

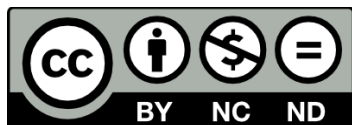


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Ενότητα 2: Κατασκευαστικά Στοιχεία Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς

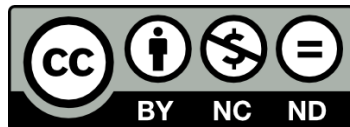
Λαμπρίδης Δημήτρης
Ανδρέου Γεώργιος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



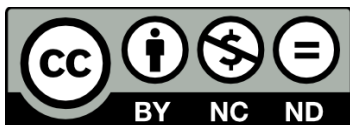


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Κατασκευαστικά Στοιχεία Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Σχεδίαση Γραμμών Μεταφοράς
2. Επιτρεπόμενες αποστάσεις
3. Πυλώνες
4. Μονωτήρες
5. Ταλαντώσεις αγωγών
6. Αγωγοί Γης
7. Γείωση Γραμμών Μεταφοράς
8. Θεμελίωση Πυλώνων



Γιατί εναέριες γραμμές;

- Η εναλλακτική μας λύση είναι τα υπόγεια καλώδια.
- Οι εναέριες γραμμές όμως προσφέρουν:
 - Μικρότερο κόστος στην κατασκευή/επισκευή.
 - Μεγαλύτερη ευκολία (και ταχύτητα) στην επισκευή.
- Αποστάσεις στήριξης:
 - Μέχρι 500 m κανένα πρόβλημα.
 - Από 1000 m και πάνω πολυδάπανη κατασκευή.
 - Σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (π.χ. 2 km) απαγορευτική η κατασκευή τους.



Αγωγοί εναέριων γραμμών

- Πρέπει να:
 - Αντέχουν σε μηχανική καταπόνηση.
 - Αντέχουν σε θερμική καταπόνηση.
 - Μην προκαλούν απαράδεκτα υψηλές απώλειες Κορώνα.
- Η ένταση του ρεύματος Κορώνα εξαρτάται από τη διάμετρο του αγωγού και την πεδιακή ένταση.
- Άρα για να τη μειώσουμε αυξάνουμε τη διάμετρο του αγωγού ή το πλήθος των αγωγών ανά φάση.



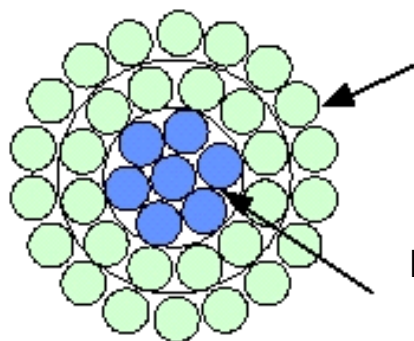
Αγωγοί εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (1/2)

- Γυμνοί αγωγοί (χωρίς μόνωση) από πολύκλινα συρματοσχοίνα, για λόγους ευκαμψίας και μηχανικής αντοχής.
- Υλικά
 - Χαλκός εφελκυσμένος εν ψυχρώ.
 - Μπρούντζος (σπάνια).
 - Αλουμίνιο (καθαρό 99,9% \longrightarrow αλουμίνιο ηλεκτροτεχνίας E-Al – αγωγοί AAC) ή κράμα αλουμινίου Aldrey (0,3 - 0,5 % Mg, 0,4 - 0,7 % Si, 0,3 % Fe και το υπόλοιπο αλουμίνιο – αγωγοί AAAC).
 - Ατσάλι (με επικάλυψη από ψευδάργυρο).



Αγωγοί εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (2/2)

- Σύνθετοι αγωγοί αλουμινίου με χαλύβδινη ενίσχυση (ACSR, Aluminum Conductor Steel Reinforced).



Εξωτερικός αγωγός: Αλουμίνιο
2 στρώματα, 30 σύρματα

Εξωτερικός αγωγός: Χάλυβας
2 στρώματα, 7 σύρματα



Εικόνα 1: Αγωγός ACSR

- Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για ηλεκτρική αγωγιμότητα και ο χάλυβας για μηχανική αντοχή (το ρεύμα που οδεύει μέσα από το χάλυβα είναι αμελητέο λόγω του επιδερμικού φαινομένου, έχουμε δηλ. αγωγή ρεύματος μόνο από τα σύρματα του αλουμινίου).



Αγωγοί από χαλκό

- ↑ Μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από όλα τα μέταλλα (εκτός του πολύ ακριβότερου αργύρου).
 - ↑ Καλή μηχανική αντοχή.
 - ↑ Δεν διαβρώνεται εύκολα (π.χ. σε παραθαλάσσιες περιοχές).
 - ↓ Μεγάλο ειδικό βάρος.
 - ↓ Υψηλό κόστος.
- Πλέον χρησιμοποιούνται σχεδόν μόνο σε γραμμές τροφοδότησης ηλεκτρικών τρένων (όπου χρειάζεται συνδυασμός καλής αγωγιμότητας και μηχανικής αντοχής).



Εικόνα 2: Αγωγός χαλκού



Αγωγοί από αλουμίνιο (1/2)

- ↑ Χαμηλότερο κόστος
- ↑ Μικρότερο ειδικό βάρος (3,3 φορές μικρότερο του Cu)
- ↓ Αγωγιμότητα 61% αυτής του Cu
- ↓ Μικρή μηχανική αντοχή
- ↓ Διαβρώνεται εύκολα (υφίσταται επιφανειακή οξείδωση σε παραθαλάσσιες περιοχές)



Εικόνα 3: Αγωγός αλουμινίου

- Αγωγοί από κράματα αλουμινίου (AAAC): 86-93% μικρότερη αγωγιμότητα από αυτή του E-Al, αλλά 55-84% μεγαλύτερη μηχανική αντοχή
- Χρησιμοποιούνται σήμερα σε γραμμές διανομής (δίκτυα MT και XT)



Αγωγοί από αλουμίνιο (2/2)

- Ένας αγωγός αλουμινίου για ισοδύναμη ένταση ρεύματος σε σχέση με έναν αγωγό από χαλκό, θα έχει:
 - ↓ Διατομή > κατά 65%, αλλά
 - ↑ Βάρος < κατά 50 %
- **Η χρήση αγωγών αλουμινίου οδηγεί σε οικονομικότερη κατασκευή των πυλώνων.**

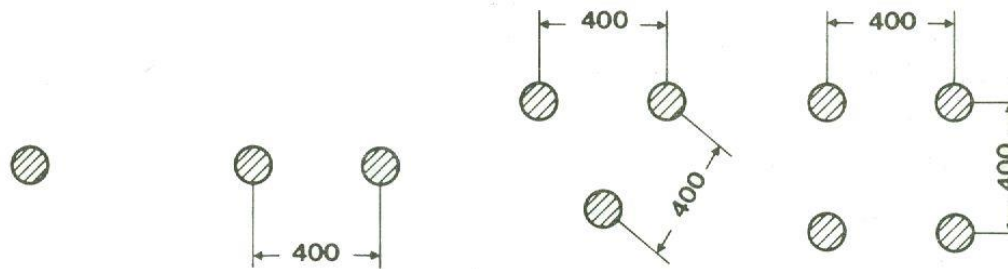


Αγωγοί ACSR από αλουμίνιο και χάλυβα

- ↑ Μεγάλη μηχανική αντοχή, λόγω του χαλύβδινου πυρήνα.
- ↑ Για την ίδια ένταση ρεύματος, έχουν καλύτερη μηχανική αντοχή με μικρότερο βάρος σε σχέση με αγωγούς από Cu.
- Η μηχανική αντοχή βελτιώνεται με το χρόνο, λόγω διαφορετικού ρυθμού ερπυσμού αλουμινίου και χάλυβα.
- Χρησιμοποιούνται πάντα σε γραμμές μεταφοράς (δίκτυα ΥΤ).



Συνήθεις διατάξεις αγωγών ανά φάση (1/2)



- Χρησιμοποιούνται:
 - Ένας αγωγός ανά φάση μέχρι τα 150 kV.
 - Δύο αγωγοί στα 220 kV – 400 kV.
 - Τέσσερις αγωγοί στα 400 kV – 735 kV.
- Πολλοί αγωγοί ανά φάση είναι επίσης πιο εύκαμπτοι και εύκολοι στη συναρμολόγηση.
- Ανά τακτές αποστάσεις (π.χ. 15-60m) υπάρχουν στηρίγματα που κρατούν τις δέσμες σε απόσταση.



Συνήθεις διατάξεις αγωγών ανά φάση (2/2)



Εικόνα 4: Διάταξη αγωγών ανά φάση

Αντιμετάθεση αγωγών σε μια εναέρια γραμμή μεταφοράς

Διάταξη των αγωγών φάσεων στο χώρο: ασυμμετρία.



Οι τρεις αγωγοί δεν έχουν τα ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.



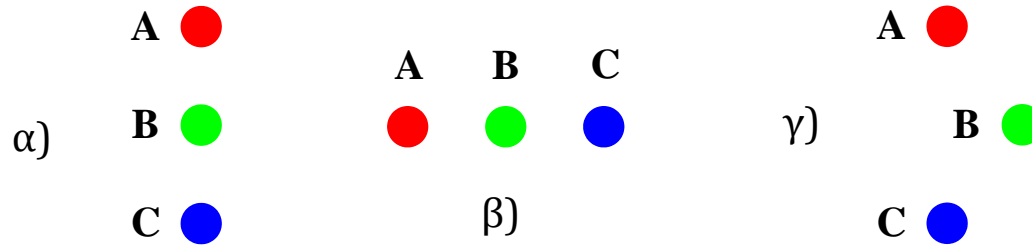
Γίνονται αντιμεταθέσεις σε ορισμένες αποστάσεις, π.χ. κάθε 20 – 40 km, των αγωγών των τριών φάσεων, έτσι ώστε κάθε αγωγός φάσης να καταλαμβάνει κάθε θέση στον πύργο για ίση απόσταση.



Οι τρεις αγωγοί αποκτούν τα ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

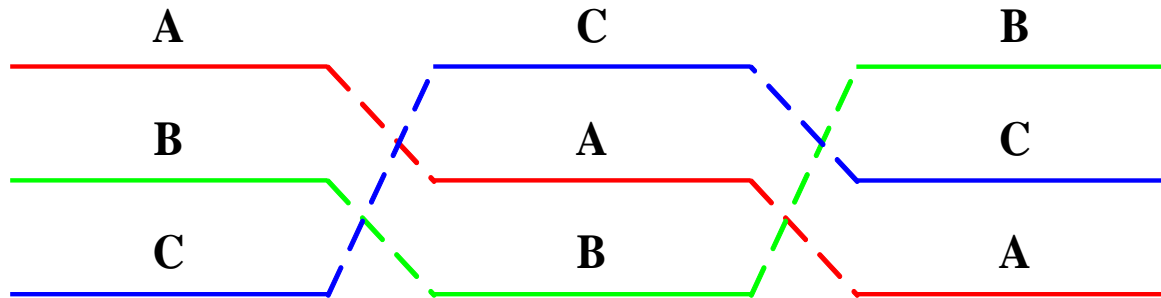


Διατάξεις αγωγών και αντιμετάθεση



Διατάξεις των αγωγών φάσεων στο χώρο:

α) κατακόρυφη β) οριζόντια γ) τριγωνική



Αντιμετάθεση αγωγών οριζόντιας διάταξης.



Διάταξη αγωγών στο χώρο, αποστάσεις μεταξύ αγωγών (1/2)

- Για την αποφυγή εκκενώσεων μεταξύ των αγωγών των τριών φάσεων, οι αγωγοί πρέπει να τοποθετηθούν σε μία ελάχιστη απόσταση a_{ph} μεταξύ τους.
- Η απόσταση αυτή, στη μέση μεταξύ δύο σημείων ανάρτησης, είναι (εμπειρικός τύπος):

$$a_{ph} \geq k \sqrt{f + l_k} + \frac{U_N}{150 \text{ kV}}$$

λαμβάνοντας υπόψη τα εξής στοιχεία:



Διάταξη αγωγών στο χώρο, αποστάσεις μεταξύ αγωγών (2/2)

$$a_{ph} \geq k\sqrt{f + l_k} + \frac{U_N}{150 \text{ kV}}$$

- Το μέγιστο βύθισμα (βέλος) f που προκύπτει από την ανάρτηση της ΓΜ, σε θερμοκρασία αγωγών ίση με 60°C [m].
- Το μήκος των μονωτήρων ανάρτησης l_k [m].
- Την τοπικά αναμενόμενη μέγιστη πίεση του αέρα (συνήθως λαμβάνεται $\sim 52,5 \text{ kPa/m}^2 \sim$ ταχύτητα $29 \text{ m/s} \sim$ ταχύτητα $104,4 \text{ km/h} \sim 11 \text{ Beaufort}$).
- Την μετάθεση των αγωγών λόγω της πίεσης του αέρα, μέσω του $k = 0,6$ έως $0,95$.
- Την ονομαστική τάση U_N της ΓΜ [kV].
- Την ελάχιστη απόσταση για την αποφυγή διάσπασης του ατμοσφαιρικού αέρα = $1 \text{ m} / 150 \text{ kV}$.



Αποστάσεις μεταξύ αγωγών - πύργων

- Οι αποστάσεις μεταξύ αγωγών υπό τάση και μεταλλικών γειωμένων μερών των πύργων είναι (VDE 0210 – ελάχιστη απόσταση τα 0,15m):

$$x \geq \frac{U_N}{150 \text{ kV}} \text{ [m]}$$

- Η απόσταση πρέπει να κρατηθεί ακόμα και αν φυσάει αέρας.
- Η πίεση του αέρα W που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι:

$$W = c \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot v^2 \right) A = (c \cdot A) \cdot \frac{v^2}{1,63} \text{ [N]}$$

όπου:

- c ο συντελεστής αντίστασης αέρα (0,7 ... 2,8),
- γ η ειδική μάζα του αέρα (1,23 kg/m³),
- A η επιφάνεια σε m² που προβάλλεται στον αέρα,
- v η ταχύτητα του αέρα σε m/s.



Αντίσταση επιφάνειας σε αέρα

Αντίσταση W_0 επιφάνειας $1m^2$ στον αέρα ($0,5 \gamma \nu^2$). Είναι: συνολική αντίσταση $W = c W_0 A, c = 0,3, \dots 2,8$ A=επιφάνεια προβολής στην κατεύθυνση του αέρα

<i>m/s</i>	Ταχύτητα αέρα Κόμβοι <i>N miles/h</i>	<i>km/h</i>	Κλίμακα Beaufort	Αντίσταση $W_0 N/m^2$
0.5	1	1,8	1	0,15
1	2	3,6	1	0,62
2	4	7,2	2	2,46
5	10	18	3	15,37
10	19	36	5	61,35
15	29	54	7	138
20	39	72	8-9 θύελλα	246
25	49	90	10	384
30	58	108	11 Θύελλα ισχυρή	554
35	68	126	12 Τυφώνες	753
40	78	144	13 και	984
45	88	162	14 σπάνιοι άνεμοι	1245
50	98	180	15 εκτός Ελλάδος	1537



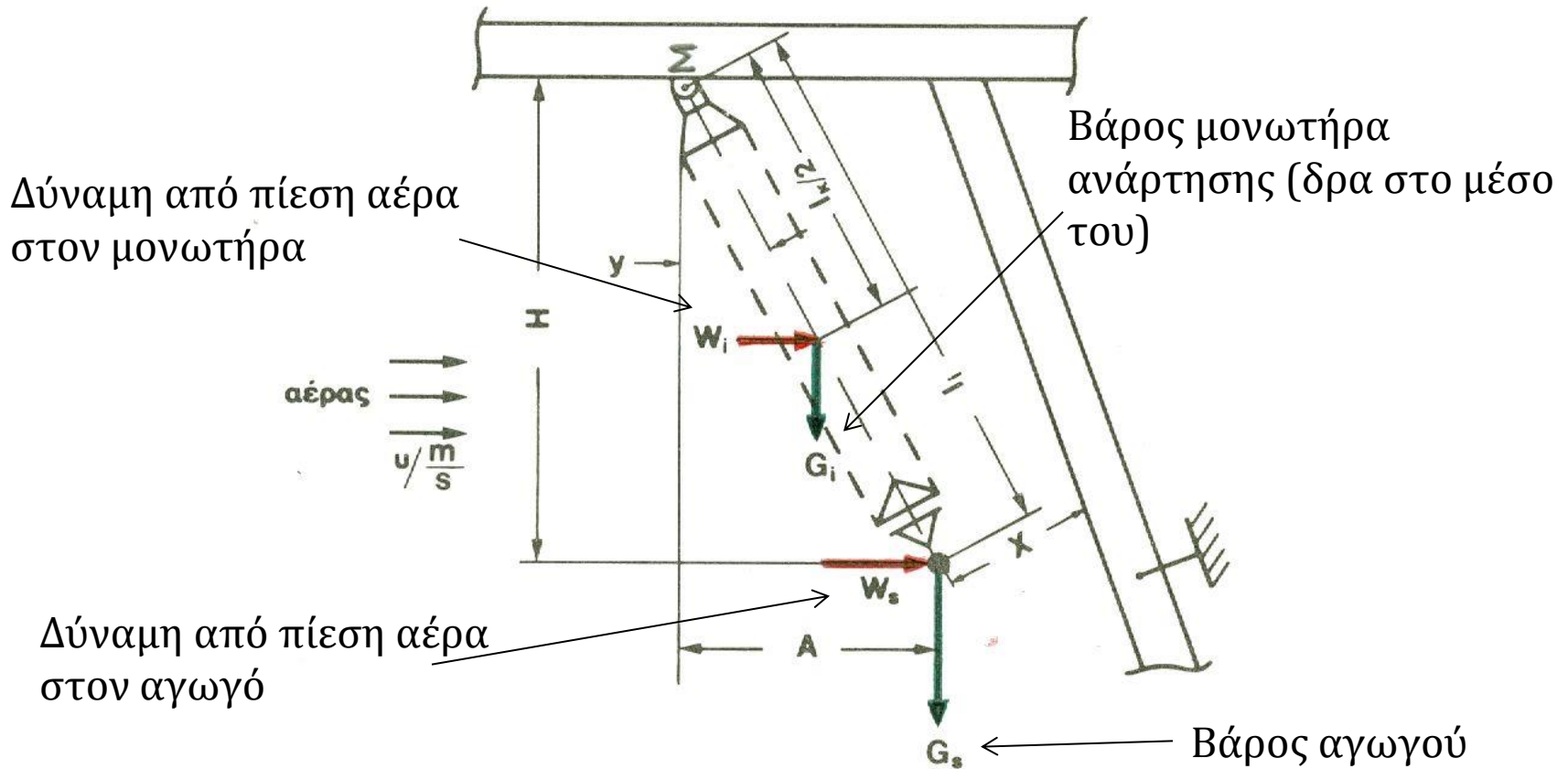
Συντελεστής αντίστασης αέρα

Συντελεστής αντίστασης αέρα c , για κατασκευές εναερίων γραμμών
 $W = c \cdot A \cdot 0,5 \gamma v^2$

Επίπεδα δικτυώματα από προφίλ	1,6
Τετράγωνα δικτυώματα από προφίλ	2,8
Επίπεδα δικτυώματα από σωλήνες στρογγυλούς	1,2
Τετράγωνα δικτυώματα από σωλήνες στρογγυλούς	2,1
Στύλοι στρογγυλοί	0,7
Στύλοι εξαγωνικοί ή οκταγωνικοί	1,0
Αγωγοί $d = 0 \dots 12,5 \text{ mm}$	1,2
Αγωγοί $d = 12,5 \dots 15,8 \text{ mm}$	1,1
Αγωγοί $d > 15,8 \text{ mm}$	1,0



Μετατόπιση αναρτημένου αγωγού λόγω ανέμου



Συνολική δύναμη στο σημείο ανάρτησης του μονωτήρα

$$F = \sqrt{(W_s + W_i)^2 + (G_s + G_i)^2} \quad [\text{N}]$$

- Αυτή είναι και η δύναμη που θα πρέπει να αντέξει κάθε δίσκος ενός μονωτήρα ανάρτησης (όχι τάνυσης).
- Ταχύτητες ανέμου (VDE 0210):

Ύψος πάνω από το έδαφος (m)	Ταχύτητα (m/s)		Αντίσταση (N/m ²)	
	Πύργοι, Μονωτήρες, τραβέρσες	αγωγοί	Πύργοι, Μονωτήρες, τραβέρσες	αγωγοί
0-40	33,5	29,0	687	519
40-100	38,0	32,9	883	667
100-150	43,0	37,0	1128	844
150-200	45,0	39,0	1226	932



Φορτίσεις αγωγών κατά τους ελληνικούς κανονισμούς

Φορτίσεις αγωγών εναέριων γραμμών. Κανονισμοί για την εγκατάσταση και συντήρηση υπαιθρίων γραμμών. ΦΕΚ Β' 608/6-10-1967

	Βαριά φόρτιση	Μέση φόρτιση	Ελαφρά φόρτιση
1. Αύξηση της ενεργού ακτίνας του αγωγού ομοιόμορφα, λόγω πάγου Δr , σε mm	13	6	-
2. Οριζόντια πίεση ανέμου στην επιφάνεια αγωγού + πάγου p (N/m^2)	196	196	392
3. Θερμοκρασία ($^{\circ}C$)	-18	-9,5	-1
4. Επαύξηση της συνισταμένης ιδίου βάρους +πάγου+ανέμου (N/m)			
4.1 χαλκός, μπρούντζος, χάλυβας, ACSR (N/m)	4,2	2,7	0,7
4.2 αλουμίνιο (N/m)	4,5	3,2	0,7
4.3 προστατευμένοι από τον αέρα αγωγοί (N/m)	4,5	3,2	0,5
5. Ειδική μάζα πάγου (kg/m^3)	915	915	915



Ελάχιστες αποστάσεις αγωγών από τη γη ή κτίσματα ή άλλες εγκαταστάσεις (1/2)

1. Τάση (πολική)	15-50 kV	150 kV	400 kV
2. Γενικά πάνω από το έδαφος και οικοδομές	5,25	6,25	8,0
3. Πάνω από δρόμους με οχήματα	6,75	7,75	10,25
4. Πάνω από σιδηροδρομικές γραμμές	9,25	10,25	12,75
5. Πάνω από ξένες γραμμές, μέχρι 50kV	1,20	2,80	5,30
6. Οριζοντίως ή κατακορύφως από κτίρια	3,00	4,00	6,50



Ελάχιστες αποστάσεις αγωγών από τη γη ή κτίσματα ή άλλες εγκαταστάσεις (2/2)

Ελάχιστες αποστάσεις εναερίων γραμμών Υ.Τ. Κατά τους κανονισμούς VDE 0210, για θερμοκρασία 40⁰C, σε μέτρα (m).

Ονομαστική τάση	$U_N = 0 - 110kV$	$U_N > 110kV$
Πάνω από το έδαφος	6	$6 + \frac{U_N - 110}{150}$
Πάνω από τους δρόμους με διεύλευση οχημάτων	7	$7 + \frac{U_N - 110}{150}$
Οριζόντια απόσταση από ισουψηή εμπόδια	3	$3 + \frac{U_N - 110}{150}$



Αγωγοί προστασίας (γης) (1/2)

- Χρησιμοποιούνται για να τραβήξουν τους κεραυνούς, προστατεύοντας τους αγωγούς φάσης.



Εικόνα 5: Κεραυνός χτυπάει αγωγό γης



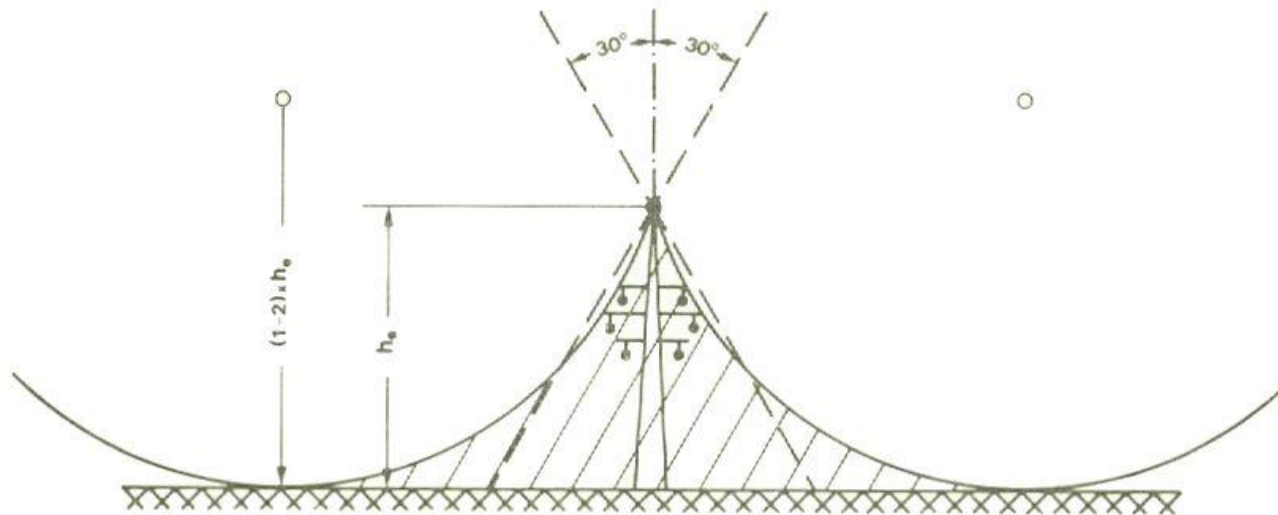
Αγωγοί προστασίας (γης) (2/2)

- Συνήθως είναι ατσάλινοι (με επικάλυψη από ψευδάργυρο), διατομής $35 - 90 \text{ mm}^2$.
- Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται διατομές 70 mm^2 στα 150 kV και 120 mm^2 στα 400 kV .
- Όπου επιβάλλεται καλή αγωγιμότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αγωγοί ACSR.



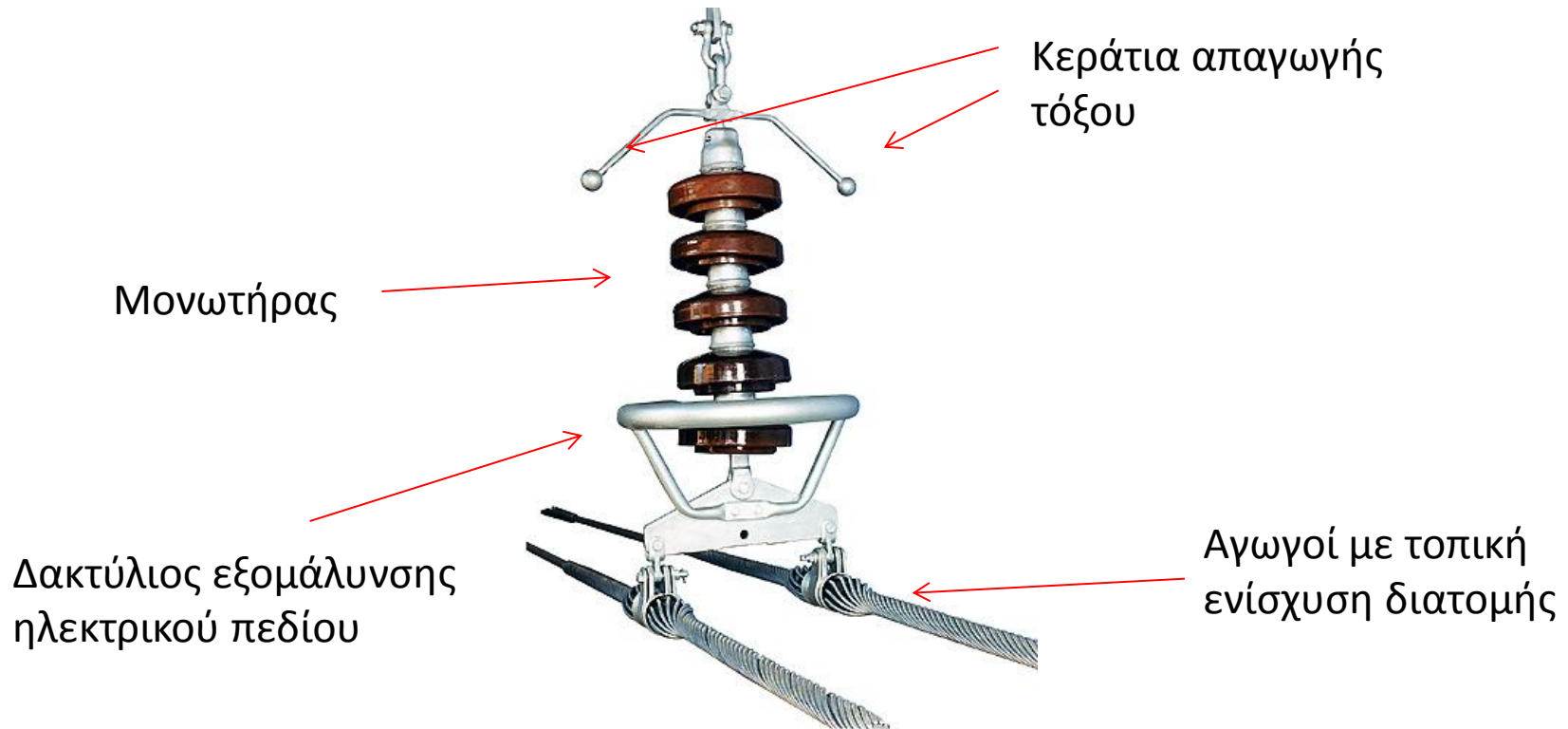
Περιοχή προστασίας κάτω από τους αγωγούς γης

- Τρόποι υπολογισμού:
 - Καμπυλόγραμμο τρίγωνο, με κορυφή τον αγωγό γης (ακτίνα $1-2h_e$). Συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή $1,5h_e$. Οι κανονισμοί VDE 101, DIN 57 101 κάνουν χρήση της τιμής $2h_e$.
 - Πεδίο προστασίας εντός γωνίας $\pm 30^\circ$ εκατέρωθεν της κατακόρυφου.



Μονωτήρες (1/2)

- Ράβδοι απαγωγής ηλεκτρικού τόξου (arcing horns) και
- Δακτύλιοι εξομάλυνσης ηλεκτρικού πεδίου (field grading Corona rings)



Μονωτήρες (2/2)

- Οι μονωτήρες σε μια δεδομένη γραμμή μεταφοράς, προσδιορίζονται από:
 - Το μηχανικό φορτίο που φέρουν.
 - Την ηλεκτρική τους καταπόνηση.
- Βασικό στοιχείο για την επιλογή τους είναι η υπό βροχή μέγιστη ηλεκτρική τάση αντοχής (ενεργός τιμή U_i της τάσης που πρέπει να αντέχει συνεχώς ο μονωτήρας, κατά μήκος του, υπό βροχή με διεύθυνση 45° ως προς την κατακόρυφο).
- Ανάλογα με τη χώρα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εμπειρικοί τύποι, που σχεδόν συμπίπτουν μεταξύ τους για τάσεις πάνω από 150 kV:

$$U_i = 1,1 \cdot (2,2 \cdot U_N + 20) \text{ kV} \quad \text{κατά VDE 0111}$$

$$U_i = 1,05 \cdot (2 \cdot U_N + 10) \text{ kV} \quad \text{κατά IEC}$$

$$U_i = 3,35 \cdot U_N / \sqrt{3} = 1,93 \cdot U_N \text{ kV} \quad \text{Αμερική, Γαλλία}$$



Μηχανικές ταλαντώσεις των γραμμών (1/6)

- Εμφανίζονται λόγω:
 - Ανέμου.
 - Βραχυκυκλωμάτων που προκαλούν ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις (υπό κανονικές συνθήκες οι δυνάμεις αυτές είναι αμελητέες).
 - Πτώσης πάγου ή χιονιού που βρισκόταν πάνω στη γραμμή.
- Ιδιαίτερα προβλήματα παρουσιάζονται όταν ο αέρας προσβάλλει τη γραμμή υπό γωνία $90^\circ - 45^\circ$ ως προς τη διεύθυνσή της, με ταχύτητες ανέμου 0,5-8 m/s.
- Σε αυτήν την περίπτωση δημιουργούνται πίσω από τον αγωγό συστάδες στροβίλων (Von Karman vortex street).



Μηχανικές ταλαντώσεις των γραμμών (2/6)

- Η συχνότητα της εμφάνισης των συστάδων (συχνότητα Von Karman) είναι:

$$f_K = 0,2 \cdot \frac{v}{d} \text{ Hz}$$

όπου

- v η ταχύτητα του ανέμου (σε m/s).
 - d η διάμετρος του αγωγού (σε m).
- Τυπικές συχνότητες ταλάντωσης αγωγών κυμαίνονται από 5-50 Hz, και μήκη κύματος από 0,5-10 m.

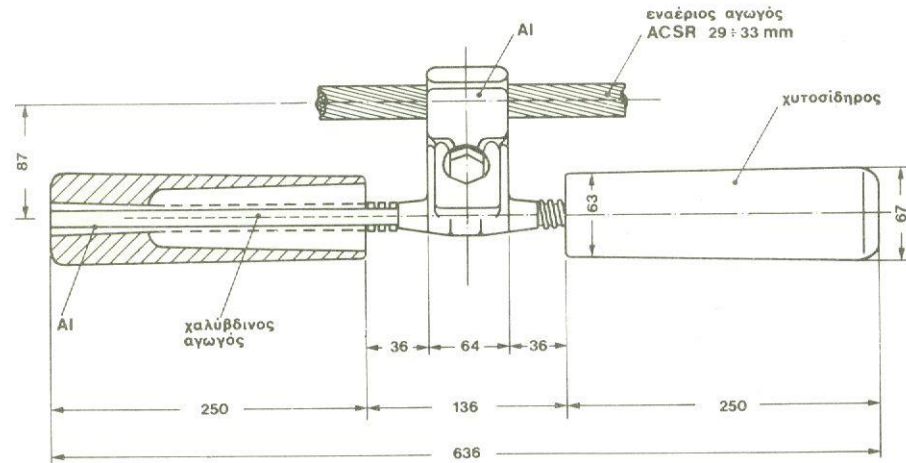


Μηχανικές ταλαντώσεις των γραμμών (3/6)

- Οι γραμμές μπορούν να καταστραφούν από τις ταλαντώσεις, αν η συχνότητα Von Karman συμπέσει με μια ιδιοσυχνότητα του αγωγού.
- Μέτρα που λαμβάνονται για να αποφευχθεί η καταστροφή του αγωγού είναι:
 - Μείωση της επιτρεπόμενης μηχανικής τάσης (άρα ισχυρότερες αναρτήσεις).
 - Τοπική ενίσχυση της διατομής του αγωγού στα σημεία ανάρτησης (armor rods).
 - Βάρη στα σημεία ανάρτησης (μειώνουν τις ταλαντώσεις).
 - Διατάξεις αποσβεστών (π.χ. αποσβέστες Stockbridge – αποσβέννουν τις ταλαντώσεις).



Μηχανικές ταλαντώσεις των γραμμών (4/6)



Εικόνα 6: Αποσβέστης Stockbridge



Μηχανικές ταλαντώσεις των γραμμών (5/6)



Εικόνα 7: Αποσβέστες Stockbridge



Μηχανικές ταλαντώσεις των γραμμών (6/6)



Εικόνα 8: Αποσβέστες Stockbridge



Πύργοι – Πυλώνες (1/5)

- Χρησιμοποιούνται για τη στήριξη, το τέντωμα, και την οδήγηση των αγωγών στην κατάλληλη πορεία.
- Η στήριξη τυπικά γίνεται σε ανοίγματα 150 m έως 500 m.
- Σε περιπτώσεις διασταύρωσης ποταμών, κοιλάδων, υπερθαλάσσιων ζωνών, οι αποστάσεις μπορεί να ανέλθουν σε 1200 m.
- Όσο αυξάνεται το άνοιγμα, πρέπει:
 - Οι πύργοι να είναι ισχυρότεροι, υψηλότεροι, και με μεγαλύτερες εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των αγωγών.
 - Οι αγωγοί να είναι ανθεκτικότεροι.
- Μπορούμε να επιλέξουμε (όπου το έδαφος το επιτρέπει) πολλούς φθηνούς πύργους, ή λίγους και ακριβούς.
- Οικονομοτεχνικά προκύπτουν οι παραπάνω αποστάσεις των 150 m – 500 m.



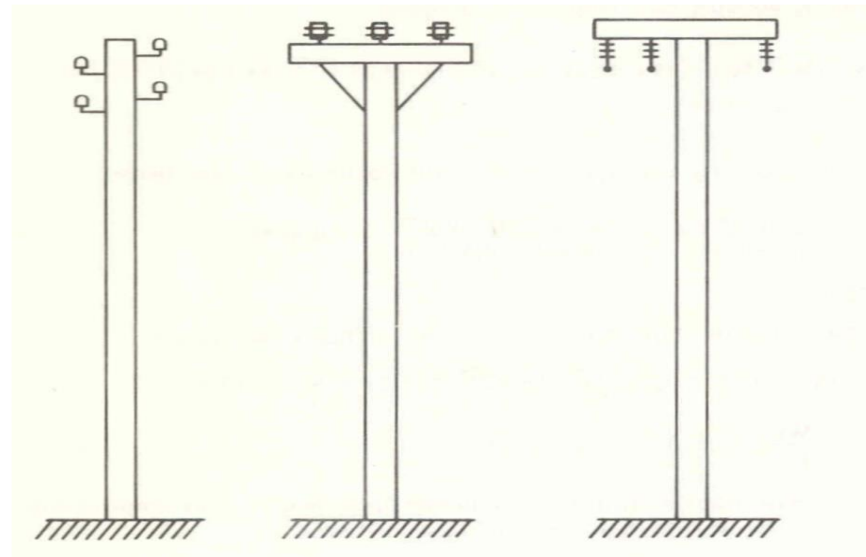
Πύργοι – Πυλώνες (2/5)

- Είναι ξύλινοι, τσιμεντένιοι ή χαλύβδινοι.

α) Χαμηλής Τάσης

β) Στήριξης αγωγών
Μέσης Τάσης

γ) Ανάρτησης αγωγών
Μέσης Τάσης



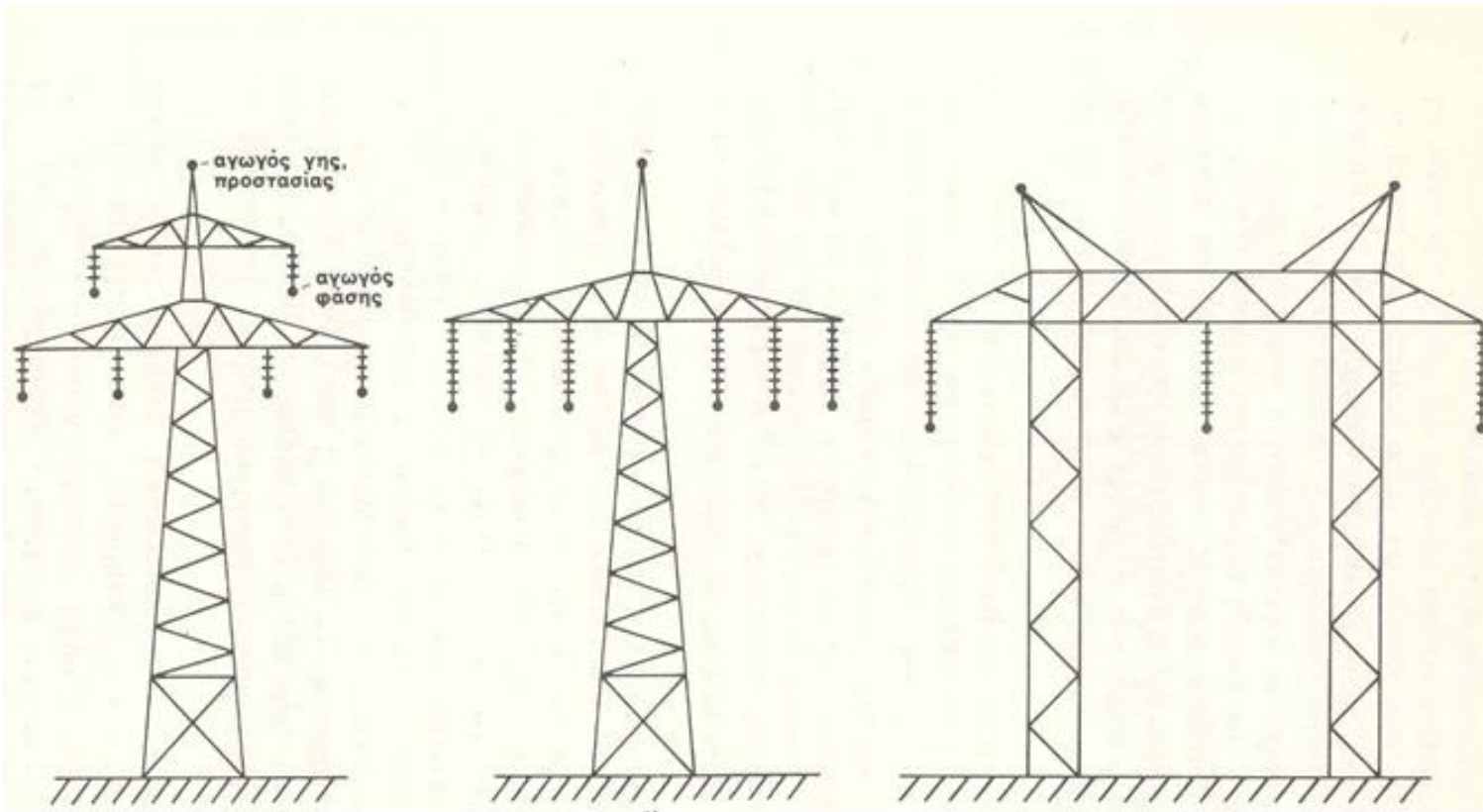
α)

β)

γ)



Πύργοι – Πυλώνες (3/5)



Πύργοι – Πυλώνες (4/5)

- Η μορφή των πύργων εξαρτάται από:
 - Την ονομαστική τάση της ΓΜ.
 - Τη μεταφερόμενη ισχύ.
 - Τη διάταξη των αγωγών.
 - Το διαθέσιμο χώρο.
 - Τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.
 - Τις μέγιστες μηχανικές καταπονήσεις και ταλαντώσεις των αγωγών.
 - Την αυξημένη ροπή που ασκείται, αν ένας ή περισσότεροι αγωγοί κοπούν.

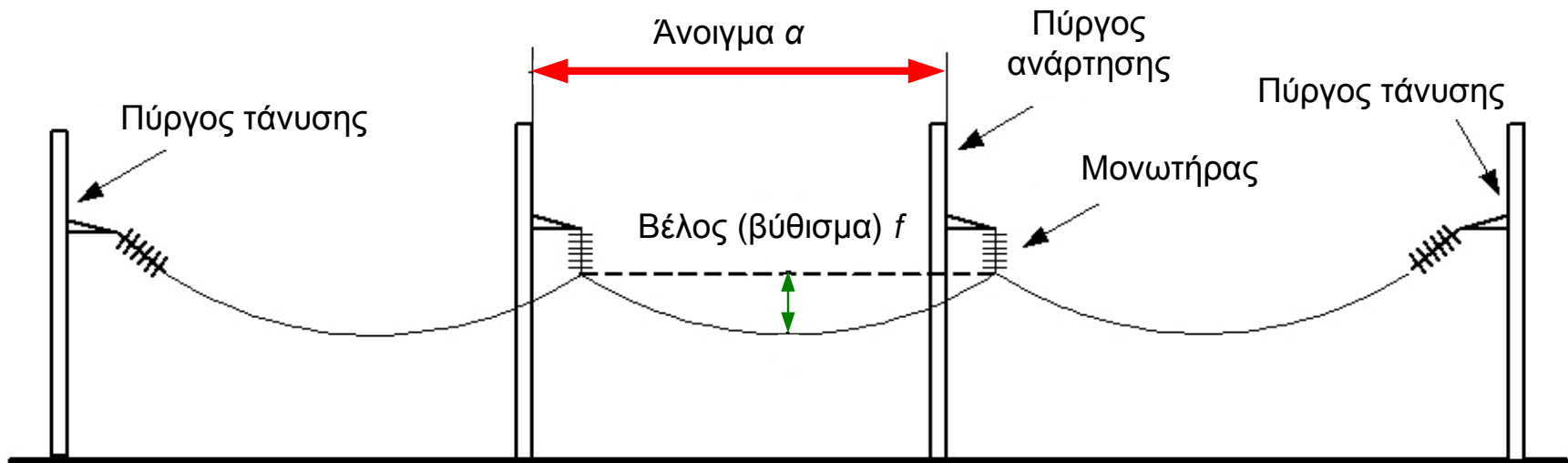


Πύργοι – Πυλώνες (5/5)

- Τα είδη των πύργων διακρίνονται ανάλογα με τα μηχανικά φορτία που φέρουν και είναι:
 - Πύργοι που φέρουν κατακόρυφα φορτία \longrightarrow πύργοι ανάρτησης.
 - Πύργοι που φέρουν και οριζόντια και κατακόρυφα φορτία και τεντώνουν τους αγωγούς στα ευθύγραμμα τμήματα των ΓΜ \longrightarrow πύργοι τάνυσης.
 - Πύργοι που φέρουν και οριζόντια και κατακόρυφα φορτία και χρησιμοποιούνται στα σημεία κάμψης (στροφές) των ΓΜ \longrightarrow πύργοι κάμψης.
 - Πύργοι που τερματίζουν τις ΓΜ στους ΥΣ ΥΤ εξωτερικού χώρου \longrightarrow πύλες.
 - Πύργοι αντιμετάθεσης αγωγών.
 - Πύργοι σύνδεσης εναέριων ΓΜ και καλωδίων.



Εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας



Πύργοι – Πυλώνες (1/7)



Εικόνα 9: Πυλώνες

Πύργοι – Πυλώνες (2/7)



Εικόνα 10: Πυλώνας

Πύργοι – Πυλώνες (3/7)



Εικόνα 11: Πυλώνας



Πύργοι – Πυλώνες (4/7)

- Διάταξη τριών φάσεων σε οριζόντιο επίπεδο:
 - ↑ Απλή κατασκευαστικά.
 - ↑ Μείωση κίνδυνου επαφής αγωγών, αν ένας αγωγός επιμηκυνθεί.
 - ↓ Μεγάλο άνοιγμα τραβέρσας/πλάτους πύργου.
 - ↓ Αύξηση κίνδυνου επαφής, αν οι αγωγοί ταλαντωθούν οριζόντια.
 - ↓ Μεγάλη καταπόνηση σε στρέψη.
- Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα πολύ υψηλής τάσης (>750 kV) γιατί αλλιώς το ύψος του πύργου αυξάνει υπερβολικά .

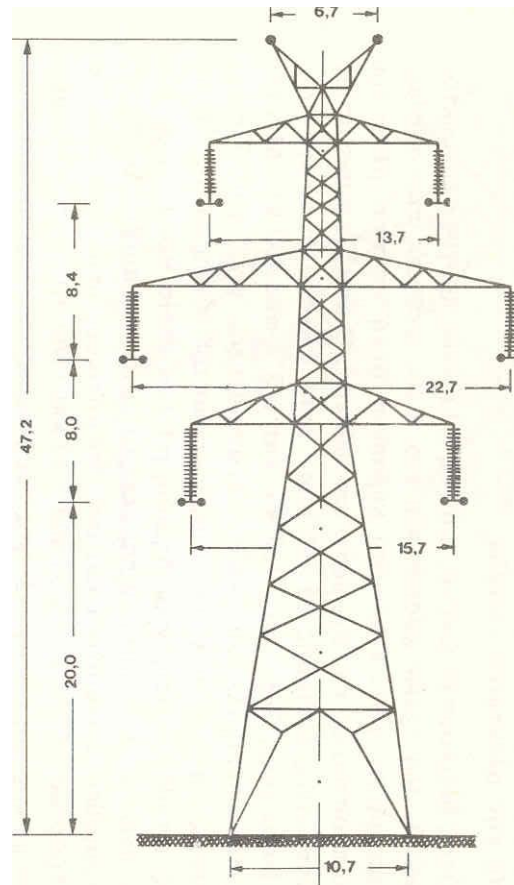


Πύργοι – Πυλώνες (6/7)

- Συχνά οι ΓΜ αποτελούνται από διπλά ή πολλαπλά κυκλώματα, για λόγους:
 - μεταφερόμενης ισχύος.
 - ευστάθειας του συστήματος.
 - Εφεδρείας.
- Τα πολλαπλά κυκλώματα μπορούν να αναρτηθούν σε ξεχωριστούς πύργους ή στον ίδιο πύργο μαζί, για οικονομικούς λόγους (με αντίστοιχη όμως μείωση της αξιοπιστίας του συστήματος).



Πύργοι – Πυλώνες (7/7)



Προσδιορισμός όδευσης (χάραξης) γραμμής μεταφοράς

- Η μελέτη της χάραξης μιας γραμμής μεταφοράς πρέπει να λάβει υπόψη τα παρακάτω:
 - Η γραμμή να είναι καλά προσπελάσιμη σε όλες τις εποχές.
 - Να έχει λίγα σημεία κάμψης και το ελάχιστο δυνατό μήκος.
 - Κατά το δυνατό ελάχιστη δαπάνη για απαλλοτριώσεις.
 - Πρέπει να αναγνωριστούν και να αποφευχθούν πιθανά εμπόδια στην κατασκευή και λειτουργία (αεροδρόμια, διασταυρώσεις με άλλες γραμμές, περιοχές με ισχυρούς ανέμους, πολύ πάγο ή πολλούς κεραυνούς).
 - Ανεπιθύμητη η παράλληλη όδευση σε μεγάλες αποστάσεις με καλωδιακές γραμμές τηλεφώνου ή σωληνώσεις.



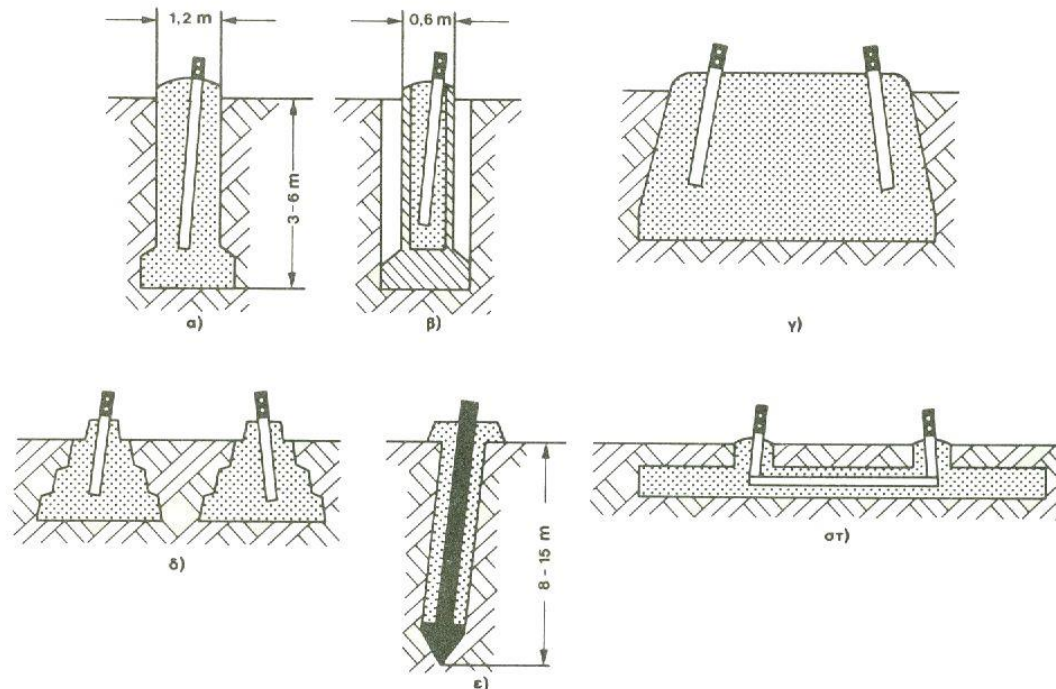
Ζώνη διέλευσης εναέριας ΓΜ

- Οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια είναι υψηλά ιεραρχημένες.
- Οι ιδιοκτήτες γης είναι λοιπόν αναγκασμένοι να επιτρέψουν τη διέλευση ΓΜ.
- Η ζώνη εδάφους που απαιτεί μια ΓΜ λέγεται ζώνη διέλευσης ή ζώνη δουλείας και έχει πλάτος 40 m στα 150 kV και 50 m στα 400 kV.
- Το έδαφος που απαιτείται για τη στήριξη/θεμελίωση των πύργων αγοράζεται (απαλλοτριώνεται) από την ηλεκτρική εταιρεία.



Θεμελίωση των πυλώνων

- Απαραίτητη λόγω κατακόρυφων δυνάμεων και ροπών ανατροπής.
- Εξαρτάται κυρίως από τα οριζόντια φορτία, το ύψος του πύργου και το έδαφος.



Γειώσεις Πύργων ή Στύλων Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς (1/5)

- Γιατί μας χρειάζεται η γείωση;
 - Προστασία ανθρώπινου δυναμικού και εγκαταστάσεων μέσω της οδήγησης ρευμάτων σφάλματος στη γη.
- Γειώσεις στις εναέριες γραμμές μεταφοράς χρειαζόμαστε σε:
 - Πύργους από χάλυβα.
 - Στύλους από οπλισμένο σκυρόδεμα.
 - Σύρματα ή ταινίες σε ξύλινους στύλους, με εξαίρεση τα μεταλλικά μέρη των μονωτήρων.
- Η γείωση σε στύλους και πύργους είναι συνήθως γείωση προστασίας από κεραυνούς.
- Αν υπάρχουν στους στύλους/πύργους συσκευές που χρειάζονται γείωση λειτουργίας, τότε θα υπάρχει και αυτή.



Γειώσεις Πύργων ή Στύλων Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς (2/5)

- Σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς (VDE 0141) λαμβάνουμε υπόψη τις παρακάτω πιθανότητες εμφάνισης κεραυνών:

Ρεύμα I_k [kA]	20	30	40	50	60
% εμφάνιση κεραυνών με ρεύμα I_k ή μικρότερο	79	91	95	98	99

- Αφού πέσει ο κεραυνός στον αγωγό, το ρεύμα του ρέει κυρίως μέσω της αντίστασης γείωσης του πλησιέστερου πυλώνα.
- Η τάση του πυλώνα στην περίπτωση αυτή θα είναι:

$$U_{\Pi} = I_k \cdot Z_{\Gamma}$$

όπου Z_{Γ} η αντίσταση γείωσης



Γειώσεις Πύργων ή Στύλων Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς (3/5)

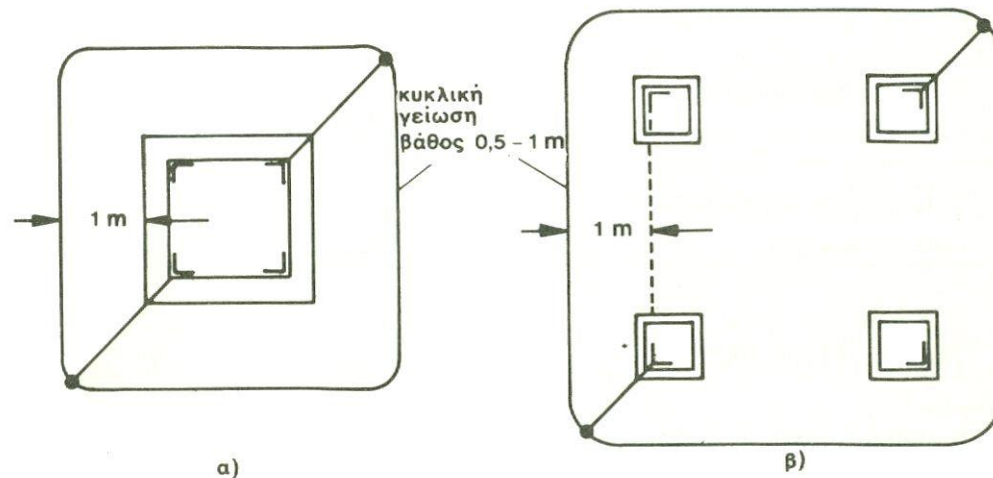
- Αυτή η τάση θα υπερτεθεί στην τάση λειτουργίας του συστήματος, καταπονώντας αντίστοιχα τους μονωτήρες.
- Στον υπολογισμό των τελευταίων θα πρέπει δηλαδή να λάβουμε υπόψη το άθροισμα της τάσης λειτουργίας με την τάση λόγω πλήγματος από κεραυνό.
- **Παράδειγμα:**
 - Για δίκτυο με $U_N = 20 \text{ kV}$, η μέση κρουστική τάση διάσπασης των μονωτήρων είναι 205 kV.
 - Για ένα ρεύμα κεραυνού 60 kA, η αντίσταση γείωσης θα πρέπει να είναι:

$$Z_{\Gamma} < \frac{205 \text{ kV}}{60 \text{ kA}} = 3,4 \Omega$$



Γειώσεις Πύργων ή Στύλων Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς (4/5)

- Σε μεταλλικούς πύργους γραμμών μεταφοράς ΥΤ πάνω από 110 kV τοποθετούνται περιμετρικά κυκλικοί γειωτές.
- Έτσι μειώνονται οι βηματικές τάσεις και τάσεις αφής στην περιοχή της θεμελίωσης.



Γειώσεις Πύργων ή Στύλων Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς (5/5)

- Εφόσον απαιτούνται πρόσθετες γειώσεις, αυτές μπορεί να είναι:
 - Πάσσαλοι γείωσης πακτωμένοι κατακόρυφα.
 - Πολλοί παράλληλοι πακτωμένοι πάσσαλοι (π.χ. τρίγωνα γείωσης).
 - Ταινίες γείωσης θαμμένες σε βάθος, π.χ. 0,6 – 1,0 m, όπου το έδαφος δεν ξεραίνεται.
 - Αστέρες γείωσης, ή αλλιώς ακτινικοί γειωτές.
 - Πλέγματα γείωσης, με τετραγωνικά ανοίγματα 5x5 m – 10x10 m.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Κατασκευαστικά Στοιχεία Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:
ACSR Cable: <http://www.vericable.com/cables/overheadcable/ACSR-cable.htm>
- Εικόνα 2:
BARE COPPER WIRE:
<http://www.prolinesafety.com/store/item.aspx?DepartmentId=54&ItemId=63&>
- Εικόνα 3:
AAC Conductor, All Aluminum Conductor: <http://www.zmscable.com/overheadcables/>
- Εικόνα 4:
Διάταξη αγωγών ανά φάση: Από το προσωπικό αρχείο των καθηγητών
- Εικόνα 5:
A lightning stroke hits an earth wire (courtesy Niagara Mohawk Power corporation):
<http://www.tdee.ulg.ac.be/userfiles/image/eclair.jpg>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

- Εικόνα 6:
Αποσβέστης Stockbridge : Από το προσωπικό αρχείο του εργαστηρίου ΣΗΕ
- Εικόνα 7:
Stockbridge dampers on a 400 kV line near Castle Combe, England:
http://en.wikipedia.org/wiki/Stockbridge_damper
- Εικόνα 8:
Stockbridge dampers on an overhead power line: <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/1261769>
- Εικόνα 9:
A chain of pylons carry electricity cables down the Longdendale Valley to Manchester.
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PylonHorizon.jpg>
- Εικόνα 10:
Pylon in Thailand: <http://www.mmbiztoday.com/articles/thai-firm-bids-add-3300mw-myanmar-grid>
- Εικόνα 11:
A termination pylon between Yorkshire and Cheshire: http://en.wiktionary.org/wiki/anchor_pylon



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ