

112-09

COMPORTEMENT ELECTRODYNAMIQUE DES DESCENTES SUR POSTE EN CAS DE DÉFAUT

par

J.L. LILIE, P. PIROTTE

Institut d'Électricité Montefiore
Université de Liège
(Belgique)

Sommaire

Une méthode de calcul numérique a été mise au point en vue d'étudier temporellement les déplacements de grande amplitude des conducteurs aériens lors des sollicitations électrodynamiques produites par les courants de défaut. A partir de ces résultats, on peut vérifier les contraintes dans les câbles et les structures d'ancrage ainsi que les distances minimales d'isolement.

La méthode a été vérifiée avec succès grâce à des essais en vraie grandeur sur une structure de poste équipée d'un jeu de barres constitué par des câbles.

Le cas traité dans ce rapport envisage la descente sur un poste et le comportement des câbles et des réactions aux ancrages lors d'un défaut biphasé isolé.

Mots-clés

Electrodynamique - Défaut - Câbles - Ancrages - Eléments finis.

1. Introduction

Il convient avant tout de bien situer le contenu du rapport dans le thème du symposium "Les lignes de transport et de l'environnement".

Dans l'hypothèse où un défaut, biphasé isolé par exemple, affecte le jeu de barres d'un poste ou éventuellement la ligne de transport elle-même, on assistera à l'apparition d'efforts électrodynamiques.

L'intensité de ceux-ci dépend d'une part de la configuration géométrique du système et d'autre part d'éléments électriques spécifiques (instant du défaut, constante de temps du circuit amont,...). On assiste à l'heure actuelle et dans la plupart des réseaux à une augmentation de la puissance de court-circuit et donc de l'intensité du courant de défaut.

Cette tendance justifie les nombreuses études actuellement entreprises, en particulier par le groupe de travail 23-02 de la CIGRE, au sujet des efforts électrodynamiques agissant par les structures et leurs conséquences. Les recherches sont localisées sur la détermination des contraintes apparaissant dans les postes à jeux de barres rigides et à jeux de barres souples. Ces derniers travaux demandent la mise en place de moyens très puissants compte-tenu des grands déplacements permis suite à l'application des efforts électrodynamiques.

Une technique de résolution de ce dernier problème a été mise en place à l'Université de Liège (1) et la vérification des résultats obtenus a été rendue possible grâce à un essai en vraie grandeur réalisé à Laborelec (Laboratoire Belge des Industries Electriques). Ce sera cet outil de calcul que nous appliquerons dans le cas pratique suivant.

Entre le jeu de barres à disposition horizontale et la ligne de transport en nappe ou en drapeau, les conducteurs qui réalisent la descente au poste sont gauches l'un par rapport à l'autre et dans ces conditions il est très malaisé de prévoir non seulement l'évolution temporelle des efforts électrodynamiques mais également la manière dont se déplaceront les conducteurs l'un par rapport à l'autre. La détermination de ces grandeurs permettra de vérifier non seulement la tenue mécanique de l'ensemble mais également la disposition des phases et des distances d'isolement.

Le rapport présenté s'attachera tout particulièrement à ce dernier point en étudiant la descente de la ligne 150 kV Gramme-Tihange au poste de Tihange.

2. Position du problème

La situation envisagée est reprise à la figure 1. Les données nécessaires à la résolution numérique du système y sont également indiquées.

La position initiale des deux conducteurs a été obtenue par voie numérique sur base de ces données.

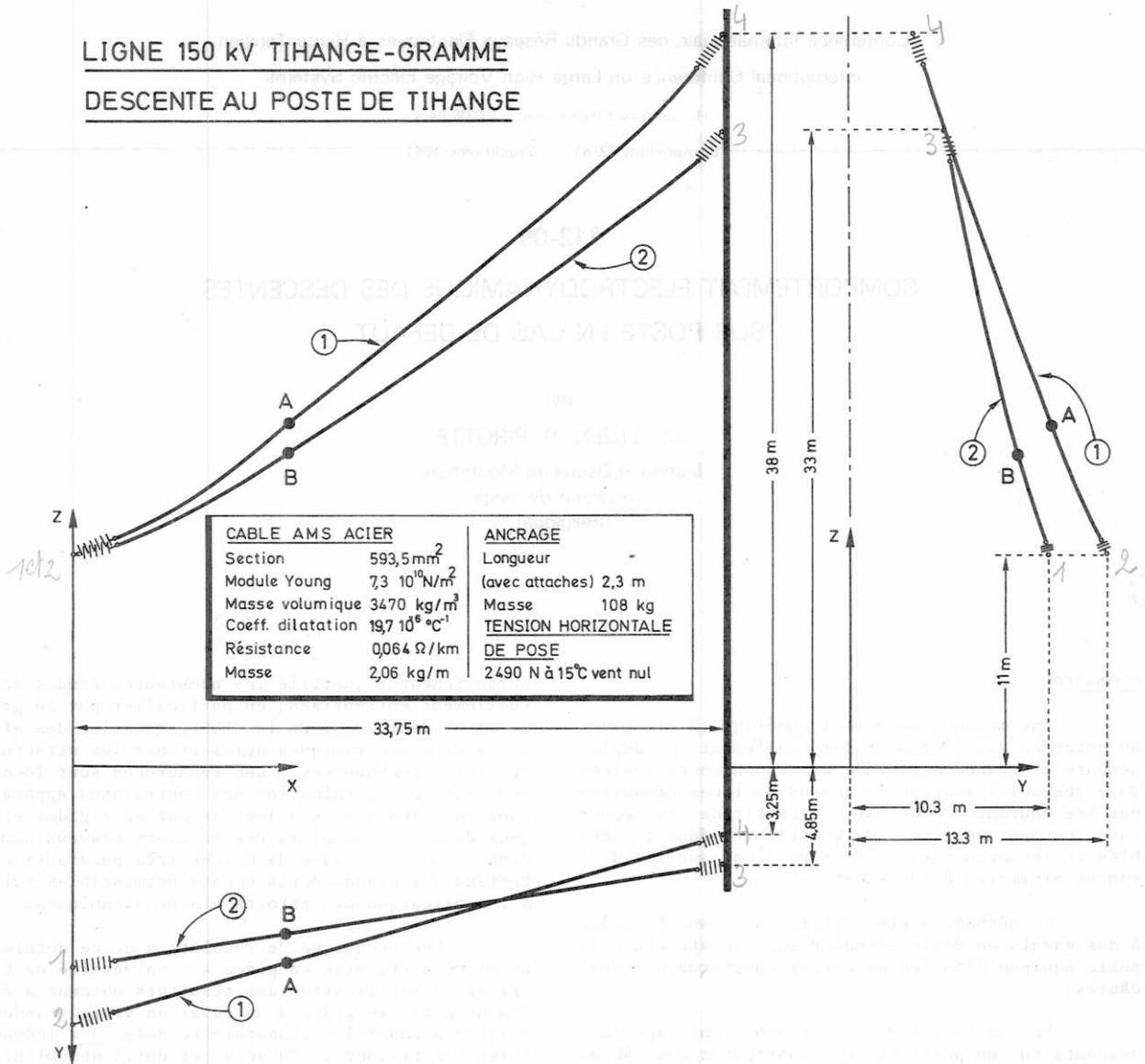


Fig. 1.

2.1 Type de défaut

Il s'agira d'un défaut biphasé isolé à proximité immédiate du pylône d'arrêt.

L'intensité du courant de défaut sera estimée à 30 kA efficace, alors que la valeur actuelle 1980-1981 atteint 20 kA environ et on supposera une asymétrie maximale. La constante de temps équivalente du réseau sera prise égale à 100 ms et la durée d'élimination du défaut 0,4s.

2.2 Etude numérique

La méthode d'intégration utilisée est la méthode implicite pas à pas de Newmark (1). Cette méthode a été appliquée, pour notre part, dans différentes études (2,3) dont la dernière en date qui a été vérifiée avec succès grâce à une recherche expérimentale (4). Le temps d'observation a été arrêté à 2 s et les pas de temps respectivement de 2,5 et de 5 ms pendant et après le court-circuit.

Le temps CPU nécessaire a été de 2h sur un ordinateur IBM 370/158.

3. Discussion des résultats

La figure 2 représente l'évolution temporelle des câbles pendant et après le court-circuit, dans un plan YZ situé à l'abscisse 11,2 m environ.

Il est intéressant de discuter de ces courbes parallèlement à l'évolution de la tension dans les câbles au même niveau (niveau des points A et B repérés sur la fig. 1) (fig. 3 et 4).

Au début du court-circuit, les câbles se repoussent dans un plan qui résulte de leurs positions initiales. Nous avons choisi le point d'observation à l'endroit de rapprochement maximal des câbles pendant leur mouvement.

La phase 1 voit sa tension décroître compte tenu du relâchement dû à la poussée électromagnétique.

que qui agit verticalement et s'oppose à la gravité (pendant ce premier choc les forces élastiques sont évidemment faibles).

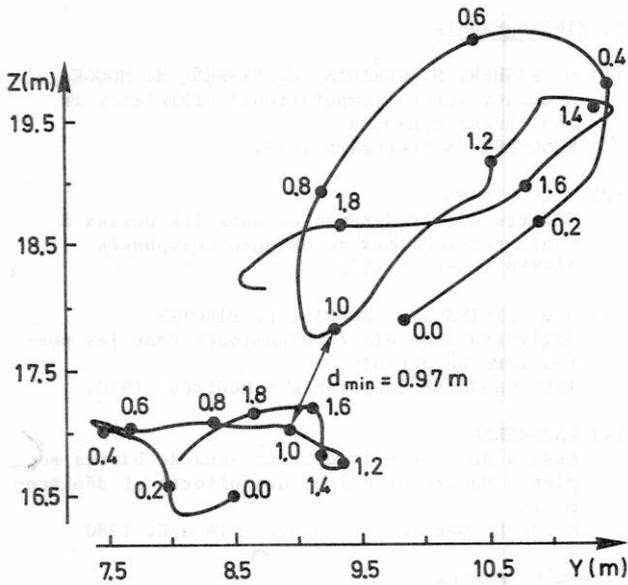


Fig. 2

La phase 2 au contraire atteint très rapidement un maxima de tension compte tenu du peu de liberté dans le mouvement du câble, la force élastique doit équilibrer rapidement les autres forces en jeu et nous observons une première augmentation de la tension liée au degré d'asymétrie du courant de court-circuit. Après ces premiers instants le câble est livré à lui-même et l'équilibre instantané des forces d'inertie, de gravité et élastique guide le mouvement.

On notera cependant l'apparition d'efforts importants lors de la retombée du câble (surtout dans la phase 1) : le coup de fouet. A ce moment, les forces d'inertie et élastiques sont prépondérantes et leur équilibre conduit à une surtension mécanique importante résultat de l'accélération acquise par le câble au cours de sa chute.

On remarquera que les débattements des câbles atteignent une enveloppe voisine de 2,4m pour la phase 1 et de 1,75m pour la phase 2.

Sur la même figure on a indiqué la distance minimale entre les deux câbles qui atteint 0,97 m après 1 s environ. Cet écart reste suffisant pour tenir une surtension de manoeuvre à ce niveau de tension (150 kV). Mais notons que cet écart est favorablement influencé par le déphasage entre les mouvements des deux câbles que l'on ne rencontrerait pas dans une disposition en nappe (voir le pointage temporel sur la fig. 2).

On notera également que les tensions dans les câbles voisines, au départ, de 2500 N atteignent 60 000 N pour la phase 1, soit une amplification d'un facteur 24, alors que nous avons rencontré précédemment dans les postes un facteur de l'ordre de 3 pour des portées de niveau moyennes (40 m).

La surtension dans la phase 2 est trois fois plus faible compte tenu de l'amplitude réduite des déplacements.

Ces contraintes, sans danger direct pour le câble (plus de 200 000 N en traction), risquent d'avoir des conséquences bien plus graves sur les systèmes d'ancrage, les portiques et pylônes d'arrêt.

Une étude dynamique de ce dernier serait nécessaire suite à l'excitation du type impulsionnelle liée aux phénomènes cités. On tiendrait compte dans ce cas de l'influence des portées adjacentes. Une image plus concrète de cette excitation est donnée par les composantes de la réaction aux appuis côté portique (fig. 5, 6 et 7). Sur l'autre phase, les calculs conduisent à des efforts maxima en valeur absolue, côté portique, de 5000, 2000 et 3500 daN respectivement selon X, Y et Z.

Précédemment nous avons mené une étude complète en étudiant le comportement des portiques d'ancrage dans le cas d'un poste 150 kV et la vérification expérimentale avait conduit à des écarts maxima par rapport au calcul de 8% pour un temps d'observation de 1,5s.

4. Conclusions

Le but poursuivi dans cette communication était de quantifier, sur le plan de la structure, le niveau des conséquences d'un défaut affectant le réseau.

La structure envisagée (descente sur un poste) ne permet pas de transposer sans risque d'

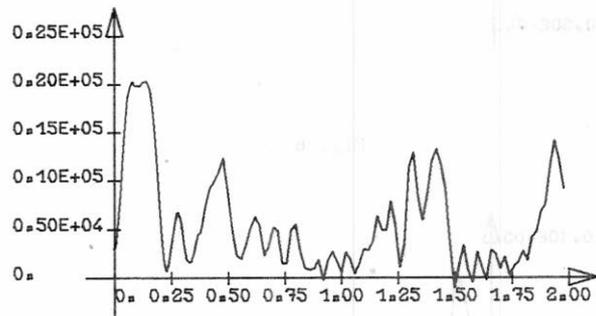


Fig. 3

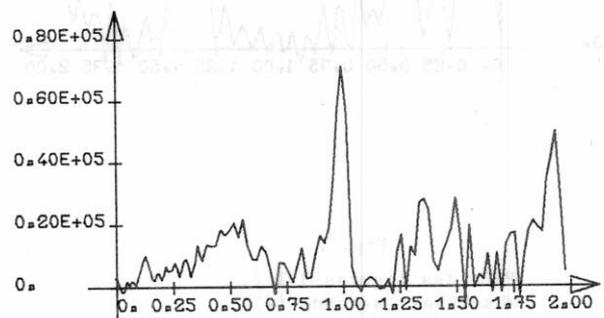


Fig. 4

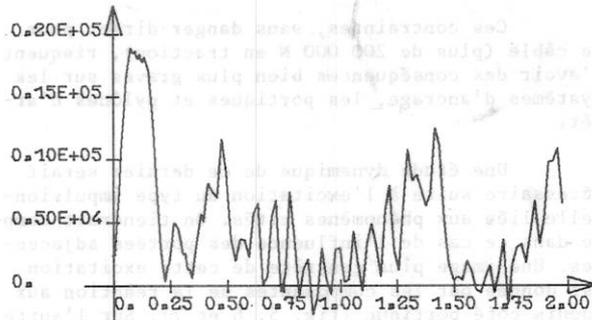


Fig. 5

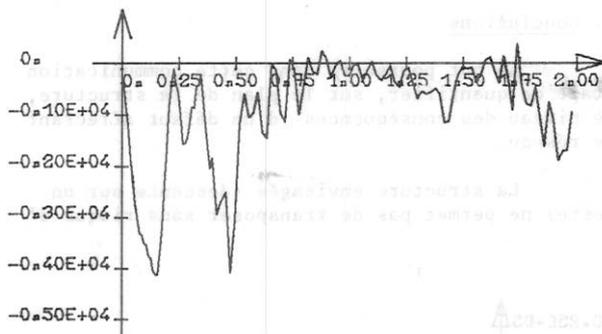


Fig. 6

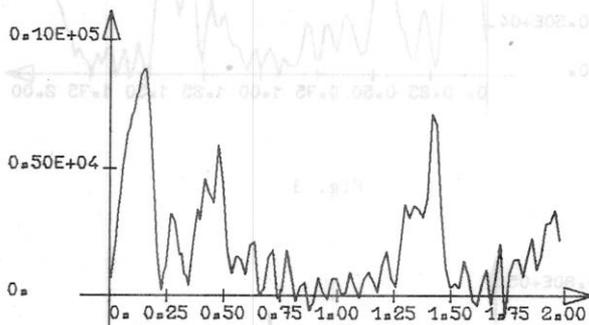


Fig. 7

Pour les figures 3 à 7,
abscisses : seconde (s)
ordonnées : newton (N)

erreurs graves les résultats obtenus à l'occasion d'études sur des ensembles symétriques (circuit en nappe par exemple).

Un modèle suffisamment précis et un outil de calcul puissant, à l'exception d'une recherche expérimentale en vraie grandeur, permettent cependant de donner aux résultats obtenus une confiance réaliste.

5. Bibliographie

- (1) G. SANDER, M. GERADIN, C. NYSSSEN, M. HOGGE
Accuracy versus computational efficiency in non linear dynamics
FENOMECH 78 Stuttgart 1978.
- (2) J.L. LILLEN
Efforts électrodynamiques dans les postes à haute tension lors de défauts polyphasés
IASTED Montreux 1979.
- (3) J.L. LILLEN, M. GERADIN, P. PIROTTE
Sollicitations électrodynamiques dans les postes lors de défauts
IEEE Canadian Conference - Montréal 1980.
- (4) LABORELEC
Essais de court-circuit sur jeux de barres simples - Mesure et calcul des efforts et déplacements
Rhode St Genèse - Belgique - 14 août 1980.

6. Remerciements

Les auteurs remercient vivement le bureau d'études Electrobél qui leur a transmis les données nécessaires à la résolution numérique du problème.

SUMMARY

When the short circuit increases, it is obvious that the consequences of the electrodynamic forces are more and more severe for the structures.

This problem is at the agenda of the CIGRE WG 23-02 (Substations) and several papers were published by these experts.

At the University of Liege, in cooperation with the Mechanical Department, we have studied this important problem.

The numerical resolution has been applied to rigid and flexible busbars. Tests have been performed with flexible busbars, and the results are in good agreement with the computation.

This paper relates another application when the phases are not in the same plane. The first span between the substation and the tower is the studied application (vertical circuit).

We observe the evolution of both cables during and after the short circuit (phase-to-phase isolated fault) and also the mechanical stress variation in the cables and for the anchoring points.