

جریانهای مجاز در هادیهای هوایی روکش دار

سید محمد سید قیاسی ، فرهاد فرنام

شرکت تولیدی سیم و کابل تبریز (سیمکات)

T_1 = مقاومت حرارتی روکش $^{\circ}\text{K.m}\backslash\text{W}$
 T_2 = مقاومت حرارتی سطح هادی (از طریق کنوکسیون و همرفتی)
 R_{conv} = مقاومت حرارتی همرفتی یا کنوکسیون
 R_{rad} = مقاومت حرارتی تابش یا تشعشع

در هادیهای لخت گرمای تولید شده توسط جریان عبوری از هادی مستقیماً از سطح هادی به صورت کنوکسیون و تابش دفع می گردد. ولی در هادی روکش دار گرمای ایجاد شده از طریق روکش به سطح بیرون هادی می رسد و آنگاه به طریق کنوکسیون و تشعشع به محیط بیرون هدایت می شود. جهت مقایسه جریان مجاز هادیها، دمای 80° درجه را برای سطح هادیهای لخت و روکش دار و دمای 20° درجه سانتیگراد را برای محیط خارج از هادی انتخاب می کنیم. مقدار جریان مجاز هادی توسط رابطه (۱) محاسبه می شود.

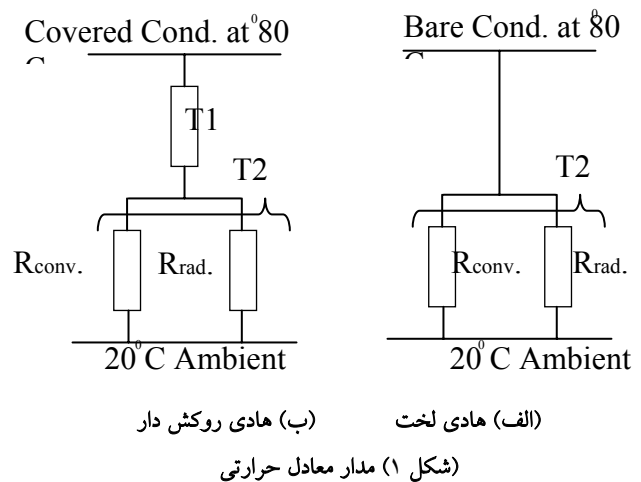
در این رابطه داریم:

$$R_T = \text{مقاومت اهمی هادی در دمای کار } 80^{\circ} \text{ درجه}$$

$$\Delta\theta = \text{اختلاف دمای هادی با محیط بیرون}$$

$$i = \sqrt{\frac{\Delta\theta}{(T_1 + T_2)R_T}} \quad (1)$$

عبور جریان از هادی موجب اتلاف انرژی الکتریکی می گردد. این اتلاف بصورت گرما در هادیها پدیدار می شود. تعیین گنجایش جریان هر هادی بستگی به فرآیندی دارد که گرمای ایجاد شده را تا رویه بیرونی هادی رسانده و سپس آنرا در پیرامون هادی پخش می کند. در مورد هادیهای لخت، گرمای ایجاد شده در هادی مستقیماً در محیط پیرامون پراکنده می شود. در هادیهای روکش دار، وجود روکش XLPE موجب تغییر مدار معادل حرارتی می گردد. مدار معادل حرارتی هادیهای لخت و روکش دار در شکل ۱ مشاهده می شود.



(ب) هادی روکش دار

(الف) هادی لخت

(شکل ۱) مدار معادل حرارتی

در این شکل داریم:

مقدار مقاومت حرارتی روکش T1، توسط رابطه (۲) بدست می آید. در این رابطه داریم:

$$T1 = \frac{\rho}{2\pi} \int_{d/2}^{D/2} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{2t}{d}\right) \quad (2)$$

T1 = مقدار مقاومت حرارتی روکش

d = قطر هادی

D = قطر هادی روکش دار

t = ضخامت روکش

ρ = مقاومت ویژه حرارتی روکش

(لازم به ذکر است در هادیهای لخت هوایی بدلیل نبودن

روکش T1=0 می باشد.)

مقدار T2 از رابطه (۳) قابل حصول است.

$$T2 = \frac{\Delta\theta}{P_{conv} + P_{rad} - P_{sol}} \quad (3)$$

در این رابطه داریم:

Δθ = اختلاف دمای هادی با محیط

P_{conv} = توان دفع شده از طریق همرفتی یا کنوکسیون

P_{rad} = توان دفع شده از طریق تابش یا تشعشع

P_{sol} = توان جذب شده از انرژی خورشیدی

مقادیر P_{conv}, P_{rad}، P_{sol} به ترتیب از روابط (۴) الی

(۶) حاصل می گردد.

$$P_{conv} = 0.2585\pi(0.65R_e^2 + 0.23R_e^{0.61})(\theta_2 - \theta_1) \quad (4)$$

$$R_e = 1.64 \times 10^9 V.D[\theta_1 + 0.5(\theta_2 - \theta_1)]^{-1.78}$$

که در آن داریم:

θ₂ = دمای سطح هادی بر حسب کلوین

θ₁ = دمای محیط بر حسب کلوین

V = سرعت باد m/s

D = قطر هادی m

بمنظور محاسبه P_{rad} از رابطه (۵) استفاده می شود.

$$P_{rad} = 5.67 \times 10^{-8} \pi.D.K_e(\theta_2^4 - \theta_1^4) \quad (5)$$

در این رابطه داریم:

θ₂ = دمای سطح هادی لخت روکش دار بر حسب کلوین

θ₁ = دمای هادی لخت روکش دار بر حسب کلوین

Ke = ضریب انتشار سطح هادی یا کابل نسبت به جسم

سیاه (Ke) را برای هادی لخت ۰.۶ و برای روکش دار بعلت

مشکی بودن آن ۰.۹۵ در نظر میگیریم).

بمنظور محاسبه P_{sol}، توان جذب شده از انرژی خورشیدی

از رابطه (۶) استفاده می کنیم.

$$P_{sol} = \gamma.S.D \quad (6)$$

در این رابطه داریم:

D = قطر هادی m

S = شدت تابش اشعه خورشیدی W/m²

γ = ضریب جذب اشعه خورشید

در محاسبات فوق به پارامتر θ₂ یعنی دمای سطح بیرونی

هادی نیاز خواهیم داشت. این مقدار برای هادیهای لخت برابر

مقدار دمای کار هادیست ولی محاسبه دمای سطح روکش برای

هادیهای روکش دار بر اساس استاندارد IEC60287 به

صورت زیر می باشد.

$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4} = \left[\frac{\Delta\theta + \Delta\theta_{ds}}{1 + K_A(\Delta\theta_s)_n^{1/4}} \right]^{0.25} \quad (7)$$

در این رابطه داریم:

Δθ_s = اختلاف دمای بین سطح روکش با محیط

n شماره تکرار

Δθ اختلاف بین θ₁ و θ₂ (دمای هادی و محیط)

مقدار K_A از رابطه (۸) تعیین می شود.

$$K_A = \pi DhT_1 \quad (8)$$

که در آن داریم:

$$h = 0.21/D^{0.6} + 3.94$$

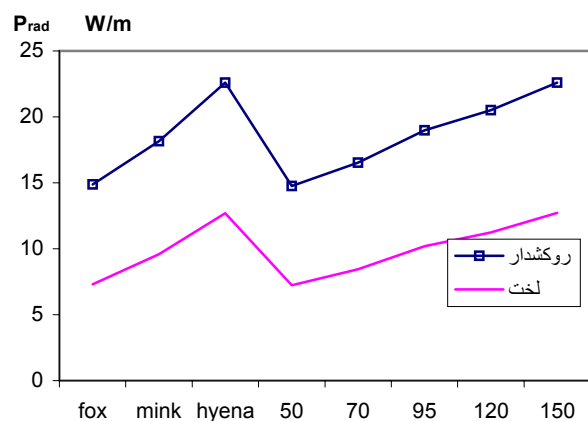
مقدار $\Delta\theta_{ds}$ نیز از رابطه (۹) قابل حصول است.

$$\Delta\theta_{ds} = P_{sol} \cdot T_1 = \gamma \cdot S \cdot D \cdot T_1 \quad (9)$$

برای شروع محاسبات عددی تکراری برای تعیین θ_2 ، $(\Delta\theta_s)_0^{1/4} = 2$ در نظر می گیریم و سپس محاسبه $(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4}$ را تا جایی ادامه می دهیم که نامعادله زیر برقرار باشد.

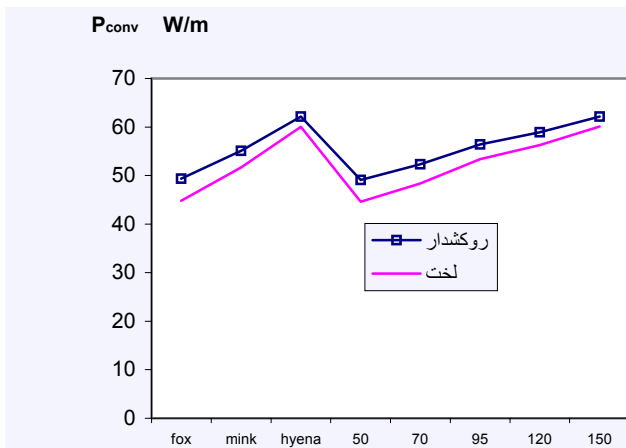
$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4} - (\Delta\theta_s)_n^{1/4} < \varepsilon \quad (10)$$

مشخصه شکل (۲) هدایت حرارت از طریق تشعشع را در هادیهای لخت و روکش دار با هم مقایسه می کند. همانطوریکه مشاهده می شود انتقال حرارت از طریق تابش در هادیهای روکش دار نسبت به هادیهای لخت بیشتر است. دلیل این امر این است که در هادیهای روکش دار علیرغم کاهش دمای سطح هادی، قطر هادی افزایش پیدا می کند و علاوه بر آن وجود روکش بعنوان جسم سیاه نقش عمده ای را در انتقال از طریق تابش ایفا می کند. زیرا میزان تشعشع در اجسام سیاه رنگ نسبت به اجسام روشن تر بیشتر است. بنابر این در مجموع، انتقال حرارت از طریق تابش در هادیهای روکش دار بیشتر صورت می گیرد و موجب خنک کردن هادی می شود.



شکل (۲) هدایت حرارت از طریق تشعشع

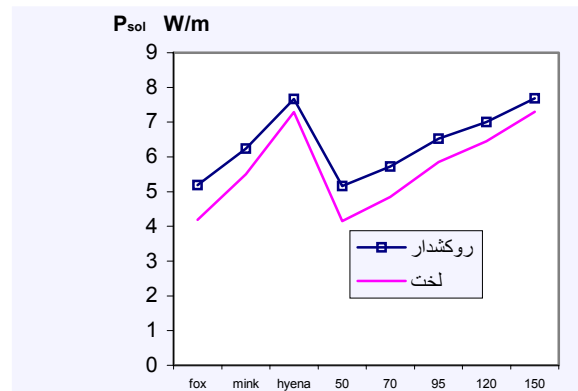
شکل (۳) انتقال حرارت از طریق همرفتی یا کنوکسیون را در هادیهای لخت و روکش دار با هم مقایسه می کند. علیرغم کاهش دمای سطح هادی روکش دار که موجب کاهش انتقال حرارت از طریق کنوکسیون می شود ولی چون قطر هادی افزایش یافته در نتیجه سطح تماس هادی با محیط بیشتر شده و در نهایت انتقال حرارت در هادی روکش دار نسبت به هادی لخت افزایش اندکی را موجب گشته است. میزان سرعت وزش باد 0.6 m/s در نظر گرفته شده است.



شکل (۳) هدایت حرارت از طریق همرفتی

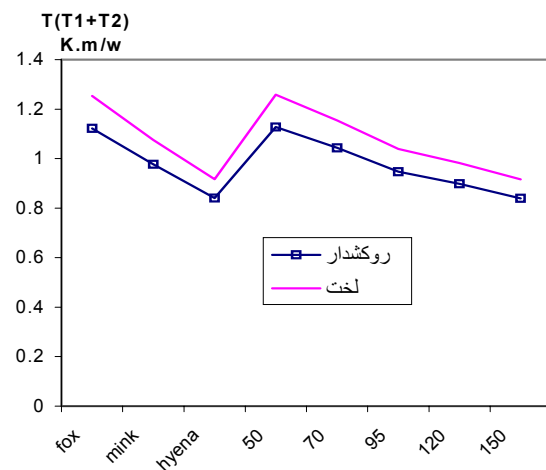
شکل (۴) میزان جذب انرژی خورشید را در هادیهای لخت و روکش دار با هم مقایسه می کند. گرمای حاصل از انرژی خورشید در سطح هادیها نقش منفی در انتقال حرارت دارد و موجب افزایش گرمای سطح هادی می گردد. با بررسی رابطه توان جذب شده از خورشید و با ثابت نگه داشتن میزان شدت انرژی خورشید ملاحظه می شود که مقدار انرژی جذب شده به دو عامل ضریب جذب اشعه خورشید (که بستگی به جنس سطح مواد) و قطر هادی دارد. ضریب جذب مواد PE و PVC بر طبق استاندارد IEC 60287 به ترتیب 0.4 و 0.6 می باشد. و ضریب جذب اشعه خورشید برای هادیهای آلومینیومی و آلومینیوم آلیاژی (انگونه که در استاندارد IEC 1597 ذکر شده) 0.5 است. با در نظر گرفتن شدت اشعه خورشید معادل $s=1000 \text{ W/m}^2$ و با ملاحظه نمودار شکل (۸) مشاهده می شود که مقدار جذب گرمایی خورشید در هادیهای روکش دار اندکی بیشتر از هادیهای لخت است ولی مقدار این افزایش در

مقابل حرارتی که از طریق تابش و کنوکسیون دفع می شود ناچیز و قابل صرف نظر کردن است .



شکل (۴) میزان جذب انرژی خورشید

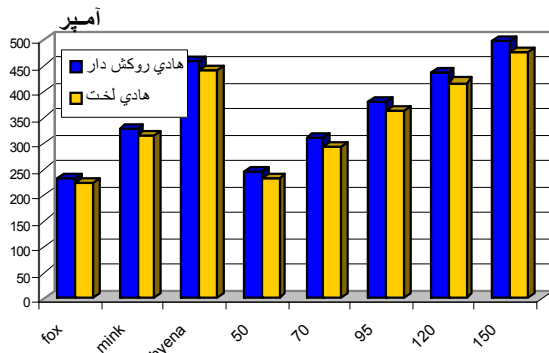
شکل (۵)، مقاومت حرارتی هادیهای روکش دار و لخت را در اندازه های مختلف نشان می دهد. مقدار مقاومت حرارتی در استاندارد IEC 60287 برای PE و PVC به ترتیب ۳.۵ و ۵ می باشد. یعنی روکش PE (یا XLPE) نسبت به روکش PVC مقاومت حرارتی کمتری دارد و بخوبی گرما را انتقال می دهد که این موضوع یک مزیت مهم PE و XLPE نسبت به PVC به شمار می آید. بدیهی است، کم بودن مقاومت حرارتی باعث انتقال حرارتی بیشتر و افزایش جریان مجاز هادیها می شود.



شکل (۵) مقاومت حرارتی

شکل (۶) جریانهای مجاز هادیهای روکش دار و لخت را مقایسه می کند. در محاسبه جریان مجاز مقادیر زیر برای پارامترها فرض شده است .

- شدت اشعه خورشید S ، معادل 1000 W/m^2
- ضریب جذب اشعه خورشید $\gamma=0.4$
- ضریب تشعشع K_e ، معادل 0.95
- سرعت باد V معادل 0.6 m/s
- مقاومت حرارتی XLPE معادل $3.5 \text{ }^\circ\text{K.m/w}$
- دمای کار هادی $80 \text{ }^\circ\text{C}$
- دمای محیط $20 \text{ }^\circ\text{C}$



شکل (۶) جریان مجاز

سپاسگزاری

مجریان پژوهش، از مدیریت محترم شرکت سیم و کابل تبریز (سیمکات) که با حمایت های مادی و معنوی خود امکان تولید موفقیت آمیز هادیهای هوایی روکش دار فشار متوسط را فراهم آوردند تشکر و قدردانی می نماید.

- [1] "Repetitive Operation of Three – Phase Super-Conducting Fault Current Limiter in a Model Power System", Y. Shirai, et. al., IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 15, No. 2, June 2005, pp. 2110 – 2113.
- [2] "Energy Storage System to Improve Power Quality and System Reliability", D. Stanton, SCORES, 2002, 16-17 July, 2002, pp. 8-11.
- [3] "Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks" G. Celli , F. Pilo, 22nd Power Eng. Society Intl. Conf. on Power Ind. Computer Appl., 20-24 May 2004, PP. 81-86.

[۴] کارگاه آموزشی "هادی های هوایی روکش دار، نسل جدید خطوط توزیع ایران"، مهرداد طرفدار حق. کریم روشن میلانی، سید محمد سید قیاسی، دهمین کنفرانس شبکه های توزیع ایران، ادیبهشت ۸۴، دانشگاه تبریز

[۵] "هادی های هوایی روکش دار- نسل جدید خطوط توزیع ایران"، مهرداد طرفدار حق. کریم روشن میلانی، سید محمد سید قیاسی، دهمین کنفرانس شبکه های توزیع ایران، ادیبهشت ۸۴، دانشگاه تبریز، صفحه ۶۴-۷۲.

[6] Standard IEC 60287, SFS 5971, IEC 1597

[7] "Power Cable & Their Application"

Lothar Heinhold