

RESEAUX HTA EN NEUTRE COMPENSE PROTECTION CONTRE LES DEFAUTS DE TERRE RESISTANTE

Olivier CHILARD,
Electricité de France - Direction des Etudes et Recherches
1, avenue du Général de Gaulle, B.P 408 -92141 CLAMART Cedex

Louis MOREL
Electricité de France - Direction des Etudes et Recherches
Les Renardières route de Sens -Ecuelles 77250 MORET SUR LOINGS

Dominique RENON
EDF GDF Services -CETE
17 place des reflets-92080 PARIS LA DEFENCE

INTRODUCTION

Electricité de France a décidé de modifier le régime de neutre des réseaux ruraux moyenne tension en remplaçant l'impédance de neutre actuelle de ces réseaux par une impédance de compensation (limitation du courant de défaut à 40 ampères). Les raisons de ce changement sont :

*la croissance de la partie souterraine des réseaux mixtes aéro-souterrains qui entraîne une augmentation des capacités phase-terre des lignes et provoque ainsi l'augmentation des courants de défaut circulant dans les défauts phase-terre, une sensibilité accrue des clients à la qualité de l'alimentation.
l'évolution des normes internationales (maîtrise des surtensions),*

La mise en œuvre d'une impédance de compensation permet de limiter l'amplitude du courant de défaut monophasé et d'améliorer la qualité de l'alimentation par la réduction du nombre de coupures brèves (beaucoup de défauts deviennent auto-extincteurs).

L'évolution du régime de neutre ne doit pas modifier les pratiques d'exploitation du réseau. Ainsi, le départ en défaut est mis hors tension immédiatement après l'apparition d'un défaut si les cycles de réenclenchement rapide ou lent ont échoué. Un autre besoin important, lié à la sécurité, est la détection des défauts monophasés résistants. Les algorithmes de détection actuellement disponibles, dont ceux développés par EDF, sont décrits dans ce document. Cependant les besoins de distributeur ont nécessité le développement d'un nouvel algorithme dont les performances (sélectivité et sensibilité) sont au moins équivalentes à celles des réseaux à neutre impédant.

LES PROTECTIONS EXISTANTES

Pour les réseaux à neutre impédant les plus récents, une protection ampèremétrique homopolaire à temps inverse placée sur chaque départ est utilisée pour détecter les défauts résistants phase-terre et isoler le départ en défaut. La sélectivité est assurée car dans ce cas la valeur du courant homopolaire du départ en défaut est supérieure à celle des départs sains. Ce n'est plus le cas pour les réseaux à régime de neutre compensé du fait de la compensation des courants capacitifs du réseau et de la faible valeur du courant actif de l'impédance de compensation.

Un autre système de détection des défauts résistants, mesurant le courant circulant dans le neutre est également utilisé pour les réseaux à neutre impédant. Ce dispositif n'est pas sélectif et entraîne une dégradation de la qualité de l'alimentation car la localisation du départ en défaut ne peut se faire que par l'ouverture et la fermeture séquentielle des différents départs.

Dans les réseaux à régime de neutre compensé, la tension neutre-terre peut représenter quelques pour cent de la tension nominale du réseau en l'absence de défaut du fait de l'amplification de l'effet de l'asymétrie naturelle du réseau. Une protection de terre résistante mesurant cette tension résiduelle a une sensibilité limitée à quelques k Ω et est non sélective.

Les critères de discrimination utilisés sur les protections actuelles ne sont donc plus adaptés pour garantir à la fois une bonne sensibilité et la sélectivité.

DESCRIPTION DES SOLUTIONS ETUDIÉES

Plusieurs algorithmes de détection des défauts monophasés résistants ont été étudiés par EDF pour les réseaux à neutre compensé. Les algorithmes décrits dans ce document utilisent les grandeurs électriques disponibles dans un poste

source HTA. Ces grandeurs électriques sont représentées dans le modèle équivalent décrit ci-après.

Modèle équivalent du réseau

Les algorithmes présentés dans cette publication sont basés sur l'analyse des courants et tensions disponibles dans un poste source, et ce à la fréquence industrielle et en régime de fonctionnement établi.

Ces courants et tensions sont représentés dans le schéma triphasé simplifié figure (1). Ils correspondent respectivement aux courants résiduels des différents départs :

I_{rDD} pour le départ en défaut ;

I_{rDi} pour un départ sain "i" donné.

La mesure des tensions simples du réseau (V_1, V_2, V_3) permet le calcul de la tension homopolaire.

Chaque départ est modélisé par son admittance phase – terre et un générateur de courant représentant son asymétrie naturelle.

Le défaut est représenté par la résistance R_f .

Le schéma monophasé équivalent est représenté en figure (2).

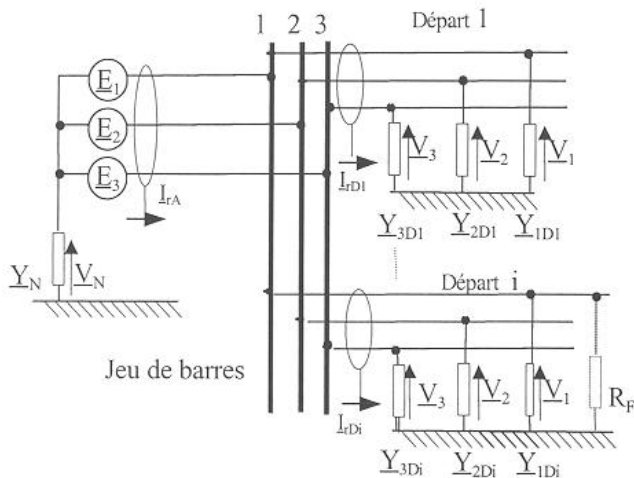


Figure 1 : Schéma équivalent triphasé simplifié du réseau.

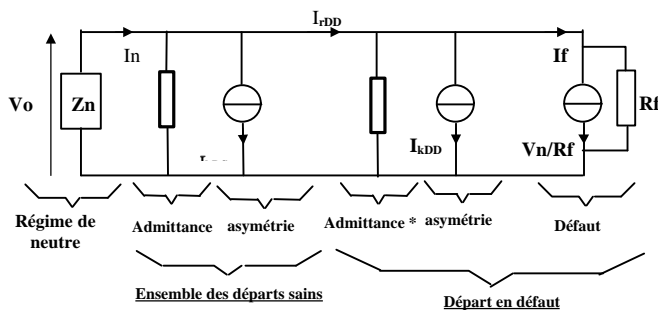


Figure 2 : Schéma monophasé équivalent simplifié
*Somme des admittances phase-terre du départ "i" considéré (essentiellement de nature capacitive).

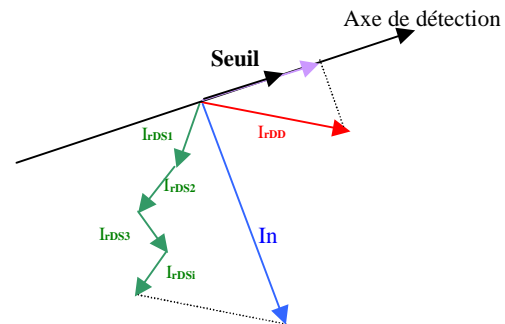
Les algorithmes développés utilisent la propriété suivante : seul le courant résiduel du départ en défaut possède une composante active significative correspondant pour l'essentiel au courant actif de l'impédance de compensation. Cependant, pour des valeurs de résistances de défaut élevées, le courant résiduel d'un départ sain peut également comporter une composante active non négligeable due à l'asymétrie naturelle (figure 2).

Les algorithmes prennent en considération ce phénomène afin de garantir la discrimination sélective du départ en défaut.

Les algorithmes de détection

Le système "DESIR" statique

EDF a développé et breveté l'algorithme de Détection Sélective par les Intensités Résiduelles qui permet la détection des défauts résistants et la sélection du départ en défaut. Ceci est réalisé par une comparaison vectorielle des courants résiduels de tous les départs. Cette comparaison s'effectue en prenant une référence de phase construite à partir de la somme des courants résiduels de l'ensemble des départs (cette somme est égale au courant de neutre).



$$\vec{I}_n = \vec{I}_{rDs1} + \vec{I}_{rDs2} + \vec{I}_{rDsi} + \vec{I}_{rDD}$$

Seule la projection du courant résiduel du départ en défaut sur l'axe de détection est positive. La détection est effective lorsque cette projection est supérieure au seuil.

Figure 3 : Principe de l'algorithme "DESIR".

Avantages :

L'originalité de ce système réside dans le fait que l'identification de la composante active du courant résiduel du départ en défaut est réalisée simplement par la mesure des courants résiduels de l'ensemble des départs. Cette méthode permet de contourner les difficultés liées à la mesure de la tension homopolaire (erreur importante due aux transformateurs de tension).

Inconvénients :

Le seuil de détection doit être réglé à une valeur supérieure à l'asymétrie du départ la plus élevée et doit prendre en compte les erreurs de mesure des capteurs. Cela permet d'éviter un déclenchement intempestif. En revanche la caractéristique de fonctionnement ainsi définie limite de façon non négligeable la sensibilité de la protection.

Ce dispositif impose une protection unique pour l'ensemble des départs du poste.

Le système " DESIR " dynamique

Il s'agit d'une variante de l'algorithme " DESIR " statique qui permet de s'affranchir de l'effet de l'asymétrie naturelle du réseau et des erreurs de mesure. Pour cette variante, l'algorithme est identique à la version de base mais il est appliqué aux variations des grandeurs électriques mesurées.

Avantages :

Ce dispositif a une sensibilité plus importante (plusieurs dizaines de k Ω).

Inconvénients :

La détection est uniquement réalisée à l'apparition d'un défaut ou à sa disparition. Dans certaines situations il est difficile de distinguer si un dépassement du seuil est provoqué par l'apparition ou la disparition d'un défaut.

La localisation d'un défaut sur un départ par des manœuvres d'exploitation à l'aide de cet algorithme n'est pas possible.

DESIR dynamique permet de détecter les défauts réseaux mais n'est pas utilisable dans l'état sans développement algorithmique complémentaire.

Le système DDA

Cet algorithme permet une **D**étection **D**ifférentielle en utilisant les **A**dmittances globales phase-terre.

De la même façon que " DESIR " dynamique, il exploite les variations des courants résiduels. Il nécessite en plus la mesure des tensions phase terre.

L'acquisition préalable de la somme des admittances phase-terre globale (1) de chaque départ " i " est nécessaire. Ce calcul peut être effectué lors d'une injection provoquée par le système d'accord automatique.

On applique sur chaque départ l'expression (2) suivante :

$$\underline{Y}_{tGi} = \underline{Y}_{1Di} + \underline{Y}_{2Di} + \underline{Y}_{3Di} \quad (1)$$

$$R_F = \frac{\underline{V}_v}{\Delta \underline{I}_{rDi} - \underline{Y}_{tGi} \Delta \underline{V}_o} \quad (2)$$

Il suffit de comparer la résistance de défaut ainsi calculée à un seuil.

Nota : La tension \underline{V}_v correspond à l'expression complexe de la tension phase terre et doit être sélectionnée (parmi les trois phases) afin que l'argument de l'expression complexe (2) soit proche de zéro.

Avantages

Identiques à " DESIR " dynamique. Contrairement à " DESIR " cet algorithme peut être appliqué pour chaque départ : il est indépendant des courants résiduels des autres départs.

Inconvénients :

Identiques à " DESIR " dynamique mais nécessite en plus la mesure des tensions phase-terre et une injection périodique d'un courant résiduel par le système d'accord automatique de l'impédance de compensation.

Par contre, avec cet algorithme, la résistance du défaut est calculée ; il semble donc plus facile de distinguer une apparition d'une disparition d'un défaut.

UNE SOLUTION POSSIBLE POUR LES RESEAUX A NEUTRE COMPENSE

Les besoins du distributeur

Le plan de protection homopolaire des réseaux HTA en régime de neutre compensé à EDF comprend par départ une protection wattmétrique homopolaire (PWH), dont la sensibilité à l'accord se situe autour de 2 k Ω . Comme la détection des défauts résistants est un enjeu majeur pour le Distributeur sur le plan de la sécurité, la mise en œuvre d'une protection contre les défauts de terre résistante est donc nécessaire. La sensibilité recherchée est équivalente à celle des protections actuellement utilisées en régime de neutre impédant, de l'ordre de 15 k Ω . Cette protection doit être sélective, avec une discrimination très sûre du départ en défaut, et doit permettre l'exploitation des réseaux dans de bonnes conditions, notamment lors des manœuvres d'exploitation en réseau permettant la localisation des défauts. Son fonctionnement doit être indépendant du schéma d'exploitation du poste source. Cela suppose une architecture de protection par départ HTA ou par demi-jeu de barres HTA.

La protection doit être compatible avec la mise en œuvre du régime spécial d'exploitation, utilisé pour les travaux sous tension HTA, en protégeant de façon sélective le départ concerné.

Enfin, cette protection doit respecter les règles d'insertion dans le contrôle-commande des postes sources.

Campagne d'essais

Des essais sur un réseau HTA en régime de neutre compensé reconstitué en laboratoire ont été réalisés en

1998 afin de vérifier le comportement des défauts de terre résistante (conducteur en contact sur des sols de nature différente).

Ces essais ont permis de vérifier la pertinence, dans la plage de fonctionnement des protections actuelles, d'une acquisition à 50 Hz des grandeurs électriques du réseau.

L'analyse spectrale des différentes grandeurs observées fait apparaître une composante à 50 Hz prépondérante.

Une solution possible

L'analyse de la description des différents algorithmes, présentés dans cette publication, montre qu'aucun d'entre eux ne répond complètement aux besoins du distributeur.

Seul le système "DESIR" basé sur des mesures statiques pourrait être utilisé en l'état. Cependant sa sensibilité est insuffisante et il impose une protection unique pour tout le poste source HTA.

Des études complémentaires menées en 1997 et 1998 ont permis le développement d'un nouvel algorithme adapté aux besoins. Celui-ci fait actuellement l'objet d'un dépôt de brevet.

Une maquette a été éprouvée au cours de la campagne d'essais et confirme l'intérêt de cet algorithme.

CONCLUSIONS

Cette publication indique les raisons qui ont amené le développement de nouveaux algorithmes pour la détection des défauts de terre résistante sur les réseaux HTA à neutre compensé. Les algorithmes étudiés sont décrits dans ce document. Pour chaque solution les avantages et inconvénients sont indiqués. Ces différents algorithmes ne répondent pas complètement aux besoins du distributeur. Des études complémentaires ont donc été réalisées. Aujourd'hui nous disposons d'un algorithme adapté qui fait l'objet d'un dépôt de brevet.

REFERENCES

- [1] Griffel,D., Harmand,Y., Bergeal,J., Clément,M.: "Nouvelles techniques de mise à la terre des neutres sur les réseaux MT". *Révue Générale d'Electricité (RGE) No. 11 1994 pp35-44*
- [2] Clément,M., Bergeal,J.: "Improving the quality supply: development of MV neutral system at Electricité de France and consequences on network equipment". *Sec. Int. Conf. on Power Quality PQA'92 Atlanta Sept 1992*
- [3] Lindahl,S., Messing,L., Olsson,B., Petterson,A., Östlund,E.: Dispositif de Protection contre les défauts résistants dans les réseaux de distribution à moyenne tension. *11ième Congrès International des Réseaux Electriques de Distribution (CIRED) 1991*
- [4] "Procédé et dispositif de protection sélective contre les défauts à la terre d'un réseau électrique". *French Patent Demand No.92 06 736*

[5] Bergeal,J., Berthet,L., Grob,O., Bertrand,P., Lacroix,B.: "Single-phase faults on compensated Medium Voltage Networks. *12ième Congrès International des Réseaux Electriques de Distribution (CIRED) 1993*

[6] Leitloff,V., Pierrat,L., Feuillet,R.: "Study of the Neutral-to-Ground Voltage in a Compensated Power System". *ETEP (European Trans. on Electrical Power Engineering) 4 (1994) No.2 pp145-153*

[7] Leitloff,V.: "Etude, Conception et Réalisation d'un Automate de Gestion de Réseaux MT compensés". *PhD-thesis Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)/France 1994*

[8] Poll,J.: "Sternpunktverlagerung in gelöschten 110 kV-Netzen". *Elektrizitätswirt. 80 (1981) No.22 pp 810-813*

[9] Bergeal,J., Griffel,D.: "Procédé de détection sélective d'un défaut résistant dans un réseau de distribution". *French Patent No. 2 682 190 published on 09-04- 1993*

[10] Chiland,O.: "DESIR, détecter de façon sûre les défauts résistants sur les réseaux HTA". *1993 Ann. Rep. of the department "Etudes des Reseaux" of the Direction des Etudes et Recherches of EDF (Electricité de France)*

[11] Leitloff,V., Feuillet,R. Pierrat,L.: "Determination of the phase-to-ground admittance in a compensated MV power system". *28th Uni. Power Engineering Conf. (UPEC) Sept. 21-23 1993 Stafford (UK) Vol.1 pp 73-76*

[12] Leitloff,V., Feuillet,R.: "Design and Realization of a control unit for compensated MV distribution systems". *Stockholm Power Tech Conference, June 18-22, (Sweden) Vol. Information. and Contr. Syst. pp252-257*

[13] Leitloff,V., Bergeal,J., Feuillet,R. Pierrat,L.: "Messung der Parameter eines kompensierten Netzes durch Injektion eines Stromes in den Sternpunkt". *Elektrizitätswirtschaft 93 (1994) No. 22 pp 1371-1376*

[14] Stimmer,H.: "Die Wahl der Abstimmung in Hochspannungsnetzen mit induktiver Erdstrom-kompensation". *ÖZE (Österreichische Zeitung für Elektrizitätswirtschaft) 16 (1963) No.6 pp 365-376*

[15] Brandes,W.,Haubrich,H.J.: "Sternpunktverlagerung durch Mehrfachleitungen in erdschlusskompensierten 110 kV-Netzen. Betriebliche Erfahrungen und Abhilfe-maßnahmen".*Elektrizitätswirt. 82(1983) No.11 pp400-5*

[16] Funk,G., Kizilcay,M.: "Begrenzung der Sternpunktspannungen von erdschlusskompensierten Netzen bei Unsymmetrie der Erdkapazitäten". *ETZ-Archiv 10 (1988) No.4 pp 117-122*

[17] Leitloff,V., Feuillet,R., Griffel,D.: "Detection of Resistive Single-Phase Earth Faults in a Compensated Power-Distribution System". *ETEP (European Trans. on Electrical Power Engineering) Vol.7 (1997) No.1 pp 65-73*