Nulleiterströme dreifacher Netzfrequenz

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

Objekttyp: **Article**

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

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

Heft 9

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915395

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Nulleiterströme dreifacher Netzfrequenz

Von H. Lendi

621.315.052.32 : 621.3.014.324

In gewissen Anlagen, z. B. Notstromanlagen mit parallelgeschaltetem Transformator, treten unerwünschte Ströme der dreifachen Netzfrequenz auf, die besondere Beachtung erfordern. Als Schutzmassnahmen gegen übermässige Erwärmung des Nulleiters werden ausreichende Dimensionierung einerseits oder der Unterbruch des Nulleiters mit einem Schütz anderseits besprochen.

Dans certaines installations, par exemple groupes électrogènes de secours avec transformateur couplé en parallèle, apparaissent des courants indésirables du triple de la fréquence du réseau, ce qui exige une attention particulière. Comme précaution contre un échauffement excessif du conducteur neutre, on préconise soit un dimensionnement suffisant, soit une coupure du conducteur neutre par un contacteur.

1. Einleitung

Durch das Auftreten von Schadenfällen in gewissen Anlagen wurde man auf parasitäre Nulleiterströme aufmerksam. Die Diskussion ist in Gang gekommen, wie diese Ströme der 3. Harmonischen der Netzfrequenz auf ein unschädliches Mass reduziert werden können.

Der Nulleiter im 4-Leiter-Netz wird einerseits bei unsymmetrischer Belastung von Strömen der Netzfrequenz erwärmt, anderseits in gewissen Anlagen von Strömen der 3. Harmonischen der Netzfrequenz. Diese beiden Ströme können den Nulleiter thermisch unzulässig belasten. Ist z. B. eine Sammelschiene mit einem Notstromgenerator und einem Transformator verbunden, so stellt man in der Verbindung der Sternpunkte (Nulleiter) Ströme fest, auch wenn die Last symmetrisch ist oder alle Verbraucher abgetrennt werden (Fig. 1).

Nachstehend seien die Bedingungen für das Auftreten dieser Ströme gezeigt und die Schutzmassnahmen diskutiert.

2. Entstehung und Auswirkung von Oberwellenströmen

Bedeutende Oberwellenströme können fliessen, falls ein Spannungsoberwellen-Erzeuger oder ein Stromoberwellen-Verbraucher vorhanden ist. Für beide Fälle muss natürlich ein Stromkreis von genügend kleiner Impedanz für diese Ströme vorhanden sein. Als Oberwellenspannungserzeuger wirkt jeder Generator, im besonderen jeder Schenkelpolgenerator mit einer erheblichen 3. Harmonischen. Oberwellenströme werden erzeugt durch Verbraucher mit spannungs- oder stromabhängiger Impedanz, z. B. Drosselspulen mit Eisenkern. Weitere Oberwellenerzeuger (Wechselrichter u. a.) sind in diesem Zusammenhang von untergeordneter Bedeutung.

2.1 Spannungsoberwellen-Erzeuger

Bei Generatoren, den in diesem Fall wichtigsten Oberwellenerzeugern, treten nur ungeradzahlige Harmonische auf. Von diesen haben nur die durch 3 teilbaren eine Bedeutung, da diese in den 3 Leitern (R, S, T) die gleiche Phase aufweisen und sich dadurch im Sternpunkt des Verbrauchers nicht aufheben.

In der Folge wird nur von der 3. Harmonischen (150 Hz) die Rede sein, da die 9., 15. usw. in der Praxis vernachlässigt werden können.

Speist ein Generator G in einem 3-Leiter-Netz eine Last Z, so besteht eine Spannung zwischen den Sternpunkten von Generator und Last, verursacht durch die 3. Harmonische. Ein Strom kann aber nicht fliessen, da die Sternpunktverbindung fehlt und der Kreis für die 3. Harmonische nicht geschlossen ist (Fig. 3). Schliesst man den Generator aber an ein 4-Leiter-Netz (Fig. 4), addieren sich die 3 Polleiterströme der 3. Harmonischen im Sternpunkt und Nulleiter gleichphasig (Fig. 2). Der Oberwellenstrom wird durch die Kreisimpedanz bestimmt, die bei üblichen Verbrauchern in der gleichen Grössenordnung liegt wie für die Spannungen der Netzfrequenz 50 Hz. In diesem Fall kann keine erhebliche Erwärmung von Last oder Nulleiter durch Oberwellenströme entstehen, da die Spannungsamplituden der Oberwellen und damit auch die Ströme der 3. Harmonischen nur Bruchteile der Grundwelle sind.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn im Kreis mit dem Oberwellenerzeuger eine für die 3. Harmonische niedrige Impedanz angeschlossen ist, z. B. ein Transformator oder Generator. Während diese für die Netzfrequenz eine grosse Impedanz darstellen, sind für die 3. Harmonische nur deren Nullimpedanzen (sym. Komponenten) strombegrenzend, die nur einige % der Transformatorenhauptimpedanz ausma-

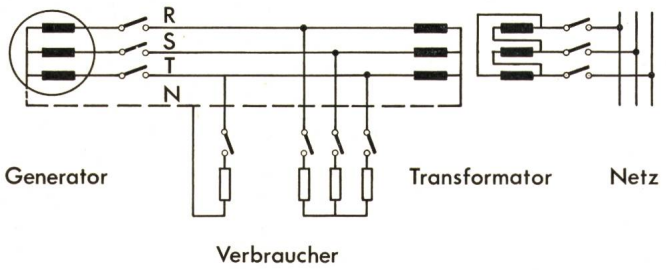

Fig. 1 Niederspannungsnetz, gespeist von einem Transformator und Generator

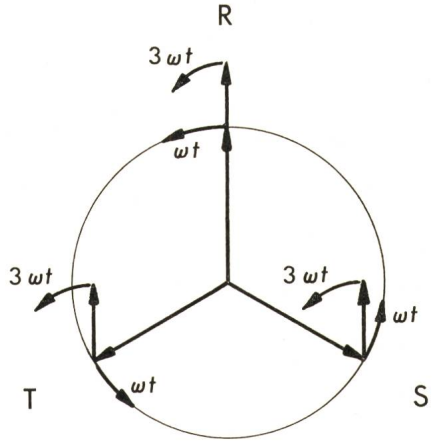

Fig. 2 Spannungsstern: Phasenlage der Amplitude der 3. Harmonischen

ω Kreisfrequenz
t Zeit

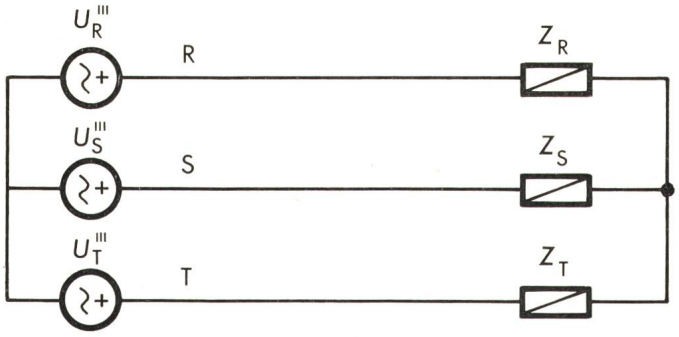

Fig. 3 Ersatzschaltbild für die 3. Harmonische: Generator *G* und Last *Z* in einem 3-Leiter-System (vereinfacht)
Spannung (150 Hz) zwischen den beiden Sternpunkten
U''' Spannung der 3. Harmonischen

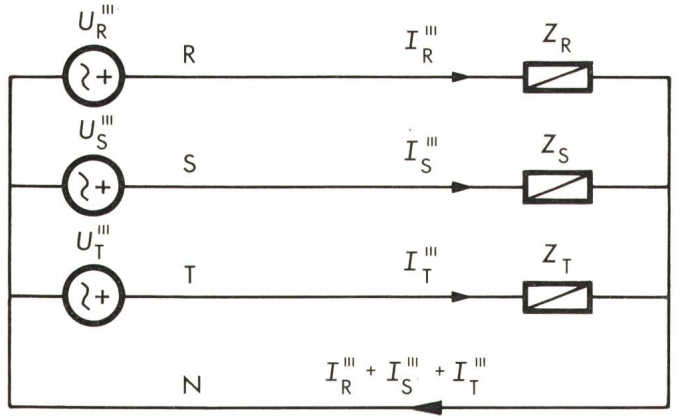

Fig. 4 Ersatzschaltbild für die 3. Harmonische: Generator und Last in einem 4-Leiter-System; Nulleiter mit 3fachem Oberwellenstrom der Polleiter
I''' Oberwellenstrom
U''' Spannung der 3. Harmonischen

chen. So können sich Nulleiterströme ergeben, die im ungünstigsten Fall auf den Wert des doppelten Polleiterstromes ansteigen können. Daraus ist sofort ersichtlich, dass der Nulleiter nicht mit dem sonst üblichen halben Polleiterquerschnitt ausgeführt werden darf. Die zusätzliche Erwärmung von Generatoren und Transformatoren muss in diesen extremen Fällen sorgfältig untersucht werden.

Speist ein Generator und ein Transformator mit Sternpunktverbindung dauernd eine Sammelschiene, so sind die Verluste zu berücksichtigen, die durch die Oberwellenströme entstehen.

Wenn in einem Energieversorgungsnetz mit Niederspannungsgeneratoren eine der folgenden Anordnungen vorhanden ist, muss den Oberwellenströmen im Nulleiter besondere Beachtung geschenkt werden.

Generator – Transformator
Generator – Generator (bei verschiedenen Generatoren)
Generator – Oberwellenverbraucher (z. B. FL-Beleuchtung).

Der am meisten auftretende Fall besteht aus einem Generator einer Notstromanlage, der bei Bedarf an eine Sammelschiene geschaltet wird. Diese wird im Normalfall durch einen Netztransformator gespeist. Die Grösse der Oberwellenströme ist in diesem Fall abhängig von:

a) Art des Generators (Vollpol- oder Schenkelpolmaschine);
b) Belastung des Generators;
c) Schaltung des Transformators (Stern- oder Zickzack-Schaltung);
d) Impedanz der Sternpunktverbindung (kann oft vernachlässigt werden).

Zu a): Während eine Vollpolmaschine keinen nennenswerten Oberwellenanteil erzeugt, hat die Schenkelpolmaschine eine bedeutende 3. Harmonische.

Zu b): Bei Belastung eines Generators steigt der Oberwellengehalt der Spannung an.

Zu c): Ein in Zickzack-Schaltung ausgeführter Transformator besitzt eine wesentlich kleinere Nullimpedanz als einer in Sternschaltung, d. h., der Nulleiter wird im ersten Fall durch wesentlich grössere Ströme erwärmt.

2.2 Oberwellenstrom-Verbraucher

Verbraucher, die bei variabler Spannung eine Änderung der Impedanz aufweisen, entnehmen dem Netz Ströme, die Verzerrungen aufweisen. Diese lassen sich nach Fourier in Oberwellenströme zerlegen. Der Hauptanteil der Verbraucher mit nichtlinearer Strom-Spannungs-Charakteristik bilden die Induktivitäten mit Eisenkern, der bis in die Sättigung belastet wird, z. B. Transformatoren, Vorschaltgeräte für Fluoreszenzleuchten. Weitere Oberwellenerzeuger sind Diodengleichrichter, die für die verschiedensten Gleichstromspeisungen verwendet werden. Alle diese Verbraucher erzeugen eine erhebliche 3. Harmonische.

Sind in einem Netz grosse Oberwellenstrom-Verbraucher vorhanden, treten in nicht genügend niederohmigen Netzen Spannungsverzerrungen auf. Ausserdem können in solchen Anlagen durch die 3. Harmonische Nulleiter überlastet werden.

3. Schutzmassnahmen

Um die angeführten Schäden bzw. Energieverluste zu verhindern, werden gegenwärtig zwei Methoden angewandt:

- Ausreichende Dimensionierung des Nulleiters;
- Unterbrechung der Sternpunktverbindung von Generator und Transformator (Nulleiterschütz).

3.1 Ausreichende Dimensionierung des Nulleiters

Der zu erwartende Nulleiterstrom setzt sich zur Hauptsache aus den Anteilen der Netzfrequenz und der 3. Harmonischen zusammen, nach der Formel:

$$I_{tot} = \sqrt{I_{50\,Hz}^2 + I_{150\,Hz}^2}$$

Die Erwärmung ist abhängig von der Stromstärke und der Zeitdauer der Belastung. Die Stromstärke wiederum wird bestimmt durch:

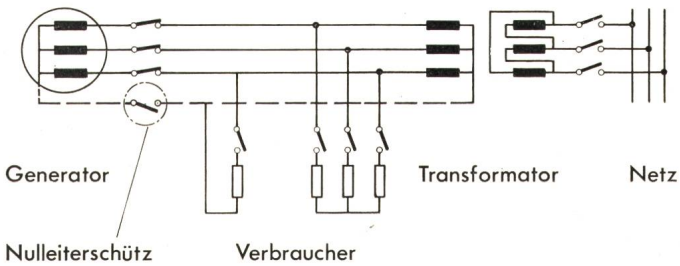

Fig. 5 Niederspannungsnetz, von einem Generator über einen Transformator gespeist
Nulleiterschütz verhindert Nulleiterströme zwischen Generator und Transformator

- Spannungsamplitude der 3. Harmonischen des Generators bei Nennlast;
- Nullimpedanz von Generator und Transformator;
- Impedanz von Pol- und Nulleiter zwischen Generator und Transformator.

Die maximale Spannungs-Amplitude der 3. Harmonischen für Niederspannungs-Generatoren ist nicht genormt (CEI, SEV, VDE). Darum ist man bei der Projektierung auf die Angaben des jeweiligen Generatorherstellers angewiesen. Die Nullimpedanzen können ebenfalls von den Herstellern angegeben werden.

Berechnungen in [1] [1]) und ergänzende Messungen an belasteten Notstromanlagen, die mit Transformatoren in Sternschaltung parallel betrieben werden, führen auf Nulleiterströme bis zum halben, selten bis zum vollen Polleiterstrom. Diese Lösung mit einem ausreichend bemessenen Nulleiter kommt in Betracht, wenn die Parallelschaltung nur von kurzer Dauer ist oder die Stromwärmeverluste von untergeordneter Bedeutung sind und falls man die Nachteile der Nulleiterschützen umgehen will. Es muss dabei beachtet werden, dass der ganze Nulleiter zwischen Generator und Transformator ausreichend dimensioniert wird.

Da die Erwärmung des Nulleiters eine Funktion der Zeit ist, kann in Sonderfällen der Parallellauf von Generator und Transformator mit normal bemessenem Nulleiter zeitlich begrenzt werden. In diesem Fall muss darauf geachtet werden, dass die Erwärmungszeitkonstante des Kabels grösser ist als die Verzögerung des Zeitrelais für den Generator- oder Transformatorschalter.

3.2 Nulleiterschütz

Bei Parallel-Betrieb eines Netztransformators mit einem Generator wird mit dem Nulleiterschütz die Verbindung der Sternpunkte unterbrochen und damit die 3. Harmonische unterbunden. Dieses Schütz trennt meist den Generatorsternpunkt, der isoliert vom Gehäuse und der Schutzerde herausgeführt sein muss, von der Sammelschiene. Der Transformator bildet in diesem Fall den Sternpunkt.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Die Steuerung des Nulleiterschützes muss derart ausgeführt werden, dass das Netz nie (auch im Störungsfall) mit fliegendem Sternpunkt (d. h. der Nulleiter ist weder mit dem Transformator noch mit dem Generator verbunden) Verbraucher speist. Würde dieser Fall eintreten, könnten einphasige Verbraucher im ungünstigsten Fall mit der verketteten Spannung (z. B. 380 V im 220/380-V-Netz) gespiesen werden. Versagende Nulleiterschützen haben durch die auftretenden Überspannungen schon erhebliche Schäden an Verbrauchern verursacht.

3.3 Beurteilung

Aus dem oben Gesagten ist ersichtlich, dass die Grösse der Nulleiterströme von verschiedenen, oft nicht genau erfassbaren Parametern abhängig ist. Die zu ergreifenden Schutzmassnahmen bedürfen daher einer genauen Untersuchung. Die Lösung ohne Nulleiterschütz vermeidet den Aufwand für dessen Steuerung. Durch diese Vereinfachung wird die Betriebssicherheit etwas erhöht, was bei Notstromgruppen ins Gewicht fällt. Eine genaue Erfassung der Oberwellenströme ist allerdings notwendig, will man nicht zum vornherein den Nulleiter mit dem Querschnitt für den doppelten Polleiterstrom des Generators ausführen. Die genauere Untersuchung der Grösse der Oberwellenströme kann entfallen, wenn man das Nulleiterschütz einbaut. Grosse Beachtung muss in diesem Fall aber der Steuerung des Schützen geschenkt werden, der in keinem Betriebsfall versagen darf.

Literatur

[1] *R. Trnka:* Ströme dreifacher Betriebsfrequenz in Nulleitern von Niederspannungsanlagen und ihre angenäherte Berechnung. Elin-Z. 10(1958)4, S. 215...231.

[2] *M. Brüderlink:* Nulleiterströme dreifacher Frequenz. Elektromonteur 18(1967)1, S. 13...16.

Adresse des Autors:

H. Lendi, Dipl. El.-Ing. ETH, Ingenieurbüro Sauber + Gisin, Höschgasse 45, 8034 Zürich.