

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2021

Bc. Róbert Czajtányi



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TESTOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH TRANSFORMÁTORŮ

TESTING OF MV DISTRIBUTION TRANSFORMERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Róbert Czajtányi

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Krbal, Ph.D.

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Róbert Czajtányi

ID: 173628

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Testování distribučních transformátorů

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte rešerši literatury (články IEEE, normy ČSN, jiné závěrečné práce atd.) orientovanou na elektrické zkoušky na distribučních transformátorech – popis zkoušek, parametry, zkušební postupy, rozdíly v normách.
2. Provedte podrobné dělení na výrobní zkoušky kusové, zkoušky typové a zvláštní zkoušky. Zaměřte se na rozdíly mezi suchým a olejovým transformátorem.
3. Vypracujte přehled moderních diagnostických přístupů k určení izolačního stavu transformátorů – FRA, PD.
4. Na distribučním transformátoru 22/0,4 kV provedte praktická laboratorní měření podle pokynů vedoucího práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Normy ČSN, články IEEE, články OA, sborníky konferenčních příspěvků, jiné závěrečné práce.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Michal Krbal, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního
programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cieľom práce bolo oboznámenie sa s elektrickými vlastnosťami distribučných transformátorov. Ďalším cieľom bolo popis existujúcich diagnostických metód podľa normy a oboznámenie sa s meracím pracoviskom. Nakoniec bola prevedená samotná diagnostika distribučného transformátoru a vyhodnotenie výsledkov.

Kľúčové slová

distribučné transformátory, meranie, diagnostika, elektrické vlastnosti.

Abstract

The aim of this thesis was to get acquainted with the electrical properties of distribution transformers, which are used in the area of high voltage technology. Further aim was to describe the existing diagnostic methods according to the standards and to introduce the measuring workstation. Finally, the diagnostic of transformer was performed, and the results were evaluated.

Keywords

distribution transformers, measurement, diagnostics, electrical properties

Bibliografická citácia

CZAJTÁNYI, Róbert. *Testování distribučních transformátorů*. Brno, 2021: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2021. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Krbal, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Róbert Czajtányi
VUT ID studenta:	173628
Typ práce:	Diplomová práce
Akademický rok:	2020/21
Téma závěrečné práce:	Testování distribučních transformátorů

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 24. května 2021

podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Michalovi Krbalovi, Ph.D, za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej semestrálnej práce

V Brně dne: 24. 05. 2021

podpis autora

Obsah

ZOZNAM OBRÁZKOV	8
ZOZNAM TABULIEK	9
ÚVOD	10
1. TRANSFORMÁTORY	11
1.1 ROZDELENIE TRANSFORMÁTOROV	11
1.2 SUCHÝ A OLEJOVÝ DISTRIBUČNÝ TRANSFORMÁTOR	12
2. TEÓRIA MERANIA A TESTOVANIA DISTRIBUČNÝCH TRANSFORMÁTOROV	13
2.1 MERANIE NAPRÁZDNO	14
2.2 MERANIE NAKRÁTKO	16
2.3 MERANIE IZOLAČNÉHO ODPORU A URČENIE POLARIZAČNÉHO INDEXU	18
2.4 MERANIE STRATOVÉHO ČINITELA A KAPACITY VINUTIA	20
2.5 MERANIE POMERU KAPACÍT C_2/C_{50}	22
2.6 NAPĀŤOVÉ SKÚŠKY	24
2.6.1 <i>Skúška priloženým striedavým napätím</i>	24
2.6.2 <i>Skúška atmosférickým impulzom</i>	25
2.7 MERANIE ČIASTOČNÝCH VÝBOJOV	26
2.7.1 <i>Galvanická metóda</i>	26
2.7.2 <i>Akustická metóda</i>	27
2.8 MERANIE FREKVENČNÝCH CHARAKTERISTÍK (SFRA DIAGNOSTIKA)	28
3. PRAKTICKÉ MERANIE DISTRIBUČNÉHO TRANSFORMÁTORU	34
3.1 SKÚŠANÝ DISTRIBUČNÝ TRANSFORMÁTOR	34
3.2 POUŽITÉ MERACIE PRÍSTROJE	35
3.2.1 <i>Tettex MIDAS</i>	35
3.2.2 <i>Hipotronics DDX 7000</i>	37
3.2.3 <i>Tettex 2840</i>	38
3.3 MERANIE DIELEKTRICKÝCH PARAMETROV POMOCOU MOSTÍKU TETTEX 2840	39
3.4 MERANIE ČIASTOČNÝCH VÝBOJOV	39
3.5 MERANIE FRA CHARAKTERISTÍK	40
3.6 MERANIE PREVODU A ODCHÝLKY FÁZE	42
4. ZÁVER	44
LITERATÚRA	45
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	46
ZOZNAM PRÍLOH	47

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1-1 Distribučný transformátor	11
Obr. 2-1 Schéma zapojenia trojfázových transformátorov pre meranie strát a prúdu naprázdno [3].....	15
Obr. 2-2 Schéma zapojenia trojfázových transformátorov pre meranie strát a prúdu nakrátko	17
Obr. 2-3 Príklad zapojenia pre meranie izolačného odporu.....	19
Obr. 2-4 Závislosti stratového činiteľa na veľkosti napätia rôznych izolácií [3]	20
Obr. 2-5 Zapojenie dvojvinutového transformátoru pri meraní kapacity a stratového činiteľa [3].....	21
Obr. 2-6 Zapojenie pri meraní kapacít transformátoru	23
Obr. 2-7 Schéma zapojenia pri meraní čiastočných výbojov [3]	26
Obr. 2-8 Schéma zapojenia pre meranie frekvenčných charakteristík [7]	28
Obr. 2-9 Obvyklý tvar frekvenčnej charakteristiky transformátoru [8]	29
Obr. 2-10 Vplyv smeru merania na frekvenčnú závislosť [7].....	31
Obr. 2-11 Vplyv rôznych typov izolačnej kvapaliny na frekvenčnú závislosť [7]	31
Obr. 2-12 Vplyv naplnenia transformátoru olejom alebo vinutie bez oleja [7]	32
Obr. 2-13 Vplyv jednosmerných skúšok na frekvenčnú závislosť [7].....	32
Obr. 2-14 Vplyv teploty na frekvenčnú charakteristiku [7]	33
Obr. 3-1 Skúšaný distribučný transformátor.....	34
Obr. 3-2 Štítok skúšaného transformátora	35
Obr. 3-3 Analyzátor MIDAS	36
Obr. 3-4 Detektor čiastočných výbojov Hipotronics DDX-7000.....	37
Obr. 3-5 Analyzátor Tettex 2840	38
Obr. 3-6 Magnitúda prenosovej napäťovej funkcie	41
Obr. 3-7 Fáza prenosovej funkcie	42

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1 Rozdelenie skúšok transformátorov do jednotlivých skupín.....	14
Tab. 2-2 Konfigurácie jednotlivých zapojení pri meraní izolačného odporu.....	19
Tab. 2-3 Prevodná tabuľka pre olejové transformátory	22
Tab. 2-4 Konfigurácie jednotlivých zapojení pri meraní kapacity jednotlivých vinutí.....	24
Tab. 2-5 Limitné hodnoty pomeru C_2/C_{50}	24
Tab. 2-6 Skúšobné napätia priložením striedavým napätím pre transformátory s plnou izoláciou.....	25
Tab. 2-7 Skúšobné napätia atmosférickým impulzom pre transformátory s plnou izoláciou	26
Tab. 3-1 Namerané hodnoty stratového činiteľa a kapacity vinutia	39
Tab. 3-2 Namerané hodnoty čiastočných výbojov	40
Tab. 3-3 Preddefinovaný postup merania pre trojfázové transformátory v zapojení Dyn	41
Tab. 3-4 Namerané hodnoty pri meraní prevodu a odchýlky fáze	42

ÚVOD

Predložená diplomová práca sa zaoberá s problematikou testovania distribučných transformátorov do veľkosti 1 MVA.

Distribučné transformátory majú za úlohu zníženie napät'ovej hladiny v distribučnej sústave, aby nakoniec elektrická energia bola využiteľná koncovým zákazníkom. Distribučné transformátory je možné rozdeliť z hľadiska použitého izolačného systému na suché, suché zalievané a olejové transformátory. Postupným starnutím izolácie sa zhoršujú elektrické, ale tiež chemické a aj mechanické vlastnosti distribučných transformátorov. Vo väčšine prípadov pri narušení izolačného systému dôjde k zásadnému poškodeniu celého transformátoru. Pretože v dnešnej dobe je snaha znížiť náklady na prevádzku distribučných transformátorov, je potrebné urobiť pravidelnú a včasnú diagnostiku týchto elektrických strojov, aby sa predišlo poruche a tým aj značným ekonomickým škodám.

Cieľom tejto diplomovej práce je oboznámenie sa s meracími, testovacími a diagnostickými metódami distribučných transformátorov a následne praktické testovanie predloženého distribučného transformátoru.

1. TRANSFORMÁTORY



Obr. 1-1 Distribučný transformátor

Podľa technickej normy ČSN EN 60076-1 transformátor je statický prístroj (elektrický stroj) s dvomi alebo viacerými vinutiami, ktorý pomocou elektromagnetickej indukcie transformuje jeden systém striedavého napätia a prúdu na iný systém napätia a prúdu obvykle rozdielnych hodnôt pri rovnakom kmitočtu za účelom prenosu elektrickej energie. [1]

1.1 Rozdelenie transformátorov

Transformátory je možné rozdeliť podľa viacerých kritérií. Najčastejšie delenie sú nasledovné:

a) Podľa počtu fáz:

- Jednofázové transformátory
- Trojfázové transformátory
- Viacfázové (špeciálne) transformátory

b) Podľa typu chladenia:

- Olejové transformátory
- Suché transformátory

c) Podľa počtu vinutia:

- Dvojvinuťové transformátory
- Trojvinuťové transformátory
- Viacvinuťové transformátory

d) Podľa konštrukcie jadra:

- Plášťový
- Jadrový
- Toroidný

e) Podľa veľkosti napätia:

- Transformátory s napäťovou hladinou do 72,5 kV
- Transformátory s napäťovou hladinou od 72,5 kV do 170 kV
- Transformátory s napäťovou hladinou vyššou ako 170 kV

f) Podľa použitia

1.2 Suchý a olejový distribučný transformátor

Suché transformátory majú oproti zalievaným transformátorom niekoľko výhod. U suchých transformátorov sa používajú živice, ktoré sú ťažko zápalné a samohasiace. Pri prípadnom požiari nevznikajú žiadne nebezpečné splodiny. Z týchto dôvodov sa znižujú nároky na požiarnu stenu, požiarnu jamku nepotrebujú vôbec. Preto sa často používajú na vysokých budovách, v podzemí alebo v továrňach. Pre chladenie transformátoru sa používa len vzduch a nie kvapaliny rôzneho chemického zloženia. Tím je chránené aj životné prostredie. Pre zvýšenie výkonu zhruba o 40 % sa využíva nútené chladenie.

Nevýhodou suchých transformátorov sú väčšie náklady a hlučnosť. Olejové transformátory sú o niečo lacnejšie ako suché pri zachovaní rovnakých parametrov.

Pri poruche transformátoru existuje aj možnosť opravy, a to aj poškodeného vinutia. Pri zachovaní rovnakého výkonu ako u suchého transformátoru sa rozmery zmenšujú. Olejový transformátor je naplnený chladiacim médiom. Najčastejšie sú transformátory naplnené transformátorovým olejom, ktorý je vyrobený z ropy. Takto vyrobený olej patrí do skupiny minerálnych olejov.

Výhodou použitia oleje oproti vzduchu je jeho dobrá izolačná vlastnosť, dobre zaplňuje póry a dutiny, používa sa ako chladiace médium, uľahčuje hasenie výboju.

Oleje majú svoje nevýhody a to, že sú veľmi horľavé a biologický rozklad je u nich veľmi pomalý. Kvôli prípadnému úniku a zamoreniu pôdy alebo zdrojov vody sa inštaluje olejová jamka. [2]

2. TEÓRIA MERANIA A TESTOVANIA

DISTRIBUČNÝCH TRANSFORMÁTOROV

Distribučné transformátory sú kľúčovými prvkami v energetickej sústave. Vplyvom prevádzkových podmienok však postupne dochádza k starnutiu jednotlivých častí a tým pádom aj ku zmenám mechanických a elektrických vlastností. Testovanie transformátorov v pravidelných časových intervaloch slúži k včasnému odhaleniu prípadnej začínajúcej poruchy. Jednotlivé meracie a testovacie procesy sa delia na typové, kusové a zvláštne skúšky.

Typové skúšky sa vykonávajú na každom novom typu (prototypoch) transformátoru alebo pri podstatnej zmene výrobného postupu, prípadne pri zmene konštrukcie použitého materiálu. Pri sériovej výrobe sa typové skúšky opakujú po stanovenom počtu vyrobených kusov tohto typu transformátoru, alebo po určitej stanovenej dobe.

Kusové skúšky sa vykonávajú na všetkých vyrobených transformátoroch v predpísanom rozsahu.

Zvláštne, alebo špeciálne skúšky slúžia k overeniu určitých vlastností. Slúžia ako doplnok k typovým a kusovým skúškam a vykonávajú sa prevažne len na vyžiadanie prevádzkovateľa transformátoru.

Pre spoľahlivé fungovanie transformátoru je najdôležitejším faktorom dobrý stav izolácie vinutia. Z ostatných podsystemov je potrebné venovať pozornosť aj kvalite vinutí, priechodkám a prepínačom odbočiek. Prehľad a rozdelenie skúšok transformátorov do jednotlivých skupín je uvedená v Tab. 2-1.

Tab. 2-1 Rozdelenie skúšok transformátorov do jednotlivých skupín

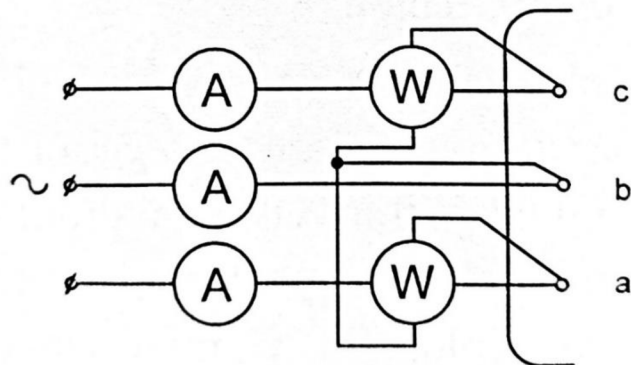
Názov skúšky	skúška		
	typová	kusová	zvláštna
Meranie izolačného odporu	+	+	-
Meranie odporu vinutia za studena jednosmerným prúdom	+	+	-
Meranie prevodu napätia naprázdno na všetkých odbočkách	+	+	-
Kontrola natočenia fáz	+	+	-
Skúška priloženým napätím z cudzieho zdroja	+	+	-
Skúška indukovaným napätím	+	+	-
Meranie strát a prúdu naprázdno	+	+	-
Meranie charakteristiky naprázdno	+	-	-
Meranie strát a napätia nakrátko	+	+	-
Otepľovacia skúška	+	-	-
Skúška elektrickej pevnosti izolácie atmosférickým impulzom:			
na vinutí s menovitým napätím do 132 kV	+	-	-
na vinutí s menovitým napätím nad 132 kV	+	+	-
Meranie stratového činiteľa a kapacity vinutia na transformátore:			
s menovitým napätím menším ako 110 kV	-	-	+
s menovitým napätím 110 kV a vyšším	+	+	-
Skratová skúška	+	-	-
Meranie nulovej zložky reaktancie na transformátore:			
s menovitým napätím menším ako 110 kV	-	-	+
s menovitým napätím 110 kV a vyšším	-	-	+
Skúška prepínača odbočiek	+	+	-
Meranie čiastočných výbojov	-	-	+
+ vykonáva sa; - nevykonáva sa			

2.1 Meranie naprázdno

Meraním transformátora naprázdno sa stanovujú straty naprázdno, prúd naprázdno, účinník naprázdno a prevod transformátora naprázdno. Meranie sa zvyčajne uskutočňuje na strane nižšieho napätia (NN) pri menovitom napätí a menovitej frekvencii.

Schéma zapojenia pre meranie transformátora naprázdno je znázornená na Obr. 2-1. Vinutie nižšieho napätia sa napája menovitým súmerným napätím menovitej frekvencie prakticky sínusového tvaru. Vinutie, ktoré je zapojené do trojuholníku, musí byť počas merania naprázdno uzatvorené. Napájacie napätie sa postupne znižuje s krokom približne 10 % a pri každej hodnote sa zaznamenávajú prúdy, výkony a tiež napätie U_{20} pre výpočet

prevodu. Následne sa vypočítajú parametre transformátoru naprázdno pomocou nižšie uvedených vzťahov. [3]



Obr. 2-1 Schéma zapojenia trojfázových transformátorov pre meranie strát a prúdu naprázdno [3]

Účinník transformátoru naprázdno sa rovná podielu činného P_1 a zdanlivého výkonu S_1 .

$$\cos\varphi_{10} = \frac{P_1}{S_1} \quad (1)$$

Celkový činný výkon dodávaný do transformátoru sa rovná súčtu výkonov jednotlivých fáz.

$$P_1 = P_{1U} + P_{1V} + P_{1W} \quad (2)$$

Dodávaný zdanlivý výkon transformátoru sa rovná trojnásobku súčinu napätia a prúdu na vstupe.

$$S_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \quad (3)$$

Prevod transformátoru p_u naprázdno sa rovná podielu napätia na strane vyššieho napätia U_{10} k napätia na strane nižšieho napätia U_{20} .

$$p_u = \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad (4)$$

Hodnota vstupného napätia sa rovná strednej hodnote napätia jednotlivých fáz.

$$U_{10} = \frac{1}{3}(U_{UV0} + U_{VW0} + U_{UW0}) \quad (5)$$

Hodnota vstupného prúdu (prúd naprázdno) sa rovná strednej hodnote prúdu jednotlivých fáz.

$$I_{10} = \frac{1}{3}(I_U + I_V + I_W) \quad (6)$$

Straty naprázdno sa vypočítajú pomocou vzťahu (6), kde sa rešpektujú spotreby meracích prístrojov.

$$\Delta P_0 = P - P_W \quad (7)$$

ΔP_0 sú straty naprázdno,

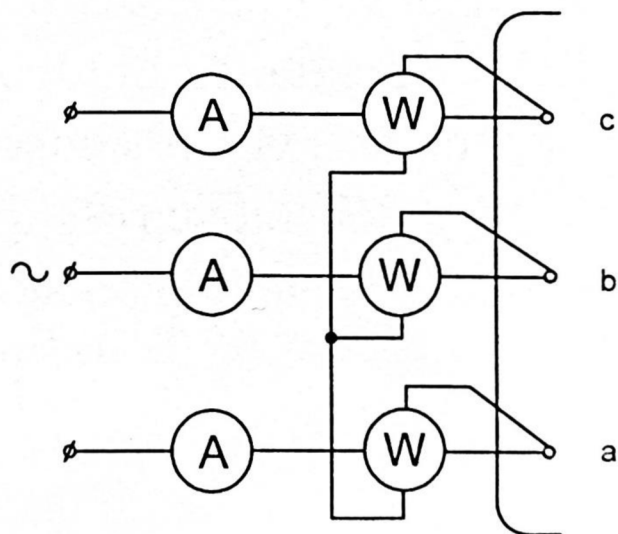
P sú straty namerané pomocou wattmetrov,

P_W je výkon spotrebovaný meracími prístrojmi.

2.2 Meranie nakrátko

Meraním transformátoru nakrátko sa stanovujú straty nakrátko, napätie nakrátko a účinník nakrátko. Meranie sa zvyčajne uskutočňuje na strane vyššieho napätia (VN) pri menovitom prúde a menovitej frekvencii.

Schéma zapojenia pre meranie transformátoru nakrátko je uvedená na Obr. 2-2. Na zapojený transformátor sa privedie nulové napájacie napätia a toto napätia sa pomaly zvyšuje d okamihu, kým primárnym vinutím začne tiecť prúd 120 % I_{IN} . Tento prúd sa postupne znižuje s krokom približne 10 % až k nulovej hodnote, a pri každej hodnote sa zaznamenávajú jednotlivé prúdy a výkony. Následne sa prevedie výpočet parametrov transformátoru nakrátko pomocou nižšie uvedených vzťahov. Testovanie sa musí previesť rýchlo, lebo kvôli pretekajúcemu prúdu teplota vinutia sa rýchlo zvyšuje. [3]



Obr. 2-2 Schéma zapojenia trojfázových transformátorov pre meranie strát a prúdu nakrátko

Stredná hodnota napätia nakrátko sa vypočíta ako aritmetický priemer napätí nameraných medzi jednotlivými fázami:

$$U_{1K} = \frac{1}{3}(U_{UVK} + U_{VWK} + U_{UWK}) \quad (8)$$

Percentuálna hodnota napätia nakrátko sa rovná:

$$u_K = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100 \quad (9)$$

Straty nakrátko sa rovnajú príkonu transformátoru v spojení nakrátko:

$$\Delta P_K = P_{1U} + P_{1V} + P_{1W} \quad (10)$$

Straty nakrátko je nutné prepočítať na prevádzkovú teplotu (75 °C) pomocou vzťahu:

$$\Delta P_{K75} = \frac{235 + 75}{235 + \vartheta_K} \cdot \Delta P_K \quad (11)$$

ϑ_K je stredná teplota vinutia počas merania nakrátko. V prípade, že táto teplota nebola meraná, uvažuje sa $\vartheta_K = 20\text{ °C}$

Percentuálna hodnota strát nakrátko sa rovná:

$$\Delta p_{K75} = \frac{\Delta P_{K75}}{S_N} \cdot 100 \quad (12)$$

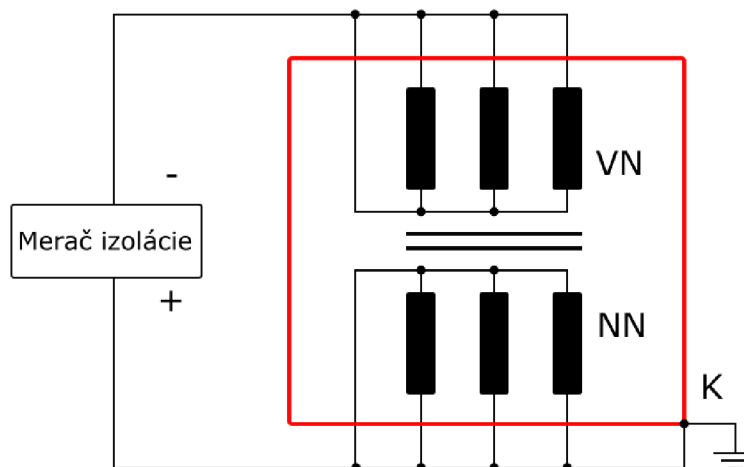
2.3 Meranie izolačného odporu a určenie polarizačného indexu

Meranie veľkosti izolačného odporu je jeden z najstarších diagnostických metód transformátorov. Meranie sa uskutočňuje tak, že 15 a 60 s po priložení jednosmerného napätia na transformátor sa odčítajú hodnoty absorpčného prúdu. Hodnota odporu zmeraná 60 s po priložení napätia je absolútna veľkosť izolačného odporu. Hodnota polarizačného indexu sa určí z týchto dvoch hodnôt pomocou vzťahu:

$$p_{i1} = \frac{i_{15}}{i_{60}} \quad (13)$$

Kde p_{i1} je hodnota minútového polarizačného indexu, i_{15} je absorpčný prúd 15 s po pripojení napätia a i_{60} je absorpčný prúd 60 s po pripojení napätia na transformátor.

Počas merania je potrebné dodržiavať vybíjacie intervaly, aby vplyvom zvyškového náboja nemohlo dôjsť ku skresleniu výsledkov. Práve preto ešte pred samotným meraním je potrebné všetky vinutia transformátoru spojiť nakrátko a minimálne na 5 minút spojiť aj s kostrou transformátoru. Samotná transformátorová nádoba musí byť uzemnená a počas merania žiadne vinutie nesmie byť nezapojené. Na meranie sa používa prístroj pre priame meranie odporu a zdroj jednosmerného napätia s výstupným napätím od 1 do 5 kV. Samotný príklad zapojenia je uvedený na Obr. 2-3, avšak zapojenie sa mení podľa toho, že ktoré vinutia sa práve testujú. Jednotlivé konfigurácie zapojení sú uvedené v Tab. 2-2. [3]



VN - vysokonapäťové vinutie transformátoru
 NN - nízkonapäťové vinutie transformátoru
 K - kostra (nádoaba) transformátoru

Obr. 2-3 Príklad zapojenia pre meranie izolačného odporu

Tab. 2-2 Konfigurácie jednotlivých zapojení pri meraní izolačného odporu

Dvojvinuťové transformátory		Trojvinuťové transformátory	
Testované vinutie	Uzemnené	Testované vinutie	Uzemnené
VN	NN + k	VN	SN + NN + k
NN	VN + k	SN	VN + NN + k
VN a NN	k	NN	VN + SN + k
		VN a SN	NN + k
		VN a SN a NN	k

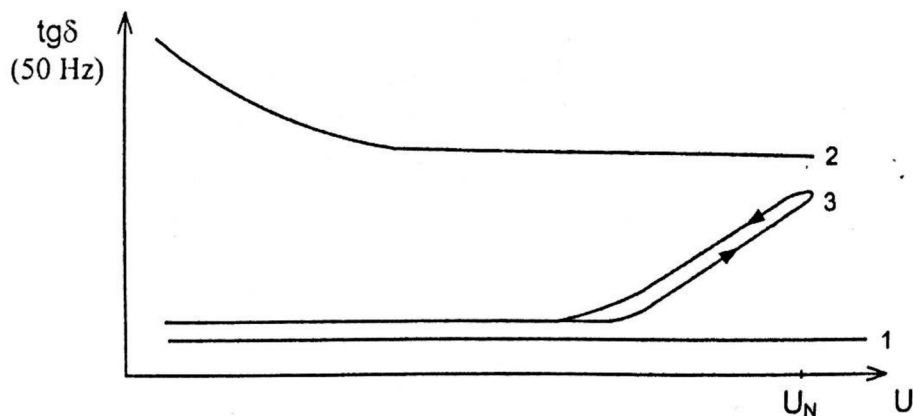
VN – vinutie vyššieho napätia
 SN – vinutie stredného napätia
 NN – vinutie nižšieho napätia
 k – kostra transformátoru

Podmienkou pre meranie je relatívna vlhkosť nižšia ako 90 % a teplota transformátoru vyššia ako +10 °C. Pri vyhodnotení nameraných hodnôt sa porovnávajú aktuálne namerané hodnoty s hodnotami z predchádzajúceho testovania, respektíve s hodnotami nového stroja. V prípade, že odchýlka je vyššia ako 40 %, potom je potrebné určiť jeho príčinu. Minimálna hodnota polarizačného indexu nových transformátorov a transformátorov po revízii je 1,7 a u prevádzkovaných transformátorov 1,3. [3]

2.4 Meranie stratového činiteľa a kapacity vinutia

Po vložení izolačného materiálu do striedavého elektrického poľa sa určitá časť energie v tomto materiálu premení na neužitočné teplo. Túto energiu nazývame ako dielektrické straty. Oteplenie izolačných materiálov zhoršuje ich funkčné vlastnosti, preto dielektrické straty sú nežiadúcim javom. Fázový posun, ktorý vzniká medzi intenzitou elektrického poľa a elektrickou indukciou sa nazýva ako stratový uhol δ . Tangenta tohoto uhlu je bezrozmerná veličina $\text{tg}\delta$, ktorá veličina sa nazýva ako stratový činiteľ. V praxi straty dielektrika sa najčastejšie vyjadrujú práve pomocou stratového činiteľa. Zvyšovaním stratového činiteľa izolácia rýchlejšie degraduje a viac sa ohrieva. [4] [5]

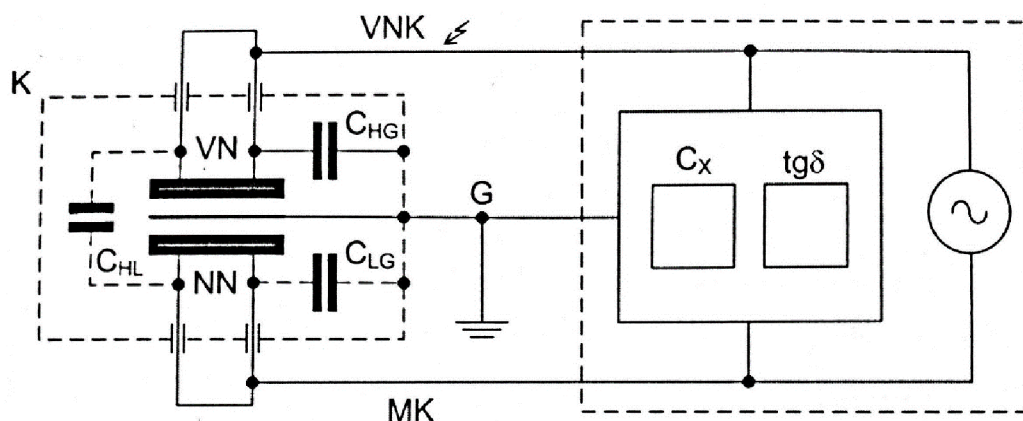
Z veľkosti stratového činiteľa je možné identifikovať, či izolačná sústava transformátoru je navlhnutá. Na základe Obr. 2-4 sa rozoznávajú 3 možné závislosti stratového činiteľa na veľkosti napätia. Krivka číslo 1 predstavuje kvalitnú izoláciu s nízkou hodnotou stratového činiteľa, ktorá nie je závislá na veľkosti napätia. Krivka 2 znázorňuje navlhnutú izoláciu s vysokou hodnotou stratového činiteľa. Napokon krivka číslo 3 predstavuje suchú, kvalitnú izoláciu, kde pri nízkych hodnotách napätia je veľkosť stratového činiteľa konštantne malá, avšak v tzv. ionizačnom kolene dôjde k jeho zvyšovaniu pri aktivácii čiastočných výbojov. [3]



Obr. 2-4 Závislosti stratového činiteľa na veľkosti napätia rôznych izolácií [3]

Samostatne kapacita vinutia sa obvykle nepoužíva pre hodnotenie stavu izolácie, avšak jeho zmeny môžu naznačovať poškodenie izolácie. V priebehu prevádzky transformátoru by sa kapacita nemala príliš líšiť a preto veľkosť kapacity vinutia sa sleduje ako znak kvality izolantu.

Meranie kapacity a stratového činiteľa $\text{tg}\delta$ sa uskutočňuje mostíkovou metódou priloženým striedavým napätím 10 kV. Keď izolačná hladina meraného vinutia transformátoru nevyhovuje tejto hodnote napätia, tak sa použije najbližšia nižšia hodnota z rady 0,5-1-2-5 kV. Schéma zapojenia pre meranie dvojvinutového transformátoru je znázornená na Obr. 2-5.



Obr. 2-5 Zapojenie dvojvinut'ového transformátoru pri meraní kapacity a stratového činiteľa [3]

VN – vinutie vyššieho napätia

NN – vinutie nižšieho napätia

K – kostra transformátoru

VNK – vysokonapäťový prívod mostíka

MK – merací prívod mostíka

G – kostra mostíka

CHG – kapacita medzi vinutím vyššieho napätia a kostrou

CHL – kapacita medzi vinutím vyššieho a nižšieho napätia

CLG – kapacita medzi vinutím nižšieho napätia a kostrou

CX – meraná kapacita

Mostík sa pripojí k testovanému transformátoru pomocou kábla VNK a kábla MK. VNK sa pripojí na vinutie vyššieho napätia, MK na stranu nižšieho. Kostra transformátoru sa spojí s kostrou napájacieho zdroja a následne sa prevedie meranie kapacity a stratového činiteľa. Potom sa celé meranie zopakuje pri opačnej polarite, teda zapojenie VNK a MK sa prehodí. Hodnoty stratového činiteľa a kapacity sa napokon vypočítajú pomocou vzorcov (2) a (3).

$$tg\delta = \frac{tg\delta_1 \cdot C_1 + tg\delta_2 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (14)$$

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2} \quad (15)$$

Kde C_1 a $tg\delta_1$ sú hodnoty namerané pri prvom zapojení, C_2 a $tg\delta_2$ sú hodnoty zmerané pri opačnom zapojení.

Pri hodnotení nameraných výsledkov sa porovnávajú aktuálne namerané hodnoty s hodnotami z predchádzajúcich meraní. Podľa literatúry u distribučných transformátorov do 70 kV je limitná hodnota stratového činiteľa u nových transformátorov 0,02. U transformátorov po oprave, alebo revízii 0,03 a u transformátorov v prevádzke 0,08. Celé meranie sa doporučuje previesť pri teplote transformátoru 20 °C. Keď to nie je možné, tak pre možnosť porovnania hodnôt je potrebné prepočítať namerané hodnoty stratového činiteľa na túto referenčnú teplotu. K tomu sa používa prepočítavací koeficient K podľa Tab. 2-3 Prevodná tabuľka pre olejové transformátory. Vzťah pre prepočet na referenčnú teplotu je nasledovný:

$$tg\delta_{20} = \frac{tg\delta_{\theta}}{K} \quad (16)$$

Kde $tg\delta_{20}$ je prepočítaná hodnota stratového činiteľa na referenčnú teplotu 20 °C a $tg\delta_{\theta}$ je hodnota stratového činiteľa pri meranej teplote.

Tab. 2-3 Prevodná tabuľka pre olejové transformátory

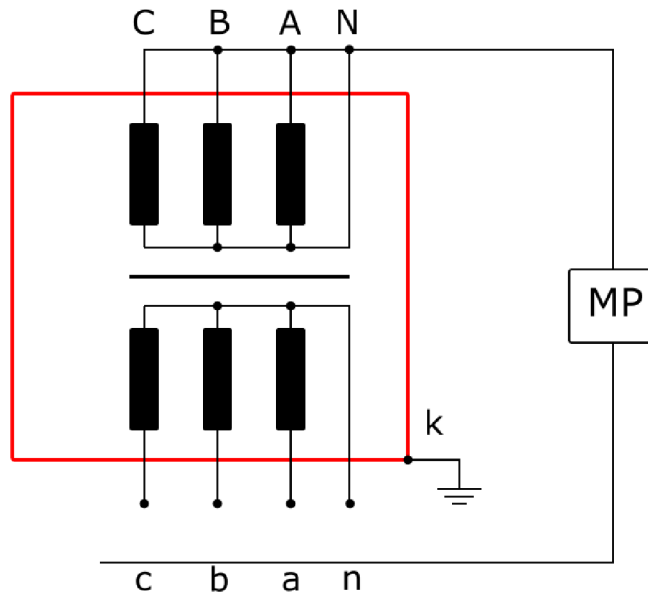
Teplota meraného transformátoru [°C]	Prepočítavací koeficient K [-]
10	0,8
15	0,9
20	1,00
25	1,12
30	1,25
35	1,40
40	1,55
45	1,75
50	1,95
55	2,18
60	2,42
65	2,70
70	3,00

2.5 Meranie pomeru kapacít C_2/C_{50}

Táto diagnostická metóda sa používa u olejových transformátoroch, kde podielom kapacity vinutia pri frekvencii 2 Hz a 50 Hz sa stanovuje miera navlhnutia izolačného systému. Keď je izolácia suchá, tak kapacita tejto izolácie sa nemení v závislosti na frekvencii (je takmer konštantná). V okamihu, keď sa vinutie navlhne, kapacity pri 2 Hz

a 50 Hz sa začnú líšiť od seba v značnej miere. V tomto prípade zvyšovaním frekvencie sa znižuje kapacita vinutia. [3]

Charakteristická veličina C_2/C_{50} sa získa z hodnôt $C_2 - C_{50}$ a C_{50} , ktoré sa zistia meraním pri striedavom napätí 100 V. Zapojenie je uvedené na Obr. 2-6.



MP - merací prístroj

N, n - vývod nulovej svorky

A, B, C - vývody strany vyššieho napätia

a, b, c - vývody strany nižšieho napätia

k - kostra (nádoba) transformátoru

Obr. 2-6 Zapojenie pri meraní kapacít transformátoru

Najprv je prevedené meranie kapacity VN vinutia proti kostre transformátoru pri frekvencii 50 Hz. Prívod svoriek meracieho prístroja sa pripojí na vinutie na strane VN, druhý prívod na vinutie NN, ktorá je spojená s kostrou (nádobou) transformátoru. Merací prístroj sa nastaví na meranie C_{50} a počká sa aspoň 1 minútu na nabíjanie vinutia. Až po ustálení hodnoty kapacity je možné túto hodnotu považovať za korektnú. Následne je nutné dodržať 1 minútový vybíjací interval, teda vinutie VN sa tiež uzemní. V ďalšom kroku sa merací prístroj nastaví na meranie hodnoty $C_2 - C_{50}$ a vinutie sa opäť nechá aspoň 1 minútu nabíjať a odčíta sa nameraná hodnota. Charakteristickú hodnotu C_2/C_{50} získame pomocou vzťahu:

$$C_2/C_{50} = \frac{C_2 - C_{50}}{C_{50}} + 1 \quad (17)$$

Po nameraní charakteristickej hodnoty vinutia VN sa všetky vinutia transformátoru spoja s kostrou a nechajú sa 3 minúty vybíjať.

Celkom rovnakým spôsobom sa postupuje po prepojení na vinutie NN, a keď sa rovná o trojvinuťový transformátor, tak aj v prípade vinutia SN. Po zmeraní veličiny C_2/C_{50} všetkých vinutí sa tieto vinutia spoja a nakoniec je prevedené meranie všetkých vinutí proti kostre (nádoby) transformátoru. Jednotlivé konfigurácie zapojení sú uvedené v Tab. 2-4. [3]

Tab. 2-4 Konfigurácie jednotlivých zapojení pri meraní kapacity jednotlivých vinutí

Dvojvinuťové transformátory		Trojvinuťové transformátory	
Merané vinutie	Uzemnené vinutie	Merané vinutie	Uzemnené vinutie
VN	NN, k	VN	SN, NN, k
NN	VN, k	SN	VN, NN, k
VN + NN	k	NN	VN, SN, k
		VN + SN	NN, k
		VN + SN + NN	k

VN – vinutie vyššieho napätia

SN – vinutie stredného napätia

NN – vinutie nižšieho napätia

k – kostra transformátoru

Namerané hodnoty sa porovnávajú s hodnotami uvedenými v Tab. 2-5. Uvedené hodnoty sú najvyššie dovolené hodnoty pre izolačný systém transformátoru. V prípade, že namerané hodnoty sú vyššie, tak s najväčšou pravdepodobnosťou je izolačný systém transformátoru vlhký.

Tab. 2-5 Limitné hodnoty pomeru C_2/C_{50}

Teplota vinutia [°C]	10	20	30	40	50
Pomer C_2/C_{50} [-]	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

2.6 Napät'ové skúšky

2.6.1 Skúška priloženým striedavým napätím

Táto metóda sa používa k overeniu výdržnej pevnosti pri striedavom napätí fázových a nulových svoriek a k nim pripojeným vinutiám proti zemi a ostatným vinutiám. Napätie sa privádza ku všetkým svorkám transformátoru, vrátane svorky N súčasne, takže nevznikne medzizávitové napätie. Jednotlivé skúšobné napätia pri skúške priloženým

striedavým napätím pre transformátory s plnou izoláciou sú uvedené v Tab. 2-6. [6]

Tab. 2-6 Skúšobné napätia priložením striedavým napätím pre transformátory s plnou izoláciou

Menovité napätie [kV]	Najvyššie dovolené pracovné napätie [kV]	Priložené skúšobné napätie s frekvenciou 50 Hz [kV]
do 1	do 1,1	3
6	7,2	22
10	12	28
22	25	50
35	38,5	75
110	123	230
220	245	460

Skúška sa prevedie postupne na každom oddelenom vinutí transformátoru. Plné skúšobné napätie musí byť priložené po dobu 60 sekúnd medzi všetky prístupné svorky skúšaného vinutia spojené dohromady a všetky prístupné svorky zostávajúcich vinutí, jadro, konštrukcia a nádoba alebo kryt transformátoru musia byť uzemnené. [6]

Meranie sa začína na napätí nie vyššom ako je jedna tretina stanovenej skúšobnej hodnoty a napätie sa musí zvyšovať tak rýchlo, aby bolo v súlade s meraním. Na konci skúšky sa napätie zníži na hodnotu nižšiu ako je jedna tretina skúšobného napätia a následne sa napätie vypne.

Testovanie je úspešné, ak nedôjde k žiadnemu náhlemu poklesu skúšobného napätia.

2.6.2 Skúška atmosférickým impulzom

Touto skúškou sa overuje elektrická pevnosť medzi jednotlivými vinutiami transformátoru navzájom, alebo medzi vinutím a uzemnenými časťami transformátoru, prípadne ešte elektrická pevnosť medzi závitmi, vrstvami a cievkami každého vinutia. Skúšobné napätie pripojený počas testovania sa volí podľa druhu siete a zariadenia, na ktorý bude daný testovaný transformátor pripojený. Jednotlivé skúšobné napätia pri skúške atmosférickým impulzom pre transformátory s plnou izoláciou sú uvedené v Tab. 2-7. [3]

Tab. 2-7 Skúšobné napätia atmosférickým impulzom pre transformátory s plnou izoláciou

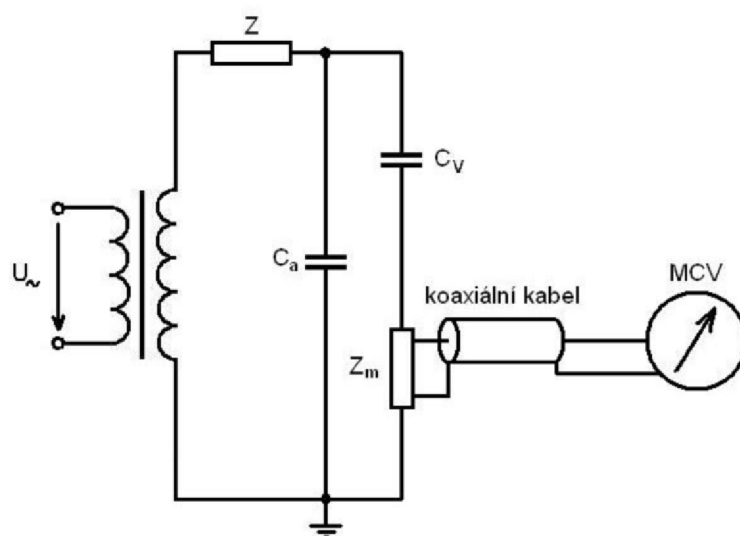
Menovité napätie [kV]	Najvyššie dovolené pracovné napätie [kV]	Plná vlna atmosférického impulzu [kV]
do 1	do 1,1	-
6	7,2	60
10	12	75
22	25	150
35	38,5	190
110	123	550
220	245	1050

2.7 Meranie čiastočných výbojov

V poruchových miestach distribučných transformátorov môžu vznikať čiastočné výboje. Dôvodom ich vzniku môže byť nedokonalá výroba, nedokonalosť v technologických krokoch, alebo môžu vznikať aj počas dlhodobej prevádzky transformátoru. Meraním čiastočných výbojov je v prípade včasného odhalenia poruchy možné predísť haváriám transformátoru.

2.7.1 Galvanická metóda

Meranie čiastočných výbojov sa najčastejšie uskutočňuje takzvanou galvanickou metódou. Schéma zapojenia je uvedená na Obr. 2-7.



Obr. 2-7 Schéma zapojenia pri meraní čiastočných výbojov [3]

Pred zahájením samostatného merania je potrebné previesť kalibráciu meracieho obvodu pomocou kalibrátora. Kalibrátor postupne privedie na všetky vývody transformátoru kalibračný impulz. Veľkosť útlmu tohto impulzu sa zaznamenávajú do kalibračnej matice, ktorá slúži k odhadu miesta poruchy v prípade pozitívnych výsledkov merania. Ďalším krokom je zmeranie úrovne rušenia pozadím. Rušenie môže mať veľký vplyv na citlivosť samotného merania. Často sa stáva, že rušenie pochádza z napájacieho zdroja a ani po vyčerpaní všetkých možností na zníženie rušenia nie je možné ho do dostatočnej miery eliminovať. Nameranie skutočných čiastočných výbojov je v takom prípade znemožnené a nie je možné pokračovať v meraní. [3]

Samotné merania sa začne tak, že na testovaný transformátor sa privedie najnižšie napätie, ktoré je možné získať z napájacieho zdroja. Požiadavka na reguláciu napätia je taká, aby bolo možné previesť meranie minimálne na jednej hladine pod menovitým napätím, potom pri menovitom napätí a nakoniec pri 110 % menovitého napätia. Na všetkých týchto hladinách sa napätie podrží na konštantnej hodnote po dobu 5 minút a počas tejto doby sa sleduje výbojová činnosť. Pre následné vyhodnotenie meranie je nutné mať záznam zo všetkých meraní na všetkých vinutiach a na všetkých napäťových hladinách transformátoru. Keď pri meraní na napäťovej hladine 110 % menovitej hodnoty po dobu 5 až 10 minút nedôjde k žiadnej zmene v počtu a veľkosti meraných výbojov, potom namerané hodnoty je možné akceptovať.

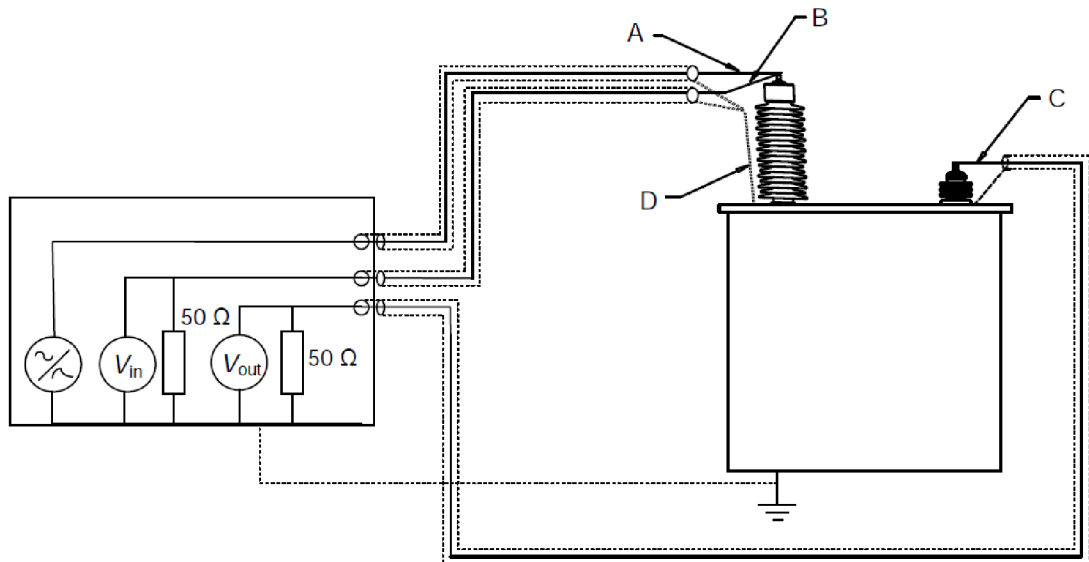
2.7.2 Akustická metóda

Ďalšou často používanou metódou na meranie čiastočných výbojov je akustická metóda. Lokalizácia čiastočných výbojov sa uskutočňuje na základe merania akustických signálov piezoelektrickými snímačmi priamo v nádobe transformátoru. Počet týchto snímačov sa pohybuje od 3 do maximálne 12 kusov. Veľkou výhodou tejto metódy je hlavne to, že čiastočné výboje je možné detekovať aj počas prevádzky transformátoru (on-line monitoring).

Elektrický výboj v izolačnom systéme transformátoru generuje elektromagnetický impulz. Energia tohoto impulzu sa transformuje na mechanickú energiu v podobe tlakovej vlny. Tieto vlny sa šíria dovedy, kým nenarazia na pevnú konštrukčnú časť alebo na nádobu transformátoru. Tieto akustické signály sú merané pomocou piezoelektrických snímačov alebo vhodnými mikrofónmi. Namerané dáta sú následne spracované pomocou softwaru. [3]

2.8 Meranie frekvenčných charakteristík (SFRA diagnostika)

Metóda frekvenčných charakteristík je určená k detekcii porúch vinutí transformátorov, napríklad medzizávitový skrat alebo deformácia vinutia. Je založená na skutočnosti, že každé vinutie transformátoru predstavuje určité zoskupenie medzizávitových kapacít, kapacít vinutí proti zemi, vzájomných a vlastných indukčností a odporu vinutí. Toto zoskupenie je charakterizované svojou frekvenčnou charakteristikou, teda závislosťou útlmu napätia na frekvencii. Každý medzizávitový skrat alebo deformácia vinutia, ktoré znamenajú určitú zmenu niektorej kapacity alebo indukčnosti, sa prejaví zmenou priebehu frekvenčnej charakteristiky. Detekcia týchto zmien je predmetom metódy frekvenčných charakteristík. Príklad zapojenia pomocou koaxiálnych káblov je znázornená na Obr. 2-8.

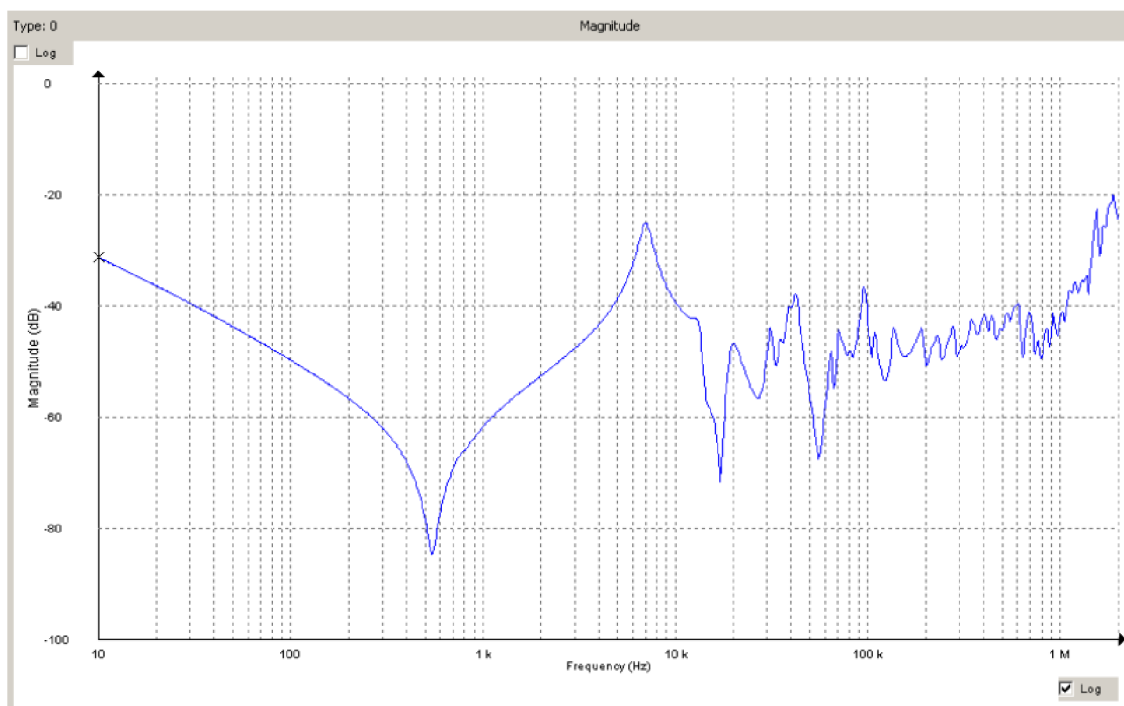


Obr. 2-8 Schéma zapojenia pre meranie frekvenčných charakteristík [7]

Signál nízkeho napätia je privedený na svorku transformátoru proti nádobe. Merané napätie na vstupnej svorke sa uvažuje ako referenčný signál a druhý napäťový signál, ktorý sa nazýva signál odozvy je meraný na meracej impedancii, ktorá je zapojená medzi druhú svorku transformátoru a nádobu. Skalárnym pomerom medzi signálom odozvy V_{out} a referenčným napätím V_{in} sa získa hodnota amplitúdy frekvenčnej odozvy v decibeloch. Fázovým rozdielom medzi V_{in} a V_{out} sa získa hodnota fáze frekvenčnej odozvy, ktorá sa uvádza v stupňoch.

Meranie pomocou tejto metódy je veľmi ľahké a rýchle. Aj pri precíznejšom nastavení vzorkovania by nemalo trvať viac ako 3 minúty. Frekvenčný rozsah merania je veľmi široký, v praxi sa najčastejšie používa meranie do 10 MHz. Hoci je pri meraní frekvenčnej závislosti zaznamenávaná aj amplitúda aj fáza napäťového pomeru, všeobecne sú uvádzané iba informácie o amplitúde a tieto hodnoty sú použité pre

vizuálnu interpretáciu výsledkov merania. Frekvenčná závislosť môže byť zobrazená v logaritmickú alebo lineárnej stupnici. Každá metóda má svoje výhody. Pomocou logaritmickú súradnice ja jednoduchšia analýza trendov frekvenčnej odozvy, naopak lineárna súradnica je užitočná pre sledovanie odozvy v jednotlivých frekvenčných pásmach a pre porovnanie malých rozdielov na vybraných frekvenciách. Obvyklý tvar frekvenčnej charakteristiky transformátora v logaritmických súradniciach je uvedená na Obr. 2-9. [8] [9]



Obr. 2-9 Obvyklý tvar frekvenčnej charakteristiky transformátora [8]

Frekvenčnú charakteristiku je možné rozdeliť na 3 oblasti. Jedná sa o oblasť nízkych, stredných a vysokých frekvencií. V nízkofrekvenčnej oblasti (približne do 2 kHz) je odozva ovplyvňovaná hlavnou indukčnosťou jadra a celkovou kapacitou transformátora. V oblasti stredných frekvencií (medzi 2 kHz a 20 kHz) je odozva ovplyvňovaná najmä väzbou medzi vinutiami, ktorá závisí v prvom rade na usporiadaní a zapojení vinutí (zapojenie do trojuholníku, jednofázové alebo trojfázové usporiadanie). Vo vysokofrekvenčnej oblasti (od 20 kHz do 1 MHz) je odozva určená rozptylovými indukčnosťami vinutí spoločne so sériovými kapacitami vinutí a kapacitami proti zemi. [9]

Pre vyhodnotenie frekvenčnej charakteristiky musíme mať k dispozícii merania na tom istom transformátore v bezporuchovom stave, ideálne je ak ide o meranie, keď transformátor bol ešte nový, alebo meranie po revízii. Pri opakovaných meraniach sa tieto referenčné hodnoty porovnávajú s hodnotami získanými pri novom meraní. Podľa

zistených rozdielov je možné posúdiť rozsah prípadnej poruchy vinutia. Jednotlivé rozdiely medzi priebehmi vyhodnocuje počítač. Rozdiely sa vyjadrujú koeficientom K_{FCH} , čo je plocha vymedzená priebehmi referenčného merania a opakovaného merania.

$$K_{FCH} = \int_{f_1}^{f_2} [y_1(f) - y_2(f)]^2 df \quad (18)$$

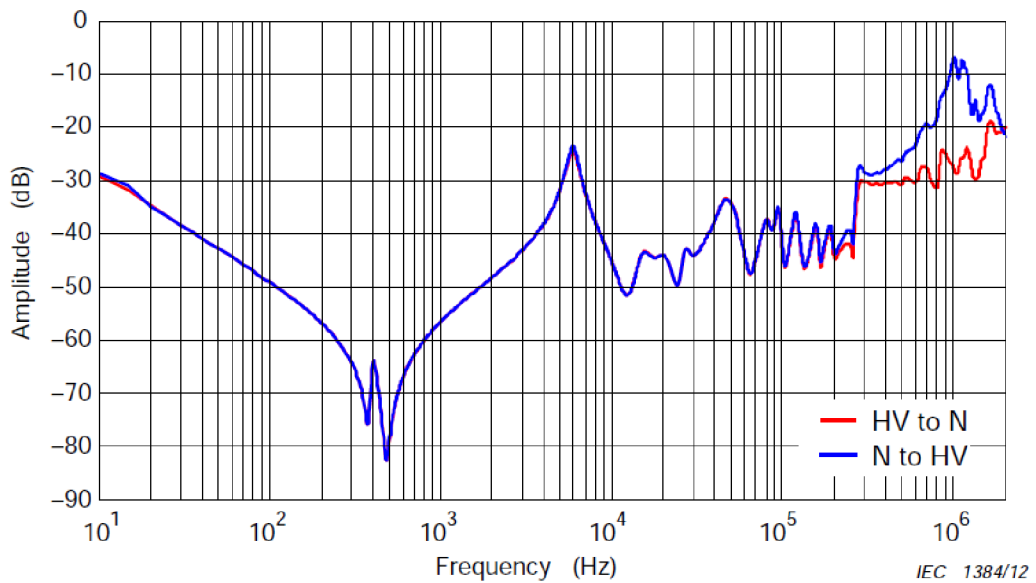
f_1 a f_2 je zvolený interval frekvencie
 $y_1(f)$ a $y_2(f)$ sú pozorované závislosti

Keď hodnota K_{FCH} je menšia ako 1, tak stav sledovaného vinutia je rovnaký ako pri referenčnom meraní. Pri hodnote menšom ako 10 transformátor pracuje v normálnom režime, ďalšie meranie je potrebné pri pravidelných revíziách. Pri hodnote medzi 10 a 20 transformátor ešte stále pracuje v normálnom režime, avšak je potrebné pri ďalšej príležitosti previesť ďalšie meranie pre kontrolu. Pri hodnote vyššom ako 20 je nutné otvoriť nádobu transformátoru a previesť prehliadku vinutí. [10]

Hoci sa už vykonalo veľa štúdií na identifikáciu súvislostí vo frekvenčných odozvách, stále nie je možné výsledky zovšeobecniť na všetky typy transformátorov. Rovnaká závada môže byť zachytená v celkom inej frekvenčnej oblasti, alebo môže mať iný charakter odozvy u jedného transformátoru ako u druhého transformátoru, ktorý bol zhotovený podľa inej dokumentácie alebo je rozdielnej konštrukcie. [9]

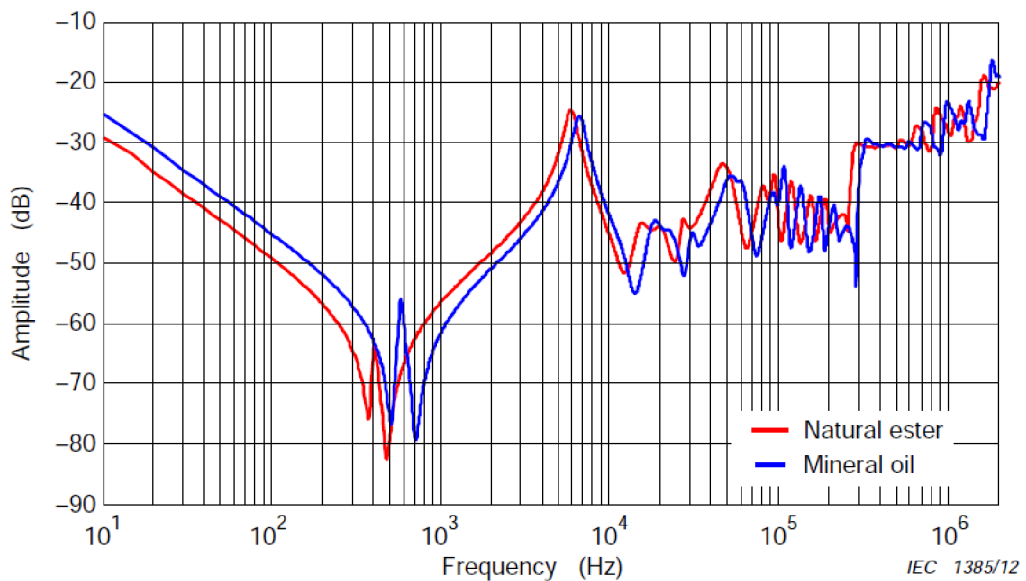
Tvar frekvenčnej charakteristiky ovplyvňujú viaceré činitele. Najdôležitejšie sú nasledovné:

- **Vplyv smeru merania** – je dôležité, že ktorá svorka transformátoru sa používa na injektáž signálu a ktorá na meranie odozvy. Merania prevedené na tej istej fáze, ale v rozdielnych smeroch môžu spôsobiť rozdiely pri vysokých frekvenciách. Príklad takéhoto rozdielu je uvedená na Obr. 2-10.

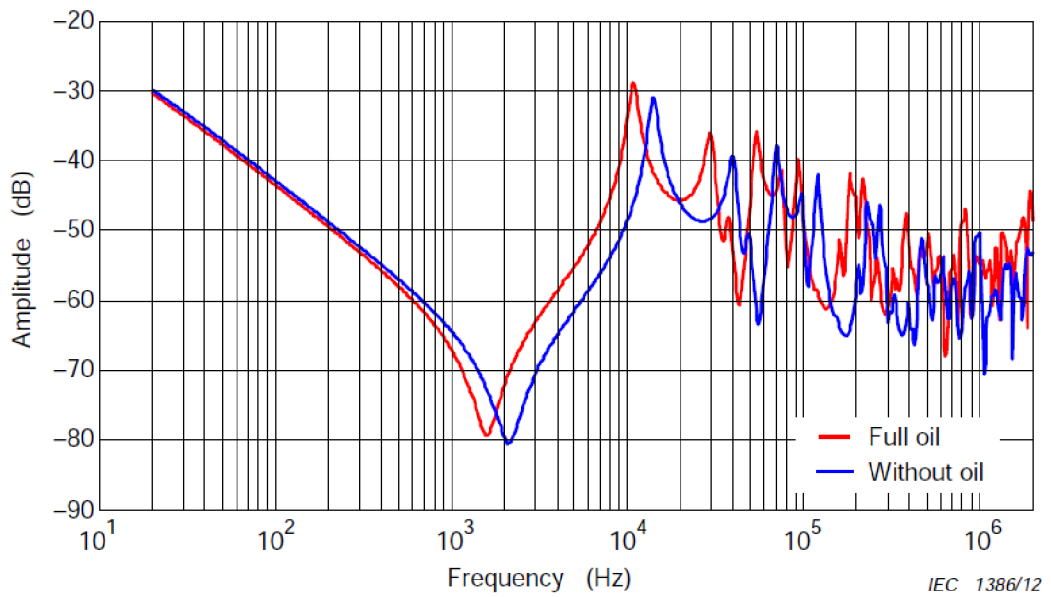


Obr. 2-10 Vplyv smeru merania na frekvenčnú závislosť [7]

- **Vplyv rôznych typov izolačnej kvapaliny** – Na Obr. 2-11 je uvedené, že použité prírodného esteru namiesto minerálneho oleja môže vytvoriť rozdiely vo frekvenčnej odozve. Na Obr. 2-12 je možné pozorovať rovnaký vplyv, len v opačnom smeru. Jedná sa o meranie bez oleja a s olejom.

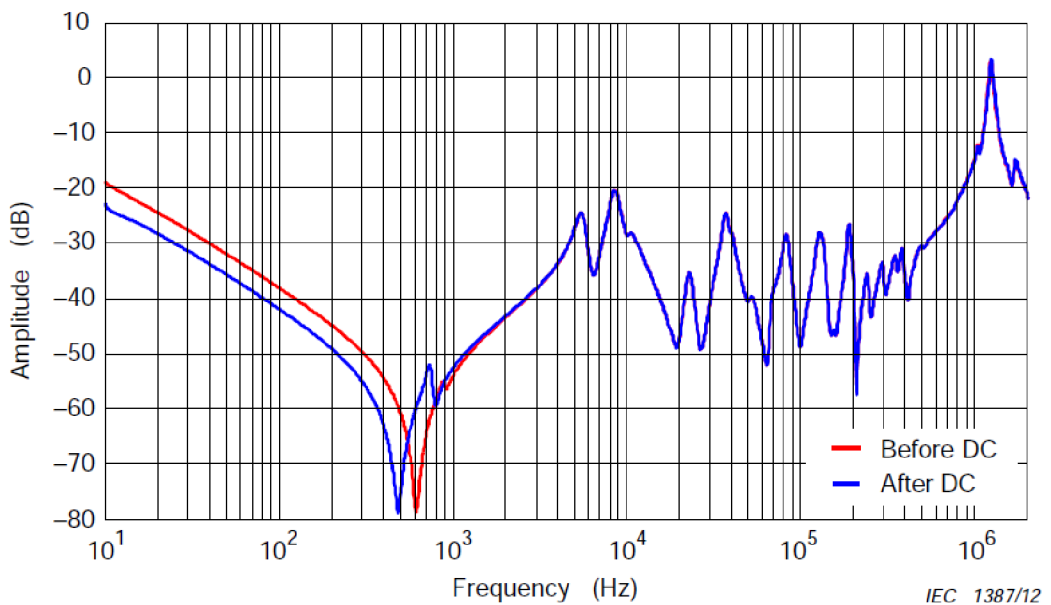


Obr. 2-11 Vplyv rôznych typov izolačnej kvapaliny na frekvenčnú závislosť [7]



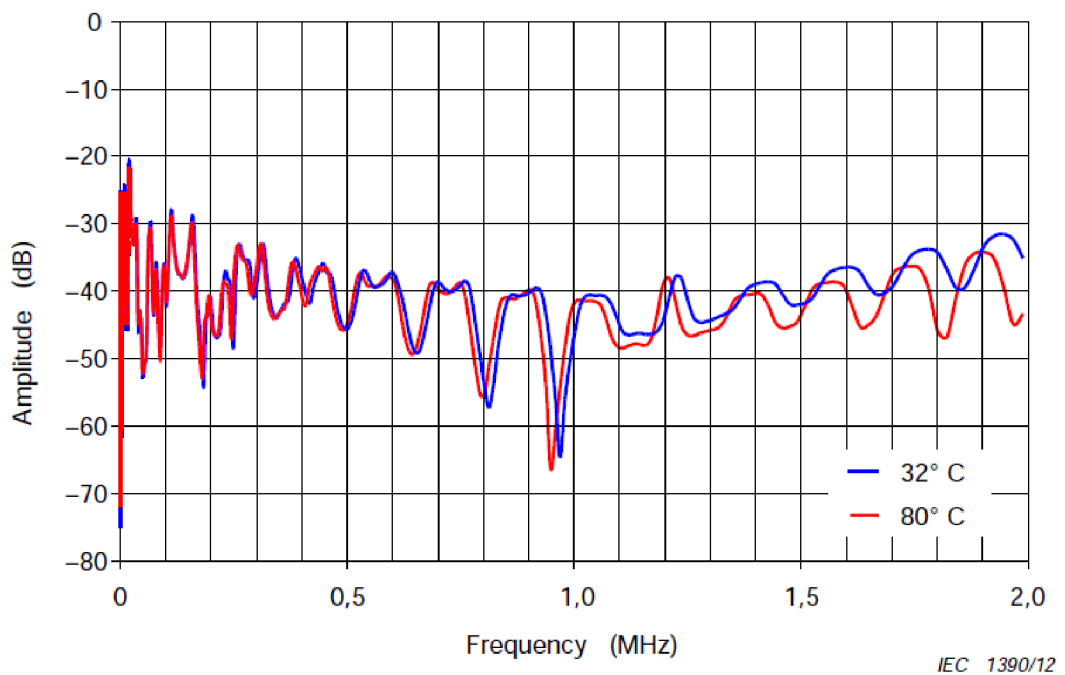
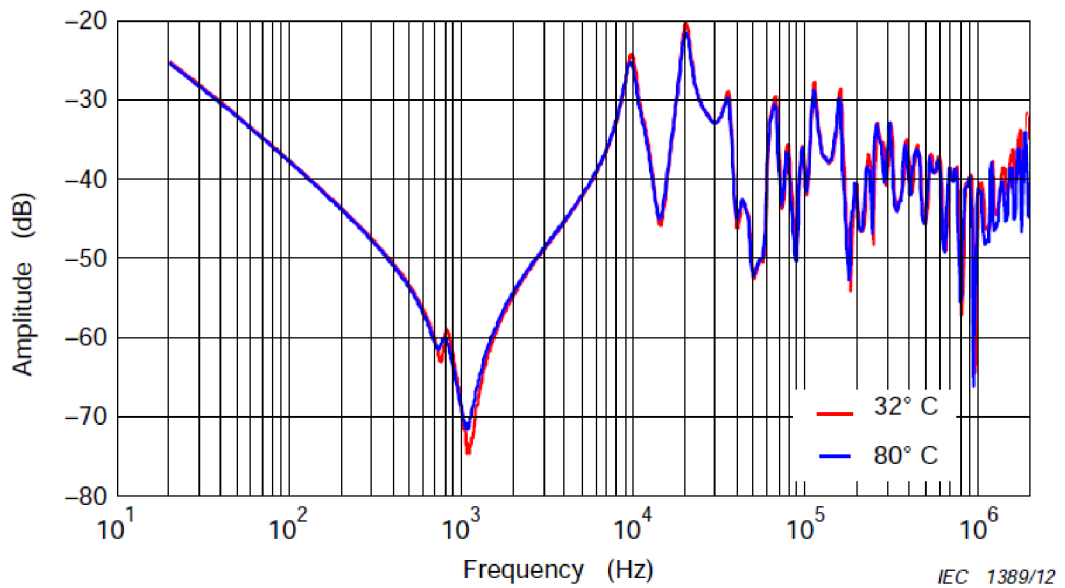
Obr. 2-12 Vplyv naplnenia transformátora olejom alebo vinutie bez oleja [7]

- Vplyv jednosmerných skúšok** – Jednosmerné skúšky môžu spôsobiť rozdiely vo frekvenčných odozvách hlavne v oblasti nízkych frekvencií. Preto je veľmi dôležité poradie skúšok. Jednosmerné skúšky môžu zanechať v magnetickom jadre zvyškový magnetizmus, preto meranie frekvenčnej charakteristiky sa nemá previesť po jednosmerných skúškach. Na Obr. 2-13 je uvedený príklad merania frekvenčnej charakteristiky pred a po jednosmernej skúške.



Obr. 2-13 Vplyv jednosmerných skúšok na frekvenčnú závislosť [7]

- **Vplyv teploty** – Odpor vinutia je závislá na teplote, preto zmena teploty spôsobí zmenu amplitúdy frekvenčnej odozvy. Na Obr. 2-14 je uvedený príklad merania pri dvoch rozdielnych teplotách.



Obr. 2-14 Vplyv teploty na frekvenčnú charakteristiku [7]

3. PRAKTICKÉ MERANIE DISTRIBUČNÉHO TRANSFORMÁTORU

Samotná diagnostika distribučného transformátora prebiehala v laboratóriu VVN vo vedecko technickom parku Profesora Lista. V nasledujúcich kapitolách je popísaný samotný testovaný distribučný transformátor a tiež aj použité meracie prístroje.

3.1 Skúšaný distribučný transformátor

Skúšaný distribučný transformátor má označenie aT0v 354/22. Jedná sa o trojfázový olejový distribučný transformátor, ktorý bol vyrobený firmou BEZ Bratislava v roku 1989 na území bývalého Československa. Transformátor je vybavený prepínačom odbočiek na VN strane. Vinutie je spojené do tvaru Dyn1. Samotný transformátor je vidieť na Obr. 3-1, štítok transformátora je uvedený na Obr. 3-2 a protokol o výrobnej kusovej skúške je v prílohe A.1.



Obr. 3-1 Skúšaný distribučný transformátor



Obr. 3-2 Štítok skúšaného transformátora

3.2 Použité meracie prístroje

3.2.1 Tettex MIDAS

Analyzátor MIDAS (mobile insulation diagnosis & analysing system) je cenným nástrojom na pravidelnú kontrolu vysokonapäťových strát izolácie výkonových transformátorov, motorov, generátorov. Je určený na testovanie pri priemyselnej frekvencii 50 Hz. Analyzátor automaticky meria a zaznamenáva stratový činiteľ, účinník a všetky ostatné príslušné hodnoty impedancií (kapacitné, induktívne a odporové). Poškodenia alebo zmeny izolačného materiálu sú zistené rýchlo a spoľahlivo.

Zabudovaný analyzátor frekvenčnej odozvy (FRA) pomáha detekovať chyby vinutia transformátora a chybné polohy odbočiek.

Preddefinované testovacie sekvencie prevedú používateľa automaticky testovacou sekvenciou a umožnia získať prvý výsledok hodnotenia na mieste.



Obr. 3-3 Analyzátor MIDAS

Vlastnosti prístroja:

- Meranie stratového činiteľa a účinníku.
- Meranie skratovej impedancie a budiaceho prúdu.
- Ďalšie možnosti merania, ako napríklad kapacita, frekvencia, napätie, prúd, výkon, straty, impedancia, indukčnosť, reaktancia, spektrálny analyzátor, digitálny osciloskop.
- Analýza frekvenčnej odozvy.
- Pomer otáčok, pomer napätia, fázový posun.
- Funkcia analýzy trendov.
- Manuálna a automatická testovacia prevádzka.
- Zabudovaný zdroj vysokého napätia do 15 kV, 4 kVA.
- Zabudovaný, dlhodobo stabilný kondenzátor

3.2.2 Hipotronics DDX 7000

Digitálny detektor čiastočných výbojov Hipotronics DDX-7000 je počítačom riadený merací prístroj, ktorý prijíma malé signály generované aktivitou čiastočných výbojov v dielektriku a spracováva ich tak, aby ich bolo možné merať a zobrazovať. Obsahuje tiež zariadenie na meranie priloženého vysokého napätia a na generovanie kalibračných signálov.

Displej počítača je LCD obrazovka na prednej strane prístroja. Poskytuje informácie v grafickej podobe pre operátora, ktorý môže vyberať a ovládať množstvo operácií pomocou štandardnej myši alebo klávesnice. Väčšina riadiacich a výstupných funkcií je implementovaná v softvéri. Operačný systém je Windows XP, procesor je typu AMD.

DDX-7000 sa skladá z počítačového radiča, displeja a napájacích zdrojov, spolu s množstvom hardvérových modulov. Pre základný model sú potrebné 4 moduly: modul zosilňovača, kalibrácie, merania a snímania. Obsluha môže ovládať charakteristiky zosilňovača, výstup kalibrátora a formát signálu zobrazenia. Je umožnené aj automatické nastavenie systému merania čiastočných výbojov.



Obr. 3-4 Detektor čiastočných výbojov Hipotronics DDX-7000

Automatická kalibrácia:

Dekektor DDX disponuje jedinečným zabudovaným režimom, ktorý umožňuje automatickú kalibráciu. Tento proces meria príspevok šumov zo zosilňovača a pozadia. Potom automaticky upraví hladinu šumu tak, aby bola nad kombinovanou úrovňou šumu. Po dokončení automatickej kalibrácie systém vypočíta a zobrazí hladinu šumu a umožní zmeniť rozsah zosilňovača bez toho, aby to akýmkoľvek spôsobom ovplyvnilo kalibráciu systému. Ručná kalibrácia sa samozrejme môže vykonať aj pomocou nastavenia zosilňovača na stanovenú hodnotu pC/cm.

3.2.3 Tettex 2840

Analyzátor dielektrických strát Tettex 2840 je navrhnutý na meranie veľmi nízkych dielektrických strát a impedancií vysokonapäťových prístrojov. Prístroj pracuje na princípu kombinovaného vektorového mostíka a je schopný analyzovať kapacitné a induktívne záťaže s vynikajúcou presnosťou a stabilitou.

Grafické užívateľské rozhranie prístroja je veľmi intuitívne, zamerané na pohodlie pomocou zabudovaných programov (napríklad podporný nástroj na vyladenie externého napájacieho zdroja vysokého napätia).

Je možnosť vybrať si medzi manuálnym alebo automatickým režimom merania. Zatiaľ čo manuálny systém merania umožňuje rýchle merania, režim automatického merania ponúka úplne automatizované testovacie sekvencie.

Vďaka pokročilým softvérovým funkciám, ako je napríklad korekcia teploty izolácie, grafická vizualizácia nameraných údajov atď., je tento prístroj výkonným nástrojom na analýzu vysokonapäťových zariadení.



Obr. 3-5 Analyzátor Tettex 2840

Vlastnosti prístroja:

- Presnosť kapacity 0,02 %, $\tan \delta 1 \times 10^{-5}$.
- Sú integrované ďalšie možnosti analýzy signálu, ako napríklad digitálny osciloskop alebo spektrálny analyzátor.
- Pokročilé, dobre konštruované testovacie zariadenie optimalizované pre konkrétnu aplikáciu.

3.3 Meranie dielektrických parametrov pomocou mostíku Tettex 2840

Pomocou impedančného analyzátoru bolo prevedené meranie stratového činiteľa a kapacity vinutia. VN zdroj sa pripojilo na navzájom spojené vinutia vysokého napätia. Toto VN vinutie sa meralo proti kostre transformátoru. Meranie prebiehalo na troch rôznych napäťových hladinách. Jednotlivé namerané údaje sú uvedené v Tab. 3-1.

Tab. 3-1 Namerané hodnoty stratového činiteľa a kapacity vinutia

U [kV]	C [nF]	tan δ [-]
2,631	2,9215	0,00504
21,555	2,9217	0,00520
29,339	2,9219	0,00529

Na základe nameraných hodnôt kapacity a stratového činiteľa je možné konštatovať, že tieto 2 veličiny sú nezávislé na veľkosti priloženého napätia. Je možné pozorovať istú tendenciu stúpania kapacity a stratového činiteľa pri zvyšujúcom sa napätí, ale toto navýšenie je možné pozorovať len v zanedbateľnej miere.

3.4 Meranie čiastočných výbojov

Diagnostika čiastočných výbojov transformátora bola vykonaná pomocou digitálneho detektoru čiastočných výbojov Hipotronics DDX-7000. Meranie prebiehalo v piatich rôznych zapojeniach a pri každom zapojení na štyroch rôznych napäťových hladinách (30 kV, 25 kV, 22 kV, 15 kV). Pred zahájením samotného merania sa predviedla automatická kalibrácia pri každom zapojení. Po priložení danej veľkosti napätia sa počkalo 1 minútu, aby sa výbojová činnosť stabilizovala. Namerané hodnoty čiastočných výbojov sú uvedené v Tab. 3-2.

Tab. 3-2 Namerané hodnoty čiastočných výbojov

Zapojenie	Priložené napätie [kV]	Nameraná hodnota výbojovej činnosti po 1 minúte [pC]
VN strana spojená, meraná proti kostre	30	30
	25	20
	22	110
	15	5
VN strana spojená, meraná proti spojenej NN strane	30	280
	25	110
	22	103
	15	55
A proti a	30	150
	25	150
	22	130
	15	70
B proti b	30	80
	25	70
	22	70
	15	65
C proti c	30	230
	25	120
	22	105
	15	25

Skúšku je možné považovať za úspešnú, lebo výbojová činnosť ani pri jednom meraní nepresiahla stanovenú medznú hodnotu 300 pC. Najvyššia výbojová činnosť, ktorá sa zaznamenala je 280 pC.

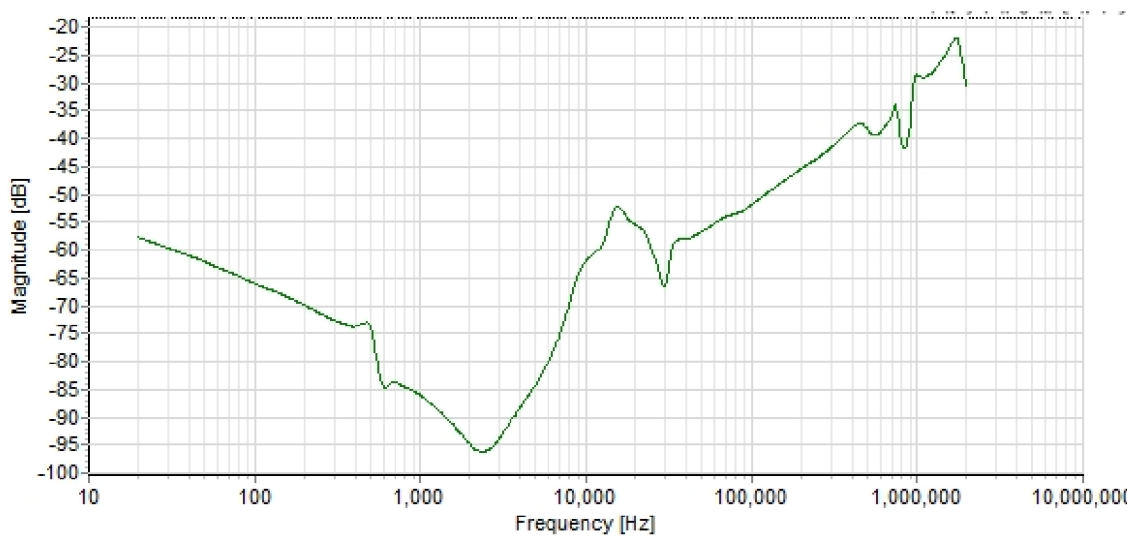
3.5 Meranie FRA charakteristík

Meranie frekvenčnej odozvy transformátora (FRA) bola prevedená pomocou mobilného analyzátoru Tettex MIDAS a softvéru FRA 5310. Poloha odbočky transformátora bola nastavená do nominálnej polohy (poloha 0). Meranie prebiehalo podľa preddefinovanej meracej sekvencie pre transformátory so zapojením Dyn. Po nastavení daného sekvenčného merania systém vyzve operátora na zapojenie vysielačej (zdroj) a prijímacej sondy. Po zapojení sond prebehne meranie frekvenčných charakteristík a systém znova vyzve operátora na ďalšie zapojenie. Preddefinovaná sekvencia pre meranie transformátora v zapojení Dyn je uvedená v Tab. 3-3.

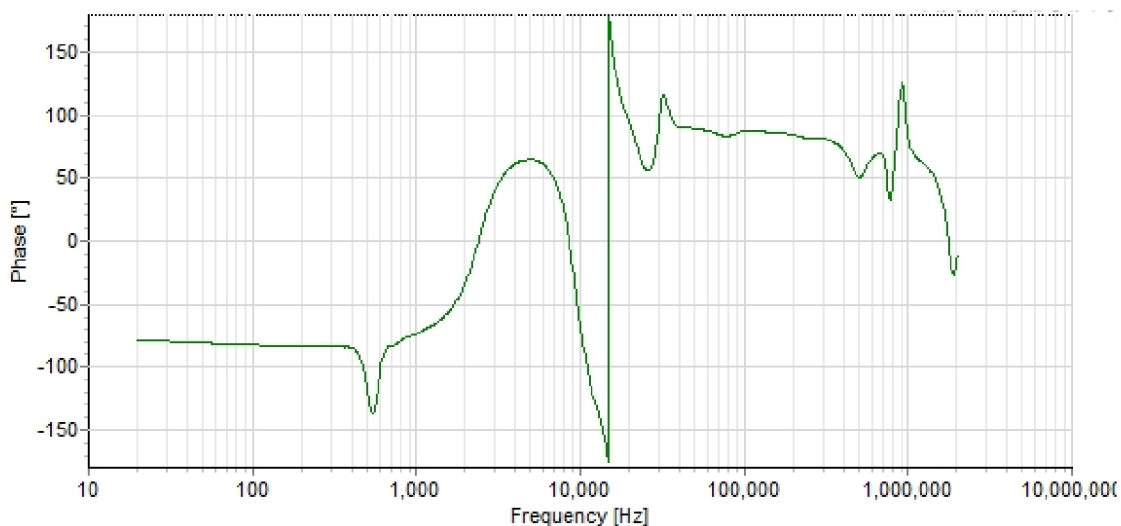
Tab. 3-3 Preddefinovaný postup merania pre trojfázové transformátory v zapojení Dyn

Meranie	Zdroj	Prijímač	Spojené	Uzemnené
Otvorený obvod	A	B	nič	nič
Otvorený obvod	B	C	nič	nič
Otvorený obvod	C	A	nič	nič
Otvorený obvod	n	a	nič	nič
Otvorený obvod	n	b	nič	nič
Otvorený obvod	n	c	nič	nič
Skratovaný obvod	A	B	a-b-c	nič
Skratovaný obvod	B	C	a-b-c	nič
Skratovaný obvod	C	A	a-b-c	nič

Meranie prebiehalo vo frekvenčnom rozsahu od 20 Hz do 2 MHz a vyobrazenie frekvenčnej závislosti sa nastavilo do logaritmických súradníc. Pri každom kroku meraní sa vyobrazili 2 grafické závislosti, magnitúda prenosovej napät'ovej funkcie a fáza prenosovej funkcie. Jedna dvojica nameranej charakteristiky je uvedená na Obr. 3-6 a na Obr. 3-7. Všetky namerané FRA charakteristiky sú uvedené v Prílohe B.



Obr. 3-6 Magnitúda prenosovej napät'ovej funkcie



Obr. 3-7 Fáza prenosovej funkcie

3.6 Meranie prevodu a odchýlky fáze

Meranie prevodu a odchýlky fáze transformátora bolo prevedené pomocou mobilného analyzátoru Tettex MIDAS. Testovacie napätie sa nastavilo na hodnotu 100 V. Meranie sa predviedlo na všetkých polohách prepínača odbočiek. Namerané hodnoty sú uvedené v Tab. 3-4.

Tab. 3-4 Namerané hodnoty pri meraní prevodu a odchýlky fáze

Nastavená odbočka	Fáza	Prevod transformátora [-]	Odchýlka prevodu [%]	Odchýlka fáze [°]
0	A	55,009	0,02	0,01
	B	55,006	0,01	0,02
	C	55,008	0,01	0,01
+2,5 %	A	-	-	-
	B	-	-	-
	C	-	-	-
+5 %	A	57,755	5,01	0,02
	B	57,752	5,00	0,01
	C	57,754	5,01	0,01
-2,5 %	A	53,637	-2,48	0,02
	B	53,634	-2,48	0,02
	C	53,636	-2,48	0,01
-5 %	A	52,265	-4,97	0,01
	B	52,263	-4,98	0,01
	C	52,264	-4,97	0,02

Na základe nameraných údajov je možné konštatovať, že okrem polohy odbočky +2,5 % vo všetkých polohách má meraný distribučný transformátor očakávanú hodnotu prevodu napätia. Odchýlka prevodu od nominálnej hodnoty je maximálne 0,03 % a odchýlka fáze nepresahuje hodnotu 0,02°. Poloha odbočky +2,5 % nefungovala ani pri opakovaných prepnutiach, táto poloha odbočky je poškodená a nefunguje.

4. ZÁVER

Predložená diplomová práca disponuje tromi veľkými hlavnými kapitolami.

Prvá veľká kapitola sa venuje obecnému popisu transformátorov a ich rozdeleniu podľa viacerých kritérií. Samostatná podkapitola sa venuje aj rozdeleniu distribučných transformátorov na suché a olejové typy. Sú uvedené výhody a nevýhody oboch typov.

Druhá veľká kapitola sa sústreďuje na rozdelenie skúšok distribučných transformátorov a na popis meracích a diagnostických metód, ktoré sú prevedené na distribučných transformátoroch. Jedná sa hlavne o meranie prevádzkových parametrov (skúšky naprázdno a nakrátko), napäťové skúšky (skúška výdržným striedavým napätím a skúška atmosférickým impulzom) a tiež sú tu popísané moderné aj diagnostické metódy (meranie čiastočných výbojov, meranie pomocou frekvenčných charakteristík). Sú podrobne popísané jednotlivé zapojenia, meracie postupy a vzorce pre jednotlivé veličiny.

Posledná tretia veľká kapitola sa venuje praktickej časti diplomovej práce. Prvé podkapitoly sú venované popisu skúšaného distribučného transformátoru a tiež popisu použitých meracích prístrojov. V týchto podkapitolách sú uvedené všetky relevantné údaje, ktoré sú potrebné pre praktické testovanie daného typu transformátoru. Následne sa kapitola venuje popisu samotnému testovaniu daného distribučného transformátoru. Testovanie je popísané v štyroch podkapitolách. Vo všetkých podkapitolách je uvedený samotný postup merania, nastavené hodnoty a výstupy z merania vo forme tabuliek alebo grafov. Na základe výsledkov testovania distribučného transformátoru je možné konštatovať, že daný stroj nie je v najlepšom stave. Jedna poloha odbočky nefunguje, a pri meraní FRA charakteristík je možné pozorovať rozdiely v jednom VN vinutí oproti ostatným. V minulosti bol transformátor viackrát vystavený vyššiemu namáhaniu a s najväčšou pravdepodobnosťou došlo k mechanickému poškodeniu vinutia.

Téma diplomovej práce je v dnešnej dobe veľmi diskutovanou problematikou a táto práca udáva všeobecný pohľad na používané diagnostické metódy. Moderné diagnostické metódy, ako sú PD a FRA diagnostika sa v dnešnej dobe používajú najmä pre blokové transformátory a distribučné transformátory s vyšším výkonom. V budúcnosti sa však určite budú používať aj pre menšie distribučné transformátory. Hlavne preto lebo novšie meracie prístroje pre tieto metódy sú čoraz kompaktnějšíe, diagnostiku je možné vykonať rýchlo a bezpečne na mieste kde je transformátor inštalovaný a výsledky je možné vyhodnotiť ihneď. Pravidelná kontrola malých distribučných transformátorov môže ešte včas odhaliť začínajúcu sa problematiku a takto je možné predísť prípadným haváriám. V neposlednom rade aj z ekonomického hľadiska je to veľmi dôležitým faktorom.

LITERATÚRA

- [1] ČSN EN 60076-1 (351001). *Výkonové transformátory - Část 1: Obecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [2] KALABZA, Josef. *Degradace izolačního systému transformátoru*. 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [3] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [4] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0189-6.
- [5] ČSN IEC 250. *Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových délek*. Praha: Český normalizační institut, 1997, 30 s.
- [6] ČSN EN 60076-3 ED. 2. *Výkonové transformátory - Část 3: Izolační hladiny, dielektrické zkoušky a vnější vzdušné vzdálenosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] IEC 60076-18. *Power transformers – Part 18: Measurement of frequency response*. Geneva, 2012.
- [8] SFRA diagnostika výkonových transformátorů v souladu s požadavky IEC [online]. , 9 [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/5189975-Sfra-diagnostika-vykonovych-transfor-matoru-v-souladu-s-pozadavky-iec.html>
- [9] ČSN EN 60076-18. *Výkonové transformátory - Část 18: Měření kmitočtové odezvy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [10] Profylaktika elektrických strojů *netočivých výkonové transformátory*, podniková norma ČEZ, evidenční číslo 00/05.

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

FRA	analýza frekvenčnej odozvy (frequency response analysis)
K	kostra
NN	nižšie napätie
PD	čiasťočné výboje (partial discharge)
SN	stredné napätie
VN	vyššie napätie
VVN	veľmi vysoké napätie

Symboly:

C	kapacita	(F)
$\cos\varphi_{10}$	účinník naprázdno	(-)
I_{10}	prúd naprázdno	(A)
i_{15}	absorpčný prúd 15 s po pripojení napätia	(A)
i_{60}	absorpčný prúd 60 s po pripojení napätia	(A)
P_1	činný výkon dodávaný do transformátoru	(W)
P_W	Výkon spotrebovaný meracími prístrojmi	(W)
p_{il}	polarizačný index	(-)
p_u	prevod transformátoru	(-)
S_1	zdanlivý výkon dodávaný do transformátoru	(VA)
$tg \delta$	stratový činiteľ	(-)
U_1	vstupné napätie	(V)
U_{1K}	napätie nakrátko	(V)
u_k	percentuálna hodnota napätia nakrátko	(%)
V_{in}	referenčné napätie	(V)
V_{out}	signál odozvy	(V)

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA A - ÚDAJE SKÚŠANÉHO TRANSFORMÁTORA OD VÝROBCU	48
PRÍLOHA B – NAMERANÉ FRA CHARAKTERISTIKY	51

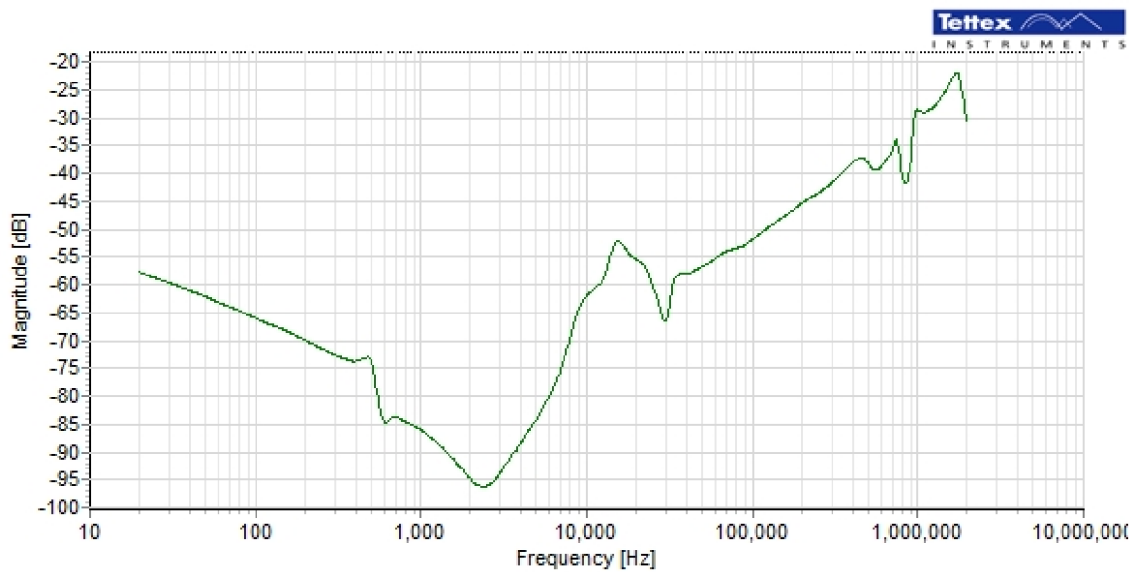
A.2 Údaje o vinutí

BEZ		ÚDAJ VINUTIA				U354 52-70				
PRE		TRANSFORMÁTOR TYP QTO.354/22								
Podstat: ROVNÝ		Men. výkon 400		kVA		Zapojenie Dyn 1				
n = 3		Men. VN 22000 ± 2 × 2,5 %		Men. nap. NN 400/231		Men. prúd 10,5		A		
l = 50 H		Prevod VN 23 100 - 22 550 - 22000 - 21450 - 20900		Prevod naprázdno NN 400/231		Men. prúd 577		V		
Zatáženie S1		Chlad. ONAN								
JmCo 11 $\frac{0,35}{0,6}$		Cievky 3 x				Rozmery mm		Med' Hliník x - 34 $\frac{m}{Q_{mm^2}}$		
IZOL KERIZOL		Druh	ko	Závit v cievke	Pol. pol. Pol. Pol.	Ozn.	Ar. št. x K. št. št.	Ved. mm	Diška m	Vaha kg
A = 635 mm		4	539	15 34 1 29	2x 0,1	I	86 x 46,5	$\phi 2,36$ F $\phi 2,459$	9817	116
B = 215 mm		1	522	15 33 1 27	2x 0,1	II	83,5 x 46,5			
C = 170 mm						III	83,5 x 46,5			
D = 175 mm		1	522	15 33 1 27	2x 0,1	III	83,5 x 46,5			
Ej = 213,5 cm ³		3 x 3200 = 3 x (1448 + 76 + 76 + 76 + 1448)						Vločky Ved. 4 x 86		344
S _{sp} = 213,5 cm ³								2 x 83,5		167
Gj = 386,5 kg								5 x 12		60
G _{sp} = 228 kg										
Sv = 4,374 mm ³										571
fv = 1,386 A/mm ²										
S _n = 6 x 70,76 mm ²										
fa = 1,36 A/mm ²										
D ₀₂ = 185 mm		Štvorcievky: Trojcievky: Dvojcievky: Jednocievky: 6								
Ja = 4 mm		1	32	2 16	- III	583 x 34	$\frac{4,5 \times 16}{4,95 \times 16,45}$ 3P	396,5	76	1,525.10 ³
D ₀₃ = - mm										
D = 13 mm										
D _{r1} = 279 mm		3 x 32				3 x 5 = 15 1 x 4 = 4		17,5 x 16,55 x 2		579
D _v = 4 mm										
D _{r2} = - mm										
D _{v2} = 46,5 mm								1 x 4		4
D _{v3} = - mm										
D _{v4} = - mm										
D _{v5} = - mm										
D _{v6} = - mm										
D _{v7} = - mm										
D _{v8} = - mm										
D _{v9} = - mm										
D _{v10} = - mm										
D _{v11} = - mm										
D _{v12} = - mm										
D _{v13} = - mm										
D _{v14} = - mm										
D _{v15} = - mm										
D _{v16} = - mm										
D _{v17} = - mm										
D _{v18} = - mm										
D _{v19} = - mm										
D _{v20} = - mm										
D _{v21} = - mm										
D _{v22} = - mm										
D _{v23} = - mm										
D _{v24} = - mm										
D _{v25} = - mm										
D _{v26} = - mm										
D _{v27} = - mm										
D _{v28} = - mm										
D _{v29} = - mm										
D _{v30} = - mm										
D _{v31} = - mm										
D _{v32} = - mm										
D _{v33} = - mm										
D _{v34} = - mm										
D _{v35} = - mm										
D _{v36} = - mm										
D _{v37} = - mm										
D _{v38} = - mm										
D _{v39} = - mm										
D _{v40} = - mm										
D _{v41} = - mm										
D _{v42} = - mm										
D _{v43} = - mm										
D _{v44} = - mm										
D _{v45} = - mm										
D _{v46} = - mm										
D _{v47} = - mm										
D _{v48} = - mm										
D _{v49} = - mm										
D _{v50} = - mm										
D _{v51} = - mm										
D _{v52} = - mm										
D _{v53} = - mm										
D _{v54} = - mm										
D _{v55} = - mm										
D _{v56} = - mm										
D _{v57} = - mm										
D _{v58} = - mm										
D _{v59} = - mm										
D _{v60} = - mm										
D _{v61} = - mm										
D _{v62} = - mm										
D _{v63} = - mm										
D _{v64} = - mm										
D _{v65} = - mm										
D _{v66} = - mm										
D _{v67} = - mm										
D _{v68} = - mm										
D _{v69} = - mm										
D _{v70} = - mm										
D _{v71} = - mm										
D _{v72} = - mm										
D _{v73} = - mm										
D _{v74} = - mm										
D _{v75} = - mm										
D _{v76} = - mm										
D _{v77} = - mm										
D _{v78} = - mm										
D _{v79} = - mm										
D _{v80} = - mm										
D _{v81} = - mm										
D _{v82} = - mm										
D _{v83} = - mm										
D _{v84} = - mm										
D _{v85} = - mm										
D _{v86} = - mm										
D _{v87} = - mm										
D _{v88} = - mm										
D _{v89} = - mm										
D _{v90} = - mm										
D _{v91} = - mm										
D _{v92} = - mm										
D _{v93} = - mm										
D _{v94} = - mm										
D _{v95} = - mm										
D _{v96} = - mm										
D _{v97} = - mm										
D _{v98} = - mm										
D _{v99} = - mm										
D _{v100} = - mm										
D _{v101} = - mm										
D _{v102} = - mm										
D _{v103} = - mm										
D _{v104} = - mm										
D _{v105} = - mm										
D _{v106} = - mm										
D _{v107} = - mm										
D _{v108} = - mm										
D _{v109} = - mm										
D _{v110} = - mm										
D _{v111} = - mm										
D _{v112} = - mm										
D _{v113} = - mm										
D _{v114} = - mm										
D _{v115} = - mm										
D _{v116} = - mm										
D _{v117} = - mm										
D _{v118} = - mm										
D _{v119} = - mm										
D _{v120} = - mm										
D _{v121} = - mm										
D _{v122} = - mm										
D _{v123} = - mm										
D _{v124} = - mm										
D _{v125} = - mm										
D _{v126} = - mm										
D _{v127} = - mm										
D _{v128} = - mm										
D _{v129} = - mm										
D _{v130} = - mm										
D _{v131} = - mm										
D _{v132} = - mm										
D _{v133} = - mm										
D _{v134} = - mm										
D _{v135} = - mm										
D _{v136} = - mm										
D _{v137} = - mm										
D _{v138} = - mm										
D _{v139} = - mm										
D _{v140} = - mm										
D _{v141} = - mm										
D _{v142} = - mm										
D _{v143} = - mm										
D _{v144} = - mm										
D _{v145} = - mm										
D _{v146} = - mm										
D _{v147} = - mm										
D _{v148} = - mm										
D _{v149} = - mm										
D _{v150} = - mm										
D _{v151} = - mm										
D _{v152} = - mm										
D _{v153} = - mm										
D _{v154} = - mm										
D _{v155} = - mm										
D _{v156} = - mm										
D _{v157} = - mm										
D _{v158} = - mm										
D _{v159} = - mm										
D _{v160} = - mm										
D _{v161} = - mm										
D _{v162} = - mm										
D _{v163} = - mm										
D _{v164} = - mm										
D _{v165} = - mm										
D _{v166} = - mm										
D _{v167} = - mm										
D _{v168} = - mm										
D _{v169} = - mm										
D _{v170} = - mm										
D _{v171} = - mm										
D _{v172} = - mm										
D _{v173} = - mm										
D _{v174} = - mm										
D _{v175} = - mm										
D _{v176} = - mm										
D _{v177} = - mm										

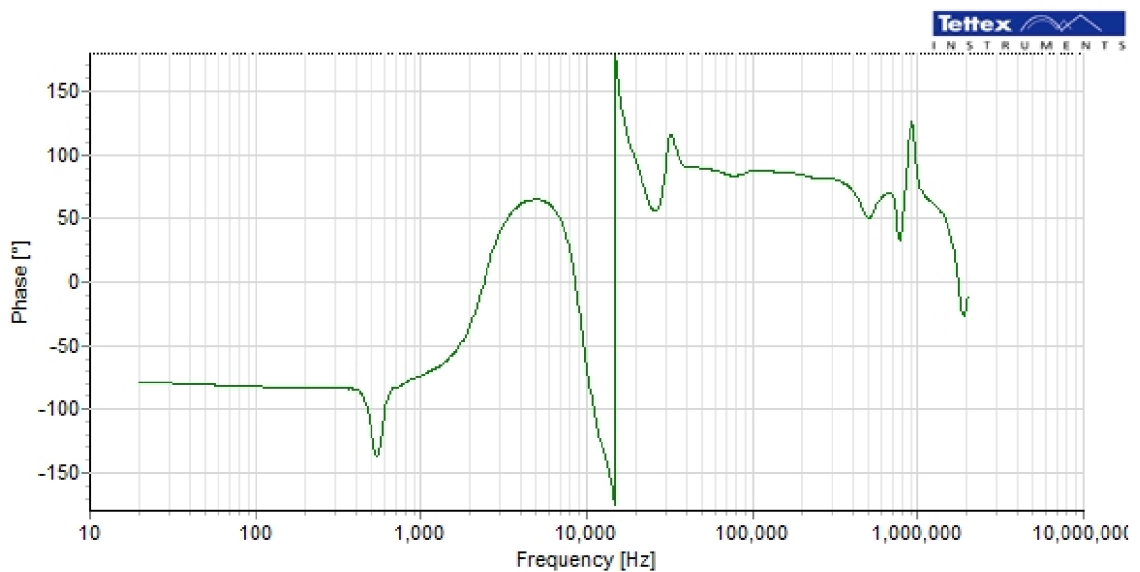
A.3 Špecifikácia výrobku

		ŠPECIFIKÁCIA VÝROBKU		I.C. finálneho výrobku 6-290882/0	
Typ: aTOV 354/22				Ođaj vinuťa 35452-70	
Výkon: 400 kVA				Spojenie Dyn1	
Počet fáz: 3	Menovité napätie [V] $22000 \pm 2 \times 2,5\%$ 400/231			Menovitý prúd [A] $\frac{10,5}{577}$	
Kmitočet: 50 Hz					
Zafazenie: S1					
Chladenie: ONAN					
Prevod naprázdno [V] $\frac{23100 - 22550 - 22000 - 21450 - 20900}{400/231}$					
Popis výrobku: Trojfázový, olejový, výkonový, hermetizovaný transformátor s dýchacím vakom					
Príslušenstvo: Stonkový teplomer					
Krytie: IP 00			Klimatická odolnosť: Podľa int.objedn.		
Výkonnosť štítek: PN 29608			Vyhotovenie podľa: ČSN 351100		
Hmotnosť oleja: 435 kg	Hmotnosť vyn. častí: 1090 kg		Celková hmotnosť: 1920 kg		
Poznámka:					
Spríevodná dokumentácia:					
Dátum: 21.8.1989		Vypracoval: Dorotka		Schválil: Molnár	

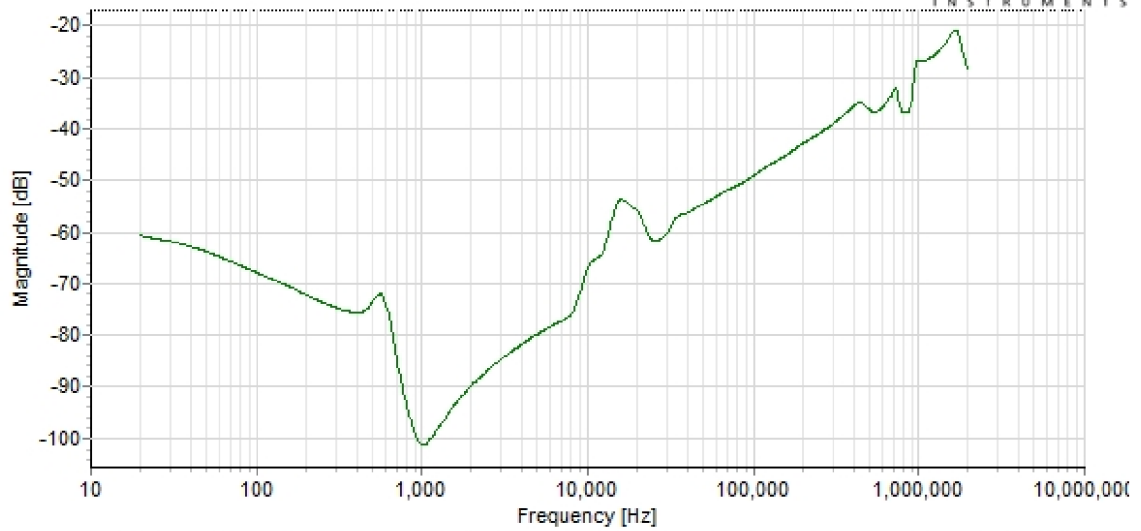
Príloha B – Namerané FRA charakteristiky



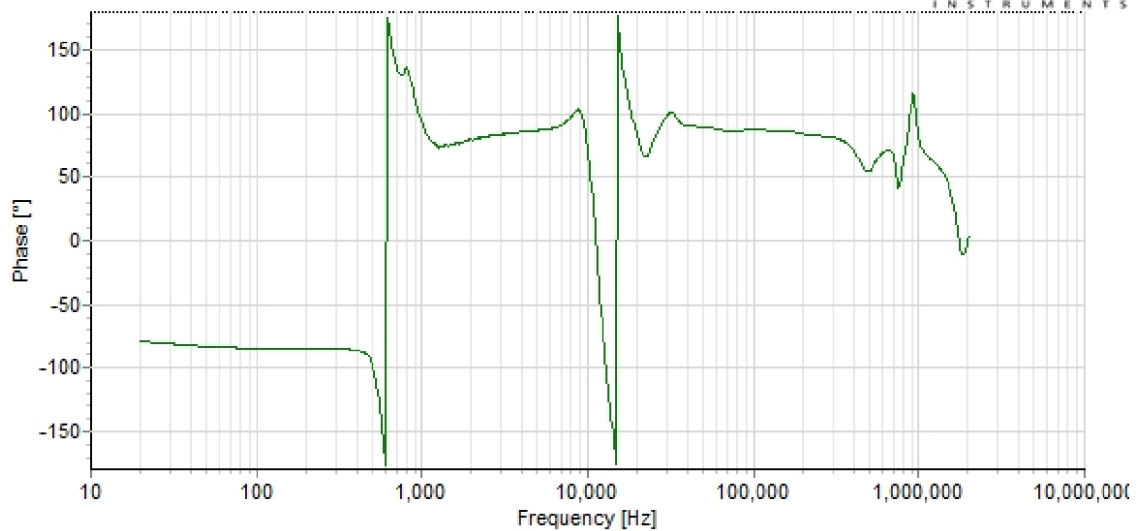
12/09/2019 14:50:45 / Src: A / Rcv: C / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



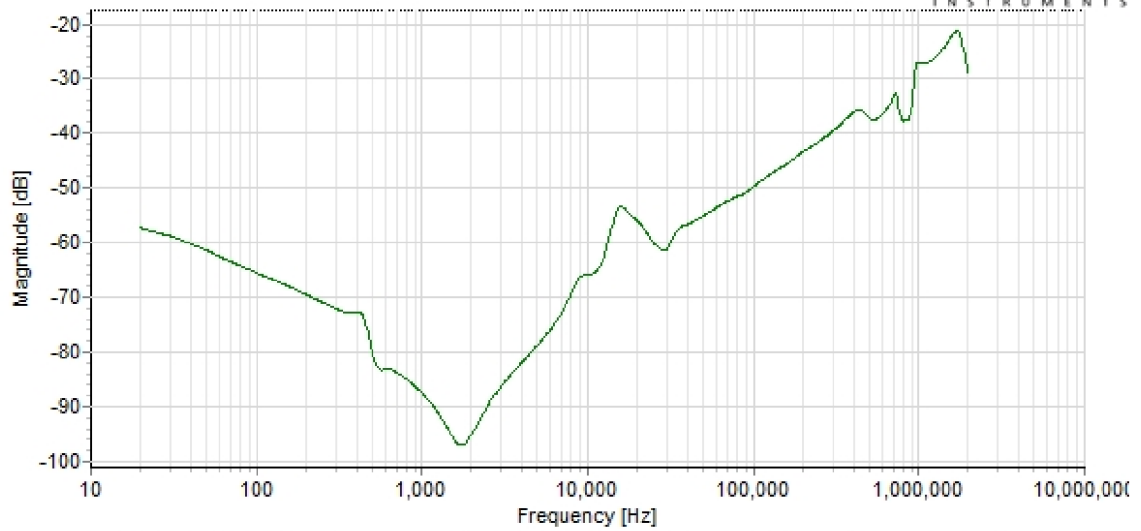
12/09/2019 14:50:45 / Src: A / Rcv: C / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



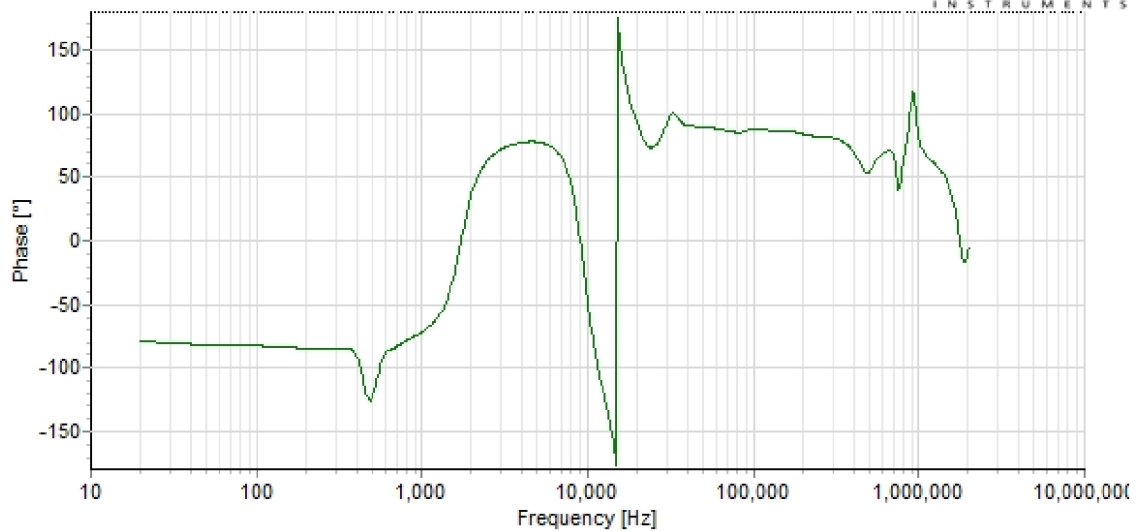
12/09/2019 14:53:43 / Src: B / Rcv: A / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



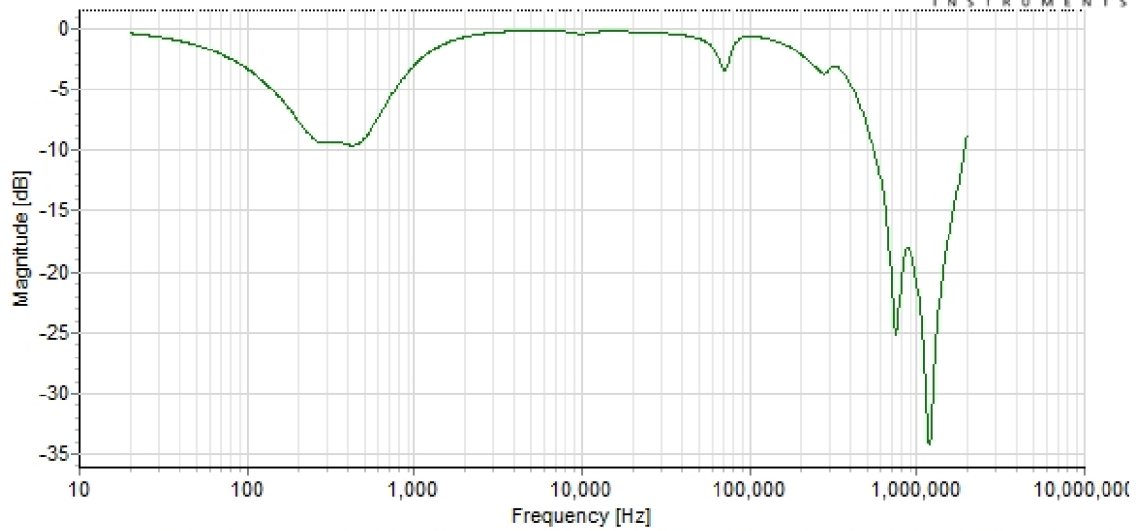
12/09/2019 14:53:43 / Src: B / Rcv: A / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



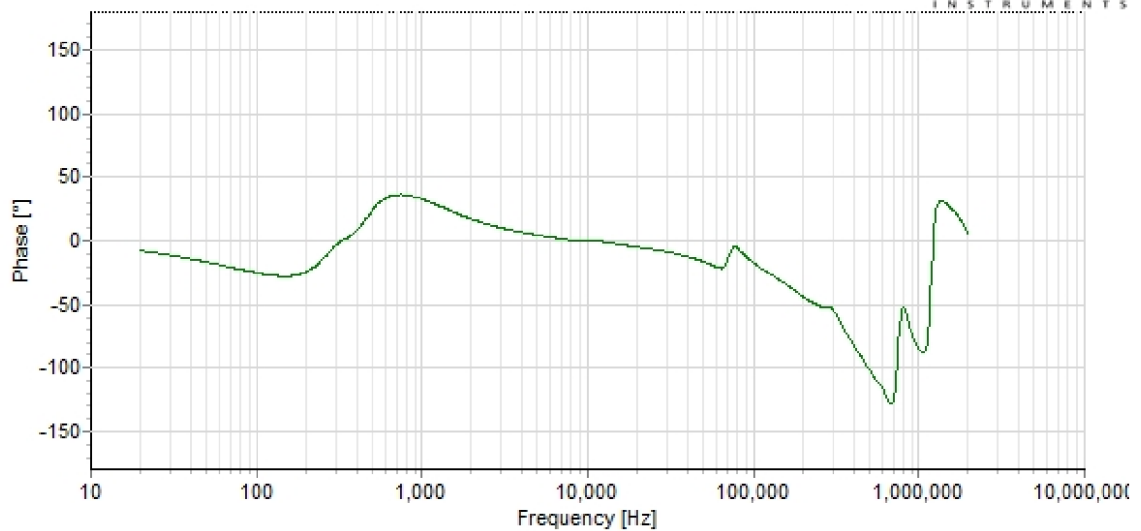
12/09/2019 14:58:54 / Src: C / Rcv: B / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



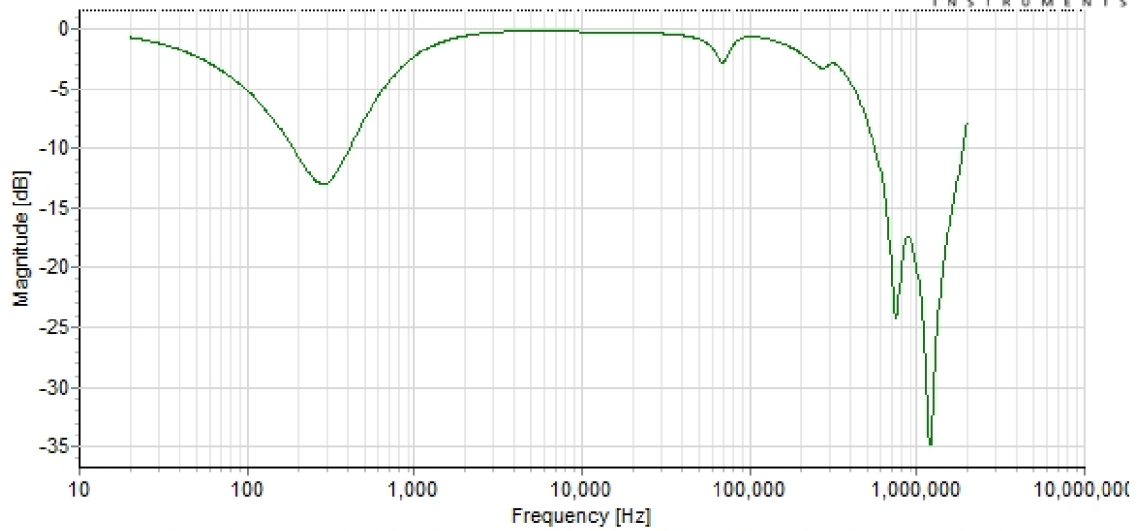
12/09/2019 14:58:54 / Src: C / Rcv: B / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



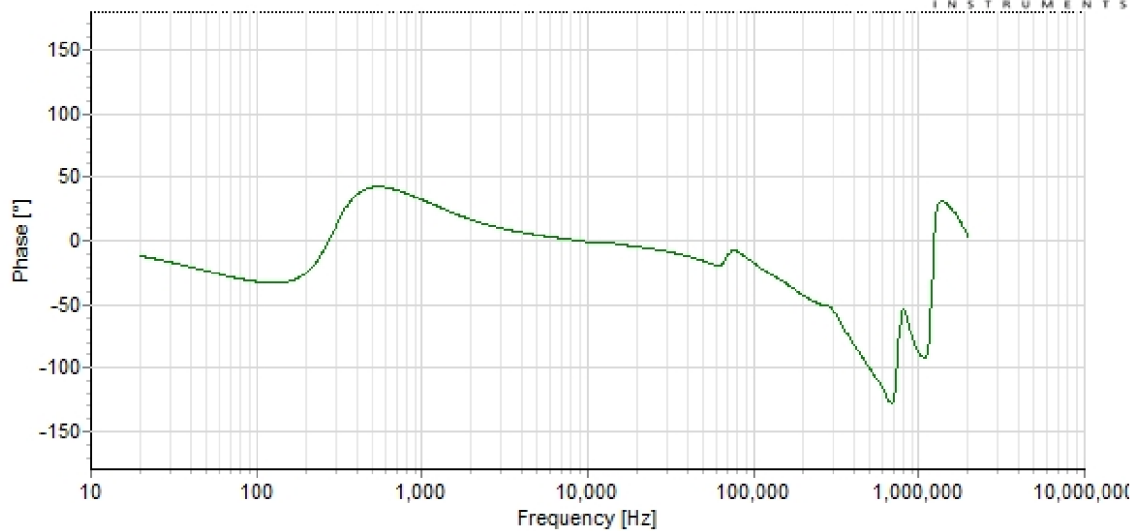
12/09/2019 15:03:51 / Src: a / Rcv: o / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No /
Notes:



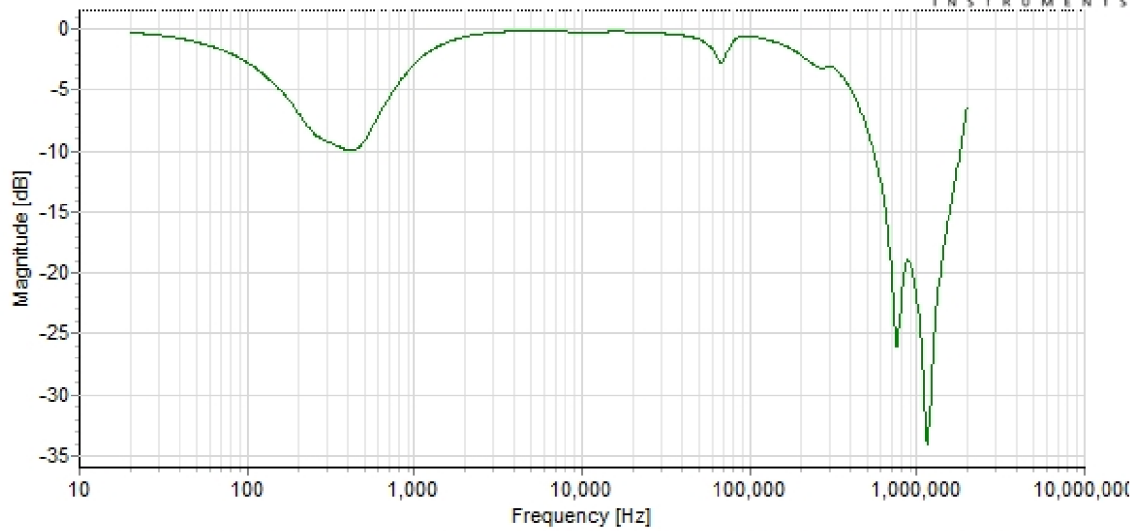
12/09/2019 15:03:51 / Src: a / Rcv: o / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No /
Notes:



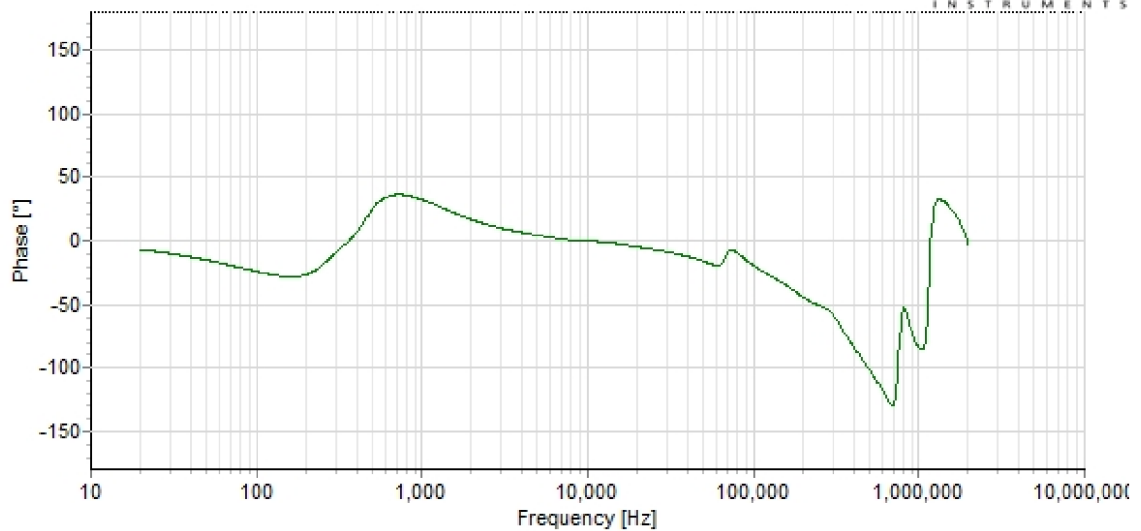
12/09/2019 15:11:09 / Src: b / Rcv: o / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



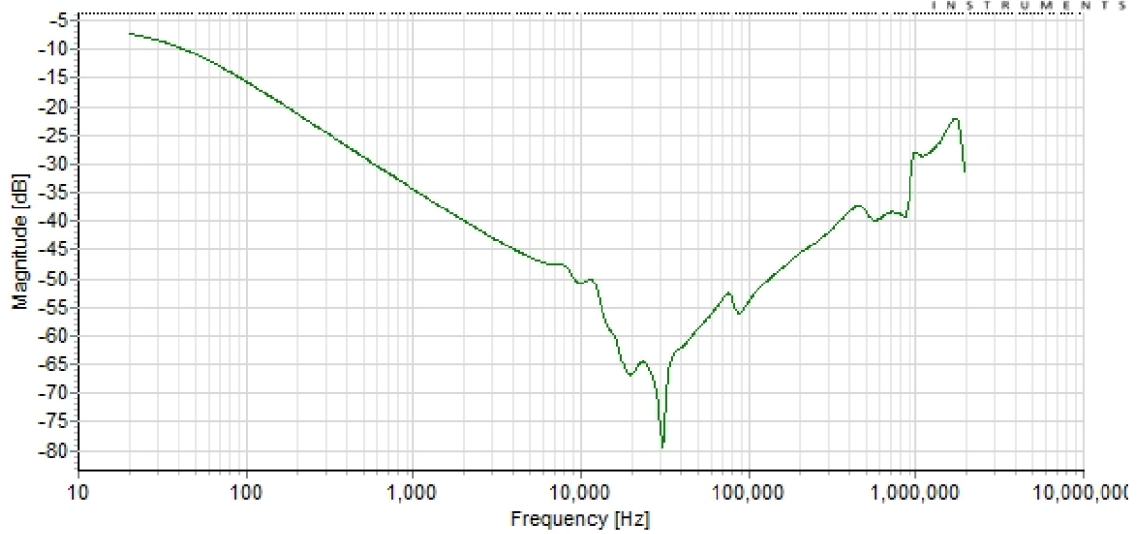
12/09/2019 15:11:09 / Src: b / Rcv: o / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



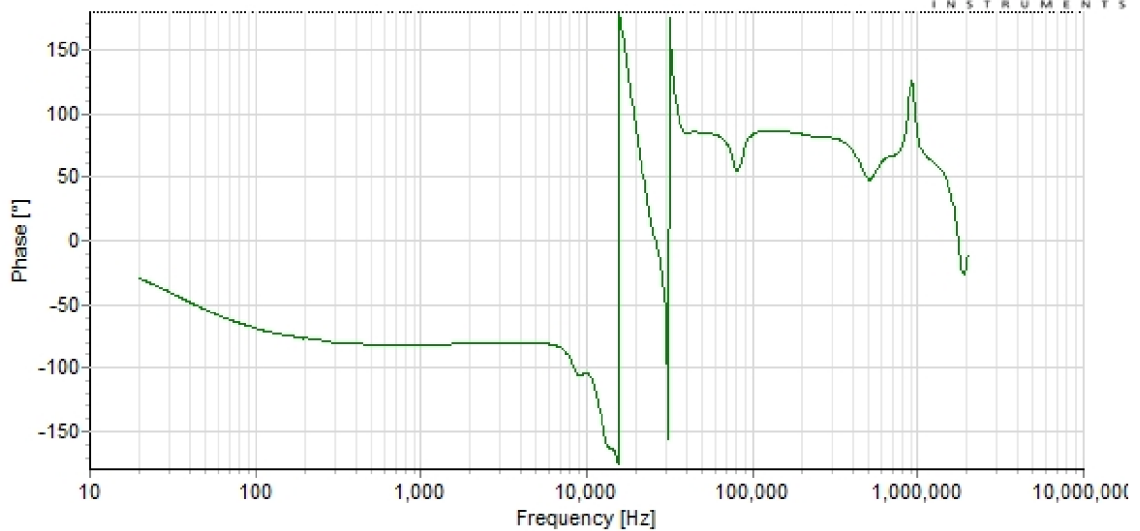
12/09/2019 15:14:43 / Src: c / Rcv: o / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No /
Notes:



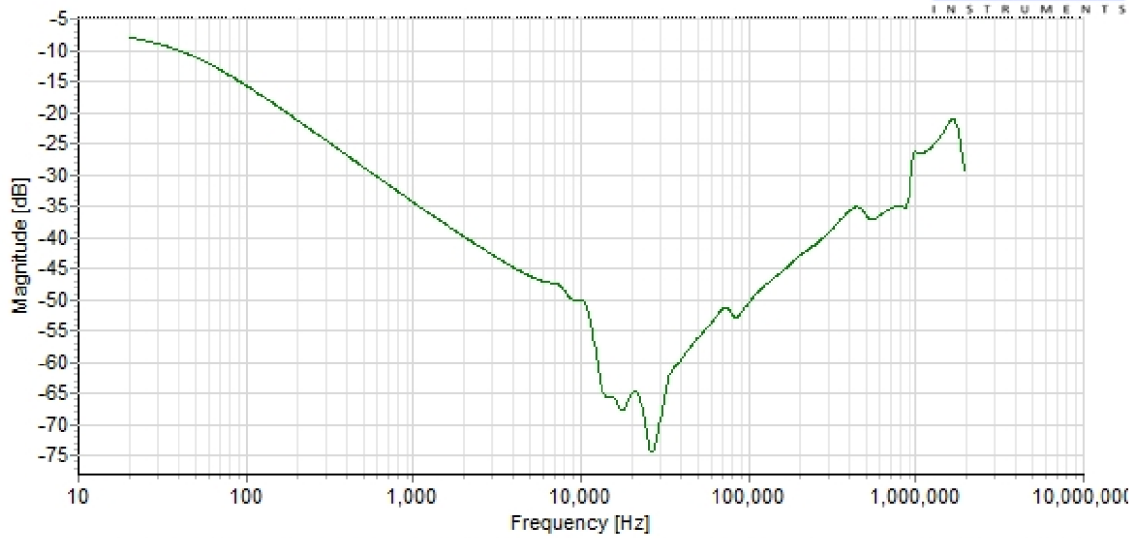
12/09/2019 15:14:43 / Src: c / Rcv: o / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: / Tap: Highest Point / ZC: No /
Notes:



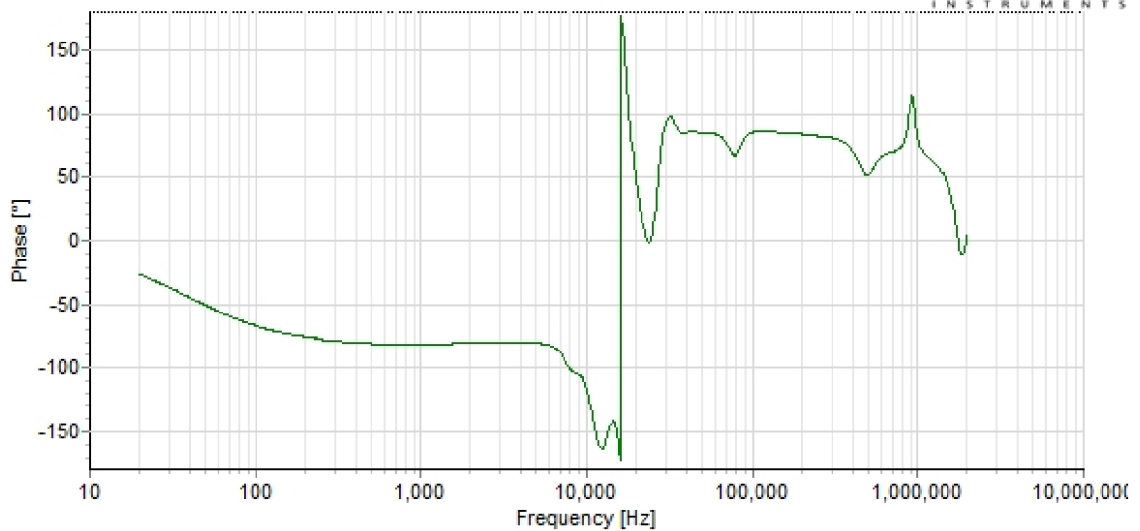
12/09/2019 15:18:36 / Src: A / Rcv: C / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: a-b-c-a / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



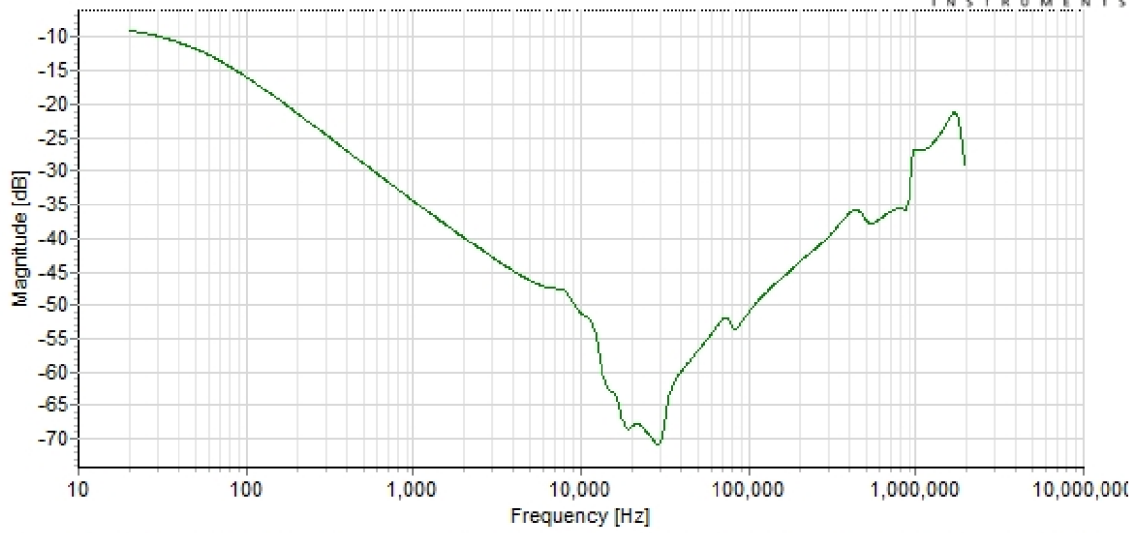
12/09/2019 15:18:36 / Src: A / Rcv: C / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: a-b-c-a / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



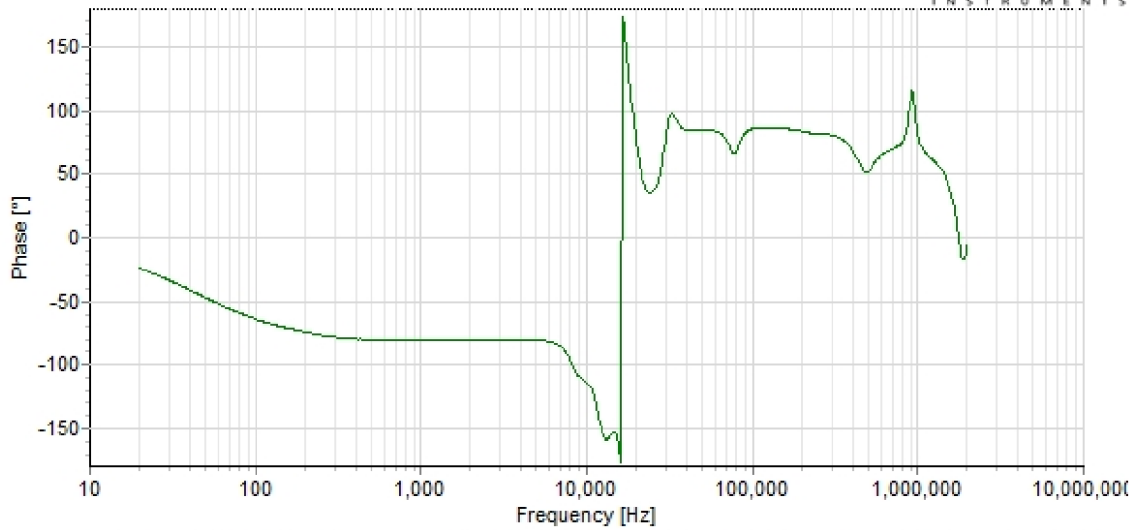
12/09/2019 15:26:50 / Src: B / Rcv: A / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: a-b-c-a / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



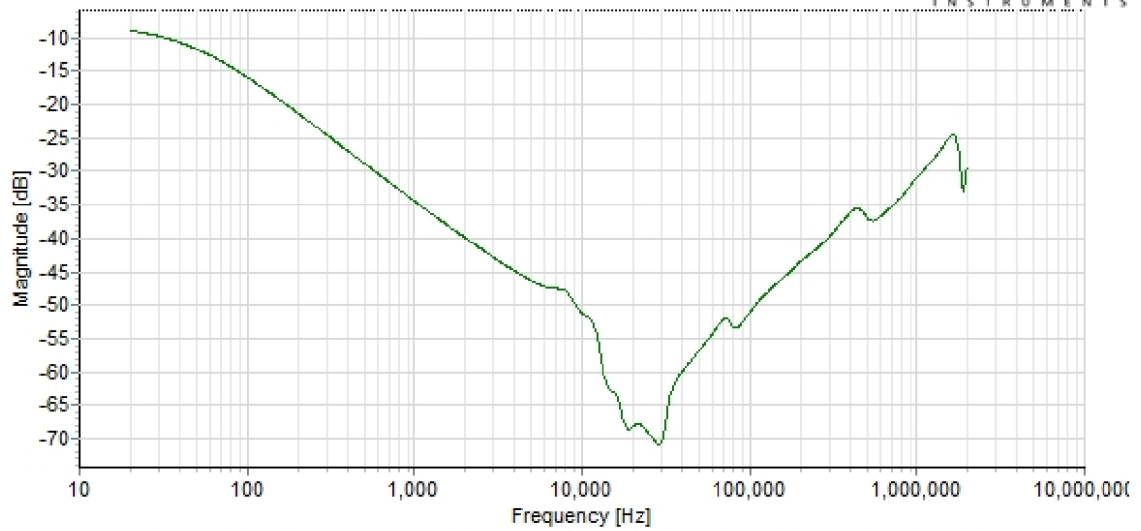
12/09/2019 15:26:50 / Src: B / Rcv: A / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: a-b-c-a / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



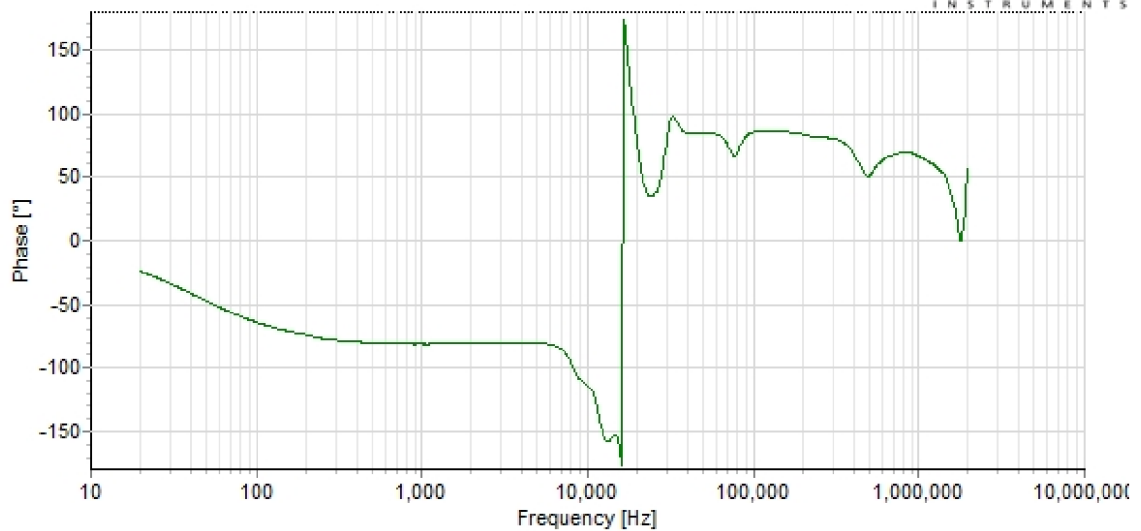
12/09/2019 15:31:08 / Src: C / Rcv: B / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: a-b-c-a / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



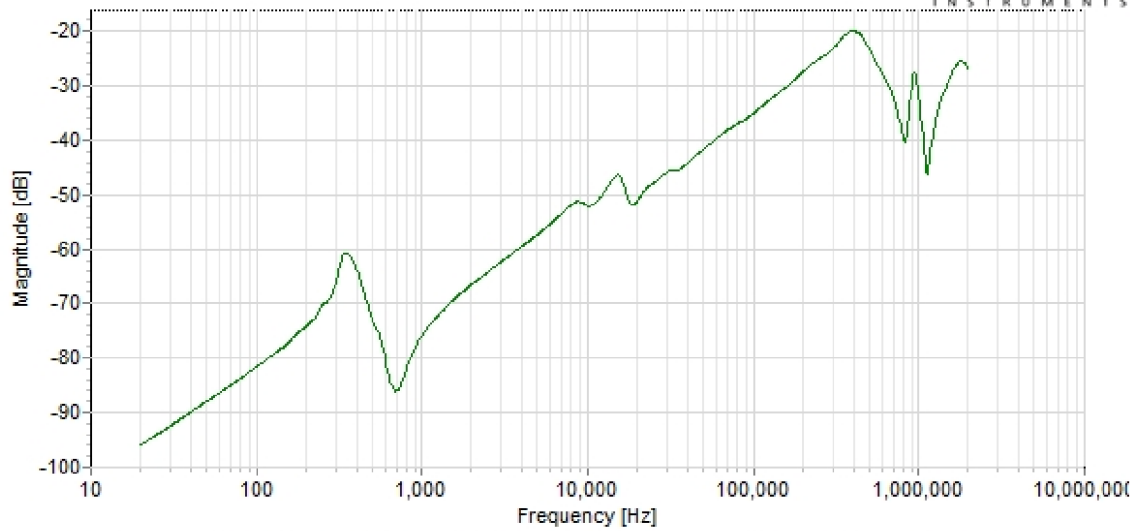
12/09/2019 15:31:08 / Src: C / Rcv: B / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: / SC: a-b-c-a / Tap: Highest Point / ZC: No / Notes:



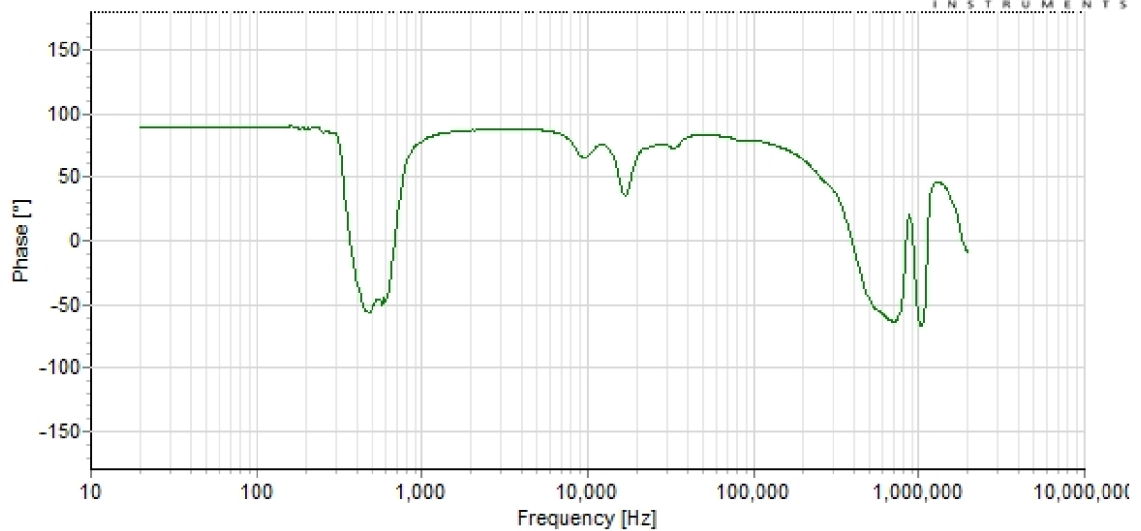
12/09/2019 15:40:43 / Src: C / Rcv: B / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: None / SC: a-b-c-o / Tap: 0 / ZC: No / Notes:



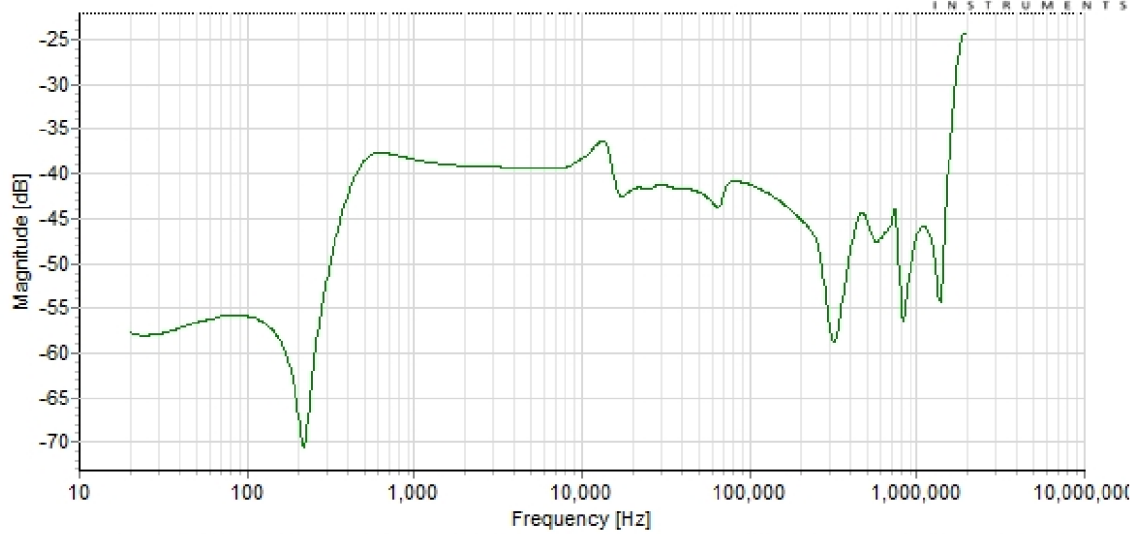
12/09/2019 15:40:43 / Src: C / Rcv: B / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: None / SC: a-b-c-o / Tap: 0 / ZC: No / Notes:



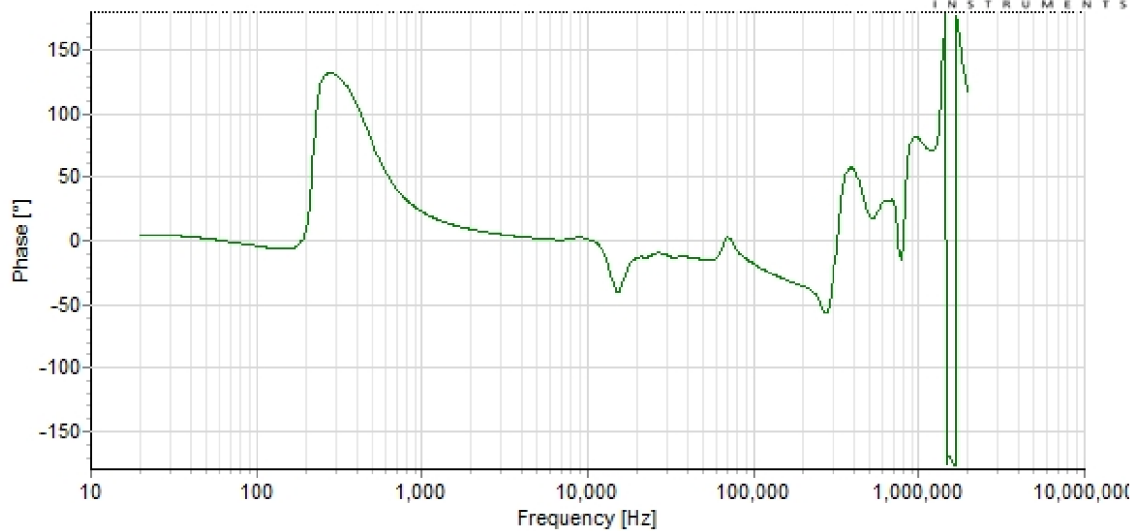
12/09/2019 15:49:11 / Src: C / Rcv: c / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: none / SC: none / Tap: 0 / ZC: No /
Notes:



12/09/2019 15:49:11 / Src: C / Rcv: c / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: none / SC: none / Tap: 0 / ZC: No /
Notes:



12/09/2019 15:53:27 / Src: C / Rcv: c / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: A, o / SC: none / Tap: 0 / ZC: No / Notes:



12/09/2019 15:53:27 / Src: C / Rcv: c / 20 Hz..2 MHz / Log / 800 p. / 11 Vpp / GND: A, o / SC: none / Tap: 0 / ZC: No / Notes: