

Ηλεκτρικά Κυκλώματα II

Σημειώσεις Εργαστηρίου version 0.8

Α. Δροσόπουλος

1 Μαΐου 2022

Περιεχόμενα

5 Άσκηση - Μετρήσεις Ισχύος σε Αστέρα	1
5.1 Θεωρία	1
5.1.1 Ισχύς σε τριφασικά κυκλώματα	1
5.1.2 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικά συστήματα	2
5.2 Πειραματική διαδικασία	4
5.3 Ερωτήσεις – Υπολογισμοί	5

5 Άσκηση - Μετρήσεις Ισχύος σε Αστέρα

Αντικείμενο: Μετρήσεις ισχύος σε συμμετρικό και ασύμμετρο αστέρα, με ουδέτερο και χωρίς ουδέτερο.

Όργανα που θα χρησιμοποιηθούν: Βαττόμετρα, φορτία, συνδετικοί αγωγοί.

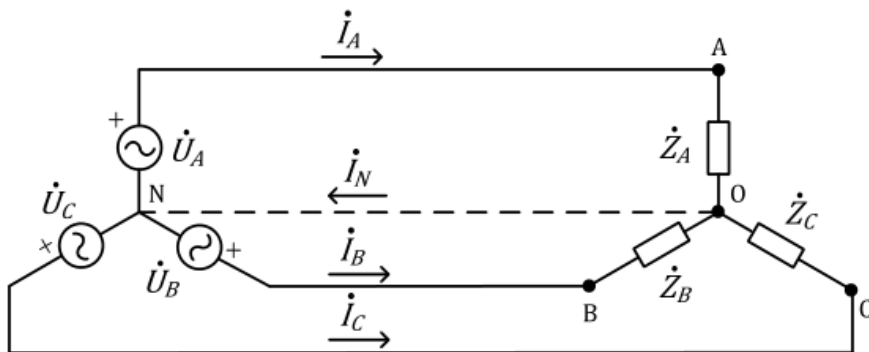
5.1 Θεωρία

5.1.1 Ισχύς σε τριφασικά κυκλώματα

Έστω ότι το φορτίο είναι συνδεδεμένο σε αστέρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 1. Η ενεργός ισχύς που απορροφά γενικά είναι

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{AO}I_A \cos \phi_A + U_{BO}I_B \cos \phi_B + U_{CO}I_C \cos \phi_C \quad (1)$$

όπου U_{AO}, U_{BO}, U_{CO} , οι rms τιμές των τάσεων στα άκρα των κλάδων του αστέρα, I_A, I_B, I_C οι rms τιμές των ρευμάτων των κλάδων του αστέρα (που είναι ίδια με τα ρεύματα των γραμμών) και ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C , οι γωνίες μεταξύ των τάσεων και των αντίστοιχων ρευμάτων. Αυτές είναι και οι γωνίες των συνθέτων αντιστάσεων Z_A, Z_B και Z_C .



Σχήμα 1: Συνδεσμολογία φορτίου αστέρα σε αστέρα 3 ή 4 αγωγών.

Η ενεργός ισχύς ενός φορτίου σε συνδεσμολογία αστέρα 4 αγωγών είναι

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{AN}I_A \cos \phi_A + U_{BN}I_B \cos \phi_B + U_{CN}I_C \cos \phi_C \quad (2)$$

όπου U_{AN}, U_{BN}, U_{CN} , οι rms τιμές των φασικών τάσεων της πηγής.

Η πηγή θεωρείται συμμετρική, επομένως

$$U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = U_\phi$$

Αν το φορτίο είναι επίσης συμμετρικό, τότε είτε είναι συνδεδεμένος ο κόμβος Ο του φορτίου με τον ουδέτερο κόμβο Ν της πηγής είτε όχι θα ισχύει ότι

$$U_{AO} = U_{BO} = U_{CO} = U_\phi$$

$$I_A = I_B = I_C = I$$

$$\phi_A = \phi_B = \phi_C = \phi$$

Επομένως

$$P = 3U_\phi I \cos \phi = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I \cos \phi = \sqrt{3} UI \cos \phi$$

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει ότι στην περίπτωση του συμμετρικού αστέρα η άεργος ισχύς είναι

$$Q = 3U_\phi I \sin \phi = \sqrt{3} UI \sin \phi$$

και η φαινομένη ισχύς είναι

$$S = 3U_\phi I = \sqrt{3} UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Έστω τώρα ότι το φορτίο είναι συνδεδεμένο σε τρίγωνο. Η ενεργός ισχύς που απορροφά το φορτίο γενικά είναι

$$P = U_{AB}I_{AB} \cos \phi_{AB} + U_{BC}I_{BC} \cos \phi_{BC} + U_{CA}I_{CA} \cos \phi_{CA}$$

όπου $\phi_{AB}, \phi_{BC}, \phi_{CA}$ οι γωνίες μεταξύ πολικών τάσεων και των αντίστοιχων ρευμάτων των κλάδων του τριγώνου δηλαδή οι γωνίες των Z_{AB}, Z_{BC} και Z_{CA} .

Η πηγή θεωρείται συμμετρική, επομένως

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U$$

Αν το φορτίο είναι επίσης συμμετρικό, τότε

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_\Delta$$

$$\phi_{AB} = \phi_{BC} = \phi_{CA} = \phi$$

Επομένως

$$P = 3UI_\Delta \cos \phi = 3U \frac{I}{\sqrt{3}} \cos \phi = \sqrt{3} UI \cos \phi$$

Στην περίπτωση του συμμετρικού τριγώνου προκύπτει επίσης ότι η άεργος ισχύς είναι

$$Q = 3UI_\Delta \sin \phi = \sqrt{3} UI \sin \phi$$

και η φαινομένη ισχύς είναι

$$S = 3UI_\Delta = \sqrt{3} UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

5.1.2 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικά συστήματα

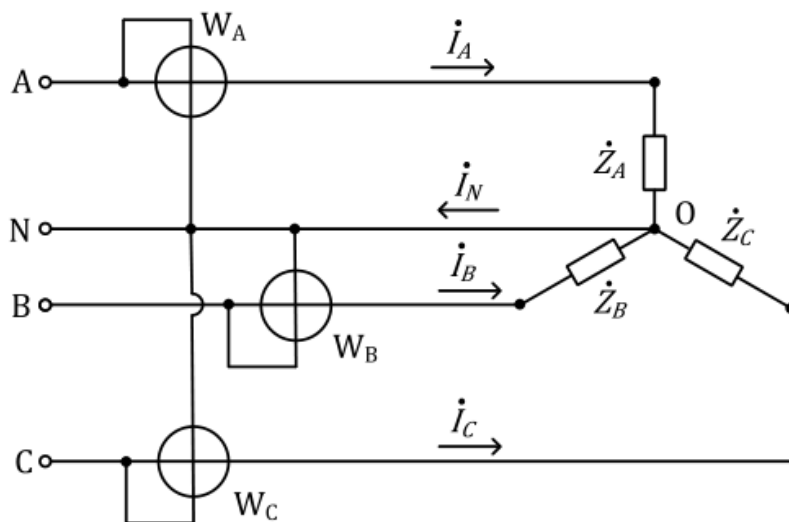
Η ενεργός ισχύς ενός φορτίου σε συνδεσμολογία αστέρα 4 αγωγών υπολογίζεται από την εξ. (2). Η ισχύς αυτή μπορεί να μετρηθεί με ένα τριφασικό βαττόμετρο ή με 3 μονοφασικά. Στο εργαστήριο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε μονοφασικά βαττόμετρα.

Για να μετρήσουμε την ενεργό ισχύ σε σύστημα αστέρα 4 αγωγών αρκεί να συνδέσουμε 3 μονοφασικά βαττόμετρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2. Οι ενδείξεις τους θα είναι

$$W_A = U_{AO}I_A \cos \phi_A = U_{AN}I_A \cos \phi_A$$

$$W_B = U_{BO}I_B \cos \phi_B = U_{BN}I_B \cos \phi_B$$

$$W_C = U_{CO}I_C \cos \phi_C = U_{CN}I_C \cos \phi_C$$



Σχήμα 2: Μέτρηση ενεργού ισχύος σε αστέρα 4 αγωγών με 3 μονοφασικά βαττόμετρα.

Η ένδειξη του κάθε βαττομέτρου είναι η ενεργός ισχύς της κάθε φάσης του φορτίου. Η συνολική ενεργός ισχύς θα είναι

$$P = W_A + W_B + W_C$$

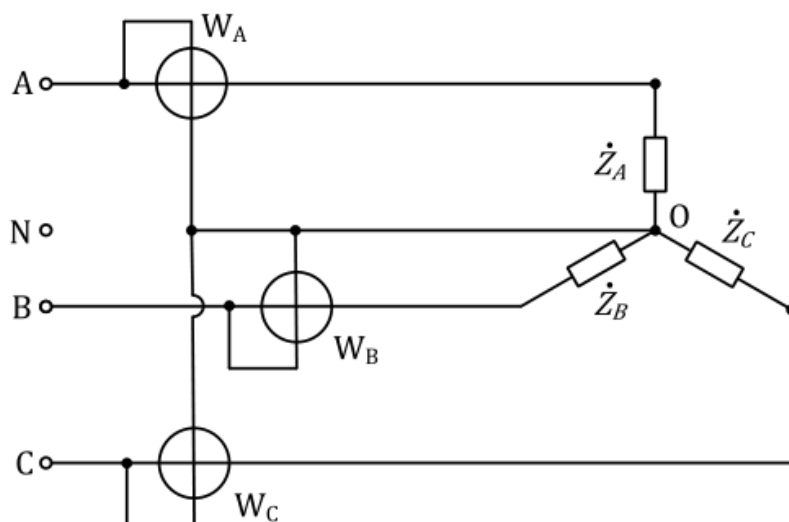
Αν δεν υπάρχει αγωγός ουδέτερου, δηλαδή αν έχουμε συνδεσμολογία αστέρα 3 αγωγών, τότε η ισχύς υπολογίζεται από την εξ. (1). Στην περίπτωση αυτή μπορούμε και πάλι να χρησιμοποιήσουμε 3 βαττόμετρα, αρκεί να υπάρχει πρόσβαση στον κόμβο O του φορτίου. Δημιουργούμε τότε έναν εικονικό ουδέτερο, όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Οι ενδείξεις των βαττομέτρων θα είναι

$$W_A = U_{AO} I_A \cos \phi_A$$

$$W_B = U_{BO} I_B \cos \phi_B$$

$$W_C = U_{CO} I_C \cos \phi_C$$

Δηλαδή και πάλι το κάθε βαττόμετρο μετρά την ενεργό ισχύ μιας φάσης του φορτίου.



Σχήμα 3: Μέτρηση ενεργού ισχύος σε αστέρα 3 αγωγών με 3 μονοφασικά βαττόμετρα και εικονικό ουδέτερο.

Υπάρχει όμως περίπτωση να μην έχουμε πρόσβαση στον κοινό κόμβο του φορτίου του αστέρα ή να μην υπάρχει ουδέτερος, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του τριγώνου. Δύο βαττόμετρα συνδεδεμένα σε οποιοσδήποτε δύο γραμμές ενός τριφασικού συστήματος 3 αγωγών, με το φορτίο σε αστέρα ή σε τρίγωνο, συμμετρικό ή ασύμμετρο, όπως είναι για παράδειγμα στο Σχ. 4, δίνουν τη συνολική τριφασική ισχύ αν αθροίσουμε τις ενδείξεις τους (διάταξη Aron).

Αν το φορτίο συνδέεται σε τρίγωνο και τα δύο βαττόμετρα συνδεθούν στις φάσεις A και C όπως στο Σχ.4, τότε η συνολική ενεργός ισχύς που απορροφά το φορτίο είναι

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = W_1 + W_2$$

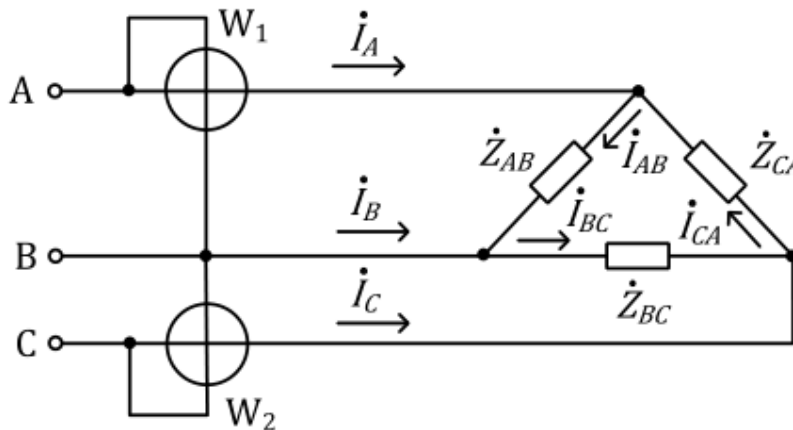
όπου W_1 και W_2 οι ενδείξεις των δύο βαττομέτρων.

Μπορούμε να υπολογίσουμε ποιες θα είναι οι ενδείξεις των δύο βαττομέτρων από τις τάσεις που εφαρμόζονται στα πηνία τάσης τους και τα ρεύματα που διαρρέουν τα πηνία έντασής τους. Στην περίπτωση του Σχ. 4 θα είναι

$$P = W_1 + W_2 = U_{AB}I_A \cos(\phi_{u_{AB}} - \phi_{i_A}) + U_{CB}I_C \cos(\phi_{u_{CB}} - \phi_{i_C})$$

όπου $\phi_{u_{AB}}, \phi_{u_{CB}}$ οι γωνίες των τάσεων $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{CB}$ και ϕ_{i_A}, ϕ_{i_C} οι γωνίες των ρευμάτων των γραμμών \dot{I}_A, \dot{I}_C .

Πρέπει να τονίσουμε εδώ ότι η κάθε μία από τις δύο ενδείξεις ξεχωριστά δεν έχει κανένα νόημα, καθώς δεν αντιστοιχεί σε καμιά πραγματική τιμή ενεργού ισχύος του κυκλώματος.



Σχήμα 4: Μέτρηση ενεργού ισχύος σε σύστημα 3 αγωγών με 2 μονοφασικά βαττόμετρα.

Αν η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος σε ένα από τα βαττόμετρα είναι πάνω από 90° τότε η βελόνα του βαττομέτρου τείνει να στραφεί προς αρνητικές τιμές. Τότε αρκεί να αντιστρέψουμε τη σύνδεση του πηνίου ρεύματος, οπότε η βελόνα θα δείξει θετική τιμή, την οποία πρέπει να λάβουμε υπόψη με αρνητικό πρόσημο κατά την άθροιση των τιμών.

5.2 Πειραματική διαδικασία

1. Να συνδέσετε τις αντιστάσεις του πάγκου σας σε συνδεσμολογία συμμετρικού αστέρα 4 αγωγών. Να συνδέσετε 3 βαττόμετρα για τη μέτρηση της ενεργού ισχύος. Να καταγράψετε τις μετρήσεις στον Πίνακα 1.
2. Να επαναλάβετε τη διαδικασία του προηγούμενου βήματος για συμμετρικό αστέρα 3 αγωγών, για ασύμμετρο αστέρα 4 αγωγών και για ασύμμετρο αστέρα 3 αγωγών.
3. Στην περίπτωση αστέρα 3 αγωγών, συμμετρικού και ασύμμετρου, να μετρήσετε την ενεργό ισχύ με τη μέθοδο των 2 βαττομέτρων (Aron). Να καταγράψετε τις μετρήσεις στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1: Μετρήσεις ενεργού ισχύος σε τριφασικό φορτίο σε συνδεσμολογία αστέρα 3 και 4 αγωγών με τρία βαττόμετρα

		Μετρήσεις				Υπολογισμοί			
Αστέρας	Σύνδεση ουδετέρου	P_A	P_B	P_C	P	P_A	P_B	P_C	P
Συμμετρικός	Ναι								
	Όχι								
Ασύμμετρος	Ναι								
	Όχι								

Πίνακας 2: Μετρήσεις ενεργού ισχύος σε τριφασικό φορτίο σε συνδεσμολογία αστέρα 3 αγωγών με τη μέθοδο Aron

		Μετρήσεις			Υπολογισμοί		
Αστέρας		W_1	W_2	P	W_1	W_2	P
Συμμετρικός							
Ασύμμετρος							

5.3 Ερωτήσεις – Υπολογισμοί

1. Να υπολογίσετε τις τιμές της ισχύος σε κάθε μία από τις περιπτώσεις του Πίνακα 1 και του Πίνακα 2 και να καταγράψετε τα αποτελέσματα στις κατάλληλες στήλες. Για τους υπολογισμούς μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις τιμές τάσεων και ρευμάτων που υπολογίσατε στην Άσκηση 4.
2. Σε κύκλωμα συνδεσμολογίας αστέρα 3 αγωγών πραγματοποιείται μέτρηση της ισχύος με τη μέθοδο Aron. Τα πηνία έντασης των βαττομέτρων συνδέονται στις φάσεις A και C. Να υπολογίσετε τις ενδείξεις των δύο βαττομέτρων και τη συνολική ενεργό ισχύ που απορροφά το φορτίο. Δίνονται τα ρεύματα των γραμμών $\dot{I}_A = 29.72/80^\circ$ A, $\dot{I}_B = 57.3/-9.9^\circ$ A, $\dot{I}_C = 57.3/179.9^\circ$ A. Οι φασικές τάσεις της πηγής είναι 230 V με θετική ακολουθία φάσεων.