TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

sprecher automation

IEEH

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

Vergleich und Bewertung der Distanzberechnung für Leiter-Erde-Schleifen ($\underline{k}_E$-Faktor)

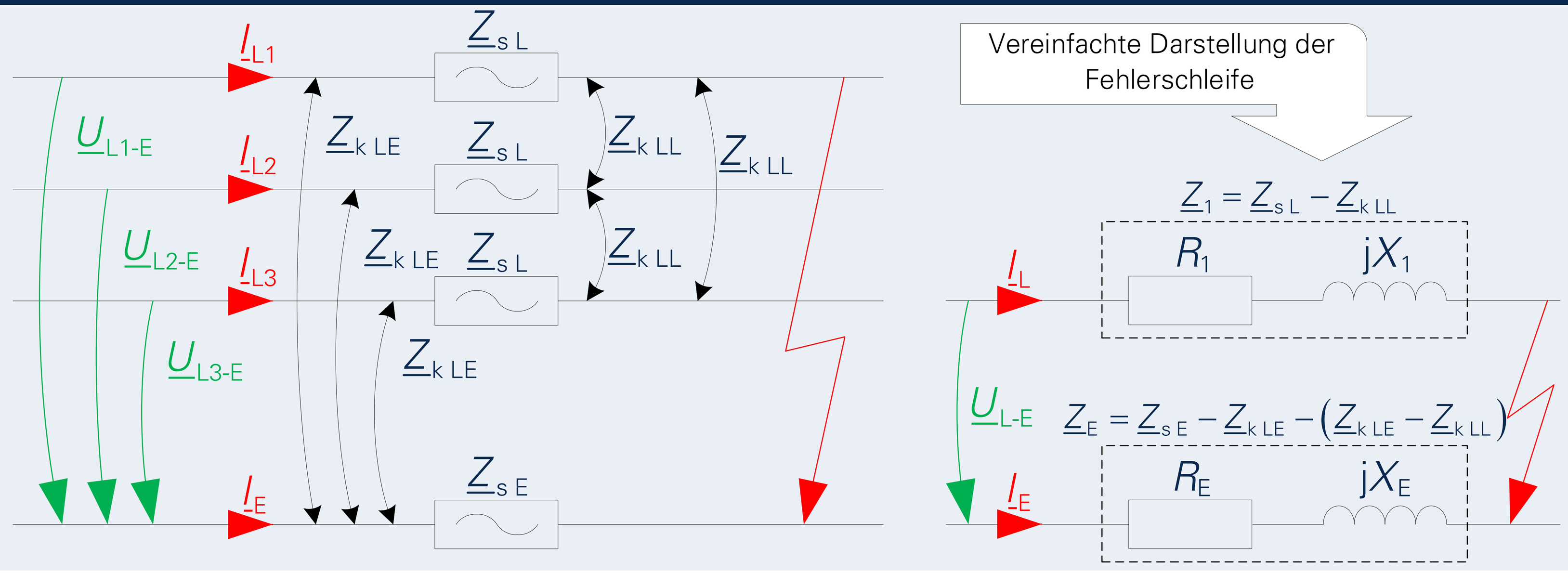
Carlo Liebermann, Jörg Meyer, Peter Schegner Technische Universität Dresden

Michael Kleemann, Grzegorz Richert Sprecher Automation

Motivation

- Leiter-Erde-Fehler sind die häufigste Fehlerart auf Leitungen
- Schnellstmögliche und selektive Klärung des Fehlers hat oberste Priorität
- Distanzschutz berechnet die Impedanz der Fehlerschleife und bezieht diese auf die Mitimpedanz der Leitung
- Verschiedene Möglichkeiten zur Kompensation der Erdimpedanz $\underline{Z}_E$
- Unterschiedliche Ergebnisse bei überlagerten Oberschwingungen, Lichtbogenfehlern und abklingenden Gleichanteilen

Zu berechnende Fehlerschleife



Bestimmung der Schleifenimpedanz – Frequenzbereich: Filteralgorithmen

Vorteil:
- Berechnung mit komplexen Zeigern von Strom und Spannung
- Filteralgorithmen sind robust gegenüber Oberschwingungen

Nachteil:
- Zeitverzögerung durch Eigenzeit des Algorithmus
- Abklingender DC-Anteil im Strom verfälscht Ergebnis

Methode 1f – Mit komplexem $\underline{k}_E$ - Faktor

Ansatzgleichung

$$\underline{U}_{L\text{-}E} = \underline{Z}_1 \cdot \left(\underline{I}_L - \frac{\underline{Z}_E}{\underline{Z}_1} \cdot \underline{I}_E \right) = \underline{Z}_1 \cdot \left(\underline{I}_L - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E \right)$$

Berechnung:

$$\boxed{\underline{Z}_1 = \frac{\underline{U}_{L\text{-}E}}{\underline{I}_L - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E}}$$

Methode 2f – Durch Trennung der Impedanzen [1]

$$\underline{U}_{L\text{-}E} = R_1 \cdot \left(\underline{I}_L - \frac{R_E}{R_1} \underline{I}_E \right) + jX_1 \cdot \left(\underline{I}_L - \frac{X_E}{X_1} \underline{I}_E \right) = R_1 \cdot \underbrace{\left(\underline{I}_L - k_{RE} \cdot \underline{I}_E \right)}_{\underline{I}_R} + jX_1 \cdot \underbrace{\left(\underline{I}_L - k_{XE} \cdot \underline{I}_E \right)}_{\underline{I}_X}$$

$$\boxed{R_1 = \frac{\mathrm{Re}\{\underline{I}_X\}\mathrm{Re}\{\underline{U}_{L\text{-}E}\} + \mathrm{Im}\{\underline{I}_X\}\mathrm{Im}\{\underline{U}_{L\text{-}E}\}}{\mathrm{Re}\{\underline{I}_R\}\mathrm{Re}\{\underline{I}_X\} + \mathrm{Im}\{\underline{I}_R\}\mathrm{Im}\{\underline{I}_X\}}} \quad \boxed{X_1 = \frac{\mathrm{Re}\{\underline{I}_R\}\mathrm{Im}\{\underline{U}_{L\text{-}E}\} - \mathrm{Im}\{\underline{I}_R\}\mathrm{Re}\{\underline{U}_{L\text{-}E}\}}{\mathrm{Re}\{\underline{I}_R\}\mathrm{Re}\{\underline{I}_X\} + \mathrm{Im}\{\underline{I}_R\}\mathrm{Im}\{\underline{I}_X\}}}$$

Bestimmung der Schleifenimpedanz – Zeitbereich: Lösung der Leitungs-Differentialgleichung

Vorteil:
- Lösung der Leitungs-DGL mit wenigen Abtastwerten möglich
- Größere Flexibilität durch variable Datenfenstergröße

Nachteil:
- Harmonische und Lichtbögen verfälschen Ergebnis
- Übertragung des Gleichgliedes im Strom notwendig

Methode 1z – Mit komplexem $\underline{k}_E$ - Faktor

Ansatzgleichung

$$u_{L\text{-}E}(t) = R_1 \cdot i_L(t) + L_1 \cdot \frac{di_L(t)}{dt} - R_E \cdot i_E(t) - L_E \cdot \frac{di_E(t)}{dt}$$

Berechnung:

$$\boxed{\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 \text{ mit Dist.-algo} \triangleq f(\underbrace{u_{L\text{-}E}, i_L, i_E}_{\text{Abtastwerte}}, \underbrace{\underline{k}_E}_{\text{Zeiger}})}$$

Methode 2z – Durch Trennung der Impedanzen [1]

$$u_{L\text{-}E}(t) = R_1 \cdot \left(i_L(t) - \frac{R_E}{R_1} i_E(t) \right) + L_1 \cdot \frac{d}{dt}\left(i_L(t) - \frac{X_E}{X_1} i_E(t) \right) = R_1 \cdot \underbrace{\left(i_L(t) - k_{RE} \cdot i_E(t) \right)}_{i_R(t)} + L_1 \cdot \frac{d}{dt} \underbrace{\left(i_L(t) - k_{XE} \cdot i_E(t) \right)}_{i_X(t)}$$

$$\boxed{\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 \text{ mit Dist.-algo} \triangleq f(\underbrace{u_{L\text{-}E}, i_R, i_X}_{\text{Abtastwerte}})}$$

Berücksichtigung des $\underline{k}_E$-Faktors im Zeitbereich

Problem: Berechnung der Schleifenimpedanz mit Abtastwerten und komplexem $\underline{k}_E$ - Faktor nach Methode 1z

Zeitl. Verschiebung (ZV)	Differentiation (DF)	Admittanz (AD) (**Neu**)
Konventionell: Korrektur **vor** Impedanzberechnung		... **nach** Impedanzberechnung
Zeitliches Verschieben des Momentanwertverlaufes	Berücksichtigung durch numerische Differentiation	Berechnung von Admittanzen [2]

Zeitliches Verschieben des Momentanwertverlaufes:

$$i_{E\,KorrZV}(t) = |\underline{k}_E| \cdot i_E\left(t + \Delta t(\underline{k}_E)\right)$$

$$\Delta t(\underline{k}_E) = \frac{1}{f_{Abt}} \cdot \left(\left\lceil \frac{\measuredangle \underline{k}_E}{2\pi} \cdot \frac{f_{Abt}}{f_N} \right\rfloor \right)$$

Berücksichtigung durch numerische Differentiation:

$$i_{E\,KorrDF}(t) = \mathrm{Re}\{\underline{k}_E\} \cdot i_E(t) + \frac{\mathrm{Im}\{\underline{k}_E\}}{\omega} \cdot \frac{di_E(t)}{dt}$$

$$\boxed{\underline{Z}_{1\,ZV/DF} = R_1 + j\omega L_1 \text{ mit Dist.-algo} \triangleq f(u_{L\text{-}E}, i_L, i_{E\,Korr\,1,2})}$$

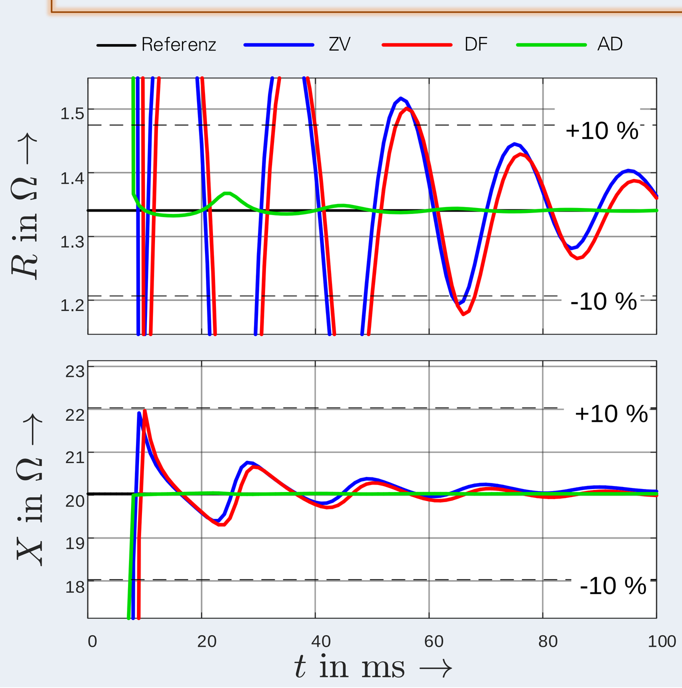
Berechnung von Admittanzen [2]:

$$\underline{Z}_{1\,AD}^{-1} = \underline{Y}_{1\,AD} = \overbrace{\frac{\underline{I}_L}{\underline{U}_{L\text{-}E}}}^{\underline{Y}_L} - \underline{k}_E \cdot \overbrace{\frac{\underline{I}_E}{\underline{U}_{L\text{-}E}}}^{\underline{Y}_E}$$

$$\underline{Y}_L = \underline{Z}_L^{-1} \text{ aus } \mathrm{Algo}(u_{L\text{-}E}, i_L)$$

$$\underline{Y}_E = \underline{Z}_E^{-1} \text{ aus } \mathrm{Algo}(u_{L\text{-}E}, i_E)$$

$$\boxed{\underline{Z}_{1\,AD} = \left(\underline{Y}_L - \underline{k}_E \cdot \underline{Y}_E \right)^{-1}}$$



	ZV	DF	AD
Oberschwingungen *Verstärkter* Einfluss auf die Impedanzberechnung	Ja	Ja	Nein
Abklingender Gleichanteil Einfluss durch DC-Anteil im Strom auf die Impedanzberechnung	Ja	Ja	Nein
Zeitliche Verzögerung durch Implementierung	Ja/Nein $\measuredangle \underline{k}_E \begin{cases} > 0 \\ < 0 \end{cases}$	Ja/Nein Diff.-quotient: Vorwärts oder Zentral / Rückwärts	Nein

Fehler mit Lichtbogenwiderstand

Bei Lichtbogenfehlern mit zusätzlichem Widerstand R_{LB} in der Fehlermasche treten bei beiden Methoden Abweichungen zur Mitimpedanz der Leitung auf

$$\boxed{\underline{Z}_{Mess} = \underline{Z}_1 + \Delta R + j\Delta X}$$

	Methode 1	Methode 2
$\Delta R =$	$\mathrm{Re}\left\{ R_{LB} \cdot \frac{\underline{I}_L}{\underline{I}_L - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E} \right\}$	$R_{LB} \cdot \frac{(X_1 + X_E) \cdot \lvert \underline{I}_L \rvert^2}{X_1 \cdot \left(\mathrm{Re}\{\underline{I}_R\} \cdot \mathrm{Re}\{\underline{I}_X\} + \mathrm{Im}\{\underline{I}_R\} \cdot \mathrm{Im}\{\underline{I}_X\} \right)}$
$\Delta X =$	$\mathrm{Im}\left\{ R_{LB} \cdot \frac{\underline{I}_L}{\underline{I}_L - \underline{k}_E \cdot \underline{I}_E} \right\}$	0
	Verfälschung in R- und X- Richtung (abhängig vom Winkel des $\underline{k}_E$-Faktors)	Verfälschung nur in R- Richtung

Literatur

[1] G. Ziegler, Digitaler Distanzschutz Grundlagen und Anwendungen; SIEMENS AG, Berlin und München; Verlag: Publicis Corporate Publishing,Erlangen, 2008

[2] Sprecher Automation GmbH, Erfinder: Carlo Liebermann, Jörg Meyer und Michael Kleemann, „Verfahren zur Steuerung eines Distanzschutzrelais durch Erkennung von Leiter-Erde-Fehlern. Österreichisches Patent A 50107/2017, Angemeldet am: 09.02.2017

Dipl.-Ing. Carlo Liebermann
carlo.liebermann@tu-dresden.de
+49 351 463 43204

Dr.-Ing. Jörg Meyer
joerg.meyer@tu-dresden.de
+49 351 463 35272

Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner
peter.schegner@tu-dresden.de
+49 351 463 34374