# کاربرد سیستمهای ترموگرافیك مادون قرمزدرتعمیرات و بازرسیهای فنی شبکه‌های توزیع‌نیرو

نورالدین پوستی - شرکت مهندسی سنس

## ۱ - مقدمه

امروزه استفاده از خدمات عکسبرداری بکمك اشعه مادون قرمز (Infrared Thermography) تقریبا" در کلیه صنایع بنحوبی سابقه‌ای توسعه یافتهطوریکه درحال حاضرهیچ صنعتی رانمی‌توان یافت که ازاین خدمات بی‌نیاز باشد.

طبق آمارمنتشرهواطلاعات موجود درحال حاضر عکسهای حرارتی (Heat Pictures) پیشرفته ترین و کارآمدترین ابزارکاردربرنامه‌های تعمیراتی و بازرسیهای فنی اکثرصنایع خصوصا" صنعت برق میباشد. باتوجهباینکه درشبکه‌های برق (تولید - انتقال - توزیع)عموما" عبورجریان و ایجادحرارت دوعامل لاینفك بوده‌ونقاط ضعیف شبکه‌هابا عبورجریان بیش از قسمتهای دیگر گرم میشوند، لذا ایجادحرارت میتواند بعنوان پایه و اساس دربررسی عیوب شبکه‌ها مورداستفاده قرارگرفته و بهترین راهنما جهت ارزیابی و ضعیت آنها باشد.

عکسبرداری بطریقه ترموگرافیك وتجزیه‌وتحلیل عکسهای حرارتی حاصل نقاط ضعیف شبکه‌هاراکه‌با چشم غیر مسلح قابل تشخیص نمیباشندبخوبی نشان دادهوازاین راه صرفه‌جوئی قابل توجهی دروقت و هزینه‌ها بعمل می‌آورد. خلاصه‌آنکه اطلاع ازاجزاءقطعات ضعیف شبکه‌هایانتقال و توزیع‌و مرمت وتعمیرویاتعویض بموقع آنهاکه‌بهرحال د ر صورت عدم توجه درآینده‌دوریانزدیك به‌عیوب عمده‌ای منجرمیشوندمیتوانندرتقلیل خاموشیهای غیرمترقبه نقش ارزنده‌ای ایفا نمایند.

## ۲ - تاریخچه عکسهای حرارتی مادون قرمز

درنیمه قرن نوزدهم ویلیام هرشل (Sir William Herschel) برای اولین بارموفق بتهیه‌ترموگرام یا عکس حرارتی گردید. لیکن این پدیده‌تا مدتها‌بدون پیشرفت قابل توجهی باقی‌ماند تا اینکه درسال ۱۸۸۰ ومتعاقبا "در سال ۱۸۹۲ پیشرفتهای قابل توجهی دراندازه‌گیری درجه حرارت توسط عکسبرداری حرارتی پدیدآمد. بطوریکه در این زمان‌امکان اندازه‌گیری درجه حرارت یکشیء جود زنده از فاصله ۴۰۰ متری بادقت قابل قبول میرگشت. درطی‌جنگ جهانی استفاده از دانش ترموگرافیك بیشترمنحصربه‌کاربردهای نظامی و تسلیحاتی گردید بطوریکه درطی جنگ جهانی دوم بوسیله دوربینهای ترموویژن مقدماتی امکان ردیابی هواپیما درفاصله ۱/۵ کیلومتری مقدورگشت.

درسال ۱۹۶۰ پس از دوده تحقیق وبررسی مداوم سرانجام کاربردعملی‌واقتصادی پدیده‌ترموگرام ظاهر گشت.در این زمان برای تهیه یك عکس حرارتی بیش از ۱۰ دقیقه وقت موردنیازبودوبعلاوه تصاویر حاصل از دقت عمل کافی‌برخوردار نبودند که این امرخودتجزیه‌وتحلیل عکسهارادشوارودربعضی‌مواردغیرممکن میساخت وباعث محدودیت درکاربرد آنها میگردید.

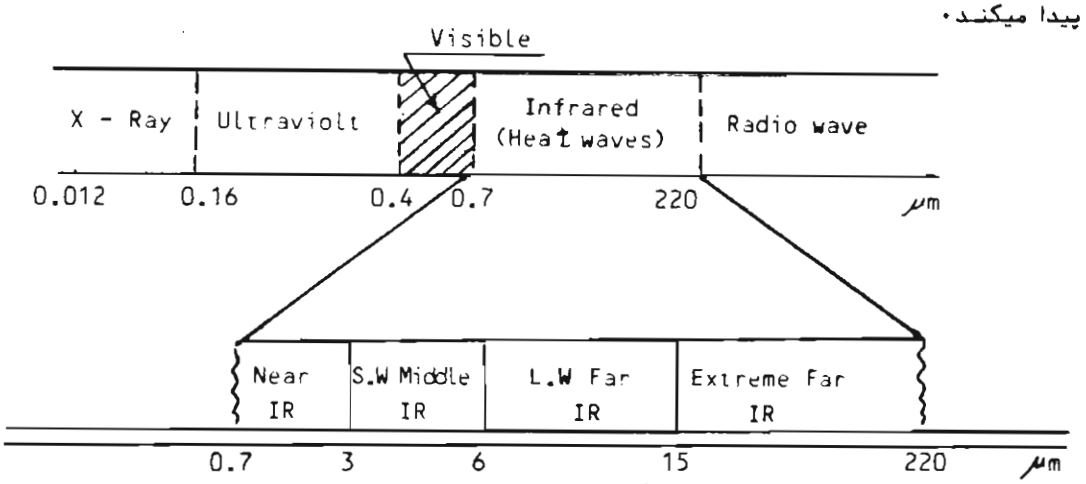
پس از گذشت ۱۰ سال اولین سیستم عکسبرداری ترموگرافیك که از نیتروژن مایع جهت خنك کردن سنسورهای آن استفاده میشد ابداع گردید. این سیستم که بصورت دوربین نسبتا" بزرگی ساخته میشد درحدود ۴۰ تا ۵۰ کیلوگرم وزن‌داشت. وزن زیاد دستگاه عملا" حمل و نقل و استفاده‌ازآنهارادرمحلهای موردنیازمحدودمیساخت و بعلاوه‌اینگونه دوربین‌ها نیازبه برق شهر داشتند که این خود درکاربرد آنها ایجاد اشکال می‌نمود.

درسال ۱۹۷۵ عکسبرداری ترموگرافیك ازنظر تکنولژی ساخت و تکنیك کاربرد وارد مرحله جدیدی گردید. دراین زمان وزن دوربین و ملحقات آن به حدود ۱۵ کیلوگرم کاهش یافت و بجای استفاده ازبرق شهر ازباطریهای نیکل ـ کادمیوم استفاده نمود. دراین نسل از دوربینها اگرچه درجه حرارت بخوبی و بادقت اندازه‌گیری میشد معذالك برای اندازه‌گیری درجه حرارت مطلق نیاز به یك منبع مقایسه خارجی غیرقابل اجتناب بود.

طی چندسال اخیربکارگیری دتکتورها و سنسورهای بسیارحساس که از ترکیبات جیوه و کادمیوم ساخته میشوند ونیز استفاده ازکامپیوتر وقدرت ضبط تصاویر روی نوارهای ویدئو باعث پیشرفت فوق العاده درتکنولژی ساخت و کاربرد دستگاههای ترموگرام گردید. هم اکنون علاوه‌برسیستم خنك کننده نیتروژن مایع‌که درساخت آن نسبت به‌طرحهای اولیه تغییرات کلی حاصل گردیده از سیستم ترموالکتریك (Thermoelectric) نیز جهت خنك کردن دتکتورها استفاده میشود و مضافا" منبع مقایسه درجه حرارت نیز بصورت Built-in Blackbody در داخل دوربینهای ترموویژن تعبیه میگردد.

## ۲ ـ طیف اشعه مادون قرمز

معمولا" طیف امواج الکترومغناطیس (Electromagnetic Spectrum) کم و بیش بصورت دلخواه با طول موجهای مختلف تقسیم میگردد. این تقسیمات از اشعه گاما تاامواج رادیوئی طبق شکل شماره (۱) امتداد پیدا میکند.




شکل شماره (۱) طیف امواج الکترومغناطیس و مادون قرمز

طیف اشعه مادون قرمز (infrared) خود به چهار باند زیرقابل تقسیم است.

- طیف مادون قرمز نزدیك از ۰/۷ تا ۳ میکرون
- طیف مادون قرمز میانی از ۳ تا ۶ میکرون
- طیف مادون قرمزدور از ۶ تا ۱۵ میکرون
- طیف مادون قرمز فوق العاده از ۱۵ تا ۲۲۰ میکرون

اگرچه طول موجهای ۲ تا ۱۲ میکرون میتوانند توسط ابزارهای ترموگرافیك ردیابی گردند معذالك محدوده عمل دوربینهای ترموویژن از ۲ تا ۵ میکرون میباشد که بنام باند مادون قرمز حرارتی (Thermal Infrared)نامیده میشود. درحقیقت عکسبرداری حرارتی براساس تفاوت بین خاصیت جذب و نشر تشعشع حرارتی سطوح مختلف انجام میپذیردوبستگی به انعکاس طول موجهای بسیارکوتاه اشعه مادون قرمزداردکه توسط منابع خارجی مثل خورشید که از اجسام موردعکسبرداری بسیارگرمتر است ، حاصل میگردد.

---

واحدهای اندازه‌گیری طیف امواج الکترومغناطیس بصورت زیراست :

10,000A(Angstroms)= 1000 nm(Nano meters) = 1$\mu$m(Micro meters) = 1$\mu$(Micron) = $10^{-4}$Cm.

درعکسبرداری حرارتی معمولا" دوعامل دقت عمل(Degreeof Accuracy) و حساسیت (Sensitivity) اهمیت فوق العاده دارد. زیرادرغیراینصورت کیفیت پائین عکسهای حرارتی امکان تجزیه و تحلیل را از آنها سلب نموده وچه بسا نتایج حاصل باواقعیت امرمطابقت ننماید.

دقت عمل صد در صد هنگامی است که جسم سیاه (Blackbody) باضریب تشعشع (تابش نسبی) صد درصد در فاصله یك متری و در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتیگرادقرارداشته باشد. لیکن درعمل درجه حرارت محیط ، فاصله وضریب تشعشع اجسام مختلف دقت عمل را بنحو قابل توجه‌ای تحت تاثیر قرارمیدهد. معذالك امرزه دوربین های ترموویژن قادرند درجه حرارت نقاط مختلف یك جسم را باتقریب یکدهم درجه سانتیگراد اندازه گیری نمایند.درخصوص حساسیت باید توجه داشت که با بالارفتن درجه حرارت میزان حساسیت نیز افزایش می‌یابد و بهمین سبب بهترین مواقع استفاده از دوربین های ترموویژن جهت بررسی شبکه‌های برق درطول روز می‌باشد.

۴ - اصول و نحوه کار سیستمهای ترموگرافیك

معمولا" یك دوربین ترموویژن بطورخلاصه از قسمتهای زیرساخته شده است :

۱ - اسکنر الکترو اپتیك ( شامل رفلکتورها )

۲ - دتکتور مادون قرمز

۳ - سیستم کنترل الکترونیکی و مایکرو پروسسور

۴ - سیستم خنك کننده

۵ - لنزها و فیلترها

۶ - منبع مقایسه درجه حرارت مطلق

یك سیستم ترموویژن معمولا" انرژی تشعشعی اجسام را که بصورت امواج الکترومغناطیس ساطع میشوند به سیگنالهای ویدئو - الکترونیکی تبدیل مینماید. این سیگنالها پس از تقویت به قسمت ویدئو دوربین منتقل گردیده و درآنجا پس از تقویت مجدد بصورت تصاویرواضح در روزنه چشمی دیده میشوند. سیگنالهای ویدئو- الکترونیکی ممکن است توسط یك کابل اتصال به دستگاه مانیتور منتقل گردیده وروی صفحه مانیتور نیزنمایش داده شود.

نحوه تبدیل امواج تشعشعی جسم مورد عکسبرداری به سیگنالهای ویدئو- الکترونیکی بدین ترتیب است که انرژی الکترومغناطیسی ساطع‌شده از جسم مورد عکسبرداری توسط یك لنز مادون قرمز بسمت آینه‌ای که توسط یك موتورجریان مستقیم میتواند تغییروضعیت بدهدتابانیده‌میشود. اشعه منعکس شده ازاین آینه پس از انعکاس درچند آینه ثابت به یك آینه افقی که باسرعت ۲۴۰۰ دور درثانیه گردش مینماید تابیده میشود. آینه‌های ابتدائی‌وانتهائی مسیرتابش با یکدیگر بصورن سنکرون عمل مینمایندبنحویکه جسم حداقل ۲۰ مرتبه درثانیه توسط اسکنر تصویر برداری میشود. اشعه منعکس شده از آینه افقی پس از گذشتن از چند فیلتر بر روی دتکتور منعکس میگردد.دتکتور که خود از مواد حساس درمقابل اشعه مادون قرمز با طول موجهای ۲ تا ۵ میکرون از مواد - Mercury - Cadmium Telluride ساخته شده ودر درجه حرارت ۷۰- درجه سانتیگراد توسط سیستم خنك کننده نگهداری میشود ،هنگامی که درمقابل این اشعه قرارگیرد جریان خفیفی تولید مینماید که بصورت سیگنال ویدئو - الکترونیکی بقسمت ویدئو دوربین منتقل گردیده و پس از تقویت و فیلتراسیون در روزنه چشمی دیده میشود.

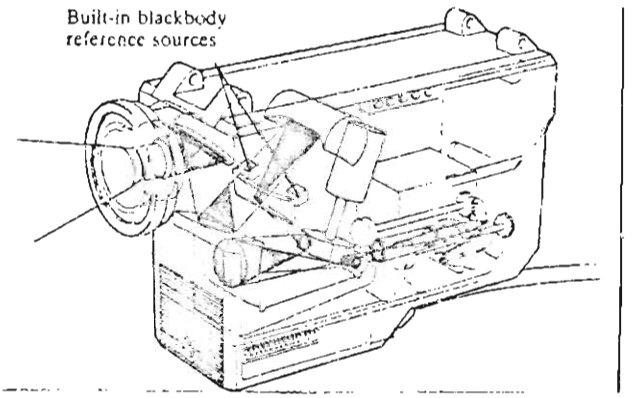
دیدن فوری تصاویر حرارتی در روزنه چشمی دوربین این امکان را فراهم مینماید که تغییرات حرارتی جسم دقیقا" در زمان وقوع آن مورد مطالعه قرارگیرد که این مطلب در بررسی نقاط ضعیف شبکه‌ها حائز اهمیت میباشد.

---

ضریب تشعشع یاتابش نسبی (Emissivity)نسبت تشعشع یك سطح به تشعشع جسم سیاه درهمان درجه حرارت میباشد و واحد اندازه گیری آن Rad یا mRad است .

ضریب تشعشع اجسام مختلف درجدول ضمیمه گردآوری گردیده است .

شکل (۲) قسمتهای داخلی یک دوربین ترموویژن را نشان می‌دهد.




شکل (۲) قسمتهای داخلی دوربین ترموویژن

۵ - استفاده از عکسهای حرارتی دربرنامه‌های تعمیراتی وبازرسی فنی شبکه‌های توزیع نیرو

درابتدابایستی‌باین امر توجه نمود که استفاده ازعکسهای حرارتی درتجزیه‌وتحلیل نقاط ضعیف شبکه‌ها (Weak points) مستلزم اطلاع کامل از تئوری و اصول مربوط به پدیده ترموگرام نمی‌باشد وباداشتن اطلاعات نسبی‌نیز می‌توان از خدمات آن بنحو مطلوبی بهره‌برداری نمود.

تکنیک استفاده از عکسبرداری ترموگرافیک دربهره‌برداری بهینه شبکه‌های برق اولین بار درسال ۱۹۶۵ توسط شرکت برق Vatenfall سوئد (Swedish State Power Board) ابداع گردید بطوریکه هم اکنون این شرکت بعنوان پیشرو کاربرد عکسهای حرارتی دربرنامه ریزی تعمیرات دوره‌ای (RoutincMaintenance) و تعمیرات پیشگیرانه (Preventive maintenance) شناخته‌میشود.شرکت CEGB(Central Electricity Generating Board) انگلستان نیز که اراواخردهه ۶۰شروع به استفاده ازخدمات عکسهای حرارتی‌نمود امروزدارای تجارب قابل توجه و ارزنده‌ای دراین زمینه میباشد. اینک با بهبود سیستمهای ترموگرافیک و خصوصا" کاهش وزن دوربینهای ترموویژن کاربرد آنها به سایرکشورهای صنعتی نیز گسترش یافته است.

اصولا" منظور از کاربرد عکسهای حرارتی دربرنامه‌های تعمیرات دوره‌ای و پیشگیرانه و بازرسیهای فنی شبکه‌های برق حصول دو هدف عمده زیرمی‌باشد.

الف - افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو

ب - بحداقل رساندن خاموشیهای برنامه ریزی نشده وقابل اجتناب و نهایتا" صرفه جوئی درهزینه‌هاوافزایش درآمد

معمولا" بهترین زمان جهت عکسبرداری ازشبکه‌های توزیع و انتقال نیرو هنگامی‌است که حداکثر جریان در شبکه جاری می‌باشد. زیرادراین هنگام نقاط ضعیف شبکه‌ها درمعرض بیشترین جریان قرارداشته و طبیعتا" زیادترین حرارت را نیز تولید می‌نمایند. لذا عملا" زمان پیک بار بهترین ساعات برای استفاده از عکسبرداری حرارتی از شبکه‌ها محسوب میگردد، لیکن از آنجا که این زمان معمولا" درکشورمابا ساعات عادی کار پرسنل تعمیراتی هماهنگی ندارد میتوان عملیات عکسبرداری را درزمان پیک قبل از ظهر نیز بااطمینان خاطر انجام داد.

اصولا" دراستفاده از دوربینهای ترموویژن بهترین روش دنبال کردن مسیرجریان از پستهای اصلی توزیع بسمت مصرف کننده میباشد، زیرا بدین ترتیب میتوان مطمئن بود که کلیه اجزاء شبکه موردبازرسی قرارگرفته است. در شبکه‌های سه فاز هنگامیکه بیک نقطه گرم که احتمالا" نشان دهنده نقطه ضعیفی درشبکه است، برخورد میکنندجهت اطمینان بیشتر معمولا" نقاط مشابه نقطه مورد نظر را در دو فاز دیگر نیز مورد عکسبرداری قرارمیدهند تا مشخص گردد که آیا حرارت ایجاد شده درحد طبیعی است یا نشان دهنده یک نقطه ضعیف و اتصالی است.

برحسب تعریف درجه حرارت مطلق(Absolute temperature) که آن را با $t_a$ نشان میدهند برابر مجموع درجه حرارتهای زیراست :

$t_o$= درجه حرارت کار (Operating temperature)

$t_e$= درجه حرارت اضافی (Excess temperature)

$$t_a = t_o + t_e$$

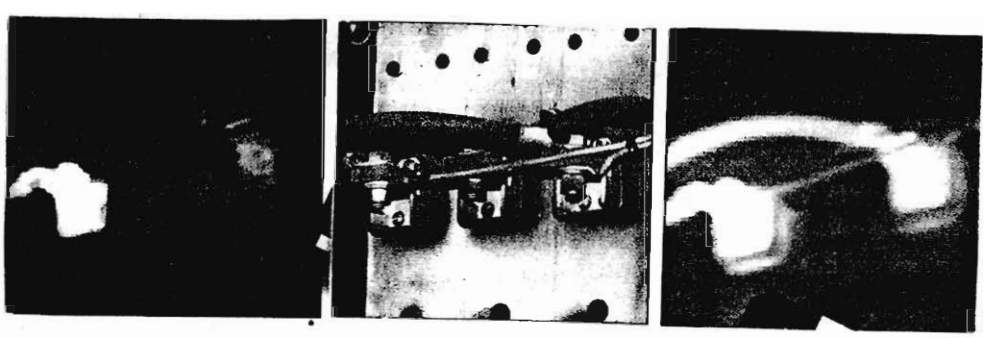
درجه حرارت کار ($t_o$) بستگی بمیزان بار ( جریان عبوری از هادی ) ، درجه حرارت محیط و وزش باد دارد.

درجه حرارت اضافی ($t_e$) در واقع افزایش درجه حرارت بعلت وجودنقطه ضعف یا عیب و اتصالی در قسمتی ازشبکه میباشد. این درجه حرارت درحقیقت اختلاف درجه حرارت بین یك جزء ویا قطعه معیوب بایك جزء ویا قطعه سالم مشابه آن ولی در فاز دیگراست .

معمولا" درجه حرارت کار($t_o$) تجهیزات و اجزاء پستهای منصوبه در فضای آزاد (Outdoor Sub-Station) و خطوط انتقال و توزیع‌نیرو درصورتیکه درشرایط سالم قرارداشته باشند فقط درحدود یك تا دو درجه سانتیگرادازدرجه حرارت هوای اطراف آنها بیشتر خواهد بود، درحالیکه درجه حرارت تجهیزات و اجزاء پستهای فضای بسته (Indoor Sub-sTations) بستگی به کارآئی سیستم تهویه پست داشته ودرصورتیکه سیستم تهویه بخوبی‌کارننماید می‌تواند بمقدار زیادتری از درجه حرارت محیط آنها افزایش یابند.

برای اندازه‌گیری درجه حرارتهای فوق معمولا" یك جسم نزدیك به جزء مورد عکسبرداری مثل دیوار یا یك تخته سنگ و نظایر آن را که ضریب تشعشعی آن درحدود ۰/۹ بوده و حالت درخشندگی نداشته باشد بعنوان منبع مقایسه و مراجعه درنظر میگیرند و از آنجائیکه تقریبا" میتوانیم درجه حرارت جزء سالم و محیط اطراف آن را با تقریب چند درصد یکسان درنظربگیریم لذا تفاوت درجه حرارت یك جزء معیوب با محیط اطراف آن معرف درجه‌حرارت اضافی($t_e$)آن جزء خواهد بود . این درجه حرارت اضافی بسهولت از روی عکسهای حرارتی قابل تشخیص و محاسبه میباشد .

شکل (۳) درجه حرار ت اضافی یك جزء معیوب را نسبت به جزء مشابه ولی سالم و درفازدیگر را نشان می‌دهد .



شکل (۳) د رجه حرارت اضافی یك جزء معیوب

باتوجه بمراتب فوق پایه و اساس تجزیه و تحلیل نقاط ضعیف شبکه‌ها درعکسبرداری حرارتی ضریب تشعشع ودرجه حرارت مطلق آنها خواهد بود. جهت اطلاع ضریب تشعشع اجسام مختلف درجدول ضمیمه نشان داده شده است .

هنگامیکه توسط دوربین ترموویژن یك جزء ویا نقطه معیوب (Faulty Component) درشبکه بطریقه فوق تشخیص داده شد ، اطلاعات زیر برای استفاده گروه تعمیرات تهیه و ثبت میگردد.

- تاریخ و ساعات عملیات عکسبرداری
- میزان بار درهنگام عکسبرداری ترموگرافیك ( بصورت درصدی ازبارماکزیمم)
- نحوه تغییرات مصرف درآن بخش از شبکه و میزان حداکثر بارمورد انتظار
- نوع بارمصرفی ( صنعتی - خانگی - کشاورزی و غیره)
- محل دقیق جزء معیوب درشبکه
- آیا افزایش حرارت درجزء معیوب مستقیما " اندازه‌گیری شده (مانند یك کلمپ یا مانشون ) یا نقطه معیوب درداخل وسیله یادستگاهی میباشد و افزایش حرارت آن غیرمستقیم اندازه گیری شده ( مانند یك جزء معیوب در داخل ترانسفورماتور یا دیژنکتور )

جهت روشن شدن بیشتر موضوع فرض می‌کنیم ازیك جزء معیوب درشبکه درزمانی که میزان بار ۵۰ درصد بار حداکثر است عکسبرداری کرده ودرجه حرارت اضافی($t_e$) این جزء را بدست آورده‌ایم .

درجه حرارت اضافی ($t_e$) می‌تواند بسه مرحله زیر تقسیم بندی گردد .

۱ - مرحله اول که درجه حرارت اضافی کمتر از ۵ درجه سانتیگراد است $t_e \rangle 5C^\circ$

دراین مرحله که آن را پله اول افزایش درجه حرارت (First stage of overheating) می‌نامند جزء ضعیف یا معیوب مشخص و تحت کنترل قرارگرفته و بایستی دراولین تعمیرات دوره‌ای آینده مورد مرمت یاتعویض قرار گیرد .

۲ - مرحله دوم که درجه حرارت‌اضافی بین ۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد است $5C^\circ \langle t_e \langle 30C^\circ$

دراین مرحله که آن را افزایش حرارت توسعه یافته (Developed overheating) می‌نامند جزء ضعیف یا معیوب بایستی دراولین فرست ممکن که می‌توان آن قسمت از شبکه رابی بار نمود موردمرمت ویاتعویض قرارگیرد .

۳ - مرحله سوم که درجه حرارت اضافی بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد است $t_e \rangle 30C^\circ$

دراین مرحله که آن را افزایش حرارت حاد (Acute overheating) می‌نامند جزء معیوب بایستی بلافاصله و بدون فوت وقت مورد مرمت و یا تعویض قرارگیرد .

باتوجه باینکه افزایش درجه حرارت با مجذورشدن شدت جریان درشبکه متناسب است لذا چنانچه درجه حرارت اضافی را دربارهای کمتراز ۵۰درصد اندازه گیری کرده باشیم میتوان آن را بسهولت به مبنای بار ۵۰ درصد تبدیل نمائیم. بعنوان مثال اگر درجه حرارت جزء معیوبی در ۲۰ درصد بار معادل ۸ درجه سانتیگراد باشد ، این درجه حرارت در ۵۰ درصد بارمعادل است با :

$$t_e = \left(\frac{50}{20}\right)^2 \times 8 = 50C^\circ$$

لذا درمثال فوق چنین جزئی از شبکه بایستی بلافاصله مورد مرمت یاتعویض قرارگیرد .

درمورد اجزاء معیوبی که در داخل دستگاههای مختلف قراردارند روشهای بررسی متفاوت است و قاعده کلی وجود ندارد . لیکن تجربه نشان میدهد که درترانسفورماتورهای توزیع و دیژنکتورها وپانلها ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش درجه حرارت درسطوح این دستگاه ها میتواند مبین نقاط بسیارگرم در داخل آنها باشد بطوریکه دراکثر مواقع جزء معیوب در مرحله سوم افزایش درجه حرارت قراردارد که بایستی بلافاصله مرمت ویاتعویض گردد .

جدول شماره (۱) درجه حرارت مجاز و میزان افزایش آن را برای برخی از مصالح و لوازم مورد مصرف درشبکه‌های توزیع نشان میدهد .

برای مثال اگرکابلی دربارکامل تا ۸۰ درجه سانتیگراد بیش از محیط اطراف خودگرم شود ودارای ایزولاسیون Class Y باشد ، هر دو درجه حرارت مطلق $t_a$ ودرجه حرارت اضافی $t_e$ ازحدود مجاز استاندارد IEC تجاوز نموده و احتمال آتش سوزی وجود خواهد داشت .

درجدول شماره(۱) درجه حرارت مطلق($t_a$)از فرمول‌زیر محاسبه میشود .

$$t_a = t_e + 40C^\circ$$

$t_e$ = درجه حرارت افزایش یافته

## INTERNATIONAL ELECTRICAL COMMISSION CHART

*Limits of temperature and temperature rise for selected parts, materials, and dielectrics of high-voltage switching devices*

| Nature of the part, material, and dielectric | Maximum values: ($t_a$) Temperature | Maximum values: Temperature rise at an ambient air temperature not exceeding 40 C ($t_e$) |
|---|---|---|
| Contact | | |
| Bare copper and bare copper alloy | | |
| —in air | 75 | 35 |
| —in $SF_6$ (sulfur hexafluoride) | 90 | 50 |
| —in oil | 80 | 40 |
| Connections, bolted or the equivalent | | |
| Silver-coated or nickel-coated | | |
| —in air | 115 | 75 |
| —in $SF_6$ | 115 | 75 |
| —in oil | 100 | 60 |
| Terminals for the connection to external conductors by screws or bolts | | |
| —bare | 90 | 50 |
| —silver, nickel, or tin-coated | 105 | 65 |
| Oil for oil switching devices | 80 | 50 |
| Materials used as insulation and metal parts in contact with insulation of the following classes: | | |
| —Y (for non-impregnated materials) | 90 | 50 |
| —A (for materials immersed in oil or impregnated) | 100 | 60 |
| —E | 120 | 80 |
| Any part of metal or of insulating material in contact with oil, except contacts | 100 | 60 |

جدول شماره (۱) درجه حرارت مجاز براساس استاندارد IEC

بعد از اینکه بکمك عکسبرداری حرارتی درجه حرارت اضافی جزء ضعیف یا معیوبی اندازه‌گیری شد اطلاعات لازم برای گروه تعمیرات راکه دربا لاذکر شدبصورت فرمهای پیوست که بنام Work Sheet و Fault Report خوانده میشود جمع آوری مینمایند.

در Work Sheet معمولا" کلیه قطعات ، اجزاء ودستگاههائی که دریك بررسی ترموگرافیك مورد آزمایش قرارگرفته صرفنظر از اینکه دارای چه درجه حرارت اضافی هستند ، ثبت مینمایند . لیکن در Fault Report که شامل عکسهای حرارتی قطعات و اجزاء معیوب است اطلاعاتی راجع‌به محل استقرار قطعه ، میزان بار درهنگام‌بررسی، درجه حرارت $t_e$، ضریب تشعشع ، سرعت وزش باد و نیز توصیه‌هائی درمورد نحوه تعمیرات درج میگردد.

پس از تهیه گزارشات فوق یك نسخه از آنها دراختیار گروه تعمیرات قرارداده‌میشود تا نسبت به تعمیر و یا تعویض قطعات معیوب و یا ضعیف اقدام گردد.

Fault Report تهیه شده طی سالها بهره‌برداری میتواند بعنوان اطلاعات آماری پرارزش و سودمندی برای تقسیم بندی انواع اتصالیها و عیوب و زمان و مکان وقوع و علل بروز آنها مورد استفاده قرارگیرد. هم اکنون اطلاعات آماری حاصل از کاربرد عکسبرداری حرارتی طی سالها درشرکت برق Vatenfall سوئد ماخذی جهت تدوین دستورالعملهای بهره‌برداری و تعمیراتی گشته و ازآنها بعنوان روشهای کار در طراحی شبکه‌ها استفاده‌میگردد.

بایستی توجه داشت که عواملی نظیر آنچه درزیر ذکر میشود میتوانند تعیین درجه حرارت $t_e$ را دچار اشکال نمایند.

۱ ـ انعکاس سطوح و قطعات فلزی درخشان ( خصوصا" درپستهای فضای آزاد)

۲ ـ اشعه خورشید ( افزایش درجه حرارت قطعات فلزی دراثر تابش خورشید)

۳ ـ بارهای نامتعادل درفازها ( دراین حالت استفاده از یك آمپرمتر گازانبری می‌تواند راهنمای مفیدی باشد).

۴ ـ افزایش مقاومت ( مثلا" دراثر کم بودن فشار کنتاکت دیژنکتورها)

۵ ـ تغییرات ضریب تشعشع ( مثلا" دریك شینه مسی محلی‌کمبرای اتصال باپیچ و مهره رنگ آمیزی نشده احتمالا" دارای ضریب تشعشعی درحدود ۰/۲ است درحالیکه قسمتهای رنگ شده متناسب با رنگ استفاده شده میتوانند ضریب تشعشعی تا حدود ۰/۹ داشته باشند).

۶ ـ جریان گردشی (Eddy Currents)

Work Sheet

COMPANY Källforsens Kraftstation

MEASUREM. DATE: 84-18-03

SUBSTATION Lingdalen

MARK ASEA

CONSULTANT A.B.

AMBIENT TEMP. 7°C

WIND SPEED M/S

| BRANCH LINE | GROUP | DEVICE | PHASE | LOAD | | OP. TEMP. | INCR. TEMP. | | FAULTY SPOT | THER NO. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | A42 | Fuse | Yellow | 250 | 50 % | 10 | 12 | 0.9 | Upper contact | 1.2 |
| | 2A | Capacitor | Red | 190 | 60 % | 8 | 7 | 0.9 | Internal fault | 3.8 |
| D | 19-27 | Isolator | Yellow | 460 | 80 % | 10 | 34 | 0.9 | Right contact clevis | 5.6 |
| D | 18 | Clevis | Red | 180 | 50 % | 10 | 5 | 0.8 | Connection towards circuit breaker | |
| | | | | | % | | | | | |
| B | 16 | G2-S Circuit breaker | Left | 7MW | 90 % | 22 | 45 | 0.9 | Connection towards current transformer | 4 |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |
| | | | | | % | | | | | |

REM.:

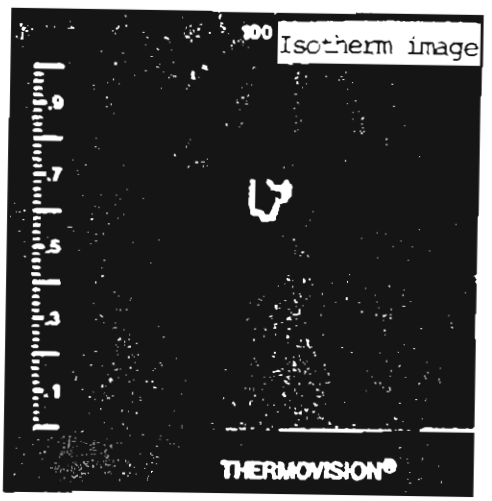
PAGE

# FAULT REPORT - PHOTO ENCLOSURE

DATE 84.10.10 CONSULTANT A.B. DEVICE MARK Siemens

COMPANY Vattenfall SITE ENGINEER

SUBSTATION Frykfors 10 kV




BRANCH LINE B GROUP 16 PHASE Left

FAULTY DEVICE G2-S Circuit Breaker OP. TEMP. 22 °C

FAULTY PLACE Connection towards current transformer EXCESS TEMP. 45 °C

RECOMMENDATION

LOAD 7MW 90 % (A)

1 [x] TO BE REPAIRED IMMEDIATELY

EMISSIVITY 0.9

2 [ ] TO BE REPAIRED IMMEDIATELY WITH CONSIDERATION TO THE LOAD SITUATION

WIND SPEED 1 M/S

3 [ ] TO BE REPAIRED AT NORMAL MAINTENANCE

REMARKS:

NOTES TO THE COMPANY

FAULTY DEVICE TYPE

MEASURES TAKEN

CHECKED: DATE [ ] WITH REMARKS [ ] WITHOUT REMARKS

REMARKS:

DATE: SIGNATURE:

البته بایستی توجه داشت که علاوه برتجربه اپراتور عکسبردار جهت کاهش اثرات هریك از عوامل بالا روشهای مختلفی موجود که میتوانند دقت اندازه‌گیری درجه حرارت $t_e$ را تا حد مورد نیاز وقابل استفاده بهبود بخشند که ذکر آنها ازحوصله این مقاله خارج است .

یکی دیگر از عوامل مهمی که میتواند در اندازه‌گیری درجه حرارت $t_e$ ایجاد اخلال نماید وزش باد در هنگام عکسبرداری است . بنابه تجربه درصورتیکه سرعت باد بیش از یك تا دو متربرثانیه افزایش یابد اثرخنك کنندگی آن را بر روی جزء معیوب بایستی طبق جدول شماره (۲) تصحیح نمود .

جدول شماره ۲ ضریب تصحیح درجه حرارت $t_e$ برحسب سرعت باد

| سرعت باد (متربر ثانیه) | ضریب تصحیح درجه‌حرارت |
|---|---|
| ۱ | ۱ |
| ۲ | ۱/۳۶ |
| ۳ | ۱/۶۴ |
| ۴ | ۱/۸۶ |
| ۵ | ۲/۰۶ |
| ۶ | ۲/۲۳ |
| ۷ | ۲/۴۰ |
| ۸ | ۲/۵۴ |

فهرست زیر نقاط حساس برخی از تجهیزات و لوازم اصلی شبکه‌های توزیع راکه بایستی در بازرسیهای ترموگرافیك بیش از محلهای دیگر موردتوجه قرار گیرد نشان میدهد .

| تجهیزات | محل های مورد بازرسی |
|---|---|
| دیژنکتور | کنتاکتهای ثابت ومتحرك - محل اتصال کابلهای ورودی و خروجی |
| ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ | محل اتصال کابلها وپاسیمهای ورودی و خروجی |
| جعبه انشعابات و فیوزها | محل اتصال تیغه‌فیوزها- محل اتصال کابلهای ورودی و خروجی |
| سکسیونرها | محل اتصال کنتاکتها و پیچ و مهرها |
| ترانسفورماتورهای توزیع | اتصالات خارجی و داخلی - فن ها |
| بانك های خازن | اتصال سربوشینگها |
| ماشینهای الکتریکی | محل اتصال کابلهای تغذیه- جاروبکها- تیغه‌های کلکتور- یاطاقانها |
| خطوط هوائی | کلمپ ها - محل اتصال بمقرها - مانشون ها |
| کات اوت فیوز | کنتاکتهای ثابت و متحرك - محل وصل سیمهای ورودی وخروجی |
| کابلها | سرکابلها و انشعابات |

## ۶ - نتایج بررسیهای ترموگرافیك و صرفه جوئیهای حاصل از تقلیل خاموشیها

جهت آشنائی بیشتر با نتایج حاصل از کاربرد عکسبرداری حرارتی درشبکه‌های توزیع و انتقال نیرو ، آمارو ارقام مربوط به یکی از نواحی شرکت CEGB انگلستان رابعنوان مثال مورد مطالعه قرارمیدهیم .

بخش شمال - شرقی (N.E.R) شرکت CEGB انگلستان دارای مشخصات زیر میباشد (*)

- وسعت منطقه تحت پوشش : ۴۵،۰۰۰ کیلومترمربع
- قدرت نصب شده : ۱۵،۰۰۰ مگا وات
- طول خطوط انتقال و توزیع و تعداد پستها :

| ولتاژ (کیلو ولت) | طول خطوط (کیلومتر) | تعداد پستها |
|---|---|---|
| ۴۰۰ | ۱۱۰۰ | ۱۸ |
| ۲۷۵ | ۱۶۰۰ | ۴۰ |
| ۱۳۲ | ۱۲۵۰ | ۱۱۰ |
| ۳۳و۶۶ | بیش از ۱۰۰۰ | ۱۶۵ |

۱*) اطلاعات فوق تقریبی بوده و مربوط به اوایل دهه ۸۰ میباشد.

تجهیزاتی که در بررسی عکسبرداری حرارتی برای مدت یکماه درفصل زمستان مورد استفاده قرارگرفته است بشرح زیرمیباشد :

- هلی کوپتر یکدستگاه باحدود ۵۰ ساعت پرواز ( اجاره‌ای)
- دوربین ترموویژن دو دستگاه ( خریداری شده)
- لندرور دو دستگاه ( خریداری شده)
- ارتباط رادیوئی بین هلی کوپتر و لندرورها
- میکرو اهم متر دیژیتالی و سایر لوازم اندازه گیری و دوربین چشمی
- تیم عملیاتی ۶ نفر ( برای یك شیفت کار در روز)

بخشی از منطقه تحت پوشش ناحیه شمال - شرقی شرکت CEGB بعنوان یك طرح آزمایشی برای مدت یکماه مورد بازرسی قرارگرفته است و در هر روز تقریبا" بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر از خطوط هوائی توسط اسکنر نصب شده درهلی کوپتر تصویربرداری شده است . درهمین مدت نیز دو دستگاه لندرور از روی زمین عملیات بازرسی خطوط و پستهای مربوطه را ضمن تماس باپرسنل هلی کوپتر پیگیری نموده‌اند . دوربینهای ترموویژن یك دستگاه درهلی کوپتر و یك دستگاه در لندرور نصب گردیده است .

میزان سرمایه گذاری و هزینه‌ها درعملیات یکماهه بشرح زیرمی باشد :

هزینه‌های جاری و سرمایه‌ای شامل :

- اجاره هلی کوپتر
- خرید تجهیزات ترموویژن ( براساس استهلاك سرمایه)
- خرید لندرور ( براساس استهلاك سرمایه)
- خرید تجهیزات مورد نیاز ( براساس استهلاك سرمایه)
- هزینه برنامه ریزی و پرسنل عملیاتی

جمعا" بالغ بر ۶۵،۰۰۰ پوند استرلینگ برای یك دوره یکماهه

ضرر و زیان حاصل از قطع برق ( با استفاده از آمار موجود در قسمتهای بهره‌برداری و تعمیرات ) شامل :

- کلیه هزینه‌های تعمیراتی و برقراری مجدد سرویس برق
- هزینه‌های مربوط به خارج از مدارشدن یك نیروگاه برای یك مرتبه در روز وبازگشت مجدد آن به سرویس با توجه به این امر که واحدهای ذخیره گردشی (Spinning reserve) بتوانند جبران واحدهای از مدار خارج شده را نموده بنحوی که سرویس برق هیچیك از مشترکین قطع نگردد .
- خطرات و زیانهای وارده به کل شبکه بهم پیوسته دراثر سوئیچینگ و تغییرات ولتاژ و امکان درخطر قرارگرفتن استابیلیته سیستم

جمعا" بالغ بر ۱۱۰،۰۰۰ پوند استرلینگ

بایستی توجه داشت که در بررسی فوق فرض برآن است که سرویس برق مشترکین بهیچ عنوان قطع نگردیده واز بابت عدم فروش انرژی ضرری حاصل نشده باشد .

برخی ازنتایجی که بخش شمال - شرقی شرکت CEGB ازعملیات عکسبرداری حرارتی بدست آورده بطور خلاصه بشرح زیرمیباشد :

- کلیه اتصالات خطوط انتقال وتوزیع نیروونظیرکلمپها ومانشونهاکه‌درمرحله‌دوم‌سوم‌افزایش درجه حرارت قرار داشته‌اند ($t_e > 50^{\circ}$) پس از مدتی بین چندهفته تاحداکثر یکسال باعث ایجاداتصالی وقطع برق میگردند .

---

توسط دوربین های ترموویژن امروزی میتوان درصورتیکه سرعت هلی کوپترمعادل ۸۰کیلومتردرساعت باشدازفاصله ۱۰۰ متری درجه حرارت جوینتی راکه درجه حرارت آن حداقل ۳ درجه سانتیگراد ازدرجه‌حرارت هادی بیشتر باشد اندازه گیری نمود .

- نقاط ضعیف شبکه بیشتر دراثر خوردگی شیمیائی ، کثیف بودن و اکسیداسیون اتصالات که ضریب تشعشعی آنها ۰/۶ یا بالاتر بوده بوجود آمده است . شکلهای (۴) و (۵) نمونه‌ای از خوردگی رادرکلمپ انتهائی و کلوپس نشان میدهد .
- درخطوطی‌که بار بطور یکنواخت بوده و تغییرات شدیدی نداشته است تعداد نقاط ضعیف و معیوب ( با درجه حرارت بیش از ۵ درجه سانتیگراد ) بمراتب کمتراز خطوط مشابه با تغییرات شدید بارمیباشد . بعبارت دیگر تغییرات شدید بار باعث تشدید و تعدد نقاط‌ضعیف شبکه میگردد .
- درخطوطی که کارخانجات دارای کورهای باقوس الکتریکی را تغذیه مینمایند تعداد نقاط ضعیف بمراتب بیشتر از خطوط مشابه دیگرمیباشد .
- دربرخی از موارد ازدیاد درجه حرارت مانشونها باعث کم شدن قدرت مکانیکی آنهاشده وباعث بریدگی و قطع هادیها گردیده است .
- کلمپهای آلومی‌نیمی نسبت به کلمپهای مسی درمقابل افزایش درجه حرارت ازپایداری کمتری برخوردارند .
- درخصوص بوشینگهای ترانسفورماتورها ، ترانسهای جریان و ولتاژ و دیژنکتورها افزایش درجه حرارت میتواند نمایانگر اتصالیهای حادی در داخل آنها باشد که بایستی حتما " بدون فوت وقت مورد ارزیابی قرارگیرند .
- درمورد دیژنکتورها و سکسیونرهاافزایش درجه حرارت بیشتر مربوط به افزایش مقاومت کنتاکتهای متحرک می‌باشد .
- بعضی مواقع ملاحظه گردیده که Spacer ویا قسمت فولادی مانشونی درخطوط با هادیهای بصورت باندل بیش از اندازه گرم شده‌اند . این امر نشانه آنستکه یکی از جوینتهای معیوب ( با مقاومت خیلی زیاد ) روی نزدیکترین پایه کششی(Tension tower)قادربحمل تمامی جریان نبوده ودرنتیجه بخشی از جریان خودرا توسط Spacer به سایرهادیهای همان فاز منتقل نمو ده است .

پی بردن به چنین اجزاء ضعیفی تقریبا " بدون استفاده از سیستم ترموگرافیك غیرممکن است . این امرمیتواند درصورت استفاده از روشهای سنتی وقت پرسنل تعمیراتی را دریافتن جوینت معیوب درخطوط باندل بمقدار زیادی تلف نماید .

خلاصه آنکه استفاده از عکسبرداری حرارتی خصوصا " درخطوط انتقال و توزیع‌نیرو میتواند کاهش قابل‌توجه‌ای درهزینه‌های تعمیراتی بوجود آورده و قابلیت اطمینان شبکه را بدون نیازبه صرف صدها ساعت کاراضافی که درسایر روشها مورد احتیاج است بنحو چشمگیری افزایش دهد .

نمونه‌هائی از فرم گزارش مربوط به عملیات عکسبرداری حرارتی خطوط و پستها که توسط بخش شمال - شرقی شرکت CEGB بکارمیرود جهت اطلاع علاقمندان به پیوست میباشد .

جداول شماره (۳) و (۴) به ترتیب مقادیر مقاومتهای قابل قبول رابرای Tension Midspan Joint و Anchor clamp نشان میدهد .

بعنوان نمونه‌ای دیگر شرکت CEGB ازسال ۱۹۸۳ هرساله درحدود ۱۱،۰۰۰ کیلومتر خطوط هوائی درولتاژهای مختلف را مورد بررسی ترموگرافیك قرارداده است . جدول شماره (۵) طول خطوط و هزینه انجام عملیات رانشان‌میدهد .

| سال | طول خطوط (کیلومتر) | هزینه (هزار پونداسترلینگ) | زمان پروازهلی‌کوپتر (ساعت) | نقاط معیوب آشکارشده (عدد) | هزینه‌عملیات بازاء هر کیلومترخط (پوند استرلینگ) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۸۳/۸۴ | ۱۱۹۳۷ | ۶۶ | ۲۵۰ | ۴۷۹ | ۵/۵ |
| ۸۴/۸۵ | ۱۰۲۱۳ | ۶۶ | ۲۲۰ | ۹۳۴ | ۶/۵ |
| ۸۵/۸۶ | ۱۱۹۱۱ | ۸۵ | ۳۲۰ | ۸۸۱ | ۷/۱ |
| ۸۶/۸۷ | ۱۱۱۰۰ | ۴۲ | ۲۳۹ | ۶۷۷ | ۳/۸ |

جدول شماره (۵) هزینه انجام عملیات ترموگرافیك توسط هلی‌کوپتر در شرکت CEGB

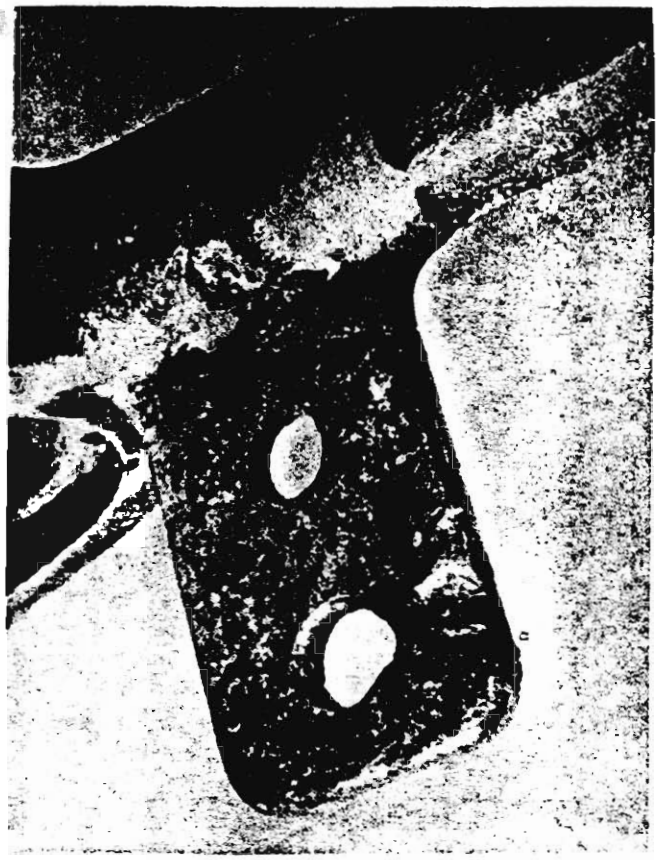


FIG.4 - DEAD END JOINT JUMPER LUG

شكـــــــــــل ( ٤ )

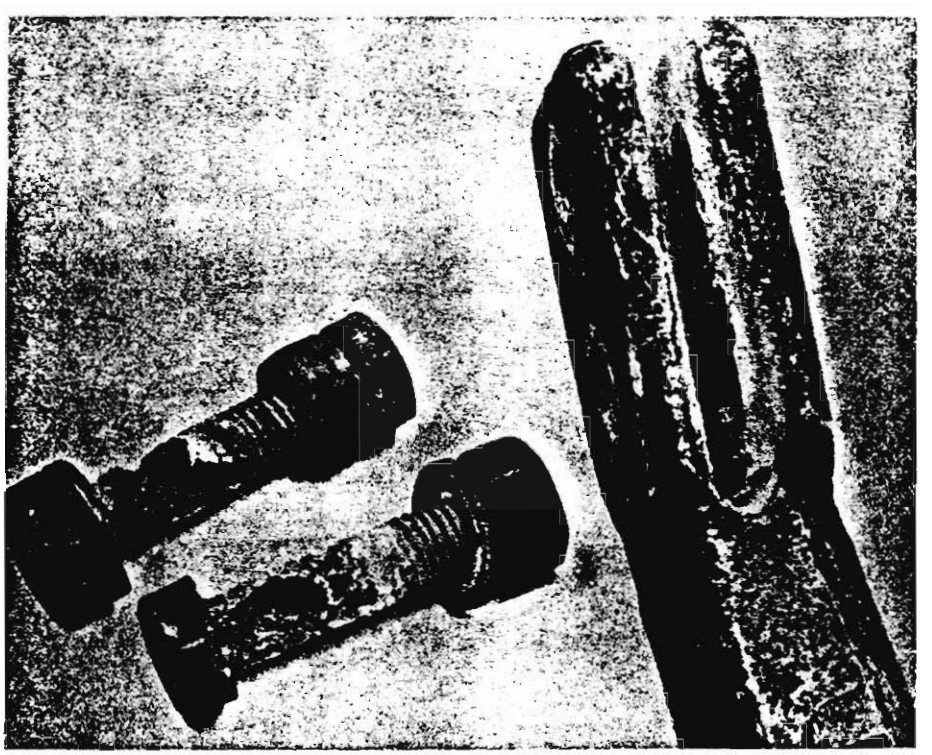
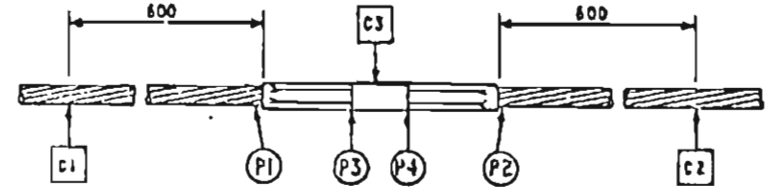


FIG.5 - CLEVIS AND BOLTS

شكـــــــل ( ٥ )

| APT/CERL DIGITAL MICROMETER LEADS | | PART & PURPOSE | RESISTANCE CATEGORY | MAXIMUM RESISTANCE microhms | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BLUE LEADS | RED LEADS | | | CONDUCTOR SIZE $mm^2$ | | |
| | | | | 70 | 175 | 400 |
| C1 & C2 | P1 & P2 | OVERALL PRIMARY (MEASUREMENT) | A1 | 65 | 50 | 28 |
| | | | A2 | 78 | 60 | 34 |
| | | | A3 | 91 | 70 | 39 |
| | | | R1 | 156 | 120 | 67 |
| | | | R2 | 234 | 180 | 100 |
| C1 & C2 OR C3 OR C1 OR C3 & C2 | P1 & P3 OR P4 & P2 | ENDS ONLY (AUXILIARY MEASUREMENT) SEE NOTE BELOW | A1 | 30 | 23 | 10 |
| | | | A2 | 36 | 28 | 12 |
| | | | A3 | 42 | 32 | 14 |
| | | | R1 | 72 | 55 | 24 |
| | | | R2 | 108 | 83 | 36 |

TENSION MIDSPAN JOINT




RESISTANCE CATEGORIES

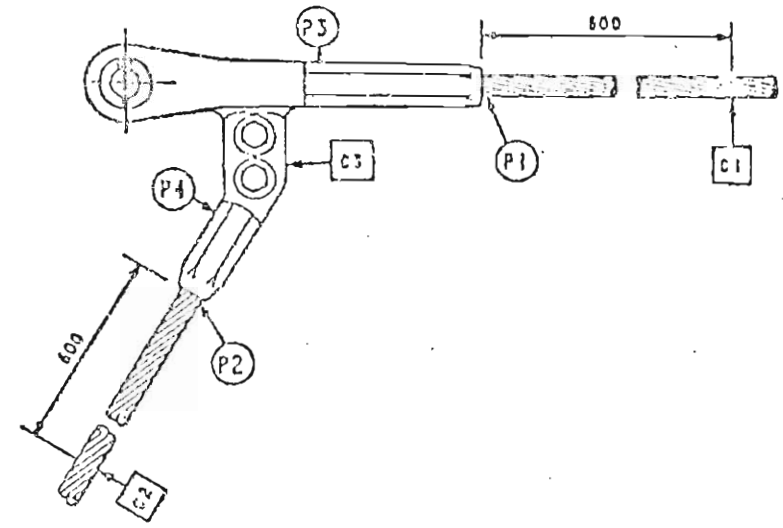
A1 IDEALLY ATTAINABLE VALUE
A2 ACCEPTABLE FOR NEW FITTINGS ON NEW CONDUCTOR
A3 ACCEPTABLE FOR NEW FITTINGS ON OLD CONDUCTOR
R1 EXISTING FITTINGS REPLACED AT NEXT CONVENIENT OUTAGE
R2 EXISTING FITTINGS REPLACED URGENTLY

جدول شماره ۳

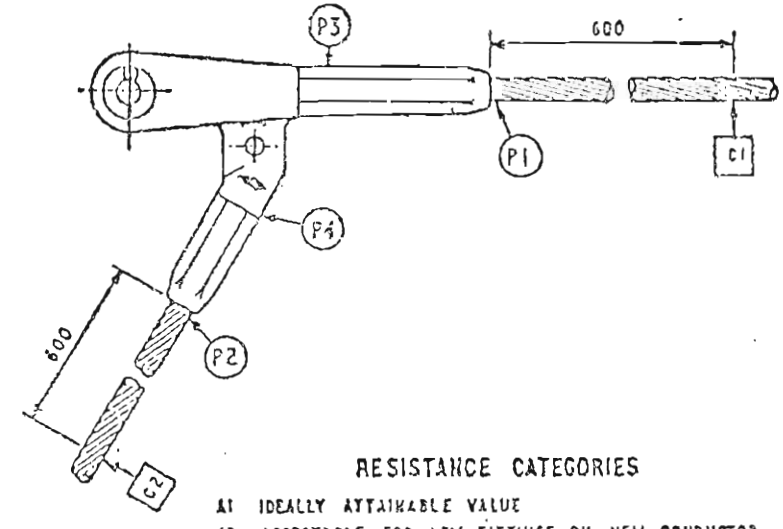
NOTE: FOR NON STANDARD EXTENDED JOINTS, MEASURE EACH END SEPARATELY TO AVOID THE EFFECT OF

| AVT/CEAL DIGITAL MICROHMETER LEADS | | PART & PURPOSE | RESISTANCE CATEGORY | MAXIMUM RESISTANCE microohms | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | CONDUCTOR SIZE mm² | | |
| BLUE LEADS | RED LEADS | | | 70 | 175 | 400 |
| C1 & C2 | P1 & P2 | OVERALL (PRIMARY MEASUREMENT) | A1 | 35 | 25 | 25 |
| | | | A2 | 42 | 30 | 28 |
| | | | A3 | 49 | 35 | 32 |
| | | | R1 | 84 | 60 | 55 |
| | | | R2 | 126 | 90 | 83 |
| C1 & C2 OR C3 | P1 & P3 | LUG END COMPRESSION (AUXILIARY MEASUREMENT) | A1 | 20 | 11 | 9 |
| | | | A2 | 24 | 13 | 11 |
| | | | A3 | 28 | 15 | 13 |
| | | | R1 | 48 | 26 | 22 |
| | | | R2 | 72 | 39 | 32 |
| C1 OR C3 & C2 | P4 & P2 | JUMPER END COMPRESSION (AUXILIARY MEASUREMENT) | A1 | 12 | 9 | 8 |
| | | | A2 | 14 | 11 | 10 |
| | | | A3 | 17 | 13 | 12 |
| | | | R1 | 29 | 22 | 19 |
| | | | R2 | 45 | 32 | 29 |
| C1 & C2 | P3 & P4 | BOLTED JUMPER CONNECTION (AUXILIARY MEASUREMENT) | A1 | 6 | 6 | 6 |
| | | | A2 | 7 | 7 | 7 |
| | | | A3 | 8 | 8 | 8 |
| | | | R1 | 14 | 14 | 16 |
| | | | R2 | 22 | 22 | 22 |

ANCHOR CLAMP WITH BOLTED JUMPER TERMINAL




ANCHOR CLAMP WITH INTEGRAL JUMPER TERMINAL




RESISTANCE CATEGORIES

A1 IDEALLY ATTAINABLE VALUE
A2 ACCEPTABLE FOR NEW FITTINGS ON NEW CONDUCTOR
A3 ACCEPTABLE FOR NEW FITTINGS ON OLD CONDUCTOR

R1 EXISTING FITTINGS REPLACE AT NEXT CONVENIENT OUTAGE
R2 EXISTING FITTINGS REPLACE URGENTLY

جدول شماره ۴

NOTE: AUXILIARY MEASUREMENTS ARE ONLY REQUIRED WHEN CHECKING PARTIALLY ASSEMBLED CLAMPS OR FOR ISOLATING A BAD SECTION OF THE COMPLETE ASSEMBLY.

هزینه متوسط بازرسی ترموگرافیک توسط هلی کوپتر درحدود ۵/۷ پوند استرلینگ بازاء هرکیلومتراز خطوط هوائی میباشد. اگر درنظربگیریم که خطوط انتقال نیرو ترکیبی از ۲ هادی ویا ۴ هادی درهرفاز بوده وبطورمتوسط هرکیلومتر ازطول خط دارای یك پایه کششی باشد، تعداد کلمپهای انتهائی ومانشونها درهرکیلومترخط بهترتیب جدول(۶) خواهد بود.

| تعداد هادی در هر فاز | کلمپ انتهائی | مانشون |
|---|---|---|
| خط با ۲ باندل | ۱۲ | ۶ |
| خط با ۴ باندل | ۲۴ | ۱۲ |

جدول شماره (۶) تعداد کلمپها ومانشونها درهرکیلومترازطول خط

طبق استاندارد قابل قبول در CEGB مقاومت اتصالات فوق نبایستی از مقاومت خط معادل آنها بیشتر باشد. معذالك بسبب شرایط محیطی مقاومت این اتصالات بتدریج افزایش می‌یابد و چنانچه برنامه‌های تعمیرات دوره ای وپیشگیرانه اعمال نگردد این افزایش مقاومت ودرنتیجه‌ایجاد حرارت اضافی آنقدر ادامه می‌یابد تا نقطه ضعیف باعث ایجاد اتصالی و قطع برق درشبکه گردد.

طبق محاسبات انجام شده هزینه عملیات بازرسی فنی بطریقه ترموگرافیك وبه روشهای سنتی برای هریك از اتصالات بالا در خطوط ۲ باندل و ۴ باندل به ترتیب جدول (۷) میباشد.

| بازرسی فنی بطریقه | هزینه‌عملیات بازاء هراتصال (پوند استرلینگ) | |
|---|---|---|
| | خط با ۲هادی درهرفاز | خط با ۴هادی درهرفاز |
| ترموگرافیك | ۰/۱۳ پوند | ۰/۱۰ پوند |
| روشهای معمولی | ۵ پوند | ۲/۵ پوند |

جدول شماره (۷) هزینه بازرسی فنی بازاء هراتصال درخطوط هوائی

بعلت آنکه معمولا" عیوب را قبل از آنکه منجربخسارات عمده درنیروگاهها بشود یافته و تعمیرومرمت مینمایند محاسبه دقیق صرفه جوئی درعملیات بازرسی فنی بطریقه ترموگرافیك دربعضی مواقع مشکل خواهد بود. معذالك درکشور انگلستان هزینه جایگزینی یك نیروگاه بجای نیروگاه دیگر درمواقع پیك بار میتواند تا ۲۰۰۰ پوند درساعت برآوردگرددکه این مبلغ معادل ۴۸۰۰۰ پوند در روز خواهد بود. مضافا" آنکه هزینه تعمیرات و تعویض اجزاء معیوب و برقراری سرویس مجدد نیز بایستی بمبلغ فوق اضافه گردد.

ازنظر تلفات حرارتی نیز طبق برآورد انجام شده دریك شبکه فشارمتوسط ۶۶و۳۳کیلوولتی بطول ۱۲۰۰کیلومتر بعلت وجود نقاط ضعیف (بادرجه حرارت $t_e > 50^\circ$ )درحدود ۴۵۰کیلووات تلفات حرارتی وجودداشته است که از نظر هزینه معادل ۹۰۰۰ پوند درسال میگردد. بدیهی است که حذف چنین تلفاتی بکمك تکنیك ترموگرافیك میتواند در قالب کلی کاهش تلفات مورد توجه باشد.

درخصوص پستها بایستی توجه‌داشت که هزینه‌بازرسی فنی بکمك عکسبرداری حرارتی بدلایل زیر بمراتب کمتر از خطوط هوائی می باشد.

۱- بازرسی از روی زمین انجام می‌پذیرد.

۲- اجزاء و قطعات دریك محل (داخل پست ) قرارداشته ومانند خطوط هوائی‌درفواصل طولانی‌پراکنده‌نشده‌است.

امروز استفاده از تکنیك ترموگرافیك دربازرسی پستها تا سطح پستهای توزیع ۱۱ کیلوولتی نیز گسترش یافته است.

طبق تجارب حاصله معمولا" اتصالات پیچ و مهره‌ای و کنتاکت های ثابت و متحرك سکسیونرها بیشترین تعداد نقاط ضعف رادرپستها خصوصا" اگر درمناطق صنعتی و با آلودگی یا لاقرار داشته باشد تشکیل میدهند. پس ازآن بوشینگهای ترانسفورماتورها، سرکابلها، ترانسفورماتورهای جریان وو لتاژ، برقگیرهاودیگرتجهیزات پستهامیباشند که دارای درجه حرارت اضافی بوده‌اند.

بطورخلاصه بازرسی فنی پستها بکمك عکسبرداری حرارتی نه تنها باعث آشکار شدن عیوب قبل از آنکه خسارت عمده ایجاد نمایند میگردد بلکه از نتایج آماری آنها می‌توان درتدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیراتی پستها بنحو مطلوبی سود برد.

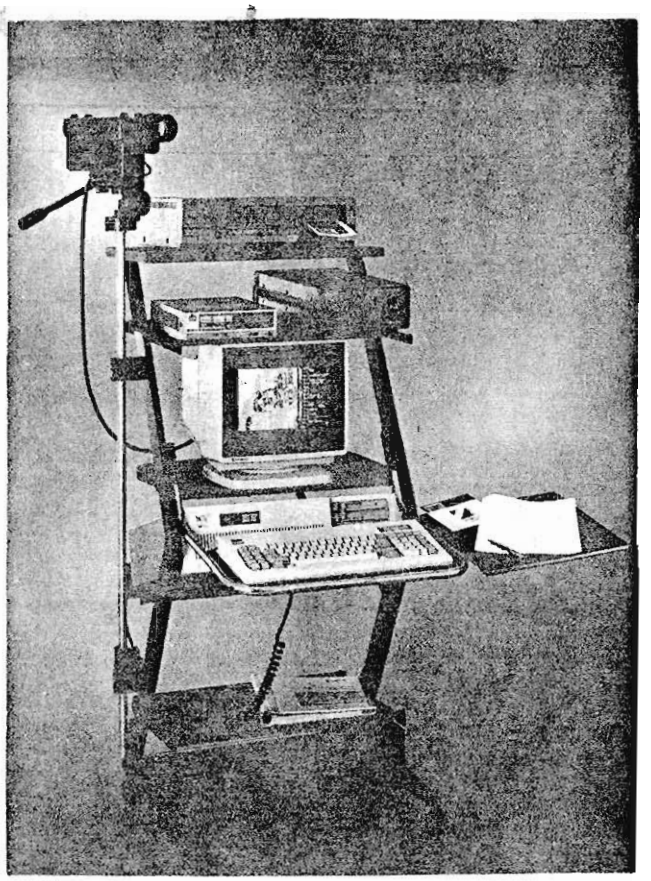
شکل شماره (۶) استفاده از دوربین ترموویژن دریك پست

۷ ـ تجهیزات جانبی سیستمهای ترموگرافیك

امروزه کاربرد سیستمهای ترموگرافیك آنقدر گسترش یافته است که تقریبا " درکلیه صنایع وحتی در امور پزشکی مورداستفاده پیداکرده‌اند. سیگنالهای ویدئو ـ الکترونیکی که توسط دوربین های ترموویژن تولیدمیشودمیتواند توسط یك دستگاه کنترل مرکزی به سیستمهای مختلف از جمله مونیتور ، پرینترها ( ویدئو و گرافیك ) و کامپیوتر منتقل گردد.

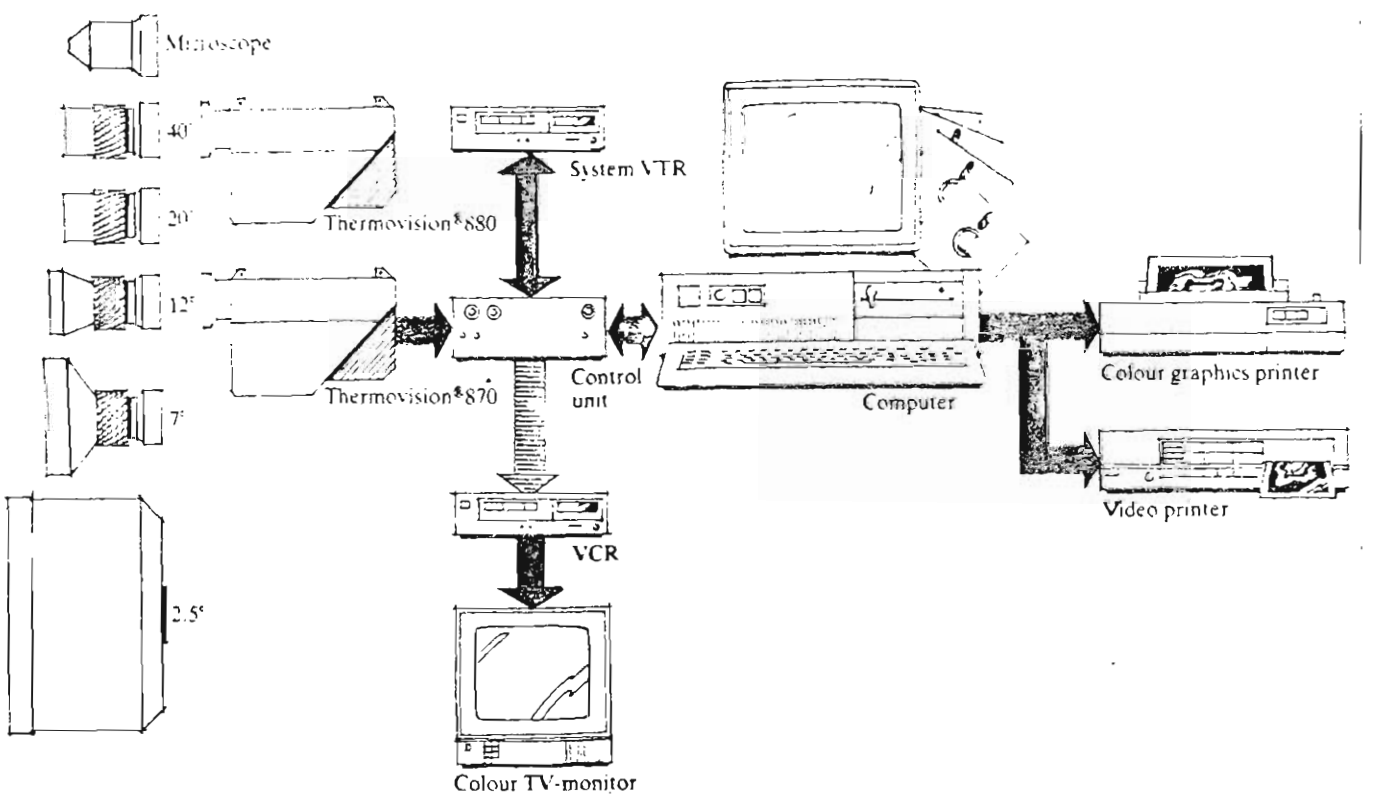
هم چنین امروزه نرم افزارهای بیشماری برای تجزیه و تحلیل عکسهای حرارتی و درجه حرارتهای اندازه گیری شده توسط اسکنرها موجود می‌باشد که میتواند حالات استاتیکی و دینامیکی سیستمهای حرارتی صنایع مختلف از جمله فولاد سازی ، نیروگاههای برق و پالایشگاهها را بررسی نماید.

شکل (۷) یك سیستم کامل ترموگرافیك را نشان می دهد.



شکل شماره (۷) سیستم کامل ترموگرافیک شامل مونیتور ، پرینتر و کامپیوتر

شکل (۸) تجهیزات جانبی دوربین های ترموویژن را نشان میدهد .




شکل شماره (۸) تجهیزات جانبی دوربین های ترموویژن

## ۸ ـ نتیجه گیری

باتوجه به‌این امر که تقریبا " نیمی از بودجه تعمیراتی شرکتهای برق مربوط به شبکه‌های فشار متوسط و ضعیف میباشد استفاده از عکسبرداری حرارتی درشبکه‌های توزیع می تواند صرفه‌جوئی قابل توجهی درهزینه‌ها بوجود آورده و ضمن افزایش قابلیت اطمینان شبکه نسبت به تداوم سرویس برق و ایجاد درآمد کمك شایان توجهی بنماید. هم چنین درصورت استفاده از تکنیك عکسبرداری حرارتی طی سالهای متمادی می توان با شناخت انواع عیوب دراجزاء شبکه و اثرات شرایط محیطی ، بادراختیار داشتن اطلاعات آماری مبتنی بر واقعیات نسبت به بهبود روشهای تعمیراتی و نگهداری و بهره برداری بهینه از شبکه‌های برق اقدام نمود.

## منابع مورد استفاده


گزارشات برنامه‌های تعمیراتی شرکتهای برق CEGB انگلستان و Vatenfall سوئد

مقالات علمی کارخانجات AGEMA Infrared Systems انگلستان

## TABLE OF NORMAL SPECTRAL EMISSIVITIES

SW = 2 - 5.6
LW = 6.5 - 20

| Material | Wavelength (Microns) | Temperature C | Emissivity |
|---|---|---|---|
| Alumina brick | SW | 17 | .68 |
| Aluminum, heavily weathered | SW | 17 | .83-.94 |
| Aluminum foil | 3 | | .09 |
| Aluminum foil (bright) | | | .04 |
| Aluminum disk, roughened | 3 | | .28 |
| Asbestos slate (wallboard) | | | .96 |
| Brick, common | SW | 17 | .81.86 -.92 |
| Brick, facing, red | SW | | .92 |
| Brick, facing, yellow | SW | | .72 |
| Brick, masonry | 5 | 0 | .94 |
| Brick, red | | | .9 |
| Brick, waterproof | SW | 17 | .87 |
| Chipboard, untreated | SW | | .90 |
| Concrete, dry | 5 | 36 | .95 |
| Concrete, rough | SW | 17 | .92-.97 |
| Copper, polished | 3 | | .03 |
| Copper, polished, annealed | 10 | | .01 |
| Fibre board (hard), untreated | SW | | .85 |
| Fibre board (porous), untreated | SW | | .85 |
| Filler, white | SW | | .88 |
| Firebrick | SW | 17 | .68 |
| Formica | LW | 27 | .937 |
| Frozen soil | LW | | .93 |
| Glass, chemical ware (transparent partly!) | 5 | 35 | .97 |
| Granite, natural surface | 5 | 36 | .96 |
| Gravel | LW | | .28 |
| Hardwood, across grain | SW | 17 | .82 |
| Hardwood, along grain | SW | 17 | .68-.73 |
| Hessian fabric, green | SW | | .88 |
| Hessian, fabric, uncolored | SW | | .87 |
| Iron, heavily rusted | SW | 17 | .91-.96 |

| Material | Wavelength (Microns) | Temperature C | Emissivity |
|---|---|---|---|
| Limestone, natural surface | 5 | 36 | .96 |
| Mortar | SW | 17 | .87 |
| Mortar, dry | 5 | 36 | .94 |
| P.V.C | SW | 17 | .91-.93 |
| Paint | | | |
| Manufacturer | | | |
| Broma Alkyd enamel 102 gold leaf | 3 | 40 | .98 |
| Broma Alkyd enamel 113 light blue | 3 | | .95 |
| Chromatone stabilized silver | 3 | 25 | .26 |
| finish - Alumatone Corp. | 10 | | .31 |
| Krylon flat black | 3 | 50 | .95 |
| Krylon flat white 1502 | 3 | 40 | .99 |
| Krylon ultra-flat black | 5 | 36 | .97 |
| 3M black velvet coating 9560 series optical black | 3 | 40 | >.99 |
| Oil | SW | 17 | .87 |
| black flat | SW | | .94 |
| black gloss | SW | | .92 |
| gray flat | SW | | .97 |
| gray gloss | SW | | .96 |
| Plastic, black | SW | | .95 |
| Plastic, white | SW | | .84 |
| Paper, cardboard box | 5 | | .81 |
| Paper, white | SW | 17 | .68 |
| Perspex, plexiglass | SW | 17 | .86 |
| Pipes, glazed | SW | 17 | .83 |
| Plaster | SW | 17 | .86-.90 |
| Plasterboard, untreated | SW | | .90 |
| Plastic, acrylic, clear | 5 | 36 | .94 |
| Plastic paper, red | SW | | .94 |
| Plastic paper, white | SW | | .84 |
| Plywood | SW | 17 | .83-.98 |
| Plywood, commercial, smooth finish, dry | 5 | 36 | .82 |
| Plywood, untreated | SW | | .83 |
| Polyproplene | SW | 17 | .97 |

| Material | Wavelength (Microns) | Temperature C | Emissivity |
|---|---|---|---|
| Redwood (wrought), untreated | SW | | .83 |
| Redwood (unwrought), untreated | SW | | .84 |
| Rendering, gray | SW | | .92 |
| Roofing Metal | | | |
| Azure blue, smooth | SW | 0 | .54 |
| Azure blue, textured | SW | 0 | .51 |
| Burnished Copper, smooth | SW | 0 | .54 |
| Burnished Copper, textured | SW | 0 | .56 |
| Dark Bronze, textured | SW | 0 | .70 |
| Mansard brown, smooth | SW | 0 | .58 |
| Matte black, smooth | SW | 0 | .73 |
| Roman bronze, smooth | SW | 0 | .69 |
| Slate gray, smooth | SW | 0 | .64 |
| Stone white, smooth | SW | 0 | .57 |
| Terra Cotta, smooth | SW | 0 | .61 |
| Shingles - asphalt (sm, ceramic-coated rock granules) | | | |
| Adobe | SW | 0 | .77 |
| Black | SW | 0 | .83 |
| Bright Red | SW | 0 | .96 |
| Chestnut Brown | SW | 0 | .67 |
| Colonial Green | SW | 0 | .83 |
| Dawn Mist | SW | 0 | .76 |
| Desert Tan | SW | 0 | .74 |
| Frost Blende | SW | 0 | .76 |
| Meadow Green | SW | 0 | .78 |
| Noire Black | SW | 0 | .90 |
| Sea Green | SW | 0 | .83 |
| Shadow Gray | SW | 0 | .81 |
| Slate Blende | SW | 0 | .65 |
| Snow White | SW | 0 | .81 |
| Wedgewood Blue | SW | 0 | .75 |
| Wood Blende | SW | 0 | .75 |
| Average | SW | 0 | .79 |
| Fiberglass - asphalt sm ceramic-coated rock granules | | | |
| Frost Blende | SW | 0 | .83 |
| Mahogany | SW | 0 | .84 |
| Meadow Mist | SW | 0 | .98 |
| Noire Black | SW | 0 | .93 |
| Snow White | SW | 0 | .74 |
| Wood Blende | SW | 0 | .81 |
| Average | SW | 0 | .86 |

| Material | Wavelength (Microns) | Temperature C | Emissivity |
|---|---|---|---|
| Asphalt - large ceramic-coated granules | | | |
| Ascot Gray | SW | 0 | .98 |
| Black Pearl | SW | 0 | .91 |
| Canyon | SW | 0 | .90 |
| Cirrus Blende | SW | 0 | .91 |
| Cinnamon Brown | SW | 0 | .93 |
| Sable Black | SW | 0 | .85 |
| Slate Blende | SW | 0 | .84 |
| Snow Flake White | SW | 0 | .91 |
| Tawny | SW | 0 | .89 |
| Wood Blende | SW | 0 | .87 |
| Average | SW | 0 | .88 |
| Black - 3 Types | | | |
| Black, small, asphalt | SW | 0 | .83 |
| Black pearl, large, asphalt | SW | 0 | .91 |
| Noire black, small, asphalt | SW | 0 | .90 |
| Noire black, small, fiberglass | SW | 0 | .93 |
| Sable black, large, asphalt | SW | 0 | .85 |
| Average | SW | 0 | .11 |
| 33 Colors - 3 Types | SW | 0 | .654-.977 |
| Average | SW | 0 | .85 |
| Rubber, stopper, black | 5 | 35 | .97 |
| Shadow Green | SW | 0 | .85 |
| Siding | | | |
| Acrylic Enamel Coating | | | |
| Antique gold | SW | 0 | .29 |
| Buckskin | SW | 0 | .26 |
| Burnisned green | SW | 0 | .45 |
| Butternut | SW | 0 | .45 |
| Centennial blue | SW | 0 | .19 |
| Colonial cream | SW | 0 | .38 |
| Imperial brown | SW | 0 | .20 |
| Imperial brown, textured | SW | 0 | .65 |
| Pearl gray | SW | 0 | .26 |
| Scotch red | SW | 0 | .27 |
| Slate blue | SW | 0 | .29 |
| Spanish green | SW | 0 | .37 |
| White, smooth | SW | 0 | .31 |
| White, textured | SW | 0 | .32 |
| Average | SW | 0 | .34 |

| Material | Wavelength (Microns) | Temperature C | Emissivity |
|---|---|---|---|
| Solid Vinyl | | | |
| Autumn gold, textured | SW | 0 | .79 |
| Butternut beige, textured | SW | 0 | .80 |
| Lexington green, textured | SW | 0 | .86 |
| Oyster white, textured | SW | 0 | .88 |
| Quaker gray, textured | SW | 0 | .89 |
| Sunshine yellow, textured | SW | 0 | .75 |
| White, smooth | SW | 0 | .93 |
| Average | SW | 0 | .84 |
| Styrofoam, insulation | 5 | 37 | .60 |
| Tape, electrical, insulating, black | 5 | 35 | .97 |
| Tape, masking | 5 | 36 | .92 |
| Tile, floor, asbestos | 5 | 35 | .94 |
| Tile, glazed | SW | 17 | .94 |
| Varnish, flat | SW | | .93 |
| Wallpaper (slight pattern) lt. gray | SW | | .85 |
| Wallpaper (slight pattern) red | SW | | .90 |
| Wood, paneling, light finish | 5 | 36 | .87 |
| Wood, polished spruce, dray | 5 | 36 | .86 |

فرم تهیه گزارش بازرسی ترموگرافیك

پست ها

ناحیه شمال ـ شرقی شرکت CEGB

CENTRAL ELECTRICITY GENERATING BOARD
NORTH EASTERN REGION
TRANSMISSION SERVICES

REPORT ON SUBSTATION SURVEY USING THERMOVISION CAMERA

Substation: ..... Date: ..... Ambient Temp: ..... Weather Conditions: .....

| Circuit Designation | Rating of Fitting | Phase | Photo Ref. | Load | Temp °C Above Normal | Ductor Reading | Description of Defect |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |

فرم تهیه گزارش بازرسی ترموگرافیك

خطوط هوائی

ناحیه شمال - شرقی شرکت CEGB

CENTRAL ELECTRICITY GENERATING BOARD
NORTH EASTERN REGION
TRANSMISSION SERVICES BRANCH

REPORT OF LINE SURVEY USING THERMOVISION CAMERA

Circuit ..... Route Letters ..... Date ..... Ambient Temp..... Wind .....

| Location | | Phase | Description of Fitting | Line Load | Full Load | kV | Type of Const. | Ductor Test | | Action Taken |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tower Number | Side of Tower | | | | | | | Before | After | |
| | | | | | | | | | | |