

## Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich .....	6
2 Normative Verweisungen .....	6
3 Begriffe .....	7
4 Formelzeichen .....	9
5 Berechnung der Ströme bei Doppelerdkurzschluss .....	11
5.1 Anfangs-Kurzschlusswechselstrom.....	11
5.2 Stoßkurzschlussstrom, Ausschaltwechselstrom und Dauerkurzschlussstrom .....	13
5.3 Verteilung der über Erde fließenden Ströme bei Doppelerdkurzschluss .....	13
6 Berechnung der Teilkurzschlussströme über Erde bei unsymmetrischen Kurzschlüssen.....	14
6.1 Allgemeines .....	14
6.2 Erdkurzschluss innerhalb einer Station .....	14
6.3 Erdkurzschluss weit außerhalb einer Station .....	16
6.4 Erdkurzschluss in der Nähe einer Station .....	17
7 Reduktionsfaktor für Freileitungen mit Erdseilen.....	19
8 Berechnung der Stromverteilung und des Reduktionsfaktors bei Kabeln mit beidseitig geerdeten, metallischen Mänteln oder Schirmen .....	21
8.1 Überblick.....	21
8.2 Dreileiterkabel.....	21
8.3 Drei Einleiterkabel .....	26
Anhang A (informativ) Beispiel zur Berechnung eines Doppelerdkurzschlussstromes.....	30
A.1 Überblick.....	30
A.2 Daten .....	30
A.3 Berechnungen .....	31
Anhang B (informativ) Beispiele zur Berechnung von Teilkurzschlussströmen über Erde .....	32
B.1 Überblick.....	32
B.2 Daten .....	32
B.3 Erdkurzschluss innerhalb einer Anlage .....	33
B.4 Erdkurzschluss außerhalb einer Anlage.....	35
B.5 Erdkurzschluss in der Nähe einer Station .....	38
Anhang C (informativ) Beispiel für die Berechnung des Reduktionsfaktors $r_1$ und die Stromverteilung durch Erde bei einem Dreileiterkabel.....	42
C.1 Überblick.....	42
C.2 Erdkurzschluss am Ende des Kabels.....	42
C.2.1 Daten .....	42
C.2.2 Impedanzbeläge des Kabels .....	42
C.2.3 Kurzschlussströme .....	43
C.2.4 Reduktionsfaktor, Strom im Schirm und Strom durch die Erde.....	43

	Seite
C.3 Erdkurzschluss auf dem Kabel zwischen den Stationen A und B .....	45
C.3.1 Anordnung und Daten .....	45
C.3.2 Berechnungsergebnisse .....	45
Anhang D (informativ) Beispiel für die Berechnung des Reduktionsfaktors $r_3$ und die Stromverteilung durch Erde bei drei Einleiterkabeln .....	47
D.1 Überblick .....	47
D.2 Erdkurzschluss am Ende des Kabels .....	47
D.2.1 Daten .....	47
D.2.2 Kabelimpedanzbeläge .....	47
D.2.3 Kurzschlussströme .....	48
D.2.4 Reduktionsfaktor und Stromverteilung .....	49
D.3 Erdkurzschluss auf einem der drei Einleiterkabel zwischen den Stationen A und B .....	50
D.3.1 Anordnung und Daten .....	50
D.3.2 Kurzschlussströme .....	51
D.3.3 Stromverteilung im Falle $R_{EF} \rightarrow \infty$ .....	51
D.3.4 Stromverteilung im Falle $R_{EF} = 5 \Omega$ .....	53
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen .....	56
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Eingangsimpedanz $Z_P$ einer unendlich langen Kette, zusammengesetzt aus der Erdseilimpedanz $Z_Q = Z'_Q d_T$ und dem Ausbreitungswiderstand $R_T$ der Maste mit gleichem Abstand $d_T$ zwischen den Masten .....	8
Bild 2 – Eingangsimpedanz $Z_{P_n}$ einer endlichen Kette von $n$ Masten, zusammengesetzt aus der Erdseilimpedanz $Z_Q = Z'_Q d_T$ , dem Ausbreitungswiderstand $R_T$ der Maste mit gleichem Abstand $d_T$ zwischen den Masten und der Erdungsimpedanz $Z_{EB}$ einer Anlage B nach Gleichung (29) .....	9
Bild 3 – Darstellung des Doppelerdkurzschlusses und der Ströme $I_{KEE}''$ .....	11
Bild 4 – Teilkurzschlussströme bei einem Erdkurzschluss innerhalb der Station B .....	14
Bild 5 – Teilkurzschlussströme bei Erdkurzschluss an einem Freileitungsmast T .....	16
Bild 6 – Verteilung des Erdersummenstromes $I_{ET_{tot}}$ .....	17
Bild 7 – Teilkurzschlussströme bei Erdkurzschluss an einem Mast $n$ einer Freileitung in der Nähe der Anlage B .....	18
Bild 8 – Reduktionsfaktor $r$ für Freileitungen mit nichtmagnetischen Erdseilen abhängig vom spezifischen Erdwiderstand $\rho$ .....	21
Bild 9 – Reduktionsfaktor von Dreileiterkabeln .....	23
Bild 10 – Reduktionsfaktor für drei Einleiter-Energiekabel .....	27
Bild A.1 – Doppelerdkurzschluss auf einer einfach gespeisten Freileitung .....	30
Bild B.1 – Erdkurzschluss innerhalb der Anlage B. Netzschaltplan mit den Anlagen A, B und C .....	33

Bild B.2 – Erdkurzschluss innerhalb der Anlage B. Mit-, Gegen- und Nullsystem mit Verbindungen an der Kurzschlussstelle F innerhalb der Anlage B .....	33
Bild B.3 – Erdkurzschluss außerhalb der Anlagen A, B und C am Mast T einer Freileitung – Netzschaltplan mit den Anlagen A, B und C .....	35
Bild B.4 – Erdkurzschluss außerhalb der Anlagen A, B und C am Mast T einer Freileitung – Mit-, Gegen- und Nullsystem mit Verbindungen an der Kurzschlussstelle F .....	36
Bild B.5 – Erderspannungen $u_{ETn} = U_{ETn}/U_{ET}$ mit $U_{ET} = 1,912$ kV und $u_{EBn} = U_{EBn}/U_{EB}$ mit $U_{EB} = 0,972$ kV, wenn der Erdkurzschluss an den Masten $n = 1, 2, 3, \dots$ in der Nähe der Station B auftritt .....	41
Bild C.1 – Beispiel für die Berechnung des Kabelreduktionsfaktors und der Stromverteilung durch Erde in einem 10-kV-Netz, $U_n = 10$ kV; $c = 1,1$ ; $f = 50$ Hz .....	43
Bild C.2 – Kurzschlussströme und Teilkurzschlussströme im Schirm und durch Erde für das Beispiel im Bild C.1 .....	44
Bild C.3 – Beispiel für die Berechnung der Stromverteilung in einem 10-kV-Netz mit einem Kurzschluss auf dem Kabel zwischen A und B (Daten nach C.2.1 und Bild C.1) .....	45
Bild C.4 – Erdkurzschlussströme, Teilkurzschlussströme im Schirm und Teilkurzschlussströme durch Erde .....	46
Bild D.1 – Beispiel für die Berechnung des Reduktionsfaktors und der Stromverteilung bei drei Einleiterkabeln und einem Erdkurzschluss in der Station B .....	48
Bild D.2 – Mit-, Gegen- und Nullsystem des Netzes im Bild D.1 mit Verbindungen an der Kurzschlussstelle (Station B) .....	49
Bild D.3 – Stromverteilung für das Netz nach Bild D.1, abhängig von der Länge $\ell$ der Einleiterkabel zwischen den Stationen A und B .....	50
Bild D.4 – Beispiel für die Berechnung des Reduktionsfaktors $r_3$ und die Stromverteilung bei drei Einleiterkabeln und einem Erdkurzschluss zwischen den Stationen A und B .....	51
Bild D.5 – Mit-, Gegen- und Nullsystem des Netzes im Bild D.4 mit Verbindungen an der Kurzschlussstelle (irgendwo zwischen den Stationen A und B) .....	51
Bild D.6 – Stromverteilung für das Kabel im Bild D.4 abhängig von $\ell_A$ ; $R_{EF} = \infty$ .....	53
Bild D.7 – Stromverteilung für das Kabel im Bild D.4 abhängig von $\ell_A$ ; $R_{EF} = 5 \Omega$ .....	55
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstromes in einfachen Fällen .....	13
Tabelle 2 – Spezifischer Erdwiderstand und Erdstromtiefe .....	19
Tabelle C.1 – Ergebnisse für das Beispiel im Bild C.1 .....	44
Tabelle C.2 – Ergebnisse für das Beispiel im Bild C.3, $\ell = 5$ km .....	46
Tabelle C.3 – Ergebnisse für das Beispiel im Bild C.3, $\ell = 10$ km .....	46