író: Rahne Eric,
okleveles villamosmérnök

A jó fókuszáló gyakorlati fortélyai

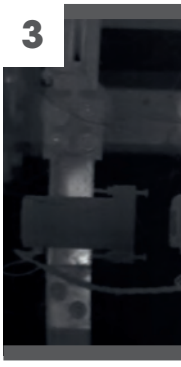
A cikksorozatunk előző részében megtudhattuk, hogy mi a szerepe a különböző hőkamera-paramétereknek. Ennek kapcsán tárgyaltuk a fókuszálás jelentőségét is, melynek gyakorlati fortélyait a jelen cikkben tárjuk fel. Továbbá említésre kerülnek a villamos berendezések gyakorlati hőmérséklet-határértékei, valamint a névleges terhelésen várható hőmérsékletek becslésére alkalmas számítás.

A cikket különböző villamos hibák termográfiai felfedezhetőségét bemutató hőképek illusztrálják, a „Thermográfia – elmélet és gyakorlati méréstechnika" című szakkönyvből merítve.

Hőkamera kezelése vagy hőképek szemléltetése során vélhetően majdnem mindenki feltette már magának azt a kérdést, hogy valóban éles-e, amit éppen lát? A hőképek – nem csak a fényképezéshez képest kisebb pixelszám miatt – valahogy mind életlenebbek, ugyanis a mindennapos életünk a reflektált fény észlelésen és annak képi (agyunk által végzett) kiértékelésén alapul, a termográfia pedig emittált sugárzások érzékelésén. Ebből kifolyólag egészen mások a tárgyélekkel kapcsolatos megjelenítési kontrasztok. További tudományos fejtegetés helyett nézzük meg az 1. képet, amely azonnal „rávilágít" a problémára. Vegyünk egy kis fényáramú hagyományos izzólámpát, aminek teljesítménye 15 W-nál ne legyen nagyobb (hogy ne okozzon rontó káprázást). Nézzünk bele bekapcsolt állapotban! Furcsamód nem látjuk élesen a spirált, nem tudunk pontosan ráfókuszálni, pedig nem is vakít ez a gyenge izzó. A kikapcsolása után azonban megtapasztaljuk, hogy ugyanabból a távolságból, ugyanabból a látószögből most élesen látjuk a volfrámspirált! Mitől van ez a különbség? Bekapcsolt állapotban a volfrámspirál által emittált sugárzás (fény) dominál, amihez képest elhanyagolható a környezeti fény visszaverődése a felületén. Kikapcsolt állapotban viszont csak a környezet visszaverődő fénye észlelhető, ahogy a bekapcsolt állapotban az élesen látható, „hideg" függőleges tartóról is. A visszavert fény esetében egy tárgy felületén viszonylag homogén a fénysűrűség és jelentősen eltér a háttér fénysűrűségétől, ezért a tárgy a fénysűrűség-különbségtől függő, de határozott kontraszttal válik el a környezetétől. Az emittált sugárzás esetében viszont a tárgy szélein vagy felületének bizonyos részein alacsonyabb a hőmérséklet és ezzel együtt az emittált sugárzás is, ráadásul ez folytonosan változhat, közelíthet a környezet hőmérsékletéhez, így nem lesz olyan nagy és éles a kontraszt a tárgy és háttere közt. Ami a láthatófény-tartományban igaz, az természetesen a hősugárzás esetében is érvényes. A tárgyak szélén – a geometriai összefüggés miatt – fokozatosan csökkenő emissziós tényező egyre kisebb sugárzásintenzitást eredményez a megfigyelési irányunkba – a hőkameránk felé. Emiatt pedig a vizuális világban megszokott kontrasztos képélesség nem létezhet a hőképek készítése során. Ennek megfelelően nehezebb fókuszálni is.

1. kép
Villanykörte bekapcsolt/kikapcsolt állapotban

1



3

A fókuszálási nehézség enyhítésére sok hőkamera autofókuszszal rendelkezik. Az automatikus fókuszálás itt azt jelenti, hogy (a bejelölt fókuszterületen belül) a szoftver megkeresi a legmeredekebb hőmérséklet-gradienseket – tehát azokat a pixelcsoportokat, ahol a legkisebb pixeltávolságban a legnagyobb mértékű a hőmérséklet-változás. Ez vélhetően egy érzékelt tárgy széle. Következő lépésben történik a fókusz optikai korrigálása addig, amíg az előbb megtalált gradiens el nem éri a maximális meredekségét. Azonban érdemes tudni azt is, hogy a hőkame-

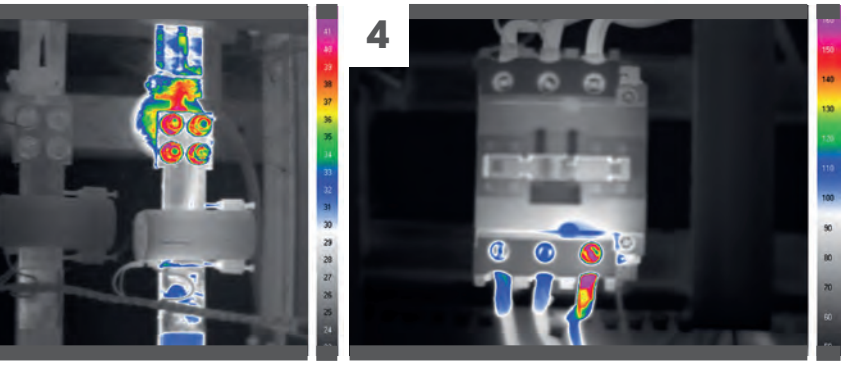
2. kép:
Fókuszbeállítás
reflektált hősugárzás alapján.

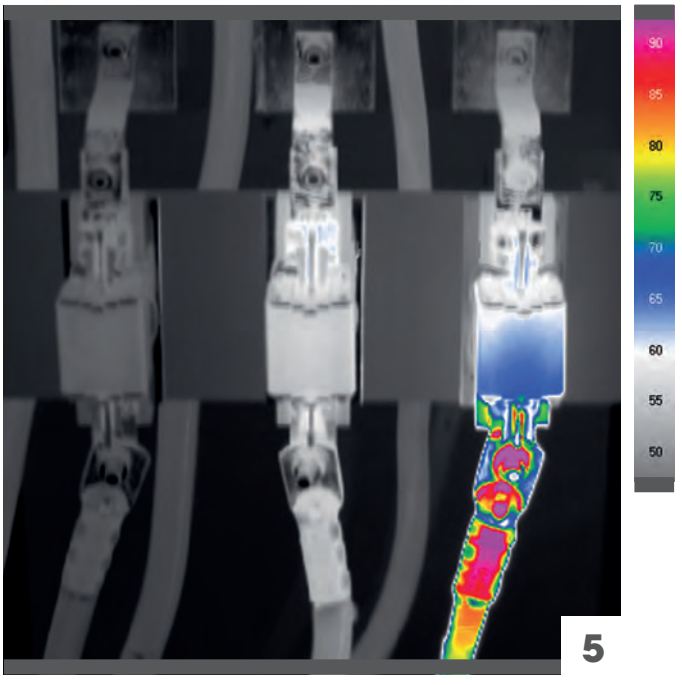
ás

rák autofókuszának vannak műszaki határai – akár a digitális fényképezésben használt fókuszeljárásoknak. Nem működik azokban az esetekben, amikor a tárgyon vagy a tárgy körül nincsenek kellőképpen meredek hőmérséklet-gradiensek, ha a fókuszálás ideje alatt mozog a tárgy (vagy nem tartjuk megfelelően nyugodtan a hőkamerát), vagy a fókuszmezőben a tárgy síkjától eltérő távolságú, de erősebb hőmérséklet-gradiensekkel rendelkező tárgyak vannak.

Ezekből kiindulva érdemes, sőt elengedhetetlen a kézi fókuszálás lehetőségeivel is foglalkoznunk. Ehhez mindenekelőtt célszerű a hőkamera szürke árnyalatos hőmérséklet-színskálájára váltani, mivel ezzel a színskálával tudjuk felismerni a legtöbb részletet. A fókuszbeállítás helyességéről pedig úgy győződhetünk meg, hogy a helyi minimum- és maximum-hőmérséklet között pont a korrekt fókuszbeállításban mutatkozik a legnagyobb értékkülönbség.

Ha pedig a tárgy nem rendelkezik kellően meredek hőmérséklet-gradiensekkel, hogy fókuszálni tudjunk rá, akkor hozzuk létre a szükséges hőmérséklet-különbségeket – például segítőnk széttárt ujjú keze vagy egy forrasztópáka sok esetben ideális erre. Fontos viszont e





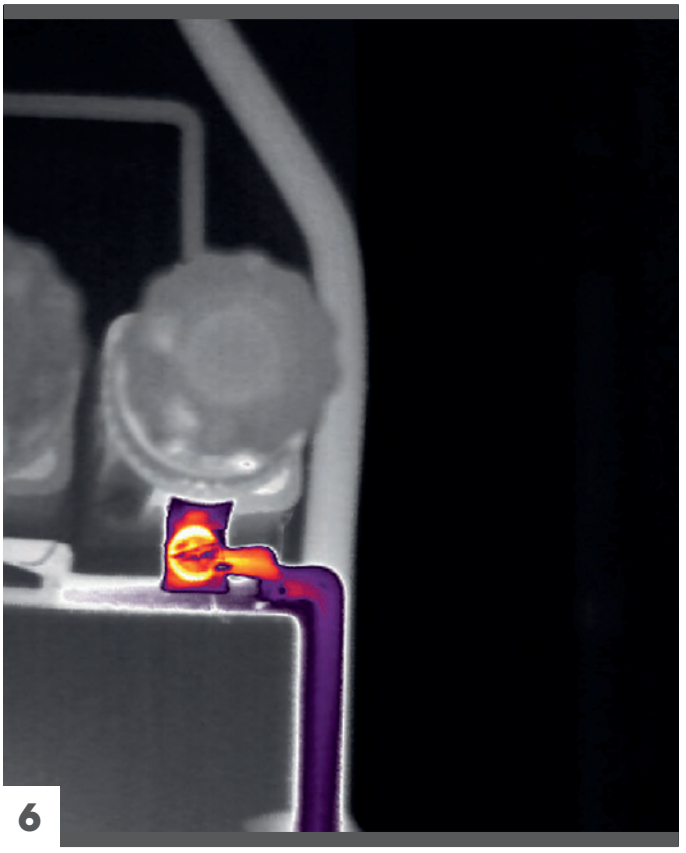
3. kép: Példafelvétel laza kötésre (nagy teljesítményű elem): rossz csavarkötés minimális terhelésen.

4. kép: Példafelvétel kontaktushibára (kis teljesítményű eszköz): mágneskapcsoló laza kontaktusa (168 °C).

5. kép: Példafelvétel terhelésfüggő melegedésre: rossz saru névleges terhelésen (102 °C)

közben, hogy ne érintsük meg a mérendő tárgyat, nehogy a mérés szempontjából zavaróan felmelegítsük.

Kis tárgyakon való nagyon pontos fókuszálást pedig a cikk elején leírtak alapján ne is bízzuk az emittált hősugárzásra. Ha a látható sugárzás világában a reflektált fény esetében sok az éles kontraszt és így könnyebb fókuszálni, akkor ugyanannak érvényesnek kell lennie a hősugárzásra is. Tehát használjuk is ki ezt a lehetőséget! A 2. képen látható példa pont egy olyan méréshez való fókuszálást mutat be, amely során a kifejezetten nagy optikai nagyítás miatt minimális a mélységélesség, ebből következően igen kritikus a korrekt fókuszbeállítás. A forrasztópákával történő „megvilágítás" és az így előidézett reflektált hősugárzásra való fókuszálás ezt a problémát könnyen és gyorsan megoldja.



6. kép
Példafelvétel biztosítékok kontaktushibájára: tűzveszélyesen rossz kontaktus (292 °C).

7. kép
Három hibás kábelsaru (48 °C).

8. kép
Példafelvétel durván eltérő fázisterhelésre (ΔT > 30 °C).

Villamos berendezések gyakorlati hőmérsékleti határértékei

Gyakran felmerül a kérdés, hol kell azt a határt meghúzni, hogy az észlelt melegedés hibásnak számítson, vagy akár már veszélyesnek is. Elsősorban akkor nehéz a kérdés eldöntése, ha a maximális terhelésnél jóval kisebb áramerősség mellett történt a termográfiai felmérés. Alapvetően e probléma elkerülése végett is érdemes elfogadni, hogy villamos berendezéseken termográfiai állapotfelméréseket csak a névleges terhelés legalább 50%-ának megléte esetén szabad elvégezni. Kizárólag igen durva hibák fedezhetők föl a csak 30%-os terhelés mellett.

Elfogadott határértékek, illetve döntési szabályok min. 75%-os terhelés mellett

Általános határértékek a környezeti hőmérséklethez képest:

- melegedés 20...40 K: ellenőrizendő,
- melegedés 40...60 K: sürgősen ellenőrizendő,
- melegedés >60 K: kritikus.

Határértékek fázisok közötti különbségre:

- eltérés 5... 20 K: ellenőrizendő,
- eltérés 20...40 K: sürgősen ellenőrizendő,
- eltérés >40 K: kritikus.

Határértékek szigetelőanyagtól függően:

- gumiszigetelésű kábelek: max. 60 °C,
- PVC-szigetelésű kábelek: max. 70 °C,
- szilikonszigetelésű kábelek: max. 180 °C.

Egyéb határértékek. Villanymotorok (hűtőbordáin mérve) típustól és hűtési körülményektől függően:

- „A" hőállóságú szigetelési osztály max. 60...80 °C
- „B" hőállóságú szigetelési osztály max. 95...105 °C
- „F" hőállóságú szigetelési osztály max. 115...125 °C
- „H" hőállóságú szigetelési osztály max. 140...150 °C
- Műanyag burkolatok: anyagtól függően: max. 50...75 °C
- Mágneskapcsolók: tipikusan max. 85 °C
- Transzformátorok: tipikusan max. 85 °C
- Villamos szekrények belseje (IEC/EN 60947-3): max. 35°C
- Áramsínek (DIN 43671): max. 65 °C
- Külső fémes érintkező (IEC/EN 60947-3): 80 K
- Szigetelt érintkező (IEC/EN 60947-3): 70 K

Megjegyzés: Kisebb terhelés mellett az összes fenti értéknél alacsonyabb határok érvényesek.

Névleges terhelés mellett várható melegedés becslése

A melegedés a bevizsgált villamos eszköz (kábel, sín stb.) vagy érintkező átmeneti ellenállása miatt fellépő, hő formájában keletkező energiaveszteség miatt alakul ki. Az eszköz pedig leadja ezt a teljesítményt hősugárzással, konvekcióval (a levegő felé), valamint hővezetéssel a hozzá csatlakozó elemek felé. A mérési időpontnál nagyobb terhelés (akár áram, akár feszültség) esetén várható melegedést elsősorban a szóban forgó eszköz (vagy kontaktus) terhelés- és hőmérsékletfüggő ellenállás-változása befolyásolja. Viszont az ugyanakkor fellépő – várhatóan erősödő – hővezetés, hősugárzás és konvekciós hőleadás is hatással van a folyamatra. A bekövetkező melegedést ennek megfelelően csak nagyon komplex matematikai összefüggésekkel lehetne pontosan meghatározni.

Állandósult állapotban egy (végtelen hosszúnak feltételezett) sínben vagy vezetékben a vár-

egyszerűsített

melegedés-becslés

névleges terhelés esetére

Ha feltételezzük, hogy a méréskori terhelés és a névleges terhelési állapot között olyan kicsi hőmérséklet-növekedés lép föl, hogy az anyagspecifikus ellenállás hőmérsékleti változása (növekvése) elhanyagolható, továbbá sem az áramkiszorítási tényező, sem a hőátadási tényezők nem változnak számottevően a megfigyelt eszköz hőmérséklet-növekedése révén, akkor az előbbi egyenletben mindezek a tényezők állandónak tekinthetők. (Ez néhány tíz °C-os hőmérséklet-emelkedés esetén alkalmazható. Nagyobb változásnál viszont ezek az egyszerűsítések nem érvényesek, tehát a lenti egyenletek nem alkalmazhatók.) A fenti egyszerűsítések alkalmazásával a következő egyenletet kapjuk:

$$\vartheta_{tn} - \vartheta_1 = \frac{I_n^2 \, U_n}{I_m^2 \, U_m} (\vartheta_{tm} - \vartheta_1)$$

ahol a:
ϑ_{tn} – a tárgy becsült hőmérséklete névleges terhelés mellett,
ϑ_{tm} – a tárgy hőmérséklete a termográfiai mérés időpontjában,
ϑ_1 – a környezeti levegő-hőmérséklet (állandónak feltételezett),
U_m – a feszültség a termográfiai mérés időpontjában,
I_m – az áram a termográfiai mérés időpontjában,
U_n – a névleges feszültség,
I_n – a névleges áram.
Hálózati berendezések esetén (állandó feszültségszint mellett) pedig a várható abszolút hőmérsékletek becslésére használhatjuk:

$$\vartheta_{tn} = \frac{I_n^2}{I_m^2} (\vartheta_{tm} - \vartheta_1) + \vartheta_1$$

Az így becsült hőmérsékletek ezután a korábban felsorolt határértékekkel összehasonlíthatók.

ható hőmérséklet a tárgy és a környezeti hőmérsékletétől, a feszültségtől és az áramtól, de sok anyagjellemzőtől is függ. Az utóbbiak az áramkiszorítási tényező (hőmérsékletfüggő), az anyagspecifikus ellenállása (hőmérsékletfüggő), a sugárzásalapú hőátadási tényező, a konvekciós hőátadási tényező, valamint a vezeték vagy sín keresztmetszete. A mindezt magában foglaló egyenlet a gyakorlati alkalmazáshoz – a nehezen hozzáférhető anyagjellemzők miatt különösön – eléggé bonyolult, javasoljuk helyette a következő becslést alkalmazni.

Példafelvételek termográfiával felfedezhető villamos berendezések hibáira

A cikkben látható hőképekkel igyekszünk bemutatni a termográfiával felfedezhető néhány tipikus hibát. A hőképek között szereplő laza csavarkötés laborkísérlete olyan szempontból is nagyon tanulságos, hogy egyértelműen látszik az alátétek erős felmelegedése. Ennek oka, hogy a legnagyobb – megnövekedett – átmeneti ellenállása az alátétek mindkét oldalán van (itt van tehát a legnagyobb feszültségesés és ebből következő melegedés), valamint pont az alátétek hiányos kapcsolódása az anyákhoz eredményezi, hogy az alátéteken keletkezett hő elvezetése a szerkezet többi része felé is csak kismértékű.

A cikksorozat eddigi részeivel igyekeztünk a kis- és középfeszültségű villamos berendezéseken dolgozó szakembereknek szakmai segítséget nyújtani a termográfia sikeres gyakorlati alkalmazásához. A folytatásban ezt még kiegészítjük két további témakörrel, a napcellás rendszerek (akár szolárerőművek) felmérését célzó vizsgálati eljárások, és a nagyon divatos drónos termográfiai alkalmazások bemutatásával. ■

A Cerberus PRO segítségével a feladatnak megfelelő üzembiztos rendszer építhető, az egyszerű egy hurkos rendszertől egészen a nagy rendszerekig. A Cerberus PRO az automatikus konfiguráció segítségével egyszerűen telepíthető, így csökkentve a mérnöki munkaidőt.

Hogyan működik? A tűzjelző hurkokon telepített érzékelők, jeladók, modulok és egyéb perifériák adatait a központ egyesével beolvassa, így az üzembe helyezés során már csak a zónák hozzárendelése marad hátra. A rendszer szinte „plug & play"-ként működik.

A Cerberus PRO hatékony, így például a perifériákba integrált izolátoroknak köszönhetően a hurkokon fellépő rövidzár vagy szakadás a rendszeren gyorsan megkereshető (a hibát a központ lokalizálja és az LCD kijelzőjén a helyét kiírja). Nincs kompromisszum, csak izolátoros termékek a hurkon. A Cerberus PRO teljes körű szervizelhetőséget kínál a rendszerhez, így például vonaltesztter segítségével az üzembe helyezés előtt a telepítési hibák könnyen felderíthetők.

Building Technologies