

Άσκηση 2

Ροή ισχύος και εκατοστιαία μεταβολή της τάσης (voltage regulation) σε μια γραμμή μεταφοράς

Αντικείμενο

- Παρατήρηση της ροής της ενεργού και της αέργου ισχύος σε μια τριφασική γραμμή μεταφοράς όταν αυτή φορτίζεται στο τέλος της με γνωστά παθητικά στοιχεία.
- Παρατήρηση της εκατοστιαίας μεταβολής της τάσης στο άκρο λήψης ως συνάρτηση του τύπου του φορτίου.

Εισαγωγή

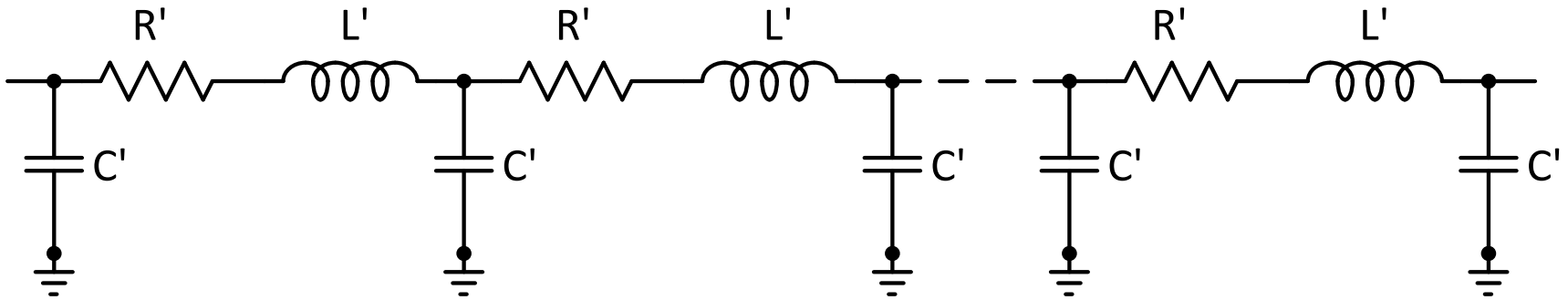
- Οι γραμμές μεταφοράς είναι τριφασικές, με 3 αγωγούς φάσεων, χωρίς ουδέτερο.
- Θεωρούμε συμμετρική φόρτιση των φάσεων. Τα ρεύματα στις 3 φάσεις παριστάνονται από 3 ίδιου μέτρου διανύσματα με διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους (άρα με συνισταμένη μηδέν).
- Μπορούμε επομένως να θεωρήσουμε το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα της γραμμής.
- Τα σύμβολα των μεγεθών που αναφέρονται στην αρχή της γραμμής έχουν δείκτη s (send) και στο τέλος r (receive).

Εισαγωγή

- Ο ακριβής υπολογισμός ενός προβλήματος γραμμής μεταφοράς δεν είναι πάντα εύκολος, αλλά η απόλυτη ακρίβεια δεν έχει πάντα πρακτική αξία.
- Εφαρμόζονται λοιπόν παραδοχές και προσεγγίσεις για απλοποίηση των προβλημάτων με μικρές αποκλίσεις.
- Οι γραμμές μεταφοράς διακρίνονται σε:
 - γραμμές μικρού μήκους,
 - γραμμές μέσου μήκους,
 - γραμμές μεγάλου μήκους.

Γραμμή μεγάλου μήκους

- Δεν γίνεται καμιά παραδοχή.
- Μονοφασικό ισοδύναμο:



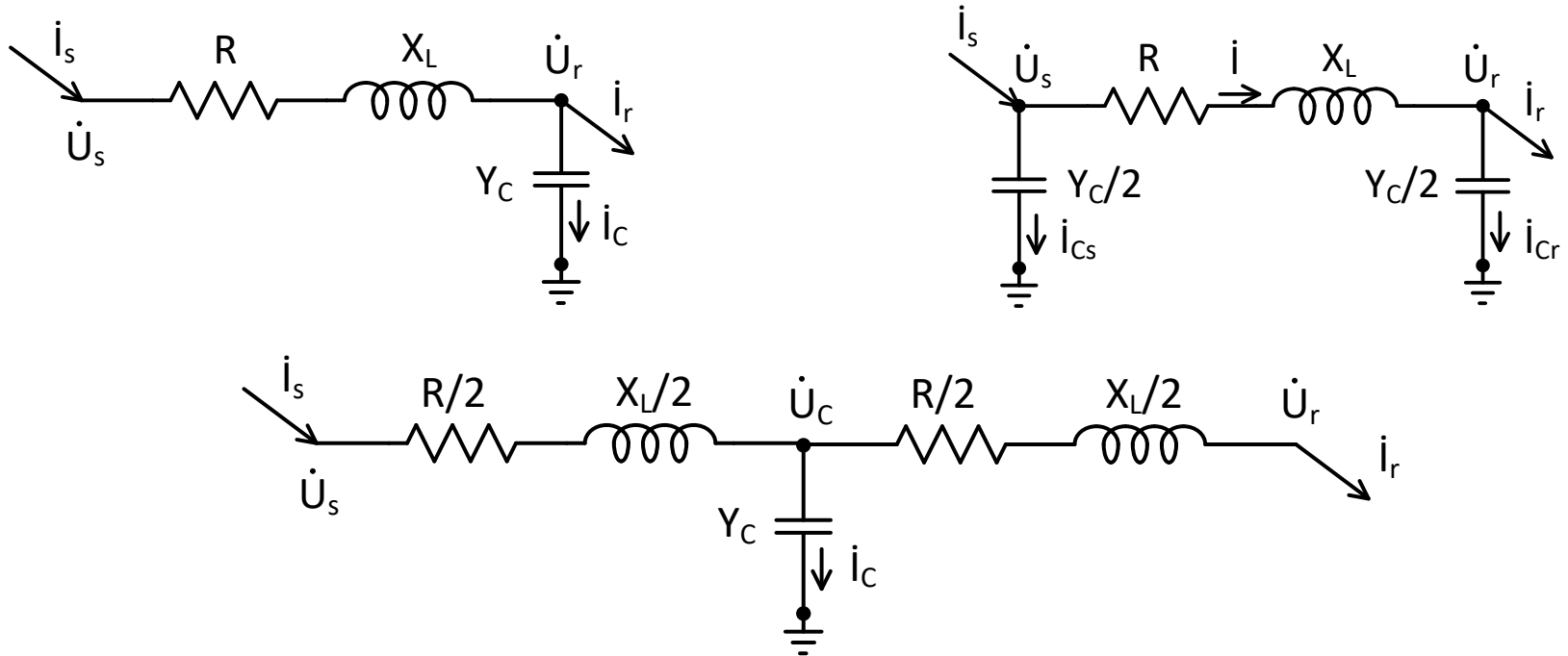
- Θεωρούμε ότι αποτελείται από ένα τμήμα γραμμής ανά μονάδα μήκους. Κάθε τέτοιο τμήμα αποτελείται από αντίσταση R' , επαγωγή L' και χωρητικότητα C' .
- Όσο η μονάδα μήκους μικραίνει, τα τμήματα τείνουν να γίνουν άπειρα.
- Τα R' , L' ονομάζονται διαμήκη στοιχεία. Τα C' ονομάζονται εγκάρσια. Τα στοιχεία αυτά είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλο το μήκος της γραμμής.
- Για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν συστήματα με διαφορικές μιγαδικές εξισώσεις (αυξημένη δυσκολία).

Γενικά χαρακτηριστικά

- Όσο αυξάνεται το μήκος l της γραμμής, η αντίστασή της R μειώνεται.
 - ↳ Θα μπορούσε κάποιος να υποθέσει το αντίστροφο (λόγω της σχέσης $R = \rho l/S$).
 - ↳ Όσο όμως αυξάνεται το μήκος μιας γραμμής, αυξάνεται και το φορτίο της, επομένως απαιτείται μεγαλύτερη διατομή S .
- Όσο αυξάνεται το μήκος της γραμμής, η χωρητικότητά της αυξάνεται.
- Η επαγωγική αντίδραση της γραμμής X_L είναι περίπου $0.4 \Omega/\text{km}$ ανά φάση.

Γραμμή μέσου μήκους

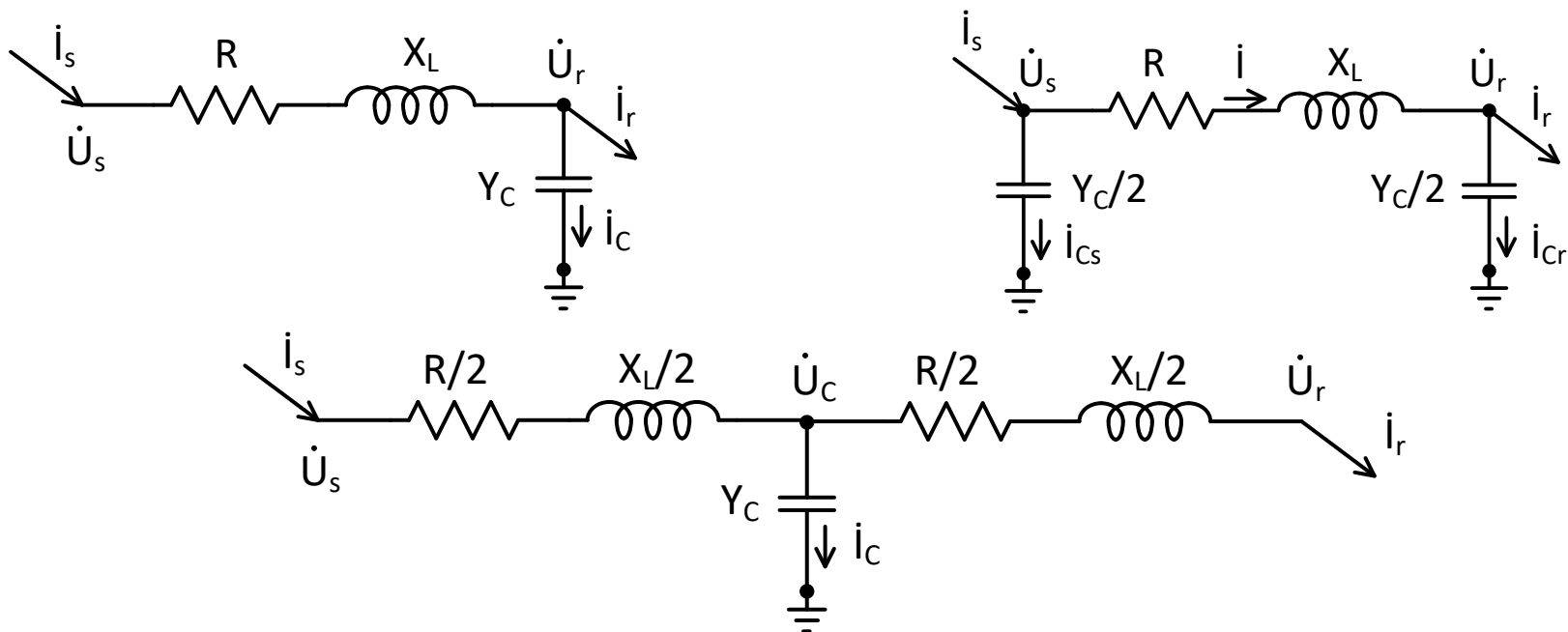
- Παραδοχή: Τα άπειρα στοιχεία είναι συγκεντρωμένα σε ένα σημείο.
- Μονοφασικό ισοδύναμο (3 επιλογές):



- R : ωμική αντίσταση ανά φάση
- $X_L = \omega L$: επαγωγική αντίδραση ανά φάση
- $Y_C = 1/X_C = \omega C$: χωρητική επιδεκτικότητα ανά φάση

Γραμμή μέσου μήκους

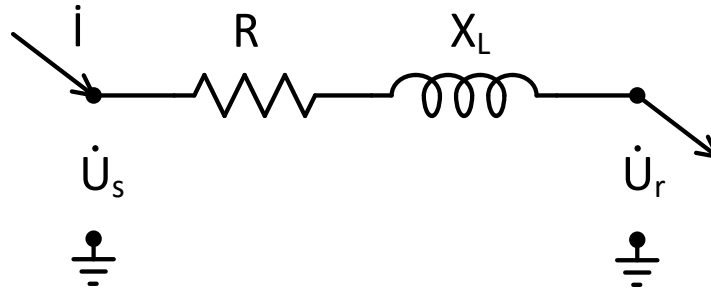
- Μονοφασικό ισοδύναμο (3 επιλογές):



- I_s : ρεύμα αναχώρησης, I_r : ρεύμα άφιξης
- U_s : φασική τάση αναχώρησης, U_r : φασική τάση άφιξης
- Παρατήρηση: Η τιμή του I_C είναι σημαντική (π.χ. της τάξης των 20 – 40 A).
- Η επιλογή μεταξύ των τριών ισοδυνάμων είναι αυθαίρετη.

Γραμμή μικρού μήκους

- Επιπλέον παραδοχή: Η χωρητικότητα είναι αμελητέα.
- Μονοφασικό ισοδύναμο:



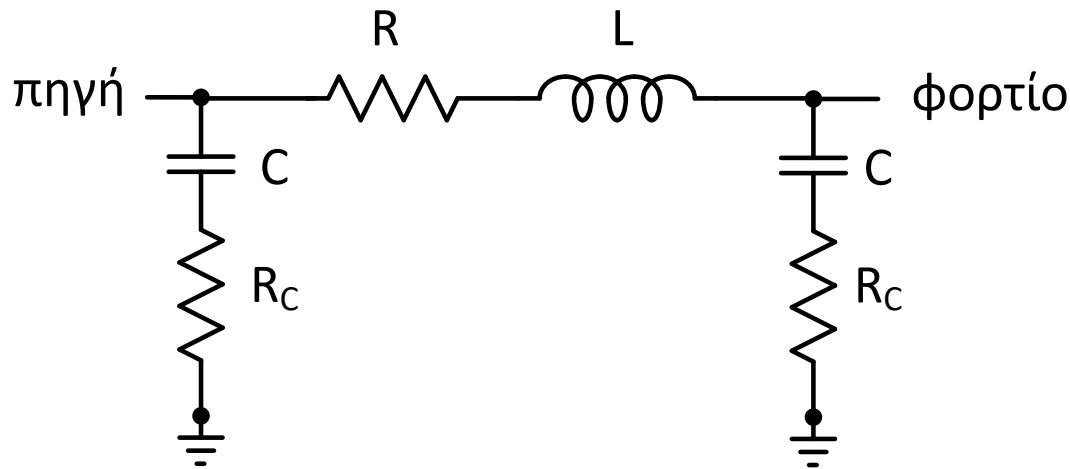
- Το $\dot{I}_s = \dot{I}_r = \dot{I}$ είναι το ρεύμα της γραμμής.

Παρατηρήσεις

- Με το μοντέλο γραμμής μεγάλου μήκους επιτυγχάνεται ακρίβεια 100%, μέσου μήκους περίπου 98% και μικρού μήκους περίπου 95%.
- Γενικά χαρακτηρίζονται ως:
 - **Μικρού μήκους:** Όλες οι εναέριες γραμμές με τάση μικρότερη από 40 kV ανεξάρτητα από το μήκος τους, οι γραμμές με τάση μεγαλύτερη από 40 kV και μήκος μέχρι 50 km.
 - **Μέσου μήκους:** Γραμμές μήκους μέχρι 250 km.
 - **Μεγάλου μήκους:** Γραμμές μήκους πάνω από 250 km.
- ↪ Η διάκριση των γραμμών δεν είναι απόλυτη. Εξαρτάται από την ακρίβεια που επιδιώκουμε.

Μοντέλο γραμμών που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο

- Για κάθε μία από τις φάσεις:



- Η γραμμή θεωρείται ότι έχει χωρητικότητα $2C$.
- Οι R_C είναι αντιστάσεις των πυκνωτών που χρησιμοποιήθηκαν από τον κατασκευαστή. Δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά στοιχεία μιας γραμμής.
- Οι παρασιτικές αντιστάσεις των πηνίων έχουν ενσωματωθεί στην R .

Εκατοστιαία μεταβολή της τάσης (Regulation)

- Ορίζεται ως:

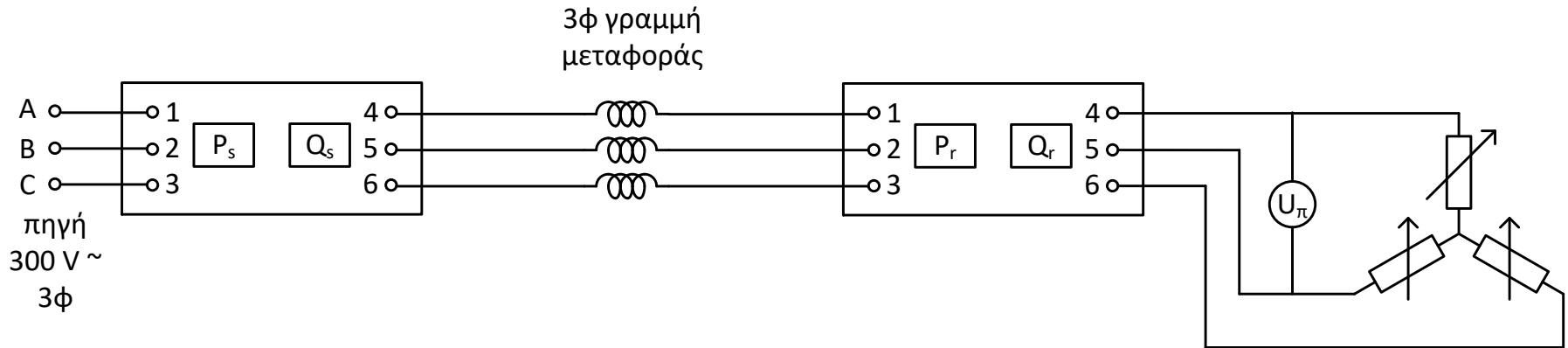
$$regulation (\%) = \frac{U_{r,\pi} (\text{στο κενό}) - U_{r,\pi} (\text{με φορτίο})}{U_{r,\pi} (\text{στο κενό})} \times 100$$

Όπου $U_{r,\pi}$ η πολική τάση στο τέρμα της γραμμής.

- Από την τιμή του μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τον χαρακτήρα του φορτίου.

Πειραματική διαδικασία

- Συνδέουμε το κύκλωμα του σχήματος:



- Αρχικά δεν συνδέουμε φορτίο. Θέτουμε τον επιλογέα τριφασικής γραμμής μεταφοράς στη θέση 100 km. Καταγράφουμε την τάση άφιξης U_{π} στο κενό, καθώς και τις P_s , P_r , Q_s , Q_r (πίνακας 2.1).
- Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τα υπόλοιπα μήκη γραμμής.
- ↳ Παρατηρούμε σε κάθε περίπτωση την αύξηση της τάσης άφιξης.

Πειραματική διαδικασία

- Συνδέουμε ωμικό φορτίο στο τέλος της γραμμής και συμπληρώνουμε τα στοιχεία των πινάκων 2.1, 2.2, 2.3 για τα τρία διαφορετικά μήκη γραμμής.
- Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τα υπόλοιπα φορτία που ζητούνται (επαγωγικό, χωρητικό, 3φ κινητήρα).
- Για κάθε τύπο φορτίου και για κάθε γραμμή μεταφοράς πρέπει στη συνέχεια να υπολογιστεί η ενεργός και η άεργος ισχύς που απορροφά η γραμμή, καθώς και η εκατοστιαία μεταβολή της τάσης.

Πειραματική διαδικασία

- Πρέπει δηλαδή για γραμμή μεταφοράς μήκους 100 km, 200 km και 300 km να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας:

Φορτίο 3φ συμμετρικό	P_s	Q_s	P_r	Q_r	U_{π}	P_{γ}	Q_{γ}	Regulation %
Ανοικτό								
Ωμικό								
Επαγωγικό								
Χωρητικό								
Κινητήρας 3φ, RL								

$P_{\gamma} = P_s - P_r$: Η ενεργός ισχύς που απορροφά η γραμμή.

$Q_{\gamma} = Q_s - Q_r$: Η άεργος ισχύς που απορροφά η γραμμή.

Συμπεράσματα

- Με το κύκλωμα εν κενώ παρατηρούμε μια αύξηση της τάσης στο τέλος της γραμμής σε σχέση με την αρχή της, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο Ferranti.
- Με φορτίο συνδεδεμένο στο τέλος της γραμμής προκύπτουν τα εξής:

(1)	3φ R φορτίο	$U_r \downarrow$
(2)	3φ L φορτίο	$U_r \downarrow\downarrow$
(3)	3φ RL φορτίο	$U_r \downarrow\downarrow\downarrow$
(4)	3φ C φορτίο	$U_r \uparrow\uparrow\uparrow$