

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
Bilder	
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_{ETtot}	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 ρ	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 ℓ 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 ℓ_A ; $R_{EF} = \infty$	53
Bild D.7 – Stromverteilung für das Kabel im Bild D.4 abhängig von ℓ_A ; $R_{EF} = 5 \Omega$	55
Tabellen	
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