Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 93 (2002)

Heft: 21

Artikel: Prüfsysteme für Isolationen

Autor: Olszowiec, Piotr

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855473

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 09.12.2025

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

Prüfsysteme für Isolationen

Methoden zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Gleichstromkreisen

Nicht geerdete Gleichstromkreise werden in Kraftwerken als Stromversorgung für elektrische Schutz-, Vermessungs-, Steuerungs- oder Automationssysteme verwendet. Sie gehören zu den wichtigsten elektrischen Systemen des Kraftwerks, da jede Störung in diesen Kreisen eine unvorhergesehene Abschaltung der Anlagen – mit möglichen schweren Folgen – nach sich ziehen kann. Eine der Ursachen für Fehlfunktionen der an solchen Stromkreisen angeschlossenen Geräte kann die Verschlechterung der Isolation sein. Im vorliegenden Beitrag werden Methoden und Systeme zur Erhöhung von Sicherheit und Zuverlässigkeit der Gleichstromkreise beschrieben.

Piotr Olszowiec

Infolge von Alterungsprozessen, aber auch durch den Einfluss von Feuchtigkeit, Verschmutzung und anderen Umweltfaktoren verringert sich der Widerstand von Kabelisolationen. Daraus resultierende Erdschlüsse bilden deshalb die häufigsten Störungen in elektrischen Netzen, was zu verschiedenen Gefährdungen wie etwa Kurzschlüssen, Brand oder Fehlfunktionen elektrischer Geräte führen kann.

Diese Risiken können vermieden werden, wenn der Widerstand der Isolation über einem Mindestwert gehalten werden kann. Zu diesem Zweck wird in Gleichstromkreisen der Zustand der Isolation kontinuierlich mit Hilfe so genannter Isolationsmonitore geprüft, welche Warnmeldungen ausgeben, wenn der Widerstand unter einen kritischen Wert sinkt.

Während bei ausreichend hohem Widerstand der Isolation Brand und Kurzschlüsse in Gleichstromnetzen nur selten auftreten, können durch verringerten Isolationswiderstand hervorgerufene Fehlfunktionen elektrischer Geräte beträchtliche Probleme verursachen.

Erkennen von Isolationszuständen, die zu Fehlfunktionen führen können

Ein einfaches Modell für einen infolge eines reduzierten Isolationswiderstandes in einem Gleichstromkreis auftretenden Kurzschluss ist in Bild 1 dargestellt.

Im Falle eines Erdschlusses in Punkt A von Relais P wird der Kontakt P_1 über den Äquivalentwiderstand der Isolation R_+ geerdet. Der Strom durch die Spule fliesst über den Widerstand R_P.

Aus der Bedingung $U_p \geq U_r$ für das Ansprechen des Relais P (U_p: Spannung über der Spule bei Erdschluss; U_r: Ansprechspannung des Relais) lässt sich der Bereich des Isolationswiderstandes des Gleichstromkreises bestimmen, in dem die Möglichkeit einer Fehlfunktion besteht. R_- bezeichnet dabei den Äquivalentwiderstand der Isolation gegen Erde (Formel 1).

$$R_+ \leq \frac{E - U_r}{U_r} \cdot \frac{R_p \cdot R_-}{R_p + R_-} \qquad (1)$$

In Bild 2 sind – im Koordinatensystem (R_-, R_+) – die Charakteristiken zweier Typen elektromagnetischer Relais (R4 bzw. RT-60) für 220 V_{DC} dargestellt.

Der Bereich des Isolationswiderstandes, in welchem ein Erdschluss des positiven Spulenkontaktes das Ansprechen eines der beiden Relais verursacht ($U_p \geq U_r$), liegt unterhalb der jeweiligen Kurve (Zonen B und D für Typ R4 bzw. Zonen B und C für Typ RT-60).

Ebenfalls eingetragen ist die Charakteristik eines Isolationsmonitors (IMC), dessen Ansprechschwelle auf 30 kΩ eingestellt ist, um mögliche Fehlfunktionen der beiden Relais erkennen zu können (im vorliegenden Beispiel weist die Relais-Charakteristik des Relais R4 eine Asymptote von 30 kΩ auf).

Die Charakteristik IMC des Isolationsmonitors zeigt einen recht grossen Bereich, in welchem eine Fehlfunktion möglich ist. Seine Verwendung zur Erkennung von Fehlfunktionen der Relais ist somit zwar zulässig, führt aber mit hoher Wahrscheinlichkeit zu falschen bzw. unnötigen Alarmen. Herkömmliche Isolationsmonitore sind nicht im Stande, richtig und selektiv alle möglichen Fälle der Verschlechterung des Isolationszustandes zu erfassen. Es können daher folgende Situationen auftreten:

- R_+ kann grösser als die Monitoreinstellung sein (oberhalb der Kurve IMC), aber weiterhin klein genug, um das gegen Isolationsverschlechterung empfindliche Relais P nach dem Erdschluss seiner Spule wieder anzuregen (Zone A in Bild 2). In diesem Fall wird der Erdschluss im Allgemeinen durch den Monitor nicht entdeckt. Das Relais P wird nach dem Erdschluss seiner Spule daher falsch arbeiten. Das Problem liegt hierbei in der falschen Einstellung der Ansprechschwelle des Monitors: für eine korrekte und selektive Einstellung muss diese höher als jede der Relais-Charakteristiken liegen. Genau diese Ursache hat die Pumpe des Speisewassers in Beispiel 1 (Kasten) ausgeschaltet.
- R_+ ist klein genug, um den Alarm des Monitors auszulösen (unterhalb der Kurve IMC). In diesem Fall erzeugt der Isolationsmonitor entweder einen

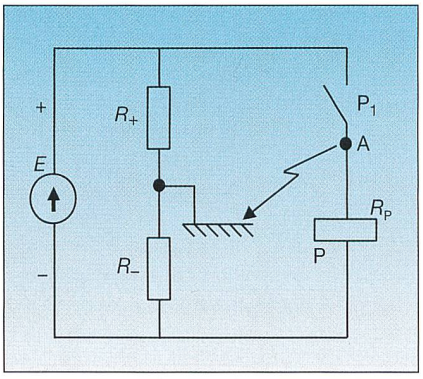


Bild 1 Ersatzschema eines Gleichstromkreises mit Erdschluss

P1: positiver Kontakt des Relais P; R_p: Widerstand der Spule von Relais P; A: Ort des Erdschlusses

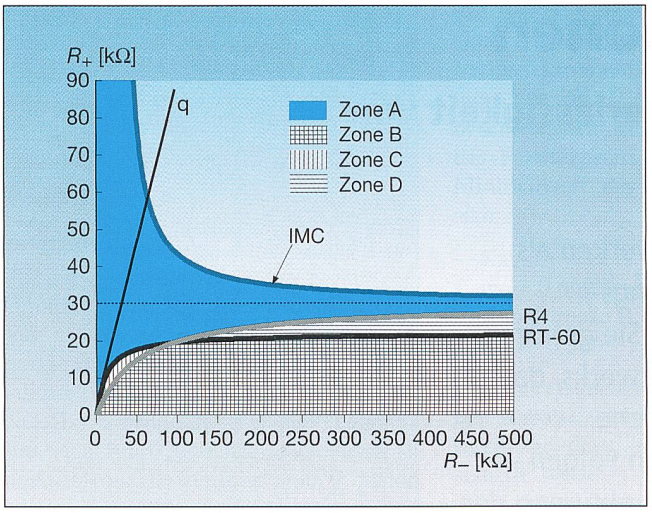


Bild 2 Charakteristiken der Relais und des Isolationsmonitors

IMC: Charakteristik eines Isolationsmonitors; Zone A: Widerstandsbereich, in welchem Fehlfunktionen möglich sind; Zone B: Bereich, in welchem Fehlfunktionen der beiden Relais (R4 und RT-60) möglich sind; Zonen B und C: Bereich, in welchem Fehlfunktionen des Relais RT-60 möglich sind; Zonen B und D: Bereich, in welchem Fehlfunktionen des Relais R4 möglich sind; q: Gerade mit Bedingung $R_+ = R_-$ Unterhalb der Relais-Charakteristik gilt jeweils $U_p < U_r$.

Fehlalarm (Zone A in Bild 2) oder der Alarm wird korrekt ausgelöst (Zonen B und C für das Relais RT-60 bzw. Zonen B und D für das Relais R4).

Diese selektive Funktion des Isolationsmonitors ist umso entscheidender, als sich die Isolationsparameter R_+ und R_- in vielen Gleichstromkreisen unter normalen Bedingungen genau in der in Bild 2 dargestellten Zone A befinden.

Die zuverlässige Funktionsweise der am Gleichstromnetz angeschlossenen Geräte kann folgendermassen sichergestellt werden:

- Methode *a*: Anpassung der Charakteristik des Isolationsmonitors an die Charakteristiken der jeweiligen Relais,
- Methode *b*: Verwendung spezieller Vorrichtungen, welche die Möglichkeit von Fehlfunktionen der Relais erkennen,
- Methode c: Verhindern von Fehlfunktionen der Relais.

Wegen der Charakteristik der Fehlfunktionen der Relais (Formel 1) eignen sich keine konventionellen elektronischen Isolationsmonitore. Immerhin könnte Methode *a* für moderne, auf Mikroprozessortechnik basierende Isolationsmonitore ein möglicher Lösungsansatz sein. Die Methoden *b* und *c* wurden schon in die Praxis umgesetzt. Dies soll nachfolgend beschrieben werden.

Erkennen der Möglichkeiten von Fehlfunktionen der Relais

Variante 1

Die einfachste Methode der Früherkennung einer allfälligen Fehlfunktion der Relais ist eine Simulation des Erdschlusses am positiven Kontakt der Spule des empfindlichsten Relais. Sie kann einfach durch den Anschluss der Relaisspule zwischen Erde und dem negativen Pol durchgeführt werden.

Zieht das Relais an – bzw. lässt es los –, bedeutet dies, dass andere Relais desselben Typs im Falle eines Erdschlusses ihrer Spulen falsch arbeiten werden ($U_p < U_r$).

Dazu ist zu bemerken, dass der absolute Widerstand der Isolation durch die Erdung des negativen Pols über die Spule (Widerstand von einigen 10 kΩ) kleiner wird. Da aber auch der Isolationswiderstand des negativen Pols gegenüber Erde kleiner wird, verringert sich auch das Risiko einer Fehlfunktion des Relais.

Wegen dieser Verringerung des Isolationswiderstandes des negativen Pols ist diese Methode nur für die periodische Überprüfung des Risikos von Fehlfunktionen der Relais empfehlenswert.

Variante 2

Die in Bild 3 dargestellte Alarmvorrichtung, welche mit der Spannung Leiter–Erde des Netzwerks und einem Ausgangssignal des Isolationsmonitors gespeist wird, stellt eine weiterentwickelte Methode zur Früherkennung von Fehlfunktionen der Relais dar.

Sie verwendet dabei das Thevenin-Prinzip für den äquivalenten Schaltkreis nach Formel 2.

$$U_{\text{Leiter–Erde}} = \left(R_p + R_i\right) \cdot I_p \qquad (2)$$

Dabei bedeutet R_i den Widerstand der Isolation des Gleichstromkreises, R_p den Widerstand des Relais, I_p den durch die Spule des Relais fliessenden Strom und $U_{\text{Leiter–Erde}}$ die Spannung am negativen Pol vor dem Erdschluss des positiven Pols der Spule.

Da das System die Zustände des Stromkreises erkennen soll, bei denen die Spannung über der Relaisspule nach dem Erdschluss des Spulenkontaktes den Ansprechwert des Relais $U_r = R_p \cdot I_p$ überschreitet, gilt

$$U_{\text{Leiter–Erde}} - U_r \cdot \frac{R_i}{R_p} > U_r \qquad (3)$$

Ist diese Bedingung erfüllt, zieht das Relais PU (Bild 3) an und signalisiert den Gefährdungszustand.

Bei der richtigen Einstellung der Parameter – entsprechend dem empfindlichsten Relais – ist diese Vorrichtung im Stande, jeden Fall einer Verschlechterung des Isolationswiderstandes zu entdecken, bei welchem Fehlfunktionen der Relais möglich sind[1)].

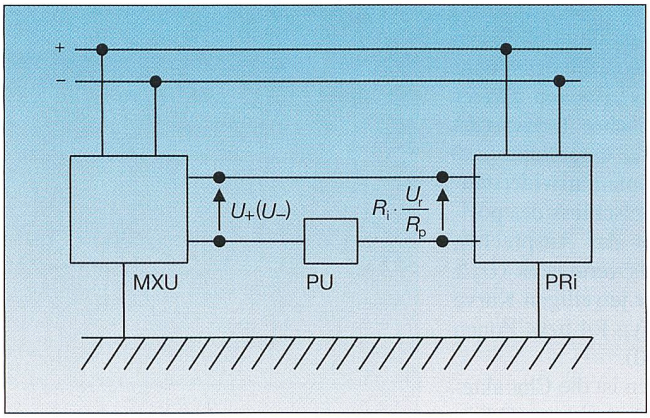


Bild 3 Ersatzschema für das Erkennen möglicher Fehlfunktionen

MXU: Relais zur Bestimmung der grösseren der beiden Spannungen U_+ und U_-; PRi: Isolationsmonitor des Netzes mit der Spannung $U_r \cdot R_i/R_p$; PU: mit dem Ansprechwert U_r eingestelltes Überspannungsrelais

Methoden zur Vermeidung von Fehlfunktionen der Relais

REX-M[2)] – eine in Polen entwickelte mikroprozessorgesteuerte Überwachungsvorrichtung für Gleichstromkreise – kann sowohl für die Früherkennung als auch für die Beseitigung des Risikos von Fehlfunktionen der Relais verwendet werden. Sie erfüllt dabei die folgenden Aufgaben:

- Messung des Isolationswiderstands des Netzes,
- Verbindungskontrolle zwischen Batterie und Gleichrichter,

Beispiele für Fehlfunktionen in einem polnischen Wärmekraftwerk

Die nachfolgenden zwei Beispiele zeigen Vorkommnisse im Kraftwerk T.-Kosciuszko in Polaniec, einem der grössten polnischen Wärmekraftwerke, die auf Grund ungenügender Isolationswiderstände stattgefunden haben. Beide Fälle wurden einer gründlichen Analyse unterzogen, und es wurde ein physikalisches Modell erstellt, mit Hilfe dessen der Verlauf der Störung nachgebildet werden konnte.

Beispiel 1: Erdschluss des Gleichstromkreises infolge einer Beschädigung der Isolation

Bei diesem Vorfall wurde eine von einem 3,2-MW-Induktionsmotor angetriebene Pumpe des Speisewasserkreislaufs infolge der hohen Temperatur des Lagers ausgeschaltet, was zu einer Leistungsreduktion des Kraftwerkblocks von 50% führte. Unmittelbar nach dem Ausschalten der Pumpe wurde der Messkreislauf der Schutzeinrichtung überprüft und ein durch einen Bruch der Isolation hervorgerufener Erdschluss der Spule des Verzögerungsrelais festgestellt. Zudem zeigte sich, dass der Isolationswiderstand des Gleichstromkreises vor dem Ausschalten der Pumpe höher als der kritische Wert gewesen war, weshalb auch kein Alarm ausgelöst wurde.

Beispiel 2: Erdschluss des Gleichstromkreises infolge von Funkenbildung

Die Folgen der zweiten Störung waren erheblich schwerwiegender als im oben geschilderten ersten Beispiel und zwangen zu einer vertieften Untersuchung des Vorfalles: Ein kurzzeitiger Erdschluss in Form einer Funkenbildung zwischen dem Kontakt und der Spule eines beschädigten Relais verursachte die Abschaltung des ganzen Kraftwerkblocks. Zur Lokalisierung und Beseitigung der Ursache musste das Kraftwerk während mehrerer Stunden ausgeschaltet bleiben.

Zwar registrierte das Kontrollsystem für den Isolationszustand im Gleichstromkreis einen kurzzeitigen Erdschluss, doch lag der Isolationswiderstand – wie im ersten Beispiel – sowohl vor als auch nach der Störung über der Ansprechschwelle des Isolationsmonitors.

– Kontrolle der Gleichspannung im Stromkreis.

In dieser Vorrichtung wurde eine neue Methode angewendet, die die Isolationswiderstände (R_-, R_+) beider Pole angleicht, wodurch der Bereich möglicher Isolationszustände des Gleichstromkreises auf die Winkelhalbierende des ersten Quadranten des Koordinatensystems (R_-, R_+) reduziert wird.

Um die Möglichkeiten von Fehlfunktionen des Relais zu prüfen, müssen die Schnittpunkte dieser Winkelhalbierenden mit der Kurve der Fehlfunktionen des Relais gefunden werden. Diese Schnittpunkte erfüllen die aus Gleichung 1 hergeleitete Bedingung

$$R_+ = R_- = R_p \cdot \frac{E - 2 \cdot U_r}{U_r} \qquad (4)$$

Die Kurven der Relais, welche die Ungleichung $E - 2 \cdot U_r < 0$ erfüllen, schneiden die Charakteristik des Gleichstromkreises nicht (z.B. R4 in Bild 2). Das Relais RT-60 hingegen schneidet die Winkelhalbierende im Punkt mit den Koordinaten (7,5/7,5) kΩ (für E = 235 V_{DC}, Bild 2).

Aus diesem Grunde können in einem mit der REX-M-Vorrichtung und den beiden Relais R4 und RT-60 ausgestatteten Gleichstromkreis nur Fehlfunktionen des Relais RT-60 – und dies nur im Fall eines Isolationswiderstandes der einzelnen Pole als unter 7,5 kΩ – auftreten. Mögliche Fehlfunktionen der Geräte können somit erkannt und durch die geeignete Einstellung des Isolationsmonitors REX-M signalisiert werden (in diesem Fall muss die Ansprechschwelle auf <7,5 kΩ eingestellt werden). Bild 4 zeigt die Wirkungsweise dieser Methode.

Mit Hilfe eines elektronischen Steuersystems, das an den beiden Polen des Gleichstromkreises angeschlossen wird, wird eine ständige Regelung des Widerstandes zwischen den Polen des Stromkreises und der Erde erreicht, womit sich der erforderliche Wert des Verhältnisses R_+/R_- einstellen lässt. Damit kann der Bereich des Isolationswiderstands in die Fläche zwischen der R_+-Achse und der Geraden mit der Gleichung $R_+ = k \cdot R_-$ (ICC in Bild 4) verschoben werden.

Wird der Faktor k so gewählt, dass die Linie ICC keine Charakteristik der Relais schneidet, wird kein Relais nach dem Erdschluss seiner Spule angeregt. Auf diese Weise können Fehlfunktionen der Geräte vollständig vermieden werden.

Schlussfolgerungen

Mit dem gezeigten Verfahren ist es möglich, für Gleichstromkreise, die wichtige Steuersysteme speisen, Fehlfunktionen der Relais, die sich auf Grund eines sich verschlechternden Zustandes der Isolation ergeben, zu erkennen und zu signalisieren.

Konventionelle Monitore sind nicht im Stande, mögliche Fehlfunktionen selektiv wahrzunehmen. Um die zuverlässige Funktion der Relais zu gewährleisten, empfiehlt sich die Verwendung speziell entworfener und richtig eingestellter Vorrichtungen, wie sie in diesem Beitrag beschrieben wurden: die in Polen entwickelten und getesteten Detektionsmethoden – z.B. der Typ REX-M – können das Risiko von Fehlfunktionen der meisten DC-Geräte beseitigen.

Das beste Mittel allerdings, um Fehlfunktionen auf Grund sich verschlechternder Isolationen zu vermeiden, ist die korrekte Instandhaltung der Isolation.

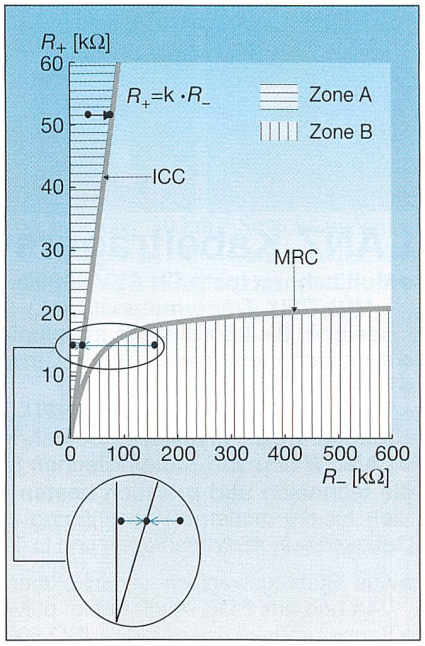


Bild 4 Charakteristik nach Angleichen der Isolationswiderstände

Zone A: Gebiet, in welchem kein Risiko einer Fehlfunktion des Relais besteht; Zone B: Gebiet, in welchem das Risiko einer Fehlfunktion des Relais besteht; ICC: Charakteristik des Isolationswiderstandes im Gleichstromkreis; MRC: Kurve möglicher Fehlfunktionen der Relais; Pfeile: Veränderung der Parameter der Isolation von Zone B zu Zone C auf Grund des elektronischen Regulierungsgerätes.

Die beschriebene Methode der automatischen Regulierung des Isolationswiderstandes in Gleichstromkreisen kann bei der Lösung dieses Problems behilflich sein.

Adresse des Autors

Piotr Olszowiec, Dipl. El.-Ing., T.-Kosciuszko-Kraftwerk, PL-28-230 Polaniec, olpio@o2.pl

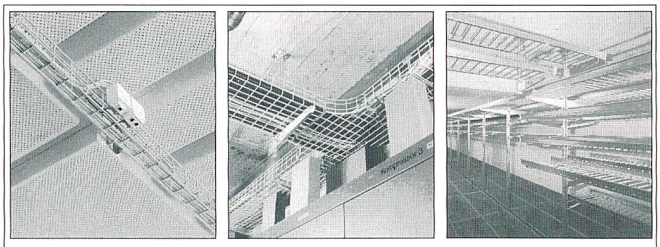
[1] Dieselbe Schutzvorrichtung kann auch für die Früherkennung der Gefährdung des Menschen durch Stromschläge verwendet werden.

[2] REX-M: Mikroprozessor für die Kontrolle der Speisung von DC-Hilfsschaltungen. Hersteller: Elektroservice Wroclaw, Polen. Technische Daten: Nennspannung 24/48/60/110 V_{DC} bzw. 220 V_{DC}; Messbereich 50–300 kΩ und 0–120% der Nennspannung; Hilfsspannung 90–242 V_{AC} oder V_{DC}.

Systèmes d'essai d'isolement

Méthodes destinées à améliorer la fiabilité des circuits à courant continu

Dans les centrales électriques, des circuits à courant continu non mis à la terre sont utilisés dans les systèmes électriques de protection, de mesure, de commande ou d'automation. Ils comptent parmi les systèmes électriques les plus importants de la centrale étant donné que toute perturbation dans ces circuits peut provoquer une coupure imprévue des installations pouvant avoir de graves conséquences. Une des causes possibles de malfonctionnement des appareils reliés à de tels circuits peut être une dégradation de l'isolement. Le présent article décrit des méthodes et systèmes destinés à améliorer la sécurité et la fiabilité des circuits à courant continu.



LANZ Kabelträgersystem

- **Multibahnen (pat.) SN SEV 1000/3 – normenkonform + MULTIFIX Trägermaterial (pat.) geeignet für koordinierte Installationen**
- **Kabelschonend beschichtete Gitterbahnen**
- **LANZ G-Kanäle steckbar (pat.)**
- **Inst•Alum Kabelschutzrohre NEU**
- **Halogenfreie Polyester-Kabelbahnen bis 10 m**
- **LANZ Weitspann-Kabelpritschen NEU**

die technisch und preislich besten Produkte (vergleichen Sie!) für die moderne Kabelführung in kleinen und grossen Gebäuden, in Aussenanlagen und in Tunnel von LANZ.

- Aus Stahl galvanisch verzinkt, feuerverzinkt oder rostfrei V4A und aus POE. Auch farbig, pulverbeschichtet.
- Sauber und präzise gefertigt, ISO 9001-zertifiziert.
- Hoch belastungsfähig. CE-konform. Preisgünstig.
- Rationell montierbar mit **steckbaren** Verbindern.

Ab Lager von lanz oensingen ag und den Elektrogrossisten.

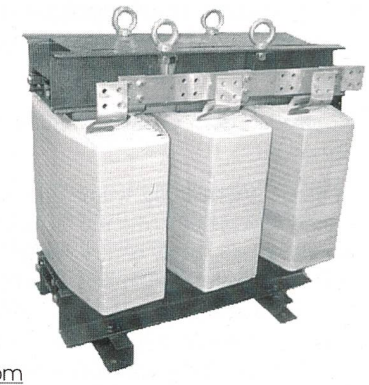
lanz oensingen ag Tel. 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24

☐ **Mich interessieren** .....
Bitte senden Sie Unterlagen.

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name/Adresse/Tel. _____

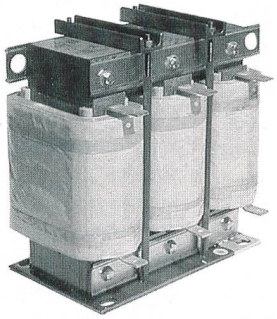
KT 04



IMEL ENERGY

IMEL Energy AG
Centro al Piano
6595 Riazzino (Schweiz)
Tel. +41 (0)91 8505400
Fax. +41 (0)91 8505409
www.imel.ch
Eine Gesellschaft der Gruppe Trafomec
www.gruppotrafomec.com

Transformatoren und Drosseln für die Leistungselektronik



Unsere Stärken:
-wir bauen nach Ihrem Wunsch
-kurze Liefertermine
-hohe Qualität
-konkurrenzfähige Preise
-optimale thermische und mechanische Eigenschaften
-minimale Geräuschentwicklung
-Konstruktion nach internationalen Normen (UL File #E225150)

TradingCom International SA Vertrieb von Produkten der IMEL und der Gruppe Trafomec
6928 Manno Tel. +41 (0)91 6100440 - Fax. +41 (0)91 6100448 www.tradingcisa.com