



Innovative Dienstleistungen für die elektrische Energieversorgung



Erweiterte Vor-Ort Inbetriebnahmeprüfung von Transformatoren

Juan Velásquez, Philip Wischtukat
Hubert Göbel GmbH



Inhalt

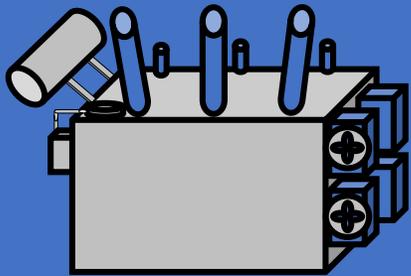
1. Einleitung
2. Übersicht über Inbetriebnahmeprüfungen Vor-Ort
3. Erweiterte Inbetriebnahmeprüfungen
4. Fallbeispiele
5. Zusammenfassung

1. Einleitung

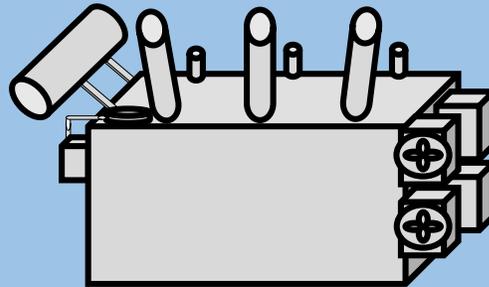
Vor-Ort Prüfungen

Werkprüfungen

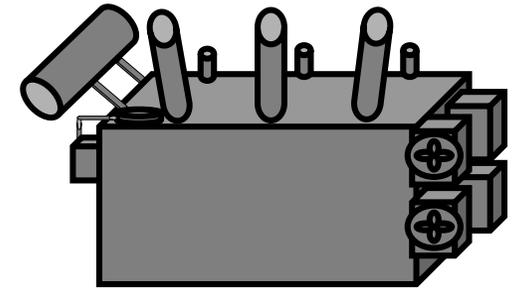
Technische Spezifikation



Werkprüfungen



Vor-Ort Prüfungen

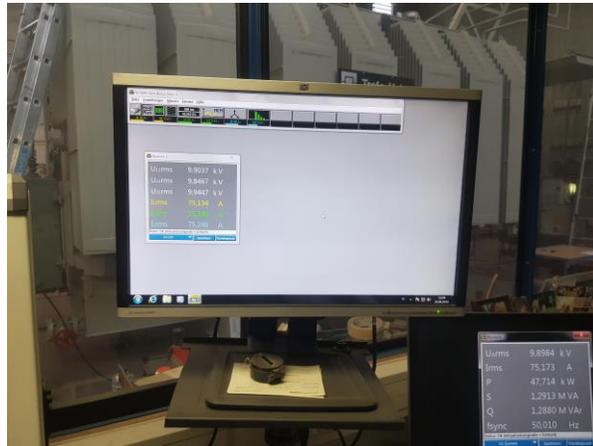




1. Einleitung

- Werkprüfungen

- Vor-Ort Prüfungen





1. Einleitung

Werkprüfungen



11	Tests	44
11.1	General requirements for routine, type and special tests	44
11.1.1	General	44
11.1.2	Routine tests	46
11.1.3	Type tests	46
11.1.4	Special tests	47
11.2	Measurement of winding resistance	47
11.2.1	General	47
11.2.2	Dry-type transformers	47
11.2.3	Liquid-immersed type transformers	48
11.3	Measurement of voltage ratio and check of phase displacement	48
11.4	Measurement of short-circuit impedance and load loss	48
11.5	Measurement of no-load loss and current	49
11.6	Measurement of zero-sequence impedance(s) on three-phase transformers	50
11.7	Tests on on-load tap-changers – Operation test	51
11.8	Leak testing with pressure for liquid immersed transformers (tightness test)	51
11.9	Vacuum deflection test for liquid immersed transformers	51
11.10	Pressure deflection test for liquid immersed transformers	52
11.11	Vacuum tightness test on site for liquid immersed transformers	53
11.12	Check of core and frame insulation	53

1. Einleitung

Vor-Ort Prüfungen

- Keine konkreten Vorgaben nach Normen
- Verschiedene Ausprägungen
- Verschiedene Messgeräte (verschiedene Datenformate)
- Verschiedene Ansätze für die Durchführung
 - Prüfung durch den Hersteller
 - Prüfung durch eigenes Personal
 - Prüfung durch einen externen Dienstleister
 - Mischung Hersteller/eigenes Personal /Dienstleister

1. Einleitung

- Beispielhafte Ausprägungen einer Vor-Ort INB aus der Praxis

Betreiber A	Betreiber B	Betreiber C
Widerstand	Widerstand	Widerstand
Übersetzung	Übersetzung	Übersetzung
Isolationswiderstand	Isolationswiderstand	Isolationswiderstand
	Kap- und Tan(δ) Dfg.	Kap- und Tan(δ) Wicklung
	SFRA	Kurzschlussimpedanz
		Kap- und Tan(δ) Dfg.
		SFRA

Welche Vor-Ort IBN-Prüfungen sind sinnvoll?

2. Inbetriebnahmeprüfungen Vor-Ort

Werkprüfung (IEC 60076-1) Klassische Prüfungen	IBN Vor-Ort Klassische Prüfungen	Erweiterte IBN Vor-Ort
Wicklungswiderstandmessung <i>Stückprüfung</i>	✓	Dynamischer Wicklungswiderstand (OLTC-Scan)
Übersetzungsmessung <i>Stückprüfung (Nennspannung)</i>	✓ (inkl. Leerlaufstrom)	n.a.
Messung der Kurzschlussimpedanzen und Lastverluste <i>Stückprüfung (Nennstrom, 3-phasig)</i>	✓	Einphasig mit Frequenzgang der Streuverluste (FRSL)
Leerlaufströme und Leerlaufverluste <i>Stückprüfung</i>	n.a.	n.a.
Dielektrische Prüfungen (IEC 60076-3) inkl. Teilentladungsmessung <i>Stückprüfung/Typprüfung</i>	n.a.	n.a.



2. Inbetriebnahmeprüfungen Vor-Ort

Werkprüfung (IEC 60076-1) Klassische Prüfungen	Inbetriebnahme Vor-Ort Klassische Prüfungen	Erweiterte IBN Vor-Ort
Nullimpedanzmessung <i>Sonderprüfung</i>	n.a.	n.a.
Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen an Wicklungen <i>Sonderprüfung (10 kV, 50 Hz)</i>	✓	Frequenzabhängig (15 Hz-400 Hz) Spannungsabhängig (2 kV-12 kV)
Isolationsmessung <i>Sonderprüfung</i>	✓	n.a.
FRA (Frequency Response Analysis) <i>Sonderprüfung</i>	?	FRA (Frequency Response Analysis)
Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen an Durchführungen Stückprüfung nach IEC 60137 (Nennspannung)	✓	Frequenzabhängig (15 Hz-400 Hz) Spannungsabhängig (2 kV-12 kV)
n.a.	n.a.	Dielektrische Antwort bzw. FDS-PDC
n.a.	n.a.	Hysteresekurve

3. Erweiterte Inbetriebnahmeprüfungen

- Dynamischer Wicklungswiderstand
- Einphasige Kurzschlussmessung mit Frequenzgang der Streuverluste (FRSL)
- Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen an Wicklungen (spannungsabhängig, frequenzabhängig)
- Dielektrische Antwort bzw. FDS-PDC
- FRA (Frequency Response Analysis)
- Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen an Dfg. (spannungsabhängig, frequenzabhängig)
- Hysteresekurve (neues Verfahren)

3. Erweiterte Inbetriebnahmeprüfungen

Beobachtungen der Firma Göbel:

- Erweiterte Inbetriebnahmeprüfungen
 - bringen einen großen Mehrwert mit sich.
 - werden häufig vernachlässigt.
 - werden häufig nicht ausführlich spezifiziert.
 - beinhalten viel mehr Daten als die klassischen Verfahren.
- Die Rohdaten werden selten von den Betreibern gefordert (eingeschränkter Mehrwert der Prüfung).
- Fehlende Datenverwaltungstools

3. Erweiterte Inbetriebnahmeprüfungen

Beispiel einer einfachen und pragmatischen Datenverwaltungslösung

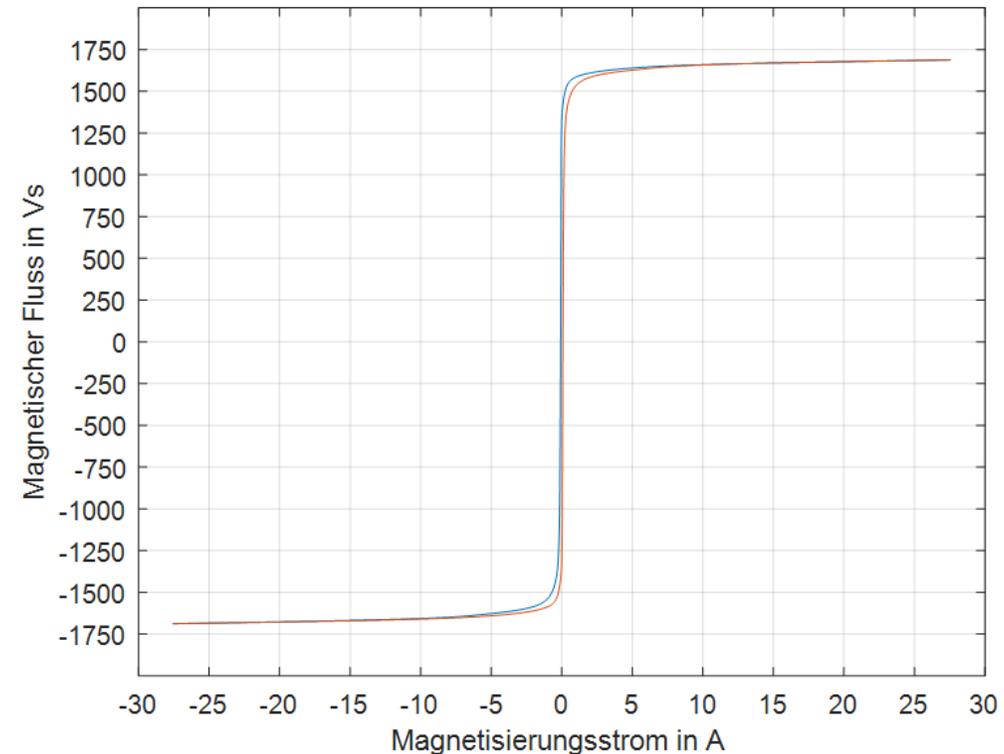


Fallbeispiel 1: Kapazitäts- und VF-Messungen an Durchführungen

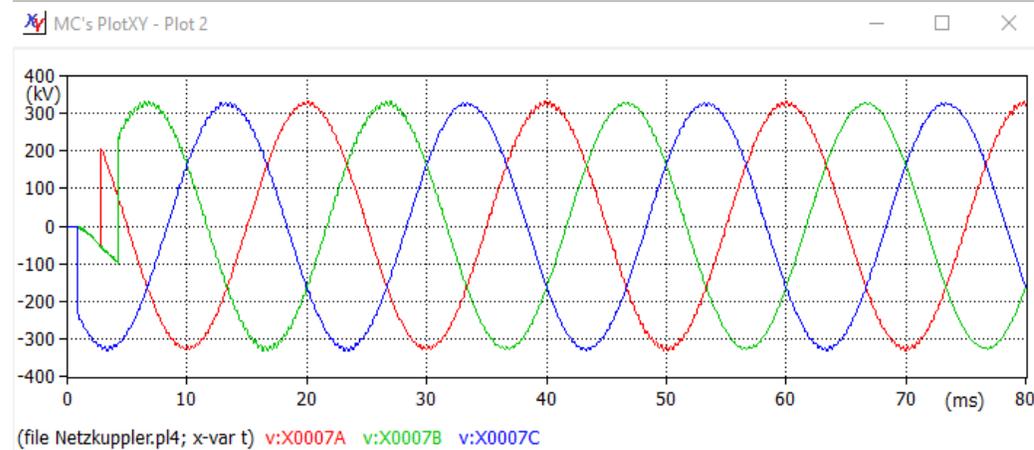
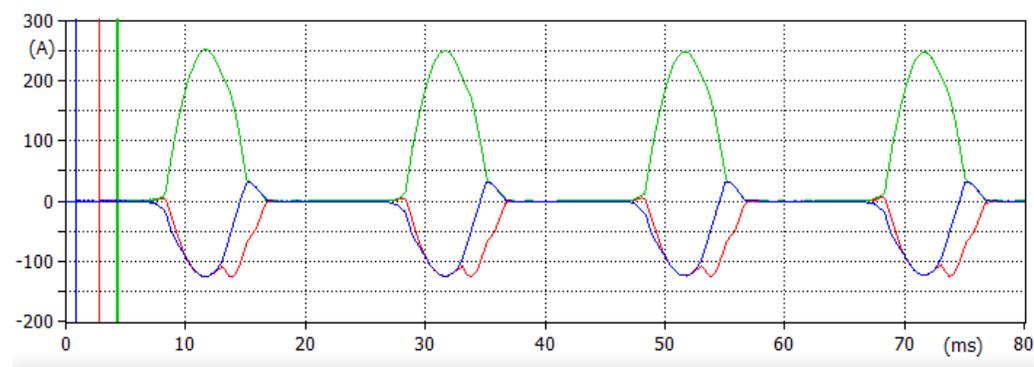
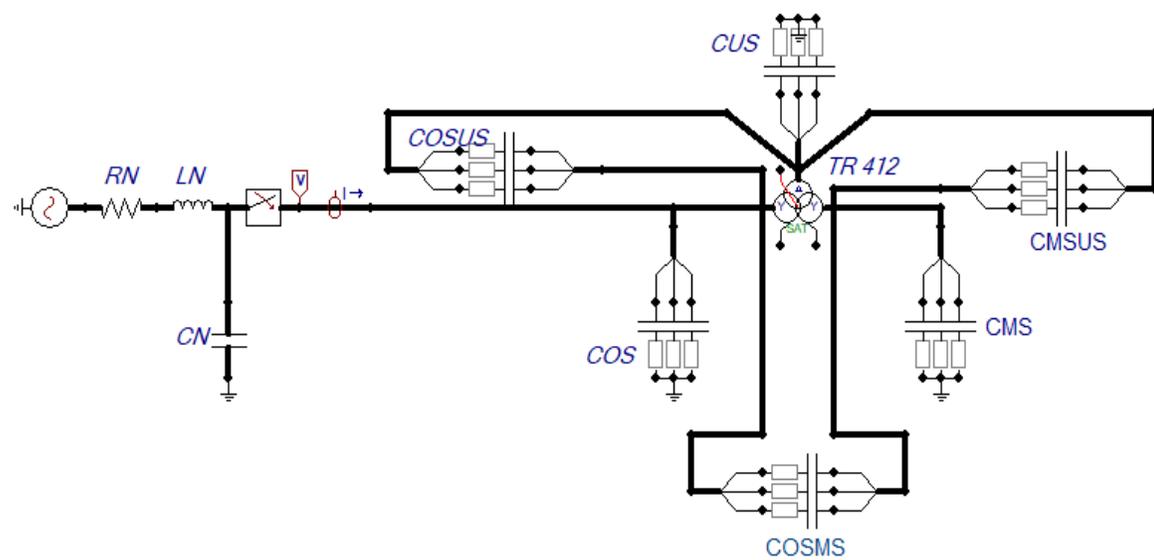
Dfg. Hersteller	Werkprüfung	Erweiterte IBN Vor Ort																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Herstellerdaten</th> </tr> <tr> <th>C1 [pF]</th> <th>tan δ [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>629</td> <td>0,31</td> </tr> </tbody> </table>	Herstellerdaten		C1 [pF]	tan δ [%]	629	0,31	<table border="1"> <thead> <tr> <th>C1 [pF]</th> <th>tan δ [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>625,8</td> <td>0,283</td> </tr> </tbody> </table> <p>Messspannung=10 kV Frequenz=50 Hz</p>	C1 [pF]	tan δ [%]	625,8	0,283	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Oltemperatur: 18 °C</th> <th colspan="2">Lufttemperatur: 16 °C</th> <th colspan="2">Luftfeuchte: 76 %</th> <th colspan="2">Wetter: Teilweise bewölkt</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Bezugswerte</th> <th colspan="2">Gemessene Werte (12 kV, 50 Hz)</th> <th colspan="4">Auswertung</th> </tr> <tr> <th>Tan(δ)_{ref} in %</th> <th>Kap_{ref} in pF</th> <th>Tan(δ)_{ist} in %</th> <th>Kap_{ist} in pF</th> <th>Tan(δ)_{ist}/Tan(δ)_{ref}</th> <th>Kap_{ist}/Kap_{ref}</th> <th>Tan(δ)_{ist} - Tan(δ)_{ref}</th> <th>Kap_{ist} - Kap_{ref}</th> <th>Bewertung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,310</td> <td>629,0</td> <td>0,335</td> <td>627,3</td> <td>8,0 %</td> <td>-0,3 %</td> <td>0,025 %</td> <td>-1,7 pF</td> <td>Unauffällig</td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <p>Spannungsabhängige Prüfung f = 50 Hz</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U in V</th> <th>I in mA</th> <th>tan δ in %</th> <th>Kap. in pF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2000</td><td>0,39</td><td>0,335</td><td>627,3</td></tr> <tr><td>4000</td><td>0,79</td><td>0,335</td><td>627,3</td></tr> <tr><td>6000</td><td>1,18</td><td>0,335</td><td>627,3</td></tr> <tr><td>8000</td><td>1,58</td><td>0,335</td><td>627,3</td></tr> <tr><td>10000</td><td>1,97</td><td>0,335</td><td>627,3</td></tr> <tr><td>12000</td><td>2,36</td><td>0,335</td><td>627,3</td></tr> </tbody> </table> </div> <div> <p>Frequenzabhängige Prüfung U = 2000 V</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>f in Hz</th> <th>I in mA</th> <th>tan δ in %</th> <th>Kap. in pF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15</td><td>0,12</td><td>0,275</td><td>628,6</td></tr> <tr><td>30</td><td>0,24</td><td>0,304</td><td>627,8</td></tr> <tr><td>80</td><td>0,63</td><td>0,368</td><td>626,6</td></tr> <tr><td>130</td><td>1,02</td><td>0,409</td><td>625,8</td></tr> <tr><td>230</td><td>1,81</td><td>0,466</td><td>624,9</td></tr> <tr><td>330</td><td>2,59</td><td>0,507</td><td>624,4</td></tr> <tr><td>400</td><td>3,14</td><td>0,531</td><td>623,9</td></tr> </tbody> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> </div> <div> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> </div> <div> </div> </div>	Oltemperatur: 18 °C		Lufttemperatur: 16 °C		Luftfeuchte: 76 %		Wetter: Teilweise bewölkt		Bezugswerte		Gemessene Werte (12 kV, 50 Hz)		Auswertung				Tan(δ) _{ref} in %	Kap _{ref} in pF	Tan(δ) _{ist} in %	Kap _{ist} in pF	Tan(δ) _{ist} /Tan(δ) _{ref}	Kap _{ist} /Kap _{ref}	Tan(δ) _{ist} - Tan(δ) _{ref}	Kap _{ist} - Kap _{ref}	Bewertung	0,310	629,0	0,335	627,3	8,0 %	-0,3 %	0,025 %	-1,7 pF	Unauffällig	U in V	I in mA	tan δ in %	Kap. in pF	2000	0,39	0,335	627,3	4000	0,79	0,335	627,3	6000	1,18	0,335	627,3	8000	1,58	0,335	627,3	10000	1,97	0,335	627,3	12000	2,36	0,335	627,3	f in Hz	I in mA	tan δ in %	Kap. in pF	15	0,12	0,275	628,6	30	0,24	0,304	627,8	80	0,63	0,368	626,6	130	1,02	0,409	625,8	230	1,81	0,466	624,9	330	2,59	0,507	624,4	400	3,14	0,531	623,9
Herstellerdaten																																																																																																										
C1 [pF]	tan δ [%]																																																																																																									
629	0,31																																																																																																									
C1 [pF]	tan δ [%]																																																																																																									
625,8	0,283																																																																																																									
Oltemperatur: 18 °C		Lufttemperatur: 16 °C		Luftfeuchte: 76 %		Wetter: Teilweise bewölkt																																																																																																				
Bezugswerte		Gemessene Werte (12 kV, 50 Hz)		Auswertung																																																																																																						
Tan(δ) _{ref} in %	Kap _{ref} in pF	Tan(δ) _{ist} in %	Kap _{ist} in pF	Tan(δ) _{ist} /Tan(δ) _{ref}	Kap _{ist} /Kap _{ref}	Tan(δ) _{ist} - Tan(δ) _{ref}	Kap _{ist} - Kap _{ref}	Bewertung																																																																																																		
0,310	629,0	0,335	627,3	8,0 %	-0,3 %	0,025 %	-1,7 pF	Unauffällig																																																																																																		
U in V	I in mA	tan δ in %	Kap. in pF																																																																																																							
2000	0,39	0,335	627,3																																																																																																							
4000	0,79	0,335	627,3																																																																																																							
6000	1,18	0,335	627,3																																																																																																							
8000	1,58	0,335	627,3																																																																																																							
10000	1,97	0,335	627,3																																																																																																							
12000	2,36	0,335	627,3																																																																																																							
f in Hz	I in mA	tan δ in %	Kap. in pF																																																																																																							
15	0,12	0,275	628,6																																																																																																							
30	0,24	0,304	627,8																																																																																																							
80	0,63	0,368	626,6																																																																																																							
130	1,02	0,409	625,8																																																																																																							
230	1,81	0,466	624,9																																																																																																							
330	2,59	0,507	624,4																																																																																																							
400	3,14	0,531	623,9																																																																																																							

Fallbeispiel 2: Hysteresekurve

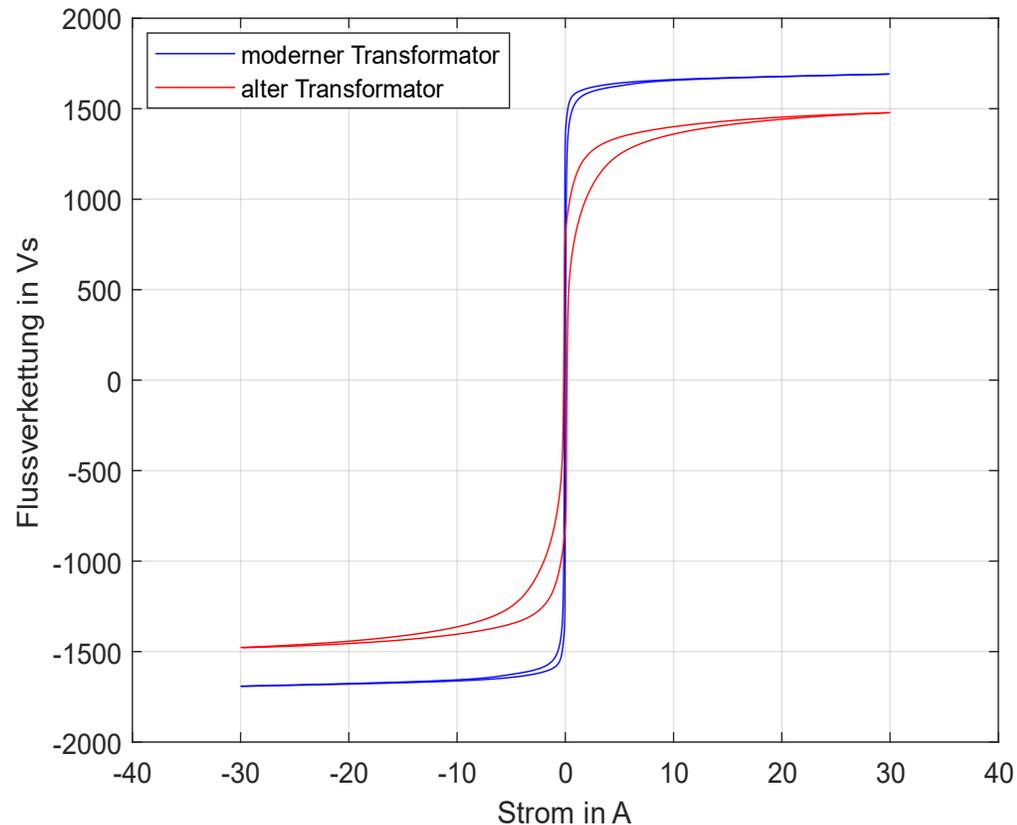
- Kapazitäts- und Verlustfaktormessungen an Durchführungen
- Frequengangmessung (SFRA)
- Hysteresekurve



Fallbeispiel 2: Hysteresekurve



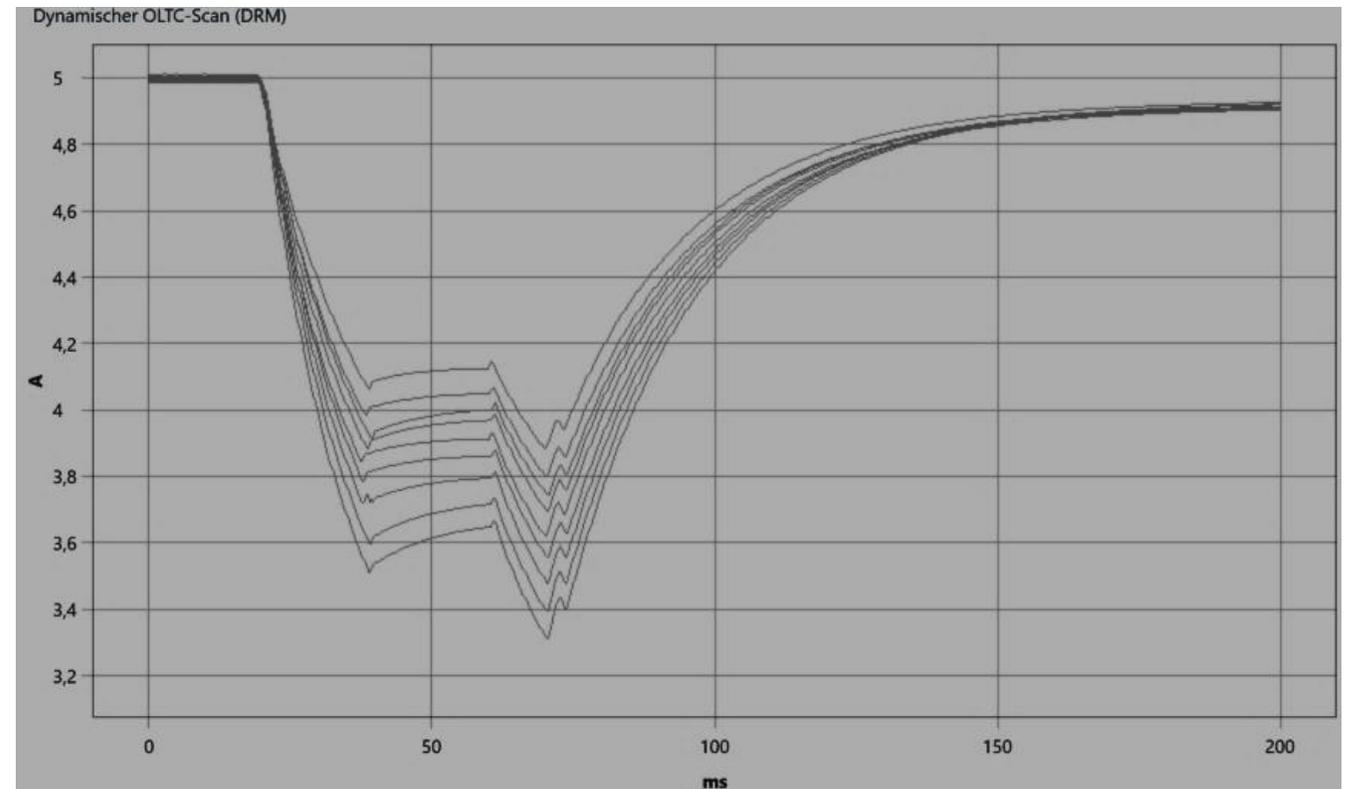
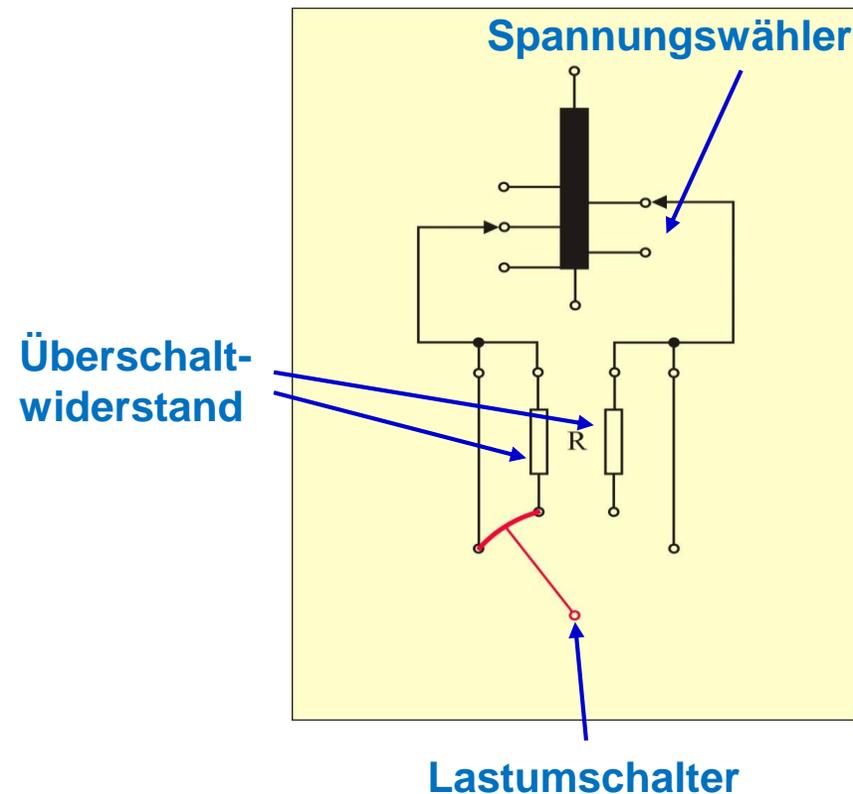
Fallbeispiel 2: Hysteresekurve



- Mögliche Anwendungen:
 - Modellierung von Transformatoren
 - Qualitätssicherung (Vergleiche der Transformatortypen untereinander)
 - Diagnose von Kernproblemen?
 - Zusammenhang zwischen der Hysteresekurve und Geräuschen?

Fallbeispiel 3: Dynamischer Wicklungswiderstand (OLTC-Scan)

- IBN-Prüfung Vor-Ort nach Sanierung eines 40 MVA Transformators (neuer Antrieb)



Zusammenfassung und Ausblick

- Die Spezifikation der Vor-Ort Inbetriebnahmeprüfungen durch die Betreiber ist ausbaufähig.
- Durch eine erweiterte Inbetriebnahme lassen sich bessere Referenzwerte für eine spätere Diagnose erfassen.
- Einfache und pragmatische Datenverwaltungslösungen erforderlich.

Zusammenfassung und Ausblick

- Steigende Tendenz in Richtung digitale Sammlung von Messdaten. Es wird empfohlen, die Rohdaten der Messungen zu fordern und zu archivieren.
- Vielversprechende Erkenntnisse mit der Messung der Hysteresekurve von Transformatoren.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Hubert Göbel GmbH
Siemensstraße 42
D-59199 Bönen

Tel. +49 2383 6189 690
kontakt@hgmes.de
www.hgmes.de
[Xing](#)

Für Fragen/Austauschgespräche stehen wir gerne zur Verfügung

Juan Velásquez
j.velasquez@hgmes.de
Tel. +49 2383 6189 692
Mobil: +49 152 09 710 283



Philip Wischtukat
p.wischtukat@hgmes.de
Tel. +49 2383 6189 693
Mobil: +49 170 44 40 082



Weitere Informationen und Neuigkeiten finden Sie auf unserer Website oder auf unserem Unternehmensportal bei Xing!