Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 60 (1969)

Heft: 12

Artikel: Die Messung der Kurzschlussleistung im Hochspannungsnetz ohne Kurzschluss

Autor: Schär, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916155

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: 12.07.2025

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

Die Messung der Kurzschlussleistung im Hochspannungsnetz ohne Kurzschluss

Von *F. Schär*, Olten

2860 - 2864

621.317.382.012.5:621.316.1.027.7

1. Einleitung

Die Kenntnis der Kurzschlussleistung an verschiedenen Stellen eines Hochspannungsnetzes ist schon lange eine Notwendigkeit. Zum Ermitteln derselben stehen neben der Berechnung von Hand oder durch Computer Gleichstrom- und Wechselstrom-Netzmodelle sowie das Netz selbst zur Verfügung.

Berechnungen und Netzmodellmessungen haben den Vorteil, dass das Netz und vor allem auch etwa empfindlichere Einrichtungen von Abonnenten unbehelligt bleiben. Dafür müssen aber die Daten aller Elemente von Einfluss bekannt sein. Gelegentlich bietet die Beschaffung derselben zeitliche Schwierigkeiten.

Direkte Messungen im Netz bieten den Vorteil, dass nur wenige Daten zusammengetragen werden müssen und dass noch zusätzliche Informationen anfallen können; sie weisen jedoch den Nachteil auf, dass die Abnehmer durch Kurzschlüsse beeinflusst werden. Man misst in solchen Fällen zwar oszillographisch und schaltet den Kurzschluss nach spätestens $^1/_{10}$ s ab. Trotzdem lässt sich dabei ein kurzzeitiger Spannungszusammenbruch nicht vermeiden. Empfindliche Abnehmer müssen vorher umgeschaltet oder mindestens avisiert werden. Zudem beansprucht ein noch nicht genau bekannter Kurzschlußstrom den öffnenden Schalter in vorerst noch etwas unbekannter Weise.

All dies führt zu einem apparativen und zeitlichen Aufwand sowie vielleicht auch zu einem gewissen Unbehagen der Betriebsleitung. Es ist daher verständlich, dass Einwilligungen zu solchen Versuchen nur nach reiflicher Überlegung erteilt werden.

Für viele Sammelschienen kennt man zwar die Kurzschlussleistung aus Netzmodellmessungen oder Berechnungen. Man hat aber bei diesen mit Rücksicht auf neue Installationen, welche für die nächsten 10 Jahre genügen sollten, die maximal möglichen Einspeisungen und Netzvermaschungen eingesetzt. Relativ selten wirken jedoch alle diese Komponenten gleichzeitig. In solchen Fällen sind Kurzschlussleistungen kleiner als erwartet. Es können aber auch umgekehrt durch Neuanschlüsse wichtiger Kuppelleitungen oder durch den Netzausbau in benachbarten Werken unerwartete Erhöhungen eintreten. Man möchte daher oft gerne wissen, ob die Schalter für die nächsten paar Jahre den Anforderungen noch genügen oder ob schon jetzt ein Ersatz erforderlich ist. Nach einer unliebsamen Störung erfährt man ferner gerne, ob die Kurzschlussleistung grösser war als die Nennabschaltleistung des Schalters.

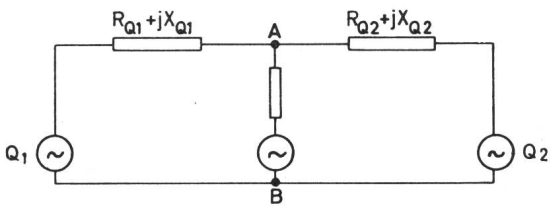

Fig. 1
Stark vereinfachtes Schema eines Verbundnetzes

Aus solchen und ähnlichen Gründen ist es oft wünschbar, die Kurzschlussleistung an einem oder mehreren Punkten im Hochspannungsnetz nachzukontrollieren. In der nachfolgend beschriebenen Weise gelingt eine solche Kontrolle meistens, ohne dass dazu ein direkter Kurzschluss eingeleitet werden muss.

2. Grundlagen für die Ermittlung der Kurzschlussleistung durch Blindleistungsänderung und Extrapolation des Spannungseinbruchs

Betrachtet man ein Netz, so kann ein Kuppelpunkt A, vereinfacht nach Fig. 1, dargestellt werden, wobei angenommen ist, dass im Punkt A selbst auch ein Erzeuger angeschlossen

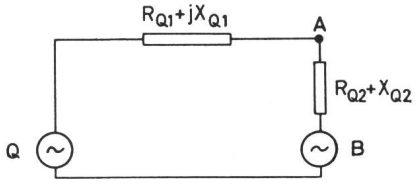

Fig. 2
Auf zwei Speisepunkte reduziertes Schema eines Verbundnetzes

sei. Q_1 und Q_2 seien Erzeuger in den angekuppelten Netzen. Das Schema in Fig. 1 kann für die nachfolgenden Betrachtungen noch weiter gemäss Fig. 2 vereinfacht werden.

In Punkt A beträgt die Spannung allgemein:

$$V_a = U - I\,Z \quad \text{oder} \quad V_a = U - I(R + jX)$$

Zerlegt man auch noch den Strom in eine Wirk- und eine Blindkomponente und beschränkt man sich auf die Längsspannung, V_a, so gilt:

$$V_a = U - (I_w\,R + I_B\,X)$$

Der Längsspannungsverlust beträgt:

$$V_{av} = I_w\,R_Q + I_B\,X_Q$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

U treibende EMK pro Phase
V_a Längsspannung pro Phase in V
V_{av} Längsspannungsverlust/Volt/Phase
I_w Wirkstrom
I_B Blindstrom
R_Q Ohmsche Quellenwiderstand/Phase
X_Q induktive Quellenwiderstand/Phase
Z Quellenimpedanz

Ganz allgemein ist der Ohmsche Widerstand der Quelle sehr viel kleiner als der induktive. In Höchstspannungsanlagen ist

er für die Bestimmung der Kurzschlußströme praktisch vernachlässigbar.

Ändert man nun den Blindstrom in Punkt A, so wird sich auch die Spannung V_a um den Betrag ΔV_a ändern und es gilt, mit den vereinfachten Betrachtungen:

$$\Delta V_a = \Delta I_B X_Q$$

Da ΔV_a und ΔI_B messbar sind, kann daraus der induktive Quellenwiderstand leicht berechnet werden. Man erhält:

$$X_Q = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_B} \tag{1}$$

Damit kann man aber auch die Kurzschlussleistung in Punkt A leicht berechnen, denn es ist:

$$P_k = \frac{3 V_a^2}{X_Q} \tag{2}$$

oder, wenn man die verkettete Spannung V_A einführt:

$$P_k = \frac{V_A^2}{X_Q} \tag{3}$$

Es ist mit Gl. (1):

$$P_k = \frac{V_A}{\Delta V_a} \Delta I_B V_A = \frac{V_A}{\Delta V_A} \Delta P_B$$

wenn man mit ΔP_B die Blindleistungsänderung bezeichnet.

Zum gleichen Resultat kommt man auch, wenn man die Blindleistungsänderung ΔP_B direkt einbezieht, denn der Kurzschlußstrom besteht ja praktisch nur aus Blindstrom. Es gilt:

$$\Delta P_B = \Delta I_B (V_A \pm \Delta V_A) \sqrt{3}$$

Das zweite Glied ΔV_a im zweiten Faktor ist neben V_A zu vernachlässigen, so dass bleibt:

$$\Delta P_B = \Delta I_B V_A \sqrt{3}$$

Wird z. B. in Punkt A der Fig. 1 ein Blindstromerzeuger (grosse Kondensatorbatterie, Synchronphasenschieber oder auch nur ein mit Blindstrom voll belasteter Generator) abgeschaltet, so entsteht eine Spannungsänderung ΔV_A. Es verhält sich nun:

$$\Delta V_A : V_A = \Delta P_B : P_K$$

oder

$$P_k = \frac{V_A}{\Delta V_A} \Delta P_B \tag{4}$$

In dieser Gleichung bedeuten:

P_K Kurzschlussleistung im Punkt A (die in Höchstspannungsnetzen praktisch nur aus Blindleistung besteht);

ΔP_B Die Blindlaständerung im Punkt A, z. B. der ab- oder zugeschalteten Kondensatorbatterie des Phasenschiebers oder einfach eines Generators, der nur Blindleistung abgibt.

ΔV_A Die Spannungsänderung, verursacht durch die Blindlaständerung ΔP_B.

Die Formel für P_K lässt die Extrapolation deutlich erkennen. Bei Abschaltung von ΔP_B sinkt die Spannung um ΔV_A. Bräche sie ganz zusammen, würde $I_K X_Q = 100\,\%$ des Spannungsverlustes ausmachen, d. h. man hätte einen satten Kurzschluss. Die Kurzschlussleistung im Punkt A kann daher sehr leicht auch aus der Beziehung:

$$P_k = \frac{V_A}{\Delta V_A} \Delta P_B$$

ermittelt werden.

3. Bedingungen für den Erfolg solcher Messungen

Die Bestimmung der Kurzschlussleistung nach diesem Verfahren gelingt am besten, wenn eine genügend grosse Blindleistungsänderung in Punkt A erwirkt werden kann. Die dadurch hervorgerufene Spannungsänderung ΔV_A muss eindeutig über dem Störpegel, d. h. den betrieblich unvermeidlichen kleinen Spannungsänderungen, liegen. Zweckmässigerweise werden etwa in nicht allzu grosser Entfernung vorhandene grössere Lichtbogenschmelzöfen kurzzeitig abgeschaltet, oder die Messung wird während eines Chargenwechsels durchgeführt, bei welchem solche Öfen ohnehin abgeschaltet sind.

Je grösser die Kurzschlussleistung in einem Netzpunkt ist, um so grösser muss auch die Blindleistungsänderung ΔP_B sein, wenn eine genau genug messbare Spannungsänderung entstehen soll. Die Messung muss schnell genug erfolgen, so dass Spannungsregler und dergleichen keine Zeit haben, die erzwungene Differenz auszuregeln.

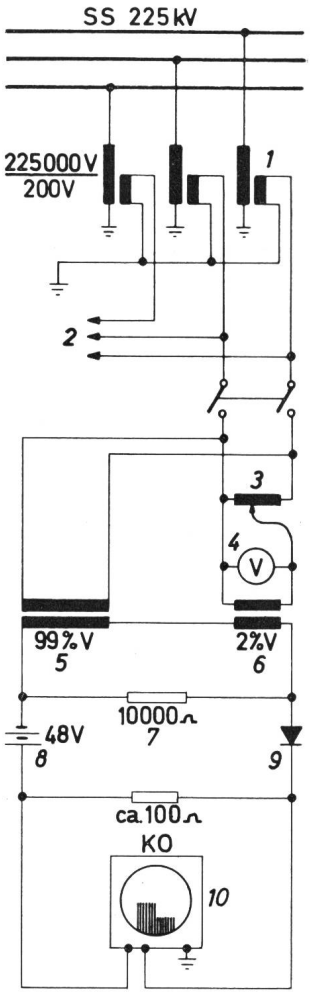

Fig. 3
Schema für die Messung kleiner Netzspannungsänderungen
1 Netzspannungswandler; *2* Anspeisung der Überwachungsapparate; *3* Regeltransformator; *4* Voltmeter für die Eichung; *5, 6* Isoliertransformator; *7* Belastungswiderstand zum Absorbieren eventueller nicht energiereicher Störspannungen; *8* Gleichstrombatterie; *9* Diode; *10* Kathodenstrahloszilloskop; *SS* Sammelschiene

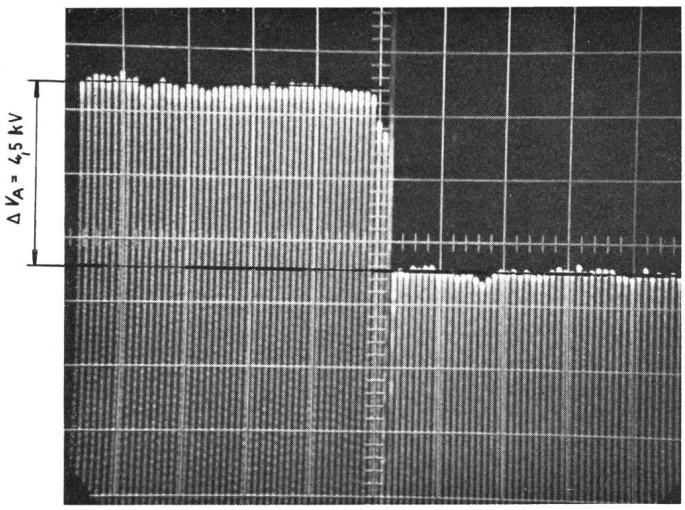

Fig. 4
Mit einer Polaroid-Kamera aufgenommenes Oszillogramm einer Spannungsänderung von 4,5 kV bei einem Abwurf von 57,1 Mvar Blindleistung

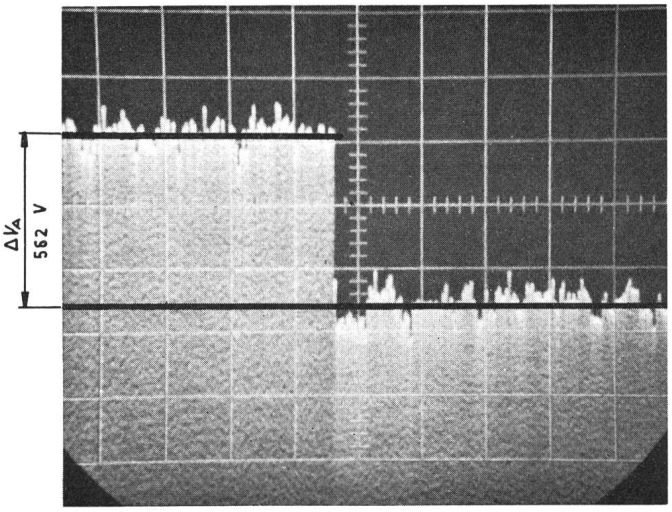

Fig. 5
Mit einer Polaroid-Kamera aufgenommenes Oszillogramm einer relativ kleinen Spannungsänderung $\Delta V_A = 562$ V bei Abwurf von 34 Mvar Blindleistung

4. Das Messen der Spannungsänderung ΔV_A

Fig. 3 zeigt eine der möglichen Schaltungen, die genügend genaue Resultate liefert. Der auf dem Oszilloskopschirm sichtbare Spannungssprung wird vorteilhafterweise gleich mit einer Polaroid-Kamera registriert, so dass man ihn hinterher in aller Ruhe auswerten kann, sofern nicht Aufnahmen mit Speicheroszillographen genügen.

Je unruhiger die Spannung im Vergleich zur Änderung ΔV ist und je genauer man messen will, um so wichtiger sind genügend Messungen, aus denen der arithmetische Mittelwert errechnet wird. Nötigenfalls kann noch der Fehler des Mittelwertes:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta V^2}{n(n-1)}}$$

nach Gauss ermittelt werden[1]).

In dieser Gleichung bedeuten:

ΔV Abweichung der einzelnen Messwerte vom arithmetischen Mittelwert;

n Anzahl der Messwerte.

Die rechnerische Ermittlung des Mittelwertes hat gegenüber einem Filter, das natürlich auch dem KO vorgeschaltet werden könnte, den Vorteil, dass man eventuelle nicht statistische Abweichungen sofort sieht und ausmerzen kann.

Es ist natürlich darauf zu achten, dass die einzelnen zum gleichen arithmetischen Mittel verwendeten Messwerte von annähernd gleichen Netzbedingungen stammen, d. h. dass sie zur gleichen Tages- oder Nachtbelastung gehören. Zeiten wechselnder Belastung, wie etwa 06.00...08.00 h, 11.00...13.30 h usw., eignen sich schlecht zur Aufnahme von mehreren Messwerten, aus denen ein Mittelwert gebildet werden soll, denn zu diesen Zeiten ändert entsprechend den Belastungen auch der Maschineneinsatz in Kraftwerken.

Beispiel 1

An der 220-kV-Sammelschiene eines Kraftwerkes betrug die Spannungsänderung $\Delta V_A = 4{,}5$ kV, bei einem Lastabwurf von $\Delta P_B = 57{,}1$ Mvar und einer Sammelschienenspannung von 244,4 kV. Daraus ergibt sich eine Kurzschlussleistung von:

$$P_k = \frac{244{,}4}{4{,}5}\, 57{,}1 = 3100 \text{ MVA}$$

Fig. 4 zeigt das zugehörige, mit Polaroid-Kamera aufgenommene Oszillogramm.

Beispiel 2

Beim Abschalten des auf die 220-kV-Schiene Gösgen arbeitenden Phasenschiebers trat eine Blindleistungsänderung von 34 Mvar und als Folge eine Spannungsänderung von ΔV_A von 562 V auf. Die Sammelschienenspannung betrug zu dieser Zeit 240 kV. Die Kurzschlussleistung ergibt sich aus dieser Einzelmessung zu:

$$P_k = \frac{240}{0{,}562}\, 34 = 14\,500 \text{ MVA}$$

Fig. 5 zeigt das zugehörige, mit der Polaroid-Kamera aufgenommene Diagramm. Bei dieser Aufnahme traten die unvermeidlichen kleinen Spannungsschwankungen schon stärker hervor. Es ist deshalb nötig, den arithmetischen Mittelwert der Spannung vor und nach dem Blindleistungsabwurf zu bilden und daraus die Änderung ΔV_A zu bestimmen. Aus sechs solchen Versuchen ergab sich ein arithmetischer Mittelwert von $P_k = 14000$ MVA.

Adresse des Autors:
F. Schär, Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.

[1]) Siehe z. B. *Frauenfelder/Huber:* Einführung in die Physik, 1951 oder *Baule:* Die Mathematik des Naturforschers, Bd. II, Ausgleichs- und Näherungsrechnung.