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

Université Dr YAHIA FARES de Médéa
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie électrique et l'informatique
Option :Master 2 Réseaux électrique

THÈME

CALCUL DU CHAMP ELECTRIQUE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

Proposé et Dirigé par :
Dr.HOUASSINE Hamza

Présenté Par :
SOUAS Dahbia

Promotion:

2012-2013

Figure I.1 **: les sens sous l'action de forces électriques…….4**

Figure I.2 : Le champ électrique est orienté la charge positives et négatives……6

Figure I.3 : variation de résistivité électrique ρ en fonction de la température T.9……..8

Figure I.4 : Moyenne temporelle de distribution de charges dans un atome normal (a) ……..….11

Figure I.5 : Effet d'un champ électrique sur un dipôle……..11

Figure I.6 : Géométrie du dispositif……..19

Figure 1.7 : Représentation des lignes de cham……...19

Figure II.1: Discrétisation d'un domaine par le maillage ……..26

Figure II.2 : triangle de Pascal.....…...28

Figure II.3 : Organisation du logiciel……...32

Figure III.1 : Transformation des équations d'un système physique [19] ……...41

Figure III.2: Maillage en éléments triangulaire du domaine d'étude……...44

Figure III.3: Cartographie du champ électrique……45

Figure III.4 : Variation du potentiel……45

Figure III.5 : Variation du vecteur déplacement électrique D le long de la structure étudiée…….46

Figure III.6 : Variation de champ électrique E le long de la structure étudiée ...47

Figure III.7 : Variation de champ électrique en fonction la distance……48

Figure III.8 : Comparaison entre les deux calculs numérique et analytique pour une structure plan-plan…….49

Figure III.9 : Maillage en éléments traigulaires de domaine d'étude ……...50

Figure III.10 : Spectre du potentiel électrique entre les deux électrodes……..50

Figure .III.11 : Variation du potentiel électrique ……...51

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier

Le bon dieu clément et le miséricordieux qui nous a donné le courage, la force et patience pour achever notre travail.

Nos chers parents, qui nous ont guidés depuis notre enfance vers le chemin du savoir.

Mon promoteur Dr .HOUASSINE Hamza

Les Enseignants qui nous ont suivis pendant notre cycle de formation et de leur précieux conseil

Mr Abdi

Ainsi que l'ensemble des enseignants et de l'étudiant du département d'électrotechnique



Sommaire

Remerciements……..…i

Résumé……..…ii

Liste des figures …….....iii

Introduction générale……..…….2

I.1. Introduction ……..……4

I.2. Notion de champ électrique ……..……4

I.2.1. Expérience fondamentale ……..……..…..4

I.2.2. Notion de champ électrique ……..….5

I.3. Définition du champ électrique ……..….5

I.4. Généralités sur les diélectriques……...…6

I.4.1. Utilisation des diélectriques dans le domaine de l'isolation électrique……..7

I.4.2. Caractéristiques électriques des diélectriques……...…..7

I.4.2.1. La résistivité……..…...…7

I.4.2.2.La permittivité……...……...9

I.4.2.3 .Rigidité diélectrique (Tenue au claquage)……..……10

I.5. Comportement d'un diélectrique en présence d'un champ électrique...……10

I.6 .Conduction électrique…….....…11

I.7. Les équations électromagnétiques…….....…11

I.7.1. Les équations de Maxwell…….…..…..11

I.7.2. Interprétation physique des équations de Maxwell……...……12

I.7.2.1. Les équations de couplages électromagnétiques……..……...…12

I.7.2.2. Les équations de conservations……..……...…13

I.7.3. Forme intégrale des équations de Maxwell……14

I.7.3.1. Loi de Gauss – Maxwell…….……...…14

Résumé :

Ce mémoire de master porte sur le calcul de champ électrique par la méthode des éléments finis qui nécessite une transformation du problème à résoudre en forme intégrale. Le calcul est réalisé en utilisant la méthode des éléments finis sous le logiciel FEMM.

ملخص:

يتناول هذا رسالة ماستر مع حساب الحقل الكهربائي من خلال طريقة العنصر المحدود الذي يتطلب التحول من المشكلة في شكل لا يتجزأ. يتم تنفيذ العملية الحسابية باستخدام طريقة العناصر المحدودة في إطار برنامج FEMM.

Summary:

This master thesis deals with the calculation of the electric field by the finite element method that requires a transformation of the problem in integral form. The calculation is performed using the finite element method under the FEMM software.

Introduction Générale

L’étude de l’électricité comprend les notions de champ électrique, de force électrique, de potentiel électrique et de tension électrique, d’énergie électrique, de courant électrique, d’intensité de courant électrique, de résistance électrique.

La plupart des systèmes électrotechniques (Machines électriques, ouvrage de haute tension, chauffage par induction, propagation d’ondes électromagnétiques,...) peuvent être modélisés par des équations aux dérivées partielles qui sont obtenues à partir des équations de Maxwell et les relations des milieux.

L’équation aux dérivées partielles ainsi obtenue pour un système donné, peut être résolue par des méthodes analytiques pour des géométries simples, cependant si cette dernière est complexe ont fait recours aux méthodes numériques telles que la méthode de différences finies et la méthode des éléments finis.

La méthode des éléments finis permet de représenter finement les différentes grandeurs dans le système. Cependant, les résultats obtenus nécessitent des ressources informatiques importantes.

L'objectif de notre travail est l’étude du champ électrique crée par des structures diélectriques utilisées en électrotechnique, soumises à des différences de potentiel importantes.

Afin de mener à terme notre travail, nous avons subdivisé notre mémoire en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur différentes notions utilisées en électrostatique, ainsi qu’aux différentes méthodes fondamentales de calcul du champ électrique et du potentiel électrique. Egalement on a donné un aperçu général sur les matériaux diélectriques.

Les équations fondamentales de Maxwell nécessaires pour la formulation de notre problème de type électrostatique et la méthode des éléments finis (MEF) de résolution de l’équation aux dérivées partielles obtenue, ont fait l’objet du second chapitre.

Chapitre I

Généralités sur le calcul et la modélisation du champ électrique en électrotechnique

Chapitre II

Résolution des équations aux dérivées partielles par la méthode des éléments finis

Chapitre III

Calcul du champ électrique par la méthode des éléments finis

I.1. Introduction :

La notion de champ a été introduite par les physiciens pour tenter d'expliquer comment deux objets peuvent interagir à distance, sans que rien ne les relie. A la fois la loi de la gravitation universelle de Newton et la loi de Coulomb en électrostatique, impliquent une telle interaction à distance.

La plupart des dispositifs utilisés en électrotechnique sont, durant leurs fonctionnements, soumis à l'action de champs électromagnétiques.

La connaissance du champ permet donc, dans tout appareil électromagnétique, d'avoir accès au calcul des performances et du fonctionnement de cet appareil, soit en régime permanent, soit en régime transitoire.

Donc, l'évaluation des champs électriques et magnétiques apparaît comme un travail nécessaire, ce travail est effectué par l'emploi des équations de Maxwell et les relations du milieu considéré **[1].**

I.2. Notion de champ électrique :

I.2.1. Expérience fondamentale :

Le pendule électrostatique est constitué par un fin fil isolant auquel est attachée une petite boule isolante très légère (formée par exemple de moelle de sureau). Il est accroché à un support pour qu'il puisse dévier dans tous les sens sous l'action de forces électriques.

Cette boule va être chargée négativement par contact avec un autre corps chargé négativement.

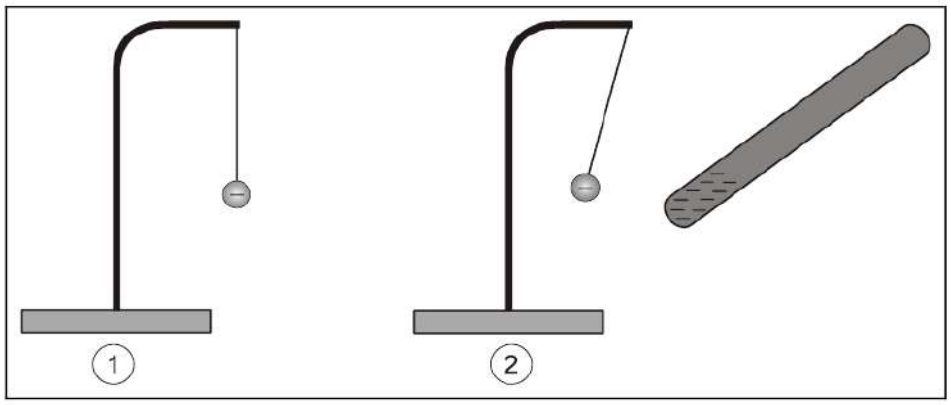


Figure I.1 : les sens sous l'action des forces électriques.

III.1.Introduction :

La détermination du potentiel et du champ électrique d'un matériau passe par la résolution de l'équation de Poisson ou de Laplace. Il s'agit donc de la détermination de la répartition spatiale du champ électrostatique ($\vec{E}$) ou du vecteur déplacement ($\vec{D}$) et du potentiel (V) en fonction de la répartition connue des charges et des conditions aux limites, c'est à dire de la répartition donnée du potentiel sur les surfaces limitant le volume pour lequel le champ est calculé. Le calcul du champ peut être effectué par plusieurs méthodes: analytiques, graphiques, expérimentales et numériques.

Le développement des méthodes numériques a ouvert des champs d'applications très divers et plus particulièrement celui de la détermination des caractéristiques des matériaux. La performance de ces méthodes numériques a été démontrée par plusieurs chercheurs **[15, 16].**

Parmi les méthodes numériques les plus connues et les plus répandues pour la résolution des équations différentielles, décrivant des phénomènes ou des structures électromagnétiques, on peut citer la méthode des éléments finis (MEF), la méthode des différences finis (MDF), la méthode des équations intégrales de frontière (MEIF), la méthode des différences finies dans le domaine des temps (FDTD), la méthode simulation de charge (MSC), la méthode des éléments de frontière (BEM). Dans ce chapitre on se limite uniquement à la présentation de la méthode des éléments finis celle utilisé par Femm (Finite Element Method Magnetics), logiciel de résolution des problèmes physiques représentés par des équations aux dérivées partielles.

III.2. Méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis (MEF) est l'une des méthodes les plus employées aujourd'hui pour résoudre des équations aux dérivées partielles. Elle a fait son apparition dans les années 70, après la MDF. Néanmoins, son histoire remonte à l'année 1943 **[17,18]**. La MEF est une méthode générale qui s'applique à la majorité des problèmes rencontrés dans la pratique: problèmes stationnaires ou non stationnaires, linéaires ou non linéaires, définis dans un domaine géométrique quelconque à une, deux ou trois dimensions. En plus, elle s'adapte bien aux milieux hétérogènes. Elle consiste à utiliser une approximation simple des variables inconnues pour transformer les équations aux dérivées partielles en équations algébriques. Les conditions aux limites sont prises en compte aisément. Enfin, la méthode est décrite par une théorie mathématique très riche, qui permet de conserver les propriétés des opérateurs

Conclusion Générale

La modélisation numérique permet d'étudier la plupart des phénomènes électromagnétiques qui se produisent dans les dispositifs électriques, cette modélisation est menée par l'emploi des équations de Maxwell et les méthodes numériques. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à la méthode des éléments finis.

Des généralités sur le calcul de champ électrique, les équations de Maxwell et la méthode des éléments finis ont été abordées avant de les mettre en œuvre.

L'étude que nous avons menée consiste à calculer de grandeurs électriques dans différentes structures soumises à une différence de potentiel continue, pour cela, nous avons établi la formulation électrostatique en terme du champ électrique E, puis nous avons résolu cette équation par la méthode des éléments finis sous le logiciel FEMM.

Après cette étude, nous avons constaté l'influence de l'intervalle inter-électrodes, de la forme des électrodes et du milieu placé dans l'interface inter-électrodes sur le champ électrique : Le champ électrique est inversement proportionnel à l'intervalle inter-électrodes, le champ crée entre électrodes pointe-pointe est supérieur à celui crée entre deux armatures planes, la tenue diélectrique de l'air est inferieure à celle d'un polymère isolant PVC dans notre cas d'étude.

Nous avons également étudié une structure d'isolation stratifiée où nous avons interposé un petit intervalle d'air entre deux couches de polymères, nous avons conclu l'existence d'un risque de claquage dans la couche d'air qui peut par conséquent engendrer une rupture totale d'isolation de la structure considérée.

Comme perspectives pour ce travail :

- ✓ Validation des résultats par des essais expérimentaux.
- ✓ Etude du problème dans les conditions d'une tension variable (alimentation haute tension sinusoïdale à fréquence industrielle), un phénomène électrodynamique.

[1] : **JEAN-CLAUD SABONNADIERE, JEAN-LOUIS COULOMB** : «Calcul des champs électromagnétiques » ; Technique de l'ingénieur (D 3 020).

[2] : **Jean P.Mercier, Gérarld Zamblli, Wilfried Kurz**, « Introduction à la science des matériaux », édition presses polytechniques et universitaires romandes (2002).

[3] : **Maurice Gerl, Jean-Paul**, « Physique des matériaux », Première édition (1997).

[4] : **X. Meyza**, « Relations Microstructures – Comportement face à l'injection de charges – Rigidité diélectrique pour des alumines polycristallines – Effet de la température et du vieillissement thermique », Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne (2003).

[5] J. C. Dubois, «Propriétés diélectriques des polymères », Techniques de l'Ingénieur (2001).

[6] : **G Bruhat**, « Cours de physique générale » Electricité, Edition Masson (huitième édition) (1967).

[7] : **P.BARUCH, M.HULIN, J.-F.PETROFF** :« Electricité, Magnétisme, Cours » ; Hermann, paris, 1972.

[8] :**P.LORRAIN, D.R.CORSON** :« Champs et ondes électromagnétiques » ; ARMAND COLIN, Paris, 1979.

[9] : **Gérard DEBEAUMARCHE** : « Introduction aux équations aux dérivées partielles linéaires », Technique de l'ingénieur, AF 162.

[10] : **A.Diche**: «développement de modèles de transformation pour l'étude des capteurs à courant de Foucault » ; Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou, 2003.

[11] : **JEAN-CLAUD SABONNADIERE, JEAN-LOUIS COULOMB** : «Calcul des champs électromagnétiques » ; Technique de l'ingénieur (D 3 020).

[12] : **F.Brihmat** : «Effets d'une alimentation non sinusoïdale sur les performances d'un moteur linéaire a induction » ; Mémoire d'ingénieur d'état, Université de Tizi-Ouzou2007.

Conclusion Générale

Introduction Générale