Entstehung von Kippschwingungen im 110-kV- und Mittelspannungsnetz und deren Bedämpfung

Arbeitstagung 02/2012 der VDE-AG „Hoch- und Mittelspannungsschutzeinrichtungen“ am 06./07.2012 in Schwerin

Dipl.-Ing. Walter Schossig
VDE Thüringen
AK Netzschutz
info@walter-schossig.de

Kippschwingungen

Gliederung

- Begriffe
- Phänomen Kippschwingungen
- Ursachen und Zusammenhänge
- Erkennungsmerkmale
- Ergebnis der Literaturrecherchen und Störungsauswertung
- Richtlinien und Empfehlungen
- Zusammenfassung der Maßnahmen

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Kippschwingungen

VDE Thüringen

DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1):2011-11
EN 61936-1:2010

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.

Kippschwingungen

VDE Thüringen

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

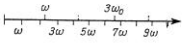
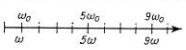
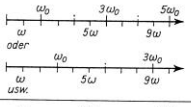
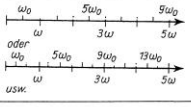
Kippschwingungen

- netzfrequente
- subharmonische und harmonische

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Tabelle 2. Hauptschwingungsformen des nichtlinearen Schwingkreises

Schaltung	Schwingungsart			Verhältnis: Eigenfrequenz ω_s zur Netzfrequenz ω	Frequenzspektrum der auftretenden Schwingungen	Kennzeichen
	Eigenschwingungen				ω_s, $3\omega_s$, $5\omega_s$, ...	gedämpfte unharmonische Schwingungen mit Eigenfrequenzen
	Zwangsschwingungen	asynchrone Schwingungen			ω, 2ω, 3ω, ...	Schwingungen mit den Netzfrequenzen bei $\omega_s \neq \nu\omega$ ($\nu = 1,2,3, \ldots$) und $\nu\omega_s = \omega$ ($\nu = 2,3,4, \ldots$)
		synchrone Schwingungen	harmonische Resonanz		ω, 2ω, 3ω, ...	verstärkt auftretende Grundharmonische im Schwingkreis bei $\omega_s \approx \omega$
			ultraharmonische Resonanz		ω, 2ω, 3ω, 4ω, ... oder ω, 2ω, 3ω, 4ω, ... usw.	verstärkt auftretende Oberschwingung im Schwingkreis bei $\omega_s \approx \nu\omega$ ($\nu = 2$ oder $\nu = 3 \ldots$)
			subharmonische Resonanz		$\frac{1}{2}\omega$, ω, $\frac{3}{2}\omega$, 2ω, ... oder $\frac{1}{3}\omega$, ω, $\frac{5}{3}\omega$, $\frac{7}{3}\omega$ ... usw.	Auftreten von Unterschwingungen (Subharmonische) im Schwingkreis bei $\nu\omega_s = \omega$ ($\nu = 2$ oder $\nu = 3 \ldots$)

1970 *Lawrenz,R.:* Übersicht über Resonanzerscheinungen in Energieversorgungsnetzen [3923]

Kippschwingungen

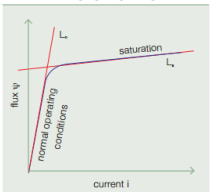
VDE Thüringen

Das Ferroresonanzphänomen

Die Resonanz eines Stromkreises mit einer Induktivität und einer Kapazität ist ein wohl bekanntes physikalisches Phänomen. Die einfachsten Formen sind der Parallelschwingkreis und der Serienschwingkreis 1.

Beim Ferroresonanzphänomen sind die Resonanzfrequenzen jedoch schwieriger vorherzusagen. Das Phänomen tritt auf, wenn der Magnetkern eines induktiven Bauteils gesättigt ist und dadurch eine nichtlineare Strom-Magnetfluss-Kennlinie aufweist 2. Aufgrund dieser Nichtlinearität kann die Resonanz bei verschiedenen Frequenzen auftreten.

2 Nichtlineare Kennlinie eines induktiven Bauteils mit einem sättigungsfähigen Magnetkern



Im Serienschwingkreis entspricht die Ersatzimpedanz der Summe der Impedanzen der einzelnen Bauteile:

$$Z(\omega) = j\omega L - j\frac{1}{\omega C} + R_s$$

Im Parallelschwingkreis entspricht die Ersatzadmittanz der Summe der Admittanzen der einzelnen Bauteile:

$$Y(\omega) = j\omega C - j\frac{1}{\omega L} + \frac{1}{R_P}$$

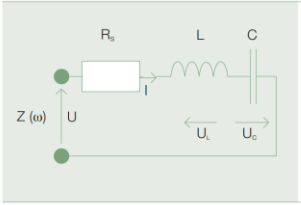
Die Schwingungsresonanz entspricht in beiden Fällen:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

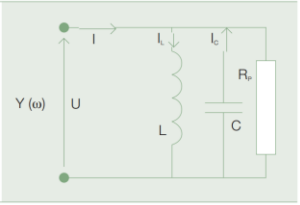
Bei dieser Frequenz und in deren Nähe können im Serienschwingkreis die Spannungen über dem Kondensator und der Spule Werte erreichen, die weit über der Quellenspannung liegen. Im Parallelschwingkreis wird entsprechend der Stromfluss durch diese Bauteile verstärkt. Ohne entsprechende Maßnahmen können diese extremen Spannungen und Ströme die Bauteile beschädigen.

1 Lineare Serien- und Parallelschwingkreise

Serienschwingkreis



Parallelschwingkreis



[2969]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Ursachen und Zusammenhänge, die zum Auftreten von Kippschwingungen führen, sind sehr kompliziert. Der **Existenzbereich** hängt nach [3833][3834][3902] ab von

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

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Auslöser

- Schalthandlungen, insbesondere einpoliges Schalten
- Erdschlusswischer bzw. Verlöschen eines Erdschlusses
- Unsymmetrien, Einbau von nur zwei einpol. Spannungswandlern oder Schmelzen einer HS-Sicherung
- Falsch eingestellte Petersenspule
- Entstehung von Inselnetzen

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Vorraussetzungen

- Trafo- oder Wandlerinduktivität mit Netzkapazität

und

- Netzspannung und Sättigungsspannung in einer gewissen Größenordnung zueinander stehen [617]

Erkennungsmerkmale

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

Kippschwingungen

VDE Thüringen

J. F. J. BETHENOD

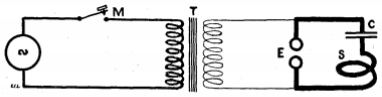


FIG. 6. — Emploi d'un alternateur à résonance.
A, alternateur ; — E, éclateur ; — M, manipulateur ; — T, transformateur ; — C, condensateur ; — S, self-induction du circuit de décharge.

Ecole Centrale de Lyon
Bibliothèque Michel Serres

Association des Centraliens de Lyon

Huitième Année. — N° 87 *Juillet 1911*

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

1860—1911

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 : 28-03

1907 *Bethenod,J.* (F) berichtet über Kippschwingungen

[618]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

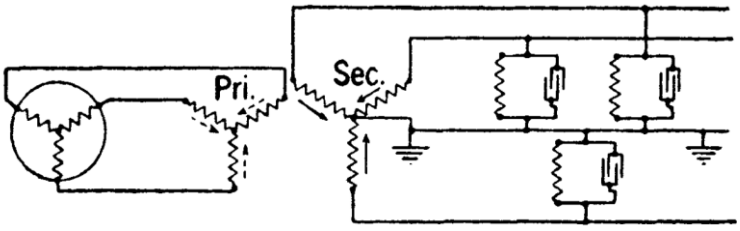


FIG. 8

1915 *Robinson,L.N.* (US), A.I.E.E., weist auf Probleme der Sternpunkt-behandlung bei der Übertragung hin und berichtet über Kipp-schwingungen auf einer Freileitung, die an einen Trafo mit starr geerdeten Sternpunkt angeschlossen war [648]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

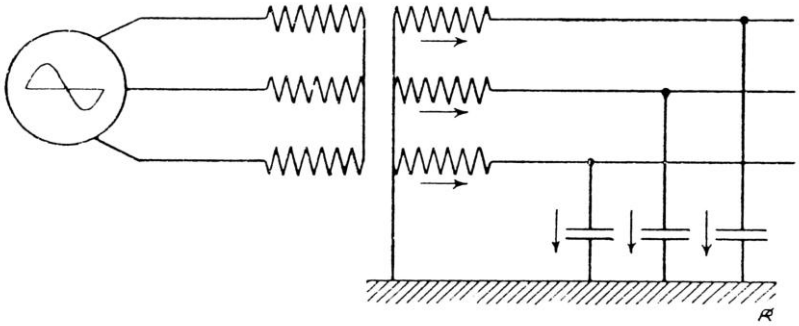


Abb. 1. Allgemeine dreiphasige Anordnung von Generator, Transformator und Fernleitung mit ihren im Stromweg der 3. Harmonischen liegenden Ersatzkapazitäten.

1928 *Kiefer,R.* untersucht Kippschwingungen der dritten Harmonischen in geerdeten Netzen [2836]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

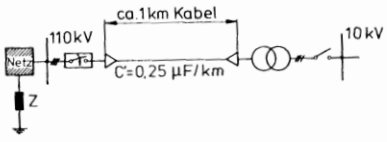


Bild 5.13 Netzanordnung einer kippschwingungsgefährdeten Starkstromanlage

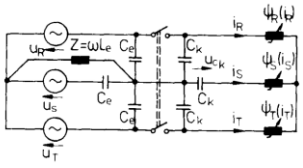


Bild 5.24 Verlustloses Ersatzschaltbild der Anlage mit Transformatorenbank für die Schalterstörung bei kompensiert gefahrenem Netz

C_k: Kabel-Erd-Kapazität
C_e: Netz-Erd-Kapazität
L_e: E-Spule

1981 *Kegel,R.*, Diss. *Berechnung von Ferroresonanzerscheinungen in Energieversorgungsnetzen*

[3835]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

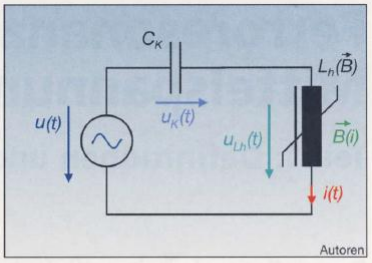


Bild 2 Ersatzschaltbild des einfachstmöglichen Ferroresonanzkreises

$u(t)$ 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

2006 – 2009 in 4 Teilen Bull. SEV/AES

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].

[2913]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

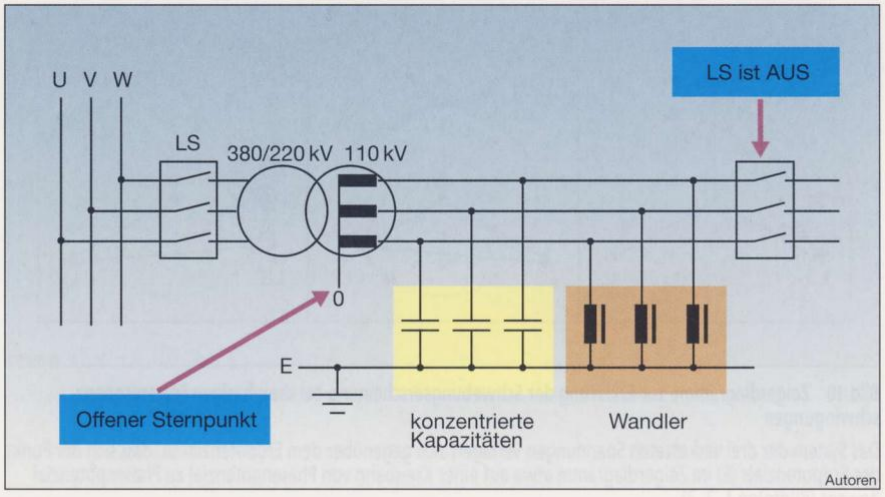


Bild 8 Isoliertes Mittelspannungsnetz als Beispiel für ein Prinzipschaltbild in einer Situation, in welcher eine dreiphasige Ferroresonanzschwingung auftreten kann

[2913]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

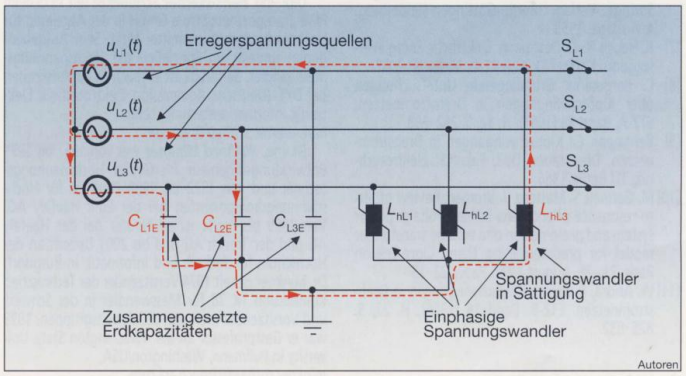


Bild 9 Vereinfachtes Schaltbild für eine Anlagenkonfiguration (leer laufendes Transformatorfeld), in welcher eine dreiphasige Ferroresonanz auftritt

$u_{L1}(t)$, $u_{L2}(t)$, $u_{L3}(t)$	Anregende Spannungen, z.B. Wicklungen eines speisenden Transformators
$C_{L1E}(t)$, $C_{L2E}(t)$, $C_{L3E}(t)$	Erdkapazitäten
$L_{hL1}(t)$, $L_{hL2}(t)$, $L_{hL3}(t)$	Hauptinduktivitäten einphasiger induktiver Spannungswandler
S_{L1}, S_{L2}, S_{L3}	Offene Schalter oder Trennschalter zur Sammelschiene

Der gestrichelt eingezeichnete Strompfad gilt für eine Halbwelle, in welcher der Spannungswandler rechts aussen (L_{hL3}) in Sättigung gerät und die Erdkapazitäten der anderen beiden Phasen (C_{L1E}, C_{L2E}) umlädt.

[2913]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

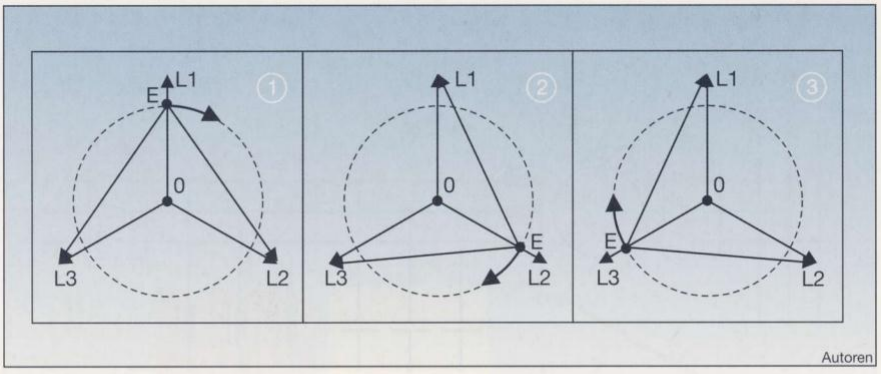


Bild 10 Zeigerdiagramme zur Erklärung der Schwebungserscheinung bei dreiphasigen Ferroresonanzschwingungen

Das System der drei verketteten Spannungen verlagert sich gegenüber dem Erdpotenzial so, dass sich der Punkt des Erdpotenzials (E) im Zeigerdiagramm etwa auf einer Kreisbahn von Phasenpotenzial zu Phasenpotenzial bewegt (Bildfolge 1, 2, 3)

[2913]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Ausg. 10.83 Ersatz für: - Teil B 07-02-03 Seite 1

PK

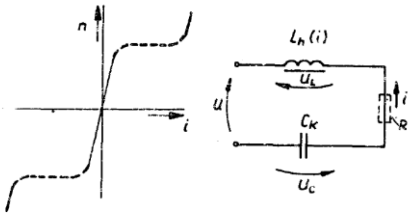
Strom- und Spannungswandler
Spannungswandler
Betriebsverhalten und
Schaltungsanordnungen

Verbindlich ab:
02.01.84

Ungültig ab:

5.1.3. Ursache von Kippvorgängen und deren Existenzformen

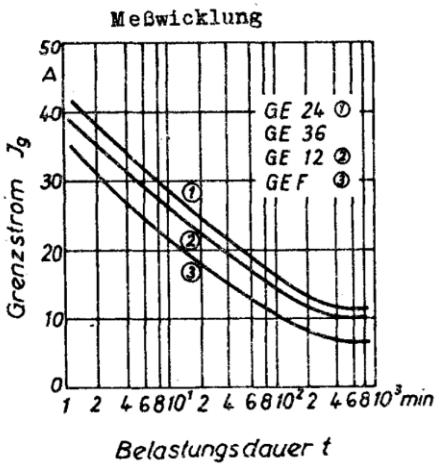
Ursache der Kippvorgänge ist das nichtlineare Verhalten einer in die Sättigung geratenen Eisendrossel, die mit einer Kapazität C_K einen Reihenschwingkreis bildet. Im Augenblick der Sättigung von L_h geht X_L um Größenordnungen zurück. Die Ladungen werden jeweils umgeladen abhängig davon, ob die positive oder negative Halbwelle der Spannung anliegt. Dieses Umladen der Kapazität wirkt wie ein Schalter, die Änderung des Stromes stellt einen Kippvorgang dar. Bei fehlender bzw. nicht ausreichender Dämpfung treten diese in der Eigenfrequenz des nichtlinearen Schwingkreises in Resonanz befindlichen Schwingungen mit ihren Spannungsüberhöhungen bzw. thermischen Wirkungen auf.

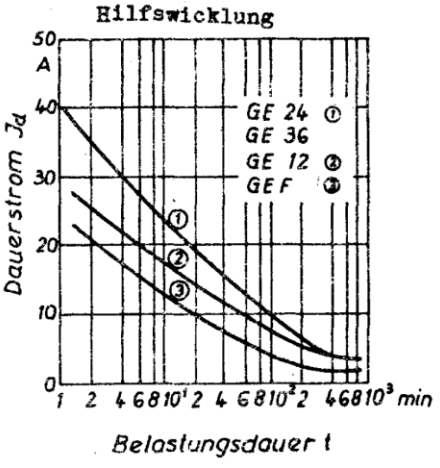


[SALH-PK]

Kippschwingungen

VDE Thüringen





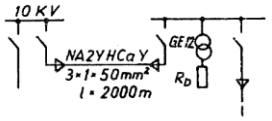
[SALH-PK]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Beispiel:

gegeben:



gesucht:

R_D = ?

$C_E = C_E' \cdot l = 0{,}24 \cdot 2 = 0{,}48\,\mu F$

Ergebnis: $R_D \sim 10\,\Omega$

Der erforderliche Dämpfungswiderstand R_D in der e-n-Wicklung muß $\leq 10\,\Omega$ betragen, wenn mit Sicherheit alle schädlichen Auswirkungen von Ferroresonanzen vermieden werden sollen.

[SALH-PK]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Leiternennquerschnitt mm²	C_E' [µF/km] 10 kV	20 kV	30 kV
PE-Kabel (Einleiterkabel)			
50	0,24	0,17	0,13
70	0,27	0,18	0,14
120	0,32	0,22	0,17
185	0,37	0,25	0,19
240	0,42	0,28	0,21
300	0,45	0,30	0,22
400	0,50	0,33	0,25
500	0,55	0,36	0,27
3/4 adrige Massekabel			
25	0,15	-	-
50	0,20	0,15	-
70	0,22	0,18	0,15
120	0,28	0,20	0,18
185	0,32	0,22	0,20
240	0,35	0,25	0,20
300	0,38	0,30	0,22
400	0,40	0,32	0,25

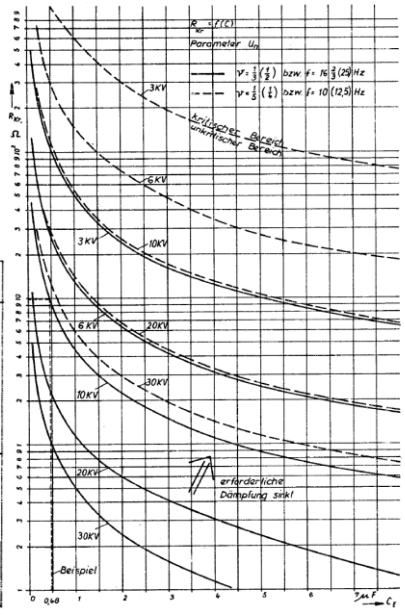


Bild 18
Kritische Dämpfungswiderstände R_{Kr} für TuR-Spannungswandler in Abhängigkeit der Leiter-Erde-Kapazität

[SALH-PK]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Die unter Pkt. 5.1.1. genannten Erscheinungen entstehen nur bei
- isoliert betriebenen Netzen
  (Die Leiter-Erde-Kapazität C_K ist bei einem geerdeten Netz nicht wirksam)
- einpolig geerdeten Spannungswandlern
  (Bei isoliert betriebenen ist die Ausbildung dieses Stromkreises nicht möglich)
- kleinen wirksamen Leiter-Erde-Kapazitäten
  (Größere Kapazitäten verhindern das Zustandekommen eines stabilen resonanten Arbeitspunktes, s. u.a. Bild 17)
- leerlaufendem Netz (Teilnetz)
  (Eine Netzbelastung R_L würde die in der Induktivität L_h gespeicherte Energie ableiten)
- Einleitung eines Schaltvorganges
  (z.B. durch Zuschalten eines Trafos, Kabelabganges , Erdschluß o. zusätzliche Wandlergruppe wird der Wandler in die Sättigung getrieben).

[SALH-PK]

Kippschwingungen

- 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.

Prof. Oswald, Uni Hannover

[UniH]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

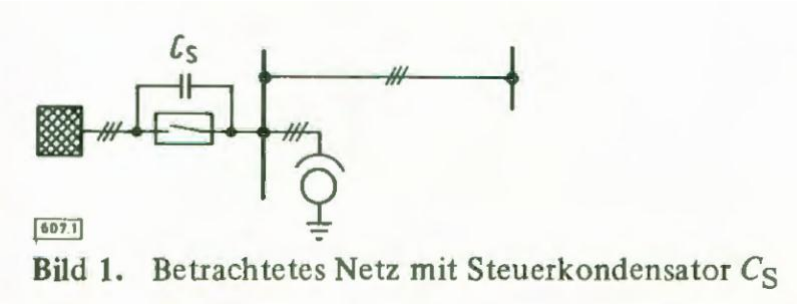


Bild 1. Betrachtetes Netz mit Steuerkondensator C_S

1985 *Dettmann*

[3902]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

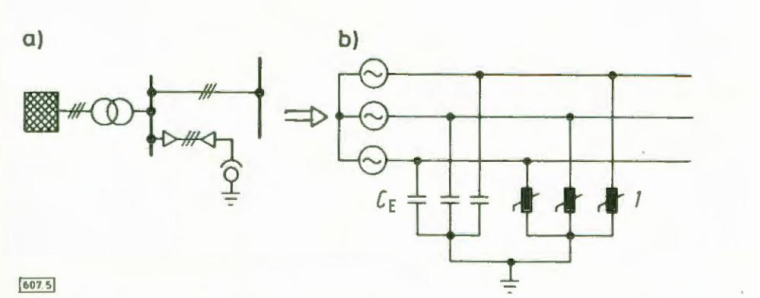


Bild 5. Netz mit freiem Transformatorsternpunkt a) und prinzipielle Ersatzschaltung b)
C_E Erdkapazität der Anlage
l Hauptinduktivität des Spannungswandlers

1985 *Dettmann*

[3902]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

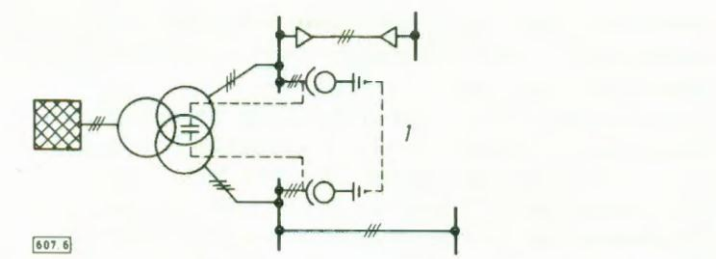


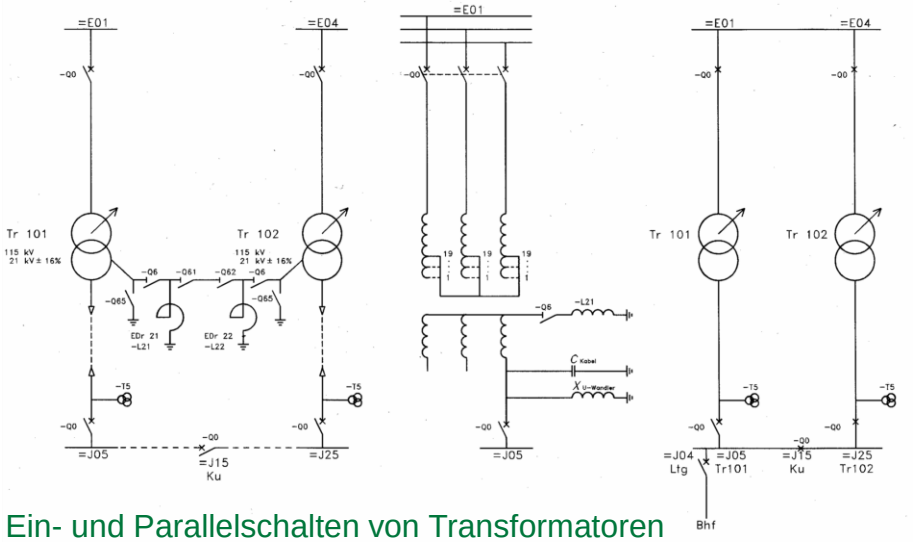
Bild 6. Netz mit Dreiwicklungstransformator
1 Vereinfachte Darstellung des ferroresonanzgefährdeten Reihenschwingkreises mit einer Koppelkapazität

Nach [3902] können sich derartige Schwingkreise auch bei Trafos ohne freiem Sternpunkt ausbilden.

1985 *Dettmann* [3902]

Kippschwingungen

VDE Thüringen



Ein- und Parallelschalten von Transformatoren

Kippschwingungen

VDE Thüringen

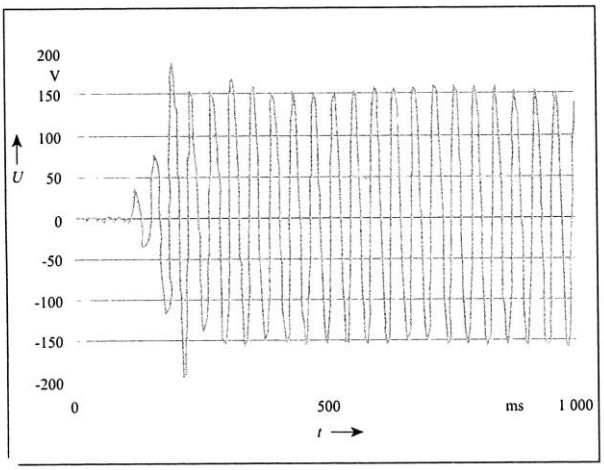


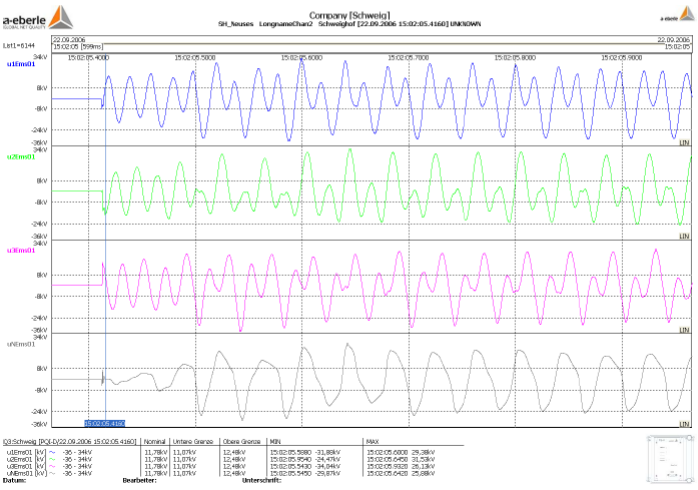
Bild 8: e-n-Spannung bei Zuschaltung des Transformators mit Kippschwingung

[3938]

Kippschwingungen

Beispiel 3 – Kippschwingung

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.



Kippschwingungen

VDE Thüringen

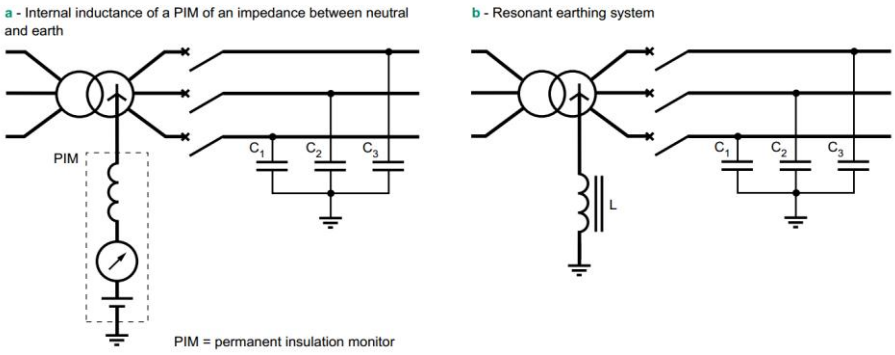


Fig. 9: ferroresonance in the case of a system earthed through a reactor.

1998 *Feracci,Ph.:* Ferroresonance. Cahier technique n° 190, Collection Technique, Groupe Schneider, ECT190 [3935]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Kippschwingungen

VDE Thüringen

4 Das Ergebnis von Ferroresonanz in einem ungeschützten Spannungswandler

[2969] Wojciech

Kippschwingungen

VDE Thüringen

VDE

ETG

ENERGIETECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE

ETG im VDE [411] · Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt/Main

An alle Interessenten an der Umfrage

„Wissenschaftliche Studie zur Sternpunkt-behandlung in Stromnetzen bis 110 kV"

Geschäftsstelle

Oktober 2010
Tel. 069 6308-346
Fax 069 6308-9822
etg@vde.com

1.28	Wurden Ferroresonanzen registriert?	nein	Auswahlfeld (nur **eine Antwort** ist zulässig)	- Nein - Ja, in Form von Kipschwingungen - Ja, in Form von Subharmonischen - Ja, in Form von Kippschwingungen und Subharmonischen	**Ferroresonanz** ist eine Schwingungserscheinung im nichtlinearen (R, L, C) Schwingkreis. Diese Nichtlinearität wird durch die Magnetisierungskennlinie von Induktivitäten bedingt. **Kippschwingungen:** Die Nichtlinearität der Induktivität verursacht – je nach Aussteuerung – einen instabilen Arbeitspunkt, der ein Kippen in einen neuen stabilen Arbeitspunkt mit großen Resonanzüberhöhungen und Oberschwingungsanteilen des Stromes und der Spannungen verursachen kann. **subharmonische Schwingungen:** Subharmonische Schwingungen stellen sich in einem nichtlinearen Schwingkreis ein, wenn ganzzahlige Vielfache der Eigenfrequenzen f0 der Netzfrequenz fN entsprechen (v · f0 = fN; v= 2, 3, 4, ...). Typische subharmonische Frequenzen sind 12,5, 16 2/3 und 25 Hz; die Effektivwerte der subharmonischen Spannungen betragen in der Regel max. 80 bis 90 % der Nennspannung der Grundschwingung. Besonders anfällig für subharmonische Schwingungen ist das Nullsystem kleiner sternpunktisolierter Netze.

http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/sua/AK-Sternpunktbehandlung/Documents/07.12._AnleitungszumFragebogen-gesamt.pdf

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Ferroresonanz
(Frage 1.28)

Resonanz zwischen der Kapazität eines Betriebsmittels und der Induktivität des sättigbaren magnetischen Kreises eines benachbarten Betriebsmittels *(VDE 0101:2000-01)*.

Kippschwingungen

Durch Aussteuerung der Sättigungskennlinie der Induktivität kann ein Kippvorgang von einem stabilen Arbeitspunkt (Normalbetrieb) in einen neuen stabilen Arbeitspunkt mit großen Resonanzüberhöhungen von Spannungen und Strömen erfolgen. Ströme und Spannungen enthalten hohe Oberschwingungsanteile.

Subharmonische Schwingungen

Subharmonische Schwingungen stellen sich in einem nichtlinearen Schwingkreis ein, wenn ganzzahlige Vielfache der Eigenfrequenzen f_0 der Netzfrequenz f_N entsprechen ($f_N = \nu \cdot f_0$; $\nu = 2, 3, 4, \ldots$). Typische subharmonische Frequenzen sind 12,5 Hz, 16 2/3 Hz und 25 Hz im **Nullsystem**; die Effektivwerte der subharmonischen Spannungen betragen in der Regel max. 80 bis 90 % der Nennspannung der Grundschwingung. Besonders anfällig für subharmonische Schwingungen ist das Nullsystem sternpunktisolierter Netze mit geringer Ausdehnung.

[E40]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

3.5 Grundsätze zur niederohmigen Sternpunkterdung (NOSPE)

Beim Vergleich von sternpunktisolierten Netzen und Netzen mit Erdschlusskompensation gegenüber Netzen mit niederohmiger Sternpunkterdung sind folgende Eigenschaften hervorzuheben:

- Durch den Wegfall von Eingrenzungsschaltungen zur Erdschlusssuche entfallen Spannungsbeanspruchungen von Betriebsmitteln, die teilweise unzulässige Werte erreichen können.
- Die Betriebsführung hinsichtlich der Erdfehlererfassung und -ortung kann durch den Einsatz von Kurzschlussschutzeinrichtungen in Kombination mit Fehlerorterfunktion und Kurzschlussanzeigern (KSA) verbessert werden.
- Die latente Gefahr des Überganges eines Erdschlusses in einen kurzschlussartigen Folgefehler infolge der transienten Überspannungen bei Erdschlussbeginn und der stationären Überspannungen während des Erdschlusses entfällt. Es besteht praktisch keine Gefahr der Ausweitung eines Erdschlusses zu kurzschlussartigen Folge- und Mehrfachfehlern.
- Netze mit isoliertem Sternpunkt neigen zu Ferroresonanzvorgängen (Kippschwingungen, subharmonische Schwingungen), die sowohl Überbeanspruchungen der Betriebsmittel als auch erdschlussähnliche Vorgänge verursachen können, ohne dass im Netz ein Erdfehler vorliegt.
- Der zunehmende Einfluss der Oberschwingungen (vorrangig 5. und 7. Harmonische) führt im Gegensatz zu früheren Erfahrungen dazu, dass der Reststrom sowohl fehlerort- als auch zeitabhängig ist. Die Kompensation der Harmonischen ist nur durch zusätzliche Maßnahmen möglich.
- Der einpolige Erdfehler (Erdkurzschluss) ist bezüglich der damit verbundenen Spannungs- und Strombeanspruchungen ein Kurzzeitfehler.

[E40]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

TDLF 10000-30						1982	
					DB	50	
		10000 (5000)					
	YyO			A		40	
1	34770		166 (83)			9,3	(4,7)
10	30000	10500	193 (96,5)	550 (275)		8,7	(4,4)
19	25230		229 (115)			8,0	(4,0)

Eine angeschlossene Erdschlussdrossel ist hier nicht wirksam

Kippschwingungen

VDE Thüringen

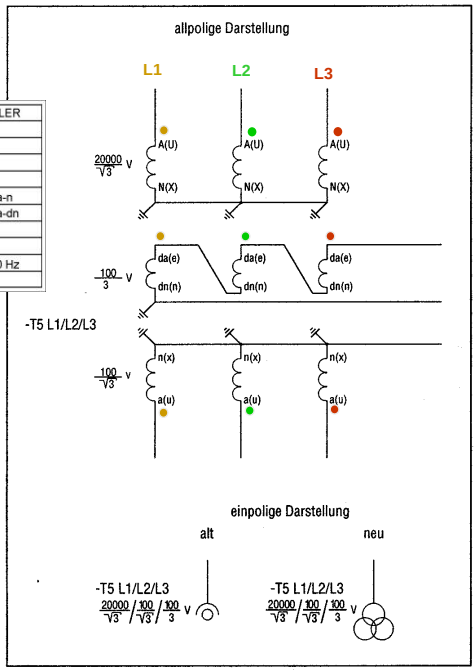
Kippschwingungen (Ferroresonanz)

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 Nenngrenzleistung der Wandler nicht ausreichend ist. **[E2]**

Kippschwingungen

VDE Thüringen

RITZ		SPANNUNGSWANDLER		
EGSES24D		10/ 30685059		
24/50/125 kV		20000/√3		
V	VA	Kl	VA_{th}	
100/√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		



[Scho-Ns]

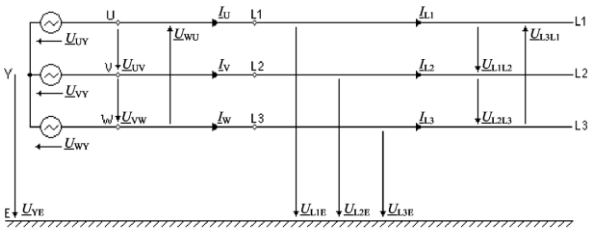
Bild 6-1 Schaltbild eines Spannungswandlersatzes

Kippschwingungen

VDE Thüringen

8.5 Drehstromnetz

DIN 40108



U, V, W: Außenpunkte eines Drehstromgenerators oder einer Transformatorwicklung mit drei Stränge Sternschaltung

Bild 5 — Drehstromnetz mit drei Außenleitern L1, L2, L3

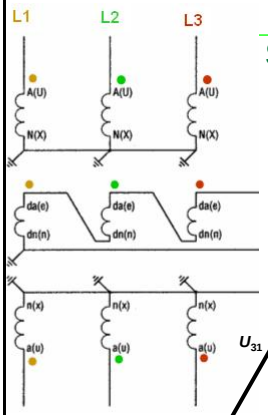
12 Formelzeichen und Indizes für Spannungen

Gültig ist jetzt DIN EN 60375:2004-04

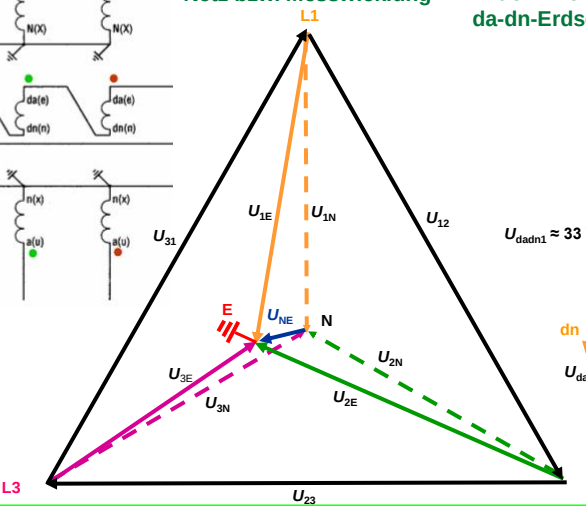
Das Formelzeichen für eine Spannung zwischen zwei Netzpunkten oder den dazugehörigen Leitern wird im Allgemeinen mit zwei Indizes versehen (siehe Tabelle 2), die mit den Zeichen der betreffenden Außenpunkte oder der Leiter übereinstimmen. Die Reihenfolge der Indizes entspricht dem Bezugssinn der Spannung (siehe DIN 5489). Auf einen oder sogar beide Indizes kann verzichtet werden, wenn die Spannung im Schaltplan durch einen Bezugspfeil orientiert ist, oder wenn Verwechslungen ausgeschlossen sind. Bei Wechselstromnetzen bedeutet das Formelzeichen U den Effektivwert der Spannung. Für den Augenblickswert ist u zu verwenden. Für Spannungszeiger wird das Formelzeichen unterstrichen.

Kippschwingungen

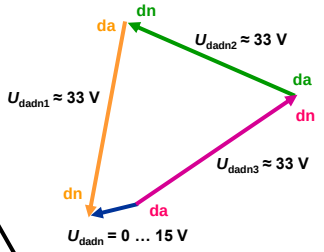
Spannungen bei ungestörtem Betrieb



Netz bzw. Messwicklung



in der im offenen Dreieck geschalteten da-dn-Erdschlusshilfswicklung

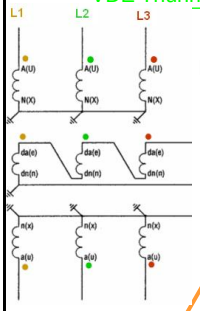


[Scho-Ns]

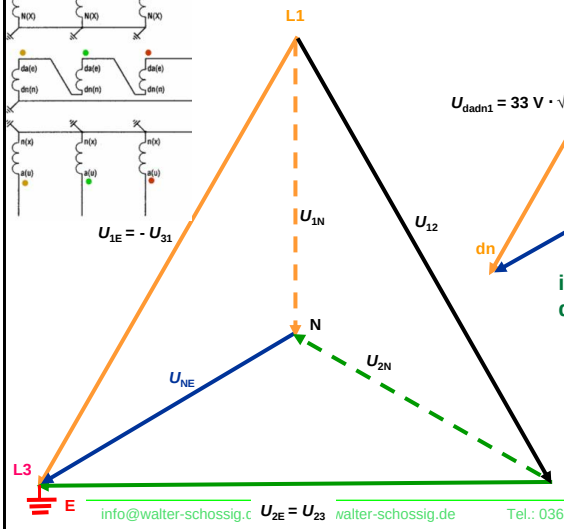
Kippschwingungen

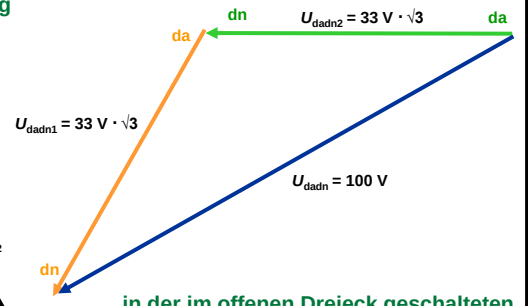
VDE Thüringen

Spannungen bei Erdschluss in L3



Netz bzw. Messwicklung





in der im offenen Dreieck geschalteten da-dn-Erdschlusshilfswicklung

[Scho-Ns]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Nach DIN VDE 0414 muss ein Wandler 8 h 1,9 U_n (1,1*√3 U_n) im Erdschlussfall vertragen.

$$R = \frac{100\text{V}}{5{,}7\text{A}} = 17{,}5\Omega$$

$$R = \frac{110\text{V}}{5{,}7\text{A}} = 19{,}2\Omega$$

Bemessung des Kippschwingungsdämpfers 22 bis 25 Ω ± 10 % und 600 W

RITZ Messwandler Dresden GmbH
Bergener Ring 65/67 01458 Ottendorf Okrilla

RITZ		SPANNUNGSWANDLER		
GSZ612		02/ 30132933		
7.2/20/60 kV		6000 V		
V	VA	Kl	VA*	
100	120	1	400	a-b
	480122A		E	50 Hz
	DIN VDE 0414			

RITZ		SPANNUNGSWANDLER		
EGSES24D		10/ 30685059		
24/50/125 kV		20000/√3		
V	VA	Kl	VA_{th}	
100/√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 11.11Ω

Erdschlussfall: 1,9 * Un

11.11Ω 1.9 * 100V / 3 ergibt: 5.7 A 361 VA

e·on	Technische Spezifikation für Messwandler	Stand: 01.02.2008 Ersetzt: 07.02.2006 Seite: 17/34

4.6.6 Thermische Grenzleistung

Zählwicklungen:	300 VA
Wicklung zur Erdschlusserfassung:	100 VA, 6 A, 8h

4.6.7 Bemessungsleistung

Zählwicklungen bei 20.000 V:	15 VA
Zählwicklungen bei 10.000 – 20.000 V	10 - 15 VA
Zählwicklungen bei 15.000 – 20.000 V:	10 – 15 VA
Wicklung zur Erdschlusserfassung:	30 VA

Kippschwingungen

VDE Thüringen

EN 60044-2 VDE 0414 Teil 44-2:2003-12

13.4.2 Thermische Bemessungs-Grenzleistung

Die thermische Bemessungs-Grenzleistung der Wicklung für Erdschlusserfassung muss in VA angegeben werden.

Die Werte müssen 15 VA, 25 VA, 50 VA, 75 VA, 100 VA und deren dezimale Vielfache sein, bezogen auf die sekundäre Bemessungsspannung und einen Leistungsfaktor von 1. Die unterstrichenen Werte sind bevorzugte Werte.

ANMERKUNG Da die Wicklungen für Erdschlusserfassung im offenen Dreieck zusammengeschaltet sind, werden sie nur im Störfall belastet.

Abweichend von der Definition in 2.1.17.2 sollte die thermische Bemessungsleistung der Wicklung für Erdschlusserfassung auf eine Dauer von 8 h bezogen sein.

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.

Kippschwingungen

VDE Thüringen

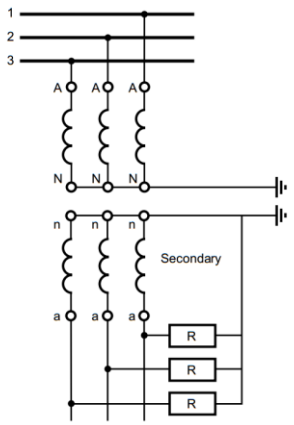


Fig. 11: protection device against the risk of ferroresonance for VTs with one secondary.

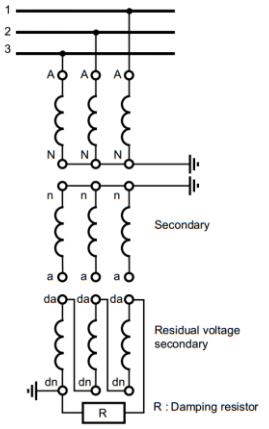
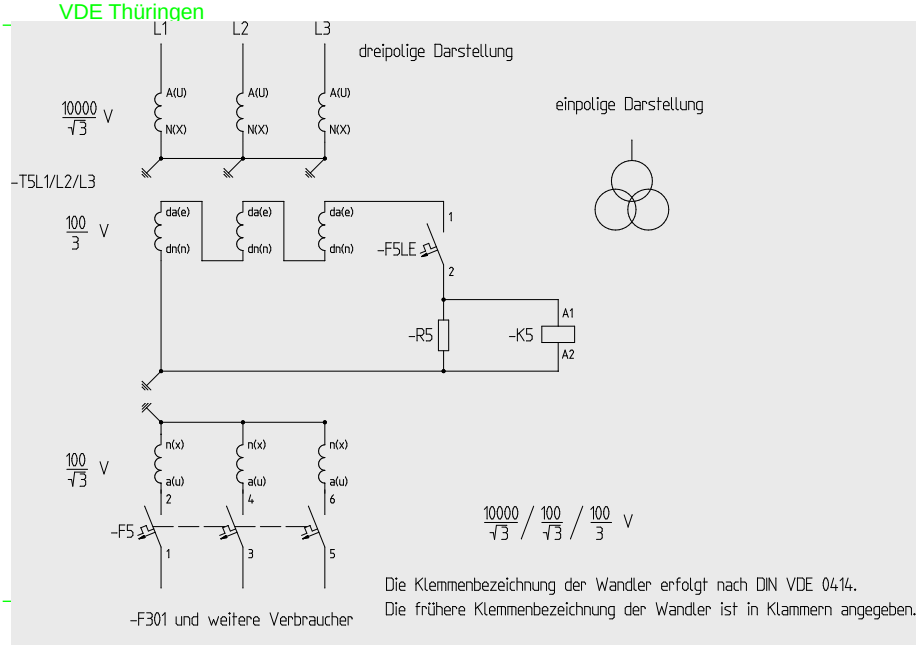


Fig. 12: protection device against the risk of ferroresonance for VTs with two secondaries.

Feracci [3935]

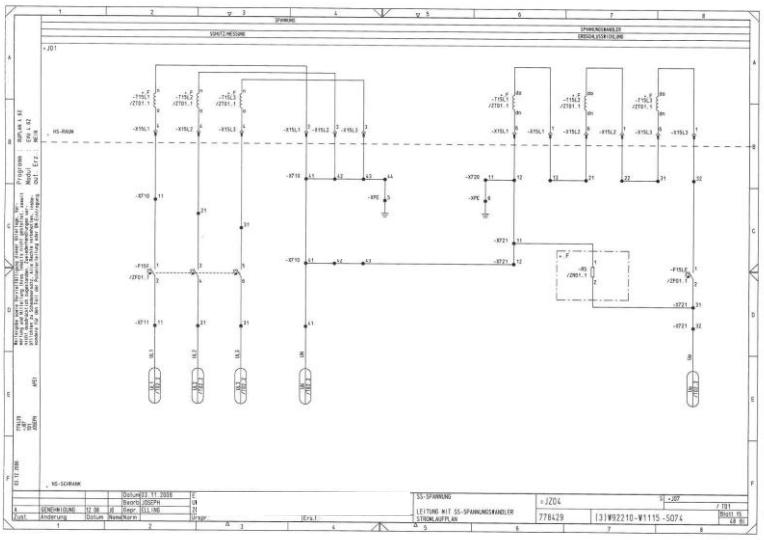
Kippschwingungen

VDE Thüringen



Kippschwingungen

VDE Thüringen



Kippschwingungen

VDE Thüringen

RITZ
Instrument Transformers

Kippschwingungs-Bedämpfungseinrichtung

Die Bedämpfung durch einen ohmschen Leistungswider stand. Hier ist allerdings die Größe des Widerstands durch den thermischen Langzeitstrom des da-dn- (en-) Wicklung begrenzt. Ist diese Wicklung z.B. auf 6 A ausgelegt, darf bei einer anstehenden Spannung von 110 V im Erdschluss (100 / √3 V * 1.9) der Widerstand die Größe von 20 Ohm nicht unterschreiten. Die Dämpfungsleistung bei einer Kippschwingung, die sich aus Ukipp2 / R berechnet, ist also beschränkt.

[Ritz]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Stadtwerke Emmerich
Mehr als Energie.

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 Wirkleistungsdrossel und einem parallelen ohmschen Widerstand (z.B. 50 Ohm, 220W)

  oder einer
- rein ohmschen Beschaltung (z.B. 20 Ohm, 750W) vorzunehmen.

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Werknorm Technische Anschlussbedingungen Februar 2011

e·on | edis	Anschluss von Erzeugungsanlagen an das 110-kV-Netz	WN TAB 3020
		Seite 1 von 113

Gültig ab 01.März 2011

Geltungsbereich
Diese Werknorm gilt für das Netzgebiet des Netzbetreibers (NB) E.ON edis AG.

Eichfähige Spannungswandlerwicklungen

Die Spannungswandlerwicklungen eichfähiger Spannungswandler müssen an den in der Eichordnung genannten Prüfpunkten die Fehlergrenzen der betreffenden Genauigkeitsklasse einhalten. Dies ist durch eine zusätzliche Stückprüfung mit nachfolgenden Kriterien nachzuweisen.

Die Spannungswandlerwicklungen müssen voneinander magnetisch entkoppelt sein. D. h., dass sich unter dem Einfluss der Bebürdung der einen Wicklung, der Übersetzungsfehler der anderen Wicklung um nicht mehr als 0,03 % (bzw. 0,05 %) und der Winkelfehler um nicht mehr als 2 min ändert, wenn letztere mit 25 % (bzw. 50 % bei einer Spannungsabweichung von 0,05 %) der Bemessungsbürde und erstere im Bereich zwischen „Unbelastet“ und „Nennbürde“ betrieben wird.

Ausschwingverhalten bei primärem Kurzschluss (transiente Bedingungen) und Kippschwingungen (Ferroresonanz) nach DIN EN 60186.

Die Auslegung der Spannungswandler ist so vorzunehmen, dass stehende Kippschwingungen vermieden werden.

Kippschwingungen

VDE Thüringen

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 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 Wandlersatz liegen in folgenden Bereichen:
  Reihe 10 0,2 µF ... 2,0 µF
  Reihe 20 0,1 µF ... 1,1 µF
  Reihe 30 0,08 µF 0,8µF

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 Wirkleistungsdrossel 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.

[PW]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

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 größ als 0,4 T ist. Die Werte für normale Spannungswandler der Reihe 10 bis 30 liegen i Bereich zwischen 0,7 T und 0,95 T;
- Die Leitererdkapazität CE je Wandlersatz liegen in folgenden Bereichen:
  Reihe 10 0,2 µF ... 2,0 µF
  Reihe 20 0,1 µF ... 1,1 µF
  Reihe 30 0,08 µF 0,8µF

Zur Vermeidung von Kippschwingungen bei einpoligen Spannungswandlersätzen im isolie ten oder kompensierten Mittelspannungsnetz sind folgende Vorsorgemaßnahmen zu treffer

- 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 Wirkleistungsdrossel 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.

[SWH]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

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 Wandlersatz liegen in folgenden Bereichen:

Reihe 10	0,2 µF ... 2,0 µF
Reihe 20	0,1 µF ... 1,1 µF
Reihe 30	0,08 µF 0,8µF

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 Wirkleistungsdrossel 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.

[SWB]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

GWW GEMEINDEWERKE WADGASSEN GMBH

5.2 Hinweise für die Gerätemontage

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 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 Wandlersatz liegen in folgenden Bereichen:

• Reihe 10	0,2 µF ...	2,0 µF
• Reihe 20	0,1 µF ...	1,1 µF
• Reihe 30	0,08 µF...	0,8µF

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 Wirkleistungsdrossel und einem parallelen ohmschen Widerstand (z.B. 50 Ohm, 220W) oder einer
  - Ein 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.

[GWW]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

5.3.3. Mittelspannungs-Spannungswandler

Ausführung: Einpolig isolierte Gießharzspannungswandler Um = 12 kV oder 24 kV (Festlegung Um in Abstimmung mit dem Netzbetreiber) in schmaler Bauform. Der Abgriff der Messspannung erfolgt aus Sicht des Netzbetreibers vor dem Stromwandler. Die Primärspannung richtet sich nach der Netzspannung.

Sekundärwicklung	Anforderungen
Wicklung 1	100 : √3 V, Klasse 0,2, 15 VA
Wicklung 2 (e-n)	100:3 V, 1,9 U_N, 6 A, 8 h

Die Erdschlusswicklungen (Wicklung 2) der Spannungswandler sind gegen Kipp-schwingungen mit einem Dämpfungswiderstand (16 Ohm, 550 W im Schutzkäfig, Absicherung Automat 6A C-Kennlinie) zu beschalten.

[SWJ]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

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

[E.ON N]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Thüringer Energienetze

Anlage 2.1.1
zum Messstellenrahmenvertrag

Weitergehende Anforderungen an Messeinrichtungen im Elektrizitätsnetz von TEN Thüringer Energienetze GmbH
nachfolgend „Netzbetreiber" genannt

Messtechnischer Standard Strom

Sekundärwicklung	Anforderungen
Wicklung 1	100 : √3 V, Klasse 0,2, 15 VA
Wicklung 2 (e-n)	100:3 V, 1,9 U_N, 6 A, 8 h

Die Erdschlusswicklungen (Wicklung 2) der Spannungswandler sind gegen Kippschwingungen mit einem Dämpfungswiderstand (16 Ohm, 550 W im Schutzkäfig, Absicherung Automat 6A C-Kennlinie) zu beschalten. **damit thermisch überlastet**

Kippschwingungen

VDE Thüringen

e·on Thüringer Energie	Grundsätze für die Auslegung des Sekundärschutzes und der Automatisierungseinrichtungen	SE 2 –01 Oktober 2005

5 Wandler

5.1 Spannungswandler

110–kV–seitig sind Wandler gem. [2.1] einzubauen. In MS–Anlagen werden Wandler gem. [2.4] u. [2.5] eingebaut.

Bei 110–kV–Spannungswandlern sind alle n(x) der Wandlergruppe an einem Punkt gemeinsam zu erden. An die da(e) – dn(n) – Wicklungen sind Kippschwingungsdämpfer anzuschließen. Es ist dn(n) von L1 zu erden und da(e) von L3 zum Sicherungsautomaten zu führen.

8.1.6 Spannungswandler

Erdung des Anschlusses "dn(n)" der offenen Dreieckswicklung im Leiter 1

Der Stromkreis 027L1 muss mit einem Dämpfungswiderstand –R5 nach dem Leitungsschutzschalter –F5LE ausgerüstet sein. Der Dämpfungswiderstand soll aus Gründen der Absicherung eine Größe von ca. 25 Ω und 6 A haben. Der Leitungsschutzschalter ist am Anschluss „da(e)" von L3 angeschlossen.

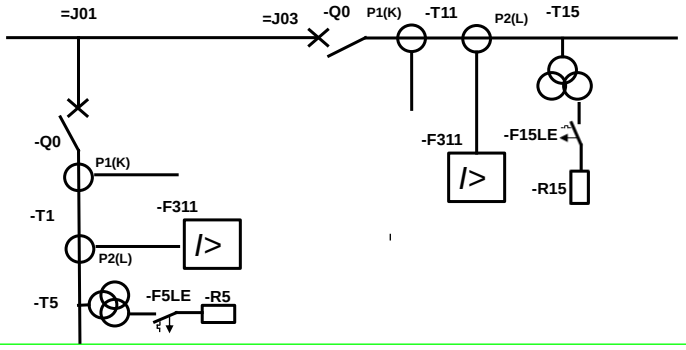
[ETE]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

e·on Thüringer Energie	Kennzeichnung von Sekundäranlagen	SE 2 –04 Oktober 2005

–R5 Kippschwingungsdämpfer im Abgang
–R15 Kippschwingungsdämpfer in SS 1
–R25 Kippschwingungsdämpfer in SS 2



Kippschwingungen

VDE Thüringen

PFALZWERKE	Technische Richtlinie der Pfalzwerke Netzgesellschaft mbH für den Anschluss von parallelbetriebenen Erzeugungsanlagen an das 20kV-Netz	9.4.2.1 Oktober 2010 PNG 4/14

5 Spannungswandler

Die Spannungswandler sind aus Netzbetreiber-Sicht hinter dem Übergabeleistungsschalter und Schutzstromwandler anzuordnen, sodass ein Fehler an den Spannungswandlern vom Übergabeschutz erkannt wird.

Der Wandlersockel muss am vorgesehenen Erdungspunkt mit der Anlagenerde verbunden werden. Als Erdverbindungen reichen die Befestigungsschrauben nicht aus.

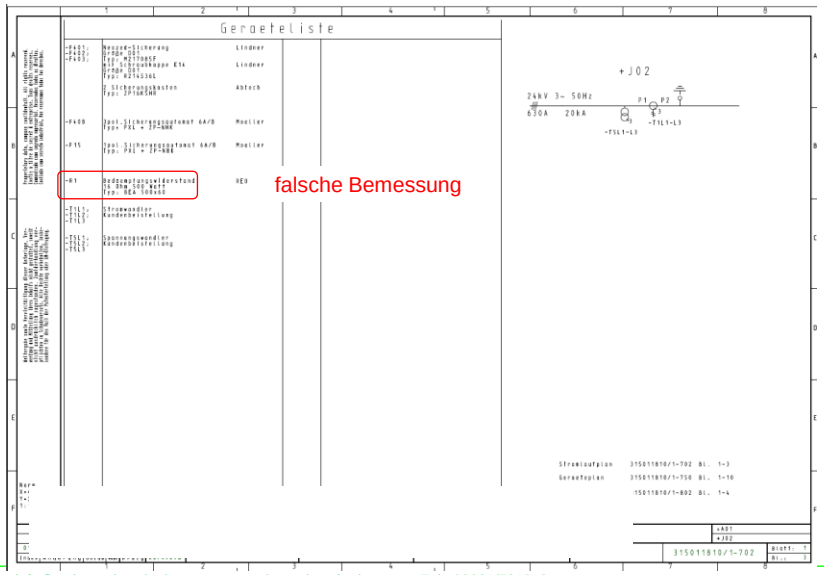
Sollen die Spannungswandler der Zählung/Messung auch für die Netzentkopplung verwendet werden, so ist eine Ausführung mit separater Spannungswicklung 100V / √3 für die Netzentkopplung zu verwenden. Der Spannungswandler-sekundärkreis (Schutzkern) ist in räumlicher Nähe zum Wandler durch einen Spannungswandlerschutzschalter mit 3 A abzusichern.
Empfohlen wird der Typ 3VE3 6HR00 von Siemens. Alternativ können Sicherungen verwendet werden.

Die Ausrüstung der einpoligen Spannungswandler mit einer Kippschwingungsbedämpfung wird empfohlen. Dazu besitzt der Spannungswandler im Regelfall eine Wicklung 100V / 3, die mit einem speziellen Dämpfungswiderstand von 20Ω , > 500W beschaltet wird.
Die Absicherung dieses Kreises erfolgt mit einem 1-poligen Automaten von 10A.

[PW]

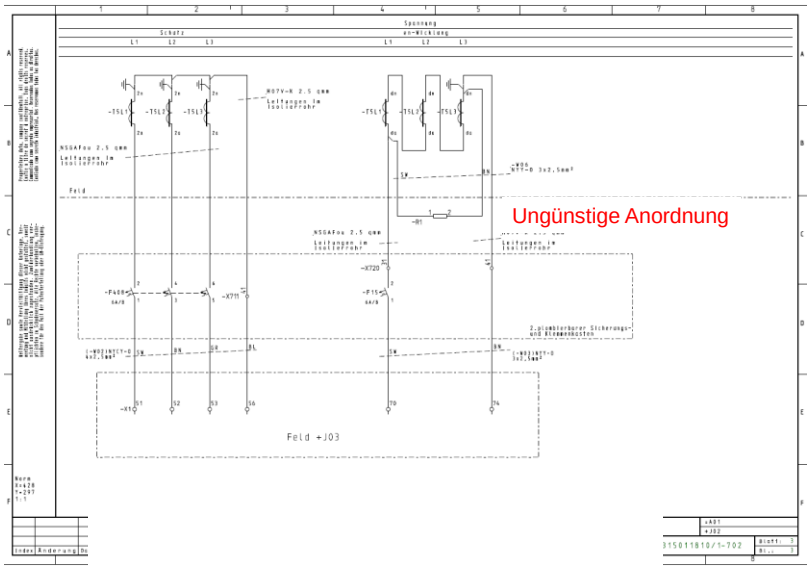
Kippschwingungen

VDE Thüringen



Kippschwingungen

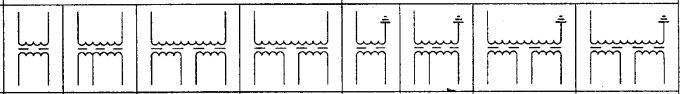
VDE Thüringen



Kippschwingungen

VDE Thüringen

Klemmenbezeichnung bei Spannungswandlern

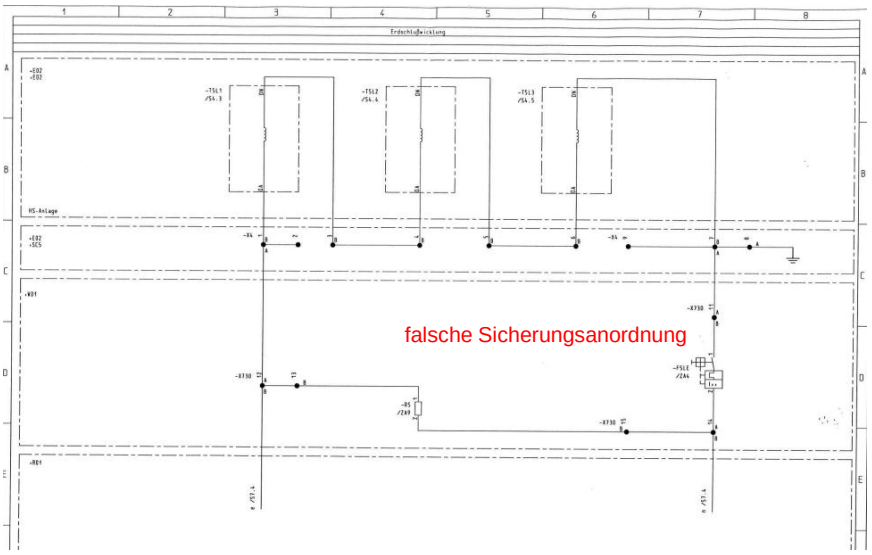
	Phase gegen Phase				Phase gegen Erde			
ANSI	H_1, H_2				H_1, H_2			
BS	A B				A N			
IEC	A B				A N			
VDE 0414	U V				U X			
Primär Primary Secondary Sekundär								
VDE 0414	u v	u_1 u_2 v	1u 1v 2u 2v	u v e n	u x	u_1 u_2 x	1u 1v 2u 2v	u v e n
IEC	a b	a_1 a_2 b	1a 1b 2a 2b	a b d_a d_n	a n	a_1 a_2 n	1a 1n 2a 2n	a n d_a d_n
BS	a b	a_1 a_2 b	1a 1b 2a 2b	a b d_a d_n	a n	a_1 a_2 n	1a 1n 2a 2n	a n d_a d_n
ANSI	X_1, X_2	X_1, X_2 X_3	X_1, X_2 Y_1, Y_2	X_1, X_2 Y_1, Y_2	X_1, X_2	X_1, X_2 X_3	X_1, X_2 Y_1, Y_2	X_1, X_2 Y_1, Y_2

ANSI American National Standard Institute
BS British Standard
IEC International Electrotechnical Commission
VDE Verband Deutscher Elektrotechniker

[IGEVU_Wdl]

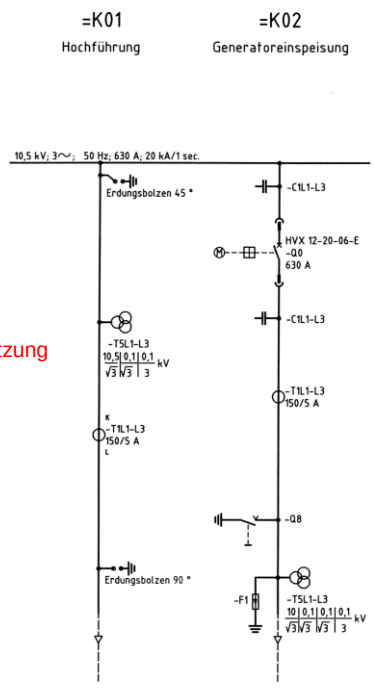
Kippschwingungen

VDE Thüringen



Kippschwingungen

VDE Thüringen

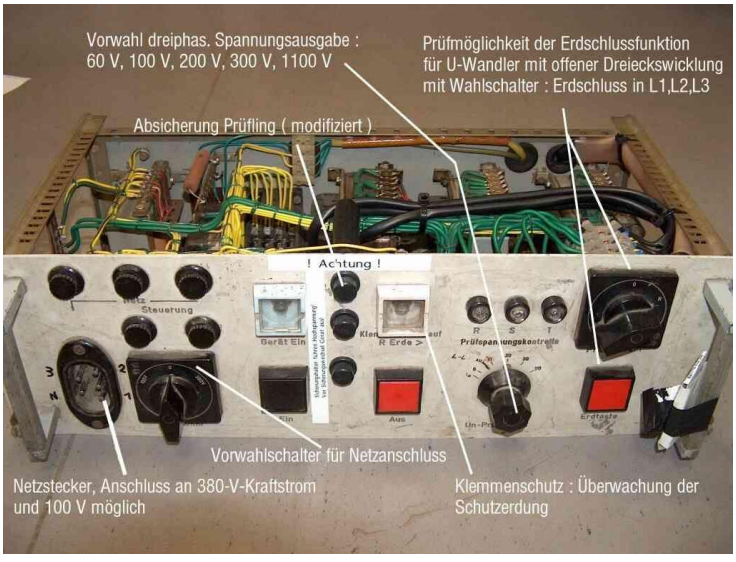


unübliche Übersetzung

2009 BHKW

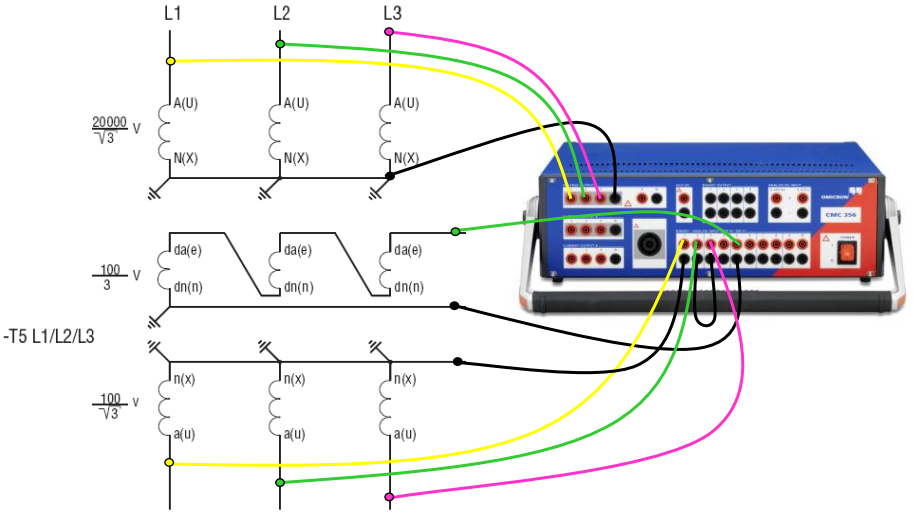
Kippschwingungen

VDE Thüringen



Kippschwingungen

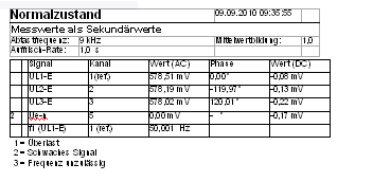
VDE Thüringen



Prüfung des Spannungswandlersatzes mit CMC356 [E35]

Kippschwingungen

VDE Thüringen



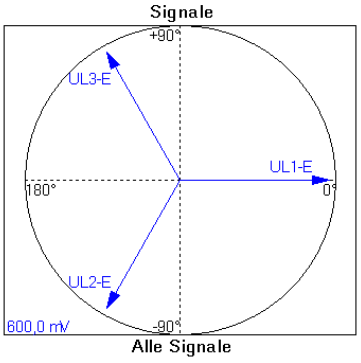
Normalzustand 09.09.20 10 09:35:55

Messwerte als Sekundärwerte

Abtastfrequenz:	9 kHz	Mittelwertbildung:	1,0
Anti-Alias-Rate:	1,0 s		

	Signal	Kanal	Wert (AC)	Phase	Wert (DC)
	UL1-E	1 (ref)	578,51 mV	0,00°	-0,08 mV
	UL2-E	2	578,19 mV	-119,97°	-0,13 mV
	UL3-E	3	578,02 mV	120,01°	-0,22 mV
2	Uen	5	0,00 mV	- °	-0,17 mV
	f1 (UL1-E)	1 (ref)	50,001 Hz		

1 = Überlast
2 = Schwaches Signal
3 = Frequenz unzulässig



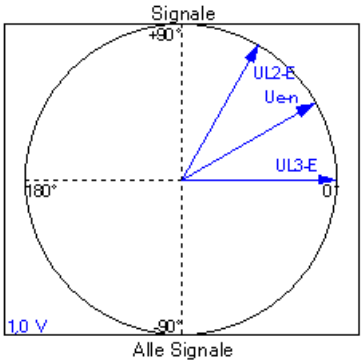
Fehler L 1-E 09.09.2010 09:37:05

Messwerte als Sekundärwerte

Abtastfrequenz:	9 kHz	Mittelwertbildung:	1,0
Anti-Alias-Rate:	1,0 s		

	Signal	Kanal	Wert (AC)	Winkel	Wert (DC)
1	UL1-E	1	0,00 mV	-	-0,06 mV
	UL2-E	2	997,38 mV	0,20°	-0,18 mV
	UL3-E	3 (ref)	999,91 mV	0,00°	-0,17 mV
2	Uen	5	999,07 mV	0,00°	-0,21 mV
	f1 (UL3-E)	3 (ref)	50,000 Hz		

1 = Überlast
2 = Schwaches Signal
3 = Frequenz unzulässig



Kippschwingungen

VDE Thüringen

en-Wicklung richtig 09.09.2010 09:48:52

Messwerte als Sekundärwerte

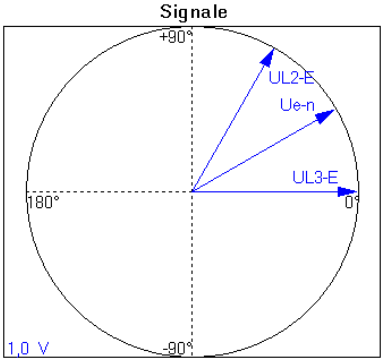
Abtastfrequenz: 9 kHz | Mittelwertbildung: 1,0

Anfliick-Rate: 1,0 s

	Signal	Kanal	Wert (AC)	Lefter	Wert (DC)
2	UL1-E	1	4,19 mV	- °	-0,08 mV
	UL2-E	2	997,36 mV	60,18°	-0,15 mV
	UL3-E	3(ref)	999,83 mV	0,00°	-0,23 mV
	Ue-n	5	990,04 mV	-29,79°	-0,23 mV
	fr (UL3-E)	3 (ref)	50,000 Hz		

1 = Überlast
2 = Schwaches Signal
3 = Frequenz unzulässig

Signale



Alle Signale

en-Wicklung gedreht 09.09.2010 09:48:19

Messwerte als Sekundärwerte

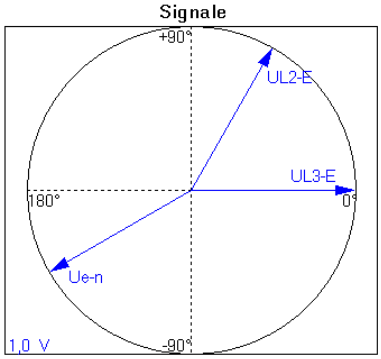
Abtastfrequenz: 9 kHz | Mittelwertbildung: 1,0

Anfliick-Rate: 1,0 s

	Signal	Kanal	Wert (AC)	Lefter	Wert (DC)
2	UL1-E	1	4,21 mV	- °	-0,09 mV
	UL2-E	2	997,33 mV	60,18°	-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
	fr (UL3-E)	3 (ref)	50,000 Hz		

1 = Überlast
2 = Schwaches Signal
3 = Frequenz unzulässig

Signale



Alle Signale

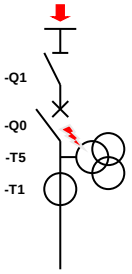
Kippschwingungen

VDE Thüringen

2008 Bio-KW nach IBS Spgs.-Wdl für Verrechnungszählung explodiert

Kippschwingungen

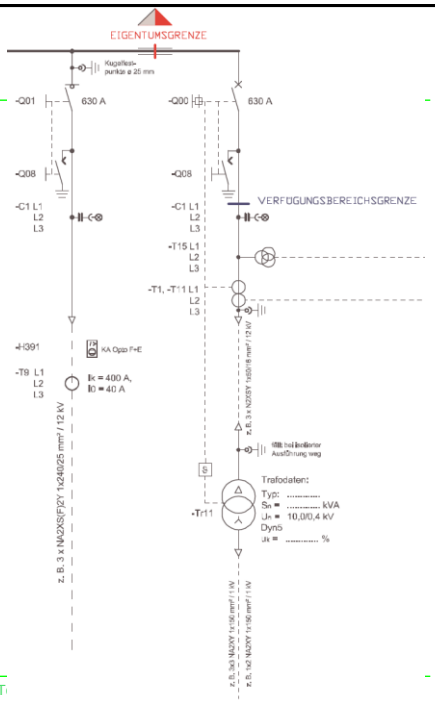
VDE Thüringen



01.11.2004 Explosion eines 110-kV-Spannungswandlers im UW Goldsteinstraße, Frf.-Niederrad, führt zur Zerstörung von zwei Trafos und einem Schaden von ca. 15 Mio €

Kippschwingungen

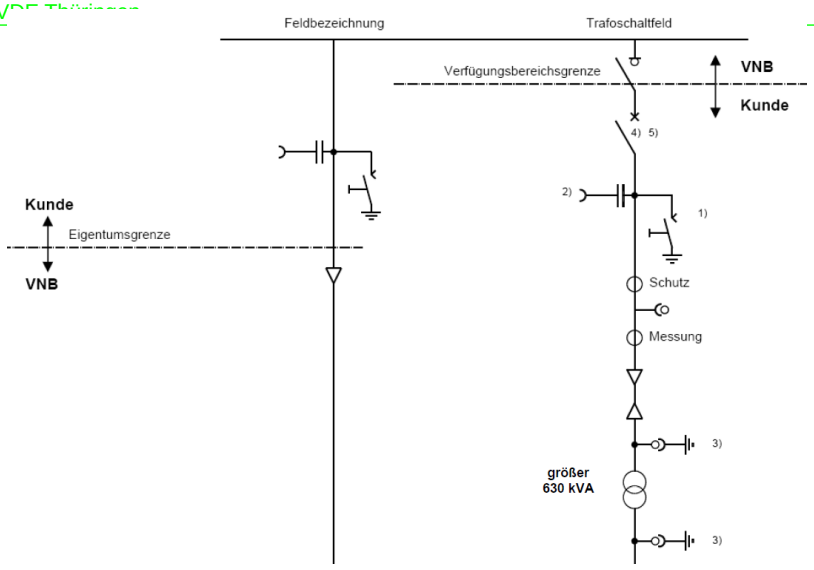
VDE Thüringen



SWA

Kippschwingungen

VDE Thüringen



SWH

Kippschwingungen

VDE Thüringen

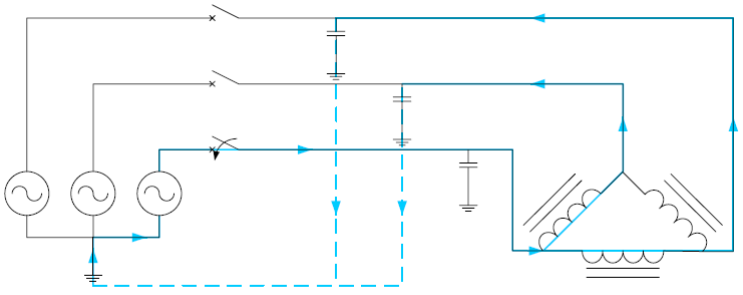


Fig. 1.Ungrounded transformer single-phase operation

CIRED, 19the International Conference on Electricity Distribution. Paper 0197- Vienna, 21-24 May 2007

[3850]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

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 Isolationsdurchschlägen 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 Erdschlussteilkompensation

(zusätzlicher Abschnitt)

Bei Netzen mit Erdschlussteilkompensation 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.

[E2]

Kippschwingungen

VDE Thüringen

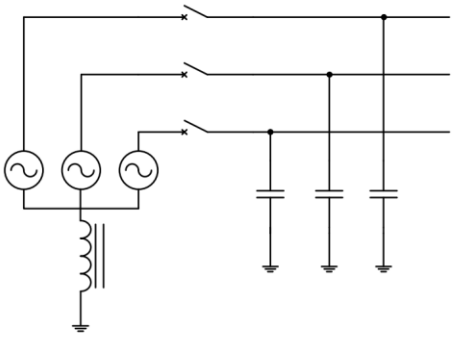


Fig. 8. Ferroresonant circuit in a MV network with Petersen coil [3].

Ferroresonant Configuration in Poweer System. Internatiomal Conference Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12), Sanriage de Compostela (Spain), 28th to 30th March 2012 [3846]

Kippschwingungen

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 Ω bei MS und 1,5 bis 5 Ω bei 110 kV	[3834]
Bauer	√			R_d falls keine da-din-Wicklung, Einbau eines Zusatzwandlers	[3948]
Buigues u.a.			√		[3850]
Baulaiikis	√		√	R_d = 3 bis 20 Ω kurzzeitig	[3930]
Bergmann	√√	√			[617][3921]
Craenenbroeck	√			R_d	[3838]
Duemeland	√			R_d = 20 bis 40 Ω	[3837]
Dettmann u.a.	√			R_d/ Wirkleistungsdrosselspulen / Thyristoren	[3901]
Dettmann	√√	√		R_d / Wirkleistungsdrosselspulen	[3902]
Feracci	√	√		R_d , 57 Ω an Erdschlusshilfswicklung (oder Leistungswickl.)	[3935]
Geppert	√			R_d = 40 Ω kurzzeitig / 50-Hz-Sperrkreis	[3926]
Gmeinhart				R_d	[3907]
Grambow u.a.	√				[Gra]
Heißrath	√			R_d	[3832][3833]
Heuck u.a.	√√	√			[3927]
Holmanns	√	√		Kippschwingungsfreie Wandler / Wirkleistungsdrosseln / R_d	[3938]
Hopkins	√				[3903]
Kegel	√	√		$v \neq 1$	[3835]
Kiefer	√		√		[2836]
Koch				Leitungszuschaltung / R_d sekundär oder primär	[3924][3925]
Kraeft	√√	√	√	R_d = 20 bis 40 Ω bei MS und 1,5 bis 5 Ω bei 110 kV	[3936]
Kunde			in SF_6-Anl. √	Wandlerauslegung	[3839]
LaPierre	√				[3904]
Nitzschke				R_d = 5 Ω kurzzeitig / RESPE, NOSPE. SSPE	[3937]
Meyer,H.	√			R_d	[647]
Meyer,T.	√	√			[3940]
Moran	√			R_d bei 110 kV ≥ 1000 W	[649][3920]
Peiser					[618]
Robinson	√		√		[648]
Ruschk	√√			R_d = 60 Ω, 200 W	[3929]
Schär	√			Einbau Spannungswandler am Trafosternpunkt und R_{phca} = 35 Ω ≙ R_{phvie} 184.000 Ω	[3967]
Sawade	√			Einbau von Zusatzkondensatoren / Einbau Glühlampe 150 W, 130 V kein Erfolg / R_d = 2 Ω als Kurzzeitdrossel	[3922]
Valverde u.a.	√	√			[3846]
Wojciech	√√	√	√	R_d nullsystemspannungsabhängig,	[2969]

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

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Quelle	Auftreten von Kippschwingungen bei Sternpunktbehandlung			Massnahmen	Literatur
	isoliert	kompen-siert	starr geerdet		
Schutzleitfaden	√	√	√	R_d = 20 bis 40 Ω, 6 A bei MS und etwa 5 Ω, 25 A bei 110 kV	[E2]
E.ON Netz	√	√		R_p =50 Ω im 110-kV-Netz und 20 Ω in MS-Trafoeinspeisung	[E.ON N]
E.ON edis				R_p im 110-kV-Netz und in MS-Trafoeinspeisung	[edis]
E.ON Thüringen				R_d = ca. 20 Ω, 6 A	[ETE]
GWBS, GWW, PW, SWEm, SWH	√	√		Wirkleistungsdrossel und parallel R_d = 50, 220 W oder ein R_d = 20 Ω, 750 W	[GWBS][GWW][PW][SWEm][SWH]
Ritz				R_d = 20 Ω	[Ritz]
Verschiedene SWe				R_d = 16 Ω, 550 W	[SWJ]

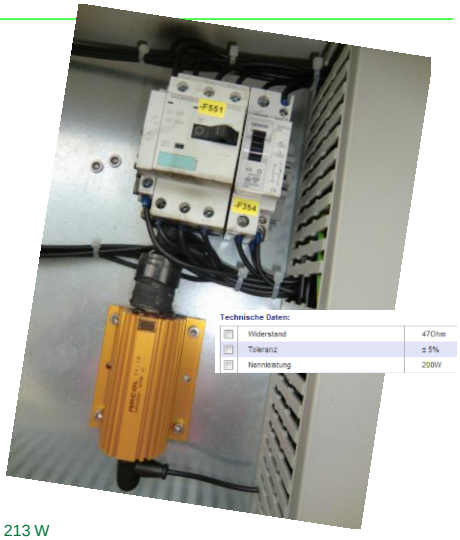
Legende
√ Kippschwingungsgefahr bzw. unter bestimmten Bedingungen gegeben
√√ starke Kippschwingungsgefahr
C_E Erdkapazität
L_{Wdl} Wandler-Nenninduktion
R_d Ohmscher Dämpfungswiderstand

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Kippschwingungen

VDE Thüringen



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

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Zusammenfassung

Um Schäden an Spannungswandlern in kippschwingungsgefährdeten Netzen zu vermeiden und einheitlich bei Schutz- und Messwandlern zu verfahren:

- Einsatz von ohmschen Kippschwingungsdämpfern 22 bis 25 Ω ± 10 %, 600 W
  in besonderen Fällen Wirkleistungsdrosseln DE6 im MS-Netz und GSOF2504, 2 x 3500 W bei 90 V, 25 Hz bzw. 2 x 2100 W bei 80 V, 25 Hz im 110-kV-Netz
- Anschluss nach der Sicherung bei ohmschen Widerständen
- Erdung einheitlich bei Schutz und Zählung dn(n) von L1
- Einheitliche Betriebsmittelkennzeichnung
- Anordnung der Spannungswandler möglichst im Schutzbereich
- Primärprüfung des Wandlersatzes und IBS-Messung

Kippschwingungen

VDE Thüringen

Empfehlungen und Richtlinien

[E2] Leitfaden zum Einsatz von Schutzsystemen in elektrischen Netzen. VDE-FNN / VEÖ. Ausg. September 2009
http://www.vde.de/de/infocenter/seiten/details.aspx?eslshopitemid=0a2decea-9c27-4541-aa57-6b75845f7602
[E29] Interessengemeinschaft Energieverteilung (IG-EVU). www.igevu.de
[E35] Geiger,S.; Schossig,T.: Primärprüfungen von Spannungswandlern mit CMC 356 und CMC 353. OMICRON Anwendertagung 2010.
http://www.omicron.at/de/support/customer/papers/awt2010/
[E40] Melzer,M. (Hrsg.) u. Autorenkollektiv: Die aktuelle Situation der Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV (D-A-CH). ETG-Fachbericht 132. Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG) ETG-Arbeitskreis „Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110 kV“. VDE Verlag GmbH, November 2011
[SALH-PK] Projektierungskatalog PK07, Strom- und Spannungswandler, Ausg. 10.82, MIT11-Pu/ME, SALH, VEB Starkstromanlagebau Leipzig-Halle, Ingenieurbetrieb

Literatur

s. Abstract und Quellennachweis