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: 74 (1983)

Heft: 23

Artikel: Wechselstrombrückenschaltung als selektiver Rotorerdschlussschutz

Autor: Kornas, T.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904893

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

Wechselstrombrückenschaltung als selektiver Rotorerdschlussschutz

T. Kornas

Prinzip und Arbeitsweise einer Widerstands-Kapazitäts-Wechselstrombrücke für den Erdschlussschutz der Erregerkreise von Synchronmaschinen werden beschrieben.

L'article décrit le principe et le fonctionnement d'un pont à résistance et capacité en courant alternatif pour la protection dans le cas d'un défaut à la terre des circuits d'excitation de machines synchrones.

Adresse des Autors

Dr.-Ing. *Tadeusz Kornas*, Institut für Energoelektrik, TH Wrocław, ul Benedyktynska 17m.23, 50-350 Wrocław, Polen.

1. Einleitung

Für die Erregung der heutigen Synchronmaschinen grosser Leistung gibt es nach der Art der Erzeugung und Zuführung der Erregerleistung zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten:

1. Ruhende (statische) Erregung, entweder aus dem Netz über gesteuerte oder ungesteuerte Stromrichter oder Transduktoren oder von einem Drehstrom-Wellengenerator über ungesteuerte oder gesteuerte Stromrichter oder auch aus den Maschinenzuleitungen als lastabhängige Erregung über ungesteuerte Stromrichter (Harzsche Schaltung).

2. Rotierende Erregung über ungesteuerte oder (und) gesteuerte Stromrichter durch Aussenpol-Drehstromgeneratoren, Asynchrongeneratoren, Synchrongeneratoren mit rotierendem Sekundärteil.

Als zusätzlicher Schutz des Stromrichtersatzes der Erregung gegen Überspannungen aller Art wird meistens eine dreiphasige Kondensatoreinheit verwendet. Diese in Sternschaltung geschalteten Kondensatoren sind einerseits an die Sekundärwicklung des Erregertransformators angeschlossen und andererseits entweder über einen niederohmigen Widerstand oder starr geerdet. Sie sind direkt auf den Transformator aufgebaut.

Ein einpoliger Erdschluss im Rotor eines Synchrongenerators beeinträchtigt das Betriebsverhalten der Maschine kaum. Doch ist ein schnelles Erfassen dieses Fehlers erforderlich, weil der Erdschluss einen Doppelerd- oder Windungsschluss oder eine Unterbrechung in der Erregerwicklung hervorrufen kann. Ein zweiter Erdschluss im Rotorkreis kann durch Unsymmetrie der magnetischen Flüsse der Pole zu bedenklichen Vibrationen der Maschine führen und darüber hinaus zu schwerem Maschinenschaden. Es ist daher notwendig, bereits den ersten Erdschluss im Rotorkreis zu erfassen und durch den Rotorerdschlussschutz eine Abschaltung zu bewirken.

Bisher hat man sich mit dem Problem eines Leiterunterbruches im Erregerkreis von grossen Turbogeneratoren mit heutigen Spannungsreglern wenig befasst. Bei einem Bruch z.B. der Bolzenzuleitung wird ein Lichtbogen entstehen, der nicht von selbst löscht. Der Erregerstrom fliesst weiter. Deswegen spricht man von Leiterunterbruch und nicht von Stromunterbruch. Der übliche Erregungsausfallschutz spricht nicht an. Der einzig mögliche Schutz für diesen Fehler bleibt der Rotorerdschlussschutz, da es kaum vorstellbar ist, dass ein solcher Lichtbogen ohne Erdberührung bzw. Wellenbeschädigung auftreten kann. Um dabei schwere Maschinenschäden zu verhindern, besteht die einfachste Massnahme darin, das Rotorerdschlussrelais unverzögert (eventuell 0,3...0,5 s verzögert) auf Auslösung zu bringen, statt wie bisher nur zur Anzeige. Der Rotorerdschlussschutz soll möglichst unabhängig sein

- vom Oberwellengehalt des Erregersystems,
- von der Kapazität des Erregersystems gegen Erde,
- von der Rotorspannung und dem Fehlerort,
- von der Hilfsspannungsversorgung,
- von den Hilfswechselspannungsänderungen,
- von der Frequenz der Hilfswechselspannung (± 10%),
- von unzulässigen Betriebszuständen des Generators,
- von auftretenden Fehlern ausserhalb des Generators
- sowie von induzierter Spannung in der Rotorwelle des Generators.

Dabei müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Eine galvanische Trennung zwischen der Rotorwicklung und dem Messkreis des Relais muss vorhanden sein.
- Die angelegte Hilfsspannung an der Rotorwicklung darf 50 V nicht überschreiten.
- Der Anschluss des Relais soll asymmetrisch sein, d.h., es wird eine einpolige Ankopplung am Rotorkreis bevorzugt. Bei zweiseitiger Verbin-

dung wird die Gefahr von Kurzschlüssen zwischen Plus- und Minuspol viel grösser sein, weiter steigt dabei die Resonanzgefahr.

- Der Erdschlussschutz soll für die Erregerspannung bis 1500 V anwendbar sein.
- Der Ansprechwert soll zwischen 500 Ω und 10 kΩ einstellbar sein. Es ist zu beachten, dass bei wassergekühlten Rotoren und Thyristorerregung die Erregerwicklungen im Betriebszustand nur etwa 3...10 kΩ Isolationswiderstand aufweisen, in Abhängigkeit von der Reinheit des Kühlwassers. Betriebserfahrungen, die in einigen Ländern auf dem Gebiet des Erregerkreisschutzes gegen Erdschlüsse gewonnen wurden [1], ermöglichten es, den tatsächlichen Widerstand der Erdisolationen festzustellen, bei dem das Relais anspricht, das den Schutz auf dem Pegel $R_E = 1$ kΩ abschaltet.

Alle erwähnten Aufgaben können nur von einem Relais mit grossem Störabstand und hoher Ansprechsicherheit erfüllt werden. Durch zunehmende Anwendung der Thyristorsteuerung für Gleichstromkreise und den Bau von immer grösseren Generatoren mit steigenden Rotorerdkapazitäten werden zusätzlich erhöhte Forderungen an den Rotorerdschlussschutz gestellt.

Im Läufererdschlussschutz herkömmlicher Ausführung wird vorwiegend entweder der Rotorerdstrom als Messkriterium verwendet [2; 3] oder eine Leitwertmessung an der Rotorerdisolierung durchgeführt, d.h., der Rotorerdwiderstand wird unabhängig von der Läufererdkapazität gemessen und überwacht [4].

Die in der Rotorwelle eines Synchrongenerators induzierte Spannung [5] beeinflusst die Ansprechempfindlichkeit dieses Schutzes stark und täuscht einen Erdfehler vor. Dies war der Anlass zur Entwicklung eines Rotorerdschlussschutzes mit neuartigem Messverfahren.

2. Prinzip der Schutzeinrichtung

Der vorzustellende Schutz des Erregerkreises der Synchronmaschinen vor Erdschlüssen wirkt auf der Grundlage einer Widerstands-Kapazitäts-Wechselstrombrücke. Die Brückenschaltung befindet sich auf der Seite des Wechselstromerregers, der die Halbleitererregerschaltung speist (Fig. 1).

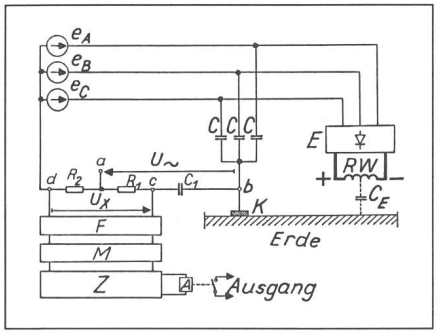

Fig. 1 Schutzschaltung zur Erfassung eines einzelnen Erdschlusses im Generatorerregerkreis

A	Relais
$C = 1\mu F$	Überspannungsschutzkondensator
C_E	Rotorerdkapazität
e_A, e_B, e_C	Phasenspannungen des Drehstromsystems
E	Erregersatz (Halbleiter)
F	Bandpassfilter
K	Erdklemme
M	Messglied
RW	Rotorwicklung eines Generators
Z	Zeitglied
U	Hilfsspannung 50 Hz
U_x	Ausgangsspannung der Brückenschaltung
R_1, R_2, C_1	Parameter der Brückenschaltung

Die Wicklung der Generatorerregung wird von einer dreiphasigen Spannungsquelle mit isoliertem Sternpunkt über eine Gleichrichterschaltung gespeist. Zwecks Dämpfung während der Kommutation in Halbleiterschaltungen wird gewöhnlich eine Dreiphasen-Kondensatorenschaltung C verwendet. Diese Kondensatoren sind einerseits mit den Phasenleitungen der Speisequelle verbunden, andererseits mit der Erde. In der in Figur 1 dargestellten Schaltung wird ein Brückenzweig durch die resultierende Erdkapazität des Erregerkreises C_E und der Kondensatoren C, der zweite durch den Widerstand R_2, der dritte durch den Widerstand R_1 und der vierte durch den Kondensator C_1 gebildet. Die Brücke wird mit der Hilfsspannung U in den Punkten a und b gespeist; die Brückenausgangsspannung U_x erhält man zwischen c und d. Die Brücke wird im normalen Betrieb der Erregerschaltung des Generators in den Gleichgewichtszustand gesetzt, d.h. bei zufriedenstellendem Zustand des Erregerkreises gegen Erde.

Die Brücke ist für die Frequenz der Speisespannung abgeglichen. An ihrem Ausgang erscheint eine geringe Spannung, deren Wert von der Güte der Brückenabgleichung, von der Kapazitätsasymmetrie der Kondensatoren C und vom Oberwellengehalt in der Erregerspannung des Wechselstroms abhängig ist. Der Einfluss dieser Oberwellen wird mittels eines Bandfilters am Brückenausgang beseitigt.

Bei Widerstandsverminderung der Erdisolation des Erregerkreises erfolgt eine Störung des Brückengleichgewichtes. In diesem Falle erscheint am Brückenausgang die Spannung U_x, die vom Widerstandswert der Erdisolation des Erregerkreises abhängig ist. U_x bildet das Kriterium für das Ansprechen des erwähnten Schutzes.

3. Ermittlung der Parameter

Bei der Wahl der Parameter der Brückenschaltung sind folgende Kriterien massgebend: einerseits die Bedingung des Gleichgewichts der Brückenschaltung während der kurzschlusslosen Arbeit des Erregerkreises, anderseits eine maximale Brückenempfindlichkeit. Aus Figur 1 erhält man in anderer Darstellung die Brückenschaltung nach Figur 2, die zur Bestimmung

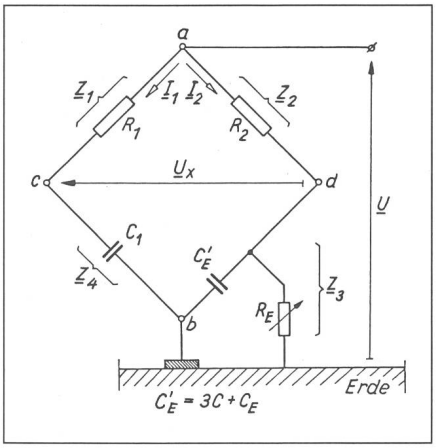

Fig. 2 Vereinfachte Schutzschaltung nach Figur 1

R_E Erdisolationswiderstand des Erregerkreises

der Parameter dienen soll. Die Schaltung kann mittels folgender Gleichungen, ausgedrückt in komplexer Form, beschrieben werden:

$$\underline{I}_1 = \underline{U}/(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4) \quad (1)$$

$$\underline{I}_2 = \underline{U}(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) \quad (2)$$

$$\text{mit } Z_1 = R_1,\ Z_2 = R_2, \quad (3)$$

$$\underline{Z}_3 = R_E/(1 + j\omega C'_E R_E),$$
$$\underline{Z}_4 = 1/j\omega C_1 \quad (4)$$

$$C'_E = 3C + C_E \quad (5)$$

R_1, R_2, C_1 Parameter der Brückenschaltung,

C'_E resultierende Erdkapazität des Erregerkreises eines Generators,
R_E Widerstand der Erdisolation des Erregerkreises eines Generators,
U Speisespannung der Brückenschaltung

Die Ausgangsspannung $\underline{U}_x$ der Brückenschaltung stellt die Abhängigkeit

$$\underline{U}_x = \underline{I}_2 \underline{Z}_2 - \underline{I}_1 \underline{Z}_1 \qquad (6)$$

dar. Setzt man die Ausdrücke (1) und (2) in die Beziehung (6) ein, so erhält man

$$\underline{U}_x = \underline{U} \frac{\underline{Z}_2(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4) - \underline{Z}_1(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3)}{(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4)(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3)} \qquad (7)$$

Aus dieser Beziehung lassen sich Relationen zwischen einzelnen Brückenparametern festlegen, unter der Voraussetzung, dass im Gleichgewichtszustand der Brücke folgende Bedingungen erfüllt werden sollen:

$$R_E = \infty \quad \text{und } U_x = O \qquad (8)$$

Wählt man die Brückenwiderstände gleich

$$R_1 = R_2 = R = Z \qquad (9)$$

so ergibt sich

$$1/\omega C_1 = 1/\omega C'_E \qquad (10)$$

Der optimale Widerstandswert R wurde aufgrund des Kriteriums für maximale Brückenempfindlichkeit bestimmt. Unter dem Begriff der Brükkenempfindlichkeit versteht man die Abhängigkeit der Brückenausgangsspannung U_x vom variablen Glied der Brücke (Messwert R_E). Aus den Gleichungen (7) und (9) erhält man für die Zunahme der Brückenausgangsspannung $\Delta \underline{U}_x$ (aus dem Gleichgewicht) bei der Impedanzänderung $\Delta \underline{Z}_3$

$$\Delta \underline{U}_x = \underline{U} \cdot \underline{Z} \cdot \frac{\underline{Z}_4 - (\underline{Z}_3 + \Delta \underline{Z}_3)}{(\underline{Z} + \underline{Z}_3 + \Delta \underline{Z}_3) \cdot (\underline{Z} + \underline{Z}_4)} \qquad (11)$$

wobei

$$\Delta \underline{Z}_3 = \frac{\Delta R_E}{1 + j\omega C'_E (R_E + \Delta R_E)} \qquad (12)$$

Nach entsprechender Umformung unter der Voraussetzung, dass $\Delta \underline{Z}_3 \ll \underline{Z}_3$ und dass im Gleichgewichtszustand der Brücke die Bedingung $\underline{Z}_3 = \underline{Z}_4$ erfüllt ist, kann der Spannungsmodul ΔU_x aus der Gleichung

$$\Delta U_x = U \cdot \Delta R_E \cdot \frac{R(\omega C_1)^2}{[1 + (\omega C_1 R)^2] \cdot [1 + (\omega C'_E R_E)^2]^{1/2}} \qquad (13)$$

ermittelt werden. Für den optimalen Widerstandswert R wird die erste Ableitung von Gl.(13) nach R null gesetzt. Man erhält dann

$$R = 1/\omega C_1 \qquad (14)$$

Die in Figur 1 dargestellte Schaltung kann als sog. 100%-Nullspannungsschutz vor Erdschlüssen für elektrische Schaltungen, die nicht galvanisch mit der Erde verbunden sind, betrachtet werden.

Im Falle eines satten Erdschlusses im Schaltungsteil zwischen den Klemmen des Wechselstromerregers und der Gleichrichterschaltung entsteht zwischen den Klemmen b–d der Brükke die Phasenspannung des Erregers U_{ph}. In diesem Falle bewirkt die Brükkenausgangsspannung $U_x = 2U_{ph}/\sqrt{5}$ die Anregung der Schutzschaltung.

Bei Erdschlüssen der Wicklungen des Transformators, der die Halbleitererregerschaltung speist, wird die Brückenausgangsspannung entsprechend geringer sein. Hingegen kann bei Erdschlüssen, die vom Sternpunkt entfernt sind, diese Spannung zur Erregung des Schutzes genügen. Der Schutz wird hier als Nullspannungsschutz wirken.

Bei Erdschlüssen auf der Gleichstromseite oder in den Wicklungen des Erregers in der Nähe des Sternpunktes wirkt der Schutz als Brücke.

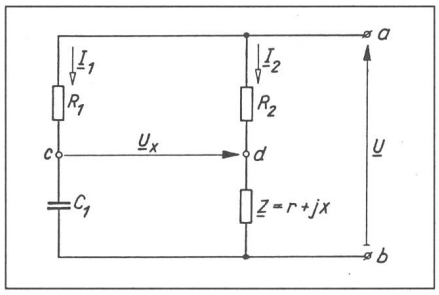

Fig. 3 Ersatzschaltung zur Darstellung des Ansprechverhaltens

4. Darstellung des Schutzverhaltens in der Impedanzebene

Die Charakteristik des Schutzansprechens in der Impedanzebene $\underline{Z}$ wurde anhand von Figur 3 untersucht, unter der Voraussetzung, dass die Brücke im Normalbetrieb im Gleichgewicht steht. Der Schutz soll bei $R_E = R_{EA}$ ansprechen. Die Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ in den Brückenzweigen betragen

$$\underline{I}_1 = \underline{U}/(R_1 - jX_{C1}), \; \underline{I}_2 = \underline{U}/(r + R_2 + jx) \qquad (15)$$

Die Brückenausgangsspannung $\underline{U}_x$ ist durch die Beziehung

$$\underline{U}_x = \underline{I}_1 R_1 - \underline{I}_2 R_2 \qquad (16)$$

bestimmt. Unter Berücksichtigung der Gleichungen (9), (10) und (14) folgt für den Modul der Brückenausgangsspannung

$$U_x = \frac{U}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{2X_{C'E}(r - x)}{(r + X_{C'E})^2 + x^2}} \qquad (17)$$

$$\text{mit } X_{C'E} = 1/\omega C'_E \qquad (18)$$

Der Schutz wird erregt, wenn die Grenzspannung der Schutzerregung überschritten wird:

$$U_x \geqq U_A \qquad (19)$$

Für U_A erhält man aus den vorhergehenden Gleichungen (3) bis (14) und mit $R_E = R_{EA}$

$$U_A = \frac{U}{\sqrt{1 + \left(1 + \frac{2R_{EA}}{X_{C'E}}\right)^2}} \qquad (20)$$

Vergleicht man die Ausdrücke (17) und (20), so folgt für das Verhalten der Schutzeinrichtung

$$(r - a)^2 + (x + b)^2 = k^2 \qquad (21)$$

$$\text{wobei } a = \frac{X^3_{C'E}}{2R_{EA}(R_{EA} + X_{C'E})}, \qquad (22)$$

$$b = a + X_{C'E}, \qquad (23)$$

$$k = \frac{\sqrt{2}\, a \sqrt{R^2_{EA} + / R_{EA} + X_{C'E}/^2}}{X_{C'E}} \qquad (24)$$

Die Gleichung (21) stellt in der $\underline{Z}$-Ebene einen Kreis mit dem Radius k dar. Dessen Mittelpunkt M ist um den Vektor $\underline{c} = a - jb$ aus dem Nullpunkt verschoben (Fig. 4). Die Ansprechcharakteristik des Schutzes für die Erdkapazität $C'_E = 4\ \mu F$ und für den Grenz-Isolationswiderstand, $R_{EA} = 1\ k\Omega$, wird durch den Kreis 1 beschrieben. Für $C'_E = 4\ \mu F$ und $\omega = 314\ s^{-1}$ erhält man ferner $X_{C'E} = 0{,}8\ k\Omega$, $a = 0{,}14\ k\Omega$, $b = 0{,}94\ k\Omega$ und $k = 0{,}5\ k\Omega$. Der Ansprechbereich des Schutzes liegt ausserhalb des Kreises 1.

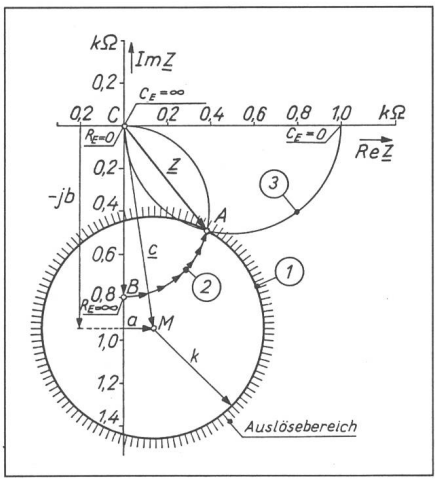

Fig. 4 Darstellung der Ansprechcharakteristik in der Impedanzebene

1 Ansprechcharakteristik des Schutzes
2 $X_{CE'}$ = const., R_E = veränderlich
3 R_{EA} = const., X_{CE} = veränderlich
R_{EA} = 1 kΩ, C'_E = 4 µF, $X_{CE'}$ = 0,8 kΩ
a = 0,14 kΩ, b = 0,94 kΩ, k = 0,5 kΩ

Die Impedanz des Erregerkreises des Generators stellt gegenüber der Erde eine Parallelschaltung der Kapazitätsreaktanz $X_{C'E}$ und des Isolationswiderstandes R_E dar. Den geometrischen Ort der gemessenen Impedanz bilden orthogonale Kreise in der Impedanzebene $\underline{Z}$, gezeichnet für den konstanten Wert der Erdkapazität C'_E und für den konstanten Widerstandswert der Erdisolation des Erregerkreises R_E.

Kreis 2 gilt für $X_{C'E}$ = const. und R_E veränderlich, Kreis 3 umgekehrt für R_{EA} = const. und X_{CE} veränderlich, wobei R_{EA} = 1 kΩ und $X_{C'E}$ = 0,8 kΩ betragen. Aus Figur 4 ergibt sich, dass die Schutzerregung, die für eine Erdkapazität von C'_E = 4 µF ausgeglichen wurde, bei der Verschlechterung der Erdisolation des Erregerkreises R_E auf den Wert R_{EA} = 1 kΩ in Punkt A erfolgt. Im Normalzustand des Erregerkreises ($R_E \approx \infty$) spricht der Schutz nicht an (Punkt B), er wird aber beim Auftreten eines satten Erdschlusses im Generatorerregerkreis (R_E = 0, Punkt C) erregt.

Die Untersuchung des Schutzverhaltens in Anwesenheit von variablen Komponenten in der Erregerspannung und der induzierten Spannung in der Rotorwelle des Generators, erfolgte anhand der in Figur 5 dargestellten Schaltung, einer Umformung der Schaltung in Figur 1. Wegen der Sperrwirkung der Gleichrichter erscheinen die Oberwellen in der Erregerspannung sowie die induzierte Spannung in der Rotorwelle des Generators nicht auf Seite der Wechselspannungsseite. In der Wechselspannung können hingegen Spannungsoberwellen auftreten, die durch Spannungsabfall an der Innenimpedanz der Erregerwicklung durch den verzerrten Wechselstrom entstehen, der die Gleichrichtererregerschaltung speist. Es können auch

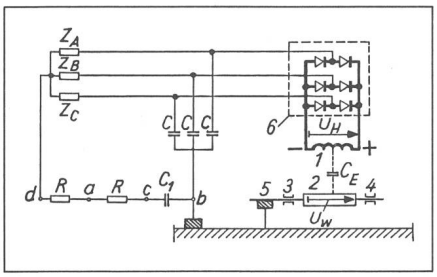

Fig. 5 Ersatzschema unter Berücksichtigung der Oberwellen in der Erregerspannung und der in der Rotorwelle induzierten Spannung

1 Rotorwicklung des Generators
2 Generatorwelle
3, 4 Wellenlager
5 Bürste zur Erdung der Welle
6 Erregersatz
U_H Oberwellen der Erregerspannung
U_W Induzierte Spannung in der Generatorwelle
Z_A, Z_B, Z_C Innenimpedanz des Drehstromsystems

Spannungsoberwellen, die sich aus dem nicht sinusoidalen Verlauf der Erregerspannung ergeben, das Schutzverhalten beeinträchtigen.

Diese Oberwellen werden jedoch durch den verwendeten Banddurchführungsfilter mit hoher Güte Q erfolgreich gedämpft. Das korrekte Ansprechverhalten des Schutzes wie auch von dessen Elementen wurde labormässig untersucht.

5. Schlussfolgerungen

Die dargestellte Schutzschaltung gegen Erdschluss im Erregerkreis der Generatoren mittels einer Widerstands-Kapazitätsbrücke weist folgende Merkmale auf:

- hohe Empfindlichkeit, unabhängig von der Erdschlussstelle,
- Unempfindlichkeit gegenüber Oberwellen in der Erregerspannung und gegenüber der induzierten Spannung in der Rotorwelle des Generators,
- Einfachheit in der Anpassung an verschiedene Werte der Erdkapazität des Erregerkreises,
- einfache Konstruktion und eine relativ einfache Bestimmungsweise der Parameter.

Bemerkenswert ist auch, dass der Erregerkreis des Generators an andere Gleichrichter- und Thyristorschaltungen erinnert. Man kann deshalb annehmen, dass die dargestellte Schutzlösung auch für den Erdschlussschutz anderer Gleichrichterschaltungen in Niederspannungsnetzen mit isoliertem Sternpunkt verwendet werden kann.

Literatur

[1] Die Wahl der Generatorschutzeinrichtungen. BBC CH-ES 31 - 01 D. Baden, Brown Boveri AG.

[2] *H. Dytry* und *S. Wroblewska:* Criteria for detection of single earth-faults in generator excitation circuits. Energetyka (Poland) - (1974)1/2, p. 14...16.

[3] Läufererdschlussschutz, Type IEGL21. In: Elin Kraftwerkselektronik. Maschinenschutz in vollelektronischer Ausführung. Wien, Elin Union, 1977; S. 37...40.

[4] *E.-F. Knütter* und *G. Ziegler:* Elektronischer Läufererdschlussschutz mit neuartigem Messprinzip. Siemens Z. 46(1972)12, S. 906...909.

[5] *T. Kornas:* Einfluss der induzierten Spannung in der Rotorwelle des Synchrongenerators auf den Impedanzschutz gegen Erdschlüsse im Erregerkreis. Bull. SEV/VSE 73(1982)7, S. 296...299.