

مدلسازی خط انتقال ۲۳۰ کیلوولت و بهینه یابی روشهای سنجش کشش و تنش وارد بر دکلها در خطوط انتقال

مسعود کفاش فرخدا^۱، مجید محمدی^۲

^۱ مدرس گروه برق موسسه آموزش عالی اسرار مشهد

^۲ عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی اسرار مشهد

چکیده

یکی از مهمترین مشکلات در صنایع بزرگ و مخصوصاً صنعت برق عدم امکان تست های بارگذاری حقیقی در شرایطی فراتر از حد مجاز بر روی هر تجهیز است زیرا مسلماً نیاز به صرف هزینه های بالا بر روی متصدیان صنعت برق خواهد بود. در این هنگام محاسبات مهندسی و دقت محاسبات بارگذاری و سرعت انجام آن امری ضروری می نماید تا با صرف کمترین هزینه و زمان به نتیجه ی دقیق و مطلوب دست یافت و قابلیت اطمینان خط انتقال توان را افزایش داد. در زمینه طراحی خطوط انتقال توان الکتریکی از نرم افزار هایی جهت شبیه سازی استفاده می شود که در خصوص عوامل جوی و تاثیرات مکانیکی بر روی خط انتقال مهمترین آنها نرم افزار شبیه ساز PLS_CADD نام دارد. در این پژوهش با انجام شبیه سازی بر روی مدل خط انتقال ۲۳۰ کیلو ولت با عوارض سطحی بیابانی و کوه پایه ای محاسباتی در خصوص کشش وارده بر هادیها در محل اتصال به دکل و میزان فلش مجاز صورت گرفته است که نتایج آن در انتهای ارایه گردیده و نتایج موید ارتقاء دقت محاسبات می باشد.

واژه های کلیدی: محاسبات بارگذاری، قابلیت اطمینان خط انتقال، تنش وارده بر هادی های خط انتقال، فلش مجاز.

۱. مقدمه

رقابت در جهت افزایش کارایی شبکه های برق ما را به جستجوی راهکارهایی جهت تحقق این مهم واداشته است (بزرا و همکاران^۱، ۲۰۱۶). یکی از مهمترین مشکلات خط انتقال عدم امکان تست بارگذاری فراتر از میزان مجاز بصورت حقیقی است زیرا هزینه های بسیاری را متوجه متصدیان این صنعت می نماید (سیلوا^۲، ۲۰۱۱). فناوری های نوین و استفاده از شبیه سازی با دقت میکرونی، بسیاری از هزینه های بی مورد را کاهش داده و افزایش سرعت احداث خط انتقالی با قابلیت اطمینان بالا را سبب شده است (زینگ^۳، ۲۰۱۶). یکی از اصلی ترین شبیه سازیهای محاسبات مکانیکی و الکتریکی در خط انتقال نرم افزار PLS_CADD است که رفته رفته جای خود را در میان مهندسان طراح باز کرده و با هر چه دقیق تر شدن جزئیات جوی و عرضی حال از آن در صدها پروژه انتقال توان در سراسر کره زمین استفاده می گردد (فو و همکاران^۴، ۲۰۱۶).

برخی پژوهش ها در خصوص شبیه سازی و بررسی نتایج با مدل واقعی خط انتقال صورت گرفته است، از جمله: در پژوهشی میزان اثر محاسبات در شرایط گردباد و حرکت های موجی شکل جبهه هوای سرد بر خط انتقال صورت گرفته (لی و همکاران^۵، ۲۰۱۳). پژوهشی دیگر میزان اثر نوع هادی بکار رفته در خط انتقال را در مقاومت مکانیکی خط انتقال و در شرایط جوی مختلف را بررسی کرده است. در این پژوهش نوع هادی بکار رفته در شرایط مختلف جوی با مقاومت مکانیکی رابطه ای معنادار را نشان می دهد (لیانگ و همکاران^۶، ۲۰۱۵). پژوهش های اخیر به اثرات جوی و عوارض سطحی به حریم خطوط انتقال پرداخته اند و جهت بهینه سازی از برخی فاکتورهای قابل اغماض صرفنظر کرده اند، همچنین از روشهای هوشمند همچون شبکه عصبی و یا منطق فازی جهت ارتقا سطح محاسبات کمک گرفته اند که نتایج جالب توجه ای به همراه داشته است (لین و همکاران^۷، ۲۰۱۲ و جورابیان و همکاران^۸، ۲۰۱۱ و کومار^۹، ۲۰۱۷). پژوهشی از قیاس روشهایی مبتنی برالگوهای جغرافیایی و عکس برداری های هوایی و بهینه سازی محاسبات با الگوریتم ازدحام ذرات یا PSO کمک گرفته است و هدف از این پژوهش کاهش حداکثری تجهیزات و یراق آلات بکار رفته در خط انتقال است (بهویان و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۲). در پژوهشی بر روی خط ۷۵۰ کیلوولت استفاده از روشهای محاسباتی کلاسیک و نرم افزارهای مشابه جهت شبیه سازی خط نیز مورد توجه بوده که در انتها با در نظر گرفتن چند عامل طبیعی و محیطی به طراحی بهینه خط انتقال توان پرداخته اند (بورکس و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰). در بعضی از پژوهش ها چون کاری که در سال ۲۰۱۶ صورت گرفت در مقاله ای بر روی دینامیک دکلهای خط انتقال در شرایط بارگذاری وزش باد و باران پرداخته شده است. در این بین با استفاده از ادغام الگوریتم های هوشمند مانند سیستم فازی ادغام شده با روش بهینه سازی ازدحام ذرات به بررسی شرایط دینامیکی پرداخته شده است (یوجنی^{۱۲}، ۲۰۱۴). در جهت افزایش راندمان خط انتقال در پژوهشهای متعددی پیشنهاد استفاده از ابر رساناهای فشار قوی مطرح گردیده و نقطه بهینه هزینه و تلفات در خطوط مختلف بدست آمده است که در حال حاضر امکان بهره مندی از آنها در خطوط مختلف متاسفانه میسر نیست و بصورت جزیره ای و محدود مورد استفاده قرار می گیرند (کریوی و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۵ و زیمیان^{۱۴}، ۲۰۱۴ و سنک و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۷).

¹ Bezerra et al.² Silva³ Xing⁴ Fu et al.⁵ Li et al.⁶ Liang et al.⁷ Lin et al.⁸ Joorabian et al.⁹ Kumar¹⁰ Bhuiyan et al.¹¹ Burks et al.¹² Yevgeny¹³ Krivoy¹⁴ Ziemian¹⁵ Cenk

۲. بار گذاری:

در محاسبات بار گذاری مهندسی چند شرط و معیار ضروری، شرایط آب و هوایی و شرایط کابلی است یعنی باید در مورد دمای هوا، قدرت باد و حتی جهت باد، اندازه ی کابل بین دو دکل، وزن کابل و زاویه ی خمیدگی کابل و ... اطلاعات به صورت کافی موجود باشد که می توان با استفاده از نرم افزار شبیه ساز PLS_CADD یک گزارش دقیق و مهندسی داشته باشیم^۱. همچنین روابطی جهت محاسبه کلاسیک میزان بارگذاری و حد کشش ماکزیمم هادی در محل اتصال به دکل استفاده می شود که جهت دستیابی به آنها از معادله ای با عنوان معادله ی تغییر وضعیت استفاده می گردد که بصورت زیر بیان می گردد (طراحی خطوط انتقال نیرو):

$$H'^3 + H'^2 \left[\frac{s.E.S^2W^2}{24H^2} + \alpha.s.E(t'-t) - H \right] - \frac{s.E.S^2W'^2}{24} = 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱) به ترتیب:

H' = میزان کشش وارده بر هادی در شرایط ثانویه جوی بر حسب Kg

s = میزان سطح مقطع هادی بر حسب mm^2

E = مدول یانگ بر حسب $\frac{kg}{mm^2}$

S = میزان اسپن بر حسب m

W = وزن هادی در شرایط اولیه جوی بر حسب Kg/m

H = میزان کشش وارده بر هادی در شرایط اولیه جوی بر حسب Kg

α = ضریب انبساط طولی بر حسب $\frac{l}{c}$

t = میزان دما در شرایط اولیه جوی بر حسب c°

t' = میزان دما در شرایط ثانویه جوی بر حسب c°

لازم به ذکر است میزان وزن هادی می تواند شامل اثرات وزش باد و وزن اضافه شده ناشی از بارش برف و یخبندان باشد که در مجموع با یک معادل وزنی جایگزین خواهد شد.

$$W_{i+c} = W_i + W_c \quad (2)$$

$$W_i = 0.913\pi i (i + s) \times 10^{-3} \frac{kg}{m} \quad (3)$$

$$W = \sqrt{(W_i + W_c)^2 + W_w^2} \quad (4)$$

در این روابط به ترتیب:

$W_{i+c} = Kg/m$ = وزن هادی و یخ بصورت توأم با یکدیگر بر حسب

$W_i = Kg/m$ = وزن یخ بر حسب

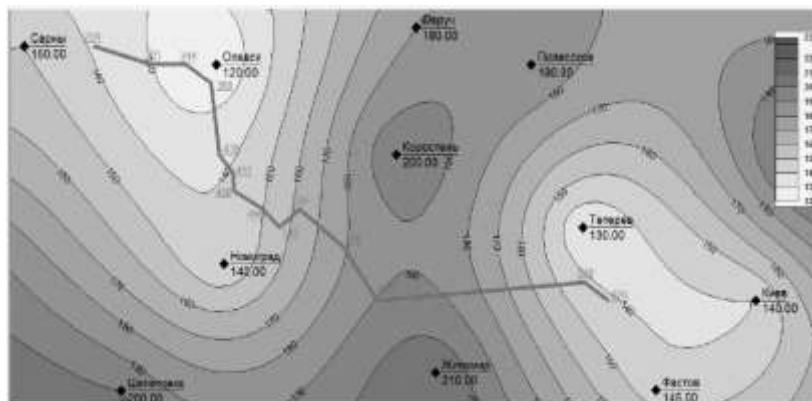
$W_w = Kg/m$ = وزن معادل وزش باد بر حسب

$W_c = Kg/m$ = وزن هادی به تنهایی بر حسب

¹ https://www.powline.com/products/pls_cadd.html

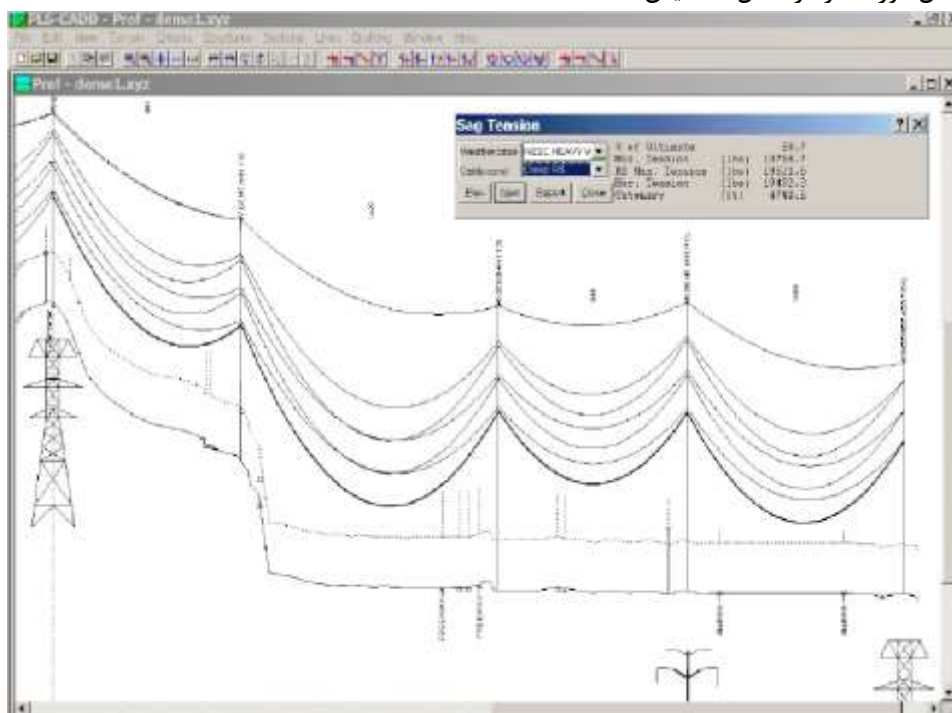
۳. عوارض سطحی

بیان عوارض سطحی به صورت دقیق نقش بزرگی در انجام محاسبات بارگذاری ایفا می کند و در این راستا استفاده صحیح از نقشه های ژئوگرافیکی تعیین کننده است. شکل ۱. نمایش عوارض سطحی مدل مورد استفاده از یک زمینه دشت و کوه پایه ای جهت انجام شبیه سازی استفاده گردیده است که بصورت زیر است:



شکل ۱. نمایش عوارض سطحی مدل شبیه سازی

در چنین شرایطی با در نظر گرفتن میزان مجاز کشش وارده بر دکلها به تست بارگذاری خط انتقال مورد نظر پرداخته شد که پروفیل خط انتقال مورد نظر در شکل ۲. نمایش داده شده است:



شکل ۲. نمایش پروفیل خط انتقال و میزان کشش ایجاد شده در هر سکشن

در شکل ۳. در قالب گزارش متنی زیر میزان کشش مجاز و میزان فشار وارده در محل اتصال هادی به دکل ها درج گردیده است:

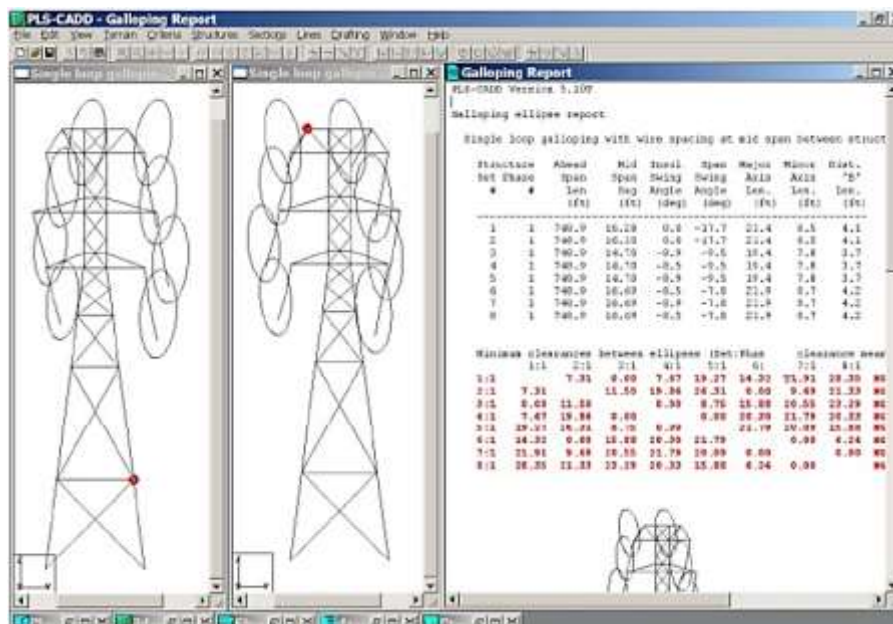
Section #16 from structure #6 to structure #10, start set #5 'E3-L-B', end set #8 'E3-R'
 Cable 'c:\pls\pls_cadd\examples\cables\kiwi'. Ruling span (ft) 1093.03
 Sagging data: Category (ft) 5971.2 Condition I Temperature (deg F) 60
 Weather case for final after creep WC CAUSING CREEP
 Weather case for final after load WESC HEAVY W/ K

LC #	WEATHER CASE DESCRIPTION	CONDITION	ALLOWABLE % OF ULTIMATE	ACTUAL % OF ULTIMATE	ALLOWABLE TENSION (lbs)	ACTUAL TENSION (lbs)	ALLOWABLE CATEGORY (ft)	ACTUAL CATEGORY (ft)	% ALLOWABLE CAPACITY
1	WESC HEAVY W/ K Initial RS		60.0	43.3	NA	21545.3	NA	5187.3	72
15	INIT. CABLE LIM Initial RS		25.0	25.6	NA	12744.1	NA	5471.4	72
16	FINAL CABLE LIM Creep RS		25.0	23.9	NA	11895.6	NA	5102.3	95

شکل ۳. ارائه گزارش کشش وارده بر هادی در محل اتصال به دکل ها

۴. ناحیه حرکتی هر هادی

مسئله در شرایط عادی نصب و در شرایط جوی متعادل فواصل مجاز بین هادیها و میزان فلش هادی قابل تبیین است اما در وزش بادهای شدید و در شرایطی که یخبندان باشد دیگر نمی توان به مقادیر محاسبه شده در شرایط عادی مسئله را بیان نمود. با فرض اینکه در شرایط وزش باد هادیها از محل استقرار اولیه نوسان خواهند نمود به محاسبه ناحیه حرکتی هر هادی نسبت به هادیهای مجاور نیازمند هستیم تا به مشکل تجاوز از حد مجاز فاصله هادیها مواجه نشویم. در شکل ۴. نمایش ناحیه حرکتی هادیهای مستقر بر روی دکل را نشان می دهد:



شکل ۴. نمایش ناحیه حرکتی هادیهای مستقر بر روی دکل نسبت به دیگر هادیها

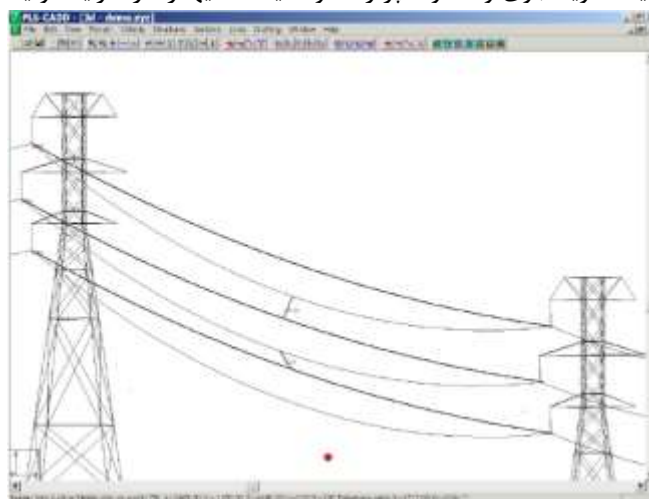
نواحی بیضی شکل مشخص شده بر روی مدل طراحی شده، نواحی حرکتی هادیها را نشان می دهد که در جدول فواصل هادیها با یکدیگر درج گردیده است.

در شرایط یخبندان میزان فلش هادی تغییر می نماید که در اینگونه موارد ممکن است باعث تجاوز از حریم خط انتقال شده و باعث اتصال کوتاه گردد. شکل ۵. نمایش میزان فلش هادی در شرایط ثانویه جوی را نشان می دهد. در مدل طراحی شده نقاط قرمز میزان فلش غیر مجاز را نشان می دهد.



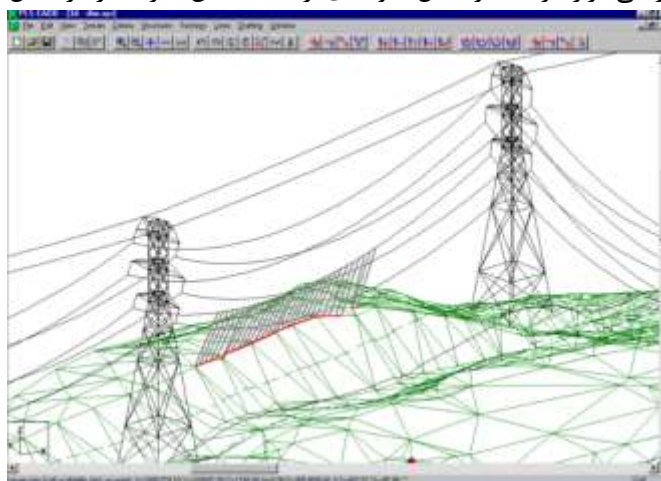
شکل ۵. نمایش میزان فلش هادی در شرایط ثانویه جوی

در شکل ۶. وضعیت هادیهای خط انتقال در مدل طراحی شده در شرایط اولیه و ثانویه جوی نمایش داده شده است که خطوط کم رنگ وضعیت هادی در شرایط ثانویه جوی و خطوط پر رنگ وضعیت هادیها را در شرایط اولیه جوی نمایش می دهد.



شکل ۶. نمایش میزان فلش هادی در شرایط اولیه و ثانویه جوی

همچنین در نواحی میان کوهپایه و دشت میزان فلش هادیها ممکن است از مرز تعیین شده تجاوز نماید که در مدل مورد بررسی نیز این مطلب مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل نمونه ای از ناحیه فلش غیر مجاز در شکل ۷. نمایش داده شده است.



شکل ۷. نمایش میزان فلش غیر مجاز هادی در گراف منطقه ای

۵. نتیجه‌گیری

امروزه یکی از مهمترین مشکلات در صنعت برق عدم امکان تست های بارگذاری حقیقی در شرایطی فراتر از حد مجاز بر روی هر تجهیز است زیرا مسلماً نیاز به صرف هزینه های بالا بر روی متصدیان صنعت برق خواهد بود. محاسبات مهندسی و دقت محاسبات بارگذاری و سرعت انجام آن راهکاری ضروری است تا با صرف کمترین هزینه و زمان به نتیجه ی دقیق و مطلوب دست یافت و قابلیت اطمینان خط انتقال توان را افزایش داد. در زمینه طراحی خطوط انتقال توان الکتریکی از نرم افزار هایی جهت شبیه سازی استفاده می شود که در خصوص عوامل جوی و تاثیرات مکانیکی بر روی خط انتقال مهمترین آنها نرم افزار شبیه ساز PLS_CADD نام دارد. در این پژوهش با انجام شبیه سازی بر روی مدل خط انتقال ۲۳۰ کیلو ولت با عوارض سطحی بیابانی و کوه پایه ای محاسباتی در خصوص میزان کشش وارده بر هادی ها در محل اتصال به دکل و میزان فلش مجاز صورت گرفت که از بابت دقت محاسبات مهندسی سطح جدیدی را در بدست آورده و از اینرو امکان شبیه سازی هر گونه خط انتقال با شرایط جوی و عوارض سطحی خاص قابل محاسبه می باشد.

مراجع

۱. حیدری، قدرت الله (۱۳۷۹). طراحی خطوط انتقال نیرو. تالیف. انتشارات تابش برق، ۱۳۷۹.
2. A.A.P. Silva, J.M.B. Bezerra, (2011) "A model for upgrading transmission lines by using HTLS Conductors", IEEE Trans. Power Delivery 26 (4) 2180– 2188.
3. Bhuiyan, M.M.I. Md. Mafijul Islam Bhuiyan. Ph.D. thesis (2012). "Links to the future: communication requirements and challenges in the smart grid" IEEE Power Energy Mag. 10 24-32.
4. Burks, B., Armentrout, D., Kumosa, M. (2010) "Failure prediction analysis of an accc conductor subjected to thermal and mechanical stresses" Dielectrics and Electrical Insulation. IEEE Trans. 17 (2), 588-596.
5. Cenk Tort a, Serkan Sahin b, Oğuzhan Hasançebi (2017) "Optimum design of steel lattice transmission line towers using simulated annealing and PLS-TOWER" Computers and Structures 179 75–94
6. Fu, X., Li, H.-N., Li, G. (2016) "Fragility analysis and estimation of collapse status for transmission tower subjected to wind and rain loads". Elsevier. Struct.Saf.58, 1–10.
7. https://www.powline.com/products/pls_cadd.html
8. J.M.B. Bezerra,* , A.A.P. Silva, Z.D. Linsa, J.C.O. (2016) "Field validation of a new model for upgrading transmission lines" Elsevier.Electric Power Systems Research 134 30–37
9. Krivoy, S.A., Bolshakov, N.S., Rakova, X.M. (2015) "Increasing the Wind Turbine Power Using Aerodynamics Shape of the Building Applied Mechanics and Materials" 725-726, pp. 1456-1462.
10. Li, H.-N., Tang, S.-Y., Yi, T.-H. (2013). "Wind-rain-induced vibration test and analytical method of high-voltage transmission tower" . Elsevier. Struct.Eng.Mech.48, 435–453.

11. Liang, S., Zou, L., Wang, D., Cao, H. (2015) "Investigation on wind tunnel tests of a full aeroelastic model of electrical transmission tower-line system" Elsevier .Eng.Struct.85,63-72.
12. Lin, W., Savory, E., McIntyre, R., Vandelaar, C., King, J. (2012) "The response of an overhead electrical power transmission line to two types of wind forcing" .J.Wind Eng.Ind.Aerodyn.100,58-69.
13. M. Joorabian, S.M.A. Taleghani Asl, R.K. Aggarwal(2011) "Accurate fault locator for EHV transmission lines based on radial basis function neural networks" Electric Power Systems Research 71 .195-202.
14. S. Kumar a, G. Pal a, Tushar Shah (2017) "High performance overhead power lines with carbon nanostructures for transmission and distribution of electricity from renewable sources" Journal of Cleaner Production 145 180-187.
15. Xing Fu a,n, Hong-NanLi (2016) "Dynamic analysis of transmission tower-line system subjected to wind and rain loads," Elsevier. J. Wind Eng .Ind. Aerodyn. 95-103
16. Yevgeny Shevchenko, Yaroslav Nazim (2014) "Refinement of Wind Loads on Lattice Support Structures of the Intersystem Overhead Power Transmission Lines 750 kV" Procedia Engineering 117 (2014) 1028 - 1035.
17. Ziemian R.D. (Ed.) (2014) "Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures: Sixth Edition Hoboken" New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1117 p.

Modeling the 230 kV transmission line and uprating the methods used for measuring the stress and tension on towers in transmission lines

Masoud Kafash Farkhod¹, Majid Mohammadi²

1. *A lecturer of the Department of Power, Asrar Institute of Higher Education, Mashhad*

2. *A faculty member of Asrar Institute of Higher Education, Mashhad*

Abstract

One of the major problems in large industries in general and in the electricity industry in particular is the impossibility of actual load testing beyond the permissible limits on any equipment, because it will cost a lot for power industry operators. This requires engineering calculations, and accurate and high-speed loading calculations in order to achieve a precise and desirable result at the minimal cost and as fast as possible and to increase the reliability of the transmission line. In designing the electric power lines, software applications are used for simulation and one of the most important applications which is used about the atmospheric factors and mechanical effects on the transmission line is the PLS_CADD simulator software. Simulating a 230 kV transmission line model with desert and foothills effects, we have performed calculations about the traction of the conductors at the point of attachment to the tower and the permissible flash rate and have come to conclusions which confirm the accuracy of the calculations.

Keywords: Loading calculations, transmission line reliability, stresses on transmission line conductors, permissible flash.
