

تأثير درجات الحرارة على مولدات المحطات المائية

إعداد

د. م / محروس أحمد طاهر أحمد

تمهيد

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 وأسوان ١ وأسوان ٢ لحسن تعاونهم.

أولا: المقدمة

في جميع أنحاء العالم، يتم إنتاج ٨١٪ من إجمالي توليد الكهرباء حاليًا بواسطة محطات الطاقة الكهروحرارية (الطاقة النووية والكتلة الحيوية والوقود الأحفوري)، و١٧٪ بواسطة محطات الطاقة الكهرومائية، لذلك من الأهمية بمكان أن يكون لدى قطاع الكهرباء موارد كافية من المياه العذبة ذات درجة حرارة منخفضة لتوليد الطاقة وتبريد محطات الطاقة الكهروحرارية.

مميزات الطاقة الكهرومائية

في الواقع، تتمتع الطاقة الكهرومائية بعدد من المزايا مقارنة بأنواع أخرى من توليد الطاقة من المصادر المتجددة

١. على وجه الخصوص، 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 الرياح والطاقة الشمسية.

٢. بالإضافة إلى ذلك، يمكن اعتبار المياه الموجودة في الخزانات الكبيرة لمحطات الطاقة الكهرومائية مصدرًا لتخزين الطاقة في فترات انخفاض الطلب وتحويلها إلى كهرباء عند الحاجة إليها.

٣. أخيرًا، بالنسبة لوحدات المولدات التوربينية الكبيرة، يمكن أن تتمتع عملية تحويل الطاقة الميكانيكية إلى الكهربائية بكفاءة مجمعة تزيد عن ٩٠٪، علما بأن محطات الطاقة الكهرومائية الكبيرة تعرف على أنها منشآت تبلغ طاقتها أكثر من ٣٠ ميجاوات.

* وعليه، ففي عام ٢٠١٦، تم توليد حوالي ١٣٪ من الكهرباء المستهلكة في العالم من الطاقة الكهرومائية. بحلول عام ٢٠٣٠، سيكون أكثر من نصف محطات الطاقة الكهرومائية في العالم بحاجة إلى التطوير والتحديث، أو سيتم تجديدها بالفعل. بالإضافة إلى ذلك، وفرت محطات الطاقة

الكهرومائية أكثر من ٩٥% من تخزين الطاقة لجميع منشآت التخزين المتعقبة النشطة في جميع أنحاء العالم.

* بالإضافة إلى المزايا المذكورة أعلاه، تتميز محطات الطاقة الكهرومائية أيضًا بعمر افتراضي طويل وتكاليف تشغيل وصيانة منخفضة نسبيًا، وعادةً ما تبلغ حوالي ٢.٥% من التكلفة الإجمالية للمحطة.

* يتطلب التعامل مع تقنيات CBM وتطبيقاتها الحصول على البيانات ومعالجة البيانات واتخاذ قرارات الصيانة.

كيف سيغير الاحترار العالمي موارد المياه السطحية المتاحة في العالم، من حيث تدفق التيار ودرجة حرارة المياه، وكيف ستؤثر هذه التغييرات على إمكانية توليد الطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية؟ تم تقييم ذلك على نطاق عالمي من خلال حساب كل من إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية وقدرة تصريف مياه التبريد. يُعرّف إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية 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٪".

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 في الواقع، يتم استخدام نسبة قليلة فقط من هذه الحدود العليا حالياً، 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. يُظهر التقييم أن إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية العالمية قد تزداد بين ٢.٤٪ و ٦.٣٪ في الثمانينيات من القرن الماضي مقارنةً بفترة ١٩٧١-٢٠٠٠. المناطق ذات الزيادات الكبيرة (> ٢٠٪) في إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية هي بشكل أساسي وسط إفريقيا والهند وآسيا الوسطى ومنطقة خطوط العرض الشمالية العليا. المناطق التي تشهد انخفاضاً كبيراً (< ٢٠٪) في إمكانات الطاقة الكهرومائية هي جنوب أوروبا وشمال إفريقيا وجنوب الولايات المتحدة وأجزاء من أمريكا الجنوبية وجنوب إفريقيا وجنوب أستراليا.

من المتوقع أن ينخفض المتوسط العالمي لقدرة تصريف مياه التبريد بنسبة ٤.٥ - ١٥٪ (٢٠٨٠). تم العثور على أكبر التخفيضات في الولايات المتحدة وأوروبا وشرق آسيا والأجزاء الجنوبية من أمريكا الجنوبية وإفريقيا وأستراليا، حيث من المتوقع حدوث زيادات قوية في درجة حرارة المياه مقترنة بانخفاض متوسط التدفق السنوي للتيار. من المتوقع أن تزداد سعة تصريف مياه التبريد بشكل كبير (< ٢٠٪) في الهند ووسط إفريقيا وبعض الأجزاء الشمالية من أستراليا وفي معظم مناطق خطوط العرض الشمالية العليا.

لذلك على المستوى العالمي، ستزداد إمكانات الطاقة الكهرومائية الإجمالية بنسبة ٢.٤٪ - ٦.٣٪، وسيخفض متوسط قدرة تصريف مياه التبريد بنسبة ٤.٥٪ - ١٥٪، من الآن وحتى نهاية هذا القرن. قد تكون هذه الأرقام مضللة عند النظر إلى إمكانيات توسيع الطاقة الكهرومائية الفعلية والطاقة الكهروحرارية. قد تزداد الطاقة الكهرومائية والطاقة الكهروحرارية بنسبة تصل إلى بضعة مئات في المائة خلال هذا القرن. تختلف هذه النسب المئوية الكبيرة تمامًا عن التغييرات النسبية الصغيرة للحدود العليا نظرًا لحقيقة أن ٥٪ و ٠.٣٪ فقط من هذه الحدود العليا لإجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية وسعة تفريغ مياه التبريد تُستخدم فعليًا للطاقة الكهرومائية والطاقة الكهروحرارية، على التوالي! وبالتالي، يبدو أن هناك الكثير من الإمكانيات لزيادة الطاقة الكهرومائية والطاقة الكهروحرارية. هذا مثير للاهتمام بشكل خاص لأن معظم محطات الطاقة الكهرومائية الحالية تقع في مناطق انخفاض متوقع في متوسط التدفق السنوي، في حين أن جزءًا كبيرًا من سطح الأرض في العالم سيشهد زيادات في تدفق التيار وبالتالي في إجمالي إمكانات الطاقة الكهرومائية.

المساهمة الفنية للدراسة:

- ١- توضيح أهمية توليد الطاقة من المحطات المائية.
- ٢- شرح تأثير درجات الحرارة على المولدات مع توضيح للعوامل المختلفة المرتبطة بها.
- ٣- توضيح لقيم 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 كهرباء أسوان ٢ منذ بداية تشغيلها حتى الآن.
- ٧- مقارنة درجات حرارة مولدات محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢.
- ٨- مقارنة معاملات الأداء لمبردات المحطات الثلاثة.
- ٩- وضع التوصيات التي خلصت إليها هذه الدراسة.

ثانياً: تأثير درجات الحرارة على المولدات

الحساسية الحرارية

الحساسية الحرارية هي المصطلح المستخدم لوصف الاهتزاز المفرط لدوار المولد، الناجم عن التأثير الحراري لتيار المجال. عندما يتدفق تيار المجال في الملف، فإن النحاس مع ارتفاع درجات الحرارة، نتيجة لذلك يحدث شيان:

١. يتمدد النحاس، الذي له معامل تمدد حراري أكبر، أكثر من (steel forging) الصلب المصقول. ينتج عن هذا التباين في التمدد انتقال القوى إلى (steel forging) من خلال فتحات العضو الدوار والأوتاد wedges وحلقة الاستبقاء retaining ring وحلقة التمرکز centering ring.

٢. تنبدد الحرارة المتولدة في النحاس في عملية التشكيل ويتم سحبها بعيداً بواسطة وسط التبريد (الهواء أو الهيدروجين) 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. سيظهر الحقل الحساس حراريًا تغييرًا في قيم الاهتزاز و / أو زاوية الطور مع تغيير في تيار المجال. تتنوع الظروف التي قد تتسبب في توزيع غير منتظم للقوى، بعض العوامل الأكثر شيوعاً التي قد تسبب في الحساسية الحرارية (سواء منفردة أو مجتمعة) تشمل ما يلي:

■ حدوث قسر على الملفات. عندما يحدث 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

تشكل أجزاء ملفات العضو الثابت التي تمتد بشكل محوري إلى ما بعد نهايات العضو الثابت دورات نهائية مثبتة بمجموعات دعم الملف. يتم وضع مجموعات دعم الملف هذه بشكل أساسي في اتجاه نصف القطر خارج الملفات الطرفية ويتم توصيلها بأنظمة دعم قلب العضو الثابت. تمتد البراغي خلال العضو الثابت بشكل محوري من خلال شرائح laminations قلب العضو الثابت، ومن خلال الدروع shields الطرفية المغناطيسية الموضوعة على طرفي قلب العضو الثابت، ومن خلال نظام دعم القلب. تمتد مسامير المبنى الموضوعة على طول المحيط الخارجي لنصف القطر لشرائح قلب العضو الثابت بالمثل من خلال الدروع الطرفية المغناطيسية وأنظمة الدعم الأساسية. عادةً ما يتم دوران الصواميل الموضوعة على كلا الطرفين المحوريين للمسامير البينية ومسامير المبنى بشكل كافٍ لثبيت أنظمة الدعم الأساسية في الموضع المجمع المطلوب والحفاظ على الاستمرارية المحورية وسلامة قلب العضو الثابت.

في حين أن المسامير الداخلية تكون حرة في الانزلاق محوريًا بالنسبة لإطار المولد، فإن مسامير المبنى عادة ما تكون ملحومة أو مثبتة بشكل آمن على حلقات التجويف bore rings حول محيط قلب العضو الثابت وتدعمه في مواقع محورية محددة مسبقًا. وترتبط حلقات التجويف بشكل محدد مع جسم المولد لمنع الحركة المحورية النسبية بين حلقات التجويف وجسم المولد. أثناء تشغيل المولد، يتعرض قلب العضو الثابت والمسامير المذكورة سابقًا لدرجات حرارة مرتفعة تنتج في المقام الأول عن المفاويع 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.

ومع ذلك، لا يمكن لمسامير المبنى أن تتمدد بشكل ملحوظ في الاتجاه المحوري بسبب ترابطها المحوري الصلب مع جسم المولد. نظرًا لأن مسامير المبنى 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 المبنى. يمكن أن يؤدي هذا الدوران إلى الانفصال بين مكونات أنظمة تثبيت الملفات. 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.

التأثير على عمر المعدات

الخيار (أ): استخدام معلومات الشركة المصنعة عن العمر الافتراضي للمعدات ومقارنتها بتاريخ التشغيل الأول، في هذا الخيار، يتم تحديد العمر المتبقي كفرق بين العمر الفني وزمن التشغيل.

الخيار (ب): الحصول على تقييم خبير، في هذا الخيار، يمكن أن يُطلب من خبير مستقل (غير مشارك في المشروع) لديه خبرة ذات صلة في تقييم العمر المتبقي لنوع المعدات لتحديد العمر المتبقي للمعدات. بالنسبة للعمر الفني، يفترض أن عمر المولدات بالمحطات الكهرومائية ٣٠ سنة.

الخيار (ج): استخدم القيم الافتراضية default، في هذا الخيار، يمكن للمشاركين في المشروع استخدام القيم الافتراضية في جدول الملحق رقم ١ للعمر الفني وتحديد العمر المتبقي كفرق بين العمر الفني ووقت التشغيل.

تقنيات قياس درجات 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.

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).

وعادةً ما يتم تضمينها عند التصنيع في الأجزاء ذات الاهتمام، كما هو الحال في ملفات العضو الثابت أو قلب العضو الثابت أو كراسي التحميل. يعد 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).

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.

تأثير عمليات البدء والتوقف على تقادم المولدات الكهربائية بواسطة الإجهاد الحراري للعضو الثابت

بسبب تحرير سوق الطاقة وتكامل الطاقات المتجددة، يواجه مشغلو محطات الطاقة الكهربائية عددًا متزايدًا من عمليات البدء والتوقف وتغييرات الأحمال التي يمكن أن تقلل من عمر المعدات. المكون الأكثر تأثرًا 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 الكهربائية.

الثغرة الهوائية Air gap

إنحراف (عدم سنترية) 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.

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

- الانحراف المركزي لفجوة الهواء الساكنة The Static Air-Gap Eccentricity (SAGE) وفي هذه الحالة تظل نقطة الشجرة 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 معاً. عادةً، يمكن أن يكون 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. ومن المسلم به أن مثل هذا الانحراف في الثغرة الهوائية يصعب التخلص منه تمامًا، في حين أن كل مولد تقريباً لديه انحراف مركزي بنطاقات مختلفة. على الرغم من أن SAGE الصغير لن يسبب ضرراً فورياً للمولد، إلا أن الأضرار المحتملة تحدث باستمرار. على سبيل المثال، سينتج SAGE سحباً مغناطيسياً غير متوازن (UMP) Unbalanced magnetic pulls على كل من العضو الثابت والدوار.

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. نظراً 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. ومع ذلك، في حالات SAGE، سيظل موضع تأثير القوة الأقصى ثابتاً نظراً لأن الحد الأدنى لنقطة الثغرة الهوائية تظل دون تغيير نسبياً، في حالات SAGE، يوفر العضو الثابت قوة/ضغطاً أكثر خطورة مما هو عليه في حالات DAGE. لقد تبين أنه في حالة SAGE، ستؤثر كل من الخصائص غير الخطية للمواد وتسريب في نهايات الملفات End zone leakage على دقة حساب المجال المغناطيسي، سيزيد SAGE أيضاً من قيم المفاقيد 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 وUMPs.

تأثير طول الثغرة الهوائية

يعد طول فجوة الهواء عاملاً مهماً جداً لأنه يؤثر بشكل كبير على أداء الماكينة. تؤثر الثغرة الهوائية في المولدات التزامني 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. فيما يلي مزايا وعيوب الفجوة الهوائية الأكبر

Advantages:

- (i) Stability: Higher value of stability limit
- (ii) Regulation: Smaller value of inherent regulation
- (iii) Synchronizing power: Higher value of synchronizing power

- (iv) Cooling: Better cooling
- (v) Noise: Reduction in noise
- (vi) Magnetic pull: Smaller value of unbalanced magnetic pull

Disadvantages:

- (i) Field mmf: Larger value of field mmf is required
- (ii) Size: Larger diameter and hence larger size
- (iii) Magnetic leakage: Increased magnetic leakage
- (iv) Weight of copper: Higher weight of copper in the field winding
- (v) Cost: Increase overall cost.

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

سعة التبريد The cooling capacity

سعة التبريد التي تم تعريفها سابقا يمكن تفسيرها بالنسبة لمولدات الطاقة الكهرومائية بأنها هي كمية الحرارة التي يجب أن يزيلها مبرد الماء من المولد من أجل إبقائه في درجة حرارة تشغيل آمنة. كلما زادت طاقة مولدا لطاقة الكهرومائية، زادت الحرارة التي سيولدها، وزادت قدرة التبريد المطلوبة. يمكن أيضاً أن تتأثر سعة تبريد مبرد المياه بدرجة الحرارة المحيطة وكفاءة مبرد الماء. بشكل عام، 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. من المهم ملاحظة أن سعة التبريد لمبرد الماء ليست هي العامل الوحيد الذي يجب مراعاته عند اختيار مبرد مياه لمولد الطاقة الكهرومائية. ولكن يجب أيضاً مراعاة عوامل أخرى، مثل حجم ونوع المبرد.

نظام إطفاء الحريق Fire Extinguishing System

يجب تزويد جميع المولدات الكهرومائية التي تزيد قدرتها عن ٢٥ ميجا فولت أمبير إما بنظام إطفاء حريق بالماء أو بثاني أكسيد الكربون (CO2)، لتقليل الضرر الناجم عن حدوث حريق داخل المولد. في حالة المولدات التي قدرتها ٢٥ ميجا فولت أمبير أو أقل فإنه يتم تركيب نظام إطفاء حريق فعال ومناسب من حيث التكلفة، لذلك يمكن استخدام نظام رش الماء Water sprinkler الذي يعتبر أكثر أماناً للعاملين بالمحطات.

المقاييس العالمية لدرجات الحرارة

نظام العزل المستخدم في مولدات الجهد المتوسط (MV) والجهد العالي (HV) ذو تصنيف حراري "F" ١٥٥ درجة مئوية. و هي الفئة المستخدمة في المولدات المركبة في محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢، حسب المعايير UL, IEC فإن العلاقة بين التقييم 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 ٢٠٠٠٠ ساعة). على الرغم من

أن هذا لا يعني أن نظام العزل سوف يفشل بعد ٢٠٠٠٠ ساعة. علماً بأن كل فئة من فئات العزل تتأثر قيمتها بعاملين هما درجة حرارة الوسط المحيط وكذلك الارتفاع عن سطح البحر. 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.

وفقاً لطريقة المقاومة التي تتبعها NEMA، يتم حساب ارتفاع درجة الحرارة للآلة ذات العزل من الفئة F ومعامل الخدمة Service factor ١.١٥ 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. الجدول الملحق رقم ١ يوضح العمر الافتراضي للمعدات، حيث يفترض أن عمر المولدات بالمحطات الكهربائية ٣٠ عام. المرفق رقم ٥ يوضح درجات الحرارة حسب المقاييس العالمية.

يجب أن يكون المولد قادراً على تقديم الخرج المقنن عند أي جهد وتردد في نطاق التشغيل عند معامل القدرة المقنن 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.

* ملفات العضو الثابت ١٠٥ درجة مئوية

* ملفات العضو الدوار ١٠٥ درجة مئوية

* العضو الثابت (القلب الحديدي) ١٠٥ درجة مئوية

يجب ألا تتجاوز درجة الحرارة القصوى عندما تكون القدرة المولدة مساوية للحد الأقصى من الخرج المطابق لسعة الحمل الزائد المستمر ومع الظروف المذكورة أعلاه، ١٢٥ درجة مئوية لكل من ملف العضو الثابت والدوار على التوالي. يجب ضمان عدم ارتفاع درجة الحرارة عند تقديم العطاء ويجب قياسه في الموقع وفقاً للمواصفات القياسية IEC 34 أو IS ذات الصلة. يجب أن يتم تركيب حساسات مدمجة لقياس درجة حرارة ملفات الاستنتاج (Armature winding) وكذلك حساسات لقياس درجة حرارة ملفات المجال بطريقة المقاومة. على أن تكون المياه لأغراض التبريد متاحة عند درجات حرارة لا تتجاوز ٣٠ درجة مئوية. الجدول رقم ١ يوضح أقصى درجة حرارة مسموح بها لفئات العزل المختلفة حسب IEC 60085.

جدول رقم ١: أقصى درجة حرارة مسموح بها حسب IEC 60085

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

أنواع المبادلات الحرارية Types of Heat Exchangers

تقسم المبادلات بناءً على اعتبارات كثيرة منها ما يصنف حسب طريقة السريان ومنها حسب عدد الموائع المستخدمة في التبادل ومنها حسب طريقة الإنشاء وسطح التبادل ومنها حسب آلية التبادل الحراري، وعموماً يوجد أربعة من المبادلات الحرارية صُنفت على حسب طريقة سريان المائع الساخن والبارد خلالها: -

(١) المبادل الحراري ذو المائع الواحد والثابت في درجة الحرارة

(٢) المبادل الحراري المتوازي

(٣) المبادل الحراري ذو السريان العكسي

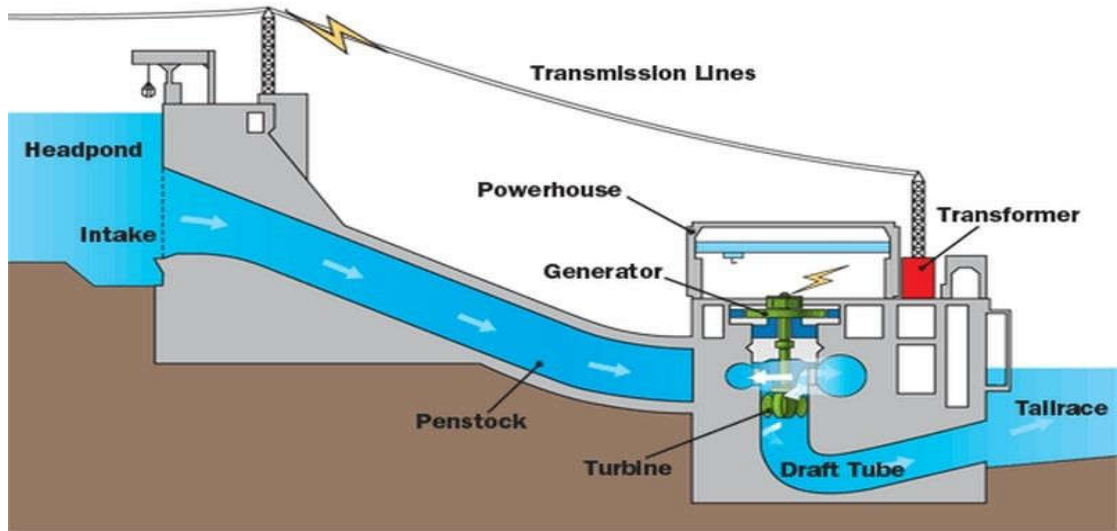
(٤) المبادل الحراري ذو السريان المتعامد

ثالثاً: أنواع مبردات المولدات المستخدمة في المحطات المائية

هناك عدة أنواع من أنظمة التبريد التي يمكن استخدامها للمولدات في محطات الطاقة. تشمل الأنواع الأكثر شيوعاً أنظمة تبريد الهواء، وتبريد الماء، وأنظمة التبريد الهجين. تستخدم أنظمة تبريد الهواء مراوح كبيرة لتدوير الهواء حول المولد، مما يساعد على تبديد الحرارة. هذا النوع من التبريد هو الأكثر استخداماً في محطات الطاقة الصغيرة، وهو أقل كفاءة من أنظمة تبريد المياه. تستخدم أنظمة تبريد المياه الماء لإزالة الحرارة من المولد.

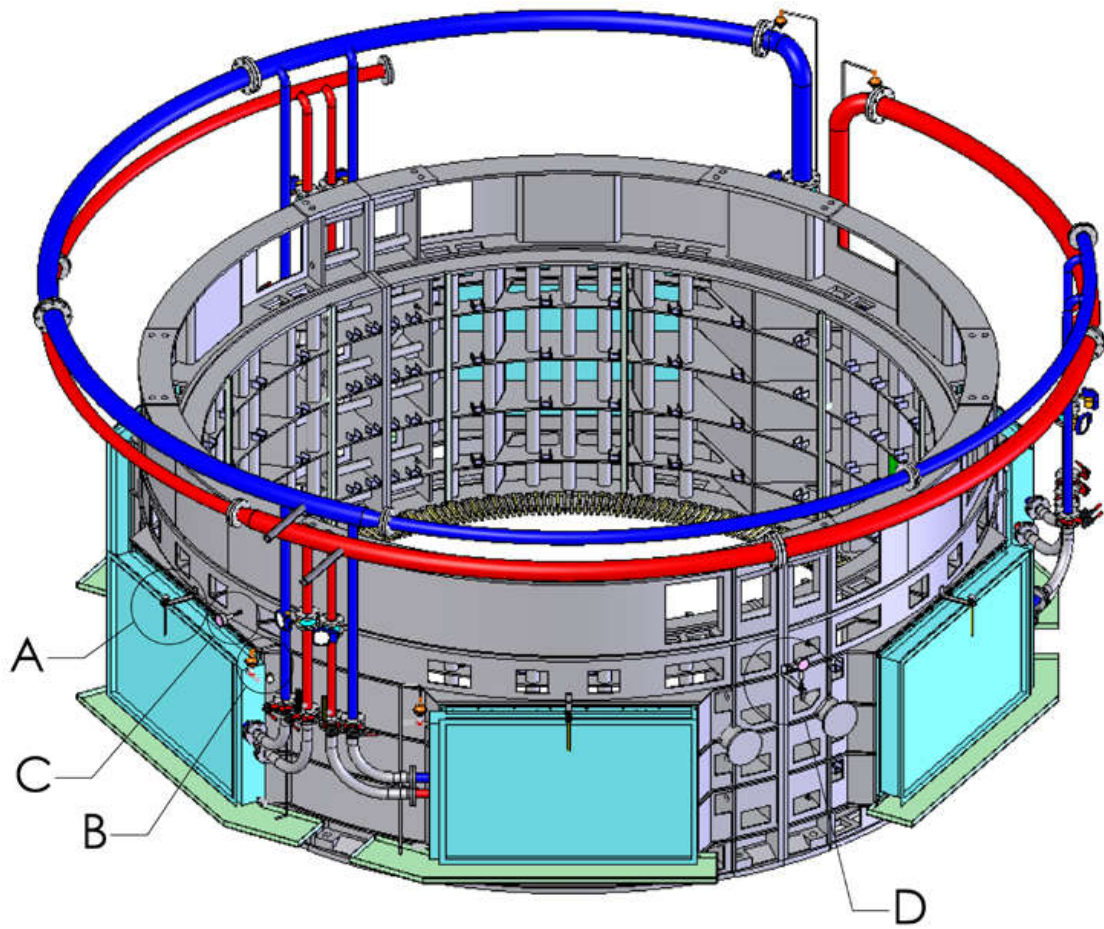
يعتبر هذا النوع من التبريد أكثر كفاءة من تبريد الهواء، ولكنه يتطلب بنية تحتية أكبر ومزيداً من الصيانة. تستخدم أنظمة التبريد الهجين مزيجاً من تبريد الهواء والماء لإزالة الحرارة من المولد. يمكن لهذا النوع من أنظمة التبريد أن يوفر أفضل ما في العالمين، وغالباً ما يستخدم في محطات الطاقة الكبيرة. يستخدم نظام التبريد في المولدات التوربينية بشكل أساسي لإزالة الحرارة المتولدة من خلال المفاقيد المختلفة وإطالة عمر المادة العازلة.

تظهر المفاقيد في المولد على شكل حرارة تتبدد من خلال الإشعاع والتهوية. عادةً ما يتم إنشاء العضو الدوار للمولد ليعمل كمروحة تدفق محوري، أو يكون مزوداً بشفرات مروحة، لتدوير الهواء عبر الملفات. في حالة المولدات الصغيرة التي سعتها أقل من ٥ ميجاوات تكون دورة تبريد هواء المولد مغلقة جزئياً، ويتم تفريغ هواء المولد الساخن في غرفة المولد، أو يتم سحبه إلى الخارج. عادةً ما يتم توفير مبردات الماء إلى الهواء لجميع مولدات المحطات المائية الحديثة التي تزيد عن ٥ ميجا فولت أمبير. توجد المبردات حول المحيط الخارجي للعضو الثابت للمولد. تتميز المولدات المزودة بمبردات من الماء إلى الهواء بأنه يمكن تصميمها بأبعاد أصغر، مما يقلل من تكلفة المولد. عندما يتناسب التنظيم التلقائي لسريان مياه التبريد طردياً مع تحميل المولد فإنه يؤدي إلى الحصول على درجات حرارة تشغيل أكثر مناسبة، مما يزيد من عمر العزل لملفات العضو الثابت. يمكن التحكم في تبريد المولد بسهولة أكبر باستخدام مثل هذا النظام، كما أن ملفات الجزء الثابت وفتحات التهوية في القلب تظل نظيفة، مما يقلل من معدل انهيار عزل ملفات العضو الثابت. تسمح الأنظمة المغلقة أيضاً بإضافة أنظمة الحماية التلقائية من الحرائق، وتخفيف ضوضاء المولد، وتقليل كميات الحرارة. نظام التبريد يسمح بإخراج مبرد واحد للصيانة دون التأثير على القدرة التي تعطيها الوحدة. عادةً ما يتم توفير مياه تبريد المولد من الغلاف الحلزوني (penstock) عبر محطة تخفيض ضغط المياه أو من خلال سحبها من أنبوبة السحب (tailrace) في كلتا الحالتين، يجب توفير فلاتر ذاتية التنظيف في خطوط إمداد مياه التبريد لإزالة الرواسب. الشكل رقم ١ يوضح رسم تخطيطي لمحطة كهرومائية.



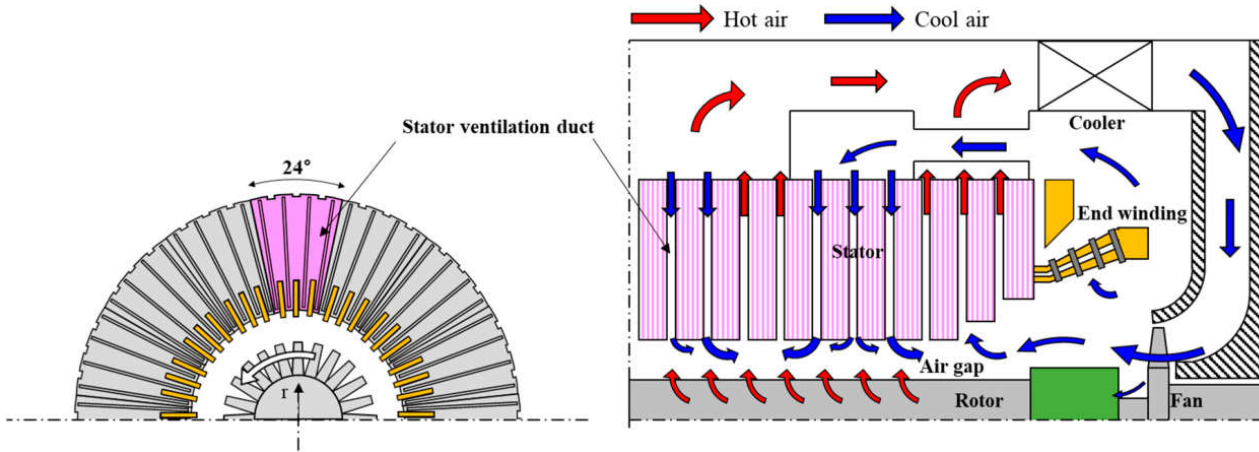
شكل رقم ١: رسم تخطيطي لمحطة كهرومائية

الشكل رقم ٢ يوضح مواضع تركيب مبردات مولد بمحطة كهرومائية.



شكل رقم ٢: رسم تخطيطي للمبردات المركبة على العضو الثابت للمولد

يوضح الشكل ٣ نظام التبريد النموذجي للمولد الكهرومائي. يتغذى هواء التبريد الذي يتم ضخه بواسطة مروحة إلى فتحات تهوية ventilation ducts العضو الدوار ويختلط الهواء المستهلك (الأكثر سخونة) مع الهواء البارد من خلال فتحات تهوية العضو الثابت في الثغرة الهوائية. تتكون دائرة تبريد العضو الثابت من تدفقات إشعاعية للداخل والخارج، بينما ينفذ العضو الدوار فقط التبريد بالتدفق شعاعياً للخارج. غالباً ما تسمى دائرة التبريد الموضحة في الشكل ٣ بالتبريد الأمامي بنظام شعاعي متعدد. تقوم دائرة التبريد العكسي بتدوير التدفق في الاتجاه المعاكس بحيث تضخ المروحة الهواء باتجاه المبرد (المبادل الحراري). وبالتالي، يمكن تغذية هواء التبريد البارد لتحسين نقل الحرارة في العضو الثابت (عبر قناة تهوية الجزء الثابت) يعني النظام الشعاعي المتعدد أن اتجاهات تدفق التبريد عبر قناة تهوية الجزء الثابت هي مزيج من التدفقات الشعاعية إلى الداخل والخارج، كما هو موضح في الشكل ٣. وهناك نهج بديل يتمثل في تشكيل نظام شعاعي بسيط مما يعني أن اتجاه التدفق إما شعاعياً للداخل أو للخارج. ولذلك، يجب على المصمم بناء دائرة تبريد مناسبة لتلبية المتطلبات المحددة. بالنسبة لنظام التبريد المعقد المطبق للمولد الكهرومائي، من المهم تحديد وقياس نقل الحرارة وانخفاض الضغط وذلك للحصول على الأداء والموثوقية reliability المطلوبة.

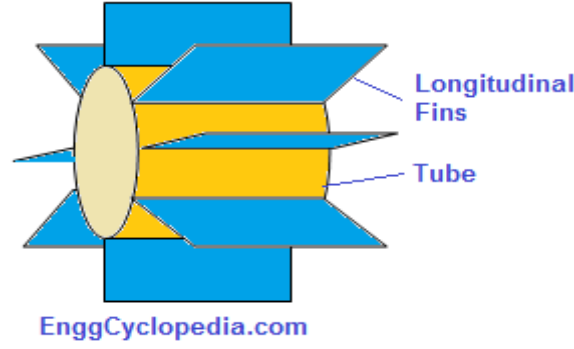


شكل رقم ٣: رسم تخطيطي لدورة تبريد مولد كهرومائي

أنواع المواسير ذات الزعانف

أ- المواسير ذات الزعانف الطولية

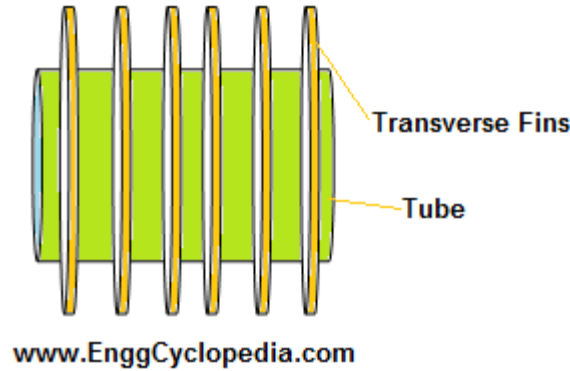
تعتبر الزعانف الطولية الموجودة على الأنبوب هي الأنسب للتطبيقات التي يكون فيها تدفق السريان المتوقع خارج الأنبوبة و على امتداد طولها، على سبيل المثال في حالة المبادلات الحرارية ذات المواسير المزدوجة و التي يمر السائل المتدفق شديد اللزوجة خارج المواسير المزعنفة. مساحة مقطع المواسير المزعنفة طولياً يمكن أن تكون مسطحة أو مدببة. تعمل الزعانف الطولية على الأنبوب على طول الأنبوب. يمكن أن تكون الأشكال المقطعية للزعانف الطولية مسطحة أو مدببة. يتم تحديد معامل انتقال الحرارة حسب مساحة مقطع الشكل الهندسي المختلفة. شكل رقم ٤ يوضح أنبوب مبادل حراري ذو الزعانف الطولية.



شكل رقم ٤ : أنبوب مبادل حراري ذو الزعانف الطولية

ب- الأنابيب ذات الزعانف المستعرضة

تستخدم المواسير ذات الزعانف المستعرضة عادةً لسريان الغاز أو السريان المضطربة والمبادلات من نوع التدفق العرضي أو المبادلات الحرارية من نوع (shell and tube). بالنسبة لمبردات الهواء، فإن المواسير ذات الزعانف المستعرضة هي الأنسب. الزعانف المستعرضة عبارة عن أقراص معدنية مجوفة متباعدة عن بعضها البعض ومثبتة بطول المواسير ذات الزعانف. يمكن أن تكون أقراص الزعانف المستعرضة مسطحة أو مدببة. تعتمد معاملات نقل الحرارة على سطح الزعنفة على الشكل الهندسي لقرص الزعنفة وهي متوفرة في شكل ارتباطات. معاملات نقل الحرارة على سطح الزعنفة تعتمد على الشكل الهندسي لقرص الزعنفة. شكل رقم ٥ يوضح أنبوب مبادل حراري ذو الزعانف المستعرضة.



شكل رقم ٥ : أنبوب مبادل حراري ذو الزعانف المستعرضة

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. تتوفر الارتباطات لحساب حرارة الزعانف كفاءات الزعانف الطولية والعرضية. تتوفر العلاقات الرياضية المتبادلة لحساب كفاءة نقل حرارة الزعانف الطولية والعرضية. حاصل ضرب مساحة

الزعنفة في كفاءة نقل الحرارة للزعنفة مع إضافة مساحة سطح الماسورة المكشوف إضافتها إلى منطقة الأنبوب المكشوف. تضاعفت منطقة الزعنفة من خلال كفاءة نقل الحرارة بالزعنفة وإضافتها إلى منطقة الأنبوب المكشوف، يعطي المساحة الفعالة لنقل الحرارة الخارجية. معامل نقل الحرارة الكلي تم الحصول عليها عن طريق إضافة مقاومات انتقال الحرارة التي تم حسابها عند السطح الخارجي والداخلي للأنبوب.

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. يتم التأكد من تأثير عدد الأنابيب على تدفق السائل مع التغيير في سرعة السائل.

إذا تغيرت سرعة السائل الخارجي بشكل كبير، يتم إعادة تقييم معاملات نقل الحرارة ومساحة الأنبوب المطلوبة. وهكذا مع تكرار هذه العملية عدد قليل من المرات، يمكن تحديد الترتيب الأمثل للأنابيب ذات الزعانف، للحصول على مساحة نقل الحرارة المطلوبة.

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

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

حيث أن:

Q = overall heat transfer rate

U = Overall heat transfer coefficient

A= Overall heat transfer surface area

LMTD = Logarithmic Mean Temperature Difference

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 والذي يمكن حسابه وفقا للمعادلة التالية:

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

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

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 مساحة سطح المبادل الحراري تؤدي إلى تحسين أداء نقل الحرارة، نظرًا لتحسين كفاءة المبادل الحراري. تؤثر مساحة المبادل الحراري على انخفاض الضغط (pressure drop) عبر المبادل الحراري. يمكن أن تؤدي زيادة مساحة المبادل الحراري إلى زيادة انخفاض الضغط، مما يسمح بنقل حرارة أكثر كفاءة. تعد مساحة المبادل عاملاً رئيسياً في تحديد تكلفة المبادل الحراري، حيث أنه كلما زاد حجم المبادلات الحرارية كلما زادت التكلفة. أيضاً، تؤدي زيادة مساحة المبادل الأكبر إلى زيادة وزن المبادل الحراري.

متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي

Logarithmic Mean Temperature Difference(LMTD)

من أجل حل بعض مسائل المبادلات الحرارية، غالباً ما يستخدم المهندسون متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي (LMTD)، والذي 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 خطياً.

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

طريقة - NTU نسبة السعة الحرارية

يتم استخدام طريقة عدد وحدات التحويل (NTU) لحساب معدل انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية (وبخاصة 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 وخروج المائع محددة فإنه يمكن تحديد الأداء باستخدام طريقة LMTD؛ ولكن عندما تكون درجات الحرارة هذه غير متوفرة يتم استخدام NTU أو طريقة الفعالية.

كفاءة التبريد للمبادل الحراري

كفاءة التبريد للمبادل الحراري هي مقياس لمدى كفاءة مبادل الحرارة في نقل الحرارة من المائع الساخن إلى المائع البارد. هناك العديد من العوامل التي تؤثر على كفاءة التبريد للمبادل الحراري، بما في ذلك:

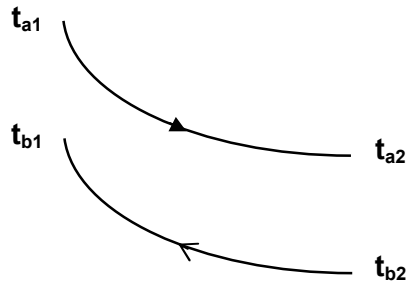
- نوع المبادلات الحرارية
- حجم المبادلات الحرارية

- مساحة السطح المعرضة للتبادل الحراري
- سرين المائعين (الماء و الهواء)
- درجة حرارة المائعين
- نوع السائل المستخدم
- جودة التصنيع

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 المائعين، وخفض درجة حرارة المائعين، واستخدام سائل مناسب، وتحسين جودة التصنيع.

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

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



شكل رقم ٦: التحليل الرياضي للمبادل الحراري ذو السريان العكسي

طريقة الفعالية (NTU- ϵ)

لتحديد فعالية المبادل الحراري، نحتاج إلى إيجاد أقصى قدر ممكن من نقل الحرارة الذي يمكن تحقيقه افتراضياً في مبادل حراري مضاد التدفق بطول لانهائي. يتم حساب فعالية (ϵ) لمبادل حراري ذو تدفق عكسي باستخدام المعادلة التالية:

$$\epsilon = Q_{act} / Q_{max}$$

عادة ما يتم التعبير عن الفعالية كدالة لـ NTU و C، حيث C هي نسبة السعة التي يتم تعريفها على أنها نسبة السعة الحرارية الأصغر إلى نسبة السعة الحرارية الأكبر. في حالة المبادل الحراري ذو السريان العكسي $C = 1$. فعالية المبادل الحراري (ϵ) وهو عديم الأبعاد ويتراوح بين ٠ إلى ١. يمكن حساب الفعالية (ϵ) من المعادلة التالية:

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

رابعاً: المبردات المستخدمة بمولدات شركة المحطات المائية

فيما يلي مواصفات مبردات محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢ وذلك حسب الجداول ٢، ٣، ٤، ٥.

جدول رقم ٢ مواصفات المبردات الألماني بمحطة السد العالي

المواسير			الزعانف	
القطر الداخلي	القطر الخارجي	السمك	الارتفاع	السمك
١٢	١٤	١	٨	٠.٣ : ٠.٦
عدد المبردات ٢٤				
عدد المواسير ٦٠				
طول المبرد ٢٥٠٠				
القطر الإجمالي للماسورة المزعفة ٣٠				
عدد صفوف المواسير ٢				
عدد المواسير/ صف ٣٠				
عدد الزعانف/ متر من المواسير ٣٩٤				
طول المواسير الغير مزعف ١٠٠/١٠٠				
أبعاد المبرد ٣٥٠×١٢٥×٣٠٥ مم				
المساحة المعرضة للهواء ٢.٤٨×٠.٨٣ م				
المادة المصنوع منها المواسير والزعانف: Cu Ni 10 Fe 1Mn = Copper / Nickel 10 %				
إجمالي مساحة سطح سريان المياه ٠.٠٠٩ م				
إجمالي مساحة سطح سريان الهواء ٢.٠٥٨ م				
مساحة السطح الداخلي للمواسير ٦.٥٤ م				
مساحة السطح الخارجي للمواسير الغير مزعفة ٧.٤٨ م				
إجمالي مساحة سطح المواسير المزعفة ٢٣٥ م				
مساحة سطح التبادل الحراري ٢٤٢.٤٨ م				
ضغط مياه التبريد 5 bar				
درجة حرارة مياه التبريد ٢٥°				

جدول رقم ٣: مواصفات المبردات الروسية بمحطة السد العالي

المواسير			الزعانف	
القطر الداخلي	القطر الخارجي	السمك	الارتفاع	السمك
١٦.٢	١٩	١.٤	١٢	٠.٣ : ٠.٦
عدد المبردات ٢٤				
عدد المواسير ١٣٢				
طول المبرد ٢٥١٠				
القطر الإجمالي للماسورة المزعفة ٤٣				
عدد صفوف المواسير ٦				
عدد المواسير/ صف ٢٢				
عدد الزعانف/ متر من المواسير ٣٩٤				

طول المواسير الغير مزعنف ١٠٠/١٠٠مم
أبعاد المبرد ٣٥٠×١٢٥×٣٠٥ مم ^٣
المساحة المعرضة للهواء ١.١٢×٢.٦ م ^٢
المادة المصنوع منها المواسير و الزعانف : Cu Ni 10 Fe 1Mn = Copper / Nickel 10 %
إجمالي مساحة سطح سريان المياه ٠.٠١٥ م ^٢
إجمالي مساحة سطح سريان الهواء ٢.٩١٢ م ^٢
مساحة السطح الداخلي للمواسير ١٨.٣٣ م ^٢
مساحة السطح الخارجي للمواسير الغير مزعنف ٢٠.٤٨ م ^٢
إجمالي مساحة سطح المواسير المزعنف ٣٣٩.٧ م ^٢
مساحة سطح التبادل الحراري ٣٦٠.١٨ م ^٢
ضغط مياه التبريد 6 bar
درجة حرارة مياه التبريد ٢٥°

جدول رقم ٤ : مواصفات مبردات محط أسوان الأولى

الزعانف، مم			المواسير ، مم		
التباعد	السماك	الارتفاع	السماك	القطر الخارجي	القطر الداخلي
٢.٥	٠.٦ : ٠.٣	٧	١	٢٣.٨	٢١.٨
عدد المبردات ١٠					
عدد المواسير ١٠٥					
طول المبرد ٢٥٧١					
القطر الإجمالي للماسورة المزعنف ٥٠ مم					
طول المواسير الغير مزعنف ١٠٠/١٠٠مم					
أبعاد المبرد ٢٢٦٠×١٠٤٠×٤٠٠ مم					
المادة المصنوع منها المواسير والزعانف: Cu Ni 10 Fe 1Mn = Copper / Nickel 10 %					
معدل سريان مياه التبريد ٣٩٥ م ^٣ /س					
معدل سريان هواء التبريد ٥٦ م ^٣ /ث					
مساحة سطح التبادل الحراري ١٦٣.١ م ^٢					
ضغط مياه التبريد ٥ بار					
درجة حرارة مياه التبريد ٣٥°					

جدول رقم ٥: مواصفات مبردات محط أسوان الثانية

الزعانف			المواسير		
السمك	الارتفاع	السمك	القطر الخارجي	القطر الداخلي	التباعد
٠.٣ : ٠.٦	٨	١.٤	١٩	١٦.٢	٢.٥
عدد المواسير ١٨٠					
طول المبرد ٢٥٧١					
القطر الإجمالي للماسورة المزعنة ٤١:٤٠					
عدد صفوف المواسير ١٨					
عدد المواسير/ صف ١٠					
عدد الزعانف/ متر من المواسير ٣٩٤					
طول المواسير الغير مزعنة ١٠٠/١٠٠					
أبعاد المبرد ٣٥٠×١٢٥٠×٣٠٥٠ مم					
المادة المصنوع منها المواسير والزعانف: Cu Ni 10 Fe 1Mn = Copper / Nickel 10 %					
معدل سريان مياه التبريد ٣٨٥ ل/د					
مساحة سطح التبادل الحراري ٢٤٥ م ^٢					
ضغط مياه التبريد 7 bar					
درجة حرارة مياه التبريد ٣٢°					

درجات حرارة المولدات بشركة المحطات المائية

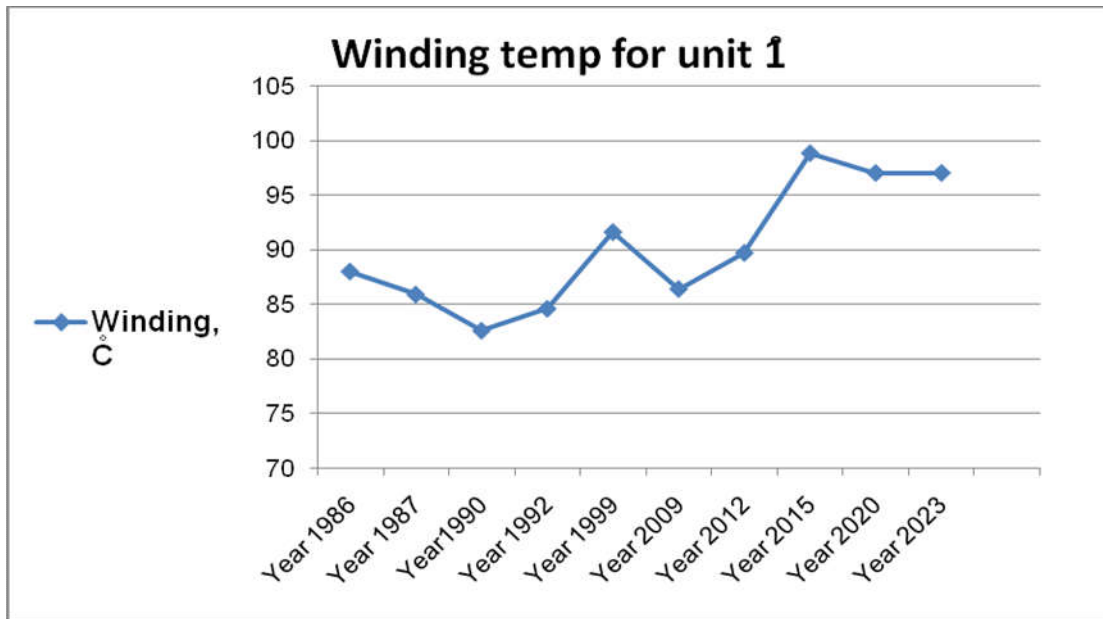
محطة كهرباء خزان أسوان الثانية

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 قيم لدرجات حرارة المولدات ١، ٢، ٣، ٤ عند أقصى توليد. موضحة في الجداول ٦، ٧، ٨، ٩. أعلى درجات حرارة لملفات العضو الثابت عند أعلى توليد تم توضيحها في المنحنيات البيانية في الأشكال رقم ٦، ٧، ٨، ٩.

درجات حرارة مولد الوحدة رقم ١

جدول رقم ٦: أعلى درجات حرارة عند أقصى 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
15/08/1987	85.9	68.8	71.7	63	30.3	25.8	29.3	60
21/07/1990	82.6	67.5	69.3	62.2	27.8	25	27.3	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
11/08/2012	89.7	76.6	74.4	64.2	26.2	25.1	26.2	60
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

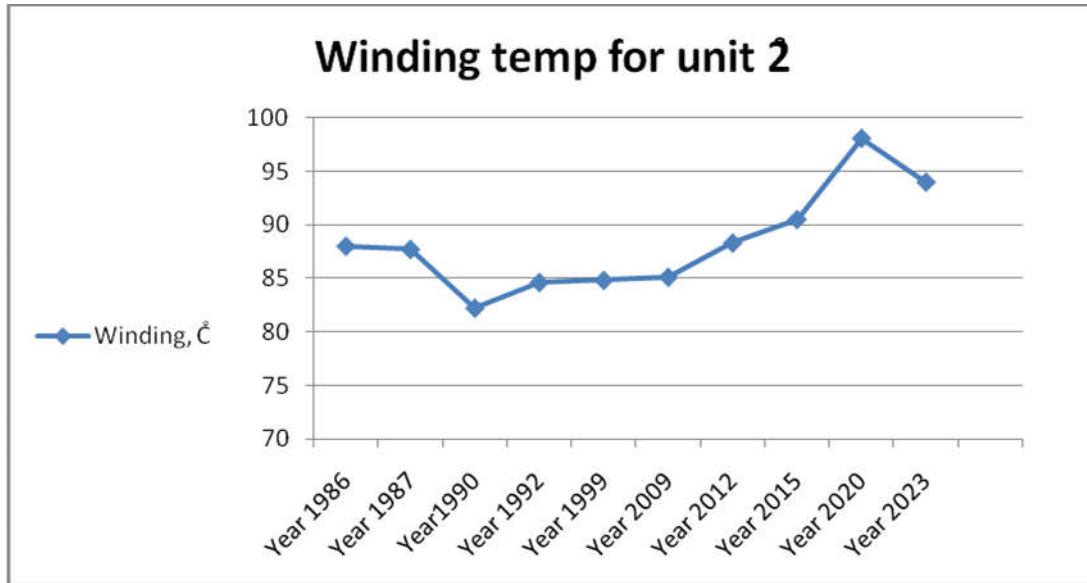


شكل رقم ٦: أعلى درجات حرارة لملفات العضو الثابت عند أعلى توليد لمولد الوحدة رقم ١ بمحطة أسوان ٢

درجات حرارة مولد الوحدة رقم ٢

جدول رقم ٧ أعلى درجات حرارة عند أقصى 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
15/08/1987	77.1	61.3	60.9	53.8	22.9	20.5	22.6	60
21/07/1990	82.2	65.9	66.1	58.8	26.7	26.7	26.8	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
11/08/2012	88.3	69.9	67.5	61.3	25.5	24	25.6	67.5
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

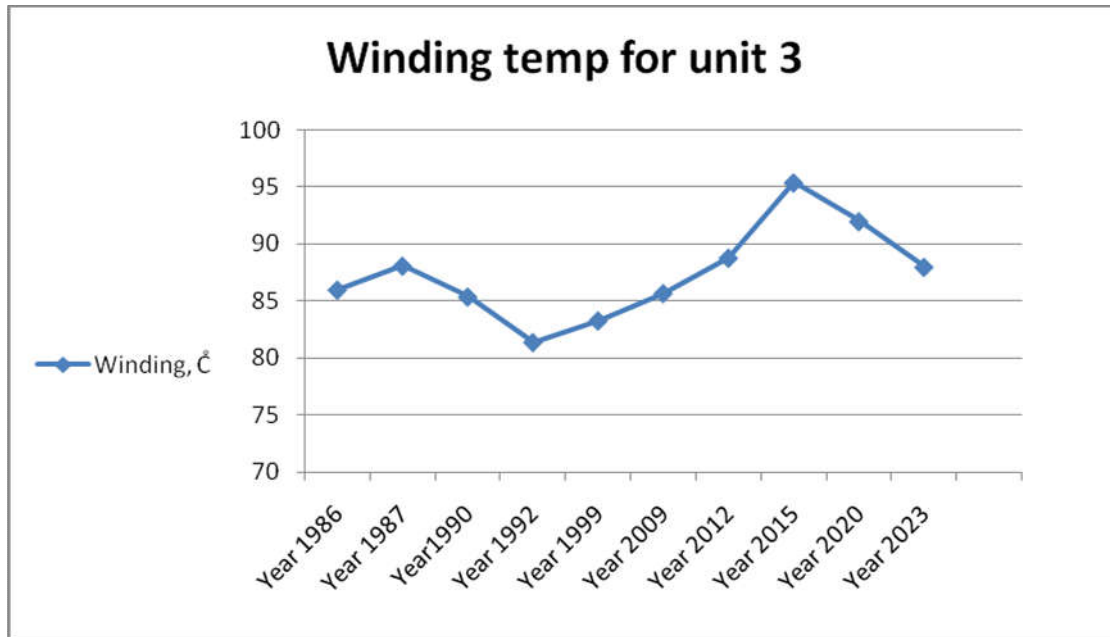


شكل رقم ٧: أعلى درجات حرارة لملفات العضو الثابت عند أعلى توليد لمولد الوحدة رقم ٢ بمحطة أسوان ٢

درجات حرارة مولد الوحدة رقم ٣

جدول رقم ٨: أعلى درجات حرارة عند أقصى توليد لمولد الوحدة رقم ٣ بمحطة أسوان ٢

Year	Date	Winding, °C	Teeth, °C	Core, °C	Air, °C		Water, °C		Load, MW
					Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
1986	10/06/1986	86	70	71	63	26.7	24.3	25.5	65
1987	20/08/1987	88.1	72.1	74.2	64.4	33.2	28.8	31.4	60
1990	02/06/1992	85.4	69.6	67.6	59.5	27.2	23	25.5	65
1992	20/05/1995	81.4	63.3	69.9	55.7	22.4	19.3	20.3	65
1999	12/06/1999	83.3	68.4	66.6	59.6	24.3	23.3	23.6	60
2009	20/06/2009	85.7	68.4	66.2	59.7	24	22.9	23.8	67.5
2012	11/08/2012	88.8	74	71.8	64.3	31.7	24.5	25.4	60
2015	01/08/2015	95.4	80.1	77.6	68.6	34.9	26.1	28.2	66
2020	15/07/2020	92	76	75	68.1	30	31.8	32	67.5
2023	25/06/2023	88	75	73	64.5	28.4	23	25	67.5

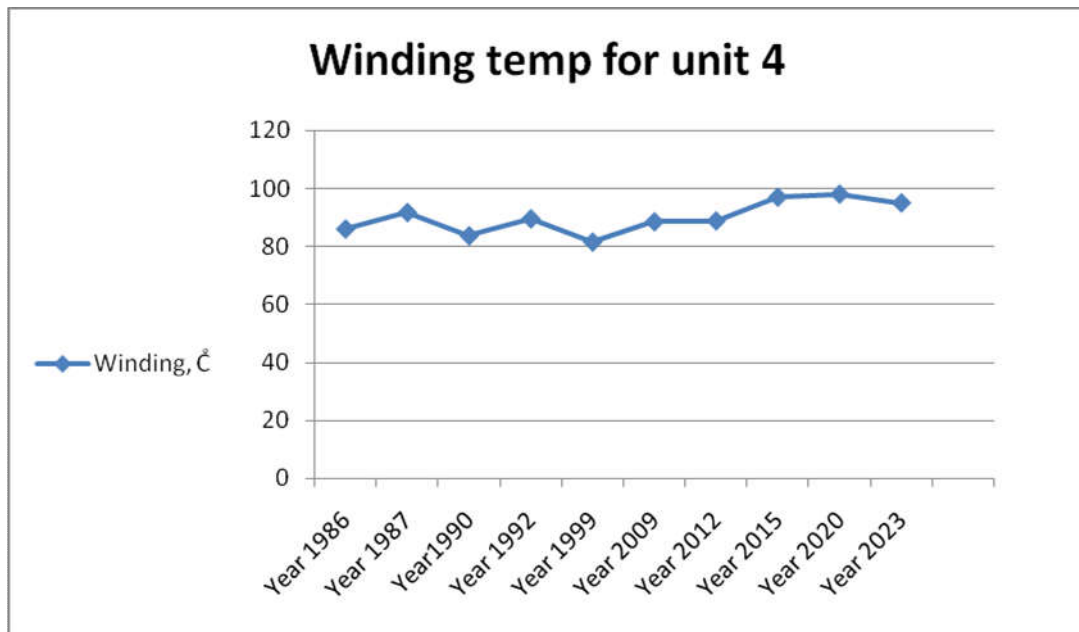


شكل رقم ٨: أعلى درجات حرارة لملفات العضو الثابت عند أعلى توليد لمولد الوحدة رقم ٣ بمحطة أسوان ٢

درجات حرارة مولد الوحدة رقم ٤

جدول رقم ٩: أعلى درجات حرارة عند أقصى توليد لمولد الوحدة رقم ٤ بمحطة أسوان ٢

Year	Date	Winding, °C	Teeth, °C	Core, °C	Air, °C		Water, °C		Load, MW
					Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
1986	10/06/1986	86	70	71	63	26.7	24.3	25.5	65
1987	22/08/1987	91.7	78.4	78.4	70.4	36.3	26.3	27.9	60
1990	02/06/1992	83.7	68.4	68.9	62	31.1	23.2	24.4	65
1992	08/07/1995	89.5	74.3	72.4	66.9	31.1	25.7	26.7	65
1999	12/06/1999	81.5	67.9	66.1	60.6	24.3	24.5	25.5	60
2009	20/06/2009	88.5	68.8	66.8	63.3	23.6	23.7	24.6	67.5
2012	11/08/2012	88.8	71.9	70.1	66.7	31.1	25.9	26.7	60
2015	01/08/2015	97	79.2	76.9	72.3	37.4	25.8	27.3	66
2020	15/07/2020	98	82	78	74.5	33	28.5	29.8	67.5
2023	25/06/2023	95	79	77	73	32	25.7	27.4	67.5



شكل رقم ٩: أعلى درجات حرارة لملفات العضو الثابت عند أعلى توليد لمولد الوحدة رقم ٤ بمحطة أسوان ٢

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

تم رصد لدرجات حرارة بعض مولدات محطتي السد العالي وأسوان ١. الجدول رقم ١٠ يوضح مقارنة بين متوسطات درجات الحرارة لمولدات المحطات الثلاث.

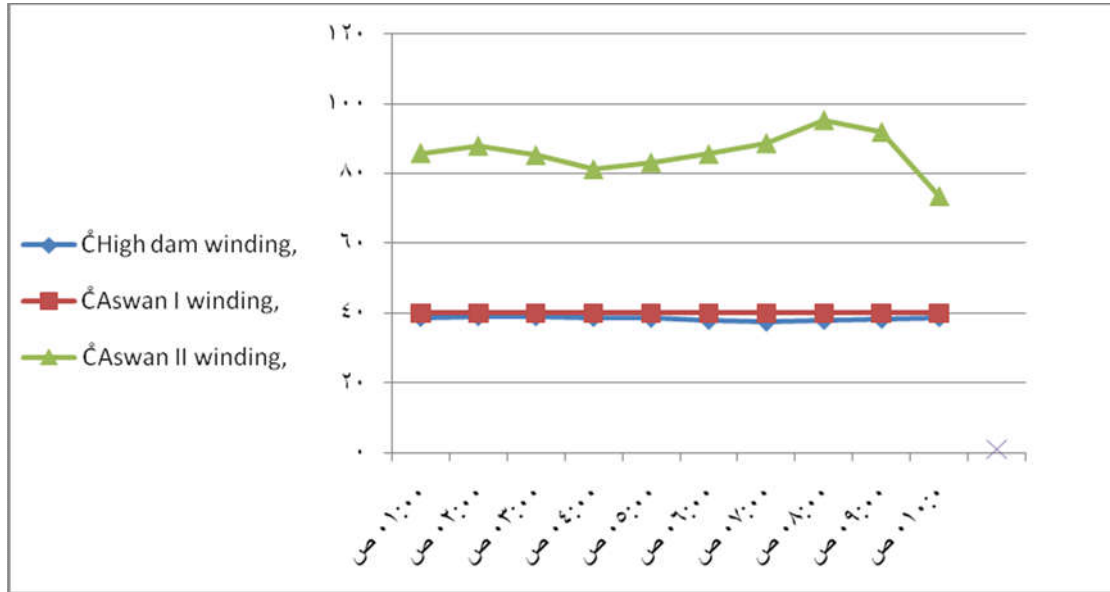
جدول رقم ١٠: مقارنة بين متوسطات درجات الحرارة لمولدات محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢.

	High dam	Aswan I	Aswan II	Notes
Air inlet temp, C°	39.3	37	60	Aswan II is the highest
Air outlet temp, C°	25.76	28	28.7	
Water inlet temp, C°	22	24	23	
Water outlet temp, C°	25	25	30	
Winding temp, C°	53.65	52.8	95	Aswan II is the highest

الجدول رقم ١٠ يوضح ارتفاع متوسط درجات حرارة مولدات محطة أسوان ٢ مقارنة بمحطتي السد العالي وأسوان ١. وكذلك الجدول رقم ١١ و الشكل رقم ١٠ يوضحان المقارنة بين درجات حرارة ملفات الوحدة رقم ١ بمحطة السد العالي والوحدة رقم ١ بمحطة أسوان ١ والوحدة رقم ١ بمحطة أسوان ٢ التي تم أخذها يوم ٦-٦-٢٠٢٣، و يتضح أن درجات حرارة ملفات العضو الثابت بمحطة كهرباء أسوان ١ هي مقاربة جدا لنظيرتها في السد العالي، بينما درجات حرارة ملفات العضو الثابت بمحطة كهرباء أسوان ٢ تزيد عنهما بأكثر من ٤٠ درجة مئوية.

جدول رقم ١١: 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

Time	High dam winding, C°	Aswan I winding, C°	Aswan II winding, C°
١:٠٠ ص	38.91	40	86
٢:٠٠ ص	39.12	40	88.1
٣:٠٠ ص	39.12	40	85.4
٤:٠٠ ص	38.91	40	81.4
٥:٠٠ ص	38.66	40	83.3
٦:٠٠ ص	38.1	40	85.7
٧:٠٠ ص	37.57	40	88.8
٨:٠٠ ص	38.1	40	95.4
٩:٠٠ ص	38.38	40	92
١٠:٠٠ ص	38.85	40	73.7



شكل رقم ١٠: 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.

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

درجات الحرارة المسموح بها في تشغيل المولدات حسب الشركة المصممة والمصنعة لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ (شركة توشيبا) يمكن توضيحها من كتالوجات التشغيل والصيانة وذلك لتوضيح أمرين :

الأول: الارتفاع المسموح به في درجات الحرارة لأجزاء المولد

الثاني: الارتفاع المسموح به في درجات الحرارة لأجزاء المولد أعلى من قيمة درجة حرارة مياه التبريد.

هذه القيم تم أخذها من البند رقم ١٠ - ١ من كتالوجات التشغيل والصيانة وهي الموضحة في الجدول التالي:-

جدول رقم ١٢ : درجات الحرارة وارتفاع درجات الحرارة أعلى من مياه التبريد

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) ما يلي:-

- أن درجة الحرارة المسموح بها لملفات العضو الثابت هي ٩٠° أعلى من درجة حرارة مياه التبريد بقيمة (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.

مقارنة قيم الثغرة الهوائية

تم مقارنة قيم الثغرة الهوائية بين العضو الدوار والعضو الثابت وهي مبينة في الجدول التالي:

جدول رقم ١٣ : طول الثغرة الهوائية لمولدات شركة المحطات المائية

المحطة	الثغرة الهوائية ، مم
السد العالي	٢٤
أسوان ١	٢٠
أسوان ٢	١٤

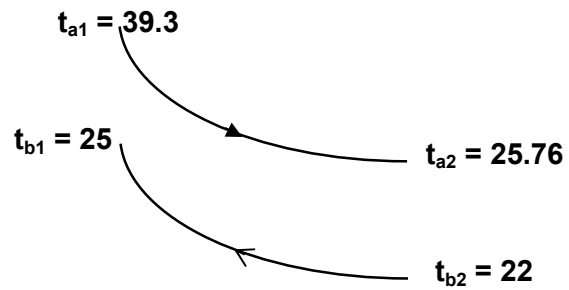
يتضح من الجدول رقم ١٣ أن الثغرة الهوائية لمولدات محطة أسوان ٢ هي الأقل مقارنة بمولدات محطتي السد العالي وأسوان ١، هذا هو أحد عوامل ارتفاع درجة حرارة مولدات محطة أسوان ٢.

خامسا: حسابات معاملات الأداء

هنالك العديد من معاملات الأداء والتي من خلالها يمكن تقييم منظومة التبريد. في هذه الدراسة تم حساب كلا من: كفاءة التبريد للمبادلات الحرارية ومتوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي LMDT وكذلك الفعالية Effectiveness. تم حساب معاملات الأداء لمحطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢، وكانت النتائج كالتالي:

محطة كهرباء السد العالي

تم عمل الحسابات أخذا في الاعتبار المبردات الروسية



Efficiency

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

$$\eta = \frac{39.3 - 25.76}{39.3 - 22} \times 100$$

$$\eta = 78.26 \%$$

$$LMDT = \frac{(t_{a1} - t_{b1}) - (t_{a2} - t_{b2})}{\ln \frac{t_{a1} - t_{b1}}{t_{a2} - t_{b2}}}$$

$$LMDT = \frac{14.3 - 3.76}{\ln(14.3/4.4)}$$

$$\text{LMDT} = 7.89$$

Water

$$q_w = 540 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\rho = 995 \text{ kg/m}^3$$

$$q_w = 540/12 = 45 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0.0125 \times 995 = 12.4375 \text{ kg/s وحدة}$$
 معدل سريان مياه التبريد لكل

$$C_{pw} = 4185 \text{ J/kg.k} = 4.185 \text{ kJ/kg.K}$$

Air

$$q_a = (5.4: 13.8) \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{القيمة المتوسطة}$$

$$q_a = 9.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 1.08 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 9.6 \times 1.08 = 9.6768 \text{ kg/s}$$

$$C_{pa} = 1005 \text{ J/kg.k} = 1.005 \text{ kJ/kg.K}$$

Heat exchanger

$$A, \text{ area of heat exchanger} = 360 \text{ m}^2$$

$$Q = 17.54 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$q_w C_{pw} = 12.4375 \times 4185 = 52,050,9375 \text{ W/K} = 52.0509 \text{ KW/K}$$

$$q_a C_{pa} = 9.6768 \times 1005 = 9,725,184 \text{ W/K} = 9.725 \text{ KW/K}$$

$$C_{\min} = 9.725 \text{ KW/K}$$

$$\text{NTU} = QA / C_{\min} = \frac{0.01754 \times 360}{9.725} = 0.649$$

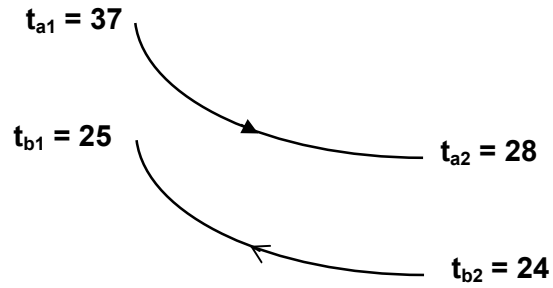
$$\text{NTU} = 0.649$$

Effectiveness (ϵ)

$$\epsilon = \text{NTU} / (\text{NTU} + 1) = 0.3936$$

$$\epsilon = 0.3936$$

محطة كهرباء أسوان ١



Efficiency

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

$$\eta = \frac{37 - 28}{37 - 24} \times 100$$

$$\eta = 69.23 \%$$

$$\text{LMDT} = \frac{(t_{a1} - t_{b1}) - (t_{a2} - t_{b2})}{\ln \frac{t_{a1} - t_{b1}}{t_{a2} - t_{b2}}}$$

$$\text{LMDT} = \frac{12 - 4}{\ln(12/4)}$$

$$\text{LMDT} = 7.28$$

Water

$$q_w = 395 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\rho = 995 \text{ kg/m}^3$$

$$q_w \frac{395 \times 995}{3600 \times 9} = 12.130 \text{ kg/s} \quad \text{معدل سريان مياه التبريد لكل وحدة}$$

$$C_{pw} = 4185 \text{ J/kg.K} = 4.185 \text{ kJ/kg.K}$$

Air

$$q_a = 56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 1.08 \text{ kg/ m}^3$$

$$\dot{q} = (56 \times 1.08)/9 = 6.72 \text{ kg/s}$$

$$C_{pa} = 1005 \text{ j/kg.k} = 1.005 \text{ kj/kg.K}$$

Heat exchanger

$$A, \text{ area of heat exchanger} = 163.1 \text{ m}^2$$

$$Q = 17.54 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

$$\dot{q}_w C_{pw} = 12.13 \times 4185 = 50,765.729 \text{ W/K} = 50.766 \text{ KW/K}$$

$$\dot{q}_a C_{pa} = 6.72 \times 1005 = 6,753.6 \text{ W/K} = 6.753 \text{ KW/K}$$

$$C_{\min} = 6.753 \text{ KW/K}$$

$$NTU = QA/ C_{\min} = \frac{0.01754 \times 245}{6.753} = 0.4236$$

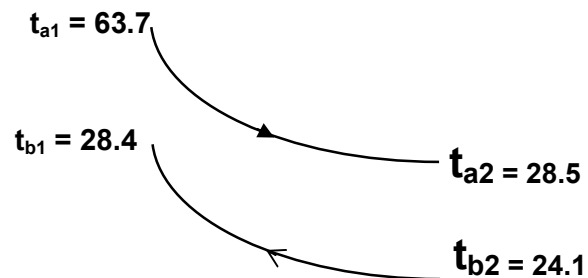
$$NTU = 0.4236$$

Effectiveness (ϵ)

$$\epsilon = NTU/ (NTU+1) = 0.2976$$

$$\epsilon = 0.2976$$

محطة كهرباء أسوان ٢



Efficiency

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

$$\eta = \frac{63.7 - 28.5}{63.7 - 24.1} \times 100$$

$$\eta = 88.9 \%$$

$$\text{LMDT} = \frac{35.3 - 4.4}{\ln(35.3/4.4)}$$

$$\text{LMDT} = 14.84$$

حسابات انتقال الحرارة

Water

$$q_w = 0.385 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\rho = 995 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0.385 \times 995 = 383.075 \text{ kg/min}$$

$$= 383.075/60 = 6.3846 \text{ kg/sec}$$

$$C_{pw} = 4185 \text{ J/kg.k} = 4.185 \text{ kJ/kg.K}$$

Air

$$q_a = 227.1 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\rho = 1.08 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 227.1 \times 1.08 = 245.268 \text{ kg/min}$$

$$= 245.268 / 60 = 4.0878 \text{ kg/sec}$$

$$C_{pa} = 1005 \text{ J/kg.k} = 1.005 \text{ kJ/kg.K}$$

Heat exchanger

$$A, \text{ area of heat exchanger} = 245 \text{ m}^2$$

$$Q = 35.6 \text{ kcal/m}^2.\text{h.C}^\circ$$

$$= 0.86 \times 35.6 = 30.616 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$q_w C_{pw} = 6.3846 \times 4185 = 26,719.48 \text{ W/K} = 26.719 \text{ KW/K}$$

$$q_a C_{pa} = 4.0878 \times 1005 = 4,108.739 \text{ W/K} = 4.109 \text{ KW/K}$$

$$C_{\min} = 4.109 \text{ KW/K}$$

$$NTU = QA / C_{\min} = \frac{30.616 \times 245}{4.109} = 1.826$$

$$NTU = 1.826$$

Effectiveness (ε)

$$\epsilon = NTU / (NTU + 1) = 0.646$$

$$\epsilon = 0.646$$

مقارنة معاملات الأداء

مقارنة معاملات الأداء بين محطات محطتي السد العالي و أسوان ١ وأسوان ٢ كالتالي:

كفاءة التبريد

كفاءة المبادلات الحرارية لمولدات محطة كهرباء السد العالي هي ٨٨.٩%

كفاءة المبادلات الحرارية لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ١ هي ٦٩.٢٣%

كفاءة المبادلات الحرارية لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ هي ٧٨.٢٦%

الفعالية Effectiveness

فعالية المبادلات الحرارية لمولدات محطة كهرباء السد العالي هي ٠.٣٩٣٦

فعالية المبادلات الحرارية لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ١ هي ٠.٢٩٧٦

فعالية المبادلات الحرارية لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ هي ٠.٦٤٦

متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي (LMTD)

LMTD لمولدات محطة كهرباء السد العالي هي ٧.٨٩

LMTD لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ١ هي ٧.٢٨

LMTD لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ هي ١٤.٨٤

NTU نسبة السعة الحرارية

NTU لمولدات محطة كهرباء السد العالي هي ٠.٦٤٩

NTU لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ١ هي ٠.٤٢٣٦

NTU لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ هي ١.٨٢٦

جدول رقم ١٢: معاملات الأداء لمبردات المولدات بشركة المحطات المائية

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.

سادساً: الاستنتاج

مما سبق يتبين أن كلا من الكفاءة والفعالية لمبردات مولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ ذات قيم جيدة كما أن كلا من LMTD & NTU هي أعلى من نظيرتها لمبردات مولدات محطتي السد العالي وأسوان ١.

نستنتج أن معاملات الأداء لمبردات مولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ تؤكد أن الارتفاع الكبير في درجات حرارة الملفات والقلب الحديدي والأسنان لمولدات محطة كهرباء خزان أسوان ٢ ليس بسبب عدم جودة المبردات ولا لعدم قدرتها على إزالة كمية الحرارة، أي أن السعة الحرارية للمبردات مناسبة.

مع تحليل بيانات مولدات المحطات الثلاث ومراجعة كتالوجات المصمم والمصنع لمولدات محطة أسوان ٢ (شركة توشيبا)، تبين أن درجات الحرارة المقاسة تعبر عن قيم طبيعية للتشغيل حسب تصميم المولدات.

وبالتالي فإن نظام التبريد ليس مسئولاً عن ارتفاع درجات الحرارة بالمولدات.

سابعاً: الخلاصة

تم عمل هذه الدراسة عن تأثير درجات الحرارة على مولدات محطات السد العالي وأسوان ١ وأسوان ٢ وتم الوصول للنتائج التالية: -

- درجات الحرارة المولدات 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 سلباً على عزل الملفات وبالتالي يقل العمر الافتراضي للمولد.
- 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 جميع 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.

ثامناً: 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.
- ١- 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 لملفات العضو الثابت.
- 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 Fire fighting system
- ٢- مشروع التطوير لأنظمة التحكم DCS بمحطة كهرباء خزان أسوان ١ الذي يتم الإعداد له يجب مراعاة ما يلي: -
- تركيب منظومة لمراقبة الاهتزازات يتم توصيلها مع نظام التحكم DCS بالمحطة.
- تركيب منظومة لمراقبة الثغرة الهوائية يتم توصيلها مع نظام التحكم DCS بالمحطة.
- مراعاة ظهور قيم 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.
- نوصي بدراسة تأثير درجات الحرارة على المحولات بالشركة في الأعمال المستقبلية
- نوصي بدراسة عن الزيوت المستخدمة بالمحولات وكراسي الوحدات بالشركة في الأعمال المستقبلية

المرفقات

- ١- جدول ملحق رقم ١ : القيم الافتراضية لعمر المعدات الكهربائية
- ٢- جدول ملحق رقم ٢ : قيم خصائص الأداء الحراري للمبردات الروسية بمحطة السد العالي
- ٣- بيانات نظام التبريد بمحطة كهرباء أسوان ٢
- ٤- جداول المقاييس العالمية لدرجة حرارة المولدات

الملحقات

جدول مرفق رقم ١ : القيم الافتراضية لعمر المعدات الكهربائية

Equipment	Default value for Technical lifetime
Boilers	25 years
Steam Turbines	25 years
Gas turbines, upto 50 MW capacity	150,000 hours
Gas turbines, above 50 MW capacity	200,000 hours
Hydro turbines	150,000 hours
Electric Generators, air cooled	25 years
Electric generators, hydrogen cooled or water cooled	30 years
Wind turbines, onshore	25 years
Wind turbines, offshore	20 years
Diesel/oil/gas fired generator sets	50,000 hours
Transformers	30 years
Heaters, chillers, pumps, etc. used in HVAC systems	15 years

جدول مرفق رقم ٢ : قيم خصائص الأداء الحراري للمبردات الروسية بمحطة السد العالي

Total water flow area a_w , m^2 0.015

Total air flow frontal area a_a , m^2 2.912

Inner surface area of the tubes A_i , m^2 18.33

Outer surface area of non-finned tubes A_o , m^2 20.48

Total surface area of finned tubes A_t , m^2 339.7

Maximum heat capacity rate C_{max} , W/K 77790

Minimum heat capacity rate C_{min} , W/K 4687

Inner heat transfer coefficient h_i at A_i , $W/m^2.K$ 5347

Outer heat transfer coefficient h_o at A_o , $W/m^2.K$ 17.54

Clean coefficient without fins U_C , without fins, $W/m^2.K$ 17.43

Clean finned tubes coefficient U_C , with fins, $W/m^2.K$ 582

Fins enhancement ratio, U_C , with fins / U_C , without fins 41.75

Maximum dirt coefficient $U_{D, max}$, $W/m^2.K$ 479

Minimum dirt coefficient $U_{D, min}$, $W/m^2.K$ 81.88

Maximum actual fouling factor $R''_{f, min}$, $m^2.K/W$ 60×10^{-4}

Minimum actual fouling factor $R''_{f, min}$, $m^2.K/W$ 3.44×10^{-4}

Aswan II coolers specifications مرفق رقم ٣

E-24937

FINNED TUBE COOLER SPECIFICATION SHEET

1	CUSTOMER	ASWAN II / EGYPT	JOB No.	3601230
2	ADDRESS			SK1004~SK4004
3	PLANT	75 MVA W/G		
4	SERVICE OF UNIT	7		
5	TYPE	SCFA-245 V	HORIZ.	VERT.
6	FINNED SURFACE PER UNIT	245 m ²		
7	PERFORMANCE OF ONE UNIT			
8				
9	FLUID CIRCULATED		FIN SIDE	TUBE SIDE
10	FLUID ENTERING	m ³ /min	AIR	WATER
11	GRAVITY	kg/m ³	227.1	0325
12	SPECIFIC HEAT	Kcal/kg°C	1.08	995
13	THERMAL CONDUCTIVITY	Kcal/mh°C	0.24	1.0
14	TEMPERATURE IN	°C	0.024	0.53
15	TEMPERATURE OUT	°C	71.4	32
16	FOULING FACTOR	m ² h°C/Kcal	38	37.1
17	NUMBER OF PASSES		0	0
18	VELOCITY	m/sec	1	4
19	PRESSURE DROP		4.74	1.01
20	EXCESS SURFACE OVER CLEAN		10.2 mmAq	0.9 mmAq
21	HEAT EXCHANGED	137.1 kW	L.M.T.D (CORRECTED)	15.0 °C
22	TRANSFER RATE-SERVICE	35.6 Kcal/m ² h°C		
23	CONSTRUCTION OF ONE UNIT			
24	MAX. WORKING PRESSURE	kg/cm ² g		7
25	TEST PRESSURE	kg/cm ² g		10.5
26	DESIGN TEMPERATURE	°C	80	80
27	TUBES MATL.	DEOXIDIZED COPPER	FINS MATL.	ALUMINUM
28	TUBES No.	180	O.D 15.9 mm	WALL 1.24 mm
29	FACES DIMENSIONS		LONG 1350 mm	LENGTH 1410 mm
30	OVERALL DIMENSIONS		LONG 1775 mm	DEEP 480 mm
31	TUBE SHEET MATL.	NAVAL BRASS		
32	WATER BOX MATL.	ROLLED STEEL		
33	WATER BOX COVER MATL.	ROLLED STEEL		
34	FRAME	ROLLED STEEL		
35	GASKETS	NEOPRENE		
36	CONNECTION			
37	DRAWING	IN 3 B	OUT 3 B	RATING JIS 10 K
38		PC 12471 REV. 3		
39				
40				

مرفق رقم ٤: جداول المقاييس العالمية لدرجة حرارة المولدات

Table 7 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by air

Thermal class		130 (B)					155 (F)					180 (H)				
Method of measurement		Th	R	ETO	Th	R	ETO	Th	R	ETO	Th	R	ETO			
ETO = Embedded temperature detector		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K			
Item	Part of machine															
1a)	AC windings of machines having outputs of 5 000 kW (or kVA) or more	-	80	85 ^a	-	105	110 ^a	-	125	130 ^a	-	125	130 ^a			
1b)	AC windings of machines having outputs above 200 kW (or kVA), but less than 5 000 kW (or kVA)	-	80	90 ^a	-	105	115 ^a	-	125	135 ^a	-	125	135 ^a			
1c)	AC windings of machines having outputs of 200 kW (or kVA) or less, other than those in items 1d) or 1e) ^b	-	80	-	-	105	-	-	125	-	-	125	-			
1d)	AC windings of machines having rated outputs of less than 800 W (or VA) ^b	-	85	-	-	110	-	-	130	-	-	130	-			
1e)	AC windings which are self-cooled without a fan (IC 40) and/or with encapsulated windings ^b	-	85	-	-	110	-	-	130	-	-	130	-			
2	Windings of armatures having commutators	70	80	-	85	105	-	105	125	-	105	125	-			
3	Field windings of a.c. and d.c. machines other than those in item 4	70	80	-	85	105	-	105	125	-	105	125	-			
4a)	Field windings of synchronous machines with cylindrical rotors having a d.c. excitation winding embedded in slots, except synchronous induction motors	-	90	-	-	110	-	-	135	-	-	135	-			
4b)	Insulated stationary field windings of d.c. machines having more than one layer	70	80	90	85	105	110	105	125	135	105	125	135			
4c)	Low-resistance field windings of a.c. and d.c. machines having more than one layer and compensating windings of d.c. machines	80	80	-	100	100	-	125	125	-	125	125	-			
4d)	Single-layer windings of a.c. and d.c. machines with exposed bare or varnished metal surfaces ^c	90	90	-	110	110	-	135	135	-	135	135	-			
^a For adjustment for high-voltage a.c. windings, see item 4 of Table 9.																
^b With the application of the superposition test method to windings of machines rated at 200 kW (or kVA) or less with thermal classes 130 (B) and 155 (F), the limits of temperature rise given for the resistance method may be exceeded by 5 K.																
^c Also includes multiple layer windings, provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.																

a For adjustment for high-voltage a.c. windings, see item 4 of Table 9.

b With the application of the superposition test method to windings of machines rated at 200 kW (or kVA) or less with thermal classes 130 (B) and 155 (F), the limits of temperature rise given for the resistance method may be exceeded by 5 K.

c Also includes multiple layer windings, provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.

Table 8 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by hydrogen

Thermal class		150 (B)		155 (F)	
Method of measurement		Resistance	ETD	Resistance	ETD
ETD = Embedded temperature detector		K	K	K	K
Item					
1	AC windings of machines having outputs of 5 000 kW (or kVA) or more or having a core length of 1 m or more Absolute hydrogen pressure ^{b)}				
	< 150 kPa (1,5 bar)	–	85 °	–	105 °
	> 150 kPa < 200 kPa (2,0 bar)	–	80 °	–	100 °
	> 200 kPa < 300 kPa (3,0 bar)	–	78 °	–	98 °
	> 300 kPa < 400 kPa (4,0 bar)	–	73 °	–	93 °
	> 400 kPa	–	70 °	–	90 °
2a	AC windings of machines having outputs of less than 5 000 kW (or kVA), or having a core length of less than 1 m	80	85 °	100	110 °
2b	DC field windings of a.c. and d.c. machines other than those in items 3 and 4	80	–	105	–
3	DC field windings of machines having cylindrical rotors	85	–	105	–
4a	Low-resistance field windings of more than one layer and compensating windings	80	–	100	–
4b	Single-layer windings with exposed bars or varnished metal surfaces ^{c)}	90	–	110	–
a) For adjustment for high-voltage a.c. windings see item 4 of Table 9. b) This is the only item where the limit of temperature rise is dependant on hydrogen pressure. c) Also includes multi-layer field windings provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.					

Table 9 – Adjustments to limits of temperature rise at the operating site of indirect cooled windings to take account of non-reference operating conditions and ratings

Item	Operation conditions or rating		Adjustment to limit of temperature rise (Δθ) in Tables 7 and 8
1a	Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at inlet to the machine (θ_{in}) and for altitudes of up to 1 000 m. If the difference between the thermal class and the observable limit of temperature, consisting of the sum of the reference cold coolant inlet temperature of 40 °C and the limit of temperature rise according to Tables 7 and 8 is less or equal to 5 K: For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 10.	$0\text{ °C} \leq \theta_{in} \leq 40\text{ °C}$	Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C.

Table 9 (continued)

Item	Operation conditions or rating		Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Tables 7 and 8
1b	Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at the inlet to the machine (θ_a) and for altitudes of up to 1000 m. If the difference between the thermal class and the observable limit of the temperature, consisting of the sum of the reference cold coolant inlet temperature of 40 °C and the limit of temperature rise according to Tables 7 and 8 is larger than 5 K: For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 10.	$0\text{ °C} \leq \theta_a \leq 40\text{ °C}$	Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C, but this amount is reduced by the factor $\left(1 - \frac{\text{thermal class} - (40\text{ °C} + \lim_{imp})}{80\text{ K}}\right)$ with $\lim_{imp}$ = limit of temperature rise according to Tables 7 or 8 at 40 °C cold coolant temperature
1c		$40\text{ °C} < \theta_a \leq 60\text{ °C}$	Reduced by the amount by which the coolant temperature exceeds 40 °C
1d		$\theta_a < 0\text{ °C}$ or $\theta_a > 60\text{ °C}$	By agreement
2	Maximum temperature of the water at the inlet to water-cooled heat exchangers or maximum temperature of the ambient water for submersible machines with surface cooling or machines with water jacket cooling (θ_{w1})	$5\text{ °C} \leq \theta_{w1} \leq 25\text{ °C}$ $\theta_{w1} > 25\text{ °C}$	Increased by 15 K and by the difference between 25 °C and θ_{w1} Increased by 15 K and reduced by the difference between θ_{w1} and 25 °C
3a	Altitude (h) - general rule	$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ and maximum ambient air temperature not specified $H > 4\,000\text{ m}$	No adjustment. It shall be assumed that the reduced cooling resulting from altitude is compensated by a reduction of maximum ambient temperature below 40 °C and that the total temperature will therefore not exceed 40 °C plus the Table 7 and 8 temperature rises ^a By agreement
3b	Altitude (H) - power plant generator specific	according specification of the purchaser	The capability of power plant generators should be adjusted and is a function of the altitude (air pressure). No adjustment of the capability is needed for power plant generators if the absolute coolant pressure is maintained constant regardless of the altitude.
4	Rated stator winding voltage (U_N)	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$ $U_N > 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ for embedded temperature detectors (ETD) shall be reduced by 1 K for each 1 kV (or part thereof) from 12 kV up to and including 24 kV By agreement
5 ^b	Rating for short-time duty (S2), with rated output less than 5 000 kW (kVA)		Increased by 10 K
6 ^b	Rating for non-periodic duty (S9)		$\Delta\theta$ may be exceeded for short periods during the operation of the machine
7 ^b	Rating for duty with discrete loads (S10)		$\Delta\theta$ may be exceeded for discrete periods during the operation of the machine
^a Assuming the decrease in ambient temperature is 1 °C of the limiting rises for every 100 m of altitude above 1 000 m, the maximum ambient air temperature at the operating site can be as shown in Table 10.			
^b For air-cooled windings only.			