

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Diagnostika zhášecích tlumivek

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav TOMANDL**
Osobní číslo: **E12B0112K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Diagnostika zhášecích tlumivek**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište funkci a použití zhášecích tlumivek.
2. Popište jednotlivé diagnostické metody prováděné při kusových zkouškách zhášecích tlumivek.
3. Proveďte vyhodnocení měření na souboru tlumivek měřených ve společnosti spol. EGE s.r.o.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Ulrych**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na diagnostiku zhášecích tlumivek, zejména na metodiku a technologii měření během kusových zkoušek. Cílem této práce je popsat jednotlivá měření tak, aby byla srozumitelná pro nově příchozí zkušební techniky či zákazníky příchozí na přejímky. Vyhodnocením naměřených dat, lze dokázat důležitost jednotlivých kusových zkoušek, prováděných na zhášecích tlumivkách.

Klíčová slova

Indukčnost, zhášecí tlumivka, Petersonova tlumivka, kusová zkouška, napět'ová zkouška, měření hladiny hluku, izolační odpor, přetlaková zkouška, izolační odpor, odpor vinutí, automatika ladění, zemní spojení, nulové napětí, magnetický obvod, vzduchová mezera, pomocné vinutí, měřící vinutí.

Abstract

This bachelor thesis is focused on the diagnosis of Petersen coils, especially on the methodology and technology of measurements during routine tests. The aim of this thesis is to describe the measurement, so that was understandable for new workers in testing laboratory or for costumers. Evaluation of the measured data can prove the importance of routine tests carried on Petersen coils.

Key words

Petersen coil, induction, applied voltage test, routine test, noise measurements, insulation resistance, overpressure test, winding resistance, automatic tuning, ground faults, zero voltage, magnetic circuit, air gap, the auxiliary winding, measuring winding.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou 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 bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 3.6.2015

Jaroslav Tomandl

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
FUNKCE A POUŽITÍ ZHÁŠECÍCH TLUMIVEK	10
1.1 ZHÁŠECÍ TLUMIVKA (PETERSONOVA TLUMIVKA)	10
1.2 POUŽITÍ A PRINCIP ČINNOSTI ZHÁŠECÍCH TLUMIVEK	12
1.3 AUTOMATICKÁ REGULACE ZHÁŠECÍCH TLUMIVEK	15
1.4 VÝKONNOSTNÍ ŠTÍTEK	16
2 KUSOVÉ ZKOUŠKY PROVÁDĚNÉ NA ZHÁŠECÍCH TLUMIVKÁCH	18
2.1 PRVNÍ ZKOUŠKA – POUZE AKTIVNÍ DÍL	18
2.2 MĚŘENÍ ODPORU VINUTÍ	19
2.3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ V CELÉM REGULAČNÍM ROZSAHU TLUMIVKY	19
2.3.1 Měření převodu napětí mezi hlavním a pomocným a sekundárním vinutím	20
2.3.2 Měření ztrát	20
2.3.3 Měření hodnoty výstupu z potenciometru v závislosti na nastavené hodnotě proudu	20
2.4 DIELEKTRICKÉ ZKOUŠKY	21
2.4.1 Zkouška vinutí přiloženým střídavým výdržným napětím	21
2.4.2 Zkouška vinutí indukovaným střídavým výdržným napětím	21
2.5 MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ PEVNOSTI OLEJE	22
2.6 MĚŘENÍ HLADIN HLUKU	23
2.7 MĚŘENÍ IZOLAČNÍHO ODPORU VINUTÍ	25
2.8 ZKOUŠKA PŘILOŽENÝM NAPĚTÍM SEKUNDÁRNÍHO VINUTÍ	26
2.9 ZKOUŠKA IZOLACE OVLÁDACÍCH OBVODŮ PŘILOŽENÝM NAPĚTÍM	26
2.10 ZKOUŠKA SPRÁVNÉ FUNKCE OSAZENÝCH PŘÍSTROJŮ – KONTROLA ZAPOJENÍ A	26
FUNKČNOSTI	26
2.11 PŘETLAKOVÁ ZKOUŠKA	27
2.12 MĚŘENÍ POVRCHOVÉ OCHRANY	27
3 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ NA ZT VYROBENÝCH VE SPOLEČNOSTI EGE S.R.O.	28
3.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY NA TLUMIVCE ASR 6.3 V	28
3.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY NA TLUMIVCE ASR 1.6	32
3.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY NA TLUMIVCE ASR 15 V	35
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39
PŘÍLOHA A	1
PŘÍLOHA B	2

Seznam symbolů a zkratek

D_1D_2	Svorky hlavního vinutí zhášecí tlumivky
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
KL	Svorky měřicího vinutí proudového transformátoru
$L1, L2, L3$	Fázové vodiče napájecí soustavy
M_1N_1	Svorky měřicího vinutí
M_2N_2	Svorky pomocného (výkonového) vinutí
N	Střední pracovní vodič napájecí soustavy
A	Celková pohltivost zvuku [m^2]
I	Elektrický proud [A]
I_L, I_C	Proud induktivního charakteru, proud kapacitního charakteru [A]
K	Korekce hladiny akustického tlaku [dB]
l_m	Obvod tlumivky [m]
LpA	Akustický tlak [dB]
LwA	Akustický výkon [dB]
R	Odpor [Ω]
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]
α	Střední činitel pohltivosti [-]

Úvod

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

Text je rozdělen do tří částí; první se zabývá funkcí a použitím zhášecích tlumivek, druhá popisuje metody prováděné při jednotlivých zkouškách na zhášecích tlumivkách. Ve třetí části jsou vyhodnoceny naměřená data na souboru vybraných tlumivek ve firmě EGE spol. s r.o.

Funkce a použití zhášecích tlumivek

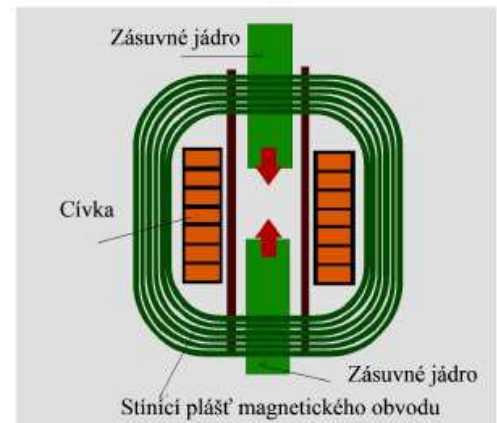
Zhášecí tlumivka je cívka s nastavitelnou indukčností, připojuje se k uzlu distribuční sítě. Slouží ke kompenzaci kapacitních proudů při zemním spojení. Zhášecí tlumivka umožňuje kompenzovat kapacitní proud zemního spojení tak, aby místem poruchy procházel pouze zbytkový proud.

1.1 Zhášecí tlumivka (Petersonova tlumivka)

skládá se ze dvou hlavních částí:

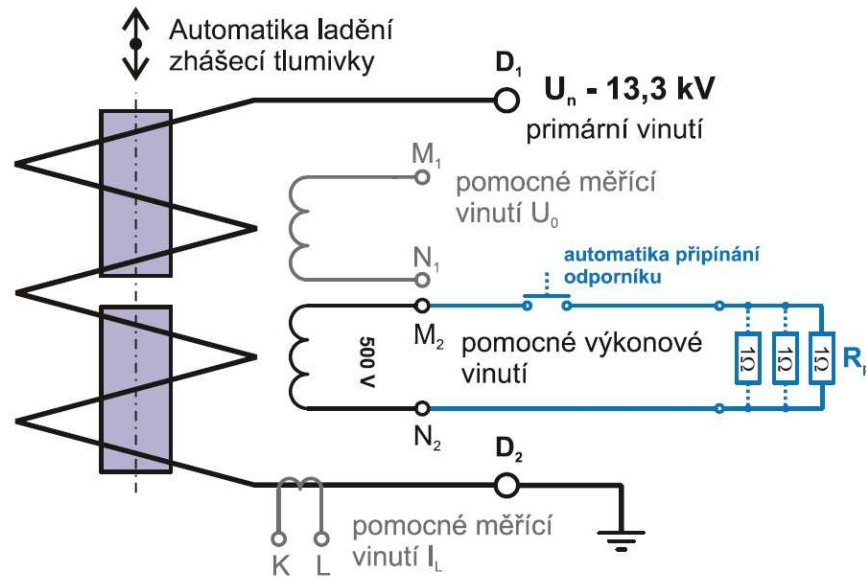
- **Aktivního dílu – cívky a magnetického obvodu**

Cívka je nasazena na magnetickém obvodu – feromagnetickém jádře se vzduchovou mezerou, viz obr. 1.1. Tato vzduchová mezera je plynule nastavitelná pomocí mechanismu poháněného elektrickým pohonem, který je řízen automatickým regulátorem. Indukčnost zhášecí tlumivky (dále jen ZT) je tak neustále přizpůsobována parametrům sítě.



Obr. 1.1 Konstrukční uspořádání ZT [1]

Součástí cívky je kromě hlavního vinutí také pomocné měřící vinutí M_1N_1 (100V +/- 10 %) sloužící k měření uzlového napětí U_0 . Pomocné výkonové vinutí M_2N_2 (500V +/- 10 %) ke kterému je automatickým regulátorem připínán odporník nebo proudová injektáž. Pomocné měřící vinutí KL, využíváno pro připojení proudového transformátoru, určeného k měření kompenzačního proudu. Všechna tato vinutí jsou zobrazena na obr. 1.2.



Obr. 1.2 Zjednodušené schéma zhášecí tlumivky [1]

- **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, jsou na nádobě instalovány radiátory, které zajišťují chlazení transformátorového oleje a tak i chlazení vinutí cívky. Porovnání obou provedení na obr. 1.3.



Obr. 1.3 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. V případě provedení nádoby s konzervátorem je mezi ním a víkem umístěno Buchholzovo 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.

Součástí nádoby jsou ventily pro odběr vzorků či kvůli případnému odpuštění oleje v případě servisního zásahu. Nedílnou součástí nádoby je vysoušeč oleje.

1.2 Použití a princip činnosti zhášecích tlumivek

Zhášecí tlumivky se používají k rezonančnímu uzemnění nulového bodu soustavy. V sítích vysokého a velmi vysokého napětí dochází často k jednopólovému zemnímu spojení, které je doprovázeno přepětovými jevy. Je to až 80% případů všech poruch podobného typu. Důsledkem lokálních přepětí může být vznik elektrického oblouku, který se vytvoří v místech s nedostatečnou izolací (znečištěné izolátory) a který dokáže izolaci nenávratně poškodit nebo dokonce způsobit požár.

Sítě vvn jsou obvykle provozovány bez přímo uzemněného uzlu, tyto sítě hustě protínají území venkova, městská centra i okraje měst s průmyslovými závody a jsou ve značné míře vystaveny atmosférickým vlivům, nebo cizím zásahům a také četným přepětím. Tyto jevy velmi ovlivňují jejich bezporuchový chod. Následkem těchto jevů vznikají časté izolační vady jednotlivých fází především proti zemi, tzv. **zemní spojení**. Zásadní rozdíl mezi jednofázovým zkratem a zemním spojením je v tom, že zkratový proud je většinou několikanásobně větší, než proud provozní (nebo je blízký provoznímu proudu) a má indukční charakter, kdežto v místě zemního spojení prochází pouze malý poruchový proud kapacitního charakteru. [7]

U sítí s větší rozlohou, kde poruchový proud přesáhne hodnotu cca 5A, zpravidla vzniká při zemních spojení oblouk, který roste do značných délek, bývá velmi pohyblivý a téměř vždy zasáhne sousední fáze. Následkem toho jsou pak dvoj- nebo trojfázové zkraty. Hořící obloukové spojení přepaluje vodiče a dřevěné stožáry a ničí izolátory.

Nebezpečným jevem jsou přepětí, která nastanou při nestabilním hoření oblouku (dochází

k jeho hasnutí a opětovnému zapalování), zvláště při přerušovaném zemním spojení. Na zdravých fázích se mohou objevit napětí až $(4 - 4,5) U_f$, kde U_f je efektivní hodnota fázového napětí.

Aby bylo možné udržet provoz těchto sítí i při zemním spojení, provádí se kompenzace zemních proudů, která spočívá v různém spojení uzlu sítě se zemí.

U symetrických sítí bez poruch se spojení jejich uzlu se zemí prakticky neprojeví, rozdíly nastávají až při zemních poruchách nebo jiných nesymetrických stavech a přechodných jevech v těchto sítích. Především se týkají velikosti a charakteru proudů zemních poruch, napětí proti zemi, přepětí při zemních poruchách a provozních vlastností.

V soustavách vn v České republice jsou používány čtyři způsoby spojení uzlu sítě se zemí.

Malé sítě vn průmyslových závodů a vlastních spotřeb elektráren a tepláren jsou provozovány s izolovaným uzlem. U těchto sítí dochází k samočinnému odstranění důsledků přechodných poruch izolace jedné fáze proti zemi.

Většinou je v našich distribučních sítích vn uzel uzemněn přes zhášecí tlumivku, zobrazeno na obr. 1.4. Výhodou tohoto zapojení je, že i rozsáhlejší sítě lze provozovat se zemním spojením po dobu potřebnou k nalezení poruchy, takže doba přerušování dodávky elektrické energie je velmi krátká. Navíc většina přechodných zemních spojení se zháší sama.

Rozšiřováním kabelových vedení se snižuje počet přechodných poruch. Ve většině případů dochází k přechodu trvalých zemních spojení ve zkraty. U těchto sítí pak zaniká výhoda provozu kompenzace zemních kapacitních proudů. S požadavkem rychlého vypínání všech zemních poruch se prosazuje spojení uzlu přes rezistor (tzv. odporník). Uzlový rezistor svými účinky proudu, činného charakteru, omezuje proudy jednopólových poruch.

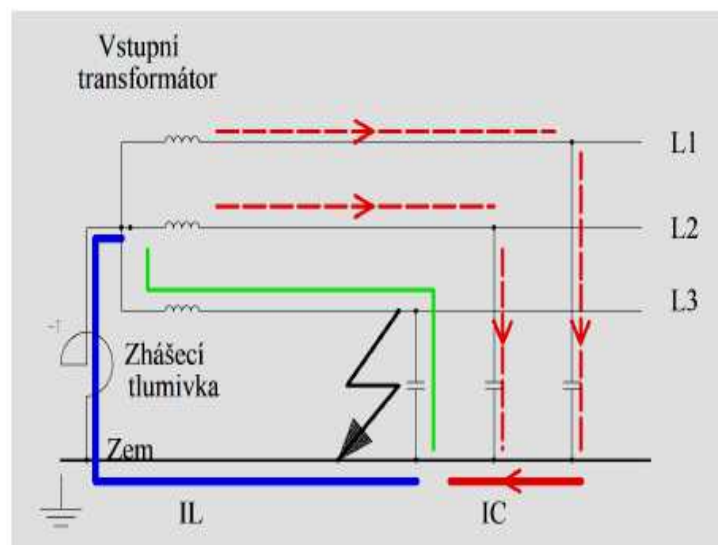
Spojení výhod provozu kompenzace zemních kapacitních proudů a provozu přes rezistor je provoz s krátkodobým přechodným uzemněním uzlu přes rezistor. Tento způsob provozu se používá v menším rozsahu u smíšených sítí. Jedná se tedy o provoz s kompenzací zemních proudů, kde se při trvající poruše na krátkou dobu, řádově vteřiny, připíná paralelně ke zhášecí tlumivce rezistor. Tím dojde ke zvětšení poruchového proudu a vytvoří se podmínky pro spolehlivý náběh ochrany postiženého vývodu. Nevýhodou jsou větší investiční náklady, protože je nutné použít jak zhášecí tlumivku, tak i omezující rezistor a spínací přístroje.

Podle velikosti přechodového odporu v místě zemního spojení se rozlišují:

- Odporová zemní spojení – hodnota přechodového odporu dosahuje řádově několik set Ω
- Oblouková a kovová zemní spojení – hodnota přechodového odporu je jen několik Ω , většinou zanedbatelná

Podle doby trvání těchto stavů se rozlišují:

- Mžiková zemní spojení – do 0,5 s
- Krátkodobá zemní spojení – do 5 min
- Přerušovaná zemní spojení – mžiková nebo krátkodobá zemní spojení několikrát po sobě se opakující
- Trvalá zemní spojení – až do okamžiku odstranění, zpravidla několik hodin [1]



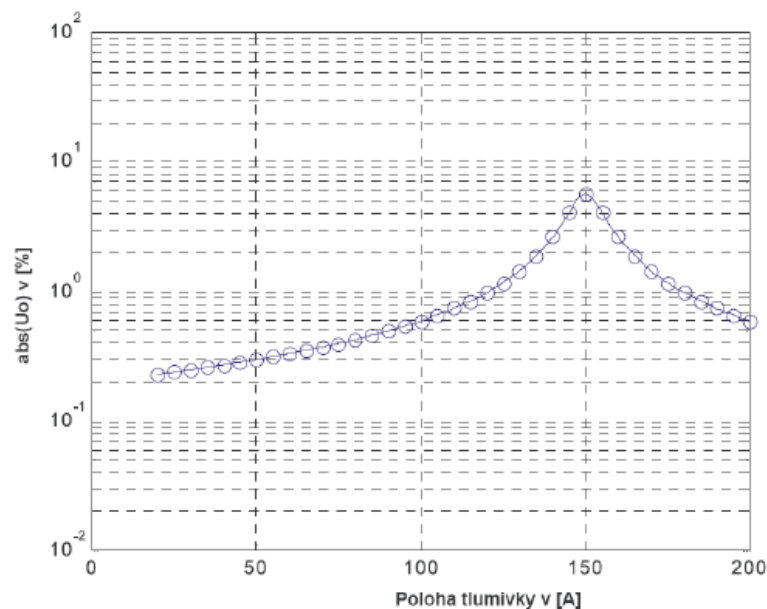
Obr. 1.4 Nulový bod transformátoru uzemněný pomocí zhášecí tlumivky [1]

1.3 Automatická regulace zhášecích tlumivek

Regulace zhášecí tlumivky se provádí ve stavu nepostižené sítě vyhodnocením rezonanční křivky, zobrazené na obr. 1.5.

Automatika pracuje na principu vyhledávání maxima napětí U_0 na měřicím vinutí tlumivky. Úkolem automatické řídicí jednotky je určit a nastavit hodnotu L tak, aby byl poruchový proud minimální. Tento bod je také nazýván rezonanční bod soustavy, protože napětí na uzemnění je maximální. V takovém stavu je soustava naladěna. Kritérium pro vyladěný stav je dosažení maxima napětí U_0 na zhášecí tlumivce. K ladění dochází vždy po zapnutí automatiky, za provozu, při změně konfigurace sítě (připnutí nebo odepnutí vedení). Aby se omezil vliv přechodných změn napětí U_0 , které nesouvisí s rozladěním sítě, vyhodnotí se jako popud pro rozběh pouze změny, které trvají, než nastavené časové zpoždění rozběhu.

Přepínání v síti odpovídá změně kapacity vedení proti zemi. To v podstatě odpovídá posunutí rezonanční křivky vlevo (odpojení kapacit vedení) nebo vpravo (připojení kapacit vedení). Většinou je to navíc ještě spojeno se změnou kapacitní nesymetrie. Přepnutím sítě dojde ke změně nenulového napětí. Tato změna se používá pro identifikaci přepínání v síti a spouští operaci ladění.



Obr. 1.5 Rezonanční křivka

Protože není známo, zda se síť zvětšila nebo zmenšila, spouští se nejprve vyhledávání rezonančního maxima ve směru klidové polohy definované prostřednictvím menu. Samotná klidová poloha je definována tak, aby se ZT nastavila na tuto hodnotu, když z nějakého důvodu není možné provést úspěšné ladění. Tato klidová poloha se proto obvykle volí tak, aby popisovala nejčastěji stav přepnutí sítě. Díky tomu existuje velmi malá pravděpodobnost, že se při operaci vyhledávání v tomto směru nalezne rezonanční maximum. Po malém přestavení ZT asi o 1,5% maximálního rozsahu přestavení se kontroluje strmost. Zjistí-li se vzrůst nulového napětí, tak se tlumivka přestaví nejméně o 5 % rozsahu přestavení. Pokud nebyl zjištěn nárůst nulového napětí, tak se směr hledání obrátí. Během tohoto přestavování se měří a ukládá jak nulové napětí U_0 , tak příslušná poloha tlumivky. Přes tyto body měření se pomocí „nelineární metody nejmenších čtverců“ stanoví rezonanční křivka. S každým dalším bodem měření se odhad zlepšuje. Odhad je nejlepší, když se bod rezonance nejméně jednou překoná.

Jakmile je akceptován odhad bodu rezonance, vypočítá se podle požadovaného překompenzování nebo nedokompenzování a druhu kompenzace (absolutní nebo procentuální) požadovaná cílová poloha. Do této cílové polohy se pak tlumivka přímo nastaví. Po dosažení cílové polohy se změří nulové napětí a poloha tlumivky. Pomocí změřené polohy tlumivky se z odhadnuté křivky zjistí požadované nulové napětí. Toto požadované nulové napětí se porovná s naměřeným. Nachází-li se toto nulové napětí uvnitř meze spuštění, tak se operace ladění považuje za úspěšnou a ukončí se. Aktuálně změřené nulové napětí se použije jako nová referenční hodnota pro identifikaci nových přepínání. Nachází-li se změřené nulové napětí mimo práh spuštění, má se za to, že během regulace došlo k přepnutí a okamžitě se spustí nová operace ladění.

1.4 Výkonnostní štítek

Každá tlumivka musí být opatřena štítkem, umístěným na viditelném místě, obsahujícím ve všech případech následující údaje. [2]

- typ tlumivky
- venkovní/vnitřní použití

- číslo části normy IEC 60076
- název výrobce
- výrobní číslo
- rok výroby
- izolační hladiny
- počet fází
- jmenovitý kmitočet
- nejvyšší napětí pro zařízení
- jmenovitý trvalý proud (kde je to vhodné)
- jmenovitý tepelný zkratový proud a jeho trvání (kde je to vhodné)
- jmenovitý mechanický zkratový proud (kde je to vhodné)
- jmenovitý krátkodobý proud a trvání nebo pracovní cyklus (kde je to vhodné)
- impedance při jmenovitém trvalém proudu při jednofázovém a trojfázovém buzení, měřené hodnoty (kde je to vhodné)
- impedance při jmenovitém zkratovém proudu, vypočtená nebo změřená hodnota
- typ chlazení
- celková hmotnost
- hmotnost aktivní části
- hmotnost izolační kapaliny
- typ izolační kapaliny
- schéma zapojení s vyznačením odboček a přístrojových transformátorů

2 Kusové zkoušky prováděné na zhášecích tlumivkách

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. [2]

2.1 První zkouška – pouze aktivní díl

Provádí se bez olejové náplně

Rozsah zkoušení:

1. Kontrola měřicího transformátoru napětí/proud
2. Kontrola proudových spojů
3. Vizuální kontrola
4. Měření regulační charakteristiky:

Měří se od minimálního do maximálního proudu při napětí 100% U_n (nebo menší dle U_n) v několika stupních regulačního rozsahu.

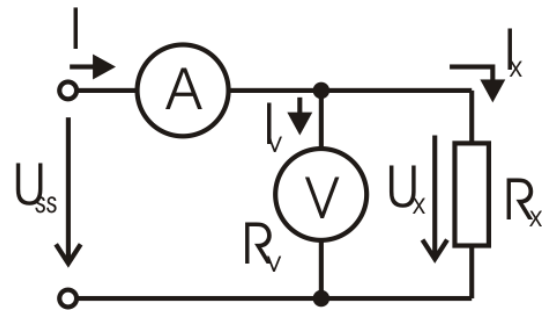
Měřené parametry:

- a) velikost vzduchové mezery
- b) proud (A)
- c) proud měřicího transformátoru (A), kontrolu přesnosti
- d) ztráty (kW)
- e) velikost napětí a tolerance M1, N1 (V)
- f) velikost napětí a tolerance M2, N2 (V)
- g) měření hladiny akustického tlaku (dB)

2.2 Měření odporu vinutí

Měří se odpor každého vinutí, zaznamenávají se naměřené hodnoty a teplota vinutí. Pro měření se musí používat stejnosměrný proud.

Protože jsou hodnoty měřeného odporu velmi malé, používá se Ohmova metoda v zapojení pro měření malých odporů. Cívkou tlumivky se nechá protékat stejnosměrný elektrický proud podle schématu na obr. 1.6, měří se úbytek napětí na cívce. Odpor vinutí se pak vypočítá podle Ohmova zákona $R_x=U/I$. [5]



Obr. 1.6 Zapojení měření malých odporů [5]

2.3 Měření parametrů v celém regulačním rozsahu tlumivky

Druhá zkouška zhášecí tlumivky, provádí se v olejové náplni na kompletní ZT, tak jak bude sestavena v provozu. Při regulační zkoušce se pomocí měřicího software, vyvinutého přímo pro měření tlumivek ve společnosti EGE spol. s r.o., měří několik důležitých parametrů.

- Napětí na hlavním vinutí.
- Proud procházející hlavním vinutí, ten je měřený dvěma ampérmetry. Jedním kalibrovaným zkušebním a druhým umístěným přímo uvnitř nádoby zhášecí tlumivky.
- Napětí na pomocném vinutí
- Napětí na měřicím vinutí
- Měření ztrát
- Měření hodnoty výstupu z potenciometru v závislosti na nastavené hodnotě proudu

Schéma zapojení viz příloha B.

2.3.1 Měření převodu napětí mezi hlavním a pomocným a sekundárním vinutím

- Měření převodu mezi hlavním a pomocným vinutím
toto vinutí je nejčastěji 500V a musí splňovat toleranci +/- 10%
- Měření převodu mezi hlavním a měřícím/sekundárním vinutím
toto vinutí je nejčastěji 100V nebo 110V a musí splňovat toleranci +/- 10% [2]

2.3.2 Měření ztrát

Ztráty jsou založeny na provozu tlumivky se jmenovitým trvalým proudem při jmenovitém kmitočtu a referenční teplotě. Měřené ztráty musí být korigovány na jmenovitý trvalý proud a referenční teplotu. Měření ztrát může být provedeno při libovolně nastaveném proudu při jmenovitém kmitočtu. Přepočtení na jmenovitý trvalý proud se provede násobením naměřených ztrát druhou mocninou poměru jmenovitého trvalého proudu a zkušebního proudu. Všechny kovové části, které by mohli ovlivnit měřené ztráty, musí být během zkoušky namontovány. [2]

2.3.3 Měření hodnoty výstupu z potenciometru v závislosti na nastavené hodnotě proudu

Všechny tlumivky vyrobené ve společnosti EGE spol. s r.o. jsou 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 softwaru se v každé poloze zároveň ukládá i hodnota potenciometru. Nejdříve se změří hodnota celého rozsahu potenciometru, která se uloží do měřicího softwaru. Během regulační zkoušky se pak zaznamenávají naměřené hodnoty na obou drahách odporu potenciometru a následně se zapisují do výstupního protokolu.

2.4 Dielektrické zkoušky

2.4.1 Zkouška vinutí přiloženým střídavým výdržným napětím

Zkouška přiloženým střídavým napětím musí být provedena jednofázovým střídavým napětím pokud možno s dokonalým tvarem sinusové vlny a ne méně než 80% jmenovitého kmitočtu. Zkouška musí začít při napětí ne větším než je třetina předepsané zkušební hodnoty zkušebního napětí a napětí musí být zvyšováno na zkušební hodnotu tak rychle, jak je možné z hlediska měření. Před vypnutím musí být napětí sníženo na méně než třetinu zkušebního napětí. Napěťová hladina při zkoušce přiloženým střídavým výdržným napětím je určena izolační hladinou svorky nulového bodu, tj. na vinutích s redukovanou izolací se hodnota zkušebního napětí řídí podle izolační hladiny izolátoru vývodu D_2 . Fázové svorky se pak zkouší indukovaným střídavým výdržným napětím (kapitola 2.4.2).

Plné zkušební napětí musí být na hlavní vinutí přivedeno po dobu 60 s. Hlavní vinutí D_1 , tedy fázová svorka a N svorka tedy vývod D_2 jsou spojeny. Ostatní svorky – pomocné a měřící vinutí a proudový transformátor – jsou spojeny a uzemněny.

Zkouška je považována za úspěšnou, nevznikne-li pokles zkušebního napětí k nule. [4]

2.4.2 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. Vyzkouší se však při ní závitová izolace vinutí.

Při zkoušce je napájeno sekundární – pomocné vinutí sinusovým napětím s tak zvýšeným kmitočtem (až 220Hz), aby magnetizační proud při předepsaném zkušebním napětí nebyl větší než proud naprázdno při provozním kmitočtu. Na hlavním vinutí je pak měřeno požadované zkušební napětí. Doba zkoušky je dle normy stanovena na 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 [3]

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

Schéma zapojení viz příloha A.

2.5 Měření elektrické pevnosti oleje

Pověřeným pracovníkem zkušebny je proveden odběr vzorků oleje a následný záznam do knihy Evidence a sledování kvality izolačních olejů. Do výstupního protokolu výrobku dle plánu jakosti se zapisují naměřené hodnoty po kompletních elektrických zkouškách.

Odběr vzorku se provádí podle ČSN EN ISO 60247, ČSN EN 60567 a ČSN 656005. Po odpuštění cca 3 litrů oleje odebrat 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, nádobky plnit až po okraj a zamezit znečištění oleje. Teplota zkoušeného oleje je cca 20 +/- 4 °C.

- Elektrická pevnost oleje

Olej přezkoušet na elektrickou pevnost podle ČSN EN 60247 a ČSN EN 60156. Vzdálenost mezi elektrodami je 2.5 mm. Vzorek nechat 20 minut stát, pak provést 6 zkoušek v intervalu 6 min. Z naměřených šesti hodnot průrazného napětí vypočítat aritmetický průměr, teplota vzorku cca 20 °C

- Obsah vody

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

Tab. 2.1 Limitní parametry nových izolačních olejů

Parametr	Jednotky	Hodnoty
čistota (vzhled)		Průzračný
hustota při 20 °C	Kg/m ³	max. 895
číslo kyselosti	mgKOH/g	max. 0,03

průrazné napětí	kV/2,5mm	min. 30
ztrátový činitel při 90 °C		max. 0,005
povrchové napětí	mN/m	min. 48
obsah vody v oleji	g/t	max. 30

2.6 Měření hladin hluku

Toto měření se provádí 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 popsaná 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 3dB.

Měření hluku podle této normy je vhodné provádět na rovné venkovní ploše nebo v případě zkušebny EGE s.r.o. v místnosti splňující podmínky na hluk pozadí a způsobilost zkušebního prostředí. Po dobu měření se nesmí měnit teplota okolí o více než +/-10 K a relativní vlhkost vzduchu o +/-15 %.

K měření se ve zkušebně EGE s.r.o. používá hlukoměr LT Luxtron SL-4011. Podle současných předpisů musí být hlukoměry každé dva roky cejchovány laboratoří, která provádí kalibraci v souladu se současnými normami.

Měřicí plocha je hypotetická plocha o velikosti S obklopující daný zdroj a referenční rovnoběžnostěn a končí na rovině odrážející zvuk. Během definování této měřicí plochy lze zanedbat části, které vystupují ze zdroje a nevyzařují zvukovou energii.

Měřicí linie je u zhášecích tlumivek dána normou. Tato linie je vzdálena od základního povrchu vyzařování 0,3 m. U zhášecích tlumivek s výškou nádoby < 2,5 m musí být linie ve vodorovné rovině v polovině nádoby. U ZT s výškou nádoby $\geq 2,5$ m musí být použity dvě měřicí linie, ve vodorovných rovinách v jedné třetině a ve dvou třetinách výšky nádoby.

Mikrofony musí být umístěny na měřicí linii v přibližně stejných vzdálenostech, ale ne více než 1 m od sebe. Minimálně musí být 6 mikrofonových stanovišť. [6]

Pro hodnocení vlivu odražených zvukových vln a stanovení korekce pro odražený zvuk ve zkušebním prostoru se musí stanovit hodnota korekce K pro hladiny akustického tlaku. Výsledky měření podle normy jsou platné, je-li splněna podmínka $K \leq 7$ dB. Hodnoty korekce se určí podle vztahu:

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

kde A , je celková pohltivost zvuku v místnosti [m^2]

S , je plošný obsah měřicí plochy [m^2]

Určení celkové pohltivosti zvuku místnosti je možné provést pomocí „přibližné metody“ podle vztahu:

$$A = \alpha * S_v \quad (2)$$

kde α je střední činitel pohltivosti [-]

S_v celková plocha ohraničující zkušební prostor (stěny, strop, podlaha) [m^2]

V případě zkušebny EGE s.r.o. byl výpočet ekvivalentní akustické absorpční plochy A proveden dle Akreditované laboratoře Studio D České Budějovice. $A = 260,5 \text{ m}^2$

$$K = 10 \log \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right] = 0,91 \text{ dB} \quad (3)$$

Měřicí dráha l_m při měřicí vzdálenosti 0,3 m:

$$l_m = \text{obvod tlumivky} + 2 * \Pi * x \quad (4)$$

Výpočet zhodnocené úrovně akustického tlaku L_{pA} :

$$L_{pA} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{pAi}} \right] - K \quad (5)$$

kde L_{pA} je průměrná hladiny akustického tlaku A na ploše, zkoušeného zdroje [dB]

N , počet měřících míst [-]

Výpočet zhodnocení úrovně akustického výkonu L_{wA} [6]:

$$L_{wA} = L_{pA} + \log \frac{S}{S_0} \quad (6)$$

2.7 Měření izolačního odporu vinutí

Před uvedením do provozu zhášecí tlumivky a zvláště před zkouškou přiloženým výdržným střídavým napětím se měří její izolační odpor. Tím se ověří, zda není hrubě poškozena izolace vinutí a není-li stroj navlhlý. Změřený izolační odpor je jen informativní hodnota, značně závislá na teplotě a vlhkosti. Nelze z ní usoudit dokonalý stav izolace, který se musí ověřit zkouškou přiloženým napětím. Izolační odpor závisí na řadě faktorů, např. na velikosti stroje, druhu použité izolace apod.

Izolační odpor se na zhášecí tlumivce měří mezi následujícími svorkami, viz obr 1.2:

- Hlavní vinutí $D_1 - D_2$ proti měřicímu vinutí $M_1 - N_1$
- Hlavní vinutí $D_1 - D_2$ proti pomocnému vinutí $M_2 - N_2$
- Hlavní vinutí $D_1 - D_2$ proti pomocnému vinutí proudového transformátoru $k - l$
- Hlavní vinutí $D_1 - D_2$ proti kostře
- Měřicí vinutí $M_1 - N_1$ proti kostře
- Pomocné vinutí $M_2 - N_2$ proti kostře
- Pomocné vinutí proudového transformátoru $k - l$ proti kostře

K měření izolačního odporu vinutí je na zkušebně EGE spol. s r.o. používán přístroj na Obr. 1.5. K měření izolačního odporu se využívá stejnosměrného napětí o velikosti 5000 V. Naměřené hodnoty izolačního odporu jsou pak řádově $G\Omega$.



Obr. 1.5 Měřicí přístroj Megaohmmetr SE 6543

2.8 Zkouška přiloženým napětím sekundárního vinutí

Tato zkouška je prováděna zdrojem přiloženého střídavého výdržného napětí o velikosti 3 kV. Toto napětí je přivedeno na všechny sekundární obvody zhášecí tlumivky po dobu 60 s. Zkouška je považována za úspěšnou, nepoklesne-li během ní zkušební napětí na nulu.

2.9 Zkouška izolace ovládacích obvodů přiloženým napětím

Zkouška izolace ovládacích obvodů je prováděna pověřeným pracovníkem v rámci přípravy zhášecí tlumivky před připojením na regulační zkoušku. Zkušební střídavé přiložené napětí o velikosti 2 kV je přivedeno na každou svorku přípojného terminálu zhášecí tlumivky po dobu 60 s. Je třeba dbát opatrnosti na připojená zařízení, která nejsou dimenzována na velikost přídržného napětí o velikosti 2 kV. Tyto je před zkouškou nutné odpojit. Zkouška je považována za úspěšnou, nepoklesne-li během ní zkušební napětí na nulu.

2.10 Zkouška správné funkce osazených přístrojů – kontrola zapojení a funkčnosti

Zkouška správné funkce osazených přístrojů je prováděna pověřeným pracovníkem v rámci přípravy zhášecí tlumivky před připojením na regulační zkoušku. U zhášecích

tlumivek se jedná o zkoušku funkčnosti Buchholzova relé, ukazatele hladiny oleje a teploměru. Na těchto zařízeních jsou simulovány provozní stavy, které následně sepnou výstupní kontakty.

2.11 Přetlaková zkouška

Na kompletně smontovaný stroj naplněný transformátorovým olejem, je připojen tlakoměr. ZT je tlakována vzduchem na 50kPa (0,5 atm). Zkouška trvá 24 hodin. Poté se provede vyhodnocení tlakové zkoušky. Po dobu trvání zkoušky nesmí tlak vzduchu poklesnout o více než 10%. V opačném případě se po neúspěšné tlakové zkoušce provede detekování místa netěsnosti. Zjištěná netěsnost se opraví. Po opravě se provede opakovaná tlaková zkouška ve stejném rozsahu.

2.12 Měření povrchové ochrany

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

Postup měření: zvolit dle velikosti měřeného objektu referenční plochy o velikosti 1 dm². Víko minimálně 2, nádoba minimálně 8, konzervátor minimálně 3 referenční plochy. Je nutné dbát zvýšené pozornosti kolem spojů podvozku s nádobou, okolí kohoutů, přichytek kabelů, zemních špalků apod. Na každé referenční ploše provést 10 měření dle ČSN EN ISO 2063. Tloušťka nátěru musí dle metody „90 na 10“ bezpodmínečně odpovídat minimální požadované tloušťce nátěru z 90% měřených bodů, zbylých 10% měřených bodů může být v toleranci maximálně 10 μm pod požadovanou tloušťku nátěru. V případě, že tato tolerance není dodržena, je nutné nátěr opravit.

3 Vyhodnocení měření na ZT vyrobených ve společnosti EGE s.r.o.

Pro vyhodnocení měření byly vybrány 3 kusy zhášecích tlumivek vyrobených a měřených ve společnosti EGE s.r.o.

3.1 Naměřené hodnoty na tlumivce ASR 6.3 V

V následujících tabulkách 3.1 a 3.2 jsou uvedeny všechny důležité hodnoty, které je nezbytné znát před samotným měřením ZT.

Tab. 3.1 Popisné údaje zhášecí tlumivky

ZT výrobní číslo	8980
Typové označení	ASR 6.3 V
Jmenovité napětí sítě	66 kV
Maximální napětí sítě	72,5 kV
Izolační hladina ZT	LI 325 AC140 – AC 50/AC 3
Jmenovité napětí ZT	38,1 kV
Minimální proud	15 A
Jmenovitý proud KB	150 A
Jmenovitý výkon KB	5715 kVA

Tab. 3.2 Hodnoty měřicího a pomocného vinutí

Jmenovité napětí měřicí vinutí	110 V
Jmenovitý proud měřicí vinutí	3 A
Jmenovité napětí výkonové vinutí	500 V
Jmenovitý proud výkonové vinutí	600 A
Převod MTP	150/1 A
Jmenovitý výkon MTP	15 VA
Třída přesnosti MTP	1FS5

Naměřená data, první zkouška aktivního dílu. Při měření první zkoušky bylo zjištěno, že na měřené tlumivce nevyhovuje měřicí vinutí. Toto vinutí musí dle normy splňovat +/- 10% toleranci. V tomto případě je měřicí vinutí 110 V. Musí být tedy v rozmezí 99 V – 121 V.

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty během první zkoušky

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POMOCNE [V]	VYKON [kW]	UD1D2 [V]	MAN_OT
28	13,158	3,7926	13,26195	85,3314	471,906	0,6321	38352,3	3,5
36	16,06344	4,0662	16,17255	85,5792	472,764	0,6777	38192,1	4,5
196	58,3884	10,0584	58,7919	92,5806	507,846	1,6758	38203,2	24,5
356	101,9136	15,102	102,3786	96,5916	532,038	2,517	38379,6	44,5
596	174,252	22,446	175,5663	94,5063	539,274	3,744	38205,9	74,5

Bylo zjištěno, že počet závitů na měřicím vinutí neodpovídá výkresu cívky. Měřicí vinutí bylo upraveno tak, aby odpovídalo dokumentaci a aktivní díl byl změřen znova. Při opětovném měření bylo ověřeno, že měřicí vinutí již vyhovuje požadované toleranci.

Tab. 3.4 Naměřené hodnoty během první zkoušky po úpravě měřicího vinutí

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POMOCNE [V]	VYKON [kW]	UD1D2 [V]	MAN_OT
28	13,41144	3,7908	13,50945	102,5127	468,513	0,6318	38047,5	3,5
228	66,3984	11,142	66,8493	113,0754	512,958	1,857	38161,2	28,5
348	98,796	14,778	99,4992	116,2842	528,999	2,463	38186,4	43,5
428	122,7192	17,118	123,5946	117,1824	536,919	2,853	38217,6	53,5
468	134,7444	18,216	135,7176	116,6409	537,324	3,036	38111,4	58,5
508	147,4044	19,404	148,2378	116,361	538,299	3,234	38109,9	63,5

Aktivní díl zhášecí tlumivky byl po úspěšné první zkoušce ponořen do nádoby naplněné transformátorovým olejem, v tomto případě Nynas Nytro Libra. Dále byl zapojen ovládací terminál a všechny ostatní komponenty. Zhášecí tlumivka je po této fázi připravena k měření v celém regulačním rozsahu – tzv. druhá zkouška.

Během tohoto měření se zaznamenávají tyto hodnoty:

Mezera – vzduchová mezera mezi horním a spodním jádrem cívky,

MTP I – hodnota proudu, měřená měřicím transformátorem proudu zkušebny,

MTP II – hodnota proudu, měřená měřicím transformátorem proudu umístěným uvnitř nádoby zhášecí tlumivky,

VYP_VYKON – vypočtená hodnota výkonu z naměřených hodnot, v této hodnotě jsou již započítány koeficienty MTP a MTN,

U_MERICI – naměřená hodnota měřicího vinutí zhášecí tlumivky,

U_POM – naměřená hodnota pomocného vinutí zhášecí tlumivky,

R_SEKCE1L, R_SEKCE1R – naměřená hodnota potenciometru číslo 1. Levá, pravá část,

R_SEKCE2L, R_SEKCE2R – naměřená hodnota potenciometru číslo 2. Levá, pravá část,

UD1D2 – naměřená hodnota napětí na hlavním vinutí.

Tab. 3.5 Naměřené hodnoty při druhé zkoušce

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POM [V]	R_SEKCE1L	R_SEKCE1R	R_SEKCE2L	R_SEKCE2R	UD1D2 [V]
0,0	3,0	7,7	3,0	100,51	460,3	8,62	192,28	9,22	191,48	38067
34,6	14,9	11,1	15,0	103,29	471,5	19,49	181,41	19,78	180,92	38093
50,5	19,8	12,1	20,1	104,32	475,8	24,53	176,37	24,92	175,78	37911
124,7	39,7	19,3	40,0	108,42	492,5	48,84	152,06	49,08	151,62	38048
204,5	59,1	26,1	59,4	111,78	506,8	74,70	126,20	75,20	125,50	37961
286,0	80,0	33,0	80,5	114,96	521,4	101,60	99,30	102,40	98,30	38102
356,8	99,3	38,1	100,0	116,29	529,1	125,10	75,80	125,90	74,80	38019
425,4	119,5	43,2	120,3	116,87	534,8	147,90	53,00	148,40	52,30	38010
489,6	139,2	48,5	140,0	116,68	538,5	169,00	31,90	169,50	31,20	38017
525,6	150,4	51,8	151,3	116,72	541,8	180,30	20,60	180,80	19,90	38223

Z naměřených hodnot v tabulce 3.4 je možné vyčíst, že zhášecí tlumivka v.č. 8980 splňuje požadovaný proudový rozsah 15-150 A. Měřicí a pomocné vinutí cívky je v toleranci +/- 10 %.

Během druhé zkoušky se provádí, na vybraných hodnotách proudu, měření hladin hluku. V tomto případě na hodnotách 15 A, 60 A, 150 A. Vzhledem k výšce zhášecí tlumivky, muselo být měření hluku provedeno ve dvou hladinách: H x.1, H x.2, viz tab. 3.4.

Tab. 3.6 Naměřené hodnoty hladin hluku

Mezera	Proud	H1.1	H2.1	H3.1	H4.1	H5.1	H6.1	H7.1	H8.1
34,5	15	89,5	88,5	80,3	85,5	82,3	81,5	84,7	87,2
204,4	60	81,7	81,4	81,7	82,2	84,7	86,2	86,6	79,2
525,6	150	86,5	86,7	86,4	87,4	88,7	85,6	87,7	84,6
Mezera	Proud	H1.2	H2.2	H3.2	H4.2	H5.2	H6.2	H7.2	H8.2
34,5	15	88,8	88,1	88	87,8	86,6	87,6	87,9	87,4
204,4	60	82,2	82,2	83,5	80,4	85,6	84,5	82,2	81,7
525,6	150	89,2	87,5	88,6	87,6	86,2	88,2	89,9	87

Tab. 3.7 Hodnoty nutné pro výpočet hodnoty LwA

Počet měření hluku tlumivky v kruhu okolo tlumivky	8
Počet výškových hladin měření hluku tlumivky	2
Obvod Tlumivky	5
Výška tlumivky	2,6
Měřicí obvod tlumivky (+0,3*3,14 = 1,88)	6,884956
Měřicí plocha tlumivky S pro výpočet hluku	22,37611
Korekční konstanta K pro výpočet hluku	1,282658
Korekční konstanta dB pro měření hluku	13,49785

Tab. 3.8 Vypočtené hodnoty LwA, LpA a průměrná hodnota z naměřených hodnot hladin hluku

Mezera	Proud	LpA	LwA	Prumer
34,5	15	85,72253	99,220375	87,005188
204,4	60	82,087311	95,585156	83,369969
525,6	150	86,281839	99,779684	87,564497

V případě zhášecí tlumivky v.č. 8980 nebyla zákazníkem stanovena maximální hodnota LwA. Výsledné hodnoty jsou však relativně vysoké. U většiny ZT vyráběných ve společnosti EGE s.r.o., se hodnota LwA pohybuje do 92 dB. Další vypočtené hodnoty hladin hluku jsou uvedené v tabulce 3.8.

V následující tabulce 3.9 jsou uvedeny naměřené hodnoty izolačního odporu vinutí, hodnoty izolačních hladin, na které byla ZT zkoušena, dále naměřený odpor hlavního vinutí a naměřená hodnota elektrické pevnosti oleje.

Tab. 3.9 Naměřené hodnoty izolačního odporu

Název vlastnosti	Hodnota
00_15s D1 proti Kostře [MΩ]	11000
01_60s D1 proti Kostře [MΩ]	21000
02_15s pomocného vinutí proti Kostře [MΩ]	27000
03_60s pomocného vinutí proti Kostře [MΩ]	36000
04_15s pomocné vinutí proti D1 [MΩ]	34000
05_60s pomocné vinutí proti D1 [MΩ]	48000
06_15s měřicího vinutí proti Kostře [MΩ]	61000
07_60s měřicího vinutí proti Kostře [MΩ]	86000
08_15s měřicího vinutí proti D1 [MΩ]	86000
09_60s měřicího vinutí proti D1 [MΩ]	118000
10_15s kl proti kostře [MΩ]	86000
11_60s kl proti kostře [MΩ]	144000
12_15s kl proti UV [MΩ]	122000
13_60s kl proti UV [MΩ]	200000
Izolační zkouška přiloženým napětím UV_G [kV]	50
Zkouška indukovaným napětím [kV]	140
Ohmický odpor hlavního vinutí při 20°C [Ω]	0,8749
Elektrická pevnost oleje [kV]	83,2

3.2 Naměřené hodnoty na tlumivce ASR 1.6

Tab. 3.10 Popisné údaje zhášecí tlumivky

ZT výrobní číslo	9162
Typové označení	ASR 1.6
Jmenovité napětí sítě	10 kV
Maximální napětí sítě	12 kV
Izolační hladina ZT	LI 75 AC35/AC3
Jmenovité napětí ZT	5.77 kV
Minimální proud	21 A
Jmenovitý proud KB	208 A
Jmenovitý výkon KB	1200 kVA

Tab. 3.11 Hodnoty měřícího a pomocného vinutí

Jmenovité napětí měřící vinutí	100 V
Jmenovitý proud měřící vinutí	3 A
Jmenovité napětí výkonové vinutí	500 V
Jmenovitý proud výkonové vinutí	350 A
Převod MTP	250/1
Jmenovitý výkon MTP	15 VA
Třída přesnosti MTP	1FS5

Při měření první zkoušky bylo zjištěno, že na měřené tlumivce nevyhovuje pomocné vinutí viz tab. 3.12. Toto vinutí musí dle normy splňovat +/- 10% toleranci. V tomto případě je měřící vinutí 500 V. Musí být tedy v rozmezí 450 V – 550 V.

Bylo zjištěno, že počet závitů na pomocném vinutí neodpovídá výkresu cívky. Pomocné vinutí bylo upraveno tak, aby odpovídalo dokumentaci a aktivní díl byl změřen znova. Při opětovném měření bylo ověřeno, že měřící vinutí již vyhovuje požadované toleranci viz tab. 3.13.

Tab. 3.12 Naměřené hodnoty během první zkoušky

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POMOCNE [V]	VYKON [kW]	UD1D2 [V]	MAN_OT
16	21,9036	2,8356	21,0285	100,96	429,929	0,4726	5770,07	2
176	139,88	9,528	140,613	102,098	446,392	1,588	5747,5	22
256	196,238	13,716	200,738	103,426	451,994	2,286	5747,08	32
262	211,995	14,898	213,117	105,784	462,268	2,483	5765,32	35

Tab. 3.13 Naměřené hodnoty během první zkoušky po úpravě měřícího vinutí

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POMOCNE [V]	VYKON [kW]	UD1D2 [V]	MAN_OT
16	21,744	2,8554	21,837	100,616	462,374	0,103348	5750,79	2
175	138,1	9,566	140,121	102,5	479,87	1,597	5744,4	22
256	197,111	13,725	200,155	102,411	484,11	2,311	5771,1	32
262	210,991	14,5	211,214	105,541	495,256	2,321	5756,33	35

Tab. 3.14 Naměřené hodnoty při druhé zkoušce

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON N	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POM [V]	R_SEKCE1 L	R_SEKCE1 R	R_SEKCE2 L	R_SEKCE2 R	UD1D2 [V]
10,5545	20,7572	2,7024	20,8638	100,347	460,109	18,72	182,58	18,38	182,32	5737,97
41,8702	49,966	3,93	50,1575	102,184	473,261	38,03	163,27	38,21	162,49	5838,55
115,404	99,88	6,846	100,635	100,892	474,522	84,5	116,8	84,7	116	5744,82
185,342	151,11	10,458	151,018	104,901	497,053	128,8	72,5	129,3	71,4	5861,57
254,701	199,66	13,836	200,343	105,143	496,483	172,4	28,9	172,7	28	5753,38
264,096	208,67	14,628	209,457	106,445	502,898	178,3	23	178,6	22,1	5801,58

Tab. 3.15 Naměřené hodnoty hladin hluku

Mezera	Proud	H1.1	H2.1	H3.1	H4.1	H5.1	H6.1	H7.1	H8.1
10,914	21	63,1	74,2	70,1	67,7	68,9	68,8	71,2	70,3
116,214	100	62,3	75,1	74,2	69,9	70,1	67,8	70,2	69,9
265,122	208	64	69	67,4	66,3	65,7	66	64	65,7

Tab. 3.16 Hodnoty nutné pro výpočet hodnoty LwA

Počet měření hluku tlumivky v kruhu okolo tlumivky	8
Počet výškových hladin měření hluku tlumivky	1
Obvod Tlumivky	6,7
Výška tlumivky	1,45
Měřicí obvod tlumivky (+0,3*3,14 = 1,88)	8,584955592
Měřicí plocha tlumivky S pro výpočet hluku	15,56023201
Korekční konstanta K pro výpočet hluku	0,930463158
Korekční konstanta dB pro měření hluku	11,92016068

Tab. 3.17 Vypočtené hodnoty L_{wA} , L_{pA} a průměrná hodnota z naměřených hodnot hladin hluku

Mezera	Proud	L_{pA}	L_{wA}	Prumer
10,914	15	68,993448	80,913609	69,923911
116,214	60	67,33541	80,24351	69,7521
265,122	150	65,371277	77,291437	66,30174

Tab. 3.18 Naměřené hodnoty izolačního odporu

Název vlastnosti	Hodnota
00_15s D1 proti Kostře [$M\Omega$]	24000
01_60s D1 proti Kostře [$M\Omega$]	50000
02_15s pomocného vinutí proti Kostře [$M\Omega$]	52000
03_60s pomocného vinutí proti Kostře [$M\Omega$]	74000
04_15s pomocné vinutí proti D1 [$M\Omega$]	50000
05_60s pomocné vinutí proti D1 [$M\Omega$]	96000
06_15s měřicího vinutí proti Kostře [$M\Omega$]	77000
07_60s měřicího vinutí proti Kostře [$M\Omega$]	12200
08_15s měřicího vinutí proti D1 [$M\Omega$]	76000
09_60s měřicího vinutí proti D1 [$M\Omega$]	160000
10_15s kl proti kostře [$M\Omega$]	105000
11_60s kl proti kostře [$M\Omega$]	150000
12_15s kl proti UV [$M\Omega$]	142000
13_60s kl proti UV [$M\Omega$]	203000
Izolační zkouška přiloženým napětím UV_G [kV]	35
Zkouška indukovaným napětím [kV]	11
Ohmický odpor hlavního vinutí při 20°C [Ω]	0,154
Elektrická pevnost oleje [kV]	79,6

3.3 Naměřené hodnoty na tlumivce ASR 15 V

Tab. 3.19 Popisné údaje zhášecí tlumivky

ZT výrobní číslo	9225
Typové označení	ASR 15 V
Jmenovité napětí sítě	110 kV
Maximální napětí sítě	123 kV
Izolační hladina ZT	LI 550 AC230 – AC28/AC3
Jmenovité napětí ZT	63.5 kV
Minimální proud	30 A
Jmenovitý proud KB	300 A
Jmenovitý výkon KB	19052 kVA

Tab. 3.20 Hodnoty měřícího a pomocného vinutí

Jmenovité napětí měřící vinutí	100 V
Jmenovitý proud měřící vinutí	3 A
Jmenovité napětí výkonové vinutí	500 V
Jmenovitý proud výkonové vinutí	500 A
Převod MTP	300/5
Jmenovitý výkon MTP	15 VA
Třída přesnosti MTP	1

Tab. 3.21 Naměřené hodnoty během první zkoušky

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKON	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POMOCNE [V]	VYKON [kW]	UD1D2 [V]	MAN_OT
0	0,52504	0,24	0,52734	8,6537	45,0727	0,0393	6468,61	0
70	2,97264	0,393	2,9802	8,8673	45,8095	0,0655	6298,48	7
170	5,66432	0,6582	5,67636	9,4272	48,6363	0,1097	6420,15	17
270	8,05632	0,8706	8,07804	9,6317	49,6539	0,1452	6351,75	27
470	13,5323	1,2402	13,6111	10,076	52,3343	0,2067	6377,34	47
670	20,068	1,4766	20,115	10,1694	52,4321	0,2461	6345,12	67
870	26,774	1,6938	26,8864	9,7785	50,5849	0,2796	6307,77	87
960	29,9568	1,836	29,859	9,6822	49,902	0,306	6318,35	96
1020	31,3044	1,956	31,3092	9,4141	48,754	0,326	6311,79	102

Tab. 3.22 Naměřené hodnoty při druhé zkoušce

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKO N	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POM [V]	R_SEKCE1 L	R_SEKCE1 R	R_SEKCE2 L	R_SEKCE2 R	UD1D2 [V]
71,4751	29,3712	30,512	29,443	90,289	463,676	22,12	179,18	21,1	179	63605,6
146,865	49,65	45,68	49,7166	92,663	477,833	36,11	165,19	35,22	164,88	63567,6
248,641	74,4852	63,52	74,7552	95,629	492,663	54,7	146,6	53,7	146,4	63624
347,952	100,146	77,84	100,279	98,369	506,672	73	128,3	72,3	127,8	63537,7
435,085	124,657	89,12	124,879	100,169	515,877	88,9	112,4	88,3	111,8	63641,5
525,263	151,214	96	151,34	100,797	519,215	106,7	94,6	105,5	94,6	63459,7
597,608	175,392	101,8	175,956	101,7	524,139	119,5	81,8	118,8	81,3	63634
667,343	198,971	107,08	199,35	101,546	523,701	131,9	69,4	131,5	68,6	63552,8
740,413	224,66	111,84	225,316	101,026	521,654	145	56,3	144,2	55,9	63649,6
821,457	252,012	122,82	252,517	99,32	513,672	160,2	41,1	158,9	41,2	63372,3
890,032	274,153	129,78	274,646	97,729	506,172	173,5	27,8	171,3	28,8	63313,7
972,671	300,054	143,04	300,619	95,899	497,54	188	13,3	186,1	14,1	63563,3

Tab. 3.23 Naměřené hodnoty hladin hluku

Mezera	Proud	H1.1	H2.1	H3.1	H4.1	H5.1	H6.1	H7.1	H8.1
71,4751	30	82,1	71,6	82,7	82,5	80,6	81,7	81,6	82,3
347,952	100	81,6	82,4	83,2	79,6	78,2	79,1	82,3	82,4
667,343	200	81,2	83,2	79,6	79,2	79,9	80,1	80,2	79,9
972,671	300	80,7	84,9	85,3	83,1	87,2	84,4	81,7	81,4
Mezera	Proud	H1.2	H2.2	H3.2	H4.2	H5.2	H6.2	H7.2	H8.2
71,4751	30	81,1	82,3	81,5	81,3	79,6	80,7	80,2	81,9
347,952	100	80,2	81,9	80,2	78,7	79,1	78,6	81,1	81,1
667,343	200	84,6	81,1	78,2	77,1	73,4	79,6	78,1	78,6
972,671	300	83,6	82,1	83,1	83,3	83,2	85,2	82,9	83,2

Tab. 3.24 Hodnoty nutné pro výpočet hodnoty L_{wA}

Počet měření hluku tlumivky v kruhu okolo tlumivky	8
Počet výškových hladin měření hluku tlumivky	2
Obvod Tlumivky	6,2
Výška tlumivky	3,3
Měřicí obvod tlumivky (+0,3*3,14 = 1,88)	8,084955592
Měřicí plocha tlumivky S pro výpočet hluku	33,35044182
Korekční konstanta K pro výpočet hluku	1,795802017
Korekční konstanta dB pro měření hluku	15,23101592

Tab. 3.25 Vypočtené hodnoty LwA, LpA a průměrná hodnota z naměřených hodnot hladin hluku

Mezera	Proud	LpA	LwA	Prumer
71,4751	30	79,509247	94,740263	81,305049
347,952	100	79,083845	94,314861	80,879647
667,343	200	78,473343	93,704359	80,269145
972,671	300	81,971027	97,202043	83,766829

Tab. 3.26 Naměřené hodnoty izolačního odporu

Název vlastnosti	Hodnota
00_15s D1 proti Kostře [MΩ]	16000
01_60s D1 proti Kostře [MΩ]	29000
02_15s pomocného vinutí proti Kostře [MΩ]	24000
03_60s pomocného vinutí proti Kostře [MΩ]	38000
04_15s pomocné vinutí proti D1 [MΩ]	53000
05_60s pomocné vinutí proti D1 [MΩ]	78000
06_15s měřicího vinutí proti Kostře [MΩ]	80000
07_60s měřicího vinutí proti Kostře [MΩ]	140000
08_15s měřicího vinutí proti D1 [MΩ]	90000
09_60s měřicího vinutí proti D1 [MΩ]	140000
10_15s kl proti kostře [MΩ]	230000
11_60s kl proti kostře [MΩ]	440000
12_15s kl proti UV [MΩ]	340000
13_60s kl proti UV [MΩ]	540000
Izolační zkouška přiloženým napětím UV_G [kV]	28
Zkouška indukovaným napětím [kV]	230
Ohmický odpor hlavního vinutí při 20°C [Ω]	0,641
Elektrická pevnost oleje [kV]	87,8

Tab. 3.27 Naměřené hodnoty během druhé zkoušky, měřené při přejímce - zkouška před zákazníkem

MEZERA [mm]	MTP I [A]	VYP_VYKO N	MTP II [A]	U_MERICI [V]	U_POM [V]	R_SEKCE1 L	R_SEKCE1 R	R_SEKCE2 L	R_SEKCE2 R	UD1D2 [V]
71,4751	29,6736	30,98	29,7656	89,521	462,307	22,1	179,2	21,88	177,92	63353
248,641	75,5216	64,12	75,6168	95,781	493,639	54,7	146,6	54,5	145,3	63456,6
435,085	125,324	89,04	125,542	100,345	516,703	89	112,3	88,8	111	63645,4
667,343	199,821	108,6	200,326	102,032	526,19	132,3	69	131,8	68	63726,8
821,457	252,416	119,2	252,938	99,394	513,98	160	41,3	159,1	40,7	63418,8
1001,38	300,924	140,12	301,54	95,4	495,059	188,2	13,1	186,8	13	63463,7

Po vyhodnocení naměřených dat během opakované druhé zkoušky, která byla součástí přejímky, byla potvrzena reprodukovatelnost naměřených dat. Opakované napěťové zkoušky na zhášecí tlumivce také proběhly úspěšně.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo dokázat, proč je nutné kusové zkoušky na zhášecích tlumivkách provádět.

Do poslední kapitoly číslo 3, byly záměrně vybrány zhášecí tlumivky, u kterých byla díky první zkoušce zjištěna jistá neshoda. První vyhodnocovaná ZT ASR 6.3 V, byla měřena v pěti bodech regulačního rozsahu. Měřící vinutí nesplňovalo požadovanou toleranci $\pm 10\%$ ani v jednom měřeném bodě. Díky první zkoušce aktivního dílu byla tato neshoda odhalena a s minimálními náklady na opravu odstraněna.

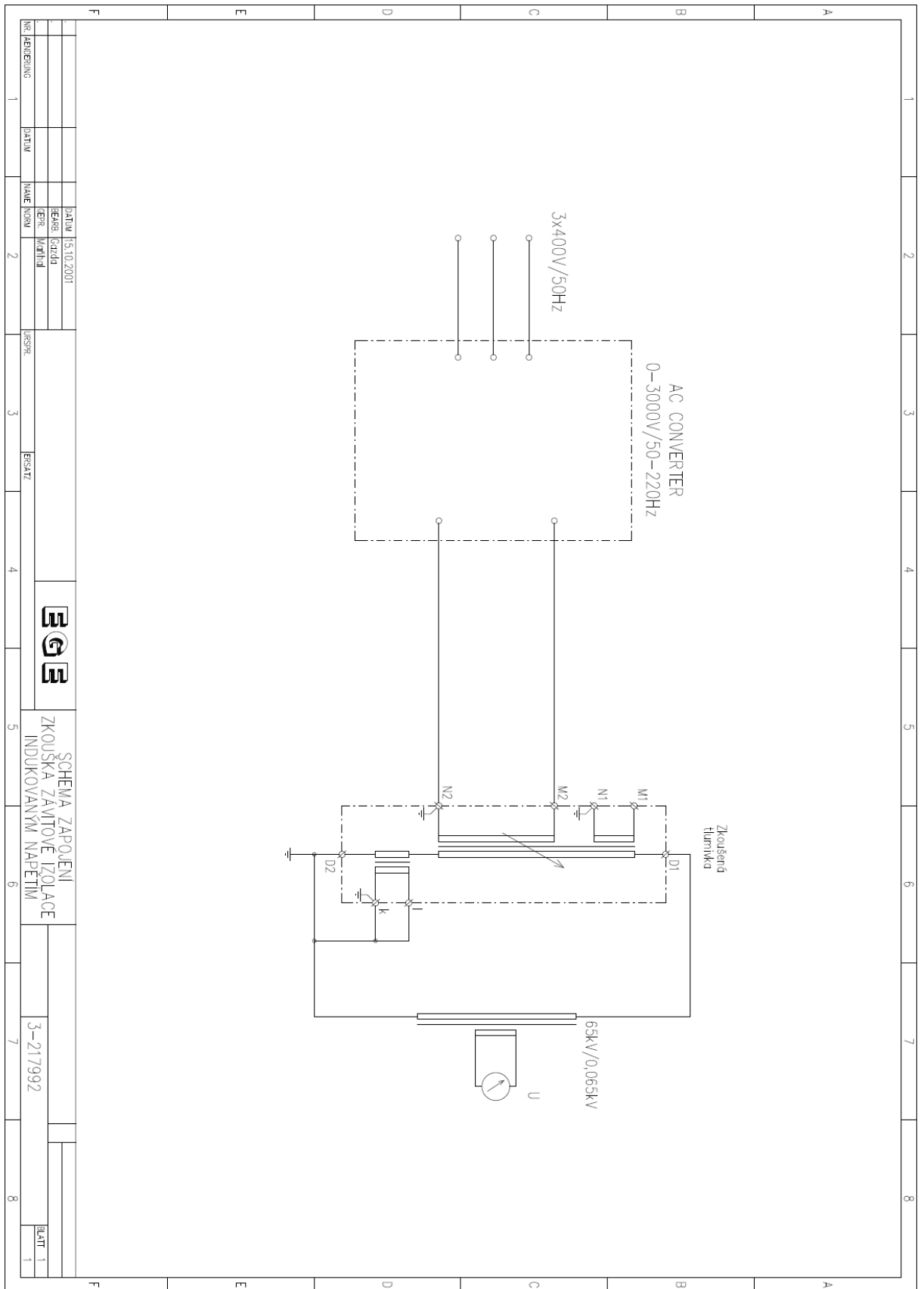
Druhá vyhodnocovaná ZT ASR 1.6, byla během první zkoušky měřena ve čtyřech bodech svého regulačního rozsahu z toho ve dvou bodech nesplňovalo výkonové vinutí požadovanou toleranci $\pm 10\%$. Na minimálním proudu 21 A bylo naměřeno na výkonovém vinutí napětí 429 V, spodní hranice je 450 V. Také u této ZT byla díky první zkoušce včas odhalena neshoda, která byla odstraněna dříve než byl aktivní díl umístěn do nádoby s olejem. Byl tak ušetřen čas a náklady spojené s jinak komplikovanou opravou.

Poslední vyhodnocovaná ZT ASR 15 V, je největší tlumivkou vyráběnou ve společnosti EGE s.r.o. Tato ZT prošla všemi zkouškami bez výhrad.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TOMAN, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., ORSÁGOVÁ, J., PAAR, M., TOPOLÁNEK, D., a kol.: *Provoz distribučních soustav*, Praha: Europrint a.s., 2011, 264 s., ISBN 978-80-01- 04935-8
- [2] ČSN EN 60076-6 *Výkonové transformátory – Část 6:Tlumivky*. Praha, 2009.
- [3] ČSN EN 60076-3 *Výkonové transformátory – Část 3:Izolační hladiny, dielektrické zkoušky a vnější vzdušné vzdálenosti*. Praha, 2001.
- [4] BAŠTA, KULDA, ZOUBEK, KOPEČEK A KOLEKTIV. *Měření na elektrických strojích, 2. Měření na transformátorech*, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. 247 s., L25b-B3-4-II/5373.
- [5] BAŠTA, KULDA, ZOUBEK, KOPEČEK A KOLEKTIV. *Měření na elektrických strojích, 1. Všeobecná část*, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. 302 s., L25b-B3-4-II/5335.
- [6] ČSN EN 60076-10 *Výkonové transformátory – Část 10:Stanovení hladin hluku*. Praha: 2002.
- [7] FEJT, Z., ČERMÁK, J.: *Elektroenergetika*. Skripta ČVUT, Praha: 1985.

Příloha A



Příloha B

