بررسی استاندارد راندمان ترانسفورماتورها

IEC TS 60076-20

بهروز احمدزاده

واحد تحقیق و توسعه

شرکت ترانسفورماتور توزیع زنگان

زنجان، ایران

b.ahmadzadeh@iran-transfo.com

چکیده — در سالهای اخیر کاهش تلفات شبکه های برق و به ویژه ترانسفورماتورها اهمیت فوق العاده ای یافته است. به همین منظور کمیته فنی ترانسفورماتور در سازمان بین المللی برق (IEC) چندی پیش پروژه ای جهت تهیه و تدوین استاندارد راندمان (تلفات) ترانسفورماتورها را آغاز نمود که منجربه صدور مدرک IEC TS 60076-20: Power transformers - Part 20: Energy efficiency شد. این مدرک با توجه به دیدگاههای دو موسسه استاندارد IEC و IEEE به مباحثی همانند نحوه محاسبه راندمان و معیار آن (EI[1]) به دو روش A و B و نیز حداکثر تلفات بارداری و بی باری در دو سطح ۱ و ۲ اشاره شده است. در این مقاله، ضمن بررسی استاندارد مذکور به ارائه برخی نظرات و پیشنهادات اصلاحی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی — ترانسفورماتور- استاندارد-راندمان- IEC

۱. مقدمه

امروزه با توجه به محدودیتهای منابع انرژی و لزوم حفظ محیط زیست، بهره برداری مناسب از انرژیهای موجود و همزمان با آن کاهش آلاینده های زیست محیطی از نکات مهم و اساسی برای بشر به شمار میرود. بهره برداری مناسب از انرژی به مفهوم کاهش تلفات انرژی و به عبارت دیگر افزایش راندمان انرژی می باشد. بدین منظور بسیاری از تولید کنندگان تجهیزات مصرف کننده انرژی از قبیل تجهیزات الکتریکی در راستای افزایش راندمان تولیدات خود مجبور به تبعیت از استانداردهای ملی و یا بین‌المللی می باشند. از جمله تجهیزات الکتریکی می توان به ترانسفورماتور های توزیع و قدرت اشاره نمود. به دلیل تعداد بالای ترانسفورماتورهای نصب شده در شبکه های برق هر گونه افزایش راندمان حتی به مقدار جزئی در آنها باعث کاهش قابل توجهی در تولید گازهای گلخانه ای مانند دی‌اکسید کربن می شود. ساخت ترانسفورماتور در دنیا دارای سابقه ای بیش از یکصد سال بوده و با توجه به تجارب بالا در ساخت و بهره برداری از ترانسفورماتور در سراسر جهان ، استانداردها و مقررات ویژه بسیاری در زمینه افزایش راندمان ترانسفورماتورهای تولید شده در بسیاری از کشورها و یا شرکتهای تولید کننده معتبر و یا بهره‌بردار تدوین و اجرایی شده است.

در همین راستا کمیته بین المللی برق (IEC) به عنوان یک مرجع جهانی در زمینه تدوین و انتشار استاندارد، به منظور همگام سازی خود با خواسته های جهانی و متناسب با برخی استانداردهای بهره وری اقدام به تدوین مشخصات فنی (Technical Specification) در خصوص بازده ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت در کمیته فنی ترانسفورماتور TC14 نموده است.

این استاندارد تحت عنوان IEC TS 60076-20: Power transformers - Part 20: Energy efficiency ارائه شده که در ادامه به برخی از مهمترین الزامات آن پرداخته می شود.

۲.روشهای تعیین راندمان

در مدرک مذکور دو روش با نامهای A و B جهت محاسبه راندمان و شاخص راندمان (EI) تعریف شده است.

[1] Efficiency Index

روش A با توجه بر فلسفه IEC که به صورت تعریف توان نامی بر مبنای ولتاژ و جریان نامی سیم پیچ های ترانسفورماتور است می باشد. به این معنی که مقادیر حداکثری گارانتی های تلفات بارداری و بی باری و همچنین مقادیر حداقلی راندمان برای توان نامی تعریف شده است. لازم به ذکر می باشد که در این روش دمای مرجع جهت تلفات بایستی مطابق با IEC60076-1 یعنی ۷۵ درجه سانتیگراد باشد.

روش دیگر که متفاوت از روشهای متداول در IEC و بر گرفته از IEEE C57.12.00 می باشد با نام روش B نامگذاری شده است(لازم بذکر است که طبق استاندارد مذکور دمای مبنا ۸۵ درجه سانتیگراد است). این روش بر محاسبه شاخص راندمان در ۵۰ درصد از بار نامی (EI_{B50}) تاکید دارد. شاخص راندمان EI_B که همان فرمول عمومی روش B است فقط برای ترانسفورماتورهای با خنک کنندگی طبیعی (AN ، ONAN ، KNAN، GNAN و LNAN) کاربرد دارد.در ادامه فرمولهای لازم جهت محاسبات راندمان و همچنین شاخص راندمان (EI) جهت هر کدام از روشهای A و B در پیش نویس مذکور به شرح زیر آورده شده است.

فرمولهای مورد استفاده جهت محاسبه راندمان و شاخص راندمان در روش A به ترتیب عبارتند از :

$$\text{Efficiency} = (P - \text{Losses}) / P \qquad (1)$$

$$EI_A = (k*S_r - (P_0 + P_{c0}) - (k^2 *P_k + P_{ck}(k))) / k*S_r \qquad (2)$$

همچنین فرمولهای مورد استفاده جهت محاسبه راندمان و شاخص راندمان در روش B به ترتیب عبارتند از :

$$\text{Efficiency} = P / (P + \text{Losses}) \qquad (3)$$

$$EI_B = k*S_u / (k*S_u + P_0 + k^2 * T_f * P_k) \qquad (4)$$

در فرمولهای بالا:

P_0 : تلفات بی باری اندازه گیری شده در ولتاژ، فرکانس، و تپ نامی می باشد.

P_{c0} :توان مورد نیاز جهت عملکرد سیستم خنک کاری در وضعیت بی باری می باشد.

P_k : تلفات بارداری اندازه گیری شده در جریان، فرکانس، و تپ نامی اصلاح شده در دمای مرجع بر طبق IEC60076-1 می باشد.

P_{ck} : توان الکتریکی اضافی مورد نیاز (علاوه بر P_{c0}) جهت سیستم خنک کاری در ضریب بار k می باشد.

S_r : توان نامی تعریف شده ترانسفورماتور در IEC 60076 که P_k نیز بر مبنای آن تعیین شده می باشد. لازم به ذکر است که توان نامی ترانسفورماتور طبق تعاریف IEC برابر با توان نامی هر یک از سیم پیچها در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد است.

S_u : توان نامی تعریف شده ترانسفورماتور در IEEE C57.12.00 که P_k نیز بر مبنای آن تعیین شده می باشد. S_u جهت تمایز از S_r تعریف شده است و لازم به ذکر است که توان نامی ترانسفورماتور طبق تعاریف IEEE برابر با توان خروجی از ترانسفورماتور در دمای مبنای ۸۵ درجه سانتیگراد می باشد.

T_f : ضریب تصحیح دمای استفاده شده برای تصحیح تلفات از دمای مرجع استاندارد به مرجع دمایی استفاده شده جهت محاسبه شاخص انرژی است.

با توجه به انواع دسته بندی ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت به انواع روغنی و خشک ویا تکفاز و سه فاز، مشتری میتواند طبق روش A مقدار شاخص حداکثر راندمان (PEI^2) را برای دو سطح راندمان (2) , (1) و یا طبق روش B مقدار شاخص راندمان را در 50% از ضریب بار محاسبه ویا بر اساس جداول ارائه شده در این مدرک انتخاب نماید.

در روش A بر اساس اینکه حداکثر راندمان در ضریب باری اتفاق می‌افتد که تلفات بارداری به اندازه تلفات بی‌باری باشد ، لذا این ضریب بار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_{PEI} = \text{Sqrt} ((P_0 + P_{c0})/P_k) \qquad (5)$$

و مقدار حداکثر راندمان از معادله :

$$PEI = 1-2*(P_0+P_{c0}) / K_{PEI} * S_r \qquad (6)$$

قابل محاسبه خواهد بود.

در روش B بر اساس اینکه طبق استاندارد برخی کشورها، مقدار راندمان در 50% ظرفیت نامی ترانسفورماتور اندازه‌گیری می‌شود لذا در رابطه (4) مقدار ضریب بار k را برابر 0.5 قرار داده و رابطه زیر بدست می‌آید:

$$EI_{B50} = 0.5*S_u / (0.5*S_u + P_0 + 0.25 * T_f * P_k) \qquad (7)$$

[2] Peak Efficiency Index

در ادامه به عنوان نمونه یکی از جداول آورده شده که در آن مقادیر PEI به روش A در دو سطح برای ترانسفورماتورهای توزیع روغنی سه فاز تعیین شده است.

جدول ۱- مقادیر PEI برای ترانسفورماتورهای روغنی تا توان ۳۱۵۰ کیلو ولت آمپر و حداکثر ولتاژ کمتر از ۳۶ کیلو ولت

	Um≤24 kV		Um≤36 kV	
توان نامي kVA	PEI سطح ۱ %	PEI سطح ۲ %	PEI سطح ۱ %	PEI سطح ۲ %
≤۲۵	۹۷/۹۹۲	۹۸/٤٤٥	۹۷/۷٤۲	۹۸/۲٥۱
٥۰	۹۸/۷٤۱	۹۹/۰۱٤	۹۸/٥۸٤	۹۸/۸۹۱
۱۰۰	۹۸/۹۹۳	۹۹/۱۹٤	۹۸/۸٦۷	۹۹/۰۹۳
۱٦۰	۹۹/۱۲۲	۹۹/۲۸۱	۹۹/۰۱۲	۹۹/۱۹۱
۲٥۰	۹۹/۲۱۰	۹۹/۳٦۳	۹۹/۱۱۲	۹۹/۲۸۳
۳۱٥	۹۹/۲٤۸	۹۹/۳۹٥	۹۹/۱٥٤	۹۹/۳۲۰
٤۰۰	۹۹/۲۹۷	۹۹/٤۳۹	۹۹/۲۰۹	۹۹/۳٦۹
٥۰۰	۹۹/۳۳۰	۹۹/٤٦٥	۹۹/۲٤۷	۹۹/۳۹۸
٦۳۰	۹۹/۳۷۳	۹۹/٥۰۰	۹۹/۲۹٥	۹۹/٤۳۷
۸۰۰	۹۹/٤۱٦	۹۹/٥۳۲	۹۹/۳٤۳	۹۹/٤۷۳
۱۰۰۰	۹۹/٤۳۱	۹۹/٥٤۱	۹۹/۳٦۰	۹۹/٤۸٤
۱۲٥۰	۹۹/٤۸۳	۹۹/٥٤٤	۹۹/٤۱۸	۹۹/٤۸۷
۱٦۰۰	۹۹/٤۸۸	۹۹/٥٥۰	۹۹/٤۲٤	۹۹/٤۹٤
۲۰۰۰	۹۹/٤۸۹	۹۹/٥٥۸	۹۹/٤۲٥	۹۹/٥۰۲
۲٥۰۰	۹۹/٥۰٤	۹۹/٥٦۸	۹۹/٤٤۲	۹۹/٥۱٤
۳۱٥۰	۹۹/٥۰٦	۹۹/٥۷۲	۹۹/٤٤٥	۹۹/٥۱۸

مقادیر پیشنهادی حداقلی جهت PEI در روش A برای ترانسفورماتورهای توزیع منجربه استخراج مقادیر ماکزیمم برای تلفات بارداری و بی باری گردیده است. در ادامه جدول ناشی از مقادیر PEI در دو سطح راندمانی ۱ و ۲ برای تلفات بارداری و بی باری برای ترانسفورماتورهای توزیع روغنی سه فاز به شرح زیر آورده می شود.

جدول ۲- مقادیر ماکزیمم تلفات بارداری و بی باری برای ترانسفورماتورهای روغنی ۵۰ هرتز تا توان ۳۱۵۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژ کمتر از ۲۴ کیلو ولت

	سطح۱		سطح۲	
توان نامي kVA	ماکزیمم تلفات بار داري (وات)	ماکزیمم تلفات بي باري (وات)	ماکزیمم تلفات بار داري (وات)	ماکزیمم تلفات بي باري (وات)
≤۲۵	۹۰۰	۷۰	٦۰۰	٦۳
٥۰	۱۱۰۰	۹۰	۷٥۰	۸۱
۱۰۰	۱۷٥۰	۱٤٥	۱۲٥۰	۱۳۰
۱٦۰	۲۳٥۰	۲۱۰	۱۷٥۰	۱۸۹
۲٥۰	۳۲٥۰	۳۰۰	۲۳٥۰	۲۷۰
۳۱٥	۳۹۰۰	۳٦۰	۲۸۰۰	۳۲٤
٤۰۰	٤٦۰۰	٤۳۰	۳۲٥۰	۳۸۷
٥۰۰	٥٥۰۰	٥۱۰	۳۹۰۰	٤٥۹
٦۳۰	٦٥۰۰	٦۰۰	٤٦۰۰	٥٤۰
۸۰۰	۸٤۰۰	٦٥۰	٦۰۰۰	٥۸٥
۱۰۰۰	۱۰٥۰۰	۷۷۰	۷٦۰۰	٦۹۳
۱۲٥۰	۱۱۰۰۰	۹٥۰	۹٥۰۰	۸٥٥
۱٦۰۰	۱٤۰۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰۰	۱۰۸۰
۲۰۰۰	۱۸۰۰۰	۱٤٥۰	۱٥۰۰۰	۱۳۰٥
۲٥۰۰	۲۲۰۰۰	۱۷٥۰	۱۸٥۰۰	۱٥۷٥
۳۱٥۰	۲۷٥۰۰	۲۲۰۰	۲۳۰۰۰	۱۹۸۰

از مقایسه مقادیر جدول بالا نسبت به مقادیر ارائه شده در دستورالعمل توانیر " تعیین الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون های ترانسفورماتورهای روغنی توزیع ۲۰ کیلو ولت " مشاهده می شود مقادیر پیشنهادی برای ترانسفورماتورهای توزیع روغنی در اکثر توانها از نظر تلفات بی باری برای سطح ۱ کمتر از مقادیر گروه 'B و برای سطح ۲ نیز مقادیری بسیار پایین تر از مقادیر گروه 'C می باشد، و از نظر تلفات بارداری نیز برای سطح ۱ در حدود مقادیر گروه A و برای سطح ۲ نیز مقادیری پایین تر از مقادیر گروه C می باشد. که این مقادیر نشان دهنده سخت گیرانه تر شدن استاندارد IEC در مورد راندمان انرژی و مقادیر گارانتی تلفات بارداری و بی باری ترانسفورماتورهای روغنی می باشد.

با نگاهی به تعریف حداقل PEI و در نتیجه تعیین مقادیر مشخص برای تلفات بارداری و بی باری، به روش A معلوم می گردد شرایط ویژه ای جهت راندمان بهتر انرژی در ترانسفورماتورها تعیین گردیده است، از طرفی در راستای ایجاد این شرایط حداقل شاخص راندمان انرژی ای نیز در ۵۰ درصد از بار نامی در روش B تعیین گردیده است. تعیین حداقل هزینه مالکیت ترانسفورماتور با در نظر گرفتن مقادیر مشخص شده جهت EI و همچنین مقادیر تلفات بارداری و بی باری از مهمترین خروجی های مد نظر این استاندارد می باشد، که با مقادیر پیشنهاد شده در این استاندارد میتوان به آنها نائل گردید.

با توجه به اینکه در این استاندارد ، تلرانسی برای حداقل راندمانهای ذکر شده و یا حداکثر مقادیر تلفات ذکرنشده لذا سازنده و خریدار می توانند در صورت توافق مقدار تلرانسهایی مطابق با IEC60076-1 را بنابر قرارداد فی ما بین لحاظ نمایند.

۳.خلاصه

با توجه به اهمیت انرژی در مباحث روزمره و لزوم کاهش مصرف آن ، سازمان استاندارد بین‌المللی IEC به منظور هماهنگ سازی خود با روند جهانی در این زمینه به خاطر سهم بالای تلفات ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت به سبب تعداد زیاد ترانسفورماتورهای نصب شده در شبکه های برق اقدام به تدوین این استاندارد جدید نموده که هدف از آن کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده های زیست محیطی است. این مقاله به منظور آشنایی بیشتر در خصوص فعالیتهای صورت گرفته در کمیته فنی ترانسفورماتور IEC در راستای افزایش راندمان ترانسفورماتورها تهیه شده و بیانگر کلیات مدرک مذکور می باشد که در آن دو روش بنامهای A و B جهت اندازه

گیری راندمان انرژی و همچنین شاخص حداکثر راندمان تعریف شده که از روش A برای تعیین حداقلهای PEI و همچنین با توجه به آن حداکثرهای تلفات بارداری و بی باری در توان نامی استفاده شده است. همچنین از روش B نیز برای تعیین حداقلهای EI در ۵۰ درصد از بار نامی استفاده گردیده است.

از دیگر مزایای این استاندارد می توان به موضوع تعیین حداقل هزینه مالکیت ترانسفورماتور با در نظر گرفتن مقادیر مشخص شده جهت EI و همچنین مقادیر تلفات بارداری و بی باری که با مقادیر پیشنهاد شده در این استاندارد میتوان به آنها نائل گردید اشاره کرد.

منابع

[1] IEC TS 60076-20: Power transformers - Part 20: Energy efficiency (Ed.1 – 2017)

[۲] دستورالعمل تعیین الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون های ترانسفورماتورهای روغنی توزیع ۲۰ کیلو ولت . شرکت توانیر – ۱۳۹۰