

11/021.794

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8Mai 1945 – Guelma

Faculté des sciences et de la technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux électriques

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Répartition de la puissance active dans un Réseau électrique

Présenté par :
BALASKA AMIRA

Sous la direction de :
Mr. GOUAIDIA SAID



Mai 2013

Remerciement

بسم الله الذي تتم ب نعمته الصالحات

13/2958

Louange a dieu tout puissant de m'avoir donné la force et la volonté

Pour réaliser ce travail

Je tiens à remercier vivement mon encadreur M. Fouaidia Saïd qui avec ses pertinentes observations a permis

D'élaborer ce mémoire.

Mes remerciements à mes professeurs qui durant tout le cursus universitaire m'ont donné le savoir nécessaire à la concrétisation de ce travail.

Je tiens à remercier les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter et évaluer ce travail

Enfin mes remerciements également à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire sans oublier mes amis et mes collègues pour leur soutien inconditionnel

Meilleur Remerciement

Dédicace

Avant tout je remercie le bon dieu de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'étude et que grâce a lui ce travail a pu être réalisé.

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma défunt mère « Khaoula » symbole de courage et de sacrifice,
mon papa chéri « Youcef » et ma petite sœur adorée « Abir »*

Ma chère grand-mère « Mamou »

Mes amis intimes : « Asma », « Samah », « Souad » et « Mohamed ».

Ma chère cousine « Imene » qui m'a beaucoup aidé.

*A tout le personnel du Département de Génie Electrique de L'université de Guelma et
l'université de Skikda.*

A tous mes professeurs.

MERCIE

AMIRA

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I Analyse de l'écoulement de puissance

I.1 Introduction	2
I.2 Formulation du Modèles du Réseau	2
I.2.1 Formulation Mathématique	2
I.2.2. Classification des jeux de barres	3
I.2.3. Signe de puissance active et réactive.....	3
I.3.La Matrice admittance	4
I.3.1. Modélisation de système à deux jeu de barres.....	4
I.3.2. Formation de la matrice admittance	7
II.4.Les Equations d'équilibres des puissances.....	9

Chapitre II Méthodes Itératives

II.1 Introduction	11
II.2. Méthode de Gauss-Seidel.....	11
II.2.1. ALGORITHME DE GAUSS-SEIDEL.....	12
II.2.2. Méthode de Gauss- Seidel en utilisant la matrice admittance.....	12
II.2.3 Algorithme de la méthode de Gauss Seidel	14
II.2.4 Organigramme de Gauss-Seidel utilisant la matrice Admittance....	15
II.3 Méthode de Newton-Raphson	16
II.3.1 Principe	16
a) Dans le cas d'un scalaire	16
b) Dans le cas des multi variables	17

II.3.2. Application de la méthode de Newton-Rafeson pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance	18
II.3.3 Organigramme de la méthode de newton-Rafeson	23
II.3.4 Remarques	24
II.4 la méthode de l'écoulement de puissance découplée	25
II.5. Méthode de l'écoulement de puissance découplée rapide	27
II.6.Application sur un réseau de vent six nœuds	30
a- Schéma de base du réseau	30
b- Données du réseau	31
c- Impédance de la ligne et admittance ces shunt	32
II.7.Résultat de calcul de l'écoulement de puissance	33
a) Résultats après exécution en MATLAB	33
b) Les puissances de lignes et les pertes	35
c) Les puissances Actives de Réseau	37
Conclusion	38

Chapitre III Répartition Economique de puissance Active

III.1 Introduction	39
III.2.Répartition Economique de puissance Active	39
III.3.La fonction du coût	39
III.4.Dispatching Economique Sans Pertes	40
III.5.Dispatching Economique Avec Pertes	41
III.6.Dispatching Economique de la puissance Réactive	41
III .7. L'action des contraintes	41
III.7.1) Les contraintes de type égalité	41
III.7.2) Les contraintes de type inégalité	42

III.8.Application sur un réseau à (26) Nœud	43
III.8.1.Détermination de cout sans Répartition Optimale.....	43
III.8.2.Détermination Des puissances Optimales	44
a) Premier cas : Optimisation Sans Perte	44
b) Deuxième cas : Optimisation Avec Pertes	46
Conclusion	55
Conclusion Générale	56

Table Des Figures et Tableaux

Chapitre 1 :

•Tableau1	Présentation des différents jeux de barres d'un réseau électrique	Page :3
• Tableau2	Signe de puissance active et réactive	Page :3
•Figure1	Schéma d'un système à 2 jeux de barres	Page :4
•Figure2	Schéma équivalent	Page :5
•Figure3	Schéma équivalent d'un système à 2 jeux de barres	Page :6
•Figure4	Transformation des sources	Page :7
•Figure5	Système équivalent à 4 jeux de barres	Page :8

Chapitre 2 :

	Organigramme de Gauss-Seidel	Page :15
	Organigramme de Newton Raphson	Page :23
• Figure1	Schéma de base du réseau	Page :30
• l' tableau1	Donnée du réseau	Page :31
• Tableau2	Impédance de la ligne et admittance ces shunt	Page 32
•Tableau 3	Résultat de calcul de l'écoulement de puissance	Page :34
•Tableau 4	Les puissances de ligne et les pertes	Page :35
•Tableau 5	Les puissances actives du réseau	Page :37

Chapitre 3 :

• Figure1	Organigramme de Gauss-Seidel	Page :39
• Tableau1	Organigramme de Newton Raphson	Page :54

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 industrie qui consomme la plus grande partie de cette énergie produite .

Au cours de ces dernière Décennies , la consommation de l'énergie électrique a augmenté et progressé considérablement ce qui a nécessité l'élaboration de nouvelles techniques pour le contrôle parfait, la gestion efficace et l'exploitation économique des moyens de production de transport et de distribution de cette énergie .

L'exploitation du grand développement domaine informatique et l'apparition des nouvelles générations d'ordinateurs plus rapides et plus puissants , a conduit à une étude plus profonde et un calcul plus précis et rigoureux du réseau électrique .

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.

BUT DU PROJET :

- La première partie est l'étude de la répartition des puissances en utilisant des méthodes itératives de calcul tel que les méthodes de Gauss-Seidel et Newton-Rafeson.
- La deuxième partie concerne d'étude réside dans le contrôle de la répartition économique de puissance active générée par les unités de production.

Chapitre I :

**Analyse de l'écoulement de
puissance**

13

Chapitre .I

Analyse de l'écoulement de puissance

I.1 Introduction

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à calculer la répartition des puissances actives et réactives, les tensions (amplitudes et phases) du réseau pour les extrémités spécifiques et des conditions données aux jeux de barres, et les pertes de puissance active et réactive dans les lignes de transport. Ce calcul est à l'état normal ou dans des conditions l'exploitation critiques.

Les informations obtenues de l'écoulement de puissance sont utilisées d'un part, pour tester la capacité du système à transférer l'énergie électrique des unités de génération vers les charge sans surcharger les lignes de transport , et pour déterminer le réglage adéquat des tensions des compensateurs shunts et les transformateurs menus de prises de charges , d'autre part .

I.2 Formulation du Modèles du Réseau

I.2.1 Formulation Mathématique :

Puisque les systèmes de puissance sont souvent équilibrés, une représentation unifilaire du Réseau est adéquat pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance .A chaque jeu de barre sont associées quatre grandeurs : la puissance active et réactive, le module de tension et l'angle de phase.

La tension et la puissance au niveau d'un jeu de barre i sont exprimées, respectivement, comme suit :

$$U_i = V_i (\cos \Theta_i + j \sin \Theta_i) \dots \dots \dots (1.1)$$

$$S_i = P_i + jQ_i \dots \dots \dots (1.2)$$

V_i : l'amplitude tension.

Q_i : la puissance réactive.

Θ_i : l'angle de phase.

S_i : la puissance apparente.

P_i : la puissance active.

I.2.2. Classification des jeux de barres :

Il existe trois types de jeu de barre (J-B) :

● Le jeu de barre balancier

C'est un jeu de barre connecté à une source de tension. Sa tension est considérée constante et son angle de phases est pris comme référence. Ses puissances actives et réactives doivent être calculées pour compenser les pertes dans les lignes. Le jeu de barre balancier est choisi parmi les jeux de barres de générations dont la puissance active est la plus importante.

● Le jeu de barre de Génération

Ayant les valeurs de puissance active et le module de tension spécifiée.

● Le jeu de barre de Charge

Ayant la valeur de puissance active et réactive spécifiées.

types de jeu de barre	Grandeurs connues	Grandeurs inconnues
Bilan	$ V = 1.0, \theta = 0^\circ$	P, Q
Générateur	P, $ V $	Q, θ
charge	P, Q	$ V , \theta$

Tableau 1. Présentation des différents jeux de barres d'un réseau électrique

I.2.3. Signe de puissance active et réactive

Les puissances actives et réactives pour les jeux de barres de générations sont en générale de signe positif. Quant au jeu de barres de charges ces puissances sont de signe négatif. Cependant il faut tenir compte des remarques présentées dans le tableau suivant :

	Puissance active P	Puissance réactive Q
J-b PQ	-	-
J-b PQ	-	+
J-b PV	+	+
J-b PV	+	-
J-b d'un compensateur local capacitif shunté	/	+

Tableau 2 : Signe de puissance active et réactive

I.3. La Matrice admittance

Pour résoudre le problème de la répartition des puissances, il faut connaître la configuration du réseau qui est représenté soit par la matrice impédance ou la matrice admittance. Cette dernière étant creuse et souvent utilisée.

La matrice admittance d'un réseau de n jeu de barres est une matrice complexe carrée symétrique d'ordre « n », chaque élément Y_{ki} en dehors de la diagonale est l'opposé de l'admittance de la branche entre les nœuds « k » et « i », et chaque élément de la diagonale Y_{kk} est la somme de toutes les admittances des branches liées au jeu de barre « k ».

Dans le calcul des éléments de la matrice, on doit tenir compte des effets des éléments shuntés à la terre (les condensateurs, les inductances, les lignes de charge et les éléments shunts des transformateurs).

I.3.1. Modélisation de système à deux jeu de barres :

Soit le système de la figure :

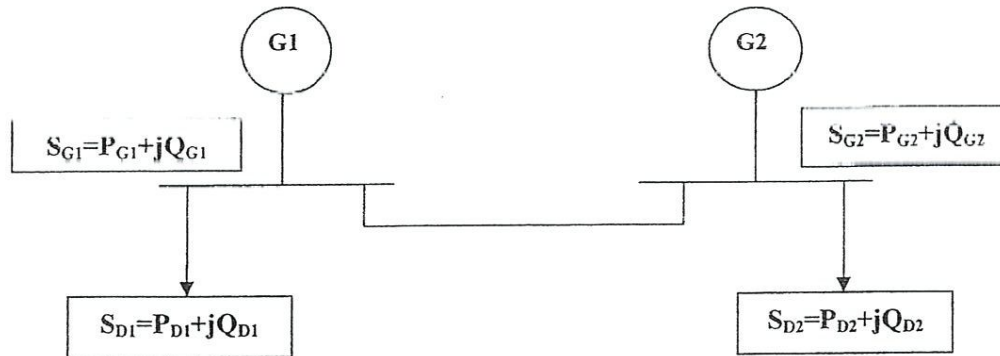


Figure.1 : Schéma d'un système à Deux jeux de barre

Ce réseau est composé de deux jeux de barres S_{G1} et S_{G2} qui sont des puissances injectées respectivement aux jeux de barres (1) et (2), elles sont générées par G_1 et G_2 .

Les deux jeux de barres sont interconnectés par une ligne de transmission ayant :

- Deux admittances parallèles Y_p .
- Une admittance série Y_s .

V_1, V_2 : Les tensions au jeux de barres (1) et (2).

S_{D1}, S_{D2} les puissances demandées respectivement aux jeux de barres (1) et (2).

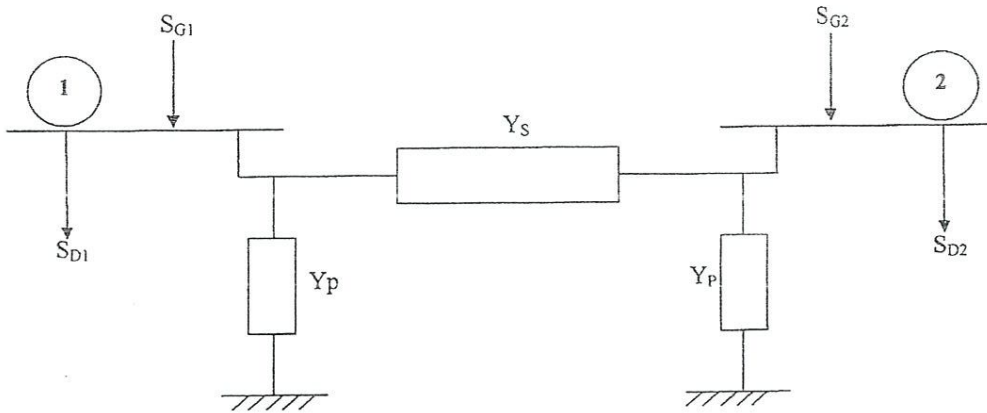


Figure.2.Schéma Equivalent

Tel que :

$$S_{G1} > S_{G2}$$

Donc il y'a des pertes aux niveaux des jeux de barres.

$$\begin{cases} S_1 = S_{G1} - S_{D1} \\ S_2 = S_{G2} - S_{D2} \end{cases} \dots\dots\dots(1.3)$$

Pour un jeu de barre quelconque (i) tel que $i=1,2,\dots\dots\dots n$; on a :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} \dots\dots\dots(1.4)$$

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

$$S_i = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \dots\dots\dots(1.5)$$

Le schéma équivalent d'un système à deux jeux de barres peut être représenté comme suit :

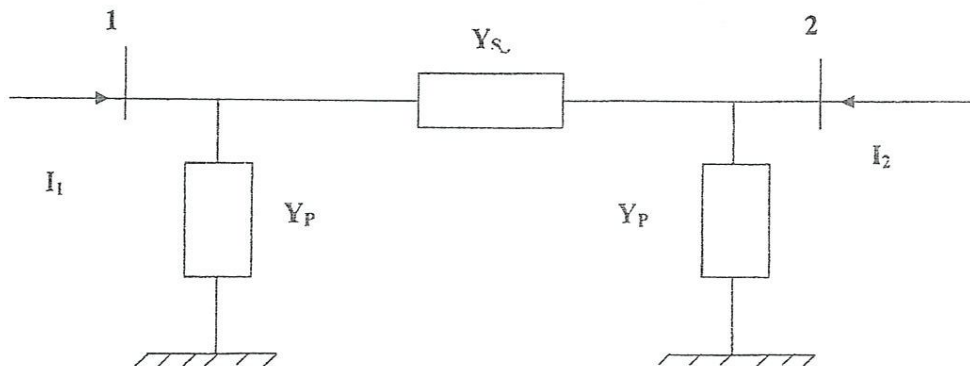


Figure. 3 Schéma Equivalent D'un Système à Deux (JB).

On peut écrire les équations suivantes :

● Pour le jeu de barre (1) :

$$S_1 = V_1 I_1^* \dots \dots \dots (1.6)$$

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = Y_p V_1 + (V_1 - V_2) Y_s = (Y_p + Y_s) V_1 - Y_s V_2 \dots \dots \dots (1.7)$$

● Pour le jeu de barre (2) :

$$I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = Y_p V_2 + (V_2 - V_1) Y_s = (Y_p + Y_s) V_2 - Y_s V_1 \dots \dots \dots (1.8)$$

Alors \$I_1\$ et \$I_2\$ sont écrits comme suit :

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 \\ I_2 = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 \dots \dots \dots (1.9) \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} Y_{11} = Y_p + Y_s \\ Y_{12} = Y_{21} = -Y_s \\ Y_{22} = Y_p + Y_s \dots \dots \dots (1.10) \end{cases}$$

Et sous la forme matricielle on écrit :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1.11)$$

Les éléments de la matrice admittance :

$Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}$

$$Y_{\text{bus}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1.12)$$

I.3.2. Formation de la matrice admittance :

Le nombre de nœud d'un système de 0,.....n.

Le nombre 0 représente le nœud de référence (terre).

Remplacer tous les générateurs par leurs sources de courants équivalentes

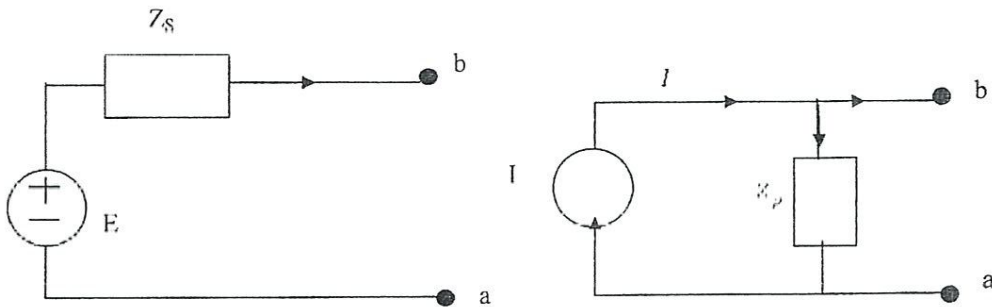


Figure.4 : Transformation des sources.

$$V_{ab} = E_g - Z_s I_a$$

$$V_{ab} = I_p Z_p = (I - I_a) Z_p$$

$$= I Z_p - I_a Z_p$$

$$E_g - Z_s I_a = Z_p I - Z_p I_a$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E_g = Z_p I \\ Z_s I_a = Z_p I_a \dots\dots\dots (1.13) \end{cases}$$

$$\Rightarrow Z_s = Z_p$$

$$I = \frac{Eg}{Z_s} \dots\dots\dots (1.14)$$

Ou :

$$I = \frac{Eg}{Z_s} \dots\dots\dots (1.15)$$

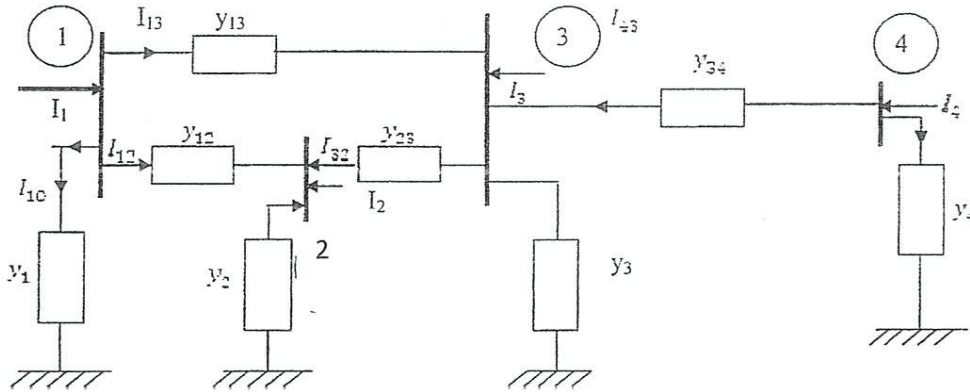


Figure.5 : Système Equivalent à quatre de barres.

Loi de KIRCHOFF

Jean

$$I_1 = (V_1 - V_3)Y_{13} + (V_1 - V_2)Y_{12} + V_1Y_1$$

$$I_2 = V_1(-Y_{13}) + V_2(Y_2 + Y_{12} + Y_{13}) + V_3(-Y_{23})$$

$$I_3 = V_1(-Y_3) + V_2(-Y_{32}) + V_3(Y_3 + Y_{32} + Y_{31} + Y_{34}) + V_4(-Y_{34})$$

$$I_4 = V_4Y_4 + (V_4 - V_3)Y_{43} = -V_3Y_{43}$$

Sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 + Y_{12} + Y_{13} & -Y_{12} & -Y_{13} & 0 \\ -Y_{12} & Y_2 + Y_{12} + Y_{13} & -Y_{23} & 0 \\ -Y_{13} & -Y_{23} & Y_3 + Y_{31} + Y_{32} + Y_{34} & -Y_{34} \\ 0 & 0 & -Y_{34} & Y_4 + Y_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

$$[Y][V]=[I] \dots\dots\dots(1.16)$$

[Y] : matrice admittance

[V] : vecteur tension

[I] : vecteur courant

II.4.Les Equations d'équilibres des puissances:

La puissance complexe injectée par la source du jeu de barre i du réseau est en unité relative :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \cdot \hat{I}_i, \quad i=1.2.3\dots\dots n \dots\dots\dots(1.17)$$

Avec :

I_i est le courant injecté au jeu de barre.

On utilise le calcul avec les courants. Mieux qu'avec leurs conjugués I_i^* , pour cela prenant le conjugué de la formule (1.17) on aura :

$$S_i = P_i - jQ_i = \hat{V}_i \cdot I_i, \quad i=1.2.3\dots\dots n \dots\dots\dots(1.18)$$

On a :

$$I_i = \sum_{b=1}^n Y_{ik} V_k \dots\dots\dots(1.19)$$

Donc en remplaçant dans (1.18) on aura :

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_k^n Y_{ik} V_k, i = 1.2.3 \dots \dots \dots n \dots \dots \dots (1.20)$$

Faisant l'égalité des parties réelles et imaginaires.

$$P_i(\text{puissance active}) = \text{Re} (V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k) \dots \dots \dots (1.21)$$

$$Q_i(\text{puissance réactive}) = -\text{Im} (V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k) \dots \dots \dots (1.22)$$

Dans la formule polaire on a :

$$V_i = |V_i| e^{j\delta_i}$$

$$Y_k = |Y_{ik}| e^{j\gamma_{ik}}$$

Alors les puissances actives et réactives seront exprimées comme suit :

$$P_i = |V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \cos|\gamma_{ik} + \delta_k - \delta_i| ; i = 1.2.3 \dots \dots \dots n \dots \dots \dots (1.23)$$

$$Q_i = -|V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \sin|\gamma_{ik} + \delta_k - \delta_i| ; i = 1.2.3 \dots \dots \dots n \dots \dots \dots (1.24)$$

Forme rectangulaire

$$Y_{ik} = G_{ik} + j B_{ik}$$

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) i = 1.2.3 \dots \dots \dots n \dots \dots$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) i = 1.2.3 \dots \dots \dots n \dots \dots$$

Remarque :

- 1- Pour un réseau de deux jeux de barres on a quatre équations qui représentent le fonctionnement du réseau.
- 2- Les équations (1.23) et (1.24) sont des équations algébriques non linéaires, on ne peut pas résoudre analytiquement, donc on doit les résoudre par ordinateur en utilisant des méthodes numériques.
- 3- Équation des puissances actives donne :

$$PG_1 + PG_2 = P_{D1} + P_{D2} + F_{P1} + F_{P2}$$

$$\sum P \text{ générées} = \sum P \text{ demandée} + \sum P \text{ (pertes)}$$

- 4- Équation des puissances réactives donne :

$$QG_1 + QG_2 = Q_{D1} + Q_{D2} + Q_{q1} + Q_{q2}$$

- 5- Les fonctions : $F_{P1} + F_{P2} + Q_{q1} + Q_{q2}$ sont fonctions des tensions.
 - 6- Les valeurs des éléments de la matrice admittance sont constantes.
 - 7- Les équations (1.23) et (1.24) représentent (n) équations de la répartition de puissance pour n jeux de barre est caractérisé par quatre variables.
- Les systèmes d'équations (1.23) et (1.24) ne peut être résolue que si les autres (2n) variables sont spécifiées.

En pratique pour chaque jeu de barre deux des quatre variables sont connus (voir type de barre).

Donc : on aura enfin un système à (2n) équation et à (2n) variables, la solution directe est impossible puisque le système est non linéaire.

Donc il est indispensable de faire recours aux méthodes itératives.

Chapitre II :

Méthodes itératives

13

Chapitre II

Méthodes Itératives

II.1 Introduction

Le problème de l'écoulement de puissance peut être résolu par ces méthodes appliquées à un système d'équations algébrique, non linéaire de grande dimension.

En générale il y'a deux méthodes qui sont les plus utilisées dans le domaine de l'écoulement de puissance sont la méthode de Newton- Raphson et celle de Gauss-Seidel une partie non négligeable du travail consistera à choisir la méthode la plus adéquat « adapté » pour résoudre chaque un des problèmes élémentaires.

Le choix de la méthode va influencer sur :

- La convergence (risque de ne pas obtenir de solution).
- La rapidité des résultats.
- la précision du résultat.
- la facilité d'écriture du programme.

La rapidité de convergence dans ces méthode est la plus essentiel, l'utilisation de ces méthodes dans le contrôle automatique des systèmes d'énergie nécessitant l'obtention très rapide des solutions de la répartition des puissances.

II.2. Méthode de Gauss-Seidel

La méthode itérative de Gauss-Seidel est la plus simple des méthodes itératives utilisées dans l'écoulement de puissance.

Elle est facile à programmer notamment dans le cas des petits systèmes électro-énergétiques, ou la simplicité du programme est la plus importante que les coûts de calculs. Elle est aussi utilisée dans le large système pour obtenir les points solutions initiale que seront utilisés dans le programme de Newton-Rafeson.

II.2.1. ALGORITHME DE GAUSS-SEIDEL :

Soit a résoudre le système d'équation d'ordre suivant :

$$F(x)=0 \dots\dots\dots (2.1)$$

Avec :

$$X=[x_1, x_2, x_3 \dots\dots\dots x_n]$$

$$F= [f_1, f_2, f_3, \dots\dots\dots f_n] \dots\dots\dots (2.2)$$

Pour trouver l'algorithme de G-S la fonction f(x) doit être sous forme itérative $x=f(x)$. On fixe initialement un vecteur x^0 tel que :

$$x = f(x^0) \text{ et } x^2 = f(x) \text{ etc.}$$

Et a la fin de chaque itération, on teste la condition :

$$| x^{k+1} - x^k | \leq \epsilon \dots\dots\dots(2.3)$$

Ou : K est le numéro d'itération.

Et ϵ est la précision.

On arrête les calculs une fois la condition est vérifiée.

II.2.2. Méthode de Gauss- Seidel en utilisant la matrice admittance

Soit le vecteur courant à injecter dans tous les jeux de barre du réseau électrique exprimé en fonctions du vecteur de tension comme suit :

$$[I] = [Y] [V] \dots\dots\dots(2.4)$$

La tension de jeu de barre i pour l'itération (k+1) peut être déterminée par :

$$V_i^{(v+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} (I_i - \sum_{k=1}^{i-1} Y_{ik} V_k^{(v+1)} - \sum_{k=i+1}^n Y_{ik} V_k^v) \quad \text{pour } i = 1 \dots\dots\dots n, i \neq \text{nref}$$

$$\text{Avec : } I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots\dots\dots(2.5)$$

Pour améliorer la convergence de la méthode de G-S on peut utiliser un facteur d'accélération α tel que :

$$V_i^{k+1} = V_j^k + \alpha \Delta V_i^1 \dots\dots\dots (2.6)$$

Le choix de α est empirique, et sa valeur optimale dépend de méthode de résolution et du mateur du système électrique. Cependant, l'expérience montre que pour un facteur d'accélération compris entre 1.30 et 1.70 donne de bon résultat dans le traitement de l'écoulement de puissance.

La convergence dépend aussi des valeurs initiales estimées des tensions des jeux de barre qui sont généralement initialisées à leurs nominales (1.00 pour le module en unité relative et 0° pour l'angle de phase).

II.2.3 Algorithme de la méthode de Gauss Seidel :

Etape 1: lire les données du système. La matrice admittance et les estimations des tensions des jeux de barres.

Etape 2: en initialise le compteur de nombre d'itération à l'unité.

Etape 3: en résoudre l'équation de la tension pour le jeu de barre i .

$$V_i^{(v+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left(I_i - \sum_{k=1}^{i-1} Y_{ik} V_k^{(v+1)} - \sum_{k=i+1}^n Y_{ik} V_k^v \right) \quad \text{pour } i = 1 \dots \dots \dots n, i \neq n_{ref}$$

Etape 4: calculer la variation de la tension au jeu de barre i :

$$\Delta V_i^k = V_i^{k+1} - V_i^k \quad i=1,2,\dots,n ; i \neq n_{ref}$$

et on fait le test suivant :

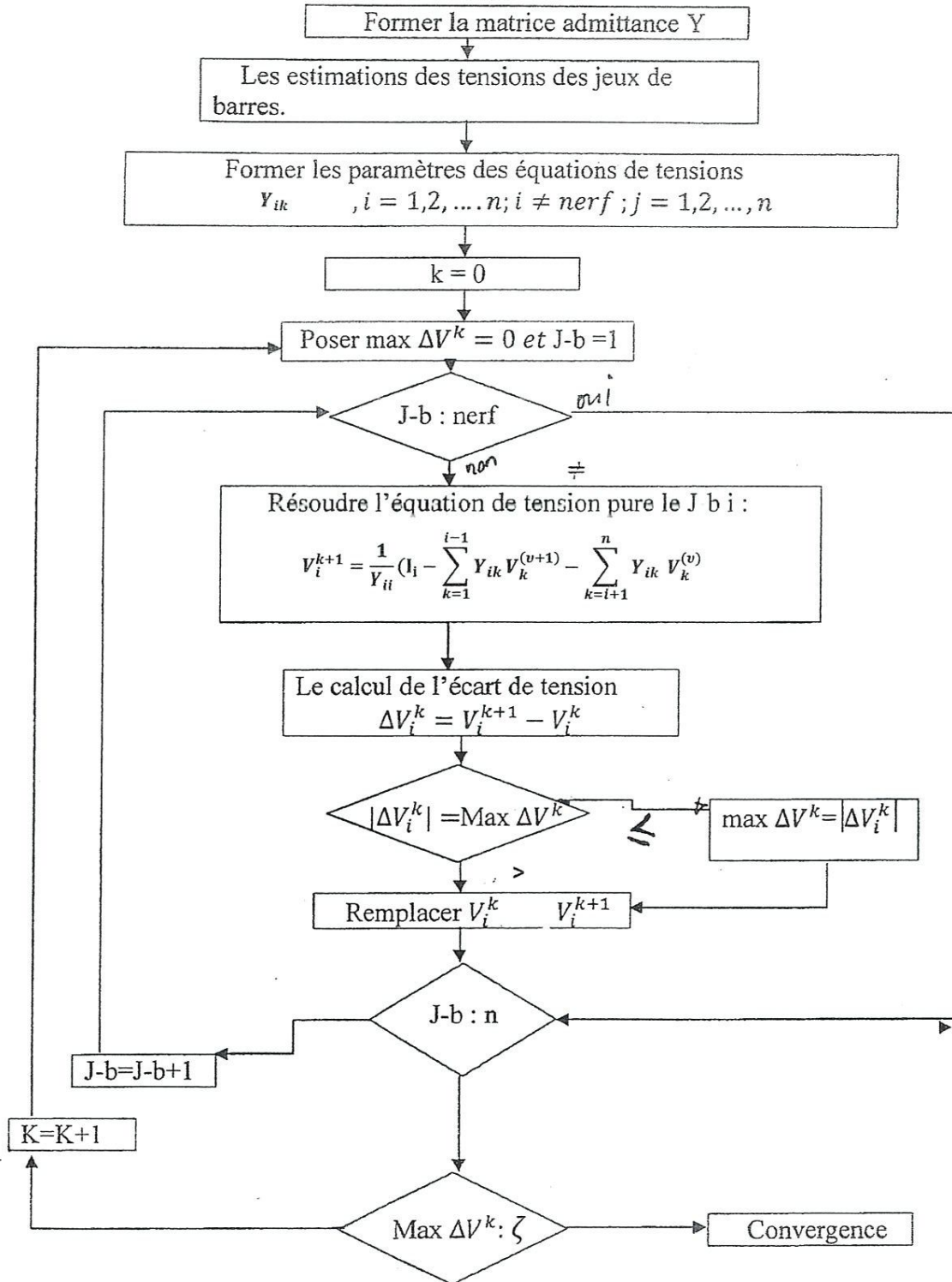
$$\text{si } \max (|\Delta v_i^k|) \leq \varepsilon \quad \text{on va vers étape 6.}$$

Sinon on va vers étape 5.

Etape 5: on remplace V_i^k par V_i^{k+1} , on ajoute au compteur d'itération un 1 ($K=K+1$) et on va vers étape 4.

Etape 6: les valeurs des tensions sont déjà calculées, donc on calcul la puissance de jeu de barre de référence et les autres calculs nécessaires.

II.2.4 Organigramme de Gauss-Seidel utilisant la matrice Admittance :



II.3 Méthode de Newton-Raphson

II.3.1 Principe

a) **Dans le cas d'un scalaire :**

si une fonction $F(x)$ est continument dérivable aux voisinages de x alors le développement en série de Taylor ; autour d'une valeur estimée x^0 s'écrit :

$$f(x^0 + \Delta x^0) = f(x^0) + f'(x^0)(\Delta x^0) + \frac{f''(x^0)(\Delta x^0)^2}{2!} + \dots + \frac{f^{(n)}(x^0)(\Delta x^0)^n}{n!} = 0$$

Avec :(2.7)

$$f^{(n)}(x^0) = \frac{\partial^n f(x^0)}{(\partial x)^n} \dots \dots \dots (2.8)$$

Si on néglige les termes de degré supérieur

$$f(x^0 + \Delta x^0) = f(x^0) + f'(x^0)(\Delta x^0) = 0 \dots \dots \dots (2.9)$$

D'où l'approximation de l'erreur suivant :

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

Une meilleure estimation de x^0 est donnée par :

$$X^{k+1} = X^k + \Delta X^k \dots \dots \dots (2.10)$$

on obtient la forme générale de l'algorithme de N-R suivant :

$$X^{k+1} = X^k - \frac{f(x^k)}{f'(x^k)} \quad (k=0.1 \dots \dots \dots kmax)$$

On arrête le processus itératif lorsque la condition suivante est vérifiée :

$$|\Delta x^k| \leq \epsilon$$

b) Dans le cas des multi variables :

La méthode peut facilement être étendue pour les équations non linéaires à multi variables, de la manière suivante :

Soit l'ensemble des équations non linéaires :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \dots \dots \dots (2.11) \\ f_3(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned}$$

pour des valeurs initiales estimées $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ on peut déterminer l'erreur $\Delta x_1^0, \Delta x_2^0, \dots, \Delta x_n^0$.

le système (2.11) d'équation devient :

$$\begin{cases} f_1(x_1^0 + \Delta x_1^0, x_2^0 + \Delta x_2^0, \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \\ f_2(x_1^0 + \Delta x_1^0, x_2^0 + \Delta x_2^0, \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \dots \dots \dots (2.12) \\ f_3(x_1^0 + \Delta x_1^0, x_2^0 + \Delta x_2^0, \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \end{cases}$$

De la même manière on développe et on néglige les termes d'ordres supérieurs de l'équation (2.12)

$$\begin{cases} f_1(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} \Delta x_1^0 + \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} \Delta x_2^0 + \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \Delta x_n^0 = 0 \\ f_2(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} \Delta x_1^0 + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} \Delta x_2^0 + \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \Delta x_n^0 = 0 \dots \dots (2.13) \\ f_3(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} \Delta x_1^0 + \frac{\partial f_3}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} \Delta x_2^0 + \frac{\partial f_3}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \Delta x_n^0 = 0 \end{cases}$$

L'équation (2.13) sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ f_2(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ \vdots \\ f_n(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0} \begin{bmatrix} \Delta x_1^0 \\ \Delta x_2^0 \\ \vdots \\ \Delta x_n^0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.14)$$

De l'équation (2.14) on peut déterminer $\Delta x_1^0, \Delta x_2^0, \dots, \dots, \Delta x_n^0$. Le système de l'itération K peut s'écrire sous la forme :

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \\ f_2(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \\ \vdots \\ f_n(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k} \begin{bmatrix} \Delta x_1^k \\ \Delta x_2^k \\ \vdots \\ \Delta x_n^k \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \Delta x_i^k \quad i = 1, \dots, n \dots \dots \dots (2.16)$$

Les équations (2.15) et (2.16) peuvent être écrites sous la forme :

$$F(X^k) = - J^k \Delta X^k$$

$$X^{k+1} = X^k + \Delta X^k$$

II.3.2. Application de la méthode de Newton-Rafeson pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance

Le problème de l'écoulement de puissance conventionnel peut être résolu par la méthode de Newton-Raphson, en utilisant un ensemble d'équations non linéaires pour exprimer les puissances active et réactives spécifiées en fonction des tensions

(Van Ness et Griffin, 1961), ces tensions sont exprimées sous leur forme polaire pour faire apparaître les différentes grandeurs caractérisant le réseau électrique.

L'application de la méthode de N-R est basée sur le développement du premier ordre en série Taylor des équations non linéaires de l'écoulement de puissance.

Si la tension du jeu de barre est exprimée sous la forme :

$$\dot{V}_i = V_i (\cos \theta_i + j \sin \theta_i) \dots \dots \dots (2.17)$$

La puissance active et réactive injectées aux barres i :

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j [G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}] \dots \dots \dots (2.18)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j [G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}] \dots \dots \dots (2.19)$$

Tel que : $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$

On suppose que les jeux de barres de 1.....m sont des PQ barres et de m+1 n-1 sont des PV barres et le n^{ième} barre est le barres balancier. Donc n-1 angles de tension inconnus et m module de tension inconnue, pour chaque barre PQ ou PV on peut écrire l'équation d'équilibre de la puissance active :

$$\Delta P_i = P_{is} - P_i = P_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j [G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}] \dots \dots \dots (2.20)$$

Et pour les PQ barres on peut écrire aussi :

$$\Delta Q_i = Q_{is} - Q_i = Q_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j [G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}] \dots \dots \dots (2.21)$$

Tel que P_{is} et Q_{is} sont les puissances active et réactive injectées calculées.

Appliquons aux équations (2.20) et (2.21) la méthode de Newton-Rafeson on peut obtenir :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = -J \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix}$$

$$\text{Ou } \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ K & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.22)$$

Tel que :

$$\Delta P = \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\Delta Q = \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\Delta \theta = \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta \theta_{n-1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\Delta V = \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$V_D = \begin{bmatrix} V_1 & & \\ & V_2 & \\ & & \ddots \\ & & & V_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.27)$$

H est une matrice (n-1) × (n-1) et ses éléments sont $H_{ij} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_j}$.

N est une matrice (n-1) × m et ses éléments sont $N_{ij} = V_j \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_j}$.

K est une matrice m × (n-1) et ses éléments sont $K_{ij} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_j}$.

L est une matrice m × m et ses éléments sont $L_{ij} = V_j \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_j}$.

Si :

$i \neq j$ les expressions des éléments de la matrice jacobienne sont :

$$H_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.28)$$

$$N_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$K_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.30)$$

$$L_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.31)$$

$i = j$

$$H_{ij} = V_i^2 B_{ii} + Q_i \dots\dots\dots(2.32)$$

$$N_{ij} = -V_i^2 G_{ii} + P_i \dots\dots\dots(2.33)$$

$$K_{ij} = V_i^2 G_{ii} - P_i \dots\dots\dots(2.34)$$

$$L_{ij} = V_i^2 B_{ii} - Q_i \dots\dots\dots(2.35)$$

Les étapes de calcul :

Etape 1 : Lire les données.

Etape 2 : Former la matrice Y_{bus}

Etape 3 : Estimer les valeurs initiales des tensions.

Etape 4 : Calculer les puissances d'équilibre d'après les équations (2.24) et (2.25) et vérifier le test de convergence.

$$\text{Max } |\Delta P_i^k| < \varepsilon_1$$

$$\text{Max } |\Delta Q_i^k| < \varepsilon_2$$

Si le test est vérifié on arrête les itérations et on calcule les puissances de la ligne et la puissance active et réactive du barre balancier, sinon on passe à l'étape suivante.

Etape 5 : Calculer les éléments de la matrice jacobienne (2.32) et (2.38)

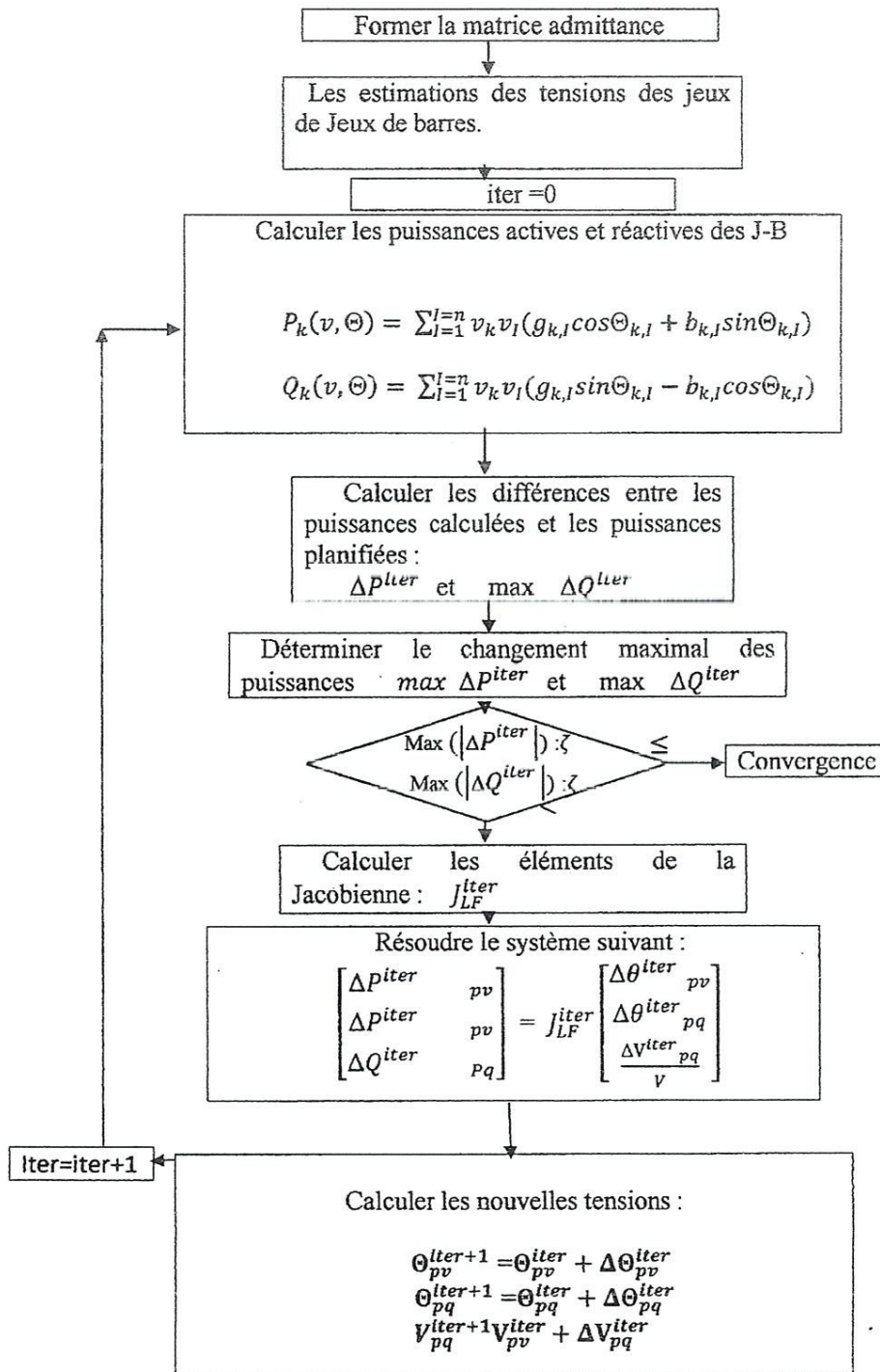
Etape 6 : Calculer les valeurs de correction des tensions en utilisant l'équation (2.26) et on calcul les tensions des jeux de barres.

$$V_i^{k+1} = V_i^k + \Delta V_i^k \dots\dots\dots(2.36)$$

$$\theta_i^{k+1} = \theta_i^k + \Delta \theta_i^k \dots\dots\dots(2.37)$$

Etape 7 : Retour à l'étape 4 avec les nouvelles valeurs des tensions des jeux de barres.

II.3.3 Organigramme de la méthode de newton-Rafeson



II.3.4 Remarques

La méthode de Newton-Rafeson est itérée avec la méthode de gradient réduite pour minimiser une fonction objective, la convergence de cette méthode dépend du vecteur initial $[X^0]$ qui être proche de la solution finale sinon on risqué d'avoir la divergence.

Les valeurs du vecteur tension sont généralement choisies proches des valeurs nominales en (PU) : 1.00 pour l'amplitude et 0.00^0 pour l'angle. Pour avoir un vecteur initial plus proche de la solution, on utilise la méthode de Gauss-Seidel qui a l'avantage de converger vers la solution même si le vecteur initial est lié du vecteur de solution. Ce processus est utilisé uniquement pour déterminer l'initial nécessaire à l'algorithme d'optimisation.

Durant le processus de calcul, les valeurs des modules de tensions des jeux de barres de générateurs(PV) ne seront pas calculées puisque elles sont spécifiées, mais une fois le processus se termine, les valeurs exactes de puissance réactives de ces jeux de barre seront calculées de la mêmes manière que celle du jeu de barre de référence.

Finalement il faut noter que la matrice jacobienne a la même structure que celle de la matrice admittance, les éléments non diagonaux sont négligeables devant les éléments diagonaux, et les sous matrices N et J de la jacobienne sont nulles. L'écoulement de puissance devient donc « découplé » : la puissance active est liée aux angles de phases et la puissance réactive est fonction des modules de tension.

Cette méthode est très utilisée dans le cas des grands réseaux pour donner des algorithmes rapides.

II.4) la méthode de l'écoulement de puissance découplée :

Soit le problème de l'écoulement de puissance dans sa forme polaire déjà définie par

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix}$$

Dans les réseaux électriques de faible conductances, l'écoulement de la puissance active est moins sensible aux variations des modules de tensions (en p.u) que celle des angles des tensions. D'où l'approximation d'une sous matrice N nulle est acceptable. De même l'écoulement de la puissance réactive est moins sensible aux variations des angles de tensions que celle des modules de tension ,et la sous matrice J peut être considérée comme nulle.

L'équation devient :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.38)$$

D'où :

$$[\Delta P] = [H][\Delta \theta] \dots \dots \dots (2.39)$$

$$[\Delta Q] = [L] \left[\frac{\Delta V}{V} \right] \dots \dots \dots (2.40)$$

Et sont connues comme les deux équations de l'écoulement de puissances découplées qui peuvent être résolues séparément comme suit :

$$[\Delta \theta] = [H]^{-1} [\Delta P] \dots \dots \dots (2.41)$$

$$\left[\frac{\Delta V}{V} \right] = [L]^{-1} [\Delta Q] \dots \dots \dots (2.42)$$

Les dimensions des sous matrices H et L sont presque de l'ordre de un sur quatre des dimensions de la matrice jacobienne .par conséquent, cette approche permet non seulement de réduire l'espace mémoire de stockage, mais aussi une réduction importante dans le temps de calcul.

II.4.1 Algorithme de la méthode de l'écoulement de découplée :

L'algorithme relatif au problème de répartition de charge en appliquant la méthode de l'écoulement de puissance découplée peut être résumée dans les étapes suivantes :

Le compteur du nombre d'itération est mis à zéro, iter=0.

- 1- Choisir des valeurs initial des angles de tensions des jeux de barres PV et PQ ainsi que les modules des tensions des jeux de barres PQ.
- 2- Evaluer les écarts des puissances actives des jeux de barres PV et PQ ($\Delta P_{pv}, \Delta P_{pq}$) et les écarts des puissances réactives des jeux de barres PQ (ΔQ_{pq}).
- 3- Chercher la convergence : si $\max(|\Delta P_k^{iter}|) \leq \varepsilon$ et $\max(|\Delta Q_k^{iter}|) \leq \varepsilon$. (Avec souvent $\varepsilon = 0.01$), la convergence est suffisante ; sinon on passe aux autre étapes :
- 4- Evaluer les sous matrices $[H].^{iter}$ et $[L].^{iter}$
- 5- Résoudre les deux équations suivantes :

$$[\Delta\theta] = [H].^{-1} [\Delta P]$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V \\ V \end{bmatrix} = [L].^{-1} [\Delta Q]$$

Pour évaluer :

$$\Delta\theta_{pv}^{iter+1}, \Delta\theta_{pq}^{iter} \text{ et } \frac{\Delta v_{pq}^{iter}}{v}$$

- 6- Réactualiser les tensions des jeux de barres :

$$\Delta\theta_{pv}^{iter+1} = \theta_{pv}^{iter} + \Delta\theta_{pv}^{iter}$$

$$\Delta\theta_{pq}^{iter+1} = \theta_{pq}^{iter} + \Delta\theta_{pq}^{iter}$$

$$V_{pq}^{iter+1} = V_{pq}^{iter} + \Delta V_{pq}^{iter}$$

- 7- On augmente le compteur d'itération, iter=iter+1, on retourne à l'étape2.

Pour avoir une méthode plus rapide que celle déjà traitée, on utilise d'autres approximations.

II.5. Méthode de l'écoulement de puissance découplée rapide :

Soit et Alsace ont développé cette méthode pour les réseaux obéissant aux conditions suivantes :

- 1- Dans les systèmes de puissance, la somme des résistances des lignes de transmission est très faible devant la somme des impédances ($\sum R \ll \sum x$), alors,

$$G_{k,l} \sin \theta_{k,l} \ll b_{k,l} \dots \dots (2.43)$$

- 2- La différence entre les angles des tensions adjacentes est très petite, soit :

$$\sin \theta_{k,l} = \sin(\theta_k - \theta_l) \cong \theta_k - \theta_l = \theta_{k,l} \dots \dots (2.44)$$

$$\cos \theta_{k,l} = \cos(\theta_k - \theta_l) \cong 1.0 \dots \dots (2.45)$$

- 3- Ainsi que la condition :

$$Q_k \ll b_{k,k} V_k \dots \dots (2.46)$$

Si on applique ces approximation pour les deux sous matrices H et L de la méthode de l'écoulement de puissance découplée :

$$H_{k,k} = - Q_k - v_k^2 b_{k,k}; k=1 \dots \dots (2.47)$$

$$H_{k,l} = v_k v_l (g_{k,l} \sin \theta_{k,l} - b_{k,l} \cos \theta_{k,l}); k \neq 1 \dots (2.48)$$

$$L_{k,k} = Q_k - v_k^2 b_{k,k}; k=1 \dots \dots (2.49)$$

$$L_{k,l} = v_k v_l (g_{k,l} \sin \theta_{k,l} - b_{k,l} \cos \theta_{k,l}) = H_{k,l}; k \neq 1 \dots (2.50)$$

Elles deviennent:

$$L_{k,k} = Q_k - v_k^2 b_{k,k}; k=1 \dots \dots (2.51)$$

$$L_{k,l} = H_{k,l} = - v_k v_l b_{k,l} \dots \dots (2.52)$$

Donc, pour la méthode de l'écoulement de puissance découplée rapide, on Calcule seulement les éléments de la sous matrice H, ces derniers sont facile à calculer (produit de modules de tension par les susceptances des lignes de transport correspondantes).

Les deux équations de l'écoulement de puissance découplée sont données par :

$$[\Delta P] = [H][\Delta\theta] \dots\dots\dots(2.53)$$

$$[\Delta Q] = [L] \left[\frac{\Delta V}{V} \right] \dots\dots\dots(2.54)$$

Pour avoir un algorithme plus efficace, on effectue le changement suivant :

$$\left[\frac{\Delta Q}{V} \right] = [B][\Delta V] \dots\dots\dots(2.55)$$

Et l'équation devient :

$$\left[\frac{\Delta P}{V^2} \right] = [B][\Delta\theta] \dots\dots\dots(2.56)$$

Où $[B] = -[b]$, $[b]$ étant la matrice susceptance (la partie imaginaire de la matrice admittance) :

$$B_{k,l} = -\frac{1}{X_{k,l}} ; \quad k \neq l \dots\dots\dots(2.57)$$

$$B_{k,l} = \sum_{i=k}^n \frac{1}{X_{k,i}} ; \quad k \neq l \dots\dots\dots(2.58)$$

Il faut noter que $[B]$ est une matrice réelle et symétrique, il suffit donc de calculer et stocker au départ les éléments triangulaires, d'où la rapidité de la résolution, et l'algorithme peut être facilement déduit de celui de la méthode découplée.

II.5.1. Algorithme de la méthode de l'écoulement de puissance découplée rapide :

L'algorithme correspondant à la résolution du problème de répartition de charge par la méthode de l'écoulement de puissance découplée rapide peut être résumé dans les étapes suivantes après la remise à zéro compteur du nombre d'itération, $iter=0$

- 1- Choisir des valeurs initiales des angles de tensions des jeux de barres PV et PQ ainsi que les modules des tensions de jeux de barres PQ, et calcul la matrice $[B] = -[b]$
- 2- Evaluer les écarts de puissances actives des jeux de barres PV et PQ $(\Delta P_{pv}, \Delta P_{pq})$ et les écarts de puissances réactives des jeux de barres PQ (ΔQ_{pq}) .
- 3- Chercher la convergence ; si $\max(|\Delta P_k^{iter}|) \leq \varepsilon$ et $\max(|\Delta Q_k^{iter}|) \leq \varepsilon$. (Avec souvent $\varepsilon = 0.01$), la convergence est suffisante ; sinon on passe aux autre étapes.
- 4- Résoudre les deux équations suivantes :

$$[\Delta \theta] = [B]^{-1} \left[\frac{\Delta P}{V^2} \right] \dots \dots (2.59)$$

$$[\Delta V] = [B]^{-1} \left[\frac{\Delta Q}{V^2} \right] \dots \dots (2.60)$$

pour Évaluer: $\Delta \theta_{pv}^{iter}, \theta_{pq}^{iter}, \Delta V_{pq}^{iter}$

- 5- Réactualiser les tensions des jeux de barres :

$$\Delta \theta_{pv}^{iter+1} = \theta_{pv}^{iter} + \Delta \theta_{pv}^{iter}$$

$$\Delta \theta_{pq}^{iter+1} = \theta_{pq}^{iter} + \Delta \theta_{pq}^{iter}$$

$$V_{pq}^{iter+1} = V_{pq}^{iter} + \Delta V_{pq}^{iter}$$

- 6- En ajoute un 1 au compteur d'itérations, $iter=iter+1$, et on retourne vers l'étape 2.

II.6. Application sur un réseau de vent six nœuds :

a) Schéma de base du réseau :

-Données initiales :

- ✓ Le jeu de barre de référence est (1)
- ✓ Nombre de JB est (26)
- ✓ Nombre de ligne est (46)
- ✓ Nombre de générateurs est (6)

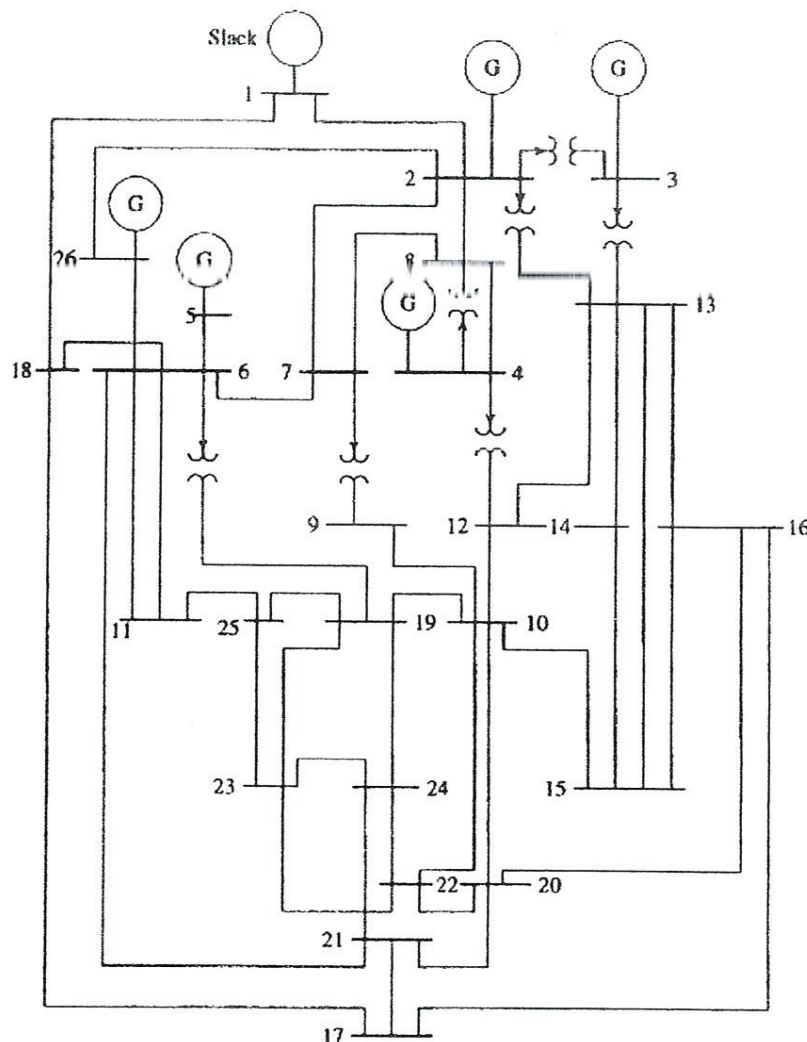


Figure1 : Schéma de base du réseau.

b- Données du réseau :

Les données du réseau sont exprimées dans le tableau suivant :

$S_b=100\text{MVA}$ $U_b=220\text{KV}$.

Tableau1: donnée du réseau

N°	Code	Tension U(P,K)	Angle (deg)	Pch (MW)	Qch (Mvar)	Pg (MW)	Qg (Mvar)	Qmin	Qmax	Qshunt
1	1	1,025	0	51	41	0	0	0	0	4
2	2	1,020	0	22	15	79	0	40	250	0
3	2	1,025	0	64	50	20	0	40	150	0
4	2	1,050	0	25	10	100	0	25	80	2
5	2	1,045	0	50	30	300	0	40	160	5
6	0	1	0	76	29	0	0	0	0	2
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	89	50	0	0	0	0	3
10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	25	15	0	0	0	0	1,5
12	0	1	0	89	48	0	0	0	0	2
13	0	1	0	31	15	0	0	0	0	0
14	0	1	0	24	12	0	0	0	0	0
15	0	1	0	70	31	0	0	0	0	0,5
16	0	1	0	55	27	0	0	0	0	0
17	0	1	0	78	38	0	0	0	0	0
18	0	1	0	153	67	0	0	0	0	0
19	0	1	0	75	15	0	0	0	0	0
20	0	1	0	48	27	0	0	0	0	0
21	0	1	0	46	23	0	0	0	0	0
22	0	1	0	45	22	0	0	0	0	0
23	0	1	0	25	12	0	0	0	0	0
24	0	1	0	54	27	0	0	0	0	0
25	0	1	0	28	13	0	0	0	0	0
26	2	1,015	0	40	20	60	0	15	50	0

c- Impédance de la ligne et admittance ces shunt :***Tableau2: Impédance de la lignes et admittance ces shunt***

départ	arrivée	R En (u.r)	X En (u.r)	B/2 Ysh/2 en (u.r)	Type ligne
1	2	0,00055	0,00480	0,03000	1
1	18	0,00130	0,01150	0,06000	1
2	3	0,001460	0,05130	0,05000	0,96
2	7	0,01030	0,05860	0,01800	1
2	8	0,00740	0,03210	0,03900	1
2	13	0,00357	0,09670	0,02500	0,96
2	26	0,03230	0,19670	0	1
3	13	0,00070	0,00548	0,00050	1,017
4	8	0,00080	0,02400	0,00010	1,050
4	12	0,00160	0,02010	0,01500	1,050
5	6	0,00690	0,03000	0,09900	1
6	7	0,00535	0,03060	0,00105	1
6	11	0,00970	0,05700	0,00010	1
6	18	0,00374	0,02220	0,00120	1
6	19	0,00350	0,06600	0,04500	0,950
6	21	0,00500	0,09000	0,02260	1
7	8	0,00120	0,00693	0,00010	1
7	9	0,00095	0,04290	0,02500	0,950
8	12	0,00200	0,01800	0,02000	1
9	10	0,00104	0,04930	0,00100	1
10	12	0,00247	0,01320	0,01000	1
10	19	0,05470	0,23600	0	1
10	20	0,00660	0,01600	0,00100	1
10	22	0,00690	0,02980	0,00500	1
11	25	0,09600	0,27000	0,01000	1
11	26	0,01650	0,09700	0,00400	1
12	14	0,03210	0,08020	0	1
12	15	0,01800	0,05980	0	1
13	14	0,00460	0,02710	0,00100	1
13	15	0,01160	0,06100	0	1
13	16	0,01793	0,08880	0,00100	1
14	15	0,00690	0,03820	0	1
15	16	0,02090	0,05120	0	1
16	17	0,09900	0,06000	0	1
16	20	0,02390	0,05850	0	1
17	18	0,00320	0,06000	0,03800	1
17	21	0,22900	0,44500	0	1
19	23	0,03000	0,13100	0	1
19	24	0,03000	0,12500	0,00200	1
19	25	0,11900	0,22490	0,00400	1
20	21	0,06570	0,15100	0	1
20	22	0,01500	0,03660	0	1
21	24	0,04760	0,15100	0	1
22	23	0,02900	0,09900	0	1
22	24	0,03100	0,08800	0	1
23	25	0,09870	0,11680	0	1

II.7. Résultat de calcul de l'écoulement de puissance

En utilisant la méthode de Newton-Rafeson pour trouver meilleur itération.

a) Résultats après exécution en MATLAB

✓ Nombre d'itération = 06

✓ $\Delta p = P^{spe} - P^{cal} = 3.17777. 10^{-10}$

✓ Le jeu de barre balancier (slack bus) : Nref=1

Tableau 3: Résultats de calcul de l'écoulement de puissance

N°de Nœud	Tension V(P.U)	Angle S(deg)	Pch(MW)	Qch(MVAR)	Pg(MW)	Qg(MVAR)
1	1.025	0.000	51.000	41.000	719.568	225.105
2	1.020	-0.931	22.000	15.000	79.000	125.935
3	1.035	-4.212	64.000	50.000	20.000	63.429
4	1.050	-3.600	25.000	10.000	100.000	50.988
5	1.045	1.130	30.000	300.000	125.644	5.000
6	0.999	-2.568	76.000	29.000	0.000	0.000
7	0.994	-3.205	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.997	-3.301	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.008	-5.392	89.000	50.000	0.000	0.000
10	0.989	-5.392	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.997	-3.216	25.000	15.000	0.000	0.000
12	0.993	-4.688	89.000	48.000	0.000	0.000
13	1.014	-4.430	31.000	15.000	0.000	0.000
14	1.000	-5.038	24.000	12.000	0.000	0.000
15	0.991	-5.536	70.000	31.000	0.000	0.000
16	0.982	-5.881	55.000	27.000	0.000	0.000
17	0.987	-4.985	78.000	38.000	0.000	0.000
18	1.007	-1.865	153.000	67.000	0.000	0.000
19	1.002	-6.383	75.000	15.000	0.000	0.000
20	0.980	6.022	48.000	27.000	0.000	0.000
21	0.977	-5.775	46.000	23.000	0.000	0.000
22	0.977	-6.434	45.000	22.000	0.000	0.000
23	0.975	-7.081	25.000	12.000	0.000	0.000
24	0.967	-7.341	54.000	27.000	0.000	0.000
25	0.973	-6.770	28.000	13.000	0.0000	0.000
26	1.015	-1.803	40.000	20.000	60.000	33.057
Total			1263.000	637.000	1278.568	624.168

b) Les puissances de lignes et les pertes :

Tableau 4 : Les puissances de lignes et les pertes

Ligne	Puissance au barre		Puissance de ligne	Les pertes de puissance dans la ligne		
	De vers	MW		MVAR	MVA	MW
1		668.568	188.105	694.526		
2		361.867	65.033	367.664	0.710	-0.078
18		306.701	123.073	330.473	1.371	-0.261
2		57.000	110.935	124.722		
1		-361.157	-65.111	366.979	0.710	-0.078
3		124.295	51.288	134.461	0.242	-2.507
7		74.611	32.282	81.295	0.667	0.143
8		141.110	40.035	146.679	1.555	-1.189
13		69.918	50.475	86.234	0.244	1.230
26		8.223	1.303	8.326	0.022	0.131
3		-44.000	13.439	46.007		
2		-124.054	-53.795	133.215	0.242	-2.507
13		80.054	67.236	104.543	0.074	0.475
4		75.000	42.988	86.446		
8		-21.175	14.341	25.575	0.005	0.137
12		96.175	28.802	100.395	0.163	-0.934
5		250.000	100.644	269.498		
6		250.000	100.644	269.498	4.734	-0.100
6		-76.000	-27.000	80.654		
5		-245.266	-100.744	265.151	4.734	-0.100
7		37.752	9.648	38.966	0.082	0.258

11	19.747	-0.019	19.747	0.038	0.203
18	-60.313	-28.086	66.532	0.166	0.743
19	110.196	71.536	131.379	0.570	1.263
21	61.884	20.181	65.091	0.217	-0.499
7	0.000	0.000	0.000		
2	-73.944	-32.139	80.627	0.667	0.143
6	-37.671	-9.390	38.823	0.082	0.258
8	15.768	-47.353	49.909	0.030	0.155
9	95.847	88.615	130.533	0.152	1.598
8	0.000	0.000	0.000		
2	-139.555	-41.223	145.516	1.555	-1.189
4	21.181	-14.204	25.502	0.005	0.137
7	-15.737	47.508	50.046	0.030	0.155
12	134.112	7.919	134.345	0.364	-0.681
9	-89.000	-47.000	100.648		
7	-95.695	-87.016	129.342	0.152	1.598
10	6.695	40.016	40.573	0.017	0.603
10	0.000	0.000	0.000		
9	-6.678	-39.414	39.976	0.017	0.603
12	-114.223	-8.045	114.506	0.331	-0.194
19	4.545	-6.458	7.897	0.035	0.151
20	60.808	28.479	67.147	0.305	0.545
22	55.549	25.438	61.096	0.265	0.180

c) Les puissances Actives de Réseau :

Les puissances actives de réseau sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau5 : Les puissances actives du réseau

Nœud	Générateur (MW)	Charge (MW)
1	719.534	51.000
2	79.000	22.000
3	20.000	64.000
4	100.000	25.000
5	300.000	50.000
6	0.000	76.000
7	0.000	0.000
8	0.000	0.000
9	0.000	89.000
10	0.000	0.000
11	0.000	25.000
12	0.000	89.000
13	0.000	31.000
14	0.000	24.000
15	0.0000	70.000
16	0.000	55.000
17	0.000	78.000
18	0.000	153.000
19	0.000	75.000
20	0.000	48.000
21	0.000	46.000
22	0.000	45.000
23	0.000	25.000
24	0.000	54.000
25	0.000	28.000
26	60.000	40.000

- Comment calculer la puissance du générateur1 :

On a d'après les résultats de l'exécution sur Matlab :

$$P_i = 668.555 \quad \text{et} \quad P_D = 51.$$

On a :

$$P_i = (P_{G1} - P_D)$$

Donc :

$$P_{G1} = P_i + P_D$$

$$= 668.55 + 51$$

$$= 719.534 \text{ (MW)}$$

CONCLUSION

L'étude d'un réseau électrique nécessite le calcul du régime permanent pour se là il y-a plusieurs méthode telle que la méthode de Gausse Seidel et Newton Raphson .

Dans l'application la méthode de Newton Raphson est très stable et donne la solution finale pour un nombre d'itération très limite, mais le point initiale doit être bien choisi.

Chapitre III

**Répartition économique de
puissance active**

13

Chapitre III

Répartition Economique de puissance Active

III.1 Introduction :

Le dispatching économique est un problème d'optimisation statique qui consiste à répartir la production de la puissance active qui est demandée entre les différentes centrales du réseau, de sorte à exploiter ce dernier de la manière la plus économique possible. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production de centrales. La variable à optimisée est donc le coût de production.

III.2.Répartition Economique de puissance Active :

Considérons un réseau d'énergie électrique dont on veut déterminer les puissances actives de chaque unité de production. Il faut déterminer les niveaux de production de l'ensemble des générateurs qui garantissent l'équilibre production consommation à moindre coût.

Le coût total des productions est la somme de :

- Des coûts des combustibles utilisés dans les centrales techniques.
- Les coûts de la main d'œuvre d'exploitation.
- Du coût des pertes dans le réseau.

III.3.La fonction du coût

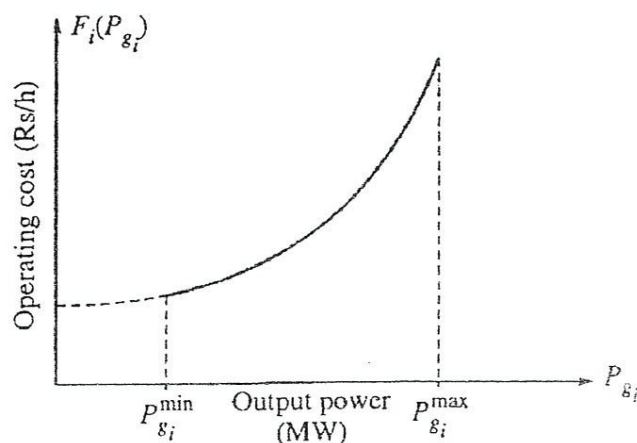


Figure2 : Frais d'exploitation d'un générateur, $P_{g_i}^{min}$ et $P_{g_i}^{max}$ sont les limites inférieures et supérieures atteintes

La fonction du cout d'un générateur :

$$C_i(P_{gi}) = P_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + C_i \text{ (DA/h)}$$

La fonction du cout total de production d'énergie dite fonction objective s'écrit sous la forme suivante :

$$C = \sum_{k=1}^N C_k \dots \dots \dots (3.1)$$

C_k : représente la fonction, du cout du central (K).

C : représente le cout total.

N : le nombre des nœuds générateurs (producteurs).

La puissance active P_{Gk} générée intervient pour la majeure partie dans le comportement de la fonction de cout C_k .

Ce qui montre que le cout, du combustible dépend fortement de puissances actives qui doivent être choisies de telles façon à minimiser le fonction du cout de production.

$$C = C_1 (P_{G1}) + C_2 (P_{G2}) + \dots \dots \dots + C_n (P_{Gn}) \dots \dots \dots (3.2)$$

III.4. Dispatching Economique Sans Pertes :

Le problème de dispatching économique sans perte est peut complexe car le seul paramètre qui influence le cout est la puissance active générée par la centrale (sans tenir compte de la puissance perdue dans les lignes lors des transits de puissance entre les centrales et les charges).

Un autre problème d'optimisation statique, l'optimal power flow. La solution du dispatching économique est obtenue à l'aide de deux types de méthode d'optimisation, le premier type utilise le gradient (fonction de Lagrange) et le deuxième type utilise les itérations (minimiser sans gradient).

Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par partie.

Dans notre travail on utilise le premier type d'où la fonction de Lagrange :

$$L = C + \lambda (PD - \sum_{i=1}^N P_{gi}) \dots \dots \dots (3.3)$$

III.5. Dispatching Economique Avec Pertes:

Deux approches sont essentiellement utilisées pour la solution de dispatching économique avec pertes, le premier est le développement d'une expression mathématique des pertes en fonction des puissances de sortie de chaque unité de production. La deuxième approche consiste à utiliser les équations de l'écoulement de puissances optimal.

III.6. Dispatching Economique de la puissance Réactive :

Plusieurs techniques sont utilisées pour ajouter l'écoulement de puissance réactive dans la formule de dispatching économique pour minimiser le coût total de l'énergie. En pratique, les injections d'énergie réactive par les FACTS et les compensateurs synchrones peuvent être utilisées pour régler la circulation de l'énergie réactive dans le réseau, cette énergie réactive est utilisée pour contrôler la magnitude du voltage dans les jeux de barres du réseau, donc il n'y a pas besoin d'un dispatching central de l'énergie réactive.

III.7. L'action des contraintes :

Le choix des puissances actives P_k n'est pas arbitraire, mais il y a des contraintes de type égalité et inégalité.

III.7.1) Les contraintes de type égalité :

On a les équations suivantes :

$$W = \sum_{K=1}^N P_{GK} - \sum_{M=1}^N P_{DM} - P_L \dots \dots \dots (3.4)$$

P_{GK} : représente la puissance active générée au nœud (k).

P_{DM} : représente la puissance active consommée au nœud (M).

P_L : représente les pertes actives totales.

III.7.2) Les contraintes de type inégalité :

$$p_{Gk}^{min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk}^{max} \quad (k=1 \dots\dots\dots n) \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Ou:

p_{Gk}^{min} : Puissance minimale de l'unité k.

P_{Gk}^{max} : Puissance maximale de l'unité k.

Pour résoudre le problème, on utilise la fonction de Lagrange qui est sous la forme suivante :

$$C = \sum_{K=1}^N C_k - \lambda \left(\sum_{K=1}^N P_{GK} - \sum_{M=1}^N P_{ChM} - P_L \right) \dots\dots\dots (3.6)$$

Ou :

λ : représente le multiplicateur de Lagrange .

Par application de (3.4) à notre réseau de 26 jeux de barres et 6 générateurs on obtient :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_{26} - \lambda [P_{G1} + P_{G2} + P_{G2} + P_{G4} + P_{G5} + P_{G26} - \sum_{M=1}^N P_{ch} - P_L]$$

III.8. Application sur un réseau à (26) Nœud :

Les fonctions couts des nœuds producteurs sont les suivantes :

$$C_1 = 240 + 7.0P_1 + 0.0070P_1^2.$$

$$C_2 = 200 + 10.0P_2 + 0.0095P_2^2.$$

$$C_3 = 220 + 8.5P_3 + 0.0090P_3^2.$$

$$C_4 = 200 + 11.0P_4 + 0.0090P_4^2.$$

$$C_5 = 220 + 10.5P_5 + 0.0080P_5^2.$$

$$C_{26} = 190 + 12.0P_{26} + 0.0075P_{26}^2.$$

Tandis que les contraintes sur puissance générées

$$100MW \leq P_{G1} \leq 500 MW.$$

$$50 MW \leq P_{G2} \leq 200 MW.$$

$$80MW \leq P_{G3} \leq 300 MW.$$

$$50MW \leq P_{G4} \leq 150 MW.$$

$$50MW \leq P_{G5} \leq 200 MW.$$

$$50MW \leq P_{G26} \leq 120 MW.$$

III.8.1. Détermination de cout sans Répartition Optimale

Lorsque on utilise les valeurs des puissances générées d'après la méthode de Newton-Raphson ($P_{G1} P_{G2} P_{G3} P_{G4} P_{G5} P_{G26}$) voir tableau 4.

Le cout total :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_{26}$$

$$C_1 = 240 + 7.0P_{G1} + 0.0070P_{G1}^2$$

Et pareille pour les autres.

$$C = 16760.68 \text{ D/h}$$

III.8.2.Détermination Des puissances Optimales

a) Premier cas : Optimisation Sans Perte

Le but du travail c'est la détermination des P_{Gi} qui nous donne un cout minimum et pour résoudre ce problème on utilise la relation de la grange on obtient donc :

$$C_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \dots \dots \dots (3.7)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} = 2a_i P_{Gi} + b_i$$

$$\frac{\partial C_1}{\partial P_{G1}} = 0.014 P_{G1} + 7.0$$

$$\frac{\partial C_2}{\partial P_{G2}} = 0.019 P_{G2} + 10.0$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial P_{G3}} = 0.018 P_{G3} + 8.5$$

$$\frac{\partial C_4}{\partial P_{G4}} = 0.018 P_{G4} + 11.0$$

$$\frac{\partial C_5}{\partial P_{G5}} = 0.016 P_{G5} + 10.5$$

$$\frac{\partial C_{26}}{\partial P_{G26}} = 0.015 P_{G26} + 12.0$$

La contrainte est : $\sum P_{Gi} - \sum P_D = 0$

$$P_{G1} + P_{G2} + P_{G3} + P_{G4} + P_{G5} + P_{G26} - \sum P_D = 0$$

$$P_{G1} + P_{G2} + P_{G3} + P_{G4} + P_{G5} + P_{G26} = P_{ch1} + P_{ch2} + \dots \dots + P_{ch26}$$

On a : $L = C + \lambda (P_D - \sum P_{Gi})$

Donc :

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{NG} \frac{b_i}{2a_i}}{\sum_{i=1}^{NG} \frac{1}{2a_i}} \dots\dots\dots(3.8)$$

D'après (3.8) : $\lambda = 13.253$.

La résolution de ce système donne :

$$P_{Gi} = \frac{\lambda - b_i}{2a_i} \quad (i=1\dots\dots\dots 6)$$

Les puissances actives des unités de productions sont :

$$P_{G1} = \frac{13.253 - 7}{0.014} = 446.642 \text{ MW.}$$

$$P_{G2} = \frac{13.253 - 10}{0.019} = 171.210 \text{ MW.}$$

$$P_{G3} = \frac{13.253 - 8.5}{0.018} = 264.055 \text{ MW.}$$

$$P_{G4} = \frac{13.253 - 11}{0.018} = 125.166 \text{ MW.}$$

$$P_{G5} = \frac{13.253 - 10.5}{0.016} = 172.062 \text{ MW.}$$

$$P_{G26} = \frac{13.253 - 12}{0.015} = 83.533 \text{ MW.}$$

En fin : Le cout minimum dans le cas c'est

$$C = 15564.613 \text{ DA/h}$$

b) Deuxième cas : Optimisation Avec Pertes :

Le problème qui se pose dans la solution de ce système c'est le détermination de l'expression des pertes de puissance active en fonction des puissances générées, pour cela on va citer la méthode théorique utilisée pour le calcul des pertes actives on utilise l'expression suivante :

$$P_L = B_{00} + \sum_{i=1}^{NG} B_{i0}P_{gi} + \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} P_{gi}B_{ij}P_{gj} \dots \dots \dots (3.9)$$

Avec:

- P_{gi} et P_{gj} : les puissances réelle injectées en ith et jth respectivement.
- B_{00} et B_{i0} et B_{ij} : les coefficients de pertes qui sont constante dans des conditions.
- NG : nombre de générateurs.

Dans notre cas le nombre de générateurs : **NG=6**

La matrice des coefficients B_{ij} :

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{16} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} & B_{26} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} & B_{35} & B_{36} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} & B_{46} \\ B_{51} & B_{52} & B_{53} & B_{54} & B_{55} & B_{56} \\ B_{61} & B_{62} & B_{63} & B_{64} & B_{65} & B_{66} \end{bmatrix}$$

B =

0.0014	0.0015	0.0009	-0.0001	- 0.0004	- 0.0002
0.0015	0.0044	0.0051	0.0001	-0.0008	-0.0003
0.0009	0.0051	0.0320	-0.0000	-0.0020	-0.0017
-0.0001	0.0001	-0.0000	0.0029	-0.0006	-0.0009
-0.0004	-0.0008	-0.0020	-0.0006	0.0085	-0.0001
-0.0002	-0.0003	-0.0017	-0.0009	-0.0001	0.0177

$$B_0 = [B_{01}, B_{02}, B_{03}, B_{04}, B_{05}, B_{06}]$$

$$= [-0.0002, -0.0008, 0.0067, 0.0001, 0.000, -0.0012]$$

$$B_{00} = [0.0056]$$

Le but du travail c'est la détermination des P_{Gi} qui nous donne un cout minimal est pour résoudre ce problème on utilise la relation suivante :

$$L(P_{gi}, \lambda) = F(P_{gi}) + \lambda [P_D + P_L - \sum_{i=1}^{NG} P_{gi}] \dots\dots\dots(3.10)$$

Ou

λ : Multiplicateur de Lagrange.

La condition nécessaire pour résoudre le problème d'optimisation c'est :

$$\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}} = \lambda \left[1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}} \right] = 0, (i=1 \dots\dots\dots 6) \dots\dots\dots(3.11)$$

Ou :

$\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}}$: Le cout incrémental dans le i générateur.

$\frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}}$: Les pertes transmission incrémental.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C_1}{\partial P_{G1}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G1}} = 0 \\ \frac{\partial C_2}{\partial P_{G2}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G2}} = 0 \\ \frac{\partial C_3}{\partial P_{G3}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G3}} = 0 \\ \frac{\partial C_4}{\partial P_{G4}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G4}} = 0 \\ \frac{\partial C_5}{\partial P_{G5}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G5}} = 0 \\ \frac{\partial C_6}{\partial P_{G6}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G6}} = 0 \end{array} \right.$$

Et

$$\frac{\partial L(P_{gi}, \lambda)}{\partial \lambda} = PD + PL - \sum_{i=1}^{NG} P_{Gi} = 0 \dots\dots\dots (3.12)$$

Les pertes transmission incrémental peuvent être obtenues comme suit :

$$\frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}} = B_{i0} + \sum_{j=1}^{NG} 2B_{ij} P_{gj} \quad (i = 1 \dots\dots 6) \dots\dots\dots (3.13)$$

Le cout incrémental est obtenus comme suit :

$$\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}} = 2a_i P_{gi} + b_i \dots\dots\dots (3.14)$$

On peut la réécrire L'équation (3.11):

$$\lambda = \frac{\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}}}{\left[1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}}\right]}$$

$$\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}} L_i = \lambda \quad i = (1, 2, \dots, 6) \dots \dots \dots (3.15)$$

Avec : $L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}}}$: facteur de pénalité.

La justification physique de ce facteur de pénalité s'explique par le fait qu'à cause des pertes, il peut être plus intéressant de produire pour plus chère près du lieu de consommation que loin et pour moins chère.

$\frac{dC}{dP_{Gi}}$: représente l'accroissement du coût de production pour une augmentation de la puissance consommée par les charges. Cette valeur est plus intéressante pour nous que le coût incrémental défini précédemment car il tient compte des pertes. Ainsi, le critère pour la distribution des paquets de puissance sera dorénavant de trouver le coût incrémental corrigé plus faible.

Pour déterminer la répartition optimale on estime une valeur initiale de λ et la seule méthode de choisir λ et la valeur de λ lorsque les pertes sont nulles l'équation :

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{NG} \frac{b_i}{2a_i}}{\sum_{i=1}^{NG} \frac{1}{2a_i}}$$

et P_{Gi} :

$$P_{Gi} = \frac{\lambda - b_i}{2a_i}$$

Pour obtenir la solution il faut mettre les équations (3.13) et (3.14) dans l'équation (3.11) :

$$2a_i P_{gi} + b_i = \lambda \left(1 - B_{i0} \sum_{j=1}^{NG} B_{ij} P_{gj} \right) \quad (i = 1 \dots \dots 6)$$

$$2(a_i + \lambda B_{ii}) P_{gi} = \lambda \left(1 - B_{i0} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{NG} 2B_{ij} P_{gj} \right) - b_i \quad (i = 1 \dots \dots 6)$$

Donc on peut calculer les P_{Gi} d'après l'expression :

$$P_{Gi} = \frac{\lambda(1 - B_{i0}) - b_i - 2\lambda - \sum_{j \neq i=1}^{NG} B_{ij} P_{gj}}{2(a_i + \lambda B_{ii})} \quad (i=1 \dots \dots 6) \dots \dots \dots (3.16)$$

On remplace le P_{Gi} dans l'équation suivante :

$$\sum_{i=1}^{NG} P_{gi}^k = PD + PL \dots \dots \dots (3.17)$$

Donc

$$\sum_{i=1}^{Ng} \frac{\lambda^k (1 - B_{0i}) - B_i - 2\lambda^k \sum_{j \neq i}^{NG} B_{ij} P_{gj}}{2(a_i + \lambda B_{ii})} = PD + PL .$$

Le développement en série de Taylor de la fonction $f(\lambda)$. Au point λ^k

$$f(\lambda^k) + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right) \cdot \Delta \lambda = PD + PL$$

$$\Delta \sum \frac{\Delta P_i}{\Delta n} = \frac{\Delta P}{\sum \frac{\Delta P_i}{\Delta n}} \dots \dots \dots (3.18)$$

Tel que : $\Delta P = PD + PL - \sum P_i$

Et :

$$\sum \frac{dP_i}{d\lambda} = \sum_{i=1}^{ng} \frac{a(1 - B_{0i}) + B_{ii} - 2a \sum_{i \neq j=1}^n B_{ij} P_j}{2(a_i + \lambda B_{ii})^2}$$

La nouvelle valeur :

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta \lambda$$

Ainsi le processus itératif continu jusqu'à ΔP inférieur à une certaine précision.

Les résultats de l'application de la méthode sur un programme en Matlab sont les suivant :

Pertes totales de puissances actives **15.53 MW**.

Répartition optimale de la puissance :

Numéro du générateur	Puissances optimales
$P_{g1}(MW)$	472.0053 MW
$P_{g2}(MW)$	171.7378 MW
$P_{g3}(MW)$	188.9403 MW
$P_{g4}(MW)$	156.5556 MW
$P_{g5}(MW)$	196.1085 MW
$P_{g6}(MW)$	103.6642 MW
Cout de production C	15692.48 D/h
Lambda λ	13.875625 D/MWh

Puisque la différence entre la puissance générée par le jeu de barre balancier avant le dispatching est supérieur à une certaine précision pour cela on doit calculer les nouvelles valeurs des coefficients B_{0i} et B_{00} . Obtenus par l'application de la méthode de Newton Raphson sur les réseaux en prenant comme valeurs des puissances celles obtenues par le dispatching. Donc de nouvelles itérations jusqu'à la condition est vérifiée (différence entre la puissance du jeu de barre balancier entre deux itération inférieur à une certaine précision).

Résultats après plusieurs itérations :

Pertes totales de puissances actives **12.807 MW**.

Répartition optimale de la puissance :

Numéro du générateur	Puissances optimales
$P_{g1}(MW)$	447.6919 MW
$P_{g2}(MW)$	173.1938 MW
$P_{g3}(MW)$	263.4859 MW
$P_{g4}(MW)$	263.5424 MW
$P_{g5}(MW)$	165.5884 MW
$P_{g6}(MW)$	87.0260 MW
Cout de production C	15448.40 \$/h
Lambda λ	13.538113 D/MWh

Algorithme : Répartition économique

Étape1: lire les données du système .les coefficients du cout : a_i, b_i, c_i .
B-coefficients: $B_{ij}, B_{i0}, B_{00}(i=1,2,\dots, \dots NG, j=1,2,\dots, \dots NG)$

Étape2 : calcul des valeurs initial de P_{gi} ($i=1,2,\dots, \dots NG$) et λ en supposant que les pertes égale à Zéro et $P_L = 0$ et la solution peut être obtenue directement en utilisant l'Eq (3.6)

Étape3 : on initialise le compteur de nombre d'itération à l'unité.

Étape4 : calculer P_{gi} ($i=1,2,\dots, \dots NG$) en utilisant l'Eq (3.14).

Étape5 : calcul des pertes en utilisant l'Eq (3.7).

Étape6 : calcul $\Delta P = PD+PL -\sum P_i$.

Étape7 : on fait le test suivant : $|\Delta P| \leq \epsilon$.si oui on va vers l'étape 10

$IT \geq ITMAX$, si oui on va vers l'étape 10 (ca veut dire que le programme se termine sans obtention de la convergence)

Étape8: nouvelle valeur de lambda $\lambda^{new} = \lambda + \alpha |\Delta P|$.quand α augmente ou diminue la valeur de λ pour arriver à l'étape 6.

Étape9: $IT = IT+1, \lambda = \lambda^{new}$ on va vers l'étape 4 et répété.

Étape10: calcul du cout total de l'optimisation

•La solution par la méthode de Newton-Raphson :

Power Flow Solution by Newton-Raphson method

Maximum Power Mismatch = 1.74261e-005

No. of Iterations = 2

N°de Nœud	Tension V(P.U)	Angle S(deg)	Pch(MW)	Qch(MVAR)	Pg(MW)	Qg(MVAR)
1	1.025	0.000	51.000	41.000	447.650	251.692
2	1.020	-2.000	22.000	15.000	173.122	57.898
3	1.045	-0.638	64.000	50.000	263.452	78.798
4	1.050	-2.119	25.000	10.000	138.747	35.005
5	1.045	-1.456	30.000	300.000	165.898	144.130
6	1.000	-2.871	76.000	29.000	0.000	0.000
7	0.995	-2.407	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.998	-2.281	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.010	-4.387	89.000	50.000	0.000	0.000
10	0.991	-4.309	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.998	-2.822	25.000	15.000	0.000	0.000
12	0.999	-3.278	89.000	48.000	0.000	0.000
13	1.022	-1.260	31.000	15.000	0.000	0.000
14	1.008	-2.443	24.000	12.000	0.000	0.000
15	0.999	-3.227	70.000	31.000	0.000	0.000
16	0.990	-3.990	55.000	27.000	0.000	0.000
17	0.982	-4.366	78.000	38.000	0.000	0.000
18	1.007	-1.883	153.000	67.000	0.000	0.000
19	1.003	-6.060	75.000	15.000	0.000	0.000
20	0.983	-4.758	48.000	27.000	0.000	0.000
21	0.977	-5.402	46.000	23.000	0.000	0.000
22	0.979	-5.322	45.000	22.000	0.000	0.000
23	0.977	-6.381	25.000	12.000	0.000	0.000
24	0.968	-6.664	54.000	27.000	0.000	0.000
25	0.974	-6.251	28.000	13.000	0.0000	0.000
26	1.015	-0.283	40.000	20.000	87.020	33.057
Total			1263.000	637.000	1275.848	595.760

Le Cout total = 15448.40 D/h

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce dernier chapitre des notions sur le dispatching économique, la fonction du coût et comment faire extraire cette fonction à l'aide de la méthode théorique. Nous avons traité aussi la méthode d'optimisation (minimisation) qui utilise les itérations pour avoir la solution du dispatching économique.

Avec l'application de la méthode de Newton Raphson au même réseau on conclue que :

- Le coût de production est nettement inférieur lors de l'optimisation
- Le coût de production avec pertes est supérieur à celui sans pertes.

CONCLUSION GENERALE

Nous avons étudié dans ce mémoire le calcul de la répartition optimal des puissances active dans le réseau électrique,(power flow) qui a pour but de déterminer les conditions de fonctionnement d'un réseau en régime permanent équilibré .

L'opération qui consiste à calculer un terme de plus de la suite de la solution approchées est appelé itération en pratique nombre fini d'itérations, on s'arrête lorsque la dernière solution obtenue approche suffisamment de la solution exacte.

Un grand nombre de technique itérative la méthode est disponible , cependant notre étude est portée sur deux méthodes qui sont plus au moins sollicité par la majorité des utilisateurs .

Parmi ces méthodes itératives la méthode de Gauss-Seidel et Newton Raphson l'avantage de cette dernière méthode est que sa tolérance est spécifiée sur la variation de puissance de puissance active et réactive.

Le principal inconvénient de la méthode de Newton Raphson est la difficulté des calculs de la matrice Jacobienne et de son inverse, ce qui n'est pas toujours le cas de la méthode de Gauss-Seidel.

Finalement nous avons étudié dans ce travail la répartition optimale des puissances active dans le réseau électrique, qui consiste à la détermination des puissances optimales.

Il y a deux cas pour l'optimisation sans pertes et avec pertes.

D'après l'application de l'algorithme de Newton Raphson en régime permanent et régime optimal ont conclu que la répartition optimale des puissances actives permet de minimiser le cout de production de l'énergie.

Bibliographie:

- Réseaux électriques GEL-4150- Université LAVAL * HOANG LE-HUY *
- F. Cottet , E Groleau « système temps réel de contrôle-commande-conception et implémentation» Edition Dunod, 2005
- Cours de Mr.Gouaidia Saïd de Master 2 «Modélisation des réseaux électrique ».
- Mémoire D'ingénieur présenté a l'Université de Guelma «Etude de Calcule de la Répartition de Puissance » en 2007, et 2010 .
- Power Système optimisation (D.P.Kothari et J.S.Dhillon) -New Delhi-2007.
- A.J.Wood, B.F.Wollenberg , « power generation operation and control » John Wiley et Son 1984 .
- A.R.Berger, « power system Analysis » Prentice- Hall, New Jersey, 2000.
- H.Saadat, « Power system Analysis » McGraw-Hill, New York , 1999 .
- W.Chney et D.Kincaid , numerical mathematics and computing, 4th edition, Books- New York,2002 .
- J.O.Kim.D.J.Shin,J.N park ,c.Singh, “Atavistic Genetic Algorithm for Economic Dispatch with wave-point effect” vol 62. N^o 03. PP.201-207 .
- M.Aganagic,S.Mokhtari ,”security constrained Economic dispatch using Nonlinear Dantzig-wolfe Decomposition” IEEE transactions on power systems vol.62N.1. PP105-112, février 1991
- F.Benhamida, these de doctorat ,Electrical engineering Department , Alexandria University, December 2006 .
- Y.S .Kim, I.K. EOZ et J.H. Park, IEE. International conference on advances in power system control , Hong. Kong , November 1991 .

CONCLUSION GENERALE

Nous avons étudié dans ce mémoire le calcul de la répartition optimal des puissances active dans le réseau électrique,(power flow) qui a pour but de déterminer les conditions de fonctionnement d'un réseau en régime permanent équilibré .

L'opération qui consiste à calculer un terme de plus de la suite de la solution approchées est appelé itération en pratique nombre fini d'itérations, on s'arrête lorsque la dernière solution obtenue approche suffisamment de la solution exacte.

Un grand nombre de technique itérative la méthode est disponible , cependant notre étude est portée sur deux méthodes qui sont plus au moins sollicité par la majorité des utilisateurs .

Parmi ces méthodes itératives la méthode de Gauss-Seidel et Newton Raphson l'avantage de cette dernière méthode est que sa tolérance est spécifiée sur la variation de puissance de puissance active et réactive.

Le principal inconvénient de la méthode de Newton Raphson est la difficulté des calculs de la matrice Jacobienne et de son inverse, ce qui n'est pas toujours le cas de la méthode de Gauss-Seidel.

Finalement nous avons étudié dans ce travail la répartition optimale des puissances active dans le réseau électrique, qui consiste à la détermination des puissances optimales.

Il y a deux cas pour l'optimisation sans pertes et avec pertes.

D'après l'application de l'algorithme de Newton Raphson en régime permanent et régime optimal ont conclu que la répartition optimale des puissances actives permet de minimiser le cout de production de l'énergie.

Bibliographie:

- Réseaux électriques GEL-4150- Université LAVAL * HOANG LE-HUY *
- F. Cottet , E Groleau « système temps réel de contrôle-commande-conception et implémentation» Edition Dunod, 2005
- Cours de Mr.Gouaidia Saïd de Master 2 «Modélisation des réseaux électrique ».
- Mémoire D'ingénieur présenté a l'Université de Guelma «Etude de Calcule de la Répartition de Puissance » en 2007, et 2010 .
- Power Système optimisation (D.P.Kothari et J.S.Dhillon) -New Delhi-2007.
- A.J.Wood, B.F.Wollenberg , « power generation operation and control » John Wiley et Son 1984 .
- A.R.Berger, « power system Analysis » Prentice- Hall, New Jersey, 2000.
- H.Saadat, « Power system Analysis » McGraw-Hill, New York , 1999 .
- W.Chney et D.Kincaid , numerical mathematics and computing, 4th edition, Books- New York,2002 .
- J.O.Kim.D.J.Shin,J.N park ,c.Singh, “Atavistic Genetic Algorithm for Economic Dispatch with vave-point effect” vol 62. N^o 03. PP.201-207 .
- M.Aganagic,S.Mokhtari ,”security constrained Economic dispatch using Nonlinear Dantzig-wolfe Decomposition” IEEE transactions on power systems vol.62N.1. PP105-112, février 1991
- F.Benhamida, these de doctorat ,Electrical engineering Department , Alexandria University, December 2006 .
- Y.S .Kim, I.K. EOZ et J.H. Park, IEE. International conference on advances in power system control , Hong. Kong , November 1991 .