

MENTENANȚĂ PREDICTIVĂ A INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE PRIN INSPECȚIA DE TERMOVIZIUNE

Emil CAZACU, Mihăița-Petronel MATEESCU,
Dan-Valeriu GROȘANU, Lucian PETRESCU

Facultatea de Inginerie Electrică, Universitatea POLITEHNICA București
emil.cazacu@upb.ro, mihaita.mateescu@stud.electro.upb.ro,
dan_valeriu.grosanu@stud.electro.upb.ro, lucian.petrescu@upb.ro

Rezumat. Menținerea predictivă compară în mod continuu tendința valorilor celor mai importanți parametri funcționali (electrici, termici, mecanici) ai unui echipament investigat cu limitele lor acceptate (prescrise de fabricantul echipamentului sau impuse de procesul tehnologic), având ca scop anticiparea, analiza și chiar corectarea eventualelor disfuncționalități, înainte ca acestea să se manifeste. Lucrarea de față abordează o parte importantă din cadrul serviciului de mentenanță predictivă: examinarea non-invazivă prin inspecție de termoviziune (termografie IR - în infraroșu) a solicitărilor termice a celor mai importante echipamente electrice din instalațiile electrice de forță: transformatoarele și motoarele de acționare. Astfel, se propune o procedură care, folosind hărțile termice (termograme) sistemelor analizate în diverse regimuri de funcționare, să permită atât o continuitate a funcționării proceselor tehnologice deservite de diverse echipamentele electrice cât și o eficiență ridicată a acestora.

1. INTRODUCERE

Instalațiile electrice sunt dimensionate să funcționeze la anumite valori ale parametrilor de calitate a energiei electrice circulate prin acestea. Dacă în decursul funcționării instalației, acești parametri se abat de la cei normați (pentru care receptoarele și rețeaua au fost dimensionate să funcționeze), atunci apar în instalație regimuri de funcționare anormale, care pot duce, într-un interval de timp, la scoaterea din funcțiune a acesteia [1-5]. Efectul regimurilor anormale este cu atât mai nefavorabil cu cât durata lor de manifestare este mai îndelungată. Astfel, creșterea valorii efective a intensității curentului electric peste valoarea nominală determină suprasolicitări de natură termică și electrodinamică ale căror efecte sunt proporționale cu pătratul valorii acestuia. De asemenea, variația parametrilor tensiunii de alimentare provoacă o serie de consecințe cu un efect mult mai agresiv în instalație (suprasolicitări dielectrice, disfuncționalități ale echipamentelor de comandă și control, etc.).

Pentru a menține instalația în parametrii ei nominali trebuie să se realizeze în mod periodic (sau chiar continuu) o mentenanță a acesteia. În instalațiile moderne se folosește mentenanță predictivă sau proactivă. Aceasta compară tendința tuturor parametrilor tehnici măsurabili ai unui echipament cu limitele tehnologice ale acestuia, având scopul de a detecta, analiza și chiar corecta eventualele disfuncționalități înainte ca acestea să se manifeste [3-5]. Abordarea predictivă poate fi aplicată pentru orice echipament (instalație) în condițiile în care se pot măsura diverși parametri (mecanici, termici, electrici) care caracterizează funcționarea acestora.

Dezvoltarea tehnologică din ultimele decenii a făcut ca ponderea mentenanței corective sau reactive (intervenția după apariția sau manifestarea defectului) din cadrul serviciului general de mentenanță, să se reducă semnificativ în favoarea celei predictive. În ingineria electrică și electroenergetică, de cele mai multe ori, mentenanță predictivă se realizează prin [1, 4, 5]:

- *monitorizarea parametrilor electrici ai instalației investigate* – măsurători precise ale parametrilor calității energiei electrice primite și consumate (goluri, întreruperi, variații de frecvență de valoare efectivă, armonici superioare, dezechilibre etc.);

- *evaluarea solicitărilor termice* - se realizează non-invaziv prin inspecția de termoviziune (termografie IR - în infraroșu). Această metodă permite vizualizarea și generarea în timp real a unor hărți termice (“imagini termice”, termograme) ale instalațiilor investigate;
- *monitorizarea solicitărilor mecanice* (analiza de vibrații) – obligatorie în cazul echipamentelor cu piese în mișcare (acționare motoare rotative sau liniare, generatoare etc.).

Figura 1 ilustrează principalele componente ale mentenanței predictive în ingineria electrică. Instrumentația necesară realizării celor trei tipuri de investigații: analizoare de calitate energie, camere de termoviziune respectiv analizoare de vibrații [6-10], trebuie adecvat selectată și utilizată de personal bine instruit.

Lucrarea de față abordează, într-un mod mai descriptiv, o parte importantă din cadrul serviciului de mentenanță predictivă: *examinarea non-invazivă prin inspecție de termoviziune* (termografie IR - în infraroșu) a solicitărilor termice a unui echipament electric. Această metodă permite vizualizarea și generarea în timp real a unor hărți termice (“imagini termice”, termograme) ale sistemelor tehnice aflate sub investigație –Figura 2. Prin examinarea imaginilor termografice se pot determina zonele cu temperaturi peste cele normale (ce pot duce în timp la avarii) sau cauzele funcționării cu eficiență redusă a utilajelor inspectate. Camerele profesionale de termoviziune, pot măsura temperaturi de la -40°C la $+1500^{\circ}\text{C}$, cu o precizie de până la $0,05^{\circ}\text{C}$ [11-14].

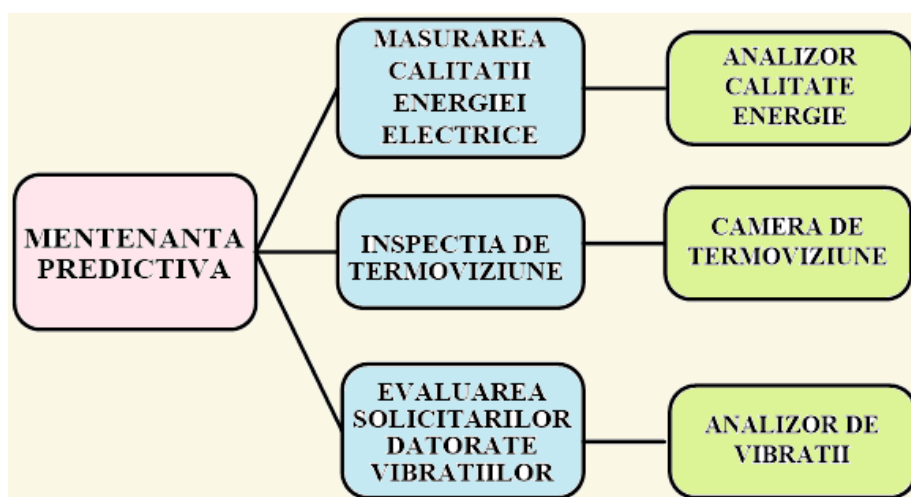


Fig. 1
Principalele componente ale mentenanței predictive în ingineria electrică.

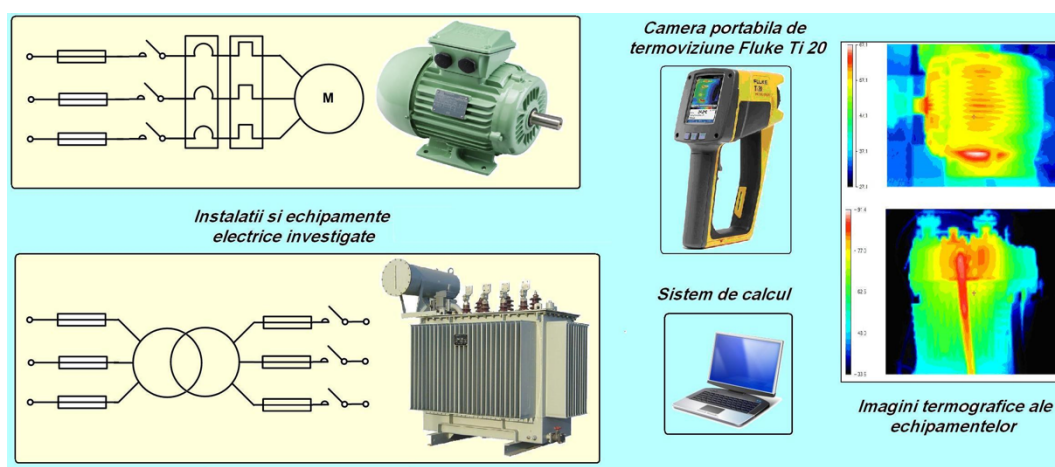


Fig. 2 Realizarea imaginii termice pentru diverse echipamente electrice investigate.

2. FUNCȚIONARE, PERFORMANȚE ȘI LIMITE ALE CAMERELOR DE TERMORIZARE ÎN INFRA-ROȘU (IR)

a) Principiile de funcționare ale camerelor de termoviziune

Una dintre condițiile cele mai importante pentru siguranța în exploatare a oricărei instalații electrice este alegerea corectă și menținerea în parametri stabiliți din punct de vedere al încălzirii, în diferite regimuri de funcționare, a tuturor aparatelor, echipamentelor precum și a părților conductoare de curent care le leagă. Transferul de căldură se realizează, și în instalațiile electrice, de la zonele calde către reci, în trei moduri: *prin conducție, prin convecție și prin radiație* [11-15].

Propagarea căldurii *prin conducție termică* este procesul de transfer al acesteia dintr-o regiune cu temperatură mai ridicată către o regiune cu temperatură mai coborâtă în interiorul unui mediu sau între două medii diferite, aflate în contact fizic direct. Transmisia căldurii prin conducție se face având ca bază *legea lui Fourier* și este dată de relația $q = -\lambda \text{ grad } \theta$, în care, q reprezintă densitatea fluxului termic, în $W/(m \text{ grad})$, iar λ conductivitatea termică (termoconductivitatea) în W/m . Transmisia termică *prin convecție* se bazează pe schimbul de căldură între suprafața unui corp și un mediu fluid cu care se află în contact.

Când mișcarea fluidului este datorată numai diferenței de greutate dintre straturile calde și cele mai puțin calde ale fluidului convecția este *naturală*, iar când mișcarea fluidului este accelerată cu ajutorul pompelor sau ventilatoarelor convecția este una *artificială (forțată)*. În cazul schimbului de căldură de la suprafața unui corp cu temperatura θ_c la un fluid cu temperatura $\theta_a < \theta_c$, densitatea de flux termic q_c la suprafața corpului se exprimă cu relația generală: $q_c = \alpha_c (\theta_c - \theta_a)$, $[W/m]$, în care: α_c - transmisivitatea termică prin convecție în $[W/m\text{grad}]$.

Schimbul de căldură între corpuri cu temperaturi diferite pe calea energiei radiante (unde electromagnetice) se numește *transmisie termică prin radiație*. Transferul de căldură prin radiație are loc numai în mediile transparente pentru undele electromagnetice cu lungimea de undă cuprinsă între 0,4 - 340 micrometri. Densitatea fluxului termic de radiație q_r este dată de *legea Stefan – Boltzmann* [12-15]:

$$q_r = \varepsilon C_0 (T_0^4 - T_a^4), [W/m] \quad (1)$$

în care T_c temperatura absolută a corpului care radiază $[K]$, T_a temperatura absolută a mediului ambiant $[K]$, $C_0 = 5,77 [(W/m) \text{ grad}^4]$, iar ε coeficientul de radiație sau emisivitate. Aceasta este cuantificată printr-un număr adimensional cu valori cuprinse între 0 și 1, reprezentând raportul dintre puterea totală de emisie a unui corp oarecare și puterea totală de emisie a corpului negru [7]. Pentru a măsura în mod corect temperatura, emisivitatea trebuie setată de operator funcție de materialul obiectului investigat. Sunt disponibile baze de date în care, funcție de material, emisivitatea este precizată [11-14].

Termoviziunea generează, cu ajutorul unei aparaturi adecvate (camera de termoviziune), o imagine termică obținută exclusiv ca urmare a transferului de căldură prin radiație între corpul inspectat și mediu, în domeniul spectral denumit infraroșu (IR) [11-14]. Acesta este o bandă din spectrul radiației electromagnetice situată între domeniul vizibil și cel al undelor radio. Zona de operare a majorității camerelor de termoviziune sesizează radiațiile cu lungimi de undă în intervalul 8-14 μm – Figura 3. Imaginea termică reprezintă o repartitie structurată a datelor reprezentative ale radiației infraroșii provenind de la structura investigată [13]. Exemple tipice de imagini termice din instalațiile electrice sunt prezentate în Figura 4.

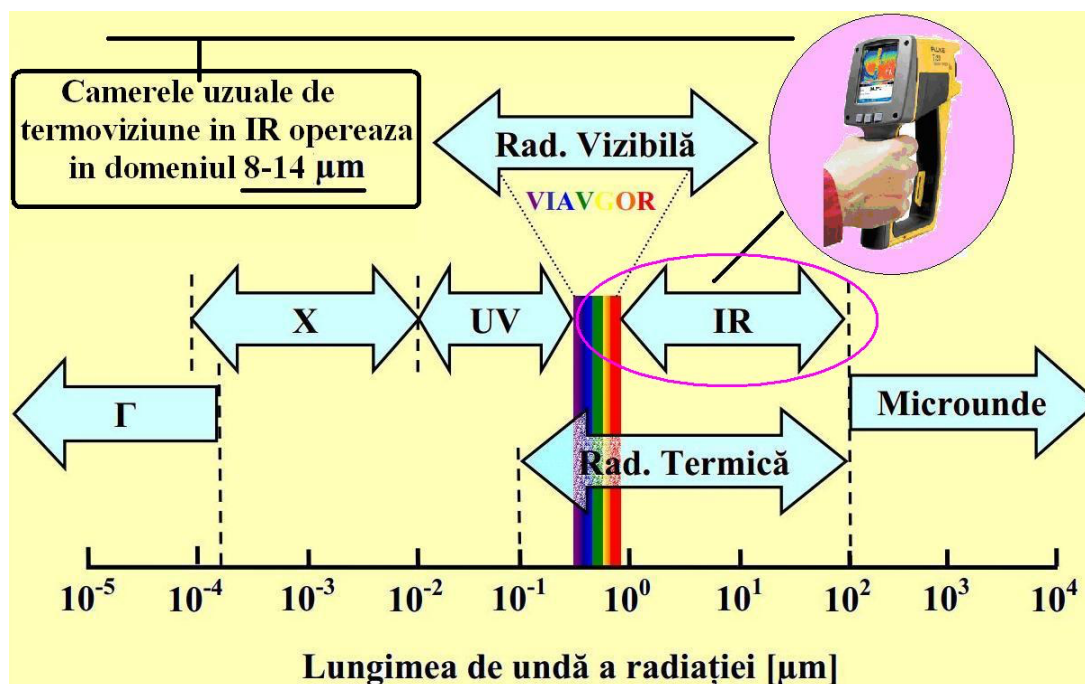


Fig. 3 Domeniul de măsurare al camerelor de termoviziune IR cu detecție în infraroșu.

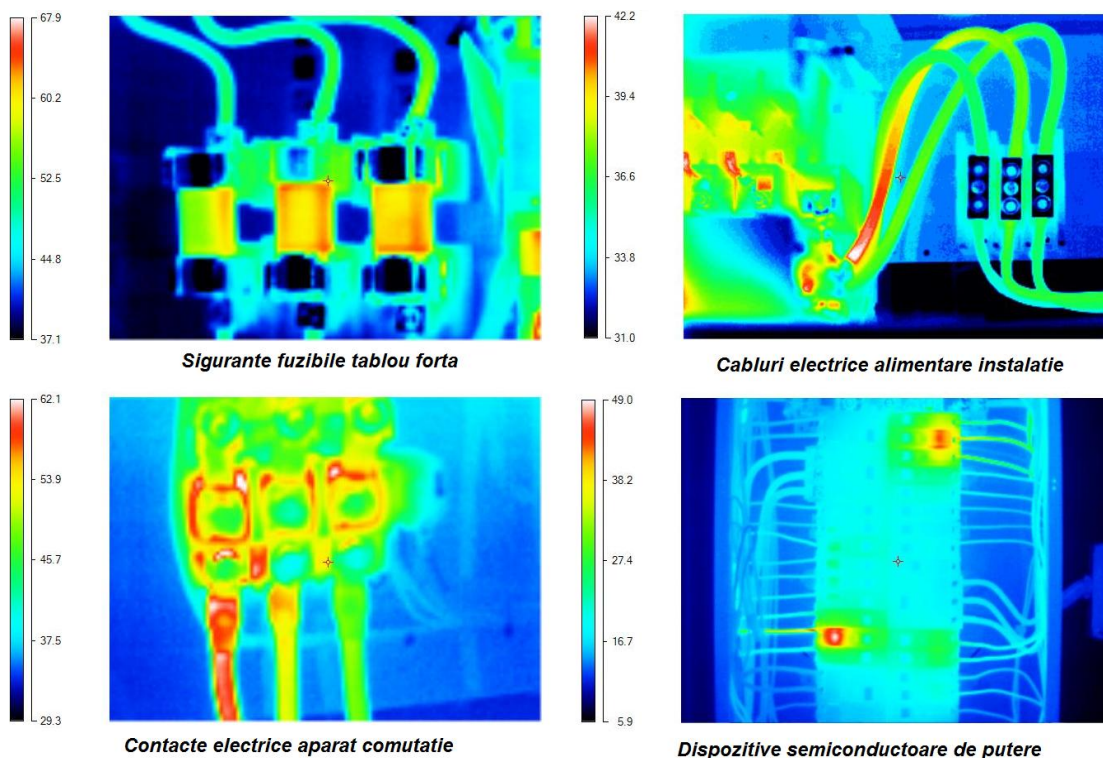


Fig. 4 Imagini termice IR ale unor echipamente folosite curent în instalațiile electrice de forță.

Orice corp care se află la o temperatură de peste 0 K (-273°C) emite energie termică sub formă de radiație infraroșie (IR). Aceasta acoperă spectrul cu lungime de undă de la 0,75 μm până la aproximativ 1000 μm (= 1 mm) și se învecinează cu lungimea de undă a luminii vizibile (de la 0,38 până la 0,75 μm). Imaginile termice măsoară deseori radiația în infraroșu cu lungimea de undă de la 8 μm la 14 μm (ca și camerele de termoviziune) deoarece atmosfera este foarte permisivă pentru radiațiile în infraroșu [13,14].

b) Performanțele și limitele camerelor de televiziune

Camerele de termoviziune IR măsoară radiația electromagnetică emisă de corpuri folosind un număr foarte mare de senzori specializați (între 19200 și 76800), o convertesc și apoi este afișează sub formă de imagini termice. Senzorii pot detecta, funcție de sensibilitatea camerei, o diferență de temperatură cuprinsă între 0,8 și 0,05°C. Alte caracteristici importante ale camerelor de termoviziune sunt reprezentate de tipul lentilelor, gama de temperaturi, sensibilitatea, tipul de procesor folosit și altele [13, 14].

Imaginea termică reprezintă o repartitie structurată a datelor reprezentative ale radiației infraroșii provenind de la structura investigată [12-14]. *Orice corp care se află la o temperatură de peste 0 K (-273°C) emite energie termică sub forma de radiație infraroșie (IR).* Aceasta acoperă spectrul cu lungime de undă de la 0,75 μm până la aproximativ 1000 μm (= 1 mm) și se învecinează cu lungimea de undă a luminii vizibile (de la 0,38 până la 0,75 μm). În cele de mai jos sunt definiți principalii parametri care stabilesc performanțele unei camere de termoviziune moderne [13, 14]:

- *Gama de temperatură:* Reprezintă intervalul de valori al temperaturii pe care camera le poate detecta și afișa.
- *Diferența de temperatură a zgomotului (engl. NETD - Noise Equivalent Temperature Difference)* - cea mai mică diferență de temperatură ce poate fi identificată de camera de termoviziune
- *Câmpul vizual al camerei de termoviziune (engl. FOV - field of view).* Este descris ca fiind un unghi (în grade geometrice) și definește suprafața care poate fi văzută cu ajutorul unei camere de termoviziune. Câmpul vizual este dependent de detectorul încorporat în camera de termoviziune și de lentilele utilizate.
- *Câmp vizual instantaneu (engl. IFOVgeo - Instantaneous Field of View).* Măsoară capacitatea unui detector de a reda cele mai mici detalii. Rezoluția geometrică este specificată în *mrad* și definește cel mai mic obiect care, în funcție de distanța de măsurare, poate fi individualizat pe imaginea termică. Pe imaginea termică, mărimea acestui obiect corespunde unui pixel.
- *Câmp vizual instantaneu măsurat (IFOVmeas).* Este un indicator al celui mai mic obiect a cărui temperatură poate fi măsurată cu precizie de către camera de termoviziune. Acesta este de 2 sau 3 ori mai mare decât cel mai mic obiect identificabil (IFOVgeo).

De asemenea, majoritatea camerelor permit prelucrarea imaginilor cu ajutorul unui *soft dedicat extrem de flexibil*, ce facilitează o prelucrare profesională a imaginilor și chiar crearea unui raport de inspecție de către utilizator. Software-ul face posibilă reglarea parametrilor esențiali dintr-o imagine descărcată de pe cameră, cum ar fi nivelul de emisii, compensarea temperaturii reflectate, paleta de culori, etc. [7-10]– Figura 5. În plus, după finalizarea măsurătorilor, softul permite și realizarea unui *raport personalizat al inspecției prin termoviziune* [7-10] – Figura 6.

În ultimul timp, dezvoltarea acestor instrumente au permis investigații de mare profunzime asupra funcționării echipamentelor electrice de mare diversitate și clase de puteri. Pentru o precizie ridicată în măsurarea temperaturii corpurilor, prelucrarea numerică a imaginilor termografice permite și o *compensare temperaturii reflectate (engl. RTC -Reflected Temperature Compensation)* de către acestea. Aceasta este importantă mai ales în cazul obiectelor cu o emisivitate scăzută [12-14]. Acest lucru este realizat folosind un factor de corecție, introdus cu ajutorul softului dedicat. În cele mai multe cazuri însă, temperatura reflectată este identică cu temperatura ambientală.

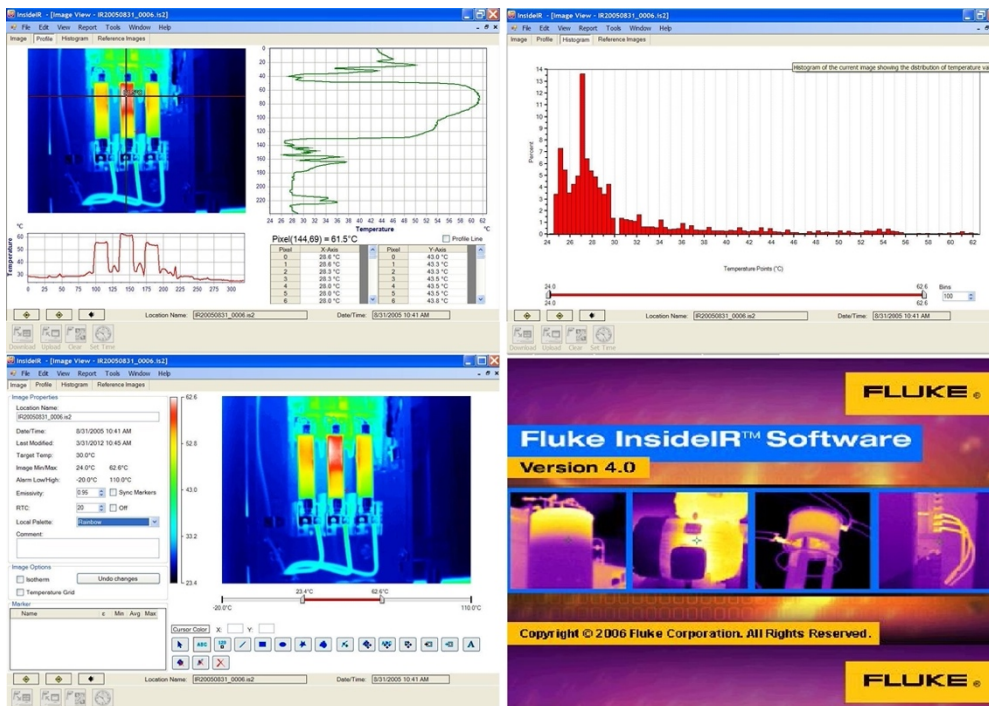


Fig. 5 Prelucrarea imaginilor termice IR cu ajutorul softului Fluke InsideIR™.

Thermographic Report - Summary

File Edit Tools

THERMOGRAPHIC REPORT

COMPANY
 Name: Fluke Electronics
 Address: 6320 Seaway Blvd, Everett WA 98203
 Company Logo:

INSPECTOR
 Name: Phil Itup
 Address: Fluke Park
 Equipment: Steam Valve

PROBLEM DESCRIPTION
 Prone to leaks

RECOMMENDED ACTION
 Check every 30 days

Repair Priority: Medium Next Inspection: 2/14/2007

IDENTIFICATION
 Location Name: Location 1
 Nameplate #: NA
 Equipment Type: Plumbing

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS
 Image Date: 3/29/2006 1:30:58 PM
 Target Temp: 225.6 °F
 Emissivity: 1
 Reflected Temp: OFF
 Distance: 3.5 feet

ENVIRONMENTAL CONDITIONS
 Air Temp: na
 Sky: na
 Wind Speed: na
 From: na

ASSET OPERATION CONDITIONS

	A	B	C
Max Rated Load			
Measured Load			
Percent Load			

Fig. 6 Formatul unui raport personalizat al inspecției de termoviziune ajutorul softului Fluke – InsideIR™.

3. STUDIU DE CAZ - INVESTIGATII DE TERMORIZIUNE ASUPRA UNUI POST DE TRANSFORMARE DE DISTRIBUȚIE SUPRATERAN

Pentru a ilustra mai bine aspectele subliniate anterior, în cele ce urmează vor fi prezentate diverse imagini termice ale unor dispozitive electrice în regimuri distincte de funcționare obținute cu camera profesională de termoviziune Fluke Ti 25 [9]. Printr-o prelucrare a acestora, cu ajutorul soft-ului furnizat de producătorul camerei de termoviziune Fluke SmartView [8], se stabilesc concluzii privind regimul termic, temperaturile maxime și zonele în care acestea sunt înregistrate.

Alimentarea cu energie electrică a unei societăți comerciale cu o activitate de producție continuă se face cu ajutorul unui post de transformare suprateran ce conține un transformator trifazat de putere $S_n = 630$ kVA și trepte de tensiuni $U_{1n}/U_{2n} = 10/0,4$ kV – Figura 7. Unele date nominale ale transformatorului sunt indicate pe plăcuța acestuia – Figura 8, iar pentru a le completa am apelat la datele de catalog ale producătorului.



Fig. 7 Postul de transformare suprateran analizat.

Fig. 8 Plăcută indicatoare a transformatorului analizat.

Datele tehnice complete ale transformatorului suprateran supus analizei de termoviziune sunt prezentate în Tabelul 1:

Tab. 1 Datele nominale ale transformatorului (răcit cu ulei) investigat.

Puterea transformator S_n	kVA	630
Tensiunea primară U_{1n}	kV	10
Tensiunea secundară U_{2n}	kV	0.4
Grupa de conexiuni	-	Dy05
Pierderi la mers în gol P_{Fe}	W	1350
Pierderi în cupru $P_{Cu,N}$	W	6500
Curent de mers în gol i_0	%	1,8
Tensiune de scurt circuit u_{sc}	%	5,5

Principalii parametri ai calității energiei consumate de transformator (forme de undă, nivelul armonicilor superioare (THD), puterile active, reactive, aparente) [15, 17] – măsurate cu ajutorul analizorului de calitate a energiei Fluke 435 [6], sunt prezentați în Figura 9.

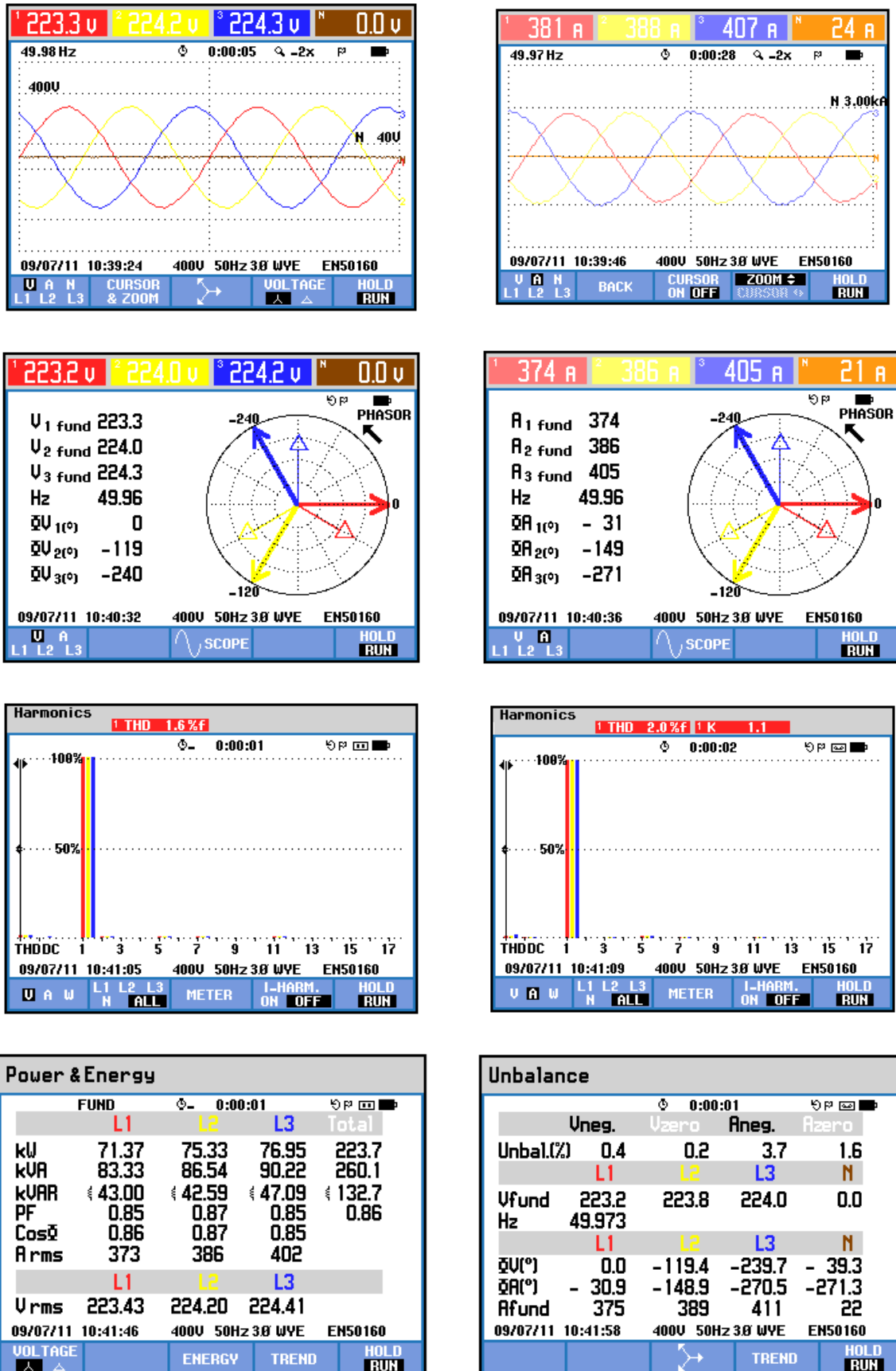


Fig.9 Parametrii calității energiei consumate de motorul investigat.

Datele disponibile măsurate permit evaluarea încărcării transformatorului [18-22]
 $\beta = \frac{S}{S_n} \approx \frac{I_2}{I_{2n}} = \frac{260,1}{630} = 0,4128$. Pierderile de putere activă în transformator precum și a
 puterilor active absorbite din rețea se determină cu relațiile [11-22]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{Fe} + \beta^2 \cdot \Delta P_{Cu,N} = 1,35 + (0,4128)^2 \cdot 6,5 = 2,457 \text{ kW} \quad (2)$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P_T = 223,7 + 2,457 = 226,157 \text{ kW}$$

Variația pierderilor de putere activă cu încărcarea precum și indicarea acestora la încărcarea dată este prezentată în Figura 10, respectiv Figura 11.

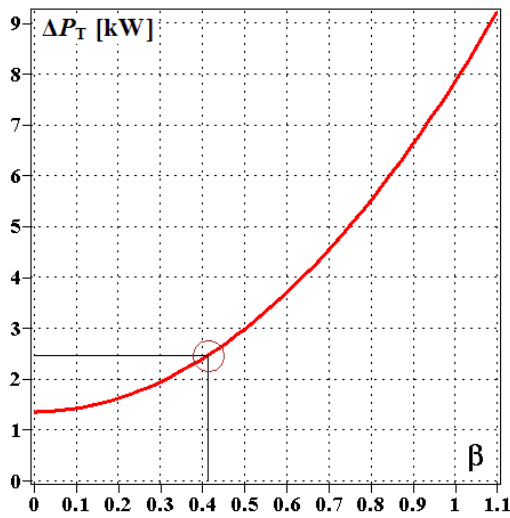


Fig. 10 Variația pierderilor de putere reactivă și indicarea acestora la încărcarea dată.

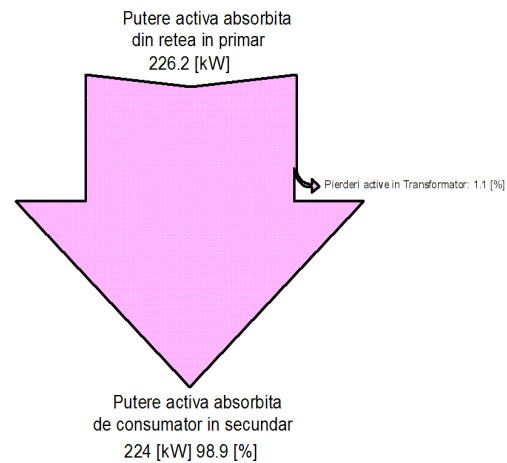


Fig. 11 Diagrama Sankey pentru puterile active circulate în cazul modelului simplificat de bilanț.

Pierderile în serviciu funcționare ale transformatorului, împreună cu temperatura ambiantă stabilesc în cele din urmă temperatura maximă de funcționare a mașinii sau cunoscută în mod obișnuit temperatura punctului fierbinte (*engl. hot spot temperature*): $\theta_H = f(\Delta P_T)$ [21-24]. Acesta din urmă impune durata de viață a izolației, care este în fapt durata de viață a transformatorului [20, 21]. Pentru a aprecia nivelul de deteriorare a izolației conductoarelor transformatorului cauzată de punctul de temperatură maximă, a fost adoptat un factor de accelerare a îmbătrânirii izolației F_{AA} [18-22] (*engl. aging acceleration factor*). Se definesc de asemenea și alți parametri de declasare termică a transformatorului: pierderea procentuală relativă a duratei de viață % *LOL* (*engl. transformer percent loss of life*) - definită pentru o anumită perioadă de timp t (indicată în ani) precum și durata de viață rămasă *RL* (*engl. remaining life*) [22-24]:

$$F_{AA} = \exp\left(\frac{B}{383} - \frac{B}{\theta_H + 273}\right) = 0,01, \quad \%LOL = \frac{F_{AA} \cdot t \cdot 100}{NIL} = 0,001, \quad RL = \frac{NIL}{F_{AA}} = 20,55 \quad (3)$$

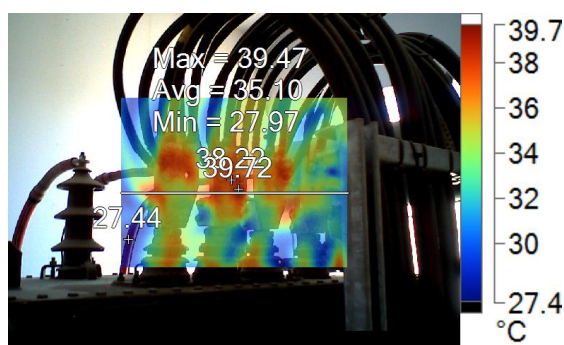
unde A și B sunt constante evaluate în funcție de caracteristicile materialului de izolație utilizat și de temperatura maximă de referință pentru care se obține durata normală de viață a acestuia: *NIL* (*engl. normal insulation life*).

Pentru transformatorul examinat, temperatura maximă ajunge la $\theta_H = 61$ °C, iar $NIL = 20,55$ ani (pentru transformatoare cu creșterea medie a temperaturii înfășurării în raport cu temperatura ambiantă de 65 °C și materiale izolante standard). Aceasta corespunde

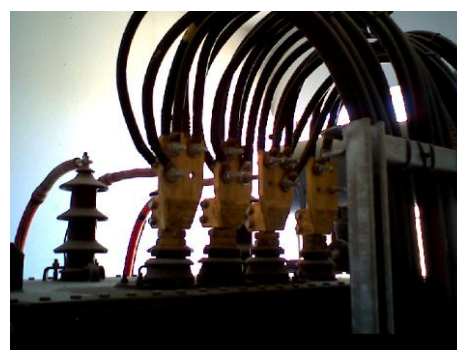
unei temperaturi maxime de referință de $\theta_{Href}=110\text{ }^{\circ}\text{C}$ și valorilor constantelor de material: $A = 9,8 \cdot 10^{-18}$, respectiv $B = 15000$ [23, 24]. Având în vedere aceste valori precum și datele măsurate, toți parametrii de declasare termică a transformatorului supus analizei sunt inferiori celor maximi admisibili. Prin urmare transformatorul analizat are o funcționare menită să-i prezeveze durata de viață stabilită de producător (22,5 ani).

În cele ce urmează prezentăm diverse hărți termice atât pentru transformator cât și pentru echipamentele asociate acestuia (tabloul principal și bateria de compensare a factorului de putere).

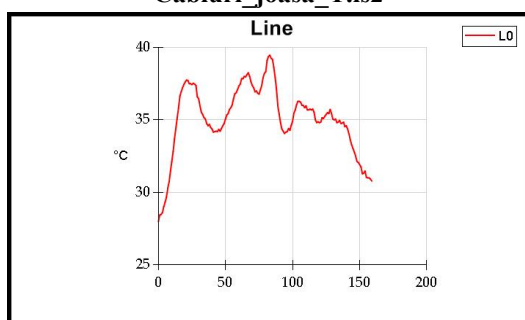
Solicitare termică a cablurilor de joasă tensiune pentru transformator



Cabluri_joasă_T.is2



Visible Light Image



Se constată o temperatură normală a cablurilor de joasă tensiune din secundarul transformatorului. Temperatura maximă a cablurilor ajungând la cca. 40 grade C.

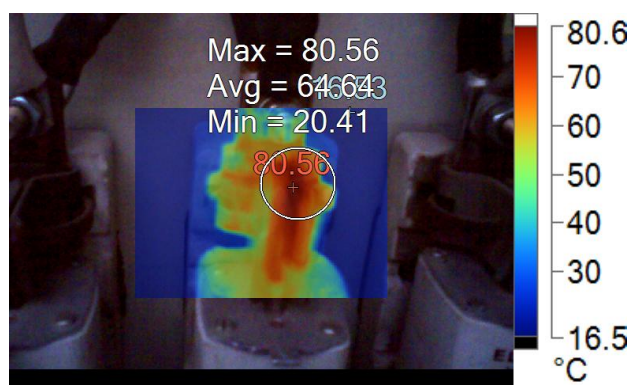
Image Info

Transmission	1.00
Average Temperature	33.55°C
Image Range	27.44°C - 39.72°C
Camera Model	Ti25
IR Sensor Size	160 x 120
DSP Version	1.2.7
OCA Version	1.2.7
Lens description	20mm
Lens serial number	-
Image Time	12/8/2010 11:14:39 AM
Calibration Range	-22.00°C - 125.00°C
Severity	No problem found

Main Image Markers

Name	Avg	Min	Max	Emissivity	Background	St. Dev.
L0	35.10°C	27.97°C	39.47°C	0.95	19.00°C	2.39
Name	Temperature	Emissivity	Background			
Centerpoint	38.22°C	0.95	19.00°C			
Hot	39.72°C	0.95	19.00°C			
Cold	27.44°C	0.95	19.00°C			

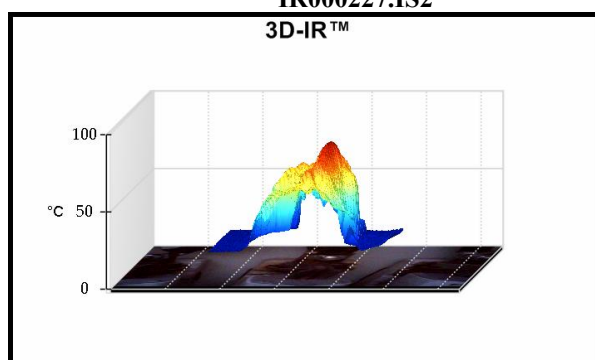
Siguranța fuzibilă tablou principal



IR000227.IS2



Visible Light Image



Graph

Se poate observa o încălzire peste limitele admisibile pentru siguranțele de protecție la suprasarcină și scurtcircuit din blocul principal de alimentare. Se recomandă ca la prima revizie să se curețe foarte bine contactele și să se fixeze ferm în soclu pentru a evita un contact slab care să genereze potențiale supraîncălziri.

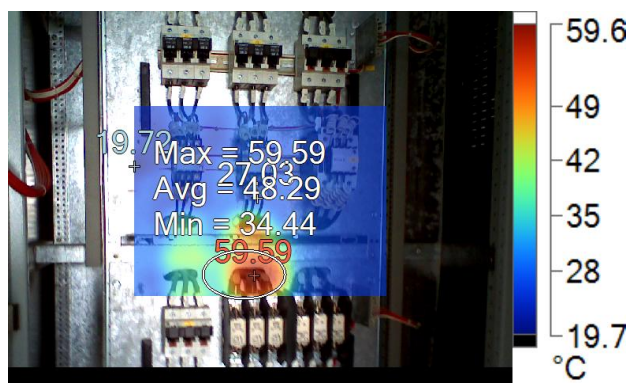
Image Info

Transmission	1.00
Average Temperature	35.27°C
Image Range	16.53°C - 80.56°C
Camera Model	Ti25
IR Sensor Size	160 x 120
DSP Version	1.2.7
OCA Version	1.2.7
Lens description	20mm
Lens serial number	-
Image Time	1/19/2011 12:50:31 PM
Calibration Range	-22.00°C - 125.00°C
Severity	Severe

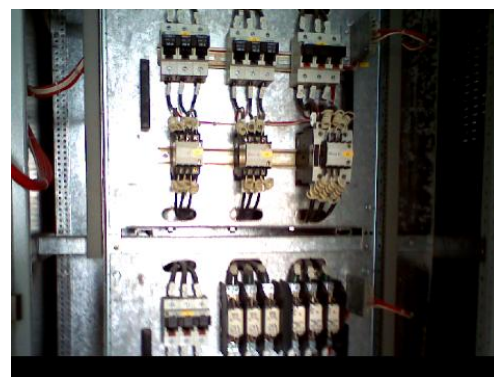
Main Image Markers

Name	Avg	Min	Max	Emissivity	Background	St. Dev.
A0	64.64°C	20.41°C	80.56°C	0.95	19.00°C	12.47
Name	Temperature	Emissivity	Background			
Hot	80.56°C	0.95	19.00°C			
Cold	16.53°C	0.95	19.00°C			

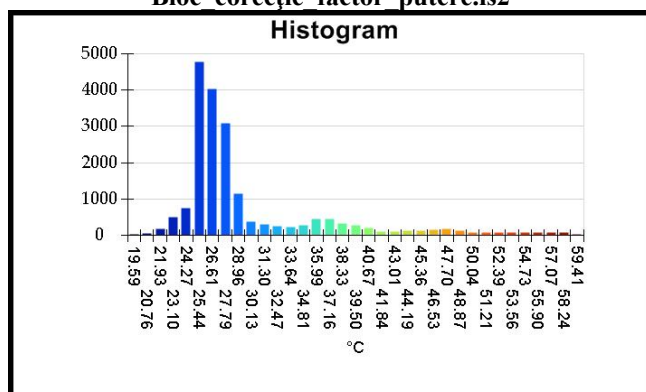
Solicitări termice Blocul de corecție a factorului de putere



Bloc corecție factor putere.is2



Visible Light Image



Graph

Image Info

Se poate observa o încălzire în limitele admisibile pentru contactoarele din blocul de corecție automată a factorului de putere.

Transmission	1.00
Average Temperature	29.66°C
Image Range	19.72°C - 59.59°C
Camera Model	Ti25
IR Sensor Size	160 x 120
DSP Version	1.2.7
OCA Version	1.2.7
Lens description	20mm
Lens serial number	-
Image Time	12/8/2010 10:28:05 AM
Calibration Range	-22.00°C - 125.00°C
Severity	No problem found

Main Image Markers

Name	Avg	Min	Max	Emissivity	Background	St. Dev.
A0	48.29°C	34.44°C	59.59°C	0.95	19.00°C	7.15
Name	Temperature	Emissivity	Background			
Centerpoint	27.03°C	0.95	19.00°C			
Hot	59.59°C	0.95	19.00°C			
Cold	19.72°C	0.95	19.00°C			

4. CONCLUZII

Termoviziunea prezintă avantaje majore față de multe alte tehnici de diagnoză a solicitărilor termice deoarece: scanarea termică nu necesită realizarea contactului direct cu echipamentul sau instalația aflate sub test; defectele, problemele de funcționare și tendințele de defectare sunt identificate rapid, fără oprirea din funcționare; scanarea termică este non-invazivă, putând fi repetată ori de câte ori este nevoie; permite analize în timp real înainte și după intervenții la echipamente/instalații de maximă importanță. Inspecția se realizează rapid, este o procedură sigură și oferă o analiză termică detaliată cu o precizie de măsurare ridicată. Analiza prin termoviziune permite înregistrarea, stocarea, evaluarea și prelucrarea electronică a datelor obținute de la echipamentele/instalațiile inspectate.

Interpretarea rezultatelor obținute în urma analizei imaginilor IR trebuie să aibă în vedere cea mai frecventă situație anormală detectabilă prin termoviziune. Acesta este reprezentată de porțiunile de circuit cu rezistență crescută în mod accidental (contacte electrice slăbite, pierderea locală a proprietăților electrice etc.). De asemenea, suprasarcinile din circuite sunt foarte evidente la inspecția IR a tablourilor de distribuție. Imaginile termografice indică, de cele mai multe ori, decalibrările elementelor de siguranță sau ieșirea din regimul normal a altor componente ale instalației electrice. Uneori, pentru o interpretare judicioasă este nevoie să se compare imaginile termografice curente ale unor echipamente cu imagini prelevate anterior, ceea ce presupune și o organizare jurnalizată (cronologică) a imaginilor termografice.

Lucrarea de față a ilustrat performanțele inspecției de termoviziune prin investigarea solicitărilor termice ale unui post de transformare, supradimensionat destinat alimentării unor consumatori casnici și comerciali. Studiul termografic a vizat atât transformatorul împreună cu accesoriile sale, cât și tabloul de putere al acestuia amplasat pe partea sa de joasă tensiune. De asemenea, a fost analizată și solicitarea termică a bateriei de compensare a factorului de putere. Rezultatele examinării au pus în evidență funcționarea în parametri termici nominali a transformatorului, dar au condus și la identificarea unei conexiuni slabe a unei siguranțe fuzibile din panoul de protecție (pe partea de joasă tensiune).

Realizarea unui asemenea serviciu presupune investiții considerabile în aparate și echipamente de înaltă precizie, care să poată furniza date ce pot fi ulterior prelucrate, analizate (cu ajutorul sistemelor de calcul) și, în final, corect interpretate de utilizatorul calificat. În cazul folosirii corecte a acestor instrumente, se poate realiza o amortizare relativ rapidă a investiției corelată cu efecte pozitive (fiabilitate crescută, reduceri de costuri, etc.) asupra procesului tehnologic deservit de instalația investigată.

În cadrul mentenanței predictive, raportul de termoviziune este un document extrem de valoros, care, corelat corespunzător cu celelalte documente ale analizei de mentenanță (calitatea energiei și analiza de vibrații), impune anumite măsuri pe termen scurt, mediu sau lung pentru instalațiile/echipamentele electrice inspectate. Prin urmare, acesta trebuie realizat cu profesionalism și responsabilitate.

Datorită avantajelor acestora și aplicabilității foarte largi în domeniul industrial, organismele mondiale de reglementare în domeniul energiei încep să impună folosirea termografiei IR în mentenanță predictivă ca o *condiție a auditării electroenergetice*.

Confirmări

Lucrarea a fost sprijinită de “Programul Operațional Competitivitate (POC) 2014 - 2020”, “Acțiunea 1.2.1”, prin proiectul ID/Cod My SMIS 121611, număr de contract 273/24.06.2020 (acronim: SIPAMASRE).

BIBLIOGRAFIE

1. H. M. Hashemian, W. C. Bean, State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 60, no. 10, pp. 3480-3492, Oct. 2011.
2. R. Gono, Reliability and maintenance of electrical power system: Invited lecture, 18th IEEE International Scientific Conference on Electric Power Eng. (EPE), pp. 1-4, Kouty Nad Desnou, Czech Republic, 2017.
3. J. Levitt, Complete Guide to Predictive and Preventive Maintenance, Industrial Press, Inc. Pub. House, 2002.
4. C. I. Hubert, Operating, Testing, and Preventive Maintenance of Electrical Power Apparatus, Prentice Hall, 2002.
5. C. G. Novoa, G. A. G. Berríos and R. A. Söderberg, Predictive maintenance for motors based on vibration analysis with CompactRIO, IEEE Central America and Panama Student Conference (CONESCAPAN), pp. 1-6, Panama City, Panama, 2017.
6. Fluke Corporation Fluke 435 - IEC Class A - Three-Phase Power Quality Analyzer - User Manual, Fluke Corporation, 2010.
7. Fluke Corporation, 2006, Ti20 - Thermal Imager - Users Manual, 2006.
8. Fluke Corporation, InsideIRTM - Thermal Image Analysis Software-Users Manual, 2007.
9. Fluke Corporation, Ti-25 - Thermal Imager - Users Manual, 2006.
10. Fluke Corporation Fluke 810 Vibration Tester – user Manual 2011.
11. J. Caniou, Passive Infrared Detection: Theory and Applications, Kluwer Academic Publishers, 2010.
12. R. W. Ruddock, Basic Infrared Thermography Principles, Reliabilityweb.com Press, Publishing House 1st Edition, 2010.
13. M. Vollmer, K. P. Möllmann, Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications, Wiley-VCH Publishing House, 1st Edition, 2010.
14. T. Williams, Thermal Imaging Cameras: Characteristics and Performance, Taylor & Francis Publishing House. 1st Edition, 2009.
15. G. Hortopan, Aparate electrice de comutație, vol. I+II, Editura Tehnică București, 2000.
16. M. A. S. Masoum, E. Fuchs, Power Quality in Power Systems and Electrical Machines, 2nd Ed. Elsevier Academic Press, 2015.
17. J. D. Glover, T. Overbye, M. S. Sarma, Power System Analysis and Design, Cengage Learning, 6th Ed., 2016.
18. A. Moraru, “Mașini electrice. Teorie, încercări și exploatare”, Editura AGIR, București, 2010
19. N. Galan., “Mașini electrice”, Editura Academiei Române, București, 2011.
20. C. Bălă, “Mașini electrice”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
21. A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, S. Umans, “Electric Machinery”, McGraw-Hill, 6th Edition, 2002.
22. S. Chapman, “Electric Machinery Fundamentals”, McGraw Hill Higher Education; 5th Edition, 2011.
23. IEEE Std. C57.123-2010 Guide for Transformer Loss Measurement.
24. IEEE Std. C57.91-2011 Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators.