

De bescherming van elektrische netten

in de ondergrondse werken van mijnen
om het gevaar voor electrocutie, brand en ontvlaming van mijngas te weren

La protection des réseaux électriques

installés dans les travaux souterrains des mines
contre les risques d'électrocution, d'incendie et d'inflammation de grisou

door par

G. COOLS

Divisiedirecteur der mijnen.
Directeur divisionnaire des mines.

INHOUDSTAFEL

Hoofdstuk I. — Algemene beschouwingen.

Hoofdstuk II. — Beschrijving van de middelen om de bescherming der ondergrondse netten te verzekeren.

- § 1. De gloeilampen en de voltmeters voor aanduiding van de potentiaal fase-aarde.
- § 2. Toestellen berustend op de controle van de potentiaal van het nulpunt wanneer dit laatste geïsoleerd is.
- § 3. Toestellen berustend op de controle van de potentiaal van het nulpunt, wanneer dit laatste langs een weerstand met de aarde is verbonden.
- § 4. Toestellen berustend op de controle van de potentiaal van een kunstmatig nulpunt.
- § 5. Toestellen berustend op de controle van een door middel van gelijkrichters gevormd kunstmatig nulpunt.
- § 6. Toestellen berustend op de rechtstreekse ampèremetrische meting van een door een detectiescherm opgevangen defectstroom.
- § 7. Beschermingstoestellen berustend op het principe van de ampèremetrische uitschakeling door homopolaire stroom.
- § 8. Toestellen berustend op het principe van een directionele bescherming met homopolaire stroom.

TABLE DES MATIERES

Chapitre I. — Considérations Générales.

Chapitre II. — Description des moyens tendant à assurer la protection des réseaux souterrains.

- § 1. Les lampes et voltmètres de potentiel phase-terre.
- § 2. Appareils basés sur le contrôle du potentiel du neutre lorsque celui-ci est isolé.
- § 3. Appareils basés sur le contrôle du potentiel du neutre lorsque celui-ci est relié à la terre par une résistance.
- § 4. Appareils basés sur le contrôle du potentiel d'un neutre artificiel.
- § 5. Appareils basés sur le contrôle de la tension redressée, entre un neutre artificiel et la masse.
- § 6. Appareils basés sur la mesure ampèremétrique directe d'un courant de défaut capté par un écran détecteur.
- § 7. Appareils de protection basés sur le déclenchement ampèremétrique par courant homopolaire.
- § 8. Appareils basés sur une protection directionnelle du courant homopolaire.

- § 9. Toestellen berustend op het principe van injectie van gelijkstroom in het net
 a) Toestellen voor de controle der isolatie.
 b) Toestellen voor de controle van de continuïteit van de schutgeleider.
 c) Veiligheidsblokken.
- § 10. Toestellen berustend op de detectie van het onevenwicht der intensiteiten en der hoeken tussen de 3 fasen van het net (detectors van impedante defecten).
- § 11. Toestellen berustend op de injectie in het net van een stroom op verhoogde frekwentie.

Hoofdstuk III. — Gecombineerde schikkingen met het oog op een intergrale en selectieve bescherming der netten.

- § 1. Bescherming tegen de isolatiedefecten door toepassing van het principe van injectie van gelijkstroom, met secundaire controlekoffertjes voor onrechtstreekse selectiviteit.
- § 2. Bescherming tegen isolatiedefecten door de controle van de potentiaal van een kunstmatig nulpunt, samen met een inrichting voor injectie van gelijkgerichte stroom voor onrechtstreekse selectiviteit en een inrichting voor de bestendige controle van de continuïteit van de schutgeleider.
- § 3. Controle van de isolatie door injectie van gelijkstroom, samen met directionele bescherming tegen isolatiedefecten door homopolaire stroom en bescherming tegen dubbele isolatiedefecten door detector van impedante kortsluitingen.
- § 4. Controle van de isolatie door injectie van gelijkstroom, samen met de bescherming door detector van impedante kortsluitingen en dubbele isolatiedefecten.
- § 5. Bescherming van de netten waarvan het nulpunt met de aarde verbonden is.

Besluiten.

HOOFDSTUK I.

ALGEMENE BESCHOUWINGEN

De toenemende mechanisering van de ondergrondse werken en de daarmee gepaard gaande elektrificatie doen ten aanzien van de voorkoming van ongevallen ernstige vraagstukken rijzen, onder het drieledig aspect van het gevaar voor electrocutie, het gevaar voor brand en het gevaar voor ontvlamming van mijngas.

Onlangs werd een gepantserd vervoertoestel in een pijler, door het wegrukken van de klemmenkast van de motor van het drijfhoofd, over zijn ganse lengte onder een spanning van ongeveer 500 volt gebracht. Dit ernstig ongeval, dat de dood van drie

- § 9. Appareils basés sur le principe de l'injection de courant continu dans le réseau.
 a) Contrôleurs d'isolement.
 b) Contrôleurs de continuité du circuit des masses.
 c) Blocs de sécurité.
- § 10. Appareils basés sur la détection des déséquilibres d'intensité et d'angle entre les trois phases du réseau (Détecteur de défauts impédants).
- § 11. Appareils basés sur l'injection d'un courant à fréquence élevée dans le réseau.

Chapitre III. — Dispositifs combinés visant à réaliser la protection intégrale et sélective des réseaux.

- § 1. Protection contre les défauts d'isolement par application du principe d'injection de courant continu, avec coffrets de contrôle secondaires assurant la sélectivité indirecte.
- § 2. Protection contre les défauts d'isolement par le contrôle du potentiel d'un neutre artificiel, avec dispositif d'injection de courant redressé assurant la sélectivité indirecte et dispositif de contrôle permanent de la continuité du circuit des masses.
- § 3. Contrôle de l'isolement par injection de courant continu, avec protection directionnelle par courant homopolaire contre les défauts d'isolement et protection par détecteur de défauts impédants contre les courts-circuits et les défauts d'isolement doubles.
- § 4. Contrôle de l'isolement par injection de courant continu, avec protection par détecteur de défauts impédants contre les courts-circuits et les défauts d'isolement doubles.
- § 5. Protection des réseaux dont le neutre est relié à la terre.

Conclusions.

CHAPITRE I.

CONSIDERATIONS GENERALES

Le développement dans les travaux miniers de la mécanisation et par conséquent de l'électrification pose de graves problèmes en matière de prévention des accidents, sous le triple aspect du danger d'électrocution, du danger d'incendie ou du risque d'inflammation d'atmosphères grisouteuses.

Récemment, un convoyeur blindé placé en taille fut porté, sur toute sa longueur, à une tension voisine de 500 V par suite de l'arrachement de la boîte à bornes d'un moteur de tête motrice. Ce grave accident, qui causa la mort de trois ouvriers, souligne la

arbeiders veroorzaakte, toont aan dat het geboden is aandachtig de nodige schikkingen te bestuderen om het risico verbonden aan het gebruik van electriciteit in de ondergrondse werken van mijnen in de mate van het mogelijke te beperken.

Wij zullen ons in deze studie tot de laagspanningsinstallaties beperken, dus, in de opvatting van de constructeurs, tot de installaties van minder dan 1.100 volt. Het zijn inderdaad deze installaties, en in het bijzonder de kabels, die het meest blootgesteld zijn aan de mechanische beschadigingen die in de mijn te vrezen zijn. Voor spanningen van minder dan 380 volt zouden misschien minder strenge maatregelen mogen volstaan, maar hiermede zullen wij ons hier niet bezighouden.

De klassieke maatregelen tegen het gevaar voor electrocutie berusten op het feit dat het rechtstreeks contact met een blote, onder spanning staande fase, met de gebruikelijke spanningen, praktisch altijd dodelijk is. Dit feit is genoegzaam bewezen, welk ook het regime van het nulpunt weze, om er niet verder over uit te wijden.

Hieruit volgt voort dat het materieel bestemd voor de ondergrond zodanig gebouwd is dat rechtstreeks contact met een stuk onder spanning onmogelijk is, hetzij dat het stuk bekleed is met een isolerende stof, hetzij dat het geborgen is in stevige kasten of gepantserde ruimten, hetzij dat het buiten het bereik van het personeel geplaatst is.

Wat het brandgevaar betreft, zorgt men er voor dat de afmetingen van de stukken en de geleiders goed aangepast zijn aan het aangewend vermogen en dat op de gepaste punten toestellen aangebracht zijn om, wanneer de intensiteit van de stroom een bepaalde waarde overschrijdt, de installatie automatisch van de energiebron te scheiden. De dikte en de hoedanigheid van de isolerende bekledingen zijn aan de spanning en aan de georloofde verhitting aangepast, terwijl de buitenbekledingen van de kabels op het stuk van mechanische weerstand en onbrandbaarheid de gewenste hoedanigheden bezitten.

Wanneer er gevaar voor ontvlaming van mijn-gas bestaat, worden de toestellen geplaatst in gepantserde ruimten, die stevig genoeg zijn om te weerstaan aan de druk van een inwendige ontploffing van ongeveer 10 kg/cm² en die de vlammen beletten van binnen naar buiten over te slaan.

Aan de maatregelen die wij hierboven in het kort hebben aangehaald, en die wij *maatregelen van eerste orde* zullen noemen, worden gewoonlijk zg. *maatregelen van tweede orde* (*) toegevoegd, die

(*) De gedachte om de veiligheidsmaatregelen tegen electrocutie te rangschikken in maatregelen van de 1^e, 2^e en 3^e orde, is een zeer belangwekkende suggestie, die te danken is aan de H. Cœuillet, onze collega van de Werkgroep « Electriciteit » van het Vast Orgaan van de Hoge Autoriteit. (Sécurité électrocution des réseaux électriques du fond, door M. Cœuillet, ingénieur principal et Chef du Service électrique des Charbonnages de France. Bescheid r 5414/59 f van de Werkgroep « Electriciteit » van het Vast Orgaan).

nécessité d'examiner attentivement les dispositions qui s'imposent pour réduire, dans toute la mesure du possible, les risques résultant de l'emploi de l'électricité dans les travaux souterrains des mines.

Nous nous limiterons dans cette étude aux installations à basse tension, c'est-à-dire, selon le point de vue des constructeurs, aux installations soumises à des tensions inférieures à 1.100 V. Ce sont, en effet, ces installations, particulièrement les câbles, qui sont le plus exposées aux détériorations mécaniques particulières à la mine. Toutefois, nous n'examinerons pas ici les allégements qui pourraient être consentis pour les tensions inférieures à 380 V.

Les mesures classiques prises contre le danger d'électrocution sont basées sur le fait que le contact direct avec une phase nue sous tension est pratiquement toujours mortel avec les tensions habituellement utilisées. Ce fait est suffisamment établi, quel que soit le régime du neutre, pour qu'il ne soit pas nécessaire de s'y étendre.

Il en résulte que le matériel du fond est conçu de telle sorte que le contact direct avec une pièce sous tension soit rendu impossible, soit en isolant les pièces, soit en les enfermant dans des armoires solides ou dans des enceintes blindées, soit en les rendant inaccessibles.

Au point de vue du risque contre l'incendie, on veille à dimensionner convenablement les pièces et les conducteurs par rapport à la puissance mise en œuvre et à placer aux endroits voulus des appareils capables de séparer l'installation de la source d'énergie lorsque l'intensité du courant dépasse une valeur fixée. Les gaines isolantes sont adaptées, en qualité et épaisseur, aux tensions et aux échauffements admis et les gaines de protection présentent les qualités voulues au point de vue de la résistance mécanique et de l'incombustibilité.

Lorsqu'il existe un risque d'inflammation de grisou, les appareils sont enfermés dans des enceintes blindées pouvant résister à la pression d'une explosion intérieure de l'ordre de 10 kg/cm² et empêchant la propagation d'une flamme de l'intérieur vers l'extérieur.

Aux mesures que nous venons de rappeler succinctement et que nous appellerons de *premier ordre*, il est de règle de superposer des mesures dites de *deuxième ordre* (*), qui sont destinées à éviter

(*) L'idée de classer les mesures de sécurité en matière d'électrocution en mesures de 1^e, 2^e et 3^e ordre est une suggestion fort intéressante dont le mérite revient à M. R. Cœuillet, notre collègue au groupe de travail « Electricité » de l'Organe Permanent de la Haute Autorité (Sécurité électrocution des réseaux électriques du fond, par M. Cœuillet, Ingénieur principal et Chef du Service électrique des Charbonnages de France. Document n° 5414/59 f du Groupe de travail « Electricité » de l'Organe Permanent).

bestemd zijn om de gevolgen van een eventuele tekortkoming te verhinderen of te beperken, namelijk :

inzake electrocutie :

De massa's, nl. de kasten en de gepantserde ruimten die toestellen onder spanning bevatten, zijn uit metaal en worden onderling verbonden, alsook met al de stukken die er mede in verband staan, door een z.g. schutgeleider die de equipotentiële verbinding der massa's vormt. Deze geleider wordt op een zo volmaakt mogelijke wijze, en ten minste op één punt, met de aarde verbonden ; de geleidbaarheid er van moet in beginsel groot genoeg zijn om te beletten dat zich een gevaarlijk verschil in potentiaal zou voordoen tussen twee massa's die gelijktijdig bereikbaar zijn of tussen een massa en de aarde. Soms wordt voor deze geleider een zodanige sectie gevraagd dat geen enkele massa, zelfs met de hoogst mogelijke kortsluitingsstroom, onder een spanning van meer dan 65 V, of zelfs 45 V, kan worden gebracht. Elders wordt voor de schutgeleider een sectie gevraagd die gelijk is aan die van de dikste fazegeleider van het net, zonder dat zij nochtans een bepaalde waarde, bv. 50 mm², moet overschrijden. In België schrijft het reglement een minimumsectie van 16 mm² voor.

inzake brandgevaar :

De preventieve maatregelen van de tweede orde bestaan hier hoofdzakelijk in het vermijden en verwijderen van alle nutteloze ophopingen van brandbare stoffen en in het zoveel mogelijk vervangen van de brandbare materialen door onbrandbare of moeilijk brandbare ; verder dient vermeden dat de kabels zelf de uitbreiding van de brand zouden bevorderen.

inzake het gevaar voor ontvlamming van mijngas :

Iedere gevaarlijke verhoging van het mijngasgehalte van de atmosfeer wordt vermeden, alsook iedere plaatselijke ophoping van mijngas. Aldus moeten de installaties in België buiten spanning gesteld worden, wanneer het mijngasgehalte van de lucht 1 % bereikt.

* * *

Het komt er nu op aan te weten of de maatregelen die wij hierboven in het kort uiteengezet hebben, in de huidige stand van zaken als bevredigend mogen worden beschouwd.

Wat het gevaar voor electrocutie betreft, moet de maatregel van de tweede orde die erin bestaat een equipotentiële verbinding der massa's tot stand te brengen, als fundamenteel beschouwd worden. Deze maatregel kan nochtans ontoereikend zijn, hetzij wegens een toevallige onderbreking van deze verbinding, hetzij omdat men nagelaten heeft de waär-

ou à réduire les conséquences d'une déficience éventuelle des mesures de premier ordre, notamment :

en matière d'électrocution :

Les masses, notamment les armoires et les blindages qui contiennent des appareils sous tension, sont métalliques et sont reliées entre elles, ainsi qu'avec toutes les pièces métalliques en liaison avec elles, par un conducteur assurant l'équipotentialité de ces masses. Ce conducteur est relié d'une manière aussi parfaite que possible à la terre en un point au moins et sa conductance doit, en principe, être telle qu'il ne puisse survenir aucune différence de potentiel dangereuse entre deux masses accessibles simultanément ou entre une masse et la terre. Parfois, on exige que la section de ce conducteur soit telle qu'aucune masse ne puisse, avec le courant de court-circuit le plus élevé possible parcourant ce conducteur, être portée à une tension supérieure à 65 V, voire 45 V. Ailleurs, on exige que le conducteur des masses ait une section égale au plus gros conducteur de phase du réseau sans devoir dépasser une certaine valeur, par exemple 50 mm². En Belgique, le règlement exige une section minimum de 16 mm².

en matière d'incendie :

Les mesures préventives de deuxième ordre consistent principalement à éviter et supprimer toute accumulation inutile de matières combustibles, à remplacer, autant que possible, les matériaux combustibles par des matériaux non ou difficilement combustibles, et à éviter que les câbles eux-mêmes ne puissent devenir un agent propagateur d'un incendie.

au point de vue du risque d'inflammation de grisou :

On évite toute élévation dangereuse de la teneur en grisou de l'atmosphère, ainsi que toute accumulation locale de grisou. En Belgique, notamment, le règlement impose la mise hors tension des installations lorsque la teneur en grisou du courant d'air atteint 1 %.

* * *

Il s'agit maintenant de savoir si les mesures que nous venons d'esquisser sommairement peuvent dans l'état actuel des choses être considérées comme satisfaisantes.

En ce qui concerne le danger d'électrocution, la mesure de deuxième ordre consistant à réaliser une liaison équipotentielle des masses doit être considérée comme fondamentale. Néanmoins, elle peut être mise en défaut, soit par suite d'une interruption fortuite de cette liaison, soit qu'on ait omis de calculer la valeur du court-circuit maximum pouvant

de van de hoogst mogelijke kortsluitingsstroom te berekenen en de geleidbaarheid van de schutgeleider dan ook niet aan het net werd aangepast.

In geval van kortsluiting tussen de fazen, is de kortsluitingsstroom anderzijds niet noodzakelijk groter dan de intensiteit bij de aanzetting van de motoren en kan de onderbreking, in de veronderstelling dat deze bekomen wordt, met zoveel vertraging geschieden dat het aan het defect ontwikkeld vermogen aanleiding kan geven tot ontvlamming niet alleen van mijngas, maar ook van andere brandbare stoffen, waarvan de aanwezigheid in de nabijheid der kabels dikwijls niet kan worden vermeden.

Wanneer de kortsluiting uit een dubbel defect aan de massa voortspruit, kan zich hetzelfde voordoen en in dit geval kan er gevaar voor electrocutie ontstaan indien, zoals hierboven gezegd, de geleidbaarheid van de schutgeleider onvoldoende is.

De ingenieurs die gelast waren met het onderzoek over het hierboven aangehaald ongeval, hebben overigens kunnen bewijzen dat de klassieke beschermingen door smeltverzekeringen en lastschakelaars onvoldoende zijn om in alle omstandigheden electrocutie-effecten of andere ernstige gevolgen van kortsluitingen of defecten in de ondergrondse netten te voorkomen, zelfs wanneer de schutgeleiders aan de vereisten van het reglement voldoen en op bevredigende wijze met de aarde zijn verbonden.

Tenslotte dient gewezen op het gevaar van een plotselinge beschadiging der installaties door het afrukken van een kabel aan de ingang der toestellen, door het breken van een kast, door het plotselinge doorsnijden van een kabel, enz. Wordt zulk een beschadiging veroorzaakt door een plotselinge mijngasuitbarsting, dan wordt het risico merkelijk verhoogd, aangezien de beschadiging in dit geval gepaard gaat met een belangrijke ontwikkeling van mijngas en kolenstof.

Bovenstaande beschouwingen tonen naar onze mening aan, dat het noodzakelijk is *maatregelen van derde orde* op te zoeken, die aan de maatregelen van de 1^e en 2^e orde moeten worden toegevoegd en die erop gericht zijn de aangestipte gevaren te voorkomen en nl. in de eerste plaats van zulke aard zijn dat de veiligheidswaarde van de kabels erdoor wordt verhoogd, aangezien deze laatste ongetwijfeld het zwakste punt van de ondergrondse elektrische installaties vormen.

Deze maatregelen van de derde orde, die het onderwerp van deze nota uitmaken, zouden in beginsel hierin bestaan dat de netten *wigerust* worden met toestellen die erop voorzien zijn om voortdurend gebeurlijke defecten op te sporen en te meten en om de netten of gedeelten van netten waarin zich een ernstig defect voordoet automatisch uit te schakelen, alvorens het aan het defect ontwikkeld vermogen zich buiten de kabel heeft kunnen uiten en alvorens enig gevaar voor electrocutie kan ontstaan. Deze maatregelen dekken dus de drie soorten van gevaar

se produire et qu'ainsi la conductance du conducteur des masses n'ait pas été adaptée au réseau.

D'autre part, en cas de court-circuit entre phases, le courant de court-circuit ne dépasse pas nécessairement les intensités de démarrage des appareils et la coupure, et supposant même qu'elle soit obtenue, peut se faire avec un retard tel que la puissance dissipée au défaut peut donner lieu à l'inflammation, non seulement du grisou, mais même de matières combustibles dont la présence à proximité des câbles est souvent inévitable.

Lorsque le court-circuit résulte d'un double défaut phase-masse, les mêmes éventualités peuvent se produire et, dans pareil cas, un danger d'électrocution peut apparaître, comme il a été dit ci-dessus, si la conductance du conducteur des masses est insuffisante.

Les auteurs de l'enquête relative à l'accident rappelé ci-avant ont d'ailleurs pu démontrer que les protections classiques par fusibles et disjoncteurs ne peuvent pas suffire pour empêcher en toutes circonstances des effets d'électrocution ou d'autres conséquences graves résultant de courts-circuits ou de défauts graves dans les réseaux du fond, même lorsque les circuits assurant la continuité des masses sont dimensionnés conformément aux exigences du règlement et mis à la terre d'une manière satisfaisante.

Enfin, il convient de signaler le risque de détérioration brusque des installations, notamment par l'arrachement d'un câble à l'entrée des appareils, par rupture d'une boîte, par section brusque d'un câble, etc. Si une pareille détérioration est causée par le fait d'un dégagement instantané de grisou, le risque s'aggrave singulièrement puisque, dans ce cas, la détérioration est concomitante avec un dégagement important de grisou et de poussière de charbon.

Les considérations qui précèdent rendent indispensable, à notre avis, la recherche de mesures de 3^e ordre, à superposer aux mesures de 1^{er} et 2^e ordre, tendant à prévenir les divers dangers qui ont été évoqués et, notamment, en tout premier lieu, de nature à relever le niveau de sécurité des câbles qui, dans les travaux souterrains, constituent sans aucun doute le point le plus faible des installations électriques.

Ces mesures de 3^e ordre, qui constituent l'objet de la présente note, consisteraient, en principe, à équiper les réseaux de dispositifs capables de détecter et mesurer en permanence les défauts qui pourraient s'y produire et capables de séparer automatiquement de la source d'énergie les réseaux ou parties de réseaux où se produit un défaut grave, avant que la puissance dissipée au défaut ait pu s'extérioriser et avant qu'un risque d'électrocution ait pu naître. Ces mesures couvrent donc les trois risques —

— electrocutie, brand, mijngas — die wij hierboven hebben aangehaald.

électrocution, incendie, grisou — que nous avons évoqués.

HOOFDSTUK II.

BESCHRIJVING VAN DE MIDDELEN OM DE BESCHERMING DER ONDERGRONDSE NETTEN TE VERZEKEREN

§ 1. De gloeilampen en de voltmeters voor aanduiding van de potentiaal fase- α rde (fig. 1 en 2).

Deze toestellen verwittigen wanneer een defect zich geleidelijk voordoet, maar de aanduidingen die zij geven zijn zeer wisselvallig en bijgevolg moeilijk

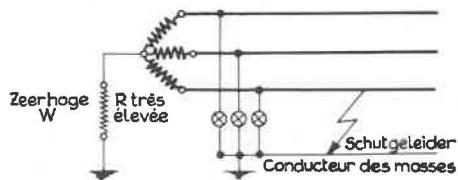


Fig. 1.

te interpreteren. Het gevaar geboden door een ernstig, plotseling optredend defect nemen zij niet weg. In feite controleren zij de netten slechts op een onvolmaakte wijze, maar beschermen ze niet. Wij vermelden ze enkel voor memorie en omdat het feit dat men ze gebruikt heeft, aantoon dat men sedert lang de noodwendigheid aangevoeld heeft de isolatie der netten op permanente wijze te bewaken.

§ 2. Toestellen berustend op de controle van de potentiaal van het nulpunt wanneer dit laatste geïsoleerd is (fig. 3 en 4).

De nauwkeurigheid van deze toestellen is zeer veranderlijk volgens de toestand en de uitbreiding van het net. Overigens wordt de potentiaal van het nulpunt beïnvloed door iedere dysymmetrie van het net, ongeacht of deze al dan niet aan een isolatiedefect te wijten is.

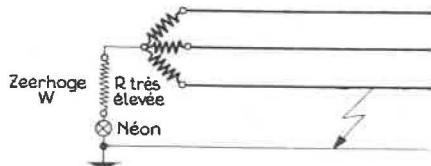


Fig. 3.

Zij kunnen een beschermingsrelais omvatten, maar ingeval dit laatste in werking treedt, wordt het ganse net uitgeschakeld, en deze uitschakeling kan zowel gerechtvaardigd als niet gerechtvaardigd zijn.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION DES MOYENS TENDANT A ASSURER LA PROTECTION DES RESEAUX SOUTERRAINS

§ 1. Les lampes et voltmètres de potentiel phase-terre (fig 1 et 2).

Ces appareils peuvent avertir lorsqu'un défaut survient progressivement, mais les indications qu'ils donnent sont très variables et, par conséquent, difficiles à interpréter. Ils n'écartent pas le danger causé

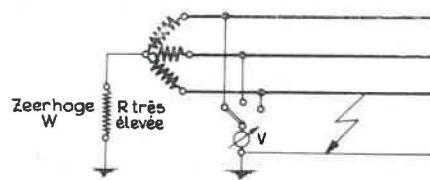


Fig. 2.

par un défaut grave survenant brusquement. En fait, ils ne réalisent que d'une manière imparfaite le contrôle des réseaux et non leur protection. Nous ne les citons que pour mémoire et parce que le fait qu'on y a eu recours traduit le besoin qu'on éprouve depuis longtemps de surveiller en permanence l'isolation des réseaux.

§ 2. Appareils basés sur le contrôle du potentiel du neutre lorsque celui-ci est isolé (fig. 3 et 4).

La précision de ces appareils varie dans des proportions très grandes selon l'état et l'extension du réseau. D'autre part, toute dissymétrie du réseau, qu'elle soit due à un défaut d'isolement ou non, influence le potentiel du point neutre.

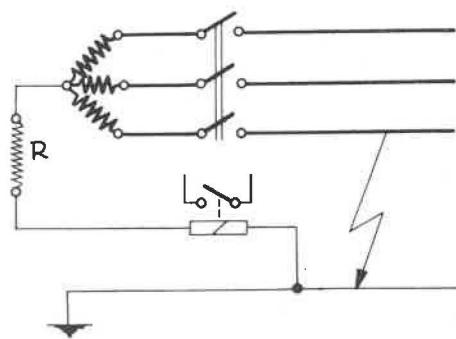


Fig. 4.

Ils peuvent comprendre un équipement de protection, mais en cas de fonctionnement c'est tout le ré-

Om deze redenen zijn deze toestellen praktisch slechts bruikbaar voor de controle van de isolatie der netten, maar niet voor de bescherming van deze laatste. Wegens hun onnauwkeurigheid wordt van hun gebruik afgezien.

§ 3. Toestellen berustend op de controle van de potentiaal van het nulpunt wanneer dit laagste lang een weerstand met de aarde is verbonden (fig. 4).

Aan deze toestellen hebben de HH. Vielledent, Jourdan en Bronner een grondige studie gewijd voor netten op 500 V.

De veranderlijken welke dienen bepaald te worden zijn de waarde van de weerstand tussen het nulpunt en de aarde, de gevoeligheid van de te gebruiken relais en de grenzen tussen dewelke de weerstand van een defect dat de uitschakeling veroorzaakt, schommelt, wanneer het onevenwicht van de netcapaciteit verandert binnen de grenzen die men in de praktijk kan ontmoeten.

Als besluit van deze studie wordt betoogd dat een degelijke bescherming kan bekomen worden wanneer de weerstand nulpunt-aarde vastgesteld is op 1.000 ohms en wanneer men relais gebruikt die gevoelig zijn voor stromen van ongeveer 30 mA.

Met zulk een toestel bekomt men nl. de uitschakeling voor defectweerstanden die gewoonlijk schommelen tussen 11.000 en 5.000 ohms, uitzonderlijk tot 3.000 ohms voor zeer grote netten.

Deze toestellen zouden voldoening gegeven hebben in de mijnen van Saarland. Zij verschaffen de voordelen van de verbinding van het nulpunt met de aarde, zonder er de nadelen van te vertonen. Er kan nochtans maar één enkel toestel per net gebruikt worden, zodat er geen selectiviteit bestaat. Zij leveren bovendien het nadeel op dat zij de waarde van de isolatie van het net niet nauwkeurig kunnen bepalen, aangezien de meting tamelijk sterk beïnvloed wordt door de capaciteit van het net.

§ 4. Toestellen berustend op de controle van de potentiaal van een kunstmatig nulpunt (fig. 5).

Deze toestellen, die bestemd zijn voor netten waarvan het nulpunt geïsoleerd is, berusten op een beginsel dat een zekere gelijkenis vertoont met het voorgaande ; sedert 1949 hebben zij aanleiding gegeven tot belangwekkende verwijzenlijkingen, n.l. in Engeland.

Bij één van deze verwijzenlijkingen wordt het kunstmatig nulpunt gevormd door middel van inductanties L. Wanneer een defect optreedt, ontstaat een wisselstroom in de kring die het kunstmatig nulpunt verbindt met de massa. De spanning aan de klemmen van een in de kring geplaatste gelijkrichter schommelt in verhouding met de stroom.

seau qui déclenche et le déclenchement peut être justifié ou ne pas l'être. C'est pourquoi ces appareils ne sont pratiquement utilisables que pour le contrôle des réseaux, mais pas pour la protection de ceux-ci ; leur imprécision tend à les faire disparaître.

§ 3. Appareils basés sur le contrôle du potentiel du neutre lorsque celui-ci est relié à la terre par une résistance (fig. 4).

L'étude de ces appareils a été faite d'une manière approfondie par MM. Vielledent, Jourdan et Bronner pour des réseaux à 500 V.

Les variables à déterminer sont la valeur de la résistance entre neutre et terre, la sensibilité du relais à utiliser et les limites entre lesquelles varie la résistance de défaut qui provoque le déclenchement lorsque le déséquilibre des capacités du réseau varie entre les limites qu'on peut rencontrer dans la pratique.

En conclusion de cette étude, il est établi qu'une protection correcte peut être obtenue lorsque la résistance neutre-terre est fixée à 1.000 ohms, et lorsqu'on utilise des relais sensibles pour des courants de l'ordre de 30 mA.

Avec un dispositif semblable on obtient, notamment, le déclenchement pour des résistances de défaut variant généralement entre 11.000 et 5.000 ohms, exceptionnellement 3.000 ohms pour de très grands réseaux.

Ces appareils auraient donné satisfaction dans les mines de la Sarre. Ils procurent les avantages de la mise à la terre du neutre sans en présenter les inconvénients. Toutefois, il ne peut y avoir qu'un seul appareil par réseau et il n'y a donc pas de sélectivité. Ces appareils ont, en outre, l'inconvénient de ne pas donner la mesure exacte de la valeur de l'isolement du réseau puisque cette mesure est influencée par la capacité du réseau.

§ 4. Appareils basés sur le contrôle du potentiel d'un neutre artificiel (fig. 5).

Ces appareils, conçus pour des réseaux à neutre isolé, sont basés sur un principe qui présente une certaine analogie avec le précédent ; ils ont donné lieu, dès 1949, à des réalisations intéressantes, notamment en Angleterre.

Le neutre artificiel est, dans une de ces réalisations, constitué par des inductances L. En cas de défaut, un courant alternatif s'établit dans le circuit reliant le neutre artificiel à la masse. La tension aux bornes d'un redresseur inséré dans ce circuit varie proportionnellement au courant. Cette tension redressée et négative est appliquée à la grille d'un thyratron excité en permanence ; lorsqu'elle atteint une certaine valeur, le courant d'excitation est inter-

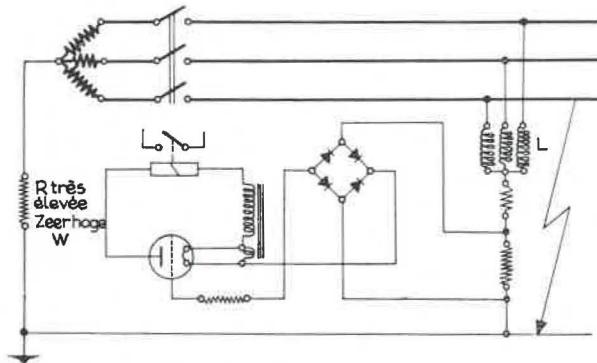


Fig. 5.

Deze gelijkgerichte negatieve spanning wordt toegepast op het rooster van een op permanente wijze geëxciteerde thyratron; wanneer zij een zekere waarde bereikt, wordt de excitatiestroom onderbroken bij de eerste doorgang op nul, d.i. in minder dan 10 msec. Zo kan men de detectie van hoge defectweerstanden fase-massa bekomen. De werkingsdrempel van het relais kan afgesteld worden tussen 10.000 en 40.000 ohms en wanneer de isolatie-weerstand deze drempel benadert, treedt een licht-signal in werking.

De defectstromen belopen nagenoeg 10 à 20 milliampères, zodat het toestel uiteraard veilig is tegen mijngas.

Bij de vermelde vertraging van 10 ms moet dan de tijd gevogd worden die nodig is voor de werking van het tussenliggend relais (60 ms) en van het uitschakelingstoestel (30 ms), dus samen 100 ms.

Er dient opgemerkt dat de capaciteit van het net de werkingsdrempels beïnvloedt; daarom moeten de inductantries van het kunstmatig nulpunt aan de karakteristieken van het net aangepast zijn. Deze inductantries compenseren in zekere mate de capaciteit van het net en doen bijgevolg het electrocutiegevaar afnemen.

Ieder toestel heeft een bepaalde invloedszone die binnen bepaalde grenzen kan worden geregeld. Wanneer het toestel deel uitmaakt van een werkplaatskoffertje, beschermt het niet alleen alles wat stroomafwaarts ligt, maar ook een gedeelte stroom-opwaarts tot op een afstand die dikwijls nagenoeg 200 m bedraagt. Indien het net verscheidene toestellen omvat, is de selectiviteit verzekerd op voorwaarde dat de invloedszones van de verschillende toestellen elkaar niet dekken.

De selectiviteit is bijgevolg niet op volstrekte wijze verzekerd aangezien de zones elkaar moeten dekken, wil men de bescherming van alle delen van het net bekomen. Zoals wij in hoofdstuk III zullen zien, heeft men dit bezwaar verholpen door aan de installatie een inrichting toe te voegen die de selectiviteit op onrechtstreekse wijze verzekert en de wederinschakeling op een defect onmogelijk maakt.

Het ware wenselijk dat deze toestellen zouden aangevuld worden met een inrichting om de isolatie-weerstand te meten.

rompu au premier passage à zéro, soit en moins de 10 millisecondes. On peut ainsi obtenir la détection de résistances de défaut phase-masse élevées. Le seuil de fonctionnement du relais est réglable entre 10.000 et 40.000 ohms et un signal optique avertit lorsque la résistance d'isolement s'approche de ce seuil.

Les courants de fuite sont de l'ordre de 10 à 20 milliampères et l'appareil est par conséquent de sécurité intrinsèque contre le grisou.

Au retard de 10 ms précité, il faut ajouter le temps de fonctionnement du relais intermédiaire (60 ms) et celui du dispositif de coupure (30 ms), ce qui donne au total 100 ms.

Il est à noter que la capacité du réseau influence les seuils de fonctionnement; c'est pourquoi il est nécessaire d'adapter les inductances du neutre artificiel aux caractéristiques du réseau. Ces inductantries compensent dans une certaine mesure la capacité du réseau et tendent, de ce fait, à diminuer le danger d'électrocution.

A chaque appareil correspond une zone d'influence qui est réglable dans certaines limites. Lorsque l'appareil fait partie d'un coffret de chantier, il protège non seulement toute la partie aval, mais aussi une partie amont jusqu'à une distance qui est souvent de l'ordre de 200 m. Si le réseau comporte plusieurs appareils, la sélectivité est assurée à condition que les zones d'influence des divers appareils ne se recouvrent pas. La sélectivité n'est donc pas assurée d'une manière absolue parce que le recouvrement des zones est indispensable si l'on veut que toutes les parties de réseau soient protégées. On a pallié cet inconvénient, ainsi que nous le verrons au Chapitre III, par l'adjonction d'un dispositif assurant la sélectivité d'une manière indirecte et empêchant le réenclenchement sur défaut.

Il serait souhaitable que ces appareils puissent être complétés par un dispositif donnant la mesure de la résistance d'isolement.

§ 5. Toestellen berustend op de controle van een door middel van gelijkrichters gevormd kunstmatig nulpunt (fig. 6).

Deze toestellen verschillen van de vorige door het feit dat het kunstmatig nulpunt gevormd wordt door middel van drie gelijkrichters, derwijze dat in geval van defect een gelijkstroom ontstaat in de kring die het kunstmatig nulpunt langs een meettoestel en een weerstand van 50.000 ohms met de massa verbindt. Deze stroom is zeer zwak en het toestel is dus uiteraard veilig tegen mijngas.

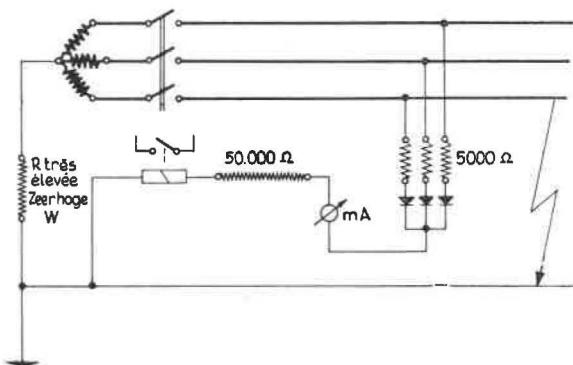


Fig. 6.

Onder het oogpunt van hun werkingskarakteristieken vertonen deze toestellen veel gelijkenis met deze die berusten op het principe van de injectie van een gelijkstroom, waarover wij verder zullen uitwijden. De meting vergt een vertraging van 100 ms, maar zij is onafhankelijk van de capaciteit en de dysymmetrie van het net.

Er dient nochtans opgemerkt dat deze toestellen buiten dienst gesteld worden, wegens gebrek aan stroom, wanneer de contactor waarmee zij verbonden zijn uitgeschakeld is, in tegenstelling met de eigenlijke toestellen met injectie van gelijkstroom, die stroom kunnen ontvangen van een punt gelegen opwaarts van de contactor. Ingeval het net verscheidene toestellen omvat, is de selectiviteit niet verzekerd.

§ 6. Toestellen berustend op de rechtstreekse ampèremetrische meting van een door een detectiescherm opgevangen defectstroom (fig. 7 en 8).

De kabels die voorzien zijn van een collectief detectiescherm kunnen beschermd worden door een toestel dat beïnvloed wordt door de rechtstreekse ampèremetrische meting van een defectstroom.

In dit geval worden de drie fasegeleiders P (fig. 8) en de schutgeleider M ieder omringd door een isolerende huls I, terwijl de detectiegeleider bestaat uit een scherm E in geleidende rubber, dat het geheel omringt en verscheidene geleiders van geringe

§ 5. Appareils basés sur le contrôle de la tension redressée, entre un neutre artificiel et la masse (fig. 6).

Ces appareils diffèrent des précédents par le fait que le neutre artificiel est constitué à l'aide de trois redresseurs, de telle sorte que, en cas de défaut, c'est un courant continu qui s'établit dans le circuit reliant le neutre artificiel à la masse, en passant par l'appareil de mesure et par une résistance de 50.000 ohms. Ce courant est extrêmement faible et l'appareil est donc de sécurité intrinsèque contre le grisou.

Au point de vue de leurs caractéristiques de fonctionnement, ces appareils se rapprochent fort de ceux qui sont basés sur le principe d'injection de courant continu, sur lequel nous nous étendrons ci-après. La mesure exige un retard de 100 ms, mais elle est pratiquement indépendante de la capacité et des dysymétries du réseau.

Il y a toutefois lieu de remarquer que ces appareils sont hors service, par défaut d'alimentation, lorsque le contacteur auquel ils sont accouplés est déclenché, contrairement aux appareils à injection de courant continu proprement dits, lesquels peuvent être alimentés par une prise située en amont du contacteur. Si le réseau comporte plusieurs appareils, la sélectivité n'est pas assurée.

§ 6. Appareils basés sur la mesure ampèremétrique directe d'un courant de défaut capté par un écran détecteur (fig. 7 et 8).

Les câbles qui sont munis d'un écran collectif de détection peuvent être protégés par un dispositif influencé par la mesure ampèremétrique directe d'un courant de fuite.

Dans ce cas, les trois conducteurs de phase P et le conducteur des masses M sont entourés chacun de gaines isolantes I, et le conducteur de détection est constitué par un écran E en caoutchouc conducteur, entourant l'ensemble et garni de plusieurs conducteurs de faible section assurant la conductivité

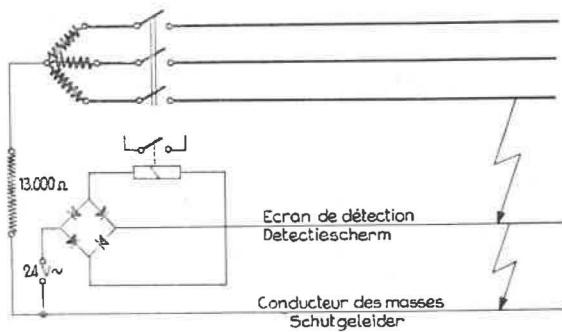


Fig. 7.

sectie bevat, ten einde de longitudinale conductiviteit van het scherm te verzekeren.

Een geringe wisselspanning, bij voorbeeld 24 volt, wordt ingelegd tussen het scherm en de schutgeleider. Een relais voor gelijkstroomdetectie, dat werkt voor een uiteraard mijngasveilige stroom ($\pm 12 \text{ mA}$), is door tussenkomst van een gelijkrichter aan de kring scherm-schutgeleider verbonden.

In geval van beschadiging door een buiten de kabel optredende oorzaak, ontstaat in de kabel een contact scherm-aarde of scherm-schutgeleider; in beide gevallen wordt de uitschakeling bekomen zodra de defectweerstand onder een bepaalde grens van ongeveer 600 ohms valt.

De detectietijd zou slechts 10 à 25 ms bedragen, naar gelang van het ogenblik ten opzichte van de omwisseling, dus maximum 45 ms, indien men rekening houdt met de tijd die vereist is voor de werking van de contactor.

Een defect tussen twee fasen of tussen een fase en de massa wordt noodzakelijk voorafgegaan door een defect fase-scherm want de geleidende rubber van het scherm beslaat de ruimte tussen de geleiders. Welnu, een defect fase-scherm doet een stroom ontstaan waarvan de kring gesloten wordt door verbinding van het nulpunt met de aarde door middel van een hoge weerstand, bv. 13.000 ohms. Deze stroom beïnvloedt het vermeld relais en veroorzaakt de uitschakeling.

Dit toestel wordt bij een werkplaatskoffertje gevoegd, hetwelk dan dient als veiligheidsblok voor het op afstand besturen van beweegbare tuigen.

Indien men ontijdige uitschakelingen wil vermijden, moet het scherm goed geïsoleerd en beschermd zijn, zoniet kan men in een vochtig midden moeilijkheden hebben. Met dit voorbehoud schijnt het stelsel wel belangwekkend te zijn.

Schikkingen zijn getroffen tegen de overspanning die kan voorkomen bij een dubbel defect, enerzijds tussen een fase en het scherm, en anderzijds tussen een andere fase en de massa opwaarts van het werkplaatskoffertje, in welk geval de detectiekring zou onderworpen zijn aan de samengestelde spanning tussen fasen.

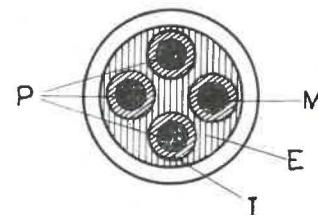


Fig. 8.

longitudinale du caoutchouc conducteur. Une tension alternative faible est appliquée entre l'écran et le conducteur des masses, par exemple 24 V.

Un relais de détection en courant continu, fonctionnant pour un courant de sécurité intrinsèque ($\pm 12 \text{ mA}$), est relié au circuit écran-conducteur des masses par l'intermédiaire d'un redresseur.

En cas de détérioration due à une cause extérieure au câble, il se produit dans le câble un contact écran-terre ou écran-conducteur des masses. Dans les deux cas, la coupure est obtenue dès que la résistance de défaut tombe en-dessous d'un seuil de l'ordre de 600 ohms. Le retard nécessaire pour la détection ne s'élèverait qu'à 10 à 25 ms selon le moment par rapport à l'alternance, soit au maximum 45 ms en comptant le temps nécessaire au fonctionnement du contacteur.

Un défaut entre phases ou entre une phase et la masse doit nécessairement être précédé d'un défaut phase-écran, parce que le caoutchouc conducteur de l'écran occupe l'espace existant entre les conducteurs. Or, un défaut phase-écran donne lieu à un courant dont le circuit de bouclage est obtenu en reliant le neutre à la terre par une résistance élevée, par exemple 13.000 ohms. Ce courant influence le relais précité et provoque la coupure. Ce dispositif est conçu pour servir de bloc de sécurité à incorporer aux coffrets de chantier destinés à la commande à distance des engins mobiles.

Si l'on veut éviter des déclenchements intempestifs, il faut que l'écran soit bien isolé et protégé, sans quoi on risque d'avoir des difficultés en milieu humide. Moyennant cette réserve, le système paraît intéressant.

Des dispositions sont prévues pour éviter les inconvénients résultant d'un double défaut, d'une part entre une phase et l'écran, d'autre part entre une autre phase et la masse à l'amont du coffret de chantier, cas où le circuit de détection est soumis à la tension composée entre phases.

§ 7. Beschermingstoestellen berustend op het principe van de ampèremetrische uitschakeling door homopolaire stroom (fig. 9).

Deze toestellen verzekeren, door middel van een magnetische torus, (in Engeland « core-balance » genoemd) de detectie van de vectoriële resultante van de stromen der drie fasegeleiders, welke resultante « homopolaire stroom » genoemd wordt.

§ 7. Appareils de protection basés sur le déclenchement ampèremétrique par courant homopolaire (fig. 9).

Ces appareils détectent, à l'aide d'un tore magnétique (dénommé en Angleterre « core-balance »), la résultante vectorielle des trois courants passant dans les trois conducteurs de phase, résultante qui est dénommée « courant homopolaire ».

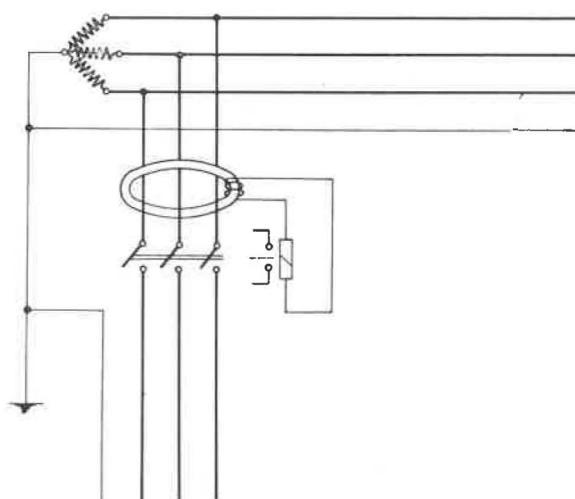


Fig. 9.

In Engeland en in Nederland worden zij op grote schaal gebruikt, met nulpunt aan de aarde en met een relais gevoelig voor 1, 2, of dikwils 5 A. Deze toestellen zijn dus niet uiteraard veilig tegen mijn-gas. Wegens hun geringe gevoeligheid treden zij slechts in werking bij zeer ernstige defecten.

Een « core-balance » kan op elke vertakking van het net geplaatst worden ; enkel de vertakking waarin zich een defect voordoet, wordt automatisch uitgeschakeld, zodat de selectiviteit verzekerd is.

De bescherming tegen de gevaren voor brand en mijngas is echter niet gewaarborgd, want, daar het nulpunt met de aarde verbonden is, kan het aan het defect ontwikkeld vermogen zeer groot zijn. Men verhelpt dit in zekere mate door het inlassen van een weerstand tussen het nulpunt en de aarde, waarbij de kortsluitingsstroom fase-aarde tot een bepaalde waarde, bv. 30 A, beperkt wordt. De ramp die op 22 april 1959 in de mijn Walton, in Engeland, voorviel, wijst op de ernst van dit gevaar.

Men kan de gevoeligheid verhogen, bv. tot 0,5 A ; in dit geval is de bescherming beter, maar is de selectiviteit niet meer verzekerd.

Bij geïsoleerde nulpunten kan de « core-balance » een degelijke bescherming verzekeren op voorwaarde dat de gevoeligheid nog verhoogd wordt tot 0,5 A op 6.000 V, en tot 0,2 zelfs 0,1 A op 500 V, en op voorwaarde dat het nulpunt door middel van een capaciteit met de aarde wordt verbonden, ten einde de impedantie van de sluiikring der homopolaire

Ils sont utilisés en Angleterre et en Hollande sur une large échelle, avec neutre à la terre et avec des relais d'une sensibilité de 1, 2 ou généralement 5 A. Ces dispositifs ne sont donc pas de sécurité intrinsèque contre le grisou. En raison de leur faible sensibilité, ils ne fonctionnent que pour des défauts très graves.

Un « core-balance » étant placé sur chaque antenne du réseau, seule l'antenne en défaut déclenche et la sélectivité est donc assurée.

La protection contre les dangers « incendie » et « grisou » n'est toutefois pas garantie, car, le neutre étant à la terre, l'énergie dissipée au défaut peut être extrêmement élevée. On y remédie dans une certaine mesure en introduisant une résistance entre le neutre et la terre, limitant le court-circuit phaseterre à une valeur déterminée, par exemple 30 A. La catastrophe survenue le 22 avril 1959 à la mine Walton, en Angleterre, confirme la gravité de ce danger.

On peut augmenter la sensibilité, par exemple jusqu'à 0,5 A ; dans ce cas, la protection est meilleure, mais alors la sélectivité n'est plus assurée.

En neutre isolé, le « core-balance » peut fournir une protection correcte, à condition d'augmenter encore la sensibilité jusqu'à 0,5 A en 6.000 V, et jusque 0,2, voire 0,1 A, en 500 V, et à condition de relier le point neutre à la terre par l'intermédiaire d'une capacité, afin de diminuer l'impédance du circuit de bouclage des courants homopolaires. Toute-

stromen te verminderen. Met die oplossing verliest men echter de selectiviteit.

De tabellen gepubliceerd door de Heer Bihl (*« Annales des Mines de France »*, maart 1957) tonen aan dat men met een toestel op basis van de ampèremetrische detectie van de homopolaire stroom, in een net op 500 V waarvan het nulpunt met de aarde verbonden is door een capaciteit van 3 μF , de uitschakeling bekijkt bij een defectweerstand fase-aarde van 2.700 ohms (klein net) à 1.760 ohms (groot net), met een relais dat gevoelig is op 0,1 A ; die cijfers dalen respectievelijk tot 1.080 ohms en 710 ohms met een relais dat gevoelig is op 0,2 A, hetgeen desnoods nog bevredigend zou kunnen zijn. Aangezien de selectiviteit des te minder verzekerd is naarmate de gevoeligheid groter is, neemt men liever deze laatste gevoeligheid.

Nochtans, wanneer het capacitief onevenwicht van het net groot is, kunnen zich in zekere gevallen ontijdige uitschakelingen met nuldefect voordoen. Om een degelijke werking te bekomen, zou de schutgeleider daarom in de as der kabels, ofwel buiten de kabels moeten liggen, opdat deze laatste volkomen symmetrisch zouden zijn. Aangezien dit gewoonlijk niet het geval is, begrijpt men dat het gebruik van die toestellen in de mijnen waar het nulpunt der netten geïsoleerd is, geen uitbreiding heeft kunnen vinden.

Het gebruik van buiten de kabels gelegde schutgeleiders schijnt overigens niet aan te bevelen wegens het risico van diefstal. De veiligheid tegen electrocutie vereist immers in de eerste plaats een degelijke equipotentiële verbinding der massa's. Men voert hiertegen aan dat de huidige toestellen voor de controle der isolatie de uitschakeling van het net kunnen teweegbrengen voor defectweerstanden die veel groter zijn dan de weerstand die er bv. kan bestaan tussen een ondersnijmachine of een geplantserd vervoertoestel en de aarde en dat deze toestellen bijgevolg evengoed werken wanneer de equipotentiële verbinding der massa's onderbroken is als wanneer zij gaaf is. Dit is juist, maar toch schijnt het niet aan te bevelen, of althans zeer voorbarig te zijn, de fundamentele regel der equipotentiële verbinding der massa's om deze reden prijs te geven.

§ 8. Toestellen berustend op het principe van een directionele bescherming met homopolaire stroom (fig. 10a, 10b, 10c).

Ten einde een volmaakte selectiviteit te bekomen, heeft de Heer Bihl een stelsel uitgedacht dat niet alleen berust op de waarde van de homopolaire stroom, maar bovendien op het feit dat de homopolaire stroom in een vertakking waarin een defect bestaat en de homopolaire stroom die door het defect in de gezonde takken veroorzaakt wordt, een tegengestelde zin hebben. In dit stelsel worden de

fois, en adoptant pareille solution, on perd la sélectivité.

Les tableaux publiés par M. Bihl (*Annales des Mines de France*, mars 1957) font apparaître qu'avec un appareil basé sur la détection ampèremétrique des courants homopolaires et dans un réseau à 500 V, point neutre relié à la terre par une capacité de 3 μF , on obtient le déclenchement pour une résistance de défaut phase-terre de 2.700 ohms (petit réseau) à 1.760 ohms (grand réseau) avec un relais sensibilisé à 0,1 A. Ces chiffres descendent respectivement à 1.080 ohms et 710 ohms avec un relais sensibilisé à 0,2 A, ce qui pourrait à la rigueur encore être satisfaisant. Comme la sélectivité est d'autant moins assurée que la sensibilité est grande, on choisit plutôt cette dernière sensibilité.

Il peut, d'autre part, se produire dans certains cas des déclenchements intempestifs à défaut nul lorsque le déséquilibre capacitif du réseau est grand. C'est pourquoi un fonctionnement correct postule que le conducteur assurant la continuité des masses soit disposé dans l'axe des câbles ou soit extérieur aux câbles de manière que ceux-ci soient parfaitement symétriques. Comme ce n'est généralement pas le cas, on conçoit que l'utilisation de ces appareils n'ait pas pu être étendue dans les mines où le point neutre des réseaux est isolé.

D'ailleurs, l'usage de conducteurs des masses extérieurs aux câbles ne paraît pas recommandable, surtout en raison du risque de vol. En effet, la sécurité contre l'électrocution postule avant tout une liaison équipotentielle des masses correcte. On objecte à cela que les contrôleurs d'isolement actuels peuvent provoquer le déclenchement du réseau pour des résistances de défaut fort supérieures à la résistance qui peut exister, par exemple, entre une haieuse et un convoyeur blindé et la terre et que, par conséquent, ces appareils fonctionnent tout aussi bien lorsque la liaison équipotentielle des masses est interrompue que lorsqu'elle ne l'est pas. Ceci est exact, mais il paraît néanmoins peu recommandable, ou tout au moins fort prématûr, d'abandonner pour ce motif la règle fondamentale de la liaison équipotentielle des masses.

§ 8. Appareils basés sur une protection directionnelle du courant homopolaire (fig 10a, 10b et 10 c).

Afin d'assurer une sélectivité parfaite, M. Bihl propose un système basé, non seulement sur la valeur du courant homopolaire, mais, en plus, sur le fait que le courant homopolaire dans l'antenne en défaut est de sens contraire au courant homopolaire causé par le défaut dans les antennes restées saines. Dans ce système, les relais sont influencés, non seulement par le courant homopolaire, mais aussi par

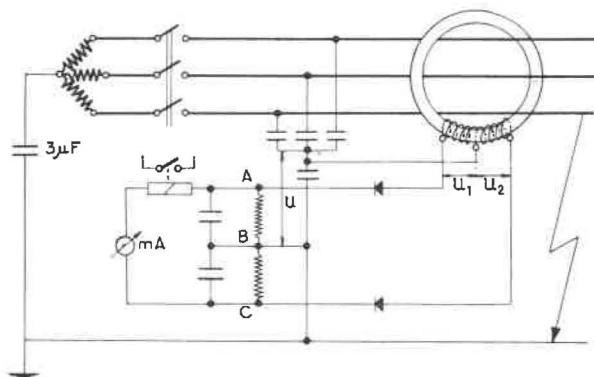


Fig. 10a.

relais beïnvloed, niet alleen door de waarde van de homopolaire stroom, maar ook door de spanning van een kunstmatig nulpunt dat op iedere vertakking door middel van capaciteiten verwezenlijkt wordt, alsook door de tussen deze spanning en de homopolaire stroom bestaande verschuiving.

In stede van een gewoon ampèremetrisch relais, gaat het hier om een relais werkend op het vermogen. De Heer Bihl bewijst dat men er in sommige gevallen voordeel bij heeft wattmetrische relais te gebruiken, die beïnvloed worden door het actief homopolair vermogen, en in andere gevallen varmetrische relais, die beïnvloed worden door het reactief homopolair vermogen. Sedert 1957 worden dergelijke toestellen in Frankrijk met welslagen gebruikt. De afbeeldingen 10b en 10c tonen de samenstelling der spanningen aan, respectievelijk voor een net in goede staat en voor een net waar een defect bestaat.

Met een net op 500 V, in evenwicht ten opzichte van de capaciteiten, het kunstmatig nulpunt door tussenkomst van een capaciteit van 3 μ F aan de aarde verbonden, en met een varmetrisch relais, bekomt men de uitschakeling van de defecte vertakking voor de volgende defectweerstanden :

Met een gevoeligheid van 10 Var (ongev. 0,1 A) :

klein net : 2.600 ohms
groot net : 1.700 ohms

Met een gevoeligheid van 41 Var (ongev. 0,2 A) :

klein net : 1.000 ohms
groot net : 650 ohms

De temporisatie schommelt van 200 msec tot 1,5 sec.

De selectiviteit is volkomen verzekerd.

Er weze opgemerkt dat de berekeningen gemaakt werden voor netten in evenwicht ten opzichte van de capaciteiten. Indien er een capacitief onevenwicht bestaat, werkt dit in dezelfde zin als een defect, wat met een zeer gevoelige regeling uitschakelingen op nuldefect kan veroorzaken. Daarom mag men niet de grootste gevoeligheid kiezen, wanneer de kabels niet symmetrisch zijn.

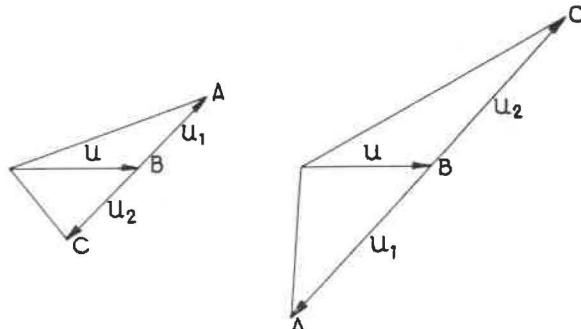


Fig. 10 b et c.

la tension d'un point neutre artificiel réalisé sur chaque antenne à l'aide de capacités, et par le déphasage existant entre cette tension et le courant homopolaire. Au lieu d'un simple relais ampèremétrique, il s'agit donc ici d'un relais de la catégorie des relais de puissance. M. Bihl démontre que, dans certains cas, on a intérêt à utiliser un relais wattmétrique, influencé par la puissance homopolaire active, dans d'autres cas, un relais varmétrique, influencé par la puissance homopolaire réactive. Des appareils de ce genre sont utilisés avec succès en France depuis 1957. Les figures 10b et 10c montrent la composition des tensions respectivement pour un réseau sain et pour un réseau où existe un défaut.

A titre d'exemple, on obtient avec un réseau à 500 V, équilibré par rapport aux capacités, neutre artificiel relié à la terre par l'intermédiaire d'une capacité de 3 μ F, et avec un relais varmétrique, le déclenchement de l'antenne en défaut pour les résistances de défaut suivantes :

Avec sensibilité 10 Var (environ 0,1 A) :

petit réseau : 2.600 ohms
grand réseau : 1.700 ohms

Avec sensibilité 41 Var (environ 0,2 A) :

petit réseau : 1.000 ohms
grand réseau : 650 ohms

La temporisation varie entre 200 ms et 1,5 s.

La sélectivité est assurée d'une manière absolue.

Notons que les calculs ont été effectués pour des réseaux équilibrés. S'il existe un déséquilibre capacitif, celui-ci agit dans le même sens qu'un défaut et pourrait, avec un réglage très sensible, provoquer le déclenchement à défaut nul. C'est pourquoi on ne peut pas choisir la plus haute sensibilité lorsque les câbles ne sont pas symétriques.

§ 9. Toestellen berustend op het principe van injectie van gelijkstroom in het net (fig. 11 en 12).

a) **Toestellen voor de controle der isolatie.**

Deze toestellen bepalen op permanente wijze door middel van gelijkstroom de globale weerstand tussen de massa en het net in zijn geheel, d.w.z. de waarde van de isolatie van het net. Hun werking is bijgevolg onafhankelijk van de capaciteiten van het net.

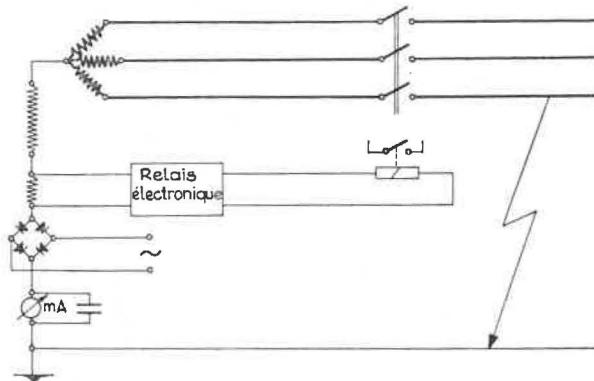


Fig. 11.

De bron van gelijkstroom is enerzijds verbonden aan een fase van het net, ofwel aan het nulpunt van het net (fig. 11), gebeurlijk aan een kunstmatig nulpunt (fig. 12), en anderzijds aan de kring der massa's. Sommige constructeurs oordelen dat een gelijkspanning van 30 V voldoende is. Andere verkiezen een spanning van ongeveer 100 V, zelfs 200 V, ten einde de storende invloed van gebeurlijke slechte contacten in de kringen te verminderen.

De stromen worden beperkt door zeer hoge weerstanden; zij zijn dus zeer zwak, slechts enkele mA, zodat de toestellen uiteraard veilig zijn tegen mijn-gas.

Een in serie met de bron geplaatst meettoestel duidt de globale defectstroom aan en bijgevolg de waarde van de isolatie. De schommelingen van de spanning aan de klemmen van een weerstand, evenredig met de schommelingen van de stroom, kunnen anderzijds, na versterking, een relais besturen, dat een optisch of een acoustisch signaal, of beide tegelijk, in werking stelt wanneer de alarmgrens bereikt is, en eventueel een tweede relais dat de bescherming verwezenlijkt door het net automatisch uit te schakelen wanneer de isolatie beneden een tweede grens daalt, die wij uitschakelingsgrens zullen noemen.

Ten einde het slingeren van de relais te beletten, moet men toestellen gebruiken die werken door het kippen van alles tot niets, bv. een triode met warme kathode, zoals een thyratron, of beter nog, kippers met transistoren, ook « triggers » genaamd. Wanneer men electronenbuizen gebruikt, moet men een

§ 9. Appareils basés sur le principe de l'injection de courant continu dans le réseau.

a) **Contrôleurs d'isolement (fig. 11 et 12).**

Ces appareils déterminent, d'une manière permanente, à l'aide d'un courant continu, la résistance globale existante entre l'ensemble du réseau et le circuit des masses, c'est-à-dire la valeur de l'isolement du réseau. Leur fonctionnement est donc indépendant des capacités du réseau.

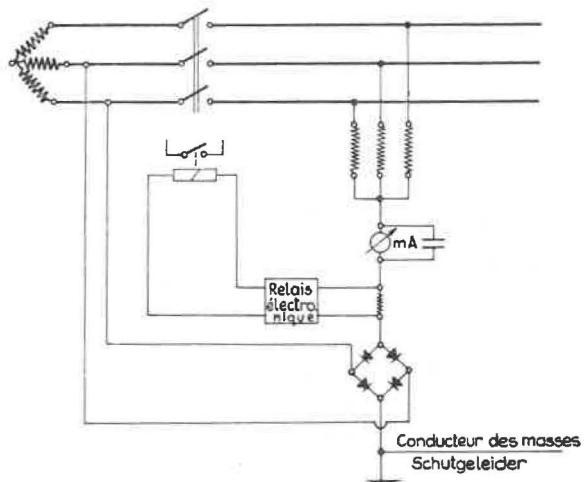


Fig. 12.

La source de courant continu est raccordée, d'une part, à une phase du réseau, ou bien au neutre du réseau (fig. 11), éventuellement à un neutre artificiel (fig. 12) et, d'autre part, au circuit des masses. Certains constructeurs estiment qu'une tension continue de 30 V suffit. D'autres choisissent une tension de l'ordre de 100 V, même 200 V, afin de diminuer l'influence perturbatrice des mauvais contacts pouvant exister dans les circuits.

Les courants, limités par des résistances élevées, sont très faibles, de l'ordre de quelques milliampères, ce qui permet de rendre l'appareillage de sécurité intrinsèque contre le grisou.

Un appareil de mesure, placé en série avec la source, indique le courant de fuite global et, par conséquent, la valeur de l'isolement. D'autre part, la variation de tension aux bornes d'une résistance, proportionnelle à la variation du courant, peut, après amplification, commander un relais actionnant un signal acoustique ou optique, ou les deux, lorsque le seuil d'alerte est atteint, et éventuellement un second relais, assurant la protection par séparation du réseau de la source, lorsque l'isolement tombe en dessous d'un second seuil que nous appellerons seuil de déclenchement.

Afin d'éviter le pompage des relais, il faut utiliser des dispositifs fonctionnant par basculement de tout à rien, par exemple des triodes à cathode chaude telles que les thyratrons, ou mieux des bas-

voldoende levensduur voorzien, alsook een schikking die een positieve elektrische veiligheid verzekert, d.w.z. dat gelijk welke storing het relais moet doen werken ; de electronenbuizen dienen dus normaal onder excitatie te staan, terwijl de relais door een onderbreking van de excitatie moeten werken. Wegens de grote schommelingen van de netspanning, wordt de thyratron thans evenwel vervangen door galvanometrische relais, alhoewel deze oplossing iets duurder is.

Ten einde de nauwkeurigheid van de meting te verzekeren, moet de injectiespanning geregulariseerd worden, hetgeen men bv. kan bekomen door middel van een diode met koude kathode, tenzij men een meetbrug gebruikt waarvan de uitslagen onafhankelijk zijn van de spanning.

Indien men transistoren gebruikt, moeten deze ongevoelig gemaakt worden voor de schommelingen van de temperatuur ; dit bekomt men door middel van weerstanden met een aangepaste karakteristiek om het nodige compenserend effect te bekom.

De storende invloed van de wisselstromen en van de overgangsverschijnselen moet weggenomen worden door middel van een filter. Deze bevat nl. een capaciteit die, bij detectie van een defect, aanleiding geeft tot een vertraging gelijk aan de tijd die nodig is om de capaciteit te laden. Die vertraging is veranderlijk in functie van het verschil dat op het ogenblik van de detectie bestaat tussen de waarden van de isolatie van het net vóór en na het verschijnen van het defect. Men moet also gewoonlijk rekenen met een vertraging van 100, soms 150 msec, welke de tijd vormt die nodig is om de meting te verrichten. Naar gelang van de aard van het uitschakeltoestel, kan dus de snelste bescherming pas bekomen worden na 140 of 120 msec.

De meeste toestellen zijn bovendien uitgerust met een temporisatiemiddel dat regelbaar is bv. van 100 msec tot 1 sec.

Men temporeert in de praktijk dikwijls op 500 msec, om de eventuele invloed van kortstondige aardingen te vermijden, maar het ware te wensen dat men zulk een duidelijk overdreven temporisatie zoveel mogelijk zou verminderen.

De toestellen zijn gewoonlijk ook voorzien van een schikking die toelaat een kunstmatig defect van een gekende waarde in te schakelen. Indien men het net afsnijdt op het ogenblik dat men het kunstmatig defect meet, terwijl al de andere voorwaarden onveranderd blijven, nl. de injectie van gelijkstroom in het net, kan men also de nauwkeurigheid van de aanduidingen van het meettoestel naar believen controleren.

De meetschaal van deze toestellen is zeer uitgebreid, terwijl de alarm- en uitschakelingsgrenzen zeer gemakkelijk kunnen worden geregeld. Men zou bv. als alarmgrens een waarde van ongeveer 50.000 ohms kunnen kiezen en voor de uitschakelingsgrens

cules à transistors aussi appelées « triggers ». Lorsqu'on utilise des tubes, il faut prévoir des éléments à durée de vie suffisamment longue, ainsi qu'une disposition à sécurité électrique positive, c'est-à-dire que toute panne doit donner lieu au fonctionnement des relais ; les tubes seront donc normalement excités et les relais fonctionneront par interruption de l'excitation.

Toutefois, en raison des grandes variations de la tension des réseaux, on remplace actuellement les thyratrons par des relais galvanométriques, bien que cette solution soit un peu plus coûteuse.

Afin d'assurer la précision de la mesure, la tension d'injection doit être régularisée, ce qui peut être obtenu, par exemple, à l'aide d'une diode à cathode froide, à moins qu'on n'utilise un pont de mesure donnant des résultats indépendants de la tension.

Si l'on utilise des transistors, ceux-ci doivent être rendus insensibles aux variations de température, ce qui se fait à l'aide de résistances présentant une caractéristique appropriée en vue d'obtenir l'effet compensatoire voulu.

L'influence perturbatrice des courants alternatifs et des phénomènes transitoires doit être éliminée à l'aide d'un filtre. Celui-ci comporte une capacité qui, lors de la détection d'un défaut, donne lieu à un retard égal au temps de chargement de la capacité. Ce retard est variable en fonction de l'écart qui existe, au moment de la détection, entre les valeurs de l'isolement du réseau avant et après apparition du défaut. Il faut compter généralement sur un retard de 100, parfois 150 ms, retard qui constitue le temps nécessaire pour la mesure. Selon l'appareil de coupure utilisé, la protection la plus rapide peut ainsi être obtenue en 140 ou 120 ms.

La plupart des appareils sont, en outre, munis d'un dispositif de temporisation, réglable par exemple entre 100 ms et 1 sec. On tempore en pratique souvent à 500 ms pour éviter l'influence éventuelle de terres intermittentes, mais il serait souhaitable qu'on réduise autant que possible cette temporisation manifestement excessive.

Les appareils sont aussi généralement munis d'un dispositif permettant l'insertion d'un défaut artificiel d'une valeur connue. Si l'on isole le réseau au moment où l'on mesure le défaut artificiel, tout en maintenant les autres conditions, et notamment l'injection de la tension continue dans le réseau, inchangées, on peut ainsi contrôler à volonté l'exactitude des indications de l'appareil de mesure.

La gamme de mesure de ces appareils est très étendue et le réglage des seuils d'alerte et de déclenchement est aisément. On pourrait, par exemple, choisir comme seuil d'alerte une valeur de l'ordre de 50.000 ohms et comme seuil de déclenchement une valeur

een waarde van 15.000 ohms ; deze waarden kunnen verminderd worden, bv. respectievelijk tot 15.000 en 5.000 ohms (desnoods tot 2.500 ohms), wanneer de isolatieomstandigheden moeilijk zijn. Het terug inschakelen is gewoonlijk niet mogelijk zolang men geen verhoging van de isolatie bekomen heeft, bv. 5.000 ohms boven de uitschakelingsgrens.

Het acoustisch signaal moet kunnen stilgelegd worden, maar niet het optisch signaal. Dit laatste zou pas mogen verdwijnen wanneer het defect opgehouden heeft en in dit geval moet het acoustisch signaal automatisch terugkomen in de stand gereed om te werken.

Het kan ook van belang zijn een signaal van vóóralarm te voorzien, dat bv. op 50.000, 75.000 of 100.000 ohms werkt, maar hiervoor moet dan een derde relais voorzien worden.

De alarm- en uitschakelingsrelais kunnen, door aansluiting op een telefoonnet, het alarm ook op grote afstand geven.

In een bepaalde mijn wordt de meting van de isolatie van al de ondergrondse netten op permanente wijze op de bovengrond automatisch geregistreerd. Het hoofd van de electriciteitsdienst kan alzo van op de bovengrond de toestand van de isolatie van zijn netten volgen en alleen op het zicht van de vorm der diagrammen kan hij dikwijls de plaats van een eventueel defect bepalen, alsook zich rekenschap geven van de gang der exploitatie in de verschillende geëlektrificeerde werkplaatsen. Deze schikking biedt veel voordeel, maar zij vereist een kabel met verscheidene geleiders tot op de bovengrond ; de signalen kunnen ook door slechts twee geleiders worden overgemaakt, maar dan op verschillende frekwenties, hetgeen tamelijk kostelijke toestellen vergt.

Er dient opgemerkt dat men slechts één enkel toestel op elk net kan plaatsen, want indien er twee waren, zouden zij elkaar detecteren.

Indien het toestel het ganse net beschermt, wat gewoonlijk het geval is, zal het geplaatst worden in het onderstation. Is de uitschakelingsgrens bereikt, dan wordt bijgevolg het ganse net uitgeschaakeld. Het toestel is dus niet selectief, maar wij zullen verder zien dat men dit gebrek op een zeer handige wijze heeft verholpen.

Een belangrijke hoedanigheid van deze toestellen bestaat in het feit dat zij, zoals die bedoeld onder § 4, het net kunnen controleren zelfs wanneer dit laatste niet onder spanning staat, wat toelaat het inschakelen op een defect te beletten.

Men heeft aan de toestellen van dit type verweten dat zij de werking van de koffertjes voor afstandsbesturing storen, daar deze laatste eveneens gelijkgerichte stromen gebruiken, maar thans bestaan er schikkingen om dit euvel te vermijden.

De eerste toestellen verschenen op de markt in 1946 ; talrijke mijnen bezitten er sedert verscheidene

de 15.000 ohms ; ces valeurs peuvent être réduites par exemple, respectivement à 15.000 ohms et à 5.000 ohms (voire 2.500 ohms) lorsque les conditions d'isolement sont difficiles. Le réenclenchement n'est généralement pas possible avant d'avoir obtenu un certain relèvement de l'isolement, par exemple 5.000 ohms au-dessus de la valeur de déclenchement.

Le signal acoustique doit pouvoir être arrêté, mais pas le signal optique. Ce dernier ne devrait disparaître que lorsque le défaut est supprimé et, dans ce cas, le signal acoustique doit être remis automatiquement dans la position le rendant prêt à fonctionner.

Il peut aussi être intéressant de prévoir un signal de préalerte fonctionnant, par exemple, à 50.000, 75.000 ou 100.000 ohms, mais il faut alors prévoir un troisième relais.

Des relais d'alerte et de déclenchement peuvent aussi, par une liaison avec un réseau téléphonique, donner l'alerte par sonnerie téléphonique en un endroit éloigné.

Dans certaine mine, la mesure de l'isolement de tous les réseaux du fond est enregistrée en permanence à la surface. Le chef du service électrique peut ainsi suivre de la surface l'état de l'isolement de ses réseaux et, sur simple vue de l'allure des diagrammes, il peut souvent localiser un défaut éventuel et aussi se rendre compte de la marche de l'exploitation dans les divers chantiers électrifiés. Cette disposition présente beaucoup d'intérêt, mais elle exige la pose d'un câble à conducteurs multiples jusqu'au jour, ou bien la transmission des divers signaux par les mêmes conducteurs, mais à des fréquences différentes, ce qui nécessite un appareillage assez coûteux.

Il est à remarquer qu'on ne peut brancher qu'un seul appareil sur chaque réseau, car s'il y avait deux appareils, ceux-ci se détecteraient mutuellement.

Si l'appareil protège le réseau entier, comme c'est généralement le cas, il sera placé à la sous-station. Lorsque le seuil de déclenchement est atteint, c'est le réseau entier qui sera séparé de sa source. L'appareil n'est donc pas sélectif, mais nous verrons plus loin qu'on a remédié à ce défaut d'une manière très habile.

Une importante qualité de ces appareils réside dans le fait que, contrairement à tous les précédents, il peuvent contrôler le réseau même lorsqu'il n'est pas sous tension, ce qui empêche les enclenchements sur défaut.

On a reproché à ce genre d'appareils de perturber le fonctionnement des coffrets de télécommande, lesquels exigent l'utilisation de courants redressés, mais il existe actuellement des dispositions qui permettent d'éviter cet inconveniant.

Les premiers appareils apparurent sur le marché en 1946 ; de nombreuses mines en possèdent depuis plusieurs années et les utilisent fréquemment avec

jaren en gebruiken ze dikwijls met uitschakelingsrelais, zonder dat dit tot enig bijzonder bezwaar heeft aanleiding gegeven. Thans kunnen de verschillende constructeurs zowel in België als in de naburige landen zeer volmaakte toestellen van dit type leveren, die zich onderscheiden door hun compacte en stevige uitvoering, door de afwezigheid van in beweging zijnde stukken, het gebruik van elementen met zeer lange levensduur, enz.

b) Toestellen voor de controle van de continuïteit van de schutgeleider.

Wij hebben reeds gezegd dat de equipotentiële verbinding der massa's een fundamentele maatregel is om het gevaar voor electrocutie te weren. De permanente controle van de continuïteit van de schutgeleider is dus van groot belang.

Men kan die permanente controle bekomen door het principe van de injectie van een stroom toe te passen. De bescherming kan verzekerd worden door een relais, dat de uitschakeling van het net veroorzaakt wanneer de weerstand van de schutkring een zekere waarde overschrijdt en dus ook bij onderbreking van de stuurgeleider of de schutgeleider.

De injectiespanning hoeft niet zo hoog te zijn als voor de toestellen voor de controle der isolatie. Men gebruikt bv. 12, 24 of 42 V.

Bij deze methode moet men kabels met minstens 5 geleiders gebruiken, nl. 3 fasen, 1 stuurgeleider en 1 schutgeleider. De gelijkgerichte stroom wordt geïnjecteerd in de stuurgeleider, terwijl de kring gesloten wordt langs de schutgeleider.

Indien men een wisselstroom injecteert en de gelijkrichter aan het uiteinde van de lijn plaatst (fig. 13), geeft het relais ook een gelijkstroom aan. In geval van kortsluiting tussen stuurgeleider en schutgeleider vermindert deze gelijkstroom en zal het relais eveneens werken. Dit laatste stelsel is dus veruit te verkiezen.

des relais de déclenchement sans qu'il n'en résulte aucun inconvénient majeur. Actuellement, divers constructeurs, tant en Belgique que dans les pays voisins, présentent des réalisations très perfectionnées de ce type d'appareil, se caractérisant par une présentation compacte et peu fragile, absence de pièces en mouvement, utilisation d'éléments de très longue durée de vie, etc.

b) Contrôleurs de continuité du circuit des masses.

Nous avons déjà dit que la liaison equipotentielle des masses constitue une mesure fondamentale au point de vue de la prévention contre le danger d'électrocution. Le contrôle permanent de la continuité du conducteur des masses présente donc un intérêt considérable.

On peut obtenir ce contrôle permanent en appliquant le principe d'injection de courant continu. La protection peut être assurée par un relais qui provoque le déclenchement du réseau lorsque la résistance du circuit des masses dépasse une certaine valeur et donc aussi lorsque le pilote ou le conducteur des masses est interrompu.

La tension d'injection peut être moins élevée que pour les contrôleurs d'isolement. On utilise, par exemple, 12, 24 ou 42 V.

Cette méthode nécessite l'utilisation de câbles à 5 conducteurs au moins, soit 3 phases, un pilote et un conducteur des masses. Le courant redressé est injecté dans le pilote, avec retour par le conducteur des masses.

Si l'on injecte un courant alternatif et que l'on place le redresseur en bout de ligne (fig. 13), le relais détecte aussi un courant continu. En cas de contact pilote-conducteur des masses, ce courant continu diminue et le relais fonctionnera également. Ce dernier système est donc fort préférable.

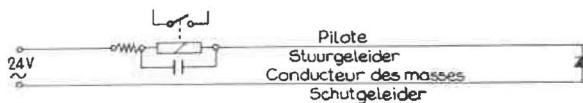


Fig. 13.

De meting geschiedt praktisch zonder vertraging, zodanig dat de uitschakeling in ongeveer 30 ms door een contactor kan worden bekomen.

c) Veiligheidsblokken.

Deze toestellen zijn in de werkplaatskoffertjes aangebracht en hebben tot doel de soepele kabels der beweegbare tuigen, zoals ondersnijmachines, te beschermen, terwijl zij tevens de besturing op afstand van deze tuigen verzekeren. Die welke berusten op het principe van de injectie van gelijkstroom

La mesure ne nécessite pratiquement aucun retard, de sorte que la coupure par le contacteur peut être obtenue environ en 30 ms.

c) Blocs de sécurité.

Ces appareils sont incorporés dans les coffrets de chantier et ont pour but de protéger les câbles souples des engins mobiles, tels que les haveuses, en même temps qu'ils assurent la télécommande de ces engins. Ceux qui sont basés sur le principe de l'injection de courants redressés combinent le principe

zijn een combinatie van het toestel voor de controle der isolatie en van het toestel voor de controle van de continuïteit van de schutgeleider, met de uitrusting die de besturing op afstand toelaat en de klassieke bescherming van het beweegbaar tuig door middel van een contactor verzekert.

In de nieuwste modellen liggen de hersenen die de verschillende opgelegde functies verzekeren, ook « logisch blok » genoemd, beschut in een gegoten massa uit plastische stof, die dank zij het gebruik van transistoren slechts van zeer geringe afmetingen is. Zijn de transistoren « in serie » geplaatst, dan wordt de opgelegde functie slechts volbracht als al de opgelegde voorwaarden gelijktijdig vervuld zijn. Zijn de transistoren daarentegen in parallel geplaatst dan wordt de opgelegde functie uitgevoerd zodra één enkel en om het even welke van de opgelegde voorwaarden vervuld is. Door schikkingen « in serie » en « in parallel » kan men dus de meest ingewikkelde vraagstukken oplossen. Voor soortgelijke toestellen werden in België brevetten genomen.

De veiligheidsblokken vereisen kabels met minstens 5 geleiders, met één, eventueel twee collectieve schermen, of met individuele schermen rond iedere fasegeleider, of nog individuele schermen samen met een collectief scherm.

Indien de kabel voorzien is van één enkel collectief scherm, kan dit verbonden worden met de massa, zoals voorgeschreven is door het Belgisch reglement, ofwel gepolariseerd worden op de spanning van de stuurgeleider, wat dikwijls het geval is in Frankrijk. Indien de kabel voorzien is van twee collectieve schermen, wordt het buitenste scherm verbonden met de massa en is het binnenste scherm gepolariseerd. Wanneer er individuele schermen bestaan, worden ze gepolariseerd indien er ook een collectief scherm bestaat dat met de massa verbonden is ; is er geen collectief scherm, dan kunnen de individuele schermen hetzij gepolariseerd, hetzij met de massa verbonden worden.

Deze schermen zijn uit metaal of uit geleidende plastic stoffen. In dit laatste geval moeten metalen geleiders de longitudinale geleidbaarheid verzekeren. De schermen uit metaal worden tamelijk spoedig beschadigd en zijn dan een oorzaak van gevaar. Daarom verkiest men dikwijls schermen uit geleidende plastic stoffen, bv. uit rubber. De plastic stoffen die men hiervoor moet gebruiken zijn echter brandbaar en dikwijls niet zeer waterdicht ; daarom mag men er geen overdreven hoeveelheid van gebruiken en moet men deze schermen bovendien door middel van een uitwendige, zeer stevige en zeer waterdichte bekleding beschermen.

Uit het voorgaande vloeit voort dat de beschermingen die door een veiligheidsblok kunnen verzekerd worden, verschillen naar gelang van het type van de gebruikte kabels.

du contrôleur d'isolation et celui du contrôleur de continuité du circuit des masses avec le dispositif assurant la télécommande et la protection classique par contacteur de l'engin mobile qu'ils desservent.

Dans les nouveaux modèles, le cerveau qui assure les divers asservissements, appelé aussi « bloc logique », est mis à l'abri dans une masse de matière plastique coulée, qui, grâce à l'usage de transistors, ne présente qu'un encombrement extrêmement réduit. Par la disposition en série des transistors, la fonction asservie n'est remplie que s'il est satisfait en même temps à toutes les conditions d'asservissement. Par contre, dans la disposition en parallèle, la fonction asservie est remplie dès qu'il est satisfait à l'une quelconque des conditions d'asservissement. Par des dispositions en série et en parallèle, on peut donc résoudre aisément les problèmes d'asservissement les plus complexes. Des brevets ont été déposés en Belgique au sujet d'appareils de ce genre.

Les blocs de sécurité postulent l'utilisation d'un câble à 5 conducteurs au moins, avec un, éventuellement deux, écrans collectifs, ou des écrans individuels autour de chaque conducteur de phase, ou parfois des écrans individuels conjointement avec un écran collectif.

Si le câble n'est muni que d'un seul écran collectif, celui-ci peut être relié à la masse comme le prévoit le règlement belge ou être polarisé à la tension du conducteur pilote comme c'est assez souvent le cas en France. Si le câble est muni de deux écrans collectifs, l'écran extérieur est relié à la masse et l'écran intérieur est polarisé. S'il existe des écrans individuels, ceux-ci sont polarisés s'il y a en outre un écran collectif relié à la masse. S'il n'y a pas d'écran collectif, les écrans individuels peuvent être, soit polarisés, soit reliés à la masse.

Ces écrans sont métalliques ou en matière plastique conductrice. Dans ce dernier cas, des conducteurs en cuivre doivent assurer la conductibilité longitudinale. Les écrans métalliques se détériorent facilement et constituent alors un danger. C'est pourquoi on préfère souvent les écrans en matière plastique conductrice. Toutefois les matières plastiques qu'on doit utiliser dans ce but sont combustibles et souvent peu étanches ; c'est pourquoi il ne faut pas en utiliser avec excès, et, en outre, protéger ces écrans par une gaine extérieure très résistante et très étanche.

Il résulte de ce qui précède que les diverses protections que peut procurer un bloc de sécurité varient selon le type de câble qui est utilisé.

A. — Met een kabel met één enkel, met de massa verbonden, collectief scherm kunnen de volgende beschermingen bekomen worden :

1) uitschakeling wanneer de isolatie fase-massa, fase-scherf of fase-stuurgeleider onder een bepaalde waarde, bv. 10.000 ohms, daalt ;

2) uitschakeling wanneer de isolatie stuurgeleider-scherf daalt onder een bepaalde waarde, die men bv. tussen 1.250 en 500 ohms (of zelfs tot 250 ohms in vochtige omstandigheden) kan vaststellen, met onmogelijkheid terug in te schakelen zolang deze isolatie niet groter is dan een bepaalde waarde, bv. 2.500 ohms of 2.000 ohms, desnoods 500 ohms in een vochtige mijne ;

3) uitschakeling in geval van onderbreking van de stuurgeleider of van de schutgeleider en in geval van onderbreking van het scherm, indien dit laatste dienst doet als schutgeleider ;

4) veiligheid bij het uitschakelen van de verlengingsstekkers ;

5) onmogelijkheid van ontijdige aanzetting bij een welkdanig defect binnen in de kabel, en betrouwbare werking van de afstandsbesturing ;

6) bescherming tegen de impedante kortsluitingen tussen fasen, zodra de kortsluiting tussen fasen een kortsluiting tussen fase en scherm veroorzaakt heeft.

B. — Indien het enig collectief scherm gepolariseerd is, bekomt men al de beschermingen opgesomd onder A. en bovendien de bescherming tegen het indringen van gelijk welk voorwerp in de kabel, zodra dit voorwerp het scherm raakt en voor zover het in verbinding staat met de massa of met de aarde. De bescherming in geval van onderbreking van het scherm is ook verzekerd.

C. — Indien het collectief gepolariseerd scherm vervangen wordt door individuele gepolariseerde schermen, bekomt men benevens de beschermingen opgesomd onder A. en B. ook de rechtstreekse bescherming tegen de impedante kortsluitingen tussen fasen. Ingeval van onderbreking van een fase zal de bescherming gewoonlijk ook verzekerd zijn, want dit defect geeft meestal aanleiding tot een contact fase-scherf.

D. — Indien de individuele schermen verbonden zijn met de massa, bekomt men de beschermingen opgesomd onder A. en C. maar niet deze vermeld onder B.

E. — Indien de kabel voorzien is van een met de massa verbonden collectief scherm en van gepolariseerde individuele schermen, bekomt men al de beschermingen die opgesomd zijn onder A., B. en C. De bescherming tegen het indringen van een voorwerp in de kabel is bovendien verzekerd, zelfs in-

A. — Avec le câble à écran collectif unique relié à la masse, on peut obtenir les protections suivantes.

1) déclenchement lorsque l'isolement phase-masse, phase-écran ou phase-pilote tombe en dessous d'une certaine valeur, par exemple 10.000 ohms ;

2) déclenchement lorsque l'isolement pilote-écran tombe en dessous d'une certaine valeur qu'on peut fixer, par exemple, entre 1.250 et 500 ohms (ou même 250 ohms en mine humide), avec impossibilité de réenclencher tant que cet isolement n'est pas supérieur à une certaine valeur, par exemple, 2.500 ohms ou 2.000 ohms, au besoin 500 ohms en mine humide ;

3) déclenchement en cas de rupture du pilote ou du conducteur des masses ou en cas de rupture de l'écran si celui-ci fait office de conducteur des masses ;

4) sécurité à la déconnexion des prolongateurs ;

5) impossibilité de démarrage intempestif par défaut quelconque à l'intérieur du câble et fonctionnement fidèle de la télécommande ;

6) protection contre les courts-circuits impédants entre phases, lorsque le court-circuit entre phases aura entraîné un court-circuit phase-écran.

B. — Si l'écran collectif unique est polarisé, on réalise les protections énumérées sous A et, en outre, la protection contre la pénétration dans le câble d'un objet quelconque, dès que cet objet touche l'écran et pour autant qu'il soit relié aux masses ou à la terre. La protection en cas de rupture de la gaine est aussi assurée.

C. — Si l'écran collectif unique polarisé est remplacé par des écrans individuels polarisés, on réalise, en plus des protections énumérées sous A et B, la protection directe contre les courts-circuits impédants entre phases. La protection en cas de rupture d'une phase sera généralement assurée car ce défaut entraîne rapidement un contact phase-écran.

D. — Si les écrans individuels sont reliés à la masse, on réalise les protections énumérées sous A et C mais pas celle sous B..

E. — Si le câble est muni d'un écran collectif relié à la masse et d'écrans individuels polarisés, on réalise toutes les protections énumérées sous A, B et C. En outre, la protection vis-à-vis de la pénétration dans le câble d'un objet quelconque est réalisée

dien dit voorwerp niet verbonden is met de massa of met de aarde.

De beschermingen opgesomd onder A. schijnen onmisbaar, tenzij men een half-soepele kabel gebruikt, d.w.z. een kabel die beschermd is door een pantsering uit stalen draden, waarvoor men zich soms beperkt tot de bescherming tegen de uitschaking van de veiligheidsstekkers ; de electrische bescherming lijkt ons nochtans veel beter te zijn dan de mechanische bescherming alleen.

De bescherming bedoeld onder B. is zeer aan te bevelen en wordt dikwijls toegepast, o.m. in Frankrijk, hoewel zij in vochtige mijnen aanleiding kan geven tot moeilijkheden. Onder dit oogpunt schijnt het verkeelijker te zijn het collectief scherm door individuele schermen te vervangen, hetgeen slechts 5 % duurder is, want aldus bekomt men de beschermingen A., B. en C. en de individuele schermen schijnen gemakkelijker tegen vochtigheid te kunnen beschermde worden dan het collectief scherm.

Indien zich op dat punt moeilijkheden mochten voordoen, zou men trouwens zonder groot bezwaar de individuele schermen met de massa kunnen verbinden (oplossing D.). De bescherming tegen het indringen van een voorwerp zou slechts in werking treden wanneer het voorwerp het scherm zou doorboord hebben en een stuurgeleider of een fase zou hebben aangeraakt (het is weinig waarschijnlijk dat in dit geval twee fasen tegelijk zouden geraakt worden), maar dit bezwaar schijnt veel minder erg te zijn dan het risico dat het toestel bedrieglijk buiten dienst zou gesteld worden om al te talrijke onderbrekingen te vermijden.

Ten slotte is de oplossing E. de meest volmaakte, maar de kabels van die aard kosten 25 % meer dan de kabels met één enkel collectief scherm en hebben een tamelijk grote doormeter.

Deze laatste oplossing biedt enig voordeel ten aanzien van het gevaar voor ontvlamming van mijn-gas, wanneer de kabel doorgesneden wordt, bv. door een bijtslag, maar deze superioriteit schijnt maar zeer betrekkelijk te zijn. Voor zover wij weten bestaat er trouwens nog geen enkel toestel dat de stroom snel genoeg kan onderbreken om dit gevaar volledig uit te schakelen. De bezwaren aan deze oplossing verbonden schijnen dus niet te kunnen gecompenseerd worden door de geringe verhoging van de veiligheid die zij oplevert. Sommige constructeurs zoeken eerder een verhoging van de veiligheid in een versterking van de soepele uitwendige bekleding. Er wordt nl. voorgesteld de dikte van deze bekleding merkelijk te verhogen ; deze dikte zou also kunnen verhoogd worden van 3 mm tot 10 mm. Anderzijds stelt men een grote verbetering vast op het gebied van de hoedanigheid van het neopreen of van de PVC die voor de kabelbekleding gebruikt wordt ; bepaalde nieuwe soorten van neopreen bezitten een buitengewone taaiheid, zodat de bekleding

même si cet objet n'est pas relié aux masses ou à la terre.

Les protections énumérées sous le paragraphe A paraissent indispensables, à moins qu'on n'utilise un câble demi-souple, c'est-à-dire protégé par une armure en fils d'acier pour lequel on se contente de la protection à la déconnexion des prolongateurs ; la protection électrique nous semble toutefois de loin préférable à la protection mécanique seule.

La protection mentionnée au paragraphe B est très recommandable et est beaucoup utilisée, notamment en France, quoiqu'elle donne lieu à des difficultés dans les mines humides. Il semble préférable, à ce point de vue, de remplacer l'écran collectif par des écrans individuels, ce qui ne coûte que 5 % plus cher, car on réalise ainsi les protections A, B et C et les écrans individuels nous semblent plus faciles à protéger vis-à-vis de l'humidité que l'écran collectif. D'ailleurs, si des difficultés se manifestaient à ce point de vue, il n'y aurait pas grand inconvénient à relier les écrans individuels à la masse (solution D). La protection vis-à-vis de la pénétration d'un objet ne serait réalisée que lorsque l'objet aurait percé l'écran et touché un pilote ou une phase (il est peu probable qu'il touche deux phases à la fois), mais cet inconvénient paraît beaucoup moins grave que celui d'encourir le risque qu'on mette l'appareil frauduleusement hors service afin d'éviter des interruptions fréquentes.

Enfin, la solution E est la plus parfaite, mais les câbles de ce genre coûtent 25 % plus cher et ont des diamètres assez élevés.

Cette dernière solution présente un certain avantage vis-à-vis du danger d'inflammation du grisou en cas de sectionnement du câble, par exemple par coup de hache, mais cette supériorité n'est que très relative. Il n'existe d'ailleurs à notre connaissance encore aucun appareil réalisant une coupure assez rapide pour supprimer totalement ce danger. Les inconvénients de cette solution ne nous paraissent pas pouvoir être compensés par la faible augmentation de la sécurité qu'elle offre. Certains constructeurs recherchent plutôt l'augmentation de la sécurité dans le renforcement de la gaine de protection souple. Il est notamment proposé d'augmenter fortement l'épaisseur de cette gaine, laquelle pourrait aller de 3 mm jusqu'à 10 mm. D'autre part, on enregistre de notables améliorations dans la qualité du néoprène ou du PVC utilisé pour ces gaines ; notamment, certaines qualités récentes de néoprène présentent une ténacité extraordinaire qui rend la gaine

praktisch niet kan gescheurd worden, en indien ze een grote dikte heeft, zeer moeilijk doordringbaar is.

Wij hebben onlangs een verpletteringsproef op een soepele kabel bijgewoond, nl. een kabel van 42 mm doormeter, $4 \times 25 \text{ mm}^2 + 2 \times 1.5 \text{ mm}^2$, collectief scherm in geleidende rubber en uitwendige bekleding in neopreen van 3 mm dikte. Door verplettering tussen twee U-ijzers, waarbij de rand der vleugels van een der twee ijzers tegen de kabel gedrukt was, werd de doormeter van de kabel verminderd tot 17.5 mm. De spanning werd opgevoerd tot 45.000 V, zonder dat op de plaats van de verplettering een doorslag plaats had.

Doorsnijdingsproeven op een soortgelijke, onder spanning staande kabel werden uitgevoerd in een mijngashoudende atmosfeer, met behulp van een mes dat belast was met een gewicht van 20 kg en van een hoogte van 1,10 m viel. Met botte messen, met een snede van 4 tot 1 mm dikte, drong het mes niet in de kabel, doch weerkaatste. Met een scherp mes werd de kabel doorgesneden: bij een proef werd de stroom door een smeltverzekering van een snelwerkend type na 20 ms onderbroken en er had geen ontvlamming van mijngas plaats; bij een andere proef werd de onderbreking van de stroom na 120 ms gekomen door een toestel voor de controle der isolatie; de kabel vertoonde een gapende snede en het mijngas ontvlamde. De opzoeken worden in deze richting voortgezet. Vermelden wij bij deze gelegenheid het grote belang van de proefnemingen waartoe de H. Leclercq is overgegaan, in samenwerking met de HH. Fievez en Degeyter; deze proefnemingen doen onder andere de zeer verhoogde weerstand tegen de schockken uitkomen, van de kabels waarvan de bekledingen, bijzonder de isolerende bekledingen, gevormd zijn door dikke lagen plastische stof van goede hoedanigheid.

Schikkingen moeten getroffen worden om het afrukken van de kabels aan de ingang der koffertjes, motoren of verlengingsstekkers te beletten. Zulke verbindingen worden beproefd onder trekkrachten van 1.500 kg tot 3.000 kg. In geval van afrukking moet de stuurgeleider het eerst doorbreken, opdat de uitschakeling zou bekomen worden vooraleer de fasengeleiders onderbroken worden.

De veiligheidsblokken kunnen gevoed worden door gelijkgerichte spanningen die lager mogen zijn dan deze vereist voor de toestellen voor de controle der isolatie en die gewoonlijk van 24 V tot 42 V bedragen; deze hulpkringen zijn doorgaans uiteraard veilig tegen mijngas. In geval van storing, en meer bepaald wanneer de voedingsspanning komt te verdwijnen, moet het blok reageren in de zin van de veiligheid, d.w.z. dat de uitschakeling moet verwezenlijkt worden.

Ten slotte moet men voor ieder type van toestel inlichtingen nemen over de uitbreiding die men aan de installatie mag geven; de lengte van de soepele

pratiquement indéchirable et, si elle est sous forte épaisseur, difficilement pénétrable.

Nous avons assisté récemment à un essai de compression d'un câble souple de 42 mm de diamètre, $4 \times 25 \text{ mm}^2 + 2 \times 1.5 \text{ mm}^2$, écran collectif en caoutchouc conducteur, gaine extérieure en néoprène de 3 mm d'épaisseur. L'épaisseur du câble a été réduite à 17.5 mm par écrasement entre deux fers U, les bords des ailes d'un des fers U étant appliqués contre le câble. La tension a été élevée jusque 45.000 V sans qu'il y ait eu claquage à l'endroit de l'écrasement.

Des essais de sectionnement d'un câble semblable sous tension ont été faits en milieu grisouteux, à l'aide d'un couteau chargé d'un poids de 20 kg et tombant d'une hauteur de 1,10 m. Avec des couteaux non tranchants, de 4 à 1 mm d'épaisseur de tranche, il n'y eut aucune pénétration; le couteau rebondit. Avec un couteau tranchant, le câble fut sectionné. Au cours d'un essai, la coupure du courant s'est faite en 20 ms par un fusible rapide et il n'y eut pas inflammation. Lors d'un autre essai, la coupure a été faite par un contrôleur d'isolement en 120 ms; la section du câble étant béante, il y eut inflammation. Les recherches se poursuivent dans ce domaine. Signalons à cette occasion le gros intérêt que présentent les expériences auxquelles a procédé M. Leclercq, avec la collaboration de MM. Fievez et Degeyter; ces expériences font notamment ressortir la très grande supériorité vis-à-vis des chocs, des câbles dont les gaines, surtout les gaines isolantes, sont constituées par une forte épaisseur de matière plastique de bonne qualité.

Des dispositions spéciales doivent être prises pour éviter l'arrachement des câbles aux entrées des coffrets, aux moteurs ou aux prolongateurs. Les essais se font sous des efforts de traction de 1500 kg, parfois 3.000 kg. En cas d'arrachement, le pilote doit céder le premier afin de provoquer le déclenchement avant l'arrachement des phases.

Les blocs de sécurité peuvent être alimentés par des tensions redressées plus basses que celles qui sont nécessaires pour les contrôleurs d'isolement, généralement entre 24 V et 42 V; ces circuits auxiliaires sont généralement de sécurité intrinsèque. En cas de panne et, notamment, lorsque les tensions d'alimentation viennent à disparaître, le bloc doit réagir dans le sens de la sécurité, c'est-à-dire qu'il doit provoquer le déclenchement.

Enfin, il convient de s'informer pour chaque type d'appareil de l'extension qu'il est permis de donner à l'installation à protéger; la longueur du câble

kabel moet in bepaalde gevallen inderdaad tot 300 m beperkt worden, indien men de storende invloed van de capaciteiten wil vermijden.

§ 10. Toestellen berustend op de detectie van het onevenwicht der intensiteiten en der hoeken tussen de 3 fasen van het net (detectors van impedante defecten) (fig. 14).

In een bestaande verwezenlijking worden in het primaire van twee intensiteittransformatoren stromen opgevangen die evenredig zijn met de stromen van twee fasen. Het secundaire van deze transformatoren is, het ene rechtstreeks, het andere door tussenkomst van een verschuiver P, verbonden met een detector A die het verschil meet tussen twee spanningen zonder verschuiving. Dit verschil beïnvloedt, na versterking, een defectrelais dat de klos van een lastschakelaar bestuurt. Het is mogelijk alzo een intensiteitonevenwicht te detecteren van ongeveer 5 à 20 % van de nominale stroom van het net.

souple doit être limitée dans certains cas à 300 m si l'on veut éviter l'influence perturbatrice des capacités.

§ 10. Appareils basés sur la détection des déséquilibres d'intensité et d'angle entre les trois phases du réseau (DéTECTEURS de défauts impédants) (fig 14).

Dans une réalisation existante, l'appareil comporte un capteur constitué par deux transformateurs d'intensité, dont les primaires sont parcourus par des courants proportionnels aux intensités de deux phases. Les secondaires de ces transformateurs sont raccordés, l'un directement, l'autre par l'intermédiaire d'un déphasageur D, à un détecteur A qui mesure la différence entre deux tensions en phase. Cette différence influence, après amplification, un relais de défaut qui commande la bobine de déclenchement d'un disjoncteur. Il est possible ainsi de détecter un déséquilibre en intensité de l'ordre de 5 à 20 % du courant nominal du réseau.

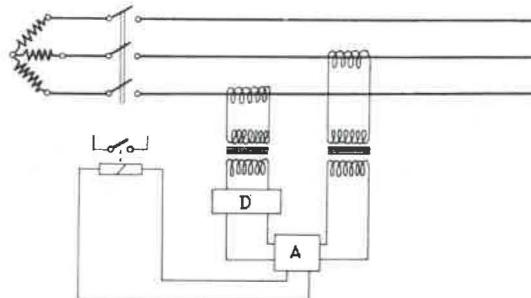


Fig. 14.

Dit toestel verwezenlijkt de bescherming tegen de impedante defecten tussen fasen. Het beschermt dus insgelijks tegen het dubbel defect fase-massa, aangezien zulk defect in feite een kortsluiting tussen fasen is. Het beschermt bovendien tegen éénfasige werking, aangezien het de onderbreking van een fase opspoort. Het zou nochtans niet werken in geval van symmetrische kortsluiting, maar zulke eventualiteit is weinig waarschijnlijk.

De minimum vertraging duurt ongeveer 0,5 seonden, omdat de eerste aanzettingsspitsen der motoren zeer asymmetrisch zijn. Men hoopt deze spitsen te kunnen effenen, zodat de vertraging zou kunnen verminderd worden.

Normaal is zulk toestel bestemd om het ganse net te beschermen; het wordt geplaatst in het onderstation. In geval van defect wordt dan het ganse net uitgeschakeld, zodat er geen selectiviteit is. In het huidige geval heeft dat echter geen groot belang, want de defecten waarvoor het toestel in werking treedt, komen zelden voor en zijn zo ernstig dat een uitschakeling gerechtvaardigd is.

Van dit type zijn reeds een tamelijk groot aantal toestellen in dienst in Frankrijk.

Cet appareil réalise la protection contre les défauts impédants entre phases. Il protège donc également contre les doubles défauts phase-masse puisque de pareils défauts produisent le même effet qu'un court-circuit entre phases. Il protège, en outre, contre le fonctionnement monophasé, car il détecte la rupture d'une phase. Par contre, il pourrait être mis en défaut en cas de court-circuit symétrique, mais pareille éventualité est très peu probable.

La temporisation minimum est de l'ordre de 0,5 s du fait que les premières pointes de démarrage des moteurs sont très asymétriques. On espère pouvoir raboter ces pointes de manière à permettre une réduction de la temporisation.

Normalement, un appareil de ce genre est destiné à protéger le réseau entier et il se place alors à la sous-station. En cas de défaut, le réseau déclenche et il n'y a donc pas de sélectivité. Dans le cas présent, cela n'a pas grande importance car les défauts qui sont décelés par cet appareil sont rares et d'une gravité telle qu'un déclenchement est justifié.

Des appareils de ce type sont déjà en assez grand nombre en service en France.

§ 11. Toestellen berustend op de injectie in het net van een stroom op verhoogde frekventie (fig. 15).

Onlangs werd op een volgens dit beginsel werkend toestel een brevet genomen. Het omvat een driefasige electronische oscilator G die in het net een stroom injecteert met een frekventie van 5.000 Hz.

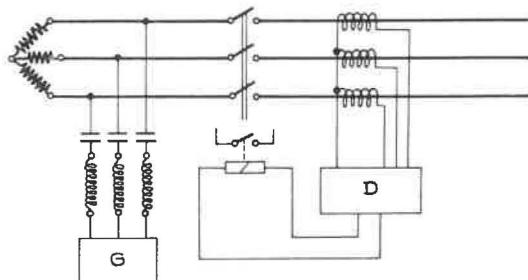


Fig. 15.

Op deze frekventie is de impedantie der motoren, die hoofdzakelijk van inductieve aard is, zeer hoog. In normale omstandigheden is de stroom op verhoogde frekventie die het net doorloopt zeer zwak, zowel als de motoren draaien, als wanneer ze stil liggen.

Aangezien de impedantie van een defect, die hoofdzakelijk van ohmische aard is, zeer weinig beïnvloed wordt door de frekventie, zal het ontstaan van een defect een grotere stroom op verhoogde frekventie tot gevolg hebben, die door een detector D zal kunnen opgespoord worden.

Men plaatst een detector bij de aanvang van elke vertakking en een detector bij de algemene aanvang van het net ; deze laatste moet een weinig getemporeerd zijn ten opzichte van de andere. De detector die de vertakking beschermt waarin zich een defect voordoet, veroorzaakt de uitschakeling van deze vertakking alleen, zodat de selectiviteit verzekerd is.

Volgens de Heer Gagnière, ingenieur bij Cerchar, zou de uitschakeling in een net op 500 V bekomen worden voor de defectweerstanden tussen fasen, of tussen fase en aarde, van ongeveer 5 tot 35 ohms. Voor een defect van 5 ohms bedraagt de vertraging 25 ms, zodat de uitschakeling zou kunnen bekomen worden in 45 of 70 ms, naar gelang van de aard van het gebruikte uitschakeltoestel. Voor een defect van 20 ohms zou de vertraging 100 ms bedragen, dus 120 of 140 ms indien men er de uitschakelingstijd bijvoegt.

Uit het voorgaande blijkt dat het toestel zowel de defecten tussen fasen, als de enkele of dubbele defecten tussen fase en massa opspoort. De éénfasige werking (in geval van onderbreking van een fas geleider) beïnvloedt echter het toestel niet. Sedert einde 1947 zijn vier prototypen met welslagen in werking ; gedurende 1 1/2 jaar hebben zij aanleiding

§ 11. Appareils basés sur l'injection d'un courant à fréquence élevée dans le réseau (fig. 15).

Un appareil basé sur ce principe a fait récemment l'objet d'un brevet. Il comporte un oscillateur électrique G triphasé, injectant dans le réseau un courant d'une fréquence de 5.000 Hz.

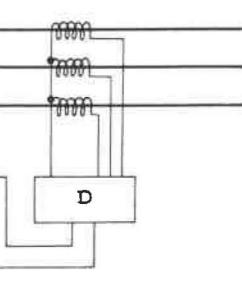


Fig. 15.

A cette fréquence, l'impédance des moteurs, principalement de nature inductive, est très élevée. Dans les circonstances normales, le courant à fréquence élevée qui parcourt le réseau est extrêmement faible, que les moteurs tournent ou soient à l'arrêt.

Attendu que l'impédance d'un défaut, principalement de nature ohmique varie peu avec la fréquence, la production d'un défaut aura pour effet un accroissement sensible du courant à fréquence élevée et cet accroissement pourra être détecté par un détecteur D.

On place un détecteur au départ de chaque antenne et un détecteur sur le départ général du réseau, ce dernier étant légèrement temporisé par rapport aux autres. Le détecteur protégeant l'antenne avariée assure le déclenchement de cette seule antenne et la sélectivité est donc assurée.

Selon M. Gagnière, ingénieur au Cerchar, le déclenchement dans un réseau de 500 V serait obtenu pour des résistances de défaut entre phases, ou entre phase et terre, de l'ordre de 5 à 35 ohms. Pour un défaut de 5 ohms, le retard de l'appareil serait de 25 ms, de sorte que le déclenchement pourrait être obtenu en un temps total de 45 à 70 ms selon l'appareil de coupure utilisé. Pour un défaut de 20 ohms, le retard serait de 100 ms, soit 120 à 140 ms en ajoutant le temps de coupure.

Il ressort de ce qui précède que l'appareil détecte tant les défauts entre phases que les défauts simples ou multiples entre phase et masse. Toutefois, il ne détecte pas le fonctionnement monophasé (cas d'une phase coupée). Quatre prototypes fonctionnent avec succès depuis la fin de 1957 ; pendant une année et demie de service, ils ont donné lieu à six

gegeven tot zes uitschakelingen op werkelijke defecten, waaronder twee dubbele defecten.

Dit toestel is bijzonder belangwekkend, ondanks sommige bezwaren ; het is nl. enigszins ingewikkelder dan het toestel beschreven onder § 10, het wordt beïnvloed door de capaciteiten en men dient bepaalde voorzorgen te nemen, wanneer het gaat om motoren van meer dan 200 Hp. In dit laatste geval moet men de impedantie verhogen door middel van capaciteiten, ten einde een sperketen te vormen. Hetzelfde geldt wanneer men een trolley-leider wil beschermen, die zou gevoed worden door een generator zonder inductantie.

Er wezen ook opgemerkt dat de waarde waarvoor het toestel in werking treedt, steeds kan nagegaan worden door middel van smeltverzekeringen, en dat de veiligheid, in geval van storing, meer bepaald aan de generator van de stroom op verhoogde frequentie, positief is.

Een nieuw model, dat een reeks belangrijke verbeteringen telt, wordt thans beproefd. Die verbeteringen bestaan hoofdzakelijk in het feit dat enkel de gewatteerde component van de stroom de detector beïnvloedt en dat de relais vervangen zijn door kippers met transistoren (triggers). Het toestel is dan ook gevoelig voor defectstromen tussen fasen of tussen fase en massa van 5 à 10 % van de nominale stroom, zelfs indien men aanzettingsspitsen voorziet die 1.000 % van de nominale stroom bedragen, met een vertraging die kan beperkt worden tot 5 ms. De uitschakeling kan dus bekomen worden in 25 of 45 ms, naar gelang van de aard van het uitschakelingstoestel.

Aan de selectiviteit wordt geen belang meer gehecht, want de defecten die met dit toestel aanleiding geven tot uitschakeling zijn, zoals voor het toestel beschreven onder § 10, zeer zeldzaam en ernstig genoeg om een uitschakeling te rechtvaardigen.

Wat de vertraging bij de detectie betreft, schijnt het niet mogelijk te dalen onder 5 ms. Indien men de voor de bescherming vereiste tijd nog wil verminderen, dient men bijgevolg een ander uitschakelingsmiddel te vinden, dat sneller werkt dan een lastschakelaar of een contactor. Studies zijn aan de gang om de onderbreking te bekomen door middel van een slagpijpje, hetgeen dan slechts 1 ms zou vergen, dus in het geheel 6 ms indien men de vertraging bij de detectie meerekent. De overspanningen die door een zo snelle onderbreking veroorzaakt worden, zouden doorgaans geen 2.000 V overschrijden voor een net van 500 V, wat geen hinderpaal zou zijn, vooral omdat een eventuele doorslag in een kabel de tijd niet zou hebben om zich te exterioriseren. Een gunstige oplossing van dit vraagstuk zou van groot belang zijn voor de bescherming van de installaties in werkplaatsen waar plotse mijngasuitbarstingen te vrezen zijn.

* * *

déclenchements sur des défauts réels, parmi lesquels deux défauts doubles.

Cet appareil mérite un intérêt particulier malgré quelques inconvénients ; il est notamment un peu plus compliqué que celui qui est décrit au paragraphe 10, il est sensible aux capacités et il nécessite certaines précautions lorsqu'il s'agit de moteurs d'une puissance supérieure à 200 ch. Dans ce dernier cas, on doit augmenter l'impédance à l'aide de capacités afin de former un circuit bouchon. Il en est de même lorsqu'on veut protéger un circuit de trolley alimenté par une génératrice ne présentant pas d'inductance.

Notons encore que la valeur pour laquelle l'appareil fonctionne, peut être contrôlée à tout moment à l'aide de fusibles et que, en cas de panne, notamment au générateur du courant à fréquence élevée, la sécurité est positive.

Un nouveau modèle, comportant d'importantes améliorations par rapport au premier, est à l'essai. Les améliorations consistent principalement en ce que seule la composante wattée du courant influence le détecteur et que les relais sont remplacés par des bascules à transistors. L'appareil est ainsi sensible à un courant de défaut entre phases ou entre phase et masse de 5 à 10 % du courant nominal, même si l'on prévoit des pointes de démarrage atteignant 1.000 % du courant nominal, avec un retard qui peut être réduit à 5 ms. La coupure peut donc être obtenue en 25 ou 45 ms selon l'appareil de coupure utilisé.

La sélectivité n'a plus été recherchée car les défauts qui donnent lieu à déclenchement avec cet appareil sont, comme pour celui décrit au paragraphe 10, assez rares et suffisamment graves pour justifier le déclenchement.

Il ne paraît guère possible de descendre en dessous de 5 ms pour le retard à la détection. Par conséquent, si l'on veut encore réduire le temps nécessaire pour réaliser la protection, il faut utiliser un moyen de coupure plus rapide que le disjoncteur ou le contacteur. Des recherches sont en cours pour réaliser la coupure par déto-rupteur, laquelle pourrait ainsi être obtenue en 1 ms, soit au total 6 ms en comptant le retard à la détection. Les surtensions causées par une rupture aussi rapide ne dépasseraient guère 2.000 V dans un réseau à 500 V, ce qui ne constituerait pas un obstacle, d'autant plus qu'un claquage éventuel dans un câble n'aurait pas le temps de s'extérioriser. L'aboutissement de ces recherches serait d'un grand intérêt pour la protection des installations placées dans les chantiers des mines à dégagements instantanés de grisou.

* * *

HOOFDSTUK III.

**GECOMBINEERDE SCHIKKINGEN
MET HET OOG OP EEN INTEGRALE
EN SELECTIEVE BESCHERMING DER NETTEN**

Uit het voorgaande blijkt dat thans een ruime keuze van toestellen van verscheidene types, die ontworpen zijn met het oog op de bescherming der ondergrondse netten, voorhanden is. Ieder van deze types bezit zijn eigen karakteristieken, waarmee bepaalde doeleinden kunnen bereikt worden, maar geen enkel onder hen is in staat om, alleen, de integrale bescherming te verzekeren in de voorwaarden die men wenst. Deze bescherming kan echter bekomen worden door een oordeelkundige combinatie van verscheidene toestellen ; wij zullen de bijzonderste voorgestelde oplossingen hierna beknopt beschrijven.

§ 1. Bescherming tegen de isolatiedefecten door toepassing van het principe van injectie van gelijkstroom, met secundaire controlekkertjes voor onrechtstreekse selectiviteit.

De toestellen van dit type zijn beschreven in hoofdstuk II, § 9. De selectieve integrale bescherming zou omvatten :

a) een primair controletoestel der isolatie, geplaatst in het onderstation, met alarm- en beschermingsrelais, samen met een lastschakelaar-contactor;

b) een controletoestel van de continuïteit van de schutgeleider, geplaatst in het onderstation en gekoppeld aan het voorgaande toestel ;

c) kabels met minstens 5 geleiders, met individuele met de massa verbonden schermen ;

d) secundaire controletoestellen der isolatie op elke vertakking die men selectief wil beschermen. Elk secundair controletoestel is gekoppeld aan een contactor en controleert het stroomafwaarts gedeelte, terwijl het stroomopwaarts van de contactor gevoed wordt. Deze toestellen zijn buiten werking wanneer de overeenkomende contactor ingeschakeld is ; zij treden automatisch in werking wanneer men de contactor uitschakelt ;

e) veiligheidsblokken gekoppeld aan de werkplaatskoffertjes om de beschermingen te verzekeren die opgesomd zijn in hoofdstuk II, § 9, behalve deze die reeds verwezenlijkt zijn door de toestellen vermeld onder a) en b).

Het geheel werkt als volgt :

Dank zij de individuele schermen wordt een kortsluiting tussen fasen noodzakelijk voorafgegaan door een defect fase-massa. Bij een defectweerstand lager dan de uitschakelingsgrens, wordt de uitschakeling van het net te weeggebracht door het primair controletoestel ; al de contactors van het net schakelen uit en de secundaire controletoestellen komen automatisch in werking. Na enkele seconden schakelt de

CHAPITRE III.

**DISPOSITIFS COMBINES VISANT A REALISER
LA PROTECTION INTEGRALE ET SELECTIVE
DES RESEAUX**

Il résulte de ce qui précède qu'il existe à présent un large choix d'appareils de divers types, conçus en vue de réaliser la protection des réseaux souterrains. Chacun de ces types présente un ensemble de caractéristiques propres lui permettant d'atteindre des objectifs définis, mais aucun d'eux ne réalise, à lui tout seul, la protection intégrale dans les conditions que l'on souhaite. Celle-ci peut toutefois être obtenue par une combinaison judicieuse de divers dispositifs ; nous décrirons sommairement ci-après quelques-unes des principales solutions qui sont proposées.

§ 1. Protection contre les défauts d'isolement par application du principe d'injection de courant continu, avec coffrets de contrôle secondaires assurant la sélectivité indirecte.

Les appareils de ce type ont été décrits au Chapitre II, § 9. La protection sélective intégrale comporterait :

a) un contrôleur d'isolement primaire placé dans la sous-station et accouplé à un disjoncteur-contacteur, avec relais d'alerte et relais de protection ;

b) un contrôleur de la continuité du circuit des masses placé à la sous-station et combiné avec l'appareil précédent ;

c) des câbles à cinq conducteurs au moins, avec écrans individuels reliés à la masse ;

d) des contrôleurs d'isolement secondaires sur chaque antenne que l'on veut protéger sélectivement. Chaque contrôleur secondaire est accouplé à un contacteur et contrôle la partie aval, tout en étant alimenté à l'amont du contacteur. Ces contrôleurs sont hors service lorsque le contacteur est enclenché et se mettent automatiquement en service lorsque le contacteur déclenche.

e) des blocs de sécurité accouplés aux coffrets de chantier et assurant les protections énumérées au § 9, autres que celles réalisées par les appareils mentionnés en a) et b).

L'ensemble fonctionne comme suit.

Grâce aux écrans individuels, le court-circuit entre phases est nécessairement précédé d'un défaut phase-masse. En cas de défaut phase-masse d'une résistance inférieure au seuil de déclenchement, le contrôleur primaire provoque le déclenchement du réseau ; tous les contacteurs du réseau déclenchent et les contrôleurs secondaires se mettent en service.

lastschakelaar-contactor automatisch terug in. Al de contactors kunnen dan door hun drukknop opnieuw ingeschakeld worden, behalve deze die de beschadigde vertakking beschermt. Aldus verwezenlijkt men de selectiviteit op een onrechtstreekse, maar even doeltreffende wijze.

Wanneer men genoeg ondervinding van deze toestellen zal hebben, zal men misschien kunnen denken aan een vermindering van de sectie van de schutgeleider, hetgeen zou toelaten de verhoging van de kostprijs der kabels, wegens de individuele schermen, te compenseren.

De volledige toepassing van dit stelsel zou de vervanging vereisen van al de kabels en waarschijnlijk van een zeker aantal lastschakelaars, hetgeen natuurlijk niet denkbaar is; het zal slechts voor de nieuwe netten volledig kunnen toegepast worden. Wat de lastschakelaars betreft die niet terzelfder tijd contactoren zijn, zal men zich misschien tijdelijk moeten tevreden stellen met het terug inschakelen met de hand.

Voor de bestaande netten zou de controle van de continuïteit van de schutgeleider mogen beperkt worden tot de soepele kabels. Deze controle dringt zich trouwens op wanneer het gaat om soepele voedingskabels van beweegbare tuigen, zoals ondersnijmachines en gepantserde vervoertoestellen. Zij dringt zich ook op wanneer de uitschakelingsgrens van het controletoeestel der isolatie lager ligt dan 10.000 ohms, vanaf welke waarde electrocutiegevaar kan optreden. Maar het is dan nog nodig tamelijk dikwijls de aardweerstand te controleren van de schutgeleiders van al de vertakkingen waar de bestendige controle van de continuïteit van de schutgeleider niet over de ganse lengte tot aan de aardverbinding kan geschieden.

Wat de kabels met collectief scherm betreft, bestaat er geen bezwaar tegen dat ze voorlopig in bedrijf gehouden worden, want men mag in het algemeen aannemen dat de defecten tussen fasen snel ontaarden in defecten tussen fase en scherm. Het is nochtans aan te bevelen ze geleidelijk, naargelang vernieuwingen plaats hebben, te vervangen door kabels met individuele schermen.

Deze vervanging dringt zich speciaal op wanneer het gaat om soepele voedingskabels van beweegbare tuigen.

§ 2. Bescherming tegen isolatiedefecten door de controle van de potentiaal van een kunstmatig nulpunt, samen met een inrichting voor injectie van gelijkgerichte stroom voor onrechtstreekse selectiviteit en een inrichting voor de bestendige controle van de continuïteit van de schutgeleider.

In deze combinatie wordt de controle van de isolatie verzekerd door een toestel zoals dit beschreven in hoofdstuk II, § 4. Het is wenselijk hieraan, telkens

Après quelques secondes, le disjoncteur-contacteur rééclanche automatiquement. Tous les contacteurs peuvent alors être rééclenchés par bouton-poussoir, sauf celui qui protège l'antenne en défaut. On réalise ainsi la sélectivité d'une manière indirecte mais tout aussi efficace.

Peut-être pourra-t-on, lorsqu'on aura acquis une expérience suffisante de ces dispositifs, envisager une diminution de la section du conducteur des masses, ce qui permettrait de compenser l'accroissement du coût des câbles du fait des écrans individuels.

L'application intégrale de ce dispositif nécessiterait le remplacement de tous les câbles et probablement de certains disjoncteurs, ce qui n'est évidemment pas concevable ; aussi ne pourra-t-on l'envisager d'une manière complète que pour les nouveaux réseaux. Ainsi, pour les disjoncteurs qui ne sont pas contacteurs, faudrait-il peut-être se contenter provisoirement du rééclenchement manuel.

Pour les réseaux existants, le contrôle permanent de la continuité du circuit des masses pourrait se limiter aux câbles souples. Ce contrôle s'impose d'ailleurs lorsqu'il s'agit de câbles souples alimentant des engins mobiles tels que les haveuses et les convoyeurs blindés. Il s'impose aussi lorsque le seuil de fonctionnement du relais de déclenchement du contrôleur d'isolement est inférieur à 10.000 ohms, valeur à partir de laquelle le danger d'électrocution doit être envisagé. Mais il est nécessaire d'effectuer, en outre, à des intervalles de temps suffisamment rapprochés, des contrôles de la résistance de terre du conducteur des masses de toutes les antennes où le contrôle permanent de la continuité du circuit des masses ne peut pas être effectué sur toute la longueur jusqu'au point de liaison à la terre.

En ce qui concerne les câbles à écran collectif, il n'y a pas d'inconvénient à les maintenir provisoirement en service car il est généralement admis que les défauts entre phases dégénèrent rapidement en défauts entre phase et écran. Il est toutefois recommandable de les remplacer, au fur et à mesure des renouvellements, par des câbles à écrans individuels; ce remplacement s'impose particulièrement pour les câbles souples alimentant les engins mobiles.

§ 2. Protection contre les défauts d'isolement par le contrôle du potentiel d'un neutre artificiel, avec dispositif d'injection de courant redressé assurant la sélectivité indirecte et dispositif de contrôle permanent de la continuité du circuit des masses.

Dans cette combinaison, le contrôle de l'isolement est assuré par un appareil décrit au Chapitre II, § 4, ci-avant. Il est souhaitable d'y adjointre, dans la mesure du possible, le contrôle de la continuité du cir-

het mogelijk is, de controle van de continuïteit van de schutgeleider toe te voegen door injectie van stroom met een gelijkrichter op het uiteinde van de lijn.

Het net mag verscheidene toestellen omvatten, waarvan de invloedszones elkaar gedeeltelijk zouden moeten dekken. De selectiviteit zal men dan op onrechtstreekse wijze verzekeren door aan ieder toestel een inrichting te koppelen die, wanneer de contactor uitgeschakeld is, een gelijkgerichte stroom in het kunstmatig nulpunt jaagt. Is er een defect, dan doet deze stroom aan de klemmen van de gelijkrichter een spanning ontstaan, die het rooster van de thyatron voedt en de wederinschakeling verhindert.

§ 3. Controle van de isolatie door injectie van gelijkstroom, samen met directionele bescherming tegen isolatiedefecten door homopolaire stroom en bescherming tegen dubbele isolatiedefecten door detector van impedante kortsluitingen.

Deze combinatie doet beroep op het principe van injectie van gelijkstroom enkel voor de controle van de isolatie, met alarmgrens, doch zonder uitschakelingsgrens.

De automatische bescherming van de verschillende vertakkingen tegen de enkelvoudige isolatiedefecten wordt verzekerd door toestellen van het type beschreven in hoofdstuk II, § 8. Wij hebben gezien dat dit type de selectiviteit op een rechtstreekse wijze verzekert, maar dat de uitschakelingsgrens niet vrij kan geregeld, doch tamelijk laag moet vastgesteld worden wanneer het net een capacitair onevenwicht vertoont.

Anderzijds wordt de bescherming tegen de kortsluitingen tussen fasen en tegen de dubbele isolatiedefecten verzekerd door een detector voor impedante defecten die, volgens de omstandigheden, een toestel zal zijn dat gevoelig is voor het onevenwicht der fasestromen, zoals dit beschreven in hoofdstuk II, § 10, of een toestel met injectie van stroom op verhoogde frekwentie, zoals dit beschreven in hoofdstuk II, § 11.

Voor de beweegbare tuigen moet de bescherming steeds vervolledigd worden door een veiligheidsblok, dat kan gecombineerd worden met sommige van de hierboven vermelde toestellen.

§ 4. Controle van de isolatie door injectie van gelijkstroom, samen met de bescherming door detector van impedante kortsluitingen en dubbele isolatiedefecten.

Deze oplossing biedt minder waarborgen dan de voorgaande, want zij behelst geen bescherming meer tegen de enkelvoudige isolatiedefecten. Zij is naar onze mening slechts aanneembaar indien minstens aan de vier hiernavolgende voorwaarden voldaan is:

cuit des masses par injection de courant avec redresseur en bout de ligne.

Le réseau peut comporter plusieurs appareils dont les zones d'influence devraient se recouvrir. La sélectivité est alors assurée d'une manière indirecte en accouplant à chaque appareil un dispositif qui, lorsque le contacteur est déclenché, injecte par le neutre artificiel un courant redressé. Lorsqu'il existe un défaut, ce courant produit une tension aux bornes du redresseur qui alimente la grille du thyratron et empêche le réenclenchement.

§ 3. Contrôle de l'isolement par injection de courant continu, avec protection directionnelle par courant homopolaire contre les défauts d'isolement et protection par détecteur de défauts impédants contre les courts-circuits et les défauts d'isolement doubles.

Cette combinaison fait appel au principe d'injection de courant continu uniquement pour le contrôle de l'isolement avec seuil d'alerte.

La protection des diverses antennes contre le défaut d'isolement simple est assurée par des dispositifs du type décrit au Chapitre II, § 8. Nous avons vu que ce type d'appareil assure la sélectivité d'une manière directe, mais que le seuil de déclenchement ne peut pas être réglé librement, mais doit être fixé assez bas lorsque le réseau présente un déséquilibre capacitairess.

Par contre, la protection contre les courts-circuits entre phase et contre les défauts d'isolement doubles, est assurée par un détecteur de défauts impédants qui, selon les circonstances, sera un appareil basé sur les déséquilibres d'intensité, décrit au Chapitre II, § 10, ou un appareil basé sur l'injection d'un courant à fréquence élevée, décrit au Chapitre II, § 11.

Pour les appareils mobiles, la protection est toujours complétée par le bloc de sécurité.

§ 4. Contrôle de l'isolement par injection de courant continu, avec protection par détecteur de défauts impédants contre les courts-circuits et les défauts d'isolement doubles.

Cette solution procure moins de garanties que les précédentes, car elle abandonne la protection contre les défauts d'isolement simples. Pour qu'elle soit acceptable, il faudrait, à notre avis, qu'il soit satisfait au moins aux quatre conditions suivantes :

1) de permanente controle van de isolatie omvat een alarmrelais, dat in werking treedt wanneer de grens wordt overschreden, die ongeveer 15.000 ohms bedraagt, en er zijn nauwkeurige instructies gegeven nopens de te treffen maatregelen ingeval het signaal werkt ;

2) de permanente controle van de continuïteit van de schutgeleider wordt verzekerd met uitschakelingsrelais ; desnoods kunnen te dien opzichte overgangsmaatregelen aangenomen worden, zoals gemeld in § 1 ;

3) de detector die de bescherming tegen dubbele isolatiedefecten verzekert, is gevoelig voor een defectstroom die merkelijk lager is dan de nominale stroom, bv. minder dan 20 % van de nominale stroom ;

4) deze detector verzekert de uitschakeling in minder dan 50 ms.

De eerste voorwaarde is verantwoord door het feit dat het ondenkbaar is dat men zou steunen op de bescherming tegen dubbele isolatiedefecten om zich ontslagen te achten van de permanente controle van de isolatie. De dubbele isolatiedefecten kunnen immers aanleiding geven tot een belangrijke ontwikkeling van energie op de plaats der defecten, met al de gevaren die hieruit kunnen voortvloeien ; men dient deze incidenten bijgevolg zoveel mogelijk te voorkomen door het uitvoeren van de permanente controle van de isolatie en door iedere vertakking waar een defect ontstaat zo spoedig mogelijk uit te schakelen.

De tweede voorwaarde is nodig omdat het net niet automatisch uitgeschakeld wordt in geval van enkelvoudig defect en bijgevolg in die toestand nog een bepaalde tijd in bedrijf blijft ; in zulk geval is het electrocutiegevaar groter en de schutgeleider is dan volstrekt nodig.

Wat de derde voorwaarde betreft, dient opgemerkt dat men het ogenblik waarop de bescherming tegen een dubbel defect zal moeten werken, niet mag bepalen door te steunen op de grens vanaf dewelke gevaarlijke spanningen op de massa's zouden kunnen verschijnen. Een dergelijke definitie zou inderdaad uiterst onnauwkeurig zijn, aangezien een stroom van enkele ampères een gevaarlijke spanning op de massa's kan doen verschijnen wanneer de equipotentiële verbinding der massa's onderbroken is. terwijl integendeel een stroom van verscheidene honderden ampères zonder gevaar kan zijn wanneer de schutgeleider in goede staat is en aan het reglement voldoet. Wanneer men de bescherming tegen enkelvoudige defecten prijsgeeft, moet de bescherming tegen dubbele defecten onmiddellijk bij het ontstaan van zulke defecten tussenkomen ; bijgevolg dient men de grootste gevoeligheid te verkiezen die men met de bestaande toestellen kan bereiken, nl. 5 à 10 % van de waarde van de nominale stroom.

1) que le contrôle permanent de l'isolement comporte un relais d'alerte fonctionnant en cas de franchissement d'un seuil qui devrait se situer aux environs de 15.000 ohms au moins, et que des consignes précises soient fixées quant aux mesures à prendre en cas de fonctionnement de ce signal ;

2) que le contrôle permanent de la continuité du circuit des masses soit assuré, avec relais de déclenchement ; au besoin, des dispositions transitoires pourraient être admises, comme il est dit au § 1 ;

3) que le détecteur assurant la protection contre le défaut double soit sensible à un courant de fuite nettement inférieur au courant nominal, par exemple moins de 20 % du courant nominal ;

4) que ce détecteur assure la coupure en un temps inférieur à 50 ms.

La première condition est justifiée par le fait qu'il serait inconcevable de se baser sur la protection contre le défaut double pour se dispenser de la surveillance de l'isolement. En effet, les défauts doubles peuvent donner lieu à une dissipation d'énergie importante à l'endroit des défauts, avec tous les dangers que cela comporte, et il y a donc lieu de s'efforcer de les prévenir en effectuant le contrôle permanent de l'isolement et en mettant la partie en défaut dès que possible hors service.

La seconde condition est nécessaire parce que le réseau ne déclenche pas automatiquement en cas de défaut simple et reste par conséquent pendant un certain temps en service dans cet état ; dans pareil cas, le danger d'électrocution est accru et le conducteur des masses prend toute son importance.

En ce qui concerne la troisième condition, il y a lieu de remarquer qu'on ne peut pas déterminer le moment où la protection contre le défaut double devra intervenir, en prenant comme critère la limite à partir de laquelle des tensions dangereuses peuvent apparaître sur les masses. En effet, pareille définition serait extrêmement imprécise, puisqu'un courant de quelques ampères peut faire apparaître une tension dangereuse sur les masses lorsque la liaison équipotentielle des masses est interrompue, tandis qu'un courant de plusieurs centaines d'ampères peut ne pas faire apparaître des tensions dangereuses sur les masses lorsque le circuit des masses est en bon état et conforme au règlement. Lorsqu'on abandonne la protection contre le défaut simple, il faut que la protection contre le défaut double intervienne dès la naissance d'un pareil défaut et il convient par conséquent d'adopter les sensibilités les plus grandes qu'il est possible d'atteindre avec les appareils existants, soit 5 à 10 % de la valeur du courant nominal.

Wat de vierde voorwaarde betreft, staat het vast dat een dubbel defect steeds een ernstig incident is en dat het dus de uitschakeling moet voor gevolg hebben in een zo kort mogelijke tijdspanne, in ieder geval merkelijk minder dan 100 ms, gedurende welke tijd de in de kabels ontstane defecten zich waarschijnlijk niet zullen kunnen exterioriseren.

§ 5. Bescherming van de netten waarvan het nulpunt met de aarde verbonden is.

In een installatie waarvan het nulpunt met de aarde verbonden is, heeft een defect fase-massa dezelfde uitwerking als een dubbel defect in een net met geïsoleerd nulpunt.

Dit geval is dus hetzelfde als dat behandeld in de voorgaande paragraaf, met dit verschil dat de methodes voor de controle van de isolering niet kunnen toegepast worden en dat de eerste van de vier in bedoelde paragraaf aangehaalde voorwaarden bijgevolg niet kan vervuld worden.

In de huidige stand van de kwestie kunnen de installaties waarvan het nulpunt met de aarde verbonden is bijgevolg niet dezelfde veiligheid bieden als de installaties met geïsoleerd nulpunt.

BESLUITEN

In het eerste gedeelte van deze nota hebben wij gewezen op de gevaren verbonden aan de uitbreiding van de electrificatie in de ondergrondse werken der mijnen, namelijk op het gevaar voor electrocutie, het gevaar voor brand en het gevaar voor ontvlamming van mijngas. Deze risico's verhogen nog wan-ner plotse mijngasuitbarstingen te vrezen zijn, die een plotse beschadiging van het electrisch materieel kunnen veroorzaken.

Wij hebben een beknopte beschrijving gegeven van de verschillende types van toestellen die tijdens de laatste jaren uitgedacht werden om de tekortkomingen van de klassieke beschermingsmiddelen te verhelpen. Uit deze beschrijvingen blijkt dat er thans verscheidene middelen bestaan om op een voldoende wijze de selectieve en quasi integrale bescherming der netten te verzekeren.

Het lijdt geen twijfel dat bij de eerstkomende herziening van het reglement betreffende het gebruik van electriciteit in de ondergrondse werken, rekening zal moeten gehouden worden met de nieuwe aspecten van dit vraagstuk.

Het zou bijgevolg nuttig zijn dat de isolatie der ondergrondse netten reeds van nu af op permanente wijze zou gecontroleerd, en desnoods zou verbeterd worden, opdat het toekomstig gebruik van automatische beschermingsrelais tegen isolatiedefecten voor de exploitatie geen oorzaak van hinder zou kunnen vormen. De controletoestellen der isolatie met alarmrelais zijn trouwens in bepaalde gevallen reeds ver-

En ce qui concerne la quatrième condition, il va de soi qu'un défaut double, qui est toujours un incident grave, doit entraîner la coupure en un temps aussi court que possible, et en tout cas nettement inférieur à 100 ms, temps en dessous duquel on admet que les défauts survenant dans les câbles ne pourront probablement pas s'exterioriser.

§ 5. Protection des réseaux dont le neutre est relié à la terre.

Lorsque le neutre est relié à la terre, un défaut phase-masse a les mêmes effets qu'un défaut double dans un réseau à neutre isolé.

On se retrouve donc devant un cas analogue à celui visé au paragraphe précédent, à cette exception près que les méthodes de contrôle de l'isolation ne sont pas applicables et qu'il ne peut donc pas être satisfait à la première des quatre conditions qui sont mentionnées dans ce paragraphe.

Les réseaux à neutre relié à la terre ne pourront donc pas, dans l'état actuel de la question, présenter une sécurité comparable à celle des réseaux à neutre isolé.

CONCLUSIONS

Dans la première partie de cette note, nous avons rappelé les dangers que présente l'extension de l'électrification dans les travaux souterrains des mines, au triple point de vue des risques d'électrocution, d'incendie et d'inflammation du grisou.

Ces risques s'aggravent lorsqu'il y a lieu de craindre des dégagements instantanés de grisou qui peuvent causer des détériorations brusques au matériel électrique.

Nous avons passé en revue les divers types d'appareils qui ont été conçus au cours des dernières années et qui visent à pallier les déficiences que présentent les moyens classiques de protection. Il résulte de cet exposé qu'il existe actuellement plusieurs moyens capables d'assurer d'une manière satisfaisante la protection sélective et quasi-intégrale des réseaux.

Il n'est pas douteux que, lors de la prochaine révision de la réglementation relative à l'emploi de l'électricité dans les travaux du fond, il devra être tenu compte des nouveaux aspects que prend cette question.

Il serait par conséquent utile que l'isolation des réseaux souterrains soit dès à présent contrôlé d'une manière permanente, et au besoin amélioré, afin que l'emploi dans un certain avenir de relais de protection contre les défauts d'isolation ne puisse constituer une cause de gêne pour l'exploitation. Il n'est d'ailleurs guère douteux que les contrôleurs d'isolation avec relais d'alerte, qui sont déjà imposés dans

plichtend en zullen zonder twijfel binnenkort deel uitmaken van de normale uitrusting der netten.

Wat de automatische bescherming tegen de isolatiedefecten betreft, worden verscheidene oplossingen voorgesteld. Sommige van deze oplossingen werden reeds met succes in de praktijk toegepast, andere echter nog niet. Het zou te wensen zijn dat nu reeds zou overgegaan worden tot een zeker aantal toepassingen, opdat de hoedanigheid van de voorgestelde toestellen zou kunnen bevestigd worden door de ondervinding.

De automatische bescherming tegen de enkelvoudige isolatiedefecten biedt de grootste waarborg, maar volgens sommigen zou zij kunnen vervangen worden door de bescherming tegen de dubbele defecten alleen. Op een zo nieuw gebied is een zekere soepelheid nodig; daarom denken wij dat deze opvattingen niet *a priori* moeten verworpen worden, althans indien bepaalde voorwaarden, die wij hierboven hebben aangehaald, vervuld zijn.

Wat de toestellen betreft in werkplaatsen waar plotse mijngasuitbarstingen te vrezen zijn, dienen de strengste maatregelen genomen te worden. Bij de bescherming tegen enkelvoudige defecten, waarvan de tussentijd trager is, zou dan een zo snel mogelijke bescherming tegen de dubbele defecten moeten gevoegd worden.

De laatste vorderingen in dat opzicht laten ons toe binnen afzienbare tijd een bevredigende oplossing te verhopen. Het zou dan van belang zijn de mogelijkheden te onderzoeken om voor de installaties die zich in de nabijheid van de werkfronten bevinden, half-soepele kabels te gebruiken, met individuele schermen in geleidende rubber en een gepantserd scherm in stalen draden waarbij een mechanische en terzelfdertijd een volledige elektrische bescherming zoals bedoeld onder A, B, C, en E van hoofdstuk II, § 9, zou verzekerd zijn. Alzo zou de veiligheid gewaarborgd zijn tegen de bruske beschadigingen veroorzaakt door plotse mijngasuitbarstingen of door gelijk welke andere toevallige bruske oorzaak, zoals een bijtslag op een soepele kabel. Het moeilijkste vraagstuk van de bescherming der ondergrondse netten zou alzo opgelost zijn.

* * *

Ten slotte mag men niet uit het oog verliezen dat, welk beschermingsstoestel ook gebruikt wordt, in ieder geval de klassieke bescherming door lastscha-kelaars of smeltverzekeringen steeds op onberispelijke wijze moet verzekerd worden, want zij kan door niets anders vervangen worden. Hiervoor dient men voor iedere vertakking de waarde van de kortsluitingsstroom aan het einde der lijn te berekenen en er voor te zorgen dat een snelle automatische onderbreking verzekerd wordt zodra de stroom deze waarde bereikt.

* * *

certains cas, feront bientôt partie de l'équipement normal de protection des réseaux.

En ce qui concerne la protection automatique contre les défauts d'isolement, plusieurs solutions sont proposées. Certaines ont reçu avec succès la sanction de la pratique, d'autres pas encore. Il serait souhaitable qu'un certain nombre d'applications soient réalisées dès à présent, afin que les qualités des appareils proposés puissent être confirmées par l'expérience.

La protection automatique contre les défauts d'isolement simples offre la plus grande garantie, mais il existe des opinions selon lesquelles elle pourrait sans inconvénients être remplacée par la seule protection contre les défauts doubles. Dans un domaine aussi nouveau, une certaine souplesse est nécessaire ; c'est pourquoi nous estimons que ces opinions ne doivent pas être rejetées *a priori*, à condition toutefois qu'il soit satisfait à certaines conditions que nous avons précisées.

En ce qui concerne les installations placées dans des chantiers sujets à des dégagements instantanés de grisou, le maximum de précautions s'impose. À la protection contre les défauts simples, dont l'action est plus lente, devrait se superposer une protection contre les défauts doubles aussi rapide que possible. Les derniers progrès en cette matière nous permettent d'espérer une solution satisfaisante dans un proche avenir. Il serait alors intéressant d'étudier les possibilités d'emploi pour l'alimentation des engins fonctionnant à proximité des fronts de travail, de câbles semi-souples comprenant des écrans individuels en caoutchouc conducteur et une armure en fils d'acier servant de protection mécanique et en même temps d'écran collectif permettant de réaliser les protections A, B, C et E énumérées au Chapitre II, § 9. La sécurité serait ainsi garantie contre les détériorations brusques causées par les dégagements instantanés et, par conséquent, également contre toute autre cause agissant brusquement, telle que le coup de hache. Le problème le plus difficile de la protection des réseaux serait ainsi résolu.

* * *

Enfin, on ne devrait jamais perdre de vue, quel que soit le système employé, que dans tous les cas la protection classique par disjoncteurs ou fusibles doit toujours être correctement conçue, car rien ne peut la remplacer. Dans ce but, il est indispensable de calculer la valeur du courant de court-circuit en bout de ligne de chaque antenne et de faire en sorte que la coupure automatique rapide soit assurée dès que le courant atteint cette valeur.

* * *

De keuze van een stelsel om de integrale bescherming der ondergrondse netten te verzekeren schijnt op het eerste zicht niet gemakkelijk te zijn, uit hoofde van de talrijke middelen die voorgesteld worden en die op verschillende principes berusten en dus zeer uiteenlopende karakteristieken vertonen.

Onlangs werden belangrijke verbeteringen aan de meeste van deze toestellen aangebracht en een volledige en samengebundelde documentatie is hieromtrent nog niet beschikbaar.

Daarom hebben wij het nuttig geacht in onderhavige nota de bijzonderste elementen te verzamelen die de ons bekende toestellen kenmerken, ten einde de tussen hen bestaande fundamentele verschillen te doen uitschijnen om ze also gemakkelijker te kunnen vergelijken.

Bij deze gelegenheid hebben wij de huidige strekkingen in deze kwestie aangeduid, om de keuze te oriënteren die in ieder geval zal moeten gedaan worden en waarbij dan nog rekening zal moeten gehouden worden met de bestaande installaties.

* * *

Wij danken het Centre d'Etude des Charbonnages de France en onderstaande, in alfabetische volgorde vermelde firma's, die zo vriendelijk geweest zijn ons de nodige documentatie te bezorgen :

Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi, Divisions de Charleroi et Herstal ;

Baldwin et Francis Ltd, vertegenwoordigd door Ets H.F. Destiné, te Brussel ;

Funke et Huster, te Kettwig, vertegenwoordigd door de N.V. Amelco, te Brussel ;

Jema, département Minelec, te Brussel ;

Merlin et Gérin, te Grenoble, vertegenwoordigd door de N.V. Electromécanique, te Brussel ;

Siemens-Schuckertwerke, afdelingen van Erlangen, Berlijn en Nurenberg, vertegenwoordigd door de Société Nouvelle Siemens, te Luik.

Le choix d'un système visant à assurer la protection intégrale des réseaux souterrains ne paraît pas aisément à première vue, en raison de la multiplicité des moyens qui sont proposés et qui, étant basés sur des principes différents, présentent des caractéristiques parfois très divergentes.

Tout récemment, des perfectionnements importants ont été apportés à la plupart de ces appareils et la documentation à ce sujet n'a jusqu'à présent été diffusée que d'une manière très incomplète et fort épars. C'est pourquoi nous avons voulu rendre service en rassemblant dans la présente note les éléments essentiels caractérisant les divers appareils dont nous avons connaissance, de manière à faire ressortir les différences fondamentales qui existent entre eux et à pouvoir ainsi plus aisément les comparer.

A cette occasion, nous avons indiqué les tendances qui se dégagent dans ce domaine, afin d'orienter les choix qu'il y aura lieu de faire, compte tenu, dans chaque cas particulier, des installations existantes.

* * *

Nous adressons nos remerciements au Centre d'Etude et Recherches des Charbonnages de France, ainsi qu'aux firmes suivantes, citées par ordre alphabétique, qui nous ont aimablement fourni la documentation nécessaire :

Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi, Divisions de Charleroi et Herstal ;

Baldwin & Francis Ltd, représenté par les Ets H.F. Destiné à Bruxelles ;

Funke et Huster, à Kettwig, représenté par la S.A. Amelco à Bruxelles ;

Jema, Département Minelec, à Bruxelles ;

Merlin et Gérin, à Grenoble, représenté par la S.A. Electromécanique à Bruxelles ;

Siemens-Schuckertwerke, Divisions de Erlangen, Berlin et Nuremberg, représenté par la Société Nouvelle Siemens à Liège.

BIBLIOGRAPHIE

- A. EINSELE. — Schlagwettergeschützte Schalt- und Überwachungsgeräte sowie Verteilungsanlagen ~ Siemens Zeitschrift, nov. 1952, déc. 1952.
- L. VIELLEDENT, J. JOURDAN, J. BRONNER. — Isolations ~ Überwachung in Niederspannungsnetzen unter Tage mit isoliertem Sternpunkt ~ Glückauf, 17 déc. 1955 et 18 févr. 1956.
- J. OUDIN, I.P. EYRAUD. — Les écrans de sécurité des câbles souples ~ Revue de l'Industrie Minérale, numéro spécial 1 E, février 1956.
- R. KRUGER. — Evolution des câbles électriques du fond aux Saarbergwerke ~ Idem.
- M. OUDARD. — Surveillance et contrôle de l'isolation dans les réseaux moyenne et basse tension ~ Idem.
- Dr. Ing. D. MATANOVIC. — Le contrôle de l'isolation des réseaux de distribution électrique au fond ~ Idem.
- M. WINDENBERGER. — Nouveaux dispositifs permettant le contrôle permanent de l'isolation des réseaux miniers BT et MT ~ Idem.

- L. VIELLEDENT, J. JOURDAN, J. BRONNER. — Circuits de commande à distance des machines mobiles. - Id.
- L. VIELLEDENT, J. JOURDAN, J. BRONNER. — Le contrôle de l'isolation dans les réseaux basse tension à neutre isolé - Idem.
- K. WULSTEN. — La surveillance de câbles et conducteurs isolés dans le fond des mines - Idem.
- C. BIHL. — Le danger du court-circuit dans les réseaux d'électrification du fond - Annales des Mines, Paris, mars 1957, juin 1957.
- E. DESSALLES. — Electrification du fond. Courts-circuits et mises accidentelles à la terre - Annales des Mines de Belgique, juin 1957.
- J. EYRAUD. — Amélioration des conditions de déclenchement des relais de sécurité - Revue de l'Industrie Minérale, juillet 1957.
- K. FALKER. — Isolationswächter für Drehstromnetze unter 1.000 V mit Schutzleitersystem - Siemens Zeitschrift, avril 1958.
- J. ROUVEL. — Problèmes de protection dans les réseaux miniers - Revue de l'Industrie Minérale, octobre 1957.
- R. STREICH. — Ein neues Überwachungssystem für die Elektrische Energieversorgung unter Tage - Siemens Zeitschrift, aug. 1958.
- J. ROUVEL. — Extension aux réseaux industriels de la sécurité qu'apporte aux réseaux miniers le contrôle permanent de l'isolation par rapport à la terre - Revue Générale d'Electricité, avril 1958.
- R. DORFLER et T. FEDERSDORF. — Planung von Untertageanlagen mit besonderer Berücksichtigung des Netzschutzes - Siemens Zeitschrift, aug. 1958.
- K. WULSTEN. — Erdschlussüberwachung in geerdeten Niederspannungsnetzen - Siemens Zeitschrift, aug. 1958.
- C. GAGNIERE. — Mise au point d'un dispositif de protection contre les courts-circuits - Revue de l'Industrie Minérale, déc. 1958.
- C. BIHL. — Le danger des défauts monophasés dans les réseaux triphasés d'électrification du fond - Annales des Mines, Paris, déc. 1958.
- J. LECLERCQ, in samenwerking met V. FIEVEZ en O. DEGEYTER. — Inflammations d'huile provoquées par la blessure des câbles électriques - Annales des Mines de Belgique, janvier et février 1959.
- R. LOISON. — Recherches de sécurité minière en U.R.S.S. - Annales des Mines, Paris, avril 1959.
- C. BIHL. — Essai de directives d'emploi rationnel des nouvelles protections dans les réseaux d'électrification du fond - Revue de l'Industrie Minérale, mai 1959.
- C. CLAASSEN. — Untersuchungen an Erdschlusswächtern für Wechsel- und Drehstrom-Netze - Signal- und Fernmeldepraxis, juin 1959.
- W. HAMANN. — Anwendungsmöglichkeiten eigensicherer Stromkreise im schlagwettergefährdeten Bergbau - Bergfreiheit, Zeitschrift für den deutschen Bergbau n° 8/1959.
- T.A. ROGERS. — Walton Colliery Explosion - Colliery Guardian, 1959, 29 octobre et 5 novembre.
- R. CŒUILLET. — L'électrification et la mécanisation du fond dans les houillères françaises, Bilan 1958 - Charbonnages de France, Note technique 5/59, déc. 1959.
- R. FRADCOURT et J. LARET. — Etude d'un accident d'électrocution dans une taille mécanisée d'un charbonnage - Annales des Mines de Belgique, 1960.