

Άσκηση 5

Μελέτη της καμπύλης $P_{ολ} = f(\theta)$,
μετασχηματιστές, παράλληλες γραμμές
μεταφοράς.

Βελτίωση δυνατότητας μεταφοράς
ισχύος.

Αντικείμενο

- Μελέτη της καμπύλης της ενεργού ισχύος που ρέει σε μια τριφασική γραμμή μεταφοράς ως συνάρτηση της γωνίας ισχύος.
- Χρήση ΜΣ για αύξηση της δυνατότητας μεταφοράς ισχύος σε μια τριφασική γραμμή μεταφοράς.
- Παράλληλες τριφασικές γραμμές μεταφοράς.

Καμπύλη ισχύος – γωνίας της γραμμής

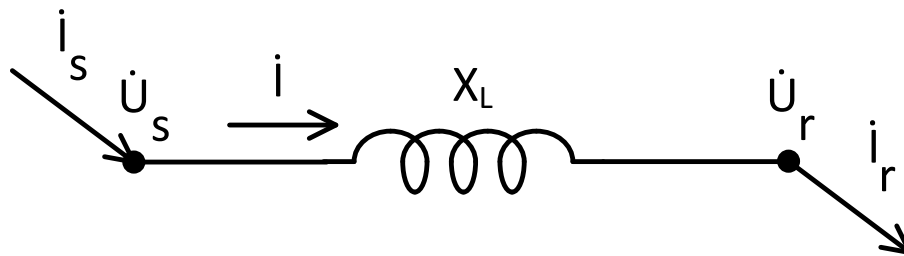
- Η ενεργός ισχύς που μπορεί να μεταφέρει μια γραμμή εξαρτάται από τις τάσεις στα άκρα της και τη γωνία μεταξύ τους.
- Η ενεργός ισχύς που μεταφέρεται από τη γραμμή ανά φάση είναι:

$$P_s = P_r = U_r I \cos \varphi_r = \frac{U_s U_r}{X_L} \sin \theta$$

- Από την τριφασική γραμμή μεταφέρεται συνολικά:

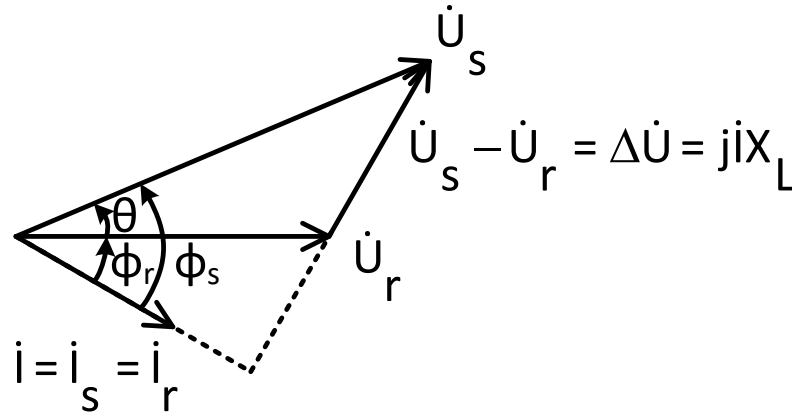
$$P_{ολ} = 3 \frac{U_s U_r}{X_L} \sin \theta = \frac{\sqrt{3} U_s \sqrt{3} U_r}{X_L} \sin \theta = \frac{U_{s,\pi} U_{r,\pi}}{X_L} \sin \theta = P_{ολ,max} \sin \theta$$

Παραδοχές: Η γραμμή έχει $C, R \rightarrow 0$. Δηλαδή το μονοφασικό ισοδύναμο της γραμμής είναι το:



Γωνία ισχύος

- Αν θεωρήσουμε ότι το ρεύμα της γραμμής $\dot{I} = \dot{I}_s = \dot{I}_r$ έπεται κατά φ_s της φασικής τάσης αναχώρησης \dot{U}_s και κατά φ_r της φασικής τάσης άφιξης \dot{U}_r (επαγωγικοί PF) και $U_s > U_r$, τότε το διανυσματικό διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων είναι:



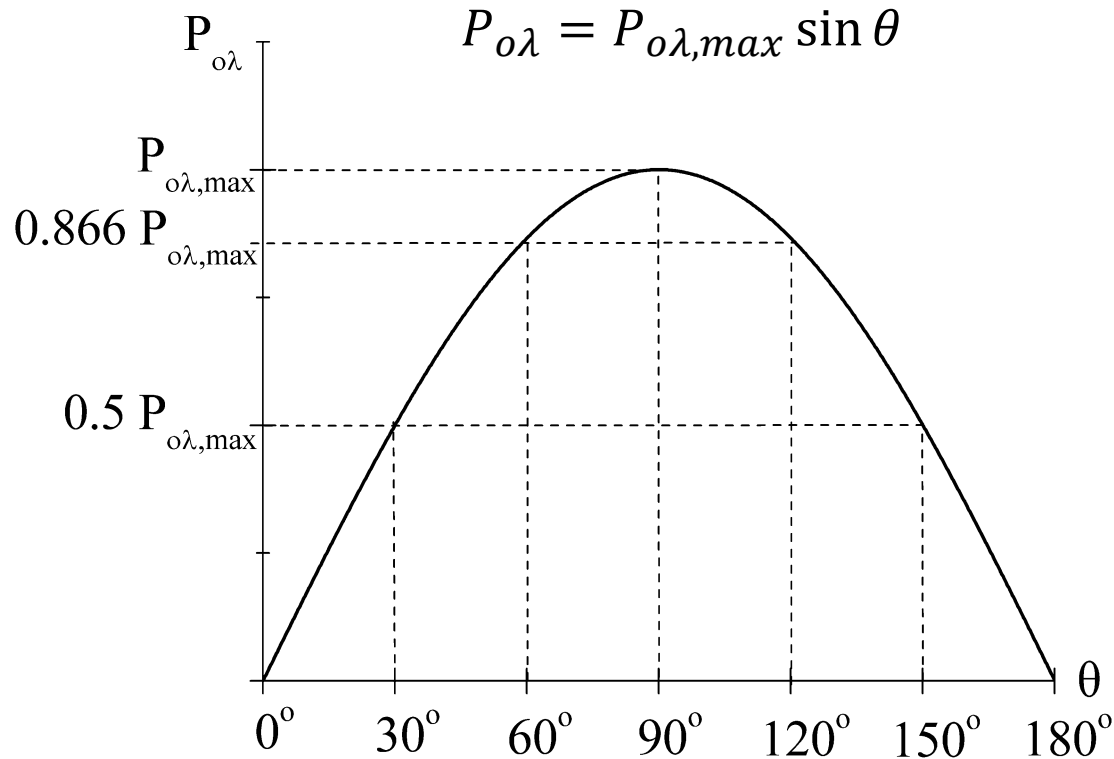
- Η γωνία ισχύος θ , όπως φαίνεται από το διάγραμμα, προκύπτει από τη σχέση:

$$\theta = \varphi_s - \varphi_r$$

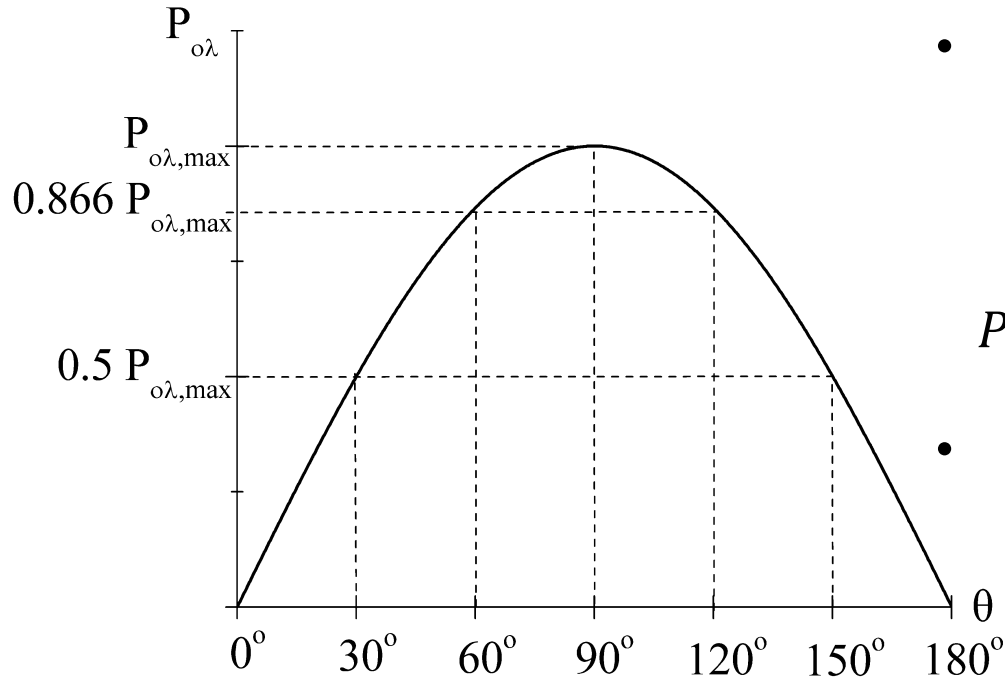
- Αυτό όμως ισχύει μόνο **για γραμμή μικρού μήκους** ($C \rightarrow 0$).
- Για διαφορετικού μήκους γραμμές ισχύει άλλη σχέση, η οποία θα αναφερθεί παρακάτω.

Καμπύλη ισχύος – γωνίας της γραμμής

- Αν οι τάσεις στα άκρα της γραμμής διατηρούνται σταθερές (όπως στην πράξη), η μεταφερόμενη ισχύς εξαρτάται αποκλειστικά από τη γωνία ισχύος θ .
- Θεωρούμε ότι η $\dot{U}_{s,\pi}$ προπορεύεται της $\dot{U}_{r,\pi}$ ($\theta > 0$). Τότε η ενεργός ισχύς μεταφέρεται από το άκρο s στο άκρο r.



Διερεύνηση για $\theta = 0 \rightarrow 180^\circ$



- Καθώς αυξάνεται η γωνία από την τιμή 0, αυξάνεται και η ισχύς, μέχρι τη μέγιστη τιμή για $\theta = 90^\circ$:

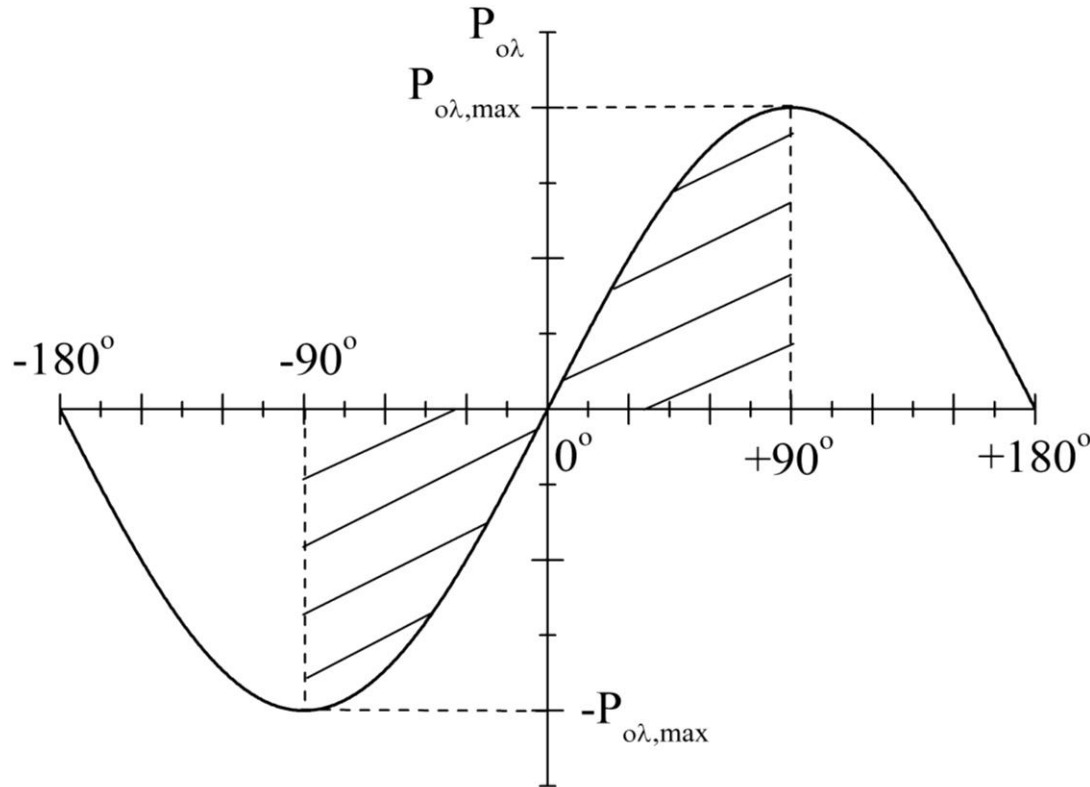
$$P_{ολ,max} = \frac{U_{s,\pi} U_{r,\pi}}{X_L} \sin 90^\circ = \frac{U_{s,\pi} U_{r,\pi}}{X_L}$$

- Όταν $\theta = 30^\circ$ η ισχύς έχει τιμή $0.5 P_{ολ,max}$.

- Για $\theta > 90^\circ$ η γραμμή εξακολουθεί να μεταφέρει ισχύ, η τιμή της όμως μειώνεται όσο η γωνία αυξάνεται. Η ισχύς μηδενίζεται όταν $\theta = 180^\circ$.
- Περιοχή ευστάθειας της γραμμής: Η περιοχή $\theta = 0^{(+)} \rightarrow 90^{(-)}$.
- Όταν η γραμμή βρεθεί στην περιοχή αστάθειας, είτε θα μηδενιστεί η ισχύς, είτε το σημείο λειτουργίας θα μετακινηθεί στην ευσταθή περιοχή.
- Μεγάλες γωνίες δεν επιτρέπονται, ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση της ευσταθούς λειτουργίας και σε μεταβατικές συνθήκες.

Διερεύνηση για $\theta = -180^\circ \rightarrow 180^\circ$

- Η καμπύλη $P_{ολ} = f(\theta)$ μπορεί να σχεδιαστεί από -180° έως $+180^\circ$.



- Το τμήμα $-180^\circ \rightarrow 0$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που η $\dot{U}_{r,\pi}$ προπορεύεται της $\dot{U}_{s,\pi}$. Τότε η ενεργός ισχύς μεταφέρεται από το άκρο r στο s .
- Από μαθηματική επίλυση του προβλήματος ευστάθειας προκύπτει η περιοχή ευστάθειας της γραμμής: $0^{(+)} \rightarrow 90^{(-)}$, $-90^{(+)} \rightarrow 0^{(-)}$

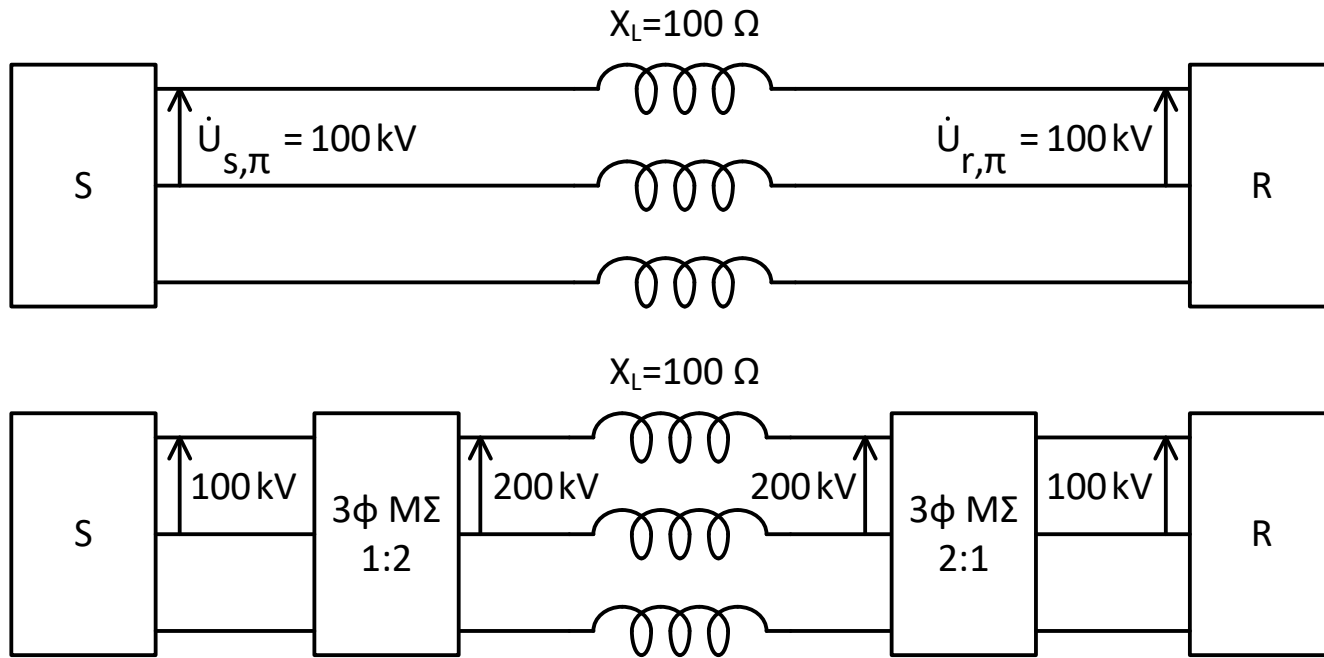
Παρατηρήσεις

- Αν θεωρήσουμε τις τάσεις στα δύο άκρα της γραμμής περίπου ίσες κατά μέτρο, η μέγιστη ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί είναι:

$$P_{ολ,max} = \frac{U_{\pi}^2}{X_L}$$

- Ένας τρόπος αύξησης της ενεργού ισχύος που μπορεί να μεταφερθεί είναι να χρησιμοποιηθούν ΜΣ για μεταβολή της τάσης της γραμμής. Η τάση ανυψώνεται στο άκρο τροφοδοσίας και υποβιβάζεται στο άκρο λήψης.
 - ↳ Αν η τάση της γραμμής διπλασιαστεί, η μέγιστη ενεργός ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί από τη γραμμή τετραπλασιάζεται.
- Άλλος τρόπος αύξησης της ενεργού ισχύος που μπορεί να μεταφερθεί είναι να χρησιμοποιηθούν παράλληλες γραμμές.
 - ↳ Δύο όμοιες τριφασικές γραμμές μεταφοράς συνδεδεμένες παράλληλα μπορούν να μεταφέρουν διπλάσια μέγιστη ισχύ απ' ότι η κάθε μία μόνη της.

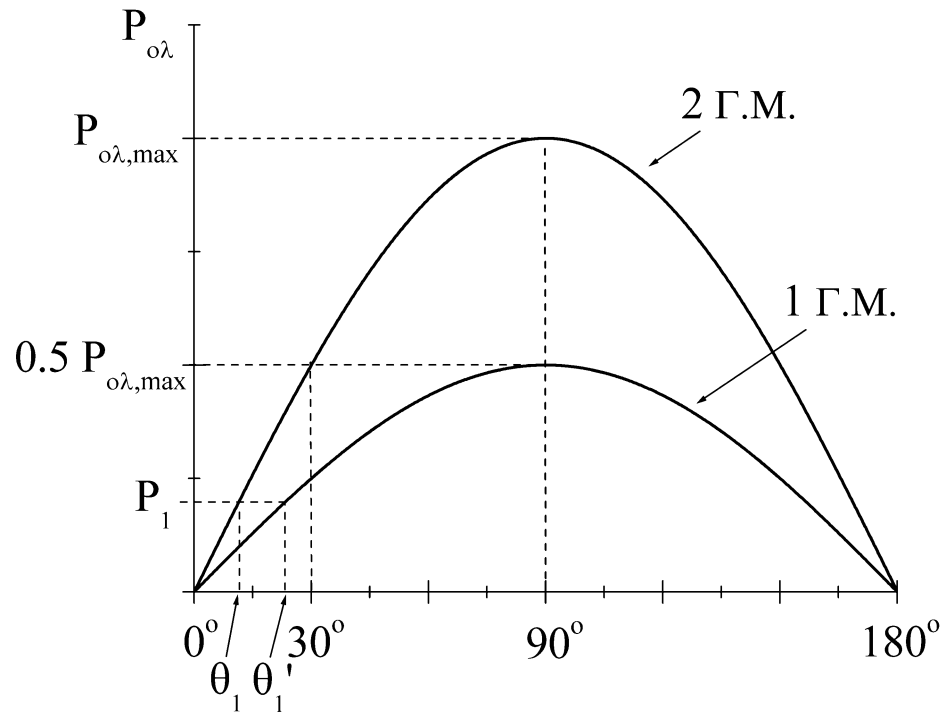
Μετασχηματιστές



- Αν $U_\pi = 100 \text{ kV}$, $X_L = 100 \Omega$, τότε $P_{ολ,max} = 100 \text{ MW}$.
Αν $U_\pi = 200 \text{ kV}$, τότε $P_{ολ,max} = 400 \text{ MW}$.
- Για δεδομένη ισχύ, με ανύψωση της τάσης επιτυγχάνεται μείωση του ρεύματος και επομένως της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος.

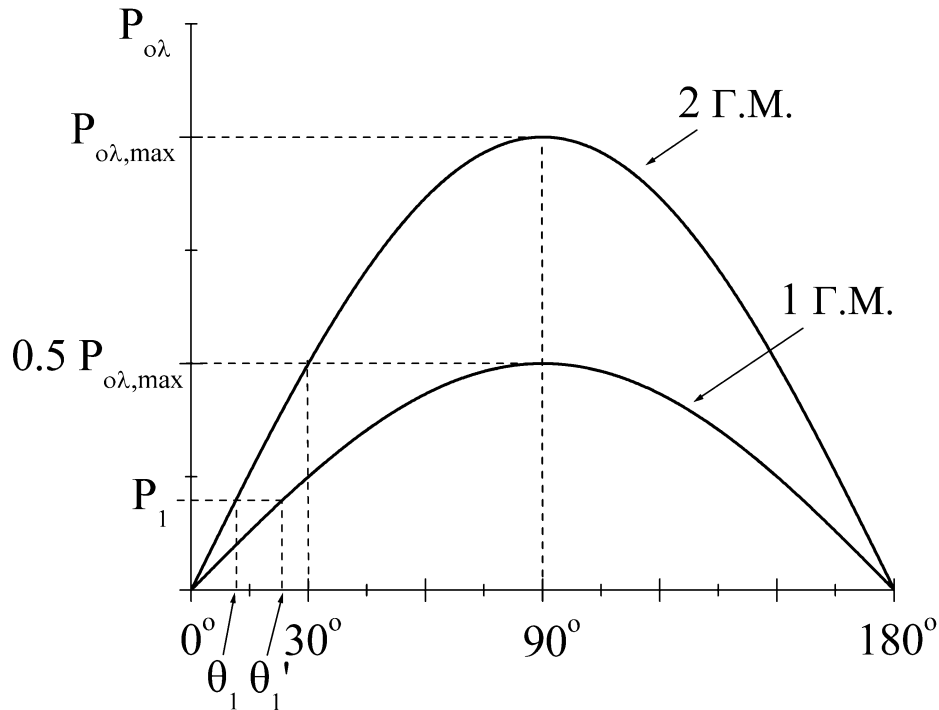
Παραλληλισμός γραμμών

- Θεωρούμε γραμμή μεταφοράς διπλού κυκλώματος. Τα διαγράμματα $P = f(\theta)$ για τις δύο γραμμές μαζί και για τη μία μόνη της είναι:



- Για τις δύο όμοιες γραμμές σε παράλληλη λειτουργία η μέγιστη ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί είναι $P_{ολ,max}$. Για τη μία γραμμή είναι $0.5 P_{ολ,max}$.
- Για να είμαστε σίγουροι για την ευστάθεια των δύο παράλληλων γραμμών το όριο της φασικής γωνίας θ είναι οι 30° .

Παραλληλισμός γραμμών



Γιατί:

- ✓ Για τις δύο γραμμές σε παράλληλη λειτουργία, όταν $\theta = 30^\circ$, η μεταφερόμενη ισχύς είναι $0.5 P_{ολ,max}$. Το σημείο λειτουργίας είναι τότε ευσταθές.
- ✓ Αν η μία από τις γραμμές βρεθεί εκτός λειτουργίας, τότε, για να συνεχίσει αυτή που απομένει να μεταφέρει την ίδια ισχύ $0.5 P_{ολ,max}$, θα πρέπει η θ να γίνει 90° .

Άσκηση 1

- Δύο σταθμοί (I και II) συνδέονται μέσω γραμμής με X_L . Δίνονται τα μέτρα των πολικών τάσεων και η φασική γωνία. Να συμπληρωθεί ο πίνακας.

$U_{s,\pi}$ (kV)	$U_{r,\pi}$ (kV)	X_L (Ω)	θ ($^\circ$)	Προπορεία ή επιπορεία	$P_{ολ}$ (MW)	Διεύθυνση ροής ισχύος	$P_{ολ,max}$ (MW)	Ρεύμα γραμμής ανά φάση (A)
4	4	80	30	$U_{s,\pi}$ προπορ.		I II		
8	8	80	30	$U_{s,\pi}$ προπορ.		I II		
8	6	80	45	$U_{s,\pi}$ επιπορ.				
8	6	80	45	$U_{r,\pi}$ επιπορ.				
8	6	80	120	$U_{r,\pi}$ προπορ.		I II		
4	12	80	60	$U_{s,\pi}$ προπορ.				

Άσκηση 2

- Δίνονται τα εξής:

Δύο παράλληλες 3φ Γ.Μ.,

$$X_L = 60 \frac{\Omega}{\text{φάση}} \text{ για την κάθε γραμμή,}$$

$U_{S,\pi} = U_{r,\pi} = 120 \text{ kV}$ και για τις δύο γραμμές,

$P_{ολ} = 84 \text{ MW}$ η συνολική ισχύς που μεταφέρουν.

- i. Να βρεθεί η γωνία θ .
- ii. Αν ανοίξει η μία γραμμή, θα μπορέσει η άλλη να μεταφέρει το φορτίο;
(ναι ή όχι και γιατί)
- iii. Αν ναι, ποια είναι η νέα θ ;

Άσκηση 2

- i. Οι δύο γραμμές μαζί έχουν συνολική επαγωγική αντίδραση:

$$X_{L,ολ} = \frac{X_L}{2} = 30 \Omega/\text{φάση}$$

Επομένως:

$$\frac{U_{s,\pi} U_{r,\pi}}{X_{L,ολ}} \sin\theta = P_{ολ} \Rightarrow \frac{120 \cdot 10^3 \cdot 120 \cdot 10^3}{30} \sin\theta = 84 \cdot 10^6 \Rightarrow$$
$$\theta = 10.078^\circ$$

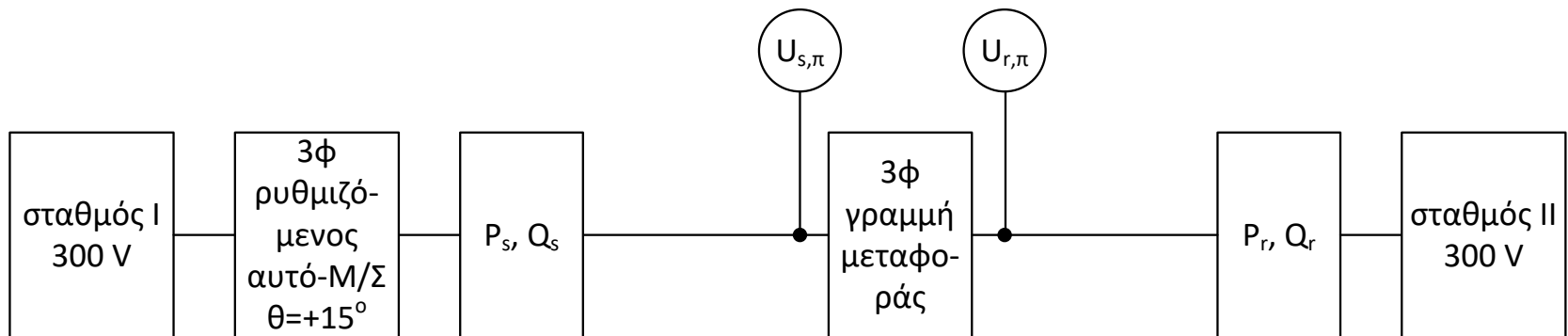
- ii. Αν ανοίξει η μία γραμμή, τότε θα μπορέσει η άλλη να μεταφέρει το φορτίο, γιατί η τιμή της γωνίας θ που βρέθηκε παραπάνω είναι $< 30^\circ$.

- iii. Απομένει μόνο μια γραμμή, η οποία πρέπει να σηκώνει όλο το φορτίο, επομένως η νέα γωνία είναι:

$$\frac{U_{s,\pi} U_{r,\pi}}{X_L} \sin\theta' = P_{ολ} \Rightarrow \frac{120 \cdot 10^3 \cdot 120 \cdot 10^3}{60} \sin\theta' = 84 \cdot 10^6 \Rightarrow$$
$$\theta' = 20.487^\circ$$

Πειραματική διαδικασία

- Θεωρούμε το παρακάτω κύκλωμα. Δύο σταθμοί συνδέονται μέσω γραμμής μεταφοράς 300 km με γωνία $+15^\circ$ στην τάση του πρώτου.



$$U_{s,\pi} =$$

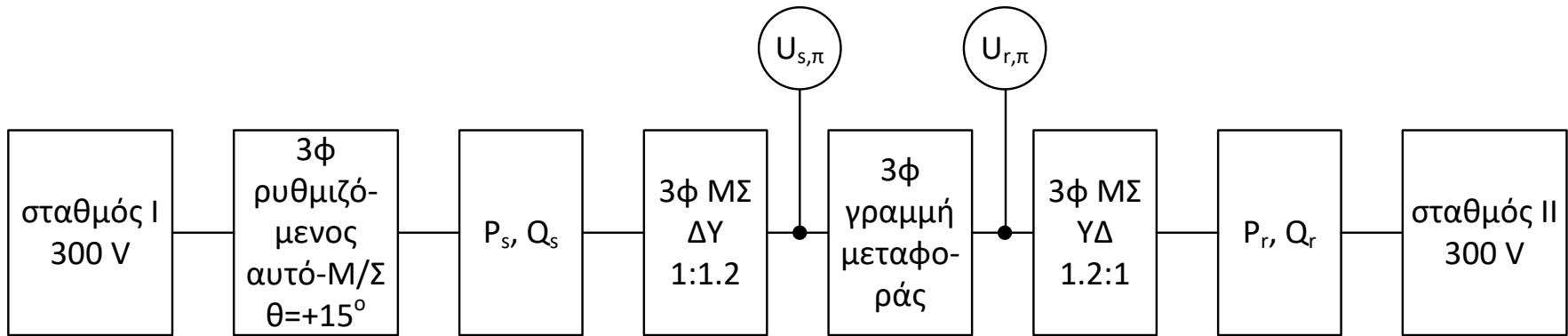
$$U_{r,\pi} =$$

$$P_s =$$

$$P_r =$$

Πειραματική διαδικασία

- Τοποθετούνται ΜΣ στην αρχή και το τέλος της γραμμής:



$$U_{s,\pi} =$$

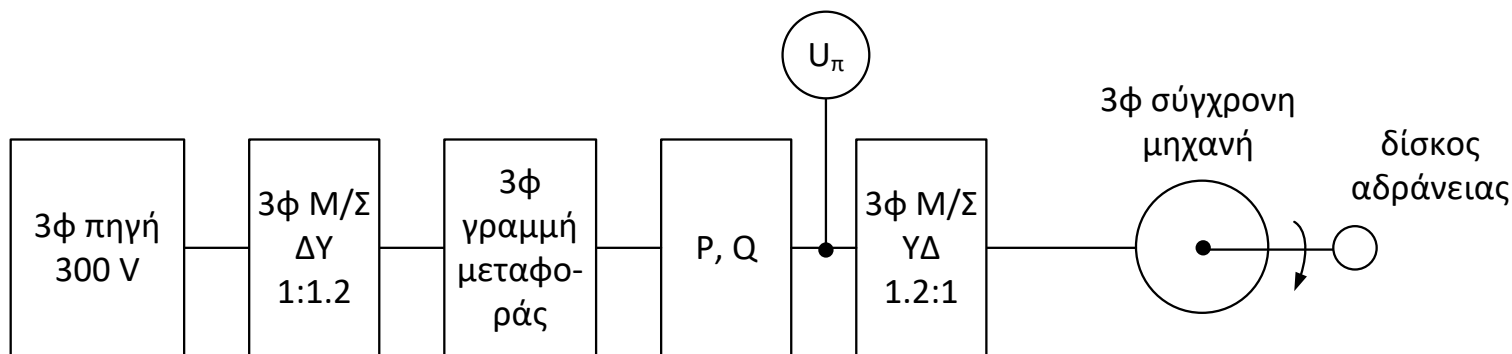
$$U_{r,\pi} =$$

$$P_s =$$

$$P_r =$$

Πειραματική διαδικασία

- Μετά τη γραμμή συνδέουμε σύγχρονη μηχανή. Για να εξετάσουμε τη συμπεριφορά μιας μεγάλης μηχανής χρησιμοποιούμε μια μικρή μηχανή αυξάνοντας τεχνητά την αδράνειά της. Συγκεκριμένα συνδέουμε στη μηχανή δίσκο αδράνειας με αποτέλεσμα η ισχύς της να μεταβληθεί από 0.25 HP σε 1000 HP.



Πειραματική διαδικασία

α) Χωρίς Μ/Σ και χωρίς φορτίο (γραμμή εν κενώ).

$$U_{\pi} =$$

$$P =$$

β) Συνδέουμε το φορτίο (κινητήρα και δίσκο).

$$\text{Χρόνος επιτάχυνσης: } T =$$

$$U_{\pi} =$$

$$P =$$

Πειραματική διαδικασία

Συνδέουμε και τους ΜΣ.

α) Χωρίς φορτίο.

$$U_{\pi} =$$

$$P =$$

β) Με κινητήρα και δίσκο.

$$\text{Χρόνος επιτάχυνσης: } T =$$

$$U_{\pi} =$$

$$P =$$