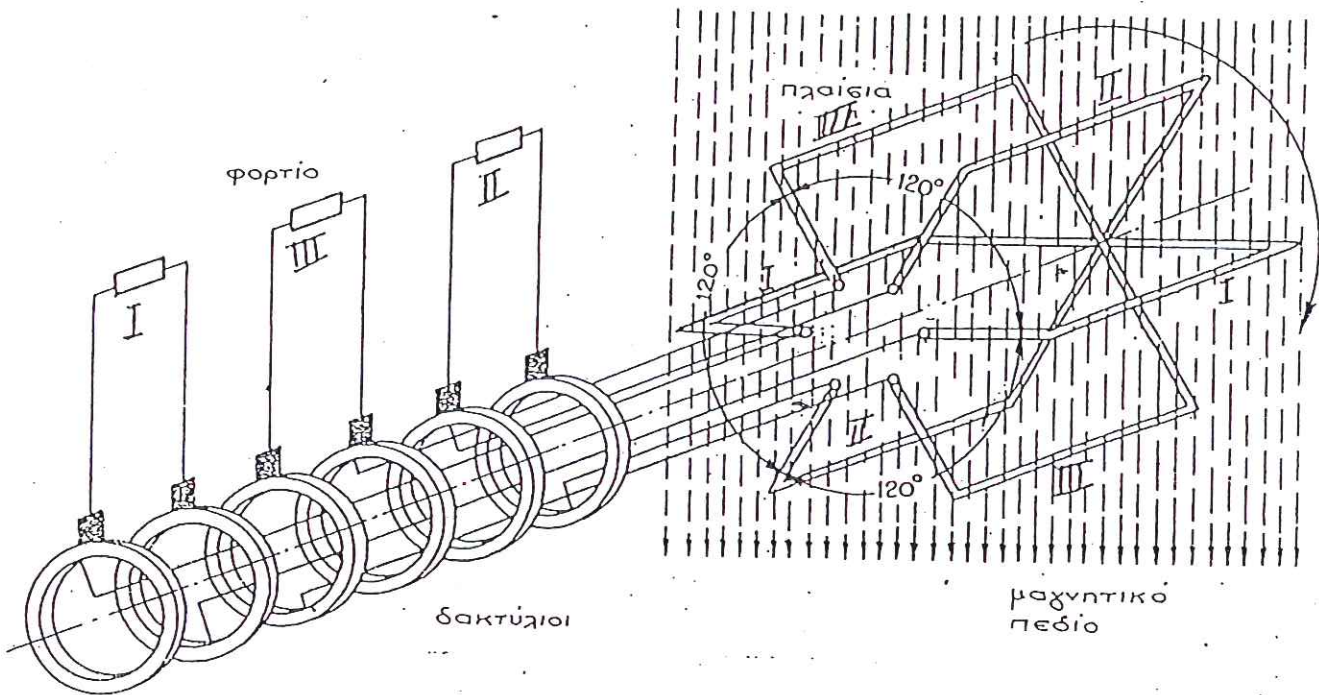


Αρχή λειτουργίας της τριφασικής γεννήτριας

Τρία όμοια ορθογώνια πλαίσια, που τα επίπεδα τους σχηματίζουν 120° το καθένα με το επόμενο, περιστρέφονται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, με σταθερή γωνιακή ταχύτητα.

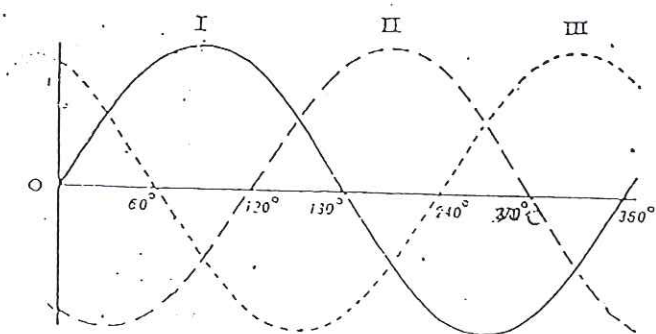
Ενώ το σύστημα των τριών αυτών πλαισίων περιστρέφεται, αναπτύσσεται, στα άκρα του κάθε πλαισίου, μία Η.Ε.Δ από επαγωγή.



ΣΧ. 1.1

Οι 3 ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις έχουν την ίδια συχνότητα και την ίδια μέγιστη τιμή. Όμως, για να βρεθεί το ένα πλαίσιο στη θέση που ήταν το προηγούμενο, πρέπει να διανύσει 120° . Γι' αυτό, οι 3 Η.Ε.Δ. έχουν διαφορά φάσεως 120° η μία από την άλλη, δηλαδή $\frac{1}{3}$ της περιόδου T .

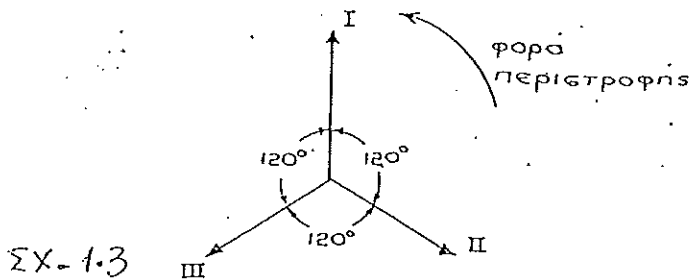
Όπως και στην περίπτωση του μονοφασικού εναλλαζομένου ρεύματος, μπορούμε να σχεδιάσουμε τις 3 φάσεις σαν ημιτονοειδείς κυματομορφές. Εφόσον τα 3 περιστρεφόμενα είναι όμοια, και η διάταξη περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, οι 3 κυματομορφές θα είναι ομοιότυπες, μόνο που θα απέχουν 120° η κάθε μία με την επόμενη.



Κυματομορφές των 3 φάσεων

ΣΧ. 1.2

Τις 3 φάσεις μπορούμε, επίσης, να τις σχεδιάσουμε ανυσματικά:



ΣΧ-1.3

Λίγα λόγια για την κατασκευή της τριφασικής γεννήτριας

Στους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς χρησιμοποιούνται οι "εύχρονες γεννήτριες" ή εναλλακτήρες (alternators), που παράχουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας που περιστρέφεται η μηχανή.

Δηλαδή:

Η συχνότητα f , ο αριθμός των ετροφών ανά λεπτό N , και ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων p , συνδέονται με τη σχέση:

$$f = \frac{p \cdot N}{60}$$

Οι εναλλακτήρες διεξάγονται με συνεχές ρεύμα, και κατασκευάζονται σε δύο είδη:

α) Με εξωτερικούς πόλους, δηλαδή οι πόλοι τοποθετούνται στο στάτορα, όπως συμβαίνει και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Το περιστρεφόμενο μέρος αποτελείται από το επαγωγικό τύλιγμα, τα τυλίγματα, και τους δακτύλιους. Οι δακτύλιοι τοποθετούνται στον άξονα, και οδηγούν το ρεύμα στο φορτίο, δια μέσου ψακτρών. Οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους είναι κατάλληλοι για μικρές ισχύεις και χαμηλές τάσεις.

β) Με εσωτερικούς πόλους, δηλαδή οι πόλοι τοποθετούνται στο ρότορα και περιστρέφονται, ενώ το επαγωγικό τύλιγμα βρίσκεται, τώρα, στο ακίνητο μέρος της μηχανής. Οι εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους είναι κατάλληλοι για μεγάλες ισχύεις και ψηλές τάσεις, όμως είναι ακατάλληλοι για μεγάλες ταχύτητες - για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι ατμοκίνητοι εναλλακτήρες, που περιστρέφονται με τούρπινα.

Πλεονεκτήματα του τριφασικού ρεύματος

1. Οι τριφασικές μηχανές έχουν καλύτερη και πιο σταθερή απόδοση από τις μονοφασικές - επίσης, μικρότερο μέγεθος.
2. Τα τριφασικά συστήματα μεταφοράς είναι πιο οικονομικά.
3. Οι επαγωγικοί κινητήρες, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, εκκινούν χωρίς δυσκολία με το τριφασικό ρεύμα.

Τριφασικές συνδέσεις

Τα 3 περιστρεφόμενα πλάγια που περιγράψαμε προηγουμένα, ονομάζονται φάσεις. Μία από τις 3 αυτές φάσεις καθορίζεται σαν πρώτη, και οι άλλες ακολουθούν. Τις 3 φάσεις μπορούμε να τις εκφράσουμε με τους αριθμούς I, II και III, ή με τα χρώματα R, Y, B (Red, Yellow, Blue).

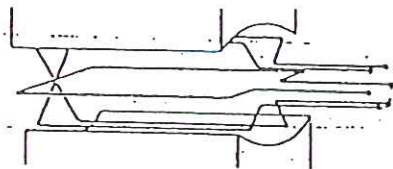
Τώρα:

Η κάθε φάση έχει μία αρχή και ένα τέλος. Και εδώ, πάλι, εκλέχεται το ένα άκρο της φάσης σαν αρχή ή τέλος, και τα υπόλοιπα εκλέχονται με ανάλογο τρόπο.

Τις αρχές των τριών φάσεων τις συμβολίζουμε με τα χρώματα U, V, W, και τα τέλη, X, Y, Z, σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα. (ή, Α1, Β1, C1 οι αρχές, και Α2, Β2, C2 τα τέλη, με βάση τα αγγλικά πρότυπα). Οι ίδιοι κώδικες χρησιμοποιούνται σε όλα τα τριφασικά μηχανήματα, δηλαδή στις γεννήτριες, στους μετασχηματιστές και στους κινητήρες.

Οπότε:

Σε κάθε τριφασική γεννήτρια έχουμε 3 αρχές και 3 τέλη των τυλιγμάτων, που καταλήγουν στους ακροδέκτες της μηχανής.



Δηλαδή:

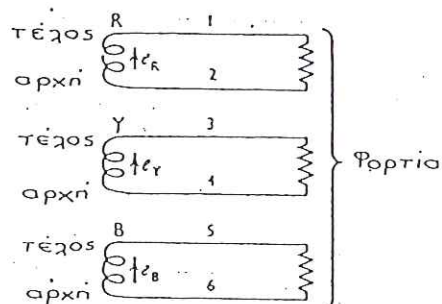
Μία τριφασική γεννήτρια θα χρειαζόταν 6 γραμμές για να μεταφέρει το ρεύμα που παράγει. Ένα τέτοιο σύστημα με 6 γραμμές δεν χρησιμοποιείται, γιατί είναι αντι-οικονομικό.

Έτσι, στα διάφορα τριφασικά συστήματα, οι 3 φάσεις μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, για να σχηματίσουν αλληλένδετα τριφασικά συστήματα.

Υπάρχουν δύο τρόποι να συνδέσουμε τις φάσεις μεταξύ τους:

1. Σε τριχώνο
2. Σε αστέρα.

1. Σύνδεση τριχώνου Δ

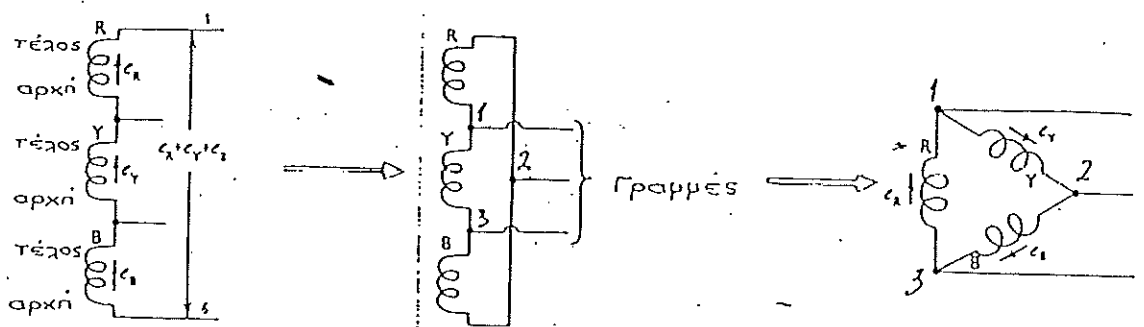


α) Σχεδιάζουμε, αρχικά, τις 3 φάσεις R, Y, B σε απομονωμένη μορφή, την κάθε μία ξεχωριστά. Έχουμε, δηλαδή, 6 άκρα. Η κάθε φάση παράγει τη δική της Η.Ε.Δ (e_R, e_Y, e_B).

- β) Συνδέουμε την αρχή της R με το τέλος της Y, και αντικαθιστούμε τους αχμούς 2 και 3 με ένα αχμό.
- γ) Συνδέουμε την αρχή της Y με το τέλος της B, δηλαδή αντικαθιστούμε τους αχμούς 4 και 5 με ένα κοινό αχμό.
- δ) Μένουν, τώρα, οι αχμοί 1 και 6, δηλαδή η αρχή της B και το τέλος της R, που μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Αυτό είναι κατορθωτό, γιατί η ολική Η.Ε.Δ μεταξύ των δύο αυτών σημείων ισούται, σε κάθε στιγμή, με μηδέν. Δηλαδή

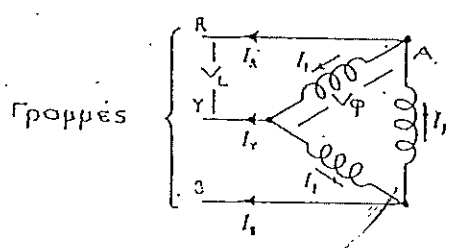
$$e_R + e_Y + e_B = E_m \cdot \eta \cdot \theta + E_m \cdot \eta \cdot (\theta - 120^\circ) + E_m \cdot \eta \cdot (\theta - 240^\circ) = \dots = 0$$

Άρα, μεταξύ των σημείων 1 και 6 δεν κυκλοφορεί ρεύμα, και, επομένως, τα δύο αυτά σημεία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους.



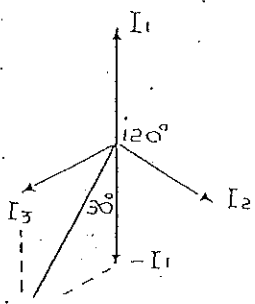
Το κύκλωμα που έχει προκύψει είναι γνωστό σαν σύνδεση τριγώνου

Ιδιότητες της σύνδεσης τριγώνου



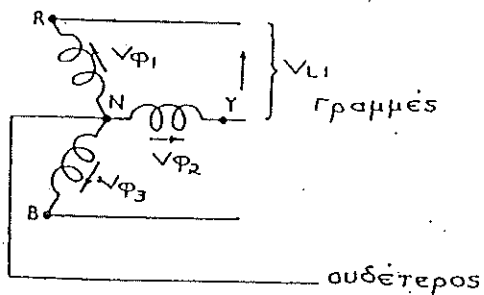
- V_{η} = η πολική τάση, δηλαδή η τάση μεταξύ δύο γραμμών μεταφοράς. [Μεταξύ της R και Y, Y και B, R και B έχουμε πολικές τάσεις]
- V_{ϕ} = η φασική τάση
- I_L = το ρεύμα στη γραμμή [I_R, I_Y, I_B]
- I_{ϕ} = το φασικό ρεύμα [I_1, I_2, I_3]

1. Ενώνεται η αρχή της μίας φάσης, με το τέλος της επόμενης. Αναχωρούν, έτσι, 3 γραμμές.
2. Όταν εργάζεται εν κενώ (δηλαδή, χωρίς φορτίο), δεν κυκλοφορεί ρεύμα δια μέσου του συστήματος.
3. Οι πολικές τάσεις ισούνται με τις φασικές τάσεις. $V_L = V_{\phi}$
4. Το ρεύμα σε κάθε γραμμή είναι μεγαλύτερο του φασικού ρεύματος κατά $\sqrt{3}$. Δηλαδή: $I_L = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$



Η σχέση αυτή μπορεί να αποδειχθεί ανωστρικά. Δηλαδή, σχεδιάζουμε τα 3 φασικά ρεύματα I_1, I_2, I_3 με 120° διαφορά φάσης. Παιρνουμε την περίπτωση του ρεύματος I_R , που εξέρχεται από τον κόμβο Α. $I_R = I_3 - I_1$. Δηλαδή, αφαιρούμε ανωστρικά το I_1 από το I_3 , και με ανάγνωση ή άλλο τρόπο μπορούμε να επικυρώσουμε ότι το $I_R = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$. Το υπόλοιπο ✓

2. Σύνδεση αστερά Y STAR



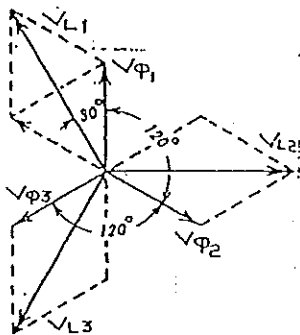
Εδώ συνδέονται αχώριμα μεταξύ τους τα τέλη των τριών φάσεων.

Από τα εναπομένοντα 3 άκρα αναχωρούν 3 γραμμές, και από το κοινό σημείο N, αναχωρεί ο ουδέτερος αγωγός.

Ιδιότητες της σύνδεσης αστερά.

1. Το κοινό σημείο της σύνδεσης N, έχει δυναμικό ως προς τη γη μηδέν. Επομένως, μπορούμε να το χειώσουμε.
2. Οι φασικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους, με διαφορά φάσης 120° ή μία από την άλλη.
3. Οι πολικές τάσεις (V_L) είναι μεγαλύτερες από τις φασικές (V_ϕ) κατά $\sqrt{3}$. Δηλαδή: $V_L = \sqrt{3} \cdot V_\phi$

Αυτό μπορεί να αποδειχθεί γεωμετρικά. Δηλαδή, σχεδιάζουμε τις 3 φασικές τάσεις, με 120° διαφορά.



Από το κύκλωμα μας, πιο πάνω,

έχουμε: $\vec{V}_{\phi_2} + \vec{V}_{L1} = \vec{V}_{\phi_1}$

$$\rightarrow \vec{V}_{L1} = \vec{V}_{\phi_1} - \vec{V}_{\phi_2}$$

Δηλαδή, για να βρούμε την πολική τάση V_L , αφαιρούμε, αντισεματικά, τη φασική τάση V_{ϕ_2} από τη V_{ϕ_1} . Μπορούμε, τώρα, με ανάγνωση ή με άλλο τρόπο (π.χ τριγωνομετρία) να αποδείξουμε τη σχέση $V_L = \sqrt{3} \cdot V_\phi$. Πολικές τάσεις έχουμε, επίσης, μεταξύ των γραμμών Y-B και R-B, τις οποίες μπορούμε να σχεδιάσουμε και να υπολογίσουμε με τον ίδιο τρόπο.

4. Το ρεύμα που κυκλοφορεί στην κάθε φάση, ισούται με το ρεύμα της αντίστοιχης γραμμής. Δηλαδή, $I_\phi = I_L$

5. Χρήση του ουδέτερου αγωγού:

Η Αρχή Ηλεκτρισμού, στην Κύπρο, υιοθετεί τη σύνδεση αστερά για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εναέριες γραμμές που βλέπουμε, συνήθως, στους δρόμους των πόλεων, είναι οι 3 φάσεις και ο ουδέτερος αγωγός. Μεταξύ δύο οποιονδήποτε γραμμών η τάση είναι 415V, ενώ μεταξύ μίας γραμμής και του ουδέτερου, η τάση είναι 240V. Η τάση των 415V παρέχεται σε τριφασικά φορτία, και τα 240V, για τις μονοφασικές εγκαταστάσεις. Στη διανομή του ηλεκτρισμού καταβάλλεται προσπάθεια ώστε να υπάρχει κάποιος ισοσυγχισμός του φορτίου. Δηλαδή,

να μη βαριφορτώνεται η μία γραμμή σε σχέση με τις άλλες.
Αυτό, βέβαια, δεν είναι πλήρως κατορθωτό, γιατί, στην πράξη, η διανομή των τριών ρευμάτων στις γραμμές, αγγίζει σε κάθε δεδομένη στιγμή.

Σε συστήματα με ανομοιομορφα, μη ισοζυγισμένα φορτία, χρησιμοποιείται ο ουδέτερος αγωγός, που ανάχωρει από το κοινό κέντρο του αστέρα.

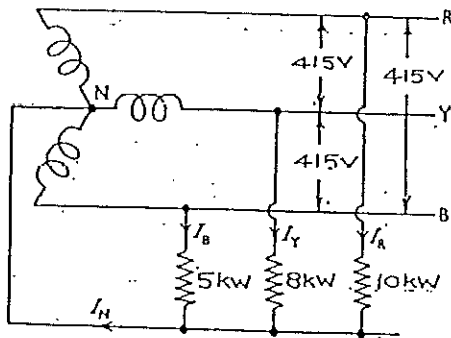
→ Διά μέσου του ουδέτερου αγωγού διέρχεται, σε κάθε δεδομένη στιγμή, ρεύμα ίσο με το ανυερατικό άθροισμα των τριών ρευμάτων.

Παράδειγμα

Δια μέσου των τριών γραμμών και του ουδέτερου, σε τριφασικό σύστημα αστέρα των 415V, τροφοδοτούνται οι εξής ψηφικοί καταναλωτές: 10kW, 8kW και 5kW. Να υπολογιστούν:

- α) Το ρεύμα σε κάθε γραμμή, I_R, I_Y, I_B
- και β) Το ρεύμα που κυκλοφορεί στον ουδέτερο αγωγό, I_N

Λύση



α) $V_L = \sqrt{3} \cdot V_{\phi}$
επομένως, $V_{\phi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{415}{1.73} = 240V$

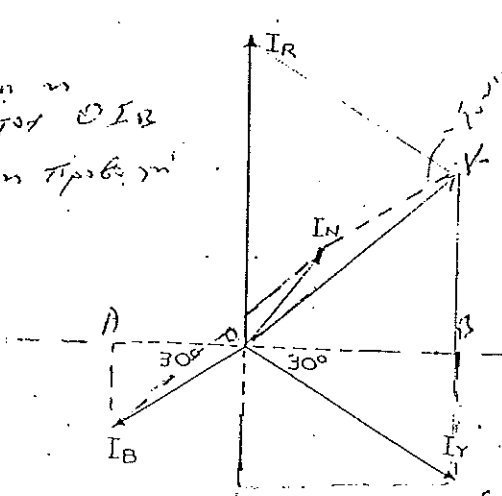
$I_R = \frac{P_{\text{χύς}}}{\text{τάση}} = \frac{10 \times 1000}{240} = 41.6A$

$I_Y = \frac{8 \times 1000}{240} = 33.3A$

και $I_B = \frac{5 \times 1000}{240} = 20.8A$

$\cos(\phi) = 1$

β) Σχεδιάζουμε, τώρα, ανυερατικά, τα 3 ρεύματα I_R, I_Y, I_B , με 120° διαφορά φάσης, και με κλίμακα $1cm = 10A$.



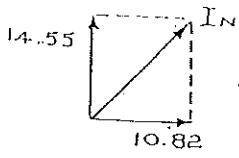
ΟΑ είναι η προβολή του I_{IR}
 I_B είναι η προβολή του I_{IB}
βλ. I_{IN}

Το ρεύμα δια μέσου του ουδέτερου είναι το ανυερατικό άθροισμα των τριών αυτών ρευμάτων, και μπορεί να υπολογιστεί:

- 1. Γεωμετρικά, δηλαδή με την κατασκευή παραλληλογραμμών και μέτρηση της συνισταμένης
- ή 2. Με ανάλυση, για απόλυτη ακρίβεια.

Δηλαδή:

	Οριζόντια	Κάθετα	Μέτρο
Το I_R αναλύεται:	0	41.6	
βλ → Το I_Y αναλύεται:	$33.3 \times \sin 30$	$-33.3 \times \cos 30$	
αφ → Το I_B αναλύεται:	$-20.8 \times \sin 30$	$-20.8 \times \cos 30$	
	10.82	14.55	



$I_N = \sqrt{(10.82)^2 + (14.55)^2} = 18.13A$
βλ. παραλληλόγραμμο

$I_B \sin 30 = I_N \cos 30$ και $I_B \cos 30 = I_N \sin 30$

Ισχύς στο τριφασικό ρεύμα

Σε ισοσυχισμένα τριφασικά συστήματα, η ισχύς σε κάθε φάση θα είναι: $V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \phi$

Δηλαδή, η ολική ισχύς θα είναι τριπλάσια της ισχύος ανά φάση: $P = 3 \times V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \phi$.

Τώρα:

α) Στη συνδεσμολογία αετέρα, $V_{\phi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ και $I_{\phi} = I_L$.

Επομένως:

$$P = 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \phi = 3 \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \phi = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$$

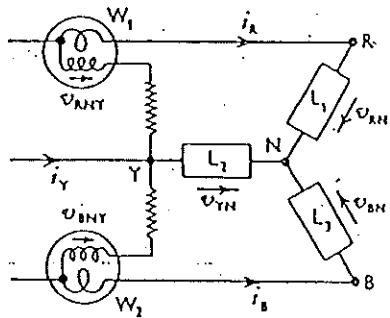
$$[\text{Το } \frac{3}{\sqrt{3}} = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{3} = \sqrt{3}]$$

β) Στη συνδεσμολογία τριγώνου, μπορεί επίσης να αποδειχθεί ότι:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$$

Μέτρηση της ισχύος σε τριφασικά συστήματα

Για να μετρήσουμε την ισχύ σε τριφασικά συστήματα υπό όρες της συνθήκες, δηλαδή σε ισοσυχισμένα φορτία, σε μη ισοσυχισμένα φορτία, είτε σε αετέρα είτε σε τρίγωνο, χρησιμοποιούμε τη μέθοδο με τα δύο βαττόμετρα.



W_1, W_2 = τα δύο βαττόμετρα
 i_R, i_Y, i_B = τα ρεύματα στις γραμμές
 $V_{RN} \dots$ = οι διάφορες τάσεις
 L_1, L_2, L_3 = τα φορτία

Το κάθε βαττόμετρο έχει δύο πηνία: Το πηνίο του ρεύματος, και το πηνίο της τάσης.

Τα πηνία του ρεύματος συνδέονται σε δύο γραμμές, π.χ R και B, ενώ τα πηνία των τάσεων συνδέονται μεταξύ των δύο αυτών γραμμών και της τρίτης γραμμής.

Μπορεί να αποδειχθεί με εξισώσεις ότι τα δύο βαττόμετρα μετρούν την ολική ισχύ.

17.3.04

- 1) α) Να εξηγήσετε, με τη βοήθεια διαγράμματος, την αρχή λειτουργίας μιας τριφασικής γεννήτριας
β) Να σχεδιάσετε τις ημιτονικές κυματομορφές των τριών φασικών τάσεων και να αποδείξετε ότι το άθροισμα των στιγμιαίων τιμών τους είναι ίσο με μηδέν

2) α) Ποιές τριφασικές συνδεσμολογίες, έχουμε, και πώς τις επιτυγχάνουμε;

β) Να αναφέρετε τις ιδιότητες της κάθε σύνδεσης

γ) Σε ποιές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο ουδέτερος αγωγός;

3) Ένας τριφασικός εναλλακτήρας παρέχει τάση μεταξύ γραμμών 415 V, και τροφοδοτεί 3 ίσες ωμικές αντιστάσεις, που η κάθε μια καταναλώνει ισχύ 2,5 kW. Να βρεθούν:

α) Η ένταση του ρεύματος σε κάθε αντίσταση, όταν οι αντιστάσεις είναι ενωμένες σε τρίγωνο

β) Η ένταση του ρεύματος δια μέσου κάθε γραμμής, στη σύνδεση τρίγωνου

γ) Η τάση στα άκρα της κάθε αντίστασης, όταν οι αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες σε αστέρα.

4) Τρία πηνία, με ωμική αντίσταση 10Ω και συντελεστή αυτεπαγωγής 0.02H , το καθένα, συνδέονται α) σε αστερά β) σε τρίγωνο, και τροφοδοτούνται με τριφασική παροχή συχνότητας 50Hz . Η τάση μεταξύ των γραμμών παροχής είναι 500V . Να υπολογιστεί, στην κάθε περίπτωση, το ρεύμα διαμέσου των γραμμών. [Απ. α) 24.49A , β) 73.3A]

5) Ένας τριφασικός εναλλακτήρας παρέχει τάση μεταξύ γραμμών 120V , και τροφοδοτεί 3 ίσες ωμικές αντιστάσεις, που η κάθε μια καταναλώνει ισχύ 2.5kW . Να βρεθούν:

- α) Η ένταση του ρεύματος σε κάθε αντίσταση, όταν οι αντιστάσεις είναι ενωμένες σε τρίγωνο
- β) Η ένταση του ρεύματος διαμέσου κάθε γραμμής, στη σύνδεση τριγώνου
- γ) Η τάση στα άκρα της κάθε αντίστασης, όταν οι αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες σε αστερά.

6) Τρεις ωμικοί καταναλωτές, 220Ω ο καθένας, συνδέονται σε αστερά και τροφοδοτούνται με τάση 380V μεταξύ γραμμών, και συχνότητα 50Hz . Να υπολογίσετε:

- α) Το ρεύμα σε κάθε γραμμή
- β) Την ισχύ σε κάθε φάση
- γ) Την ολική ισχύ

[Απ. α) 1A β) 220W γ) 660W]

7) Τα στοιχεία κατασκευής ενός τριφασικού εναλλακτήρα αναφέρουν:

- Σύνδεση, Υ
- $V_L = 380\text{V}$
- $I_L = 100\text{A}$
- $\cos\phi = 0.913$

Να υπολογίσετε:

- α) Τη φαινομένη ισχύ $[\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L]$
- β) Την πραγματική ισχύ $[επι \cos\phi]$
- γ) Την άερχη ισχύ $[επι \eta\mu\phi]$
- δ) Τη σύνθετη αντίσταση κάθε φάσης $[Z = \frac{V_\phi}{I_\phi}]$

[Απ. α) 65.8kVA β) 60kW γ) 26.85kVA δ) 2.2Ω]

Ασκήσεις

1. Τριφασικό ρεύμα παράχεται όταν _____ όμοια _____ τοποθετημένα _____ μοίρες μεταξύ τους, περιστρέφονται σε _____.
2. Οι τρεις Η.Ε.Δ.'ς έχουν _____ 120° , και μπορούμε να τις σχεδιάσουμε σαν Δ ή Δ ή Δ .
3. _____ είναι οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.
4. Η συχνότητα που παράγει μία γεννήτρια εξαρτάται από τον αριθμό των _____ και την _____ της μηχανής.
5. Τις αρχές των τριών φάσεων τις συμβολίζουμε με τα γράμματα _____ ή _____, και τα τέλη με τα γράμματα _____ ή _____.
6. Στη σύνδεση _____ ενώνουμε την αρχή της μίας φάσης με το τέλος της επόμενης. Από τη σύνδεση αυτή αναχωρούν _____ γραμμές.
7. Η φασική τάση είναι η τάση που _____ η _____.
8. Η τάση _____ ονομάζεται πολική τάση.
9. Στη σύνδεση τριγώνου, το ρεύμα σε κάθε γραμμή είναι _____ από το _____ ρεύμα κατά _____.
10. Για να επιτύχουμε τη σύνδεση του αστερά, συνδέουμε τα _____ των _____ σ' ένα _____ από το οποίο αναχωρεί ο _____.
11. Στη σύνδεση του αστερά, η _____ τάση είναι μεγαλύτερη από τη _____ κατά _____.
12. Ο ουδέτερος αγωγός χρησιμοποιείται στα συστήματα _____, όπου τα φορτία δεν είναι _____.