ضریب تلفات درخطوط توزیع با بار ناپیوسته

قدرت‌الله حیدری
شرکت توانیر

محمد بهزاد
شرکت برق منطقه‌ای مازندران

چکیده

تخمین تلفات‌انرژی درخطوط توزیع‌ازطریق بکارگیری مدل‌های مناسب ضمن اینکه می‌تواند عامل مؤثری درکنترل صحت عملکرد لوازم اندازه‌گیری باشد، درعین حال میتواند شرکت‌های توزیع رادرمواقع خرابی کنتورهای منصوبه درمحل مصرف و برآورد انرژی تحویلی کمک نماید.

درجریان بررسی تلفات دریک خط توزیع ،بطور اتفاقی مسئله قابل توجه ودرعین حال جالبی دیده شد، دراین بررسی مشاهده شدکه میزان تلفات اندازه‌گیری شده یک خط ۲۰ کیلوولت که لوازم اندازه‌گیری آن نیزدارای دقت قابل قبولی بوده‌اند بطور چشمگیری بیش ازمقادیر محاسبه شده (به‌کمک مدل‌های معتبر دنیا) بوده‌است.

دراین مقاله ضمن بررسی موضوع فوق به عدم کفایت مدل‌های بین‌المللی دربرآورد و محاسبه‌تلفات انرژی برای مصارف خاص پرداخته می‌شود وسپس برای اینگونه از مصرف‌کنندگان مدل‌های جدیدی ارائه وپیشنهاد می‌گردد.

شرح مقاله

خوشبختانه درچند ساله‌اخیر مطالعات گسترده‌ای درجهت شناخت ومدل‌سازی تلفات انجام گردید و امیدمیرود باتداوم این سری مطالعات اقدامات مؤثر ومفیدی درجهت کاهش تلفات نیز انجام گیرد. دسترسی به نتایج مطلوب ضمن اینکه می‌تواند کمک مؤثری در طراحی بهینه شبکه‌ها باشد، درعین حال میتواند نقش مؤثری رادرانتخاب مقاطع کابلها وهادیهای خطوط هوائی ایفاء نماید. ازآنجا که بخش عمده‌ای از انرژی تولیدی درخطوط توزیع به هدر می‌رود ، لذاشناسائی و مدل‌سازی دقیق تلفات این بخش از شبکه می‌تواند بسیار مفیدومثمرثمر باشد.

چندی پیش که وضعیت تلفات دریک خط توزیع دردست بررسی بوده است نکته جالب توجهی پیش آمده بود. موضوع ازاین قرار بود که میزان تلفات خط مورد مطالعه به مراتب بیش‌از ارقامی بود که از طریق مدل‌های معتبر بدست می‌آمد. ابتدا تصور براین بود که شاید خطا درلوازم اندازه‌گیری باشد، اما کنترل‌های لازم روی آنها نشان داد که عملکرد آنها درحد نرمال ومعقول است. درجهت رفع این ابهام و ارائه راه‌حل‌های منطقی برای کنترل تقریبی عملکرد کنتورهای منصوبه درمشترکین بزرگ ،نگارندگان علاقمند شدند تا باادامه تحقیقات ومطالعات خود، پاسخی منطقی برای آن پیدا نمایندکه دراین مقاله به شرح اقدامات انجام شده و نتایج اخذشده اشاره می‌گردد.

۱- بررسی موضوع

دریک مطالعه پژوهشی که باهدف بررسی تلفات انرژی درخطوط توزیع انجام شد، یک خط انتقال ۲۰ کیلوولت تک‌مداره انتخاب گردید. هدف ازانجام این تحقیق ارزیابی تلفات وکنترل تقریبی مقدار آن با استفاده از مدل‌های جهانی بوده است. برای انجام این بررسی لازم بود اطلاعات مربوط به خط ومیزان انرژی انتقالی دریک‌دوره مشخص ثبت گردد، که نتیجه برای یک دوره یک هفته‌ای درجدول (۱) درج گردیده است.

در اولین گام میزان تلفات انرژی ازطریق مدل‌های جهانی محاسبه و بامقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. انتظار اولیه این بود که مقادیر تلفات اندازه‌گیری شده ومحاسبه شده تقریباً با هم

یکسان باشند،امابرخلاف تصوراولیه اختلاف این دوعددبسیاربالابوده‌است، بطوریکه تلفات اندازه‌گیری شده حدود ۵۳۰۰ کیلووات ساعت اما تلفاتی که ازطریق مدل‌های بین‌المللی محاسبه گردید، حدود ۲۶۷۰ کیلووات ساعت بوده است. باتوجه به اینکه شکی دردقت لوازم اندازه‌گیری وجود نداشت، برای تعیین علت وجود این اختلاف تصمیم گرفته‌شد باتوجه به بار ۲۴ ساعته، مقاومت هادیهای خطوط ودرجه حرارت متوسط هادی و محیط مقدار تلفات دردوره مطالعه محاسبه گردد. براین مبنا و بکمک رابطه (۳)، تلفات انرژی محاسبه گردید، که این رقم نیز درجدول (۱) درج گردید، همانطورکه ملاحظه می‌شود این دوعدد خیلی به هم نزدیک می‌باشند (۵۳۰۰ و ۵۱۵۰) بعبارت دیگر این بررسی نشان می‌دهد که مدل‌های بین‌المللی که برای محاسبه تلفات انرژی ارائه شدند برای برخی از مصارف دارای دقت کافی نمی‌باشند.

برای دستیابی به مواردی که مدل‌های جهانی دارای خطا می‌باشند لازم دیده‌شد، این بررسی برای نمونه‌های مختلفی ازمشترکین مورد توجه و مطالعه قرار گیرند، وسپس علل عدم کفایت این سری روابط مورد بحث وبررسی قرارگیرد.

عوامل مورد مطالعه	واحد	مقدار
ولتاژ خط	کیلوولت	۲۰
طول خط	کیلومتر	۵/۸
نوع هادی	KCM	۱۰۵
مقاومت هادی	ohm/Km-20oC	۰/۲۵۴۴
متوسط درجه حرارت هادی	درجه سانتیگراد	۲۰
متوسط درجه حرارت‌محیط	درجه سانتیگراد	۵
پیک بار	کیلو وات	۴۴۰۰
انرژی ارسالی	کیلووات ساعت	۲۸۱۰۰۰
میزان تلفات انرژی :		
- تلفات اندازه‌گیری شده	کیلووات ساعت	۵۳۰۰
- محاسبه به روش بین‌المللی		۲۶۷۰
- محاسبه به روش مستقیم		۵۱۵۰

جدول (۱) – برخی ازمشخصات عمده خط توزیع ومقادیرانرژی مبادله شده وتلفات خط

۲- مدلهای تئوری

دریک خط انتقال یا توزیع نیرو میتوان بکمک مدل‌های معتبردنیا و باآگاهی ازمقادیر ضریب باروتلفات‌آن خط دربارپیک‌نسبت‌به‌محاسبه‌تلفات‌انرژی دریک‌دوره مشخص اقدام نمود. چون دقت این محاسبات بستگی به میزان ضریب تلفات دارد، لذاابتدابه ذکر تعریف‌آن‌بشرح زیر پرداخته می‌شود:

ضریب تلفات برابر است بانسبت متوسط تلفات ساعتی بر تلفات دربار پیک

باتوجه به تعریف فوق ،ضریب تلفات رامیتوان به یکی ازشکل‌های زیرنشان داد:

$$LSF = EL/(T.PL) \qquad (1)$$

$$LSF = (L1^2 + L2^2 + ... + Lt^2)/T \qquad (2)$$

دراین روابط LSF ضریب تلفات، EL تلفات‌انرژی درپریودموردمطالعه PL تلفات دربارپیک (کیلووات) T پریود مورد مطالعه (ساعت) و L1، L2، ..... بارنسبی (نسبت بارساعتی به بارپیک) عبوری ازخط درساعات مختلف می‌باشند. لذاباآگاهی ازمقدار ضریب تلفات، میتوان تلفات انرژی درخط رابصورت زیرمحاسبه نمود.

$$EL = T.LSF.PL \qquad (3)$$

معمولا" ضریب تلفات رابصورت تابعی ازضریب بارتعریف می‌کنند، گرچه شکل ظاهری مدل‌های مختلفی که برای محاسبه ضریب تلفات تعریف گردیده‌است متفاوت می‌باشدو لیکن همه آنها رامیتوان بصورت کلی زیر نشان داد:

$$LSF = a.LF^n + b.LF \qquad (4)$$

ضرایب a و b و n درمراجع مختلف بصورت زیرتعریف گردیده‌است:

- درمرجع [۱] ، n=2. ، a= 0.20 , b=0.80
- درمرجع [۲و۳] ، n=2. ، a=1.04-1.16 , b=0.0
- درمرجع [۵] ، n=2. ، a=1.00 , b=0.0
- درمرجع [۶] ، n=1.912 ، a=1.00 , b=0.0

برای مصرف‌کنندگان بامصارف عادی ، معمولا" مدل‌های معرفی شده برای محاسبه ضریب تلفات دارای دقت کافی است. امااگرمنحنی تغییرات بار مشترکین از روال خاصی تبعیت نکند، استفاده ازاین مدل‌ها برای محاسبه ضریب تلفات مناسب نمی‌باشد. برخی ازانواع مصرف‌کنندگان یامشترکین را میتوان شامل موارد زیردانست:

- خطوطی که بارمشترکین تک شیفت یادوشیفت رامنتقل می‌نمایند.
- خطوطی که بارآنها دربرخی ازساعات روز تقریباً صفریا کم باشد.
- مشترکینی که بصورت غیرپیوسته ازبرق استفاده می‌کنند.
- مشترکین فصلی نظیرمصرف‌کنندگان کشاورزی.
- مصارف تجاری وعمومی یانظائرآنها که تنهادرساعات محدودی باردارند.

باتوجه به مطالب بالا ضریب تلفات ممکن است دردامنه وسیعی تغییرنماید امادر تحت هرشرایط ضریب تلفات یک خط درمحدوده زیر تغییرمی‌کند:

$$LF^2 < LSF < LF \qquad (5)$$

بنابراین درخطوط توزیعی که بارعبوری ازآنها ازنوع غیرمعمول می‌باشد، برای محاسبه تلفات انرژی نمی‌توان ازمدل‌های معتبرجهانی استفاده نمود، چون برای میزان مشخصی از ضریب بار ممکن است ضرایب تلفات متعددی بدست آید، وهرچه ضریب بارکوچکترباشد دامنه‌انحراف ازمدل‌های بین‌المللی بیشتراست. درجدول (۲) ضریب تلفات برای مقادیرمختلفی ازضریب بار محاسبه شده است. دراین جدول حد پائین موقعی اتفاق می‌افتد که ضریب بار درتمام ساعات مختلف روز یکسان باشد جز درزمان محدود که بار به مقدارپیک میرسدوحد بالا موقعی اتفاق می‌افتد که انرژی انتقالی درساعات محدود و باباری معادل بارپیک انتقال یابد. بعنوان مثال وقتی ضریب بار مثلا" ۵۰٪ می‌باشد، ضریب تلفات موقعی ماکزیمم است که در ۱۲ ساعت ازروز باری معادل بارپیک ازخط عبور کندودربقیه ساعات شبانه‌روز خط بی‌بار باشد. درچنین مواردی شرایط حد پائین اتفاق می‌افتد. امادرعمل چون بارعبوری ازخطوط برقرسانی بدلیل تغییرات نیازمصرف دائماً در حال تغییر می‌باشند، درنتیجه مقادیر ضریب تلفات نیز درمحدوده دوحد ذکر شده دربالا بدست می‌آید.

ضریب بار	ضریب تلفات		نسبت حد بالابه
	حدبالا	حدپائین	حد پائین
۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۴	۵
۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۰۹	۳/۳۳
۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۰۱۶	۲/۵۰
۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۲۵	۲
۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۳۶	۱/۶۶
۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۶۴	۱/۲۵
۱	۱	۱	۱

جدول (۲) – دامنه تغییرات ضریب تلفات دربارهای غیرنرمال

۳- ارائه مدل مناسب

مسلماً این پرسش مطرح میگردد، که علت این اختلاف چیست؟ یاچگونه میتوان به عدم کفایت این مدل‌ها پی‌برد؟ برای پاسخگوئی به این سئوالات بررسی رابراساس چند نمونه بار که در جدول (۳) نشان داده شده است ادامه می‌دهیم.

باتوجه به جدول (۳) و رابطه (۲) مقادیر ضریب تلفات وضریب بار درچهار حالت مختلف محاسبه گردید، که درجدول (۴) نشان داده شده است. همانطورکه ازاین جدول مشهوداست درصورتیکه منحنی تغییرات بار از روندنرمالی پیروی نماید(که بطور طبیعی منحنی تغییرات بار شبکه‌های بزرگ چنین است) رابطه ضریب تلفات وضریب بار از مدل‌های موجود دنیا به خوبی تبعیت می‌کنند، که درجدول (۳) با وجودیکه نمونه‌های شماره ۱و ۲ کاملا" بامنحنی های نرمال یکسان نیستند، اما بازهم روابط و مدل‌های معتبر دربین آنها برقرار می‌باشد، اما درصورتیکه فرم منحنی تغییرات بار شکل نرمالی نداشته باشد(مانند نمونه‌های ۳ و ۴) ، ضریب تلفات نیز ازمدل‌های فوق تبعیت نمی‌کنند، که نتایج محاسبات درجدول (۴) نیز نشانگر.این واقعیت می‌باشند.

آنچه تاکنون مطرح گردید نشان می‌دهد که استفاده ازمدل‌های موجود برای محاسبه تلفات انرژی درخطوطی که بارآنها نرمال نباشد. مناسب نیست وحتی در برخی موارد ممکن است مقدار تلفات واقعی به چند برابر مقدار محاسباتی برسد. برای دسترسی به یک مدل مناسب لازم است باتوجه به روش‌های متداول واز طریق آمار واطلاعات بار ۲۴ ساعته وآنهم دریک دوره بلندمدت نسبت به این مدل‌سازی اقدام نمود. دراین مقاله براساس روشهای ارائه شده درمرجع [۴] ، مدل‌سازی انجام گردید. درتدوین مدل ازاطلاعات خطوط توزیع ارائه شده دراین مقاله و رابطه کلی (۴) استفاده می‌گردد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد ،که ضریب تلفات درچنین حالات ضمن اینکه تابعی است ازمجذور ضریب بار به تعداد ساعات پرباری وکم باری نیز بستگی دارد، که پس ازبررسی‌های مختلف ، رابطه کلی زیربدست آمده است:

$$LSF = h.LF^2 + (1-h).LF \qquad (6)$$

دراین رابطه **h** درصد ساعات پرباری خط یا ساعاتی که بار عبوری ازخط بیش ازتقریباً ۵۰ درصد بار پیک است، می‌باشد. بعنوان مثال اگر خط مورد مطالعه ، بارمورد نیاز یک مشترک یک شیفت را انتقال دهد (یعنی بار خط ۸ ساعت در روز زیاد ودربقیه ساعت کم یابی‌بارباشد). مقدار **h** از نسبت ۸ بر ۲۴ بدست می‌آیدیا:

$$LSF = .33\ LF^2 + .67\ LF$$

ازآنجا که دربرخی موارد این چنینی مقدار **h** تقریباً معادل مقدارLF میباشد. لذا رابطه (۶) رامیتوان بصورت (۷) نیز نشان داد.

$$LSF = LF^3 - LF^2 + LF \qquad (7)$$

لازم به یادآوری است که این رابطه تنها برای خطوطی که بارناپیوسته را ازخود عبور میدهند صادق است در سایر موارد باید ازمدلهای موجود جهان استفاده نمود. حال باتوجه به رابطه (۲) و نمونه‌بارهای ارائه شده درجدول (۳) روابط (۶ و ۷) راکنترل می‌کنیم . برای این منظوربه کمک این روابط ابتدا مقادیر ضریب تلفات برای نمونه‌بارهای ارائه شده درجدول (۳) محاسبه و نتیجه درجدول (۴) درج میگردد.

ساعات شبانه‌روز	نمونه - ۱ بارمداوم مصرف شهری	نمونه - ۲ باردوشیفت صنایع داروئی	نمونه - ۳ بار یک شیفت صنایع خانگی	نمونه - ۴ باریک شیفت صنایع ذوب فلز
۱	۵۰	۲۷	۸	۱۸
۲	۵۰	۲۵	۸	۱۸
۳	۵۰	۲۵	۷	۱۸
۴	۵۰	۴۶	۷	۲۰
۵	۵۸	۴۵	۷	۲۰
۶	۶۷	۴۵	۸	۲۰
۷	۵۸	۷۴	۷	۲۰
۸	۵۴	۷۶	۷	۱۰۰
۹	۵۴	۸۴	۱۰۰	۱۰۰
۱۰	۵۴	۸۴	۹۷	۹۸
۱۱	۵۰	۱۰۰	۹۵	۹۷
۱۲	۵۰	۹۵	۹۵	۱۰۰
۱۳	۵۰	۹۵	۵۵	۱۰۰
۱۴	۵۰	۹۰	۹۶	۶۰
۱۵	۵۴	۹۵	۹۵	۶۰
۱۶	۶۷	۷۴	۸۵	۸۰
۱۷	۱۰۰	۶۳	۸	۲۰
۱۸	۸۳	۶۳	۸	۲۰
۱۹	۸۳	۵۳	۸	۲۰
۲۰	۷۵	۳۲	۸	۲۰
۲۱	۶۷	۳۱	۸	۴۰
۲۲	۵۸	۳۰	۸	۲۰
۲۳	۵۰	۲۸	۸	۶۰
۲۴	۵۰	۲۷	۸	۲۰

جدول (۳) – متوسط بار نسبی ۲۴ ساعته درچهار نمونه مختلف مصرف

روش انتخابی برای محاسبه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
ضریب بار	۶۰	۵۷	۳۸	۴۸
ضریب تلفات :				
- روش مستقیم	۳۷	۴۰	۳۱	۳۲
- روش بین‌المللی	۳۷	۳۴	۱۶	۲۴
- مدل جدیدو (رابطه۶)	۳۶	۴۳	۳۰	۳۷
- مدل جدیدو (رابطه ۷)	۴۵	۴۳	۲۹	۳۶

جدول (۴) – ضریب بار وضریب تلفات درنمونه‌های مورد مطالعه (درصد)

همانطور که جدول (۴) نشان می‌دهد، مقادیر ضریب تلفات درنمونه‌بارهای ۱ و ۲ که ازطریق مدل‌های بین‌المللی محاسبه گردید دارای دقت خوبی است اما درحالات ۳ و ۴ دارای اختلاف فاحش می‌باشد،که‌علت این اختلاف ناپیوسته بودن بار عبوری ازخط موردنظر می‌باشد،این بررسی نشان می‌دهد درخطوط انتقال یا توزیع نیروکه بارمصرف‌کنندگان ویژه‌ای (بامصرف محدود) راازخود عبور میدهند.بکارگیری روشهای بین‌المللی برای محاسبه تلفات انرژی نمیتواند منطقی باشد. بلکه باید روابط جدید ارائه شده دراین مقاله مورد استفاده قرار گیرد. ضمناً بکمک این مدل ومنحنی تغییرات بار ۲۴ ساعته میتوان تاحدود زیادی درباره خطای لوازم اندازه‌گیری نیزبررسی و تصمیم‌گیری نمود.

۴- نتیجه

بررسی‌های انجام شده دراین مقاله نشان می‌دهد که روش‌های معمول محاسبه انرژی که مبتنی‌براستفاده از مدل‌های بین‌المللی می‌باشد گرچه برای مشترکینی بامنحنی بار یکنواخت تاحدود زیادی دقت دارد، اما برای خطوط توزیع که بار عبوری ازآنها از روند یکنواختی تبعیت نمی‌کند صادق نیست.بررسی‌های‌انجام شده‌دراین مقاله‌نشان می‌دهد،اگردرمحاسبه تلفات انرژی ازاین سری مدل‌ها استفاده گردد، ممکن است تلفات انرژی درخط رادر بعضی مواقع تاحدود دو برابر کمتر از مقدار واقعی خود نشان دهد ودرنتیجه عدم کفایت آنها دراینگونه موارد به روشنی مشخص میگردد.

دراین مقاله سعی شدباتوجه به کاستی‌های مدل‌های معتبرجهان درمحاسبه تلفات انرژی درموارد خاص، روش و مدل جدیدی که مبتنی‌بر شرایط شبکه‌ایران می‌باشد پیشنهاد گردد. بکمک این مدل ضمن اینکه می‌توان تلفات انرژی رادرخطوط توزیع با دقت خوبی برآورد نمود ازنتایج آن میتوان درزمینه‌های مختلف از جمله موارد زیرنیز بهره‌گرفت:

- آگاهی ازمقادیر واقعی تلفات انرژی درخطوط توزیع نیرو
- رفع اختلافات انرژی تحویلی بامشترکین درشرایط خرابی کنتورها
- برنامه‌ریزی دقیق‌تر بااستفاده از مقادیر واقعی تلفات
- انتخاب بهینه مقاطع کابلها وهادیهای خطوط توزیع
- امکان انجام محاسبات ومقایسات دقیق‌تر درطرح‌های برق‌رسانی

۵- منابع

۱- قدرت‌الله حیدری ، "تأثیرنوع مصرف درانتخاب ولتاژ خطوط انتقال نیرو" ، دومین‌کنفرانس کاربرد کامپیوتر درنظارت وکنترل نیروگاهها وشبکه، شرکت توانیر ۱۳۶۵

۲- قدرت‌الله حیدری ،"مدلی جهت محاسبه تلفات انرژی " ،پنجمین کنفرانس‌بین‌المللی برق ، تهران - آبانماه ۱۳۶۵

3- Gh. Heidari, "Experimental/Mathematical Model for Loss Factor ", IEEE-Naps, Nevada,USA,Oct.1992.

4- GH. Heidari, " A new model for calculation of energy losses in power transmission lines ", International Energy Conference,Nepton, Romania, June 1992.

5-Technical Assesment Guide , Electric Power Research Institute (EPRI) , P-4463-SC,Dec. 1986

6- M.W. Gustafson , J.S. Baylor, " Approximating losses equation ", IEEE Transaction on Power System, Vol. 4, No. August 1989

7- M.W. Gustafson, J.S.Baylor, "The equivalent hours loss Factor revisited",IEEE, ,WM 166 - 1 , 1988 USA .