και οι διακλαδώσεις του συστήματος διανομής.

### 1.1.2 Υπερτάσεις λόγω διακοπτικών χειρισμών

Γενικά, οποιαδήποτε διακοπτική ενέργεια ή σφάλμα που συμβαίνει μέσα σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση συνοδεύεται από ένα παροδικό φαινόμενο κατά το οποίο μπορεί να εμφανιστούν υπερτάσεις. Οι απότομες μεταβολές στο σύστημα μπορεί να επιφέρουν αποσβεννυμένες ταλαντώσεις υψηλών συχνοτήτων έως ότου το σύστημα επανέλθει στην αρχική σταθερή κατάσταση. Το πλάτος των υπερτάσεων που οφείλονται σε διακοπτικούς χειρισμούς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα τον τύπο του κυκλώματος, το είδος της διακοπτικής ενέργειας, τα φορτία και την ασφάλεια ή τον διακόπτη.

Κατά κανόνα, οι υπερτάσεις αυτού του είδους είναι πιο ήπιες σε σχέση με αυτές που προκαλούνται από κεραυνό, ίσως με την εξαίρεση ορισμένων περιπτώσεων όπου ενδέχεται να εμφανιστούν στα πολύ ενδότερα ενός κτιριακού συγκροτήματος ή σε σημεία του δικτύου που βρίσκονται κοντά σε διακοπτικές πηγές υπερτάσεων. Η χρονική διάρκεια τους είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των κεραυνικών ρευμάτων. Έτσι καθίσταται απαραίτητο να γνωρίζουμε την ενέργεια αυτών των υπερτάσεων για την επιλογή του κατάλληλου απαγωγέα τάσης.

Το πλάτος των υπερτάσεων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τον τύπο του κυκλώματος, το είδος της διακοπτικής ενέργειας, τα φορτία κλπ. Αντίστοιχα οι συχνότητες των ταλαντώσεων καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος, ενώ συχνά μπορούν να παρατηρηθούν και φαινόμενα συντονισμού.

Συνηθέστερη αιτία δημιουργίας τέτοιων υπερτάσεων είναι η χρήση διακοπών. Οι διακόπτες είναι συσκευές απαραίτητες σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση για προστασία από υπερφορτίσεις και βραχυκυκλώματα. Ο ρυθμός χρησιμοποίησής τους εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογών και είναι συνηθέστερος σε βιομηχανικό περιβάλλον από ότι σε οικιακές εγκαταστάσεις. Κάθε φορά που ένας διακόπτης αλλάζει κατάσταση, παράγεται ένα ηλεκτρικό τόξο και δημιουργείται μία υψίσυχη ταλάντωση, η οποία προστίθεται με υπέρταση στην ήδη υπάρχουσα τάση, με αποτέλεσμα τη μεγάλη καταπόνηση της μόνωσης του εξοπλισμού. Επίσης συχνή αιτία εμφάνισης υπερτάσεων είναι η εκκίνηση και η σβέση μεγάλων φορτίων σε επίπεδο καταναλωτών. Γενικά, οι υπερτάσεις χειρισμών σε ένα σύστημα χαμηλής τάσης σίγουρα δεν είναι αμελητέες τόσο σε συχνότητα εμφάνισης όσο και σε σοβαρότητα, όμως είναι ηπιότερες από αυτές που προκύπτουν από κεραυνικά πλήγματα, επομένως ο όποιος σχεδιασμός ενός συστήματος προστασίας από υπερτάσεις θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τις κεραυνοπτώσεις.

Οι διακόπτες είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι σε κάθε εγκατάσταση είτε για την



προστασία του ηλεκτρικού εξοπλισμού είτε για περιπτώσεις υπερφόρτισης ή βραχυκυκλώματος είτε για τον έλεγχο της λειτουργίας εξοπλισμού. Ο ρυθμός χρησιμοποίησής τους εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογών και είναι υψηλός σε βιομηχανικά περιβάλλοντα ενώ αρκετά χαμηλότερος σε οικιακό επίπεδο.

Τα κρουστικά μεγέθη που παράγονται εντός των εγκαταστάσεων των καταναλωτών επηρεάζουν τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό χωρίς να υποστούν σημαντική εξασθένηση και κατά συνέπεια διατηρούν το πλάτος τους σχετικά υψηλό.

Σε επίπεδο καταναλωτών, εμφανίζονται συνήθως υψηλότερα πλάτη υπερτάσεων κατά το σβήσιμο συσκευών παρά κατά την εκκίνησή τους. Στον διακοπτικό τερματισμό της λειτουργίας τους, η υπέρταση από την μεριά του φορτίου έχει υψηλότερο πλάτος και ενέργεια σε σχέση με αυτή που δημιουργείται στην μεριά της γραμμής διανομής. Αυτό βέβαια σχετίζεται και με το είδος του εξοπλισμού και ειδικότερα της μόνωσής του. Επίσης σε περίπτωση όπου έχουμε άλλη συσκευή συνδεδεμένη παράλληλα με τον εξοπλισμό που εμφάνισε την υπέρταση λόγω διακοπής της λειτουργίας του, αναμένουμε ότι θα υπάρξει καταπόνηση εξαιτίας της υπέρτασης και σε αυτήν.

→ Τα κρουστικά ρεύματα που προκύπτουν σε περίπτωση καθαρά ωμικών φορτίων είναι μέσα στα πλαίσια των ρευμάτων που μπορεί να αντέξει ο εξοπλισμός.

Όσον αφορά τις υπερτάσεις σε επίπεδο δικτύου διανομής, μπορούμε να πούμε πως οφείλονται σε πληθώρα παραγόντων. Σε υπόγειο δίκτυο διανομής, όλα τα παροδικά φαινόμενα τέτοιας φύσης δημιουργούνται μέσω της χρήσης ηλεκτρομηχανικών διακοπών, όπως περιγράφηκε πιο πριν. Σε υψηλής και χαμηλής τάσης εγκαταστάσεις, υπερτάσεις αρκετών kV ενδέχεται να εμφανιστούν λόγω διακοπτικών ενεργειών σε μετασχηματιστές, σε πηνία αντιστάσεων, αγωγών ή ρελέ, τα οποία είναι εγκατεστημένα παράλληλα με την πηγή τροφοδοσίας τους και σε αγωγίσιμους βρόχους εξαιτίας της επαγωγικής αντίδρασης των καλωδίων. Επίσης, κατά το στάδιο παραγωγής ενέργειας, υπερτάσεις παρουσιάζονται όταν δημιουργείται τόξο στις ψύκτρες μηχανής δακτυλιοφόρου δρομέα, σε απότομη μείωση φορτίου, σε σύνδεση/αποσύνδεση μετασχηματιστών και σε διακοπτικούς χειρισμούς που αποσκοπούν στην αποσύνδεση ή επανασύνδεση χωρητικοτήτων για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Οι παροδικές υπερτάσεις αυτού του είδους γενικά μπορούν να φτάσουν σε πλάτος μερικών kV, αν και θεωρούμε πως οι μέγιστες τιμές τους περιορίζονται λόγω συγκεκριμένων συνθηκών που επιβάλλει η λειτουργία του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης. Καθώς υπάρχει και εξοπλισμός για την προστασία ενάντια στις υπερτάσεις εγκατεστημένος στο δίκτυο, τότε αναμένονται υπερτάσεις που δεν θα ξεπερνούν τα 6 kV σε πλάτος. Η συχνότητα τους, καθώς και η ενέργεια που εκλύεται, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σημαντικά υψηλότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη που προκύπτουν από φαινόμενα ατμοσφαιρικής προέλευσης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

### ΠΕΡΙ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

#### 2.1 Το φυσικό φαινόμενο

Ο κεραυνός είναι ένα εντυπωσιακό φυσικό φαινόμενο, το οποίο από την αρχαιότητα κιάλας εντυπωσιάζει, όσο βέβαια και φοβίζει. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας της ανθρωπότητας, ο κεραυνός αποτελούσε σημείο αναφοράς πολλών πολιτισμών, θρησκείων κλπ, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το θεό Δία των αρχαίων Ελλήνων. Χρειάστηκε να περάσουν πάρα πολλά χρόνια και να φτάσουμε στο 18<sup>ο</sup> αιώνα ώστε να διαπιστωθεί η ηλεκτρική φύση του κεραυνού, με το διάσημο πείραμα του Βενιαμίν Φραγκλίνου.

Σύμφωνα με την κλασική Θεωρία του Ατμοσφαιρικού Ηλεκτρισμού που διατύπωσε το 1920 ο Αμερικάνος φυσικός Charles Wilson, η γη και η ηλεκτρόσφαιρα (το κάτω μέρος της ιονόσφαιρας σε ύψος 50-65 km) είναι οι δυο αντίθετοι πόλοι ενός σφαιρικού πυκνωτή τους οποίους χωρίζει η ατμόσφαιρα. Το σύστημα ισορροπεί, καθώς η διηλεκτρική αντοχή του αέρα λειτουργεί ως μονωτής μην επιτρέποντας την εκδήλωση κεραυνών με αίθριο καιρό. Όταν όμως δημιουργηθούν καταγιδοφόρα νέφη, στο εσωτερικό των οποίων επικρατούν βίαια ρεύματα που μεταφέρουν φορτισμένες σταγόνες νερού και παγοκρυστάλλους, η κατάσταση αλλάζει. Μέσα σε ελάχιστο χρόνο, η διαφορά μεταξύ της βάσης του νέφους και του εδάφους φτάνει σε εκατομμύρια βολτ και ξεπερνά την διηλεκτρική αντοχή της ατμόσφαιρας. Ακριβώς εκείνη τη στιγμή ξεσπά ο κεραυνός, όπως συμβαίνει με όλες τις ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ αντίθετων ηλεκτρικών πεδίων.

Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας λοιπόν, στο κάτω μέρος του συννέφου δημιουργείται μια περιοχή όπου συγκεντρώνεται μεγάλο αρνητικό φορτίο, ενώ το ανώτερο τμήμα φορτίζεται θετικά. Επίσης, ένα θετικό φορτίο επάγεται στην επιφάνεια της γης κάτω από το νέφος, εφόσον το αρνητικό φορτίο του σύννεφου είναι πιο κοντά στο έδαφος. Από την εμφάνιση ενός κεραυνού, είναι σαφές ότι η μεταφορά φορτίου πραγματοποιείται σε ένα κανάλι με πλάτος που είναι μικρό σε σύγκριση με το μήκος του. Ο αέρας θεωρείται ηλεκτρικό μονωτικό υλικό, οπότε πρέπει να «σπάσει», έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα αγώγιμο κανάλι και να συμβεί η εκκένωση. Η κατάρρευση του μονωτή αέρα μεταξύ του νέφους και του εδάφους δεν γίνεται αμέσως. Αντ' αυτού, πραγματοποιείται σε διακριτά βήματα των περίπου 50 μέτρων έκαστο με χρονική διάρκεια βήματος περίπου ένα μικροδευτερόλεπτο και χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δυο διαδοχικών βημάτων περίπου 50 μικροδευτερόλεπτα. Λόγω της διακριτής φύσης αυτού του φαινομένου, το αρχικό κανάλι ενός κεραυνού καλείται βηματικός ηγέτης ή βηματικός οχετός προεκκένωσης. Αν και ο σχηματισμός ενός καναλιού είναι το αποτέλεσμα της έλξης μεταξύ του αρνητικού φορτίου του νέφους και του επαγόμενου θετικού του εδάφους, τα επιμέρους βήματα που το σχηματίζουν συνήθως δεν είναι κάθετα. Αυτό οφείλεται στο ότι η αγωγιμότητα του αέρα δεν είναι ομοιόμορφη και συνεπώς το κανάλι θα κατευθύνεται βηματικά προς περιοχές υψηλής αγωγιμότητας. Εξαιτίας της τυχαίας κατανομής των εν λόγω περιοχών προκύπτει κανάλι οδοντωτού και όχι λείου σχήματος. Επίσης, το σημείο όπου το κανάλι

φτάνει στο έδαφος μπορεί να βρίσκεται σε μεγάλη οριζόντια απόσταση από το σημείο που ξεκίνησε εντός του σύννεφου.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκένωσης και ιδίως στο προς το έδαφος άκρο του είναι μεγάλη και υπερβαίνει κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται για ιονισμό από κρούσεις ( $\rightarrow 30 \text{ kV/cm}$ ). Γι' αυτό το λόγο ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από έναν μανδύα κορόνα που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν. Το πάχος του μανδύα αυτού είναι μεγαλύτερο στο προς το έδαφος άκρο του οχετού και αυξάνει όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει το έδαφος. Όταν αυτή φτάσει σε μία κοντινή απόσταση από το έδαφος με μέση πεδιακή ένταση  $5 \text{ kV/cm}$ , τότε το τελευταίο αυτό μήκος γεφυρώνεται ολόκληρο από κορόνα κι έτσι ολοκληρώνεται ο σχηματισμός του αρχικού καναλιού. Με αυτό το τελευταίο βήμα, το φορτίο της περιοχής του νέφους απ' όπου άρχισε ο οχετός προεκκένωσης είναι πλέον ημιαγώγιμο συνδεδεμένο με το έδαφος μέσω του καναλιού. Μέσω αυτής της σύνδεσης εκκενώνεται το φορτίο του νέφους με ένα μεγάλο ρεύμα, εξαιτίας του οποίου ο οχετός προεκκένωσης θερμαίνεται και αποκτά πολύ μεγαλύτερη λαμπρότητα.

Η θέρμανση του οχετού προεκκένωσης αρχίζει από το άκρο που αυτός συναντά το έδαφος και προχωρεί προς το σημείο εκκίνησής του με ταχύτητα μερικά δέκατα της ταχύτητας του φωτός, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από αυτήν με την οποία προχωρεί ο οχετός προεκκένωσης. Η φάση αυτή με την οποία συμπληρώνεται η εκκένωση, ονομάζεται οχετός επιστροφής και η εκκένωση του συννέφου προς τη γη κεραυνός.

#### Το ρεύμα του κεραυνού

Μετά από πολλές έρευνες και μελέτες, έχει βρεθεί ότι υπάρχουν δύο είδη κεραυνών, οι κατερχόμενοι (από το σύννεφο στη γη) και οι ανερχόμενοι (από μια κατασκευή προς το σύννεφο). Οι κατερχόμενοι είναι συνηθέστεροι σε υψηλά εδάφη, ενώ για τους ανερχόμενους θα πρέπει να υπάρχει κάποια υψηλή κατασκευή. Επίσης οι κεραυνοί χωρίζονται με βάση τη διάρκειά τους σε κρουστικούς (διάρκεια μικρότερη των  $2\text{ms}$ ) και σε μακράς διάρκειας. Επίσης διαφέρουν μεταξύ τους και στην πυκνότητά τους σε και διαχωρίζονται σε αρνητικούς και θετικούς.

$\rightarrow$  Η κατερχόμενη αρνητική εκκένωση αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο κεραυνού που παρατηρείται στο 90% περίπου των περιπτώσεων.

Υπάρχει και η πολύ σπάνια περίπτωση κατερχόμενης θετικής εκκένωσης, η οποία πηγάζει από σύννεφο με συγκεντρωμένο μεγάλο θετικό φορτίο στη βάση του.

Η παραπάνω περιγραφή του κεραυνού αφορά την περίπτωση όπου ένα σύννεφο βρίσκεται πάνω από ένα απόλυτα επίπεδο έδαφος ή μια επιφάνεια ήρεμου ύδατος. Όταν ένα φορτισμένο νέφος βρεθεί πάνω από μια προεξοχή του εδάφους (πάνω από  $100 \text{ m}$ ), η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο της προεξοχής μπορεί να γίνει εξ επαγωγής αρκετά μεγάλη ώστε να εμφανιστεί στο άκρο της ένας ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης, ο οποίος και θα κατευθυνθεί προς το σύννεφο. Για προεξοχές εδάφους σχετικά μικρού ύψους ( $\sim 10 \text{ m}$ ) η ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο τους λόγω του φορτισμένου νέφους δεν είναι αρκετή ώστε να εμφανιστεί ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης σε αυτές. Όμως ο κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης, καθώς πλησιάζει το έδαφος επάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο του οποίου η ένταση είναι μεγαλύτερη στις

προεξοχές του εδάφους. Συνεπώς όταν στο άκρο τους η ένταση ενισχυθεί αρκετά λόγω του κατερχόμενου οχετού, θα εμφανίσουν έναν συνδυαστικό οχετό που θα κατευθυνθεί προς την κεφαλή του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης. Με την συνάντηση των δύο οχετών πραγματοποιείται η ημιαγωγίμη σύνδεση νέφους – εδάφους και επακολουθεί ο οχετός επιστροφής. Μια τέτοια λοιπόν προεξοχή δημιουργεί ένα «σημείο προτίμησης» για την περάτωση του οχετού προεκκένωσης και σ' αυτήν ακριβώς την αρχή στηρίζεται η προστασία μιας περιοχής με την γειωμένη μεταλλική ράβδο του αλεξικέραυνου του Franklin.

→ Ο ανερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης που πηγάζει από προεξοχή του εδάφους κάτω από σύννεφο με θετικά φορτισμένη βάση αποτελεί τον ισχυρότερο τύπο κεραυνού που συνοδεύεται από τις μεγαλύτερες εντάσεις ρεύματος που έχουν καταγραφεί.

Η αρχική εκκένωση ακολουθείται από επόμενες εκκενώσεις, οι οποίες διαδέχονται η μία την άλλη σε μικρά χρονικά διαστήματα. Η καθεμιά περιλαμβάνει δικό της συνδυαστικό οχετό και οχετό επιστροφής. Συνήθως οι διαδοχικές αυτές εκκενώσεις ακολουθούν το ίδιο κανάλι με την αρχική εκκένωση χωρίς όμως να αποκλείεται και το αντίθετο. Γενικά, πολλαπλές εκκενώσεις παρουσιάζουν συνήθως οι κατερχόμενοι αρνητικοί κεραυνοί, ενώ οι πολλαπλοί θετικοί κεραυνοί είναι σπανιότατοι.

Όσον αφορά τις παραμέτρους του κεραυνού, το πλάτος του όπως είναι φυσικό ποικίλλει. Κι πάλι σε διάφορες στατιστικές μελέτες, τις οποίες δέχονται οι υπάρχοντες κανονισμοί, αναφέρεται ότι για κεραυνούς αρνητικής ποικιλότητας, υπολογίζεται μια μέση τιμή για το πλάτος τα 61kA, για το χρόνο ανόδου (το χρόνο δηλαδή που χρειάζεται για να φτάσει το κρουστικό ρεύμα στη μέγιστη τιμή του) στα 5,7 μs, ενώ για το χρόνο ουράς (το χρόνο δηλαδή μέχρι να θεωρηθεί περαιωμένο το φαινόμενο) στα 77,5 μs. Αντίστοιχα, για κεραυνούς θετικής ποικιλότητας αυτές οι τιμές είναι 33,9 kA για το ρεύμα και 26,5μs και 224μs για τους χρόνους. Όσον αφορά τη μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί να φέρει ένας κεραυνός, αυτή έχει υπολογιστεί στα 200 kA για περισσότερο από το 99% των περιπτώσεων, επομένως αυτή η τιμή είναι και η μέγιστη που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό άλλων μεγεθών προστασίας κλπ. Να σημειωθεί πάντως ότι εκτός από την απόλυτη τιμή του πλάτους του κεραυνού, σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό της επικινδυνότητάς του παίζει τόσο η διάρκειά του, όσο και ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος, di/dt.

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 62305-1, η εξίσωση του ρεύματος κεραυνού, για πρώτη θετική εκκένωση 10/350 μs, πρώτη αρνητική εκκένωση 1/250μs και επόμενες αρνητικές εκκενώσεις 0.25/100μs, δίνεται από τη σχέση :

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{\left(\frac{t}{T_1}\right)^{10}}{1 + \left(\frac{t}{T_1}\right)^{10}} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$$

Όπου:

-I είναι το μέγιστο ρεύμα

-k είναι ο συντελεστής διόρθωσης για το μέγιστο ρεύμα

- t είναι ο χρόνος
- $T_1$  είναι μία σταθερά για τον χρόνο μετώπου
- $T_2$  είναι η αντίστοιχη σταθερά για το χρόνο ουράς

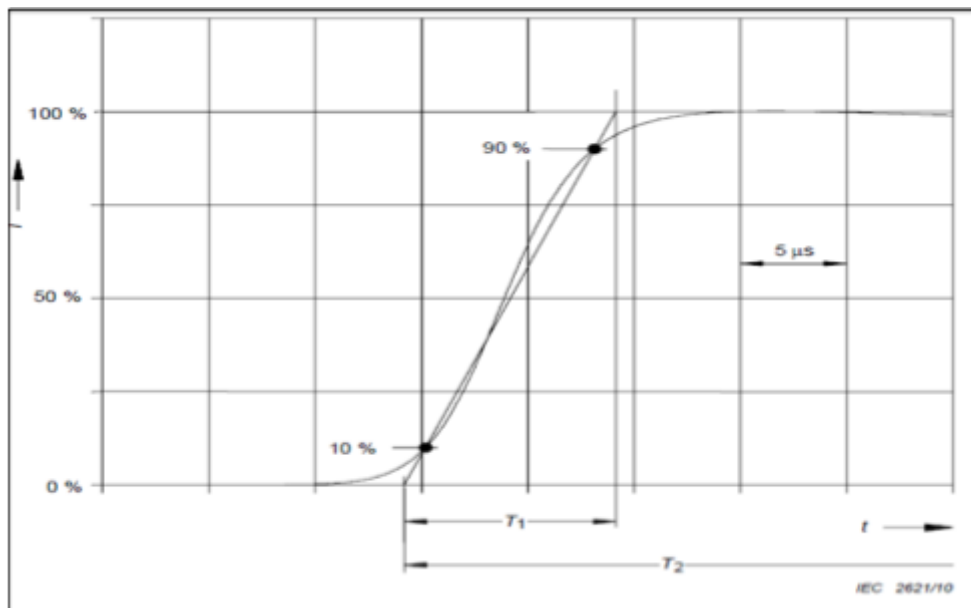
Οι τιμές που λαμβάνουν οι συγκεκριμένες παράμετροι για θετικές και αρνητικές εκκενώσεις, για τις διαφορές στάθμες προστασίας (Lightning Protection Level, LPL) δίνονται στον πίνακα 2.1

Παράμετροι	Θετική εκκένωση			Αρνητική εκκένωση		
	LPL I	LPL II	LPL III-IV	LPL I	LPL II	LPL III-IV
I (kA)	200	150	100	200	150	100
k	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986
$T_1$ ( $\mu$ s)	19	19	19	1,82	1,82	1,82
$T_2$ ( $\mu$ s)	485	485	485	285	285	285

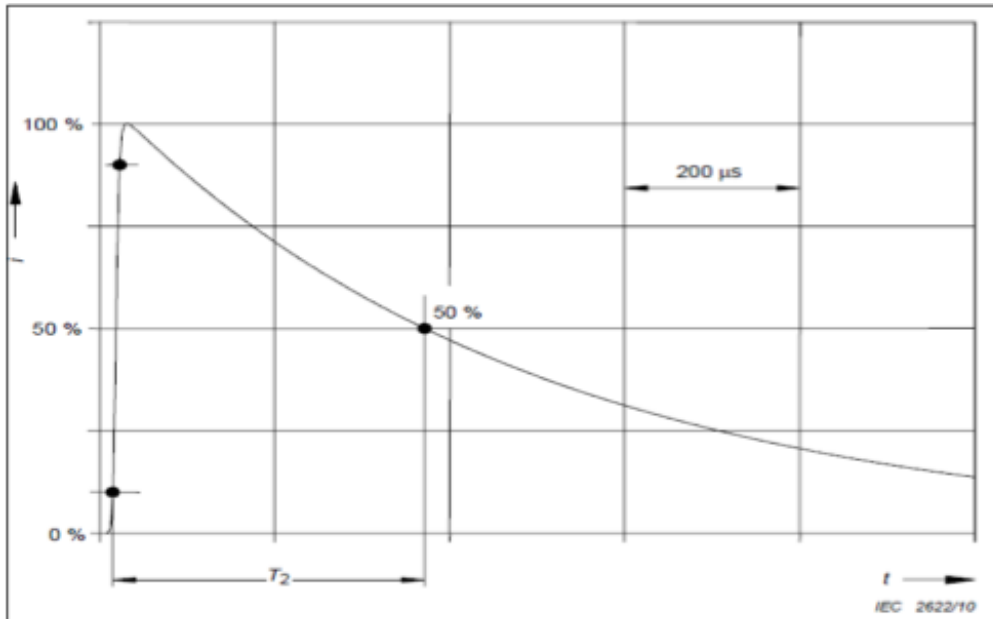
Πίνακας 2.1: Τιμές παραμέτρων κεραυνικού ρεύματος

Στις διάφορες δοκιμές που γίνονται, χρησιμοποιούνται συνήθως οι παράμετροι που ορίζονται για τη θετική εκκένωση, μιας και αντιστοιχούν σε υψηλότερες τιμές ενέργειας για το κεραυνικό πλήγμα.

Παρακάτω παρατίθενται σχηματικά οι χρόνοι μετώπου και ουράς, για την περίπτωση ενός κεραυνού θετικής ποικιλότητας.



Σχήμα 2.2: Μέτωπο κεραυνού θετικής εκκένωσης



Σχήμα 2.3: Ουρά κεραυνού θετικής εκκένωσης

## 2.2 Επιπτώσεις των κεραυνικών πληγμάτων

Κατά την πτώση ενός κεραυνού εμφανίζονται τα εξής φαινόμενα:

- α) υπερθερμάνσεις (εώς και 34.000°C)
- β) ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, επαγωγικά ρεύματα, υπερτάσεις
- γ) ηλεκτροχημικά φαινόμενα
- δ) μηχανικές καταπονήσεις

Ως αποτέλεσμα αυτών, οι διάφορες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει ένα κεραυνικό πλήγμα ποικίλλουν όπως πυρκαγιές, βλάβες, παρεμβολές, διακοπή παροχής μεχρι φυσικά και απώλειες ανθρώπινων ζωών. Παρακάτω θα γίνει μία προσπάθεια πιο συγκροτημένης ταξινόμησης των διαφόρων επιπτώσεων και κινδύνων που ακολουθούν ένα κεραυνό, όπως αυτό επιχειρείται στο διεθνές πρότυπο κανονισμών IEC 62305-1

Αρχικά, κατηγοριοποιούνται τα σημεία πτώσης του κεραυνικού πλήγματος ως εξής :

1. Πλήγματα απευθείας στην κατασκευή (S1). Τέτοια πλήγματα μπορούν να προκαλέσουν άμεσες μηχανικές καταστροφές στην κατασκευή, τόσο απο την υπερθέρμανση, όσο και απο σπινθήρες μέσω επαγωγής, όπως βέβαια και στην χειρότερη περίπτωση τραυματισμούς ή και θανάτους ανθρώπων.
2. Πλήγματα δίπλα στην κατασκευή (S2), τα οποία μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργία στα εσωτερικά συστήματα της κατασκευής εξαιτίας ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών.
3. Πλήγματα σε ηλεκτρικές γραμμές που συνδέονται με την κατασκευή (S3). Τέτοια πλήγματα μπορούν να επιφέρουν πυρκαγιά ή και εκρήξεις μέσω σπινθήρων που οφείλονται στην υψηλή τάση και ρεύμα που υπάρχει σε αυτές τις γραμμές, όπως

- επίσης και τραυματισμό ανθρώπων εξαιτίας τάσεων επαφής, ή βλάβη στα ηλεκτρικά συστήματα του κτιρίου τα οποία τροφοδοτούνται από τις γραμμές.
4. Πλήγματα δίπλα σε ηλεκτρικές γραμμές που συνδέονται με την κατασκευή (S4), τα οποία με την σειρά τους μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργία ή και μόνιμη βλάβη στα εσωτερικά κυκλώματα της κατασκευής, εξαιτίας των υπερτάσεων εξ επαγωγής που δημιουργούνται.

Στην συνέχεια, καταγράφονται οι διάφοροι τύποι των καταστροφών που μπορεί να συμβούν :

1. Τραυματισμός σε ανθρώπους ή ζώα μέσω ηλεκτροπληξίας (D1)
2. Φυσικές καταστροφές ( φωτιές, εκρήξεις, μηχανικές καταστροφές κλπ) εξαιτίας των αποτελεσμάτων του κεραυνικού πλήγματος (D2)
3. Βλάβη σε εσωτερικά συστήματα εξαιτίας ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων (D3)

Τέλος, καταγράφονται οι τύποι των απωλειών που μπορεί να προκύψουν με την εξής κατηγοριοποίηση :

1. L1: απώλεια ανθρώπινης ζωής
2. L2: απώλεια υπηρεσιών για το κοινό
3. L3: απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς
4. L4: απώλεια οικονομικής φύσεως (μέσω της κατασκευής, του περιεχομένου της, ή καποιας δραστηριότητας σε αυτήν)

Συγκεντρωτικά, αυτές οι κατηγοριοποιήσεις και οι σχέσεις μεταξύ τους φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί

Σημείο πλήγματος	Τύπος καταστροφών	Τύπος απωλειών
S1	D1	L1, L4
	D2	L1, L2, L3, L4
	D3	L1, L2, L4
S2	D3	L1, L2, L4
S3	D1	L1, L4
	D2	L1, L2, L3, L4
	D3	L1, L2, L4
S4	D3	L1, L2, L4

Πίνακας 2.4: Συγκεντρωτικός πίνακας πιθανών καταστροφών από κεραυνικό πλήγμα

Στόχος των κεραυνών είναι ουσιαστικά όλη η επιφάνεια της γης χωρίς καμιά εξαίρεση. Αποτέλεσμα αυτής της δυνατότητας είναι να προκαλείται σειρά ατυχημάτων που μπορεί να πλήττουν:

1) Ανθρώπους και ζώα:

Σε όλη τη γη τα άτομα ή τα ζώα που κυκλοφορούν είναι δυνατό να αποτελέσουν στόχο κεραυνού εφόσον βρίσκονται σε απροστάτευτο χώρο στη διάρκεια καταιγίδας. Είναι γνωστό ότι δεν επιτρέπεται εν ώρα καταιγίδας να κυκλοφορούν άνθρωποι σε ανοιχτή έκταση, ή να βρίσκονται κάτω από δέντρα και ηλεκτρικές γραμμές. Κατά το βάδισμα ενός ατόμου ενδέχεται η βηματική τάση, δηλαδή η διαφορά τάσης που



αναπτύσσεται στο άνοιγμα των ποδιών, που προέρχεται από πτώση κεραυνού στην περιοχή να προκαλέσει ηλεκτροπληξία ή και θάνατο. Αλλά και η τηλεφωνική επικοινωνία ενός ατόμου από ενσύρματο δίκτυο κατά τη διάρκεια καταιγίδας μπορεί να αποτελέσει αφορμή για ηλεκτροπληξία από την πτώση κεραυνού στο τηλεφωνικό δίκτυο.

#### 2) Πυρκαγιές σε δάση:

Η πιο σημαντική ζημιά που προκαλείται από τους κεραυνούς στην φύση είναι η πυρκαγιά στα δάση. Συστήματα εντοπισμού των κεραυνών μπορεί να δώσουν ενδείξεις για την θέση που είναι δυνατό να εμφανιστεί πυρκαγιά από πτώση κεραυνού σε δάσος. Ζημιές μπορούν να προκληθούν ακόμη και από την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων τοξικών ουσιών που προέρχονται από την επίδραση που θα έχει πυρκαγιά από κεραυνό σε υλικά ή ζώντες οργανισμούς.

#### 3) Κτίρια:

Μεταξύ των κατασκευών που κινδυνεύουν από τις πτώσεις των κεραυνών είναι και τα κτίρια. Ιδιαίτερα επηρεάζονται κατά την πτώση κεραυνών αυτά που περιλαμβάνουν ηλεκτρικές και άλλες εγκαταστάσεις, καθώς και ενοίκους που βρίσκονται στο κτίριο ή στην περιοχή του. Πολλά από τα υλικά των κτιρίων είναι μέτριοι αγωγοί του ηλεκτρισμού, αλλά οπωσδήποτε έχουν μικρότερη αντίσταση από τον αέρα. Τα κτίρια χρησιμοποιούνται ως κλίμακες ανερχόμενων οχρών και οδηγού προς τα άνω για τα ηλεκτρικά φορτία του εδάφους. Η αντίσταση στο πέρασμα του κεραυνού προκαλεί τριβή και υπερβολική θερμότητα με αποτέλεσμα την εμφάνιση πυρκαγιάς ή έκρηξης ή αμφοτέρων.

#### 4) Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις:

Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εξαιτίας του μεγάλου μήκους τους πολύ υψηλή πιθανότητα να δεχτούν κεραυνούς. Η προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων ισχύος απαιτεί ειδική τεχνική και προδιαγραφές που αναπτύσσονται με διεθνή συνεργασία.

#### 5) Τηλεπικοινωνίες:

Τα συστήματα τηλεπικοινωνιών είναι ευαίσθητα σε βλάβες από άμεση πτώση κεραυνού στις γραμμές ή στις κεραίες τους. Δυσμενή επίδραση μπορεί να έχουν πάνω σ' αυτά κεραυνοί που πέφτουν σε γειτονικές εγκαταστάσεις, ενώ υπερτάσεις μπορούν να δημιουργηθούν στα δίκτυά τους από πτώση κεραυνού σε κοντινές ή παράλληλες των τηλεφωνικών δικτύων ηλεκτρικές γραμμές. Οι τεχνικές μέθοδοι προστασίας τους είναι πολύπλοκες και απαιτούν συστηματική έρευνα από το στάδιο μελέτης των τηλεπικοινωνιακών εγκαταστάσεων.

#### 6) Υπολογιστές και σύνθετα ηλεκτρονικά συστήματα:

Όλα τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στα ηλεκτρομαγνητικά φορτία που εμφανίζονται κατά τις πτώσεις κεραυνών σε γειτονικές περιοχές, καθώς και στα μεταβατικά φαινόμενα από πτώση κεραυνών σε κοντινούς αγωγούς. Επειδή στη σημερινή εποχή τα πάντα εξυπηρετούνται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα προβλήματα αυτά έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα ενώ καταβάλλονται προσπάθειες για την αντιμετώπιση των σχετικών προβλημάτων.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως είναι επιτακτική η ανάγκη για αντικεραυνική προστασία τόσο του δικτύου μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για κάθε είδους κατασκευή (απλές οικιακές εγκαταστάσεις, κτίρια μεγάλου ύψους, δεξαμενές καυσίμων, εργοστάσια πυρομαχικών, αγροτικές εγκαταστάσεις, γήπεδα, κλπ).

## **2.3 Σχεδιασμός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ)**

### **2.3.1 Στοιχεία αντικεραυνικής προστασίας**

Είναι προφανές ότι το φαινόμενο του κεραυνού δεν μπορεί να αποφευχθεί, ούτε να σταματηθεί εν τη γενέσει του. Όπως είδαμε και παραπάνω οι επιπτώσεις ενός κεραυνού είναι τέτοιες που είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για την προστασία των κατασκευών αλλά και των ίδιων των ανθρώπων. Στις περιπτώσεις που τα μέτρα αυτά αφορούν κτίρια ή παρόμοιες κατασκευές, τότε μπορούμε να τα συνοψίσουμε με τον όρο Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ), το οποίο διαχωρίζεται σε εξωτερικό και εσωτερικό. Παρακάτω θα γίνει μια πολύ σύντομη αναφορά σε αυτά τα συστήματα, με σκοπό μία σφαιρική κάλυψη όλων των θεμάτων που αφορούν άμεσα ή έμμεσα ένα κεραυνικό πλήγμα.

#### **2.3.1.α Εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας**

Το Εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας μιας εγκατάστασης αποτελείται από τρία βασικά μέρη : το συλλεκτικό σύστημα, το σύστημα καθόδου και το σύστημα γείωσης.

1. Συλλεκτήριο σύστημα  
Το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από διάφορους μεταλλικούς αγωγούς και βρίσκεται κατά κανόνα στο πάνω μέρος (οροφή) του υπό προστασία κτιρίου. Σκοπός του είναι να προσελκύσει τα κεραυνικά πλήγματα ώστε αυτά να μην πλήγουν την ίδια την κατασκευή. Οι αγωγοί αυτοί μπορεί να είναι είτε ράβδοι είτε τεταμένα σύρματα είτε πλέγματα αγωγών, ενώ για τον ακριβή καθαρισμό της θέσης του χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι, η μέθοδος της γωνίας προστασίας και η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας. Η ανάλυση αυτών των δύο μεθόδων ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
2. Σύστημα καθόδου  
Στη συνέχεια, τα πλήγματα τα οποία έχουν συλληφθεί από το συλλεκτήριο σύστημα, θα πρέπει να οδηγηθούν με ασφαλή τρόπο προς τη γη. Αυτό γίνεται μέσω των αγωγών καθόδου. Το μήκος των αγωγών καθόδου θα πρέπει να είναι το ελάχιστο δυνατό, το πλήθος τους θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε το ρεύμα που θα

διαπερνά τον καθένα τους να μην φτάνει μεγάλες τιμές, ενώ η θέση τους θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην επιτρέπει την άμεση επαφή τους με άνθρωπο.

### 3. Συστημα γειωσης

Ο σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να εκφορτίσει αποτελεσματικά το ρεύμα του κεραυνού μέσα στη γη, μέσω του θαμμένου ηλεκτροδίου γείωσης. Οι διαστάσεις του και τα πιθανά σχήματα του ποικίλλουν και θα πρέπει να επιλέγονται έτσι, ώστε σε κάθε περίπτωση η συνολική αντίσταση να είναι αρκετά μικρή, μικρότερη κατα προτίμηση των 10Ω. Για αυτόν τον λόγο, συνήθως προτιμούνται σύνθετες μορφές αγωγών, όπως πλέγμα, δακτύλιοι κλπ, αντί ενός απλού ηλεκτροδίου γείωσης.

#### **2.3.1.β Εσωτερικό Συστημα Αντικεραυνικής Προστασίας**

Το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αφορά όπως έγινε κατανοητό κεραυνικά πλήγματα που απειλούν την ίδια την φυσική κατασκευή. Αντίθετα, ο σχεδιασμός του Εσωτερικού Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας γίνεται κατά κύριο λόγο με σκοπό την προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων κατασκευής από πλήγματα που θα υπεισέρθουν σε αυτήν μέσω αυτών των κυκλωμάτων. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να αποτρέπει την δημιουργία σπινθήρων εντός της κατασκευής εξαιτίας του ρεύματος που διαρρέει το εξωτερικό σύστημα κατά τη διάρκεια ενός κεραυνικού πλήγματος.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι ισοδυναμικές συνδέσεις. Ένας πρακτικός τρόπος εξίσωσης όλων των επικίνδυνων δυναμικών είναι να επιλεγεί ένα κοινό σημείο (ισοδυναμικός ζυγός), πάνω στο οποίο θα συνδεθούν όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί της εγκατάστασης, οι θωρακίσεις των καλωδίων καθώς και τα συστήματα προστασίας. Εάν είναι εφικτό, στον ζυγό αυτόν θα πρέπει να συνδεθεί και ο μεταλλικός σκελετός της κατασκευής. Τέλος, να σημειωθεί πως μέρος του εσωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας θεωρούνται και οι απαγωγοί υπέρτασης, ή πλήρης λειτουργία των οποίων αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

#### **2.3.2 Στάθμες προστασίας**

Σκοπός της επιλογής της κατάλληλης στάθμης προστασίας είναι να μειώσει, κάτω από τη μέγιστη ανεκτή στάθμη, τον κίνδυνο ζημιάς από άμεσο πλήγμα στην κατασκευή. Η επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας που πρέπει να εξασφαλίζεται με το ΣΑΠ μπορεί να βασίζεται στην αναμενόμενη συχνότητα πληγμάτων από άμεσους κεραυνούς  $N_d$ , στην κατασκευή που χρήζει προστασίας και στην αποδεκτή συχνότητα ζημιών από κεραυνό  $N_c$ .

Τα χαρακτηριστικά του απαιτούμενου ΣΑΠ εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής που χρήζει προστασίας και την στάθμη προστασίας που πρέπει να επιτευχθεί. Τέσσερα διαφορετικά επίπεδα προστασίας λαμβάνονται υπόψη σε αυτό το Πρότυπο. Η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ μειώνεται βαίνοντας από τη στάθμη προστασίας I στη στάθμη προστασίας IV. Η σχέση μεταξύ επιπέδου προστασίας και αποτελεσματικότητας

δίνεται στον Πίνακα 2.5, ενώ η κατάλληλη στάθμη επιλέγεται με βάση την αξιολόγηση του κινδύνου ζημίας.

Πίνακας 2.5: Στάθμη προστασίας συναρτήσει της αποτελεσματικότητας

Επίπεδο Προστασίας P	Αποτελεσματικότητα E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας υπολογίζουμε πρώτα τις παρακάτω παραμέτρους:

#### A) Πυκνότητα κεραυνών $N_g$

Η πυκνότητα κεραυνών εκφράζεται σαν τον μέσο όρο κεραυνικών πληγμάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και έτος και μπορεί να καθοριστεί από:

- α) χάρτες που δίνουν το  $N_g$  (ισοκεραυνικοί χάρτες)
- β) χάρτες που δίνουν τον μέσο όρο ημερών καταιγίδας ανά έτος ( $T_d$ ) μέσω της σχέσης:  $N_g = 0.04 \times T_d^{1.25}$

#### B) Συχνότητα απευθείας πληγμάτων $N_d$

Η αναμενόμενη συχνότητα πληγμάτων  $N_d$  σε μία κατασκευή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_d = N_g \times A_d \times C_e \times 10^{-6}$$
, όπου  $N_d$  ο μέσος ετήσιος όρος κεραυνικών πληγμάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο στην περιοχή όπου η κατασκευή είναι τοποθετημένη,  $A_d$  είναι η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της μονωμένης κατασκευής (σε  $m^2$ ) και  $C_e$  είναι ο περιβαλλοντικός συντελεστής, ο οποίος δείχνει την επίδραση των γειτονικών κτισμάτων στον υπολογισμό της συλλεκτικής επιφάνειας μιας κατασκευής.

#### Γ) Αποδεκτή συχνότητα απευθείας πληγμάτων $N_c$

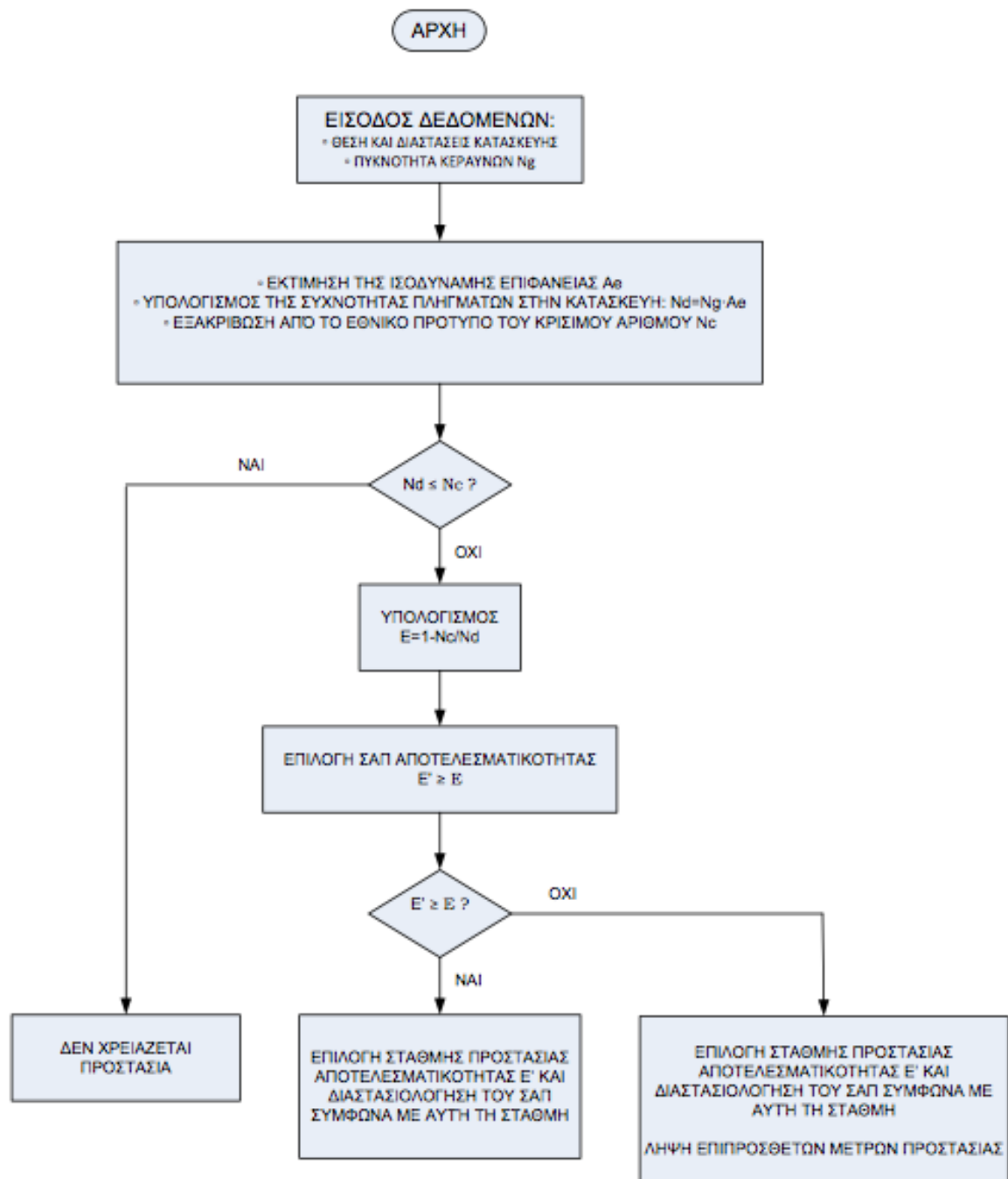
Οι τιμές του  $N_c$  μπορούν να καθορίζονται από τον ιδιοκτήτη της κατασκευής ή τον μελετητή του ΣΑΠ, όπου οι απώλειες έχουν ιδιωτικό χαρακτήρα μόνο. Οι τιμές του  $N_c$  εκτιμώνται μέσω ανάλυσης κινδύνου ζημίας (risk analysis), λαμβάνοντας υπόψη τους κατάλληλους συντελεστές για τα εξής στοιχεία:

- α) τύπος κατασκευής
- β) παρουσία εύφλεκτων και εκρηκτικών υλικών
- γ) μέτρα που έχουν ληφθεί για περιορισμό των επιπτώσεων των πληγμάτων του κεραυνού
- δ) αριθμός των ανθρώπων που εκτίθενται σε κίνδυνο
- ε) τύπος και σπουδαιότητα δημόσιας παροχής
- στ) αξία των αγαθών που εκτίθενται σε κίνδυνο κλπ

#### Δ) Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια $A_d$

Ορίζεται σαν μια επίπεδη επιφάνεια του εδάφους, η οποία έχει την ίδια ετήσια συχνότητα απευθείας πληγμάτων με την κατασκευή. Για απομονωμένες κατασκευές, η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια  $A_d$  είναι η επιφάνεια που περικλείεται μέσα στο περίγραμμα B

που προκύπτει από την τομή της επιφάνειας του εδάφους και μιας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3, η οποία διέρχεται από τα ψηλότερα τμήματα της κατασκευής (εφαπτομένη στην κατασκευή) και περιστρεφόμενη γύρω από αυτή.  
 Εφόσον έχουμε υπολογίσει σύμφωνα με τα παραπάνω τα απαραίτητα  $N_d$ ,  $N_c$ ,  $A_d$  προχωράμε στην επιλογή του κατάλληλου ΣΑΠ με βάση το διάγραμμα ροής του Σχήματος 2.6.



Σχήμα 2.6: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επιλογής ΣΑΠ

→ Τα επιπλέον προστατευτικά μέτρα μπορεί να είναι:

- μέτρα περιορισμού των βηματικών και τάσεων επαφής (γειώσεις ή/και μόνωση τμημάτων και συσκευών)
- μέτρα περιορισμού της διάδοσης της φωτιάς (συστήματα πυρόσβεσης, αντιπυρικές ζώνες)
- μέτρα μείωσης των επαγόμενων τάσεων λόγω κεραυνών σε ευαίσθητες συσκευές (SPD)

### **2.3.2 Εξωτερική Εγκατάσταση Αντικεραυνικής Προστασίας (ΕΑΠ)**

Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας (ΕΑΠ) έχει ως σκοπό να συλλαμβάνει τους άμεσους κεραυνούς, να διοχετεύει το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο του πλήγματος στη γη και να το διαχέει στο έδαφος χωρίς να προκαλεί θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή που χρήζει προστασίας και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους. Φυσικά στοιχεία, αναπόσπαστα της κατασκευής των οποίων η αγωγιμότητα είναι μετρήσιμη (π.χ. ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός, μεταλλικός σκελετός της κατασκευής, κλπ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν τμήμα του ΣΑΠ. Για να επιτευχθεί η σωστή εγκατάσταση του ΣΑΠ, τα σημεία σύνδεσης και άλλες τεχνικές λεπτομέρειες πρέπει να προβλεφθούν κατά την κατασκευή του κτιρίου. Άλλα φυσικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως βοηθητικά στο ΣΑΠ.

Τα χρησιμοποιούμενα υλικά του ΣΑΠ πρέπει να αντέχουν στις ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές συνέπειες του ρεύματος του κεραυνού και σε τυχαίες καταπονήσεις χωρίς να καταστρέφονται. Η επιλογή του υλικού και των διαστάσεων του πρέπει να γίνεται έχοντας υπόψη την πιθανότητα διάβρωσης τόσο της προστατευόμενης κατασκευής όσο και της ΕΑΠ ανάλογα με το εάν η εγκατάσταση έρχεται σε επαφή με αέρα, έδαφος ή σκυρόδεμα. Δομικά, η εξωτερική ΕΑΠ χωρίζεται σε 3 θεμελιώδη τμήματα: το συλλεκτήριο σύστημα, το σύστημα καθόδου και το κύκλωμα γείωσης.

### **2.3.3 Εσωτερική εγκατάσταση του ΕΑΠ**

Ένα σημαντικό στοιχείο στο οποίο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή είναι η εξίσωση δυναμικών όλων των μεταλλικών εγκαταστάσεων του κτιρίου ώστε να μην παρουσιαστούν διαφορές δυναμικού μεταξύ τους. Η εσωτερική ΕΑΠ πρέπει να αποκλείει την δημιουργία επικίνδυνου σπινθήρα μέσα στην κατασκευή που χρήζει προστασίας λόγω της ροής του ρεύματος του κεραυνού στην εξωτερική ΕΑΠ. Σπινθήρες μεταξύ της εξωτερικής ΕΑΠ αφενός και των μεταλλικών εγκαταστάσεων (ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών εγκαταστάσεων στο εσωτερικό του χώρου που χρήζει προστασίας), των εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και γραμμών που εισέρχονται στην κατασκευή αφετέρου, πρέπει να θεωρούνται επικίνδυνοι και για τις εγκαταστάσεις και για τον άνθρωπο.

Οι επικίνδυνοι σπινθήρες πρέπει να αποφεύγονται με την βοήθεια:

- α) ισοδυναμικών συνδέσεων
- β) μόνωσης μεταξύ των τμημάτων

### **2.3.3.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις**

Ένας πρακτικός τρόπος εξίσωσης δυναμικών είναι να επιλεγεί κάποιο κοινό σημείο (ζυγός) πάνω στο οποίο θα συνδεθούν όλες οι μεταλλικές εγκαταστάσεις (ύδρευση, θέρμανση, κλπ.), θωρακίσεις καλωδίων, συστήματα προστασίας. Ενδείκνυται στον ζυγό αυτό να συνδεθεί και ο μεταλλικός σκελετός της κατασκευής, αν αυτό είναι εφικτό. Η ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί επίσης να συνδεθεί μέσω περιοριστών υπερτάσεων (SPD) για να προστατευτούν ευαίσθητα ηλεκτρονικά, όπως για παράδειγμα υπολογιστές.

Γενικά, η ισοδυναμική σύνδεση πραγματοποιείται με:

- a) συνδετήριους αγωγούς, όπου η ηλεκτρική συνέχεια δεν εξασφαλίζεται με φυσικές συνδέσεις
- b) περιοριστή υπέρτασης (SPD), όπου δεν επιτρέπεται άμεση γεφύρωση.

Προσοχή πρέπει να δίνεται στις συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών υλικών γιατί ελλοχεύει ο κίνδυνος της διάβρωσης.

Ισοδυναμική σύνδεση πρέπει να γίνεται στις ακόλουθες θέσεις:

- a) Στο υπόγειο ή περίπου στη στάθμη του εδάφους. Οι συνδετήριοι αγωγοί πρέπει να συνδέονται σε έναν ζυγό εξίσωσης δυναμικών εύκολα επισκέψιμο. ο ζυγός αυτός πρέπει να συνδέεται στο σύστημα γείωσης.
- b) Όπου δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις μόνωσης της κατασκευής ή της ΕΑΠ ή μέρους αυτής, σύμφωνα με το πρότυπο.

Για ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στον κεραυνό πρέπει να ληφθούν εξειδικευμένα μέτρα. Οι κεραίες τηλεόρασης και ραδιοφώνου είναι πιθανόν να μεταφέρουν μεγάλες υπερτάσεις στους δέκτες και να προκαλέσουν βλάβες όχι μόνο σε αυτούς, αλλά και στην καλωδίωση. Γι' αυτό οι κεραίες πρέπει όχι μόνο να συνδέονται με το σύστημα προστασίας, αλλά να παρεμβάλλεται και ένας απαγωγέας υπέρτασης πριν τη σύνδεση με την εγκατάσταση.

Δεδομένου ότι οι υπερτάσεις στο ηλεκτρικό και τηλεπικοινωνιακό είναι σύνηθες φαινόμενο κατά τη διάρκεια καταιγιδών, οι περιοριστές υπερτάσεων πρέπει να τοποθετούνται τόσο στους τηλεφωνικούς όσο και στους ηλεκτρικούς αγωγούς κοντά στην είσοδό τους στο κτίριο. Εναλλακτική μέθοδος είναι τα προστατευτικά διάκενα, τα οποία αποτελούν ανοιχτοκύκλωμα υπό κανονικές συνθήκες, όταν όμως η τάση αυξηθεί επικίνδυνα βραχυκυκλώνουν με τόξο και το ρεύμα του κεραυνού βρίσκει δίοδο προς τη γη. Αναλυτικότερα τη λειτουργία αυτών των στοιχείων θα τη δούμε στο Κεφάλαιο 3.

### 2.3.3.2 Απομόνωση της εξωτερικής ΕΑΠ

Η απομόνωση μπορεί να επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων διαχωριστικών υλικών ή μέσω κατάλληλης διαχωριστικής απόστασης μεταξύ των τμημάτων.

Η διαχωριστική απόσταση  $d$  μεταξύ των αγωγών καθόδου αφενός και των μεταλλικών εγκαταστάσεων και των εσωτερικών ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών εγκαταστάσεων της κατασκευής που χρήζει προστασίας αφετέρου, δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την απόσταση ασφαλείας  $s$ , για την οποία ισχύει:  $s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l$  (m), όπου  $k_i$  εξαρτάται από το επιλεγόμενο επίπεδο προστασίας,  $k_c$  εξαρτάται από το ρεύμα του κεραυνού που ρέει στους αγωγούς καθόδου,  $k_m$  εξαρτάται από το διαχωριστικό υλικό και  $l$ : το μήκος του αγωγού καθόδου από το σημείο που πρόκειται να ελεγχθεί η γειτνίαση μέχρι το πλησιέστερο σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης.

Όπου απαιτείται, απόσταση ασφαλείας μεταξύ μιας μεταλλικής εγκατάστασης (ή ενός ηλεκτρικού καλωδίου) και του συλλεκτήριου συστήματος, μπορεί να υπολογιστεί μια προσεγγιστική τιμή του  $s$  χρησιμοποιώντας την ίδια σχέση που δίνει την απόσταση ασφαλείας από τον πλησιέστερο εξωτερικό αγωγό καθόδου.

→ Οι επικίνδυνοι σπινθήρες μεταξύ της εξωτερικής ΕΑΠ και των καλωδίων ή εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων που εισέρχονται στην κατασκευή δεν μπορούν να αποφευχθούν με μόνωση. Για το λόγο αυτό, η ισοδυναμική σύνδεση είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται (με απευθείας σύνδεση ή μέσω SPD) στο σημείο εισόδου τους στην κατασκευή.

## 2.4 Αναπαράσταση των κεραυνικών ρευμάτων

### 2.4.1 Μαθηματική έκφραση

Η εξίσωση που περιγράφει την μορφή του ρεύματος πρώτης εκκένωσης 10/350  $\mu\text{sec}$  και ακόλουθης εκκένωσης 0.25/100  $\mu\text{sec}$  σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62305-1 ορίζεται ως:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{\left(\frac{t}{t_1}\right)^{10}}{1 + \left(\frac{t}{t_1}\right)^{10}} \cdot e^{\left(-\frac{t}{t_2}\right)}$$

όπου

$I$  : το μέγιστο ρεύμα,

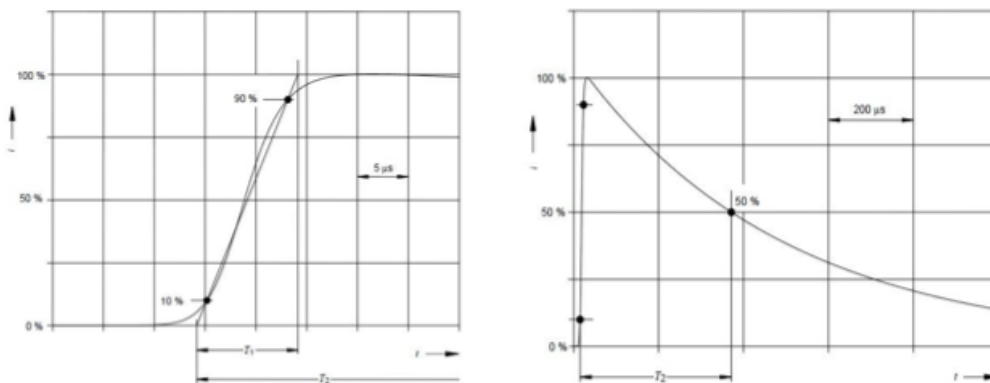
$k$  : διορθωτικός συντελεστής για το μέγιστο ρεύμα,

$t$  : χρόνος,

$t_1, t_2$  : χρονικές σταθερές που αναφέρονται στο «μέτωπο» και στην «ουρά» της κυματομορφής αντίστοιχα.



Οι τιμές αυτών των παραμέτρων διαφοροποιούνται ανάλογα με το επίπεδο προστασίας και τον τύπο του κεραυνού.



Σχήμα 2.4.1 Μορφή «μετώπου» και «ουράς» κρουστικού ρεύματος 10/350 μsec

→ Μορφή κρούσης (Impulse Wave Shape): Είναι το πηλίκο του χρόνου ανόδου του κρουστικού ρεύματος προς τον χρόνο που πέφτει στο μισό της μέγιστης τιμής (Time to Half Value).

→ Χρόνος ανόδου (Rise Time): Ορίζεται από την προβολή στον άξονα του χρόνου μιας ευθείας που περνά από το 10% και το 90% της μέγιστης τιμής του κρουστικού ρεύματος κατά την άνοδό του.

→ Επίπεδα προστασίας (Lightning Protection Levels - LPL): Σύμφωνα με τον κανονισμό, τα επίπεδα καθορίζονται ανάλογα με το μέγεθος του κεραυνού, δηλαδή το ρεύμα εκκένωσης I. Για κάθε επίπεδο δίνονται πίνακες με ενδεικτικές τιμές διαφόρων μεγεθών με σκοπό να χρησιμοποιηθούν ως προδιαγραφές είτε για τον σχεδιασμό και την κατασκευή υλικών αντικεραυνικής προστασίας (πάχος μεταλλικών φύλλων οπλισμών, ικανότητα φόρτισης των απαγωγέων τάσης, καθορισμός αποστάσεων ασφαλείας μεταξύ τμημάτων προς αποφυγή εμφάνισης σπινθήρα μεταξύ αυτών, κλπ ) είτε για προσομοιώσεις των πληγμάτων και των επιπτώσεών τους πάνω σε αυτά τα υλικά.

→ Η πιθανότητα να συμβεί εκκένωση με μέγιστο ρεύμα που ξεπερνά τα 200 kA (άνω όριο για το LPL I) είναι μικρότερη του 2%. Βέβαια, έχουν υπάρξει σπανιότατες περιπτώσεις εμφάνισης εκκένωσης μέγιστου ρεύματος 500 kA.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΠΑΓΩΓΕΙΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ

#### 3.1 Γενικά

Οι απαγωγείς τάσης (Surge Protective Devices – **SPDs**) είναι συσκευές για την προστασία έναντι των υπερτάσεων. Συνδέονται παράλληλα με τον εξοπλισμό που πρόκειται να προστατέψουν και σε γενικές γραμμές η λειτουργία τους είναι η εξής:

A) Απουσία υπερτάσεων δεν επηρεάζουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος στο οποίο εφαρμόζονται. Αυτό οφείλεται στην υψηλή εμπέδηση που παρουσιάζουν. Κατά συνέπεια, ο κλάδος στον οποίο βρίσκονται δεν διαρρέεται από ρεύμα κι έτσι δεν υπάρχουν απώλειες.

B) Κατά την διάρκεια μιας υπέρτασης μειώνουν την εμπέδηση τους έτσι ώστε να απορροφήσουν ένα μεγάλο μέρος του ρεύματος, το οποίο διαρρέει το φορτίο, μέχρις ότου η τιμή της τάσης στα άκρα τους φτάσει την τάση προστασίας που ορίζει ο κατασκευαστής.

Γ) Αφότου παρέλθει το συμβάν της υπέρτασης επανέρχονται σε υψηλές τιμές εμπέδησης.

Η ορθή λειτουργία τους έχει καθοριστεί και μελετηθεί υπό κανονικές συνθήκες που ορίζουν:

- i) συχνότητα συστήματος 48-62 Hz για AC παροχή
- ii) υψόμετρο που να μην ξεπερνά τα 2000 μέτρα
- iii) θερμοκρασία λειτουργίας στο διάστημα από -5° C μέχρι +40° C κανονικό διάστημα ανοχής και από -40° C μέχρι +70° C για εκτεταμένο διάστημα
- iv) υγρασία για εσωτερική εγκατάσταση 30-90%

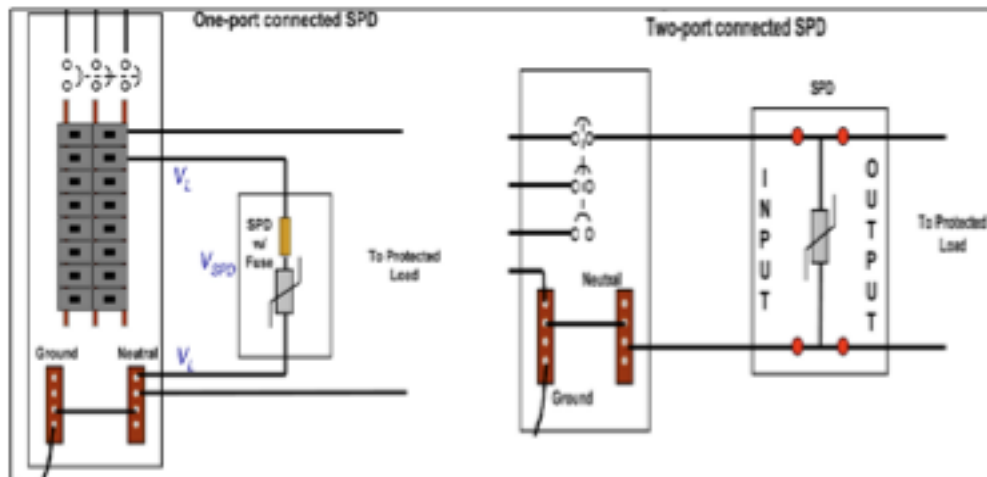
Τα όρια αυτά ενδέχεται να μεταβάλλονται ανάλογα με τα όρια ανοχής που δίνουν συνήθως οι κατασκευαστές και φυσικά μακροπρόθεσμα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των SPD.

#### 3.1.1 Είδη απαγωγών υπέρτασης

Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, οι απαγωγείς υπερτάσεων μπορούν να καταταχθούν σύμφωνα με κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά τους σε διάφορες

κατηγορίες. Κάποιοι απο τους σημαντικότερους τρόπους κατάταξης των απαγωγών και οι αντίστοιχες κατηγορίες είναι :

1. Με βάση τον αριθμό των θυρών τους, οι απαγωγοί χωρίζονται σε μονοπολικούς (one-port) και διπολικούς (two-port). Οι μονοπολικοί απαγωγοί συνδέονται παράλληλα στο φορτίο, ενώ οι διπολικοί συνδέονται σε σειρά πριν από αυτό. Η διαφορά στην συνδεσμολογία των δύο περιπτώσεων φαίνεται καλύτερα στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 3.1: Παράδειγμα σύνδεσης μονοπολικού και διπολικού απαγωγού

2. Σύμφωνα με το είδος των δοκιμών στις οποίες έχουν υποβληθεί, οι απαγωγοί χωρίζονται σε απαγωγούς τύπου I, τύπου II και τύπου III. Οι απαγωγοί τύπου I έχουν υποβληθεί σε επιπλέον δοκιμές με την κυματομορφή  $I_{imp}$ , οι τυποι II αντίστοιχα επιπλέον με την κυματομορφή  $I_{max}$  ενώ οι απαγωγοί τύπου III έχουν υποβληθεί σε δοκιμές με μία συνδυασμένη κυματομορφή 1.2/50 (τάση ανοιχτοκυκλώματος), 8/20 (ρεύμα βραχυκυκλώματος). Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις δοκιμές στις οποίες έχουν υποβληθεί, κάθε τύπος απαγωγού ενδείκνυται και για προστασία απέναντι σε αντίστοιχες κυματομορφές σε ένα πραγματικό σύστημα, κάτι το οποίο θα αναλυθεί και θα γίνει σαφέστερο στη συνέχεια.

Άλλες λιγότερο σημαντικές κατηγοριοποιήσεις των απαγωγών υπέρτασης μπορούν να γίνουν με βάση τα παρακάτω γνωρίσματα ως εξής :

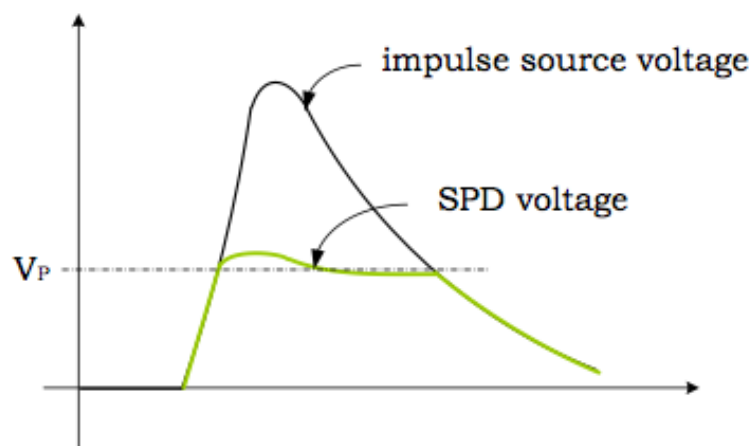
1. Τον χώρο τοποθέτησής τους, σε εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου
2. Την δυνατότητα πρόσβασης τους από μη κατάλληλα εξοπλισμένα άτομα, σε προσβάσιμους ή μη
3. Την μέθοδο στήριξής τους, σε σταθερους ή φορητούς
4. Την ύπαρξη ή όχι ειδικής συσκευής για την αποσύνδεση του απαγωγού απο το

- σύστημα όταν χρειαστεί και τις ιδιότητες αυτής
5. Τον βαθμό προστασίας IP
  6. Το διάστημα της επιτρεπτής θερμοκρασίας λειτουργίας κ.ά.

Αφήσαμε σκόπιμα τελευταίο ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που διαφοροποιούν τους απαγωγούς υπέρτασης μεταξύ τους, μιας και χρειάζεται αρκετή ανάλυση. Αυτό δεν είναι άλλο από τον τρόπο κατασκευής τους, ποιο δηλαδή στοιχείο χρησιμοποιείται ως βασική μονάδα του απαγωγού και κατά συνέπεια το είδος και την ποιότητα προστασίας που αυτός τελικά προσφέρει. Οι απαγωγοί υπέρτασης λοιπόν μπορούν να διαχωριστούν με βάση τον σχεδιασμό τους σε περιοριστές υπερτάσεων, διακόπτες υπερτάσεων ή συνδυασμό των δύο. Να σημειωθεί πάντως ότι τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα τεχνολογίες για την τρίτη περίπτωση, τον συνδυασμό δηλαδή αυτών των δύο σχεδιαστικών κατηγοριών και έτσι πολύ συχνά χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους απαγωγοί, οι οποίοι συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των δυο επιμέρους κατηγοριών που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

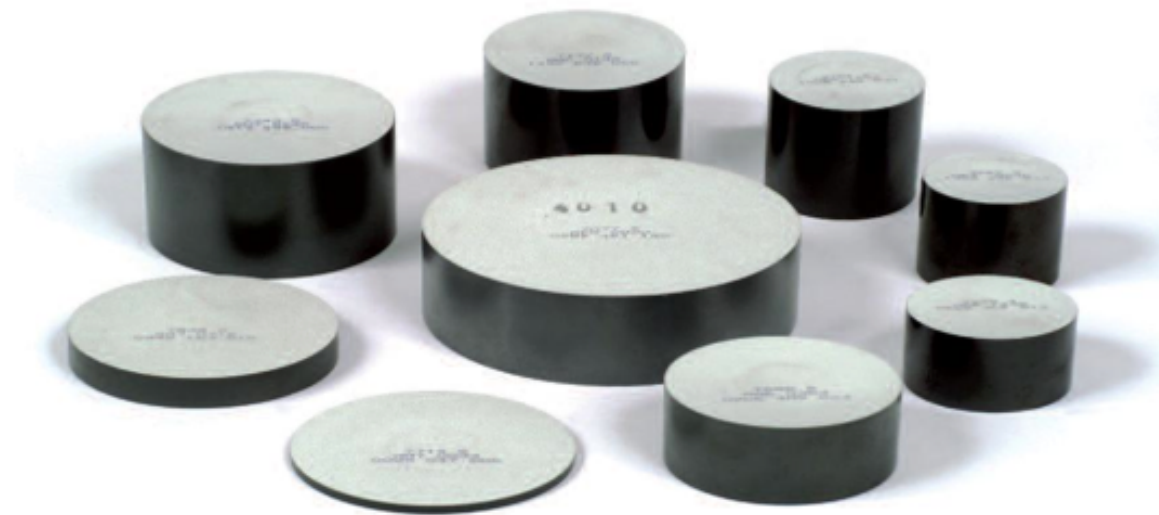
### 3.1.2 Περιοριστές υπερτάσεων

Οι περιοριστές υπερτάσεων (voltage limiting SPDs ή voltage clamping devices) αποτελούνται από μη γραμμικά στοιχεία, τα οποία έχουν υψηλή εμπέδηση απουσία υπερτάσεων, αλλά την μειώνουν σύμφωνα με μία μη-γραμμική αλλά συνεχή χαρακτηριστική I-V όσο αυξάνει η τάση στα άκρα τους. Έτσι παρέχεται ένας εναλλακτικός δρόμος για το κρουστικό ρεύμα, όπως ώστε αυτό να μην περνάει μέσα από τον ευαίσθητο εξοπλισμό καταστρέφοντας τον.



Σχήμα 3.2: Καμπύλη λειτουργίας υπερτάσεων

Ένα κοινό παράδειγμα τέτοιων συσκευών είναι οι δίοδοι καταστολής υπερτάσεων (TVS diodes), που χρησιμοποιούνται όμως για σχετικά μικρά υπερρεύματα. Αντίθετα, για μεγάλα υπερρεύματα χρησιμοποιούνται τα βαρίστορ από οξείδια μετάλλου (Metal Oxide Varistors – MOVs). Ένα MOV κατασκευάζεται από διάφορα οξείδια μετάλλου (συνηθέστερα ψευδάργυρου) σε μορφή σκόνης, τα οποία έπειτα συμπιέζονται και συμπυκνώνονται σε σχήμα κυκλικού δίσκου. Η διάμετρος του κάθε δίσκου καθορίζει το ρεύμα που διαρρέει τον απαγωγό, το ύψος του καθορίζει την τάση κανονικής λειτουργίας του συστήματος και ο όγκος του την ικανότητα ενεργειακής φόρτισης. Απαραίτητο στοιχείο για την επιλογή και τοποθέτηση ενός MOV είναι η γνώση της χαρακτηριστικής I-V, η οποία παρουσιάζει σημαντικές μη γραμμικότητες, χαρακτηρίζει όμως πλήρως την συσκευή και δίνεται από τον κατασκευαστή. Μειονέκτημά τους είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής τους, καθώς εξαιτίας της παραμένουσας τάσης φθείρονται όταν εκτίθενται σε ορισμένο αριθμό υπερτάσεων. Γι' αυτό και συχνά συνδέουμε δύο όμοια βαρίστορ παράλληλα για επέκταση του χρόνου ζωής και καλύτερη προστασία, με την προϋπόθεση βέβαια ότι έχουμε εξασφαλίσει την σωστή συντονισμένη δράση τους.

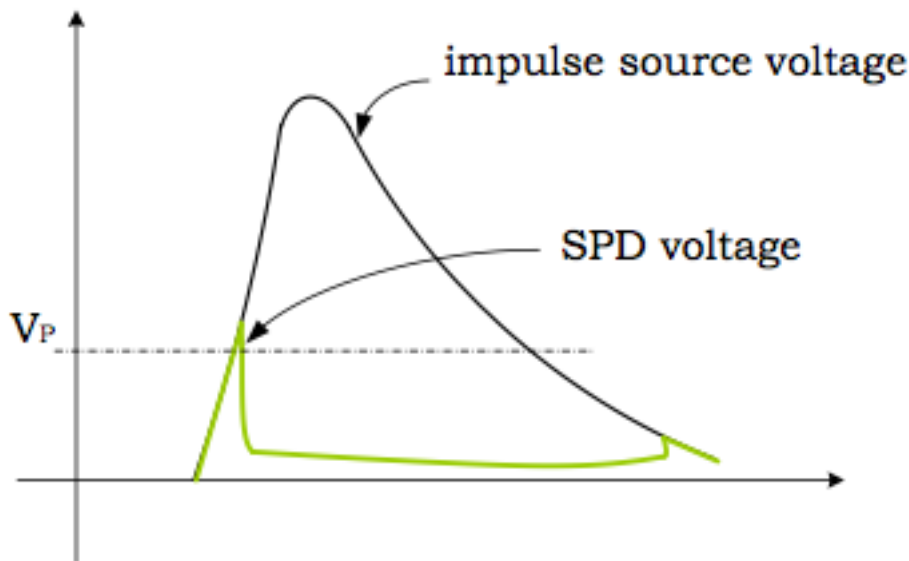


Σχήμα 3.3: Διάφοροι τύποι MOV της εταιρείας ABB

### **3.1.3 Διακόπτες υπερτάσεων**

Οι διακόπτες υπερτάσεων (voltage switching SPDs) έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τους περιοριστές υπερτάσεων όταν δέχονται την κανονική τάση λειτουργίας του συστήματος στα άκρα τους. Όταν όμως παρουσιαστεί κάποια υπέρταση, αντιδρούν μεταβάλλοντας απότομα την εμπέδηση τους σε κάποια πολύ χαμηλή τιμή, μετατρέποντας ακαριαία σχεδόν τον κλάδο τους σε βραχυκύκλωμα. Σε αντίθεση δηλαδή με τους περιοριστές

υπέρτασης, η χαρακτηριστική I-V των διακοπών υπερτάσεων είναι μη συνεχής. Η γραφική παράσταση της λειτουργίας τους δίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 3.4: Καμπύλη λειτουργίας διακοπών υπερτάσεων

Η κατασκευή των απαγωγών αυτού του τύπου βασίζεται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη διακένου. Παραδείγματα στοιχείων που χρησιμοποιούνται ως διακόπτες υπερτάσεων είναι οι σπινθηριστές διακένου (spark gap arresters), οι λυχνίες εκκένωσης αερίων (GDTs) και σπανιότερα κάποιοι τύποι θυρίστορ και τριόδων. Οι απαγωγοί αυτής της κατηγορίας όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.4 έχουν απειροελάχιστη πτώση τάσης κατά την παρουσία της υπέρτασης. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να άγουν πολύ μεγάλο ρεύμα χωρίς να κινδυνεύουν από θερμική καταπόνηση, για αυτό και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με έναν απαγωγό τύπου MOV. Από την άλλη μεριά όμως, τις περισσότερες φορές η δημιουργία οποιουδήποτε βραχυκυκλώματος εντός της εγκατάστασης μας δεν είναι επιθυμητή. Επίσης, οι τυπικοί spark gap arresters και GDTs έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης από έναν MOV, ενώ σε υπερτάσεις σχετικά μικρού πλάτους ενδέχεται να μην αντιδράσουν και καθόλου. Αυτές είναι και οι σημαντικότερες αιτίες για τις οποίες οι απαγωγοί αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται στη θέση των MOVs μόνο όταν αυτό κριθεί απολύτως απαραίτητο. Από αυτήν την κατηγορία απαγωγών, συνηθέστερα συναντώνται οι σπινθηριστές διακένου, οι οποίοι βασίζουν την λειτουργία τους στην ύπαρξη ενός διακένου μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, το οποίο στην κανονική λειτουργία απομονώνει το ένα μέρος του κυκλώματος από το άλλο. Όταν όμως παρατηρηθεί κάποια υπέρταση, ο αέρας που βρίσκεται στο διάκενο ιονίζεται και έτσι σχηματίζεται ηλεκτρικό τόξο. Με αυτόν τον τρόπο κατά τη διάρκεια της υπέρτασης ο απαγωγός δρα ως βραχυκύκλωμα, οδηγώντας το ρεύμα μακριά από την υπό προστασία

συσκευή.

### **3.1.4 Τυπικοί απαγωγοί υπερτάσεων**

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη μείωση ή τον περιορισμό των υπερτάσεων μπορεί να περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους τύπους ηλεκτρονικών στοιχείων. Παρακάτω θα σταχυολογήσουμε αναλυτικότερα τις βασικές κατηγορίες αυτών. Μερικά συστήματα προστασίας από υπερτάσεις, συνδυάζουν πολλαπλές από αυτές τις τεχνολογίες, δεδομένου ότι κάθε μέθοδος έχει τα δυνατά και αδύνατα σημεία της. Οι πρώτες έξι μέθοδοι που απαριθμούνται παρακάτω λειτουργούν κατά κύριο λόγο εκτρέποντας την ανεπιθύμητη ενέργεια μακριά από το προστατευόμενο φορτίο, διαμέσου ενός στοιχείου προστασίας που συνδέεται σε παράλληλη τοπολογία. Οι δύο τελευταίες μέθοδοι εμποδίζουν επίσης την ανεπιθύμητη ενέργεια με τη χρήση ενός στοιχείου προστασίας που συνδέεται όμως εν σειρά με την τροφοδοσία ισχύος και το προστατευόμενο φορτίο και μπορεί να αποσβέσει την ανεπιθύμητη ενέργεια, όπως τα προηγούμενα συστήματα.

#### **3.1.4.1 Βαρίστορ Οξειδίου Μετάλλου (Metal Oxide Varistor – MOV)**

Το βαρίστορ οξειδίου μετάλλου αποτελείται από ένα ημιαγώγιο υλικό (συνήθως κωνιορτοποιημένο οξείδιο του ψευδαργύρου), που δύναται να άγει μεγάλα ρεύματα (βραχυκυκλώματα) όταν βρεθεί υπο τάση πάνω από την ονομαστική του. Τα MOV συνήθως περιορίζουν την τάση περίπου 3 έως 4 φορές από την κανονική τάση του κυκλώματος, εκτρέποντας το ρεύμα από το προστατευόμενο φορτίο. Περισσότερα του ενός MOV μπορούν να συνδεθούν παράλληλα ώστε να αυξηθεί η δυνατότητα της τιμής του ρεύματος και το προσδόκιμο όριο ζωής τους, υπό την προϋπόθεση ότι τα στοιχεία μας είναι απολύτως όμοια κατασκευαστικά (ανόμοια MOV έχουν μια ανοχή περίπου  $\pm 20\%$  σε ονομαστικές τιμές τάσης, η οποία δεν είναι επαρκής για προστασία).

Παραταύτα, τα MOV έχουν πεπερασμένο προσδόκιμο όριο ζωής και φθείρονται όσο εκτίθεται είτε σε μεγάλες υπερτάσεις είτε σε πολλά μικρότερα μεταβατικά. Καθώς το MOV φθείρεται, η τάση κατωφλίου ενεργοποίησης του μειώνεται. Εάν το MOV χρησιμοποιείται για την προστασία μιάς γραμμής χαμηλής τάσης, το χειρότερο πιθανό σφάλμα είναι συνήθως ένα μερικό ή πλήρες βραχυκύκλωμα της γραμμής, που θα οδηγήσει στον τερματισμό της κανονικής λειτουργίας του κυκλώματος.

Αν χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή φιλτραρίσματος ισχύος, τελικά το MOV συμπεριφέρεται ως στιγμιαίο βραχυκύκλωμα σε AC (ή DC) γραμμές ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπερθερμαίνεται, ξεκινώντας μια διαδικασία που ονομάζεται θερμική διαφυγή. Καθώς το MOV υπερθερμαίνεται, μπορεί να καταπονηθεί περαιτέρω,

προκαλώντας του καταστροφική βλάβη που μπορεί να οδηγήσει σε μια μικρή έκρηξη ή φωτιά, εάν η τρέχουσα γραμμή δεν είναι αλλιώς προστατευμένη. Αυτό θα συμβεί όταν υπερβούν σημαντικά οι τεχνικές προδιαγραφές του. Για αυτόν το λόγο, τα MOV συχνά συνδέονται εν σειρά με μια θερμική ασφάλεια, έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης να αποσυνδέεται η ασφάλεια προτού να συμβεί καταστροφή του MOV. Ένα κατεστραμμένο MOV αποτελεί κίνδυνο δημιουργίας πυρκαγιάς, το οποίο είναι ο λόγος που όταν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ισχύος, τα MOV συνήθως έχουν μια θερμική ασφάλεια ή κάποια ισοδύναμη λύση για την αποφυγή πυρκαγιάς από επαναλαμβανόμενα βραχυκυκλώματα και λοιπούς κινδύνους.

Ακόμη και ένα κατάλληλου μεγέθους MOV θα καταπονηθεί με τον καιρό τελικά πέραν των αποδεκτών ορίων. Ως εκ τούτου, όλα τα MOV που προορίζονται για μακροχρόνια χρήση θα πρέπει να έχουν μια ένδειξη καλής λειτουργίας, και η ένδειξη αυτή πρέπει να ελέγχεται σε τακτική βάση για να διασφαλίζεται ότι η προστασία εξακολουθεί να λειτουργεί.

Πάραυτα λόγω της καλής αναλογίας τιμής / απόδοσης τους, τα MOV είναι το πιο κοινό στοιχείο προστασίας σε χαμηλού κόστους λύσεις προστασίας AC συστημάτων.

#### **3.1.4.2 Δίοδος περιορισμού υπέρτασης (*Transient voltage suppression (TVS) diode*)**

Η δίοδος περιορισμού υπέρτασης (TVS) είναι ένας τύπος διόδου Zener, που ονομάζεται επίσης δίοδος κατάρρευσης πυριτίου (SAD), η οποία μπορεί να περιορίζει κρουστικές αιχμές τάσης. Αυτό το στοιχείο παρέχει την ταχύτερη δράση προστασίας (θεωρητικά σε picoseconds), αλλά έχει μια σχετικά χαμηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Οι τιμές των τάσεων μπορεί να περιοριστούν σε λιγότερο από το διπλάσιο της κανονικής τάση λειτουργίας. Εάν οι ώσεις του ρεύματος παραμένουν εντός των προδιαγραφών της συσκευής, το προσδόκιμο όριο ζωής της είναι εξαιρετικά μεγάλο. Σε περίπτωση υπέρβασης των προδιαγραφών του στοιχείου, η δίοδος μπορεί να καταστραφεί και να εκπέσει σε μόνιμο βραχυκύκλωμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η δίοδος συνεχίζει να προστατεύει το κύκλωμα, αλλά το κύκλωμα δεν τροφοδοτείται. Λόγω της σχετικά περιορισμένης αντοχής ρευμάτων, οι TVS δίοδοι συχνά περιορίζονται σε κυκλώματα με μικρότερες αυξομειώσεις τάσης. Επίσης χρησιμοποιούνται όταν συμβαίνουν υπερτάσεις πολύ πιο συχνά από μία φορά το χρόνο, αφού το στοιχείο αυτό δεν καταπονείται όταν χρησιμοποιείται εντός των τεχνικών προδιαγραφών του. Ένα συγκεκριμένος τύπος διόδων TVS (με εμπορικές ονομασίες Transzorb ή Transil) περιέχει δυο αντιπαράλληλες δίοδους κατάρρευσης για διπολική λειτουργία.

Οι δίοδοι TVS χρησιμοποιούνται συχνά σε κυκλώματα υψηλής συχνότητας, αλλά χαμηλής ισχύος, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στις τηλεπικοινωνίες. Αυτές οι συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε σειρά με μια άλλη δίοδο ώστε να διατηρούν χαμηλή



χωρητικότητα, όπως απαιτείται σε κυκλώματα τηλεπικοινωνιών. Εκτενέστερα την λειτουργία τους θα την αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο σε σύγκριση με τα θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων.

#### **3.1.4.3 Θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (Thyristor surge protection device (TSPD))**

Το Trisil είναι ένας τύπος θυρίστορ για προστασία από υπερτάσεις (TSPD), μια εξειδικευμένη ηλεκτρονική συσκευή στερεάς κατάστασης (ημιαγωγός) που χρησιμοποιείται σε κυκλώματα για την προστασία έναντι υπερτάσεων. Το SIDACtor είναι μια άλλη συσκευή τύπου θυρίστορ που χρησιμοποιούνται για παρόμοιους σκοπούς προστασίας.

Αυτές οι συσκευές της οικογένειας των θυρίστορ μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με τους σπινθηριστές διακένου ή τις λυχνίες εκκένωσης αερίων (GDT), αλλά μπορεί να λειτουργήσουν πολύ πιο γρήγορα. Μοιάζουν με τις διόδους TVS, αλλά μανδαλώνουν σε χαμηλότερη τάση διάσπασης όπως ακριβώς ένας ιονισμένος και άγων σπινθηριστής διακένου. Μετά την ενεργοποίηση, η χαμηλή τάση μανδάλωσης επιτρέπει την αγωγή μεγάλων ρευμάτων διαμέσου τους ενώ μειώνει την απόδοση θερμότητα της συσκευής.

Με τον συγκεκριμένο τύπο στοιχείων θα ασχοληθούμε εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

#### **3.1.4.4 Λυχνία εκκένωσης αερίων (Gas discharge tube (GDT))**

Η λυχνία εκκένωσης αερίων (GDT) είναι μια ερμητικά σφραγισμένη γυάλινη συσκευή με δύο ηλεκτρόδια που περικλείονται από ένα ειδικό μίγμα αερίου. Η συσκευή άγει ηλεκτρικό ρεύμα αφού ιονιστεί το αέριο από μία υπέρταση. Η GDT έχει την δυνατότητα να άγει περισσότερο ρεύμα συγκριτικά για το μέγεθός της από ό,τι παρόμοιες συσκευές. Όπως και τα MOV, τα GDT έχουν πεπερασμένη προσδόκιμη διάρκεια ζωής, και μπορεί να ανεχτούν μόνο μερικά πολύ μεγάλα μεταβατικά ή ένα μεγαλύτερο αριθμό μικρότερων μεταβατικών. Η πιθανότερη αστοχία λειτουργίας συμβαίνει όταν η τάση μανδάλωσης επιλέγεται τόσο υψηλή ώστε η συσκευή καθίσταται αναποτελεσματική, αν και κευρανικές υπερτάσεις μπορεί περιστασιακά να προκαλέσουν τυχαία βραχυκυκλώματα της.

Οι GDT χρειάζονται ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα για την ενεργοποίησή τους, επιτρέποντας σε μια υπέρταση να περάσει πριν το GDT ξεκινήσει να άγει αρκετό ρεύμα. Δεν είναι ασυνήθιστο λοιπόν για ένα GDT να επιτρέπει σε παλμούς 500 V ή περισσότερο να περάσουν για παραπάνω από 100 ns σε διάρκεια. Σε μερικές περιπτώσεις, επιπλέον στοιχεία προστασίας είναι αναγκαία για την πρόληψη ζημιών σε ένα προστατευόμενο φορτίο, που προκαλείται από την υπέρταση η οποία εμφανίζεται στο φορτίο πριν από την

έναρξη της λειτουργίας του GDT.

Τα GDTs δρουν ως βραχυκύκλωμα όταν ενεργοποιούνται, έτσι ώστε εάν οποιαδήποτε ηλεκτρικό σήμα (κρουστικό, ισχύος) εμφανιστεί ως είσοδος, το GDT θα το εκτρέψει διαμέσου του. Άπαξ και ενεργοποιηθεί, το GDT συνεχίζει να άγει έως ότου το ηλεκτρικό ρεύμα μειωθεί επαρκώς ώστε η διάσπαση του αερίου λόγω ιονισμού να σβέσει. Σε αντίθεση με άλλες συσκευές εκκένωσης, το GDT άπαξ και ενεργοποιηθεί θα συνεχίσει να άγει σε τάση μικρότερη από αυτήν που αρχικά ιόνισε το αέριο. Αυτή η συμπεριφορά ονομάζεται αρνητική αντίσταση. Σε DC κυκλώματα μπορεί να χρειάζονται επιπλέον εφαρμογές προστασίας για να περιορίσουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης, για να αποτραπεί μια πιθανή καταστροφή του GDT μετά την πυροδότηση του. Μερικά GDTs σχεδιάζονται έτσι ώστε εσκεμμένα να βραχυκυκλώνουν ως προς μια γείωση όταν υπερθερμανθούν, εξαναγκάζοντας με τον τρόπο αυτό την λειτουργία μιας εξωτερικής ασφάλειας ή ενός διακόπτη ισχύος.

Πολλά GDT είναι φωτοευαίσθητα, καθώς η έκθεση στο φως μειώνει την τάση ενεργοποίησής τους. Ως εκ τούτου, τα GDT πρέπει να προστατεύεται από την έκθεση στο φως, ειδάλως θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αδιαφανείς εκδόσεις του κελύφους τους που δεν είναι φωτοευαίσθητες.

Λόγω της εξαιρετικά χαμηλής χωρητικότητας τους, τα GDT χρησιμοποιούνται συνήθως σε γραμμές υψηλών συχνοτήτων, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό. Λόγω της αντοχής τους σε υψηλές τιμές ρευμάτων, τα GDT μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για την προστασία των γραμμών μεταφοράς ενέργειας, αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και να ελέγχεται το πρόβλημα των μεγάλων τιμών ρευμάτων βραχυκύκλωσης που δημιουργούν.

#### **3.1.4.5 Περιοριστής τάσης Σεληνίου (*Selenium voltage suppressor*)**

Είναι ένας ημιαγώγιμος απαγωγός υπερτάσεων παρόμοιος με τα MOV, αν και δεν περιορίζει την τάση τόσο αποτελεσματικά. Ωστόσο, έχει συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα MOV. Χρησιμοποιείται κυρίως σε υψηλής ισχύος DC κυκλώματα, όπως το πεδίο διέγερσης ενός εναλλάκτη. Μπορεί να απάγει ισχύ απρόσκοπτα και δεν επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά μανδάλωσης του καθ' όλη την διάρκεια της εμφάνισης της υπέρτασης, αν έχει επιλεγεί με τα εκάστοτε σωστά τεχνικά χαρακτηριστικά.

#### **3.1.4.6 Σπινθηριστής διακένου άνθρακα (Carbon block spark gap overvoltage suppressor)**

Ο σπινθηριστής διακένου αποτελεί έναν από τους παλαιότερους τρόπους προστασίας ηλεκτρικών συσκευών (αναπτύχθηκε κατά τον δέκατο ένατο αιώνα) και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε κυκλώματα τηλεφωνίας. Μία ακίδα άνθρακα συγκρατείται ως ηλεκτρόδιο με ένα μονωτικό σε συγκεκριμένη απόσταση από ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο. Η απόσταση αυτού του διακένου καθορίζει την τάση στην οποία ένας σπινθήρας θα δημιουργηθεί μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και θα προκαλέσει βραχυκύκλωμα με την γείωση. Οι σπινθηριστές διακένου άνθρακα είναι παρόμοιοι με τις λυχνίες εκκένωσης αερίου (GDTs), αλλά με τα δύο τους ηλεκτρόδια να εκτίθενται στον αέρα, επομένως η συμπεριφορά τους επηρεάζεται από την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα, ειδικά την υγρασία. Συνεπώς, αφού κατά τη λειτουργία τους παράγονται μη μονωμένοι σπινθηρισμοί, οι συσκευές αυτές δεν πρέπει ποτέ να τοποθετούνται σε περιβάλλον με πιθανότητα πρόκλησης εκρήξεων.

#### **3.1.4.7 Ομοαξονικός απαγωγέας υπερτάσεων ενός τετάρτου μήκους κύματος (Quarter-wave coaxial surge arrester)**

Χρησιμοποιείται κυρίως στην μετάδοση RF σημάτων. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ένα συντονιστή ενός τετάρτου μήκους κύματος που επιτρέπει να περάσει μόνο ένα εύρος ζώνης συχνοτήτων, αλλά βραχυκυκλώνει οποιοδήποτε άλλο σήμα. Το εύρος ζώνης μπορεί να είναι στενό (περίπου  $\pm 5\%$  ως  $\pm 10\%$  του εύρους ζώνης) ή ευρείας ζώνης (άνω  $\pm 25\%$  ως  $\pm 50\%$  του εύρους ζώνης). Αυτού του τύπου οι απαγωγείς έχουν ομοαξονικούς ακροδέκτες, συμβατούς με τα κοινά βύσματα ομοαξονικών καλωδίων (ιδιαίτερα τύπου N ή 7-16). Παρέχουν το πιο εύκολη προστασία διαθέσιμη για RF σήματα άνω των 400 MHz. Σε αυτές τις συχνότητες μπορούν να αποδώσουν πολύ καλύτερα από ό,τι οι λυχνίες εκκένωσης αερίου που χρησιμοποιούνται συνήθως στους ευρυζωνικό ομοαξονικούς απαγωγείς. Θεωρούνται ιδιαίτερα χρήσιμοι σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, όπως το Wi-Fi στα 2,4 ή 5 GHz, αλλά λιγότερο χρήσιμοι σε χαμηλότερες συχνότητες όπως για τις συχνότητες TV / CATV. Δεδομένου ότι βραχυκυκλώνουν τη γραμμή για τις χαμηλές συχνότητες, δεν είναι συμβατές με τα συστήματα που χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα ή τα συνήθη δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας των 50 ή 60 Hz, οπότε δεν θα μας απασχολήσουν στην παρούσα διπλωματική.

#### **3.1.4.8 Εν σειρά περιοριστές υπερτάσεων (Series Mode (SM) surge suppressors)**

Οι συσκευές αυτές δεν φθείρονται από την θερμική απαγωγή, επειδή λειτουργούν διαφορετικά από τους προηγούμενους απαγωγούς και δεν εξαρτώνται από τα υλικά κατασκευής τους που εγγενώς φθείρονται κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων κρουστικών υπερτάσεων. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο μεταβατικών

διακυμάνσεων της τάσης στις τροφοδοσίες ηλεκτρικής ενέργειας σε προστατευόμενες συσκευές. Στην ουσία είναι βαρέως τύπου βαθυπερατά φίλτρα που συνδέονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τάσεις συχνότητας 50/60 Hz προς το φορτίο, ενώ εμποδίζουν και εκτρέπουν τις υψηλότερες συχνότητες. Αυτό το είδος των απαγωγών διαφέρει από τους υπόλοιπους καθώς χρησιμοποιεί ένα σύνολο απο πηνία, πυκνωτές και αντιστάσεις που καταστέλλουν τις κρουστικές τάσεις και ρεύματα προς τον ουδέτερο αγωγό, ενώ άλλες τοπολογίες τα εκτρέπουν προς τη γείωση. Τα κρουστικά δεν εκτρέπονται αλλά στην πραγματικότητα καταστέλλονται. Τα πηνία επιβραδύνουν την ενέργεια, δεδομένου ότι ένα πηνίο εν σειρά στο κύκλωμα επιβραδύνει την κρουστική αιχμή του ρεύματος, η ενέργεια της κρουστικής απλώνεται στο πεδίο του χρόνου οπότε απορροφάται ακίνδυνα και απελευθερώνεται αργά από μια συστάδα πυκνωτών.

Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι περισσότερες υπερτάσεις εκδηλώνουν ενέργειες κάτω από 100 Joules, έτσι μια πιθανή υπέρβαση των παραμέτρων σχεδιασμού των SM είναι απίθανη. Οι SM καταστολές δεν ενέχουν κίνδυνο πυρκαγιάς ακόμη και αν η απορροφούμενη ενέργεια υπερβαίνει τα σχεδιαστικά όρια του διηλεκτρικού υλικού των στοιχείων τους, επειδή η ενέργεια των υπερτάσεων περιορίζεται επίσης μέσω βραχυκύκλωσης στη γείωση κατά τη διάρκεια κεραυνικών πληγμάτων, αφήνοντας μια απομένουσα υπέρταση που συχνά δεν υπερβαίνει ένα θεωρητικό ανώτατο όριο (παράδειγμα 6000 V στα 3000 A όπως μοντελοποιείται στην κυματομορφή 8/20μs που ορίζεται από το IEEE / ANSI C62.41). Επειδή τα SM δρουν επιτυχώς τόσο για το ενδεχόμενο υπερεντάσεων όσο και υπερτάσεων, μπορούν να λειτουργήσουν με ασφάλεια στα χειρότερα περιβάλλοντα υπερτάσεων.

Η φιλοσοφία των καταστολών SM εστιάζει περισσότερο στην προστασία τροφοδοτικών ισχύος, αλλά δεν προσφέρει τίποτα για την προστασία από υπερτάσεις που εμφανίζονται μεταξύ της εισόδου μιας συσκευής SM σε γραμμές δεδομένων, όπως κεραιών, τηλεφωνίας, συνδέσεις LAN ή πολλαπλές τέτοιες συσκευές συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν απομακρύνουν την ενέργεια των υπερτάσεων προς τη γραμμή της γείωσης καθώς η μετάδοση δεδομένων απαιτεί η γραμμή της γείωσης να είναι καθαρή για να δύναται να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς. Υπο αυτήν τη σχεδιαστική συνθήκη, σε τέτοια γεγονότα υπάρχει ήδη προστασία από τη συσκευή SM στο στάδιο πριν από την είσοδο της τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος. Το αμερικάνικο ινστιτούτο προτυποποίησης ενδεικτικά αναφέρει ότι «η βραχυκύκλωση των κρουστικών αιχμών προς τον αγωγό της γείωσης, το μόνο που καταφέρνει είναι να τους κάνει να επανεμφανιστούν μέσα σε ένα μικροδευτερόλεπτο περίπου 200 μέτρα μακριά σε κάποιο άλλο αγωγό.». Επομένως, η τοποθέτηση προστασίας σε μία γραμμή μεταφοράς δεδομένων κρίνεται απαραίτητη μόνο αν οι υπερτάσεις εκτρέπονται προς την γραμμή της γείωσης.

Σε σύγκριση με τις απλούστερες τοπολογίες που βασίζονται σε απλά στοιχεία και έχουν

περιορισμένο χρόνο ζωής (όπως τα MOV ή τα GDT), οι συσκευές SM τείνουν να είναι ογκοδέστερες και βαρύτερες από αυτούς τους απλούς απαγωγούς υπερτάσεων. Οι αρχικές δαπάνες κόστους αγοράς των φίλτρων SM είναι υψηλότερες, περίπου 2 τάξεις μεγέθους περισσότερο, αλλά εγγυόνται πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, αν χρησιμοποιούνται σωστά. Επίσης το κόστος εγκατάστασης τους είναι υψηλότερο, δεδομένου ότι οι συσκευές SM εγκαθίστανται σε σειρά με την τροφοδοσία ρεύματος, οπότε απαιτείται η αποκοπή και επανασύνδεση της γραμμής τροφοδοσίας.

### 3.2 Τυπικά χαρακτηριστικά των απαγωγών τάσης

Μερικά από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που λαβαίνουμε υπόψη για την επιλογή του κατάλληλου τύπου SPD είναι τα παρακάτω:

A) Τάση κανονικής λειτουργίας ( $V_c$ ) (Continuous Operating Voltage) και ρεύμα κανονικής λειτουργίας ( $I_c$ ) (Continuous Operating Current): Είναι οι μέγιστες (ενεργές) τιμές για τάση και ρεύμα κανονικής λειτουργίας του συστήματος. Η  $V_c$  κυμαίνεται στο +15% της ονομαστικής τάσης λειτουργίας, η οποία για το ελληνικό δίκτυο είναι 230V/400V, και πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα να αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά του SPD λόγω γήρανσης, θερμικής καταπόνησης, κλπ υπό κανονικές συνθήκες. Η τιμή  $I_c$  αντιστοιχεί στην τιμή του ρεύματος που διαρρέει τον SPD όταν εφαρμόζεται σε αυτόν τάση  $V_c$  και μας ενδιαφέρει όταν θέλουμε να επιλέξουμε έναν απαγωγέα που θα συνδεθεί παράλληλα με άλλες προστατευτικές διατάξεις ή με συσκευές που προκαλούν υπερρεύματα, καθώς επίσης και όταν συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο.

B) Ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης  $I_n$  (Nominal Discharge Current): Είναι το peak ρεύμα μιας υπέρτασης που μπορεί να διαπεράσει έναν SPD για συγκεκριμένο αριθμό φορών (τουλάχιστον 20), χωρίς αυτός να παρουσιάσει κάποια δυσλειτουργία με την προϋπόθεση ότι  $I_n < I_{max}$ . Χρησιμοποιείται σε τεστ που γίνονται στον SPD για τον προσδιορισμό διαφόρων επιπέδων τάσης εκφόρτισης ανάλογα με το  $I_n$  που επιλέγεται από το σύνολο τιμών {0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0} σε kA.

Γ) Μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης  $I_{imp}$  (Maximum Impulse Current),  $I_{max}$  (Maximum Discharge Current):

Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί να διαπεράσει έναν SPD τουλάχιστον μια φορά, χωρίς αυτός να καταστραφεί. Ο συμβολισμός  $I_{imp}$  αναφέρεται σε απαγωγούς τύπου I (τυποποιημένους σε δοκιμές με κρουστικά ρεύματα της μορφής 10/350μs), ενώ το  $I_{max}$  για απαγωγούς τύπου II (με ρεύματα 8/20μs αντίστοιχα). Σε κάθε περίπτωση, η γνώση της μορφής κρούσης είναι εξίσου απαραίτητη με την γνώση του μέγιστου ρεύματος για τον προσδιορισμό του απαγωγού, το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την μορφή

του κρουστικού ρεύματος.

→ Αναφέρουμε την μορφή κρούσης για να είμαστε πιο ακριβείς όσον αφορά τον καθορισμό των  $I_{imp}$ ,  $I_{max}$ ,  $I_n$ . Για παράδειγμα, ένας απαγωγός στον οποίο εφαρμόζεται κρούση μορφής 8/20  $\mu\text{sec}$  έχει ικανότητα  $I_{max} = 5 \text{ kA}$ , ενώ αν εφαρμοστεί κρούση μορφής 4/10  $\mu\text{sec}$  έχει ικανότητα  $I_{max} = 65 \text{ kA}$ . Να σημειωθεί εδώ ότι επειδή οι κυματομορφές της μορφής 10/350 αντιστοιχούν με μεγάλη ακρίβεια στα πραγματικά κεραυνικά πλήγματα, οι απαγωγοί τύπου I χρησιμοποιούνται ως πρώτη γραμμή προστασίας, ενώ οι τύπου II χρησιμοποιούνται «βαθύτερα» στο σύστημα μας για τις εναπομένουσες υπερτάσεις.

Δ)  $V_M$  (Measured Limiting Voltage):

Είναι η τάση εκφόρτισης και ισούται είτε με την παραμένουσα τάση  $V_{RES}$  (Residual Voltage) είτε με την τάση διάσπασης (Spark-over Voltage) στα άκρα του SPD, όταν ο SPD διαρρέεται από το ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης  $I_{imp}$ . Η μέγιστη τιμή της τάσης εκφόρτισης αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης  $I_{imp}$ ,  $I_{max}$ . Η μέγιστη τιμή της δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι μεγαλύτερη από την τάση αντοχής του εξοπλισμού που θέλουμε να προστατεύσουμε, γιατί τότε ο απαγωγός θα επιζήσει μεν του πλήγματος, ο εξοπλισμός όμως θα καταστραφεί.

→ Τάση διάσπασης: Η τάση κατά την οποία έχουμε δημιουργία σπινθήρα σε απαγωγούς τύπου Spark Gap.

Ε) Τάση προστασίας ( $V_p$ ):

Δίνεται από τον κατασκευαστή και είναι ίση ή μεγαλύτερη από την μέγιστη παραμένουσα τάση. Είναι το σημαντικότερο μέγεθος, καθώς ορίζει το βαθμό προστασίας που παρέχει ο SPD.

ΣΤ)  $V_{TOV}$  (Temporary Overvoltage):

Ορίζεται ως μια υπέρταση που διαρκεί 0.05-10 sec. Λόγω της διάρκειάς της δεν έχει κρουστική μορφή και όταν ο SPD λειτουργήσει για να την περιορίσει υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί καθώς καταπονείται για μεγαλύτερο διάστημα από μεγάλο ρεύμα. Έτσι, κατά την επιλογή του κατάλληλου SPD θα πρέπει να εξασφαλίσουμε την λειτουργία του σε τάσεις μεγαλύτερες της  $V_{TOV}$  και συνεπώς για την τάση προστασίας απαραίτητα θα ισχύει  $V_p > V_{TOV}$ .

→ Στατιστικά, έχει αποδειχτεί ότι σε απομονωμένα δίκτυα, η καταστροφή απαγωγών κρουστικών τάσεων από υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας είναι συνηθέστερη από ότι η καταστροφή τους από ρεύμα κεραυνού.

→ Οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας που δημιουργούνται από σφάλματα στο δίκτυο χαμηλής τάσης εκφράζονται από την σχέση  $V_{TOV} = k_2 \times k_1 \times V_N = k_2 \times V_{CS}$ , όπου  $V_N$  η

ονομαστική τάση,  $V_{CS} = k_1 \cdot V_N$  η μέγιστη τάση του συστήματος που βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων κανονικής λειτουργίας με  $1.05 < k_1 < 1.1$  και  $k_2$  συντελεστής που δηλώνει κατά πόσο μεγαλύτερη από την  $V_{CS}$  είναι μια αποδεκτή υπέρταση του συστήματος, ο οποίος αναλόγως της σύνθεσης των αγωγών κυμαίνεται από 1.25 έως και 2.

→ Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-4-442, οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας που οφείλονται σε σφάλματα σε δίκτυο υψηλής τάσης δεν πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή  $(1.5V_N + 750)$  Volts για χρόνο  $0.05 < t \text{ (sec)} < 5$ , και την τιμή  $(1.5V_N)$  Volts για χρόνο  $5 < t \text{ (sec)} < 10$

Z)  $V_T$  (Temporary Overvoltages):

Είναι μια καμπύλη που ορίζει την συμπεριφορά του SPD υπό συνθήκες υπερτάσεων μεγάλης διάρκειας του συστήματος διανομής και αρκούν μερικά ζευγάρια τιμών της συναρτήσεως του χρόνου που δίνουν οι κατασκευαστές για να λάβουμε την μορφή της. Μια υπέρταση διάρκειας μεγαλύτερης των 5 sec ο SPD την αντιλαμβάνεται ως μόνιμη κατάσταση και η χαρακτηριστική της σταθεροποιείται στην τιμή  $V_c$ .

H) Χρόνος απόκρισης ( $t_R$ ) (Time Response):

Ορίζεται ως ο χρόνος από την στιγμή που επιδρά ένα κρουστικό ρεύμα στο σύστημα μέχρι την στιγμή που ενεργοποιείται η λειτουργία του SPD. Αποτελεί βασική παράμετρο, καθώς πρέπει να λειτουργήσει πριν περάσει το κύμα και προκαλέσει πρόβλημα και θα πρέπει ιδανικά να είναι μικρότερος των 25 nsec καθώς μιλάμε για υπερτάσεις της τάξης των msec.

→ Οι σταθεροποιητές τάσης (UPS) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αντικεραυνική προστασία καθώς ο χρόνος απόκρισής τους είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερος (της τάξης των msec). Αντιθέτως, κινδυνεύουν και οι ίδιοι από τα κρουστικά κύματα και χρειάζονται προστασία.

Τέλος, υπάρχουν και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαγωγών υπερτάσεων, όπως η ισχύς λειτουργίας, η θερμοκρασία λειτουργίας, η συμπεριφορά τους σε περιπτώσεις σφαλμάτων, η αντοχή τους σε βραχυκλώματα κ.α. που όμως είναι λιγότερο σημαντικά και δεν χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας.

### 3.3 Τοποθέτηση των SPD σε δίκτυο Χ.Τ.

#### 3.3.1 Σημεία τοποθέτησης

Εφόσον έχουν γίνει οι απαραίτητες μελέτες για τα ενδεχόμενα πλήγματος της εγκατάστασης από κεραυνούς ή άλλες κρουστικές υπερτάσεις λόγω σφαλμάτων και έχει προσδιοριστεί η καταπόνηση του συστήματος και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του απαγωγέα τάσης, προχωράμε στην τοποθέτηση των απαγωγέων στο δίκτυο.

Αν ο εξοπλισμός που πρέπει να προστατέψουμε αντέχει σε υπερτάσεις ή βρίσκεται κοντά στον κεντρικό πίνακα διανομής, τότε ένας SPD με επαρκή ικανότητα αντοχής σε υπερτάσεις και συνδεδεμένος όσο πιο κοντά γίνεται στον πίνακα αρκεί για την προστασία της εγκατάστασης. Αν χρειαστούν παραπάνω προστατευτικές διατάξεις, τότε είναι απαραίτητος ο συντονισμός τους. Γενικά, ο αριθμός των απαγωγέων που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από το είδος του εξοπλισμού που θέλουμε να προστατέψουμε, την αντοχή του στις υπερτάσεις για διάφορους τύπους προστασίας, τη δομή του ηλεκτρικού συστήματος και της γείωσης, καθώς και από τα χαρακτηριστικά της υπέρτασης.

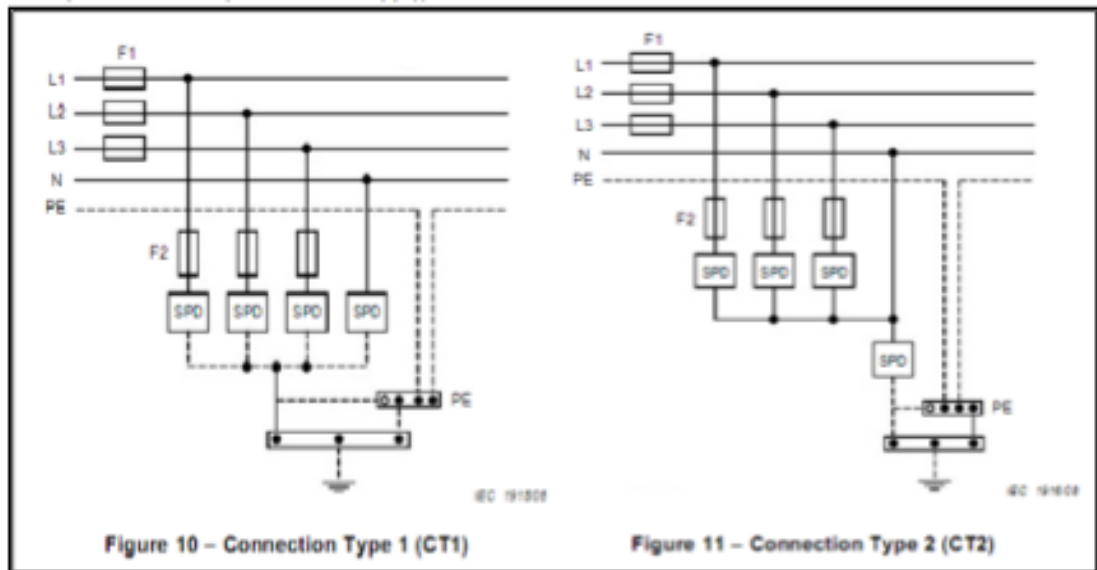
Με την έκφραση «ένας απαγωγός» σε αυτή την περίπτωση εννοούμε έναν τριφασικό απαγωγό. Στα διάφορα σχήματα κάθε μη γραμμικό στοιχείο του απαγωγού παρουσιάζεται διακριτά, όπως θα φανεί και παρακάτω. Οι κατασκευαστές όμως στις περισσότερες περιπτώσεις προσφέρουν αυτά τα ξεχωριστά απαγωγικά στοιχεία σε μία κοινή συσκευή, τον τριφασικό απαγωγό. Μία πιο ακριβής έκφραση ίσως θα ήταν «απαγωγοί σε ένα μόνο σημείο της εγκατάστασης», όμως για ευκολία χρησιμοποιούμε την έκφραση «ένας απαγωγός», η οποία και συμβαδίζει άλλωστε με την έννοια του απαγωγού όπως αυτός είναι γνωστός στη βιομηχανία, το εμπόριο κλπ.

Συγκεκριμένα οι απαγωγοί κοντά στην αρχή της εγκατάστασης θα πρέπει να τοποθετηθούν ως εξής :

1. Εάν υπάρχει άμεση σύνδεση του ουδέτερου N και του αγωγού προστασίας PE κοντά σε εκείνο το σημείο (ή εάν δεν υπάρχει ουδέτερος), τότε συνδέουμε μέσω απαγωγού υπέρτασης κάθε φάση είτε με την γείωση είτε με τον αγωγό προστασίας (επιλέγοντας τον συντομότερο από τους δυο δρόμους).
2. Εάν δεν υπάρχει άμεση σύνδεση του ουδέτερου N και του αγωγού προστασίας PE, τότε εκτός από αυτές τις συνδέσεις που αναφέρθηκαν, θα πρέπει να συνδέσουμε και τον ουδέτερο είτε με τη γείωση είτε με τον αγωγό προστασίας μέσω ενός SPD. Εναλλακτικά, σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να συνδέσουμε



κάθε φάση με τον ουδέτερο μέσω ενός SPD και στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο τον ουδέτερο με τη γείωση ή τον αγωγό προστασίας. Οι δύο αυτοί τρόποι παρουσιάζονται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα:



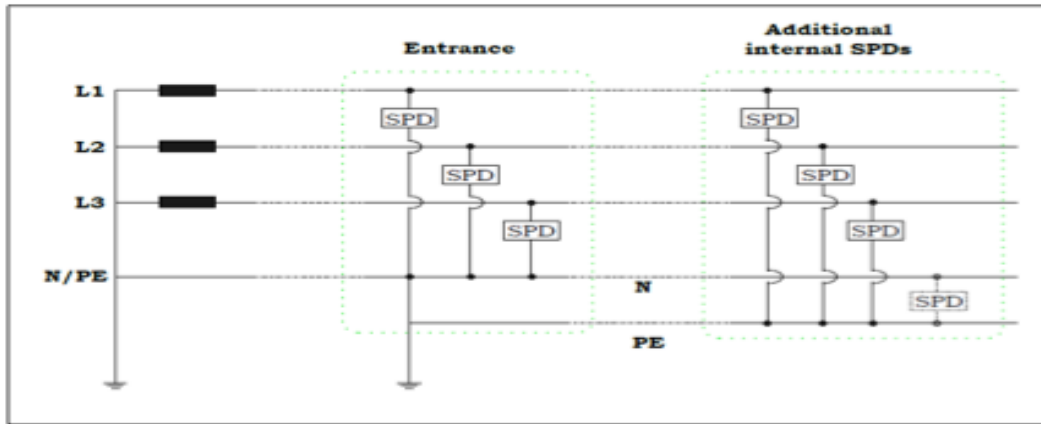
Σχήμα 3.5: Τρόποι σύνδεσης των SPD στην αρχή της εγκατάστασης

Σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες, στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε συνοπτικά μεταξύ ποιων αγωγών πρέπει να εγκατασταθούν οι απαγωγοί υπέρτασης για κάθε ένα από τα υπάρχοντα είδη δικτύων χαμηλής τάσης (Τα οποία παρουσιάζονται εκτενέστερα στο Παράρτημα).

Σύνδεση SPD μεταξύ	Είδος δικτύου XT				
	TT	TN-C	TN-S	IT	IT χωρίς N
L - N	✓ (για CT2)		✓ (για CT2)	✓ (για CT2)	
L - PE	✓ (για CT1)		✓ (για CT1)	✓ (για CT1)	✓
L - PEN		✓			
N - PE	✓			✓	

Πίνακας 3.6: Πιθανά σημεία εγκατάστασης SPD σε δίκτυα XT

Να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις μπορούν να τοποθετηθούν προαιρετικά απαγωγοί και μεταξύ των φάσεων για επιπρόσθετη προστασία. Εμάς θα μας απασχολήσει κυρίως η περίπτωση του δικτύου TN-C-S, που είναι και αυτό που χρησιμοποιείται στην χώρα μας. Η συνδεσμολογία των SPD για ένα τέτοιο δίκτυο διανομής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

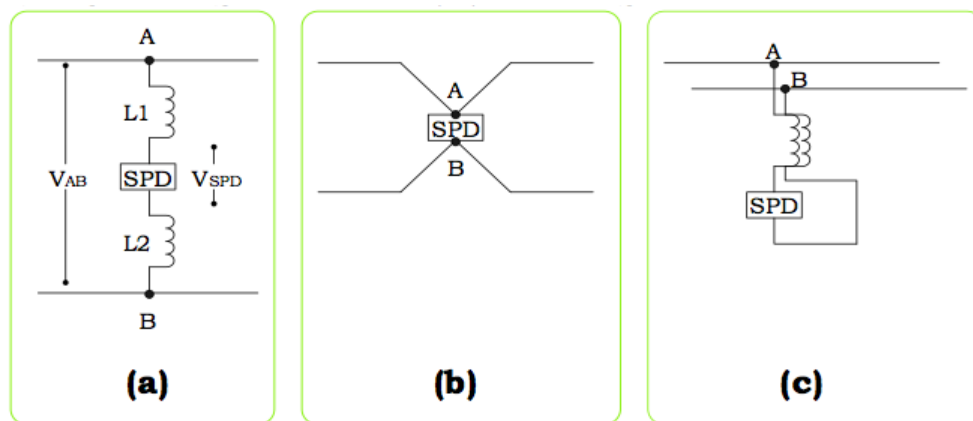


Σχήμα 3.7: Συνδεσμολογία SPDs σε δίκτυα TN-C-S

### 3.3.2 Επίδραση του μήκους των αγωγών

Για καλύτερη αντιμετώπιση των υπερτάσεων, θα πρέπει οι αγωγοί με τους οποίους συνδέουμε τους SPD στο δίκτυο να έχουν όσο το δυνατόν πιο μικρό μήκος. Αγωγοί μεγάλου μήκους προσθέτουν μία μη αμελητέα διαφορά δυναμικού στην παραμένουσα τάση του απαγωγού, με αποτέλεσμα η τάση που θα εμφανιστεί τελικά στα άκρα της υπό προστασίας συσκευής να είναι μεγαλύτερη της αναμενόμενης. Επομένως ο κίνδυνος για καταστροφή της αυξάνεται. Γι'αυτό μπορεί να κριθεί απαραίτητο να επιλεγεί τελικά ένας απαγωγός με μικρότερη τάση προστασίας ώστε να λαμβάνεται υπόψη αυτή η διαφορά (θυμίζουμε ξανά ότι μικρότερη τάση προστασίας του SPD σημαίνει καλύτερη προστασία του φορτίου).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι σύνδεσης των SPD.

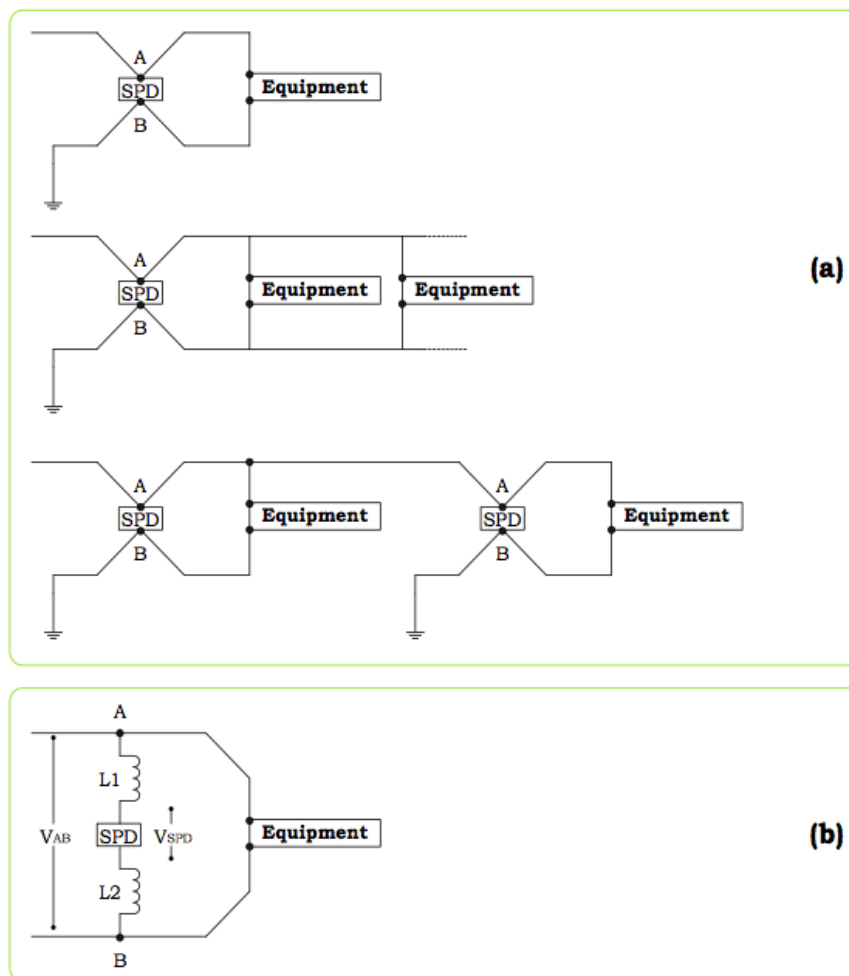


- (a) Συμβατικός τρόπος σύνδεσης
- (b) Σύνδεση τύπου V
- (c) Εναλλακτικός τρόπος σύνδεσης

Σχήμα 3.8: Τρόποι σύνδεσης των SPD

Αν θεωρήσουμε τώρα τον συμβατικό τρόπο σύνδεσης του Σχήματος 3.8(a) βλέπουμε πως για την τάση  $V_{AB}$  που αντιστοιχεί στην τάση του φορτίου που προστατεύει ο SPD ισχύει  $V_{AB} = V_{SPD} + V_{L1,L2}$ . Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αγωγοί σύνδεσης έχουν επαγωγές με τιμή 1mH/m και ότι μια επαγωγική πτώση τάσης που προκαλείται από κρουστικό ρεύμα 1kA/μsec θα είναι 1kV/m πάνω στον αγωγό, παρατηρούμε πως λόγω της  $V_{L1,L2}$  θα έχουμε δραματική αύξηση της τάσης  $V_{AB}$  στο φορτίο. Έτσι προτιμάται ο τρόπος σύνδεσης που φαίνεται στο Σχήμα 3.8(b), όπου ο SPD συνδέεται απευθείας με τον βρόχο του φορτίου έτσι ώστε  $V_{AB} = V_{SPD}$ . Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η συνδεσμολογία τύπου V, επιλέγουμε την σύνδεση του Σχήματος 3.8(c), όπου οι αγωγοί σύνδεσης έχουν μεν υπολογίσιμο μήκος, είναι όμως τοποθετημένοι πολύ κοντά μεταξύ τους με αποτέλεσμα οι επαγωγές τους είναι μαγνητικά συζευγμένες, οπότε η τάση αυτεπαγωγής  $V_{L1,L2}$  προκύπτει μικρότερη από την αντίστοιχη της συμβατικής σύνδεσης.

Το Σχήμα 3.9(a) δείχνει πιθανούς τρόπους σύνδεσης του SPD με τον εξοπλισμό, ενώ η συνδεσμολογία του 3.9(b) είναι αποδεκτή μόνο όταν η  $V_{L1,L2}$  είναι χαμηλή.



Σχήμα 3.9: Εφαρμογές τρόπων σύνδεσης SPD με τα φορτία

Ένα άλλο θέμα που πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη για την τοποθέτηση ενός SPD είναι η απόστασή του από τον εξοπλισμό που θέλουμε να προστατέψουμε. Οι υπερτάσεις συμπεριφέρονται ως οδεύοντα κύματα λόγω της πολύ βραχείας διάρκειάς τους και για εναέριες γραμμές μεταφοράς κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Σε θέσεις απότομης μεταβολής της χαρακτηριστικής αντίστασης της γραμμής δημιουργούνται ανακλάσεις του αρχικού κύματος. Όταν το ανακλώμενο κύμα συναντιέται με το αρχικό οδεύον κύμα λόγω της αρχής της επαλληλίας προστίθενται και προκύπτει μια κρουστική υπέρταση διπλάσιας τιμής από την αρχική.

Έστω λοιπόν ότι φτάνει μια κρουστική υπέρταση στον SPD, ο οποίος και την περιορίζει. Η υπέρταση μετά το στάδιο του SPD έχει σαφέστατα μειωμένη μέγιστη τιμή, αλλά διατηρεί την μορφή της. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ως οδεύον κύμα που κινείται επί του καλωδίου της εσωτερικής εγκατάστασης. Στο τέρμα του καλωδίου, δηλαδή στο φορτίο, αντί να έχουμε σύμφωνα με τα παραπάνω και με συνδεσμολογία τύπου V:  $V_{LOAD} = V_{SPD}$ , ισχύει τώρα:  $V_{LOAD} = V_{SPD} + 2 \frac{du}{dt} \frac{x}{c}$ , όπου x το μήκος του καλωδίου και c η ταχύτητα του φωτός. Γενικά, το φαινόμενο αυτό το αγνοούμε για αποστάσεις μικρότερες των 10 μέτρων. Μερικές φορές για μεγαλύτερες αποστάσεις υπάρχει επιπλέον προστασία ενσωματωμένη στον εξοπλισμό που μειώνει σημαντικά τις επιδράσεις του φαινομένου. Βέβαια η δράση των επιπλέον προστατευτικών διατάξεων θα πρέπει να είναι συντονισμένη με τον SPD του πίνακα.

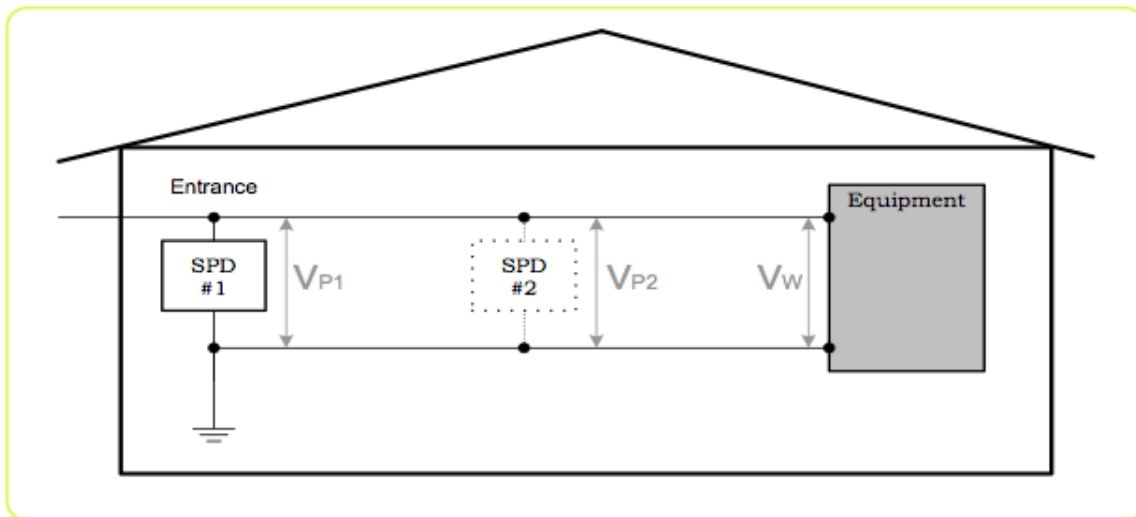
### **3.4 Επιπρόσθετη προστασία με SPD και συντονισμός του συνόλου των διατάξεων προστασίας**

Όπως προαναφέρθηκε, σε μερικές περιπτώσεις ένας SPD επαρκεί για την προστασία έναντι κεραυνικών υπερτάσεων, όταν το πλήγμα στην είσοδο της εγκατάστασης όπου και τοποθετείται είναι μικρό. Επιπλέον διατάξεις προστασίας τοποθετημένες κοντά στον οικιακό εξοπλισμό ίσως να χρειαστούν σε περιπτώσεις όπου:

- A) υπάρχει ευαίσθητος σε ανεπιθύμητες μεταβολές τάσης εξοπλισμός (π.χ. υπολογιστές και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές)
- B) η απόσταση του SPD στην είσοδο της εγκατάστασης και του προς προστασία εξοπλισμού είναι μεγάλη
- Γ) υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία εντός της εγκατάστασης που δημιουργούνται είτε από εκφορτίσεις λόγω κεραυνών είτε από παρεμβολές εσωτερικών πηγών ρεύματος

Για την τοποθέτησή τους δίνουμε σημασία πρωτίστως στην τάση αντοχής  $V_w$  της πιο

ευαίσθητης συσκευής του κτιρίου. Ο SPD που βρίσκεται πιο κοντά στον υπό προστασία εξοπλισμό εκλέγεται έτσι ώστε να έχει τάση προστασίας  $V_{P2}$  τουλάχιστον 20% κατώτερη της τάσης ανοχής  $V_W$  της συγκεκριμένης συσκευής. Αν ο SPD εισόδου με επίπεδο προστασίας  $V_{P1}$  δίνει τάση  $0,8 V_W$  στα άκρα του φορτίου έχοντας συνυπολογίσει και τυχόν φαινόμενα ταλαντώσεων στη γραμμή λόγω μεγάλου μήκους ( $>10m$ ), τότε οποιαδήποτε πρόσθετη συσκευή για την προστασία είναι περιττή.

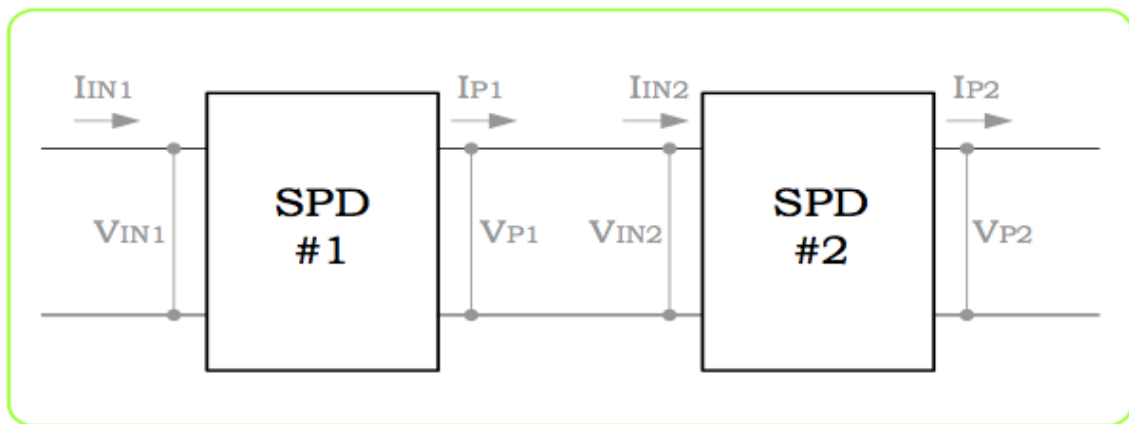


Σχήμα 3.10: Επιπλέον προστασία του εξοπλισμού

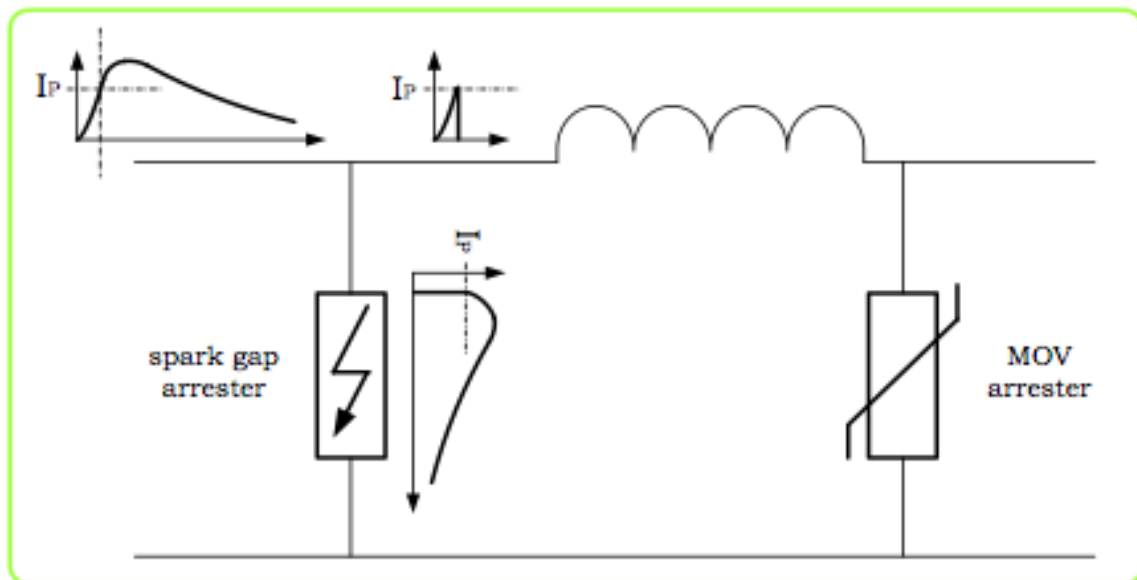
1.  $V_{P1} \times k < 0.8V_W$ : Ο SPD #1 εισόδου επαρκεί για την προστασία.
2.  $V_{P1} \times k > 0.8V_W$ : Ένας SPD #2 με  $V_{P2} < 0.8V_W$  θα πρέπει να συνδεθεί παράλληλα με τον εξοπλισμό και σε κοντινή απόσταση από αυτόν.

→ Η σταθερά  $k$  εκφράζει την επίδραση των ταλαντώσεων και των ανακλώμενων κρουστικών στη γραμμή μεγάλου μήκους και παίρνει τιμές  $1 < k < 2$ . Προφανώς δεν την λαμβάνουμε υπόψη για την γραμμή μεταξύ SPD #2 και εξοπλισμού εφόσον βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους.

Εφόσον κριθεί απαραίτητη η εγκατάσταση δύο ή περισσότερων απαγωγέων τάσης, θα πρέπει να φροντίσουμε για τον συντονισμό της δράσης τους κατά την διάρκεια των υπερτάσεων. Σύμφωνα με μια γενική αρχή, οι τάσεις προστασίας  $V_P$  και τα επιτρεπόμενα από τους SPD ρεύματα  $I_P$  πρέπει να είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη εισόδου  $V_{IN}$ ,  $I_{IN}$  σε αυτούς (Σχήμα 3.11). Αν δεν ικανοποιούνται αυτές οι συνθήκες, τότε χρειάζεται να μπει ανάμεσα στους SPD ένα αποσυζευκτικό στοιχείο (π.χ. ένα πηνίο) το οποίο καθορίζεται από μετρητικά τεστ για συγκεκριμένους τύπους και συνδεσμολογίες απαγωγέων (Σχήμα 3.12). Γι' αυτό το λόγο συνηθίζεται ο κάθε κατασκευαστής να παρέχει τυποποιημένη την διάταξη με τους απαγωγείς τάσης μαζί με το στοιχείο αποσύζευξης.



Σχήμα 3.11: Δύο απαγωγείς τάσης εν σειρά (Cascade Connection)



Σχήμα 3.12: Αποσύζευξη απαγωγών τάσης με πηνίο

Σε κάθε περίπτωση, ο προγραμματισμός και έλεγχος της δράσης δύο ή και περισσότερων απαγωγών ταυτόχρονα στην ίδια ηλεκτρική εγκατάσταση είναι μία αρκετά περίπλοκη διαδικασία, όπου θα πρέπει οπωσδήποτε εκτός από τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών των απαγωγών, να ληφθούν υπόψη οι τύποι τους (διακόπτες/περιοριστές), το ποσό της ενέργειας το οποίο μπορούν να διαχειριστούν, αλλά και οι πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες της παραμένουσας τάσης σε συνάρτηση με το ρεύμα.

### 3.5 Επιλογή του κατάλληλου απαγωγού υπέρτασης

Μετά από όλα αυτά τα στοιχεία για τους απαγωγούς υπερτάσεων και την τοποθέτηση τους σε ένα δίκτυο χαμηλής τάσης, γεννάται το αυτονόητο ερώτημα: πως επιλέγουμε τον

κατάλληλο SPD ανάμεσα σε όλους αυτούς που κυκλοφορούν;

Αρχικά θα πρέπει να επιλέξουμε τις κατάλληλες τιμές για τα χαρακτηριστικά μεγέθη του SPD :  $V_c$ ,  $V_t$ ,  $I_n$ ,  $I_{imp}$ ,  $I_{max}$ ,  $V_p$ .

1. Όσον αφορά την  $V_c$  (μέγιστη τάση κανονικής λειτουργίας του SPD), θα πρέπει αυτή να είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τάση κανονικής λειτουργίας του συστήματος, δηλαδή  $V_c > V_{cs}$ . Η  $V_{cs}$  με την σειρά της υπολογίζεται από την τάση κανονικής λειτουργίας του δικτύου, προσαυξημένη κατά ένα συντελεστή της τάξης του 10%. Δηλαδή για το τυπικό δίκτυο TN των 230V, θα πρέπει οι SPD που θα χρησιμοποιήσουμε να έχουν  $V_c \geq 253V$ .

2. Κατά τον ίδιο τρόπο, θα πρέπει η τάση αντοχής του SPD σε παροδικές υπερτάσεις  $V_T$  να είναι μεγαλύτερη από την  $V_{TON}$  (τις πραγματικές δηλαδή παροδικές υπερτάσεις που αναμένεται να εμφανιστούν στο σύστημα). Η τιμή αυτή εξαρτάται άμεσα από τον τύπο του δικτύου χαμηλής τάσης που έχουμε. Για τα δίκτυα TN που είναι αυτά που υπάρχουν στην Ελλάδα ισχύει ότι :

Για τυποποιημένες παροδικές υπερτάσεις των 5s υπολογίζεται ότι η  $V_T$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης λειτουργίας του συστήματος κατά έναν συντελεστή μεταξύ 1.4 και 1.7, ενώ για παροδικές υπερτάσεις των 200ms, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της  $V_0$  κατά τουλάχιστον 1200V. Να σημειωθεί εδώ πως αρκετές φορές οι παροδικές υπερτάσεις έχουν αρκετά μεγάλο πλάτος και καθίστανται δύσκολο να βρεθεί αντίστοιχος SPD. Σε αυτήν την περίπτωση, εάν μεν η πιθανότητα εμφάνισης τους είναι πολύ μικρή δεν τις λαμβάνουμε υπόψη, αλλιώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και άλλα επιπρόσθετα μέτρα προστασίας.

1. Σχετικά τώρα με τα διάφορα ρεύματα εκφόρτισης, το  $I_n$  σχετίζεται με την τάση προστασίας  $V_p$ , ενώ τα  $I_{imp}$ ,  $I_{max}$  είναι απαραίτητα για την επιλογή της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να διαχειριστεί ο απαγωγός ανάλογα με τον τύπο του. Η επιλογή αυτής της μέγιστης ενέργειας βασίζεται σε μία πολύπλοκη ανάλυση που λαμβάνει υπόψη της την πιθανότητα εμφάνισης των κεραυνικών πληγμάτων, την αξία του εξοπλισμού που θέλουμε να προστατεύσουμε, καθώς και τον επιθυμητό ρυθμό αστοχίας τόσο του εξοπλισμού όσο και του ίδιου του απαγωγού. Για απαγωγούς που τοποθετούνται στην είσοδο της εγκατάστασης, τυπικές τιμές  $I_n \geq 5kA$  και  $I_{imp} \geq 12.5kA$ . Στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένοι και επιπρόσθετοι απαγωγοί, οι τιμές αυτές θα πρέπει να είναι σύμφωνες και με τους κανόνες συντονισμού που αναφέρθηκαν.

2. Τέλος, όσον αφορά την τάση προστασίας  $V_p$  εξαρτάται άμεσα όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως από την τάση αντοχής της μόνωσης του εξοπλισμού που θέλουμε να προστατεύσουμε.

Όλες αυτές οι τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών είναι φυσικά αναγκαίες για την επιλογή του κατάλληλου SPD, όμως δεν είναι πάντα και ικανές. Για να έχουμε πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς του απαγωγού, θα πρέπει να μας δίνεται και ολόκληρη η

χαρακτηριστική του καμπύλη I-V. Εννοείται πάντως πως αυτές οι τιμές θα πρέπει πάντα να επιλέγονται συναρτήσει της θέσης τοποθέτησης του απαγωγού και της απόστασης του απο τον εξοπλισμό. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, εξαιρετικά σημαντική είναι η συμπεριφορά του SPD που θα επιλέξουμε σε παροδικές υπερτάσεις, οι οποίες είναι πολύ συνηθέστερο φαινόμενο από τις κρουστικές, ενώ δεν θα πρέπει να αμεληθεί η εύρεση της κατάλληλης συμπεριφοράς του SPD στην περίπτωση σφαλμάτων, ώστε να μην κινδυνεύει το σύστημα μας από την πρόκληση πυρκαγιάς.

Συμπερασματικά η επιλογή και εγκατάσταση των απαγωγών υπέρτασης είναι συχνά μία αρκετά σύνθετη διαδικασία που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απο τις αποφάσεις του μηχανικού. Ακόμα και αυτή η ίδια η ανάγκη εγκατάστασης απαγωγού ή όχι είναι μια απόφαση που θα πρέπει να παρθεί απο τον μηχανικό, αφού πρώτα ληφθούν υπόψη θέματα όπως η πιθανότητα εμφάνισης των κεραυνικών ή άλλων πληγμάτων στο σημείο, το μήκος και το είδος των αγωγών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο διανομής, το κόστος και η σπουδαιότητα του εξοπλισμού που θέλουμε να προστατεύσουμε, το πόσο σημαντική είναι η απρόσκοπτη συνεχής λειτουργία τους, το κόστος των υπό εγκατάσταση απαγωγών καθώς και την προσδοκώμενη διάρκεια ζωής τους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΔΙΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ & ΘΥΡΙΣΤΟΡ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ

#### 4.1 Γενικά

Σύμφωνα με την θεωρία του προηγούμενου κεφαλαίου και στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, θεωρούμε ότι αξίζει να μελετήσουμε περαιτέρω δύο κατηγορίες στοιχείων προστασίας έναντι υπερτάσεων. Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε τις διόδους απαγωγής (καταστολής) υπερτάσεων (TVS) και τα θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (TSPD). Το πρώτο ανήκει στους περιοριστές υπερτάσεων (clamping devices) ενώ το δεύτερο στους διακόπτες υπερτάσεων (voltage switching devices) και συγκεκριμένα στα κυκλώματα παροχέτευσης (crowbar circuits).

Ως τεκμηρίωση, θα παραθέσουμε περισσότερες πληροφορίες για την λειτουργία αυτών των δύο κυκλωμάτων, καθώς και μία σύγκρισή τους. Ως παραδείγματα θα χρησιμοποιήσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά απ' τα στοιχεία Transil και Trisil της εταιρίας STMicroelectronics, για τα οποία έχουμε και τα ανάλογα δεδομένα.

#### 4.2 Δίοδος καταστολής υπερτάσεων (Transient-voltage-suppression diode)

Η δίοδος απαγωγής λειτουργεί άγοντας επιπλέον ρεύμα, όταν η επαγόμενη τάση υπερβαίνει την τιμή διάσπασης της διόδου αγωγής. Πρόκειται για μια συσκευή περιορισμού, καταστέλλοντας όλες τις υπερτάσεις πάνω από την τάση διάσπασης του. Επαναφέρεται αυτόματα στην αρχική του κατάσταση όταν η υπέρταση σβέσει, αλλά απορροφά εσωτερικά πολύ περισσότερη ενέργεια από το μεταβατικό φαινόμενο από ένα στοιχείο παροχέτευσης υπερτάσεων παρόμοιας διαβάθμισης δυνατοτήτων.

Η δίοδος καταστολής υπερτάσεων μπορεί να είναι είτε μονοπολική ή διπολική. Μία μονοπολική συσκευή λειτουργεί ως ανορθωτής στην ορθή πόλωση όπως και κάθε άλλη δίοδος ανάστροφης πόλωσης (avalanche diode), αλλά δύναται να χειριστεί πολύ μεγάλα κρουστικά ρεύματα. Ως παράδειγμα, η δημοφιλής σειρά 1.5KE επιτρέπει 1500 W μέγιστης ισχύος, για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η διπολική δίοδος απαγωγής μπορεί να αναπαρασταθεί από δύο εν σειρά αντιπαράλληλες διόδους avalanche, συνδεδεμένες παράλληλα με το κύκλωμα που πρέπει να προστατευθεί. Ενώ αυτή η αναπαράσταση είναι σχηματικά ακριβής, οι συσκευές κατασκευάζονται τώρα ως ένα ενιαίο στοιχείο.

Η δίοδος καταστολής υπερτάσεων μπορεί να ανταποκριθεί στις υπερτάσεις πιο γρήγορα από ό,τι άλλα κοινά εξαρτήματα προστασίας υπερτάσεων όπως τα βαρίστορ ή οι σωλήνες εκκένωσης αερίου. Η πραγματική καταστολή λαμβάνει χώρα σε περίπου ένα picosecond, αλλά σε ένα πραγματικό κύκλωμα η επαγωγή των καλωδίων που οδηγούν στη συσκευή επιβάλλει ένα υψηλότερο όριο. Αυτό καθιστά τις διόδους καταστολής υπερτάσεων χρήσιμες για την προστασία έναντι πολύ γρήγορων και συχνά βλαπτικών μεταβατικών τάσης. Αυτά τα γρήγορα μεταβατικά υπερτάσεων υπάρχουν σε όλα τα δίκτυα διανομής και μπορεί να προκληθούν είτε από εσωτερικά ή εξωτερικά γεγονότα, όπως κεραυνοί ή ηλεκτρικά τόξα έναυσης κινητήρων.

Η μόνη περίπτωση αποτυχίας τους είναι εάν υποβληθούν σε τάσεις ή συνθήκες πέραν εκείνων που το συγκεκριμένο προϊόν έχει σχεδιαστεί να δεχθεί.

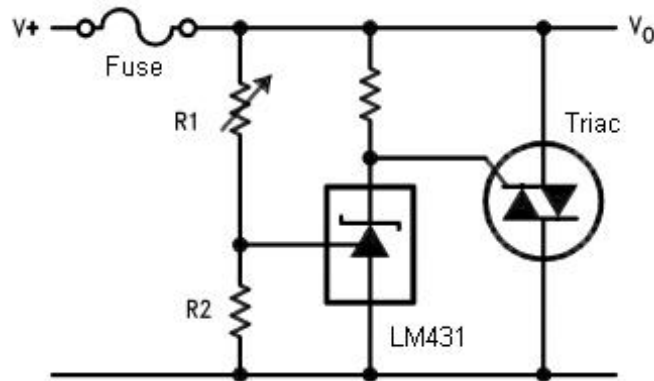
Τα κύρια χαρακτηριστικά των διόδων αυτών είναι:

1. Ρεύμα διαρροής: η ποσότητα του ρεύματος που άγεται όταν η τάση που εφαρμόζεται είναι χαμηλότερη από τη μέγιστη ανεκτή τάση αντίστροφης (τάση μανδάλωσης).
2. Η μέγιστη ανεκτή τάση αντιστροφής: η τάση κάτω από την οποία δεν παρατηρείται σημαντική αγωγιμότητα.
3. Τάση διάσπασης: η τάση στην οποία λαμβάνει χώρα κάποια καθορισμένη και σημαντική αγωγιμότητα.
4. Τάση σύσφιξης/μανδάλωσης: η τάση στην οποία η συσκευή θα άγει πλήρως το ονομαστικό ρεύμα (εκατοντάδες έως και χιλιάδες αμπέρ).
5. Παρασιτική χωρητικότητα: Η μη αγωγή δίοδος συμπεριφέρεται σαν πυκνωτής, που μπορεί να έχουν επιβλαβή επίδραση στη σήματα υψηλής ταχύτητας. Η χαμηλή χωρητικότητα γενικά προτιμάται.
6. Παρασιτική επαγωγή: Επειδή η πραγματική διάρκεια του μεταβατικού είναι τόσο γρήγορη, η επαγωγή του στοιχείου είναι ο περιοριστικός παράγοντας για την ταχύτητα απόκρισης.
7. Ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει: Επειδή τα μεταβατικά είναι τόσο σύντομα, το σύνολο της ενέργειας αποθηκεύεται εσωτερικά ως θερμότητα. Η ύπαρξη ψήκτρας επηρεάζει μόνο τον μετέπειτα χρόνο ψύξης. Επομένως, ένα υψηλής ενέργειας TVS πρέπει να έχει τις ανάλογες προδιαγραφές αντοχής. Εάν αυτή η ικανότητα είναι πολύ μικρή, η υπέρταση θα καταστρέψει ενδεχομένως τη συσκευή και θα αφήσει το κύκλωμα απροστάτευτο.

### 4.3 Κύκλωμα παροχέτευσης (Crowbar circuit)

Το κύκλωμα παροχέτευσης είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την προστασία από υπερτάσεις που δύναται να εμφανιστούν σε ένα τροφοδοτικό παροχής ρεύματος από την καταστροφή των κυκλωμάτων που συνδέονται με αυτό. Λειτουργεί δράνοντας ως βραχυκύκλωμα ή ως αγωγός πολύ χαμηλής αντίστασης που γεφυρώνει την τάση εξόδου ( $V_o$ ). Είναι σύνηθες τα κυκλώματα παροχέτευσης να υλοποιούνται χρησιμοποιώντας θυρίστορ, TRIAC, Trisil ή Thyatron ως το βασικό στοιχείο βραχυκυκλώματος. Μόλις αυτό πυροδοτηθεί, η αγωγή του εξαρτάται μόνο από την ικανότητα περιορισμού του ρεύματος από το υπόλοιπο κύκλωμα του τροφοδοτικού, ή αν

αυτό αποτύχει, την τήξη της ασφάλειας προστασίας της γραμμής ή την ενεργοποίησης του διακόπτη αποκοπής του κυκλώματος.



Σχήμα 4.1: Ενδεικτικό κύκλωμα προστασίας παροχέτευσης (crowbar)

Ένα παράδειγμα κυκλώματος παροχέτευσης φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Το συγκεκριμένο κύκλωμα χρησιμοποιεί μία LM431 ρυθμιζόμενη δίοδο Zener για να ελέγχει την πύλη του TRIAC. Ο διαιρέτης τάσης των αντιστάσεων R1 και R2 παρέχει την τάση αναφοράς για το LM431. Ο διαιρέτης ρυθμίζεται έτσι ώστε υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η τάση κατά μήκος της R2 να είναι ελαφρώς χαμηλότερη από την  $V_{REF}$  του LM431. Δεδομένου ότι αυτή η τάση είναι μικρότερη από την ελάχιστη τάση αναφοράς του LM431, παραμένει ανοιχτοκυκλωμένη και απειροελάχιστο ρεύμα άγεται μέσω της δίοδου Zener και της εν σειρά σε αυτήν αντίστασης καθόδου. Εάν η τιμή της αντίστασης καθόδου έχει επιλεγεί κατάλληλα, η πτώση τάσης στα άκρα της θα είναι μηδαμινή και η πύλη του TRIAC θα είναι ουσιαστικά στο ίδιο δυναμικό όπως η είσοδος, κρατώντας το TRIAC σε ανοιχτοκύκλωμα. Εάν η τάση τροφοδοσίας αυξηθεί, η τάση στα άκρα της R2 θα υπερβεί την  $V_{REF}$  και η δίοδος Zener θα αρχίσει να ρυθμίζει την τάση, αντλώντας περισσότερο ρεύμα διαμέσου της. Η τάση στον ακροδέκτη της πύλης θα πέσει στην τιμή VZ (η τάση Zener), υπερβαίνοντας την τάση ενεργοποίησης της πύλης του TRIAC και κατά συνέπεια, μανταλώνοντάς το.

Τα κυκλώματα παροχέτευσης διαφέρουν από τα κυκλώματα περιορισμού απο το γεγονός ότι, όταν ενεργοποιείται, υποβιβάζει την τάση πολύ πιο κάτω από το επίπεδο ενεργοποίησης, συνήθως κοντά στο μηδέν. Τα κυκλώματα περιορισμού αντιθέτως απλά εμποδίζουν την τάση να υπερβεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Εκτός τούτου, συνήθως, τα κυκλώματα παροχέτευσης δεν επιστρέφουν αυτόματα στην κανονική λειτουργία (ανοιχτοκύκλωμα) όταν η συνθήκη της υπέρταση έχει παρέλθει καθώς θα πρέπει να αποκοπεί εξ ολοκλήρου η τροφοδοσία τους για να σταματήσει η αγωγή.

Το ενεργό κύκλωμα παροχέτευσης είναι αυτό που έρχεται να αντιμετωπίσει το προηγούμενο πρόβλημα και μπορεί να διακόψει το βραχυκύκλωμα όταν το μεταβατικό φαινόμενο εξασθενήσει επιτρέποντας έτσι στη συσκευή να επανέλθει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας. Αυτά τα κυκλώματα, ως στοιχείο βραχυκύκλωσης, χρησιμοποιούν ένα τρανζίστορ ή ένα θυρίστορ με πύλη απενεργοποίησης (GTO) ή ένα θυρίστορ εξαναγκαζόμενης σβέσης αντί για ένα απλό θυρίστορ. Χρησιμοποιούνται συνήθως για την προστασία του μετατροπέα συχνότητας στο κύκλωμα του ρότορα γεννητριών διπλής τροφοδότησης ενάντια στα υψηλά μεταβατικά τάσης και ρεύματος

που προκλήθηκαν από βυθίσεις τάσης στο δίκτυο τροφοδοσίας. Έτσι, η γεννήτρια μπορεί ανταπεξέλθει στο σφάλμα και γρήγορα να συνεχίσει τη κανονική λειτουργία της ακόμη και κατά την πτώση τάσης.

Το πλεονέκτημα των κυκλωμάτων παροχέτευσης έναντι των περιορισμού είναι ότι το σχεδόν μηδενικό επίπεδο τάσης τους εν ώρα αγωγής, τους επιτρέπει να μεταφέρουν υψηλότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης χωρίς να διαχέουν μεγάλη ισχύ (η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει υπερθέρμανση). Επίσης, είναι πιο πιθανό να ενεργοποιήσουν ένα στοιχείο προστασίας (μια ασφάλεια τήξης ή ένα ρελέ), ώστε να έχουμε καλύτερη εποπτεία στον ελαττωματικό εξοπλισμό.

#### **4.4 Λειτουργία του Trisil ως απαγωγού υπέρτασης τύπου διακόπτη/παροχέτευσης**

##### **4.4.1 Γενικά**

Στον τομέα της προστασίας με χρήση στοιχείων εν παραλλήλω σύνδεσης, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται έχουν δύο κύριες λειτουργίες ως προς την αντιμετώπιση μεταβατικού φαινομένου, τον περιορισμό της τάσης και την εκτροπή του ρεύματος.

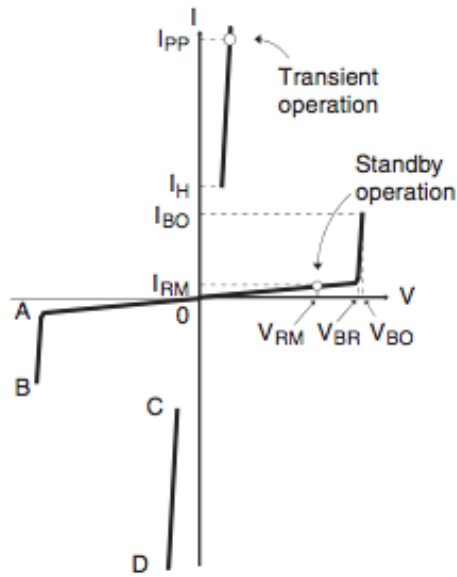
Όπως είδαμε παραπάνω, η πρώτη λειτουργία εκτελείται άριστα από τις διόδους καταστολής υπερτάσεων (TVS) όπως ένα Transil, η δεύτερη όμως περιορίζεται από την μόνιμα παρούσα τάση στους ακροδέκτες της διόδου.

Η χρήση των ολοένα και πιο εξελιγμένων αλλά και ευαίσθητων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και η δημοσίευση των νέων προτύπων δεν επιτρέπουν τη χρήση των διόδων Transil σε ορισμένες εφαρμογές. Αυτό το πρόβλημα λύνεται με τη χρήση ενός ημιαγωγίου στοιχείου με δύο αγωγίμες καταστάσεις, όπως το θυρίστορ (ή Triac σε διπολική αγωγή).

Ένα παράδειγμα υλοποίησης αυτού του ημιαγωγίου στοιχείου μας παρέχει η STMicroelectronics που έχει αναπτύξει αυτό το είδος του συστατικού υπό την εμπορική ονομασία του Trisil. Υπάρχουν και άλλες υλοποιήσεις απο διάφορες εταιρίες αλλά όλα βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά του Trisil και καθ' επέκταση όλων απαγωγών αυτού του είδους.

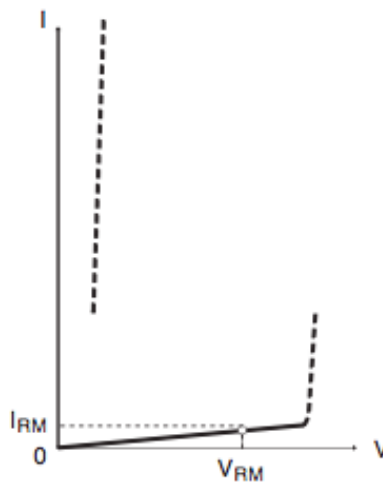
##### **4.4.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Trisil**

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Trisil είναι παρόμοια με εκείνα ενός Triac (βλέπε Σχήμα 4.2), με την διαφορά ότι το Trisil έχει μόνο δύο πύλες. Η πυροδότηση στην περίπτωση αυτή δεν γίνεται μέσω μιας πύλης, αλλά από έναν εσωτερικό μηχανισμό που εξαρτάται από το ρεύμα που ρέει μέσα από αυτό.



Σχήμα 4.2: I/V χαρακτηριστική του Trisil

Σε κανονική λειτουργία, το Trisil πολώνεται σε μια τάση μικρότερη ή ίση με την τάση αναμονής ( $V_{RM}$ ). Σε εκείνο το σημείο της χαρακτηριστικής, το ρεύμα διαρροής είναι περίπου 10 nA και η παρουσία του Trisil που συνδέεται στα άκρα του εξοπλισμού που πρέπει να προστατεύει, δεν διαταράσσει τη λειτουργία του (βλέπε Σχήμα 4.3).

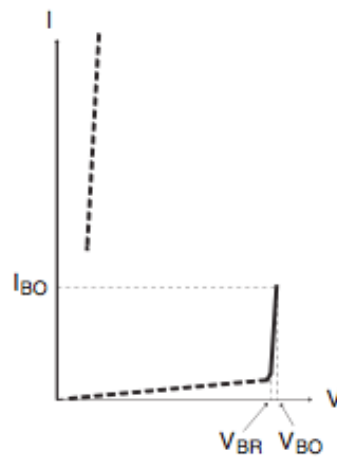


Σχήμα 4.3: Χαρακτηριστική ομαλής λειτουργίας

Τα δεδομένα της χαρακτηριστικής σε αυτό το σημείο περιλαμβάνουν:

1. Το ρεύμα διαρροής
2. Την ηλεκτρική χωρητικότητα
3. Την αξιοπιστία του εξαρτήματος σε κατάσταση μη αγωγής

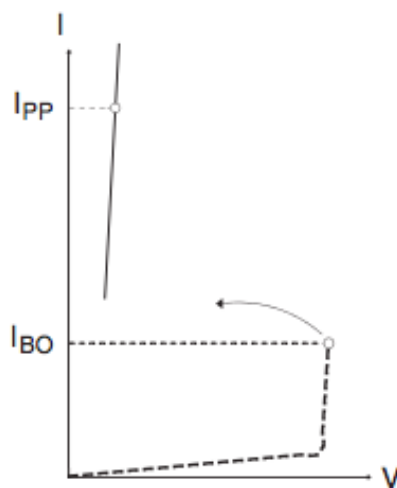
Καθώς αυξάνεται η τάση πέρα από την  $V_{BR}$ , η αντίσταση του Trisil από σχεδόν άπειρη μειώνεται σε μερικά  $\Omega$ . Το Trisil παραμένει πολωμένο στην ανάστροφη τάση του και η λειτουργία του είναι τότε πανομοιότυπη με εκείνη μιας διόδου Transil (βλέπε Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4: Χαρακτηριστική διάσπασης του Trisil

Οι παράμετροι της χαρακτηριστικής σε αυτό το σημείο είναι η τάση περιορισμού (τάση διάσπασης του στοιχείου,  $V_{BO}$ ) και ο χρόνος για την μετάβαση από την κατάσταση ανοιχτοκύκλωσης σε αγωγή.

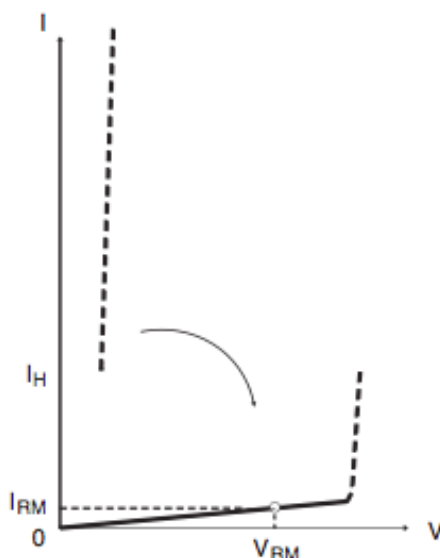
Για τιμές ρευμάτων υψηλότερες από την  $I_{BO}$ , η τάση στα άκρα του Trisil μειώνεται σε μερικά μόνο volts οπότε επιτρέπει σε υψηλά ρεύματα να το διαπερνούν χωρίς να υποστεί βλάβη, δεδομένου ότι το φυσικό όριο αντοχής του εξαρτάται από τη διαχεόμενη ισχύ (βλέπε Σχήμα 4.5) .



Σχήμα 4.5: Χαρακτηριστική πυροδότησης και λειτουργίας του Trisil

Η χαρακτηριστική παράμετρος του τότε είναι η ικανότητα να αντέξει κρουστικά ρεύματα (μέγιστη τιμή ρεύματος,  $I_{PP}$ ).

Η επιστροφή στην κατάσταση αναμονής λειτουργίας, λαμβάνει χώρα όταν το ρεύμα που ρέει μέσα από αυτό πέσει κάτω από την τιμή  $I_H$ . Αυτή είναι η παράμετρος της χαρακτηριστική του για τη μετάβαση από την κατάσταση αγωγής στην κατάσταση ανοιχτοκύκλωσης (βλέπε Σχήμα 4.6).



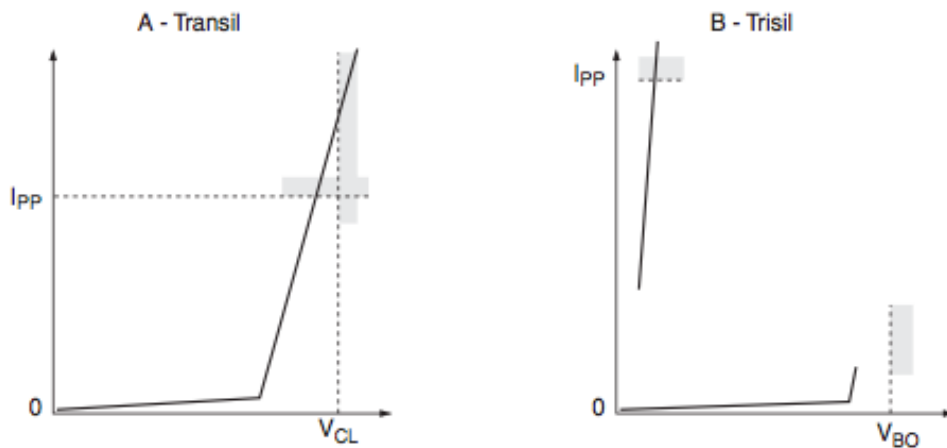
Σχήμα 4.6: Επιστροφή σε κατάσταση αναμονής

Το κρουστικό ρεύμα που σχετίζεται με τη διαταραχή εκτρέπεται διαμέσου του Trisil μόλις αρχίζει να λειτουργεί στην κατάσταση αγωγής (βλέπε Σχήμα 4.4) και ο περιορισμός της τάσης πραγματοποιείται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε αυτό το σημείο. Η συμπεριφορά του Trisil εδώ είναι ταυτόσημη με εκείνη του Transil. Η διαφορά εξαρτάται από το επίπεδο του ρεύματος κατάρρευσης,  $I_{BO}$ , που προκαλεί την ενεργοποίηση των δομών του θυρίστορ.

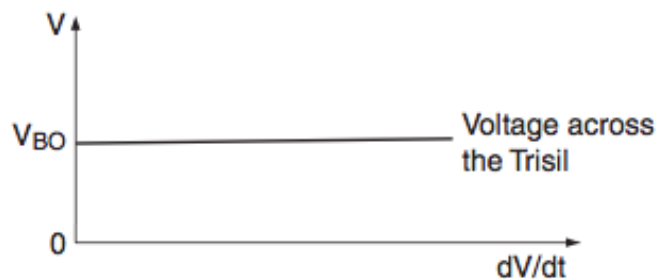
Το φαινόμενο αυτό προκαλεί πλήρη περιορισμό της τάσης ανεξάρτητα από την τιμή των ρευμάτων, και παραμένει ικανό να εκτρέψει ρεύματα πολύ υψηλότερα από εκείνα που είναι δυνατόν μια διάδος καταστολής (Transil). Επιπλέον, το χαρακτηριστικό αυτό είναι ανεξάρτητο από την τάση κατάρρευσης της συσκευής.

#### 4.4.3 Χαρακτηριστικά περιορισμού υπερτάσεων

Λόγω του τρόπου λειτουργίας του, το Trisil έχει ως αποτέλεσμα τον πλήρη περιορισμό της τάσης, ανεξάρτητα από το μέγεθος του κρουστικού ρεύματος (Σχήμα 4.7) και της κλίσης της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης (βλέπε Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.7: Συσχέτιση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος υπέρτασης



Σχήμα 4.8: Συσχέτιση μεταξύ της περιοριζόμενης τάσης και της κλίσης της κρουστικής υπέρτασης

Ειδικότερα, εάν το κρουστικό ρεύμα είναι υψηλότερο από την δεδομένη τιμή των τεχνικών χαρακτηριστικών, χωρίς όμως να υπερβαίνει τα φυσικά όρια του στοιχείου, η τάση σε ένα Transil θα μπορούσε να φθάσει μια κρίσιμη τιμή καταστρέφοντας τον εξοπλισμό που πρέπει να προστατεύσει. Για το Trisil όμως, τέτοιος κίνδυνος δεν υφίσταται, καθώς, για ένα κρουστικό ρεύμα πολύ υψηλότερο από την δεδομένη τιμή των τεχνικών αντοχών, μια πιθανή καταστροφή του Trisil οδηγεί πάντα το στοιχείο σε κατάσταση βραχυκυκλώματος, παρέχοντας έτσι απόλυτη προστασία για τον εξοπλισμό που βρίσκεται κατάντι.

#### 4.4.4 Συμπεριφορά σε περιπτώσεις κρουστικών ρευμάτων

Η ικανότητα των ημιαγωγικών στοιχείων να αντέχουν υψηλά ρεύματα απο μεταβατικά περιορίζεται για παλμούς μεγαλύτερους των 10 ns απο μια δεύτερη διάσπαση λόγω της θερμότητας. Το φαινόμενο αυτό, αν και δεν είναι καταστροφικό, θεωρείται ως το κανονικό όριο χρησιμοποίησης καθώςον η συμπεριφορά του στοιχείου εξαρτάται από το εξωτερικό κύκλωμα.



Η άνοδος της θερμοκρασίας εντός του ημιαγωγού είναι συνεπώς η παράμετρος η οποία καθορίζει τη συμπεριφορά του στοιχείου και την ικανότητά του να αντέχει κρουστικά ρεύματα. Η μαθηματική της διατύπωση δίνεται από την εξίσωση:

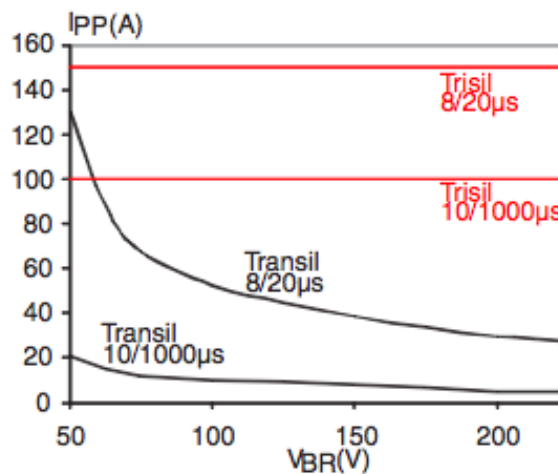
$$T_j = T_A + Z_{TH} V_{ON} \times I_{RS}$$

Όπου:

1.  $T_j$ : στιγμιαία θερμοκρασία στο σημείο επαφής των νοθεύσεων της διόδου
2.  $T_A$ : θερμοκρασία περιβάλλοντος
3.  $Z_{TH}$ : θερμική αντίσταση (ως συνάρτηση της διάρκειας του παλμού)
4.  $V_{ON}$ : τάση στους ακροδέκτες του στοιχείου στην κατάσταση αγωγής
5.  $I_{RS}$ : μεταβατικό ρεύμα που ρέει μέσω του στοιχείου

Η εξίσωση αυτή δείχνει καθαρά το πλεονέκτημα του Trisil. Η μείωση της τάσης στους ακροδέκτες του, του επιτρέπει να άγει ένα πολύ υψηλότερο ρεύμα από την διόδο καταστολής για την ίδια θερμοκρασία επαφής των νοθεύσεων της διόδου.

Δεδομένου ότι η τάση που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό είναι αυτή της αγωγίμης κατάστασης, τα επιτρεπόμενα επίπεδα ρεύματος σε μεταβατική λειτουργία είναι ανεξάρτητα από την τάση κατάρρευσης, οπότε και οι τιμές των τεχνικών χαρακτηριστικών είναι όμοιες για όλους τους τύπους μιας δεδομένης σειράς (βλέπε Σχήμα 4.9).

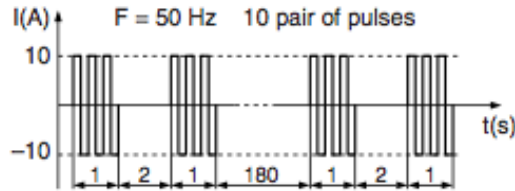


Σχήμα 4.9: Σύγκριση των μέγιστων περιοριζόμενων ρευμάτων για τα Transil και Trisil παρόμοιων συσκευασιών (SMB).

Η μέγιστη θερμοκρασία επαφής των νοθεύσεων της διόδου που λαμβάνεται υπόψη κατά την μεταβατική λειτουργία δεν είναι αυτή που δίνεται στους καταλόγους (θερμοκρασία διεπαφής σε λειτουργία ή σε αποθήκευση), αλλά αντιστοιχεί, με κάποιο περιθώριο ασφάλειας, στη δεύτερη διάσπαση λόγω θερμικών αιτιών, δηλαδή περίπου στους 350-400°C.

Αυτή η ικανότητα ανοχής υψηλών ρευμάτων μπορεί να βρει χρήση σε δίκτυα AC στη βιομηχανική συχνότητα των 50 Hz (βλέπε Σχήμα 4.10), η οποία είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα στην τηλεφωνία όπου ο εξοπλισμός θα πρέπει να προστατεύονται έναντι

υπερτάσεων που προκύπτουν από την τυχαία σύζευξη της τηλεφωνικής γραμμής με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το είδος της προστασίας απαιτείται από ορισμένους κανονισμούς που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες.



Σχήμα 4.10: Δοκιμή υπερφόρτισης μακράς διάρκειας

Ο χρόνος απόκρισης του στοιχείου είναι ο χρόνος που απαιτείται για τον περιορισμό της τάσης. Από αυτή την άποψη το Trisil έχει ακριβώς την ίδια συμπεριφορά όπως το Transil. Ο χρόνος που απαιτείται για να μεταβεί από την κατάσταση αναμονής σε αγωγή λειτουργία προ της τάσης κατάρρευσης είναι σχεδόν ακαριαίος.

Αυτός ο χρόνος δεν θα πρέπει να συγχέεται με εκείνο που απαιτείται για να περάσει από το σημείο κατάρρευσης ( $V_{BO}$ ) στην πλήρη αγωγή. Αυτός ο χρόνος είναι μεγαλύτερος αλλά δεν επηρεάζει την ικανότητα της συσκευής.

#### 4.4.5 Λειτουργία κατά την αγωγή προ κατάρρευσης

Αυτή η κατάσταση λειτουργίας αφορά το τμήμα  $V_{BR} - V_{BO}$  (βλέπε Σχήμα 4.4) της χαρακτηριστικής του Trisil μεταξύ της κατάστασης ανοιχτοκύκλωσης και την αγωγικής κατάστασης στην χαμηλή τάση  $V_{ON}$ .

Αυτό το τμήμα της χαρακτηριστικής είναι πανομοιότυπο με αυτό μιας διόδου κατάρρευσης. Έτσι, μέσα σε αυτήν την περιοχή, DC, AC ή παλμικές κρούσεις πρέπει να διαχειρίζονται κατάλληλα. Τα ρεύματα περιορίζονται ανάλογα με τις δυνατότητες της απαγωγή θερμότητας της διόδου στον αέρα του περιβάλλοντος. Το μέγιστο ρεύμα ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$T_j = T_A + R_{TH} V_{BO} I_{MAX} \leq T_{jMAX} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

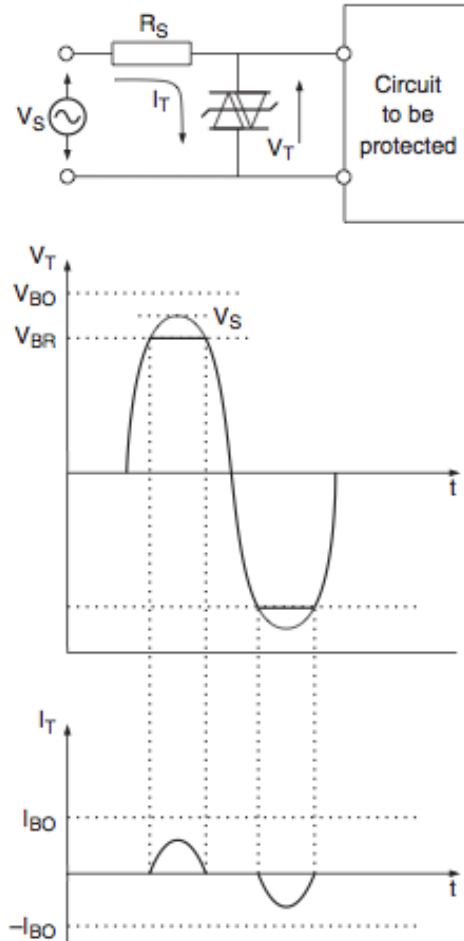
Η περίπτωση που το Trisil δεν ενεργοποιείται ορίζεται ως εξής:

$$I_{MAX} < I_{BO}$$

Οι βασικές διαφορές από την προηγούμενη εξίσωση είναι:

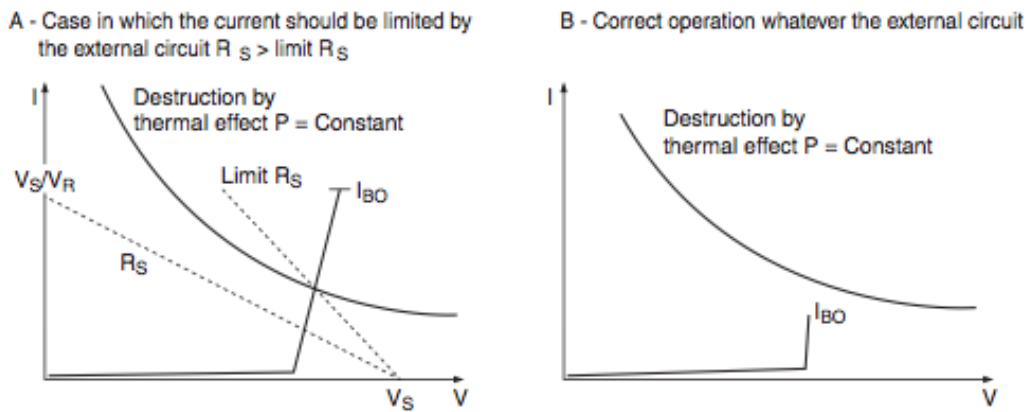
1. Η μέγιστη θερμοκρασία επαφής των νοθεύσεων της διόδου που τώρα δίνεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά, δηλαδή  $150 \text{ } ^\circ\text{C}$
2. Η τάση η οποία είναι εκείνη του μηχανισμού κατάρρευσης
3. Η συνεχής θερμική αντίσταση που αντικαθιστά τη μεταβατική θερμική αντίσταση

Κατά τη λειτουργία εναλλασσόμενου ρεύματος, αν και η δεύτερη εξίσωση εξακολουθεί να ισχύει, το διάγραμμα τάσης-ρεύματος ως συνάρτηση του χρόνου (Σχήμα 4.11) είναι σαφέστερο.



Σχήμα 4.11: AC λειτουργία, προ της τάσης κατάρρευσης

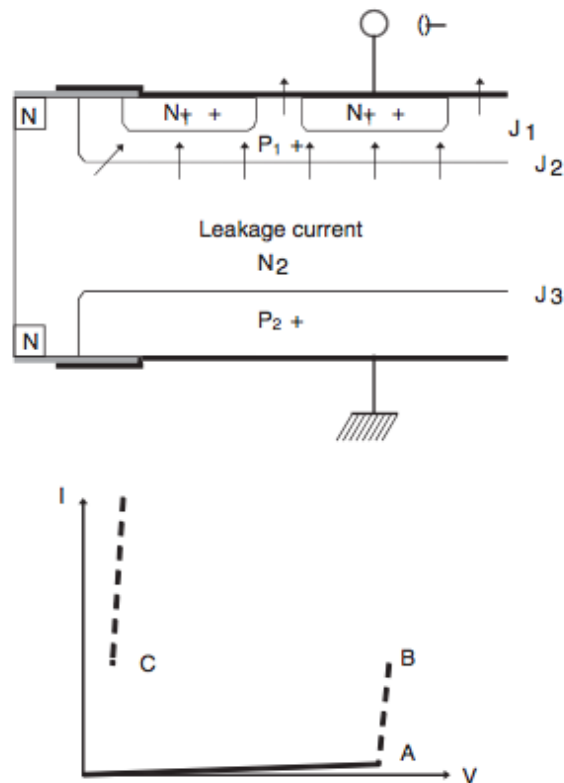
Η τιμή του ρεύματος κατάρρευσης ( $I_{BO}$ ) παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην ικανότητα της συσκευής σε λειτουργία προ της κατάρρευσης. Εάν αυτή η τιμή είναι υψηλή (βλέπε Σχήμα 4.12A), το ρεύμα στο στοιχείο πρέπει να περιορίζεται από ένα κατάλληλο εν σειρά αντιστάτη. Για χαμηλότερες τιμές, η λειτουργία κατάρρευσης γίνεται χωρίς κίνδυνο καταστροφής, ανεξάρτητα από το εξωτερικό κύκλωμα.



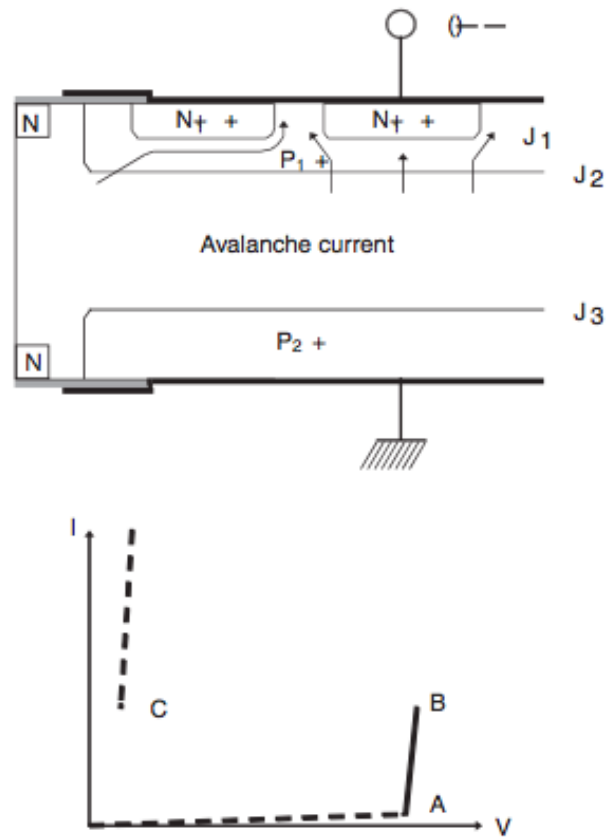
Σχήμα 4.12: Συνθήκες για μη καταστρεπτική σε λειτουργία κατάρρευσης

#### 4.4.6 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Το Trisil αποτελείται από δύο θυρίστορ συνδεδεμένα αντιπαράλληλα. Αρκεί να εξηγήσουμε την λειτουργία του ενός θυρίστορ, το άλλο λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο ακριβώς, εάν η τάση στα άκρα του αντιστραφεί.



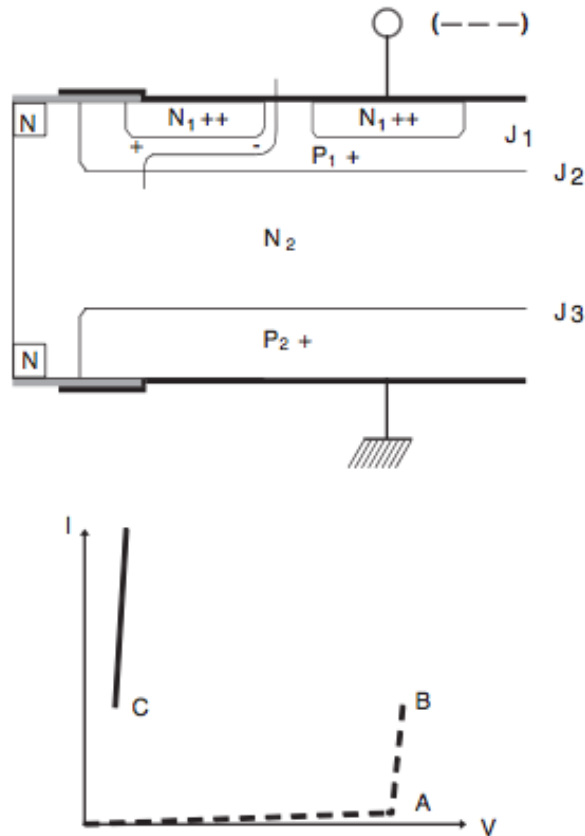
Σχήμα 4.13: Λειτουργία σε κατάσταση μη αγωγής



Σχήμα 4.14: Λειτουργία σε κατάσταση αγωγής, προ κατάρρευσης

Η εφαρμογή μιας αρνητικής τάσης στην κάθοδο N ++ εξαναγκάζει σε ορθή πόλωση τις επαφές J<sub>1</sub> και J<sub>3</sub> και αντίστροφη πόλωση την J<sub>2</sub>. Το ρεύμα που παρατηρείται είναι έτσι το ρεύμα διαρροής της επαφής J<sub>2</sub>. Όταν η τάση υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή, η επαφή J<sub>2</sub>, η οποία είναι ανάστροφα πολωμένη, αρχίζει να λειτουργεί στη λειτουργία κατάρρευσης. Το στοιχείο μέχρι αυτό το σημείο λειτουργεί σαν μια διόδος (επαφή J<sub>2</sub>). Το πλευρικό ρεύμα πολώνει το υπόστρωμα P<sub>1</sub> δίπλα στο σημείο N<sub>1</sub> του εκπομπού. Το εξαιρετικά νοθευμένο στρώμα N<sub>1</sub> έχει το ίδιο δυναμικό. Η περιοχή P<sub>1</sub> στην επιφάνεια εξαναγκάζεται στο ίδιο δυναμικό με την περιοχή N<sub>1</sub> με επιμετάλλωση.

Όσο το ρεύμα κατάρρευσης αυξάνει, αυτή η διαφορά δυναμικού μπορεί να φτάσει το όριο των 0,6 V, μια τιμή η οποία είναι αρκετή για να εκκινήσει την έγχυση ηλεκτρονίων από την κάθοδο προς την περιοχή P<sub>1</sub> και έτσι να πυροδοτήσει το θυρίστορ N<sub>1</sub> P<sub>1</sub> N<sub>2</sub> P<sub>2</sub>.



Σχήμα 4.15: Λειτουργία ως θυρίστορ

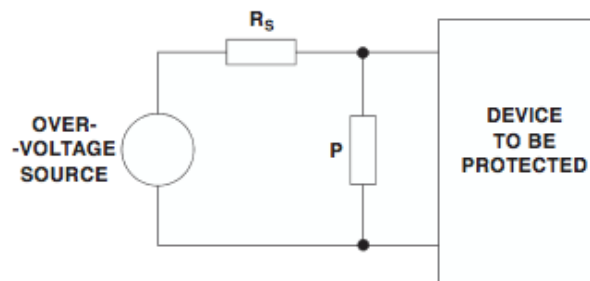
Τα ηλεκτρόνια συνεπώς που εγγέονται στο  $P_1$  στην πραγματικότητα θα φτάσουν την  $J_2$  με διάχυση, και θα την διασχίσουν υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου που υπάρχει στον χώρο φόρτισης της ανάστροφα πολωμένης επαφής  $J_2$ .

Στη  $N_2$ , τα ηλεκτρόνια συμβάλουν στη μείωση του δυναμικού της περιοχής σε σχέση με το  $P_2$  και ως αποτέλεσμα εκχέουν οπές από το  $P_2$  προς την  $N_2$ . Αυτές οι οπές οδεύουν στην αντίστροφη κατεύθυνση, λόγω της πολικότητάς τους. Όταν φτάνουν στο  $P_2$  βοηθούν να αυξηθεί το δυναμικό του  $P_1$  σε σχέση με τη  $N_1$ , αυτή τη φορά με αποτέλεσμα την έγχυση ηλεκτρονίων από τον τη  $N_1$  στο  $P_1$ .

Η διαδικασία είναι αθροιστική. Η περίσσεια ηλεκτρονίων της  $N_2$  και οι οπές στο  $P_1$  θα ισοσκελίσουν τα σταθερά φορτία της χωρικής φόρτισης και συνεπώς θα την καταστείλει. Η επαφή  $J_2$  θα δράσει ως ορθά πολωμένη επαφή των νοθεύσεων της διόδου και η τάση στα άκρα του στοιχείου θα μειωθεί.

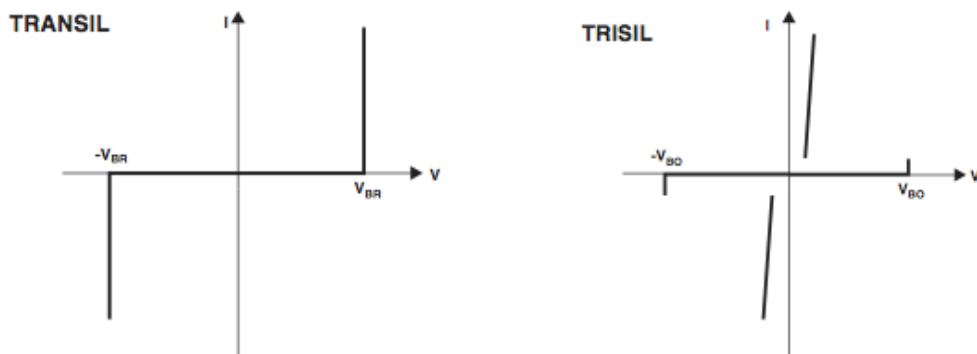
#### 4.5 Σύγκριση διόδου καταστολής (Transil) και θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (Trisil)

Για να προστατευθεί μία ευαίσθητη συσκευή υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη είναι η χρήση προστασίας εν σειρά, η δεύτερη καταστολείς εν παράλληλω. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και στις δύο περιπτώσεις είναι τέτοιες ώστε οι συσκευές εν σειρά είναι κατάλληλες για μεγάλης διάρκειας υπερτάσεις, ενώ η παράλληλη προστασία είναι πολύ αποτελεσματική για τις υψηλών ρευμάτων καταπονήσεις μικρής διάρκειας οι οποίες αντιπροσωπεύουν τη μεγάλη πλειονότητα των περιπτώσεων. Για τις λύσεις προστασίας εν παράλληλω, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη αντιπροσωπεύεται από ένα στοιχείο καταστολής και η δεύτερη από ένα στοιχείο κατάρρευσης, αντίστοιχα γνωστά ως Transil και Trisil.



Σχήμα 4.16: Κλασσική τοπολογία παράλληλης προστασίας

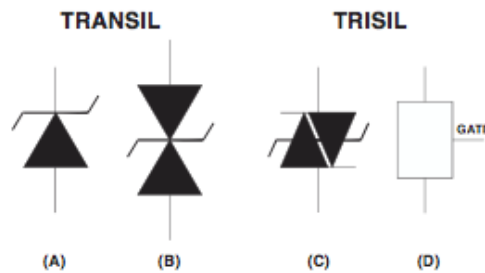
Θα προχωρήσουμε αρχικά σε σύγκριση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών αυτών των δυο στοιχείων. Το Transil είναι μια συσκευή σύσφιξης που καταστέλλει όλες τις υπερτάσεις πάνω από την τάση διάσπασης ( $V_{BR}$ ). Το Trisil είναι μια συσκευή παροχέτευσης που βραχυκυκλώνει όταν οι υπερτάσεις ξεπεράσουν την τάση κατάρρευσης ( $\pm V_{BO}$ ).



Σχήμα 4.17: Σύγκριση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών

Το Transil μπορεί να είναι μονοπολικό (Σχήμα 4.18(A)), ή διπολικό (Σχήμα 4.18(B)). Στην μονοπολική μορφή του, λειτουργεί ως ανάστροφη διάοδος σε ανάποδη πόλωση και σαν ανορθωτής σε ορθή. Το Trisil μπορεί να σχεδιαστεί για να λειτουργεί με μια σταθερή

τιμή κατάρρευσης (Σχήμα 4.18(C)), ή μία τιμή η οποία μπορεί να ρυθμίζεται από την πύλη (Σχήμα 4.18(D))



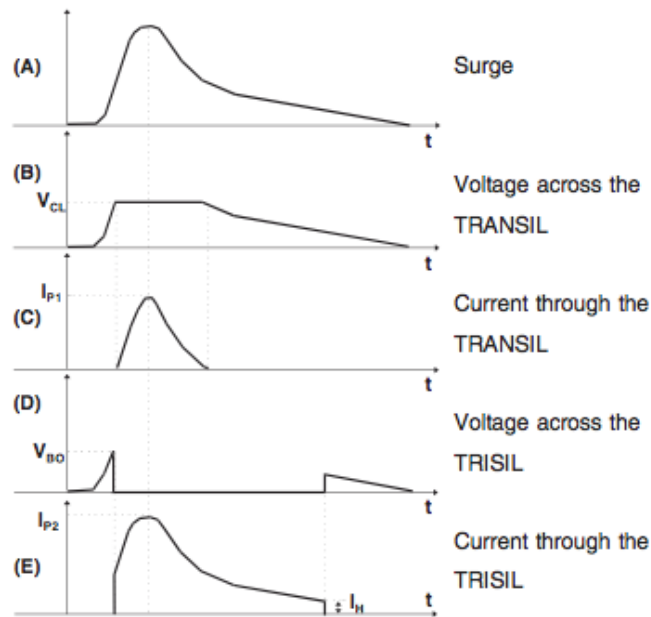
Σχήμα 4.18: Σχηματική αναπαράσταση

Τα δύο αυτά στοιχεία όσον αφορά την ηλεκτρική τους συμπεριφορά στην αντιμετώπιση των μεταβατικών φαινομένων έχουν σημαντική διαφορά, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.19.

Για τον ίδιο κρουστικό ρεύμα (Σχήμα 4.19(A)), το Σχήμα 4.19 δείχνει την ηλεκτρική συμπεριφορά ενός Transil και ενός Trisil. Τα τμήματα (B) και (C) του Σχήματος 4.19 δίνουν την τάση στα άκρα του Transil και το ρεύμα που το διαπερνά. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ρεύμα ρέει μέσω της συσκευής προστασίας μόνο κατά τη διάρκεια της μανδάλωσης του. Αυτό το γεγονός πρέπει να ληφθεί υπόψη όταν επιλέγεται το είδος προστασίας, επειδή η διάρκεια του ρεύματος είναι πάντοτε μικρότερη από εκείνη της κρουστικής υπέρτασης.

Τα τμήματα (D) και (E) του Σχήματος 4.19 αφορούν την συμπεριφορά του Trisil. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναυση της συσκευής, όταν η τάση στα άκρα του φτάσει την τάση διάσπασης  $V_{BO}$  και παραμένει στην κατάσταση αγωγής έως ότου το ρεύμα που το διαρρέει πέσει κάτω από το τιμή  $I_H$ . Το ρεύμα ρέει διαμέσου του Trisil καθ' όλη την διάρκεια της φάσης αγωγής.





Σχήμα 4.19: Ηλεκτρική συμπεριφορά ενός Transil και ενός Trisil

Σε θέματα θερμικής καταπόνησης των δύο στοιχείων, θα συγκρίνουμε την διάχυση ισχύος των δυο στοιχείων. Η διαχεόμενη ισχύς τόσο στο Transil και Trisil οφείλεται στην παρουσία της τάσης στα άκρα των στοιχείων και ρεύμα που τα διαπερνάει. Να σημειωθεί ότι για την ίδια συσκευασία, η ικανότητα αντοχής ρεύματος ενός Transil εξαρτάται από την τιμή της τάσης διάσπασης, ενώ αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση του Trisil.



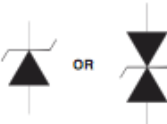



Ως παράδειγμα, με την τεχνική συσκευασίας CB429 θα συγκρίνουμε τη σειρά Transil 1,5KE και την σειρά Trisil TPB αντίστοιχα, που έχουν διαφορετική συμπεριφορά όσον αφορά την καταστολή ρεύματος.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1, τα όρια ρεύματος των στοιχείων TPB είναι πάντα 100 A ανεξάρτητα από την τιμή  $V_{BR}$ , ενώ για τη σειρά 1.5KE εξαρτώνται άμεσα από την  $V_{BR}$ .

	Μέγιστη τιμή ρεύματος για κρούση 1ms			
	10 V	62 V	150 V	220 V
Transil 1.5KE	103 A	17.7 A	7.2 A	4.6 A
Trisil TPB		100 A	100 A	100 A

Πίνακας 4.1: Αντοχή ρευμάτων των Transil 1.5KE και Trisil TPB

Οι Πίνακες 4.2 και 4.3 συνοψίζουν τη διαφορετική συμπεριφορά και τα πλεονεκτήματα των δυο στοιχείων. Δεν είναι δυνατόν να πούμε ότι "Τα Transils είναι καλύτερα από τα Trisils" ή το αντίθετο, μόνο ότι οι τομείς εφαρμογής τους είναι διαφορετικοί και θα πρέπει να επιλέξουμε κάθε φορά το στοιχείο που ικανοποιεί βέλτιστα τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής προστασίας που θέλουμε.

	TRANSIL	TRISIL
TYPE OF ACTION	CLAMPING	CROWBAR
ELECTRICAL CHARACTERISTICS		
SCHEMATICS		
ELECTRICAL BEHAVIOUR		
ACTION START	$V_{surge} > V_{BR}$	$V_{surge} > V_{BO}$
ACTION STOP	$V_{surge} < V_{BR}$	$I < \text{Holding Current}$

Πίνακας 4.2: Συγκριτική σύνοψη Transil/Trisil

TRANSIL	TRISIL
Δεν βραχυκυκλώνει γραμμές χαμηλής αντίστασης (π.χ. τροφοδοσίας)	Μεγαλύτερη αντοχή ισχύος λόγω της μικρής τάσης στα άκρα του
Διασφαλισμένη σβέση του στοιχείου μετά την πάροδο του μεταβατικού	Διαθέσιμο με ρυθμιζόμενη τάση διάσπασης

Πίνακας 4.3: Σημαντικά πλεονεκτήματα του κάθε στοιχείου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΧΡΗΣΗ TRISIL ΩΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ**

#### **5.1 Εμφάνιση υπερτάσεων σε δίκτυα χαμηλής τάσης**

Το καλωδιακό δίκτυο παραμένει η πιο αποδοτική λύση για την μεταφορά ισχύος και δεδομένων σε όλο τον κόσμο. Η χρήση του χαλκού ως υλικό των γραμμών μεταφοράς απαιτεί οι σχεδιαστές αυτών των συστημάτων να παρέχουν επαρκή προστασία από υπερτάσεις και υπερεντάσεις που συμβαίνουν στη γραμμή. Στα δίκτυα χαμηλής τάσης υπάρχει ένας διαχωρισμός στα δίκτυα καταναλωτών (οικιακά) και στα υποδίκτυα φωτισμού δρόμων (δημοτικός φωτισμός). Στα οικιακά δίκτυα λόγω πληθώρας των επαγωγικών φορτίων και την ύπαρξη προστασίας σε κάθε καταναλωτή, τα φαινόμενα υπερτάσεων δεν δημιουργούν τόσο σοβαρά προβλήματα όσο στα δίκτυα δημοτικού φωτισμού. Το δίκτυο φωτισμού τροφοδοτείται απευθείας από τον μετασχηματιστή υποβιβασμού μέσης/χαμηλής τάσης, χωρίς κάποιο κύκλωμα προστασίας με αποτέλεσμα να είναι εκτεθειμένο σε οποιοδήποτε μεταβατικό κρουστικό φαινόμενο είτε λόγω χειρισμού, είτε λόγω κεραυνικού πλήγματος που δεν μπορεί να αποσβέσει αλλού. Η μέχρι τώρα χρήση λαμπτήρων νήματος, υψηλής πίεσης νατρίου ή μετάλλου χαλιδίου δεν μας υποχρέωνε σε προστασία καθώς οι ίδιοι οι λαμπτήρες μπορούσαν να ανεχθούν υπερτάσεις χωρίς να καταστρέφονται. Οι λαμπτήρες φωτισμού δρόμων νέας τεχνολογίας και χαμηλής κατανάλωσης (επαγωγής ή LED) απαιτούν την χρήση τροφοδοτικού για την λειτουργία τους, το οποίο όμως λόγω των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που περιέχει, καθίσταται ιδιαίτερα ευαίσθητο σε υπερτάσεις που δύνανται να το καταστρέψουν και να το θέσουν εκτός λειτουργίας. Δεδομένου του χρόνου ζωής αυτών των λαμπτήρων που ξεπερνά τα 20 χρόνια και τις δυσκολίες στην διαδικασία της αλλαγής τους, δημιουργείται η ανάγκη για την τοποθέτηση ενός κυκλώματος προστασίας προ του τροφοδοτικού, το οποίο δεν θα απαιτεί την συντήρηση του καθ' όλη την διάρκεια ζωής του φωτιστικού, δεν θα προσθέτει βάρος ή όγκο στο σώμα (σκάφη) του φωτιστικού σώματος καθώς και δεν θα ανεβάζει το κόστος της όλης διάταξης. Ο στόχος αυτής της διπλωματικής είναι να προτείνει μια τοπολογία κατάλληλη για αυτού του είδους την προστασία. Το κύκλωμα αυτό προστασίας πρέπει να δύναται να χρησιμοποιηθεί γενικότερα ως προστασία σε οποιοδήποτε κύκλωμα χαμηλής τάσης.

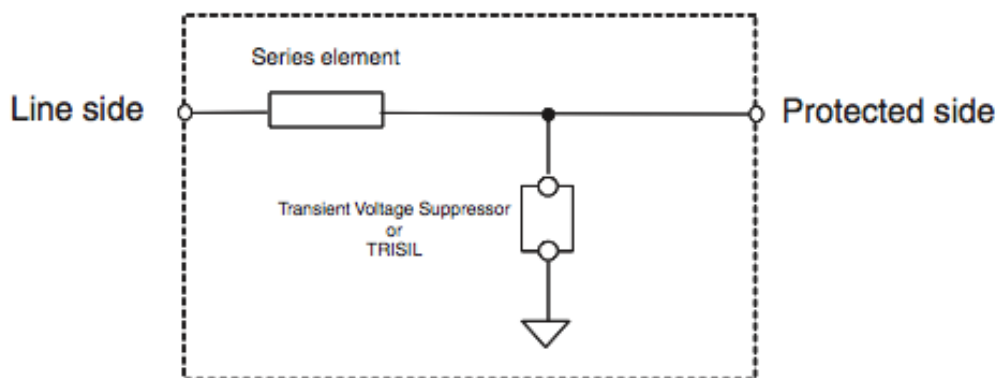
#### **5.2 Επιλογή στοιχείων κυκλώματος προστασίας υπερτάσεων**

Δεδομένων των συνθηκών του προβλήματος που θέσαμε, έπρεπε να αναζητήσουμε μια μέθοδο προστασίας που θα καλύπτει τις ανάγκες μας για μικρό μέγεθος, μικρό κόστος, χωρίς απαιτήσεις συντήρησης ή αλλαγής αλλά και για πλήρη προστασία από τις υπερτάσεις. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες προτάσεις της βιβλιογραφίας και τις μέχρι τώρα υπάρχουσες υλοποιήσεις, η πρόταση θα ήταν η χρήση βαρίστορ. Στην προκειμένη περίπτωση όμως το βαρίστορ δεν θα κάλυπτε όλες τις ανάγκες μας, καθώς εκτός από ογκώδες, δεν διαθέτει και το αναμενόμενο προσδόκιμο ζωής όσο οι λάμπες νέας

τεχνολογίας. Το βαρίστορ καταπονείται και χάνει την ικανότητα προστασίας του με αποτέλεσμα να απαιτεί την συχνή προληπτική αλλαγή και συντήρηση του. Ακόμη σε περίπτωση αποτυχίας του, η υπέρταση θα περάσει στο κατάντι κύκλωμα του τροφοδοτικού και θα προκαλέσει την καταστροφή του. Τέλος το κόστος όλων των ανωτέρω είναι απαγορευτικό για την δεδομένη χρήση μας. Οι σωλήνες διακένου αερίου και οι σπινθηριστές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς δεν παρέχουν καμία προστασία σε ακραία μεταβατικά που απασχολούν την δικιά μας περίπτωση. Τα εν σειρά ψηφιακά κυκλώματα προστασίας παρόλο που μας καλύπτουν πλήρως απο θέμα προστασίας, ανεβάζουν το κόστος και την πολυπλοκότητα αρκετά, οπότε δεν θα τα προτείνουμε ως λύση. Παραταύτα σε ποιο εξειδικευμένες λύσεις η χρήση τους ύστερα απο μελέτη ενδεχομένως να συνίσταται.

Τα στοιχεία που καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες μας είναι η δίοδος απαγωγής (καταστολής) υπερτάσεων (TVS) και τα θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (TSPD) για τα οποία κάναμε μια εκτενή σύγκριση στο προηγούμενο κεφάλαιο με χρήση στοιχείων για το Transil και το Trisil αντίστοιχα. Όπως είδαμε το Trisil έχει μεγαλύτερη ανοχή σε θερμικές καταπονήσεις, άρα μεγαλύτερο προσδόκιμο όριο ζωής για την εφαρμογή μας καθώς στην εξαιρετική περίπτωση που θα βληθεί με επαναλαμβανόμενες υπερτάσεις δεν υπάρχει κίνδυνος καταστροφής λόγω θερμικής καταπόνησης. Επιπλέον το γεγονός ότι σε περίπτωση καταστροφής του στοιχείου, αυτο συνεχίζει να προστατεύει την κατάντι συσκευή, το καθιστά ιδανικό για την περίπτωσή μας. Οι πιθανότητες να συμβεί κάτι τέτοιο είναι μηδαμινές καθότι τα φαινόμενα που μας αφορούν είναι κυρίως μεταβατικά λόγω χειρισμών διακοπών. Ακόμη και στην περίπτωση που θα υποστεί η γραμμή άμεσο κεραυνικό πλήγμα, δεν λειτουργήσουν οι άλλες προστασίες της γραμμής για να αποκόψουν το κρουστικό και το στοιχείο καταστραφεί, θα συνεχίσει να προστατεύει την συσκευή καθώς δρα ως μόνιμο βραχυκύκλωμα. Εν τη αυτή περιπτώσει, η καταστροφή που θα έχει υποστεί η γραμμή είναι μακράν σημαντικότερη απ' την καταστροφή του Trisil οπότε αυτό το ενδεχόμενο δεν θα μας απασχολήσει στην μελέτη μας καθώς η πιθανότητα να συμβεί κρίνεται αμελητέα.

Στις επόμενες σελίδες θα προτείνουμε μια απλή τοπολογία κυκλώματος με την χρήση του Trisil ως μέθοδο προστασίας υπερτάσεων. Το κύκλωμά μας περιλαμβάνει το Trisil εν παραλλήλω με την συσκευή μας για προστασία από τις υπερτάσεις και ένα στοιχείο εν σειρά προστασίας απο υπερεντάσεις(Σχήμα 5.1). Η χρήση του εν σειρά στοιχείου στα δεδομένα του δικού μας προβλήματος δεν κρίνεται αναγκαία, αλλά στην γενικευμένη περίπτωση προστασίας θεωρείται χρήσιμο. Περαιτέρω αιτιολόγηση θα δοθεί παρακάτω. Και τα δύο στοιχεία συνεργάζονται κατά τη διάρκεια του κρουστικού, το TRISIL ενεργεί για να καταστείλει τις υπερτάσεις, ενώ το στοιχείο εν σειρά προστατεύει το κύκλωμα από τις καταστροφικές υπερεντάσεις.



Σχήμα 5.1: Τοπολογία προστασίας μίας γραμμής

### 5.3 Επιλογή κατάλληλων ονομαστικών στοιχείων Trisil

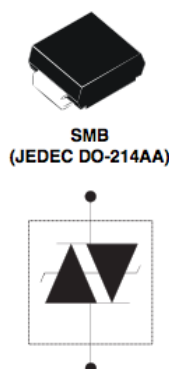
Η επιλογή του κατάλληλου τύπου θυρίστορ προστασίας υπερτάσεων (Trisil) πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις δύο καταστάσεις λειτουργίας που θα συναντήσει κατά τη διάρκεια της ζωής του. Η πρώτη κατάσταση λειτουργίας είναι η κανονική όπου η συσκευή προστασίας πρέπει να είναι σχεδόν ανύπαρκτη, αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να επηρεάζει το σήμα της γραμμής. Η δεύτερη κατάσταση είναι η κατάσταση καταστολής όπου το Trisil πρέπει να εξαλείφει όλες τις επικίνδυνες υπερτάσεις.

Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, πρέπει να λάβουμε υπόψιν τις τιμές της τάσης και του ρεύματος που διαρρέουν το δίκτυο. Αυτές οι τιμές διαφέρουν ανάλογα την εκάστοτε χώρα που βρίσκεται ο εξοπλισμός. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα η κανονική τάση λειτουργίας είναι 230V rms. Η τάση κατωφλίου του Trisil θα πρέπει να επιλεγεί ανάλογα τις ανοχές του εκάστοτε εξοπλισμού που θέλουμε να προστατεύσουμε. Στην δεδομένη περίπτωση των τροφοδοτικών λαμπτήρων φωτισμού δρόμου, η τάση αυτή δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 260V αλλά ούτε και να είναι πολύ πιο κάτω καθώς θα πυροδοτεί το Trisil άσκοπα και θα προσθέτει παραμορφώσεις στο σήμα μας (λόγω διατοπικών των θυρίστορ) το οποίο για αυτές τις τιμές είναι σε κανονική λειτουργία ανεκτό και διαχειρίσιμο από το ίδιο τροφοδοτικό. Από αυτές τις απαιτήσεις, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η τάση κατωφλίου του Trisil θα πρέπει να είναι περίπου 260V, ενώ το ρεύμα διαρροής δεν μας απασχολεί καθώς είναι μηδαμινό.

Κατά την εξέταση της λειτουργίας καταστολής, όταν δηλαδή το Trisil άγει, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι οι γραμμές χαμηλής τάσης μπορεί να υποβληθούν κυρίως σε δύο είδη διαταραχών. Η πρώτη διαταραχή συνδέεται με ατμοσφαιρικές επιδράσεις (κευρανικά πλήγματα), ενώ η δεύτερη διαταραχή προκαλείται από διακοπτικούς χειρισμούς επαφών. Αυτές οι διαταραχές είναι καλά οριζόμενες σε διάφορες προτυποποιήσεις, οι οποίες μπορούν να είναι διεθνείς ή συγκεκριμένες για κάποιες χώρες. Τα κύρια διεθνή πρότυπα διαταραχών υπέρτασης των δικτύων 50/60Hz εξαρτώνται από δύο παραμέτρους: την εφαρμοζόμενη RMS τάση και τη διάρκεια της δοκιμής (μεταξύ 0.5μs και 15 λεπτών).

Από αυτά τα πρότυπα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μέγιστη τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης του Trisil πρέπει να προσαρμόζεται σύμφωνα με τη συγκεκριμένη χώρα και εφαρμογή. Το Trisil διαχειρίζεται επιτυχώς μεγάλες τιμές ρευμάτων για μικρής διάρκειας αιχμές (στην περιοχή των εκατοντάδων ms) οι απαιτήσεις όμως για διαταραχές δοκιμών στο πεδίο των 50/60Hz, όπου προκύπτουν μεγάλα ρεύματα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, δείχνουν την ανάγκη ενός συμπληρωματικού σταδίου προστασίας, που θα προστατεύει κυρίως την γραμμή και όχι το κατάντι τροφοδοτικό και που υλοποιείται με συσκευές προστασίας εν σειρά όπως οι ασφάλειες ή τα θερμίστορ (PTC).

Η χρήση του Trisil μέχρι τώρα περιοριζόταν σε κυκλώματα προστασίας τηλεπικοινωνιακών κυκλωμάτων οπότε οι μέχρι τώρα υλοποιήσεις και εφαρμογές του δεν αναφέρονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης των 50Hz της Ελλάδας. Παραταύτα τα χαρακτηριστικά του το θέτουν παραπάνω απο ικανό για την προστασία συσκευών που λειτουργούν στην χαμηλή τάση. Η πολύ μικρή του χωρητικότητα στην κατάσταση αναμονής το καθιστά σχεδόν αόρατο στο κύκλωμα, είναι διπολικό οπότε ιδανικό για τα AC δίκτυα τροφοδοσίας 50/60Hz και μπορεί να τυποποιηθεί σε ένα εύρος τάσεων απο 8 ως 400V (peak to peak τιμη).



Σχήμα 5.2: Σκαρίφημα και σύμβολο ενός Trisil

Για την υλοποίηση του προτεινόμενου κυκλώματος προστασίας επιλέξαμε το Trisil SMP100LC το οποίο μπορέσαμε και να βρούμε σε κομμάτια λιανικής ώστε να μπορέσουμε να ελέγξουμε πειραματικά στο εργαστήριο την ορθή λειτουργία της τοπολογίας μας.

Ολες οι πιστοποιήσεις με τις οποίες είναι σύμφωνο καθώς και τα αναλυτικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του παρατίθενται στα παρακάτω σχήματα και πίνακες.

Standard	Peak surge voltage (V)	Waveform voltage	Required peak current (A)	Current waveform	Minimum serial resistor to meet standard ( $\Omega$ )
GR-1089 Core First level	2500	2/10 $\mu$ s	500	2/10 $\mu$ s	0
	1000	10/1000 $\mu$ s	100	10/1000 $\mu$ s	0
GR-1089 Core Second level	5000	2/10 $\mu$ s	500	2/10 $\mu$ s	0
GR-1089 Core Intra-building	1500	2/10 $\mu$ s	100	2/10 $\mu$ s	0
ITU-T-K20/K21	6000	10/700 $\mu$ s	150	5/310 $\mu$ s	0
	1500		37.5		0
ITU-T-K20 (IEC61000-4-2)	8000	1/60 ns	ESD contact discharge		0
	15000		ESD air discharge		0
IEC61000-4-5	4000	10/700 $\mu$ s	100	5/310 $\mu$ s	0
	4000	1.2/50 $\mu$ s	100	8/20 $\mu$ s	0
TIA/EIA IS-968, lightning surge type A	1500	10/160 $\mu$ s	200	10/160 $\mu$ s	0
	800	10/560 $\mu$ s	100	10/560 $\mu$ s	0
TIA/EIA IS-968, lightning surge type B	1000	9/720 $\mu$ s	25	5/320 $\mu$ s	0

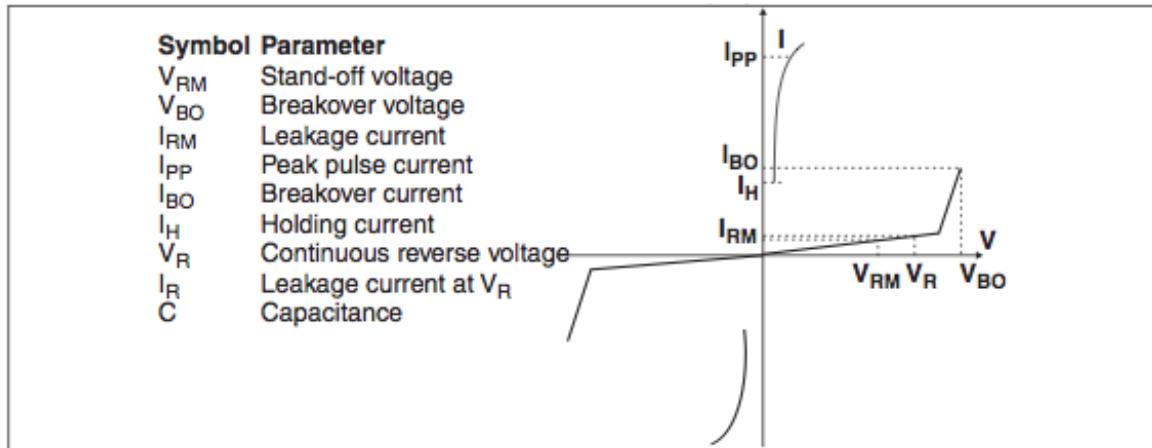
Πίνακας 5.1: Διεθνή πρότυπα συμμόρφωσης του Trisil

Symbol	Parameter	Value	Unit	
$I_{PP}$	Repetitive peak pulse current (see <a href="#">Figure 2</a> )	10/1000 $\mu$ s	100	A
		8/20 $\mu$ s	400	
		10/560 $\mu$ s	140	
		5/310 $\mu$ s	150	
		10/160 $\mu$ s	200	
		1/20 $\mu$ s	400	
		2/10 $\mu$ s	500	
$I_{FS}$	Fail-safe mode: maximum current <sup>(1)</sup>	8/20 $\mu$ s	5	kA
$I_{TSM}$	Non repetitive surge peak on-state current (sinusoidal)	t = 0.2 s	24	A
		t = 1 s	15	
		t = 2 s	12	
		t = 15 mn	4	
$I^2t$	$I^2t$ value for fusing	t = 16.6 ms	20	A <sup>2</sup> s
		t = 20 ms	21	
$T_{stg}$	Storage temperature range	-55 to 150		°C
$T_j$	Operating junction temperature range	-40 to 150		
$T_L$	Maximum lead temperature for soldering during 10 s.	260		°C

Πίνακας 5.2: Μέγιστες ανεκτές τιμές Trisil ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ )

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient (with recommended footprint)	100	°C/W
$R_{th(j-l)}$	Junction to leads	20	°C/W

Πίνακας 5.3: Θερμικές αντοχές



Σχήμα 5.3: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά – Ορισμοί

Order code	$I_{RM} @ V_{RM}$		$I_R @ V_R$		Dynamic $V_{BO}^{(1)}$	Static $V_{BO} @ I_{BO}^{(2)}$		$I_H^{(3)}$	$C^{(4)}$	$C^{(5)}$
	max.		max.		max.	max.	max.	min.	typ.	typ.
	$\mu A$	V	$\mu A$	V	V	V	mA	mA	pF	pF
SMP100LC-8	2	6	5	8	25	15	800	150	50 (typ.)	75
SMP100LC-25		22		25	40	35			NA	65
SMP100LC-35		32		35	55	55			NA	55
SMP100LC-65		55		65	85	85			45	90
SMP100LC-90		81		90	120	125			40	80
SMP100LC-120		108		120	155	150			35	75
SMP100LC-140		126		140	180	175			30	65
SMP100LC-160		144		160	205	200			30	65
SMP100LC-200		180		200	255	250			30	60
SMP100LC-230		207		230	295	285			30	60
SMP100LC-270		243		270	345	335			30	60
SMP100LC-320		290		320	400	390			25	50
SMP100LC-360		325		360	460	450			25	50
SMP100LC-400		360		400	540	530			20	45

Σχήμα 5.4: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά – Τιμές



## 5.4 Επιλογή στοιχείου προστασίας υπερέντασης εν σειρά

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η χρήση ενός στοιχείου προστασίας υπερέντασης εν σειρά είναι υποχρεωτική για την προστασία την γραμμής απο τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης που δημιουργεί η έναυση του Trisil. Τα υπάρχοντα πρότυπα απαιτούν απο τον εξοπλισμό να αντέχει αρκετές δοκιμές με διαφορετικά κριτήρια αποδοχής. Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές απαιτήσεις το "A" κριτήριο απαιτεί απο τον εξοπλισμό να λειτουργεί πλήρως μετά τις δοκιμές, ενώ το δεύτερο επίπεδο (ή το κριτήριο B) επιτρέπει στο σύστημα να είναι εκτός λειτουργίας, να έχει καταστραφεί, με την προϋπόθεση να μην έχει προκληθεί φωτιά ή καπνός.

Για την χρήση προστασίας υπερέντασης εν σειρά, δύο τεχνολογίες είναι διαθέσιμες, τα θερμίστορ (PTC) και ασφάλειες τήξης. Τα PTC είναι ωμικά στοιχεία τα οποία διαχέουν θερμική ενέργεια ανάλογη με το ρεύμα που τα διαρρέει, αυξάνοντας την θερμοκρασία τους και κάνοντας την αντίσταση τους να αυξηθεί γρήγορα (για παράδειγμα έχουν τιμή 10Ω στους 25 ° C και 100 KΩ στους 150 ° C). Το θετικό χαρακτηριστικό των PTC είναι ότι είναι επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση αλλά έχουν δύο βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο μειονέκτημα είναι η ύπαρξη τιμής αντίστασης ακόμα και σε κανονική λειτουργία που δεν είναι θεμιτά στις γραμμές μας. Το δεύτερο μειονέκτημα συνδέεται με την ανοχή του, καθώς σε επαναλαμβανόμενες εναύσεις του δεν επανέρχεται γρήγορα στην αρχική τιμή του.

Οι ασφάλειες τήξης δεν έχουν αυτά τα ωμικά μειονεκτήματα, καθιστώντας τα κατάλληλα για την τοπολογία μας. Από τα ευρωπαϊκά πρότυπα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ασφάλεια πρέπει να αντέχει τις υπερεντάσεις του κριτηρίου «A» για την Ευρώπη, αλλά πρέπει να ανοιχτοκυκλώνει για υπερεντάσεις κριτηρίου «B». Δηλαδή η ασφάλεια πρέπει να παραμείνει σε λειτουργία για κρουστικά 10/1000μs στο 1kV με 100A και το 2/10μs στα 2.5kV με 500A. Θα πρέπει επίσης να αντέχει τα σφάλματα AC ρεύματος του κριτηρίου «A» ενώ θα πρέπει να λειτουργήσει και να ανοιχτοκυκλώσει για 277V RMS στα 25A και 600V RMS στα 60A σύμφωνα με το κριτήριο «B».

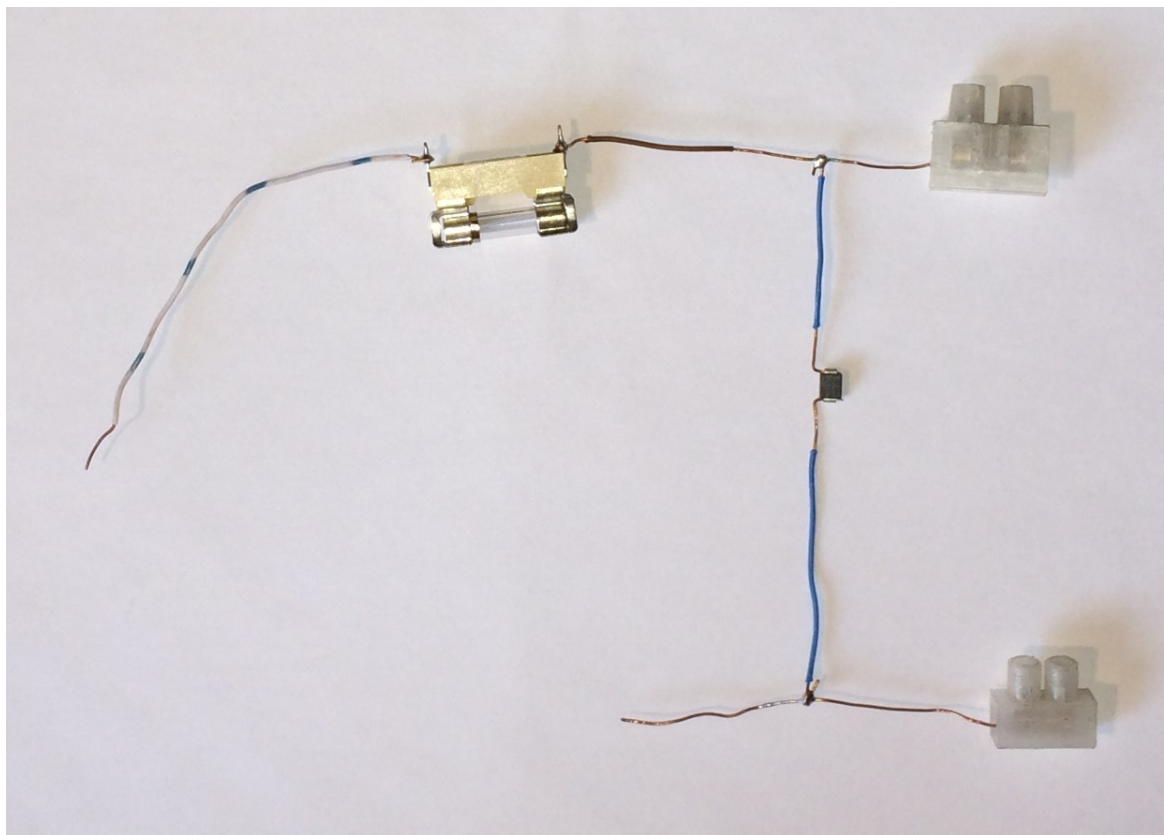
Ανάλογα την εκάστοτε χρήση του εξοπλισμού προστασίας στην θέση της ασφάλειας τήξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και επαναφερόμενες ασφάλειες, μικροαυτόματοι ή ρελέ. Στην παρούσα χρήση που αφορά την προστασία τροφοδοτικών λαμπτήρων φωτισμού δρόμων, η τυχόν αλλαγή κατεστραμμένης ασφάλειας που είναι μη εύκολα πραγματοποιήσιμη και κοστοβόρα και το γεγονός ότι θα έθετε τον λαμπτήρα εκτός λειτουργίας είναι μη επιτρέψιμο γεγονός. Ανατρέχοντας στις αιτίες που προκαλούν τα μεταβατικά φαινόμενα, παρατηρούμε ότι αυτά είναι κυρίως λόγω χειρισμών οπότε είναι και στιγμιαία χωρίς μεγάλη διάρκεια. Δηλαδή το ρεύμα βραχυκύκλωσης που θα δημιουργήσει η στιγμιαία έναυση του Trisil θα είναι και αυτό κρουστικής μορφής οπότε δεν θα προλάβει να πυροδοτήσει μια τυχόν ασφάλεια τήξης. Η ανάγκη προστασίας λοιπόν απο υπερεντάσεις κρίνεται μη αναγκαία στην εφαρμογή μας καθώς είτε έχει προβλεφθεί απ' τον πάροχο του δικτύου κατά τον σχεδιασμό του, είτε σε περίπτωση που επιλέξουμε εμείς ασφάλεια κατάλληλης τιμής, αυτή ναι μεν θα προστατέψει τον εξοπλισμό μας απο μια υπερένταση αλλά το γεγονός ότι στην γραμμή έχει δημιουργηθεί ενός τέτοιου μεγέθους πρόβλημα υπερέντασης το καθιστά άκρως σημαντικότερο πρόβλημα απ' την λειτουργία του εξοπλισμού μας. Οπότε εν κατακλείδι προτείνεται

προληπτικά η τοποθέτηση κατάλληλης ασφάλειας τήξης μεγάλης τιμής η οποία δεν θα ανοίγει όμως για στιγμιαία κρουστικά φαινόμενα τα οποία διαχειρίζεται επιτυχώς το Trisil.

### 5.5 Πειραματική διάταξη κυκλώματος προστασίας υπερτάσεων με χρήση Trisil

Στα πλαίσια της διπλωματικής και για να διασφαλίσουμε ότι όντως το κύκλωμα προστασίας που προτείνουμε λειτουργεί και παρέχει την αναγκαία προστασία, αποφασίσαμε να το υλοποιήσουμε και να ελέγξουμε πειραματικά ότι έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Για τον σκοπό αυτό υλοποιήσαμε το κύκλωμα του Σχήματος 5.1 όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.5.

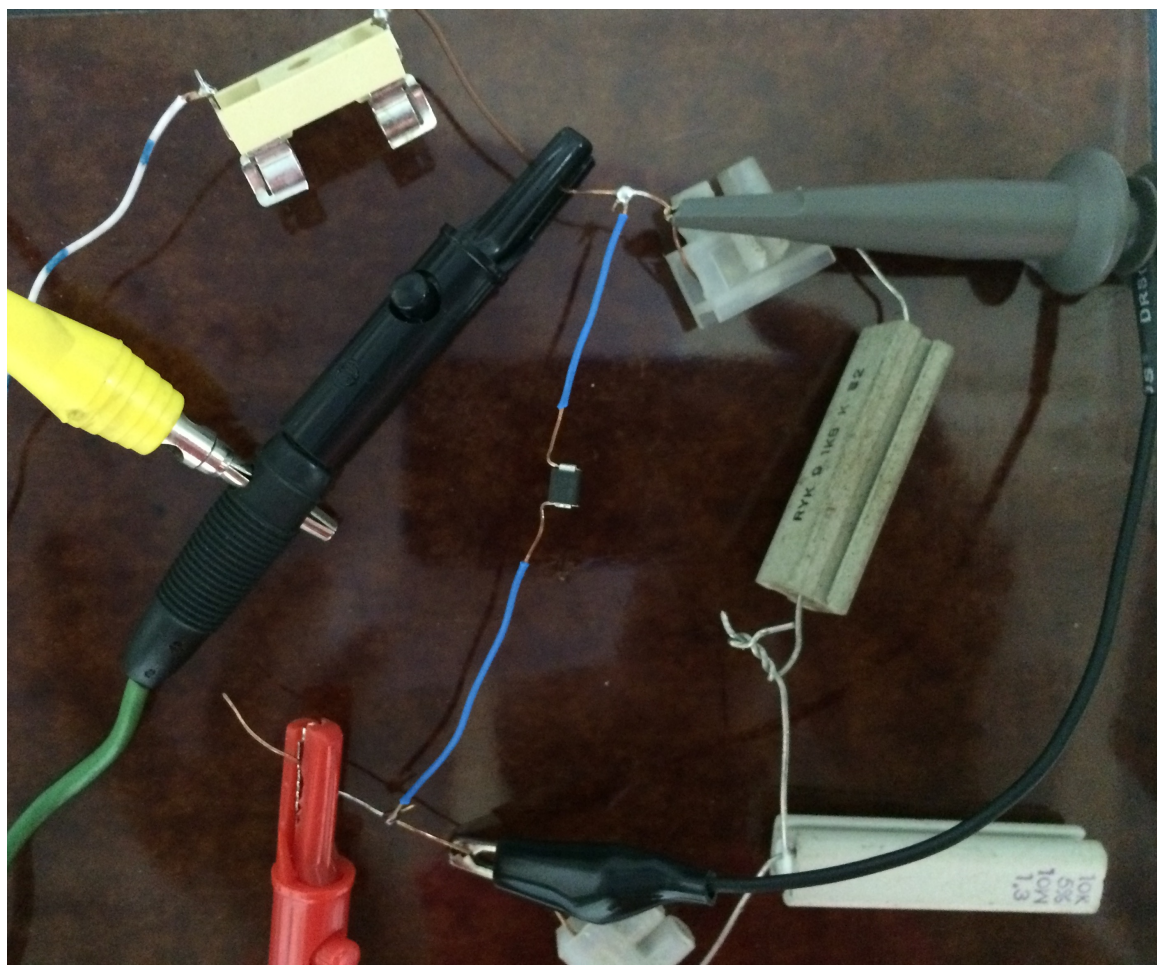


Σχήμα 5.5: Υλοποίηση κυκλώματος προστασίας με χρήση Trisil

Ως έξοδο τοποθετήσαμε μια αντίσταση ισχύος στην θέση του φορτίου, παράλληλα με αυτό το εκάστοτε Trisil και εν σειρά μια ασφαλειοθήκη για την τοποθέτηση ασφάλειας τήξης. Το όλο κύκλωμα ως πρωτότυπο, δεν τυπώθηκε σε πλακέτα PCB καθώς θέλαμε να διαπιστεύσουμε πρώτα την λειτουργία του. Επιπλέον θέλαμε η εναλλαγή των Trisil να μπορεί να είναι άμεση χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά αποκόλληση του παλιού και καινούρια κόλληση του νέου.

Οπότε αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε το κύκλωμα με απλούς αγωγούς. Το όλο κύκλωμα τοποθετήθηκε πάνω σε ένα φύλλο βακελίτη για προστασία απο τυχών διαρροές προς τον

πάγκο εργασίας. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο Σχήμα 5.6 καθώς και οι συνδέσεις τροφοδοσίας και μέτρησης.



Σχήμα 5.6: Φωτογραφία κυκλώματος εν ώρα πειραματικών δοκιμών.

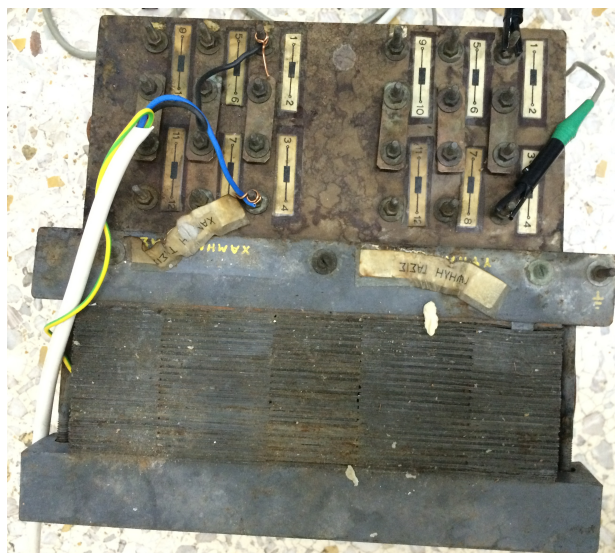
Στο κέντρο και με τα μπλε καλώδια στους ακροδέκτες του διακρίνουμε το Trisil, δεξιά και παράλληλα με το Trisil δύο εν σειρά μεταξύ τους αντιστάσεις ισχύος ως φορτίο, πάνω αριστερά την ασφαλειοθήκη, με κόκκινο και μαύρο κροκοδειλάκι είναι η τροφοδοσία καθώς και το probe στην έξοδο στέλνει σήμα στον παλμογράφο. Όπως παρατηρούμε δεν υπάρχει ασφάλεια στην ασφαλειοθήκη και ο κλάδος της έχει παρακαμφθεί από την τροφοδοσία καθώς στο εν λόγω πείραμα μας ενδιαφέρει μόνο η συμπεριφορά του Trisil σε υπερτάσεις και όχι οι υπερεντάσεις.

Στο πείραμα που υλοποιήσαμε μας ενδιέφερε η συμπεριφορά του Trisil στην ακραία περίπτωση της μόνιμης ημιτονικής υπέρτασης του δικτύου των 50Hz. Για να υλοποιήσουμε αυτή την προσομοίωση, χρησιμοποιήσαμε έναν αυτομετασχηματιστή 1kVA με εύρος τάσης 0-260V για να μπορούμε να ελέγχουμε και να ανεβάζουμε σταδιακά την τάση, και στην έξοδό του συνδέσαμε έναν μετασχηματιστή ώστε να έχουμε την δυνατότητα η συνολική τροφοδοσία να φτάνει τα 600V. Ο μετασχηματιστής που διαθέταμε ήταν τριφασικός, οπότε συνδεσμολογήσαμε κατάλληλα και χρησιμοποιήσαμε

μόνο την μία του φάση. Ο αυτομετασχηματιστής και ο μετασχηματιστής φαίνονται στα Σχήματα 5.7 και 5.8.

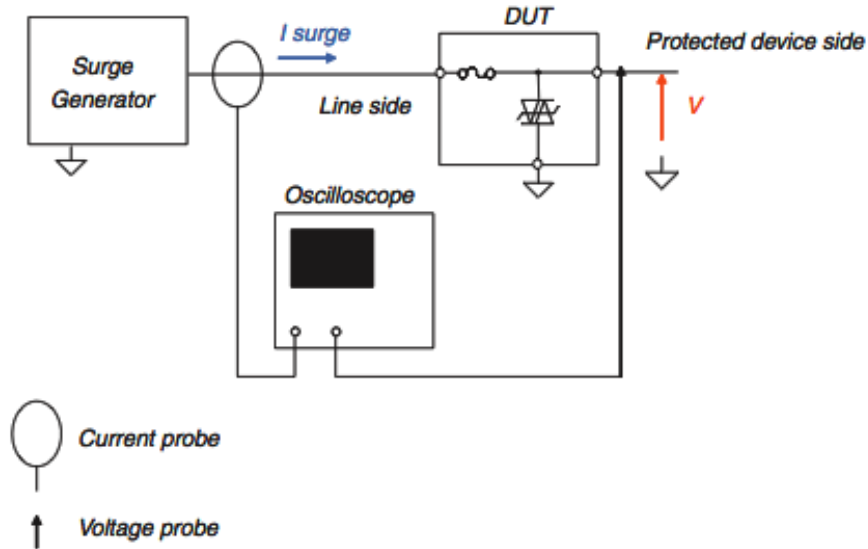


Σχήμα 5.7: Αυτομετασχηματιστής 1kVA 0-260V



Σχήμα 5.8: Μετασχηματιστής ανύψωσης

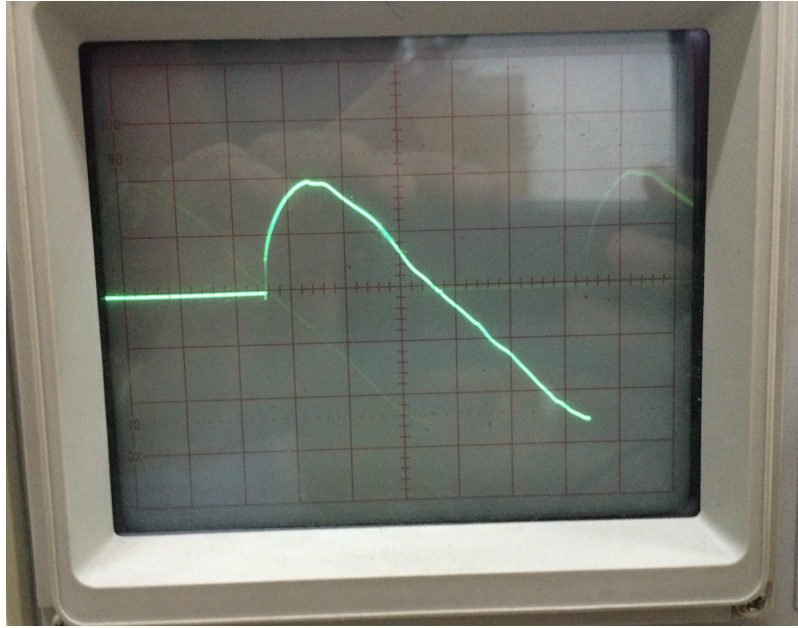
Για την εποπτική απεικόνιση της εξόδου συνδέσαμε έναν αναλογικό παλμογράφο παράλληλα με το Trisil για να μετράμε τα επίπεδα τάσης και το σημείο στο οποίο ξεκινά η έναυση του Trisil. Η συνδεσμολογία της μετρητικής διάταξης φαίνεται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9: Κυκλωματικό διάγραμμα διάταξης μετρήσεων

Ένα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε κατά την πειραματική διαδικασία ήταν η προμήθεια των Trisil. Δεν υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές και τα εργοστάσια κατασκευής τα παρέχουν μόνο σε μαζικές παραγγελίες των 2500 κομματιών. Οπότε το να βρούμε μονοψήφιο αριθμό κομματιών σε λιανική για να τα ελέγξουμε ήταν αρκετά δύσκολο και χρονοβόρο μέχρι να μας αποσταλούν απο το εξωτερικό. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα ήταν το γεγονός ότι η ίδια η εταιρία σταμάτησε να κατασκευάζει Trisil απ' τις γραμμές παραγωγής καθώς την δεδομένη χρονική περίοδο απο τον Απρίλη του 2014 μέχρι και τον Νοέμβρη του 2015 σχεδίαζε να βγάλει στην παραγωγή τα Trisil 2<sup>ης</sup> γενιάς, ανανεώνοντας τα χαρακτηριστικά του στοιχείου. Αυτό το γεγονός μας δημιούργησε μεγάλο πρόβλημα καθυστέρησης στην εκπόνηση του εργαστηριακού πειράματος. Επιπλέον η έλλειψη που υπήρχε στην αγορά δεν μας επέτρεψε να έχουμε πρόσβαση σε όλο το εύρος των διαβαθμίσεων επιπέδου τάσης του Trisil (Πίνακας 5.4) πράγμα το οποίο συνέβη και με τα Trisil 2<sup>ης</sup> γενιάς (SMP-0SCMC) καθώς δεν είχαν προλάβει ακόμη να διατεθούν στην αγορά. Οπότε αποφασίσαμε οτι θα ελέγξουμε μόνο ποιοτικά το κύκλωμά μας για την δεδομένη τιμή του Trisil που είχαμε στην διάθεση μας (SMP100LC-270) και η ποσοτική αναγωγή της τιμής για το δίκτυο μας των 230V και την ζητούμενη τάση αποκοπής των 260V θα μπορεί να υλοποιηθεί κάλλιστα με το ανάλογης τιμής Trisil καθώς ο τρόπος προστασίας του δρα πανομοιότυπα για όλες τις εκάστοτε τιμές έναυσης του στοιχείου.

Σε όλες τις επαναλήψεις των δοκιμών που κάναμε το Trisil στην ονομαστική του τάση έναυσης λειτούργησε επιτυχώς και υποβίβασε το επίπεδο της τάσης ανεξαρτήτως απο το επίπεδο της τάσης τροφοδοσίας. Στην οθόνη του παλμογράφου παρατηρήσαμε και την συμπεριφορά των διακοπτικών στοιχείων (θυρίστορ) που το απαρτίζουν. Επομένως μπορούμε να συμπεράνουμε οτι το κύκλωμά μας προσφέρει επαρκή προστασία έναντι υπερτάσεων δικτύου χαμηλής τάσης.



Σχήμα 5.10: Τάση εξόδου υπό υπέρταση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η προστασία υπερτάσεων στα δίκτυα χαμηλής τάσης είναι ένας τομέας συνεχώς εξελισσόμενος καθώς οι ανάγκες για μεθόδους προστασίας αλλάζουν συνεχώς. Η υλοποίηση της προστασίας στην χαμηλή τάση μέχρι τώρα γίνεται με απαγωγούς υπέρτασης δυο ειδών: με περιοριστές υπερτάσεων και με διακόπτες υπερτάσεων. Οι πρώτοι προσπαθούν να περιορίσουν την υπέρταση συνήθως μέσω έκλυσης θερμότητας ενώ οι δεύτεροι μέσω της ανοιχτοκύκλωσης ή βραχυκύκλωσης της γραμμής που εμφανίζεται η υπέρταση. Οι απαγωγοί που υλοποιούν τα παραπάνω είναι πολλών ειδών, με αρκετά διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά έκαστο. Λαμβάνοντας υπόψιν τα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία του καθενός από αυτά, αυτή τους η διαφορετικότητα τα καθιστά το καθένα ικανό να καλύψει και διαφορετικές ανάγκες υλοποίησης ενός επιπέδου προστασίας πριν τα εκάστοτε φορτία μας. Παρολ'αυτα, τα υπάρχοντα συστήματα προστασίας όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 3 δεν είναι ικανά να καλύψουν πλήρως όλες τις εφαρμογές των καταναλωτών είτε από την σκοπιά της παρεχόμενης προστασίας είτε από την σκοπιά του κόστους. Νέου είδους φορτία απ' την πλευρά των καταναλωτών, απαιτούν αυστηρότερα επίπεδα προστασίας που δεν μπορούν να ικανοποιηθούν με τους υπάρχοντες τρόπους. Επομένως κρίνεται αναγκαίο να υλοποιηθούν κυκλώματα που θα καλύπτουν αυτές τις νέες ανάγκες αλλά και να ανταπεξέλθουν σε τυχόν μελλοντικές απαιτήσεις.

Έναυση για την παρούσα διπλωματική ήταν η ραγδαία αλλαγή τεχνολογίας οσων αφορά τους λαμπτήρες φωτισμού δρόμων. Σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχει μια μεταστροφή στην χρήση λαμπτήρων επαγωγής ή LED οι οποίοι είναι τάξεις μεγέθους οικονομικότεροι σε κόστος λειτουργίας, κατανάλωσης και συντήρησης. Το φωτιστικό του αποτελέσμα είναι σαφώς καλύτερο καθώς και το προσδόκιμο όριο ζωής τους είναι οχταπλάσιο από τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Αυτού του είδους οι λαμπτήρες όμως χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους ένα τροφοδοτικό που αποτελείται από ψηφιακά κυκλώματα και τα οποία είναι ευαίσθητα στις υπερτάσεις του δικτύου. Οποιαδήποτε υπέρταση άνω των ανεκτών ορίων του τροφοδοτικού θα καταστρέψει ολοσχερώς το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα της εισόδου του και θα θέσει όλο το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας. Το γεγονός ότι αυτού του είδους οι λαμπτήρες συνδέονται κατά πλειοψηφία στην γραμμή τροφοδοσίας του δημοτικού φωτισμού η οποία συνδέεται απευθείας στον μετασχηματιστή παροχής ισχύος μέσης/χαμηλής τάσης, τα καθιστά υπο συνεχή κίνδυνο σε μεταβατικά φαινόμενα με αιτία κάθε χειρισμό του μετασχηματιστή. Αυτό το γεγονός θα μπορούσε σε κάθε χειρισμό να καταστρέφει και αρκετά τροφοδοτικά θέτοντας εκτός λειτουργίας τους λαμπτήρες.

Επομένως κρίνεται απαραίτητη η χρήση ενός σταδίου προστασίας από υπερτάσεις προ του κάθε τροφοδοτικού. Οι ιδιαιτερότητες που θα πρέπει να ικανοποιούνται είναι ότι θα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους, να μην χρειάζεται συντήρηση ή αντικατάσταση προ της αντικατάστασης του ίδιου του λαμπτήρα, να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση

έπειτα απο κάθε επιτυχή καταπολέμηση υπέρτασης χωρίς να σωρεύεται καταπόνηση σε αυτο με κίνδυνο γήρατος και να είναι μικρό σε όγκο για την τοποθέτηση του μέσα στο κέλυφος (σκάφη) του ίδιου του φωτιστικού σώματος.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε ένα κύκλωμα που θα καλύπτει τις άνωθεν ανάγκες αλλά και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γενικότερες εφαρμογές ως κύκλωμα προστασίας υπερτάσεων. Για την υλοποίηση του αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ως στάδιο προστασίας το στοιχείο Trisil της εταιρίας ST Microelectronics. Ανήκει στην κατηγορία των διακοπών υπέρτασης και λειτουργεί ως δυο αντιπαράλληλα θυρίστορ που πυροδοτούνται όταν η τάση στα άκρα του φτάσει μια ορισμένη τιμή που ορίζεται κατά την κατασκευή του. Συνδέεται παράλληλα στο φορτίο που θέλουμε να προστατέψουμε και σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας δεν διαρρέεται απο ρεύμα οπότε δεν επηρεάζει το κύκλωμα μας. Στην περίπτωση που εμφανιστεί υπέρταση και ξεπεράσει την τάση κατάρρευσης, το Trisil δρα ως βραχυκύκλωμα, ρίχνει την τάση στα άκρα του σε μερικά μόνο volts και το διαπερνάει όλο το ρεύμα της υπέρτασης προστατεύοντας πλήρως το κατάντι φορτίο. Μετά το πέρας την υπέρτασης επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση χωρίς να έχει υπάρξει καταπόνηση του στοιχείου. Το γεγονός ότι το Trisil είναι διπολικό το καθιστά ιδανικό για χρήση στο AC δίκτυο τροφοδοσίας. Στην ακραία περίπτωση που επέλθει καταστροφή του Trisil αυτο θα συνεχίσει να δρα ως μόνιμο βραχυκύκλωμα, επομένως συνεχίζει να προστατεύει το φορτίο.

Με πειραματικές μετρήσεις στο εργαστήριο επαληθεύσαμε αυτή την ικανότητα προστασίας που παρέχει το Trisil, επομένως μπορούμε να το θεωρήσουμε καθ' όλα ικανό για χρήση ως μεθόδου προστασίας στην ζητούμενη εφαρμογή μας.

Το κύκλωμα που σχεδιάσαμε παρέχει και στάδιο προστασίας απο υπερεντάσεις καθιστώντας το ικανό για πλήρη προστασία οποιουδήποτε φορτίου στην χαμηλή τάση. Η δυνατότητά του για χρήση διαφορετικών μέσων εν σειρά προστασίας απο υπερεντάσεις και το μεγάλο εύρος στην επιλογή της τάσης έναυσης του Trisil επιλέγοντας κάθε φορά τον κατάλληλο συνδυασμό στοιχείων για την εκάστοτε εφαρμογή, κάνει την διάταξή μας ικανή να χρησιμοποιείται σε ένα τεράστιο εύρος εφαρμογών προστασίας σε φορτία ή καταναλωτές χαμηλής τάσης. Επιπλέον θετικό στοιχείο είναι ότι το κύκλωμά μας δεν παρουσιάζει όλες τις αδυναμίες που διέθεταν οι υπάρχουσες προτάσεις προστασίας καθώς τις έχει επιλύσει, οπότε μπορούμε να το προτείνουμε και ως αντικατάσταση για την βελτίωση των υπάρχουσών κυκλωμάτων προστασίας. Το χαμηλό του κόστος που σε μαζική παραγωγή μπορεί να ξεκινά και λιγότερο απο ένα ευρώ με τρέχουσες τιμές το καθιστά και πάρα πολύ ανταγωνιστικό σε ενσωματωμένες λύσεις προστασίας απο τους ίδιους τους κατασκευαστές.

Προοπτικές για περαιτέρω εξέλιξη του κυκλώματος υπάρχουν και θα προτεινονταν. Αρχικά μια πρόταση θα ήταν το να επιλεγούν και να δοκιμαστούν οι διαφορετικοί συνδυασμοί που μπορεί να προκύψουν με την χρήση διαφορετικών εν σειρά στοιχείων προστασίας απο τις υπερεντάσεις. Τα διαφορετικά φορτία και οι διαφορετικές εφαρμογές απαιτούν και διαφορετικά επίπεδα προστασίας απο υπερεντάσεις. Η χρήση ασφαλειών τήξης, θερμίστορ, μικροαυτόματων, κ.α. θα πρέπει να μελετηθεί κατά περίπτωση ώστε να αποκτήσουμε μια ειδικότερη εικόνα στα οφέλη του καθενός. Ακόμη η τυποποίηση αυτών των κυκλωμάτων και η πιστοποίηση τους σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα θα ήταν θεμιτή



ώστε να αποκτήσουμε μια πλήρη και πιο εμπειριστατωμένη εικόνα για να προβούμε στην εμπορική διάθεση τους.

Ο τομέας της προστασίας απο υπερτάσεις των εφαρμογών χαμηλής τάσης είναι αεί εξελισσόμενος και συνεχώς νέες δημιουργούμενες απαιτήσεις απαιτούν την περαιτέρω μελέτη και εξέλιξη του εκτός του πλαισίου αυτής της διπλωματικής.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Τα τριφασικά δίκτυα διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος μπορούν να διακριθούν με βάση τον τρόπο σύνδεσης των γειώσεων. Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για αυτόν τον διαχωρισμό είναι ο ακόλουθος:

Το πρώτο γράμμα αφορά τη σχέση του συστήματος τροφοδότησης με τη γη.

1. T= άμεση σύνδεση του ουδέτερου με τη γη
2. I= όλα τα ενεργά μέρη απομονωμένα από τη γη ή ένα σημείο συνδεδεμένο με τη γη μέσω μιας σύνθετης αντίστασης σημαντικής τιμής

Το δεύτερο γράμμα αφορά τη σχέση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών της εγκατάστασης προς τη γη.

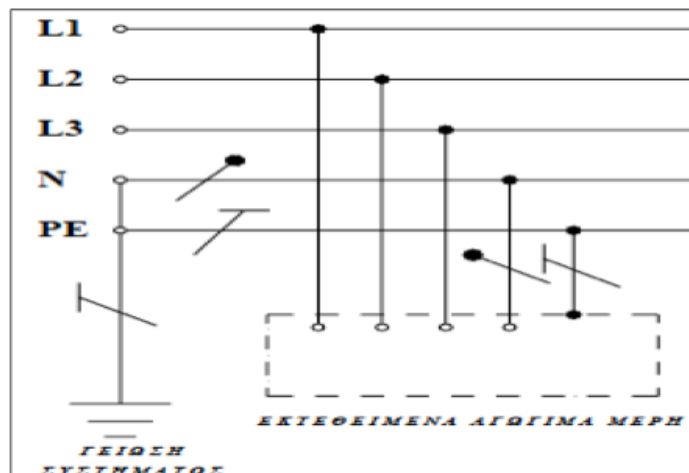
1. T=άμεση ηλεκτρική σύνδεση των εκτιθέμενων αγωγίμων μερών με τη γη, ανεξάρτητα από τη γείωση του ουδέτερου του συστήματος τροφοδότησης
2. N= άμεση ηλεκτρική σύνδεση των εκτιθέμενων αγωγίμων μερών με τον ουδέτερο του συστήματος τροφοδότησης

Το τρίτο γράμμα (αν υπάρχει) αφορά τη σχέση του ουδέτερου και του αγωγού προστασίας.

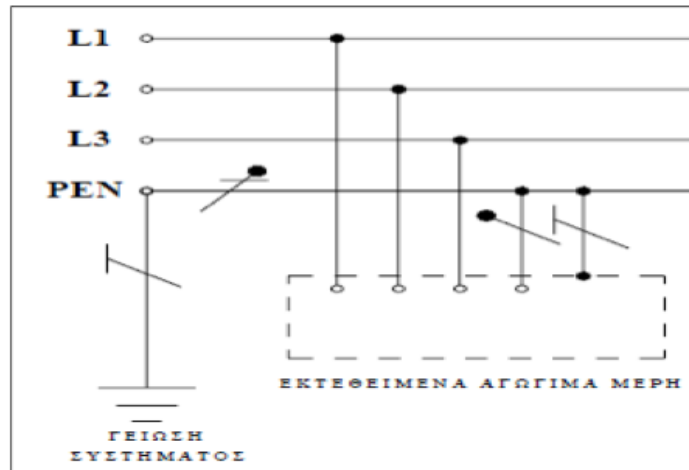
1. S= η προστασία εξασφαλίζεται από ιδιαίτερο αγωγό προστασίας διαφορετικό από τον ουδέτερο
2. C=οι λειτουργίες ουδέτερου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε έναν μόνο αγωγό (αγωγό PEN)

Τα διάφορα είδη συστημάτων διανομής που προκύπτουν από τους συνδυασμούς των παραπάνω γραμμάτων παρατίθενται σχηματικά παρακάτω.

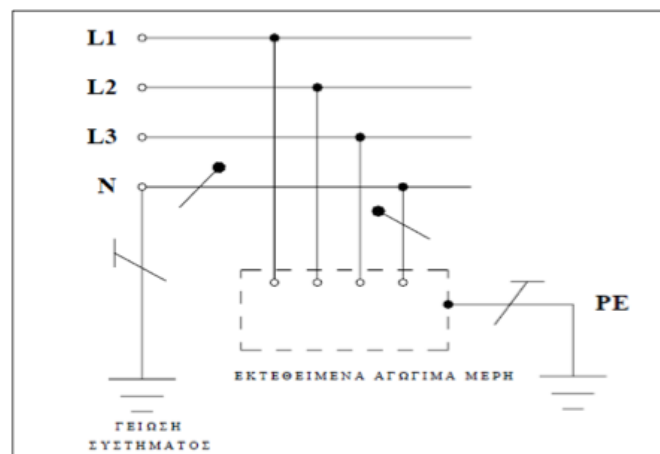
#### 1) Σύστημα TN-S



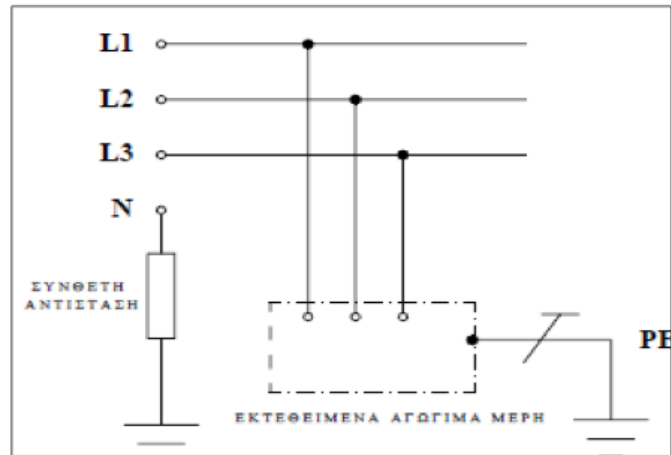
2) Σύστημα TN-C



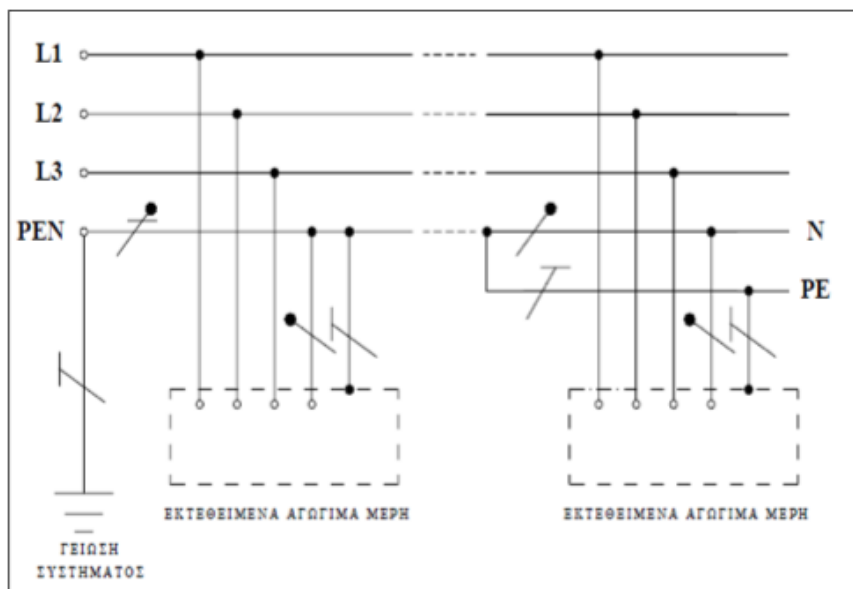
3) Σύστημα TT



4) Σύστημα IT



Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα έχει διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, όσον αφορά θέματα κόστους, ασφάλειας, αξιοπιστίας κλπ. Ανάλυση αυτών δεν είναι στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Στην Ελλάδα πάντως χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός των συστημάτων TN-S και TN-C, το σύστημα TN-C-S (συγκεκριμένα, εντός των εγκαταστάσεων έχουμε ξεχωριστό ουδέτερο και αγωγό προστασίας όπως συμβαίνει στο σύστημα TN-S, ενώ στο εξωτερικό δίκτυο διανομής έχουμε κοινό αγωγό PEN όπως συμβαίνει στο σύστημα TN-C). Αυτό το είδος δικτύου συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των άλλων δύο, καθώς είναι ασφαλές και χαμηλού κόστους.





## Βιβλιογραφία:

- [1] Μπούρκας Π.Δ. , Πολυκράτη Α.Δ. , Βιομηχανικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις Τόμος II ( Εφαρμογές βιομηχανικών ηλεκτρικών διατάξεων ) , εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα 2012
- [2] Μπούρκας Π.Δ. , Καραγιαννόπουλος Κ.Γ. , Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Διατάξεις και Υλικά , εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα 2003
- [3] Μπούρκας Π.Δ. , Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων , εκδόσεις Ε.Μ.Π. 1998
- [4] Πυργιώτη Ε. , Σχεδιασμός προστασίας κατασκευών από κεραυνούς , εκδόσεις Παν/μίου Πατρών , Πάτρα 1994
- [5] Σταθόπουλος Ι. Αθ. , Προστασία Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων από Υπερτάσεις , εκδόσεις Συμεών , Αθήνα 1989
- [6] Mohan N. , Underland T. , Robbins W. , Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος , εκδόσεις Τζιώλα , 2010
- [7] STMicroelectronics , Trisil for telecommunication equipment protection, αυτοέκδοση, 2013
- [8] Littlefuse Inc. , AN9768 – Transient Suppression Devices and Principles, αυτοέκδοση , 2011
- [9] STMicroelectronics , AN320 – Operation of a Trisil crowbar type protection diode , αυτοέκδοση , 2010
- [10] Horowitz P. , Hill W. , The art of electronics , second edition , Cambridge University Press , 1989
- [11] STMicroelectronics , Cooper Bussmann , AN2064 – Compliance of series/parallel protections for telecom CO , αυτοέκδοση , 2005