

Termografické kontroly elektrických inštalácií

Milan Šimko, Milan Chupáč,
Katedra merania a aplikovanej elektrotechniky, EF, Žilinská univerzita v Žiline
simko@fel.uniza.sk, chupac@fel.uniza.sk

1. Úvod

Technika bezkontaktného merania teploty a zobrazovania teplotných polí s využitím v energetike, telekomunikáciách, stavebníctve, priemysle, lekárskej praxi, bezpečnostných, vojenských a mnohých ďalších účeloch je známa pod názvom termovízia. Výhoda kontrol termovíziou kamerou v energetike spočíva v procese snímania a vyhodnocovania tepelného žiarenia, ktoré je prítomné a generované v každom mieste zvýšeného odporu, resp. zvýšenia prúdového zaťaženia v zúženom priestore a pod.

Vďaka už pomerne vysokej spoľahlivosti a technickej dokonalosti sú kamery vyrábané v súčasnosti poprednými celosvetovými výrobcami rozšírené na celom svete, no najmä vo firmách a spoločnostiach, kde je spoľahlivosť výroby (prípadne dodávky) elektrickej energie nesmierne dôležitá.

Medzi hlavné prednosti moderných termovíznych kamier patrí dostatočné optické rozlíšenie (640×480 obrazových prvkov), zobrazovacia frekvencia, ktorá umožňuje jednoduché a rýchle zobrazenie meraného objektu (50 Hz), vysoká citlivosť (až 0,02 °C), široký rozsah pracovných teplôt, vysoký stupeň krytia, ako aj široký rozsah meraných teplôt (−40 °C až +3 000 °C), čo dovoľuje ich rozsiahle použitie v rôznych odvetviach priemyslu.

Rýchly nárast termografických systémov, ktoré sa v súčasnej dobe používajú v najrôznejších odvetviach a aplikáciách, viedli k akreditácii novo koncipovaného odboru – „Termodiagnostika“. Hoci je to pomerne mladá disciplína, zaradená do odboru technickej diagnostiky, jej prínos bol už mnohokrát overený v celom rade prípadov. Uvedená diagnostika je nenahraditeľná, alebo veľmi ťažko nahraditeľná inými diagnostickými metódami a v súčasnosti je dostatočne preverenou technikou kontroly elektrických inštalácií, pričom uvedenú technológiu prijali priemyselne vyspelé i rozvojové krajiny. Infračervená kamera sa v priebehu minulých rokov vyvíjala v súlade s vývojom a zavádzaním nových komponentov, elektroinštalácií, detektorov a dnes je v podstate k dispozícii už jej 8. generácia (obr. 1).

Termografická kontrola elektrických inštalácií sa používa v týchto troch oblastiach:

- výroba elektrickej energie,
- prenos elektrickej energie,
- rozvod elektrickej energie, (t.j. priemyselné využitie elektrickej energie).

2. Všeobecné informácie o zariadení, kontrole, klasifikácii a oprave

Kontroly sú realizované za normálnych prevádzkových podmienok, pričom spoločnosti zaoberajúce sa výrobou elektrickej energie prevádzkujú merania počas obdobia vysokého zaťaženia, ktoré sa v jednotlivých krajinách alebo

zaťaženie v okamihu kontroly poskytujú dôležité informácie o tom, aká závažná je porucha, prípadne ako sa môže vyvíjať v iných podmienkach. Správne vyhodnocovanie každého prípadu vyžaduje detailné informácie o tepelnom chovaní (napr. poznať maximálnu povolenú teplotu a pod.). Platí, že čím viac operátor infračervenej kamery vie o danom zariadení, ktoré



Obr. 1. Niektoré nové typy termovíznych kamier

podnebiach odlišujú. Termíny merania sa líšia aj v závislosti od typu kontrolovanej elektrárne (či ide o vodnú, jadrovú, tepelno-uhľovú a pod.). Kontroly napr. v škandinávskych krajinách sú realizované najčastejšie v priebehu jarného alebo jesenného ročného obdobia.

Kontrolované zariadenie má určité teplotné chovanie, ktoré by malo byť známe osobe vykonávajúcej termografické meranie. Pri elektrických zariadeniach je všeobecne dobre známy fyzikálny princíp detekcie porúch v podobe líšaceho sa tepelného charakteru založený na tom, že dochádza k zvýšeniu elektrického odporu alebo ku zvýšeniu odberu elektrického prúdu. Obecným pravidlom je, že miesta so zvýšenou teplotou sú pravdepodobne potenciálne lokalizované oblasti porúch. Teplota a za-

kontroluje, tým je vyššia kvalita kontroly. Na druhej strane je však nemožné, aby osoba realizujúca termografické meranie mala detailné informácie o všetkých typoch kontrolovaného zariadenia. Z toho dôvodu je vhodné aby počas kontroly bola prítomná i osoba zodpovedná za zariadenie.

V prípade zreteľne identifikovanej poruchy (napr. ak nejde o odraz alebo prirodzené teplo bod) môžeme začať so zberom dát. V meracom protokole je potrebné uviesť spektrálnu emisiu meraného objektu, jej presnú identifikáciu, prevádzkové podmienky spolu s nameranou teplotou, stupeň klasifikácie, ako aj reálnu fotografiu lokalizovaného miesta.

Klasifikácia poruchy popisuje podrobný význam poruchy, pričom musíme brať do úvahy

nielen situáciu v dobe merania. Teplota zvýšená o +30 °C je výraznou poruchou a dôležitou informáciou je prevádzkové zaťaženie, pretože v prípade zaťaženia nižšieho ako nominálne bude teplota ešte stúpať. Obyčajne sa však teploty udávajú pre nominálne zaťaženie. Na základe klasifikácie poruchy určí zodpovedný vedúci údržby prioritu opráv, existuje však množstvo ďalších informácií, ktoré je potrebné brať do úvahy.

Oprava lokalizovaných porúch je najdôležitejšia úloha preventívnej údržby, pričom opravená časť by mala byť po oprave čo najskôr skontrolovaná. Štatistika účinnosti opráv pritom ukazuje, že až tretina opravených porúch bude naďalej preukazovať prehrievanie. Pretože ďalšie skúmanie určenia príčiny poruchy vedie často k zlepšeniu postupu opráv, pomáha vo výbere odberateľov a zisťuje nedostatky konštrukčného riešenia elektrickej inštalácie. Pracovník údržby môže rýchlo vidieť účinok a úspešnosť opráv, pričom sa môže poučiť zo svojich chýb. V správe sa odporúča zaznamenať typ zistených porúch počas opravy a tiež prevedené opatrenia. Je to dôležitý zdroj informácií, ktoré možno využiť pre zníženie skladových zásob, pre výber najlepšieho dodávateľa, prípadne pre zaškolenie nového personálu údržby a pod.

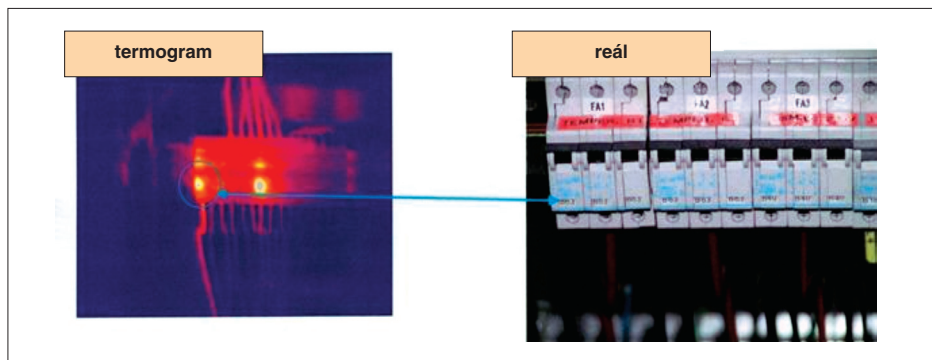
3. Technika merania

Správne meranie teploty niekedy nezávisí iba na funkcii vyhodnocovacieho softvéru kamery. V praxi sa môže stať, že skutočnú poruchu na spoji nie je vidieť, pretože ju v danom okamihu na kamere nie je vidieť. Môžeme však namerať teplo, ktoré je vedené na určitú vzdialenosť. V tomto prípade je potrebné zvoliť iné uhly, tak aby bol meraný bod dobre viditeľ-

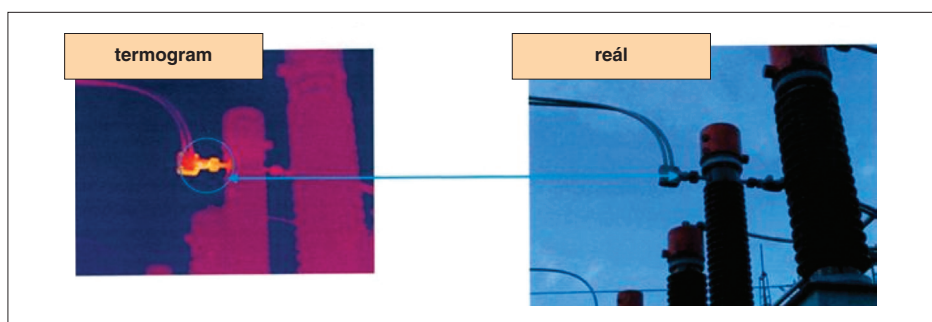
Tab. 1. Rozdelenie zvýšených teplôt

| | | |
|-----|------------|--|
| I | < 5 °C | začiatok prehrievania, miesto je potrebné starostlivo monitorovať |
| II | 5 až 30 °C | rozvinuté prehrievanie, miesto je potrebné opraviť čo najskôr (vyhodnotiť zaťaženie) |
| III | > 30 °C | prenikavé prehrievanie, miesto je potrebné opraviť ihneď (vyhodnotiť zaťaženie) |

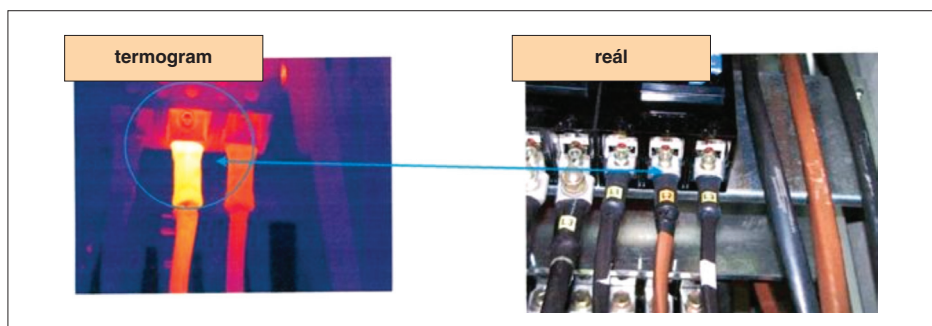
ný. Príkladom môžu byť spoje ukryté vo vnútri skrinky, pod krytom apod. Niektoré kamery dokážu v súčasnosti už automaticky vyhľadať najväčšiu teplotu. Zvýšené namerané oteplenie (obr. 2) vidieť na spodnej svorke skrinky ističa FA 1. Hodnota nameraného oteplenia prepočítaná pre nominálne zaťaženie je 60 °C. Uvedenú poruchu klasifikujeme do III. stupňa opráv, s návrhom: *opraviť pri plánovanej revízii alebo opraviť pri najbližšej prevádzkovej prestávke najneskôr do 1 mesiaca (vzhľadom na očakávané zaťaženie)*. Ďalší prípad zlého odhadnutia teploty je aj nesprávne zaostrenie.



Obr. 2. Prehrievané miesto ukryté pod krytom ističa



Obr. 3. Miesto spojenia dvoch rozdielnych materiálov (Cu-Al)

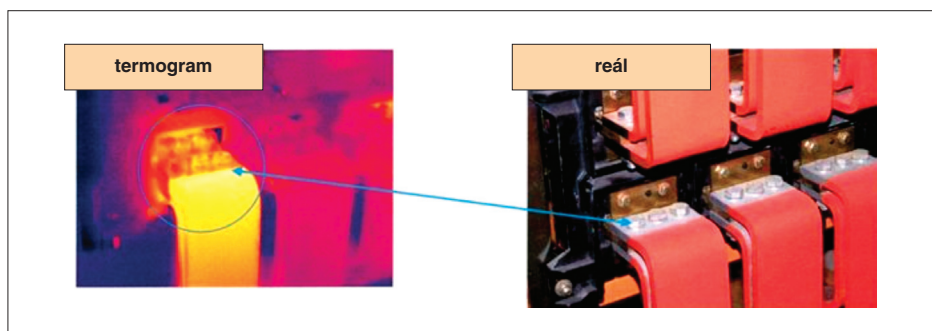


Obr. 4. Tri fázy chladenia regulátora

Preto je veľmi dôležité, aby zistený bod bol správne zaostrený.

Pre termografickú kontrolu elektrických inštalácií sa používa špeciálna metóda, založená na porovnávaní rôznych predmetov (napr. porovnávanie tri fázy medzi sebou a pod.). Menšie rozdiely vo farbe sa môžu vyskytnúť napr.

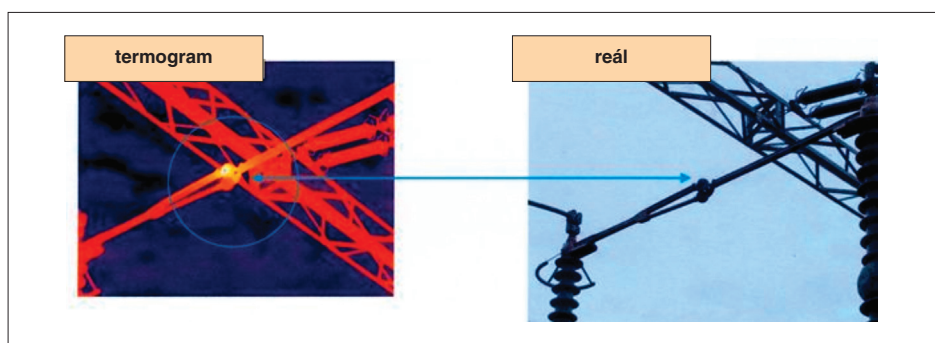
v mieste spojenia dvoch rozdielnych materiálov, v miestach meniaceho sa priemeru vodičov a pod. Príklad spojenia dvoch rozdielnych materiálov (napr. Cu-Al) je na obr. 3, kde bolo namerané oteplenie pri nominálnom zaťažení až 181 °C. Čo predstavuje IV. klasifikačný stupeň s odporúčením opraviť čo najskôr, podľa



Obr. 5. Tri fázy privodu vypínača



Obr. 6. Vodiče vo zväzku



Obr. 7. Prehrievanie ističa

prevádzkových možností. Miesto poruchy na lisovanom oku fázy L2, kde je namerané oteplenie $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri zaťažení $100\text{ }\%$ I_N , je na obr. 4. Vychádzame pritom z porovnávacej metódy troch fáz navzájom medzi sebou, pri symetrickom zaťažení. Oteplenie na privode vypínača (Merlin Gerin – fáza L3, symetrické zaťaženie) dosahuje hodnotu $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri nominálnom zaťažení (obr. 5). Klasifikujeme ako IV. stupeň s odporúčením: *opraviť čo najskôr, podľa prevádzkových možností*.

V prípade lokalizovaných porúch je potrebné previesť opatrenia – ale mnohokrát sa nerealizujú. Pre odporúčené opatrenia je totiž potrebné vyhodnotiť nasledovné kritériá:

- aké je zaťaženie počas merania, očakávané zaťaženie (prípadne rovnomerné alebo premenlivé zaťaženie),
- aká je poloha poruchovej časti,
- či je zvýšená teplota meraná priamo na poruchovom spoji alebo nepriamo vedeným teplom, čo môže byť spôsobené napr. vnútornou poruchou zariadenia.

Zvýšené teploty merané priamo na poruchovom mieste (tab. 1) sú rozdelené presnejšie do troch kategórií (vzťahnuté na 100% zaťaženie).

4. Miesta so zvýšenou teplotou v elektrických inštaláciách

Termovízna kamera detekuje všetko žiarenie, ktoré sa dostane do objektívu, ale aj žiarenie vychádzajúce z iných zdrojov, prípadne odrazené. Typický prípad elektrických častí, ktoré sa chovajú ako zrkadlo infračerveného žiarenia, je veľmi lesklý holý kov. Opak predstavujú časti lakované, izolované, plastové. Odraz jednoduchou zistíme pohybom kamery a sledujeme teplé miesto. V prípade, že sa pohne spolu s kamerou, ide o odraz.

Povrch merania s pomerne vysokou spektrálnou emisivitou môže mať zvýšenú teplotu aj vplyvom slnečného žiarenia. Ako bolo spomínané, pri metóde porovnávania je potrebné sa presvedčiť, či zaťaženie všetkých troch fáz je rovnomerné. Typický prípad je, keď dve fázy v dobrom stave sú prehriate, čo signalizuje nesymetrické zaťaženie. V prípade niekoľkých káblov vo zväzku môže dôjsť aj k zvýšeniu ich teploty nedostatočným chladením (obr. 6).

Pri montáži spoja, v dôsledku opotrebovania materiálu alebo naopak pri veľmi vysokom silovom zaťažení spoja môže dôjsť k nízkemu kontaktnému tlaku (tým sa znižuje napnutie pružiny a opotrebovávajú sa závit matíc a skrutiek). Príklad prehrievania ističa, spôsobeného pravdepodobne zlým kontaktom v blízkosti lamely stykača, je na obr. 7. Nameraná hodnota oteplenia pri nominálnom zaťažení dosahuje $109\text{ }^{\circ}\text{C}$, čo predstavuje IV. klasifikačný stupeň s odporúčením *opraviť čo najskôr, podľa prevádzkových možností*.

5. Rušivé faktory termografických meraní

V priebehu termografických kontrol rôznych častí elektrických inštalácií meranie ovplyvňujú rušivé faktory (vietor, dážď, sneh, vzdialenosť predmetu a pod.).

Pri vonkajších podmienkach je potrebné uvažovať chladiaci účinok vetra. Je potvrdené, že prehriatie merané pri rýchlosti vetra $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je približne dvojnásobné ako pri rýchlosti $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Existuje mnoho veterných miest (napr. ostrovy, hory apod.), kde sa musia kontrolovať zariadenia, a je potrebné počítať s tým, že prehrievajúce časti by mohli mať omnoho väčšiu teplotu v prípade, ak by bola rýchlosť vetra nižšia. V takomto prípade

nám pomáhajú známe empirické korekčné súčinitele. Oteplenie vynásobené korekčným súčiniteľom poskytuje nameranú teplotu v prípade bezvetria.

Taktiež dážď a sneh majú na elektrické časti chladiaci účinok. Kontroly možno realizovať s prijateľnými výsledkami i počas sneženia, pokiaľ je sneh suchý, ale i za mierneho dažďa. Kvalita obrazu sa bude zhoršovať v silnom snežení a daždi a meranie sa neodporúča v takomto prípade uskutočňovať. Môže sa totiž stať, že budeme merať teplotu snehových vločiek alebo dažďových kvapiek (tie sú totiž pre infračervené žiarenie prakticky nepriepustné).

6. Záver

V predkladanom príspevku poukazujeme na možnosti využitia termovíznych kamier v procese údržby, diagnostiky a monitorovania elektrických distribučných zariadení, ktorá má nielen bezpečnostný význam, ale hlavne významný ekonomický efekt, nakoľko zo získaných poznatkov je možné predpokladať výpadok vvn a vn zariadenia s presnosťou až na niekoľko hodín. Uvedený poruchový stav má následne dopad na ekonomiku iných sekundárnych závislých odberateľov.

Počas pravidelných kontrol môžu byť prípadné poruchy objavené už v počiatočnom štádiu (vplyv na plánovanie náhradných dielov a pod.). Hlavným kritériom pre rozhodnutie, či ide o nedokonalý spoj, nie je iba absolútna teplota spoja, ale najmä teplotný rozdiel voči ostatným spojom, prípadne ich rastúci trend. Meraním, postupným sledovaním a porovnávaním s archivovanými hodnotami možno rozhodnúť o kvalite sledovanej časti. Možno konštatovať, že súčasné termovízne systémy so svojim špičkovým vybavením sú nesmierne výkonným pomocníkom pri kontrolách a revíziách, pričom umožňujú veľmi rýchlo informovať prevádzkovateľa priamo na mieste o zistenej poruche, ako aj o jej závažnosti.

Literatúra

- [1] ŠIMKO, M., CHUPÁČ, M.: Termovízia a jej využitie v praxi. Edis Žilina, ISBN 987-80-8070-654-8.
- [2] ŠIMKO, M., CHUPÁČ, M.: Aplikačné možnosti termovízie v praxi. ELEKTRO – odborný časopis pro elektrotechniku, č. 1, 2006, s. 36–40, Česká republika, ISSN 1210-0889.
- [3] KORENČIAK, D.: Inteligentné budovy a LONWORKS technológia. XXIV Sešit Katedry teoretické elektrotechniky, FEI, VŠB – TU Ostrava 2004.
- [4] KUČERA, M., KUČERA, S.: Spôľahlivosť elektromagnetickej kompatibility v biologických systémoch. Nové smery v diagnostike a opravách elektrických strojov a zariadení, Žilinská univerzita v Žiline, 2002, str. 225–233.
- [5] DARMOVÁ, V.: Some aspects of mobile phone radiation investigation. AMTEE 2005, S. 11–14.