



راهکار کاهش هزینه و انرژی واحد تعمیر و نگهداری صنایع با استفاده از دوربین حرارتی (تست ترموویژن)

مدرس: دکتر کاظم نهبندانیان

(تیرماه ۱۴۰۴)

تعمیر و نگهداری

حفظ و ایجاد شرایط اولیه و افزایش عمر تجهیزات ⇨ تعمیر و نگهداری

نگهداری ⇨ بازرسی فنی و تست قطعات در محدوده زمانی معین و مشخص

تعمیر ⇨ تعویض و جایگزینی قطعات



تعمیر و نگهداری

مجموعه‌ای از فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده یا واکنشی است که برای حفظ تجهیزات و ماشین‌آلات در حالت کاری بهینه و جلوگیری از خرابی‌های ناگهانی انجام می‌شود.

هدف اصلی آن افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش طول عمر تجهیزات است.

نگهداری ⇨ پیشگیری از خرابی

تعمیر ⇨ رفع خرابی

اهمیت تعمیر و نگهداری در صنایع

- ▲ بهبود کیفیت محصولات
- ▲ افزایش طول عمر ماشین آلات
- ▲ افزایش ایمنی پرسنل و محیط کار
- ▲ کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه
- ▲ به حداقل رساندن هزینه‌های تعمیرات اساسی
- ▲ جلوگیری از توقف‌های تولید و کاهش خسارات مالی



انواع استراتژی‌های تعمیر و نگهداری

تعمیر و نگهداری واکنشی (Reactive) یا اصلاحی (Breakdown Maintenance):

تعمیر پس از خرابی؛ زمان از دست رفته تولید و هزینه‌ها معمولاً بالا است.

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه (Preventive Maintenance):

براساس برنامه زمان‌بندی (ساعات کارکرد، تقویم) انجام می‌شود تا از خرابی جلوگیری شود.

تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه (Predictive Maintenance):

با استفاده از آنالیز داده‌ها و پایش وضعیت (ترموگرافی، آنالیز ارتعاش و...) زمان مناسب برای تعمیر را پیش‌بینی می‌کنند.

تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM - Reliability Centered Maintenance):

تحلیل سیستماتیک ریسک‌ها و خرابی‌های محتمل برای طراحی بهترین استراتژی تعمیر.

تعمیر و نگهداری اصلاحی برنامه‌ریزی شده (Planned Corrective Maintenance):

تعمیراتی که خرابی کوچک آن فوراً خطرناک نیست و می‌توان در فرصت مناسب انجام داد.

مراحل اجرای برنامه نت در صنایع و کارخانجات

- ✓ تحلیل داده‌ها و اصلاح برنامه‌ها برای بهبود مداوم
- ✓ اجرای بازرسی‌های دوره‌ای و ثبت وضعیت تجهیزات
- ✓ شناسایی و لیست‌برداری از تجهیزات اصلی و حساس
- ✓ ثبت نتایج در نرم‌افزار مدیریت نگهداری (CMMS) یا فرم‌های کاغذی
- ✓ تعریف برنامه زمان‌بندی برای هر تجهیز (سرویس ماهانه، سه‌ماهه، سالانه)
- ✓ تهیه دستورالعمل‌های تعمیر و نگهداری هر دستگاه از تولیدکننده یا استاندارد
- ✓ استفاده از ابزار پایش وضعیت مانند ترموویژن، آنالیز ارتعاش، آنالیز روغن و...

چالش‌های مهم تعمیر و نگهداری در صنایع

! کمبود نیروی متخصص

! نبود فرهنگ نت در برخی صنایع

! عدم توجه به آموزش‌های به‌روز، برای پرسنل

! عدم برنامه ریزی بودجه کافی برای خرید دستگاه‌ها و تجهیزات پایش وضعیت



* شناخت عیب
* تجهیزات مورد نیاز

مهم ترین راهکار برای کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری

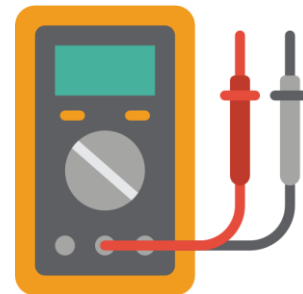
نیروی ماهر و کارآزموده



انجام و انتخاب تست صحیح



دستگاه های اندازه گیری دقیق



تست غیر مخرب (NDT)

تست غیر مخرب NDT (Non Destructive Testing)، روشی صنعتی بدون آسیب زدن به قطعه و سازه می باشد که به وسیله آن قادر خواهیم بود از صحت عملکرد قطعه و سازه در واحد نت در بحث بازرسی و تعمیرات و نگهداری دوره های مطمئن شویم. لذا چون تست غیر مخرب به قطعه صدمه نمی زند باعث صرفه جویی در وقت و هزینه برای انجام تست می شود.

انواع روش ها

- تست چشمی (VT)
- تست مایع نافذ (PT)
- تست مغناطیسی (MT)
- تست رادیوگرافی (RT)
- تست جریان گردابی (ET)
- تست التراسونیک (UT)
- تست اکوستیک امیشن (AME)
- **تست ترمو گرافی (IR)**
- تست نشتی (LT)
- تست موج هدایت شونده (GWT)



تست ترمو گرافی (IR)

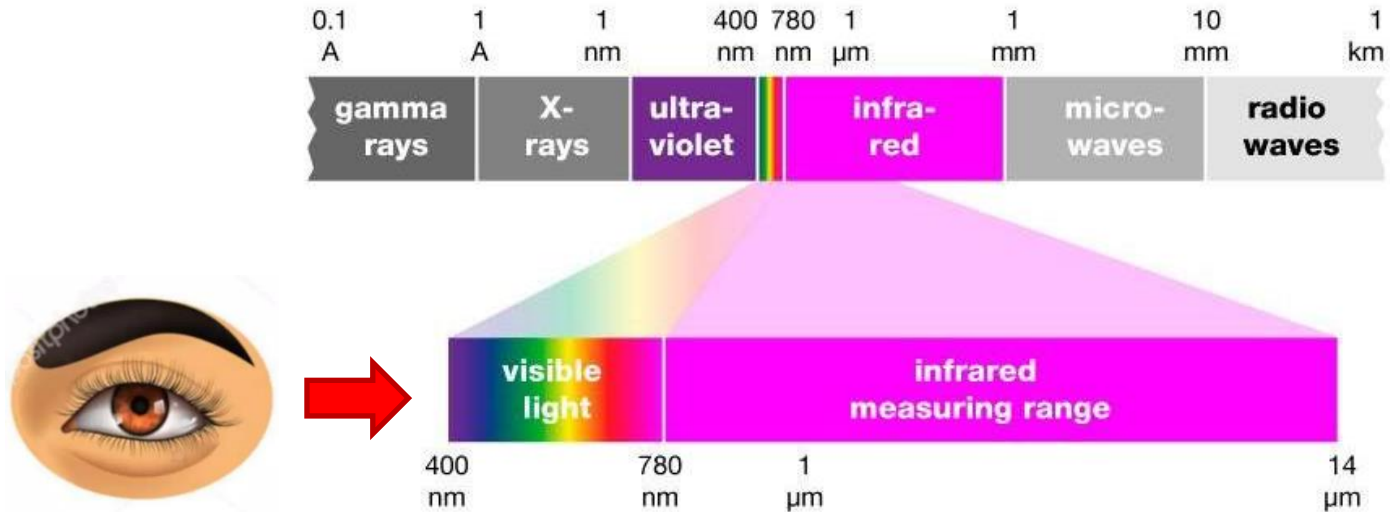
انتقال گرما یا انتقال حرارت: به تبادل انرژی گرمایی میان دو یا چند جسم یا سامانه فیزیکی گفته می شود.
انتقال گرما به سه روش روی می دهد: رسانش، همرفت و تابش.

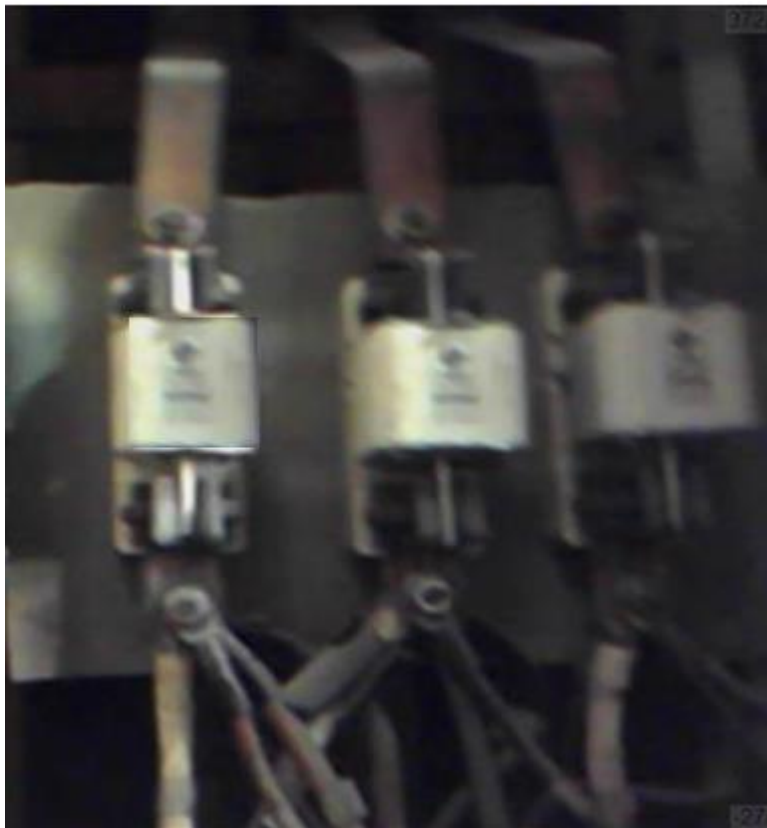
- رسانش یا هدایت: انتقال انرژی بین جسم هایی که در تماس هستند
- همرفت یا جابه جایی: انتقال انرژی به دلیل حرکت شاره (سیال)
- تابش یا تشعشع: انتقال انرژی با تابش پرتوهای الکترومغناطیسی

تابش به انتقال انرژی گرمایی بر اثر تابش پرتوهای الکترومغناطیسی تابش می گویند. همه موادی که دمایی بالاتر از صفر مطلق قرار دارند، پرتوهای الکترومغناطیسی پخش می کنند.



امواج یا تابش‌های مادون قرمز (فروسرخ) یا به اختصار **IR** ، ماهیتی الکترومغناطیسی داشته که بین دو ناحیه امواج رادیویی فرکانس بالا (مایکروویو) و ناحیه مرئی قرار گرفته‌اند. با توجه به طیف الکترومغناطیسی، بدیهی است که طول موج امواج مادون قرمز (**IR**) از ناحیه مرئی بیشتر است و در نتیجه ساختار چشم انسان قادر به تشخیص یا دیدن این امواج نیست.



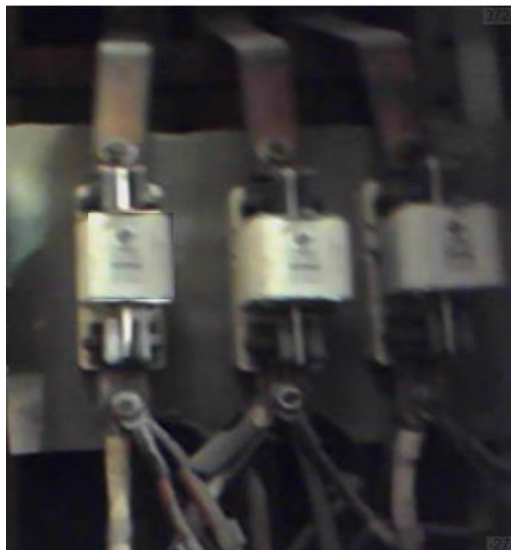


کدامیک از فیوزهای
گرمتر است؟

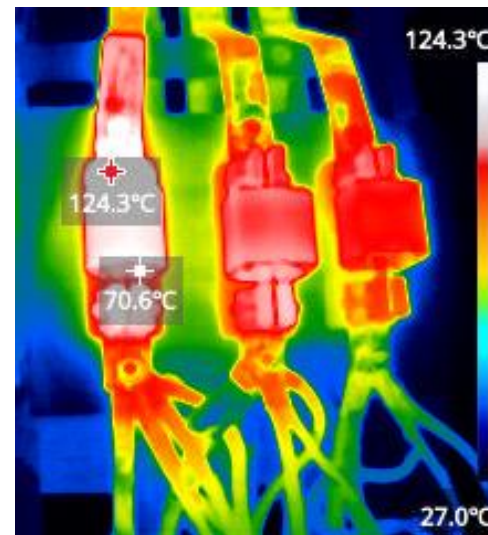


مبدل امواج مادون قرمز به تصاویر مرئی

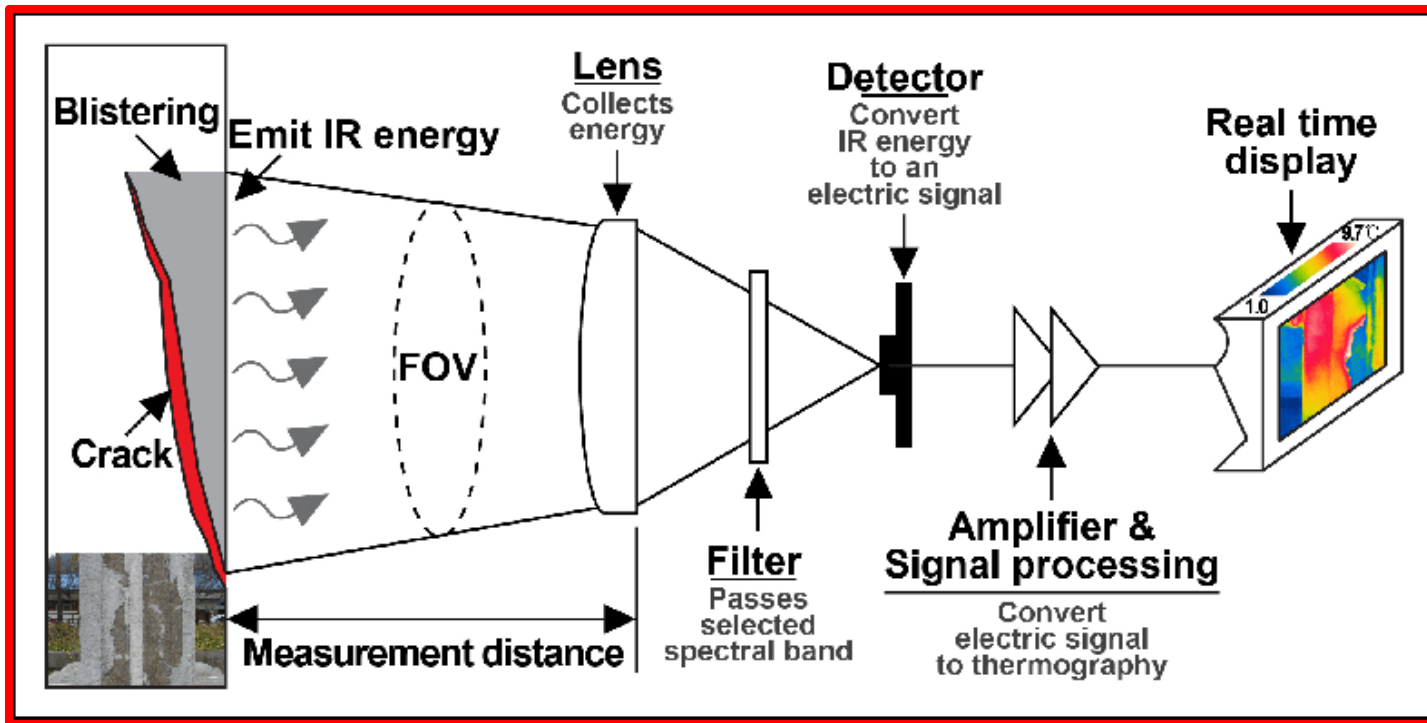
امواج مادون قرمز



تصویر حرارتی



اصول کار دوربین ترموویژن



دلایل اهمیت تست ترموگرافی

- اندازه گیری آن غیر تماسی است و کاربر می تواند با فاصله آن را اندازه گیری کند.
(تجهیزات الکتریکی و.. که خطر تماس دارند و در نقطه امن قرار بگیرد)
- ترموگرافی روی هدف هیچ تأثیری ندارد. (تنها تشعشعات صادره از آن را می بینیم).
- قابلیت دسترسی (اندازه گیری از قطعات متحرک یا دوار امکان پذیر می شود)
- اندازه گیری دما اجسام کوچک (از نظر اندازه و جرم)
- اندازه گیری نقاط زیادی در روی جسم مورد پایش
- اندازه گیری سریع



ثابت گسیلندگی یا ضریب تابشی (Emissivity)

به نسبت انرژی ساطع شده توسط یک سطح به انرژی ساطع شده توسط جسم سیاه که در دمایی یکسان قرار گرفته‌اند، گفته می‌شود که با ϵ نشان داده می‌شود. واضح است که این مقدار همواره بین صفر و یک قرار می‌گیرد. این کمیت به ما نشان می‌دهد که خواص تابشی یک سطح واقعی به چه میزان به جسم سیاه نزدیک است.

[ضریب گسیلندگی برای جسم سیاه برابر با یک است]

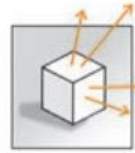
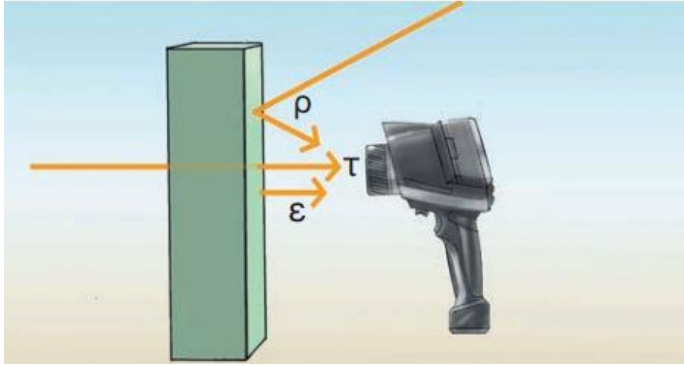
Material (material temperature)	Emissivity
Aluminium, bright rolled (170 °C)	0.04
Cotton (20 °C)	0.77
Concrete (25 °C)	0.93
Ice, smooth (0 °C)	0.97
Iron, emery-ground (20 °C)	0.24
Iron with casting skin (100 °C)	0.80
Iron with rolling skin (20 °C)	0.77
Gypsum (20 °C)	0.90
Glass (90 °C)	0.94
Rubber, hard (23 °C)	0.94
Rubber, soft grey (23 °C)	0.89
Wood (70 °C)	0.94
Cork (20 °C)	0.70

Material (material temperature)	Emissivity
Steel, oxidised (200 °C)	0.79
Clay, burnt (70 °C)	0.91
Transformer paint (70 °C)	0.94
Brick, mortar, plaster (20 °C)	0.93
Radiator, black anodised (50 °C)	0.98
Copper, slightly tarnished (20 °C)	0.04
Copper, oxidised (130 °C)	0.76
Plastics: PE, PP, PVC (20 °C)	0.94
Brass, oxidised (200 °C)	0.61
Paper (20 °C)	0.97
Porcelain (20 °C)	0.92
Black paint, matt (80 °C)	0.97
Steel, heat-treated surface (200 °C)	0.52

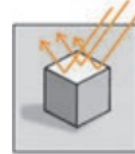
Emissivity/reflected
temperature adjustment

0.01 to 1 / manual

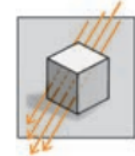
امواج الکترومغناطیس منتشر شده از یک جسم



Emissivity (ϵ)



Reflectance (ρ)



Transmittance (τ)

1. گسیلندگی Emissivity

2. انعکاس Reflectance

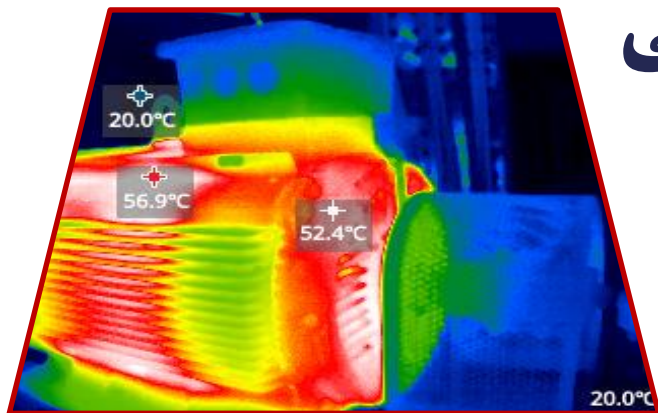
3. انتقال Transmittance

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$



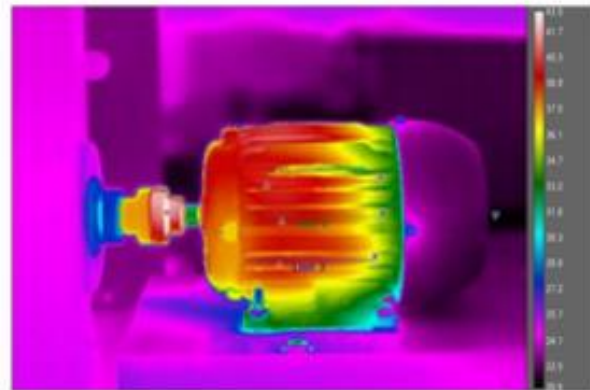
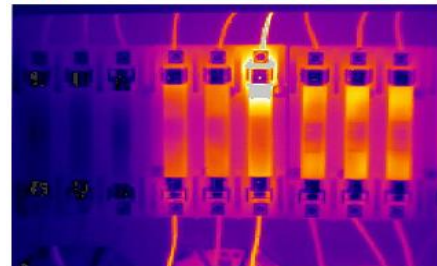
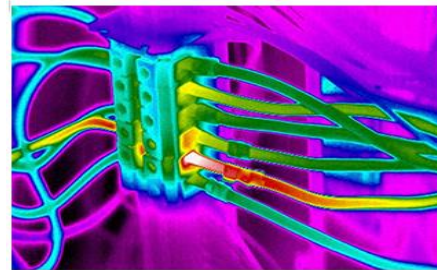
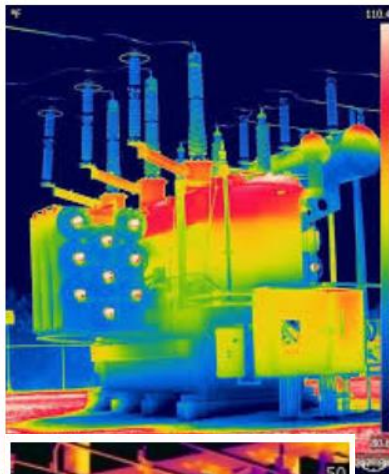
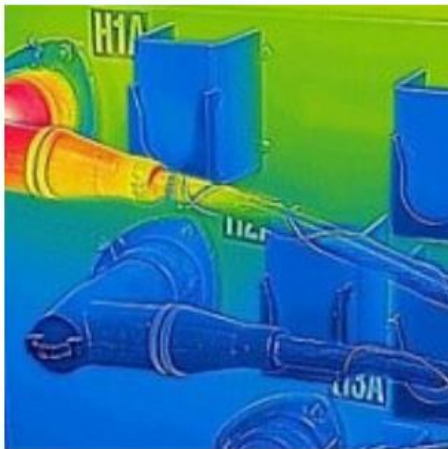
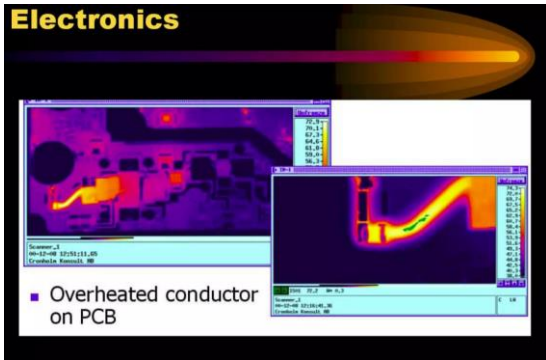
$$\epsilon + \rho = 1$$

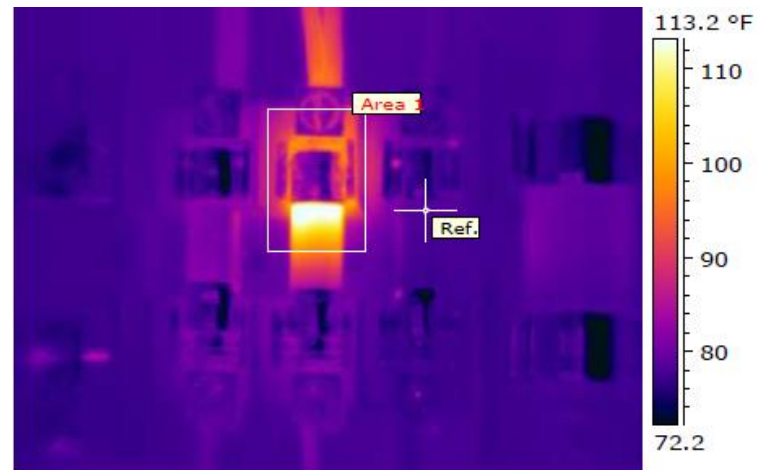
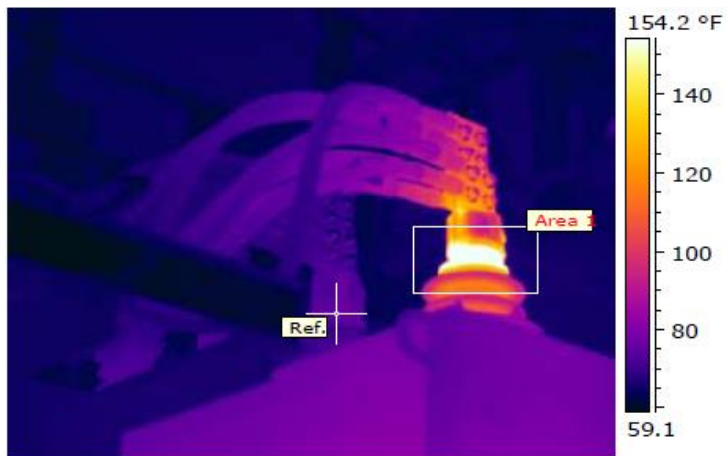
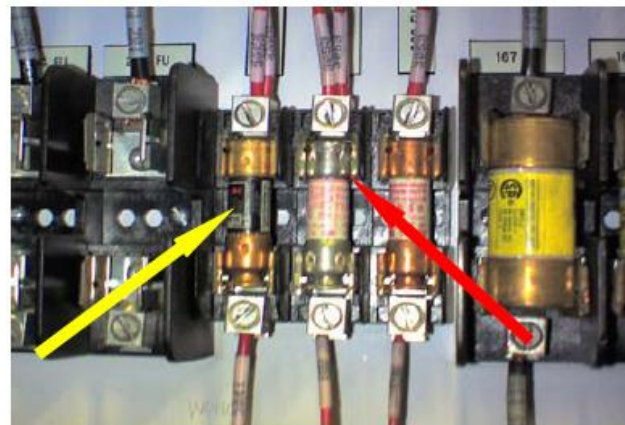
کاربرد تست ترموگرافی (ترموویژن) در سیستم های مختلف صنعتی

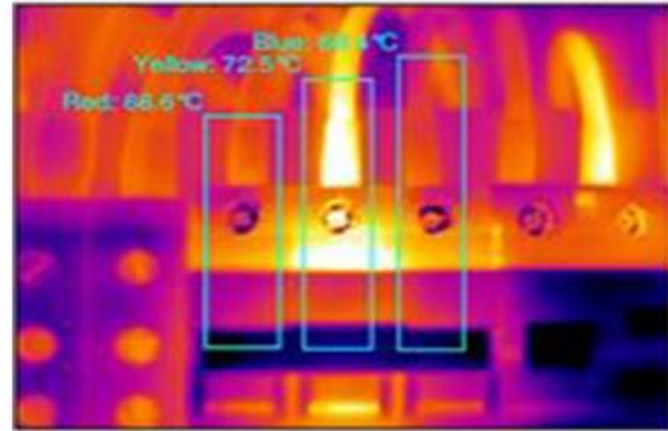


پایش وضعیت سیستم های الکتریکی

- بارهای نامتعادل
- مشکلات هارمونیک
- سیستم بارگزاری شده بیش از حد و عبور جریان بیشتر
- اتصالات سست و خورده شده که باعث افزایش مقاومت در مدار می شود
- خرابی عایق سیم پیچ در موتورهای الکتریکی
- عدم اتصال صحیح به شبکه
- مشکلات کیفیت توان







پایش وضعیت سیستم های الکترومکانیکی

(بازرسی موتورها، پمپ ها، توربین ها، مبدل های حرارتی، جعبه دنده ها و تجهیزات چرخش کم سرعت)

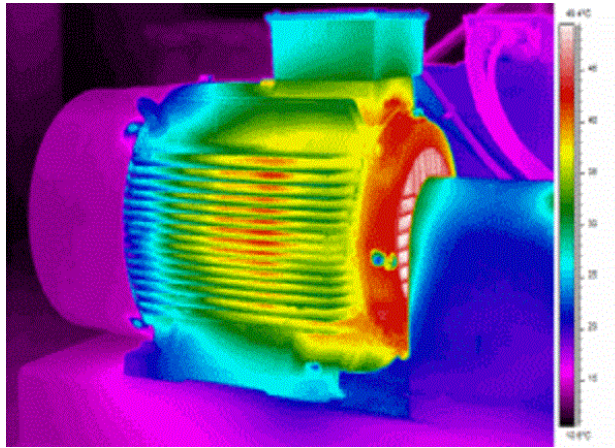
- کاهش جریان هوای گردشی

- مشکلات هم محوری و هم راستایی (الایمنت)

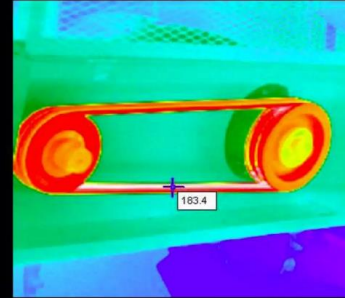
- مشکلات بلبرینگ، بیرینگ و یاتاقان ها

- مشکلات روانکاری

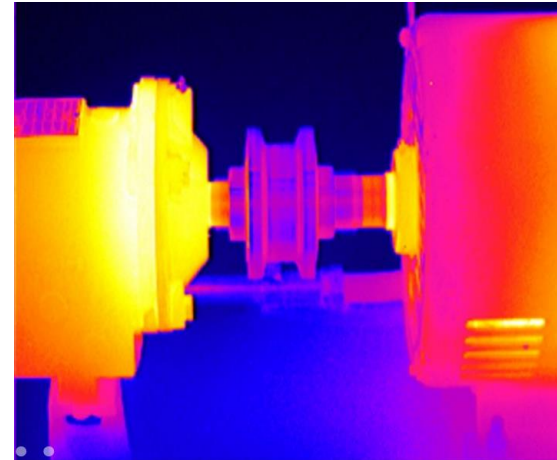
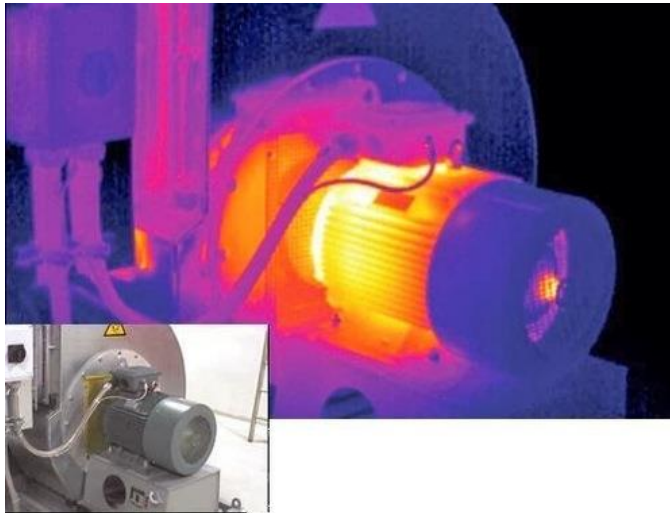
- مشکلات خوردگی چرخ دنده ها

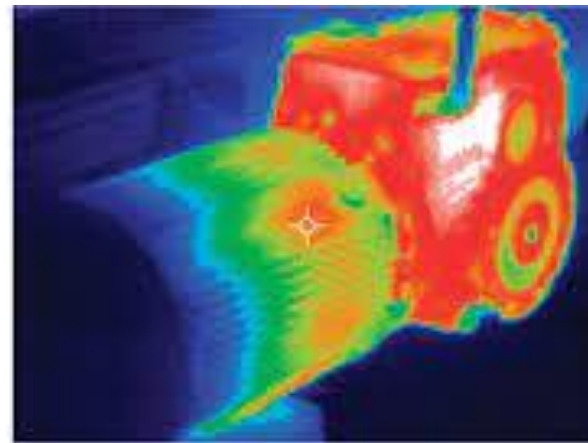
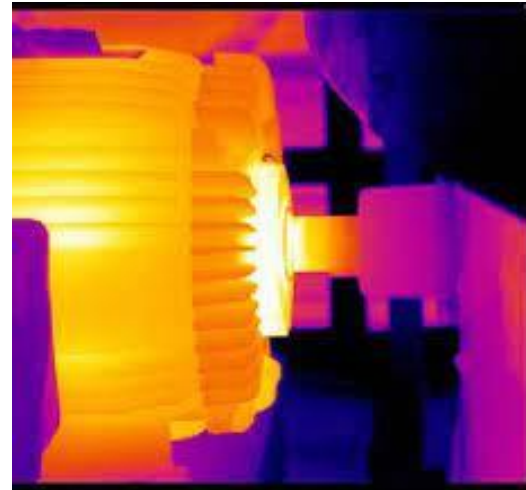
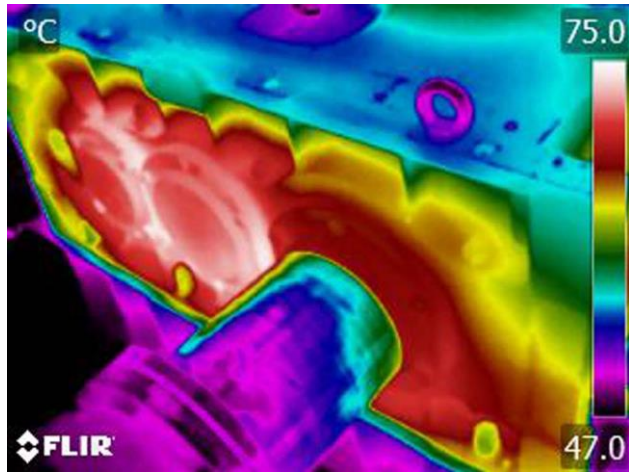


Belt drive



Loose or tight belt heats up abnormally







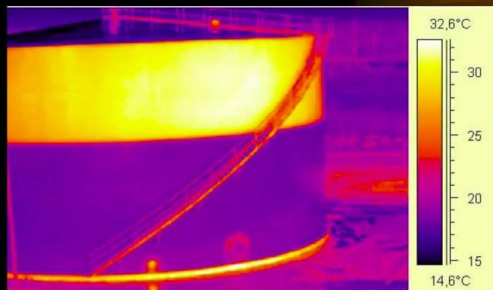
پایش وضعیت سیستم های فرآیندی

- فرآوری نفت و شیمیایی، پالایشگاه، تولید سیمان، پلاستیک یا فولاد
- (برای بازرسی سازه های نسوز، مخازن، سیستم های بخار، کوره ها)
- سطوح جامدات، مایعات یا گازها در مخازن
- فرسودگی، خوردگی و نشتی لوله ها
- شیرآلات و تله بخار معیوب
- عایق نسوز آسیب دیده
- جریان گرما غیرعادی



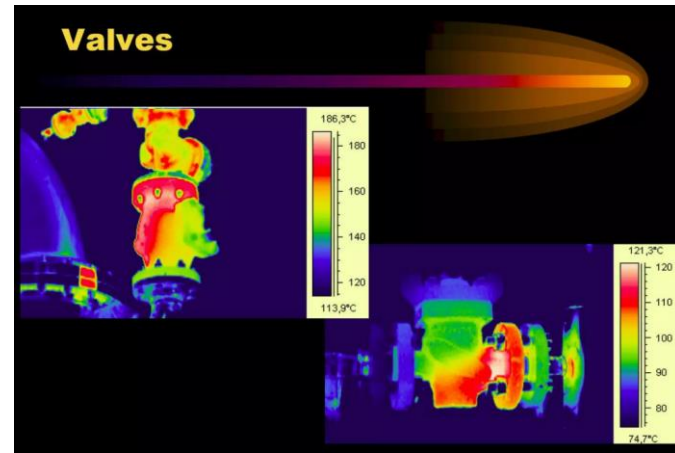
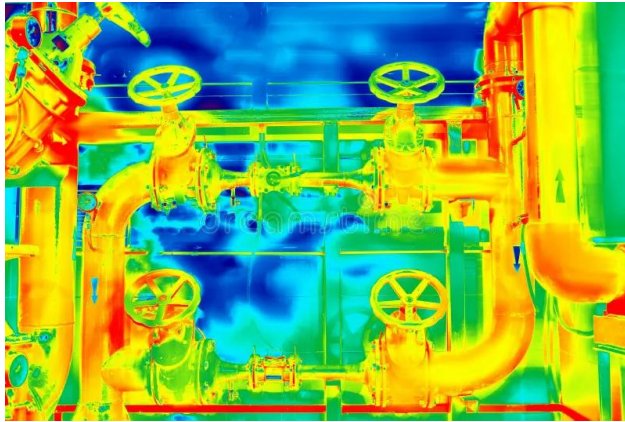
انجمن مدیران صنایع
خراسان رضوی

Tank levels



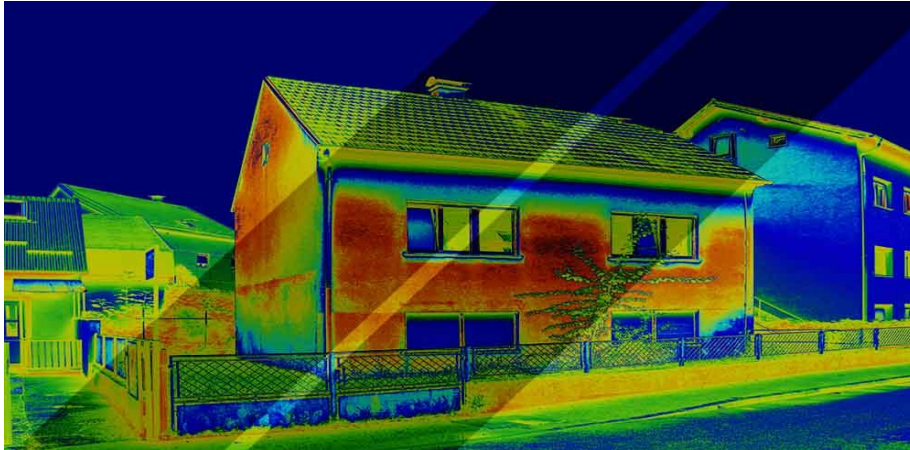
Indicating the fluid level in storage tank





پایش وضعیت ساختمان ها

- عدم نصب صحیح یا از بین رفتن عایق حرارتی
- نشتی هوا در کانال های هوا سازها
- نشتی بخار در لوله ها
- نفوذ رطوبت و آب در دیوارها، سقف ها و.....



مراحل انجام تست ترموگرافی (ترموویژن)

◆ (۱) شرایط محیطی (Ambient Conditions):

دما و رطوبت محیط روی دقت اندازه‌گیری تأثیر دارند. دمای خیلی بالا یا پایین، رطوبت زیاد، یا باد شدید می‌تواند باعث خطا شود.

اگر در فضای باز کار می‌کنید، بهتره صبح زود یا عصر کار انجام شود که تابش خورشید کمتر باشد.

برای سطوح براق بیرونی (مثلاً تابلو برق در فضای باز)، بازتاب نور خورشید باعث ایجاد دمای مجازی (False Hot Spot) می‌شود.

◆ (۲) ضریب تشعشع (Emissivity):

سطوحی با رنگ تیره و مات ضریب تابشی بالایی دارند (نزدیک ۰,۹۵) و دقت بیشتری به شما می‌دهند.

سطوحی مثل آلومینیوم صیقلی یا فولاد ضدزنگ براق ضریب تابشی بسیار کمی دارند و اگر بدون اصلاح از آنها عکس بگیریم، دوربین دما رو به شدت کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد.

برای این سطوح می‌توان از نوار الکتریکی مشکی مات (Electrical Tape) یا رنگ مات به عنوان مرجع ضریب تابشی استفاده کرد.



◆ (۳) فاصله و زاویه تصویربرداری:

فاصله و زاویه مناسب

اگر فاصله زیاد باشد، دقت اندازه‌گیری کاهش می‌یابد.

اگر زاویه دوربین با سطح مورد نظر خیلی مایل باشد، ممکن است بازتاب گرما از سطوح دیگر (مثل نور خورشید یا تجهیزات دیگر) باعث خطا شود.

قانون کلی: تا حد ممکن عمود بر سطح تصویر بگیرید.

◆ (۴) آماده‌سازی سطح:

اگره سطح روغنی، کثیف یا زنگ‌زده باشد، نتیجه دقیق نخواهد بود.

تمیزکاری سطح قبل از تست اهمیت زیادی دارد.

سطوح براق حتما باید با نوار مات یا رنگ مات آماده شوند.

◆ (۵) بار کاری تجهیز:

اهمیت این مورد در تجهیزاتی مثل تابلو برق یا موتورهای بسیار بالایی است.

در حالت بی‌باری، جریان کمی عبور می‌کند و دمای المان‌ها به سطح مشکل‌زا نمی‌رسد.

بهترین زمان تست موتورهای، پمپ‌ها و تابلوها، زمان اوج تولید یا بار کامل کارخانه است.



◆ (۶) فوکوس دوربین:

اگر فوکوس تنظیم نباشد، تصویر تار خواهد شد و نقطه داغ به صورت بزرگ و پخش شده نشان داده می شود که ممکنه دمای واقعی نقطه داغ رو پایین تر یا بالاتر از مقدار حقیقی نشان دهد. **Focus** (فوکوس): تاحد امکان دستی تنظیم شود تا تصویر واضح باشد.

انواع فوکوس در دوربین های حرارتی

۱- فوکوس ثابت **Fixed focus**

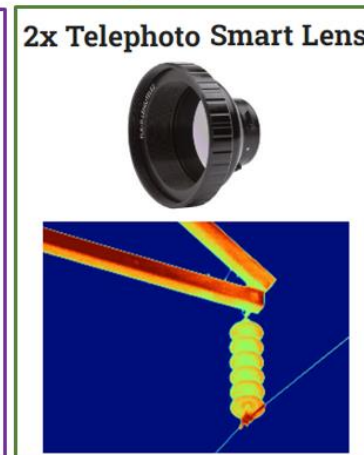
۲- فوکوس دستی **Manual focus**

۳- فوکوس خودکار **Auto focus**

۴- فوکوس خودکار به کمک فاصله سنج لیزری **Laser assisted auto focus**

۵- فوکوس باچند فاصله کانونی **Multifocal image capture**

انواع لنز در دوربین های حرارتی



۷- نکات ایمنی در حین تست

هرگز درب تابلو برق را بدون رعایت نکات ایمنی باز نکنید.

در سیستم های دوار مکانیکی و... فاصله مجاز را رعایت نماید

برای تجهیزات ولتاژ بالا (مثل ۲۰ کیلوولت)، حداقل فاصله ایمنی رعایت شود (طبق مقررات ایمنی برق).

دوربین های با لنز تله فتو مناسب تست از فاصله دور هستند (برای مکان های خطرناک).

استفاده از تجهیزات حفاظت فردی: کفش عایق، دستکش، شیلد صورت، کلاه ایمنی و عینک مناسب الزامی است.

۸- بازرسی دوره ای

اگر بازرسی به صورت ماهانه یا فصلی تکرار شود، می توان روند افزایش دما یا کاهش بازده را تشخیص داد (پایش وضعیت).

این اطلاعات به پیش بینی عیوب و جلوگیری از توقف اضطراری کمک زیادی می کند.

بهتر است همه تصاویر و گزارش ها در پایگاه داده سازمان ذخیره شود.

۹- تحلیل، تفسیر و گزارش دهی

الف. تشخیص نقاط داغ (Hotspot) و نقاط سرد (Coldspot)

معمولاً اختلاف دمای بیش از ۱۰ تا ۱۵ درجه نسبت به قطعات مشابه، نشانه‌ای از مشکل است.

توجه به نقاط اتصال، فیوزها، بلبرینگ‌ها، تسمه‌ها، پمپ‌ها و ... که گرمایش غیرعادی نشانه عیب در آنهاست.

ب. نمونه‌برداری و ثبت دقیق

برای هر تصویر حرارتی یک تصویر واقعی نیز تهیه شود.

موقعیت تجهیز، زمان، دما، نام اپراتور ثبت شود.

فایل‌ها به صورت آرشیو در نرم‌افزار مخصوص ذخیره‌سازی شود

ج. تهیه گزارش نهایی

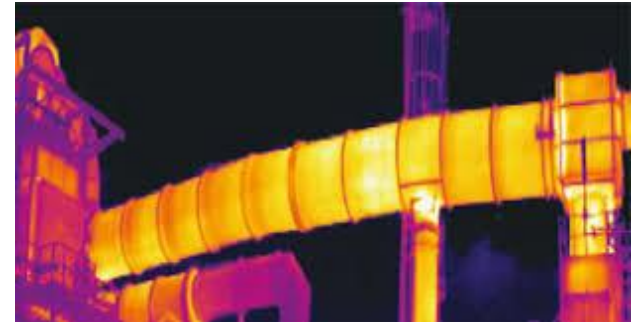
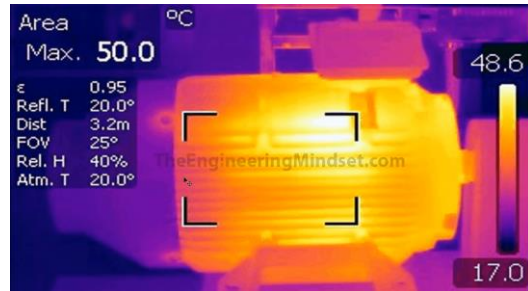
مشخصات تجهیز، وضعیت مشاهده شده تصویر حرارتی و تصویر واقعی

تحلیل دمایی (حداکثر، میانگین، محل دقیق Hotspot)

پیشنهاد اصلاحی (مثلاً تعویض، سرویس، بررسی بیشتر)

تحلیل تصاویر ترموگرافی

- ✧ بررسی نقاط داغ Hot spot یا سرد Cold spot غیرعادی
- ✧ مقایسه با شرایط مشابه یا تجهیزات سالم (مقایسه فاز به فاز یا تجهیز مشابه)
- ✧ تحلیل گراف دمایی: آیا افزایش دما تدریجی است یا ناگهانی؟
- ✧ تعیین شدت و نوع عیب (مثلاً: مقاومت بالا، اتصالات شل، سایش مکانیکی، نشت حرارتی)





تست ترموگرافی

تست در حال کار
(آنلاین)

تست مقایسه ای
(اطلاعات استاندارد و اولیه)

تفسیر نتایج و دسته‌بندی عیوب

❖ عیوب بحرانی (نیاز به تعمیر فوری)

❖ عیوب جدی (نیاز به برنامه‌ریزی تعمیر در آینده نزدیک)

❖ عیوب خفیف (مانیتورینگ مستمر کفایت دارد)

استفاده از استانداردها برای تحلیل و آنالیز ترموگرافی

▪ NFPA 70B

▪ NETA MTS/ATS

▪ IEEE Std 141

▪ ISO 18434-1

▪ ASTM E1934

این استانداردها، حدود مجاز دما و تغییرات آن را مشخص می‌کنند

تحلیل نتایج ترموگرافی

با فرض دقت‌های لازم در انتخاب دوربین مناسب، لنز، دمای پس زمینه، زاویه دید، ضریب تابش و...، برای بدست آوردن نتایج درست و قابل ارجاع، جهت تحلیل نتایج و تصاویر ترموگرافی از دو روش زیر استفاده می‌نماییم:

۱- مقایسه دمای نسبی نقاط مشابه با یکدیگر یا با محیط اطراف

۲- بررسی دمای مطلق تجهیز و اختلاف آن با دمای مورد انتظار

۱) استاندارد NFPA 70B (نگهداری تجهیزات برقی) ✓

این استاندارد یک مرجع اصلی برای پایش وضعیت تجهیزات الکتریکی با ترموویژن است. در NFPA 70B محدوده‌های دمایی به صورت اختلاف دما (ΔT) نسبت به تجهیزات یا فازهای مشابه تعریف شده:

وضعیت	اختلاف دما (ΔT) با تجهیز مشابه
طبیعی → نظارت دوره‌ای	۱ تا $15^{\circ}C$
نیاز به برنامه‌ریزی تعمیر در زمان مناسب	۱۵ تا $25^{\circ}C$
وضعیت بحرانی → نیاز به اقدام فوری	$25^{\circ}C <$

استاندارد (۲) NETA MTS / NETA ATS

این دو استاندارد (Maintenance & Acceptance Testing Specifications) برای تست تجهیزات الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند. طبق NETA:

* اگر اختلاف دمای نقطه داغ با نقاط مشابه 15°C باشد $\rightarrow$ نیاز به بررسی و اقدام.

* اگر $\Delta T > 40^{\circ}\text{C}$ باشد $\rightarrow$ وضعیت بحرانی و اقدام فوری.

اولویت	اختلاف دما با تجهیز مشابه در بار الکتریکی یکسان	اختلاف دما با محیط اطراف	اقدام توصیه شده
۴	۱-۳	۱-۱۰	احتمال وجود عیب - نیاز به کنترل و مراقبت بیشتر
۳	۴-۱۵	۱۱-۲۰	بیانگر وجود عیب احتمالی - درلیست تعمیرات قرار گیرد
۲	۱۶-۲۵	۲۱-۴۰	تحت نظر قرار گرفته - اقدام اصلاحی در اولین فرصت
۱	بیش از ۲۵	بیش از ۴۰	بلافاصله تعمیرشود



IEEE 141 استاندارد (۳) ✓

این استاندارد در بخش تجهیزات قدرت به حداکثر دمای مجاز اتصالات و کنتاکت‌ها اشاره می‌کند:

* برای اتصالات مسی در کلاس عایق ۷۵ درجه $\rightarrow$ دمای سطح نباید از 80°C - 75°C فراتر رود.

* برای تجهیزات با عایق بالاتر (مثلاً کلاس ۹۰ درجه) $\rightarrow$ سطح تجهیز می‌تواند تا 95°C - 90°C گرم شود.

ISO 18434 استاندارد (۴) ✓

استاندارد ISO 18434 توسط سازمان ISO برای راهنمایی در استفاده از ترموویژن به عنوان ابزار تشخیص عیب تجهیزات مکانیکی تدوین شده است.

حوزه کاربرد ISO 18434، یاتاقان‌ها (Ball & Roller Bearings)، شفت و کوپلینگ‌ها، تسمه و پولی‌ها، گیربکس‌ها، موتورهای، پمپ‌ها و فن‌ها و تجهیزات مکانیکی دیگر که افزایش غیرعادی دما می‌تواند نشانه عیب در آن‌ها باشد.

ISO 18434 تأکید می‌کند که معیار پذیرش باید براساس تجهیز مشابه در همان شرایط کاری یا مقادیر پایه **Healthy**

□ عادی ($\Delta T \leq 10^{\circ}\text{C}$)

مشخص شود.

□ نیاز به بازبینی ($10^{\circ}\text{C} < \Delta T < 25^{\circ}\text{C}$)

□ نیاز به اقدام فوری ($\Delta T > 25^{\circ}\text{C}$)

این استاندارد به طور خاص روی این موارد تمرکز دارد:

۱- مقاومت بیش از حد در اتصالات **Loose Connections**

یکی از شایع ترین عیوب: چون اتصال شل باعث افزایش مقاومت نقطه ای می شود → تولید گرما → ریسک آتش سوزی.
• مشخصه در تصویر: نقطه داغ موضعی **Hot Spot** روی یک ترمینال یا سیم خاص.

۲- عدم توازن بار بین فازها **Unbalanced Load**

• اگر یکی از فازها داغ تر از دو فاز دیگر باشد → نشان از مشکل در توزیع بار یا مصرف کننده ها.

۳- فیوز نیم سوز **Blown or Degraded Fuse**

• فیوزی که به طور ناقص سوخته است ممکن است مقاومت بیشتری از حالت عادی داشته باشد و داغ شود.

۴- سایش در کنتاکت ها **Worn Contacts**

• در کلیدها، کنتاکت های معیوب باعث ایجاد نقطه داغ می شوند.

۵- اتصالات ناقص کابل به باس بار یا بریکرها

• یکی از مهم ترین منابع عیوب حرارتی و حوادث برق.

عیوب رایج در تجهیزات مکانیکی

1- کمبود روانکاری در یاتاقانها **Lubrication Failure**

دمای یاتاقان افزایش می یابد → احتمال خرابی زودهنگام.

2- عدم همراستایی شفت **Misalignment**

افزایش حرارت در کوپلینگ یا یاتاقانهای دو طرف شفت.

3- نامیزانی جرم **Imbalance**

افزایش حرارت به دلیل لرزش شدید و اصطکاک اضافی.

4- بارگذاری بیش از حد **Overload**

موتورها و پمپها داغ می شوند حتی اگر قسمت های مکانیکی سالم باشند.

استاندارد ASTM E1934 تأکید می‌کند در تفسیر تصاویر حرارتی تجهیزات مکانیکی باید به موارد زیر توجه کنید:

✓ **مقایسه با دمای مرجع Baseline**

دمای تجهیز مشابه سالم یا دمای نرمال تجهیز در شرایط بار نرمال، به عنوان مرجع باید داشته باشید.

✓ **اختلاف دما بین نقاط مختلف یک تجهیز**

• در یاتاقان، اختلاف دمای بیش از ۱۰-۱۵ درجه نسبت به مرجع یا یاتاقان مشابه نشان‌دهنده مشکل است.

✓ **روند دما در طول زمان Trending**

حتی اگر دما در لحظه از حد بحرانی کمتر باشد، افزایش مداوم در تست‌های دوره‌ای علامت هشدار است.

✓ **توجه به الگوی حرارتی**

الگوی یکنواخت نشانه سلامت است.

• نقاط داغ موضعی روی یک سمت یاتاقان یا بدنه موتور معمولاً نشانگر عیب.

تشخیص عیوب متداول مکانیکی طبق ASTM E1934

✓ عیب: کمبود روانکاری یا خرابی یاتاقان

• دمای موضعی یاتاقان بالاتر از ۱۰-۲۰ درجه نسبت به نرمال → احتمال خرابی یا کمبود گریس.

✓ عیب: عدم هم محوری شفت ها Misalignment

• دمای یاتاقان های دو طرف شفت نسبت به هم متفاوت → نشانه هم راستایی نامناسب.

✓ عیب: بارگذاری بیش از حد Overload

• دمای بدنه موتور یا گیربکس به طور عمومی بالا → بررسی جریان کشی الکتریکی یا سیستم مکانیکی لازم است.

✓ عیب: ارتعاش شدید (Imbalance)

معمولاً به تنهایی باعث دمای بالا نمی شود، اما در صورت ترکیب با کمبود روانکاری یا نامیزانی، نقطه داغ قابل توجهی ایجاد می شود.



◆ مراحل تست ترموویژن از بلبرینگ

۱- آماده سازی و ایمنی

تجهیز باید در وضعیت کاری واقعی (در حال کار و تحت بار) تست شود.
تجهیزات حفاظت فردی (PPE) را بپوشید چون اغلب بلبرینگ‌ها روی تجهیزات چرخان یا در محیط‌های صنعتی نصب هستند.

۲- تنظیمات دوربین

Emissivity: برای سطوح فلزی روغن خورده یا رنگ شده معمولاً بین ۰.۸۵ تا ۰.۹۵ انتخاب می شود.

فوکوس: به دلیل ابعاد کوچک بلبرینگ، فوکوس دقیق الزامی است.
فاصله: تا جای ممکن نزدیک به تجهیز باشید (در محدوده ایمنی) تا رزولوشن تصویر کافی باشد.

۳- تصویربرداری

از هر دو طرف بلبرینگ (در صورت دسترسی) عکس بگیرید.
مطمئن شوید زوایه دوربین عمود بر سطح بلبرینگ باشد تا بازتاب حرارتی به حداقل برسد.

♦ تحلیل نتایج تست بلبرینگ

وضعیت دما	تفسیر	اقدام پیشنهادی
$C \geq 50^{\circ}$	نرمال	نیاز به اقدام خاصی نیست.
$50^{\circ} - C 70^{\circ}$	شروع گرمایش	بررسی شرایط روانکاری، آلودگی یا بالانس تجهیز.
$70^{\circ} - C 90^{\circ}$	دمای هشدار	احتمال کمبود گریس، خرابی ساچمه یا رینگ بلبرینگ → سرویس فوری.
$C < 90^{\circ}$	وضعیت بحرانی	خطر خرابی کامل → توقف تجهیز و تعمیر یا تعویض بلبرینگ

 **نکته مهم:** اختلاف دما بین دو بلبرینگ مشابه در یک تجهیز (مثلاً دو یاتاقان موتور) اگر بیش از $10-15$ درجه باشد، نشانه جدی مشکل است حتی اگر به محدوده‌های بالا نرسیده باشد.

 بلبرینگ تازه روغن کاری شده ممکن است به‌طور موقت دمای کمی بالاتر باشد؛ تفسیر نتیجه باید با در نظر گرفتن وضعیت سرویس اخیر انجام شود.

کلاس حرارتی موتورها (بر اساس IEC / NEMA)

کلاس‌های عایقی سیم‌پیچ موتور:

* کلاس A → تا 105°C

* کلاس B → تا 130°C

* کلاس F → تا 155°C

* کلاس H → تا 180°C

! توجه:

* این اعداد برای دمای سیم‌پیچ داخلی است، دمای پوسته موتور معمولاً $30-20$ درجه کمتر از دمای سیم‌پیچ خواهد بود.

* دمای بیش از $90-80^{\circ}\text{C}$ روی سطح پوسته موتور نشانه‌ی احتمال مشکل (مثل تهویه نامناسب یا اضافه بار) است.

دستورالعمل‌های سازندگان (Manuals) ✓

تقریباً همه تجهیزات صنعتی (مانند درایوها، اینورترها، تابلوها) در دفترچه راهنما محدوده دمای مجاز خود را تعریف کرده‌اند. همیشه بهترین مرجع برای هر تجهیز خاص دستورالعمل سازنده است.



جمع‌بندی سریع

تجهیز	دمای بحرانی طبق استانداردها/تجربه
کلیدها و اتصالات برقی	$C (NETA) 40^{\circ} < \Delta T 25^{\circ} (NFPA 70B) یا C$
سطح پوسته موتور	$80-90^{\circ} < C$
دمای سیم‌پیچ موتور	بیش از حد کلاس عایق (F=155, B=130)
روغن ترانسفورماتور روغنی	$95-105^{\circ} < C$
یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌ها	$90-100^{\circ} < C$
تسمه‌های کوپلینگ	دمار کار عادی ۳۰ تا ۶۰ سانتی گراد (بیش از ۸۰ نشانه عیب)
درایوهای صنعتی (کنترل دور)	دمای کار عادی ۰ تا ۵۰ سانتی گراد
قطعات الکترونیک قدرت (دیود و..)	۴۰ تا ۶۰ سانتی گراد

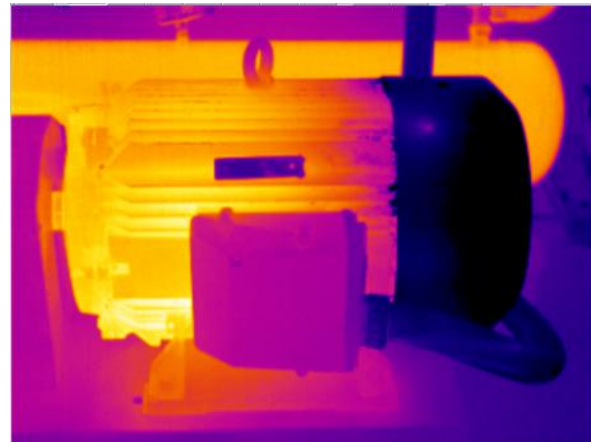
اختلاف دما با تجهیز مشابه در بار الکتریکی با شرایط کاملاً یکسان



40 - 41 C°



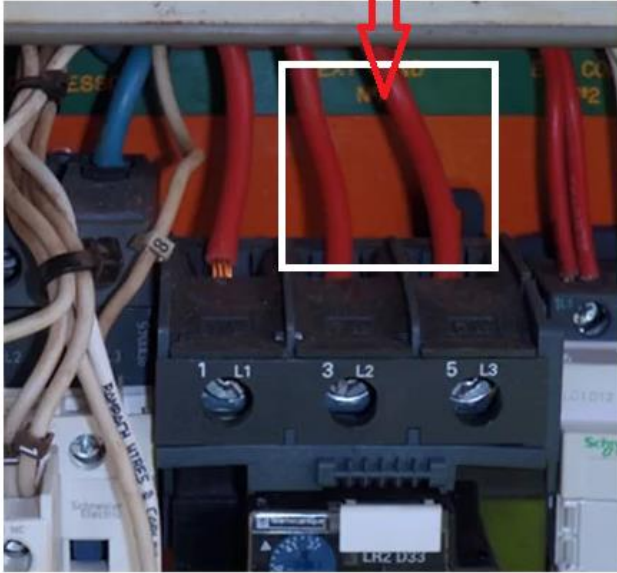
55 C°



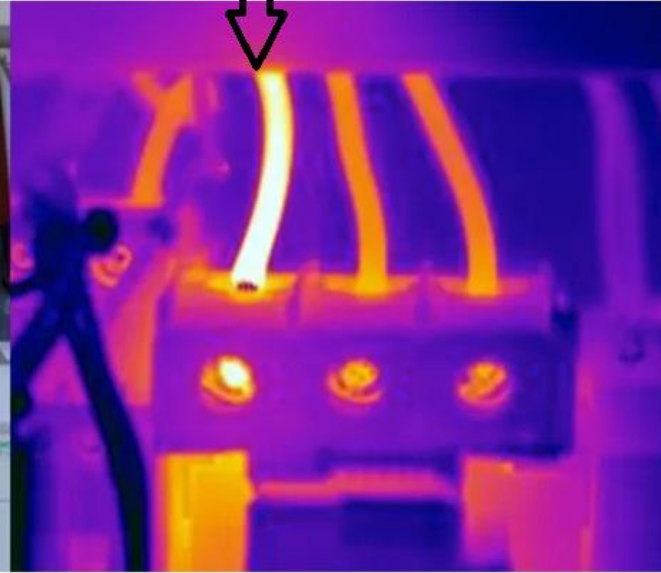
اختلاف دما با تجهیز مشابه در بار الکتریکی با شرایط کاملاً یکسان



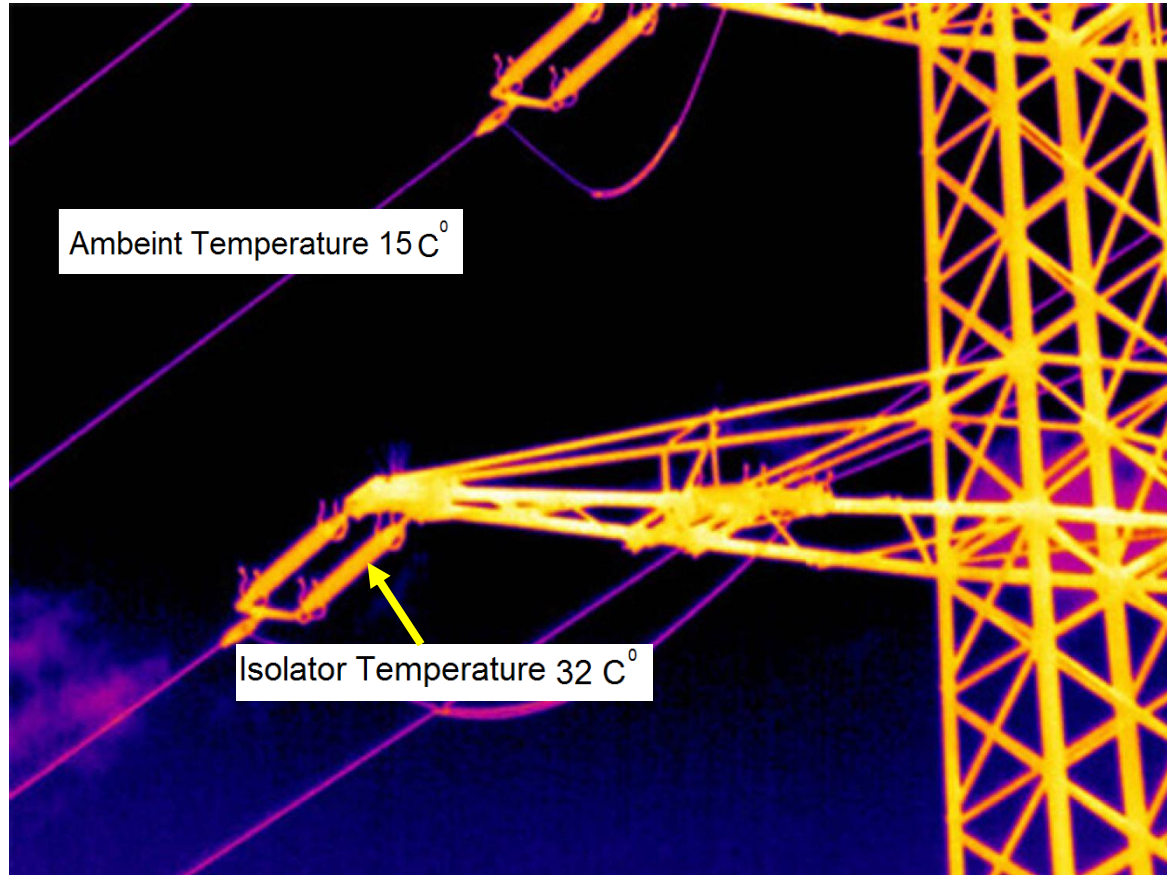
32 - 34 C⁰



40 C⁰



اختلاف دما با محیط اطراف





—بررسی دمای مطلق تجهیز و اختلاف آن با دمای مورد انتظار

در این روش دمای مورد انتظار تجهیز بر اساس جنس آن و میزان بار آن محاسبه می گردد، سپس اختلاف دمای اندازه گیری شده با دمای محاسبه شده، سنجیده شده و با استفاده از جداول استاندارد تعیین وضعیت می گردد.

$$\text{Maximum Allowable Temperature} = \text{Rated Ambient} + \text{Rated Rise}$$



Full Load

Conductors (lowest temperature criteria)

Ambient / Rated Rise / Maximum

Bare conductors , in free air	55/25/80
Bare conductors, in enclosure	40/30/70
Bare conductors, enclosure surface	40/20/60
Insulated conductors , in free air	30/30/60
Insulated conductors, in enclosure	30/30/60
Insulated conductors, enclosure surface	30/20/50
Insulated conductors, in sun	50/10/60



Full Load

AC Motors, Field Windings

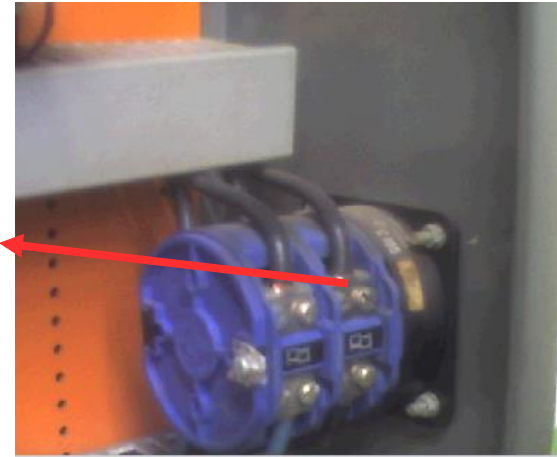
1.00 SF, class A	40/60/100
1.00 SF, class B	40/80/120
1.00 SF, class F	40/105/145
1.00 SF, class H	40/125/165
1.15 SF, class B	40/90/130
1.15 SF, class F	40/115/155

Note: Casing temperatures may be lower than these specified windings temperatures.

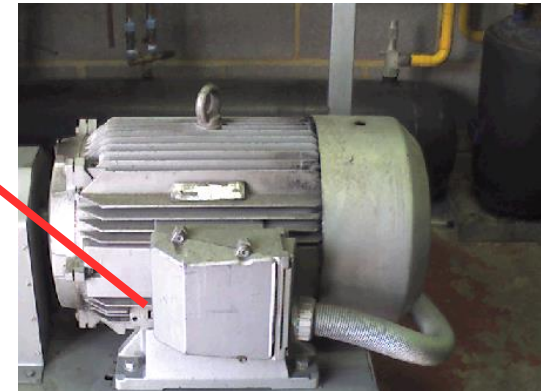
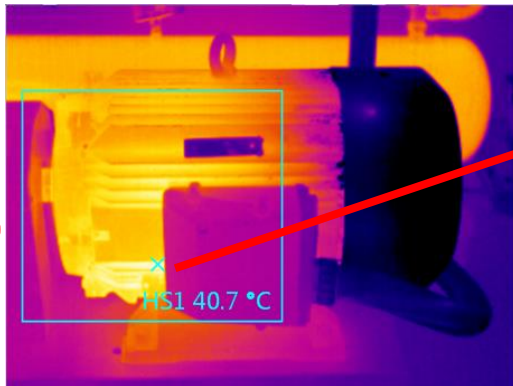


نکته مهم در تست ترموگرافی

در پایش وضعیت تصاویر حرارتی که به کمک دوربین ترموویژن یا نرم افزار ثبت شده است، **حتما مکان و نقطه شروع گرما** را جستجو کنید. این مکان دارای **دمای بالاتری** از بقیه نقاط خواهد بود.

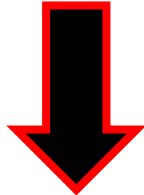


گرمترین نقطه



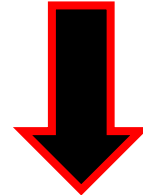
گرمترین نقطه

دلایل افزایش دما در سیستم های الکترومکانیکی و الکتروموتورها



مشکلات مکانیکی

* اصطحکاک بیش از حد



مشکلات الکتریکی

* افزایش جریان الکتریکی
(اندازه گیری جریان سیستم)

* وجود هارمونیک
پایش وضعیت و اندازه گیری
هارمونیکها

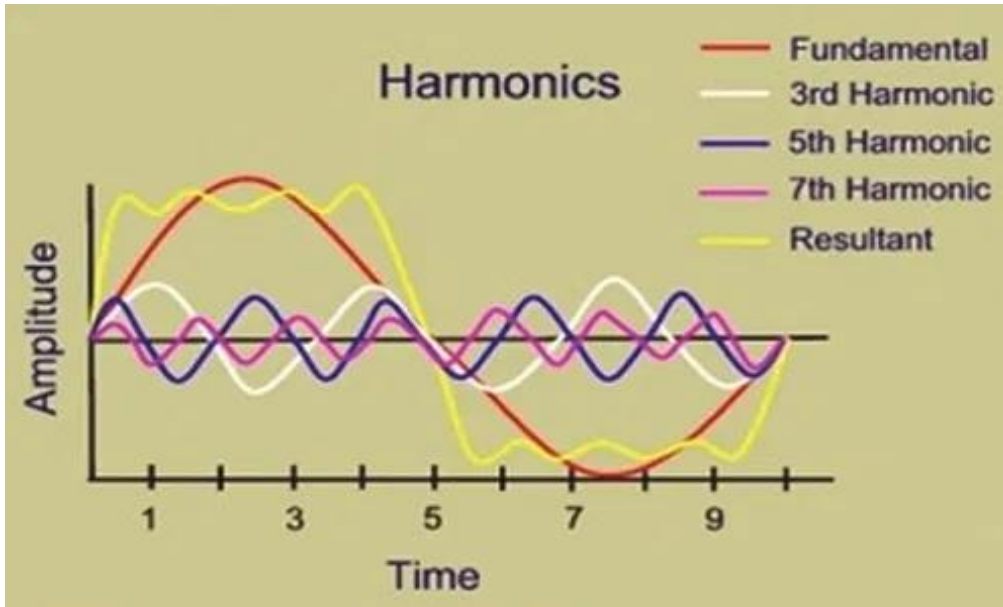
* اتصالات سست و ناقص

حرارت ایجاد شده در اثر عبور جریان الکتریکی

$$Q = k.R.I^2.t$$

هارمونیک (Harmonics)

در یک سیستم قدرت الکتریکی، هارمونیک شکل موج ولتاژ یا جریان، یک موج سینوسی است که فرکانس آن مضربی صحیح از فرکانس اصلی است.



$$f_{rms} = \sqrt{f_{1rms}^2 + f_{2rms}^2 + f_{3rms}^2 + \dots}$$

$$f_{rms} = i_{rms} \quad f_{rms} = V_{rms}$$

عمده ترین بارهایی که هارمونیک ها را تولید می کنند، بارهای غیر خطی هستند.

- بوبین ها

- یکسوکننده ها

- ترانسفورماتورها

- دستگاه های UPS

- کوره های با قوس الکتریکی و القایی، دستگاه جوش



-اتصال نیروگاه های خورشیدی به شبکه

-مبدل های AC/DC و DC/DC

درایو موتورهای الکتریکی و مدارهای کنترل دور.

-منابع تغذیه سوئیچینگ تک فاز در مصرف کننده های مدرن الکترونیکی مانند تلویزیون، ویدئو،

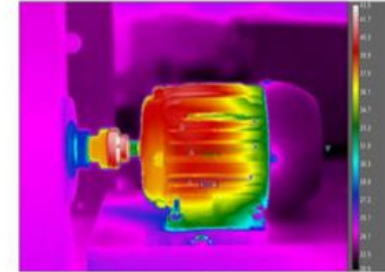
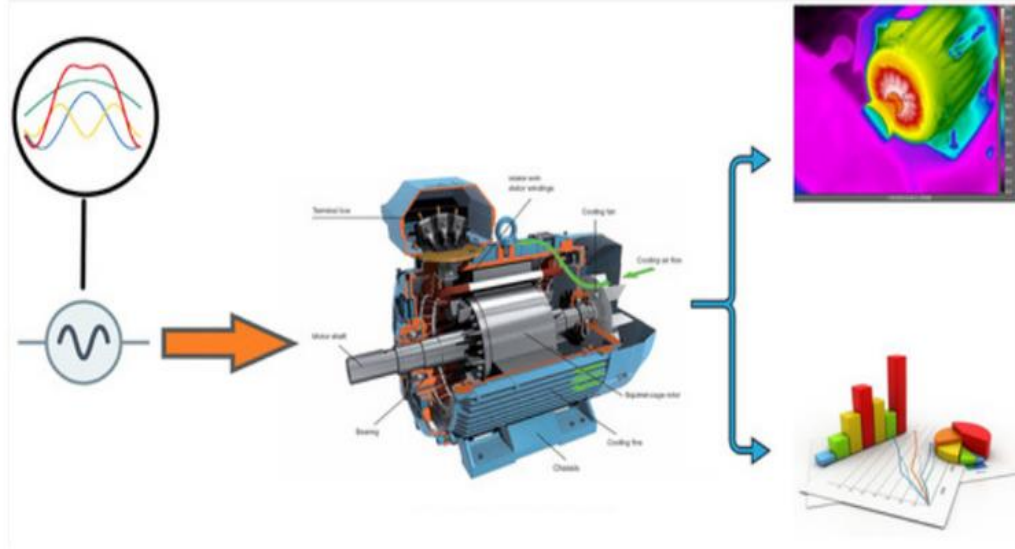
کامپیوتر، مانیتور، چاپگر، فاکس، بالاست های الکترونیکی، لامپ های کم مصرف (LED)

تأثیر امواج هارمونیک

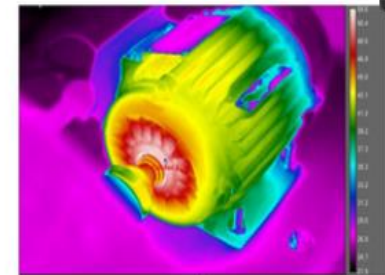
افزایش تلفات ماشین های الکتریکی (موتورها- ترانسفورماتورها- ژنراتورها)

$$\Delta P_{fe} \propto f^2 \rightarrow Q \uparrow$$

$$\Delta P_{fe} \uparrow \Rightarrow \Delta P \uparrow \Rightarrow \eta \downarrow$$

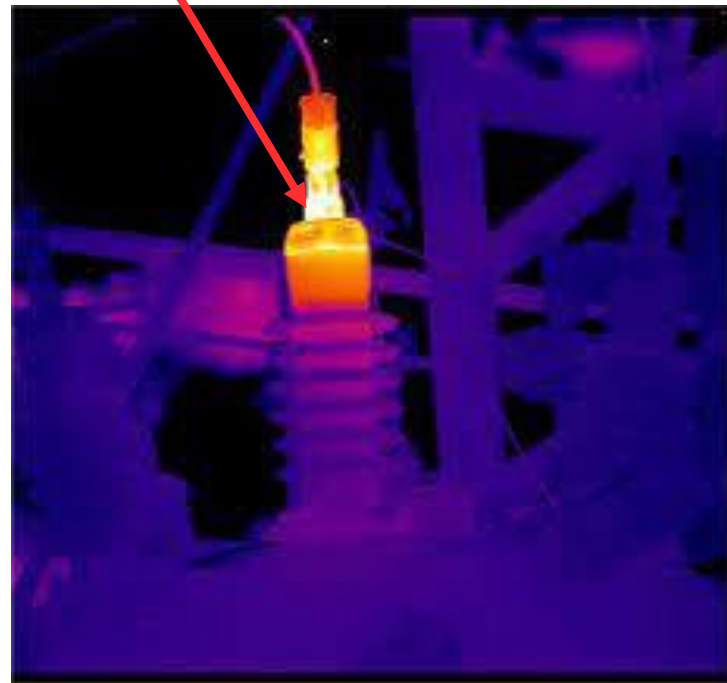
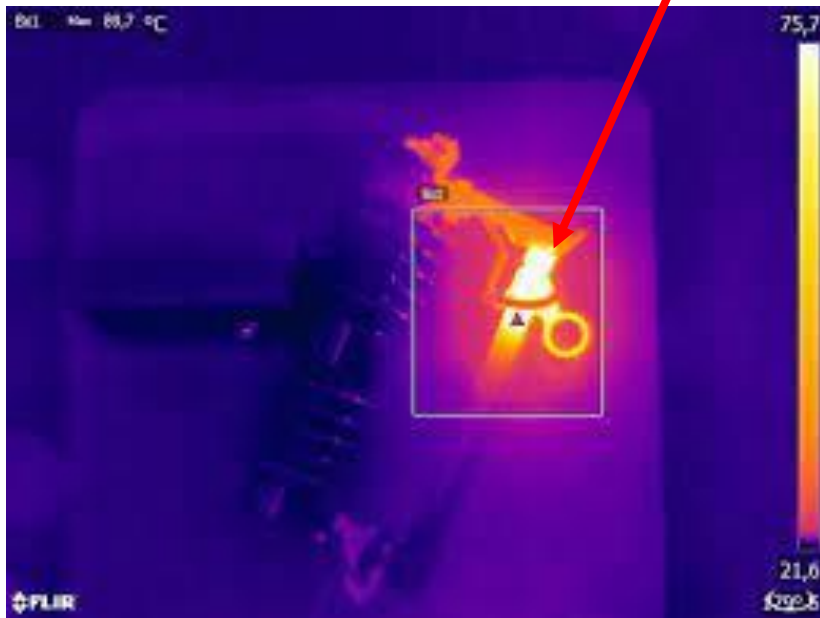


(a)



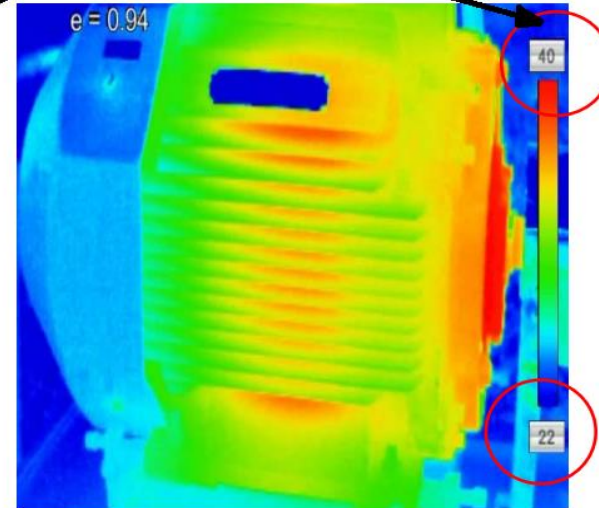
(b)

اتصالات سست و ناقص





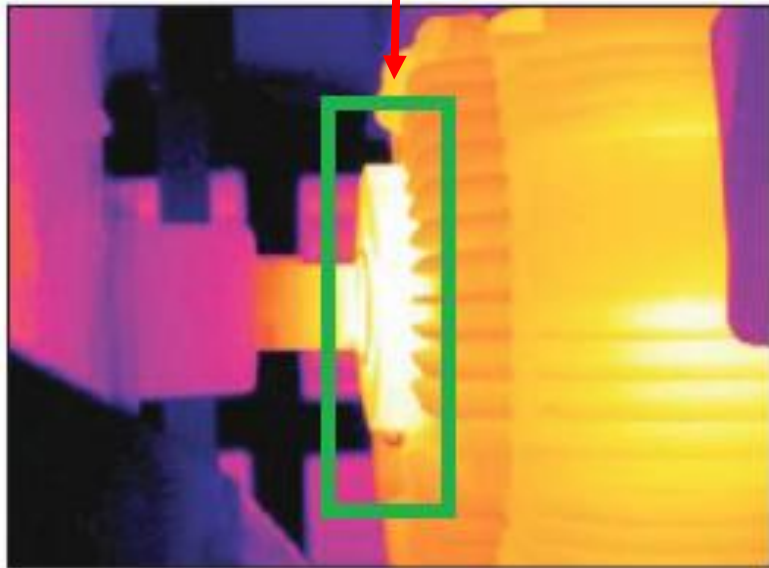
Before Lubrication



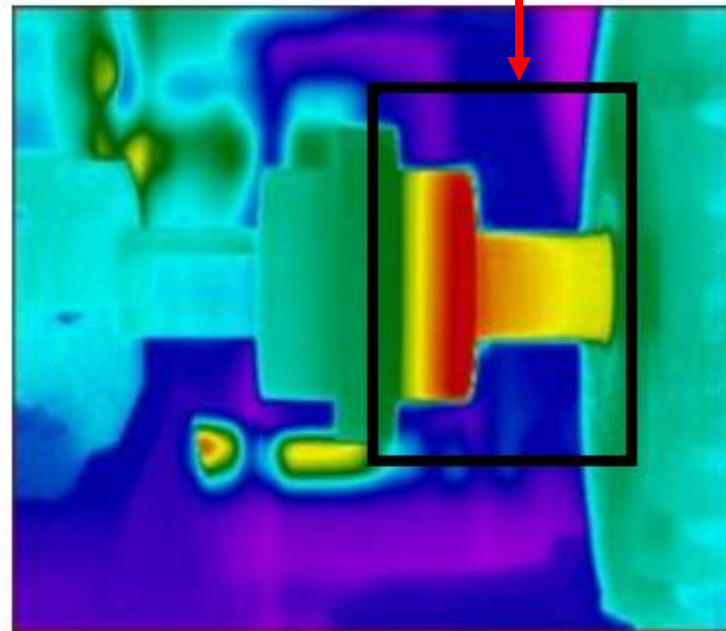
After Lubrication

کاهش دمای کاری یک الکتروموتور با روانکاری صحیح و تست غیر مخرب ترموگرافی

افزایش دمای بلبرینگ بدلیل روانکاری بیش از حد



افزایش دمای موتورالکتریکی بدلیل عدم هم محوری
وراستایی (Misalagnment)



از توجه و حضور شما سروران گرامی

سیاسگزارم