

Cat. No. 80 CH 1583-4

*Rifolte*

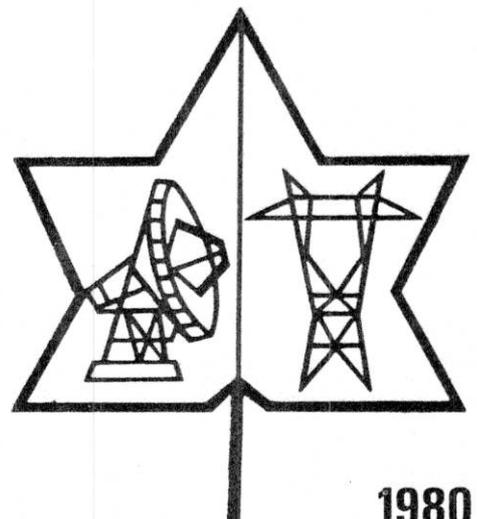
THE INSTITUTE  
OF ELECTRICAL  
AND ELECTRONICS  
ENGINEERS, INC.

CANADIAN RÉGION (7) CANADIENNE  
SECTION DE MONTRÉAL SECTION

October 15, 16, 17, 1980  
Montréal  
15, 16, 17 Octobre 1980

# CANADIAN COMMUNICATIONS & POWER CONFERENCE CONFÉRENCE CANADIENNE SUR LES COMMUNICATIONS & L'ÉNERGIE

Available from  
IEEE Service Center  
Single Publication Sales Dept.  
445 Hoes Lane  
Piscataway, N.J. 08854



**1980**

Abstracting is permitted with credit to the source. Libraries are permitted to photocopy beyond the limits of U.S. copyright law for private use of patrons those articles in this volume that carry a code at the bottom of the first page, provided the per-copy fee indicated in the code is paid through the Copyright Clearance Center, P.O. Box 765, Schenectady, NY 12301. Instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee. For other copying, reprint or republication permission, write to Director, Publishing Services, IEEE, 345 E. 47 St., New York, NY 10017.

# SOLLICITATIONS ELECTRODYNAMIQUES DANS LES POSTES LORS DE DEFAUTS

J.L. LILLEN, M. GERADIN et P. PIROTTE

UNIVERSITE DE LIEGE

(Belgique)

## SOMMAIRE

Il est important de pouvoir vérifier ou encore prévoir l'importance des conséquences lors de l'apparition d'un défaut polyphasé (le plus souvent biphasé) sur les éléments constitutifs d'un poste. L'intensité du courant de défaut augmente continuellement dans la plupart des pays, et il n'est nullement besoin d'insister sur l'importance de limiter au maximum le risque de défaillance des ouvrages pour assurer à l'ensemble une fiabilité suffisante.

Le présent rapport formulera les équations conduisant au calcul des efforts électrodynamiques. Ensuite il donnera les bases de la méthode de calcul par éléments finis permettant de résoudre numériquement le problème.

L'application de cette méthode à un cas pratique ayant pour objet une vérification expérimentale terminera la note.

L'exemple choisi est celui d'un jeu de barres en câbles flexibles, ce qui représente une situation particulièrement complexe pour l'application de la technique de résolution.

## 1. POSITION DU PROBLEME

Lors de défauts se produisant sur les constituants du réseau, en particulier dans les postes, on peut enregistrer des intensités de courant très élevées. Leur amplitude est directement liée au type de défaut et à la localisation de celui-ci par rapport aux générateurs. On observe dans de nombreux pays une augmentation de la valeur du courant de défaut et de ce fait les spécifications pour le matériel sont de plus en plus contraignantes [1] [2].

Dans cette perspective il est important de déterminer avec une précision suffisante les sollicitations auxquelles seront soumises les structures en général, les jeux de barres des postes en particulier. Le calcul de ces sollicitations et la réponse de la structure nous renseigneront quant à la sécurité par rapport à la ruine de l'ouvrage et quant aux distances minimales à respecter entre les conducteurs sous tension pour éviter les amorçages lors des balancements.

Deux situations sont à examiner : les jeux de barres rigides et les jeux de barres en câbles souples.

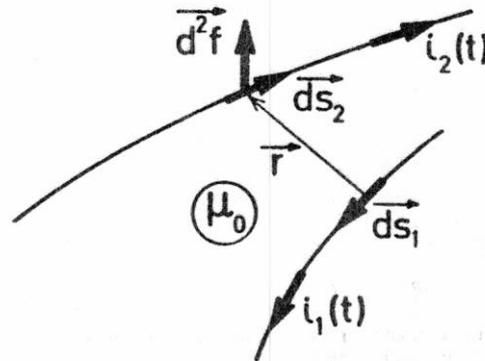
Dans le premier cas une hypothèse réaliste consiste à supposer constante la distance entre les conducteurs. Un tel travail a été entrepris antérieurement à l'Université de Liège et a conduit à des résultats comparables aux essais et méthodes déjà existants [3], [4], [5]. Le problème des jeux de barres en câbles flexibles fait actuellement l'objet d'une étude au sein du groupe de travail 23-22 de la C.I.G.R.E. La solution dans ce dernier cas est beaucoup plus

complexe compte tenu du caractère non linéaire du phénomène.

Le présent rapport présente l'état de nos recherches en ce domaine et met l'accent sur le problème de sa résolution numérique. Les résultats obtenus sont discutés et comparés avec les mesures obtenues lors d'un essai en vraies grandeurs.

## 2. ANALYSE DE LA SOLLICITATION

Nous rappellerons ici la définition de la force agissant sur un conducteur parcouru par un courant  $i_2$  et soumis au champ magnétique créé par un conducteur parcouru par un courant  $i_1$ .



$$\vec{d}^2f = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1(t) \cdot i_2(t) \cdot \frac{d\vec{s}_1 \wedge (d\vec{s}_2 \wedge \vec{r})}{r^3}$$

(Loi de Biot-SAVART)

La variation de l'intensité du courant correspond à la fermeture instantanée d'un circuit R,L alimenté par une force électromotrice de module constant. Nous n'envisagerons donc qu'une seule constante de temps et l'asymétrie du courant sera uniquement fonction de la phase de la force électromotrice équivalente au moment de l'apparition du défaut. La constante de temps  $\tau = L/R$  dépend évidemment de la localisation du poste considéré par rapport aux centrales du réseau. En Belgique, compte tenu des liaisons relativement courtes, on peut envisager des constantes de temps de l'ordre de 100 à 150 ms à peu de distance des générateurs.

$$i(t) = \sqrt{2} I_{eff} \{ \sin(\omega t + \phi) - e^{-t/\tau} \sin \phi \}$$

Où :  $I_{eff}$  représente la valeur efficace du courant de court-circuit permanent,  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  est la pulsation du réseau et  $\phi$  est

un angle en rapport avec l'instant d'apparition du défaut. Dans le cas de deux conducteurs parallèles soumis à un court-circuit biphasé et si on considère une asymétrie maximale ( $\phi = -\pi/2$ ), la force agissant par unité de longueur prend la forme:

$$f_{li} = \frac{1,6 I^2}{d} \times \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \cos 2\omega t - e^{-\gamma t} \cos \omega t + \frac{1}{2} e^{-2\gamma t} \right\}$$

où l'on voit apparaître deux termes continus et deux termes harmoniques de fréquence  $\omega/2\pi$  et  $\omega/\pi$  (50 et 100 Hz en Europe). La fig.1 reprend l'allure de  $f$  en fonction du temps dans le cas particulier d'un court-circuit biphasé de 15,6 kA avec  $\gamma = 1$  s<sup>-1</sup>. (supposée constante) et rétablissement sur défaut en  $t = 0,58$  s.

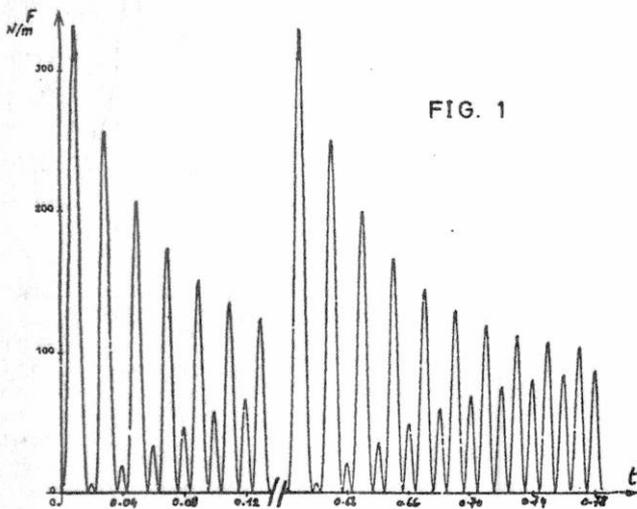


FIG. 1

### 3. METHODE DE CALCUL

#### 3.1 Base théorique

Deux hypothèses ont été retenues pour la méthode envisagée:

- Les câbles sont supposés infiniment flexibles (pas de rigidité flexionnelle).
- De plus les amortissements sont négligés.

L'élastodynamique des systèmes géométriquement non linéaires peut être traitée par une description Lagrangienne (référence à l'état non déformé initial) du principe de Hamilton (minimisation de l'énergie totale du système en mouvement entre deux instants). La discrétisation spatiale de cette formulation est réalisée au moyen d'éléments finis isoparamétriques et la discrétisation temporelle par intégration directe suivant le schéma implicite de Newmark.

Pour les détails du formalisme on se référera à [6].

### 3.2 Application

#### a) Structure

=====

Elle est reprise en annexe et le tableau indique ses données mécaniques ainsi que le cas de sollicitation imposé.

Le relevé des tensions dans les câbles a été effectué côté Nord par bielles de mesure. Les moments dans les colonnes Nord ont également été relevés par strain-gauge au niveau  $Z = 0,78$  m.

Les déplacements aux points d'ancrage Nord du câble ont été mesurés par des capteurs de déplacement.

La trajectoire dans le plan YZ du point milieu des câbles a pu être relevée grâce à des caméras rapides situées dans l'axe des câbles derrière le portique Sud.

#### b) Discrétisation, temps de calcul et mémoire requise

=====

La structure a été discrétisée par éléments finis de câbles pour les câbles et dérivations, tandis que pour les portiques la théorie linéaire des éléments poutre classique a été adoptée. Le calcul envisage simultanément la présence des portiques, des câbles et des dérivations; l'effet de la température est également pris en compte.

#### c) Caractéristiques de l'étude numérique

=====

- Période de temps étudiée : 2,32 s.
- Nombre de degré de liberté : 306 dont 36 sont fixes
- Pas de temps : 0,0025 s.
- Ordinateur utilisé : I.B.M. 370/158
- temps C.P.U. : 6 heures
- Mémoire requise 368 Kbytes

### 4. COMPARAISON CALCULS-RELEVES EXPERIMENTAUX

Les fig. 3 et 4 envisagent la trajectoire des câbles à mi-portée dans un plan YZ (la courbe en pointillé est la courbe expérimentale). On distingue nettement la présence d'un coup de fouet (surtout à la fig. 3) qui est souvent à l'origine de la contrainte maximale.

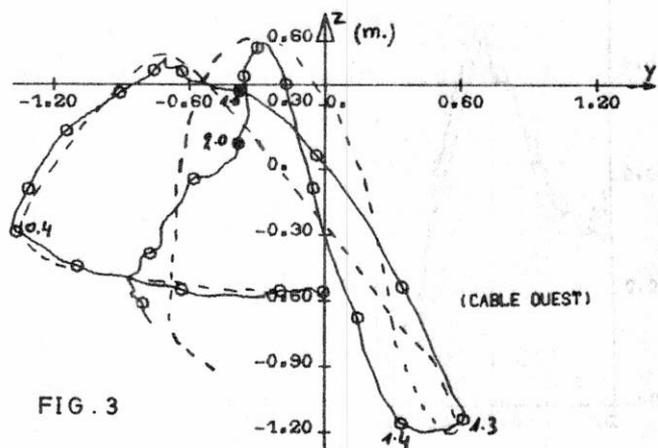


FIG. 3



