

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρισμού

6.1 Επαναληπτικές Μέθοδοι επίλυσης Δικτύων με πολλούς ζυγούς

Οι επαναληπτικές μέθοδοι αριθμητικής επίλυσης δικτύων είναι απολύτως αναγκαίες για τον προσδιορισμό της ροής φορτίου σε δίκτυα με περισσότερους από δυο ζυγούς.

Ξεκινούμε από όσα εκτέθηκαν στο προηγούμενο (5^ο) κεφάλαιο και γενικεύουμε την εξίσωση (5.15), για την εφαρμογή της επαναληπτικής αριθμητικής μεθόδου Gauss-Seidel σε δίκτυο N ζυγών, ως εξής:

$$V_{i(k)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_{i(k-1)}^*} - \sum_{n=1}^{i-1} Y_{in} V_{n(k)} - \sum_{n=i+1}^N Y_{in} V_{n(k-1)} \right] \quad (6.1)$$

όπου, i είναι ο δείκτης αρίθμησης ζυγών.

Κατά την εφαρμογή των εξισώσεων (6.1), για την εύρεση των τάσεων στους ζυγούς ενός πολύζυγου δικτύου, θα πρέπει να προσεχθούν τα ακόλουθα σημεία.

Το δεύτερο άθροισμα του δευτέρου μέλους της (6.1) στην περίπτωση εφαρμογής της εξίσωσης για τον προσδιορισμό της τάσης του τελευταίου (στην αρίθμηση) ζυγού, δηλαδή για i=N, είναι κενό: δηλαδή παραλείπεται.

Όπως στην απλή περίπτωση του δικτύου των δυο ζυγών, που εξετάστηκε προηγουμένως, ο ζυγός “1” (i=1) – ο αρχικός ζυγός – λαμβάνεται ως ζυγός αναφοράς ή ζυγός επιρροής (έχει ονομαστεί και ζυγός ταλαντώσεως), του οποίου η τάση θεωρείται γνωστή και συνήθως λαμβάνεται ως διάνυσμα αναφοράς.

Οι υπόλοιποι ζυγοί (i = 2, 3, ..., N) διακρίνονται αφενός σε ζυγούς φορτίου στους οποίους δίδονται τα P_i, Q_i (εισερχόμενες στον κάθε ζυγό i ισχύεις) – που ονομάζονται επίσης και ζυγοί “PQ”, και αφετέρου σε ζυγούς παραγωγής ή ελεγχόμενης τάσης στους οποίους δεδομένα είναι τα P_i και |V_i| – που ονομάζονται επίσης και ζυγοί “PV”. Για τους ζυγούς παραγωγής, όπου όπως είπαμε δεν δίδεται η άεργη ισχύς – που όμως είναι απαραίτητη για την εφαρμογή της (6.1), η άεργη ισχύς, που στην περίπτωση αυτή εισέρχεται στο ζυγό για να στηρίξει την επιθυμητή τάση του ζυγού, θα υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_i = -\text{Im} \left\{ V_{i(k-1)}^* \left[\sum_{n=1}^{i-1} Y_{in} V_{n(k)} + \sum_{n=i}^N Y_{in} V_{n(k-1)} \right] \right\} \quad (6.2)$$

και, στη συνέχεια θα εισαχθεί η ευρεθείσα τιμή της στην εξίσωση (6.1). Από τον υπολογισμό που θα ακολουθήσει, κατά την εφαρμογή της (6.1), θα κρατηθεί, στην περίπτωση του ζυγού παραγωγής, μόνο η τιμή της φασικής γωνίας της τάσης του ζυγού, διότι το μέτρο της τάσης αυτής είναι εξ αρχής δεδομένο. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως στην πράξη, εξ αιτίας των χαρακτηριστικών των σύγχρονων μηχανών που τροφοδοτούν τους ζυγούς παραγωγής, υπάρχουν όρια τα οποία δεν μπορούν να ξεπεράσουν οι τιμές της άεργης ισχύος που υπολογίζονται από την (6.2), δηλαδή, για κάθε ζυγό παραγωγής, θα υπάρχει ένας περιορισμός της μορφής:

$$Q_{i \min} \leq Q_i \leq Q_{i \max} \quad (6.3)$$

Έτσι, στην πρακτική εφαρμογή της μεθόδου, ξεκινούμε λαμβάνοντας ένα αυθαίρετο σύνολο τιμών για τις ζητούμενες τάσεις, για παράδειγμα: ίσες με τη δεδομένη τάση του ζυγού επιρροής (αυτό ονομάζεται και επίπεδο ξεκίνημα), και συνεχίζουμε με την επαναληπτική εφαρμογή των εξισώσεων της μεθόδου, μέχρις ότου οι υπολογιζόμενες νέες τιμές τάσεων δεν διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες του αμέσως προηγούμενου υπολογισμού. Δηλαδή, σταματούμε όταν:

$$|V_{i(k)} - V_{i(k-1)}| \leq \varepsilon > 0 \quad (6.5)$$

για κάθε ζυγό του οποίου υπολογίζουμε την τάση.

Τέλος, για τον προσδιορισμό των στοιχείων της μήτρας συνθέτων αγωγιμοτήτων ζυγών, ισχύει ότι ελέγχθη στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή, οι αυτο-αγωγιμότητες ζυγών Y_{ii} είναι ίσες με το άθροισμα των αγωγιμοτήτων που συντρέχουν στον εκάστοτε θεωρούμενο ζυγό ή, με άλλα λόγια, με τη συνολική αγωγιμότητα του εκάστοτε θεωρούμενου ζυγού, ενώ, οι αλληλο-αγωγιμότητες ζυγών Y_{ij} είναι αντίθετες των αγωγιμοτήτων των αντίστοιχων διασυνδετήριων γραμμών του δικτύου.

Σημειώνουμε ότι η μέθοδος Gauss-Seidel χρησιμοποιείται και με παραλλαγές ως μέθοδος G-S με επιτάχυνση.

Παράδειγμα 6.1.1

Για το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τριών ζυγών του πιο κάτω σχήματος 6.1.1.1, δίδονται οι επαγωγικές αντιδράσεις των γραμμών εκφρασμένες ανά μονάδα (αμ) καθώς και τα στοιχεία του επόμενου πίνακα, επίσης στο σύστημα ανηγμένων μεγεθών:

# ζυγού	Είδος ζυγού	V αμ	φ_v	P αμ	Q αμ
1	Αναφοράς	1,04	0°	-	-
2	Παραγωγής	1,02	-	1,2	-
3	Κατανάλωσης	-	-	- 1,5	- 0,5

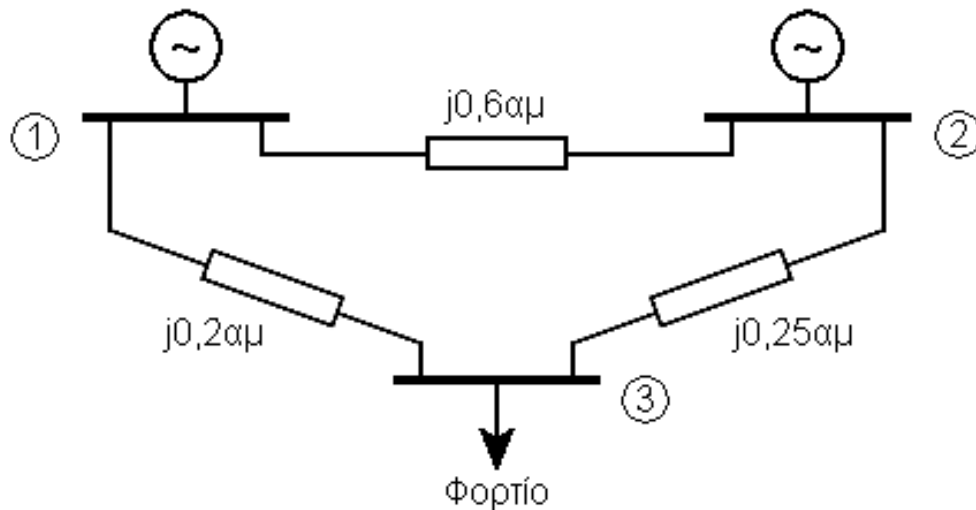
Οι ωμικές αντιστάσεις των γραμμών παραλείπονται.

Ζητούνται να υπολογιστούν οι τάσεις στους ζυγούς 2 και 3 με εφαρμογή της μεθόδου Gauss-Seidel και με $\varepsilon = 0,001$.

Να υπολογιστούν επίσης τα ρεύματα των ζυγών καθώς και η εισερχόμενη ισχύς στο ζυγό 1. (Ηλεκτρολόγοι TEIK 2002)

Λύση:

Πρώτα υπολογίζουμε τα στοιχεία της μήτρας συνθέτων αγωγιμοτήτων ζυγών του δικτύου, με εφαρμογή του πιο πάνω σχετικού κανόνα:



Σχήμα 6.1.1.1

$$Y_{12} = Y_{21} = -\frac{1}{j0,6} = j1,67$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -\frac{1}{j0,2} = j5$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -\frac{1}{j0,25} = j4$$

$$Y_{11} = \frac{1}{j0,6} + \frac{1}{j0,2} = -j6,67$$

$$Y_{22} = \frac{1}{j0,6} + \frac{1}{j0,25} = -j5,67$$

$$Y_{33} = \frac{1}{j0,2} + \frac{1}{j0,25} = -j9$$

Στη συνέχεια, λαμβάνομε ως αρχικές τιμές των τάσεων των ζυγών 2 και 3 τις πιο κάτω:

$$V_{2(0)} = 1,02/\underline{0^\circ}, \quad V_{3(0)} = 1/\underline{0^\circ} \quad \text{και}$$

εφαρμόζοντας επαναληπτικά τις εξισώσεις της μεθόδου G-S, κατά τα γνωστά, έχουμε τα ακόλουθα αριθμητικά αποτελέσματα:

$$Q_2 = 0,048 \Rightarrow V_{2(1)} = 1,02 \angle 11,5^\circ \quad V_{3(1)} = 0,969 \angle -4,5^\circ$$

συνεχίζουμε στη δεύτερη επανάληψη:

$$Q_2 = 0,361 \Rightarrow V_{2(2)} = 1,02 \angle 9,1^\circ \quad V_{3(2)} = 0,959 \angle -5,7^\circ$$

κατόπιν στην τρίτη επανάληψη:

$$Q_2 = 0,366 \Rightarrow V_{2(3)} = 1,02 \angle 8,3^\circ \quad V_{3(3)} = 0,957 \angle -6,1^\circ$$

και στην τέταρτη επανάληψη:

$$Q_2 = 0,365 \Rightarrow V_{2(4)} = 1,02 \angle 8,1^\circ \quad V_{3(4)} = 0,956 \angle -6,2^\circ$$

και τέλος στην πέμπτη επανάληψη:

$$Q_2 = 0,365 \Rightarrow V_{2(5)} = 1,02 \angle 8^\circ \quad V_{3(5)} = 0,956 \angle -6,3^\circ$$

με την οποία ικανοποιείται και το τεθέν κριτήριο σύγκλισης. Στη συνέχεια, για την εύρεση των εισερχομένων ρευμάτων των ζυγών, εφαρμόζουμε την εξίσωση (5.9), όπου, γνωρίζουμε ήδη και τη μήτρα συνθέτων αγωγιμοτήτων ζυγών καθώς και τις τάσεις των ζυγών, και μετά από την εκτέλεση των αριθμητικών πράξεων έχουμε:

$$I_1 = 0,576 / -60^\circ \text{ και}$$

$$I_2 = 1,239 / -8,79^\circ \text{ και τέλος}$$

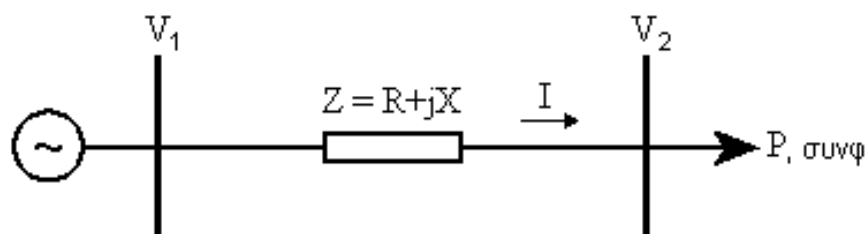
$$I_3 = 1,66 / 155,5^\circ.$$

Μετά από αυτά, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις ισχείς των ζυγών. Συγκεκριμένα, η ζητούμενη εισερχόμενη μιγαδική φαινόμενη ισχύς στο ζυγό 1 είναι:

$$S_1 = V_1 I_1^* = 0,3 + j0,52.$$

6.2 Αναλυτική επίλυση Διανομέων Ευθείας (“Express”)

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα καταναλωτικό κέντρο μπορεί να γίνει από ένα υποσταθμό απευθείας με μια γραμμή διανομής η οποία αν δεν έχει ενδιαμέσους διακλαδώσεις για την τροφοδοσία άλλων φορτίων ονομάζεται διανομέας ευθείας (“express”). Την περίπτωση αυτή παρουσιάζει το σχήμα 6.2.1.



Σχήμα 6.2.1

Οι γραμμές ευθείας (“express”) επιλέγονται επίσης στην περίπτωση της διασύνδεσης κέντρων διασπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με κομβικά σημεία του ηλεκτρικού δικτύου, λ.χ. διασύνδεσης αιολικών πάρκων με το δίκτυο.

Η αναλυτική λύση του προβλήματος ροής φορτίου στον διανομέα ευθείας γίνεται ως εξής. Καταρχήν παρατηρούμε, από το σχήμα 6.2.1, ότι η περίπτωση ταυτίζεται με εκείνη της κοντής ΓΜ. Επομένως, μπορούμε λοιπόν να επαναλάβουμε την εξίσωση (2.48):

$$V_1 = V_2 + ZI$$

και αν υποθέσουμε, χάριν απλότητας, και εδώ ότι η τάση V_2 είναι διάνυσμα αναφοράς, ενώ:

$$V_1 = |V_1| \angle \theta \quad (6.6)$$

τότε, για το ρεύμα του διανομέα, υπό τη συνήθη προϋπόθεση επαγωγικού χαρακτήρα της κατανάλωσης, μπορεί να γραφεί η εξίσωση (2.49), δηλαδή:

$$I = |I|(\cos\varphi - j\sin\varphi)$$

όπου, $\cos\varphi$ είναι ο συντελεστής ισχύος της κατανάλωσης. Ενώ, η πραγματική ισχύς στο φορτίο είναι P .

Αν τώρα υποθέσουμε ότι στο εξεταζόμενο πρόβλημα ροής φορτίου δεδομένα είναι τα: $|V_1|$, P , $\cos\varphi$, Z , ενώ ζητούνται καταρχήν τα: V_2 και θ , τότε θα αντικαταστήσουμε στην (2.48) όλα τα μεγέθη με τις πιο πάνω εκφράσεις τους, στη συνέχεια θα εξισώσουμε ξεχωριστά τα πραγματικά μέρη, και τα φανταστικά μέρη της μιγαδικής εξίσωσης, έχοντας έτσι ένα σύστημα δυο εξισώσεων (πραγματικών αριθμών) με δυο αγνώστους – από την επίλυση του οποίου έχουμε:

$$V_2 = \frac{\sqrt{|V_1|^2 + \frac{2P}{\cos\varphi}(|Z| - R\cos\varphi - X\sin\varphi)} \pm \sqrt{|V_1|^2 - \frac{2P}{\cos\varphi}(|Z| + R\cos\varphi + X\sin\varphi)}}{2} \quad (6.7)$$

και

$$\tan\theta = \frac{P(X - R\tan\varphi)}{V_2^2 + P(R + X\tan\varphi)} \quad (6.8)$$

Σημείωση:

Από το πιο πάνω ζεύγος λύσεων, η πρώτη λύση αντιστοιχεί στην συνήθη διανομή με έναν υψηλό βαθμό απόδοσης του διανομέα και μια λογική πτώση τάσεως στο μήκος του διανομέα, ενώ η δεύτερη λύση αντιστοιχεί σε μεγάλη πτώση τάσης και χαμηλό βαθμό απόδοσης, δηλαδή, σε μεγάλες απώλειες ισχύος στον διανομέα.

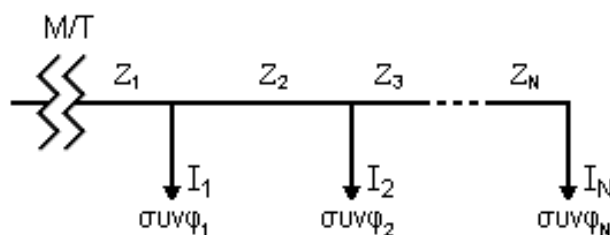
Εφαρμογή 6.2.1:

Έστω, ως αριθμητικά δεδομένα τα: $|V_1| = 1\mu\text{m}$, $P = 1\mu\text{m}$, $\cos\varphi = 0,8$ επαγωγικό, $Z = 0,1 + j0,1 \mu\text{m}$, τότε από τις εξισώσεις (6.7) και (6.8) λαμβάνουμε τα ζητούμενα:

$$V_2 = 0,7731\mu\text{m} \quad \text{και} \quad \theta = 1,85^\circ.$$

6.3 Ανοικτές Γραμμές Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Όπως τονίστηκε στην παράγραφο 2.6 μια βασική υποχρέωση της επιχείρησης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διατήρηση της ποιότητας της ηλεκτρικής παροχής μέσα στα προβλεπόμενα όρια. Επομένως, ένα βασικό μέλημα είναι η διατήρηση της παρεχόμενης τάσης αρκετά κοντά στην ονομαστική της τιμή. Έτσι, η πτώση τάσης μέχρι την κατανάλωση, ή όπως επίσης ονομάζεται η ρύθμιση της τάσης, αποτελεί ενδιαφέρον στοιχείο υπολογισμού. Στο σχήμα 6.3.1 παρουσιάζει τη μονογραμμική παράσταση ενός ανοικτού διανομέα ηλεκτρικής ισχύος που τροφοδοτεί έναν αριθμό καταναλώσεων (N), όπου δίδονται οι διαμήκεις σύνθετες αντιστάσεις των διαδοχικών τμημάτων του διανομέα.



Σχήμα 6.3.1

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί τα δεδομένα στοιχεία δείχνουν ότι η παρούσα περίπτωση ανάγεται στις κοντές γραμμές, που έχουν προηγουμένως αναφερθεί στην παράγραφο 2.5. Πράγματι, η εξίσωση (2.50) δίνει την πτώση τάσης που προκαλεί ένας καταναλωτής συνδεδεμένος στον διανομέα. Στα δίκτυα διανομής παρατηρείται ότι η εγκάρσια πτώση τάσης είναι αμελητέα σε σχέση με τη διαμήκη πτώση τάσης. Κατά συνέπεια, από την εξίσωση (2.50), αν παραλείψουμε την εγκάρσια πτώση τάσης, θα πάρουμε την εξίσωση υπολογισμού της πτώσης τάσης που προκαλεί μια κατανάλωση $I \cos\phi$:

$$\Delta V \cong RI \cos\phi + XI \sin\phi \quad (6.9)$$

όπου, I το μέτρο του ρεύματος του καταναλωτή.

Αν τώρα ενδιαφερόμαστε να υπολογίσουμε την συνολική πτώση τάσης από την αναχώρηση του διανομέα, του σχήματος 6.3.1, μέχρι το σημείο τροφοδοσίας ενός συγκεκριμένου καταναλωτή, τότε εφαρμόζοντας την αρχή της επαλληλίας των πτώσεων τάσεως, θα προσθέσουμε όλες τις πτώσεις τάσεις που αντιστοιχούν στο τμήμα του διανομέα από την αναχώρησή του μέχρι το σημείο τροφοδοσίας του θεωρούμενου καταναλωτή, που προκαλούν οι συνδεδεμένοι σε όλο τον διανομέα καταναλωτές. Τούτο συμβαίνει διότι ανεξάρτητα από τη θέση στην οποία είναι συνδεδεμένος ένας καταναλωτής, το ρεύμα που απορροφά προέρχεται πάντα από την αναχώρηση του διανομέα. Ειδικότερα, η πτώση τάσης στο τέρμα του διανομέα θα είναι:

$$\Delta V_T = R_1 \sum_{i=1}^N I_i \cos \varphi_i + X_1 \sum_{i=1}^N I_i \sin \varphi_i + R_2 \sum_{i=2}^N I_i \cos \varphi_i + X_2 \sum_{i=2}^N I_i \sin \varphi_i + \dots + R_N I_N \cos \varphi_N + X_N I_N \sin \varphi_N \quad (6.10)$$

Μπορούμε να αναδιατάξουμε τον τύπο (6.10) και να τον γράψουμε και ως εξής:

$$\Delta V_T = R_1 I_1 \cos \varphi_1 + X_1 I_1 \sin \varphi_1 + (R_1 + R_2) I_2 \cos \varphi_2 + (X_1 + X_2) I_2 \sin \varphi_2 + \dots + \left(\sum_{i=1}^N R_i \right) I_N \cos \varphi_N + \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) I_N \sin \varphi_N \quad (6.11)$$

Διευκρινίζουμε πάλι ότι, στους τύπους (6.10) και (6.11) ως R_N και X_N νοούνται η διαμήκης ωμική αντίσταση και η διαμήκης επαγωγική αντίδραση του ν-οστού τμήματος του διανομέα, δηλαδή του τμήματος του διανομέα μεταξύ του (ν-1) καταναλωτή και του ν-οστού καταναλωτή.

Όπως έχει τονισθεί και στο κεφάλαιο 2, έτσι και εδώ, οι εξισώσεις (6.9) και (6.10) έχουν εξαχθεί για τις φασικές τάσεις, με βάση τη μονογραμμική παράσταση των γραμμών. Αυτό πρέπει να το έχει κανείς πάντοτε κατά νου, ώστε να τις εφαρμόζει σωστά με βάση τα πραγματικά κατά περίπτωση δεδομένα.

Εφαρμογή 6.3.1:

Θα εφαρμόσουμε τώρα την εξίσωση (6.10) ή την (6.11) για την περίπτωση $N = 3$ και τριφασικού διανομέα χαμηλής τάσης 220/380 V, για τον οποίο δίδονται:

$$Z_1 = 0,05 + j0,01 \, \Omega, \quad Z_2 = 0,1 + j0,02 \, \Omega, \quad Z_3 = 0,05 + j0,05 \, \Omega \quad \text{ενώ}$$

για τους καταναλωτές δίδονται:

$$\begin{aligned} I_1 &= 30 \, A, \quad \cos \varphi_1 = 1 \quad \text{και} \\ I_2 &= 20 \, A, \quad \cos \varphi_2 = 0,5 \quad \text{επαγωγικό} \\ I_3 &= 50 \, A, \quad \cos \varphi_3 = 0,9 \quad \text{επαγωγικό.} \end{aligned}$$

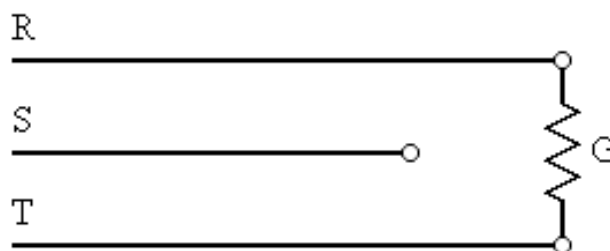
Με αυτά τα δεδομένα η (6.11) δίδει:

$$\Delta V_T \cong 14 \, V$$

Επομένως, αν στην αναχώρηση του διανομέα η τάση ανυψωθεί λίγο, λ.χ. κατά 10 V, τότε όλοι οι καταναλωτές θα βρίσκονται μέσα στα όρια $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσης του δικτύου XT.

6.4 Συμμετρικοποίηση Ασύμμετρων Φορτίων

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η μελέτη των τριφασικών δικτύων γίνεται στη βάση της επιθυμητής συμμετρίας μεταξύ των φάσεων. Οι τυχόν ασύμμετρες καταστάσεις δημιουργούν ανεπιθύμητα προβλήματα στα δίκτυα. Ένα πρόβλημα ασύμμετρίας είναι η περίπτωση του ασύμμετρου φορτίου. Το σχήμα 6.4.1 παρουσιάζει την περίπτωση ενός ωμικού φορτίου που τροφοδοτείται συνδεδεμένο μεταξύ δυο φάσεων.



Ασύμμετρο Ηλεκτρικό Φορτίο

Σχήμα 6.4.1

Θα ήταν αναμφισβήτητα επιθυμητό να μπορεί να τροφοδοτηθεί το συγκεκριμένο φορτίο χωρίς όμως να εμφανίζεται ασυμμετρία στο δίκτυο. Βέβαια, αυτό υπό τον όρο ότι δεν θα υπήρχαν, μετά από κάποια διορθωτική ενέργεια, επιπρόσθετες απώλειες ισχύος. Αυτό είναι ο στόχος της συμμετρικοποίησης του ασύμμετρου φορτίου. Δηλαδή, μια διορθωτική επέμβαση η οποία θα εξασφαλίζει την τροφοδότηση του καταρχήν ασύμμετρου φορτίου, χωρίς επιπλέον απώλειες ισχύος, και διατηρώντας τη συμμετρική λειτουργία του τριφασικού δικτύου. Η σκέψη οδηγεί, σε σχέση με τη συγκεκριμένη περίπτωση του σχήματος 6.4.1, στο να προστεθούν άεργα στοιχεία (πυκνωτές, επαγωγές ή συνδυασμός των), ώστε να μην αλλάζει η πραγματική ισχύς, έτσι, ώστε να σχηματιστεί ένα τριφασικό φορτίο σε σύνδεση τριγώνου το οποίο να συμπεριφέρεται ως συμμετρικό. Δηλαδή, δεδομένου του συμμετρικού τριφασικού συστήματος τάσεων τροφοδοσίας, τα προκύπτοντα ρεύματα της γραμμής τροφοδοσίας να αποτελούν και αυτά ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα. Εύκολα μπορεί κανείς να αποδείξει, με βάση τις γνώσεις από τα πρώτα κεφάλαια του βιβλίου αυτού, ότι η συμμετρικοποίηση αυτή είναι δυνατή με την προσθήκη ενός πυκνωτή και μιας αυτεπαγωγής, όπως στο σχήμα 6.4.2, με αγωγιμότητα εκάστου ίση κατά μέτρο προς την αγωγιμότητα του ασύμμετρου φορτίου διηρημένη δια $\sqrt{3}$.



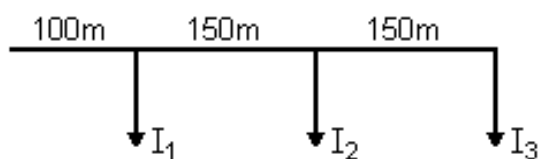
Συμμετρικοποιημένο Φορτίο

Σχήμα 6.4.2

Η διάταξη αυτή προτάθηκε για πρώτη φορά από τον αμερικανό μηχανικό Charles P. Steinmetz [4]. Υπάρχουν και άλλες διατάξεις για συμμετρικοποίηση ασύμμετρων φορτίων.

Θέματα για Εξάσκηση

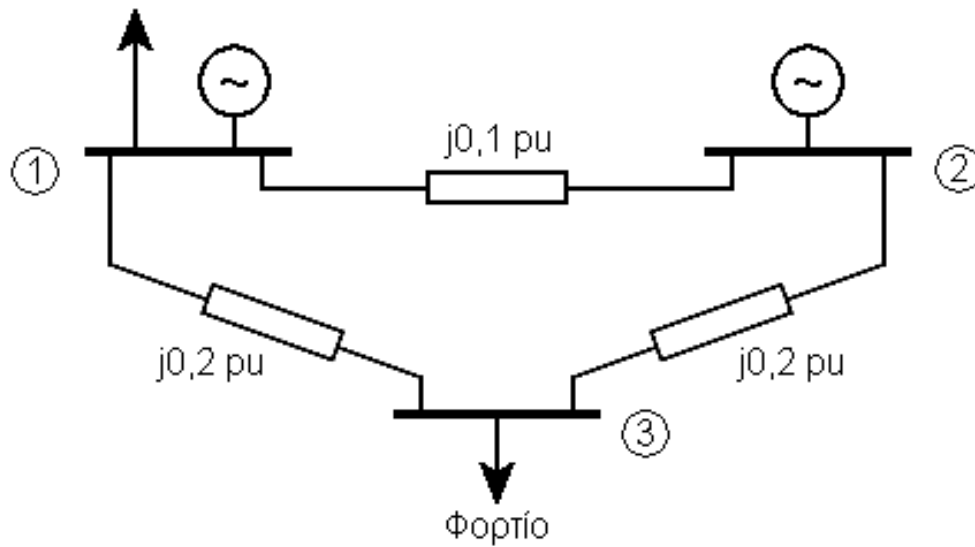
1. Τι γνωρίζετε για τη συμμετρικοποίηση ενός ασύμμετρου τριφασικού φορτίου; Σε τι αποβλέπει η τεχνική αυτή; Πως είναι δυνατόν να συμμετρικοποιηθεί ένα ωμικό φορτίο 10 kW που τροφοδοτείται με τάση 380 V από τους αγωγούς φάσεων R και S μιας τριφασικής γραμμής χαμηλής τάσης; (Ηλεκτρολόγοι TEIK 1995)
2. Δίδεται η γραμμή διανομής 220 V του ακόλουθου σχήματος, που τροφοδοτεί τρεις καταναλώσεις: $I_1 = 100$ A, $\cos\phi_1 = 0,707$ -επαγωγικός, $I_2 = 120$ A ωμική, και $I_3 = 80$ A, $\cos\phi_3 = 0,8$ -επαγωγικός. Δίδεται, επίσης, ότι η ωμική αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση ανά χιλιόμετρο γραμμής είναι αντίστοιχα: 0,25 Ω και 0,125Ω. Να υπολογίσετε τη μέγιστη πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής. (Ηλεκτρολόγοι TEIK 1995)



3. Δίδεται η γραμμή διανομής 220 V του προηγούμενου σχήματος. Η ωμική αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση ανά χιλιόμετρο της γραμμής είναι αντίστοιχα: 0,15 Ω και 0,08 Ω. Η γραμμή τροφοδοτεί τρεις καταναλώσεις: $I_1 = 100$ A, $\cos\phi_1 = 0,7$ -επαγωγικός, $I_2 = 120$ A, $\cos\phi_2 = 0,8$ -χωρητικός, $I_3 = 80$ A, $\cos\phi_3 = 0,8$ -επαγωγικός. Να βρείτε σε ποια όρια μπορεί να κυμαίνεται η τάση τροφοδοσίας στην αναχώρηση του διανομέα, ώστε και οι τρεις καταναλωτές να βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια διανομής ΧΤ.
4. Για το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τριών ζυγών του σχήματος της επομένης σελίδας, δίδονται πάνω στο σχήμα: οι επαγωγικές αντιδράσεις των γραμμών ανηγμένες στη μονάδα (pu) και τα δεδομένα του πίνακα:

# ζυγού	Είδος ζυγού	V αμ	ϕ_v	P αμ	Q αμ
1	Αναφοράς	1	0°	-	-
2	Παραγωγής	1,1	-	5,32	-
3	Φορτίου	-	-	-3,64	-0,53

Να υπολογίσετε τις τάσεις των ζυγών 2 και 3 με εφαρμογή της μεθόδου Gauss-Seidel με ακρίβεια πρώτου δεκαδικού ψηφίου στα αποτελέσματα.



(Ηλεκτρολόγοι TEIK 2002)

5. Για την περίπτωση της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας του αμέσως προηγούμενου θέματος, να υπολογίσετε τα εισερχόμενα ρεύματα ζυγών καθώς και την εισερχόμενη άεργη ισχύ στο ζυγό 1. (Ηλεκτρολόγοι TEIK 2002)

Βιβλιογραφία

- [1] M. Paavola, *Sähköjohdot*, WSOY 1975
- [2] A.E. Guile, W. Paterson, *Electrical Power Systems*, Pergamon Press 1977
- [3] H. Cotton, H. Barber, *The Transmission and Distribution of Electrical Energy*, Hodder and Stoughton, London 1983
- [4] T.J.E. Miller, et al., *Reactive Power Control in Electric Systems*, John Wiley & Sons 1982



Δίκτυα Μεταφοράς Υψηλής Τάσης