



Τριφασικά Κυκλώματα

Δρ. Φασουλός Γιάννης, TEICrete 2011

76



Γεννήτριες AC



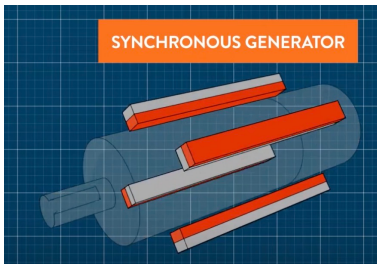
Στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται πάντοτε
σύγχρονες γεννήτριες

Οι **σύγχρονες γεννήτριες** παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, ενώ η διέγερσή τους τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. <https://www.youtube.com/watch?v=JJr4PluQp2w>
(0:50 sec)

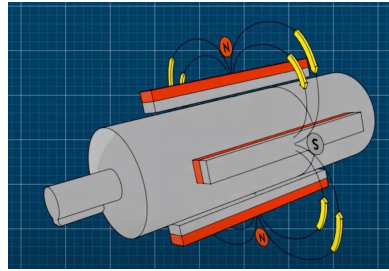
78



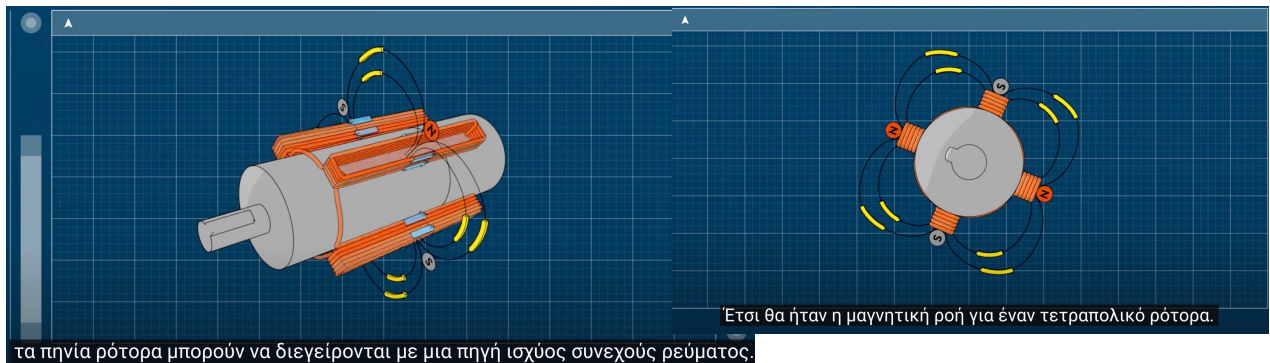
Αρχή λειτουργίας τριφασικής γεννήτριας



4 Μαγνητικούς πόλους
ή εναλλακτικά



μόνιμοι μαγνήτες προκαλούν μαγνητική ροή



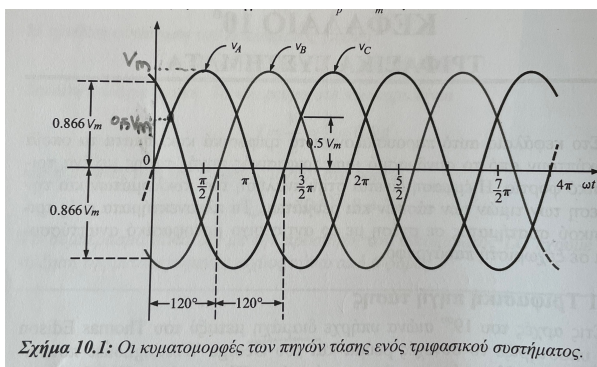
τα πηνία ρότορα μπορούν να διεγείρονται με μια πηγή ισχύος συνεχούς ρεύματος.

Έτσι θα ήταν η μαγνητική ροή για έναν τετραπολικό ρότορα.

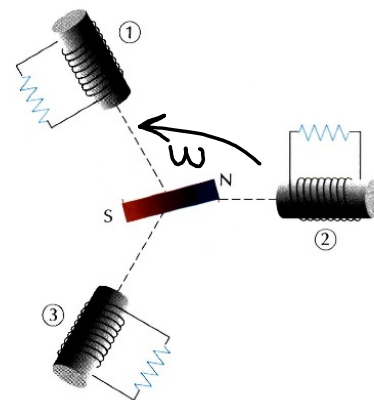
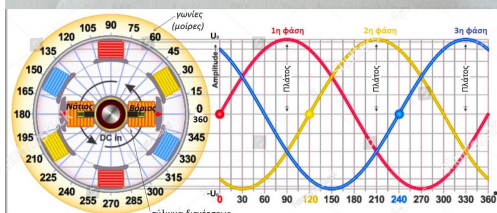


Αρχή λειτουργίας τριφασικής γεννήτριας

Τριφασικά ρεύματα παράγονται από τριφασικές τάσεις. Μια τριφασική τάση παράγεται από τρία εντελώς όμοια πλαίσια (ή πηνία), τα οποία τοποθετούνται σε έναν άξονα, έτσι που τα επίπεδά τους να σχηματίζουν γωνία 120° . Ο ρότορας περιστρέφεται **με σταθερή ταχύτητα** και αποτελεί ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο (π.χ. περιστρεφόμενο μόνιμο μαγνήτη). Η τάση σε κάθε πηνίο ονομάζεται **φάση του συστήματος**.



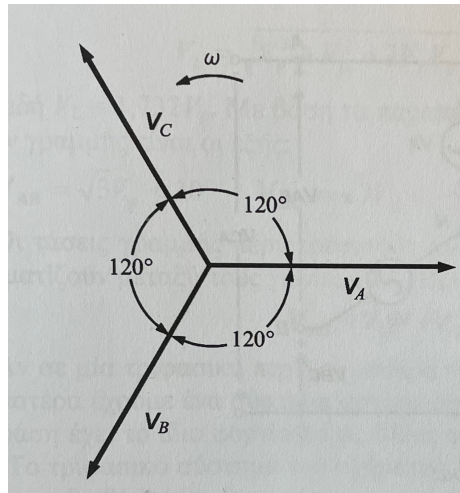
Σχήμα 10.1: Οι κυματομορφές των πηγών τάσης ενός τριφασικού συστήματος.



Σχήμα 1.24. Παραγωγή τριφασικού ρεύματος



Διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων των πηγών ενός τριφασικού συστήματος



$$\begin{aligned}v_A(t) &= V_m \cos \omega t \\v_B(t) &= V_m \cos(\omega t - 120^\circ) \\v_C(t) &= V_m \cos(\omega t - 240^\circ)\end{aligned}$$

όπου η ενεργός τιμή των πηγών είναι $V_p = V_m / \sqrt{2}$.

στο πεδίο της συχνότητας

$$\begin{aligned}\mathbf{V}_A &= V_p \angle 0^\circ \\ \mathbf{V}_B &= V_p \angle -120^\circ \\ \mathbf{V}_C &= V_p \angle -240^\circ\end{aligned}$$

81



Τριφασικό σύστημα

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται ως επί το πλείστον με **σύγχρονες τριφασικές γεννήτριες** και τα τριφασικά συστήματα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τυλίγματα των **γεννητριών**, των **μετασχηματιστών** και τα **φορτία** σ' ένα τριφασικό ή γενικά σ' ένα πολυφασικό σύστημα συνδέονται με δύο βασικούς τρόπους: **σ' αστέρα, ή τρίγωνο**

Το όνομα της συνδεσμολογίας (αστέρας ή τρίγωνο) αναφέρεται στη γεννήτρια και όχι στην κατανάλωση, η οποία μπορεί να είναι αστέρας ή τρίγωνο.

82



Συμμετρικά τριφασικά συστήματα

84



Τριφασικό σύστημα σε συνδεσμολογία αστέρα

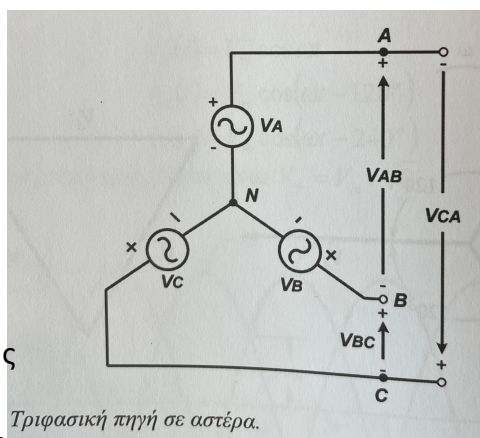
Η κάθε πηγή αποτελεί μία **φάση** του συστήματος και η τάση της ονομάζεται **φασική τάση** ή **τάση φάσης**

φασικές τάσεις

$$\begin{aligned} V_A &= V_p < 0^\circ \\ V_B &= V_p < -120^\circ \\ V_C &= V_p < -240^\circ \end{aligned}$$

Το μέτρο της φασικής τάσης είναι

$$|V_A| = |V_B| = |V_C| = V_p$$



τάσεις γραμμής

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_A - V_B \\ V_{BC} &= V_B - V_C \\ V_{CA} &= V_C - V_A \end{aligned}$$

Το μέτρο της τάσης γραμμής είναι

$$|V_{AB}| = |V_{BC}| = |V_{CA}| = V_L$$

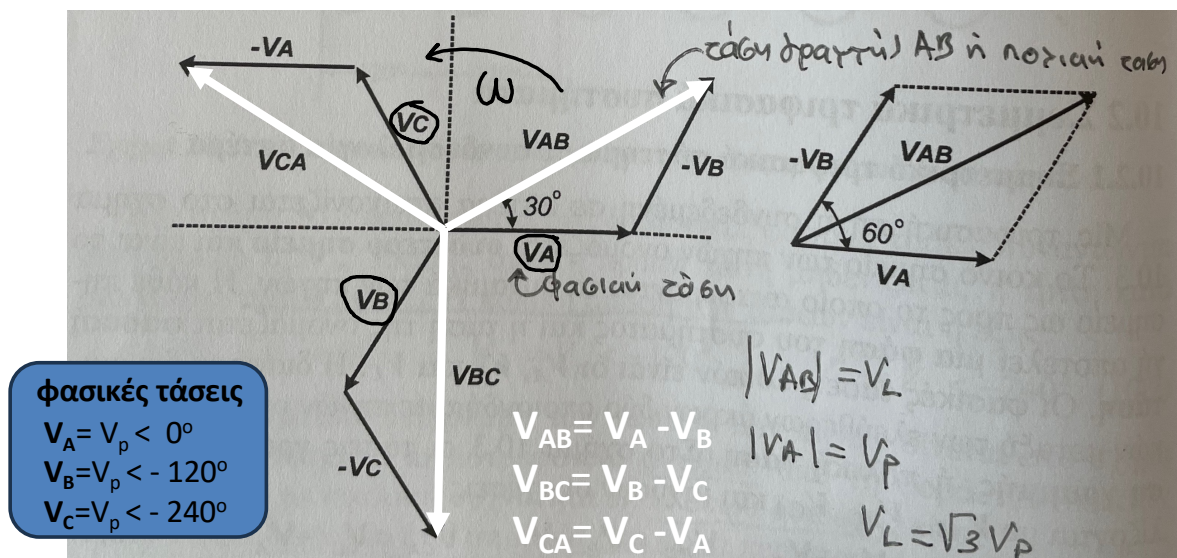
Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ελεύθερων άκρων ονομάζεται **τάση γραμμής** ή **πολική τάση**

Τις τάσεις αυτές μπορούμε να τις αναπαραστήσουμε ως στρεφόμενα διανύσματα



Διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων φάσης και γραμμής για σύνδεση σε αστέρα

Οι τάσεις γραμμής προηγούνται των φασικών τάσεων κατά 30°



$$V_{AB} = \sqrt{3} V_p < 30^\circ$$

$$V_{BC} = \sqrt{3} V_p < -90^\circ$$

$$V_{CA} = \sqrt{3} V_p < -210^\circ$$

Το μέτρο της τάσης γραμμής είναι $V_L = \sqrt{3} V_p$

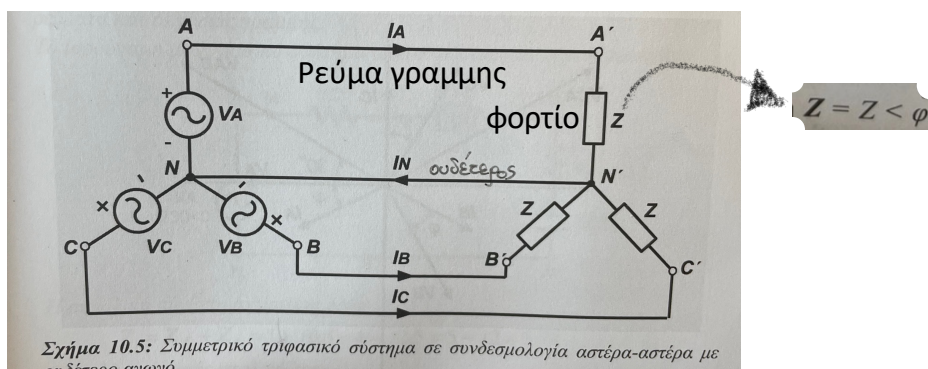
$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0$$



Σύνδεση Υ – Υ με συμμετρικό φορτίο

Αν σε μία τριφασική πηγή σε αστέρα συνδέσουμε ένα τριφασικό φορτίο σε αστέρα έχουμε ένα σύστημα αστέρα – αστέρα (Υ – Υ)

Αν η κάθε φάση έχει το ίδιο φορτίο με τις άλλες το σύστημα ονομάζεται **συμμετρικό**



νόμος του Κίρκοφ στον N' δίνει για τα ρεύματα γραμμής:

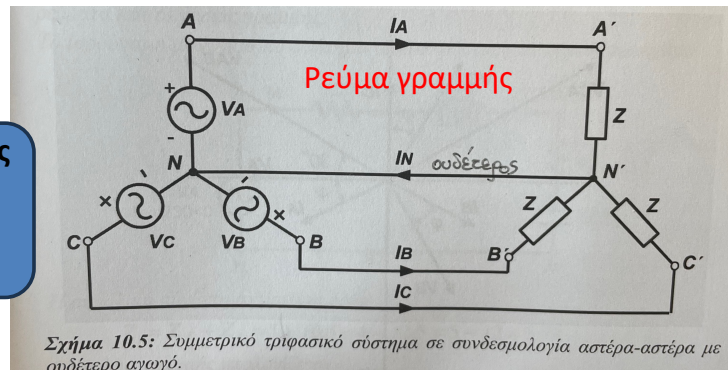
$$I_A + I_B + I_C = I_N$$

ακολουθεί ο υπολογισμός των ρευμάτων γραμμής



φασικές τάσεις

$$\begin{aligned} V_A &= V_p < 0^\circ \\ V_B &= V_p < -120^\circ \\ V_C &= V_p < -240^\circ \end{aligned}$$



Σχήμα 10.5: Συμμετρικό τριφασικό σύστημα σε συνδεσμολογία αστέρα-αστέρα με ουδέτερο ανωγό.

$$Z = Z < \varphi$$

υπολογισμός των ρευμάτων γραμμής

$$I_A + I_B + I_C = \frac{1}{Z} (V_{A'N'} + V_{B'N'} + V_{C'N'}) = 0 = I_N$$

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{V_{A'N'}}{Z} = \frac{V_p}{Z} < -\varphi \\ I_B &= \frac{V_{B'N'}}{Z} = \frac{V_p}{Z} < -\varphi - 120^\circ \\ I_C &= \frac{V_{C'N'}}{Z} = \frac{V_p}{Z} < -\varphi - 240^\circ \end{aligned}$$

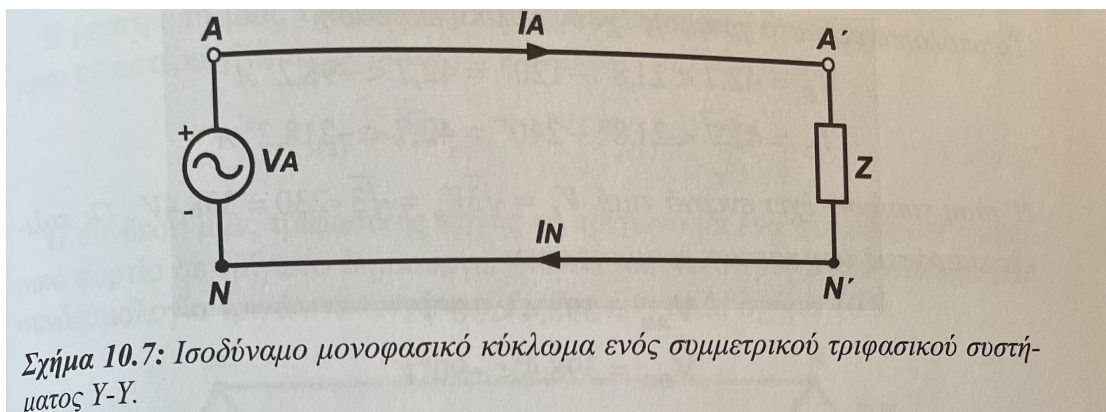
Σε ένα συμμετρικό σύστημα σε συνδεσμολογία αστέρα-αστέρα, ο ουδέτερος δε διαρρέεται από ρεύμα και θεωρητικά μπορεί να απομακρυνθεί

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Η ανάλυση των συμμετρικών συστημάτων Y – Y μπορεί να απλοποιηθεί στην ανάλυση μίας και μόνο φάσης όπως παρουσιάζεται στην επόμενη διαφάνεια

88



Πίνακας

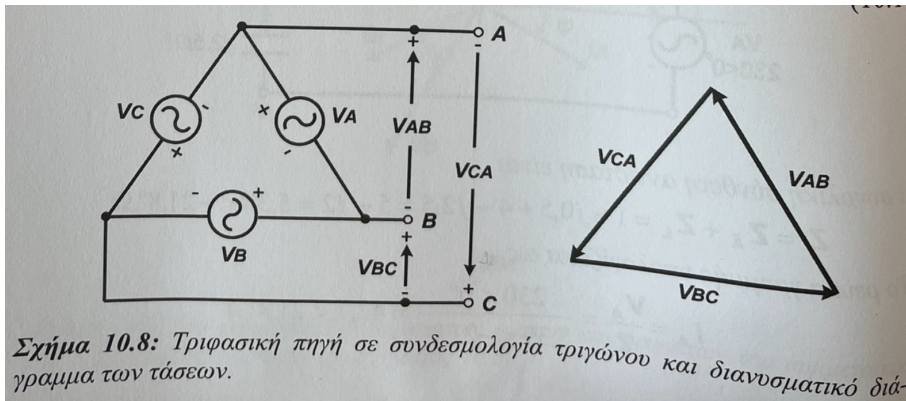


Σχήμα 10.7: Ισοδύναμο μονοφασικό κύκλωμα ενός συμμετρικού τριφασικού συστήματος Y-Y.

Ακολουθεί το παράδειγμα 10.1 από το βιβλίο

89

Τριφασικό σύστημα σε συνδεσμολογία τριγώνου

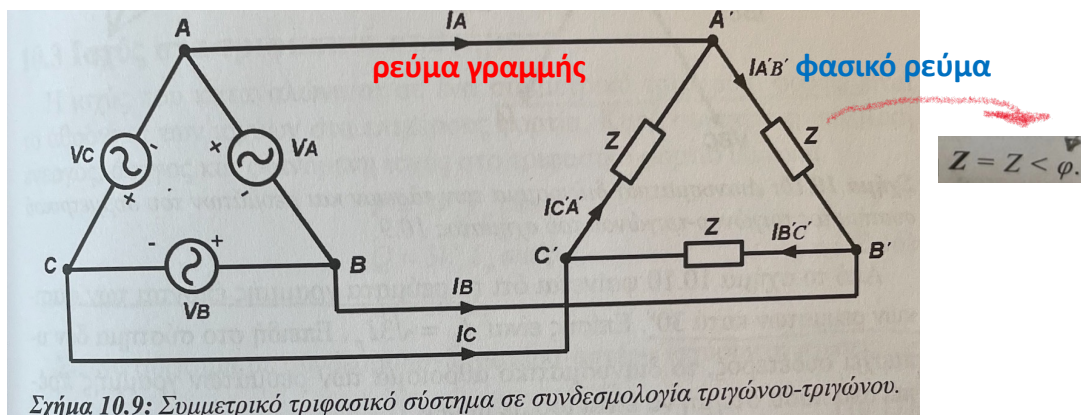


$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0$$

Η συνδεσμολογία τριγώνου παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι παραμικρή ασυμμετρία μεταξύ των πηγών προκαλεί κυκλοφορία ρεύματος στο βρόχο των πηγών και για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη.

90

Σύνδεση Δ – Δ με συμμετρικό φορτίο



Τα I_A, I_B, I_C είναι τα **ρεύματα γραμμής**, και είναι διαφορετικά από τα **φασικά ρεύματα** $I_{A'B'}, I_{B'C'}, I_{C'A'}$

οι τάσεις γραμμής συμπίπτουν με τις φασικές τάσεις $V_L = V_p$
τα **φασικά ρεύματα** προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις

$$\begin{aligned} I_{A'B'} &= \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{V_L}{Z} < -\varphi \\ I_{B'C'} &= \frac{V_{BC}}{Z} = \frac{V_L}{Z} < -\varphi - 120^\circ \\ I_{C'A'} &= \frac{V_{CA}}{Z} = \frac{V_L}{Z} < -\varphi - 240^\circ \end{aligned} \quad (10.13)$$

Κατά συνέπεια τα ρεύματα γραμμής θα είναι

$$I_A = I_{A'B'} - I_{C'A'} \quad I_B = I_{B'C'} - I_{A'B'} \quad I_C = I_{C'A'} - I_{B'C'} \quad (10.14)$$

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_L < 0^\circ \\ V_{BC} &= V_L < -120^\circ \\ V_{CA} &= V_L < -240^\circ \end{aligned}$$

91



$$I_{A'B'} = \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{V_L}{Z} < -\varphi$$

$$I_{B'C'} = \frac{V_{BC}}{Z} = \frac{V_L}{Z} < -\varphi - 120^\circ$$

$$I_{C'A'} = \frac{V_{CA}}{Z} = \frac{V_L}{Z} < -\varphi - 240^\circ$$

(10.13)

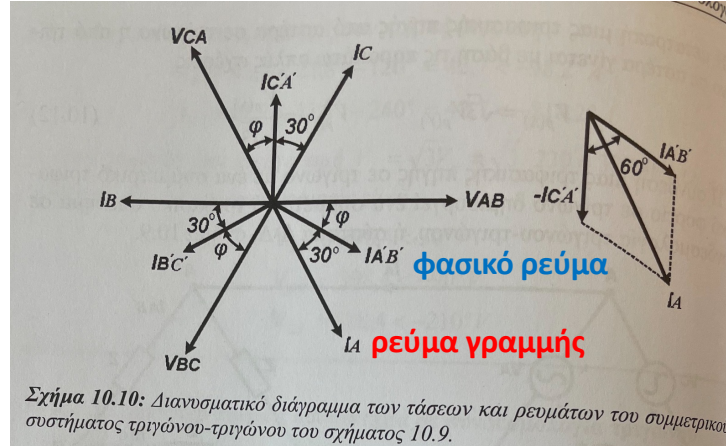
φασικά ρεύματα

ρεύματα γραμμής

Κατά συνέπεια τα ρεύματα γραμμής θα είναι

$$I_A = I_{A'B'} - I_{C'A'} \quad I_B = I_{B'C'} - I_{A'B'} \quad I_C = I_{C'A'} - I_{B'C'} \quad (10.14)$$

οι τάσεις γραμμής συμπίπτουν με τις φασικές τάσεις



Τα ρεύματα γραμμής έπονται των φασικών ρευμάτων κατά 30°

Επίσης προκύπτει για τα μέτρα των ρευμάτων γραμμής $I_L = \sqrt{3} I_p$, δηλαδή είναι μεγαλύτερα από το μέτρο των φασικών ρευμάτων στο φορτίο

Επειδή δεν υπάρχει ουδέτερος, το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων γραμμής = 0

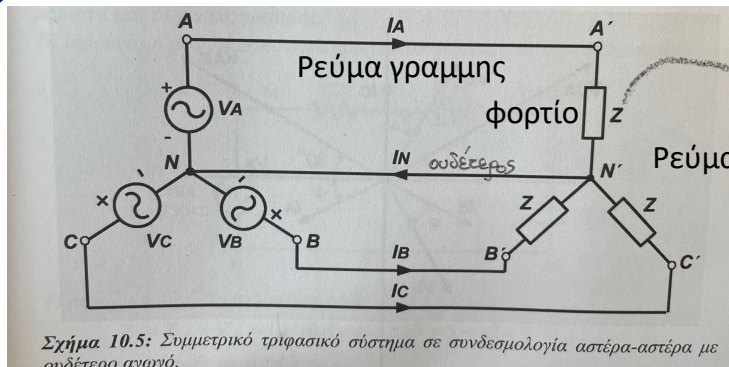
Ακολουθεί το παράδειγμα 10.2 του βιβλίου

ΣΥΝΟΨΗ



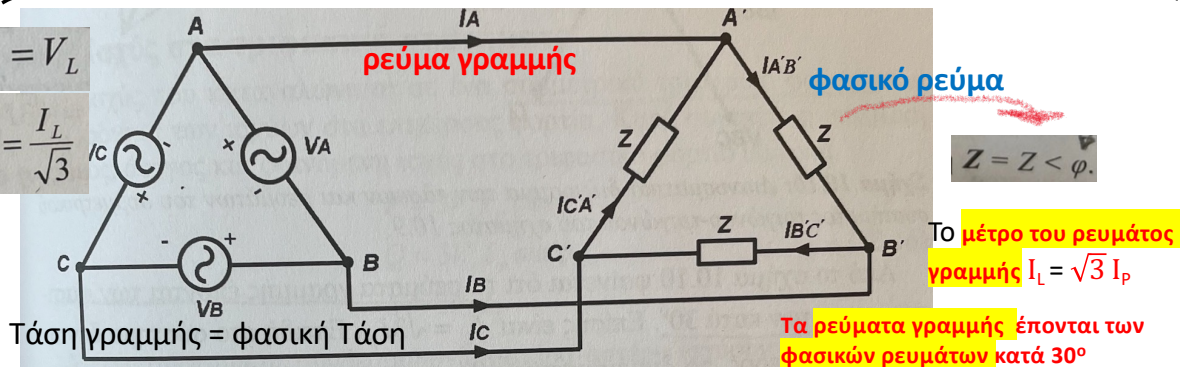
$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_p = I_L$$



$$V_p = V_L$$

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$



Ισχύς σε κάθε φορτίο Z ?



Η Ισχύς σε συμμετρικό τριφασικό φορτίο

ισούται με το άθροισμα των ισχύων στα επιμέρους φορτία

Συνεπώς η συνολική ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς στο **συμμετρικό** τριφασικό φορτίο είναι:

$$\begin{aligned} P &= 3V_p I_p \cos \varphi \\ Q &= 3V_p I_p \sin \varphi \\ S &= 3V_p I_p \end{aligned}$$

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να εκφραστούν και συνάρτηση της τάσης γραμμής και του ρεύματος γραμμής ως:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3}V_L I_L \cos \varphi \\ Q &= \sqrt{3}V_L I_L \sin \varphi \\ S &= \sqrt{3}V_L I_L \end{aligned}$$

Σε ένα σύστημα με συνδεσμολογία Υ – Υ ισχύουν οι σχέσεις

$$I_p = I_L$$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

Οι **τάσεις γραμμής** προηγούνται των **φασικών τάσεων** κατά 30°

Σε ένα σύστημα με συνδεσμολογία Δ – Δ ισχύουν οι σχέσεις
παράδειγμα 10.3 από βιβλίο

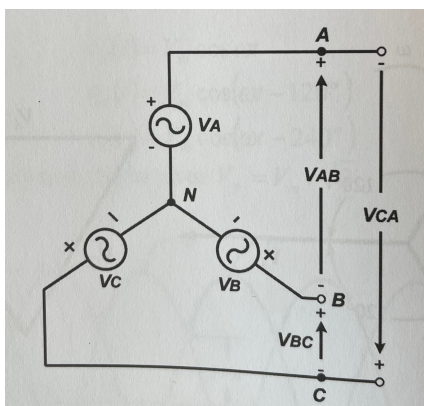
$$V_p = V_L$$

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

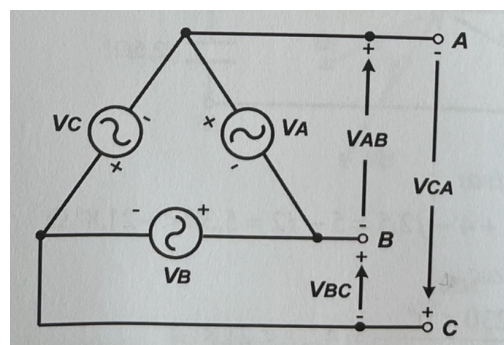
Τα **ρεύματα γραμμής** έπονται των **φασικών ρευμάτων** κατά 30°



Μετατροπή μιας τριφασικής πηγής από αστέρα σε τρίγωνο και αντίστροφα



τριφασική πηγή σε αστέρα



τριφασική πηγή σε τρίγωνο

γενικά ισχύει

$$V_{p(\text{τρίγωνο})} = \sqrt{3}V_{p(\text{αστέρα})}$$

$$V_p = \text{φασική τάση } V_A \text{ ή τάση της φάσης}$$



Τέλος διαλέξεων