

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Bakalářská práce

**Tepelné zatěžování výkonových polovodičových měničů
pro trakci**

**Thermal loading of the power semiconductor converters
for traction**

Vladimír HOLÝ

Plzeň 2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vladimír HOLÝ**

Osobní číslo: **E16B0041K**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Tepelné zatěžování výkonových polovodičových měničů pro trakci**

Zadávací 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. Osvětlete problematiku tepelného zatěžování z hlediska legislativy České republiky.
2. Proveďte samostatný výběr trakčního měniče pro testování tepelného zatěžování.
3. Vypracujte blokové schéma zapojení vybraného trakčního měniče pro zkoušky.
4. Navrhněte koncepci zkoušek pro tepelné zatěžování.
5. Navrhněte metodiku vyhodnocení navržených zkoušek.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 61287-1 Drážní zařízení - Výkonové měniče instalované v drážních vozidlech.
2. Flajtingr J., Kule L.: Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči, skripta ZČU Plzeň, 2005.
3. Vondrášek F.: Projektování výkonových polovodičových měničů-vybrané stati, skripta ZČU Plzeň, 2008.


Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Dr. Ing. Jiří Flajtingr


Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018


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




Prof. Ing. Vladar Kís, CSc.
vedoucí katedry

Abstrakt

HOLÝ, Vladimír. *Tepelné zatěžování výkonových polovodičových měničů pro trakci*. Plzeň, 2018. 33 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.

Klíčová slova

Drážní zařízení, ČSN EN, trolejbus, pohon, typová zkouška, oteplení, kondenzátor, fólie, metoda částečných výbojů

Tato bakalářská práce zpracovává základní problematiku návrhu výkonových polovodičových měničů pro trakci z hlediska tepelného zatěžování. V rámci práce byly prozkoumány a vypsány předpisy dané Českými technickými normami platnými pro drážní zařízení, jež se týkají problematiky typových zkoušek oteplením trakčních měničů. Výstupem je rovněž definice měřicích míst pro korektní vyhodnocení typové zkoušky i maximálních hodnot oteplení. Závěr práce je věnován kondenzátorům jako komponentě s častým výskytem poruch způsobených tepelnou zátěží a diagnostické metodě částečných výbojů, která tyto závady v provozu eliminuje.

Abstract

HOLÝ, Vladimír. *Thermal loading of the power semiconductor converters for traction*. Plzeň, 2018. 33 p. Bachelor thesis. University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering.

Keywords

Railway equipment, CSN EN, trolleybus, propulsion system, type test, temperature rise, capacitor, foil, method of partial discharge

This thesis focuses on basic design problems of power electronic converters for traction in terms of thermal loading. All the regulations of the Czech technical standards applicable to railway equipment, related to temperature rise type tests, were examined and listed within the work. The output of the thesis is also definition of measuring points for a correct evaluation of the type test as well as the maximum temperature rise. Last part of the thesis aims to capacitors as a component with frequent failures caused by thermal loads and to a diagnostic method of partial discharge, which helps to limit such failures in operation.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

„Tepelné zatěžování výkonových polovodičových měničů pro trakci“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího bakalářské práce pana doc. Dr. Ing. Jiřího Flajtingra, odborného konzultanta Ing. Vojtěcha Matyse a za použití pramenů uvedených v přiložené bibliografii.

V Plzni, dne 16.04.2018

.....
Podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Jiřímu Flajtingrovi za cenné odborné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ABSTRAKT	3
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	6
ÚVOD	7
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	8
1.1 KATEGORIE ZKOUŠEK	8
1.1.1 TYPOVÉ ZKOUŠKY	9
1.1.2 VÝROBNÍ KUSOVÉ ZKOUŠKY	15
1.1.3 INFORMAČNÍ ZKOUŠKY	15
1.2 PŘEHLED TYPOVÝCH ZKOUŠEK	15
1.3 TYPOVÁ ZKOUŠKA OTEPLENÍM	17
2 VÝBĚR TRAKČNÍHO MĚNIČE PRO TESTÍ TEPELNÉHO ZATĚŽOVÁNÍ	18
3 KONCEPCE ZKOUŠEK PRO TEPELNÉ ZATĚŽOVÁNÍ	19
4 VÝKONOVÉ KONDENZÁTORY V TRAKČNÍM POHONNÉM SYSTÉMU	23
4.1 KRITICKÉ TEPLoty PRO FÓLIE	25
4.2 PROBLEMATIKA ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ	27
ZÁVĚR	30
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	31
SEZNAM TABULEK	32
SEZNAM OBRÁZKŮ	32
SEZNAM PŘÍLOH	33

Seznam symbolů a zkratk

ČSN EN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
IEC	Technická norma
IGBT	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
SDU	Polovodičové spínací jednotky
T_a	Teplota okolního vzduchu
T_r	Referenční teplota

Úvod

V elektrotechnice neustále rostou požadavky na spolehlivost, životnost a bezpečnost provozu elektrických zařízení. Při současném nárůstu složitosti a tlaku na snižování nákladů na jejich výrobu i provoz, lze tyto požadavky splnit pouze s využitím moderních výrobních metod, diagnostiky a optimálním dimenzováním jednotlivých komponent.

Cílem této bakalářské práce je zpracovat základní problematiku tepelného zatěžování výkonových polovodičových měničů pro trakci, a to na konkrétním vybraném měniči.

První část bakalářské práce se zabývá přehledem zkoušek pro výkonové trakční měniče.

Ve druhé kapitole je proveden výběr trakčního měniče pro testování tepelného zatěžování a je navržena oteplovací typová zkouška. Nejdříve jsou definovány všeobecné podmínky nutné pro uskutečnění zkoušky, dále je vypracován již konkrétní návrh tepelného zatěžování trakčního měniče, včetně návrhu měřicích bodů a stanovení mezních teplot při zkoušce.

Poslední kapitola se věnuje výkonovým kondenzátorům v trakčním pohonném systému, blíže pak problematice částečných výbojů, která je úzce spojena právě s dimenzováním kondenzátorů a jejich tepelným zatěžováním nejen při typových zkouškách, ale zejména v následném provozu.

1 Úvod do problematiky

Každé vyvinuté elektrotechnické zařízení je nutné vyzkoušet a ověřit jeho funkčnost a bezpečnost. Pro každý druh zařízení pak existuje norma, která definuje názvosloví, provozní podmínky, všeobecné charakteristiky a zkušební metody.

Tato práce se zabývá pohonným systémem trolejbusu. Legislativa České republiky řadí trolejbus do kategorie drážních vozidel, proto musí být návrh v souladu s Českou technickou normou *ČSN EN 61287-1 ed. 2. Drážní zařízení – Výkonové měniče instalované v drážních vozidlech*. „Tato část IEC 61287 definuje terminologii, provozní podmínky, obecné charakteristiky a zkušební metody elektronických výkonových měničů instalovaných v drážních vozidlech.“ [1, str. 10]

[1, str. 23] Cílem zkoušek je ověření shody výrobku s příslušnou specifikací. Rozsah zkoušek, jejich postup a parametry musí být stanoveny dohodou mezi výrobcem a uživatelem. Rozsah zkoušek se doporučuje omezit na ty, které jsou nezbytné. Tyto zkoušky jsou většinou prováděny přímo v závodě výrobce, některé je však vzhledem k jejich charakteru nutné provést ve zvláštní zkušebně nebo přímo na vozidle. Takové zkoušky se týkají především výkonové části měniče, včetně SDU (polovodičové spínací jednotky).

1.1 Kategorie zkoušek

[1, str. 23] *Norma uvažuje tři kategorie zkoušek, a to:*

- *Typové zkoušky;*
- *Výrobní kusové zkoušky;*
- *Informační zkoušky.*

1.1.1 Typové zkoušky

Při návrhu pohonného systému musí vzít projektant v úvahu mnoho detailů a nespolehat se jen na údaje výrobců komponent. Ze zkušeností výrobců pohonných systémů vyplývá, že katalogové parametry výrobců jednotlivých komponent bývají často velmi optimistické, pravděpodobně s cílem získat konkurenční výhodu. Neocenitelné jsou proto vlastní zkušenosti celého týmu podílejícího se na vývoji zařízení.

1.1.1.1 Požadavky na funkční charakteristiku pohonu při zkoušce oteplením

[8, str 21 – 22] *Oteplení, které je způsobeno činností částí zařízení a je naměřeno během zkoušky prováděné při ekvivalentním trvalém jmenovitém proudu za podmínek stanovených v článku 9.3.2 ,Oteplení (typová zkouška)‘ normy ČSN EN 60077-1 a nesmí překročit hodnoty, které uvádí Tabulka 1 dále v textu.*

Mezní hodnoty oteplení uvedené v Tabulce 1 platí pro zařízení zkoušená ve stavu, kdy jsou nová a čistá. V normách výrobků mohou být předepsány různé hodnoty pro různé podmínky zkoušek.

Oteplení v normálním provozu se může lišit od zkušebních hodnot v závislosti na podmínkách instalace a velikosti připojených vodičů.

Doplňující zkoušky oteplením při skutečných provozních podmínkách (při přerušovaném provozu s různými hodnotami proudu měnícími se s časem) mohou být provedeny po dohodě mezi výrobcem a uživatelem, aby se tak potvrdilo, že odlišná přetížení nebudou mít za následek poškození zařízení. Pro takové zkoušky se mezní hodnoty oteplení mohou lišit od hodnot uvedených v Tabulce 1 a budou záviset na mezních namáháních použitých materiálů.

Aby byla vzata v úvahu přechodná tepelná namáhání, která jsou důsledkem

- momentálního nedostatečného chlazení při spouštění a zastavování zařízení,*
- snížené účinnosti chladicího systému, např. zaneseného filtru, mohou být nutné doplňující požadavky.*

Tyto specifické požadavky mají být příslušným způsobem specifikovány uživatelem jako provozní podmínka.

1.1.1.2 Teplota okolního vzduchu (T_a)

Stanovení mezních hodnot oteplení musí vycházet z referenční teploty $T_r = 25\text{ °C}$, jak je uvedeno v EN 50125-1.

Za okolní vzduch musí být považován vzduch obklopující přístroj, jehož teplota se bude lišit podle místa, kde je přístroj namontován.

Teplotou okolního vzduchu T_a pro venkovní umístění je referenční teplota T_r .

Teplotou okolního vzduchu T_a pro umístění uvnitř je referenční teplota zvýšená o oteplení vzduchu v důsledku místních tepelných ztrát, jestliže se vezmou v úvahu normální podmínky chlazení.

V každé z různých vnitřních částí skříně vozidla, v motorovém prostoru, v přístrojové skříni, krytu atd. může být oteplení vzduchu odlišné. Jestliže tato hodnota není specifikována v příslušném dokumentu ani není známá, je nutné mít za to, že během provozu nepřesahuje 30 K. Uvažovaná teplota okolního vzduchu je potom $T_a = 55\text{ °C}$ ($25\text{ °C} + 30\text{ K}$), a předpokládaná maximální teplota může být tedy 70 °C ($40\text{ °C} + 30\text{ K}$). POZNÁMKA Jestliže součástky použité na těchto místech uvnitř byly navrženy pro $T_a=25\text{ °C}$, je třeba hodnoty jejich funkčních charakteristik snížit.

1.1.1.3 Hlavní obvod

Hlavní obvod zařízení musí být schopný vést jmenovitý pracovní proud zařízení, aniž by oteplení při zkouškách (podle 9.3.2 normy) překročilo mezní hodnoty stanovené v Tabulce 1.

1.1.1.4 Řídicí obvody

Řídicí obvody zařízení, včetně přístrojů řídicích obvodů, které mají být použity pro zapínání a vypínání zařízení, musí dovolit daný provoz při jmenovitém pracovním napětí. Zařízení musí vyhovět při stanovených zkouškách (podle 9.3.2 normy), aniž by při jejich provádění oteplení překročilo mezní hodnoty stanovené v Tabulce 1.

1.1.1.5 Pomocné obvody

Pomocné obvody zařízení, včetně pomocných spínačů, musí být schopné vést svůj jmenovitý pracovní proud, aniž by oteplení při zkouškách (podle 9.3.2 normy) překročilo mezní hodnoty stanovené Tabulkou 1.

Je-li pomocný obvod nedílnou částí zařízení, je dostačující jeho vyzkoušení současně s hlavním zařízením, avšak při svém skutečném pracovním proudu.

1.1.1.6 Izolační materiály

Oteplení dosažené během zkoušek nesmí způsobit poškození částí vedoucích proud nebo přilehlých částí zařízení. Zejména nesmí teplota izolačních materiálů překročit hodnoty dané tepelnou třídou izolace.

Maximální dovolené oteplení je rovno tepelné třídě izolace, snižené o teplotu okolního vzduchu, stanovenou podle článku 8.2.2.2 normy. Mezní hodnoty jsou stanoveny v Tabulce 1, kde jsou uvedeny příklady pro každou tepelnou třídu izolace a pro následující případy:

- pro teplotu okolí rovnou referenční teplotě $T_r = 25\text{ °C}$;*
- pro teplotu okolního vzduchu uvnitř krytu nebo skříně s vnitřním oteplením 30 K.*

Tabulka 1 neplatí pro oteplení částí zařízení, které jsou ponořeny do izolační kapaliny.

Tam, kde jsou použity izolační kapaliny, má být stanovena maximální pracovní teplota.

Tabulka 1 – Mezní hodnoty oteplení pro izolační materiály

Tepelná třída	Teplota izolace °C	Mezní hodnoty oteplení pro maximální teplotu okolního vzduchu	
		40°C (T _a = 25°C)	70°C (T _a = 55°C)
		K	K
A	105	80	50
E	120	95	65
B	130	105	75
F	155	130	100
H	180	155	125
200	200	175	145
220	220	195	165
250	250	225	195

Zdroj: [8], str. 23

1.1.1.7 Svorky

Oteplení svorek nesmí překročit hodnoty stanovené v Tabulce 2 s přípojovacími vodiči (plochý vodič nebo typ kabelu, druh izolace a průřez) specifikovanými výrobcem.

Tabulka 2 – Mezní hodnoty oteplení svorek

Materiál svorek	Mezní hodnoty oteplení pro maximální teplotu okolního vzduchu		Maximální teplota °C
	40°C (T _a = 25°C)	70°C (T _a = 55°C)	
	K	K	
Holá měď	60	30	105
Holá mosaz	65	35	
Cínovaná měď nebo mosaz			105
Stříbřená nebo niklovaná měď nebo mosaz	70	40	

Zdroj: [8], str. 24

1.1.1.8 Přístupné části

Oteplení přístupných částí při normálním používání zařízení nesmí překročit hodnoty stanovené Tabulkou 3.

Tabulka 3 – Mezní hodnoty oteplení přístupných částí

Přístupné části	Mezní hodnoty oteplení pro maximální teplotu okolního vzduchu		Maximální teplota °C
	40°C (T _a = 25°C)	70°C (T _a = 55°C)	
	K	K	
Ruční ovládací prostředky:			
- kovové	15	neplatí	55
- nekovové	25	neplatí	65
Části, které jsou určeny k dotyku, ne však k držení v ruce:			
- kovové	30	nedoporučuje se	70
- nekovové	40	10	80
Části, jichž se při normální činnosti není třeba dotýkat:			
- kovové	40	10	80
- nekovové	50	20	90
Části, které nejsou při normální činnosti určeny k dotyku			
Vnější části krytu přilehlé ke vstupům kabelů:			
- kovové	40	10	80
- nekovové	50	20	90
Vnější části krytu zařízení, např. rezistory	200		
Vzduch vycházející z ventilačních otvorů krytů zařízení, např. rezistorů	200		

Zdroj: [8], str. 25

1.1.1.9 Jiné části

Oteplení jiných živých částí je omezeno pouze bezpečností a poškozením, které by mohlo být způsobeno na přilehlých částech.

1.1.1.10 Činnost následující po nečinnosti

Po nečinnosti drážních vozidel může trvat nějakou dobu, než se dosáhne normálního provozního stavu. Během této doby musí zařízení pracovat, v některých stavech jeho funkční charakteristiky však nemusí plně odpovídat požadavkům. Tyto stavy musí být

dohodnuty nebo výslovně definovány, je-li to nutné, mezi uživatelem a výrobcem. Například teplota některých částí zařízení může být krátkodobě vyšší nebo nižší než nejvyšší nebo nejnižší teplota přípustná pro normální provoz. Takové situace však nesmí způsobit poškození samotného zařízení a nesmí nijak ohrozit přilehlé části. Podmínky skladování se nepovažují za přechodný provoz, a jsou-li mimo normální rozsah, musí být dohodnuty mezi uživatelem a výrobcem.

Před prováděním typových zkoušek se zařízení musí zkontrolovat výrobní kusovou zkouškou. Typové zkoušky se musí provádět pro ověření, že výrobek odpovídá požadavkům specifikovaným a dohodnutým mezi výrobcem a uživatelem. Typové zkoušky se musí provádět na jedné jednotce dané konstrukce a daného výrobního postupu. Pro tuto zkoušku mají být v zásadě všechny části měniče identické se sériově vyráběným zařízením.

Pokud jsou po typové zkoušce na měniči provedeny značné úpravy, má vzniknout mezi výrobcem a uživatelem dohoda o opakování části nebo celé zkoušky.

Pokud je celý měnič nebo jedna z jeho částí identická nebo podobná již dříve zkoušené, může výrobce poskytnout osvědčení o předešlých zkouškách, které musí splňovat alespoň smluvní požadavky. V takových případech, není-li dohodnuto jinak, se zkouška nemusí opakovat.

V případě výroby velkého množství identických měničů se na základě předchozí dohody mezi výrobcem a uživatelem mohou některé zkoušky na měničích nebo na jedné z jejich částí odebraných z běžné výroby nebo dodávek opakovat, aby bylo ověřeno, že kvalita výrobků stále odpovídá stanoveným požadavkům.

Typové zkoušky, které jsou předmětem dohody mezi výrobcem a uživatelem, se mají provádět pouze tehdy, pokud to je uvedeno ve specifikaci.

1.1.2 Výrobní kusové zkoušky

Výrobní kusové zkoušky se provádějí pro ověření, že měnič je správně sestaven a všechny součásti spolehlivě a bezpečně pracují. Výrobní kusové zkoušky musí být provedeny výrobcem na každém kusu daného typu. Výrobce a uživatel se mohou dohodnout na alternativním postupu zkoušky. Tato dohoda může umožnit zkrácení výrobních kusových zkoušek všech měničů nebo vyžadovat úplné výrobní kusové zkoušky na části měničů, náhodně vybrané z měničů vyrobených na objednávku.

Výrobní kusové zkoušky, které jsou předmětem dohody mezi výrobcem a uživatelem, se mají provádět pouze tehdy, pokud je to uvedeno ve specifikaci.

1.1.3 Informační zkoušky

Informační zkoušky, jejichž cílem je získání doplňujících informací o použití měniče, musí být předmětem předchozí dohody mezi výrobcem a uživatelem. Provedení těchto zkoušek se požaduje pouze tehdy, je-li to výslovně stanoveno v objednávce. Výsledky informačních zkoušek nesmí být použity jako důvod k odmítnutí přejímky zařízení nebo uplatňování sankcí.

Tato bakalářská práce bude dále rozvíjet pouze problematiku typových zkoušek.

1.2 Přehled typových zkoušek

Typová zkouška je zkouška, jejímž primárním cílem je ověřit, že nový výrobek se shoduje se zadanými parametry a zároveň splňuje podmínky a bezpečnostní funkce dané drážní normou.

Typové zkoušky se pak obvykle provádí pouze na prvním kusu výrobku za podmínky, že všechny další sériové výrobky jsou s tímto kusem shodné.

V níže uvedené Tabulce 4 jsou vypsané všechny typové zkoušky doporučené normou ČSN EN 61287-1 ed. 2.

Tabulka 4 - Seznam typových zkoušek dle normy ČSN EN 61287-1 ed. 2

Druh typové zkoušky	Místo	Odstavec normy ČSN EN
Ověření rozměrů a tolerancí	W.S.	4.5.3.2
Vážení	W.S.	4.5.3.3
Zkoušky vlastností systému chlazení	W.S./V	4.5.3.5
Zkouška stupně ochrany krytem ^a	W.S.	4.5.3.6
Zkoušky mechanické a elektrické ochrany a měřicího zařízení	W.S.	4.5.3.9
Zkouška komutace	W.S./V	4.5.3.11
Měření akustického hluku	W.S.	4.5.3.12
Zkouška oteplení	W.S.	4.5.3.13
Stanovení ztráty výkonu	W.S.	4.5.3.14
Zkouška přepětím a přechodná energie	W.S./V	4.5.3.15
Náhlé změny zatížení ^a	W.S./V	4.5.3.16
Kontrola bezpečnostních požadavků	W.S.	4.5.3.17
Zkouška odolnosti proti vibracím a rázům	W.S.	4.5.3.18
Zkouška elektromagnetické kompatibility	W.S./V	4.5.3.19
Zkouška skokové změny síťového napětí ^a	W.S./V	4.5.3.20
Zkouška krátkodobého přerušení napájení ^a	W.S./V	4.5.3.21
Rozdělení proudů ^a	W.S./V	4.5.3.22
W.S.: Zkouška musí být provedena v dílně		
W.S./V: Zkouška může být provedena v dílně nebo na vozidle		
^a : Provedení zkoušky je předmětem dohody mezi výrobcem a uživatelem		

Zdroj: [1], str. 26

Tato bakalářská práce se bude dále zabývat zejména typovou zkouškou oteplením a jejími specifiky.

1.3 Typová zkouška oteplením

Účelem oteplovací zkoušky je stanovit oteplení jednotlivých částí při jmenovitých hodnotách a určit, zda nepřekračuje dovolené oteplení. Dovolené oteplení je stanovené normativně například z třídy izolace.

[1, str. 31] *Výrobce musí ve specifikaci typové zkoušky uvést seznam součástí, u nichž se musí měřit oteplení. Uživatel může tento seznam upravit. Musí se ověřit, že oteplení na povrchu nebo uvnitř kritického místa uvedených součástí je v měniči nižší než mezní hodnoty, je-li měnič vystaven průběhu zatížení nebo ekvivalentnímu vypočítanému výstupnímu proudu při jmenovitém vstupním napětí. Mezní hodnoty jednotlivých součástí jsou definovány jejich výrobcí.*

Pro každou součást v tomto seznamu se musí určit metoda měření, a to:

- **Přímá** – tzn. přímo teploměrem například na sběrnících, rezistorech, kondenzátorech, spojích či chladičích;
- **Nepřímá** – nepřímé hodnocení může být prováděno na vinutích induktorů;
- **Výpočtem** – tato metoda se používá u součástí s vysokými vnitřními rozptylovými ztrátami, kde oblast pro přímé měření není přístupná, např. přechod výkonových polovodičů, vinutí transformátorů, induktorů a kondenzátorů.

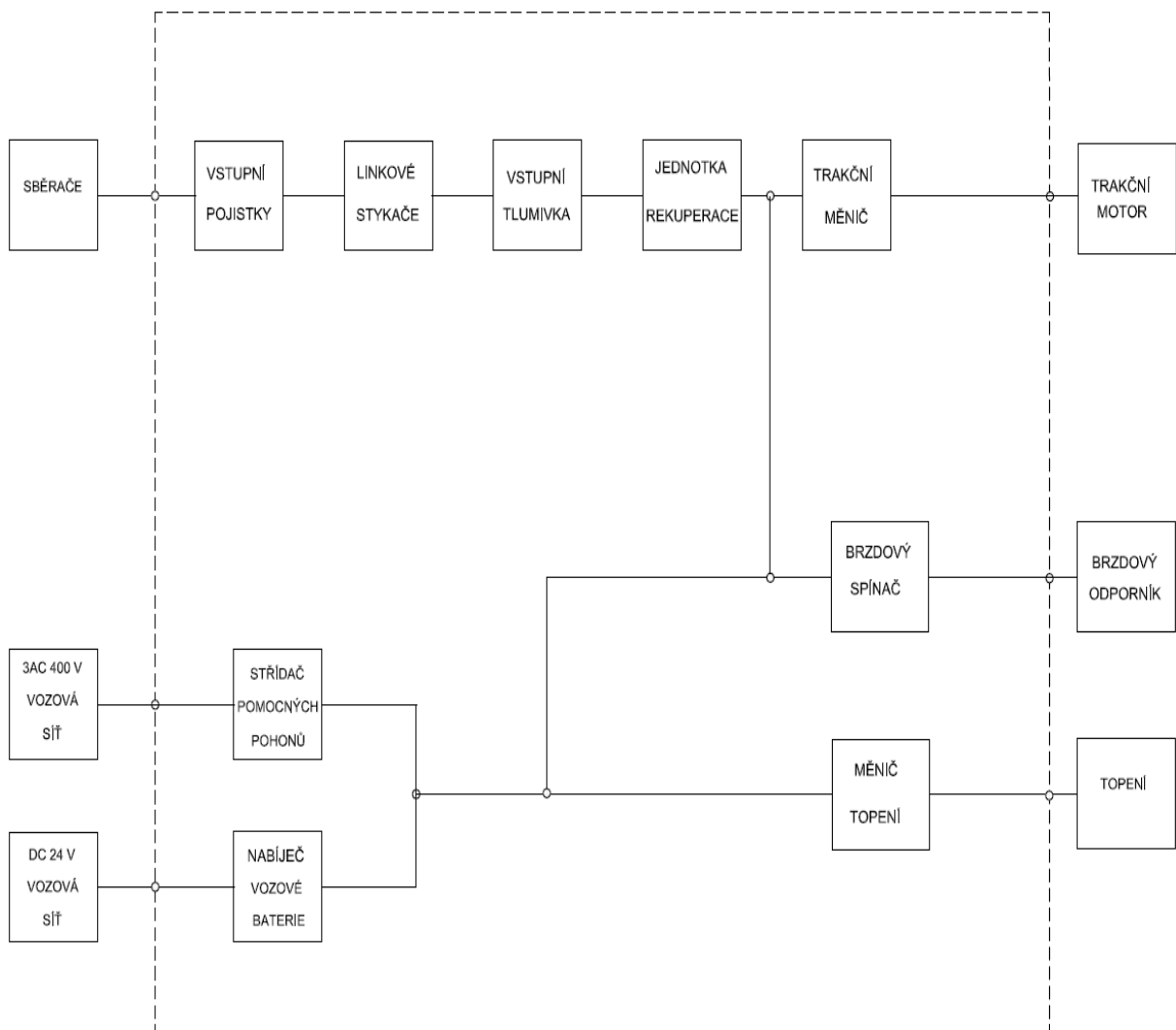
Oteplení je definováno teplotním rozdílem mezi teplotou chladicího média na vstupu do měniče a teplotou dané součástky. Tato zkouška je pokládána za úspěšnou, pokud je zvýšení teploty kterékoliv součástky rovno nebo nižší než stanovené hodnoty.

2 Výběr trakčního měniče pro testování tepelného zatěžování

Na základě možností ve výrobním závodě ŠKODA ELECTRIC, a.s. a po dohodě s vedoucím bakalářské práce byl pro testování tepelného zatěžování vybrán pohonný systém trolejbusu.

Níže uvedené blokové schéma znázorňuje kompletní pohonný systém trolejbusu, vč. všech periferií, jako např. vzduchový kompresor, trakční motor, čerpadlo pomocných pohonů atd., pro ekvivalentní zapojení při typové zkoušce oteplením.

Obrázek 1 – Blokové schéma zapojení pohonného systému trolejbusu



Zdroj: Vlastní zpracování, 2017

3 Koncepce zkoušek pro tepelné zatěžování

[9, str. 13] *Elektronické zařízení musí být navrženo a vyrobeno tak, aby pro vybrané teplotní třídy uvedené v Tabulce 5 odpovídalo plně požadavkům na funkční charakteristiky, uvedeným ve specifikaci.*

Při návrhu je nutno vzít zřetel na zvýšení teploty ve skříních, aby se zajistilo, že u součástí nebudou překročeny jejich stanovené jmenovité hodnoty teploty. Kromě toho musí zařízení vyhovět zvláštním krátkodobým tepelným podmínkám při rozběhu, stanoveným ve sloupci 3. Po tuto dobu nemusí být jmenovité hodnoty funkčních charakteristik zcela dodrženy, avšak maximální teplota okolo sestavené desky podle sloupce 4 nesmí být překročena.

Tabulka 5 - Teplota okolí

Třída	Sloupec 1		Sloupec 2		Sloupec 3	Sloupec 4	
	Teplota okolí vně vozidla		Vnitřní teplota skříně		Přírůstek vnitřní teploty skříně během 10 min	Teplota vzduchu okolo sestavené desky	
	(EN 50125-1, tab. 2, sloupec 1)						
	°C		°C		°C	°C	
T1	-25	+40	-25	+55	+15	-25	+70
T2	-40	+35	-40	+55	+15	-40	+70
T3	-25	+45	-25	+70	+15	-25	+85
TX	-40	+50	-40	+70	+15	-40	+85

Zdroj: [9], str. 13

Je nutno vzít v úvahu rychlé změny vnější teploty okolí, které jsou důsledkem jízdy v tunelech. Pro tento účel je nutno předpokládat rychlost změny vnější teploty 3 °C/s, s maximální změnou 40 °C.

Typová zkouška oteplením je prováděna při jmenovitých hodnotách na vstupech i výstupech zařízení. Projektant pohonu musí ve zkušebním předpisu, na základě kterého je typová zkouška prováděna, stanovit maximální hodnoty oteplení dle produktových listů jednotlivých součástí měniče, a to vše v souladu s normou ČSN EN 61287-1 ed. 2. Projektantem jsou ve zkušebním předpisu detailně popsána konkrétní měřicí místa, na která jsou aplikovány termočlánky. Někteří výrobci vinutých dílů instalují po domluvě termočlánky přímo do středu svých dílů při výrobě, čímž je dosaženo vyšší přesnosti měření.

Zkouška je prováděna po tak dlouhou dobu, dokud nedojde k ustálení teplot, což je charakterizováno jako změna, resp. nárůst teploty menší než 1°C za hodinu. Tyto hodnoty jsou následně porovnány se zadáním. Pokud jsou splněny, typová zkouška byla provedena s výsledkem „Vyhovuje“. Pokud teploty nejsou dodrženy, resp. jsou překročeny, je nutné provést odpovídající zásahy a úpravy, po kterých se zkouška opakuje do té doby, dokud měnič zadání nevyhoví.

Veškerá předem definovaná měřicí místa jsou osazena termočlánky, které průběh zkoušky oteplením zaznamenávají v teplotní ústředně (viz Obrázek 2) a následně se vykreslují do grafického výstupu pro snadnější a rychlejší předběžné vyhodnocení.

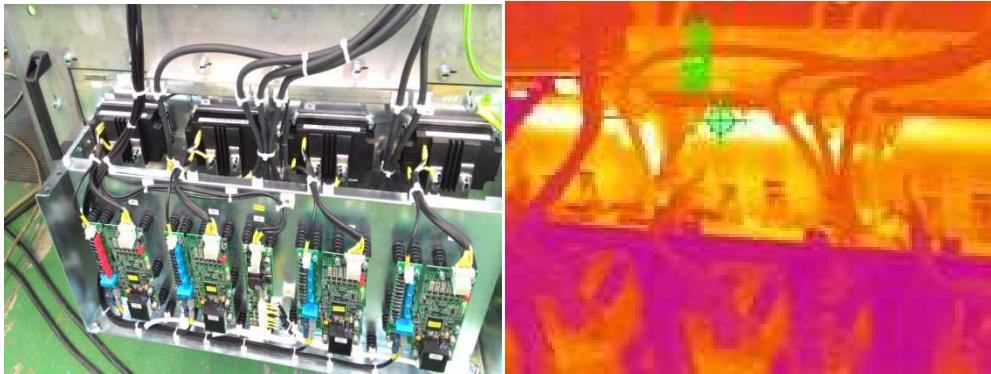
Obrázek 2 – Teplotní ústředna se 48 měřicími kanály



Zdroj: Vlastní zpracování, 2017

Pro ověření správnosti výstupu z teplotní ústředny jsou prováděna kontrolní měření za pomoci bezkontaktních infračervených teploměrů a termokamery. Obrázek 3 ukazuje pro ilustraci zobrazení z termokamery z reálné zkoušky oteplením.

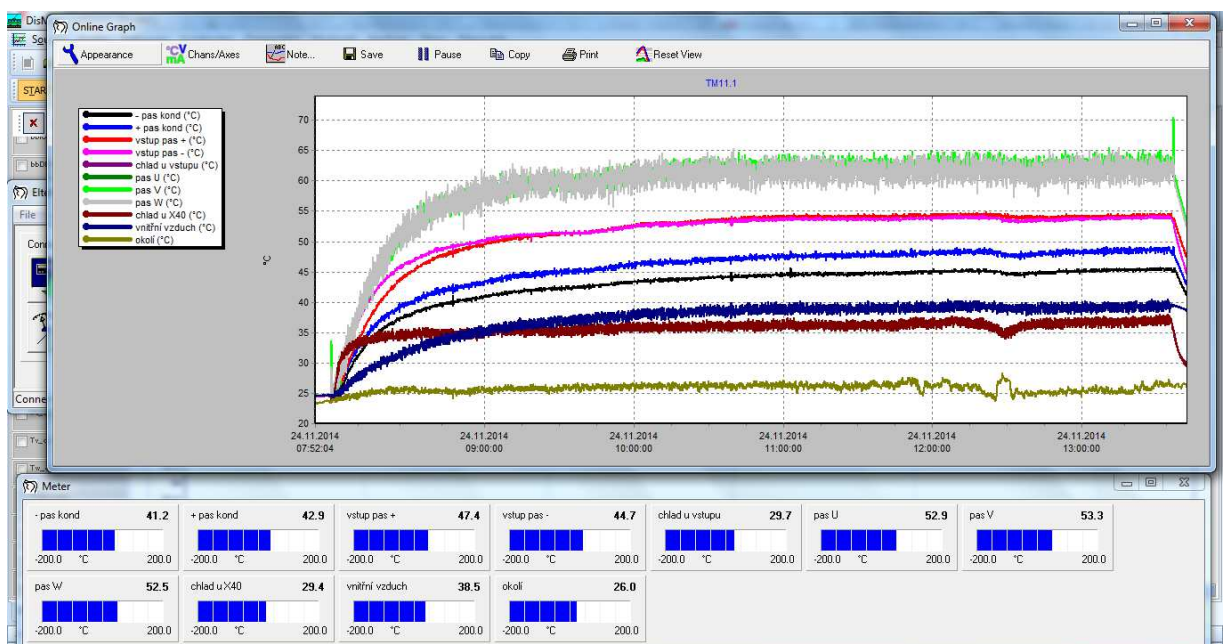
Obrázek 3 – Porovnání zobrazení běžné kamery a termokamery



Zdroj: Vlastní zpracování, 2017

Následující obrázek je ukázkou záznamu dílčí zkoušky oteplením pohonu za pomoci termočlánků zapojených do teplotní ústředny. Průběhy teplot v čase lze zobrazit jak graficky (viz Obrázek 4), tak v datovém formátu (excel) pro účely vyhodnocení a dalšího zpracování.

Obrázek 4 – Záznam průběhu teplot při zkoušce oteplením pohonného systému



Zdroj: Vlastní zpracování, 2017

Trolejbus je obvykle navrhován pro teplotní třídu T1, viz Tabulka 5. Při zkoušce oteplením se musí ověřit, že pohon byl dobře navržen a výsledek zkoušky se doloží protokolem s dosaženými teplotami. Každá z komponent má svou vlastní přípustnou teplotu definovanou výrobcem či normou. U některých komponent pohonu je již z umístění zřejmé, že se budou ohřívat více než stejná komponenta na jiném místě, např. pro IGBT tranzistory pro spínání fází umístěné za sebou je jisté, že nejučinněji bude ochlazován první v řadě a všechny další budou ovlivněny předávaným teplem z chladičů předešlých tranzistorů. Z tohoto důvodu není nutné měřit veškeré komponenty pohonu, ale pouze ty s nejnepříznivějšími podmínkami. Těmito komponenty jsou:

Tabulka 6 – Návrh měřicích míst pro typovou zkoušku oteplením

Měřicí místa	Maximální teplota	Poznámka
	°C	
Teplota okolí	40	tabulka č. 5
Teplota vnitřního vzduchu skříně pohonu	55	a zároveň musí být nižší nebo rovna maximální teplotě komponentu s nejnižší maximální dovolenou teplotou
Vstupní/výstupní svorky	110	tabulka č. 3
Vinuté díly	x	dle tepelné třídy izolace ze specifikace dané výrobcem - tabulka č. 2
Pojistky	x	dle specifikace výrobce
Kondenzátory	x	dle specifikace výrobce
Spínací prvky	x	dle specifikace výrobce
Kabely	x	dle specifikace výrobce
Měděné pasy niklované	110	tabulka č. 3
Výstup chladičového vzduchu	240	tabulka č. 4

Zdroj: Vlastní zpracování, 2017

Z praxe vyplývá, že je vhodné uvažovat rezervy 10 až 15% oproti tabulkovým hodnotám daných výrobcem, což se pozitivně projeví na životnosti výrobku.

Na základě dlouhodobých zkušeností jsou problematickými komponentami, z pohledu životnosti měniče, kondenzátory. Z tohoto důvodu, po dohodě s vedoucím bakalářské práce, je poslední část zaměřena na problematiku kondenzátorů v pohonném systému trolejbusu.

4 Výkonové kondenzátory v trakčním pohonném systému

V elektrotechnickém průmyslu se používá několik druhů kondenzátorů, které se od sebe liší tvarem nebo typem použitého dielektrika. Při použití kondenzátorů v tak sofistikovaném zařízení, jakým trolejbus bezesporu je, se i renomovaní výrobci učí, jak se vyrovnat s velkými rozdíly teplot, vibracemi a dalšími specifickými podmínkami použití těchto dílů.

Kondenzátory dělíme na vzduchové, keramické, papírové, slídové, elektrolytické a fóliové. Ve výkonových pohonech se téměř výhradně setkáváme s kondenzátory fóliovými, zejména pro jejich napěťovou odolnost a trvanlivost. Fóliové kondenzátory se dále dělí do dvou kategorií [10]:

- *Kondenzátory s elektrodami z tenkých kovových fólií, které umožňují velmi vysoké impulsní a proudové zatížení, mají velmi dobrou stabilitu, vysokou spolehlivost, velmi vysoký izolační odpor a velmi nízké dielektrické ztráty. Speciální konstrukce těchto kondenzátorů zajišťuje jejich samoregenerační schopnost.*
- *Kondenzátory z metalizovaných fólií mají vynikající samoregenerační schopnosti a velmi malé rozměry. Kontakty jsou provedeny nastříkáním kovové vrstvy na čela svitků kondenzátorů. Vývody jsou přivařeny na tyto kontaktní plochy. Nástříkem kontaktů dojde ke zkratování jednotlivých závitů kondenzátorů a tím se dosáhne velmi nízké vlastní indukčnosti a vysoké rezonanční frekvence kondenzátoru.*

Pro výrobu dielektrika fóliových kondenzátorů se v současnosti používají zejména polypropylen a polyester.

Tabulka 7 – Materiály pro výrobu fólií fóliových kondenzátorů

Materiál fólie	Zkratka	Max. provozní teplota	Teplota změny elektrických vlastností
Polypropylen	PP	85	105
Polyetylen tereftalát	PET	100	125

Zdroj: Vlastní zpracování dle [7]

I při použití fóliových kondenzátorů musí být věnována zvýšená pozornost při výběru typu a následném návrhu celého měniče z důvodu napěťové odolnosti a provozní teploty kondenzátoru, ale také teploty okolí, v němž je kondenzátor použit. Díky spolupráci renomované plzeňské elektrotechnické výrobní společnosti (výrobce měniče) a dodavatele kondenzátorů při vývoji a následném zkušebním provozu měničů, byly ve výrobě kondenzátorů aplikovány dodatečné kontroly a vylepšení, jako např. použití šestihranných nebo jiných nekulatých vývodů pro připojení kondenzátorů namísto vývodů kulatých, čímž bylo docíleno mnohonásobně vyšší odolnosti proti přetočení vývodu v zalévací hmotě při utahování a povolování šroubů a matic a následného poškození připojení vývodu ke svitku kondenzátoru.

Obrázek 5 – Ukázka rozdílných tvarů vývodů kondenzátorů (vlevo – kulatý; vpravo – nekulatý)



Zdroj: Vlastní zpracování, 2017

Rovněž propojení vlastního svitku s vývody kondenzátoru je nutné vyrobit s dostatečnou „vůlí“ umožňující drobný pohyb mezi součástmi, např. při častých změnách teplot, kdy se mění jak okolní teplota trolejbusu v průběhu roku, tak i značné teplotní rozdíly vznikající při nočních odstavkách a následném nasazení zpět na linku. Nutností bylo také zavedení sledování technologických postupů po celou dobu výroby, a to včetně vlastní montáže, např. dodržení utahovacích momentů.

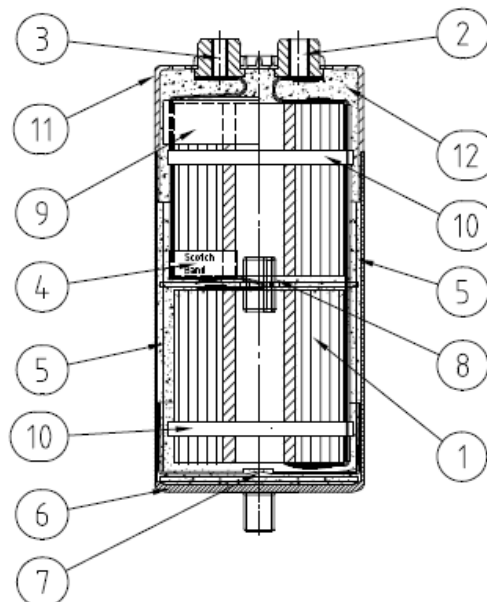
Vzhledem k charakteru této bakalářské práce bude dále rozvíjena problematika teplot.

4.1 Kritické teploty pro fólie

Každý typ kondenzátoru má ve svém katalogovém listu uvedeny limitní hodnoty povolených teplot, kdy jsou jmenovitě uvedeny:

- **minimální provozní teplota okolí** = nejnižší teplota okolí a tedy i nádoby kondenzátoru, při které může být kondenzátor spínán,
- **maximální provozní teplota okolí** - nejvyšší teplota okolí a tedy i nádoby kondenzátoru, které je možné v provozu dosáhnout,
- **„HOT SPOT“ teplota** – teplota v nejteplejším místě kondenzátoru.

Obrázek 6 – Řez kondenzátorem



Zdroj: Vishay, produktový list – Výkres vnitřní upořádání – viz Příloha č. 1

Popis Obrázku 6:

- 1 **svitek:** pokovená fólie svinutá do válce (elektrody s dielektrikem)
- 2,3 **připojovací vývody s propojovací páskou:** pružné propojení svitku s vývody
- 4 **lepicí páska:** páska pro fixování centrování
- 5 **izolace:** izolace oddělující svitek od nádoby kondenzátoru
- 6 **nádobu kondenzátoru/obal:** hliníkové válcové tělo kondenzátoru
- 7 **fixační čep:** čep se závitem umožňující mechanické uchycení kondenzátoru
- 8 **centrování:** vložka pro správné umístění svitku v nádobě
- 9 **čapka poloviční:** vnitřní krytka svitku

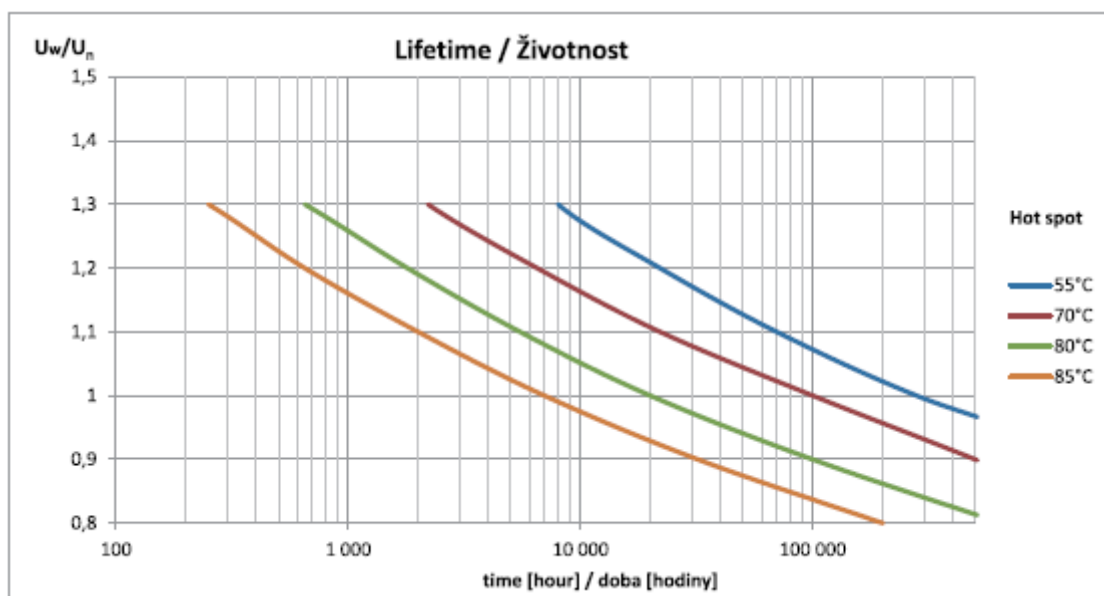
- 10 **lepící páska:** páska zabraňující rozvinutí svitku kondenzátoru
 11 **plastová čapka:** vrchní uzávěr kondenzátoru
 12 **zalévací hmota:** zalévací hmota, která vyplňuje volný prostor v nádobě

Celý výkres vnitřního uspořádání kondenzátoru Vishay je uvedený v Příloze č. 1.

Pokud se teplota okolí zvýší na hodnotu maximální povolené teploty nádoby kondenzátoru, neměl by jím již protékat žádný proud. Proud by teplotu nádoby kondenzátoru ještě zvýšil a jeho životnost by se tím razantně snížila nebo by přímo došlo k destrukci.

„Životnost kondenzátoru závisí na teplotě místa Hotspot způsobené protékajícím proudem a přiloženém napětí. Běžně se tato životnost pohybuje v rozmezí 100 000 – 200 000 hodin.“ [6, str. 4]

Obrázek 7 – Životnost kondenzátoru vztažená k tzv. hot spot teplotě



Zdroj: [6, str. 4]

Velmi důležitým údajem kondenzátoru při návrhu měniče je **ztrátový činitel**, který vyjadřuje ztráty v materiálu dielektrika, izolačním odporu a odporu kontaktů. Pokud kondenzátor pracuje ve střídavém obvodu, ztráty způsobují uvnitř kondenzátoru zvýšení teploty, které může při vysoké frekvenci způsobit i destrukci kondenzátoru.

4.2 Problematika částečných výbojů

U foliových kondenzátorů je kladen obrovský důraz na kvalitu použité izolační folie. Přestože jsou dnešní technologie výroby velmi vyspělé, nelze zamezit vzniku nehomogenit uvnitř či na povrchu dielektrika. Pro posouzení kvality izolace existuje řada diagnostických metod. Základem současné diagnostiky je včasné zjištění poruchy ve struktuře sledovaného objektu na základě detekce jejích změn. Z pohledu předcházení možnosti vzniku závady je nejkritičtější místem izolační systém. Jednou z intenzivně se rozvíjejících metod s vysokou vypovídací schopností o kvalitě izolace a nedestruktivním charakterem je metoda měření aktivity částečných výbojů.

[4, str. 4] *Slabá místa vyskytující se uvnitř dielektrika bývají nejčastěji lokálního charakteru. Nacházejí-li se v místě ležícím mezi nabitými elektrodami, může dojít k překročení meze elektrické pevnosti dané lokality, vedoucí až ke vzniku výboje. Tyto výboje mají lavinový nebo jiskrový charakter a nazýváme je částečné výboje. Jev částečného výboje obecně představuje tzv. neúplný elektrický výboj nacházející se v oblastech nehomogenit uvnitř dielektrika (dutiny, bubliny), kdy dochází k přemostění pouze části vzdálenosti mezi elektrodami a zbytek neporušeného dielektrika je schopen nadále odolávat namáhání provozního či zkušebního napětí. Částečné výboje mohou začínat buď na elektrodě nebo na povrchu dutiny v dielektriku. Mohou se rovněž projevovat jako korona na hranách nebo ve formě povrchových či klouzavých výbojů na povrchu dielektrika.*

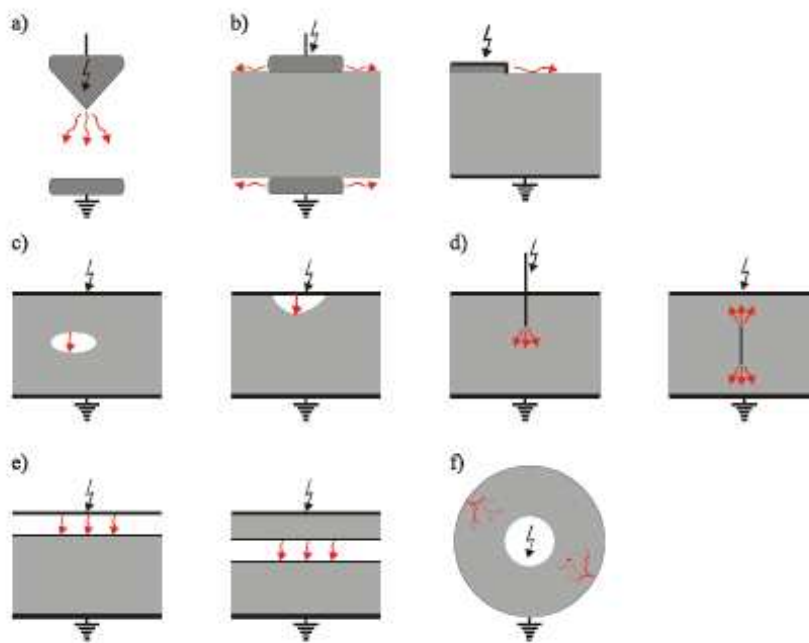
[2, str. 3] Dle technické normy IEC 60270 je částečný výboj definován jako lokální elektrický výboj, který částečně přemostňuje izolaci mezi vodiči a který se může nebo nemusí objevit v okolí vodiče. Tyto výboje vznikají v důsledku koncentrace lokálního elektrického namáhání v izolaci nebo na jejím povrchu a vytvářejí proudové impulzy. Tyto malé výboje mají obvykle degradační účinky na izolaci, čímž trvale zkracují její životnost a spolehlivost.

[5] Částečné výboje dělíme dle místa výskytu na:

- **Vnější** – tzn. výboje v plynech v okolí elektrod malých poloměrů nebo zakřivení, jako např. doutnavé či korónové výboje;
- **Vnitřní** – tzn. výboje v plynech, obklopené pevným či kapalným dielektrikem, např. výboje v plynných dutinkách v pevném dielektriku;
- **Povrchové** - vznikají v okolí elektrod na rozhraní pevného a plynného dielektrika.

Na Obrázku 8 jsou zobrazeny různé druhy částečných výbojů vznikající mezi elektrodami, izolačním materiálem a plyny nebo kapalinami.

Obrázek 8 – Typická uspořádání elektrod pro částečné výboje (a – vnější, b – povrchové, c – f – vnitřní)



Zdroj: [4, str. 4]

[4, str. 5] Příčinou vzniku výše uvedených částečných výbojů bývá špatně navržený izolační systém, užití nedokonalé technologie, nedodržení technologických postupů nebo překročení předpokládaných provozních podmínek. Obecně platí, že částečné výboje svými tepelnými, chemickými a elektrickými účinky způsobují degradaci izolace a urychlují stárnutí izolačního systému. V místech jejich působení vzniká extrémní tepelné zatížení materiálu, dochází ke vzniku agresivních sloučenin (např. ozon) a povrch izolantu je narušován dopadem elektrických částic (elektronů,

iontů). Jejich postupná destruktivní činnost může po nějaké době vést až k totální poruše izolačního systému a havárii celého zařízení. Proto se v současné době klade stále větší důraz na zkoušky elektrických zařízení, jejichž cílem je včas objevit částečné výboje, stanovit jejich velikost a popřípadě lokalizovat zdroj.

Při využití diagnostiky pomocí měření částečných výbojů je možné zjistit slabá místa vyskytující se uvnitř dielektrika a na základě vyhodnocení těchto měření je možné vyloučit z použití ty výrobky, které mají vyšší pravděpodobnost poruchy. Díky této selekci výrobci zvyšují spolehlivostní index svých výrobků.

Závěr

V této bakalářské práci je zpracována základní problematika tepelného zatěžování výkonových měničů pro trakci.

Pro každou typovou zkoušku prováděnou na drážním zařízení je nutné dodržovat předpisy dané všemi Českými technickými normami platnými pro drážní zařízení. Tyto předpisy byly v rámci této práce prozkoumány a vypsány ty, jež se týkají problematiky typové zkoušky oteplením měniče trolejbusu.

Pro provedení této typové zkoušky jsou předepsány konkrétní teploty a hodnoty pro samotné komponenty i okolní prostředí, kterých nesmí být dosaženo tak, aby byla zkouška úspěšná. Důležitý je pak nejen návrh samotného měniče, ale rovněž správné stanovení měřicích míst tak, aby výstupy měly správnou vypovídací hodnotu pro vyhodnocení výsledku. Taková místa byla v bakalářské práci definována.

Na základě dlouhodobých zkušeností byly problematickými komponenty z pohledu životnosti měniče identifikovány kondenzátory, proto byla bakalářská práce po dohodě s doc. Dr. Ing. Flajtingrem rozšířena o kapitolu kondenzátorů v pohonných systémech, analýzu maximálních přípustných teplot izolačních fólií pro fóliové kondenzátory a problematiku částečných výbojů opět v souvislosti s izolačními fóliemi. Diagnostika metodou částečných výbojů dokáže eliminovat možnou závadu v dielektriku fóliového kondenzátoru ještě před jeho použitím v pohonu, čímž značně snižuje poruchovost celého systému.

Neméně důležitou součástí jsou i zkušenosti celého týmu podílejícího se na výzkumu, vývoji i realizaci měniče. Ze zkušeností například vyplývá, že je vhodné uvažovat rezervy 10 až 15 % oproti tabulkovým hodnotám daných výrobcem, což se pozitivně projeví na životnosti výrobku.

Seznam použité literatury

- [1] Česká technická norma ČSN EN 61287-1 ed. 2: Drážní zařízení – Výkonové měniče instalované v drážních vozidlech - Část 1: Charakteristiky a zkušební metody. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2015.
- [2] ZÁLIŠ, K.: Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů. Academia, nakladatelství Akademie věd ČR, Praha 2005, ISBN 80-200-1358-X.
- [3] Česká technická norma ČSN EN 60270: Technika zkoušek vysokým napětím – měření částečných výbojů, Český normalizační institut, Praha 2001.
- [4] MARTÍNEK, P.: Teoretická a experimentální analýza částečných výbojů v dielektriku elektrických strojů. Disertační práce ZČU. Plzeň 2005.
- [5] MENTLÍK, PIHERA, POLANSKÝ A SPOL.: Diagnostika elektrických zařízení. BEN – technická literatura. Praha 2008, ISBN 978-80-7300-232-9.
- [6] Produktový katalog ZEZ SILKO s.r.o. ECA-2016-1. Žamberk 2016.
- [7] PROKOPEC, M.: Odborná telefonická konzultace se zástupcem spol. ZEZ Silko s.r.o., 17.5.2016.
- [8] Česká technická norma ČSN EN 60077-1: Drážní zařízení – Elektrická zařízení drážních vozidel – Část 1: Všeobecné provozní podmínky a všeobecná pravidla, Český normalizační institut, Praha 2003.
- [9] Česká technická norma ČSN EN 50155: Drážní zařízení – Elektronická zařízení drážních vozidel, Český normalizační institut, Praha 2008.
- [10] *Produkty – Fóliové kondenzátory* [online] Elektronické součástky CZ, a.s. Ostrava [citace 1.5.2016]. Dostupné z:
https://www.es-ostrava.cz/index.php?page=prod_15&lang=cz

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Mezní hodnoty oteplení pro izolační materiály	12
Tabulka 2 – Mezní hodnoty oteplení svorek	12
Tabulka 3 – Mezní hodnoty oteplení přístupných částí	13
Tabulka 4 - Seznam typových zkoušek dle normy ČSN EN 61287-1 ed. 2	16
Tabulka 5 - Teplota okolí	19
Tabulka 6 – Návrh měřicích míst pro typovou zkoušku oteplením	22
Tabulka 7 – Materiály pro výrobu fólií fóliových kondenzátorů	23

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Blokové schéma zapojení pohonného systému trolejbusu	18
Obrázek 2 – Teplotní ústředna se 48 měřicími kanály	20
Obrázek 3 – Porovnání zobrazení běžné kamery a termokamery	21
Obrázek 4 – Záznam průběhu teplot při zkoušce oteplením pohonného systému	21
Obrázek 5 – Ukázka rozdílných tvarů vývodů kondenzátorů	24
Obrázek 6 – Řez kondenzátorem	25
Obrázek 7 – Životnost kondenzátoru vztažená k tzv. hot spot teplotě	26
Obrázek 8 – Typická uspořádání elektrod pro částečné výboje	28

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Řez kondenzátorem Vishay

Příloha č. 1

Řez kondenzátorem Vishay

Wir weisen die Gefahr vor dem technischen Dokument, die Angaben entsprechend in den Fällen anzuwenden, die sich aus dem Dokument nicht ableiten lassen, ausdrücklich hin. Diese Zeichnung ist ein Entwurf und ist nicht für die Fertigung zu verwenden. Änderungen sind durch die Fertigung zu beantragen. Die Fertigung ist für die Einhaltung der Fertigungstoleranzen zu verantworten. Die Fertigung ist für die Einhaltung der Fertigungstoleranzen zu verantworten. Die Fertigung ist für die Einhaltung der Fertigungstoleranzen zu verantworten.

Obj.	QTY	Beschreibung	Item	Pops	Norm
1	2	Wickel	winding	svitek	
2	1	Schaltband mit Anschlussenelement	connection tape with connector element	Cu-paska se vyvodove	E-016-...
3	1	Schaltband mit Anschlussenelement	connection tape with connector element	Cu-paska se vyvodove	E-016-...
4	1	Scotchband	scotchband	lepici páska (scotch)	M27
5	1	Isolation	windig insulation	svitek izolace	Mylar
6	1	Alu-Becher	Al can	hliniková nádoba	LE-018-...
7	1	Bodenkappe	bottom cap	capka ve dna	LE-011-...
8	1	Zentrierstern	centering	centrování	LE-011-...
9	1	halbe Kappe	half cap	capka poloveni	LE-011-...
10	2	Klebeband	glue tape	lepido pas	
11	1	Kappe	cap	capka	LE-011-...
12	1	Verguss	grouting	zelevaci	

PERMISSIBLE TOLERANCES: ISO 2768

FINE MEAN COARSE VERY COARSE

DRAWN	12.09.11	Mock
CHECKED	12.09.11	Hummel

DIMENSIONS IN: mm

ORIGINAL DRAWING: CHECKED INDEX REVISION DATE NAME

APPLICATION FOR:	SCALE: 1:2	DESIGNATION:	MATERIAL:
		capacitor ØB4,4 D	
		SUBST. FOR:	SUBST. BY:

VISHAY ELECTRONIC GMBH
ESTA Capacitors Division

DWG No.: WP-342-222-013-A1

EDV No.: P:\Development\KB

SAP-