



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΩΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΠΜΣ «ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ  
ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ»

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υλοποίηση Ελέγχου, Διασύνδεσης Γραμμών  
Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με τη Χρήση  
Έξυπνων Διακοπών Φορτίου (RTU)

ΚΟΥΡΤΙΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ (Α.Μ.: ΜΤΗ43)

*Επιβλέπων*

Δρ. Καραπιδάκης Εμμανουήλ  
Αναπληρωτής Καθηγητής

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2019

---



HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

---

SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND  
COMPUTER ENGINEERING  
M.Sc. IN ADVANCED PRODUCTION SYSTEMS  
AUTOMATION AND ROBOTICS

## MASTER THESIS

# Implementation of Control and Connection Distribution Networks Using Remote Terminal Switches (RTU)

KOURTIKAKIS EMMANOUIL (R.N.: MTH43)

*Supervisor*

Dr. Karapidakis Emmanouil

HERAKLION, CRETE, GREECE

DECEMBER 2019

---

# Ευχαριστίες

Η υλοποίηση της παρούσας Μεταπτυχιακής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη συμβολή συγκεκριμένων ανθρώπων που έπαιξαν καταλυτικό ρόλο με τις ιδέες, γνώσεις και εμπειρίες τους. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Καπαπιδάκη Εμμανουήλ ο οποίος ανέλαβε να κάνει την ιδέα μου πραγματικότητα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ. Τζαγκαράκη Γεώργιο και το Δρ. Τσικαλάκη Αντώνιο για τη στήριξη τους και τις συμβουλές τους πάνω στη Μεταπτυχιακή εργασία καθώς και τον εργοδότη μου Κύριο Μικρόνη Σπυρίδων, ο οποίος μου μετέδωσε τις γνώσεις και την εμπειρία του πάνω στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω το Καθηγητή Δρ. Σφακιωτάκη Μιχαήλ ο οποίος με στήριξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και μου μετέδωσε τις γνώσεις του πάνω στα μικροϋπολογιστικά συστήματα. Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

---

# Περίληψη

Στη παρούσα μεταπτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η μελέτη δύο Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, ο σχεδιασμός ελέγχου τους με τη υλοποίηση ενός εκπαιδευτικού συστήματος Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA) χαμηλού κόστους. Το σύστημα SCADA καθώς και τα Διασυνδεδετικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας αναπαρίσταται επίσης σε μορφή μακέτας.

Τα Διασυνδεδετικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας προσφέρουν την δυνατότητα αδιάλειπτης παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας στους καταναλωτές σε περιπτώσεις που τμήματα των κεντρικών Δικτύων Διανομής έχουν υποστεί βλάβη και χρήζουν συντήρησης, είτε επιπλέον τροφοδότησης σε περιόδους αιχμής της ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η μεθοδολογία για την εκπόνηση μελέτης των Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής βασίζεται στο εγχειρίδιο «Τυποποιημένες Κατασκευές Δικτύων Διανομής» του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) και στο εγχειρίδιο «Μελέτη Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας» του Κωνσταντίνου Λαμπρόπουλου.

Το σύστημα SCADA που υλοποιήθηκε βασίζεται στη μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B σε ρόλο Master Terminal Unit (MTU), με τις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino Mega 2560 σε ρόλο Remote Terminal Units (RTU). Η επικοινωνία του MTU και των RTUs επιτυγχάνεται χάρις στο πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus TCP/IP. Για τις ανάγκες της επικοινωνίας της παρούσας εφαρμογής τοποθετήθηκαν πλακέτες επεκτάσεις (Arduino Shields) στις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες, καθώς και ηλεκτρονόμοι (Relays) αισθητήρια τάσης, ρεύματος για τον έλεγχο της μακέτας.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τύποι ανάπτυξης του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, οι τρόποι τροφοδότησης του Δικτύου Διανομής καθώς και ο σκοπός της Μεταπτυχιακής Εργασίας. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Δ.Δ), οι μετασχηματιστές, οι αγωγοί του εναέριου δικτύου διανομής, οι τύποι των στύλων με τους βραχίονες, οι μονωτήρες με τις κατηγορίες τους, ο εξοπλισμός προστασίας και ο έλεγχος του δικτύου διανομής με σύστημα SCADA. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται όλη η μεθοδολογία και η μελέτη των Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται λεπτομερώς τα εξαρτήματα του για την υλοποίηση του συστήματος SCADA, ενώ τα προγράμματα που αναπτύχθηκαν για την επικοινωνία του Raspberry Pi (MTU) με τις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino Mega 2560 (RTU) περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5. Τέλος στο Κεφαλαίο 6 παρουσιάζονται όλα τα σχόλια και τα συμπεράσματα της Μεταπτυχιακής Εργασίας.

## Λέξεις Κλειδιά

Δίκτυο Διανομής, Διεσπαρμένη Παραγωγή, SCADA, Raspberry Pi 3 Model B, Arduino.

---

# Abstract

This thesis presents the study of two Interconnecting Electricity Distribution Networks, the design of their controls with the implementation of Supervisory Control and Data Collection System (SCADA) on a maquette. The SCADA system as well as the Interconnection Electricity Distribution Networks are also represented in the form of a model.

This SCADA system is based on Raspberry Pi minicomputer platform as Master Terminal Unit (MTU) and by Arduino's microcontrollers as Remote Terminal Units (RTUs). The communication between MTU and RTUs is established by TCP/IP communication protocol. In addition, Arduino Ethernet Shield boards, Relays, voltage and current sensors have been placed on the microcontroller platforms to control the maquette.

Chapter 1 presents the distribution network, the topology of the network, the models of centralized and decentralized electricity production with their advantages and their disadvantages.

Chapter 2 describes the main components of distribution network such as the ac transformer, the materials of distribution lines, the distribution poles, the distribution line insulators and the SCADA system.

Chapter 3 shows the methodology and the design of Interconnecting Electricity Distribution Networks.

Chapter 4 analyses all the components of the SCADA system, which are Raspberry Pi 3 Model B, Arduino Uno and Mega 2560, the Arduino's Shields and their voltage and current sensors.

Finally, in Chapter 5 presents the MTU and RTUS softwares, which have been developed for the Scada system.

## Keywords

Distribution Network, Distributed Generation, SCADA, Raspberry Pi 3 Model B, Arduino.

---

# Συντομογραφίες

AAAC	All Aluminium Alloy Conductor
ACSR	Aluminium Conductor Steel Reinforced
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Δ.Δ.	Δίκτυα Διανομής
Δ.Ε.Η	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
Μ.Τ.	Μέση Τάση
Χ.Τ.	Χαμηλή Τάση
SPI	Serial Peripheral Interface
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition,

---

# Περιεχόμενα

<b>1.Το Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Εισαγωγή .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Τύποι Σχεδιασμού Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης.....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Ακτινικό Δίκτυο Διανομής (Radial Main Distribution System) .....	10
1.2.2 Βροχοειδές Δίκτυο Διανομής (Ring Main Distribution System).....	11
<b>1.3 Τροφοδότηση Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Συγκεντρωτική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	12
1.3.2 Διεσπαρμένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	12
1.3.2.1 Τύποι Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής.....	14
<b>1.4 Σκοπός - Στόχος της Μεταπτυχιακής Εργασίας .....</b>	<b>15</b>
<b>2.Εξοπλισμός Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Μετασχηματιστές.....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Αγωγοί Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης .....	17
2.1.1.1 Αγωγοί Από Χαλκό (Cu).....	17
2.1.1.2 Αγωγοί από αλουμίνιο (Al).....	18
2.1.1.3 Αγωγοί από Χάλυβα - Αλουμίνιο (ACSR).....	18
2.1.1.4 Αγωγοί από Κράματα Αλουμινίου - All Aluminium Alloy Conductor (AAAC).....	19
2.1.2 Εύλινοι Στόλοι.....	20
2.1.2.1 Τύποι Εύλινων Στόλων .....	21
2.1.3 Τσιμεντόστυλοι .....	22
2.1.4 Θεμελιώσεις Στόλων.....	24
2.1.5 Βραχίονες Στόλων - Πλαίσια .....	25
2.1.6 Επίτονοι - Αντηρίδες.....	26
2.1.7 Μονωτήρες .....	29
<b>2.2 Μέσα Ζεύξης Μέσης Τάσης .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 Ασφάλειες.....</b>	<b>31</b>
2.3.1.1 Ασφάλειες Σκόνης Μέσης Τάσης .....	31
2.3.1.2 Ασφάλειες Εκτόνωσης Μέσης Τάσης.....	32
<b>2.4 Το Σύστημα SCADA.....</b>	<b>33</b>
2.4.1 Περιγραφή του Συστημάτος SCADA.....	33
2.4.2 SCADA και HMI .....	34
2.4.3 Βασικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων SCADA.....	34
2.4.4 Πλεονεκτήματα των Συστημάτων SCADA .....	35
<b>3.Μελέτη Διασυνδεδειγμένων Γραμμών Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Εισαγωγή .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Μεθοδολογία Μελέτης Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας - Κανονισμοί.....</b>	<b>37</b>
3.2.1 Συμβολισμοί Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής.....	37
3.2.2 Υπεραστικά δίκτυα Μέσης Τάσης .....	37
3.2.3 Επιλογή Αγωγών στα Εναέρια Δίκτυα Μέσης Τάσης .....	38
3.2.4 Καθορισμός της διαβρωτικότητας των διαφόρων περιοχών.....	38
3.2.4.1 Τοποθέτηση Αγωγών με Βάση τη Περιοχή.....	39
<b>3.3 Μεθοδολογία για το Ύψος των Τοποθετούμενων Στόλων .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Απόσταση Ασφαλείας Αγωγών σε Οριζόντιο Έδαφος .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5 Μηκοτομή.....</b>	<b>40</b>
<b>3.6 Μηχανικός Υπολογισμός Γραμμής Μ.Τ.....</b>	<b>41</b>
3.6.1 Επιφορτίσεις.....	41
3.6.2 Βασικό Άνοιγμα .....	41
3.6.3 Τανύσεις.....	42

3.6.4	Κλάση Κατασκευής .....	42
3.6.5	Δυνάμεις που Εφαρμόζονται σε ένα Στύλο Μέσης Τάσης.....	43
<b>3.7</b>	<b>Υλοποίηση Μελέτης Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....</b>	<b>43</b>
3.7.1	Επιλογή Σημείων Διασύνδεσης Κεντρικών Δ.Δ. Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	44
3.7.2	Επιλογή Αγωγού Διασύνδεσης Δ.Δ. Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	44
3.7.3	Το Διασυνδεδετικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής για το R-24Π και για το R-41Π .....	44
3.7.4	Το Διασυνδεδετικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής για το R-41Π και για το R-42Π .....	44
3.7.5	Λήψεις Μετρήσεων για την Σύνταξη της Μελέτης με τη Χρήση Τοπογραφικού Οργάνου.....	45
3.7.6	Σχεδίαση Μελέτης Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	45
3.7.7	Το Ηλεκτρονικό Λογισμικό AutoCAD .....	46
<b>4.</b>	<b>Περιγραφή Πειραματικής Διάταξης.....</b>	<b>49</b>
4.1	Η Μικρουπολογιστική Πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B .....	49
4.2	Οι Μικροϋπολογιστικές Πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino 2560 .....	50
4.3	Η πλακέτα Επέκτασης Arduino Ethernet Shield .....	52
4.4	Το Αισθητήριο Εναλλασσόμενης Τάσης ZMPT101B .....	53
4.5	Το Αισθητήριο Ρεύματος ACS712-5A .....	53
4.6	Οι Ηλεκτρονόμοι (Relays) της Πειραματικής Διάταξης.....	54
4.7	Διασύνδεση Περιφερειακών με τις Μικροϋπολογιστικές Πλατφόρμες .....	55
4.8	Η Μακέτα της Πειραματικής Διάταξης.....	57
<b>5.</b>	<b>Περιγραφή Λογισμικού SCADA.....</b>	<b>59</b>
5.1	Γενική Περιγραφή .....	59
5.2	Προγραμματιστικό Περιβάλλον .....	59
5.3	Το Ηλεκτρονικό Λογισμικό MySCADA .....	60
5.4	Περιγραφή του Περιβάλλοντος του Ηλεκτρονικού Λογισμικού MySCADA .....	60
5.5	Η Επικοινωνία Arduino με το Λογισμικό MySCADA .....	63
5.5.1	Το Πρωτόκολλο Επικοινωνίας Modbus .....	63
5.6	Η Δομή των Προγραμμάτων του Συστήματος SCADA .....	63
5.6.1	Το Λογισμικό του Master Terminal Unit (MTU) .....	64
5.6.2	Το Λογισμικό των Remote Terminal Units (RTUs) .....	65
<b>6.</b>	<b>Σχόλια - Συμπεράσματα.....</b>	<b>74</b>
	Βιβλιογραφικές Πηγές .....	75
<b>Παραρτήματα.....</b>		<b>77</b>
<b>7.1</b>	<b>Παράρτημα Α: Datasheets.....</b>	<b>77</b>
7.1.1	Arduino Uno.....	77
7.1.2	Arduino Mega 2560.....	81
7.1.3	Arduino Ethernet Shield .....	85
<b>7.2</b>	<b>Datasheets .....</b>	<b>87</b>
7.2.1	ACS712 Current Sensor .....	87
7.2.2	ZMPT101B Voltage Sensor.....	89
<b>7.3</b>	<b>Παράρτημα Γ: Σχέδια Τυποποιημένων Κατασκευών Μ.Τ.....</b>	<b>90</b>
<b>7.4</b>	<b>Παράρτημα Δ: Κατασκευαστικά Σχέδια.....</b>	<b>98</b>



# **1.Το Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

## **1.1 Εισαγωγή**

*«Με τον όρο Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των οποίων αυτή φτάνει στους καταναλωτές και τους σταθμούς υποβιβασμού της τάσης οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.»[Α9]*

Το Δ.Δ. Ηλεκτρικής Ενέργειας απαρτίζεται από 1) το εναέριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και 2) το υπόγειο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το εναέριο δίκτυο έχει μικρότερο κόστος σε σχέση με το υπόγειο δίκτυο και υπάρχει ευκολία στη συντήρησή τους. Δυστυχώς το εναέριο δίκτυο απαιτεί περισσότερο χώρο και η χρήση του είναι αρκετά δύσκολη όταν οι πόλεις είναι αρκετά πυκνοκατοικημένες. Παλαιότερα οι αγωγοί των εναέριων δικτύων ήταν μόνο γυμνοί. Σήμερα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας χρησιμοποιούνται καλώδια, τόσο στη χαμηλή όσο και στη μέση τάση. Κύριος λόγος είναι ότι τα καλώδια των εναέριων δικτύων Χ.Τ. δεν κοστίζουν περισσότερο από τους γυμνούς αγωγούς, πλεονεκτούν σε σχέση με τα γυμνά, και τείνουν να εξαλειφθούν εντελώς σε όλο τον κόσμο.

Στα εναέρια δίκτυα οι υποσταθμοί Μ.Τ./Χ.Τ. έως  $400kVA$  τοποθετούνται εναέριοι, σε μονόστυλο ή σε δύοστυλο. Υποσταθμοί μεγαλύτερης ισχύος τοποθετούνται υπόγεια λόγω του όγκου που καταλαμβάνουν. Αντιθέτως το εναέριο δίκτυο κατασκευάζεται ευρέως σε αγροτικές περιοχές λόγω ότι έχουν μικρά φορτία σε σχέση με τις αστικές περιοχές. Επίσης στις αγροτικές περιοχές είναι εύκολο να εξασφαλιστούν ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ των αγωγών και των οικοδομών. Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται ως αγροτικά και εξυπηρετούν χωριά, αρδευτικές περιοχές, αγροτικές βιοτεχνικές μονάδες ή και βιομηχανικές, όταν είναι εγκατεστημένες σε αγροτικές περιοχές.

Στις πόλεις και ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές εγκαθίστανται υπόγειο Δ.Δ Μέσης Τάσης και Χαμηλής, για λόγους αισθητικής, αλλά και λόγω δυσκολίας τοποθέτησης στύλων στους οποίους να εξασφαλίζονται τα όρια ασφαλείας. Στις πόλεις οι ανάγκες τροφοδότησης είναι αρκετά μεγάλες και είναι απαραίτητη η κατασκευή μεγάλων μετασχηματιστών Μ.Τ./Χ.Τ. οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε υπόγεια πολυκατοικιών ή στο έδαφος, σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους.

## 1.2 Τύποι Σχεδιασμού Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης

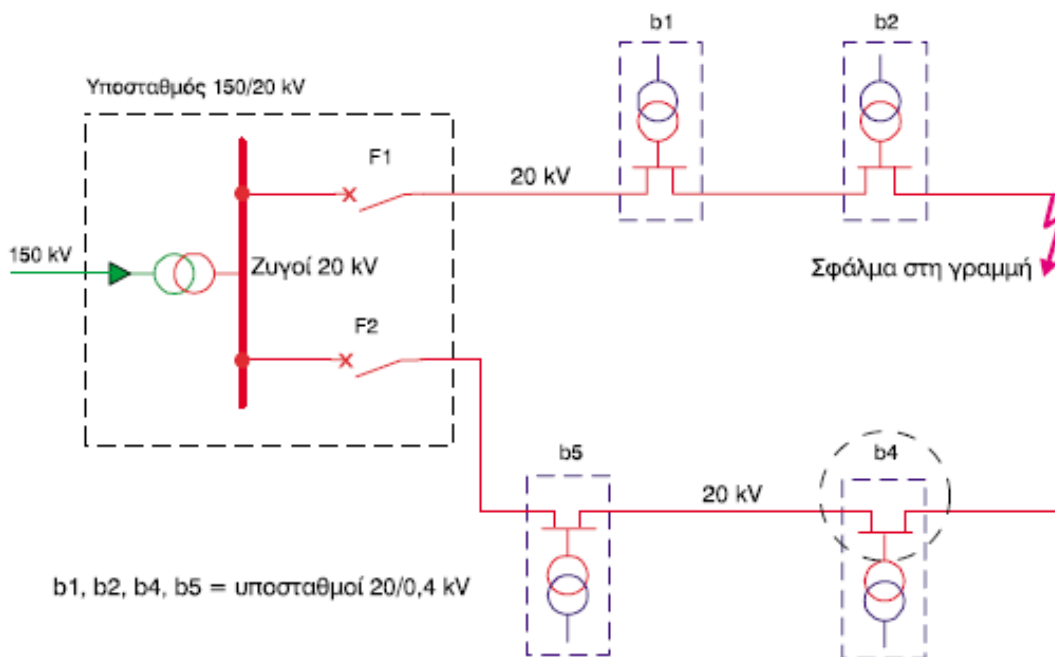
Παρουσιάζονται παρακάτω οι δύο συνήθεις τύποι ανάπτυξης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί ο ΔΕΔΔΗΕ, καθώς και τις διαφορές στην ανάπτυξη τους και στο τρόπο λειτουργίας τους.

### 1.2.1 Ακτινικό Δίκτυο Διανομής (Radial Main Distribution System)

Ο ακτινικός (ή δενδροειδής) τύπος δικτύου χρησιμοποιείται κυρίως σε εναέρια Δ.Δ. Τα ακτινικά δίκτυα αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20kV της ΔΕΗ και απλώνονται στις πόλεις ανάλογα με τη δόμηση της περιοχής και στις αγροτικές περιοχές ανάλογα με τους καταναλωτές. Κατά μήκος κάθε γραμμής συνδέονται Μ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. για τη τροφοδότηση οικιακών, αγροτικών καταναλωτών ή μικρών βιομηχανικών καταναλωτών (μέχρι 400kVA) καθώς και μεγάλων βιομηχανικών καταναλωτών Μ.Τ. Στις περιπτώσεις των καταναλωτών Μέσης Τάσης, ο καθένας διαθέτει το δικό του ιδιωτικό υποσταθμό για να μπορέσει να συνδεθεί στο δίκτυο της Μέσης Τάσης.

Κύριο μειονέκτημα των ακτινικών δικτύων είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος του δικτύου, ιδιαίτερα στο κορμό του δικτύου, ο διακόπτης ισχύος (circuit-breaker) F1 που υπάρχει στον υποσταθμό να ανοίξει με συνέπεια όλο το ακτινικό δίκτυο να μην τροφοδοτείται. Για να αυξηθεί η αξιοπιστία στα ακτινικά δίκτυα τροφοδοτούνται πολλές φορές από ένα δευτερεύον Υ/Σ και σε αρκετά τμήματα του κορμού να εγκαθίστανται διακοπτικά στοιχεία. Με αυτό τον τρόπο το σφάλμα του δικτύου μπορεί να απομονωθεί και να τροφοδοτείται μόνο το υγιές τμήμα του.

Στην περίπτωση εγκαταστάσεων με σημαντικές καταναλώσεις τα οποία δεν πρέπει να μείνουν πολύ χρόνο εκτός τροφοδότησης, (όπως νοσοκομεία, αεροδρόμια, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, βαριές βιομηχανίες κτλ.) η αδιάληπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζεται με τη εγκατάσταση δευτερεύουσας τροφοδότησης, ακόμα και ιδιωτικής, από διαφορετικό υποσταθμό. Επίσης, σε περιπτώσεις που η διπλή τροφοδότηση είναι δεν είναι εφικτή η εγκατάσταση μπορεί να εξασφαλιστεί με τη χρήση ιδιωτικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια τα κρίσιμα φορτία της εγκατάστασης, μέχρι την διόρθωση της βλάβης και την επαναφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

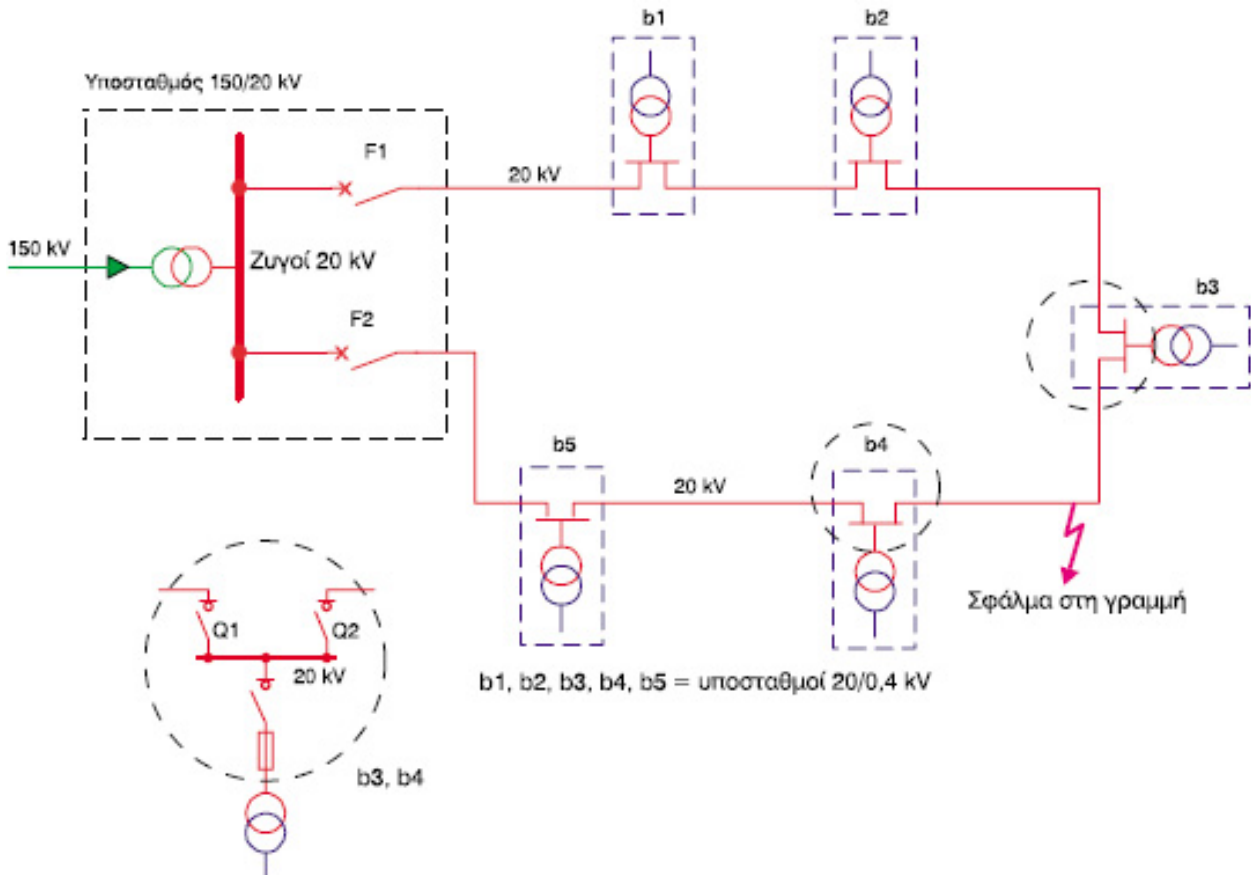


Σχήμα 1. Ακτινικό Δίκτυο Διανομής.[A14]

### 1.2.2 Βροχοειδές Δίκτυο Διανομής (Ring Main Distribution System)

Το Βροχοειδές δίκτυο διανομής συναντάται συνήθως στα υπόγεια δίκτυα διανομής Μ.Τ. Ένα βροχοειδές δίκτυο αναχωρεί από τον υποσταθμό Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. και στο τέλος καταλήγει πάλι στον ίδιο ζυγό του υποσταθμού. Παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία λόγω του ότι τροφοδοτείται από δύο σημεία του υποσταθμού Υ.Τ./Μ.Τ.

Σε περίπτωση βλάβης σε κάποιο τμήμα του βροχοειδούς δικτύου απομονώνεται μόνο το τμήμα που έχει σφάλμα (λειτουργούν σαν δύο ακτινικά δίκτυα) ανοίγοντας τους δύο διακόπτες τροφοδότησης που βρίσκονται στους Υ/Σ και συνεχίζουν οι Υ/Σ να τροφοδοτούνται κανονικά με ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 2. Βροχοειδές Δίκτυο Διανομής.[A14]

### 1.3 Τροφοδότηση Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Παρακάτω αναλύονται οι τρόποι τροφοδότησης του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας οι οποίοι χωρίζονται σε Συγκεντρωτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και Διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 1.3.1 Συγκεντρωτική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Συγκεντρωτική παραγωγή ορίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως από μεγάλες μονάδες. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από το δίκτυο μεταφοράς προς το δίκτυο διανομής και εν συνεχεία διοχετεύεται στους καταναλωτές.

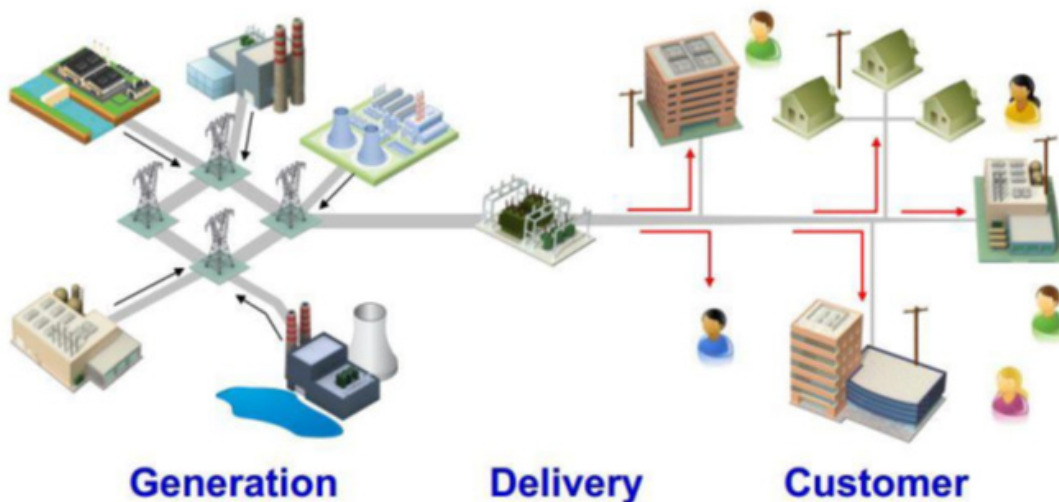
Παρακάτω αναλύονται τα οφέλη και τα μειονεκτήματα της συγκεντρωτικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

#### Οφέλη Συγκεντρωτικής Παραγωγής

- Παρέχει σταθερή συχνότητα στο δίκτυο.
- Παραμένει σταθερή η τάση δικτύου.

#### Μειονεκτήματα Συγκεντρωτικής Παραγωγής

- Μεγάλο κόστος κατασκευής νέων μονάδων ηλεκτρικής ή συντήρησης των ήδη υπαρχών μονάδων.
- Απαιτείται μεγάλο μήκος γραμμών μεταφοράς για να φτάσει η ηλεκτρική ενέργεια στο καταναλωτή που έχει σαν συνέπειες την ανάγκη ακριβού εξοπλισμού μεταφοράς όπως είναι πυλώνες μονωτήρες και Υ/Σ και η δημιουργία μεγάλων θερμικών απωλειών.



Σχήμα 3. Συγκεντρωτική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.[A13]

### 1.3.2 Διεσπαρμένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και ιδιαίτερα στο τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) βοήθησε στην μετάβαση από το μοντέλο της συγκεντρωτικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπήρχε τα προηγούμενα χρόνια στο μοντέλο της διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διεσπαρμένη παραγωγή είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρότερες μονάδες παραγωγής, με ισχύ μερικών kW, σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής και μπορούν να διασυνδεθούν σε όλα τα τμήματα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

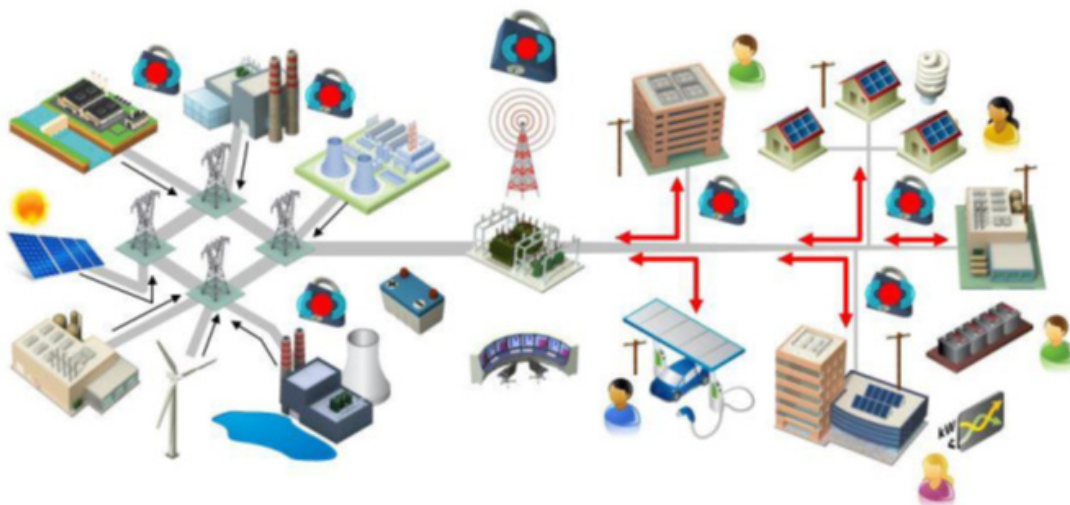
Παρακάτω αναλύονται τα οφέλη καθώς και τα μειονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

### Οφέλη Διεσπαρμένης Παραγωγής

- Μείωση χρήσης συμβατικών καυσίμων (όπως πετρέλαιο, λιγνίτης) σε περίπτωση που οι μονάδες παραγωγής είναι με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Αναβολή μελέτης και εγκατάστασης νέων μονάδων παραγωγής για την κάλυψη της ολοένα και αυξανόμενης ζήτησης.
- Γρήγορος χρόνος εγκατάστασης μια μικρής μονάδας παραγωγής.
- Σχετικά εύκολη εύρεση σημείου εγκατάστασης μικρής μονάδας παραγωγής (π.χ. φ/β σε μια στέγη ή σε ένα δώμα μίας οικίας).
- Μείωση επέκτασης νέων δικτύων και μείωση απωλειών μεταφοράς του δικτύου λόγω ότι η μονάδα παραγωγής είναι εγκατεστημένη κοντά στα φορτία.
- Παροχή εφεδρείας σε περιόδους απώλειας ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας λόγω της εγκατάστασης και συντήρησης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.
- Αποσυμφόρηση των δικτύων διανομής σε περιόδους μεγάλης ζήτησης.

### Μειονεκτήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής

- Το κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας μπορεί να είναι χαμηλό αλλά το κόστος εγκατεστημένη ισχύος είναι αρκετά υψηλό σε σύγκριση με τις μεγάλες μονάδες παραγωγής.
- Τα τάση του δικτύου των μονάδων δεν είναι τόσο σταθερή σε σχέση με τις μεγάλες μονάδες παραγωγής.
- Σε αρκετές περιπτώσεις εισάγονται αρμονικές στο δίκτυο από το ηλεκτρονικό ισχύος τους.
- Δύσκολη πρόβλεψη παραγωγής από μονάδες με ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά).



Σχήμα 4. Διεσπαρμένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.[A13]

### 1.3.2.1 Τύποι Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής

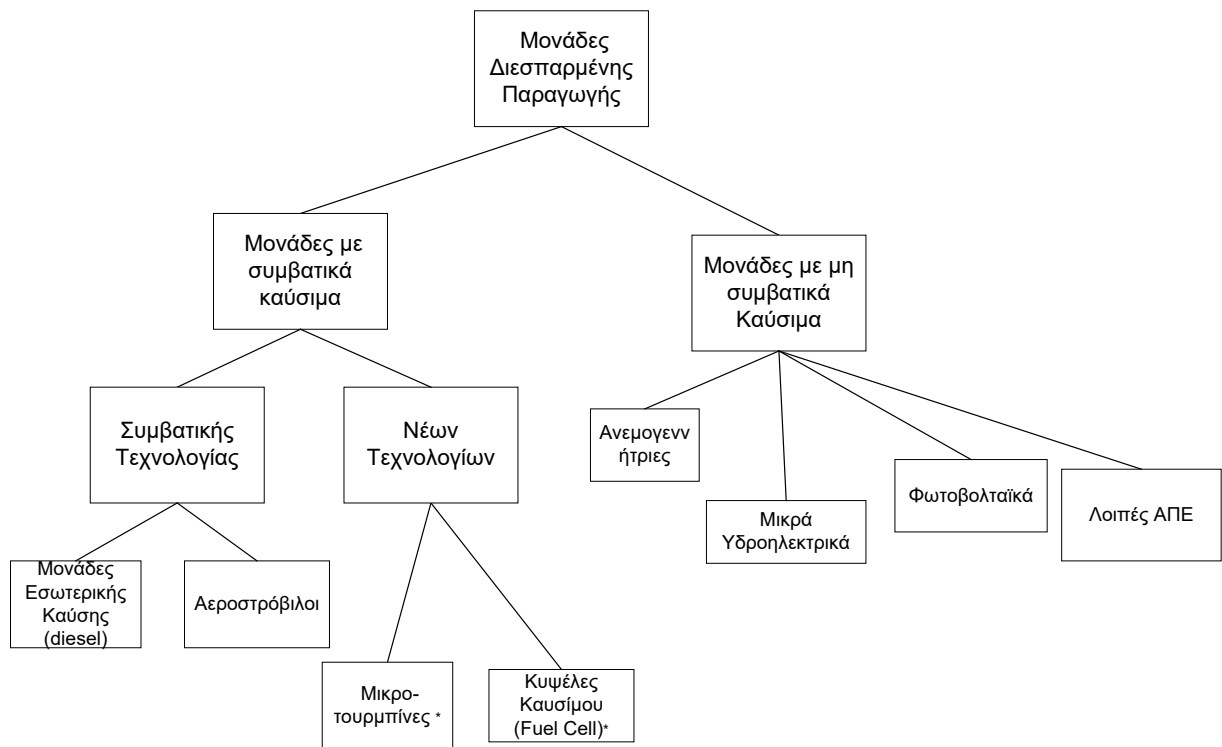
Η Διεσπαρμένη Παραγωγή Περιλαμβάνει χωρίζεται σε δυο βασικές κατηγορίες, οι μονάδες με συμβατικά καύσιμα και οι μονάδες με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω:

#### Μονάδες με Συμβατικά Καύσιμα

- Συμβατικής Τεχνολογίας
  - i. Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Εσωτερικής Καύσης
  - ii. Αεροστρόβιλοι
- Νέων Τεχνολογιών
  - i. Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Μικροτουρμπίνες
  - ii. Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Κυψέλες Καυσίμου

#### Μονάδες με Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας

- Ανεμογεννήτριες
- Μικρές Υδροηλεκτρικές Μονάδες
- Φωτοβολταϊκά
- Λοιπές ΑΠΕ
  - i. Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Βιομάζα
  - ii. Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Γεωθερμία



Σχήμα 5. Οι Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής.[A13]

## 1.4 Σκοπός - Στόχος της Μεταπτυχιακής Εργασίας

Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής εργασίας είναι η υλοποίηση περαιτέρω ελέγχου στο δίκτυο διανομής Μέσης Τάσης (Μ.Τ.). Οι λόγοι που οδήγησαν στο περαιτέρω έλεγχο είναι πως οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής καταλαμβάνουν ολοένα και περισσότερο μέρος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποίες πολλές φορές εγκαθίσταται στο δίκτυο χωρίς κανένα έλεγχο, ιδιαίτερα στο δίκτυο διανομής της Ελλάδας, και αναφέρεται στη βιβλιογραφία με τον όρο «*Fit and forget*»[A17]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στον έλεγχο του δικτύου, την αναβολή εγκατάστασης νέων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και συνέχιση χρήσης των ρυπογόνων συμβατικών μονάδων παραγωγής. Ακόμα, η ανάγκη ελέγχου στο Δ.Δ. είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις που τμήματα των κεντρικών Δικτύων Διανομής έχουν υποστεί βλάβη και χρήζουν συντήρησης να μπορούν απομονωνόμενοι και άλλα τμήματα να συνεχίσουν να τροφοδοτούνται, είτε επιπλέον τροφοδότησης σε περιόδους αιχμής της ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στόχος είναι η υλοποίηση ελέγχου και καταγραφής δεδομένων ενός εκπαιδευτικού συστήματος SCADA χαμηλού κόστους (Low-Cost), του οποίου τα χαρακτηριστικά του θα αναλυθούν παρακάτω. Επίσης, υλοποιείται μια μελέτη διασυνδεδεμένων Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και συγκεκριμένα με το εναέριο δίκτυο της Μ.Τ. Ο λόγος είναι ότι το εναέριο δίκτυο σε περίπτωση βλάβης δεν μπορεί να τροφοδοτηθεί από δεύτερο σημείο όπως το βρογχοειδές που αναφέρθηκε παραπάνω. Η εργασία δεν ασχολείται με το δίκτυο της Χ.Τ. διότι τα προβλήματα του δικτύου της Χ.Τ δεν είναι τόσο σοβαρά και δεν επηρεάζουν μεγάλη μερίδα καταναλωτών σε σχέση με το δίκτυο της Μ.Τ. Αποτέλεσμα της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η βελτίωση του δείκτη αξιοπιστίας Ηλεκτρικής Ενέργειας προς στους καταναλωτές.

## **2.Εξοπλισμός Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Δ.Δ). Στο δίκτυο διανομής περιλαμβάνονται οι Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. των  $20/0,4kV$ , οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί, οι τύποι των στύλων με τους βραχίονες, οι μονωτήρες και οι τύποι τους, ο εξοπλισμός προστασίας και ο τρόπος ελέγχου του δικτύου και αναφέρονται παρακάτω:

### **2.1 Μετασχηματιστές**

Κύριο στοιχείο των Δ.Δ είναι οι μετασχηματιστές (Μ/Σ). Τοποθετούνται κατά μήκος του δικτύου Μ.Τ. και τη μετασχηματίζουν έτσι ώστε να τροφοδοτηθούν οι καταναλωτές της Χ.Τ. Ιδανική τοποθέτηση τους είναι στο κέντρο των καταναλώσεων της Χ.Τ. για μικρότερη πτώση τάσης και μικρότερο μήκος των αγωγών.

Οι μετασχηματιστές των Δ.Δ έχουν λόγο μετασχηματισμού  $20/0,4kV$  ή  $15-20/0,4kV$  και παλαιότερα σε  $15/0,4kV$ . Η συνδεσμολογία τους είναι τρίγωνο σε αστέρα και χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μεγέθη σε kVA :  $50-75-100-150-160-200-250-400-630-1000$ . Τα μεγέθη από  $50-100kVA$  τοποθετούνται σε μονόστυλα (τυποποιημένη κατασκευή δικτύου διανομής T-5), ενώ από  $150-630kVA$  τοποθετούνται σε δίστυλα (τυποποιημένη κατασκευή διανομής T-17). Στα αστικά κέντρα οι Μ/Σ τοποθετούνται συνηθώς σε υπόγεια πολυκατοικιών ή τοποθετούνται Μ/Σ Compact σε πλατείες με μεγέθη  $630kVA$  και  $1000kVA$ .

Συνηθισμένος τύπος Μ/Σ που χρησιμοποιούνται από το ΔΕ.Δ.Δ.Η.Ε είναι οι Μετασχηματιστές τύπου ελαίου και χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- Μετασχηματιστές με φυσική κυκλοφορία λαδιού και φυσική κυκλοφορία αέρα.
- Μετασχηματιστές με φυσική κυκλοφορία λαδιού και εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα.
- Μετασχηματιστές με εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού και εξαναγκασμένη φυσική κυκλοφορία αέρα.





Σχήμα 6. Μετασχηματιστής Δικτύου Διανομής.

### **2.1.1 Αγωγοί Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης**

Οι συνηθισμένοι τύποι αγωγών που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής αναφέρονται παρακάτω:

- Αγωγοί από χαλκό και κράματα χαλκού
- Αγωγοί από αλουμίνιο
- Αγωγοί από χαλύβδινους κλώνους επικαλυμμένα με κλώνους αλουμινίου
- Αγωγοί ανθεκτικά κράματα αλουμινίου

#### **2.1.1.1 Αγωγοί Από Χαλκό (Cu)**

Οι χάλκινοι αγωγοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη αγωγιμότητα και είναι εύκολη η παραγωγή τους. Κύριο μειονέκτημα τους είναι το μεγάλο βάρος του σε σχέση με τους αλουμινένιους αγωγούς κατασκευή. Επίσης παρουσιάζουν αντοχή απέναντι στο θαλασσινό αλάτι και έτσι τοποθετείται στα Δ.Δ που βρίσκονται αρκετά κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Οι χάλκινοι αγωγοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: μαλακής μέσης και σκληρής έλκυσης. Είναι αγωγοί ευλύγιστοι και ανθεκτικοί στο σπάσιμο ακόμη και σε σημαντικές μηχανικές καταπονήσεις.



Σχήμα 7. Αγωγός Από Χαλκό.

### 2.1.1.2 Αγωγοί από αλουμίνιο (Al)

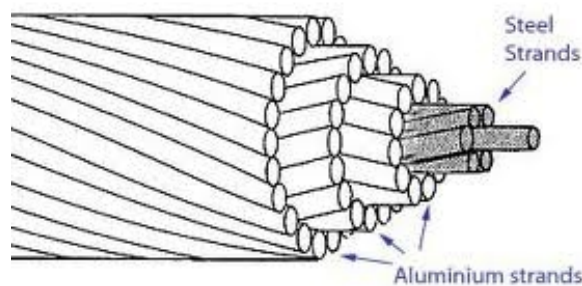
Οι αλουμινένιοι αγωγοί είναι τρεις φορές ελαφρύτεροι σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς και έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής. Βασικά μειονεκτήματά τους ότι έχουν 60% μικρότερη αγωγιμότητα και 50% μικρότερη μηχανική αντοχή από τους χάλκινους αγωγούς.

Το αλουμίνιο σε περιοχές με φυσιολογική διαβρωτικότητα εμφανίζει πάνω του μόνο μία επιφανειακή οξείδωση. Όμως σε μέρη όπου υπάρχει έντονη διαβρωτικότητα όπως στις παραθαλάσσιες περιοχές και σε απόσταση μέχρι 10Km το αλουμίνιο παρουσιάζει έντονη διάβρωση από το αλάτι. Για αυτό το λόγο τοποθετούνται μακριά από τη θάλασσα.

### 2.1.1.3 Αγωγοί από Χάλυβα – Αλουμίνιο (ACSR)

Το πρόβλημα της μηχανικής αντοχής των αλουμινένιων αγωγών αντιμετωπίζεται με τους Αγωγούς Χάλυβα – Αλουμινίου ή ACSR. Οι αγωγοί αποτελούνται εσωτερικά από χαλύβδινο πολύκλωνο πυρήνα και εξωτερικά από αγωγούς αλουμινίου. Ο χαλύβδινος πυρήνας παρέχει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή και το αλουμίνιο παρέχει ροή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι αγωγοί ACSR διαθέτουν 50% περισσότερη μηχανική αντοχή από τους χάλκινους αγωγούς και είναι 20% λιγότερο βάρος για ισοδύναμη διατομή τους με τους χάλκινους αγωγούς. Τοποθετούνται ευρέως στα δίκτυα Μ.Τ. σε μεγάλα ανοίγματα μεταξύ των στύλων. Επίσης είναι αρκετά οικονομικοί στην κατασκευή τους.



Σχήμα 8. Ο Αγωγός ACSR.[A16]

Ο χαρακτηρισμός της διατομής στους αγωγών ACSR ή αλουμινίου ή ACCC που θα δούμε παρακάτω, δίνεται ως η ισοδύναμη διατομή των χάλκινων αγωγών. Είναι η διατομή που θα είχε ένας από τους αγωγός που αναφέρθηκαν παραπάνω, αν παραγόταν από αποκλειστικά και μόνο από χαλκό.

#### 2.1.1.4 Αγωγοί από Κράματα Αλουμινίου - All Aluminium Alloy Conductor (AAAC)

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί και τοποθετούνται στα Δ.Δ. αγωγοί από κράματα αλουμινίου με πρόσμιξη μετάλλων όπως είναι το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος και το πυρίτιο. Οι αγωγοί από κράματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή χωρίς τοποθέτηση χαλύβδινου πυρήνα στο εσωτερικό τους από τους αλουμινένιους και έχουν αγωγιμότητα σχεδόν η ίδια με τους αλουμινένιους αγωγούς. Ο ΔΕΔ.Δ.ΗΕ χρησιμοποιεί αγωγούς κραμάτων αλουμινίου κυρίως στις δίκτυα Μ.Τ.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΥΜΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ				
Διατομή Αγωγών (mm <sup>2</sup> )	Βάρος (kg)	Διάμετρος (mm)	Κλώνοι (mm)	Φορτίο Θραύσεως (kg)
<b>ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΨΥΧΗ (ACSR)</b>				
16	0,102	6,96	6Al/1St/2,32	950
35	0,224	10,32	6Al/1St/3,44	2000
50	0,321	12,33	6Al/1St/4,11	2800
95	0,609	17,24	26/2,72Al + 7/2,12St	5650
<b>ΑΓΩΓΟΙ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (AAAC)</b>				
35	0,098	7,50	7 / 2,50	980
70	0,189	10,50	19 / 2,10	1880
95	0,269	12,50	19 / 2,50	2670
185	0,525	17,50	37 / 2,50	5170
<b>ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (Al)</b>				
16	0,074	6,63	7/2,21	470
35	0,158	9,66	7/2,21	940
50	0,229	11,75	7/2,21	1442
70	0,320	13,90	7/2,21	2018
<b>ΑΓΩΓΟΙ ΧΑΛΚΟΥ (Cu)</b>				
16	0,144	5,13	7/1,71	739
35	0,315	7,59	7/2,53	1566
50	0,453	9,20	19/1,83	2299
70	0,634	10,70	19/2,17	3162
<p><b>Σημείωση:</b> Οι διατομές αγωγών ACSR και Al είναι ισοδύναμοι του Χαλκού (Cu). Οι διατομές των αγωγών Χαλκού και AAAC είναι πραγματικές. Η ανοχή του βάρους των αγωγών είναι +2% .</p>				

## 2.1.2 Ξύλινοι Στόλοι

Οι Ξύλινοι Στόλοι είναι από τα σημαντικότερα τμήματα των Δ.Δ. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες οι οποίες το μήκος του στόλου, κυμαίνονται από 10 μέτρα έως 15 μέτρα και στη αντοχή σχέση τη διάμετρο του στόλου και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες που είναι Ελαφρύς, Μεσαίος και Βαρύς.

Όριο Θραύσεως Ξύλινων Στόλων	
Το Μέγιστο Φορτίο Θραύσεως των Στόλων Όταν Εφαρμόζεται σε Απόσταση 0,25m Από τη Κορυφή:	
Ελαφρύς Στόλος	500kg
Μεσαίος Στόλος	825kg
Βαρύς Στόλος	1250kg

Σχήμα 10. Πίνακας Ορίων Θραύσεως Ξύλινων Στόλων.[A1]

- **Πλεονεκτήματα Ξυλινών στόλων**

Οι Ξύλινοι Στόλοι υπερτερούν σημαντικά σε σχέση με τους Τσιμεντόστυλους στη κατασκευή υπεραστικών γραμμών Μέσης Τάσης και ιδιαίτερα σε ανώμαλα εδάφη γιατί είναι ελαφρότεροι, η τοποθέτησή τους είναι ευκολότερη και έχουν καλύτερη μηχανική συμπεριφορά σε σχέση με του Τσιμεντόστυλους.

- **Σήμανση Ξυλινών Στόλων**

Κάθε Ξύλινος Στόλος διαθέτει στοιχεία τα οποία δηλώνουν διαφορά χαρακτηριστικά του όπως είναι το μήκος του, τη κατηγορία του και τυπώνονται πάνω σ αυτούς με τη μέθοδο της πυρογραφίας. Τα στοιχεία αυτά χωρίζονται σε τέσσερις γραμμές βρίσκονται κάτω από την πινακίδα επισήμανσης «Κίνδυνος Θάνατος» ή «ΔΕΗ» και παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω:

- Γραμμή 1<sup>η</sup>
  - Αριθμός που δείχνει το μήκος του στόλου σε Μέτρα.
  - Γράμμα κεφαλαίο του Λατινικού ή του Ελληνικού αλφάβητου που δείχνει τη κατηγορία του στόλου.
  - Δυο γράμματα του λατινικού αλφάβητου που δείχνουν το είδος του ξύλου.
- Γραμμή 2<sup>η</sup>
  - Κεφαλαίο γράμμα του Λατινικού αλφάβητου που δείχνει το είδος του εμποτισμού
  - Μήνας εμποτισμού
  - Έτος εμποτισμού
- Γραμμή 3<sup>η</sup>
  - Το όνομα του προμηθευτή
- Γραμμή 4<sup>η</sup>
  - Εργαστήριο εμποτισμού

### **2.1.2.1 Τύποι Ξύλινων Στύλων**

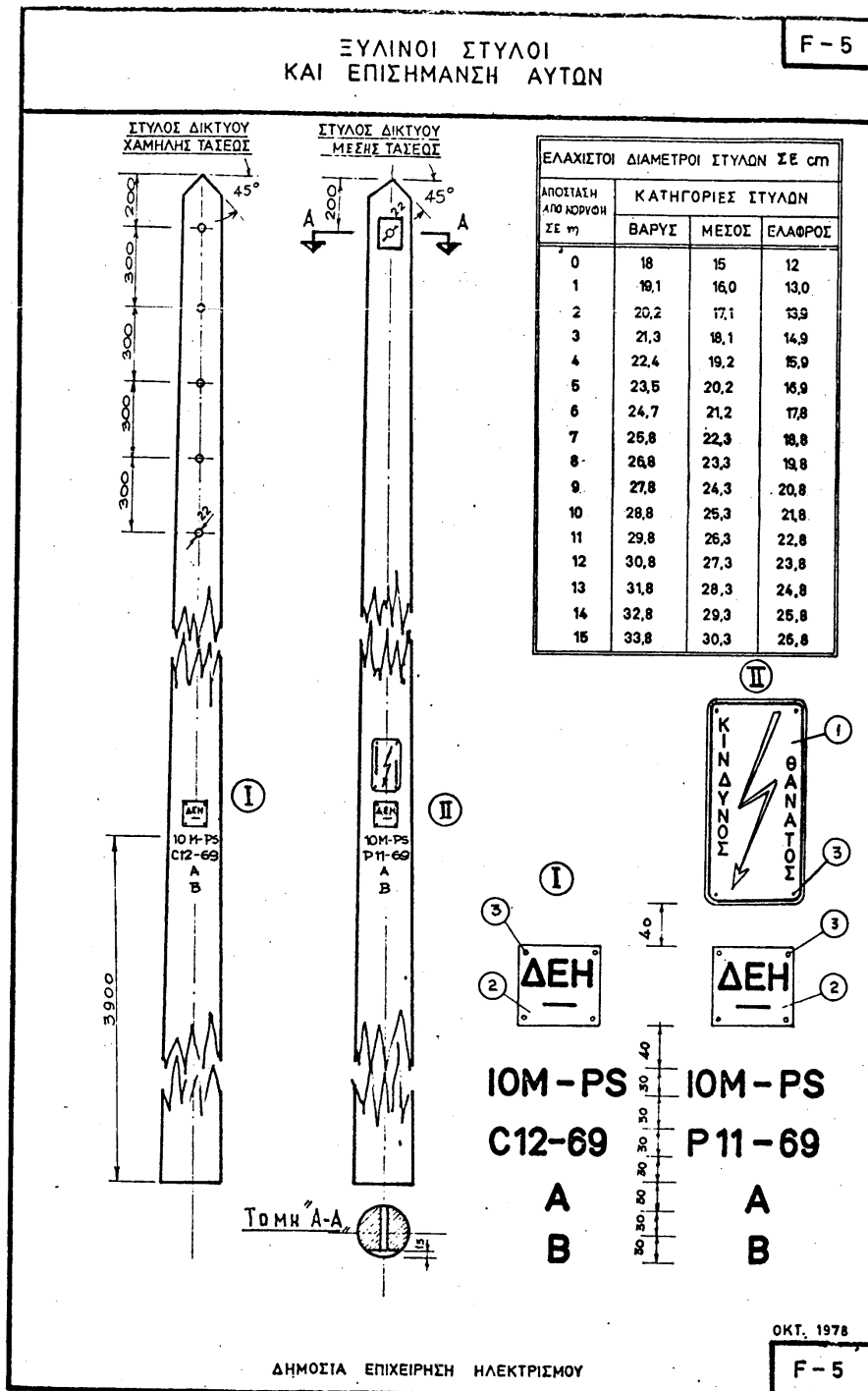
Οι Ξύλινοι Στύλοι χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το είδος το δέντρου από το οποίο έχουν προέρθει και είναι οι παρακάτω:

- Μαύρη Πεύκη (*Pinus Nigra*)
- Δασική Πεύκη (*Pinus Silvestris*)
- Λιμναία Πεύκη (*Pinus Salustris*)
- Νότια Πεύκη (*Southern Pine*)
- Κεφαλληνιακή Ελάτη (*Abies Cefalonica*)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η πρώτη γραμμή της σήμανσης του Στύλου αναφέρει το είδος του δέντρου από το οποίο παράχθηκε, παραδειγματος χάριν ένας στύλος από μαύρη Πεύκη έχει τα σύμβολα PN.

ΞΥΛΙΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ  
ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΑΥΤΩΝ

F - 5



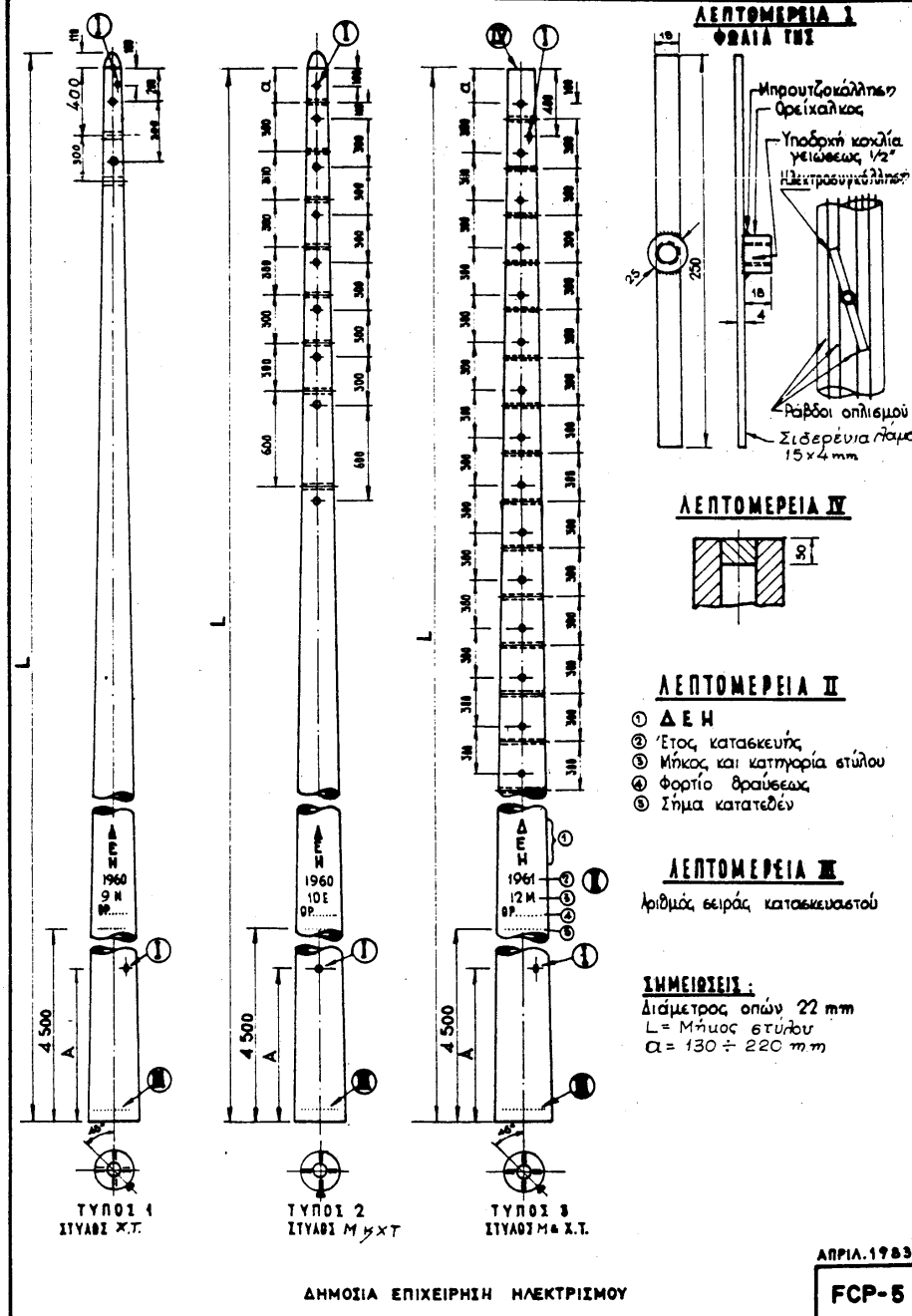
Σχήμα 11. Στοιχεία Ξύλινων Στόλων. [A1]

2.1.3 Τσιμεντόστυλοι

Οι Τσιμεντόστυλοι κατασκευάζονται κυρίως με τη μέθοδο της φυγοκέντρισης. Μέσα σε ειδικό καλούπι τοποθετείται ο σιδερένιος οπλισμός και κατόπιν μπετόν. Έπειτα το καλούπι υφίσταται τη διαδικασία της φυγοκέντρισης για τη κατασκευή του Τσιμεντόστυλου. Κύριο πλεονέκτημα των τσιμεντόστυλων είναι η ανοχή σε οριζόντιες και κατακόρυφες δυνάμεις κάτω που τον κάνει κατάλληλο για χρήση σε περιοχές που είναι αδύνατο να τοποθετηθεί επίτονος ή αντηρίδα. Βασικά μειονεκτήματα τους είναι το μεγάλο κόστος αγοράς του από τους ξύλινους, έχουν μεγαλύτερο βάρος σε σχέση με τους ξύλινους και είναι απαραίτητη ειδικού τύπου θεμελίωση (σκυρόδεμα, πλάκες από σκυρόδεμα) για τη τοποθέτησή τους.

ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΙ ΣΤΥΛΟΙ  
ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΑΥΤΩΝ

FCP-5



Σχήμα 12. Στοιχεία Τσιμεντόστολων.[A1]

Κατηγορία Στύλων	Σύμβολο	Φορτίο Θραύσεως (kg)	Μέγιστη Διάμετρος Κορυφής (cm)	Αύξηση Διαμέτρου (cm/m)
Νάνος	N	380	12,5	1,5
Ελαφρύς	E	600	14,5	1,5
Μεσαίος	B	1200	17,5	1,5
Βαρύς	ΛΒ	2550	26,5	1,5

Εξαιρετικά Βαρύς	ΕΒ	3800	26,5	1,5
Γολιάθ	Γ	6600	35,5	1,5

Σχήμα 13. Κατηγορίες Τοιμεντόστλων.[Α1]

## 2.1.4 Θεμελιώσεις Στύλων

Στους στύλους του Δ.Δ. εφαρμόζονται οριζόντιες και κατακόρυφες δυνάμεις στη κορυφή από τους αγωγούς. Η κατάλληλη θεμελίωση ανάλογα με τη ποιότητα του εδάφους στην εκάστοτε περιοχή, εξασφαλίζει τη σταθερότητα του στύλου στο σημείο που βρίσκεται στο έδαφος λόγω των μηχανικών δυνάμεων που είναι δυνατόν να υποστεί. Η ποιότητα του εδάφους κατηγοριοποιείται στο πίνακα παρακάτω:

Φτωχό Έδαφος	Κανονικό Έδαφος	Καλό Έδαφος	Βραχώδες Έδαφος
Μαλακή Άργιλος	Συνεκτική Ξηρή Άργιλος	Συμπυκνωμένοι Χονδρόκοκκοι Χάλικες	Ημίσκληρος Βράχος
Υγρή Άργιλος	Συνεκτικός Ξηρός Πηλός	Στρωσιγενή Πετρώματα, Άργιλος	Σκληρός Βράχος
Μαλακή Υγρή Άμμος	Συνεκτική Ξηρή Λεπτόκοκκος Άμμος	Μαλακός Βράχος	
Ξηρή Άργιλος με Λεπτόκοκκη Άμμο	Συνεκτική Χονδρόκοκκη Άμμος	Χάλικες και Άμμος Καλά Αναμιγμένοι	
Στρώσεις Αργίλου και Άμμου	Συμπιεσμένοι Σκληροί Χάλικες	Καλοί Αμμοχάλικες	
		Σκληρός Αργιλικός Σχιστόλιθος	

Σχήμα 14. Κατηγοριοποίηση Εδάφους με Βάση τα Χαρακτηριστικά του.[Α1]

Το βάθος θεμελίωσης καθορίζεται ανάλογα με τη ποιότητα του εδάφους καθώς και των δυνάμεων που επενεργούν στη κορυφή του στύλου.

Μήκος Στύλου σε Μέτρα	Έδαφος											
	Φτωχό Έδαφος			Κανονικό Έδαφος			Καλό Έδαφος			Βραχώδες Έδαφος		
	Β	Μ	Ε	Β	Μ	Ε	Β	Μ	Ε	Β	Μ	Ε
9	2,40	2,30	1,70	2,10	1,80	1,70	1,80	1,70	1,50	1,50	1,40	1,10
10	2,50	2,40	1,70	2,20	1,80	1,70	1,80	1,70	1,50	1,60	1,40	1,10
11	2,60	2,60	1,80	2,30	2,00	1,70	1,90	1,70	1,50	1,60	1,50	1,10

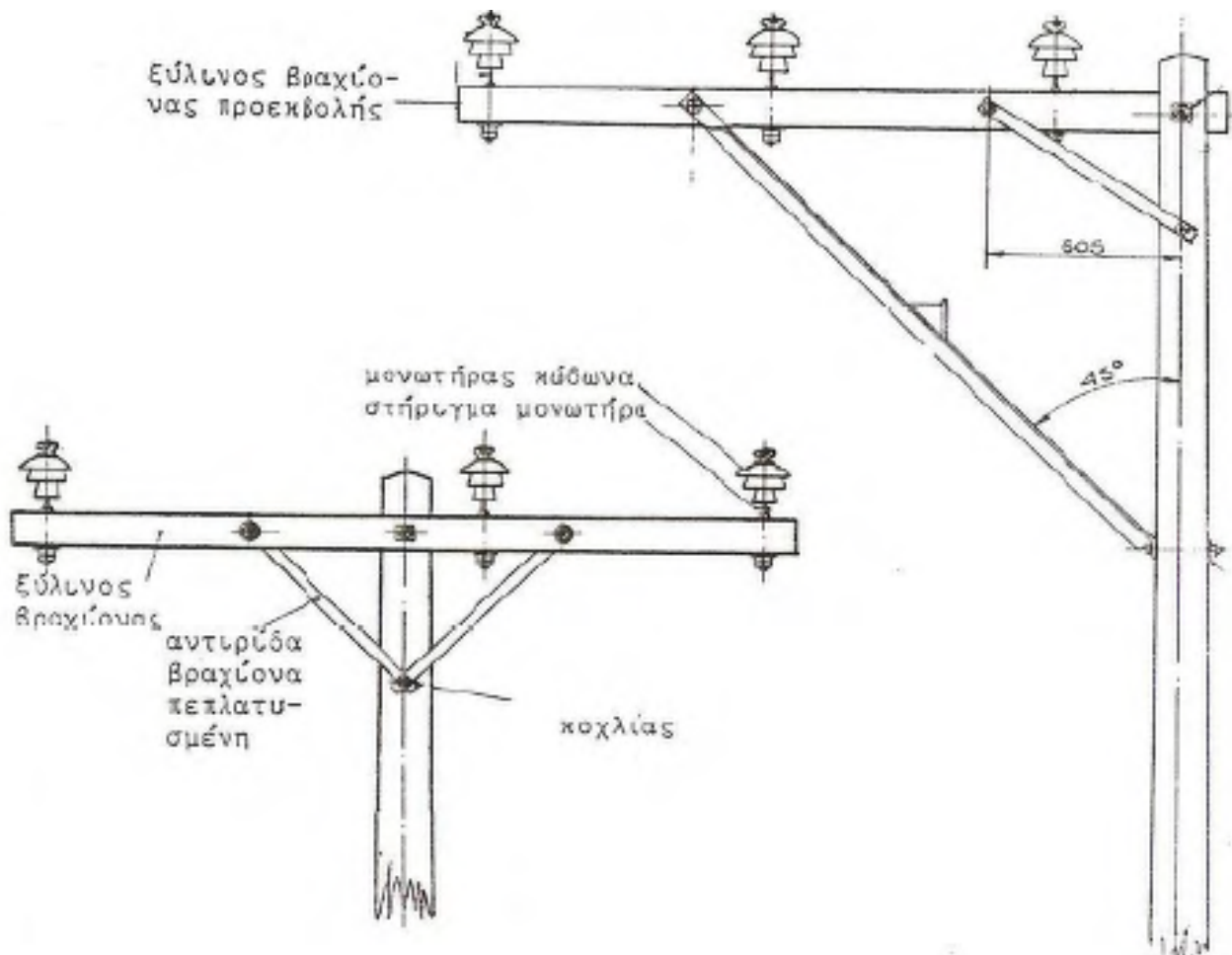


12	2,70	2,60	1,80	2,30	2,10	1,80	2,00	1,80	1,60	1,70	1,50	1,10
13	2,80	2,60	-	2,40	2,10	-	2,00	1,80	-	1,70	1,60	-
14	2,90	2,60	-	2,40	2,10	-	2,10	1,90	-	1,80	1,60	-
15	3,00	-	-	2,40	-	-	2,10	-	-	1,80	-	-

Σχήμα 15. Πίνακας Βάθους Θεμελίωσης Ξυλινών Στύλων σε μέτρα.[A1]

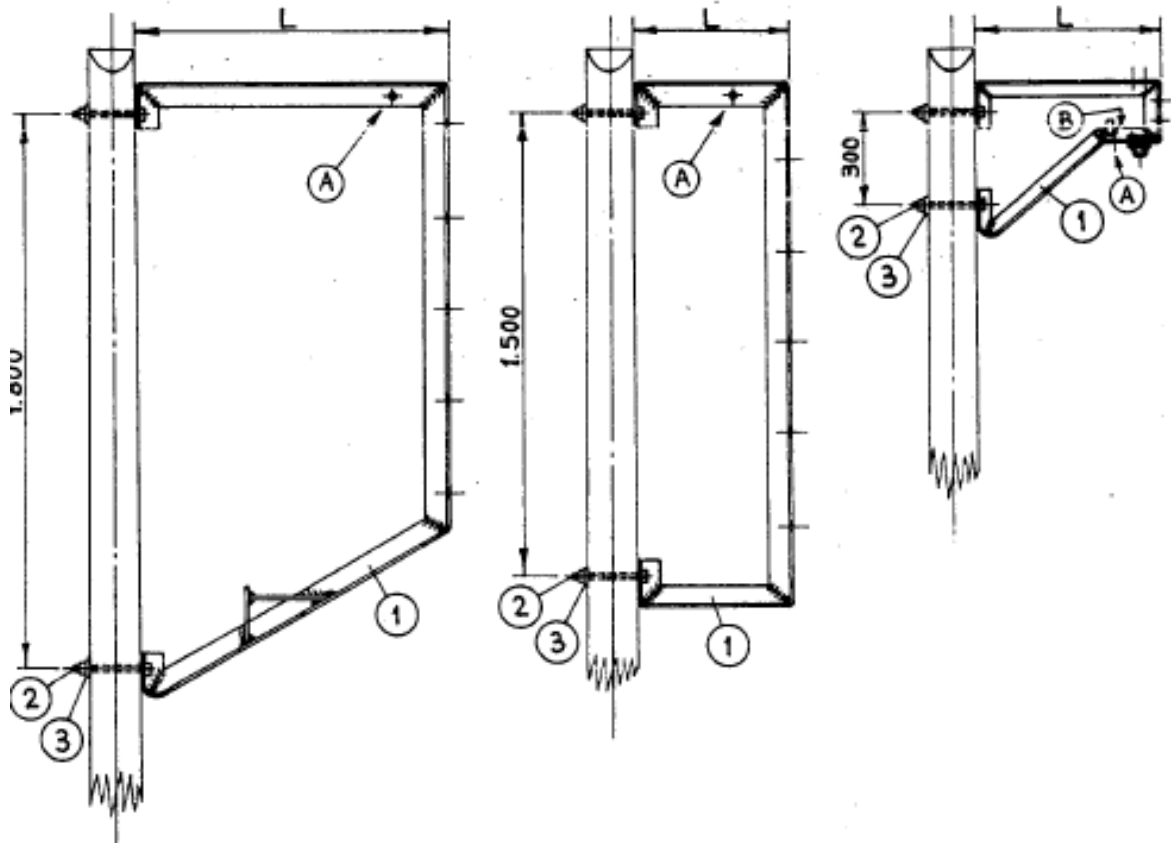
### 2.1.5 Βραχίονες Στύλων – Πλαίσια

Στους στύλους Μ.Τ. οι μονωτήρες στηρίζονται στους βραχίονες (ή τραβέρσες), όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 16. Βραχίονες Μέσης Τάσης. [A1]

Στους στύλους της Μ.Τ. οι μονωτήρες τοποθετούνται συνήθως πάνω στις τραβέρσες ή σε κάποιες περιπτώσεις στο πλάι ενώ στους στύλους της Χ.Τ. οι μονωτήρες εγκαθίστανται στο πλάι των στύλων. Σε περιπτώσεις που η απόσταση από τα κτίρια είναι μικρότερη από αυτήν που καθορίζουν κανονισμοί των Δ.Δ τοποθετούνται πλαίσια πλαγίως του στύλου και πλάγια στο πλαίσιο τοποθετούνται οι μονωτήρες για να εξασφαλιστούν τα όρια ασφαλείας.



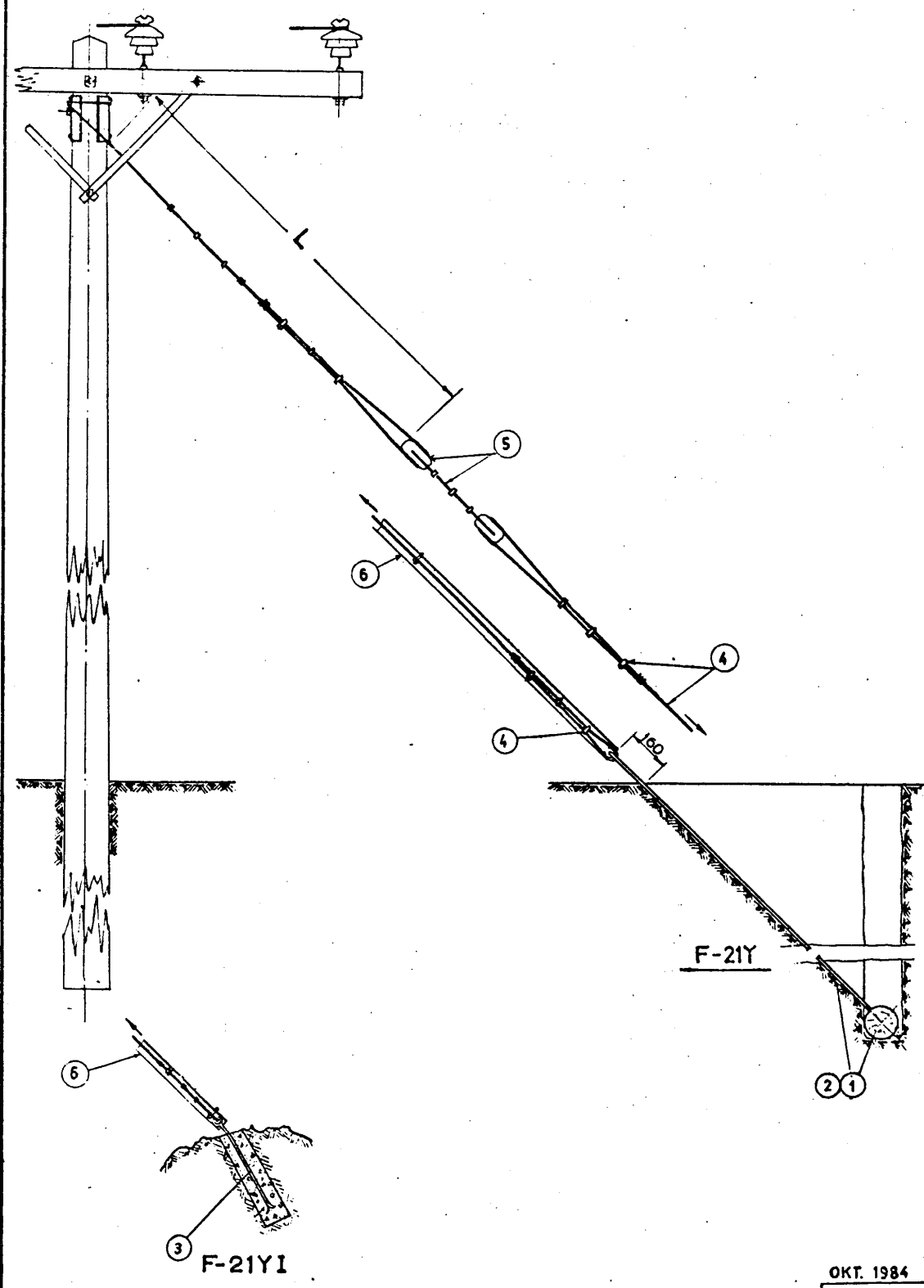
Σχήμα 17. Πλαίσια Χαμηλής Τάσης.[A1]

### 2.1.6 Επίτονοι – Αντηρίδες

Στην άκρη κάθε εναέριου δικτύου Μ.Τ. και Χ.Τ. του Δ.Δ. ή σε στύλους που βρίσκονται σε γωνία πάνω στο Δ.Δ. εγκαθίστανται επίτονοι ή αντηρίδες. Κύριος λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις στους στύλους από τους αγωγούς. Οι επίτονοι είναι συρματόσχοινα που ακυρώνονται μέσα στο έδαφος με κοντόστυλο μήκους  $0.5m$  ή στο έδαφος με μπετόν ταχείας πήξεως. Κατά την τοποθέτηση του επιτόνου χρησιμοποιείται δυναμόκλειδο έτσι ώστε να γίνει ορθά η τάνση του. Το επίτονο τοποθετείται λίγο χαμηλότερα από τη κορυφή του στύλου. Σε περιπτώσεις που οι στύλοι δεν είναι δυνατό να τοποθετηθούν στο έδαφος τότε ο επίτονος αγκυρώνεται σε κοντινές οικοδομές, όταν όμως δεν γίνεται αυτό, τοποθετείται επίτονος κεφαλής από στύλο σε ένα παραπλήσιο στύλο.

ΕΠΙΤΟΝΟΣ ΑΠΛΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΕΩΣ  
ΕΥΛΙΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ

F-21Υ



F-21ΥΙ

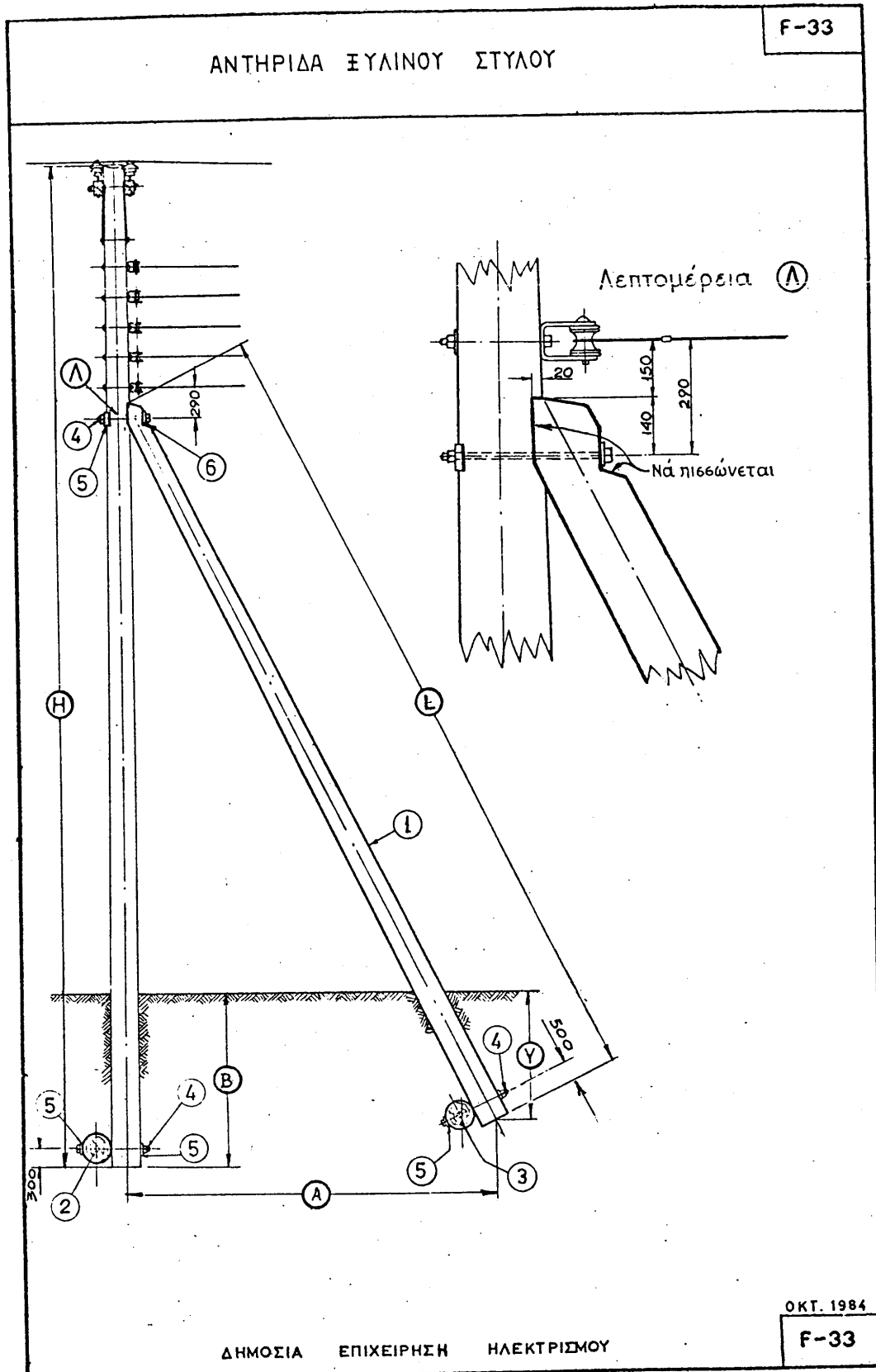
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

ΟΚΤ. 1984

F-21Υ

Σχήμα 18. Σχηματική Αναπαράσταση Επιτόνου.[A1]

Οι αντηρίδες είναι ξύλινοι στύλοι και πάντοτε μικρότερου ύψους από τον στύλο που πρέπει να στηριχθεί. Είναι συνήθως μεσαίας κατηγορίας και τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να στηρίζει το στύλο που βρίσκεται στο τέρμα του δικτύου.

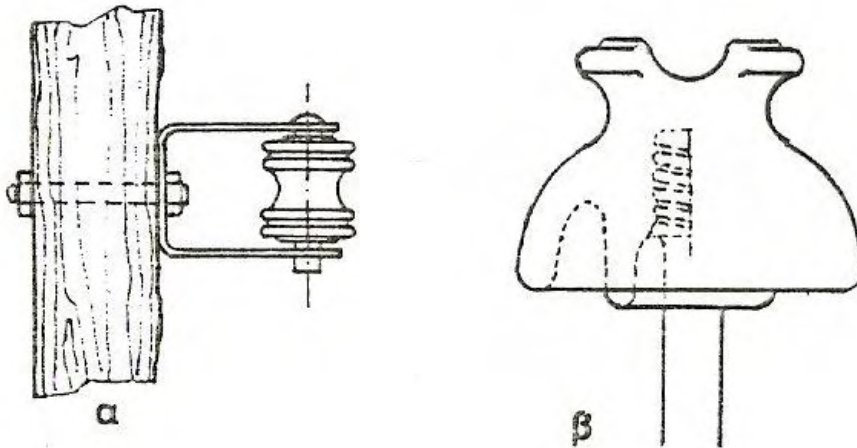


Σχήμα 19. Σχηματική Αναπαράσταση Αντηρίδας.[A1]

### 2.1.7 Μονωτήρες

Οι μονωτήρες είναι ένα σημαντικό τμήμα των εναέριων δικτύων διανομής. Οι μονωτήρες εγκαθίστανται πάνω στους στύλους του δικτύου διανομής και συγκρατούν τους γυμνούς αγωγούς. Είναι απαραίτητο να έχουν μηχανική αντοχή λόγω των αγωγών καθώς και διηλεκτρική αντοχή. Επίσης πρέπει να αντέχουν όχι μόνο την ονομαστική τάση του δικτύου και άλλα και στιγμιαίες υπερτάσεις που μπορούν να συμβούν. Το σχέδιο και η μορφή τους εξαρτάται από τη περιοχή που έχουν τοποθετηθεί (π.χ. παραθαλάσσιες περιοχές) έτσι ώστε να διατηρούν τη μονωτική τους ικανότητα.

Το δίκτυο διανομής Μ.Τ. χρησιμοποιεί διαφόρων ειδών μονωτήρες και είναι συνήθως κατασκευασμένοι από πορσελάνη, γυαλί και τα τελευταία χρόνια από πολυμερές, οι οποίοι είναι σαφώς ελαφρύτεροι από τις δυο παραπάνω κατηγορίες.

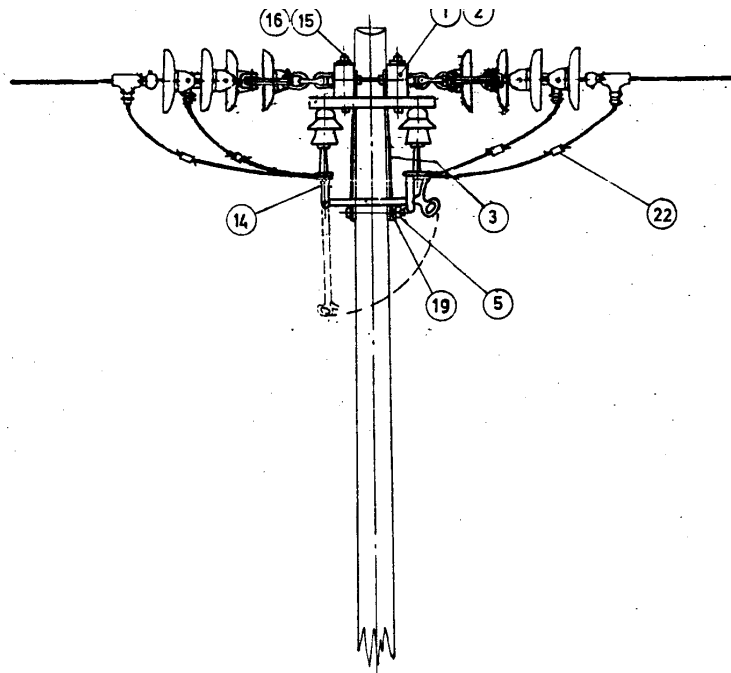


Σχήμα 20. (α) Μονωτήρας Χαμηλής Τάσης.  
(β) Μονωτήρας Μέσης Τάσης Τύπου Κώδωνα.[A16]

### 2.2 Μέσα Ζεύξης Μέσης Τάσης

Στα δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα ζεύξης και οι κύριες κατηγορίες είναι:

- Οι Αποζεύκτες (Disconnectors): είναι οι διακόπτες που χρησιμοποιούνται για ανοίξουν να ένα κύκλωμα, όταν το φορτίο του κυκλώματος είναι μηδενικό και κλείνουν το κύκλωμα με μηδενική τάση. Επειδή δεν επιτρέπεται η χρήση τους υπό φορτίο οι αποζεύκτες τοποθετούνται μαζί με διακόπτες φορτίου ή με διακόπτες ισχύος και συνδυάζονται με κατάλληλες μανδαλώσεις έτσι ώστε κατά το άνοιγμα του κυκλώματος να λειτουργούν πρώτα οι Διακόπτες φορτίου ή οι Διακόπτες ισχύος και μετά οι αποζεύκτες.



Σχήμα 21. Τυποποιημένη Κατασκευή Στόλου (P-25) με Αποζεύκτες.[A1]

- Οι Διακόπτες Φορτίου (Load Switches): είναι ικανοί να διακόπτουν, ή να επανασυνδέουν ένα κύκλωμα υπό συνθήκες λειτουργίας και όχι και να διακόπτουν ένα κύκλωμα περιπτώσεις βραχυκυκλώματος που το ρεύμα είναι αρκετά μεγαλύτερο. Ένας Διακόπτης Φορτίου κατασκευαστικά διαθέτει ειδικό θάλαμο σβέσης για τη σβέση του τόξου σε περίπτωση φορτίου. Διακρίνονται σε Διακόπτες κενού αέρος, Διακόπτες αέρα και Διακόπτες εξαφθοριούχου θείου ( $SF_6$ ).



Σχήμα 22. Τυποποιημένη Κατασκευή Στόλου (P-22A) με Διακόπτη Φορτίου.

- Οι Διακόπτες Ισχύος (Circuit Breakers): έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν εντάσεις όχι μόνο από κανονικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου αλλά σε συνθήκες βραχυκυκλώματος που τα μεγέθη των ρευμάτων είναι πολλαπλάσια των ονομαστικών. Χαρακτηριστικά των διακόπτων Ισχύος είναι το μέγεθος ισχύος βραχυκύκλωσης με την ικανότητα διακοπής της και ο χρόνος διακοπής της. Κατηγοριοποιούνται σε Διακόπτες πτώχου ελαίου, Διακόπτες αέρα, Διακόπτες εξαφθοριούχου θείου, και Διακόπτες κενού ( $SF_6$ ).

## 2.3 Ασφάλειες

### 2.3.1.1 Ασφάλειες Σκόνης Μέσης Τάσης

Η ασφάλεια σκόνης αποτελείται εξωτερικά από ένα πορσελάνινο κύλινδρο που στα άκρα του έχουν τοποθετηθεί δύο μεταλλικές επαφές. Εσωτερικά του κυλίνδρου βρίσκεται ένα τηκτό το οποίο είναι τυλιγμένο γύρω από ένα κεραμικό υλικό κυλινδρικής μορφής και συνδέεται στις επαφές. Εσωτερικά του κυλίνδρου βρίσκεται ένα ελατήριο σε μηχανική σύνδεση με το δείκτη ασφαλείας. Μέσα στο κύλινδρο υπάρχει επίσης χαλαζιακή σκόνη γύρω από τον κεραμικό κύλινδρο και σκεπάζει το τηκτό.

Η χαλαζιακή σκόνη αναλαμβάνει διπλό ρόλο μέσα στο κύλινδρο. Η έντονη ψυκτική ικανότητα της βοηθά στη ταχύτερη σβέση του τόξου, που δημιουργείται με την τήξη του αγωγού και στη διακοπή τροφοδότησης του δικτύου που έχει σφάλμα. Επίσης αυξάνει την ωμική αντίσταση της ασφάλειας με σημαντικό περιορισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Η ασφάλεια σκόνης είναι ακριβότερη σε σχέση με την ασφάλεια εκτόνωσης και τοποθετείται κυρίως σε εσωτερικούς υποσταθμούς.



(α)



(β)

Σχήμα 23. (α) Ασφάλειες Σκόνης.  
(β) Βασικά Μέρη Ασφάλειας Σκόνης.[A16]

### 2.3.1.2 Ασφάλειες Εκτόνωσης Μέσης Τάσης

Η ασφάλεια εκτόνωσης αποτελείται εξωτερικά από ένα μονωτικό κύλινδρο μέσα στον οποίο βρίσκεται τοποθετημένο ένα τηκτό. Εσωτερικά του κυλίνδρου υπάρχει ένα στρώμα βορικού οξέως. Σε περίπτωση σφάλματος κατά την τήξη του τηκτού, δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο και ανάφλεξη του εσωτερικού τμήματος του κυλίνδρου. Το βορικό οξύ βοηθάει στην ταχύτερη σβέση του ηλεκτρικού τόξου.

Κατά την διάρκεια της σβέσης απελευθερώνονται τοξικά αέρια, και αυτό τον λόγο η χρήση της συγκεκριμένης ασφάλειας είναι ακατάλληλη για εσωτερικούς χώρους παρά μόνο για εξωτερικούς χώρους, σε υπαίθριες εγκαταστάσεις. Σε αντίθεση με τις ασφάλειες σκόνης, οι ασφάλειες εκτόνωσης δεν περιορίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο δίκτυο που έχει σφάλμα. Οι ασφάλειες αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως για την προστασία των Μ/Σ υποβιβασμού της τάσης 20/0,4 kV στα εναέρια δίκτυα διανομής, όπου όλη η εγκατάσταση τους είναι πάνω σε στύλους του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. Οι ασφάλειες εκτόνωσης είναι φθηνότερες από τις ασφάλειες τύπου σκόνης γι' αυτό και προτιμούνται στις υπαίθριες εγκαταστάσεις.

Οι ασφάλειες εκτόνωσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα T
- Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα K 12

Επίσης η ασφάλεια εκτόνωσης, σε συνδυασμό με τη βάση στην οποία τοποθετείται πάνω στο στύλο, μπορεί να λειτουργήσει και ως αποζεύκτης. Σε περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο και τήξης της ασφάλειας, η ασφάλεια αποσυνδέεται από το ένα άκρο της βάσης, και έτσι είναι ορατό από μακριά να διαπιστωθεί εάν ασφάλεια έχει καμμένη και το δίκτυο δεν τροφοδοτείται από ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 24. (α) Ασφάλεια Εκτόνωσης Πάνω στη Βάση σε Κατάσταση Λειτουργίας.  
(β) Ασφάλεια Αποσυνδεμένη από τη βάση.[A16]



## 2.4 Το Σύστημα SCADA

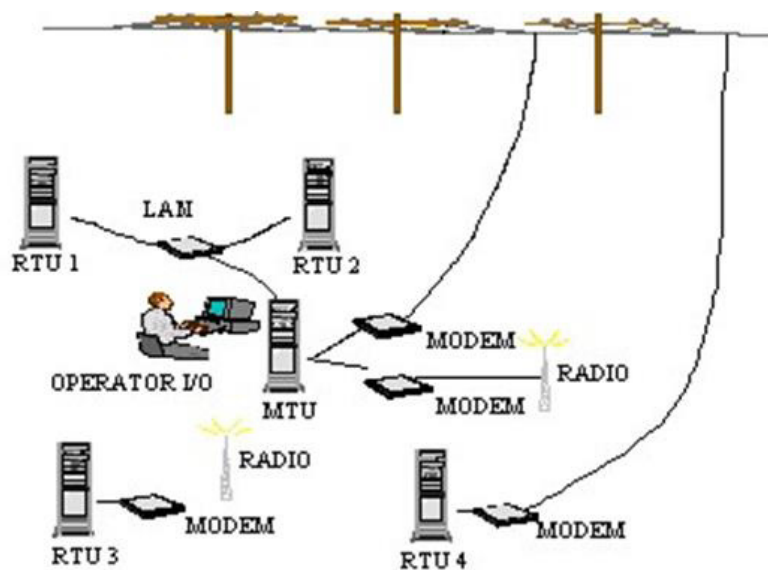
Ο όρος SCADA είναι τα αρχικά του Supervisory Control And Data Acquisition, που σημαίνει στα ελληνικά Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων. Το σύστημα SCADA δίνει τη δυνατότητα ελέγχου και εποπτείας στο χρήστη όσον αφορά τις διεργασίες οι οποίες διενεργούνται σε απομακρυσμένα σημεία. Το σύστημα SCADA επικεντρώνεται κυρίως στην εποπτεία καθώς δεν μπορεί να λειτουργήσει ως ένα πλήρες σύστημα ελέγχου.

Οι διεργασίες που πραγματοποιεί το σύστημα SCADA είναι η λήψη δεδομένων από πολλαπλά σημεία, η μεταβίβασή τους σε ένα κεντρικό σημείο με σκοπό την επεξεργασία, την ανάλυση καθώς και τον έλεγχο των δεδομένων αυτών, με τελικό στόχο την παρουσίαση των πληροφοριών που εξάγονται από τα δεδομένα σε διάφορες οθόνες χειρισμού, σε πραγματικό χρόνο ή όποτε ζητηθεί. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει είτε αυτόματα, είτε χειροκίνητα.

Το σύστημα SCADA δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, από ένα κεντρικό σημείο, να εποπτεύει και να ελέγχει τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται, ακόμα και αν διενεργούνται σε κάποιο απομακρυσμένο σημείο. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός συστήματος SCADA είναι εμφανέστερα όταν αυτό χρησιμοποιείται για την κάλυψη μιας μεγάλης γεωγραφικής έκτασης. Ο κύριος λόγος για τη χρησιμοποίηση ενός συστήματος SCADA είναι η δυνατότητα που προσφέρει για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο των σημείων, χωρίς τη χρήση ανθρώπινου δυναμικού με μεγάλες ταχύτητες λήψης δεδομένων.

### 2.4.1 Περιγραφή του Συστήματος SCADA

Το σύστημα SCADA απαρτίζεται από ένα σύνολο αισθητηρίων και διατάξεων μετατροπής, τα οποία συνδέονται σε απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units - RTUs). Τα RTUs συνδέονται και αποστέλλουν πληροφορίες σε ένα κεντρικό υπολογιστή ή κεντρική τερματική μονάδα (Master Terminal Unit - MTU) στην οποία είναι εγκατεστημένο το λογισμικό του συστήματος SCADA. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η τοπολογία του συστήματος SCADA.



Σχήμα 25. Τοπολογία Συστήματος SCADA.[A15]

Η τερματική μονάδα ελέγχου (MTU) επικοινωνεί με τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTUs) ενσύρματα (με σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας RS232 ή RS485, με ModBus, Profibus, Ethernet, Internet) ή ασύρματα. Τα δεδομένα που αποστέλλονται από τα RTUs στην MTU, επεξεργάζονται καταλληλά, αποθηκεύονται και εμφανίζονται στις οθόνες των υπολογιστών που εκτελούν το (HMI) Human Machine Interface πρόγραμμα όπου πραγματοποιείται ο μη αυτόματος έλεγχος.

### 2.4.2 SCADA και HMI

Η εφαρμογή Human Machine Interface (HMI) είναι τμήμα του συστήματος SCADA. Η εφαρμογή αυτή εμφανίζει σε οθόνες όλη τη λειτουργία του συστήματος, όπως είναι οι τιμές δεδομένων ή γραφήματα. Επίσης η εφαρμογή αυτή μπορεί να εμφανίσει ανάλογα με την ανάγκη του χρήστη παλαιότερα δεδομένα ή παλαιότερα γραφήματα. Τα παλαιότερα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από τη βάση δεδομένων του συστήματος SCADA, είναι προφανές ότι τα συστήματα SCADA και HMI είναι αλληλοεξαρτώμενα μεταξύ τους. Συνηθίζεται από τους περισσότερους προγραμματιστές συστημάτων SCADA να αναπτύσσουν εφαρμογές HMI στα πακέτα των λογισμικών SCADA. Ωστόσο οι εφαρμογές HMI μπορούν να αναπτυχθούν ανεξάρτητα από το λογισμικό SCADA ώστε να λαμβάνει δεδομένα από αυτό και να εκτελεί τον απαραίτητο έλεγχο.



Σχήμα 26. Human Machine Interface SCADA.[A16]

### 2.4.3 Βασικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων SCADA

Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος SCADA:

- Συνεχής ενημέρωση σε κρίσιμες τιμές μεταβλητών και συμβάντων.
- Αποθήκευση και παρουσίαση δεδομένων.
- Αποστολή εντολών στις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες.
- Δυνατότητα υπολογισμού μέσω τιμών και στατιστικών από τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα απομακρυσμένα τερματικά σημεία του συστήματος.
- Απομακρυσμένος έλεγχος του συστήματος SCADA μέσω διαδικτύου.
- Δυνατότητα ανάλυσης παλαιότερων δεδομένων, τα οποία είναι αποθηκευμένα σε διάφορες βάσεις δεδομένων του συστήματος.
- Εύκολη παραμετροποίηση του συστήματος. Τα συστήματα SCADA δίνουν τη δυνατότητα να διαμορφωθούν από τους χρήστες ανάλογα με την περίπτωση από διάφορα

περιβάλλοντα προγραμματισμού, όπως Java, C ή Visual Basic. Ακόμα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη, μέσω του συστήματος SCADA, να καλεί και να εκτελεί άλλα προγράμματα.

#### **2.4.4 Πλεονεκτήματα των Συστημάτων SCADA**

Παρακάτω αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη του συστήματος SCADA, καθώς και κάποια παραδείγματα σχετικά με τη χρήση του συστήματος αυτού.

Τα συστήματα SCADA προσφέρουν:

- Παρέχει έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας και μεγιστοποιείται η απόδοση της βιομηχανικής μονάδας.
- Βελτιστοποίηση επικοινωνίας, εντός της βιομηχανικής μονάδας, μεταξύ της διοίκησης και της παραγωγής.
- Καλύτερη ενημέρωση του προσωπικού σχετικά με την κατάσταση της βιομηχανικής μονάδας, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την ευκολότερη και ορθότερη λήψη αποφάσεων.
- Άμεση επίλυση προβλημάτων, η οποία αποφέρει τη βελτίωση της βιομηχανικής μονάδας και τη μείωση του κόστους συντήρησης.
- Βελτίωση των συνθηκών ασφαλείας, και εργασίας.
- Η διοίκηση μπορεί να λάβει άμεσα πληροφορίες για τη βιομηχανική μονάδα.

Μερικά πρακτικά παραδείγματα του οφέλους των SCADA περιλαμβάνουν:

- Απομακρυσμένη παρακολούθηση πληροφοριών του συστήματος SCADA, από τη διοίκηση και τους μηχανικούς στην οθόνη του υπολογιστή τους.
- Η εμφάνιση κρίσιμων συμβάντων (Alarms) και η λήψη τους γίνεται μέσω τηλεφώνων, ασυρμάτων, δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών κτλ.
- Αποθήκευση πληροφοριών στις βάσεις δεδομένων του συστήματος για μελλοντική σύγκριση και ανάλυση.
- Απομακρυσμένος έλεγχος του εξοπλισμού.

## **3.Μελέτη Διασυνδεδετικών Γραμμών Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

### **3.1 Εισαγωγή**

*«Όταν μιλάμε για μελέτη ενός δικτύου, αναφερόμαστε σε όλα εκείνα τα στοιχεία που πρέπει να μελετήσουμε, έτσι ώστε το δίκτυο που θα κατασκευαστεί να παρέχει τη δυνατότητα απρόσκοπτης τροφοδότησης των ηλεκτρικών φορτίων που μας δίνονται, ή πρέπει να εκτιμήσουμε, σε βάθος χρόνου περίπου 30 ετών (η πραγματική διάρκεια ζωής ενός δικτύου που συντηρείται σωστά υπερβαίνει τα 50 έτη).»*

*«Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει τη μηχανική αντοχή και ηλεκτρική επάρκεια όλων των στοιχείων του δικτύου και στις δυσμενέστερες συνθήκες, όπως αυτές προσδιορίζονται από τον ΚΕΣΥΓΗΕ (Κανονισμός Εγκατάστασης Συντήρησης Υπαίθριων Γραμμών Ηλεκτρικής Ενέργειας) που αποτελεί νόμο του κράτους (με ότι αυτό συνεπάγεται) και τις απαιτήσεις της ΔΕΗ, όπου αυτές είναι αυστηρότερες.»*

*«Η σωστή επιλογή της όδευσης της γραμμής, της μηχανικής επιφόρτισης, της τήρησης των ορίων ασφαλείας, της κλάσης κατασκευής, του είδους του δικτύου (εναέριο-υπόγειο), της διατομής των αγωγών, της προστασίας, του κόστους, αποτελούν αντικείμενα που θα κρίνουν πόσο σωστή είναι μια μελέτη σε μακροχρόνια βάση.»*

*«Αν μια γραμμή από τα πρώτα έτη κατασκευής της απαιτεί συνεχείς παραλλαγές ή ενισχύσεις, σημαίνει (εκτός ακραίων περιπτώσεων που ήταν αδύνατο να προβλεφθούν) ότι δεν λήφθηκαν υπόψη βασικοί παράγοντες του προβλήματος, με αποτέλεσμα πέραν των δυσμενών επιπτώσεων από την ταλαιπωρία των πελατών να έχουμε και πολύ μεγάλο κόστος για την επιχείρηση.»*

*«Αν πάλι ο μελετητής επιλέξει τα στοιχεία του δικτύου, έτσι ώστε να εξασφαλίζει μηχανικές ή ηλεκτρικές δυνατότητες πολύ πέραν εκείνων που πραγματικά απαιτούνται αγνοώντας το κόστος, προσφέρει πολύ κακές υπηρεσίες.»*

*«Συνολπικά, στόχος μιας μελέτης δικτύου είναι η τεχνικά επαρκής διαχρονική λύση με το μικρότερο κόστος και τη μικρότερη αισθητική επιβάρυνση.» [Α2]*

## 3.2 Μεθοδολογία Μελέτης Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας - Κανονισμοί

### 3.2.1 Συμβολισμοί Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής

«Οι Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής εμφανίζονται με τα παρακάτω σύμβολα:

- FCP: Αναφέρεται τους τσιμεντόστύλους, τις θεμελιώσεις, βραχίονες, επιτόνους και όλα τα εξαρτήματα τους.
- F : Αναφέρεται στους ξύλινους στύλους, βραχίονες, θεμελιώσεις, επιτόνους, αντηρίδες, γειώσεις.
- P : Αναφέρει τις κατασκευές Μ.Τ. τους ξύλινους ή χαλύβδινους βραχίονες.
- S : Αναφέρει κατασκευές Χ.Τ. σε γυμνούς αγωγούς και Σ.Κ..
- T : Αναφέρει την εγκατάσταση Μ/Σ σε στύλους ή στο έδαφος.
- U : Αναφέρει την εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων όπως και τις κατασκευές σύνδεσης των υπόγειων καλωδίων με τα εναέρια δίκτυα.»[Α1]

### 3.2.2 Υπεραστικά δίκτυα Μέσης Τάσης

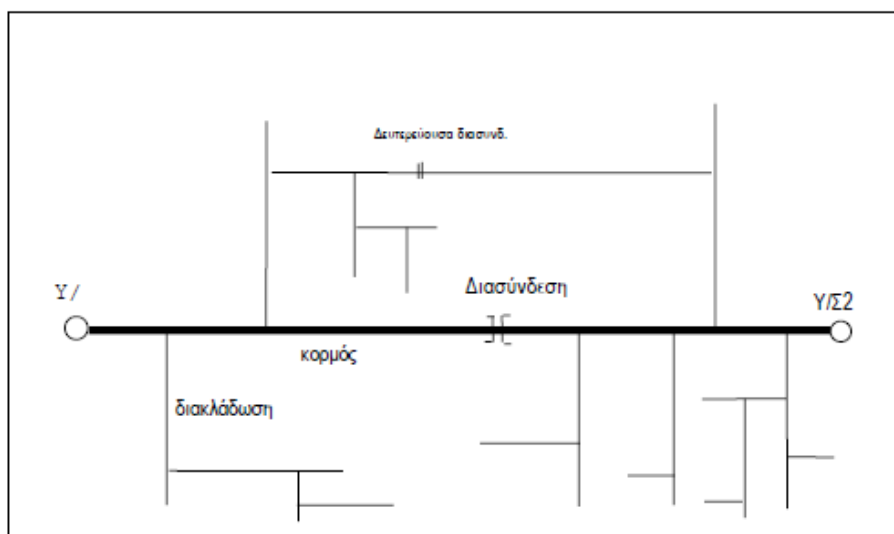
«Πρόκειται για εναέρια δίκτυα Μ.Τ. Διακρίνονται σε κορμούς, δευτερεύουσες γραμμές και μικρές διακλαδώσεις.

**Κορμούς** λέμε τις γραμμές που αναχωρούν από τους Υ/Σ ΥΤ/Μ.Τ. και γενικά προστατεύονται από ελαιοδιακόπτες (Ε/Δ). Γενικά είναι γραμμές διατομής  $95\text{mm}^2$  ACSR ή Cu. Σε πολύ μικρά νησιά μπορεί να είναι και μικρότερης διατομής.

Οι κορμοί πρέπει να φροντίζουμε έτσι ώστε να διασυνδέονται με άλλους κορμούς γειτονικών Υ/Σ, ή άλλες γραμμές του ίδιου Υ/Σ.

**Διασύνδεση** λέμε τη δυνατότητα που έχει μια γραμμή να τροφοδοτηθεί από δύο πλευρές. Η θέση της διασύνδεσης γενικά είναι στύλος με τριπολικό διακόπτη ή αποξεόκτες που πρέπει να μεριμνούμε να έχει εύκολη και σύντομη πρόσβαση.

Όταν μια γραμμή δεν διασυνδέεται με άλλη, θεωρείται αρκετά επισφαλής, αφού σε περίπτωση βλάβης σε οποιοδήποτε σημείο της, συνεπάγεται διακοπή ολόκληρης της γραμμής μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης.



Σχήμα 27. Διασύνδεση Δικτύου Διανομής.[Α2]

**Μηχανική διακοπή κορμού.** Για λόγους εκμετάλλευσης, ο κορμός πρέπει να διακόπτεται μηχανικά σε κάποια σημεία και βασικά μετά από κάθε σημαντική διακλάδωση.

Σκόπιμο πάντως θεωρείται να υπάρχει η δυνατότητα διακοπής κάθε 5 περίπου χιλιόμετρα ανάλογα και με τη σημαντικότητα των φορτίων που μεταφέρει. Οι στύλοι διακοπής με τριπολικό διακόπτη ή αποξεδκτες (κατασκευές P-23, P-25). Υπάρχουν και περιπτώσεις που η προστασία της γραμμής απαιτεί διακόπτη φορτίου (ΔΦ).

**Διακλάδωση** λέμε κάθε γραμμή που η αρχή της είναι στύλος κάποιας άλλης γραμμής. Υπάρχουν φυσικά διακλαδώσεις που περιέχουν πολλές άλλες και κάποιες που αφορούν μόνο ένα μετασχηματιστή.»[A2]

### **3.2.3 Επιλογή Αγωγών στα Εναέρια Δίκτυα Μέσης Τάσης**

«Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Δ.Ε.Δ.Δ.ΗΕ., οι διατομές και τα είδη των αγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εναερίων δικτύων διατομής Μ.Τ. θα είναι ως εξής: αγωγοί ACSR ισοδύναμης διατομής χαλκού  $16mm^2$ ,  $35mm^2$ , και  $95mm^2$ . Αγωγοί χαλκού διατομής  $16mm^2$ ,  $35mm^2$ , και  $95mm^2$ . Αγωγοί AAAC διατομής  $70mm^2$  και  $185mm^2$ .

Για την εκλογή της διατομής των αγωγών Μ.Τ.. ισχύουν τα εξής:

- Αν πρόκειται για γραμμές "κορμού", η διατομή των αγωγών θα επιλέγεται με βάση τα υπάρχοντα προγράμματα αναπτύξεως του δικτύου μέσης τάσης.
- Αν πρόκειται για διακλαδώσεις, η διατομή θα επιλέγεται μετά από μελέτη των φορτίων που πρόκειται να εξυπηρετηθούν και με κριτήρια τη μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης, το θερμικό όριο των αγωγών, καθώς και τεχνικοοικονομικά κριτήρια.

Η εκλογή του είδους των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό διαβρωτικότητας των διαφόρων περιοχών της χώρας και από το είδος της επιφορτίσεως.»[A3]

### **3.2.4 Καθορισμός της διαβρωτικότητας των διαφόρων περιοχών.**

«Η διαβρωτικότητα μιας περιοχής, θεωρείται ως εξής:

- Έντονη

Η γεωγραφική περιοχή χαρακτηρίζεται έντονης διάβρωσης, όταν από την μέχρι τώρα εμπειρία φαίνεται ότι οι αγωγοί των δικτύων της περιοχής αυτής κατά σημαντικό ποσοστό θα απαιτήσουν, λόγω διαβρώσεως, αντικατάσταση μετά από 10 το πολύ χρόνια.

- Φυσιολογική

Η γεωγραφική περιοχή χαρακτηρίζεται φυσιολογικής διάβρωσης, όταν από την μέχρι σήμερα εμπειρία φαίνεται, ότι οι αγωγοί κατά σημαντικό ποσοστό θα απαιτήσουν αντικατάσταση λόγω διαβρώσεως, σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10 ετών. Με βάση τις μέχρι σήμερα παρατηρήσεις, έχουν χαρακτηριστεί περιοχές έντονης διαβρώσεως οι εξής: Οι ανατολικές ακτές Αττικής, το νησί Σαλαμίνα, η χερσόνησος της Κασσάνδρας, τα νησιά Κύθηρα και Σκύρος, τα Β.Α. παράλια της Εύβοιας, τα νησιά του νομού Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, τα παράλια της Κρήτης και της Ρόδου σε βάθος 3km από τις ακτές, τοπικά τμήματα άλλων νησιών. Όλες οι υπόλοιπες περιοχές της χώρας χαρακτηρίζονται ως περιοχές φυσιολογικής διαβρώσεως. Περιοχές που έχουν βιομηχανική ρύπανση, μπορούν κατά την κρίση του μελετητή να χαρακτηριστούν ως περιοχές έντονης διάβρωσης. Όλα τα παραπάνω μπορούν να μεταβάλλονται, εφόσον κατά την πάροδο του χρόνου παρατηρηθούν φαινόμενα διαβρώσεως διαφορετικά από αυτά που μέχρι σήμερα διαπιστώθηκαν.»[A4]

### 3.2.4.1 Τοποθέτηση Αγωγών με Βάση τη Περιοχή

«Με βάση την διαβρωτικότητα των περιοχών για την μέση τάση, σε περιοχές έντονης διάβρωσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο αγωγοί χαλκού. Σε περιοχές φυσιολογικής διάβρωσης, χρησιμοποιούνται αγωγοί ACSR. Σε παραθαλάσσιες περιοχές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές φυσιολογικής διάβρωσης, αντί του αγωγού ACSR χρησιμοποιείται κατά προτίμηση αγωγός Cu.»[A4]

### 3.3 Μεθοδολογία για το Ύψος των Τοποθετούμενων Στύλων

«Τόσο στους ξύλινους όσο και στους τσιμεντένιους στύλους τα ύψη που χρησιμοποιούνται είναι 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 m.

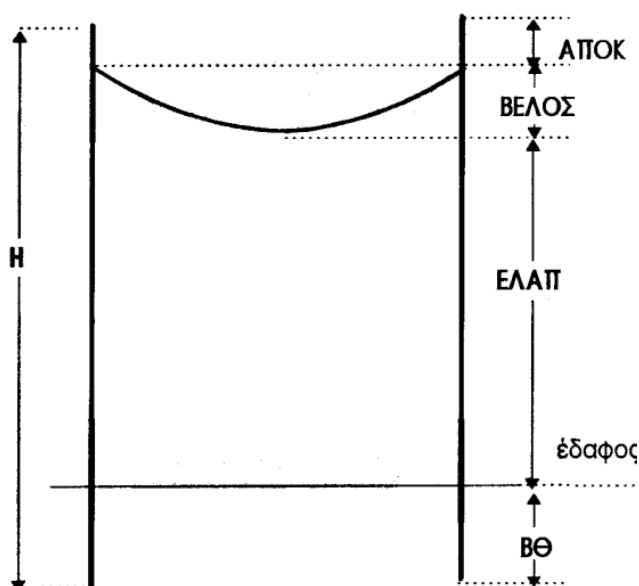
Γενική αρχή είναι να τοποθετούμε το μικρότερο ύψος στύλου που ικανοποιεί τις αποστάσεις ασφαλείας δεδομένου ότι έτσι έχουμε μικρότερο κόστος και μικρότερη αισθητική επιβάρυνση.

Γενικά ο έλεγχος της ελαχίστης κατακόρυφης απόστασης ασφαλείας αγωγού που αναρτάται από δύο γειτονικούς στύλους βρίσκεται με τη σχεδίαση της καμπύλης του αγωγού και των σημείων κάτω από αυτόν με τις γνωστές κλίμακες. Η εκτίμηση της κατακόρυφης απόστασης που μας ενδιαφέρει, προσδιορίζει και τα ύψη των στύλων.

Τα πράγματα γίνονται απλούστερα στην περίπτωση οριζώντιου εδάφους που μπορούμε να επιλέξουμε τους στύλους με γενικά κριτήρια.» [

### 3.4 Απόσταση Ασφαλείας Αγωγών σε Οριζόντιο Έδαφος

«Γενικά αν υπάρχει ένα σημείο από το οποίο η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση ασφαλείας είναι «ΕΛΑΠ», τότε το απαιτούμενο ύψος των στύλων «H» μεταξύ των οποίων βρίσκεται αυτό το σημείο, προσδιορίζεται από τη σχέση:  $H = \text{ΕΛΑΠ} + \text{ΒΘ} + \text{ΒΕΛΟΣ} + \text{ΑΠΟΚ}$ , όπου «ΒΘ» είναι το βάθος θεμελίωσης των στύλων, «ΒΕΛΟΣ», είναι το βέλος του αγωγού στο άνοιγμα αυτό στους 16 βαθμούς Κελσίου και ΑΠΟΚ είναι η κατακόρυφη απόσταση του σημείου ανάρτησης του χαμηλότερου αγωγού από την κορυφή του στύλου.



Σχήμα 28. Διάγραμμα Ελάχιστης Απόστασης Ασφαλείας.[A2]

Με το παραπάνω σκεπτικό δίνουμε στον επόμενο πίνακα τα « τυπικά ύψη » στύλων για γραμμές Μ.Τ. σε οριζόντιο έδαφος που είναι επαρκεί από πλευράς ελάχιστων κατακόρυφων αποστάσεων ασφαλείας από έδαφος ή δρόμους. Σε περίπτωση που οι στύλοι τοποθετηθούν σε μικρότερα υψόμετρα ή παρεμβληθεί κάποιο εμπόδιο χρειάζεται αναλυτικός υπολογισμός ή γραφική απεικόνιση (μηκοτομή).

Εδώ διευκρινίζουμε ότι η ελάχιστη απόσταση των αγωγών Μ.Τ. από το έδαφος είναι 6 m με τις γνωστές προσαυξήσεις. Η απόσταση αυτή αφορά όλα τα εδάφη τα προσιτά σε οχήματα και επειδή ουσιαστικά παντού πηγαίνει τρακτέρ, η απόσταση αυτή αφορά όλα τα εδάφη, με τη μοναδική εξαίρεση των απόκρημνων βράχων που δύσκολα μπορούν να σταθούν ακόμη και άνθρωποι, με ανεκτή ελάχιστη απόσταση 4,5 m.

Στις υπεραστικές γραμμές Μ.Τ. σε μη ομαλά εδάφη, ο προσδιορισμός των υψών γίνεται από τη μηκοτομή, ξεκινώντας κλασικά για τις γραμμές τριών αγωγών.»

### 3.5 Μηκοτομή

«Μηκοτομή ονομάζουμε μία τομή της γραμμής σε κατακόρυφο επίπεδο . Η Μηκοτομή αφορά τόσο στοιχεία του εδάφους, όσο και των αγωγών με τους στύλους.

Η σχεδίαση γενικά γίνεται σε κλίμακα μηκών 1: 5000 και υψών 1: 500 σε χαρτί μιλιμετρέ (αν δεν υπήρχε η στρεβλότητα στις κλίμακες οι καμπύλες των αγωγών θα έμοιαζαν με ευθείες και θα ήταν σχεδόν σε επαφή με το έδαφος).

Με τις κλίμακες αυτές πρακτικά σημαίνει ότι κάθε χιλιοστό οριζόντια αντιστοιχεί σε 5 πραγματικά μέτρα και κάθε χιλιοστό κατακόρυφα σε μισό πραγματικό μέτρο.

Για την απεικόνιση του εδάφους μας χρειάζονται όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά σημεία κατά μήκος της γραμμής που είναι θέσεις στύλων, όπως και σημεία αλλαγής κλίσης του εδάφους, αλλά και ειδικότερα σημεία διασταυρώσεων, που απαιτούν εξειδικευμένη εξέταση των αποστάσεων ασφαλείας και επίλογος των κατάλληλων κατασκευών.

Έτσι αποτυπώνουμε ιδιαίτερα τα σημεία : Αρχή και τέλος δρόμου ή σιδηροδρομικής γραμμής, αρχή και τέλος ποταμού ή χαράδρας ή περιοχής ακατάλληλης για την τοποθέτηση στύλου. Σημείο διασταύρωσης γραμμής ΟΤΕ, ή άλλου φορέα, ή κτίσματος με το ύψος του στο σημείο διασταύρωσης.

Απεικονίζουμε το σύνολο των σημείων του εδάφους και τις θέσεις των γωνιακών στύλων όπως και του στύλου αναχώρησης και τέρματος που είναι υποχρεωτικές και έχουν προκύψει από τη χάραξη της γραμμής .

Στη συνέχεια έχοντας τη διατομή της γραμμής, ξέρουμε τις δυνατότητες των ανοιγμάτων και τις τοποποιημένες τανύσεις στην επιφόρτισή που έχουμε επιλέξει για το συγκεκριμένο τμήμα.

Από μία προσεκτική ανάγνωση της μηκοτομής του εδάφους, εκτιμάμε σε πρώτη φάση το βασικό άνοιγμα που πρέπει να επιλέξουμε για μία ομάδα στύλων μεταξύ δύο τερματισμών .

Τώρα για την ομάδα αυτή έχουμε τα τέσσερα καμπυλόγραμμα ελέγχου και κάνουμε μία πρώτη επιλογή στις θέσεις των στύλων.

α) Με το καμπυλόγραμμο στους 16°C ελέγχουμε τις ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας από το έδαφος και άλλα στοιχεία . Έτσι έχουμε μία πρώτη εκτίμηση στα απαιτούμενα ύψη των στύλων. β) Με το καμπυλόγραμμο στη χαμηλότερη θερμοκρασία αλλά χωρίς επιφόρτισή ελέγχουμε αν υπάρχουν τραβήγματα και γίνεται διόρθωση στα ύψη αν απαιτείται.

γ) Με το καμπυλόγραμμο σε κατακόρυφη επιφόρτιση βρίσκουμε για κάθε στύλο το κατακόρυφο άνοιγμα που καταπονεί στύλο και τον εξαρτισμό κορυφής.



Με τα καμπυλόγραμμα  $\beta$  και  $\gamma$  που συμπλίνουν στην **ελαφρά** επιφόρτιση, βρίσκουμε αν ο στύλος με τράβηγμα χρειάζεται ή όχι επιτόνους συγκράτησης. Πρέπει και τα δύο κατακόρυφα ανοίγματα έλξης, να είναι μικρότερα εκείνων που δίνουν οι πίνακες χωρίς επιφόρτιση και με  $\kappa$  επιφόρτιση.

δ) Με το καμπυλόγραμμο σε πλήρη επιφόρτιση ελέγχουμε την αντοχή των αγωγών βρίσκοντας το κατακόρυφο ημιάνοιγμα που το συγκρίνουμε με το ΜΚΗ που δίνουν οι πίνακες.

Στην περίπτωση που βρισκόμαστε στα όρια αντοχής, σπάνια μπορεί να εφαρμοστεί το καμπυλόγραμμο λόγω της μεγάλης κλίσης στο άνοιγμα αυτό. Καταφεύγουμε σε υπολογιστική μέθοδο.

Αν διαπιστώσουμε ότι με την επιλογή θέσεων στύλων που κάναμε έχουμε προβλήματα όπως π.χ πολλά τραβήγματα, μεγάλη ύψη στύλων, αντικονομικές κατασκευές, επανερχόμαστε αλλάζοντας το βασικό άνοιγμα και θέσεις στύλων.

Η εργασία είναι κοπιαστική και απαιτεί μεγάλη εμπειρία. Πολλές φορές οι μελετητές έχουν προκαθορίσει τις θέσεις των στύλων κατά τη λήψη των στοιχείων της μηκοτομής. Σίγουρα δεν είναι ότι καλύτερο, γιατί έχει προδικαστεί το ύψος των στύλων και οι απαιτούμενες κατασκευές κορυφής χωρίς τον οικονομικό παράγοντα.

Στο κάτω μέρος της μηκοτομής δίνουμε την οριζοντιογραφία με τα μήκη των ανοιγμάτων και τις οριζόντιες γωνίες της γραμμής όπως και στη διάταξη των φάσεων με βάση το βορρά. Αφού ολοκληρωθεί η εργασία συντάσσουμε το Φύλλο Πασσαλώσεως.» [Α6]

## **3.6 Μηχανικός Υπολογισμός Γραμμής Μ.Τ.**

### **3.6.1 Επιφορτίσεις**

«Με τον όρο επιφόρτιση εννοούμε τις επιπλέον δυνάμεις που δέχεται το δίκτυο εξαιτίας των καιρικών συνθηκών και το καταπονούν.»

«Κατά την μελέτη των γραμμών διανομής απαιτείται η εκλογή της συνθήκης επιφόρτισης των αγωγών. Τα είδη των εφαρμοσμένων επιφορτίσεων προέρχεται από το εγχειρίδιο τυποποιημένων κατασκευών διανομής του Δ.Ε.ΔΔ.Η.Ε. Υπάρχουν τα εξής είδη επιφόρτισης:»

- Ελαφρά Επιφόρτιση
- Μέση Επιφόρτιση
- Βαριά Επιφόρτιση
- Υπερβαρέα Επιφόρτιση
- Λίαν Εξαιρετικώς Βαρέα Επιφόρτιση

«Από τον Κανονισμό του Κ.Ε.Σ.Υ.Γ.Η.Ε. προβλέπονται μόνο τρία βασικά είδη επιφορτίσεων ελαφρά, μέση και βαριά. Από το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε θεσπίστηκαν και εφαρμόζονται η Υπερβαρέα Επιφόρτιση και η Λίαν Εξαιρετικώς Βαρέα Επιφόρτιση σε περιοχές όπου οι καιρικές συνθήκες είναι δυσμενείς. Στις επιφορτίσεις διακρίνουμε την επιφόρτιση λόγω πάγου ή χιονιού και την επιφόρτιση λόγω ανέμου. Στο περισσότερο μέρος της χώρας επικρατούν συνθήκες Μέσης Επιφόρτισης.»[Α6]

### **3.6.2 Βασικό Άνοιγμα**

«Στη πράξη όλα τα ανοίγματα μεταξύ των στύλων δεν μπορεί να είναι τα ίδια Μπαίνει, το πρόβλημα ότι πρέπει να έχουμε ένα «αντιπροσωπευτικό» άνοιγμα για ένα σύνολο ανομοιομόρφων ανοιγμάτων.

Αυτό το αντιπροσωπευτικό άνοιγμα ονομάζουμε Βασικό Άνοιγμα και προσδιορίζεται ως Εξής:

Το Βασικό Άνοιγμα (BA), ισούται με το Μέσο Άνοιγμα (MA) προσαυξημένο κατά τα δύο τρίτα της διαφοράς μέσου από μέγιστου (MAX).

Το Μέσο Άνοιγμα (MA) είναι η μέση τιμή του συνόλου των ανοιγμάτων που εξετάζουμε, δηλαδή το άθροισμα όλων των ανοιγμάτων διαιρεμένο με το πλήθος τους.

$$\text{Δηλαδή: } BA = MA + \frac{2}{3}(MAX - MA) \text{ ή } BA = \frac{1}{3}MA + \frac{2}{3}MAX$$

Από τον παραπάνω εμπειρικό τύπο βλέπουμε την πολύ μεγαλύτερη συμμετοχή του μέγιστου ανοίγματος έναντι του μέσου κατά το σχηματισμό του βασικού .

### **Οριακές συνθήκες**

Δίδονται οι δύο παρακάτω οριακές συνθήκες που πρέπει να πληρούνται σε ένα σύνολο ανοιγμάτων μεταξοτερματικών.

- Το Μέγιστο Άνοιγμα (MAX) δεν πρέπει να υπερβαίνει το MA πλέον τα 50% αυτού:  $MAX < 1,5MA$
- Το Μέγιστο Άνοιγμα (MAX) δεν πρέπει να υπερβαίνει το BA πλέον τα 25% αυτού:  $MAX < 1,25BA$ .

Αν το BA έχει επιλεγεί ακριβώς με τον παραπάνω τύπο (χωρίς στρογγυλοποίηση) , η δεύτερη συνθήκη καλύπτεται από την πρώτη.

**Γενικά μετά την επιλογή του βασικού ανοίγματος ελέγχουμε ώστε κανένα άνοιγμα να μην είναι μεγαλύτερο του βασικού προσαυξημένου κατά 25%.**

Τα τυποποιημένα βασικά ανοίγματα για τις αστικές γραμμές ξεκινούν από 35 και συνεχίζουν σε 40, 50 και 65m ενώ στις υπεραστικές γραμμές ξεκινούν από τα 75m και προσαυξάνουν κατά 25. Έτσι έχουμε τα τυποποιημένα βασικά ανοίγματα 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, και 425m.»[A6]

### **3.6.3 Τανύσεις**

«Ο όρος Τάνυση εμπεριέχει τη δύναμη την οποία πρέπει να εξασκήσουμε σε ένα συγκεκριμένο αγωγό ώστε να πετύχουμε ένα συγκεκριμένο βέλος. Οι διάφορες τανύσεις βρίσκονται στο Εγχειρίδιο Τυποποιημένων κατασκευών διανομής.»[A2]

### **3.6.4 Κλάση Κατασκευής**

«Κλάση κατασκευής στα Δίκτυα Διανομής δεν είναι παρά ο συντελεστής ασφαλείας που δεχόμαστε για το καθορισμό του φορτίου των στύλων και των επιτόνων. Στα Δίκτυα Διανομής υπάρχουν δυο κλάσεις κατασκευής την Α και τη Β. Η κλάση Α έχει γενικά μεγαλύτερους συντελεστές ασφαλείας από τη κλάση Β και εφαρμόζεται όταν θέλουμε μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας στο Δίκτυο Διανομής. Παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας για την επιλογή της κλάσης κατασκευής.»[A2]

Οι Κλάσεις Κατασκευής καθορίζουν τους Συντελεστές Ασφαλείας που πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση. Η Κλάση Α είναι ισχυρότερη από τη Β.						
Αγωγοί Ενέργειας σε Υψηλότερη Στάθμη	Τάση Μεταξύ των Αγωγών Σε Volts					
	0-8700 Volts		Πάνω από 8700 Volts			
Αγωγοί ή Τοποθεσίες σε Χαμηλότερη Στάθμη	Αστικές Περιοχές	Αγροτικές Περιοχές	Αστικές Περιοχές		Αγροτικές Περιοχές	
	Αγωγοί Ορατοί ή Καλώδια	Αγωγοί Ορατοί ή Καλώδια	Ορατοί Αγωγοί	Καλώδια	Ορατοί Αγωγοί	Καλώδια
Σιδηροδρομικές Γραμμές	A	A	A	A	A	A
Λοιπές Εκτάσεις (οδοί, πλατείες κ.τ.λ.)	B	B	A	B	B	B
Αγωγοί Τάσεως Μεταξύ των Αγωγών 0-8700 Volts, Ορατοί ή Καλώδια	B	B	A	B	B	B
Άνω των 8700 Volts, Ορατοί Αγωγοί	A	B	A	B	B	B
Άνω των 8700 Volts, Καλώδια	B	B	A	B	B	B
Ορατοί εγκατεστημένοι αγωγοί ή καλώδια επικοινωνίας	A	A	A	B	B	B

Σχήμα 29. Πίνακας Επιλογής Κλάσης Κατασκευής.[A1]

### 3.6.5 Δυνάμεις που Εφαρμόζονται σε ένα Στύλο Μέσης Τάσης

Οι δυνάμεις που κυρίως καταπονούν τους στύλους είναι:

- **Κατακόρυφη Δύναμη G.**

«Προσδιορίζεται γραφικά με τη βοήθεια καμπυλόγραμμων σε κατακόρυφη επιφόρτιση και αναλυτικά αν γνωρίζουμε τα υψόμετρα των σημείων ανάρτησης των αγωγών. Αν βρισκόμαστε σε οριζόντιο ή ισοκλινές έδαφος η δύναμη G είναι ίση με το βάρος του συνόλου των αγωγών με πάγο στο ημιάθροισμα των εκατέρωθεν του στύλου ανοιγμάτων (μέσο άνοιγμα). Τη δύναμη αυτή πρέπει να προσαυξάνουμε με το βάρος ενός τεχνίτη και το βάρος κατασκευής κορυφής.»

- **Εγκάρσια Δύναμη Q**

«Οφείλεται στη δύναμη που ασκεί ο άνεμος επί των αγωγών και επί του στύλου σε διεύθυνση σε κάθετη γραμμή. Η δύναμη επί του στύλου είναι γνωστή και είναι η ίδια για όλες τις επιφορτίσεις.»[A2]

## 3.7 Υλοποίηση Μελέτης Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αντικείμενο της Μελέτης είναι η υλοποίηση δύο διασυνδεδετικών δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ 3 κύριων δικτύων κορμών Μ.Τ. Αποτέλεσμα της μελέτης είναι η αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου στους καταναλωτές. Χρησιμοποιώντας τα διασυνδεδετικά δίκτυα μαζί με τα διακοπτικά τους στοιχεία ιδιαίτερα σε περιόδους που τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είτε. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό είναι η απομόνωση (διακοπή) των προβληματικών τμημάτων είτε τμημάτων του δικτύου που χρήζει συντήρησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας μόνο σε μια μικρή μερίδα καταναλωτών.

### 3.7.1 Επιλογή Σημείων Διασύνδεσης Κεντρικών Δ.Δ. Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η επιλογή των σημείων διασύνδεσης των κεντρικών Δ.Δ. Ηλεκτρικής ενέργειας έγινε βάση των εξής παραμέτρων:

- Τα κεντρικά δίκτυα έχουν κοντινή απόσταση μεταξύ τους.
- Το ανάγλυφο της περιοχής επιτρέπει την εύκολη υλοποίηση διασυνδεδετικού Δ.Δ.
- Η εύκολη πρόσβαση στα σημεία διασύνδεσης από το εξειδικευμένο συνεργείο των Δ.Δ. του ΔΕΔΔΗΕ στα διακοπτικά στοιχεία σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης.

### 3.7.2 Επιλογή Αγωγού Διασύνδεσης Δ.Δ. Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα κύρια κριτήρια επιλογής αγωγού, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι η διαβρωτικότητα της περιοχής καθώς η μέγιστη διατομή αγωγού για τα δίκτυα της Μ.Τ. Με βάση ότι οι περιοχές που διενεργούνται οι μελέτες βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 10km από την θάλασσα, τότε ο αγωγός που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι από χαλκό (Cu) με διατομή 95mm<sup>2</sup>.

### 3.7.3 Το Διασυνδεδετικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής για το R-24II και για το R-41II

Το πρώτο Διασυνδεδετικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται από τις κύριες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας (κορμούς) οι οποίες είναι η R – 24II και η R – 41II .

Χαρακτηριστικά κύριων Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας :

#### I. R – 24II

- Τροφοδοσία Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας : Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. Ηράκλειο II
- Εγκατεστημένη Ισχύς : 20505kVA
- Σύνολο Εγκατεστημένων Μ/Σ Μ.Τ/Χ.Τ.: 153

#### II. R – 41II

- Τροφοδοσία Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας : Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. Ηράκλειο II
- Εγκατεστημένη Ισχύς : 23980kVA
- Σύνολο Εγκατεστημένων Μ/Σ Μ.Τ/Χ.Τ.: 129

### 3.7.4 Το Διασυνδεδετικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής για το R-41II και για το R-42II

Το δεύτερο Διασυνδεδετικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται από τις κύριες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας (κορμούς) οι οποίες είναι R – 41II η και η R – 42II .

Χαρακτηριστικά κύριων Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας :

#### I. R – 41II

- Τροφοδοσία Γραμμής : Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. Ηράκλειο ΙΙ
- Εγκατεστημένη Ισχύς : 20505kVA
- Σύνολο Εγκατεστημένων Μ/Σ Μ.Τ/Χ.Τ.: 153

### III. R – 42II

- Τροφοδοσία Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας : Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. Ηράκλειο ΙΙ
- Εγκατεστημένη Ισχύς : 198230kVA
- Σύνολο Εγκατεστημένων Μ/Σ Μ.Τ/Χ.Τ.: 113

### 3.7.5 Λήψεις Μετρήσεων για την Σύνταξη της Μελέτης με τη Χρήση Τοπογραφικού Οργάνου

Για την λήψη των χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός θεοδόλιχος Sokkia. «Ο θεοδόλιχος είναι όργανο μέτρησης οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Χρησιμοποιείται τόσο σε γεωδαιτικές όσο και αστρονομικές εργασίες. Η λέξη θεοδόλιχος είναι ελληνική και προέρχεται από τις λέξεις θεώμαι και δόλιχος. Ο όρος απαντάται για πρώτη φορά σε μια εργασία του Άγγλου L. Digges που δημοσιεύθηκε το 1571. Εδώ περιγράφεται ένα όργανο που χρησιμεύει στη μέτρηση γωνιών και που ονομάζεται Theo-dolitus. Το όργανο είχε στην αρχή πολλές ατέλειες, συνεχώς όμως διαμέσου των αιώνων τελειοποιόταν σύμφωνα με τα διδάγματα της πείρας και της ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις της επιστήμης, ώστε σήμερα ένα γεωδαιτικό όργανο μεγάλης ακρίβειας».[A8]



(α)



(β)

Σχήμα 30. (α) Ο Θεοδόλιχος Sokkia. (β) Διαδικασία Λήψης Μετρήσεων.

### 3.7.6 Σχεδίαση Μελέτης Διασυνδεδετικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Παλαιότερα τα σχέδια των Δ.Δ. γινόταν αποκλειστικά στο χέρι, μία άκρως δύσκολη και δύσκολη δουλειά για το λόγο ότι το σχέδιο απαιτούσε μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Σήμερα η σχεδίαση των Δ.Δ. γίνεται αποκλειστικά με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών λογισμικών σχεδίασης (CAD) όπως είναι το ηλεκτρονικό λογισμικό AutoCAD το οποίο αναλύεται παρακάτω.

### **3.7.7 Το Ηλεκτρονικό Λογισμικό AutoCAD**

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία έχει χρησιμοποιηθεί η έκδοση 2017 του AutoCAD. Το AutoCAD είναι το διάσημο λογισμικό CAD σε διεθνές επίπεδο. Είναι ένα πολύ εξελιγμένο σχεδιαστικό πρόγραμμα ικανό να εξυπηρετήσει Αρχιτέκτονες και Μηχανικούς.

Η Σχεδίαση των Δικτύων γίνεται σε ένα πρότυπο φύλλο σχεδίασης του ΔΕΔΔΗΕ που ονομάζεται φύλλο κατασκευαστικού σχεδίου. Περιλαμβάνει διάφορες πληροφορίες όπως είναι το σχέδιο της μελέτης που έχει υλοποιηθεί, το συνολικό κόστος του έργου, περιοχή που έγινε το έργο κ.α. Η σχεδίαση των Δικτύων Μ.Τ. στο Κατασκευαστικό Σχέδιο υλοποιείται χρησιμοποιώντας τα σύμβολα που περιγράφονται στις σελίδες G-6 έως G-10 του εγχειριδίου Δ.Δ. του ΔΕΔΔΗΕ. Πριν μερικά χρόνια τα σύμβολα σχεδιάζονταν στο χέρι. Στις μέρες μας έχουν δημιουργηθεί βιβλιοθήκες (blocks) σύμβολων σε ηλεκτρονική μορφή. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση των Δικτύων Μ.Τ. στο κατασκευαστικό σχέδιο είναι 1:5000. Ο λόγος που αποτυπώνονται τα Δίκτυα Μ.Τ. στη κλίμακα αυτή είναι ότι ο ΔΕΔΔΗΕ αποτυπώνει τα Δίκτυα Μ.Τ. πάνω σε Χάρτες κλίμακας 1:5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ		G-7
Π Ε Ρ Ι Γ Ρ Α Φ Η	ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΑ
Γραμμή Μ.Τ.		
Γραμμή Χ.Τ.		
Γραμμή πού πρέπει νά καταργηθῆι		
Γραμμή πού πρέπει νά μεταβληθῆι		
Παροχέτευση		
Γραμμή τηλεπικοινωνίας έναέρια		
Γραμμή ἐπιτοίχιου καλώδιου		
Έναέρια γραμμή αὐτοστήρικτου καλώδιου ἢ στηριζόμενου σέ συρματόσχοινο.		
Κιβώτιο διακλαδώσεως ἐπίτοιχου καλώδιου 2 κατευθύνσεων.		
Κιβώτιο διακλαδώσεως ἐπίτοιχου καλώδιου 3 κατευθύνσεων.		
Κιβώτιο διακλαδώσεως ἐπίτοιχου καλώδιου 4 κατευθύνσεων		
Κιβώτιο ἐπιτοίχιου καλώδιου τέρματος		
Γραμμή Δημοτικοῦ φωτισμοῦ		
Φωτιστικό σῶμα μέ λαμπτήρα πυρακτώσεως		
Φωτιστικό σῶμα μέ λαμπτήρα φθορισμοῦ		
Φωτιστικό σῶμα μέ λαμπτήρα ἀτμῶν ὑδραργύρου		
Τομή γραμμῆς		
Άλλαγή κατευθύνσεως		
Ξύλινος στῦλος		
Τσιμεντένιος στῦλος κυλινδρικός		
Τσιμεντένιος στῦλος ὀρθογωνικῆς διατομῆς		
Στῦλος χαλύβδινος κυλινδρικός		
Στῦλος χαλύβδινος δικτυωτός τετραγωνικῆς διατομῆς		
Στῦλος χαλύβδινος δικτυωτός ὀρθογωνικῆς διατομῆς		
Στυλίσκος παροχῆς		
Πλαίσιο Χ.Τ. ἢ πρόβολος Μ.Τ. σέ στῦλο		

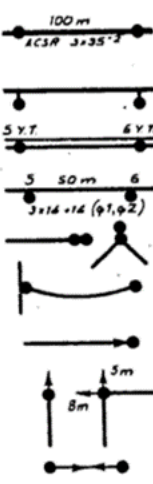
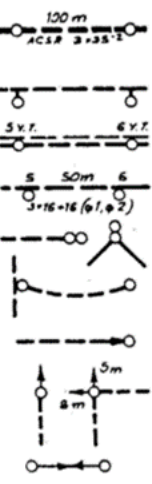
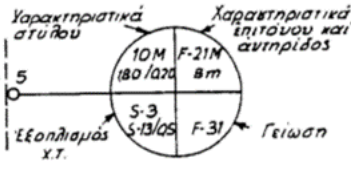
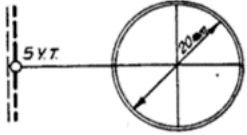
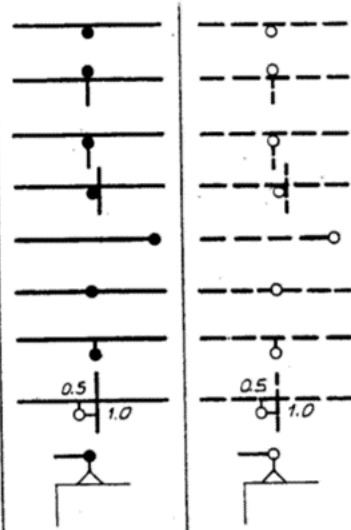
ΜΑΪ 1977

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

G-7

Σχῆμα 31. Συμβολισμοί Εναέριων Δικτύων Διανομῆς.[Α1]

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Π Ε Ρ Ι Γ Ρ Α Φ Η	Υ Π Α Ρ Χ Ο Ν Τ Α	Π Ρ Ο Β Λ Ε Π Ο Μ Ε Ν Α
<p>Γραμμή Μ.Τ., Άνοιγματα, Είδος άγωγών, Διατομές</p> <p>Γραμμή Μ.Τ. σέ κατασκευή προβόλου (P-5)</p> <p>Μικτή γραμμή Μ. κ Χ.Τ., Άρίθμηση</p> <p>Γραμμή Χ.Τ., Άρίθμηση, Άνοιγματα, Διατομές, Φάσεις</p> <p>Γραμμές σέ δίδυμους στύλους</p> <p>Άγωγοί άτάνυστοι</p> <p>Άντηρίδα ξύλινου στύλου</p> <p>Έπίτονοι</p> <p>Έπίτονος κεφαλής</p>		
<p>Παράσταση στύλου Χ.Τ. (Κύκλος 20 mm)</p>		
<p>Παράσταση στύλου μικτής γραμμής Μ κ Χ.Τ.</p>		
<p>Απεικόνιση διαφόρων κατασκευών Χ.Τ. (Συμβολίζονται έδω σάν παράδειγμα ξύλινοι στύλοι)</p>	<p>S-3</p> <p>S-5</p> <p>S-7</p> <p>S-9</p> <p>S-11</p> <p>S-11 II</p> <p>(S-3) + (S-13)</p> <p>(S-9) + 2(S-13)</p> <p>S-15</p>	

ΜΑΪ 1977

Σχήμα 32. Συμβολισμοί Εναέριων Δικτύων Διανομής.[A1]



## 4.Περιγραφή Πειραματικής Διάταξης

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά το hardware του συστήματος SCADA που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο τη μακέτας, η οποία απαρτίζεται από τη μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B σε ρόλο MTU (Master Terminal Unit), τις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino Mega 2560 σε ρόλο RTU (Remote Terminal Unit, τις πλακέτες επέκτασης (shield) για τη επικοινωνία των RTUs με το MTU, τα αισθητήρια τάσης - ρεύματος καθώς και τους ηλεκτρονόμους της μακέτας.

### 4.1 Η Μικροϋπολογιστική Πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B

Το Raspberry Pi είναι ένας μικρός υπολογιστής σε μέγεθος μιας πιστωτικής κάρτας. Δημιουργήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο από το Raspberry Pi Foundation για την ευκολότερη εκμάθηση της επιστήμης των υπολογιστών στα σχολεία.

Το Raspberry Pi 3 είναι το τελευταίο, το τρίτο στη σειρά, RPi. Διαδέχτηκε το Raspberry Pi 2 τον Φεβρουάριο του 2016 και έχει ακριβώς το ίδιο μέγεθος καθώς και πλήρη συμβατότητα με την προηγούμενη έκδοση (το ίδιο 40pin header).



Σχήμα 33. Η Μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B.[12]

### **Βασικά Χαρακτηριστικά:**

- SoC: Broadcom BCM2837
- CPU: 4× ARM Cortex-A53, 1.2GHz
- GPU: Broadcom VideoCore IV
- RAM: 1GB LPDDR2 (900 MHz)
- Networking: 10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n wireless
- Bluetooth: Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth Low Energy
- Storage: micro-SD
- GPIO: 40-pin header
- Ports: HDMI, 3.5mm analogue audio-video jack, 4× USB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)

## **4.2 Οι Μικροϋπολογιστικές Πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino 2560**

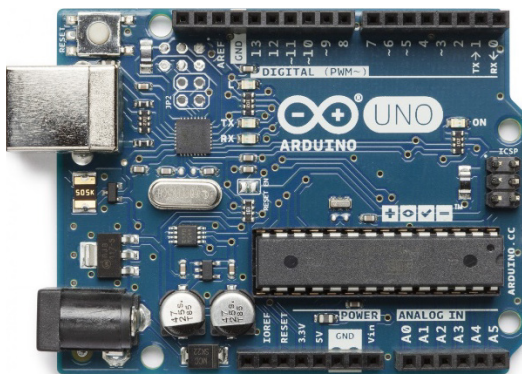
Οι μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της μονάδας ελέγχου, είναι τα αναπτυξιακά σύστημα Arduino Uno και Arduino Mega 2560, το οποίο χρησιμοποιούν τον 8-bit μικροελεγκτές ATmega328P και ATmega2560 της εταιρίας Atmel.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του αναπτυξιακού Arduino Uno είναι:

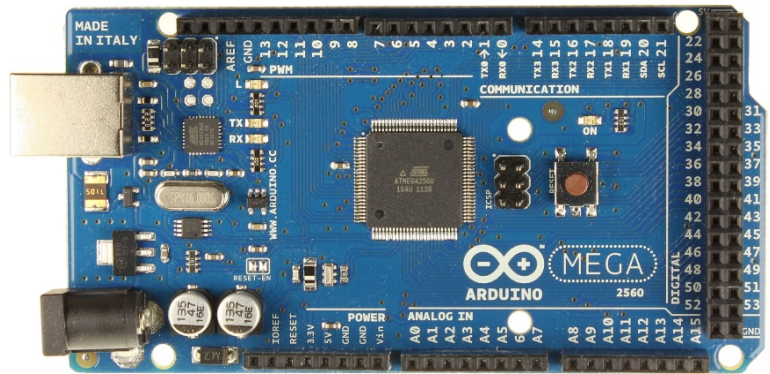
- Μικροελεγκτής ATMega328P, με 8-bit αρχιτεκτονική RISC
- Συχνότητα χρονισμού λειτουργίας 16MHz
- 32k μνήμη FLASH για τον κώδικα της εφαρμογής
- 2k μνήμη SRAM
- 1k μνήμη EEPROM
- 1 χρονιστής 16-bit, 2 χρονιστές 8-bit
- 6-έξοδοι hardware PWM.
- 14 ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι
- 6 μονάδες 10-bit ADC, 6 αναλογικές εισοδοι
- 1 μονάδα σειριακής διασύνδεσης USART
- Υποστήριξη πρωτοκόλλων SPI, I<sup>2</sup>C
- Τάση λειτουργίας 5V
- Εύρος τροφοδοσίας 7-12V
- Προγραμματισμός μέσω Usb/bootloader

Τα κύρια χαρακτηριστικά του αναπτυσσικού Arduino Mega 2560 είναι:

- Μικροελεγκτής ATmega2560, με 8-bit αρχιτεκτονική RISC
- Συχνότητα χρονισμού λειτουργίας 16MHz
- 248k μνήμη FLASH για τον κώδικα της εφαρμογής
- 8k μνήμη SRAM
- 4k μνήμη EEPROM
- 4 χρονιστές 16-bit, 2 χρονιστές 8-bit
- 14 έξοδοι hardware PWM.
- 53 ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι
- 16 μονάδες 10-bit ADC, 16 αναλογικές εισοδοι
- 4 μονάδες σειριακής διασύνδεσης USART
- Υποστήριξη πρωτοκόλλων SPI, I<sup>2</sup>C
- Τάση λειτουργίας 5V
- Εύρος τροφοδοσίας 7-12V
- Προγραμματισμός μέσω Usb/bootloader



(α)



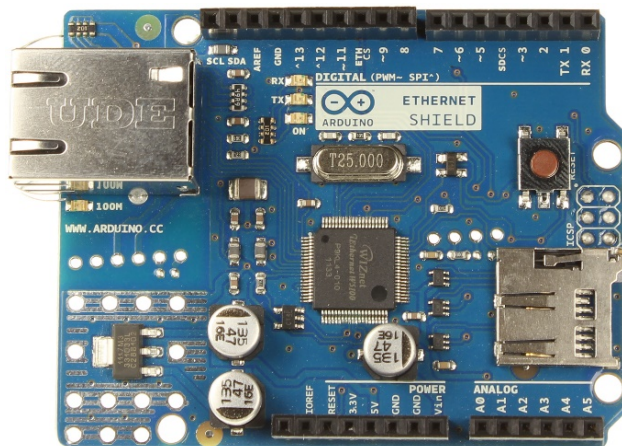
(β)

Σχήμα 34. (α) Το αναπτυσσικό Arduino Uno.  
(β) Το αναπτυσσικό Arduino Mega 2560.[11]

Βασικό κριτήριο για την επιλογή των συγκεκριμένων μικροϋπολογιστών ήταν η πληθώρα των παρεχόμενων ψηφιακών εισόδων/εξόδων, οι οποίες διευκολύνουν τη διασύνδεση των περιφερειακών που χρησιμοποιούνται στην πειραματική διάταξη, ειδικότερα για τα ολοκληρωμένα ZMPT101B και ACS712-5A. Επιπρόσθετα, οι εν λόγω μικροϋπολογιστές παρέχουν επαρκή επεξεργαστική ισχύ για την υλοποίηση του λογισμικού ελέγχου του συστήματος, σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, διαθέτουν ένα εύχρηστο περιβάλλον προγραμματισμού, το οποίο υποστηρίζεται από σωρεία βιβλιοθηκών που διευκολύνουν τη γρήγορη υλοποίηση διαφόρων λειτουργιών.

### 4.3 Η πλακέτα Επέκτασης Arduino Ethernet Shield

Η πλακέτα επέκτασης Arduino Ethernet Shield επιτρέπει στις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino Mega τη διασύνδεση τους στο διαδίκτυο. Η πλακέτα επέκτασης βασίζεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα Wiznet 5100. Επίσης διαθέτει θύρα Micro SD για την αποθήκευση δεδομένων.



Σχήμα 35. Η πλακέτα επέκτασης Arduino Ethernet Shield.[11]

Η επικοινωνία των μικροϋπολογιστών πλατφόρμων Arduino Uno και Arduino Mega επικοινωνούν με το ολοκληρωμένο κύκλωμα W5100 επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας Serial Peripheral Bus (SPI) μέσω των headers ICSP που βρίσκονται και στις δυο αναπτυσσόμενες πλατφόρμες.

Είναι άξιο αναφοράς πως κατά την διασύνδεση της πλακέτας επέκτασης με το Arduino Uno και το Arduino Mega δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες ψηφιακές θύρες λόγω ότι χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση με το πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI. Συγκεκριμένα στη μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Arduino μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ψηφιακές θύρες 4,10,11,12,13 δεν καθώς και στη μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Arduino Mega οι ψηφιακές θύρες 4,10,50,51,52.

Η πλακέτα επέκτασης διαθέτει επίσης ενδεικτικά Led που δείχνουν την κατάσταση λειτουργίας της.

- PWR: Η πλακέτα επέκτασης τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα
- LINK: Υποδεικνύει τη παρουσία δικτύου Internet και αναβοσβήνει όταν αποστέλλει και λαμβάνει δεδομένα.
- FULLD: Υποδεικνύει τη παρουσία αμφίδρομης ταυτόχρονης επικοινωνίας (full duplex) στο δίκτυο.
- 100M: Υποδεικνύει τη ταχύτητα του δικτύου.
- RX: Υποδεικνύει τη λήψη δεδομένων από το δίκτυο.
- TX: Υποδεικνύει την αποστολή δεδομένων προς το δίκτυο
- COLL: Υποδεικνύει προβλήματα στη σύνδεση του δικτύου.

## 4.4 Το Αισθητήριο Εναλλασσόμενης Τάσης ZMPT101B

Το ZMPT101B είναι ένα χαμηλού κόστους αισθητήριο για τη μέτρηση εναλλασσόμενης μονοφασικής τάσης. Το εν λόγω αισθητήριο είναι τοποθετημένο σε μια πλακέτα για λόγους ευκολίας. Λαμβάνει την εναλλασσόμενη τάση από τους ακροδέκτες 5 και 6 του ολοκληρωμένου κυκλώματος. Τροφοδοτείται με συνεχές τάση 5 Volt και η έξοδος του συνδέεται σε μία από τις αναλογικές θύρες των Arduino. Τα χαρακτηριστικά του ZMPT101B παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά Λειτουργίας ZMPT101B	
Τάση Λειτουργίας	5 Volt DC
Εύρος Μέτρησης Αισθητηρίου	0 έως 250 Volt AC
Εύρος Τάσης εξόδου	0 έως 5 Volt DC

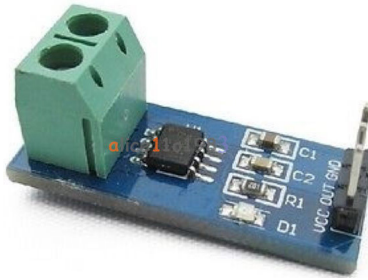


Σχήμα 36. Το Αισθητήριο ZMPT101B.[17]

## 4.5 Το Αισθητήριο Ρεύματος ACS712-5A

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα ACS712-5A της εταιρίας Allegro είναι ένα αισθητήριο μέτρησης ρεύματος, το οποίο μπορεί μετρήσει τόσο εναλλασσόμενο όσο και συνεχές ρεύμα. Το εν λόγω αισθητήριο μπορεί να δεχθεί μέγιστο εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα  $\pm 5A$ . Η έξοδος του συνδέεται σε μία από τις αναλογικές θύρες των Arduino. Τα χαρακτηριστικά του ACS712-5A παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά Λειτουργίας ACS712-5A	
Τάση Λειτουργίας	5 Volt DC
Εύρος Μέτρησης Αισθητηρίου	-5 έως 5 A AC/DC
Εύρος Τάσης εξόδου	0 έως 5 Volt DC
Τάση εξόδου του αισθητηρίου σε ρεύμα 0A	2.5 Volt DC
Συντελεστής κλίμακας (scale factor)	185mV/A



Σχήμα 37. Το Αισθητήριο Ρεύματος ACS71-5A.[18]

## 4.6 Οι Ηλεκτρονόμοι (Relays) της Πειραματικής Διάταξης

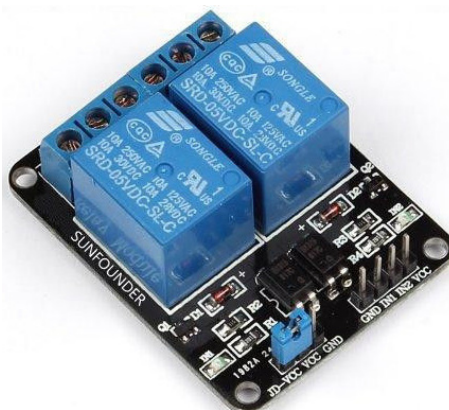
Το ρελέ, ή ο ηλεκτρονόμος όπως λέγεται στα ελληνικά, είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης. Αποτελείται από το μαγνήτη το πηνίο, τον οπλισμό τις κινητές και τις σταθερές επαφές.

Μόλις εφαρμοστεί τάση στα άκρα του πηνίου δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, έλκει τον οπλισμό και η κινητή επαφή διασυνδέεται με τη σταθερή. Όταν σταματήσει να εφαρμόζεται τάση στα άκρα του πηνίου, ο οπλισμός επανέρχεται στη πρότερη του κατάσταση λόγω του ελατηρίου που διαθέτει και η κινητή επαφή αποσυνδέεται από τη σταθερή.

Τα ρελέ διαθέτουν συνήθως δύο τύπους επαφών χαρακτηρίζονται ένα είναι διασυνδεδεμένες ή όχι σε κατάσταση ηρεμίας με τις σταθερές επαφές και ονομάζονται Normally Open (NO) και Normally Close (NC).

Οι ηλεκτρονόμοι της πειραματικής έχουν τοποθετηθεί σε μια πλακέτα. Οι βοηθητικές επαφές του ηλεκτρονόμου τροφοδοτούνται με τάση 5 Volt DC. Η πλακέτα των ηλεκτρονόμων περιέχει ένα κύκλωμα με ενσωματωμένο ένα optocoupler chip για τον έλεγχο του κάθε ηλεκτρονόμου. Τα μικροϋπολογιστικά συστήματα Arduino συνδέονται με τις ψηφιακές θύρες τους στις επαφές INx των ηλεκτρονόμων. Για την ενεργοποίηση τους η τάση στη στις ψηφιακές θύρες πρέπει να είναι στα 0 Volt ενώ για την απενεργοποίηση τους στα 5 Volt.

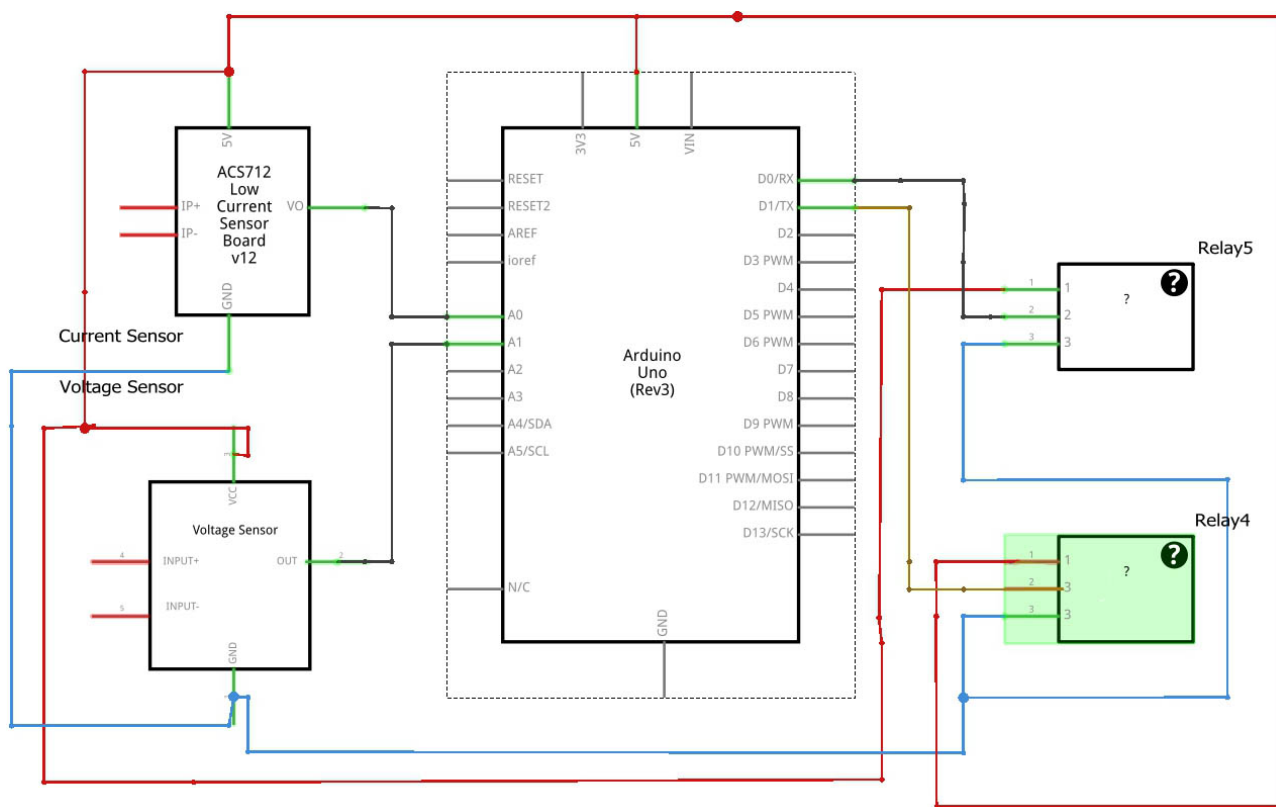
Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Ηλεκτρονόμων	
Τάση Λειτουργίας Βοηθητικών Επαφών	5 Volt DC
Μέγιστη Τάση Λειτουργίας Επαφών Ισχύος	250 Volt AC
Μέγιστο Ρεύμα Λειτουργίας Επαφών Ισχύος	10A AC



Σχήμα 38. Οι Ηλεκτρονόμοι της Πειραματικής Διάταξης.

## 4.7 Διασύνδεση Περιφερειακών με τις Μικροϋπολογιστικές Πλατφόρμες

Το σύστημα SCADA απαρτίζεται από το Remote Terminal Unit (RTU) και από το Master Terminal Unit (MTU). Το MTU αποτελείται από τα αισθητήρια τάσης και ρεύματος, τις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino Mega, καθώς και τις πλακέτες επέκτασης τους (Arduino Shields). Τα αισθητήρια Τάσης και Ρεύματος έχουν διασυνδεθεί στις αναλογικές εισόδους των Arduino. Οι μικροϋπολογιστές λαμβάνουν τα αναλογικά σήματα από τα αισθητήρια τα μετατρέπουν σε ψηφιακά σήματα χρησιμοποιώντας το μετατροπέα Analog to Digital Converter (ADC). Η μονάδα ADC εμπεριέχεται σε όλες τις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες και παρέχουν μετατροπές ακριβείας. Οι ηλεκτρονόμοι αντίστοιχα διασυνδέονται στις ψηφιακές θύρες των μικροϋπολογιστών.

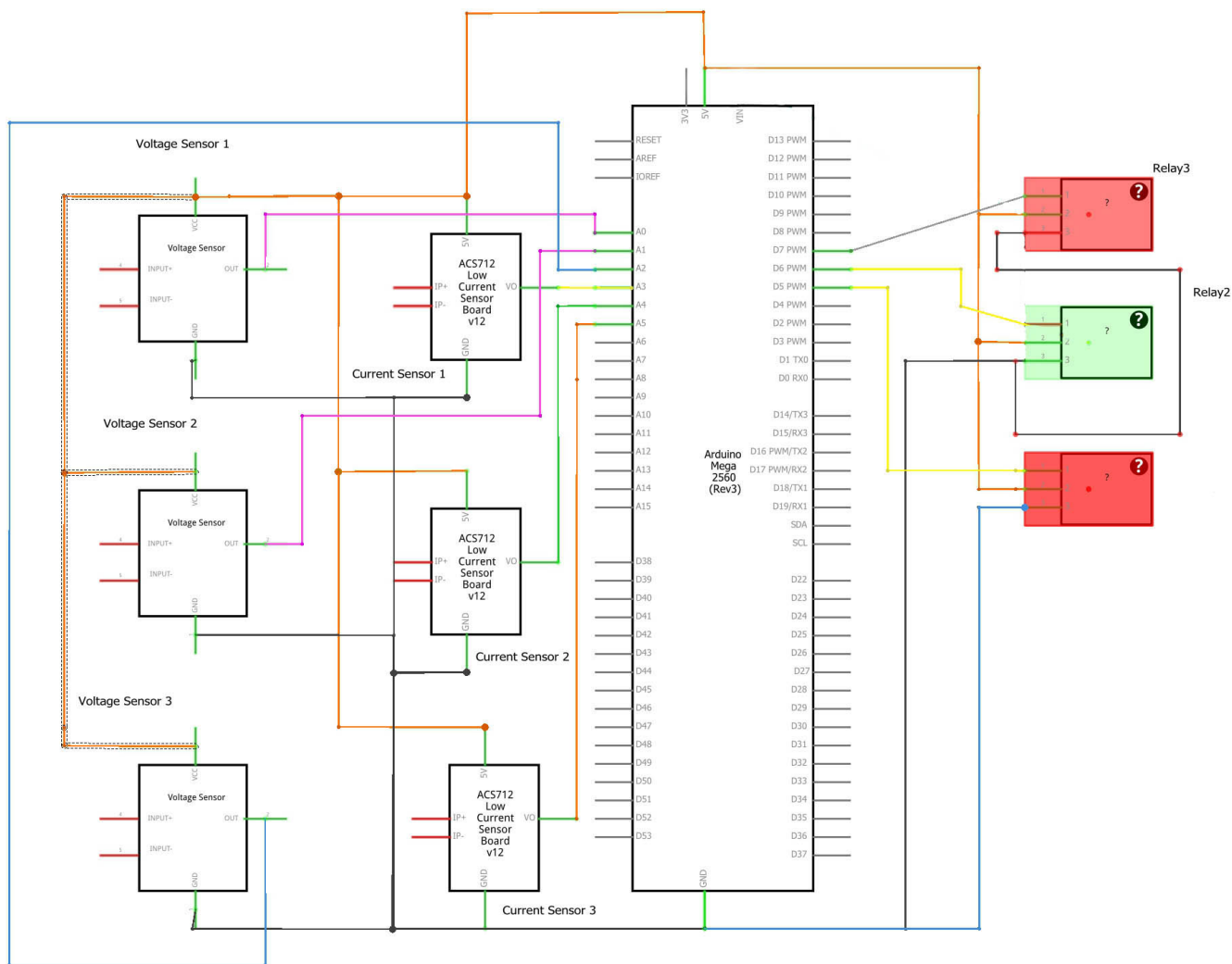


Σχήμα 39. Ηλεκτρολογικό Διάγραμμα Διασύνδεσης Arduinos Uno.

Συγκεκριμένα, όλες οι μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno διασυνδέονται με το αισθητήριο τάσης ZMPT101B στην αναλογική είσοδο Analog Input Pin 0 (A0) και με το αισθητήριο ρεύματος ACS712-5A στην αναλογική είσοδο Analog Input Pin 1 (A1). Οι ηλεκτρονόμοι (Relays) της πειραματικής διάταξης διασυνδέονται στις ψηφιακές θύρες Digital Pin 0 και Digital Pin 1.

Στην μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Arduino Mega 2560 τα αισθητήρια τάσης διασυνδέονται στις αναλογικές θύρες Analog Pin 0 (A0), Analog Pin 1 (A1) και Analog Pin 2 (A2), ενώ τα αισθητήρια ρεύματος διασυνδέονται στις αναλογικές θύρες Analog Pin 3 (A3), Analog Pin 4 (A4) και Analog Pin 5 (A5). Οι ηλεκτρονόμοι (Relays) της πειραματικής διάταξης διασυνδέονται στις ψηφιακές θύρες Digital Pin 5, Digital Pin 6 και Digital Pin 7. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ρεύμα από τη θύρα 5 Volt του Arduino Mega 2560 δεν επαρκούσε για την τροφοδότηση τόσο των αισθητηρίων τάσης και ρεύματος, όσο και για την τροφοδότηση των ηλεκτρονόμων της πειραματικής διάταξης. Για

αυτό το λόγο προστέθηκε εξωτερική πηγή ρεύματος για την σωστή λειτουργία της πειραματικής διάταξης.

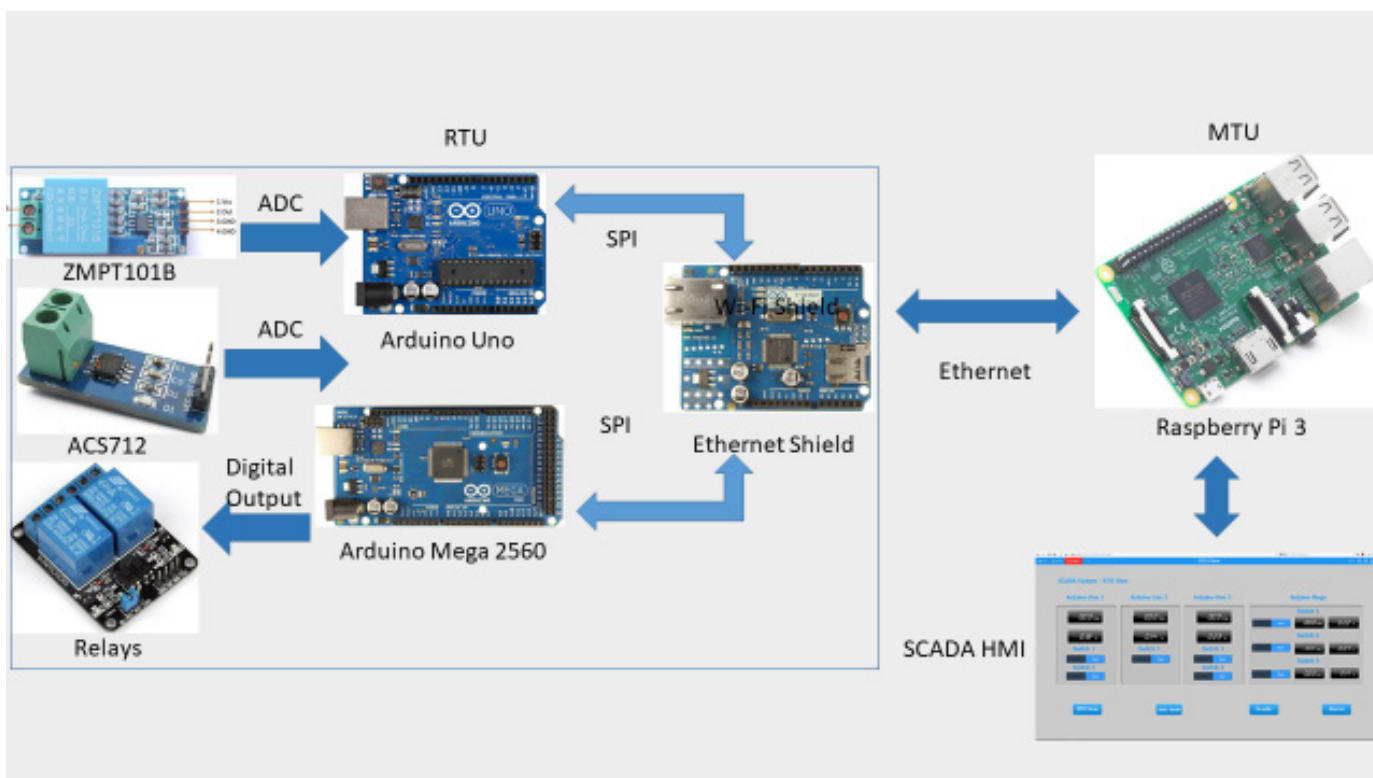


Σχήμα 40. Ηλεκτρολογικό Διάγραμμα Διασύνδεσης Arduino Mega.

Όλοι οι μικροϋπολογιστές επικοινωνούν με τις πλακέτες επέκτασης Arduino Ethernet Shield μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Serial Peripheral Interface Bus (SPI).

Η επικοινωνία των Arduino Shields με τη μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B επιτυγχάνεται με ενσύρματο τρόπο, συγκεκριμένα η επικοινωνία γίνεται με το ενσύρματο πρότυπο Ethernet (IEEE 802.3).





Σχήμα 41. Η Διασύνδεση της Πειραματικής Διάταξης.

## 4.8 Η Μακέτα της Πειραματικής Διάταξης

Η εφαρμογή του συστήματος SCADA έγινε σε μακέτα η οποία αναπαριστά σε μικρογραφία το υπάρχον Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς και Διασυνδεδετικά Δίκτυα τα οποία έχουν μελετηθεί και αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4. Για τη κατασκευή της μακέτας χρησιμοποιήθηκε ως βάση ένα πάνελ πεπιεσμένης ξυλείας με διαστάσεις  $90 \cdot 90 \text{ cm}$ . Η βάση καλύφθηκε με γρασιδί μακέτας για ρεαλιστική όψη εδάφους. Κατά τη κατασκευή των στύλων της μακέτας χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά ξύλα μακέτας με διάμετρο  $0,8 \text{ cm}$  και ύψος  $16 \text{ cm}$  καθώς και παραλληλόγραμμα ξύλα μακέτας με μήκος  $7 \text{ cm}$  πλάτος  $0,5 \text{ cm}$  και ύψος  $0,5 \text{ cm}$ .

Η μακέτα της Πειραματικής Διάταξης τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με τάση  $230 \text{ Volt}$ . Για το σκοπό αυτό τοποθετήθηκε ένας μικρός πίνακας με μικροαυτόματες ασφάλειες στην άκρη της μακέτας. Τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν στη μακέτα είναι τύπου H07V-K (NYAF) και H03VV-F (NYL). Σε ρόλο καταναλωτών τοποθετήθηκαν στη μακέτα πρίζες και φωτιστικά σώματα.

Τα μικροϋπολογιστικά συστήματα Raspberry Pi, Arduino μαζί με τις πλακέτες επέκτασης και τα αισθητήρια τοποθετήθηκαν σε κουτιά κατασκευασμένα από Plexiglas τα οποία έχουν φτιαχτεί στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης έχει τοποθετηθεί το καλώδιο UTP (Unshielded Twisted Pair) Category 6 για τη διασύνδεση του Raspberry Pi με τα Arduino.

Η μακέτα υλοποίησης της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στη παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 42. Η Μακέτα της Πειραματικής Διάταξης.

## 5. Περιγραφή Λογισμικού SCADA

### 5.1 Γενική Περιγραφή

Στους μικροελεγκτές Arduino Uno και Arduino Mega επιτελείται η κυρίως λειτουργία της κατασκευής, η ενεργοποίηση - απενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων, η λήψη δεδομένων από τα αισθητήρια τάσης και ρεύματος καθώς και η αποστολή των δεδομένων τους στη μικροπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Modbus TCP/IP. Επιπρόσθετα, το λογισμικό του Raspberry Pi αναλαμβάνει την εμφάνιση πληροφοριών των αισθητηρίων στην οθόνη, και την τρέχουσα κατάσταση των ηλεκτρονόμων του συστήματος. Επιπρόσθετα το λογισμικό του Raspberry Pi μπορεί να μεταβάλλει τη κατάσταση των ηλεκτρονόμων είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Η υλοποίηση σε λογισμικό των παραπάνω λειτουργιών περιγράφεται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

### 5.2 Προγραμματιστικό Περιβάλλον

Η ανάπτυξη του λογισμικού ελέγχου του συστήματος έγινε σε γλώσσα C. Η C είναι γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Αυτό σημαίνει ότι, λόγω των δυνατοτήτων που παρέχει, όπως όλες οι υψηλού επιπέδου γλώσσες, όπως τελεστές, εντολές, τύπους και δομές δεδομένων, συναρτήσεις κ.α., είναι πιο κοντά στις φυσικές γλώσσες, παρά στις γλώσσες μηχανής. Για να μεταφραστεί σε γλώσσα μηχανής πρέπει πρώτα να μεταφραστεί σε χαμηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού (assembly).



```
Arduino_1 | Arduino 1.8.3
File Edit Sketch Tools Help
Arduino_1
#include <Ethernet.h>
#include <SPI.h>
#include <MyModbus.h> //https://code.google.com/p/mymodbus/
#include <looperv.h> //https://github.com/jean177/looperv
#define relay0 0
#define relay1 1
#define timer 1000
//define timer 500

looperv myScheduler;

MyModbus Mb;
byte mac[] = { 0x00, 0x8d, 0x2d, 0x00, 0x81, 0x16 };
IPAddress ip (192, 168, 1, 15);
IPAddress gateway (192, 168, 1, 1);
IPAddress subnet (255, 255, 255, 0);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);
  myScheduler.addJob(readValues, timer);
  // myScheduler.addJob(relay0, 2000);
  pinMode(5, INPUT);

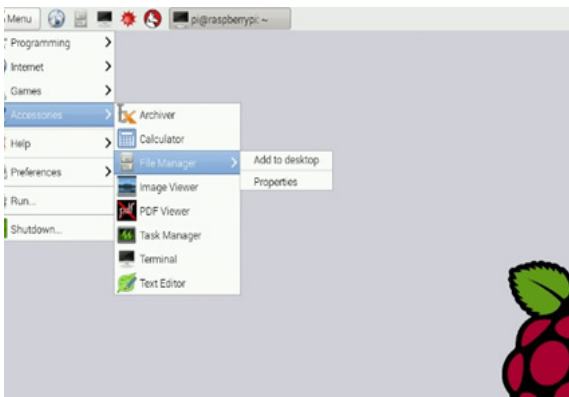
  pinMode(relay0, OUTPUT);
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  digitalWrite(relay0, HIGH);
  digitalWrite(relay1, LOW);
}
```

Σχήμα 43. Το Προγραμματιστικό Περιβάλλον Arduino IDE.

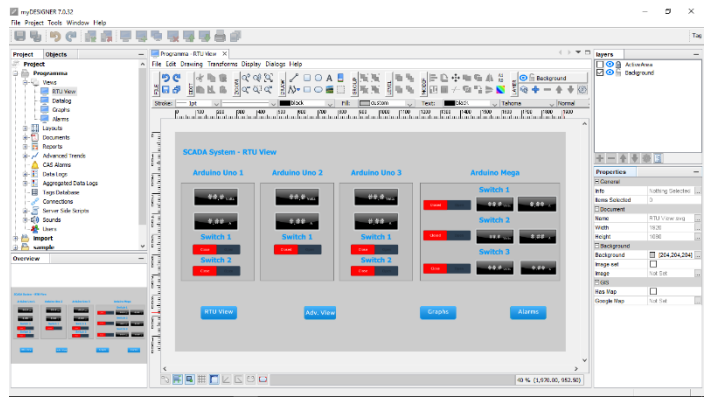
Αυτό γίνεται μέσω ενός compiler για γλώσσα C. Το προγραμματιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε είναι το Arduino IDE, ο οποίος συνδυάζει ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης προγράμματος βασισμένο στον compiler avr-gcc, αυτόματη δημιουργία και μεταφόρτωση (download) του προγράμματος στον ελεγκτή, για μικροελεγκτές της οικογένειας AVR της εταιρείας Atmel.

### 5.3 Το Ηλεκτρονικό Λογισμικό MySCADA

Η υλοποίηση του ηλεκτρικού λογισμικού SCADA πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του ηλεκτρονικού λογισμικού MySCADA Raspberry Pi. Η ανάπτυξη του λογισμικού MySCADA έγινε στο ηλεκτρονικό λογισμικό MyDesigner το οποίο παρέχεται μαζί με το λογισμικό MySCADA. Η ανάπτυξη του λογισμικού γίνεται μόνο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η εγκατάσταση του Ηλεκτρονικού λογισμικού MySCADA εγκαθίσταται μέσω του προτύπου Ethernet από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στο λειτουργικό σύστημα Raspbian της μικροϋπολογιστικής πλατφόρμας Raspberry Pi 3 Model B. Το Raspbian είναι ένα δωρεάν λειτουργικό σύστημα βασισμένο στο λειτουργικό σύστημα Debian το οποίο έχει βελτιστοποιηθεί για τη Μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B.



(α)



(β)

Σχήμα 44. (α) Το Λειτουργικό Σύστημα Raspbian.  
(β) Το Προγραμματιστικό Περιβάλλον MyDesigner.

### 5.4 Περιγραφή του Περιβάλλοντος του Ηλεκτρονικού Λογισμικού MySCADA

Το περιβάλλον του ηλεκτρονικού λογισμικού MySCADA αποτελείται από τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Το παράθυρο ελέγχου και χειρισμών.
- Το παράθυρο τιμών των αισθητήριων συναρτήσεων του χρόνου λήψης τους.
- Το παράθυρο γραφημάτων των αισθητήριων του συστήματος συναρτήσεων του χρόνου λήψης τους.
- Το παράθυρο ειδοποίησης προβλημάτων.

Στο πρώτο παράθυρο (Σχήμα 43) ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τη κατάσταση των ηλεκτρονόμων κατά τη κρίση του χρήστη του συστήματος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 43 το σύστημα SCADA από τέσσερις RTU συσκευές.



Σχήμα 45. Το Περιβάλλον MySCADA.

Η πρωτεύουσα συσκευή RTU, Arduino Mega, αποτελείται από τρεις διακόπτες Switch 1, το Switch 2 και το Switch 3, τρία αισθητήρια ρεύματος και τρία αισθητήρια τάσης. Ο ρόλος των τριών αυτών διακοπών είναι η προσομοίωση του ελέγχου των τριών κεντρικών γραμμών-κορμών, οι οποίες αναχωρούν από τον Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. Τα αισθητήρια ρεύματος μετρούν το ρεύμα που διαρρέεται σε κάθε γραμμή-κορμό και τα αισθητήρια τάσης τις εφαρμοζόμενες τάσεις τους.

Το RTU Arduino Uno 1 έχει τοποθετηθεί στη γραμμή 1 και διαθέτει δύο διακόπτες, ένα αισθητήριο ρεύματος και ένα αισθητήριο τάσης. Οι διακόπτες αποτελούνται από τον διακόπτη διασύνδεσης-απομόνωσης κορμού (Switch 1) και το διακόπτη διασύνδεσης-απομόνωσης του διασυνδεδετικού τμήματος των κεντρικών γραμμών-κορμών 1 και 2 (Switch 2). Τα αισθητήρια ρεύματος και τάσης μετρούν αντίστοιχα το ρεύμα που διαρρέεται και την εφαρμοζόμενη τάση στη γραμμή 1.

Το RTU Arduino Uno 2 έχει τοποθετηθεί στην γραμμή 2 και διαθέτει ένα διακόπτη, ένα αισθητήριο ρεύματος και ένα αισθητήριο τάσης. Ο διακόπτης χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση-απομόνωση της κεντρικής γραμμής 2. Τα αισθητήρια τάσης και ρεύματος λειτουργούν ομοίως με αυτά του RTU Arduino Uno 1.

Το RTU Arduino Uno 3 έχει τοποθετηθεί στη γραμμή 3 και διαθέτει δύο διακόπτες, ένα αισθητήριο ρεύματος και ένα αισθητήριο τάσης. Οι διακόπτες αποτελούνται από τον διακόπτη διασύνδεσης-απομόνωσης κορμού (Switch 1) και το διακόπτη διασύνδεσης-απομόνωσης του διασυνδεδετικού τμήματος των κεντρικών γραμμών-κορμών 2 και 3 (Switch 2). Τα αισθητήρια ρεύματος και τάσης λειτουργούν ομοίως με αυτά του RTUs Arduino Uno 1 και Arduino Uno 2.

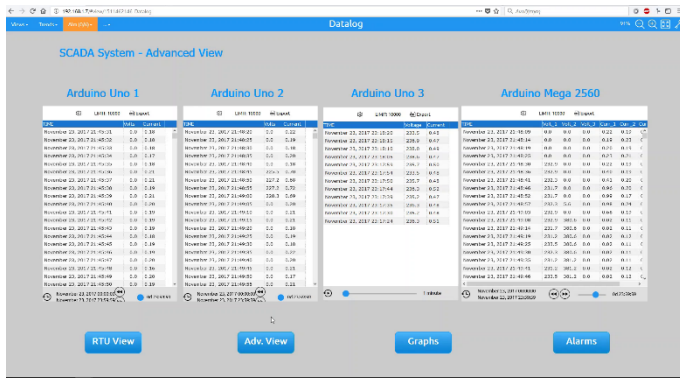
Στις τρεις γραμμές-κορμούς έχουν τοποθετηθεί λυχνίες, μία σε κάθε γραμμή-κορμό, οι οποίες προσομοιώνουν τις καταναλώσεις σε κάθε γραμμή. Ακόμα, στο τέλος κάθε γραμμής-κορμού έχουν εγκατασταθεί τρεις ρευματοδότες (πρίζες), μία σε κάθε γραμμή, στους οποίους μπορούν να τοποθετηθούν επιπλέον καταναλώσεις.



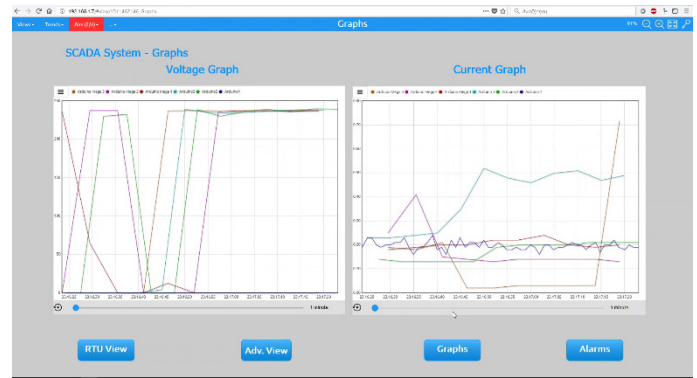
Σχήμα 46. Η Μακέτα της Πειραματικής Διάταξης.

Στο παράθυρο τιμών (Σχήμα 47 α) του συστήματος SCADA παρουσιάζονται όλες οι τιμές των αισθητηρίων συναρτήσει του χρόνου και κατηγοριοποιούνται βάσει των απομακρυσμένων τερματικών μονάδων (RTUs). Επίσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να «κατεβάσει» στο προσωπικό υπολογιστή του όλες τις τιμές των αισθητηρίων για την εκάστοτε απομακρυσμένη τερματική μονάδα (RTU) σε αρχείο Excel (.xlsx).

Ακόμα, στο παράθυρο γραφημάτων (Σχήμα 47 β) αναπαρίστανται σε δύο βασικά γραφήματα, γράφημα τάσης και γράφημα ρεύματος, οι τιμές όλων των αισθητηρίων συναρτήσει του χρόνου. Τέλος στο παράθυρο alarms εμφανίζονται τα προβλήματα που ενδεχομένως μπορεί να προκύψουν κατά τη λειτουργία όλου του συστήματος SCADA, παραδείγματος χάριν η απώλεια επικοινωνίας μίας απομακρυσμένης τερματικής μονάδας (RTU) με τη κεντρική τερματική μονάδα (MTU).



(a)



(β)

Σχήμα 47. (α) Το Περιβάλλον MySCADA.  
 (β) Γραφήματα Τάσης – Ρεύματος στο Περιβάλλον MySCADA.

## 5.5 Η Επικοινωνία Arduino με το Λογισμικό MySCADA

### 5.5.1 Το Πρωτόκολλο Επικοινωνίας Modbus

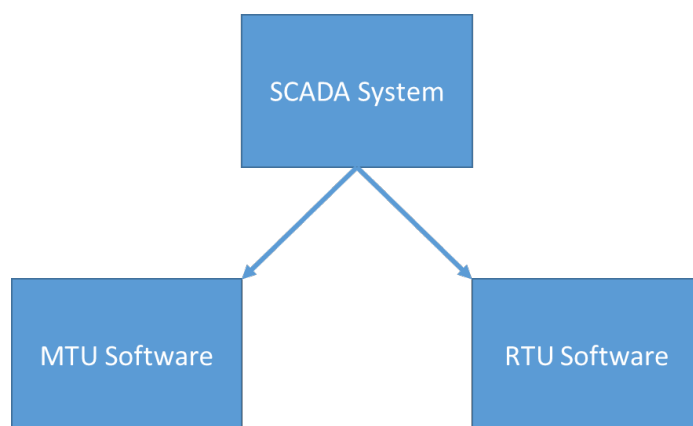
Το πρωτόκολλο Modbus είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία Modicon το 1979, για να χρησιμοποιηθεί σε προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC-programmable logic controllers) και έχει βασιστεί στην αρχιτεκτονική master/slave. Η master συσκευή αντλεί δεδομένα από τις slave συσκευές. Σε κάθε Modbus δίκτυο μπορεί να τοποθετηθούν μέχρι 247 slave συσκευές και κάθε μία έχει τη δική της διεύθυνση από το 1 έως το 247.

Γενικά είναι ένα «ανοιχτό» πρωτόκολλο επικοινωνίας και είναι ευρέως διαδεδομένο στη βιομηχανία χρησιμοποιείται από πολλούς κατασκευαστές για να διασυνδέσουν πολλές βιομηχανικές τους συσκευές. Το πρωτόκολλο Modbus επίσης χρησιμοποιείται αρκετά σε συστήματα (SCADA) συνδέοντας το κύριο υπολογιστή (MTU) με τις μονάδες απομακρυσμένων συσκευών (RTU).

Παραλλαγές του προτύπου Modbus είναι το Modbus Plus, το Modbus TCP, το Modbus ASCII και το Modbus RTU.

### 5.6 Η Δομή των Προγραμμάτων του Συστήματος SCADA

Το σύστημα SCADA αποτελείται από δύο λογισμικά, το λογισμικό του MTU (Master Terminal Unit) και από το λογισμικό των RTUs (Remote Terminal Units). Τα προγράμματα του συστήματος SCADA τα οποία αναπτύχθηκαν, από την στιγμή που θα ενεργοποιηθεί η πειραματική διάταξη, εκτελούν τις παρακάτω διαδικασίες, με την σειρά που αναφέρονται παρακάτω:

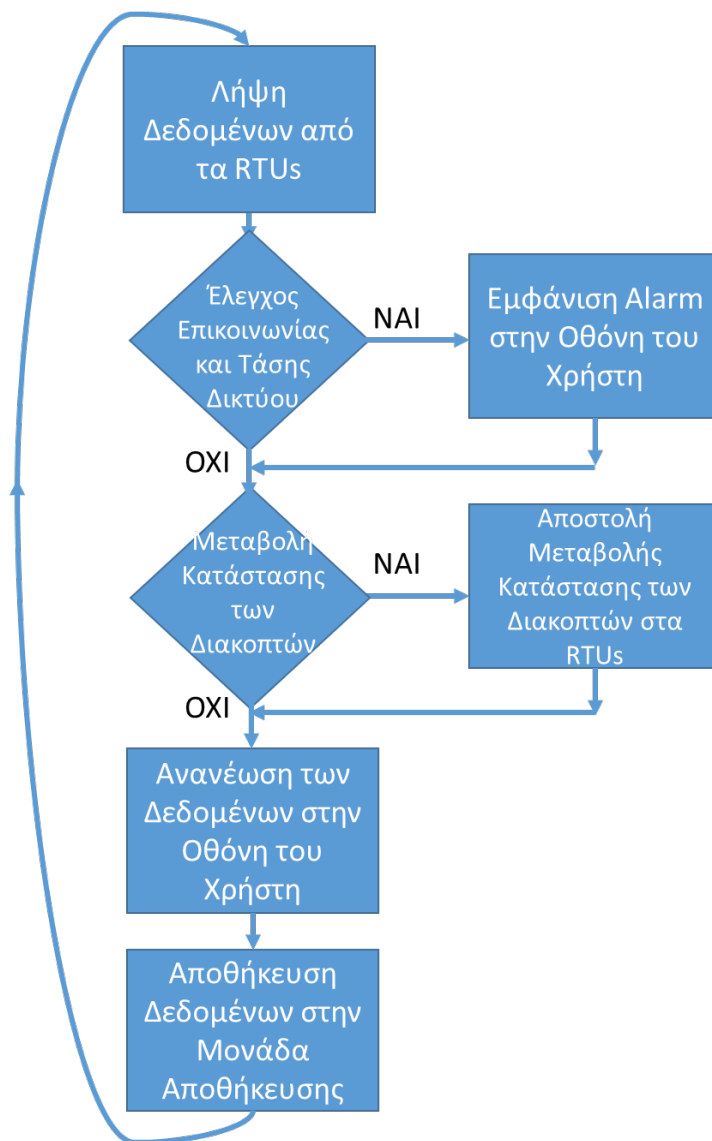


Σχήμα 48. Σχηματικό Διάγραμμα Λογισμικού του Συστήματος SCADA.

### 5.6.1 Το Λογισμικό του Master Terminal Unit (MTU)

Το λογισμικό του MTU (Master Terminal Unit) μόλις εισέλθει στο βρόγχο ελέγχου ελέγχει τη επικοινωνία μεταξύ αυτού και των RTUs (Remote Terminal Units). Σε περίπτωση που η επικοινωνία δεν έχει πραγματοποιηθεί ή έχει χαθεί κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος εμφανίζεται μήνυμα αποτυχίας σύνδεσης στη σελίδα του Alarm. Επίσης εμφανίζεται ένα κόκκινο περίγραμμα γύρω από τα button των ηλεκτρονόμων τα οποία δεν μπορούν να μεταβληθούν καθώς και στις οθόνες ένδειξης τάσης και ρεύματος. Εφόσον η επικοινωνία πραγματοποιηθεί κανονικά το λογισμικό του MTU λαμβάνει και αποστέλλει δεδομένα από τα RTUs μέσω του πρωτόκολλου επικοινωνίας Modbus TCP/IP τα οποία είναι η λήψη κατάσταση των ηλεκτρονόμων, η λήψη τάσης ρεύματος από τα αισθητήρια και η αποστολή εντολής για τη μεταβολή των διακοπών. Μόλις ληφθούν τα δεδομένα εμφανίζονται τόσο στη κύρια οθόνη όσο και στις οθόνες Advanced View και Graphs. Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως τα δεδομένα από τα αισθητήρια αποθηκεύονται στη εσωτερική μονάδα αποθήκευσης micro SD του Raspberry Pi 3 Model 3 για μελλοντική χρήση.

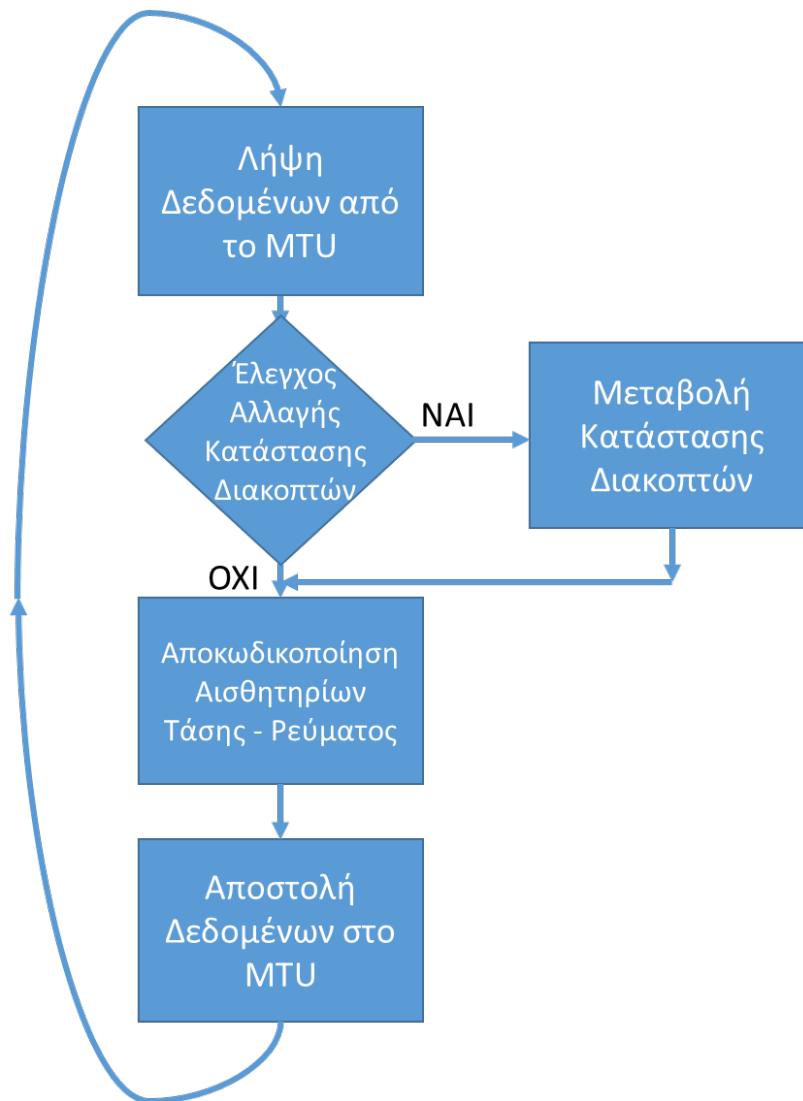




Σχήμα 49. Το Διάγραμμα Ροής του MTU.

### 5.6.2 Το Λογισμικό των Remote Terminal Units (RTUs)

Το λογισμικό των RTUs (Remote Terminal Units) μόλις εισέλθει στο βρόγχο ελέγχου πραγματοποιούν τις εξής λειτουργίες. Αρχικά λαμβάνουν εντολές για τη κατάσταση των ηλεκτρονόμων μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Modbus TCP/IP. Στη περίπτωση που η εντολή της κατάστασης είναι διαφορετική από τη κατάσταση των ηλεκτρονόμων, μεταβάλλονται. Έπειτα λαμβάνονται μετρήσεις τάσης και ρεύματος από το μετατροπέα Analog to Digital Converter (ADC) που είναι ενσωματωμένος στον μικροϋπολογιστή. Πρέπει να αναφερθεί πως για επιτευχθεί ακρίβεια στις μετρήσεις τάσης και ρεύματος λαμβάνονται πολλές μετρήσεις σε ένα κύκλο λειτουργίας λόγω του ότι τόσο η τάση όσο και το ρεύμα μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τάσης, ρεύματος και η κατάσταση των ηλεκτρονόμων αποστέλλονται στο MTU (Master Terminal Unit) με το πρωτόκολλο επικοινωνίας που αναφέρθηκε παραπάνω.



Σχήμα 50. Το Διάγραμμα Ροής των RTUs.

## **6. Πειραματικά Αποτελέσματα**

Στο παρακάτω κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος υλοποίησης των πειραμάτων και τα ονόματα που δοθήκαν στις γραμμές στα διασυνδεδετικά και στα διακοπτικά τους στοιχεία για χάριν ευκολίας. Επίσης παρουσιάζονται τα τρία σενάρια λειτουργίας που υλοποιήθηκαν στη πειραματική διάταξη καθώς και τα αποτελέσματα των αισθητηρίων όπως αποτυπώνονται στο σύστημα SCADA.

### **6.1 Γενική Περιγραφή**

Τα πειραματικά αποτελέσματα λήφθηκαν με την βοήθεια του λογισμικού MySCADA. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα δεδομένα όλων των RTU'S αποστέλλονται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας TCP/IP ModBus, και αποθηκεύονται στη κάρτα μνήμης του MTU για μελλοντική χρήση. Ο εκάστοτε χρήστης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει από το MTU ένα αρχείο με επέκταση .xlsx (Excel) για κάθε RTU ξεχωριστά, το οποίο περιέχει δεδομένα τάσης και ρεύματος.

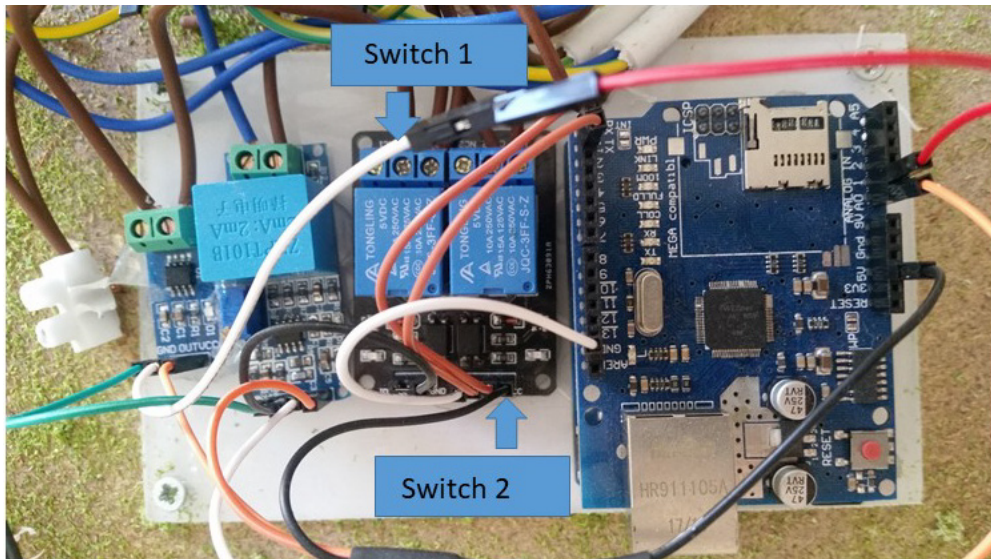
Όλα τα δεδομένα λήφθηκαν βάση των σεναρίων που παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω. Για την υλοποίηση του πειράματος τοποθετήθηκαν 3 λάμπιτρες πυρακτώσεως σε κάθε γραμμή με ονομαστική ισχύ 75W, 80W, 100W και ένας καταναλωτής (ηλεκτρική θερμάστρα) ο οποίος συνδεόταν με τους ρευματοδότες με ονομαστική ισχύ τα 2000W.

Για διευκόλυνση στη διεξαγωγή του πειράματος δόθηκαν αυθαίρετα ονόματα στις κεντρικές γραμμές - κορμούς της πειραματικής διάταξης, στα διασυνδεδετικά τμήματα των γραμμών, στα RTU's και στα διακοπτικά τους στοιχεία. Συγκεκριμένα στις κεντρικές γραμμές δόθηκαν τα ονόματα Γραμμή 1, Γραμμή 2 Γραμμή 3 και στα διασυνδεδετικά δίκτυα τα ονόματα Διασυνδεδετικό 1 και Διασυνδεδετικό 2.

Στα τρία RTU's και ιδιαίτερα στα Arduino Uno τα ονόματα που δόθηκαν είναι σχετικά με τα ονόματα των κεντρικών και είναι Arduino Uno 1, Arduino Uno 2, Arduino Uno 2 ενώ στο τέταρτο που τροφοδοτεί όλες τις γραμμές κορμούς το όνομα Arduino Mega. Τα διακοπτικά στοιχεία των Arduino Uno ονομάστηκαν αρχικά Switch (x.x). Ο πρώτος αριθμός του Switch δίνεται με βάση το όνομα της γραμμής (π.χ Switch 1.x) και ο δεύτερος αριθμός δίνεται με βάση το σημείο που βρίσκεται πάνω στο δίκτυο, αν βρίσκεται πάνω στη κεντρική γραμμή κορμό δίνεται ο αριθμός 1 (π.χ Switch x.1) ενώ αν βρίσκεται στο διασυνδεδετικό δίκτυο δίνεται ο αριθμός 2 (π.χ Switch x.2) και είναι το Switch 1.1, το Switch 1.2, το Switch 2.1, το Switch 3.1, και το Switch 3.2.

Τα διακοπτικά στοιχεία του Arduino Mega ονομαστήκαν με βάση τη γραμμή - κορμό που διακόπτουν και τροφοδοτούν και είναι το Switch 1, το Switch 2 και το Switch 3.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται αναλυτικά τα ονόματα των γραμμών, τα ονόματα των διασυνδετικών τμημάτων καθώς και τα RTU's με τα διακοπτικά τους στοιχεία.



Σχήμα 51. Τα Διακοπτικά Στοιχεία των RTUs.

## 6.2 Σενάρια Λειτουργίας του Δικτύου της Πειραματικής Διάταξης

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα δύο σενάρια λειτουργίας που υλοποιήθηκαν για την εξαγωγή των πειραματικών δεδομένων.

- Κανονική Λειτουργία Δικτύου

Στη κανονική λειτουργία του δικτύου οι γραμμές - κορμοί τροφοδοτούνται από το Υ/Σ Υ.Τ/Μ.Τ. χωρίς τη χρήση διασύνδεσης με κάποια άλλη γραμμή - κορμό.

- Διασύνδεση της Γραμμής 1 με Ένα Τμήμα της Γραμμής - Κορμού 2.

Στη περίπτωση αυτή η διασύνδεση των γραμμών με αλλά κοντινά τμήματα άλλων γραμμών πραγματοποιείται σε περιπτώσεις σφάλματος -συντήρησης μια γραμμής. Αποτέλεσμα της διασύνδεσης είναι η αύξηση του βαθμού αξιοπιστίας του δικτύου προς τους καταναλωτές.

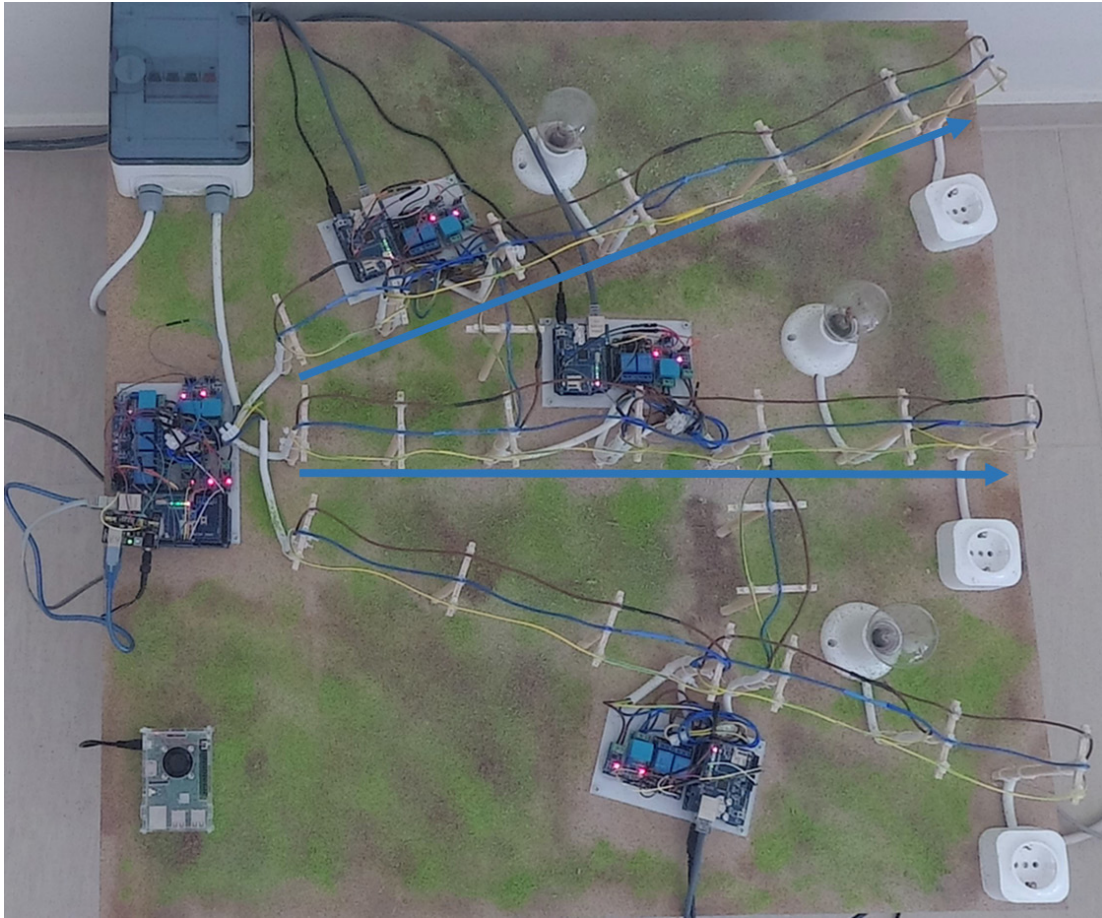
## 6.3 Πειραματικά Αποτελέσματα

Όλα τα δεδομένα του πειράματος εισήχθησαν και αναλύθηκαν στο ηλεκτρονικό λογισμικό Matlab. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διάταξης.

- Κανονική Λειτουργία Δικτύου με λειτουργία των κορμών 1 και 2

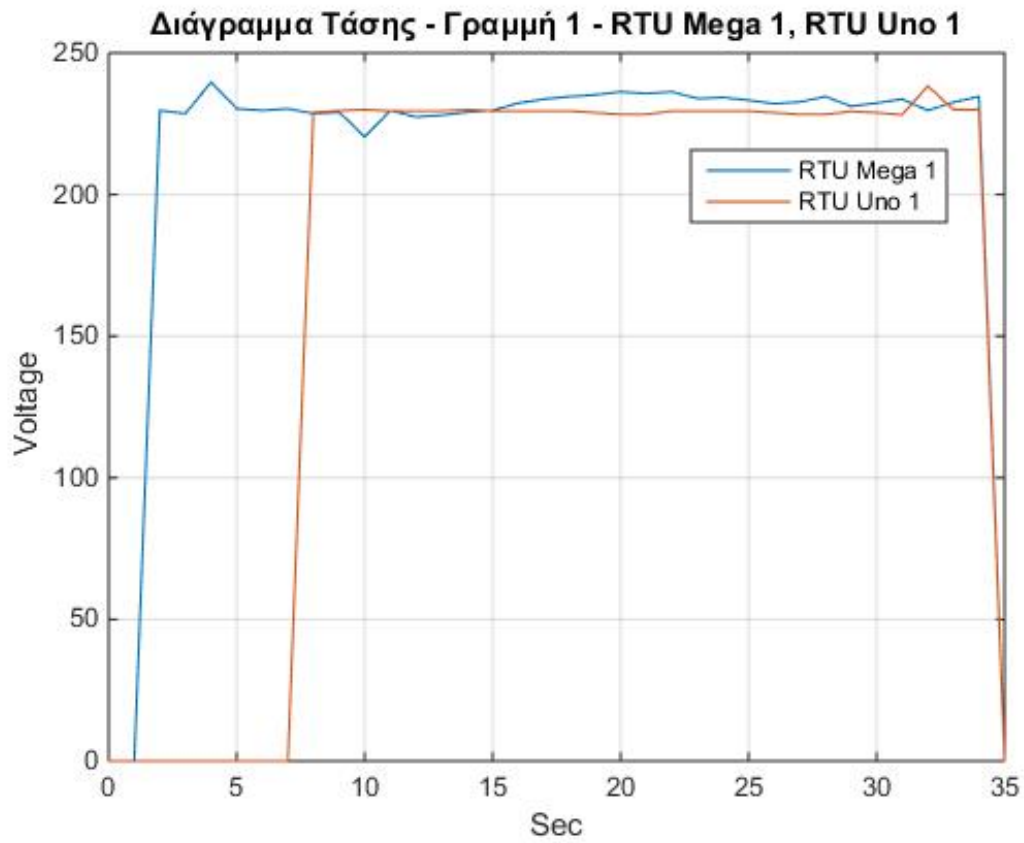
Τη χρονική στιγμή  $t=0$  sec, ο διακόπτης Switch 1 της πειραματικής διάταξης κλείνει με αποτέλεσμα την τροφοδότηση τάσης μέχρι το σημείο του Arduino Uno 1. Τη χρονική στιγμή  $t=6$  sec ο διακόπτης του Switch 1.1 κλείνει με αποτέλεσμα την τροφοδότηση ολόκληρης της γραμμής 1 και κατά συνέπεια του το λαμπτήρα που βρίσκεται στο άκρο του δικτύου. Επίσης τη χρονική στιγμή  $t=10$  sec ο διακόπτης Switch 2 της πειραματικής διάταξης κλείνει και τροφοδοτεί μέχρι το σημείο

που είναι ο Arduino Uno 2. Τη χρονική στιγμή  $t=14$  sec ο διακόπτης του Switch 1.1 κλείνει με αποτέλεσμα την τροφοδότηση του λαμπτήρα και της ηλεκτρικής θερμάστρας.

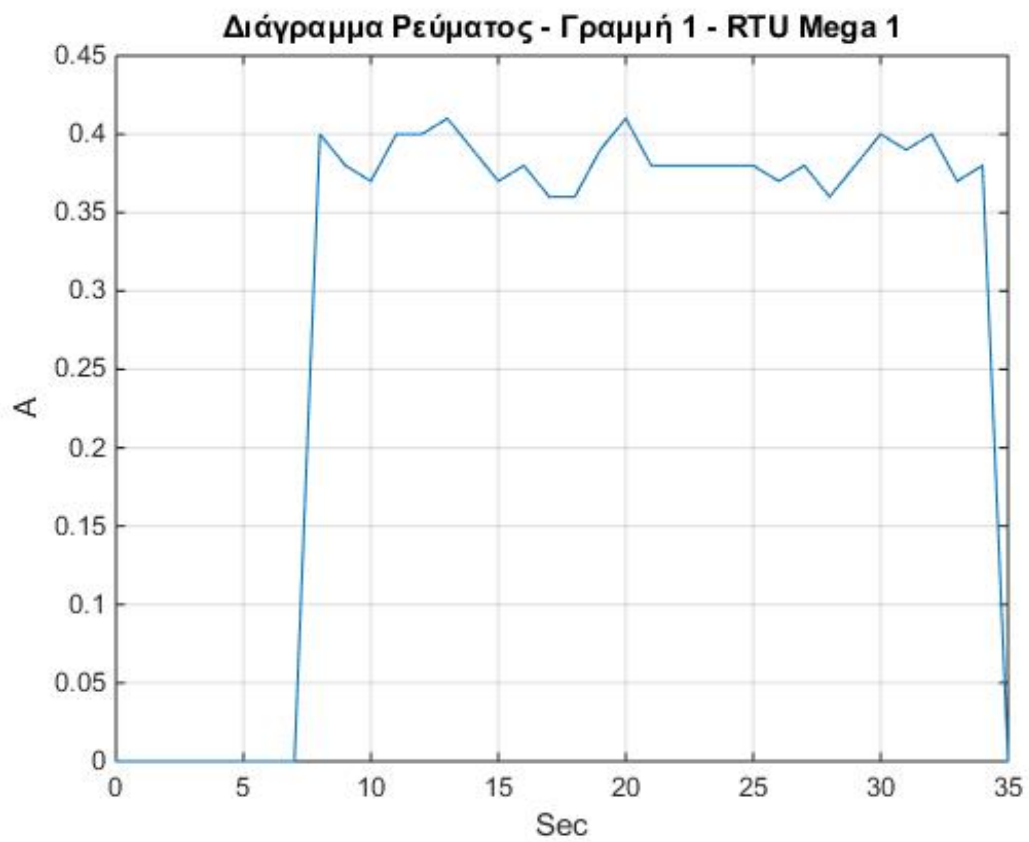


Σχήμα 52. Κανονική Λειτουργία Δικτύου με λειτουργία των κορμών 1 και 2.

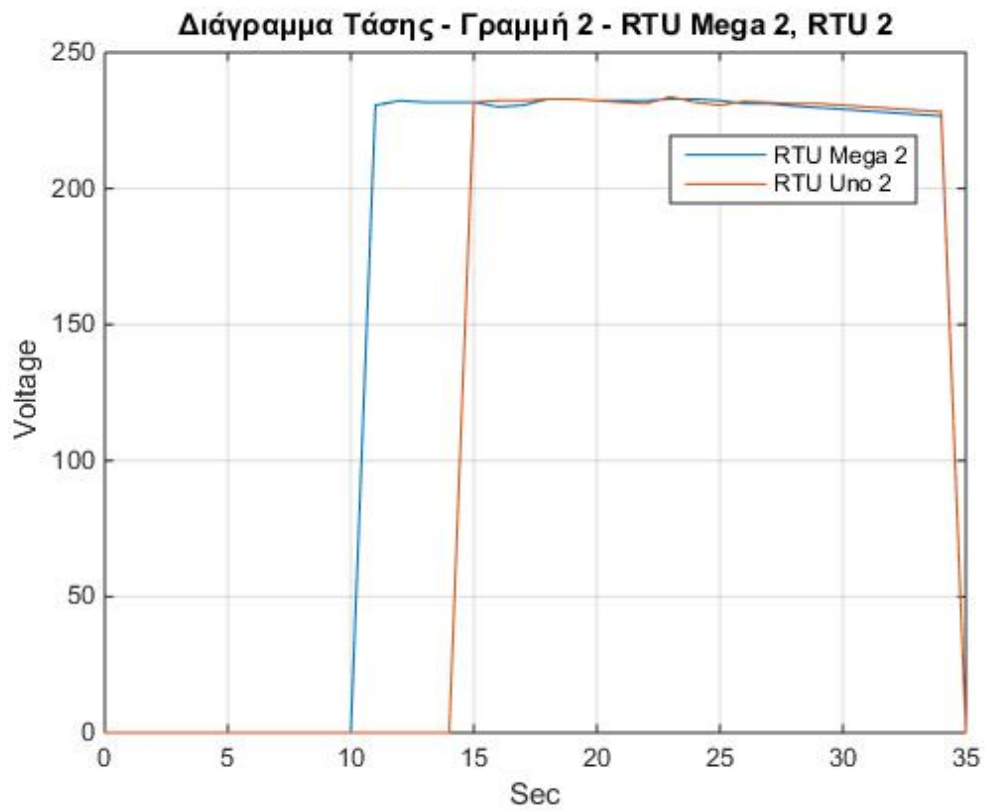
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται η εφαρμοζόμενη τάση και η ροή του ρεύματος αντίστοιχα στα αισθητήρια του Arduino Mega και στα αισθητήρια Arduino Uno 1 και 2 συναρτήσει του χρόνου.



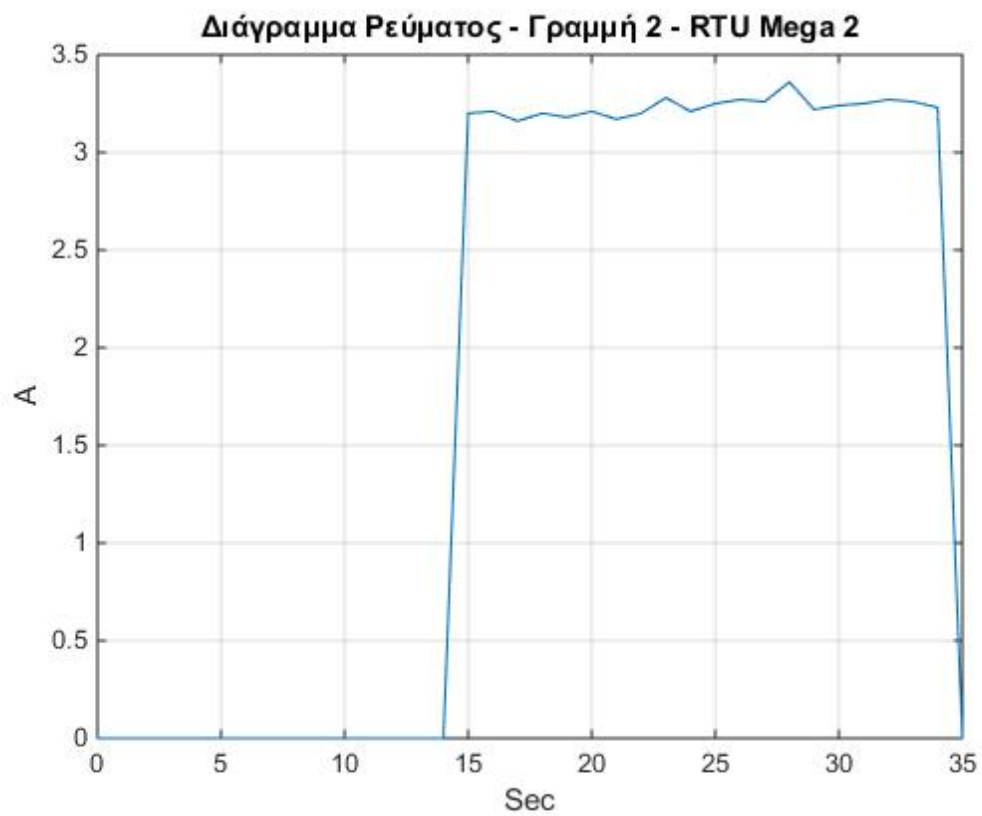
Σχήμα 53. Διάγραμμα Τάσης Arduino Mega - Arduino Uno 1.



Σχήμα 54. Διάγραμμα Ρεύματος Arduino Mega.



Σχήμα 55. Διάγραμμα Τάσης Arduino Mega - Arduino Uno 2.



Σχήμα 56. Διάγραμμα Ρεύματος Arduino Mega.

- Διασύνδεση Δικτύων 1 και 2, Διακοπή Τροφοδότησης σε Ένα Τμήμα του Κορμού 2

Η διασύνδεση των δικτύων υλοποιείται τη χρονική στιγμή  $t=0$ , ο διακόπτης Switch 1 του κορμού 1 κλείνει τροφοδοτώντας μέρος του κορμού 1, τη χρονική στιγμή  $t=1$  sec ο διακόπτης Switch 1.1 κλείνει τροφοδοτώντας το υπόλοιπο μέρος του κορμού 1 και το λαμπτήρα που βρίσκεται στο άκρο του. Τη χρονική στιγμή  $t=2$  sec ο διακόπτης Switch 1.2 κλείνει, ο κορμός 1 διασυνδέεται με το κορμό 2 και τροφοδοτούνται ο λαμπτήρας και η ηλεκτρική θερμάστρα που βρίσκονται στο άκρο του κορμού 2.

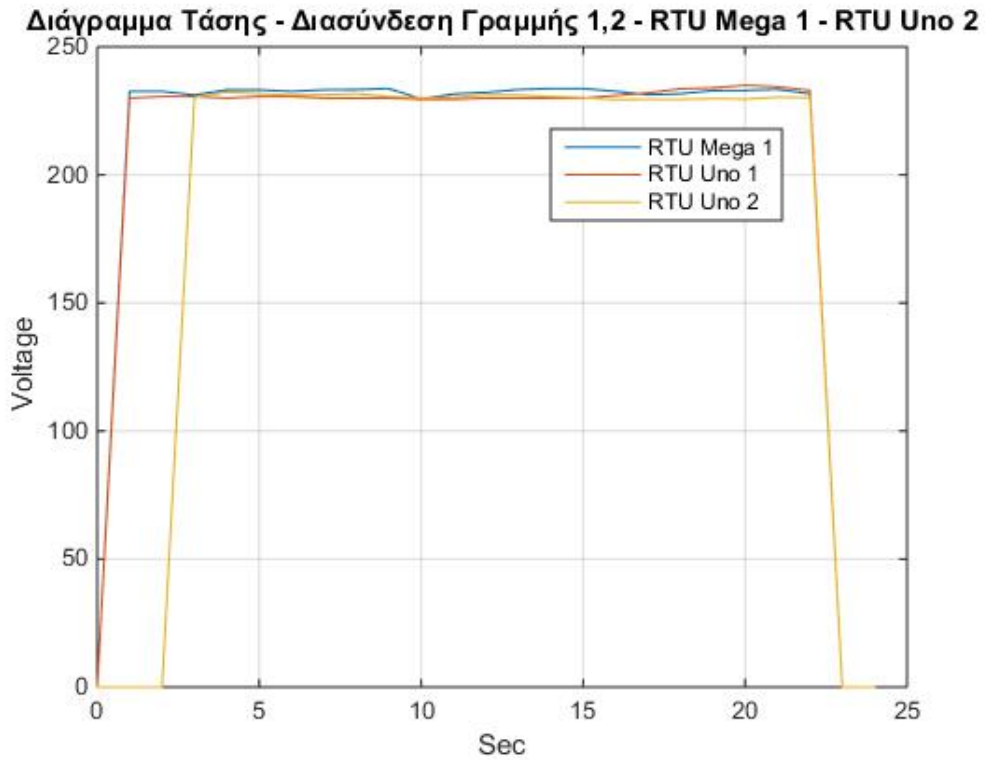


Σχήμα 57. Διασύνδεση Δικτύων 1 και 2.

Σημειώνεται ότι πριν τη χρονική στιγμή  $t=0$  ο διακόπτης Switch 2 της πειραματικής διάταξης είχε ανοίξει και είχε σαν αποτέλεσμα τη διακοπή της τάσης σε όλο το μήκος του κορμού 2 και ομοίως ο διακόπτης Switch 2.1 έχει με αποκόπτοντας τροφοδότησή της γραμμής 2 από το Switch 2 έως του σημείο του Arduino Uno 2.

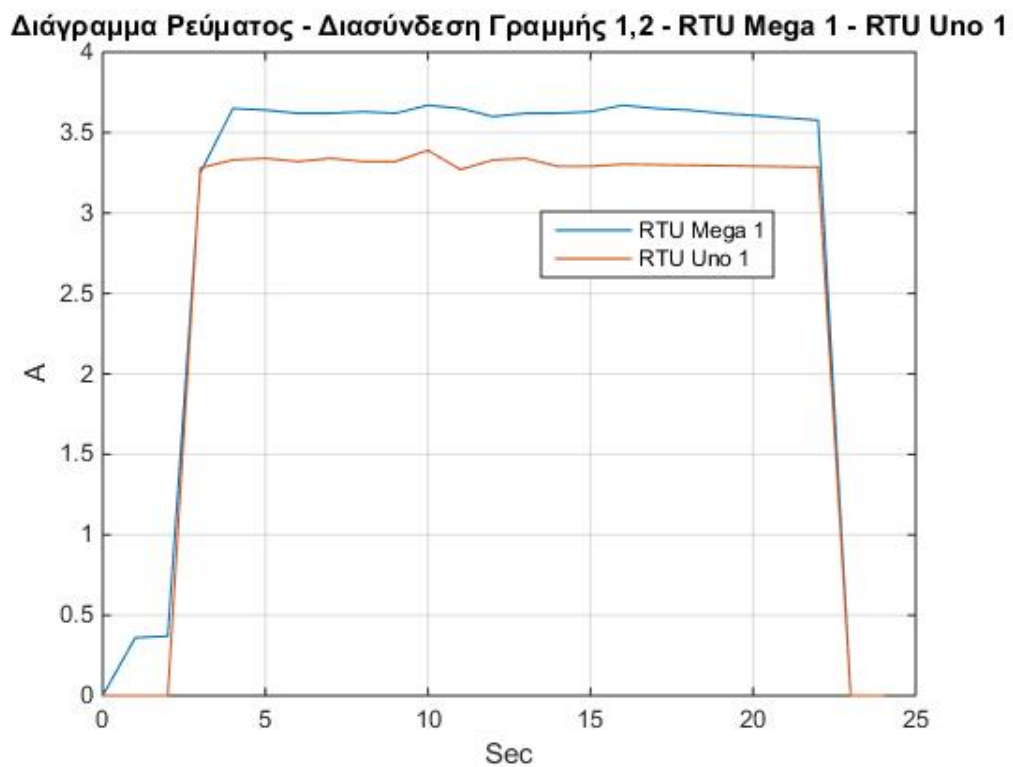
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται η εφαρμοζόμενη τάση και η ροή του ρεύματος αντίστοιχα στα αισθητήρια του Arduino Mega, στα αισθητήρια τάσης, ρεύματος Arduino Uno 1 και 2 συναρτήσει του χρόνου.





Σχήμα 58. Διάγραμμα Τάσης Arduino Mega - Arduino Uno 1 - Arduino Uno 2.

Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια διαφορά ρεύματος 0,4mA στο αισθητήριο ρεύματος του Arduino Uno Mega 1 σε σχέση με το Αισθητήριο Ρεύματος του Arduino Uno 1. Αυτό οφείλεται στο ρεύμα που διαρρέει στο άκρο της γραμμής 1.



Σχήμα 59. Διάγραμμα Ρεύματος Arduino Mega - Arduino Uno 1 - Arduino Uno 2.

## **6. Σχόλια - Συμπεράσματα**

Η παρούσα Μεταπτυχιακή εργασία είχε σαν στόχο τη μελέτη για τη κατασκευή δύο Διασυνδεδεμένων Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και την ανάπτυξη ενός εκπαιδευτικού συστήματος SCADA για το πραγματικού χρόνου έλεγχο τους έτσι ώστε να αυξάνεται ο δείκτης αξιοπιστίας της Ηλεκτρικής Ενέργειας στους καταναλωτές. Τα Διασυνδεδεμένα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας αναπαραστάθηκαν σε μια μακέτα για την πρακτική επίδειξη του συστήματος SCADA.

Η μελέτη των δύο Διασυνδεδεμένων Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας βασίστηκε στα πρότυπα των κατασκευών και στους κανονισμούς του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Επίσης σχεδιάστηκαν κατασκευαστικά σχέδια, με βάση του κανονισμούς, τα οποία υποδεικνύουν τις θέσεις των στύλων των επιτόνων τους και είναι άμεσα υλοποιήσιμη από τον ΔΕΔΔΗΕ.

Το σύστημα SCADA που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Μεταπτυχιακής βασίζεται στη μικροϋπολογιστική πλατφόρμα Raspberry Pi 3 Model B και στις μικροϋπολογιστικές πλατφόρμες Arduino Uno και Arduino Mega 2560, είναι χαμηλού κόστους και ευκολά υλοποιήσιμο. Το ηλεκτρονικό λογισμικό της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (MTU) Raspberry Pi 3 Model B είναι της εταιρίας λογισμικού My SCADA και βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού JavaScript. Το ηλεκτρονικό λογισμικό των απομακρυσμένων τερματικών μονάδων βασίζεται στο στη γλώσσα προγραμματισμού C και το περιβάλλον προγραμματισμού σε Java.

Τέλος, θεωρώ πως μελλοντικά θα τοποθετηθούν αρκετές απομακρυσμένες μονάδες λήψης δεδομένων και ελέγχου στο Δίκτυο Διανομής, οι οποίες θα φέρουν την ολοκληρωτική μεταμόρφωση του. Σίγουρα ο όγκος των πληροφοριών που θα λαμβάνονται θα είναι πάρα πολύς, ίσως να είναι απαραίτητη η ανάπτυξη νέων τύπων τερματικών μονάδων λήψης που θα μπορούν σε κάποιο βαθμό να κάνουν σε ένα ποσοστό αυτόματο έλεγχο του δικτύου ή να υποδείξουν πιθανές λύσεις σε προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, ώστε να είναι φιλικά στο χρήστη του συστήματος. Με τη τοποθέτηση τους πιθανόν θα αυξηθεί η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος θα μειωθούν οι διακοπές ηλεκτροδότησης ή ο χρόνος διακοπής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές, και να αυξηθεί το ποσοστό της Διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο, ιδιαίτερα των ΑΠΕ, και θα μειωθεί το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικές μορφές οι οποίες έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.

# Βιβλιογραφικές Πηγές

- [A1] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, «*Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής Τόμος I-II*», Έκδοση 3η, Ιανουάριος 1984.
- [A2] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., Διεύθυνση Ανθρώπινου Δυναμικού Διανομής, «*Μελέτες Δικτύων Διανομής*», Σεπτέμβριος 2004.
- [A3] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, «*Εγχειρίδιο Μηχανικού Διανομής*», 1953
- [A4] Κ. Λαμπρόπουλος, «*Βοήθημα Μηχανικού Μελετών Διανομής*», Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Εκπαίδευσης, Μάιος 2002.
- [A5] Κ. Λαμπρόπουλος, «*Μελέτη Ηλεκτρικών Δικτύων Διανομής*», Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Εκπαίδευσης, Μάιος 2002.
- [A6] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, «*Οδηγία διανομής Νο 40: Τοπογραφική Μελέτη Δικτύων – Χάραξη – Πασσάλωση – Αποτόπωση*»
- [A7] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, «*Οδηγία διανομής Νο 42: «Χάρτες – Σχεδίαση – Τήρηση Αρχείου και Αρίθμηση Δικτύων»*»
- [A8] Κ. Λαμπρόπουλος, «*Ανάπτυξη Συστημάτων Διανομής ΜΤ και ΧΤ Εντός Πόλεων*», Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Εκπαίδευσης, 1972.
- [A9] Ι. Κούκουλας, «*Στοιχεία Τοπογραφίας, Τοπογραφικές Εφαρμογές*», Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Εκπαίδευσης.
- [A10] Μ. Σφακιωτάκης, «*Μικροελεγκτές*», Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. Κρήτης.
- [A11] Α. Μπαντέλας, Π. Σαββαΐδης, Ι. Υφαντής, Ι. Δούκας, «*Γεωδαισία*», Τόμος Α, Εκδόσεις Αδερφών Κυριακίδη Α.Ε.
- [A12] Π. Μαλατέστας, «*Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας*», Εκδόσεις Τζιόλα, 2015.
- [A13] Α. Τοικαλάκης, «*Συμβολή στον Προγραμματισμό Λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Μεγάλη Διείσδυση Διεσπαρμένης και Ανανεώσιμης Παραγωγής και Συσκευών Αποθήκευσης*», Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2008.
- [A14] Α. Καρακούσης, «*Μετάβαση στο Ευφρές Ηλεκτρικό Δίκτυο και Ανάπτυξη του Ευφρούς Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας*», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιανουάριος 2015.
- [A15] Α. Μάρκου, «*Μελέτη και Υλοποίηση Συστήματος Ελέγχου, Παρακολούθησης και Καταγραφής Εργαστηριακού Μικροδικτύου*», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2015.
- [A16] Β. Ζήσης, «*Σφάλματα στο Δίκτυο Μέσης Τάσης Νήσου Κρήτης*», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Φεβρουάριος 2012.

[A17] P. Djapic, C. Ramsay, D.Pudjianto, G. Strbac, J. Mutale, N. Jenkins,R. Allan, "*Taking an Active Approach Distribution System Transitions and Integration of Distributed Generation in Europe*", IEEE Power and Energy Magazine, July/August 2007,Vol.5, No.4, pp 68-77.

## Ιστοσελίδες

[I1] <http://arduino.cc/en/>

[I2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

[I3] <https://www.raspberrypi.org>

[I3] <https://www.myscada.org/en/>

[I5] <http://www.simplymodbus.ca/faq.htm>

[I6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Relay>

[I7] [http://www.zeming-e.com/file/0\\_2013\\_10\\_18\\_093344.pdf](http://www.zeming-e.com/file/0_2013_10_18_093344.pdf)

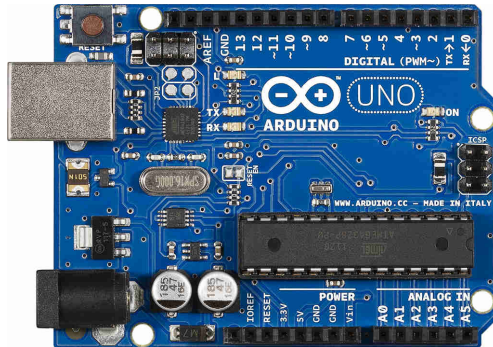
[I8] <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>

# Παράρτημα

## 8.1 Παράρτημα A: Datasheets

Σε αυτό το παράρτημα παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά για συγκεκριμένα επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην πειραματική διάταξη.

### 8.1.1 Arduino Uno



#### Overview

Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328P (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz quartz crystal, a USB connection, a power jack, an ICSP header and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.. You can tinker with your UNO without worrying too much about doing something wrong, worst case scenario you can replace the chip for a few dollars and start over again.

"Uno" means one in Italian and was chosen to mark the release of Arduino Software (IDE) 1.0. The Uno board and version 1.0 of Arduino Software (IDE) were the reference versions of Arduino, now evolved to newer releases. The Uno board is the first in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for an extensive list of current, past or outdated boards see the Arduino index of boards

#### Programming

The Arduino Uno can be programmed with the (Arduino Software (IDE)). Select "Arduino/Genuino Uno from the Tools > Board menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the reference and tutorials.

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preprogrammed with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header using Arduino ISP or similar; see these instructions for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available in the Arduino repository. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resealing the 8U2.

On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use Atmel's FLIP software (Windows) or the DFU programmer (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See this user-contributed tutorial for more information.

## Summary

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm

## Warnings

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

## Differences with other boards

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

## Power

The Arduino Uno board can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the GND and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply from 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may become unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

**Vin.** The input voltage to the Arduino/Genuino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

**5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.

**3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.

**GND.** Ground pins.

**IOREF.** This pin on the Arduino/Genuino board provides the voltage reference with which the microcontroller operates. A properly configured shield can read the IOREF pin voltage and select the appropriate power source or enable voltage translators on the outputs to work with the 5V or 3.3V.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB occupied by the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

## Input and Output

See the mapping between Arduino pins and ATmega328P ports. The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive 20 mA as recommended operating condition and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50k ohm. A maximum of 40mA is the value that must not be exceeded on any I/O pin to avoid permanent damage to the microcontroller.

In addition, some pins have specialized functions:

**Serial:** 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.

**External Interrupts:** 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the `attachInterrupt()` function for details.

**PWM:** 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.

**SPI:** 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication using the SPI library.

LED: 13. There is a built-in LED driven by digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support TWI communication using the Wire library.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the analogReference() function. There are a couple of other pins on the board:

AREF. Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().

Reset. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

## Communication

Arduino/Genuino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino/Genuino board, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The 16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, a .inf file is required. The Arduino Software (IDE) includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino Software (IDE) includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation for details. For SPI communication, use the SPI library.

### Automatic (Software) Reset

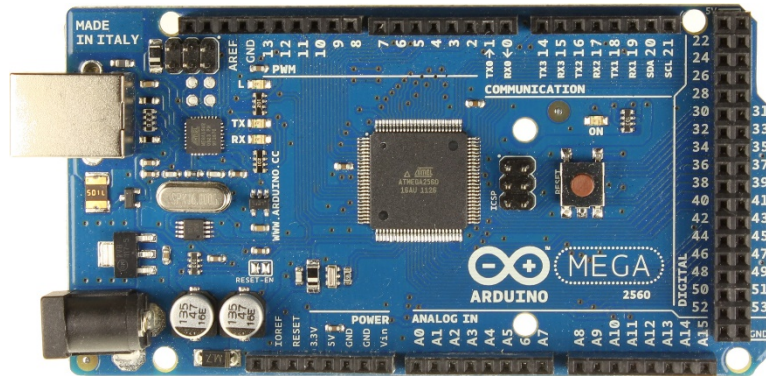
Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino/Genuino Uno board is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino Software (IDE) uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the interface toolbar. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno board contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.



## 8.1.2 Arduino Mega 2560



### Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 15 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

The Mega 2560 is an update to the [Arduino Mega](#), which it replaces.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega16U2 (ATmega8U2 in the revision 1 and revision 2 boards) programmed as a USB-to-serial converter. Revision 2 of the Mega2560 board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

Revision 3 of the board has the following new features:

1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.

Stronger RESET circuit.

Atmega 16U2 replace the 8U2.

### Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input pins	16
DC Current per I/O pin	40 mA
DC Current for 3.3V pin	50 mA

Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

**VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

**5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.

**3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.

**GND.** Ground pins.

**IOREF.** This pin on the Arduino board provides the voltage reference with which the microcontroller operates. A properly configured shield can read the IOREF pin voltage and select the appropriate power source or enable voltage translators on the outputs for working with the 5V or 3.3V.

## Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

**Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega16U2 USB-to-TTL Serial chip.

**External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.

**PWM: 2 to 13 and 44 to 46.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

**SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.

**LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

**TWI: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support TWI communication using the [Wire library](#). Note that these pins are not in the same location as the TWI pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

**AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).

**Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

## Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega16U2 (ATmega 8U2 on the revision 1 and revision 2 boards) on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2/ATmega16U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports TWI and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the TWI bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available [in the Arduino repository](#). The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.

On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

### **Automatic (Software) Reset**

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

### **USB Overcurrent Protection**

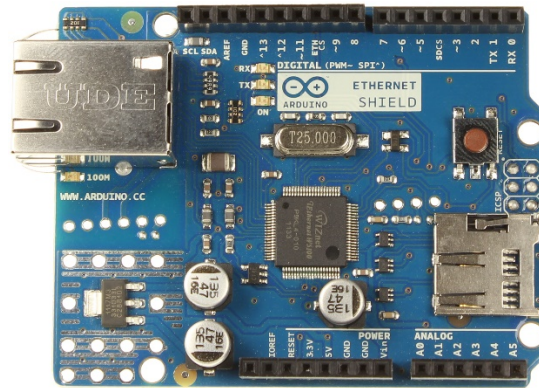
The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

### **Physical Characteristics and Shield Compatibility**

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. Please note that I<sup>2</sup>C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).

### 8.1.3 Arduino Ethernet Shield



#### Overview

The Arduino Ethernet Shield V1 connects your Arduino to the internet in mere minutes. Just plug this module onto your Arduino board, connect it to your network with an RJ45 cable (not included) and follow a few simple instructions to start controlling your world through the internet. As always with Arduino, every element of the platform – hardware, software and documentation – is freely available and open-source. This means you can learn exactly how it's made and use its design as the starting point for your own circuits. Hundreds of thousands of Arduino boards are already fueling people's creativity all over the world, everyday. Join us now, Arduino is you!

Requires an Arduino board (not included)

Operating voltage 5V (supplied from the Arduino Board)

Ethernet Controller: W5100 with internal 16K buffer

Connection speed: 10/100Mb

Connection with Arduino on SPI port

#### Description

The Arduino Ethernet Shield V1 allows an Arduino board to connect to the internet. It is based on the Wiznet W5100 ethernet chip (datasheet). The Wiznet W5100 provides a network (IP) stack capable of both TCP and UDP. It supports up to four simultaneous socket connections. Use the Ethernet library to write sketches which connect to the internet using the shield. The ethernet shield connects to an Arduino board using long wire-wrap headers which extend through the shield. This keeps the pin layout intact and allows another shield to be stacked on top.

The most recent revision of the board exposes the 1.0 pinout on rev 3 of the Arduino UNO board.

The Ethernet Shield V1 has a standard RJ-45 connection, with an integrated line transformer and Power over Ethernet enabled.

There is an onboard micro-SD card slot, which can be used to store files for serving over the network. It is compatible with all the Arduino/Genuino boards. The on-board micro SD card reader is accessible through the SD Library. When working with this library, SS is on Pin 4. The original revision of the shield contained a full-size SD card slot; this is not supported.

The shield also includes a reset controller, to ensure that the W5100 Ethernet module is properly reset on power-up. Previous revisions of the shield were not compatible with the Mega and need to be manually reset after power-up.

The current shield has a Power over Ethernet (PoE) module designed to extract power from a conventional twisted pair Category 5 Ethernet cable:

IEEE802.3af compliant

Low output ripple and noise (100mVpp)

Input voltage range 36V to 57V

Overload and short-circuit protection

9V Output

High efficiency DC/DC converter: typ 75% @ 50% load

1500V isolation (input to output)

NB: the Power over Ethernet module is proprietary hardware not made by Arduino, it is a third party accessory. For more information, see the datasheet

The shield does not come with the PoE module built in, it is a separate component that must be added on.

Arduino communicates with both the W5100 and SD card using the SPI bus (through the ICSP header). This is on digital pins 10, 11, 12, and 13 on the Uno and pins 50, 51, and 52 on the Mega. On both boards, pin 10 is used to select the W5100 and pin 4 for the SD card. These pins cannot be used for general I/O. On the Mega, the hardware SS pin, 53, is not used to select either the W5100 or the SD card, but it must be kept as an output or the SPI interface won't work.

Note that because the W5100 and SD card share the SPI bus, only one can be active at a time. If you are using both peripherals in your program, this should be taken care of by the corresponding libraries. If you're not using one of the peripherals in your program, however, you'll need to explicitly deselect it. To do this with the SD card, set pin 4 as an output and write a high to it. For the W5100, set digital pin 10 as a high output.

The shield provides a standard RJ45 ethernet jack.

The reset button on the shield resets both the W5100 and the Arduino board.

The shield contains a number of informational LEDs:

PWR: indicates that the board and shield are powered

LINK: indicates the presence of a network link and flashes when the shield transmits or receives data

FULLD: indicates that the network connection is full duplex

100M: indicates the presence of a 100 Mb/s network connection (as opposed to 10 Mb/s)

RX: flashes when the shield receives data

TX: flashes when the shield sends data

COLL: flashes when network collisions are detected

The solder jumper marked "INT" can be connected to allow the Arduino board to receive interrupt-driven notification of events from the W5100, but this is not supported by the Ethernet library. The jumper connects the INT pin of the W5100 to digital pin 2 of the Arduino

## 8.2 Datasheets

### 8.2.1 ACS712 Current Sensor

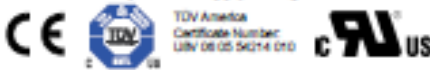


## ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor  
with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*


#### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kV<sub>RMS</sub> minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

#### Description

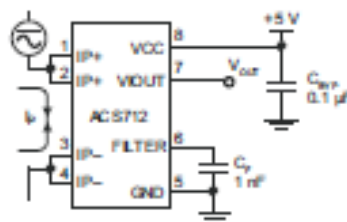
The Allegro<sup>®</sup> ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $\propto V_{\text{OUT}}/I_p$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power

*Continued on the next page...*

#### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{\text{OUT}}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5x overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>p</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	86

\*Contact Allegro for additional packing options.

### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RECC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>OUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>REOUT</sub>		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V <sub>ISO</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (P+ pins), based on IEC 60950	184	V <sub>DRMS</sub>
Basic Isolation Voltage	V <sub>ISO(BAS)</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (P+ pins), based on IEC 60950	354	V <sub>DRMS</sub>
Output Current Source	I <sub>OUT(PULSE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>OUT(PIN)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>O</sub>	1 pulse, 100 ns	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		185	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro Microsystems, Inc.  
115 North Street, Suite 200  
Worcester, Massachusetts 01615-0028 U.S.A.  
1.508.853.3000; www.allegromicro.com



## 8.2.2 ZMPT101B Voltage Sensor

### ZMPT101B VOLTAGE TRANSFORMER

#### Applications

- \* Sensing Overload Current
- \* Ground fault detection
- \* Metering
- \* Analog to Digital Circuits

#### Electrical Specification

Primary Current	2mA
Secondary Current	2mA
Turns Ratio	1000:1000
Phase Angle Error	$\leq 20'$ (50 $\Omega$ )
Current Range	0 ~ 3mA
Linearity	0.1%
Accuracy Class	0.2
Rated Burden	$\leq 200 \Omega$
Frequency Range	50 ~ 60Hz
Dielectric Level	3000VAC/min
DC Resistance at 20°C	110 $\Omega$

#### Mechanical Specification

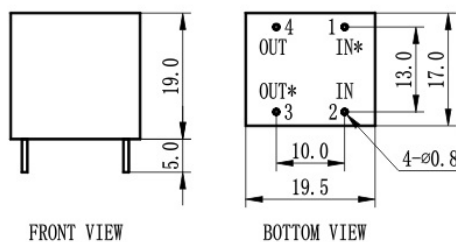
Cup	PBT
Encapsulant	Epoxy
Terminals	Pin $\phi 0.80\text{mm}$
Tolerance	$\pm 0.2 \text{ mm}$
Approx. Weight	13g
Case	Carton

#### Environment Specification

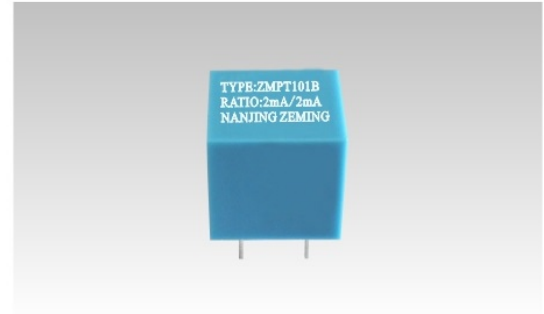
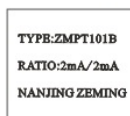
Storage Temperature	-40°C ~ +130°C
Insulation Resistance	>100 M $\Omega$

#### Dimensions (mm)

Same Polarity \*

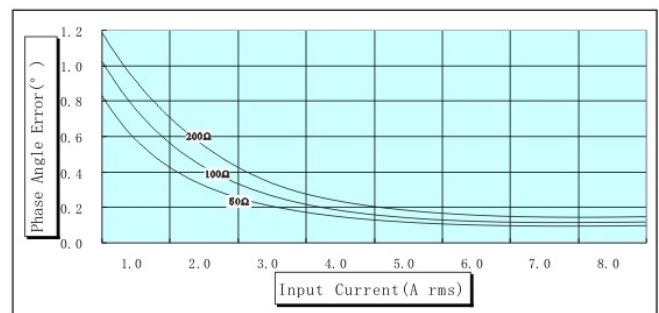
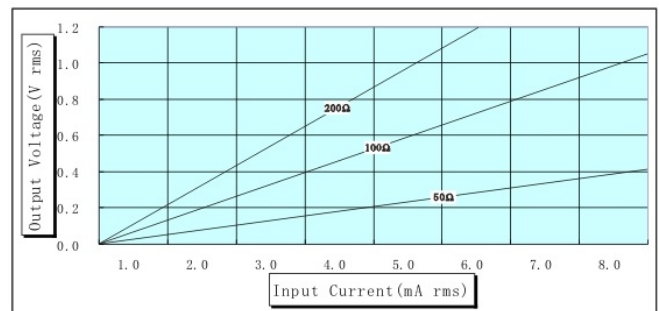


#### Label



Product Illustration

#### Output Characteristic

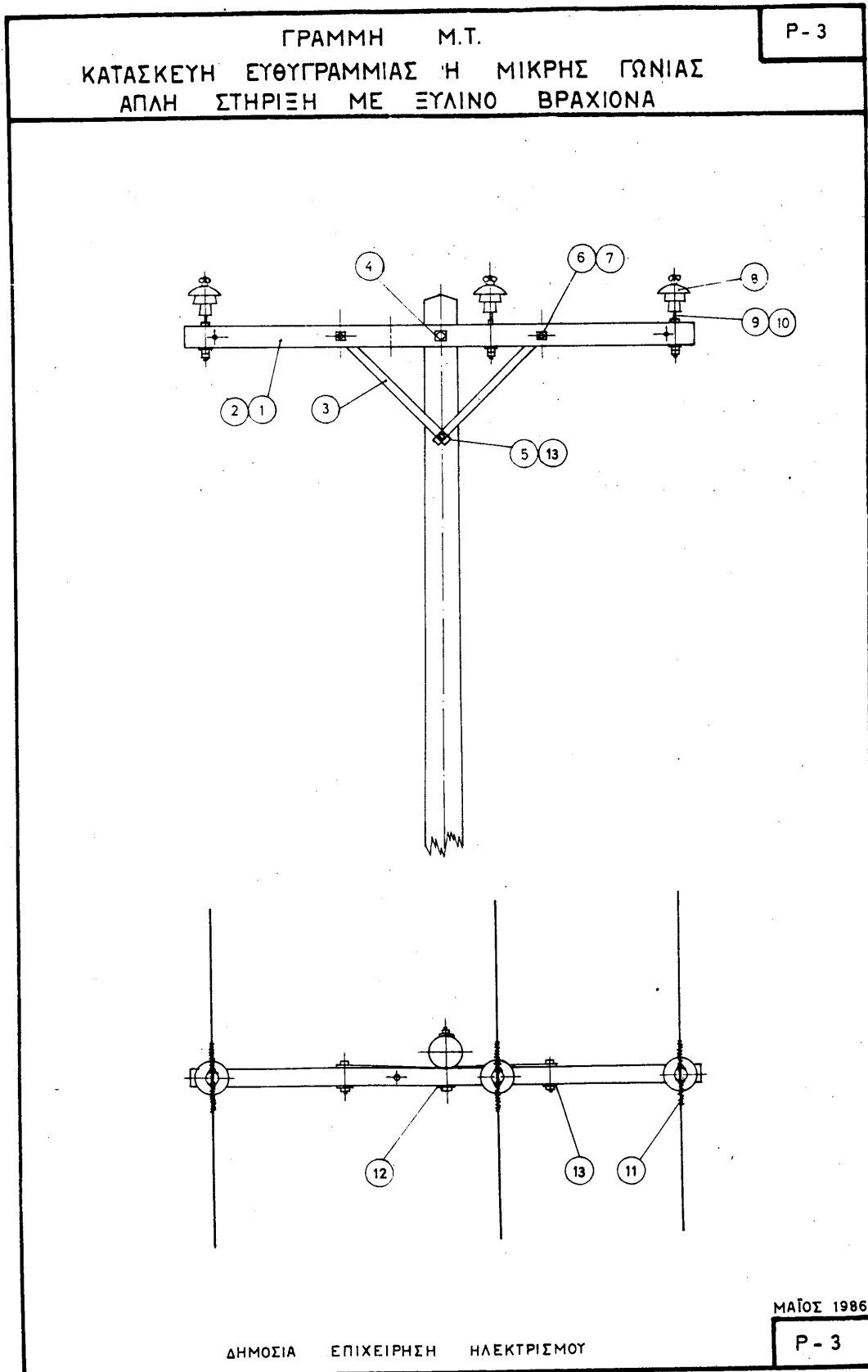


**Description:** Micro Precision Voltage Transformers, with low price, small size and easy PCB mounting, are mainly used in electrical energy meters, household electrical equipment, industrial apparatuses, electrical testing equipment and relay protection, widely acclaimed as well.

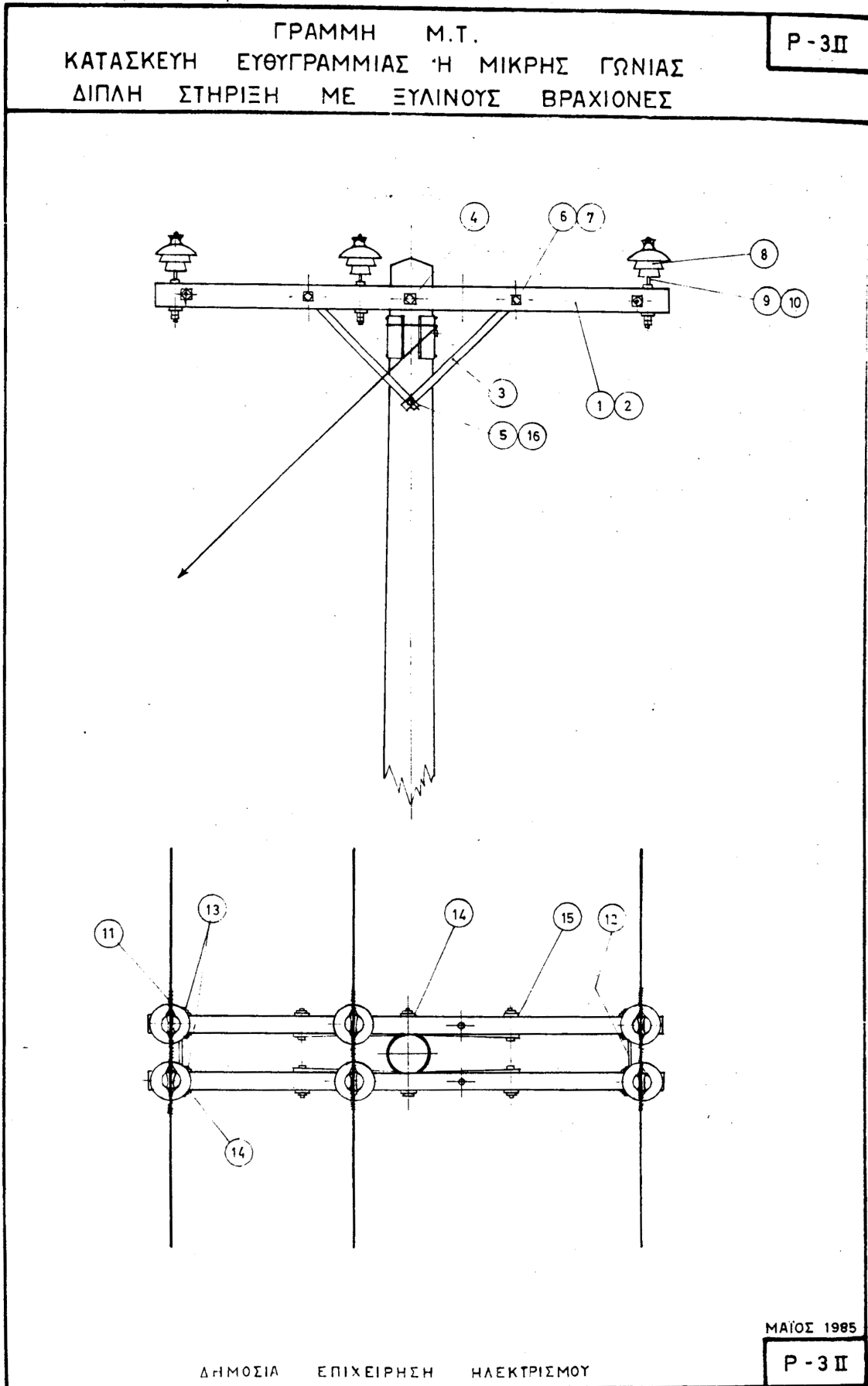
### 8.3 Παράρτημα Γ: Σχέδια Τυποποιημένων Κατασκευών Μ.Τ.

Παραθέτονται οι κατασκευές Μ.Τ που χρησιμοποιήθηκαν.

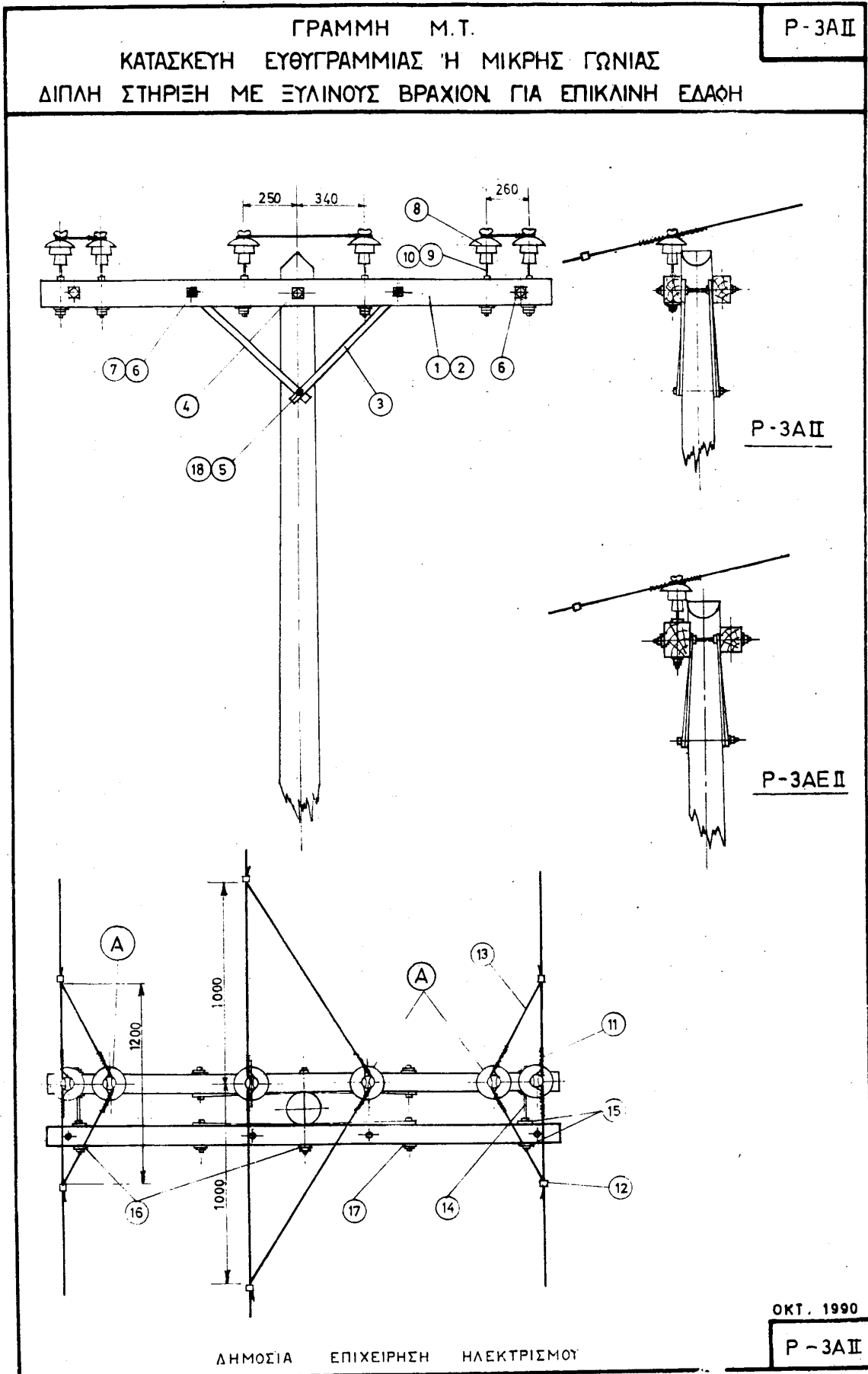
- Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-3



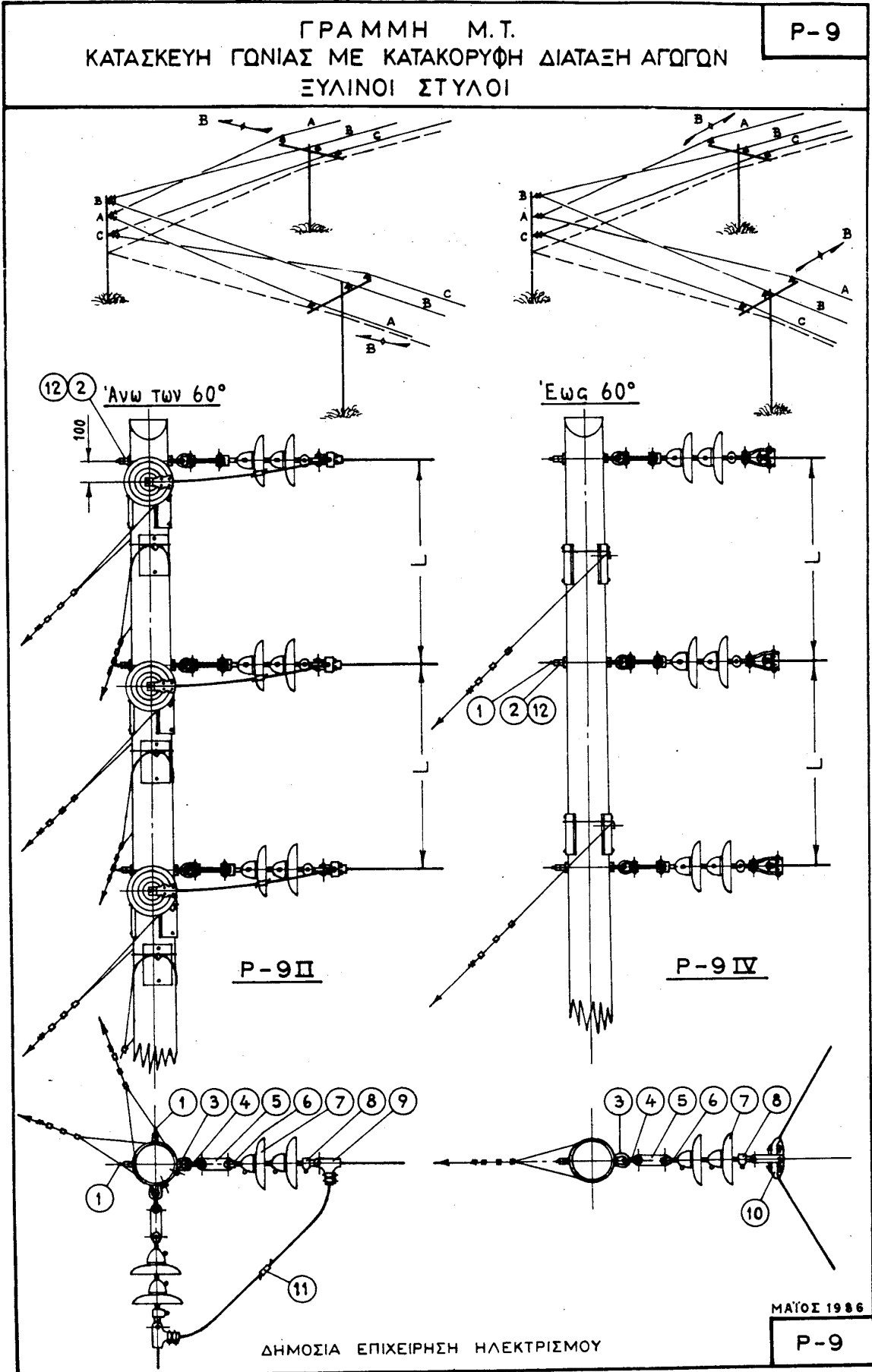
• Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-3Π



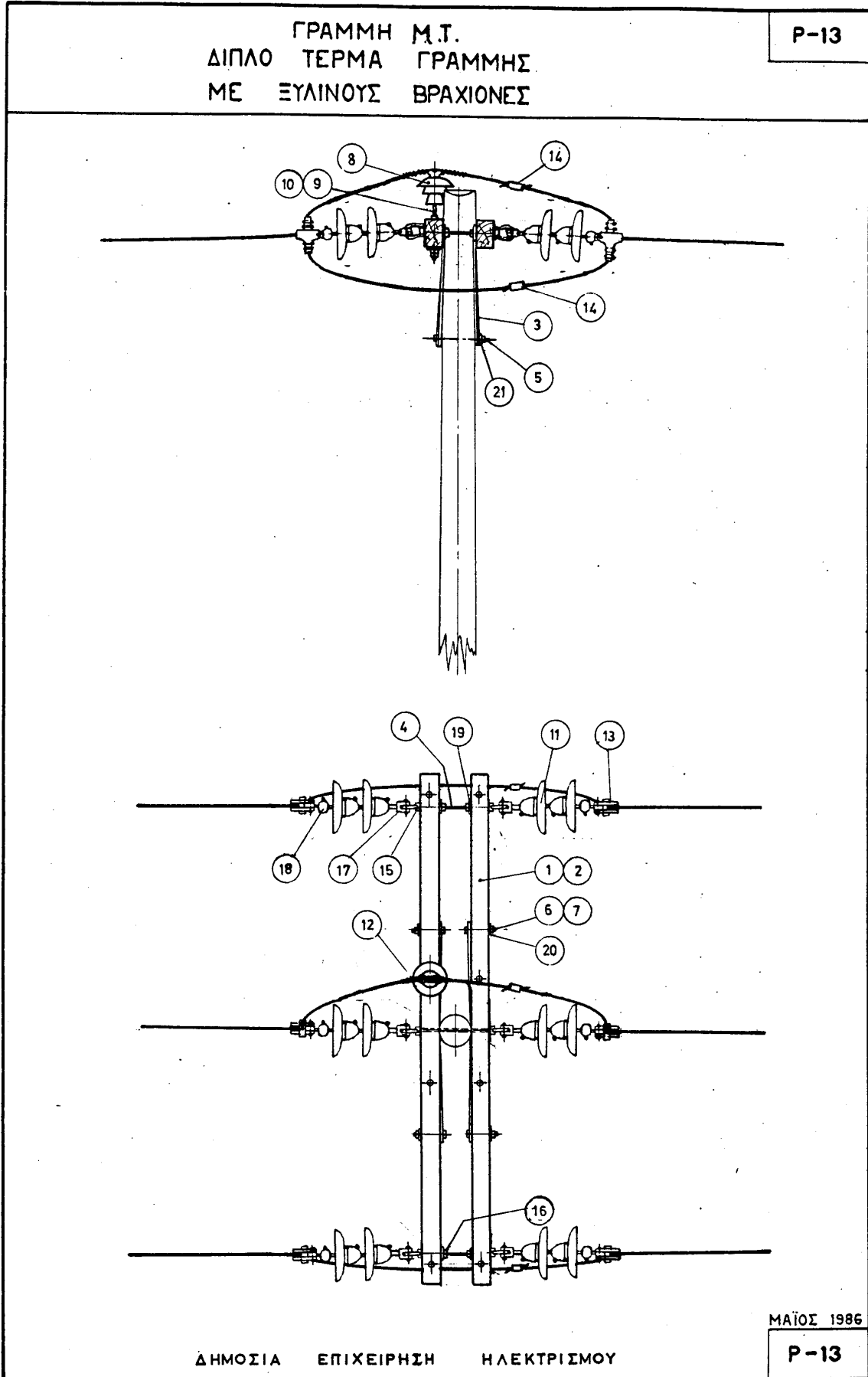
• Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-3ΑΠ



• Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-9Π, Ρ-9ΙV

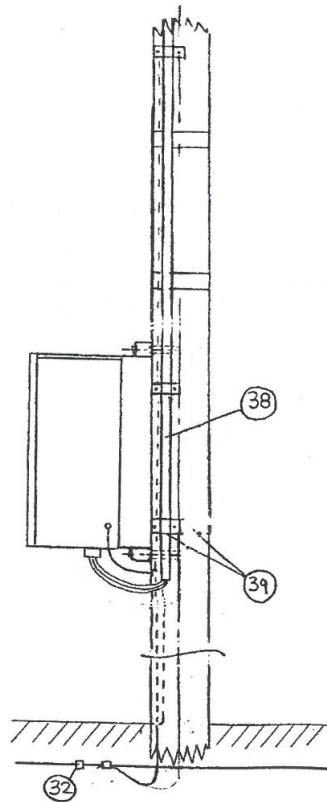
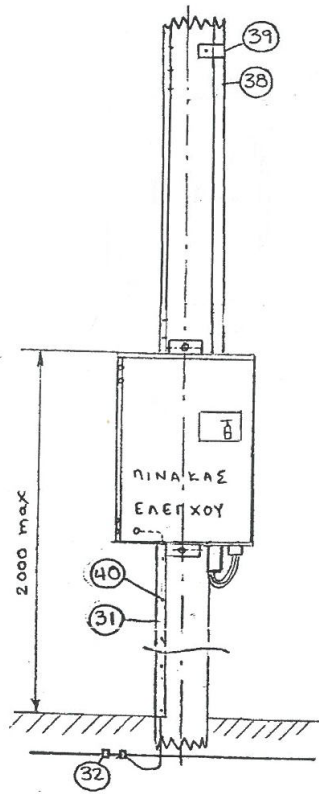
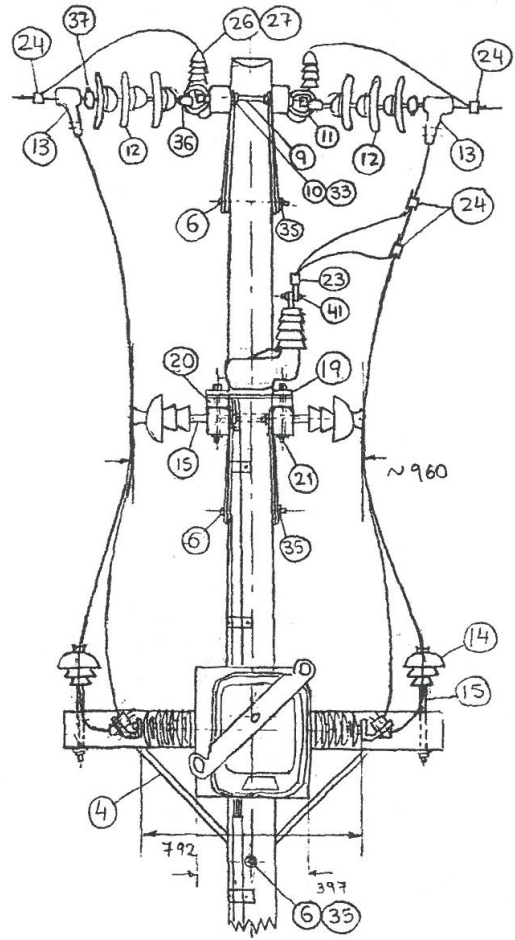
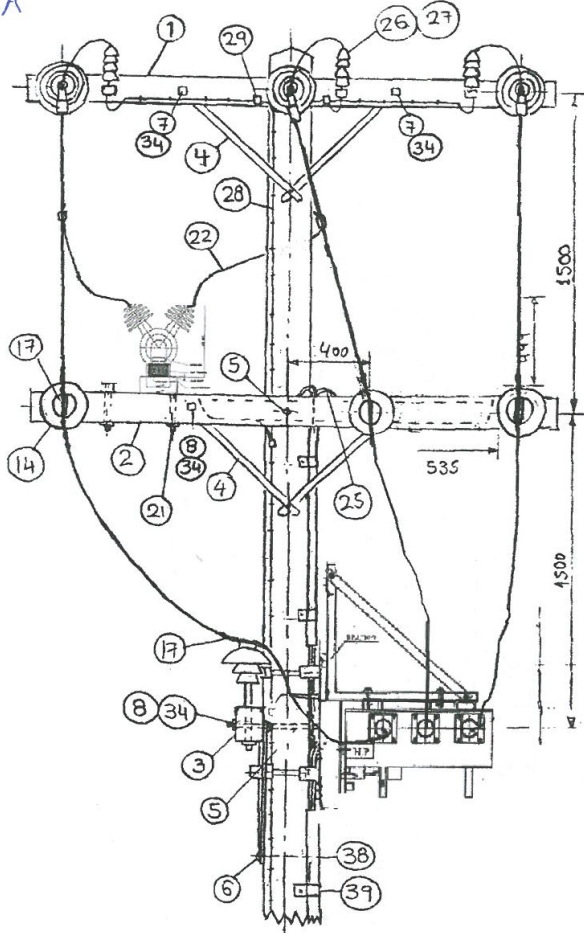


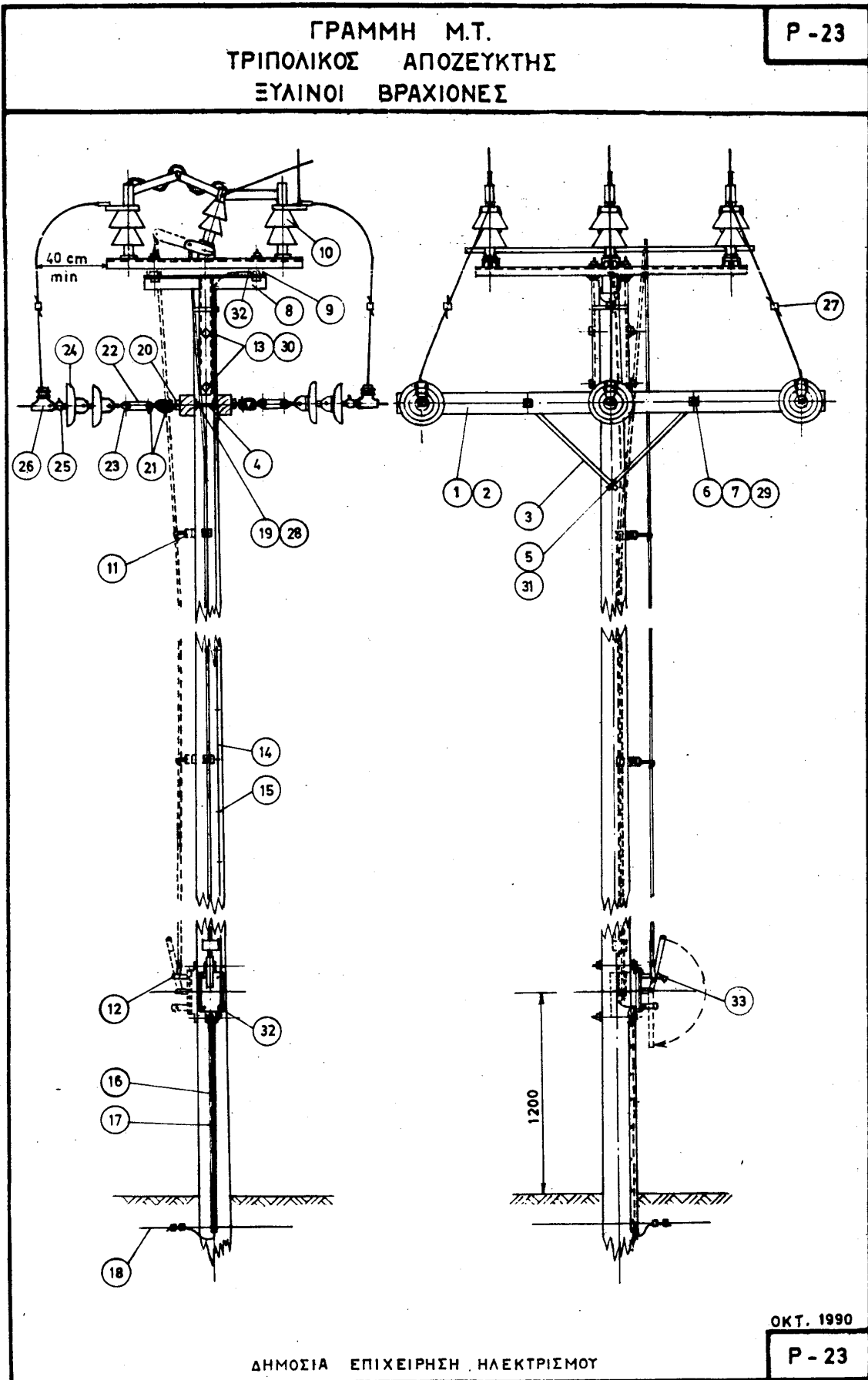
• Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-13



• Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-22Α

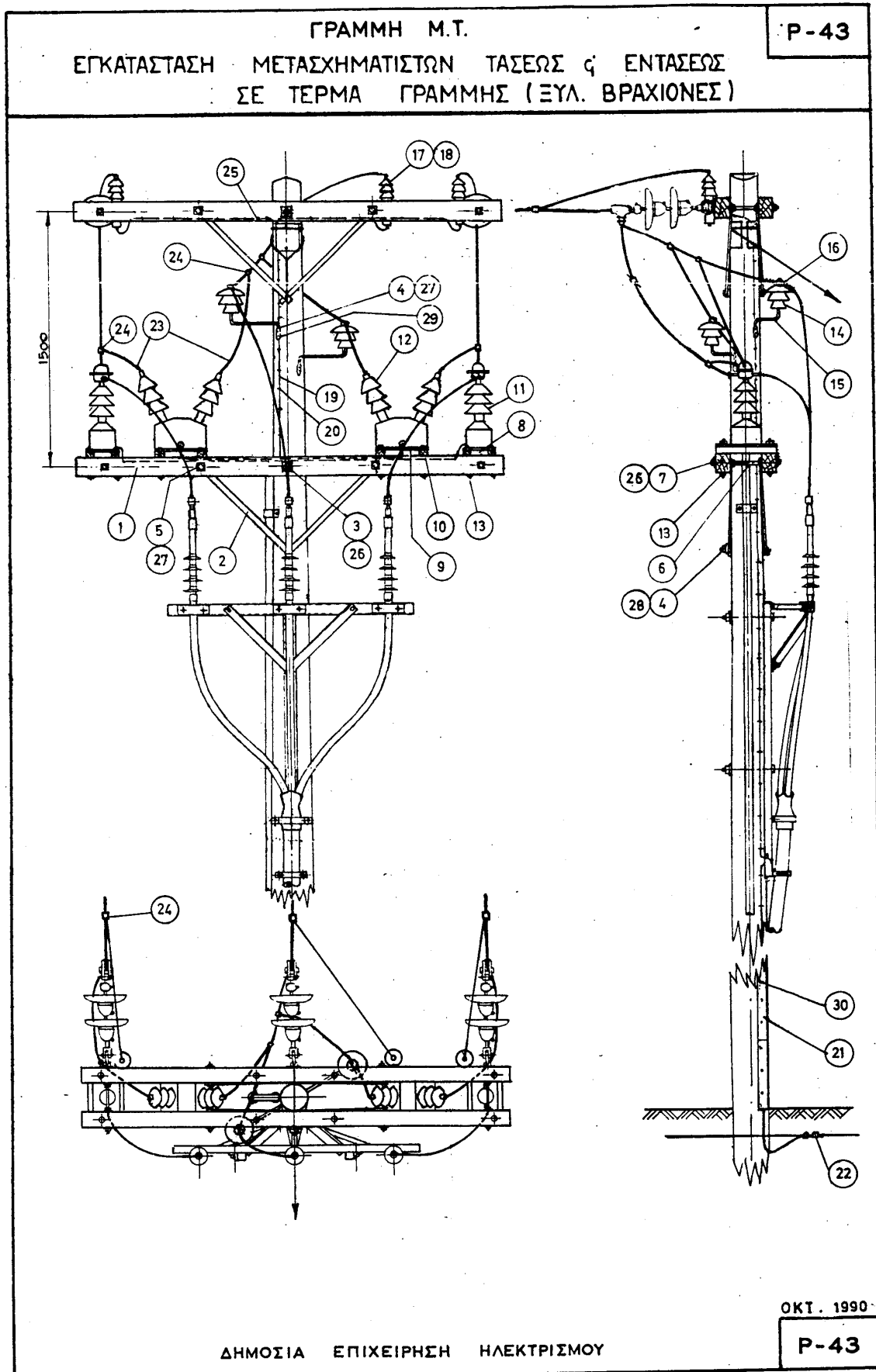
277A



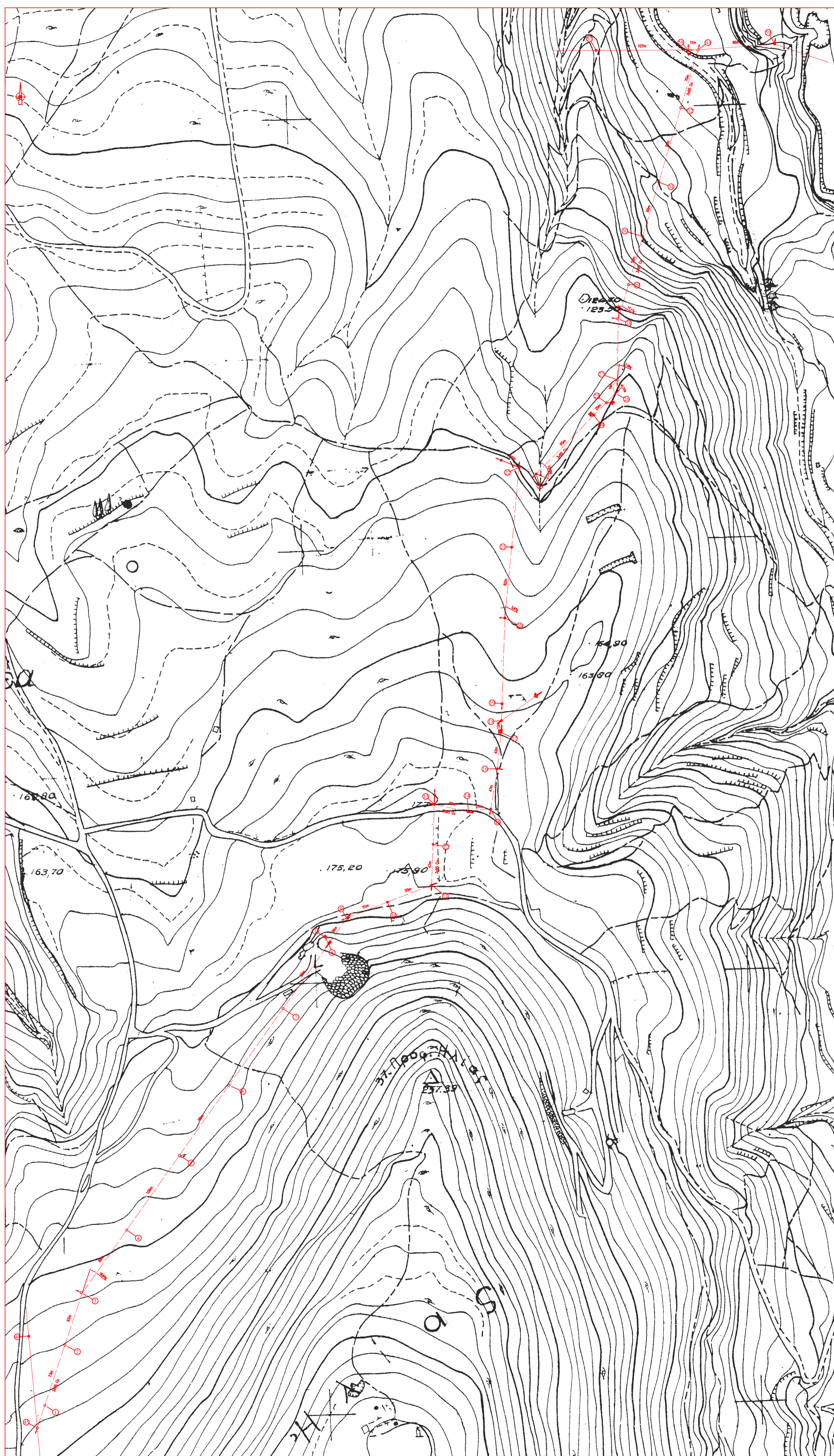




- Κατασκευή Μ.Τ. Ρ-43



## **8.4 Παράρτημα Δ: Κατασκευαστικά Σχέδια**



Σχέδιο Διασυνδεδετικού Δικτύου R41-R42

