

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:	77 (1986)
Heft:	13
Artikel:	Der Betrieb von in Dreieckschaltung gespeisten 36- bis 72,5-kV-Netzen
Autor:	Schwab, F.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-904225

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: 29.01.2026

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

Der Betrieb von in Dreieckschaltung gespeisten 36- bis 72,5-kV-Netzen

F. Schwab

36- bis 72,5-kV-Netze werden auch heute noch, wenn auch seltener als früher, in Dreieckschaltung gespeist. Die verschiedenen Möglichkeiten des Betriebes eines solchen Netzes sowie der Netzschutz und der Überspannungsschutz werden diskutiert und die Vor- und Nachteile abgeschätzt.

Des réseaux de 36 à 72,5 kV sont encore actuellement, quoique plus rarement, alimentés en couplage en triangle. Les diverses possibilités d'exploitation d'un tel réseau sont discutées, de même que sa protection et les problèmes de surtensions; les avantages et inconvénients en sont estimés.

1. Rückblick

In den Anfangsjahrzehnten der elektrischen Energieversorgungstechnik stand die Sorge um die Netzsymmetrie im Vordergrund, da damals auch relativ grosse Motoren und Wärmeerzeuger einphasig ausgelegt wurden. Der Stern-Stern-Transformator ist sehr schieflast-empfindlich und führt schon bei relativ kleinen Asymmetrien und vor allem bei Erdschlüssen wegen der Jochstreuung zur Kesselwanderhitzung mit entsprechender Brandgefahr. Figur 1 zeigt die bei einem Erdschluss auftretenden Ströme, deren magnetische Flüsse beim Stern-Stern-Transformator keine Möglichkeit haben, sich im Eisenkern zu schliessen und daher über das Joch und den Eisenkessel ausweichen müssen. Man packte damals ungern zusätzlich eine dritte Wicklung, die zum Schieflastausgleich notwendige Tertiärwicklung entsprechend Figur 2, in den Transformatorenkessel mit ein, da dies den Transformator wesentlich komplizierter macht und vor allem merkbar verteuert. Heute sind die technischen Probleme gelöst, aber der Stern-Dreieck-Stern-Transformator ist immer noch wesentlich teurer als der Stern-Stern-Transformator.

Als ideale Lösung gegen alle erwähnten Probleme bot sich der Stern-Dreieck-Transformator an. Er ist unempfindlich gegen Schieflast und asymmetrische Netzbelastrung und kann auch problemlos sekundär isoliert betrieben werden. Da damals eine schnelle Schutztechnik fehlte, hatte man auch kein Interesse an hohen Erdschlussströmen, so dass man von starren Erdungen absah. Allen diesen Forderungen genügte das isolierte in Dreieckschaltung gespeiste Netz in vorzüglicher Weise. Die damaligen Überlegungen sind grundsätzlich immer noch gültig. Daher sind heute noch viele, vor allem ältere 36- bis 72,5-kV-Netze in Dreieckschaltung in Betrieb.

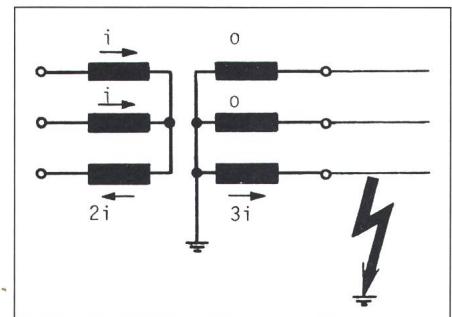


Fig. 1 Stern-Stern-Transformator bei einem einphasigen Erdschluss

2. Fortschritte der Technik

Apparate und Maschinen mittlerer und grösserer Leistung werden heute durchwegs dreiphasig ausgeführt. Die Netzbelastrungen sind demzufolge laufend symmetrischer geworden, und das Problem der Asymmetrie stellt sich heute nur noch in verschwindendem Masse. Die Abschaltfähigkeit der leistungsschalter und die Schnelligkeit der Schutzapparaturen haben in ungeahntem Masse zugenommen, und man ist heute in der Lage, im Höchstspannungsnetz einen Fehler innerhalb 60 ms wegzuschalten. Solche Schalter und Schutzrelais wären grundsätzlich auch in Netzen tieferer Spannung einzusetzen, bringen aber im Vergleich zu den gesamten Netzkosten einen unverhältnismässig hohen Kostenanteil, so dass versucht wird, mit wirtschaftlicheren Techniken zu arbeiten.

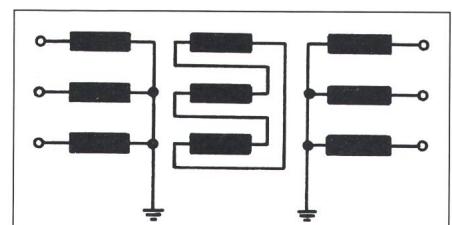


Fig. 2 Stern-Stern-Transformator mit einer Ausgleichswicklung in Dreieckschaltung

Adresse des Autors

Dr. F. Schwab, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor, Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.

3. Wachsende Schwierigkeiten für isolierte Netze

Die zunehmend geforderte und teilweise auch technisch notwendig gewordene Verkabelung der Verteil- und Versorgungsnetze führte dazu, dass die ursprünglich isolierten Netze mit einem Erdschlussstrom von wenigen 10 A auf einen kapazitiven Erdschlussstrom von wesentlich über 100 A gekommen sind. Die neuen Erdungsvorschriften in der Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Stromanlagen (Starkstromverordnung) [1] beschränken die Berührungs- und Schrittspannungen bei einer Einwirkzeit von über 5 s auf 50 V. Da bei einer Erdberührung mit einem halben bis wenigen Ohm gerechnet werden muss, können diese Ströme nicht mehr akzeptiert werden. Das führte dazu, dass die Speisetransformatoren für die Spannungsebene 12 bis 24 kV in Dreieck-Stern- oder Stern-Stern-Schaltung ausgeführt wurden, damit man diesen zunehmend steigenden kapazitiven Erdschlussstrom durch Löschspulen kompensieren kann.

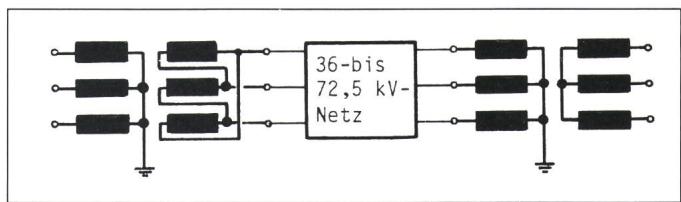
4. Betriebsmöglichkeiten

Die heutigen schnellen Relais erlauben es, auch die in Dreieckschaltung gespeisten Netze auf verschiedene Arten zu betreiben. Im Vordergrund stehen der isolierte Betrieb mit anstehendem Erdschluss, der isolierte Betrieb mit Schnellabschaltung und der sogenannte pseudo-geerdete, das heißt der über die Abgangstransformatoren geerdete Betrieb.

4.1 Das isolierte Netz

Die einfachste und bequemste Betriebsart ist auch heute noch der isolierte Betrieb eines in Dreieckschaltung gespeisten Netzes. Dieser ist zulässig, solange der Erdschlussstrom einige 10 A nicht übersteigt, damit die in der Starkstromverordnung geforderten höchstzulässigen 50 V bei einer Dauer von über 5 s eingehalten werden können. In diesem Fall wird man den Erdschlussstrom im isolierten Netz in gewissen zeitlichen Abständen durch eine Messung beim Einlegen eines Erdungstrenners in einem Unterwerk kontrollieren müssen.

Fig. 3
Sogenanntes pseudo-geerdetes, in Dreieckschaltung gespeistes Netz
Es ermöglicht einen schnellen und selektiven Schutz.



4.2 Isoliertes in Dreieckschaltung gespeistes Netz mit Schnellabschaltung

Wenn das Netz wegen der zunehmenden Verkabelung und dem dadurch bedingten Ansteigen des Erdschlussstromes den Anforderungen der Starkstromverordnung nicht mehr genügt, kann auch im isolierten Netz durch schnelle Schutzvorrichtungen den Anforderungen an die Berührungs- und Schrittspannungen Genüge getan werden. In diesem Fall kommen Erdschlussrichtungsrelais zum Einsatz, die zur Gewährleistung einer absoluten Selektivität durch eine fernwirkmässige Mitnahmekopplung ergänzt werden müssen, wie dies aus dem Höchstspannungsnetz bekannt ist. Genau gleich wie im Höchstspannungsnetz werden Trägerfrequenzverbindungen (TFH), Erdseilk coaxialkabel oder Glasfaserkabel zur Mitnahmeschaltung, in diesem Fall zur beidseitigen Bestätigung der Erdschlussrichtung, verwendet.

4.3 Das pseudo-geerdete in Dreieckschaltung gespeiste Netz

Um eine schnelle und selektive Abschaltung [2] sowohl im Erdschluss wie im Kurzschlussfall zu erreichen, besteht die Möglichkeit, entsprechend Figur 3 die Abgangstransformatoren von einer höheren auf eine tiefere Spannungsebene als Stern-Stern-Transformatoren vorzusehen, wobei auf der Seite der höheren Spannung der Sternpunkt geerdet wird. Durch geschickte Auswahl der Anzahl und der Standorte dieser oberspannungsseitig geerdeten Abgangstransformatoren kann ein Erdschlussstrom erreicht werden, der einerseits nicht zu hoch, um entsprechende Beeinflussungen von PTT- und anderen Kabeln zu vermeiden, anderseits hoch genug ist, dass die Impedanzrelais sicher, zuverlässig und selektiv arbeiten können. In der Praxis wirkt dieses System ähnlich wie im starr geerdeten Höchstspannungsnetz, nur dass in diesem Fall die Erdschlussströme nicht zum Speise-

transformator, sondern zum Abgangstransformator fliessen. Bei mehreren vorhandenen Abgangstransformatoren kann die Erdschlussimpedanz schlecht zum voraus gerechnet werden und muss entweder im Modell ermittelt [3] oder später durch Messungen bestätigt werden.

5. Vor- und Nachteile der einzelnen Betriebsarten

Solange die Erdschlussströme nicht zu gross werden, ist der isolierte Betrieb eines in Dreieckschaltung gespeisten Netzes die bequemste und billigste Art der Netzführung.

Bei steigenden Erdschlussströmen und wenn das untergeordnete 12- bis 24-kV-Netz ohne Löschung isoliert betrieben wird, entspricht die Methode der Pseudo-Erdung der wirtschaftlichsten Lösung und ist problemlos in der technischen Anwendung.

Wenn das untergeordnete 12- bis 24-kV-Netz vermascht ist, kann auch bei gelöschtem Netz die Pseudo-Erdung angewendet werden, wobei dann darauf zu achten ist, dass nicht die gleichen Transformatoren vom übergeordneten zum untergeordneten Netz oberspannungsseitig geerdet und unterspannungsseitig mit einer Löschspule ausgerüstet werden, da sonst im oberspannungsseitigen Erdschlussfall unter Umständen durch Resonanzen im untergeordneten Netz Überspannungen erzeugt werden können, welche zu schwach dimensionierte Ableiter durch Überlast zerstören.

Wenn das untergeordnete 12- bis 24-kV-Netz nicht vermascht ist, muss durch eine Kostenoptimierung untersucht werden, ob die Pseudo-Erdung mit dem Einbau von Hochleistungsableitern wirtschaftlicher erscheint als die isolierte Methode mit entsprechenden Fernwirksystemen. Moderne leistungsfähige Ableiter werden in zunehmendem Masse auch zur Eliminierung von üblichen Schalt- und Betriebsüberspannungen eingesetzt und sind auch in der Lage, solchen Beanspruchungen standzuhalten.

Bei steigenden Erdschlussströmen muss beim Übergang des isolierten 12- bis 24-kV-Netzes auf ein gelösches Netz darauf geachtet werden, dass die Löschspule eine flache Resonanzkurve aufweist, wodurch die Überspannungen bei einem Erdschluss auf der Oberspannungsseite auf ein geringes Mass reduziert werden können. Messungen der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) und eigene Berechnungen haben zudem gezeigt, dass die Unterkompensation höhere Überspannungen erzeugt, hingegen die Überkompensation diese wesentlich reduziert. So ergab eine Kompensation von nur 50% einen Überspannungsfaktor von 5,6, der sich bei einer Erhöhung der Kompensation auf

Überspannungsfaktoren in Funktion der Kompensation des Erdschlussstromes

Tabelle I

Kompensation %	Überspannungsfaktor
50	5,6
90	4,3
100	3,7
110	3,0

110% auf 3 reduzierte. Tabelle I zeigt die von einem pseudo-geerdeten Netz erzeugten und in einem untergeordneten 12- bis 24-kV-Netz gemessenen Überspannungsfaktoren in Funktion der Kompensation des Erdschlussstro-

mes. Bei der Verwendung von richtig dimensionierten Löschspulen und dem Einsatz von modernen Ableitern kann auch im unvermaschten und gelöschten 12- bis 24-kV-Netz auf der Oberspannungsseite die Pseudo-Erdung angewendet werden.

Literatur

- [1] Sammlung der bundesrechtlichen Vorschriften über elektrische Anlagen. Bern, Bundeskanzlei/Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 1985.
- [2] F. Schär: Schnellwiedereinschaltung, Selektivschutz und industrielle Verbraucher. Bull. SEV 52(1961)22, S. 875...877.
- [3] F. Schwab: Modelltheorie und Modellmessung. Bull. SEV 57(1966)23, S. 1045...1050.