

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: 75 (1984)

Heft: 5

Artikel: Impedanzschutz des Synchrongenerators gegen Erdschlüsse im Erregerkreis

Autor: Dzieranowski, Witold / Kucharski, Janusz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904373>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

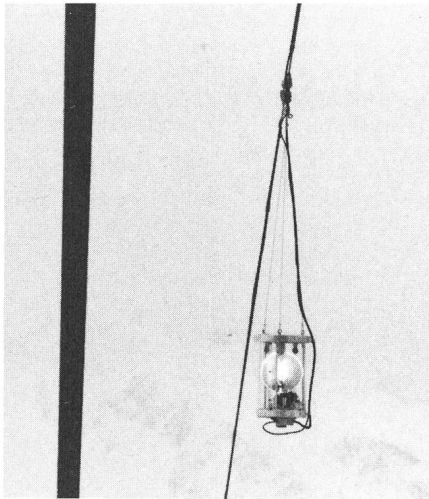


Fig. 3 Links ein Fahrbahnseil, rechts das Flugsicherungskabel mit montierter Markierungsleuchte

Markierungsleuchten (Fig. 3)

Die Speisung der Markierungsanlage erfolgt mit einer Spannung von 750 V vom

Titlis her. Dadurch und wegen des relativ grossen Kabelquerschnitts liegt der Spannungsabfall über die maximale Distanz von 2700 m für die benötigte Leistung in vernünftigen Grenzen (5,8%). Bei jedem Warnlicht wird die Spannung auf 220 V transformiert, damit es möglich ist, handelsübliche Bauelemente zu verwenden.

Die Markierungsleuchten (Hugentobler AG, Weinfeld) bestehen aus einem spritzwasserdichten Gehäuse (Sturmwarnleuchte \varnothing 500 mm, Höhe 900 mm) mit

- einer Natriumdampfampe (1000 W, 500 000 cd, minimal 6000 h Brenndauer),
- rotierendem Parabolspiegel (40-W-Motor und Getriebe),
- Zündgerät,
- Ventilator (30 W),
- 4 roten Panzerglühlampen à 60 W, 30 cd,
- Transformator 750/220 V.

Im Tagesbetrieb leuchtet die Hochdruck-Natriumdampfampe mit 30 Intervallen/min, für die Nacht werden mit einem Dämmerungsschalter die 4 roten Glühlampen in Betrieb gesetzt. Mit deren Wärmeenergie wird geheizt, um die Sichtbarkeit der Leuchte zu gewährleisten (Schnee usw.).

Die Temperaturstabilisierung erfolgt mit einem thermostatgesteuerten Ventilator. Als zusätzliche Markierung sind an jedem Rollengefäss der Bauseilbahn (alle 100 m) orange Flugwarnkugeln montiert.

Montage des Kabels

Dank der geschickten Konstruktion konnte die Montage im Januar 1983 bei extremen Wetterverhältnissen einfach und sicher durchgeführt werden. Die schwierige Aufgabe des Seilzuges in diesem Gelände wurde gelöst, indem man das Markierungsseil entlang den Bahntrageseilen zog. Dazu setzte man 14 Hilfslaufwerke ein und konnte das Markierungsseil alle 250 m aufhängen. Der Seilzug erfolgte vom Titlis aus Richtung Tal. Da das Spannfeld eine Gegensteigung aufweist, musste die Seilbahn als Vorspann und Zugfahrzeug eingesetzt werden.

Anschließend wurde das Markierungsseil auf die Höhe der Seilbahn gespannt, sodass die Markierungsleuchten montiert werden konnten. Die endgültige Lage des Markierungsseiles ist in der Feldmitte 50 m über den Bahntrageseilen.

Impedanzschutz des Synchrongenerators gegen Erdschlüsse im Erregerkreis

Zuschrift zum Aufsatz von 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.

1. Einleitung

Im Aufsatz von T. Kornas wird der Einfluss der induzierten Spannung in der Generatorwelle auf das Arbeiten des Impedanzschutzes gegen Erdschlüsse im Erregerkreis analysiert. Dabei wird die Beziehung (14) hergeleitet, die die Bedingung des Ansprechens des Impedanzschutzes unter Berücksichtigung der induzierten Spannung in der Generatorwelle darstellt. Nach der Meinung der Autoren dieser Zuschrift ist jedoch die graphische Interpretierung der Ungleichung (14) in der Impedanzebene im Aufsatz unkorrekt, so dass auch die Schlussfolgerungen unvollständig und unzutreffend sind.

Adresse der Autoren der Zuschrift

Dr. Ing Witold Dzierżanowski, Doz. Dr. Ing. habil. Janusz Kucharski, Institut für Starkstromtechnik, TH Wrocław, P-50-350 Wrocław.

Die in den Figuren 5, 6 und 7 des Aufsatzes gezeigten Kreise werden zu Unrecht als Ansprechcharakteristiken des Impedanzschutzes behandelt. Die Ansprechimpedanz kann nämlich vom Wert des angenommenen Erdwiderstandes R_Z des Erregerkreises nicht abhängig sein, wie es sich aus diesen Abbildungen ergeben hätte. Den festgelegten Parameterwerten U_w , C_Z , R_n , k und β muss in der Impedanzebene dieselbe Lage des Punktes der Ansprechcharakteristik entsprechen; aus den Figuren 5, 6 und 7 folgt, dass dies nicht der Fall ist. Der Irrtum beruht darauf, dass versucht wird, die Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes, die in der Impedanzebene die Abhängigkeit der Ansprechimpedanz Z von der Reaktanz X_{Zr} und dem Widerstand R_{Zr} darstellt, unter Voraussetzung konstanter Werte X_{Zr} und R_{Zr} zu zeichnen. Dabei könnte die Ungleichung (14) höchstens zur Prüfung genutzt werden, ob der vorausgesetzte

Punkt in der Impedanzebene innerhalb oder ausserhalb der Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes liegt.

Eine richtige Aufzeichnung der Ansprechcharakteristiken erfordert die Berücksichtigung in der Ungleichung (14) der Abhängigkeit des Faktors a und Winkels α von der Impedanz Z . Dies ergibt sich aus den Formeln (5) und (6). Die implizite Gestalt der Ungleichung (14) erschwert die Darstellung des Wirkungsbereichs des Impedanzschutzes. Die Formeln (5) und (6) lassen sich jedoch wie folgt umformen:

$$a = \sqrt{1 - 0,75 \sin \varphi}, \quad (1')$$

$$\alpha = \arctg \frac{-0,5 \operatorname{tg} \varphi}{1 + 0,5 \operatorname{tg}^2 \varphi}; \quad (2')$$

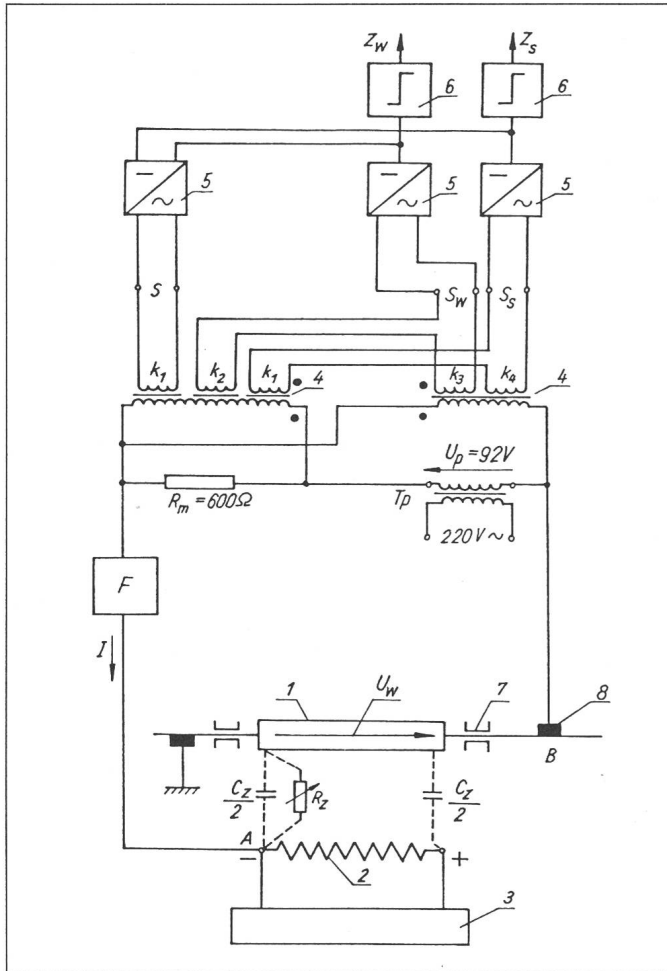


Fig. 1
Vereinfachter
Schaltplan des
Messgliedes des
Impedanzschutzes
gegen Erdschlüsse im
Erregerkreis des
Generators

- 1 Generatorwelle
- 2 Rotorwicklung
- 3 äussere Erregerstromkreise
- 4 Transformatoren des Schutzmessgliedes
- 5 Signalumformer
- 6 Messtrigger
- 7 Wellenlager
- 8 Bürste
- F Durchführungsfilter für 50 Hz
- T_p Transformator der Polarisationsspannung

50 V angewendet, die im Ansprechmoment der Schutzeinrichtung bis auf den Wert 92 V abnimmt. Daher entspricht der Faktor $b = 0,27$ dem maximalen Spannungswert in der Welle $U_w = 25$ V, der in den Betrachtungen angenommen wurde.

Die Ansprechkreischarakteristik beim Fehlen der Spannung in der Welle ($U_w = 0$) wird durch die Beziehung

$$|\underline{Z} - \frac{k_2}{k_3} R_m| \leq \frac{k_1}{k_3} R_m \quad (7')$$

ausgedrückt, wobei

$$k_2/k_3 = 0,67; k_1/k_3 = 0,95$$

Bei der Durchführung einer ähnlichen Analyse wie im Aufsatz lässt sich nachweisen, dass bei der Induzierung der Spannung U_w in der Welle die Wirkung des betrachteten Schutzes in Form einer Ungleichung

$$|\underline{Z} - \frac{k_2}{k_3} R_m - \left(\frac{k_2}{k_3} + 1\right) R_m abe^{j(\alpha+\beta)}| \leq \frac{k_1}{k_3} R_m D \quad (8')$$

dargestellt werden kann, worin

$$D = |1 + abe^{j(\alpha+\beta)}| = \sqrt{1 + 2 ab \cos(\alpha+\beta) + (ab)^2} \quad (9')$$

Aufgrund von Ungleichung (8') wurden in Fig. 2 die Ansprechcharakteristiken des Impedanzschutzes aufgezeichnet, die den zusammengesetzten Werten des Winkels β ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$) entsprechen. Sie wurden für den Fall ausgeführt, dass in der Welle eine Spannung von 25 V ($b = 0,27$) induziert wird. Zwecks Vergleichs wurde der Bereich der Wirkung des Impedanzschutzes für $U_w = 0$ schraffiert eingezeichnet, nach Gl. 7'. Wie sich daraus ergibt, kann die in der Welle induzierte Spannung einen bedeutenden Einfluss auf den Verlauf der Ansprechcharakteristiken des Impedanzschutzes haben. Diese können starken

worin $\varphi = \arccos \frac{R}{Z}$

$$\underline{Z} = R + jX, \quad (3')$$

$$R = \frac{R_z X_z^2}{R_z^2 + X_z^2}, \quad (4')$$

$$X = \frac{R_z^2 X_z}{R_z^2 + X_z^2}, \quad (5')$$

(3') schutz. Der grundsätzliche Unterschied zwischen den Schutzrichtungen im Aufsatz und in dieser Zuschrift besteht darin, dass hier im Messkreis des Schaltplans der Widerstand R_m (600Ω) auftritt, der dem Überhitzen der Elemente des Impedanzschutzes bei metallischen Kurzschlüssen im Erregerkreis vorbeugt. Auch wird eine Polarisationsspannung $U_p = 100$ V und nicht

Daraus folgt, dass bei Voraussetzung konstanter Werte der Winkel φ, β und des Faktors b in der Impedanzebene der Punkt bestimmt werden kann, der auf der Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes liegt. Um die ganze Ansprechcharakteristik aufzuzeichnen, die den angenommenen Werten β und b entspricht, sollen in der Impedanzebene Punkte der Charakteristik gefunden werden, die unterschiedlichen Werten des Winkels φ entsprechen. Die Verfasser der Zuschrift haben diesbezüglich eine eingehende Untersuchung durchgeführt (Berichte Nr. 240 der TH Wroclaw).

2. Ansprechcharakteristik des Impedanzschutzes

Der vereinfachte Schaltplan des Impedanzschutzes ist in Fig. 1 dargestellt. Die Schutzrichtung ist anhand des Amplitudenkomparators gelöst und wirkt ähnlich wie der im Aufsatz beschriebene Impedanz-

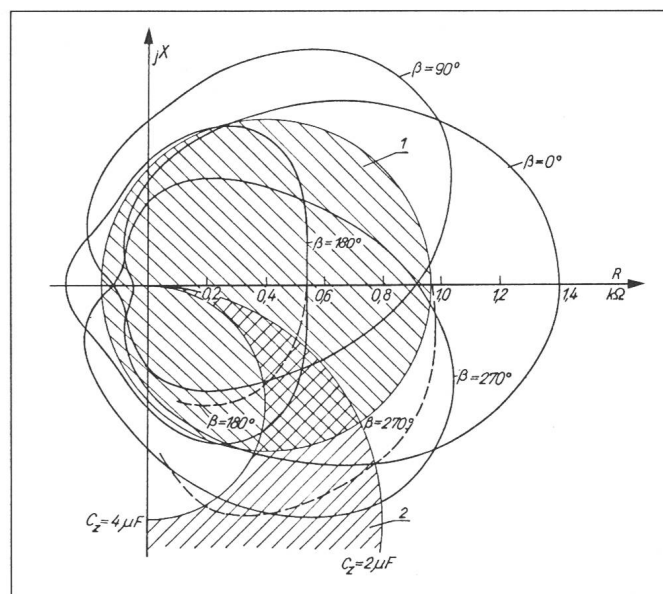


Fig. 2
Ansprechcharakteristiken der
Abschaltcharakteristik des
Impedanzschutzes
bei $U_w = 25$ V

Aufgrund der theoretischen Untersuchung: kontinuierliche Linie
 Anhand von Messungen: gestrichelte Linie
 Bereich 1 ist durch die Ansprechcharakteristik begrenzt für $U_w = 0$

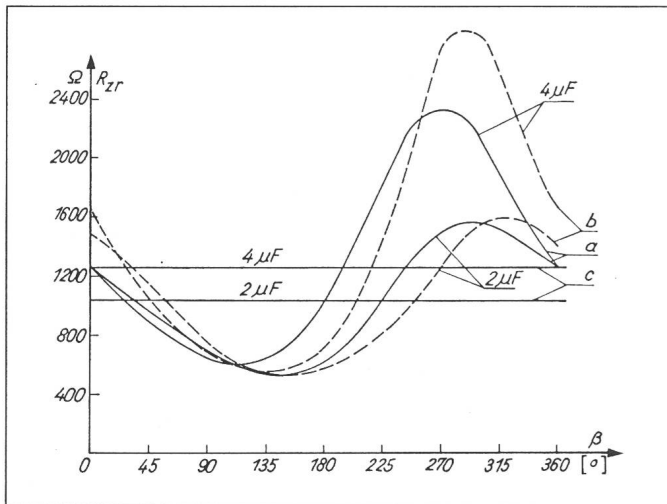


Fig. 3
Abhängigkeit des Ansprechwiderstandes der Abschaltstufe des Impedanzschutzes vom Phasenverschiebungswinkel zwischen der Spannung in der Welle und der Polarisationsspannung des Schutzes bei $U_w = 25$ V

a Ergebnisse aus theoretischer Untersuchung
 b Messergebnisse
 c Abhängigkeiten bei $U_w = 0$ V

Verzerrungen unterliegen. Vom Gesichtspunkt der Messfehler des Erdwiderstands R_z des Erregerkreises ist der Verlauf der Charakteristiken im schraffierten Bereich 2 wichtig, der den Erdkapazitäten des Erregerkreises mit den in der Praxis am häufigsten auftretenden Werten (2 und 4 μ F) entspricht. Der Einfluss der Spannung in der Welle auf die Ansprechwerte des Impedanzschutzes ist grösser bei grösseren Erdkapazitäten und hängt deutlich von den Spannungswerten in der Welle (Faktor b) und vom Winkel β ab.

In Figur 3 ist die Abhängigkeit des Ansprechwiderstandes R_{zr} vom Winkel β für die Erdkapazitäten 2 μ F und 4 μ F sowie für $b = 0,27$ dargestellt. Aus dieser Abbildung ergibt sich, dass für $\beta = 90...180^\circ$ der Schutz die kleinste Empfindlichkeit aufweist, etwa die Hälfte der Empfindlichkeit bei $U_w = 0$; für $\beta = 260...300^\circ$ besitzt der Schutz die höchste Empfindlichkeit, vergrössert etwa 1,5fach bei $C_z = 4 \mu$ F. Die Figur 4, die die

Abhängigkeit des Ansprechwiderstandes vom Wert des Faktors b darstellt, weist darauf hin, dass bei höheren Erdkapazitäten die Schutzempfindlichkeit rapid ansteigen kann mit der Zunahme des Wertes des Faktors b . Beispielsweise kann bei der Erdkapazität $C_z \geq 4 \mu$ F und bei maximalem Wert der Spannung in der Welle (25 V, $b = 0,27$) ein unerwünschtes Ansprechen des Schutzes sogar beim normalen Isolationswiderstand des Erregerkreises auftreten.

Bei den Messungen der Ansprechcharakteristiken in Laborbedingungen wurde der Erregerkreis so abgebildet, wie im Aufsatz in Figur 3 dargestellt. Die Spannung in der Welle betrug 25 V ($b = 0,27$). Die Versuchsergebnisse sind in den Figuren 2 und 3 dieser Zeitschrift mit gestrichelten Linien dargestellt. Sie stimmen mit den Ergebnissen der theoretischen Untersuchung gut überein und bestätigen die wichtigsten Schlussfolgerungen. Die Unterschiede im Verlauf der theoretischen und der Messcharakteristik können z.B. in der Betrachtung der Schutztransformatoren und der Quelle der Polarisationsspannung U_p in der theoretischen Analyse als ideale Elemente liegen.

3. Schlussfolgerungen

1. Unter dem Einfluss der in der Welle des Synchrongenerators induzierten Spannung U_w unterliegen die Ansprechcharakteristiken des Impedanzschutzes gegen Erdschlüsse im Erregerkreis einer Deformation. Ihre Form unterscheidet sich von der eines Kreises. Der Deformationsgrad ist vom Spannungswert U_w und vom Wert des Phasenverschiebungswinkels β zwischen der Spannung U_w und der Polarisationsspannung U_p abhängig. Fehler der Impedanzmessung nehmen zu und offenbaren sich durch Erhöhung oder Verringerung der Schutzempfindlichkeit. Diese ist auch von der Erdkapazität des Erregerkreises abhängig.

2. Die im vorliegenden Beitrag dargestellten Charakteristiken $R_{zr}(\beta)$ und $R_{zr}(b)$ ermöglichen eine quantitative Abschätzung des Einflusses der induzierten Spannung in der Generatorwelle auf die Empfindlich-

keit des analysierten Schutzes. Im Bereich der Erdkapazitäten des Erregerkreises, die in der Praxis am häufigsten auftreten ($C_z = 2...4 \mu$ F) und bei maximaler, in der Welle induzierter Spannung ($U_w = 25$ V) kann eine Verringerung der Empfindlichkeit der Abschaltstufe auf die Hälfte stattfinden, die Empfindlichkeitserhöhung umgekehrt bis zum doppelten Wert reichen. Bei grossen Erdkapazitäten, die 4 μ F überschreiten, muss damit gerechnet werden, dass ein unerwünschtes Schutzansprechen erfolgt, sogar dann, wenn sich der Erdwiderstand R_z nicht verschlechtert.

3. Zweckmässigerweise werden Wege gesucht, die Impedanzschutzempfindlichkeit von der in der Generatorwelle induzierten Spannung unabhängig zu machen. Eine Möglichkeit ist die Erhöhung der Polarisationsspannung U_p (wodurch b sich verringert), noch besser die Verwendung einer Polarisationsspannungsquelle mit einer Frequenz verschieden von 50 Hz. Man sollte auch nach neuen Kriterien der Wirkung des analysierten Schutzes suchen. Vom Gesichtspunkt des schädlichen Einflusses von Parasitenspannungen auf die Schutzwirkung wären Kriterien erforderlich, in denen die Polarisationsspannung überflüssig ist oder ihre Form und Frequenz eine deutliche Unterscheidung dieser Spannung von den Parasitenspannungen ermöglichen.

Erwiderung des Autors

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die wirkliche Ansprechcharakteristik des im Heft 7/82 betrachteten Schutzes bei in der Rotorwelle eines Synchrongenerators induzierter Spannung sehr kompliziert ist. Sie ist vom Erdwiderstand R_z , von der Erdkapazität C_z des Erregerkreises und ebenso vom Phasenverschiebungswinkel β zwischen der Speisespannung des Messgliedes des Impedanzschutzes und der induzierten Spannung abhängig. Diese drei Variablen sind im Aufsatz unmittelbar und indirekt in den Gleichungen 5, 12, 13, 14 berücksichtigt. Geht man vom mathematischen Gesichtspunkt aus, ist es selbstverständlich nicht möglich, die Ansprechcharakteristik dieses Schutzes mit drei Variablen ohne entsprechende Annahmen in einer Ebene darstellen zu können.

Um das Verhalten des Läufererdschlussschutzes bei der in der Rotorwelle eines Synchrongenerators induzierten Spannung besser zu veranschaulichen, wurde eine sog. quasistationäre Ansprechcharakteristik dieses Schutzes für Parameter $a = \text{const}$ (Gl. 5) und für den ungünstigsten Phasenverschiebungswinkel γ (Gl. 13) aufgezeichnet. Eine derartige Behandlungsweise wird in der Schutztechnik sehr oft angewandt. Es wurden drei Spezialfälle betrachtet:

1. bei kurzschlussfreier Arbeit des Erregerkreises eines Generators $R_z = \infty$, $a = 0,5$ (Fig. 5),
2. bei der Abnahme des Isolationswiderstandes bis auf den Wert, bei dem die

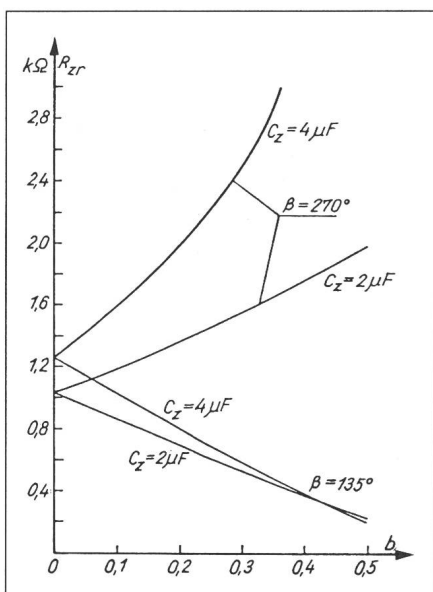


Fig. 4
Abhängigkeit des Ansprechwiderstandes der Abschaltstufe des Impedanzschutzes von der induzierten Spannung in der Welle, bezogen auf die Polarisationsspannung des Schutzes ($b = U_w/U_p$)

Schutzeinrichtung ansprechen müsste $R_z = 1 \text{ k}\Omega$, $a = 0,74$ (Fig. 6),

- bei metallischem Erdschluss im Erregerkreis des Generators $R_z = 0$, $a = 1$ (Fig. 7).

Die in der Zuschrift in Figur 2 dargestellte Ansprechcharakteristik ist für Parameter $\beta = \text{const.}$ gezeichnet. Aufgrund dieser Un-

tersuchung ergab sich, dass die in der Rotorwelle eines Generators induzierte Spannung die Empfindlichkeit des Läufererdschlusschutzes beeinflusst. Entsprechende Schlussfolgerungen sind in der Zuschrift in den Figuren 2 bis 4 enthalten.

Es handelt sich also in der Zuschrift weniger um eine Korrektur der Aussagen im

Aufsatz als um Ergänzungen durch eine andere Betrachtungsweise des Problems.

Adresse des Autors

Dr.-Ing. Tadeusz Kornas, ul. Benedyktynska 17m.
23, P-50-350 Wrocław.

3.52 ✓
1.22 ✓

Ein Beitrag zur Klassifikation und Prüfung von Überspannungsableitern für Niederspannungsanlagen

Bemerkungen zum Aufsatz «Prüfanforderungen an Bauteile und Geräte zur Überspannungs- und Überstrombegrenzung bei direkten und fernen Blitzeinschlägen in Niederspannungsanlagen» von P. Hasse und J. Wiesinger, Bull. SEV/VSE 74(1983)13, S. 711...717.

1. Allgemeines

Der Verfasser der vorliegenden Stellungnahme ist Vorsitzender des österreichischen Arbeitsausschusses SN 6 «Überspannungsableiter» und des einschlägigen Errichtungsgremiums EN 18 «Errichtungsbestimmungen für Überspannungsableiter», Arbeitskreise, die sich schon seit mehreren Jahren mit den in der Arbeit von Hasse und Wiesinger angeschnittenen Fragen beschäftigen. Einerseits muss man beim Überspannungsschutz modernste Gesichtspunkte berücksichtigen, um Schäden, soweit als möglich, zu vermeiden; er wird in den kommenden Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnen, weil immer mehr elektronische Bauelemente in den elektrischen Anlagen Verwendung finden werden. Andererseits war es in der Technik immer so, dass übertriebene Forderungen mehr Nachteile als Vorteile bringen und den wirtschaftlichen Aufwand unnötig hoch treiben. Ein optimaler Überspannungsschutz wird daher immer einen Kompromiss darstellen, und dies scheint sich auch im nationalen und internationalen Vorschriftenwesen anzudeuten. Man darf auch nicht vergessen, dass die CEI-Publikationen 664 und 664 A (VDE 109) mit den für die Niederspannungsanlagen vorgesehenen vier Installationskategorien stark umstritten sind [1; 2; 3] und die internationalen Beratungen noch jahrelang dauern dürften, bis eine zufriedenstellende Lösung gefunden wird. Dass es sich um ein brennendes Problem han-

delt, zeigen amerikanische Normen für den Überspannungsschutz und über die Stossspannungs- und Stossstromprüfung von Niederspannungsbetriebsmitteln [4; 5].

2. Die Klassifikation von Überspannungsableitern

Hasse und Wiesinger schlagen vor, 2 Klassen von Ableitern einzuführen, eine Klasse I für direkte und fernere Blitzeinschläge und eine Klasse II nur für fernere Blitzeinschläge. Die Geräte der Klasse I wären den bisher üblichen Stossspannungs- bzw. Stossstromprüfungen zu unterziehen, also z. B. einer Arbeitsprüfung mit einem Stossstrom 5 kA der Wellenform 8/20 μs , bei anliegender Wechselspannung 280 V_{eff} . Dazu kommen Beanspruchungen, die den direkten Blitzeinschlag imitieren sollen.

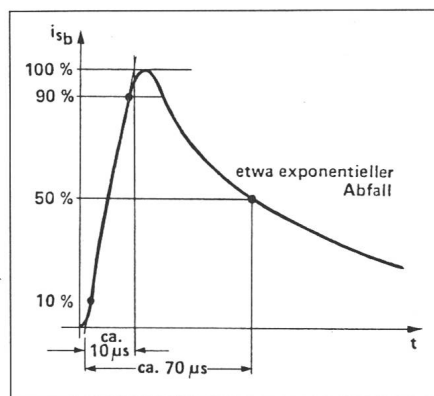


Fig. 1 Normungsvorschlag für einen Prüfstrom nach Hasse und Wiesinger

Stossstromscheitelwert $i = 100 \text{ kA} + 10\%$
Ladung $Q = 10 \text{ As} + 20\%$
Spez. Energieinhalt $W_s = 500000 \text{ A}^2\text{s} + 30\%$

Dafür ist ein Prüfstrom mit angenähert exponentiellem Abfall mit einer Rückzeitkonstanten um 100 μs nach Figur 1 vorgeschlagen.

Die Ableiter der Klasse II sollen Schutzgeräte für fernere Blitzeinschläge und für sekundäre Überspannungen und Überströme darstellen und im allgemeinen den Ableitern der Klasse I zur Begrenzung induzierter Spannungen unmittelbar an Geräten nachgeschaltet werden. Sie entsprechen etwa den heute üblichen Überspannungsableitern.

3. In der Praxis zu erwartende Überspannungen und Ströme infolge atmosphärischer Entladungen

Vogelsanger hat in [6] die bei Gewittern zu erwartenden Stossströme auf Freileitungen untersucht und führt dazu folgendes aus: «Bei fernen Blitzeinschlägen und bei Leitungen kleiner Nennspannung, die auf Holzmasten montiert sind, ergibt sich bei Haltespannungen von etwa 3000 kV ein Wellenstrom von etwa 7,5 kA, und da die Ableiterrestspannung viel kleiner ist als die Wellenspannung, wird der Ableiterstrom praktisch gleich dem doppelten Wellenstrom, d. h. 15 kA. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass bei den hohen Blitzüberspannungen Überschläge zwischen den Phasen auftreten, und so die drei Phasenseile parallel geschaltet werden. Diese verhalten sich wie ein Bündelleiter mit etwa 200 Ohm Wellenwiderstand. In den drei Leitern zusammen ergibt dies einen Wellenstrom von etwa 15 kA.» Martzloff kommt für amerikanische Verhältnisse zu ähnlichen Ergebnissen [7].

In den Vereinigten Staaten werden für die Normung die Stossspannungs- und

Adresse des Autors der Zuschrift

Prof. Dr. Ing. Gottfried Biegelmeier, Gesellschaft zur Prüfung elektrotechnischer Industrieprodukte Ges.m.b.H., Greinergasse 30, Postfach 32, A-1195 Wien.