

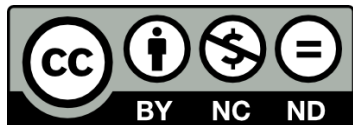


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙΙ

ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΑ ΣΗΕ

Λαμπρίδης Δημήτρης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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.



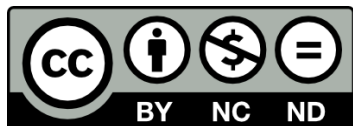
Χρηματοδότηση

- 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.





ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ III



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

3. Κυματικά φαινόμενα

- viii. Πολλαπλές ανακλάσεις οδευόντων κυμάτων σε γραμμές πεπερασμένου μήκους (πλέγματα Bewley)
- ix. Οδεύοντα κύματα από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις
- x. Απόσβεση οδευόντων κυμάτων
- xi. α. Κατανομή της τάσης στα τυλίγματα ΜΣ
- xii. β. Κατανομή της τάσης στους μονωτήρες ανάρτησης ΓΜ



ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ (συν.)

viii. Πολλαπλές ανακλάσεις οδευόντων κυμάτων σε γραμμές πεπερασμένου μήκους (πλέγματα Bewley)

$$r_1 = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0}$$

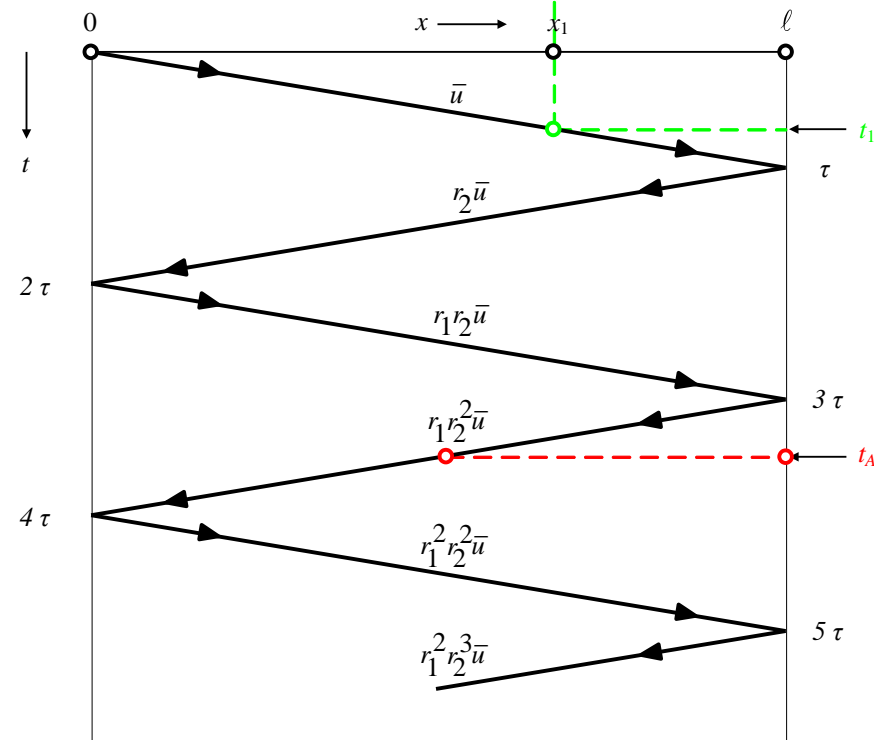
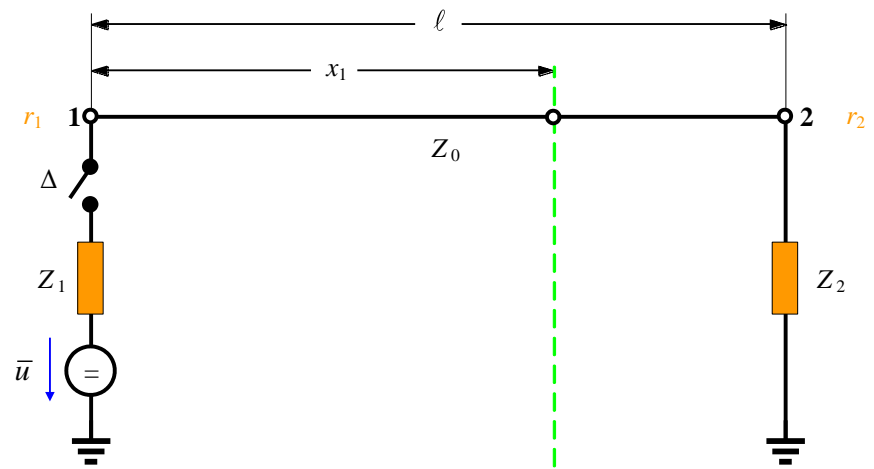
$$r_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0}$$

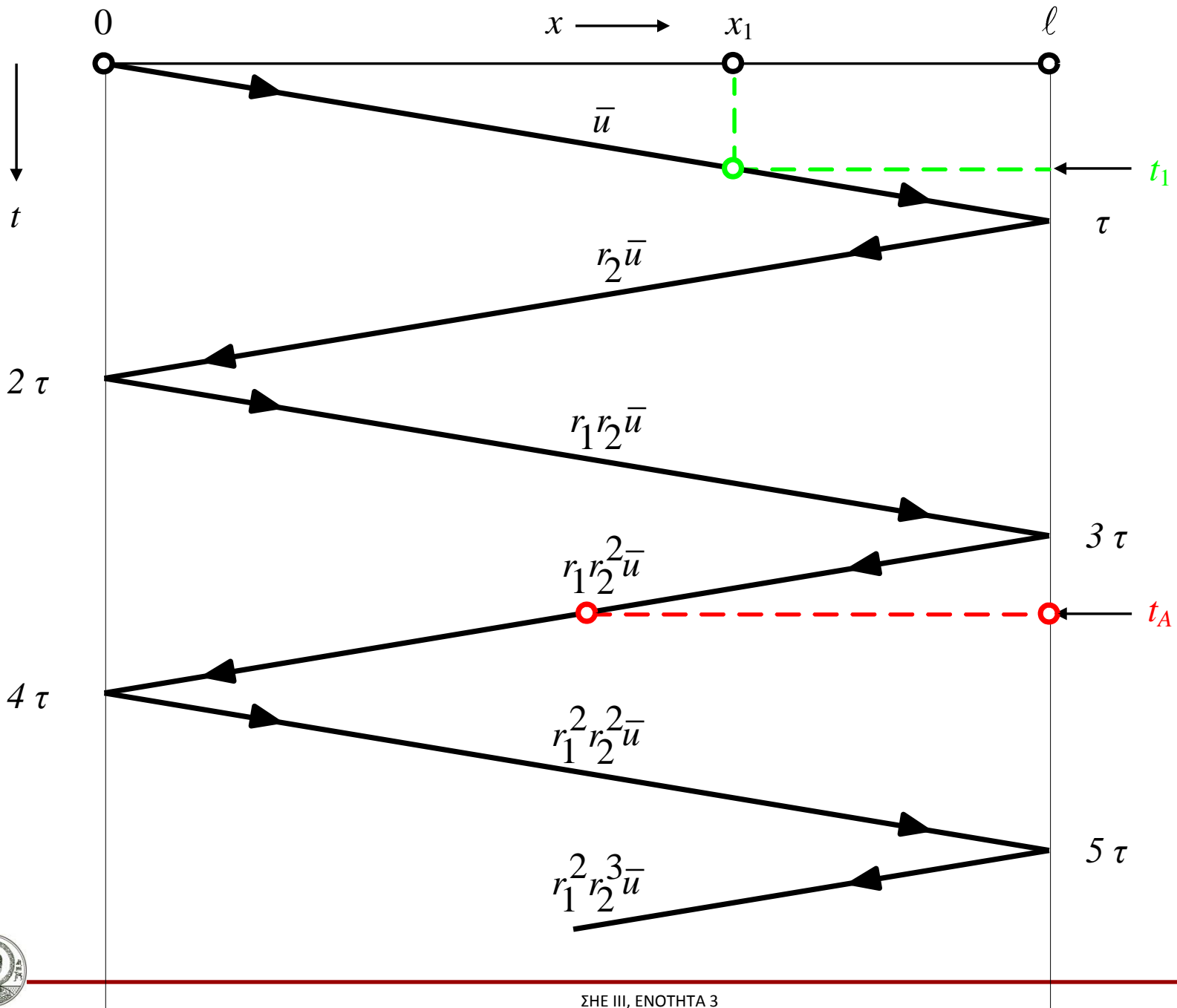


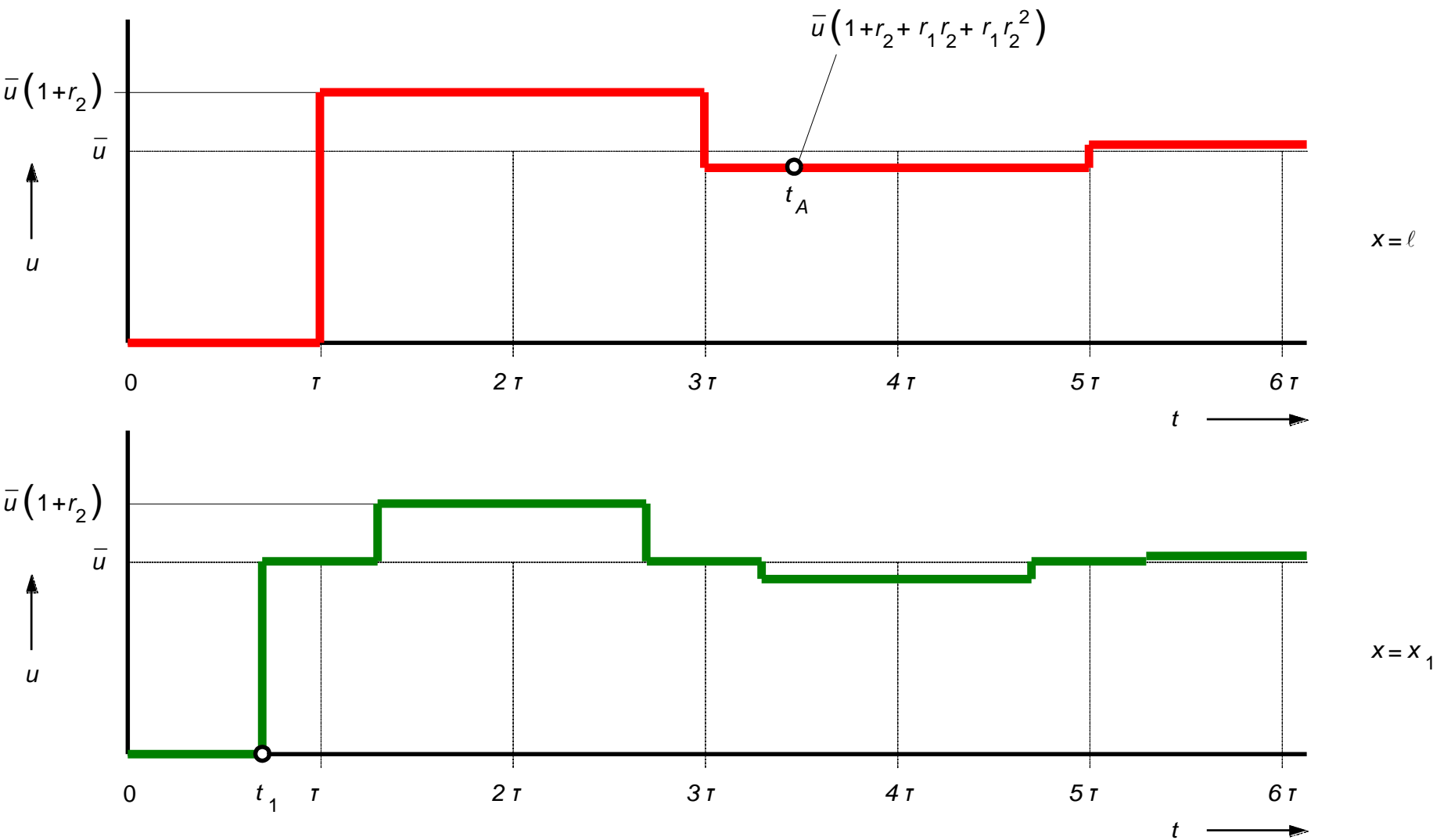
Σχ.2.14: Γραμμή πεπερασμένου μήκους ℓ και αντίστοιχο διάγραμμα Bewley

α) Ισοδύναμο κύκλωμα

β) Διάγραμμα Bewley







Σχ.2.15: Τάση σαν συνάρτηση του χρόνου της ΓΜ του Σχ.2.14, για $r_1 = -1$ και $r_2=0,3$ και για δύο σημεία της γραμμής ($x = l$ και $x = x_1$)

ix. Οδεύοντα κύματα από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις

Οι εκκενώσεις νεφών δημιουργούν **υπερτάσεις**

Οι υπερτάσεις δημιουργούν **διάσπαση της μόνωσης**



βραχυκυκλώματα

σε εναέριες γραμμές του συστήματος μεταφοράς (>150 kV)

- Στις ΓΜ ΥΤ > 750 kV οι υπερτάσεις λόγω κεραυνών είναι χαμηλότερες των υπερτάσεων χειρισμών ⇒ ακίνδυνες
- στις ΓΜ ΥΤ < 750 kV οι υπερτάσεις λόγω κεραυνών είναι **επικίνδυνες**



1) Εκκένωση νέφους πάνω στον αγωγό γης (προστασίας)

- ⇒ Μέρος του ρεύματος ρέει στη γη (μέσω του πλησιέστερου πυλώνα)
- ⇒ Το υπόλοιπο του ρεύματος οδεύει στον αγωγό γης (δύο οδεύοντα κύματα προς τις δυο κατευθύνσεις)
- ⇒ **βραχυκύκλωμα** μεταξύ αγωγού γης – φάσης ανάλογα με το μέγεθος της τάσης που δημιουργείται στον αγωγό γης, λόγω **διάσπασης** του μονωτήρα ανάρτησης



2) Εκκένωση νέφους πάνω στον πυλώνα

⇒ Δεν δημιουργείται πάντοτε οδεύον κύμα τάσης (πεπερασμένη αγωγιμότητα του πυλώνα) αλλά ανάλογα με

- Την ταχύτητα ανόδου ρεύματος di / dt
- Το ρεύμα της εκκένωσης i
- Την αυτεπαγωγή και την αντίσταση γείωσης του πυλώνα



3) Διάσπαση του μονωτήρα ανάρτησης \Rightarrow βραχυκύκλωμα

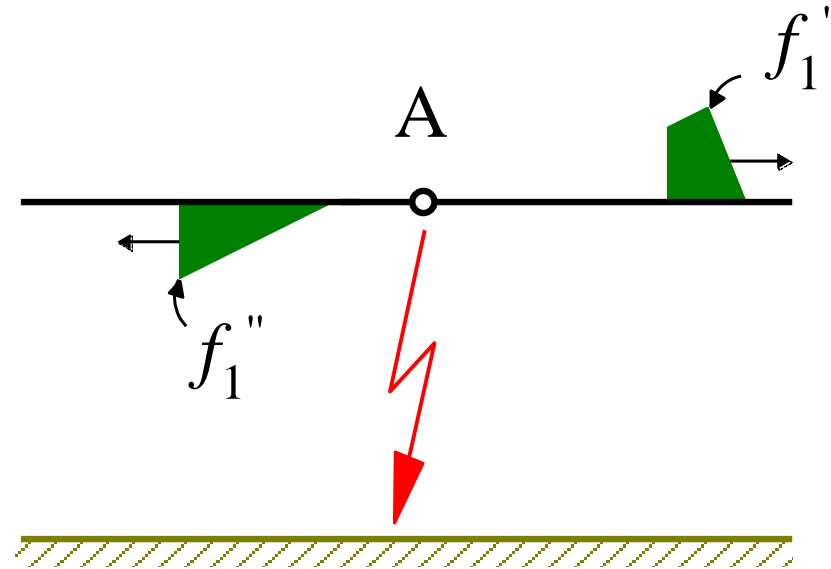
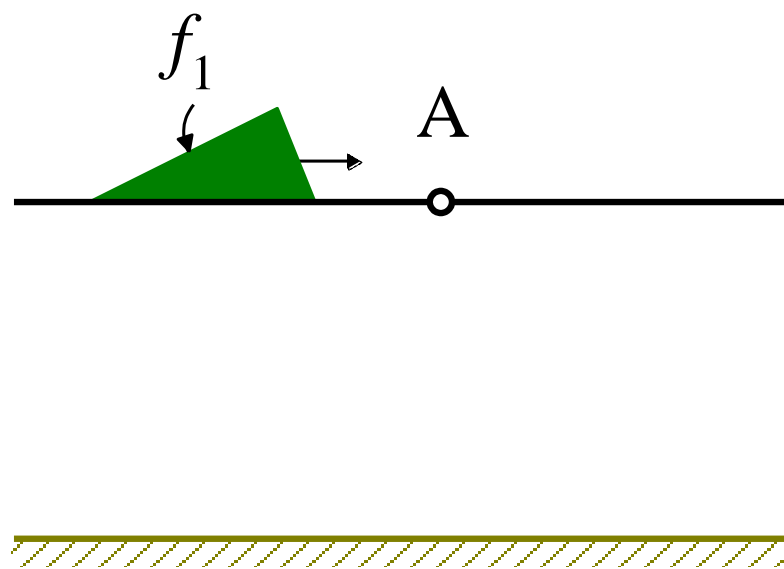
\Rightarrow δεν δημιουργείται αμέσως βραχυκύκλωμα
(χρειάζεται χρόνος $\sim \mu\text{s}$)

\Rightarrow μέρος του κύματος προχωρεί ανενόχλητο με
κομμένη ουρά

\Rightarrow μέρος του κύματος ανακλάται (επιστρέφει,
κομμένο κύμα)

**Τα κομμένα κύματα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για
τους ΜΣ**





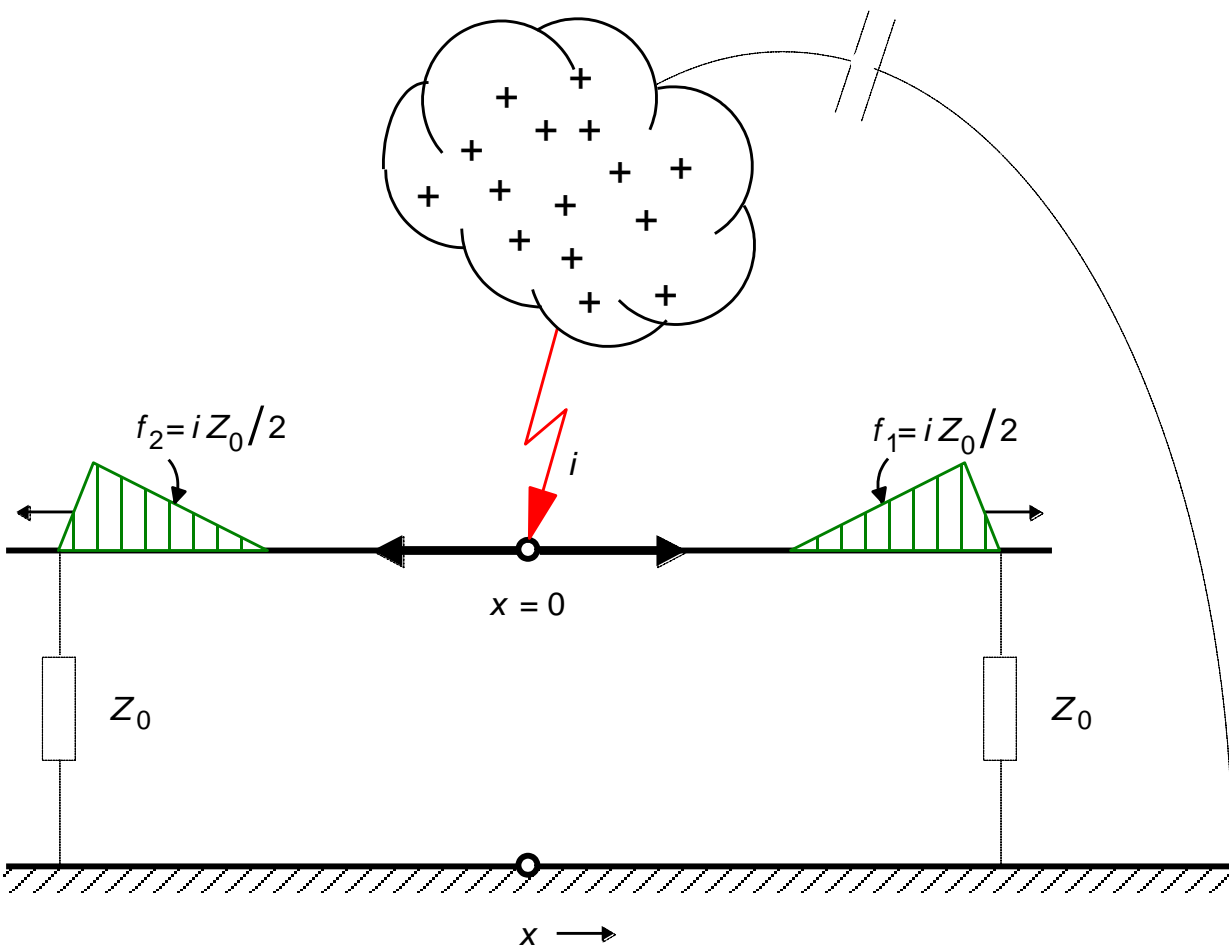
Σχ.2.16: Δημιουργία κομμένου κύματος τάσης

Το προσπίπτον κύμα f_1 προκαλεί διάσπαση της μόνωσης στο σημείο A της γραμμής

Το βραχυκύκλωμα καθυστερεί να αναπτυχθεί, και δημιουργούνται τα κύματα f_1' και f_1''



α) Πτώση κεραυνού σε ΓΜ (άμεση εκκένωση)



Σχ.2.17: Το ηλεκτρικό κύκλωμα και τα οδεύοντα κύματα που δημιουργούνται κατά την πτώση κεραυνού σε εναέρια ΓΜ. Το κύκλωμα είναι: νέφος - χωρητικότητα του νέφους ως προς τη γη - γείωση - κυματική αντίσταση γραμμής - ηλεκτρικό τόξο

Ρεύμα κεραυνού γνωστό:
$$i(t) = \frac{f(t)}{Z_0} = i(0, t) \quad (1)$$

(Οριακή συνθήκη για το ρεύμα της ΓΜ, στο σημείο $x = 0$)

Ερώτηση: Η οριακή συνθήκη (1) ικανοποιείται από μια

**λύση της μορφής
$$i(x, t) = \frac{1}{Z_0} [f_1(x - vt) + f_2(x + vt)];$$**



Απάντηση:

Από το νόμο ρευμάτων του **Kirchhoff** στον κοινό κόμβο $x = 0$:

$$\frac{1}{Z_0} f_1(0 - vt) + \frac{1}{Z_0} f_2(0 + vt) = i(0, t) = \frac{1}{Z_0} f(t) \Rightarrow$$

$$f_1(-vt) + f_2(vt) = f(t)$$



Η άπειρη ΓΜ εκατέρωθεν του σημείου $x = 0$ είναι **συμμετρική**

$$f_1(0 - vt) = f_2(0 + vt) \Rightarrow$$

$$f_1(-vt) = f_2(vt)$$

οπότε

$$f_1(-vt) = f_2(vt) = \frac{f(t)}{2} = \frac{i(t) Z_0}{2}$$



- Κατά την πτώση κεραυνού με ρεύμα $i(t)$ σε ΓΜ με κυματική αντίσταση Z_0 δημιουργούνται δυο οδεύοντα κύματα τάσης, το καθένα ίσο με $i(t) Z_0 / 2$
- Τα κύματα κινούνται από το σημείο πτώσης του κεραυνού ($x = 0$) προς τις δυο κατευθύνσεις



β) Εκκένωση μεταξύ δύο φορτισμένων νεφών

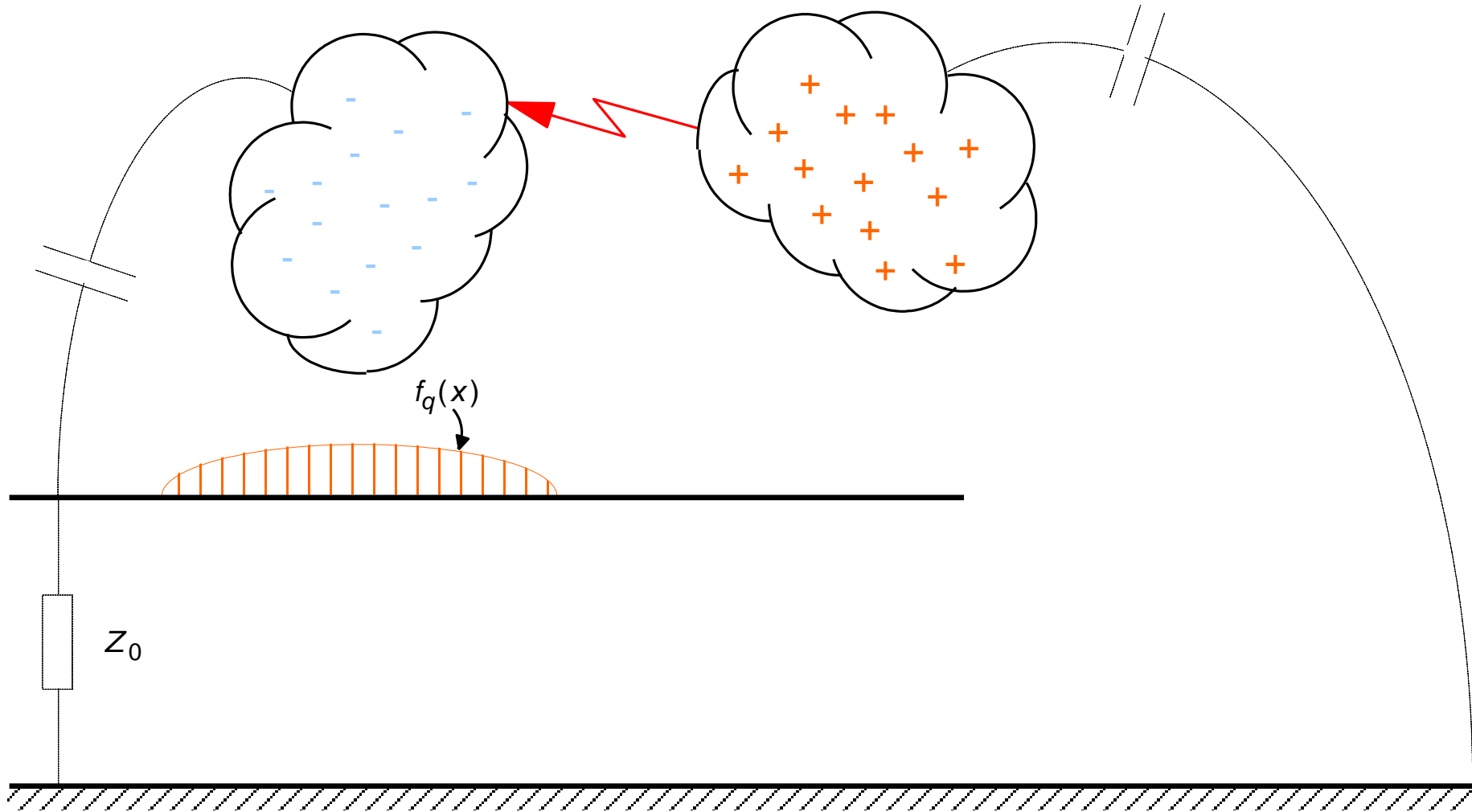
Πάνω στην επιφάνεια των αγωγών μιας ΓΜ, όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο

$$E \quad [\text{V/m}] \quad 50 \div 280 \text{ kV/m}$$

τότε υπάρχουν φορτία με επιφανειακή πυκνότητα

$$D = \varepsilon E \quad [\text{Cb/m}^2 = \text{A s/m}^2]$$





Σχ.2.18: Δημιουργία οδεύοντων κυμάτων από εκκένωση μεταξύ νεφών. Τα οδεύοντα κύματα δημιουργούνται εξ επαγωγής, λόγω της χωρητικής και μαγνητικής ζεύξης της γραμμής με το κύκλωμα των φορτισμένων νεφών



Πριν την εκκένωση μεταξύ των δύο νεφών:

Η γραμμή που βρίσκεται κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο E των νεφών φέρει φορτία με χωρική κατανομή

$$f_q(x) \text{ [Cb/m = As/m]}$$

Τα φορτία προέρχονται από **αντίθετης πολικότητας φορτία των νεφών**

Μετά την εκκένωση μεταξύ των δύο νεφών:

Λόγω της υψηλής αντίστασης της μόνωσης το φορτίο δεν μπορεί να εξαφανιστεί ακαριαία \Rightarrow

Δημιουργείται μια τάση κατά μήκος της ΓΜ με κατανομή $f(x)$



Λόγω της συμμετρίας της ΓΜ δημιουργούνται δυο οδεύοντα κύματα ίσα μεταξύ τους και ίσα με το μισό της $f(x)$

$$f_1(x) = f_2(x) = \frac{1}{2} f(x)$$

- **Μετά από εκκένωση μεταξύ δύο νεφών κοντά σε ΓΜ δημιουργούνται πάλι δύο οδεύοντα κύματα τάσης**
- **Τα κύματα τάσης είναι μικρότερα από αυτά που δημιουργούνται από πτώση κεραυνού**
- **Τα δίκτυα που καταπονούνται ιδιαίτερα είναι τα εναέρια ονομαστικής τάσης < 33 kV**



χ. Απόσβεση οδευόντων κυμάτων

Οι ΓΜ των ΣΗΕ έχουν $R(f) \quad f \uparrow \quad R \uparrow \quad \Rightarrow \quad u \downarrow$

ΜΕΤΩΠΟ: Άμβλυνση

ΟΥΡΑ: Επιμήκυνση

ΑΠΩΛΕΙΕΣ: Αντίσταση γραμμής
 Αντίσταση εδάφους
 (σφάλματα, επαγόμενα ρεύματα)
 Αντίσταση μόνωσης

$$u(x) = u(0) e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

λ : σταθερή, συνάρτηση της συχνότητας f και της μορφής του κύματος. Π.χ.



Για **ορθογώνια κύματα** με **διάρκεια 3,3 μs** η λ δίνεται από

Κύμα που οδεύει μεταξύ	Δύο χάλκινων αγωγών	Φάσης και αγωγού γης	Φάσης και εδάφους
λ	325 km	24 km	12 km
λ / v	1080 μs	80 μs	40 μs

Φαινόμενο Corona → μέγιστη απόσβεση σε εναέρια γραμμές στο 1,3 της U_n

Μετά από όδευση 20 – 30 km: οδεύοντα κύματα οσοδήποτε υψηλής τάσης υφίστανται απόσβεση και γίνονται **ακίνδυνα**



χι. α. Κατανομή της τάσης στα τυλίγματα ΜΣ

$$f \uparrow \quad X_L = L\omega = L 2\pi f \quad \uparrow \quad (\text{μεγάλη αντίδραση})$$

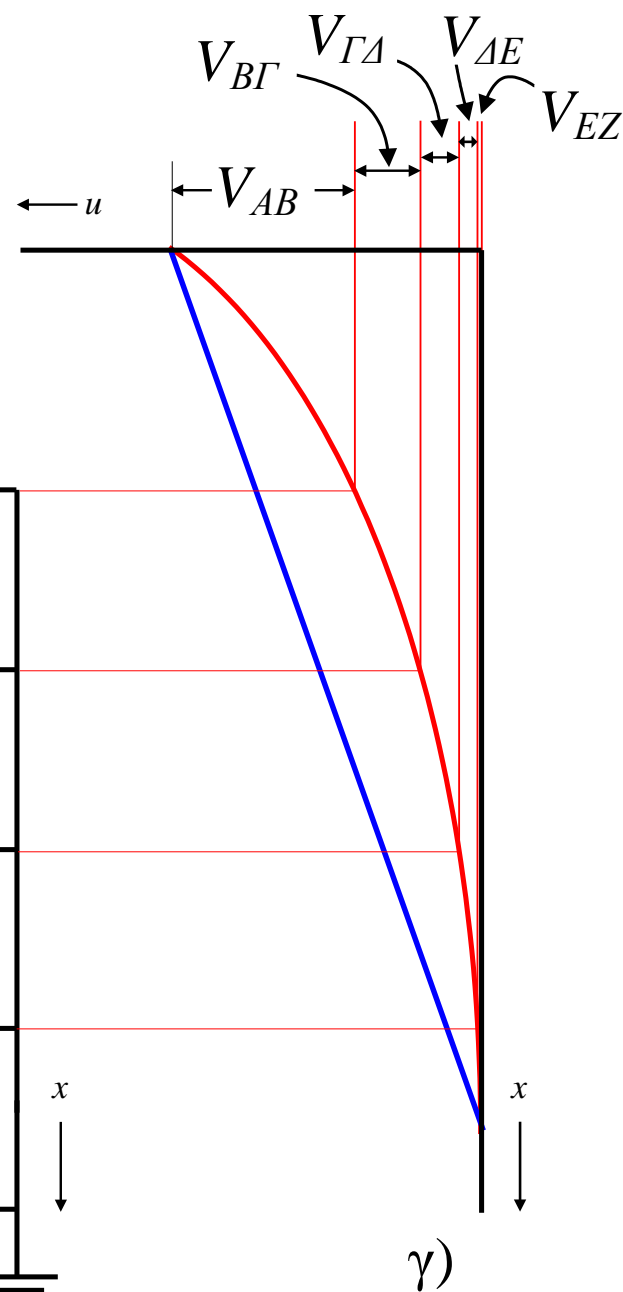
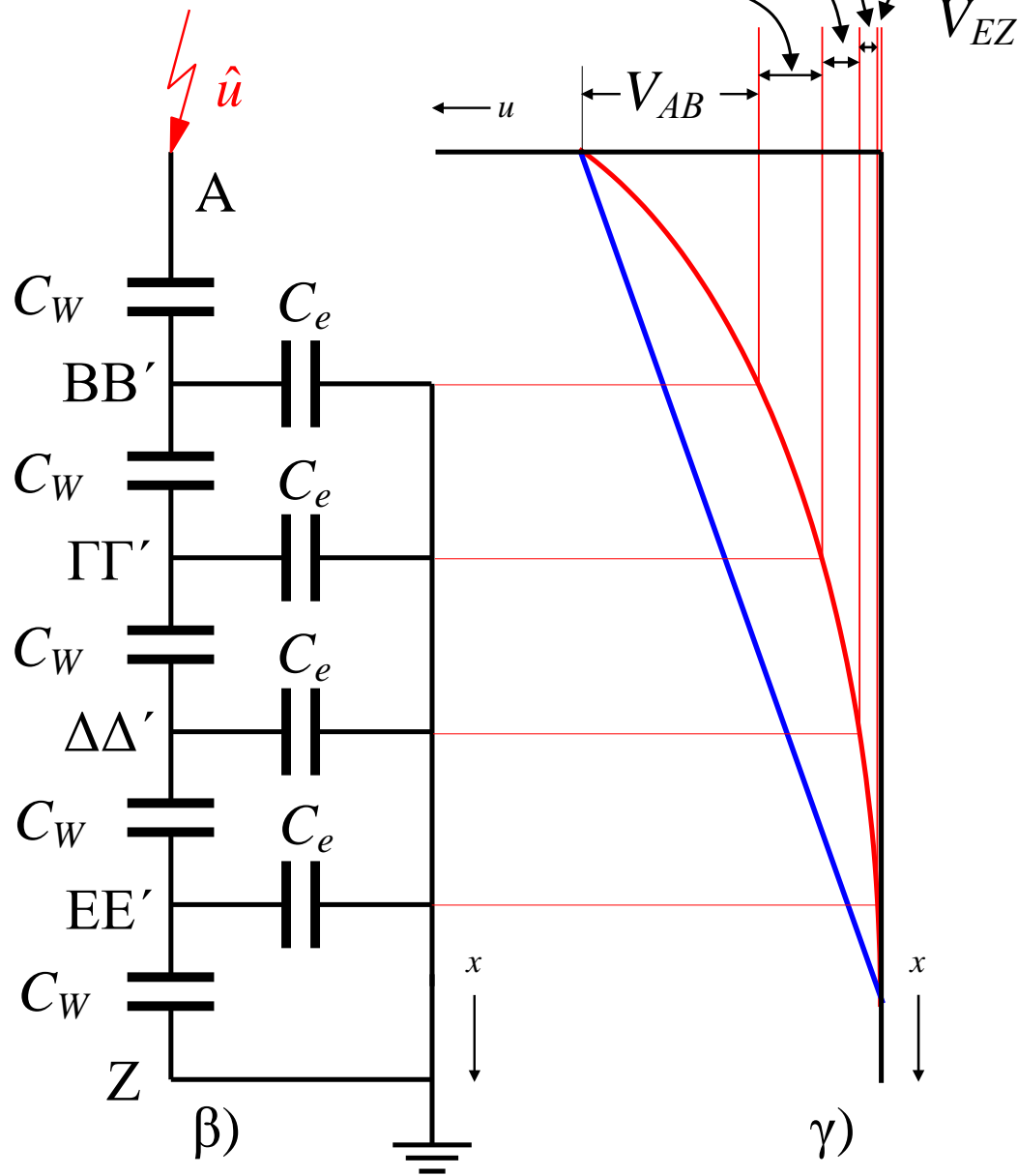
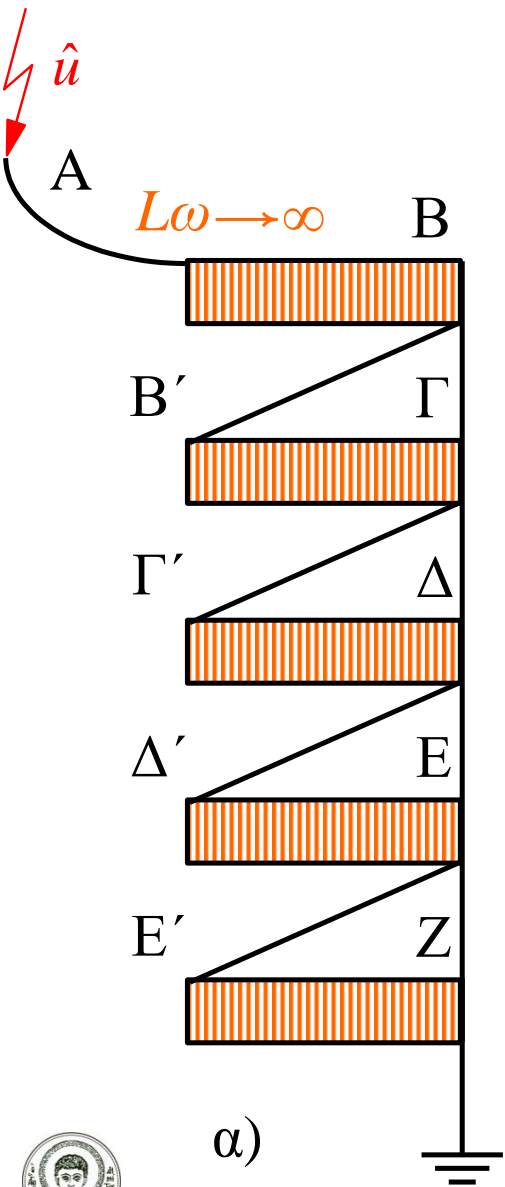
$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C 2\pi f} \quad \downarrow \quad (\text{μικρή αντίδραση})$$

Σε κατανομές τάσης παίζουν ρόλο οι μικρές αντιδράσεις

⇒

Το ρεύμα θα ρέει από τον **ευκολότερο δρόμο**, δηλ. από τις **χωρητικότητες** του κυκλώματος





Σχ.2.22: Κατανομή της κρουστικής τάσης \hat{u} στα τυλίγματα υψηλής τάσης ενός ΜΣ:

- α) Τα τυλίγματα του δευτερεύοντος,**
- β) Ισοδύναμο κύκλωμα, και**
- γ) Πραγματική κατανομή της τάσης (κόκκινη καμπύλη) και υποθετική ομοιόμορφη κατανομή της τάσης (γαλάζια ευθεία)**



$X_w = L_w \omega$: άπειρη αντίδραση τυλίγματος

C_w : χωρητικότητα τυλίγματος ΥΤ ως προς τα γειτονικά τυλίγματα

C_e : χωρητικότητα τυλίγματος ΥΤ ως προς τη γη

Πτώση τάσης κατά μήκος πυκνωτή C_w που διαρρέεται

από ρεύμα I :
$$\frac{I}{C_w \omega}$$

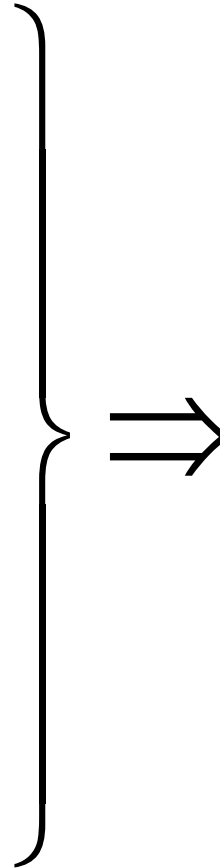


ΣΗΜΕΙΟ Α: ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ
ΡΕΥΜΑ

ΣΗΜΕΙΟ Β:
ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΡΕΥΜΑ

...

ΣΗΜΕΙΟ Ε:
ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΡΕΥΜΑ



ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΤΥΛΙΓΜΑ
(ΔΗΛ. Ο ΠΡΩΤΟΣ
ΠΥΚΝΩΤΗΣ)
ΘΑ ΔΕΧΘΕΙ
ΥΨΗΛΟΤΕΡΗ ΤΑΣΗ
ΑΠΟ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
Κ.Ο.Κ.



$$\Delta\eta\lambda. V_{AB} > V_{B\Gamma} > V_{\Gamma\Delta} > V_{\Delta E} > V_{EZ}$$

Θα είχαμε ομοιόμορφη κατανομή τάσης αν ο λόγος $C_e / C_w = 0$, δηλαδή αν $C_e = 0$

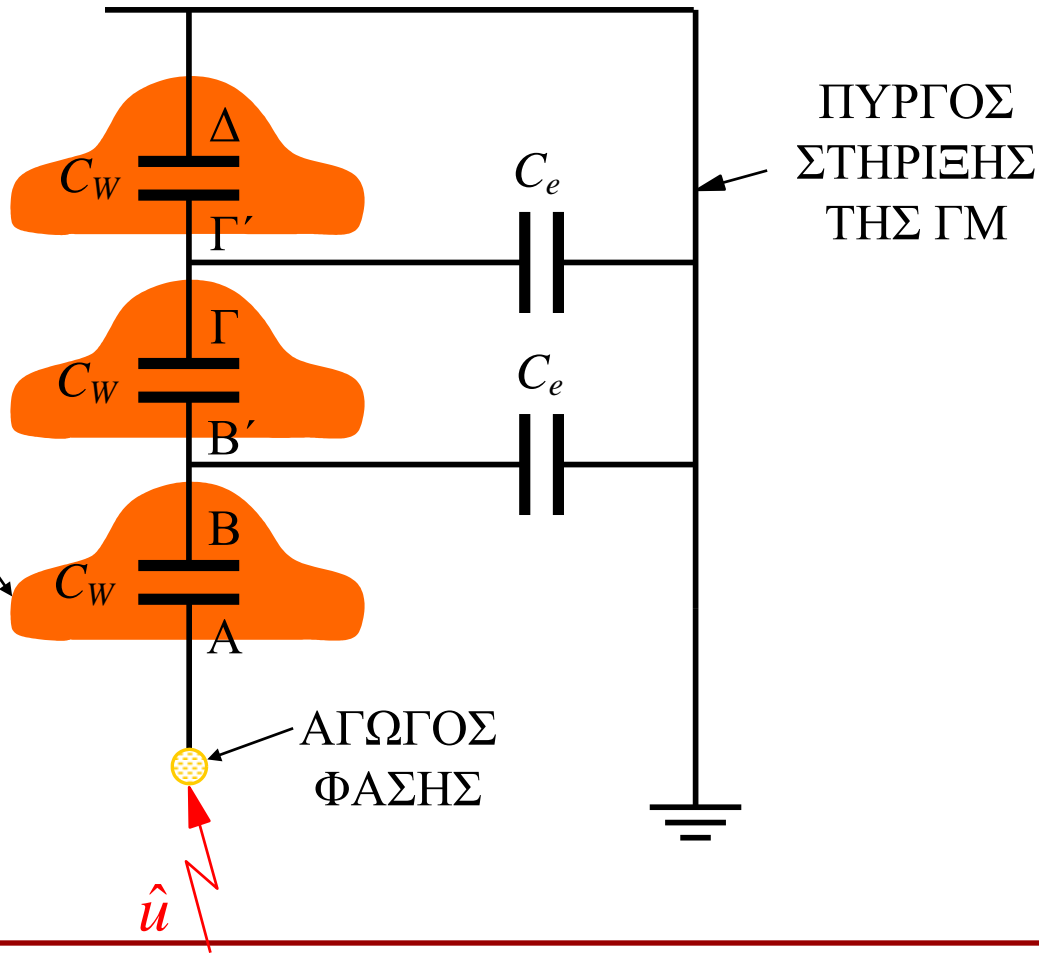
Ο κατασκευαστής δίνει συνήθως τον συντελεστή

$$a = \sqrt{\frac{C_e}{C_w}}$$



xi. β. Κατανομή της τάσης στους μονωτήρες ανάρτησης ΓΜ

ΜΟΝΩΤΗΡΑΣ
ΑΛΥΣΙΔΑΣ



**Σχ.2.23: Ισοδύναμο κύκλωμα ενός μονωτήρα για τον υπολογισμό της κατανομής της κρουστικής τάσης \hat{u} .
Η κατανομή είναι ανάλογη αυτής του Σχ.2.22.**



Παράδειγμα: Ο κάθε μονωτήρας έχει τρεις επιμέρους δίσκους με δύο σημεία σύνδεσης ο κάθε δίσκος (Α-Β, Β'-Γ και Γ'-Δ)

C_w : χωρητικότητα σημείου σύνδεσης δίσκου ως προς το γειτονικό σημείο ανάρτησης

C_e : χωρητικότητα σημείου σύνδεσης δίσκου ως προς τη γη

Θα έχουμε πάλι ανομοιόμορφη κατανομή τάσης - μέγιστη κρουστική τάση στον πρώτο δίσκο, δηλ. στον κάτω δίσκο του μονωτήρα

Ελάττωση της ανομοιομορφίας θα έχουμε αν ελαττωθεί ο λόγος C_e/C_w , δηλ. αν ελαττωθεί η C_e



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης.
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙΙ, ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΙΙΙ».
Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



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

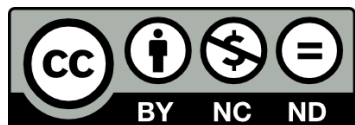
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2013-2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

