

## Modélisation et simulation Analytique de la ligne électrique 400kV Inga - Cabinda

*Yaba Moke Ngeme Liévin*

Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Electricity plays an important role in people's lives; this electricity reaches consumers via electrical networks of transport and distribution. In this article, we first developed the notions of load flow, and then we were interested in studying a load flow system, which allowed us to determine the active and reactive powers, the angle of phase shift. For our research topic, we used the analytical simulation to determine the characteristics of the power line under study. Our experimental study produced the results giving the load distribution in order to evaluate the different values of active energy and reactive, which is a contribution of a major scale in the field of study of electrical network.

**KEYWORDS:** Modeling, simulation, analytics, power line.

**RÉSUMÉ:** L'électricité joue un rôle important dans la vie de gens, cette électricité arrive chez les consommateurs via des réseaux électriques de transport, répartition et distribution. Dans cet article, nous avons dans un premier temps développé les notions sur l'écoulement de charge (load flow). Ensuite, nous nous sommes intéressés à étudier un système d'écoulement de charge (load flow), ce qui nous a permis de déterminer les puissances active et réactive, l'angle de déphasage. Pour notre sujet de recherche, nous avons exploité la simulation analytique pour déterminer les caractéristiques de la ligne électrique en étude. Notre étude expérimentale, a produit les résultats donnant la répartition de charge afin d'évaluer les différentes valeurs de l'énergie active et réactive, ce qui est une contribution d'une envergure capitale dans le domaine d'étude de réseau électrique.

**MOTS-CLEFS:** Modélisation, simulation, analytique, ligne électrique.

### 1 INTRODUCTION

La première étape, lorsqu'on veut analyser et commander un système électrique de puissance, consiste à trouver un bon modèle mathématique. Généralement, un modèle, dans l'analyse des systèmes, est un ensemble d'équations, qui décrit convenablement les interactions, entre les différentes variables étudiées, dans la gamme de temps considérée et avec la précision désirée, pour un système. Par conséquent selon le but de l'analyse, un système peut donner lieu à des modèles différents.

Dans de nombreux cas, le choix du modèle correct est souvent la partie la plus difficile de l'étude. Le point essentiel est de trouver le bon modèle qui réalise un compromis entre la fidélité du comportement qualitatif et quantitatif et la simplicité de mise en œuvre à des fins d'analyse et de synthèse. Les modèles complexes ont généralement besoin d'un nombre plus important de paramètres.

En outre, l'obtention de valeurs fiables pour ces paramètres exige un travail important. Enfin si des méthodes trop complexes sont utilisées, l'analyse et les calculs sont inutilement volumineux et l'interprétation du résultat s'avère très laborieuse.

Généralement, pour établir un modèle de réseau électrique pour les études statiques ou dynamiques, on tient compte uniquement des équipements en activité pendant la plage temporelle du phénomène statique considéré.

Le résultat est donc le modèle de connaissance complet du système : il se compose d'équations différentielles ordinaires non-linéaires et d'équations algébriques.

## 2 MÉTHODES ET MATÉRIELS

La démarche méthodologique a consisté à la récolte et l'analyse de données par rapport à la puissance souscrite par la ville de Cabinda (120MW). Ces deux moyens nous ont conduits à une demande de recherche à la Société Nationale d'Electricité (SNEL). L'échange avec les experts de la Société Nationale d'Electricité, nous a permis de murir nos connaissances scientifiques sur la revue de la littérature. Pour la partie expérimentale, nous avons exploité le calcul analytique manuel.

### 2.1 MATÉRIELS

Nous allons évoquer les différents problèmes relatifs à la modélisation de la ligne électrique 400kV Inga – Cabinda, le calcul manuel du courant au nœud électrique (Cabinda) et la répartition de charge (load flow).

La formulation du problème dans cet article est celle d'une charge à alimenter à Cabinda : de 120 MW à partir des générateurs d'Inga par une tension électrique de 400 kV (tension retenue au jeu de barres). Les charges sont dispersées et reliées entre elles par un réseau de liaison maillé.

Les capacités de production des différents générateurs étant connues, comment calculer l'état complet du réseau, c'est-à-dire, les courants, les tensions et les puissances. Ce problème est connu sous le nom de calcul de répartition de charges ou load flow en anglais. Ce calcul fait référence à des conditions « normales » de fonctionnement.

### 2.2 SUJET ET MÉTHODES

Pour la modélisation de la ligne électrique 400kV Inga - Cabinda, les données sont les suivantes :

- l'Alternateur d'Inga 2 (4 x 205 MVA),
- la tension électrique de consigne à Inga 235 kV,
- le transformateur de puissance d'Inga (205MVA 230/400 kV  $v_{c-c}$  10 %  $p_{fer}$  0,14 %  $p_{cu}$  0,8 %  $i_{rm}$  1,1 %),
- la tension électrique de la ligne (400 kV simple terna 570 mm<sup>2</sup> Almélec, le courant thermique de 1000A, la résistance directe de 0,016 Ω/km, la réactance directe de 0,16 Ω/km, la capacité directe de 11,8 nF/km),
- la longueur de la ligne électrique Inga – Cabinda (201,5 km),
- la puissance souscrite à Cabinda 120 MW,
- la puissance de base choisie de 210 MVA,
- le transformateur de puissance de Cabinda (140MVA 400/30 kV  $v_{c-c}$  10 %  $p_{fer}$  0,14 %  $p_{cu}$  0,8 %  $i_{rm}$  1,1 %  $\cos \phi$  à 0,9).

Légende :

$S$  (puissance apparente),  $U_{n1}/U_{n2}$  (tension primaire/secondaire),  $V_{c-c}$  (tension de court-circuit),  $p_{fer}$  (pertes fer),  $p_{cu}$  (pertes cuivre),  $i_{rm}$  (courant rémanent de magnétisation),  $R_{cc}$  (résistance de court-circuit),  $Z_{cc}$  (impédance de court-circuit),  $X_{cc}$  (réactance de court-circuit),  $G_{fer}$  (conductance magnétique),  $B_m$  (susceptance magnétique).

Les formules utilisées pour déterminer les valeurs en grandeurs réduites (per unit) des transformateurs d'Inga 2 et de Cabinda pour permettre leurs modélisations sont les suivantes :

$$R_{cc} = p_{cu} \quad (1)$$

$$Z_{cc} = \sigma_{cc} \quad (2)$$

$$X_{cc} = \sqrt{z_{cc}^2 - r_{cc}^2} \quad (3)$$

$$G_{fer} = p_{fer} \quad (4)$$

$$B_{mr} = i_{mr} \quad (5)$$

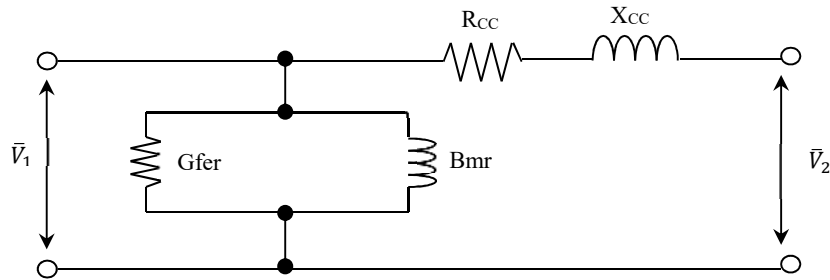


Fig. 1. Modèle de représentation du transformateur électrique en per unit

Etant donné que le transformateur d’Inga 2 est l’injecteur de la tension on aura, les valeurs totales en per unit par les formules ci-dessous :

$$\delta_{MT} = \delta_M \left( \frac{U_{Ba}}{U_{BM}} \right)^2 \cdot \frac{S_{BM}}{S_{Ba}} \text{ et } y_{MT} = y \left( \frac{U_{Ba}}{U_{BM}} \right)^2 \cdot \frac{S_{Ba}}{S_{BM}} \quad (6)$$

Les formules utilisées pour déterminer les valeurs en grandeurs physiques de base du courant et d’impédance de la ligne 400kV sont les suivantes :

$$I_B = \frac{S_B}{U_B \sqrt{3}} \quad (7)$$

$$Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} \quad (8)$$

**Légende :**

$R_L$  (résistance de la ligne),  $X_L$  (réactance de la ligne),  $C_L$  (capacité de la ligne),  $Y_C$  (impédance capacitive de la ligne),  $Z_B$  (impédance de base),  $S_B$  (puissance apparente de base),  $U_B$  et  $I_B$  (tension et courant de base),  $L$  (longueur de la ligne).

Les formules utilisées pour la représentation de la ligne électrique Inga – Cabinda en modèle  $\pi$  en grandeurs physiques et réduites (per unit) sont les suivantes :

$$R_L = R_d \times L \quad (9)$$

$$X_L = X_d \times L \quad (10)$$

$$C_L = C_d \times L \quad (11)$$

$$Y_C = j\omega C \quad (12)$$

$$r_r = \frac{R_{LT}}{Z_B} \quad (13)$$

$$X_r = \frac{X_{LT}}{Z_B} \quad (14)$$

$$y_r = y_T \cdot Z_B \quad (15)$$

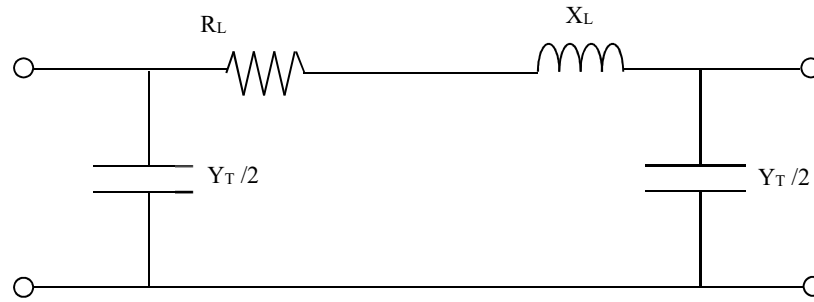


Fig. 2. Modèle de représentation de la ligne électrique en  $\pi$

### 3 SIMULATION ANALYTIQUE

Cette simulation analytique se fait en utilisant le modèle de ligne Inga – Cabinda en grandeurs réduites (per unit) ci-dessous :

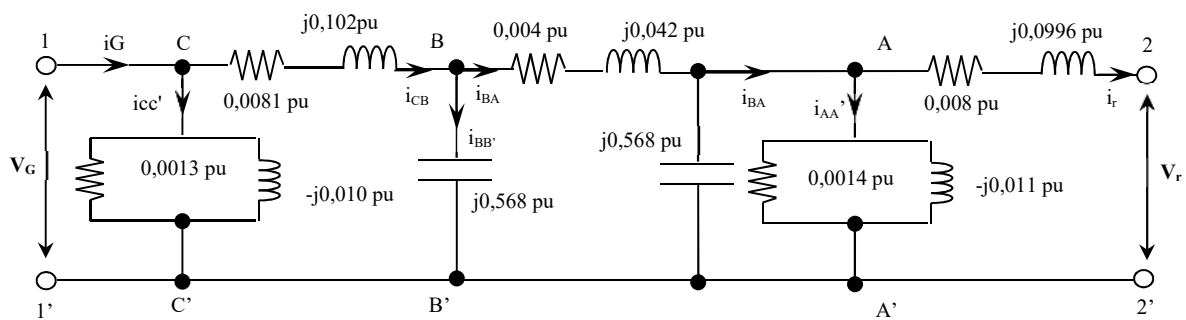


Fig. 3. Modèle de représentation de la ligne Inga – Cabinda

Le schéma ci-dessus est la représentation du modèle de transformateur, ligne et charge d’Inga à Cabinda en grandeurs réduites pour le calcul de l’écoulement de charge.

#### 3.1 DONNÉES À SIMULER

Le calcul que nous allons faire va permettre d’analyser l’écoulement de la charge au nœud Cabinda avec une puissance demandée ( $P_R$ ) de 120 MW, une tension de service ( $U_R$ ) de 70 kV, un  $\cos \phi$  de 0,9 le courant de base  $I_B = 1732,10$  A et l’angle de déphasage de la tension  $\theta_V = 0^\circ$  (référence).

#### 3.2 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

A ce niveau de calcul, nous arrivons à déterminer les valeurs de la puissance active et réactive au nœud Cabinda.

$$P_r = 0,345 \text{ et } Q_r = 0,892$$

$$P = p_r \cdot S_B = 0,345 \times 210 = 72,45 \text{ MW} \tag{16}$$

$$Q = q_r \cdot S_B = 0,892 \times 210 = 187,32 \text{ MVAR} \tag{17}$$

$$S = s_r \cdot S_B = 0,956 \times 210 = 200,76 \text{ MVA} \tag{18}$$

$$\theta_G = \theta_{V_G} - \theta_{i_G} \tag{19}$$

$$\bar{v}_{CC'} = \bar{v}_G \tag{20}$$

$$\varphi_{V_{CC'}} = 8,19^\circ$$

$$\varphi_{i_{G'}} = 60,67^\circ$$

$$\varphi_G = 8,19^\circ - 60,67^\circ$$

$$\varphi_G = -52,48^\circ$$

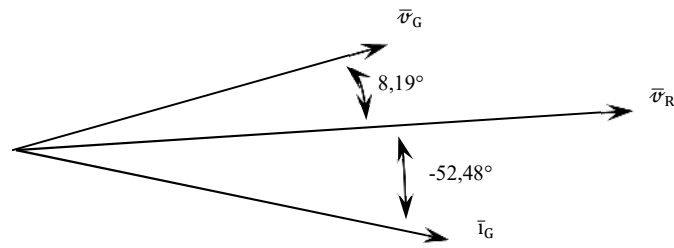


Fig. 4. L'angle de déphasage

### 3.3 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

- la puissance active qui, au départ était de 120MW, après calcul est de 72,45 MW cela se justifie par une tension de transmission très élevée qui fait circuler un courant faible à la ligne avec moins de pertes.
- la puissance réactive est très importante sur la ligne de l'ordre de 187,32MVARs qui occasionnerait de surtension importante au nœud Cabinda.
- l'angle de déphasage est négatif, la ligne injecte de l'énergie réactive au réseau électrique améliorant le plan de tension en aval.
- plus la tension de la ligne est élevée, les nœuds de son parcours présentent de surtension.

## 4 CONCLUSION

Notre étude expérimentale, a produit les résultats donnant la répartition de charge afin d'évaluer les différentes valeurs de l'énergie active et réactive. Ces différents résultats sont obtenus par l'exploitation du calcul analytique, et ont été confrontés à ceux trouvés par d'autres chercheurs. Ces résultats, sont une contribution d'une envergure capitale dans le domaine de réseau électrique, particulièrement des projets d'exportation d'énergie électrique.

## REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la rédaction de cet article. Nos remerciements s'adressent particulièrement au Professeur Ordinaire Pasi Bengi André et à l'Assistant Mbaya Ilunga Edouard.

## REFERENCES

- [1] J.L Lilien « Manuel de travaux pratique, transport et distribution de l'énergie électrique », université de liège, Belgique, 1999 -2000
- [2] R.PELISIER « les réseaux d'énergie électrique Architecture et développement », Tome 1, 2,3, Bordas, Paris, France, 1975
- [3] Société Nationale d'Electricité société d'état « Plan directeur national de développement du secteur de l'électricité, catalogue de coût des équipements et des ouvrages », volume 5, Tracte bel, 1987
- [4] Société Nationale d'Electricité société d'état « Action minimum de sauvetage du réseau ville de Kinshasa », 1995
- [5] Société Nationale d'Electricité société d'état « 30 ans de la SNEL », 2000
- [6] J.L Lilien « transport et distribution de l'énergie électrique », université de liège, Belgique, 2006.
- [7] A. TAITHE «Les enjeux et effets induits attendus des grands investissements énergétiques : projets hydroélectriques », Revue, no 06, novembre 2012.