

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

Diplomová práce

Diagnostika zhášecích tlumivek

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na diagnostiku zhášecích tlumivek, zejména na metodiku a technologii měření během typových zkoušek. Cílem této práce je popsat jednotlivá měření, zvláště pak měření hladiny hluku. Následně poté provést návrh konstrukční změny zhášecí tlumivky pro snížení hladiny hluku. Vyhodnocením naměřených dat hladin hluku před a po konstrukční změně, ověřit její účinnost.

Klíčová slova

Zhášecí tlumivka, Petersonova tlumivka, kusová zkouška, typová zkouška, napěťová zkouška, měření hladiny hluku, hladina akustického tlak, hladina akustického výkonu, zkouška linearity, krátkodobá oteplovací zkouška, dlouhodobá oteplovací zkouška, rázová zkouška, izolační odpor, odpor vinutí, magnetický obvod, vzduchová mezera, pomocné vinutí, měřicí vinutí, magnetostrikce.

Abstract

This thesis is focused on diagnostics of Petersen coils, especially on methodology and measurement technology during type tests. The aim of this work is to describe each measurement, especially noise level measurement. In addition, design the design change of the Petersen coil to reduce the noise level. Verify its effectiveness by evaluating measured noise levels before and after design change.

Key words

Petersen coil, routine test, type test, applied voltage test, noise level measurements, sound power level, sound pressure level, VA characteristics, continuous temperature rise test, short time duty temperature rise test, lightning impulse test, insulation resistance, winding resistance, magnetic circuit, air gap, auxiliary winding, measuring winding, magnetostriction.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 9.5.2017

Jaroslav Tomandl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Josefovi Piherovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD.....	11
1 FUNKCE A KONSTRUKCE ZHÁŠECÍCH TLUMIVEK.....	12
1.1 ZHÁŠECÍ TLUMIVKA (PETERSONOVA TLUMIVKA) - FUNKCE.....	12
1.1.1 Sítě s izolovaným uzlem.....	12
1.1.2 Sítě kompenzované	12
1.2 ZHÁŠECÍ TLUMIVKA - KONSTRUKCE.....	13
1.2.1 Aktivního dílu – cívky a magnetického obvodu.....	13
1.2.2 Nádoby, ve které je aktivní díl ponořen v transformátorovém oleji.....	14
2 SYSTÉM DIAGNOSTICKÝCH ZKOUŠEK PRO ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	15
2.1 PRVNÍ ZKOUŠKA – AKTIVNÍ DÍL.....	15
2.1.1 Kontrola měřících transformátorů.....	16
2.1.2 Kontrola proudových spojů.....	16
2.1.3 Vizualní kontrola izolačního systému ZT.....	16
2.1.4 Měření proudu v celém regulačním rozsahu (regulační zkouška).....	16
2.2 DRUHÁ ZKOUŠKA.....	17
2.2.1 Měření odporu vinutí.....	18
2.2.2 Měření izolačního odporu vinutí.....	18
2.2.3 Zkouška izolace pomocné elektrické kabeláže	19
2.2.4 Zkouška přiloženým napětím sekundárního vinutí.....	19
2.2.5 Zkouška vinutí přiloženým střídavým výdržným napětím.....	20
2.2.6 Zkouška vinutí indukovaným střídavým výdržným napětím.....	20
2.2.7 Měření proudu v celém regulačním rozsahu (regulační zkouška).....	21
2.2.8 Měření hodnoty výstupu z potenciometru v závislosti na vzduchové mezeře.....	22
2.2.9 Měření proudu s cejchováním ukazatele.....	22
2.2.10 Provozní zkouška pohonu pro změnu vzduchové mezery.....	22
2.2.11 Měření elektrické pevnosti oleje.....	22
2.2.12 Přetlaková zkouška.....	23
2.2.13 Měření povrchové ochrany	23
3 TYPOVÉ ZKOUŠKY ZHÁŠECÍCH TLUMIVEK	24
3.1 MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ.....	24
3.2 MĚŘENÍ LINEARITY DO 1,1NÁSOBKU JMENOVITÉHO NAPĚTÍ	24
3.3 DIELEKTRICKÁ ZKOUŠKA ATMOSFÉRICKÝM IMPULZEM	26
3.4 OTEPLOVACÍ ZKOUŠKA	28
3.5 ZVLÁŠTNÍ ZKOUŠKY.....	31

3.5.1	Měření částečných výbojů.....	31
3.5.2	Měření ztrátového činitele $tg \delta$ (DELTA).....	32
3.5.3	Měření impedance nakrátko.....	32
3.5.4	Prokázání schopnosti odolat zkratu.....	33
4	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ AKUSTICKÝCH PARAMETRŮ PŘI TYPOVÉ ZKOUŠCE ZHÁŠECÍ TLUMIVKY	34
4.1	ÚVOD DO AKUSTIKY, ZÁKLADNÍ POJMY	34
4.1.1	Zvuk.....	34
4.1.2	Hluk.....	34
4.1.3	Akustický tlak p [Pa].....	34
4.1.4	Akustický výkon W [W]	34
4.1.5	Hladina akustického výkonu L_w [dB].....	35
4.1.6	Hladina akustického tlaku L_p [dB].....	35
4.1.7	Hladina akustického tlaku $A L_{pa}$ [dB].....	35
4.2	MĚŘENÍ HLUKU VE ZKUŠEBNĚ EGE.....	35
4.2.1	Přístroje a kalibrace	36
4.2.2	Zkušební metoda.....	36
4.2.3	Výpočet obsahu měřicí plochy	36
4.2.4	Podmínky zatížení.....	37
4.3	METODA AKUSTICKÉHO TLAKU	37
4.3.1	Podmínky pro měření ve vnitřním prostoru	37
4.3.2	Výpočet korekce na prostředí K	37
4.3.3	Měření hladiny akustického tlaku	38
4.3.4	Výpočet průměrné hladiny akustického tlaku	38
4.3.5	Výpočet hladiny akustického výkonu.....	38
4.4	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ HLUKU NA ZHÁŠECÍCH TLUMIVKÁCH.....	38
4.4.1	Naměřené hladiny hluku ASR 1.6 (hladká nádoba KB provoz).....	39
4.4.2	Naměřené hladiny hluku ASR 1.6 (vlnitá nádoba DB provoz).....	40
4.4.3	Naměřené hladiny hluku ASR 1.6 (nádoba s radiátory DB provoz).....	41
4.4.4	Vyhodnocení naměřených hodnot na různých typech zhášecích tlumivek.....	42
5	NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ZMĚN ZHÁŠECÍ TLUMIVKY PRO SNÍŽENÍ HLUKU, OVĚŘENÍ ZMĚN DIAGNOSTICKÝMI ZKOUŠKAMI.....	43
5.1	ZDROJE HLUKU TRANSFORMÁTORU	43
5.1.1	Hluk způsobený magnetickým obvodem zhášecí tlumivky	43
5.1.2	Hluk způsobený cívkou zhášecí tlumivky.....	44
5.2	MOŽNOSTI SNÍŽENÍ HLADINY HLUKU	44
5.2.1	Stažení magnetického obvodu	44
5.2.2	Snížení vibrací přenášených mezi aktivním dílem a nádobou ZT	45
5.3	NÁVRH KONSTRUKČNÍ ZMĚNY	45

5.3.1	Stážení článků magnetického obvodu.....	46
5.3.2	Vložení silentbloků mezi aktivní díl a nádobu ZT	47
5.4	OVĚŘENÍ KONSTRUKČNÍCH ZMĚN MĚŘENÍM HLUKU	49
ZÁVĚR		50
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ		51
PŘÍLOHA A		1
PŘÍLOHA B		2
PŘÍLOHA C		3

Seznam symbolů a zkratek

ČV.....	Částečný výboj
D ₁ D ₂	Svorky hlavního vinutí zhášecí tlumivky
DB.....	Dlouhodobý provoz
NN.....	Nízké napětí
VN.....	Vysoké napětí
KL	Svorky měřícího vinutí proudového transformátoru
M ₁ N ₁	Svorky měřícího vinutí
M ₂ N ₂	Svorky pomocného (výkonového) vinutí
N	Střední pracovní vodič napájecí soustavy
A	Celková pohltivost zvuku [m ²]
I	Elektrický proud [A]
KB.....	Krátkodobý provoz
K.....	Korekce hladiny akustického tlaku [dB]
LI.....	Lighting impulse, Zkouška rázovým impulsem
l _m	Obvod tlumivky [m]
L _p A.....	Akustický tlak [dB]
L _w A.....	Akustický výkon [dB]
R.....	Odpor [Ω]
tgδ	Ztrátový činitel tangens delta
U	Elektrické napětí [V]
U _f	Efektivní hodnota fázové napětí soustavy [V]
U _n	Jmenovité napětí zhášecí tlumivky [V]
U ₀	Nulové uzlové napětí [V]
VA.....	Volt-Ampérová charakteristika
α	Střední činitel pohltivosti [-]

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na diagnostiku zhášecích tlumivek, přesněji na kusové a typové zkoušky prováděné na zhášecích tlumivkách dle ČSN EN 60076-6 ve firmě EGE spol. s r.o.

Text je rozdělen do pěti částí; první se zabývá funkcí a použitím zhášecích tlumivek, druhá popisuje metody prováděné při jednotlivých kusových zkouškách na zhášecích tlumivkách. Ve třetí části jsou detailně popsány typové zkoušky prováděné na zhášecích tlumivkách. Čtvrtá část je věnována měření akustických parametrů zhášecích tlumivek, metodice měření a následnému výpočtu akustických parametrů. V závěru čtvrté části jsou vyhodnocena naměřená data na souboru vybraných zhášecích tlumivek se shodnými elektrickými parametry, ale rozdílnou konstrukcí nádoby, ve které je umístěn aktivní díl. Závěr diplomové práce a tedy pátá část je věnována návrhu konstrukční změny zhášecí tlumivky pro snížení hluku a závěrečné ověření snížení akustických parametrů měřením.

1 Funkce a konstrukce zhášecích tlumivek

Zhášecí tlumivka je cívka s nastavitelnou indukčností, připojuje se k uzlu distribuční sítě. Slouží ke kompenzaci kapacitních proudů při zemním spojení. Zhášecí tlumivka umožňuje kompenzovat kapacitní proud zemního spojení tak, aby místem poruchy procházel pouze zbytkový proud.

1.1 Zhášecí tlumivka (Petersonova tlumivka) - funkce

Ve většině našich distribučních sítí jsou provozovány transformátory 110kV/VN s vyvedeným uzlem sekundárního vinutí. Je několik způsobů připojení tohoto uzlu. Volba typu připojení uzlu transformátoru vyplývá z charakteru oblasti, kterou napájí přes vývody, které jdou z dané rozvodny.

1.1.1 Síť s izolovaným uzlem

Tento způsob se používá v sítích VN malého rozsahu a v sítích průmyslových závodů. V nových instalacích na napěťové hladině 22kV se od tohoto způsobu vyvedení uzlu spíše upouští. Důvodem je také nebezpečné krokové a dotykové napětí. Obtíže také mohou nastat v případě přerušovaného zemního spojení, kde oblouk nestabilně hoří (opětovné uhasínání a zapalování) a v sítích způsobuje nebezpečná přepětí [1]. Provoz dle normy [2] pro modernější sítě se doporučuje s kapacitním proudem do 10 A (u starších instalací je možný provoz i s vyšším proudem). Při kapacitním proudu nad 20 A se podle normy sítě provozují s kompenzací.

1.1.2 Síť kompenzované

Uzel sekundární strany napájecího transformátoru je spojen se zemí přes zhášecí tlumivku. V případě vzniku zemního spojení protéká tlumivkou proud induktivního charakteru, který se s poškozenou fází uzavírá v místě poruchy. Tento proud má v místě poruchy opačný směr než kapacitní poruchový proud a ten je vykompenzován [3]. Volbou vhodné velikosti indukčnosti tlumivky je výsledný poruchový proud malý a vzniklý oblouk zemního spojení rychle uhasíná (odtud název „zhášecí tlumivka“). Norma [2] uvádí mezní velikost výsledného zbytkového poruchového proudu do 60 A. Pro celkový rozsah sítí s kompenzací se udává mezní kapacitní proud sítě 100 A u venkovních vedení, 300 A u sítí smíšených a 450 A u kabelových sítí.

- V kompenzovaných sítích při zemním spojení může napětí zdravých fází převyšovat hodnotu sdruženého napětí.
 - Proud zemním spojením v případě vyladěné tlumivky dosahuje pouze malé hodnoty původního poruchového proudu a je činného charakteru.
 - Po odstranění zemního spojení dochází k postupnému obnovení původní velikosti napětí v postižené fázi, nedochází k dalšímu přepětí.
 - Lze provozovat kompenzovanou síť i se zemním spojením až do doby vyhledání poruchy a její odstranění (tlumivku pro krátkodobý provoz lze provozovat až 2 hodiny při maximálním kompenzačním proudu a tlumivka pro dlouhodobý provoz je navržena pro nepřetržitý provoz)
- Jelikož nelze provozovat rozsáhlé smíšené sítě, kde kapacitní proudy dosahují hodnot přes 300 A, musí být síť rozdělena do několika oblastí, i když by výkonově byl dostačující jeden napájecí transformátor. V takto rozsáhlých sítích může zbytkový poruchový proud dosahovat vyšších hodnot. [4]

1.2 Zhášecí tlumivka - konstrukce

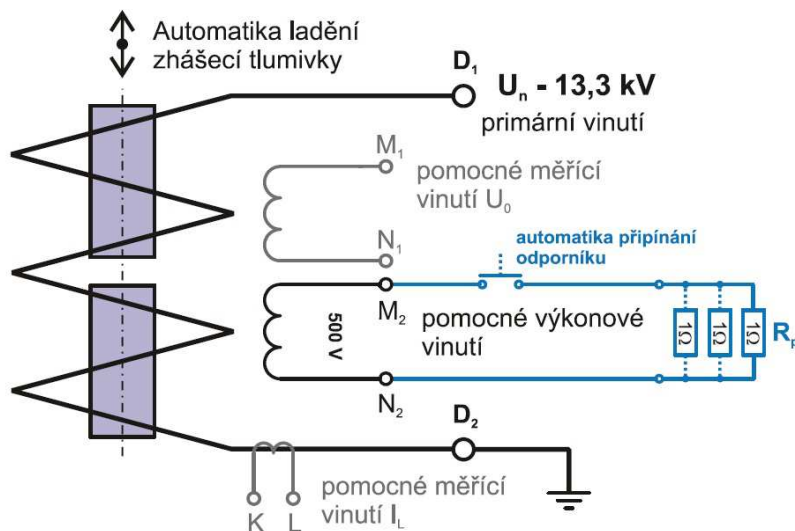
Zhášecí tlumivka se skládá ze dvou hlavních částí:

1.2.1 Aktivního dílu – cívky a magnetického obvodu

Cívka je vložena do magnetického obvodu – feromagnetické jádro se vzduchovou mezerou. Tato vzduchová mezera je plynule nastavitelná pomocí mechanismu poháněného elektrickým pohonem, který je řízen automatickým regulátorem. Vzduchová mezera a tedy indukčnost zhášecí tlumivky je tak neustále přizpůsobována parametrům sítě.

Součástí cívky je kromě hlavního vinutí také pomocné měřicí vinutí M_1N_1 (100V +/- 10 %), slouží k měření uzlového napětí U_0 . Pomocné výkonové vinutí M_2N_2 (500V +/- 10 %), ke kterému je automatickým regulátorem připínán odporník nebo proudová injektáž v případě zemního spojení. Všechna tato vinutí jsou zobrazena na obrázku 1.

Dále je na hlavním vinutí měřen kompenzační proud pomocí proudového transformátoru na svorkách KL. [5]



Obr. 1 Zjednodušené schéma zhášecí tlumivky [1]

1.2.2 Nádoby, ve které je aktivní díl ponořen v transformátorovém oleji

Nádoba, ve které je aktivní díl uložen v transformátorovém oleji, má více možností provedení podle požadavků na provoz ZT. Při požadavku na krátkodobý provoz, zpravidla KB-2h, postačí hladká nádoba bez radiátorů a konzervátoru. V případě požadavku na dlouhodobý provoz, je použita vlnitá nádoba nebo jsou na nádobě instalovány radiátory, které zajišťují chlazení transformátorového oleje a tak i chlazení vinutí cívky. Porovnání dvou nejčastějších provedení na obrázku 2.



Obr. 2 Provedení pro krátkodobý provoz bez radiátorů a provedení pro dlouhodobý provoz s radiátory

Na víku nádoby je umístěn elektrický pohon, sloužící k plynulému nastavení vzduchové mezery. Všechny vývody cívky, včetně hlavního vinutí. Teploměr s výstupním kontaktem,

který v případě překročení nastavené maximální hranice dává signál automatickému regulátoru pro případné odstavení zhášecí tlumivky. V případě provedení nádoby s konzervátorem je mezi ním a víkem umístěno Buchholz relé, které pomocí dvou plováků detekuje nadměrné přehřívání ZT, zároveň reaguje na vznik plynů které se tvoří při zkratu ve vinutí. Na konzervátoru je umístěn magnetický ukazatel hladiny oleje. [5]

Součástí nádoby jsou ventily pro odběr vzorků nebo pro případné odpuštění oleje v případě servisního zásahu. Nedílnou součástí nádoby je vysoušeč oleje. [5]

2 Systém diagnostických zkoušek pro zhášecí tlumivky

Zkoušení zhášecích tlumivek obecně odpovídá pravidlům pro transformátory dle normy IEC 60076. V některých případech u konkrétních tlumivek může dojít k omezení příslušné zkušební hladiny, tyto jsou vyloženy v ČSN EN 60076-6 Výkonové transformátory – Část 6: Tlumivky. Tlumivka musí být konstruována tak, aby vydržela zkoušky příslušné zkušební hladiny stanovené v IEC 60076, bez ohledu na aktuální dosažitelné zkušební hladiny. Tam kde z nějakého důvodu nelze dosáhnout zkušební hladiny stanovené v IEC 60076, musí výrobce zákazníkovi dokázat, že izolace a jiné parametry vyhovují zkušebním hladinám podle IEC 60076. [6]

2.1 První zkouška – aktivní díl

Provádí se bez olejové náplně na aktivním dílu ZT.

Kontrola měřících transformátorů - zapojení a elektrické parametry	dle výrobní dokumentace a specifikace
Kontrola proudových spojů – provedení	dle výrobní dokumentace a specifikace
Vizuální kontrola izolačního systému ZT	dle výrobní dokumentace a specifikace
Měření proudu (minimálně poloha I_{min} a I_{max})	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.5
Měření napětí naprázdno pomocných nebo sekundárních vinutí, včetně měřících transformátorů (zároveň s měřením proudu)	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.6
Měření ztrát (zároveň s měřením proudu)	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.9
Hmotnost po první zkoušce	dle Návodky EGE č.1/2010

2.1.1 Kontrola měřících transformátorů

Kontrola štítkových hodnot měřících transformátorů dle obchodní specifikace, kontrola správnosti zapojení. Kontrola podle soupisu částí a specifikace.

2.1.2 Kontrola proudových spojů

Vizuální kontrola správnosti zapojení vývodů pomocných a měřících vinutí na víku. Kontrola dotažení šroubových spojů. Kontrola správnosti zapojení primárního a sekundárního vinutí na průchodky.

2.1.3 Vizuální kontrola izolačního systému ZT

Kontrola vývodů a vedení, izolace, a zda se nedotýká živá část nebo není-li příliš blízko neživé části (víko nádoby, kostra cívky). Kontrola vedení a jeho izolace – zda není izolace porušená a je po celé délce vedení.

2.1.4 Měření proudu v celém regulačním rozsahu (regulační zkouška)

Měření regulační charakteristiky se provádí bez olejové náplně. Z důvodu teplotně izolačního je nutné zohlednit zkušební napětí zhášecí tlumivky a také dobu zatížení na jmenovitých parametrech, je nutné aby doba zatížení byla co nejkratší. Do jmenovitého napětí 13,29 kV ZT, je zkouška provedena na plném napětí. Od vyšších hodnot se zkouška provádí ve vhodném dělicím poměru, tak aby zkušební napětí nepřekročilo cca 13kV.

Příklad dělicích poměrů během měření aktivního dílu (Tab. 1)

Jmenovité napětí ZT [kV]	Dělicí poměr	Zkušební napětí ZT [kV]	Jmenovitý proud ZT 50 A	Měřící vinutí 100 V	Pomocné vinutí 500 V
20,2	1/2	10,1	25 A	50 V +- 10%	250 V +- 10%
38,1	1/3	12,7	16 A	33 V +- 10%	166 V +- 10%
63,5	1/5	12,7	10 A	20 V +- 10%	100 V +- 10%

Měří se od I_{min} do I_{max} při napětí 100% U_r (nebo menší viz Tab. 1) minimálně v pěti bodech, rovnoměrně rozložených v celém rozsahu. Pokud je platný typový protokol měření ZT, naměřené hodnoty jsou s ním kontrolovány. V tomto případě se regulační charakteristika provádí pouze na I_{min} a I_{max} .

Nejprve se ZT tlumivka sjede na nulovou pozici (jádra na sebe). A poté se počítají otáčky na ukazateli převodovky, tak aby bylo možné dopočítat vzduchovou mezeru mezi jádry.

Externí měření proudu a napětí se provádí pomocí MTP a MTN. Jejich rozsahy je nutné vždy přizpůsobit velikostem měřených veličin. Připojení měření napětí výkonového a měřicího vinutí a proudového transformátoru během regulační zkoušky se provádí na víku aktivního dílu zhášecí tlumivky. Před zapnutím měřicího obvodu je nutné zkontrolovat správnost zapojení všech částí obvodu.

Kontrola naměřených hodnot na jmenovitých hodnotách.

Měřené parametry:

- velikost vzduchové mezery [mm]
- proud [A]
- proud měřicího transformátoru ZT [A]
- ztráty [kW]
- velikost napětí měřicího vinutí [V], +/-10 % pokud není požadováno jinak
- velikost napětí výkonového vinutí [V], +/-10 % pokud není požadováno jinak

2.2 Druhá zkouška

Kusová zkouška, provádí se v olejové náplni na kompletní ZT

Měření odporu vinutí	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.2
Měření DC izolačního odporu vinutí proti zemi a mezi vinutími (pro všechny izolační hladiny)	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.1.2.2
Zkouška izolace pomocné elektrické kabeláže	dle ČSN EN 60076-3 ed. 2 kap. 9
Zapojení a správná funkce osazených přístrojů viz 5.1.1	dle ČSN EN 614394-1ed.2 čl. 11.10
Zkouška přiloženým napětím sek. vinutí ($U_m \leq 1,1kV$, AC=3kV)	dle ČSN EN 60076-3 ed. 2 kap. 10
Dielektrické zkoušky – přiloženým střídavým výdržným napětím	dle ČSN EN 60076-3 ed. 2 kap. 10
Dielektrické zkoušky – indukovaným střídavým výdržným napětím	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.8 dle ČSN EN 60076-3 ed. 2 kap. 11
Měření proudu s cejchováním ukazatele	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.8.5 a specifikace zakázky

Měření napětí naprázdno pomocných nebo sekundárních vinutí, včetně měřících transformátorů (zároveň s měřením proudu)	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.8.6, 11.8.5
Měření ztrát (zároveň s měřením proudu)	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.8.9
Měření hodnoty potenciometru v závislosti na vzduchové mezeře – nastavené hodnotě proudu	provádí se současně s měřením dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.5
Měření hluku	dle ČSN EN 60076-10, ČSN IEC 60076-10-1
Provozní zkouška pohonu vzduchového jádra a sdruženého měřícího a řídicího zařízení	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.7 a) (dva cykly) dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.7 b)
Měření elektrické pevnosti oleje	dle interní návodky
Přetlaková zkouška kompletní tlumivky	dle interní návodky
Zkoušky zařízení pro proudovou injektáž	dle interní návodky
Hmotnost po druhé zkoušce	dle interní návodky

2.2.1 Měření odporu vinutí

Měří se odpor hlavního vinutí, zaznamenávají se naměřené hodnoty a teplota vinutí. Pro měření se musí používat stejnosměrný proud. Používá se Ohmova metoda pro měření malých odporů. Naměřenou hodnotu odporu je nutné porovnat s typovým protokolem. Hodnota odporu musí být v požadované toleranci $\pm 10\%$ proti naměřené hodnotě v typovém protokolu. [7]

2.2.2 Měření izolačního odporu vinutí

Před provedením měření proudu v celém regulačním rozsahu ZT a zvláště před zkouškou přiloženým výdržným střídavým napětím je měřen izolační odpor vinutí. Tím je ověřeno, zda není hrubě poškozena izolace vinutí a není-li stroj navlhlý. Změřený izolační odpor je informativní hodnota, značně závislá na teplotě a vlhkosti. Jsou měřena všechna vinutí proti zemi a všechna sekundární vinutí proti hlavnímu vinutí. Na vinutí je přiloženo stejnosměrné napětí 5000 V, je zaznamenávána naměřená hodnota po 15 s a 60 s. Naměřená hodnota izolačního odporu by měla být v řádech GΩ. Měřené zařízení, musí mít poměr zaznamenaných hodnot R_{60}/R_{15} vyšší než 1,3 při teplotě v rozmezí $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. [8]

2.2.3 Zkouška izolace pomocné elektrické kabeláže

Pomocné napájecí a ovládací obvody musí být podrobeny zkoušce přiloženým napětím AC 2 kV proti zemi z odděleného zdroje, tato zkouška trvá 1 minutu. Zkouška je úspěšná, jestliže nedojde k náhlému poklesu napětí nebo nenastane jiný náznak průrazu. Kabeláž odpojená nebo odstraněná z důvodu přepravy zařízení, která byla zkoušena u výrobce zkušebními napětími AC 2 kV, musí být odzkoušena na místě po instalaci buď opakovanou zkouškou AC 2 kV, nebo měřením izolačního odporu DC 1 kV, který musí být minimálně 1 MΩ. Některé přístroje mají nižší zkušební napětí, v případě jejich použití je třeba tuto zkušební hladinu zohlednit, viz tabulka 2. [9]

Tabulka nejčastěji používaných přístrojů a kabelů (Tab. 2)

PŘÍSTROJ	VÝROBCE	U (V)	T (s)
TEPLOMĚR	JUMO	2000	1
TEPLOMĚR	MESSKO	2500	60
PT100	RÖSSEL	250	1
PT100	ZPA	500	3
VYSOUŠEČ	MESSKO MtraB	2500	60
VYSOUŠEČ	COMMEM	2000	60
OLEJOZNAK	MESSKO	2500	60
OLEJOZNAK	QUALITROL	1500	60
BUCHHOLZ	EMB	2500	60
SPÍNAČ	KSR KUEBLER	1600	1
TERMOSTAT	SCHAD	2000	1
DGPT2	AUTOMATION	2000	60
POTENCIOMETR	MEGATRON	1000	60
SPÍNAČ KONCOVÝ	TELEMECANIQUE	1890	1
POHON MD3	LENZE	1500	1
POHON ED	ED	2000	60

2.2.4 Zkouška přiloženým napětím sekundárního vinutí

Tato zkouška je standardně prováděna zdrojem přiloženého střídavého výdržného napětí o velikosti 3 kV, v případě požadavku zákazníka či oddělení konstrukce může být zkušební hladina odlišná. Na sekundární obvody zhášecí tlumivky je přiloženo zkušební napětí po dobu 60 s. Zkouška je úspěšná, jestliže nedojde k náhlému poklesu napětí nebo nenastane jiný náznak průrazu (vizuální, případně zvukový projev). [9]

2.2.5 Zkouška vinutí přiloženým střídavým výdržným napětím

Napěťová hladina při zkoušce přiloženým střídavým výdržným napětím je určena izolační hladinou svorky nulového bodu, tj. na vinutích s nehomogenní izolací se hodnota zkušebního napětí řídí podle izolační hladiny pro nulovou svorku - průchodky vývodu, například izolační hladina LI 125 AC 50 – AC 3/AC 3 kV – znamená, že zkušební napětí je 3 kV, LI 125 AC 50/AC 3 kV – zkušební napětí je 50 kV. Plné zkušební napětí musí být na hlavní vinutí přivedeno po dobu 60 s. Hlavní vinutí je spojené (typicky průchodka D_1 je spojená s průchodkou D_2). Všechny přístupné svorky zbývajících vinutí (pomocné, měřicí vinutí a proudový transformátor), nádoba nebo kryt zařízení jsou spojeny a uzemněny. [9]

Zkouška je úspěšná, jestliže nedojde k náhlému poklesu napětí nebo nenastane jiný náznak průrazu (vizuální, případně zvukový projev).

Schéma zapojení – zkouška přiloženým výdržným napětím, příloha A.

2.2.6 Zkouška vinutí indukovaným střídavým výdržným napětím

Tato zkouška má svůj význam zejména u vinutí s redukovanou izolací, kde izolační hladina izolátoru vývodu D_1 je dimenzována na jinou – vyšší hodnotu než izolátor vývodu D_2 . Vinutí tak nemůže být zkoušeno plným přiloženým střídavým výdržným napětím. Touto zkouškou se nelze přesvědčit o plné izolační pevnosti všech částí vinutí zhášecí tlumivky proti zemi. Při zkoušce je napájeno sekundární – pomocné vinutí sinusovým napětím se zvýšeným kmitočtem až 220 Hz, aby magnetizační proud při předepsaném zkušebním napětí nebyl větší než proud naprázdno při provozním kmitočtu. [9] Na hlavním vinutí je měřeno požadované zkušební napětí – v případě že je na hlavním vinutí homogenní izolace, velikost zkušebního napětí je dána izolační hladinou, například LI 125 AC 50/AC3 kV – zkušební napětí je pak $(2 \times U_r / \sqrt{3})$ tj. dvojnásobek jmenovitého napětí ZT. V případě nehomogenní izolace – například LI 125 AC 50 – AC3/AC3 kV znamená, že velikost zkušební napětí pro zkoušku vinutí indukovaným výdržným napětím je 50 kV.

Doba zkoušky je normou stanovena na čas $t=60$ s při jakémkoli kmitočtu rovném dvojnásobku jmenovitého kmitočtu nebo nižším, pokud není předepsáno jinak. Převyšuje-li zkušební kmitočet dvojnásobek jmenovitého kmitočtu, musí být zkušební doba v sekundách přepočtena podle vztahu:

120 x (jmenovitý kmitočet/zkušební kmitočet)

avšak ne méně než 15 s [9]

V případě zkušebny EGE je zkušební kmitočet 200 Hz, zkušební doba je tedy 30 s.

Souběžné měření částečných výbojů na ZT s $U_m \leq 72,5$ kV se provádí pouze na přání zákazníka nebo na žádost oddělení konstrukce. Na zhášecích tlumivkách s $U_m > 72,5$ kV musí být provedeno měření částečných výbojů jako kusová zkouška. [9]

Schéma zapojení – zkouška přiloženým výdržným napětím, příloha B.

2.2.7 Měření proudu v celém regulačním rozsahu (regulační zkouška)

Měří se od I_{\min} do I_{\max} při napětí 100% U_r minimálně v pěti bodech, rovnoměrně rozložených v celém rozsahu. Pokud je platný typový protokol měření ZT, naměřené hodnoty jsou s ním kontrolovány. Nejprve se ZT sjede na nulovou pozici (jádra na sebe). Poté se nastaví potenciometr na hodnotu 5 % z celé dráhy potenciometru (200 Ω – 10 Ω , 1000 Ω – 50 Ω). V této poloze tlumivky se nastaví na nulovou pozici „cejchovací“ ukazatel proudu, umístěný ve rozvaděčové skříni zhášecí tlumivky, z tohoto ukazatele se v každém měřeném bodě odečte hodnota rozjezdu zkoušené ZT.

Měřené parametry:

- velikost vzduchové mezery [mm]
- proud [A]
- proud měřicího transformátoru ZT [A]
- ztráty [kW]
- velikost napětí měřicího vinutí [V], (tolerance +-10 % pokud není zákazníkem požadováno jinak)
- velikost napětí výkonového vinutí [V], (tolerance +-10 % pokud není zákazníkem požadováno jinak)
- hodnota potenciometru 1L,1R (levá, pravá drahá); 2L,2R (v případě dvou potenciometrů)

Schéma zapojení – měření proudu v celém regulačním rozsahu, příloha C.

2.2.8 Měření hodnoty výstupu z potenciometru v závislosti na vzduchové mezeře

Všechny tlumivky vyrobené v EGE, jsou konstruovány s plynule nastavitelnou indukčností. Při regulační zkoušce se tedy měří proud v tlumivce při jmenovitém napětí a jmenovitém kmitočtu, toto měření musí být provedeno minimálně v pěti polohách pravidelně rozmístěných v celém rozsahu tlumivky. Pomocí měřicího programu se v každé poloze zároveň ukládá i hodnota potenciometru. Nejdříve se změří hodnota celého rozsahu potenciometru, která se uloží do měřicího programu. Během regulační zkoušky se pak zaznamenávají naměřené hodnoty na obou drahách odporu potenciometru a následně se zapisují do výstupního protokolu.

2.2.9 Měření proudu s cejchováním ukazatele

Nejprve je ZT sjeta na nulovou pozici (jádra na sebe). V této poloze tlumivky je nastaven na nulovou pozici „cejchovací“ ukazatel proudu, ze kterého se v každém měřeném bodě, během měření proudu v celém regulačním rozsahu, odečte hodnota rozjezdu zkoušené ZT. Po ukončení veškerých zkoušek je ZT odpojena a jádra zůstanou v poloze první následující po I_{\min} .

Ukazatel proudu je nutné na ZT zkontrolovat v krajních polohách – na koncových spínačích. Odchylka na koncových spínačích nesmí překročit povolenou toleranci ± 5 mm.

2.2.10 Provozní zkouška pohonu pro změnu vzduchové mezery

Ke zhášecí tlumivce, kompletně smontované, je připojeno napájení elektrického pohonu. Jsou projety dva cykly v celém regulačním rozsahu vzduchové mezery od krajní polohy I_{\min} do opačné krajní polohy I_{\max} (jeden cyklus zahrnuje přejetí z jedné krajní polohy do opačné krajní polohy a zase nazpět) /první cyklus – regulační zkouška a nastavení koncových spínačů, druhý cyklus – kontrola ukazatele proudu v krajních polohách. [6]

Zkouška je považována za úspěšnou, pokud ZT během přejezdu nevydává žádné nestandardní zvuky a to ani při reverzaci směru pojezdu.

2.2.11 Měření elektrické pevnosti oleje

Odběr vzorku je proveden podle ČSN EN ISO 60247, ČSN EN 60567 a ČSN 656005. Po odpuštění cca 3 litrů oleje je odebrán reprezentativní vzorek oleje přímo do měřicí nádoby s elektrodami. Odebírané množství 0,25-1,5 l. Nádobka musí být čistá, několikrát vypláchnutá zkoušeným olejem, odběr musí být prováděn co nejrychleji. Při odběru nechat olej stékat po

stěně nádoby, nesmí pěnit a strhávat vzduch, nádoby plnit až po okraj a zamezit znečištění oleje. Teplota zkoušeného oleje je cca 20 +/- 4 °C.

Elektrická pevnost oleje

Olej je přezkoušen na elektrickou pevnost podle ČSN EN 60247 a ČSN EN 60156. Vzdálenost mezi elektrodami je 2,5 mm. Vzorek je nutné nechat 20 minut odstát, poté je provedeno 6 zkoušek v intervalu 6 minut. Z naměřených šesti hodnot průrazného napětí je vypočítán aritmetický průměr. Teplota vzorku by měla být cca 20 °C.

Obsah vody v oleji

Stanovení obsahu vody v oleji je provedeno modifikovanou metodou titrace podle K. Fischera na coulometrickém přístroji WTK podle ČSN EN 60814. Pro měření je odebírán vzorek oleje zároveň s odběrem pro měření elektrické pevnosti v množství 2 ml. Po zadání hmotnosti vzorku je přístrojem vyhodnocen přímo obsah vody v g/t oleje.

2.2.12 Přetlaková zkouška

Na kompletně smontovanou zhášecí tlumivku naplněnou transformátorovým olejem, je připojen tlakoměr na místo vysoušeče oleje. ZT je tlakována vzduchem na hodnotu 50 kPa v případě hladké nádoby, respektive 20 kPa v případě vlnité nádoby. ZT je pod tímto tlakem 24 hodin. Poté je provedeno vyhodnocení tlakové zkoušky. Po dobu trvání zkoušky nesmí tlak vzduchu poklesnout o více než 10 %. V opačném případě je po neúspěšné tlakové zkoušce provedeno detekování místa úniku vzduchu, respektive oleje pomocí křídly ve spreji. Zjištěná netěsnost je opravena. Po opravě je provedena opakovaná tlaková zkouška ve stejném rozsahu.

2.2.13 Měření povrchové ochrany

Tloušťka nátěru se měří podle ČSN ISO 2178 a ČSN ISO 2360. Měření je provedeno pomocí digitálního mikrometru, který pracuje na principu magnetické indukce pro magnetické kovové podklady nebo na principu vířivých proudů pro nemagnetické kovové podklady.

3 Typové zkoušky zhášecích tlumivek

Typová zkouška je provedena na ZT, která je typově nová, případně je předchozí typová zkouška starší 10 let. Typově novou ZT je rozuměno např. ZT s odlišnými elektrické parametry, izolační hladinou, chladicí plochou. [6]

Měření akustických parametrů	dle ČSN EN 60076-10, ČSN IEC 60076-10-1
Měření linearity do 1,1násobku jmenovitého napětí	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.10
Dielektrická zkouška atmosférickým impulzem	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.8
Oteplovací zkouška	dle ČSN EN 60076-6 kap. 11.8.7

3.1 Měření akustických parametrů

Toto měření je provedeno podle normy ČSN EN 60076-10. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 60076-10:2001 a stanovuje metodu pro měření hladiny akustického tlaku na měřicí ploše obklopující zdroj hluku, v podmínkách převažujícího volného pole v blízkosti jedné nebo více odrazivých rovin. Cílem je výpočet hladiny akustického výkonu vyzařovaného zdrojem. Metoda popsána v této normě je vhodná pro měření všech typů hluku. Lze ji aplikovat na zdroje hluku jakéhokoli typu a velikosti, omezení pouze zkušebním prostorem. Přesnost této normy je vyjádřena odchylkou reprodukovatelnosti hladiny akustického výkonu A rovnou nebo menší než 3 dB. [10] Metoda měření, použité přístroje a výpočet jsou popsány v následující kapitole **4 Měření a vyhodnocení akustických parametrů při typové zkoušce zhášecí tlumivky**.

3.2 Měření linearity do 1,1násobku jmenovitého napětí

Měření VA charakteristiky je provedeno ve stejném zapojení jako měření proudu v celém regulačním rozsahu. Zaznamenává se napětí a proud. Toto měření musí být provedeno postupným zvyšování napětí po stupních, přibližně 10 % jmenovitého napětí při jmenovitém kmitočtu do 1,1 násobku jmenovitého napětí. Lineární závislost je stanovena z diagramu závislosti efektivních hodnot napětí na efektivních hodnotách proudu. Měřený proud

v kterémkoli bodě na této křivce se nesmí odchylovat o více než +5 % od přímky proložené z nuly přes bod naměřený při jmenovitém napětí. [6]

Měření se provádí od 5 % U_r do 110 % U_r , dle měřicí úlohy.

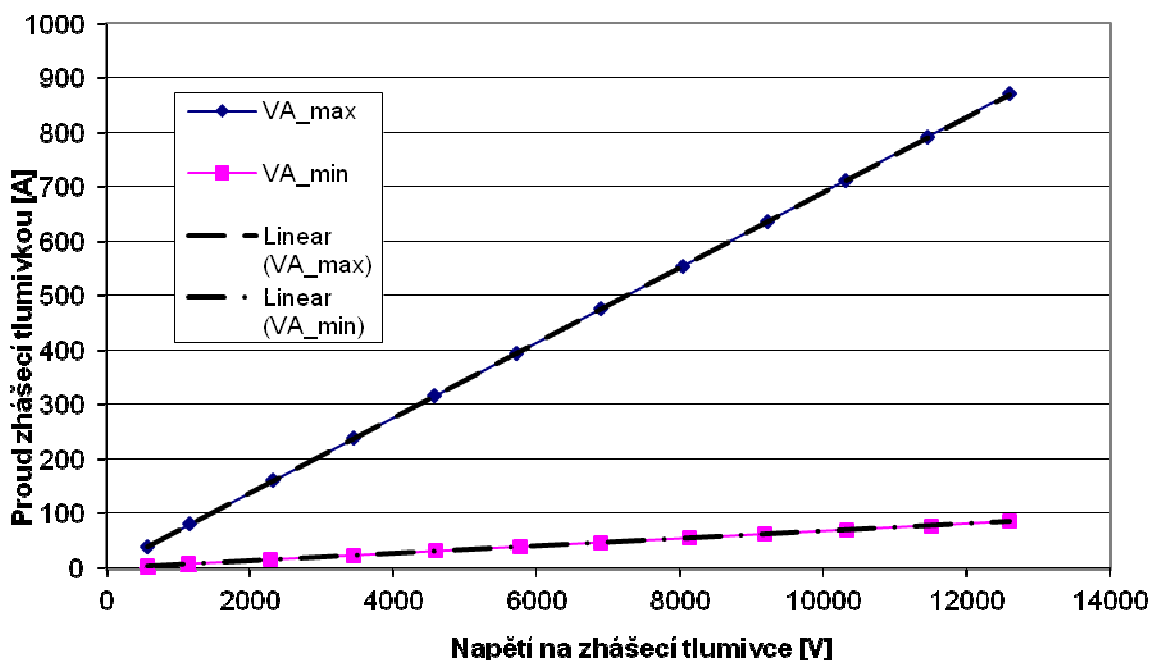
- při vzduchové mezeře odpovídající I_{min}
- při vzduchové mezeře odpovídající I_{max} provoz DB
- při vzduchové mezeře odpovídající I_{max} provoz KB

Měření a vyhodnocení linearit do 1,1 násobku jmenovitého napětí na kombinované zhášecí tlumivce:

Typové označení: ASRC 8.0 P, $U_n=11,55$ kV, $I_{min}=80$ A, $I_{max}=800$ A, Výkon P=9240 kVA, naměřené hodnoty v tabulce 3 jsou vyneseny v grafu na obrázku 3.

Tabulka naměřených hodnot, měření linearit do 1,1 násobku U_n (Tab. 3)

Vzduchová mezeře		736 mm		46 mm	
Napětí na hlavním vinutí [%]	Napětí na hlavním vinutí [kV]	Proud ZT [A]	Vypočítaný výkon [kW]	Proud ZT [A]	Vypočítaný výkon [kW]
5,00182	577,71	39,9618	0,207	4,02372	0,0546
10,0523	1161,05	80,1928	0,843	7,92616	0,213
20,1439	2326,62	160,448	3,108	15,658	0,7692
29,8891	3452,19	237,926	6,654	23,4148	1,6362
39,6535	4579,98	315,61	11,25	31,2252	2,7222
49,5169	5719,2	394,074	17,01	39,0588	4,1346
59,7482	6900,92	475,606	24,54	46,732	5,52
69,5581	8033,95	553,586	32,7	54,7088	7,338
79,7773	9214,27	635,226	42,6	61,85	9,324
89,326	10317,2	711,706	53,22	69,6312	11,646
99,1519	11452	790,666	65,13	77,5956	14,196
109,092	12600,2	870,256	78,9	85,0964	17,358



Obr. 3 Graf měření linearity do 1,1 násobku U_n

3.3 Dielektrická zkouška atmosférickým impulzem

Touto zkouškou je ověřováno, zda vyhovuje elektrická pevnost mezi jednotlivými vinutími navzájem, vinutími a uzemněnými částmi ZT, závity, vrstvami a cívkami všech vinutí. Zkušební impuls musí být plný normalizovaný impuls atmosférického přepětí: 1,2+30%/50 μ s \pm 20 %.

Tolerance hodnoty zkušební napětí je \pm 3 %.

Podle kapacity zkoušeného objektu nemusí tvar vlny odpovídat normalizovanému impulsu, proto je nutné optimalizovat nastavení čelního odporu rázového generátoru tak aby tvar vlny vyhověl požadavkům normy ČSN EN 60076-4.

Zkouška musí obsahovat:

- Jeden referenční impuls o napětí mezi 50 % a 70 % plného zkušební napětí
- Tři následné impulsy při plném napětí

Jestliže se během těchto rázů objeví externí přeskok v obvodu nebo na ochranném jiskřišti průchodky, nebo jestliže je zaznamenáno selhání některého z měřících kanálů, pak se příslušný impuls neuvažuje a musí se aplikovat další impuls.

Zkouška je úspěšná, jestliže nejsou žádné podstatné rozdíly mezi průběhy napětí a proudů přechodových jevů sejmutých při referenčních impulzech a plném zkušebním napětí. Zároveň nesmí nastat náhlý napěťový pokles k nule. [6] Zkouška atmosférickým impulsem, ukázka průběhů, viz obrázek 4.

Zhášecí tlumivka:

Typové označení: ASRC 8.0 P, $U_n=11,55$ kV, $I_{min}=80$ A, $I_{max}=800$ A, Výkon P=9240 kVA

Test Report

Impulse Analysing System by Haefely Test AG **HAEFELY** HIGH VOLTAGE TEST

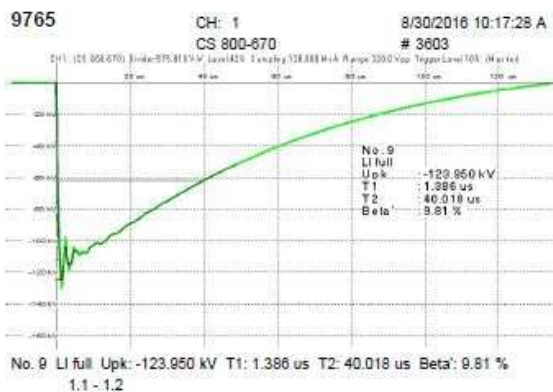
LI16-0118

Test Information

Head of laboratory Jaroslav Tomandl
 Engineer Vaclav Vlasek

ASR 8.0P ; s.n.:9765 ; E1600049
 11.55 kV ; 80 - 800 A ; 9240 kVA
 LI 125 AC50/AC3
 c:1-230559

Standard 600060
 Air pressure 982
 Humidity 45.9
 Temperature 23.8



Obr. 4 Ukázka průběhů zaznamenaných během zkoušky atmosférickým impulsem

3.4 Oteplovací zkouška

Schéma zapojení při oteplovací zkoušce je shodné jako při měření proudu v celém regulačním rozsahu. ZT je zatížena podle typu provozu, na který je konstruována - I_{\max} KB provoz nebo I_{\max} DB provoz – při jmenovitém napětí, případně kombinace zatížení DB/KB.

Před zkouškou je změřen odpor hlavního vinutí. Je nutné, aby byly přívodní kabely na hlavní vinutí během měření odporu odpojeny. Během oteplovací zkoušky jsou zaznamenávány hodnoty napětí, proudu, ztrát, teploty okolí ve 3 místech v okolí měřené ZT a teplota oleje ZT – PT 100 umístěné do jímky ZT.

Po ukončení zkoušky a vypnutí napětí na hlavním vinutí je opět měřen odpor hlavního vinutí a to přesně po 1 minutě respektive 1,5 minutě. Toto měření se opakuje osmkrát po každé další 1 minutě respektive 1,5 minutě.

Poznámka: interval po 1 minutě nebo 1,5 minutě je dán pouze časovou náročností odpojení kabelů přivedených na hlavní vinutí a zároveň připojení kabelů pro měření odporu, okamžitě po vypnutí napájení hlavního vinutí.

- Oteplovací zkouška KB – záznam hodnot je prováděn pomocí měřicí úlohy a provádí se po každých 15 minutách. Zkouška trvá celé dvě hodiny, poté je ukončena. Jestliže trvání jmenovitého proudu není nepřetržité, tedy není-li provoz ZT DB, a maximální trvalé napětí je vyšší než 30 % jmenovitého napětí, pak oteplovací zkouška musí začít při aplikaci nejvyššího trvalého napětí (10% jmenovitého napětí), až do doby dosažení ustálené teploty. Poté následuje aplikace jmenovitého proudu při jmenovitém napětí po dobu KB – 2 hodiny. [6]
- Oteplovací zkouška DB - záznam hodnot je prováděn pomocí měřicí úlohy a provádí se po každých 30 minutách. Zkouška trvá do ustálení teploty oleje měřené ZT. Ustálená teplota oleje je, když je součet přírůstků teploty oleje, každou hodinu maximálně o 1°C po třech po sobě jdoucích hodinách. Pokud je tato podmínka splněna, oteplovací zkouška může být ukončena. [6]
- Oteplovací zkouška speciální – jedná se o oteplovací zkoušku, při které je zhášecí tlumivka zatížena napětím a protékajícím proudem simulující trvalý provoz a poté následuje zatížení na jmenovitých hodnotách. Např. 30 % + 15 min, 30 % + 30 min.

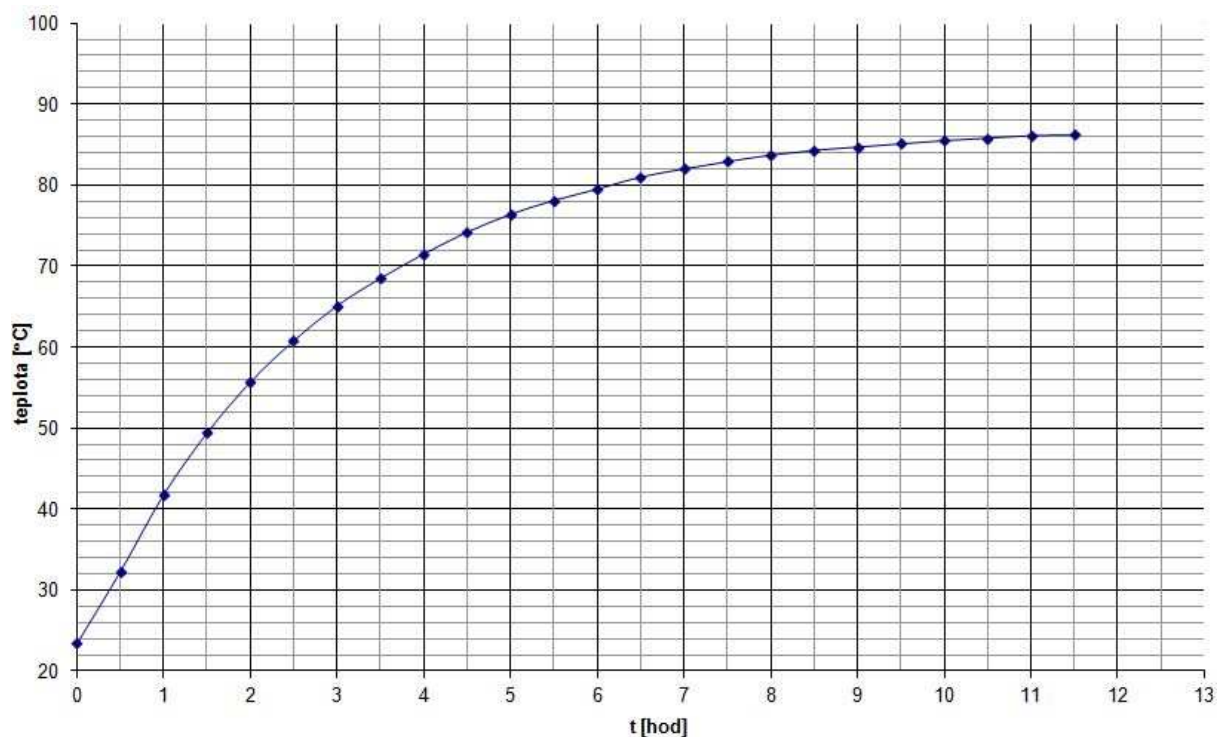
Výsledek oteplovací zkoušky je nutné porovnat s povolenou hodnotou, kterou určuje norma, případně dohoda se zákazníkem. V tabulce 4 jsou uvedeny povolené hodnoty oteplení dané normou.

Tabulka dovolených oteplení pro DB/KB provoz (Tab. 4)

Dovolené oteplení vinutí DB/KB	80/100	K
Dovolené oteplení oleje DB/KB	75/90	K

Tabulka naměřených hodnot, DB oteplovací zkouška, ZT ASR 5.0, $U_n=12.12$ kV, $I_{max}=413$ A, Jmenovitý výkon pro DB provoz $P=5000$ kVA (Tab. 5)

Čas [hod]	P (ztráty) [kW]	Teplota [°C]					
		okolí 1	okolí 2	okolí 3	oleje	ΔT	$\Delta T / \text{hod}$
0.0	37.4	20.7	20.7	20.7	23.4		
0.5	37.2	20.7	20.7	20.7	32.3	8.9	18.4
1.0	37.7	20.8	20.8	20.8	41.8	9.5	
1.5	37.0	20.9	20.9	20.8	49.4	7.6	13.9
2.0	37.7	20.9	21.0	21.0	55.7	6.3	
2.5	37.5	20.9	20.9	21.0	60.8	5.1	9.4
3.0	36.6	21.0	21.1	21.0	65.1	4.3	
3.5	36.9	21.1	21.1	21.1	68.5	3.4	6.4
4.0	38.5	21.2	21.2	21.2	71.5	3.0	
4.5	37.4	21.2	21.3	21.2	74.2	2.7	4.9
5.0	37.0	21.3	21.3	21.3	76.4	2.2	
5.5	39.2	21.4	21.4	21.4	78.1	1.7	3.1
6.0	38.7	21.4	21.4	21.4	79.5	1.4	
6.5	38.9	21.5	21.5	21.5	81.0	1.5	2.5
7.0	38.7	21.5	21.5	21.5	82.0	1.0	
7.5	39.1	21.6	21.5	21.6	82.9	0.9	1.7
8.0	39.0	21.6	21.7	21.6	83.7	0.8	
8.5	38.1	21.6	21.7	21.6	84.3	0.6	1.0
9.0	39.1	21.6	21.7	21.7	84.7	0.4	
9.5	39.2	21.6	21.6	21.6	85.1	0.4	0.8
10.0	38.7	21.7	21.7	21.7	85.5	0.4	
10.5	38.1	21.8	21.8	21.7	85.8	0.3	0.6
11.0	38.8	21.7	21.7	21.7	86.1	0.3	



Obr. 5 Graf závislosti vzrůstající teploty na čase v průběhu oteplovací zkoušky DB

Ohmický odpor hlavního vinutí $D_1 - D_2$:

R1 před oteplovací zkouškou 0,1026 Ω

R2 přepočtený na okamžik vypnutí 0,1329 Ω

Výsledky oteplovací zkoušky :

Průměrná teplota okolí v poslední čtvrtině zkoušky Θ_a 21,7 °C

Maximální teplota během oteplovací zkoušky Θ_2 86,1°C

Střední oteplení hlavního vinutí: $D_1 - D_2$ **78,0 K**

$$\Delta\Theta_v = R2 / R1 (235 + \Theta_1) - 235 - \Theta_a = 0,1329 / 0,1026 * (235 + 23,4) - 235 - 21,7 = 78,0$$

Oteplení oleje v horní vrstvě: **64,4 K**

$$\Delta\Theta_U = \Theta_2 - \Theta_a = 86,1 - 21,7 = 64,4$$

Vyhodnocení oteplovací zkoušky:

Zaznamenané hodnoty během oteplovací zkoušky jsou uvedeny v tabulce 5 a znázorněny v grafu na obrázku 5. Povolená hodnota oteplení vinutí pro dlouhodobý provoz je 80 K, měřením a výpočtem je výsledná hodnota 78,0 K. Povolená hodnota oteplení oleje v horní vrstvě je 75 K. Měřením a výpočtem je výsledná hodnota 64,4 K. Obě hodnoty tedy splňují požadavek daný normou a zařízení je tak možné provozovat na dlouhodobý provoz.

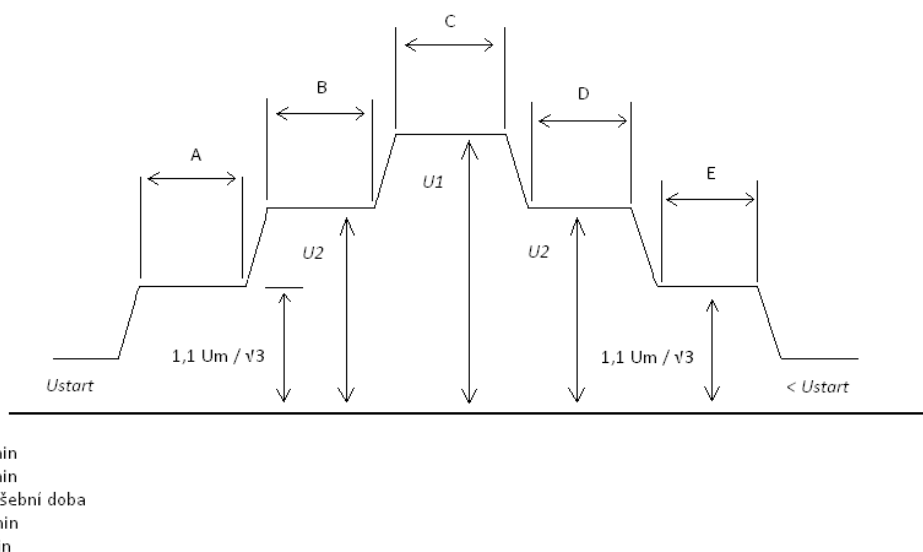
3.5 Zvláštní zkoušky

Jedná se o zvláštní zkoušky, které jsou prováděny na žádost zákazníka, případně konstrukčního oddělení.

Měření částečných výbojů na ZT s $U_m \leq 72,5\text{kV}$	dle ČSN EN 60076-3 příloha A
Měření ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ (DELTA)	dle ZM-14 kap. 2.1.2.2, ZM-11 kap. 3
Měření impedance nakrátko	dle ČSN EN 60076-1 kap. 11.4
Prokázání schopnosti odolat zkratu	dle ČSN EN 60076-5 ed. 2

3.5.1 Měření částečných výbojů

Měření částečných výbojů na ZT s $U_m \leq 72,5\text{ kV}$ je prováděno pouze na přání zákazníka nebo na žádost oddělení konstrukce. Na zhášecích tlumivkách s $U_m > 72,5\text{ kV}$ musí být provedeno měření částečných výbojů jako kusová zkouška, pokud není dohodnuto jinak. Velikost částečných výbojů musí být sledována podle časové závislosti průběhu napětí vyznačeného na obrázku 6. [6]



Obr. 6 Úrovně velikosti napětí podle časové závislosti

Měření částečných výbojů je prováděno během zkoušky indukovaným střídavým výdržným napětím. Před měřením ČV musí být provedena kalibrace napětí. Kalibrace částečných výbojů je provedena referenční hodnotou 100 pC. Hladina rušení pozadí nesmí dle normy ČSN EN 60076-3 přesáhnout hodnotu 100 pC. Doporučená hodnota pozadí pro měření

v podmínkách zkušebny EGE je ≤ 30 pC. Časy na jednotlivých napěťových hladinách jsou určeny normou ČSN EN 60076-3, pokud není stanoveno jinak. Z důvodu dimenzování pomocného vinutí na krátkodobé zatížení, není možné provést měření částečných výbojů podle aktuálně platné normy ČSN EN 60076-3 ed.2

Zkouška je úspěšná, pokud jsou splněna následující kritéria (případně kritéria požadovaná zákazníkem):

- Nedojde k prudkému poklesu zkušebního napětí
- Trvalá hladina zdánlivého náboje na napěťové úrovni U_2 nepřesáhne 300 pC na všech měřených svorkách
- Hladina částečných výbojů nevykazuje rostoucí tendenci
- Trvalá hladina zdánlivých nábojů při $1,1U_m / \sqrt{3}$ nepřesáhne 100 pC [6]

3.5.2 Měření ztrátového činitele tg δ (DELTA)

Velikost ztrátového činitele (tgδ) je přímo úměrná ztrátám energie, které jsou rozptýleny v dielektriku při jeho namáhání proměnným elektrickým polem. Velikost ztrátového činitele je ovlivněna polarizací měřeného dielektrika, teplotou či cirkulací izolačního média. Měření ztrátového činitele a kapacity je provedeno střídavým napětím 10 kV. Pokud tomuto napětí nevyhovuje izolační hladina měřeného vinutí, je použito zkušební napětí nižší, a to z řady 0,5 – 1 – 2 – 5 kV. [11]

Tabulka mezních hodnot ztrátového činitele tgδ, které nesmí zařízení do 35 kV překročit (Tab. 6) [11]

ϑ (°C)	10	20	30	40	50	60	70
tgδ (%) do 2,5 MVA	1,5	2	2,6	3,4	4,6	6	8
tgδ (%) nad 2,5 MVA	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4,5	6

3.5.3 Měření impedance nakrátko

Impedance nakrátko a ztráty nakrátko dvojice vinutí jsou měřeny při stanoveném kmitočtu po přiložení napětí na svorky jednoho vinutí se zkratováním svorek druhého vinutí a s případně dalšími vinutími otevřenými. Napájecí proud by měl být roven příslušnému jmenovitému proudu.

Měření musí být provedeno rychle, aby zvyšování teploty nezpůsobilo znatelné chyby měření. Rozdíl teploty kapaliny v horní a dolní vrstvě musí být dost malý, aby umožnil přesně určit

střední teplotu. Rozdíl teploty kapaliny nesmí překročit 5 K. Podmínky měření a výpočtu stanovuje norma ČSN EN 60076-1 kap. 11.4. [6]

3.5.4 Prokázání schopnosti odolat zkratu

Pokud není dohodnuto jinak, musí být zkoušky provedeny na nové ZT, připravené pro provoz. Ochranná zařízení musí být během zkoušky namontována na ZT. Před zkratovými zkouškami musí být ZT podrobena výrobním kusovým zkouškám. Zkouška atmosférickým impulsem není v této fázi vyžadována. Zpráva obsahující výsledek výrobních kusových zkoušek musí být k dispozici na začátku zkratových zkoušek. Před zkratovými zkouškami se provede kontrola plynového relé. Tato měření a kusové zkoušky slouží jako základ pro detekci závady. Po skončení zkoušek se provede vnější kontrola zhášecí tlumivky a plynového relé. Výsledky měření nakrátko, oscilogramy sejmuté během různých stádií zkoušek musí být kontrolovány z hlediska indikace možných anomálií v průběhu zkoušek, zvláště pak jakékoli indikace změn reaktance nakrátko. [6]

Pokud není dohodnuto jinak, musí být aktivní část vytažena z nádoby za účelem prohlídky jádra a vinutí a pro porovnání s jejich stavem před zkouškou za účelem odhalení možných patrných defektů jako například změn v poloze přívodů, posunutí vinutí apod., které by navzdory úspěšné výrobní kusové zkoušce mohly ohrozit bezpečný provoz zařízení.

Všechny výrobní kusové zkoušky včetně dielektrických zkoušek při 100 % předepsaných zkušebních hodnot, musí být zopakovány. Jestliže je předepsána zkouška atmosférickým impulsem, musí být v tomto stadiu zopakována. U zařízení do 100 000 kVA může být opakování kusových zkoušek s výjimkou dielektrických zkoušek vynecháno.

Aby bylo zařízení považováno za vyhovující při zkratové zkoušce, musí být splněny následující podmínky:

- Výsledky zkratových zkoušek a měření a kontroly provedené v průběhu zkoušek neodhalí žádnou chybnou vlastnost.
- Dielektrické zkoušky a jiné výrobní kusové zkoušky, které byly provedeny, byly úspěšně zopakovány a zkouška atmosférickým impulsem, jestliže byla předepsána, byla úspěšně provedena.
- Prohlídkou mimo nádobu se neobjeví žádné defekty jako posunutí nebo deformace vinutí, spojů nebo nosných konstrukcí tak významné, aby mohly ohrozit bezpečný provoz ZT.
- Nenalezly se žádné stopy vnitřních elektrických výbojů [6]

4 Měření a vyhodnocení akustických parametrů při typové zkoušce zhášecí tlumivky

4.1 Úvod do akustiky, základní pojmy

Akustika je rozsáhlý vědní obor, zabývající se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením, vnímáním zvuku sluchem a přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly. Má celou řadu odvětví, jako je hudební akustika, stavební akustika, prostorová akustika, fyziologická akustika. [12]

4.1.1 Zvuk

Zvukem je každé mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem.

Zvuk je tvořen kmitáním částic pružného prostředí v rozsahu slyšitelných kmitočtů 20 Hz – 20 kHz. Podle toho, zda částice prostředí kmitají ve směru šíření vlnění nebo kolmo k němu, dělí se vlnění na podélné a příčné. Pokud se všechny kmity dějí v jedné rovině, je takové vlnění nazýváno lineárně polarizované.

Akustické vlnění postupuje prostředím od zdroje zvuku ve vlnoplochách. [12]

4.1.2 Hluk

Hluk je specifická forma zvuku, kterou je možné popsat jako směs náhodných kmitání. Z pohledu subjektivního vjemu se jedná o nepříjemný, nežádoucí, rušivý zvuk. Vnímání hluku je ovlivňováno mnoha aspekty, jako je délka vyzařování hluku, věk, aktuální rozpoložení nebo postoj posluchače. [10]

4.1.3 Akustický tlak p [Pa]

Zdravé lidské ucho vnímá akustické tlaky od hodnot $1 \cdot 10^{-5}$ Pa. Tato hodnota je zanedbatelná ve srovnání s barometrickým tlakem, který je přibližně 100 000 Pa. [10]

4.1.4 Akustický výkon W [W]

Akustický výkon zdroje. Akustická energie vyzářená zdrojem a přenesená prostředím za jednotku času. [10]

4.1.5 Hladina akustického výkonu L_w [dB]

Hladina akustického výkonu zdroje je nezávislá na podmínkách, ve kterých se určuje a je nutnou veličinou pro posuzování vlivu zdrojů hluku na okolí.

$$L_w = 10 \log \left[\frac{W}{W_0} \right] [dB] \quad (1)$$

W – sledovaný akustický výkon,

W_0 – referenční výkon, $W_0 = 10^{-12}$ W

Každému zvýšení akustického výkonu a jeden řád odpovídá zvýšení hladiny akustického výkonu o 10 dB. [10]

4.1.6 Hladina akustického tlaku L_p [dB]

Pro akustický tlak je zavedena příslušná hladina, kterou je nutné vztahovat vždy k určitému kmitočtu, nebo pásmu kmitočtů. Jinak nemá pouhý údaj hladiny akustického tlaku význam, protože nevypovídá nic o poloze signálu na kmitočtové ose. [10] Hladina akustického tlaku L_p je definována vztahem:

$$L_p = 20 \log \left[\frac{P}{P_0} \right] [dB] \quad (2)$$

4.1.7 Hladina akustického tlaku A L_{pa} [dB]

Hladina akustického tlaku A je hladina akustického tlaku, která je měřena při použití váhového filtru A, který opravuje naměřené hodnoty podle charakteristiky lidského ucha. [10]

4.2 Měření hluku ve zkušebně EGE

Zkušebna EGE je součástí výrobní haly sekce Elektrotechnika, hala je běžně využívána k pracovní činnosti, která může značně ovlivnit a zkreslit měření hluku. Je tedy nutné zajistit během měření hluku zhášecích tlumivek minimální hluk pozadí.

Ve zkušebně se často nachází i jiné zařízení, než právě měřené, tyto musí být umístěny co nejdále od měřeného zařízení. Rozměr části haly se zkušebnou je 15,0 m x 12,0 m, světlá výška je 11,0 m. Prostor zkušebny je oddělen lehkou demontovatelnou zástěnou od zbytku prostoru výrobní haly.

4.2.1 Přístroje a kalibrace

Měření akustického tlaku je prováděno zvukoměrem typu 1 vyhovující IEC 60651 a kalibrovaný podle 5.2 ISO 3746 (Měřicí přístroj: NTi Audio XL2, mikrofon: NTi MA220). Měřicí zařízení musí být kalibrováno před a po skončení měření. V případě, že se kalibrace liší o více než 0,3 dB, musí být měření opakováno a předchozí zkouška je považována za neplatnou. [10]

4.2.2 Zkušební metoda

Pro stanovení hladiny akustického výkonu ve zkušebně EGE je používána metoda měření akustického tlaku. Metoda měření akustického tlaku je souladu s ISO 3746. Měření prováděná ve shodě s touto normou směřují k výsledku reprodukovatelnosti mezi měřeními prováděnými v různých laboratořích s odchylkou menší nebo rovnou 3 dB. [10]

Metodika měření:

- Zkoušená zhášecí tlumivka je umístěna na odrazivou rovinu tak, jak odpovídá jejímu běžnému použití
- Jsou zajištěny takové podmínky zdroje, které jsou typické pro běžné používání
- Je volena měřicí linie vzdálena 0,3 m od základního povrchu vyzařování
- U zhášecích tlumivek s výškou nádoby < 2,5 m je volena měřicí linie v polovině výšky nádoby, u ZT s výškou nádoby $\geq 2,5$ m jsou voleny dvě měřicí linie. Tyto linie jsou ve vodorovné rovině a jsou voleny v jedné třetině výšky a ve dvou třetinách výšky nádoby
- Mikrofony musí být rozmístěny ve vodorovné měřicí linii, respektive ve vodorovných měřicích liniích, rovnoměrně po obvodu měřené zhášecí tlumivky, vzdálenost mezi jednotlivými měřicími body nesmí být větší než 1 m. Musí být minimálně 6 měřicích bodů

4.2.3 Výpočet obsahu měřicí plochy

Obsah měřicí plochy S pro měření prováděná ve vzdálenosti 0,3 m, vyjádřený ve čtverečních metrech, se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$S = 1,25hl_m \text{ [m}^2\text{]} \quad (3)$$

h je výška nádoby zhášecí tlumivky v metrech

l_m je délka měřicí linie v metrech, $l_m = \text{obvod tlumivky} + 2\pi x$

1,25 je empirický činitel beroucí v úvahu akustickou energii vyzařovanou vrchní částí zkoušeného objektu [10]

4.2.4 Podmínky zatížení

Podle IEC 60076-6, musí být měření provedeno obecně v souladu s IEC 60076-10 při jmenovitém napětí se zhášecí tlumivkou nastavenou na jmenovitý proud. V případě zhášecích tlumivek vyráběných v EGE, které jsou všechny s plynule nastavitelnou indukčností, musí být další měření při jiných proudech stanoveno mezi výrobcem a zákazníkem. [10]

4.3 Metoda akustického tlaku

Zkušební prostor musí být volným prostorem nad odrazivou rovinou, na které je zkoušená ZT umístěna. Zkušební prostor musí ideálně poskytnout měřicí povrch, který leží uvnitř akustického pole ničím nerušeného odrazy od objektů nacházejících se v blízkosti a okolních stěn kolem zkušebního prostoru. [10]

4.3.1 Podmínky pro měření ve vnitřním prostoru

Měření ovlivňují odrazivé roviny. Odrazivou rovinou je obvykle podlaha místnosti, která musí být větší než průmět měřeného povrchu na tuto podlahu. Pro účel snížení vlivu na naměřené respektive vypočtené hodnoty hluku je do výpočtu zahrnuta korekce na prostředí K. [10]

4.3.2 Výpočet korekce na prostředí K

Nežádoucí akustické odrazy od stěn prostoru a předmětů ve zkušebním prostoru, zahrnuje korekce na prostředí K. Korekce na prostředí se liší v závislosti na rozměrech zhášecí tlumivky. Tato metoda se používá v místnostech, ve kterých je délka i šířka menší než trojnásobek výšky stropu.

Korekce na prostředí se vypočítá podle rovnice:

$$K = 10 \log \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right] \text{ [dB]} \quad (4)$$

S je plocha měřeného povrchu v m², která se stanoví z rovnice (3)

A je ekvivalentní plocha pohlcování místnosti v m² a určí se ze vztahu $A = \alpha * S_v$

α je střední hodnota činitele zvukové pohltivosti pro veličiny vážené funkcí A. Přibližná hodnota činitele pohltivosti pro pravoúhloú dílnu nebo průmyslovou provozovnu, tedy

zkušebnu EGE, odpovídá $\alpha=0,15$. S_v je celková plocha ohraničující zkušební prostor (stěny, strop, podlaha) v metrech čtverečních. [10]

4.3.3 Měření hladiny akustického tlaku

Měření hladiny akustického tlaku je prováděno, když je hladina hluku pozadí téměř konstantní. Hladina akustického tlaku A hluku pozadí, musí být měřena v krátkém časovém úseku před měření na zhášecí tlumivce a neprodleně po měření. Výška mikrofonu při měření hladiny hluku pozadí je stejná jako při měření akustických hladin na zhášecí tlumivce. [10] V podmínkách zkušebního prostoru EGE je rozdíl mezi hladinou hluku pozadí a hladinou hluku měřené zhášecí tlumivky větší než 10 dB. Měření hluku pozadí je tedy prováděno pouze v jednom bodě pro ověření a není nutná korekce na měřené akustické hladiny zařízení.

4.3.4 Výpočet průměrné hladiny akustického tlaku

Průměrná hladina akustického tlaku A před korekcí na prostředí:

$$LpA_0 = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1LpAi} \right] \text{ [dB]} \quad (5)$$

Korigovaná průměrná hladina akustického tlaku A:

$$LpA = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1LpAi} \right] - K \text{ [dB]} \quad (6)$$

4.3.5 Výpočet hladiny akustického výkonu

Hladina akustického výkonu A zkoušené zhášecí tlumivky je vypočítávána z korigované hladiny akustického tlaku L_{pA} :

$$LwA = LpA + \log \frac{S}{S_0} \text{ [dB]} \quad (7)$$

4.4 Vyhodnocení měření hluku na zhášecích tlumivkách

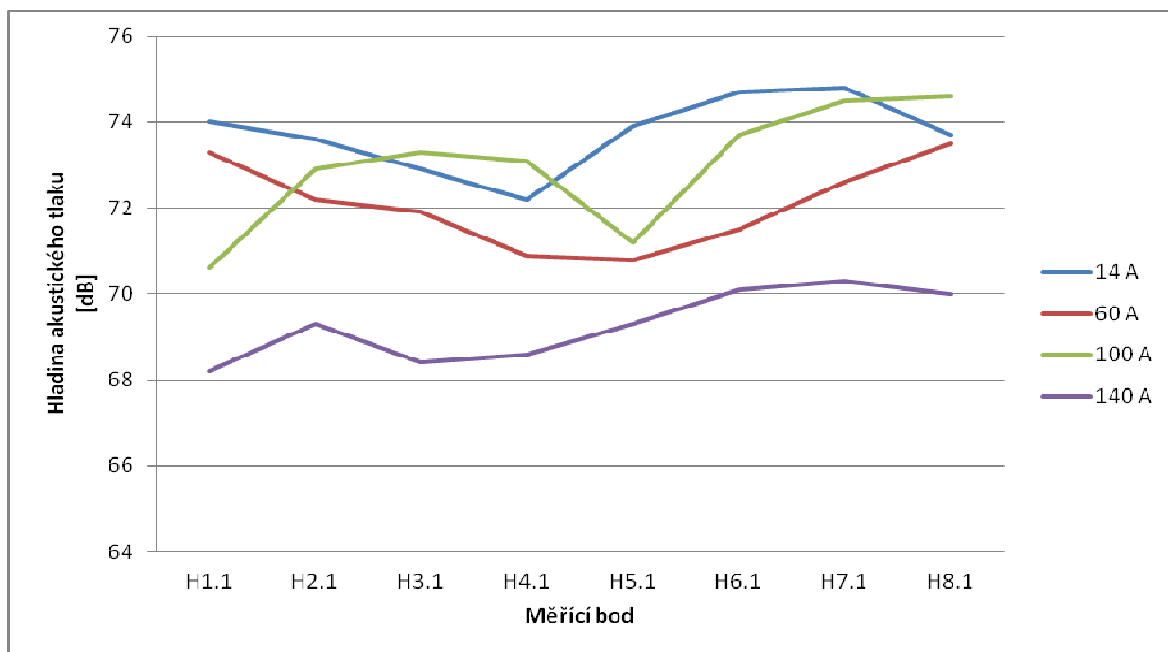
Pro vyhodnocení měření hluku na zhášecích tlumivkách byly vybrány vzorky se shodnou cívkou, na stejné napětí, výkon a jmenovitý proud. Ale ve třech variantách provedení: hladká nádoba na KB provoz, vlnitá nádoba na DB provoz a nádoba s radiátory na DB provoz.

4.4.1 Naměřené hladiny hluku ASR 1.6 (hladká nádoba KB provoz)

Vyhodnocení akustických parametrů, bylo provedeno na zhášecí tlumivce konstruované pro krátkodobý provoz – 2 hodiny. Aktivní díl je umístěn do hladké nádoby s transformátorovým olejem. Označení zhášecí tlumivky ASR 1.6, výkon 1617 kVA, na jmenovité napětí 11,55 kV. Měření bylo provedeno ve čtyřech polohách vzduchové mezery, v rámci jmenovitého regulačního rozsahu proudu zhášecí tlumivky. Zaznamenané hodnoty během měření jsou uvedeny v tabulce 7 a vyneseny do grafu na obrázku 7.

Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot hluku (Tab. 7)

FORMULÁŘ PRO MĚŘENÍ HLUKU													
ZAKÁZKA: xxxxxx										V. ČÍSLO: 9981			
TYP/VÝKON/NAPĚTÍ/PROVOZ: ASR 1.6/1617 kVA/11.55 kV/ KB (hladká nádoba)										POVOLENÝ HLUK LWA [dB]: Nebyl stanoven			
II. ZKOUŠKA										DATUM: 4.1.2017			
[A]	Hladina	Lpai [dB]								Ø	Lpa [dB]	Lwa [dB]	Pozn
		1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1				
14	H	74	73,6	72,9	72,2	73,9	74,7	74,8	73,7	73,8	72,98	84,30	
60	H	73,3	72,2	71,9	70,9	70,8	71,5	72,6	73,5	72,2	71,37	82,69	
100	H	70,6	72,9	73,3	73,1	71,2	73,7	74,5	74,6	73,2	72,36	83,69	
140	H	68,2	69,3	68,4	68,6	69,3	70,1	70,3	70	69,3	68,52	79,85	



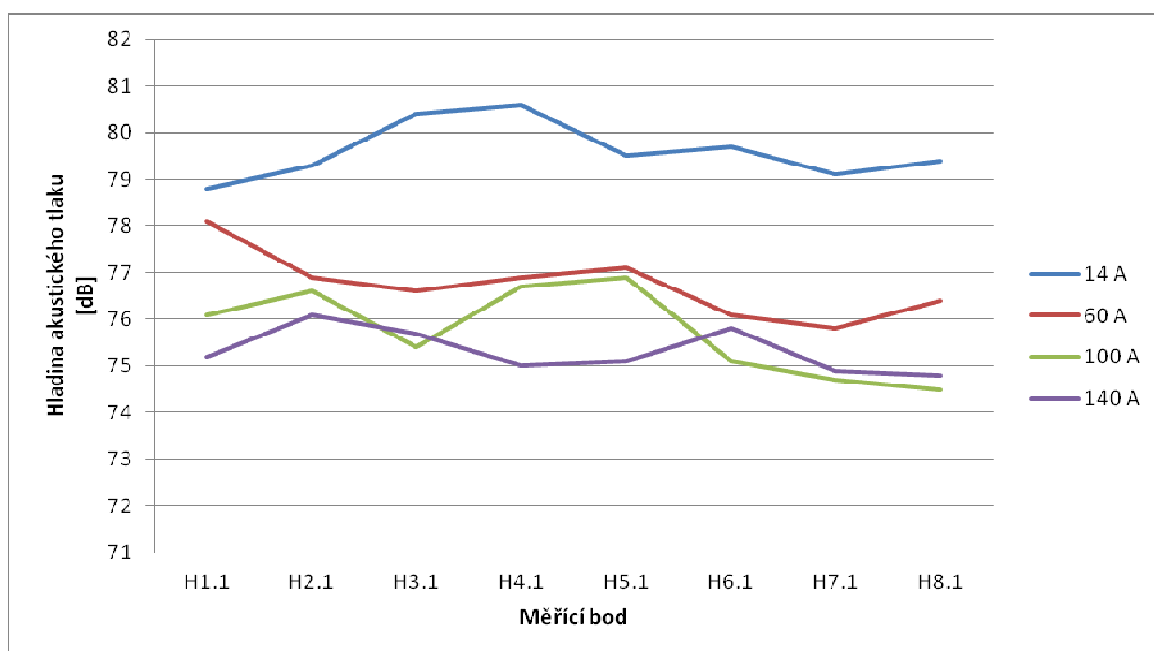
Obr. 7 Graf naměřených hodnot hluku v jednotlivých měřících bodech pro různé nastavení hodnoty proudu ZT

4.4.2 Naměřené hladiny hluku ASR 1.6 (vlnitá nádoba DB provoz)

Vyhodnocení akustických parametrů, bylo provedeno na zhášecí tlumivce konstruované pro dlouhodobý provoz. Aktivní díl je umístěn do vlnité nádoby s transformátorovým olejem. Označení zhášecí tlumivky ASR 1.6, výkon 1617 kVA, na napětí 11,55 kV. Měření bylo provedeno ve čtyřech polohách vzduchové mezery, v rámci jmenovitého regulačního rozsahu proudu zhášecí tlumivky. Zaznamenané hodnoty během měření jsou uvedeny v tabulce 8 a vyneseny do grafu na obrázku 8.

Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot hluku (Tab. 8)

FORMULÁŘ PRO MĚŘENÍ HLUKU													
ZAKÁZKA: xxxxxx										V. ČÍSLO: 9940			
TYP/VÝKON/NAPĚTÍ/PROVOZ: ASR 1.6/1617 kVA/11.55 kV/ DB (vlnitá nádoba)										POVOLENÝ HLUK LWA [dB]: Nebyl stanoven			
II. ZKOUŠKA										DATUM: 5.1.2017			
[A]	Hladina	L _{pai} [dB]								Ø	L _{pa} [dB]	L _{wa} [dB]	Pozn
		1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1				
14	H	78,8	79,3	80,4	80,6	79,5	79,7	79,1	79,4	79,6	78,75	90,45	
60	H	78,1	76,9	76,6	76,9	77,1	76,1	75,8	76,4	76,8	75,90	78,59	
100	H	76,1	76,6	75,4	76,7	76,9	75,1	74,7	74,5	75,8	74,95	86,65	
140	H	75,2	76,1	75,7	75	75,1	75,8	74,9	74,8	75,4	74,465	86,15	



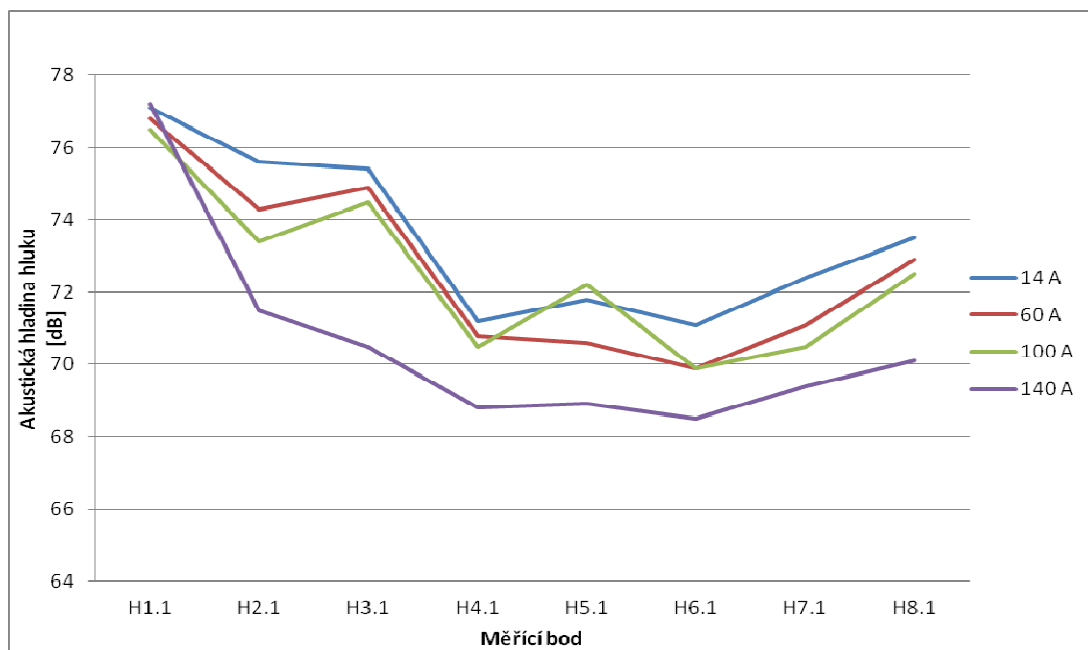
Obr. 8 Graf naměřených hodnot hluku v jednotlivých měřících bodech pro různé nastavení hodnoty proudu ZT

4.4.3 Naměřené hladiny hluku ASR 1.6 (nádobu s radiátory DB provoz)

Vyhodnocení akustických parametrů, bylo provedeno na zhášecí tlumivce konstruované pro dlouhodobý provoz. Aktivní díl je umístěn do nádoby s radiátory a transformátorovým olejem. Označení zhášecí tlumivky ASR 1.6, výkon 1617 kVA, na napětí 11,55 kV. Měření bylo provedeno ve čtyřech polohách vzduchové mezery, v rámci jmenovitého regulačního rozsahu proudu zhášecí tlumivky. Zaznamenané hodnoty během měření jsou uvedeny v tabulce 9 a vyneseny do grafu na obrázku 9.

Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot hluku (Tab. 9)

FORMULÁŘ PRO MĚŘENÍ HLUKU													
ZAKÁZKA: xxxxxx										V. ČÍSLO: 9040			
TYP/VÝKON/NAPĚTÍ/PROVOZ: ASR 1.6/1617 kVA/11.55 kV/ DB (nádobu s radiátory)										POVOLENÝ HLUK LWA [dB]: Nebyl stanoven			
II. ZKOUŠKA										DATUM: 5.1.2017			
[A]	Hladina	Lpai [dB]								Ø	Lpa [dB]	Lwa [dB]	Pozn
		1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1				
14	H	77,1	75,6	75,4	71,2	71,8	71,1	72,4	73,5	74,1	73,12	85,03	
60	H	76,8	74,3	74,9	70,8	70,6	69,9	71,1	72,9	73,3	73,38	84,29	
100	H	76,5	73,4	74,5	70,5	72,2	69,9	70,5	72,5	73,1	72,12	84,03	
140	H	77,2	71,5	70,5	68,8	68,9	68,5	69,4	70,1	71,7	70,80	82,72	



Obr. 9 Graf naměřených hodnot hluku v jednotlivých měřicích bodech pro různé nastavení hodnoty proudu ZT

4.4.4 Vyhodnocení naměřených hodnot na různých typech zhášecích tlumivek

Pro vyhodnocení akustických parametrů, byly vybrány zhášecí tlumivky se shodnými elektrickými parametry ve třech konstrukčních provedeních pro porovnání, zda je hluk vyzařovaný zhášecí tlumivkou ovlivněn právě druhem nádoby, ve které je umístěn aktivní díl zhášecí tlumivky, či způsobem jakým je ZT chlazena (vždy se jedná o pasivní chlazení).

Pro vyhodnocení je uvažováno zatížení ZT na jmenovitém napětí a maximálním proudu v regulačním rozsahu dané zhášecí tlumivky. Ve všech třech případech jsou elektrické parametry shodné, viz tabulka 10.

Pro zhášecí tlumivky byly naměřeny a následně vypočítány výsledné hladiny akustického výkonu viz tabulka 11.

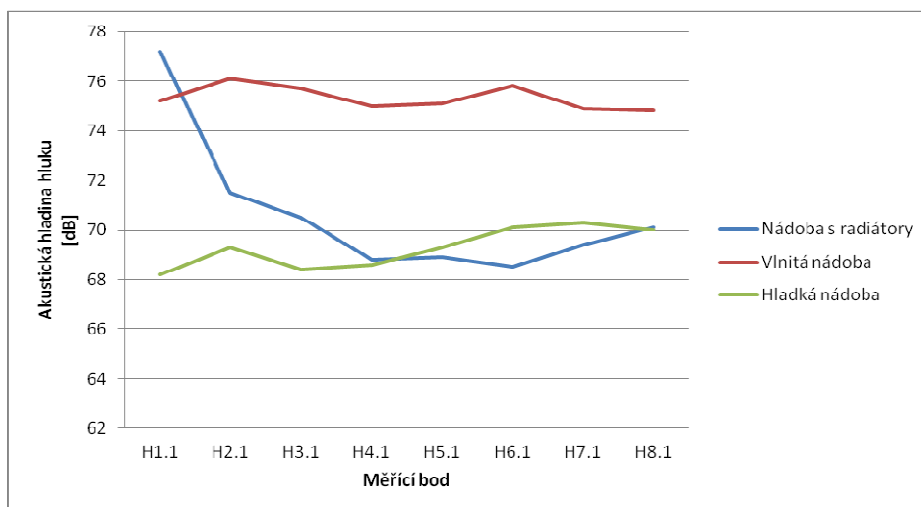
Parametry ZT (Tab. 10)

Jmenovité napětí	11,55 kV
Výkon	1617 kVA
Maximální proud	140 A

Hodnoty akustického výkonu na I_{max} ZT (Tab. 11)

ASR 1.6 hladká nádoba KB	$L_{wA}=79,85$ dB
ASR 1.6 vlnitá nádoba DB	$L_{wA}=86,15$ dB
ASR 1.6 nádoba s radiátory DB	$L_{wA}=82,72$ dB

Z výsledných naměřených a vypočtených hodnot akustického tlaku lze vyčíst (vyneseno v grafu na obrázku 10), že nejnižší hodnoty vyzařovaného hluku v poloze tlumivky na I_{max} , vykazuje zhášecí tlumivka umístěná v hladké nádobě a to $L_{wA}=79,85$ dB, velmi podobné hodnoty vykazuje varianta nádoby s radiátory $L_{wA}=82,72$ dB a nejhluchnější je provedení s vlnitou nádobou $L_{wA}=86,15$ dB. Z grafu na obrázku 10, je patrné, že při měření zhášecí tlumivky v nádobě s radiátory (modrá křivka) na prvním měřicím bodě H1.1, zřejmě došlo k rušení z okolí nebo byla hodnota z měřicího přístroje odečtena příliš brzo po zapnutí.



Obr. 10 Graf naměřených hodnot hluku pro různé konstrukční varianty provedení ZT

5 Návrh konstrukčních změn zhášecí tlumivky pro snížení hluku, ověření změn diagnostickými zkouškami

Zhášecí tlumivky jsou umísťovány do rozveden elektrických sítí nebo do rozveden pro průmyslové závody. Vzhledem k tomu, že jsou rozvodny čím dál častěji v blízkosti obydlených oblastí, je nutné z hlediska hygieny, hluk vyzařovaný zhášecí tlumivkou nebo transformátorem měřit a kontrolovat zda nepřekračuje hygienické normy. Ty jsou pro každou zemi stanoveny jinak. Vždy je ale zásadní kritérium, kde je konkrétní rozvodna umístěna.

5.1 Zdroje hluku transformátoru

Hluk vyzařovaný transformátorem je způsoben jevem zvaným magnetostrikce. Velmi zjednodušeně je to jev, při kterém dochází po vložení feromagnetického materiálu do magnetického pole, k roztažnosti materiálu. Po vyjmutí z magnetického pole, se materiál vrátí do původních rozměrů. Transformátor je buzen střídavým napětím, to znamená, že ke změně velikosti dochází, během jedné periody hned čtyřikrát. Tyto změny velikosti materiálu nejsou rovnoměrné v celé jeho ploše. Jádru transformátoru je vyrobené z mnoha tenkých, feromagnetických plechů a to z důvodu snížení ztrát a následnému ohřívání materiálu. K deformacím materiálu dochází náhodně v celé ploše plechu a tyto změny jsou vzájemně mezi sebou nezávislé, je tedy možné pozorovat změny velikosti a pohyby konstrukce. Samozřejmě jsou to tak malé změny, že je není možné pozorovat pouhým okem, ale dostačující k tomu, aby zapříčinily vznik vibrací a ty posléze hluk vyzařovaný transformátorem. [13]

Druhým zdrojem hluku jsou elektromagnetické síly způsobené zatížením cívky. Platí, že hluk vyzařovaný cívkou transformátoru je úměrný proudu protékajícího cívkou, tedy výkonem cívky a jejím zatížením. [14]

U zhášecích tlumivek jsou stejně jako u transformátoru dva zdroje hluku:

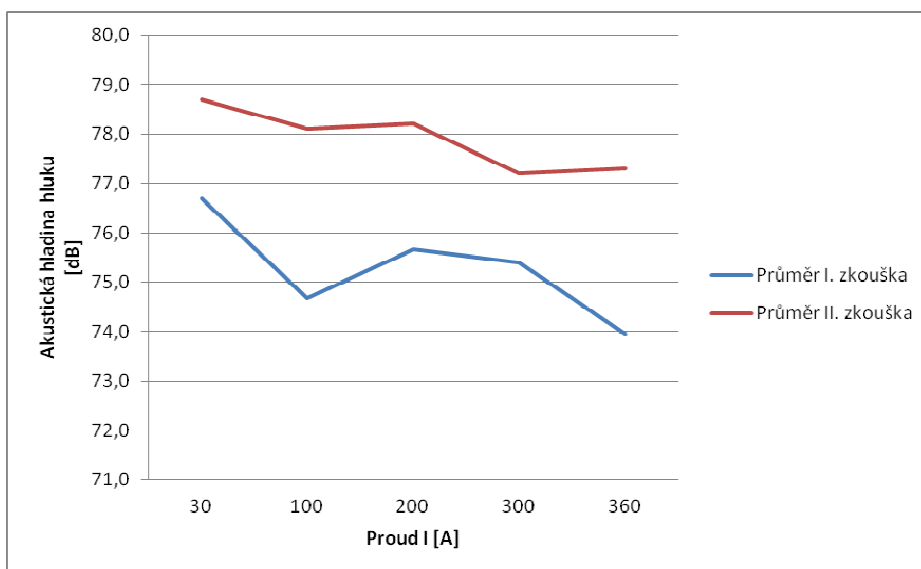
5.1.1 Hluk způsobený magnetickým obvodem zhášecí tlumivky

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, magnetostrikce způsobuje hluk vyzařovaný magnetickým obvodem transformátoru a tedy i zhášecí tlumivky. Měřením bylo zjištěno, že na úroveň hluku má vliv velikost vzduchové mezery. Z tabulky a naměřených hodnot a grafu na obrázku 11 lze vyčíst, že čím menší vzduchová mezera jádra, tím větší hluk způsobený magnetickým obvodem. Z toho plyne, že magnetický obvod způsobuje hluk, jehož úroveň

nezvyšuje zatížení zhášecí tlumivky. Dále lze z naměřených dat vyčíst, že úroveň hluku aktivního dílu ZT (I. Zkouška) je podstatně nižší než u tlumivky, která je již umístěna v nádobě (II. Zkouška). Je tedy zřejmé, že přenos vibrací z aktivního dílu na nádobu způsobuje zvýšení hladiny hluku.

Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot hluku (Tab. 12)

Výrobní číslo	Proud I [A]				
	30	100	200	300	360
5704 LwA [dB]	75,1	73	74,1	74,8	73,5
5706 LwA [dB]	77,4	74,9	76,3	76,2	74,2
5722 LwA [dB]	77,8	76,4	77,3	76,6	76,3
5723 LwA [dB]	76,5	74,4	75,0	74,0	71,8
Průměr I. Zkouška LwA [dB]	76,7	74,7	75,7	75,4	74,0
Průměr II. Zkouška LwA [dB]	78,7	78,1	78,2	77,2	77,3



Obr. 11 Graf naměřených hodnot hluku pro různé proudové zatížení během I. a II. zkoušky zhášecí tlumivky

5.1.2 Hluk způsobený cívkou zhášecí tlumivky

Vibrace způsobené zatížením zhášecí tlumivky jsou úměrné právě velikosti proudu procházejícího cívkou. Tyto vibrace a jejich vzájemné působení s magnetickým obvodem a nádobou ve které je aktivní díl umístěn, vedou ke vzniku rušivého hluku zhášecí tlumivky jako celku.

5.2 Možnosti snížení hladiny hluku

5.2.1 Stažení magnetického obvodu

Vzhledem k tomu, že největší vliv na hlučnost zhášecí tlumivky mají vibrace vzniklé magnetostrikcí magnetického obvodu, je jeho stažení základním a nejméně nákladným

opatřením ke snížení hladiny hluku vyzařovaného zhášecí tlumivkou. Velikost momentu, jaký je možné použít pro dotažení článků magnetického obvodu, je omezená a to z důvodu konstrukce aktivního dílu zhášecí tlumivky. Články magnetického obvodu jsou uchyceny pomocí šroubů ke kostře aktivního dílu a jsou v přímém kontaktu s jádrem, které se pohybuje a mění se jím vzduchová mezera, zobrazeno na obrázku 12. Právě tření mezi jádrem a články omezuje velikost momentu dotažení šroubů.



Obr. 12 Aktivní díl ZT, články a jádro magnetického obvodu bez cívky

5.2.2 Snížení vibrací přenášených mezi aktivním dílem a nádobou ZT

Aktivní díl je umístěn do nádoby zhášecí tlumivky. Spojení víka aktivního dílu a nádoby je zajištěno pomocí šroubů a těsnění po celém obvodu nádoby. Nádoba je navržena tak, že mezi jejím dnem a aktivním dílem vzniká mezera 45 mm. K jedinému kontaktu tedy dochází mezi víkem a nádobou. Vibrace z magnetického obvodu a cívky jsou tak přenášeny na nádobu a následně rozvaděč či radiátory pro chlazení oleje. Možné opatření ke snížení hluku je tedy snížení vibrací přenášené mezi aktivním dílem a nádobou zhášecí tlumivky.

5.3 Návrh konstrukční změny

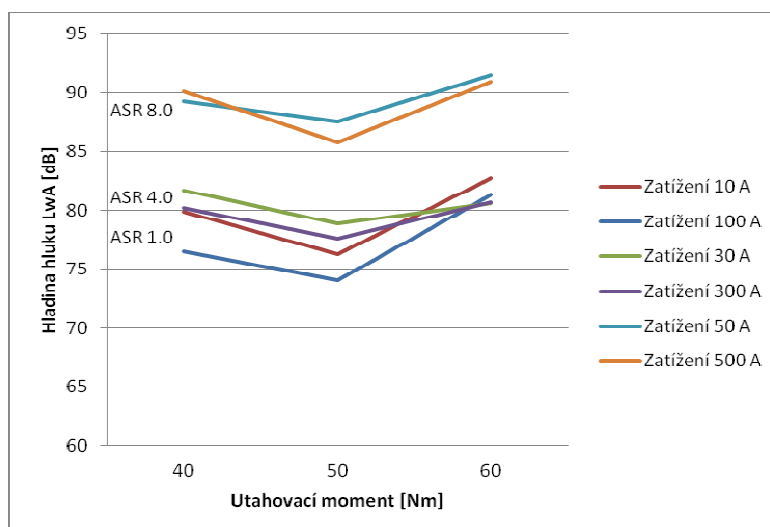
V první části je cíl naléznout ideální moment pro stažení magnetického obvodu. Ve druhé části snížit vibrace přenášené z aktivního dílu na nádobu pomocí silentbloků vložených na dno nádoby. Cílem návrhu konstrukční změny je snížit hladinu hluku vyzařovanou zhášecí tlumivkou o 5dB LwA.

5.3.1 Stažení článků magnetického obvodu

Stažení celého magnetického obvodu pomocí šroubů na člancích je omezené třením mezi články a jádrem. Měřením bylo zjištěno, že pro volný pohyb jader uvnitř magnetického obvodu je nutné zajistit, aby moment na hřídeli nepřesáhl 400 Nm. Při překročení této hodnoty dochází k přetížení 3 - fázového motoru, který přes převodovku pohání hřídel. Aby nedošlo k překročení této hodnoty, byla na základě pokusů stanovena maximální hodnota momentu dotažení šroubů na člancích 60 Nm.

Tabulka naměřených hodnot hladin hluku pro různé utahovací momenty (Tab. 13)

Typ zhášecí tlumivky	Proud [A]	Utahovací moment [Nm]	Hladina hluku LwA[dB]
ASR 1.0	10	40	79,9
	100		76,5
	10	50	76,3
	100		74,1
	10	60	82,7
	100		81,3
ASR 4.0	30	40	81,7
	300		80,2
	30	50	78,9
	300		77,6
	30	60	80,6
	300		80,7
ASR 8.0	50	40	89,3
	500		90,1
	50	50	87,5
	500		85,8
	50	60	91,5
	500		90,9



Obr. 13 Graf vlivu utahovacího momentu na hladinu hluku

V tabulce 13 a v grafu na obrázku 13 jsou uvedené naměřené hladiny hluku na aktivních

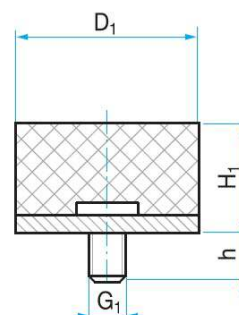
dílech zhášecích tlumivek, při použití různých utahovacích momentů na šroubech magnetického obvodu. Z těchto dat vyplývá, že nejnižších hladin hluku lze dosáhnout při použití utahovacího momentu 50 Nm. Všechny tři zkoušené zhášecí tlumivky dosahují při tomto momentu nejlepších výsledků. Zároveň bylo měřením ověřeno, že při tomto stažení magnetického obvodu, moment na hřídeli nepřesáhl požadovanou hodnotu 400 Nm.

5.3.2 Vložení silentbloků mezi aktivní díl a nádobu ZT

Silentbloky budou umístěny na spodní část aktivního dílu a uchyceny pomocí šroubu M12x37 a matice. Spodní část aktivního dílu tvoří kříž o čtyřech cípech, jak je možné vidět na obrázku 12. Na každý cíp, bude uchycen jeden silentblok. Volný prostor mezi aktivním dílem a nádobou je vždy 45 mm. Pro pokusy byly vybrány tři velikosti silentbloků od českého výrobce Rubena a.s. Výkres silentbloku na obrázku 14.

1. $D_1 = 70 \text{ mm}$, $H_1 = 50 \text{ mm}$, M12x37 (G₁xh)
2. $D_1 = 70 \text{ mm}$, $H_1 = 55 \text{ mm}$, M12x37 (G₁xh)
3. $D_1 = 70 \text{ mm}$, $H_1 = 60 \text{ mm}$, M12x37 (G₁xh)

Type 4



Obr. 14 Popis rozměrů silentbloku

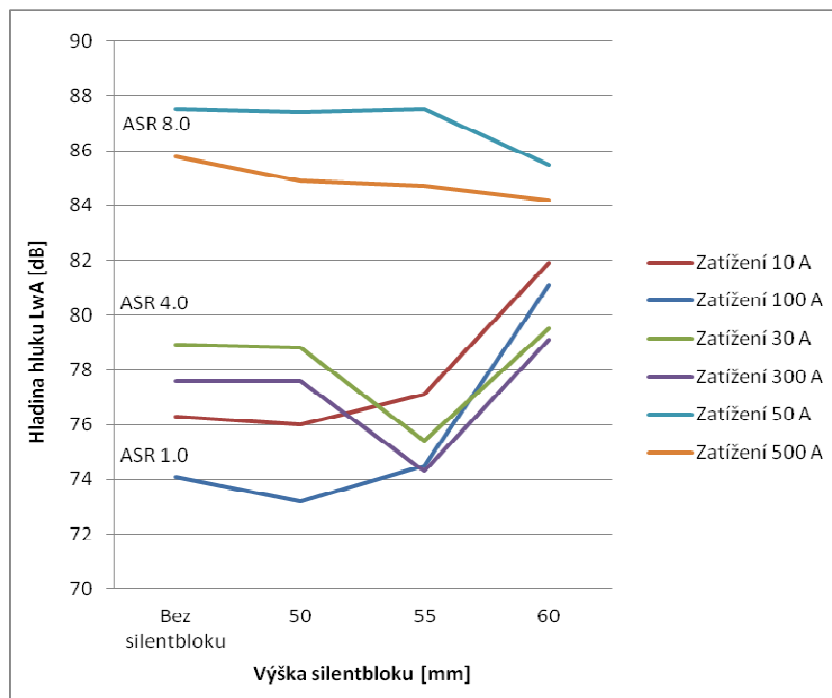
Pro měření se silentbloky vloženými do nádoby, byly vybrány stejné typy zhášecích tlumivek jako v případě měření při různých utahovacích momentech. Na základě předchozího měření, byl použit utahovací moment 50 Nm, při kterém byly naměřeny nejnižší hladiny hluku LwA. V tabulce naměřených hodnot hladin hluku, tabulka 14 a v grafu na obrázku 15, je vidět, že snížení hlučnosti se docílilo u všech zkoušených zhášecích tlumivek. Pro každý typ ale vyhovuje jiná výška použitého silentbloku a u každého typu byla také účinnost snížení hladiny hluku jiná.

Pro nejmenší a také nejlehčí ZT typ ASR 1.0 byly nejnižší hladiny hluku při použití silentbloků o výšce $H_1 = 50 \text{ mm}$. Pro středně velkou ZT typ ASR 4.0 byly nejvhodnější silentbloky a výšce $H_1 = 55 \text{ mm}$. A pro tlumivky s největší hmotností a rozměrově největší typ ASR 8.0 se podařilo snížit hlučnost díky silentblokům o výšce $H_1 = 60 \text{ mm}$. Z těchto výsledků lze říci, že vliv na účinnost silentbloků má právě jejich výška ve spojení s vahou konkrétní zhášecí tlumivky a tedy míra stlačení silentbloku vlastní vahou aktivního dílu, ke

kterému jsou silentbloky přišroubovány.

Tabulka naměřených hodnot hladin hluku při použití různých výšek silentbloků (Tab. 14)

Typ zhášecí tlumivky	Proud [A]	Výška silentbloku [mm]	Hladina hluku LwA[dB]
ASR 1.0	10	Bez silentbloku	76,3
	100		74,1
	10	50	76
	100		73,2
	10	55	77,1
	100		74,5
	10	60	81,9
	100		81,1
ASR 4.0	30	Bez silentbloku	78,9
	300		77,6
	30	50	78,8
	300		77,6
	30	55	75,4
	300		74,3
	30	60	79,5
	300		79,1
ASR 8.0	50	Bez silentbloku	87,5
	500		85,8
	50	50	87,4
	500		84,9
	50	55	87,5
	500		84,7
	50	60	85,5
	500		84,2



Obr. 15 Graf vlivu výšky silentbloku na hladinu hluku

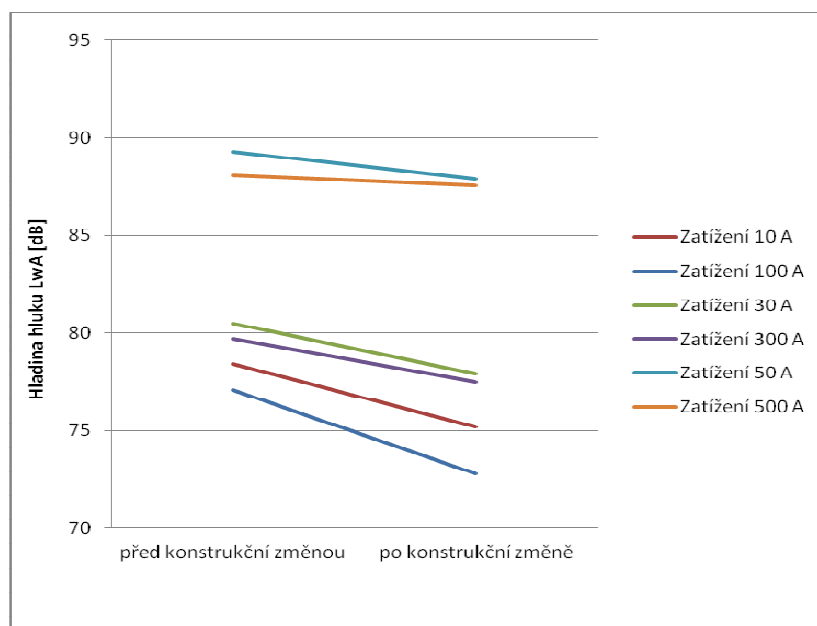
5.4 Ověření konstrukčních změn měřením hluku

Měřením a vyhodnocením výsledků, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, byl zvolen utahovací moment pro dotažení magnetického obvodu 50 Nm a to pro všechny typy vybraných zhášecích tlumivek. Výška silentbloků byla volena individuálně pro každý typ zhášecí tlumivky, dle výsledků měření v kapitole 5.3.2. Nejnižší naměřené hladiny hluku, za použití konkrétní konstrukční změny jsou v tabulkách 13 a 14 označeny tučně.

Tyto změny byly použity na aktivních dílech zhášecích tlumivek a měření hladin hluku bylo provedeno na kompletních smontovaných zhášecích tlumivkách. V tabulce 15 jsou uvedeny rozdíly snížení naměřených hladin hluku proti původním hodnotám před konstrukčními změnami. Rozdíl naměřených hodnot je znázorněn v grafu na obrázku 16.

Tabulka naměřených hodnot hladin hluku před a po konstrukčních změnách (Tab. 15)

Typ zhášecí tlumivky	Proud [A]		Hladina hluku LwA[dB]	Rozdíl [dB]
ASR 1.0	10	před konstrukční změnou	78,4	
	100		77,1	
	10	po konstrukční změně	75,2	3,2
	100		72,8	4,3
ASR 4.0	30	před konstrukční změnou	80,5	
	300		79,7	
	30	po konstrukční změně	77,9	2,6
	300		77,5	2,2
ASR 8.0	50	před konstrukční změnou	89,3	
	500		88,1	
	50	po konstrukční změně	87,9	1,4
	500		87,6	0,5



Obr. 16 Graf naměřených hladin hluku před a po konstrukčních změnách

Závěr

Cílem této práce bylo sestavit ucelený postup všech zkoušek, které je nutné provádět na zhášecích tlumivkách dle aktuálně platných norem. Tyto jsou rozděleny na kusové a typové zkoušky a popsány ve druhé a třetí kapitole.

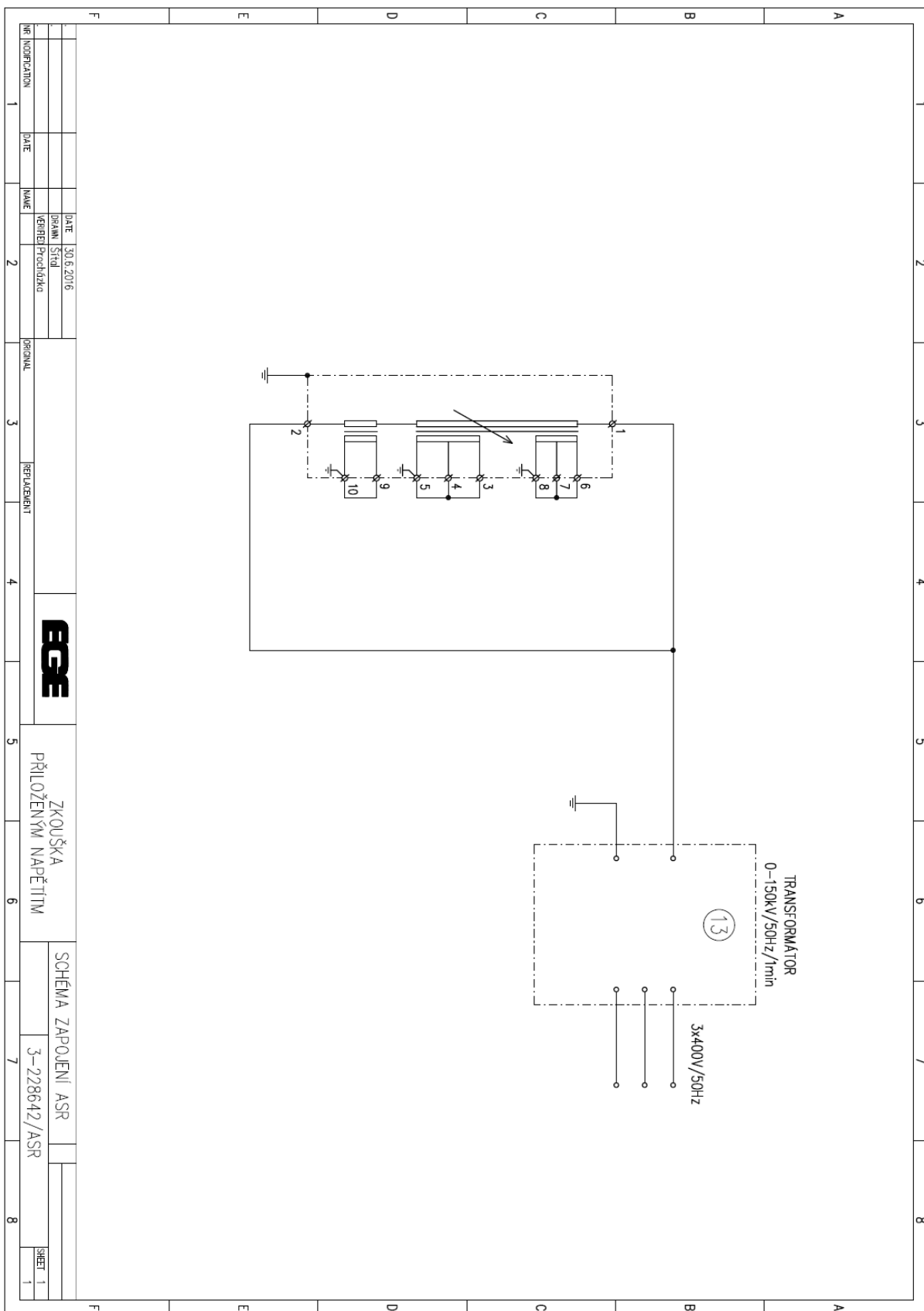
Ve čtvrté kapitole je detailně popsána metodika měření hladin hluku a výpočet pro akustický tlak a výkon. Závěr této kapitoly je věnován vyhodnocení naměřených a vypočtených hodnot hladin hluku. Pro toto vyhodnocení byly vybrány tři typy zhášecích tlumivek se shodnými elektrickými parametry, ale s odlišným provedením nádoby, ve které je aktivní díl ZT umístěn. Porovnáním výsledných dat bylo zjištěno, že i přes stejné elektrické parametry zhášecí tlumivky s odlišným provedením nádoby vykazují jiné hladiny hluku. Nejnižší hodnoty byly vyhodnoceny u ZT s hladkou nádobou a naopak nejhluchnější byla ZT v provedení s vlnitou nádobou. Podobně nízká hladina hluku jako u hladké nádoby byla naměřena u provedení s radiátory.

Závěrečná pátá kapitola je věnována návrhu konstrukční změny pro snížení hluku zhášecí tlumivky. Cílem bylo snížit hluk vyzařovaný zhášecí tlumivkou o 5dB. Díky stažení magnetického obvodu vhodným momentem a vložením gumových silentbloků mezi aktivní díl a nádobu se podařilo u zkoušené ZT s nejmenším výkonem, ASR 1.0 na maximálním proudu snížit hluk o 4,3 dB. U zhášecí tlumivky, ASR 4.0 s o něco větším výkonem se hluk snížil o 2,2 dB. Nejvýkonnější zkoušená ZT, ASR 8.0 po konstrukční změně nejevila téměř žádné snížení vyzařovaného hluku. Měřením bylo zjištěno snížení hluku o pouhé 0,4 dB.

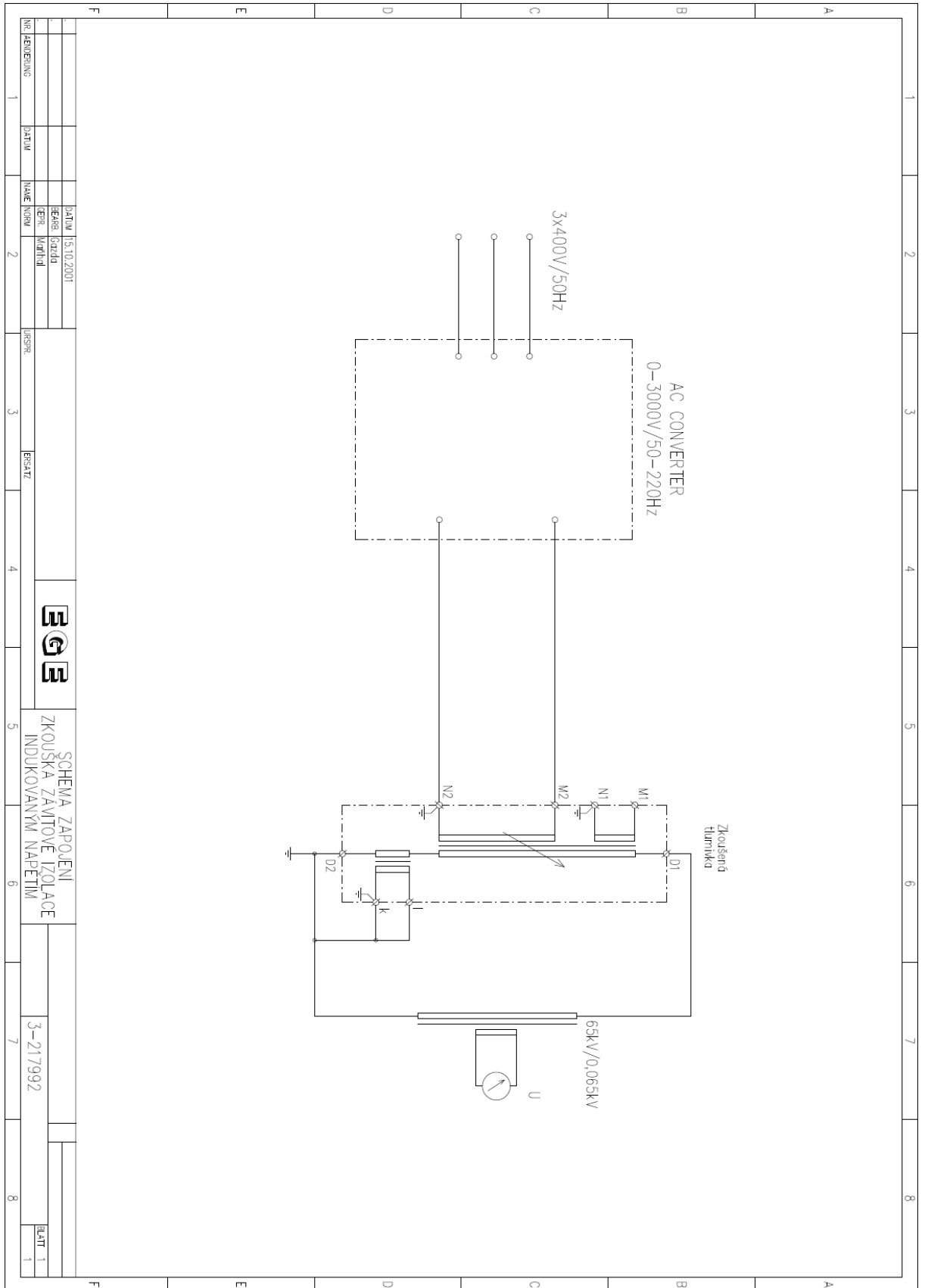
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ORSAGOVÁ, J., *Charakteristika jednotlivých typů sítí VN*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechnická, 2010
- [2] ČSN 33 3070: *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981
- [3] PROCHÁZKA, K., *Vybrané problémy provozu distribučních sítí VN*. České Budějovice: 1992
- [4] TESAŘOVÁ, M.: *Průmyslová elektroenergetika*. Plzeň: ZČU, 2010
- [5] TOMANDL, J.: *Diagnostika zhášecích tlumivek*. České Budějovice: 2015
- [6] ČSN EN 60076-6 *Výkonové transformátory – Část 6: Tlumivky*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [7] ČSN EN 60076-1 *Výkonové transformátory – Část 1: Obecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [8] VALENTA, L.: *Základní diagnostická měření výkonových transformátorů a tlumivek, ZM – 11 2. Vydání*. Praha: AZVN, 2003.
- [9] ČSN EN 60076-3 *Výkonové transformátory – Část 3: Izolační hladiny, dielektrické zkoušky a vnější vzdušné vzdálenosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [10] ČSN EN 60076-10 – *Výkonové transformátory – Část 10: Stanovení hladin hluku*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [11] VLACH, J.: *Pokyny pro provoz a údržbu distribučních transformátorů, ZM 14*. Praha: AZVN, 2005.
- [12] BERNAT, P., ZACHARSKI, K.: *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu*. Dostupný z WWW: http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [13] MASTI, R., DESMET, W., HEYLEN W.: *On the influence of core laminations upon power transformer noise*. Leuven, Belgium, 2004. Dostupné z WWW: <https://pdfs.semanticscholar.org/ee2f/7ce874850c76e8349e3e40a383c1f2786a7b.pdf>
- [14] FEDERAL PACIFIC: *Understanding Transformer Noise*. Bristol, Virginia, USA, Electro-Mechanical Corporation, 2016. Dostupné z WWW: <http://federalpacific.com/Literature/Transformers/2016%20FP%20Understanding%20Transformer%20Noise.pdf>

Příloha A



Příloha B



Příloha C

