

## تأثير تغيرات الطقس على قدرة تحميل الخطوط الهوائية لنقل الكهرباء

إعداد أ.د./ عمر حنفي عبد الله\*، م. هشام عبد الله الريامي\*\*، م. أحمد علي الندابي\*\*\*

### ١-المقدمة

خلال مراحل تخطيط وتصميم خطوط النقل الكهربائي الهوائية يتم احتساب قدرتها على تحمل التيار الكهربائي عند أسوأ ظروف التشغيل المتمثلة في أعلى درجة حرارة وأقصى سطوع شمسي وأقل سرعة رياح. علما بأن هذه الظروف والعوامل تتغير خلال التشغيل الحقيقي مع ساعات اليوم وعلى مدار الفصول السنوية ولا تحدث جميعها في وقت واحد. وبالتالي فإن القدرة التشغيلية للخطوط قد تتعدى القدرة التصميمية بكثير. وتحتوي معايير جمعية مهندسي الكهرباء والالكترونيات [١] وكذلك نشرات السيجري (رقم ٧٣٨) [٢]، [٣] على معادلات لحساب قدرة الموصلات على تحمل التيار الكهربائي. إن القدرة التشغيلية الحقيقية لخطوط النقل الكهربائي وسبل زيادتها كانت مواضيع دراسة منذ الثمانينات من القرن الماضي [٤]، [٥]. وفي الأونة الأخيرة، زاد الإهتمام بهذا الموضوع [٦]، [٧] وخصوصا في تطبيقات الشبكات الذكية [٨]، [٩]. يوجد برامج لتحديد القدرة الحقيقية للخطوط وتحديد المسافة الأمنة بين أدنى نقطة للموصل والارض [١٠]، يمكن الاستفادة منها في تشغيل الشبكات الذكية، حيث يتم مقارنة نتائج البرنامج مع البيانات التي يتم الحصول عليها من خلال القياسات الحقيقية.

تتناول هذه المقالة دراسة قدرة الخطوط الهوائية لنقل الكهرباء تحت عوامل الطقس المختلفة، الهدف منها هو توضيح إمكانية استغلال السعة التشغيلية المتاحة للخطوط وبالتالي تقليل الاستثمارات المطلوبة لتغيير الموصلات أو تلك المطلوبة لبناء خطوط جديدة. وتحتسب قدرة تحميل الموصلات باستخدام معادلة الاتزان الحراري التي تشتمل على عوامل التسخين بسبب الفقد والامتصاص الشمسي وعوامل التبريد بسبب الرياح والاشعاع الحراري.

ويرفع من كفاءة الشبكة ويحسن استغلالها ويؤدي الى توفير تقنية مراقبة الخطوط بشكل أفضل [١١]. تمت الدراسة على الخطوط الهوائية بشبكة نقل الكهرباء العمانية [١٢].

يصف القسم الثاني من هذه المقالة حسابات قدرة تحميل الموصلات باستخدام معادلة الاتزان الحراري كما يعرض القسم الثالث دراسة تأثير عوامل الطقس على قدرة تحميل الموصلات. ويتطرق القسم الرابع إلى تأثير عاملي الامتصاص الشمسي والإنبعاث الحراري للموصل. وأخيرا تم في القسم الخامس مناقشة أهمية الموضوع وعرض فكرة التطبيق.

وتعرض النتائج تأثير كل من: سرعة الرياح والاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة بالموصل، بالإضافة الى تأثير عامل الانبعاثية السطحية وعامل الامتصاص الشمسي. وقد أظهرت النتائج، أخذا بقياسات بيانات الطقس الحقيقية، أن للخطوط قدرة أعلى عن تلك المصممة عند أسوأ أحوال التشغيل مجتمعة. وعليه فإن مشغل الشبكة الكهربائي يستطيع في بعض الأحوال تحميل الخطوط اكثر من المصممة عالية وهذا من شأنه أن يقلل من حجم الاستثمارات المطلوبة لتدعيم الشبكة بخطوط جديدة

\* أستاذ متفرغ بكلية الهندسة، جامعة حلوان - زميل جمعية المهندسين المصرية  
\*\* مدير عام دائرة التخطيط والتصميم بالشركة العمانية لنقل الكهرباء  
\*\*\* مدير عام دائرة التنظيم والإلتزام بالشركة العمانية لنقل الكهرباء

## ٢- حساب قدرة تحميل الموصلات

يمكن حساب قدرة تحميل الخطوط الهوائية بواسطة معادلة الاتزان الحراري. فعند تصميم الموصلات يتم حساب درجة حرارة الموصل بواسطة معادلة مجموع الحرارة الداخلة (التأثير الحراري) مع مجموع الحرارة الخارجة (تأثير التبريد) كما توضح ذلك المعادلة التالية:

$$I^2 R + Q_{Solar} = Q_{Conv} + Q_{Rad}$$

في هذه المعادلة يمثل  $(I^2 R)$  الحرارة المكتسبة والناجمة من مرور التيار في الموصل كما تمثل  $R$  مقاومة الموصل التي تتأثر قيمتها بدرجة الحرارة. أما  $(Q_{Solar})$  فتمثل الحرارة بسبب الاشعاع الشمسي الذي يستقبله الموصل. كما تمثل  $(Q_{Conv})$  الفقد الحراري أو التبريد بسبب الانتقال الحراري والذي يعتمد على عدة عوامل وهي: سرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء المحيط بالموصل وأقصى درجة حرارة للموصل عند التشغيل. وتمثل  $(Q_{Rad})$  التبريد الناتج عن الانبعاث الحراري من الموصل والذي يعتمد على درجة حرارة الموصل عند التشغيل ودرجة حرارة الهواء المحيط. ويتم حساب قيمة التيار الذي يتحملة الموصل (Ampacity) باستخدام المعادلة التالية:

$$I = \sqrt{\frac{Q_{Conv} + Q_{Rad} - Q_{Solar}}{R}}$$

حيث يتم حساب كميات الطرف الايمن للمعادلة كالتالي:

$$R = R_{20} \times [1 + K(T_2 - 20)]$$

$$Q_{Conv} = 8550 \times (T_2 - T_1) \times (v \times d \times 10^{-3})^{0.448}$$

$$Q_{Rad} = e \times \sigma \times \pi \times d$$

$$\times [(T_2 + 273)^4 - (T_1 + 273)^4]$$

$$Q_{Solar} = \alpha \times S_i \times d$$

حيث أن:

- سرعة الرياح (v) م/ث

- شدة الأشعاع الشمسي (S<sub>i</sub>) وات/م<sup>٢</sup>

- درجة حرارة الهواء المحيط (T<sub>١</sub>) درجة مئوية (حسب

المواصفات الكهربائية)

- أقصى درجة حرارة للموصل عند التشغيل (T<sub>٢</sub>) درجة

مئوية (حسب المواصفات الكهربائية)

- قطر الموصل (اعتمادا على بيانات المصنع)

- معامل درجة الحرارة للمقاومة = (1/°C)

٠,٠٠٤٠٣ للألومنيوم

- R مقاومة الموصل عند ٢٠ درجة مئوية (بحسب بيانات

المصنع (أوم/كم).

- معامل الامتصاص الشمسي = ٠,٥

- e نسبة الطاقة الانبعاثية للجسم الاسود = ٠,٦

- σ ثابت ستيفان بولتزمان للاشعاع = ٥,٧ × ١٠<sup>-٨</sup> (W

m<sup>٢</sup> K<sup>-٤</sup>)

يوضح الجدول رقم (١) خصائص الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية في سلطنة عمان [١٢]. غالبية الخطوط ذات الجهد ٢٢٠ ك.ف. والجهد ١٣٢ ك.ف. تتكون من موصلات مزدوجة من نوع (All Alloy Aluminum Conductors AAAC). كما تتكون خطوط ٤٠٠ ك.ف. من موصلات رباعية لكل وجة من نوع (AAAC).

الجدول رقم (١) أنواع الموصلات ومواصفاتها

أنواع الموصلات			مواصفات الموصلات
٨٢١-AL٣	٤٧٩-AL٣	٢٢١-AL٣	الاسم الجديد
Araucaria	Yew	ELM	الاسم القديم
٦١/٤,١٤	٣٧/٤,٠٦	١٩/٣,٧٦	العدد/القطر المقنن (مم)
٣٧,٢٦	٢٨,٤٢	١٨,٨٠	القطر الكلي (مم)
٨٢١,١	٤٧٩,٠	٢١١,٠	مساحة القطع المقنن (مم <sup>٢</sup> )
٢٢٦٩,٤	١٣١٩,٦	٥٧٩,٢	الوزن (كجم/كم)
٢٤٢,٢٤	١٤١,٣١	٦٢,٢٤	قوة القطع المقننة
٠,٠٤٠٦	٠,٠٦٩٣	٠,١٥٦٨	المقاومة المقننة للتيار المستمر عند ٢٠ درجة مئوية (أوم/كم)

الاقصى (أمبير) وبطريقة القدرة القصوى (م. ف. أ.) لكل دائرة علما بان كل الخطوط تتكون من دائرتين وذلك لتحقيق متطلبات المعيار الأمن [١٣]، [١٤] لانظمة النقل (N-١).

يوضح الجدول رقم (٢) قدرة تحميل الخطوط الهوائية المحسوبة بواسطة معادلة الإتزان الحراري عند أسوأ الظروف التشغيلية. والجدول يوضح القدرة بطريقة التيار

الجدول رقم (٢): القدرة المحسوبة للخطوط الهوائية

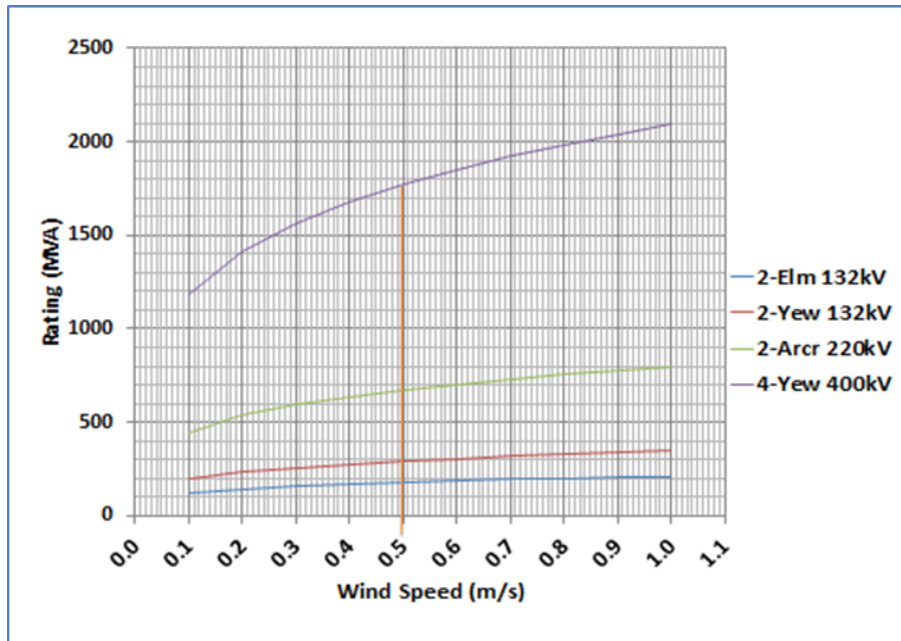
القدرة المقنتة (ميغا فولت أمبير)	التيار المقتن (أمبير)	الجهد المقتن (ك.فولت)	نوع الموصل
١٧٩	٧٨٢,٤	١٣٢	Twin Elem
٢٩٣	١٢٨٠	١٣٢	Twin Yew
٦٧٣	١٧٦٦	٢٢٠	Twin Araucaria
١٧٧٤	٢٥٦٠	٤٠٠	Quad Yew

### ٣- تأثير احوال الطقس

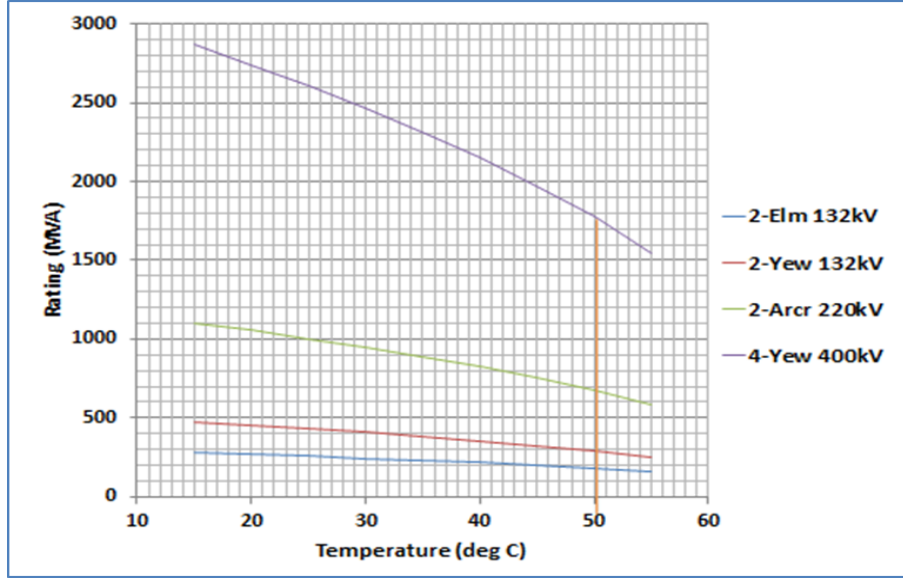
$Q_{Conv}$  و  $Q_{Rad}$  والمقاومه R مع ملاحظة أن درجة الحرارة القصوى للموصل يجب الا تتعدى ٨٠ درجة مئوية اعتمادا على المواصفات الكهربائية العمانية. حيث تنص المواصفات الكهربائية العمانية-١١ على ان درجة حرارة الهواء المحيط عند التصميم هي ٥٠ درجة مئوية ودرجة الحرارة القصوى للموصل ( $T_2$ ) هي ٨٠ درجة مئوية. ويلاحظ من الشكل انه كلما زادت درجة حرارة الهواء المحيط ( $T_1$ ) قلت مقدرة الموصلات على تحمل التيار الكهربائي. كما يوضح الخط العمودي في الشكل رقم (٢) قدرة الموصلات المصممة عند درجة حرارة محيط ٥٠ درجة مئوية.

أ - تأثير سرعة الرياح: يوضح الشكل رقم (١) تأثير سرعة الرياح على قدرة خطوط النقل الهوائية في شبكة نقل الكهرباء. حيث أن القدرة تتأثر بشكل كبير بسرعة الرياح. يشير الخط العمودي في الشكل (١) الى قيمة القدرة لكل أنواع الموصلات عند سرعة رياح ٠,٥ م/ث.

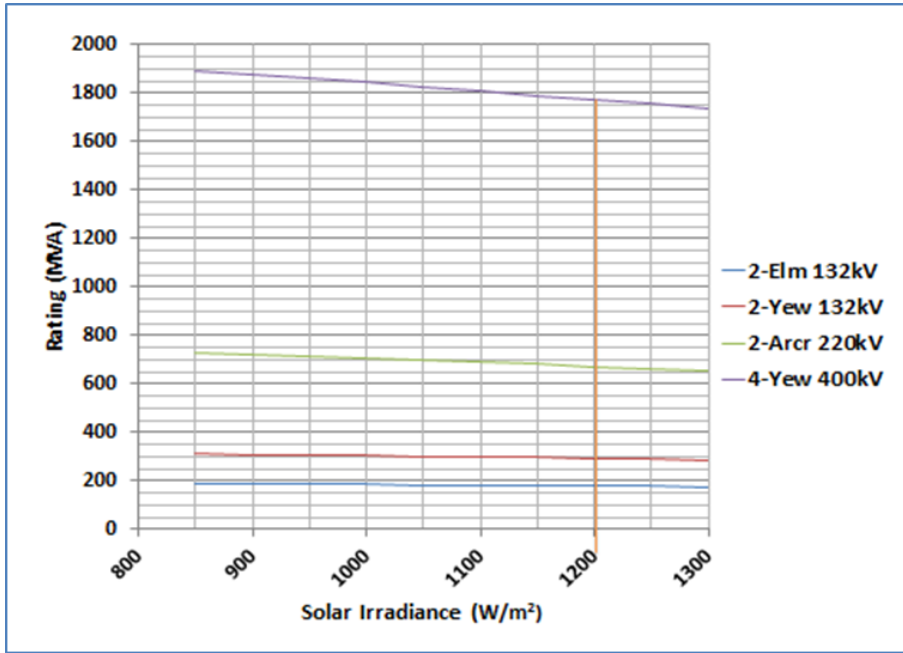
ب - تأثير درجة حرارة الهواء المحيط: يوضح الشكل رقم (٢) تأثير درجة حرارة الهواء المحيط على قدرة كل نوع من الموصلات عند مختلف مستويات الجهد الكهربائي. ويتبين أن درجة حرارة الهواء المحيط  $T_1$  لها التأثير الاكبر على قدرة الموصلات وذلك لتأثيرها على ثلاث كميات في معادلة الاتزان الحراري: وهي



شكل رقم ١- تأثير سرعة الرياح المحيط بالموصل



شكل رقم ٢- تأثير درجة حرارة الهواء المحيط بالموصل



شكل رقم ٣- تأثير الاشعاع الشمسي على قدرة الموصل

### ث- تأثير الاشعاع الشمسي

العلاقة ما بين الاشعاع الشمسي وقدرة تحميل الموصل. فكلما زاد الاشعاع الشمسي قلت قدرة تحميل الموصل. مع ملاحظة ان تأثيره ليس كبير بالمقارنة بتأثير درجة حرارة الهواء المحيط.

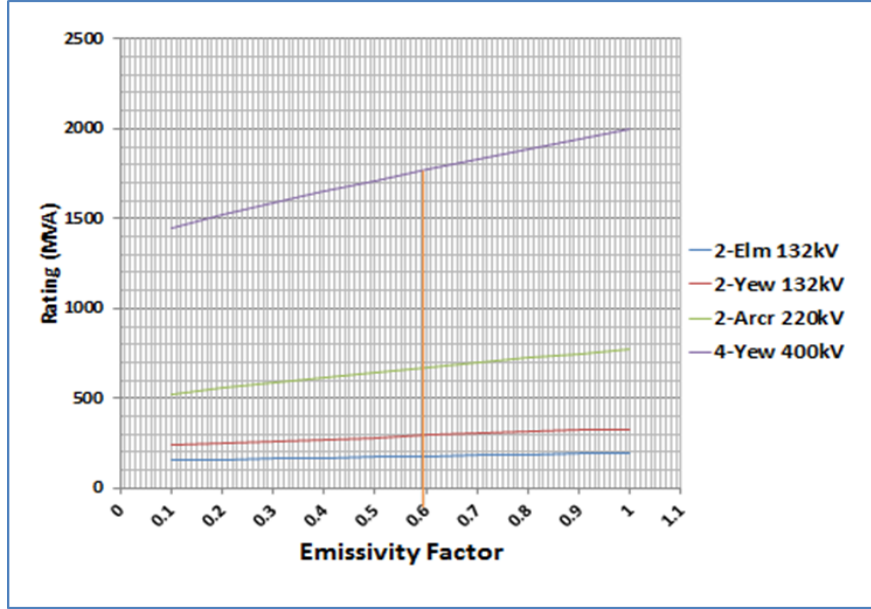
### الشمسي للموصل

الحراري الصادر من الموصل كما توضحه المعادلة السابقة. ففي حالة الموصلات المجدولة تشع الحرارة من كل جوانب

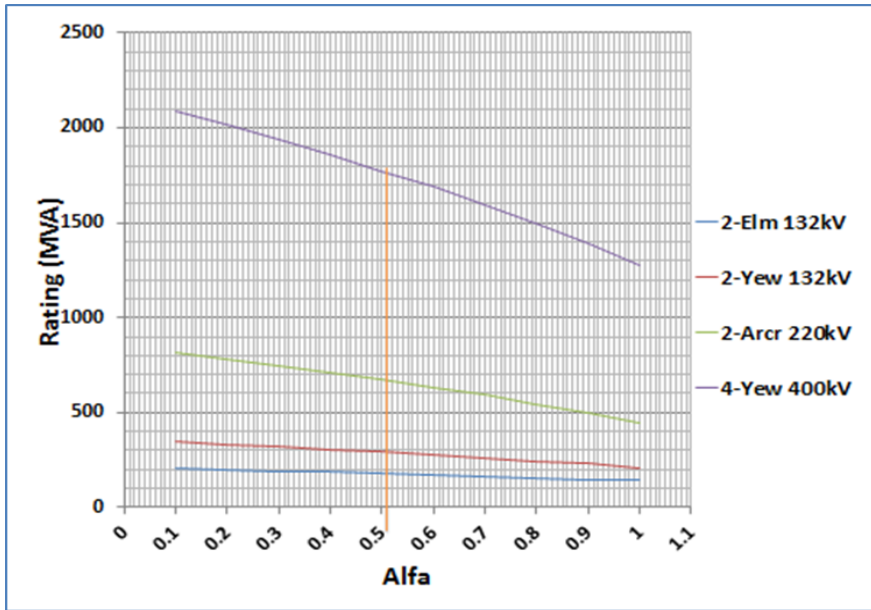
يؤخذ الحد الأقصى للاشعاع الشمسي (Si) على المناطق الاستوائية على انه يساوي 1200 وات/م<sup>2</sup> ويتم تصميم الخطوط في سلطنة عمان بناء على هذه القيمة. ان الاشعاع الشمسي (او شدة الاشعاع الشمسي) له تأثير حراري على الموصل. يوضح الشكل رقم (٣) ٤- تأثير عامل الانبعاثية الحراري وعامل الامتصاص أ- تأثير عامل الانبعاثية على قدرة تحميل الموصل: يؤثر معامل الانبعاث لسطح الموصل (e) على كميته الاشعاع

(٤) مدى تأثير عامل الانبعاث على قدرة تحميل الموصل. فكلما زاد عامل الانبعاث زادت القدرة.

الموصل. وتوضح المراجع أن قيمة عامل الانبعاث للموصلات الجديدة تكون صغيرة (٠,٢) بينما يصل عامل الانبعاث الى (٠,٩) بالموصلات القديمة. ويوضح الشكل رقم



شكل رقم-٤ تأثير معامل الانبعاث على قدرة الموصل



شكل رقم-٥ تأثير الامتصاص الشمسي على قدرة الموصل

يلخص الجدول رقم (٣) قيم البيانات التصميمية المستخدمة لتحديد قدرة خطوط النقل والتي شملتها هذه الدراسة وتلك البيانات المستخدمة في دول اخرى اضافة الى القيم التي يستخدمها المعيار المنصوص عليه في المراجع.

ب- تأثير عامل الامتصاص الشمسي على قدرة الموصل:  
ان عامل الامتصاص الشمسي ( $\alpha$ ) له تأثير مباشر على كمية الحرارة المكتسبة كما موضح في المعادلات السابقة. يوضح الشكل رقم (٥) مدى تأثير عامل الامتصاص الشمسي على قدرة تحميل الموصل. فكلما زاد عامل الامتصاص الشمسي للموصل قلت القدرة.

الجدول رقم (٣): البيانات التصميمية لحساب قدرة تحميل الموصلات في عدة دول

Design Parameter	Egypt	Oman	USA	China	Japan	France	Indonesia	IEC
Ambient Temp. $T_1$ (°C)	٤٥	٥٠	-	٣٥	-	-	٣٥	-
Max. Conductor Temp. $T_2$ (°C)	٨٠	٨٠	٩٠	٧٠	٩٠	٨٥	٧٥	-
Wind Speed $v$ (m/s)	٠,٦	٠,٥	٠,٦١	٠,٥	٠,٥	١,٠	٠,٥	١,٠
Solar Irradiance $S_i$ (W/m <sup>٢</sup> )	$\geq 1100$	١٢٠٠	-	١٠٠٠	١٠٠٠	٩٠٠	١٢٥٠	٩٠٠
Solar Absorptivity $\alpha$	-	٠,٥	٠,٥	٠,٩	٠,٩	٠,٥	-	٠,٥
Conductor Emissivity $e$	-	٠,٦	٠,٥	٠,٩	٠,٩	٠,٦	-	٠,٦

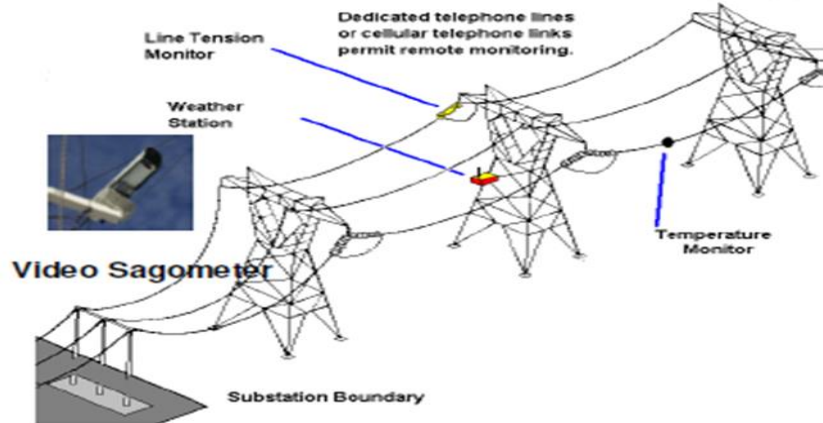
## ٥- الخاتمة

بشكل مباشر. في الوقت نفسه، قد نحتاج إلى تركيب أجهزة مراقبة ارتخاء الموصلات (Sag) وانشدادها (Tension) لاسيما في درجات الحرارة العالية والخطوط التي تكون المسافة فيها ما بين الابراج كبيرة. كما تجدر الاشارة إلى انه مع زيادة قدرة تحميل الخطوط يجب مراجعة ضبط اجهزة الوقاية وقوة تحميل روابط الخطوط والمكونات الاخرى.

يبين الشكل رقم (٦) فكرة تطبيق حسابات قدرة تحميل الخطوط الهوائية اثناء التشغيل في الزمن الحقيقي. حيث يتم قياسات العوامل الجوية (مثل: سرعة واتجاه الرياح - الإشعاع الشمسي - درجة حرارة الهواء المحيط بالموصلات) وكذلك قياسات ارتخاء الموصلات والتشد، بالإضافة الى وسائل نقل القياسات الى مركز التحكم لإجراء حسابات قدرة تحميل الخطوط في زمن التشغيل الحقيقي.

تظهر أهمية هذه الدراسة في ظل التزايد المستمر في أحمال الشبكات الكهربائية [١٥]، وما يتطلبه ذلك من وضع الخطط الإستراتيجية للتوسع في الشبكات الكهربائية [١٦]، [١٧]. هذا مع تزايد نسب إضافة مصادر الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية [١٨] وطاقة الرياح [١٩]، مع العمل على تعظيم الاستفادة من هذه الطاقات [٢٠]، [٢١].

إن تقنية حساب قدرة تحميل خطوط نقل الكهرباء بناء على معطيات بيانات الطقس مفيدة جدا في استخدامها في حالة الخطوط ذات الاحمال العالية. وتفعيل هذه التقنية نحتاج الى تركيب اجهزة مراقبة كاجهزة مراقبة الطقس ودرجة الحرارة ووسائل لنقل القراءات والبيانات وأجهزة تدعيمية. كما يمكن نقل هذه المعلومات عن طريق نظام SCADA إلى مركز التحكم ومن خلالها نستطيع حساب قدرة الخطوط



شكل رقم-٦ فكرة تطبيق حسابات قدرة تحميل خطوط نقل الكهرباء في الزمن الحقيقي أثناء التشغيل

## REFERENCES

١. IEEE Power Engineering Society, Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors, IEEE Standard ٧٣٨-٢٠٢٣, IEEE ٧٣٨\_WG - Conductor Working Group P٧٣٨, December ٢٠٢٣. <https://standards.ieee.org/ieee/٧٣٨/١٠٢٠٧/>
٢. Cigre Working Group ٢٢,١٢, Thermal Behaviour of Overhead Conductors, Cigre Brochure ٢٠٧, August ٢٠٠٢. <https://www.e-cigre.org/publications/detail/٢٠٧-thermal-behaviour-of-overhead-conductors.html>
٣. Cigre Working Group B٢,١٢, Guide for Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings, Cigre Brochure ٢٩٩, August ٢٠٠٦. <https://www.e-cigre.org/publications/detail/٢٩٩-guide-for-the-selection-of-weather-parameters-for-bare-overhead-conductor-ratings.html>
٤. S. D. Foss, S. H. Lin, and R. A. Fernandes, "Dynamic Thermal Line Ratings," IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-١٠٢, No. ٦, pp. ١٨٥٨-١٨٦٤, June ١٩٨٣.
٥. W. Z. Black, and W. R. Byrd, "Real-Time Ampacity Model for Overhead Lines," IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. ١٠٢, No ٧, pp. ٢٢٨٩-٢٢٩٣, July ١٩٨٣.
٦. C. R. Stephen, "Description of State of the Art Methods to Determine Thermal Rating of Lines in Real-Time and Their Application in Optimizing Power Fow," Cigre Session ٢٢, ٢٠٠٠, Paper No. ٣٠٤.
٧. S. L. Chen, W. Z. Black, and H. W. Loard, Jr., "High Temperature Ampacity Program for Overhead Conductors," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. ١٧, No. ٤, pp. ١١٣٦-١١٤١, Oct. ٢٠٠٢.
٨. C. J. Wallnerström, Y. Huang and L. Söder, "Impact from Dynamic Line Rating on Wind Power Integration," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. ٦, No. ١, pp. ٣٤٣-٣٥٠, Jan. ٢٠١٥, <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2341303>
٩. D. M. Greenwood, G. L. Ingram and P. C. Taylor, "Applying Wind Simulations for Planning and Operation of Real-Time Thermal Ratings," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. ٨, No. ٢, pp. ٥٣٧-٥٤٧, March ٢٠١٧, <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2488103>
١٠. K. M. Klein, P. L. Springer, and W. Z. Black, "Real-Time Ampacity and Ground Clearance Software for Integration into Smart Grid Technology," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. ٢٥, No. ٣, pp. ١٧٦٨-١٧٧٧, July ٢٠١٠.
١١. I. Albizu, E. Fernandez, P. Eguia, E. Torres and A. J. Mazon, "Tension and Ampacity

- Monitoring System for Overhead Lines,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. ٢٨, No. ١, pp. ٣-١٠, Jan. ٢٠١٣, [https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012,2213308](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2213308)
١٢. Omar H. Abdalla, Rashid Al-Badwawi, Hilal Al-Hadi, Hisham Al-Riyami, and Ahmed Al-Nadabi: “Weather-Based Ampacity of Overhead Transmission Lines”, Presented at the ٤<sup>th</sup> General Conference of Arab Union for Electricity and Exhibition, Doha, Qatar, ٧-٩ January ٢٠١٣. <http://works.bepress.com/omar/16/>
١٣. Omar H. Abdalla: “Security and Reliability Criteria for Electricity Generation and Transmission System Planning”, Journal of the Egyptian Society of Engineers, Vol. ٦١, Issue ١, pp. ٣-١٠, ٢٠٢٢. <https://dx.doi.org/10.21608/egsen.2022,247103>
١٤. Omar H. Abdalla, A.M. Abdel Ghany, and Hady H. Fayek: “Development of a Digital Model of The Egyptian Power Grid for Steady-State and Transient Studies”, Proc. of the ١١<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering (ICEENG ٢٠١٨), Paper No. ٨٣-EPS, Military Technical College, Cairo, Egypt, ٣-٥ April, ٢٠١٨. [https://iceeng.journals.ekb.eg/article\\_30107.html](https://iceeng.journals.ekb.eg/article_30107.html)
١٥. EEHC: “Annual Report ٢٠٢٢-٢٠٢٣”, Egyptian Electricity Holding Company, <https://www.eehc.gov.eg/cmseehc/en/company-info/annual-report-2022-2023/>
١٦. Hisham Al-Riyami, Omar H. Abdalla, Adil Al-Busaidi, Ahmed Al-Nadabi, Musabah Al-Siyabi, Meera Al-Abri, Zahra Al-Rawahi, Joseph Dubois, Vincent Lambillon, Shafique Mirza, and Arnaud Bastens: “Development of Transmission System Master Plan of Oman (٢٠١٤-٢٠٣٠)”, Paper No. A٣٦, Proceedings of the GCC Cigre ٢٠١٤, Al-Manamah, Bahrain, November ٢٠١٤. Available: Technical Papers Book, pp.٣٨٠-٤٠١. <https://www.omangrid.com/en/pages/publications.aspx>
١٧. H. Al-Riyami, A. Al-Busaidi, A. Al-Nadabi, M. Al-Siyabi, M. Al-Abri, Z. Al-Rawahi, J. Dubois, V. Lambillon, S. Mirza, A. Bastens, and O. H. Abdalla: “Development of Demand Forecast Model for the Transmission System Master Plan of Oman (٢٠١٤-٢٠٣٠)”, Proceedings of the ٨<sup>th</sup> IEEE-GCC Conference and Exhibition, Muscat, Sultanate of Oman, ١-٤ February ٢٠١٥. <https://doi.org/10.1109/IEEEGCC.2015,7060041>
١٨. Omar H. Abdalla, Hady H. Fayek and A. M. Abdel Ghany: "Steady-State and Transient Performances of The Egyptian Grid with Benban Photovoltaic Park", Proc. of the Cigre Egypt ٢٠١٩ Conference, The Future of Electricity Grids - Challenges and Opportunities, Paper No. ٢٠٥, ٦-٨ March ٢٠١٩, Cairo, Egypt. (٢٠١٩). <http://works.bepress.com/omar/16/>
١٩. H. A. S. Al Riyami, A. G. Kh. Al Busaidi, A. A. Al Nadabi, O. H. Abdalla, K. Al Manthari, B. Hagenkort, and R. Fahmi: “Grid Code Compliance for Integrating ٥٠ MW Wind Farm into



- Dhofar Power Grid”, Proceedings of the ١٢<sup>th</sup> GCC Cigre International Conference and ٢١<sup>st</sup> Exhibition for Electrical Equipment, GCC Power, Paper A ٢٠٤, pp. ١٥٢-١٦١, ٨-١٠ November ٢٠١٦. <https://works.bepress.com/omar/٢٥/>
٢٠. Hady H. Fayek, and Omar. H. Abdalla: “Maximization of Renewable Power Generation for Optimal Operation of the Egyptian Grid”, The ٢٩<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE'٢٠, Delft, The Netherlands, ١٧-١٩ June ٢٠٢٠. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9102450>.
٢١. Hady H. Fayek and Omar H. Abdalla: "Operation of the Egyptian Power Grid with Maximum Penetration Level of Renewable Energies Using Corona Virus Optimization Algorithm" Smart Cities, Vol. ٥, No. ١, pp. ٣٤-٥٣, ٥ January, ٢٠٢٢, <https://www.mdpi.com/2624-6511/5/1/3>