Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 39 (1948)
Heft: 3

Artikel: Mises à la terre de protection, de service et séparées pour la protection des installations de production et de distribution d'énergie électrique

Autor: Sibler, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057933

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

39e année N° 3 Samedi, le 7 février 1948

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Mises à la terre de protection, de service et séparées pour la protection des installations de production et de distribution d'énergie électrique

Communication de l'Inspectorat des installations à courant fort (*F. Sibler*)

621.316.99(494)
(Traduction)

Pour qu'une installation électrique fonctionne sans perturbations, ni risques d'accidents, l'exploitant doit veiller à ce que les mesures de protection, surtout les mises à la terre, soient conformes aux prescriptions en vigueur et aussi efficaces que possible. Il est évident qu'une exécution parfaite des installations et des appareils est essentielle pour éviter des accidents. Les parties accessibles, notamment dans les installations des abonnés, ne doivent présenter aucune partie nue et doivent répondre aux exigences fondamentales de la sécurité. Néanmoins, même les appareils les plus soigneusement construits ne peuvent exclure tout danger, provenant d'une avarie de l'isolement ou d'actions atmosphériques. C'est la raison pour laquelle des dispositions relatives aux mesures de protection figurent dans l'Ordonnance fédérale sur les installations à fort courant du 7 juillet 1933, ainsi que dans les Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures, revues en 1927 et complétées à plusieurs reprises par la suite.

La mesure de protection la plus importante est sans contredit la mise à la terre des différentes parties de l'installation, afin d'empêcher que les parties qui ne sont normalement pas sous tension ne deviennent le siège de tensions de contact dangereuses, par suite d'une avarie de l'isolement. Ce but est atteint par une mise à la terre de protection des bâtis métalliques et des carcasses d'appareils dans les postes de transformation, ainsi que par la mise à la terre ou au neutre des appareils dans les installations intérieures. En outre, les surtensions d'origine atmosphérique, provenant de coups de foudre ou de charges statiques, doivent être rendues aussi peu dangereuses que possible à l'aide de parafoudres mis à la terre de service. Dans les réseaux à basse tension, la mise directe à la terre du point neutre (terre séparée) a pour but d'abaisser la tension de l'installation par rapport à la terre et de maintenir dans tous les conducteurs actifs du réseau de distribution la même tension par rapport à la terre, c'est-à-dire d'empêcher que le potentiel d'un conducteur ne dépasse la tension étoilée normale.

Ce bref aperçu montre combien est vaste le domaine de la mise à la terre des installations à courant fort. Dans ce qui suit, nous renoncerons toutefois à traiter des mises à la terre d'appareils et de consommateurs d'énergie dans les installations des abonnés, car les mesures de protection intéressant les installations intérieures ont déjà fait l'objet d'une publication détaillée dans ce Bulletin [1]). Les explications qui suivent se limitent en conséquence aux mises à la terre indispensables dans les installations de production et de distribution, telles qu'elles sont prescrites par l'Ordonnance fédérale de 1933.

1. Mises à la terre dans les usines génératrices et les postes de transformation

Dans les postes de transformation et, en partie, dans les usines génératrices, les trois catégories de mises à la terre mentionnées à l'article 12 de l'Ordonnance entrent généralement toutes en ligne de compte, à savoir les terres de protection, terres de service et terres séparées. L'expérience a montré que ces désignations donnent souvent lieu à de fausses interprétations et à des confusions, surtout dans le cas des terres de service et des terres séparées. C'est ainsi, par exemple, que la mise à la terre du point neutre basse tension est souvent considérée, à tort, comme une terre de service, alors que cette dernière ne concerne dans la règle que les parafoudres à haute tension (art. 15, Ordonnance) et que la mise à la terre directe des points neutres basse tension est une terre séparée (art. 17, chiffre 2, Ordonnance).

a) Terre de protection

L'article 13 de l'Ordonnance stipule que la terre de protection est destinée à empêcher qu'un passage fortuit du courant à des parties d'installations qui, normalement, ne sont pas sous tension ou dont la tension n'est pas dangereuse ne puisse provoquer une tension dangereuse entre ces parties et d'autres parties conductrices voisines situées à portée de la main ou du pied et qui, en service normal, ne sont pas non plus sous tension. Autrefois, les parties métalliques de l'installation à haute tension et celles des dispositifs à basse tension étaient généralement mises séparément à la terre, mais depuis l'entrée en vigueur de l'Ordonnance de 1933 les postes de transformation ne comportent plus qu'une seule terre de protection, à laquelle doivent être raccordés

[1]) *Brentani, O.:* Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen. Bull. ASE, t. 35(1944), n° 25, p. 754...766.

tous les bâtis d'appareils, cuves de transformateurs et carcasses d'appareils, aussi bien du côté haute tension que du côté basse tension. Cette manière de procéder offre le grand avantage qu'aucune différence de potentiel n'existe entre les différents bâtis, même si la terre de protection présente exceptionnellement une tension de quelques centaines de volts par rapport à la terre neutre aux alentours du poste, ce qui peut arriver en cas de court-circuit sur deux pôles dans la partie à haute tension. Du fait de l'interconnexion de toutes les parties métalliques par une terre commune, cette augmentation de potentiel est sans danger dans le poste, puisqu'elle est la même à tous les endroits. Elle ne pourrait devenir dangereuse que si l'on tentait d'en ouvrir, depuis l'extérieur, c'est-à-dire depuis un endroit de potentiel différent, les portes métalliques reliées à la terre de protection. Pour cette raison, l'Inspectorat des installations à courant fort estime qu'il est préférable que les portes métalliques d'entrée de postes de transformation ne soient pas mises à la terre, à condition qu'il n'y ait pas de lignes sous tension à proximité, qui pourraient toucher les portes en cas de rupture et mettre celles-ci sous tension. Le chiffre 2 de l'article 13 de l'Ordonnance spécifie d'ailleurs quelles sont les parties de la construction qui doivent être connectées à la terre de protection. Le schéma de mise à la terre représenté sur la figure 1 donne également des renseignements à ce sujet.

Outre les portes métalliques d'entrée des postes de transformation, il y a également lieu de ne pas connecter à la terre de protection les parties métalliques de transformateurs d'intensité installés du côté basse tension des transformateurs de puissance pour l'alimentation de compteurs, horloges et appareils de mesure à basse tension. En revanche, les dispositions de la mise à la terre sont évidentes pour la mesure de la consommation d'énergie du côté haute tension. Lorsque des dispositifs de mesure à haute tension sont prévus, il va de soi que les carcasses des transformateurs de mesure et un point des circuits de mesure doivent être reliés à la terre de protection. Si le poste de transformation comporte des compteurs à basse tension, les bobines de tension de ceux-ci tout au moins sont directement alimentées par des circuits à basse tension, même quand il s'agit de compteurs avec transformateur d'intensité. Or, à moins qu'il ne s'agisse d'exécutions spéciales, les compteurs ne sont pas prévus pour supporter une tension d'essai de 4000 V, mais seulement de 2000 V. Leur boîtier métallique ne doit donc jamais être relié à la terre de protection, mais être vissé avec interposition d'une isolation convenable aux bâtis métalliques, eux-mêmes reliés à la terre de protection. Il y a lieu, en effet, de veiller toujours à ce que l'isolement minimum pour 4000 V, exigé dans les postes de transformation entre le réseau à basse tension et les autres parties de l'installation, ne soit pas affecté par des appareils de mesure et de couplage à basse tension (horloges de commutation de tarifs, conjoncteurs-disjoncteurs horaires pour circuits d'éclairage public, etc.). Une fixation directe aux bâtis métalliques et, par conséquent, une mise à la terre de protection, n'est admise que pour les appareils qui possèdent une isolation capable de supporter une tension d'essai de 4000 V. Les boîtiers des compteurs, horloges de couplage et appareils de contrôle ordinaires à basse tension, dont l'isolement n'est pas prévu pour 4000 V, doivent être reliés au

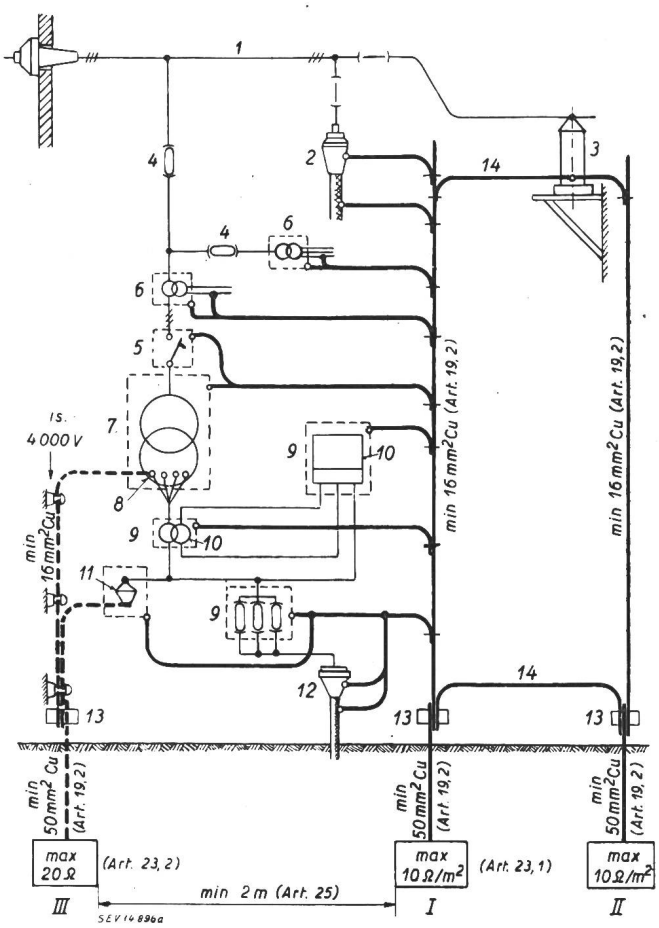

Fig. 1

Schéma des mises à la terre dans les stations de transformation

1 Ligne aérienne à haute tension (HT); *2* Ligne souterraine HT avec boîte d'extrémité métallique; *3* Limiteur de tension HT; *4* Coupe-circuit HT des transformateurs de puissance et de potentiel; *5* Disjoncteur automatique avec protection omnipolaire (art. 64), remplaçant les coupe-circuit; *6* Transformateurs de mesure HT; *7* Transformateur de puissance; *8* Point neutre du système à basse tension (BT) relié à la terre séparée, isolée pour 4000 V; *9* Tableaux de distribution BT mis à la terre de protection; *10* Compteurs, transformateurs d'intensité BT isolés des bâtis métalliques pour 4000 V; *11* Limiteurs de tension BT; isolation propre pour 4000 V; *12* Câble BT avec boîte d'extrémité métallique; *13* Point de déconnexion pour le contrôle des électrodes (art. 19, chiffre 4); *14* Connexions entre les terres de protection et de service (art. 16, nouvelle teneur).

——— Terres de protection et de service non isolées, sur supports métalliques

– – – Terre (séparée) du point neutre BT, isolée pour 4000 V

I Electrode de la terre de protection (art. 13)
II Electrode de la terre de service (art. 15)
} Electrode commune si la puissance installée ne dépasse pas 300 kVA (art. 22, chiffre 3)

III Electrode de la terre du point neutre (art. 17 et 26)

Pour la constitution et les surfaces des électrodes voir art. 21...25.

neutre de l'installation, lui-même mis à la terre, mais seulement pour autant que les conditions d'exploitation exigent une mise à la terre.

L'article 14 de l'Ordonnance stipule que les conducteurs de liaison des terres de protection doivent

être constitués par des fils nus et ne pas être fixés sur des isolateurs, mais de préférence sur des supports métalliques. Le commentaire de cet article précise que s'il s'agit de châssis raccordés à la terre de protection et dont les diverses parties constituent sûrement un tout métallique, il n'est pas nécessaire de prévoir des lignes de terre spéciales pour les appareils qui y sont fixés. Dans ces cas, il n'est donc pas exigé, que la ligne de terre en cuivre conduise directement à ces appareils.

b) Terre de service

Selon l'article 15 de l'Ordonnance, une terre de service sert, entre autres, à rendre inoffensives les surtensions qui risqueraient de mettre en danger les installations. Dans les postes de transformation ordinaires, la terre de service concerne les parafoudres à haute tension (autrefois les éclateurs à cornes avec résistances hydrauliques, maintenant les limiteurs de tension modernes) et, dans certains cas, les sectionneurs de terre des lignes aériennes munies d'un câble de terre. Jusqu'à fin 1943, il était spécifié que la terre de service devait être montée sur isolateurs et complètement séparée de la terre de protection, jusqu'à la sortie du poste. Mais, à cette époque déjà, les points de mise à la terre des terres de protection et de service devaient être raccordés entre eux de façon sûre et durable, au moyen de liaisons bonnes conductrices, à la sortie du poste (art. 20, chiffre 2, Ordonnance).

L'exigence d'une terre de service séparée et isolée a été abrogée par l'arrêté du Conseil fédéral du 29 décembre 1943, sur la base de nouveaux résultats d'expérience [2]). Depuis lors, les limiteurs de tension doivent être non seulement reliés à la terre de service, mais en outre à la terre de protection par le chemin le plus court, à proximité immédiate des limiteurs. De cette façon, les parafoudres constituent le point le plus faible de l'installation à haute tension. En reliant les supports d'isolateurs et les bâtis métalliques à la terre de service, il en résulte qu'aucune différence de potentiel ne peut se présenter entre la terre de service et les appareils reliés à la terre de protection, même lors de l'écoulement d'ondes à front raide.

Lorsque des parafoudres sont prévus dans un poste de transformation, deux lignes de terre non isolées doivent toujours être installées entre les parafoudres et le point de mise à la terre; ces deux lignes peuvent d'ailleurs être reliées entre elles sur leur parcours. Cela résulte nettement du chiffre 4 de l'article 16 de l'arrêté du Conseil fédéral, où il est dit en outre que s'il existe déjà au moins deux acheminements vers le point de mise à la terre, qui répondent aux dispositions de l'article 19, on pourra renoncer à d'autres lignes de terre pour les limiteurs de tension. Ces prescriptions s'appliquent également aux limiteurs qui sont montés à l'extérieur d'un poste.

Conformément aux nouvelles prescriptions, les terres de protection et de service ne doivent plus être montées sur des isolateurs. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'un ancien poste, où la terre de service est isolée et conduite séparément jusqu'à la sortie du bâtiment, il suffit de la relier à la terre de protection, aussi bien aux parafoudres, qu'à la sortie du bâtiment, mais il n'est pas nécessaire d'enlever les isolateurs de la ligne de terre de service. Pour répondre aux prescriptions en vigueur, il est seulement indispensable qu'il y ait au moins deux chemins parallèles entre les limiteurs de tension et la terre.

c) Terres séparées

La troisième catégorie de mises à la terre dans les postes de transformation est celle des terres séparées, auxquelles doivent être reliés les points neutres des installations à basse tension à courant alternatif. L'article 26 de l'Ordonnance spécifie que le point neutre du système à basse tension doit être mis directement à la terre par raccordement à une terre séparée (art. 17 et 18, Ordonnance), afin qu'aucun conducteur actif ne prenne un potentiel élevé par rapport à la terre, en cas de mise à la terre accidentelle. Ainsi, dans les réseaux à tension normale, 220/380 V, chaque conducteur actif doit demeurer autant que possible à sa tension normale de 220 V par rapport à la terre et, en conséquence, le danger ne doit pas être accru lorsque, dans les installations intérieures, l'isolement d'un appareil mis à la terre a subi une avarie. La terre du point neutre du système (normalement la terre du point étoile) dans les postes de transformation doit être isolée, parce que les parties de l'installation mises à la terre de protection peuvent, dans des circonstances défavorables, prendre un potentiel de quelques centaines de volts par rapport à la terre.

Toutefois, il ne suffit pas d'isoler uniquement la terre séparée du point neutre. Les conditions auxquelles doit satisfaire le montage des compteurs et autres appareils de contrôle à basse tension, dont il a déjà été fait mention au chapitre «Terre de protection», s'appliquent également aux dispositifs d'éclairage d'un poste de transformation. Pour ces circuits d'éclairage et pour les lignes de mesure à basse tension, l'exigence d'isolement est aisément satisfaite par l'emploi de conducteurs sous gaine de caoutchouc ou à isolation thermoplastique; mais cet isolement ne doit pas être rendu inefficace par des interrupteurs et des compteurs montés directement sur des bâtis mis à la terre de protection. Lors de l'aménagement de postes de transformation, les circuits à basse tension et tous les appareils correspondants doivent donc toujours être isolés de manière à pouvoir supporter une tension d'essai de 4000 V vis-à-vis des parties d'installation raccordées à la terre de protection.

Cette exigence est conforme au nouveau texte de l'article 17, chiffre 2, de l'Ordonnance, modifié par l'arrêté du Conseil fédéral du 29 décembre 1943, qui spécifie qu'il y a lieu de raccorder individuellement à une terre séparée les circuits à faible courant et les circuits à basse tension, ainsi que leurs limiteurs de tension, qui s'étendent en dehors de la zone d'efficacité des terres de protection et des terres de service d'une installation à haute ten-

[2]) cf. Bull. ASE, t. 35(1944), n° 1, p. 32.

sion (bâtiment ou station en plein air) et, en outre, les carcasses d'appareils branchés sur ces circuits, à moins qu'ils ne soient isolés vis-à-vis de ceux-ci pour une tension d'essai de 4000 V au moins. Les sorties des appareils à basse tension pour la protection contre la foudre doivent donc également être reliées à la terre séparée du point neutre. Si ces appareils sont directement fixés au bâti mis à la terre de protection, ils doivent nécessairement être prévus pour une tension d'essai de 4000 V, ce qui est généralement le cas pour les nouvelles constructions.

Au chiffre 2 de l'article 26 de l'Ordonnance, il est dit en outre que lorsque des lignes à basse tension de tensions sensiblement différentes les unes des autres partent d'une station de transformateurs, le point neutre de chacun de ces réseaux à basse tension doit être raccordé individuellement à une terre séparée. Mais il n'est précisé nulle part ce que l'on doit entendre par «tensions sensiblement différentes». L'Inspectorat a donc décidé que ce cas se présente dès que les tensions étoilées diffèrent de plus de 50 V. En conséquence, les points neutres de réseaux à courant monophasé à 2×125 V et à courant triphasé à 3×250 V peuvent être reliés à la même terre séparée, mais les points neutres de réseaux à 220/380 V et à 500 V doivent l'être à des terres séparées différentes. Une publication de l'Inspectorat [3]) donne de plus amples détails à ce sujet.

Selon le chiffre 2 de l'article 13 de l'Ordonnance, il n'est pas nécessaire de relier le point neutre à une terre séparée lorsque les circuits à basse tension ne quittent pas la zone d'efficacité des terres de protection et de service. C'est notamment le cas dans les sous-stations et les grandes usines génératrices équipées de transformateurs à basse tension, qui ne servent qu'aux besoins internes d'énergie. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire, ni même recommandable, de raccorder les points neutres basse tension à une terre séparée isolée, les lignes à basse tension se trouvant entièrement dans la zone des parties d'installations mises à la terre de protection. C'est pourquoi leur point neutre peut être relié à la terre générale de protection et les boîtiers des appareils à basse tension peuvent être fixés directement, sans l'intermédiaire d'une isolation spéciale, aux bâtis reliés à la terre de protection.

Pour les petites entreprises électriques, ce cas peut se présenter, par exemple, dans un poste de transformation pour une station de pompage. Dans un poste de ce genre, aménagé dans le même bâtiment que les pompes, on a constaté lors d'un contrôle que, contrairement aux dérogations ci-dessus, il y avait une terre de protection non isolée et une terre isolée pour le point neutre, alors qu'une seule terre aurait suffi. En réalité, les deux systèmes de mise à la terre étaient d'ailleurs réunis, puisque l'entreprise électrique avait raccordé les parties métalliques du tableau de distribution basse tension et à la ligne de terre du point neutre et à celle de protection. Il ne sera nécessaire de séparer dans ce poste complètement la terre de protection et la terre séparée qu'au cas où, ultérieurement, une ligne à basse tension partira du poste de transformation, à moins que cette ligne ne soit alimentée par l'intermédiaire d'un transformateur de protection au rapport de 1 : 1, avec isolement pour une tension d'essai de 4000 V entre les deux enroulements.

Un cas analogue peut se présenter dans les installations industrielles. Il existe des fabriques qui possèdent leur propre poste de transformation dans le même bâtiment que leurs installations de consommation. En général, il n'est guère recommandable de réunir les deux terres, à moins que l'on ne dispose de très bonnes électrodes de terre (canalisations d'eau), car la zone d'efficacité des parties de l'installation mises à la terre de protection est le plus souvent dépassée. Il est donc préférable de séparer les deux terres et de raccorder à deux endroits différents de la canalisation d'eau la terre de protection et la terre séparée, même lorsque cette canalisation est excellente, ceci afin d'éviter sûrement tout danger en cas de rupture de l'une des lignes de terre.

2. Dimensionnement des électrodes. Surfaces minima et valeurs maxima admises pour les résistances de passage à la terre
(art. 20...25, Ordonnance).

Sections des lignes de terre
(art. 19, Ordonnance).

En ce qui concerne le dimensionnement des électrodes de terre, il est stipulé au chiffre 3 de l'article 22 de l'Ordonnance, que dans les stations de transformateurs dont la puissance installée n'excède pas 300 kVA il suffit d'installer comme terre de protection et comme terre de service du côté haute tension une électrode commune d'au moins 0,5 m² de surface active, tandis qu'au chiffre 1 de ce même article, il est dit d'une manière générale que la surface active totale doit mesurer au moins autant de mètres carrés que l'installation en cause compte de systèmes à haute tension.

Quant à la résistance maximum admissible de l'électrode de terre de protection, le chiffre 1 de l'article 23 de l'Ordonnance indique qu'en cas de mise accidentelle à la terre d'un pôle côté haute tension, il ne doit pas se produire une chute de tension de plus de 50 V entre électrode et terre proprement dite en supposant une intensité de courant d'au moins 5 A et pour une surface d'électrode de 1 m². Il s'ensuit que, dans le cas où selon le chiffre 3 de l'article 22 de l'Ordonnance une électrode de 0,5 m² de surface active est suffisante, la résistance de passage à la terre ne doit pas dépasser 20 ohms, soit d'une manière générale 10 ohms par m². Pour la mise du point neutre à une terre séparée, le chiffre 2 de l'article 23 de l'Ordonnance stipule que sa résistance ne doit pas dépasser 20 ohms. Comme l'expliquent les commentaires de l'article 23, il n'est pas possible d'indiquer de façon précise, pour les conditions que l'on rencontre en

[3]) Utilisation de transformateurs de puissance avec prises additionnelles pour différentes basses tensions. Bull. ASE t. 37(1946), n° 10, p. 287...288.

Suisse, quelle doit être la surface d'électrode nécessaire. D'après les valeurs indiquées dans ces commentaires, la résistance de passage à la terre est, par rapport à l'argile, de 2 pour l'humus, de 3 pour le sable et de 10 pour le gravier. Pour les électrodes plongées dans l'eau, la valeur de la résistance relative est plutôt supérieure à 10; il y a donc lieu d'éviter des électrodes de ce genre. La constitution des électrodes est du reste spécifiée à l'article 24 de l'Ordonnance.

Les meilleures conditions de mise à la terre sont réalisées par les canalisations d'un réseau étendu de distribution d'eau. Toutefois, pour des raisons de sécurité, il est stipulé au chiffre 1 de l'article 21 de l'Ordonnance que le raccordement des lignes de terre aux canalisations d'eau est limité aux cas où la résistance de passage à la terre de la canalisation est constamment inférieure à 2 ohms, ce qui est généralement le cas pour les canalisations d'eau de quelques km de longueur, sans manchons isolants [4]). Il y a toutefois lieu de remarquer que, là où toutes les terres sont raccordées à une telle canalisation, il faut prévoir une bride commune pour les terres de protection et de service, ainsi qu'une autre bride à une distance d'environ 2 m pour le raccordement de la terre séparée du point neutre. Il est nécessaire de séparer ces deux raccordements, car une bride peut se rompre et, si les trois terres étaient raccordées à la même bride, la haute tension risquerait alors de passer au réseau à basse tension en cas de claquage à la terre de protection. Toutefois, lorsque cette canalisation n'est pas accessible à proximité immédiate du poste de transformation, les deux lignes de terre peuvent fort bien être tirées dans la même tranchée; il suffit qu'elles soient isolées l'une de l'autre. Dans ce but on les écartera le plus possible et on utilisera de préférence pour la terre séparée un câble supportant une tension d'essai de 4000 V.

Lorsque, chez les abonnés d'un réseau de distribution, il est fait usage d'électrodes artificielles pour la protection des appareils et des consommateurs raccordés (terre de protection à la place de la mise au neutre) il faut vouer, dans les postes de transformation, un soin spécial à la résistance de passage de la terre séparée pour le point neutre. Conformément aux dispositions fondamentales des Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures (§ 17, chiffre 2), la mise à la terre de protection dans les installations intérieures doit, en effet, provoquer en quelques secondes (5 s au maximum) le déclenchement automatique de l'installation avariée, en cas de défaut d'isolement, par la fusion d'un coupe-circuit installé en amont, ou empêcher qu'une tension supérieure à 50 V ne se maintienne aux appareils reliés à la terre de protection. Autrefois, on se bornait à établir une liaison entre les appareils et une électrode de terre ou, tout au plus, à une canalisation d'eau. Or, lors d'accidents causés par un défaut d'isolement dans des installations comportant une terre artificielle on a constaté à maintes reprises que le dispositif de mise à la terre paraissait être parfaitement en ordre, de sorte que la cause de l'accident semblait tout d'abord inexplicable, surtout à une époque déjà reculée, où les exigences d'une bonne mise à la terre n'étaient pas encore bien connues. Un examen plus attentif de ces accidents montra cependant presque chaque fois que les terres des appareils offraient une résistance de passage trop élevée et que leur effet de protection était en conséquence illusoire. Pour protéger les appareils dans les installations intérieures par leur mise à la terre, il ne suffit pas de procéder à une mise à la terre quelconque; il faut au contraire qu'elle satisfasse aux exigences que nous venons d'indiquer. La fusion du coupe-circuit par la terre de protection ne se produit, en général, qu'à condition que le point neutre du transformateur et les terres de protection dans les installations intérieures soient raccordés à une très bonne canalisation d'eau. Là, où il est nécessaire d'utiliser d'autres électrodes artificielles (plaques, rubans, tubes), il faut veiller à ce que la tension de contact ne dépasse pas 50 V en permanence. Cela exige en principe que la mise à la terre du point neutre soit accordée avec les terres de protection chez les abonnés, la résistance de passage à la terre du point neutre ne devant toutefois pas dépasser 20 ohms (art. 23, chiffre 2, Ordonnance). S'il s'agit, par exemple, d'un réseau à 220/380 V, la résistance de passage aux terres artificielles des installations intérieures ne doit pas être supérieure au tiers de celle de la terre du point neutre, afin que la tension de contact ne puisse dépasser 50 V. Si, dans un réseau de ce genre, la terre du point neutre d'un transformateur offre une résistance de 15 ohms, il y a lieu d'émettre pour les terres des installations intérieures une résistance de 5 ohms au maximum. Mais dans tous les réseaux, où le point neutre est raccordé à une canalisation d'eau offrant une résistance de 2 ohms au maximum, aucune installation intérieure ne devra être équipée d'une électrode autre que la canalisation d'eau. Pour de plus amples détails au sujet des exigences auxquelles doivent répondre les mesures de protection à prévoir dans les installations intérieures, consulter la publication intitulée «Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen», déjà citée [5]).

A propos des surfaces des électrodes et de leurs résistances de passage admissibles, nous ajoutons que dans les postes de transformation chaque ligne de terre visible et accessible au contrôle doit avoir une section de cuivre d'au moins 16 mm^2. Pour les lignes de terre cachées ou inaccessibles, on exige une section de cuivre de 50 mm^2, au moins, ce qui correspond à un diamètre de 8 mm (art. 19, Ordonnance). En outre, toutes les lignes de terre doivent pouvoir être sectionnées pour les contrôles, car l'article 27 de l'Ordonnance stipule que les installations de mise à la terre doivent être contrôlées périodiquement et leurs résistances de passage mesurées.

[4]) cf. *Ryf, W.*: Erfahrungen mit der Erdung von Starkstromanlagen bei Verwendung isolierender Schraubmuffen in Wasserleitungsrohren. Bull. ASE t. 37(1946), n° 24, p. 701...709.

[5]) cf. note 1.

3. Mise à la terre des boîtes d'extrémité de câbles à haute tension, aux passages d'une ligne aérienne à une ligne souterraine

(Art. 13, Commentaire du chiffre 2, et art. 107)

Dans les postes de transformation pour installations industrielles, aménagés dans des bâtiments d'usines, ainsi que dans d'autres postes en maçonnerie d'un seul étage, la haute tension est souvent introduite par câbles souterrains, qui partent de lignes aériennes situées à proximité. On peut se demander si la boîte d'extrémité montée sur le poteau de transition doit être mise séparément à la terre ou s'il suffit de la relier convenablement à la gaine de plomb du câble. Or, l'article 13 de l'Ordonnance déclare expressément que toutes les gaines de plomb doivent être raccordées à la terre de protection des postes de transformation; on peut donc renoncer de mettre à une terre spéciale ces boîtes d'extrémité lorsqu'il s'agit de courts tronçons de câbles, à la condition que la boîte d'extrémité et la gaine de plomb soient reliées entre elles d'une manière bien conductrice. Les dispositions y relatives exigent que la gaine de plomb des câbles soit mise à la terre dans le poste de transformation et défendent seulement d'utiliser les armures de fer comme tronçons de la ligne de terre (Commentaire du chiffre 2 de l'art. 13).

Au poteau, où la ligne aérienne est connectée au câble souterrain, il faut surtout empêcher la présence de deux potentiels différents; ceci risquerait de se produire en cas d'avarie dans la boîte d'extrémité, si elle était mise séparément à la terre et si la gaine de plomb était isolée par rapport à la boîte d'extrémité. Un monteur qui grimperait à un tel poteau pour procéder à un contrôle, courrait un danger dès qu'il toucherait simultanément la gaine de plomb et la boîte d'extrémité isolée de la gaine, au cas où l'isolation de cette boîte serait endommagée. Par contre, si la longueur du câble est de quelques centaines de mètres entre le poteau et le poste de transformation, il y a lieu non seulement de relier de manière conductrice la gaine de plomb à la boîte d'extrémité, mais de prévoir en outre une mise à la terre spéciale, bien que la pratique ait prouvé que, dans le cas de longs tronçons de câbles enterrés, le sol environnant joue le rôle d'une dérivation lorsque des tensions s'établissent dans la gaine de plomb.

En ce qui concerne les charpentes métalliques ou en béton armé, le chiffre 1 de l'article 107 de l'Ordonnance prescrit toujours une mise à la terre spéciale. Sur ces pylones, les boîtes d'extrémité de câbles, de même par conséquent que les gaines de plomb, doivent être reliées métalliquement aux charpentes mises à la terre.

4. Mise à la terre des mécanismes de commande des interrupteurs pour lignes aériennes à haute tension

(Art. 107, chiffre 5)

Au chiffre 5 de l'article 107 de l'Ordonnance, il est indiqué que, pour les interrupteurs de lignes aériennes montées sur supports en bois, on doit mettre à la terre soit le châssis de l'interrupteur, soit son mécanisme de commande. Les prescriptions fédérales laissent donc à l'exploitant le soin de décider s'il préfère mettre à la terre la partie supérieure ou la poignée, qui est séparée électriquement du châssis par des isolateurs. En général, les entreprises électriques mettent à la terre le mécanisme de commande (poignée), ce qui assure une meilleure sécurité de service. Par contre, on risque de ne pas s'apercevoir immédiatement d'une avarie survenue aux isolateurs des interrupteurs et il peut arriver que la partie supérieure de l'interrupteur qui n'est pas mise à la terre, au-dessus des isolateurs, soit sous tension par rapport à la terre. C'est ainsi qu'au Tessin un monteur a eu un accident en touchant la tringlerie d'un interrupteur dont l'amenée du courant était sous tension. Etant arrivé à la hauteur des isolateurs, il toucha d'une main la partie supérieure de la tringlerie, qui était sous tension, tandis que ses fers à grimper entouraient la partie inférieure du mécanisme de commande, qui était mise à la terre. Il reçut une sévère décharge et subit de graves brûlures, ainsi que des contusions à la tête. Lors de l'enquête, on constata qu'un isolateur de l'interrupteur était fendu et que la haute tension s'était transmise à son châssis isolé. Lorsqu'on grimpe à un poteau où se trouve une tringlerie de commande d'interrupteur, on devra donc toujours se rappeler que la partie supérieure du mécanisme peut être sous tension, si la ligne à haute tension n'est pas déconnectée des deux côtés de l'interrupteur.

Nous mentionnons encore le cas particulier où un poteau est équipé non seulement d'un interrupteur, mais également de parafoudres ou d'une boîte d'extrémité de câble. Dans ces circonstances, il est préférable que le châssis supérieur de l'interrupteur soit mis à la terre, en même temps que la boîte d'extrémité et la gaine de plomb du câble à haute tension. La ligne de terre doit cependant être soustraite au toucher le long du poteau et isolée sur une assez grande longueur dans le sol, afin d'éviter la présence de tensions de pas à l'endroit d'actionnement de l'interrupteur; elle peut également être tirée vers un poteau voisin et reliée à cet endroit à une électrode. Lorsque des parafoudres sont reliés à la terre de l'interrupteur, la résistance de passage à la terre de l'électrode ne doit pas dépasser 5 ohms; sinon, il faudra absolument tirer la ligne de terre du châssis de l'interrupteur et des parafoudres à un autre poteau, où elle sera ensuite isolée et conduite à la terre.

Il va de soi que la partie supérieure et la partie inférieure du mécanisme de commande d'un interrupteur de ligne aérienne à haute tension ne doivent jamais être raccordées à la même terre, pour que les isolateurs des tringleries ne soient pas inopérants. Des cas de ce genre ont malheureusement été constatés à plusieurs reprises.

5. Mise au neutre des gaines de plomb et des boîtes d'extrémité de câbles à basse tension dans les installations intérieures

Parmi les parties qui, dans un poste de transformation, doivent être raccordées à la terre de

protection, l'article 13 de l'Ordonnance mentionne les gaines de plomb et les armures des câbles à basse tension. On a déjà souvent demandé à l'Inspectorat si cela ne constituait pas une dérogation au principe selon lequel les circuits à basse tension et les parties connectées à la terre de protection doivent être complètement séparés, lorsque, dans un réseau avec mise au neutre des installations intérieures chez les consommateurs, les mêmes gaines de plomb sont également reliées au neutre, dans les bâtiments alimentés. Cela est vrai, mais les câbles sous plomb peuvent néanmoins être reliés à la terre de protection dans les postes de transformation et au neutre du réseau dans les bâtiments des abonnés, car les gaines des câbles constituent en général une excellente électrode de terre, le long de laquelle s'amortissent rapidement les potentiels qui pourraient se présenter à la terre de protection d'un poste de transformation. L'Inspectorat des installations à courant fort n'a encore jamais connu de cas où un potentiel à la terre de protection d'un poste de transformation ait été transmis, par les gaines de plomb des câbles souterrains, à des installations intérieures, même lorsque les câbles et leurs armures y étaient reliés au neutre. Une dérogation à cette règle se justifie tout au plus dans des exploitations industrielles ou analogues, où le tableau de distribution à basse tension se trouve dans un local complètement séparé de celui de la haute tension, mais peu éloigné, et où la partie métallique du tableau, ainsi que ses appareils, sont reliés au neutre mis à la terre. Dans ces cas les câbles à basse tension, dont les gaines de plomb sont raccordées à la terre de protection au poste de transformation adjacent ou très proche, doivent être isolées, au point de distribution à basse tension, des boîtes d'extrémité et du tableau métallique mis au neutre, par du ruban goudronné ou autre, et seules leurs boîtes d'extrémité seront raccordées au neutre mis à la terre.

6. Conclusions

Dans ce qui précède, nous nous sommes bornés avant tout aux questions générales de mise à la terre, qui se présentent pour la construction de postes de transformation et d'installations de distribution. Dans les grandes usines génératrices et les importantes sous-stations à haute tension, d'autres problèmes particuliers de mise à la terre peuvent se poser. L'Inspectorat des installations à courant fort est volontiers prêt à collaborer aux décisions à prendre au sujet des mises à la terre nécessaires dans ces cas.

Beitrag zum Entwurf von Hochstrommaschinen

Von *E. Dick*, Gümligen

621.313.2

Der vorliegende Aufsatz stellt einen Beitrag zum Entwurf von vielpoligen Hochstrommaschinen grosser Leistung dar. Der Autor behandelt besonders die Probleme, die sich auf die Kommutierung bei gleichzeitig höchster Ausnützung des aktiven Materiales beziehen. Die Ueberbeanspruchung der dem Netzanschlusspunkt nächstgelegenen Bürsten kann beseitigt werden, wenn das System der Sammelringe aufgegeben und der die Unsymmetrie hervorrufende Netzanschlusspunkt ausserhalb der Maschine derart angeordnet wird, dass dieser zentral zu den Anschlusspunkten der Bürstenachsenzweige zu liegen kommt.

Eine weitere nicht einwandfreie Schaltungsweise betrifft die übliche gegenläufige Serieschaltung der Wendepolwicklungen. Theoretisch einwandfrei wirkt die Einrichtung nur dann, wenn die Ankerwicklung ganz symmetrisch belastet ist. Treten aber Ungleichheiten auf, indem die Ankerstromzweige Ströme verschiedener Stärke führen, können die gleich stark erregten Wendefelder die verschieden grossen Gegenfelder des Ankers zum Teil nicht mehr ausgleichen, was an bestimmten Bürsten Ueber- bzw. Unterkommutierung verursachen kann. Dieser Nachteil wird durch die im Aufsatz beschriebene Sektorenschaltung der Wendepol- und Kompensationswicklung beseitigt. Ausserdem ermöglicht die Sektorenschaltung, dass günstige, leicht bearbeitbare Leiterbänder für die Herstellung der Wicklungen verwendet werden können.

L'auteur traite des projets de machines multipolaires à forte intensité de grande puissance, notamment des problèmes que soulève la commutation lorsqu'il s'agit de tirer le maximum de rendement des matières actives. Le surcroît de sollicitation des balais les plus proches du point de raccordement au réseau peut être évité en renonçant au système des bagues collectrices et en disposant en dehors de la machine le point de raccordement au réseau qui provoque l'asymétrie, de telle manière que ce point soit situé centralement entre les points de raccordement des dérivations aux axes des balais.

Un autre couplage peu satisfaisant est celui qui consiste à coupler en série et en opposition les enroulements des pôles de commutation. En théorie, ce dispositif n'est parfait que si l'enroulement de l'induit est chargé d'une manière tout à fait symétrique. Dès que des inégalités se présentent, c'est-à-dire que des courants d'intensités différentes parcourent les voies d'enroulement, les champs de commutation ne peuvent plus compenser individuellement les champs antagonistes de l'induit, dont les intensités sont différentes, ce qui provoque une commutation trop forte ou trop faible dans certaines rangées de balais. Cet inconvénient est supprimé par le couplage à secteurs des enroulements des pôles de commutation et de compensation, décrit dans cet article. Ce couplage permet en outre d'utiliser des rubans conducteurs, qui facilitent la confection des bobinages.

Einleitung

Bei Hochstrommaschinen bildet die Kommutierung wohl die grössten Schwierigkeiten. Diese sind auf die grossen Stromstärken pro Ankerzweig zurückzuführen, die in den kurzgeschlossenen Ankerwindungen auftreten und kommutiert werden müssen. Bedenkt man ferner, dass Maschinen grosser Leistung eine der Polzahl entsprechende Zahl von Ankerstromzweigen aufweisen, die, um eine gleichmässige Stromverteilung auf die gleichnamigen Bürstenachsen zu erzielen, alle vom Zweigstrom gleicher Stärke durchflossen sein sollten, so erkennt man die Schwierigkeiten, die sich zur Erreichung dieses Idealzustandes ergeben. Ungleichheiten in der Herstellung der Maschine, als auch im aktiven Material sind stets im kleinern und grössern Mass vorhanden, z. B. Ungenauigkeiten der Nutteilung des Ankers, der Lamellenteilung des Kollektors, der Polteilung des Gehäuses, der Teilung der Bürstenachsen, allenfalls ungleicher Luftabstand, bzw. ex-