

معرفی استاندارد

گرچه بسیاری از تحقیقات، گزارشهای فنی، مقالات و کتابها ممکن است از لحاظ علمی ارزش بالاتری از استانداردها داشته باشند، لیکن آنچه استانداردها را از این موارد متمایز می‌سازد اینست که گروهی متشکل از سازندگان، خریداران، بهره‌برداران و اساتید دانشگاه (و در خصوص استانداردهای بین‌المللی مانند IEC، نمایندگان کشورهای آنها را مورد تأیید قرار داده‌اند. در حقیقت استانداردها را می‌توان توافق بین کلیه ذینفعان یک محصول در خصوص مشخصات و کیفیت آن دانست. در صنعت برق ایران از جمله ترانسفورماتور، استانداردهای تدوین شده توسط موسسه IEC بیشترین کاربرد را (در مقایسه با سایر استانداردها از جمله ANSI/IEEE) دارد که دلیل آن علاوه بر بین‌المللی بودن این استاندارد، نزدیکی بیشتر صنعت برق ایران با اروپا است. با توجه به اهمیت آشنایی فعالان در صنعت ترانسفورماتور با آخرین ویرایش استانداردهای IEC مورد استفاده در این صنعت، فصلنامه ترانسفورماتور در هر شماره یکی از استانداردهای منتشره توسط این مؤسسه را معرفی می‌نماید. نظر به پیچیدگی فنی استانداردهای IEC، تلاش بر این است که متون به زبان ساده تشریح شده و در نهایت مثالی واقعی از کاربرد آن بر روی یک ترانسفورماتور نمونه در ایران ارائه شود. علاقه‌مندان جهت دریافت نسخه کامل استانداردهای معرفی شده می‌توانند به وبسایت فصلنامه مراجعه نمایند.

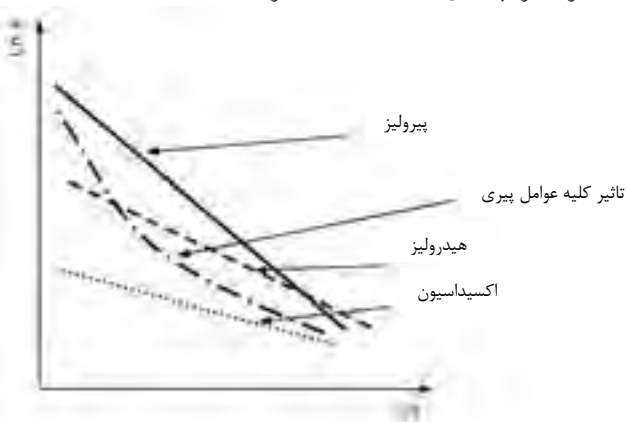
معرفی استاندارد IECTR 62874ed.1

(ویرایش سال ۲۰۱۵)

مقدمه

خصوص رابطه بین دو - فورفورال و درجه پلیمریزاسیون عایق کاغذی (DP) صورت گرفته و مدل‌های مختلفی در این خصوص پیشنهاد شده است. لیکن بنا به دلایلی همچون، همخوانی نداشتن مدل‌های ارائه شده در این تحقیقات با یکدیگر و همچنین عدم اثبات کارایی این مدل‌های آزمایشگاهی در شرایط واقعی کار ترانسفورماتور، در این استاندارد از هیچ یک از این مدل‌ها استفاده نشده است. بطور کلی این استاندارد صرفاً به عنوان راهکار عملی جهت بررسی میزان تخریب حرارتی عایق کاغذی قابل استفاده بوده و به عنوان الگوریتمی جهت محاسبه میزان درجه پلیمریزاسیون عایق کاغذی (DP) کاربرد ندارد. در ادامه به دلایل کاهش عمر ترانسفورماتور اشاره و سه عامل اصلی در تخریب عایق کاغذی معرفی می‌شود:

- هیدرولیز (تخریب عایق کاغذی به واسطه حرارت)



شکل یک: دیاگرام شماتیک نشان دهنده تأثیر هر یک از عوامل پیری بر نرخ کاهش عمر ترانسفورماتور K

- اکسیداسیون (تخریب عایق کاغذی به دلیل حضور اکسیژن)

با توجه به گرانیقیمت بودن ترانسفورماتور، زمان طولانی مورد نیاز جهت سفارش، طراحی و ساخت ترانسفورماتور جدید (یک تا دو سال برای ترانسفورماتورهای قدرت) و همچنین وابستگی شبکه برق رسانی به کارکرد بدون خطای این تجهیزات، محاسبه قابلیت اطمینان و تخمین عمر ترانسفورماتورهای قدیمی (با بیش از ۱۵ سال عمر) که اکنون بیش از نیمی از شبکه برق کشور و صنایع را تغذیه می‌کنند، اهمیت بسیاری دارد. در صورتی که بهره بردار قادر به تخمین عمر ترانسفورماتور باشد، نه تنها می‌تواند از بروز حوادث و خاموشی ناخواسته جلوگیری نماید، بلکه قادر است در زمان مناسب نسبت به برنامه ریزی جهت انجام عملیات سرویس و نگهداری، تعمیرات، بازسازی یا تعویض ترانسفورماتور اقدام نماید. تخمین عمر ترانسفورماتور با استفاده از نتایج آزمونهای روغن در طی بیست سال گذشته توسط بسیاری از محققین مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و مقالات، گزارشها و دستورات عملیهای متفاوت و در برخی موارد، متناقضی در این مدت انتشار یافته است. لیکن به دلیل پیچیدگی این بحث و تفاوت‌های اساسی بین نتایج حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی با شرایط واقعی در ترانسفورماتور، هیچگاه این گزارشات جنبه رسمی به خود نگرفته و به صورت استاندارد منتشر نشده بود. سرانجام در سال ۲۰۱۵ مؤسسه IEC با انتشار گزارش فنی IEC TR 62874 نقطه عطفی در این مبحث پدید آورد و توانست راه حل جامع و کاملی در این خصوص ارائه نماید. مطابق این گزارش فنی با اندازه گیری مقادیر دی اکسید کربن (از تست گاز کروماتوگرافی) و دو - فورفورالدهید (از تست فورفورال) می‌توان با استفاده از جداول ذکر شده در این گزارش، عمر ترانسفورماتور را تخمین زده و اقدامات آتی (مانند نوع و زمان انجام آزمونهای تکمیلی و تصمیم گیری در خصوص وضعیت ترانسفورماتور) را تعیین نمود.

خلاصه استاندارد

در ابتدای این گزارش فنی به این مسئله اشاره می‌شود که تحقیقات زیادی در

- در زمان اولین نمونه برداری می بایست حداقل شش ماه از انجام آخرین تصفیه فیزیکی، شیمیائی یا تعویض روغن گذشته باشد.

- نمونه برداریها باید در زمانی انجام شود که بار ترانسفورماتور، قبل از نمونه برداری تغییرات زیادی نکرده باشد

۲) تعیین مقادیر مطلق دو-فورفورال (mg/kg) و دی اکسید کربن (μLit/Lit) در هر دو نمونه

۳) تعیین مقادیر رشد سالانه دو-فورفورال (mg/kg/year) و دی اکسید کربن (μLit/Lit/year)

۴) مقایسه مقادیر مطلق و رشد سالانه دی اکسید کربن و دو فورفورال با جداول مقادیر نرمال (جداول یک تا دوازده)

۵) تعیین اینکه هریک از مقادیر مطلق و رشد کمتر از صدک نودم، بین صدک نودم و نود و هشتم یا بیشتر از صدک نود و هشتم هستند.

۶) تعیین وضعیت تخریب عایق کاغذی و تخمین عمر از دست رفته ترانسفورماتور مطابق جدول سیزده

۷) تعیین نوع و زمان انجام پایشهای آتی مطابق جدول چهارده

مقادیر نرمال دو-فورفورال و دی اکسید کربن

استاندارد حاضر مقادیر مطلق دو-فورفورال و دی اکسید کربن و رشد سالانه آنها در تعداد زیادی از ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری را تحت بررسی قرار داده و با استفاده از روشهای آماری مقادیر نرمال این شاخصهای پیری را ذکر نموده است. این جداول به قرار ذیل می باشند:

۱) مقادیر نرمال دو-فورفورال بر مبنای مقادیر مطلق (بر حسب mg/kg) و نرخ رشد سالانه (بر حسب mg/kg/year)

توضیح: در بخشهایی از جداول ذکر شده است: «داده ناکافی» در این حالت تعداد نمونه های آماری جهت تعیین مقادیر نرمال به اندازه کافی نبوده است.

- پیرولیز (تخریب عایق کاغذی توسط آب)

در یک ترانسفورماتور کلیه این فرایندها، به صورت همزمان عمل کرده و مطابق شکل یک، مکانیزم غیر خطی را بوجود می آورند. اینکه کدام فرآیند غالب می شود بستگی به درجه حرارت و عوامل بهره برداری دارد. در حقیقت به دلیل پیچیدگی فرایندهای تخریب، تعیین تنها یک فرآیند به عنوان فرآیند غالب، بسیار دشوار است.

با توجه به اینکه در ترانسفورماتورهای در حال بهره برداری، امکان نمونه برداری از کاغذ و اندازه گیری مستقیم درجه پلیمریزاسیون عایق کاغذی (DP) و در نهایت تخمین عمر وجود ندارد، لذا راهکار پیشنهادی استاندارد، استفاده از نشانگرهای پیری در روغن است. نشانگرهای پیری در حقیقت موادی است که بر اثر تخریب کاغذ در روغن حل شده و با اندازه گیری آنها می توان پیری ترانسفورماتور را تخمین زد. از بین کلیه نشانگرهای پیری موجود در روغن، استاندارد حاضر دی اکسید کربن (که با آزمون گاز کروماتوگرافی قابل اندازه گیری است) و دو - فورفورال (که از نتیجه آزمون اندازه گیری ترکیبات فوران بدست می آید) را انتخاب نموده است.

روش گام به گام جهت تخمین عمر ترانسفورماتور

به منظور تخمین عمر ترانسفورماتور، استاندارد با استفاده از جداول مقادیر نرمال، روش گام به گام ذیل را پیشنهاد می نماید:

۱) انجام حداقل دو بار آزمونهای گاز کروماتوگرافی و فورفورال بر روی ترانسفورماتور

شرایط انجام آزمونها به قرار ذیل می باشد:

- فواصل انجام آزمونها باید حداقل شش ماه بوده و در این مدت تصفیه فیزیکی، شیمیائی یا تعویض روغن انجام نشده باشد.

- ترانسفورماتور مورد مطالعه نباید به مدت طولانی خارج از مدار قرار گرفته باشد.



جدول یک: ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاهی (GSU) با روغن فاقد مواد بازدارنده (Uninhibited Oil)

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۳	داده ناکافی
نود و هشتم	۰/۰۵	۰/۰۱	۱	۰/۱۰	۴	۰/۰۷	۶	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۱۸۶۰ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول دو: ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاهی (GSU) با روغن حاوی مواد بازدارنده (Inhibited Oil)

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	داده ناکافی		۰/۱	داده ناکافی		۰/۲۵	۰/۱۸	داده ناکافی
نود و هشتم	داده ناکافی		۰/۱۵	داده ناکافی		۰/۶۰	۱/۵	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۱۷۶ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول سه: ترانسفورماتورهای فوق توزیع و انتقال با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۱	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۶	۱/۶	۰/۲۵	۲	۰/۳
نود و هشتم	۰/۲	۰/۰۲	۱/۱	۰/۶	۳/۵	۰/۸	۴/۵	۱/۱

(نمونه آماری: ۲۸۴۵ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول چهار: ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ (با توان نامی بیشتر از ۲MVA) با روغن فاقد مواد بازدارنده

و منبع انبساط باز (Open Breathing Conservator)

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲	۱/۵	۰/۳	داده ناکافی	داده ناکافی
نود و هشتم	۰/۲	۰/۰۳	۳	۰/۵	۴/۵	۰/۸	داده ناکافی	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۷۱۰۷ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول پنج: ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ با روغن فاقد مواد بازدارنده و منبع انبساط بسته (Sealed Conservator)

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۰۵	داده ناکافی		۰/۱۵	۰/۰۲	۱/۶	۰/۴	داده ناکافی
نود و هشتم	۰/۱۵	داده ناکافی		۰/۸۵	۰/۰۴	۵	۰/۷	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۲۸۸ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول شش: ترانسفورماتورهای توزیع شبکه و صنایع (با توان نامی کمتر از 2MVA) با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۶	۰/۰۲	۰/۷	۰/۱	۱/۳	۰/۳	داده ناکافی	
نود و هشتم	۱/۵	۰/۲	۲/۷	۰/۷	۴/۵	۱/۱	داده ناکافی	

(نمونه آماری: ۳۸۸۵ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول هفت: ترانسفورماتورهای LVDC با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	داده ناکافی		۰/۸	۰/۳	۱	۰/۳	داده ناکافی	
نود و هشتم	داده ناکافی		۱/۴	۰/۸	۳	۰/۸	داده ناکافی	

(نمونه آماری: ۳۶۰ دستگاه ترانسفورماتور)

۲) مقادیر نرمال دی اکسید کربن بر مبنای مقادیر مطلق (بر حسب $\mu\text{lit/Lit}$) و نرخ رشد سالانه (بر حسب $\mu\text{Lit/Lit/year}$)
توضیحات:
۱) در بخشهایی از جدول ذکر شده است: «داده ناکافی» در این حالت تعداد نمونه های آماری جهت تعیین مقادیر نرمال به اندازه کافی نبوده است.

۲) مقادیر نرمال دی اکسید کربن بر مبنای مقادیر مطلق (بر حسب $\mu\text{lit/Lit}$) و نرخ رشد سالانه (بر حسب $\mu\text{Lit/Lit/year}$)
توضیحات:
۱) در بخشهایی از جدول ذکر شده است: «داده ناکافی» در این حالت تعداد نمونه های آماری جهت تعیین مقادیر نرمال به اندازه کافی نبوده است.

جدول هشت: ترانسفورماتورهای اصلی و تحریک نیروگاهی با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۲۰۰۰	داده ناکافی	۵۰۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰۰	۱۵۰۰	۸۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۲۵۰۰		۷۰۰۰	۳۰۰۰	۱۱۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰۰	

(نمونه آماری: ۱۰۹۸ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول نه: ترانسفورماتورهای فوق توزیع و انتقال با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۳۰۰۰	داده	۵۰۰۰	داده	۸۰۰۰	داده	۸۰۰۰	داده
نود و هشتم	۵۰۰۰	ناکافی	۸۰۰۰	ناکافی	۱۱۰۰۰	ناکافی	۱۳۰۰۰	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۴۳۵ دستگاه ترانسفورماتور)



جدول ده: ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ← ↓ صدک	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۲۰۰۰	داده	۴۰۰۰	داده	۵۰۰۰	داده	۶۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۳۵۰۰	ناکافی	۸۰۰۰	ناکافی	۹۰۰۰	ناکافی	۱۲۰۰۰	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۷۲۹۱ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول یازده: ترانسفورماتورهای توزیع شبکه و صنایع با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ← ↓ صدک	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۱۵۰۰	داده	۳۵۰۰	داده	۴۵۰۰	داده	۵۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۳۵۰۰	ناکافی	۵۵۰۰	ناکافی	۷۰۰۰	ناکافی	۹۰۰۰	داده ناکافی

(نمونه آماری: ۴۵۵۶ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول دوازده: ترانسفورماتورهای LVDC با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ← ↓ صدک	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	داده ناکافی		۳۰۰۰	داده	۴۵۰۰	داده	داده ناکافی	
نود و هشتم	داده ناکافی		۴۵۰۰	ناکافی	۷۵۰۰	ناکافی	داده ناکافی	

(نمونه آماری: ۲۷۳ دستگاه ترانسفورماتور)

نحوه تحلیل نتایج

پس از انجام آزمونهای گازکروماتوگرافی و فورفورال لازم است مقادیر مطلق و نرخ رشد دو-فورفورال و دی اکسید کربن را با مقادیر ذکر شده در جداول یک تا دوازده مقایسه نمود. تحلیل نتایج مطابق جدول سیزده می باشد.

جدول سیزده: تعیین وضعیت تخریب عایق کاغذی ترانسفورماتور و

تخمین عمر از دست رفته با توجه به مقادیر دو-فورفورال و دی اکسید کربن

تخمین عمر	وضعیت تخریب عایق کاغذی	مقادیر مطلق و نرخ رشد دو-فورفورال و دی اکسید کربن
عمر واقعی ترانسفورماتور کمتر از مدت زمان بهره برداری است.	کم	کمتر از صدک نودم
عمر واقعی ترانسفورماتور برابر با مدت زمان بهره برداری است.	متوسط	بین صدک نودم و نود و هشتم
عمر واقعی ترانسفورماتور بیشتر از مدت زمان بهره برداری است.	زیاد	بیشتر از صدک نود و هشتم

در صورتی که وضعیت تخریب عایق کاغذی مربوط به مقادیر مطلق و نرخ رشد دو-فورفورال و دی اکسید کربن همخوانی نداشته (به عنوان مثال یکی وضعیت تخریب کم و دیگری وضعیت تخریب متوسط را نشان دهد)، بدترین حالت در نظر گرفته می شود.

نوع و زمان انجام پایشهای آتی

جدول چهارده: پایش ترانسفورماتور با توجه به وضعیت تخریب عایق کاغذی

وضعیت تخریب عایق کاغذی	نوع پایش	زمان انجام آزمونها
کم	پایه	هر یک تا دو سال
زیاد	پایه	هر شش ماه
	تکمیلی	

توضیحات جدول:

- اندازه گیری مقدار پسیواتور موجود در روغن (برای روغنهای حاوی افزودنی پسیواتور)

پایش پایه: انجام آزمونهای گاز کروماتوگرافی و فورفورال پایش تکمیلی:

مثال عملی از نحوه استفاده از استاندارد

مقادیر دی اکسید کربن و دو-فورفورال بر مبنای آزمونهای گاز کروماتوگرافی و فورفورال انجام شده بر روی یک دستگاه ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی ۲۵ ساله و ۴۰۰ MVA با روغن فاقد مواد بازدارنده و وضعیت تخریب عایق کاغذی ترانسفورماتور و تحلیل نتایج، مطابق جداول پانزده و شانزده می باشد:

- ۱) شناسایی عیوب احتمالی ترانسفورماتور با استفاده از استاندارد: IEC60599
- ۲) انجام آزمونهای ذیل:
 - آب محلول در روغن
 - اسیدیته
 - شمارش ذرات معلق
 - اندازه گیری مقدار مواد بازدارنده موجود در روغن (برای روغنهای حاوی مواد بازدارنده)

جدول پانزده: تعیین وضعیت تخریب عایق کاغذی یک دستگاه ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی

شاخص پیری	مقدار مطلق در تاریخ ۹۳/۲/۱۵ (ppm)	مقدار مطلق در تاریخ ۹۳/۸/۲۰ (ppm)	نرخ رشد سالانه (ppm/year)
2FAL	1.5	1.8	0.59
وضعیت تخریب عایق کاغذی (مطابق جدول یک)	کم	کم	متوسط
CO ₂	7000	8750	3452
وضعیت تخریب عایق کاغذی (مطابق جدول هشت)	متوسط	متوسط	زیاد

جدول شانزده: تخمین عمر و تعیین اقدامات آتی در خصوص ترانسفورماتور

وضعیت تخریب عایق کاغذی	تخمین عمر	نوع پایش	اقدامات / آزمونهای آتی	زمان انجام آزمونها
زیاد	عمر واقعی ترانسفورماتور بیشتر از مدت زمان بهره برداری است.	پایه و تکمیلی	عیب یابی ترانسفورماتور با استفاده از استاندارد IEC 60599	در اسرع وقت و تکرار هر شش ماه
			گاز کروماتوگرافی فورفورال آب محلول در روغن اسیدیته شمارش ذرات معلق	

نتیجه گیری

تعیین مقدار درجه پلیمریزاسیون عایق کاغذی (DP) و تخمین عمر باقیمانده ترانسفورماتور (که در برخی از مقالات و تحقیقات بدان اشاره شده است) با استفاده از این استاندارد ممکن نیست.

به کمک روشهای ذکر شده در این استاندارد تنها می توان فهمید عمر واقعی ترانسفورماتور کمتر، مساوی یا بیشتر از مدت زمان بهره برداری خود است، لیکن

