

Berechnung von Kurzschlussströmen - Teil 9

Gleichungen der einzelnen Ström - Berechnungsbeispiel – Schlussfolgerung

Gleichungen der einzelnen Ströme

Anfangskurzschlussstrom I_k''

Die Berechnung der einzelnen Anfangskurzschlussströme erfolgt mit Hilfe der in der Tabelle der [Abbildung 24](#) angegebenen Formeln.

Maximalwert i_p des Kurzschlussstroms

Der Maximalwert i_p des Kurzschlussstroms für nicht vermaschte Netze kann unabhängig von der Art des Kurzschlusses mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$i_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \text{ wobei}$$

I_k'' = Anfangskurzschlussstrom,

K = Faktor in Funktion von R/X gemäß Abbildung 9 oder berechnet mit der folgenden Näherungsformel:

$$K = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}}$$

Abgeschalteter Kurzschlussstrom I_b

Die Berechnung des abgeschalteten Kurzschlussstroms I_b ist nur erforderlich, erforderlich, wenn sich die Fehlerstelle in der Nähe des Generators befindet und der Schutz durch verzögerte Leistungsschalter erfolgt. Es sei daran erinnert, dass dieser Strom dazu dient, das ASV dieser Leistungsschalter zu bestimmen. Dieser Strom kann mit guter Näherung mit der folgenden Formel berechnet werden:

$I_b = \mu \cdot I_k''$ worin:

μ = Faktor in Abhängigkeit von der minimalen Totzeit t_{\min} und vom Verhältnis I_k''/I_r (siehe Abb. 25), das den Einfluss der subtransienten und transienten Reaktanzen darstellt, wobei I_r = Bemessungsstrom des Generators.

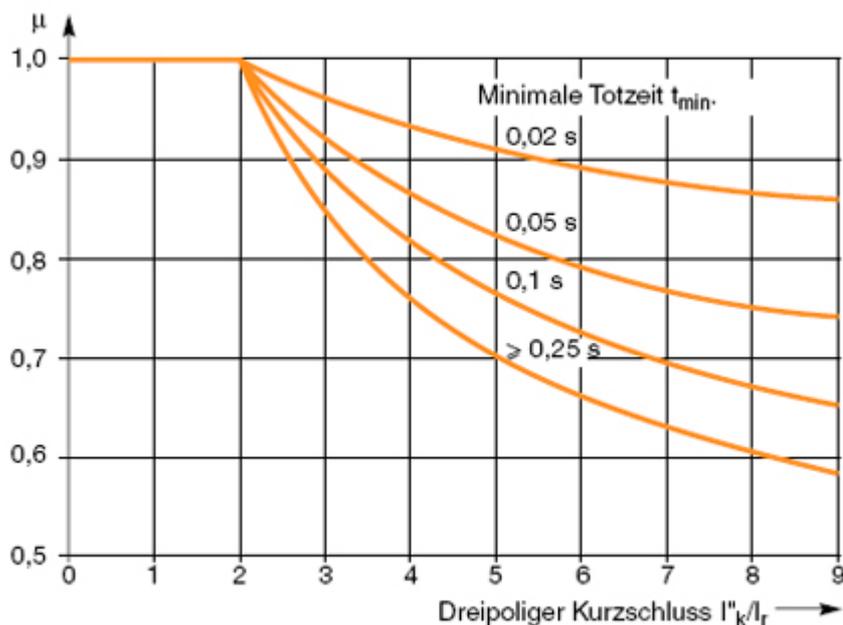


Abb. 25: Faktor μ für die Berechnung des abgeschalteten Kurzschlussstroms I_b (siehe IEC 909).

Dauerkurzschlussstrom I_k Da die Amplitude des Dauerkurzschlussstroms I_k von Sättigungszustand des Eisens der Generatoren abhängt, ist seine Berechnung weniger genau als die Berechnung des symmetrischen Anfangsstroms I_k'' . Die vorgeschlagenen Berechnungsmethoden liefern eine genügend genaue Abschätzung der oberen und unteren Werte für den Fall, wo der Kurzschluss durch einen Generator oder eine Synchronmaschine gespeist wird.

- Der maximale Dauerkurzschlussstrom unter der größten Erregung des Synchrongenerators ist gegeben durch:

$$I_{k_{\max}} = \lambda_{\max} \cdot I_r$$

- Den minimalen Dauerkurzschlussstrom erhält man für eine konstante (minimale) Erregung im Leerlauf der Synchronmaschine. Er ist gegeben durch:

$$I_{k_{\min}} = \lambda_{\min} \cdot I_r$$

I_r = Bemessungswert des Stroms an den Klemmen des Generators,
 λ = von der Sättigungsinduktivität $X_{d\text{sat}}$ abhängiger Faktor.

Die Werte von λ_{\max} und λ_{\min} sind in der Abbildung 26 für Turbogeneratoren und in der Abbildung 27 für Schenkelpolgeneratoren angegeben.

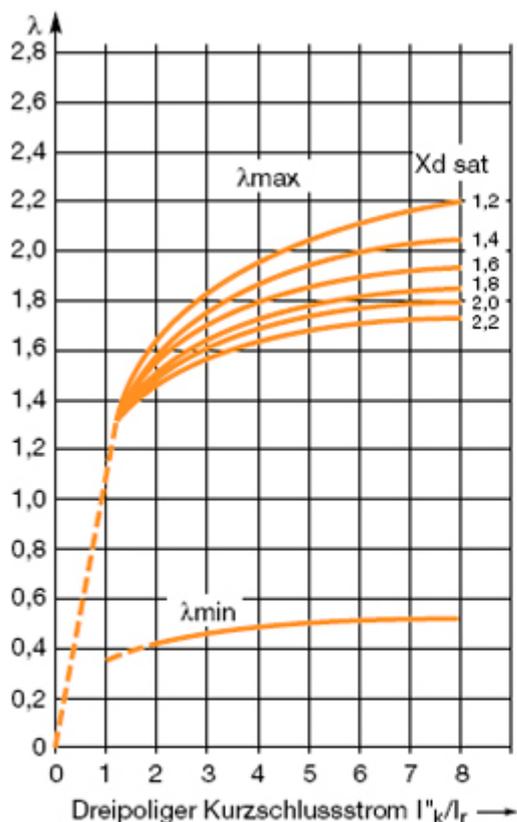


Abb. 26: Faktoren λ_{\max} und λ_{\min} für Turbogeneratoren (siehe IEC 909).

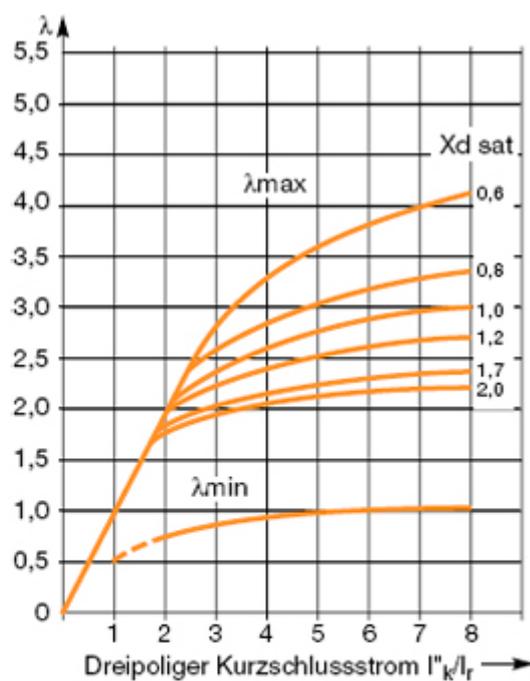


Abb. 27: Faktoren λ_{\max} und λ_{\min} für Schenkelpolgeneratoren (siehe IEC 909).

Berechnungsbeispiel

Aufgabenstellung:

Vier Netze, drei mit 5 kV und eines mit 15 kV, werden über die Transformatoren der Station

E von einem 30-kV-Netz gespeist (siehe Abb. 28). Anlässlich des Baus der Leitung GH wird verlangt, das Ausschaltvermögen des Schalters M zu bestimmen.

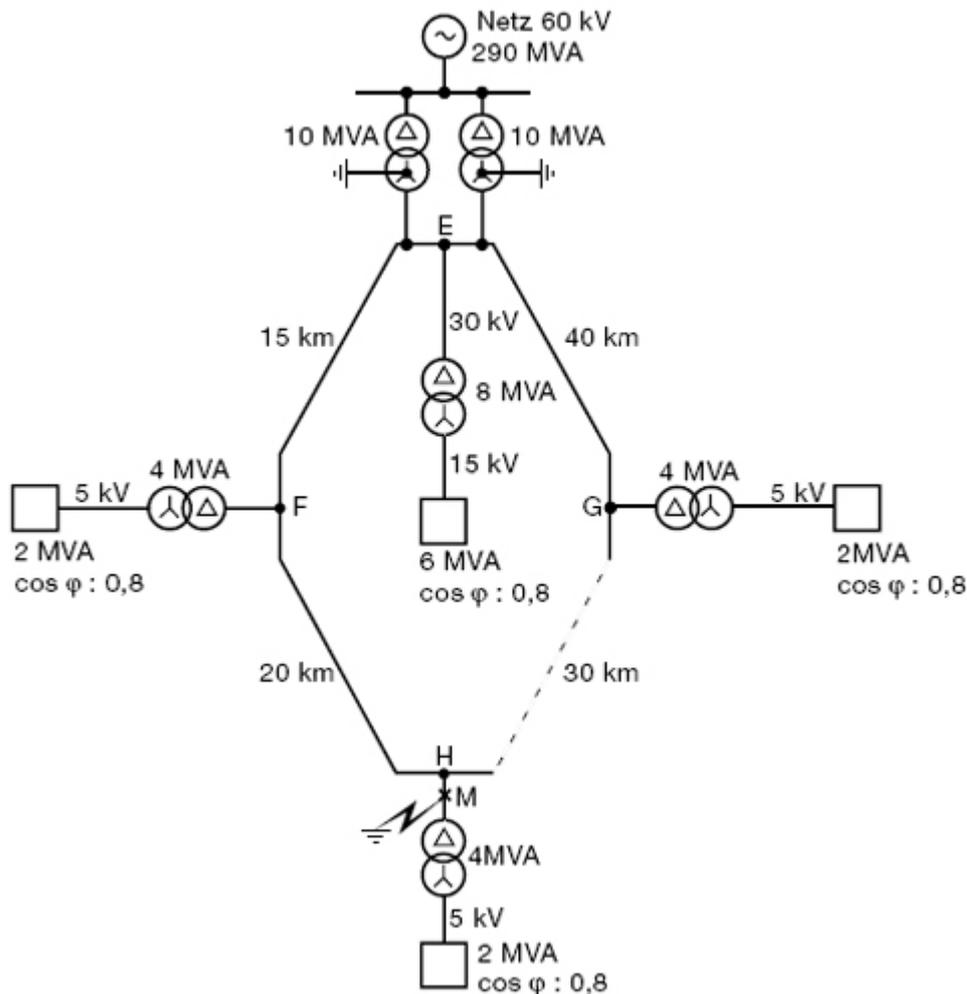


Abb. 28.

Bekannt ist, dass

- die einzigen Erdungen jene der Sekundärwicklungen der Transformatoren der Station E sind,
- für eine 30 km lange Leitung die Reaktanz $0,35 \Omega/\text{km}$ im mit- und gegenlaufenden System und $3 \times 0,35 \Omega/\text{km}$ im Nullsystem beträgt,
- die Kurzschlussreaktanz der Transformatoren für die Station E 6% und für die übrigen Stationen 8% beträgt,
- der Spannungsfaktor c als 1 angenommen wird,
- alle an den Punkten F und G angeschlossenen Lasten im wesentlichen passiv sind,
- sämtliche Widerstände gegenüber den Reaktanzen vernachlässigbar sind.

Lösung: Aufgrund des mit- und gegenlaufenden Schemas (siehe Abb. 29) kann geschrieben werden:

$$a = \frac{U^2}{S_{cc}} = \frac{30^2}{290} \Rightarrow j 3,1 \Omega$$

$$b = u_{cc} \cdot \frac{U^2}{S_n} = \frac{6}{100} \times \frac{30^2}{10} \Rightarrow j 5,4 \Omega$$

$$c1 = 0,35 \times 40 \Rightarrow j 14 \Omega$$

$$c2 = 0,35 \times 30 \Rightarrow j 10,5 \Omega$$

$$c3 = 0,35 \times 20 \Rightarrow j 7 \Omega$$

$$c4 = 0,35 \times 15 \Rightarrow j 5,25 \Omega$$

$$d = u_{cc} \cdot \frac{U^2}{S_n} = \frac{8}{100} \times \frac{30^2}{8} \Rightarrow j 9 \Omega$$

$$e = \frac{U^2}{S} \times 0,6 = \frac{30^2}{6} \times 0,6 \Rightarrow j 90 \Omega$$

$$f = u_{cc} \cdot \frac{U^2}{S_n} = \frac{8}{100} \times \frac{30^2}{4} \Rightarrow j 18 \Omega$$

$$g = \frac{U^2}{S} \times 0,6 = \frac{30^2}{2} \times 0,6 \Rightarrow j 270 \Omega$$

Zum Nullschema (siehe Abb. 30) ist zu bemerken: Die im Dreieck geschalteten Wicklungen der Transformatoren der Station E halten die Nullströme zurück, weshalb sie im Netz nicht in Erscheinung treten. Auch die Transformatoren der Stationen F, H und G haben wegen ihren im Dreieck geschalteten Wicklungen keine Nullströme und deshalb für diesen Fehler eine unendliche Impedanz.

$$b' = b1 = j 5,4 \Omega$$

$$c'1 = 3 \times c1 = j 42 \Omega$$

$$c'2 = 3 \times c2 = j 31,5 \Omega$$

$$c'3 = 3 \times c3 = j 21 \Omega$$

$$c'4 = 3 \times c4 = j 15,75 \Omega$$

$$d' = \infty$$

$$f' = \infty$$

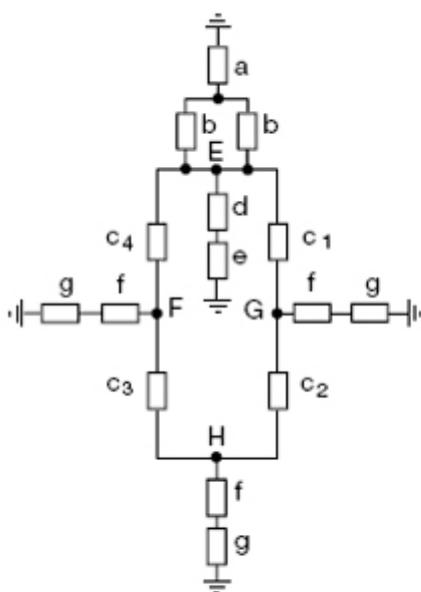


Abb. 29.

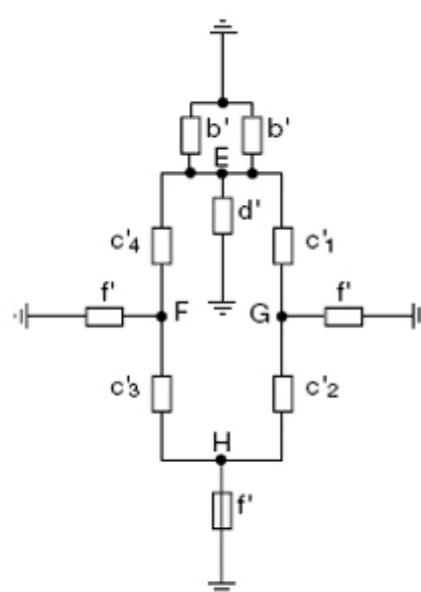


Abb. 30.

Somit gilt es, zwei reduzierte Schemas zu studieren:

1. Leitung GH offen (siehe Abb. 31)

$$Z_d = Z_i = j 17,25 \Omega$$

$$Z_o = j 39,45 \Omega$$

$$I_{cc3} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_d| \sqrt{3}} \approx 1,104 \text{ kA}$$

$$I_{cc1} = \frac{c \cdot U_n \sqrt{3}}{|Z_d + Z_i + Z_o|} \approx 0,773 \text{ kA}$$

Anmerkung: Hochspannungsnetz, weshalb $c = 1,1$.

2. Leitung GH geschlossen (siehe Abb. 32)

$$Z_d = Z_i = j 13,05 \Omega$$

$$Z_o = j 27,2 \Omega$$

$$I_{cc3} = 1,460 \text{ kA}$$

$$I_{cc1} = 1,072 \text{ kA}$$

Aufgrund des größten Kurzschlussstroms (**$I_{cc3} = 1,460 \text{ kA}$**) muss der Leistungsschalter der Leitung am Punkt M wie folgt dimensioniert werden:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} = 30 \times 1,460 \times \sqrt{3}$$

$$P \approx 76 \text{ MVA.}$$

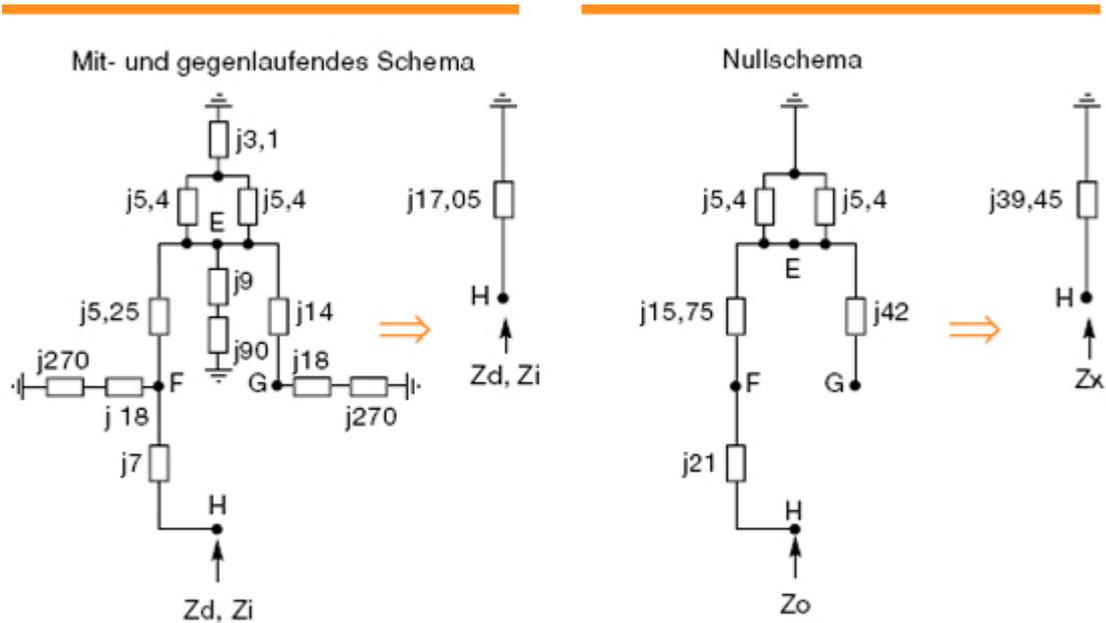


Abb. 31.

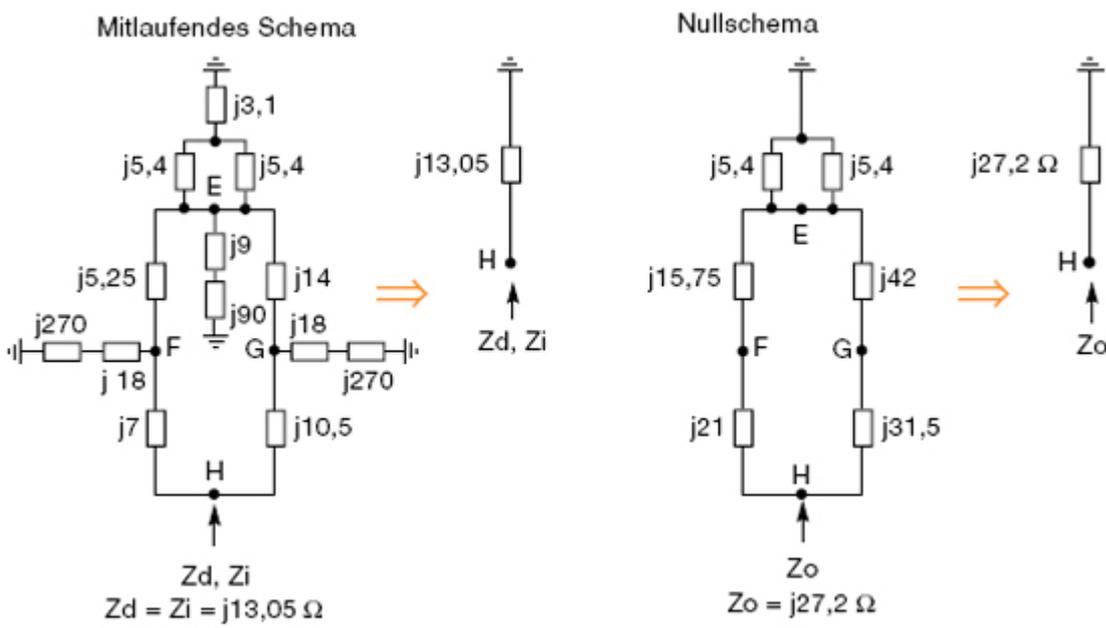


Abb. 32.

Berechnungen mit dem Computer und Schlussfolgerung

Zum Berechnen des Kurzschlussstroms sind mehrere Methoden entwickelt und in die Normen - und somit in das vorliegende Technische Heft - aufgenommen worden. Mehrere dieser normierten Methoden sind so ausgelegt, dass der Kurzschlussstrom von Hand oder mit dem Taschenrechner berechnet werden kann. Mit dem Aufkommen der Möglichkeit wissenschaftlicher Berechnungen mit dem Computer in den 70er Jahren haben die Projektanten von elektrischen Anlagen für ihre eigenen Bedürfnisse Software-Programme entwickelt, zuerst auf großen Zentralrechnern und dann auf Minicomputern. Deren Anwendung war Eingeweihten vorbehalten, da schwierig. Diese Entwicklungen sind später auf den einfacher einzusetzenden Personal Computer (PC) übertragen worden. Heute gibt es zum Berechnen der I_{cc} in der Niederspannung zahlreiche den Normen entsprechende Programme, wie die von Merlin Gerin entwickelte und vertriebenen Software Ecodial.

Alle diese Programme für Kurzschlussberechnungen dienen im Wesentlichen zum

Quelle: www.voltimum.de

Bestimmen des Ein- und Ausschaltvermögens der Schaltgeräte sowie des elektromagnetischen Verhaltens der Betriebsmittel. Schließlich werden weitere Berechnungsprogramme von spezialisierten Netzprojektanten eingesetzt, zum Beispiel zum Studium des dynamischen Verhaltens von Stromnetzen. Solche Programme gestatten genaue Simulationen der zeitlichen Erscheinungen. Ihre Anwendung erstreckt sich auf das vollständige elektromechanische Verhalten der Netze und Anlagen. Trotzdem sind diese Programme, obschon sehr leistungsfähig, nur Werkzeuge. Ihre wirksame Anwendung erfordert Fachkenntnisse, die man sich vorher durch Studien angeeignet hat, sowie ein spezielles Know-how und Erfahrung.