

# Entstehung von Kippschwingungen, Auswirkungen und Maßnahmen

**OMICRON Diagnoseforum 23.-24. März 2021**

Walter Schossig

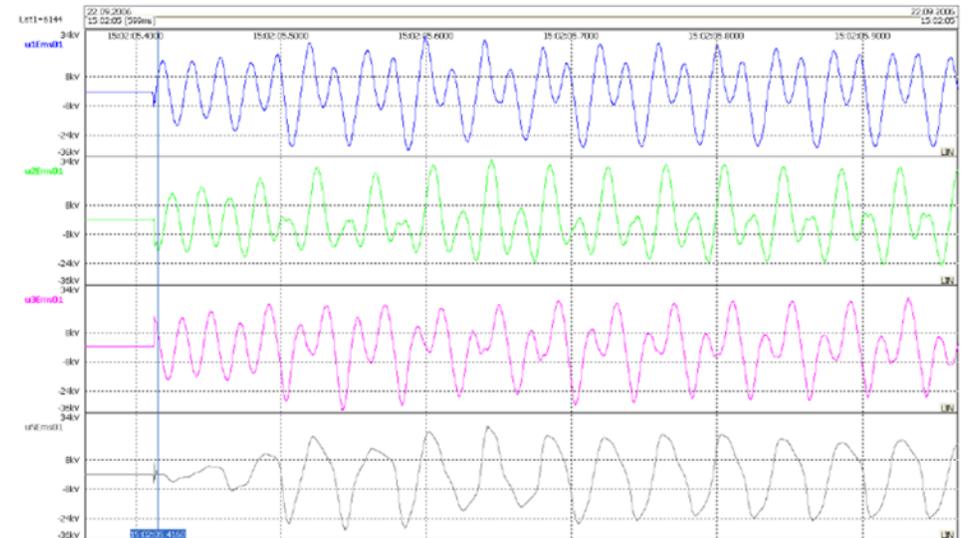
VDE Thüringen

[info@walter-schossig.de](mailto:info@walter-schossig.de)



# Gliederung

- Begriffe
- Phänomen Kippschwingungen
- Anhand aufgetretener Störfälle
  - ✓ Ursachen und Zusammenhänge
  - ✓ Erkennungsmerkmale
  - ✓ Maßnahmen
- Richtlinien und Empfehlungen
- Zusammenfassung





Login

Hinweise



**DIE KRAFT DER NORMUNG**

DKE DIALOG KOMPETENZ ENGAGEMENT



DKE-Startseite

DKE-Startseite > Online-Service > DKE-IEV

DKE-IEV Deutsche Online-Ausgabe des IEV

ferroresonanz

Suche in Benennungen (einschließlich IEV-Nummer)

Suche in Benennungen und Definitionen (einschließlich IEV-Nummer)

Suche

**Gliederung DKE-IEV**

19939 Einträge

**Kurzbeschreibung DKE-IEV**

Bedienung - Historie - Technik

**Referenz - Zuordnung**

IEV-Teile zu nationalen Normen

**604-01-14 Ferroresonanz, f**

Resonanz zwischen der Kapazität eines Betriebsmittels und der Induktivität des sättigbaren magnetischen Kreises eines benachbarten Betriebsmittels

**ferro-resonance**

A resonance of the capacitance of an apparatus with the inductance of the saturable magnetic circuit of an adjacent apparatus.

**ferrorésonance**

Résonance entre la capacitance d'un appareil et l'inductance du circuit magnétique saturable d'un appareil voisin.

Kippschwingungen  
auch  
Ferroresonanz  
genannt



J. F. J. BETHENOD

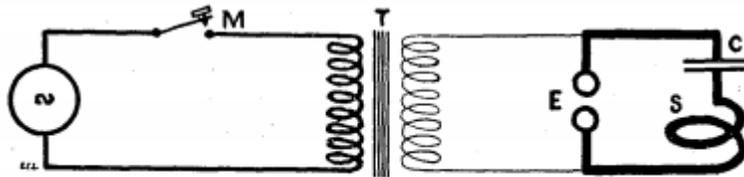


FIG. 6. — Emploi d'un alternateur à résonance.

A, alternateur ; — E, éclateur ; — M, manipulateur ; — T, transformateur ; — C, condensateur ; — S, self-induction du circuit de décharge.

1907 Bethenod, J. (F) berichtet über Kippschwingungen

[618]

BULLETIN MENSUEL  
DE  
l'Association des Anciens Elèves  
DE  
L'ÉCOLE CENTRALE  
LYONNAISE



SOMMAIRE

Quelques progrès récents de la Télégraphie sans fil en France. — Conférence de..... J.F.J. BETHENOD.  
Chronique de l'Association. — Réception de la promotion de 1911.  
Offres et demandes de situations.

PRIX D'UN NUMÉRO : 0.75 CENT

Secrétariat et lieu des Réunions de l'Association :

24, RUE CONFORT, LYON

Téléphone : 48-05

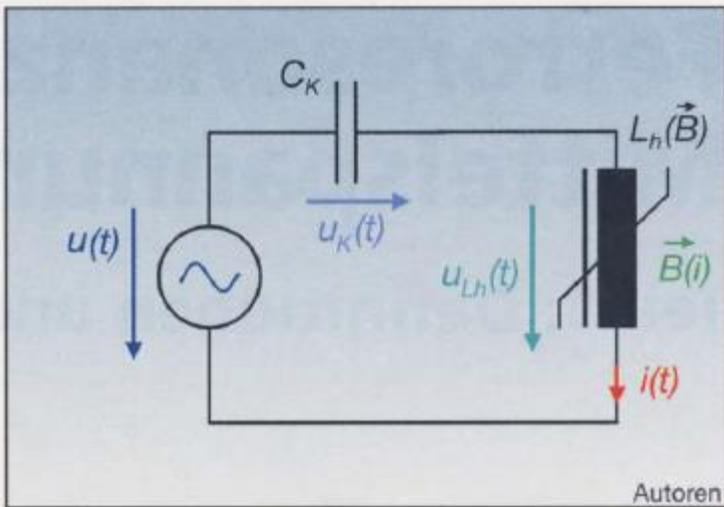


Bild 2 Ersatzschaltbild des einfachstmöglichen Ferroresonanzkreises

- $u(t)$  Wechselspannungsquelle
- $u_K(t)$  Spannung an der Kopplungskapazität
- $u_{Lh}(t)$  Spannung am Spannungswandler (VT)
- $i(t)$  Kreisstrom
- $C_K$  Kopplungskapazität
- $L_h(\vec{B})$  Nicht lineare Hauptinduktivität des Spannungswandlers

---

*R. Bräunlich, H. Däumling,  
M. Hofstetter, U. Prucker, J. Schmid,  
H. W. Schlierf, R. Minkner*

---

2006 – 2009 in 4 Teilen  
Bulletin SEV/AES

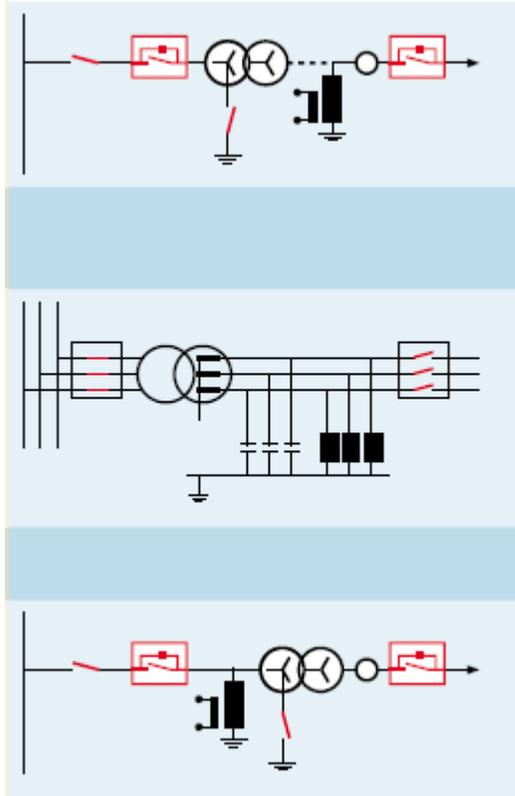
[2913]

## Die Definition der Ferroresonanz

Als Ferroresonanz werden unerwünschte nicht lineare Schwingungen verstanden, welche in Schaltanlagen zustande kommen können, wo induktive Komponenten mit ferromagnetischem Kern zusammen mit Kapazitäten und einer Wechselspannungsquelle ein schwingfähiges System bilden. Über Ferroresonanzvorgänge in Hochspannungsnetzen existierten bereits in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts zahlreiche Berichte und Publikationen. Eine klassische Darstellung der Vorgänge stammt von R. Rüdenberg [6]. Eine moderne didaktisch aufbereitete Einführung in Ferroresonanzprobleme findet man bei K. Heuck und K.-D. Dettmann [7]. Viel zitierte grundlegende Untersuchungen zur Vielfalt der Ferroresonanzschwingungen wurden von Bergmann [8,9] beschrieben. Ein Review-Artikel über das Problem wurde an der Cigré-Konferenz 1975 präsentiert [10].

# Auftreten von Ferroresonanz

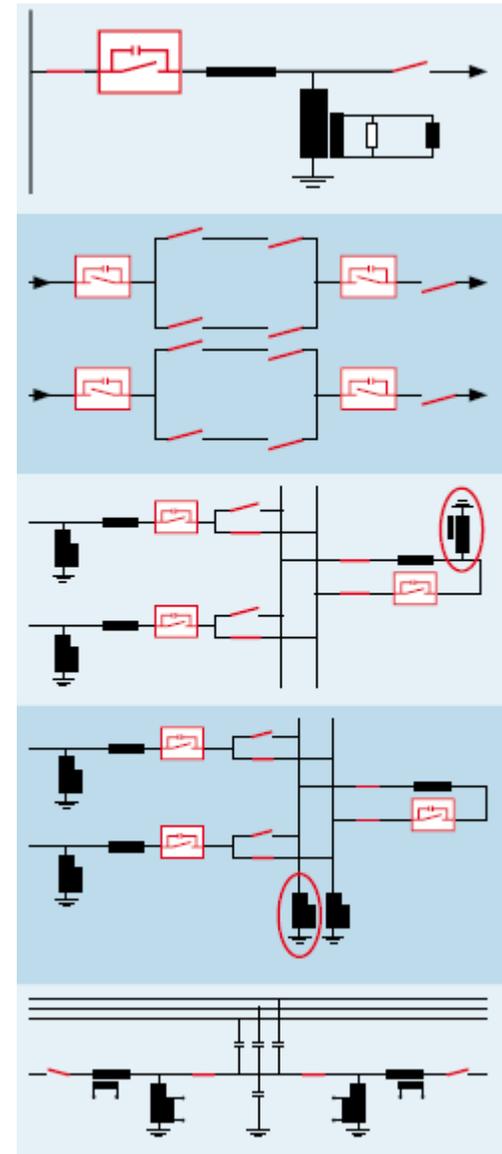
## 3-phasige Ferroresonanz



- OS-seitige Einschaltung 110-kV-Trafo und ausgeschalteten MS-Leistungsschalter
- Sonderfall Zuschaltung Trafo von US-Seite

- OSPE-Netze oder Inselnetze
- In Zusammenhang von Erdschlüssen

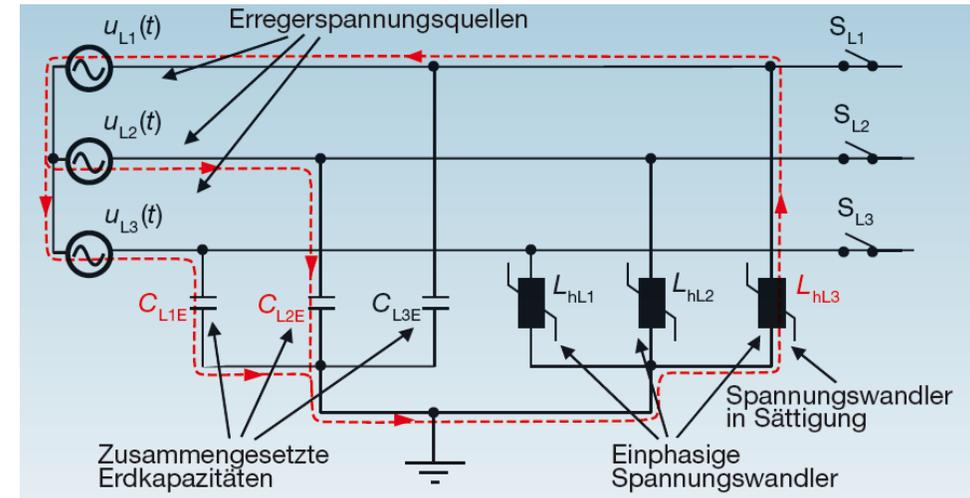
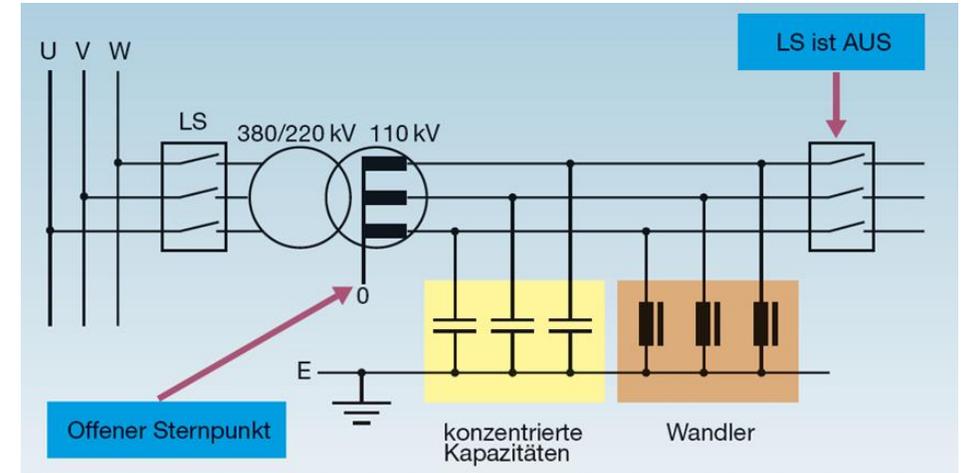
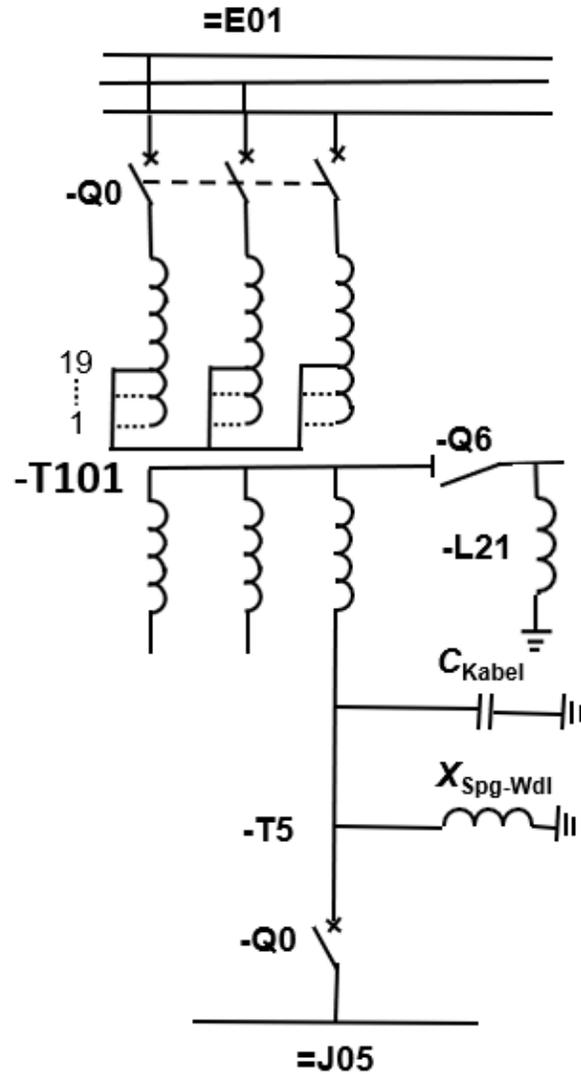
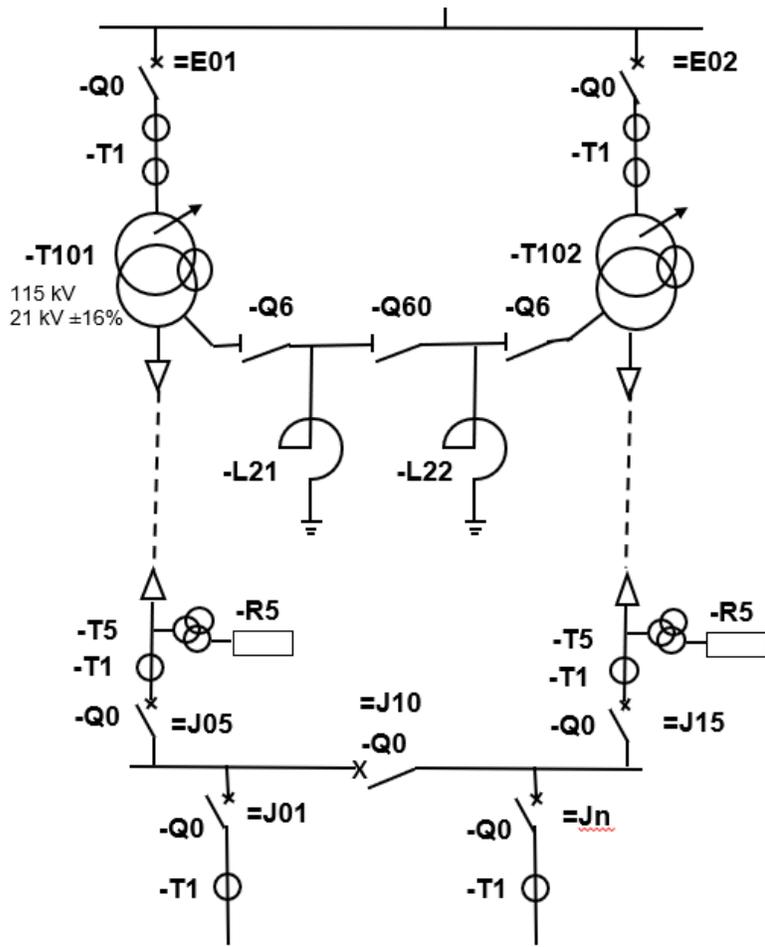
## 1-phasige Ferroresonanz



- Leistungsschalteraus-schaltung bei geöffneten Trenner
- mehrere Leistungs-schalter mit Steuer-C
- Leistungsschalter mit Steuer-C bei Netzen mit SSPE oder
- Spannungswandler mit Trenner unter Spg. setzen
- Leistungsschalterauslös-ung bei großen Steuer-C
- Parallelführung HÖS-Ltg (SSPE) und 110-kV-Ltg (RESPE)

[2913]

# Auftreten von 3-phasigen Kippschwingungen beim Einschalten von Transformatoren



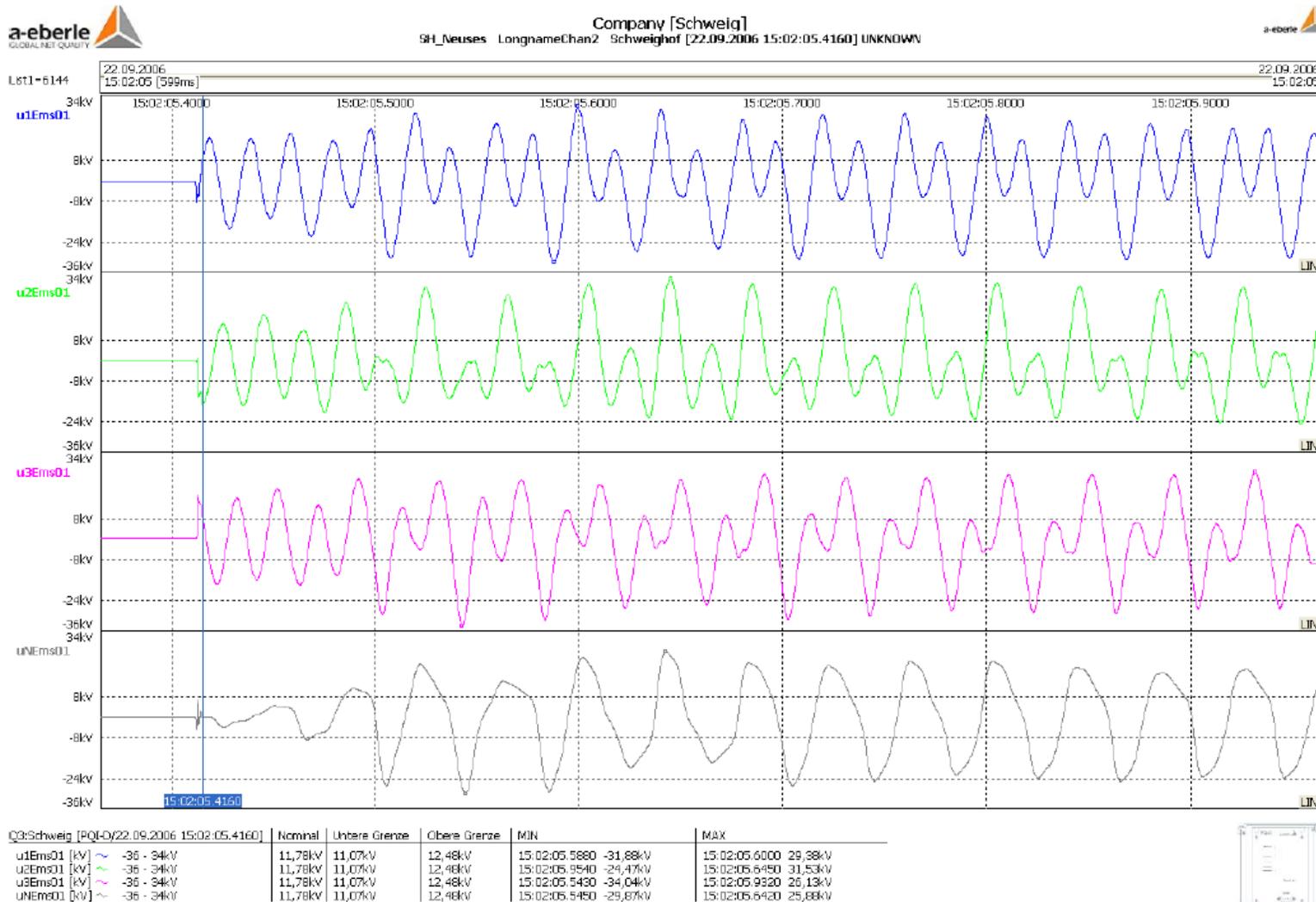
## Maßnahmen:

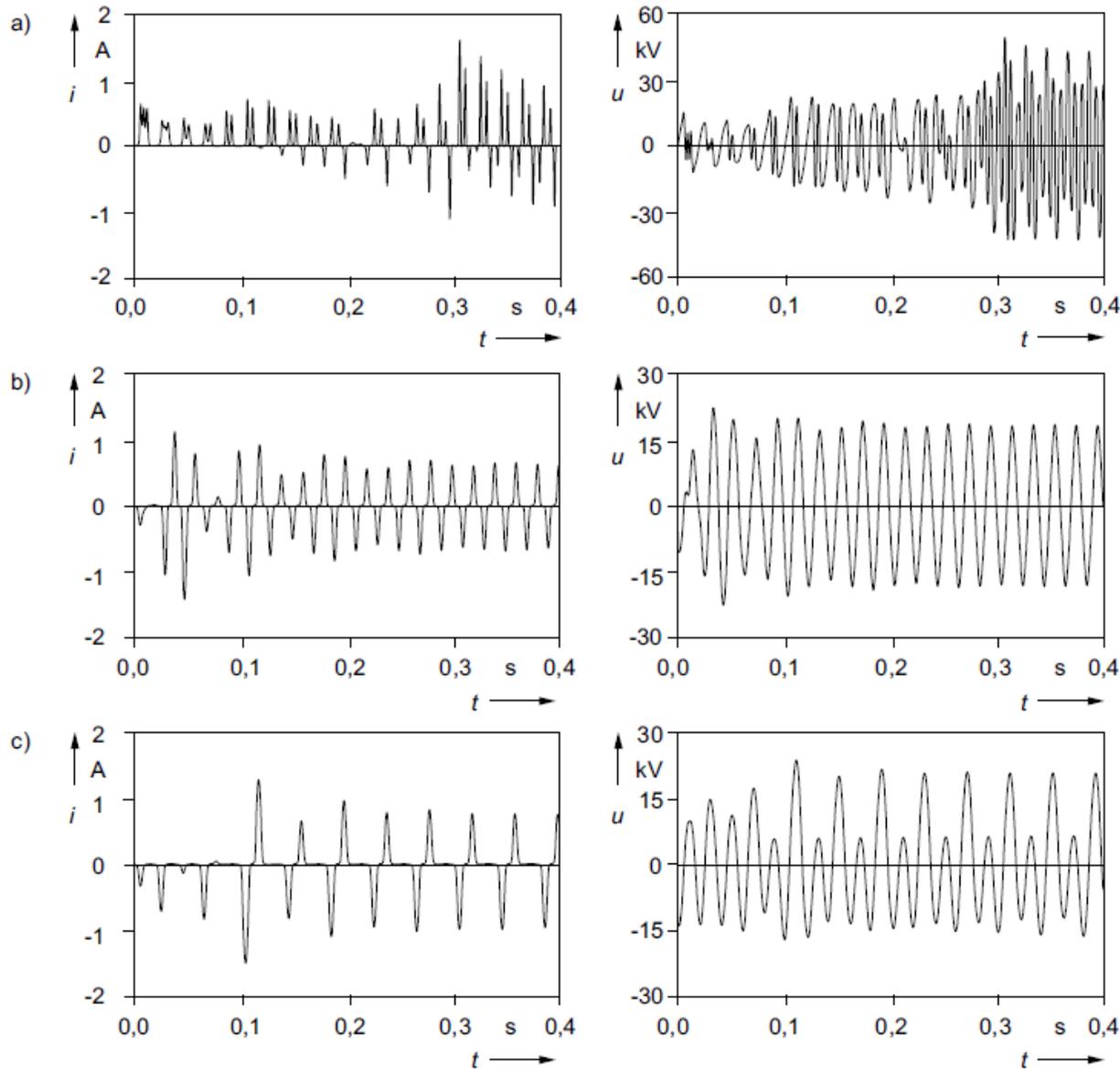
- Einschalten von Transformatoren mit Stufe 1...3 und stets **mit** angeschlossener Petersenspule
- Einbau von Kippschwingungsdämpfern

### Beispiel 3 – Kippschwingung

## Kippschwingungen nach Einschaltung

An einem Messwandler im Mittel- oder Hochspannungsnetz kann es zu Kippschwingungen (Resonanzen) kommen. Die Abbildung zeigt die Spannungen  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  und  $U_{NE}$  an einem Spannungswandler nach dem Zuschalten.





OS-seitige Einschaltung 110-kV-Trafo und ausgeschalteten 10-kV-Leistungsschalter oder Inselnetz (insbesondere bei OSPE)

Therm. zulässige primärseitige Grenzstrom beim Spannungswandler liegt bei ca. 100 mA

Folge: thermische Zerstörung des Spannungswandlers

Ferroresonanzarten beim Einschalten eines unbelasteten 10-kV-Netzes mit induktiven Spannungswandlern und isoliertem Transformatorsternpunkt (dargestellt sind jeweils Strom und Spannung eines Wandlers)

- a) Ausgeprägte zweite Harmonische (kleine Erdkapazität)
- b) Überwiegend netzfrequenter Verlauf (mittlere Erdkapazität)
- c) Ausgeprägte zweite Subharmonische (größere Erdkapazität)

[3238]

- Nach der Erdschlußlöschung kehrt die Spannung am vorher erdschlußbehafteten Leiter bereits nach 10 ms auf ihren doppelten 50-Hz-Amplitudenwert wieder, wodurch die Gefahr eines erneuten Erdschlusses (Wiederzündung) mit Überspannungsfaktoren  $k_{LE} < 3,5$  besteht. Bei besonderen Netzkonstellationen kann das Netz nach der Erdschlußabschaltung in einen Resonanzzustand, der mit *subharmonischen Schwingungen* und hohen Überspannungen verbunden ist, geraten. Auf dieses, auch mit *Ferroresonanz* oder *Kippschwingungen* bezeichnete Phänomen, soll hier nicht näher eingegangen werden, es sei aber betont, daß es vorwiegend nur in Netzen mit freiem Sternpunkt auftreten kann. 4.1.2 Erdschlussabschaltung ohne Sättigung Hauptfeldinduktivität des Spannungswandlers

## Kippschwingungsanregungen nach Erlöschen eines Erdschlusses

Prof. Oswald, Uni Hannover

[3884]

In folgenden Abbildungen ist das Abklingen der Verlagerungsspannung nach der Erdschlussabschaltung dargestellt. Erkennbar ist, das abhängig von der Dämpfung des Netzes der Abklingvorgang unterschiedlich schnell verläuft.

## Abschaltung eines Erdschlusses

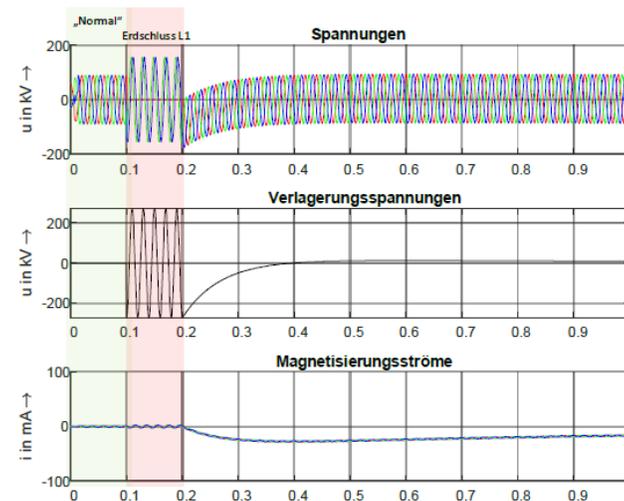


Bild 4-5: Dämpfung  $d = 5\%$

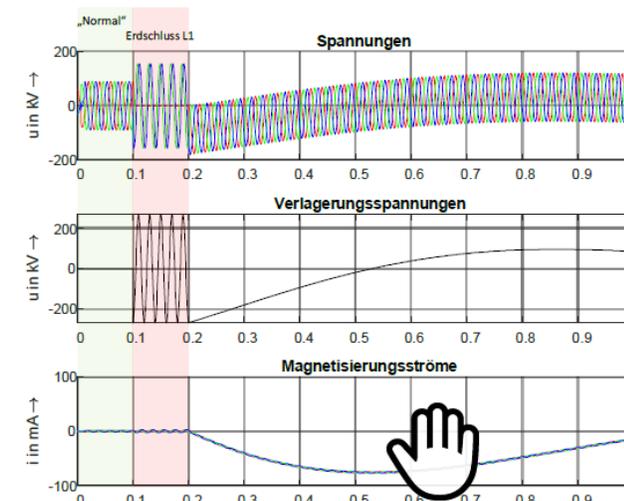


Bild 4-6: Dämpfung  $d = 1\%$

[4755]Meyer

# Auswirkungen der Kippschwingungen bei Spannungswandlern

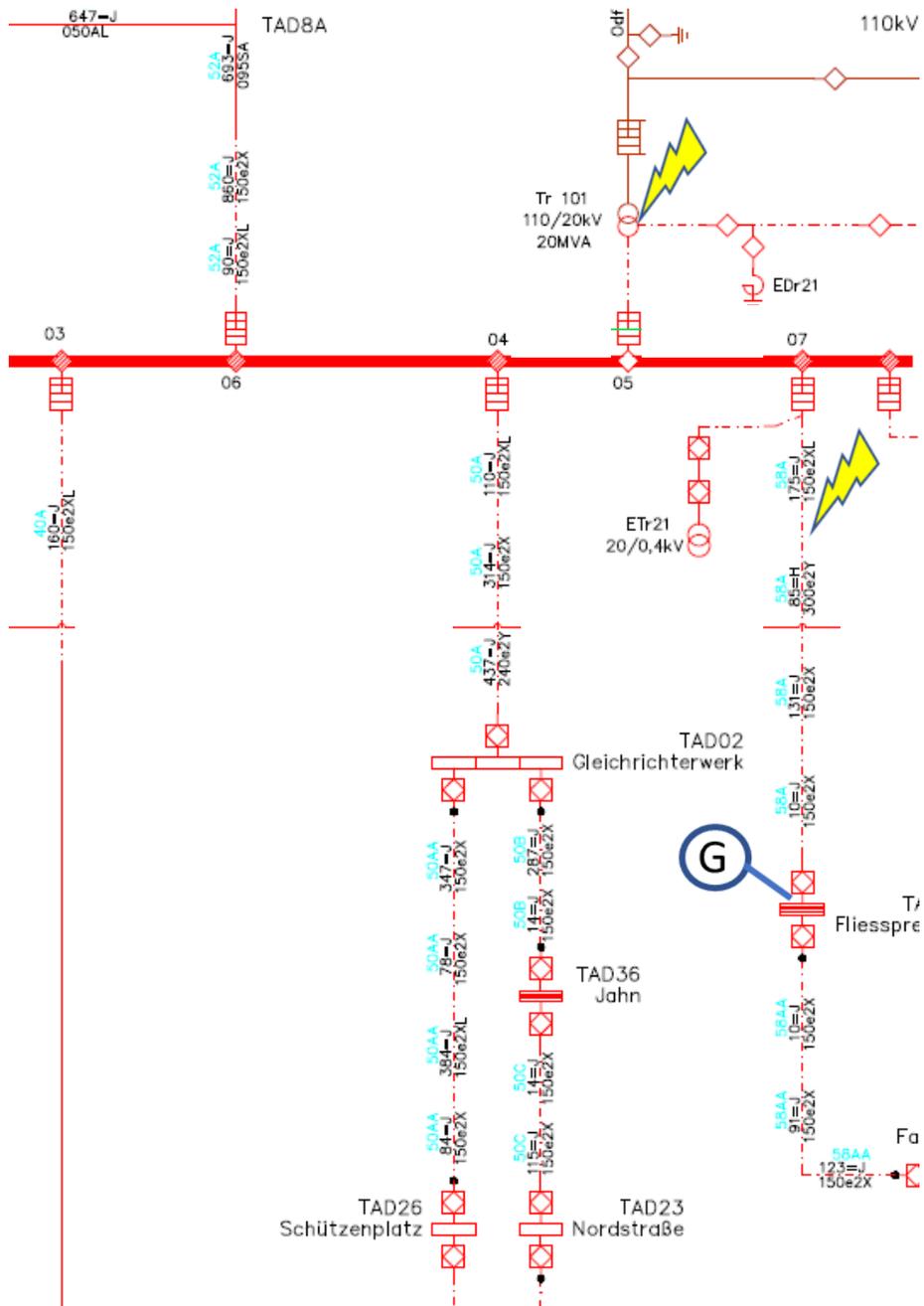


in einer WKA

4 Das Ergebnis von Ferroresonanz in einem ungeschützten Spannungswandler



[2969] Wojciech



## Entstehung von Inselnetzen

Verlust der Sternpunktterdung in einem 20-kV-RESPE-Netz bei

- Trafoausfall,
- Auslösungen im Netz
- Notversorgung
- Netzwiederaufbau

## Resilienz digitalisierter Energiesysteme

Blackout-Risiken verstehen, Stromversorgung sicher gestalten

Christoph Mayer | Gert Brunekreeft (Hrsg.)

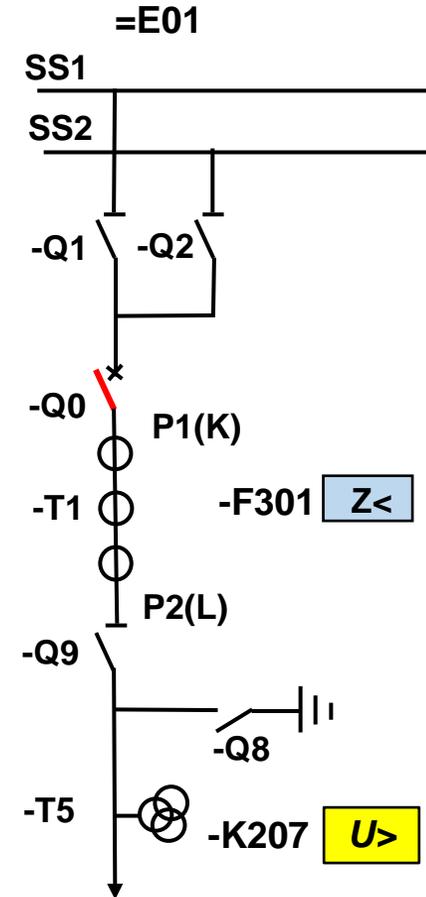
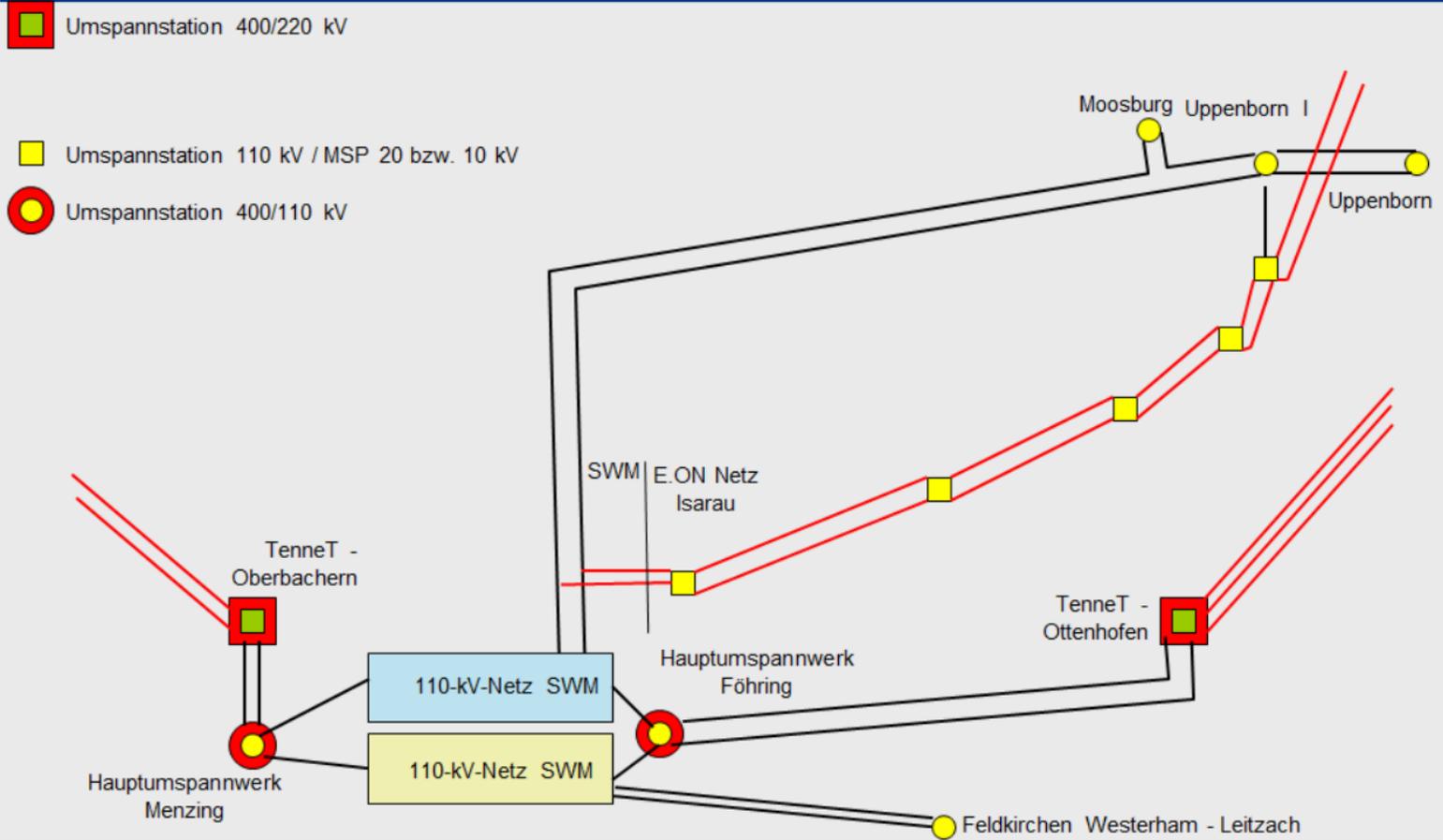
Energiesysteme der Zukunft ist ein Projekt von:  
Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina | www.leopoldina.org  
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften | www.acatech.de  
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften | www.akademienunion.de

192 S.

Die Wirkung größerer Blackouts kann durch das Abfangen einzelner betriebsfähiger Inseln reduziert werden. Der Wiederaufbau kann durch die Beiträge dezentraler Bereiche erleichtert werden. Beides verkürzt die Schwere und die Dauer eines großflächigen Versorgungsausfalls und kann damit die Resilienz des Gesamtsystems erhöhen. Allerdings erfordert diese Maßnahme einen enormen Abstimmungs- und Kommunikationsbedarf. Die Realisierung ist technisch sehr aufwendig. Zudem muss bei Änderungen der Verbraucherstruktur ständig nachprojektiert werden, um funktionsfähig zu bleiben. Auch mit Akzeptanzproblemen ist zu rechnen; für die zu erarbeitenden Kriterien für den Inselbetrieb wird ein großer gesellschaftlicher Konsens benötigt (siehe auch Handlungsoption 12). Als weitere Hürden für die Umsetzung werden neben der Schaffung eines konsistenten Regulierungsrahmens auch wirtschaftliche Anreize gesehen. Denn es muss erreicht werden, dass die Inselnetzfähigkeit vorhanden ist, auch wenn sie nur selten gebraucht wird.

[file:///D:/Wordtexte/Richtlinien/D/Analyse\\_Digitalisierung.pdf](file:///D:/Wordtexte/Richtlinien/D/Analyse_Digitalisierung.pdf)

## Netztopologie München Moosburg Leitzach



Spannungswandlerbrand  
im UW Isarau an  
ausgeschaltetem Abgang

450.000 Kunden in München bis 1,5 h ohne Strom

<http://www.energie-fakten.de>



<http://www.abendzeitung-muenchen.de/gallery.blackout-in-muenchen-der-tag-des-stromausfalls-in-bildern-param~2~1~0~31~false.a946170e-2f98-4919-8290-3fa000499d9c.html>

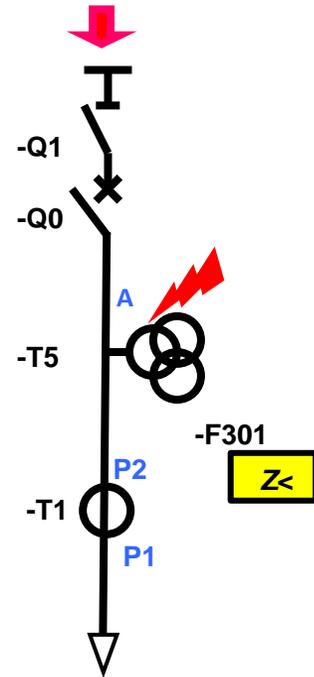
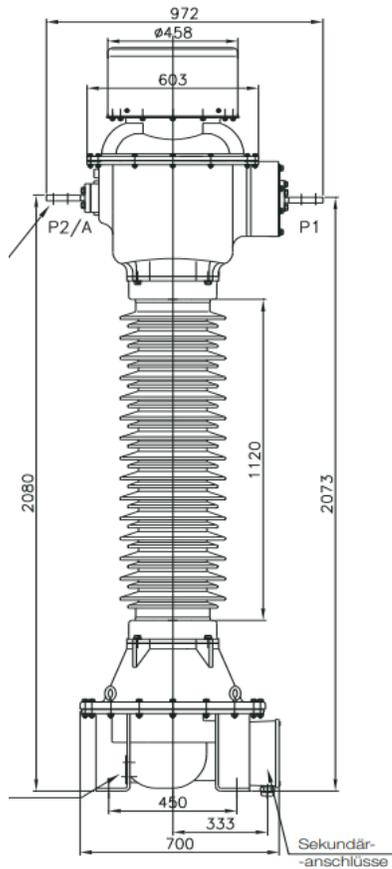
# UW Goldsteinstraße, Frf.-Niederrad

- Explosion eines 110-kV-Kombiwandlers infolge Kippschwingungen im Spannungswandler im UW Goldsteinstraße, Frf.-Niederrad, führt zur Zerstörung von zwei Trafos und einem Schaden von ca. 15 Mio €

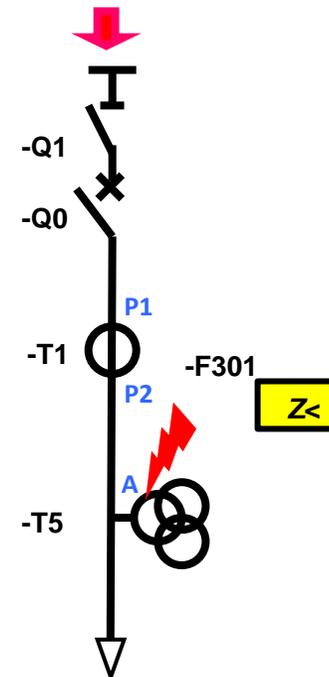


Mainova\_geschaeftsbericht2004\_Imageteil.pdf





falsch



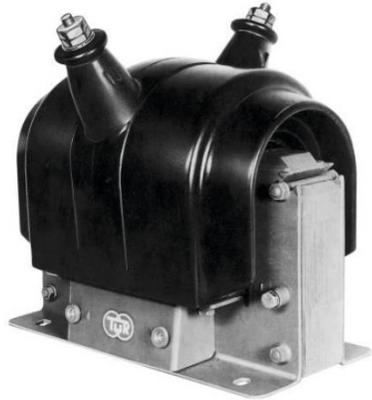
richtig



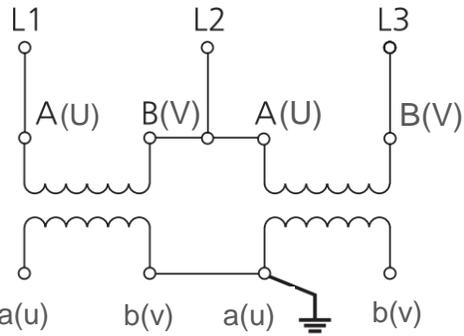
2004 Explosion eines 110-kV-Spannungswandlers führt infolge falschem Einbau zum SS-Fehler und einem Millionenschaden

# Spannungswandler

## zweipolig isoliert



Zweipolig isolierter Spannungswandler  
Innenraum 10 kV

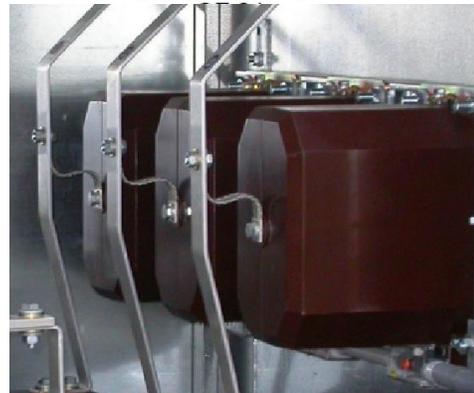


Schaltbildbeispiel V-Schaltung

## einpolig isoliert



Einpolig isolierter Spannungswandler  
Innenraum 24 kV



Spannungswandlersatz

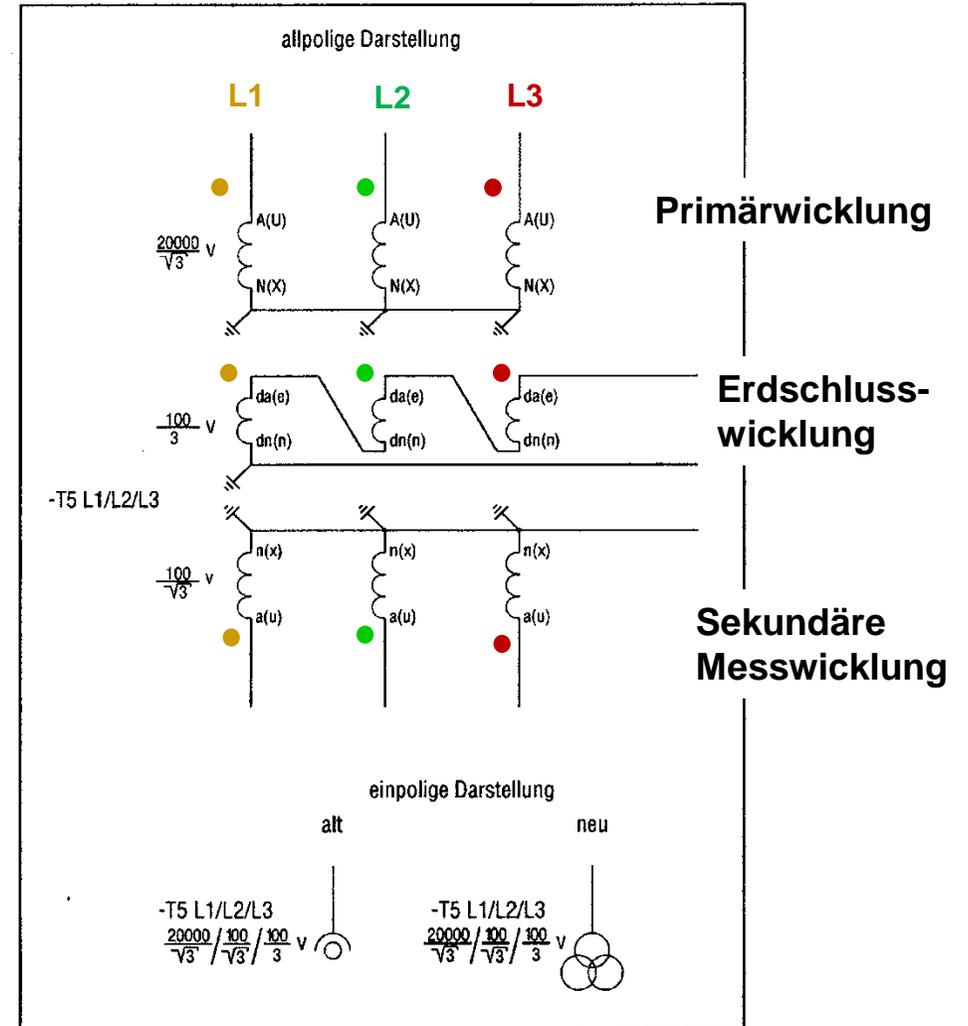


Bild 6-1 Schaltbild eines Spannungswandlersatzes

[Scho-Ns]

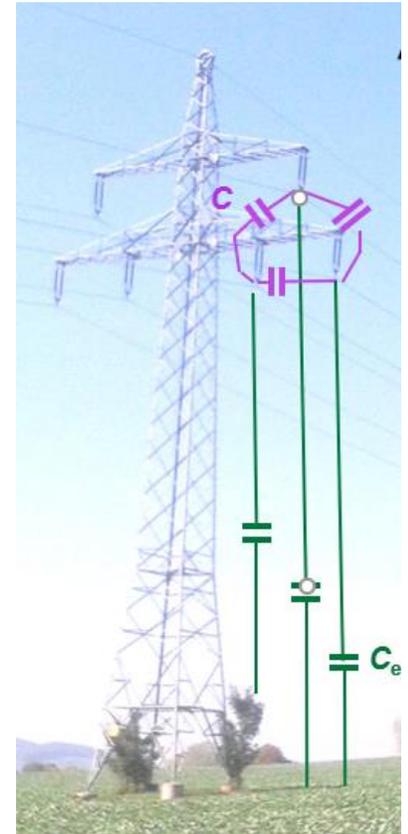
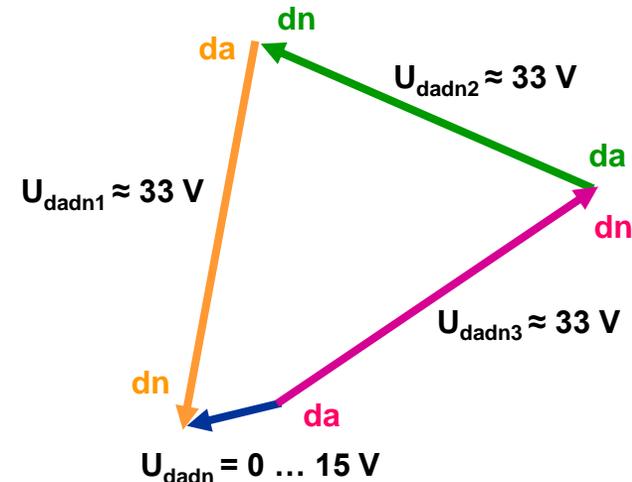
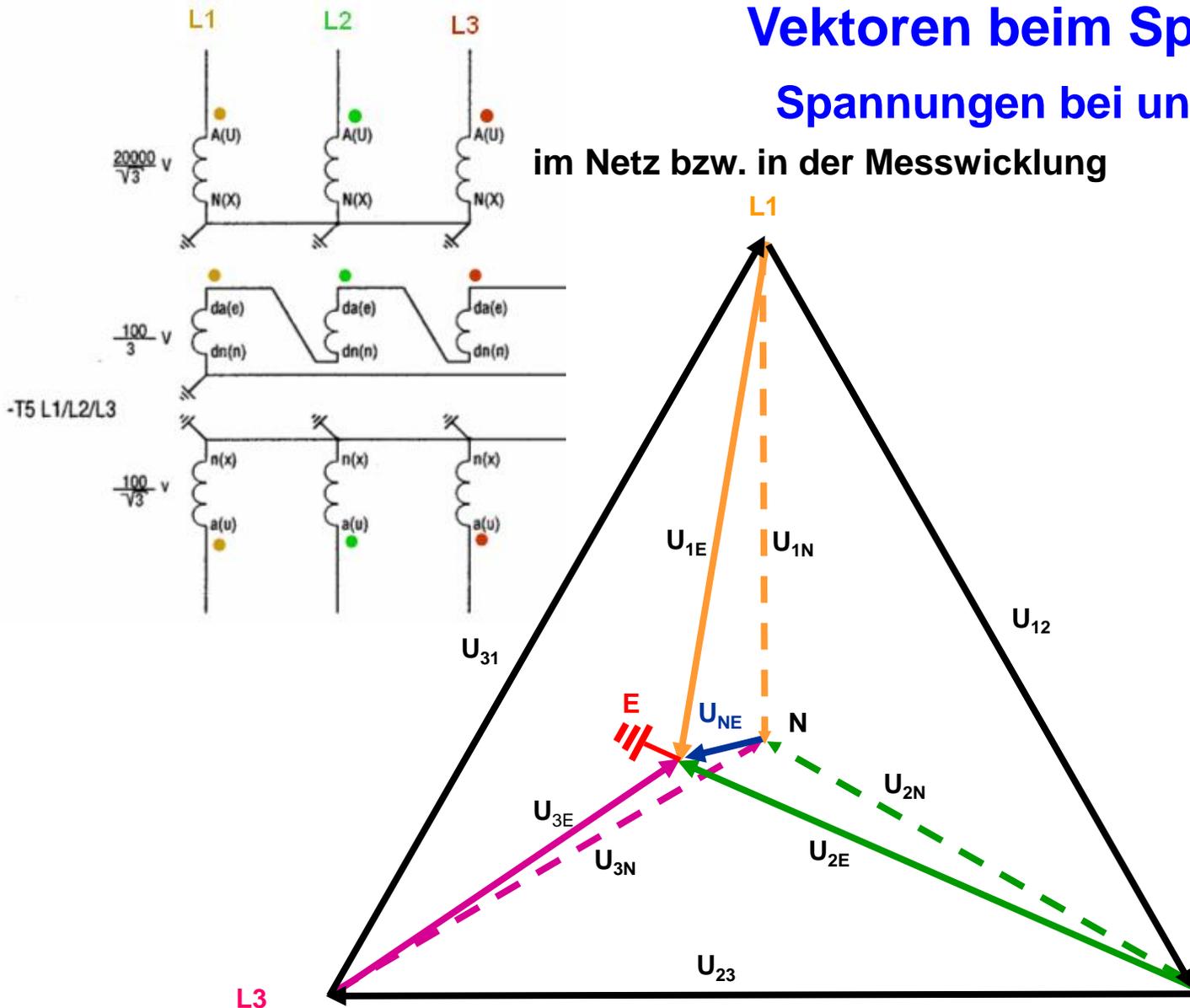
## Klemmenbezeichnungen nach IEC und in Klammern nach VDE

# Vektoren beim Spannungswandler

## Spannungen bei ungestörtem Betrieb

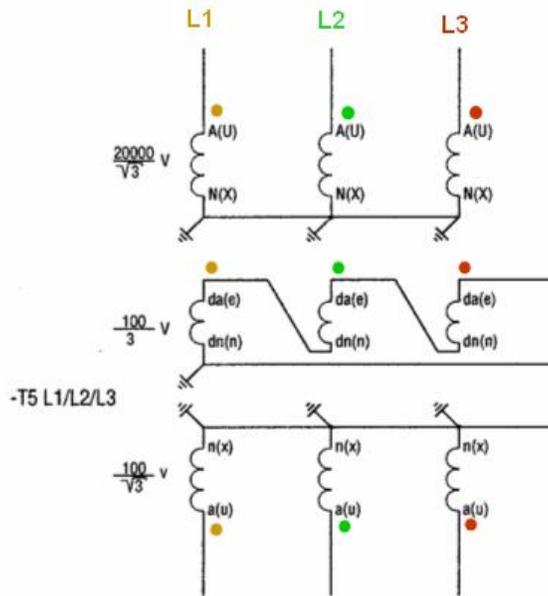
im Netz bzw. in der Messwicklung

in der im offenen Dreieck  
geschalteten da-dn-Erdschluss-  
wicklung



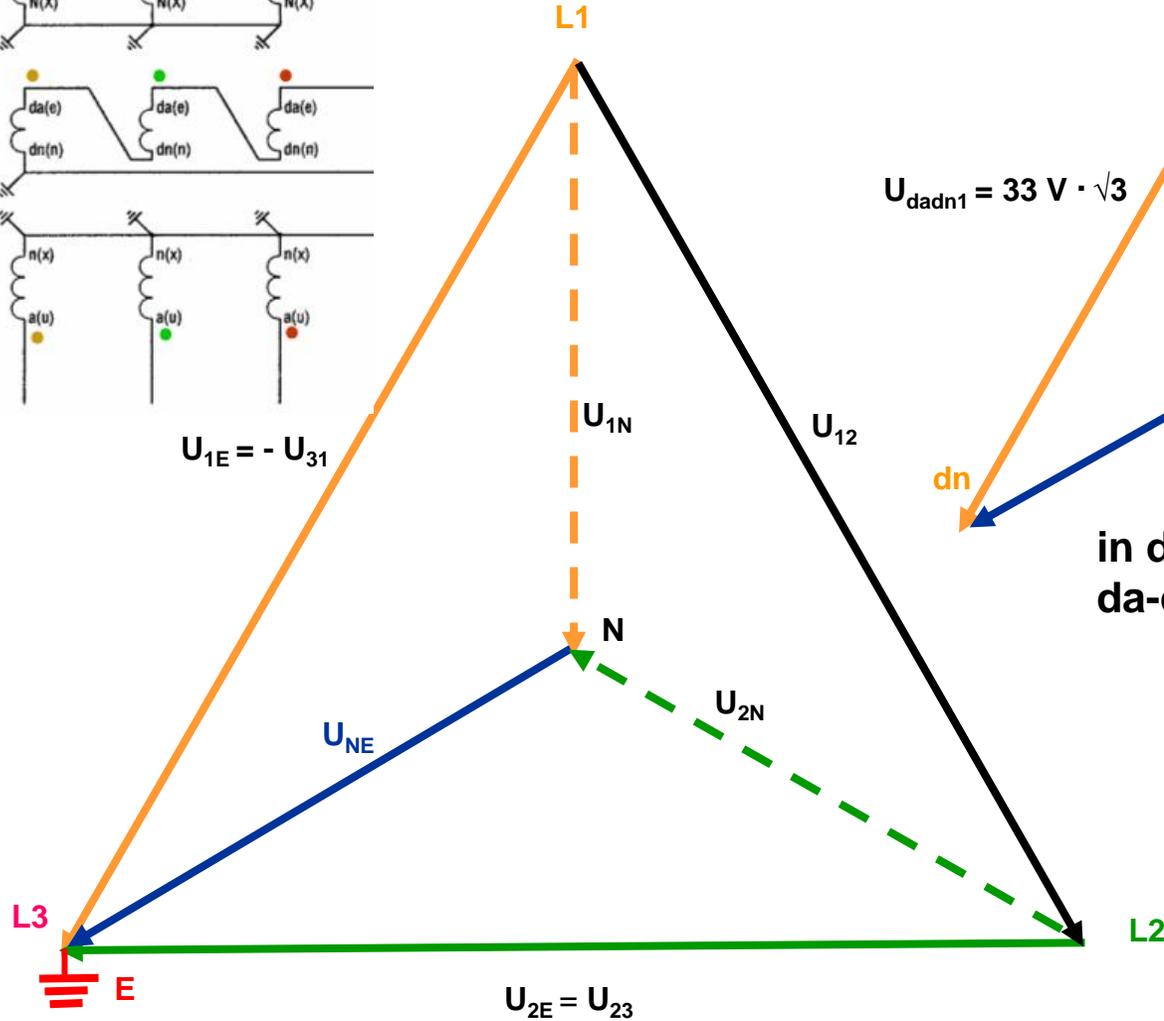
# Vektoren beim Spannungswandler

## Spannungen bei Erdschluss in L3



$$U_{1E} = -U_{31}$$

im Netz bzw. in der Messwicklung



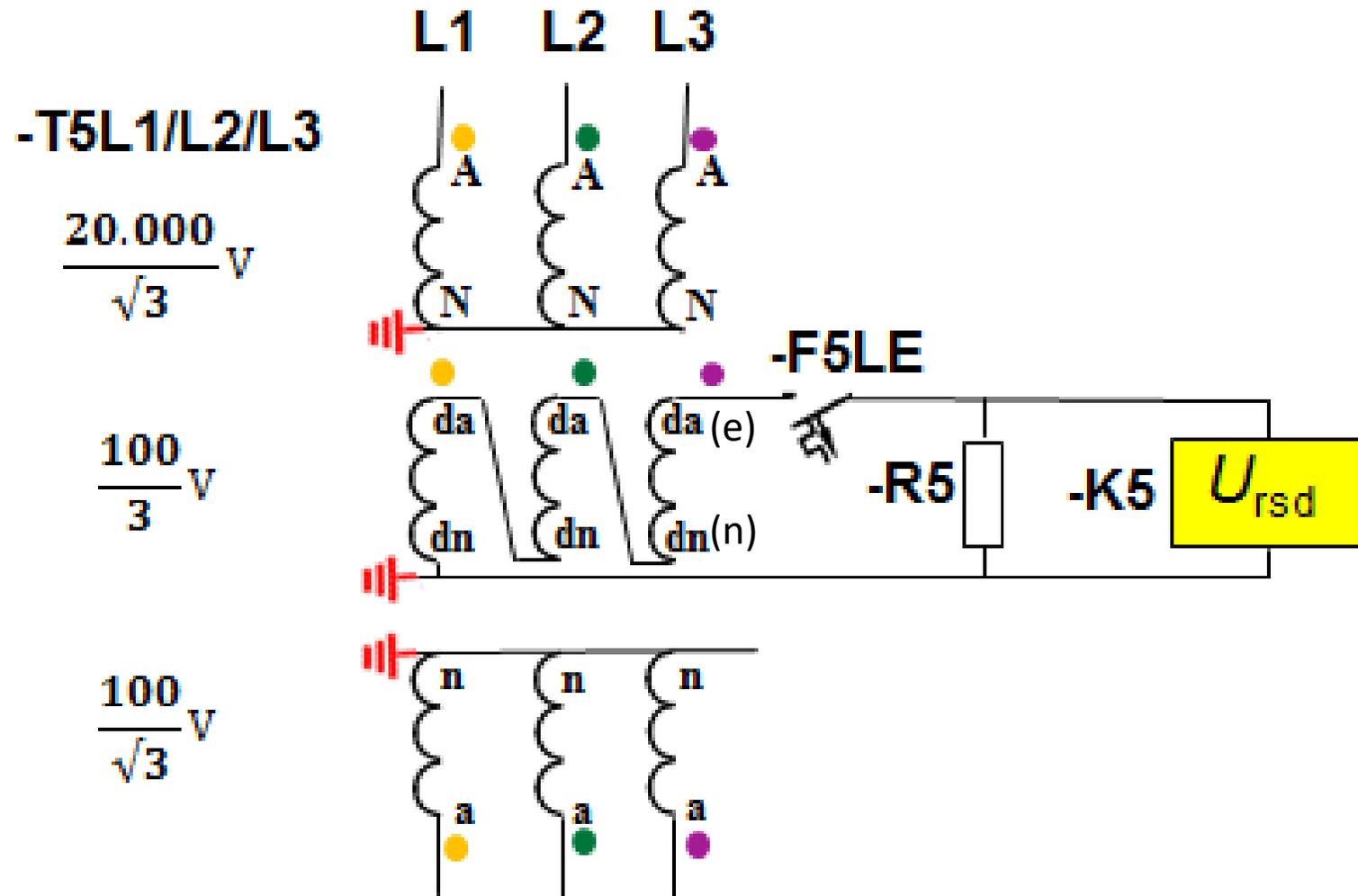
$$U_{dadn1} = 33 \text{ V} \cdot \sqrt{3}$$

$$U_{dadn2} = 33 \text{ V} \cdot \sqrt{3}$$

$$U_{dadn} = 100 \text{ V}$$

in der im offenen Dreieck geschalteten da-dn-Erdschlusswicklung

# Einbau von Kippschwingungsdämpfern



[Scho-Ns]

# Einbau von Kippschwingungsdämpfern

## bei fehlender e-n-Wicklung

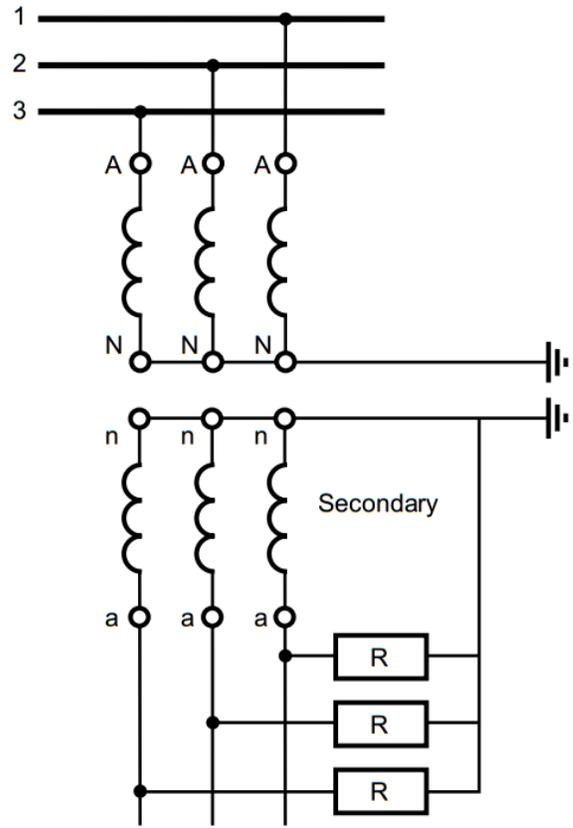


Fig. 11: protection device against the risk of ferroresonance for VTs with one secondary.

## Anschluss an e-n-Wicklung

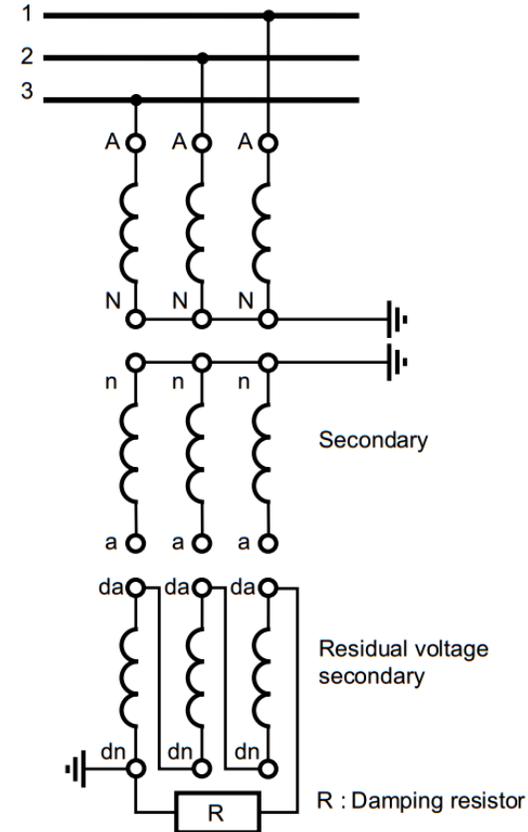


Fig. 12: protection device against the risk of ferroresonance for VTs with two secondaries.

Nachteil: ständige Belastung

Praxis

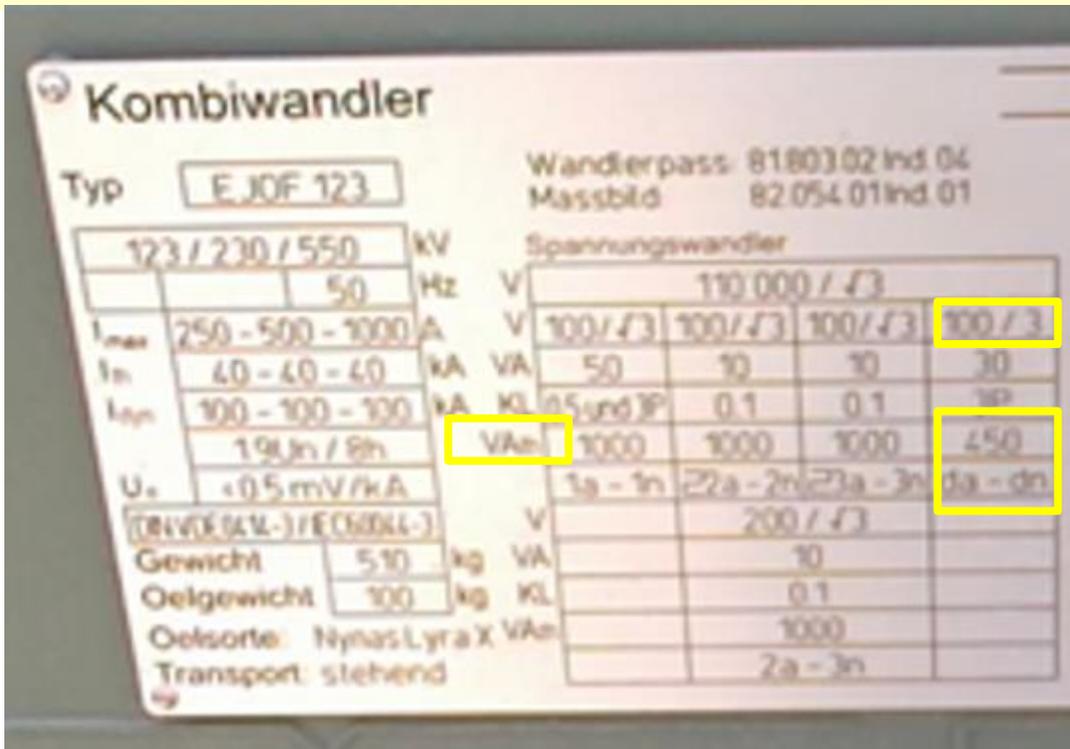
[3935]

Nach VDE 0414 muss ein Wandler 8 h  
 $1,9 U_r$  ( $1,1 \cdot \sqrt{3} U_n$ ) im Erdschlussfall vertragen.

$$R = \frac{1,1 \cdot 100V}{5,7A} = 19,2\Omega.$$

Bemessung des Kippschwingungsdämpfers:

- MS-Anlagen 22 bis  $25 \Omega \pm 10 \%$ , 6A, 600 W
- 110-kV-Anlagen bis min.  $5 \Omega$  möglich





**RITZ Messwandler Dresden GmbH**  
 Bergener Ring 65/67 01458 Ottendorf Ockrilla



RITZ		SPANNUNGSWANDLER		
GSZS12		02/ 30132933		
7.2/20/80 kV		6000 V		
V	VA	KI	VA*	a-b
100	120	1	400	
		480122A	E	50 Hz
DIN VDE 0414				

RITZ		SPANNUNGSWANDLER		
EGSES24D		10/ 30685059		
24/50/125 kV		20000/ $\sqrt{3}$		
V	VA	KI	V <sub>Ath</sub>	
100/ $\sqrt{3}$	15	0,2	400	a-n
100/3	30	3P	100	da-dn
		1,9*Un 8 h	403089	50 Hz
		20.25/79.04	DIN EN 60044-2	

Nennspannung:

**100 VA** 100/3 V ergibt: 3A 11.11 $\Omega$

Erdschlussfall:  $1,9 * U_n$

11.11 $\Omega$   $1,9 * 100V / 3$  ergibt: 5.7 A 361 VA

### 5.5.304 Thermische Bemessungsgrenzleistung für Wicklungen zur Erdschlusserfassung

Die thermische Bemessungsgrenzleistung der Wicklung zur Erdschlusserfassung muss in Voltampere angegeben werden; Normwerte sind

25 VA – 50 VA – 100 VA und deren dezimale Vielfache,

bezogen auf die sekundäre Bemessungsspannung und einen Leistungsfaktor von 1.

ANMERKUNG 301 Ist einer Wicklung zur Erdschlusserfassung, die im offenen Dreieck geschaltet ist, eine thermische Grenzleistung zugeordnet, sollte beachtet werden, dass diese Wicklungen nur unter Fehlerbedingungen belastet sind und deshalb für eine begrenzte Dauer. Abweichend von dem Begriff in 3.5.301 sollte die Bemessungsgrenzleistung einer Wicklung zur Erdschlusserfassung auf eine Dauer von 8 h bezogen werden.

In der DIN EN 60044-2  
(VDE 0414) von  
Dezember 2003 gab es  
diesen Hinweis zur  
Berechnung über den  
Nennlangzeitstrom.   
Dieser Hinweis fehlt jetzt  
in der Norm.

#### Hinweis zu 13.4.2:

Die Umrechnung des früheren Wertes des Nenn-Langzeitstromes bei 1,9facher primärer Nennspannung der Wicklung für Erdschlusserfassung in die thermische Bemessungs-Grenzleistung, die auf die sekundäre Bemessungsspannung bezogen wird, kann wie in folgendem Beispiel (Nenn-Langzeitstrom bei 1,9facher primärer Nennspannung = 6 A) vorgenommen werden.

Thermische Bemessungs-Grenzleistung bei 1,9facher Bemessungsspannung:

$$1,9 \times \frac{\frac{100}{3} \text{ V} \times 6 \text{ A}}{1,9^2} = 105 \text{ VA.}$$

Gewählt wird ein Spannungswandler mit einer thermischen Bemessungs-Grenzleistung von 100 VA.

### 6.2.4.2 Spannungswandler

Spannungswandler sind so auszuwählen, dass ihre Nennausgangsleistung und Genauigkeit für die angeschlossene Messeinrichtung einschließlich ihrer Verdrahtung ausreicht. Die Wirkungen von Ferroresonanzen müssen berücksichtigt werden.

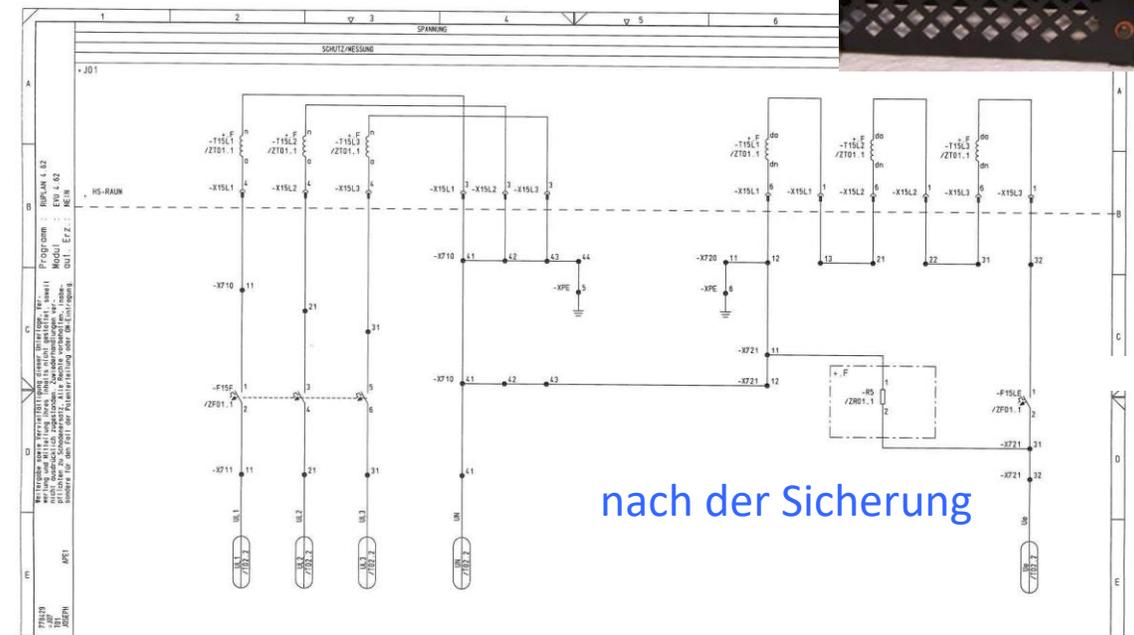
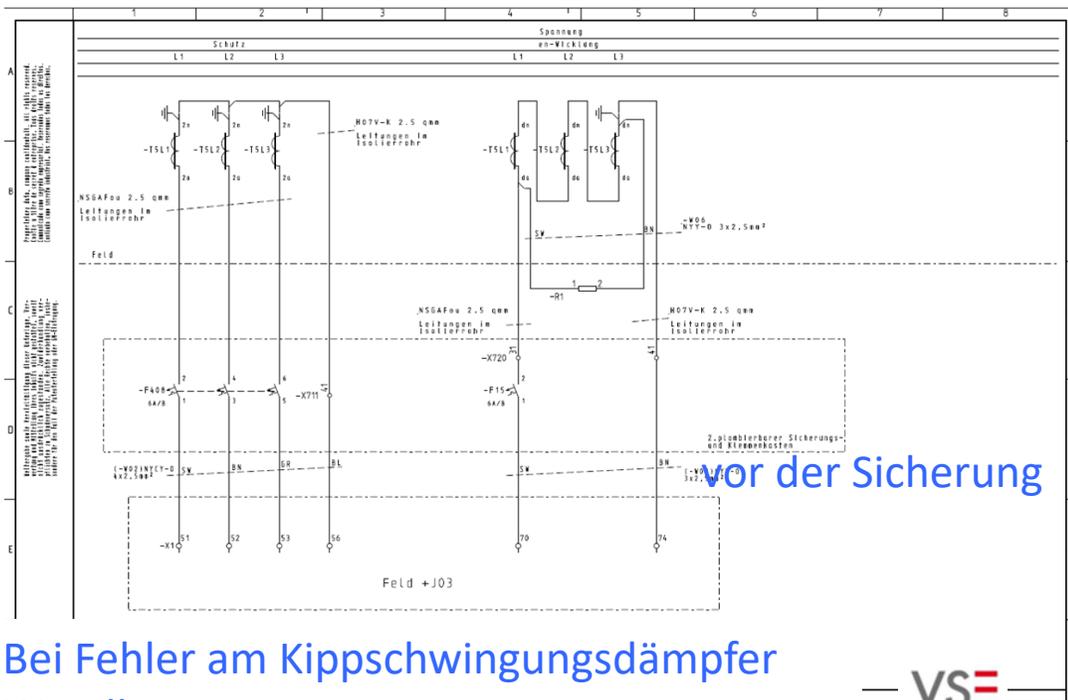
Die Sekundärseite von Spannungswandlern ist gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen zu schützen. Es wird empfohlen, diese Schutzeinrichtungen zu überwachen.

DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1)	<b>DIN</b>
<b>VDE</b>	

**Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Bestimmungen (IEC 61936-1:2010, modifiziert + Cor.:2011); Deutsche Fassung EN 61936-1:2010 + AC:2011**



## Einbau des Kippschwingungsdämpfers



Bei Fehler am Kippschwingungsdämpfer Wandlerzerstörung

**2.2 Induktive Spannungswandler (VDE/FNN 2.3.2)**  
Ergänzung beim Punkt Sicherheitsvorkehrungen:

- (1) Alle Sekundärwicklungen mit Ausnahme von offenen Dreieckswicklungen müssen mit Sicherung bzw. Schutzschalter versehen werden. Falls die offene Dreieckswicklung nur gegen Ferroresonanz beschaltet ist und an ihr keine weiteren Komponenten, wie zum Beispiel Schutz- oder Anzeigegeräte angeschlossen sind, so kann auf eine Absicherung verzichtet werden. [E2]



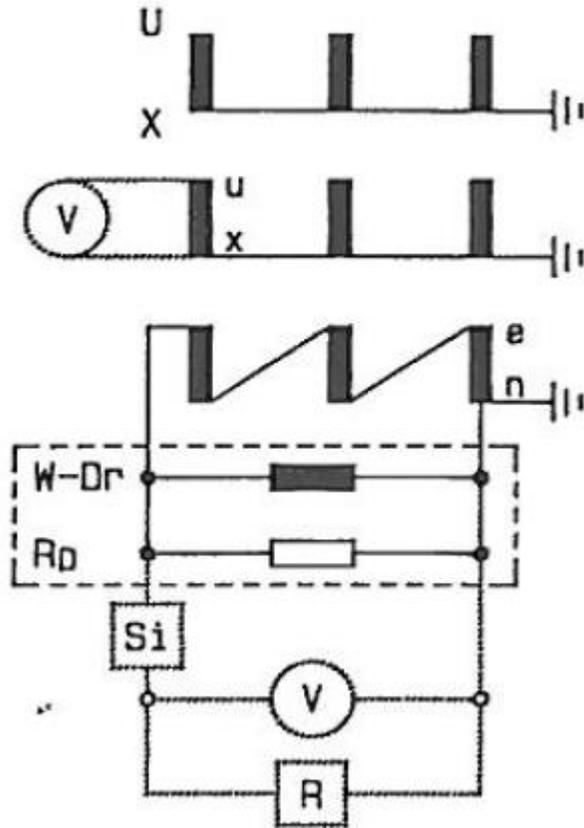
Bei Ansprechen der Sicherung keine Dämpfung, aber Meldung Si und Dämpfung durch weitere Wandler in Nachbarzellen bzw. Netz

51 - J07	7 T01
5 - S074	Blatt 15 48 Bl.



# Dämpfungseinrichtung gegen Kippschwingungen

## Schaltbild



Wirkleistungs-drossel  
ZKSW 300

## Technische Daten

Typ	bei Erdschluß: 110 V, 50 Hz			bei Kippschwingung: 90 V <sup>1)</sup> , 25 Hz		
	Strom A	Wirkleistung W, ca.		Strom A	Wirkleistung W, ca.	
		Drossel	Widerstand		Drossel	Widerstand
DE 4	4	7,5	135	≈ 40	1400	90
DE 6	6	9,5	135	≈ 80	2800	90
DE 9	9	12,5	135	≈ 160	4200	90

<sup>1)</sup> Typische Kippschwingungsspannung



Dämpfungseinrichtung  
DE 6

Einbau vor der  
Sicherung erforderlich

## Einsatz von kippschwingungsarmen Spannungswandlern

Hierbei handelt es sich um speziell berechnete Wandler, die insbesondere wegen ihrer besonderen Magnetisierungskennlinie nicht zu Kippschwingungen neigen.

Hersteller reduziert hierbei die übliche Induktion von etwa 1 T auf etwa 50 %. Erreicht wird dies durch Erhöhung der Primär- und Sekundärwindungszahl, was wiederum aus Platzgründen zur Verringerung des Drahtquerschnittes, somit  $R_i >$ ,  $\varepsilon >$ ,  $S_r <$ ,  $\epsilon >$

Hier ist dann keine weitere Kippschwingungsbedämpfung erforderlich.

# Einbau Kippschwingungsdämpfer



## Technische Daten:

<input type="checkbox"/>	Widerstand	470hm
<input type="checkbox"/>	Toleranz	± 5%
<input type="checkbox"/>	Nennleistung	200W



100 V & 47 Ω → 213 W  
100 V & 47Ω - 5 % → 223 W  
110 V & 47 Ω - 5 % → 270 W

therm. Zerstörung des Kippschwingungsdämpfers

Geräteliste			
A	-F400	Wespeck-Sicherung	Lindner
	-F400	Typ: MZ1700SF	
	-F400	mit Schraubkappe E14	Lindner
B		2 Sicherungskasten	Ablech
		Typ: ZP16KSHR	
	-F400	3pol. Sicherungsautomat 6A/8	Moeller
	-F15	3pol. Sicherungsautomat 6A/8	Moeller
C		Typ: PXL + ZP-NHK	
	-R1	Dämpfungswiderstand	REO
		16 Ohm 500 Watt	
		Typ: BEA 500x60	
	-T10	Stromwandler	
	-T10	Kundenbestellung	
	-T50	Spannungswandler	
	-T50	Kundenbestellung	

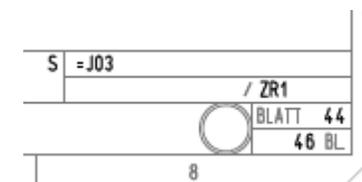
  

-F15 6 A

-R1 16 Ω 500 W

falsche Bemessung

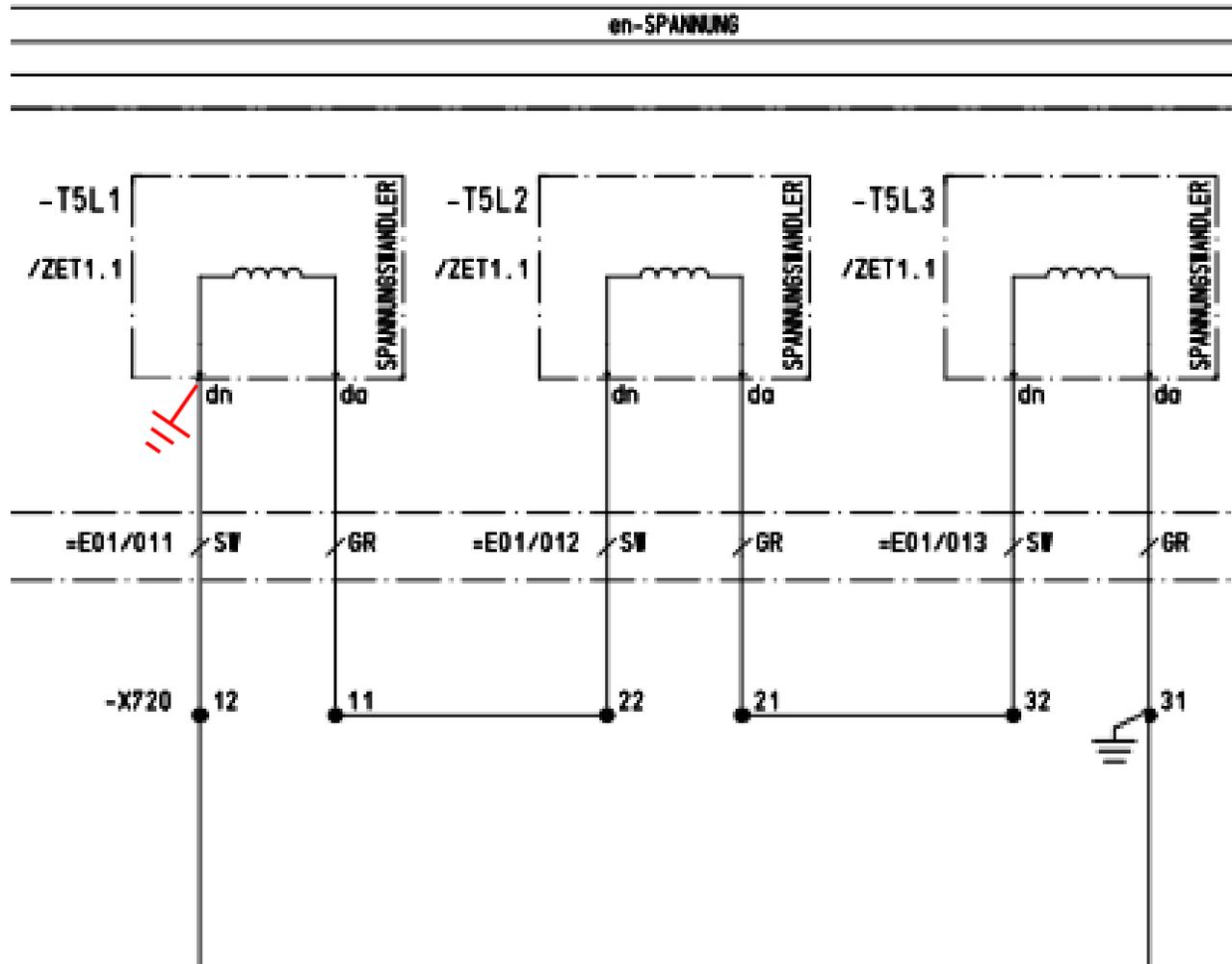
The diagram shows a 24kV 3~ 50Hz supply line with a 630A 20kA circuit breaker. A 16 Ohm resistor (R1) is connected in series with the line. A 500W damper (Z1) is connected across the line. The damper is labeled as -R1 16 Ω 500 W and -F15 6 A.



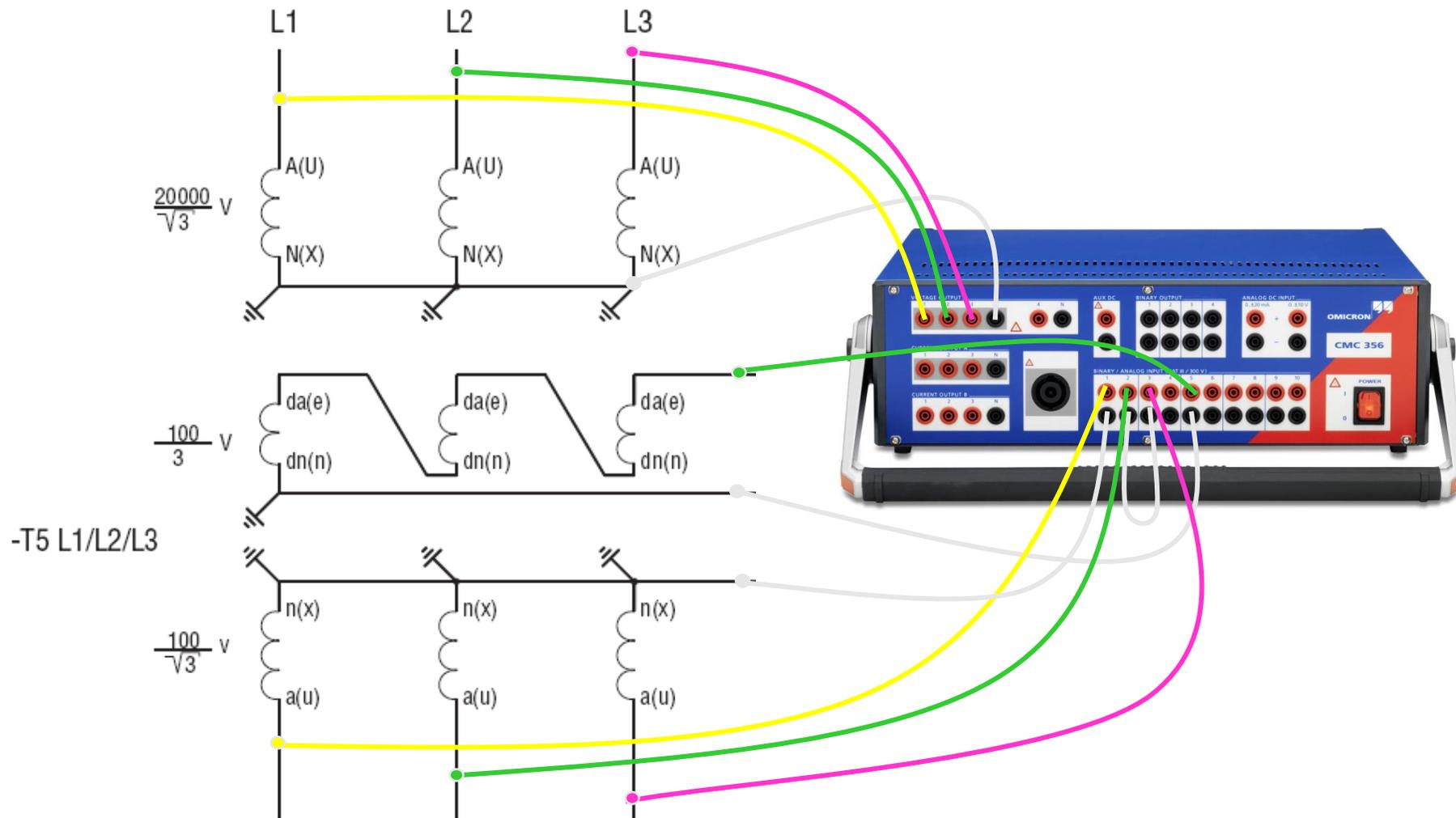
Überprüfung Bemessung des Kippschwingungsdämpfers im Betriebsmittelplan S =.../Z..

# Verdrahtungsfehler

Erdung der e-n-Wicklung an der ersten Klemmenleiste und am Wandler

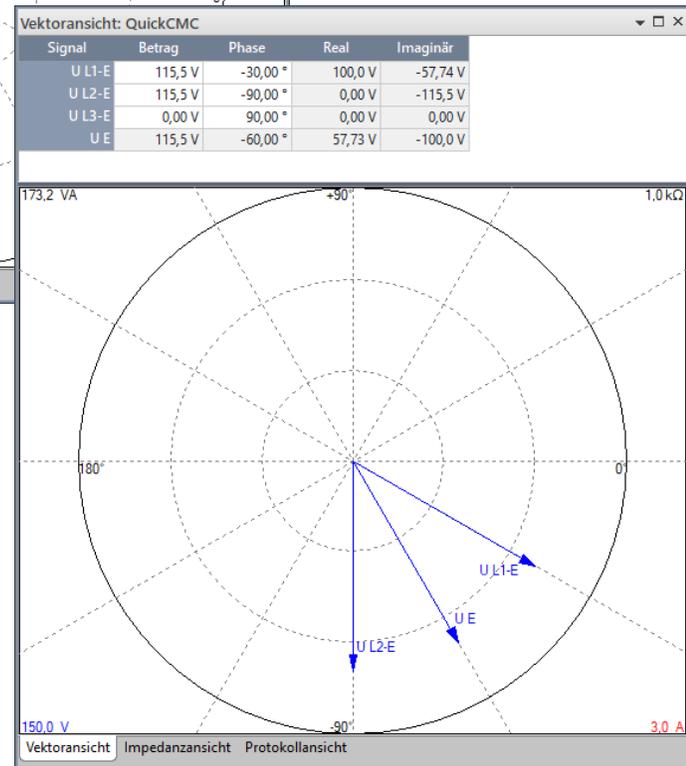
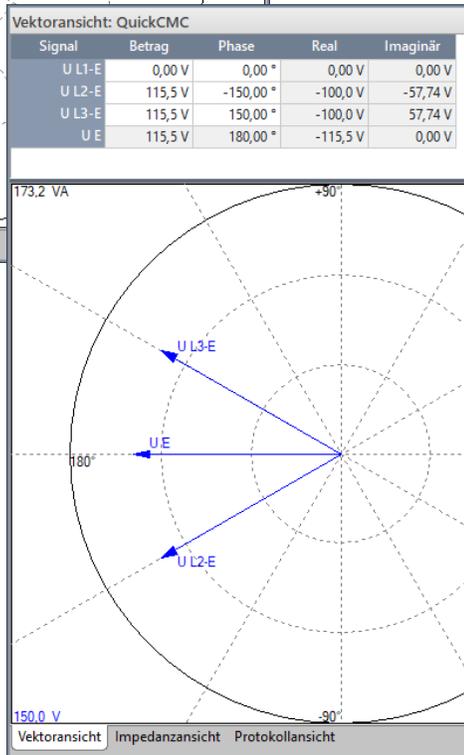
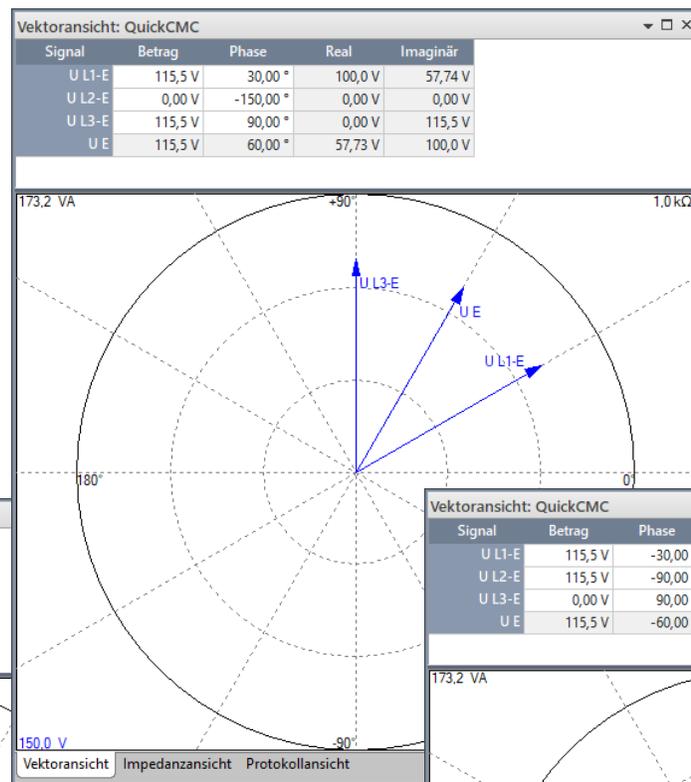
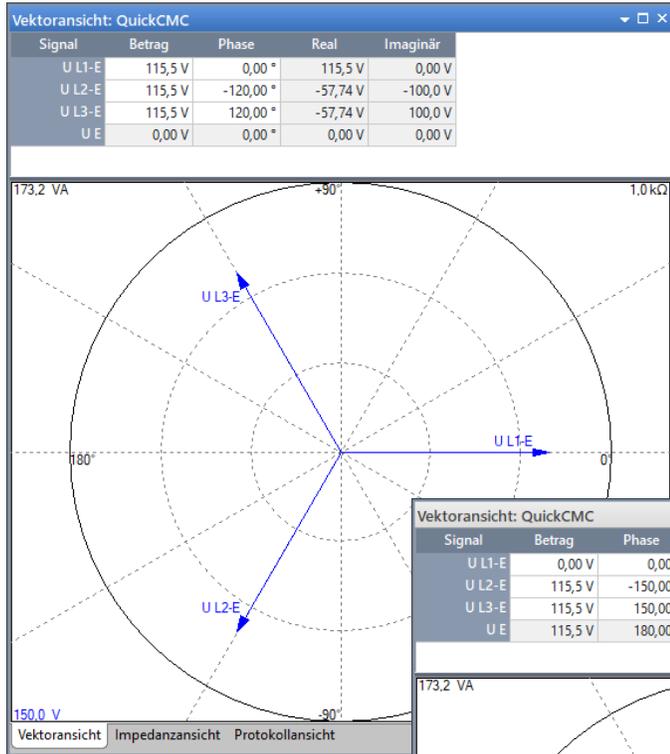


Bei 110-kV-Erdschluss  
6mm<sup>2</sup> Verdrahtung  
verbrannt und Wandler  
zerstört,  
Wandler gewechselt und  
gleiches Verhalten



[E35]

## Prüfung des Spannungswandlersatzes mit CMC356

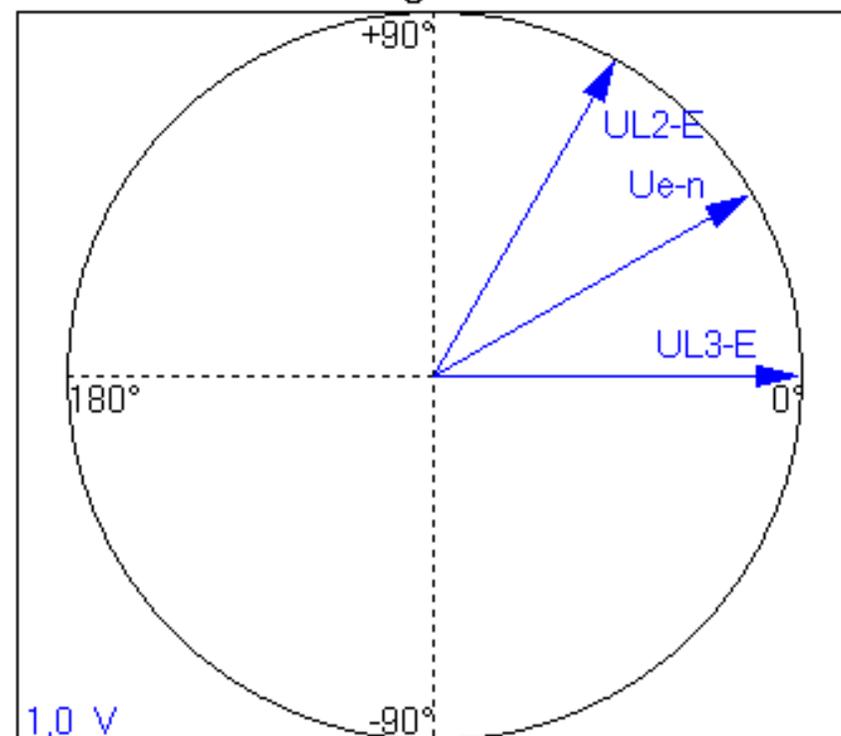


<b>en-Wicklung richtig</b>		09.09.2010 09:48:52	
Messwerte als Sekundärwerte			
Abtastfrequenz:	9 kHz	Mittelwertbildung:	1,0
Antholz-Rate:	1,0 s		

	Signal	Kanal	Wert (AC)	Leiter	Wert (DC)
2	UL1-E	1	4,19 mV	-	-0,06 mV
	UL2-E	2	997,35 mV	90,18°	-0,15 mV
	UL3-E	3(ref)	999,83 mV	0,00°	-0,23 mV
	Ue-n	5	990,04 mV	29,19°	-0,23 mV
	f <sub>n</sub> (UL3-E)	3 (ref)	50,000 Hz		

- 1 = Überlast
- 2 = Schwaches Signal
- 3 = Frequenz unzulässig

### Signale



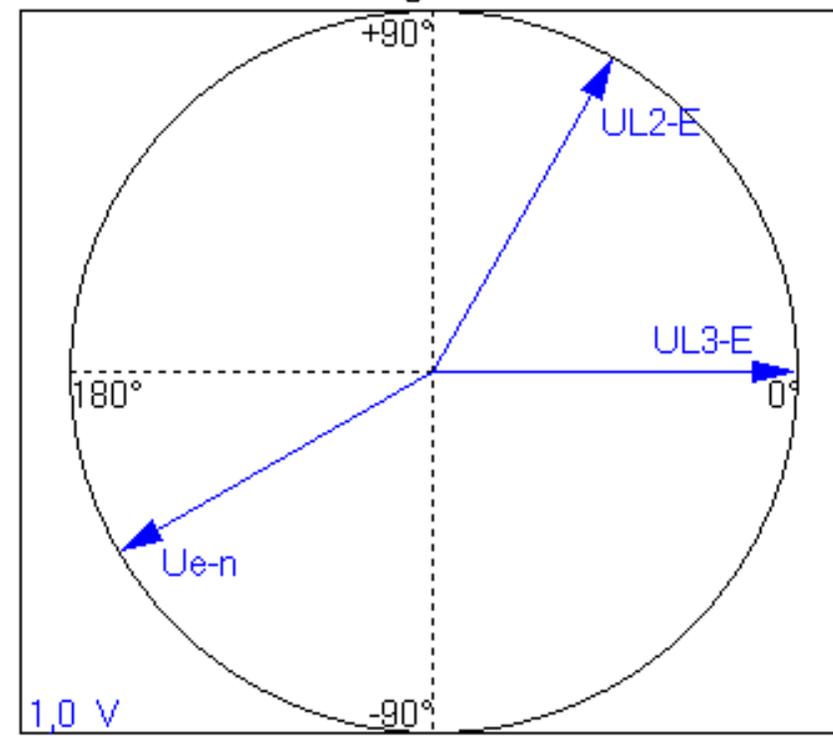
Alle Signale  
Test

<b>en-Wicklung gedreht</b>		09.09.2010 09:48:19	
Messwerte als Sekundärwerte			
Abtastfrequenz:	9 kHz	Mittelwertbildung:	1,0
Antholz-Rate:	1,0 s		

	Signal	Kanal	Wert (AC)	Leiter	Wert (DC)
2	UL1-E	1	4,21 mV	-	-0,09 mV
	UL2-E	2	997,33 mV	90,18°	-0,17 mV
	UL3-E	3(ref)	999,85 mV	0,00°	-0,24 mV
	Ue-n	5	990,07 mV	-150,23°	-0,25 mV
	f <sub>n</sub> (UL3-E)	3 (ref)	50,000 Hz		

- 1 = Überlast
- 2 = Schwaches Signal
- 3 = Frequenz unzulässig

### Signale



Alle Signale

## Kippschwingungen (Ferroresonanz)

Kippschwingungen treten unter besonderen Schalt- und Netzzuständen bei der Verwendung einpoliger Spannungswandler auf. Hierbei kommt es zu Resonanzschwingungen zwischen den Induktivitäten der Spannungswandler und den Kapazitäten des Netzes. Diese Kippschwingungen können hohe Spannungen verursachen und zu Übererwärmung und Zerstörung des Wandlers führen. Angeschlossene Messgeräte zeigen Schwebungen an. Zur Vermeidung von Kippschwingungen sollte an den Klemmen der Erdschlusshilfswicklung ein ohmscher Widerstand angeschlossen werden. Die Widerstände sollten in der Hochspannung etwa 5 Ohm und mit 25 A belastbar bzw. in der Mittelspannung zwischen 20 und 25 Ohm und mit 6 A belastbar sein. Die Hilfswicklungen müssen im Fehlerfall den über den Widerstand fließenden Strom ohne Schaden aushalten. Die Fehlergrenzwerte brauchen in diesem Fall nicht mehr eingehalten zu werden. In einigen Fällen werden statt der ohmschen Widerstände Drosselspulen oder Kombinationen aus beiden zur Bedämpfung eingesetzt. Dies erfolgt beispielsweise dann, wenn die Nennleistung der Wandler nicht ausreichend ist.



Leitfaden zum Einsatz  
von Schutzsystemen  
in elektrischen Netzen

Ausgabe – September 2009

[E2]

### 3.1 Netz mit isoliertem Sternpunkt

Bei Kapitel 3.1 gilt für die Schweiz:

Bei dieser Netzbetriebsart bleiben alle Sternpunkte ungeerdet (isoliert). Diese Betriebsart kommt vor allem in Mittelspannungsnetzen vor. Die Höhe der Erdschlussströme kann in diesen Netzen je nach Ausdehnung und Kabelanteil stark variieren.

Da das Drehstromsystem bei isoliertem Sternpunkt (OSPE) nur über seine Leiter-Erde-Kapazitäten potenzialmäßig definiert ist, können sich transiente Überspannungen (Wanderwellen) leicht ausbreiten und an Reflexionsstellen zu Isolationdurchschlägen führen. Es besteht auch die Gefahr von Kippschwingungen (Ferroresonanz), welche schon nach wenigen Minuten zur thermischen Zerstörung der Spannungswandler oder zu Folgefehlern im Netz führen können.

Dies ist bei der Dimensionierung der Spannungswandler zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, bei Spannungswandler im isolierten Netz eine zusätzliche Wicklung vorzusehen, welche gegen Ferroresonanz beschaltet wird.

### 3.5 Netz mit Erdschlusssteilkompensation (zusätzlicher Abschnitt)

Bei Netzen mit Erdschlusssteilkompensation wird wie bei der Erdschlusskompensation kapazitiver Erdstrom kompensiert. Bei der Teilkompensation wird aber im Gegensatz zur Erdschlusskompensation oder Erdschlusslöschung nur ein Teil des kapazitiven Erdschlussstromes kompensiert.

Bezüglich der notwendigen Schutzmassnahmen gelten die Aussagen über isolierte Sternpunkte von Kapitel 3.1.



Handbuch

#### **Schutzleitfaden Schweiz (SLF-CH)**

Leitfaden zum Einsatz von Schutzsystemen in elektrischen Netzen - Anwendung für die Schweiz

[E2]

	DIN IEC/TR 61869-102 (VDE 0414-9-102)	<b>DIN</b>
		<b>VDE</b>

**Messwandler –  
Teil 102: Ferroresonanzschwingungen in Schaltanlagen mit induktiven  
Spannungswandlern  
(IEC/TR 61869-102:2014)**

## 11.4 Vermeidung von Ferroresonanzschwingungen

### 11.4.1 Allgemeines

Die Vermeidung von stationären Ferroresonanzschwingungen ist für Energieversorgungsunternehmen äußerst wichtig, um kostspielige Schäden in der Schaltanlage zu vermeiden. Schaltzustände mit möglichen Ferroresonanzschwingungen sollten so kurz wie möglich sein.

Dieser Teil von IEC 61869 stellt technische Informationen zur Verfügung, um das unerwünschte Phänomen von Ferroresonanzschwingungen in Mittel- und Hochspannungsnetzen im Zusammenhang mit induktiven Spannungswandlern zu verstehen. Ferroresonanz kann an Spannungswandlern und weiteren Einrichtungen beträchtliche Schäden verursachen. Ferroresonanzschwingungen können auch im Zusammenhang mit anderen nichtlinearen induktiven Bauteilen auftreten.

Zur Beseitigung dieses Problems sind im Allgemeinen verschiedene Verfahren möglich:

- In vorhandenen Schaltanlagen ist es oftmals möglich, Ferroresonanzschwingungen mit zusätzlichen passiven oder aktiven Dämpfungseinrichtungen zu vermeiden;
- für neue Spannungswandler kann die Konstruktion z. B. durch Veränderung der Induktivität oder die Verwendung von Luftspalt- bzw. Stabkernen verbessert werden.

### 11.4.3 Dreiphasige Ferroresonanzschwingungen

Verfahren zur Vermeidung oder Begrenzung des Auftretens von stationärer dreiphasiger Ferroresonanz:

- Oftmals können Schaltvorgänge optimiert werden, um Ferroresonanzschwingungen zu vermeiden (z. B. Schalten des Leistungstransformators, wenn der Stufenschalter sich in der Stellung für die niedrigste Spannung der Unterspannungswicklung befindet).

	VDE-AR-N 4110	<b>VDE</b>
	Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)	FNN

Aus netztechnischen Gründen kann zur Vermeidung von Kippschwingungen eine Dämpfungseinrichtung oder der Einsatz kippschwingungsarmer Wandler erforderlich werden. Die Entscheidung hierzu trifft der Anschlussnehmer. Einzelheiten sind mit dem Netzbetreiber und dem Messstellenbetreiber abzustimmen.

## Grundsätzlich gilt der Einsatz von Kippschwingungsdämpfern in den MS-Einspeisungen von 110-kV-Transformatoren.

Die Netzbetreiber haben in ihren Technischen Anschlussbedingungen und Baurichtlinien **unterschiedliche** Festlegungen - wie nachstehende Beispiele zeigen – betrifft:

- Einsatz von Dämpfungseinrichtungen: ohmsche Widerstände / Wirkleistungs-drosseln / keine
- Wandler: nicht kippschwingungsarm / kippschwingungsarm
- Absicherung: ja / nein

### **Empfehlung** (wenn nicht anders gefordert):

- nichtkippschwingungsarme Wandler mit abgesichertem ohmschen Widerstand in OSPE- und RESPE-Netzen



**THN - Bauen und Errichten**

**4) Absicherung und Bedämpfung der Spannungswandlerkreise Wicklung 4**

- Die Absicherung der offenen Dreieckwicklung erfolgt mit einem Leitungsschutzschalter angeschlossen am Anschluss da (e) des Wandlers von L1
- Für die Bedämpfung von möglichen Kippschwingungen werden die Maßnahmen nach Tabelle 4.3-1 auszuführen.

Tabelle 4.3-1: Bedämpfungsmaßnahmen an der Erdschlusshilfswicklung

Netz	Abzweig	Maßnahme
20-kV-UW Netz mit RESPE	Leitung, KS, ES	Ohne Bedämpfung
	NT	Bedämpfung mit $R = 20 \Omega$
110-kV-UW Netz mit NOSPE	Leitung, KS, ES	Ohne Bedämpfung
	DK, NK **	Bedämpfung mit Sättigungsdrossel
	NT	Ohne Bedämpfung
110-kV-UW Netz mit RESPE	Leitung, KS, ES	Bedämpfung mit $R = 50 \Omega$
	DK, NK **	Bedämpfung mit Sättigungsdrossel
	NT	Ohne Bedämpfung

\*\* Eigentum TenneT

	<b>Technische Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz (TAB Mittelspannung)</b>	<b>Gültig ab: 01.05.2020</b> <b>Seite: 25 / 98</b>
<p><b>Spannungswandler</b></p> <p>Die Spannungswandler sind in den Schutzbereich des jeweiligen Abgangsfeldes einzubauen. Die Wandler sind am nächstmöglichen Punkt zu erden.</p> <p>Es kommen grundsätzlich einpolig isolierte induktive Spannungswandler mit Mess- und ggf. mit Hilfswicklung (en-Wicklung) zum Einsatz. Die Klemmenkästen der Wandler müssen im spannungslosen Zustand gut zugänglich sein. Die Leistungsschilder sind im eingebauten Zustand der Wandler lesbar anzuordnen. Zusätzlich sind die Leistungsschilder an der Außenseite der Schaltfeldtür anzubringen.</p> <p>Der Primäranschluss X(N) der Spannungswandler ist mit der Betriebserde der Anlage über eine 6mm<sup>2</sup> Cu Leitung zu verbinden. Der sekundärseitige Anschluss x(n) der Wandler ist über 4mm<sup>2</sup> Cu mit der Betriebserde zu verbinden. Die Messwicklungen sind in Sternschaltung auszuführen.</p> <p>Die Sekundäranschlüsse der Wandler sind kurzschluss- und erdschlusssicher bis zur ersten Absicherung zu verlegen. Die Messwicklung ist mit einem 3-poligen Spannungswandlerschutzschalter und die en-Hilfswicklungen mit einem 1-poligen Leitungsschutzautomaten abzusichern.</p> <p>Die „da-dn (e-n)“ Hilfswicklungen der Wandler sind zum offenen Dreieck zu verschalten. Am Wandler ist der Anschluss „dn (n)“ des Leiters L1 über 4mm<sup>2</sup> Cu zu erden. Die Wandleranschlussklemme „da (e)“ des Leiters 3 ist durch einen Leitungsschutzautomaten abzusichern.</p> <p><u>Für Spannungswandler wird keine Bedämpfung gefordert.</u></p>		

	<b>Werknorm Technische Anschlussbedingungen</b>  <b>Technische Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz (TAB Mittelspannung)</b>	<b>Reg.Nr. WN TAB 2070</b> <b>Stand: 04.2020</b> <b>Ersetzt: WN TAB 2040 &amp; WN TAB 2050</b> <b>Gültig ab: 01.05.2020</b> <b>Seite: 19 / 53</b>
<p><b>Spannungswandler</b></p> <p>Die Spannungswandler sind in den Schutzbereich des jeweiligen Abgangsfeldes einzubauen. Die Wandler sind am nächstmöglichen Punkt zu erden.</p> <p>Es kommen grundsätzlich einpolig isolierte induktive Spannungswandler mit Mess- und ggf. mit Hilfswicklung (en-Wicklung) zum Einsatz. Die Klemmenkästen der Wandler müssen im spannungslosen Zustand gut zugänglich sein. Die Leistungsschilder sind im eingebauten Zustand der Wandler lesbar anzuordnen. Zusätzlich sind die Leistungsschilder an der Außenseite der Schaltfeldtür anzubringen.</p> <p>Der Primäranschluss X(N) der Spannungswandler ist mit der Betriebserde der Anlage über eine 6mm<sup>2</sup> Cu Leitung zu verbinden.</p> <p>Der sekundärseitige Anschluss x(n) der Wandler ist über 4mm<sup>2</sup> Cu mit der Betriebserde zu verbinden. Die Messwicklungen sind in Sternschaltung auszuführen.</p> <p>Die Sekundäranschlüsse der Wandler sind kurzschluss- und erdschlusssicher bis zur ersten Absicherung zu verlegen. Die Messwicklung ist mit einem 3-poligen Spannungswandlerschutzschalter und die en-Hilfswicklungen mit einem 1-poligen Leitungsschutzautomaten abzusichern.</p> <p>Die „da-dn (e-n)“ Hilfswicklungen der Wandler sind zum offenen Dreieck zu verschalten. Am Wandler ist der Anschluss „dn (n)“ des Leiters L1 über 4mm<sup>2</sup> Cu zu erden. Die Wandleranschlussklemme „da (e)“ des Leiters 3 ist durch einen Leitungsschutzautomaten abzusichern.</p> <p><u>Eine Spannungswandlerbedämpfung ist generell nicht vorzusehen.</u></p>		

 <b>Pfalzwerke Netz AG</b>	<b>Technische Richtlinie</b> der Pfalzwerke Netz AG für den Anschluss von Kunden mit Leistungsbezug an das 20kV-Netz	August 2017	
		NM-AM	8/29

# Netzrichtlinie

Netzbetreiber-Anforderungen zu „Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)“

Stand: 12/2020



## Kippschwingungsbedämpfung

In den Mittelspannungsschaltanlagen werden einpolig isolierte induktive Spannungswandler eingesetzt. Durch das Zusammenwirken der nicht linearen Induktivität der gegen Erde liegenden Wicklung des Spannungswandlers und der Leiter-Erde Kapazität des Netzes (Mittelspannungskabel) können bei Schalthandlungen Kippschwingungen auftreten.

Kippschwingungen können die Wandler durch große Sättigungsströme in den Primärwicklungen thermisch zerstören (innerhalb 1-2 Min.).

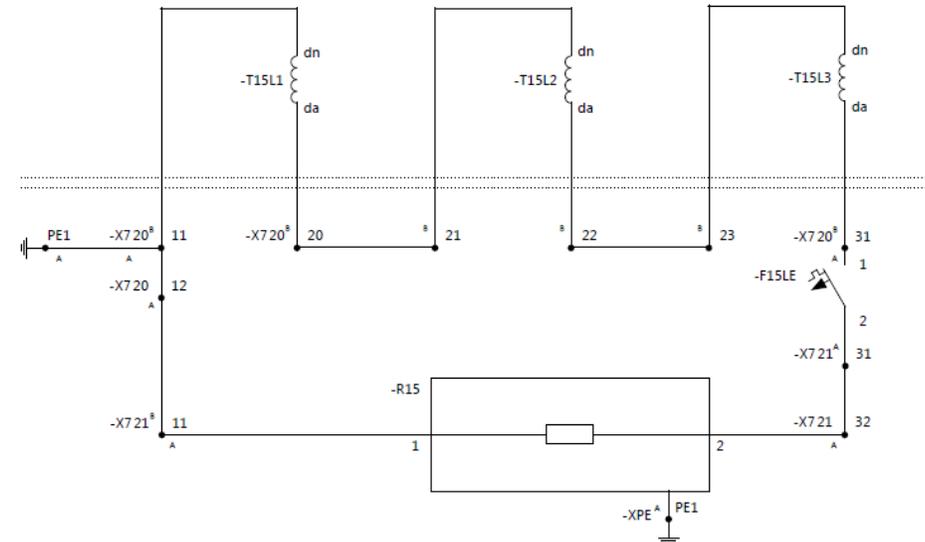
Um Schäden in der Anlage zu vermeiden, wird die Ausrüstung der einpoligen Spannungswandler mit einer Kippschwingungsbedämpfung empfohlen.

Dazu besitzt der Spannungswandler im Regelfall eine Wicklung 100V / 3 mit einer thermischen Belastbarkeit von 6A, die mit einem speziellen Dämpfungswiderstand von 20Ω, > 500W beschaltet wird.

Die Absicherung dieses Kreises erfolgt mit einem 1-poligen Schuttschalter von 10A mit Hilfskontakt. Der Hilfskontakt dient zur Überwachung des Automatenfalls und ist fernzumelden.

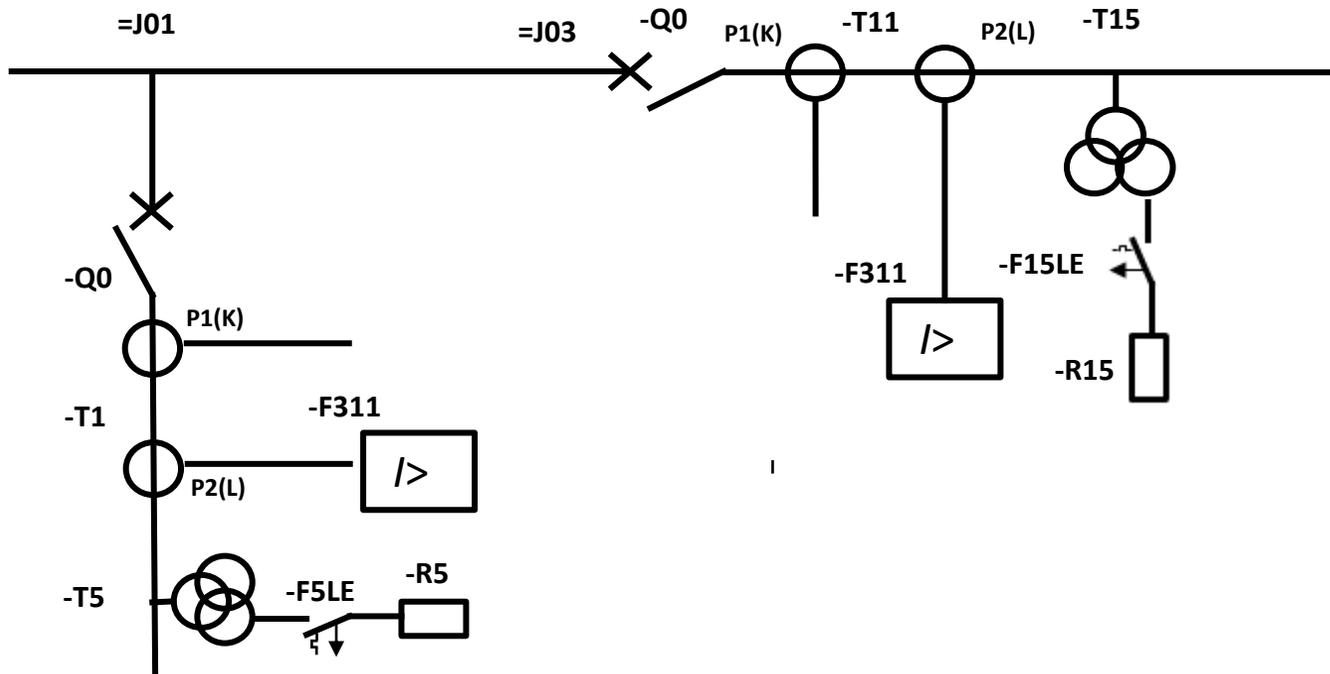
### Spannungswandler für Schutzzwecke

Die sekundärseitige Spannung beträgt 100 V AC. Die Wicklung für Schutzzwecke darf die Genauigkeitsklasse von 1 nicht überschreiten. Die Erdschlusshilfswicklung da (e) – dn (n) muss auf die Genauigkeitsklasse 6P ausgelegt werden, ein Dämpfungswiderstand ist anzuschließen. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Verschaltung. (Abbildung 1: Beschaltungsbeispiel Sammelschienen-Spannungswandler)



Zur Absicherung ist mindestens ein einpoliger Leitungsschuttschalter vorzusehen. Die Erdschlusshilfswicklung muss mit einem Widerstand 25 Ω, 6 A, 500 VA bedämpft werden, um Kippschwingungen zu verhindern. Die Sekundärverdrahtung der Spannungswandler bis zum Spannungswandlerautomat muss mit einer NSGAFÖU-Leitung (Mindestquerschnitt 2,5 mm<sup>2</sup>) realisiert werden. Alternativ können Spannungswandler-Ersatzsysteme verwendet werden, sofern die geforderte Klassengenauigkeit von konventionellen Spannungswandlern nicht überschritten wird.

- R5 Kippschwingungsdämpfer im Abgang
- R15 Kippschwingungsdämpfer in SS1
- R25 Kippschwingungsdämpfer in SS2



Einbau des Kippschwingungsdämpfers oberhalb der Schaltzelle oder im Relaisraum



## Technische Bedingungen und Hinweise (Mittelspannung inkl. Bezugs- und Erzeugungsanlagen)

für die Errichtung, Erweiterung, Instandhaltung und Inbetrieb-  
setzung von elektrischen Kundenanlagen

Bei Einsatz von da/dn- (en-) Wicklungen kann aus netztechnische Gründen zur Vermeidung von Kippschwingungen eine Dämpfungseinrichtung notwendig werden. Die Entscheidung über deren Notwendigkeit trifft der Anlagenerrichter. Der dabei einzusetzende Dämpfungswiderstand soll ca.  $25 \Omega$ ,  $\geq 625 \text{ W}$  betragen. Vorzugsweise in der Nähe des Dämpfungswiderstandes ist eine Überstromschutzeinrichtung als Leitungsschutzschalter mit K-Charakteristik 3 A zu realisieren. Die Leitungen von den Wandlern zum Leitungsschutzschalter sind kurzschlussicher zu verlegen. Die angegebenen Werte sind als Musterwerte anzusehen und müssen ggfs. Auf die Anlagenverhältnisse bemessen werden. Die Auslösung des Leitungsschutzschalters ist über einen Hilfskontakt in das Meldekonzept (WDL SPG FEHL) einzubeziehen.

## ELE Verteilnetz GmbH

### Technische Anschlussbedingungen Mittelspannung

Gültig ab: 01.10.2014

Gültig für: Bezugsanlagen und Erzeugungsanlagen

Bei Einsatz von da/dn- (en-) Wicklungen kann aus netztechnischen Gründen zur Vermeidung von Kippschwingungen eine Dämpfungseinrichtung notwendig werden. Die Entscheidung über deren Notwendigkeit trifft der Anlagenerrichter. Der dabei einzusetzende Dämpfungswiderstand soll ca.  $25 \Omega$ ,  $\geq 625 \text{ W}$  betragen. Vorzugsweise in der Nähe des Dämpfungswiderstandes ist eine Überstromschutzeinrichtung als Leitungsschutzschalter mit K-Charakteristik 3 A zu realisieren. Die Leitungen von den Wandlern zum Leitungsschutzschalter sind kurzschlussicher zu verlegen. Die angegebenen Werte sind als Musterwerte anzusehen und müssen ggfs. auf die Anlagenverhältnisse bemessen werden. Die Auslösung des Leitungsschutzschalters ist über einen Hilfskontakt in das Meldekonzept (WDL SPG FEHL) einzubeziehen.

## 2.1 Kippschwingungen

Kippschwingungen treten bei Einschaltvorgängen oder verlöschenden Erdschlüssen in Verbindung mit einpoligen Spannungswandlern auf, wenn gleichzeitig folgende Bedingungen erfüllt sind:

- ◆ Das Netz ist ungelöscht und ungeerdet
- ◆ Es sind einpolig isolierte Spannungswandler eingebaut, deren Nenninduktion größer als 0,4 T ist. Die Werte für normale Spannungswandler der Reihe 10 bis 30 liegen im Bereich zwischen 0,7 T und 0,95 T
- ◆ Die Leitererdkapazität CE je Wandleratz liegen in folgenden Bereichen:
  - ◆ Reihe 10 0,2  $\mu$ F - 2,0  $\mu$ F
  - ◆ Reihe 20 0,1  $\mu$ F - 1,1  $\mu$ F
  - ◆ Reihe 30 0,08  $\mu$ F - 0,8  $\mu$ F

Zur Vermeidung von Kippschwingungen bei einpoligen Spannungswandlersätzen im isolierten oder kompensierten Mittelspannungsnetz sind folgende Vorsorgemaßnahmen zu treffen:

- ◆ Bevorzugt sollen kippschwingungsarme Wandler eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um speziell berechnete Wandler, die insbesondere wegen ihrer besonderen Magnetisierungskennlinie nicht zu Kippschwingungen neigen. Hier ist dann keine weitere Kippschwingungsbedämpfung erforderlich.
- ◆ Ist der Einsatz von kippschwingungsarmen Wandlern nicht möglich, so ist der Einsatz von Kippschwingungsbedämpfungen (Beschaltung der im offenen Dreieck geschalteten e-n-Wicklung) mittels
  - ◆ einer Wirkleistungs-drossel und einem parallelen ohmschen Widerstand (z.B. 50 Ohm, 220W) oder einer
  - ◆ rein ohmschen Beschaltung (z.B. 20 Ohm, 750W) vorzunehmen.

Da die Kippschwingungsbedämpfung für den Dauererdschluss ausgelegt werden muss (100V), sind insbesondere bei der rein ohmschen Kippschwingungsbedämpfung entsprechende Maßnahmen zur Beherrschung der Wärmeentwicklung erforderlich.

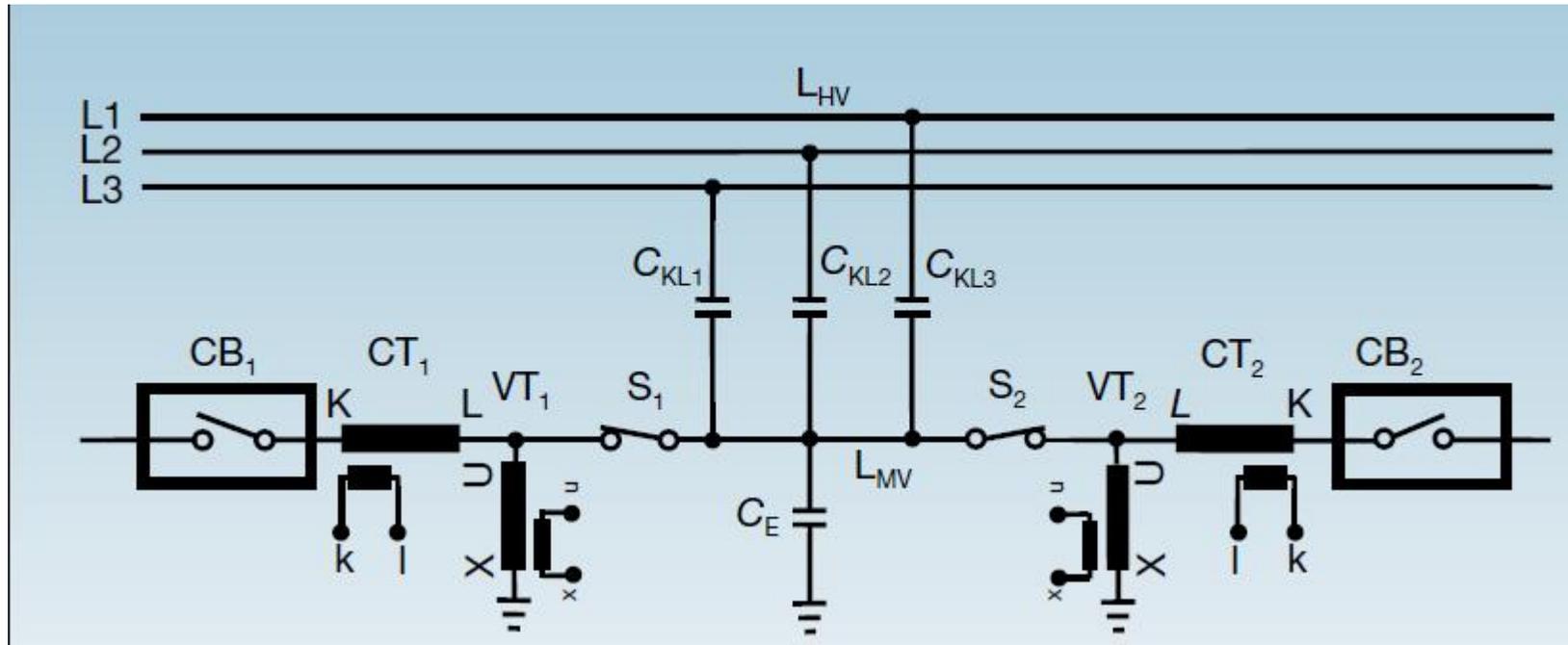
## 5.2.1 Kippschwingungen

Kippschwingungen treten bei Einschaltvorgängen oder verlöschenden Erdschlüssen in Verbindung mit einpoligen Spannungswandlern auf, wenn gleichzeitig folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Das Netz ist nicht geerdet;
- Es sind einpolig isolierte Spannungswandler eingebaut, deren Nenninduktion größer als 0,4 T ist. Die Werte für normale Spannungswandler der Reihe 10 bis 30 liegen im Bereich zwischen 0,7 T und 0,95 T;
- Die Leitererdkapazität CE je Wandleratz liegen in folgenden Bereichen:
  - Reihe 10 0,2  $\mu$ F ... 2,0  $\mu$ F
  - Reihe 20 0,1  $\mu$ F ... 1,1  $\mu$ F
  - Reihe 30 0,08  $\mu$ F .... 0,8  $\mu$ F

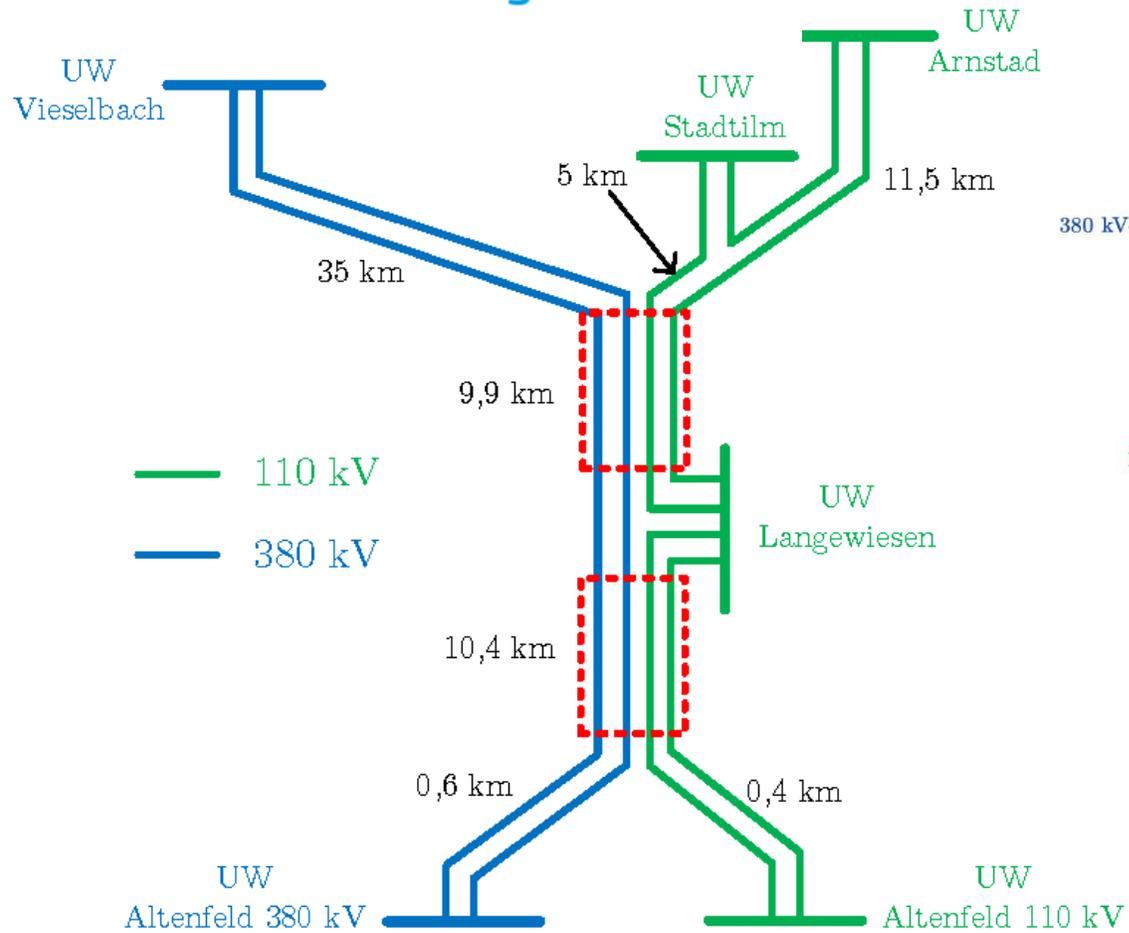
Zur Vermeidung von Kippschwingungen bei einpoligen Spannungswandlersätzen im isolierten oder kompensierten Mittelspannungsnetz sind folgende Vorsorgemaßnahmen zu treffen:

- I
  - Bevorzugt sollen kippschwingungsarme Wandler eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um speziell berechnete Wandler, die insbesondere wegen ihrer besonderen Magnetisierungskennlinie nicht zu Kippschwingungen neigen. Hier ist dann keine weitere Kippschwingungsbedämpfung erforderlich.
  - Ist der Einsatz von kippschwingungsarmen Wandlern nicht möglich, so ist der Einsatz von Kippschwingungsbedämpfungen (Beschaltung der im offenen Dreieck geschalteten e-n-Wicklung) mittels
    - einer Wirkleistungs-drossel und einem parallelen ohmschen Widerstand (z. B. 50 Ohm, 220W) oder einer
    - rein ohmschen Beschaltung (z. B. 20 Ohm, 750W) vorzunehmen.



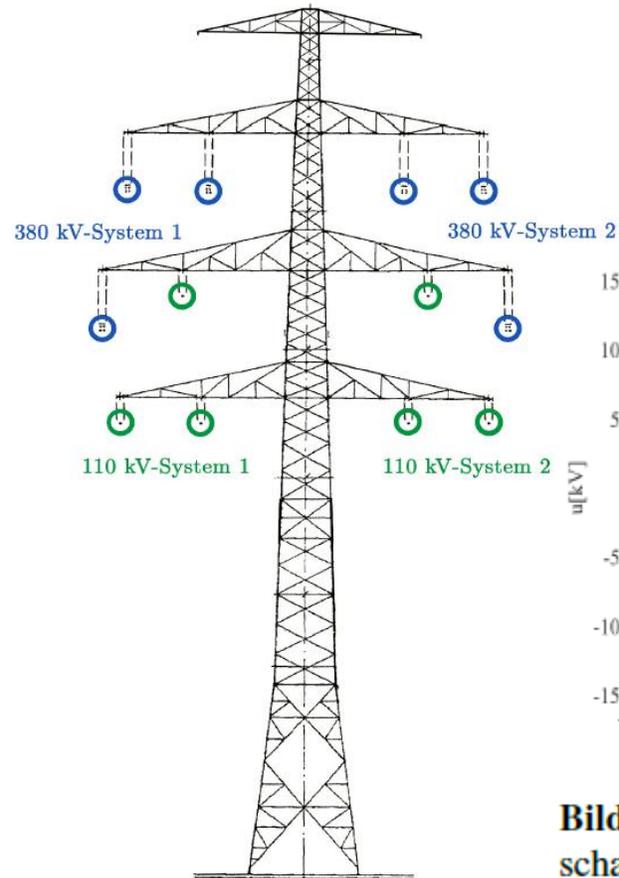
Mögliche einphasige Ferroresonanz bei Parallelführung einer HöS-Ltg mit ausgeschalteter 110-kV-Ltg, angeregt durch kapazitive Kopplung

[2913]



Netzschema

Parallelführung auf ca. 2 x 10 km zwischen  
Arnstad/Stadtilm und Altenfeld



Überspannungen beim  
Ausschaltvorgang

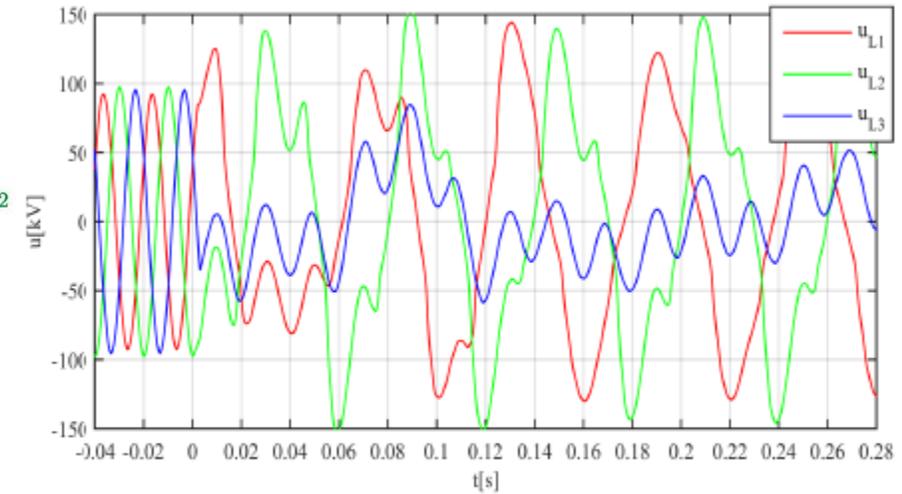


Bild 6 Zeitverlauf der Außenleiterspannungen beim Ausschaltvorgang im Ferroresonanzfall

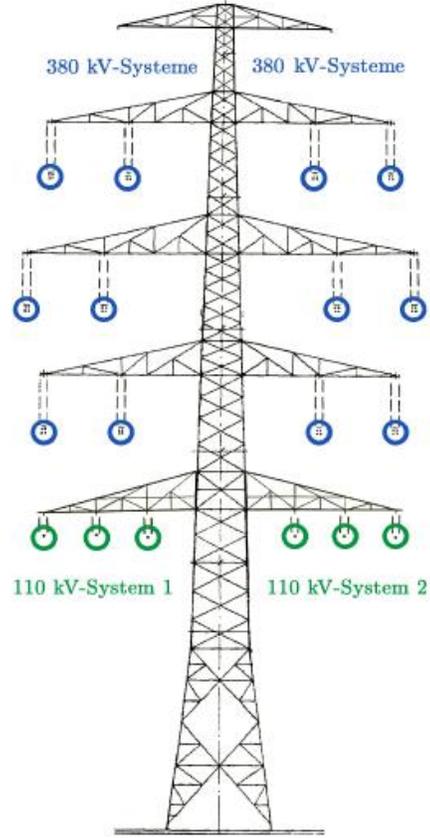
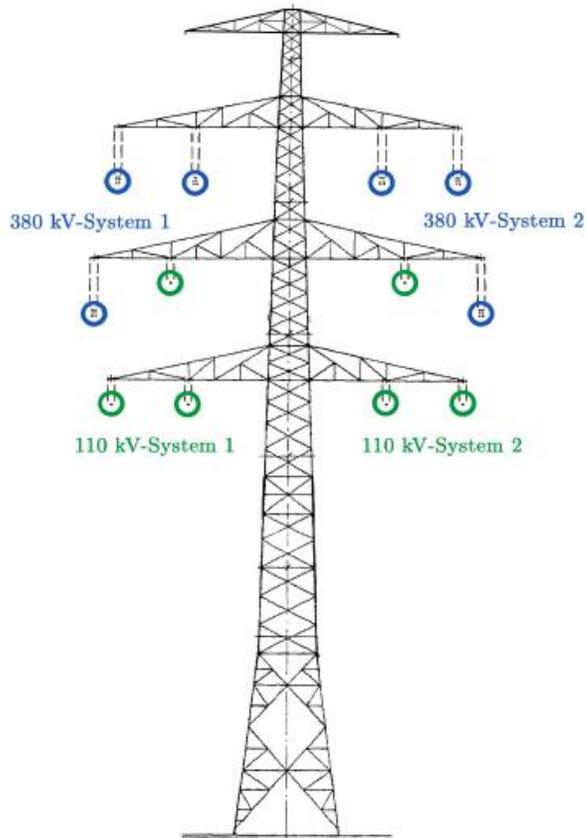
Erste Ausbaustufe (Ist-Zustand)

Ferroresonanz wird um so wahrscheinlicher je unterschiedlicher die Koppelkapazitäten

[5924]

Ist-Zustand

Maßnahmen gegen Ferroresonanz und Sternpunktverschiebung



Änderung der Verdrillung und Leiteranordnung

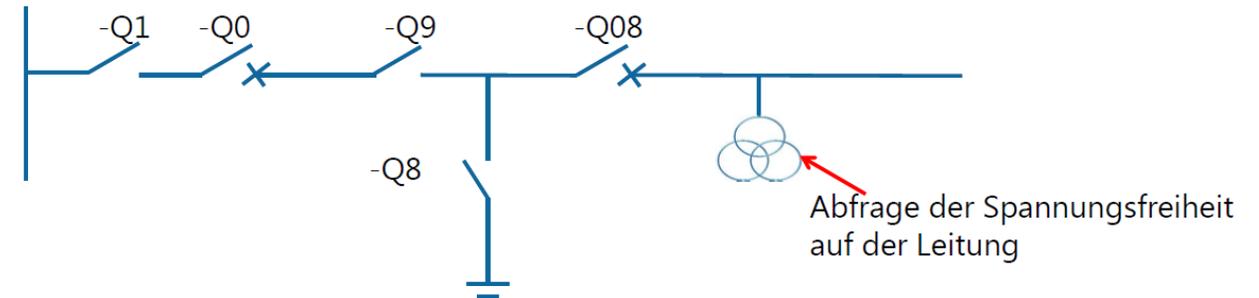
Beschaltung der e-n-Wicklung mit 12,5 Ω

# Erdung einer 110-kV-Ltg bei parallelgeführter 380-kV-Ltg

Studie an der TU Ilmenau **TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU**



## Modifizierter 110-kV-Leitungsabgang mit Leistungsschalter zum Erden



Das Schalten des Abgangs erfolgt über -Q0 und -Q1/-Q9  
Das Erden erfolgt über -Q08 und -Q8

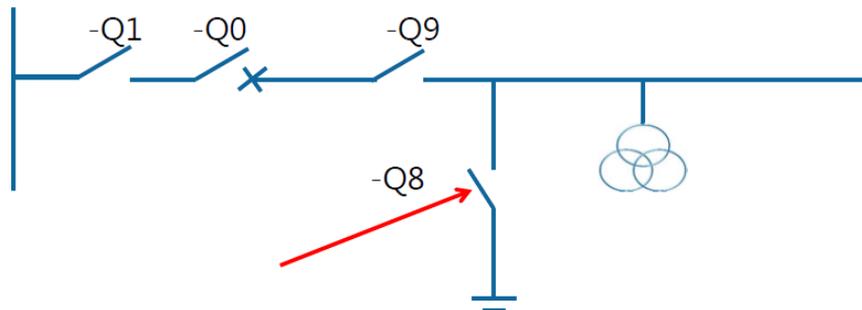
Schaltfolge Erden: -Q08 ausschalten  
-Q8 schließen  
-Q08 einschalten

Schaltfolge Enterden: -Q08 ausschalten  
-Q8 öffnen  
-Q08 einschalten



Ausbaustufe 1	Summenströme, A				Kapazitive Stromanteile, A			
	Arn-Law		Law-Atf		Arn-Law		Law-Atf	
	Fall I	Fall II	Fall I	Fall II	Fall I	Fall II	Fall I	Fall II
2x1800 A	47,59	23,81	178,46	89,2	2,06	1,06	5,74	2,87
1x3600 A (1 Aus)	45,61	13,11	189,4	172,67	0,99	0,25	3,12	0,6
1x3600 A (2 Aus)	45,56	13,04	189,39	172,66	0,99	0,25	3,12	0,6

## Standardschaltung

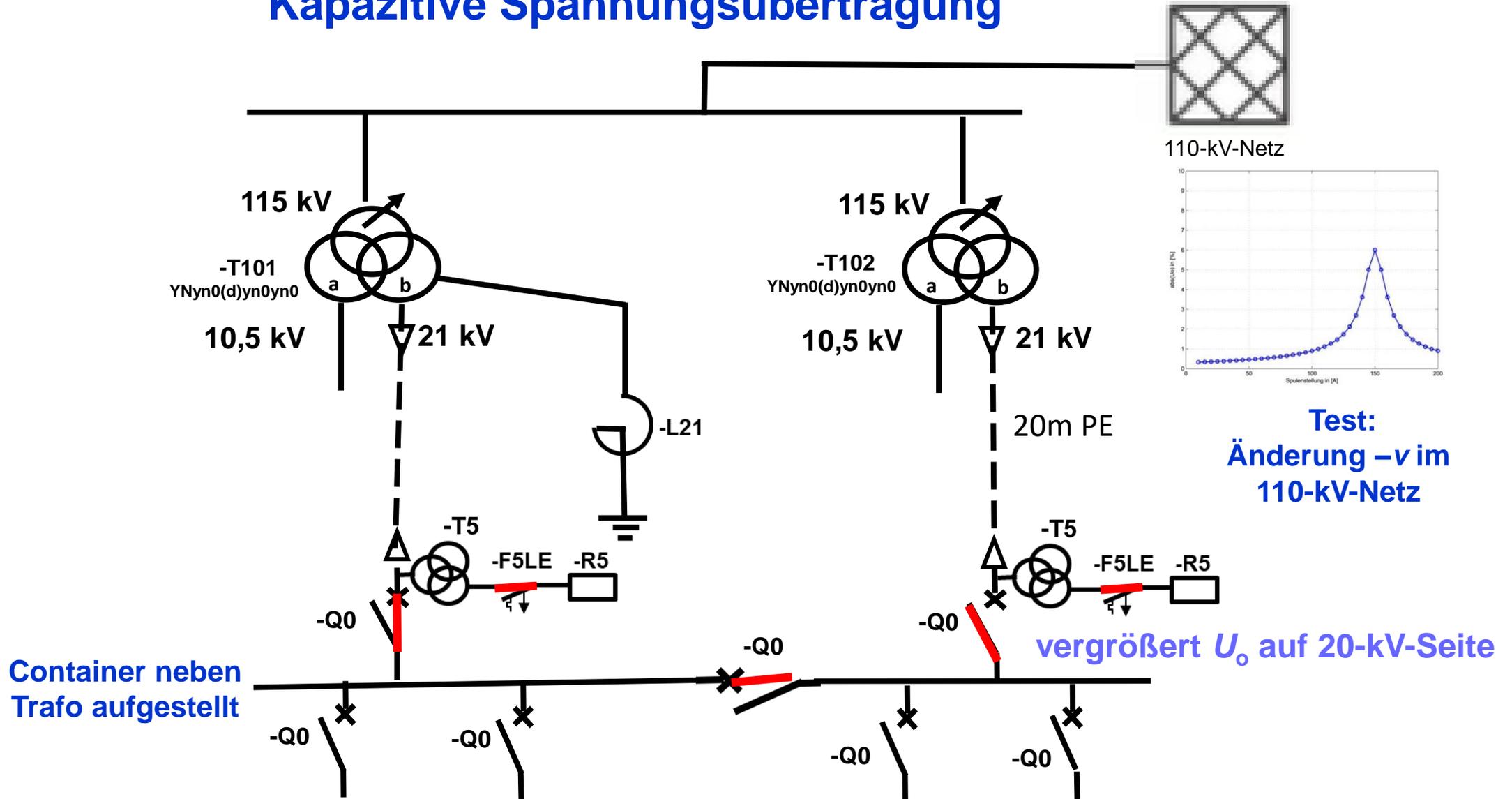


Hier müssen laut Studie ca. 180A geschaltet werden

[5924][5925]



# Kapazitive Spannungsübertragung



# Kapazitive Spannungsübertragung

**SIEMENS**

EV Wa/rö  
01.12.1994

Kapazitiv übertragene Spannung, Schutzkondensatoren  
bei TuR-Transformatoren 31.5 MVA – YN yn0 yn0 (d)  
110 / 20 / 10 kV ( z.B. Fabr.-Nr. 715273 / 561 ) bzw. 110 / 30 / 10 kV

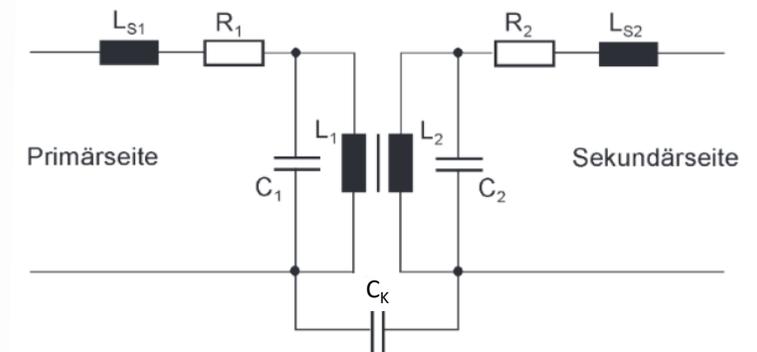
Bei Erdschluß auf der 110-kV-OS-Seite (Sternpunktverlagerung max. 77.4 kV gegen Erde)  
und freigeschalteten 20 (30)-kV-MS- und 10-kV-US-Wicklungen  
werden kapazitiv (über den durch die Kapazitäten der Wicklungen gegeneinander und gegen  
Erde gebildeten Spannungsteiler) Spannungen gegen Erde von ca.

45.6 kV auf die 20(30)-kV-MS-Wicklung und  
19.7 kV auf die 10-kV-US-Wicklung übertragen.

An den Klemmen dieser Wicklungen können zusammen mit den induzierten  
Betriebsspannungen resultierend höchste Spannungen von ca.

53.1 (57.5) kV für die 20(30)-kV-MS-Wicklung und  
23.5 kV für die 10-kV-US-Wicklung auftreten.

Um diese Spannungen auf die von der Anlage bedingten zulässigen Werte (hier verwendet:  $U_m$ )  
von 24.0(36.0) kV für die 20(30)-kV-MS-Wicklung und  
12.0 kV für die 10-kV-US-Wicklung zu senken, ist  
an die 24.0(36.0) kV-Wicklung eine zusätzliche Kapazität von ca. 27.2(21.7) nF  
anzuschließen (beliebige Klemme oder Sternpunkt gegen Erde, auch verteilt).



# Kapazitive Spannungsübertragung

Mindestlänge bei PE-Kabel  $l_{\min}$  bei 27,2 nF

120 mm <sup>2</sup> 0,239 μF/km	113m/3= 38 m/System
150 mm <sup>2</sup> 0,257 μF/km	35 m/System
185 mm <sup>2</sup> 0,285 μF/km	32 m/System
240 mm <sup>2</sup> 0,310 μF/km	29 m/System
300 mm <sup>2</sup> 0,340 μF/km	27 m/System
400 mm <sup>2</sup> 0,377 μF/km	24 m/System
500 mm <sup>2</sup> 0,413 μF/km	22 m/System

erforderliche  
Mindestkapazität  
beachten

Sofern nicht wegschaltbare Kapazitäten gegen Erde (z.B. Kabel, Generator) ständig an der MS–Wicklungen angeschlossen sind, können diese in Rechnung gesetzt werden.

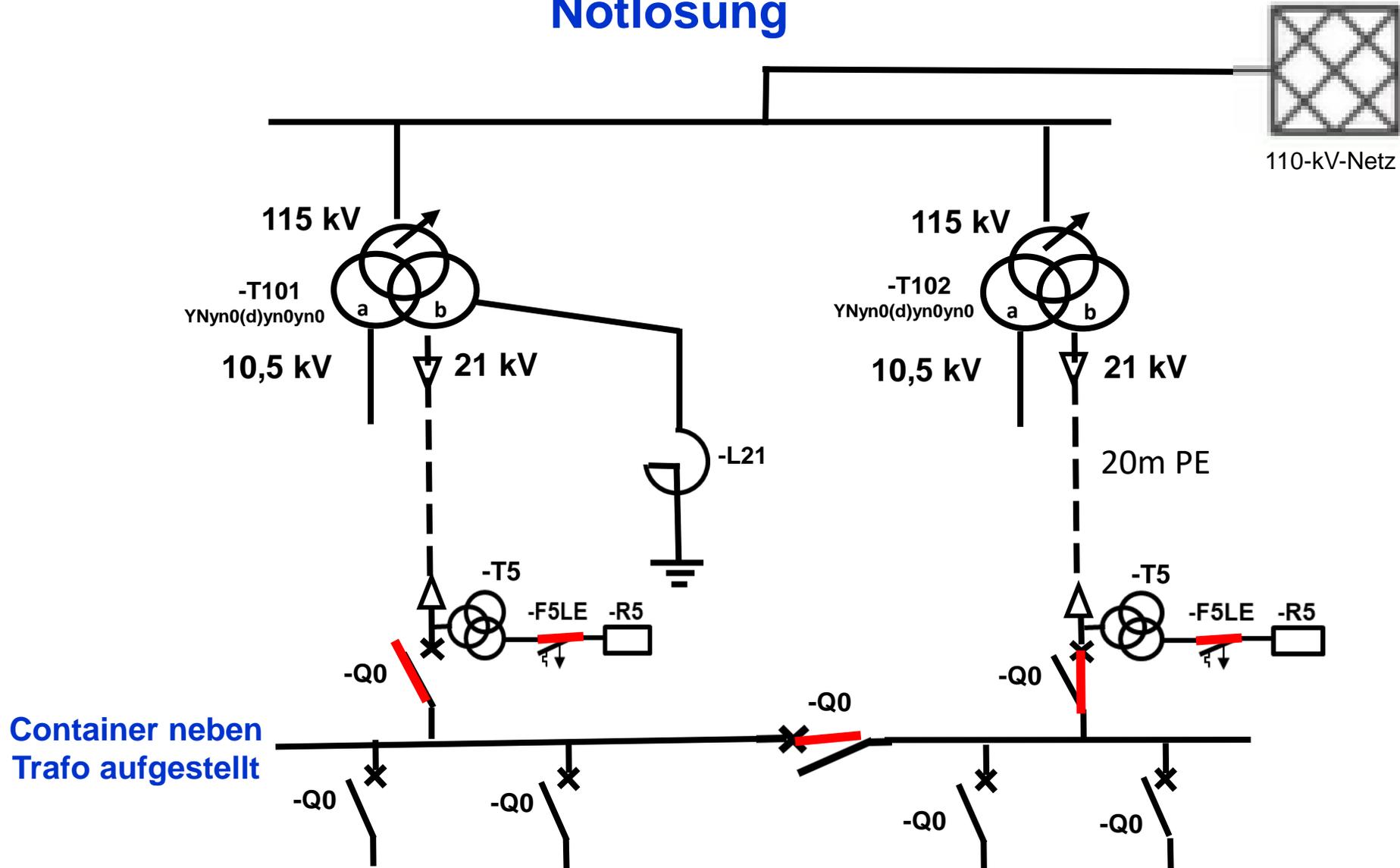
Wenn für die MS–Wicklung die einpolige Erdung durchgeführt ist (Widerstand gegen Erde < ca. 1 kΩ), werden kapazitiv keine Spannungen übertragen, weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich.

Wenn für die US–Wicklung die einpolige Erdung durchgeführt ist (Widerstand gegen Erde < ca. 1 kΩ) bzw. Anlagen angeschlossen sind, die eine vergleichbare Impedanz gegen Erde bewirken, wird bei Erdschluß auf der 110–kV–OS–Seite kapazitiv auf die freigeschaltete 20(30)–kV–MS–Wicklung eine Spannung gegen Erde von ca. 34.7 kV übertragen.

An den Klemmen dieser Wicklung kann zusammen mit der induzierten Betriebsspannung resultierend eine höchste Spannungen von ca. 42.5(47.2) kV gegen Erde auftreten.

**SIEMENS**  
EV Wa/rö  
01.12.1994

# Kapazitive Spannungsübertragung Notlösung



# Phänomen der Kippschwingungen

Ferroresonanzerscheinungen sind nichtlineare Schwingungen, die dann auftreten, wenn mindestens ein **nichtlinearer und ein linearer Energiespeicher** untereinander gekoppelt sind.

- **Nichtlineare** Speicherglieder als hochohmige Eisendrosselspulen sind die Hauptinduktivitäten von Trafos und Spannungswandlern
- **Lineare** Speicherglieder sind die Kapazitäten des Netzes

**Folge:** hohe Spannungen und Ströme und somit Gefährdung der Betriebsmittel

## Kippschwingungen

- netzfrequente
- subharmonische und harmonische

# Vorraussetzungen

- Trafo- oder Wandlerinduktivität mit Netzkapazität **und**
- Netzspannung und Sättigungsspannung in einer gewissen Größenordnung zueinander stehen

# Erkennungsmerkmale

- $U_{LN}$  und  $U_{LL}$  ergeben „keinen Sinn“
- Starkes Brummen
- Erdschlussmeldung
- Schwebungen (typisch 3 oder 25 Hz)

[617]

**Ursachen und Zusammenhänge**, die zum Auftreten von Kippschwingungen führen, sind sehr kompliziert.

Der **Existenzbereich** hängt ab von

- Netz-Erde-Kapazität je Wandlersatz  
im MS-Netz  $C_E < 0,2$  bis  $2 \mu\text{F/Wandlersatz}$  und  
110-kV-Netz  $C_E < 0,03$  bis  $0,3 \mu\text{F/Wandlersatz}$
- Innenwiderstand der Wandler
- Eisenverluste des Wandlerkerns
- Steuerkondensatoren an Leistungsschaltern
- Gekoppelte Freileitungssysteme
- Dämpfungswiderständen

[3833][3834][3902]

# Auslöser

- Schalthandlungen, insbesondere einpoliges Schalten bzw. ungleichmäßiges Schließen der Schalterpole
- Unsymmetrien, Einbau von nur zwei einpol. Spannungswandlern oder Schmelzen einer HS-Sicherung
- Erdschlusswischer bzw. Abschaltung eines Erdschlusses
- Falsch eingestellte Petersenspule
- Entstehung von Inselnetzen
- Inbetriebnahme von kleinen Netzen
- Netzwiederaufbau

[617]

## Tabelle Praxisbeispiele und Richtlinien (Auszug)

Quelle	Auftreten von Kippschwingungen bei Sternpunktbehandlung			Maßnahmen	Literatur
	isoliert	kompensiert	starr geerdet		
Andrä	√√	√	√	Herabsetzung $L_{Wdl}$ / Vergrößerung $C_E$ / RESPE, NOSPE, SSPE / $R_d = 20$ bis $40 \Omega$ bei MS und $1,5$ bis $5 \Omega$ bei $110$ kV	[3834]
Bauer	√			$R_d$ , falls keine da-dn-Wicklung, Einbau eines Zusatzwandlers	[3948]
Buigues u.a.			√		[3850]
Boulasikis	√		√	$R_d = 3$ bis $20 \Omega$ kurzzeitig	[3930]
Bergmann	√√	√			[617][3921]
Biermanns	√	√	√	Kurzgeschlossene e-n-Wicklung mit Selbstöffner	[3183]
Böckenfeld				$R_d = 50 \Omega$ , $200$ W	[3534]
Bräunlich, Minkler	√	√	√	Dämpfungs-drosseln, Überkompensation	[3978]
Craenenbroeck	√			$R_d$	[3838]
Doemeland	√			$R_d = 20$ bis $40 \Omega$	[3837]
Dettmann u.a.	√			$R_d$ / Wirkleistungs-drosselspulen / Thyristoren	[3901]
Dettmann	√√	√		$R_d$ / Wirkleistungs-drosselspulen	[3902]
Feracci	√	√		$R_d = 57 \Omega$ an Erdschluss-hilfswicklung (oder Leistungswickl.)	[3935]
Geppert	√			$R_d = 40 \Omega$ kurzzeitig / $50$ -Hz-Sperrkreis	[3926]
Gmeinhard				$R_d$	[3907]
Grambow u.a.	√				[Gra]
Heißbrath	√			$R_d$	[3832][3833]
Heuck u.a.	√√	√			[3927]
Hoolmanns	√	√		Kippschwingungsfreie Wandler / Wirkleistungs-drosseln / $R_d$	[3938]
Hopkins	√				[3903]
Kegel	√	√		$v \neq 1$	[3835]
Kiefer	√		√		[2836]
Koch				Leitungszuschaltung / $R_d$ sekundär oder primär	[3924][3925]
Köppl		√	√	Bedämpfung mit R bzw. Dämpfungsdrossel	[4939]
Kraeft	√√	√	√	$R_d = 20$ bis $40 \Omega$ bei MS und $1,5$ bis $5 \Omega$ bei $110$ kV	[3936]
Kunde			in SF <sub>6</sub> -Anl. √	Wandlerauslegung	[3839]

### Legende

- √ Kippschwingungsgefahr bzw. unter bestimmten Bedingungen gegeben
- √√ starke Kippschwingungsgefahr
- $C_E$  Erdkapazität
- $L_{Wdl}$  Wandler-Nenninduktion
- $R_d$  Ohmscher Dämpfungswiderstand

Fortsetzung in [Zusammenstellung und Literaturnachweis](#)

Bei Interesse an weiteren Informationen

- [Link: Literaturnachweis](#)
- [eMail: info@walter-schossig.de](mailto:info@walter-schossig.de)

*Danke*

