Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 18 (1927)

Heft: 6

Artikel: Ueber die Feststellung der wahrscheinlichsten Höchsttemperatur in Wicklungen

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060453

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: 03.12.2025

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

Ueber die Feststellung der wahrscheinlichsten Höchsttemperatur in Wicklungen.

Von Prof. Dr. *W. Kummer,* Ingenieur, Zürich.

621.313(0065)

Angesichts der Unsicherheit, die bei Erwärmungsmessungen an Wicklungen einer Wahl der heissesten zugänglichen Stelle anhaftet, empfiehlt der Verfasser die Erwärmung an möglichst vielen, einschliesslich auch der mutmasslich kältesten Stellen, zu messen und durch Vornahme einer Ausgleichsrechnung die wahrscheinliche höchste Erwärmung festzustellen. Dabei berücksichtigt er die beiden Fälle einer wesentlich symmetrischen, sowie einer wesentlich unsymmetrischen Verteilungsreihe der Abweichungen der Erwärmungsbeobachtungen von ihrem arithemischen Mittelwerte.

Etant donné l'incertitude inhérant au choix des places accessibles les plus chaudes, lors de mesures d'échauffement à des enroulements, l'auteur recommande de mesurer la température au plus grand nombre possible de places – y compris celles qu'on présume les plus froides – et de déterminer le plus fort échauffement à envisager au moyen du calcul des probabilités. Il tient compte de deux cas: celui d'une série symétrique et celui d'une série sensiblement asymétrique d'écarts entre les valeurs d'échauffement observées et leur moyenne arithmétique.

Bei der Ermittlung der Erwärmung fertiger Maschinen und Transformatoren bedient man sich einerseits der Methode der Feststellung der Widerstandszunahme, dies zur Errechnung der sog. „mittleren Erwärmung", und anderseits der Methode der Messungen mittels Thermometer, mittels Widerstandsspulen oder mittels Thermoelementen, und dies zur Feststellung der sog. „örtlichen Erwärmung an der heissesten zugänglichen Stelle" [1]). Nun ist aber die heisseste zugängliche Stelle nur in seltenen Fällen identisch mit der überhaupt heissesten Stelle der besonders gegen hohe Temperatur empfindlichen Wicklungen, bezw. ihrer Isolation.

Um die wirklich heisseste Stelle zu finden, muss man sich bei der Messung von der Beschränkung auf die „Zugänglichkeit" im gewöhnlichen Sinne frei machen und ausserdem möglichst verschieden warme, einschliesslich auch der mutmasslich kältesten Stellen der Wicklung, berücksichtigen und hierauf mittels einer Ausgleichsrechnung die an irgend einer Stelle wahrscheinlicher Weise höchste Erwärmung feststellen. Dabei führt natürlich die Erweiterung der „Zugänglichkeit" auf die Benutzung mehrerer, zum voraus in eine Wicklung eingebauter Thermoelemente.

Es seien insgesamt n bezügliche Messstellen derart ausgewählt, dass durch sie der Temperaturzustand der zu untersuchenden Wicklung in möglichst vollständigem Umfange erkenntlich werde, wobei die Beobachtungen:

$$b_1, b_2 \ldots\ldots b_i \ldots\ldots b_n$$

notiert werden können. Ihr arithmetischer Mittelwert:

$$\bar{b} = \frac{b_1 + b_2 + \ldots + b_i + \ldots + b_n}{n} = \frac{\sum (b_i)}{n}$$

führt auf die Abweichungen:

$$\begin{aligned} x_1 &= \bar{b} - b_1 \\ x_2 &= \bar{b} - b_2 \\ &\vdots \\ x_i &= \bar{b} - b_i \\ &\vdots \\ x_n &= \bar{b} - b_n \end{aligned}$$

von denen einzelne mehrmals auftreten können. Einmal auftretende Abweichungen haben das Gewicht $\left(\frac{1}{n}\right)$, während p-mal auftretende Abweichungen das Gewicht

[1]) Vergl. beispielsweise die §§ 33 und 35 der Maschinenregeln R. E. M., bezw. die §§ 35 und 38 der Transformatorenregeln R. E. T. des V. D. E. von 1923.

$\left(\frac{p}{n}\right)$ aufweisen[2]). Indem man diese Gewichte, als Ordinaten mit dem Symbol w_x, über den Abweichungen x als Abszissen graphisch aufträgt, erhält man das Bild der Verteilungsreihe des Beobachtungsmaterials, die nun grundsätzlich wesentlich symmetrisch oder wesentlich unsymmetrisch sein kann. Sie ist dann als symmetrisch zu bezeichnen, wenn die zu $x = 0$ gehörende Ordinate w_x die von der Kurve $w_x = f(x)$ über der Abszissenachse abgegrenzte Fläche halbiert. Indem weiter noch die mittlere quadratische Abweichung:

$$m = \sqrt{\frac{\sum (\bar{b} - b_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i)^2}{n}}$$

gebildet wird, kann alsdann die Ausgleichsrechnung vorgenommen werden.

Bei rein *symmetrischer Verteilungsreihe*, bezw. auch bei einer, nur eine unwesentliche Unsymmetrie aufweisenden Reihe, benutzt man zur Ausgleichung die von *K. F. Gauss* entdeckte Verteilungsfunktion:

$$w_x = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2m^2}}$$

in der e die Zahl 2,718 . . . . bedeutet.

Bei wesentlich *unsymmetrischer Verteilungsreihe* bilde man eine neue Abszissenskala:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1 + m \\ z_2 &= x_2 + m \\ &\vdots \\ z_i &= x_i + m \\ &\vdots \\ z_n &= x_n + m \end{aligned}$$

Die Ordinaten der aus den Beobachtungen folgenden Punkte bleiben sich gleich; also ist für diese Punkte $w_z = w_x$. Zum Ausgleich bedient man sich nun der Verteilungsfunktion:

$$w_z = e^{-m} \frac{m^z}{z!}$$

nach *S. D. Poisson*, in der e wieder die Zahl 2,718 . . . . bedeutet. Es gilt dann auch:

$$m = \sum (z_i\, w_z)$$

weil:

$$\sum (z_i\, w_z) = \sum [(x_i + m)\, w_z] = \sum (x_i\, w_x) + m \sum (w_x) = 0 + m\, 1 = m$$

gesetzt werden kann.

An je einem Beispiel soll nun die Durchführung der Ausgleichsrechnung im Falle einer symmetrischen und im Falle einer unsymmetrischen Verteilungsreihe gezeigt werden, wobei in beiden Fällen Beobachtungen der Erwärmung (bezw. der „Uebertemperatur") zugrunde liegen sollen, die einen arithmetischen Mittelwert $\bar{b}$ von 72° aufweisen.

1. Beispiel. Im Falle einer gleichmässig verteilten und der Messung allseitig leicht zugänglichen Wicklung seien 10 Beobachtungen ausgeführt worden, wobei

[2]) Im Ergebnis einer weiterhin vorgenommenen Messung der Widerstandszunahme der zu untersuchenden Wicklung wird man im allgemeinen eine Kontrolle von $\bar{b}$ erlangen.

sich viermal 72° und je einmal 77°, 74°, 73°, 71°, 70° und 67° ergeben habe. Dann erhält man für m den Wert:

$$m = \sqrt{\frac{25 + 4 + 1 + 4 \cdot 0 + 1 + 4 + 25}{10}} = \sqrt{6}$$

und für die Gauss'sche Funktion den Ausdruck:

$$w_x = 0{,}163\, e^{-\frac{x^2}{12}}.$$

In Fig. 1 ist die Verteilungsreihe sowohl gemäss den, aus den Beobachtungen sich ergebenden, in der folgenden Zusammenstellung rekapitulierten Werten:

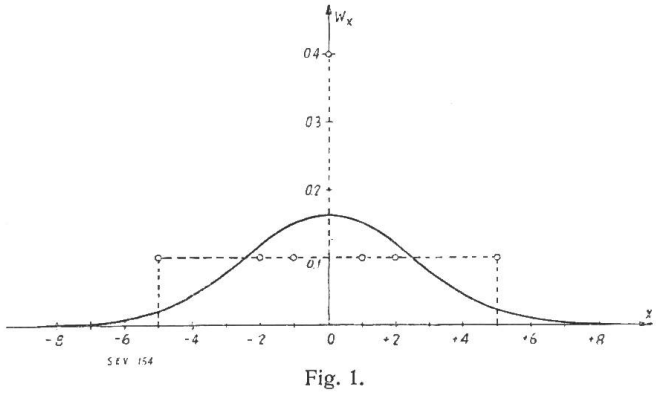

Fig. 1.

x_i	w_x	x_i	w_z
− 5	0,1	+ 1	0,1
− 2	0,1	+ 2	0,1
− 1	0,1	+ 5	0,1
0	0,4		

und zwar in Punktform, als auch, gemäss den ausgeglichenen, aus der Gauss'schen Funktion folgenden Werten, und zwar in Kurvenform dargestellt. Im Zuge der positiven Abszissenachse nähert sich diese Kurve bei $x = 7$ der Abszissenachse, so dass man zu $\bar{b} = 72°$ etwa 7° hinzuzählen darf, um bei 79° die wahrscheinlichste Höchsterwärmung der Wicklung erblicken zu dürfen.

2. *Beispiel.* Im Falle einer konzentriert angeordneten und der Messung der höchsten Erwärmung nur schwer, der niedrigsten aber leicht zugänglichen Wicklung seien wieder 10 Beobachtungen ausgeführt worden, wobei sich viermal 73°, je zweimal 72° und 71° und je einmal 75° und 67° ergeben habe. Dann erhält man für m den Wert:

$$m = \sqrt{\frac{9 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 25}{10}} = \sqrt{4} = 2,$$

und für die Poisson'sche Funktion den Ausdruck:

$$w_z = e^{-2}\, \frac{2^z}{z!}.$$

Die sich aus den Beobachtungen ergebenden Koordinaten der Verteilungsreihen sind die folgenden:

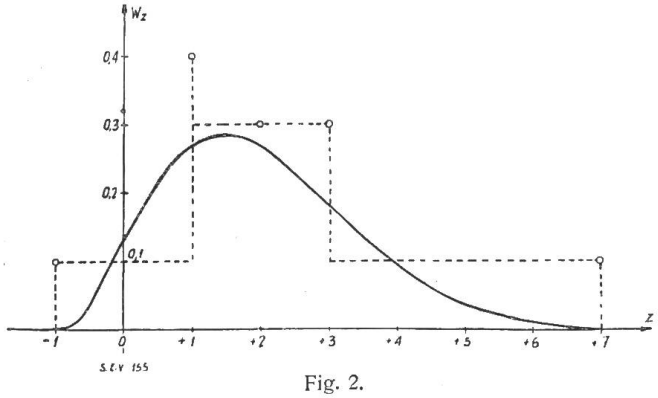

Fig. 2.

x_i	z_i	$w_x = w_z$
− 3	− 1	0,1
− 1	+ 1	0,4
0	+ 2	0,2
+ 1	+ 3	0,2
+ 5	+ 7	0,1

In Fig. 2 ist die Verteilungsreihe $w_z = f(z_i)$ sowohl nach obenstehender Tafel, und zwar in Punktform, als auch, gemäss den ausgeglichenen, aus der Poissonschen Funktion resultierenden Werten, und zwar in Kurvenform dargestellt. Links der Ordinatenachse senkt sich diese Kurve derart in die Abszissenachse, dass man zu $\bar{b} + m = 72^0 + 2^0 = 74^0$ noch etwa $0{,}9^0$ hinzuzählen darf, um mit $74{,}9^0$ die wahrscheinlichste Höchsterwärmung der Wicklung feststellen zu können[3]); es ist bemerkenswert, dass, zufolge der Ausgleichsrechnung, dieser Wert noch etwas unter dem beobachteten Werte 75^0 liegt.

Transformatoren mit Wicklungen in Kaskadenschaltung.

Von Dr.-Ing. *Emil Wirz*, Basel.

(Schluss von S. 279).

621.314.1

2. *Der Kurzschlusszustand.*

Im vorhergehenden haben wir beim Kaskadentransformator die Gesetzmässigkeiten und Beziehungen im Leerlaufzustande untersucht und müssen noch im folgenden den Kurzschlusszustand untersuchen, da sich erst dann seine Arbeitsweise bei Belastung darstellen lässt.

Schliessen wir deshalb die Sekundärklemmen des Transformators kurz und legen wir an die Primärwicklung eine solche Spannung V_{1k} an, dass in der Sekundärwicklung der normale Belastungsstrom I_2 fliesst, so wird durch die magnetische und elektrische Verkettung aller Wicklungen beider Schenkel das gesamte Erregerfeld sehr klein werden, da sich diese Felder nur entsprechend den Spannungsabfällen in den Wicklungen ausbilden können.

Wir erhalten für diesen Zustand die Ersatzschaltung der Fig. 17.

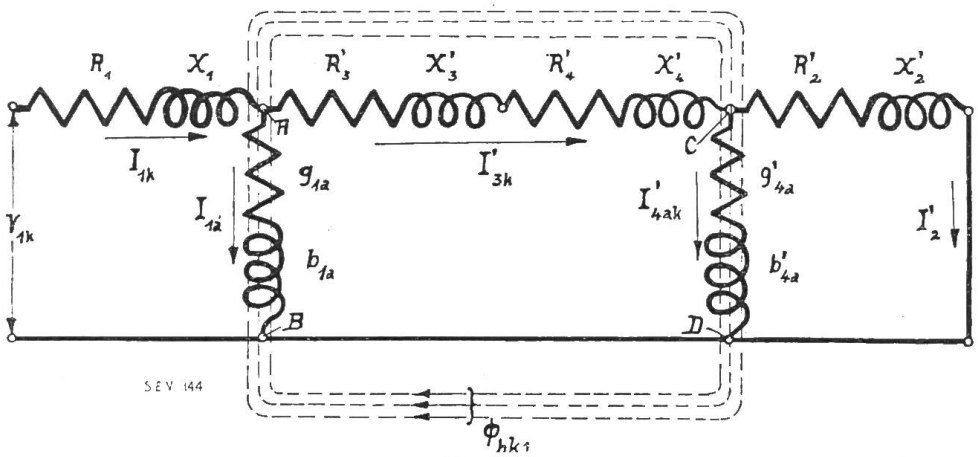

Fig. 17.
Ersatzschaltung beim Kurzschlusszustand bei Primärspannung.

Um bei Kurzschluss die Verhältnisse genau so wie bei Leerlauf behandeln zu können, müssen wir, wie bereits in früheren Arbeiten[5]) gezeigt wurde, die Erregerströme im Verhältnis zur Vollbelastung darstellen, um vom Leerlauf und Kurzschluss zur normalen Vollbelastung zu gelangen.

Aus der Ersatzschaltung der Fig. 17 ergibt sich für die Ströme bei Kurzschluss in den Kaskadenwicklungen:

$$\mathcal{J}'_{3k} = \mathcal{J}'_{4ak} + \mathcal{J}'_2 \tag{92}$$

[3]) Die Zahl 75^0 kommt deshalb nicht in Betracht, weil für $z = -1$ die Ordinate der Kurve w_z gleich Null geworden ist.

[5]) Siehe *Wirz*, Das Problem der parallel arbeitenden Transformatoren auf experimenteller Grundlage, Bulletin des S.E.V., Jahrgang 1923, Seite 25.