



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhder d'El-Oued

Faculté des Sciences et de la Technologie

Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de
LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie
Filière: Génie Électrique

Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

Calcul de l'écoulement des puissances
par les méthodes itératives
dans les réseaux électriques

Réalisé par:

-BAHA Hakima

-ATIA Ratiba

-DOUIS Imadeddine

-SEBOUAI Djamel

Encadré par:

- MAMMERI OUSSAMA

Soutenu en Juin 2015

REMERCIEMENT

D'abord et avant tout, nous voulons à remercier notre mentor professeur **OUSSAMA MAMMERI**

pleine et notre encadrée et

Président de ce travail, nous voulons à vous remercier beaucoup pour encourager et illimité

Tels que des conseils précieux lors de l'élaboration de cette spécification.

Nous voulons à remercier notre collègues de très spécial

Point de guidage -aïd, et donc une incitation pour illimitée

La réalisation de ce travail.

Nous voulons à exprimer notre remerciements les plus chaleureux à notre professeur **OUSSAMA**

MAMMERI de

Honneur qui nous a amené à vérifier notre mémoire et président du jury.

Nous voulons également à remercier tous les membres du jury d'accepter ce juge modeste travail.

SOMMAIRE

◆ Remerciements	
◆ Sommaire	I
◆ Liste des Figures.....	IV
◆ Liste des Symboles et Acronymes.....	V
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Modélisation des Réseaux électriques

I.1. Introduction	03
I.2 Modélisation des générateurs	03
I.3 Modélisation d'une charge.....	04
I.4 Modélisation d'une compensation shunt.....	04
I.5 Modélisation de ligne longue.....	05
I.6 Classification des nœuds des réseaux électrique	07
I.7 Les équations de l'écoulement de puissance.....	08
I.7.1 Calcul de la puissance au niveau de nœud	10
I.7.2 Les équations d'écoulement dans les lignes	10
I.7.3 Les pertes de puissance dans lignes.....	11
I.8 Facteur de puissance.....	11
I.9 Classification des variables d'équations d'écoulement de puissance.....	11
I.9.1 Les variables de perturbation	11
I.9.2 Les variables d'état	11
I.9.3 Les variables de contrôle	12

Chapitre II : Méthode itératif

II.1 Introduction	14
II.2 Les méthodes numériques utilisées	15
II.2.1 La méthode itérative de GAUSS-SEIDEL.....	15
II.2.2 La méthode de Newton-Raphson (principe).....	17
II.2.2.1 Principe	17
II.2.2.2 Résolution d'un système d'équation a ((n)) variables non linéaire.....	17
II.2.2.3 Critère d'arrêts des itérations.....	20
II.3 Les méthodes numériques appliqué aux équations de l'écoulement de puissance	20
II.3.1 la méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance	20
II.3.2 la méthode de Newton-Raphson appliqué aux équations de l'écoulement de puissance	21
II.3.2.1 Détermination des sous matrices de la Jacobienne J	23
II.3.2.2 Les étapes de calcul	24
II.3.2.3 Les approximations dans la méthode de Newton-Raphson	24
II.4 Conclusion.....	25

Chapitre III : Application

III.1 Calcul l'Écoulement de puissance par la méthode Gauss Seidel.....	27
III.1.1 Réseau électrique de 30 jeux de barres	27
III.1.2 Organigramme de la méthode Gauss-Seidel avec Y bus	27
III.2. les résultats de programmation (réseau 30 jeux de barres).....	30

Conclusion générale

Conclusion générale.....	35
Références Bibliographiques.....	36

Liste des Figures

Figure I.1: *la modèle d'une génératrice*

Figure I.2. *Une source de tension.*

Figure I.3.4: *Modélisation d'une charge.*

Figure I.5: *modélisation d'une ligne longue.*

Figure I .6 : *diagramme représente une ligne longue.*

Figure I.7 : *système a deux J.d.B.*

Figure III.1. *Schéma d'un réseau test de 30 jeux de barres .*

Liste des Symboles et Acronymes

i: Numéro du J.d.B.

V_{boucle} : Tension dans la boucle.

V_{bus} : Vecteur tension aux J.d.B.

I_{boucle} : Courant aux boucles.

I_{bus} : Vecteur courant aux J.d.B.

Y_{boucle} : Matrice admittance de boucle.

Y_{bus} : Matrice admittance.

Z_{boucle} : Matrice impédance de boucle.

Z_{bus} : Matrice impédance.

I_i : Courant injecte a J.d.B «i».

F_p: Perte active.

F_q: Perte réactive.

J: Matrice jacobienne.

J.d.B, J.D.B: Jeux de barre

NI: Nombre max d'itération.

N-R: Newton-Raphson.

Réf: Référence.

S: Puissance apparente.

S_{ij} et **S_{ji}** : Les puissances apparentes qui transitent par le ligne «i,j».

C_i: Le coût du production de centrale «i».

C_{tot}: Le coût total de la production.

α, β et **γ**: Les coefficients constant propres du centrale.

$\frac{\partial C_i}{\partial P_{gi}}$: Le coût incrémental de l'i-ème générateur

P_{gi} : La puissance produit par le centrale «i».

$P_{gi \min}$: Limite minimale de production de la puissance générée d'une centrale «i».

$P_{gi \max}$: Limite maximale de production de la puissance générée d'une centrale «i».

P_d : La puissance totale demandée.

P_L : Les pertes de transport énergie électrique.

ng : Nombre de générateurs.

λ : Le multiplicateur de Lagrange.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'énergie électrique est le critère le plus significatif dans le développement et la croissance de tous les secteurs économiques, aussi elle joue le rôle principal et élémentaire de la modernisation du secteur industriel qui consomme la plus grande partie de cette énergie produite.

Au cours de ces dernières décennies, la consommation d'énergie électrique est augmentée, ce qui nous impose de réfléchir d'adopter des nouvelles techniques pour assurer la gestion efficace et l'exploitation économique des moyens de production de transport et de distribution de cette énergie.

L'exploitation du grand développement du domaine informatique et l'apparition des nouvelles générations d'ordinateurs plus rapides et plus puissants, ont conduit à une étude plus profonde et un calcul plus précis et rigoureux du réseau électrique, en générale cette étude se divise en deux parties :

L'étude de l'écoulement de puissance qui consiste à coordonner l'exploitation de toutes les sources d'énergie et la répartition de la production entre les différents utilisateurs, et cela dans le but d'avoir une exploitation économique conduisant à une meilleure utilisation de ces sources.

Cette étude est effectuée par un programme qui nous permet de calculer la matrice d'admittance, les chutes de tension au niveau de tous les jeux de barres, les variations de ces tensions, ainsi que la répartition et le transit de l'énergie active et réactive.

L'étude de la compensation de la puissance réactive est effectuée pour déterminer les points (jeux de barres) qui nécessite une compensation.

Ce travail a comme objectif: L'étude de l'écoulement de puissance en utilisant la méthode itérative

Chapitre I

Modélisation de Réseau

I. Modélisation de réseau :

I.1 Introduction :

Un réseau d'énergie électrique comprend des génératrices, des lignes de transport et distribution, et un ensemble de consommateurs, qui constituent la charge de réseau, en outre le réseau comporte également des transformateurs et des appareils de protection. L'ensemble des systèmes électrique comporte en gros trois sous système :

- Production (génératrice).
- Transport, répartition et distribution (lignes).
- Utilisation (consommateur).

Vu la complexité d'un réseau d'énergie électrique, il faut simplifier leur représentation pour établir des modèles ou schéma équivalent des principaux composant à savoir, des générateurs, les différents types de transformateurs, des lignes et des charges.

I.2 Modélisation des générateurs : [1]

Une machine synchrone est une machine à courant alternatif, dans laquelle la fréquence de la tension induite engendrée et la vitesse sont en rapport constant.

La machine synchrone est composée :

D'un induit fixe, un inducteur tournant. On appelle une machine synchrone toutes les machines qui tournent exactement à la vitesse correspondant à la fréquence des courants et des tensions à ses bornes ($f = p.N$)

Les machines de faible vitesse angulaire sont à pôles saillants.

Pour les grandes machines à grande vitesse (3000 tr/min, dans les centrales à fuel ou charbon) (1500 tr/min dans les centrales nucléaires), on utilise des rotors lisses à entrefer constant.

Le schéma équivalent représenté par la figure (I.1) :

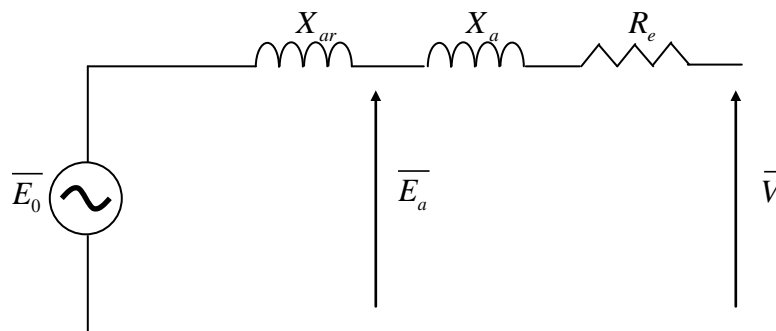


Figure I.1 : la modèle d'une génératrice

Et dans le calcul d'écoulement de puissance, il est représenté par une source de tension (figure I.2)



Figure I.2 : Une source de tension.

$S_i = P_i + jQ_i$ est la puissance apparente délivré par le générateur.

$V_i = |V_i|e^{j\delta_i}$ est la tension simple.

E_0 : *f.e.m* à vide.

E_a : *f.e.m* En charge.

V : Tension de sortie.

X_{ar} : Réactance de réaction d'induit.

X_a : Réactance de fuite.

X_s : $X_a + X_{ar}$ Réactance synchrone.

R_e : Résistance d'enroulement.

I.3 Modélisation d'une charge :

Une charge peut être modélisée par une impédance qui consomme une quantité constante de puissance active et réactive (Figures I.3 et I.4).



Figure I.3 et Figure I.4 : Modélisation d'une charge

I.4 Modélisation d'une compensation shunt :

Une compensation shunt qui peut être fixe ou variable, qui donne au réseau de l'énergie réactive contrôlable.

I.5 Modélisation de ligne longue :

Une ligne peut être considérée comme une série de circuit à constantes répartie uniformément sur toute sa longueur. Ces circuits sont composés d'une infinité d'élément

identique constitué, d'une inductance linéique, et d'une résistance linéique, dans le sens longitudinal, qui donnent naissance à de chutes de tension. Une conductance linéique et une capacité linéique dans le sens transversale. Le schéma équivalent en Π représenté par la figure (5)

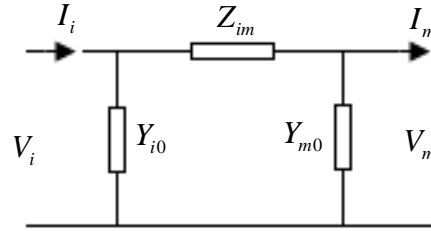


Figure I.5: modélisation d'une ligne longue

$$V_m = V_i - Z_{im} \cdot (I_i - Y_{i0} \cdot V_i) = V_i \cdot (1 + Z_{im} \cdot Y_{i0}) - Z_{im} \cdot I_i \tag{I-1}$$

$$\begin{aligned} I_m &= I_i - Y_{i0} \cdot V_i - Y_{m0} \cdot V_m = I_i - Y_{i0} \cdot V_i - Y_{m0} \cdot (V_i \cdot (1 + Z_{im} \cdot Y_{i0}) + Z_{im} \cdot I_i) \\ &= I_i \cdot (1 + Z_{im} \cdot Y_{i0}) - V_i \cdot (Y_{i0} + Y_{m0} + Y_{m0} \cdot Y_{i0} \cdot Z_{im}) \end{aligned} \tag{I-2}$$

Les équations (III-1) et (III-2) nous donnent le système suivant :

$$V_m = V_i \cdot (1 + Z_{im} \cdot Y_{i0}) - Z_{im} \cdot I_i \tag{I-3}$$

$$I_m = I_i \cdot (1 + Z_{im} \cdot Y_{i0}) - V_i \cdot (Y_{i0} + Y_{m0} + Y_{m0} \cdot Y_{i0} \cdot Z_{im}) \tag{I-4}$$

Concéderons une ligne de longueur L et des paramètres linéiques R' , L' , C' et G' .

Représente par le diagramme suivant :

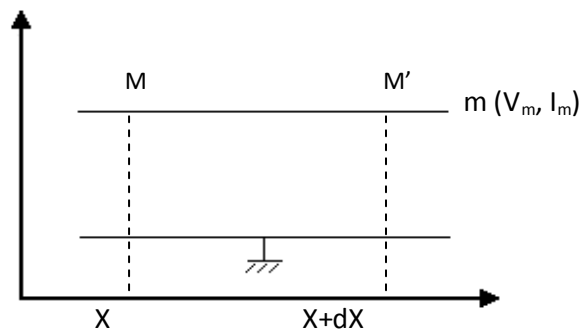


Figure I.6 : diagramme représente une ligne longue

$$Z' = R' + jL'\omega$$

$$Y' = G' + jC'\omega$$

$$\begin{aligned}
 V_m(X + dX) - V_m(X) &= -Z' \cdot I(X) \cdot dX & \Rightarrow & dV(X) = -Z' \cdot I(X) \cdot dX \\
 I_m(X + dX) - I_m(X) &= -Y' \cdot V(X) \cdot dX & & dI(X) = -Y' \cdot V(X) \cdot dX
 \end{aligned}
 \tag{I-5}$$

Ou encore :

$$\begin{aligned}
 \frac{dV(X)}{dX} &= -Z' \cdot I(X) \\
 \frac{dI(X)}{dX} &= -Y' \cdot V(X)
 \end{aligned}
 \tag{I-6}$$

En dérivant les équations (I-6) on obtient :

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2V(X)}{dX^2} &= \frac{-Z' \cdot dI(X)}{dX} \\
 \frac{d^2I(X)}{dX^2} &= \frac{-Y' \cdot dV(X)}{dX}
 \end{aligned}
 \tag{I-7}$$

En combinant (I-6) et (I-7) on obtient

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2V(X)}{dX^2} &= Z' \cdot Y' \cdot V(X) = 0 \\
 \frac{d^2I(X)}{dX^2} &= Y' \cdot Z' \cdot I(X) = 0
 \end{aligned}$$

Les systèmes sont des équations différentielles du second ordre dont la solution finale

$$\begin{aligned}
 V(X) &= V_i \cosh(\gamma \cdot X) - I_i \cdot Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot X) \\
 I(X) &= V_i / Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot X) + I_i \cdot \cosh(\gamma \cdot X)
 \end{aligned}
 \tag{I-8}$$

Avec les conditions

$$\begin{aligned}
 V(X = 0) &= V_i \\
 I(X = 0) &= I_i
 \end{aligned}$$

Où : $Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ (Impédance caractéristique de la ligne (Ω))

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} \quad (\text{Constante de propagation})$$

L'équation (III-8) nous donne le courant et la tension de la ligne en fonction de la longueur X

Pour $X = L$ on a

$$V(X = L) = V_m = V_i \cosh(\gamma \cdot L) - I_i \cdot Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot L)
 \tag{I-9}$$

$$I(X=L) = I_i = V_i / Z_c \cdot \sinh(\gamma.L) + I_i \cdot \cosh(\gamma.L) \quad (\text{I-10})$$

Les équations (I-9), (I-10) nous donne :

$$\begin{aligned} \cosh(\gamma.L) &= 1 + Z_{im} \cdot Y_{i0} = 1 + Z_{im} \cdot Y_{m0} \\ \frac{\sinh(\gamma.L)}{Z_c} &= Y_{i0} + Y_{m0} + Z_{im} \cdot Y_{m0} \cdot Y_{i0} \end{aligned}$$

D'où en tire

$$\begin{aligned} Z_{im} &= Z_c \cdot \sinh(\gamma.L) \\ Y_{i0} = Y_{m0} &= \tanh\left(\frac{\gamma.L}{2}\right) / Z_c \end{aligned} \quad (\text{I-11})$$

Finalement en a les expressions de l'impédance série Z_{im} et de l'admittance transversale ($Y_{i0} = Y_{m0}$) de la ligne de schéma équivalent en Π représenté sur la figure (5).

Pour les lignes de faible longueur on a :

$$\begin{aligned} \sinh(\gamma.L) &\cong \gamma.L \\ \tanh(\gamma.L) &\cong \gamma.L \\ Z_{im} &= (R' + jL'\omega)L = R + jL\omega = R + jX \\ Y_{i0} = Y_{m0} &= (G' + jC'\omega)L/2 = B + jG \end{aligned}$$

Ces types de lignes sont dites courtes, pour les lignes moyennes et longue Z_{im} , Y_{i0} , Y_{m0} sont donnes par l'équation (I-11).

I.6 Classification des nœuds des réseaux électrique : [2]

Chaque nœud est caractérisé par quatre variables : P, Q, V, θ . Si on connaît deux des quatre variables nous permettent de déterminer les deux autres à partir des équations principales de l'écoulement de puissance. En pratique, le problème se pose autrement. Pour cela il faut classifier les nœuds du système comme suit :

- ☒ Nœuds P-V. Pour ce type de nœuds, on associe les centrales de production. On spécifie la puissance active et le module de la tension. Les variables à déterminer sont la phase de la tension et la puissance réactive.
- ☒ Nœuds P-Q. Pour ce type de nœuds, on associe généralement les charges. Ces dernières sont caractérisées par la consommation des puissances active et réactive. On peut aussi associer des générateurs avec des puissances active et réactive fixées. Les variables à déterminer sont le module et la phase de la tension.
- ☒ Nœuds V-Q. Pour ce type de nœud on associe la centrale de production la plus puissante. Dans un nœud k (*nœud de référence ou slack bus*), on spécifie la phase et le module de la tension. Les valeurs à déterminer sont les puissances active et réactive.

I.7 Les équations de l'écoulement de puissance: [3]

On considère l'exemple d'un système a deux J.d.B suivant:

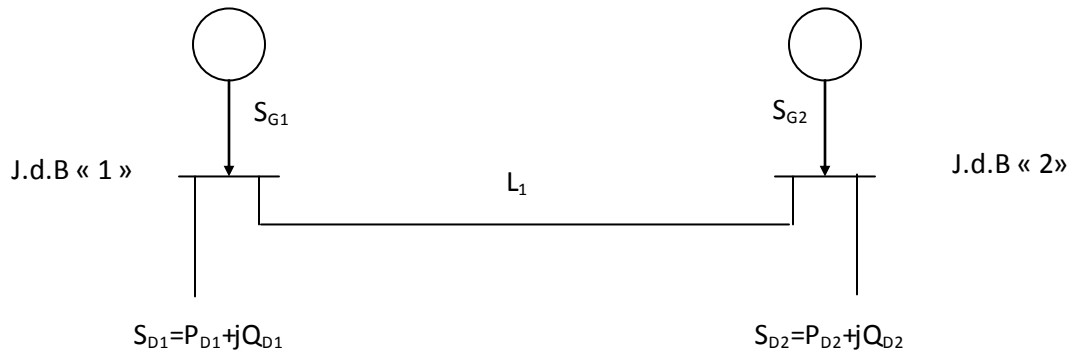


Figure I.7 : système a deux J.d.B

On note que :

$$S_1 = S_{G1} - S_{D1} \quad , \quad S_2 = S_{G2} - S_{D2} \quad (I-12)$$

Et en générale :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} \quad (I-13)$$

$$S_i = P_i + jQ_i = P_{Gi} + jQ_{Gi} - (P_{Di} + jQ_{Di})$$

$$S_i = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di})$$

L'application de la loi de KHIRCHOFF sur le système donne :

Au niveau de J.d.B « 1 »

$$I_1 = y_p \cdot V_1 + y_s (V_1 - V_2) = (y_p + y_s) V_1 - y_s \cdot V_2 \quad (I-14)$$

On sait que :

$$S_1 = V_1 \cdot I_1^* \Rightarrow I_1 = \frac{S_1^*}{V_1^*}$$

Au niveau de J.d.B « 2 »

$$I_2 = y_p \cdot V_2 + y_s (V_2 - V_1) = (y_p + y_s) V_2 - y_s V_1 \quad (I-15)$$

Avec :

$$S_2 = V_2 \cdot I_2^* \Rightarrow I_2 = \frac{S_2^*}{V_2^*}$$

Alors on peut écrire (I-14) (I-15) sous la forme :

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \quad (I-16)$$

$$I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2$$

Avec

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &= y_p + y_s & , & & Y_{22} &= y_p + y_s \\
 Y_{12} &= -y_s & , & & Y_{21} &= -y_s \\
 Y_{bus} &= \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} & & & & (I-17)
 \end{aligned}$$

On remplace (I-17) en (I-16) :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

et ainsi de suite. On peut généraliser la méthode de formulation comme suit pour le système a « n » J.d.B connectés entre eux .

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \left(\sum_{i=1, i \neq n}^m y_{1i} \right) V_1 + (-y_{12}) V_2 + \dots + (-y_{1n}) V_n \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 I_n &= (-y_{n1}) V_1 + (-y_{n2}) V_2 + \dots + \left(\sum_{i=1, i \neq n}^m y_{ni} \right) V_n
 \end{aligned}$$

La matrice admittance est donc :

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1, i \neq n}^n y_{1i} & \cdot & \cdot & (-y_{1n}) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ (-y_{n1}) & \cdot & \cdot & \sum_{i=1, i \neq n}^m y_{ni} \end{pmatrix}$$

$$I_{bus} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{pmatrix} \qquad V_{bus} = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{pmatrix}$$

I.7.1 Calcul de la puissance au niveau de nœud :

On a :

$$S_i = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) = P_i + jQ_i$$

Alors :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \cdot I_i$$

$$S_i^* = V_i^* \cdot \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \tag{I-18}$$

En coordonnées polaires :

$$V_i = |V_i| \cdot \underline{\delta}_i$$

$$y_{ij} = |y_{ij}| \cdot \underline{\gamma}_{ij}$$

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j = \sum |y_{ij}| |V_i| |V_j| e^{j(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij})}$$

Donc :

$$\begin{aligned} P_i &= \sum |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) \\ Q_i &= -\sum |y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) \end{aligned} \tag{I-19}$$

I.7.2 Les équations d'écoulement dans les lignes : [3]

Quand la solution itérative des tensions aux J.d.B est achevée, on peut calculer l'écoulement dans les lignes.

Le courant au J.d.B « i » dans la ligne de connexion de nœud « i » vers le nœud « k » est :

$$I_{ik} = (V_i - V_k) y_{ik} + V_i \cdot \frac{y'_{ik}}{2} \tag{I-20}$$

y_{ik} : Admittance de la ligne entre les J.d.B « i » et « k ».

y'_{ik} : Admittance totale de la ligne de charge.

$V_i \cdot \frac{y'_{ik}}{2}$: Contribution du courant au J.d.B « i » due a la ligne de charge.

La puissance écoule, active et réactive, est :

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* \cdot I_{ik} \tag{I-21}$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k) y_{ik} + V_i^* \cdot V_i \cdot \frac{y_{ik}}{2} \quad (\text{I-22})$$

Soient P_{ki} et Q_{ki} les puissances active et réactive réparties du J.d.B « k » vers le J.d.B « i ».

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^* (V_k - V_i) y_{ik} + V_k^* \cdot V_k \cdot \frac{y_{ik}}{2} \quad (\text{I-23})$$

Les pertes de puissances dans la ligne « i-k » sont égales à la somme algébrique de la répartition des puissances déterminée à partir des relations (I-22) et (I-23).

I.7.3 Les pertes de puissance dans lignes [4]

Au niveau de J.d.B la puissance apparente nette est la différence entre la puissance générée et la puissance demandée.

Pour un J.d.B « i » : On a : $S_i = S_{Gi} - S_{Di}$ avec :

$$\begin{aligned} P_i &= P_{Gi} - P_{Di} = F_{ip} \\ Q_i &= Q_{Gi} - Q_{Di} = F_{iq} \\ \sum P_i &= \sum F_{ip} = \sum P_{Gi} - \sum P_{Di} \end{aligned} \quad (\text{I-24})$$

$$\sum Q_i = \sum F_{iq} = \sum Q_{Gi} - \sum Q_{Di}$$

Le système d'équation (II-15) exprime l'expression des pertes. Où bien on peut calculer les pertes par une autre méthode, on calcule les pertes au niveau des lignes puis la somme donne l'expression des pertes.

$$\begin{aligned} P_{Lij} &= P_{ij} + P_{ji} \\ Q_{Lij} &= Q_{ij} + Q_{ji} \end{aligned} \quad (\text{I-25})$$

I.8 Facteur de puissance:

$$F = \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

I.9 Classification des variables d'équations d'écoulement de puissance : [5]

I.9.1 Les variables de perturbation :

Ces sont des variables non contrôlées représentant les puissances demandées par les charges, le vecteur de perturbation est :

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{pmatrix}$$

I.9.2 Les variables d'état :

Les tensions en module et en phase représentant l'état du système .Ces sont : $|V_1|, |V_2|, \delta_1, \delta_2$ qui sont représenté par le vecteur

$$X = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

X : est appelé vecteur d'état.

I.9.3 Les variables de contrôle :

Ce sont généralement les puissances actives et réactive générées. On peut aussi, selon des cas, considérer des tensions aux nœuds de génération ou les rapports de transformation des transformateurs avec régleur en charge, comme variable de contrôle .Ces sont : $P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$.

$$U = \begin{pmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ Q_{G1} \\ Q_{G2} \end{pmatrix}$$

Le tableau ci dessous représente la classification des nœuds.

Type de J.d.B	Les variables connues						Les variables inconnues			
	P_D	Q_D	P_G	Q_G	$ V $	δ	P_G	Q_G	$ V $	δ
J.d.B de référence	•	•			•	•	•	•		
J.d.B de charge	•	•	•	•					•	•
J.d.B de contrôle	•	•	•		•			•		•

Tableau I.1 : classification des variables

L'écoulement de puissance au niveau des J.d.B dans un système de puissance est comme suit :

1% J.d.B de référence.

80% a 90% J.d.B de charge.

Le reste J.d.B sont de contrôle.

Chapitre II

Les Méthodes Itératives

II. Les méthodes itératives :

II.1 Introduction

L'étude de la répartition de charge coordonne la projection d'extension future des systèmes de puissance (dans les réseaux électriques). Ainsi que la détermination du régime de fonctionnement des réseaux existants dans le but d'obtenir l'exploitation la plus économique conduisant à la meilleure utilisation de toutes les sources. Pour ce fait les prévisions concernant la consommation et la production sont faites par des études approfondies qui ont à faire aux méthodes numériques appliquées en ce domaine. Ces études ont pour but, le contrôle de l'exécution des programmes ainsi d'établir la surveillance et le maintien de la puissance, la tension, le courant et la fréquence exigée, de façon à réaliser une utilisation optimale des sources énergétiques.

La résolution du problème de l'écoulement de puissance, nous permet de déterminer les valeurs du module et de la phase de la tension en chaque nœud du réseau pour des conditions de fonctionnement données. Ce qui nous permettra de calculer les puissances transitées et générées et les pertes. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de déterminer les conditions de l'opération en régime permanent, d'un système de puissance, qui sont :

- La formulation d'un modèle mathématique appropriée.
- La spécification d'un certain nombre de variables et de contraintes dans les nœuds du système.
- La résolution numérique du système.

L'étude de l'écoulement de puissance permet :

- L'équilibre entre la production et la demande de l'énergie électrique.
- La précision des valeurs limites de la stabilité technique, pour éviter la détérioration de certains éléments du réseau.
- Le maintien des tensions aux J.D.B entre les limites tolérées ($V_{\min} < V < V_{\max}$), pour éviter l'endommagement de certains récepteurs et l'excès des pertes de puissance dans les lignes et les transformateurs ...etc.

- Le contrôle de la puissance réactive c'est-à-dire, le maintien de cette puissance entre deux limites ($Q_{\min} < Q < Q_{\max}$), pour éviter l'excès des coûts d'utilisation de la puissance réactive.
- L'interconnexion entre les centrales et les réseaux qui permet d'améliorer la qualité d'énergie fournit en tension et fréquence.
- La planification des réseaux (étude prévisionnelle répandant à la demande des usagers dans l'avenir). [6]

II.2 Les méthodes numériques utilisées :

La modélisation mathématique des systèmes non linéaires qu'il fallait résoudre pour l'étude du phénomène de la répartition de charge, consiste à faire appel aux outils mathématiques tel que, les méthodes itératives sont approximatives par ce que pour les systèmes des équations non linéaires, c'est impossible de les résoudre par les méthodes directes (règle de CRAMER, méthode des racines carrées....).

Ou par les méthodes itératives (méthode de relaxation), pour cela on utilise les méthodes itératives approximatives (méthode de GAUSS, méthode de GAUSS-SEIDEL, méthode de NEWTON-RAPHSON,.....).

Dans ce chapitre; on présente les techniques numériques de quelques méthodes de calculs :

- Méthode de GAUSS-SEIDEL.
- Méthode de NEWTON-RAPHSON.

II.2.1 La méthode itérative de GAUSS-SEIDEL: [9]

La méthode de GAUSS-SEIDEL est l'une de plus simples méthodes itératives utilisées pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance pour résoudre un ensemble très large d'équations algébriques non linéaires.

Principe :

Soit à résoudre la fonction : $f(x) = 0$

Cette méthode est basée sur le changement de l'équation $f(x) = 0$ à la forme $x = g(x)$

Pour une fonction $f(x)=0$, il est toujours possible de trouver une fonction $g(x)$, tel que $x = g(x)$ ($g(x)$ n'est pas unique).

On estime une valeur initiale x^0

$$\begin{cases} x^1 = g(x^0) \\ x^2 = g(x^1) \\ \cdot \\ \cdot \\ x^{k+1} = g(x^k) \end{cases} \quad (\text{II-1})$$

Où k : numéro d'itération

Le processus itératif se termine si la différence entre deux valeurs successives vérifie le test de convergence :

$$|x^{k+1} - x^k| \leq \varepsilon \quad (\text{II-2})$$

Pour un système de n équations :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \cdot & \end{aligned} \quad (\text{II-3})$$

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

Pour trouver l'algorithme de Gauss-Seidel on a besoin de reformer la fonction $f(x)=0$ a la forme itérative $x = g(x)$

$$\begin{cases} x^1 = g(x^0) \\ x^2 = g(x^1) \\ \cdot \\ \cdot \\ x^{k+1} = g(x^k) \end{cases} \quad (\text{II-4})$$

A la fin de chaque itération on fait le test de convergence :

$$|x^{k+1} - x^k| \leq \varepsilon$$

II.2.2 La méthode de Newton-Raphason (principe): [10]

II.2.2.1 Principe :

Soit une fonction scalaire $f(x)$.

Si f est continue et dérivable au voisinage de x , alors son développement en série de TAYLOR au voisinage $x = x^{(0)}$ est :

$$f(x^{(0)}) + f'(x^{(0)})\Delta x^{(0)} + f''(x^{(0)})\frac{(\Delta x^{(0)})^2}{2} + \dots = 0 \quad (\text{II-5})$$

Si $x^{(0)}$ est une estimation proche de la solution de $f(x)=0$, alors le carré de l'erreur $\Delta x^{(0)}$ (où $\Delta x^{(0)} = x^{(1)} - x^{(0)}$) et les termes de degrés supérieurs sont négligeables.

On aura l'équation :

$$f(x^{(0)}) + f'(x^{(0)})\Delta x^{(0)} = 0 \quad (\text{II-6})$$

$$\Delta x^{(0)} = -\frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})}$$

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(0)} = x^{(0)} - \frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})} \quad (\text{II-7})$$

En générale :

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \quad (\text{II-8})$$

k : Nombre des itérations, $k = 0, 1, 2, \dots, n$.

II.2.2.2 Résolution d'un système d'équation a ((n)) variables non linéaire:[10]

Considérons un système d'équations en générale non linéaire :

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \quad \text{(II-9)}$$

On pose

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{pmatrix} \quad f = \begin{pmatrix} f_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_n \end{pmatrix}$$

Le système (II-1) peut donc s'écrire sous une forme :

$$f(x) = 0 \quad \text{(II-10)}$$

La solution exacte de (II-18) pourra alors se mettre sous la forme :

$$x = x^{(0)} + \Delta x^{(0)} \quad \text{(II-11)}$$

$$x^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$$

$$\Delta x^{(0)} = (\Delta x_1^{(0)}, \Delta x_2^{(0)}, \dots, \Delta x_n^{(0)})$$

Au portant l'expression (II-11) dans (II-9), on aura :

$$f(x^{(0)} + \Delta x^{(0)}) = 0 \quad \text{(II-12)}$$

Supposons que $f(x)$ soit continûment dérivable dans un certain domaine qui contient x et $x^{(0)}$ et décomposons le premier membre de l'équation (II-12) par rapport aux puissances de petit vecteur $\Delta x^{(0)}$, en nous bornons aux termes linéaires

$$f(x^{(0)} + \Delta x^{(0)}) = f(x^{(0)}) + f'(x^{(0)}) \cdot \Delta x^{(0)} = 0 \tag{II-13}$$

Où, sous une forme développée :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1(x) = f_1(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_1(x^{(0)})}{\partial x_1}\right)\Delta x_1^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_1(x^{(0)})}{\partial x_n}\right)\Delta x_n^{(0)} = 0 \\ f_2(x) = f_2(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_2(x^{(0)})}{\partial x_1}\right)\Delta x_1^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_2(x^{(0)})}{\partial x_n}\right)\Delta x_n^{(0)} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ f_n(x) = f_n(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_n(x^{(0)})}{\partial x_1}\right)\Delta x_1^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_n(x^{(0)})}{\partial x_n}\right)\Delta x_n^{(0)} = 0 \end{array} \right. \tag{II-14}$$

Où $f(x) = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n)$

On peut écrire la formule (II-22) sous la forme :

$$f(x^{(0)}) + W(x^{(0)})\Delta x^{(0)} = 0$$

Donc la matrice Jacobienne du système des fonctions f_1, f_2, \dots, f_n des variables x_1, x_2, \dots, x_n

$$\begin{bmatrix} f_1(x^{(0)}) \\ f_2(x^{(0)}) \\ \cdot \\ \cdot \\ f_n(x^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1(x^{(0)})}{\partial x_1}\right) & \left(\frac{\partial f_1(x^{(0)})}{\partial x_2}\right) & \dots & \left(\frac{\partial f_1(x^{(0)})}{\partial x_n}\right) \\ \left(\frac{\partial f_2(x^{(0)})}{\partial x_1}\right) & \left(\frac{\partial f_2(x^{(0)})}{\partial x_2}\right) & \dots & \left(\frac{\partial f_2(x^{(0)})}{\partial x_n}\right) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \left(\frac{\partial f_n(x^{(0)})}{\partial x_1}\right) & \left(\frac{\partial f_n(x^{(0)})}{\partial x_2}\right) & \dots & \left(\frac{\partial f_n(x^{(0)})}{\partial x_n}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix} = 0 \tag{II-15}$$

En supposant que la matrice $W(x^{(0)})$ est régulière, on obtient :

$$\Delta x^{(0)} = -W^{-1}(x^{(0)}) \cdot f(x^{(0)})$$

Par conséquent :

$$x^{(1)} = x^{(0)} - W^{-1}(x^{(0)}) \cdot f(x^{(0)})$$

En générale :

$$x^{(P+1)} = x^{(P)} - W^{-1}(x^{(P)}) \cdot f(x^{(P)})$$

$$P = 0, 1, 2, \dots$$

II.2.2.3 Critère d'arrêts des itérations :

On arrête les opérations par l'un des tests suivants :

$$1/ \quad |x_i^{(K+1)} - x_i^K| < \varepsilon_1$$

$$2/ \quad \frac{|x_i^{(K+1)} - x_i^K|}{x_i^{(K+1)}} < \varepsilon_2$$

$$3/ \quad |f_i(x^{(K+1)})| < \varepsilon_3$$

$$4/ \quad K > K_{\max}$$

Où $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ sont des bornes supérieures de l'erreur fixées a priori et K_{\max} est le nombre maximum admissible d'itérations.

II.3 Les méthodes numériques appliquées aux équations de l'écoulement de puissance :

II.3.1 la méthode de Gauss Seidel appliquée aux équations de l'écoulement de puissance :

Cette méthode consiste à enlever séquentiellement chaque nœud et actualiser sa tension en fonction des valeurs disponibles de toutes les tensions.

Pour le cas concret de l'écoulement de puissance, la résolution de l'équation nodale suivante :

$$\begin{aligned} I_i &= Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n \\ &= \sum_{k=1}^n Y_{ik}V_k \end{aligned}$$

En général, on calcule le vecteur V qui satisfait le système non linéaire est :

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{j \neq i}^n Y_{ij} \cdot V_j \right]$$

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{(V_i^k)^*} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} \cdot V_j^{k+1} - \sum_{j=i}^n Y_{ij} \cdot V_j \right]$$

Le processus itératif est obtenu quand l'expression suivante est satisfaite :

$$|V_i^{k+1} - V_i^k| \leq \epsilon$$

II.3.2 la méthode de Newton-Raphson appliqué aux équations de l'écoulement de puissance :

D'après la forme générale d'équations de puissance au J.d.B :

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) = F_{ip} \\ Q_i &= \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) = F_{iq} \end{aligned} \right\} i = 1, 2, \dots, n \tag{II-16}$$

Où $i=1$ c'est le J.d.B de référence

n : Nombre de J.d.B

i : Numéro de J.d.B

Après développement de F_{ip} et F_{iq} en série de TAYLOR autour de la première approximation :

$$\left. \begin{aligned} P_i &= F_{ip}^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta V_2^{(0)} \\ Q_i &= F_{iq}^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta V_2^{(0)} \end{aligned} \right\} \tag{II-17}$$

Avec $F_{ip}^{(0)}$ et $F_{iq}^{(0)}$ sont des fonctions de tension et de phase :

A partir de la relation de $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$

$$\text{Avec } \left. \begin{aligned} \Delta P_i^{(0)} &= P_i - F_{ip}^{(0)} \\ \Delta Q_i^{(0)} &= Q_i - F_{iq}^{(0)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II-18})$$

Les deux systèmes d'équation (II-17) et (II-18) donnent :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta P_n^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \Delta Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{2p}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{2p}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{2p}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{2p}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{np}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{np}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{np}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{np}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{2q}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{2q}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{2q}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{2q}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{nq}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial F_{nq}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{nq}}{|V_2|} & \dots & \frac{\partial F_{nq}}{|V_n|} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_n^{(0)} \\ \Delta V_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{II-19})$$

On rappelle que :

$$\Delta \delta_i^{(K)} = \delta_i^{(K+1)} - \delta_i^{(K)}$$

$$i \neq 1(\text{ref}), i \neq 2(\text{cont})$$

$$\Delta |V_i|^{(k)} = |V_i|^{(K+1)} - |V_i|^{(K)} \quad (\text{II-20})$$

L'adaptation de (II-27) avec (II-28) donne :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(K+1)} \\ |V|^{(K+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(K)} \\ |V|^{(K)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \delta_i^{(K+1)} \\ |V|^{(K+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(K)} \\ |V|^{(K)} \end{bmatrix} + [J^{(K)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix}$$

D'une manière générale

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$$

J_1, J_2, J_3, J_4 Sont les sous matrice de Jacobienne.

II.3.2.1 Détermination des sous matrices de la Jacobienne J :

A partir du système d'équations (II-24) on peut déterminer les éléments de J

Sous matrice J_1 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i||V_j||y_{ij}|\sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), i \neq j \quad (\text{II-21})$$

21)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_i||V_j||y_{ij}|\sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), i = j$$

Sous matrice J_2 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_j||y_{ij}|\cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), i \neq j \quad (\text{II-22})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||y_{ij}|\cos(\gamma_{ij}) + \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_j||y_{ij}|\cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), i = j$$

Sous matrice J_3 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = |V_i||V_j||y_{ij}|\cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), i \neq j \quad (\text{II-23})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_i||V_j||y_{ij}|\cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), i = j$$

Sous matrice J_4 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_j| |y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}), \quad i \neq j \quad (\text{II-})$$

24)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = - \sum_{j=1, i \neq j}^n |V_j| |y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) - 2|V_i| |y_{ij}| \sin(\gamma_{ij}), \quad i = j$$

II.3.2.2 Les étapes de calcul :

1. A partir des données du système, on prend la matrice d'admittance Y_{bus} .
2. On estime les valeurs initiales $|V_i|^{(0)}$ et $\delta_i^{(0)}$ pour les J.d.B de charge et $\delta_i^{(0)}$ pour les J.d.B de contrôle.
3. On calcule P , Q qui nous donne ΔP , ΔQ .
4. Formation de la matrice Jacobienne J .
5. On trouve l'inverse de Jacobienne.
6. On calcule
$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

On obtient :

$$\begin{aligned} \delta_i^{(1)} &= \delta_i^{(0)} + \Delta \delta_i^{(0)} \\ |V_i|^{(1)} &= |V_i|^{(0)} + \Delta |V_i|^{(0)} \end{aligned}$$

7. le processus se répète jusqu'à ce que la tolérance suivante se vérifie.
 $\max(\Delta P, \Delta Q) \leq \varepsilon$.
8. On prend les résultats obtenus.

II.3.2.3 Les approximations dans la méthode de Newton-Raphson :

Pour une petite variation dans le module de la tension au J.d.B, la puissance active au J.d.B ne varie pas d'une façon appréciable. Même aussi pour une petite variation de l'angle de phase de la tension au J.d.B, la puissance réactive ne subit pas une variation appréciable. Donc on suppose que les éléments J_2 et J_3 de la matrice Jacobienne sont nuls :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

II.4 Conclusion

L'importance de l'étude de l'écoulement de puissance est capitale pour l'obtention de tous les paramètres du réseau électrique, pour chaque nœud dont ils : Puissance (Active et Réactive) Tension (Module et Angle) Parmi les méthodes de résolution, on a choisit la méthode de GAUSS-SEIDEL. Cette dernière a été appliquée dans différents réseaux

Chapitre III

Application

III. Application :

III.1 Calcul l'Écoulement de puissance par la méthode gauss Seidel :

III.1.1 Réseau électrique de 30 jeux de barres :

Les réseaux électriques actuellement implantés sont caractérisés par leurs charges électriques qui sont nombreuses et distantes des centres de production d'énergie . on propose un réseau électrique de moyen taille , constitué de 30 jeux de barres, 6 générateur ,24charges et 40 lignes électriques.

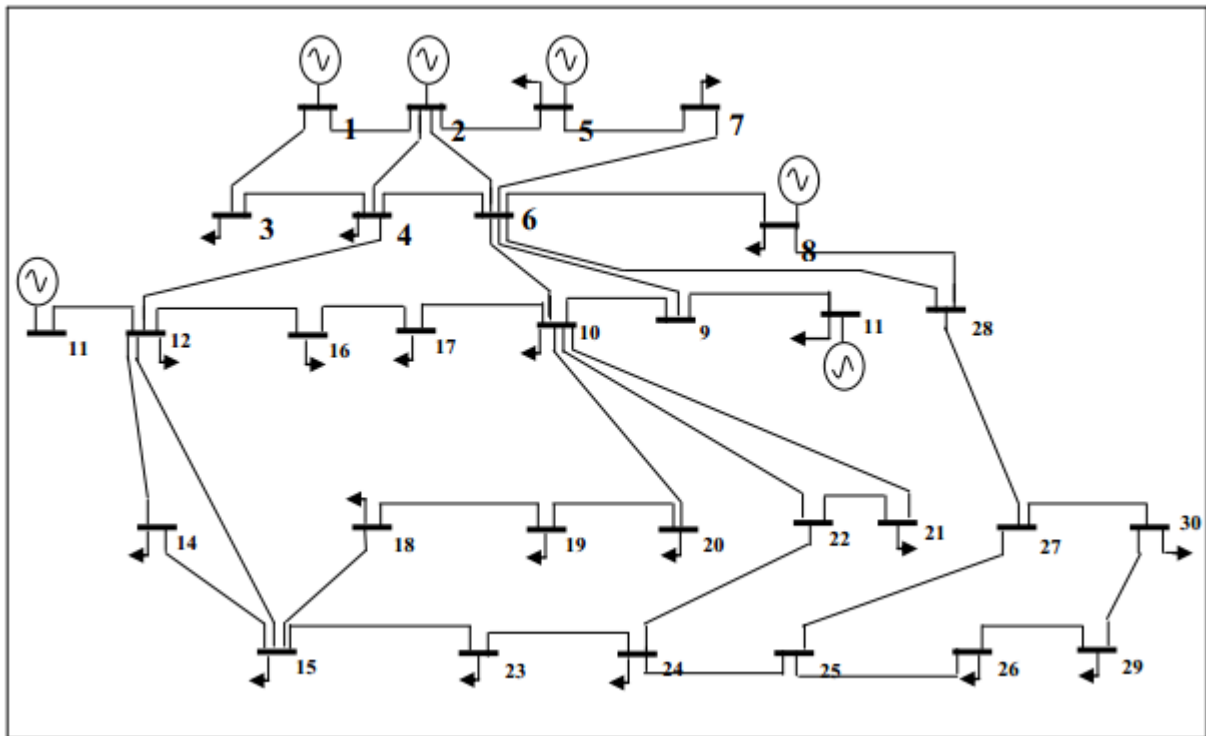


Figure III.1. Schéma d'un réseau test de 30 jeux de barres

III.1.2 Organigramme de la méthode Gauss-Seidel avec Y bus :[11]

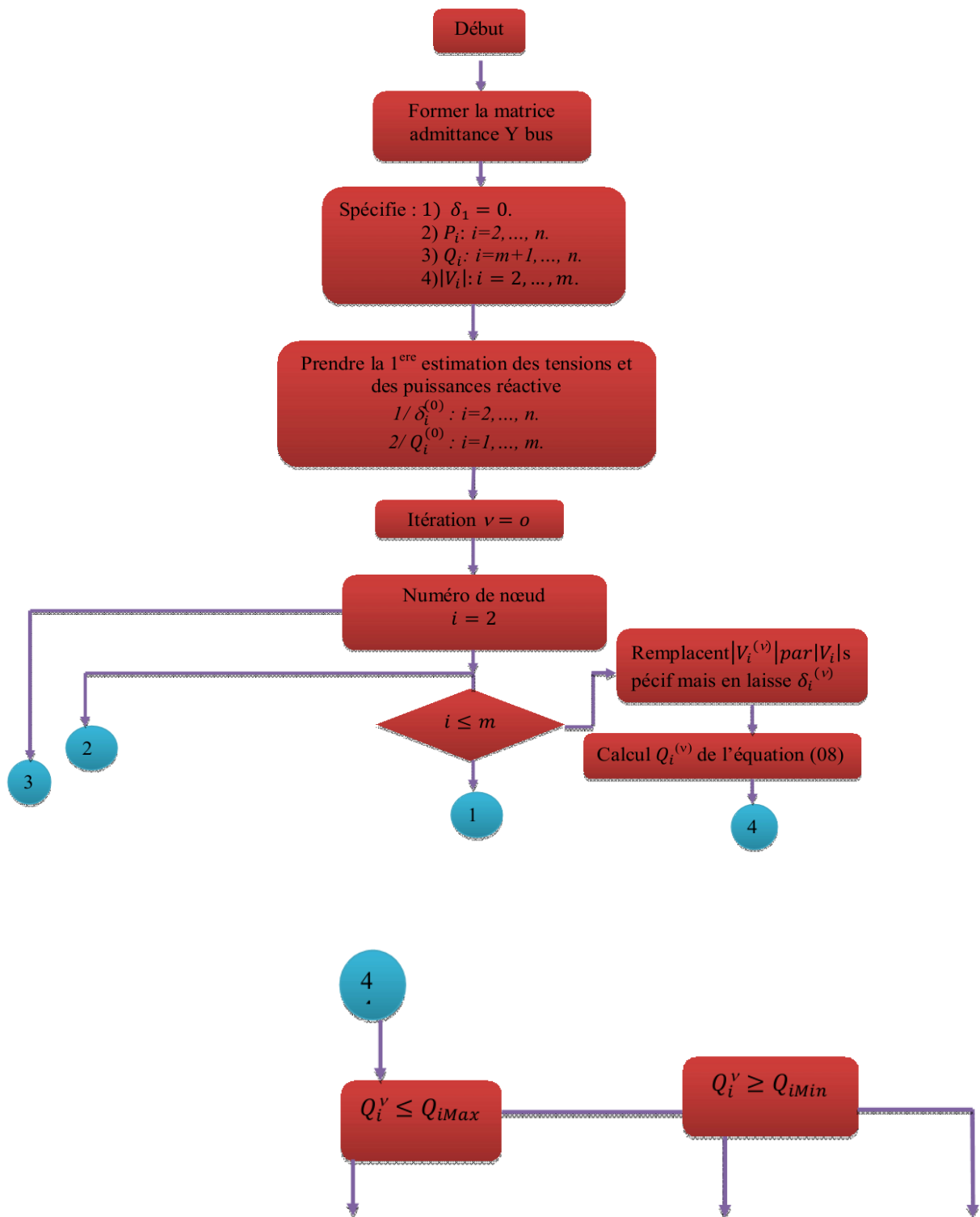
On pose quelques remarques pour l'organigramme :

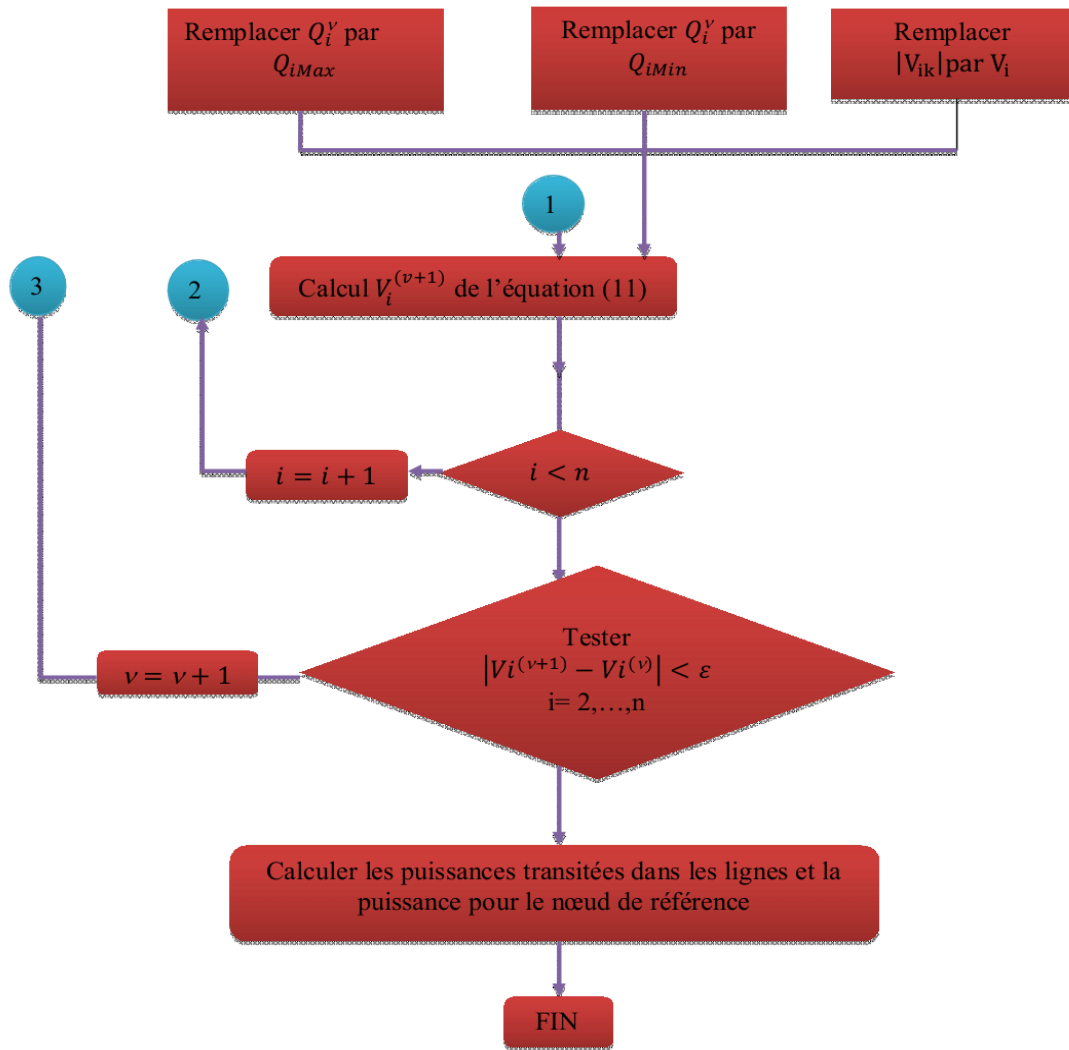
$i=1$: Nœud de référence.

$i=2, \dots, m$: Nœuds du contrôle.

$i=m+1, \dots, n$: Nœuds de charge.

On voit que l'itération sont continue jusqu'à la tolérance (ϵ) est vérifiée





La solution d'écoulement de puissance par la méthode itérative de Gauss-Seidel on Utilisant Y bus.

III.2. les résultats de programmation (réseau 30 jeux de barres)

Tableau (III.1) : Ecoulement de puissance par Gauss Siedel

No. of Iterations = 42

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-Load-		-Generation-	
			MW	Mvar	MW	Mvar
1	1.060	0.000	0.000	0.000	259.546	41.334
2	1.020	-1.816	21.700	12.700	40.000	14.206
3	1.003	-5.932	2.400	1.200	0.000	0.000
4	0.990	-7.146	7.600	1.600	0.000	0.000
5	0.952	-11.152	94.200	19.000	0.000	9.163
6	0.977	0.000	-8.544	0.000	0.000	0.000
7	0.958	-10.201	22.800	10.900	0.000	0.000
8	0.965	-9.162	30.000	30.000	0.000	5.916
9	1.000	-11.876	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.970	-13.666	5.800	12.000	0.000	0.000
11	1.083	-11.882	0.000	0.000	0.000	43.154
12	1.011	-13.605	11.200	7.500	0.000	0.000
13	1.072	-13.612	0.000	0.000	0.000	47.047
14	0.991	-14.519	6.200	1.600	0.000	0.000
15	0.983	-14.463	8.200	2.500	0.000	0.000
16	0.986	-13.922	3.500	1.800	0.000	0.000
17	0.969	-13.983	9.000	5.800	0.000	0.000
18	0.965	-14.955	3.200	0.900	0.000	0.000
19	0.958	-15.043	9.500	3.400	0.000	0.000
20	0.961	-14.770	2.200	0.700	0.000	0.000
21	0.957	-14.167	17.500	11.200	0.000	0.000
22	0.958	-14.159	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.963	-14.682	3.200	1.600	0.000	0.000
24	0.945	-14.587	8.700	6.700	0.000	0.000
25	0.943	-14.177	0.000	0.000	0.000	0.000
26	0.924	-14.674	3.500	2.300	0.000	0.000
27	0.951	-13.629	0.000	0.000	0.000	0.000
28	0.972	-9.212	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.929	-15.060	2.400	0.900	0.000	0.000
30	0.917	-16.097	10.600	1.900	0.000	0.000
Total			283.400	136.200	299.546	160.820

Tableau(III.2) : Ecoulement de puissance et pertes

-Ligne-	Puissance au JB & line flow				--Perte - -Lignes-	
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar
1		259.546	41.334	262.817		
	2	195.706	23.715	197.138	6.666	1.275
	3	64.203	17.611	66.574	1.818	3.102
2		18.300	1.506	18.362		
	1	-189.039	-22.440	190.367	6.666	1.275
	4	54.681	0.087	54.681	1.640	1.280
	5	84.528	19.348	86.714	3.452	10.434
	6	68.337	4.555	68.488	2.631	4.256
3		-2.400	-1.200	2.683		
	1	-62.385	-14.509	64.050	1.818	3.102
	4	60.332	13.313	61.784	0.502	0.607
4		-7.600	-1.600	7.767		
	2	-53.041	1.193	53.054	1.640	1.280
	3	-59.830	-12.706	61.164	0.502	0.607
	6	61.550	15.460	63.462	0.490	0.835
	12	43.995	-5.517	44.340	0.000	5.132
5		-94.200	-9.837	94.712		
	2	-81.077	-8.914	81.565	3.452	10.434
	7	-13.037	-0.919	13.069	0.086	-1.642
6		0.000	0.000	0.000		
	2	-65.705	-0.299	65.706	2.631	4.256
	4	-61.059	-14.625	62.786	0.490	0.835
	7	36.453	9.817	37.752	0.404	-0.351
	8	29.582	18.366	34.819	0.155	-0.307
	9	27.290	-10.334	29.181	-0.000	1.857
	10	15.214	1.777	15.317	0.000	1.368
	28	18.912	-4.677	19.482	0.064	-12.119
7		-22.800	-10.900	25.272		
	5	13.123	-0.723	13.143	0.086	-1.642
	6	-36.050	-10.169	37.456	0.404	-0.351
8		-30.000	-24.084	38.472		
	6	-29.427	-18.673	34.851	0.155	-0.307
	28	-0.679	-5.405	5.448	0.008	-3.990
9		0.000	0.000	0.000		
	6	-27.290	12.191	29.889	0.000	1.857
	11	0.056	-39.853	39.853	0.000	3.302
	10	27.565	27.662	39.051	0.000	1.677
10		-5.800	-12.000	13.328		
	6	-15.214	-0.410	15.219	0.000	1.368
	9	-27.565	-25.985	37.882	0.000	1.677
	20	8.871	0.614	8.892	0.079	0.176
	17	5.696	-1.219	5.825	0.012	0.030
	21	15.521	10.078	18.505	0.127	0.272
	22	7.558	4.587	8.841	0.060	0.124

11		0.000	43.154	43.154		
	9	-0.056	43.154	43.154	0.000	3.302
12		-11.200	-7.500	13.479		
	4	-43.995	10.649	45.266	0.000	5.132
	13	0.092	-44.353	44.353	0.000	2.694
	14	8.149	3.966	9.063	0.099	0.206
	15	17.944	12.891	22.094	0.316	0.623
	16	7.137	9.176	11.625	0.125	0.263
13		0.000	47.047	47.047		
	12	-0.092	47.047	47.047	0.000	2.694
14		-6.200	-1.600	6.403		
	12	-8.050	-3.761	8.885	0.099	0.206
	15	1.868	2.118	2.824	0.018	0.016
15		-8.200	-2.500	8.573		
	12	-17.628	-12.268	21.477	0.316	0.623
	14	-1.850	-2.102	2.800	0.018	0.016
	18	6.093	4.813	7.765	0.067	0.136
	23	5.279	7.039	8.799	0.080	0.162
16		-3.500	-1.800	3.936		
	12	-7.012	-8.914	11.341	0.125	0.263
	17	3.568	7.094	7.941	0.053	0.125
17		-9.000	-5.800	10.707		
	16	-3.514	-6.970	7.806	0.053	0.125
	10	-5.684	1.249	5.820	0.012	0.030
18		-3.200	-0.900	3.324		
	15	-6.026	-4.677	7.628	0.067	0.136
	19	2.945	3.721	4.745	0.015	0.031
19		-9.500	-3.400	10.090		
	18	-2.929	-3.690	4.711	0.015	0.031
	20	-6.359	0.187	6.361	0.015	0.030
20		-2.200	-0.700	2.309		
	19	6.374	-0.157	6.375	0.015	0.030
	10	-8.793	-0.439	8.803	0.079	0.176
21		-17.500	-11.200	20.777		
	10	-15.394	-9.805	18.252	0.127	0.272
	22	-1.386	-1.734	2.220	0.001	0.001
22		0.000	0.000	0.000		
	10	-7.498	-4.462	8.725	0.060	0.124
	21	1.387	1.735	2.221	0.001	0.001
	24	5.664	2.931	6.377	0.051	0.079
23		-3.200	-1.600	3.578		
	15	-5.199	-6.877	8.621	0.080	0.162
	24	2.017	5.271	5.644	0.045	0.093
24		-8.700	-6.700	10.981		
	22	-5.613	-2.851	6.295	0.051	0.079
	23	-1.971	-5.179	5.541	0.045	0.093
	25	-1.159	1.359	1.786	0.007	0.012
25		0.000	0.000	0.000		
	24	1.166	-1.347	1.782	0.007	0.012

	26	3.573	2.366	4.285	0.053	0.078
	27	-4.658	-1.053	4.776	0.028	0.054
26		-3.500	-2.300	4.188		
	25	-3.520	-2.288	4.198	0.053	0.078
27		0.000	0.000	0.000		
	25	4.686	1.107	4.815	0.028	0.054
	28	-17.981	-4.515	18.539	0.000	1.506
	29	6.214	1.707	6.444	0.101	0.191
	30	7.133	1.706	7.334	0.191	0.359
28		0.000	0.000	0.000		
	27	17.981	6.021	18.962	0.000	1.506
	8	0.687	1.415	1.573	0.008	-3.990
	6	-18.849	-7.442	20.265	0.064	-12.119
29		-2.400	-0.900	2.563		
	27	-6.113	-1.516	6.298	0.101	0.191
	30	3.726	0.613	3.776	0.040	0.075
30		-10.600	-1.900	10.769		
	27	-6.943	-1.348	7.072	0.191	0.359
	29	-3.686	-0.538	3.725	0.040	0.075
Perte Total					19.498	24.051

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Tout système énergétique doit remplir les trois fonctions essentielles de production, de transport, et de distribution, la distinction entre ces trois fonctions nous permet de comprendre le fonctionnement du réseau.

L'étude de l'écoulement de puissance dans un réseau électrique s'avère très importante pour avoir une exploitation économique et efficace des ressources de production et de distribution de l'énergie électrique.

Pour mieux effectuer cette analyse on doit réaliser les deux étapes suivantes :

- Formulation mathématique du problème c'est-à-dire la formulation des équations de l'écoulement de puissance qui sont des équations sous forme complexe et non linéaire.*
- La résolution des équations d'écoulement de puissance qui consiste à choisir une méthode numérique pour la solution, le choix d'une méthode quelconque dépend de plusieurs critères tels que (la précision, la taille de réseau, etc....).*

Parmi ces méthodes itératives, la méthode de Newton-Raphson est la plus utilisée à raison de leur performance excellente.

Dans notre projet nous avons appliqué la méthode de Newton-Raphson pour l'obtention de la solution des problèmes de l'écoulement de puissance. Cette application a été réalisée à l'aide d'un programme en Matlab.

Références Bibliographique

- [1] Abdelaziz Chaghi « documents pédagogiques et didactiques» université de Batna 2000/2001.
- [2] Haimour Rachida« Contrôle des Puissances Réactives et des Tensions par les Dispositifs FACTS dans un Réseau Electrique» mémoire de magister, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran 2008-2009
- [3] BOUAKAZ Hacéne, SEGGA Salim« Calcul de la répartition de charge avec compensation dans le réseau électrique » mémoire de fin d'étude; université de Biskra (promotion 1998) .
- [4] Computer methods in power system analysis (chapter 08) ALLEN Wastage, Abier, International Student Edition.Ahmed.
- [5] William D.Stevenson, “Element of power system analyse”, Mc.Graw-Hill.
- [6] Z.F.Fethi et G.Abdelmalek et D.Mohammed,«L'application de la Méthode Newton-Raphson à L'écoulement de Puissance Dans Le Système Electrique». Mémoire de fin d'étude université EL-OUDE Promotion (2007)
- [7] MANSOURI Dris, GUMMOUDI Mohammed, FERHAT Abdelhamid.«Calcule d'écoulement de puissance par la méthode GAUSS-SEIDEL» , Mémoire de fin d'étude Université de Biskra (promotion 1996)
- [8] Olle I. Elgerd: Electric Energy Systems Theory —An Introduction McGraw-Hill 1970[14] Khat Mounir « Répartition optimale des puissances réactives dans un réseau d'énergie électrique sous certaines contraintes de sécurité » Thèse de doctorat d'état .Oran 2003
- [9] Adama D. Diarra, "La répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle des tensions de barre d un réseau électrique par simplex LP", Université du Québec ;Septembre 1984.
- [10] N. Mancor, B. Mahdad, K.Srairi. “ Multi Objective Optimal Reactive Power Flow Based STATCOM Using Three variant of PSO” I nternational Journal of E

nergy E ngineering, Published online at [http:// journal.sapub.org/ijee](http://journal.sapub.org/ijee) , , Vol.2 N°.2, pp 1- 7, 2012

[11] M. Hamed, B. Mahdad, K. Srairi and N. Mancer. ‘‘Solving Dynamic Economic Dispatch with Modified PSO Algorithm Considering Valve Points Effect and Ramp Rate generators Limits’’, Has been accepted in journal.sapub.org/ijee,