

ISSN 1210-311X MK ČR: 5 979

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

1 ROČNÍK XXXI 2022

ASOCIACE TECHNICKÝCH DIAGNOSTIKŮ ČESKÉ REPUBLIKY, z. s.

PRAKTICKÁ ELEKTRODIAGNOSTIKA A TERMODIAGNOSTIKA

Praktické zkušenosti s dielektrickou frekvenční spektroskopií

Practical experiences with dielectric frequency response

TD4

Diagnostika izolovaných závěsných vodičů vysokého napětí

Diagnostics of medium voltage covered conductors

TD7

Postupy testování rychlovypínačů DC v prostředí kolejové dopravy

Procedures for testing DC high speed circuit breakers in a rail transport environment

TD9

Využití matematického modelu asynchronního motoru při a průběhu proudu při diagnostice změn zátěžného momentu

Utilization of mathematical model of induction motor and current measurement to load torque changes diagnosis

TD13

Limity kvantitativní termografie závislé na vlastnostech použitých kamer
Limits of quantitative thermography depending on the properties of the cameras used

TD16

Strojové zpracování termogramů

Machine thermogram processing

TD21

www.atdcr.cz

Asociace technických diagnostiků ČR, z.s.
Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

40. mezinárodní vědecká konference
40th International Scientific Conference



**VĚŘÍME, ŽE SE ROKU 2023
SNAD SE POTKÁME!**
Termín a místo budou upřesněny.

DIAGO® 2023
TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA STROJŮ A VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ
Technical Diagnostics of Machines and Manufacturing Equipment



konference se koná pod záštitou
Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky
pod patronací
prof. RNDr. Věra Špaňhelová, rektora VSB-TO Ostrava
prof. Ing. Jaroslava Cepa, ředitele Ústavu pro diagnostiku strojírenské fakulty TU Ostrava

leden / únor 2023
January / February 2023
Česká republika (Ostrava)
Czech Republic (Ostrava)
Další konkrétní informace a registrace na www.atdcr.cz



... a tak nezbyvá, než si připomenout 39. ročník konference

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

DIAGO® 2020



Vážení čtenáři, příznivci myšlenek technické diagnostiky!

V minulém úvodníku jsem Vás oslovil v době, kdy jsme se potýkali s důsledky pandemie a sčítali jsme pozitiva a negativa, které nám tato situace přinesla a s nadějí jsme hleděli do budoucnosti. Bohužel, špatným zprávám nebyl konec a v prosinci nás zaskočilo náhlé úmrtí našeho prezidenta Ing. Františka Vdolečka, CSc. František pro asociaci pracoval do poslední chvíle. I když bojoval se zákeřnou nemocí, účastnil se videokonferencí, řešil nutnou administrativu a byl přítelem na telefonu. Vzpomínejme na něj jako na důstojného a kompetentního nejvyššího představitele naší asociace, jako na pracovitého člověka, a především jako na kamaráda. Františku, děkujeme Ti za všechno, co jsi vykonal a čím jsi pro nás byl.

Vývoj nebyl ale ani nadále příznivý a v únoru vypukla válka na Ukrajině. To, co jsme si neuměli ve třetím tisíciletí představit, se stalo skutečností a vstoupilo do profesních i osobních životů nás všech. Naše země a její občané se ke konfliktu postavili příkladně, pomáhají a jsou připraveni snášet problémy a omezení, které konflikt přináší. Zasažen je i náš průmysl a věřím, že se společně s ostatními státy s problémy vyrovná a využije aktuální výzvy na zvýšení své efektivity a energetické soběstačnosti. A k tomu můžeme a jistě i přispějeme my, techničtí diagnostici a zapojíme se nejen do řešení těchto aktuálních výzev. Jsme průmyslová země a údržba je nyní víc než aktuální téma.

Vám čtenářům se nyní dostává k rukám vydání časopisu zaměřené na elektro- a termodiagnostiku. Minulé číslo se věnovalo vibrační diagnostice a dnešní témata mozaiku diagnostických metod vhodně doplňují. Vše, co může zvýšit spolehlivost, provozuschopnost a v konečném důsledku udržet stroje ve stavu, kdy budou vykonávat to, co od nich očekáváme v požadovaném množství a kvalitě, efektivně, ekologicky a s minimem rizik, to vše nám leží na srdci, je tématem našeho bádání a předmětem každodenní rutinní práce. To, co se děje kolem nás a co zasáhlo i naše životy, nás nutí, abychom si kladli mnohem konkrétnější otázky a dívali se s nadějí do budoucnosti, ve které bude svět jiný, s jinými prioritami a životními hodnotami. Tak se změnil i průmysl, školství, věda a výzkum a všechny další oblasti, kde pracujeme my techničtí diagnostici. Vše, co děláme, má hluboký aplikační dosah, máme certifikační zázemí, publikujeme, a hlavně řešíme praktické problémy. Tak je strukturována naše asociace, taková jsou na nás kladena očekávání.

Děkuji vám autorům článků, čtenářkám a čtenářům časopisu Technická diagnostika a též všem kolegyním a kolegům z ATD ČR za to, že stále podporujete myšlenku údržby strojů a technické diagnostiky. Údržba bude potřeba stále více a jsem rád, že jsme na tuto výzvu společně připraveni. Věřím, že se všichni sejdem na začátku roku 2023 na konferenci DIAGO a že to bude konečně už v lepších časech.



František Vdoleček

* 22. 3. 1957

† 28. 12. 2021



Pavel Němeček

víceprezident ATD ČR, z.s.

ŠÉFREDAKTOR:
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:
GRAFICKÁ ÚPRAVA:
REDAKČNÍ RADA:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.
JIRÍ RATAJ
DR HAB. INŽ. WITOLD BIALY
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PHD.
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.

EDITOR-IN-CHIEF:
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:
GRAPHIC EDIT:
EDITORIAL BOARD:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.
JIRÍ RATAJ
DR HAB. INŽ. WITOLD BIALY
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PHD.
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.

VYDAVATEL:

ASOCIACE TECHNICKÝCH
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.
VŠB-TU OSTRAVA
17. LISTOPADU 15 / 2172
708 33 OSTRAVA - PORUBA

PUBLISHER:

ASOCIACE TECHNICKÝCH
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.
VŠB-TU OSTRAVA
17. LISTOPADU 15 / 2172
708 33 OSTRAVA - PORUBA

VYCHÁZÍ:

MK ČR:

ISSN:

2× ROČNĚ

5 979

1210-311X

VYCHÁZÍ:

MK ČR:

ISSN:

2× ROČNĚ

5 979

1210-311X

ETICKÝ KODEX: ČASOPIS TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA SE PŘI SVÉM VYDÁVÁNÍ ŘÍDÍ ETICKÝM KODEXEM, KTERÝ STANOVUJE PRAVIDLA PRO PUBLIKACI PŘÍSPĚVKŮ. TO SE TÝKÁ JAK POSUZOVÁNÍ AUTORSKÝCH PŘÍSPĚVKŮ, TAK NÁSLEDNĚHO RECENZNÍHO ŘÍZENÍ. JEHO ZNĚNÍM JSOU POVINNI SE ŘÍDIT AUTOŘI, RECENZENTI I REDAKCE. CELÉ ZNĚNÍ ETICKÉHO KODEXU JE ZVEŘEJNĚNO NA WWW.ATDCR.CZ.

Praktické zkušenosti s dielektrickou frekvenční spektroskopií

Practical experiences with dielectric frequency response

ONDŘEJ KABOT,
LUKÁŠ PROKOP,
STANISLAV MIŠÁK,
DENISA FULNEČKOVÁ
RUBIX CZECH, S. R. O.

Anotace

V diagnostice elektrotechnických zařízení se stále objevují nové metody a ty již zavedené se vylepšují, případně se začínají uplatňovat na více zařízeních. Stejně tak je tomu i u dielektrické spektroskopie, která se dříve používala pouze k analýze dielektrických vlastností materiálů; nyní je možné ji využít ke komplexní diagnostice celých elektrotechnických objektů. Článek se zabývá vlivem zvolených parametrů této metody na konečné výsledky diagnostiky.

Annotation

In the field of electrical device diagnostics, there are always new methods being developed and the older ones are being improved. Sometimes already used method in different field is improved to the point it can be used in another one. The same can be said about dielectric spectroscopy, which was previously used to analyze properties of dielectric materials and now can be used for complex diagnostics of whole devices. This article focuses on the impact of selected parameters of this method on final results of the measurement.

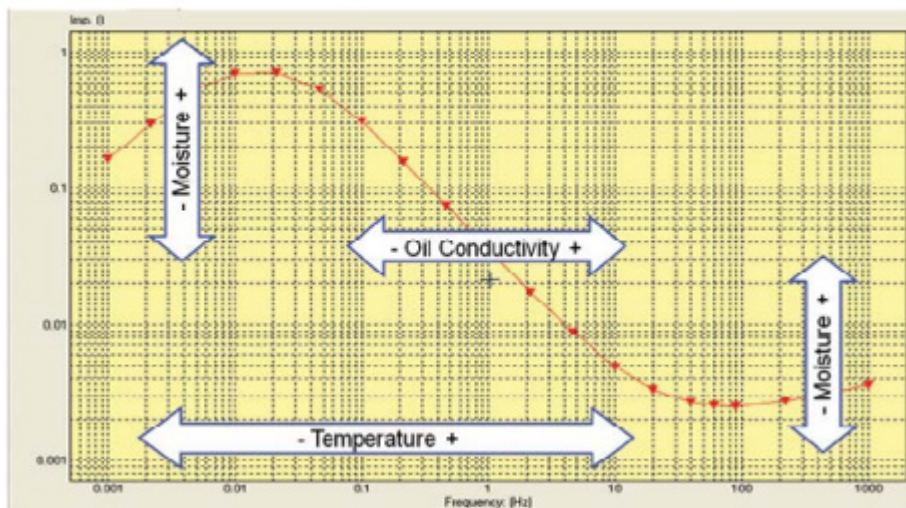
1. Úvod

Dielektrická spektroskopie je diagnostická metoda, kterou lze využít ke zkoumání dielektrických vlastností materiálů. Tato metoda má uplatnění v různých odvětvích průmyslu, například v elektrotechnickém a chemickém průmyslu. Principem této metody je vystavování testovaného subjektu působení elektrického pole o konstantní nebo měnící se frekvenci. Hlavním využitím této metody v diagnostice elektrických zařízení je zjišťování frekvenčně závislé komplexní permitivity různých materiálů. Velké uplatnění má například v diagnostice olejových transformátorů, kabelových vedení a kapacitorů. U transformátorů a kapacitorů je tato metoda použitelná jak ke sledování trendů, tak ke zjištění aktuálního stavu zařízení bez znalosti historických dat. U kabelových vedení se však tato metoda využívá pouze ke sledování trendů. Užití této metody pro analýzu stavu olejových transformátorů má velkou výhodu v tom, že umožňuje zjištění stavu oleje bez odebírání vzorků. Dielektrické vlastnosti oleje se v důsledku jeho degradace, případně se změnou obsahu vody mění. Tyto změny jsou detekovatelné pomocí dielektrické spektroskopie.

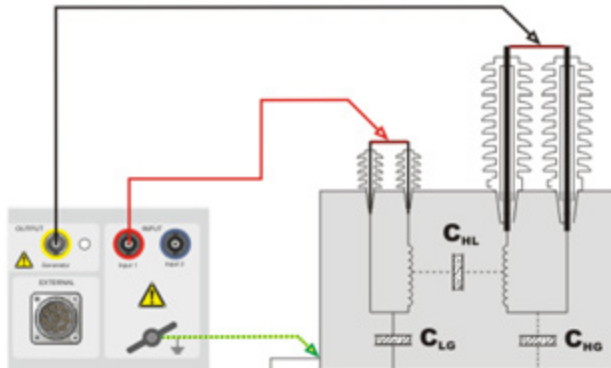
2. Dielektrická spektroskopie s použitím přístroje IDAX

Jedním z přístrojů umožňujících tuto analýzu je IDAX od firmy Megger. Hodnoty získané při měření jsou kapacita izolačního systému, ztrátový činitel TD, obsah vody v oleji a jeho vodivost. Vyhodnocení probíhá tak, že jsou naměřené hodnoty porovnávány s modelovými křivkami, které jsou obsaženy v softwaru tohoto zařízení. Modelová křivka tedy vždy představuje stav měřeného objektu v ideálním provozním stavu a naměřené křivky pak ukazují stav reálný. Čím větší je rozdíl těchto křivek, tím větší je odchýlení od požadovaného stavu. Díky databázi modelových křivek velkého množství transformátorů tak není potřeba k diagnostice těchto zařízení znalost historických dat. Z toho také vyplývá, že čím víc modelů je v databázi uloženo, tím přesnější mohou být prováděná měření. Na obrázku číslo 1 můžeme vidět, jak se změni tvar křivky při změně vlhkosti, teploty a vodivosti oleje.

Samotné měření vyžaduje odpojení primárního i sekundárního vinutí a následně vzájemné propojení každé části zvlášť. Na



Obrázek 1: Dopady vodivosti oleje a vlhkosti



Obrázek 2: Schéma zapojení

vysokonapěťovou část se přivádí zkušební napětí a na nízkonapěťové části je připojena sonda. Analyzují se tedy dielektrické vlastnosti hlavní izolace mezi vysokonapěťovou a nízkonapěťovou částí. Zemnicí body přístroje, případně zesilovače, je-li použit, jsou společně s testovaným objektem spojeny. Délka samotného měření je závislá na nastavení konečné frekvence. Test tedy může zabrat jen několik minut, ale také i několik hodin. Volitelné je rovněž zkušební napětí. Maximální možné zkušební napětí se odvíjí od použitých přístrojů a jmenovitého napětí testovaného objektu. V případě, že je použit přístroj IDAX, je maximální možné zkušební napětí 140 Vrms. Pokud je ale připojen zesilovač VAX, je možné navýšit maximální možné napětí na 1 400 Vrms. Cílem měření je porovnat, jaký dopad má úroveň použitého napětí a konečná frekvence na výsledky analýzy pomocí dielektrické spektroskopie. Už z principu je samozřejmé, že čím nižší bude mezní frekvence, tím přesnější bude měření, nicméně záleží na času, který je na diagnostiku objektu přidělen, jelikož s nižším mezním kmitočtem také razantně narůstá čas a napěťové omezení je způsobeno dostupnými přístroji.

3. Diagnostika stavu olejového transformátoru pomocí přístroje IDAX

Testovaným objektem je v tomto případě olejový transformátor. K diagnostice tohoto objektu byl použit přístroj IDAX ve spojení se zesilovačem VAX. Pro možnost porovnání dopadu jak frekvence, tak napětí byla provedena série měření. Zapojení bylo realizováno dle schématu (viz obr. 2) s rozdílem, že zkušební napětí bylo vyvedeno z externího zesilovače VAX, který byl k hlavní jednotce IDAX připojen pomocí konektoru,

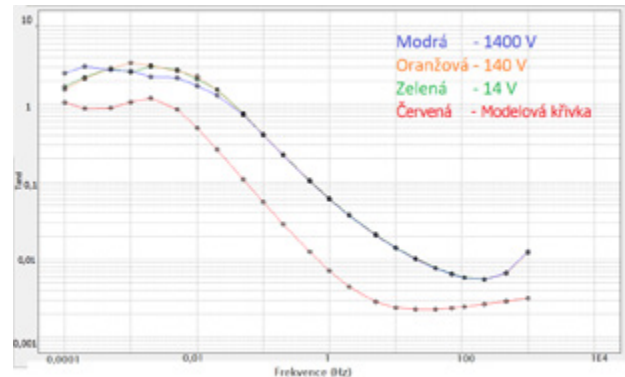
Tabulka 1: Naměřené hodnoty vypočtené programem IDAX

	14 V		140 V		1 400 V	
	1 mHz	0,1 mHz	1 mHz	0,1 mHz	1 mHz	0,1 mHz
Vlhkost % (wt/wt)	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3
Ztrátový činitel % TD	0,708	0,73	0,7	0,72	0,705	0,717
Vodivost (pS/m)	10,1	11,8	9,44	11,3	9,1	9,6

jenž je na schématu označený jako external.

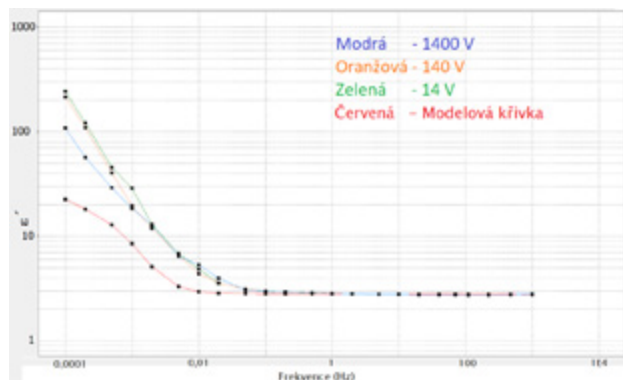
Nejdříve byla provedena měření s mezním kmitočtem 1 mHz a poté s mezním kmitočtem 0,1 mHz. V obou případech byla použita pro diagnostiku napětí 14, 140 a 1400 Vrms. Průběhy jsou vyneseny pouze z měření, které bylo prováděno do mezního kmitočtu 0,1 mHz. Je to z toho důvodu, že křivka do 1 mHz je totožná. Výsledné hodnoty jsou tedy rozdílné pouze v tabulce.

Z hodnot uvedených v tabulce je patrné, že u všech hodnot s výjimkou vodivosti je dopad volby napětí v případě provádění měření do mezního kmitočtu 1 mHz velmi malý. K rozdílu dochází u všech měřených hodnot, zlatelnější rozdíl vzniká až při měření do mezního kmitočtu 0,1 mHz. V tomto případě sice hodnoty sledují stejný trend, ale čím nižší je použité napětí, tím větší je rozdíl oproti nejvyššímu zkušebnímu napětí. Také je zde nutno uvést, že naměřené hodnoty ztrátového činitele jsou v tabulce uvedeny pro frekvenci 50 Hz a teplotu 20 °C a vodivost je uváděna pro teplotu 25 °C.



Obrázek 3: Závislost ztrátového činitele na frekvenci

Z křivek, které jsou vyneseny v grafu na obr. 2, je patrné, že měření ztrátového činitele na napětí 14 Vrms a 140 Vrms jsou až na pár mírných odlišností víceméně stejná. Analýza provedená při napětí 1400 Vrms se ale od nich liší už více. Nesmíme totiž zapomenout, že osy grafů mají logaritmické měřítka. Poukazuje to tedy na to, že při detailní analýze průběhů při širším spektru frekvencí dochází k velkým odlišnostem. V případě, že by byla měření provedena v ještě větším spektru, předpoklad je takový, že by se rozdíl zvyšoval. Pro korektní vyhodnocení je nutné, aby se na naměřených křivkách projevilo maximum v podobě kolene při nižších frekvencích. V případě, že se v naměřené křivce nevyskytuje, byl frekvenční rozsah nedostačující pro korektní analýzu objektu.



Obrázek 4: Závislost reálné složky permitivity na frekvenci

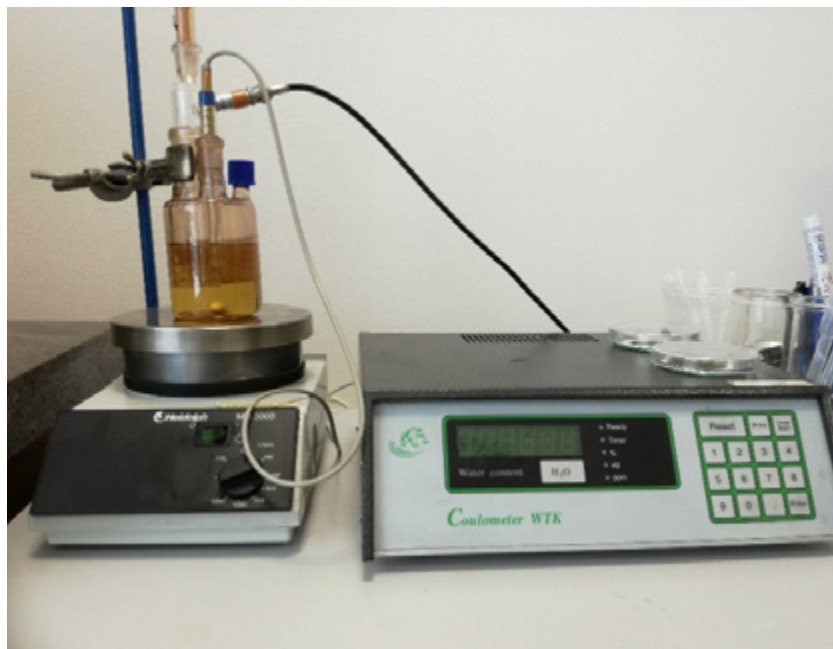
Obdobně jako v případě analýzy ztrátového činitele se reálná složka permitivity v závislosti na frekvenci vyvíjí stejně. Jediným rozdílem je, že průběhy všech napětí ve frekvenčním spektru od 1 000 Hz do 1 Hz jsou shodné také s modelovou (červenou) křivkou. Opět však stále platí, že křivky měřené na nižší napěťové úrovni sledují jiný trend než ta nejvyšší.

4. Diagnostika transformátorového oleje coulometrickou metodou

Další možností, jak diagnostikovat stav olejového transformátoru, je detekce obsahu vody v oleji. Tu lze stanovit pomocí coulometrické metody.

Stanovení obsahu vody coulometrickou metodou

Obsah vody byl stanoven stechiometrickou titrační metodou Karl Fischer. Touto metodou lze stanovit malá až stopová množství vody ve vzorcích oleje. Je založena na principu jed-



Obrázek 5: Coulometr

Tabulka 2: Obsah vody ve vzorcích transformátorového oleje

Číslo vzorku	1	2	3
Hmotnost vzorku (g)	2,515	2,754	2,712
Hmotnost vody (g)	6,48E-05	6,00E-05	6,16E-05
Podíl (%)	2,58E-03	2,18E-03	2,27E-03

ometrického stanovení vody v roztoku a provádí se nástřikem zkoumané látky do elektrochemické nádoby.

Voda reaguje s jódem a dalšími. Na 1 mol jódu se spotřebuje 1 mol vody, dojde tak k přenesení náboje odpovídajícího 1 molu elektronů. Průchodem proudu elektrochemickou titrační nádobkou je na generační platinové elektrodě oxidován jodid na elementární jód. Ten umožňuje reakci vody s dalšími složkami v roztoku. Bod ekvivalence se následně určuje bipotencometricky pomocí dvou platinových elektrod polarizovaných střídavým proudem konstantní hodnoty. Na základě hodnoty elektrického náboje pak lze pomocí Faradayova zákona vypočítat spotřebovaný jód a tím i obsah vody ve vzorku.

5. Závěr

Ze získaných výsledků je patrné, že záleží na tom, kdo diagnostiku bude provádět a za jakým účelem. Pokud je diagnostika pouze informativní a postačují jen hodnoty vypočtené programem, pak není nutné používat vysokých napětí a velmi nízkých mezních kmitočtů. V případě, že by se jednalo o důkladnou analýzu stavu se zkoumáním jednotlivých naměřených charakteristik, záleží na obou parametrech. Ve všech naměřených charakteristikách je patrné, že k největším odchylkám dochází při velmi nízkých kmitočtech a k mírným rozdílům i u kmitočtů vysokých. V oblasti od 0,1 Hz do 100 Hz se křivky téměř kopírují.

Výhodou této metody je fakt, že i ve studeném stavu transformátoru vyhodnocuje dielektrické vlastnosti izolace transformátoru jako celku, což znamená, že i vlhkost, která je obsažena v izolačním papíru, se pomocí této metody detekuje. V případě použití coulometrické analýzy oleje je nutné, aby před odběrem vzorku byl transformátor zahřátý, jelikož až po zahřátí se voda dostává z papírové části izolačního systému do samotného oleje. Ve studeném stavu tedy bude hodnota obsažené vlhkosti podstatně nižší nežli v případě, že k odběru vzorku dojde při provozní teplotě. O tom vypovídají i hodnoty uvedené v tabulkách 1 a 2. Dle coulometrické metody je olej v transformátoru stále v pořádku, ale dle přístroje IDAX už je v izolačním systému příliš mnoho vlhkosti. Je to dáno právě vlhkostí, která je v pevné části izolačního systému a již pomocí coulometrické metody odhalit nemůžeme.

Recenzent:

Příspěvek prošel recenzním řízením.

Diagnostika izolovaných závěsných vodičů vysokého napětí

Diagnosics of medium voltage covered conductors

JAN FULNEČEK, ONDŘEJ KABOT, LUKÁŠ PROKOP,
STANISLAV MIŠÁK

Abstrakt

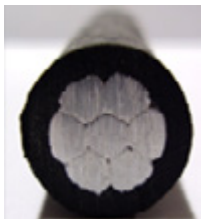
Problematická detekce izolačních poruch je jednou z největších nevýhod použití izolovaných závěsných vodičů v distribučních vedeních vysokého napětí. Při tomto typu poruch je obvykle prezentována činnost částečných výbojů. Na základě těchto poznatků byl na VŠB – TUO navržen on-line monitor částečných výbojů pro detekci poruch izolace na venkovních vedeních vysokého napětí. Tento článek popisuje testování nových anténních senzorů pro tento detektor, které by v budoucnu měly nahradit jednovrstvé indukční senzory.

Abstract

Problematic detection of insulation faults is one of the most significant disadvantages when it comes to covered conductors in medium voltage overhead powerlines. This type of faults is usually accompanied by presence of partial discharges. Based on these findings the online detector of partial discharges in covered conductors was developed at VŠB – Technical University of Ostrava. This paper describes the testing of new antenna sensors for this detector, that should replace the single line inductor sensors.

Úvod

Nadzemní vedení vysokého napětí (VN) je obvykle osazeno běžnými ALFe vodiči bez jakékoli vnější izolace. V zalesněných oblastech se na těchto vedeních často vyskytují zemní a mezi-fázové poruchy způsobené dotekem vodičů s okolní vegetací. Pro eliminaci tohoto typu poruch je možné ALFe lana nahradit tzv. izolovanými závěsnými vodiči. Ty se skládají z hliníkového jádra, které je pokryto tenkou vrstvou XLPE (obr. 1).



Obrázek 1: Průřez izolovaným závěsným vodičem

Použití izolovaných závěsných vodičů

Největší nevýhoda použití izolovaných závěsných vodičů spočívá v problematické detekci jejich izolačních poruch [1]. Vodiče vykazují vysokou odolnost proti krátkodobým dotekům s okolní vegetací. Pokud však strom nebo větev zůstane v přímém dlouhodobém kontaktu s vodičem, mohou se na povrchu izolace XLPE objevit částečné výboje [2]. Tyto výboje

způsobují pomalou degradaci XLPE, což má za následek selhání izolace (obr. 2). Tato situace je typická pro pády stromů do vedení (obr. 3).



Obrázek 2: Poškození izolovaných závěsných vodičů

On-line detektory částečných výbojů

V současnosti nejsou na trhu dostupná zařízení, která by dokázala detekovat tento druh izolační poruchy jako takový. Existují však zařízení, jež jsou schopna detekovat aktivitu částečných výbojů, která je jejich doprovodným jevem. Aktivita částečných výbojů totiž vytváří typický vzor v časové oblasti napěťových a proudových signálů [3], lze je proto využít jako nepřímý nástroj detekce. Včasná detekce aktivity částečných výbojů může zabránit poškození izolace a přerušení dodávek energie.



Obrázek 3: Selhání izolace po pádu stromu do vedení

Běžné metody detekce částečných výbojů

On-line detektory částečných výbojů se dnes používají především pro elektrické stroje velkých výkonů [4] a pro diagnostiku důležitých vysokonapěťových kabelů [5]. Vysoká cena těchto detektorů brání jejich širšímu využití pro nadzemní vedení vysokého napětí. Existují však on-line detektory zkonstruované právě pro tento specifický účel (obr. 4). Použité senzory se různí. Obecně je Rogowského cívka nejběžnějším senzorem pro detekci částečných výbojů. Tento bezjádrový

proudový transformátor poskytuje dobrou citlivost a široký rozsah pracovních frekvencí [6] [7]. Jako senzor je místo Rogowského cívky možno použít kapacitní dělič a vyhodnocovat tak napěťovou složku zaznamenaného signálu na přítomnost částečných výbojů. To je v praxi většinou jednodušší, jelikož zde odpadá problém se zajištěním izolační pevnosti cívky.



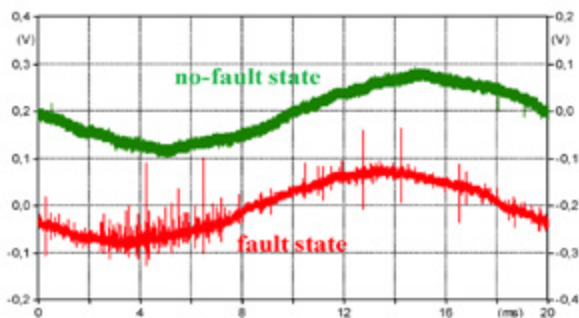
Obrázek 4: Platforma s kontaktními (červeně) i bezkontaktními (černě) senzory

Bezkontaktní metody detekce

Současný výzkum je zaměřen zejména na vývoj tzv. bezkontaktních metod detekce aktivity částečných výbojů. Problém použití Rogowského cívky či kapacitního děliče jako senzoru totiž tkví v tom, že pro jejich připojení je nutné uvést vedení do beznapěťového stavu. To však často není z provozních důvodů možné zajistit. Bezkontaktní metody detekce naproti tomu využívají jako senzory antény [8], které pro svou činnost nevyžadují vodivé spojení s diagnostikovaným vedením. Vyhodnocení zaznamenaných signálů je však komplikovanější, jelikož tyto senzory mají omezenou citlivost pro nízké frekvence. Oproti jiným metodám mají také omezený dosah.

Parametry částečných výbojů

Pro vyhodnocení signálů (obr. 5) zaznamenaných z on-line detektorů pro částečné výboje je nutné použít speciální kla-



Obrázek 5: Záznam signálu při poruchovém (červeně) a bezporuchovém (zeleně) stavu

sifikační software. Ten dokáže kvantifikovat aktivitu výbojů na základě specifických vlastností těchto signálů.

On-line detektory pro distribuční nadzemní vedení z principu neumožňují kalibraci. U těchto detektorů tak nelze zjistit hodnotu zdánlivého náboje. Amplituda obrazce výbojové činnosti také vykazuje značný útlum v závislosti na vzdálenosti izolační poruchy od detektoru. Proto se v praxi nevychází z hodnoty amplitudy obrazce, ale z četnosti jednotlivých zaznamenaných pulzů.

Závěr

Současné změny v oblasti elektroenergetiky a rozvoj elektromobility kladou zvýšené nároky na spolehlivost a bezpečnost provozu nadzemních vedení VN. Trvalý on-line monitoring vedení se závěsnými izolovanými vodiči umožňuje zlepšení provozních parametrů a zvýšení spolehlivosti dodávek zákazníkům. Zpětná analýza dat umožňuje lépe rozvrhnout údržbu sledovaných úseků vedení a vede tak k lepší optimalizaci jejich provozu.

Reference

- [1] J. B. Wareing: Covered Conductor Systems for Distribution, EA Technology continental 2005, available at: <https://stoisianconstantin.files.wordpress.com/2011/08/covered-conductor-systems-for-distribution-report-number-5925.pdf>
- [2] P. Pakonen: Detection of Incipient Tree Faults on high Voltage Covered Conductor Lines, Dissertation thesis at University of Tampere, 2007.
- [3] N. C. Sahoo, M, M.A. Salama, R. Bartnikas: Trends in partial discharge pattern classification: a survey. In: IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume 12, Issue 2, April 2005, DOI: 10.1109/TDEI.2005.1430395
- [4] Partial Discharge Monitoring, Sensor 2017, available at: <http://www.sensor.com/senseormonitoring-solutions/partial-discharge-monitoring>
- [5] A. A. Khan: General Guidelines for Online Partial Discharge Testing of Power Cables, Available at: <http://electrical-engineering-portal.com/general-guidelines-for-online-partial-discharge-testing-of-power-cables>
- [6] B. Paophan, A. Kunakorn, P. Yutthagowith: Implementation of a Rogowski's coil for partial discharge detection. In: Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2016 19th International Conference, Chiba, Japan 2016, ISBN 978-4-88686-098-9
- [7] M. N. K. H. Rohani, C. C. Yii, M. Isa: Effect of unshielded and shielded Rogowski coil sensor performance for partial discharge measurement. In: Research and Development (SCORED) 2015 IEEE Student Conference, Kuala Lumpur, Malaysia 2015, DOI: 10.1109/SCORED.2015.7449325
- [8] www.bonito.net, Bonito [Online]. Available: <http://www.bonito.net/boni-whip/en/>.

Recenzent:

Příspěvek prošel recenzním řízením.

Postupy testování rychlovypínačů DC v prostředí kolejové dopravy

Procedures for testing DC high speed circuit breakers in a rail transport environment

ING. VÁCLAV STRAKA, ING. MARTIN HÚDEK
TMV SS, S. R. O.

Úvod

Rychlovypínače stejnosměrného proudu DC, v tomto dokumentu označované jako vypínače, jsou přítomny ve všech druzích železniční infrastruktury. Vnitrostátní nebo městské železnice, tramvaje či metro, všichni se spoléhají na vypínače, aby je chránily před katastrofální situací. Vypínače mohou být instalovány buď na palubě vlaků, nebo na trati v trakčních napájecích stanicích. Netřeba dodávat, že vypínače jsou kritickou součástí železniční infrastruktury. V nejlepším případě může vadná jednotka způsobit zastavení vlaků, v nejhorším případě může zapříčinit selhání či zahoření části infrastruktury a zavinit ztráty na životech. Životní cyklus vypínačů je dlouhý, některé jednotky, jež jsou stále v provozu, jsou staré více než 50 let. Řádné testování vypínačů je v těchto dnech aktuálním tématem v důsledku řady incidentů na různých systémech kolejové dopravy. Tento dokument popisuje některé problémy s testováním a jejich řešení.

Abstract

High speed DC circuit breakers, referred to in this document as circuit breakers, are present in all types of railway infrastructure. National or city railways, trams or the metro all rely on switches to protect them from disasters. The switches can be installed either on board trains or on track, in traction substations. Needless to say, circuit breakers are a critical part of the railway infrastructure. At best, a faulty unit can cause trains to stop, at worst, it can cause part of the infrastructure to fail or burn and cause loss of life. The life cycle of circuit breakers is long, some units that are still in operation are more than 50 years old. Proper testing of circuit breakers is a topical issue these days due to a number of incidents on various rail transport systems. This document describes some testing issues and solutions.

Vypínače, základy

Role vypínače je poměrně jednoduchá: měl by vypnout (často je tato událost označována jako „trip“), když jsou zjištěny abnormální hodnoty proudu. Za takovou událost můžeme považovat zkrat vedoucí k okamžitému nárůstu hodnoty proudu nebo k přetížení, když je odběr jednoduše vyšší než možnosti napájení/zdroje. V obou případech by vypínač měl vykonávat svou funkci a odpojit zařízení od sítě.

Vypínače „vypnou“, jakmile aktuální „I“ překročí určitou hodnotu v závislosti na typu vypínače a na hodnotě nastavené pro tento vypínač. Vypínač se však také vypne, když je změna proudu velká, což se označuje jako di/dt , tj. změna proudu za časovou jednotku. Graf posledně uvedeného je znázorněn na obrázku 1 a ukazuje čas potřebný k vypnutí „ t_i “ v milisekundách

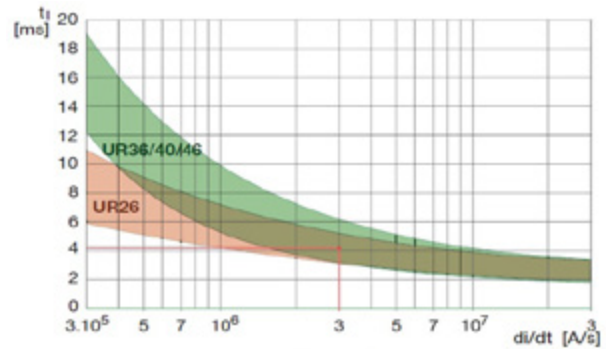


Figure 1

Obrázek 1: Příklad časové vypínací charakteristiky rychlovypínače

dách (často označovaný jako „vypínací čas“) pro funkci di/dt pro 2 typy vypínačů Secheron. Čím větší je di/dt , tím rychleji vypínač vypne. Z grafu můžeme vyhodnotit, že vypínací doba UR26 má být přibližně 4,3 ms, než dojde k vypnutí při di/dt 3,106 A/s.

I když spotřeba proudu naroste nad prahovou hodnotu (dále označovanou jako I_{ds}), tj. vypínač nastavený na 4000 A by měl vypnout, když požadovaný proud přesáhne tuto hodnotu. Rychlovypínače obvykle vypínají za 10 ms nebo méně.

Vypínače jsou vyráběny s velkou péčí podle specifických norem. Na druhou stranu tato zařízení fungují v terénu po celá desetiletí za různých podmínek a sestávají z mechanických částí. Můžete tedy očekávat, že se vypínač bude chovat podle původního výrobního nastavení i po 40 letech?

Není nutné říkat, že pravidelné testování vypínačů v rámci zdokumentovaných postupů údržby je povinné. Otázka tedy zní, jak provedeme testování správně a korektně? Testování podle obrázku 1 je nemožné, protože by to vyžadovalo současnou simulaci zkratů. V současné době na trhu neexistují žádné testovací jednotky, které by to dokázaly. Naopak testování prahového proudu I_{ds} a vypínacího času t_i je naprosto bez problémů možné i s existujícími přístroji, jako jsou například testery DC rychlovypínačů BALTO. Tyto přístroje generují proud a měří, při jaké hodnotě proudu vypínač vypne a současně čas vypnutí t_i .

Testování v souladu se standardy IEC

Za účelem standardizace zkoušení vypínačů byly specifikace vypracovány IEC (International Electrotechnical Commission) a finalizovány v dokumentech IEC 60772 1-2 a 61992 1-2. Je stanoveno, že v případě vypínače, jehož činnost je ovlivněna rychlostí nárůstu proudu, což je případ vysokorychlostních stejnosměrných vypínačů, nesmí rychlost nárůstu proudu pře-

kročít 200 A/s. Je prakticky nemožné a neefektivní testovat vypínač nárůstem 200 A/s s počátkem generování na hodnotě 0 A. V případě vypínače s hodnotou nastavení 4000 A by tento test trval přibližně 20 s a současně by se spotřebovalo obrovské množství energie. Tento fakt by způsobil (nároky na napájení a elektroniku zkušebního přístroje), že testovací zařízení by bylo extrémně drahé a současně rozměrově i hmotnostně velké, což by prakticky vyloučilo jeho transportovatelnost. Mnohem chytřejší způsob, jak dosáhnout kýženého cíle, je nejprve měřit vypínací proud přibližně („rychlý a špinavý“ test) se strmým sklonem injektovaného proudu a po stanovení tohoto prahového proudu provést podrobný test podle specifikací uvedených ve standardu.

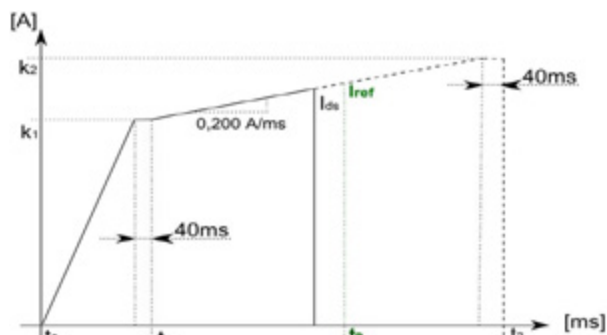


Figure 2

Obrázek 2: Průběh prvotního testu pro orientační určení parametrů

To je znázorněno na obrázku 2. I_{ref} je prahový proud měřený v předchozím „rychlém a špinavém“ testu se strmým sklonem. Přesný test se provádí tak, že se nejprve injektuje proud se strmým sklonem např. do 5 % pod I_{ref} , poté započne generování o nárůstu se strmostí 200 A/s (mezi t_1 a t_3). I_{ds} je správný vypínací proud měřený podle normy. Při tomto způsobu dochází k výraznému snížení nároků na napájení testovacího přístroje a spotřebovanou energii. t_1 je obvykle dosaženo za méně než 1 sekundu, $t_3 - t_1$ je kratší než 3 sekundy.

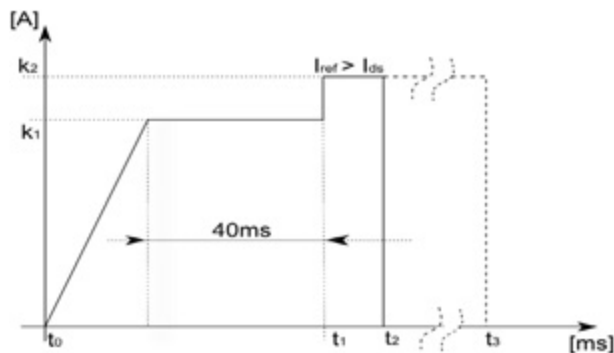


Figure 3

Obrázek 3: Průběh proudu pro přesné změření vypínacího času vypínače

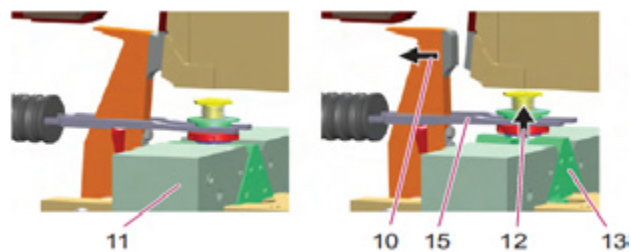
Podobný postup by měl být dodržen pro měření vypínací doby t_1 (čas vypnutí). Nejprve je injektován proud se strmým sklonem a poté je generován proud o konstantní velikosti mírně pod I_{ds} po dobu 40 ms. Pak je generován dostatečně velký proud I_{ref} potřebný pro vypnutí vypínače. Vypínací čas je stanoven jako $t_2 - t_1$, jak je zobrazeno na obrázku 3.

Samotný „rychlý a špinavý“ test sám o sobě není dostačující, protože může vést k zavádějícím výsledkům. Například z důvodu (příliš) strmého sklonu nárůstu hodnoty proudu může dojít k předčasnému vybavení vypínače, tj. před dosažením I_{ds} . V tomto případě změna proudu di/dt o nevhodné velikosti zapříčiní vybavení vypínače. Během přesného standardizovaného měření se sklonem 200 A/s vypínač nevypne a tím je umožněno korektní změření vybavovacího proudu I_{ds} .

V tomto materiálu byly nastíněny některé z aspektů testování rychlovypínačů DC, pojďme se tedy seznámit s těmito aspekty blíže. Jak přesné jsou vypínače? Norma EN 50123-2, oddíl 6. 6. 2. 2. uvádí, že „přesnost nastavení přímých nadproudových vypínačů činí $\pm 10\%$ “. Ve společnosti STEVO Electric byl detailně otestován jeden z nejznámějších vypínačů na trhu UR26 Secheron. Model, jenž byl použit, byl vyroben již v roce 1992, tudíž se očekávalo, že bude méně přesný než dnešní verze. Náš testovací model se poněkud liší designem od současného modelu UR26 společnosti Secheron.

Přehled zkoušek

Vypnutí vypínače na základě I_{ds} , maximálního proudu vypínače, se provádí podle aktuálního modelu řady UR26 následujícím způsobem: Když definovaný nadproud protéká hlavním obvodem, vytváří ve vypínacím zařízení (11) magnetické pole, což indukuje pohyb (12) pohybujícího se magnetu (13) směrem nahoru; tento pohyb tlačí vidlici (15) nahoru a uvolňuje (10) pohyblivý kontakt (viz obrázek 4).

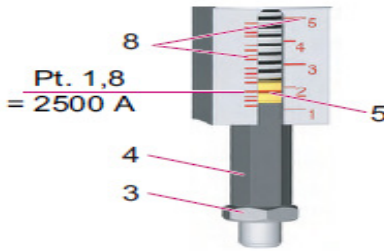


Obrázek 4: Konstruktivní uspořádání rychlovypínače

Nastavení I_{ds} vypínače je poměrně snadné. UR26 má 2 konfigurace v závislosti na tom, zda je jádro vloženo, či nikoli. Bez jádra je rozsah mezi 2000 A a 5000 A. Při vložení jádra je rozsah mezi 4050 A a 8000 A. Starší verze UR26 nemá cívku, rozsah I_{ds} lze nastavit mezi 2000 A a 8000 A bez výměny cívky. U nejnovějšího modelu je třeba seřídít šrouby (3) a (4), aby se dal nastavit vypínač. Na obrázku 5 je vypínač bez jádra nastaven na 2500 A. Pokud není štítek s hodnotami dostatečně detailní nebo chybí bližší popis, musí se pro konkrétní nastavení provést interpolace.

Pokud je vypínač objednan pro konkrétní I_{ds} , je kalibrován v továrně.

Sécheron	
100 BT LAS-101	
Setting	
Ids	3600
dév.	3.2
A B	
Ids	2000 4050
dév.	1.1 1.0
Ids	3000 6500
dév.	2.5 3.0
Ids	5000 6000
dév.	4.8 4.3

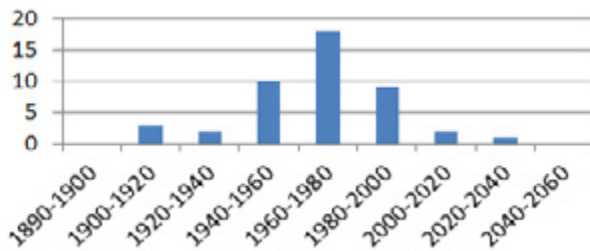


Obrázek 5: Příklad nastavení rychlovyvínače

Testovaný model UR26 byl nastaven na následujících úrovních Ids: 1 000 A, 2 000 A, 3 000 A, 4 000 A, 5 000 A, 6 000 A, 7 000 A a 8 000 A. Ids byl měřen pro každou úroveň nejméně 45krát. Pro testování byl použit generátor proudu / tester BALTO od firmy STEVO Electric. Tento testovací přístroj generuje proud v souladu s IEC 61992-2, což znamená, že aktuální sklon di/dt během testu vypnutí je max. 200 A za sekundu.

Výsledek testů s Ids nastaveným na 2000 A

Výsledky měření s Ids nastaveným na 2000 A jsou znázorněny v grafu. Důležité statistické hodnoty jsou následující (obrázek 6):



Obrázek 6: Naměřené Ids

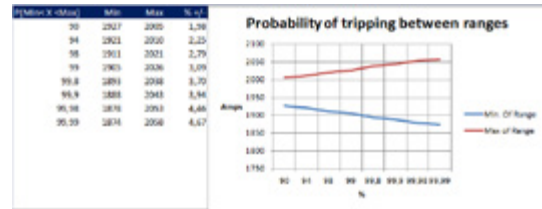
- průměr: 1,965 A
- standardní odchylka: 23,5 A
- nejvyšší hodnota: 2,022 A
- nejnižší hodnota: 1,905 A
- střední hodnota: 1,967 A

Obdobné grafy pro jiné proudy Ids vykazují podobné charakteristiky pro dané nastavení proudu. Je tedy možné dospět k závěru, že měření jsou rozdělena podle normálního rozdělení. V teorii pravděpodobnosti je normální (nebo Gaussian) distribuce obyčejně nepřetržitě rozdělení pravděpodobnosti. To vám umožní vypočítat pravděpodobnost, že k události dojde. Normální rozdělení je definováno průměrem nazývaným „ μ “ a standardní odchylkou nazývanou „ σ “. Samotná funkce je definována takto:

$$f(x | \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Souhrn výsledků pro Ids nastavený na 2000 A viz obrázek 7.

Shrnutí výsledků odpovídá naměřenému rozdělení zobrazenému ve výsledcích měření. Pravděpodobnost, že



Obrázek 7: Souhrn výsledků testování

dojde k vypnutí UR26 s průměrnými Ids 1,965 A, tj. mezi 1,888 A a 2,043 A, je 99,9 %. Jinak řečeno můžeme si být na 99,9 % jisti, že k vypnutí dojde v rozmezí $\pm 3,94$ % od jeho průměrné hodnoty.

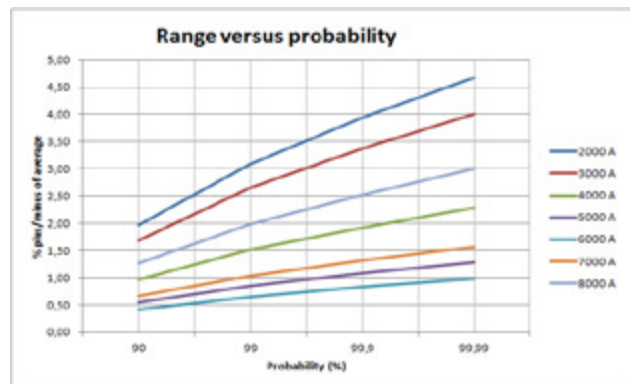
Souhrn měření při různých nastaveních Ids

UR26 byl nastaven na různé hodnoty Ids v krocích po 1 000 A. Toto nastavení nebylo uděláno na základě štítkových hodnot vypínače. Údaje na štítku byly často příliš rozmazané, než aby jim bylo možné důvěřovat, a proto byla provedena některá počáteční měření, aby se vypínač nastavil na určitou úroveň. Souhrn výsledků je uveden v následující tabulce na obrázku 8.

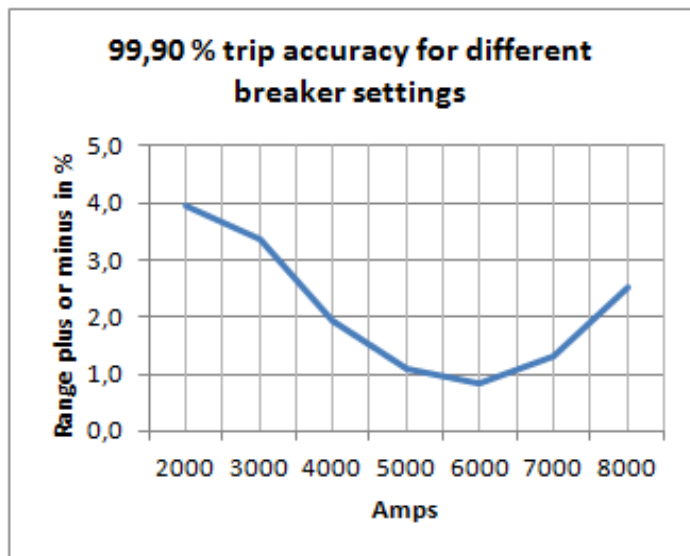
	2000A	3000A	4000A	5000A	6000A	7000A	8000A
Average (AV)	1 966	2 936	3 996	5 014	5 809	7 002	7 974
Standard Deviation	24	30	23	17	15	28	61
Highest	2 022	3 021	4 048	5 052	5 845	7 069	8 089
Lowest	1 905	2 887	3 949	4 955	5 780	6 929	7 850
Delta High-Low (DHL)	117	134	99	97	65	140	239
DHL/AV (%)	6,0%	4,6%	2,5%	1,9%	1,1%	2,0%	3,0%
Median	1 967	2 930	3 993	5 015	5 809	7 007	7 978

Obrázek 8: Tabulkový přehled výsledků

Ve skutečnosti se ukázalo, že nastavení 2 000 A bylo nejméně přesné. Všechny naměřené hodnoty nastavení 2 000 A byly v rozmezí ± 3 %. Nejpresnější nastavení bylo kolem 6 000 A. Nejvyšší odlišná hodnota se od průměrné hodnoty odchýlila pouze o 0,6 %. Na základě předpokladu, že normální rozdělení je platné pro skupinu výsledků času vypnutí vypínače, docházíme k přesnosti vypnutí vypínače při různých nastaveních Ids, jak je znázorněno v následujícím grafu na obrázku 9.



Obrázek 9: Přehled pravděpodobnosti vypnutí pro různé proudové hodnoty



Obrázek 10: Přesnost vypnutí vůči hodnotám různých nastavení vypínače

Tento graf říká, že pokud nastavíte vypínač na hodnotu 6 000 A, můžete si být jisti, že se vypne mezi 6 000 A – 0,8 % a 6 000 A + 0,8 %, tj. rozsah je $\pm 0,8$ %. Nebo pokud je průměrně nastaven na 4 000 A, vypínač vypne mezi 4 000 A – 1,9 % a 4 000 A + 1,9 %, tj. rozsah je $\pm 1,9$ %. Pro nejhorší nastavení na 2 000 A si můžete být na 99,9 % jisti, že vypne mezi 2 000 A – 4 % a 2 000 A + 4 %.

Je zřejmé, že existuje významný rozdíl v přesnosti vypnutí v závislosti na nastavení I_{ds} . To je znázorněno v následujícím grafu, kdy

Tento graf na obrázku 10 zobrazuje, že přesnost vypnutí je nejlepší při 6 000 A a je v rozmezí 2 % mezi 4 000 A a 7 500 A. To by nemělo být překvapením. Výrobci rychlovypínačů stejnosměrného proudu konstruují vypínače tak, že v normálním provozním rozsahu vypínače jsou dosaženy optimální výsledky vypínacích časů. Nejhorších výsledků je dosaženo při okrajích možných provozních nastavení vypínače.

Výhody přesného nastavení – příklad

Skutečnost, že nastavení I_{ds} může být v praxi mnohem přesnější, vede k efektivnější konstrukční práci. Při definování požadavků konstruktéři a výpočtáři často používají následující rovnici:

$$1,1 * I_{Bmax} < I_{ds} < 0,9 * I_{kmin}$$

I_{Bmax} je maximální provozní proud a I_{kmin} je minimální zkratový proud (viz VDV520). To znamená, že pokud je například I_{kmin} 10 000 A, musí být jistič nastaven max. na 9 000 A. Maximální provozní proud by pak byl 8,181 A. Toto nastavení bere v úvahu ± 10 % nepřesnosti rychlovypínače (faktor 0,9 v rovnici). Tímto způsobem si můžete být jisti, že jistič vypne, když je dosaženo I_{kmin} . Měli bychom však upravit vzorec, když jsme ověřili, že přesnost rychlovypínače je mnohem vyšší. Pokud bychom provozovali UR26 v rozmezí I_{ds} mezi 4 000 A a 7 500 A, vzorec by byl následující:

$$1,02 * I_{Bmax} < I_{ds} < 0,98 * I_{kmin} \text{ (2% nepřesnost)}$$

To by znamenalo, že se stejným I_{kmin} 10 000 A lze nastavit jistič na 9 800 A, což má za následek provozní proud 9 607 A, což je zvýšení o 1,426 A. Nárůst rozsahu nastavení o 17,4 % provozního proudu může vést k významnému zlepšení provozu a flexibility nastavení při zachování bezpečnostních požadavků.

Za povšimnutí stojí, že jsme předpokládali, že I_{kmin} byl stanoven testy a korigován proti testovacím podmínkám v mezích očekávaných tolerancí. Ve skutečnosti by měl být podobný přístup používán pro správné určení I_{kmin} , jak jsme navrhli v tomto materiálu pro I_{ds} . Pouze s dostupnými přesnými hodnotami získanými při testování lze přesně doladit návrh systému. Rovněž jsme předpokládali, že k rychlovypínači není připojen žádný systém ochrany (digitální nebo elektromechanické ochrany). V tom případě by funkci vypínače spouštěla ochrana měřící proud pomocí bočnicku, případně přístrojového transformátoru proudu. V takovém případě je potřeba do výpočtu nastavení připočítat ještě chybu (nejistotu) zmíněného bočnicku, případně přístrojového transformátoru proudu, například 5 % (I_{max} nastaven 5 % pod I_{ds}). Následně by tedy výpočet

vypadal takto:

$$I_{Bmax} < I_{max} < 0,95 * I_{ds} < 0,98 * I_{kmin}$$

Závěr

Normy EN 50123-2 nebo IEC 61992-2 stanoví, že přesnost vypnutí jističů je ± 10 %. V té době to bylo spravedlivé a bezpečné prohlášení, přičemž se bere v úvahu skutečnost, že štítková hodnota nastavení I_{ds} na rychlovypínačích zahrnuje nejistoty a že skutečné nastavení jističů jednoduše nelze ověřit. Avšak s moderním testovacím zařízením pro rychlovypínače mohou být hodnoty I_{ds} nastaveny výrazně přesněji.

Moderní testovací technologie pro rychlovypínače umožňují příslušným institucím či diagnostickým skupinám nejen ověřovat řádný provoz jejich infrastruktury, ale také jim může pomoci zvýšit její výkon.

Zkušenost autorů je taková, že se poměrně často v terénu setkávají se stavem, kdy vypínač reaguje za výrazně odlišných hodnot proudu, než na jaké je nastaven. Příčinou tohoto stavu je obvykle buď nedostatečně prováděná údržba, nebo fakt, že testování není konáno v souladu s normou. Při testování je tedy možno používat pouze vybavení, které bez výhrad odpovídá požadavkům normy. Vhodnými testery mohou být například testery řady BALTO, jež jsou nabízeny v konfiguracích o maximálním proudu 2,5–40 kA a zaručují spolehlivost a opakovatelnost měření, stejně jako neoddiskovatelné výsledky při přejímkách nových prvků infrastruktury kolejové dopravy.

Rychlovypínače stejnosměrného proudu jsou kritickými prvky v infrastruktuře provozovatele železnice. Zajistí, aby škoda způsobená zkraty či poruchami byla omezena na co nejnižší možnou úroveň. Tyto životně důležité komponenty jsou také zranitelné, přestože jsou postaveny na nejvyšších standardech. Je tedy zapotřebí, aby jejich parametry a soulad funkce s nastavením byly pravidelně testovány podle standardních postupů diagnostiky a údržby.

Literatura:

- [1] IEC 61992-2, Railway applications - Fixed installations - DC switchgear - Part 2:DC circuit-breakers
- [2] EN 50123-2, Railway Applications Fixed Installations - D.C. Switchgear Part 2: D.C. Circuit Breakers
- [3] Demystifying the accuracy of High Speed DC Circuit Breakers, Stevo Electric, 2016
- [4] Primary Injection Testing : necessity or luxury? Stevo Electric, 2016
- [5] Interní materiály "TMV SS", s. r. o.
- [6] TMV SS. TMV SS [online]. Copyright © [cit. 18. 05. 2022]. Dostupné z: <https://www.tmvss.cz/>

Recenzent:

Příspěvek prošel recenzním řízením.

Využití matematického modelu asynchronního motoru a průběhu proudu při diagnostice změn zátěžného momentu

Utilization of mathematical model of induction motor and current measurement to load torque changes diagnosis.

ROSTISLAV HUZLÍK

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ – VUT V BRNĚ

Abstrakt

Tento článek představuje postup, jakým je možné z měření proudu identifikovat hodnoty harmonických změn momentu, například způsobených tlakovou pulzací na čerpadle či mechanickou poruchou na zátěži. V dnešní době se standardně může identifikovat frekvence této změny, avšak z pohledu velikosti se maximálně sleduje trend. S využitím matematického modelu je možné určit přibližně i velikost změny.

Abstract

This paper presents a procedure by which it is possible to identify values of harmonic torque changes from current measurements, for example caused by pressure pulsation on the pump or mechanical failure on the load. Nowadays, the frequency of this change can be identified by default, but in terms of size, the trend is maximally harmonized. Using a mathematical model, it is possible to determine approximately the size of the change.

Úvod

Asynchronní motor je v dnešní době nejvíce využívány elektrický motor v průmyslových aplikacích. Slouží ve velice širokém spektru a to jak v oblasti s napájením přímo z rozvodné sítě, tak i při napájení z měničů. V dnešní době je možné, s pomocí měření proudu identifikovat jak problémy na samotném motoru, tak i problémy na mechanické zátěži.

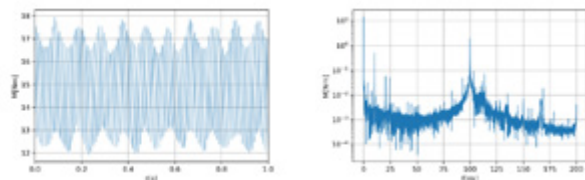
Analýza napájecího proudu asynchronního motoru

Analýza průběhu napájecího proudu je jeden ze standardních diagnostických postupů pro diagnostiku asynchronního motoru. Postup diagnostiky popisuje ČSN CLC/TS 60034-24 „Točivé elektrické stroje - Část 24: Online detekce a diagnostika možných poruch aktivních částí točivých elektrických strojů a ložiskových proudů - Návod k použití“ [1]. Tato norma popisuje, mimo jiné, postup vyhodnocení z průběh proudu například pro detekci excentricity, porušených rotorových tyčí apod s využitím frekvenční analýzy. Obdobně lze z frekvenční analýzy proudu identifikovat frekvenci změn zatěžovacího

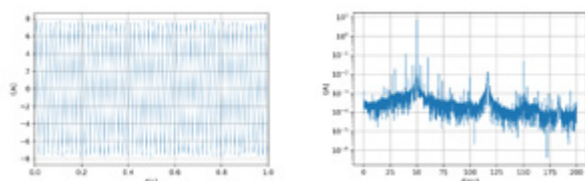
momentu motoru. Tyto frekvenci ($f_{zátěže}$) je možné vypočítat dle vzorce (1)

$$f_{zátěže} = f_s \pm m \cdot f_r \quad (1)$$

, kde f_s je napájecí frekvence, m je celé číslo (1, 2, ...) a f_r je frekvence změn momentu. Na frekvenční analýze s využitím Fourieovy analýzy se tato frekvence projeví jako série symetrických složek v okolí napájecí frekvence (viz Obr. 1 a Obr. 2)



Obr. 1 Průběh momentu a jeho frekvenční analýza pro napájecí frekvenci 50 Hz a sinusové změně momentu přibližně 10 Hz



Obr. 2 Průběh napájecího proudu a jeho frekvenční analýza pro napájecí frekvenci 50 Hz a sinusové změně momentu přibližně 10 Hz

Ve frekvenční analýze proudu je vidět několik typických vrcholů, např. pro excentricitu apod. Nejvýraznější bin samozřejmě patří frekvenci napájecího napětí, tj. cca 50 Hz. V případě, že bychom ze signálu chtěli jednoduše odstranit tuto frekvenci, je vhodné vypočítat okamžitou hodnotu amplitudy proudu. Toto je možné vypočítat na základě tzv. Clarkovy transformace, která pře počítává trojfázové proud i_a, i_b, i_c na dvoufázové proudy i_α a i_β . Z těchto dvou proudů lze poté

dopočítat velikost okamžité hodnoty amplitudy proudu I_m (viz vzorce (2) – (5)).

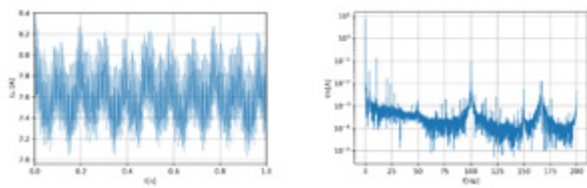
$$i_a = i_a - 1/2 \cdot i_b - 1/2 \cdot i_c \quad (2)$$

$$i_b = \sqrt{3}/2 \cdot i_a - \sqrt{3}/2 \cdot i_c \quad (3)$$

$$|P| = \sqrt{(i_a^2 + i_b^2)} \quad (4)$$

$$|P| = 3/2 \cdot I_m \quad (5)$$

Při použití této transformace vznikne signál, který reprezentuje průměrnou amplitudu ze všech třech proudů a při jeho frekvenční analýze se hodnota velikost napájecího proudu projeví jako 0. harmonická, kterou je snad při vyhodnocení signálu ignorovat (viz Obr 3)



Obr. 3 Průběh amplitudu proudu a jeho frekvenční analýza pro napájecí frekvenci 50 Hz a sinusové změně momentu přibližně 10 Hz

Tento způsob identifikace má několik omezení. Hlavním omezením je filtrace signálu v mechanické části pohonu a elektrické části – motor pro signál zafunguje jako dolní propust (viz např. [2]). Toto omezení může být částečně identifikováno pomocí matematického modelu asynchronního stroje. Dále je také díky tomuto problematická identifikace velikost změny momentu.

Matematický model asynchronního motoru

Asynchronní stroj lze modelovat několika způsoby, dle požadavků na typ výsledků. Mezi tyto způsoby patří model statický, založen na tzv. T či Γ článku, principiálně určeného na simulaci harmonických stavů či model využívající metodu konečných prvků. Pro potřebu popisu chování při změně zátěže je nevhodnější vyjít z modelu založeného na soustavě diferenciálních rovnic. Takovýto model popisuje napětí v 6 vinutích (stator A,B,C a rotor a, b,c) (viz rovnice (6) a (7))

$$u_{A,B,C} = R_s \cdot i_{A,B,C} + (d \psi_{A,B,C})/dt \quad (6)$$

$$u_a, b, c = R_r \cdot i_a, b, c + (d \psi_a, b, c)/dt \quad (7)$$

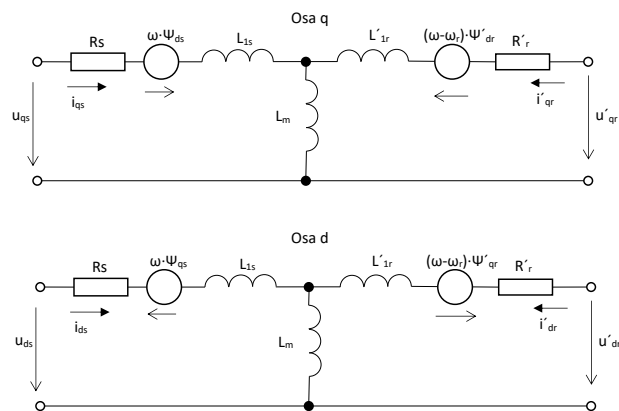
Rovnice obsahuje tzv. spřažený tok cívky. Příklad výpočtu spřaženého toku cívku A je ukázán v rovnici (8)

$$\psi_A = L_s \cdot i_A - M_s \cdot i_B - M_s \cdot i_C + M_r (\cos \theta) \cdot i_a + M_r (\cos \theta + 2/3 \pi) \cdot i_b + M_r (\cos \theta - 2/3 \pi) \cdot i_c \quad (8)$$

, kde L_s je vlastní indukčnost cívky, M_s je střední hodnota vzájemné indukčnosti mezi jednotlivými vinutími statoru, M_r je střední hodnota vzájemné indukčnosti mezi vinutími na statoru a rotoru a θ úhel je natočení rotoru. Obecně lze tyto parametry špatně určit a řešení je z pohledu výpočetní kapacity náročnější.

Z tohoto důvodu se zavedla již zmíněná Clarkova transformace a na ní navazující Parkova transformace. Ta převádí trojfázový systém a, b, c na dvoufázový systém, který může být označen jako d, q (v případě, že je tzv. spojen s hřídelí stroje).

Pro systém dq lze odvodit jednodušší model stroje (na základě náhradního schématu – viz Obr 4)



Obr. 4 Náhradní schéma asynchronního motoru v osách dq

Tento matematický model se skládá ze 4 rovnic pro elektrickou část ((9)-(12)).

$$u_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \omega \cdot \Psi_{ds} + (d\Psi_{qs})/dt \quad (9)$$

$$u_{ds} = R_s \cdot i_{ds} - \omega \cdot \Psi_{qs} + (d\Psi_{ds})/dt \quad (10)$$

$$u'_{qr} = R'_r \cdot i'_{qr} + (\omega - \omega_r) \cdot \Psi'_{dr} + (d\Psi'_{qr})/dt \quad (11)$$

$$u'_{dr} = R'_r \cdot i'_{dr} - (\omega - \omega_r) \cdot \Psi'_{qr} + (d\Psi'_{dr})/dt \quad (12)$$

Do těchto rovnic jsou dosazeny rovnice po spřažený tok ((13)-(18)).

$$\Psi_{qs} = L_s \cdot i_{qs} + L_m \cdot i'_{qr} \quad (13)$$

$$\Psi_{ds} = L_s \cdot i_{ds} + L_m \cdot i'_{dr} \quad (14)$$

$$\Psi'_{qr} = L'_r \cdot i'_{qr} + L_m \cdot i_{qs} \quad (15)$$

$$\Psi'_{dr} = L'_r \cdot i'_{dr} + L_m \cdot i_{ds} \quad (16)$$

$$L_s = L_{1s} + L_m \quad (17)$$

$$L'_r = L_{1r} + L_m \quad (18)$$

, kde L_{1s} je rozptylová indukčnost statoru, L_m je magnetizační indukčnost stroje a L_{1r} je rozptylová indukčnost rotoru přepočtená na stator.

Tyto rovnice jsou ještě doplněny rovnicemi pro moment (19) a mechanickou část (20)

$$m_i = 3/2 p (\Psi_{ds} \cdot i_{qs} - \Psi_{qs} \cdot i_{ds}) \quad (19)$$

$$(d\omega_m)/dt = 1/J (m_i - m_z - F \cdot \omega_m) \quad (20)$$

, kde p je počet pólových dvojic, J je moment setrvačnosti celé soustavy, m_z je okamžitá hodnota zatěžovacího momentu a F je konstanta viskózního tření celé soustavy. Pro úspěšné modelování je nutné identifikovat parametry pro náhradní schéma.

Identifikace parametrů modelu

Výchozími parametry pro motor je:

- Odpor statorového vinutí R_s ,
- Odpor rotorového vinutí přepočtený na stator R'_r ,
- Magnetizační indukčnost L_m ,
- Rozptylová indukčnost statoru L_{1s} ,
- Rozptylová indukčnost rotorového vinutí přepočtená na stator L_{1r} ,
- Moment setrvačnosti J .

Obecně lze odpor R_s jednoduše změřit a moment setrvačnosti J vyčíst buď z katalogu nebo změřit například pomocí dobehové zkoušky. Ostatní hodnoty jsou problematictější. První možností je získat tyto hodnoty od výrobce motoru, který je má povětšinou k dispozici z fáze návrhu stroje. Dalším způsobem je jejich identifikace z měření například dle normy [3]. Tato norma však v rámci vyhodnocení měření a výpočtu parametrů požaduje znalost některých konkrétních rozměrů z konstrukce stroje, což komplikuje samotnou identifikaci.

Další z možností je identifikace na základě katalogových hodnot a štitových hodnot a dopočet na základě matematického popisu. Tento postup je popsán například v [4] je implementován v rámci jedné z knihoven Matlabu.

Experimenty

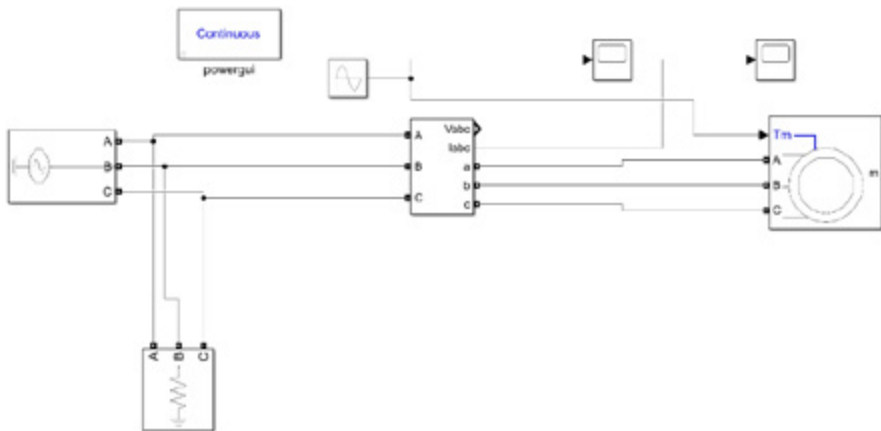
Pro ověření možnosti identifikace velikosti změny bylo využito dat z experimentu popsaného v [5]. Pro motor použitý v tomto měření byly získány od výrobce data nutná pro tvorbu modelu a následně byl vytvořen samotný model v programu Matlab / Simulink (viz Obr. 5)

Samotný model obsahuje zdroj, motor, měření a zdroj momentu. Moment byl nastaven jako sinusový průběh s amplitudou 0,514 Nm, frekvenci 10 Hz a DC offsetem 14,6 Nm. Po simulaci byly vyhodnoceny proudy pomocí frekvenční analýzy (viz Tab. 1).

	50 Hz (amplituda)	40 Hz (relativní k 50 Hz)	60 Hz (relativní k 50 Hz)
Simulace	6,792 A	1,71 %	1,19 %
Měření	7,37 A	1,54 %	1,03 %

Tab. 1 Porovnání měření a simulace

Z dat v tabulce je vidět, že se hodnoty mezi měřeními a simulací k sobě blíží. Odchytky v rámci hodnoty pro 50 Hz jsou způsobeny nepřesností určení parametrů pro model a také tím, že v rámci modelu jsou například zanedbány ztráty v železe. Hodnoty pro 40 Hz a 60 Hz jsou uváděny jako



Obr. 5 Model v programu Matlab / Simulink

relativní část z 50 Hz. V tabulce můžeme vidět, že odchylka mezi těmito hodnotami je cca 10 %. Tato odchylka je způsobena zejména dvěma věcmi. První je, že v rámci experimentu nebyla pulzace přesně 10 Hz, ale drobně se lišila. Díky tomuto nebyla pro frekvenci, na které se projeví pulzace v proudě zcela přesně splněna podmínka koherence. Navíce změna momentu nebyla zcela sinusová, což opět způsobilo drobný rozdíl. Při dopřesnění těchto kroků ve vyhodnocení by se odchylka výrazně snížila.

Pro identifikaci v obecném případě by tedy bylo možné postupovat tak, že postupně bude měněna velikost střední hodnoty momentu a velikost amplitudy v modelu, až se výsledek přiblíží změřenému stavu.

Závěr

V rámci článku byla prezentována možnost, jak v rámci vyhodnocení změny momentu z měření průběhu identifikovat i přibližně změnu velikosti momentu, ne jen frekvenci, jak se to dnes již standardně dělá. Tato metoda je založena na využití matematického modelu asynchronního motoru.

Na základě srovnání modelu a experimentu je možné stanovit, že uvedený postup je v prakticky využitelný.

Poděkování

Publikované výsledky byly dosaženy s podporou projektu TAČR č. FW01010485 – Automatické kontroly vyhrazených technologických zařízení s využitím strojového učení

Literatura

- [1] ČSN CLC/TS 60034-24, "Točivé elektrické stroje – Část 24: Online detekce a diagnostika možných poruch aktivních částí točivých elektrických strojů a ložiskových proudů – Návod k použití," 2012.
- [2] M. Kroupa and C. Ondrusek, "The induction machine as transfer element," *Proc. 2016 17th Int. Conf. Mechatronics - Mechatronika, ME 2016*, 2017.
- [3] "ČSN EN 60034-28 ed. 2 Točivé elektrické stroje - Část 28: Zkušební metody určování veličin pro náhradní obvodová schémata trojfázových nízkonapěťových asynchronních motorů nakrátko."

- [4] J. Pedra, "On the Determination of Induction Motor Parameters From Manufacturer Data for Electromagnetic Transient Programs," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 4, pp. 1709–1718, Nov. 2008, doi: 10.1109/TPWRS.2008.2002293.
- [5] R. Huzlik, V. Haban, M. Kroupa, and M. Hudec, "Evaluation of pressure pulsation frequency by motor current signature analysis," 2019.

Recenzent:

Příspěvek prošel recenzním řízením.

Akustické kamery a termokamery pro prediktivní údržbu

ING. VÁCLAV STRAKA
"TMV SS" S.R.O.

Akustické kamery

Akustickými kamerami se obvykle nazývají sestavy složené z většího množství jednotlivých senzorů (mikrofonů) doplněných o vizuální kameru, přičemž signály / záznam z obou zdrojů je následně překryt a je vytvořena akustická mapa na pozadí viditelného snímku. Takové řešení umožňuje nejen přehled o zdrojích signálu a jejich umístění, tzn jejich lokalizaci, ale i výrazné usnadnění prezentace výsledku.

Mobilní systémy

Pokud se jedná o požadavky na pochůzkovou kontrolu, můžeme mezi vhodné aplikace zahrnout následující jevy:

- Mechanické tření
- Výbojová aktivita
- Úniky stlačeného vzduchu

Podmínkou je vždy mobilita řešení, umožňující právě snadnou přemístitelnost, respektive flexibilitu příslušného pracovníka při vyhledání poruchových jevů a tím snadnou kontrolu širokého spektra a množství prvků. V následujících částech budou popsány aplikace na detekci výbojové aktivity a úniky stlačeného vzduchu.

Příkladem takového řešení být kamery firmy NL Acoustics. NL Acoustics je finskou firmou specializující se právě na oblast akustické emise. Výrobky NL Acoustics můžete nalézt i pod označením jiných výrobců, nicméně se vždy jedná o modely generačně starší, například s nižším frekvenčním rozsahem, vyžadující připojení napájecí baterie kabelem či jinak omezenou funkčností. Aktuální generace je distribuována výhradně pod označením NL Acoustics.

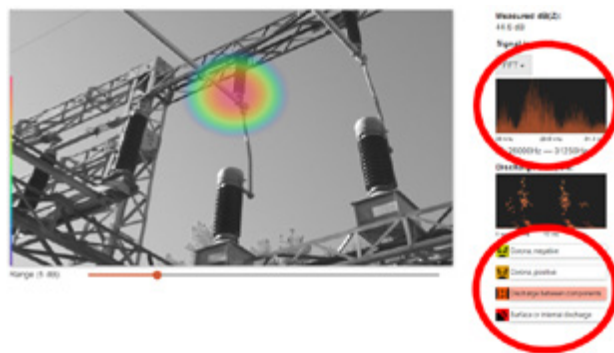
Některé z jejich aplikací jsou popsány v následujících částech.

Detekce výbojové aktivity

Detekce výbojové aktivity, respektive částečných výbojů, umožňuje detekovat prvky, u nichž dochází k tvorbě tohoto jevu. Jedná se hlavně o následující příčiny:

- Selhání izolačního systému
- Přetěžování izolačního systému
- Chyba v konstrukčním návrhu prvku
- Nedostatků při výrobě nebo instalaci

Samotná detekce jevu nemusí být dostačující pro určení jeho podstaty, proto je vizuelní informaci vhodné doplnit o rozložení výbojové aktivity vůči periodě excitačního zdroje (obvykle napětí), průběh signálu, FFT analýzu, případně analýzu spektra signálu.



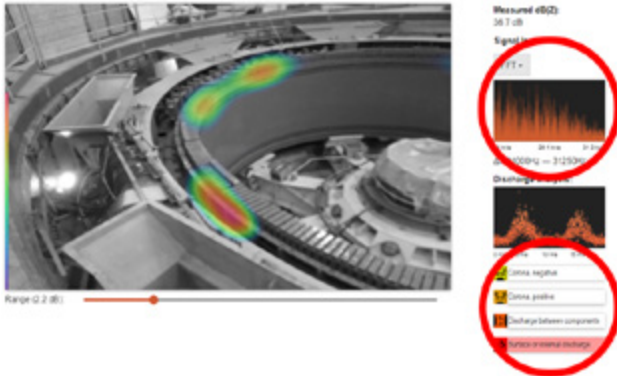
Na předchozí skupině obrázků je uveden příklad výbojové aktivity mezi komponenty včetně rozložení aktivity vůči sinusovému průběhu signálu. Podstatná není pouze intenzita jevu (v tomto případě vyjádřená v dB), ale právě průběh detekovatelného signálu. Jev je automatizovaně vyhodnocen expertním systémem, což je unikátní vlastností řešení. Stejně tak i detail fázového rozložení výbojové aktivity přímo na displeji kamery (výřez detailu displeje), což umožňuje obsluze určit příčinu přímo v terénu.

Pro určení typu poruchy je též možno použít obdobnou formu vyjádření závislosti výbojové aktivity na průběhu signálu, Lissajousovy charakteristiky.

Platí, že i když jsou tyto charakteristiky obvykle používány pouze pro metody, při nichž je detekce výbojové aktivity prováděna na elektrickém principu, je možno je s úspěchem použít i pro detekci akustickou. Na základě těchto charakteristik je tedy možno poměrně spolehlivě usoudit na charakter a příčinu jevu a tím i nad možným rozsahem nápravných opatření. Stejně tak důležité je frekvenční rozložení odezvy daného signálu.

Detekci výbojů je možno provádět nejen na venkovních prvcích distribuce a přenosu elektrické energie (AIS), ale i na prvcích vn, jako jsou rozváděče, kabely (povrchové jevy), ale například i vinutí elektrických strojů, jako jsou motory, či generátory, viz následující příklad:

V tomto případě se jedná o ukázkou z napěťové zkoušky generátoru s naprosto jednoznačnou lokalizací místa vzniku výbojové aktivity, na horní straně statorových tyčí. Takovéto měření (platí přeneseně nejen pro vinutí generátorů, ale též motory) umožní určit místa, v nichž je například zeslabena protikoronová ochrana, ať již degradací, či nedodrženy technologickými postupy, případně jevy způsobené propojením



jednotlivých satorových tyčí. Za povšimnutí stojí též frekvenční průběh signálu (FFT analýza) a automatizované vyhodnocení příčiny jevu, tzn. povrchové nebo interní výboje. Tento expertní modul výrazně usnadňuje určení vlastní podstaty jevu a odlišení od jiných příčin.

Mezi přednosti v porovnání s obdobnými metodami patří nejen jednoznačné určení místa, ale současně i kvantifikace jevu, zachycení průběhu signálu pro následnou analýzu, ale současně i schopnost detekovat nejenom induktivní, ale i kapacitní výboje.

Detekce netěsností tlakových rozvodů

V případě tlakových rozvodů se jedná o klasickou aplikaci v oblasti prediktivní údržby. Některé zdroje uvádějí obvyklé ztráty v tlakových rozvodech (například stlačený vzduch) v rozmezí 15-30%. Tyto ztráty mají za následek nejenom nadměrný provoz kompresorů (spojených se zvýšenou spotřebou), ale i jejich zvýšené opotřebení a nadměrné spotřebovávání zbytkové životnosti. Současně je možno brát v potaz i i snížení tlaku v soustavě, případně jeho nedostatečnou úroveň v místě upotřebení.

S netěsnostmi se můžeme setkat nejenom na ventilech či spojkách vedení, ale v některých případech i s netěsnostmi materiálu rozvodu jako takového, i když tyto případy jsou méně časté, než právě zmiňované spojky a ventily. Ukázka detekce úniku je na následujícím obrázku:



V tomto případě je možno nejenom jednoznačně lokalizovat místo úniku, ale současně, po zadání vzdálenosti mezi akustickou kamerou a lokalizovaným místem, kvantifikovat množství vzduchu unikajícího netěsností, ale po zadání jednotkových cen i finančně ocenit každý jednotlivý únik. Stejně jako v případě částečných výbojů je možno provést detailní analýzu průběhu akustického signálu, ať již pomocí časového průběhu, FFT či analýzy spektra signálu. Za hlavní přínos je ale možno považovat přesnou lokalizaci úniku a jeho kvantifikaci, což umožňuje managementu rozhodnout o efektivním nasazení nápravných opatření včetně určení jejich priorit. Současně nelze opominout extrémně krátkou návratnost investice do tohoto zařízení a jednoznačnou kvantifikaci (objemovou i finanční) nalezených netěsností.

NL Acoustics vyrábí kamery ve dvou řadách:

NL Acoustics ve verzích pro úniky stlačených médií (vzduch, různé plyny, podtlakové systémy), ve verzi pro detekci a určení druhu částečného výboje či obě funkčnosti společně v rámci jednoho zařízení. Aktuální novinkou je kamera LF10 optimalizovaná na úniky stlačeného vzduchu, široké spektrum plynů a podtlakové systémy. Zachovává si užité vlastnosti standardních kamer NL Acoustics a je navíc rozšířena o automatické měření vzdálenosti místa úniku (pro spolehlivější kvantifikaci) a automatickou volbu frekvenčních filtrů.

Unikátní vlastnosti kamer NL Acoustics

- Kompaktní rozměry a nízká hmotnost
 - 124 vysoce citlivých mikrofonů
- Fázové rozložení výbojové aktivity přímo na displeji
- Objemová i finanční kvantifikace úniku vzduch přímo na displeji
- Velmi dobře použitelné i na detekci netěsností podtlakových systémů či jiných druhů stlačených plynů
- Automatické měření vzdálenosti místa úniku pro kvantifikaci (LF10)
 - Automatické přepínání filtrů (LF10)
- Intuitivní ovládání
 - Expertní vyhodnocovací systém nejenom v „cloud“ verzi software, ale i v PC verzi.
 - TMVSS je firma s dlouhodobými



zkušenostmi s desítkami referencí v ČR a SR

- NL Acoustics je skutečným výrobcem zařízení

Termokamery pro oblast prediktivní údržby

TMV SS si vždy zakládala na vysoké úrovni nabízených produktů a řešení. I to je jeden z důvodů, proč jsme se rozhodli doplnit naše portfolio v oblasti termokamer pro prediktivní údržbu o vynikající termokamery výrobce HIKMICRO. Tato společnost aktuálně nabízí v oblasti termokamer ucelenou řadu zařízení, od jednoduchých základních modelů až po kamery určené i pro náročné aplikace v oblasti prediktivní údržby. HIKMICRO je výrobce, všech klíčových součástí termoka-

mer, včetně vlastní produkce detektorů napříč celou škálou rozlišení. Společným jmenovatelem všech modelů je odolnost, velmi dobrá citlivost a unikátní poměr cena / výkon. Dovolte nám představit jednotlivé řady.



Mini1 – adaptér k mobilnímu telefonu s rozlišením 160×120 pixelů a citlivostí < 40 mK



E1L – termokamera vstupní úrovně s rozlišením 160×120 pixelů, citlivostí < 40 mK a teplotním rozsahem až do 550 °C. Překvapí Vás svojí citlivostí a velmi pěkným zobrazením na displeji. Lze doporučit pro základní aplikace v oblasti kontroly rozvaděčů, strojního zařízení, HVAC a dalších aplikací



B1L a B20 – termokamery řady Basic s rozlišením 160×120 nebo 256×192 pixelů, citlivostí < 40 mK a teplotním rozsahem až do 550 °C. Velmi pěkné zobrazení na displeji, u modelu B20 včetně vizuální kamery. Lze doporučit pro základní aplikace v oblasti kontroly rozvaděčů, strojního zařízení, HVAC a dalších aplikací



M10 a M30 – termokamery řady Master s rozlišením 160×120 nebo 384×288 pixelů, citlivostí < 35 mK (M30) a teplotním rozsahem až do 550 °C. Vynikající zobrazení na dotykovém displeji včetně vizuální kamery 8MP. Tato kamera je vybavena optikou umožňující manuální ostření a v době, kdy není kamera používána může být chráněna praktickou odolnou krytkou. Lze doporučit pro většinu pokročilých aplikací



G40 a G60 – termokamery řady Genius s rozlišením 480×360 nebo 640×480 pixelů, citlivostí < 35 mK a teplotním rozsahem až do 650 °C. Vynikající zobrazení na dotykovém displeji včetně vizuální kamery 8MP. Tato kamera je vybavena vyměnitelnou optikou umožňující manuální i automatické ostření v několika režimech. Za zmínku též stojí zobrazovací rychlost kamery 50 Hz umožňující měření i dynamicky proměnných scén. Lze doporučit pro většinu pokročilých aplikací



SP60 – zástupce aktuálně nejvyšší řady termokamer HIKMICRO s rozlišením 640×480 pixelů, citlivostí < 30 mK a teplotním rozsahem až do 650 °C. Vynikající zobrazení na dotykovém displeji včetně vizuální kamery 8MP. Tato kamera je vybavena vyměnitelnou optikou umožňující manuální i automatické ostření v několika režimech. Kamera je koncipována včetně naklápění objektivu a displeje, což preferují někteří uživatelé. Lze doporučit pro naprostou většinu pokročilých aplikací.

Společným znakem všech kamer je propojitelnost s aplikací (mimo E1L), kvalitní a odolné zpracování a velmi přátelská obsluha. O kvalitě svědčí i výrobcem poskytovaná záruka 2 roky na baterie, 3 roky na zbytek sestavy a 10 let na detektor. Samo-

zřejmostí je i lokalizace do českého jazyka. Kamery je možno na přání dodat včetně kalibračního protokolu z akreditované kalibrační laboratoře. Naměřená data je možno zpracovávat (tvorba protokolů, hlubší analýza dat, vlastní tvorba šablon) v softwarovém vybavení, které je součástí nabídky

Kamery pro detekci zobrazení a kvantifikaci unikajících plynů (OGI)

V této oblasti TMV SS dlouhodobě spolupracuje s firmou OPGAL, špičkovým světovým výrobcem těchto systémů. OGI (Optical Gas Imaging) je oborem využívající pro vizualizaci unikajících plynů infračervené spektrum. K tomu jsou využívány extrémně citlivé termokamery zpravidla vybavené fotonovým detektorem s velmi vysokou citlivostí, v případě kamery EyeCGas od Opgal < 10 mK (tzn možnost zobrazit úniky například metanu o velikosti až 0,35 gramu / hodinu!). Nejen tato citlivost ale i další vlastnosti činí z kamery EyeCGas celosvětově preferované řešení pro vizualizaci a kvantifikaci unikajících plynů. Mezi tyto vlastnosti je možno zahrnout krytí IP65 umožňující pracovat i za zhoršených podmínek, certifikaci do prostředí s nebezpečím výbuchu ATEX 2 včetně kvantifikačního příslušenství, užitelsky vyměnitelné objektivy a filtry, kvantifikace úniku přímo v terénu v prostředí s nebezpečím výbuchu a další unikátní vlastnosti.



Shrnutí

Společnost “TMV SS“ je schopna nabídnout měřící techniku dle požadavků zákazníka na konkrétní aplikaci. Samozřejmostí je předvedení techniky vyškolenými odborníky u Vás či na smluveném místě. Po zakoupení kamery probíhá zaškolení uživatelů, ve vlastním školicím středisku, u Vás či v terénu, stálou zákaznickou podporu a uživatelským Hot-line. Společně s tímto poskytujeme akreditovaná školení a zprostředkování kontaktů se špičkami v oboru. Mezi další služby patří záruční a pozáruční servis, akreditovaná kalibrace ISO 17025, nebo např. možnost zapůjčení náhradního přístroje po dobu opravy apod.

Rádi Vám nabídneme i řešení v oblasti termografie pro R&D aplikace či postupy nedestruktivního zkoušení (IR NDT) či aktivní termografie, jak pro laboratorní aplikace tak trvalého monitoring výrobních procesů.

Série	Modul	Entry Level	Basic		Master		Genius		High End
Model	Mini1	E1L	B1L	B20	M10	M30	G40	G60	SP60
Rozlišení detektoru	160×120	160×120	160×120	256×192	160×120	384×288	480×360	640×480	640×480
Rozsah	-20 °C – 350 °C	-20 °C – 550 °C	-20 °C – 550 °C		-20 °C – 550 °C		-20 °C – 650 °C		-20 °C – 650 °C
Viz.Kamera	X	X	X	Max 2 MP	Max 8 MP		Max 8 MP		Max 8 MP
NETD	< 40 mK	< 40 mK	< 40 mK		< 40 mK	< 35 mK	< 35 mK		< 30 mK
Frekvence	25 Hz	25 Hz	25 Hz		25 Hz		50 Hz		25 Hz
Displej	Telefon	2,4" LCD	3,2" LCD		3,2" LCD		4,3" LCD, dotykový		5" LCD, dotykový + hledáček
Izoterma	X	X	Ano		Ano		Ano		Ano
Ostření	Pevné	Pevné	Pevné		Manuální		Kontinuální autofokus, Autofokus, Manuální, laserovým dálkoměrem		Kontinuální autofokus, Autofokus, Manuální, laserovým dálkoměrem
Propojení s aplikací	Ano	X	Ano		Ano		Ano		Ano
Video	Ano	X	X		Ano		Ano		Ano
Laserový dálkoměr	X	X	X		X		Ano		Ano
Jednodotkový Level & Span	X	X	X		Ano		Ano		Ano
Vyměnitelné objektivy	X	X	X		X		Ano		Ano
Lokalizace	ANO								
Záruka	2 roky baterie, 3 roky kompletní záruka, 10 let na detektor								

Unikátní
poměr
ceny
a výkonu



HIKMICRO



www.termokamery-hikmicro.cz

Limity kvantitativní termografie závislé na vlastnostech použitých kamer

Limits of quantitative thermography depending on the properties of the cameras used

VÁCLAV STRAKA, [TMV SS, VACLAV.STRAKA@TMVSS.CZ](mailto:TMV_SS,VACLAV.STRAKA@TMVSS.CZ)
 JIŘÍ SVOBODA, [TMV SS, JIŘI.SVOBODA@TMVSS.CZ](mailto:TMV_SS,JIŘI.SVOBODA@TMVSS.CZ)
 DAVID KUBOŠ, [TMV SS, DAVID.KUBOS@TMVSS.CZ](mailto:TMV_SS,DAVID.KUBOS@TMVSS.CZ)
 PAVEL PETRÁŇ, [TMV SS, PAVEL.PETRAN@TMVSS.CZ](mailto:TMV_SS,PAVEL.PETRAN@TMVSS.CZ)
 PAVEL ZÍTEK, [TMV SS, PAVEL.ZITEK@TMVSS.CZ](mailto:TMV_SS,PAVEL.ZITEK@TMVSS.CZ)

Anotace CZ:

Infračervené termografické kamery (termokamery) jsou nejen v oblastech údržby, stavebnictví nebo technologií průmyslu, ale také ve zdravotnictví, biomedicině, výzkumu a vývoji koncipovány tak, aby splňovaly požadavky a nároky na přesnost měření, tedy i kvalitu termogramu. Pokud je cílem poskytovat skutečně validní výsledky, je nutno vzít v potaz kromě standardních parametrů měření i konstrukční vlastnosti kamer jako takové, neboť významně přispívají, společně s úrovní obsluhy, ke kvalitě a vypovídající schopnosti termogramu a následného vyhodnocení.

Annotation ENG:

Infrared thermographic cameras (thermal cameras) are designed not only in the areas of maintenance, construction or industrial technology, but also in healthcare, biomedicine, research and development to meet the requests and requirements for measurement accuracy, i.e. thermogram quality. If the aim is to provide truly valid results, the design characteristics of the cameras as such must be taken into account in addition to the standard measurement parameters, as they contribute significantly, together with the level of operator, to the quality and informative capabilities of the thermogram and subsequent evaluation..

1. Úvod

Termografické kamery jsou dnes již běžným, uznávaným a velice potřebným nástrojem pro určení stavu měřených objektů a vytvoření postupů pro správné řízení údržby a pro predikci potenciálních závad. Pro různé aplikace je nutné vždy zvažovat minimální požadavky na parametry kamery, tak aby byl účel vlastního měření naplněn a výsledek měl požadovanou vypovídající hodnotu. V této oblasti nabízejí špičkoví výrobci stále dokonalejší výrobky a některé jejich parametry již dávno překonaly hodnoty, které byly v minulosti považovány za hraniční.

Termokamery jsou obvykle charakterizovány technickou specifikací s parametry, které uživatel bere jako základní hodnotu pro srovnávání mezi jednotlivými modely či pro porovnání s požadavky kladenými na systém jeho aplikací. V některých případech je však obtížnější porozumět bez hlubší znalosti problematiky jednotlivým parametrům, eventuálně odvodit, zda je uváděný parametr relevantní, případně odpovídající jeho aplikaci.

Pro aplikace v oblasti prediktivní údržby a základního výzkumu se masově používají kamery obsahující mikrobo-

lometrický detektor (detektor), který je výrazně levnější než fotonové (kvantové) detektory. Právě nástup mikrobolometrických detektorů umožnil skutečně masové rozšíření termografických kamer a výrazný pokles jejich cen. Pro velkou část aplikací je mikrobolometrický detektor vyhovující, nicméně v praxi se velmi často setkáme s aplikacemi, u nichž je nutno brát v potaz omezení (vlastnosti) termografických kamer využívajících právě tento typ detektorů. Tento materiál není koncipován jako kritika kamer využívajících mikrobolometrické detektory, nýbrž je určen jako upozornění na některé z limitů vyplývajících právě z jejich fyzikálních vlastností.

V potaz je nutno brát zejména následující vlastnosti:

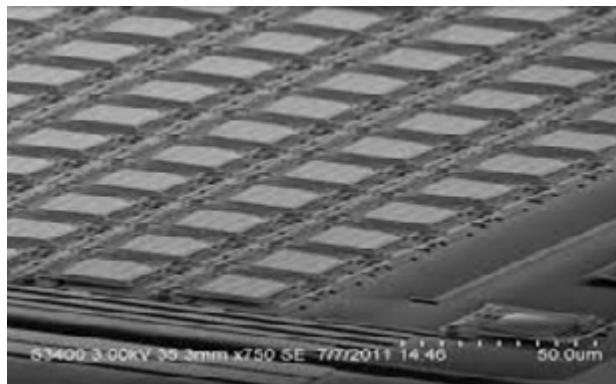
- rychlost snímkování (vzorkovací frekvence detektoru/kamery);
- způsob vyčítání detektoru;
- aplikace v případě, kdy se objekt vůči pozorovateli pohybuje.

Tyto parametry výrazně ovlivňují kvalitu výsledku v oblasti kvantitativní termografie. Pro správné posouzení možného ovlivnění výsledku je nutno zvážit omezení dané fyzikálními principy, které mikrobolometrické detektory využívají. Současně bude uvedeno porovnání se záznamy pořízenými termografickými kamerami s fotonovými detektory.

2. Rychlost snímkování

Jedním z parametrů uváděných u kamer bývá i záznamová/zobrazovací rychlost kamery. Bývá určující nejen pro plynulost zobrazení dějů, ale sekundárně, jak následně vysvětlíme, i pro přesnost měření.

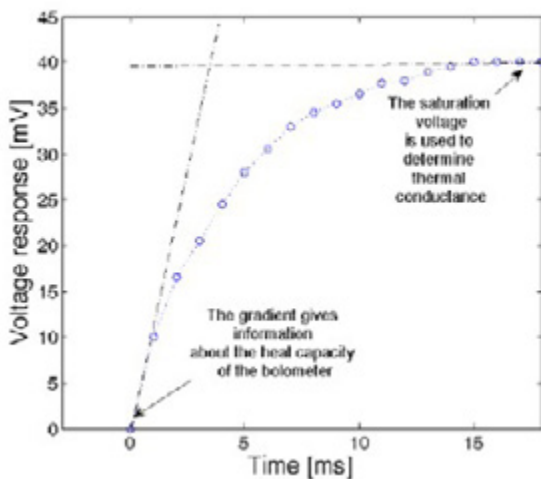
Dnešní systémy s bolometrickými detektory mají obvykle udávanou zobrazovací frekvenci v rozmezí 25–60 Hz pro plné rozlišení detektoru a v závislosti právě na fyzickém rozlišení detektoru (počtu pixelů; příklad viz obrázek 1). Je možné se setkat i se systémy pracujícími s obrazovou frekvencí nižší, například 7,5 nebo 9 Hz, avšak ty je možno považovat spíše za



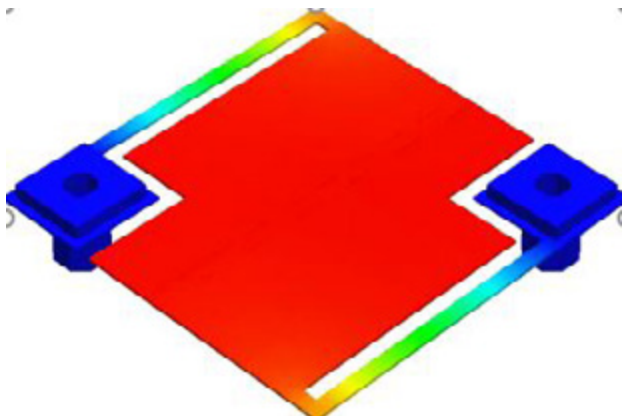
Obrázek 1: Struktura mikrobolometrického detektoru [6]

systemy spadající do skupiny informativních měřidel nevhodných pro sledování dynamických jevů.

Mikrobolometrický detektor je ve své podstatě analogový tepelný detektor, jehož minimální čas pro spolehlivou kvantifikaci je minimálně 5 ms (tzn. 200 Hz). Jeho tepelná časová konstanta (čas potřebný na změnu vlastní teploty o 63,2 % specifického teplotního rozpětí) je ≥ 5 ms (teoretická hodnota nezohledňující ochlazení detektoru). Ve skutečnosti jsou však minimální časy odlišné a pohybují se v rozmezí 7–10 ms. Hodnoty minimálních časů jsou všeobecně známy všem, kteří jsou alespoň částečně obeznámeni s vlastnostmi mikrobolometrických detektorů, přičemž minimální hodnoty se pohybují obecně nad hranicí 7 ms, a to v závislosti na velikosti pixelu detektoru a jeho kvalitě. Pokud tedy chceme spolehlivě kvantifikovat rychlé děje, můžeme za maximální rychlost považovat 100–120 Hz, rychlosti vyšší pak pouze za informaci, že došlo k jevu bez jeho spolehlivé kvantifikace. Ukázka rychlosti odezvy (saturace) detektoru v reakci na zářivý tok emitovaný sledovaným objektem je na obrázku 2. Příklad teplotního rozložení na jednom pixelu detektoru je na obrázku 3.



Obrázek 2: Odezva mikrobolometrického detektoru [2]



Obrázek 3: Tepelné rozložení mikrobolometrického detektoru [2]

Stejně tak je třeba vzít v potaz, že mikrobolometrický detektor v daném čase/frekvenci integruje hodnotu signálu a není tedy možno aktivně řídit excitační čas, který si můžeme zjednodušeně představit jako dobu závěrky/expozice u fotoaparátu. Pokud tedy budeme mít dynamický děj, ať již z hlediska změny teploty, případně změny pozice či tvaru, je třeba brát v úvahu tuto charakteristiku detektoru nebo pro danou aplikaci použít jiný než bolometrický detektor.

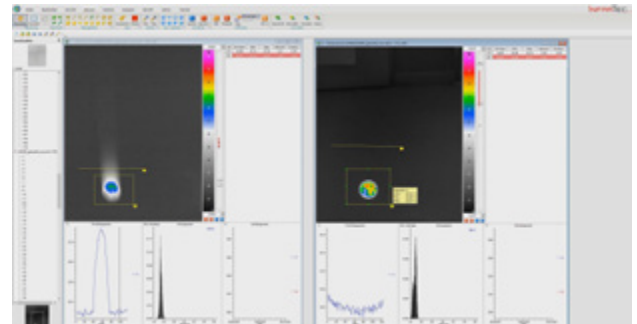
Současně je zapotřebí upozornit na rozdíl mezi zobrazovací frekvencí a rychlostí ukládání. Pokud nepožijeme statické termogramy, ale rozhodneme se ukládat sekvenci termogramů, případně radiometrické video, pak frekvence ukládání může být omezena (v případě ukládání do vnitřní paměti kamery), případně musíme mít vhodné připojení a možnost ukládat. Pro představu – jeden termogram o velikosti 640 480 pixelů může mít velikost 300–500 kB.

Pokud je požadována vyšší zobrazovací/záznamová frekvence, je tento požadavek obvykle řešen zmenšením zobrazované plochy detektoru, tzv. windowingem. Pak se lze setkat i se specifikacemi uvádějícími rychlosti 120, 150 nebo i 200 Hz. U hodnocení těchto rychlostí je potřeba vyjít z fyzikálních vlastností mikrobolometrického detektoru.

Oproti tomu pokud pro snímání dynamického jevu (ať již z hlediska teplotního, nebo kinematického) použijeme termografickou kameru využívající kvantový detektor (někdy označovaný jako „chlazený“), můžeme pracovat s integračními časy detektoru obvykle v rozmezí jednotek až stovek mikrosekund (μ s), tedy s časy o jeden až tři řády nižšími než v případě termografické kamery s mikrobolometrickým detektorem. Další vlastností kamer s fotonovými detektory je fakt, že je možno definovat vzorkovací frekvenci kamery nezávisle na integračním čase detektoru (při respektování, že vzorkovací frekvence $f \leq 1/IT$, přičemž IT je integračním časem detektoru [s]) či vzorkovací frekvenci synchronizovat se snímaným jevem (rotační pohyb, excitace při IR NDT – nedestruktivním testování pomocí termografie).

Jako příklad můžeme uvést následující záznam porovnávající identický jev při snímání pohybujícího se kruhového objektu kamerou s mikrobolometrickým detektorem (vlevo) a kamerou s fotonovým detektorem (vpravo).

V levé části můžeme vidět rozmazaný záznam s viditelnou tepelnou stopou (připomínající ocas komety) způsobenou



Obrázek 4: Porovnání záznamu dynamického jevu mezi kamerou s mikrobolometrickým detektorem a kvantovým detektorem [2]

dlouhou tepelnou konstantou mikrobolometrického detektoru (vzorkovací frekvence detektoru 60 Hz). Záznam provedený kvantovým detektorem (/vpravo/ vzorkovací frekvence detektoru je 60 Hz, $IT = 300 \mu s$) nevykazuje ani zdánlivé signály, ani deformaci objektu. Vizuální stránka není jediným rozdílem. Z hlediska kvantifikace termogramů je možno vysledovat i rozdílné zdánlivé teploty (teplotní stupnice je v obou případech nastavena identicky) lišící se cca o 10 % pro nejvyšší zdánlivé teploty sledovaného objektu. Tento rozdíl je způsoben právě rozdílnou technologií obou detektorů a faktem, že se objekt pohybuje. Statické části scény jsou kvantifikovány identicky.

Je tedy možno konstatovat, že využitá technologie neovlivňuje pouze vzhled jako takový, ale i kvantifikaci hodnot

v závislosti na velikosti objektu, teplotně homogenní plochy a rychlosti (případně směru) pohybu. Způsob kvantifikace mezních rychlostí pohybu objektu vůči použité technologii bude představen v kapitole 5.

3. Způsob vyčítání detektoru

U termografických kamer s maticovými detektory rozlišujeme 2 základní způsoby vyčítání detektoru:

- line-by-line – vyčítání detektoru po jednotlivých řádcích či skupinách řádků, v některých případech se může jednat i o sloupce či skupiny sloupců;
- snapshot – vyčítání detektoru jako celku v jednotném systémovém čase.

Ačkoli se může na první pohled zdát, že se jedná o bezvýznamný technologický aspekt, může mít tato odlišnost zásadní vliv na kvalitu vypovídající hodnoty termogramu. Na následujícím obrázku (obrázek 5) můžeme vidět vznik zdánlivé deformace snímaného objektu při jeho posunu. Lze si to představit nejen jako kinematický jev, ale i jako tepelný jev se značnou dynamikou.

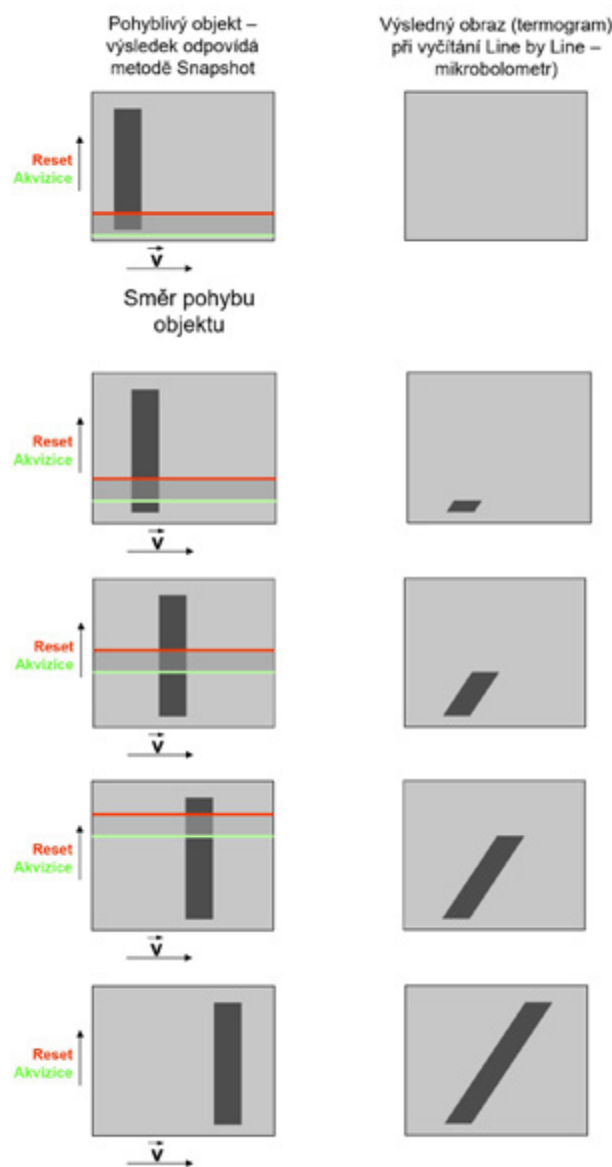
Na předchozí sadě obrázků můžeme jednoznačně vidět deformování tvaru či termogramu při porovnání s realitou (vyčítání snapshot s vyčítáním line-by-line). Jako shrnutí můžeme uvést, že v závislosti na integračním čase / tepelné konstantě detektoru a způsobu vyčítání detektoru dochází ke geometrické deformaci pohybujícího se snímaného objektu, zejména při použití systémů s mikrobolometrickým detektorem. Tuto deformaci je současně možno chápat i jako nejednotnost časové základny termogramu a z toho vyplývající omezení při dalším zpracování dat, například korektní použití Fourierovy transformace.

Z výše uvedeného obrázku je možno vyčíst zdánlivou deformaci pozorovaného objektu způsobenou právě vyčítáním line-by-line u mikrobolometrických detektorů. V této souvislosti je zapotřebí zmínit, proč mikrobolometrické detektory nevyužívají vyčítání snapshot, tedy celého zorného pole v jednotném systémovém čase. U stávajících mikrobolometrických detektorů tento způsob vyčítání není možný, neboť pokud by byl použit (tedy celá plocha detektoru by byla zatížena v jeden systémový čas), došlo by k přetížení detektoru a možnému nevratnému poškození či k extrémně zrychlené degradaci.

4. Praktické zdokumentování vlivu způsobu vyčítání detektoru a jeho rychlosti

V předchozích kapitolách byly zmíněny vlivy rychlosti detektoru (integrační čas vs. tepelná konstanta detektoru). Abychom nepoužívali pouze teoretické modely, můžeme si prakticky uvedené jevy a jejich projevy demonstrovat na následující ukázce, kterou je kvantifikace teplot dvojkolí vagónu. Pro snímání byly použity kamery s následujícími charakteristikami:

- LWIR, 1 024 × 768 px, NETD 30 mK, $f = 30$ Hz, mikrobolometrický detektor, časová konstanta detektoru 10 ms;
- LWIR, 1 280 × 1 024 px, NETD 30 mK, $f = 200$ Hz, kvantový detektor, integrační čas detektoru nastavený 90 μs ;
- úmyslně byly vybrány termografické kamery pracující v obdobném vlnovém rozsahu (LWIR) s podobným rozlišením detektoru, blízkým IFOV a shodným NETD (teplná



Obrázek 5: Porovnání způsobu vyčítání detektoru line-by-line vs. snapshot [2]

citlivost); základní rozdíl mezi oběma systémy je možno spatřovat nikoli ve snímání frekvenci, ale právě v integračním čase obou kamer (respektive v časové konstantě mikrobolometrického detektoru a integračního času kvantového detektoru), který je přibližně 100násobně kratší, tedy o dva řády.

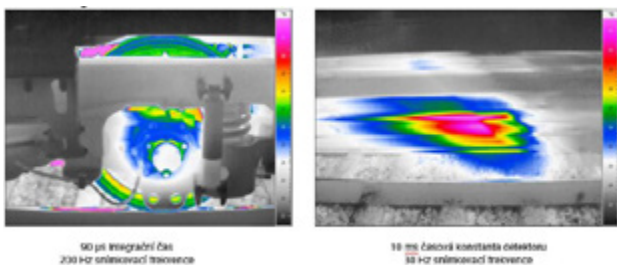
- Použité zkratky
 - ♦ LWIR – Long Wave Infra Red, dlouhovlnné infračervené pásmo
 - ♦ NETD – Noise Equivalent Temperature Difference, šum ekvivalentního rozdílu teplot
 - ♦ IFOV – Instantaneous Field of View, okamžité zorné pole
 - ♦ MFOV – Measurement Field of View, měřicí zorné pole
- Jako pokusný objekt byla vybrána pohybující se vlaková souprava se zaměřením na teplotu dvojkolí a brzdných systémů za provozu. Lepší představu si můžeme udělat na obrázku 6:



Obrázek 6: Měřený objekt použitý pro ukázkou [2]

Měření bylo provedeno za provozu, rychlost soupravy byla odhadnuta na cca 40 km/h. Vzdálenost mezi termografickými kamerami a snímanou oblastí byla cca 1,5 m. Tato vzdálenost byla zvolena s ohledem na velikost jednoho pixelu (detailu) – IFOV.

Na následujících termogramech (obrázek 7) je možno vidět výrazně odlišnou charakteristiku jevu a kvalitu záznamu pro vyhodnocení:



Obrázek 7: Porovnání termogramů pohyblivého objektu [2]

Na levém záznamu pořízeném termokamerou s kvantovým detektorem je možno sledovat zcela konkrétní strukturu snímané scény, lze tedy předpokládat spolehlivou kvantifikaci teplotních polí. Záznam vpravo pořízený termogra-

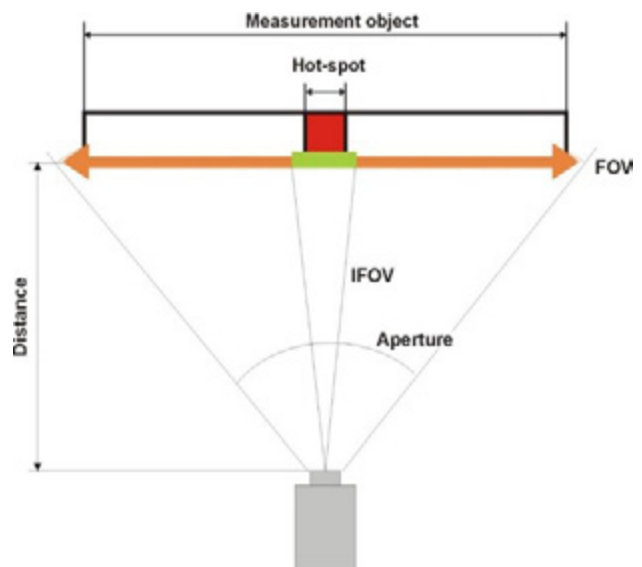
fickou kamerou s mikrobolometrickým detektorem, kde je možno detekovat veškeré jevy společně všem systémům s mikrobolometrickým detektorem, tzn. výrazně zhoršené podání geometrie pohybujících se částí a současně rozdělení do vodorovných pásů způsobených vyčítáním line-by-line. Obecně lze konstatovat, že zatímco záznam z kamery vybavené kvantovým detektorem je spolehlivě kvantifikovatelný, záznam z bolometrické kamery je možno chápat pouze jako indikaci nějakého teplotního jevu bez možnosti spolehlivé kvantifikace a určení zdroje oteplení.

Tímto příkladem nechceme poukázat na nedostatečnou kvalitu mikrobolometrických detektorů; jedná se o ukázkou ilustrující jejich vlastnosti a limity aplikací, na něž je možno tyto detektory použít, či jaké jevy je třeba předpokládat.

5. Určení základních parametrů při snímání pohyblivého objektu

V praxi je možno se často setkat s měřeními prováděnými na pohyblivých se objektech (případně pohybem technika provádějícího měření vůči objektu zájmu), kdy je výsledná kvalita termogramu ovlivněna právě tímto pohybem. Současně je ovlivněna i schopnost kvantifikovat teplotní pole v rámci termogramu.

Obecně u statického vztahu pozorovatel–objekt (tzn. vzájemná poloha se nemění) platí základní teze o optických vlastnostech kamery. Na základě použitého objektivu a geometrického rozlišení kamery (a dalších parametrů optické soustavy) je obvykle uváděn parametr IFOV (mRad) udávající individuální zorné pole jednoho pixelu. Tento údaj je možno považovat za validní z hlediska kvalitativní, nikoli však kvantitativní termografie. Pokud chceme spolehlivě kvantifikovat, je nutnou podmínkou, aby teplotně homogenní plocha byla dostatečně pokryta pixely detektoru. Tento parametr bývá nazýván MFOV (měřicí zorný úhel) a obvykle je možno jej vyčíslit jako 3- až 5násobek IFOV, tedy že výše zmíněná



Obrázek 8: Schematické uspořádání [2]

teplotně homogenní oblast musí být překryta maticí o rozměru 3×3 až 5×5 pixelů. MFOV je závislý nejen na kvalitě detektoru, ale i na kvalitě použité optiky, ta je experimentálně stanovitelná v kvalitních laboratořích. Pokud podmínka MFOV není splněna, budou zdánlivé teploty kvantifikovány s odchylkou, která může výrazně překročit technické specifikace použité termokamery. MFOV se určuje pomocí funkce otvoru (HFR) [3]. Toto vše platí, jak bylo výše uvedeno, pro statické uspořádání scény bez vzájemného pohybu.

Nicméně v reálných aplikacích k tomuto pohybu dochází a je dobré mít představu, jak tento pohyb ovlivní kvantifikaci zdánlivých teplot v termogramu. Pro zjednodušení si představme, že se objekt pohybuje rovnoběžně s pozorovatelem a změna absolutní vzdálenosti mezi pozorovatelem a objektem bude zanedbatelná, tudíž nebude brána v potaz. Schematicky to lze znázornit následovně:

Jak bylo uvedeno výše, pro správnou kvantifikaci je zapotřebí dodržet podmínky definované MFOV. Vzhledem k tomu, že objekt se vůči pozorovateli pohybuje, můžeme pro zjednodušení nahlížet na tento posun jako na úhlovou rychlost (byť se o rotační pohyb v pravém slova smyslu nejedná).

Matematicky by to bylo možno vyjádřit následovně:

$$\omega = d\varphi/dt, \text{ resp } \omega = \varphi/t \text{ případně } \omega = (r^*v)/(abs r^{\wedge}2) [7]$$

$$r = \text{polohový vektor}, r = (x^2 + y^2 + z^2)^{-2}$$

Platí, že pro korektní kvantifikaci je třeba MFOV + x*IFOV, přičemž x = počtu pixelů detektoru, o které je potřeba MFOV navýšit pro danou vzorkovací frekvenci kamery (f). Pokud tedy chceme kvantifikovat pohybující se objekt, vytvoříme si MFOV' (měřicí zorný úhel dynamické scény, pro který platí, že MFOV' > MFOV). MFOV' nám tedy udává prostorový úhel. Při znalosti vzdálenosti a rychlosti pohybu objektu můžeme vypočítat velikost matice pixelů detektoru, kterými je nutno pokrýt teplotně homogenní plochu, jejíž zdánlivou teplotu chceme kvantifikovat. Pokud bychom si vytvořili modelový příklad s následujícími vstupními parametry:

- IFOV = 1 mRad \rightarrow MFOV = 3–5 mRad
- v = 1 m/s (rychlost pohybu objektu souběžně s pozorovatelem)
- d = 10 m (vzdálenost mezi objektem a pozorovatelem)
- f = 30 Hz (snímací frekvence kamery)

Pokud tyto vstupní parametry dosadíme do výše uvedených vzorců, můžeme vypočítat MFOV'.

Výsledek:

$$\omega = 5,4^0 / s \rightarrow 94,2 \text{ mRad/s}$$

$$\text{MFOV}' = \text{MFOV} + x \cdot \text{IFOV}$$

$$\rightarrow x = \omega / (f \cdot \text{IFOV}) \rightarrow x = 3,14$$

$$\text{MFOV}' = \text{MFOV} + 3,14 \cdot \text{IFOV} \rightarrow \text{MFOV}' = 7-9 \text{ mRad} \rightarrow 7-9 \text{ px} [4]$$

Pro uvedené parametry optického systému je tedy MFOV' pro danou vzdálenost roven 7–9 pixelům detektoru (termogramu).

Uvedený výpočetní postup není převzatý a byl prvně publikován autory v roce 2021. Stejně tak jsou v interních materiálech definovány ekvivalentní algoritmy pro rotační pohyb objektu či pohyb objektu ve 3D (trojrozměrném prostoru), včetně závislosti na změnách vzdálenosti mezi pozorovatelem a pozorovaným objektem.

Je možno vidět, že i při zdánlivě malé rychlosti pohybu a poměrně značné vzdálenosti mezi pozorovatelem a pohybujícím se objektem byla velikost MFOV' oproti statické hodnotě MFOV přibližně dvojnásobná.

Lze oprávněně namítnout, že výpočet nebere v potaz absolutní změnu vzdálenosti mezi pozorovatelem a pohybujícím se objektem, to bylo zmíněno již na počátku. Zanedbání bylo provedeno za účelem zjednodušení ukázky výpočtu, nicméně postup jako takový je snadno použitelný pro většinu obvyklých situací. Obdobný postup je možno využít i pro rotační pohyb, respektive kvantifikaci zdánlivých teplot rotačních prvků.

6. Závěr

Při výběru termokamery je třeba znát aplikaci, pro kterou má být dané zařízení využito, ale při volbě parametrů je vhodné chápat, co jaký parametr znamená. Jak bylo opakovaně uvedeno, článek není míněn jako kritika případných nedostatků termokamer vybavených mikrobolometrickými detektory, ale jako upozornění na souvislosti mezi některými vlastnostmi termokamer s mikrobolometrickými detektory a potřebami kvantitativní termografie. Při některých aplikacích je jednoznačně potřeba posoudit technologická omezení termokamer s mikrobolometrickými detektory či zvážit využití termokamer vybavených kvantovými detektory a schopností řádově kratších integračních časů, vyšších záznamových frekvencí či možnosti skutečně synchronizovat akvizici dat s externím signálem či jevem.

Tento text neměl za cíl komplexní porovnání termokamer vybavených mikrobolometrickými a kvantovými detektory. Limitních vlastností je celý souhrn a takový materiál by výrazně přesáhl vymezený rozsah. Cílem bylo upozornit pouze na některé z nich, včetně způsobu, jak je eliminovat či se s nimi vyrovnat.

Celý materiál byl koncipován úmyslně naprosto nekomerčně, jednotlivé popisované jevy nejsou spojeny s konkrétními výrobci, případně jsou údaje anonymizovány. Autoři jsou připraveni poskytnout zájemcům bližší informace či konzultovat dotazy a požadavky vyšší z tohoto výzkumu.

Literatura:

- [1] ČSN EN 16714-3 Nedestruktivní zkoušení – Termografické zkoušení – Část 3: Termíny a definice
- [2] Infratec GmbH, Infrarotsensorik und Messtechnik, Dresden: Manual of infrared camera VarioCAM HD
- [3] OIML R 141 - Procedure for calibration and verification of the main characteristics of thermographic instruments. Organisation Internationale de Metrologie Legale, 2008
- [4] Interní materiály "TMV SS", s. r. o.
- [5] TMV SS. TMV SS [online]. Copyright © [cit. 18. 05. 2022]. Dostupné z: <https://www.tmvs.cz/>
- [6] www.lno.ca, 2018
- [7] Úhlová rychlost – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Ahlov%C3%A1_rychlost

Recenzent:

Příspěvek prošel recenzním řízením.

Strojové zpracování termogramů

Machine thermogram processing

DANIEL ZUTH

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VUT V BRNĚ

Anotace:

Příspěvek se zabývá možností automatické detekce tvarů v termografických snímcích s následnou statistikou naměřených dat. Zdrojem je standardní obrazový formát v definované teplotní stupnici a výstupem jsou jednotlivé nalezené objekty a jejich statistika naměřených hodnot. Zpracování je zaměřeno na opensourceové prostředí s možností využití i pro komerční použití zdarma.

Annotation:

The paper deals with the possibility of automatic detection of shapes in thermographic images with subsequent statistics of measured data. The source is a standard image format in a defined temperature scale and the output is individual detected objects and their statistics of measured values. The processing is performed in opensource software with the possibility of free commercial use.

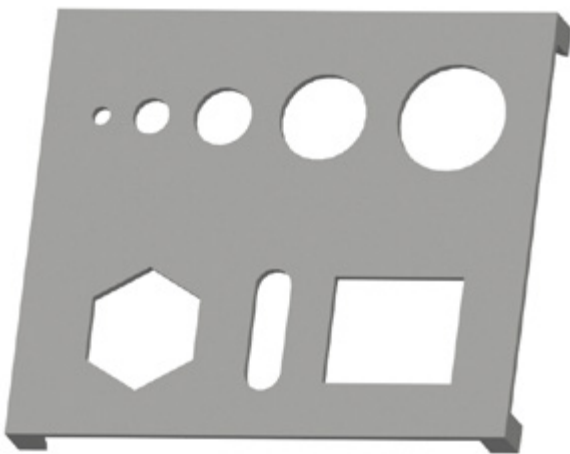
1. Úvod

S příchodem digitalizace a standardu Průmysl 4.0 je stále více kladen důraz na automatické (strojové) zpracování naměřených dat bez nutnosti zapojování lidských zdrojů. Tato situace je dána především větším množstvím snímaných dat a samozřejmě stále dostupnější výpočetní technikou, která tyto úkony může vykonávat mnohem rychleji a levněji než lidský expert. Je však nutné vždy tyto nástroje využívat jako podpůrné a konečné rozhodnutí například z pohledu technické diagnostiky určí lidský expert. Další možností využití automatického vyhodnocení je pořízení záznamu pro protokol výstupní kontroly, případně

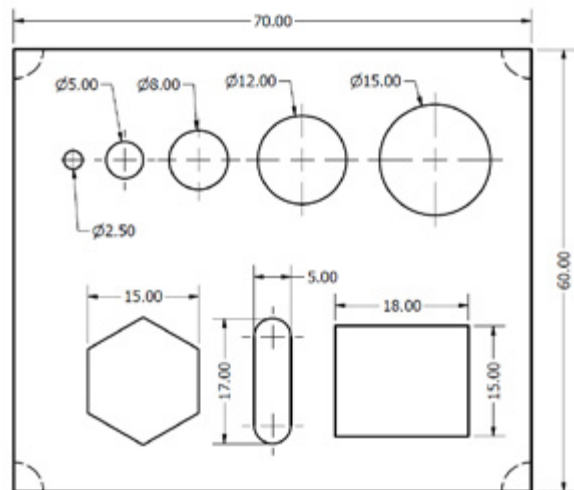
záznam o správnosti výrobního procesu. Další možností je využití u automatizovaných inspekčních/revizních kontrol, kdy se automaticky detekují abnormality v obrazovém záznamu, tyto abnormality se automaticky rozřídí, doplní se adekvátní informace a vygeneruje protokol, který je zaslán konkrétním osobám, jež rozhodnou o dalším postupu. Zpracovávaná vstupní data mohou být libovolné obrazové záznamy, a to například optické snímky z kamer, termogramy nebo vygenerované grafy z dynamických veličin (zvuk, vibrace, tlak atd.). Strojově zpracovaná data zajišťují opakovatelnost a eliminaci nejasností způsobených lidským faktorem.

V tomto příspěvku ukážeme automatické zpracování termografických snímků. Ideálním zdrojem pro tento proces by byl termogram, což je 2D matice teplot, kdy sloupce a řádky reprezentují rozlišení termokamery a hodnota by představovala teplotu pro daný pixel, tuto možnost však software od výrobce použité termokamery neumožňuje. Další možností je tedy využít obrazový formát termogramu, který má teplotu pixelů reprezentovanou barevnou stupnicí. V tomto případě je pak nutné znát barevnou stupnici, tzn. jaká barva reprezentuje konkrétní teplotu, toto je naopak základní funkce a disponuje jí každý software dodaný výrobcem termokamer. Tyto parametry lze také nastavit přímo v termokameře spolu s dodatečnými parametry, jako je zdánlivá odražená teplota nebo emisivita a další.

Vstupem tedy bude obrázek s definovanou teplotní stupnicí a cílem bude nalezení objektů na snímku a provedení automatizovaného vyhodnocení. Cílem algoritmu je tedy nalézt ohraničené objekty, najít jejich tvar a provést statistiku z nalezeného tvaru (nikoli jen obdélníkového výřezu). Jako software bude použito programové prostředí Python [1] a knihovna pro zpracování obrazu OpenCV [2].



Obrázek 1: Přípravek pro simulaci různých tvarů – materiál plast PLA (3D tisk)



Obrázek 2: Rozměrový výkres přípravku s uměle vytvořenými otvory



Obrázek 3: Fotografie přípravku na topné desce

2. Získání vstupních dat

Pro získání byl použit plastový přípravek, jenž obsahuje různé geometrické tvary, které budou následně detekovány, přípravek s definovanými tvary je na obr. 1, rozměrový výkres je na obr. 2 a samotný uložení na topné desce je na obr. 3. Následně byly provedeny dva experimenty, jež simulují rozdílné situace. Termogramy byly upraveny na černobílou stupnici (pouze 8bitová hloubka barvy) s automatickou stupnicí (rozsahem teplot) pro získání co nejvyšší rozlišitelnosti.

2.1 Experiment 1

Přípravek je umístěn nad vyhřátou topnou deskou opatřenou nátěrem LabIR Paint – HERP-LT-MWIR-BK-11, který má definovanou emisivitu 0,95 (viz obr. 3), samotný přípravek má pokojovou teplotu a tvary slouží jako průzory na topnou desku, tato situace simuluje několik objektů o teplotě podložky (cca 70 °C) a tyto tvary pak budou vyhodnocovány jako samostatné objekty. Tento experiment simuluje různé tvary objektů v zorném poli. Situace by byla řešitelná v běžném softwaru dodávaném k termokamerám, nicméně by se musely ručně definovat jednotlivé tvary (obdélníky, kružnice, elipsy, ručně definované tvary atd.).

2.2 Experiment 2

Přípravek byl ohřátý topnou deskou na teplotu cca 50 °C a následně umístěn na vychladlou podložku opatřenou nátěrem LabIR Paint [3], tato simulace představuje jeden tvarově složitý objekt, který je perforovaný, a cílem je provést statistiku tohoto objektu, tzn. že ze statistiky je vyloučeno okolí a hlavně jsou vyloučeny průzory/otvory na desku, která není předmětem zájmu. Tato situace už není běžně řešitelná v softwaru dodávaném k termokamerám. Jedná se o statistiku oblasti, z níž jsou vyloučeny její podoblasti.

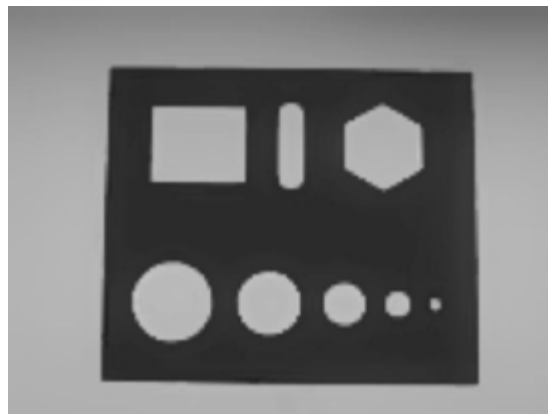
Vstupní termogramy jsou na obr. 4 a 5, jedná se o obrázky ve stupnici odstínu šedi s rozlišením 640 × 480 pixelů.

3. Postup zpracování

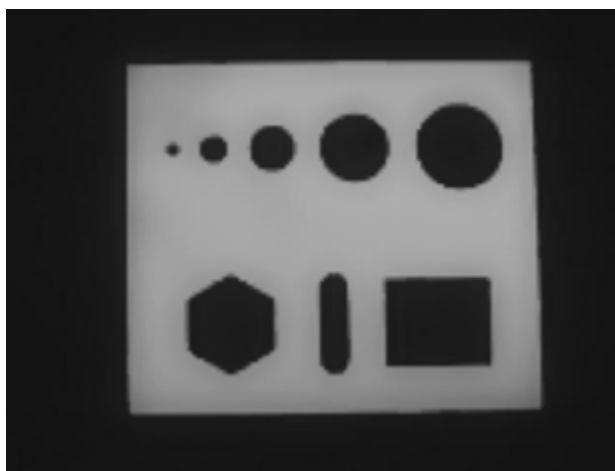
Algoritmus se skládá z několika kroků, jedna část řeší nalezení tvarů (segmentů) a získání jejich souřadnic a druhá část řeší převod obrazových dat na teplotní mapu a poté provádění statistiky na vybraných objektech.

3.1 Detekce objektů

Krok 1 – Načíst obraz, převést na odstíny šedi (pokud již není) a převést obrázek na binární dvoubarevný obrázek s pře-



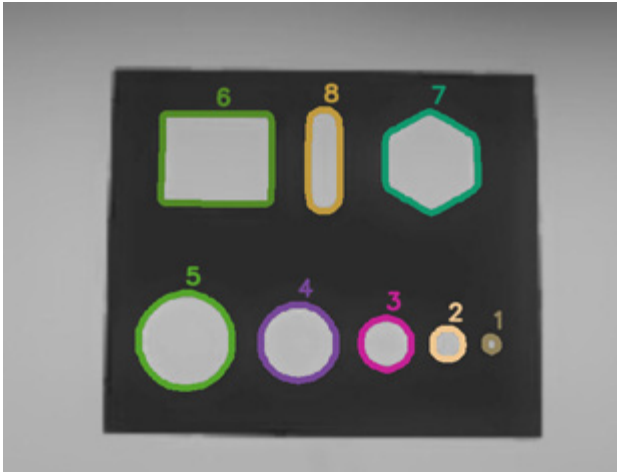
Obrázek 4: Vstupní termogram pro experiment 1 (rozsah 35 °C bílá barva a 90 °C černá), rozlišitelnost 0,21 °C



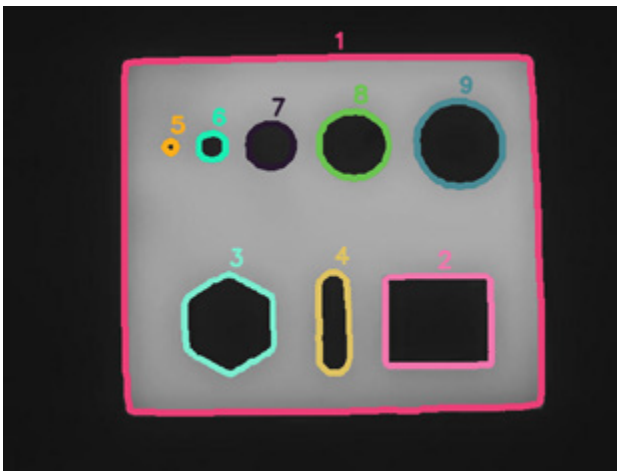
Obrázek 5: Vstupní termosnímek pro experiment 2 (rozsah 25 °C bílá barva a 60 °C černá), rozlišitelnost 0,14 °C

dem nastavenou úroveň jasu, tzn. vše pod bude bílá, vše nad bude černá, to zajistí funkce „cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)“ [4] a následně „cv2.threshold(image, 100, 255, cv2.THRESH_BINARY_INV)“ [5]. V tomto kroku lze použít klasických metod, jako je ostření (cv2.GaussianBlur), pro lepší dosažení výsledku.

Krok 2 – Nalezení obrysů pomocí funkce „cv2.findContours“ [6] a následně „imutils.grab_contours()“ nám uloží do struktury všechny nalezené obrysy. Výsledek této operace je pak patrný na obr. 6, kde jsou strojově nalezené obrysy očíslovány a barevně zvýrazněny (tloušťka čáry 5 px, barvy jsou náhodné), obrys a číslo (pořadí) jsou vykresleny automaticky. V tomto kroku lze zpracovat hledání konkrétního tvaru, a to konkrétního tvaru o definovaném obsahu (účinnější než hledat konkrétní rozměr), nebo konkrétní rozměry (přepočítané z pixelů). Tato situace by byla vhodná, pokud se automaticky analyzuje konkrétní díl, jenž se nachází kdekoli v zorném poli (dopravní pás), poté by se analyzoval jen



Obrázek 6: Automatická detekce včetně automatického očíslování tvarů pro experiment 1, nalezené objekty 1 až 8 budou samostatně analyzovány



Obrázek 7: Automatická detekce včetně automatického očíslování tvarů pro experiment 2, objekty 2 až 9 jsou podmnožinou objektu 1, simulace perforovaného dílu

hledaný díl (díly), a to například termograficky nebo tvarově/rozměrově. Výsledek by pak byl součástí automatizovaného záznamu o kontrole kvality a podobně, okolí/pozadí by nebylo součástí analýzy.

Krok 3 – Obrysy převést na plochy, tzn. zjistit, které konkrétní pixely patří do konkrétního obrysu. K tomu můžeme využít funkci masky, jež nám pro každý objekt určí (dvoubarevně vybarví) všechny pixely, které náležejí do konkrétní oblasti. Díky tomu lze získat pixely spadající do dané oblasti, zjistit jejich souřadnice a následně provádět libovolné statistiky (min., max., průměr, histogram atd.). Pro vykreslení konkrétní masky použijeme funkci „cv2.drawContours (mask, [cnt], 0, 255, - 1)“ a následně získáme seznam souřadnic všech pixelů patřících do daného obrysu „pixelpoints = np.transpose (np.nonzero (mask))“.

3.2 Vyhodnocení teplot

Krok 1 – Po detekci objektů a získání souřadnic jejich pixelů převedeme obrázek na teplotní pole – termogram. V tomto případě pracujeme s obrázkem jako s maticí bodu 0 až 255, kdy 0 znamená bílá barva reprezentovaná minimem stupnice (35 °C pro experiment 1 a 25 °C pro experiment 2) a 255 znamená černá barva reprezentovaná maximem stupnice (90 °C pro experiment 1 a 60 °C pro experiment 2), poté jednoduchým přepočtem převedeme odstín šedi na teplotu:

$$T = \left(\frac{image}{255} \cdot dT \right) + minT$$

T = výsledná matice teplot

image = obrázek v odstínech šedi

dT = rozsah teplot (maximum – minimum stupnice)

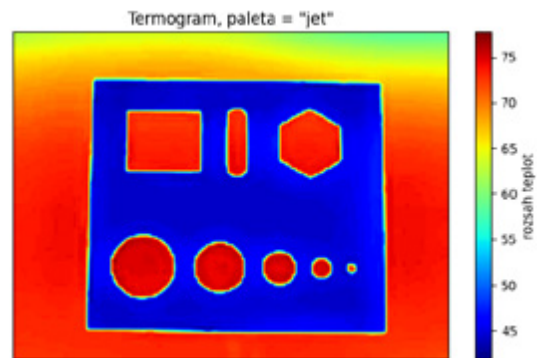
minT = minimum stupnice

V tomto okamžiku můžeme získanou matici zobrazovat jako termogram v libovolné barevné paletě, jako je například paleta „jet“ na obr. 8 a 9.

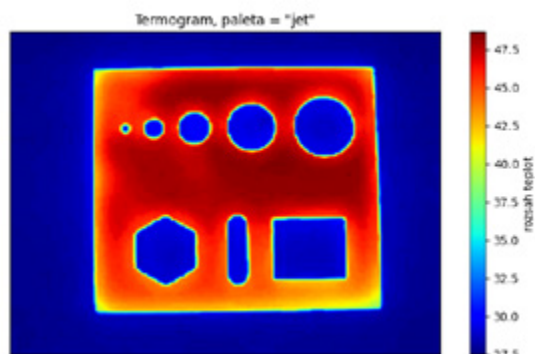
Krok 2 – Vyhodnocení teplotního pole pro konkrétní segmenty. Principem je zpracování pixelů náležících do jednotlivých objektů (to je známo z předchozích kroků) a provedení jakékoli matematické operace. V tomto případě bylo použito nalezení maxima, minima a aritmetického průměru z dané oblasti a následně byly tyto nalezené maximální a minimální hodnoty zobrazeny graficky, aby bylo patrné, že se pracuje pouze s detekovaným tvarem, nikoli s obdélníkovým výřezem. U experimentu 1 se jedná o samostatné zpracování každého nalezeného objektu, výsledek je pak patrný z obr. 10. U experimentu 2 bylo třeba u každého pixelu vyhodnotit, zda náleží do oblasti 1 a zároveň do oblasti 2 až 9, a pouze ty pixely, které splňovaly tuto podmínku, byly zařazeny do výpočtu. Rovněž se jedná o nalezení minima a maxima teplot s grafickým vyznačením v grafu a o výpočet průměrné hodnoty teploty perforovaného dílu (tzn. bez pozadí). Výsledek je patrný na obr. 11.

4. Závěr

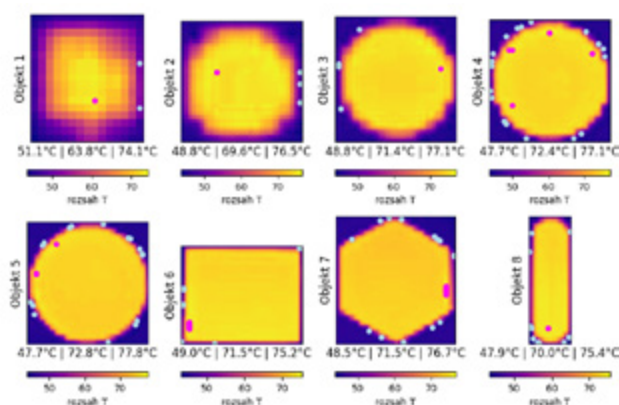
V tomto příspěvku byla předvedena ukázka automatizovaného zpracování termografických obrázků s využitím funkcí pro zpracování obrazu (image processing). Byly provedeny dva



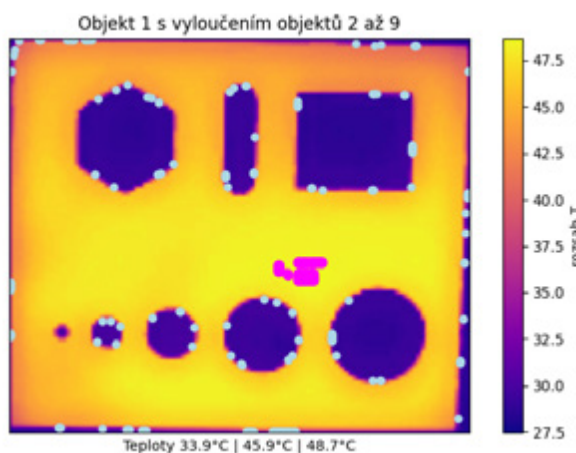
Obrázek 8: Termogram v barevné paletě pro experiment 1



Obrázek 9: Termogram v barevné paletě pro experiment 2



Obrázek 10: Experiment 1 – objekty 1–8 s popisem minimální, průměrné a maximální teploty a s vyznačenými maximy (purpurová) a minimy (světle modrá), barevná paleta „plasma“, automaticky generovaný graf



Obrázek 11: Experiment 2 – objekt 1 bez perforací, tzn. objektů 2 až 9, s popisem minimální, průměrné a maximální teploty a s vyznačenými maximy (purpurová) a minimy (světle modrá), barevná paleta „plasma“

experimenty, které měly dva odlišné cíle, ale podobný postup, s uspokojivými výsledky, jak dokazují výsledné obr. 10 a 11. Co se týká samotných algoritmů, zde je prostor pro optimalizaci výkonu, pokud by se mělo jednat o aplikaci pracující v reálném čase. Testovací algoritmy dosahovaly relativně vysokých hodnot času na zpracování. U experimentu 1 je celkový čas na zpracování včetně grafické vizualizace 0,8 s a čas potřebný pouze na statistiku se liší dle velikosti objektu a počtu pixelů a pohybuje se od 1 do 16 ms na objekt, v tomto případě to je celkově 55 ms. Avšak u experimentu 2 je celkový čas včetně grafické vizualizace 11,6 s, z toho právě statistika, tzn. kontrola, do které skupiny každý pixel patří, a následný výpočet trvá 10,2 s. Zde je prostor pro změnu algoritmu a tím zrychlení vyhodnocení, to však nebylo předmětem těchto experimentů. Použitá statistika byla pouze o nalezení minima, maxima a aritmetického průměru, nicméně díky rozsegmentování a informacím o příslušnosti každého pixelu do skupiny nalezených tvarů je možná jakákoli matematická analýza.

Na závěr je nutno zdůraznit, že tento článek se zabývá pouze detekcí objektů a jejich automatického zpracování, což je demonstrováno na laboratorním příkladu, nebylo tedy cílem určit přesné hodnoty teplot, proto informace o okolní teplotě, vlhkosti, emisivitě přípravku, typu termokamery a další důležité parametry nejsou zmiňovány, i když mají samozřejmě vliv na výsledné hodnoty teplot.

Poděkování

Publikované výsledky byly dosaženy s podporou projektu TAČR č. FW01010485 – Automatické kontroly vyhrazených technologických zařízení s využitím strojového učení.

Použitá literatura

- [1] Welcome to Python.org. Welcome to Python.org [online]. Copyright © 2001 [cit. 21. 04. 2022]. Dostupné z: <https://www.python.org/>
- [2] Home - OpenCV. Home - OpenCV [online]. Dostupné z: <https://opencv.org/>
- [3] Termovizní barva pro měření termokamerou – běžná aplikace | LabIR°. Termovizní barvy pro přesné měření termokamerou | LabIR° [online]. Copyright © 2022. All rights reserved by [cit. 21. 04. 2022]. Dostupné z: <https://paints.labir.cz/homepage/barva-pro-bezne-aplikace>
- [4] OpenCV: Changing Colorspaces. OpenCV documentation index [online]. Dostupné z: https://docs.opencv.org/4.x/db/d64/tutorial_js_colorspaces.html
- [5] OpenCV: Image Thresholding. OpenCV documentation index [online]. Dostupné z: https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html
- [6] OpenCV: Contours : Getting Started. OpenCV documentation index [online]. Dostupné z: https://docs.opencv.org/3.4/d4/d73/tutorial_py_contours_begin.html

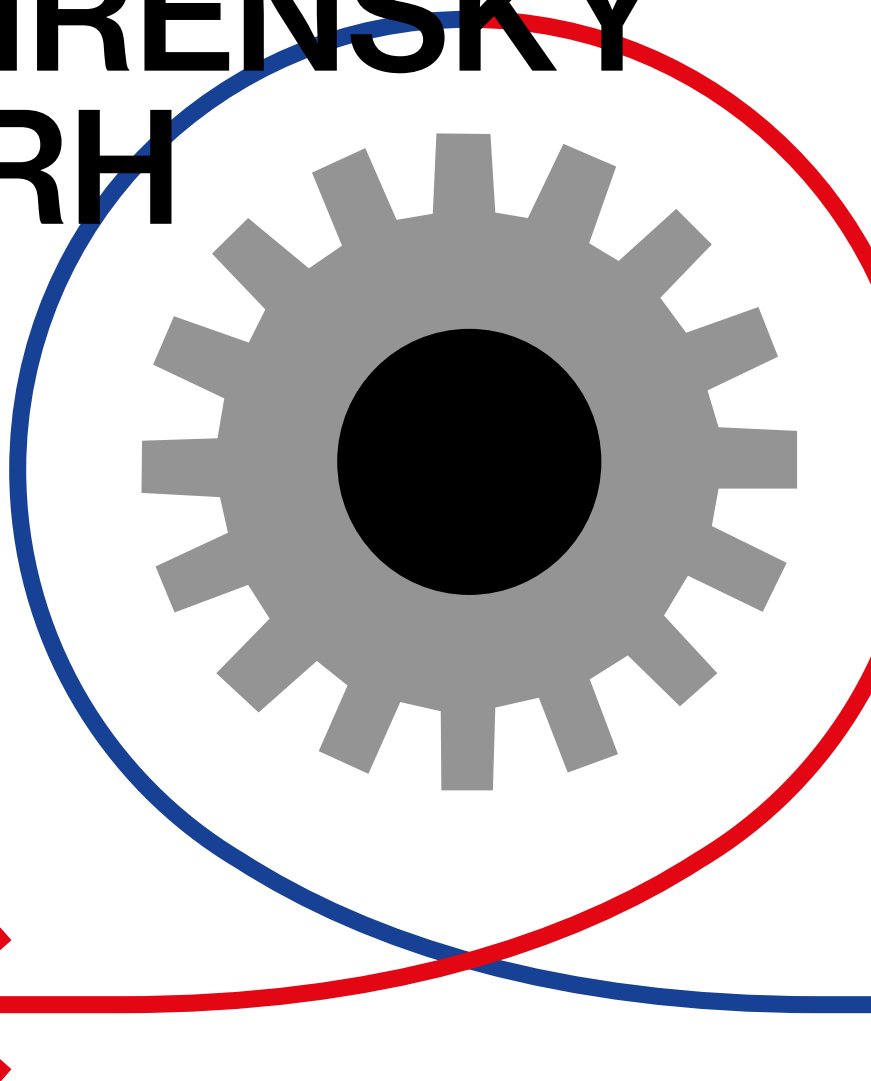
Recenzent:

Příspěvek prošel recenzním řízením.

63.



MEZINÁRODNÍ STROJÍRENSKÝ VELETRH



4.-7.10.2022
BRNO



Kvalitní diagnostika strojů a zařízení je úspěšná cesta ke snížení nákladů na drahé energie

ING. ŠTĚPÁN SVOBODA
SPEKTRAVISION, S. R. O.

Anotace:

V poslední době hýbe naši společnost několik zásadních témat, která se dotýkají nás všech. Posledním nejdůležitějším tématem je neustálý růst cen pohonných hmot a energií, které jsou ovlivňovány z jedné strany nucenou „zelenou politikou“, ale také ruskou válečnou agresí na Ukrajině.

V současnosti asi neexistuje recept na rychlé vyřešení těchto problémů, nicméně shoda je ve snižování energetické náročnosti, energetických ztrát a zamezení únikům skleníkových plynů. Tento článek je zaměřen na efektivní diagnostické přístroje, jež pomáhají efektivně snižovat energetické ztráty v průmyslových provozech či umožňují detekci úniků stlačeného vzduchu a celé řady skleníkových plynů.

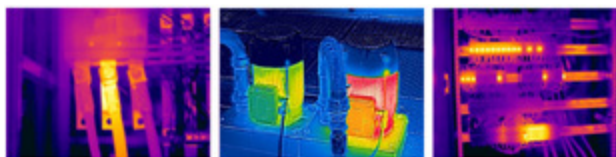
Termokamery FLIR = prostředek ke snížení energetických ztrát

Za efektivní a rychlý nástroj pro snížení energetických ztrát v celé řadě průmyslových odvětví se dlouhodobě považují termokamery FLIR. Výrobce Teledyne FLIR (Švédsko, USA) je největší a nejstarší světový výrobce termokamer a dalších přístrojů, jehož historie sahá až do roku 1958. A jelikož si zpravidla vyrábí vlastní komponenty, nabízí bezkonkurenční kvalitu, nejmodernější technologie, unikátní měřicí funkce a záruky (např. na snímač 10 let).

Termokamery FLIR nacházejí uplatnění zejména v odvětvích, jako jsou elektroenergetika (kontrola rozvodů, elektrostrojů a zařízení, strojů či FVE), strojírenství a mechanika (tepelné namáhání strojů a zařízení), výrobní procesy (kontrola a regu-

lace teplot a zpracování materiálu), hutnictví (kontrola teploty taveniny) i stavebnictví (detekce tepelných mostů, vlhkosti atd.), a jsou nápomocny také při detekci a zobrazení úniků celé řady plynů (včetně metanu a CO₂) a těkavých látek.

Pravidelná či nepřetržitá kontrola termokamerami FLIR tak umožňuje včas odhalit problémová místa a snížit výdaje za energie, zabránit provozním ztrátám i materiálním škodám a zvýšit bezpečnost provozovaných zařízení.



Obrázek 2: Příklady využití ručních termokamer

Ruční a přenosné termokamery FLIR pro pochůzkovou kontrolu

Pro účely rychlé a spolehlivé diagnostiky prováděné ruční termokamerou jsou určeny termokamery FLIR Exx (E52, E54, E76, E86 a E96), které disponují speciálními funkcemi usnadňujícími měření. Disponují rozlišením až 640 × 480 bodů, citlivostí až 0,03 °C, teplotním rozsahem až do +1500 °C, širokou škálou objektivů s automatickým ostřením nebo dálkoměrem pro přesné měření vzdálenosti či GPS pro uložení souřadnic místa měření. Termokamery FLIR Exx jsou vybaveny přehledným 4" dotykovým displejem s českým menu a díky kompaktnímu a odolnému provedení jsou ideálním diagnostickým nástrojem pro pochůzková měření a kontrolu elektrických rozvodů, strojů a zařízení či pro kontrolu teploty při výrobě.

Pro profesionální měření v terénu jsou ideální přenosné termokamery FLIR T840 a T865 s rozlišením až 640 × 480 bodů (s UltraMax 1280 × 960 bodů) a citlivostí až 0,03 °C, které jsou rovněž vybaveny přehledným 4" dotykovým LCD s českým prostředím, ale také vysoce kontrastním hledáčkem umožňujícím venkovní měření při jakýchkoli světelných podmínkách.



Obrázek 1: Termokamery FLIR



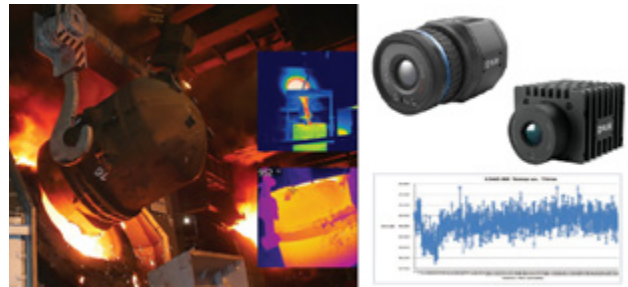
Obrázek 3: Ruční termokamera FLIR E86 v praxi

Doplňují oblíbené termokamery FLIR řady T530 a T540, jež hledáček nemají. Nejvyšší řadu pak uzavírá špičková termokamera FLIR T1020 s rozlišením snímáče 1024 × 768 bodů (s UltraMax 2048 × 1536 bodů), která je vhodná zejména pro energetické distribuční a přenosové společnosti při měření na velkou vzdálenost. Termokamery FLIR řady T mají otočnou snímací část v širokém úhlu usnadňujícím měření ze všech pozic i těžko přístupných objektů a jsou nejlepší volbou pro profesionální termodiagnostiku v elektroenergetice, průmyslu i stavebnictví.

Stacionární termokamery FLIR = kontrola teplot v režimu 24/7

Pro účely měření, při němž se vyžaduje trvalé měření, a to jak v rámci detekce zvýšené teploty osob, tak pro kontrolu strojů, zařízení nebo výrobních procesů, jsou ideální stacionární termokamery FLIR řady A, které umožňují provoz v režimu

24/7, on-line obraz a záznam povrchových teplot. Výhodou termokamer FLIR řady A je jejich kompaktní rozměr a univerzálnost použití.



Obrázek 5: Stacionární termokamery FLIR pro on-line kontrolu teplot



Obrázek 4: Přenosná termokamera FLIR T865 v terénu

Stacionární termokamery FLIR řady A nabízejí kompaktní rozměry, vysoké rozlišení až 640 × 480 bodů, možnost měření teplot až do +2000 °C a umožňují dálkový přístup díky běžným rozhraním (web) a protokolům (RTSP, GigE, MODBUS TCP, Multicast, ONVIF-S a další). Díky tomu je možné jejich začlenění do existujícího kamerového systému. Mohou být vybaveny vizuální kamerou s funkcí prolnutí obrazů (MSX) a přenášet on-line jak IR, tak vizuální obraz současně. Vestavěný Wi-Fi vysílač umožňuje přenášet obraz i ovládat termokameru bezdrátově, což je výhodné v případě dočasného použití v místě, kde není kabelový rozvod LAN. Vysoké krytí IP66 nabízí použití těchto termokamer ve venkovních či v náročných průmyslových podmínkách nebo také jako prvek spolehlivých protipožárních systémů.

Únik stlačeného vzduchu = energetické ztráty

Dalším efektivním přístrojem pro snižování energetických ztrát je akustická kamera FLIR Si124. Stlačený vzduch je vyrá-

MĚŘICÍ A DIAGNOSTICKÉ PŘÍSTROJE

analýzátory kvality elektrických sítí
vysokorychlostní kamery



SLUŽBY

termovizní měření

natáčení vysokorychlostní kamerou

odborná školení a semináře, poradenství, servis










„ vidíme svět v celém spektru “

SpektraVision s.r.o.
Kruhová 128
251 01 Nupaky
Česká republika

tel./fax: +420 312 310 258
mobil: +420 608 600 647
e-mail: info@spektravision.cz
web: www.spektravision.cz

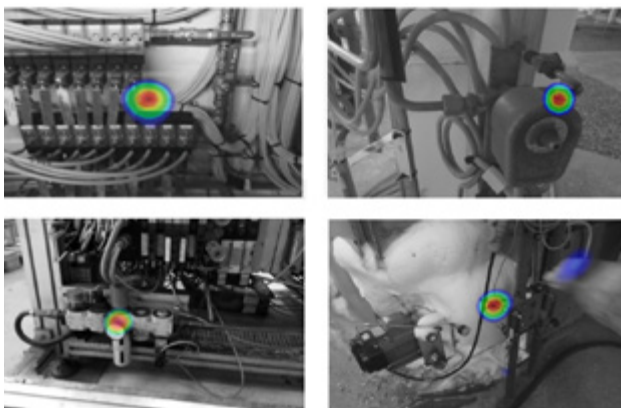
běh kompresory, které spotřebovávají stále dražší elektrickou energii a v případě jeho úniku, pak dochází ke zbytečným nákladům. Kamera FLIR 124 využívá 124 citlivých vestavěných směrových mikrofonů s digitální kamerou s vysokým rozlišením, a to vše v kompaktním provedení s držením v jedné ruce, což zvyšuje bezpečnost a nezatěžuje obsluhu jako „dvojruční“ přístroje.



Obrázek 6: Akustická kamera FLIR Si124 FLIR

Kamera umožňuje rychlou a snadnou lokalizaci úniků stlačeného vzduchu / plynů, které se při expanzi v místě úniku projevují turbulentním prouděním v ultrazvukových frekvencích, jež nejsou lidským uchem zachytitelné. Pro akustickou kameru FLIR Si124 ale ano; ta je schopna zobrazit dané místo s vysokou přesností a rovněž kvantifikovat velikost daného úniku jak v objemových jednotkách nebo také jako odhadované roční ztráty. Zprávu z měření je možné provést v softwaru FLIR Thermal Studio (kompatibilní s termokamerami FLIR) s vyobrazením nalezených úniků a množstvím s přepočtem na roční náklady/ztráty. Záleží na velikosti nalezených úniků, ale z praxe víme, že návratnost tohoto unikátního zařízení je skutečně velmi rychlá.

Akustická kamera FLIR Si124 má ještě další mód, a to pro vyhledávání částečných výbojů. Kamerou lze detekovat



Obrázek 7: Ukázka nalezeného úniku stlačeného vzduchu

a vyhodnotit na vzdálenost různé typy částečných výbojů a stanovit tak potenciální nebezpečnost nalezeného jevu, který může vést až k porušení izolačních vlastností a následně k elektrickému výboji/zkratu.

Vizualizace úniku plynu = zvýšení bezpečnosti

Normovanou a uznávanou metodou detekce a vizualizace úniku plynů a těkavých látek jsou speciální termokamery FLIR řady GF (OGI). Termokamery FLIR řady GF obsahují speciální technologii snímače umožňující jak bezkontaktní měření teplot, tak také zobrazení celé řady plynů. Termokamery FLIR GF mají speciální HSM režim, jenž zajišťuje zachycení i velmi malých úniků; díky této schopnosti je možné nalézt a zobrazit přesné místo úniku, což napomáhá k rychlé opravě či výměně vadné části plynovodu/zařízení a ke snížení rizika.

Termokamery FLIR GF umožňují záznam a tvorbu přehledné zprávy s popisem místa a stavu kontrolovaného objektu. Ve spolupráci se speciálním SW v kameře a externím kvantifikátorem QL320 umožňují některé typy termokamer FLIR GF i kvantifikaci úniků plynů v jednotkách g/h nebo l/min. Díky svým vlastnostem jsou termokamery FLIR GF využívány celou řadou podniků z oblasti petrochemie a přepravy či skladování a distribuce zemního plynu.

Společnost Spektra Vision, s. r. o., je autorizovaný distributor a PREMIUM Partner Teledyne FLIR a nabízí široké spektrum pokročilých přístrojů a termokamer FLIR a celou řadu diagnostických přístrojů a metod, jako jsou systémy pro nedestruktivní testování na bázi termografie (IrNDT), průmyslové i laboratorní vysokorychlostní kamery a další diagnostické přístroje pro průmysl a výzkum.



Obrázek 8: Ukázka vizualizace úniku plynu termokamerou FLIR

Vysoká technická úroveň nabízených přístrojů ale není jediná, která je potřebná k dosažení kvalitních výsledků v technické diagnostice. Je to i kvalitní zaškolení a následná podpora uživatelů, což naše společnost rovněž zajišťuje.

Jednou takovou aktivitou je i pravidelně pořádaná odborná konference TERMOGRAFIE V PRAXI 2022, která se letos bude konat ve dnech 21.–22. 9. 2022. V případě vašeho zájmu nás prosím kontaktujte, rádi vám zašleme pozvánku.

Kontakt: info@spektravision.cz, www.spektravision.cz

AUTOMATIZACE 4.0 I "POSLEDNÍ METR" SE POČÍTÁ

K dosažení úplné kontroly nad celkovými náklady na vlastnictví (TCO) v řízení dodavatelského řetězce na posledním metru jsou výdejní automaty optimální

**NOVÝ
SAVESPRING
KARUSELOVÝ AUTOMAT
OD SPOLEČNOSTI
IVM ZRT.**

• NOVÝ VÝDEJNÍ AUTOMAT OD IVM MICROLOGISTICS SAVESPRING

• 3 V 1 KARUSELOVÝ AUTOMAT PRO VÝDEJ NÁŘADÍ A NÁSTROJŮ

KOMBINUJE 3 ZÁKLADNÍ OPERACE: VÝDEJ JEDNORÁZOVÉ POLOŽKY;
• ZAPUJČENÍ SDÍLENÉ POLOŽKY A VRÁCENÍ POUŽITÉ POLOŽKY

SaveSpring je jedním z najrozmanitějších průmyslových výdejních automatů, který dokáže uskladnit a vydat do 540 různých druhů produktů.

SaveSpring má 3 základní funkce:

- Výdej nových produktů jednorázové spotřeby
- Zapůjčování sdílených produktů
- Vrácení použitých produktů

Zařízení uchovává všechny provedené transakce, které jsou zaznamenány v reálném čase a zdokumentovány v softvéru. S uživateli komunikuje v 17 jazycích.

SaveSpring přesvědčí:

- Všestrannými možnostmi konfigurace a uskladnění produktů (skladování až 540 různých druhů produktů), které umožňují nekonečné možnosti přizpůsobování a úprav dle vašich požadavků na zásobovací řetězec.
- Možnostmi konfigurace v rámci jedné pozice, co umožňuje využívání automatu pro různé případy a potřeby a zároveň je jednoduše v čase měnit.
- Rezervace položek před jejich samotným použitím přes přívětivé uživatelské rozhraní na dotykovém displeji v 17 různých jazycích.
- Skladování tekutin, křehkých nebo těžkých produktů a rozšiřování portféliu našim univerzálním softvérem **SaveLog** určeným pro kontrolu všech našich dostupných typů automatů. **SaveSpring** disponuje jednoduchým konceptem doplňování s barevným kódováním i jednoduchým vrácením již použitých produktů.
- Nepřetržitá dostupnost 24/7. info@ivm-micrologistics.com



SUSTAINABLE
MICROLOGISTICS

IVM Zrt.
8000 Székesfehérvár,
Takarodó út 2,
Tel. +421 904 496 759
info@ivm-micrologistics.com

NÁŠ SOFTWARE SAVELOG – NEZÁVISLÝ OPERAČNÍ SYSTÉM, KTERÝ ŘÍDÍ VŠECHNY AUTOMATY

- JEDEN softvér spravuje a řídí VŠECHNY naše řešení.
- SaveLog lze propojit s jakýmkoli ERP systémem přes naše API.
- Intuitivní, uživatelsky přívětivý dizajn.
- Snadné ovládaní.
- Vícejazyčné rozhraní—komunikuje ve vašem jazyce.

- Nepřetržitá kontrola stavu naplnění/vyřízení stroje.
- Správa projektových kódů a nákladových středisek.
- Řada dalších manuálních a automatických reportů.
- Komplexní, víceúrovňová organizační hierarchie a řízení nákladového střediska.
- Jednorázové přístupové právo pro SaveFlex, SavePro4 nebo SaveSpring.

V současné době provozujeme více než 3000 projektů s +400 zákazníky na 4 kontinentech.



ISO9001: Certifikace získaná v roce 2019
ISO27001: Certifikace získaná v roce 2020
Systém řízení bezpečnosti informací (ISMS)
Adaptivní zabezpečení informací, dat a systémů

MOŽNÁ SÍŤOVÁ PŘIPOJENÍ:

- Lokální Server
- 3G/4G síť
- Plug & play
- Smíšené lokální VPN
- Uzavřené sítě
- Zabezpečená síť VPN
- IVM Cloud

RFID-Card



Barcode



PIN-Code



SUSTAINABLE
MICROLOGISTICS

IVM Zrt. 8000 Székesfehérvár Hungary Tel. +421 904 496 759
E-Mail: info@ivm-micrologistics.com



Intelligentní produkty přinášejí chytrá řešení.

Jsme partnerem pro
váš business. 24/7.

ABB Elektrotechnika je technologickým lídrem v řešeních, díky nimž se stávají běžné provozy chytré, bezpečné a schopné komunikovat. Získaná data vám pak pomohou optimalizovat energetickou účinnost, spolehlivost a správu elektrických zařízení. Naše přístroje a řešení jsou flexibilní a mohou být instalovány v jakémkoli prostředí. Spínací prvky, výkonové jištění, odpínače, přepínače a další přístroje najdete ve všech průmyslových aplikacích. abb.cz

ABB