

XXIV. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia

2026. Március 25-27., Bessenyei Gábor, Maxicont Kft.



Történelmi áttekintés

- **1881:** Lucien Gaulard és John Dixon bemutatják az első kereskedelmi forgalomban kapható transzformátort Londonban.
- **1885:** A magyar mérnökök Ottó Bláthy , Déri Miksa és Zipernowsky Károly fejlesztette ki a ZBD transzformátort, a váltóáramú technológia fontos lépését.
- **1886:** William Stanley megépíti az első kereskedelmi forgalomban kapható, zárt vasmagos transzformátort a Westinghouse számára, amely kulcsfontosságú volt a nagy távolságú villamosenergia-elosztásban.
- **1890:** Mihail Dolivo- Dobrovolszkij megépíti az első háromfázisú transzformátort, amely a háromfázisú váltakozó áramú rendszerek magját alkotja. **1891:** Az első nagy távolságú villamosenergia-átvitel háromfázisú váltakozó árammal Lauffenből (15 kV/50 V) Frankfurtba.
- **1889:** Sydney Evershed feltalálja a szigetelésvizsgálót

Villamos mérések

- A szigetelés állapotának ismerete a villamosenergia-technika kezdetei óta fontos téma.
- A különböző vizsgálati és mérési módszerek áttekintése:
 - Szigetelési ellenállás
 - Veszteségi tényező mérése ($\tan \delta$) és kapacitás
 - Dielektromos frekvenciaválasz (DFR)
 - Részleges kisülés diagnosztika
 - Monitoring
 - Részleges kisülés
 - Online DGA
- Gyakorlati példák

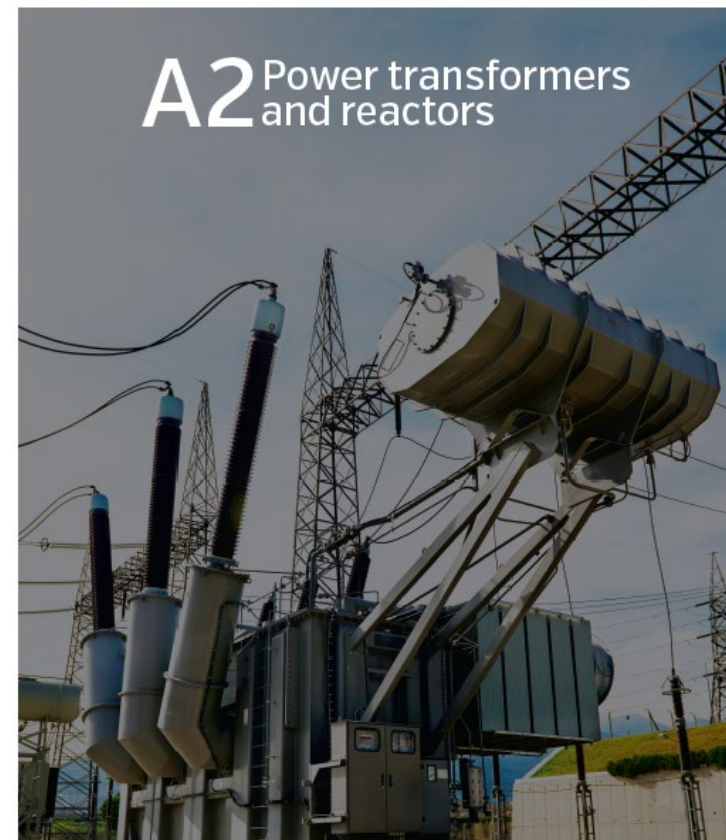
Typical Problem

Magnetic Circuit Integrity					
Magnetic Circuit Insulation					
Winding Geometry					
Winding/Bushing/OLTC Continuity					
Winding/Bushing Insulation					
Winding Turn to Turn Insulation					
DGA Used as a Trigger for performing Condition Based Electrical Testing					
Fault Type PD	•	•	•		
Fault Types T1, T2 or T3	•	•	•	•	•

Basic Electrical	Winding Ratio	•				
	Winding Resistance			•		
	Magnetisation (excitation) current	•				•
	Insulation Resistance		•	•	•	•
	Capacitance and DF/PF		•	•	•	•
	Leakage Reactance				•	
	Core Ground Test					•
Advanced Electrical	Frequency Response Analysis	•			•	•
	Polarisation/Depolarisation		•			
	Frequency Domain Spectroscopy (FDS), Dielectric Frequency Response (DFR)		•			
	Recovery Voltage Method		•			
	Electrical Detection of PD	•	•			
	Acoustical Detection of PD	•	•			
	UHF Detection of PD	•	•			
Frequency Response of Stray Losses			•	•		

Cigre TB 962 – Transzformátor karbantartási útmutató (2025)

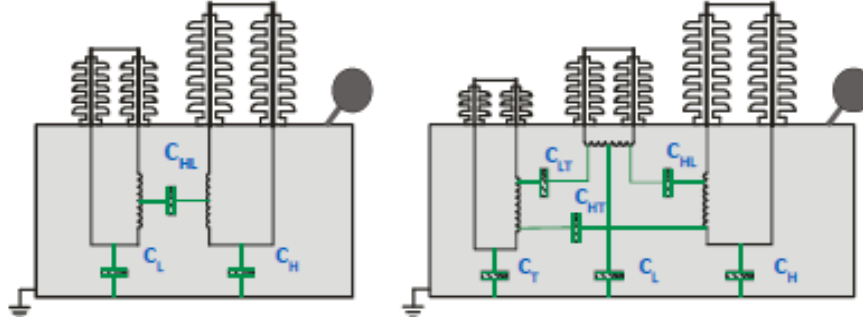
- A TB445 (2011) felülvizsgálata
- A TB 962 a következő fejezeteket tartalmazza:
 - Karbantartási stratégiák
 - Transzformátor alkatrészek
 - Karbantartási intézkedések katalógusa
 - Fő munkák (javítások stb.)
- Javaslatokat tartalmaz a helyszíni mérések elvégzésére vonatkozóan
 - Alapvető villamos mérések
 - Fejlett villamos mérések



Guide for transformer maintenance
2025 Edition

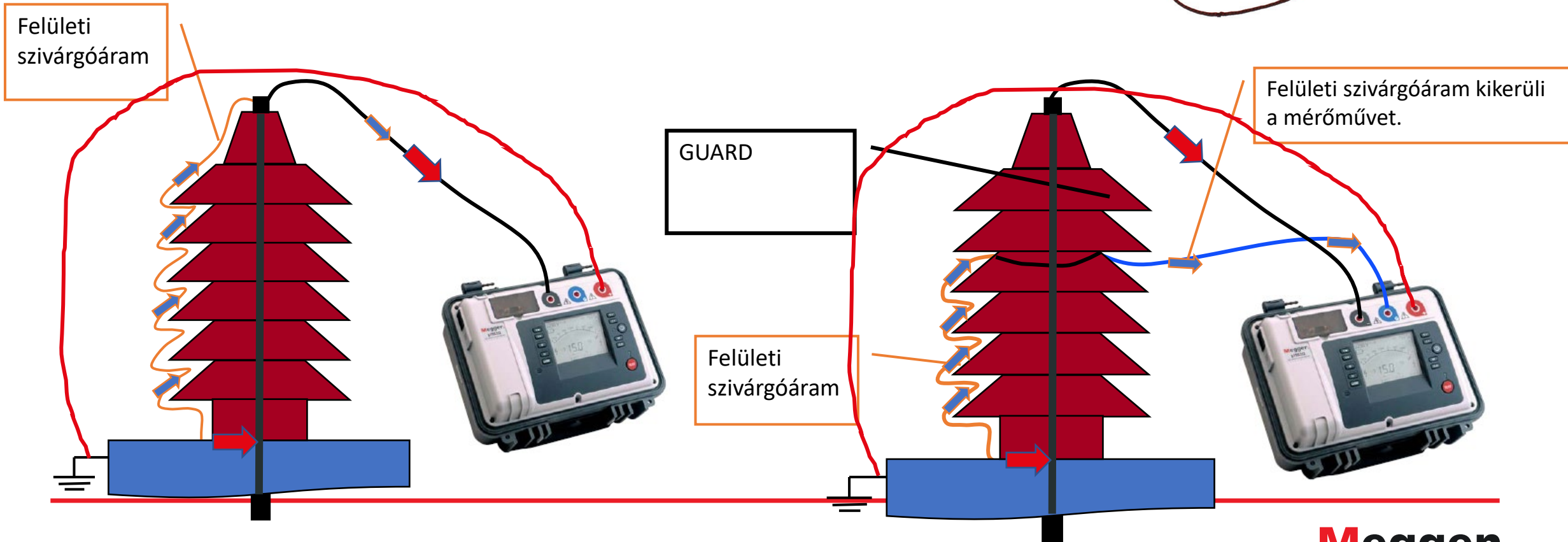
Szigetelési ellenállás (IR)

- Vizsgálati módszer
 - Egyenfeszültségű forrás (tipikusan 1-5kV)
 - Feszültség és szivárgási áram mérése
 - Jó szigeteléssel az áram csökken.
 - A szigetelési ellenállás kiszámítása
 - A szigetelési ellenállás idővel növekszik.
 - Mérési idő naplózással
- Kiértékelés
 - $> 1 \text{ G } \Omega$ 20°C-on és $> 72,5 \text{ kV}$ -on
 - $> 500 \text{ M}\Omega$ 20 °C-on és $\leq 72,5 \text{ kV}$ -on
- Megjegyzések
 - FDS (DFR) mérés nedvességtartalom-elemzéshez
 - Ne mérjünk szigetelési ellenállást közvetlenül az RVM, PDC vagy FDS (DFR) előtt!
 - Hőmérséklet-korrekció végrehajtása

Detectable failures	Insulation deterioration or failures in the windings or core earthing
Indication	Buchholz relay alarm or trip, DGA
Test method	<p>A high DC voltage (typical values are 1 kV up to 5 kV) is applied to the winding under test. The insulation between core and tank can also be verified by this measurement. The leakage current is measured and the insulation resistance calculated and indicated by the instrument. As this measurement uses a DC voltage, the measurement cannot be compared with AC losses that comprise of polarisation losses and capacitive coupling though the insulation. The temperature can affect the measurement results.</p> <p>Measurements for insulation between all different voltage levels should be carried out, winding to ground and between each windings. Therefore, normally all bushings of the same voltage level are short-circuited:</p> <p>2 winding transformer: C_{HL}, C_H, C_L 3 winding transformer: $C_{HL}, C_H, C_{HT}, C_L, C_{LT}, C_T$</p>  <p>The test voltage and temperature must be recorded. As the current typically will get smaller with time (compare PDC measurement) also the test time must be recorded.</p>
Reference	Test report, fingerprint measurements, comparison to identical units
Interpretation	Transformers with rated voltage above 72,5 kV class: $>1 \text{ G}\Omega$ measured at 20°C Transformers with rated voltage up to 72,5 kV class: $>500 \text{ M}\Omega$ measured at 20 °C
Comments	<p>- Another way of measuring Insulation Resistance is to measure the Polarization Index (PI) by measuring the resistance after 1 and 10 minutes of voltage application and to calculate the ratio between these two values. The PI was introduced to detect moisture in the winding insulation of rotating machines. For the complex oil-cellulose insulation system of transformers the PI results can be misinterpreted.</p> <p>- FDS/PDC and DFR measurements are preferred for quantitative assessments of the moisture in the insulation</p> <p>- The measurement of the insulation resistance can influence RVM, PDC and DFR measurements, if they immediately follow the Insulation Resistance test</p>

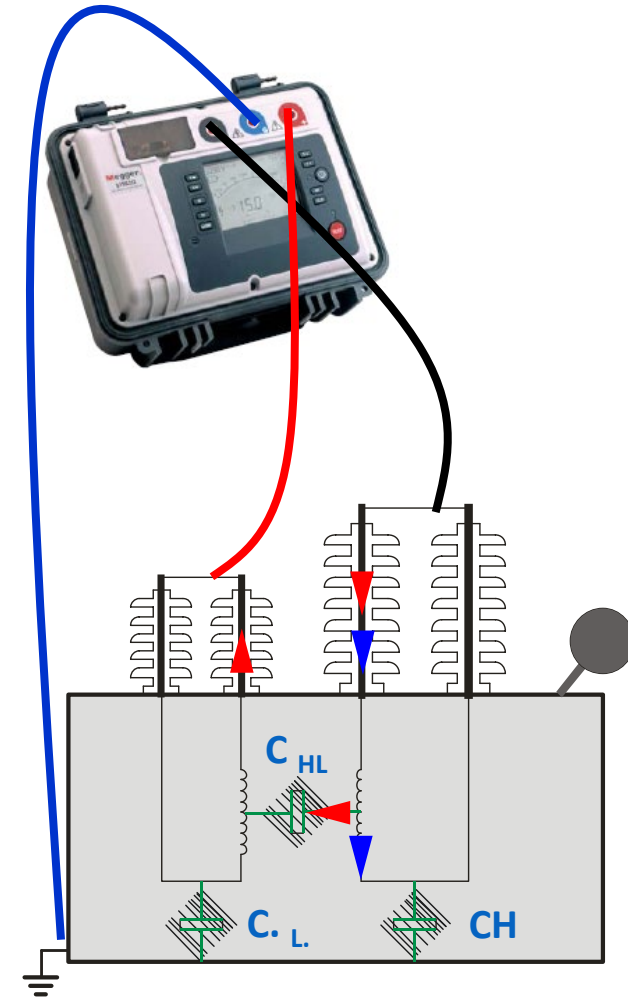
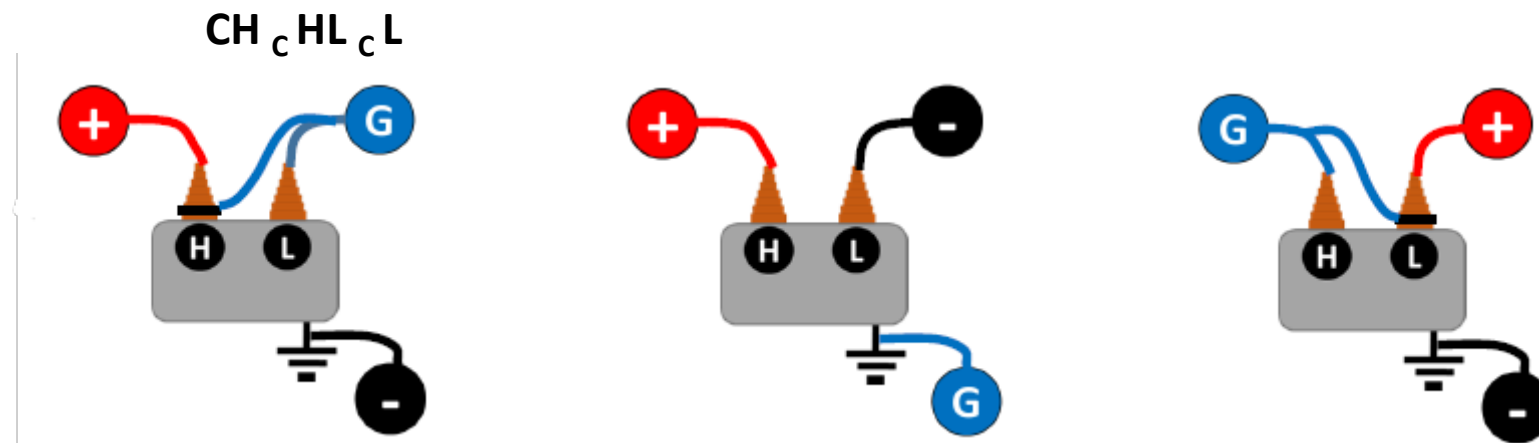
Guard csatlakozó

- A szigetelési ellenállás a következőkből áll:
 - Szigetelési ellenállás – amit keresünk
 - Felületi ellenállás – Parazita hatás



Guard csatlakozó

- Guard csatlakozó (C_H és C_L esetén)



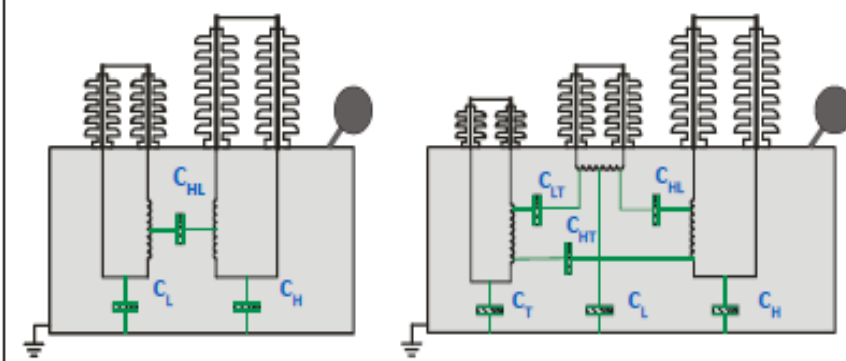
Villamos mérések

- Szigetelési ellenállás
- C és $\tan \delta$ mérés
- Dielektromos frekvenciaválasz (DFR)
- Részleges kisülés diagnosztika
- Monitoring
 - Részleges kisülés
 - Online DGA

Basic Electrical	Winding Ratio	•					
	Winding Resistance			•			
	Magnetisation (excitation) current	•					•
	Insulation Resistance		•			•	
	Capacitance and DF/PF		•		•	•	•
	Leakage Reactance				•		
	Core Ground Test					•	
	Frequency Response Analysis	•			•	•	•
Advanced Electrical	Polarisation/Depolarisation		•				
	Frequency Domain Spectroscopy (FDS), Dielectric Frequency Response (DFR)		•				
	Recovery Voltage Method		•				
	Electrical Detection of PD	•	•				
	Acoustical Detection of PD	•	•				
	UHF Detection of PD	•	•				
	Frequency Response of Stray Losses			•	•		

Kapacitás és veszteségi tényező ($\tan\delta$)

- Észlelhető hibák
 - Veszteségi tényező: Szigetelési hiba, szigetelés szennyeződése
 - Kapacitás: Geometria változás
- Gyakran rutinszerű mérés
- Vizsgálati módszer
 - AC feszültség (tipikusan 10kV), hálózati frekvencia (50Hz)
 - Néhány teszteszköz csökkentett feszültségen is képes frekvencia-sweepet végezni.
 - Az összes szigetelési elrendezés mérése
 - A hőmérsékletet korrekciót kell alkalmazni

Detectable failures	<p>- Dielectric Dissipation Factor or Power Factor: Insulation failures, contamination of insulation liquids with particles, acids, water in solid and liquid insulation,</p> <p>- Capacitance:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Winding to winding: change of the geometry between windings due to high currents or mechanical damage - Winding to ground: change of the geometry between winding and ground due to high currents or mechanical damage - Core to ground: change of the core position to the tank due to mechanical damage
Indication	Moisture, tests on regular bases
Test method	<p>A sinusoidal HV AC source (preferably with variable frequency) is connected to the test object in parallel to a low loss reference capacitor. The currents through the test object and through the reference capacitor are measured and the time difference between their zero crossings is determined. The loss angle delta can be calculated from this time difference. Normally this test is done at line frequency (50 Hz/60 Hz) and 10 kV for on-site measurements, but do not exceed withstand voltage. Some test sets allow a frequency sweep to be performed at reduced voltage (eg 140 V).</p> <p>Measurements for insulation between all different voltage levels should be carried out. Therefore, normally all bushings of the same voltage level are short-circuited:</p> <p>2 winding transformer: C_{HL}, C_H, C_L 3 winding transformer: $C_{HL}, C_H, C_{HT}, C_L, C_{LT}, C_T$</p>  <p>The temperature of the insulation must be recorded.</p>

Kapacitás és veszteségtényező (tanδ) - TB 962 38. táblázat

- Referencia: Trendelemzés, összehasonlítás azonos próbatárggyal
- értelmezés
 - Normális esetben 0,5% körüli tartományban
 - Az 1%-nál nagyobb értékeket meg kell kérdőjelezni (50 Hz)
 - 1 Hz-es értékek is használhatók kiértékelésre (>1,75% - további mérések szükségesek)
- Hőmérsékletfüggés (20°C)
 - A mérési eredmény nagymértékben hőmérsékletfüggő.
 - Az összehasonlíthatóság csak azonos hőmérsékleten lehetséges.
 - 20°C-ra való konverzió szükséges.

Reference	Test report, fingerprint measurements, trend analysis, comparison to identical units			
Interpretation	For measurements on windings, values are normally in the order of 0.5%. A measurement higher than 1% is questionable.			
	mineral oil filled transformer rated voltage above 72,5 kV class			
	As new	Good	Aged	Investigate
1 Hz	< 0,5 %	0,5-1,0 %	1,0-1,75 %	> 1,75 %
50/60Hz	< 0,3 %	0,3-0,5 %	0,5-1,0 %	> 1,0 %
Comments	<ul style="list-style-type: none">- The dissipation factor varies with temperature. Comparison of two measurements made at different temperatures should be made with caution.- Table of correction factors may be available from equipment manufacturers and test equipment manufacturers to allow the measurements made at different temperature to be converted to measurement made at 20 °C. These correction tables do not cover temperatures below 0 °C.- Measurements performed at temperatures around 0 °C may be affected by condensation if external insulators are part of the test object.- Tests can be performed below 0 °C and are still valid, but will not detect free water if present in the test object as ice losses are significantly lower than free water losses and considering that free water below 0 °C will be in its solid phase (ice).			

Kapacitás és tanδ 54-es táblázat

- Átvezetőszigetlőkre vonatkozó „küszöbértékek”

Table 54: Capacitance and Dielectric Power/Dissipation Factor on bushings

Detectable failures	<ul style="list-style-type: none"> - Bushing Capacitance: Partial breakdowns between capacitive grading layers - Dielectric Dissipation Factor or Power Factor: Insulation failures, contamination of insulation liquids with particles, acids, water in solid and liquid insulation, partial discharges due to bad contacts on bushing test tap, breakdown in bushing condenser layers 																																										
Indication	Moisture, tests on regular bases																																										
Test method	<p>A sinusoidal HV AC source (preferable with variable frequency) is connected to the test object in parallel to a low loss reference capacitor. The currents through the test object and through the reference capacitor are measured and the time difference between their zero crossings is determined. The loss angle delta can be calculated from this time difference. Normally this test is done at line frequency (50Hz/60Hz) and 10 kV for on-site measurements, but do not exceed withstand voltage. For the frequency sweep a reduced voltage (eg 140V) can be applied. The temperature of the insulation must be recorded. A voltage sweep (tip-up test) could give additional information.</p>																																										
Reference	Test report, fingerprint measurements, trend analysis, comparison to identical units Nameplate values for bushings																																										
Interpretation	<p>All given reference values are valid for capacitance C₁. Limits for the maximum permissible change tend to be manufacturer and type specific. However, guidance is given for dissipation/power factor by IEC and IEEE standards:</p> <table border="1" data-bbox="1809 578 2446 799"> <thead> <tr> <th>Typ</th> <th>RIP</th> <th>OIP</th> <th>RBP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Insulation</td> <td>Resin Impregnated Paper</td> <td>Oil Impregnated Paper</td> <td>Resin Bonded Paper</td> </tr> <tr> <td>DF tanδ(RT) (IEC 60137)</td> <td>< 0,7 % *</td> <td>< 0,7 % *</td> <td>< 1,5 % *</td> </tr> <tr> <td>PF cos_φ(RT) (IEEE C57.19.01)</td> <td>< 0,85 % *</td> <td>< 0,5 % *</td> <td>< 2 % *</td> </tr> <tr> <td>Typical new values</td> <td>0,3 - 0,4 % *</td> <td>0,2 - 0,4 % *</td> <td>0,5 - 0,6 % *</td> </tr> </tbody> </table> <p>*at 50/60 Hz and 20 °C</p> <p>Besides the absolute DF value also the relative change compared to initial value can be used for assessment (TB755, Table 5.2.2.2.2: OIP and RIP bushing condition decision making limits based on the relative tanδ change compared to the nameplate or initial value, at a reference temperature):</p> <table border="1" data-bbox="1783 963 2509 1063"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">Bushing condition</th> </tr> <tr> <th>Good</th> <th>Moderate</th> <th>Severe</th> <th>Extreme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OIP tanδ relative change</td> <td>Up to 1,33</td> <td>1,34 to 1,66</td> <td>1,67 to 2</td> <td>Above 2</td> </tr> <tr> <td>RIP tanδ relative change</td> <td>Up to 1,25</td> <td>1,26 to 1,5</td> <td>1,51 to 1,75</td> <td>Above 1,76</td> </tr> </tbody> </table> <p>Good: Good or normal condition. All activities according to regular interval. Moderate: Moderate deviation. Perform visual inspection, take additional measurement within 1 year. Continuous monitoring is suggested. Severe: Severe deviation. Perform visual inspection, take additional measurement within 1 month. Continuous monitoring is suggested. Consider removal from service. Extreme: Extreme deviation. Remove from service, or service may be prolonged for a short period (i.e. month) with continuous monitoring applied.</p>				Typ	RIP	OIP	RBP	Insulation	Resin Impregnated Paper	Oil Impregnated Paper	Resin Bonded Paper	DF tanδ(RT) (IEC 60137)	< 0,7 % *	< 0,7 % *	< 1,5 % *	PF cos _φ (RT) (IEEE C57.19.01)	< 0,85 % *	< 0,5 % *	< 2 % *	Typical new values	0,3 - 0,4 % *	0,2 - 0,4 % *	0,5 - 0,6 % *		Bushing condition				Good	Moderate	Severe	Extreme	OIP tanδ relative change	Up to 1,33	1,34 to 1,66	1,67 to 2	Above 2	RIP tanδ relative change	Up to 1,25	1,26 to 1,5	1,51 to 1,75	Above 1,76
Typ	RIP	OIP	RBP																																								
Insulation	Resin Impregnated Paper	Oil Impregnated Paper	Resin Bonded Paper																																								
DF tanδ(RT) (IEC 60137)	< 0,7 % *	< 0,7 % *	< 1,5 % *																																								
PF cos _φ (RT) (IEEE C57.19.01)	< 0,85 % *	< 0,5 % *	< 2 % *																																								
Typical new values	0,3 - 0,4 % *	0,2 - 0,4 % *	0,5 - 0,6 % *																																								
	Bushing condition																																										
	Good	Moderate	Severe	Extreme																																							
OIP tanδ relative change	Up to 1,33	1,34 to 1,66	1,67 to 2	Above 2																																							
RIP tanδ relative change	Up to 1,25	1,26 to 1,5	1,51 to 1,75	Above 1,76																																							

Kapacitás és tanδ - TB 962 54. táblázat

- TB 962 54. táblázat

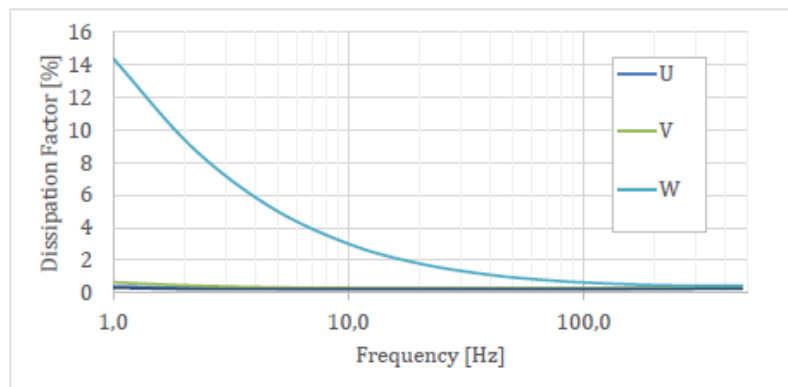


Figure 24: Dissipation/Power Factor Measurement on OIP Bushings at Different Frequencies

As a guide, indicative limits for Dissipation/Power Factor for bushings at frequencies of 1 Hz, 15 Hz and 50/60 Hz are given in Table 55.

Table 55: Indicative DF/PF Limit Values for Condenser Bushings

	RIP		OIP		RBP	
	Excellent	Investigate	Excellent	Investigate	Excellent	Investigate
1 Hz	<0,4 %	>1,25 %	<0,4 %	>1,25 %	<0,9 %	>2,5 %
15 Hz	<0,6 %		<0,5 %		<0,7 %	
50/60 Hz	<0,5 %	>1 %	<0,5 %	>1 %	<0,1 %	>2 %

	<p>TB755 gives values for the change of capacitance at different voltage levels (Table 5.2.2.1.1: Approximate capacitance change corresponding to short-circuited adjacent electrodes that make the capacitance to increase, for fine graded bushings with main electrode technology versus various system voltages U_m):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U_m, kV</th> <th>RIP capacitance change, %</th> <th>OIP capacitance change, %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>72,5</td> <td>12</td> <td>8,8</td> </tr> <tr> <td>123</td> <td>7,1</td> <td>4,8</td> </tr> <tr> <td>245</td> <td>4,2</td> <td>2,7</td> </tr> <tr> <td>420</td> <td>2,6</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>550</td> <td>1,9</td> <td>1,3</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>1,3</td> <td>0,9</td> </tr> </tbody> </table>	U_m , kV	RIP capacitance change, %	OIP capacitance change, %	72,5	12	8,8	123	7,1	4,8	245	4,2	2,7	420	2,6	1,7	550	1,9	1,3	800	1,3	0,9
U_m , kV	RIP capacitance change, %	OIP capacitance change, %																				
72,5	12	8,8																				
123	7,1	4,8																				
245	4,2	2,7																				
420	2,6	1,7																				
550	1,9	1,3																				
800	1,3	0,9																				
Comments	<p>This is the most common technique for assessing the bushing condition.</p> <p>The dissipation factor varies with temperature. The assessment criteria are only valid for measurement results at 20 °C. If measurement at 20 °C is not possible an individual temperature correction is recommended.</p> <p>If a change in capacitance and/or dissipation/power factor is indicated on an OIP bushing an analysis of the insulation oil is recommended.</p> <p>Leakage currents across the surface of the outer insulator (porcelain or silicone) may also have some influence, particularly if the surface is dirty and wet. In case of unexpectedly high dissipation/power factor values, the bushing should be cleaned before the measurement is repeated. For silicone composite bushings, the cleaning instructions of the manufacturer should be followed, because some cleaning chemicals can damage the silicone.</p> <p>Additionally, a collar which is connected to the guard circuit can be used to suppress the influence of the surface current. With a "hot-collar", the capacitance and dissipation/power factor of the insulation between the collar and the grounded centre conductor can be measured. This technique can be used to detect local faults in bushings or low oil level in oil filled bushings.</p>																					

Egyéni hőmérséklet-korrekción (ITC)

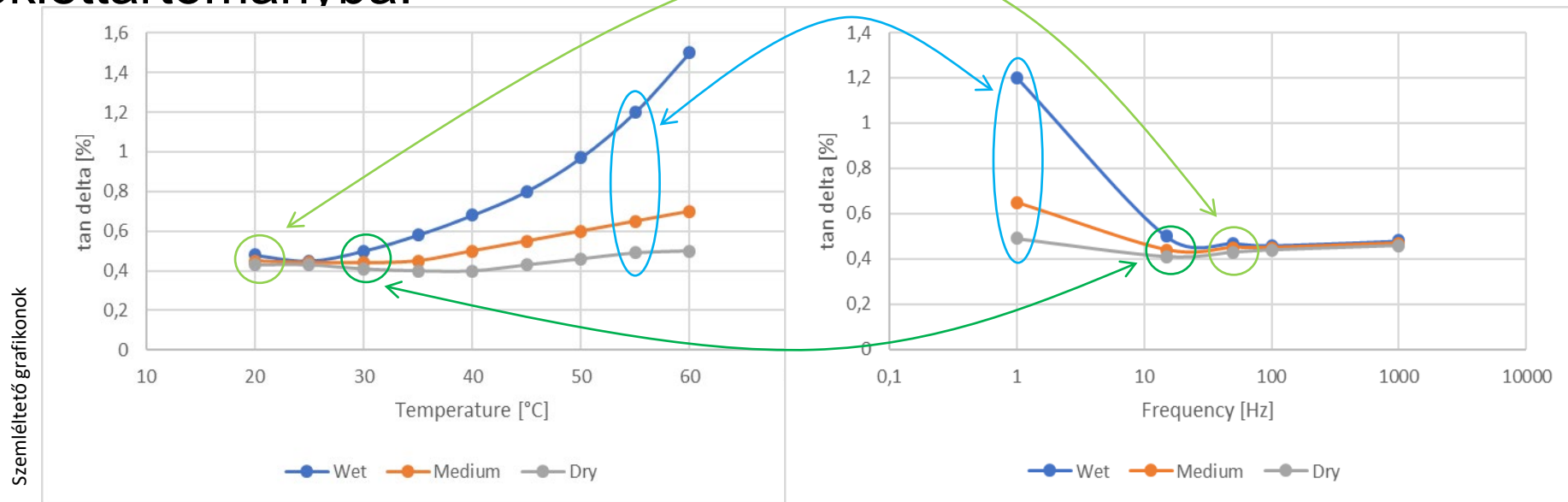
- A veszteségi tényező ($\tan\delta$) hőmérsékletfüggő.
- Az Arrhenius-egyenlet segítségével a frekvenciaválaszt hőmérsékletválaszra lehet alakítani.

$$L = \ln f_2 - \ln f_1 = -\frac{E_a}{k_B} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

- Ez az
 - E_a a szigetelőanyag aktiválási energiája elektronvoltban,
 - k_B a Boltzmann-állandó ($8,167 \times 10^{-6}$ eV/K) és
 - T a tárgy hőmérséklete Kelvinben.
- A módszer lehetővé teszi a mérés bármely hőmérsékleten történő korrekcióját egy referenciahőmérsékletre (20°C).
- Két modell kapható: egy egyszerű (ITC1) és egy két anyagból készült szigeteléshez (ITC2).

DFR-reláció - ITC

- A $\tan \delta$ a hőmérséklet, a frekvencia, a geometria stb. függvénye.
- A megvalósítás szempontjából a geometriát és más tényezőket állandónak kell tekinteni.
- Ennek megfelelően a frekvenciatartományból mért adatok átalakíthatók hőmérséklettartományba:



Egyéni hőmérséklet-korrekció (ITC)

- Példa RIP megvalósításra, 245kV,
- 20°C, 37°C, 45°C, 54°C, 71°C és 85°C hőmérsékleten végzett mérések

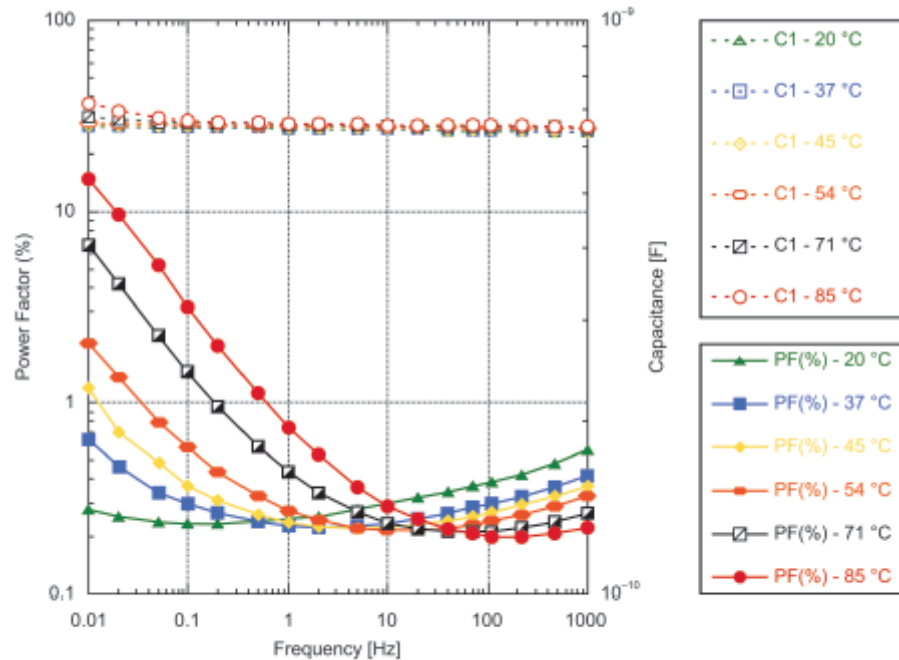


Figure B.4—Measured DFR results of a new 245 kV RIP bushing at 20 °C, 37 °C, 45 °C, 54 °C, 71 °C, and 85 °C, respectively

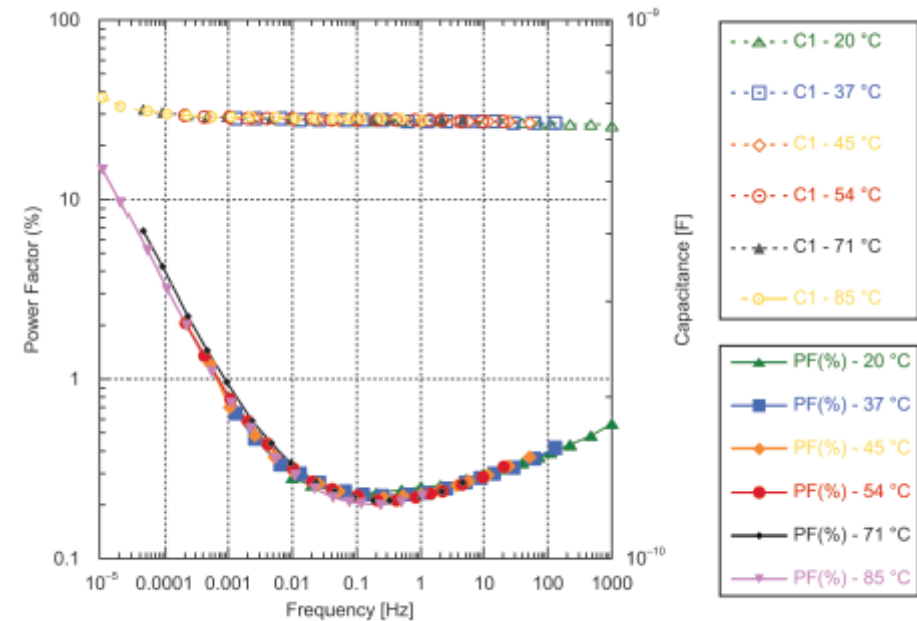


Figure B.5—Temperature-corrected DFR results of the new 245 kV RIP bushing

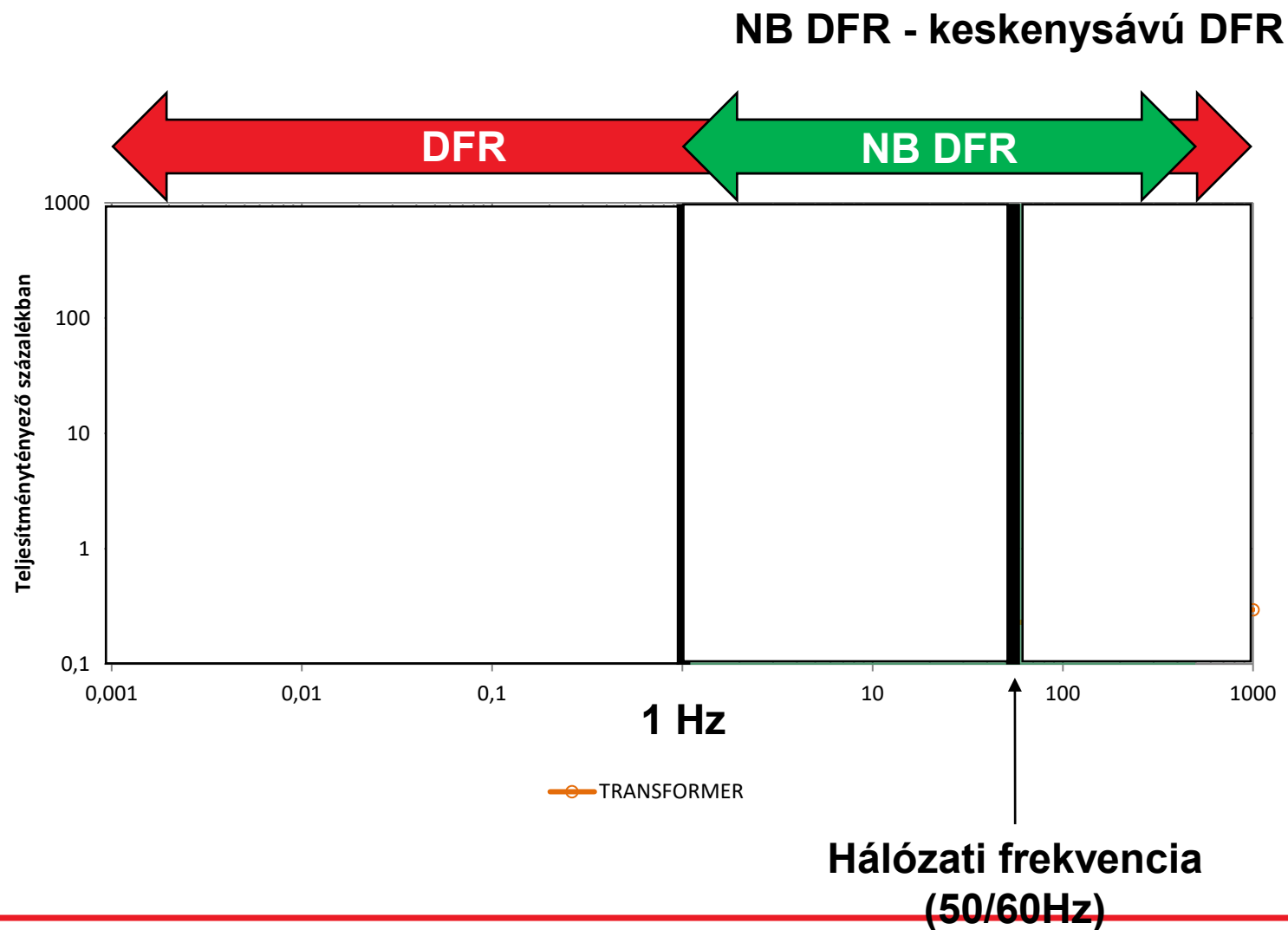
A tanδ értékelési kritériumai (%DF)

	OIP transzformátor	OIP < 200 kV megvalósítása	OIP >200kV megvalósítása	RIP <200kV megvalósítása	RIP >200kV megvalósítása	RBP megvalósítása	Megvalósítás, általános
DF/PF @50/60Hz, 20°C							
Kiváló	<0,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<1	<0,5
Jó	0,4-0,5	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7	1-1,5	0,5-0,7
Öregedett	0,5-1	0,7-1	0,7-1	0,7-1	0,7-1	1,5-2	0,7-1
Rossz	>1	>1	>1	>1	>1	>2	>1
DF/PF @1Hz, 20°C							
Rossz	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,4	<0,2
Kiváló	0,2-0,5	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4	0,4-0,9	0,2-0,4
Jó	0,5-1	0,4-0,75	0,4-0,75	0,4-0,75	0,4-0,75	0,9-1,75	0,4-0,75
Öregedett	1-1,75	0,75-1,25	0,75-1,25	0,75-1,25	0,75-1,25	1,75-2,5	0,75-1,25
Rossz	>1,75	>1,25	>1,25	>1,25	>1,25	>2,5	>1,25
C változás 50/60 Hz-en		<-4% vagy >4%	<-4% vagy >2%	<-4% vagy >4%	<-4% vagy >2%	<-4% vagy >10%	<-4% vagy >4%
DF/PF változás, 20°C							
Kiváló		20%	20%	20%	20%	20%	20%
Jó		50%	50%	50%	50%	50%	50%
Öregedett		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Rossz		>100%	>100%	>100%	>100%	>100%	>100%

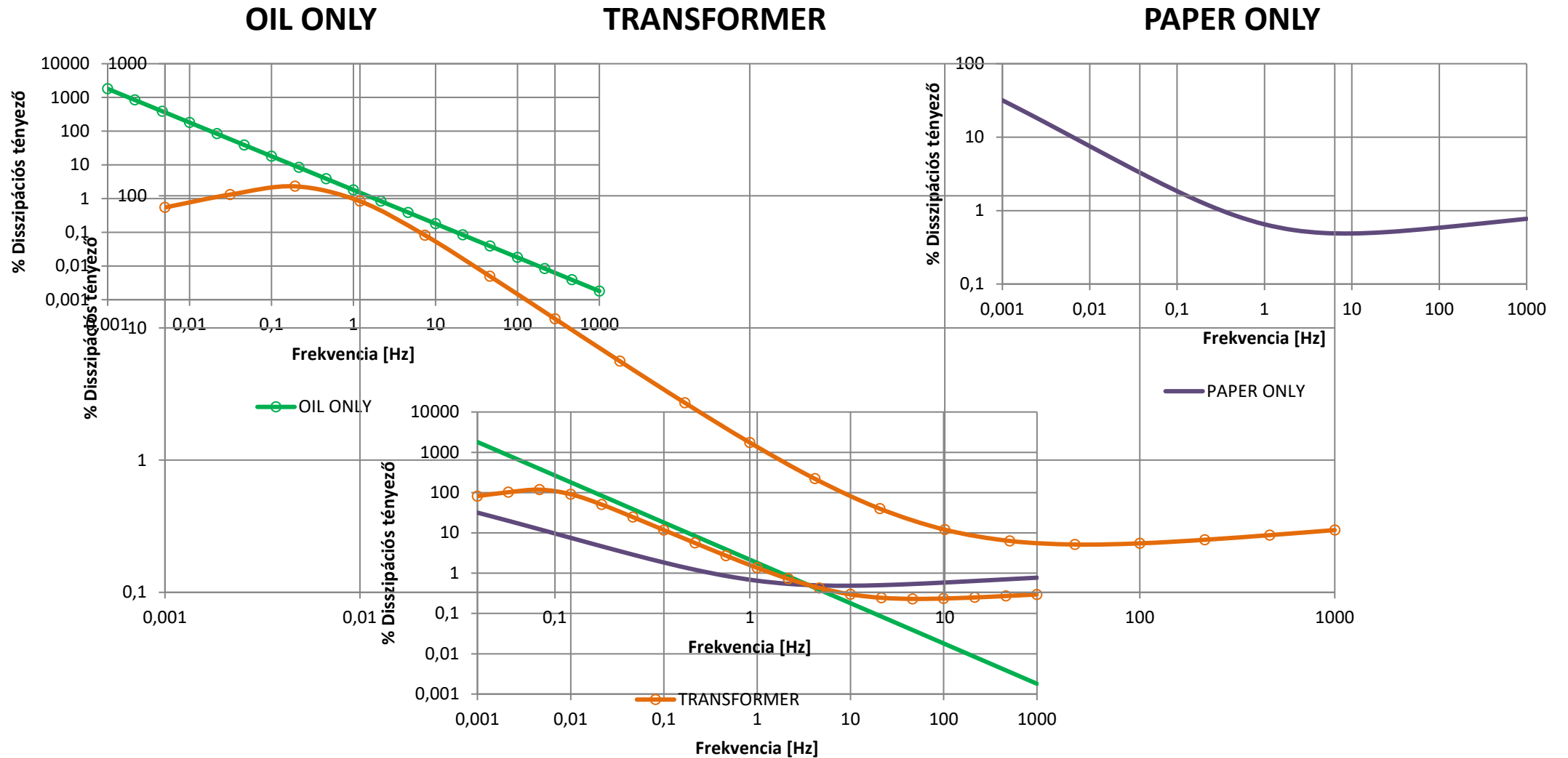
DFR - Történelem

- **1990;** Az ABB első eredményei a szigetelőanyagok dielektromos reakcióinak mérésében (NORD-IS 1990)
- **1993;** Dr. Peter Werelius megkezdi az első frekvenciaátviteli mérésekre szolgáló terepi műszer fejlesztését.
- **1995;** Elérhetővé válik az első DFR-hez használt terepi műszer (IDA)
- **2004;** CIGRE 254. számú jelentés: „ Dielektromos válaszmódszerek ... ”
Diagnosztika „A teljesítménytranszformátorok diagnosztikája ” (Dielektromos reakciómódszerek transzformátorok diagnosztizálására) című könyv megjelent.
- **2006;** A REDIATool projekt jelentése a CIGRE-nek; A DFR-t ajánlják a transzformátorok nedvességvizsgálatának választott módszereként.
- **2009;** CIGRE 414. számú jelentés „ Dielektromos válasz diagnózisok mert transzformátor tekercsek „(Transzformátor tekercsek dielektromos reakcióvizsgálata)” című könyv megjelent
- **2013;** IEEE C57.152 G. melléklet, dielektromos frekvenciaválasz
- **2018;** IEEE C57.161 „DFR-tesztelési útmutató”
- **2025; Megjelenik** a CIGRE TB962, „ Transzformátor-karbantartási útmutató” (az FDS/DFR „Speciális vagy haladó mérésekként” szerepel).

tanδ spektruma



DFR – Olaj -papír szigetelés



— OIL ONLY — PAPER ONLY — TRANSFORMER

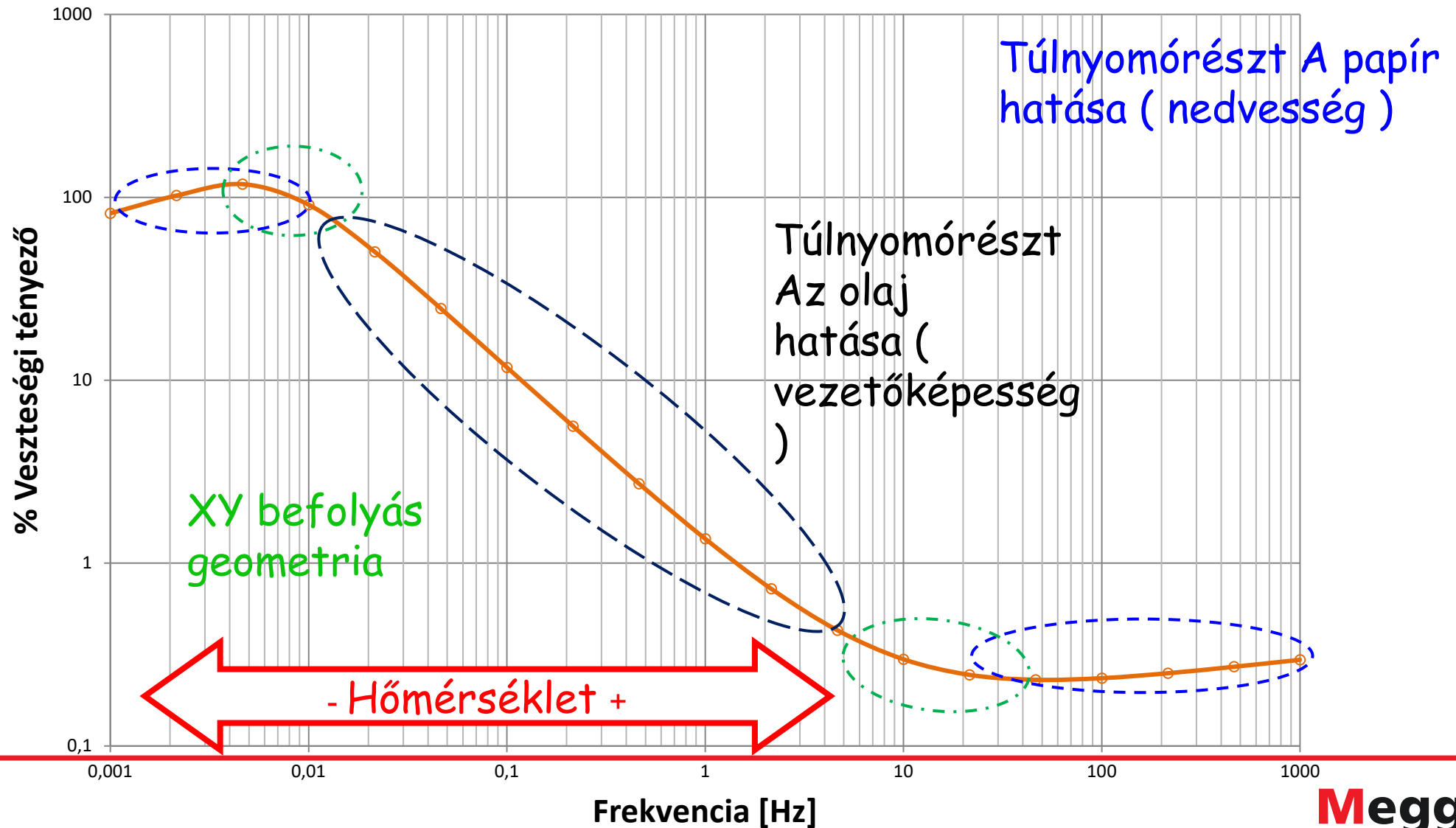
Dielektromos frekvenciaválasz (DFR = FDS)

- Észlelhető hibák:
 - A cellulóz víztartalma
 - Veszteségi tényező (szigetelési hiba, a szigetelés szennyeződése)
- Vizsgálati módszer
 - Veszteségi tényező mérése, de:
 - Változó feszültség (tipikusan 140V)
 - széles frekvenciatartomány 1mH...1kHz
 - Két anyag (olaj és cellulóz) alapján modellezést végeznek amely a lehető legjobban megfelel a mért görbének.
 - A szigetelőolajat a dielektromos teljesítmény és a vezetőképesség alapján modellezik.
 - A cellulózt változó nedvességtartalmú laboratóriumi minták méréseiből származó adatbázis alapján modellezik.

Frequency Domain Spectroscopy (FDS)	
Detectable failures	Water content in the solid cellulose insulation of oil-paper insulation, insulation failures, contamination of insulation liquids with particles, acids
Indication	High moisture in the oil, general assessment of insulation condition
Test method	<p>The principle of this measurement is the same as Capacitance and Dissipation/Power Factor described previously but differs by being applied at different frequencies, typically from 0.001 Hz to 1000 Hz as shown in the following traces:</p> <p>Figure 15: Frequency Domain Spectroscopy</p>
Reference	Moisture determination by modelling, comparison to fingerprint measurements, limits for dry, moderately wet and extremely wet insulation are given in IEC 60422
Interpretation	Moisture determination is based on a comparison of the transformer's dielectric response to a modelled dielectric response. An algorithm rearranges the modelled dielectric response and delivers moisture content and oil conductivity. A reliable moisture analysis of the onsite measurements is based on matching them with a data pool for the modelled dielectric response. The data pool consists of measurements on new pressboard at various temperatures, moisture contents and oils used for impregnation. New procedures consider also the dielectric properties of aged pressboard as well in order to compensate for the influence of aging. Once water content has been assessed, refer to the limits for dry, moderately wet and extremely wet insulation provided in IEC 60422.
Comments	The combination of time domain polarization current measurements with frequency domain spectroscopy reduces the test duration compared to existing techniques. Essentially, time domain measurements can be accomplished in a short time but are limited to low frequencies (typically below 1 Hz). In contrast, frequency domain measurements are feasible for high frequencies as well but take very long time at low frequencies.

Table 39: Frequency Domain Spectroscopy (FDS)

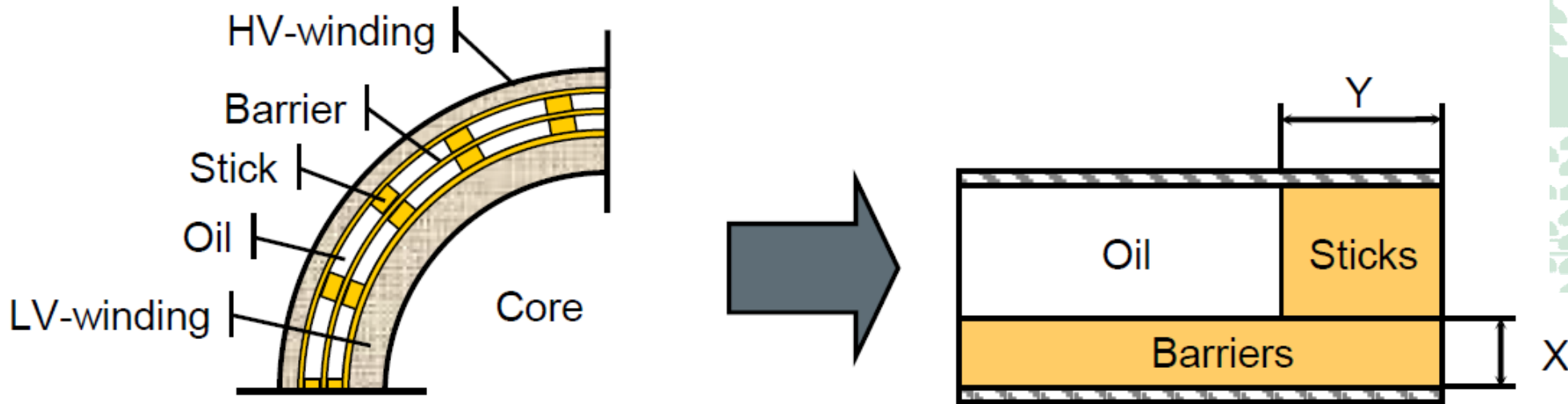
DFR – Transzformátor tipikus görbe



DFR – Transzformátor XY modell

414

$$\varepsilon(\omega, T)_{duct} = \frac{Y}{\frac{1-X}{\varepsilon_{spacer}} + \frac{X}{\varepsilon_{barrier}}} + \frac{1-Y}{\frac{1-X}{\varepsilon_{oil}} + \frac{X}{\varepsilon_{barrier}}}$$



A mag típusú transzformátorok tipikus értékei:

X = % (15-55%)

Y = távtartók vagy pálcák %-a (15-25%)

Dielectric Response Diagnoses
For Transformer Windings

Working Group
D1.01 (TF 14)

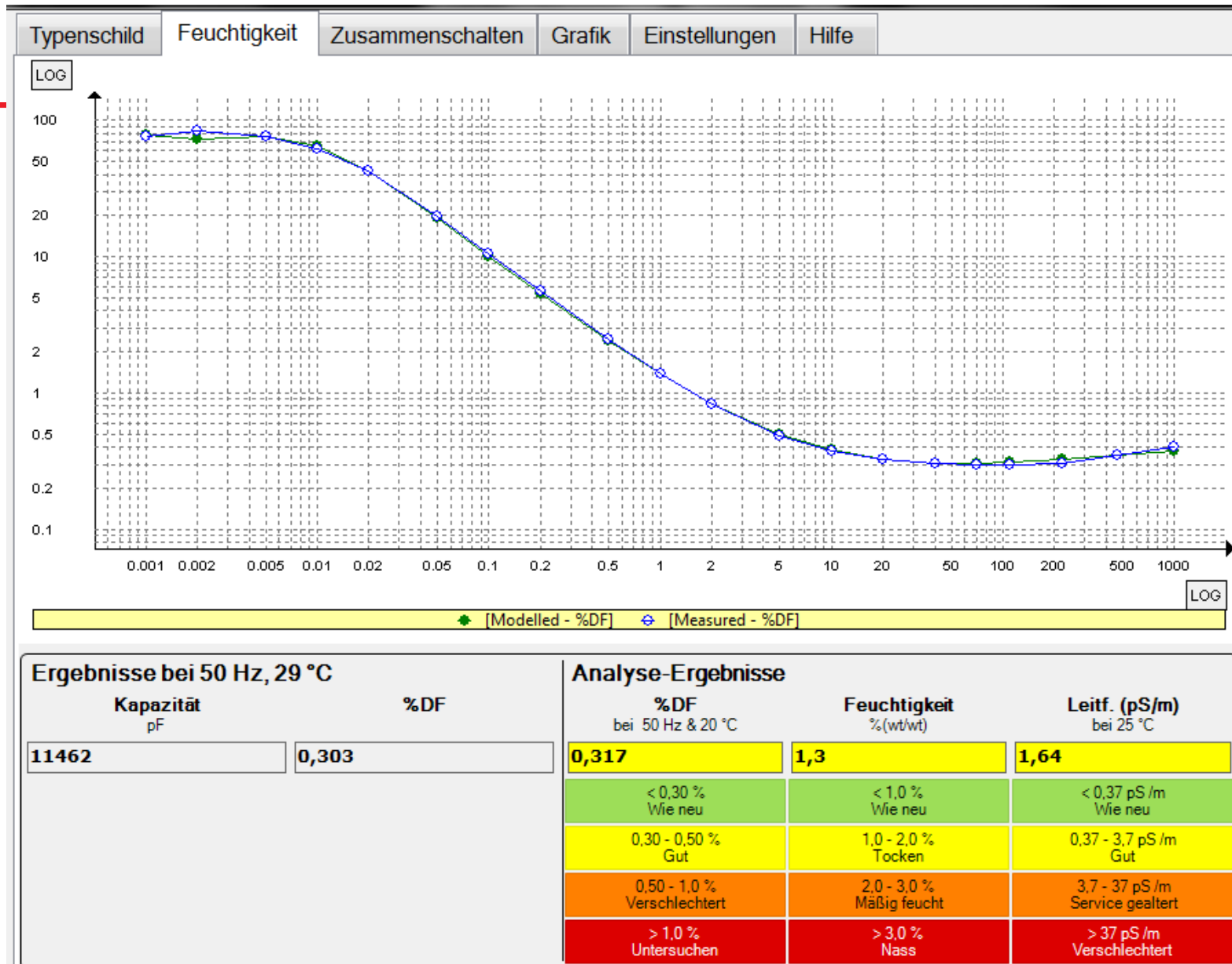
April 2010



DFR - Transzformátor

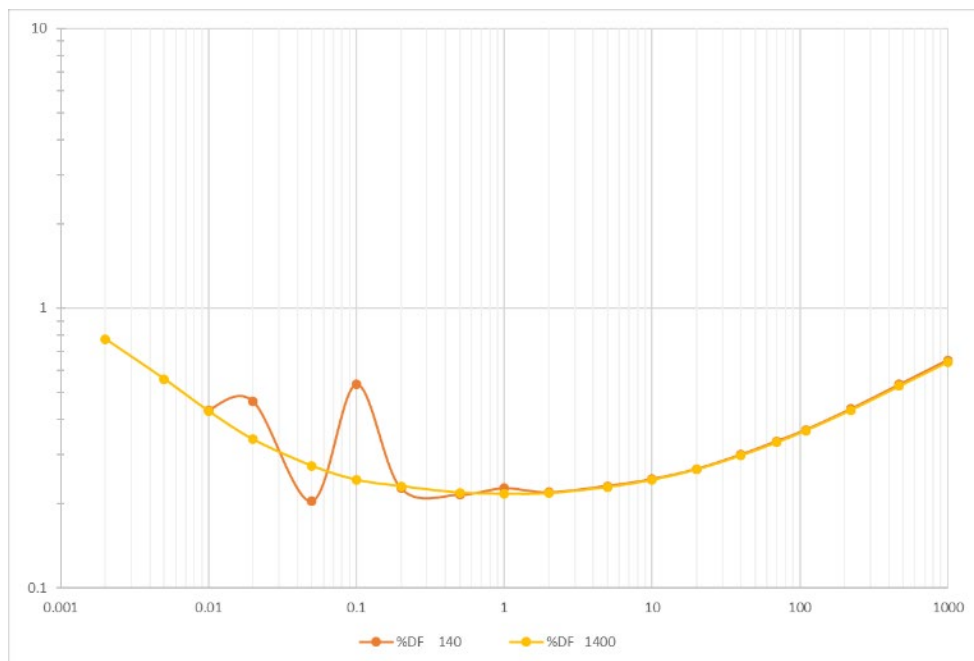
■ Egyetlen mérés:

- Nedvesség,
- DF/PF 20 °C-on
- Olajvezető képesség 25 °C

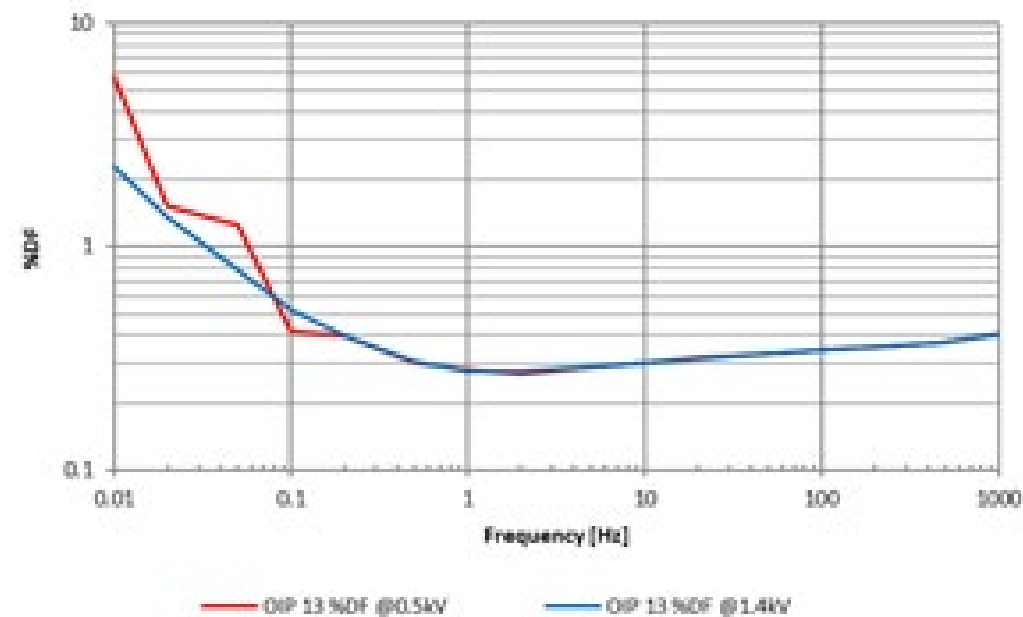


DFR erősítő , ha szükséges

- Alacsony frekvenciájú interferencia
- zaj arány -> magasabb mérőfeszültség (1,4kV)



RIP 500 kV ~ 600 pF



OIP 800kV

Összefoglalás

- Kipróbált és bevált, valamint új módszerek A transzformátorok és átvezetők szigetelésének állapotfelméréséhez.
- Szigetelési ellenállás mérése: Helyes mérés GUARD csatlakozással
- Veszteségi tényező mérése (50 Hz, 10kV):
 - A hőmérséklet befolyásolja a mérési eredményeket
- A DFR az egyik legjobb módszer a szigetelés öregedésének (nedvességtartalmának) meghatározására.
- 1 Hz és NB DFR:
 - *Ugyanaz a mérőeszköz, mint az LF DF - egyidejűleg 50/60 Hz-es teszttel*
 - *Nagyobb érzékenység alacsonyabb frekvenciákon*
 - *Lehetővé teszi az egyedi hőmérséklet-korrekciós algoritmus (ITC) használatát*

A transzformátorok méréséhez használt Megger műszerek áttekintése

		OTS	OTD	MIT/S1	DLRO/ MOM	TTR	MTO	TAU3	delta4000	FRAX	IDAX	TRAX	pdix
olaj	Átütési szilárdság	x											
	Veszteségi tényező		x										
alapvető villamos mérések	Áttétel					x		x				x	
	DC tekercsellenállás						x	x				x	
	TanDelta és kapacitás								x		x	x	
	gerjesztőáram					x		x	x			x	
	rövidzárlati impedancia							x				x	
	Szigetelési ellenállás				x						x		
	Mag földelés					x						x	
egyéb diagnosztikai mérések	Frekvenciaátvitel (SFRA)									x			
	Dielektromos frekvenciaválasz (DFR)										x		
	(DRM)							x				x	
	(FRSL)							x				x	
	Részleges kisülés (PD)												x

Megger[®]

Köszönöm a figyelmet!

