Σχολή
Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών &
Μηχανικών
Υπολογιστών

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1η Εργαστηριακή Άσκηση

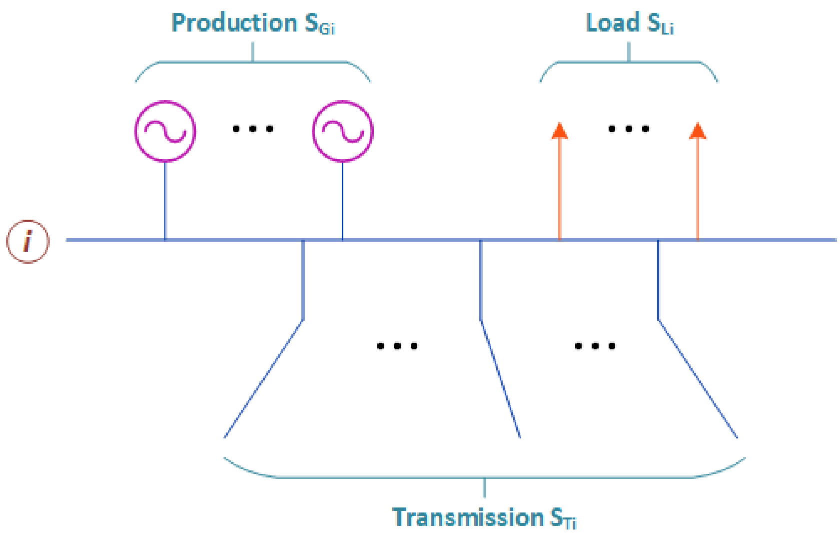
- **ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Contents

1. Σκοπός της Άσκησης- Θεωρητικό Υπόβαθρο

Σκοπός της άσκησης είναι η σε βάθος κατανόηση του προβλήματος της ροης φορτίου μέσω της ανάπτυξης κώδικα Matlab για την επίλυση του προβλήματος της ροής φορτίου σε ένα ΣΗΕ.

Θεωρούμε το ***ζυγό i*** ενός συστήματος ***n ζυγών***. Σε αυτό το ζυγό συνδέονται γεννήτριες που τροφοδοτούν μιγαδική ισχύ, $\boldsymbol{S_{Gi}}$, φορτία που καταναλώνουν μιγαδική ισχύ $\boldsymbol{S_{Li}}$, και γραμμές μεταφοράς που μεταφέρουν εκτός του ζυγού μιγαδική ισχύ, $\boldsymbol{S_{Ti}}$.



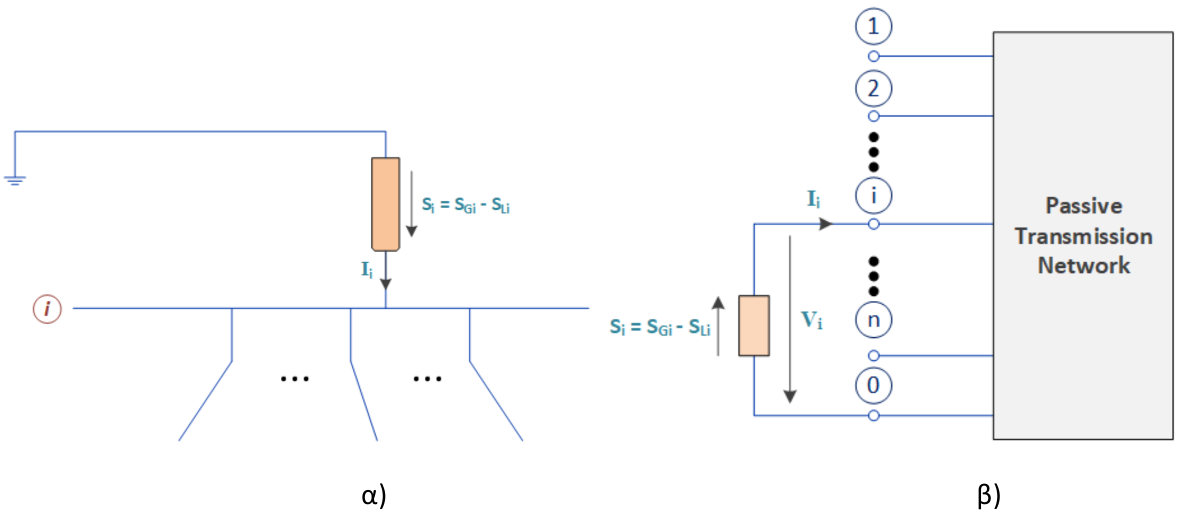
Σχήμα 1. Διαμόρφωση ζυγού ΣΗΕ.

Οι ισχείς αυτές συνδέονται ως εξής:

$$\boldsymbol{S_{Gi}} = \boldsymbol{S_{Li}} + \boldsymbol{S_{Ti}}$$

Ορίζοντας τη διαφορά μεταξύ των ισχύων παραγωγής του φορτίου, $\boldsymbol{S_i} = \boldsymbol{S_{Gi}} - \boldsymbol{S_{Li}}$, ως την ***«καθαρή» ισχύ*** στο ζυγό ***i*** και θεωρώντας ότι αυτή παρέχεται από ***ισοδύναμη πηγή ισχύος***, ο ζυγός μπορεί να αναπαρασταθεί ισοδύναμα όπως φαίνεται στο Σχήμα α.

Με βάση αυτήν την παράσταση, το σύστημα των ***n ζυγών*** διευθετείται κατά τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα b. Το παθητικό τμήμα του δικτύου (γραμμές μεταφοράς και μετασχηματιστές) παριστάνεται με σύστημα ***n ακροδεκτών***, που αντιστοιχούν στους ζυγούς, σε κάθε έναν από τους οποίους γίνεται έγχυση ρεύματος $\boldsymbol{I_i}$ που αντιστοιχεί στην ισχύ $\boldsymbol{S_i} = \boldsymbol{S_{Gi}} - \boldsymbol{S_{Li}}$.



Σχήμα 2. α) Καθαρή έγχυση ισχύος σε ζυγό β) Αναπαράσταση έγχυσης ισχύος στο δίκτυο μεταφοράς.

Χρησιμοποιώντας τη ***μέθοδο των κόμβων***, οι εξισώσεις που περιγράφουν τη συμπεριφορά του δικτύου του Σχήματος β είναι οι εξής:

$$\boldsymbol{I_{bus}} = \boldsymbol{Y_{bus}}\,\boldsymbol{V_{bus}} \qquad \textbf{(1)}$$

Όπου $\boldsymbol{I_{bus}}$: το διάνυσμα των ρευμάτων $\boldsymbol{I_i}$ που εισέρχονται στους ζυγούς, διαστάσεων $\boldsymbol{n} \times \boldsymbol{1}$.

$\boldsymbol{V_{bus}}$: το διάνυσμα των τάσεων των ζυγών που μετρούνται ως προς το ζυγό αναφοράς, διαστάσεων $\boldsymbol{n} \times \boldsymbol{1}$, με στοιχεία της μορφής $V_i = |V_i|\langle \delta_i$

$\boldsymbol{Y_{bus}}$: ***πίνακας αγωγιμοτήτων ζυγών***, διαστάσεων $\boldsymbol{n} \times \boldsymbol{n}$, με στοιχεία της μορφής $y_{ij} = |y_{ij}|\langle \gamma_{ij}$

Ως ***ζυγός αναφοράς*** (***slack bus***), για το σχηματισμό του $\boldsymbol{Y_{bus}}$, λαμβάνεται η γη, ώστε να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή τα εγκάρσια στοιχεία που συνδέονται προς τη γη (στατικοί πυκνωτές και εγκάρσιοι κλάδοι των ισοδύναμων κυκλωμάτων των μετασχηματιστών και των γραμμών).

Ο Y_{bus} είναι ένας τετραγωνικός πίνακας με διαστάσεις ίσες με τον αριθμό των ζυγών. Ο πίνακας αυτός είναι συμμετρικός κατά μήκος της διαγωνίου.

$$\boldsymbol{Y_{bus}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(2)}$$

Το ρεύμα I_i που εισέρχεται στο ζυγό i μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση των στοιχείων του πίνακα $\boldsymbol{Y_{bus}}$ και οι τάσεις των ζυγών όπως ακολουθεί:

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} y_{ij} \cdot V_j \qquad \textbf{(3)}$$

Η ισχύς S_{Ti} μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$S_{Ti} = V_i \cdot I_i^* = V_i \cdot \left(\sum_{j=1}^{n} y_{ij} \cdot V_j\right)^* \qquad (\mathbf{4})$$

Η ισχύς S_{Ti} που μεταφέρεται εκτός του ζυγού i είναι συνάρτηση των τάσεων όλων των άλλων ζυγών του συστήματος. Από τις εξισώσεις (1) και (4):

$$S_{Gi} - S_{Li} = V_i \cdot I_i^* = V_i \cdot \left(\sum_{j=1}^{n} y_{ij} \cdot V_j\right)^* \qquad (\mathbf{5})$$

Με $S_{Gi} = P_{Gi} + j\,Q_{Gi}$ και $S_{Li} = P_{Li} + j\,Q_{Li}$, η εξίσωση (5) γίνεται:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \cdot \left(\sum_{j=1}^{n} y_{ij} \cdot V_j\right) \qquad (\mathbf{6})$$

όπου $P_i = P_{Gi} - P_{Li}$ και $Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li}$.

Χρησιμοποιώντας πολικές συντεταγμένες για τις τάσεις και τις αγωγιμότητες, π.χ., $V_i = |V_i|\langle \delta_i$ και $y_{ij} = |y_{ij}|\langle \gamma_{ij}$, οι μιγαδικές εξισώσεις μπορεί να διασπαστούν, εξισώνοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη, σε $2n$ πραγματικές εξισώσεις, ως εξής:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Li} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||y_{ij}|\cos(\delta_J - \delta_i + \gamma_{ij}) \qquad (\mathbf{7.}\boldsymbol{\alpha})$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||y_{ij}|\sin(\delta_J - \delta_i + \gamma_{ij}) \qquad (\mathbf{7.}\boldsymbol{\beta})$$

Κάθε ζυγός i ενός δικτύου έχει ***6 μεταβλητές*** $\boldsymbol{P_{Gi}}$, $\boldsymbol{Q_{Gi}}$, $\boldsymbol{P_{Li}}$, $\boldsymbol{Q_{Li}}$, $\boldsymbol{|V_i|}$, $\boldsymbol{\delta_i}$, οι οποίες ταξινομούνται ως εξής:

a) ***Μη ελέγξιμες μεταβλητές ή μεταβλητές διαταραχής***: πρόκειται για μεταβλητές που δεν μπορούμε να ελέγξουμε, δηλαδή οι πραγματικές και άεργες καταναλώσεις $\boldsymbol{P_{Li}}$ και $\boldsymbol{Q_{Li}}$. Συνιστούν το ***διάνυσμα διαταραχής***, $\boldsymbol{p}$, που ορίζεται ως εξής:

$$\boldsymbol{p = [\, P_{L1}\; Q_{L1}\; P_{L2}\; Q_{L2}\; \cdots\; P_{Ln}\; Q_{Ln}]^T}$$

b) ***Μεταβλητές ελέγχου*** είναι οι μεταβλητές που μπορούμε να ελέγξουμε, δηλαδή οι παραγωγές πραγματικής και αέργου ισχύος $\boldsymbol{P_{Gi}}$ και $\boldsymbol{Q_{Gi}}$. Συνιστούν το ***διάνυσμα ελέγχου***, $\boldsymbol{u}$, που ορίζεται ως εξής :

$$\boldsymbol{u = [\, P_{G1}\; Q_{G1}\; P_{G2}\; Q_{G2}\; \cdots\; P_{Gn}\; Q_{Gn}]^T}$$

c) ***Μεταβλητές κατάστασης***: είναι οι μεταβλητές που επηρεάζουμε μεταβάλλοντας τις μεταβλητές ελέγχου P_{Gi} και Q_{Gi}, δηλαδή τα μέτρα των τάσεων $\boldsymbol{|V_i|}$ και τις φασικές γωνίες $\boldsymbol{\delta_i}$, αντίστοιχα. Συνιστούν το ***διάνυσμα κατάστασης***, $\boldsymbol{x}$, που ορίζεται ως εξής:

$$\boldsymbol{x = [|V_1|\;\; \delta_1\; |V_2|\; \delta_2 \cdots |V_n|\; \delta_n]^T}$$

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, οι $2n$ εξισώσεις τις ροής φορτίου της μορφής (7), που γράφονται για το σύνολο των n ζυγών ενός δικτύου, μπορεί να τεθούν υπό τη γενική μορφή:

$$\boldsymbol{F(x,u,p) = 0}$$

Ανάλογα με το ποιες από τις 4 ποσότητες P_{Gi}, Q_{Gi}, $|V_i|$, δ_i προκαθορίζονται, διακρίνουμε ***3 τύπους ζυγών***:

1. ***Ζυγοί φορτίων*** είναι ζυγοί στους οποίους δεν υπάρχει παραγωγή, οπότε P_{Gi} και Q_{Gi} είναι μηδέν και άρα προκαθορισμένες. ***Σε αυτούς τους ζυγούς υπάρχουν μόνο φορτία***. Είναι ο πιο κοινός τύπος ζυγού. Περίπου το ***85%*** των ζυγών σε ένα δίκτυο είναι ζυγοί φορτίων. Τα μεγέθη που υπολογίζονται από τις εξισώσεις ροής φορτίου σε αυτούς τους ζυγούς είναι το μέτρο και η γωνία φάσης της τάσης $|V_i|$ και δ_i.

2. ***Ζυγοί με ελεγχόμενη τάση*** είναι οι ζυγοί στους οποίους ελέγχεται το μέτρο της τάσης $|V_i|$ έτσι ώστε να διατηρείται σταθερό σε μια προκαθορισμένη τιμή $|V_i|_{spec}$. Είναι συνήθως ζυγοί ***στους οποίους συνδέονται γεννήτριες*** και λέγονται και ***ζυγοί παραγωγής***. Επειδή τα δύο μεγέθη που ελέγχονται άμεσα σε μια γεννήτρια είναι η πραγματική παραγόμενη ισχύς P_{Gi} το μέτρο της τάσης $|V_i|$, είναι δυνατόν σε αυτούς τους ζυγούς τα δύο αυτά μεγέθη να είναι προκαθορισμένα. Τα Q_{Gi} και δ_i προκύπτουν από τη λύση των εξισώσεων ροής φορτίου.

3. ***Ζυγός αναφοράς (Slack Bus)*** είναι ένας ***ζυγός παραγωγής***, στον οποίο προκαθορίζουμε το μέτρο και τη γωνία φάσης της τάσης. Συνήθως είναι πρακτικό να ορίσουμε το μέτρο της τάσης αυτού του ζυγού ίσο με $1\ p.u$ και τη φασική γωνία ίση με 0°. Προκειμένου να υπάρχει ευελιξία, επιλέγεται συνήθως εκείνος με την υψηλότερη παραγωγή ενεργού ισχύος. Για λόγους ευκολίας αριθμείται πρώτος μεταξύ των ζυγών σε ένα δίκτυο, έτσι ώστε:

$$V_1 = |V_1|\langle\, \delta_1 = 1\langle 0^{\circ}\ p.u$$

Τύπος ζυγού	*Γνωστές, προκαθορισμενες ποσότητες*	*Άγνωστες ποσότητες*	*Ποσοστό ζυγών*
Slack bus	$\|V_1\|,\ \delta_1$	$P_{G1},\ Q_{G1}$	1
Load bus	$P_{Gi},\ Q_{Gi}$	$\|V_i\|,\ \delta_i$	85%
Voltage-controlled bus	$P_{Gi}, \|V_i\|$	$Q_{Gi},\ \delta_i$	15%

- Οι μεταβλητές κατάστασης $|V_i|$ θα πρέπει να τηρούν τις ανισότητες:

$$\boldsymbol{|V_i|_{min} \leq |V_i| \leq |V_i|_{max}, \quad i = 1, 2, \dots, n}$$

Αυτό σημαίνει ότι τα μεγέθη των τάσεων που θα είναι αποδεκτά θα πρέπει να βρίσκονται εντός ενός στενού εύρους τιμών, για παράδειγμα 5-10% γύρω από τις ονομαστικές τιμές.

- Μερικές μεταβλητές κατάστασης δ_i πρέπει να ικανοποιούν την ανισότητα:

$$\boldsymbol{|\,\delta_i - \delta_j| < (\,\delta_i - \delta_j)_{max}}$$

Αυτή η ανισότητα καθορίζει μια μέγιστη γωνία ισχύος και, επομένως, μια μέγιστη τιμή πραγματικής ισχύος που μπορεί να μεταφερθεί με ασφάλεια από τη γραμμή μεταφοράς που συνδέει τους ζυγούς i και j.

- Λόγω πρακτικών περιορισμών στις πηγές πραγματικής και άεργου ισχύος, οι μεταβλητές ελέγχου $P_{Gi},\ Q_{Gi}$ πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς:

$$\boldsymbol{P_{Gi,min} < P_{Gi} < P_{Gi,max}}$$

$$\boldsymbol{Q_{Gi,min} < Q_{Gi} < Q_{Gi,max}}$$

Εάν ορισμένοι ζυγοί δεν έχουν παραγωγή πραγματικής ή/και άεργου ισχύος, τότε για τους εν λόγω ζυγούς: $P_{Gi} = 0$ και/ή $Q_{Gi} = 0$.

- Εάν το σύστημα πρόκειται να λειτουργήσει με βέλτιστο οικονομικό τρόπο, η κατανομή ισχύος στις γεννήτριες θα πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο. Εκτός από τους παραπάνω περιορισμούς, επομένως, υπάρχουν πρόσθετοι περιορισμοί στις μεταβλητές ελέγχου που επιβάλλονται από εκτιμήσεις για την οικονομική λειτουργία του συστήματος.

Μέθοδος Gauss-Seidel

- Για να λύσουμε ένα σύστημα *n εξισώσεων* της μορφής:

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$\dots$$

$f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ πρώτα γράφουμε τις εξισώσεις ως εξής:

$$x_1 = F_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$x_2 = F_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\dots$$

$$x_n = F_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Ο αλγόριθμος Gauss-Seidel εκφράζεται από την επαναληπτική διαδικασία:

$$x_1^{(\nu+1)} = F_1\left(x_1^{(\nu)}, x_2^{(\nu)}, \dots, x_n^{(\nu)}\right)$$

$$x_2^{(\nu+1)} = F_2\left(x_1^{(\nu)}, x_2^{(\nu)}, \dots, x_n^{(\nu)}\right)$$

$$\dots$$

$$x_n^{(\nu+1)} = F_n\left(x_1^{(\nu)}, x_2^{(\nu)}, \dots, x_n^{(\nu)}\right)$$

που γράφεται συνοπτικά ως εξής: $\boldsymbol{x}^{(\nu+1)} = \mathbf{F}(\boldsymbol{x}^{(\nu)})$

Η επαναληπτική διαδικασία θα τερματιστεί όταν οι διαφορές μεταξύ διαδοχικών επαναλήψεων γίνουν, ταυτόχρονα για όλες τις μεταβλητές, μικρότερες από μια προκαθορισμένη τιμή ανοχής ε, δηλαδή όταν:

$$\left|x_i^{(\nu+1)} - x_i^{(\nu)}\right| < \varepsilon \quad \mathrm{i} = 1,2, \dots, \mathrm{n}$$

Για να λύσουμε τις ***εξισώσεις ροής φορτίου*** με τη μέθοδο ***G-S***, χρησιμοποιούμε τη ***μιγαδική μορφή*** αυτών των εξισώσεων. Οι εξισώσεις για όλους τους ζυγούς εκτός από το ζυγό αναφοράς πρέπει να γραφούν στην ακόλουθη μορφή προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος G-S:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = y_{ii} \cdot V_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} y_{ij} \cdot V_j \quad i = 2,3, \dots, n \quad \mathbf{(8)}$$

$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} y_{ij} \cdot V_j \right] i = 2,3, \dots, n \quad \mathbf{(9)}$$

Ο αλγόριθμος G-S διαμορφώνεται ως εξής:

$$\boldsymbol{V_i^{(\nu+1)}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{y_{ii}}} \left[\frac{\boldsymbol{P_i - jQ_i}}{\boldsymbol{(V_i^{(\nu)})^*}} - \sum_{\boldsymbol{j=1}}^{\boldsymbol{i-1}} \boldsymbol{y_{ij} V_j^{(\nu+1)}} - \sum_{\boldsymbol{j=i+1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{y_{ij} V_j^{(\nu)}} \right] \quad \boldsymbol{i = 2, 3, \dots, n} \quad \mathbf{(10)}$$

- **Ζυγός αναφοράς**: Η τάση του ζυγού αναφοράς είναι γνωστή -> $V_1 = |V_1| \langle\, \delta_1 = 1\langle 0^\circ$

- **Ζυγός φορτίου**: Σε αυτόν τον τύπο ζυγού είναι γνωστή και η P_i και η Q_i ($P_i = -P_{Li}$ and $Q_i = -Q_{Li}$), άρα ο πρώτος όρος στην εξίσωση (10) είναι πλήρως ορισμένος. Εκτελώντας την προαναφερθείσα διαδικασία, υπολογίζουμε σε κάθε επανάληψη νέες βελτιωμένες τιμές για το μέτρο της τάσης και τη γωνία φάσης.

- **Ζυγός με ελεγχόμενη τάση**: Καθώς η παραγωγή άεργου ισχύος Q_{Gi} είναι άγνωστη για αυτόν τον τύπο ζυγού, η ποσότητα Q_i Δεδομένου ότι η παραγωγή άεργου ισχύος είναι άγνωστη για αυτόν τον τύπο ζύγου, η ποσότητα δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα ως η διαφορά μεταξύ της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης άεργου ισχύος και, επομένως, ο πρώτος όρος της εξίσωσης (10) δεν μπορεί να οριστεί με σαφήνεια. Έτσι, πρέπει να υπολογίσουμε το Q_i έμμεσα από τις τάσεις των ζυγών χρησιμοποιώντας κάθε φορά τις πιο πρόσφατες τιμές τους. Το μόνο μέσο που έχουμε για να διατηρήσουμε το μέγεθος της τάσης ενός ζυγού παραγωγής στην προκαθορισμένη τιμή του $|V_i|_{spec}$ είναι η καθαρή άεργος ισχύς Q_i που εγχέεται στο ζυγό. Αν είμαστε στην επανάληψη $v+1$, ο υπολογισμός του Q_i θα γίνει με βάση τις τιμές των τάσεων στην επανάληψη v (που είναι ήδη γνωστές) ή στην επανάληψη $v+1$ για αυτές που έχουν ήδη υπολογιστεί. Η τιμή του Q_i ($Q_i{}^{(\nu+1)}$) δίνεται σύμφωνα με τη μορφή του παρακάτω αλγορίθμου:

$$Q_i{}^{(\nu+1)} = -|V_i|_{spec}\left[\sum_{j=1}^{i-1}\left|V_j\right|^{(\nu+1)}\left|y_{ij}\right|\sin\left(\delta_j{}^{(\nu+1)}-\delta_i{}^{(\nu)}+\gamma_{ij}\right)+\sum_{j=i}^{n}\left|V_j\right|^{(\nu)}\left|y_{ij}\right|\sin\left(\delta_j{}^{(\nu)}-\delta_i{}^{(\nu)}+\gamma_{ij}\right)\right]$$

- με $Q_{i,max} = Q_{Gi,max} - Q_{Li}$ και $Q_{i,min} = Q_{Gi,min} - Q_{Li}$. Αν $Q_{i,min} < Q_i{}^{(\nu+1)} < Q_{i,max}$, τότε το μέτρο της τάσης του ζυγού μπορεί να είναι σταθερό σε μία προκαθορισμένη τιμή $|V_i|_{spec}$ και έτσι μπορούμε να θέσουμε $|V_i|^{(\nu)} = |V_i|_{spec}$. Έτσι, η τιμή $V_i^{(\nu)}$ που χρησιμοποιείται στην εξίσωση (c) είναι: $V_i^{(\nu)} = |V_i|_{spec}\angle\delta_i{}^{(\nu)}$. Στην επανάληψη $v+1$: $V_i^{(\nu+1)} = |V_i|_{spec}\angle\delta_i{}^{(\nu+1)}$.

- Αν $Q_i{}^{(\nu+1)} > Q_{i,max}$, τότε $Q_i{}^{(\nu+1)} = Q_{i,max}$. Αν $Q_i{}^{(\nu+1)} < Q_{i,min}$, τότε $Q_i{}^{(\nu+1)} = Q_{i,min}$. Όπως στην περίπτωση αυτή, η άεργος ισχύς Q_i είναι πλέον γνωστή και έχει σταθερή τιμή, ο ζυγός αυτός συμπεριφέρεται στην πραγματικότητα ως ζυγός φορτίου. Από αυτή την τιμή της τάσης δηλαδή στην επανάληψη ν+1 με $V_i^{(\nu)} = |V_i|^{(\nu)}\angle\delta_i{}^{(\nu)}$, διατηρούμε τώρα τόσο το μέτρο όσο και τη γωνία φάσης της τάσης.

- Η επαναληπτική διαδικασία τερματίζεται όταν οι διαφορές μεταξύ διαδοχικών επαναλήψεων γίνουν, ταυτόχρονα για όλες τις τάσεις των ζυγών, μικρότερες από ένα προκαθορισμένο threshold ε ($10^{-4}\ p.u$), δηλαδή όταν: $\Delta V^{(\nu+1)} = \left|V_i^{(\nu+1)} - V_i^{(\nu)}\right| < \varepsilon \quad \mathrm{i} = 1,2,\ldots,\mathrm{n}$

2. Περιγραφή του κώδικα

Ο προς ανάπτυξη κώδικας πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, δυνατότητες.

- Ο χρήστης να καθορίζει τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος όπως τη βάση ισχύος, άνω κάτω όριο της τάσης λειτουργίας κ.α.
- Ο χρήστης να καθορίζει με τη μορφή πίνακα τα βασικά χαρακτηριστικά των ζυγών του συστήματος.
- Ο χρήστης να καθορίζει με τη μορφή πίνακα τα βασικά χαρακτηριστικά των γραμμών του συστήματος.
- Ο χρήστης να καθορίζει με τη μορφή πίνακα τα βασικά χαρακτηριστικά των γεννητριών του συστήματος.
- Ο κώδικας να υπολογίζει τον πίνακα αγωγιμοτήτων του συστήματος.
- Ο κώδικας να επιλύει το πρόβλημα ροής ισχύος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Gauss Seidel.
- Ο κώδικας να επιστρέφει τις τάσεις και τις γωνίες τους σε όλους τους κόμβους του δικτύου.
- Ο κώδικας να επιστρέφει τις ροές ισχύος στις γραμμές του ΣΗΕ.
- Ο κώδικας να επιστρέφει τις ενεργές και άεργες απώλειες των γραμμών του ΣΗΕ.
- Ο κώδικας να επιστρέφει τις απώλειες ισχύος στο ΣΗΕ.
- Ο κώδικας να επιστρέφει την έγχυση ισχύος στο ζυγό αναφοράς

3. Δεδομένα

Τα βασικά δεδομένα εισόδου του προγράμματος επίλυσης ροής φορτίου θα δίνονται σε πίνακες με την ακόλουθη μορφή.

1. Δεδομένα ζυγών σε πίνακα ως ακολούθως.

Ζυγός	Τύπος ζυγού	P_L(MW)	Q_L(MVAr)	B_s(MVAr)	V_m	V_a	V_{max}	V_{min}

Τύπος ζυγού = 1: ζυγός φορτίου, **Τύπος ζυγού = 2**: ζυγός παραγωγής, **Τύπος ζυγού = 3**: ζυγός αναφοράς.

P_L=ενεργός ισχύς φορτίου,

Q_L = άεργος ισχύς φορτίου,

B_s = Αέργος ισχύς εγκάρσιου στοιχείου,

V_m = μέτρο της τάσης,

V_a = γωνία της τάσης,

V_{max} = μέγιστη τιμή τάσης,

V_{min} = ελαχιστη τιμή τάσης

2. Δεδομένα γραμμών μεταφοράς σε πίνακα ως ακολούθως.

Από	Προς	R (p.u)	X (p.u)	B (p.u)	Όριο μεταφοράς (p.u.)	δ (°)	δ_{min} (°)	δ_{max} (°)	Κατάσταση λειτουργίας

Κατάσταση λειτουργίας = 0, 1

R = ωμική αντίσταση,

X = επαγωγική αντίσταση,

B = συνολική εγκάρσια αγωγιμότητα,

δ = διαφορά γωνίας αρχή και τέλους της γραμμής,

δ_{min} =ελάχιστη διαφορά γωνίας αρχή και τέλους της γραμμής,

δ_{max} = μέγιστη διαφορά γωνίας αρχή και τέλους της γραμμής.

3. Δεδομένα γεννητριών σε πίνακα ως ακολούθως.

Ζυγός	P_G (MW)	Q_G (MVAr)	$P_{G,max}$ (MW)	$P_{G,min}$ (MW)	$Q_{G,max}$ (MVAr)	$Q_{G,min}$ (MVAr)	V_G (p.u.)	Κατάσταση λειτουργίας

Κατάσταση λειτουργίας = 0, 1

P_G = παραγωγή ενεργού ισχύος,

Q_G = παραγωγή αέργου ισχύος,

$P_{G,max}$ = μέγιστη παραγωγή ενεργού ισχύος,

$P_{G,min}$ = ελάχιστη παραγωγή ενεργού ισχύος,

$Q_{G,max}$ = μέγιστη παραγωγή ενεργού ισχύος,

$Q_{G,min}$ = ελάχιστη παραγωγή ενεργού ισχύος,

V_G = τάση στο ζυγό της γεννήτριας.

Πίνακας κόστους λειτουργίας των γενητριών.

n	c_{n-1}	...	c_0

Περιέχει τους συντελεστές της πολυωνυμικής συνάρτησης υπολογισμού του κόστους λειτουργίας των γεννητριών που έχει την ακόλουθη μορφή.

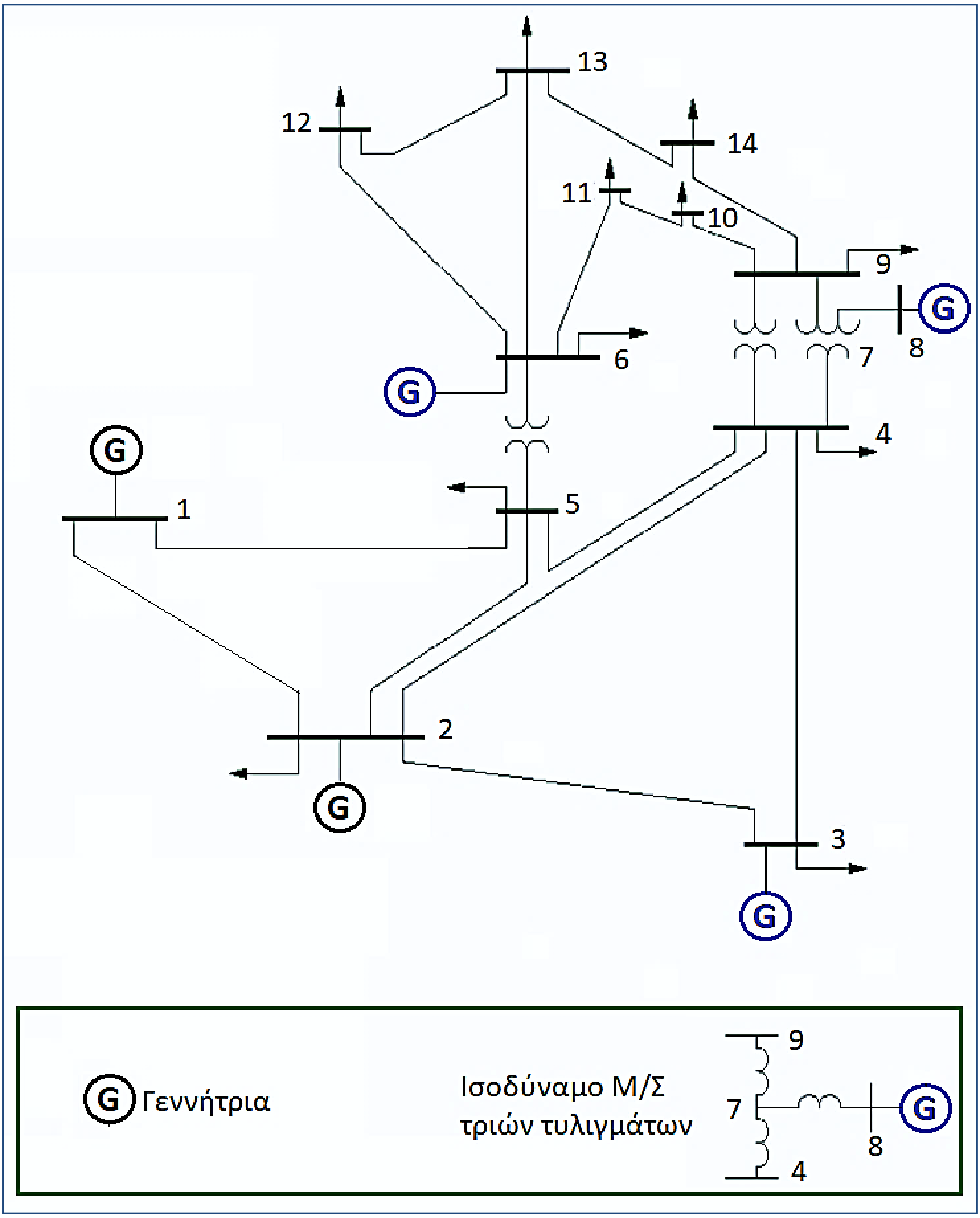
$$F(P_G) = c_{n-1} P_G^{n-1} + \ldots + c_1 P_G + c_0$$

4. Εκτέλεση άσκησης

1. Να δώσετε το θεωρητικό υπόβαθρο για το πρόβλημα της ροής φορτίου και την επιλυσή του (με διάγραμμα ροής). Μαζί με το θεωρητικό υπόβαθρο η αναφορά σας να περιέχει τα ζητούμενα στα ερωτήματα **3 – 5**.
2. Να δώσετε τον κώδικα Matlab που αναπτύξατε σύμφωνα με τα οριζόμενα στις παράγραφους 2 και 3. Ο κώδικας θα εκτελείται κεντρικά από μια κεντρική ρουτίνα με όνομα ***“PowerFlow”***. **Σημ. Ο κώδικας θα πρέπει να εκτελείται σωστά και ο αλγόριθμος να συγκλίνει σε σωστά αποτελέσματα. Απαγορεύεται η χρήση κώδικα από το διαδίκτυο ή κώδικα που αναπτύχθηκε με τη χρήση εργαλείων ΤΝ. Θα ακολουθήσει προφορική εξέταση επί του κώδικα και της σχετικής θεωρίας. *Μη επιτυχής εκτέλεση του κώδικα ή αποτυχία στην προφορική εξέταση ή την έκθεση αναφοράς συνεπάγεται αποτυχία στην εργαστηριακή άσκηση και συνολικά στο εργαστήριο.***
3. Να δώσετε τα αποτελέσματα που επιστρέφει ο κώδικας Matlab που αναπτύξατε κατα την επίλυση του προβήματος της ροής φορτίου του ΣΗΕ που περιγράφεται στο Παράρτημα, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην παράγραφο 2.
4. Να δώσετε τα αποτελέσματα που επιστρέφει ο κώδικας Matlab που αναπτύξατε κατα την επίλυση του προβήματος της ροής φορτίου του ΣΗΕ που περιγράφεται στο Παράρτημα (με τη γραμμή μεταφοράς από το ζυγό 1 στο ζυγό 5 εκτός λειτουργίας), σύμφωνα με τα οριζόμενα στην παράγραφο 2. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.
5. Να δώσετε τα αποτελέσματα που επιστρέφει ο κώδικας Matlab που αναπτύξατε κατα την επίλυση του προβήματος της ροής φορτίου του ΣΗΕ που περιγράφεται στο Παράρτημα, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην παράγραφο 2. Θεωρήστε ότι συνολικά οι γεννήτριες στους ζυγούς 1 και 2 παράγουν 259 MW και η κατανομή φορτίου σε αυτές είναι βέλτιστη, με αντικειμενικό στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας τους. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

6. Δεδομένα Συστήματος προς ανάλυση



Σχήμα 1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Όρια τάσης: +/- 6%

Βάση ισχύος: 100MVA

Π1. Στοιχεία ζυγών του συστήματος

Ζυγός	Τύπος Ζυγού	P_L (MW)	Q_L (MVAr)	B_S (MVAr)
1	3	0	0	0
2	2	21.7	12.7	0
3	2	94.2	19	0
4	1	47.8	-3.9	0
5	1	7.6	1.6	0
6	2	11.2	7.5	0
7	1	0	0	0
8	2	0	0	0
9	1	29.5	16.6	19
10	1	9	5.8	0
11	1	3.5	1.8	0
12	1	6.1	1.6	0
13	1	13.5	5.8	0
14	1	14.9	5	0

Π2. Στοιχεία γραμμών μεταφοράς του συστήματος

Από	Προς	R (p.u)	X (p.u)	B (p.u)
1	2	0.01938	0.05917	0.0528
1	5	0.05403	0.22304	0.0492
2	3	0.04699	0.19797	0.0438
2	4	0.05811	0.17632	0.034
2	5	0.05695	0.17388	0.0346
3	4	0.06701	0.17103	0.0128
4	5	0.01335	0.04211	0
4	7	0	0.20912	0
4	9	0	0.55618	0
5	6	0	0.25202	0
6	11	0.09498	0.1989	0
6	12	0.12291	0.25581	0
6	13	0.06615	0.13027	0
7	8	0	0.17615	0
7	9	0	0.11001	0
9	10	0.03181	0.0845	0
9	14	0.12711	0.27038	0
10	11	0.08205	0.19207	0
12	13	0.22092	0.19988	0
13	14	0.17093	0.34802	0

Π3. Στοιχεία γεννητριών του συστήματος

Ζυγός	P_G (MW)	Q_G (MVAr)	$P_{G,max}$ (MW)	$P_{G,min}$ (MW)	$Q_{G,max}$ (MVAr)	$Q_{G,min}$ (MVAr)	V_G (p.u.)	Κατάσταση λετουργίας
1	232.4	-	332.4	0	10	0	1.06	1
2	40	-	140	0	50	-40	1.045	1
3	0	-	100	0	40	0	1.01	1
6	0	-	100	0	24	-6	1.07	1
8	0	-	100	0	24	-6	1.09	1

Π4. Στοιχεία κόστους λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος

n	C_2	C_1	C_0
3	0.1	20	0
3	0.25	20	0
3	0.01	40	0
3	0.01	40	0
3	0.01	40	0