



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة الحاج lakhdar - باتنة

UNIVERSITE HADJ LAKHDAR - BATNA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

**THESE**

En vue de l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

Option  
**RESEAUX ELECTRIQUES**

Présentée par

**TOLBA Amrane**

**--THEME--**

**COORDINATION ORIENTEE OBJET DE LA PROTECTION  
DES RESEAUX ELECTRIQUES**

Soutenue le 11/07/2010 devant le jury composé de:

CHABANE Mabrouk	Professeur	U. Batna	Président
AZOUI Boubekur	Professeur	U. Batna	Rapporteur
CHAKER Abdelkader	Professeur	ENSET Oran	Examinateur
DIB Abderrahmane	Maître de Conférences A	U. Oum El Bouaghi	Examinateur
RAHEM Djamel	Maître de Conférences A	U. Oum El Bouaghi	Examinateur
BENFARHI Louiza	Maître de Conférences A	U. Batna	Examinateur

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2009/2010**

## ملخص

في هذا البحث تم تطوير تمثيل جديد لعناصر حماية الشبكات الكهربائية باستخدام "تقنية البرمجة الموجهة نحو الأهداف". وقد تم وضع "تنسيق موجه نحو الأهداف" في حماية الشبكات الكهربائية لكل من مراحل تجاوز التيار ومرحلات المسافة، وذلك بعد عرض معايير التنسيق في كل حالة. وقد أدى استغلال ميزات طريقة "الرسومات الموجهة" - بدمج هذه الطريقة التحليلية مع تقنية البرمجة الموجهة نحو الأهداف - إلى زيادة فعاليتها وتسهيل تحديد العدد الأدنى لـ "نقاط القطع" و "مجموعة أزواج المرحلات التابعة" اللازمة لعملية التنسيق.

## Résumé

Dans ce travail une nouvelle modélisation des éléments de protection des réseaux électriques a été conçue et développée en se basant sur la Technique Orientée Objets. On a également présenté une coordination orientée objet pour les relais à maximum de courant et pour les relais à distance, après avoir décrit les critères de coordination dans les deux cas.

L'exploitation des avantages de la théorie des graphes orientés combinée avec la Technique Orientée Objets a augmenté son efficacité et a réduit la complexité de la détermination de l'ensemble minimal des Break Points (BP) et de l'ensemble des paires séquentielles (SSP) nécessaires pour la coordination.

## Abstract

In this work, a new method of electrical network protection elements modeling is developed using the Object Oriented Technique. An Object Oriented coordination in electrical network protection for both overcurrent relays and distance relays is presented after giving the coordination criteria in each case.

The use of the Graph Theory – by combining this analytical theory with the Object Oriented Technique- has augmented its efficiency and reduced the complexity of determining the minimum set of Break Points (BP) and the Set of Sequential Pairs (SSP) necessary for coordination.

# Table des matières

<b>Tables des matières</b>	1
<b>Liste des figures</b>	5
<b>Liste des tableaux</b>	7
<b>Abréviations</b>	8
<b>Introduction générale</b>	10
<b>Chapitre 1 Protection des Réseaux Electriques et Critères de Coordination</b>	14
1.1 Introduction	14
1.2 Défauts et leurs conséquences	14
1.2.1 Défauts	15
1.2.1.1 Défaut à la terre	16
1.2.1.2 Défaut polyphasé	16
1.2.2 Conséquences	16
1.2.2.1 Qualité de la fourniture	17
1.2.2.2 Coûts	17
1.2.2.3 Creux de tension	18
1.3 Elimination des défauts	18
1.3.1 Fusible	19
1.3.2 Disjoncteur	20
1.4 Système de Protection	21
1.4.1 Constitution	21
1.4.2 Réducteurs de mesure	22
1.4.2.1 Transformateur de courant	22
1.4.2.2 Transformateur de tension	23
1.4.3 Système de relais de Protection	23
1.4.3.1 Relais	23
1.4.3.2 Relais électromécanique	24
1.4.3.3 Relais statique	25
1.4.3.4 Relais digital et numérique	25
1.4.4 Principes de fonctionnement des relais de protection	26
1.4.4.1 Relais de mesure	26
1.4.4.1.1 Relais de mesure de courant	27
1.4.4.1.2 Relais de mesure de tension	27
1.4.4.1.3 Relais de mesure d'impédance	27
1.4.4.1.4 Relais de mesure de puissance	27
1.4.4.2 Relais directionnel	28
1.4.4.3 Relais d'impédance	28
1.4.4.4 Relais différentiel	29
1.4.4.5 Relais pilote	29
1.5 Concepts des systèmes de protection	29
1.5.1 Fiabilité	29
1.5.2 Protection primaire et protection secours	30
1.5.3 Sélectivité et zones de protection	32
1.6 Conception des systèmes de protection	34

1.7	Critères de coordination des relais de protection	35
1.7.1	Relais à maximum de courant (Overcurrent Relay)	35
1.7.2	Relais à distance (Distance Relay)	40
1.8	Conclusion	46
<b>Chapitre 2 Modélisation Orientée Objets des Réseaux Electriques</b>		<b>47</b>
2.1	Introduction	47
2.2	Eléments de base de la technique orientée objets	47
2.2.1	Notion d'objet	48
2.2.2	Notion de classe	48
2.2.3	Rôle des classes et des objets	49
2.3	Modélisation orientée objets (MOO)	49
2.3.1	Abstraction	49
2.3.2	Encapsulation	50
2.3.3	Modularité	50
2.3.4	Hiérarchie	50
2.3.4.1	Héritage	51
2.3.4.2	Agrégation	51
2.4	Développement orienté objets d'un système	51
2.4.1	Analyse orientée objets	52
2.4.2	Conception orientée objets	52
2.4.3	Programmation orientée objets	52
2.5	Méthodes orientées objets	53
2.6	Langage unifié de modélisation(UML)	54
2.6.1	Modèle statique (Diagramme de classes)	54
2.6.1.1	Associations	55
2.6.1.2	Agrégation	56
2.6.1.3	Héritage	56
2.6.1.4	Package	57
2.6.1.5	Template	57
2.6.2	Modèle dynamique	58
2.6.2.1	Diagramme d'états	58
2.6.2.2	Diagramme d'activités	59
2.6.2.3	Diagrammes séquentiels	59
2.6.2.4	Diagramme de collaboration	59
2.7	Avantages de la conception orientée objets	59
2.8	Modélisation orientée objets des réseaux électriques	60
2.8.1	Modélisation des éléments physiques	61
2.8.2	Diagramme de classe (classe Network)	61
2.9	Implémentation des éléments physiques du réseau	62
2.9.1	Elément jeu de barres	63
2.9.2	Eléments en série	63
2.9.3	Elément ligne de transmission	64
2.9.4	Eléments de protection	65
2.9.4.1	Eléments de protection relais à maximum de courant	66
2.9.4.2	Eléments de protection relais à distance	68
2.9.5	Elément réseau électrique	69
2.10	Modélisation des fonctions de calcul et des applications	70

2.10.1 Applications ou fonctions d'analyse des réseaux électriques	70
2.10.2 Fonctions de calcul	71
2.11 Conclusion	72
<b>Chapitre 3 Coordination des Relais par la Combinaison de la Théorie des Graphes Orientés et l'Approche Orientée Objets</b>	<b>73</b>
3.1 Introduction	73
3.2 Coordination des relais pour la protection des réseaux	73
3.2.1 Problème de coordination des relais	74
3.2.2 Théorie des graphes orientés	76
3.3 Coordination des relais en utilisant la théorie des graphes orientés	79
3.3.1 Matrice des boucles	79
3.3.1.1 Graphe orienté du réseau	79
3.3.1.2 Arbre du graphe	80
3.3.1.3 Matrice incidente	81
3.3.1.4 Matrice des boucles fondamentale	81
3.3.1.5 Matrice des boucles simples	82
3.3.2 Détermination des Break Points BP	87
3.3.3 Matrice des séquences relatives RSM	89
3.3.4 Ensemble des paires séquentielles SSP	91
3.4 Modélisation orientée objets	92
3.5 Implémentation orientée objets	93
3.6 Conclusion	96
<b>Chapitre 4 Coordination des Relais à Maximum de Courant</b>	<b>97</b>
4.1 Introduction	97
4.2 Relais à maximum de courant	97
4.2.1 Réglage instantanée	99
4.2.2 Réglage du temps de retard	99
4.2.2.1 Réglage du seuil de fonctionnement en courant	99
4.2.2.2 Réglage de la temporisation	99
4.3 Modèles mathématiques des relais à maximum de courant	100
4.3.1 Caractéristique Standard Inverse (SI)	100
4.3.2 Caractéristique Très Inverse (VI)	100
4.3.3 Caractéristique Extrêmement Inverse (EI)	101
4.4 Coordination des relais à maximum de courant	101
4.5 Algorithme de coordination	101
4.5.1 Convergence de l'algorithme	103
4.6 Implémentation orientée objets de la coordination à maximum de courant (Classe OvCrtRelayCoord)	103
4.7 Etude et test d'un réseau électrique	106
4.7.1 Données du réseau test	106
4.7.2 Résultats de réglage du seuil instantané	107
4.7.3 Résultats de réglage du seuil de fonctionnement retardé	108
4.8 Conclusion	111
<b>Chapitre 5 Coordination des Relais à Distance</b>	<b>112</b>
5.1 Introduction	112
5.2 Relais à distance	112
5.2.1 Critères de coordination	112

5.3	Coordination des relais à distance	113
5.3.1	Réglage de la zone 1	114
5.3.2	Réglage de la zone 2	115
5.3.3	Réglage de la zone 3	119
5.4	Algorithme de coordination	121
5.5	Implémentation orientée objets de la coordination à distance (Classe DistanceRelayCoord)	121
5.6	Etude et test d'un réseau électrique	124
4.6.1	Résultats de réglage de la zone 1	125
4.6.2	Résultats de réglage de la zone 2	125
4.6.3	Résultats de réglage de la zone 3	126
5.6.4	Réglage des caractéristiques des relais Mho	127
5.6.5	Ajustement des réglages des caractéristiques des relais Mho	128
5.7	Conclusion	131
	<b>Conclusion et Perspectives</b>	132
	<b>Bibliographie</b>	134