

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأثير درجات الحرارة على مولدات المحطات المائية

إعداد

د.م / محروس أحمد ظاهر

مدير عام الدراسات والبحوث

المحتويات:

- ١- مقدمة
- ٢- تأثير درجات الحرارة على المولدات
- ٣- مقاييس العالمية لدرجات الحرارة
- ٤- أنواع مبردات المولدات المستخدمة في المحطات المائية
- ٥- مقارنة درجات حرارة المولدات بشركة المحطات المائية
- ٦- تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء
- ٧- النتائج
- ٨- التوصيات

مقدمة

نظرا للظروف المناخية الحالية من ارتفاع في درجات حرارة الجو، فإنه تم اقتراح عمل هذه الدراسة لتأثير درجات الحرارة المرتفعة على مولدات شركة المحطات المائية والأنظمة الموجودة حاليا لتبريد المولدات.

وقد تم إجراء استقصاء لجمع البيانات اللازمة من محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢ وذلك بالتواصل مع السادة المهندسين المختصين بهذا المجال في تلك المحطات.

وتم تحليل هذه البيانات لبيان تأثير درجات الحرارة المرتفعة. وقد تبين وجود ارتفاع ملحوظ في درجات الحرارة في ملفات ومجاري العضو الثابت لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان الثانية وكذلك درجات حرارة الهواء الساخن.

شكر وتقدير Acknowledgement

الشكر لجميع السادة مهندسي محطات السد العالي و أسوان ١ وأسوان ٢

المساهمة الفنية للدراسة:-

- ١- توضيح أهمية توليد الطاقة من المحطات المائية.
- ٢- شرح تأثير درجات الحرارة على المولدات.
- ٣- توضيح درجات حرارة المولدات المسموح بها حسب المقاييس العالمية.
- ٤- شرح لأنواع المبردات المستخدمة في المحطات المائية.
- ٥- شرح طرق تصميم المبادلات الحرارية.
- ٦- رصد لدرجات حرارة مولدات محطة أسوان ٢ منذ بداية تشغيلها
- ٧- مقارنة درجات حرارة مولدات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢.
- ٨- مقارنة معاملات الأداء لمبردات المحطات الثلاثة.
- ٩- وضع التوصيات التي خلصت إليها هذه الدراسة.

مميزات الطاقة الكهرومائية:-

١. يمكن زيادة وخفض توليد الطاقة الكهرومائية، مما يوفر مصدرًا قيمًا للمرونة لشبكة الطاقة، على سبيل المثال، لدعم تكامل توليد الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة الأخرى، مثل الطاقة الشمسية.
٢. يمكن اعتبار المياه الموجودة في الخزانات الكبيرة لمحطات الطاقة الكهرومائية مصدرًا لتخزين الطاقة في فترات انخفاض الطلب وتحويلها إلى كهرباء عند الحاجة إليها.
٣. المولدات الكبيرة تتمتع بكفاءة تزيد عن ٩٠% محطات الطاقة الكهرومائية الكبيرة تعرّف على أنها منشآت تبلغ طاقتها أكثر من ٣٠ ميغاوات.

إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية

يُعرّف على أنه "الطاقة السنوية التي يُحتمل توافرها عندما يتم تسخير كل الجريان السطحي الطبيعي في بلد ما وصولاً إلى مستوى سطح البحر (أو إلى خط الحدود للبلد) دون أي خسائر في الطاقة." بعبارة أخرى، "قدرة توليد الطاقة الكهرومائية ممكنة إذا احتوت جميع تدفقات المياه الطبيعية على أكبر عدد ممكن من التوربينات الفعالة بنسبة ١٠٠٪".

سعة تصريف مياه التبريد

تُعرّف سعة تصريف مياه التبريد Cooling water discharge capacity

على أنها قدرة أنظمة المياه السطحية على تخفيف كمية معينة من حرارة

المفاقد دون تجاوز التشريعات البيئية (أي درجات حرارة المياه القصوى

المسموح بها وزيادة درجة حرارة الماء). وبالتالي، فإن إجمالي إمكانات

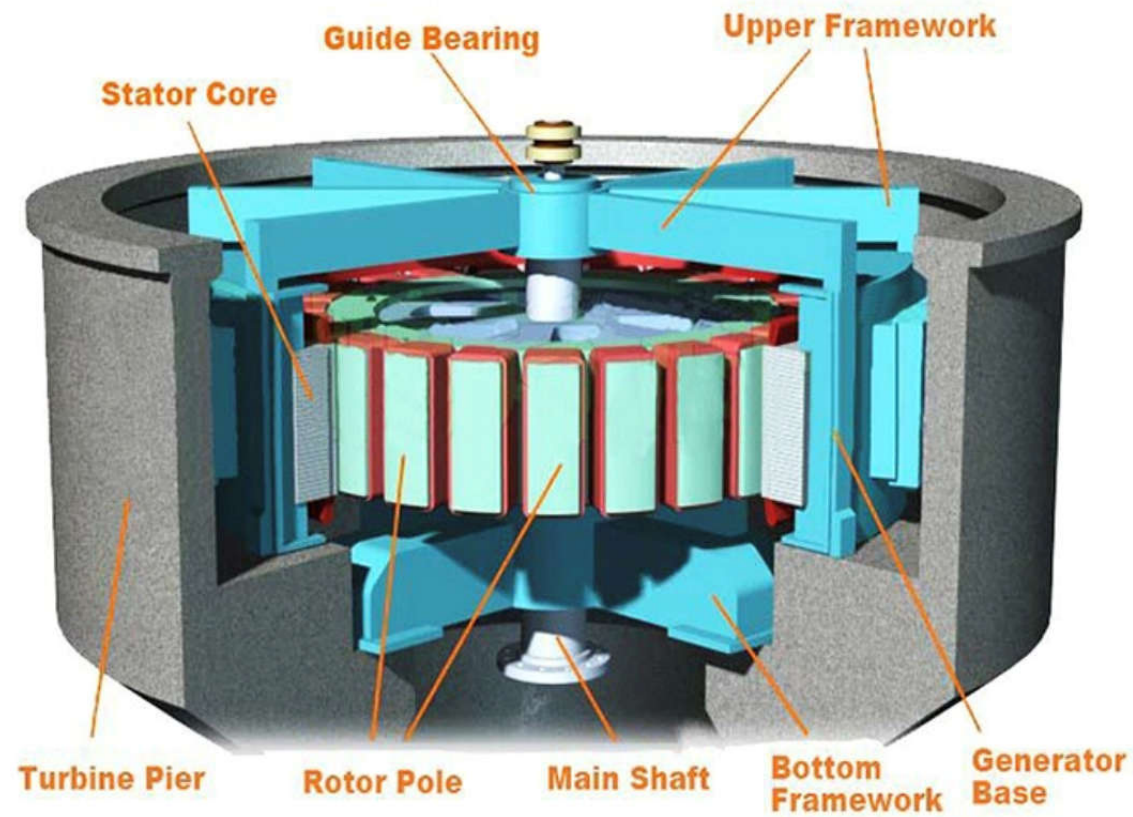
الطاقة الكهرومائية وقدرة تصريف مياه التبريد هي حدود عليا تشير إلى

إمكانية النمو المستقبلي لتوليد الكهرباء الحرارية والطاقة الكهرومائية

سعة تصريف مياه التبريد

تعد كل من إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية ومتوسط سعة تصريف مياه التبريد هي الأعلى في آسيا، تليها أمريكا الجنوبية، وأفريقيا، وأمريكا الشمالية، وأوروبا، وأستراليا وأوقيانوسيا ستزداد إمكانات الطاقة الكهرومائية الإجمالية بنسبة ٤.٢٪ : ٦.٣٪، وسيخفض متوسط قدرة تصريف مياه التبريد بنسبة ٤.٥٪ : ١٥٪، من الآن وحتى نهاية هذا القرن.

مولدات المحطات المائية



تأثير درجات الحرارة على المولدات

الحساسية الحرارية:

الحساسية الحرارية هي مصطلح لوصف الاهتزاز المفرط للعضو الدوار بالمولد، نتيجة التأثير الحراري لتيار المجال. عندما يتدفق تيار المجال في الملف، فإن النحاس مع ارتفاع درجات الحرارة، نتيجة لذلك يحدث شيئان:

١- يتمدد النحاس، الذي له معامل تمدد حراري أكبر من (steel forging) الصلب المصقول. ينتج عن هذا التباين في التمدد انتقال القوى إلى (steel

(forging) من خلال فتحات العضو الدوار والأوتاد wedges

تأثير درجات الحرارة على المولدات



الحساسية الحرارية

٢. تتبدد الحرارة المتولدة في النحاس في عملية التشكيل ويتم سحبها بعيدًا بواسطة هواء التبريد طالما أن كلا الحالتين تحدثان بشكل متماثل حول محور العضو الدوار، فلن تكون هناك قوى تميل إلى "ثني" العضو الدوار. **ومع ذلك،** عندما تعمل هذه القوى بشكل غير متساوي، أو عندما يوجد اختلاف في درجة الحرارة عبر العضو الدوار، فإن العضو الدوار سوف يميل إلى الانحناء، مما يتسبب في عدم توازن **imbalance** واهتزاز **vibration** فيما بعد. سيُظهر الحقل الحساس حراريًا تغيرًا في قيم الاهتزاز و / أو زاوية الطور مع تغيير في تيار المجال

الحساسية الحرارية

تتنوع الظروف التي قد تتسبب في توزيع غير منتظم للقوى، بعض العوامل الأكثر شيوعًا التي قد تسبب في الحساسية الحرارية (سواء منفردة أو مجتمعة) تشمل ما يلي:

- **حدوث قسر على الملفات** عند حدوث قسر بين عدد كبير من ملفات المجال المتقاربة، فإن القطب الذي يحتوي على عدد أكبر من الملفات التي حدث لها قسر سيكون له مقاومة أقل من القطب الآخر.
- مع نفس التيار المتدفق ، فإن القطب ذو المقاومة الأعلى (الذي يحتوي على عدد أقل من الملفات المقسورة) سوف يسخن ويتوسع أكثر من الآخر ، مما يتسبب في انحناء العمود في اتجاهه.

التأثير الحراري على تمدد قلب العضو الثابت

- أثناء تشغيل المولد، يتعرض قلب العضو الثابت والمسامير المذكورة سابقاً لدرجات حرارة مرتفعة تنتج في المقام الأول عن المفاقد وعدم الكفاءة في قلب العضو الثابت. تتسبب درجات الحرارة المرتفعة هذه في تعرض الشرائح الأساسية لعضو الثابت ومن خلال المسامير للتمدد الحراري في كلا الاتجاهين المحوريين.
- لا يمكن لمسامير المبني أن تتمدد بشكل ملحوظ في الاتجاه المحوري بسبب ترابطها المحوري الصلب مع جسم المولد. مسامير المبني لا تتمدد بشكل كبير في الاتجاه المحوري بينما المسامير البينية تفعل ذلك، فإن الدروع الطرفية end shields المغناطيسية وأنظمة تثبيت القلب الحديدي ومجمعات تثبيت الملفات تدور حول الصواميل المتصلة بمسامير المبني. يمكن أن يؤدي هذا الدوران إلى الانفصال بين مكونات أنظمة تثبيت الملفات.

التأثير الحراري على تمدد قلب العضو الثابت

- تسمح مثل هذه الفواصل بحركة نحو الخارج قطريًا للملفات الطرفية للعضو الثابت وما يصاحب ذلك من فرك وتآكل لعناصر مثل الملفات، وعزل الملفات، وفواصل الملفات، وكتل الفصل المدببة الموضوعة بين الملفات عند كل لفة طرفية.
- مثل هذا التآكل للعناصر المختلفة يمكن أن يكون له تأثير ضار على أدائها وقد يتطلب، بعد فترة تشغيل طويلة، إصلاح و/أو تجديد هذه العناصر

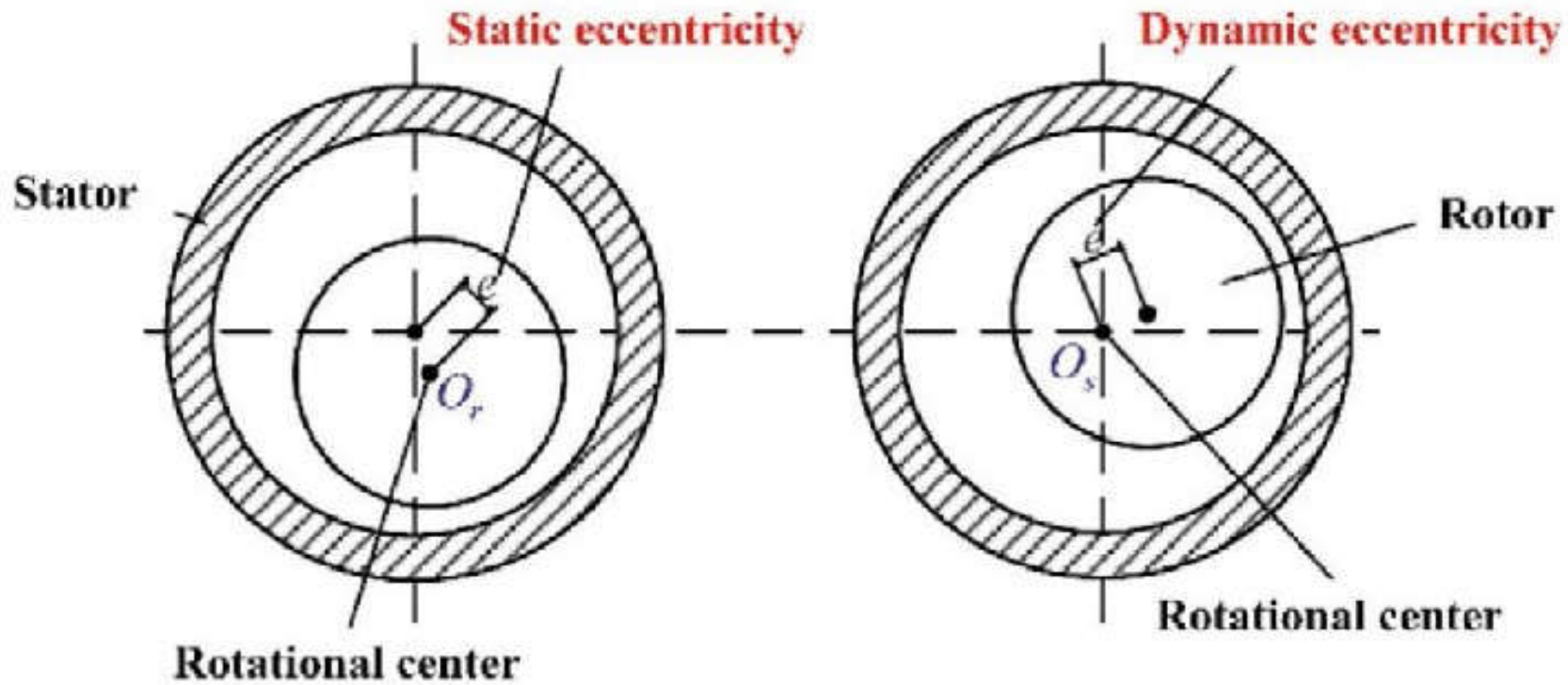
تأثير عمليات البدء والتوقف على تقادم المولدات الكهرومائية

بسبب تحرير سوق الطاقة وتكامل الطاقات المتجددة، يواجه مشغلو محطات الطاقة الكهرومائية عددًا متزايدًا من عمليات البدء والتوقف وتغييرات الأحمال التي يمكن أن تقلل من عمر المعدات. المكون الأكثر تأثيرًا بدورات البدء والإيقاف هو **عزل العضو الثابت**، بسبب الإجهاد الحراري الناجم عن هذه الدورات، ويُعتبر التأثير في العزل السبب هو الأول لسرعة انتهاء العمر الافتراضي لمولدات محطات الطاقة الكهرومائية.

تأثير الثغرة الهوائية Air gap

انحراف (عدم سنتره) الثغرة الهوائية الذي يشير إلى ثغرة هوائية غير المنتظمة بين العضو الدوار العضو الثابت، هو خطأ ميكانيكي شائع في كل من المولدات والمحركات. في حالات الانحراف المركزي، سيكون طول الثغرة الهوائية أكبر على أحد الجانبين، ولكنه أصغر في الوقت نفسه على الجانب الآخر.

تأثير الشغرة الهوائية Air gap



تأثير الثغرة الهوائية Air gap

بشكل عام، يمكن تقسيم الانحراف المركزي للثغرة الهوائية إلى ثلاثة أنواع:-

• الانحراف المركزي لفجوة الهواء الساكنة The Static Air-Gap Eccentricity (SAGE) وفي هذه الحالة تظل نقطة الثغرة الهوائية الدنيا مستقرة.

• الانحراف الديناميكي لفجوة الهواء The Dynamic Air-Gap Eccentricity (DAGE) وفي هذه الحالة ستتغير نقطة ثغرة الهواء الدنيا أثناء دوران العضو الدوار.

• الانحراف المختلط لفجوة الهواء والذي يتكون من SAGE و SAGE معا.

تأثير الثغرة الهوائية Air gap

سبب SAGE هو التوافق غير الدقيق بين العضو الثابت والدوار، وتآكل الكراسي الناتج عن التشغيل طويل المدى، في حين من المرجح أن يحدث DAGE بسبب عدم الاستدارة المنتظمة والانحناء الحراري للعضو الدوار.

على الرغم من أن SAGE الصغير لن يسبب ضررًا فوريًا للمولد ، إلا أن الأضرار المحتملة تحدث باستمرار. على سبيل المثال، سينتج SAGE سحبًا مغناطيسيًا غير متوازن Unbalanced magnetic pulls (UMP) على كل من العضو الثابت والدوار.

تأثير الثغرة الهوائية Air gap

UMP سوف يؤدي إلى تفاقم اهتزازات العضو الثابت/الدوار، ويؤدي إلى تشوه قلب العضو الثابت، ويتسبب في تلف عزل الملفات. والأخطر من ذلك، إذا وصلت درجة الانحراف إلى عتبة ١٠٪، يتم التعامل مع هذه الحالة على أنها عطل جسيم يتطلب الإصلاح الفوري لمنع المزيد من الأضرار. نظرًا لأنه في حالات DAGE، فإن الحد الأدنى لنقطة الثغرة الهوائية ستتغير بشكل دوري أثناء دوران العضو الدوار، كما سيتم تغيير موضع القوة الأكبر المؤثرة على العضو الثابت في الدورات.

تأثير الثغرة الهوائية Air gap

لقد تبين أنه في حالة SAGE، ستؤثر كل من الخصائص غير الخطية للمواد على دقة حساب المجال المغناطيسي، سيزيد SAGE أيضًا من قيم المفايد الإضافية ودرجة حرارة قلب العضو الثابت، ويحفز تيارات إضافية في ملفات الإخماد (damping windings)، وينتج تيارات دوامية داخل المسارات المتوازية، وينتج عنه عدم انتظام عزم الدوران وكذلك .UMPs

تأثير الثغرة الهوائية Air gap

يعد طول فجوة الهواء عاملاً مهماً جداً لأنه يؤثر بشكل كبير على أداء الماكينة. تؤثر الثغرة الهوائية في المولدات التزامنية على قيمة **Short Circuit Ratio (SCR)** وبالتالي فهي تؤثر على العديد من المعاملات الأخرى. ومن ثم ، فإن اختيار طول فجوة الهواء أمر بالغ الأهمية في حالة الآلات المتزامنة.

يتضح أن زيادة طول الثغرة الهوائية يؤدي إلى تحسين التبريد بالمولد.

تقنيات قياس درجة الحرارة

تعتبر درجات الحرارة داخل المعدات الكهربائية أفضل المؤشرات على حدوث انهيار وشيك، ولكن الحصول على دقة مكانية عالية أمر صعب و/أو مكلف. هناك ثلاثة أساليب أساسية لمراقبة درجة الحرارة:-

١. قياس درجات الحرارة المحلية في نقاط بالمعدة باستخدام حساسات درجة الحرارة المدمجة.
٢. الحصول على صورة حرارية، مغذية بالمتغيرات المناسبة، لمراقبة درجة حرارة النقطة الأكثر سخونة **The hottest spot** في الجهاز.
٣. قياس درجات الحرارة الموزعة في الماكينة، أو درجات الحرارة الكلية لسوائل التبريد.

تقنيات قياس درجة الحرارة

توضح هذه الأساليب الصعوبة الأساسية للرصد الحراري، وهو تحليل التعارض بين حقيقة أن قياسات درجة الحرارة النقطية من السهل إجراؤها، ولكنها تعطي معلومات محلية فقط، في حين أن قياسات درجة الحرارة الإجمالية أكثر صعوبة وتتعرض لخطر إمكانية النقاط الساخنة المحلية التي يتم التغاضي عنها.

عادةً ما يتم قياس درجة الحرارة المحلية باستخدام المزدوجات الحرارية Thermocouples أو كاشفات درجة الحرارة المقاومة (RTD)

تقنيات قياس درجة الحرارة

عادةً ما يتم تضمينها عند التصنيع في الأجزاء ذات الاهتمام، كما هو الحال في ملفات العضو الثابت أو قلب العضو الثابت أو كراسي التحميل. قياس درجات حرارة العضو الدوار المحلية أكثر صعوبة، ولكن يمكن إجراؤه باستخدام دائرة قائمة بذاتها يتم تشغيلها بواسطة التدفق المتغير في المولد وتنقل البيانات عبر وصلة الأشعة تحت الحمراء بدون تلامس أو ما شابه. يهتم قياس النقاط الساخنة والصور الحرارية بمعرفة درجة الحرارة عند النقطة الأكثر سخونة. لسوء الحظ، قد لا تكون هذه النقطة موجودة في مكان مناسب عند استخدام المزدوجات الحرارية Thermocouples أو (RTD).

تقنيات قياس درجة الحرارة

يعد إجراء هذا النوع من القياس أمرًا صعبًا من الناحية الفنية، ولكن يمكن القيام به. يتضمن أحد الحلول لآلة دوارة برمجة معالج microprocessor بنموذج حراري لذلك الجهاز ثم تغذيته بالمعلومات من النقاط الرئيسية في الجهاز. يعد القياس الإجمالي لدرجات حرارة سائل التبريد أمرًا بسيطًا ويتم تنفيذه بشكل متكرر. يمكن أن يشير الارتفاع المفاجئ إلى التحميل الزائد على المعدة أو حدوث مشكلة في نظام التبريد، على الرغم من أن الحصول على معلومات دقيقة حول النقاط الساخنة المحلية يكاد يكون مستحيلًا.

سعة التبريد The cooling capacity

سعة التبريد للمولدات هي كمية الحرارة التي يجب أن يزيلها مبرد الماء من المولد لإبقائه في درجة حرارة تشغيل آمنة.

كلما زادت طاقة مولدا لطاقة الكهرومائية، زادت الحرارة التي سيولدها، وزادت قدرة التبريد المطلوبة، يمكن أيضًا أن تتأثر سعة تبريد مبرد المياه بدرجة الحرارة المحيطة وكفاءة المبرد. **كلما ارتفعت درجة الحرارة المحيطة،** زادت سعة التبريد المطلوبة.

كلما كان مبرد الماء أكثر كفاءة، كلما قلت الحرارة التي يحتاج لإزالتها من مولد الطاقة الكهرومائية.

يجب أيضًا مراعاة عوامل أخرى، مثل حجم ونوع المبرد.

المقاييس العالمية لدرجات الحرارة

نظام العزل المستخدم في مولدات الجهد المتوسط (MV) والجهد العالي (HV) ذو تصنيف حراري F " 155 " درجة مئوية. و هي الفئة المستخدمة في المولدات المركبة في محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢ .

حسب المعايير UL , IEC فإن العلاقة بين التقادم الحراري لمادة العزل وعمرها الافتراضي هي: يبلغ "نصف العمر المتوقع" لنظام العزل من الفئة " F " الذي يعمل بشكل مستمر عند درجة حرارة ١٥٥ درجة مئوية حوالي ٢٠٠٠ ساعة.

عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط أكبر من ٤٠ درجة مئوية قيمة درجة الحرارة لنظام العزل من الفئة "F" تنخفض إلى ١١٥ درجة مئوية. وكذلك تحدد Standard of the National Electrical Manufacturers Association (NEMA) درجة الحرارة المسموح بها بناءً على درجة حرارة محيط مرجعية تبلغ ٤٠ درجة مئوية عند التحميل الكامل.

المقاييس العالمية لدرجات الحرارة

وفقًا لطريقة المقاومة التي تتبعها NEMA، يتم حساب ارتفاع درجة الحرارة للآلة ذات العزل من الفئة F ومعامل الخدمة Service factor 1.15 على أنها ١١٥ درجة مئوية.

بجمع درجة الحرارة المحيطة المرجعية البالغة ٤٠ درجة مئوية إلى جانب ارتفاع درجة الحرارة المحسوبة، تكون درجة حرارة التشغيل القصوى هي ١٥٥ درجة مئوية.

يجب أن يكون المولد قادرًا على تقديم الخرج المقتن عند أي جهد وتردد في نطاق التشغيل عند معامل القدرة المقتن دون تجاوز قيم درجة الحرارة التالية. هواء التبريد الذي يدخل المولد لا يزيد عن درجة الحرارة المحيطة (٥٠ درجة مئوية) ودرجة حرارة ماء التبريد لا تزيد عن ٣٠ درجة مئوية.

أقصى درجة حرارة مسموح بها حسب IEC 60085

أقصى درجة حرارة مسموح بها	فئة العزل
120°C	Class E
130°C	Class B
155°C	Class F
180°C	Class H
أكبر من 180°C	Class C

أنواع مبردات المولدات المستخدمة في المحطات المائية

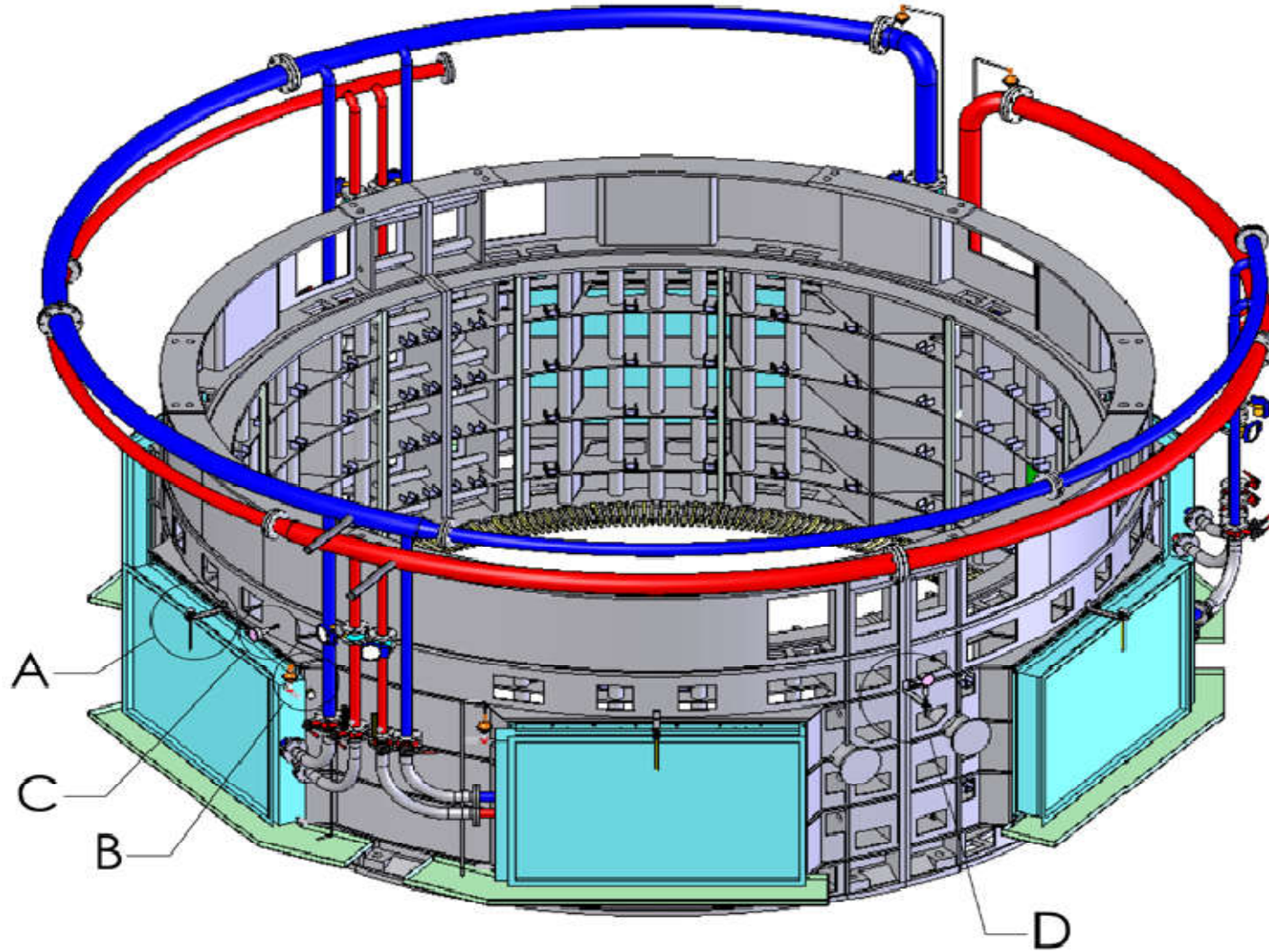
يستخدم نظام التبريد في المولدات التوربينية بشكل أساسي لإزالة الحرارة المتولدة من خلال المفايد المختلفة وإطالة عمر المادة العازلة.

تظهر المفايد في المولد على شكل حرارة تتبدد من خلال الإشعاع والتهوية. عادةً ما يتم إنشاء العضو الدوار للمولد لي عمل كمروحة تدفق محوري، أو يكون مزودًا بشفرات مروحة، لتدوير الهواء عبر الملفات.

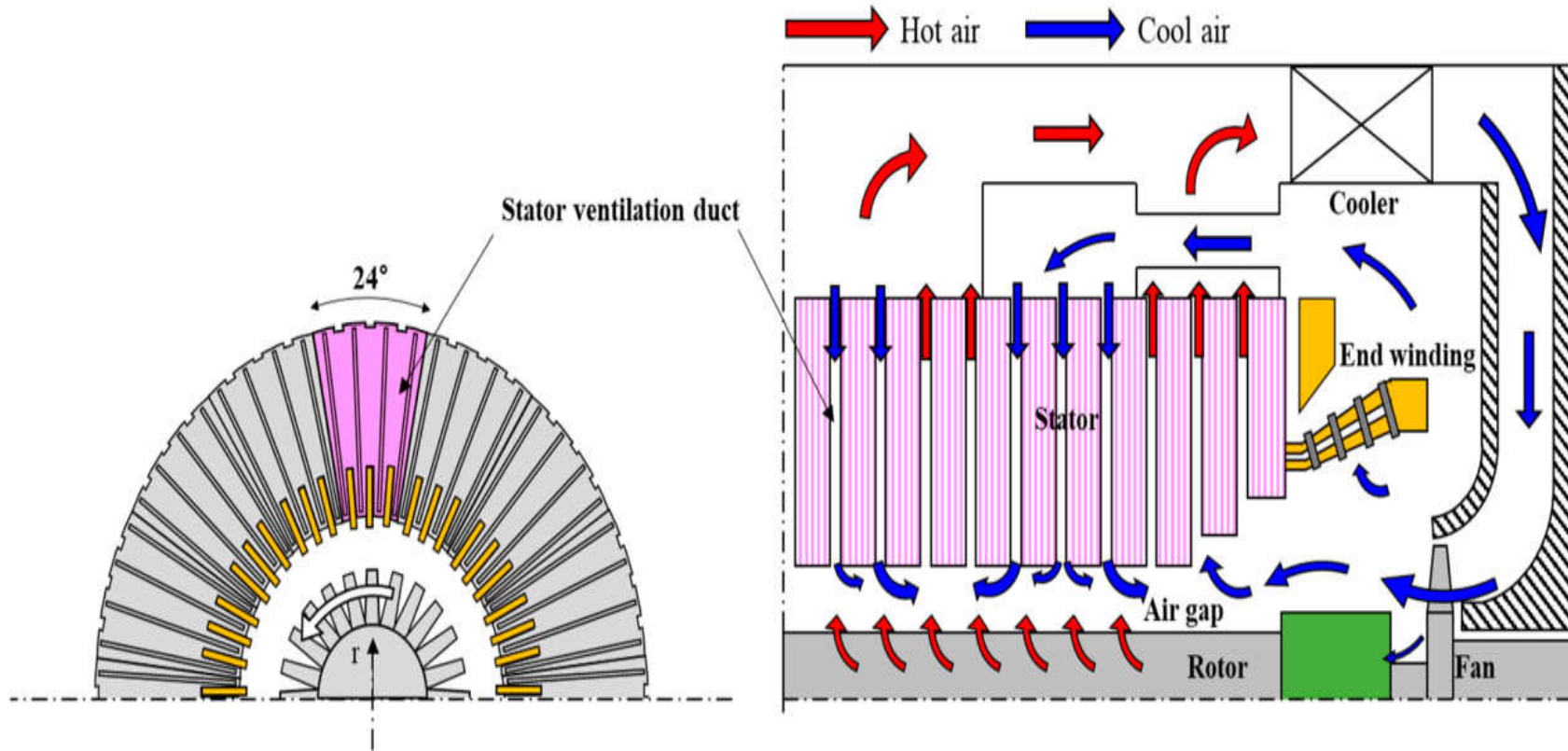
أنواع مبردات المولدات المستخدمة في المحطات المائية

- **أنظمة تبريد الهواء** تستخدم مراوح كبيرة لتدوير الهواء حول المولد لإزالة الحرارة من المولد. هذا النوع من التبريد هو الأكثر استخدامًا في محطات الطاقة الصغيرة، وهو أقل كفاءة من أنظمة تبريد المياه.
- **أنظمة تبريد المياه** تستخدم الماء لإزالة الحرارة من المولد. يعتبر هذا النوع من التبريد أكثر كفاءة من تبريد الهواء، ولكنه يتطلب بنية تحتية أكبر ومزيدًا من الصيانة.
- **أنظمة التبريد الهجين** تستخدم مزيجًا من تبريد الهواء والماء لإزالة الحرارة من المولد، وغالبًا ما يستخدم في محطات الطاقة الكبيرة.

رسم تخطيطي للمبردات المركبة على العضو الثابت للمولد



رسم تخطيطي لدورة تبريد مولد كهرومائي



تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

تصميم مبادلات حرارية بأنابيب ذات زعانف: -

لتصميم مبادلات حرارية بأنابيب ذات زعانف مع تحسين مساحة نقل الحرارة ، فإن حساب الحرارة لمساحة نقل الحرارة المطلوبة والتباعد الأمثل للأنابيب يتم حسابهما لإنشاء مساحة السطح المطلوبة.

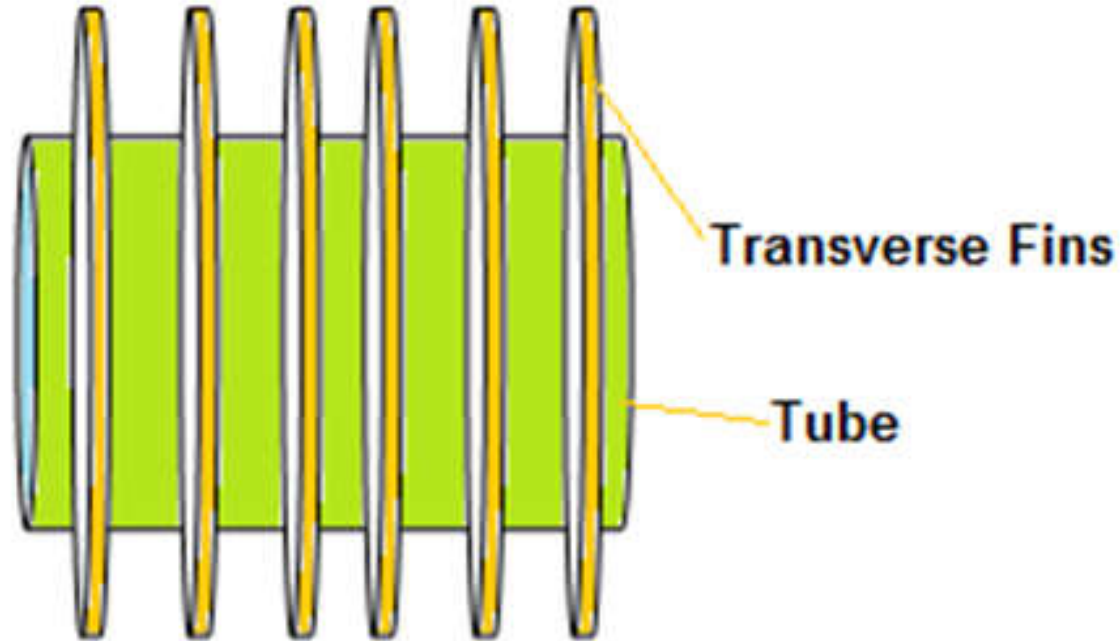
- زيادة مساحة نقل الحرارة يمكن أن تعني زيادة في كفاءة المبادل الحراري.
- بالنسبة للمساحة الخارجية، فإنه يتم استخدام المساحة الفعالة.
- أخيرًا، يتم حساب إجمالي مساحة نقل الحرارة المطلوبة وبالتالي يتم تحديد العدد المطلوب وطول الأنابيب..... وما إلى ذلك يتم حسابه.

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

إذا تغيرت سرعة السائل الخارجي بشكل كبير، يتم إعادة تقييم معاملات نقل الحرارة ومساحة الأنابيب المطلوبة.

وهكذا مع تكرار هذه العملية عدد قليل من المرات، يمكن تحديد الترتيب الأمثل للأنابيب ذات الزعانف ، للحصول على مساحة نقل الحرارة المطلوبة

أنبوب مبادل حراري ذو الزعانف المستعرضة



www.EnggCyclopedia.com

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

انتقال الحرارة الشاملة Q

يتم حساب اتزان الطاقة لتحديد عوامل التشغيل للسوائل الساخنة والباردة حسب المعادلة الأساسية في تصميم المبادل الحراري وهي معادلة انتقال الحرارة الشاملة التالية:

$$Q = U \times A \times LMTD$$

Q = overall heat transfer rate

حيث أن:

U = Overall heat transfer coefficient

A= Overall heat transfer surface area

LMTD = Logarithmic Mean Temperature Difference

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

معامل انتقال الحرارة الشاملة U

المعامل الإجمالي هو مقلوب المقاومة الإجمالية لنقل الحرارة، وهو مجموع عدة مقاومات فردية. يمكن أن تعطي المعادلة التالية معامل انتقال الحرارة الإجمالي في حالة التبادل الحراري عبر مواسير المبادل الحراري

$$\frac{1}{U} = \left[\frac{1}{h_o} + R_{do} + \frac{A_o}{A_i} \left(\frac{OD - ID}{2k_w} \right) + \frac{A_o}{A_i} \left(\frac{1}{h_i} \right) + \frac{A_o}{A_i} R_{di} \right]$$

تعتمد هذه المعاملات الفردية على عوامل مختلفة مثل نوع عملية نقل الحرارة، وخصائص السوائل، ومعدلات تدفق السوائل، وترتيبات التدفق، وما إلى ذلك.

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

أهمية مساحة المبادل الحراري A

يعد تحديد مساحة المبادل أهم خطوة في تصميم المبادل الحراري، حيث إنه يؤثر بشكل مباشر على كفاءة وأداء عملية نقل الحرارة.

مساحة المبادل الحراري تحدد مساحة السطح المتاحة لنقل الحرارة، زيادة

هذه المساحة تؤدي إلى تحسين أداء نقل الحرارة.

كما تؤدي زيادة مساحة سطح المبادل الحراري إلى زيادة انخفاض الضغط

(pressure drop) عبر المبادل الحراري، مما يسمح بنقل حرارة أكثر كفاءة

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

حسابات معاملات الأداء

١: متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي

Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)

يستخدم لتحديد القوة الدافعة لدرجة الحرارة لنقل الحرارة في المبادلات الحرارية. تم تقديم LMTD بسبب حقيقة أن تغير درجة الحرارة الذي يحدث عبر المبادل الحراري من المدخل إلى المخرج ليس خطيًا.

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

٢ : طريقة- NTU نسبة السعة الحرارية Number of Transfer Units

يتم استخدام طريقة عدد وحدات التحويل (NTU) لحساب معدل انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية (و خاصة للمبادل الحراري ذو السريان العكسي) عندما لا توجد معلومات كافية لحساب (LMTD) أو بمعنى آخر فإنه عند عمل تحليل لأداء المبادل الحراري، وكانت درجات حرارة دخول خروج المائع محددة فإنه يمكن تحديد الأداء باستخدام طريقة LMTD؛ ولكن عندما تكون درجات الحرارة هذه غير متوفرة يتم استخدام NTU أو طريقة الفعالية.

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

ويمكن حساب نسبة السعة الحرارية للمبادل الحراري ذو السريان العكسي من المعادلة الآتية:

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}}$$

حيث أن

UA: overall conductance

C min: the smaller heat capacity rate

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

٣: كفاءة التبريد للمبادل الحراري

كفاءة التبريد للمبادل الحراري هي مقياس لمدى كفاءة مبادل الحرارة في نقل الحرارة من المائع الساخن إلى المائع البارد. يمكن تحسين كفاءة التبريد للمبادل الحراري عن طريق اختيار نوع المبادل الحراري المناسب، وزيادة حجم المبادل الحراري، وزيادة مساحة السطح المعرضة للتبادل الحراري، وزيادة تدفق المائع، وخفض درجة حرارة المائع، واستخدام سائل مناسب، وتحسين جودة التصنيع

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

ويمكن حساب كفاءة المبادل الحراري ذو السريان العكسي من المعادلة الآتية:

$$\eta = \frac{t_{a1} - t_{a2}}{t_{a1} - t_{b2}} \times 100$$

تصميم المبادلات الحرارية وحسابات معاملات الأداء

٤ : NTU- ϵ طريقة الفعالية Effectiveness

لتحديد فعالية المبادل الحراري، نحتاج إلى إيجاد أقصى قدر ممكن من نقل الحرارة الذي يمكن تحقيقه افتراضياً في مبادل حراري مضاد التدفق بطول لا نهائي. على أنها نسبة السعة الحرارية الأصغر إلى نسبة السعة الحرارية الأكبر.

في حالة المبادل الحراري ذو السريان العكسي $C=1$. فعالية المبادل الحراري (ϵ) وهي عديمة الأبعاد وتتراوح قيمتها بين 0 إلى 1، يمكن حساب الفعالية من المعادلة التالية:

$$\epsilon = \frac{NTU}{1 + NTU}$$

مقارنة درجات حرارة المولدات بشركة المحطات المائية

محطة كهرباء خزان أسوان الثانية

تم رصد لدرجات حرارة مولدات محطة كهرباء خزان أسوان الثانية منذ إنشائها وحتى الآن وذلك بسبب ملاحظة ارتفاع درجات الحرارة لمولدات محطة أسوان ٢ مقارنة بمحطتي السد العالي وأسوان ١.

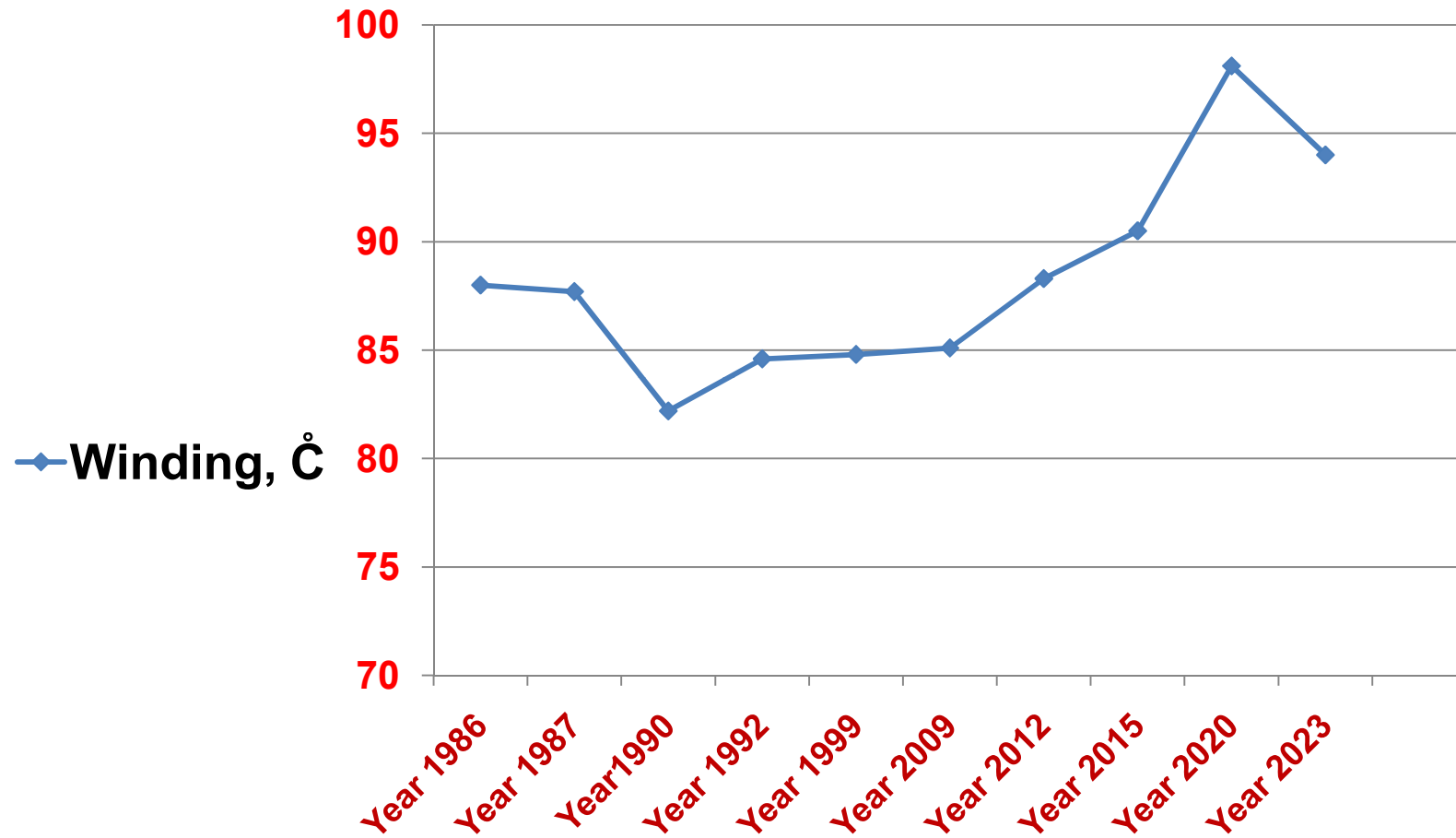
أعلى درجات حرارة عند أعلى توليد
لمولد الوحدة رقم ١ بمحطة أسوان ٢

Date	Winding °C	Teeth °C	Core °C	Air, °C		Water, °C		Load MW
				Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
10/06/1986	88	68	71	62	25	22.7	24.6	65
22/08/1987	85.9	68.8	71.7	63	30.3	25.8	29.3	60
02/06/1992	84.6	67.5	70.6	62.5	24.9	23.8	25.6	65
27/02/1999	91.6	69	63.2	59.7	22.1	19.3	22.1	65
20/06/2009	86.4	71.2	68.9	59.5	23.9	22.8	24	67.5
01/08/2015	98.8	85.6	83	72	40.3	26.4	28.9	66
15/07/2020	97	83	82	69	33.8	26.5	28.4	67.5
25/06/2023	87	73	71	62.8	30.5	23.9	26	67.5

أعلى درجات حرارة عند أعلى توليد
لمولد الوحدة رقم ٢ بمحطة أسوان ٢

Date	Winding °C	Teeth °C	Core °C	Air, °C		Water, °C		Load MW
				Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
10/06/1986	88	68	68	60	25.6	24.5	26	65
21/07/1990	82.2	65.9	66.1	58.8	26.7	20.9	22.6	60
02/06/1992	84.6	67.5	70.6	62.5	24.9	23.8	25.6	65
27/02/1999	84.8	65.4	66.1	57.1	23.5	23.8	25.7	65
20/06/2009	85.1	71.3	71.2	62.3	26.6	22.8	24.7	60
01/08/2015	90.5	74.1	72	65.3	32	26.9	28.4	60
15/07/2020	98.1	81.1	78.7	71.7	36	27.6	30.3	66
25/06/2023	94	78	78	71	67.7	28	29.7	67.5

Winding temp for unit 2



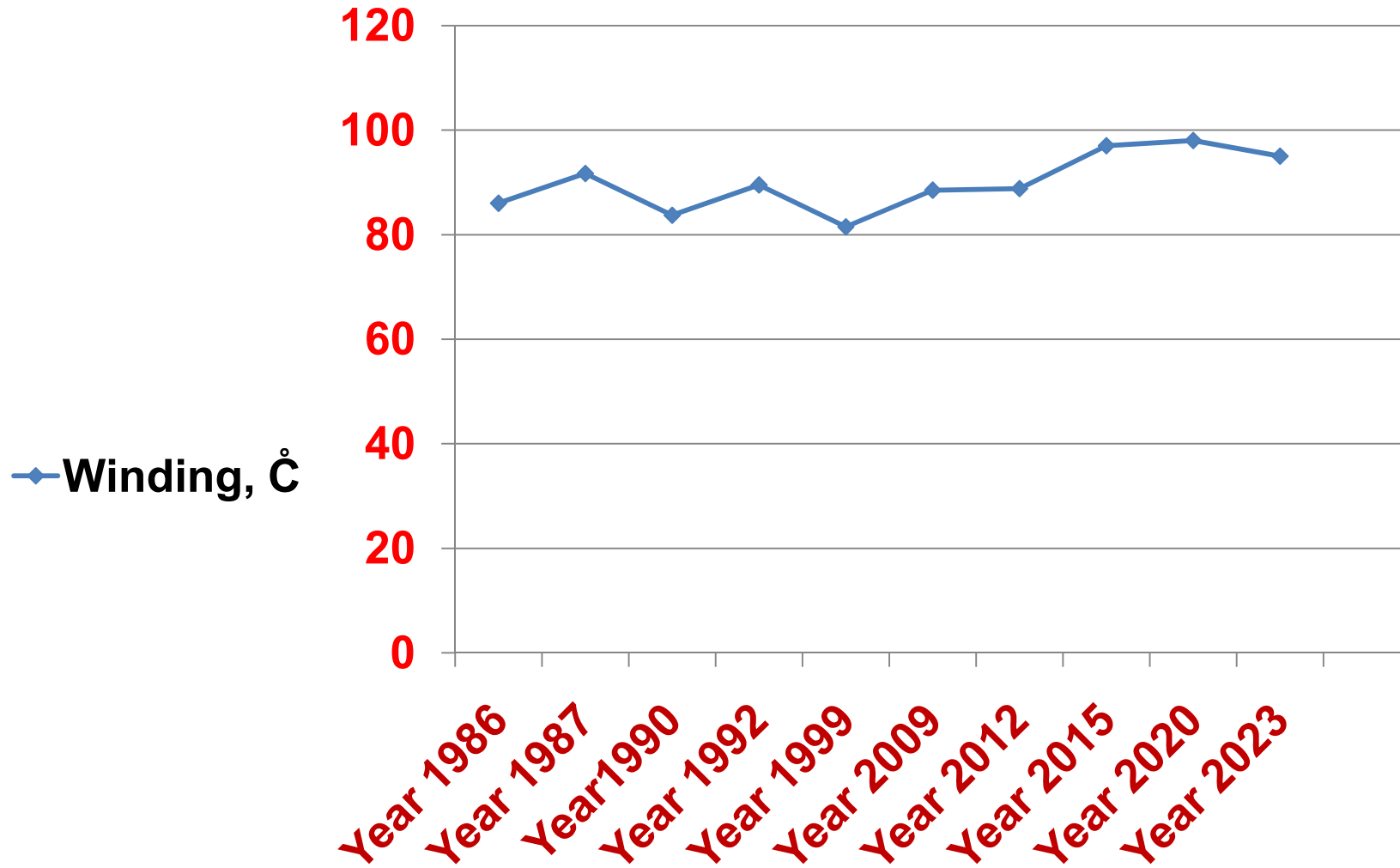
أعلى درجات حرارة عند أعلى توليد
لمولد الوحدة رقم ٣ بمحطة أسوان ٢

Date	Winding °C	Teeth °C	Core °C	Air, °C		Water, °C		Load MW
				Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
10/06/1986	86	70	71	63	26.7	24.3	25.5	65
21/07/1990	88.1	72.1	74.2	64.4	33.2	28.8	31.4	60
02/06/1992	85.4	69.6	67.6	59.5	27.2	23	25.5	65
27/02/1999	83.3	68.4	66.6	59.6	24.3	23.3	23.6	60
20/06/2009	85.7	68.4	66.2	59.7	24	22.9	23.8	67.5
01/08/2015	95.4	80.1	77.6	68.6	34.9	26.1	28.2	66
15/07/2020	92	76	75	68.1	30	31.8	32	67.5
25/06/2023	88	75	73	64.5	28.4	23	25	67.5

أعلى درجات حرارة عند أعلى توليد
لمولد الوحدة رقم ٤ بمحطة أسوان ٢

Date	Winding °C	Teeth, °C	Core °C	Air, °C		Water, °C		Load MW
				Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
10/06/1986	86	70	71	63	26.7	24.3	25.5	65
22/08/1987	91.7	78.4	78.4	70.4	36.3	26.3	27.9	60
02/06/1992	83.7	68.4	68.9	62	31.1	23.2	24.4	65
27/02/1999	81.5	67.9	66.1	60.6	24.3	24.5	25.5	60
20/06/2009	88.5	68.8	66.8	63.3	23.6	23.7	24.6	67.5
01/08/2015	97	79.2	76.9	72.3	37.4	25.8	27.3	66
15/07/2020	98	82	78	74.5	33	28.5	29.8	67.5
25/06/2023	95	79	77	73	32	25.7	27.4	67.5

Winding temp for unit 4



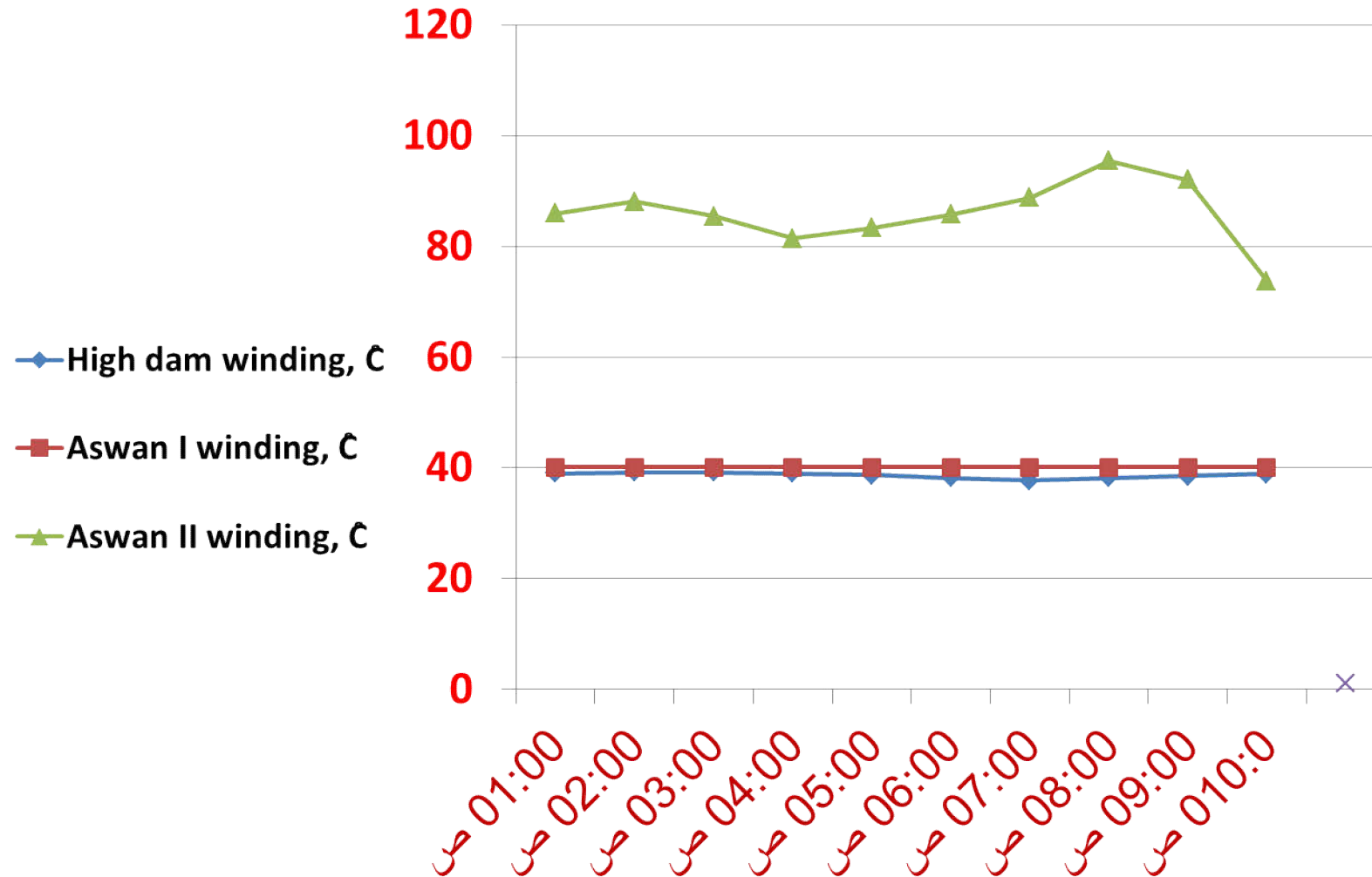
مقارنة بين درجات حرارة مولدات محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢

Date	High dam	Aswan I	Aswan II
Air inlet temp, C°	39.3	37	60
Air outlet temp, C°	25.76	28	28.7
Water inlet temp, C°	22	24	23
Water outlet temp, C°	25	25	30
Stator winding temp, C°	53.65	52.8	95

مقارنة بين درجات حرارة **ملفات العضو الثابت** للوحدة رقم ١ بكل من: محطة السد العالي ومحطة أسوان ١ ومحطة أسوان ٢ يوم ٦-٦-٢٠٢٣

Date	High dam	Aswan I	Aswan II
٠١:٠٠ ص	38.91	40	86
٠٢:٠٠ ص	39.12	40	88.1
٠٣:٠٠ ص	39.12	40	85.4
٠٤:٠٠ ص	38.91	40	81.4
٠٥:٠٠ ص	38.66	40	83.3
٠٦:٠٠ ص	38.1	40	85.7
٠٧:٠٠ ص	37.57	40	88.8
٠٨:٠٠ ص	38.1	40	95.4
٠٩:٠٠ ص	38.38	40	92
١٠:٠٠ ص	38.85	40	73.7

مقارنة بين درجات حرارة ملفات العضو الثابت للوحدة رقم ١ بكل من محطة السد العالي ومحطة أسوان ١ ومحطة أسوان ٢ يوم ٦-٦-٢٠٢٣



يتبين من المقارنة بين درجات حرارة ملفات العضو الثابت والعضو الدوار وكذلك درجات حرارة الهواء والماء البارد والساخن بين المحطات الثلاث ما يلي:-

* درجات الحرارة لمكونات مولدات محطة أسوان ٢ أعلى من مكونات مولدات محطتي السد العالي وأسوان ١

درجات حرارة ملفات العضو الثابت والعضو الدوار لمولدات محطة خزان أسوان ٢ أعلى منها لمولدات محطتي السد العالي وأسوان ١ بحوالي ٦٠ درجة مئوية

مقارنة معاملات الأداء

Performance	High dam	Aswan I	Aswan II
Cooler Efficiency	88.9 %	69.23 %	78.26 %
Cooler Effectiveness	55.75 %	91.76 %	89.72 %
Cooler (LMTD)	7.89	7.28	14.84
Cooler NTU	0.649	0.4236	1.826

يتبين من المقارنة أن كلا من الكفاءة والفعالية لمبردات مولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ لها قيم مناسبة،

كما أن قيم كلا من LMTD & NTU لمبردات مولدات أسوان ٢ أعلى من نظيرتها لمولدات محطتي السد العالي وأسوان ١.

مما سبق يتبين أن معاملات الأداء لمبردات مولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ تعبر عن جودة نظام التبريد وأنه ليس مسئولاً عن ارتفاع درجات الحرارة بالمولد

مقارنة طول الثغرة الهوائية لمولدات شركة المحطات المائية: -

Performance	High dam	Aswan I	Aswan II
Air gap length, mm	24	20	14

يتضح من الجدول أن الثغرة الهوائية لمولدات محطة أسوان ٢ هي الأقل مقارنة بمولدات محطتي السد العالي وأسوان ١، هذا هو أحد عوامل ارتفاع درجة حرارة مولدات محطة لمولدات أسوان ٢.

درجات الحرارة المسموح بها لتشغيل مولدات محطة أسوان ٢ حسب المصمم (توشيبا)

1.10 Temperatures and temperature rises (temperature rises above incoming cooling water)

Description		Quantity
Stator	Temperature rises in stator winding measured by RTD at rated conditions , C°	90
	Temperature rises in core at rated conditions , C°	50
	Temperature of air leaving the air coolers with 32 C° cooling water, C°	40
Rotor	Temperature rises in rotor winding measured by resistance method at rated conditions , C°	90

يتضح من الجدول السابق من كتالوجات المصمم والمصنع لمولدات محطة أسوان ٢ (شركة توشيبا) أن درجة الحرارة المسموح بها **ملفات العضو الثابت** هي ٩٠° أعلى من درجة حرارة مياه التبريد (حوالي ٢٥°) وبالتالي تكون درجة الحرارة الكلية المسموح بها للتشغيل (٩٠° + ٢٥° = ١١٥°) وهي نفس القيمة السابق ذكرها في المقاييس العالمية (NEMA) في تشغيل المولد، نفس التحليل ينطبق على **ملفات العضو الدوار**.

لذلك فإن درجات الحرارة المقاسة تعبر عن قيم طبيعية للتشغيل حسب تصميم المولدات.

النتائج

وتم الوصول للنتائج التالية: -

- . درجات الحرارة المولدة تتأثر بكل من: الاهتزازات والثغرة الهوائية وعدد مرات التشغيل والإيقاف .
- . زيادة الاهتزازات وصغر الثغرة الهوائية وزيادة عدد مرات التشغيل والإيقاف تتسبب في ارتفاع درجات حرارة العضو الثابت مما يؤثر سلبا على عزل الملفات فيقل العمر الافتراضي للمولد .

النتائج

- . تبين وجود اختلاف بين درجات الحرارة مولدات المحطات الثلاث، فقد سجلت محطة كهرباء خزان أسوان ٢ أعلى درجات حرارة لكل من ملفات العضو الثابت والهواء الساخن مقارنة بمحطتي السد العالي وأسوان ١ .
- . تم حساب معاملات الأداء للمحطات الثلاث وقد تبين أن قيمها أكبر لمحطة أسوان ٢ مقارنة بمحطتي السد العالي وأسوان ١ .
- . درجات الحرارة لكل من ملفات العضو الثابت والهواء الساخن لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ هي درجات طبيعية حسب التصميم .

الاستنتاج:

- يتبين أن جميع معاملات الأداء لمبردات مولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ هي غالباً أعلى من جميع معاملات الأداء لمبردات مولدات محطتي السد العالي وأسوان ١ .
- الثغرة الهوائية لمولدات محطة أسوان ٢ هي الأقل مقارنة بمولدات محطتي السد العالي وأسوان ١ ، هذا هو أحد عوامل ارتفاع درجة حرارة مولدات محطة لمولدات أسوان ٢ .
- مع تحليل بيانات مولدات المحطات الثلاث ومراجعة كتالوجات المصمم والمصنع لمولدات محطة أسوان ٢ (شركة توشيبا) وتبين أن درجات الحرارة المقاسة تعبر عن قيم طبيعية للتشغيل حسب تصميم المولدات .

التوصيات:

- استخدام كاميرات حرارية متنقلة تعمل بالأشعة تحت الحمراء **Portable infra red cameras** لقياس درجات الحرارة.
- يتيح استخدام الكاميرات الحرارية المتنقلة قياس درجات الحرارة لجميع النقاط التي يمكن الوصول إليها مما يتيح تحديد النقاط الساخنة **Hot spots**.
- يمكن استخدام الكاميرات الحرارية المتنقلة لقياس درجات الحرارة بجميع المعدات مثل المولدات وكراسي الوحدات.

التوصيات:

عند تطوير مولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ يجب مراعاة ما يلي: -

- إعادة تصميم أجزاء المولد بحيث أن درجة حرارة ملفات العضو الثابت لا تزيد عن ٧٠ درجة مئوية.
- إعادة تصميم أجزاء المولد بحيث أن طول الثغرة الهوائية لا يقل عن ٢٠ ملليمتر.
- إعادة تصميم مبردات المولدات بما يتناسب مع درجة الحرارة المطلوبة ملفات العضو الثابت.

التوصيات:

- قيم درجات حرارة التشغيل الطبيعية والقيم القصوى حسب كتالوجات التصميم يجب وضعها في تقارير الصيانة للمعدات.
- تركيب منظومة لمراقبة ضغط مياه الدخول والخروج لمبردات المولدات.
- تركيب منظومة لمراقبة الثغرة الهوائية يتم توصيلها مع نظام التحكم DCS بالمحطة.
- تركيب منظومة مقاومة حريق المولد Firefighting system

التوصيات:

مشروع التطوير لأنظمة التحكم DCS بمحطة كهرباء خزان أسوان ١ الذي يتم الإعداد له يجب مراعاة ما يلي:

- تركيب منظومة لمراقبة الاهتزازات توصل مع نظام التحكم DCS بالمحطة.
- تركيب منظومة لمراقبة الثغرة الهوائية توصل مع DCS بالمحطة.
- مراعاة ظهور لدرجات حرارة المولدات على شاشة Work station بغرفة التحكم، بحيث تشمل كلا من (المياه الباردة والساخنة والهواء البارد والساخن) لمبردات المولدات وكذلك (الملفات والقلب والأسنان) للعضو الثابت.

التوصيات:

الأعمال المستقبلية

نوصي بعمل الدراسات التالية في أقرب وقت ممكن:

- دراسة تأثير درجات الحرارة على المحولات بالشركة.
- دراسة الزيوت المستخدمة بالمحولات وكراسي الوحدات.

شكرا لكم