

ERFAHRUNGSBERICHT ZU LEITUNGSMITFÜHRUNGEN AUF HÖCHSTSPANNUNGSMASTEN



ENERGIE STEIERMARK
STROMNETZ

Walter HIPP¹, Oliver SKRBINJEK², Manfred KRASNITZER¹, Franz STREMPFL¹

¹Stromnetz Steiermark GmbH, Leonhardgürtel 10, 8010 Graz, +43(0)316-90555-52714

²Steweag-Steg GmbH, Leonhardgürtel 10, 8010 Graz, +43(0)316-9000-53805,

Beeinflussungserscheinungen



- Einfluss auf die Löschfähigkeit (Löschspulenregelung)
- Einfluss auf die Synchroncheckfunktion der Leistungsschalter
- Anregung von Ferroresonanzschwingungen an Leitungsspannungswandlern
- Induzierte Erdschleifenströme
- Induzierte Kreisströme im vermaschten Netz

Mitführungen



ENERGIE STEIERMARK
STROMNETZ



Modelldefinition

- Mastkopfbild
der 110-kV Mitführung auf
der 380-kV Steiermarkleitung
(wird in den folgenden
Beispielen verwendet)

- 380-kV System 1

1 2 3

- 380-kV System 2

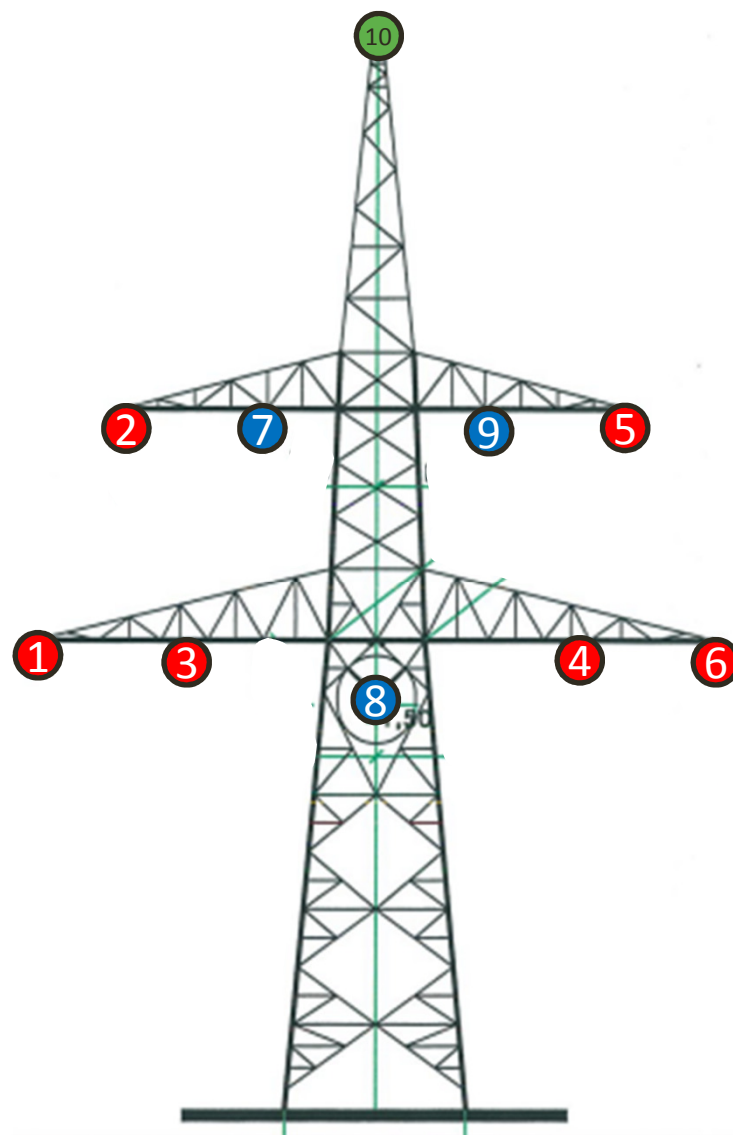
4 5 6

- 110-kV System

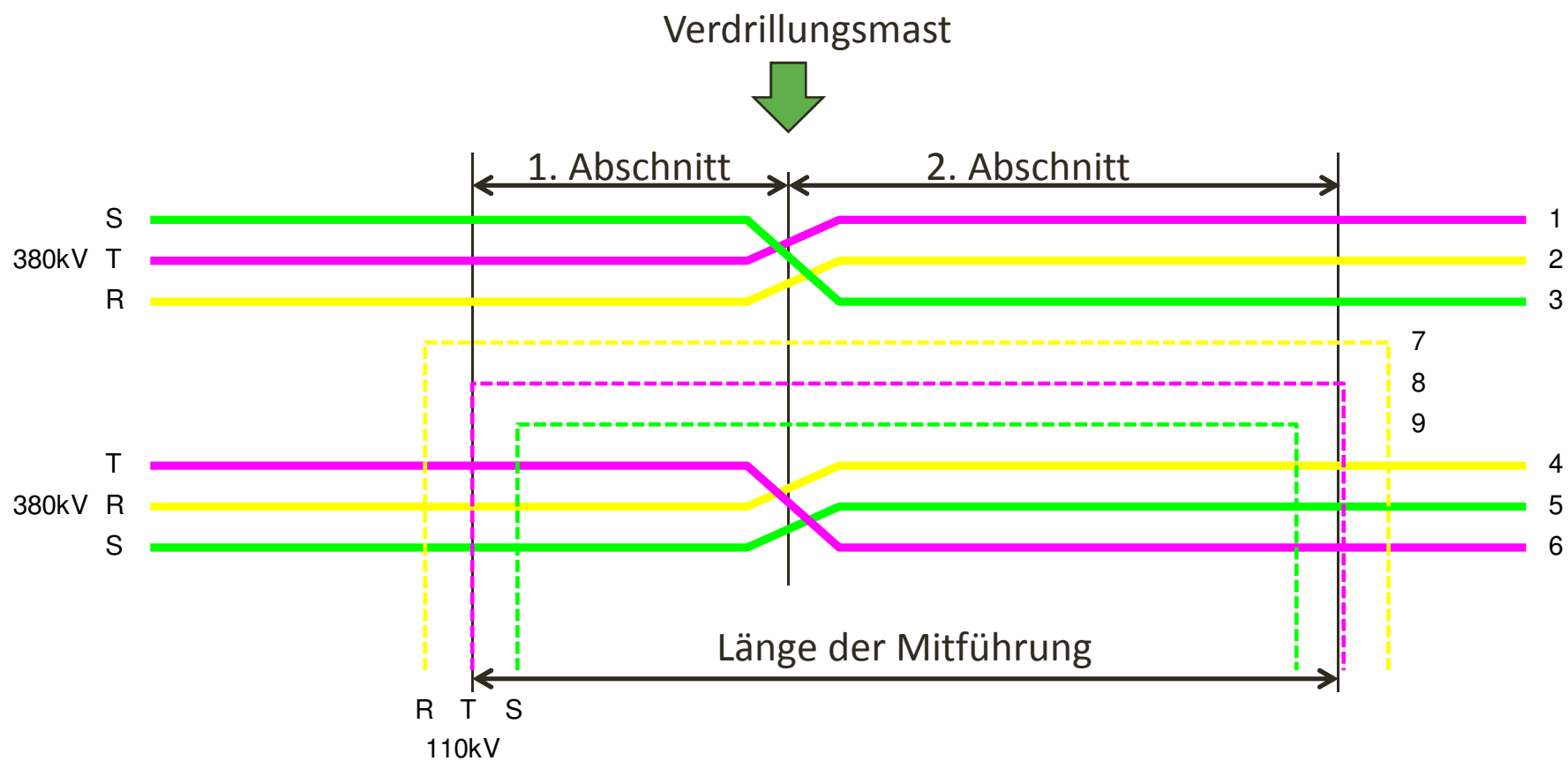
7 8 9

- Erdseil

10



Modelldefinition



Allgemeine Grundlagen

■ Induktive Kopplung

$$\underline{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{11} & \dots & -\underline{Z}_{1j} & \dots & -\underline{Z}_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\underline{Z}_{i1} & \dots & \underline{Z}_{ij} & \dots & -\underline{Z}_{iN} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\underline{Z}_{N1} & \dots & -\underline{Z}_{Nj} & \dots & \underline{Z}_{NN} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{ii} = r_e - \Delta_{ii} + r_i + j \cdot (x_{ii} + \Delta_{ii} + x_i)$$

$$\underline{Z}_{ij} = r_e - \Delta_{ij} + j \cdot (x_{ij} + \Delta_{ij})$$

r_i Leiter-Längswiderstand in Ω/km

r_e Erdwiderstand in Ω/km

Δ_{ii}, Δ_{ij} Höhenkorrektur in Ω/km

x_{ii} Selbstreaktanz in Ω/km

x_{ij} Gegenreaktanz in Ω/km

■ Kapazitive Kopplung

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1i} & \dots & P_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{j1} & \dots & P_{ji} & \dots & P_{jN} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & \dots & P_{Ni} & \dots & P_{NN} \end{bmatrix} = \mathbf{C}^{(-1)}$$

$$P_{ii} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \ln \left(\frac{2 \cdot h_i}{R_i} \right)$$

$$P_{ij} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \ln \left(\frac{D_{ij}}{d_{ij}} \right)$$

Einfluss auf die Löschfähigkeit

- Resonanzkurve der Verlagerungsspannung

$$\underline{U}_{EN} = \frac{\underline{\Delta I}_{110} + \underline{\Delta I}_{380}}{I_C \cdot \sqrt{v^2 + d^2}} \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3}}$$

- $\underline{\Delta I}_{110}$ bestehender Unsymmetriestrom

$$\underline{\Delta I}_{110} = \frac{\underline{U}_{ENres} \cdot d \cdot \sqrt{3}}{U_N} \cdot I_C \quad \underline{U}_{ENres} \text{ messtechnisch aus Abstimmversuchen ermittelt}$$

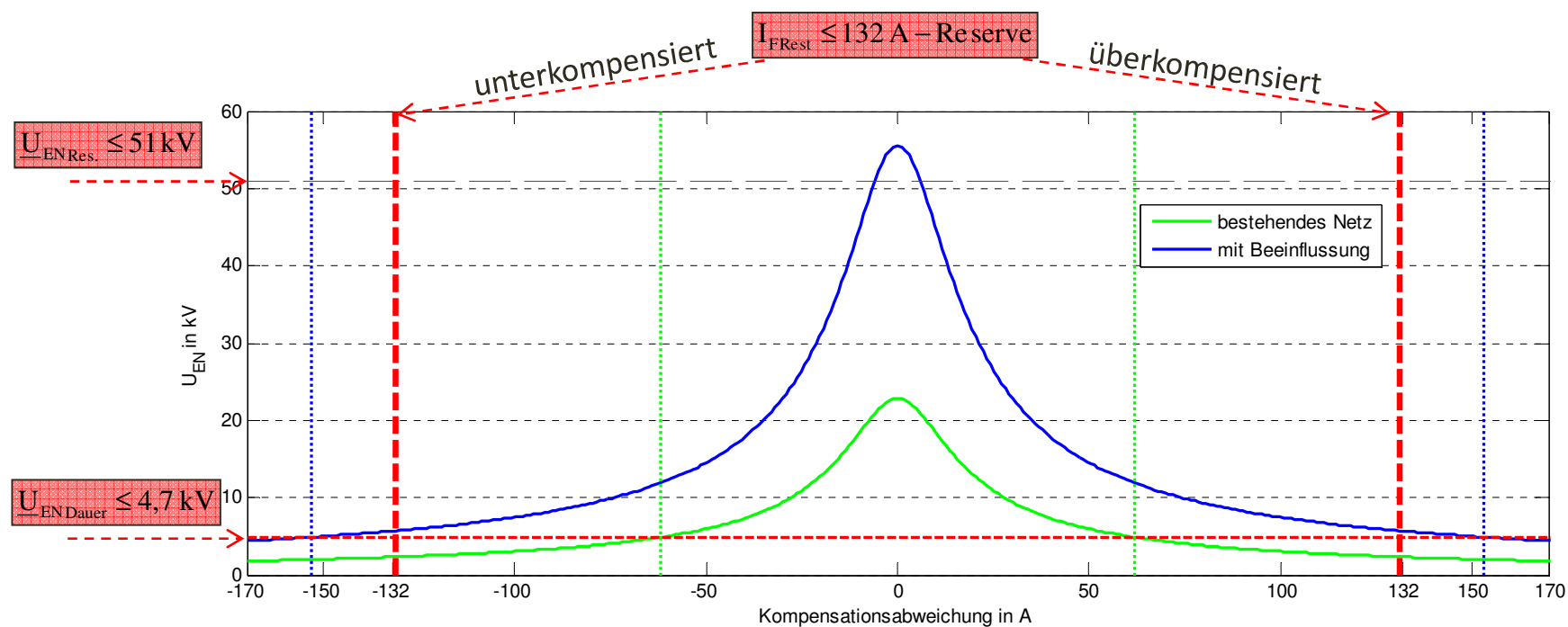
- $\underline{\Delta I}_{380}$ Unsymmetriestrom durch die kapazitive Beeinflussung

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{380kV} \\ \underline{I}_{110kV} \end{bmatrix} = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot C \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_{380kV} \\ \underline{U}_{110kV} \end{bmatrix} \quad \underline{\Delta I}_{380} = \sum \underline{I}_{110kV}$$

Grenzwerte der Resonanzkurve

- Resonanzkurve der Verlagerungsspannung

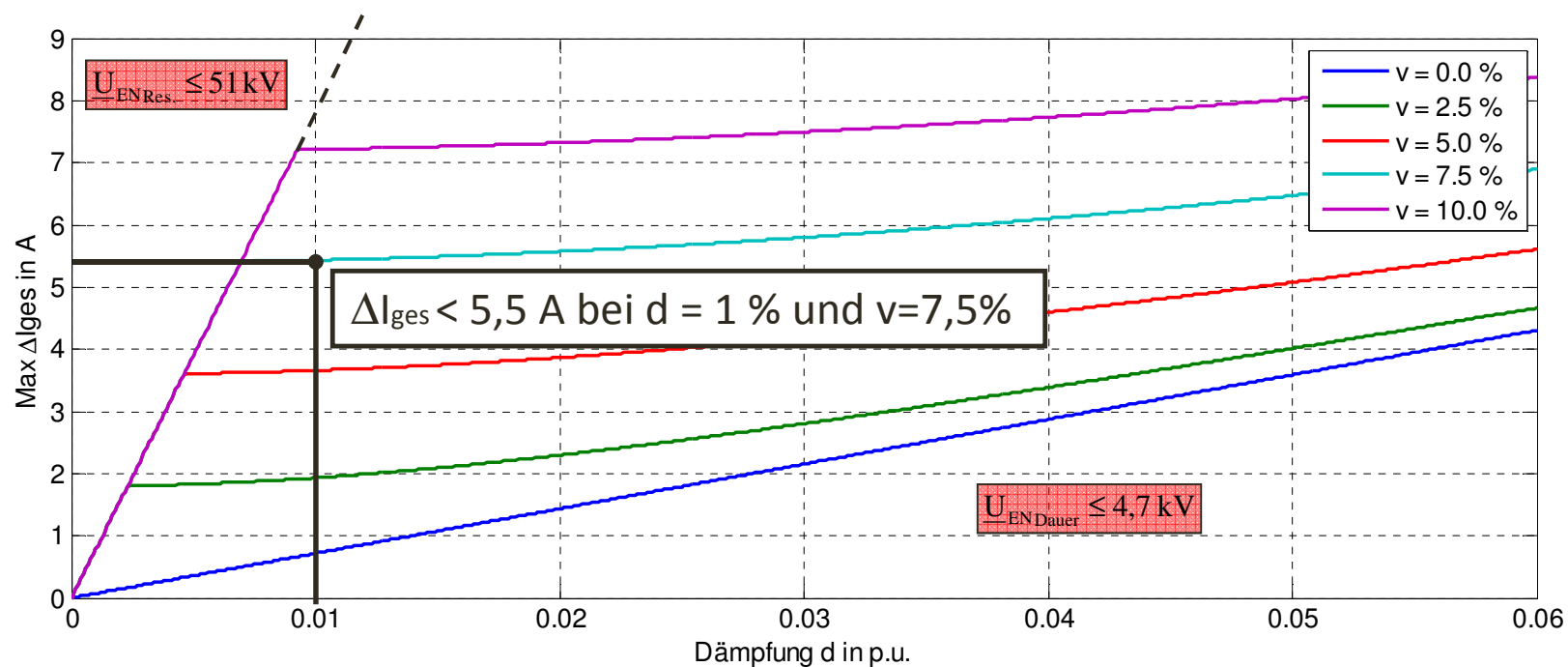
$$\underline{U}_{EN} = \frac{\Delta I_{110} + \Delta I_{380}}{I_C \cdot \sqrt{v^2 + d^2}} \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3}}$$



Maximaler Unsymmetriestrom

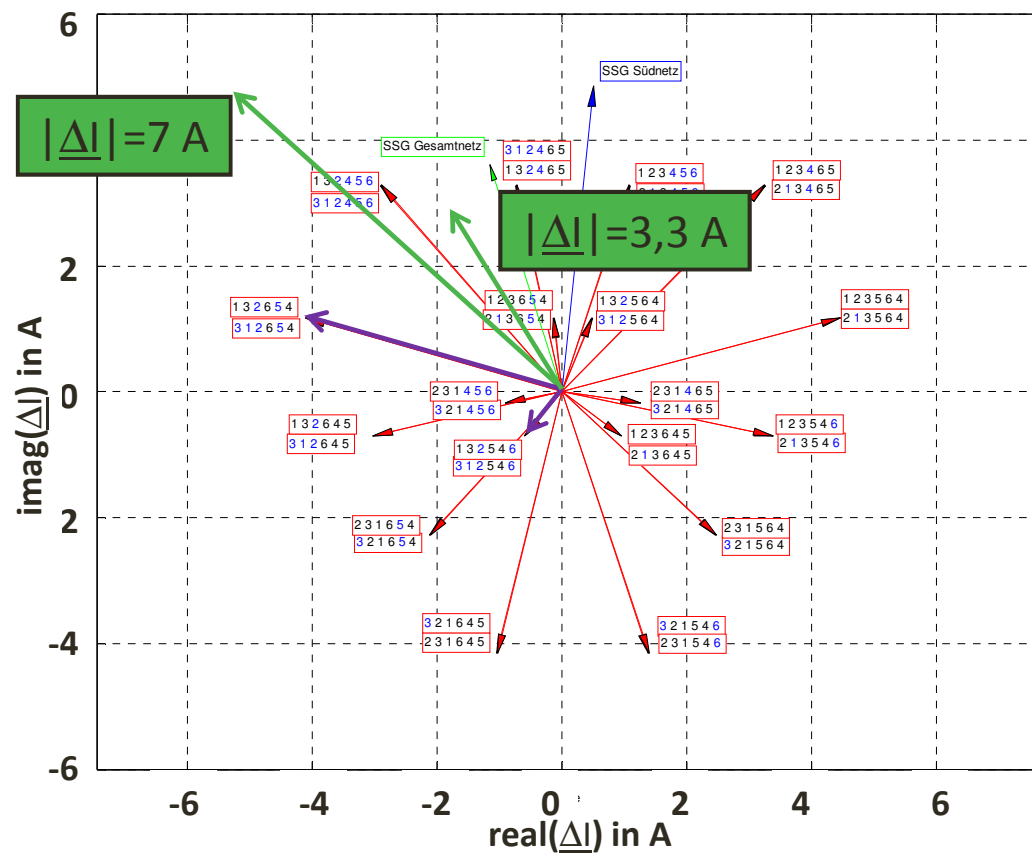
- Abschätzung des maximalen Unsymmetriestroms aus den Grenzwerten für die Verlagerungsspannung U_{EN}

$$\Delta I_{ges} = \Delta I_{110} + \Delta I_{380}$$



Variationen der Phasenbelegung

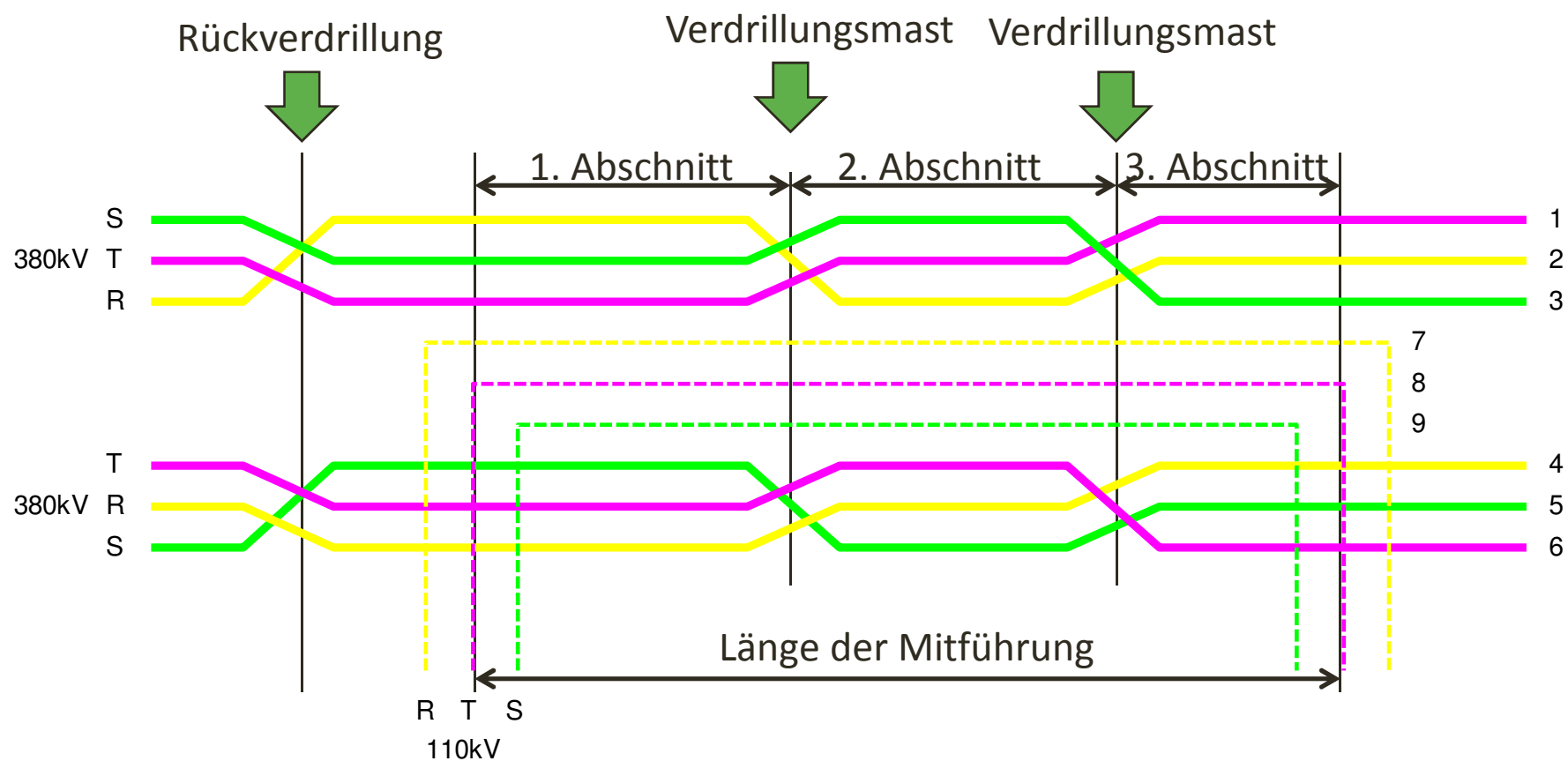
- Unsymmetrieströme $\underline{\Delta I}_{380}$ bei unterschiedlicher Phasenbelegung





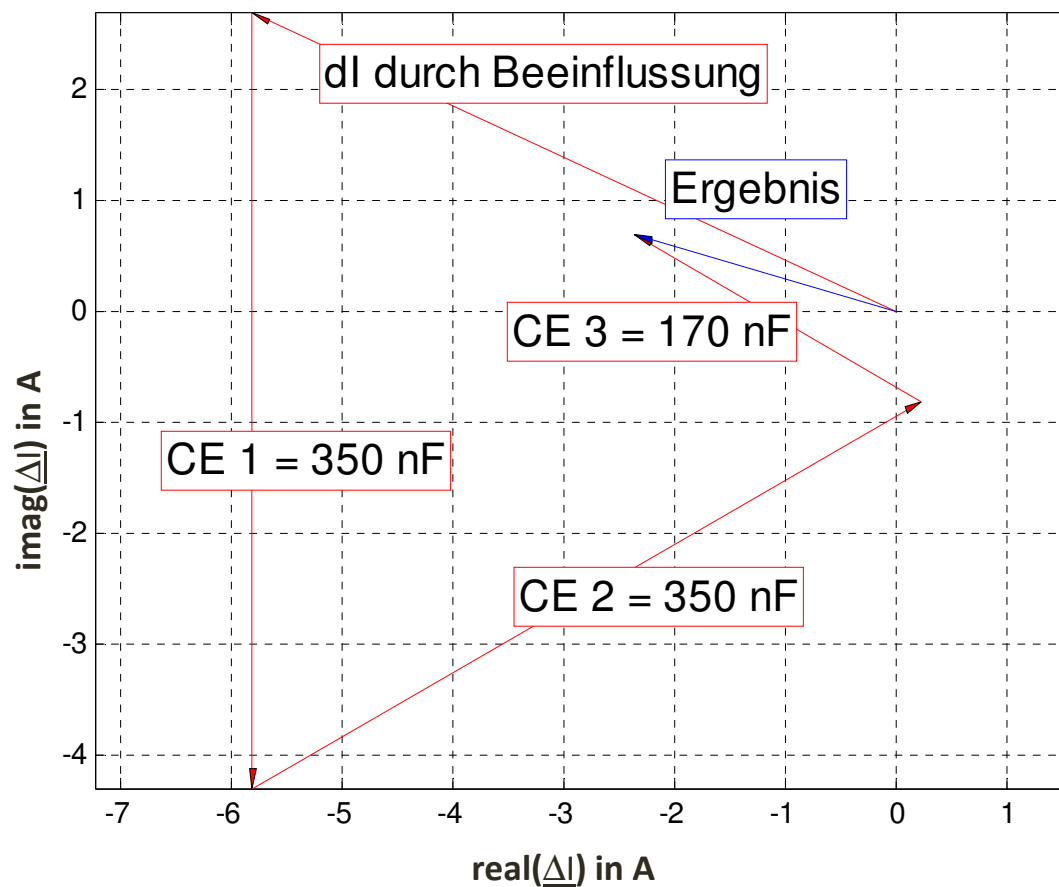
ENERGIE STEIERMARK
STROMNETZ

Symmetrische Verdrillung



Steuerkondensatoren zur Symmetrierung

- Steuerkondensatoren unterschiedlicher Kapazität können Leitung symmetrieren



Lösungsmöglichkeiten

- 1) Wahl einer geeigneten Phasenordnung
 - Vorteil: einfach durchzuführen
 - Nachteil: Änderung des Verlaufs der magnetischen und elektrischen Feldstärke quer zur Trasse (EMV) was Teil der UVP ist, und dadurch nachträglich nur schwer geändert werden kann.
- 2) Symmetrische Verdrillungsabschnitte
 - Vorteil: keine kapazitive und keine induktive Beeinflussung
 - Nachteil: Bei jeder Mitführung sind 2 Verdrillungsmasten nötig
- 3) Einbau von Steuerkondensatoren
 - Vorteil: keine leitungsseitige Maßnahmen nötig
 - Nachteil: kompensiert nur die kapazitive Beeinflussung

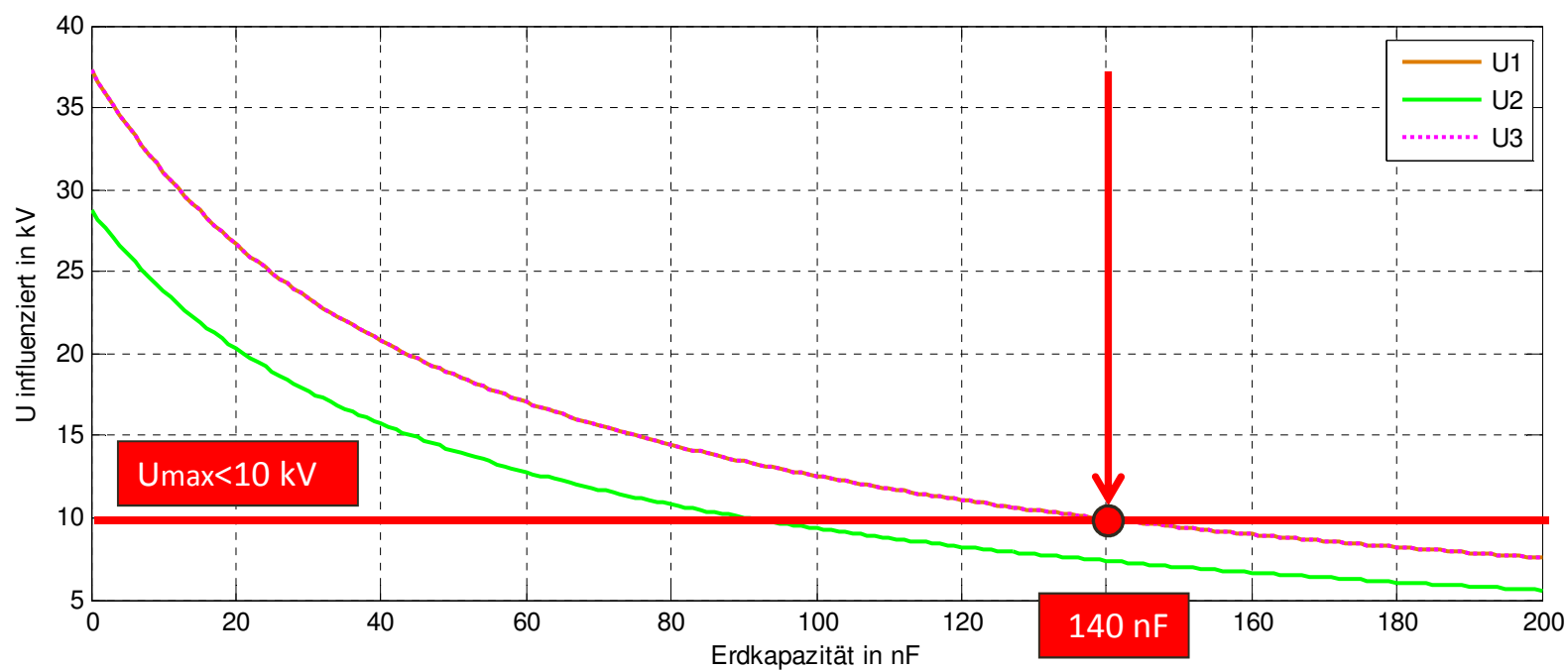
Synchroncheckfunktion des Leistungsschalters



- Problemstellung:
 - Eine abgeschaltete, durch Mitführung beeinflusste Leitung lässt sich auf Grund der hohen influenzierten Spannung ($U_{Ltg} > 15 \% U_N$) nicht wieder zuschalten, da die Synchroncheckfunktion des Leistungsschalters dies verweigert.
- Maßnahmen:
 - Deaktivierung der Synchroncheckfunktion wenn beide Leistungsschalter geöffnet sind. (schnelle binäre Kommunikationsverbindung für Leistungsschalterstellung)
 - Reduktion der Leerlaufspannung durch geeignete Verdrillung.
 - Reduktion der Leerlaufspannung auf der beeinflussten Leitung durch Einbau von Steuerkondensatoren im Sinne eines Spannungsteilers.

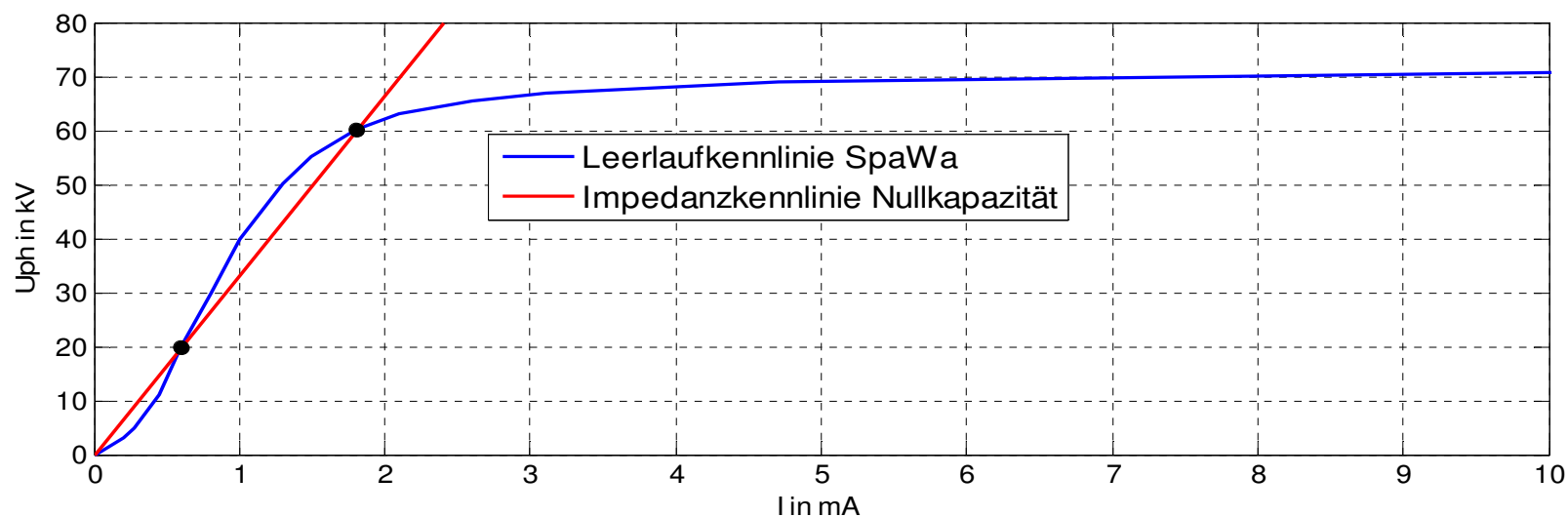
Synchroncheckfunktion des Leistungsschalters

- Leerlaufspannung mit Steuerkondensatoren



Ferroresonanzschwingungen an den Leitungsspannungswandlern

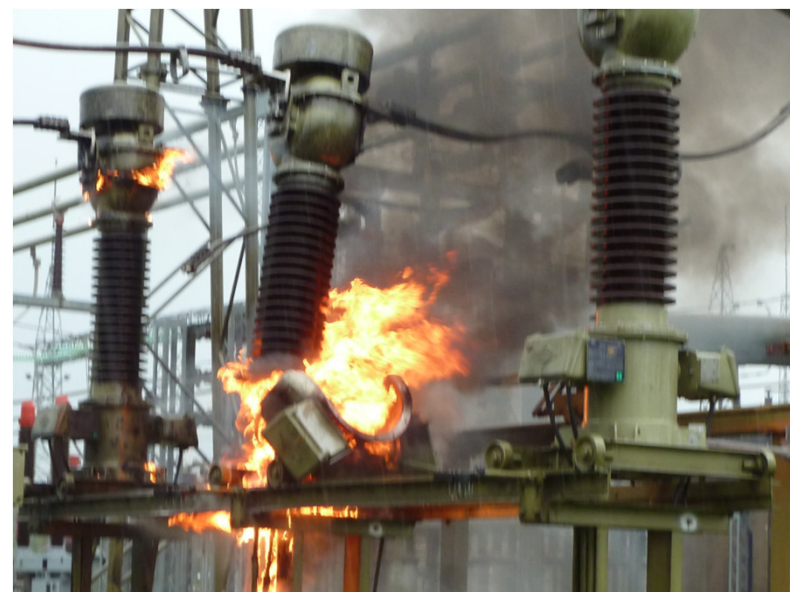
- Kleine Nullkapazität in isolierten Netzen (leerlaufende Leitung mit Spannungswandler)
 - Sättigung des Spannungswandlers
- 25Hz Schwingung → 100 facher Nennstrom am Spannungswandler



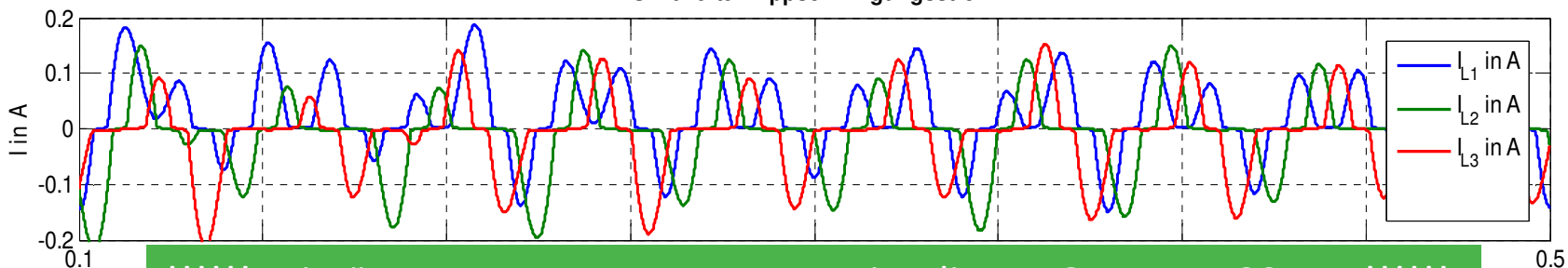
Ferroresonanzschwingungen an den Leitungsspannungswandlern

- Mögliche Folgen:
Thermische Zerstörung

- Maßnahme:
Reduktion der Leerlaufspannung
durch Symmetrische Verdrillung
oder Steuerkondensatoren



Simulierter Kippschwingungsstrom



!!!!!! Primärer Nennstrom = 1 mA <-> simulierter Strom = 100 mA !!!!!!

Induzierte Erdschleifenströme

- Beidseitig geerdete Mitführung → Erdschleifenströme
- Problem:
Erdungstrenner muss hohe induktive Ströme schalten
 $U_{\text{ind}} \sim 72 \text{ V/km} \rightarrow I_{110} \sim 225 \text{ A}$
- Lösung:
Symmetrische Verdrillung des beeinflussenden System ist die einzige Maßnahme

Lichtbogen am Erdungstrenner

- Öffnen des 110-kV-Erdungstrenners



Lichtbogen am Erdungstrenner

- Öffnen des 110-kV-Erdungstrenners



Fazit



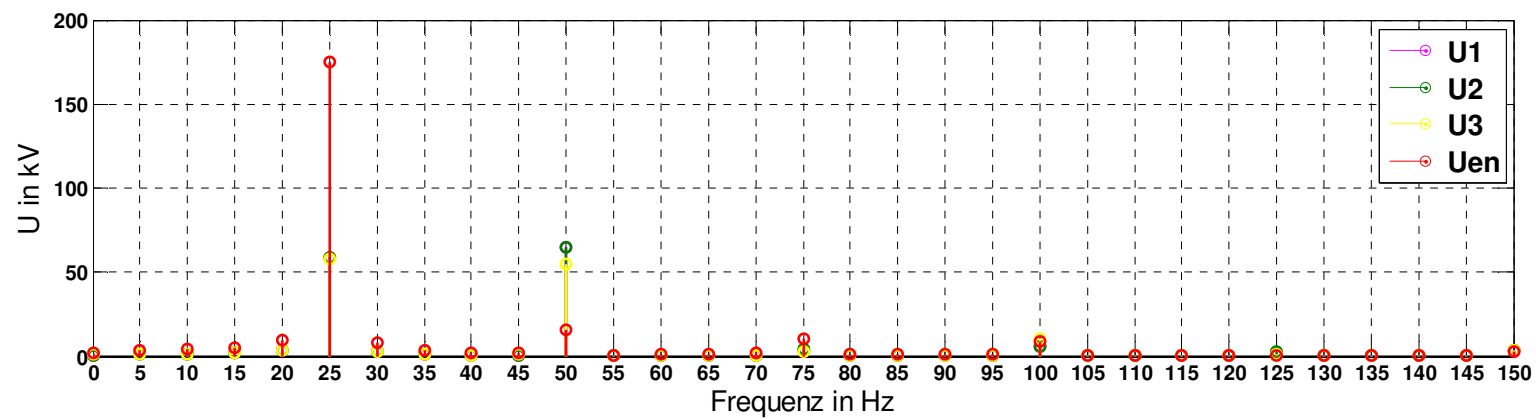
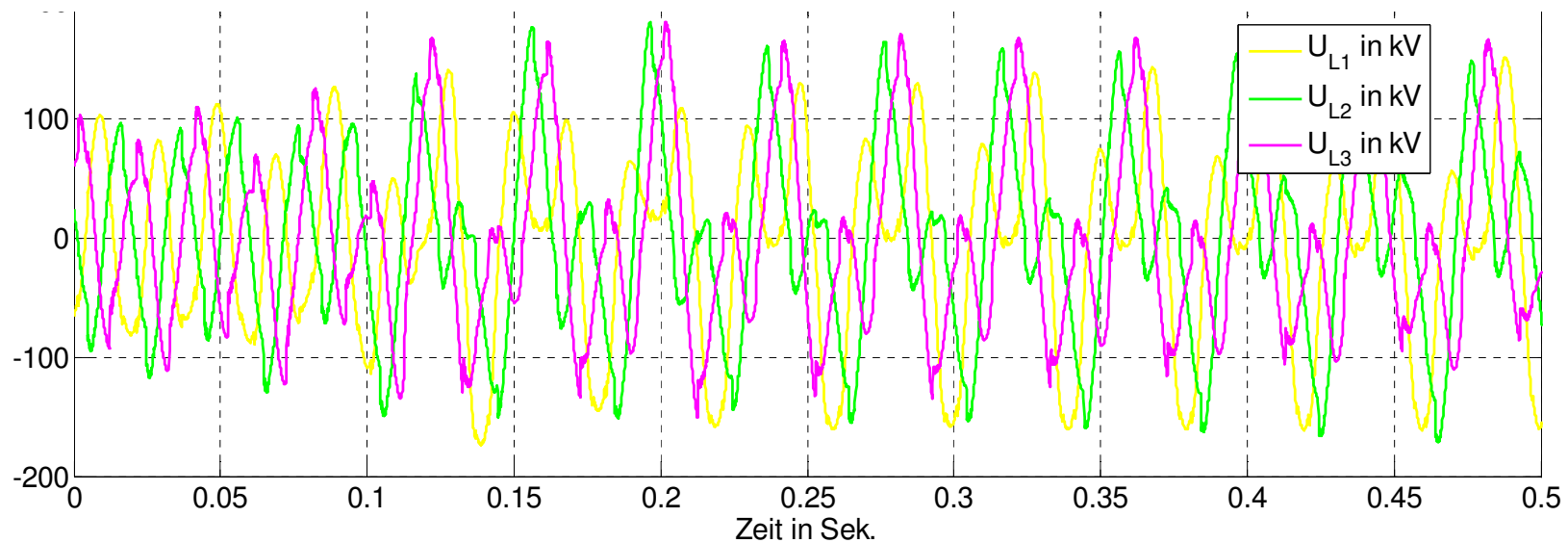
- Symmetrische Verdrillung des beeinflussenden Systems
beseitigt alle Beeinflussungserscheinungen
- Steuerkondensatoren am beeinflussten System
beseitigt alle kapazitiven Beeinflussungserscheinungen

Viel Energie



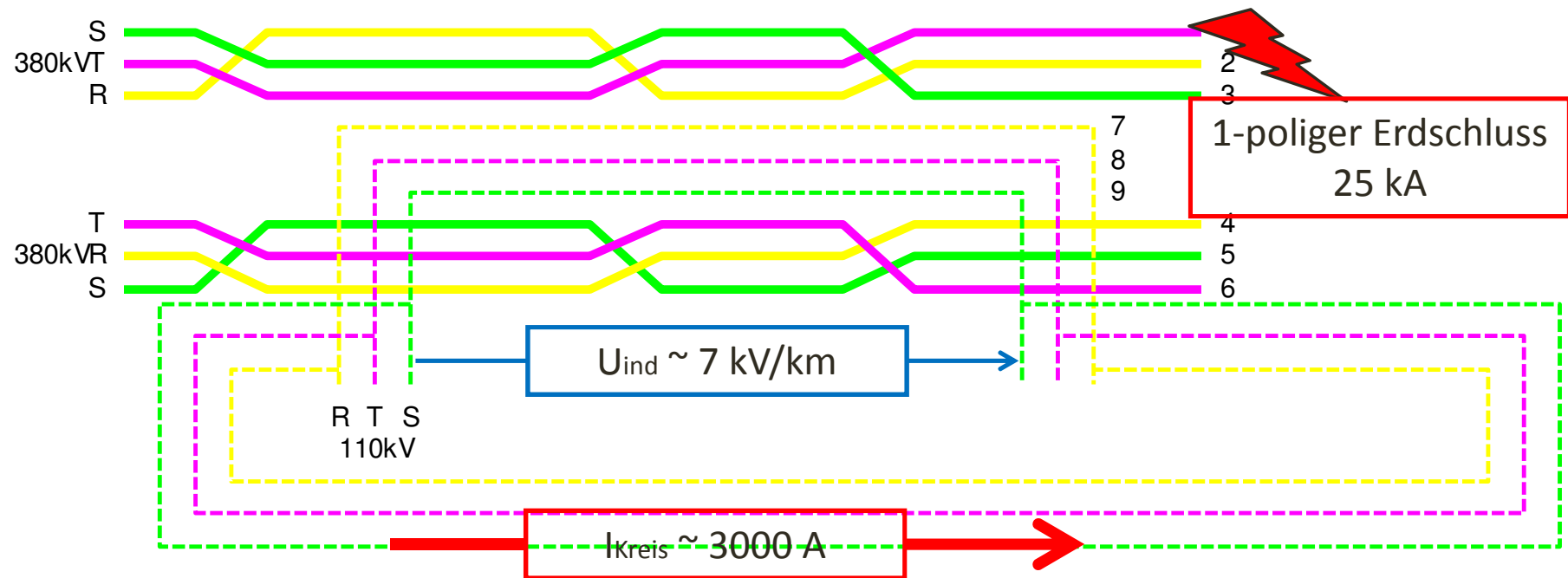
ENERGIE STEIERMARK
STROMNETZ

Ferroresonanzschwingungen an den Leitungsspannungswandlern



Induzierte Kreisströme im vermaschten Netz

- Ursache: Kurzschlüsse im beeinflussenden System



Induzierte Kreisströme im vermaschten Netz

- Berechnung der Kreisströme

$$\underline{U}_{110\text{Längs}} = \underline{Z}_{21} \cdot \underline{I}_{380} \approx 7 \frac{\text{kV}}{\text{km}}$$

$$\underline{I}_{110\text{Kreis}} = \underline{Z}_{\text{Kreis}}^{(-1)} \cdot \underline{U}_{110\text{Längs}} = \underline{Z}_{\text{Kreis}}^{(-1)} \cdot \underline{Z}_{21} \cdot \underline{I}_{380}$$

- I_{Kreis} nimmt linear mit steigender Länge (Impedanz) des parallel geführten Systems ab.
- Auswirkungen: Da der Kreisstrom ein Nullsystem darstellt, und moderne Distanzschutzgeräte das Mitsystem auswerten, kommt es zu keinen Fehlanregungen.
- Maßnahmen: keine nötig, keine möglich (Verdrillung wirkt nicht)

Induzierte Erdschleifenströme

- Beidseitig geerdete Mitführung → Erdschleifenströme
 - Problem: Erdungstrenner muss hohe induktive Ströme schalten
 - Berechnung:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{380} \\ \underline{U}_{110} \end{bmatrix} = \underline{Z} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{380} \\ \underline{I}_{110} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Hybridisierung}} \begin{bmatrix} \underline{U}_{380} \\ \underline{I}_{110} \end{bmatrix} = \underline{H} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{380} \\ \underline{U}_{110} \end{bmatrix}$$

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{11} - \underline{Z}_{12} \cdot \underline{Z}_{22}^{(-1)} \cdot \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{12} \cdot \underline{Z}_{22}^{(-1)} \\ -\underline{Z}_{22}^{(-1)} \cdot \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{22}^{(-1)} \end{bmatrix} \xrightarrow{\underline{U}_{110} = 0} \underline{I}_{110} = \left[-\underline{Z}_{22}^{(-1)} \cdot \underline{Z}_{21} \right] \cdot \underline{I}_{380}$$

- $I_{110} \sim 225 \text{ A}$; $U_{\text{ind}} \sim 72 \text{ V/km}$
- Lösung: Verdrillungsmaste im beeinflussenden System

Induzierte Erdschleifenströme

- Öffnen des 110-kV-Erdungstrenners

