

طراحی و شبیه سازی یخ زدایی خطوط انتقال برق توسط بانک خازنی با نرم افزار Digsilent

اسعد احمدی اقدم - بهرام پورحسن

وزارت نیرو، برق منطقه ای آذربایجان، امور انتقال برق آذربایجان غربی

A-alan9224@yahoo.com

bahram.porhasan@yahoo.com

چکیده

در این مقاله ما یخ زدایی بر روی خطوط انتقال و فوق توزیع و توزیع را با روش بانک خازن طراحی و شبیه سازی می کنیم. این روش مربوط به تلفات ژول می شود که یکی از مهمترین تکنیک های مشترک و به طور گسترده ای مورد استفاده برای گرمایش هادی با استفاده از هر دو جریان DC و یا AC است. که در این مقاله از تلفات ژول با استفاده از تکنیک جریان AC و با استفاده از بانک خازن ۲۰ کیلو ولت، که در پست نصب می شود، جریان راکتیو را می توان به خط قدرت منتقل کرد که این کار منجر به یخ زدایی و افزایش جریان در شبکه می شود، و درجه حرارت خط انتقال افزایش می یابد

کلمات کلیدی: بانک خازنی، روش تلفات ژول، Digsilent، خطوط انتقال نیرو، یخ زدایی، افزایش درجه حرارت، شبکه برق

مقدمه

در سراسر جهان یخ می تواند در خطوط انتقال تشکیل شود. یخ می تواند باعث تغییر آیرودینامیکی خطوط شده، و باعث گالوپینگ و اتصال کوتاه شود. اگر یخ زیادی بر روی هادی باشد، وزن یخ می تواند باعث سقوط خطوط انتقال شود. بنابراین یخ زدگی می تواند باعث از دست دادن بار شود. در سال ۱۳۹۱، در شمال ایران خط نقده / پیرانشهر در اثر یخ زدگی هادی های خطوط انتقال، باعث بسیاری از حوادث و بلایا در سیستم شبکه انتقال قدرت، مانند شکست برج، قطع ارتباط و بار، گالوپینگ و غیره گردید.

پوشش یخ در خطوط انتقال هوایی باعث قطع برق منطقه بزرگ می شود، که در بهره برداری بسیاری از صنایع، مانند ارتباط از راه دور، حمل و نقل، گردشگری و غیره تاثیر می گذارد و باعث ضرر و زیان بزرگ اقتصادی می شود [۱-۲].

در حال حاضر، دو استراتژی اصلی مختلف به تصویب رسیده [۳]، که عبارتند از: ۱- روش یخ زدایی ۲- روش ضد یخ زدگی
روش یخ زدایی روشی است که به صورت مکانیکی و یا الکتریکی یخ روی هادی را شکسته و یا ذوب می کند. در حال حاضر، بیش از ۳۰ روش پیشنهاد شده در سراسر جهان وجود دارد، که به طور عمده به صورت ذوب یخ به روش حرارتی، روش مکانیکی یخ زدایی، و یخ زدایی خود به خودی تقسیم بندی شده است [۴-۵]. از روشهای حرارتی یخ زدایی شامل: ذوب یخ با ترانس شیفت فازی (PST)، ذوب یخ با اتصال کوتاه [۶، ۷]، ذوب یخ با روش تنظیم بار الکتریکی [۸-۹]، ذوب یخ با روش جریان DC [۱۰-۱۱] و تنظیم بار توسط سلف و خازن جبران کننده [۱۲].

روش های ضد یخ زدگی مختلف برای جلوگیری و تضعیف قدرت چسبندگی یخ توسط اینترفیس یا رابط بین یخ و هادی [۱۳]، جلوگیری از انجماد قطرات آب فوق سرد در برخورد با سطح هادی [۱۴] و به کارگیری روش های مختلف ترکیبی به منظور محدود کردن رشد پیوسته یخ در هادی [۱۵] ارائه شده است. روش بانک خازنی در این مقاله علاوه بر اینکه یک روش یخ زدایی است همچنین می تواند به عنوان روش ضد یخ زدگی نیز استفاده شود. تمایل به یخ زدگی زمانی است که درجه حرارت در زیر انجماد بوده، و هادی سرد است [۱۶، ۱۷].

مواد و روشهای طراحی مدار یخ زدایی خط انتقال با روش بانک خازنی:

A. محاسبه دمای هادی

با معلوم بودن حداکثر توان انتقالی (با در نظر گرفتن رشد بار و عمر مفید خط) در فاز صفر و سطح ولتاژ خط و فرض مقداری برای ضریب توان می توان مقدار جریان عبوری از خط را هم با روش بانک خازنی و هم بدون بانک خازنی به دست آورد. و با استفاده از آنها دمای هادی را محاسبه نمود و بعد مقدار دمای آن دو را با هم مقایسه کرد. پس معادله تعادل حرارتی برای هادی برابر است با:

$$P_j + P_{sol} = P_{rad} + P_{conv} \quad 1$$

در این رابطه P_j حرارت تولید شده در هادی به واسطه اثر ژولی P_{sol} ، توان حرارتی جذب شده از خورشید در سطح هادی (W/M) ، P_{conv} حرارت خارج شده از هادی به ترتیب بر اثر تشعشع حرارت و همرفت گرما (W/M) می باشند. روابط زیر نحوه محاسبه چهار کمیت فوق را نشان می دهند [۱۸].

$$P_j = R_T I^2 \quad ۲$$

$$P_{sol} = \gamma \cdot d \cdot S_i \quad ۳$$

$$P_{rad} = S_B \pi d K_r (T_2^4 - T_1^4) \quad ۴$$

$$P_{conv} = \lambda \cdot Nu \cdot (T_2 - T_1) \pi \quad ۵$$

در روابط فوق:

R_T : مقاومت هادی در دمای T_2 (اهم بر متر)، γ ضریب جذب انرژی خورشید که عددی بین ۰.۳ تا ۰.۹ است و برای هادی های آلومینیومی معمولاً برابر ۰.۵ فرض می شود. با گذشت زمان و سیاه شدن هادی این ضریب افزایش یافته و به حدود ۰.۹ نیز می رسد، d قطر هادی (متر)، K_r ضریبی که بیانگر صدور تشعشع از هادی نسبت به اجسام تیره می باشد و مقدار آن برای آلومینیوم و آلیاژهای آن را می توان ۰.۶ در نظر گرفت، T_1 دمای متوسط محیط (درجه کلونین)، T_2 دمای نهایی هادی (درجه کلونین)، λ مقداری ثابت برابر با $0.025885 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Nu : عدد ناسلت که از رابطه زیر بدست می آید:

$$Nu = 0.65 Re^{0.2} + 0.23 Re^{0.61} \quad ۶$$

Re : عدد رینولدز است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$Re = 1.644 \times 10^3 u d [T_1 + 0.5(T_2 - T_1)]^{-1.78} \quad ۷$$

u : سرعت باد دائمی

B. طراحی مدار یخ زدایی خط انتقال با روش بانک خازنی

به منظور افزایش ظرفیت انتقال شبکه برق و کاهش تلفات سیم برای تکمیل منبع توان راکتیو، بانک خازنی به صورت موازی در شبکه نصب می شود. وقتی که بانک خازنی در مدار قرار می گیرد، باعث می شود که زاویه ضریب قدرت ϕ و کل جریان بار تغییر کند. اگر ضریب قدرت بهبود یابد، باعث کاهش تلفات سیم می شود و اگر مقدار ضریب توان کاهش یابد جریان افزایش یافته و تلفات به صورت حرارت خواهد بود، پس حرارت افزایش میابد. با کنترل این نوع کاهش ضریب توان در شرایط سخت جوی می توان با اعمال بانک خازنی در جهت کاهش ضریب توان اقدام نمود و مانع تشکیل توده یخ روی خطوط شد و عملیات ضد یخ زدگی، یا در صورت تشکیل یخ، عملیات یخ زدایی انجام داد. به دلیل اینکه از نرم افزار دیگسایلنت استفاده کردیم بنابر این طراحی مدار در بخش شبیه سازی به صورت کامل نشان داده شده است.

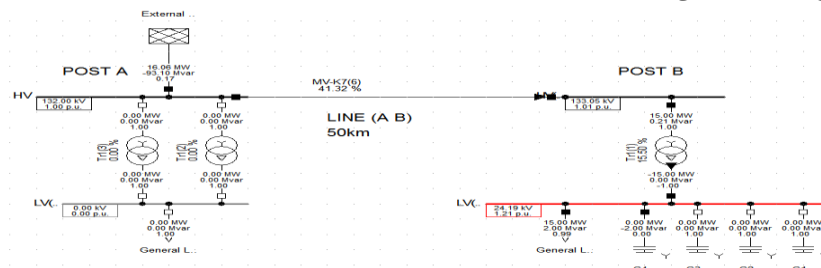
در معادله یک طرف ثانویه ی معادله $P_{rad} + P_{conv}$ متناسب با طرف اولیه است و P_{sol} توان حرارتی جذب شده از خورشید در سطح هادی (W/M) را برای هردو حالت (بدون بانک و با بانک) ثابت در نظر می گیریم. P_j حرارت تولید شده در هادی به واسطه اثر ژولی (W/M) در این معادله متغیر در نظر گرفته شده است. با توجه به معادله ۲، R_T (مقاومت هادی) برای هر دو مدار ثابت است و تنها متغیر ما جریان ها هستند

C. شبیه سازی مدار یخ زدایی خط انتقال با روش بانک خازنی

در این مرحله نتایج شبیه سازی برای دو حالت ۲۰ کیلو ولت و ۱۳۲ کیلو ولت محاسبه می شود. در این شبیه سازی مربع های سیاه نشان وصل بودن کلید و مربع های سفید نشان قطع کلید است.

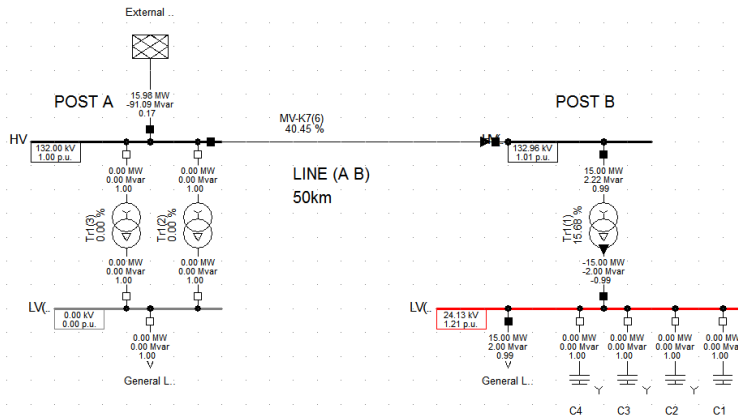
الف) حالت خط گرم ۱۳۲ کیلو ولت را به سه روش ۱- جبران کننده جریان توان راکتیو (بانک خازنی) برابر با جریان بار توان راکتیو ۲- با بانک خازنی ۳- بدون بانک خازنی به صورت زیر شبیه سازی می کنیم.

۱) هنگامی که جبران کننده جریان توان راکتیو برابر با جریان بار توان راکتیو است، ضریب قدرت $\cos \phi = 1$ می شود. شکل ۱ حالت مقدار توان راکتیو اصلاح شده را نشان می دهد که در آن ظرفیت بارگذاری خط انتقال و ترانس به ترتیب ۴۱.۳۲٪ و ۱۵.۵۰٪ است.



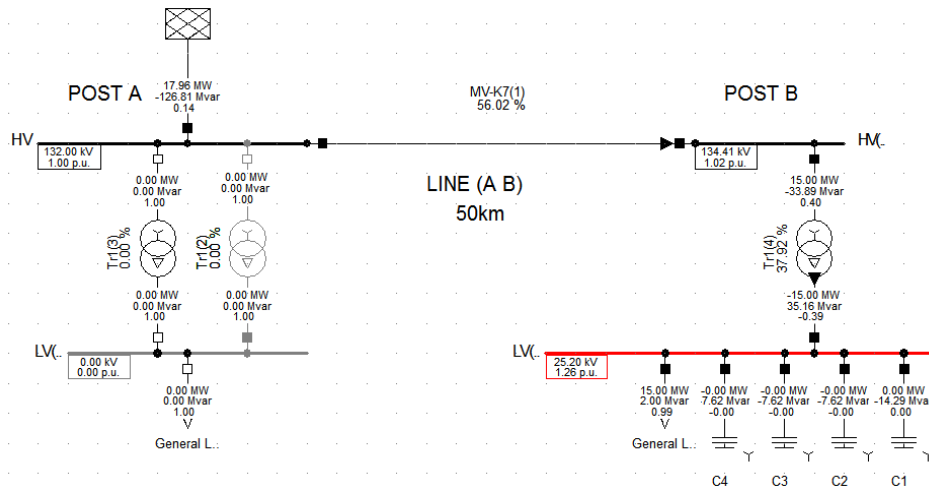
شکل ۱: جبران کننده جریان توان راکتیو برابر با جریان بار توان راکتیو

(۲) هنگامی که جبران کننده جریان توان راکتیو در مدار وجود ندارد ، ضریب قدرت $\cos\phi$ با توجه به شرایط توانهای اکتیو و راکتیو مصرف کنندگان متغیر می باشد. شکل ۲ مدار بدون جبران کننده جریان توان راکتیو را نشان می دهد که در این شکل مقدار توان اکتیو ۱۵MW و توان راکتیو ۲Mvar فرض کردیم که در این حالت ضریب قدرت $\cos\phi = 0.99$ و ظرفیت بارگذاری خط انتقال و ترانس به ترتیب ۴۰.۴۵٪ و ۱۵.۶۸٪ است.



شکل ۲: بدون جبران کننده جریان توان راکتیو (بانک خازنی)

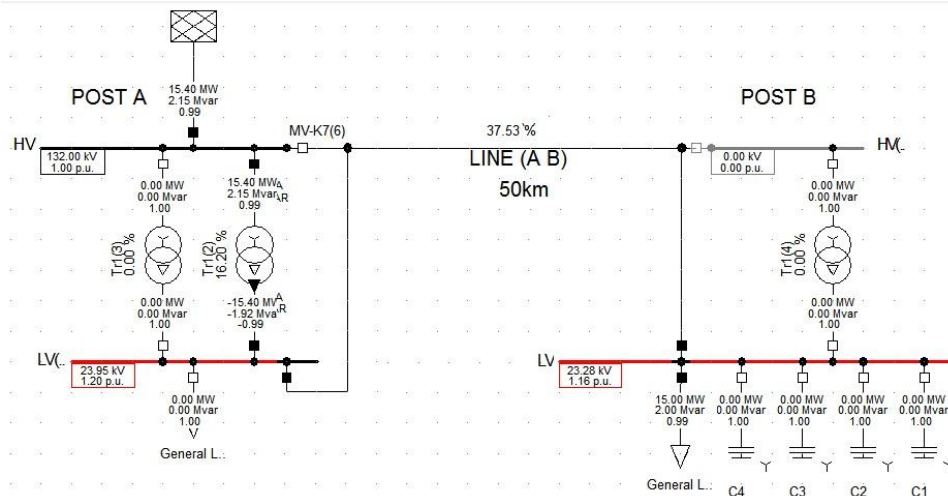
(۳) شکل ۳ وجود بانک خازنی برای یخ زدایی خطوط انتقال ۱۳۲ کیلو ولت را نشان می دهد که در این حالت جبران کننده جریان توان راکتیو بزرگتر از جریان بار توان راکتیو و ضریب قدرت $\cos\phi = 0.47$ می شود. در این حالت مقدار توان راکتیو افزایش یافته و مقدار تلفات حرارتی نیز افزایش می یابد. این نوع کاهش ضریب توان در شرایط سخت جوی باید در زمان محدود با توجه به مشخصات تجهیزات مربوطه باشد. در این حالت ظرفیت بارگذاری خط انتقال و ترانس به ترتیب ۵۶.۰۲٪ و ۳۷.۹۲٪ است.



شکل ۳: با بانک خازنی (جبران کننده جریان توان راکتیو بیش از حد)

(ب) حالت خط گرم ۲۰ کیلو ولت را به دو روش ۱- با بانک خازنی ۲- بدون بانک خازنی به صورت زیر شبیه سازی می کنیم. در این روش خط مورد عملیات یخ زدایی از طریق ولتاژ ۲۰ کیلو ولت برای افزایش بیش از حد حرارت با همان بانک های خازنی مدار قبل انجام می شود.

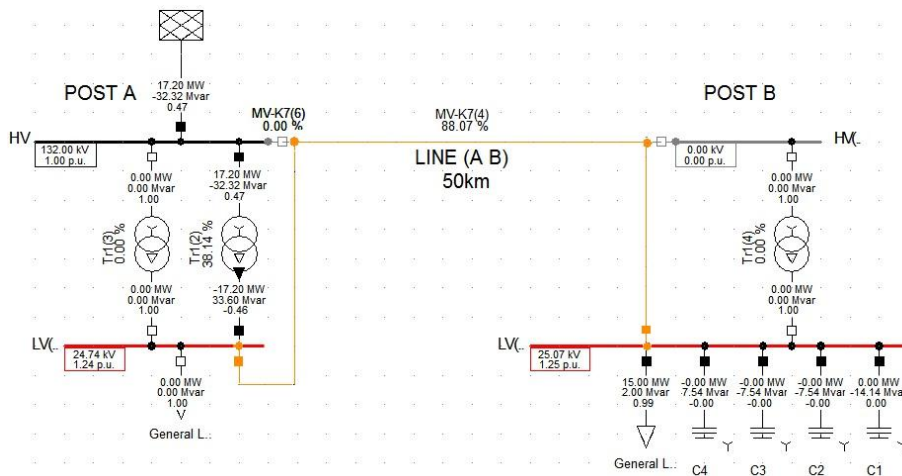
(۱) شکل ۴ خط ۱۳۲ کیلو ولت را نشان می دهد که از طریق ولتاژ ۲۰ کیلوولت برقرار شده و فاقد بانک خازنی است. در این شکل مقدار توان اکتیو ۱۵MW و توان راکتیو ۲Mvar فرض کردیم که در این حالت ضریب قدرت $\cos\phi = 0.99$ و ظرفیت بارگذاری خط انتقال و ترانس به ترتیب ۳۷.۵۳٪ و ۱۶.۲۰٪ است.



شکل ۴: خط ۱۳۲ کیلوولت برقدار شده با ولتاژ ۲۰ کیلوولت بدون بانک خازنی

(۲) شکل ۵ خط ۱۳۲ کیلوولت را نشان می دهد که از طریق ولتاژ ۲۰ کیلوولت برقدار شده و دارای بانک خازنی است. در این حالت ضریب

قدرت $\cos\phi = 0.46$ و ظرفیت بارگذاری خط انتقال و ترانس به ترتیب ۸۸.۰۷% و ۳۸.۱۴% است.



شکل ۵: خط ۱۳۲ کیلوولت برقدار شده با ولتاژ ۲۰ کیلوولت با بانک خازنی

نتایج و بحث:

A. نتایج

نتایج به دست آمده از مدارهای بالا به صورت جدول ۱ زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج بدست آمده از شبیه سازی

شکل	عنوان	ولتاژ	جریان	$\cos\phi$	P(MW)	Q(MVAR)	S(MVA)
1	راکتیو بار برابر با بانک	133.5	112.35	1	15	0	15
2	بدون بانک خازنی	132.96	113.8	0.99	15	2	15.13
3	با بانک خازنی	134.41	284.4	0.39	15	35.16	38.22
4	بدون بانک خازنی	23.28	666.6	0.99	15.4	1.96	15.52
5	با بانک خازنی	25.07	1505.4	0.46	17.2	33.6	37.74

B. بحث

در این مقاله ما از روش بانک خازنی 20Kv برای یخ زدایی خط انتقال استفاده کردیم. ما این روش را با استفاده از نرم افزار Digsilent شبیه سازی کردیم و جریان خط انتقال حاصله از نتایج را با وجود بانک خازن و بدون وجود بانک خازن مقایسه کردیم. کلیه مقادیر با توجه به اشکال شبیه سازی شده از ظرفیت نامی طبیعت می کنند (بر روی اشکال به صورت درصد نشان داده شده است). همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده برای خط گرم ۱۳۲ کیلو ولت بدون وجود بانک خازنی جریان ۱۱۳.۸ آمپر می باشد در حالی که با وجود بانک خازنی جریان ۲۸۴.۴ آمپر است. با توجه به نتایج شبیه سازی پس نتیجه می گیریم که در صورت وجود بانک خازنی، جریان خط انتقال افزایش می یابد و به همین دلیل تلفات ژول افزایش می یابد. پس با وجود بانک خازنی دمای هادی خط انتقال افزایش یافته و این باعث می شود که خط انتقال یخ زدایی شود. همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده برای خط گرم ۲۰ کیلو ولت بدون وجود بانک خازنی جریان ۶۶۶.۶ آمپر می باشد در حالی که با وجود بانک خازنی جریان ۱۵۰۵.۴ آمپر است. پس با توجه به نتایج به دست آمده در صورتی که ما نتوانیم از طریق خط گرم ۱۳۲ کیلو ولت خطوط را یخ زدایی کنیم می توانیم از خط گرم ۲۰ کیلوولت بدلیل بالا بودن جریان استفاده کنیم.

منابع مورد استفاده:

- [1] Deng Jian, Xiao Shunliang, Yao Pu, et al. Improvement on Ice-Melting Scheme for 220kV Transmission Line[J]. Power System Technology, 2008, 32(4): 29-30(in Chinese).
- [2] MA Jun , JIANG Xing-liang , ZHANG Zhi-jin , et al. Impact Mechanism of AC Electric Field on Formation of Icing on Insulators[J],Power System Technology, 2008, 32(05): 7-11(in Chinese).
- [3] Jiang Xingliang, Zhang Lihua. De-icing and anti-icing of transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 1997,23 (1):73-77.
- [4] HU Yi. Analysis and Countermeasures Discussion for Large Area Icing Accident on Power Grid[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34 (2):215-219(in Chinese).
- [5] Ostendorp, M. Electromechanical fuse for storm damage mitigation and outage reduction on distribution line customer service drops[C]. IEEE 10th International Conference on Transmission and Distribution, Montreal, Canada, 2003:176-180.
- [6] Yuan Jihe, Jiang Xingliang, Yi Hui, et al. The present study on conductor icing of transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2003,30 (1):6-10(in Chinese).
- [7] WEN Kai-Cheng. Study on Feasibility of Ice-Melting for Long HV Transmission Lines by Short-Circuit Method (J). Power System Technology, 2009, 33(2):46-50 (in Chinese).
- [8] Jiang Xingliang, Zhang Lihua. De-icing and anti-icing of transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 1997,23 (1):73-77(in Chinese).
- [9] Shan Xia, Shu Naiqiu, Discussion on methods of de-icing for overhead transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2006 ,32(4):25-27(in Chinese).
- [10] Chang Hao, Shi Yan, Yin Weiyang, et al. Ice-Melting Technologies for HVAC and HVDC Transmission Line[J]. Power System Technology, 2008, 32(5):1-6(in Chinese).
- [11] ZHANG Qingwu, LV Pengfei, WANG Delin. De-icing Scheme for UHVDC Transmission Line[J].Automation of Electric Power Systems, 2009,33(7):38-42.
- [12] Gang Liu, Xuezheng Zhao, Yonghui Chen, et al. A De-icing Method of Electric Transmission Line by Adjusting Load Based on Controllable Inductor and Capacitor Compensation [C]. PowerTech 2009 IEEE Bucharest, June 28th-July 2nd 2009.
- [13] Frankenstein S, Tuthill AM. Ice adhesion to locks and dams: Past work; future directions? [J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2002, 16(2): 83-96.
- [14] Laforte C, Beisswenger A. Icephobic Material Centrifuge Adhesion Test. In: Proc 11th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, 2005, Montreal: 1-6.
- [15] Landry M, Beauchemin R, Venne A. De-icing EHV overhead transmission lines using electromanagnetic forces generated by moderate short-circuit currents[C]. Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings of IEEE 9th international Conference, Montreal, Canada,2000: 94-100.
- [16] H. B. Smith and W. D. Wilder, "Sleet-melting practices—Niagara Mohawk system," Trans. AIEE, vol. 71, no. III, pp. 631-634, Aug 1952.
- [17] Y. L. Davies and L. C. St. Pierre, "Ice-melting and prevention practices on transmission lines," Trans. AIEE, vol. 71, no. III, pp. 593-597, Aug 1952.
- [18] IEC / TR3 61597. "Overhead Electrical Conductors Calculation Methods for Stranded Bare Conductors", First Edition, 1995-05.