هفتمین کنفرانس منطقه‌ای سیرد
7TH REGIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION Tehran, 22-23 Jan. 2019

کد مقاله :۰۵۲۴۸

ارائه روشی جهت محاسبه تلفات و افت ولتاژ فیدرهای شبکه توزیع مبتنی بر فیدر مرجع با استفاده از رگرسیون غیرخطی

فاطمه جمشیدی[۱و۲] ، امین مرادخانی[۲] حسن بشیری[۱]

[۱]شرکت توزیع نیروی برق استان ایلام، ایلام، ایران

[۲]دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده — روش های محاسباتی همچون پخش بار جاروب و رفت و برگشت برای محاسبه افت ولتاژ و تلفات در شبکه توزیع وجود دارد که برای استفاده از آن باید اطلاعات توان و اطلاعات الکتریکی فیدر مدل شوند; اما در بین مهندسین بهره برداری مفهوم بار عمدتاً به صورت جریان بیان می شود چرا که اندازه گیری های میدانی بر اساس جریان صورت می گیرد. در این مقاله روشی ساده با استفاده از الگوی توزیع بار در طول فیدر مرجع برای محاسبه افت ولتاژ و تلفات در شبکه توزیع شعاعی مطرح می شود. در همین رابطه تخمین منحنی جریان فیدرهای مرجع را با استفاده از رگرسیون غیر خطی به دست آورده و روابط کلی افت ولتاژ و تلفات در طول فیدرمرجع مبتنی بر جریان فیدر، اثبات شده است. با اندازه گیری های محدود از نقاط مختلف یک فیدر واقعی، الگوی بار فیدر واقعی را تخمین زده و پس از محاسبه افت ولتاژ و تلفات در طول فیدر، نتایج به دست آمده با محاسبات پخش بار مقایسه گردیده است.

واژه‌های کلیدی — منحنی جریان فیدر مرجع، تلفات توان، افت ولتاژ، رگرسیون غیر خطی

۱. مقدمه

کاهش تلفات شبکه توزیع یکی از دغدغه های اصلی شرکت های توزیع است. اولین قدم در این راه، اندازه گیری و تخمین میزان تلفات توان در بخش های مختلف توزیع است. به دلیل تعدد زیاد تجهیزات و فیدرهای توزیع اندازه گیری دقیق این تلفات ممکن نیست و به ناچار تخمین و محاسبه تلفات در دستور کار قرار می گیرد[۱]. علاوه بر تلفات، افت ولتاژ هم یکی از مسائلی است که کیفیت برق تحویلی به مشترکین را تعیین می کند و همچون پارامتر تلفات نیاز به اندازه گیری دارد. محاسبه این پارامترها نیاز به اطلاعات دقیقی از بار و اطلاعات الکتریکی فیدر دارد. به طور کلی روش های تخمین و محاسبه تلفات بر حسب وجود یا عدم وجود اطلاعات کامل به دو دسته تقسیم می شوند. روش هایی که در حضور مانیتورینگ و اتوماسیون، اطلاعات

کامل را بکار می گیرند با استفاده از نرم افزارهای مدل سازی و پخش بار مقادیر تلفات را با دقت بالایی فراهم می کنند [۲]. این روش ها که در مقالات به عنوان رهیافت پایین به بالا معرفی می شوند، نیاز به نصب تجهیزات اندازه گیری و انتقال داده دارند که بسیار هزینه بر خواهد بود. بدیهی است که با وجود اطلاعات کامل محاسبه تلفات با دقت بسیار بالایی همراه خواهد بود; اما عمده روش های تخمین تلفات در شرایط عدم حضور اطلاعات کامل مطرح شده اند. یک دسته از این روش ها منحنی بار روزانه را به صورت سری زمانی فرض می کنند[۳،٤]. نوع دیگری از این روش ها از تعریف درصد بار بهره می گیرد. درحقیقت در این روش تلفات هر المان از ضرب تلفات در واحد آن المان در مقدار پایه تلفات آن المان محاسبه می شود [٥] .در حال حاضر اطلاعاتی که از شبکه توزیع در دسترس است، داده های مربوط به پیک بار می باشد که به صورت اندازه گیری سالانه جریان پست ها در ایام پیک بار انجام می گیرد. از همین رو بهره برداران شرکت توزیع بار را به صورت مقادیر جریان بیان کرده و در نتیجه وجود ابزاری ساده که بتواند محاسبات تلفات و افت ولتاژ را براساس اطلاعات در دسترس انجام دهد، مورد نیاز است. یکی از مفاهیمی که میتواند به این محاسبات کمک کند در نظر گرفتن الگوی توزیع بار در طول فیدر مرجع و محاسبه تلفات و افت ولتاژ بر اساس جریان است. در این مقاله با تکیه بر مفهوم رگرسیون غیر خطی بمنظور تخمین الگوی توزیع بار در طول فیدر، روابط افت ولتاژ و تلفات توان در فیدر مرجع توصیف شده است. سپس روابط ارائه شده برای محاسبه تلفات و افت ولتاژ فیدرواقعی فشار متوسط استفاده شده و مقادیر به دست آمده با نتایج پخش بار مقایسه گردیده است.

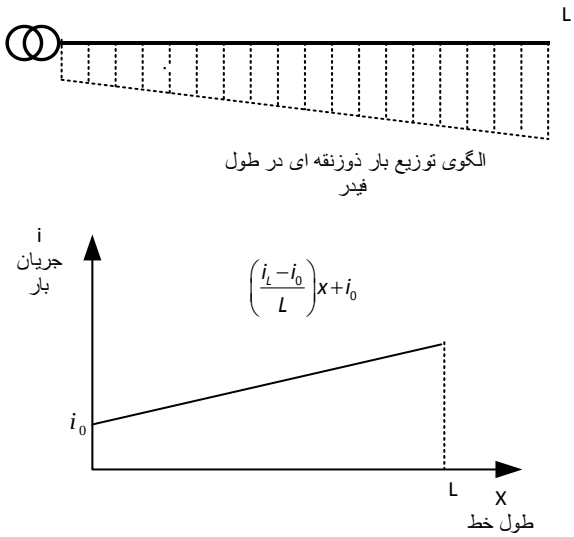
۲. روش پیشنهادی

در این بخش با استفاده از الگوی توزیع بار ذوزنقه ای که شامل هر سه نوع توزیع بار فوق است، روابط افت ولتاژ و تلفات استخراج می شوند. روش پیشنهادی بر چند فرض زیر بنا نهاده شده است:

۱) بار به صورت جریان ثابت منظور می شود و این در حالی است که بار وابسته به ولتاژ و فرکانس است و در ساده ترین حالت به صورت توان ثابت بیان می شود؛ اما به دلیل تغییرات کم ولتاژ در سیستم توزیع، تقریب جریان ثابت منطقی به نظر می رسد.

۲) فیدر توزیع بدون شاخه جانبی در نظر گرفته شده است و فرض شده است نوع هادی آن در همه سکشن ها یکسان است و ضریب بار تمام بارها یکسان است.

۲.۱. محاسبه افت ولتاژ و تلفات فیدر با استفاده از منحنی جریان فیدر مرجع



شکل (۱) الگوی توزیع بار در طول فیدر توزیع

شکل فوق الگوی کلی توزیع بار در طول فیدر را نشان می دهد که با تغییر i_0 و i_L می توان به سه الگوی توزیع بار یکنواخت، افزایشی و کاهشی دست یافت.
در حالت توزیع بار ذوزنقه ای برای جریان در طول فیدر رابطه زیر برقرار است:

$$I(x)=\left(\frac{i_L-i_0}{L}\right)\frac{x^2}{2}+i_0x \quad (۱)$$

جریان در فاصله x از ابتدای فیدر برابر $I(x)$ است آنگاه افت ولتاژ در این نقطه به صورت زیر است:

$$\Delta V = \int_0^L I(x) \times z dx = z\left(\frac{L^2}{6}(2i_L + i_0)\right) \quad (۲)$$

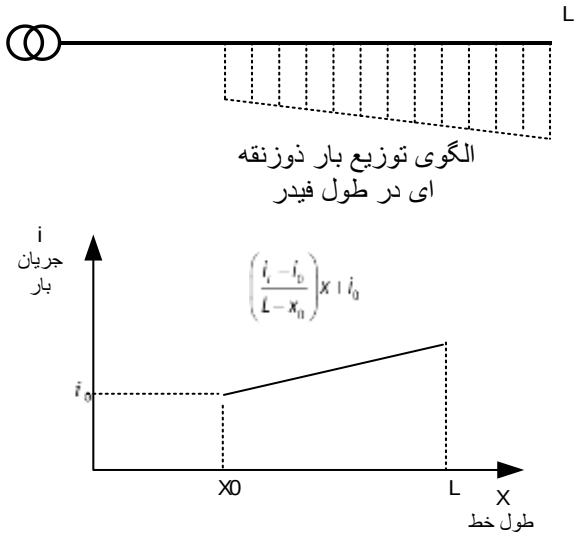
در این رابطه z امپدانس واحد طول است.

تلفات توان در طول فیدر از رابطه زیر بدست می آید:

$$P_L = \int_0^L dp = 3\int_0^L r I_x^2 dx \quad (۳)$$
$$= 3r\left(2\left[(i_L - i_0)^2 \frac{L^3}{15} + 5i_0(i_L - i_0)\frac{L^3}{24} + i_0^2 \frac{L^3}{6}\right]\right)$$

در بسیاری از فیدرهای مورد مطالعه، در فواصل ابتدایی فیدر باری وجود ندارد. بنابراین الگوی بار ذوزنقه ای نمیتواند نتایج درستی در بر داشته باشد. بنابراین در ادامه روشی برای برخورد با این مشکل ارائه می گردد.

۲.۲. محاسبه افت ولتاژ و تلفات فیدر با استفاده از منحنی جریان فیدر مرجع (الگوی اصلاح شده)



شکل (۲) الگوی توزیع بار اصلاح شده در طول فیدر توزیع

الگوی توزیع بار اصلاح شده در واقع تعمیمی از بخش قبل به منظور فیدرهایی است که در چند کیلومتر ابتدای آن ها بار محسوسی دیده نمی شود. در این حالت روابطه جریان در طول فیدر به دست آمده با جابه جایی طول به اندازه x_0 به صورت زیر بدست می آید:

$$I(x) = \left(\frac{i_L - i_0}{L}\right)\frac{(x - x_0)^2}{2} + i_0(x - x_0) \quad (۳)$$

آنگاه در این حالت رابطه افت ولتاژ از دو قسمت تشکیل می گردد.

$$\Delta V = \sqrt{3}\left(z\, x_0 I(x_0) + z\left(\frac{(L - x_0)^2}{6}(2i_L + i_0)\right)\right) \quad (٤)$$

و همچنین تلفات توان در طول فیدر به صورت زیر اصلاح می گردد:

$$P_L = \int_0^L dp = 3r\, x_0 I_{x_0}^2 + 3r\left(2\left[\begin{array}{l}(i_L - i_0)^2 \frac{(L - x_0)^3}{15} \\ +5i_0(i_L - i_0)\frac{(L - x_0)^3}{24} + i_0^2 \frac{(L - x_0)^3}{6}\end{array}\right]\right) \quad (٦)$$

۲.۳. تخمین جریان فیدر با اندازه گیری در نقاط مشخص از طول فیدر

در ابتدا بایستی منحنی جریان مرجع مطابق با فیدر مورد مطالعه تخمین زده شود. برای این کار از اندازه گیری محدود جریان استفاده شده است. با اندازه گیری جریان در سه نقطه از فیدر در فواصل $\frac{1}{4}$، $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{4}$ طول فیدر همراه با جریان این فاصله از فیدر میتوان الگوی بار فیدر را تقریب زد.

با داشتن داده های این نقاط و با استفاده از رگرسیون غیرخطی درجه دوم، منحنی جریان فیدر به صورت زیر تقریب زده می شود.

$$I(x) = a(x - x_0)^2 + b(x - x_0) + c \quad (۷)$$

و با مشتق گیری از رابطه تقریبی جریان فیدر، الگوی تقریبی توزیع بار ذوزنقه ای متناسب با فیدر مورد نظر به صورت زیر بدست می آید.

$$i(x) = -\frac{dI(x - x_0)}{d(x - x_0)} = -2a(x - x_0) - b \quad (۸)$$

در نهایت با استفاده از روابط ۵ و ٦

جدول ۳ اطلاعات فیدر های مورد مطالعه

عنوان فیدر	L(km)	$X_0(km)$	$I_{x_0}(A)$	$I_{\frac{1}{4}}(A)$	$I_{\frac{1}{2}}(A)$	$I_{\frac{3}{4}}(A)$	$I_L(A)$
۱	۷۲.٤	٤۸	٤۸.۲۱	۱۸.٤٦	۱۰.۱۳	۷.۷۸	۳.۰۳
۲	۱۱۹.۸	٥٥.۳۳	٤٤.۱٤	۳۱.۸	۲۸.٥۸	۱۹.٤۷	٥.۸٤
۳	٥۳.۷٥	۱٤.۸۷	۳٦.٤۷	۲۳.۰٤	۲۰.٤۱	۸	۰
٤	۳۰.۲۸	٥.۰۳	٥۱.٥۲	٤۳.۷٤	۳٥.۹۸	۱٥.۳	۲.۸۳
٥۱	۳۹.٥۱	۲۲.۳٦	۲٥.۲۸	۱۷.۲۸	۱۳.۲٦	۲.۱۲	۰

مقدار افت ولتاژ و تلفات محاسبه می شود.

۳. شبیه سازی و نتایج

روش مورد نظر بر داده های ٤ فیدر واقعی فشار متوسط شبکه توزیع برق ایلام اعمال شده است و نتایج آن نشان دهنده دقت قابل قبول روش پیشنهادی است.در این بخش ٥ فیدر در استان ایلام برای شبیه سازی انتخاب شده است .هادی تمام فیدرها از نوع Hyena و دارای امپدانس ۰.۲۷۱۲+۰.۲٤٦٤j اهم در کیلومتر است . جدول ۱ اطلاعات جریانهای فیدر که از پخش بار استخراج شده اند را برای فیدرهای مورد نظر نشان میدهد.

جدول ۲ نتایج محاسبه افت ولتاژ انتها را در ٥ فیدر مشخص شده نشان می دهد. همانطور که از نتایج پیدا است در مقایسه با خروجی پخش بار روش اصلاح شده با دقت بسیار بالاتری افت ولتاژ انتهای فیدر را تخمین زده است.

جدول ۲ مقایسه نتایج افت ولتاژ حاصل از پخش بار و روش پیشنهادی برحسب کیلو ولت

عنوان فیدر	پخش بار	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی اصلاح شده	اختلاف روش اصلاح شده
۱	۱.۸	۱.۸	۱.٦	۰.۲
۲	۳.٦	۱.۱۳	۳.٤	۰.۲
۳	۰.۹	۰.۷	۰.۸	۰.۱
٤	۰.٦	۰.٥٤	۰.٦	۰
٥	۰.٤۸	۰.۸۸	۰.٤۸	۰

و همچنین جدول ۳ نتایج حاصل از محاسبه تلفات توان با روش پخش بار و روش پیشنهادی را نشان می دهد.

جدول ۳ مقایسه نتایج تلفات توان حاصل از پخش بار و روش پیشنهادی

عنوان فیدر	پخش بار	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی (اصلاح شده)	درصد اختلاف
۱	۱۲۲.٥٤	۱۰۰.۰۸	۹۹.٤	۱۸
۲	۱۸٦	۷۸.۹٦	۱۹۱	۳
۳	۳٤.۹	۲۸.۰٥	۳٥.۸	۱۷
٤	۳۱.۳	۲٦.٥۱	۲۸	۳
٥	۱٦.۹	۲۸.٥٥	۱٦.۰	۵

نتایج حاصله از روش پیشنهادی اصلاح شده دقت بالاتری نسبت به روش پیشنهادی پایه دارد. با این وجود در فیدر اول و سوم خطای تخمین زیاد است. این خطای بالا به خاطر وجود شاخه های جانبی است که در روش پیشنهادی ما در نظر گرفته نشده اند. تلفات در شاخه های جانبی در پخش بار مدل شده است و به همین خاطر تلفات حاصله از پخش بار بیشتر از تلفات تخمین زده شده بوده است. اما این شاخه جانبی تاثیری در محاسبه افت ولتاژ ندارند به همین خاطر افت ولتاژ بدست آمده نسبتا دقیق بوده است.

٤. نتیجه گیری

دراین مقاله روشی برای تخمین افت ولتاژ و تلفات در فیدرهای فشار متوسط ارائه شده است. در روش پیشنهادی، با استفاده از اندازه گیری های محدود، فیدر با یک فیدر مرجع با توزیع بار ذوزنقه ای اصلاح شده تطبیق داده می شود و از آن طریق افت ولتاژ و تلفات آن محاسبه میشود. با برازش داده های اندازه گیری به رگرسیون غیر خطی درجه دو، مشخصات فیدر مرجع حاصل می شود و درنهایت تلفات و افت ولتاژ فیدرهای برآورد شده است. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی افت ولتاژ را با دقت بسیار بالا تخمین می زند ولی در بعضی از فیدرها تلفات محاسبه شده دارای خطای بالایی است که مربوط به وجود شاخه های جانبی و عدم محاسبه تلفات آنها در روش پیشنهادی است.

منابع

[۱] ا. مرادخانی،جوادرشیدبیگی, "تخمین تلفات شبکه توزیع فشار ضعیف در حضور سرقت انرژی مبتنی بر اطلاعات موجود در سیستم GIS," فصلنامه مهندسی

برق دانشگاه تبریز, vol. پذیرفته شده, ۱۳۹۶

[۲] z. Miao, ", develop and application of network real time theoretical line loss calculation and analysis system " presented at the ۱۹th international conference on electricity, Vienna, ۲۰۰۷.

[۳] A. Shenkman, "Energy loss computation by using statistical techniques," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. ۵, pp. ۲۵۴-۲۵۸, ۱۹.۹۰

[۴] R. Taleski,D. Rajicic, "Energy summation method for energy loss computation in radial distribution networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. ۱۱, pp. ۱۱۰۴-۱۱۱۱, ۱۹۹۶.

[۵] D. L. Flaten, "Distribution system losses calculated by percent loading," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. ۳, pp. ۱۲۶۳-۱۲۶۹, ۱۹۸۸.