

Problèmes d'influence

Autor(en): **Meister, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 5

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915374>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Problèmes d'influences

Par H. Meister †

Les caractéristiques d'une prise de terre ne nous intéressent qu'au moment où le système de mise à la terre est parcouru par un courant. Le courant circulant dans le sol engendre un champ de potentiel dont les propriétés, à une certaine distance de l'électrode de terre, ne dépendent que du courant et de la résistivité du sol. L'influence due aux dimensions et à la forme de l'électrode de terre se limite au champ de proximité.

Dans un sol homogène, on calcule le potentiel d'un point sis à la surface, c'est-à-dire la tension mesurée contre une terre neutre (terre de référence) selon la formule:

$$P = I \frac{\rho}{2\pi r}$$

ρ = résistivité (Ωm)

r = distance (m)

Pour un sol aux propriétés moyennes du Plateau suisse (100 Ωm) et une roche conduisant mal l'électricité (10 000 Ωm), on obtient les valeurs de potentiel P suivantes, compte tenu d'un courant d'un kA:

ρ Ωm	r				m
	30	100	300	1000	
100	530	159	53	15.9	V/kA
10 000	53 000	15 900	5300	1590	V/kA

La fig. 1 montre un secteur du champ produit par un courant de 1 kA circulant dans un sol d'une résistivité de 100 Ωm . Si l'on considère que le courant de défaut à la terre des réseaux à mise à terre rigide est généralement supérieur à 10 kA, on réalise les valeurs astronomiques que peut atteindre le potentiel de terre dans les régions à mauvaise conductibilité.

Toutefois, de telles tensions sont rares en pratique. Cela provient du fait que les installations sont souvent construites sur des terrains alluviaux riches en eaux souterraines et, partant, relativement bons conducteurs d'électricité. La plus grande partie de la chute de tension se produit en général sur les flancs abrupts de vallées, à l'accès souvent difficile, et pour lesquels on établit rarement des profils de mesure en vue de déterminer les potentiels. Le long des vallées, la chute de tension est souvent répartie sur de longues distances; dans bien des cas, des conducteurs métalliques tels que des conduites d'eau, des rails de chemins de fer, etc., contribuent encore à la réduire. Fréquemment, les câbles de terre des lignes à haute tension drainent une part importante du courant de défaut à la terre et le conduisent au sol, en le répartissant sur de grandes distances, par le biais des mises à la terre des pylônes. Pour cette raison, on utilise généralement en Allemagne et en Autriche des câbles de terre ayant une bonne conductibilité. En Suisse, nous nous contentons malheureusement dans la plupart des cas de câbles d'acier, en

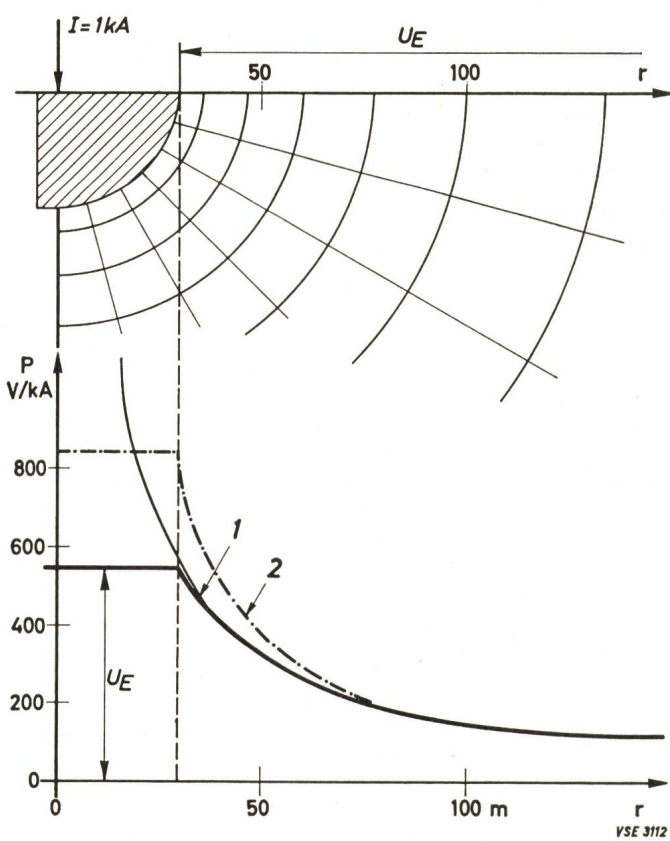
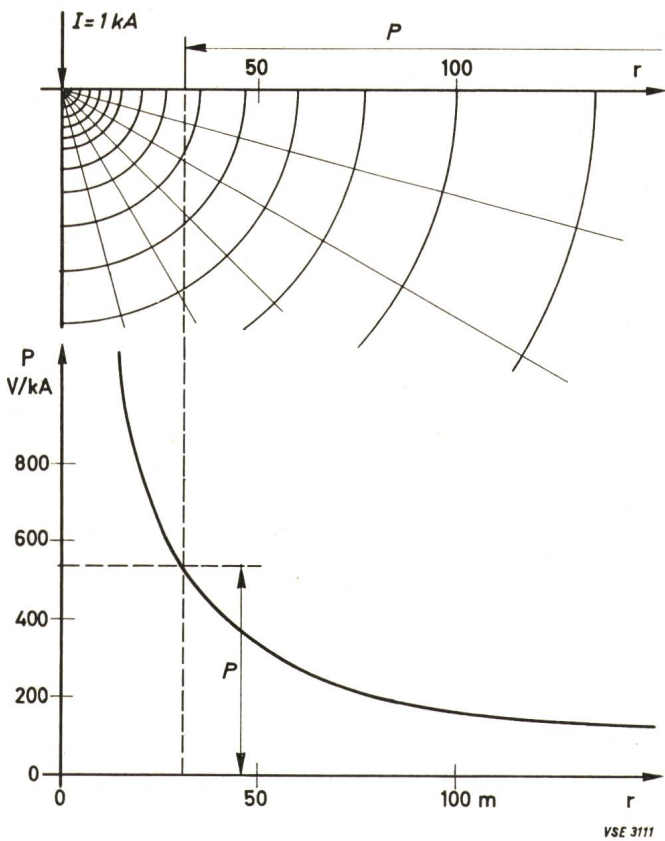


Fig. 1 Potentiel de terre d'un courant de 1 kA, concentré dans un sol d'une résistivité de $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Fig. 2 Courbe 1: potentiel d'une prise de terre en demi-sphère d'un diamètre de 60 m (autres caractéristiques voir fig. 1) Pour comparaison, la courbe 2 montre le potentiel d'une plaque de terre horizontale de même diamètre.

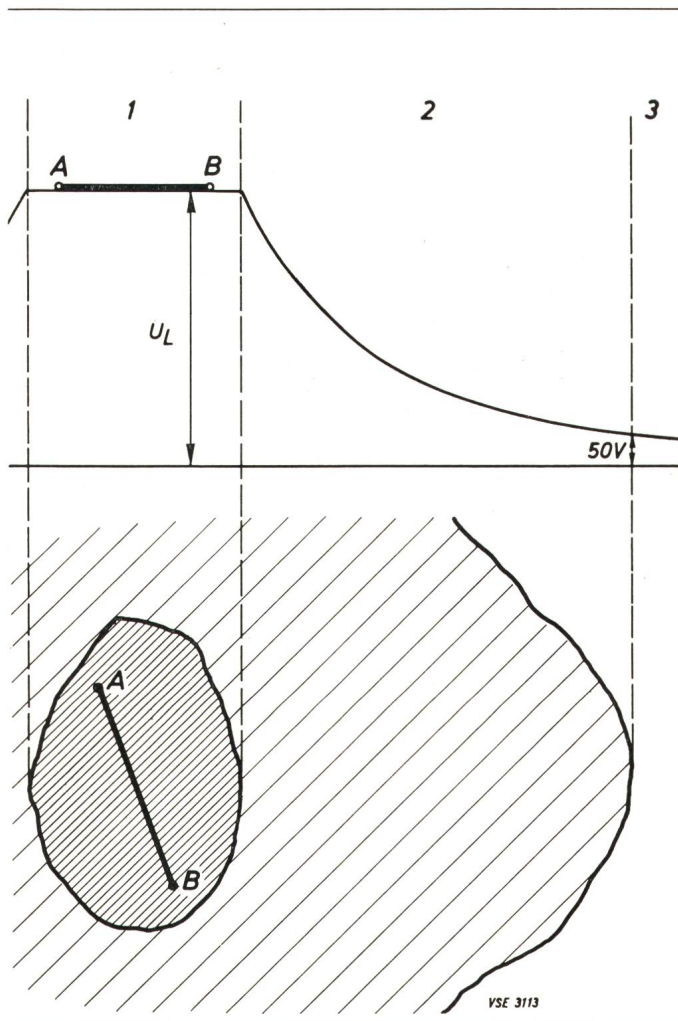


Fig. 3 Aucune tension n'apparaît sur la ligne A-B, située entièrement dans la zone de l'ouvrage

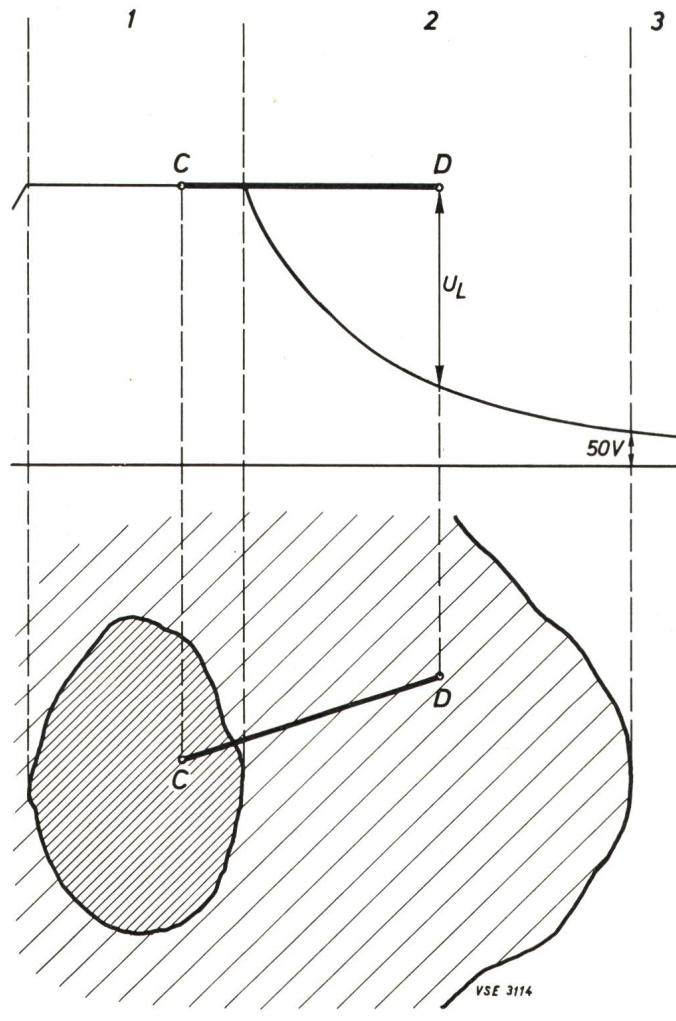


Fig. 4 La tension U_L apparaissant sur la ligne C-D reliée à la prise de terre générale et située dans la zone de transition met en danger la ligne et l'équipement au Point D

dépit des conditions géologiques souvent bien plus défavorables.

Dès lors, nous allons essayer de réduire les potentiels de terre par l'emploi d'un système d'électrodes de terre aussi étendu que possible. C'est en utilisant une électrode de terre hémisphérique que nous pourrions le mieux étudier l'influence due à la dimension de cette électrode, car ses limites suivent exactement les lignes équipotentiels du sol. La fig. 2 montre que le champ de potentiel disparaît à l'intérieur de l'électrode de terre; la surface qui limite cette dernière prend le potentiel de la terre. Cela étant, nous pouvons aussi utiliser l'expression servant à calculer le champ de potentiel pour déterminer la résistance de mise à la terre d'une électrode de terre hémisphérique. A l'extérieur de l'électrode, le potentiel demeure inchangé. La tension de mise à la terre diminue en proportion de l'agrandissement de l'électrode de terre; de plus, la surface équipotentielle augmente et les chutes de tension de terre à proximité de l'électrode de terre décroissent.

Si nous examinons ce qui se passe en pratique pour des électrodes de terre ayant des formes diverses, susceptibles d'être réalisées, nous observons certaines différences, de nature non-essentielle, si les électrodes de terre s'étendent à une certaine surface.

Venons-en maintenant aux effets pratiques de ces considérations (fig. 3):

Toutes les installations qui se trouvent exclusivement dans le secteur équipotentiel (zone de l'ouvrage) ne relient pas des points entre lesquels existe une différence de potentiel notable et peuvent, de ce fait, être réalisées de manière normale.

Toutefois, dès qu'une ligne franchit à la fois la zone de l'ouvrage et la zone de transition, elle collecte dans le sol une tension capable de mettre en danger les personnes et les choses. Exemple: ligne de commande entre l'usine et le château d'eau (fig. 4).

Une ligne partant d'une région non soumise aux influences et aboutissant à la zone de transition est aussi une source de dangers. Il peut s'agir, en l'occurrence, d'une installation qui ne fait pas partie du complexe haute tension, par exemple d'une ligne téléphonique ou à basse tension conduisant à une ferme assez éloignée d'une sous-station (fig. 5). Il faut être conscient du fait que la zone à haute tension ne s'arrête pas à la clôture de l'usine; en général, la zone de transition et, partant, la zone dangereuse se situe à l'extérieur de l'enceinte.

Si une ligne conduit de la zone de l'ouvrage à la zone neutre, comme on l'observe pour la plupart des lignes de télécommunication, elle collecte toute la tension de prise de terre de l'installation. Si cette ligne aboutit à une autre installation à haute tension, les tensions de prise de terre des deux ouvrages s'additionnent à la tension induite souvent très élevée que l'on peut mesurer le long de parallélismes.

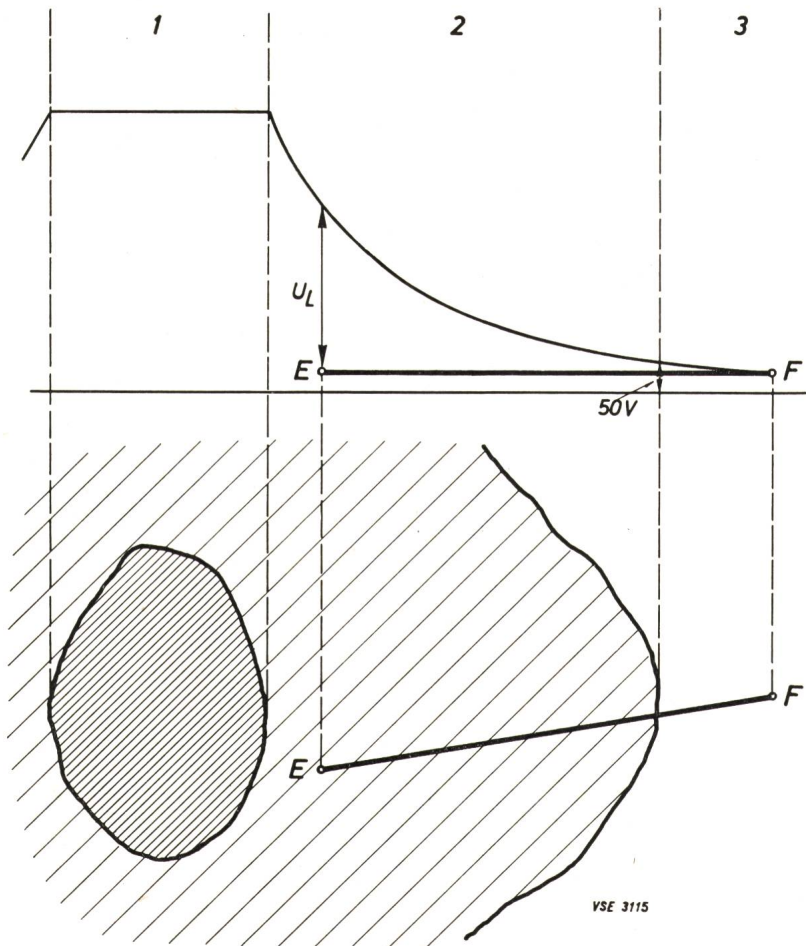


Fig. 5
Un objet E indépendant de l'équipement haute tension dans la zone de transition peut être mis en danger par une ligne mise à la terre au point F se trouvant en dehors de la zone de haute tension

De quels moyens disposons-nous pour diminuer les tensions dans le champ de potentiel du courant de terre? La tension de prise de terre de même que le gradient de potentiel, c'est-à-dire la tension de pas, à proximité de l'installation peuvent être réduits par un système aussi étendu que possible d'électrodes de terre; toutefois, cette mesure est sans influence sur les conditions qui règnent au delà de la zone proche. Nous pouvons arriver à diminuer toutes les tensions en réduisant le courant qui circule dans la terre.

Pour cela, deux possibilités sont offertes:

a) Limiter le courant de défaut à la terre en fractionnant le réseau ou en mettant le point neutre à la terre par le biais d'une impédance de limitation du courant. Il est évidemment nécessaire de coordonner cette mesure avec la technique de protection du réseau; ce moyen peut être particulièrement recommandé pour les réseaux qui ont une tension de service de 50 kV ou d'un niveau supérieur (110 ou 132 kV). Dans ces réseaux aux mailles serrées, une mise à la terre rigide du point neutre engendrerait des problèmes difficiles à résoudre dans les sous-stations des régions à forte densité de population. S'y ajouteraient encore les nombreuses influences dues aux lignes aériennes et aux câbles des PTT, effets auxquels on peut parer par une limitation du courant de défaut à la terre.

b) Un autre moyen de limiter les champs de potentiel de terre consiste à reconduire un taux aussi important que possible du courant de défaut à la terre au moyen de conducteurs métalliques. Peuvent aussi servir à cet usage des câbles de terre conduisant bien l'électricité (résistance $\leq 0,2 \Omega/\text{km}$). En plus de leur fonction qui consiste à répartir le courant de défaut à la terre sur plusieurs pylônes, ils drainent une part importante dudit courant, en raison de leur couplage magnétique au conducteur de phase sous tension.

Toutefois, l'effet produit par les gaines des câbles dûment mises à la terre au début et à la fin du tronçon est plus

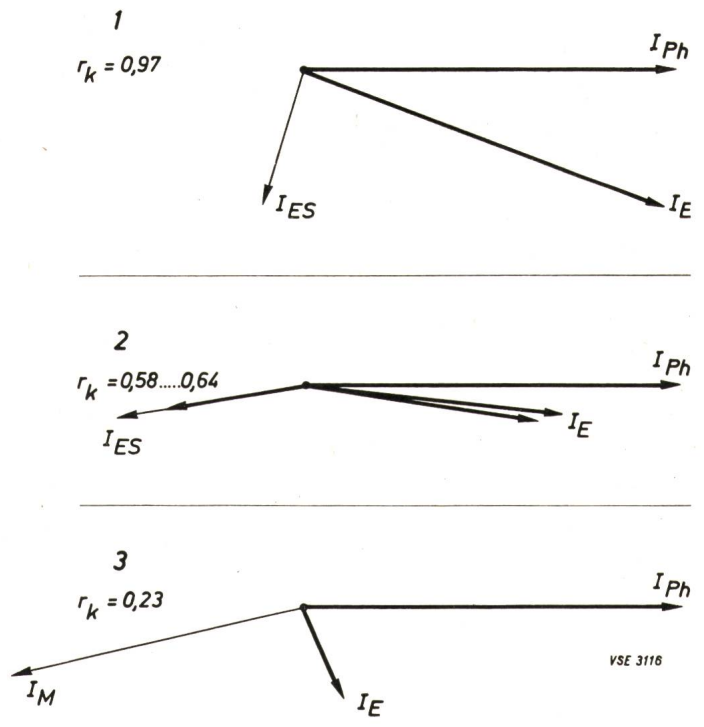


Fig. 6 Effet de réduction des câbles de terre et des gaines de câbles mises à la terre pour des lignes de 220 kV

I_{Ph} Courant de défaut à la terre dans le conducteur de phase

I_{ES} Courant induit dans le câble de terre

I_M Courant induit dans les gaines de câbles

I_E Courant dans le sol (déterminant pour le potentiel de terre et l'influence inductive sur les lignes à basse tension et de télécommunication)

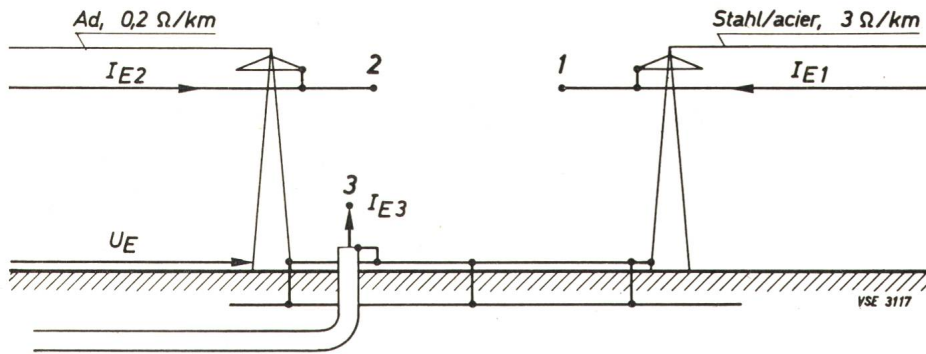


Fig. 7

L'impédance de prise de terre dépend du chemin du courant de défaut à la terre:

- | | |
|---------------------|--|
| $Z_E = 1 \Omega$ | Courant de défaut à la terre sur la ligne 1 (câble de terre en acier) |
| $Z_E = 0,7 \Omega$ | Courant de défaut à la terre sur la ligne 2 (câble de terre en Aldrey) |
| $Z_E = 0,23 \Omega$ | Courant de défaut à la terre sur le câble 3 (3 câbles avec gaines de Pb) |

considérable encore. Cette méthode de mise à la terre double ne prévient pas seulement les tensions de contact inadmissibles de l'armure mais améliore aussi les conditions d'exploitation de manière fondamentale.

Le couplage serré des gaines avec le conducteur de phase par lequel circule le courant de défaut à la terre décharge la terre du courant à raison de 75 % environ pour les câbles sous plomb (fig. 6). Lorsque les câbles sont revêtus d'armures de cuivre ou d'aluminium, le courant de terre peut baisser à une valeur de 15...20 % du courant total de défaut à la terre. Ce phénomène atténue tous les problèmes de mise à terre et d'induction. Néanmoins, un effet optimal ne se manifeste que pour les gaines dont les résistances de mise à la terre sont de l'ordre de 0,1 Ω . Cette valeur peut être atteinte aisément dans le cas de sous-stations sises dans des régions urbaines, ouvrages où prend naissance un réseau serré de câbles à moyenne tension dont les armures métalliques forment un bon contact avec le sol. En revanche, les transitions entre les lignes aériennes et les câbles à haute tension posent des problèmes. La mise à la terre du pylône ne suffit souvent pas à mettre pleinement à profit le facteur de réduction des gaines de câbles. De toute manière, on ne devrait pas renoncer à mettre ces dernières à la terre pour augmenter la capacité de charge des câbles. Une bonne solution consiste à permuter les gaines de façon cyclique, ce qui permet, en service normal, d'éliminer pratiquement le courant circulant dans les gaines, même si celles-ci sont mises à la terre.

Le phénomène des conducteurs de retour, couplés par voie inductive, qui drainent le courant de défaut à la terre nous conduit à considérer de plus près la notion d'«impédance de prise de terre». L'impédance de prise de terre est le quotient de la tension de prise de terre par le courant de mise à la terre. Si la tension de prise de terre est une notion bien établie, à savoir la tension entre la prise de terre de l'installation et la terre de référence, il n'en va pas toujours de même du courant de mise à la terre. Par définition, ce dernier est «l'ensemble du courant qui s'écoule dans la prise de terre», c'est-à-dire le courant total de défaut à la terre en cas de défaut à la terre d'une ou de plusieurs phases. Il se décompose en un courant d'électrode de terre, conduit au sol par les rubans de terre, et en une composante résiduelle qui se répartit sur les câbles de terre, les gaines de câbles, les conduites d'eau, etc.

Dès lors, nous voyons que la répartition du courant ne dépend pas uniquement de l'impédance contre terre des divers conducteurs entrant en considération, mais aussi de leur couplage inductif avec le conducteur de phase. Moins ces éléments sont éloignés les uns des autres et plus la résistance est faible, plus la terre est déchargée du courant de

retour. Examinons ce qui se passe dans un cas-type où le courant de défaut à la terre, lors d'une mesure de mise à terre, diffère suivant que l'on utilise l'une des trois lignes alimentant la même installation (fig. 7).

La ligne 1 est équipée d'un câble de terre en acier dont la résistance de quelques Ω /km ne permet le passage que d'un courant induit fortement déphasé par rapport au courant du conducteur de phase. Ce courant ne décharge la mise à la terre qu'à raison de quelques pour cent du courant de défaut à la terre au maximum. Dans ce cas, nous mesurons une tension de mise à la terre de 1 V/A, ce qui revient à dire que l'impédance de prise de terre comporte 1 Ω .

Le deuxième essai consiste à faire circuler le courant par la ligne 2, dont le câble de terre à une résistance de 0,2 Ω /km. Ce câble est le siège d'un courant induit intense qui retourne à la source indépendamment de la terre. Le sol ne draine plus que 70 % du courant, la tension de prise de terre diminue à 0,7 V/A et l'impédance de mise à la terre à 0,7 Ω . Mais si le courant emprunte le câble, la tension de mise à la terre est ramenée à 0,25 V/A et l'impédance de prise de terre n'est plus que le quart de la valeur trouvée lors du premier essai. L'impédance de prise de terre n'est pas une valeur uniforme pour une installation. Est déterminant le cas dans lequel on observe le tension de mise à la terre la plus élevée.

En principe, on dispose de deux possibilités pour protéger les lignes de télécommunication dont l'exploitation présente des risques:

a) Entourer le câble d'une isolation dont la rigidité diélectrique est suffisante et placer aux deux extrémités des translateurs de protection qui, bien entendu, excluent la transmission de signaux en courant continu.

b) Choisir un câble ayant un très bon facteur de réduction et relier son armure à la prise de terre de l'installation. Dans ce cas, la tension longitudinale est si faible qu'on peut renoncer aux translateurs de protection. Toutefois, cette solution ne peut être appliquée lors de tensions de prise de terre très élevées, vu qu'elle conduit à des constructions de câbles qui ne sont guère réalisables. Des gradients de potentiel très élevés prennent naissance autour de l'armure de câble reliée à la prise de terre de l'installation et étendent la zone à haute tension de l'ouvrage d'une manière difficilement contrôlable.

Esquissons pour terminer les problèmes afférents aux installations particulièrement sensibles aux perturbations telles que, par exemple, les ordinateurs. En cas de montage irrégulier, le service de ces équipements peut être perturbé par les opérations des disjoncteurs du réseau à haute tension. C'est à ce propos qu'on énonce parfois l'exigence mal définie de «mise à la terre propre». S'il fallait entendre par là une mise à la terre dont le potentiel soit autant que possible

soustrait aux influences des courants circulant dans l'installation de prise de terre générale, il conviendrait logiquement de prévoir une prise de terre séparée. Toutefois, cette méthode provoquerait une différence de potentiel extrême entre les capteurs (transducteurs) reliés à la terre générale et l'ordinateur ce qui conduirait à l'inverse du résultat désiré.

En tel cas, il y a lieu de doter l'installation perturbée d'un système de mise à la terre dont le maillage présente une impédance aussi faible que possible et de veiller à ce que les courants circulant dans le réseau de mise à la terre qui relie les parties critiques de l'équipement soient aussi réduits que possible (principe du schéma I). On connaît encore une autre

méthode très efficace: relier les diverses parties des équipements sensibles aux perturbations par des câbles à gaines métalliques et connecter les deux extrémités de celles-ci par une jonction à faible impédance aux écrans des appareils. Si l'on observe, en plus des perturbations à haute fréquence, des composantes à la fréquence fondamentale du réseau, le blindage le mieux approprié consiste en un tube d'acier dont les parois doivent avoir au moins 3 mm d'épaisseur.

Adresse de l'auteur:

H. Meister †, adjoint à la Division des recherches et du développement DG PTT, 3000 Berne. 29.

Mitteilungen – Communications

Kolloquium über Datenverarbeitung der UNIPEDE

Für Spezialisten der Elektrizitätswerke auf dem Gebiete der Datenverarbeitung (Services informatiques) führt die UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Electrique) vom 22.–24. Oktober 1974 in Madrid das 2. Kolloquium über Informationssysteme durch.

Die Hauptthemen dieser Tagung sind die folgenden:

1. Allgemeine Datenverarbeitungsprobleme
2. Technik der Datenverarbeitung
3. Allgemeine und spezielle Unternehmungsmodelle – Datenverarbeitungssysteme (ausser Verteilung und Dispatching)
4. Modelle und Systeme für die Betriebsüberwachung bei der Stromverteilung
5. Dispatching (Off Line – On Line) – Produktionssteuerung in den Kraftwerken

Die Teilnahmegebühr beträgt ungefähr 1000 französische Francs. Die Simultanübersetzung in den Sprachen Deutsch, Französisch, Englisch und Spanisch ist gewährleistet.

Die Anmeldung hat bis zum 20. März 1974 zu erfolgen. Das provisorische Programm sowie Anmeldeformulare können bei unserem Sekretariat bezogen werden. Mz

Colloque Informatique de l'UNIPEDE

Un Deuxième Colloque Informatique aura lieu du 22 au 24 octobre 1974 à Madrid. Ce colloque est organisé à l'intention des services informatiques au sein des entreprises d'électricité affiliées à l'UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Electrique).

Les thèmes retenus pour Madrid sont les suivants:

1. Informatique générale
2. Technique informatique
3. Modèles généraux et particuliers d'entreprises – Système d'informations (hors distribution et dispatching)
4. Modèles et systèmes de contrôle de gestion dans le domaine de la distribution
5. Dispatching (Off Line – On Line) – Contrôle de production des centrales

Un droit d'inscription de l'ordre de 1000 francs français par participant sera demandé. Un service d'interprétation simultanée sera organisé en langues française, anglaise, allemande et espagnole.

L'inscription provisoire pour la participation doit se faire jusqu'au 20 mars 1974. Un programme provisoire ainsi que les bulletins d'inscription peuvent être retirés au Secrétariat de l'UCS. Mz