

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 25 (1934)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Schutzmassnahmen zur Vermeidung elektrischer Unfälle in den Hausinstallationen [Fortsetzung und Schluss]  
**Autor:** Wettstein, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056594>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

so beträgt die Rechnung ebenfalls Fr. 40.—; dafür bezieht der Abonnent infolge des günstigeren Angebotes möglicherweise aber weitere Energie.

Durch ähnliche Massnahmen kann für das betrachtete Werk zweifellos der Motorenenergieverbrauch und besonders die Wärmeenergieabgabe im

HT noch gefördert werden. Dabei dürfte speziell eine Beschränkung des Wintertarifes auf die Monate November bis Februar von grossem Einfluss sein, um den Verbrauch für Zwischensaisonheizung und die noch entwicklungsfähige Kochenergieabgabe zu heben.

## Schutzmassnahmen zur Vermeidung elektrischer Unfälle in den Hausinstallationen.

Von M. Wettstein, Zürich.

(Fortsetzung von Seite 715 und Schluss.)

621.316.99

### E. Die Anwendung der Schutzschaltung \*).

#### 1. Allgemeines.

Die Schutzschaltung beruht darauf, dass man denjenigen Objekten und denjenigen Installationsteilen, deren Metallteile bzw. deren Metallumhüllungen bei einem Isolationsfehler mit einem Polleiter in Berührung kommen und dadurch eine Spannung gegen Erde annehmen können, einen Schalter vorschaltet, der mit einer Auslösespule versehen ist, welche die zwischen den zu schützenden Metallteilen und der Erde herrschende Spannung kontrolliert und die Anlage abschaltet, sobald eine gefährliche Spannung auftritt.

Die einfachste Anordnung ergibt sich, wenn nur ein einzelnes Objekt geschützt werden muss. In diesem Fall kann der Schutzschalter dem Objekt direkt vorgeschaltet werden. Die schematische Anordnung einer solchen Schutzschaltung ist in Fig. 73 dargestellt und es kann an Hand dieses Schemas

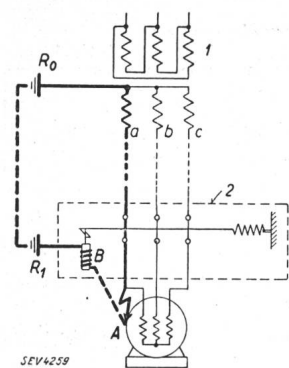


Fig. 73.

- 1 Netztransformator.
- 2 Schutzschalter.

die Wirkungsweise leicht erklärt werden. Tritt an dem zu schützenden Objekt ein Isolationsfehler im angedeuteten Sinne auf, so fliesst von der Transformator клемme a ein Strom über den einen Polleiter zur Fehlerstelle und von da über die sogenannte Schutzleitung A—B zur Auslösespule und weiter über die Erdleitung und die Erdelektrode R<sub>1</sub> zur Erde und von der Erde über die Erdelektrode des Transformatornullpunktes R<sub>0</sub> zum Transformator zurück. Ist der Fehlerstrom gross genug, so löst der Schalter aus und trennt das Objekt vom Netz ab.

Müssen auch die Metallumhüllungen der Isolierrohre geschützt werden, oder will man mit einem Schutzschalter mehrere Objekte gemeinsam schützen, so wird der Schutzschalter der ganzen Installa-

tion vorgeschaltet und es müssen alle Objekte und die Metallumhüllungen der Isolierrohre durch eine Schutzleitung mit der Auslösespule des Schutz-

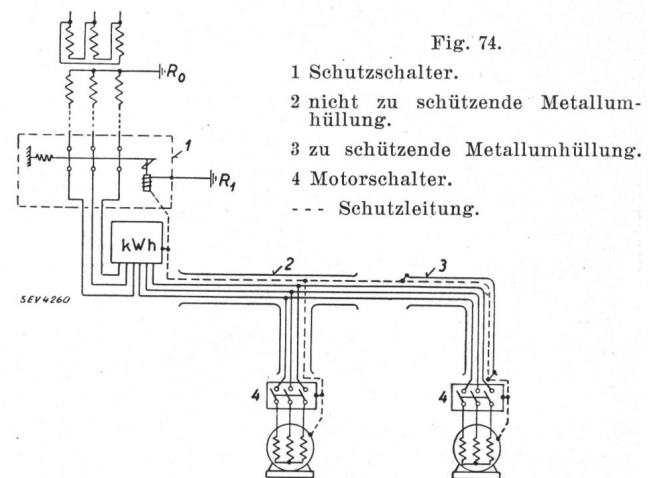


Fig. 74.

- 1 Schutzschalter.
- 2 nicht zu schützende Metallumhüllung.
- 3 zu schützende Metallumhüllung.
- 4 Motorschalter.
- Schutzleitung.

schalters verbunden werden. Eine solche Anordnung ist in Fig. 74 schematisch dargestellt.

### 2. Untersuchung über die Anforderungen, die an die Schutzschaltung gestellt werden müssen.

#### a) Auslösespule des Schutzschalters.

In erster Linie ist zu prüfen, welche Anforderungen an die Auslösespule gestellt werden müssen, damit der Schutzschalter einwandfrei funktioniert. Wie einleitend bemerkt, fällt der Auslösespule die Aufgabe zu, die Spannung zwischen den in Betracht kommenden, nicht für die Stromleitung dienenden Metallteilen und der Erde zu überwachen. Da aber die Erdungsstelle des Schutzschalters einen Widerstand aufweist, so ist ein vollständiges Erfassen der genannten Spannung durch die Auslösespule theoretisch unmöglich. Die wirklich zwischen den Metallteilen und der Erde herrschende Spannung wird stets grösser sein als die an der Auslösespule liegende Spannung. Trotzdem kann die Spule so gebaut werden, dass sie befriedigend arbeitet. Man muss nur die Auslösespannung der Spule unter der maximal zulässigen Spannung wählen, die bei einem Isolationsfehler zwischen Objektgehäuse und Erde auftreten darf. Die Differenz dieser Spannungen

\*) Vgl. Bull. SEV 1931, Nr. 2.

ist durch das Verhältnis des Spulenwiderstandes zum Erdwiderstand bedingt. In nachstehendem soll nun gezeigt werden, für welche Daten die Spulen gebaut werden müssen, um befriedigende Resultate zu erzielen. Für die diesbezüglichen Berechnungen diene das Widerstandsschema Fig. 75.

Die mit 1 bis 4 bezeichneten Leiterelemente bedeuten:

- 1 den Ohmschen,
- 2 den induktiven Widerstand der Auslösespule,
- 3 den Erdwiderstand der Schutzerdung des Objekts,
- 4 den Erdwiderstand der Transformatornullpunktserdung.

Die Widerstände der Leitungen können bei diesen Untersuchungen vernachlässigt werden, weil sie

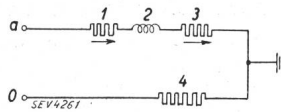


Fig. 75.

im Verhältnis zu den Erdwiderständen verschwindend klein sind.

Zwischen den Punkten a und o herrscht die Phasenspannung  $U$  des Netzes. Es muss somit von a nach o ein Strom fließen von der Grösse

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_3 + R_4)^2 + (L_2 \omega)^2}}$$

Die an der Schutzschalter-Spule auftretende Spannung  $U_{1,2}$  beträgt

$$U_{1,2} = I \cdot \sqrt{R_1^2 + (L_2 \omega)^2}$$

und zwischen Fehlerstelle und Erde tritt eine Spannung

$$U_{1,2,3} = I \cdot \sqrt{(R_1 + R_3)^2 + (L_2 \omega)^2} \text{ auf.}$$

Diese letzten beiden Formeln zeigen, dass der Unterschied der zwischen der Fehlerstelle und Erde bestehenden Spannung (Berührungsspannung) und der an der Spule auftretenden Spannung um so grösser wird, je grösser der Erdwiderstand  $R_3$  im Verhältnis zum Scheinwiderstand der Auslösespule ist. Da der Schutzschalter offenbar ganz besonders da angewendet wird, wo die Erstellung von Erdungen mit kleinern Widerständen auf Schwierigkeiten stösst, so muss bei der Beurteilung der Wirkungsweise des Schutzschalters mit einem hohen Erdwiderstand  $R_3$  gerechnet werden. Immerhin kann angenommen werden, dass dieser Erdwiderstand auch im ungünstigen Erdreich mit 200 Ohm begrenzt werden kann.

Der Widerstand der Nullpunktserdung  $R_4$  ist durch die Starkstromverordnung auf maximal 20 Ohm festgelegt und es soll in nachstehendem auch mit diesem Wert gerechnet werden. Dieser Widerstand hat im übrigen für die Untersuchung keine wesentliche Bedeutung, weil es bei der Beurteilung des Schutzschalters in der Hauptsache nur auf das Verhältnis der tatsächlichen Spannung zwischen Fehlerstelle und Erde und der von der Auslösespule

gemessenen Spannung ankommt. Die Festsetzung des Wertes von  $R_4$  erfolgt lediglich, um die Spannungsverteilung für den ganzen Stromkreis berechnen zu können. Als maximal zulässige Spannung zwischen Objektgehäuse und Erde kommen im Sinne der Starkstromverordnung 50 V in Betracht. Da es aber möglich ist, die Ansprechspannung des Schalters wesentlich tiefer zu halten und die Untersuchungen der EKZ gezeigt haben, dass unter ungünstigen Umständen eine Spannung von 30 V schon gefährlich sein kann, so sollte die Ansprechspannung der Spule eher unter 30 V gewählt werden. Für die Untersuchung sei aber eine Ansprechspannung von 30 V angenommen. Die Auslösespule kann nun entweder mit verhältnismässig kleiner Windungszahl, also auch kleinen Widerständen und relativ grossem Auslösestrom oder mit hoher Windungszahl, hohen Widerständen und kleinem Auslösestrom gebaut sein. Der Einfluss des Spulenwiderstandes auf die Wirksamkeit des Schalters soll an folgenden zwei Beispielen gezeigt werden.

Die eine Spule besitzt einen Ohmschen Widerstand ( $R_1$ ) von 30 Ohm und einen induktiven Widerstand ( $L_2 \omega$ ) von 60 Ohm. Bei einer Ansprechspannung von 30 Volt beträgt der Auslösestrom

$$I = \frac{30}{\sqrt{30^2 + 60^2}} = 0,448 \text{ A.}$$

Die Spannung zwischen der Fehlerstelle und der Erde  $U_{1,2,3}$  beträgt somit

$$U_{1,2,3} = 0,448 \sqrt{(30 + 200)^2 + 60^2} = 107 \text{ Volt.}$$

Damit der Fehlerstrom zustande kommt, müsste die Phasenspannung des Netzes ( $U$ ) mindestens

$$U = 0,448 \sqrt{(30 + 200 + 20)^2 + 60^2} = 115 \text{ Volt}$$

betragen. Daraus geht hervor, dass in Netzen, die mit niedriger Spannung betrieben werden, oder in Netzen mit höherer Betriebsspannung in solchen Fällen, wo die Fehlerstelle selbst einen zusätzlichen Widerstand aufweist (Gestellschluss eines Motors im Innern der Wicklung, Gestellschluss in einer Kochplatte usw.) der Schutzschalter nicht ansprechen würde. Ein derart gebauter Schalter könnte somit seine Aufgabe nicht erfüllen.

Würde dagegen die Auslösespule z. B. mit 300 Ohm Ohmschem und 600 Ohm induktivem Widerstand gebaut, so würde der Auslösestrom

$$I = \frac{30}{\sqrt{300^2 + 600^2}} = 0,0448 \text{ A.}$$

betragen. Hiefür ergäbe sich zwischen Fehlerstelle und Erde eine Spannung von

$$U_{1,2,3} = 0,0448 \sqrt{(300 + 200)^2 + 600^2} = 35,5 \text{ Volt.}$$

Diese Spannung wäre also nur unwesentlich grösser als die Spulenspannung. Ein solcher Schalter würde in jedem Falle ansprechen, wenn eine gefährliche Spannung zwischen Fehlerstelle und Erde

auftreten würde. Ausserdem könnte ein solcher Schalter für alle gebräuchlichen Betriebsspannungen verwendet werden.

Eine gute Anschauung über den Einfluss der Spulenwiderstände auf die Wirksamkeit der Spule geben die beiden für diese Beispiele gerechneten Spannungsdiagramme in Figuren 76a und 76b.

Vorstehende Rechnungsbeispiele sowie die Diagramme bestätigen also, dass die Widerstände der Auslösespule im Verhältnis zum Erdwiderstand der Schutzschaltererdung hoch sein müssen. Besonders günstig wirken sich hohe induktive Widerstände

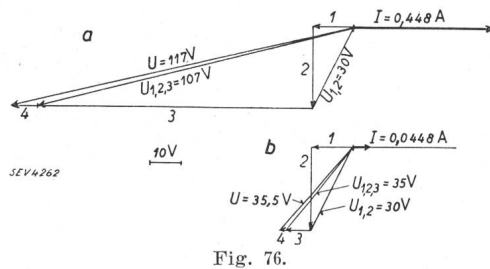


Fig. 76.

der Spule aus. Unter der Annahme, dass der Erdwiderstand der Schutzschaltererdung 200 Ohm nicht übersteigt, sollte der Scheinwiderstand der Auslösespule ungefähr 600 bis 700 Ohm betragen, und zwar ganz ohne Rücksicht auf die Betriebsspannung des Netzes. Diese Forderung bedingt aber in allen denjenigen Fällen, wo die Fehlerstellen keine zusätzlichen Widerstände aufweisen, eine allerdings nur kurzzeitige, aber sehr grosse Ueberlastung der Auslösespule. In einem 500 V-Drehstromnetz würde der Strom bei einer dem zweiten Beispiel entsprechenden Auslösespule

$$I = 0,448 \cdot \frac{290}{35,5} = 0,365 \text{ A}$$

betragen. Die Ueberlastung wäre also eine 8,2-fache. Wäre aber in einem solchen Netz infolge eines Fehlers ein Pol über einen niedrigen Widerstand (Wasserleitung) an Erde gelegt, so könnte die für den Auslösestromkreis in Frage kommende Spannung angenähert den Wert der verketteten Spannung annehmen. In einem solchen Falle würde die Ueberlastung der Spule ungefähr eine 14fache. Ausserdem muss die Auslösespule den minimalen Auslösestrom dauernd ertragen können, weil unter Umständen die Spannung zwischen Fehlerstelle und Erde kleiner als die minimal nötige Auslösespannung ist. Es kann dies dann der Fall sein, wenn das betreffende Objekt eine natürliche Erdung mit verhältnismässig niedrigem Erdwiderstand besitzt. Dieser Erdwiderstand ist der Auslösespule parallel geschaltet und bestimmt die zwischen Fehlerstelle und Erde auftretende Spannung.

Beträgt beispielsweise der natürliche Erdwiderstand einer an ein 500 V-Drehstromnetz angeschlossenen kleinen Pumpanlage 2 Ohm und der Erdwiderstand der Nullpunktserdung des Netzes 20 Ohm, so entsteht bei einem Isolationsfehler im

Pumpenmotor zwischen Motorengehäuse und Erde eine Spannung von ungefähr

$$290 \cdot \frac{2}{22} = 26,3 \text{ Volt.}$$

Bei dieser Spannung löst der Schalter noch nicht aus; der Zustand kann also längere Zeit bestehen bleiben.

Diese Beispiele haben gezeigt, dass an die Auslösespule eines Schutzschalters sehr hohe Anforderungen gestellt werden müssen, und es ist deshalb auch zu erwarten, dass infolge der hohen Beanspruchung der Spulen gelegentlich Beschädigungen vorkommen können. Ausserdem zeigt die Erfahrung immer wieder, dass automatische Einrichtungen, die nur sehr selten funktionieren müssen, eher versagen also solche, die sehr oft ansprechen. Es rührt dies offenbar davon her, weil bei oft betätigten Einrichtungen allfällige Fehler infolge ungenauer Ausführung der wichtigen Teile, unsorgfältiger Montage oder vorkommender Veränderungen des mechanischen Teiles infolge Temperaturänderungen verhältnismässig bald beachtet und beseitigt werden können. Auch ist bei solchen Apparaten ein Versagen wegen einer mit der Zeit eintretenden Verschmutzung der mechanischen Teile weniger zu befürchten als bei nur ganz selten funktionierenden automatischen Einrichtungen. Da die Schutzschalter zu den letzteren gehören, so ist ein gelegentliches Versagen sicher zu erwarten. Um diesen Uebelstand zu mildern, müssen die Schutzschalter mit Prüfeinrichtungen ausgerüstet sein. Damit mit dieser Einrichtung auch allfällige Windungsschlüsse in der Auslösespule erkannt werden können, muss die Prüfeinrichtung so beschaffen sein, dass der Schalter beim Prüfen mit der minimalen Auslösestromstärke betätigt wird. Ist ein Fehler in der Auslösespule vorhanden, so wird die Auslösung nicht erfolgen. Würde die Auslösestromstärke dagegen höher gewählt, so könnte auch bei einem Windungschluss in der Spule noch eine Auslösung erfolgen, der Fehler würde also nicht beachtet.

#### b) Installation der Schutzeinrichtung.

Bei der Installation der Schutzeinrichtung muss darauf Bedacht genommen werden, dass die Erdleitung gegen die zu schützenden Anlageteile und gegen die Schutzleitung genügend isoliert ist, weil sonst die Auslösespule des Schutzschalters überbrückt und der Schutzschalter dadurch unwirksam wird. Auf diesen Umstand ist besonders zu achten, wenn das betreffende Objekt eine natürliche Erdung besitzt. Würde z. B. bei einer Pumpanlage die Auslösespule an die Wasserleitung geerdet, so würde die Auslösespule kurzgeschlossen und der Schalter unwirksam. In solchen Fällen muss die Erdung des Schutzschalters an eine besondere, ausserhalb des Bereiches der Wasserleitung liegenden Erdelektrode angeschlossen werden, damit die Auslösespule im gegebenen Falle die maximal mögliche Spannungsdifferenz zwischen Objekt und Erde erfassen kann.

Da auch im Schutzschalter selbst Isolationsfehler entstehen können und er sich selbst nicht abschalten kann, so muss das Gehäuse des Schalters aus Isoliermaterial bestehen.

### 3. Zusammenfassung.

Zusammenfassend kann über die Anwendung der Schutzschaltung folgendes gesagt werden:

Der Schutzschalter muss eine Auslösespule besitzen, die bei einer unter 30 Volt liegenden Spannung anspricht, die den minimalen Auslösestrom dauernd erträgt und die bei einer kurzzeitigen Beanspruchung mit der verketteten Betriebsspannung des Netzes nicht beschädigt wird. Der Widerstand der Auslösespule muss möglichst hoch sein. Das Schaltergehäuse muss aus Isoliermaterial bestehen. Der Schalter muss mit einer Prüfeinrichtung ausgerüstet sein, die so abgestimmt ist, dass die Auslösespule mit dem minimalen Auslösestrom beansprucht wird.

Die Erdleitung des Schutzschalters muss gegen die in das Schutzsystem einbezogenen Anlageteile und gegen die Schutzleitung genügend isoliert sein. Besitzt ein Objekt eine natürliche Erdung, so muss die Erdung des Schutzschalters ausserhalb des Wirkungsbereiches der zuerst genannten Erdung verlegt werden.

In einem Netz, in welchem nicht nur die Schutzschaltung, sondern auch das Erdungssystem angewendet wird, darf der Nulleiter des Netzes nicht für die Erdung der Schutzschalter benützt werden, weil bei einem Erdschluss an einem geerdeten Objekt der Nulleiter wegen der Abstimmung der Erdwiderstände eine verhältnismässig hohe Spannung gegen Erde annimmt und diese Spannung über die Spule des Schutzschalters auf die betreffenden Objektgehäuse übertragen würde.

### F. — Résumé général et conclusions.

Dans ce qui précède, on a décrit les trois systèmes de protection «mise à la terre directe», «mise à la terre par le neutre» et «couplage de protection», et indiqué pour chaque système les mesures à prendre afin d'obtenir une sécurité aussi grande que possible contre les dangers du courant électrique, en cas de défauts dans les installations électriques. Lorsque son exécution technique est parfaite, aucun de ces trois systèmes ne présente un avantage spécial qui le rende supérieur aux deux autres. Toutefois, l'application du système de la mise à la terre directe est limitée aux endroits où l'on dispose d'un réseau de canalisations d'eau étendu permettant la mise à la terre des objets, et où la tension de service du réseau est suffisamment élevée. Tout en tenant compte de cette restriction, le choix d'un système de protection sera donc principalement basé sur des considérations d'ordre économique. Pour cela, il faut se rappeler pour chaque système les diverses mesures qui doivent être prises

dans les installations électriques intérieures et dans le réseau à basse tension.

Dans le système de la *mise à la terre directe*, on tiendra compte du fait que, lors d'une mise à la terre accidentelle sur un seul pôle, la différence de potentiel entre l'endroit du défaut et la terre doit être inférieure à la tension maximum admissible de 50 V. Il s'ensuit que les résistances des terres des objets et du point neutre doivent être dans un certain rapport déterminé et que lors d'une mise à la terre accidentelle d'un pôle, la terre du point neutre du transformateur présente contre la terre une tension plus ou moins élevée, suivant l'importance de la tension de service. Cela nécessite à son tour l'emploi de précautions spéciales pour la mise à la terre du neutre du transformateur, afin d'empêcher tout contact accidentel avec le neutre et sa ligne de terre et de réduire autant que possible les tensions le long d'un pas aux abords de la terre du point neutre. Quand il s'agit d'une mise à la terre accidentelle de deux pôles, il est impossible d'éviter un état dangereux; il faut donc faire en sorte que cet état ne puisse durer que quelques secondes. Pour cela, les résistances des terres des objets doivent être très faibles. Le système de la mise à la terre directe n'est donc applicable que là où l'on dispose, pour la terre des objets, de canalisations d'eau présentant une résistance de terre suffisamment faible. En outre, ce système est mieux approprié aux tensions de service élevées qu'aux tensions plus basses. Lorsque des objets raccordés absorbent une puissance relativement grande, il y a lieu d'examiner les conditions du courant de défaut, même pour les tensions de service plus élevées.

Pour la détermination de l'économie du système, il faut également considérer le fait que les installations électriques intérieures n'exigent que l'établissement de lignes de terre raccordées aux canalisations d'eau existantes. Le montage d'électrodes de terre spéciales n'entre pas en ligne de compte. Quant aux mesures à prendre sur le réseau à basse tension, elles se bornent à l'établissement approprié de la terre du point neutre du transformateur, ce qui ne nécessite pas de frais supplémentaires, car cette terre doit être en tout cas établie.

Lorsque les canalisations d'eau sont suffisamment proches des objets à mettre à la terre et qu'ainsi les lignes de terre ne sont pas très longues, le système de la mise à la terre directe constitue une protection relativement économique aussi bien pour les propriétaires des installations électriques intérieures que pour les fournisseurs de l'énergie. En outre, sa simplicité le rendrait préférable aux autres systèmes. Malheureusement, son application est assez limitée.

Dans le cas du système de la *mise à la terre par le neutre*, on tiendra compte en général du fait que le courant de défaut doit être également interrompu lorsqu'il s'agit d'une mise à la terre accidentelle sur un seul pôle. Quand la tension de service est

relativement basse, on peut, il est vrai, par des mesures appropriées, réduire à moins de 50 V la tension qui s'établit entre conducteur neutre et terre en cas de défaut d'isolement, de sorte que conformément aux prescriptions il n'y aurait point de danger. On remarque toutefois à ce sujet que cette limite de tension est relativement élevée et que, d'autre part, en cas de mise à la terre par le neutre ce n'est pas seulement l'objet présentant un défaut d'isolement qui est soumis à une plus ou moins forte tension contre la terre, mais que tous les autres objets mis à la terre du même réseau le sont également. Si l'on admettait comme tension maximum contre la terre la limite fixée par les prescriptions, la probabilité des accidents serait bien plus grande avec ce système qu'avec les autres. En outre, le fait que l'on serait très fréquemment électrisé en touchant les objets mis à la terre ne serait certainement pas un bon moyen de propagande en faveur de l'utilisation de l'électricité, surtout dans les ménages (cuisines électriques), même si cette légère électrisation était tout à fait sans danger. Il est donc préférable que les circuits atteints par un défaut puissent être dans tous les cas déclenchés. Cela exige des réseaux à basse tension comportant des conducteurs de dimensions relativement grandes et surtout des conducteurs neutres de forte section. En outre, les fusibles de coupe-circuit doivent être dimensionnés pour les intensités du courant de défaut déterminées par le calcul, surtout ceux de coupe-circuit insérés dans les lignes de départ des stations de transformateurs. Il est également important que les conducteurs neutres ne soient jamais interrompus ni sur le réseau, ni dans les installations intérieures. Cela exige un montage très soigné du conducteur neutre dans les installations intérieures et l'emploi de fils très résistants au point de vue mécanique pour les conducteurs neutres du réseau, c'est-à-dire des sections relativement fortes. Enfin, on doit faire en sorte que, lors du déclenchement des lignes, le conducteur neutre ne soit déclenché qu'en dernier lieu et que, lors de l'enclenchement, ce conducteur soit enclenché en premier lieu, ceci aussi bien dans les installations intérieures que dans les stations de transformateurs. Afin que les tensions de contact des enveloppes d'appareils mises à la terre et autres soient aussi faibles que possible depuis l'établissement de la mise à la terre accidentelle jusqu'à son déclenchement par le coupe-circuit, les conducteurs neutres des divers tronçons doivent être mis à la terre au moins à leurs deux extrémités. Si l'on dispose de canalisations d'eau, les terres devront autant que possible y être raccordées.

Pour les réseaux avec neutre mis à la terre, on doit attacher une très grande importance à la possibilité d'un passage de la haute à la basse tension. Afin d'éviter des états dangereux, la résistance entre le conducteur neutre et la terre doit être aussi faible que possible. Pour cela, on peut relier par plusieurs points le conducteur neutre aux canalisations

d'eau. Lorsque l'on ne dispose pas de canalisations d'eau pour mettre le conducteur neutre à la terre et que l'on doit par conséquent prévoir des électrodes artificielles, et qu'on constate en outre que la résistance entre neutre et terre est trop forte, il faut absolument s'arranger pour que cette résistance soit diminuée, en augmentant la surface de l'électrode ou en établissant un plus grand nombre de terres.

Quand la mise à la terre du neutre est établie avec beaucoup de soin, ce système peut être considéré comme une protection efficace contre les dangers du courant électrique en cas de défauts d'isolement.

Pour la détermination de l'économie de ce système, il faut également considérer le fait que les frais occasionnés par ces mesures de protection dans les installations électriques sont relativement peu élevés, surtout lorsqu'on applique le schéma III indiqué au § 18 des prescriptions relatives aux installations électriques intérieures. Une ligne de terre spéciale (liaison avec le conducteur neutre) ne doit être établie que dans les cas où le conducteur neutre n'est pas utilisé pour l'alimentation des objets. Par contre, ce système occasionne des frais très considérables dans les réseaux à basse tension (grandes sections des conducteurs, mise à la terre du conducteur neutre, éventuellement montage de coupe-circuit spéciaux dans les tronçons aériens de grande longueur). Avec ce système, les frais principaux doivent donc être supportés par le propriétaire du réseau. Il est en revanche avantageux par le fait que les principales mesures de protection sont établies et contrôlées par le propriétaire du réseau, c'est-à-dire par des spécialistes, et qu'ainsi la sécurité en est d'autant plus grande.

Dans le cas du système *par couplage de protection*, le point le plus important est que les interrupteurs de protection soient d'une construction très soignée et bien appropriée. L'établissement de l'installation de protection doit naturellement être faite avec beaucoup d'attention, sinon la protection pourrait être inopérante, sans que l'on s'en aperçoive lors des essais. Enfin, ces interrupteurs de protection exigent un contrôle permanent, afin de pouvoir éventuellement constater à temps leur mauvais fonctionnement et les remettre en état.

Le propriétaire du réseau doit toutefois faire surveiller ces interrupteurs de protection, car ceux-ci font partie de l'installation intérieure, dont le propriétaire (qui n'est généralement pas spécialiste dans ces questions) n'attache pas beaucoup d'importance au contrôle des interrupteurs de protection et finit rapidement par les négliger. Ce contrôle assez fréquent occasionne aux fournisseurs d'énergie des frais considérables et de nombreux déplacements. En outre, le couplage de protection est un système assez cher, car il exige non seulement un interrupteur, mais également une ligne de protection, une ligne de terre et très souvent une électrode de terre. Ces frais grèvent sensiblement les installations intérieures.

De toutes ces considérations, on peut en conclure que, du point de vue du propriétaire de l'installation intérieure, la mise à la terre par le neutre est la mesure de protection la moins chère et le couplage de protection la mesure la plus chère, tandis que du point de vue du fournisseur d'énergie c'est la mise à la terre du neutre qui est la mesure la plus chère et la mise à la terre directe la moins chère.

Les frais occasionnés par les mesures à prendre dans le réseau et dans les installations intérieures doivent toutefois être considérés globalement dans les calculs relatifs à l'économie du système, car les frais des installations de distribution du fournisseur d'énergie influent sur les frais de l'énergie, de sorte que les consommateurs participent indirectement aux frais occasionnés dans le réseau à basse tension par les mesures de protection. Dans ce cas, le système de la mise à la terre directe est le moins cher. Malheureusement, ce système n'est pas partout applicable. En revanche, son emploi est certainement indiqué lorsqu'il peut être appliqué (réseaux à tensions de service relativement élevées et possibilité d'utiliser les canalisations d'eau pour les mises à la terre). Pour les réseaux à tensions peu élevées et également pour ceux à tensions plus élevées mais manquant de canalisations d'eau, la mise à la terre par le neutre et le couplage de protection entrent tous deux en ligne de compte. Pour les réseaux alimentant des localités très denses avec beaucoup d'objets à protéger, la mise à la terre par le neutre est plus avantageuse que le couplage de protection. Par contre, pour les réseaux comportant de très longs tronçons (alimentation de fermes dispersées

par un réseau commun) et peu d'objets à protéger, le couplage de protection sera préférable à la mise à la terre par le neutre. Pour les réseaux à basse tension de service qui ne comportent pas de conducteurs neutres et qui sont impropres au système de la mise à la terre directe, le couplage de protection entre naturellement seul en considération. On pourrait, il est vrai, utiliser un des conducteurs de phase pour la mise à la terre. Ce système présente toutefois le désavantage de soumettre l'isolement des installations intérieures à la tension composée du réseau au lieu de la tension de phase. Ces considérations sur l'économie des divers systèmes ne sont valables, bien entendu, que pour les réseaux aériens et non pas pour les réseaux souterrains urbains.

Le degré de sécurité des mesures de protection pour les installations électriques intérieures dépend beaucoup moins du système utilisé que d'une exécution appropriée et parfaite. Il est donc absolument nécessaire que tous ceux qui ont à s'occuper de l'établissement et du contrôle de la protection des installations intérieures s'orientent à fond sur le principe des mesures de protection. C'est la seule manière de pouvoir prendre les mesures les mieux appropriées à tel ou tel cas, et d'éviter des erreurs dans l'exécution de ces mesures. On a également montré que des mesures spéciales, qui varient totalement d'un système à l'autre, doivent être prises dans les réseaux à basse tension, surtout dans le cas de la mise à la terre par le neutre, mais aussi dans celui de la mise à la terre directe. Il s'ensuit que le choix du système de protection à adopter doit être décidé non pas par l'installateur, mais bien par le propriétaire du réseau.

## Nouvelles conceptions concernant la construction de petites sous-stations à haute tension et de postes de transformateurs.

Par G. Leimbacher, Aarau.

621.316.323 : 621.316.57.064.24 : 621.316.268

*Les recherches des dernières années ont conduit d'une part à la réalisation d'interrupteurs auto-pneumatiques pour faible puissance de rupture d'une présentation extrêmement simple, d'autre part à celle de coupe-circuit à grande puissance de rupture. Ces deux éléments permettent de construire des postes à haute tension qui présentent une grande simplicité et un encombrement très réduit tout en évitant les dangers d'incendie et d'explosion. Les fonctions de 2 éléments sont différentes: tandis que l'interrupteur est destiné à fonctionner en exploitation normale, les coupe-circuit exécutent la rupture en cas de surcharge et de court-circuit.*

*Die Forschungen der letzten Jahre haben ermöglicht, einerseits einfache Druckluftschalter ohne Kompressor für die Unterbrechung kleiner Leistungen, andererseits Sicherungen hoher Abschaltleistung herzustellen. Diese beiden Elemente bieten die Möglichkeit, kleinere Schaltanlagen für Hochspannung sehr einfach und platzsparend auszuführen und gleichzeitig die Gefahr von Brand und Explosion vollständig auszuschalten. Dabei findet eine Arbeitsteilung der beiden Elemente statt: der Schalter bewirkt das Abschalten im normalen Betrieb, während die Sicherungen bei Überlast und Kurzschluss zur Wirkung kommen.*

Si l'on passe en revue l'appareillage nécessaire pour la construction des petites sous-stations à haute tension, on s'aperçoit que c'est surtout l'interrupteur à huile qui nécessite un espace considérable et qui oblige à une disposition des conducteurs peu conciliable avec la recherche de l'encombrement minimum. En outre la séparation des contacts de l'interrupteur à l'huile n'étant et ne pouvant pas être visible, on est obligé de le doubler d'un appareil garantissant la sécurité du personnel c'est-à-dire d'un sectionneur. On pouvait se demander si,

dans ces cas, en réduisant la puissance de rupture de l'interrupteur, il n'était pas possible d'arriver à un appareil extrêmement simple qui pouvait en même temps servir de sectionneur, la séparation des contacts étant visible. Cet appareil économique remplissant en même temps les deux fonctions de l'interrupteur et du sectionneur devrait être, bien entendu, d'une grande simplicité mécanique.

Différentes voies ont été empruntées pour résoudre ce problème. Nous avons trouvé que le prin-