

# Mise à la terre du neutre

## Faut-il mettre ou ne pas mettre le neutre à la terre dans les Mines ?

Traduit de « The Mining Electrical and Mechanical Engineer » de novembre 1948

par Paul BEUMIER,

Ingénieur civil électricien A.I.Ms.

### RESUME

L'auteur abordant la question des installations électriques dans les mines de Grande-Bretagne, se demande s'il ne conviendrait pas de remplacer les systèmes existants où le neutre est mis à la terre par des systèmes où le neutre est isolé.

Il étudie alors chaque système en particulier à la lumière des principaux desiderata : sécurité du personnel et du matériel, action discriminative des dispositifs de protection, simplicité et solidité du matériel.

La conclusion de l'étude est que la meilleure protection générale est obtenue quand le neutre est mis à la terre. La mise à la terre franche est simple, bon marché et permet un maximum de protection avec un minimum de dispositifs de protection simples et robustes. La mise à la terre au travers d'une résistance ou d'une réactance réduit les efforts en cas de défaut, tandis que dans les systèmes à neutre isolé, le courant de défaut n'est pas réduit à une valeur suffisante pour offrir un avantage réel, la complexité du dispositif de protection est relativement grande et de plus l'action discriminative des dispositifs de protection ne peut être obtenue.

### INTRODUCTION

La protection adéquate des installations électriques souterraines dans les mines est importante parce qu'elle est en relation étroite avec la sécurité du personnel et du matériel. Une sécurité intrinsèque dans tous les cas probables de défaut est malheureusement impossible à réaliser. Il faut donc que les dispositifs de protection soient conçus et réalisés pour offrir la sécurité maximum contre le choc électrique et l'ignition des gaz inflammables.

Il importe de savoir si le neutre du réseau est mis à la terre ou non, car ce fait influence les caractéristiques et l'efficacité de la protection. L'étude a pour but de discuter le pour et le contre des différents systèmes dans le cas particulier d'application aux mines en considérant un réseau de moyenne tension (\*). A part quelques exceptions, les installations électriques des mines de Grande-Bretagne ont le neutre à la terre. Y aurait-il un grand avantage à les changer en adoptant le neutre isolé ?

Les dispositifs de protection dans les installations minières doivent répondre à certaines exigences; leur efficacité change suivant que le neutre du réseau est mis à la terre ou non.

Ils doivent :

- a) sauvegarder les opérateurs contre le choc électrique, en tenant compte des conditions particulières aux mines;

- b) sauvegarder les installations contre le feu ou l'explosion qui peuvent être causés par un arc franc ou une étincelle incendiaire;
- c) avoir une action discriminative, si possible, de sorte que seuls l'installation en défaut ou les circuits avec défauts soient déconnectés;
- d) être simples et solides; exiger peu ou pas d'entretien.

### METHODES

Le neutre du réseau peut être :

- 1) Franchement mis à la terre, cas où, lors d'un défaut, le courant de mise à la terre possible est maximum;
- 2) Mis à la terre au travers d'une résistance ou d'une réactance, cas où, lors d'un défaut, le courant de mise à la terre peut être limité à cinq fois le courant minimum requis pour opérer la protection;
- 3) Isolé, sauf à permettre le passage d'un faible courant de fuite, constituant le courant magnétisant d'un relais de tension.

*Mise à la terre franche.*

Avec la mise à la terre franche, le neutre du transformateur d'alimentation est relié directement à la terre et les blindages et carcasses de tous les appareils sont reliés entre eux et connectés au neutre. Le principe de l'arrangement est indiqué dans la figure 1. L'existence d'un défaut entre un des conducteurs de la ligne et le métal mis à la terre donne naissance à un courant de défaut dans le conducteur

(\*) Et en envisageant l'amélioration de la sécurité.

défectueux et dans la gaine du câble d'alimentation. Le courant de défaut total est limité principalement par l'impédance du câble et peut être de cinq à

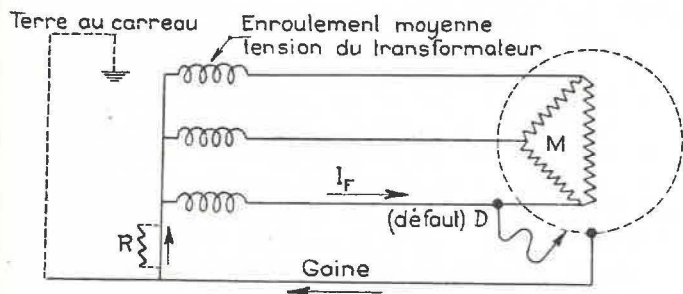


Fig. 1.

quinze fois le courant de pleine charge, suivant l'endroit du défaut. Le diagramme de chute de tension pour le conducteur de la phase en défaut et le chemin de retour dans une installation souterraine est donné à la figure 2 (a), qui montre que le blindage M peut momentanément avoir un potentiel

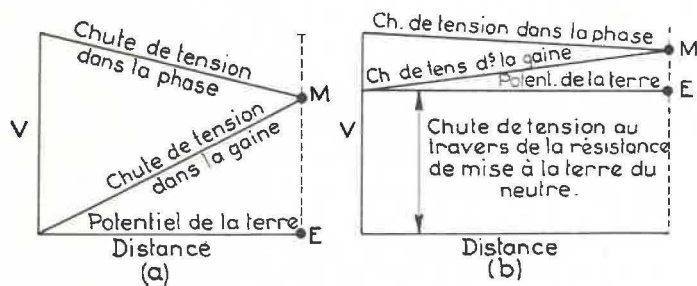


Fig. 2.

supérieur à la terre, approchant  $V$ , tension de phase, mais le courant dont on dispose pour opérer la protection est habituellement important et la protection s'opérera certainement, déconnectant le défaut rapidement et définitivement. Il y a normalement très peu de perturbations dans la tension des autres phases, qui reste grosso modo à la tension de phase au-dessus de la terre.

Les dispositifs de protection contre les mises à la terre pour les réseaux où le neutre est franchement mis à la terre, suivent les normes conventionnelles et sont bien connus. Il y a habituellement trois transformateurs de courant (ou un core-balance ou un transformateur de courant pour le neutre) pour mettre en action un dispositif sensible au défaut, qui peut être un relais électromagnétique. Près de la charge, le dispositif est habituellement d'action instantanée, mais on peut donner un léger retard à certains endroits plus près de la source d'alimentation, en vue d'obtenir une action discriminative.

Le seuil de fonctionnement du défaut standard se situe à 5 ampères ou 15 % du taux dans le circuit. On prend celui des deux chiffres qui est le plus élevé.

*Mise à la terre à travers une résistance (ou une réactance).*

L'arrangement général est le même que dans le cas d'une mise à la terre franche, sauf qu'une résistance (ou une réactance) limitant le courant, est connectée entre le point neutre du transformateur d'alimentation et la terre. A cet effet, on limite souvent le courant de défaut à environ cinq fois le courant requis pour opérer la protection. La valeur en ohms requise est habituellement grande en comparaison de celle de l'impédance du reste du circuit de défaut, de telle sorte que la plus grande partie de la chute de tension causée par le défaut se produit au travers de la résistance (ou réactance). Ceci réduit considérablement la tension entre le blindage M de l'appareil défectueux et la terre, ainsi que le montre la figure 2 (b). Puisque le courant de défaut n'est pas réduit de façon inconsiderée, la protection opère efficacement et le défaut est rapidement isolé. La phase en défaut est au potentiel de la terre tandis que le défaut persiste et ainsi le neutre du transformateur d'alimentation est à la tension de phase au-dessus de la terre. Les autres phases sont à la tension de ligne au-dessus de la terre et leur isolement est donc soumis à un survolage de 75 %, mais seulement tant que le défaut dure. Les dispositifs de protection pour un système de mise à la terre du neutre à travers une résistance (ou une réactance) sont généralement les mêmes que pour un système de mise à la terre franche du neutre.

*Neutre isolé.*

Les systèmes à neutre isolé se divisent en deux groupes :

- a) Ceux dans lesquels le point neutre du transformateur d'alimentation est complètement isolé de la terre;
- b) Ceux qui sont mis à la terre au travers d'une impédance très élevée, telle que l'enroulement primaire d'un transformateur de tension.

Quand un défaut se produit dans un système de l'un ou l'autre genre, le point neutre est à la tension de phase au-dessus de la terre, les conducteurs de phase sont à la tension de ligne au-dessus de la terre et le véritable courant de défaut est virtuellement zéro; cependant, le défaut entraîne un courant de capacité dont la valeur est de trois fois le courant de capacité normal ligne-terre pour chaque phase du système considéré comme un tout (voir figure 3). Puisqu'il n'y a pas de courant de défaut véritable, mais seulement un courant de capacité, les dispositifs de protection actionnés par le courant normal n'obéissent pas et le défaut doit être détecté par d'autres moyens, par exemple par la perturbation de tension dans les phases saines (voir figure 4 a) ou du point neutre du transformateur d'alimentation (voir fig. 4 b). Il n'est cependant pas possible d'obtenir par ces moyens seuls une action discriminative de la protection de façon à déconnecter seulement la partie en défaut comme dans un système de mise à la terre, parce que les dispositifs sensibles à la tension indiquent seulement qu'un défaut à la terre s'est produit, mais ne donnent au-

cune indication sur sa localisation. Une méthode pour le localiser consiste à mettre hors service des portions du réseau, l'une après l'autre; la disparition

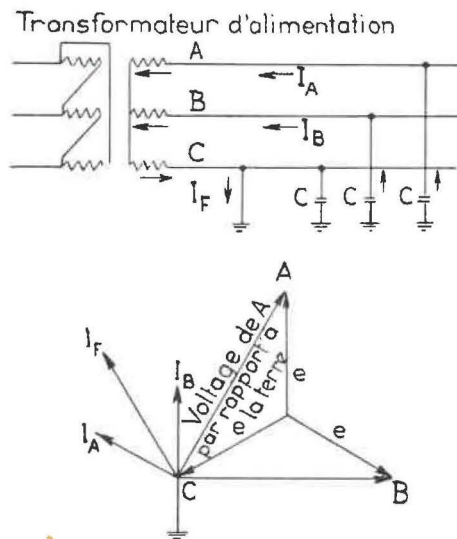


Fig. 3.

de l'état de défaut montre alors que le défaut se trouve dans la partie momentanément déconnectée. Dans ce cas, le réseau est en service pendant que l'on recherche le défaut et les phases saines sont survoltées à 175 % du voltage normal; en plus, il peut y avoir étincelle au défaut à cause du courant capacitif.

Une autre méthode pour découvrir le défaut est de permettre au dispositif sensible au défaut de déconnecter le système en entier et ensuite d'appliquer, soit manuellement, soit automatiquement, un test électrique en vue de trouver la localisation appro-

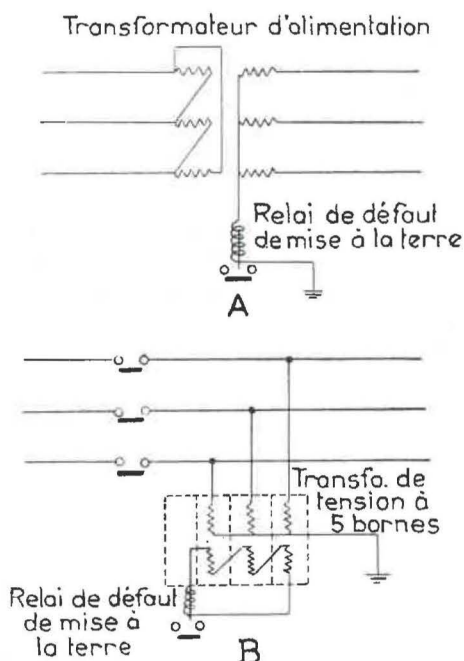


Fig. 4.

ximative du défaut. Après cela, les disjoncteurs contrôlant les parties saines du système peuvent être refermés, manuellement ou automatiquement. Cependant le réenclenchement automatique présente un désavantage. La mise en marche simultanée de plusieurs machines engendre des à-coups de courant importants et impose une surcharge au réseau. Un test adéquat est celui connu sous le nom de « test-cadenas ». Il fut réalisé il y a plusieurs années pour des réseaux d'alimentation de puissances, mais n'eut pas d'adeptes parmi les techniciens et ne fut pas commercialisé.

Une troisième méthode pour trouver le défaut, appliquée à l'étranger, utilise des relais de défaut à la terre de direction, très sensibles, travaillant sur le courant capacitif; mais ces relais doivent être mis au point spécialement dans chaque cas et la sensibilité du dispositif est telle qu'il est relativement fragile et pas réellement indiqué pour le travail dans les mines.

#### Considérations de sécurité en cas de défaut.

Quand un défaut à la terre se produit par suite de la chute d'une pierre sur un câble par exemple, l'arc provoqué par le défaut peut-il allumer des gaz explosifs ?

Dans les systèmes de mise à la terre franche ou à travers une résistance (ou réactance), des courants de défaut de mise à la terre de valeur appréciable se produisent et l'étude du Conseil de Recherches sur la sécurité dans les Mines montre qu'un arc franc laissant passer de tels courants peut allumer des gaz explosifs. La mise au point à une valeur plus basse des dispositifs de protection ne permet pas d'éviter cet inconvénient, car ces dispositifs ne peuvent avoir par eux-mêmes aucun effet limitatif. Parfois il peuvent cependant prévenir un arc franc en provoquant le déclenchement du défaut à l'état naissant.

Il est dès lors important de voir si les courants de défaut à la terre dans les systèmes à neutre isolé peuvent être assez faibles pour éliminer l'étincelle incendiaire. Un réseau à 440 V, avec par exemple un câble de 25 mm<sup>2</sup> de section et de 4,8 km de longueur, aurait un courant capacitif de défaut en régime d'environ 0,3 ampère et, si à l'instant de la production du défaut la tension était voisine de son maximum, il y aurait un changement brusque du potentiel de la phase en défaut et une brusque décharge de courant capacitif à travers le défaut, dont la pointe initiale dépendrait de la résistance et de la réactance du système et qui pourrait être de 10 à 15 ampères. La brochure n° 106 sur les Recherches de la Sécurité dans les Mines montre qu'à environ 250 volts le courant d'ignition minimum est d'environ 0,3 ampère, même si la réactance du circuit est négligeable; il est donc clair que, même quand la capacité d'un système à neutre isolé est beaucoup en-dessous de la moyenne, le danger d'ignition des gaz par la décharge capacitive initiale est très grand. En effet, des expériences de laboratoire ont montré que dans un réseau comportant seulement quelques centaines de mètres de câbles et un neutre isolé, le courant capacitif de décharge est toujours suffisant

pour faire fonctionner un détonateur standard h.t. connecté entre la ligne et la terre. Ces considérations jointes au fait que les courants de défaut entre phases ne sont pas moindres dans le système à neutre isolé que dans les réseaux à neutre mis à la terre, mènent à la conclusion que la sécurité intrinsèque des circuits primaires est hors de question. Il est cependant possible, avec des longueurs de câble anormalement faibles, de rendre un réseau à neutre isolé à l'abri contre les défauts de mise à la terre seulement.

En ce qui concerne le danger d'incendies autres que ceux dus aux explosions, le risque grandit avec le courant de défaut. Il est donc maximum avec une mise à la terre franche et minimum avec un neutre isolé. Mais le risque d'incendies dus à des défauts de phase reste le même si le neutre est mis à la terre ou pas, tous les systèmes sont donc équivalents à ce point de vue.

Quant au choc électrique, les figures 2 (a) et 2 (b) indiquent le potentiel au-dessus de la terre auquel les blindages de l'appareil en défaut peuvent s'élever. Avec la mise à la terre franche, cela peut être environ les  $2/3$  du voltage de phase, mais dans les réseaux de mise à la terre par résistance (ou réactance) il peut être normalement maintenu en-dessous d'environ 50 volts. Dans les réseaux à neutre isolé, quoique le risque de choc électrique du blindage de l'appareil en défaut puisse théoriquement être moindre que dans les réseaux à neutre mis à la terre, il est un fait qu'en pratique des chocs très sévères ont été ressentis.

Il faut aussi considérer que des défauts peuvent se produire entre les enroulements primaires et secondaires des transformateurs d'alimentation qui ne sont pas équipés entre eux avec des protections à

la terre. L'élévation de potentiel du système basse tension avec un tel défaut dépend de la mise à la terre ou de l'isolement du neutre basse tension. S'il est mis à la terre, il y a une certaine fuite pour le courant de défaut et l'élévation de potentiel du système basse tension n'est habituellement pas grande. Si le neutre est isolé, un tel défaut provoque, pour l'entièreté du système basse tension, une élévation de tension au niveau du système haute tension. La plus grande sécurité contre une rupture d'isolement du système basse tension à cause d'un défaut primaire-secondaire dans un transformateur d'alimentation, est donc obtenue par la mise à la terre franche du système basse tension. L'isolement du neutre est moins bon dans ce cas.

### Conclusions.

La mise à la terre franche est simple et bon marché et permet un maximum de protection avec un nombre relativement petit de dispositifs de protection simples et robustes. La mise à la terre par résistance (ou réactance) offre les avantages d'efforts réduits dans le système en cas de défaut et une élévation de tension minimum sur les pièces métalliques des appareils en défaut.

Quoiqu'un neutre isolé réduise le courant de défaut à un minimum, il ne le réduit pas suffisamment bas pour prévenir l'étincelle incendiaire et n'offre ainsi aucun avantage réel. De plus, la complexité du dispositif de protection requis est relativement grande et le dépiégeage discriminatif du défaut ne peut être obtenu.

La conclusion finale paraît donc être que la meilleure protection générale est assurée quand le neutre est mis à la terre.

### SAMENVATTING

*De kwestie der elektrische inrichtingen in de mijnen van Groot-Brittannië behandelend, stelt de schrijver zich de vraag of het wenselijk zou zijn de bestaande stelsels, waar de nulgeleider aan de aarde verbonden is, te vervangen door stelsels waar de nulgeleider geïsoleerd is.*

*Hij bestudeert ieder dezer stelsels in het licht van de voornaamste vereisten: veiligheid van het personeel en van het materieel, discriminatieve werking der beveiligingsapparaten, eenvoud en stevigheid van het materieel.*

*Het besluit van deze studie is dat de beste algemene bescherming bereikt wordt als de nulgeleider*

*aan de aarde ligt. De rechtstreekse aarding is eenvoudig, goedkoop en laat een maximum bescherming toe met een minimum van eenvoudige en stevige beveiligingsapparaten.*

*De aarding met tussenschakeling van een weerstand of van een reactantie vermindert de belasting in geval van defect, terwijl bij de stelsels met geïsoleerde nulgeleider de defectstroom niet voldoende verminderd wordt om een werkelijk voordeel op te leveren, het beschermingsstelsel tamelijk ingewikkeld is en daarenboven de discriminatieve werking der beschermingsapparaten niet kan verkregen worden.*