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: 73 (1982)

Heft: 7

Artikel: Einfluss der induzierten Spannung in der Rotorwelle des Synchrongenerators auf den Impendanzschutz gegen Erdschlüsse im Erregerkreis

Autor: Kornas, T.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904950

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: 10.12.2025

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

Einfluss der induzierten Spannung in der Rotorwelle des Synchrongenerators auf den Impedanzschutz gegen Erdschlüsse im Erregerkreis

T. Kornas

621.313.322

Der Einfluss der induzierten Spannung in der Rotorwelle des Synchrongenerators auf den Impedanzschutz gegen Erdschlüsse im Erregerkreis wird mittels Ersatzschaltung und Impedanzdiagramm untersucht. Es zeigt sich, dass der Schutz bei metallischem Kurzschluss funktioniert, nicht aber beim üblichen Grenzwert des Isolationswiderstandes von 1 kΩ.

L'influence de la tension induite dans l'arbre d'un alternateur synchrone sur la protection par impédance contre des défauts à la terre dans le circuit d'excitation est examinée au moyen d'un circuit équivalent et d'un diagramme d'impédance. On constate que la protection fonctionne dans le cas d'un court-circuit métallique, mais non pour la valeur limite usuelle de la résistance d'isolement de 1 kΩ.

1. Einleitung

Synchrongeneratoren hoher Leistung sind mit einem Impedanzschutz gegen Einzelerdschlüsse im Erregerkreis ausgestattet [3; 4; 5]. Bei einer induzierten Spannung in der Rotorwelle kann dieser Schutz unselektiv ansprechen. In diesem Zusammenhang wird der Einfluss dieser Spannung auf die Arbeitsweise des Impedanzschutzes analysiert, und die Ergebnisse dieser Erwägungen werden dargestellt.

2. Beschreibung des Impedanzschutzes

Hauptbestandteil des betrachteten Impedanzschutzes ist das Impedanzrelais zur Impedanzmessung des Erregerkreises des Generators gegen Erde. Dieses Relais ist über ein Resonanzbandfilter mit dem Erregerkreis verbunden, das den Impedanzschutz von den Wechselspannungskomponenten, die in der Erregerspannung auftreten, verstimmt. Daneben stellt das Filter auch ein Sperrelement für den Gleichstrom dar.

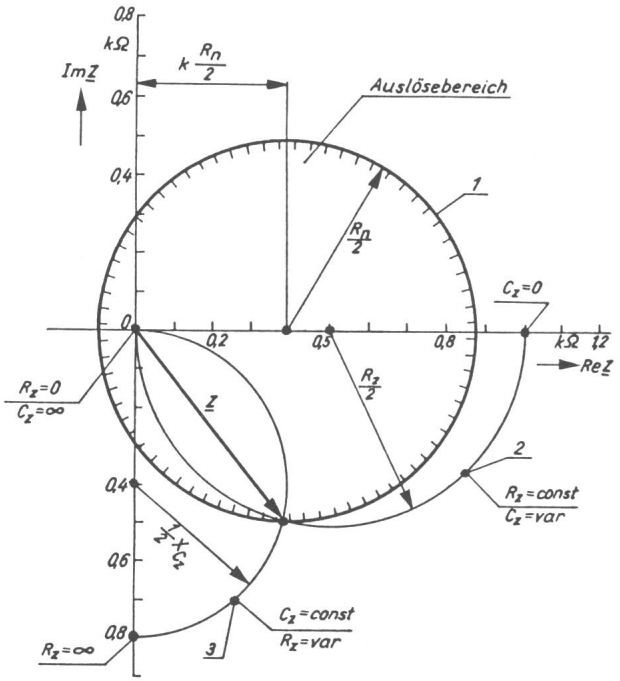

Fig. 1 **Anlaufcharakteristik der Abschaltstufe des Impedanzschutzes in der Ebene $\underline{Z}$**

R_n = Kreisdurchmesser 1, der den Ansprechbereich der Schutzeinrichtung in der Ebene $\underline{Z}$ bestimmt, eingestellt im Messglied dieses Schutzes; $kR_n/2$ = Verschiebung des Kreismittelpunktes längs der Widerstandsachse R; C_z = gesamte Erdkapazität des Erregerkreises des Generators; R_z = Widerstand der Erdisolation des Erregerkreises; f = Frequenz der Speisespannung des Schutzmeßsystems

$R_z = 1\ \mathrm{k\Omega}$; $C_z = 4\ \mu\mathrm{F}$; $k = 0{,}8$; $f = 50\ \mathrm{Hz}$; $X_{Cz} = 1/2\,\pi f C_z$

Bei metallischen Kurzschlüssen im Erregerkreis arbeitet der Schutz einwandfrei, da das Glied, das auf die Kurzschlüsse reagiert, in der Impedanzebene $\underline{Z}$ eine gemischte Charakteristik besitzt (Kreis 1 in Figur 1), die den Koordinatenanfangspunkt erfasst [3].

Die Erregerkreisimpedanz des Generators in bezug auf die Erde stellt eine parallele Verbindung der Kapazitanz X_{Cz} und des Widerstandes der Isolation R_Z dar. Den geometrischen Ort der gemessenen Impedanz bilden die orthogonalen Kreise in der Impedanzebene $\underline{Z}$, die für den konstanten Erdkapazitätswert des Erregerkreises C_z (Kreis 3) sowie für den konstanten Widerstand der Erdisolation des Erregerkreises R_z (Kreis 2) aufgezeichnet werden.

Gemäss seiner Charakteristik wird der Schutz erregt, wenn folgende Bedingung erfüllt wird:

$$|\underline{Z} - k\,R_n/2| \leqq R_n/2 \qquad (1)$$

Die Schutzeinrichtung soll bei einem bestimmten Wert der Erdisolation des Erregerkreises des Generators ansprechen. 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 die Stufe anspricht, die der Schutz auf dem Pegel $R_z = 1\ \mathrm{k\Omega}$ abschaltet. Aus Figur 1 ist beispielsweise zu entnehmen, dass bei der Erdkapazität des Erregerkreises $C_z = 4\ \mu\mathrm{F}$ und dem Beiwert $k = 0{,}8$ diese Bedingung gerade erfüllt wird, wenn R_n, eingestellt im Messglied des Impedanzschutzes, 960 Ω beträgt. Aus Messungen [2] geht hervor, dass die erste Harmonische der induzierten Spannung in der Rotorwelle der Generatoren 200 MW in den Grenzen von 10 bis 25 V liegt. Der Phasenverschiebungswinkel zwischen der Speisespannung des Messgliedes des Impedanzschutzes und der induzierten Spannung in der Rotorwelle hat Zufallscharakter; er kann einen beliebigen Wert im Bereich von 0 bis 360° annehmen.

3. Arbeitsweise der Schutzeinrichtung

Der Einfluss der induzierten Spannung in der Rotorwelle auf die Impedanzschutzempfindlichkeit wurde aufgrund der Arbeitsweise des Meßsystems untersucht (Fig. 2). Als Messglied wurde ein Amplitudenkomparator verwendet. In den Primärwicklungen der Transformatoren Tr 2 und Tr 3 fliessen Ströme, deren Grössen von den gemessenen Erdimpedanzwerten des Erregerkreises sowie vom Widerstandswert R_n

abhängig sind. Die resultierenden magnetischen Kraftflüsse erzeugen in den Sekundärwicklungen der Transformatoren Tr 2 und Tr 3 Spannungen, die nach der Gleichrichtung in der Brückendiagonalen des Amplitudenkomparators miteinander verglichen werden. Zur Erregung des polarisierten Relais P kommt es dann, wenn der Strom

$$I_p = I_a - I_b \geqq 0 \tag{2}$$

Die Spannung $\underline{U}_w'$ zwischen den Punkten A und B, die infolge der in der Welle erzeugten Spannung $\underline{U}_w$ entsteht, hängt von der Erdschlußstelle im Erregerkreis ab. Für den ungünstigsten Fall wurde diese Spannung anhand von Figur 3 bestimmt, d.h. bei Erdschluss des Erregerkreises oder bei Kurzschluss mit dem geerdeten Wellenende, in der Nähe des Lagers 4 (Fig. 2). Verwendet man die Methode der Knotenspannungen, so kann die Spannung $\underline{U}_w'$ aus der Beziehung $\underline{U}_w' = \underline{a} \cdot \underline{U}_w$ ermittelt werden, wobei gilt:

$$\underline{a} = \frac{1 + j\omega R_z C_z/2}{1 + j\omega R_z C_z} \tag{3}$$

$\underline{a}$ hat die Form

$$\underline{a} = a \cdot e^{j\alpha} \tag{4}$$

worin

$$a = \frac{\sqrt{1 + 1{,}25\,(\omega R_z C_z)^2 + 0{,}25\,(\omega R_z C_z)^4}}{1 + (\omega R_z C_z)^2} \tag{5}$$

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg} \frac{-0{,}5\,\omega R_z C_z}{1 + 0{,}5\,(\omega R_z C_z)^2} \tag{6}$$

Aus (5) und (6) folgt für $R_z = \infty$, also kurzschlussfreie Arbeit des Erregerkreises, $a = 0{,}5$ und $\alpha = 0^0$, ferner für $R_z = 0$ (metallischer Schluss im Erregerkreis), $a = 1$ und $\alpha = 0^0$.

Die Untersuchung über die Arbeitsweise des Impedanzschutzes soll anhand des Schemas in Figur 4 weitergeführt werden, das von der in Figur 2 dargestellten Schaltung abgeleitet wurde. Aus Gleichung 2 geht hervor, dass die Schutzeinrichtung erregt wird, wenn $I_a \geqq I_b$, wobei

$$I_a = |\,k_1 \underline{I}'\,|;\ I_b = |\,k_3 \underline{I}_n - k_2 \underline{I}'\,| \tag{7}$$

Aus dem Schema folgt ferner

$$\underline{I}' = (\underline{U} + \underline{U}_w')/\underline{Z};\ \underline{I}_n = \underline{U}/R_n \tag{8}$$

Definiert man

$$\underline{U}_w' = \underline{a}\,\underline{U}_w;\ \underline{U}_w = \underline{b}\,\underline{U} \tag{9}$$

$$k_2/k_1 = k;\ k_1/k_3 = 0{,}5 \tag{10}$$

so erhält man nach einiger Umformung die Charakteristik für das Ansprechen des Impedanzschutzes auf der Ebene der Impedanz $\underline{Z}$ für den Fall, dass eine induzierte Spannung in der Rotorwelle des Generators auftritt:

$$|\,\underline{Z} - k\,(1 + \underline{ab})\,R_n/2\,| \leqq R_n/2 \cdot |\,1 + \underline{ab}\,| \tag{11}$$

Die Grösse $\underline{b}$ kann in der Form

$$\underline{b} = b e^{j\beta},\ \beta = 0 \ldots 360^0 \tag{12}$$

dargestellt werden. Das Produkt $\underline{ab}$ in der Ungleichung (11), unter Berücksichtigung der Gleichungen (4) und (12), nimmt folgende Gestalt an:

$$\underline{ab} = ab e^{j\gamma};\ \gamma = \alpha + \beta \tag{13}$$

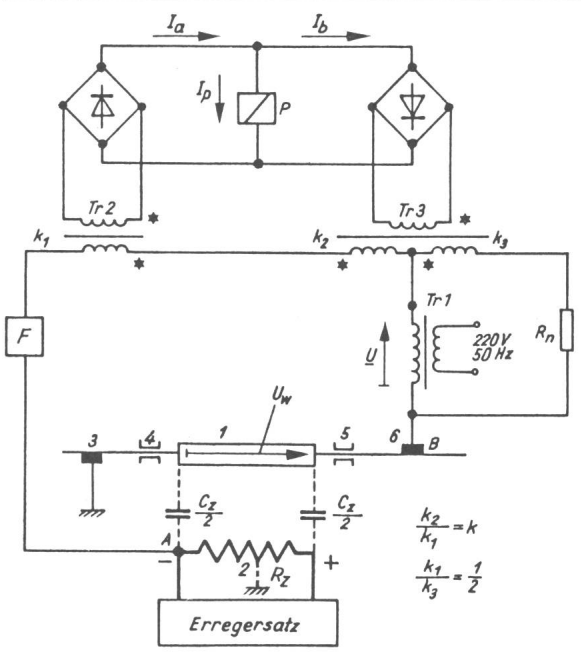

Fig. 2 Vereinfachter Schaltplan des Messgliedes des Impedanzschutzes

1	Generatorwelle
2	Rotorwicklung des Generators
3	Bürste zur Erdung der Welle
4, 5	Wellenlager
6	Arbeitsbürste der Schutzeinrichtung
F	Resonanzfilter
Tr 1	Transformator zur Speisung der Meßschaltung der Schutzeinrichtung
Tr 2, Tr 3	Transformatoren der Meßschaltung
P	Polarisiertes Relais
$\underline{U}$	Speisespannung der Meßschaltung
R_n	Eingestellter Widerstand
U_w	Induzierte Spannung in der Generatorwelle
k_1, k_2, k_3	Beiwerte, die die Umspannung, Gleichrichtung und Filtration von Wechselströmen berücksichtigen
*	Anfang der Wicklung

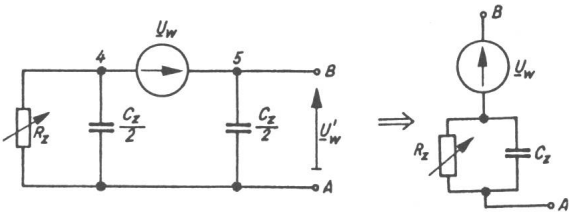

Fig. 3 Schema zur Bestimmung der Spannung $\underline{U}_w$

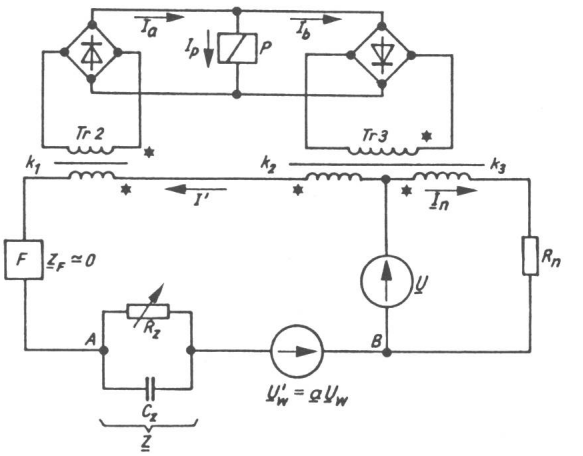

Fig. 4 Messglied des Impedanzschutzes unter Berücksichtigung der Spannung $\underline{U}_w$

Durch eine entsprechende Umformung erhält man

$$|\underline{Z} - k\,(1 + ab e^{j\gamma})\,R_n/2\,| \leqq r = R_n/2 \cdot \sqrt{1 + 2\,ab\cos\gamma + (ab)^2} \qquad (14)$$

Der Kreisdurchmesser, der den Ansprechbereich des Impedanzschutzes in der Ebene $\underline{Z}$ bestimmt, hängt u.a. vom Winkel β ab, der die Phasenverschiebung zwischen der induzierten Spannung in der Rotorwelle und der Speisespannung des Meßsystems der Schutzeinrichtung berücksichtigt.

4. Spezialfälle

Zur Überprüfung der Ansprechrichtigkeit des Impedanzschutzes bei vorhandener induzierter Spannung in der Rotorwelle des Generators wurde untersucht, wie sich die Schutzeinrichtung verhält:

1. bei kurzschlussfreier Arbeit des Erregerkreises des Generators $R_z = \infty$,
2. bei der Abnahme des Isolationswiderstandes R_z bis auf den Wert, bei dem die Schutzeinrichtung ansprechen müsste: $R_z = 1\ \mathrm{k\Omega}$,
3. bei metallischem Erdschluss im Erregerkreis des Generators $R_z = 0$.

Die Werte a und b in Ungleichung (14) werden für die Parameter der Schutzcharakteristik (Fig. 1) bestimmt.

4.1 $R_z = \infty$

$C_z = 4\ \mu\mathrm{F}$; $U = 50\ \mathrm{V}$; $U_w = 25\ \mathrm{V}$; $R_n = 960\ \Omega$; $k = 0{,}8$; $\omega = 314\ \mathrm{s}^{-1}$.

Mit diesen Werten folgt $a = 0{,}5$, ebenso $b = 0{,}5$. Die Ansprechcharakteristik der Schutzeinrichtung, bestimmt durch die Beziehung (14), ist in Figur 5 dargestellt.

Der Mittelpunkt des Kreises des Ansprechbereiches liegt auf dem Kreis A, dessen Radius $abk \cdot R_n/2$ beträgt. Aus diesem Diagramm geht hervor, dass für den Fall einer schlussfreien Arbeit des Erregerkreises die gemessene Kapazitanz des Erregerkreises gegen Erde (Punkt B) ausserhalb der Ansprechzone des Schutzes liegt.

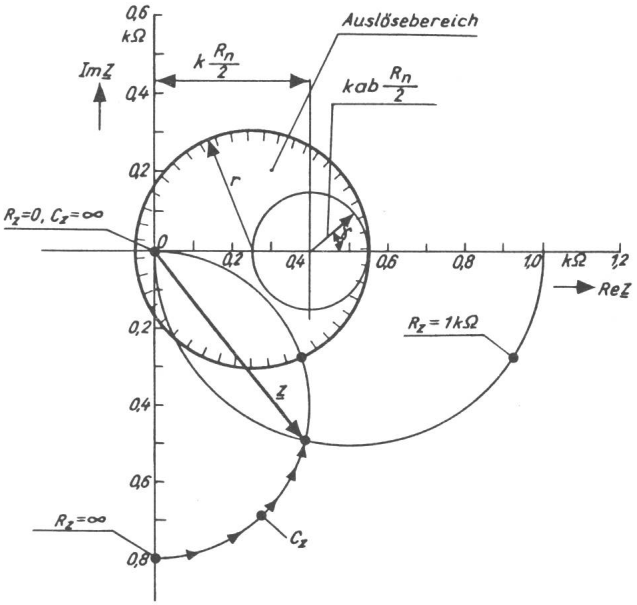

Fig. 6 Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes bei abnehmendem Widerstand der Erdisolation des Erregerkreises auf den Wert $R_z = 1\ \mathrm{k\Omega}$

Der Vektor $\underline{Z}$ liegt ausserhalb der Ansprechzone der Schutzeinrichtung; Beispiel für einen der ungünstigsten Fälle der Ungleichung (14): $\gamma = 180^0$, $r = 300\ \Omega$

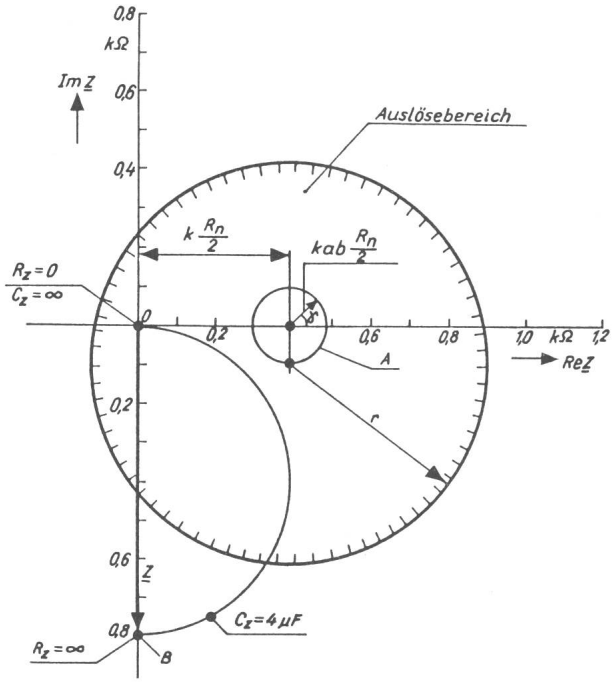

Fig. 5 Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes während der schlussfreien Arbeit des Erregerkreises unter Berücksichtigung der induzierten Spannung in der Generatorwelle

Für einen der ungünstigsten Fälle aus der Ungleichung (14): $\gamma = 270^0$, $r = 510\ \Omega$

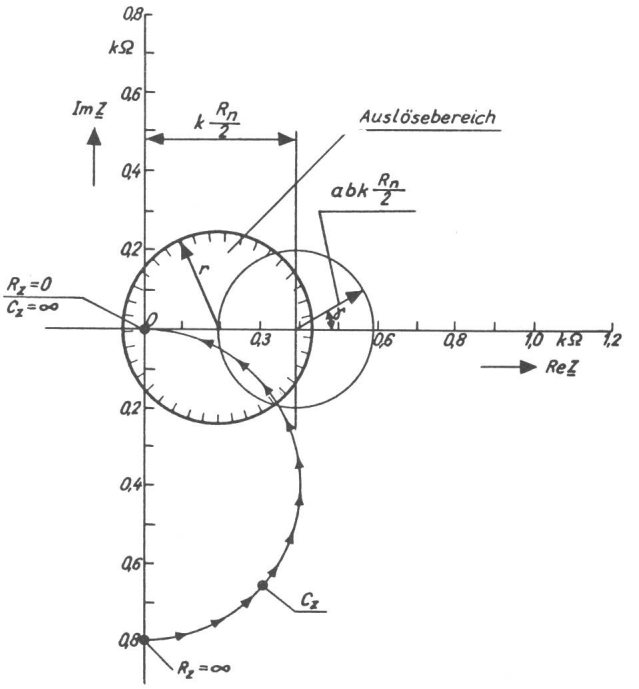

Fig. 7 Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes bei metallischem Erdschluss im Erregerkreis

$\gamma = 180^0$; $r = 240\ \Omega$

4.2 $R_z = 1\ k\Omega$

$C_z = 4\ \mu F$, $U = 50\ V$; $U_w = 25\ V$; $R_n = 960\ \Omega$;
$k = 0{,}8$; $\omega = 314\ s^{-1}$.

In diesem Fall beträgt $a = 0{,}74$ und $b = 0{,}5$. Figur 6 zeigt die Ansprechcharakteristik der Schutzeinrichtung bei abnehmendem Isolationswiderstand bis auf den Wert 1 kΩ, bei dem die Erregung des Schutzes zustande kommen sollte. Die Schutzeinrichtung spricht jedoch nicht an, wenn der Widerstand der Erdisolation des Erregerkreises bis auf den Wert $R_z = 1\ k\Omega$ abnimmt. Dies hängt mit der Abhängigkeit des Durchmessers und der Lage des Kreises, der den Ansprechbereich dieser Schutzeinrichtung bestimmt, vom Isolationswiderstand R_z sowie vom Winkel γ ab.

4.3 $R_z = 0$ *(metallischer Erdschluss im Erregerkreis)*

$C_z = 4\ \mu F$; $U = 50\ V$; $U_w = 25\ V$; $R_n = 960\ \Omega$;
$k = 0{,}8$; $\omega = 314\ s^{-1}$.

Geht man ähnlich wie für die Fälle 4.1 und 4.2 vor, so ist $a = 1$, $b = 0{,}5$. Figur 7 zeigt die entsprechende Charakteristik der Schutzeinrichtung. Man stellt fest, dass der Impedanzschutz bei metallischen Erdschlüssen im Erregerkreis des Generators auch beim Auftreten der induzierten Spannung in der Rotorwelle einwandfrei anspricht.

5. Schlussfolgerungen

Aufgrund dieser Untersuchung kann die Aussage gemacht werden, dass die induzierte Spannung in der Rotorwelle des Generators die Empfindlichkeit des Impedanzschutzes gegen den Einzelerdschluss im Erregerkreis in starkem Masse beeinflusst. Der Schutz spricht nicht an, wenn sich der Isolierwiderstand des Erregerkreises des Generators auf den Wert $R_z = 1\ k\Omega$ verringert. Es ist ferner anzunehmen, dass der Wert der induzierten Spannung in der Rotorwelle der Generatoren höchster Leistung mit der Speisespannung dieses Schutzes verglichen werden kann. In diesem Fall kann der Beiwert b, der die Parameter der Ansprechcharakteristik der Schutzeinrichtung bestimmt [Gleichungen (12) und (14)] den Wert $b = 1$ erreichen. Dabei kann die Schutzeinrichtung während der erdschlussfreien Arbeit des Erregerkreises und sogar bei einem metallischen Erdschluss in diesem Kreis unselektiv ansprechen.

Literatur

[1] Die Wahl der Generatorschutzeinrichtungen. Brown Boveri Sonderdruck: Relais und Schutztechnik CH-ES 31-01 D.

[2] *S. Cholewa:* Wplyw napiecia indukowanego w wale generatora syncronicznego na prace zabezpieczenia od zwarc obwodow wzbudzenia z zelazem. Energetyka -(1978)4.

[3] *H. Dytry* i *S. Wróblewska:* Kryteria wykrywania pojedynczych zwarc z ziemia w obwodach wzbudzenia generatora. Energetyka -(1974)1.

[4] *A. Klimpel* i *Z. Stefankiewicz:* System ukladow podstawowych i modulow do realizacji zespolow automatyki zabezpieczeniowej ZAZ. Materialy II Miedzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Gliwice 1975.

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

Adresse des Autors

Dr. Ing. *Tadeusz Kornas,* Institut für Starkstromtechnik, TH Wroclaw
50-350 Wroclaw, Polen.